RIEC

Annual Report 2006

研究活動報告

第13号（2006年度）



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

目　　次

【本編】

第 1 章　緒言…… 1

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

第 3 章　研究活動
1 節　情報デバイス研究部門の目標と成果…… 7
1 項　ナノフォトエレクトロニクス研究分野…… 8
2 項　物性情報工学研究分野…… 10
3 項　量子光工学研究分野…… 12
4 項　固体電子工学研究分野…… 14
5 項　誘電ナノデバイス研究分野…… 16
6 項　プラズマ電子工学研究分野…… 18
2 節　ブロードバンド工学研究部門の目標と成果…… 20
1 項　超高速光通信研究分野…… 22
2 項　応用量子光学研究分野…… 25
3 項　先端ワイヤレス通信技術研究分野…… 28
4 項　情報ストレージシステム研究分野…… 30
5 項　超ブロードバンド信号処理研究分野…… 32
6 項　ブロードバンド通信基盤技術研究分野…… 34
3 節　人間情報システム研究部門の目標と成果…… 36
1 項　生体電磁情報研究分野…… 38
2 項　先端音情報システム研究分野…… 40
3 項　高次視覚情報システム研究分野…… 42
4 項　通信環境工学研究分野…… 44
4 節　システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果…… 46
1 項　ソフトウェア構成研究分野…… 48
2 項　コンピューティング情報理論研究分野…… 50
3 項　コミュニケーションネットワーク研究分野…… 52
4 項　情報コンテンツ研究分野…… 54
5 項　情報社会構造研究分野…… 56
6 項　次世代情報ストレージ寄附研究分野…… 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…… 68
2 項　半導体スピントロニクス研究部…… 70
3 項　ナノ分子デバイス研究部…… 72
4 項　ナノスピンメモリ研究部…… 74
6 節　ブレインウェア実験施設の目標と成果…… 76
1 項　実世界コンピューティング研究分野…… 78
2 項　ブレイン・ウェアアーキテクチャ研究部…… 80
3 項　知的ナノ集積システム研究部…… 82

7節　21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果…… 84
1項　企画開発部…… 86
2項　研究開発部 モバイル分野 …… 88
3項　研究開発部 ストレージ分野 …… 90
8節　評価・分析センター…… 92
9節　やわらかい情報システム研究センター…… 94
10節　附属工場…… 96
11節　安全衛生管理室…… 98

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
H16/A02　周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究…… 104
H16/A03　ＳＮＤＭナノサイエンス＆テクノロジー創成に関する研究…… 107
H16/A04　スピンナノ構造体形成と情報通信デバイスへの適用に関する研究…… 109
H16/A07　次世代ネットワークアプリケーションのための技術基盤の創成…… 112
H16/A08　情報システムの遠隔評価環境に関する研究…… 115
H16/A10　次世代ホットスポットネットワークの研究…… 118
H16/A11　ナノスケール積層ジョセフソン接合のボルテクスダイナミクスとその応用…… 120
H17/A01　知的ナノ集積システムの実現に関する研究…… 123
H17/A02　高周波キャリア型磁界センサにおける不連続インピーダンス特性の原理考察と応用検討…… 126
H17/A04　フォトニック結晶の光産業技術への展開…… 128
H17/A05　プラズマナノ理工学基盤研究…… 131
H17/A06　Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究…… 136
H17/A08　視覚の統合処理過程の解明とその応用…… 139
H17/A09　Rashba 効果を利用した半導体スピンデバイスの研究 …… 142
H17/A10　次世代ビームデバイス用高電流電界放射微小電子源の研究…… 144
H17/A11　高機能有機薄膜センサーに関する研究…… 146
H17/A12　人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究…… 149
H17/A13　細胞バイオトロニクスに関する研究…… 152
H17/A14　ＲＦ帯パーミアブルマテリアルによる高集積度ＲＦデバイスの開発…… 154
H17/A15　導波路型光周波数シフタの高機能化に関する研究…… 157
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 …… 160
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…… 163
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…… 166
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術…… 169
H18/A05　次世代 Web のための高度情報検索システムの基盤創成に関する研究 …… 172
H18/A06　音響情報によるセキュリティ向上技術に関する研究…… 175
H18/A07　超伝導計算機の基礎と応用に関する研究…… 177
H18/A08　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…… 180
H18/A09　高次スピン機能ホイスラー合金の電子状態…… 183
H18/A10　聴覚を利用した拡張現実感システムの構築に向けた基礎的研究…… 186
H18/A11　FSF レーザー距離計測から得られる超高精度 3 次元点群データの幾何学的処理技術の確立…… 189
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 …… 191
H18/A13　視覚情報の脳内表現に関する研究…… 194
H16/B02　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…… 196
H16/B03　次世代情報通信における「音」の役割…… 199
H16/B04　電子ビームを利用する高密度磁気記録の研究…… 201

H16/B08　高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究…… 204
H16/B09　半導体の酸化ダイナミクスの解明とナノ構造形成技術への応用に関する研究…… 207
H16/B10　プログラム意味論の研究…… 209
H17/B01　ペタバイト級情報ストレージシステムの研究…… 212
H17/B02　電気・水素エネルギーシステム…… 214
H17/B04　ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓…… 217
H17/B05　ナノスピンマニピュレーションのための高性能交換磁気異方性材料の研究…… 220
H17/B07　ソフトウェア検証の理論と実践…… 223
H17/B08　スピンエレクトロニクスの新展開…… 226
H17/B09　マイクロ波帯磁気応用技術に関する研究…… 227
H17/B10　プログラム自動生成とその信頼性に関する研究…… 230
H17/B11　超高速光パルス制御技術に関する研究…… 233
H17/B12　高結合圧電材料とその応用に関する研究…… 236
H17/B13　コミュニケーションダイナミックス…… 239
H18/B01　ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究…… 241
H18/B02　共生コンピューティングのためのソーシャルウェア技術の研究…… 243
H18/B03　流れが深く関与するプラズマ物性の基礎と応用…… 246
H18/B04　マルチメディア情報ハイディングの研究…… 249
H18/B05　ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究…… 252
H18/B06　適応的な行動の発現と制御のメカニズム…… 255
H18/B07　コンプレックスプラズマの基礎と応用…… 258
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…… 261
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…… 264
H18/B10　生体電磁情報取得のための磁気利用技術…… 267

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…… 271
1項　第4回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ…… 271
(4th International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials (MMDM4))
2項　第4回 半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議 …… 272
(4th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-IV))
3項　2nd International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics …… 273
4項　第2回スピントロニクス国際ワークショップ…… 274
(The 2nd RIEC International Workshop on Spintronics -MgO-based Magnetic Tunnel Junctions-)
2節　国際会議等の開催状況…… 275
1項　第3回　SiGeテクノロジー＆デバイス国際会議…… 275
(3rd Int. SiGe Technol. & Device Meeting (ISTDM2006))
2項　第2回ECS SiGe & Ge：材料・プロセス・デバイス国際会議 …… 276
(2nd ECS SiGe & Ge:Materials, Processing, and Devices Symp.)
3節　工学研究会…… 277
1項　伝送工学研究会…… 278
2項　音響工学研究会…… 278
3項　仙台"プラズマフォーラム" …… 279
4項　ＥＭＣ仙台ゼミナール…… 279
5項　コンピュータサイエンス研究会…… 280

6項　システム制御研究会…… 280
7項　情報バイオトロニクス研究会…… 281
8項　スピニクス研究会…… 282
9項　ニューパラダイムコンピューティング研究会…… 283
10項　超音波エレクトロニクス研究会…… 284
11項　ブレイン機能集積工学研究会…… 286
12項　情報・数物研究会…… 287
13項　生体・生命工学研究会…… 289
14項　ナノ・スピン工学研究会…… 290
4節　通研講演会…… 291
1項　Jinho Choi　「Precoding and Iterative Receiver for MIMO Channels」
MIMOチャネルにおける前置符号化と繰り返し信号処理を用いる受信機 …… 291
2項　Youngjin Park　「3-d virtual audio: HRTF customization and artificial ear technology」 …… 291
3項　本間　芳和　「単層カーボンナノチューブの成長制御と物性評価への応用」…… 292
4項　河崎善一郎　「世界の雷を求めて　－地上から宇宙から－」…… 292
5項　Jan Poland　「離散的ベイズ学習における一致性について」 …… 293
6項　上村　和紀　「急性心筋梗塞を自動的に治療するシステムの開発」…… 293
7項　竹内　倫徳　「グルタミン酸受容体δ2サブユニット複合体によるシナプス結合と運動学習の制御」…… 294
8項　白石　泰之、棚橋　善克　「工学の医療応用」…… 294
9項　太田　直久　「デジタルシネマ技術の現状と今後の展開」…… 295
10項　Magnus Per Axel Cinthio　「The Longitudinal Movement of the Arterial Wall - An Overlooked Phenomenon -」 …… 295
11項　森江　　隆　「STDPを有するスパイキングニューロンモデルによる連想メモリとそのCMOS回路実現」 …… 296
12項　矢内　浩文　「身体に生じる無意識の揺れの特徴から個人を特定する」…… 296
13項　石田　武和　「MgB2超伝導体の微細加工と中性子検出器応用」 …… 297
14項　北川　智利　「聴覚と触覚の相互作用あれこれ」…… 297
15項　岩本　光正　「Maxwell-Wagner効果素子としての有機ＦＥＴと光第2次高調波による電界分布測定」…… 298

第6章　評価と分析
1節　運営協議会報告…… 299
2節　過去の運営協議会委員名簿…… 304
3節　外部評価結果要約…… 305
4節　今後の課題…… 313

第7章　結言…… 315

【資料編】

第1章　予算の概要…… 317
1節　競争的資金の獲得状況…… 318
2節　非常勤研究員経費…… 324
3節　奨学寄附金の受け入れ…… 325

第2章　研究・学会活動状況…… 326
1節　国際活動…… 326

2節　発表論文数…… 327
3節　学会役員一覧…… 328
4節　外国の大学等との学術交流交換協定締結一覧…… 330
5節　学振特別研究員及び研究所研究員…… 331
6節　特別研究員・大学院生の受入状況…… 332
7節　広報活動と情報公開…… 333

第3章　論文題目…… 334
1節　修士論文題目…… 334
2節　博士論文題目…… 337

第4章　受章・受賞…… 338
1節　本年度の受章・受賞者…… 338
2節　学会フェロー等…… 340

第5章　トピックス…… 341

付　録　教員の最終学歴一覧表…… 409
教員の充足率…… 410
構成員…… 411

第 1 章　緒　言

緒　言

東北大学は本年 2007 年に創立 100 周年という節目の年を迎えますし、東北大学が 2004 年に法人化されて 4 年目になります。2002 年度末に出された「国立大学等の独立行政法人化に関する調査検討会議」の最終報告では国立大学を一般の行政法人とは異なるということで「国立大学法人」として制度設計が行われました。この最終報告では「学部、研究科、附置研究所等の研究教育組織は法令（省令）で規定する」ということになっていましたが、2003 年の国会で議決された「国立大学法人法案」では研究教育組織については省令に記載しないということになりました。すなわち、研究教育組織の改廃は各大学の自主的な判断に委ねることになり、省令に記す代わりに大学の申し出により文部科学大臣が中期目標で示すことになっています。つまり、国立大学法人に対し、文部科学大臣は 6 年の中期目標を示し、大学はその目標達成のための中期計画を作り、6 年毎にその達成度を評価されることになっております。しかしながら、科学技術・学術審議会分科会研究環境基盤部会／学術研究の推進体制に関する作業部会での議論では、早くもこの決定を見直し、第 2 期の中期目標では学術政策上国として整備を推進する研究組織以外の組織については、各大学の自主的・自律的な判断により機動的・弾力的な設置改廃を可能にする観点から記載はしない方向で議論が進んでいます。附置研究所の存在規定である省令がなくなり、また文部科学大臣の示す目標からも記載されない附置研究所であれば、その改廃はその大学の自主的な判断によることになります。目標に記載しないということは文部科学省が財政的な措置をする義務がなくなる場合もあることでもあります。国の学術政策として推進すべき研究組織とは、研究の多様性を確保し卓越した拠点形成を行うという観点から、国公私立大学の枠を超えた共同利用・共同研究の拠点となる組織、学際的・学融合的分野や新領域の研究拠点となる組織、あるいは国内で当該分野の研究をおこなうところがなく唯一の拠点となる組織などが挙げられています。その設置形態も特定の大学に設置する場合と大学共同利用機関法人等の独立した研究所が提案されています。このように大学附置研究所もその存在意義や存在形態を根底から見直そうというのが、今の動きです。

以上が大学の附置研究所を取り巻く状況ですが、これらはその時の社会情勢、世界情勢、経済状況によって大きく変動します。日本のバブル経済崩壊後の構造改革の動きは、グローバル資本主義と呼ばれる構造転換政策の一環であるといえます。大学政策が国の経済政策と合致して機能するように、国策として重点研究分野が設定され、大学の組織をそれに合わせるように改編し「選択と集中」を行なおうとしています。この流れに大学が身を任せると、本来大学が持っていた「学問の自由」や「大学の自治」が脅かされかねません。「大学の在り方」は社会の「知の在り方」、すなわち「文化の在り方」を大きく左右しますので、大学をグローバル化に合わせて市場化するという、現在のような理念なき改革は大学や社会を崩壊させる危惧さえ感じさせます。本研究所は情報通信に関する全国で唯一の大学附置研究所であり、日本の情報通信に関して大きな責任があると考えています。そのため、本研究所は平成 13 年に研究所の理念と目的を再定義しました。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を基盤として初めて達成される。本研究所は，自在なコミュニケーションを可能にする科学技術研究を総合的に展開し、体

系化することによって，我が国の繁栄と発展を維持し，さらに広く人類の文化と福祉に貢献する。」を掲げました。目的を「電気通信研究所では，情報通信に関する科学技術を独創的に展開することによって、時間・空間・言語の壁を超えたバリアフリー情報通信の実現に大きく貢献してきた。21 世紀にはこれまでの成果を基盤とし，コミュニケーションの科学技術に関する学理と応用の研究をさらに推進することによって、世界に有数の中核的研究機関としての役割を果たす。そのため，材料と情報の基礎科学から，情報を生成・伝送・蓄積・処理・制御するためのデバイス技術，回路技術，伝送技術、アーキテクチャ，ソフトウエアを総合的に研究する。また、開かれた研究所として国内外の研究者との有機的連携を積極的に展開することで研究のいっそうの発展を図る。本学の伝統である実学精神を活かして、新産業創生につながる基盤技術の創造や，基盤技術の実用化研究にも積極的に取り組むことで社会経済を活性化する。さらに，コミュニケーションの科学技術の持続的な発展のためには若手研究者の育成が必須であり、それは最先端研究と一体化された教育システムによってのみ可能になる。本研究所では、院生を含めた若手研究者を最先端研究に参画させることで、次世代を担うための優れた研究者を育成する。」こととしました。学問の進展とともに、この理念の実現と目的達成のための方法論は変えていく必要があります。その一つが組織の改編です。本研究所は 10 年毎に研究組織を見直すことにしていて、直近では法人化と期を一にして 2004 年度に改組を行いました。「情報デバイス研究部門」、「ブロードバンド工学研究部門」、「人間情報システム研究部門」と「システム・ソフトウェア研究部門」の４つの研究部門は 20 年程度の長期の研究を行うこととし、10 年程度で実用化に結びつける研究を行う「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設」の２つの実験施設、産学連携を中心として５年程度で実用化に結びつける「二十一世紀情報通信研究開発センター」を設置しています。研究所自らが定めた理念に向かって、自らが学問を展開していくことが「学問の自由」であり、その組織を自らが統治していくことが「大学の自治」であり、そこでの研究成果が結果としてイノベーションを引き起こすのだと思います。歴史的にみても、一つのアイデアが実を結んで実用化に至るまでに 20～30 年掛かることも珍しくありません。本研究所は開所以来「イノベーションの拠点」としての役割を果たしてきましたし、これからも研究開発を精力的に展開することで、その機能が持続していくように努めていく所存です。前述しましたように、大学附置研究所を取り巻く状況は厳しいものがありますが、そこでの議論は本研究所がすでに自主的に実践してきた取り組みの一部であり、後追いにすぎない感を抱いております。

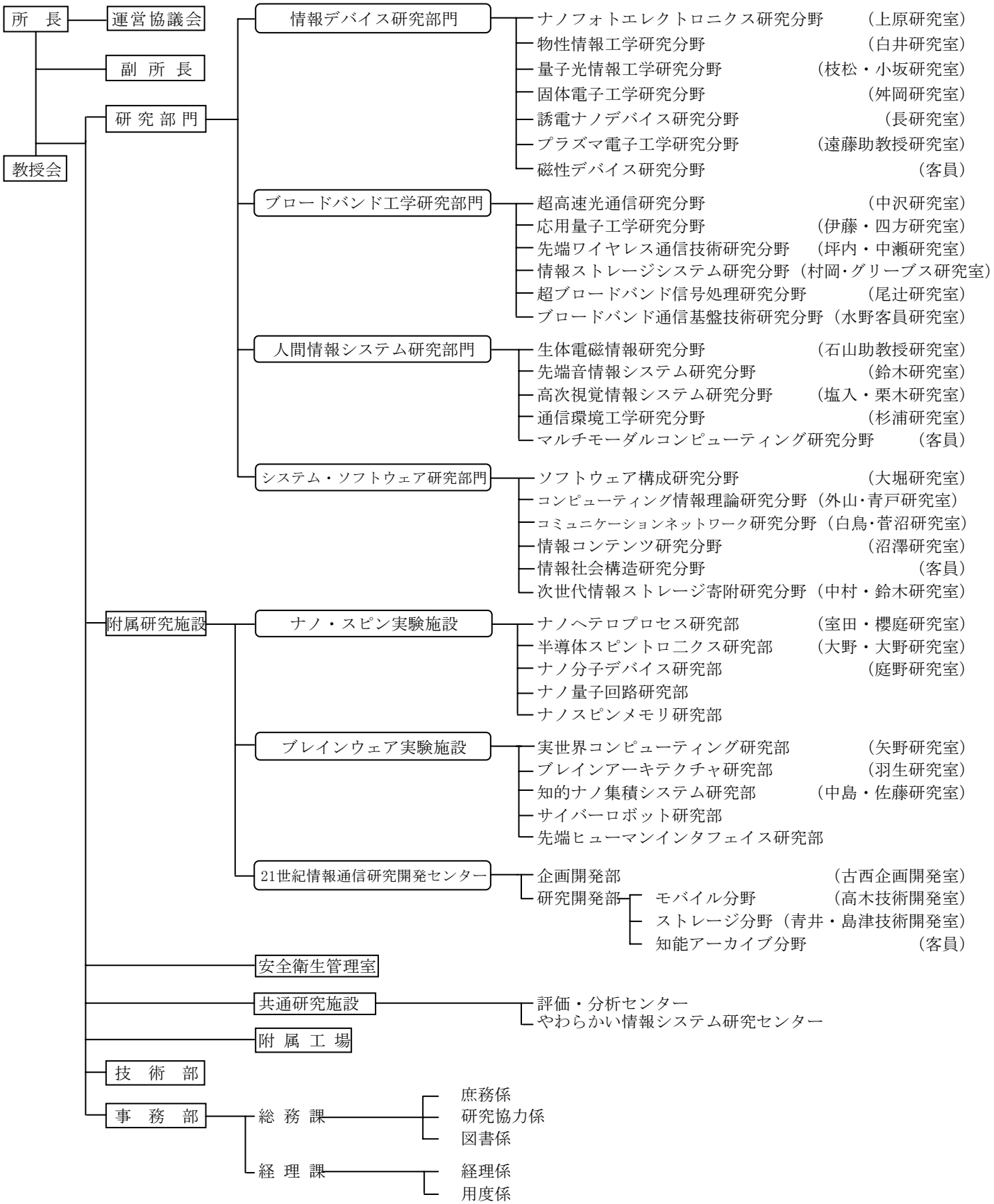
本研究活動報告は 1994 年に本研究所が全国共同利用研究所に改組して以来毎年発行しており、今回で 13 号となります。これは研究所の活動を広く皆様にご報告するとともに、研究所の自己点検・評価の資料として使用しているところです。なお、本研究所はこれまで通り、工学研究科と情報科学研究科の電気・情報系の諸専攻と一致協力して教育と研究に当たり、わが国の情報通信分野の進展に寄与していく所存です。これまで以上のご支援ご鞭撻及び本活動報告についての忌憚ないご意見をお願い申し上げ、巻頭のご挨拶といたします。

平成 19 年 5 月 22 日

電気通信研究所長　矢　野　雅　文

第 2 章　　組織・運営

組　織　図


所　長
運営協議会
副 所 長
研 究 部 門
教授会
情報デバイス研究部門
ナノフォトエレクトロニクス研究分野　（上原研究室）
物性情報工学研究分野　（白井研究室）
量子光情報工学研究分野　（枝松・小坂研究室）
固体電子工学研究分野　（舛岡研究室）
誘電ナノデバイス研究分野　（長研究室）
プラズマ電子工学研究分野　（遠藤助教授研究室）
磁性デバイス研究分野　（客員）
ブロードバンド工学研究部門
超高速光通信研究分野　（中沢研究室）
応用量子工学研究分野　（伊藤・四方研究室）
先端ワイヤレス通信技術研究分野　（坪内・中瀬研究室）
情報ストレージシステム研究分野（村岡･グリーブス研究室）
超ブロードバンド信号処理研究分野　（尾辻研究室）
ブロードバンド通信基盤技術研究分野（水野客員研究室）
人間情報システム研究部門
生体電磁情報研究分野　（石山助教授研究室）
先端音情報システム研究分野　（鈴木研究室）
高次視覚情報システム研究分野　（塩入・栗木研究室）
通信環境工学研究分野　（杉浦研究室）
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　（沼澤研究室）
情報社会構造研究分野　（客員）
次世代情報ストレージ寄附研究分野（中村・鈴木研究室）
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・大野研究室）
ナノ分子デバイス研究部　（庭野研究室）
ナノ量子回路研究部
ナノスピンメモリ研究部
ブレインウェア実験施設
実世界コンピューティング研究部　（矢野研究室）
ブレインアーキテクチャ研究部　（羽生研究室）
知的ナノ集積システム研究部　（中島・佐藤研究室）
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
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（青井・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
評価・分析センター
やわらかい情報システム研究センター
附 属 工 場
技 術 部
事 務 部
総 務 課
庶務係
研究協力係
図書係
経 理 課
経理係
用度係

２．２　運営協議会名簿

運営協議会は、東北大学電気通信研究所の共同プロジェクト研究に関する運営の大綱について、研究所の長の諮問に応じ、審議する組織である。

青木　利晴（委員長）株式会社 ＮＴＴデータ 相談役
有信　睦弘（委　員）株式会社 東芝 執行役常務 経営監査部長
伊賀　健一（　〃　）独立行政法人 日本学術振興会 理事
大森　慎吾（　〃　）独立行政法人 情報通信研究機構 理事
片桐　　滋（　〃　）同志社大学工学部 教授
小林　直人（　〃　）独立行政法人 産業技術総合研究所 理事
坂内　正夫（　〃　）国立情報学研究所長
榊　　裕之（　〃　）東京大学生産技術研究所　教授
武市　正人（　〃　）東京大学大学院情報理工学系研究科長
谷岡　健吉（　〃　）ＮＨＫ放送技術研究所長
横山　直樹（　〃　）株式会社 富士通研究所
　　フェロー兼ナノテクノロジー研究センター長
橋本　　治（　〃　）東北大学大学院理学研究科長
内田　龍男（　〃　）東北大学大学院工学研究科長
佐々木公明（　〃　）東北大学大学院情報科学研究科長
中嶋　一雄（　〃　）東北大学金属材料研究所長
齋藤　文良（　〃　）東北大学多元物質科学研究所長
川添　良幸（　〃　）東北大学情報シナジーセンター長
海老澤丕道（　〃　）東北大学大学院情報科学研究科 教授

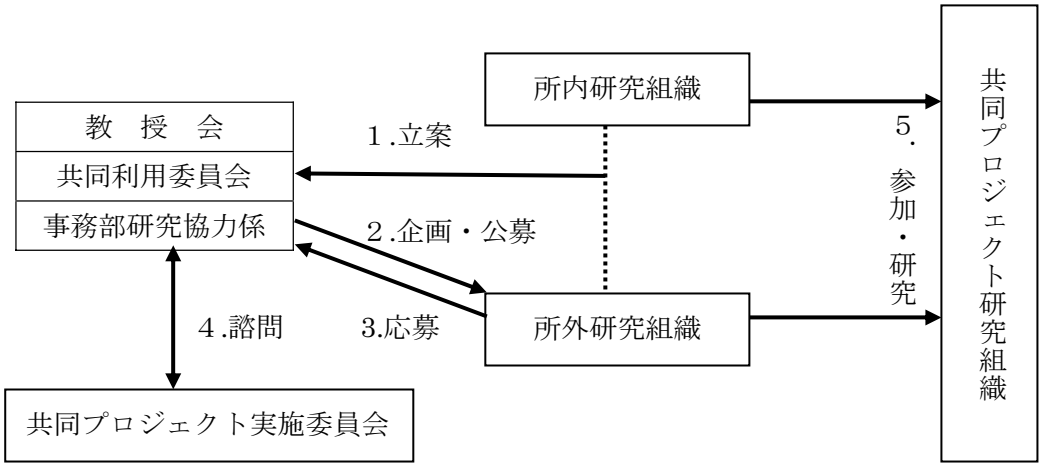
２．３　共同研究組織

本研究所は平成６年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関す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。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「共同プロジェクト実施委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案を承認し、実行に移される。

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



２．４　教育組織

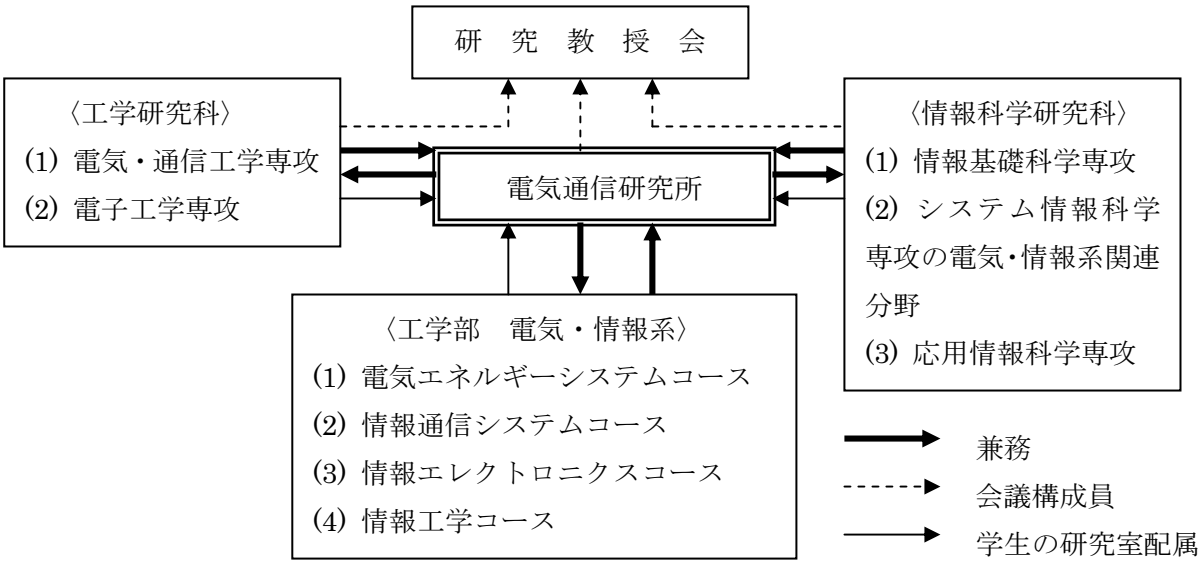
東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学専攻が順次設立されるとともに、「一体運営」の協力関係が維持されている。

現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係がある。大学院重点化に伴い、通研教員と大学院の関係は兼担から兼務へ変わっている。その結果、2006 年度は、通研の 25 分野のうち 8 研究分野が工学研究科電気・通信工学専攻に、10 研究分野が電子工学専攻に、3 研究分野が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、3 研究分野がシステム情報科学専攻に、1 研究分野が応用情報科学専攻にそれぞれ所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は 225 名、一研究室当たり平均 9.0 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・助教授は全員、学部学生に対する講義を担当し、助手は実験を指導して教育に協力している。一方、電気・情報系の教員も通研兼務であり、学部学生も通研の各研究室に配属されている。これにより学生にとっても研究室選択の幅が広がり、世界最先端の研究指導が受けられるようになっている。一方、通研にとっても若い行動力は重要であり、研究活動が活性化される。通研が電気通信の分野で多くの成果をあげてきた理由には、このような教育面での協力関係に因るところが大きい。

通研と電気・情報系の運営の中核には両組織の教授で構成される研究教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項は個々で審議される。教育上の具体的な事項の実行、運用に関しては、大学院に工学研究科電通・電子専攻教員会議、電気・情報系 4 コースに大学院教務委員会があり、通研からも委員が参加している。

通研は工学研究科、情報科学研究科の関連研究分野と密接な協力体制をとり、研究のみならず教育でも COE としての重要な一翼を担っている。



第 3 章　　研究活動

３．１　情報デバイス研究部門の目標と成果

物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成を目指し、従来の電子デバイスで個別に利用されてきた電子，光，スピンなどの素量子を統合・集積化することにより新しい量子間シナジー機能を実現し，その機能を駆使することにより次世代情報処理通信工学の基盤となる未開拓の新機能情報デバイスの実現を図ることを目的としている．そのために、次世代情報処理機能デバイス実現のためにその基盤となる，ナノスケール光電変換機能，核スピンコヒーレンス電気的制御，量子スピン機能制御，自己組織化超分子ナノ構造形成などの新しい量子物性機能や構造機能の実現を図ると共に，これらの新しい機能を活用したフォトニックデバイス，室温強磁性半導体デバイス，分子情報デバイス，電子・光相関効果電子デバイス，量子効果デバイスなどを実現することを目標とする．

目標に到達するために，下記の 7 研究分野を設置し，さらにナノ・スピン実験施設の１分野であるナノヘテロプロセス研究部と有機的連携を保ちつつ研究を行っている。

1. ナノフォトエレクトロニクス研究分野
2. 物性情報工学研究分野
3. 量子光情報工学研究分野
4. 固体電子工学研究分野
5. 誘電ナノデバイス研究分野
6. プラズマ電子工学研究分野
7. 磁性デバイス研究分野（客員研究分野）

各分野ごとの，目標ならびに２００６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

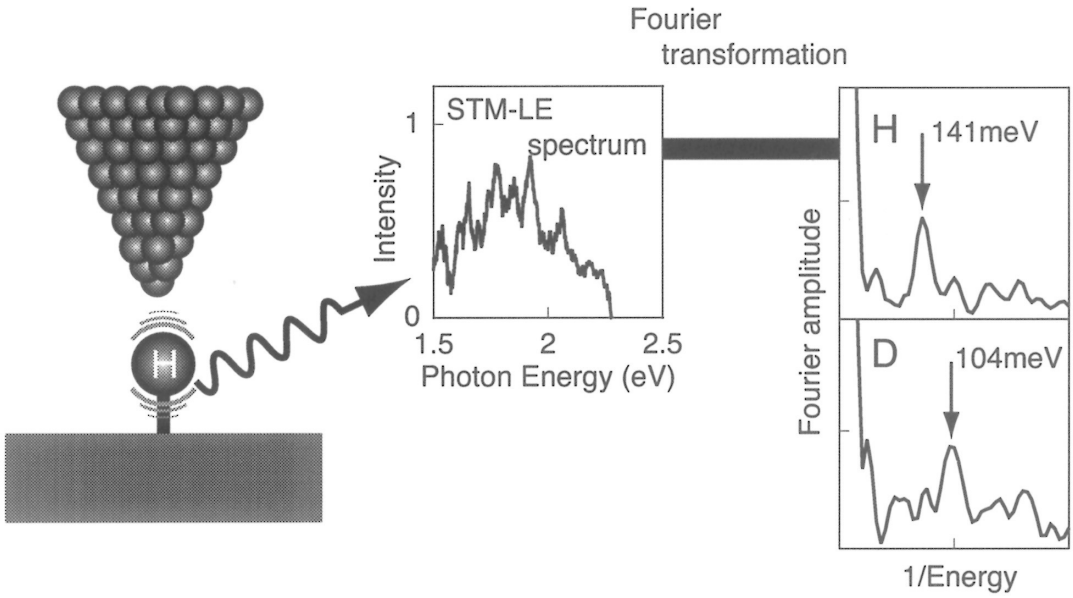


図１　STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

＜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。

＜2006 年度の主な成果＞

１．個々の表面吸着種の振動分光

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

動エネルギーを反映した「２種類の微細構造」は、STM発光励起時の２種類の振動励起機構（トンネル電子励起と局在プラズモン励起）に対応することを確定した。

超高真空環境下での探針増強ラマン分光法の開発を開始した。この手法の位置分解能はSTM発光分光振動分光より劣るが、ラマン・テンソル解析に基づく構造解析能力を有する特長がある。Ni(110)-(2x1) O表面に適用し、ナノメートル領域に吸着した単層の酸素原子の振動エネルギー計測に成功した。

２．新しい計測手法の開発

ピコ秒紫外レーザーを励起光源とする光電子分光法の開発を昨年度に引き続き行った（理化学研究所・フォトダイナミクス研究センター・表面フォトダイナミクス研究チームとの共同研究）。計測時の試料温度を90 Kから15 Kまで改善することに成功した。その結果、従来は熱揺らぎにより覆い隠されていた低エネルギー振動モード（Cu(001)表面に吸着したCO分子のFRモード：34.6 meV）の計測に成功した。

従来から開発を行ってきた時間分解STM発光分光とSTM発光振動分光を組み合わせることにより、個々の原子・分子や量子構造の振動の時間振る舞いの計測を可能にする方法の開発に着手した。ピコ秒の時間分解能と原子位置分解能を併せ持つ振動分光法の開発を目指す。

＜職員名＞

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

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] R. Arafune, K. Hayashi, S. Ueda, Y. Uehara, and S. Ushioda, “Detection of the frustrated rotation mode of CO on Cu(001) by very low energy photoelectron spectroscopy”, Surf. Sci. **600**, 3536-3539 (2006).
[2] K. Hayashi, R. Arafune, S. Ueda, Y. Uehara, and S. Ushioda, “Derivative spectra of very low energy photoelectrons from CO/Cu(001) surface obtained by a lock-in technique”, J. Phys. Soc. Japan **75**, 104303 (2006).
[3] K. Usami, K. Sakamoto, Y. Uehara, and S. Ushioda, “In-plane order of liquid crystal molecules adsorbed on photoaligned polyimide films: Coverage dependence in submonolayer range”, J. Appl. Phys. **101**, 13512 (2007).

物性情報工学研究分野

新機能情報デバイス創製のためのマテリアルデザイン

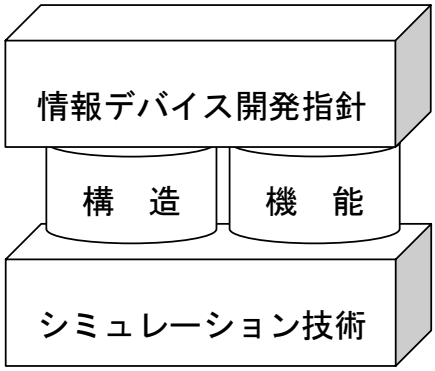


図１．研究目標の概念図

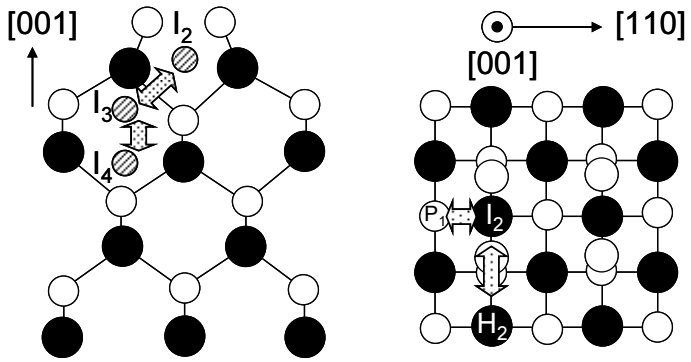


図２．GaAs (001)表面近傍における磁性不純物の吸着・拡散経路の模式図

＜分野の目標＞

本研究分野では，大規模シミュレーション技術を駆使して得られた電子・磁気・光学材料の電子状態に関する知見を基にして、（１）構造と機能の相関を理論的に解明すること、（２）物質創製の動的過程を原子・分子レベルで予測すること、（３）次世代情報デバイスの開発指針を打ち出すことを研究目標としている（図１）。現在、スピン機能物質の理論設計を主たる研究テーマとしており、表面・界面におけるナノ構造形成過程のシミュレーション技術開発にも着手している。こうした研究により蓄積された知識を体系化して、材料科学と情報工学を融合した新しい科学技術「物性情報工学」の確立を目指す。

＜2006 年度の主な成果＞

１．半導体表面近傍における磁性不純物の吸着・拡散過程に関する理論研究

希薄磁性半導体 (Ga,Mn)As の結晶成長過程における Mn 原子の吸着および拡散に関する知見を得るために、GaAs 表面近傍における Mn 原子の運動を支配する断熱ポテンシャルを第一原理計算した。実際には GaAs (001) 2×1 再構成表面を再現した８原子層からなるスラブ構造モデルにおける Mn 原子の吸着・拡散過程を調べた。GaAs (001)表面上の Mn 原子の形成エネルギーを比較した結果、表面 As ダイマー直下の格子間位置（図２の I_2）が最安定であることが確かめられた。一方、GaAs 内部の Mn 原子は Ga 原子を置換する方が安定であるので、結晶成長により Mn 原子が結晶深部に埋もれる際に置換位置に収容されるものと予想される。次に、GaAs 表面近傍の格子間位置を Mn 原子が拡散する経路（I_2－I_3－I_4）に沿って断熱ポテンシャルを計算した結果、格子間位置のエネルギーおよび拡散障壁ともに表面に近づくほど低くなる傾向が得られた。以上の研究により、希薄磁性半導体 (Ga,Mn)As の結晶成長過程を理論的に解明するための基礎的な知見が蓄積された。

２．ホイスラー合金／半導体多層膜の磁気抵抗に関する理論研究

これまでの当研究分野の第一原理計算に基づく研究によると、強磁性ホイスラー合金 Co_2CrAl はバルクとしてハーフメタルであるだけでなく、GaAs との(110)界面でも高いスピン偏極率をもつ。しかし、このスピン偏極率は局所的な状態密度から定義されており、輸送特性にどれほど反映されるかについては未解決であった。そこで、Co_2CrA/GaAs 多層膜における磁気抵抗を線形応答理論から調べた。実際には、交流伝導度の低周波数領域の振舞いから多層膜の磁気抵抗を議論している。結果として、(110)多層膜では、隣接する強磁性層の磁化が反平行のときだけ伝導率が顕著に低下することが明らかになった。一方、界面でのスピン偏極率が低い(100)多層膜では、平行磁化と反平行磁化で際立った違いは見られていない。以上の結果は、Co_2CrAl/GaAs (110)界面の高スピン偏極が輸送特性と密接に関係することを理論的に示した初めての成果である（下記業績リスト[6], [7]参照）。

＜職員名＞

教　授　白井 正文（2002 年より）
助　教　三浦 良雄、阿部 和多加

＜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）。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Miura, M. Shirai, and K. Nagao, “*Ab initio* study on stability of half-metallic Co-based full-Heusler alloys,” Journal of Applied Physics, Vol.99, No.8, Article No.08J112, pp.1-3 (2006).

[2] T. Nakano, M. Shirai, Y. Miura, and K. Nagao, “The exchange interaction in (Ga,Cr)N doped with oxygen impurities,” Physica Status Solidi (c), Vol.3, No.12, pp.4147-4150 (2006).

[3] T. Nakano, M. Shirai, Y. Miura, and K. Nagao, “Theoretical studies on the influence of oxygen impurity upon magnetic properties of (Ga,Cr)N,” Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.310, No.2, pp.2155-2157 (2007).

[4] Y. Miura, H. Uchida, K. Nagao, and M. Shirai, “First-principles study on spin-dependent transport in magnetic tunnel junctions of Heusler alloys with MgO barrier,” 19th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, Sendai, Japan, 15-18 August, 2006.

[5] M. Shirai, T. Makino, Y. Miura, and K. Nagao, “The effect of on-site Coulomb interaction in Cr-doped diluted magnetic semiconductors,” 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors, Sendai, Japan, 15-18 August, 2006.

[6] K. Nagao, Y. Miura, and M. Shirai, “Highly spin-polarized interface between full Heusler alloy and semiconductor,” International Conference on Magnetism 2006, Kyoto, Japan, 20-25 August, 2006.

[7] K. Nagao, Y. Miura, and M. Shirai, “Spin polarization and transport properties of Co_2CrAl /GaAs heterostructure,” International Conference on Quantum Simulators and Design, Higashi Hiroshima, Japan, 3-6 December, 2006.

[8] Y. Miura, Y. Oba, K. Nagao, and M. Shirai, “*Ab initio* study on tunneling conductance in magnetic tunnel junctions of half-metallic full-Heusler alloys with MgO barrier,” 10th Joint Magnetitsm and Magnetic Materials/ International Magnetics Conference, Baltimore, Maryland, USA, 7-11 January, 2007.

[9] M. Shirai, “Theoretical study on coherent tunneling in half-metallic Heusler alloys/MgO junctions (invited talk),” 2nd RIEC International Workshop on Spintronics, “MgO-based Magnetic Tunnel Junctions”, Sendai, Japan, 15-16 February, 2007.

量子光情報工学研究分野

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

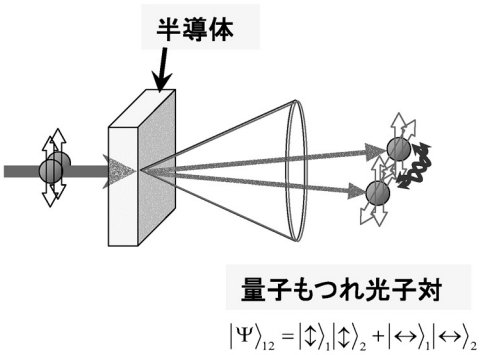


図１．半導体を用いた量子もつれ光子対発生

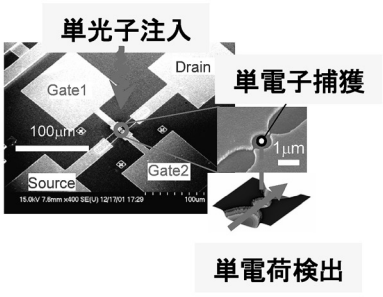


図２．単一光子→単一電子量子非破壊検出デバイス

＜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。

＜2006 年度の主な成果＞

(1) 半導体を用いた量子もつれ光子対の発生

量子相関をもった光子対の発生とその利用技術は，量子情報通信技術の根幹をなす重要な要素の一つである。本分野では，半導体結晶中の励起子分子における二励起子間のスピンの量子もつれ状態を利用した量子もつれ光子対発生技術を開発している。これまでに，偶然の同時計数を無視できる程度まで減少させた高純度の量子もつれ光子対の生成に成功し，それらが Bell の不等式を破ることを検証した。さらに，膜厚を最適化した薄膜や微小共振器構造により，さらに高効率かつ純度の高い量子もつれ光子発生の研究を進めている。

(2) 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発

量子暗号通信（量子暗号鍵配布）は，量子情報通信技術の中で最も実用化が進んでいるものの一つであるが，その通信可能距離の延伸が目下の課題となっている。本分野では，量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器

の実現を目指した基礎デバイスの開発を行っている。これまでに，単一光子→単一電子量子非破壊検出素子の開発に成功し，単一光子がもつ偏光の量子情報を電子スピンへと転写する量子メディア変換素子の開発を行っている。本年度は，g 因子を制御した半導体量子井戸を用い，光の偏光状態のコヒーレンスを電子のスピン状態へと転写することに世界で初めて成功した。

＜職員名＞

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

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Littrow-type external-cavity diode laser with a triangular prism for suppression of the lateral shift of output beam. [A. Takamizawa, G. Yonezawa, H. Kosaka, and K. Edamatsu: Rev. Sci. Instr. **77**, 046102/1-4 (2006)]

[2] Quantum diffraction and interference of spatially correlated photon pairs and its Fourier-optical analysis. [R. Shimizu, K. Edamatsu, and T. Itoh: Phys. Rev. A **74**, 013801/1-10 (2006)]

[3] Generation of entangled photons in a semiconductor and violation of Bell's inequality. [G. Oohata, R. Shimizu, and K. Edamatsu: Proc. 8th Int. Symp. on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology, World Scientific, 50-53 (2006)]

[4] 量子もつれ光子対の回折と干渉 [清水亮介，枝松圭一: 光技術コンタクト **44**，646-654 (2006)]

[5] 光子と電子スピンを用いた量子リピーター・量子メモリーへ向けた 取り組み [小坂英男: 応用物理 **75**, 1335-1339 (2006)]

[6] Decoherence suppression of excitons in GaSe using three successive femtosecond optical pulses. [T. Kishimoto, A. Hasegawa, Y. Mitsumori, J. Ishi-Hayase, M. Sasaki, and F. Minami: Phys. Rev. B **74**, 073202 (2006)]

[7] Non-Markovian dephasing of excitons in GaAs quantum wells. [A. Iwamatsu, Y. Ogawa, Y. Mitsumori and F. Minami: J. Lumin., **119-120**, 487-491 (2006)]

[8] Effect of the electron-hole exchange interaction on the photon-spin quantum state transfer. [Y. Rikitake, H. Imamura, and H. Kosaka: Phys. Stat. Sol. (c) **3**, 4350-4353 (2006)]

[9] Single photon response in GaAs quantum transport devices for photon-spin quantum state transfer. [T. Kutsuwa, K. Arai, H. Shigyo, H. Kinjo, K. Ono, Y. Mitsumori, H. Kosaka and K. Edamatsu: Phys. Stat. Sol. (c) **3**, 4326-4329 (2006)]

[10] Evaluation of g-factor by quantum transport measurement for photon-spin quantum state transfer. [K. Arai, T. Kutsuwa, H. Kinjo, K. Ono, H. Kosaka, and K. Edamatsu: Phys. Stat. Sol. (c) **3**, 4334-4337 (2006)]

[11] Decoherence suppression of excitons by bang-bang control. [T. Kishimoto, A. Hasegawa, Y. Mitsumori, J. Ishi-Hayase, M. Sasaki and F. Minami: J. Lumin., **122-123**, 539-541 (2007)]

[12] Observation of biexciton-resonant hyper-parametric scattering in SiO_2/CuCl layered structures [M. Nakayama, T. Nishioka, S.Wakaiki, G. Oohata, K. Mizoguchi, D. Kim, and K. Edamatsu: Jpn. J. Appl. Phys. **46**, L234-L236 (2007)]

[13] Polarization Transfer from Photon to Electron Spin in g-factor Engineered Quantum Wells. [H. Kosaka, Y. Mitsumori, Y. Rikitake, and H. Imamura: Appl. Phys. Lett. **90**, 113511/1-3 (2007)]

固体電子工学研究分野

知的情報化社会の基盤を支える
新しい半導体デバイス・システムの研究

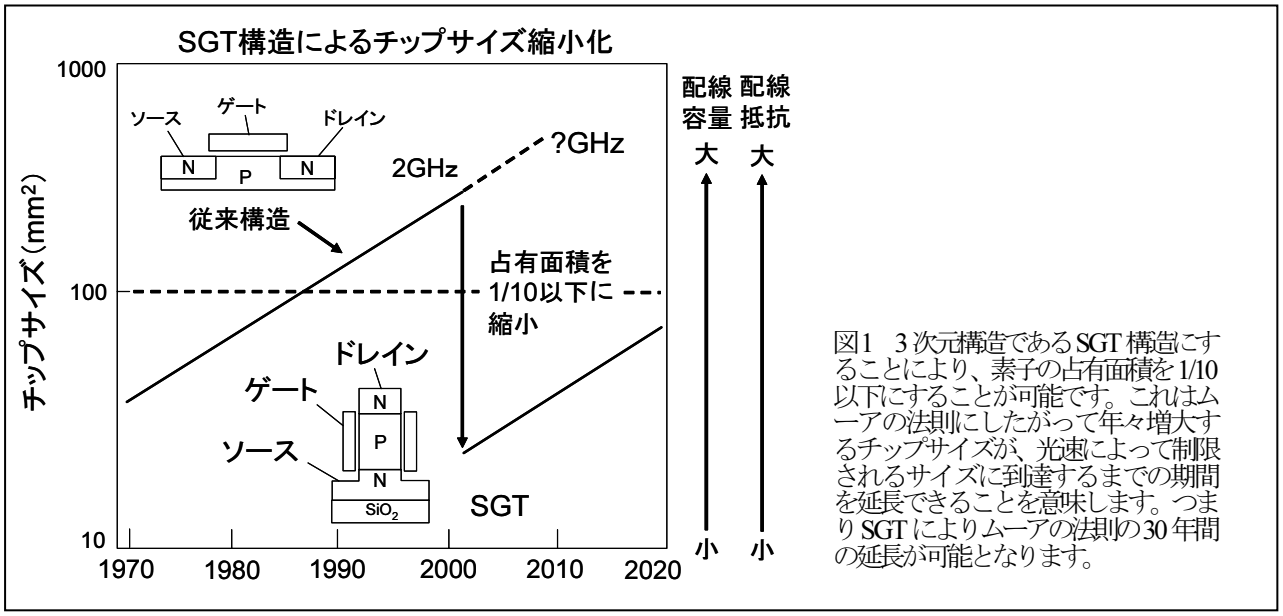


図1　3次元構造であるSGT構造にすることにより、素子の占有面積を1/10以下にすることが可能です。これはムーアの法則にしたがって年々増大するチップサイズが、光速によって制限されるサイズに到達するまでの期間を延長できることを意味します。つまりSGTによりムーアの法則の30年間の延長が可能となります。

＜分野の目標＞

ナノスケールの MOS デバイスに於いて、従来の延長の縮小化では、将来の超高性能集積回路システムを実現する事は困難であり、引き続き電子・情報産業の急成長を維持することは困難であると考えられている。固体電子工学研究分野では、高度情報社会の基盤となる次世代の高性能半導体集積回路の提案をめざして研究を行っている。具体的には、3次元構造を持つ Surrounding Gate Transistor（SGT）を用いた集積回路の実現を目的とする。SGT を用いることで、高速化・低消費電力化・高集積化が同時に実現されるからである（図1）。

＜2006 年度の主な成果＞

１． ボディイントリンジック(BI)-SGT の解析

イントリンジックのボディとゲート仕事関数制御を用いることにより SGT が 10nm のゲート長に微細化できることを示した。イントリンジックのボディを用いることにより、SGTは、より高い電子移動度と、より強いシリコンボディのゲート制御性を実現することができる。しきい値電圧を合わせるために、ゲート仕事関数制御を用いる。三次元デバイスシミュレータを用いて、我々は、SGT のショートチャネル効果と電流特性を解析した。シリコン柱直径(もしくは、シリコンボディ膜厚)が 10nm、ゲート長が 20nm、酸化膜厚が 1nm のとき、SGT は、-17mV の DIBL を示した。一方で、Tri-gate トランジスタと DG MOSFET は、それぞれ、-47mV と-75mV の DIBL を示した。また、オフ電流が 1pA/um、ゲート電圧が 1V、ドレイン電圧が 1V のとき、SGT は、1020uA/um のオン電流を実現した。SGT は、Tri-gate トランジスタより 21%、DG MOSFET より 52%電流が増加することを示した[1]。

２． Tri-Control Gate(TCG)-SGT フラッシュメモリセルの提案

TCG-SGT フラッシュメモリセルを提案した。TCG-SGT フラッシュメモリセルは、ソース、ボディ、ドレインが基板上に垂直に配置されている。ボディをフローティングゲートが取り囲む構造である。加えて、制御ゲートは、フローティングゲートの外側を覆う構造である。そのため、TCG-SGT フラッシュメモリは、従来の Floating Channel(FC)-SGT フラッシュメモリセルと比較して、高いカップリング比を実現できることを示した[2]。

＜職員名＞

教　授　舛岡　富士雄（1994 年より）
助　手　中村　広記
事務補佐員　鈴木　敦子

＜教授のプロフィール＞

1971 年東北大学大学院工学研究科電子工学博士課程を修了。工学博士。1971 年（株）東芝に入社。1994 年退社。同 10 月東北大学情報科学研究科教授。現在東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。集積回路を中心に半導体分野の研究開発に従事。２層多結晶シリコンを用いた EPROM の発明で昭和 55 年度全国発明表彰発明賞(1980 年)、昭和 53 年度第 1 回渡辺賞(1978 年)、その他フィールドシールド、多層配線、DRAM、SRAM、EPROM 回路及びフラッシュ EEPROM 等の発明で関東地方発明表彰発明奨励賞(1985 年、1986 年、1988 年、1991 年、2005 年)。IEEE Fellow Award(1995 年)。フラッシュ EEPROM 及び NAND 型 EEPROM の発明及び技術の確立の功績により、IEEE より MORRIS N. LIEBMANN MEMORIAL AWARD(1997 年)。2000 年市村産業賞 本賞（2000 年）、SSDM Award(2002 年)、第 4 回 The Economist Innovation Awards 2005 (2005 年)。電子情報通信学会、ECS 各会員。IEEE フェロー。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1]Y. Yamamoto, T. Hidaka, H. Nakamura, H. Sakuraba, F. Masuoka, "Decananometer Surrounding Gate Transistor (SGT) Scalability by Using an Intrinsically-Doped Body and Gate Work Function Engineering", IEICE Transactions on Electronics, Vol.E89-C, No.4, pp.560-567, April 2006.

[2]Takuya Ohba, Hiroki Nakamura, Hiroshi Sakuraba, Fujio Masuoka, "A novel tri-control gate surrounding gate transistor (TCG-SGT) nonvolatile memory cell for flash memory", Solid-State Electronics, Vol.50, No.6, pp.924-928, June 2006.

[3]Takuya Kadowaki, Hiroki Nakamura, Hiroshi Sakuraba, Fujio Masuoka, "A Novel Bit-line Direct-Sense Circuit that Uses a Feedback System for High-Speed Flash Memory", Electronics and Communications in Japan, Part II, Electronics, Vol.89, No.8, pp.1-8, 2006

[4]Hiroaki Yamazaki, Hiroki Nakamura, Hiroshi Sakuraba, Fujio Masuoka, "Analysis of the Subthreshold Characteristics for the FC-SGT Flash memory", Electronics and Communications in Japan, Part II, Electronics, Vol.89, No.8, pp.34-41, 2006

[5]T. Ohba, H. Nakamura and F. Masuoka, "Dependence of Coupling Ratio of High Capacitive-Coupling Ratio Surrounding Gate Transistor (HiCR-SGT) Flash Memory Cell on Structural Parameters", 210th Meeting of The Electrochemical Society Meeting Abstracts, Abstract.30, Cancun, October 29 -November 3, 2006

[6]T. Hidaka, H. Amikawa, H. Nakamura, and F. Masuoka, "Silicon Pillar Fabricated for SGT with varying the content of O_2 in Cl_2/O_2 gases by Using ECR plasma etching", 210th Meeting of The Electrochemical Society Meeting Abstracts, Abstract.987, Cancun, October 29 -November 3, 2006

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

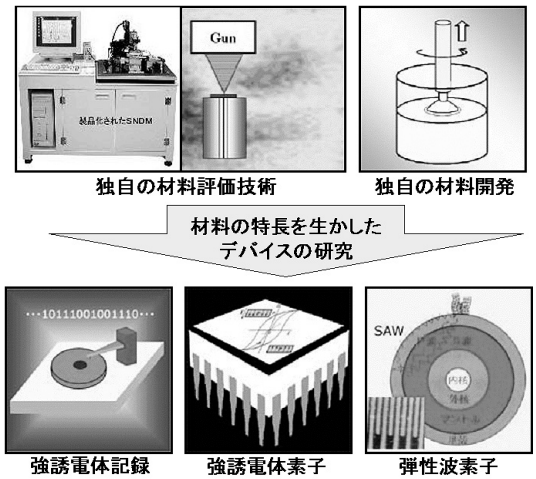


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

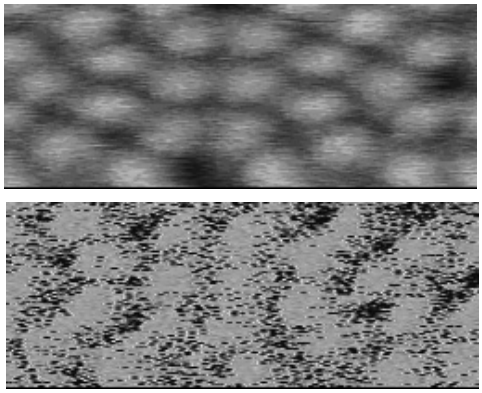


図 2. 図 1　Si(111)7x7 構造の NC-SNDM 像
上:形状像　下:双極子モーメント像

＜分野の目標＞

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

＜2006 年度の主な成果＞

１． NC-SNDM による原子レベル極性判別[9]

非接触 SNDM（NC-SNDM）法を用いて、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，Si 表面の個々の原子の双極子モーメントの可視化を行った。

２． 回転ディスク型ＳＮＤＭプローブメモリの研究開発

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開発した。この装置を用いてビットレート 10 Mbps の書き込みが可能であることを実証した。加えて、プロ

ーブー媒体間の微小空隙をアクティブに制御する手法の開発も行った。

３．強誘電ナノドメインの基礎物性評価に関する研究[2],[3],[5]

強誘電体単結晶上に人工的に生成した微小なドメインの安定性評価手法の確立を行い、直径 100 nm の微小なドメインが 16 年程度安定に保持することを明らかにした。

４．導電性カーボンナノチューブを用いた SNDM プローブの開発[4],[10]

導電性カーボンナノチューブを探針とする SNDM プローブの開発を行い、トランジスタのドーパント濃度分布やフラッシュメモリ内の電荷分布の高分解能観察に成功した。

＜職員名＞

教　授　長　　康 雄（２００１年より）

助　手　廣瀬　龍介　　助　手　平永　良臣

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

技術補佐員　大竹　睦実

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Morita and Y. Cho, “Piezoelectric Performance and Domain Structure of Epitaxial $PbTiO_3$ Thin Film Deposited by Hydrothermal Method”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.5B, pp.4489-4492, 2006.

[2] N. Odagawa and Y. Cho, “Study of Long-Term-Retention Characteristics and Wall Behavior of Nano-Inverted Domains on Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$ Based on Wall Energy”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.9B, pp.7560-7563, 2006.

[3] N. Odagawa and Y. Cho, “Long-term-retentiom characteristics of small inverted dots formed on congruent single-crystal $LiTaO_3$”, Appl. Phys. Lett., Vol.89, pp.102906-1-102906-3, 2006.

[4] K. Ishikawa and Y. Cho, “Using an electroconductive carbon nanotube probe tip in scanning nonlinear dielectric microscopy”, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, Vol. 77, pp.103708-1-103708-4, 2006.

[5] N. Odagawa and Y. Cho, “Wall behavior of nanodomains as a function of their initial state”, Appl. Phys. Lett., Vol. 89, pp. 192906-1-192906-3, 2006.

[6] Y. Daimon and Y. Cho, “Cross-Sectional Observation of Nano-Domain Dots Formed in Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.49, pp.L1304-L1306, 2006.

[7] K. Tanaka, Y. Hiranaga and Y. Cho, “Real Information Storage using Ferroelectrics with a Density of 1 Tbit/inch^2”, Ferroelectrics, Vol. 340, pp.99-105, 2006.

[8] Y. Cho, “Nanoscale Ferroelectric Information Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol.7, pp.105-116, 2007.

[9] R. Hirose, K. Ohara, and Y. Cho, “Observation of the Si(111)7×7 atomic structure using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, Nanotechnology, Vol. 18, pp.084014-1-084014-5, 2007.

[10] K. Ishikawa, K. Honda, and Y. Cho, “Resolution enhancement in contact-type scanning nonlinear dielectric microscopy using a conductive carbon nanotube probe tip”, Nanotechnology, Vol. 18, pp.084015-1-084014-6, 2007.

プラズマ電子工学研究分野

ナノスケール半導体デバイス・集積回路の研究

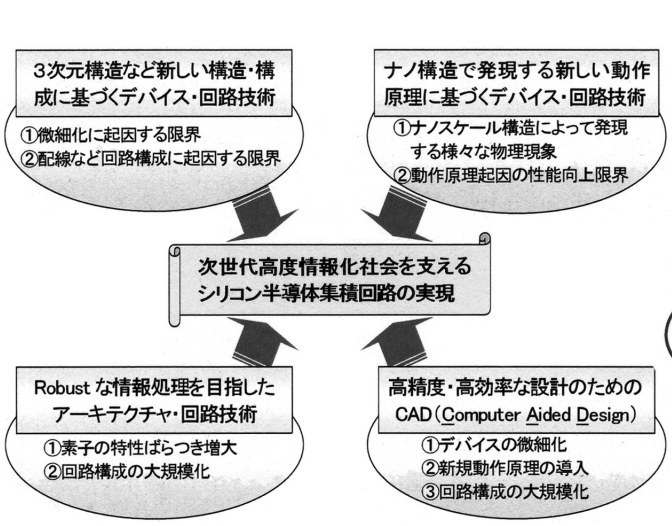


図１

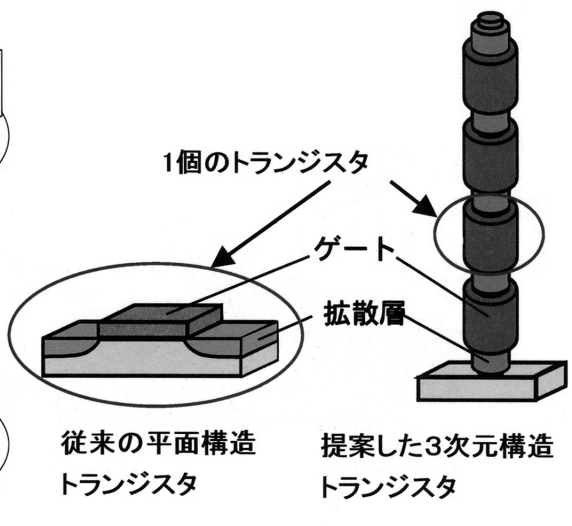


図２

＜分野の目標＞

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

＜2006年度の主な成果＞

［１］Robustな情報処理を目指したアーキテクチャ・回路技術

近年の微細化に伴うMOSFETの特性揺らぎの増大による回路特性の劣化が深刻な問題となっている。本年は、この問題の解決を目指して、集積回路における実際の動作速度を決定する、電源電圧揺らぎや基本素子特性揺らぎや入力データパターン依存性などの様々な要因の揺らぎに対する集積回路の高速動作安定性を解析した[2][6]。

［２］３次元構造・構成に基づく新デバイス・回路技術

平面型構造に立脚している従来の半導体集積回路における高速動作化・低消費電力化等の問題を打開することを目標として、３次元構造デバイス・回路の研究を推進した。特に、20nmサイズまでのナノスケール領域での超薄型ボディSiを有したダブルゲート(DG) MOSFETのデバイス設計技術を構築した[1][5]。

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

ポストCMOSデバイスとしての新デバイスの開発を目指して、シリコンナノワイヤーデバイスの基本特性を取得した[9]。また、フラッシュメモリの課題であったデータ書き換え速度の高速化を実現する新しい動作原理を提案し、世界最高速である100Mbyte/sの動作速度を60nmサイズのメモリセルで実証した[3]。さらに、ナノスケールデバイスに不可欠な極薄ゲート絶縁膜のリーク電流の発生メカニズムを膜中の原子結合に基づいて解明した[7]。ナノ構造形成プロセスに関する研究も進めた[4][8]。

［４］高精度なデバイス設計技術、及び、高精度・高効率なCAD技術

本年は、ナノスケールサイズの3次元構造トランジスタ設計向けの3次元プロセスシミュレーター・デバイスシミュレーターの開発を推進した。

＜職員名＞

助　教　授　遠藤哲郎（１９９７年より）

＜助教授のプロフィール＞

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

＜2006年度の主な発表論文等＞

［１］ Yuto Momma and Tetsuo Endoh “Study of Effect of Halo Implantation on Nano-Scale Double Gate MOSFET” International Symposium on Bio- and Nano- Electronics, Abstracts P-37, pp119-120, 2006

［２］ H.-j. Na, M. Suemitsu, and T. Endoh “Study of Stability on MCML (MOS Current Mode Logic) Inverter Circuit to Threshold Voltage Fluctuations Caused in Future Nanoscale Si-MOS Process Generation” International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, Abstracts P-39, pp. 123-124, 2006

［３］ S.Shukuri, N.Ajika, M.Mihara, K.Kobayashi, T. Endoh, and M.Nakashima “A 60nm NOR Flash Memory Cell Technology Utilizing Back Bias Assisted Band-to-Band Tunneling Induced Hot-Electron Injection (B4-Flash)” 2006 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, p20-21, May, 2006

［４］ Yuzuru Narita, Takeshi Murata, Atsushi Kato, Tetsuo Endoh, and Maki Suemitsu “Ge Dot formation using Germane on a Monomethylsilane-Adsorbed Si(001)-2x1 Surface” Thin Solid Films, Volume 508, Issues 1-2, pp. 200-202, 5 June, 2006

［５］ Yuto Monma and Tetsuo Endoh “Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology” 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp. 229-232, Sendai, July 3 – 5, 2006

［６］ Hyoung-jun NA, Maki SUEMITSU, and Tetsuo EDNDO “The Guideline of Tolerable Vth Fluctuation for MCML (MOS Current Mode Logic) Inverter Circuit” 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp-233-236, Sendai, July 3 – 5, 2006

［７］ T.Endoh, K.Hirose, and K.Shiroisi “Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films” 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp-271-276, Sendai, July 3 – 5, 2006

［８］ Atsushi Konno, Yuzuru Narita, Takashi Ito, Kanji Yasui, Hideki Nakazawa, Tetsuo Endoh, and Maki Suemitsu “Low-temperature Heteroepitaxial Growth of 3C-SiC(111)” ECS Transations - Cancun "Wide Bandgap Semiconductor Materials and Devices 7", October 31, 2006

［９］ Tetsuo Endoh and Kousuke Tanaka “Study of Self-Heating in Si Nano Structure for FB-SGT with High-k Dielectric Films” 2006 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future ULSI Devices (IWDTF) pp. 115 – 116, Nov.8-9, 2006

３．２　ブロードバンド工学研究分野の目標と成果

ブロードバンド工学研究分野は、２１世紀の大容量情報通信時代に柔軟に対応するための各種電子デバイスと高速通信技術の基本システムを構築することを目的としている。研究範囲はマイクロ波、ミリ波・サブミリ波、テラヘルツ波、光波までの広範な分野にわたり、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について研究開発している。平成１７年度の研究活動の概要は以下の通りである。

（１）先端ワイヤレス通信技術研究分野

（目標）世界中どこにいても、高速にあらゆる情報を手にいれることが可能となる「ユビキタス・ネットワーク」を実現するための高速・高信頼性・広域無線通信技術について研究・開発を行う。

（成果）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）方式の検討を行った。特に、無線 LAN と MBWA との異種ネットワーク間シームレスローミングの方式検討と評価を行った。また、携帯端末の小型・高機能化を目指し、5GHz 帯小型フィルタのための FBAR 技術や異種材料デバイスをミリ波帯までシームレスに接続できる三次元実装システムインパッケージ技術などの研究・開発を行った。

（２）超ブロードバンド信号処理研究分野

（目標）いまだ未開拓の電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯で動作する新しい動作原理に立脚した集積型電子デバイスを開拓し、それらを応用することにより、次世代の超ブロードバンドな情報通信・計測技術を構築する。

（成果）２次元プラズモン共鳴という新しい動作原理に立脚した新構造のテラヘルツエミッターデバイスを GaAs 系ヘテロ接合材料を用いて試作した。光通信用レーザーの照射でプラズモン共鳴を励起した結果、室温下で、0.1mW 級のテラヘルツ帯コヒーレント電磁波の発生に初めて成功した。従来の電子デバイスに比して１桁以上の変換効率向上を果たした。

（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光通信工学をもとにして、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す。

（成果）160 Gbit/s DPSK 伝送に時間領域光フーリエ変換法を適用することにより 900 km のエラーフリー伝送に世界で初めて成功した。さらに、周波数利用効率の向上を目指して QAM 方式によるコヒーレント光多値伝送技術を提案し、光 PLL 回路を用いたヘテロダイン検波により 1 Gsymbol/s, 64 QAM 信号の 150 km 伝送に成功した。この実験により周波数利用効率として 6 bit/s/Hz を実現した。

（４）応用量子光学研究分野

（目標）レーザおよび非線形光学技術を用いて光波からミリ波に至るコヒーレント電磁波の発生・制御技術を確立し、「テラフォトニクス」分野の創成と新たな光計測・診断技術の開拓を目指す。

（成果）0.1-100THz 域の周波数可変コヒーレント光発生における位相整合条件を明らかにし、可変域の広帯域化・高出力化を実現した。コヒーレントラマン顕微分光システムを構築し、生体分子のテラヘルツ帯振動計測・イメージングを実現した。さらに、導波路型 SAW デバイスを用いて周波数シフト帰還型レーザ発振に成功した。

（５）情報ストレージシステム研究分野

（目標）1Tbit/inch^{2}を超える超高密度記録を実現する未来型垂直磁気記録による高速・大容量ストレージシステムの研究に取り組んでいる。

（成果）高密度磁気記録理論の確立に取り組み、今後の高密度垂直記録媒体として有力なパターン化媒体の記録密度限界と加工精度の関係を明確化して高密度化の見通しを確立した。また、垂直記録ドライブを用いるファイルサーバの高速化にも成功した。

（６）ナノ・スピン実験施設　半導体スピントロニクス研究部

（目標）スピンを用いた演算・記憶・伝送機能のデバイス化、スピンを用いた量子情報処理機能の探索、量子構造における赤外・テラヘルツレーザー光発生、を中心に電荷・スピンの自由度を用いた情報通信機能を実現する。

（成果）強磁性半導体(Ga,Mn)As チャネルを持つ電界効果トランジスタによる磁性の電気的制御、85%超の高偏極スピン注入３端子素子の開発と半導体量子構造における核スピンの量子制御に成功した。また、InAs/AlSb 量子カスケードレーザ（波長 6 μm）の動作温度を+100°C 以上まで増大させることに成功した。

（７）ブロードバンド通信基盤技術研究分野

（目標）当分野では、電磁波スペクトルのうちミリ波・テラヘルツ波領域における計測技術およびその応用の開発を目標にして研究を進めている。

（成果）35 GHz 帯パッシブ・イメージング装置について、その光学系、信号処理系について考察を加え、炎を透してのイメージングなどセキュリティ分野への具体的な応用例を示した。また、近距離イメージング法を用いた診断法に関し、本学病院皮膚科との共同研究を進めた。

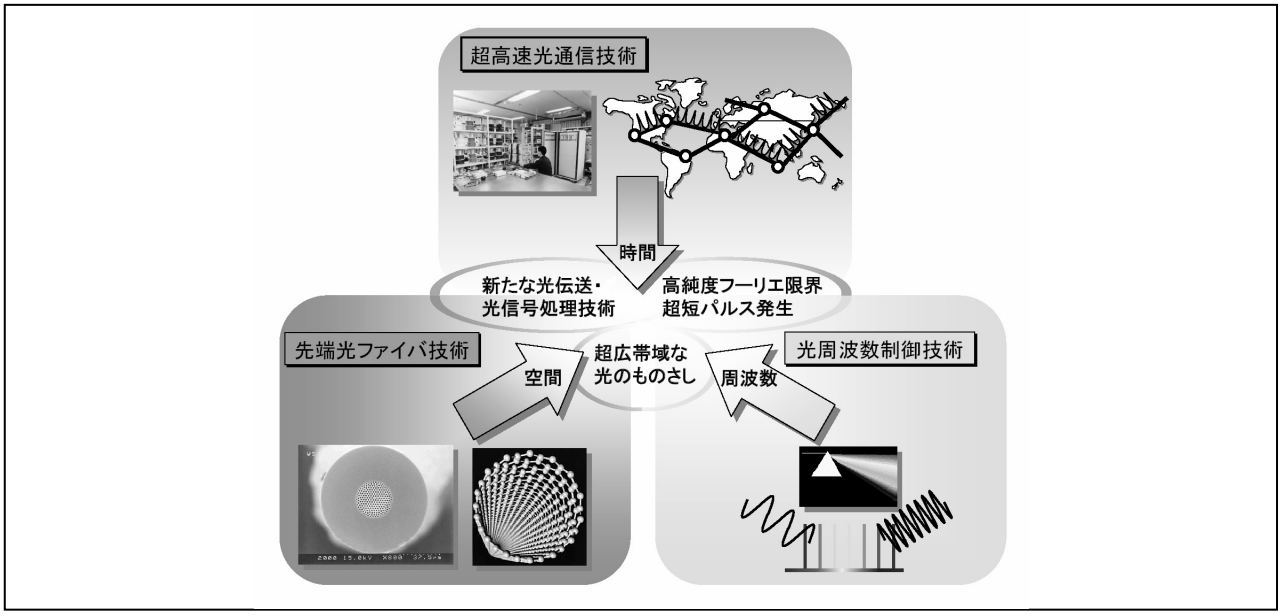
（８）ナノ・スピン実験施設　ナノスピンメモリ研究部

（目標）21 世紀の情報通信に求められている超大容量不揮発スピンメモリを実現するのに必要な、スピン材料技術、ナノプロセス技術、スピンデバイスおよび回路技術を確立する。

（成果）世界最高の磁気抵抗比（室温 500%、低温 1010%）を示す MgO 障壁磁気トンネル接合を開発し、積層フェリ自由層の適用により、J_{c0}=3.6×10^6 A/cm^2 でのスピン注入磁化反転と E/k_BT~65(@100×100 nm^2 接合サイズ)の熱安定性を実現した. さらに、これらの技術を基に、世界最大規模の 2Mbit スピン注入磁化反転書込み RAM(SPRAM)を開発し、書込み/読み出し時間: 100ns/40ns で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電話で扱われる情報が音声、静止画、動画と多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスと伝送工学を駆使して、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、光信号処理技術の研究を行い、21 世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

＜2006 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 DPSK (Differential Phase Shift Keying)と呼ばれる最新の伝送技術に時間領域光フーリエ変換法を適用することにより、160 Gbit/s OTDM 伝送の長距離化・高性能化を実現した。昨年度は光パルスの有る・無しに情報を乗せる OOK (On-Off Keying)方式において 600 km のエラーフリー伝送が可能であることを実証したが、今回隣接する光パルスの位相差に情報を乗せる DPSK 方式により伝送距離を 900 km まで延長し、さらに時間領域光フーリエ変換により 3.7 dB という低パワーペナルティ伝送を実現した。これは伝送路中に挿入された光増幅器の雑音で決まる SN 限界とほぼ等しい伝送性能であり、DPSK と光フーリエ変換を組み合わせることにより高いシステムマージンが得られることを示している。

２．コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究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、我々が開発したアセチレン($^{13}C_2H_2$)周波数安定化ファイバレーザと高速応答が可能な局発レーザを用いてコヒーレント光伝送系を構築し、高精度なヘテロダイン型光位相同期ループ（OPLL: Optical Phase Looked Loop）を実現した。その結果、1 Gsymbol/s, 64 QAM 信号の 150 km コヒーレント光伝送に世界で初めて成功した。さらに偏波多重と組み合わせることにより 2 GHz の帯域で 12 Gbit/s（6 bit/s/Hz の周波数利用効率に相当）の伝送を実現し、従来の伝送方式に比べて周波数利用効率を格段に拡大することに成功した。

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ため、光通信だけでなく光標準・計測分野への幅広い応用が期待されている。本研究分野では GHz 帯モード同期ファイバレーザをマイクロ波発振器とした新たな構成の Cs 原子発振器（Cs 原子光時計）の開発に取り組んでいる。本年度は、我々が作製した高安定光マイクロ波発振器および Cs 二重共鳴セルを結合してラックマウントサイズの光原子時計を組み上げ、平均時間 1 秒で 1.2×10^{-12}、100 秒で 8.8×10^{-14} という高い安定度を実現した。本 Cs 光時計は平均時間 100 秒以内においては一次標準器と同程度の安定度に達しており、短期安定度に大変優れた Cs 光時計をラックマウントサイズで実現することに世界で初めて成功した。

４．フォトニック結晶ファイバとその応用に関する研究

フォトニック結晶ファイバ(PCF: Photonic Crystal Fiber)は断面内に空孔を周期的に配置した光ファイバである。空孔の大きさや配置を適切に設定することによって、従来のファイバでは得られない数々の興味深い光学特性を実現することができる。本研究分野では、PCF の開発やその光通信への応用に関しても精力的に研究を進めている。本年度は、低分散 PCF 伝送路を用いて VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)の直接変調による 10 Gbit/s-2 km 単一波長伝送ならびに 4×2.5 Gbit/s-0.5 km WDM (Wavelength Division Multiplexing)伝送に成功した。さらに VCSEL の外部変調方式により 40 Gbit/s-2 km 単一波長伝送ならびに 4×10 Gbit/s-5 km WDM 伝送を実証した。これにより光 LAN (Local Area Network)や FTTH (Fiber To The Home)のような簡便かつ低価格な高速光通信を PCF により実現できる可能性を示した。

＜職員名＞

教　授　中沢 正隆（2001 年より）
助　教　吉田 真人、廣岡 俊彦
秘　書　平川 映子、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。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Nakazawa, S. Nakahara, T. Hirooka, M. Yoshida, T. Kaino, and K. Komatsu, “Polymer saturable absorber materials in the 1.5 μm band using poly-methyl-methacrylate and polystyrene with single-wall carbon nanotubes and their application to a femtosecond laser,” Opt. Lett., Vol. 31, No. 7, pp. 915-917, 2006.

[2] M. Nakazawa, M. Yoshida, K. Kasai, and J. Hongou, “20 Msymbol/s, 64 and 128 QAM coherent optical transmission over 525 km using heterodyne detection with frequency-stabilised laser,” Electron. Lett., Vol. 42, No. 12, pp. 710-712, 2006.

[3] T. Hirooka and M. Nakazawa, “Optical adaptive equalization of high-speed signals using time-domain optical Fourier transformation,” Invited paper, J. Lightwave Technol., Vol. 24, No. 7, pp. 2530-2540, 2006.

[4] 及川洋介, 長谷川英明, 廣岡俊彦, 吉田真人, 中沢正隆, “ピコ秒ストリークカメラと低遅延広帯域スーパコンティニューム光を用いたフォトニック結晶ファイバの広帯域一括分散測定,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J89-C, No. 7, pp. 450-457, 2006.

[5] T. Hirooka, T. Kumakura, K. Osawa, and M. Nakazawa, “Comparison of 40 GHz optical demultiplexers using SMZ switch and EA modulator in 160 Gbit/s-500 km OTDM transmission,” IEICE Electronics Express, Vol. 3, No. 17, pp. 397-403, 2006.

[6] 中沢正隆, 廣岡俊彦, “超短光パルスを用いた高速光伝送技術の現状と将来展望,” 電子情報通信学会論文誌（招待論文）, Vol. J89-B, No. 11, pp. 2067-2081, 2006.

[7] K. Kasai, A. Suzuki, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Performance improvement of an acetylene (C_2H_2) frequency-stabilized fiber laser,” IEICE Electron. Express, Vol.3, No. 22, pp. 487-492, 2006.

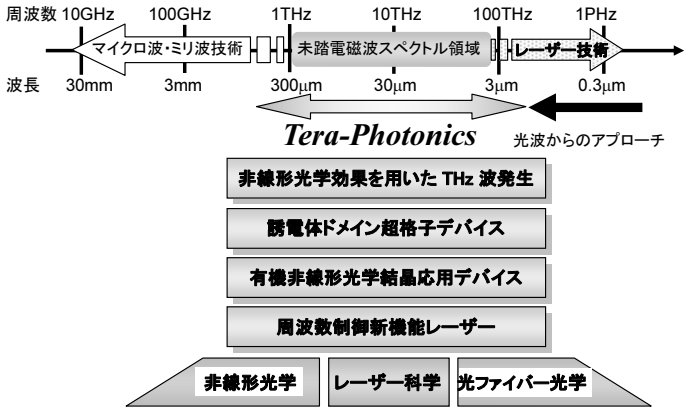
[8] T. Hirooka, K. Hagiuda, T. Kumakura, K. Osawa, and M. Nakazawa, “160 Gb/s-600 km OTDM transmission using time-domain optical Fourier transformation,” IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 18, No. 24, pp. 2647-2649, 2006.

[9] H. Hasegawa, Y. Oikawa, and M. Nakazawa, “10 Gbit/s 2 km photonic crystal fiber transmission with 850 nm directly modulated singlemode VCSEL,” Electron. Lett., Vol. 43, No. 2, pp. 117-119, 2007.

[10] K. Kasai, J. Hongo, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Optical phase-locked loop for coherent transmission over 500 km using heterodyne detection with fiber lasers,” IEICE Electron. Express, Vol. 4, No. 3, pp. 77-81, 2007.

応用量子光学研究分野

多次元高機能コヒーレント光源の創出と その応用に関する研究



レーザー制御技術による未踏周波数領域の開拓

＜分野の目標＞

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

＜2006 年度の主な成果＞

１．非線形光学効果を用いた周波数可変コヒーレントテラヘルツ波発生

周期ドメイン反転誘電体結晶を用いた擬似位相整合法は、第二世代非線形光学デバイスへのキーテクノロジーとして急速に技術革新が進んでおり、我々は世界に先駆けてドメイン制御非線形光学デバイスの研究を行ってきた。1.5μm 帯の連続 2 波長半導体レーザー光の外部変調とファイバ増幅器による光増幅を用いた高出力 2 波長パルス光源の開発を行い、この 2 波長光を表面放射型周期分極反転 $LiNbO_3$ 結晶中で差周波混合することにより、狭スペクトルで周波数可変なテラヘルツ（THz）波発生を実現した。また、有機非線形光学結晶 DAST（4'-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate）は非線形係数が高く、これまでに大型で高品質な結晶育成プロセス技術と高精度な表面加工技術の開拓を行ってきた。この DAST 結晶を用いた周波数可変 THz 波発生において、超広帯域の位相整合を検討して高効化を達成するとともに、光注入法により THz 波の狭スペクトル化を実現した。

２．高出力・広帯域波長可変コヒーレント中赤外光発生

中赤外域のコヒーレント光源は、環境計測やバイオメディカル応用をはじめとして重要な位置付けにある。これまでに、広帯域周波数可変性と高速同調特性をもつ励起波長同調

型中赤外光パラメトリック発振器（$ZnGeP_2$-OPO）を実現している。この $ZnGeP_2$-OPO の位相整合条件を実験・理論の両面から検討し, 波長可変域の広帯域化と高出力化を実現した。また、励起光源として新たに 3μm 帯 KTA-OPO を検討して中赤外光の発生に成功した。

３．生体関連物質のテラヘルツ帯コヒーレントラマン分光

生体分子の THz 帯振動モードは分子の骨格振動や分子間相互作用に関連し、分子の機能に関連した新しい指紋スペクトル領域としての重要な位置づけにある。THz 波は生細胞等の水を含む物質中での吸収損失が大きいため、透過性の高い近赤外光を用いた THz 帯コヒーレント・アンチストークスラマン（CARS）分光の研究を進めている。共焦点型 THz 帯 CARS 分光計の顕微分光システム化を行い、微量生体物質の THz 帯振動スペクトル取得に成功するとともに、近赤外光による癌組織の透過イメージング、および固体参照試料を用いて THz 帯スペクトルを用いた CARS イメージングを実現した。

４．周波数シフト帰還型レーザー

周波数シフト帰還型（FSF）レーザーは、共振器内に挿入した音響光学素子により光波の周波数をシフトさせてレーザー媒質に帰還させるタイプのレーザーであり、独自にシステム開発と高精度な距離計測に基づく新しい応用分野の開拓を進め、遠隔物体のプロファイロメトリにも成功している。計測した 3 次元データの点群処理を行うことにより、精細な 3 次元イメージの再現に成功した。さらに、デバイスの小型・高性能化を図るため、導波路型 SAW (surface acoustic wave) デバイスを導入し、初めて FSF レーザー発振に成功した。

＜職員名＞

教　授　伊藤 弘昌（1993 年より）
教授（兼任）横山　弘之（2003 年より）
助教授　　四方　潤一（2003 年より）
助　手　宮本　克彦
技術職員　今野　勇治、田久　長一
研究支援者　長能　重博、21COE フェロー　ンジャーユ　シェーク、リサーチフェロー　原　武文
技術補佐員　庄子　鉄雄、斎藤　美紀子、秘　書　長岡　亜紀子

＜教授のプロフィール＞

1966 年東北大学工学部通信工学科卒、1972 年同大大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。同大学電気通信研究所助手、助教授を経て 1993 年より教授。2001～2002 年同大学未来科学技術研究センター（NICHe）教授、副センター長、センター長。2003 年同大学研究推進・知的財産本部知的財産部長を兼務。2004 年より同大学電気通信研究所所長。この間、1975～1976 年に日本学術振興会派遣によるスタンフォード大学客員研究員。1998 年より理化学研究所フォトダイナミクス研究センターのチームリーダーを兼務。レーザーおよび非線形光学とその応用研究に従事。1971 年度米澤記念学術奨励賞、1989 年、2003 年電子情報通信学会論文賞、2000 年レーザー学会論文賞など各受賞。電気情報通信学会 ES 会長、レーザー学会東北・北海道支部長、応用物理学会東北支部長、同評議員、日本光学会、IEEE 各会員。OSA Fellow、電子情報通信学会フェロー。

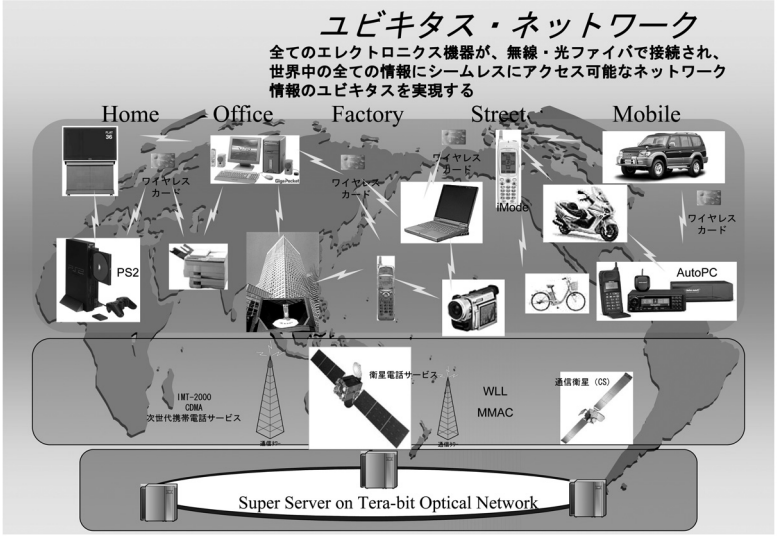
＜2006 度の主な発表論文等＞

[1] T.Ikari, X. Zhang, H. Minamide, and H. Ito, “THz-wave parametric oscillator with a surface-emitted configuration,” Opt. Expr., Vol. 14, No. 4, pp. 1604-1610, 2006.
[2] R. Guo, K. Akiyama, H. Minamide and H. Ito, “All-solid-state, narrow linewidth, wavelength-agile terahertz-wave generator,”Appl. Phys. Lett., Vol. 88, No. 9, p. 091120, 2006.
[3] Y. Sasaki, Y. Suzuki, K. Suizu, H. Ito, S. Yamaguchi and M. Imaeda, “Surface-emitted terahertz-wave difference-frequency generation in periodically poled lithium niobate ridge-type waveguide,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 13, pp. L367-369, 2006.
[4] H. Yokoyama, H. Guo, T. Yoda, K. Takashima, K. Sato, H. Taniguchi, and H. Ito, “Two-photon bioimaging with picosecond optical pulses from a semiconductor laser,” Opt. Expr., Vol. 14, No. 8, pp. 3467-3471, 2006.
[5] K. Suizu, Y. Suzuki, Y. Sasaki, H. Ito, and Y. Avetisyan, “Surface-emitted terahertz-wave generation by ridged periodically poled lithium niobate and enhancement by mixing of two terahertz waves,” Opt. Lett., Vol. 31, No. 7, pp. 957-959, 2006.
[6] M. Takahashi, Y. Kawazoe, Y. Ishikawa, and H. Ito, “Low-frequency vibrations of crystalline α,α-trehalose dihydrate,”Chem. Phys. Lett., Vol. 429, pp. 371-377, 2006.
[7] K. Takano, K. Nakagawa, and H. Ito, “Influence of optical filters on pulse circulation in fiber rings with a frequency shifter and EDFA,” Opt. Expr., Vol. 14, No. 22, p. 10313, 2006.
[8] K. Ishihara, K. Ohashi, T. Ikari, H. Minamide, H. Yokoyama, J. Shikata, H. Ito, “Terahertz-wave near-field imaging with subwavelength resolution using surface-wave-assisted bow-tie aperture,” Appl. Phys. Lett., Vol. 89 No. 20, p. 201120, 2006.
[9] K. Miyamoto and H. Ito, “Wavelength-agile mid-infrared (5-10 μm) generation using a galvano-controlled $KTiOPO_4$ optical parametric oscillator,” Opt. Lett., Vol. 32, No. 3, pp. 274-276, 2007.
[10] S. Kakio, S. Uotani, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi, and M. Watanabe, “Improvement of Diffraction Properties in Waveguide-Type Acoustooptic Modulator Driven by Surface Acoustic Wave,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 2, pp. 669-674, 2007.

先端ワイヤレス通信技術研究分野

ユビキタスネットワークの実現に向けて

図面説明:
ユビキタスネットワーク
ユビキタスとは、「いたるところにある」の意．世界中どこにいても，高速にあらゆる種類の情報を無線で手に入れることが可能となるネットワーク．高信頼・高速・広域移動無線通信技術が重要となる．



＜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。当研究分野ではユビキタスネットワークの実現を目指して、超高信頼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。

＜2006 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, 無線 LAN と MBWA との異種ネットワーク間シームレスローミングの方式検討と評価を行った.

２． 高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF モジュールの研究

電流モードアナログ信号処理回路を用いた，低消費電力 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 通信用高速フーリエ変換 (FFT) 回路の検討を行った．また，5GHz/60GHz 帯超小型アンテナや 5GHz 帯 RF CMOS 送信電力増幅器の検討を行った.

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

異種材料デバイスを 3 次元実装することにより, 高周波帯でもシームレスに実装可能であることを提案した．今年度は特に SBB (Stud Bump Bonding) や銅ボールを用いて 3 次元

実装を行った 60GHz 帯無線通信モジュールの試作・評価を行った.

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

無線 LAN 帯域である 5GHz 帯用の RF フロントエンドフィルタの高性能化を目指し, FBAR フィルタの設計・試作を行った. 特に今年度は電極材料の検討とフィルタ設計方法の検討を行った.

＜職員＞

教授　　坪内 和夫 (1993 年より)
助教授　中瀬 博之 (2005 年より)
助手　　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.

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. Nagai, A. Fujimura, Y. Shirokura, Y. Isota, F. Ishizu, H. Nakase, S. Kameda, H. Oguma, and K. Tsubouchi, "324Mbps WLAN equipment with MAC frame aggregation for high MAC-SAP throughput," J. Commun. (JCM), vol.1, no.5, pp.1-8, August 2006.

[2] 亀田 卓, 山口 敦由, 福與 賢, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 1 ビットフラグを用いた高速 RFID 識別方式, 信学論, vol.J89-A, no.12, pp.1057-1067, Dec. 2006.

[3] S. Kameda, A. Yamaguchi, S. Fukuyo, H. Oguma, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "High-speed and large-capacity RFID inventory method using 1-bit flag," 3rd Int. Symp. On Wireless Commun. Systems (ISWCS2006), Sept. 2006.

[4] H. Oguma, H. Nakase, S. Kameda, K. Tsubouchi, M. Ochiai, Y. Nagai, A. Fujimura, Y. Isota, and F. Ishizu, "Implementation of 324Mbit/sec WLAN equipment," Proc. 14th Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2006), Sept. 2006.

[5] Y. Aota, Y. Sakyu, S. Tanifuji, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Fabrication of FBAR for GHz band pass filter with AlN film grown using MOCVD," IEEE Ultrason. Symp. Proc. 4D-4, Oct. 2006.

[6] F. Yamagata, D. Komaba, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Seamless handover for hotspot network using buffered packet forwarding method," 10th IEEE Int. Conf. on Commun. Systems (ICCS2006), PA-17, Nov. 2006.

[7] H. Nakase, Y. Kawamura, A. Yamaguchi, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Frequency compensation scheme using polar coordinate function for burst transmission wireless modem," 10th IEEE Int. Conf. on Commun. Systems (ICCS2006), PB-19, Nov. 2006.

[8] N. H. Tran, J. Takagi, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Indoor multipath propagation characteristic at 60GHz," IEEE TENCON 2006, Nov. 2006.

[9] K. Masuda, F. Takeuchi, Y. Hamada, K. Maruhashi, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "60-GHz-band transmission module for 3-dimensional system-in-package," 8th Electro. Packaging Tech. Conf. (EPTC2006), vol.1, pp.90-95, B1.1, Dec. 2006.

[10] H. Nakase, T. Fujii, S. Oshima, H. Oguma, S. Kameda, Y. Isota, and K. Tsubouchi, "Evaluation of high frequency characteristics of ALIVH substrate for 60 GHz RF modules," 8th Electro. Packaging Tech. Conf. (EPTC2006), vol.2, pp.639-642, F2.3, Dec. 2006.

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

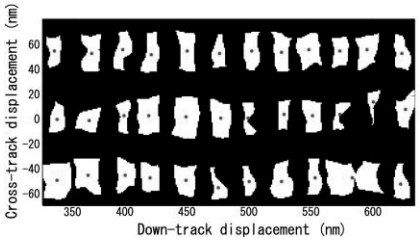


図 1 統計的な特徴化を経てコンピュータ上で生成されたパターン媒体の記録ビット形状。

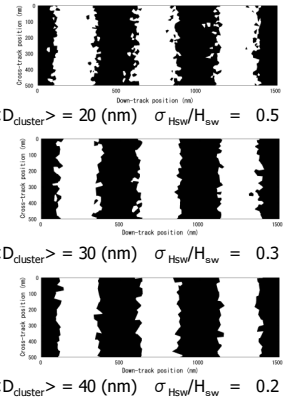


図2 孤立した磁化反転「島状反転粒子を導入した磁化反転モデル。



図3 試作した垂直磁気記録 HDD を装備した無線 LAN ファイルサーバ

＜分野の目標＞

IT 社会で取扱われる膨大な情報の蓄積・アクセスを行うのがハードディスク装置等の磁気ストレージである。本分野では垂直磁気記録方式による記録の高密度化を進めるとともに、これを用いたストレージシステムの研究を行っている。現在の目標は 1Tbits/inch^2 の記録面密度（1 ビットの面積が 25 ナノメータ四方）を持つ次世代高密度情報ストレージ（テラビットストレージ）である。実際の垂直磁気記録再生特性を通じた実験的検討とマイクロマグネティックスによるコンピュータシミュレーションによって、今後の超高密度記録の指導原理を導く記録再生理論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研究にも力を注いでいる。

＜2006 年度の主な成果＞

１． 垂直磁気記録ハードディスクの記録再生理論の研究

上記記録密度の目標を垂直磁気記録で実現する方策を探るために垂直磁気記録再生理論の検討を続けている。実際に工学的な視点からストレージシステムを議論するには高密度再生信号における十分な SN 比達成が必須要件であるので、このために重要な記録媒体のナノ微細磁気構造に着目した検討を続けている。本年度は、次世代記録媒体として有望視されるパターン媒体における加工に起因するビットエッジの揺らぎに基づく再生信号の劣化について解析し高密度化に必要な条件を求めた（図１）。また、今後の高密度化に重要な線密度向上のために記録分解能の制限要因を明らかにする研究も続けている。今年度は高密度化するために粒子を微細化した際には磁性粒子の反転磁界分布のために島上の反転粒子（図２）によって磁化転移幅が広がる可能性があることを見出している。

２．コンピュータシミュレーションによる記録再生機構の研究

磁化スピンの挙動を精密に考慮したマイクロマグネティックスに基づいたコンピュータシミュレーションを通じて、将来の超高密度垂直記録のための検討を続けている。これまでにディスクリートトラック型記録媒体に関する検討を行ってきたが、今年度は記録層を構成する１つの磁性粒子が２層の異なる磁気異方性を持つ ECC 媒体と呼ばれる垂直記録媒体についても計算を行った。高い磁気異方性を持ちながら反転磁界強度が小さくなる可能性が指摘されているこの次世代垂直磁気記録媒体において記録媒体の磁気特性を最適化することで 600 Gbits/inch^2 の高密度記録の可能性があることを示した。

３．大容量コンテンツ配信を目的とした高速ストレージシステムの研究

IT21 ストレージプロジェクトの最終年として、垂直磁気記録を用いた量産型 HDD を用いて、無線 LAN 機能を装備して可搬性を生かしたワイヤレスでの動作が可能なユビキタスファイルサーバを試作した（図３）。ハイビジョンやデジタル放送等に代表される最近の大容量映像応用を考慮して垂直磁気記録の大容量性を生かした 320GB を実現した。加えて、映像情報は途切れなく転送されることが必須なために、動画転送に必要な高い実効的な転送レートとして 20Mbps 以上の転送速度を達成しハイビジョン映像の転送に成功した。

＜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）

＜教授のプロフィール＞

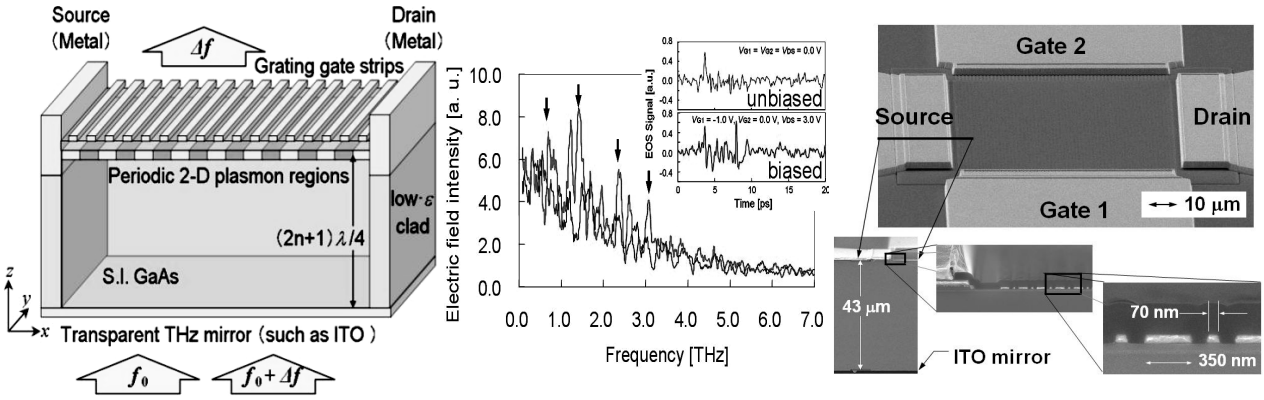
1981 年　東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業（株），1991 年電気通信研究所助手，1993 年同助教授，2000 年同教授。高密度磁気記録理論，磁気記録デバイス及び記録方式，情報ストレージ方式，等の研究・開発に従事。電子情報通信学会，映像メディア学会，日本応用磁気学会，IEEE 各会員。工学博士。IEEE Magnetics Society Administrative Committee.

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] S. J. Greaves, H. Muraoka, Y. Kanai, “Discrete track media for 600 Gbits/in^2 recording,” J. Appl. Phys., Vol.99, 08F903(1-3), April, 2006.
[2] 山川慶之，三浦健司，村岡裕明，青井基，中村慶久, “垂直磁気記録における磁化転移ライン湾曲と再生波形パルス幅,” 日本応用磁気学会誌, Vol.30, No.3, pp.349-352, May, 2006.
[3] J. D. Dutson, D. Litvinov, M. R. J. Gibbs, Y. Inaba, H. Muraoka, K. O’Grady, “Magnetisation reversal in media with perpendicular anisotropy,” J. Magn. Magn. Mat., Vol.304, pp.51-54, September, 2006.
[4] Kenji Miura, Daisuke Sudo, Mitsuhiro Hashimoto, Hiroaki Muraoka, Hajime Aoi, Yoshihisa Nakamura, “Measurement of Down-Track Correlation for Perpendicular Magnetic Media With Various Inter-Granular Exchange Coupling,” IEEE Trans. Magn., Vol.42, No.10, pp.2261-2263, October, 2006.
[5] Kenji Miura, Kenta Seki, Mitsuhiro Hashimoto, Hiroaki Muraoka, Hajime Aoi, Yoshihisa Nakamura, “Optimization of Precompensation for NLTS in Perpendicular Magnetic Recording,” IEEE Trans. Magn., Vol.42, No.10, pp.2297-2299, October, 2006.
[6] Simon Greaves, Hiroaki Muraoka, “Simulations of Recording in Composite Media,” IEEE Trans. Magn.,Vol.42, No.10, pp.2348-2350, October, 2006.
[7] J. D. Dutson, M. Hashimoto, Y. Inaba, S. J. Greaves, H. Muraoka, K. O'Grady, “Magnetic and Recording Properties of $(CoCrPt)_{1-X}(SiO_2)_X$ Media,” IEEE Trans. Magn., Vol.43, No.2, pp.814-818, February, 2007.

超ブロードバンド信号処理研究分野

ミリ波・テラヘルツ波帯電子デバイスの創出と その応用に関する研究



2 次元プラズモン共鳴効果を利用した新しいテラヘルツ帯フォトミキサー素子
（左：素子断面構造，中央：フェムト秒パルスレーザで素子を励起した際のテラヘルツ放射電界スペクトルと時間応答波形，右：GaAs 系ヘテロ接合材料による試作素子の電子顕微鏡写真）

＜分野の目標＞

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

＜2006 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

微細トランジスタの電子走行層内に誘起される２次元プラズモンはテラヘルツ領域で共鳴する。光学的なプラズモンの励起はコヒーレントテラヘルツ帯光源やフォトミキサーなどのデバイス応用に有望である。我々は，高電子移動度トランジスタ（HEMT）に 2 重回折格子ゲートと縦型共振器構造を導入した独自構造のプラズモン共鳴型エミッター・フォトミキサ素子を GaAs 系ヘテロ接合材料システムを用いて試作し、室温環境下で素子からのテラヘルツ帯電磁波放射の観測にはじめて成功した。この素子は，光通信に利用される赤外線レーザーを照射してプラズモンを励起し，レーザー光に含まれるテラヘルツ帯の周波数成分に同調した電磁波を放射することができる。1mW オーダの照射電力で 0.1μW オーダの放射電力が得られ、従来型電子デバイスに比して 1 桁以上の効率改善を果たした。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], [3], [6]-[10]）

２．低次元プラズモンの分散制御を利用した電磁波伝搬モード型回路に関する研究

材料・構造敏感な低次元プラズモンの分散特性を電気的光学的に制御することによって、従来の電子回路では実現困難な超高周波領域での信号処理を可能とする新しい電磁波伝搬モード型回路の研究を進めている。低次元プラズモンの分散特性を模擬した非線形装荷線路の伝搬定数制御による新しいソリトンパルス発生回路を考案した。（関連文献：[4], [5]）

３．低次元プラズモンの不安定性を利用した電磁メタマテリアルに関する研究

波長よりも十分に短い超周期メタマテリアル構造に伴うプラズモン不安定性を利用したテラヘルツ帯能動デバイスの実現をめざして研究を開始した。質量消失効果を有する炭素原子単層シート：グラフェンに着目し、そのプラズモン不安定性を解析した結果、既存化合物半導体に比して 5 倍以上の高い性能を有することを見出した。（関連文献：[2]）

＜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

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Y. M. Meziani, Y. Otsuji, M. Hanabe, T. Ishibashi, T. Uno and E. Sano, "Room temperature generation of terahertz radiation from a grating-bicoupled device: size effect," Appl. Phys. Lett., vol.90, pp.061105-1-061105-3, Feb. 2007.

[2] V. Ryzhii, A. Satou and T. Otsuji, "Plasma waves in two-dimensional electron-hole system in gated graphene heterostructures," J. Appl. Phys., vol.101, 024509-1-024509-5, Jan. 2007.

[3] T. Otsuji, Y. M. Meziani, M. Hanabe, T. Ishibashi, T. Uno and E. Sano, "A grating-bicoupled plasmon-resonant terahertz emitter fabricated with GaAs-based heterostructure metamaterial systems," Appl. Phys. Lett., vol.89, pp.263502-1-263502-3, Dec. 2006.

[4] K. Narahara, T. Otsuji and E. Sano, "Generation of electrical-short-pulse using Schottky line periodically loaded with electronic switches," J. Appl. Phys., Vol. 100, pp. 0204511-1-0204511-5, July 2006.

[5] K. Narahara, T. Otsuji and E. Sano, "Pulse compression by quasi-steady propagation along switch lines," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, pp. 5692-5695, July 2006.

[6] T. Nishimura, M. Hanabe, M. Miyamoto, T. Otsuji and E. Sano, "Terahertz frequency multiplier operation of 2-D plasmon-resonant photomixer," IEICE Trans. Electron., Vol. E89-C, pp.1005-1011, July 2006.

[7] Y. M. Meziani, J. Lusakowski, N. Dyakonova, W. Knap, D. Seliuta, E. Sirmulis, J. Devenson, G. Valusis, F. Boeuf and T. Skotnicki, "Non resonant response of terahertz radiation by submicron CMOS transistors," IEICE Trans. Electron., Vol. E89-C, pp. 993-998, July 2006.

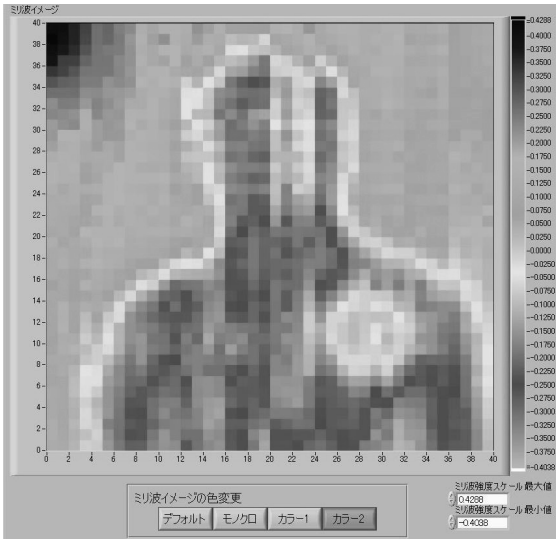
[8] M. Hanabe, T. Nishimura, M. Miyamoto, T. Otsuji and E. Sano, "Structure-sensitive design for wider tunable operation of terahertz plasmon-resonant photomixer," IEICE Trans. Electron., Vol. E89-C, pp. 985-992, July 2006.

[9] T. Otsuji, M. Hanabe, Y. M. Meziani and E. Sano, "Terahertz emission of radiation from InGaP/InGaAs/GaAs grating bi-coupled plasmon-resonant photomixer," in Dig. Device Research Conf., pp. 193-194, Pennsylvania PA, June 2006.

[10] T. Otsuji, M. Hanabe, T. Nishimura and E. Sano, "A grating-bicoupled plasma-wave photomixer with resonant-cavity enhanced structure," Opt. Express, Vol. 14, pp. 4815-4825, May 2006.

ブロードバンド通信基盤技術研究分野（客員部門）

ミリ波ーテラヘルツ波を用いた計測技術の研究開発



ミリ波（35 GHz ）帯イメージングにより検知した衣服の下の CD-ROM. 情報機密の観点より必要とされている技術である。

＜分野の目標＞

電磁波の応用は、通信、計測、エネルギーの３分野に大別できるが、電磁波スペクトラムのうちミリ波領域は、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、ミリ波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、など。

＜２００６年の主な成果＞

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

１．　35 GHz 帯パッシブ・イメージング用に開発した１Ｘ１０素子イメージング・アレイに関し、素子間相互結合を実用的なレベルまで減少させることに成功した。

２．　１Ｘ１０素子アレイ（35 GHz 帯）を用いた際の信号処理用ソフトを新たに

作成し、機械的なラスタースキャン方法を組み合わせることによって、１枚の画像の取得時間を４０秒まで減少させることに成功した。

３．　開発したパッシブ・イメージング法を種々の物体に適用し、パッシブ・イメージング用の基礎データを収集した。上に示した、人が衣服に隠したCD-ROM の検知はその一つの例である。

４．　10, 35, 及び 60 GHz 帯の高感度かつ小型パッシブ・ラジオメータを組み上げた。これらの装置を用いて、本学病院皮膚科にて実際に人の皮膚の観測を行っている。

＜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＞

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

＜2006 年度の主な研究発表＞

[1] 水野 皓司、“ミリ波を用いたイメージング”、総務省 社団法人電波産業界　電波高度利用シンポジウム 2006、東京都、2006 年 12 月 8 日.（招待講演）

[2] K. Mizuno, “Comparison of the Capabilities of the Millimeter Wave Region and the THz Region,” APMC 2006, 横浜市、2006 年 12 月 15 日.（招待論文）

[3] 水野 皓司、“ミリ波帯イメージング装置の開発”、エレクトロニクス実装学会、東京都、2007 年 3 月 14 日.（招待講演）

[4] 井上 大聡、村上 仁康、佐藤 弘康、澤谷 邦男、水野 皓司、“誘電体レンズアンテナの 3 次元 FDTD 解析”、電子情報通信学会　総合大会、名古屋、2007 年 3 月 21 日.

[5] 酒井 文則、鈴木 洋介、佐藤 弘康、澤谷 邦男、水野 皓司、“コンクリート中の鉄筋径及び位置の同時推定”、電子情報通信学会　総合大会、名古屋、2007 年 3 月 21 日.

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) 電磁波環境の特性や対策に関する研究を通じて良好な通信環境の実現を図るための通信環境工学研究分野。

2006 年度の本研究部門における研究目標と成果は，別途分野ごとに記されているが，その概要は以下のとおりである。

(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)室温で動作する超高感度磁界センサの開発を行った。すでに世界最高感度のセンサを実現しているが、今年度は磁性薄膜の磁気異方性の新たな制御方法を確立した。これによるさらなる高感度化が期待される。さらに、磁歪薄膜を利用したカンチレバーアクチュエータに関する検討を行い、理論解析に基づいて確立した設計論通りの特性が実験的に得られることを明らかにした。新たな MEMS デバイスとしての発展が期待される。また、外部から磁界を与えることで駆動可能な磁気アクチュエータの開発において、一層の小型化に向けた実験的ならびに理論的検討により従来のスケーリング則の修正提案を行った。さらに、磁気アクチュエータの次世代医療機器への応用では一部臨床検討が進み、認可取得を目指すプロジェクトに発展している。

(2) 先端音情報システム研究分野

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

（成果）3 次元音空間制御手法に研究を進め，多くの HRTF を用いて合成した音像軌道の定位感が良いと判断された HRTF による音空間制御が，本人の HRTF を用いた場合と有意差のない高い精度を持つことを明らかにした．また，音空間の詳細な情報取得手法につい

ても検討を行った．また，音データの不正二次コピーを防止するために，ディジタル耐性とアナログ耐性を兼ね備えた電子透かし技術を提案するとともに，秘密分散共有とマルチパス通信とを組み合わせた新しいセキュア通信手法を提案した．また，信号処理による音質の劣化を評価するための音質評価手法に関する基礎研究も行った．さらに，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に関する研究を行った．また，話速変換時における読唇音声知覚過程の解明や，構内放送などのアナログ音声信号にディジタル文字情報を付加する技術の開発など，聴覚障害者のバリアフリー実現を目指す研究を進めた．

(3) 高次視覚情報システム研究分野

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

（成果）視覚的注意機構のモデル化の研究、視覚認識の初期，中期，高次特性の研究において、３つの成果があった。まず注意を向けた位置へのサッカード潜時は短縮されるが、その効果が注意位置へのサッカードの実行過程にあることを明らかにした。次に、運動視について、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、いくつかの質的な違いがあることを明らかにした．特に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し，速い運動検出器は局所的な運動のみに関与するとの違いは、興味深い。３つめは、両眼立体視の時空間周波数特性に関する研究である。奥行きに対する感度の空間周波数特性、時間周波数特性、それらの相互作用および視差（奥行き）依存性に関する実験をまとめ、奥行き情報の統合に関する時間特性について考察した。これらの運動視、立体視の知見は、映像技術や視環境の評価への応用が期待される。

(4) 通信環境工学研究分野

（目標）電子機器から発生する電磁妨害波の計測技術の研究とその国際標準化、および通信システムと電子機器間の干渉特性の把握とその低減対策技術に関する研究を行う。

（成果）１．電力測定法については伝送線路理論、電界測定法についてはモーメント法による数値解析を行って両者の相関を検討し、両測定法には良い相関があることを見い出した。２．模擬電子機器を使ってフェライトコアの妨害波抑圧特性の研究を行い、抑圧効果の実用的な推定法を導出した。３．妨害波抑制シートの高周波特性を FDTD 法によって解析し、この結果に基づいて、シートをプリント基板に装着する場合の必要寸法や間隙について検討を行った。４．パソコンの電磁妨害波による MB-OFDM UWB などの近距離無線通信システムへの妨害について研究した。さらに、クロック信号による妨害を軽減するための方策についても検討した。5．高速電力線搬送通信システム(PLC)から発生する電磁妨害波について、当分野は総務省における技術的検討を主導しており、電源線の不平衡に関する研究や、電源線から放射される電磁妨害波に関する研究を行った。これらの成果に基づいて、2006 年 6 月に情報通信審議会は PLC の妨害波に関する規格を総務大臣に答申し、同年 10 月に電波法関連省令が改正された。

生体電磁情報研究分野

磁気物性制御技術の確立と 高機能磁気デバイス･システムの開発

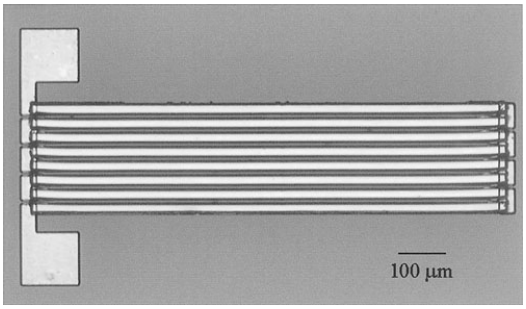


図1　高周波キャリア型薄膜磁界センサ

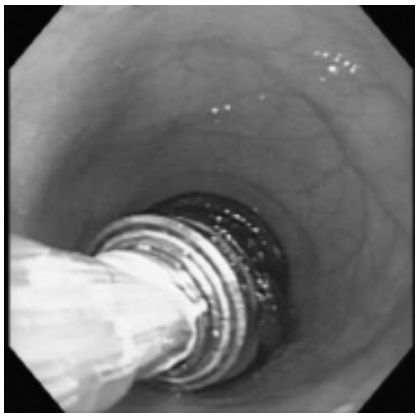


図2　イヌ大腸内で模擬内視鏡を誘導する磁気マイクロマシン

分野の目標　本分野では、磁気的微細構造をナノスケールで制御した磁性薄膜ならびにバルクマイクロ磁性体を利用し、磁気の有する特異な性質を活かした新たなマイクロ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す。

主な成果　1．高周波キャリア型磁界センサに関する研究:磁性体の高周波インピーダンスが磁界依存性を有することを利用した高感度センサの開発を行っている。センサ構造と感度特性の関連をシミュレーションにより明らかにするとともに、用いる磁性材料の特性を制御することで、より高い磁界検出感度を実現した。その結果をもとに試作したセンサは、3.4×10^{-8}(Oe/Hz$^{-1/2}$)と極めて小さい磁界検出分解能を示すことを示した。これは室温で動作する磁界センサとして世界最高の感度である。さらにセンサの検出回路に関する検討を行い、信号位相計測による検出方式を提案しており、これにより大幅な感度特性の向上が期待されている。2．磁気モーションキャプチャシステム:磁気を利用して、微小なマーカーの位置を検出するシステムの開発を行っている。マーカーとして微小な磁界発生源を用い、三次元磁界センサで磁界検出し位置を算出する方式と、微小なLC回路をマーカーとして用い、送信･受信コイルの間の伝送特性の変化を利用してマーカー位置を検出する方式の2つについて検討し、それぞれの優位点を明らかにした。これらにより高い精度のリアルタイム位置検出を可能にした。　3．磁気駆動ワイヤレスマシン:磁気によるワイヤレスエネルギー供給技術を利用した磁気駆動ワイヤレスマシンに関して、そのマイクロ化技術ならびに医療応用に関する検討を行っている。薄膜磁石を用いた超小型マシンの駆動に成功し、電磁力を駆動源とするマシンのマイクロ化が可能であることを実証するとともに、従来のスケーリング則に制限されない小型化の可能性を提案した。さらに消化管内での動作を想定したcmサイズのマシンに関する検討では、大腸内視鏡の挿入補助システムやカプセル内視鏡の動作制御への応用を検討した。また、ワイヤレスで動作するマイクロポンプの開発を行い 10^{-12}m^3/s の微

小流量制御可能なポンプの開発を行った。4. 磁歪駆動カンチレバーアクチュエータ:磁歪による寸法変化を利用したカンチレバーアクチュエータを検討した。微小な寸法変化を大きなカンチレバー変位に変換するために、磁歪材料ならびに基板材料の機械特性を含めて理論的解析を行い、弱い磁界印加で大きなカンチレバー変位を実現するための最適設計を行なった。その結果、試作したカンチレバーが設計通りの変位を示し、MEMS デバイスの動力源としての可能性を示した。

職　員　助教授　　石山和志(2003 年から)

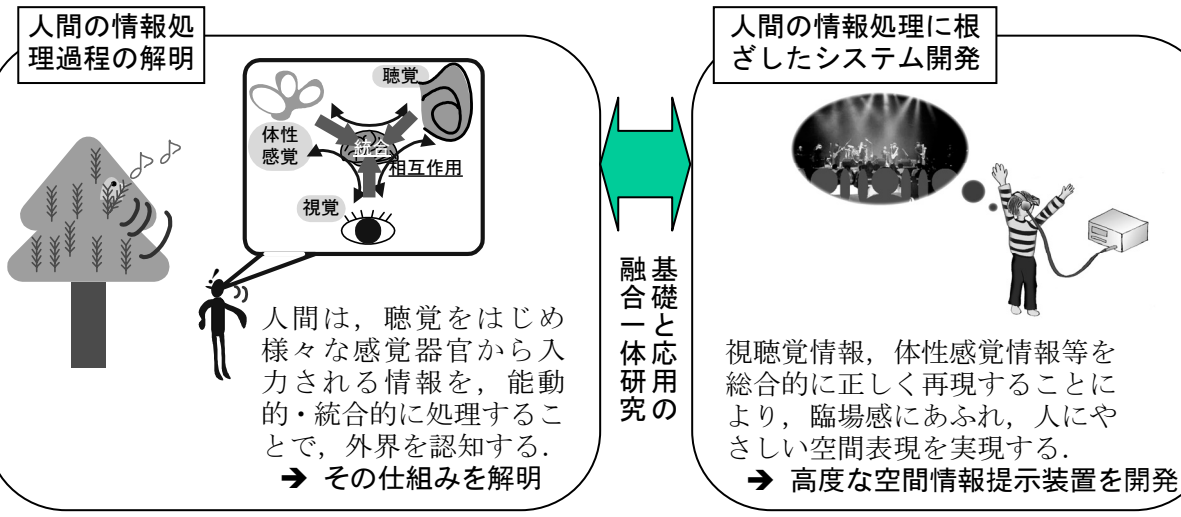
研究テーマ
1. 高機能スピニックマテリアルの創製
2. 集積化マイクロ磁気デバイス・センサ
3. 生体内駆動用磁気マイクロロボット
4. 超高周波磁気計測・EMC 計測
5. 磁気モーションキャプチャシステム

過去1年間の主な発表論文

1. 仙道雅彦、中居倫夫、橘奈緒子、星則光、鈴木秀夫、堀越直、藪上信、石山和志、荒井賢一、「端部磁性体を配置した高周波キャリア型磁界センサの感度向上に関する研究」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.225-228, (2006).
2. 村山芳隆、小澤哲也、堀越直、藪上信、石山和志、荒井賢一、「熱処理温度制御による高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.237-242, (2006).
3. 菊地健司、山崎彩、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「泳動型マイクロマシンの推力に関する研究」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.294-297, (2006).
4. 横田周子、山崎彩、仙道雅彦、我妻成人、師岡ケイ子、石山和志、荒井賢一、「磁性薄膜を用いた片持ち梁型磁気アクチュエータに関する検討」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.302-305, (2006).
5. 久富伸一、山崎彩、石山和志、我妻成人、仙道雅彦、荒井賢一、「スパイラル型磁気マイクロマシンを用いたディスポーザブルポンプシステム」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.306-310, (2006).
6. 豊田征治、杤修一郎、藪上信、大矢雅志、石山和志、岡崎靖雄、荒井賢一、「複数 LC 共振型磁気マーカを用いた多点位置検出システム」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.391-395, (2006).
7. S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K. Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, "Wireless Magnetic Motion Capture System for Multi-Marker Detection," IEEE Trans. Magnetics, vol.42, No.10, pp.3279-3281, (2006).
8. 山崎彩、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「磁気トルクを利用したマイクロマシンの小型化に関する検討」、電気学会論文誌 E、vol.126, No.11, pp.590-595, (2006).
9. 山崎彩、仙道雅彦、石山和志、早瀬敏幸、荒井賢一、「3 次元泳動特性解析法を用いたらせん型磁気マイクロマシンの形状設計」、日本機械学会論文集 C、vol.72, No.723, pp.3555-3560, (2006).

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．

＜2006 年度の主な成果＞

１． 3 次元音空間認識と制御手法の研究

音空間認識には，音源から聴取者両耳までの頭部伝達関数（HRTF）が大きく影響する．本年度は，個人化 HRTF の選択・合成について主観的・客観的手法を検討した．主観的手法では，多くの HRTF を用いて合成した仮想軌道をトーナメント形式で聞き比べさせ，最も定位感が良いと判断された HRTF による音空間制御が，本人の HRTF を用いた場合と有意差なく高い精度を有していることが分かった．客観的手法では，身体形状が HRTF に与える影響を調べるために，3 次元形状モデルから境界要素法を用いて HRTF を求めるプログラムを開発し，計算機内で系統的に身体形状を変化させた場合の HRTF の変化を調査した．その結果，頭部の大きさを変形させることによって，特徴的なディップ位置が周波数上で移動すること，その移動量は角度によって違うことが分かった．また，音空間の詳細な情報を効果的に採取する手法についても検討を行っている．

２． 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．本年度は，音データ

の不正二次コピーを防止するために，ディジタル耐性だけでなくアナログ耐性を備えた電子透かし技術を提案するとともに，オープンなネットワークを経由して通信する際の安全性を向上させるための，秘密共有分散による暗号化とマルチパス通信とを組み合わせた新しいネットワーク秘匿通信手法を提案した．また，信号処理による音質の劣化を評価するための音質評価手法に関する基礎研究も行った．

３． 聴覚障害者のバリアフリー実現に関する研究

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

＜職員名＞

教　授　鈴木 陽一（1999 年より）
助教授　西村 竜一（2004 年より）
助　手　坂本 修一
技術職員　齋藤 文孝　産学連携研究員　李 軍鋒，下村 正夫，小林 まおり　技術補佐員　小貫 輝義
事務補佐員　小室 まり，今野 亜未

＜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．

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] N. Fujita, R. Nishimura, and Y. Suzuki. “Audio secret sharing for 1-bit audio.” *Acoust. Sci. & Tech*, **27**, 171-173, 2006.
[2] 大内誠, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, 棟方哲弥. “汎用聴覚ディスプレイ用ソフトウェアエンジンの開発と音空間知覚訓練システムへの応用.” 日本音響学会誌, **62**, 224-232, 2006.
[3] K. Abe, K. Ozawa, Y. Suzuki and T. Sone. “Comparison of the Effects of Verbal Versus Visual Information About Sound Sources on the Perception of Environmental Sounds.” *ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA*, **92**, 51-60, 2006.
[4] M. Ohuchi, Y. Iwaya, Y. Suzuki, and T. Munekata. “A comparative study of sound localization acuity of congenital blind persons and sighted people.” *Acoust. Sci. & Tech*, **27**, 290-293, 2006.
[5] M. Toyoda, K. Watanabe, Y. Iwaya, and Y. Suzuki. “An estimation method of ITDs from measured Head-Related Impulse Responses.” *Acoust. Sci. & Tech*., **27**, 239-241, 2006.
[6] K. Nakao, R. Nishimura, and Y. Suzuki. “Calculation of transfer function of acoustic feedback path for in-the-ear hearing aids with correction for specific acoustic impedance of a tubule.” *Acoust. Sci. & Tech.*, **27**, 242-244, 2006.
[7] A. Murase, S. Sakamoto, Y. Suzuki, T. Kawase, and T. Kobayashi. “Effects of dividing frequency in filtering for dichotic presentation to reduce masking to a consonant by the preceding vowel.” *Acoust. Sci. & Tech.*, **27**, 245-247, 2006.

高次視覚情報システム研究分野

視覚機能の理解とそれに基づく的確な映像表現と視環境の構築

１．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，それに基づく人間工学，画像工学などへの応用的展開を目的としている。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，視覚による空間知覚，立体認識，注意による選択機構のモデルの構築のための研究をしている。具体的には網膜上の画像から３次元空間を認識するために，立体視，運動視あるいは色知覚において脳の用いる方略を探りそのモデルをつくることから，適切な画像情報の評価，効率的呈示，視環境の評価などを行うための研究や，注意による意図的，あるいは無意識的選択の過程の動的な特性を調べることから，様々な環境下での人間の視覚認識や行動を予測するための研究などに取り組んでいる。

研究テーマ

１．視覚的注意機構のモデル化
２．視覚認識の初期，中期，高次特性の研究
３．色覚の脳内情報処理に関する研究

２．過去１年間の主な成果

2.1 視覚的注意機構のモデル化

この分野では，今年度は注意とサッカードの関連に関する成果と、注意による情報加算効果の成果を得た。まず、サッカードとの関連であるが、注意を向けた位置へのサッカード潜時は短縮されるが、その効果が注意位置へのサッカードの実行過程にあることを明らかにした。これは、サッカード刺激と反対側にサッカードする条件では、サッカード刺激の呈示位置ではなく、サッカード位置で潜時が短いとの事実を示すことで明確にした。それとともに、注意による感度上昇が、刺激に対する応答を時間的に加算する効果が一因であることを明らかにした。いずれも、注意のメカニズムを考える上で重要な成果といえる。

2.2 視覚認識の初期，中期，高次特性の研究

この分野では，運動視と立体視において、以下の成果があった。まず運動視についてであるが、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どのような違いがあるかを明らかにした．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し，速い運動検出器は局所的な運動のみに関与した．

この結果は，２つの運動検出器が機能的に異なった役割を担っている可能性を強く示唆する．また，２つの運動検出器から得られる動きの信号は，眼球運動を発現する際に用いられることも明らかにした．これは，２種類の運動検出器は知覚だけでなく眼球運動の駆動にも関与することを意味する．視覚情報における動きの役割を再考し，映像表現や視環境の評価への適用が考えられる．

もうひとつは、両眼立体視の時空間周波数特性に関する研究である。奥行きに対する感度の空間周波数特性、時間周波数特性、それらの相互作用および視差（奥行き）依存性に関する実験をまとめ、奥行き情報の統合に関する時間特性について考察した。心理物理実験により、奥行きに対する感度は刺激特性（時空間周波数、視差）に依存して変化する、特に空間周波数と視差の間には大きな相関があり（大きさ一視差相関がある)、大きな視差のとき低い空間周波数で感度が高いことを明らかにした。また、時間周波数は、この空間周波数と視差の関係にはほとんど影響しないが、全体の感度には大きく関与し、その仕方は空間周波数に依存することを明らかにした。

３．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。

４．職員名

教　授　　塩入　　諭（2005 年より）
助教授　　栗木　一郎（2006 年より）
助　手　　松宮　一道（2005 年より）

５．主な研究発表

1. Lee, S., Shioiri, S., & Yaguchi, H. (2007). Stereo channels with different temporal frequency tunings. Vision Research, 47 (3), 289-297.
2. Shioiri, S., Ogawa, M., & Yaguchi, H. (2006). Facilitation of temporal integration by visual attention. The Fourth Asian Conference on Vision 56. Matsue, Japan.
3. 松原和也, 金子瑞樹, 塩入論, 矢口博久 (2006). サッカード眼球運動と先行注意移動. 光学, 20 (3), 156-164.2006
4. Matsubara, K., Shioiri, S., Ogawa, M., & Yaguchi, H. (2007).Spatial spread of visual attention while tracking a moving object. Optical Review, 14 (1) 57-63
5. Kuriki, I. The loci of achromatic points in a real environment under various illuminant chromaticities. Vision Research, 46, 3055-3066, 2006.
6. Nishida, S., Watanabe, J., Kuriki, I. and Tokimoto, Y. Human brain integrates color signals along motion trajectory for veridical perception of moving colors. Current Biology, 17, 366-372, 2007.

通信環境工学研究分野

次世代情報通信を支える電磁環境の構築

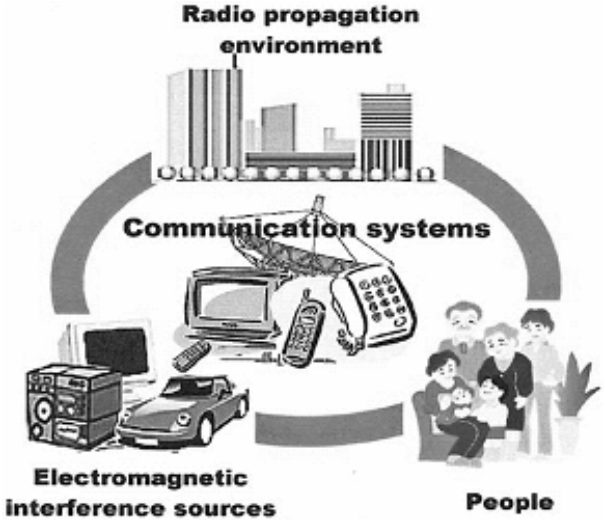


図１　通信環境の様々な要素

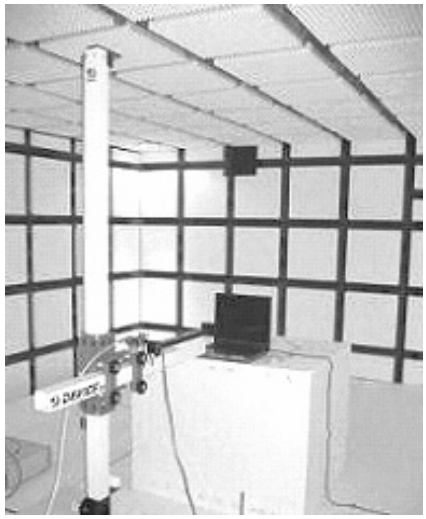


図２　無反射室内での実験

＜分野の目標＞

昨今、電子機器や携帯通信端末の高度化および著しい普及に伴って、これらの機器から発生する電磁エネルギーによる各種機器・システムの障害や、人体に及ぼす影響が懸念されている。このため、本研究分野では、電子機器から発生する電磁妨害波の計測技術の研究とその国際標準化、および通信システムと電子機器間の干渉特性の把握とその低減対策技術に関する研究を行う。

＜2006 年度の主な成果＞

１．電磁妨害波の計測法

周波数 30～300 MHz 帯の電磁妨害波は、吸収クランプを用いる電力測定法と、アンテナを用いる電界測定法がある。このため、電力測定法については伝送線路理論、電界測定法についてはモーメント法による数値解析を行って両者の相関を検討した。その結果、両測定法には良い相関があることが判った。

２．フェライトコアによる電磁妨害波の低減

電子機器の電源線には電磁妨害波を阻止するために、フェライトコアが一般に装着されている。このため、模擬電子機器を使ってコアの妨害波抑圧特性の研究を行い、抑圧効果の実用的な推定法を導出した。なお、昨年度開発したフェライトコアの特性評価法は、国際規格 CISPR 16-3-amd2 (2006-11)に掲載された。

３．ノイズ抑制シートによる電磁妨害波の低減

近年、電子機器内のプリント基板等には薄膜磁性体等を用いた妨害波抑制シートが多用されている。このため、このシートの高周波特性を FDTD 法によって解析し、この結果に基づいて、シートをプリント基板に装着する場合の必要寸法や間隙について検討を行った。また、高周波信号に対するシートの影響（signal integrity）についても考察した。

４．パソコンの電磁妨害波による近距離無線通信システムへの妨害

昨今のパソコンに用いられているクロックは周波数変調されているため、その電磁妨害波はスペクトル拡散されている。このため、この妨害波による MB-OFDM UWB などの近距離無線通信システムへの妨害について研究した。さらに、クロック信号による妨害を軽減するための方策についても検討した。

５．高速電力線搬送通信システム(PLC)の電磁妨害波

この数年間、PLC から発生する電磁妨害波について、当分野は総務省における技術的検討を主導しており、電源線の不平衡に関する研究や、電源線から放射される電磁妨害波に関する研究を行ってきた。これらの成果に基づいて、2006 年 6 月に情報通信審議会は PLC の妨害波に関する規格を総務大臣に答申し、同年 10 月に電波法関連省令が改正された。

＜職員名＞

教授：杉浦　行（1999 年～）

＜教授のプロフィール＞

1966 年福井大学工学部卒業。1968 年大阪大学大学院修士課程修了。同年郵政省電波研究所（現、情報通信研究機構）入所。電磁環境工学の研究に従事。同研究所総合研究官を経て 1999 年より東北大学電気通信研究所教授。2006 年より独立行政法人情報通信研究機構 EMC プログラムディレクターを兼務。電子情報通信学会、IEEE 会員など。2005 年電子情報通信学会フェロー、2006 年「電波の日」総務大臣表彰を受賞。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] T Murakami, Y Matsumoto, K Fujii, and A Sugiura,
"Evaluation of BER in Bluetooth Wireless Systems Disturbed by Radiated Noise from Spread Spectrum Clock Systems"
IEICE Trans. on Commun., vol. E89-B, pp. 2897-2904, 2006.

[2] J. Urabe, K. Fujii, , Y. Dowaki, Y. Jito, Y. Matsumoto, and A. Sugiura,
"A Method for Measuring the Characteristics of an EMI Suppression Ferrite Core"
IEEE Trans. on EMC, vol. 48, no. 4, pp. 774-780, 2006

[3] Y. Matsumoto, K. Fujii, and A. Sugiura,
"Estimating the amplitude reduction of clock harmonics due to frequency modulation"
IEEE Trans. on EMC, vol. 48, no. 4, pp. 734-741, 2006

[4] T.Murakami, Y.Matsumoto, K.Fujii, and A. Sugiura,
"Interference Potential of PC Noises on MB-OFDM UWB Systems"
IEEE Communications Letters, vol. 10, no. 12, pp. 804-806, 2006

[5] Y. Matsumoto, T. Shimizu, T. Murakami, K. Fujii, and A. Sugiura
"Impact of Frequency-Modulated Harmonic Noises from PCs on OFDM-based WLAN Systems",
IEEE Trans. on EMC, vol. 49, 2007.

[6] T Murakami, Y Matsumoto, K Fujii, and A Sugiura,
"Interference Potential of PC Noises to Ultra Wideband Systems"
EMC Europe 2006 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 4-8, 2006 Barcelona, Spain, pp. 807-810

[7] Y. Matsumoto, T. Shimizu, T. Murakami, K. Fujii, and A. Sugiura,
"Impact of frequency modulated harmonic noises on OFDM-based WLAN systems"
EMC Europe 2006 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 4-8, 2006 Barcelona, Spain, pp. 817-822

[8] M Ishizu, J Urabe, K Fujii, and A Sugiura,
"Correlation between the field strength measurement and the absorbing clamp measurement,"
Asia-Pacific conference on Environmental Electromagnetics 2006,Aug.1-4,Dalian, China 2P-01 pp189-192

[9] M Marubashi, A Ogata, K Fujii, Y Matsumoto, and A Sugiura,
"Measurement of the Amplitude and Phase of FM Noise Currents on a Personal Computer Chassis"
Asia-Pacific conference on Environmental Electromagnetics 2006,Aug.1-4,Dalian, China, 2P-08 pp218-221

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)、垂直磁気記録での更なる高密度化の研究を行う次世代情報ストレージ寄附研究部門の５分野・１寄附研究分野から構成されている。平成１８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い、不動点昇格法という関数型言語の新しい最適化方式を確立し、それらを含む基礎研究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、大幅に機能と性能を向上させたコンパイラをリリースした。ＳＭＬ＃の成功は、ソフトウェア科学会大会を含む２件の招待講演を依頼されるなど、学会から高い注目を集めている。基礎理論の研究では、証明論を基礎としたＪａｖａバイトコードに対する静的なアクセス権限検証の理論と実装方式の研究を完成させＴＯＰＬＡＳに発表した。

（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ム変換の可能性の検証を目的として、２階変換パターンに基づく新しいプログラム変換手法に基づくプログラム自動変換システム RAPT の改良を進め、変換テンプレートを拡張することにより、より広い範囲のプログラム変換を可能とした。また、帰納的定理の自動証明手法の拡張、高階書き換えシステムの停止性の解析、自動証明における補題自動発見手法の改良、合流性自動判定システムの開発、シーケント計算の体系での証明図の簡約と型付きラムダ計算のベータ簡約の間の関係に基づく新しい合流性証明手法の提案、明示的代入操作の解析等を行った。

（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へ向けて、IPv6 モビリティサポートのための Management Information Base (MIB)を世界に先駆けて構築し､IETF の MIPv6 ワーキンググループにて標準化活動を推進した。その結果、2006 年 4 月に、インターネット国際標準規格(RFC)として正式に決定し、日本発の標準として内外から注目され、社会的にもインパクトを与えた。また、「共生コンピューティング」の具体的な実現例として、高齢者・子供見守り支援システム、共生 3 次元デ

ィジタル空間システム等のプロトタイプを開発し、共生のための基盤技術の有効性の検証を行い、人と IT 環境の従来にない共生を実現していることが確認された。「共生コンピューティング」の概念は情報処理学会誌 2006 年 8 月号にて特集記事が掲載されるなど高い注目を集めている。

（４）情報コンテンツ研究分野

インターネット･イントラネット上に分散配置された映像コンテンツ制作ツール及び映像制作者集団が協調して映像コンテンツ制作を行うことができる環境の構築をめざして､Wiki や SNS の概念と Flash の技術を導入したネットワーク協調型映像編集システムの基礎的検討を行い、基本モデルを試作した。また、超高速・高精細カメラ出力など超高転送レートデータを蓄積するストレージシステムとして、シリンダ状垂直磁気記録媒体とマルチヘッドで構成するシリンダストレージシステムの基盤技術研究を所内他部門･分野と協力して進めており、シリンダ状媒体の湾曲面上で浮上する磁気ヘッドを設計・試作し、ヘッドの浮上特性を制御できることを明らかにし、高密度シリンダストレージシステムの可能性を確認した。

（５）情報社会構造研究分野

人間社会における創造活動を支援する有力な手段として「超高速コンピューティングによる数値シミュレーション技術」に注目し、この技術が広く社会に普及・活用されるための基盤技術の研究を行っている。特に、応用分野の広い流体挙動シミュレーションを、超高速にしかも小型・低消費電力・低コストで実行できる“シミュレーション加速プロセッサ”の設計に着手した。格子ガス法アルゴリズムの採用により、繰り返し計算では、消費電力の大きい乗算回路等を一切使用せずに済み、比較的容易に約 3 億格子点規模の計算が実行可能であることを確認した。さらなる高速化と超低消費電力化をめざし、羽生貴弘教授らが提案しているトンネル磁気抵抗効果素子によるロジックインメモリ回路を利用する設計とした。

（６）次世代情報ストレージ寄附研究分野

高度情報化社会において、データストレージの大容量化、高性能化への要求はますます強まっている。磁気ハードディスクでは、従来の面内記録方式では記録密度の増加が限界に達し、垂直磁気記録方式の HDD が製品化されるに至っている。本研究部門では、さらに高密度なテラビット級記録を実現するための、磁気記録機構の解明、および、新アーキテクチャの提案を行っている。今年度は、再生ヘッドについて、媒体の記録信号ビットから再生ヘッドに入り込む３次元的な磁束の流れを短時間で計算する新しい計算手法の実現に成功した。また、記録ヘッドについては、計算機シミュレーションより、高密度化に必要な高い磁界出力を得るためのコイル位置等のヘッド構造の検討を進め、有効な構造案を得ることができた。

ソフトウェア構成研究分野

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装

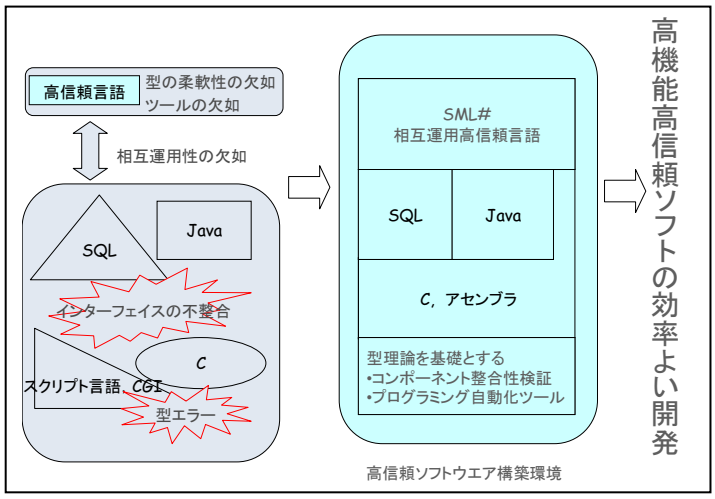


図１．次世代高信頼プログラミング言語ＳＭＬ＃とそサポート環境の概要

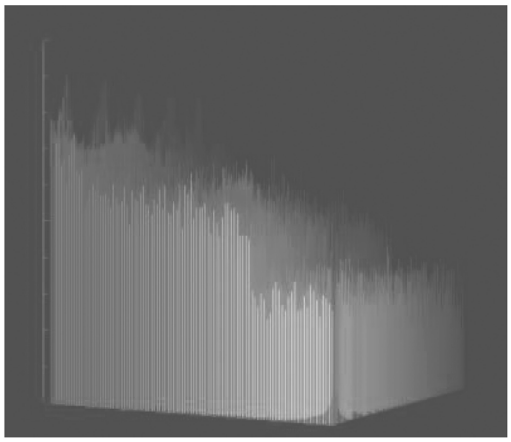


図２．ＳＭＬ＃の最先端相互運用機能を用いて実現したサウンド解析プログラムの出力例

＜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。

＜2006 年度の主な成果＞

1．　新しい関数融合方式とその実装技術の確立

ＳＭＬ＃などの高機能関数型言語のより効率的な実現のための新しい最適化方式の研究を行い、二つの再帰的関数をより効率よい関数に融合する方式と実装技術を確立した。この方式は、(1)種々の幅広いデータ型が扱える、(2)一般の再帰的関数を融合できる、(3)種々のパラメータを持つ関数を融合可能である、など従来の関数融合技術を革新する種々の実用上重要な優れた特徴を持つものである。本結果は、2007年ACM POPLにて発表された。

2．　SML＃バイトコードコンパイラの開発とそのリリース

SML＃は以下の機能の実現を目指す次世代高信頼プログラミング言語である。

（ア） 多相型レコード演算やランク1多相性等の先端機能を初めて実現
（イ） C などの既存言語やデータベースなどのシステムとの高い相互運用性
（ウ） Standard ML と上位互換性を持つ

本年度は(1)Cとのシームレスな連携機能、(2)デバッガ、(3)日本語等を扱うためのマルチバイト文字処理ライブラリ等を新たに開発し、さらに型主導のメモリー管理方式等の基礎研究成果を取り入れ大幅に機能を向上させたコンパイラをリリースした。このSML＃の開発の成功は、日本ソフトウエア科学会大会を含む2件の招待講演を依頼されるなど、学会にて高い注目を集めている。

3. JAVA バイトコードのアクセス権限検証のための基礎理論

論理学の証明論に基づき Java バイトコードに対する静的なアクセス権限検証システムの理論を構築した。この理論は、コードの実行前に、そのコードが行う可能性のある保護された資源への不正なアクセスを自動的に見つけ出すことを可能にするものである。この技術が完成されれば、従来の動的スタック検証方式が持つ脆弱さや実行時のオーバヘッド等の問題点が解消され、より堅牢かつ効率よいインターネットプログラミング環境が実現できる。本研究は、このようなアクセス権限の検証が静的に可能であることを理論的に始めて確立するものである。

＜職員名＞

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

＜教授のプロフィール＞

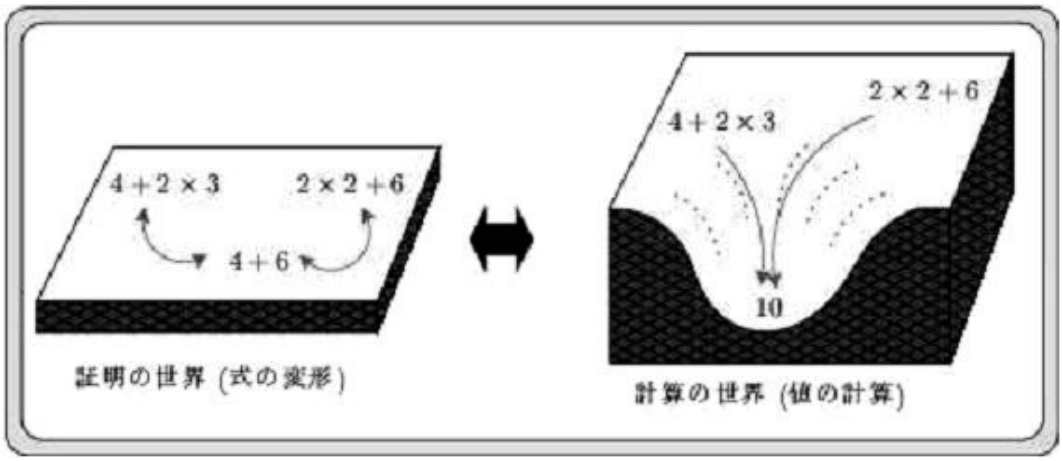
１９５７年生。１９８１年東京大学文学部哲学科卒業。同年沖電気工業（株）入社。１９８９年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了。Ｐh. D. その後、英国王立協会特別研究員（グラスゴー大学)、沖電気工業（株）関西総合研究所特別研究室長、京都大学数理解析研究所助教授、北陸先端科学技術大学院大学教授を経て、２００５年４月より東北大学電気通信研究所教授。プログラミング言語の基礎研究に従事。１９９６年第１０回日本ＩＢＭ科学賞受賞。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Tomoyuki Higuchi, Atsushi Ohori, A static type system for JVM access control, ACM Transactions on Programming Languages and Systems, vol 29(1), 2007
[2] Atsushi Ohori, Isao Sasano, Lightweight fusion by fixed point promotion, In Proceedings of ACM Symposium on Principles of Programming Languages, 143-154, 2007.
[3] Huu-Duc Nguyen, Atsushi Ohori, Compiling ML polymorphism with explicit layout bitmap. In Proceedings of ACM International Conference on Principles and Practice of Declarative Programming, 237-248, 2006.
[4] Yutaka Matsuno, Atsushi Ohori, A type system equivalent to static single assignment. In Proceedings of ACM International Conference on Principles and Practice of Declarative Programming, 249-260, 2006.
[5] 大堀　淳, SML#の開発とその基礎理論, 第２３回日本ソフトウエア科学会大会（招待講演）
[6] 大堀　淳, SML#の実用的側面, 第９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（ＰＰＬ２００７）（招待講演）

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

＜2006 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

プログラム効率化のためのプログラム変換手法の 1 つとして，パターンによるプログラム変換が知られている．項書き換えに基づくパターンによるプログラム変換では，変換前後の操作的意味の不変性を項書き換えの定理自動証明法を用いて保証することが出来る．この枠組みを実現した実験システム RAPT を用いてプログラムの変換実験を行ない，より柔軟な変換を実現するための手法について検討を行なうとともに，より効率的なプログラム

を出力するための変換パターンの作成法について考察を行なった.

２． 帰納的定理の自動証明手法

自然数やリストなど，データ構造に基づくプログラムの性質の自動証明手法として書き換え帰納法が知られている．この書き換え帰納法による証明手続きの正しさは，抽象原理に基づいて証明することが出来る．従来知られていた原理を拡張し，より強力な書き換え帰納法の証明システムを提案した．とくに，従来知られていたよりも一般的な単純化規則を導入した証明システム，および，方向付け不能な等式を扱うための新しい証明システムを提案した.

３． 計算・証明システムの基礎理論

直観主義論理のクリプキ意味論を一般化することによって得られる論理に対してシーケント計算の体系を提案し，完全性定理とカット除去定理を示すとともに，いくつかの部分構造論理に対しても新しいシーケント計算の体系を提案した．また，明示的代入計算に対して，それまでに知られていた縮約可能性法を簡略化した方法を提案し，停止性の解析を行った

＜職員名＞

教　授：外山　芳人（2000 年 4 月より）

助教授：青戸　等人（2003 年 1 月より）

助　手：菊池健太郎（2004 年 10 月より）

非常勤研究員：Ketema Jeroen（2006 年 4 月より）

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Kentaro Kikuchi, On a Local-Step Cut-Elimination Procedure for the Intuitionistic Sequent Calculus, In Proceedings of the 13th International Conference on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning (LPAR 2006), LNAI 4246, pp.120-134, 2006.

[2] Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Program Transformation by Templates: A Rewriting Framework, IPSJ Transactions on Programming, Vol.47, No.SIG 16 (PRO 31), pp.52-65, 2006.

[3] Yuki Chiba and Takahito Aoto, RAPT: A Program Transformation System based on Term Rewriting, In Proceedings of the 17th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2006), Seattle, WA, USA, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4098, Springer-Verlag, pp.267-276, 2006.

[4] Takahito Aoto, Dealing with Non-orientable Equations in Rewriting Induction, In Proceedings of the 17th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2006), Seattle, WA, USA, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4098, Springer-Verlag, pp.242-256, 2006.

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

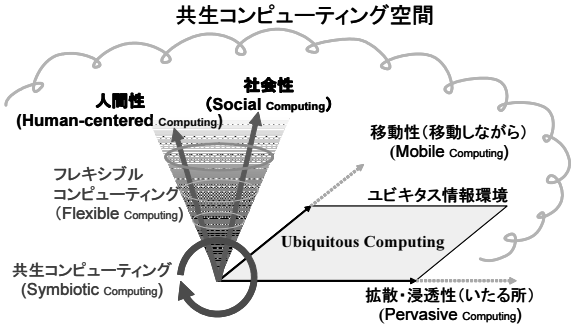
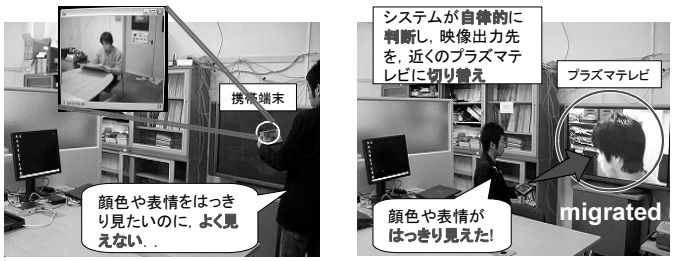


図1 共生コンピューティングの概念



(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，共生 3 次元ディジタル空間
(3) 超高速広域ネットワークの計測・解析とモバイルネットワーク管理

＜2006 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検討，共生コンピューティング技術の基礎に関する検討を行った。その結果，u-Gap 問題を解消するには相手の状況をいかに理解するかがポイントであり，RS と DS における「共認知」を実現することが重要である

ということを明らかにした。そこで，共認知を実現するための新しいコンピューティングアーキテクチャとして，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を提案した。これらの成果は，学術雑誌に掲載されたほか，複数の国際会議にて発表し，学術界，産業界などから広く注目を集めた。

2. ネットワーク管理の研究

ユビキタスネットワークの実用化に向けて，IPv6 モビリティサポートを管理するための 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 MIPv6 ワーキンググループにて標準化活動を推進し，2006 年 4 月に，インターネット国際標準規格(RFC)として正式に発行された(RFC4295)。本研究の成果は，テレビ，新聞，Web 等で報道されるなど，社会的にもインパクトを与えている。

また，超高速大規模ネットワーク向きネットワーク計測・解析・管理のための基盤技術の確立を目指し，トラフィックの計測に基づいて検出されたイベントの分析，可視化を支援するツールとして，広域ネットワーク環境における「イベント追跡システム」を完成させた。これにより，コンピュータウィルスの拡散等の広域で発生する異常トラフィックの検出・分析を支援可能であることを示した。本研究は情報通信研究機構(NiCT)との共同研究として推進しており，その成果は高く評価されている。

＜職員名＞

教　授：白鳥 則郎（1993 年より）
助教授：菅沼 拓夫（2003 年より）
助　手：北形 元
秘　書：増田 順子，三浦佳奈

＜教授のプロフィール＞

1946 年宮城県生れ。1977 年東北大学大学院博士課程修了。1984 年東北大学助教授（電気通信研究所)。1990 年東北大学教授（工学部情報工学科)。1993 年東北大学教授（電気通信研究所)。1998 年 IEEE Fellow，2000 年情報処理学会フェロー，2002 年電子情報通信学会フェロー。1985 年情報処理学会 25 周年記念論文賞，1998 年 IEEE ICOIN-12 最優秀論文賞，2001 年度電子情報通信学会業績賞など。2002 年情報処理学会・副会長，2002 年 IFIP 日本代表。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。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] T. Suganuma, T. Uchiya, S. Konno, G. Kitagata, H. Hara, S. Fujita, T. Kinoshita, K. Sugawara and N. Shiratori, “Bridging the E-Gaps: Towards Post-Ubiquitous Computing,” Proc. of the 1st International Symposium on Frontiers in Networking with Applications (FINA 2006), pp.480-484, 2006

[2] G. M. Keeni, K. Koide, T. Saitoh and N. Shiratori, “A Bulk-Retrieval Technique for Effective Remote Monitoring in a Mobile Environment,” Proc. of the IEEE 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2006), pp.889-894, 2006 (**Highly Commended Paper Award**)

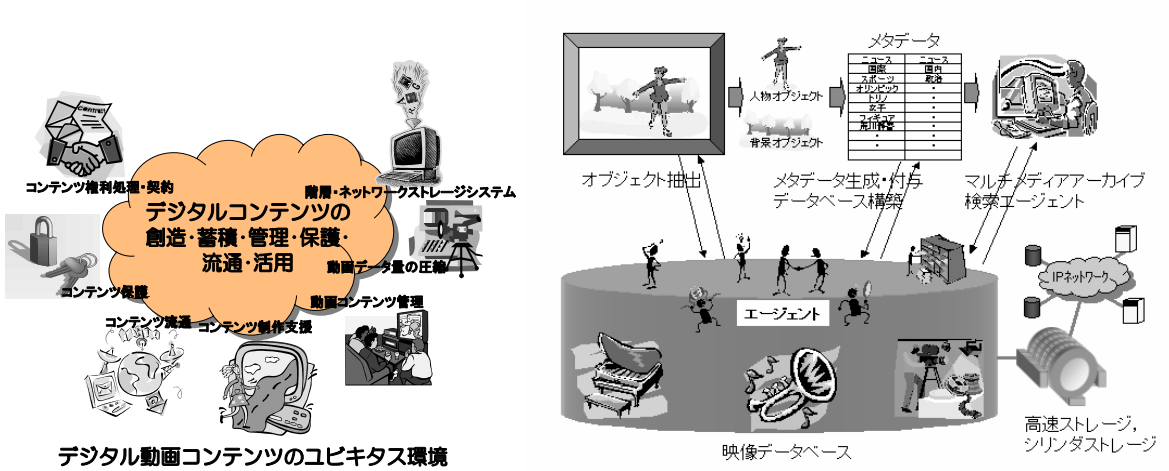
[3] 白鳥則郎, 菅原研次, 菅沼拓夫, 藤田茂, 小出和秀, “Symbiotic Computing －ポスト・ユビキタス情報環境へ向けて－,” 情報処理学会誌, Vol.47, No.8, pp.811-816, 2006

[4] H. Takahashi, Y. Tokairin, K. Yamanaka, T. Suganuma, T. Kinoshita, K. Sugawara and N.Shiratori, “uEyes: An Ubiquitous Care-Support Service Based on Multiple Contexts Coordination,” Proc. of the 2007 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2007), 2007

[5] K. Koide, G. M. Keeni, N. T. Trung and N. Shiratori “New Concept in Ubiquitous Network Management: Guest Node Monitoring --Applications of the MobileIPv6-MIB--,” Proc. of the 2007 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2007), 2007

情報コンテンツ研究分野

映像コンテンツのユビキタス環境の構築



映像コンテンツのユビキタス環境とマルチメディアデータベースの構築

＜分野の目標＞

情報コンテンツ研究分野では，高速・大容量の高精細動画コンテンツを蓄積・読み出しができるマルチメディアサーバシステムの構築，これらのサーバシステムが分散配置されたネットワーク上で，誰もが，いつでも，どこからでもこれらのサーバシステムにリアルタイムでデジタル動画コンテンツを蓄積・読み出して利活用することができるユビキタス環境を実現することを目標として研究を進めている。

このため，放送メディアなどの無線伝送路とインターネットなどの有線伝送路を有機的に連携させたデジタル動画コンテンツ制作・流通・管理の研究として，インターネット・イントラネット上で多数の人が 1 つの映像コンテンツを協力して制作する映像コンテンツ協調制作の研究，放送局番組やインターネット上の映像コンテンツのシーン，カット，音声，画像などの特徴量の自動的な抽出を行い，メタデータを自動生成・付与する映像コンテンツ流通･管理の研究，大量に蓄積されたデジタル動画コンテンツを長期に亘って効率よく安定に保存する映像アーカイブスの研究，高精細動画コンテンツのリアルタイムストリーミング配信の研究および超高速・高精細映像コンテンツ用シリンダストレージシステムの研究に取り組んでいる。

＜2006 年度の主な成果＞

１． 映像コンテンツのネットワーク協調制作システム

インターネット･イントラネット上に分散配置された種々の映像コンテンツ制作ツール及び複数の映像制作者がネットを経由してコミュニケーションをしながら一つの映像コンテンツを協力して制作できる環境の構築をめざして，Wiki(Web ブラウザから文書を共同編

集できるシステム)やSNS(Social Network Service)の概念とFlashの技術を導入したネットワーク協調型映像コンテンツ編集システムの基礎的検討を行い，基本モデルを試作し，映像編集時のリップシンク等の検討を行った。

２．映像のショットチェンジ自動検出

映像コンテンツのメタデータを自動生成するためには映像の特徴量を抽出する必要があり，その一検討として映像のショットチェンジの自動検出を試みている。今年度は，ベースバンドレベルの映像の輝度信号を利用した従来の検討手法の問題点を評価し，並行してデジタル映像データから直接ショットチェンジを検出する手法の基礎検討を進めた。

３．高速転送シリンダストレージ用ヘッドの安定低浮上化

超高速・高精細カメラ出力など超高転送レートデータを蓄積するストレージシステムとして，シリンダ状垂直磁気記録媒体とマルチヘッドで構成するシリンダストレージシステムの基盤技術研究を所内他部門･分野と協力して進めている。これまでシリンダ状媒体の湾曲面上で浮上する磁気ヘッドのスライダ形状を設計・試作・評価した結果，湾曲したシリンダ基体上で安定に浮上するヘッドスライダ形状設計手法を確立した。試作ヘッドによる記録再生特性の測定結果から高密度シリンダストレージシステムの可能性を確認できた。ただし，試作したヘッドスライダ形状加工精度のばらつきによる浮上特性の変動が見られたため，加工精度の影響を受けにくいヘッドスライダ形状について検討を進めている。

＜職員名＞

教　授　沼澤 潤二（2004年より）
助　手　山田　洋

＜教授のプロフィール＞

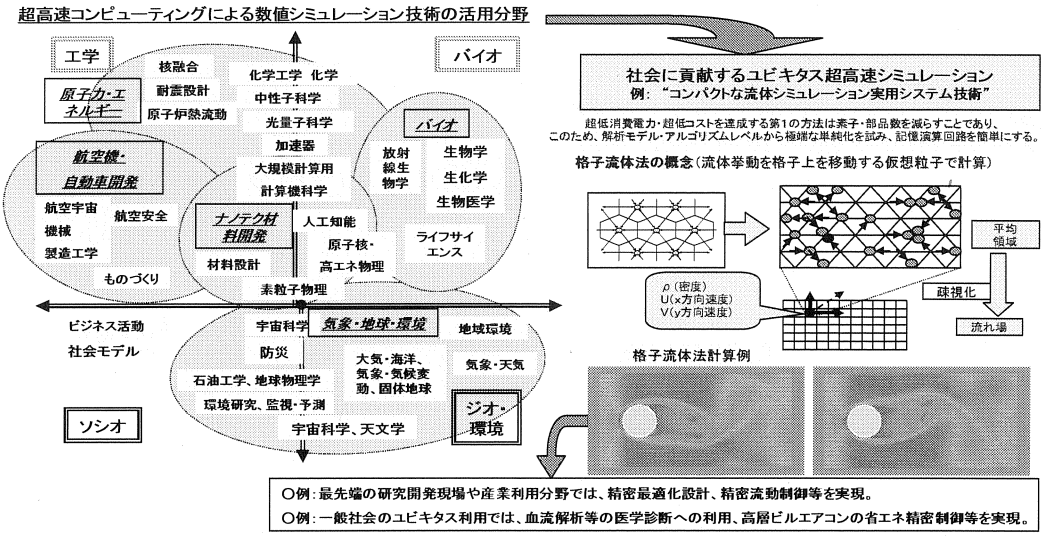
１９７１年３月　北海道大学大学院修士課程修了。同年４月　日本放送協会入局。１９９６年６月　日本放送協会放送技術研究所部長。１９９９年６月　日本放送協会技術局部長。２００２年６月　日本放送協会放送技術研究所研究主幹。２００４年４月　東北大学教授(電気通信研究所、情報科学研究科)、現在に至る。テレビジョン学会鈴木記念賞受賞（昭和５５年度)。IUMRS-ICAM-93　Distinguished invited paper 受賞（平成５年)。映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞（平成７年度)。東京都技術功労者表彰受賞（平成１５年度)。映像情報メディア学会評議委員（平成１７・１８年度)。映像情報メディア学会フェロー。

＜2006年度の主な発表論文等＞

[1] 沼澤潤二，梅本益雄，奥田治雄，喜連川優，”情報ストレージ技術”，コロナ社，2007.3
[2] H. Yamada, R. Tsuchiyama, H. Kikuchi, T. Shimatsu, I. Watanabe, H. Aoi, H. Muraoka, and Y. Nakamura, "Investigation of Inclined-Pad Type Head for Cylindrical Magnetic Storage System," IEEE Trans. Magn., 42, 10, pp.2477-2479, 2006.
[3] 山田　洋，土山龍司，菊池弘之，島津武仁，渡辺　功，青井　基，村岡裕明，中村慶久, "傾斜パッド型SPT浮上ヘッドによるシリンダ状CoPtCr-SiO2垂直二層膜媒体のR/W特性," 日本応用磁気学会誌, 30, 3, pp.345-348, 2006.
[4] 土山龍司，山田　洋，島津武仁，渡辺　功，青井　基，村岡裕明，中村慶久, "シリンダ状媒体対応傾斜パッドスライダの浮上安定性に関する検討," 日本応用磁気学会誌, 30, 3, pp.361-365, 2006.
[5] 山田洋，土山龍司，菊池弘之，島津武仁，渡辺功，青井基，村岡裕明，中村慶久，沼澤潤二, "高速転送シリンダ状磁気ストレージシステム用ヘッドの開発," 電子情報通信学会信学技報, MR2006, 16, pp.35-40, 2006.

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。

＜2006 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。NEC 等の協力も得て、1 ノード(8CPU 並列、ベクトル化率 99.9%)のみの計算機規模で約 3 億格子点の計算実行を可能にした。また、衝突規則の工夫で負の粘性挙動を再現できることが判り、高レイノルズ数を達成する新手法の手がかりを得た。

２．新概念回路技術によるシミュレーション加速プロセッサの設計

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

３．シミュレーション加速プロセッサ応用システムの研究

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

なお、以上の研究は、平成 17 年 4 月 14 日に電気通信研究所、流体科学研究所及び日本原子力研究所(現在の日本原子力研究開発機構(JAEA))の間で締結した超高速コンピューティング分野における研究協力の推進に関する協定に基づき、通研の羽生教授による研究支援 及び 流体研兼務の菊池技術補佐員による JAEA 所有のスーパーコンピュータ計算支援等を得て実行したものである。

＜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＞

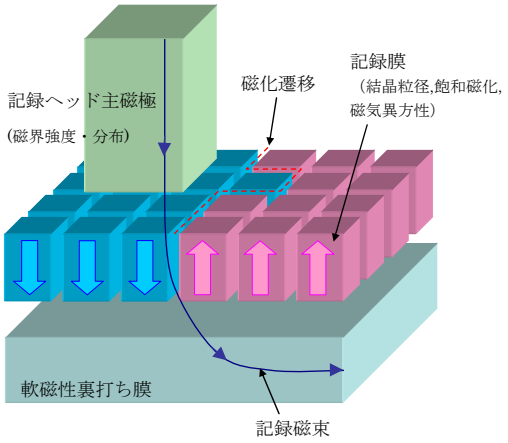
1977 年 3 月東京大学工学部原子力工学科卒。1979 年 3 月同大学院工学系研究科原子力工学専門課程修士課程修了。1997 年 3 月茨城大学大学院工学研究科博士後期課程情報・システム科学専攻修了、博士(工学)。2002 年 6 月、技術士(情報工学部門)。1979 年 4 月科学技術庁入庁。その後、通商産業省資源エネルギー庁、日本原子力研究所、金属材料技術研究所、国際原子力機関、東北大学電気通信研究所等で、原子力開発・安全審査・保障措置システム構築・ファジィ・ニューラルネットを利用した直感的シミュレーション研究、地球シミュレータ開発、IT プログラム研究開発実施体制の構築等に従事。現在、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・次長。

＜2006 年度の主な発表等＞

[1] 松岡, 菊池, “パッケージフローモデルによる原子炉システム過渡挙動の直感的理解法”, 日本機械学会 2006 年度年次大会講演論文集, Vol. 7, No. 3933, pp. 147-148, 9. 20, 2006
[2] 松岡, 菊池, “単純性を極限的に追及した実用流体シミュレータの基礎研究”, 東洋大学計算力学研究センター第２回計算力学シンポジウム, 3. 13, 2007.

次世代情報ストレージ寄附研究部門

高密度で高速な情報ストレージ技術の研究



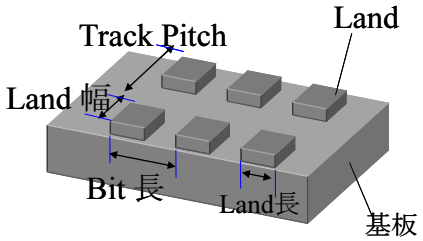


図１　記録ヘッド・２層垂直媒体のマイクロマグネティクス・モデル，および，図２　パターン媒体の概念図

高度情報化社会において，文字データ，画像，音声などのあらゆる情報に対するデータストレージの重要性は増大しており，その大容量化，高性能化への要求も強まっている．これに応えるべく，ハードディスクの面記録密度は，年率６０％といった速度で増大してきた．しかし，記録ビットの微細化に伴い，面内磁気記録方式では原理的な限界に達した．これに替わって，当所にて提案し率先して研究開発を進めてきた，単磁極ヘッドと二層媒体を用いた垂直磁気記録方式が採用され，この最初の製品が市場に出るに至った．

次世代情報ストレージ寄附研究部では，さらに高密度なテラビット級ストレージを実現するための，（１）磁気記録機構の基礎的な解明，（２）新しいアーキテクチャ（パターン媒体，シリンダ・ストレージなど ）の提案と検討を行っている．

1. 高密度磁気記録機構の解明

垂直磁気記録での高密度化をさらに推進するにあたっては，（１）記録しやすく，（２）一度記録された情報が熱的に安定であり，（３）ノイズが少なく分解能が高い，ことなどが必要である．分解能やノイズなどの特性は，記録ヘッドの磁界分布，記録媒体の磁気異方性，結晶粒径，交換相互作用などの条件の関数であるが，現状のモデルではいくつかの点で実測と一致しないという問題がある．そのため，どのような機構によって到達記録密度が決定しているかを，実験と理論的解析とを詳細に比較することによって明らかにする必要がある．当研究部門では，記録の基本的な物理機構までさかのぼり，マイクロ・マグネティクスなどの手法を活用して解析することにより，テラビット級ストレージを実現するための、媒体特性基礎的事項の把握，およびこれに基づく設計技術の構築をすすめている．特に，再生ヘッドについて，媒体の記録信号ビットから再生ヘッドに入り込む３次元的な磁束の流れを短時間で計算する新しい計算手法の実現に成功した．また，記録ヘッドについては，高密度化に必要な高い磁界出力を得るためのコイル位置等のヘッド構造の検討を進め，有効な構造案を得た．

2. パターン媒体の再生波形・信号処理の研究

テラビット級磁気ストレージでは，記録情報の熱安定性と，低ノイズ性を両立させるために，パターン媒体を用いることが有望である．再生信号の計算と信号処理検討より，垂直パターン媒体にて，従来の垂直連続媒体と比べて，エラーレートの小さい，より信頼性の高い特性が得るための条件として，パターンのリソグラフィーによる作製精度をビット間隔の 8%以下に抑えることが必須であることを明らかにしている．

3. テラビット高速シリンダ・ストレージの研究

将来のストレージシステムには高密度化とともにギガヘルツ級の高速化が必須であり，マルチアクセス性を効率よく実現するには，半径位置で線速度が変化するディスク媒体よりも，線速度が一定のシリンダ状媒体が装置形態として優れる可能性がある．また，記録領域を確保した小型化を図ることができるため，携帯用高速ストレージの可能性を有する．

高い記録分解能を引出す SPT 記録素子を搭載したシリンダ用傾斜パッド型ヘッドを設計・試作し，そのヘッド形状と浮上特性の関係探査，および R/W 特性の線速度依存性評価を通じた実浮上量の定量的関係について，知見を得た．

【職員】
教　　授　中村慶久（1987 年より）
客員助教授　鈴木　良夫（2004 年より）

【教授プロフィール】
昭和 43 年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了. 同年東北大学電気通信研究所助手, 昭和 46 年助教授を経て, 昭和 62 年より教授. 平成 13 年より平成 16 年まで同所長. 平成 16 年寄附研究部門教授，現在に至る．磁気記録の高密度化に関する研究，とくに磁気記録機構の解明と超高密度記録再生方式および記録再生デバイスの研究に従事．セルフコンシステントベクトル記録理論の確立と計算機シミュレーションによる解析，垂直磁化方式の研究などを行い，最近は大容量高速ストレージシステムの研究に興味を向けている. 平成 13 年 5 月映像情報メディア学会・丹波高柳賞功績賞．平成 14 年 9 月日本応用磁気学会・学会賞．平成 17 年 6 月産学官連携功労者表彰･経済産業大臣賞. 平成 15 年 5 月電子情報通信学会功績賞. 映像情報メディア学会，日本応用磁気学会，電子情報通信学会，情報処理学会，IEEE，各会員．IEEE 及び電子情報通信学会フェロー．映像情報メディア学会及び日本応用磁気学会名誉会員．

【主な研究発表】
1. Y. Suzuki, H. Aoi, H. Muraoka, and Y. Nakamura; “Fast calculation of read field from perpendicular recording medium using head characteristic matrix”, IEEE Trans. Magn., 42, No.10, pp.2276-2278, 2006.
2. Y. Nakamura; “Long journey in perpendicular magnetic recording – From the beginning to the future – (invited)“, 210th Meeting of the Electrochemical Society, Cancun, Mexico, Oct. 29-Nov.3, 2006.

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。

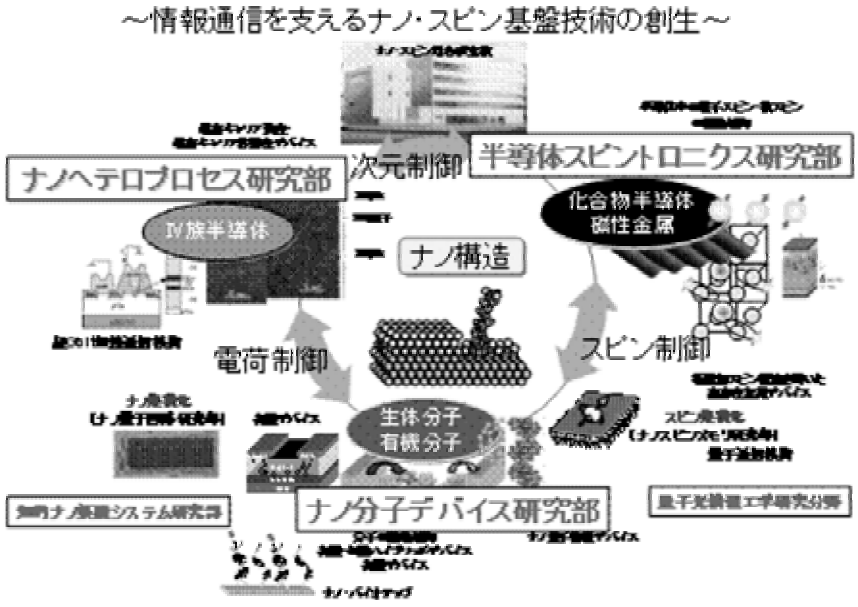
現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」の４研究部、すなわちナノヘテロプロセス研究部、半導体スピントロニクス研究部、ナノ分子デバイス研究部、ナノスピンメモリ研究部と施設共通部、及び知的ナノ集積システム研究部、量子光情報工学研究分野が入居し連携して研究を進めている。

ナノヘテロプロセス研究部では、Siの物性限界・微細化限界を超えて電荷を究極制御するために、表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロIV族半導体製作技術とナノ立体加工技術の確立と同時に、原子精度ナノヘテロデバイス製作プロセスを構築する。

半導体スピントロニクス研究部では、スピンを用いた演算・記憶・伝送機能のデバイス化、スピンを用いた量子情報処理機能の探索、量子構造における赤外・テラヘルツレーザ光発生、を中心に電荷・スピンの自由度を用いた情報通信機能を実現する。

ナノ分子デバイス研究部では、超分子、有機半導体やDNAなどの生体分子など、電子や光に多様に応答する分子を活用した新たな分子デバイスの開発や、分子認識をベースとした生体情報を物理信号に変換する生体分子情報処理デバイスの開発を行う。

ナノスピンメモリ研究部では、大容量不揮発スピンメモリを実現するために必要な、スピン材料技術、ナノプロセス技術、スピンデバイス技術、ナノスピンメモリ回路構成技術の研究開発を行う。



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 18 年度の研究成果のハイライトを記す。

大野・大野・松倉研究室（半導体スピントロニクス研究部） 電子の電荷とスピンを使う半導体スピントロニクス基盤技術の確立とその展開を目指して研究を進め、以下の成果を得た。(1) 垂直磁化容易軸を持つ強磁性半導体(Ga,Mn)As 薄膜チャネルの電界効果トランジスタを作製し、±5 MV のゲート電界印加で約 5 K のキュリー温度変調に成功した。また電界により保磁力も制御できることを見出した。（２） (Ga,Mn)As と n^+-GaAs トンネル接合からなるスピン注入 3 端子素子を試作し、バイアス最適化により 85%超の高スピン偏極電流注入を実証した。また、GaAs 量子井戸構造において核スピンダイナミクス（ラビ振動）の実時間光検出を実証した。（３）InAs/AlSb 量子カスケードレーザ(波長 6 μm)の動作温度を+100°C 以上まで向上させることに成功した。

室田・櫻庭研究室（ナノヘテロプロセス研究部） Si/歪 $Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si(100)ヘテロ構造中の上部 Si 層において、ヘテロ構造の細線状微細加工により、n 型と p 型の両方で電気伝導度が向上することを明らかにした。また、基板非加熱 ECR プラズマ CVD により実現したナノオーダ高度歪 Si エピタキシャル薄膜において、歪緩和抑制のために 500 °C 以下の低温プロセスが不可欠であることを明らかにした。さらに、歪 $Si_{0.8}Ge_{0.2}$／Si ヘテロ構造を用いた p 型共鳴トンネルダイオード試作において、量子井戸とスペーサの一部への高 Ge 比率層（x=0.3，3 nm 厚）の導入により、170-190 K の高温域でも負性抵抗特性が発現し、室温負性抵抗実現のためには高 Ge 比率化の推進が有効であることを明らかにした。以上のように、新規物性発現に必要となる IV 族半導体原子層制御ヘテロ積層構造の実現に関して重要な成果を得た。

庭野研究室（ナノ分子デバイス研究部） ①Al の陽極酸化過程と半導体微細加工技術を組み合わせることにより、位置制御された Al ナノドット及びナノギャップ電極を自己組織的に作製し、室温においてクーロンエネルギーが 2 eV にも及ぶクーロン階段の観測に成功した②赤外反射吸収分光法(IR-RAS)を用いて Co ナノドット触媒上のカーボンナノチューブ(CNT)成長過程のその場観察を行なった。その結果、CNT が成長するためには、金属／酸化物界面が重要な役割を果たしていることがわかった。③赤外分光法を用いてマイクロ流路内の DNA 分子の挙動を解析した。その結果、電気浸透流では DNA 分子と共に不純物や水和物が泳動するがわかった。この結果は、生体材料分離技術の再現性を向上させる上で重要な知見であり、赤外分光法を用いることによってはじめて明らかになった。また、電気泳動法によりそれらを分離できることも示された。

中島・佐藤研究室（知的ナノ集積システム研究部） 逆関数遅延モデルにおいて最適値問題の正解状態へ至る過程を明らかにした。系列連想動作をシナプス結合様式及び逆関数遅延と従来型のニューロンモデルの対を用いて可能にした。STDP 型シナプス学習効果を有す

る学習方式を KL 情報量の観点から提案した。次に大規模集積化を目指して逆関数遅延モデルをパルス方式で実装した。バースト発火現象まで再現できるモデルへの拡張を行いマイクロチップ化により動作を確認した。高温超伝導体固有ジョセフソン接合において、マルチフォトン励起による共鳴トンネル現象を確認した。ニューロ的手法の量子計算アルゴリズムを使った学習則についてその性能を検証した。磁束量子高速フーリエ変換 2 点 4 ビットのバタフライユニットにおいて 1.35GHz の 6 段パイプライン動作を数値解析により検証した。ストカスティックロジックによるニューロシステムでは、アップダウンカウンタの高速化により 18GHz でのシステム動作が見込めることになった。

枝松・小坂研究室（量子光情報工学研究分野）　1．半導体を用いた量子もつれ光子対の発生　量子相関をもった光子対の発生とその利用技術は、量子情報通信技術の根幹をなす重要な要素の一つである。本研究分野では、半導体結晶中の励起子分子における二励起子間のスピンの量子もつれ状態を利用し、短波長の量子もつれ光子対を発生する技術を開発した。本年度は、さらに高い量子もつれをもつ光子対の生成にも成功しその成果を Physical Review Letters 誌に発表した。　2．量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発　科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業の支援を受け、量子情報通信における通信距離を飛躍的に増大するための量子中継器の実現を目指し、単一光子がもつ偏光の量子情報を電子スピンへと転写する量子メディア変換素子の開発を進めている。本年度は、g 因子を制御した半導体量子井戸を用い、光の偏光状態のコヒーレンスを電子のスピン状態へと転写することに世界で初めて成功した。

池田准教授研究室（ナノスピンメモリ研究部）　MgO 障壁磁気トンネル接合(MTJ)の高出力化、スピン注入磁化反転書込み技術・メモリの開発を進めている。本年度は、高温熱処理による異種原子の拡散を抑制させた CoFeB(001)/MgO(001)/CoFeB(001)高結晶配向 MTJ を作製することで、室温 500％(低温 1010%)の世界最高の磁気抵抗比が得られ、高出力 MTJ の開発指針を得た。この高出力 MTJ 技術を応用した積層フェリ自由層 MTJ においては、単層自由層 MTJ よりも低い電流密度でスピン注入磁化反転が観測され、かつ高い熱安定性を示した。さらに、スピン注入磁化反転書込み RAM では世界最大規模の 2Mbit チップのメモリセルに本開発 MTJ 技術を適用し、動作実証を行った。

宮崎研究室（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 薄膜およびそれを電極として用いた強磁性トンネル接合の開発を行った。その結果、非常に高配向、高規則度かつ非常に平滑な表面を有する Co_2MnSi (001)エピタキシャルフルホイスラー合金電極の作製に成功した。さらに、それを電極とした強磁性トンネル接合において、Al-oxide 障壁のトンネル接合では世界最大の TMR 比 (570%) を観測することに成功し、ホイスラー合金の理想的なハーフメタル性を世界で初めて実験的に示した。また、種々の組成および結晶面方位のフルホイスラー合金薄膜の構造、磁気特性の詳細を明らかにした。特に、Co_2MnSi エピタキシャル薄膜において、磁気緩和定数が他の強磁性金属薄膜に比べて小さいことを見出し、スピン注入磁化反転デバイス材料として非常に有望であることを明らか

にした。

川崎研究室（金属材料研究所超構造薄膜化学研究部門）　「透明エレクトロニクス」の実現に向けて各研究機関で透明な酸化物半導体を用いた電子回路技術の開発が進められているが、従来の半導体に比べて完全な薄膜結晶を得ることが困難なことから、薄膜トランジスタの高性能化に必要な移動度の向上が阻まれてきた。今回高品質な薄膜界面に分極効果を利用して高移動度の 2 次元電子ガスを形成する技術を開発し、酸化物における量子ホール効果の観測に世界で初めて成功した。今回の成功は、透明薄膜トランジスタの高性能化を可能にし、「透明エレクトロニクス」の実現に道を開くだけでなく、高温超伝導酸化物をはじめとする多様な物性・材料群と量子ホール効果を組み合わせることで全く新しい物理現象発見への可能性を拡げるものである。

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）　化合物半導体におけるスピン軌道相互作用と微小強磁性体の磁気的相互作用に関して以下の成果を得た。(1)異なる量子井戸幅の InP / 5 nm or 10 nm $In_{0.8}Ga_{0.2}As$ / $In_{0.52}Al_{0.48}As$ 逆 HEMT 構造を用いたスピン軌道相互作用のゲート電圧制御を試み、井戸幅が 5nm 変化するだけで、スピン軌道相互作用のゲート電圧依存性が逆転することを実験的に初めて見出した。さらに、等しいゲート電圧制御範囲において、井戸幅が 10nm では 5nm と比較し 1.5 倍も広範囲にスピン軌道相互作用を制御可能であることを明らかにした。(2)サブミクロンサイズの 1 次元強磁性体 Fe リング配列において隣接リング間に働く磁気的相互作用を磁気光学 Kerr 測定法により評価し、リング端からの漏洩磁場とともにリング端に生成する局所磁区構造の交換エネルギーが重要であることを明らかにした。

尾辻･末光研究室（超ブロードバンド信号処理研究分野）　テラヘルツ帯コヒーレントＣＷ電磁波の発生・制御機能を有する集積化が可能なデバイス技術の開拓を目的として、半導体 2 次元電子システムのプラズモン共鳴励振と電磁波結合モード輻射を動作原理とする新規な室温動作高効率テラヘルツ帯フォトミキサーの開発を進めた。2 重回折格子型ゲート電極構造と縦モード共振器構造を特徴とするオリジナルな素子構造を導入し、GaAs 系ヘテロ接合材料・プロセスを用いて第 1 次試作を行った。素子の試作・設計はナノ・スピン実験施設の CAD システムを利用し、製造プロセスは外部委託した。試作チップを評価した結果、プラズモン共鳴によるテラヘルツ電磁波放射の室温動作に世界で初めて成功した。

水野研究室（ブロードバンド通信基盤技術研究分野）　当本研究分野では、ミリ波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。当該年度に、ミリ波帯パッシブ・イメージング用１Ｘ１０アレイ素子を開発し、そのシステム化を目指した研究、またミリ波パッシブ受信装置の医学応用に関する研究を進めた。

坪内・中瀬研究室（先端ワイヤレス通信技術研究分野）　5GHz 帯広帯域無線通信移動端末用 RF (Radio Frequency) フィルタの実現を目指し、BAW (bulk acoustic wave) デバイスの

研究開発を行った。MO-CVD (metalorganic chemical vapor deposition) 法で成膜した良好な半値幅を持つ AlN 膜を用いて、FBAR (film bulk acoustic resonator) の試作・評価を行った。また、バンドパスフィルタの実現に向け，FBAR 単体の共振器特性解析をシミュレーションにより行った。

伊藤（弘）・四方研究室（応用量子光学研究分野） 擬似位相整合表面放射型テラヘルツ（THz）波発生法と超高速光通信デバイスとの融合技術により，超高繰り返しのパルス動作から連続（CW）THz 波発生まで可能な小型・高機能な周波数可変 THz 波発生デバイスを検討した。まず、2 波長の光通信波長帯光半導体レーザ、外部光変調器および光増幅器を用いて、高ピーク出力・狭スペクトル特性を有する波長可変 2 波長光パルス発生を実現した。この 2 波長を周期分極反転 $LiNbO_3$ 結晶に基づく THz 波発生デバイス中で差周波混合することにより、周波数可変性（1–3THz 領域）と狭スペクトル特性を有する、高繰り返し（繰返し>1MHz）の THz 波パルス発生に成功した。

舛岡研究室（固体電子工学研究分野） 従来の集積回路の高性能化の限界を打ち破ることを目標として、3 次元デバイスである SGT（Surrounding Gate Transistor）および SGT を用いた集積回路の研究を進めた。具体的には、高集積且つ低消費電力動作を同時に実現する NAND-type DRAM-on-SGT を提案し、その構造を試作可能であることを実証した。また、シリコン柱試作プロセスの提案を行い、ナノスケールのシリコン柱を試作可能であることを実証した。

青井・島津技術開発室（21 世紀情報通信研究開発センターストレージ分野） 本分野では、文部科学省科学技術試験研究（IT プログラム）「超小型大容量ハードディスクの開発」を受託し、1 テラビット毎平方インチ(Tbits/inch^2)以上の超高密度記録の要素技術開発等を目標に研究を進めている。将来の超高分解能ディスクの基礎研究として、これまでに、レーザ干渉リソグラフィ法を用いて作製した CoPt/Ru ドットの磁化機構に関する基礎研究を行ってきており、CoPt/Ru 微細ドットが安定な単磁区構造と高い熱安定性を有し、保磁力も制御できることを明らかにしている。平成 18 年度は、ナノ・スピン棟における高分解能 EB 露光装置を用い、磁性ドットの微細化と狭ピッチ化に必要となるマスク作製の基礎実験を継続して行った。

大見研究室（未来科学技術共同研究センター） 3 次元構造蓄積型動作の MOSFET の動作機構を明らかにし、従来の反転型動作に比べて 2 倍以上の高速動作が可能であることを示した。3 次元構造蓄積型動作（Accumulation-Mode）においては、ON 動作時と OFF 動作時のゲート絶縁膜電界が逆極性となるため、同極性の電界が印加される従来の反転型に比べ、同じ ON 時の絶縁膜電界において誘起可能なキャリア密度が増大する。さらに、チャネル厚さ全体が伝導に寄与することと共に、チャネル領域の垂直方向電界が緩和されることによる移動度の向上などにより、電流駆動能力が向上し、動作速度が 2 倍以上向上することを明らかにした。

高橋・角田研究室（電子工学専攻電子物理工学分野）　電子線アシストによって CVD (Chemical Vapor Deposition) 成長させたカーボンピラーを Ar イオンミリングにおけるハードマスクとして用いることにより、世界最小素子径 30nm を有する垂直通電型巨大磁気抵抗素子（CPP-GMR 素子）の形成を可能とした。今回はこれを用いてスピン注入磁化反転、ならびに磁気抵抗効果測定のデモンストレーションを行った結果、素子径 66 nm を有する CPP-GMR 素子においてスピン注入磁化反転の観測に成功した。そして現行試作素子径 100 nm 程度に対し、更なる大容量化 SpinRAM の実現可能性を示した。

山口研究室（電気･通信工学専攻電磁理論分野）　GHz 帯用として開発してきたマイクロパターン化磁性膜ならびに Fe 系微粒子膜を用いて以下のデバイス応用を展開できた。まず、2GHz 帯で動作するオンチップ集積化磁性薄膜インダクタを 5 種類試作し､磁性膜上のスリットとコイル辺とが対向するシフト型において Q=20.7 を得た。これは GHz 帯用の磁性薄膜インダクタとしては過去に例をみない高い値である。次に、市販 LSI チップのパッケージ上部を化学的に溶解してチップ直上を開空間にさらし、アモルファス CoZrNb、FeCo-AlNO グラニュラ薄膜、および複合型微粒子材料を成膜した。チップ上で高周波磁界強度を計測し､800MHz 帯で最大 6.7dB の抑制効果が得られていることが明らかとなった。更に、再配線層基板(10 mm 角，動作周波数 40 MHz，ワンチップマイコン)上に 1.0 μm 厚の軟磁性アモルファス薄膜あるいは Fe 系微粒子膜を集積化し､チップ動作時の近傍磁界計測から Fe 系複合磁性微粒子は 10 MHz～2.0 GHz の周波数帯域で 3.0～6.7 dB の抑制効果が認められ、磁性膜の良さを実証することが出来た。以上は EMC 協調統合設計におけるパッケージ・チップレベル集積化ノイズ抑制技術に新しい解を与えうるものとして注目されている。

佐橋･土井研究室（電子工学専攻超微細電子工学講座）　単一のナノ磁性体ピラーにおいてスピントランスファートルク（STT）に起因する直流電流駆動によるマイクロ波域の発振が得られることが報告され、二つのピラーを用いたコヒーレント位相によるマイクロ波出力の増大が報告されている。本研究ではトップダウンプロセスによる複数個のピラーからのマイクロ波発振の位相同期を調べるために、複数のコンタクトを作製することを目的として 100nm 径で間隔 500nm のマルチコンタクトの作製方法について検討した。EB 露光装置を用いて作製した SiOx 上のレジストのパターンを SEM および AFM によって評価した結果、約 150nm 径の 4000×72 個の良好なパターン形成が確認できた。このレジストパターンを基に SiOx のミリング方法を確立し､STT マイクロ波発振の位相同期について検討を行う。

遠藤准教授研究室（プラズマ電子工学研究分野）　ハローインプランテーション技術を用いた 30nm ボディ厚さ 30nm ゲート長のダブルゲート（DG-）MOSFET の特性を解析し、ハロー濃度が、ボディポテンシャルに与える影響を明らかにした。この結果より、DG-MOSFET のしきい地の設計、低消費電力化と駆動力の向上を実現する上で、当該ハロー構造のデザイン技術は重要であることを示した。　さらに、MOS Current Mode Logic（MCML）におけるしきい値電圧ばらつきの許容値のガイドラインを提案した。この許容

しきい値電圧ばらつきのガイドラインより、MCML の安定性を改善するためには NMOS のしきい値電圧ばらつきを抑制することが有効であることを明らかにした。

石山准教授研究室（生体電磁情報研究分野）　高周波キャリア型超高感度薄膜磁界センサの感度向上のためには、用いる磁性体の異方性を厳密に制御する必要があり、そのための手法の一つとして寸法を正確に制御した薄膜磁性体を用いる手法について検討を行った。その結果、反磁界強度を指標としてセンサ素子寸法設計が可能であること、また、その設計に基づいて試作したセンサ素子が良好な特性を有することを明らかにした。

伊藤(隆)・小谷研究室（電子工学専攻固体電子工学分野）　低温ポリシリコン薄膜トランジスタ（LTPS-TFT）の高性能化のために、DPSS-CW レーザを用いたシリコン薄膜結晶化を行い、このレーザ結晶化シリコン薄膜を用いた薄膜トランジスタ（TFT）の研究を進めた。レーザ結晶化において、レーザビーム・スポットをスキャン方向に引き伸ばし結晶化時間を保つことで、結晶グレインが大きく（～1.6 μm）かつ(100)配向性の高いシリコン薄膜が得られた。また結晶化のレーザスキャン方向依存性の検討を行い、再結晶化面が膜厚方向で傾くことにより、スキャン方法により結晶性が変化することを示した。この結晶化シリコン薄膜を用い、TFT 試作を行い、電子移動度 400 $cm^2/V \cdot s$ を超える、高性能薄膜トランジスタを作製することができた。

江刺・小野・田中（秀）研究室（ナノメカニクス専攻）　パッドが狭ピッチ化し、ウエハが大口径化している LSI のウエハレベルバーンイン検査に対応するプローブカードを、MEMS 技術を用いて試作した。先端にピラミッド形のコンタクタを有する幅 100 μm の Ni カンチレバーを、貫通配線を有する低熱膨張率の LTCC（low temperature cofired ceramic）基板の上に多数、アレイ上に配置した。

畠山・金子研究室（プラズマ基礎工学分野）　プラズマ CVD による単層カーボンナノチューブ（SWNTs）形成に関する研究を行い、顕微ラマンシステムによってその評価を行った。その結果、SWNTs 成長基板に流入するイオンエネルギー、及びプラズマ中の原子状水素濃度が、形成される SWNTs の結晶性に大きな影響を与えていることが明らかとなった。また、水中アーク放電プラズマを用いた新機能性カーボンナノチューブ形成に関する研究では、溶媒の種類が形成物質の形状に大きな変化をもたらすことがラマンスペクトル形状から確認された。一方、アルカリ金属、磁性微粒子、生体分子等を用いた SWNTs の機能化に関する研究においては、異種物質の内包を示すラマンスペクトルの変化が観測され、プラズマ中イオン照射法による機能性物質内包 SWNTs の形成、及びそれらにおいて発現する新たな電子輸送現象の観測に成功している。これら機能性物質内包 SWNTs 形成において、プラズマ中に印加する電界によってイオンの運動を制御することが重要であることも明らかになっている。

板谷研究室（応用化学専攻電気化学分野）　平成 18 年度は、有機トランジスタに関して、下記の三点、庭野研究室と共同で研究を行った。1)有機トランジスタ用の SiO_2/Si(100)基板

の SiO_2 の静電容量の変位電流法による測定、及び 2)フラーレンを用いた有機トランジスタ作製を行った。これらの研究結果、本研究室で行っている有機トランジスタ研究に大きく貢献した。

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

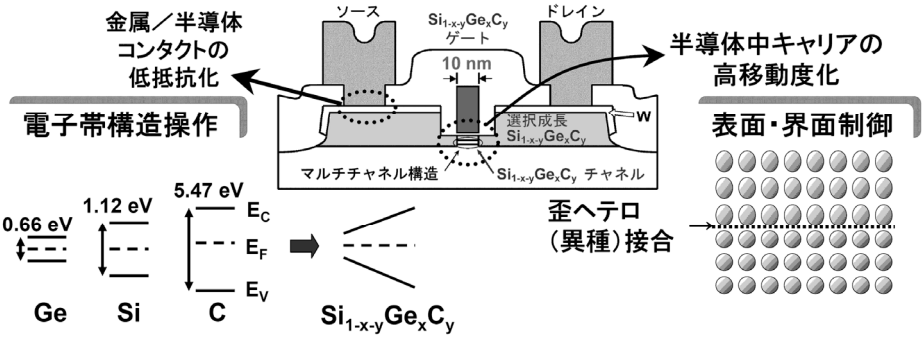


図１．ナノヘテロ人工 IV 族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用.

＜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**）

＜2006 年度の主な成果＞

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

１．ナノヘテロ人工 IV 族半導体製作技術

Si_2H_6 ガスを原料ガスに用いたキャッピング Si 成長により P の表面偏析現象を抑制した P 原子層ドープ Si／$Si_{1-x}Ge_x$ ヘテロ構造において，多くの P 原子は界面付近の厚さ 2 nm 以下の極薄領域に分布し，局所 P 濃度が $3x10^{21}$ cm^{-3}（原子密度 6%）に達する超高濃度ドーピングに成功した。さらに，このような試料においては，従来知られていた高濃度 P ドープ Si より高い Hall 移動度を示すことも見いだした。また，基板非加熱下での ECR Ar プラズマ照射下での SiH_4 反応により実現した高平坦歪緩和 Ge 上へのナノオーダ高度歪 Si エピタキシャル薄膜において，500 ºC 以上の熱処理により歪緩和が生じることを見いだし，ナノメータオーダの高度歪導入 IV 族半導体ヘテロ構造形成において 500 ºC 以下の低温プロセスが不可欠であることを明らかにした。このように，高品質ナノヘテロ人工 IV 族半導体構造の実現を目指し，そのために不可欠となるナノオーダ厚さの異種薄膜および超高濃度不純物ドープ薄膜の積層構造とその界面構造の安定性について研究を進めている.

２．ナノヘテロデバイス製作プロセス

歪 $Si_{1-x}Ge_x$／Si ヘテロ構造を用いた p 型共鳴トンネルダイオード試作においては，量子井戸とスペーサの一部への高 Ge 比率層（x=0.3，3 nm 厚）の導入により，170-190 K の高温域でも負性抵抗特性が発現し，IV 族半導体負性抵抗デバイスの室温動作実現のために高 Ge 比率の推進が有効であることを明らかにした。また，Si/歪 $Si_{0.6}Ge_{0.4}$/Si(100)ヘテロ構造において，細線状微細加工により，$Si_{0.6}Ge_{0.4}$ 層では p 型電気伝導度は減少し，n 型電気伝導度はほとんど変化しないのに対し，上部 Si 層では n 型と p 型の両方で電気伝導度が向上することを明らかにした。さらに，細線幅 110 nm 微細加工では，歪緩和により $Si_{0.6}Ge_{0.4}$ 層の価電子帯端が約 40 meV 下方シフトすることを見いだした。

＜職員＞

教　授	室田　淳一	(1995 年より)
助教授	櫻庭　政夫	(2002 年より)
助　手	竹廣　　忍	(2002 年より 2006 年 9 月まで)

＜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．半導体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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] 竹廣忍，櫻庭政夫，室田淳一，土屋敏章，“B ドープ SiGe 選択 CVD 成長により形成された極浅ソース・ドレインと高 Ge 比率歪 SiGe ヘテロチャネルを有する高性能 pMOSFET”，電気学会論文誌 C，電気学会，Vol.126, No.9, pp.1079-1082, (2006).

[2] K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, “Thermal Effect on Strain Relaxation in Ge Films Epitaxially Grown on Si(100) Using ECR Plasma CVD”, Thin Solid Films, Vol.508, pp.143-146, (2006).

[3] J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, “Strain Relaxation by Stripe Patterning in Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Hetereostructures”, *ibid*, Vol.508, pp.239-242, (2006).

[4] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, “Atomically Controlled Processing for Group IV Semiconductors by Chemical Vapor Deposition”（**Invited Review Paper**), Jpn. J. Appl. Phys., Vol.45, No.9A, pp.6767-6785, (2006).

[5] J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, “Strain Control of Stripe Patterned Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si Heterostructures”, ECS Trans., Vol.3, No.7, pp.421-427 (2006).

[6] K. Ishibashi, M. Sakuraba, J. Murota, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, “A Study on B Atomic Layer Formation for B-Doped $Si_{1-x}Ge_x$(100) Epitaxial Growth Using Ultraclean LPCVD System”, *ibid*, Vol.3, No.7, pp.861-866, (2006).

[7] J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, “Strain control and electrical properties of stripe patterned Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) heterostructures”, Semicond. Sci. Technol., Vol.22, pp.S33-S37, (2007).

[8] R. Ito, M. Sakuraba and J. Murota, “Hole tunneling properties in resonant tunneling diodes with Si/Strained $Si_{0.8}Ge_{0.2}$ heterostructures grown on Si(100) by low-temperature ultraclean LPCVD”, *ibid*, Vol.22, pp.S38-S41, (2007).

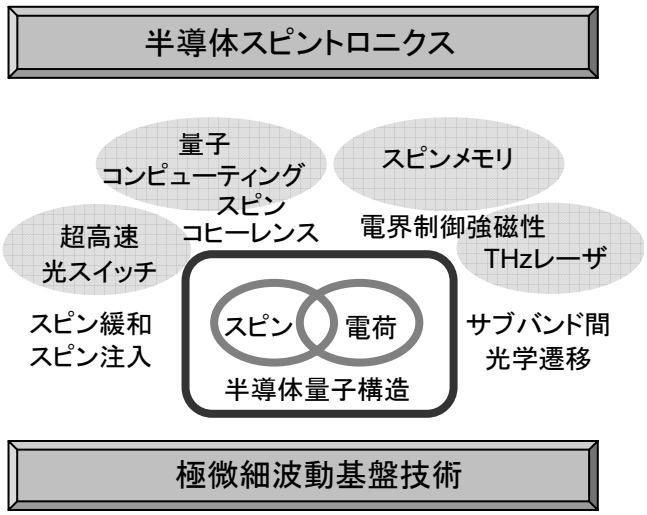
[9] K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, “Epitaxial growth of highly strained Si on relaxed Ge/Si(100) using ECR plasma CVD without substrate heating”, *ibid*, Vol.22, pp.S42-S45, (2007).

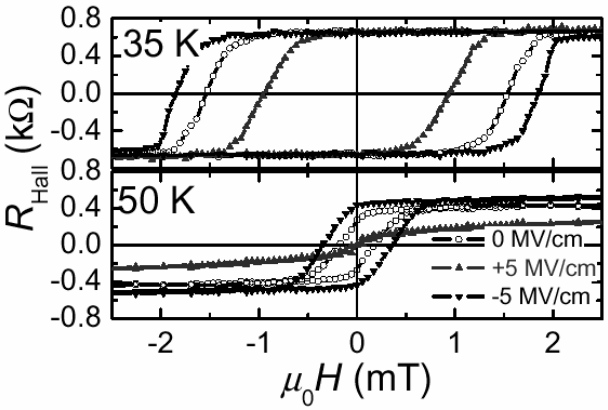
[10] Y. Chiba, M. Sakuraba and J. Murota, “Epitaxial growth of P atomic layer doped Si film by alternate surface reaction of PH_3 and Si_2H_6 on strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) in ultraclean low pressure CVD”, *ibid*, Vol.22, pp.S118-S122, (2007).

他　学術雑誌 16 件，国際会議発表論文 24 件

半導体スピントロニクス研究部

極微細波動基盤技術：
半導体スピントロニクスからテラヘルツ光の発生まで





(Ga,Mn)As をチャネル層として持つ電界効果トランジスタにおいて、外部電界による強磁性の変調を示した実験結果の例。

＜分野の目標＞

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の研究を進めている。特に、スピンと電荷の自由度を使った半導体スピントロニクス、今後の情報通信に必要な THz コヒーレント光源の研究を精力的に行っている。

具体的には、分子線エピタキシ法で成長した GaAs/AlAs、InAs/GaSb、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量子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 量子井戸中のサブバンド間の光学遷移によるレーザ光源開発の研究に力を注いでいる。これらの研究によって、固体材料中のスピンを用いたユニバーサルなメモリや現在のコンピュータが不得意な計算を桁違いに高速に実行できる量子コンピューティングなどの新しいデバイス・システムの実現を目指している。

＜2006 年度の主な成果＞

- 強磁性半導体(Ga,Mn)As をチャネル層として持つ電界効果トランジスタにおいて電界印加による強磁性の電気的制御に成功した(文献 5)。
- 20%にも及ぶ高濃度 Mn を持つ(Ga,Mn)As 超薄膜の結晶成長に成功した(文献 1)。
- 85%を越える高スピン偏極の電気的注入が可能な強磁性半導体/非磁性半導体の 3 端子素子を開発した(文献 8)。
- (In,Ga)As 量子ドット中の電子数を 0 個から 100 個以上からまで連続的に変調することに

成功した(文献 2)。

・InAs/AlSb 量子カスケードレーザ(波長 6 μm)の動作温度を+100°C 以上まで向上させることに成功した。

・プラズマアシスト分子線エピタキシ法を用いて ZnO ホモエピタキシャル成長を行い、基板温度及び分子線強度比などの条件を検討した結果、原子層オーダで平坦な薄膜を得ることに成功した（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
非常勤研究員　李 永珉

＜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。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。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] D. Chiba, Y. Nishitani, F. Matsukura, and H. Ohno, "Properties of $Ga_{1-x}Mn_xAs$ with high Mn composition (x > 0.1)," Applied Physics Letters, Vol. 90, pp. 122503(1)-(3), Mar. 2007.

[2] T. Kita, D. Chiba, Y. Ohno, H. Ohno, "(In, Ga)As gated-vertical quantum dot with an Al_2O_3 insulator,"Applied Physics Letters, Vol. 90, pp. 062102(1)-(3), Feb. 2007.

[3] H. Ohno, "Physics and materials of spintronics in semiconductors," physica status solidi (c), Vol. 3, pp. 4057-4061, Jan. 2007.

[4] T. Yamada, D. Chiba, F. Matsukura, S. Yakata, and H. Ohno, "Magnetic anisotropy in (Ga, Mn)As probed by magnetotransport measurements," physica status solidi (c), Vol. 3, pp. 4086-4089, Jan. 2007.

[5] D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field Control of Ferromagnetism in (Ga,Mn)As," Applied Physics Letters, Vol. 89, pp. 162505(1)-(3), Oct. 2006.

[6] H. Xu, K. Ohtani, M. Yamao, and H. Ohno, "Surface Morphologies of Homoepitaxial ZnO on Zn- and O-polar Substrates by Plasma Assisted Molecular Beam Epitaxy," Applied Physics Letters, Vol. 89, pp. 071918(1)-(3), Aug. 2006.

[7] D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electrical Magnetization Reversal in Ferromagnetic III-V Semiconductors," Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 39, pp. R215(1)-(11), Jun. 2006

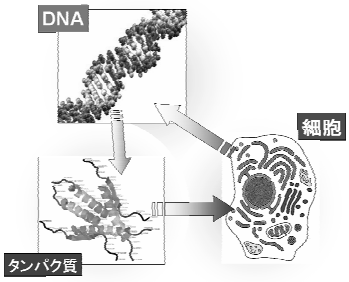
[8] M. Kohda, T. Kita, Y. Ohno, F. Matsukura, and H. Ohno, "Bias Voltage Dependence of the Electron Spin Injection Studied in a Three-terminal Device Based on a (Ga,Mn)As/n^+-GaAs Esaki Diode," Applied Physics Letters, Vol. 89, pp. 012103(1)-(3), Jul. 2006.

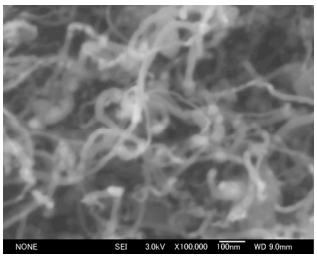
[9] M. Yamanouchi, D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, “Current-assisted Domain Wall Motion in Ferromagnetic Semiconductors,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 5A, pp. 3854-3859, May 2006.

[10] H. Ohno, "Ferromagnetic Semiconductors for Spintronics," Physica B, Vol. 376-377, pp. 19-21, Apr. 2006.

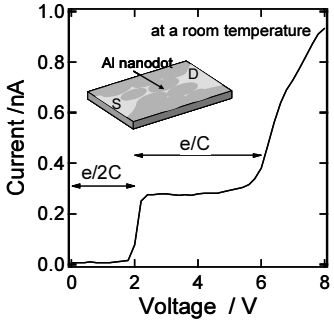
ナノ分子デバイス研究部

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





Coナノドット上にメタノールを原料として成長させたCNT



クーロンエネルギーが2 eVに及ぶクーロン階段の室温観測

１．分野の目標

情報デバイスにおいて要求される処理能力は年々増加の一途を辿っており、今後、より大量の情報を高速に処理していくためには、今までの無機半導体を中心としたデバイスだけでなく、有機半導体さらにはDNA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・超分子を活用した新たなナノ分子デバイスの開発が必要となる。また、今後ますますその重要性が増すゲノム情報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。

２．過去1年間の主な研究成果

（1）赤外分光法を用いたマイクロ流路内の生体材料の挙動解析

半導体微細加工技術を駆使し、深さ2 μm、幅200 μmの流路をシリコンプリズム上に作製し、その流路内のDNA分子の挙動を解析した。その結果、電気浸透流ではDNA分子と共に不純物や水和物が泳動するがわかった。つまり、電気浸透流による生体材料の分離にその水和物や不純物が影響を与える可能性があることを示しており、これは、生体材料分離技術の再現性を向上させる上で重要な知見である。この結果は、蛍光色素を用いたような手法ではDNAのみの泳動位置を検出しているので判定できないものであり、赤外分光法を用いることによって明らかになった。また、電気泳動法によりそれらを分離できることも示された。

（2）赤外分光法によるカーボンナノチューブ成長過程のその場観察

カーボンナノチューブ(CNT)は、半導体材料や配線材料、2次電池の電極材料として広範囲の分野で注目されているが、その詳細な成長機構は解明されていない。特に、触媒金属との原料ガスとの反応についてはほとんど解明されていない。そこで、赤外反射吸収分光法(IR-RAS)を用いてコバルトナノドット触媒上のCNT成長過程のその場観察を行なった。その結果、CNTが成長するためには、金属／酸化物界面が重要な役割を果たしているということを示している。これは、酸素を適量導入することによりCNT成長が促進されるというスーパーグロース法の報告と一致する。この結果は、これまでの常識を覆すものであり、CNT成長メカニズムの解明やCNT成長技術の進歩を直接的促すものである。

（3）自己組織化現象を利用した室温動作単電子デバイスの作製

シリコン基板上のアルミニウム薄膜の陽極酸化によるポーラスアルミナ薄膜形成過程を解明し、自己組織的にシリコン基板上へのナノ構造を創製することを可能にした。さらに、この自己組織化過程と半導体微細加工技術を組み合わせることにより、位置制御されたアルミニウムナノドット及びナノギャップ電極を自己組織的に作製した。その結果、クーロン階段の観測を室温にて成功した。そのクーロンエネルギーは、2 eV 程度であり、これまで報告されている値よりも非常に大きい値を示した。このような大きな値はこれまでに報告例がなく本研究が初めてである。これは、トップダウンプロセスとボトムアッププロセスとを組み合わせることにより、トップダウンプロセスのみにでは作製できないような室温動作ナノデバイスを任意の場所に作製できることを示している。また、2 eV にも及ぶクーロンエネルギーの発現は、これまで培われてきたシリコンテクノロジーと SET とが融合可能であることを示唆している。

３．職員

教　授　　庭野　道夫　(1998 年より)
助　教　　木村　康男　(1999 年より)
助　教　　平野　愛弓　(2006 年より)

４．教授のプロファイル

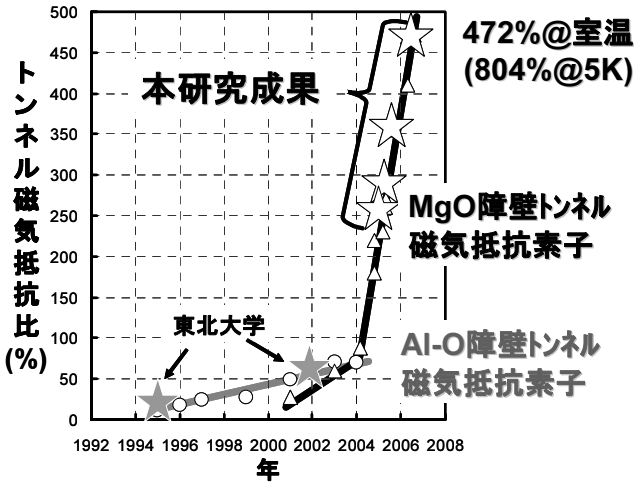
昭 55 東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。昭 55 宮城教育大助手,昭 61 東北大学助手（電気通信研究所）、昭 63 助教授、平 10 教授。これまで固体光物性、半導体表面物性、半導体材料工学,表面化学の研究に従事。最近は、赤外分光による表面物性の研究や分子デバイスの開発研究に力を注いでいる。応用物理学会、表面科学会、日本物理学会、電気情報通信学会、電気学会などの会員。

５．過去１年間の主な研究発表論文

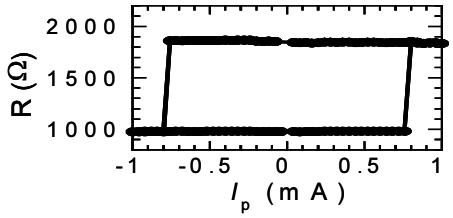
1. Ko-ichiro Miyamoto, Kota Onodera, Ryo-taro Yamaguchi, Ken-ichi Ishibashi, Yasuo Kimura and Michio Niwano, "Hydration of single-stranded DNA in water studied by infrared spectroscopy", Chemical Physics Letters **436**(1-3), (2007) 233-238.
2. Yasuo Kimura, Kazumasa Itoh, Ryo-taro Yamaguchi, Ken-ichi Ishibashi, Kingo Itaya, and Michio Niwano, "Room-temperature observation of a Coulomb blockade phenomenon in aluminum nanodots fabricated by an electrochemical process", Applied Physics Letters **90**(9), (2007) 93119.
3. Yasuo Kimura, Takeru Numasawa, Mizuhisa Nihei, and Michio Niwano, "Infrared reflection absorption spectroscopy investigation of carbon nanotube growth on cobalt catalyst surfaces, Applied Physics Letters **90**(7), (2007) 73109.
4. Satoshi Ogawa, Yasuo Kimura Michio Niwano, and Hisao Ishii, "Trap elimination and injection switching at organic field effect transistor by inserting an alkane (C44H90) layer", Applied Physics Letters **90**(3), (2007), 33504.
5. F. Hirose, M. Shinohara, Y. Kimura, and M. Niwano, "SiH4 adsorption on SiGe(001)", Surface Science **601**(4) (2007) 1123.
6. Hirose F, Kurita M, Kimura Y, and Niwano M, "Photocatalytic oxidation of natural organic adsorbates on anatase TiO_2 films observed by infrared adsorption spectroscopy with a multiple internal reflection geometry", Applied Surface Science **253**(4) (2006) 1912.
7. F. Hirose, Y. Kimura, M. Shinohara and M. Niwano, "Hydrogen desorption from SiH_4 adsorbed SiGe(001) surfaces", Thin Solid Films, **508**(1-2) (2006) 152.
8. Ko-Ichiro Miyamoto, Ken-Ichi Ishibashi, Ryo-Taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, Hisao Ishii, and Michio Niwano, "In situ observation of DNA hybridization and denaturation by surface infrared spectroscopy", Journal of Applied Physics **99**(9), (2006) 94702.
9. Yasuo Kimura, Hirokazu Shiraki, Ken-ichi Ishibashi, Hisao Ishii, Kingo Itaya, and Michio Niwano, "In-situ, real-time infrared spectroscopy study of formation of porous anodic alumina on Si",Journal of the Electrochemical Society **153**(5), (2006) C296-C300.

ナノスピンメモリ研究部

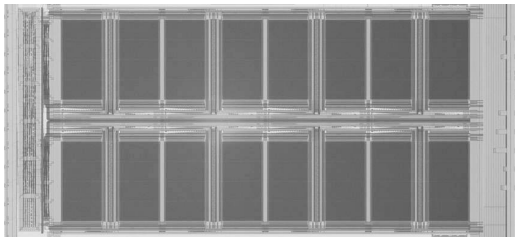
スピンを用いたナノサイズデバイス・メモリの研究



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



スピン注入磁化反転の例.



2Mb スピン注入磁化反転型メモリ.

＜分野の目標＞

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

＜2006 年度の主な成果＞

トンネル磁気抵抗(TMR)素子の高出力化と、スピン情報の書込み手法であるスピン注入磁化反転に関し大きな成果を得た。具体的には、高品質な MgO/CoFeB TMR 素子において室温で世界最大である 472%の磁気抵抗比を実現した。また、TMR 素子構造を最適化することによって低電流密度でのスピン注入磁化反転に成功し、低消費電力スピン書込みの不揮発性メモリ実現の可能性を見出した。さらに 2Mb のスピン注入磁化反転型メモリを試作した。これらの成果は、情報通信に大きなパラダイムシフトを引き起こす新たな要素技術として注目されている。以下、主な成果を述べる。

1. MnIr ピニング層のない保磁力差型 MgO 障壁 MTJ (magnetic tunnel junction)素子を作製・評価し、世界最高の TMR 比(室温で 472%、低温で 804%)を実現した(文献 1, 3)。
2. MnIr ピニング層を用いた交換バイアススピンバルブ型 MgO 障壁 MTJ 素子を作製・評価し、室温で 361%、低温で 578%の TMR 比を実現した(文献 5)。
3. MnIr 反強磁性層と反平行結合膜スペーサーに Ru を用いた交換バイアス型 MgO 障壁 MTJ における高温熱処理による TMR 比の減少は MgO 障壁中への Mn や Ru の拡散に起因することを明らかにした(文献 3)。
4. MgO 障壁 MTJ 素子において、強磁性電極/MgO 障壁の配向性と TMR 効果との相関を明らかにし、巨大 TMR 効果の安定導出のための積層構造ならびにプロセス条件を明確

化した(文献 1, 7)。

5. MgO 障壁 MTJ 素子において、CoFeB/Ru/CoFeB 結合膜フリー層の結合エネルギーの大きさの違いが磁化反転の閾値電流密度 J_c に与える効果をはじめて系統的に明らかにした。高い熱安定性を確保し閾値電流密度を低減するためには、反平行結合の強い積層フェリフリー層を用いることが有効であることを示した(文献 4)。
6. 低電力書込みと高出力読出しが可能な MgO 障壁 MTJ 素子をメモリセルに用いた世界最大規模の 2 メガビットのスピン注入磁化反転型 RAM チップを試作し、1.8V の電源電圧で書込み時間 100 ナノ秒, 読出し時間 40 ナノ秒でのメモリセル動作を確認した(文献 2)。

＜職員名＞

准教授　池田 正二（2006 年より）

＜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。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] S. Ikeda, J. Hayakawa, Y. M. Lee, F. Matsukura, and H. Ohno, “Dependence of tunnel magnetoresistance on ferromagnetic electrode materials in MgO-barrier magnetic tunnel junctions”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vo. 310, pp. 1937-1939, Mar. 2007.

[2] T. Kawahara, R. Takemura, K. Miura, J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. Lee, R. Sasaki, Y. Goto, K. Ito, T. Meguro, F. Matsukura, H. Takahashi, H. Matsuoka, and H. Ohno, “2 Mb spin-transfer torque RAM (SPRAM) with bit-by-bit bidirectional current write and parallelizing-direction current read,” in Proc. IEEE Int. Solid-State Circuits Conf. Dig. Tech. Papers, pp. 480–481, Feb. 2007.

[3] J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. M. Lee, F. Matsukura, and H. Ohno, "Effect of High Annealing Temperature on Giant Tunnel Magnetoresistance Ratio of CoFeB/MgO/CoFeB Magnetic Tunnel Junctions", Applied Physics Letters, Vol. 89, pp. 232510(1)-(3), Dec. 2006.

[4] J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. M. Lee, R. Sasaki, T. Meguro, F. Matsukura, H. Takahashi, and H. Ohno, "Current-Induced Magnetization Switching in MgO Barrier Based Magnetic Tunnel Junctions with CoFeB/Ru/CoFeB Synthetic Ferromagnetic Free Layer", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, pp. L1057(1)-(4), Oct. 2006.

[5] Y. M. Lee, J. Hayakawa, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Giant Tunnel Magnetoresistance and High Annealing Stability in CoFeB/MgO/CoFeB Magnetic Tunnel Junctions with Synthetic Pinned Layer", Applied Physics Letters, Vol. 89, pp. 042506(1)-(3), Jul. 2006.

[6] T. Sakaguchi, H. Choi, S. J. Ahn, T. Sugimura, M. Park, M. Oogane, H. Oh, J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. M. Lee, T. Fukushima, T. Miyazaki, H. Ohno, and M. Koyanagi, "Fabrication and Evaluation of Magnetic Tunnel Junction with MgO Tunneling Barrier", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, pp. 3228(1)-(5), Apr. 2006.

[7] S. Ikeda, J. Hayakawa, Y. M. Lee, T. Tanikawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "Tunnel Magnetoresistance in MgO-barrier Magnetic Tunnel Junction with bcc-CoFe(B) and fcc-CoFe Free Layers", Journal of Applied Physics, Vol. 99, pp. 08A907(1)-(3), Apr. 2006.

３．６　ブレインウェア実験施設の目標と成果

東北大学電気通信研究所附属ブレインウェア実験施設は，平成１６年４月の研究組織の改組・再編と同時に新設された。その目的は，電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを，世界に先駆けて実現する基盤技術を創製することにある。本施設は，実世界コンピューティング研究部，ブレインアーキテクチャ研究部，知的ナノ集積システム研究部と平成１９年度に参画した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。



次に各研究部の目的と目標を示す。

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

ブレインアーキテクチャ研究部：配線数増大に起因する性能劣化・電力消費増大が超微細化 VLSI 実現において益々重要となる。そこで本研究部では，大局的配線を極力削減する新アーキテクチャとしてロジックインメモリ構造とその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，次世代超性能 VLSI の実現を目指す。

知的ナノ集積システム研究部：知的情報処理システムの確立，知的集積回路の CAD とその製作，人工集積神経回路網の解析と応用，並びにそれに向けた新しいデバイスの開発を目標としている。それに伴い，大規模集積回路の構成全般にわたる設計・製作・検査から

組立てまでの新概念に基づく基盤技術の開発，構成的研究手法によるロバストなアクティブブレインライクシステムの開発研究により，知的ナノ集積システムの構築を目指す。

マイクロアーキテクチャ研究部：次世代ワイヤレス・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・低消費電力化の実現を行う。

以下に各研究部ごとの本年度の研究成果のハイライトを記す。

矢野研究室

複雑に時間変化する音声を，高精度で分析・合成する信号処理技術を開発した。この技術は，信号の局所定常性を仮定する従来手法では困難だった日常会話の非定常的な音響特性を正確に再現できる点に特徴がある。また，随意運動における運動指令の階層的変換過程に着目し，身体の運動学的情報・動力学的情報に基づく自律分散的制御方法の有効性を明らかにした。この手法は，環境との相互作用により制御に必要な拘束条件を生成・充足することで目的に応じた運動をリアルタイムに発現し，従来手法では困難であった予測不可能な環境変化に対しても柔軟に適応する。

羽生研究室

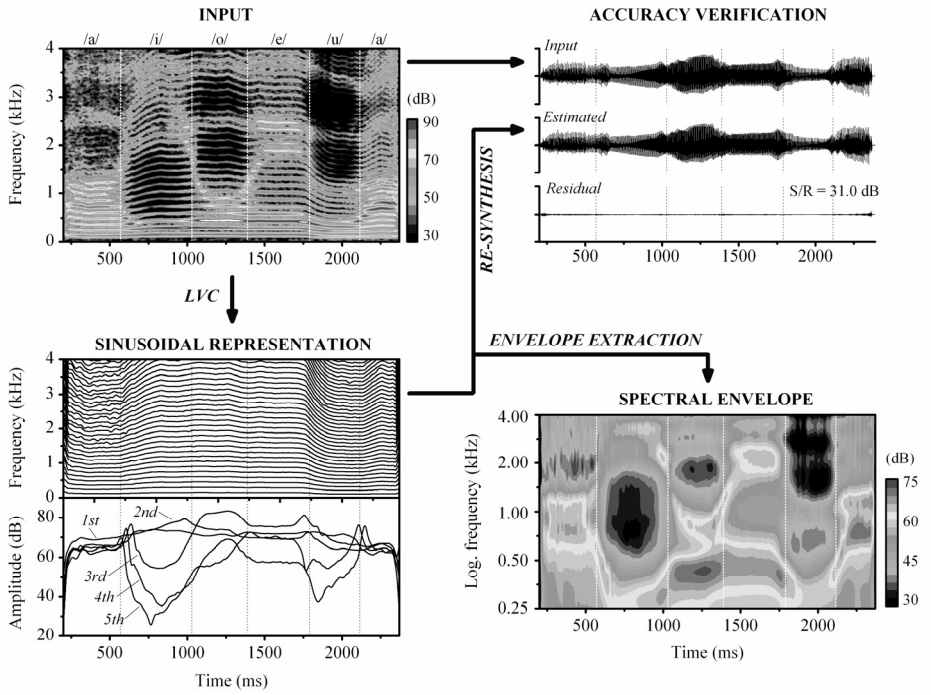
ロジックメモリ回路技術として，強誘電体ロジックに基づくCAM(Content-Addressable memory)チップの試作に成功した。これにより，従来までのCMOS実現と比較し，CAMの動作時における演算速度および動的消費電力を同程度に保ちながら,CAMの待機時の静的消費電力を完全に遮断できることを実証した。また，VLSIチップ内の同期式データ転送ボトルネックを本質的に解消するため，多値符号化および電流モード多値回路技術に基づく非同期データ方式に関する研究の一環として，本年度は誤り訂正符号VLSIとして重要なLDPC (Low-Density Parity-Check)デコーダ・テストチップの試作に成功した。パケット長256ビットのLDPCで，同等機能CMOS実現と比較し，同一消費電力かつ同等BERの下で約1.2倍の高速化が達成できることを試算できた。

中島研究室

逆関数遅延モデルを用いたネットワークにおいて最適値問題の正解状態へ至る過程を明らかにした。また、連続時間モデルでは困難であった系列連想動作をシナプス結合様式及び逆関数遅延と従来型のニューロンモデルの対を用いて可能にし、時間遅れ要素が能力向上の重要な要素であることを示した。さらに生体内で観測されているSTDP型シナプス学習効果を有する学習方式をKL情報量の観点から提案した。次に大規模集積化を目指して逆関数遅延モデルをパルス方式で実装した。また、実際の脳で観測されるバースト発火現象まで再現できるモデルへの拡張を行いそのマイクロチップ化により動作を確認した。量子計算デバイス実現へ向けた高温超伝導体固有ジョセフソン接合において、マルチフォトン励起による共鳴トンネル現象を確認した。また量子計算アルゴリズムでは独自に開発したニューロ的手法のアルゴリズムを使った学習則についてその性能を検証した。磁束量子高速フーリエ変換回路の設計を行い、2点4ビットのバタフライユニットにおいて1.35GHzの6段パイプライン動作を数値解析により検証した。またストカスティックロジックによるニューロシステムでは、膜電位を生成するアップダウンカウンタの高速化により18GHzでのシステム動作が見込めることになった。

実世界コンピューティング研究部

局所変化率符号化に基づく非定常音声の分析と合成



局所変化率符号化の概要 (Ito and Yano, 2007)

＜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、(3)無限定環境下における２足歩行・６足歩行ロボットの研究、(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等である。

＜2006 年度の主な成果＞

不特定話者の音声認識の研究において、局所変化率符号化（Local Vector Coding: LVC）と呼ぶ新たな音声分析・合成手法を提案した[1][8]。実環境における音声の音響特性は、発話時の調音器官の連続的な変化を反映し、基本周波数やスペクトル包絡などのパラメータが非定常的に変化する。この音響特性の非定常性が音声知覚の重要な手がかりであることは広く知られているが、信号の局所的な定常性を仮定する既存手法では、これを正確に分析することが困難であった。

本研究分野で提案した LVC は、信号の時間変化特性を明示的にモデル化し、そのパラメータを入力の振幅・位相スペクトルから一意に推定できる点に特徴がある。この様なモデル化によって振幅や周波数が時間変化する音声を、高い精度で分析することが可能となった。この分析精度は、入力音声と推定パラメータから再合成された信号を比較することで

定量的に評価することが可能である（上図参照）。多数の自然発話音声（75 話者、900 単語）を用いた性能評価実験の結果、LVC の入力対残差信号比は平均 28dB であり、従来手法と比べて約十倍(+14dB)以上の分析性能を示す事が明らかになった。

また LVC は音声だけでなく、様々な非定常信号に応用可能な汎用性の高い技術である。例えば、ピアノやギターなどの管弦楽器音も、この手法により高い精度で分析・合成することができる。さらに、推定されたパラメータを変調することで得られる高品質の話速・話者変換や、低ビットレートの音声符号化等、幅広い応用が期待できる。

＜職員名＞

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

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Ito, M. and Yano, M. (2007) "Sinusoidal modeling for non-stationary voiced speech based on a local vector transform," J. Acoust. Soc. Am. 121(3), 1731-1741.
[2] Kazuhiro SAKAMOTO, Takayuki SUGIURA, Toshihiko KAKU, Toru ONIZAWA and Masafumi YANO (2006) “Spatiotemporal balance in competing apparent motion is not predicted from the strength of the single-motion percept” Perception, 35, 947-957
[3] TOMITA Nozomi, YANO Masafumi (2006) “Real-time Control of Bipedal Movement based on Basal ganglia and Brainstem Systems” Proc. of SICE-ICASE International Joint Conference 2006 in Busan, 4499-4502
[4] YOSHIHARA Yuki, TOMITA Nozomi, ASANO Tomotaka, MAKINO Yoshinari, YANO Masafumi (2006) "Control of Reaching Movement in Unpredictably Changing Environment by Constraints Emergence and Satisfaction" Proceedings of SICE-ICASE International Joint Conference 2006(CDROM), SP02-2
[5] Yoshinari Makino, Hisanori Makinae, Tsukasa Obara, Haruki Miura and Masafumi Yano (2006) “Observations of Olfactory Information Flows within Brain of the Terrestrial Slug, Inciralia fruhstorferi” Proceeding of 2006 International Joint Conference on Neural Networks, p.p. 7605-7612
[6] Yoshinari Makino, Hisanori Makinae, Tsukasa Obara and Masafumi Yano (2006) “Brain regions related to odor learning and memory in terrestrial slug, Inciralia fruhstorferi:Two lobes of the cerebral ganglion show different spatiotemporal activities” Proceedings of the 11th International Symposium on Artificial Life and Robotics. OS7-1
[7] Ikuo Matsuo, Takashi Magara, and Masafumi Yano (2006) “Evaluation of performance of the echolocation model for the restoration of an acoustic image from a single-emission echo” J. Acoust. Soc. Am. 119, 3317
[8] Ito, M. and Yano, M. (2006). “Pitch determination and sinusoidal modeling for time-varying voiced speech” J. Acoust. Soc. Am. 120(5), 3376 (※The second place winner of the Best Student Paper in Speech Communication 受賞)
[9] 吉原佑器，冨田望，牧野悌也，矢野雅文 (2007)“拘束条件生成充足による実環境下の随意運動制御－動力学パラメータ推定による制御則の自律的遷移－”第 19 回自律分散システム・シンポジウム資料, 31-36,
[10] 冨田 望, 浅野 智孝, 矢野 雅文 (2007) “拘束条件生成充足による随意運動の制御スキーム”計測自動制御学会第 19 回自律分散システム・シンポジウム，37-42
[11] 杉江雄生, 川上進, 坂本一寛, 矢野雅文 (2006)“直線の到達時間を検出する運動視神経網モデル”日本神経回路学会 第 16 回全国大会論文集　P3-03

ブレインアーキテクチャ研究部

次世代 VLSI コンピューティングパラダイムの構築

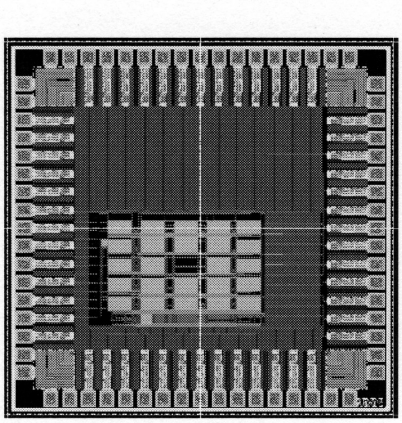


図1：非同期16ビットLDPCデコーダチップ

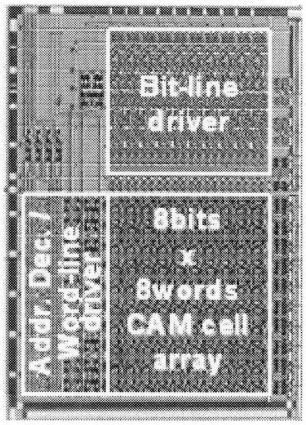


図2：強誘電体素子ベースCAMテストチップ

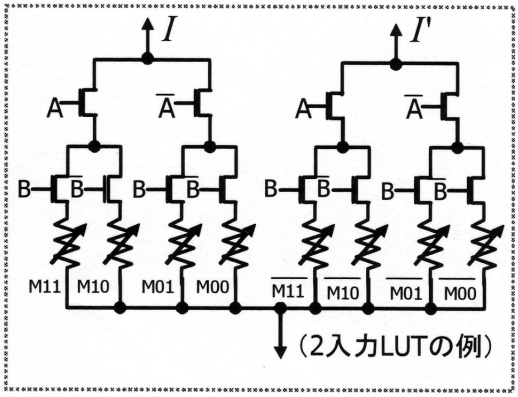


図3：TMRベースFPGA用LUT回路(2入力の例)

＜分野の目標＞

現在の VLSI では，トランジスタなど能動素子自体のスイッチング遅延より配線遅延が支配的であり，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．この問題を解決する次世代 VLSI コンピューティングを構築するため，本研究部では従来の延長上にはない新しいパラダイムに基づく回路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新しい多値電流モード VLSI 技術（図２），記憶機能を演算回路に分散化させて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１），次世代アーキテクチャの統合に基づく情報通信用スーパーチップの開発など，マルチメディア応用高性能 VLSI プロセッサの実現に関する研究を行っている．

＜2006 年度の主な成果＞

１．強誘電体ロジックに基づく不揮発性 CAM テストチップの試作：

不揮発性記憶素子の１つ「強誘電体キャパシタ」を用いて，待機電力が不要な 8 ビット CAM(Content-Addressable memory)テストチップの試作に成功した（図１）．各 CAM セルでは, データ記憶用と一致検出演算用に同一の強誘電体キャパシタを用いて構成することで，回路規模のコンパクト化を達成している．また，２個の強誘電体キャパシタを直列に接続し，それぞれに相補データを書き込む冗長な記憶回路構成とすることで，十分な出力電圧レベルを確保させて，スイッチング動作の高速化を図っている．この結果，従来までの CMOS 実現と比較し, CAM の動作時における演算速度および動的消費電力を同程度に保ちながら，CAM の待機時の静的消費電力を完全に遮断できることを実証した．

２．非同期データ転送に基づく 16 ビット LDPC デコーダ・テストチップの試作：

誤り訂正符号 VLSI として重要な LDPC(Low-Density Parity-Check)デコーダでは演算ノード間のデータ転送が性能ボトルネックとなっている．そこで本年度は，多値符号化および電流モード多値回路方式を駆使し，転送ボトルネックを軽減した 16 ビット LDPC デコーダ・テストチップ（図２）の開発に成功した．この結果パケット長 256 ビットの LDPC で，同等機能 CMOS 実現と比較し，同一消費電力かつ同等 BER の下で約 1.2 倍の高速化を達成した．

３． 待機電力フリーFPGA の構成に関する研究：

応用上有用な現状の FPGA では，電力消費の増大が深刻であり，応用分野を限定するに至っている．本年度のプロジェクトでは，TMR 素子を活用した待機電力のない FPGA（LUT 部）の構成方法について検討した．４入力 LUT 部の論理機能を TMR 素子に記憶すると共に，差動形回路で TMR 回路網を駆動させることにより，高速スイッチングを実現した．この結果，現在の SRAM ベース実現と比較し，同等性能を有しながら，チップ面積を１／４以下に，静的消費電力を１／３３以下に，それぞれ低減できることを明らかにした．

＜職員名＞

教　授：羽生貴弘（2002 年 4 月より）
助　手：望月　明（2002 年 10 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).

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] H. Kimura, Y. Fujimori, T. Nakamura, H. Takasu and T. Hanyu,“Ferroelectric-Based Logic Circuit and Its Application to Content-Addressable Memory,”Proc. IEEE The 2006 International Meeting for Future Electron Devices (2006IMFEDK), pp.41-42, April 2006.

[2] A. Mochizuki and T. Hanyu“Highly reliable Multiple-Valued Circuit Based on Dual-Rail Differential Logic,”Proc. 36th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, vol.36, May 2006.

[3] A. Mochizuki, T. Kitamura, H. Shirahama and T. Hanyu,“Design of a Microprocessor Datapath Using Four-Valued Differential-Pair Circuits,”Proc. 36th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, vol.36, May 2006.

[4] A. Mochizuki, H. Shirahama and T. Hanyu,“Design of a Low-Power Quaternary Flip-Flop Based on Dynamic Differential Logic,”IEICE Trans. on Electronics, Vol.E89-C, No.11, pp.1575-1580, Nov. 2006.

[5] T. Takahashi and T. Hanyu,“Implementation of a High-Speed Asynchronous Data-Transfer Chip Based on Multiple-Valued Current-Signal Multiplexing,”IEICE Trans. on Electronics, Vol.E89-C, No.11, pp.1598-1604, Nov. 2006.

[6] N. Onizawa and T. Hanyu,“Design and Evaluation of a NULL-Convention Circuit Based on Dual-Rail Current-Mode Differential Logic,”IEICE Trans. on Electronics, Vol.E89-C, No.11, pp.1591-1597, Nov. 2006.

[7] S. Matsunaga, T. Hanyu, H. Kimura, T. Nakamura, and H. Takasu,“"Implementation of a Standby-Power-Free CAM Based on Complementary Ferroelectric-Capacitor Logic,” Proc. Asia and South Pacific Design Automation Conf., pp.116-117, Jan. 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

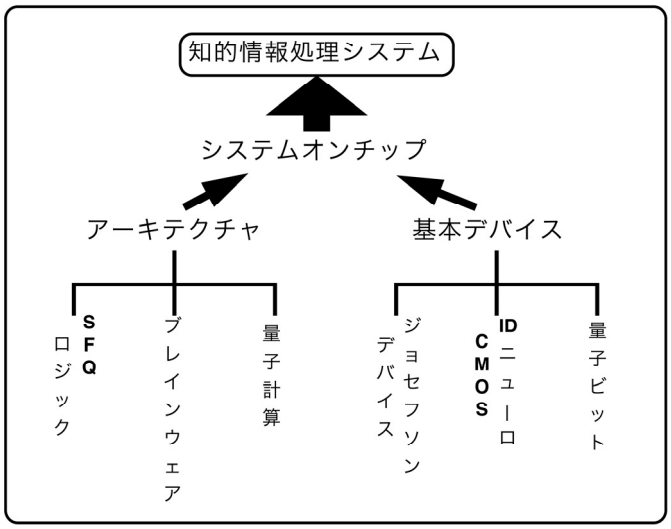


図１　知的ナノ集積システム研究部の研究目標

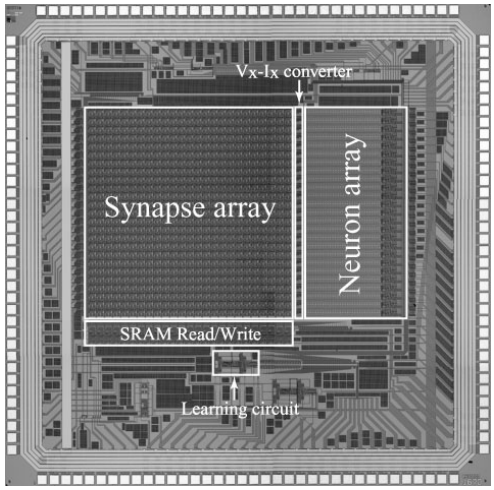


図２　逆関数遅延ニューロシステム
（３６ニューロン搭載）

＜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 の構成や単電子トランジスタによるニューロシステムさらに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。

＜2006 年度の主な成果＞

[集積化ブレインコンピュータとダイナミック知的記憶システムの研究]　逆関数遅延モデルを用いたネットワークにおいて最適値問題の正解状態へ至る過程を明らかにした。[6]また、連続時間モデルでは困難であった系列連想動作をシナプス結合様式[3]及び逆関数遅延と従来型のニューロンモデルの対を用いて可能にし、時間遅れ要素が能力向上の重要な要素であることを示した[4]。さらに生体内で観測されているSTDP型シナプス学習効果を有する学習方式をKL情報量の観点から提案した。集積化ブレインコンピュータについては、大規模集積化を目指して逆関数遅延ニューロンモデルをパルス方式で実装した。[2]また、実際の脳で観測されるバースト発火現象まで再現できるニューロンモデルへの拡張を行いそのマイクロチップ化により動作を確認するに至っている。[10]

[量子計算デバイスとアルゴリズムの研究]　量子計算デバイス実現へ向けた高温超伝導体

固有ジョセフソン接合において、マルチフォトン励起による共鳴トンネル現象を確認した[7, 8]。また量子計算アルゴリズムでは独自に開発したニューロ的手法のアルゴリズムを使った学習則についてその性能を検証した[9]。

[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回路の設計をセルベース設計法により行った。2 点 4 ビットのバタフライユニットにおいて 1.35GHz の 6 段パイプライン動作を数値解析により検証した。またストカスティックロジックによるニューロシステムでは、ニューロンの膜電位を生成するアップダウンカウンタの高速化を提案し、従来の構成より５倍程度高速な 18GHz でのシステム動作が見込めることになった。

＜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　田口　亜由美

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] Yasuyuki Yamada, Koji Nakajima, and Kensuke Nakajima, RF Responses and In-Phase Josephson Vortex Motion in an Intrinsic Josephson Junction System with a Periodic Pinning Potential, Journal of the Korean Physical Society, vol. 48, no. 5, pp.1053-1056, May 2006

[2] Hogge Li, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato and Koji Nakajima, Hardware Implementation of an Inverse Function Delayed Neural Network Using Stochastic Logic, IEICE Trans. Information and Systems, vol. E89-D, no. 9, pp.2572-2578, Sep. 2006

[3] Johan Sveholm, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, Temporal Sequences of Patterns with an Inverse Function Delayed Neural Network, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E89-A, no. 10, pp.2818-2824, Oct. 2006

[4] Shinya Suenaga, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, Dynamical Behavior of Neural Networks with Anti-Symmetrical Cyclic Connections, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E89-A, no. 10, pp.2775-2786, Oct. 2006

[5] Y. Nakamiya, M. Kinjo, O. Takahashi, S. Sato, K. Nakajima, Quantum Neural Network Composed of Kane's Qubits, Jpn. Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10A, pp. 8030-8034, Oct. 2006

[6] 佐藤朱里，早川吉弘，中島康治, Inverse Function Delayed モデルによる組み合わせ最適化問題正解率のパラメータ依存性，電子情報通信学会論文誌，vol. J89-A, no. 11, pp. 960-972, Nov. 2006

[7] K. Inomata, S. Sato, M. Kinjo, N. Kitabatake, H. B. Wang, T. Hatano and K. Nakajima, Study of macroscopic quantum tunnelling in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+}$ intrinsic Josephson junctions, Superconductor Science and Technology, vol. 20, no.1, pp. S105-S109, Jan. 2007

[8] S. Sato, K. Inomata, M. Kinjo, N. Kitabatake, K. Nakajima, H. B. Wang, and T. Hatano, Macroscopic Quantum Tunnelling and Resonant Avtivation of Current Biased Intrinsic Josephson Junctions in Bi-2212, IEICE Trans. Electronics, vol. E90-C, no. 3, pp. 599-604, March 2007

[9] M. Kinjo, S. Sato, K. Nakajima, A Study on Learning with a Quantum Neural Network, 2006 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN '06), Vancouver, July 2006

[10] S. Suenaga, Y. Hayakawa and K. Nakajima, Dynamic Behavior and Characteristics of the Modified ID model with Burst Firing, Proceedings of 2006 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 503-506, Bologna, Italy, Sep. 2006

IT－21センター

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～

＜分野の目標＞

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、産官学連携研究開発体制により、5 年間の期間をもって実用化技術として完成させることを目的とする。大学の保有する基本技術をコアとして、社会が求めるアプリケーションとマッチングをとり、設計・実装・評価まで行うことで、製品化へ適応可能な実用化技術を完成させる。プロジェクトの推進には、産業界からの技術者を多く受け入れ、大学の保有する先端技術、先端設備を研究開発現場にて体験することで、若手技術者の教育・社会人技術者の再教育センターとしての役割を果たす。また、開発した技術を用いた新しいビジネスモデルの創出とベンチャー企業の創出・育成などにより、日本全国並びに東北大学地区の産業振興に貢献し、日本の IT バレーとしての地位を確立する。

＜2005 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 年から、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。

平成 18 年度は、各プロジェクトにて下記の成果を得ている。

１．次世代モバイルインターネット端末の開発

どこでも無線端末を設置可能なユビキタスネットワークの提供を実現するために、異種材料統合/三次元システムチップの開発を行い超低消費電力・超小型ワイヤレスモデムを開発する。さらに、60GHz 帯を用いて 1Gbps を実現する超高速伝送ワイヤレス端末の開発を行う。

平成 18 年度は、1Gbps 超の無線 LAN 端末の実現として、超高速変復調ボードの試作を行い、2Gbps の伝送及び非圧縮ハイビジョン伝送を実証した。また、三次元システムチップを実現し、10mm 角、及び 5mm 角の 60GHz 帯送信モジュール、受信モジュールを完成させた。試作した三次元システムチップは、広帯域特性を有し、ギガビット伝送する上で十分な性能を有していることを確認した。5GHz 帯 IF IC の試作を行い、無線 LAN 装置に適用可能な性能を有していることを確認した。また、FlashOFDM によるモバイルブロードバンド実証実験を行い、マルチセクタ・マルチセル環境で、1Mbps 以上のスループットを半径 1km 程度に対して提供し、かつ 3 局構成でハンドオーバーにより仙台市街地をカバーできることを確認した。

２．超小型大容量ハードディスクの開発

垂直磁気記録方式を用いた 1 テラビット毎平方インチ(Tbits/inch^2)の超高記録密度のための要素技術開発を行なう。また、世界を先導するレベルでの実用化への道を拓くことを目的に、500 ギガビット毎平

方インチ（Gbits/inch^2）の記録の実証を目指す。

平成 18 年度は、ハード・ソフトスタック媒体の基礎実験と磁気エネルギー計算から、同媒体が 500 Gbits/inch^2 を超える記録密度ポテンシャルを有することを明確化した。また、スタティックテスタによる R/W 特性と BER の評価により、500 Gbits/inch^2 達成の見通しを得た。一方、開発したスピン蓄積素子における高出力の実現、NiFe の微小ポイントコンタクトにおける 100%を超える大きな磁気抵抗効果の実現など、1 Tbits/inch^2 以上の記録密度に用いる再生ヘッドの見通しを得た。さらに、テラビット媒体の要素技術に関しては、ドットの磁化挙動の解明、高磁気異方性 CoPt 膜の開発、ドットの加工法のいずれの検討においても、1 Tbits/inch^2 の見通しを得た。

＜職員名＞

センター長　坪内　和夫

企画開発部

特任教授　　種市　百器（2006 年 7 月まで）

教　授　　古西　真（2006 年 8 月から）

研究開発部

モバイル分野

教　授　　高木　　直

客員助教授　岩田　　誠

ストレージ分野

教　授　　青井　　基

助教授　　島津　武仁

客員助教授　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

中村　慶久

高木　　直

青井　　基

種市　百器

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

内田　龍男

大学院情報科学研究科教授　亀山　充隆

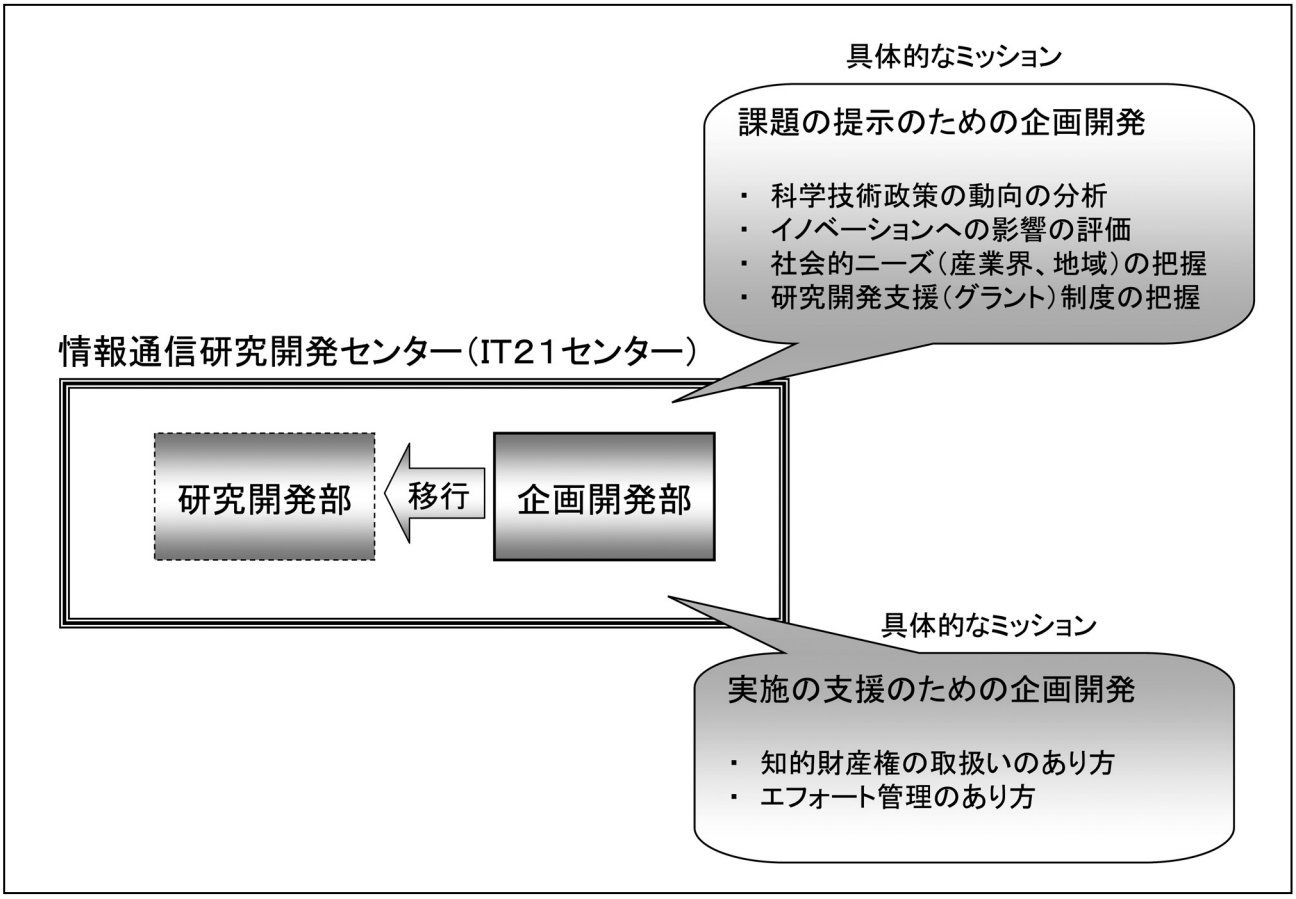
日本電気㈱　嶋脇　秀徳

㈱富士通研究所　押木　満雄

本研究所事務部長　新田　正人

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。

＜2006 年度の主な成果＞

2005 年度の成果を踏まえ、本年度より「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 IT プロジェクトについては、成功裏に終了し、成果集を編纂中。

知的財産権の活用の考え方の整理を行うとともに、上記の課題を産業界とのイコールパートナーシップにより実施するための体制の構築を行っている。

また、電気通信研究所が、複数の企業と連携して、共同研究のシーズを探索することを可能とする枠組み（RIEC Liaison Program）について調整・検討を行っている。

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

＜職員名＞

教授　古西　真

秘書　鏡谷　真知子

＜教授のプロフィール＞

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

＜2006 年度の主な発表論文等＞

特になし。

研究開発部モバイル分野

次世代モバイルインターネット端末の開発

図面説明:
プロジェクトの成果。
強力な産学連携体制により、
高速無線通信に関する実用化
技術を確立した。



＜分野の目標＞

文部科学省 IT プログラム（RR2002）プロジェクトにおける技術開発として、1Gbps 超の無線通信装置の開発を行うとともに、三次元システムインパッケージ技術により 5mm 角の 60GHz RF モジュールを開発する。また、装置・モジュール開発に必要な LSI の試作開発、モバイルブロードバンドシステムの実証評価を行う。

＜2006 年度の主な成果＞

１．無線通信用 RF IC の開発

5GHz 帯無線 LAN 用変復調 IC を、0.35um SiGe プロセスを用いて実現した。1GHz 帯及び 4GHz 帯局部発振器用 PLL を内蔵し、5GHZ 帯送受信 IC として周波数変換・変調・復調が可能な IC を完成させた。5GHz 帯無線 LAN 装置に組込み特性を評価した結果、ハイビジョン画像を伝送可能な性能を有していることを確認した。

60GHz 帯無線モジュール用 RF IC を GaAs プロセスにより実現した。送信用ミキサ・ドライバ・パワーアンプを一体化した IC、受信用低雑音アンプ・ミキサを一体化した IC を開発し、5mm 角 RF モジュールへの適用を可能とした。

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

低価格樹脂高密度多層基板 ALIVH 上に、SBB（Stud Bump Bonding）によるフリップチップ実装で IC を実装し、10mm 角、5mm 角の 60GHz 帯送信 RF モジュール、受信モジュールの試作を行った。5GHz 帯 IF 信号を入力することにより、60GHz 帯での送受信が可能であることを明らかにした。

３．ギガビットワイヤレス通信装置の開発

60GHz 帯で適用可能なギガビットワイヤレス通信装置として、500Mbps の信号を 4 本束ねて通信し、2Gbps を実現する無線端末を試作した。FPGA 及び 4ch 1Gsps ADC/DAC を用いて、ベースバンド変復調を実現した。IF 信号として 2.5GHz～4GHz 帯を採用し、4 チャネルで 2Gbps 伝送を実現している。非圧縮ハイビジョン画像 1.48Gbps の伝送が可能であることを示した。

４．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．複数セル、複数セクタにおける伝搬環境を測定し、自動車移動環境で Mbps の受信が可能であることを示した。

＜職員＞

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

＜高木　直教授のプロフィール＞

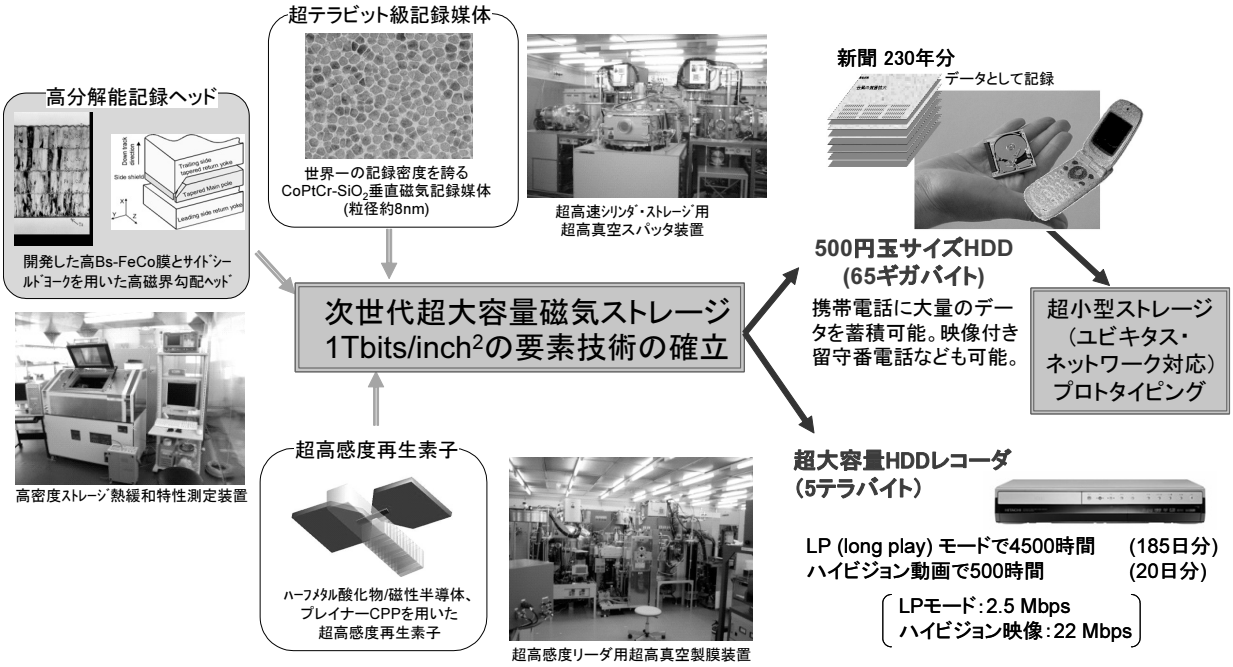
昭和 49 年 3 月東京工業大学理学部物理学科卒業。1995 年静岡大学・博士（工学）取得。1973 年三菱電機㈱入社。以来、マイクロ波・ミリ波帯 MMIC 及び半導体高出力増幅器の研究開発に従事。2005 年より東北大学電気通信研究所教授。広帯域無線通信システムの研究に従事。IEICE、IEEE 会員。

＜2006 年度の主な発表論文等＞

[1] 亀田 卓, 山口 敦由, 福與 賢, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 1 ビットフラグを用いた高速 RFID 識別方式, 信学論, vol.J89-A, no.12, pp.1057-1067, Dec. 2006.
[2] S. Kameda, A. Yamaguchi, S. Fukuyo, H. Oguma, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "High-speed and large-capacity RFID inventory method using 1-bit flag," 3rd Int. Symp. On Wireless Commun. Systems (ISWCS2006), Sept. 2006.
[3] F. Yamagata, D. Komaba, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Seamless handover for hotspot network using buffered packet forwarding method," 10th IEEE Int. Conf. on Commun. Systems (ICCS2006), PA-17, Nov. 2006.
[4] H. Nakase, Y. Kawamura, A. Yamaguchi, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Frequency compensation scheme using polar coordinate function for burst transmission wireless modem," 10th IEEE Int. Conf. on Commun. Systems (ICCS2006), PB-19, Nov. 2006.
[5] N. H. Tran, J. Takagi, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Indoor multipath propagation characteristic at 60GHz," IEEE TENCON 2006, Nov. 2006.
[6] K. Masuda, F. Takeuchi, Y. Hamada, K. Maruhashi, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "60-GHz-band transmission module for 3-dimensional system-in-package," 8th Electro. Packaging Tech. Conf. (EPTC2006), vol.1, pp.90-95, B1.1, Dec. 2006.
[7] F. Yamagata, G. Kanazawa, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase, T. Takagi, and K. Tsubouchi, Seamless handover for hotspot network using dual receiver switching method,IEEE TENCON 2006, Nov. 2006.

研究開発部ストレージ分野

垂直磁気記録による 1Tb/in^2 要素技術の開発



＜分野の目標＞

21 世紀の IT 社会において，取り扱う情報がコードデータから静止画，動画へと広がるとともに，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，文部科学省の IT プログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」による，垂直磁気記録技術を用いた 1 テラビット毎平方インチ(Tbits/inch^2)以上の超高密度記録と 2 ギガビット毎秒(Gbps)級の高速データ転送性能の要素技術を 2006 年度までに開発することを目標とした．それを実現するために 2002 年度から，本研究所ならびに学内の研究室，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研究プロジェクト体制で研究･開発を鋭意推進した．そこでの成果を基に，ネットワークのパーソナル側に用いられるユビキタス超小型ストレージ，センター側で用いられる大容量高速ストレージの実現へ寄与することを目指した．

＜2005 年度の主な成果＞

5 年間のプロジェクトの最終年にあたり，全体計画に基づいた要素技術開発などの業務を実施し，下記の成果を得た．

1) 記録再生系の検討： ディスクリートトラック記録（DTR）媒体の試作、スタティックテスターにより BER の評価により、DTR 化によるジッタ低減効果を明らかにし，500 Gbits/inch^2（ギガビット毎平方インチ）の達成の見通しを得た．
2) 高分解能単磁極ライタ： シミュレーション検討を行ない，磁極先端部の４方向からの絞込みとトレーリングシールドを併用したヘッド磁極構造により上記記録密度に必要

な記録磁界強度、勾配を達成できる見通しを得た.

3) 超高感度リーダ技術： 日立，東芝と共同で 1Tb/inch^2 の記録密度を目指したスピン蓄積、プラナーCPP、ポイントコンタクトによる超高感度センサー構造の開発，基本特性の評価を進めた．スピン蓄積素子[1]では V p-p＞1mV の出力、ポイントコンタクト素子[2]では 140％の MR 比とそれぞれ 1Tb/inch^2 クラスの値を得た.
4) テラビット分解能垂直磁気記録媒体： ハード・ソフトスタック媒体の膜構造、組成の適正化により大幅な記録特性の改善が可能[3,4]であり、今後の高密度媒体に広く適用可能であることを明らかにした.また,CoPt/Ru 膜によるパターンド媒体の検討を進め，保磁力の値と分散を適切に制御できることを明らかにし[5]，1Tbits/inch^2 の必要条件が満たせることを示した.
5) 小型垂直記録 HDD の応用システム： データ転送レート向上の対策により 20Mbps でのハイビジョン映像の破綻のない転送が可能なユビキタス・パーソナル・サーバの試作に成功した.

＜職員名＞

教　　授　青井　基　（2002 年より）
助　教　授　島津　武仁（2002 年より）
客員助教授　山川　清志（2002 年より）
産学連携研究員　渡辺　功　（2005 年より）

＜青井基教授のプロフィール＞

昭和 41 年横浜国大・工・電気卒．昭和 43 年同大学院修士課程修了．工学博士．昭和 43 年(株)日立製作所入社，中央研究所．昭和 57 年同主任研究員．平成 4 年同主管研究員．平成 5 年同ストレージシステム事業部副技師長．平成 13 年同主管技師．平成 14 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．ハードディスクドライブ R/W 系高密度化，記録媒体の高密度化，低ノイズ化の研究開発に従事.

＜2005 年度の主な発表論文等＞

[1] M. Yamada, M. Ichimura, M. Fujimori, S. Heike, T. Hashizume and H. Takahashi, “Spin Accumulation Measured in Non-local Geometry with Metal Nano-strips Fabricated by Sputtering,” INTERTMAG 2006, CC-04, (2006).

[2] 大沢裕一, “スパッタ形成された NiFe ポイントコンタクトにおける抵抗変化," 第 54 回応用物理学会関連連合講演会, 29aZT-3, (2007).

[3] T. Shimatsu, Y. Inaba, S. Watanabe, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, H. Muraoka, and Y. Nakamura, “Recording resolution and writability for (Co-Pt)-SiO_2/Co-SiO_2 hard/soft-stacked granular perpendicular media,” *IEEE Transactions on Magnetics,* vol.43, pp. 2103-2105 (2007).

[4] 稲葉祐樹, 島津武仁, 渡辺貞幸, 北上 修, 岡本 聡, 村岡裕明, 青井 基, 中村慶久, “高飽和磁化の薄いソフト層を有する Hard/Soft スタック垂直媒体の磁気特性と記録再生特性,” 日本応用磁気学会誌, vol. 31, pp. 178-183 (2007).

[5] K. Mitsuzuka, N. Kikuchi, T. Shimatsu, O. Kitakami, H. Aoi, H. Muraoka, and J. C. Lodder, “Pt Content Dependence of Magnetic Properties of CoPt/Ru Patterned Films,” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 42, pp. 3883-3885 (2006).

３．８　材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析

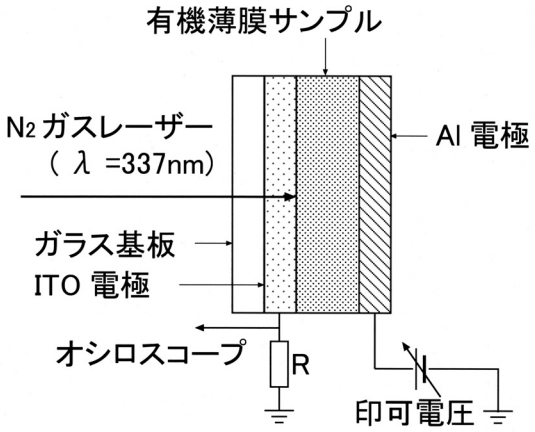


図１　TOF 法を用いた有機 EL 材料のキャリア移動度分析法

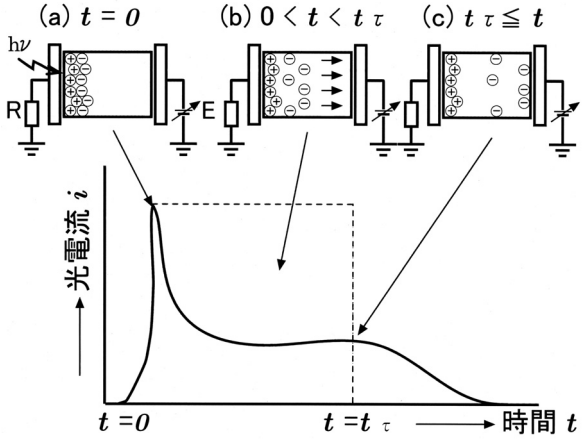


図２　パルスレーザー光照射による誘起電流波形

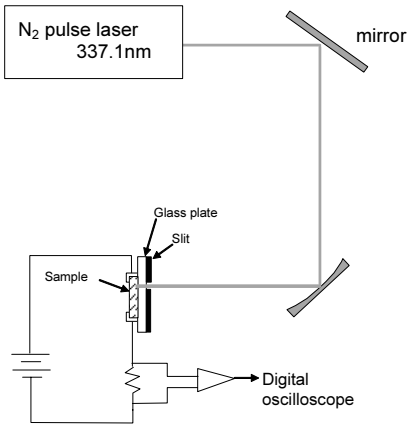


図３　横方向移動度測定用の測定系

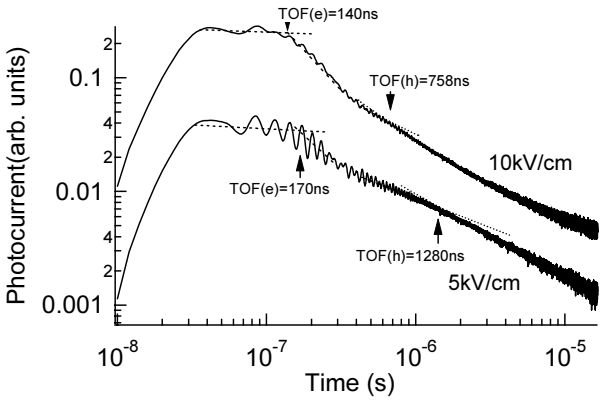


図４　ルブレン単結晶の横方向移動度の測定例

１．分野の目標

評価・分析センターは、通研および工学部電気情報系各研究室の研究ならびに各種共同研究における、材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析関連の研究支援をする共同利用センターである。材料・デバイスおよびシステムの開発においては、微細化・高性能化・高機能化が重要な課題であり、それに伴って評価・分析の精度・感度の更なる向上が求められている。この材料・デバイス評価の高度化が評価・分析センターの研究目標の一つである。また、センターは共同利用センターとしての役割も担っており、共通利用の分析・評価機器の充実も図っている。これまでに、新機種の導入の他に、各研究分野間の評価分析関連の相互協力体制づくりも行なってきた。

現在、本センターに設置されている装置は、汎用Ｘ線回折装置、二結晶Ｘ線回折装置、

走査型電子顕微鏡、Ｘ線トポグラフ装置、赤外分光装置、電子スピン共鳴装置、ヘリウム後方散乱装置、昇温脱離装置、原子間力顕微鏡、紫外・可視分光器、液体クロマトグラフィ装置、二次イオン質量分析装置、μＲＨＥＥＤ装置、薄膜Ｘ線回折装置、Ｘ線カット面検査器、ＳＱＵＩＤ（磁化測定装置）、フォトルミネッセンス測定装置である。構造解析から電気特性測定まで、幅広いニーズに応えられるように装置を整えている。今まで同様、これらの装置を所内外の研究者・院生・学生に公開した。

２．本年度の主な研究成果

センターでは、新しい分析・評価手法の開発を研究テーマとしている。センターでは、ナノ・スピン実験施設ナノ分子デバイス研究部、山形大学、東北大学工学研究科と共同でTime-of-Flight（ＴＯＦ）法を用いた有機ＥＬ材料のキャリア移動度測定法の開発を行っている。

ＴＯＦ法は図１及び図２に示すように、紫外領域の短パルスレーザー光を試料の片面に照射し、発生した電子またはホールによる電流を観測することによってキャリアの移動度を測定する方法である。この方法では照射電極の極性を変えることで、電子とホールの移動度をそれぞれ独立で実測することが可能である。開発した測定システムでは、ソフトウェアによる電流値測定等の測定装置の自動制御、およびデータ処理の自動化を行っている。

有機材料の中でルブレンは高移動度を有する材料として有機ＦＥＴなどへの応用が期待されているが、その高移動度ゆえに測定が困難で、ＴＯＦ法による測定はあまり行われていない。また、ＦＥＴなどへの応用には縦方向より横方向の移動度が重要であり、図１のような測定系では対応できない。そこで我々は、高移動度の材料を測定可能とするために高速のプリアンプを使用し、また、スリット状の照射口が開いているサンプルホルダを用いることにより、横方向でかつ高移動度の測定を可能とした。図３は今年度新たに開発した、サンプルの横方向のキャリア移動度が測定できる測定系である。この方法を用いてルブレンの有機単結晶のキャリア移動度の測定を行った例を図４に示す。この測定例ではキャリアの走行方向の電界が５kV/cm の条件で、電子とホールの移動度としてそれぞれ26.6cm^2/Vs と 16.3cm^2/Vs の値が得られており、ルブレンのキャリア移動度が高いことが確認できた。

３．職員

センター長・教授（兼）　庭野　道夫（１９９９年から）
助手　佐藤　信之
技術職員　山下　毅

４．庭野教授のプロフィール

ナノ・スピン実験施設ナノ分子デバイス研究部の項を参照。

５．主な発表論文等

鄭恒しん, 廣瀬文彦, 木村康男, 庭野道夫, 板谷謹悟, “Time-of-flight 法を用いたルブレン有機単結晶のキャリア輸送特性評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, OME2007-6, pp.29-31, 2007.

3.9　やわらかい情報システム研究センター

やわらかい情報システムの研究開発と所内情報システムの管理運用



図１　本センターで管理する各種ネットワーク機器

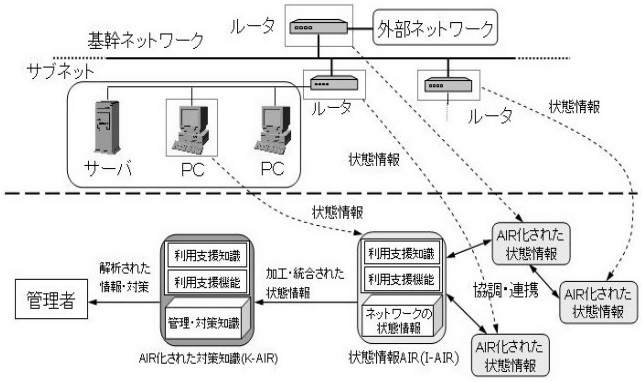


図２AIR-NMSの概念

＜センターの目標＞

現在のコンピュータに代表される情報システムは，前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである．本センターにおける研究の目標は，これまでの「かたい」情報処理原理を超えて，人間の意図や環境に適合した柔軟な情報処理を行い，さらに視聴覚などの多元知覚情報をフルに生かすことによって柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の原理について，理論及び実験を通して明らかにし，そのシステム構成論を確立することである．

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

＜研究テーマ＞

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

＜2006年度の主な成果＞

(1) 異種エージェント相互運用機構の開発に関する研究(研究テーマ１に関連)

異種エージェントシステムを組み合わせた相互運用機構を構築し，評価実験によりその有用性を検証した．本年度は文献1に示す成果が得られた．

(2) 能動的情報資源を用いたネットワーク知的管理手法(研究テーマ２に関連)

複雑化の一途をたどるコンピュータネットワークの管理者負担軽減を目指し，能動的情報資源原理(Active Information Resource: AIR)をネットワーク管理に適用したAIR-NMS(AIR based Network Management System)を提案した．AIR-NMSは，機器情報やアプリケーションログなどの状態情報エージェント(I-AIR)と管理者の経験的知識を持つエージェント(K-AIR)が自律的に協調・連携して障害原因や対策を管理者に提示するシステムである．本年度は文献2に示す成果が得られた．

(3) やわらか知能ネット実証システムに関する研究（研究テーマ２に関連）

ベクトル型高速計算システム，やわらかいネットワークシステム，マルチメディア実験設備からなる「やわらか知能ネット実証システム」を活用し，実ネットワークを用いたAIR-NMSの検証実験や「場」の保存・再生・伝送・共有に関する研究を進めた．本年度は文献3に示す成果が得られた．

(4) 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4,5,6に示す成果が得られた．

(5) 免疫系のダイナミクスの数理モデル化に関する研究（研究テーマ３に関連）

生体の持つ免疫系を情報システムという視点で捉え，そのダイナミクスを数理モデル化し特性を解析する研究を行っている．本年度は文献7に示す成果が得られた．

＜職員名＞

(1) 運営委員会

教授　白鳥 則郎（1997年より）　矢野 雅文（1997年より）　白井 正文（2003年より）
　　鈴木 陽一（2000年より）　外山 芳人（2000年より）　木下 哲男（2000年より）

(2) 実施委員会

教授　鈴木 陽一（1999年より）木下 哲男（1997年より，情報ｼﾅｼﾞｰｾﾝﾀｰ所属）
助教授　岩谷 幸雄（2002年より）青戸 等人（2003年より）　西村 竜一
助手　早川 吉弘　吉田 真人　打矢 隆弘
非常勤研究員　上田 浩／矢入 聡
研究支援推進員　大學 紀子　鈴木 みどり　菅野 舞子／駒形 順子

(3) 常勤職員

助教授　岩谷 幸雄，助手　打矢 隆弘，非常勤研究員　上田 浩／矢入 聡
研究支援推進員　大學 紀子，鈴木 みどり，菅野 舞子／駒形 順子

＜教授のプロフィール＞

センター長・白鳥則郎教授のプロフィールは，情報通信システム研究分野を参照．
実施委員長・鈴木陽一教授のプロフィールは，音響情報システム研究分野を参照．

＜2006年度の主な発表論文等＞

1. 打矢 隆弘，前村 貴秀，木下 哲男，″異種エージェント相互運用機構の開発と評価″，FIT2006講演論文集，2006.
2. Susumu Konno, Yukio Iwaya, Toru Abe, Tetsuo Kinoshita, ″Knowledge-based Support of Network Management Tasks using Active Information Resource″, Proc. of IEEE/WIC/ACM International Conf. on Intelligent Agent Technology, 2006.
3. Dae-Gee Kang, Yukio Iwaya, Yoiti Suzuki, ″3D Virtual Auditory Display for an Immersive Sound Field Reproduction System″, Proc. of The 9th Western Pacific Acoustics Conference (in 8 pages in Conference CD-ROM), 2006.
4. 矢入 聡，岩谷 幸雄，鈴木 陽一，″頭部運動感応型ソフトウェア聴覚ディスプレイの開発″，日本バーチャルリアリティ学会誌，Vol.11, No.3, pp.437-446, 2006.
5. Yukio Iwaya, ″Individualization of head-related transfer functions with tournament-style listening test: Listening with other's ears″ (Invited Review), Acoust. Sci. & Tech, Vol.27, No.6, pp.340-343, 2006.
6. Yukio Iwaya, Kouji Saito, Yoiti Suzuki, ″AN INDIVIDUALIZATION METHOD OF HRTFS USING A TOURNAMENT-STYLE LISTENING TEST OF VIRTUAL SOUND IMAGES″ (Invited Lecture), Proc. of The 9th Western Pacific Acoustics Conference (in 8 pages in Conference CD-ROM), 2006.
7. Hiroshi Ueda, Yukio Iwaya, Toru Abe, Tetsuo Kinoshita, ″A Cellular Automata Model considered with Diversity for HIV Infection″, Journal of Artificial Life and Robotics, pp.73-76, 2006.

３．１０　先端情報通信研究のための実験機器開発

１．附属工場の概要

電気通信研究所附属工場は、所内の各部門の研究を技術面から支援するために、所内の内部処置により昭和 30 年に発足した共通施設である。独創的な研究を遂行するためには、これまでにない新しい機器や装置を製作する必要がある。附属工場はそのための技術支援を行っており、通研専任教授から選出された工場長、および運営委員が管理と運営にあたっている。

附属工場では、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。

２．本年度の製作実績

各研究室からの製作依頼は 174 件で、昨年度と比較して 27 件の増加となった。製作した主な品目は以下のとおりである。

庭野研　４０件
○有機・金属ハイブリット蒸着装置　○真空一貫有機薄膜作成装置
○蒸着チャンバートランスファーシステム　○溶液セル
○ハイブリット蒸着用サンプルホルダー　他

枝松研　２９件
○クリンルームボックス　○希釈冷凍機用架台　○分光器用架台
○冷凍機用サンプルホルダー　○スリット・ピンホール　他

上原研　２５件
○真空断熱窓　○膜厚計ヘッド　○窒素タンク断熱層排気口
○サンプルトランスファー用アダプター　○ＳＴＭ試料搬送金具　他

中島研　２３件
○電磁波照射実験用小型サンプルボックス　○ペレット作製用容器一式
○ＲＦ減衰器用サーマルアンカー　○ＤＣラインモード切替用スイッチボックス
○ＤＣライン用高周波カットフィルターボックス　他

矢野研　１１件
○エコー測定用器具　○模擬外耳測定用器具　○模擬外耳作製用器具
○トランスデューサー回転装置　○エコー測定用対象物体　他

中沢研　１１件
○３ポダイセージョン用スリット　○光ファイバー固定冶具
○レーザー筐体　他

尾辻研　１０件
○スパッタリング用アルミ製マスク　○ボロメーター固定用冶具
○レンズホルダー　他

青井研　７件
○シリンダー用磁気ヘッド接着冶具　○シリンダー式記録再生モデル
○ディスク状記録モデル　○ＳＥＭ観察用ホルダー

○スピナーヘッド　　他

鈴木研　５件

○３２面体スピーカーボックス　　○１２面体スピーカーボックス　　他

大野研　５件

○マグネット用アダプタリング　　○ＳＥＭ試料台改良　　他

末光研　３件

○アルミフランジ加工　　他

伊藤研　２件

○蒸着マスク　　○フィルター回転用冶具

村岡研　２件

○磁気ディスクモデル　　他

事務部　１件

○展示室マグネット用アルミ製架台

＜附属工場組織＞

工場長（教授）庭野　道夫

技術職員　渡邉　博志　　米澤　隆二　　菅原　宗朋

庄子　康一　　末永　保

運営委員会

教授　鈴木　陽一　　教授　枝松　圭一　　教授　庭野　道夫

教授　末光　眞希　　教授　上原　陽一

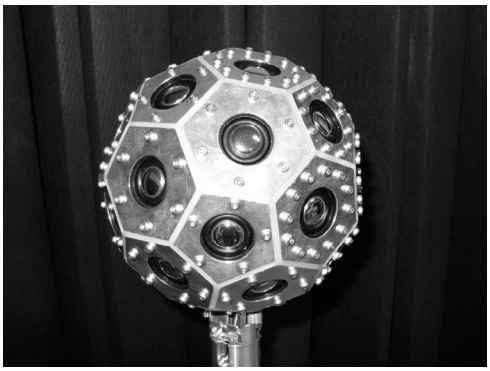


図１　32 面体スピーカーボックス

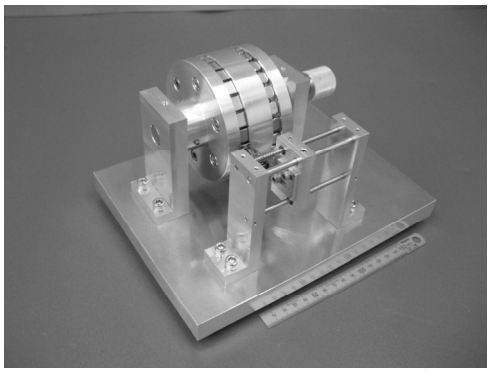


図２　シリンダー式記録再生モデル



図３　真空断熱窓

３．１１　安全で快適な環境の実現と維持による研究支援



写真１　安全衛生講習会



写真２　高圧ガス保安講習会

１．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、工場等の安全衛生管理のサポートを行っている。

２．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付属工場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。

３．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とおりである。

○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。
○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。
○安全衛生管理室のWebサイトによる関連情報の提供。

４．職員
室長（教授）　矢野雅文
副室長（教授）　庭野道夫
助手　佐藤信之
技術職員　山下　毅

第 4 章　共同プロジェクト研究

４．１　共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は，情報通信分野における COE（Center of Excellence）として，その成果をより広く社会に公開し，また研究所自体がさらに発展するために全国共通利用型研究所としての所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本所の学問の性格上，単なる設備の共同利用ではなく，本研究所教員との共同研究を前提とした共同利用型研究所であるところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは，情報通信における技術・システムに関する各種の研究を国内外の優れた研究者の協力のもとに企画・コーディネートし，プロジェクト研究として実施していくもので，大規模な装置・施設の共同使用に重点がある従来の共同利用型研究とは異なり，研究内容主導型の共同研究である。

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

○共同利用委員会

共同プロジェクト研究の運営のために，共同利用委員会及び共同プロジェクト実施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８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敵的な対応を行ってきている。

今年度のテーマは，平成１８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

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

○　平成１８年度共同プロジェクト研究

平成１８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６０件（A：３３件，B：２７件）が採択された。なお，A タイプは各々の研究課題について本研究所の施設・設備などを使って行う研究であり，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，２７件のうち１５件が外部よりの提案のものである。また，A タイプの研究のうち１１件に，B タイプの研究のうち１６件には，民間の研究者が参加している。

平成１８年度共同プロジェクト研究採択一覧

Ｈ１６／Ａ０２　周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究
Ｈ１６／Ａ０３　ＳＮＤＭナノサイエンス＆テクノロジー創成に関する研究

共同プロジェクト研究

Ｈ１６／Ａ０４　スピンナノ構造体形成と情報通信デバイスへの適用に関する研究
Ｈ１６／Ａ０７　次世代ネットワークアプリケーションのための技術基盤の創成
Ｈ１６／Ａ０８　情報システムの遠隔評価環境に関する研究
Ｈ１６／Ａ１０　次世代ホットスポットネットワークの研究
Ｈ１６／Ａ１１　ナノスケール積層ジョセフソン接合のボルテクスダイナミクスとその応用
Ｈ１７／Ａ０１　知的ナノ集積システムの実現に関する研究
Ｈ１７／Ａ０２　高周波キャリア型磁界センサにおける不連続インピーダンス特性の原理考察と応用検討
Ｈ１７／Ａ０４　フォトニック結晶の光産業技術への展開
Ｈ１７／Ａ０５　プラズマナノ理工学基盤研究
Ｈ１７／Ａ０６　Ⅳ族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究
Ｈ１７／Ａ０８　視覚の統合処理過程の解明とその応用
Ｈ１７／Ａ０９　Rashba 効果を利用した半導体スピンデバイスの研究
Ｈ１７／Ａ１０　次世代ビームデバイス用高電流電界放射微小電子源の研究
Ｈ１７／Ａ１１　高機能有機薄膜センサーに関する研究
Ｈ１７／Ａ１２　人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究
Ｈ１７／Ａ１３　細胞バイオトロニクスに関する研究
Ｈ１７／Ａ１４　ＲＦ帯パーミアブルマテリアルによる高集積度ＲＦデバイスの開発
Ｈ１７／Ａ１５　導波路型光周波数シフタの高機能化に関する研究
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／Ａ０５　次世代 Web のための高度情報検索システムの基盤創成に関する研究
Ｈ１８／Ａ０６　音響情報によるセキュリティ向上技術に関する研究
Ｈ１８／Ａ０７　超伝導計算機の基礎と応用に関する研究
Ｈ１８／Ａ０８　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
Ｈ１８／Ａ０９　高次スピン機能ホイスラー合金の電子状態
Ｈ１８／Ａ１０　聴覚を利用した拡張現実感システムの構築に向けた基礎的研究
Ｈ１８／Ａ１１　FSF レーザー距離計測から得られる超高精度 3 次元点群データの幾何学的処理技術の確立
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
Ｈ１６／Ｂ０２　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
Ｈ１６／Ｂ０３　次世代情報通信における「音」の役割
Ｈ１６／Ｂ０４　電子ビームを利用する高密度磁気記録の研究
Ｈ１６／Ｂ０８　高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究
Ｈ１６／Ｂ０９　半導体の酸化ダイナミクスの解明とナノ構造形成技術への応用に関する研究
Ｈ１６／Ｂ１０　プログラム意味論の研究
Ｈ１７／Ｂ０１　ペタバイト級情報ストレージシステムの研究
Ｈ１７／Ｂ０２　電気・水素複合エネルギーシステム
Ｈ１７／Ｂ０４　ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓
Ｈ１７／Ｂ０５　ナノスピンマニピュレーションのための高性能交換磁気異方性材料の研究
Ｈ１７／Ｂ０７　ソフトウェア検証の理論と実践
Ｈ１７／Ｂ０８　スピンエレクトロニクスの新展開
Ｈ１７／Ｂ０９　マイクロ波帯磁気応用技術に関する研究
Ｈ１７／Ｂ１０　プログラム自動生成とその信頼性に関する研究
Ｈ１７／Ｂ１１　超高速光パルス制御技術に関する研究

Ｈ１７／Ｂ１２　高結合圧電材料とその応用に関する研究
Ｈ１７／Ｂ１３　コミュニケーションダイナミクス
Ｈ１８／Ｂ０１　ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究
Ｈ１８／Ｂ０２　共生コンピューティングのためのソーシャルウェア技術の研究
Ｈ１８／Ｂ０３　流れが深く関与するプラズマ物性の基礎と応用
Ｈ１８／Ｂ０４　マルチメディア情報ハイディングの研究
Ｈ１８／Ｂ０５　ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究
Ｈ１８／Ｂ０６　適応的な行動の発現と制御のメカニズム
Ｈ１８／Ｂ０７　コンプレックスプラズマの基礎と応用
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
Ｈ１８／Ｂ１０　生体電磁情報取得のための磁気利用技術

○　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。研究機関は，4 月 1 日より 3 月 15 日までであり，研究終了後 4 月 25 日前後までに共同プロジェクト研究報告書を提出していただく事になっている。なお，上の「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるので，申請にあたっては本所に対応教員がいることが必要である。

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

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

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

共同プロジェクト研究

課題番号　H16／A02

採択回数	3

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:

菖木　禎史

（熊本大学大学院自然科学研究科）

江端　正直

（熊本電波高専）

中島　栄俊

（熊本電波高専）

研究費:校費 27.8 万円, 旅費 25 万円

[2]研究経過

周波数領域両耳聴モデルは，人間の聴覚機能のうち，特に両耳聴条件での音源の定位能力と，それに依拠した特定音源信号への注意集中による検出能力の向上を模擬した計算機モデルである。このモデルは，現在開発途上ではあるが，その基礎的な特性の向上により，補聴器をはじめとする広い応用分野が想定される。

本プロジェクトは，本年度が第 3 年目であった。これまでに，この周波数領域両耳聴モデルの性能向上と，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，周波数両耳聴モデル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ている。シミュレーションの結果，左右 30° 以上の範囲では，5 dB 以上の抑圧ができることが確認できている。また，両耳から得られた信号からハウリングを抑圧するアルゴリズムの開発も行った。結果，複数の周波数で発生したハウリングを同時に抑圧できた。

本年度は，これまでの成果を踏まえながら，両耳補聴システムに必要な両耳間通信について検討を行った。

[3]成果

(3－1)研究成果

DPCM によって信号を圧縮した場合，周波数特性に変化が生じる。提案する周波数領域両耳聴モデルは，入力された信号を FFT で周波数領域に変換し，方向推定および分離を行う。そのため，システムの性能は，圧縮処理における周波数特性の変化の影響を受けるものと考えられる。そこで入力信号として DPCM によって圧縮された信号を用いた場合の両耳補聴システムの性能を，指向特性の観点から評価する。指向特性は，任意のターゲットの方向角に対し，その他の方向角の入力信号に対する出力信号の減衰量として表現される。復号 PCM を入力に利用する手法を図 1 に，DPCM 信号を入力信号として利用する手法を図 2 に示す。入力信号はドライソースと B&K ダミーヘッドに補聴システムを装着した際の HRTF を畳み込んだ信号とした。また，サンプリング周波数は 16 kHz であり，FFT フレーム長は 512，オーバーラップは 1/4 フレームシフトである。両耳補聴システムがターゲットとする

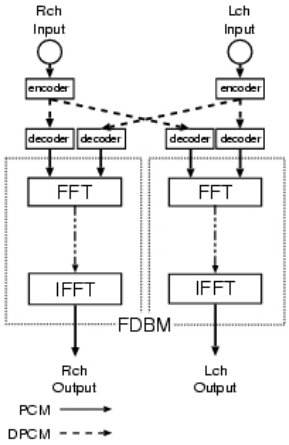


図1 復号 PCM 入力

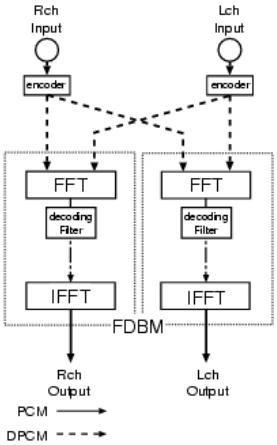


図2 DPCM 入力

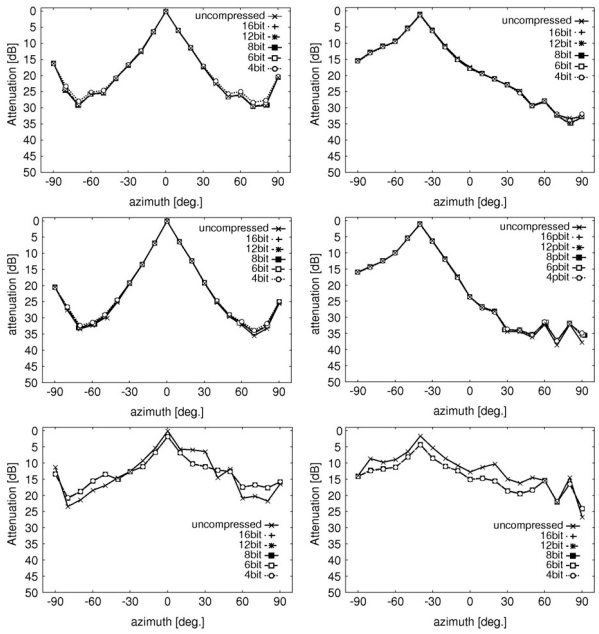


図3 復号 PCM 入力（上段:男声, 中段:女声, 下段:ホワイトノイズ;左図:0°, 右図:−40°）

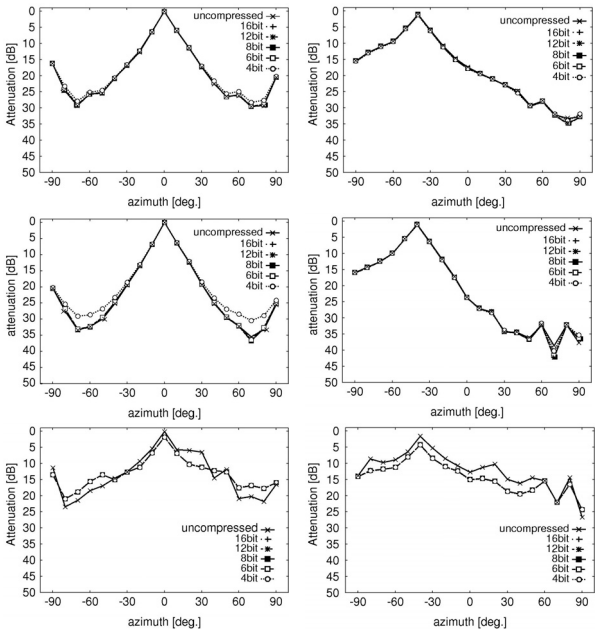


図4 DPCM 入力（上段:男声, 中段:女声, 下段:ホワイトノイズ;左図:0°, 右図:−40°）

方向を, 仰角 0°, 方向角 0° または −40° とし, 各方向角における減衰特性は, −90° から 90° の範囲で, 10° 間隔で測定した。指向特性は男声, 女声, ホワイトノイズの 3 種類について検討した。

a）復号 PCM 信号を用いたシミュレーション

入力信号を両チャネルともに DPCM 信号（量子化ビット数 2 から 16 bit ）からの復号 PCM 信号を用いた場合の両耳補聴システムの減衰特性を, 図 3 に示す。対象音源の方向を, 仰角は 0° とし, 方向角は, 左図は 0°, 右図は−40° の場合の結果である。各図から減衰特性において, 男声, 女声では, 量子化ビット数が小さくなった場合でも, 対象音源の方向では, 入力が非圧縮信号の場合と同等の性能が得られている。また, 対象音源の方向以外でも, 非圧縮信号の場合とほぼ同程度の性能が得られている。一方, ホワイトノイズにおいては, 対象音源の方向で, 量子化ビット数にかかわらず, 非圧縮信号を用いた場合に比べ減衰量が減少している。また, 対象音源の方向から離れるにつれて減衰量は増加している。これは, ホワイトノイズが音声に比べて高域の成分を多く含んでいるため, 圧縮の際に過負荷雑音等の影響を多く受け, 信号の特性が変化したためと考えられる。処理音を聴取すると, 男声では, 対象音源の方向においてはほとんど抑圧されていないことが確認できた。しかし, 量子化ビット数が 8 ビット以下から, 圧縮による雑音の混入が確認された。また, 対象音源の方向角以外で, 減衰量の大きい方向の処理音を聴取すると, 6 ビット程度からミュージカルノイズの混入が確認された。

b） DPCM 信号を用いたシミュレーション

入力信号に両チャネルともに DPCM 信号（量子化ビット数 2 から 16 bit）を用いた場合の両耳補聴システムの減衰特性を, 図 4 に示す。対象音源の方向を, 仰角は 0° とし, 方向角は, 左図は 0°, 右図は−40° 方向とした場合の結果である。各図から, 減衰特性に関して復号 PCM 信号を用いた場合と同様に, 男声, 女声では, 量子化ビット数を低くした場合でも, 対象音源の方向においては, 原信号の場合と同等の性能が得られていることが分かる。ホワイトノイズに関しても, 同様の結果である。対象音源の方向以外において, 方向角 70° 付近で非圧縮信号での減衰量より減少している。処理音を聴取した結果, 復号 PCM 信号の場合と同様に, 8 ビット程度から量子化による雑音の混入が観測されはじめ, 減衰量の大きい

方向の処理音では，6 ビット程度からミュージカルノイズの混入が確認された。

以上の結果より，両耳補聴システムの入力信号として，DPCM 信号からの復号 PCM 信号および DPCM 信号のそれぞれを用いた場合の両耳補聴システムの性能に関して検討を行った。結果，復号 PCM 信号を入力した場合，男声，女声において，量子化ビット数を小さくした場合は，対象音源の方向において信号は減衰されず，非圧縮信号の場合とほぼ同程度の性能が得られた。このことは，処理音を聴取することによっても確認できた。一方，DPCM における量子化ビット数が 8 ビット以下の処理音では明らかなノイズの混入が確認された。以上より，これまでの 256 kbps（16 kHz, 16 bit）のビットレートを，抑圧量と実際の処理音の音質から考えて 96 kbps（16 kHz, 量子化ビット数 6 bit）から 128 kbps（16 kHz, 8 bit）程度であれば，非圧縮信号を用いた場合と同程度の減衰特性を得ることができ，ビットレートの削減が可能であることが示唆された。しかしながら，量子化ビット数を小さくなるにつれて，処理音にノイズが増えるため，圧縮処理の際の雑音の低減に関しても検討する必要がある。

(3－2)波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて，周波数領域両耳聴モデルの応用を進めているが，今回の両耳間の通信量の圧縮は製品の高度な処理を多密に実装する際に大きな貢献が期待できる。本年の成果は本プロジェクトにとって大きな進歩といえる。

[4]成果資料

(1) Kotaro MATSUO, Yoshifumi CHISAKI, Tsuyoshi USAGAWA, A simple howling canceller for binaural hearing aid –Efficiency in cancellation performance along with frame length FFT–, Proc. The 9th Western Pacific Acoustics Conference, Paper No.589, (CDROM), pp.1–6, 2006
(2) Yoshifumi Chisaki, Kotaro Matsuo and Tsuyoshi Usagawa, Howling canceller for a hearing assistant system based on inter–aural level difference, Acoustical Science & Technology, Vol.27, No.4, pp.248–251, 2006
(3) 河野 翔，中島 栄俊，苣木 禎史，宇佐川 毅，両耳間位相差およびレベル差を用いた複数音源の方位角・仰角推定手法の検討 –音源方向の 2 次元推定による周波数領域両耳聴モデルの拡張–，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.106, No.205, EA2006–46, pp.25–30, 2006
(4) 松尾 浩太郎，苣木 禎史，宇佐川 毅，両耳間レベル差に基づいたハウリングキャンセラー –周波数分解能とその性能に関する考察–，電子情報通信学会技術研究報告，Vol.106, No.205, EA2006–45, pp.19–24, 2006
(5) 松尾 浩太郎，苣木 禎史，宇佐川 毅，ハウリング抑圧機能を有する両耳補聴システム –ハウリングマージンに関する検討–，日本音響学会 2006 年秋季研究発表会講演論文集，pp.417–418, 2006
(6) 河野 翔，中島 栄俊，苣木 禎史，宇佐川 毅，周波数領域両耳聴モデルによる音源の方位角および仰角の同時推定に関する検討，日本音響学会 2006 年秋季研究発表会講演論文集，pp.479–480, 2006
(7) Yoshifumi Chisaki, Kotaro Matsuo and Tsuyoshi Usagawa, Howling canceler using interaural level difference for binaural hearing assistant system, Acoustical Science & Technology, Vol. 28, No.2, pp.90–97, 2007
(8) Yoshifumi Chisaki, Kotaro Matsuo, Katsumori Hagiwara, Hidetoshi Nakashima and Tsuyoshi Usagawa, Real–time processing using the frequency domain binaural model, Applied Acoustics. (in press)

共同プロジェクト研究

課題番号　H16／A03

採択回数	1	2	3

SNDMナノサイエンス&テクノロジー創成に関する研究

［1］組織

代表者：長　康雄
（東北大学大電気通信研究所）
対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
尾上　篤（パイオニア㈱総合研究所）
高橋　宏和（パイオニア㈱総合研究所）
藤本健二郎（パイオニア㈱総合研究所）
本田耕一郎（㈱富士通研究所）
金　暢大　（㈱富士通研究所）
安武 正敏（ＳＩＩナノテクノロジー㈱）
中村孝一郎（NTT フォトニクス研究所）
坂本　尊（NTT フォトニクス研究所）
小田川裕之（東北大学大学院工学研究科）
平永　良臣(東北大学電気通信研究所)
廣瀬　龍介(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費２６万８千円，旅費４０万２千円

［2］研究経過

走査型非線形誘電率顕微鏡（ＳＮＤＭ）は，電子素子用機能性材料として広く用いられている強誘電体の残留分極分布や結晶性の評価が純電気的に行える世界で初めての装置である．この顕微鏡は既に実用化されており，誘電材料（含む，強誘電材料，圧電材料）のみならず半導体素子材料（ドーパントプロファイルやHigh-K誘電体ゲート材料）等の評価に欠かせない装置として広く利用されている．また本顕微鏡法は材料評価のみならずナノドメインエンジニアリングを用いた次世代超高密度メモリ技術等の電子素子に応用可能である．そこで本共同研究プロジェクトではＳＮＤＭ関連技術に造詣の深い研究者を一同に会し新しいＳＮＤＭナノサイエンスを創成しそれらを応用したナノテクノロジーを創造することを目的とし平成１６年度より本プロジェクトはスタートした．

本年度は，

１．ＵＨＶ－ＳＮＤＭの研究開発に関する研究

２．ＳＮＤＭプローブメモリーに関する研究

３．ＳＮＤＭによる半導体素子の評価に関する研究

に関して，個々の研究者との数回に渡る研究打ち合わせ及びその結果に基づいた研究を行い，更にその結果得られた成果の発表するための研究会を平成１９年２月９日，１０日にかけて行い，情報の共有を行った．

［3］成果

（３－１）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に「ＵＨＶ－ＳＮＤＭの研究開発に関する研究」においては，超高真空（ＵＨＶ）ＳＮＤＭの開発を完成し，それを用いてシリコンの原子双極子モーメントの観測に成功した．見積もられた水平方向分解能は０．１nm であり，誘電計測で世界で初めての原子分解能を達成した．

第２に「ＳＮＤＭプローブメモリに関する研究」においては，高速書き込みの実験を行いＨＤＤ型ＳＮＤＭ強誘電体プローブメモリを用いて１０Ｍｂｐｓの高速データ書き込みに成功した．また非接触ＳＮＤＭ法を応用した非接触型のＳＮＤＭプローブメモリの動作確認に成功した．更に，記録の長期安定性の研究を行い強誘電ナノドメインの長期安定性を明らかにした．

第３に「ＳＮＤＭによる半導体素子の評価に関する研究」ではドーパントプロファイル分析の研究を行い大きな成果を得た．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，２つの大型プロジェクトに発展している．一つは科(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)ナノテクノロジープログラム／ナノテク・先端部材実用化研究開発における「超高密度強誘電体記録の実用化研究」(参加企業・パイオニア及び村田製作所）に，もう一件は先端計測分析技術・機器開発事業における「複合型走査型非線形誘電率顕微鏡の開発」(参加企業・ＳＩＩナノテクノロジー及び富士通）である．

またＳＮＤＭプローブメモリに関しては諸外国の

企業からの問い合わせも多数なされるようになって来ている.

［4］成果資料

（1）S. K. Choi, S. H. Ahn, W. W. Jung, J. C. Park, S. A. Song, C. B. Lim, and Yasuo Cho: “Observation of [110] surface band within {101} a-domain of heteroepitaxial $PbTiO_3$ thin film fabricated by hydrothermal epitaxy”, Appl. Phys. Lett., Vol.88, No.5 (2006) pp.052901-1-052901-3

（2）W. S. Ahn, W. W. Jung, S. K. Choi, and Yasuo Cho:“Retention loss phenomena in hydrothermally fabricated heteroepitaxial $PbTiO_3$ films studied by scanning probe microscopy”, Appl. Phys. Lett., Vol.88, No.8 (2006) pp.082902-1-082902-3

（3）Yoshiomi Hiranaga, Kenkou Tanaka and Yasuo Cho:“Nanodomain Manipulation for Reduction of Bit Error Rate in Terabit / $Inch^2$-Class Ferroelectric Data Storage”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.3B (2006) pp.2220-2224

（4）Tomoyuki Sugihara and Yasuo Cho: “Three-dimensional observation of nanoscale ferroelectric domains using scanning nonlinear dielectric microscopy with electric field correction by Kelvin probe force microscopy”, Nanotechnology, Vol. 17, No.7 (2006), pp.S162-S166

（5）Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou Tanaka and Yoshiomi Hiranaga:“Nanodomain manipulation for ultrahigh density ferroelectric data storage”, Nanotechnology, Vol.17, No.7 (2006), pp.S137-S141

（6）Koichiro Honda, Sunao Hashimoto and Yasuo Cho:“Visualization of charges stored in the floating gate of flash memory by scanning nonlinear dielectric microscopy”, Nanotechnology, Vol.17, No.7 (2006), pp.S185-S188

（7）Takeshi Morita and Yasuo Cho:“Piezoelectric property of an epitaxial lead titanate thin film deposited by the hydrothermal method”, Appl. Phys. Lett., Vol.88, No.11 (2006), pp.112908-1-112908-3

（8）Hirokazu TAKAHASHI, Atsushi ONOE, Takahito ONO, Yasuo CHO and Masayoshi ESASHI: “High-Density Ferroelectric Recording Using Diamond Probe by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.3A (2006) pp.1530-1533

（9）Hirokazu Takahashi, Takahito Ono, Atsushi Onoe, Yasuo Cho and Masayoshi Esashi;“A diamond-tip probe with silicon-based piezoresistive strain gauge for high-density data storage using scanning nonlinear dielectric microscopy”, JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING, Vol.16, No.8 (2006) pp.1620-1624

（10）akeshi Morita and Yasuo Cho:“Piezoelectric Performance and Domain Structure of Epitaxial $PbTiO_3$ Thin Film Deposited by Hydrothermal Method”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.5B (2006) pp.4489-4492

（11）Nozomi Odagawa and Yasuo Cho:“Study of Long-Term-Retention Characteristics and Wall Behavior of Nano-Inverted Domains on Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$ Based on Wall Energy”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.9B (2006) pp.7560-7563

（12）Nozomi Odagawa and Yasuo Cho:“Long-term-retentiom characteristics of small inverted dots formed on congruent single-crystal $LiTaO_3$”, Appl. Phys. Lett., Vol.89, (2006), pp.102906-1-102906-3

（14）K. Ishikawa and Y. Cho:“Using an electroconductive carbon nanotube probe tip in scanning nonlinear dielectric microscopy”, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 77, (2006), pp.103708-1-103708-4

（15）Yasuhiro DAIMON and Yasuo CHO:“Cross-Sectional Observation of Nano-Domain Dots Formed in Congruent Single-Crystal $LiTaO_3$”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.49 (2006) pp.L1304-L1306

（16）Nozomi Odagawa and Yasuo Cho:“Wall behavior of nanodomains as a function of their initial state”, Appl. Phys. Lett., Vol.89, (2006), pp.192906-1-192906-3

（17）Yasuo Cho:“Nanoscale Ferroelectric Information Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol.7, No.1, (2007), pp.105-116

（18）Ryusuke Hirose, Koya Ohara and Yasuo Cho:“Observation of the Si(111)7×7 atomic structure using non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy”, Nanotechnology Vol. 18, (2007), pp.084014-1-084014-5

（19）Kenya Ishikawa, Koichiro Honda and Yasuo Cho:“Resolution enhancement in contact-type scanning nonlinear dielectric microscopy using a conductive carbon nanotube probe tip”, Nanotechnology Vol. 18, (2007), pp.084015-1-084015-6

（20）K. TANAKA, Y. HIRANAGA AND Y. CHO:“Real Information Storage using Ferroelectrics with a Density of 1 TBIT/$INCH^2$”, Ferroelectrics, 340, (2007) , pp.99-105

課題番号　H16／A04

採択回数	1　2　(3)

ｽﾋﾟﾝﾅﾉ構造体形成と情報通信ﾃﾞﾊﾞｲｽへの適用に関する研究

［1］組織
代表者：佐橋　政司
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
土井　正晶（東北大学大学院工学研究科）
三宅　耕作（東北大学大学院工学研究科）
宝野　和博（物質・材料研究機構）
壬生　　攻（名古屋工業大学大学院工学研究科）
岩崎　仁志（東芝研究開発センター）
松井　正顯（名古屋大学大学院工学研究科）
小野　輝男（京都大学化学研究所）

研究費：物件費２４万４千円，旅費２３万３千円

［2］研究経過

利便性を追求するユビキタス、ならびにネットワークで繋がる情報家電など進化する情報通信技術においては、小型で高性能なデバイスの更なる革新が求められている。本プロジェクトの研究課題である「スピンナノ構造体形成と情報通信デバイスへの適用」は、データストレージの超高密度化やユニバーサルメモリとしての MRAM 実現のためのキーデバイスとして期待されている従来型のスピン伝導デバイスを遥かに凌駕する、あるいは従来の枠を超えたデバイス応用が期待される新しいスピンナノデバイスの可能性を、スピン伝導物理から検討することを目的としている。

本プロジェクトは，本年度が３年度である。電子伝導の量子化を実現するためには、ナノメータスケールでの電流の絞り込みを、磁性多層膜構造体内に制御して形成する必要があり、代表者（佐橋政司）が取り組んできた極薄酸化物層（Nano-Oxide-Layer（NOL））を用いる方法でその確立を目指す。二つの強磁性金属薄膜層を絶縁体層で分断した多層膜構造体において、NOL 絶縁体層面内に微小な伝導領域を設けることがその糸口となる。CPPGMR において、世界に先駆けてナノオキサイドレイアー（NOL）を用いた CCP 構造（Current-Confined-Path：電流狭窄）によるGMRの増大効果が佐橋政司らのｸﾞﾙｰﾌﾟから報告されている。本年度は、Nano-Oxide-Layer（NOL）型のナノ構造体の構造解析とそのマイクロ波デバイスへの適用に関する研究を展開した。

以下，研究会活動状況の概要を記す。

高密度化・高速化の一途を辿る情報通信デバイスにおいては、その素子寸法が 100nm をきるところまで微細化が進展し、ナノスケールでの特異なスピン伝導物理のデバイス応用が現実の研究課題となっている。本共同プロジェクトでは、石山研究室及びスピン伝導領域ならびにナノ計測の分野において第一線で活躍中の国内外の優れた研究者の協力のもとに、可能な範囲でのサンプルの作製・評価を通して、新規なスピンナノデバイスについての企画と新たな枠組みでの研究手法のコーディネートを模索することを考え、下記研究会を開催した。

「通研共同プロジェクト」ならびに、「魅力ある大学院教育イニシャティブ、生体・ナノ電子科学国際教育拠点」の研究会として、超微細電子工学講座（佐橋研究室）・第８回「金属スピントロニクスセミナー」を下記日時にて開催した。今回は、特に新進気鋭の若手の先生方に、スピンナノ構造体の物理とデバイス応用についての最新の話題を講演いただいた。

テーマ：「スピンナノ構造体の形成、計測、物理とデバイスへの応用」

日時：2007 年 3 月 14 日（水）午後 1 時から 6 時
場所：東北大学大学院工学研究科電気情報系 2 号館 2 階 204 室
共催：東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座

研究会講演の内容：
1. 挨拶（ナノ狭窄電子系の最近の話題）
東北大学電子工学専攻 佐橋政司
2.「ナノ構造磁性体における磁化運動に伴う起電力の理論」東北大学金研 家田淳一（前川研究室）
3.「非磁性金属環中のスピン流干渉効果」理研 廣畑貴文
4.「電流狭窄領域を持つ磁性多層膜における磁気抵抗効果の理論的研究」産総研 今村裕志
5.「NiFe ポイントコンタクトの作製と磁気抵抗効果のその場測定」東芝 RDC 大沢裕一

［3］成果

（3－1）研究成果

Ⅰ．スピンナノ構造体形成と磁気抵抗効果に関する研究

本年度は，ナノ狭窄領域に磁壁を閉じ込めたFeCo/[FeCo-AlOx ナノ狭窄構造]/FeCo を積層した強磁性接点型のナノ狭窄構造薄膜において、高い磁気抵抗比(10%)を世界ではじめて観測することに成功した。このナノ狭窄構造薄膜では電気的に質の高い超極薄絶縁層中に、電気的に質の高いメタルパス(1nm 級)を、径と分布を制御して形成することが重要である。ナノメータスケールでの電流の絞り込みを、磁性多層膜構造体内に制御して形成することを目的として極薄酸化物層(Nano-Oxide-Layer(NOL))の形成メカニズムを考察し、以下に示す研究成果を得た。

1）CoFe-NOL の構造と磁性

CoFe/Cr-NOL の磁性と構造を明らかにすることを目的として単原子層厚以下の Cr を CoFe 上に成膜してから自然酸化を行うことで作製した CoFe/Cr-NOL を、反強磁性層/ピン層(FM)/スペーサー層(非磁性)/フリー層(FM)から成るスピンバルブ膜のピン層中に挿入し、磁界中冷却後の交換結合磁界 H_{ex} の温度変化を調べ、NOL の磁性と構造を考察した(K. Sawada, M. Sahashi et al, IEEE Trans. Magn., In-press。また、Cr を成膜することで、低温において約 3 倍もの H_{ex} が得られることを示した。さらに、室温付近でも大きな H_{ex} が得られることを示した。これは、CoFe-NOL では NaCl 型の CoO-FeO 反強磁性体が形成されるのに対して(H. Endo et al, J. Appl. Phys., 99, 08R703 (2006))、CoFe/Cr-NOL 表面には、よりネール点の高い反強磁性体である Cr_2O_3-Fe_2O_3 が形成されることを示唆するものである。

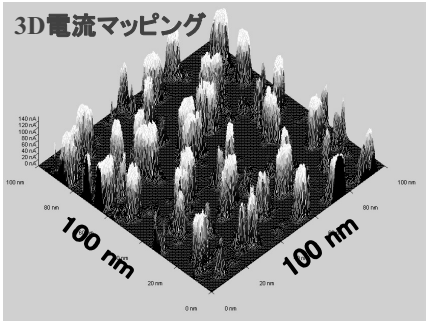


図1 CoFe NOL 表面の C-AFM 像(図右の白色部が Co の導電チャネル)

次に作製した NOL を In-situ で conductive-AFM を用いて観察した(K. Sawada et al, 10th joint MMM/INTERMAG Conf. 2007 （図 1 ））。図 1 に $Co_{0.9}Fe_{0.1}$-NOL 表面の電流像の 3-D イメージを示す。電流像から、3～8 nm ほどのサイズの導電チャネルが、15～20 nm の間隔である程度規則正しく配列していることがわかった。

2）電子狭窄層作製のための自己組織化ナノパターニング法ならびにポンプアップ法の検討

Cu(111)表面に分離移動したAl原子/クラスタが、表面エネルギーの大きいCu(111)テラス端に凝集する過程を経て、Cu(111)表面上でのAl原子/クラスタの自己組織化パターニングが起こり、表面エネルギーの小さいCoFe(111)テラス中央を露出する。この露出部が、Al(アルミニウム)の優先酸化過程と上部金属の堆積過程を経て、ナノ狭窄領域となることを明らかにした(J. Magn. Soc. Jpn., 30, 357-360 (2006)、IEEE Trans. Magn., 42, 2633-2635(2006))。この自己組織化ナノパターニング法 (Cu-AlO_xNOLの形成過程の研究において見出した、Cu(111)表面上のAlの移動(ラテラル拡散)を利用したナノパターニング手法) をCoFe(111)表面に対しての適応検討を開始した。

次にEB蒸着法にて作製したエピタキシャルFe(100)膜表面へのTaの表面堆積、その場熱処理後の表面分析、Fe/2nmTa/Fe三層膜における狭窄Fe部(Ta中に形成される)を介しての上下Fe層間の交換結合(層間結合)の調査結果より、a) 表面堆積されたTaは粒状(大きさ2nm程度)でFe表面を隈なく覆う、b) 400℃のその場熱処理後の表面のSTMによる表面分析においてポンプアップされたFe表面を確認(ポンプアップ部の最小径は2nm、断面TEMでも確認)、c) 上下Fe層の保磁力差を利用したFe/Ta/Feの磁化過程より下層Feのポンプアップにより上下Fe磁性層が狭窄FeによってBridgeされた層間結合が100℃から見られることが判った。この結果は、STM、断面TEMの結果と合わせて下層Feの粒状Taの粒境界を経路してのFeのポンプアップが100 ℃から起こることを示す有力な証拠である(The 10th Joint MMM/Intermag Conf.,Baltimore, Maryland (2007))。Ta粒をさらに微細化すれば狭窄Fe径はさらに微細化(1nm以下)できることが考えられる。しかしFe/Taの場合、狭窄Feの分布、径分布、Taの酸化およびFeとの酸化選択性に難点があり、更なる研究が必要である。

Ⅱ．ナノ狭窄電子系スピントランスファー型マイクロ波発信に関する研究

近年ナノ磁性体における量子現象として報告されているスピントランスファートルクを利用した、新規なマイクロ波発信ナノ磁性体デバイスに関する研究をはじめた。このスピンダイナミックスは磁性体の寸法、すなわちスピン電流密度に依存する。研究

代表者らが促進している独自の自己組織化された導電チャネルを含む１ナノメータ厚の絶縁体層を用いたナノ狭窄電子系構造体薄膜では、ナノパターニング機構によって、導電チャネル径をリソグラフィー法では不可能な1～10nmにすることができる。本自己組織化プロセスによって、はじめて形成可能なスピンナノ構造体を用い、マイクロ波発信の高出力化・超小型化・超低消費電力化のためのナノ磁性体デバイスについて検討する目的で、本年度は下記のような研究成果を得た。

１．GHz 帯STT マイクロ波計測系を下図のように 試作した。図 3 に示すようにスペクトルアナライザーを用いた垂直通電型マイクロ波素子の発振特性評価のための回路系を各種検討し、電磁石による磁場印加機構を備えた測定系を構築した。

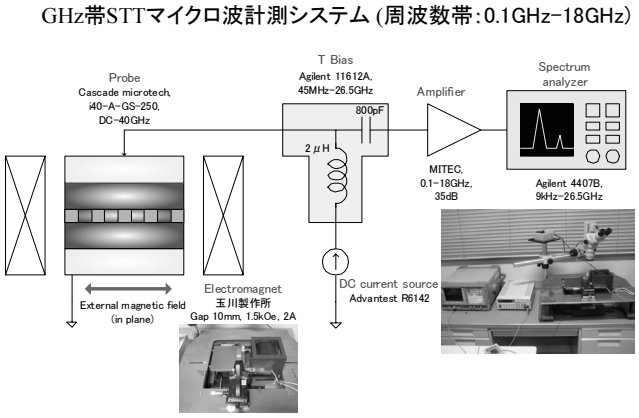


図２ スピン電流駆動型マイクロ波発振測定系

２．強磁性接点型ナノ狭窄構造薄膜について、世界ではじめてマイクロ波（9GHz 付近）の発振を確認し、その発振が GMR や TMR とは異なる特徴があることを、明らかにしている（論文投稿準備中）。この特徴は、ナノ狭窄領域に閉じ込められた磁壁によるものであると考えられる。通常は 50nm ほどの微細な素子でしか確認されていない STT マイクロ波発振を、1μm 程度の作製容易な素子で確認することに成功した。

（３－２）波及効果と発展性など

本研究で提案する電子スピンナノ狭窄構造薄膜の DWMR は、これまでの TMR と BMR の課題を一気に解決するものであり、テラビット超の超高密度磁気ストレージ・メモリの作製が可能となることが期待され、今後の発展が大いに期待されている。又、微小な導電チャネルにおけるスピントランスファートルクの研究例は無く、本研究はマイクロ波発振にとどまらずナノスコピック領域での電子/スピン輸送物理の観点からも興味深く、大きな学術分野へと発展する可能性がある。スピン伝導を利用した新規な情報通信デバイスの検討が米国で活発化して来ていることを鑑みた時、本共同プロジェクトは日本が優位にあるデータストレージ・メモリ分野での先導的役割に加えて、これまでに無いスピンナノ情報デバイスの検討で遅れを取らないための具体的な研究成果の方向付け、取り組みの加速に寄与することが期待される。

［４］成果資料

1. “Magnetoresistance of FeCo nanocontacts with CPP-SV”, Hiromi Fuke, Susumu Hashimoto, Masayuki Takagishi, Hitoshi Iwasaki, Shohei Kawasaki, Kousaku Miyake, and Masashi Sahashi, IEEE Trans. Magn., in press (2007).
2. “Confirmation of “Atom Pumping-up Mechanism” in Fe/Ta Film for the Fabrication of Ferromagnetic Nano-bridge”, M. Doi, Y. Abe, K. Miyake, H. N. Fuke, M. Takagishi, H. Iwasaki, M. Sahashi, IEEE Trans. Magn., in press (2007).
3. “Influence of NOL magnetism on Exchange-Bias Characteristics in Specular Spin Valve Systems with (Co-Fe)/Cr pin-NOL”, M. Sahashi, K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and N. Hasegawa, IEEE Trans. Magn., in press (2007).
4. “Self aligned periodic Ni nano dots embedded in nano-oxide-layer”, M. Doi, M. Izumi, S. Kawasaki, K. Miyake, and M. Sahashi, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 310, e836-e837, (2006).
5. “Study on B2 structure epitaxial Fe/Co superlattice”, In Chang Chu, Masaaki Doi, Masashi Sahashi, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 304, e121-e123 (2006).
6. “Experimental and Simulation Study to Identify Current-Confined Path in Cu-Al Space Layer for CPP-GMR Spin-Valve Applications”, J. Y. Sho, S. P. Kim, Y. K. Kim, K. R. Lee, Y. C. Chung, S. Kawasaki, K. Miyake, M. Doi, and M. Sahashi, IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS , 42,No.10, 2633-2635 (2006).
7. “ STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF $Co_{100-x}Fe_x$ NANO OXIDE LAYER “, Hiroaki Endo, Masaaki Doi, Naoya Hasegawa, and Masashi Sahashi, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 99,08R703 (2006).
8. “ $Co_{100-x}Fe_x$-NOL のピンアシスト効果について”、遠藤広明、土井正晶、長谷川直也、佐橋政司、日本応用磁気学会誌、30, 127 (2006).
9. “ Cu-AlOxNOL(Nano-Oxide-Layer)形成課程の考察”、河崎昇平、蘇峻永、三宅耕作、土井正晶、佐橋政司、日本応用磁気学会誌、30 No.3,(2006) 357.

共同プロジェクト研究

採択回数	１　２　③

課題番号　H16／A07

次世代ネットワークアプリケーション のための技術基盤の創成

［１］組織

代表者：坂田　真人（秋田大学工学資源学部電気電子工学科）

対応教員：岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）

分担者：

白鳥　則郎，鈴木　陽一，菅沼　拓夫，岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所），木下　哲男，今野　将（東北大学情報シナジーセンター），菅原　研次，原　英樹（千葉工業大学情報ネットワーク学科），藤田　茂（千葉工業大学情報工学科），玉本　英夫，五十嵐　隆治，横山　洋之，高橋　秋典，藤原　克哉（秋田大学工学資源学部情報工学科），小原　仁（秋田大学工学資源学部電気電子工学科）

研究費：校費 300 千円　旅費 492 千円円

［２］研究経過

ネットワークの高速ブロードバンド化及びパーソナルコンピュータの高性能化に伴い，従来型のネットワークアプリケーションは，概ねストレスを感じることなく通信できるような状況にある．今後予測されるテラビット級のネットワークを勘案すると，高速ブロードバンドを十分に活用できる超高品質，超高臨場感型の次世代ネットワークアプリケーションの創成が望まれている．

本研究では，上記のようなネットワークアプリケーションの創成のため，

（１）　高速ブロードバンドトラヒック解析技術

（２）　高臨場感通信のための複合現実感型視聴覚情報処理技術

（３）　マルチエージェント型次世代アプリケーションの基盤技術

などの要素技術の研究を推進する．

本プロジェクトは３年目に入った．この間，ネットワークアプリケーションは様々な様相で生み出されてきている．プロジェクトで取り上げた課題は，超高速なネットワークの構築技術や利用環境の実体験から，ネットワークはこのようにありたいという利用者の願望やアィデアまで色々である．研究は，秋田大学の研究者が東北大学を訪問し，異なる立場の研究者が協調する比較調査，相互間の動作試験及び研究討議をおこなった．さらに，１９年３月７日に東北大学と秋田大学のネットワーク関係の大学院学生を含めた研究発表並びに討論会を開催した．計１４件の研究発表または報告があった．群馬大学の研究者も参加し，今後の研究の進め方について種々討議し，ネットワークアプリケーションが多彩であることを実感させられた．

［３］成果

［３－１］研究成果

テラビット級ネットワークを十分に活用するための基盤技術の研究・開発を推進する本プロジェクトにおいては，萌芽的研究，計画やアイデアの提起，本格的な研究まで多様である．以下にそれぞれの研究の状況と成果の概要を述べる．

（１）　高速ブロードバンドトラヒック解析技術

（１－１）インパルス性パケットプロービングによるインターネットの帯域測定技術

インターネットの様々な要求に応えるためには，バーチャル回線の設定に際して，現在のネットワークの使用状態（空き容量や遅延時間など）を知ることが有効である．例えば，使用可能な空き帯域（可用帯域）を測定する方法として，センシングのためのプローブパケットを用いるアクティブ・プロービング方式が従来知られている．しかし，この方法ではプローブパケットによりネットワークの負荷が一時的に急激に上昇し，他の回線に影響を与えるという問題があった．そこで本研究ではプロービングパケットのデータ量を最小とし，かつ短時間で可用帯域を計測可能なインパルス性プロービング方式を新たに提案する．提案方式は従来の Initial Gap Increasing 方式を元に，その欠点である測定時間および測定誤差を改善するため，受信端での測定結果を送信端にフィードバックする機構を導入した．

（１－２）VoIP トラフィック特性の検討

QoS 確保のための方式提案を目的とし，ネットワークシミュレータ OPNET-MODELER を用いて，て，VoIP（Voice overIP）トラフィック特性の検討をトラフィックの自己相似性に着目して研究している．一方，インターネット上に TCP と UDP が混在した場合，UDP による帯域占有に起因する極端な TCP の疎通帯域減少が生起し，輻輳崩壊に至る危険性があることが報告されている．輻輳崩壊を防止しつつ種々のアプリケーションが疎通するような環境を整える

ことは重要である．この観点から，TCP と UDP ならびにTCP とDCCP との混在下におけるトラフィック疎通状況を,ネットワークシミュレータ Ns-2 を用いたスループット特性を検討し，いくとか結果を得た．

（１－３）LAN トラヒック特性の検討

従来のネットワークトラフィックモデリングの研究は，その発生過程がポアソンモデルに従うものとしてネットワークシミュレーションなどを行ってきた．しかし，実ネットワークにおけるトラフィックの発生過程は自己相似過程に従うものであることが報告され，この自己相似性を考慮に入れたトラフィックのモデル化が必要となっている．この観点から以下の研究を進めてきた．

1） ハーストパラメータ H の高速導出法

R/S 解析を用いて，高速で H を導出するアルゴリズムを提案した．提案法の妥当性に関しては，H 導出のための演算数の理論的な減少分ならびに，本アルゴリズムを適用した H 導出プログラム実行時の時間短縮の計測の両面から，その有効性を示した．

２） 長期間観測による LAN トラフィック特性

一年間にわたって観測した小規模 LAN のトラフィックデータから，自己相似性を示す指標であるハーストパラメータに注目して解析し，長期間のトラフィック変動の特性を明らかにした．

３）パケット到着時間間隔分布に基づくトラフィック特性の検討

ルータにおけるパケットの挙動に注目して,パケットの到着時間間隔分布をモデリングする．結果として，確率密度関数が長期依存性を持つようなモデルをもとにシミュレーションを行ったとき，最も実測トラフィックの到着時間間隔分布に近い分布が得られることがわかった．

４） 疎通プロトコルとネットワーク規模との相関

単位時間あたりの疎通プロトコル比率とネットワーク規模との関連を探る目的で小，中，大各規模のネットワークにおいて，ネットワーク制御系プロトコル（ICMP，ARP，ODP(DNS)など），TCP，UDP 間の疎通比率の影響を調査検討した．

５） R/S Pox-Diagram の特徴抽出

実トラフィックから得られる Pox-Diagram を２次元画像として取り扱い，この画像から抽出される特徴量とトラフィックの性質との間にどのような関連があるのかを調べ，興味ある結果を得た．

（1－4）DoS 攻撃に対するしきい値制御ガードシステムの構築

本研究は，DoS 攻撃(Denial of Service Attack ）に対処できるガードシステムの構築である．これまで，主にダミーサーバを設けることでシステムを構築してきたが，多様な攻撃に対応できる攻撃検知システム Snort を追加採用し，これらの情報でルータのルーティングテーブルの設定を変更する方式に改良した．構築した本ガードシステムは，主に DoS 攻撃の一つである TCP SYN Flood 攻撃を取り扱うことができる．提案システムの実証実験から，ダミーサーバの負荷の増大などの現象が起きるが，ホストサーバへの攻撃は回避できることが確認できた．

（２） 高臨場感通信のための複合現実感型視聴覚情報処理技術

（２－１）照明変動による肌色分布域変移を考慮した肌色領域抽出法

本研究では，画像データトラフィックの性質に適合した画像認識システムとネットワークとの最適なインターフェース構築を視野に入れた顔領域検出法の研究目標としている．先ず，効果的且つ高速な顔認識のための画像取得法を，照明条件が変化する環境下で実験してみた．検討の結果，LUV 色空間のうちの UV 座標面での肌色領域を楕円近似し,この楕円領域を,背景中における一部関心領域の UV 座標面での変移に依存させて推移させる肌色領域推移法を提案し,高速な顔部分候補識別の可能性を確認できた．

（２－２）画素の上下限値を適用する画像符号化

画像データの圧縮技術の応用は多様である．本研究は，画素の上下限値を保持する条件のもとでの圧縮符号化を行うところに特色がある．従来，基本図形として，平坦図形，エッジ図形を中心に検討を進めてきたが，汎用性に欠点があった．新たに提案するデータ構造表現は２分木に基づく方法である．カラー濃淡画像を YUV の各プレーンに分解し，YUV のプレーン毎に上記処理を施して，符号圧縮をおこなう．復号化は各画素値の上下限の制約を満たす滑らかな関数を再生する処理手順で達成する．自然画像やイラスト画像に対して PSNR に基づく評価を行った．結果は，JPEG の圧縮性能に及ばないものも，基本的な特徴を捉えることができた．

[３－２]波及効果と発展など

本プロジェクトの研究はアプリケーションのための基礎研究という観点と超高速光ネットワーク構築とう観点の双方から研究が進められている．前者は，技術的な可能性を提示することで，新たなネットワーク応用のシーズを与えるものである．一方，超高速光ネットワークの性能と品質は，そこに流れるトラヒックの様相を明らかにし，解析可能なモデル化技術を構築することと，そのトラヒックの超高速スイッチングあるいはルーティング技法を確立することである．ここに，ネッワーク構築技術とアプリケーション技術相互の協調と討議が必要となり，相互に刺激されながら新しいネットワークモデルが創成されるものと考える．

今日のネットワークの進展は社会経済活動と個人生活に係る応用に密接に関係している．喝采をもっ

て社会に受け入れるネッワークアプリケーションの発明には，単なる現状の延長でなく，想定外の応用に対処できる技術の創成が不可欠である．発見的あるいは試行錯誤的とも思われるモデル化と実証実験から得られた知見を積み重ねることで達成されるであろう．

［4］研究成果

(1)上田 浩，奈須野 裕，岩谷 幸雄，五十嵐 隆治，木下 哲男 (2007)："確率過程による LAN トラヒックのモデル化における一考察"，情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」, Vol.48, No.SIG 2(TOM 16), pp.167-174, 2007.

(2)Igarashi, R., Takahashi, A., Ueda, H., Nasuno, Y., Iwaya, Y. and Sakata, M.,Kinoshita, T. (2007)：A Proposal for Real Time Hurst Parameter Derivation, Trans.IEE of Japan, Vol.127-C, No.6, pp.968-969, 2007. (to be published)

(3)合田 徹，五十嵐隆治，高橋秋典，岩谷幸雄，上田 浩，木下哲男，奈須野裕：ネットワークシミュレータを用いた VoIP トラフィック特性の検討，平成18年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1G-04, p243, 2006.

(4)相河浩之，五十嵐隆治，高橋秋典：侵入検知の可視化に関する研究，平成18年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1G-07, p246, 2006.

(5)小野仁子，田村雄介，増田有悟，五十嵐隆治，高橋秋典，岩谷幸雄，坂田真人：プロトコルに依存したネットワークトラフィックの解析，平成18年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1G-10, p249, 2006.

(6)高橋秋典，五十嵐 治，橋本芳明，岩谷幸雄： 実時間計測におけるハーストパラメータ高速導出法の検討，平成18年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集，1G-11,p250, 2006.

(7)福士貴子，五十嵐隆治，高橋秋典：モンテカルロ法によるトラフィックのモデリングの検討，平成18年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1G-12, p251, 2006.

(8)長谷川浩章，五十嵐隆治,高 橋秋典：R/S Pox-Diagram の特徴とトラフィックパラメータに関する研究，平成18年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1G-13,p252, 2006.

(9)斉藤 楽，五十嵐隆治，高橋秋典，坂田真人：トラフィック時系列のフラクタル次元に関する研究，平成18年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1G-14, p253,2006.

(10)田中政利，高橋秋典，五十嵐隆治：照明条件の変化を考慮した肌色分布推定法，第 230 回 計測自動制御学会東北支部研究集会, (2006.7.21)， 資料番号 230-7, 7 月 2006.

(11)小原仁，再構築可能な光ネットワークの制御技術，信学技法 vol. 106, no. 154, pp.49-52, 2006

(12)小原仁，織田慎也，坂田真人「光バーストスイッチング網における波長バイパス方式の設計原理」平成 18 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1C-4,p.78,2006

(13) 木下哲男，今野将，北形元，打矢隆弘，原英樹：ソーシャルウェア，「特集 : シンビオティック・システムの実現に向けて，情報処理学会誌，Vol.47，No.8，pp.817-824，2006.

(14) Sameera Abar, Susumu Konno, Takahiro Uchiya, Yukio Iwaya, Toru Abe and Tetsuo Kinoshita: Development of a multi-agent mediated ontology-driven prototype sysytem for the active support to network management, Proceedings of the Joint international Conference of The 4th IGNOIE-COE06 & SOIM-COE06, 2007

(15) Takuo Suganuma, Takahiro Uchiya, Susumu Konno, Gen Kitagata, Hideki Hara, Shigeru Fujita, Tetsuo Kinoshita, Kenji Sugawara, Norio Shiratori: Symbiotic Computing: Basic Concepts and Architecture, Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'06), FINA 2006 Symposium, Vol.2, pp.780-784, 2006.

(16) Li Xiaolu, Takahiro Uchiya, Takahide Maemura and Tetsuo Kinoshita: Experiment of Agent Interoperability between Heterogeneous Agent Platforms, the 4th International Workshop on Multi-Agent Systems and Semantic Grid (MASSG06), pp.7-14, 2006.

(17) Takahiro Uchiya, Takahide Maemura, Li Xiaolu and Tetsuo Kinoshita: Design and Implementation of Interactive Design Environment of Agent System, the 20th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE2007), 2007.

(18) 打矢隆弘，前村貴秀，今野将，木下哲男：発展型ソーシャルウェアのためのリポジトリ型フレームワーク，信学技報, Vol.106, No.400, AI2006-26, pp.7-12, 2006.

(19) 藤田茂，菅沼拓夫，今野将，打矢隆弘，原英樹，北形元，木下哲男，菅原研次，白鳥則郎：共生コンピューティング(3) 〜 -子供とお年寄りの見守り事例- 〜，信学技報，Vol.106, No.399, AI20 06-21, pp.1-6, 2006.

(20) 打矢隆弘，前村貴秀，今野将，木下哲男：発展型システムのための高機能エージェントリポジトリ，合同エージェントワークショップ＆シンポジウム JAWS2006 講演論文集, 2006.

(21) 吉永純也，打矢隆弘，今野将，木下哲男：柔軟なエージェント組織化のためのセマンティックマッチング機構，合同エージェントワークショップ＆シンポジウム JAWS2006 講演論文集，2006.

(22) 吉永純也，打矢隆弘，今野将，木下哲男：マルチエージェント組織化におけるセマンティックマッチング機能に関する一考察，信学技報，KBSE2006-9，pp.7-12，2006.

(23) A. サミラ，今野将，打矢隆弘，岩谷幸雄，阿部亨，木下哲男：Experimenting with the Application Scenarios:-A knowledge-based Prototype System to Autonomously Support the Network Management Functions- , IEICE-KBSE technical meeting，KBSE2006-49, pp.25-30, 2007.

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　3

課題番号　H16／A08

情報システムの遠隔評価環境に関する研究

［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２８万３千円，旅費２３万４千円

［2］研究経過

現在の情報システムは,「１人のユーザが１つのシステムを使う」という従来型の利用形態ではなく,「情報ネットワークを介して多数のユーザが複合的なシステムを使う」という形態に変化している。このような状況で人間と環境の調和を目指して情報システムを設計する場合，対象システムのユーザビリティを系統的に評価することは極めて困難である。

本研究の目的は，情報システムの遠隔評価環境をネットワーク上に構築することにある。具体的には，人間のもつ多様なモダリティ（視線や身振り，音声，触覚，生体情報）に基づいて、対象システムの使いやすさを評価する。対象としているシステムが情報ネットワーク上での分散協調型システムであれば，ネットワークを利用してミクロな視点およびマクロな視点から評価データを分析する必要があると考えられる。

平成18年度は，本プロジェクトの3年目である。本年度では，本プロジェクト研究の特徴である生体情報と触覚のモダリティについて研究した。また，ユーザからの要求やコンピュータ資源に対応するネットワークQoSについて研究した。

なお，本プロジェクト研究は，昨年度に引き続き，研究組織を以下の２グループに分けて実施した。

（1）マルチモーダル情報および情動獲得システム構築グループ（山梨大学）：

情報システムのユーザビリティを評価するための分析システムとして，視線および心拍・皮膚インピーダンス・筋電図などの生体情報を取得して，それらを分析するシステムを設計する。特に，取得した生体情報をストレス・集中度・覚せい度・快/不快などの情動データとして再構成するための手法を研究する。

（2）ネットワーク管理機能構築グループ
（東北大学電気通信研究所＋山梨大学）：

マルチモーダル情報および情動獲得システムを根幹システムとして，地理的に離れた被験者と評価者とをネットワークで繋ぐ遠隔評価システムを設計する。特に，被験者－評価者間での実験・分析作業を支援する機能を実現するための，ユーザの要求やシステムの資源に基づくQoSについて研究する。そして，この研究過程から，高速・広帯域ネットワークを利用した各種アプリケーションの通信管理モデルを構築・実装する。

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18年 11月 21日～ 11月 22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），
  黒田貴之（東北大学），
  高橋秀幸（東北大学）
  今宮淳美（山梨大学），
  小俣昌樹（山梨大学），
  林涛　　（山梨大学）
- 研究会発表内容：
  ① 全体構想およびこれまでの経過について
  今宮淳美（山梨大学）
  ② マルチモーダル情報によるユーザビリティ評価の研究
  林涛（山梨大学）
  ③ 力覚インタフェースに関する研究と山梨大学でのJGN2通信実験について
  小俣昌樹（山梨大学）
  ④ QuViE/P: 利用者の知覚に基づく3次元仮想空間のQoS制御方式

黒田貴之（東北大学）

⑤ uEyes: 利用者にやさしい見守り支援システム

高橋秀幸（東北大学）

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクトでは，ネットワーク上に情報システムの遠隔評価環境を構築することを目指している。第 3 年度である平成 18 年度は，遠隔評価環境に必要なネットワーク基盤技術と，心拍・皮膚電気反応・筋電図および力覚などの生体情報を取り入れたヒューマンインタフェースについて研究した。そして，以下に示す研究成果を得た。

第 1 に，見守る側と見守られる側の双方の状況や要求に応じて動画像を配信する遠隔見守り支援システム”uEyes”を開発した。これは，利用者要求と位置情報に基づいて，双方の状況に合致したシステムをリアルタイムに構成する仕組みをもつ。このシステムを使用して在宅高齢者を遠隔から見守るシナリオの実験をおこなった結果，疾患の状況に応じて鮮明な映像を提供する機能や体全体を見渡せるように構成する機能など，高度な見守り支援を実現できることがわかった。

第 2 に，3 次元仮想空間の QoS 制御において，利用者の主観的な品質評価特性に着目して，与えられた資源において最大限の利用者レベル品質を実現するシステム，QuViE/P を構築した。このために，利用者が実際に感じる知覚レベルの品質と品質指標との関係を明らかにし，使用可能な資源が減少しても，利用者にとって適切な品質や機能を維持する効果を実現する手法を提案した。なお，本研究は，情報処理学会マルチメディア・分散・協調とモバイルシンポジウム(DICOMO2006)にて優秀プレゼンテーション賞を受賞した。

第 3 に，大画面ディスプレイにおけるビデオゲームプレイヤの生理指標が，通常の大きさのディスプレイにおける生理指標よりも，大きく変化することを明らかにした。そして，この生理指標の変化は，質問紙調査におけるプレイヤの主観的な興奮度を反映していることがわかった。この結果に基づくことで，画面サイズの異なる対話型コンピュータシステムの評価に生理指標を利用できると考えられる。なお，本研究の基礎実験に関する研究は，情報システムの研究分野において世界的に有名な論文誌である Australian Journal of Information System に採択された。また，その継続実験に関する研究は，世界的に有名な国際会議である Smart Graphics に採択された。

第 4 に，昨年度からの継続として，人間の触覚に関する感覚特性に基づいた風の可触化モデルの評価実験を行った。この可触化モデルは，風向を表す一定の反力と風力ごとに周波数の異なる単振動とを合成した力をユーザに呈示するという，異なる二つの触覚刺激を使用する点に特徴をもつ。これは，従来モデルにおいて反力のみの可触化では風力が弱いときに風向を識別しにくくなるという問題を解決する。この評価実験の結果，本モデルは従来モデルよりも理解しやすいことが分かった。また，8 方向の風向および 5 段階程度の風力であればユーザが識別できることを示した。

第 5 に，マウスのクリック時やドラッグ時の力量を操作結果に反映させるための力量ボタンマウスを提案した。これは，一般的なマウスの左ボタンの上に力量センサを取り付けたマウスである。このマウスを使用することで，ユーザは，従来の選択する／選択しないという二者択一のボタン押下と異なり，ボタン押下の操作に付随するパラメータを同時に調整することができる。

（3－2）波及効果と発展性など

人間と環境の調和を目指した使いやすい情報システムの実現には，情報システムの生産性や効率の評価だけでなく，そのシステムを使用しているときのユーザの情動を取り入れた評価が必要である。たとえば，同じ時間でタスクを終了できるシステムが 2 つあった場合であっても，一方はユーザに不快なストレスがかかっていて，もう一方はそれほど過度なストレスがかかっていないというような評価をおこなえる。

本プロジェクトで明らかになった，状況にあわせてネットワーク資源を調整する手法や，生理指標および力・触覚を取り入れたインタフェースを利用すれば，多地点でのさまざまな環境で情報システムを評価する環境を構築できると考える。すなわち，従来の実験室だけでの評価とは異なり，フィールド実験のデータを同時にかつ多面的に分析できるので，より効率的でかつより詳細な情報システムの品質向上を期待できる。さらに，今後の情報システムでは，JGN2 ネットワークのような遠隔性と高速大容量性を利用することが十分に考えられ，このようなシステムを前提とする評価システムは重要であると考える。このような理由から、本プロジェクトの発展として，情報システムの遠隔評価環境を実現することは，極めて重要な意義があるといえる。

［4］成果資料

（1）　高橋，山中，東海林，北形，菅沼，白鳥:

uEyes: 見る側と見られる側の双方にやさしいリアルタイム見守り支援システムの提案; 情報科学技術レターズ, Vol.5, LO-002, pp.415-418(2006).

（2） 黒田, 北形, 菅沼, 白鳥: QuViE/P: 3 次元仮想空間における利用者の知覚に基づく新しいQoS制御方式の提案と応用; 情報科学技術レターズ, Vol.5, LL-013, pp.385-388(2006).

（3） Takahashi, H., Tokairin, Y., Yamanaka, K., Suganuma, T., Kinoshita, T., Sugawara, K., and Shiratori, N.: uEyes: An Ubiquitous Care-Support Service Based on Multiple Contexts Coordination; Proc. of the 2007 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2007), p.9(2007).

（4） 黒田, 北形, 菅沼, 白鳥: 3 次元仮想空間における利用者の知覚を考慮した動的 QoS 制御方式の実装と評価; 情報処理学会シンポジウムシリーズ-マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集 (Dicomo2006), Vol.2006, No.6, pp.605-608(2006).**(優秀プレゼンテーション賞受賞)**

（5） 高橋, 東海林, 山中, 北形, 菅沼, 白鳥: マルチエージェントに基づく QoS アウェアなコンテクスト情報管理方式の提案; 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論文集, Vol.2006, pp.163-168(2006).

（6） 山中, 東海林, 高橋, 北形, 菅沼, 白鳥: 共生コンピューティングに基づく利用者にやさしい見守り支援システムの提案; 電子情報通信学会技術研究報告書, Vol.106, No.237, pp.87-92(2006).

（7） 東海林, 山中, 高橋, 北形, 菅沼, 白鳥: ユビキタス環境におけるマルチエージェントに基づくコンテクスト情報管理方式の提案; 電子情報通信学会技術研究報告書, Vol.106, No.237, pp.81-86(2006).

（8） Lin, T., Imamiya, A.: Combined user physical, physiological and subjective measures for assessing usability. Proceedings of the ACM 8th International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'06), 364-371, Banff, Alberta, Canada Nov. 2-4(2006).

（9） Lin, T., Imamiya, A.Hu, W.H., and Omata, M.: Combined user physical, physiological, and subjective measures for assessing user cost. ERCIM UI4ALL Ws 2006, Lecture Notes in Computer Science 4397, pp. 337 – 351(2007).

（10） Lin, T., Hu, W.H., Omata, M. and Imamiya, A.: Large display size enhances user experience in 3d games. The 6th International symposium on Smart Graphics, Vancouver, Canada, , Lecture Notes in Computer Science Vol. 4073, 257 – 262(2006).

（11） Lin, T. Imamiya, A. and Hu, W.H.: Physiological indicators of the impact of display size on user experience. Proceedings of the Seventh Asia-Pacific Conference on Computer Human Interaction, Taibei, Taiwan, Oct.11-14(2006).

（12） Lin, T., Imamiya, A., Hu, W.H., Omata, M.: An empirical study of relationships between traditional usability indexes and physiological data. Australian Journal of Information System. Vol.13, No.2, 104-117(2006).

（13） 小俣, 鈴木, 今宮: 不快感の軽減を目指した Web バナー広告のデザインと評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006, CD-ROM 論文集, 3621(2006).

（14） 小俣, 松村, 今宮: 力量ボタンマウスの操作特性の検証, FIT2006 第5回情報科学技術フォーラム情報技術レターズ Vol.5, pp.301-303(2006).

（15） 小俣, 公, 今宮: 感覚特性に基づいた反力と振動による風の可触化モデルの評価, 電子情報通信学会論文誌-D, Vol. J89-D, No.10 pp.2155-2163(2006).

（16） Higuchi, Y., Mitsuishi, T., and Go, K.: An Interactive Multimedia Instruction System: IMPRESSION for Double Loop Instructional Design Process Model; IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E89-D, No. 6, pp. 1877-1884 (2006).

（17） 松浦, 郷: 小型タッチ画面における片手親指の操作特性; 電子情報通信学会研究報告, ITS, pp. 61-66 (2007).

（18） 伊藤, 郷, 柏木: 遠隔眼科診療ロボットのインタフェース設計; 情報処理学会研究報告, 2006-HI-121 (8), pp. 51-58 (2006).

共同プロジェクト研究

課題番号　H16／A10

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：
松田伸慶（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）
小熊　博（宮城県産業技術総合センター）
高木　直（東北大学電気通信研究所）
中瀬博之（東北大学電気通信研究所）
亀田　卓（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費２４万４千円

［2］研究経過

「いつでも」「どこでも」「誰とでも」「どんな情報でも」、ケーブルを接続することなしにアクセス可能な、ユビキタスネットワークの実現は、第二世代、第三世代の携帯電話技術、並びにｉモードに代表される携帯インターネットアクセスと、IEEE802.11a/b/g を中心とした無線 LAN 技術並びにホットスポットサービス技術により、我々の生活の中で実現されつつある。特に、無線 LAN 技術のアクセス速度は、2Mbps から 54Mbps へと発展し、更に802.11nによる実効速度100Mbps超、UWB による数百 Mbps の実現も視野に入っている。

本研究プロジェクトは、無線 LAN 技術をベースとして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の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３ 年度であった。前年度は，超小型アンテナの開発を行い、三次元電磁界シミュレーションと、鏡像法を用いた試作アンテナの実測により、特性を明らかにした。その結果、スリースタックメアンダラインアンテナが最適であることを確認した。また、FlashOFDM によるモバイルブロードバンド実証試験を行い、アンテナを中心に半径 1km 程度の範囲で、1 Mbps のスループットを得られること、40km/h 程度の自動車の移動でも同等の実行速度であること、マンションなど高い建物による遮蔽が通信を遮断する大きな原因であること、などが明らかになった。また、ノート PC を用いて、無線 LAN と FlashOFDM とを同時に受信できる環境を構築し、アプリケーションレベルからの要求や、受信環境に応じた回線帯域を確保選択する機能を実装した。

そこで，本年度は，前年度の成果を踏まえながら，超小型アンテナの試作と実装方法に関する検討と特性評価について、さらに、モバイルブロードバンドシステムのマルチセルにおける特性評価と、ハンドオーバー、ローミングに関する検討を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

超小型アンテナの試作として、本年度は、バラン一体型アンテナを HFSS を用いた三次元電磁界シミュレーションを用いて設計し、その動作を明らかにする。また、樹脂基板上への 60Ghz 帯アンテナの設計と試作を行う。

モバイルブロードバンド実験に関しては、FlashOFDM システムを用いて、マルチセルにおける特性評価を行う。また、セル・セクタ間ハンドオーバー特性の評価と、無線 LAN とのローミング方式を開発し、ノート PC に実装してその特性を評価する。

［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，超小型アンテナの開発を行った。前年度に設計したスリースタックメアンダラインアンテナを試作し、その評価を行った。チップバランを用いた特性評価では、アンテナとしての動作は確認できたものの、設計と異なる特性を示した。これより、小型アンテナではバラン一体型の平面化が重要であることを確認し、ペア構造給電線を用い、不平衡電流に対してインピーダンスを最適設計することにより、バランとして動作する構造を新たに提案、三次元電磁界シミュレーションにより特性を明らかにした。また、60GHz 帯送受信三次元モジュールのための、小型代ポールアンテナを設計、試作を行った。樹脂基板上への試作を行い、測定により、約0dBi の指向性を有したアンテナとして動作していることを確認した。

第2に，FlashOFDM によるモバイルブロードバンド実証試験を行った。今年度は、マルチセル化、セクタ化を実現し、仙台市内で3セル/3セクタ構造となるよう基地局を設置し、実証試験では、実効通信速度、受信電力を GPS による位置情報を獲得しながら計測し、東北大周辺地図へマッピングすることによりエリアを確定した。移動速度は、歩行・自動車による二種類を選択した。

測定の結果、仙台市内の市街地がエリア内に含まれていること、アンテナ高が高く高い建物の無い環境では5km 程度電波が届いていることを確認した。

また、セクタ間、セル間ハンドオーバーの公開実験を行い、インターネットアプリケーションを利用しながら、バスによる移動中にハンドオーバーを行うことを確認した。

さらに、ノート PC を用いて、FlashOFDM と WLAN のローミング機能をプログラムにより実現し、アプリケーションレベルで切断することなく、システム切り替えが可能であることを確認した。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，文部科学省 IT プログラム「次世代モバイルインターネット端末の開発」で行っている、アンテナ開発・モバイルブロードバンド実証試験をサポートするプロジェクトである。超小型アンテナ測定は、これからますます要求が高まる小型無線端末には必須のもので、実用化を視野に入れた開発である。また、モバイルブロードバンドは、携帯電話、無線 LAN に続く無線システムで、IEEE802.16,802.20 などで標準化が行われるなど、大きな普及が見込まれる。本実証実験は、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を明らかにし、かつ無線 LAN との整合性を明らかにするもので、ここから得られた実証試験の成果は、これからのシステム設計に大きく寄与するものである。また、この実験により学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、国内外の無線通信装置メーカー、システムオペレータとの関係が強化されている。

［4］成果資料

[1] 吉田賢史、戸崎篤、藤木裕介、亀田卓、中瀬博之、高木直、坪内和夫、“5GHz 帯 3 スタックドメアンダラインアンテナ”、電子情報通信学会総合大会、B-1-54、2007 年 3 月

[2] 小熊　博（宮城県産業技術総合センター）・山形文啓（東北大）・山崎吉晴・浅野安良（日本テレコム）・亀田　卓・中瀬博之・高木　直・坪内和夫（東北大）、“仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(1)”、電子情報通信学会総合大会、B-5-63 、2007 年 9 月

[3] 山形文啓（東北大）・小熊　博（宮城県産業技術総合センター）・山崎吉晴・浅野安良（日本テレコム）・亀田　卓・中瀬博之・高木　直・坪内和夫（東北大）、“仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(2)” 、電子情報通信学会総合大会、B-5-64 、2007 年 9 月

[4] 山形文啓・福田啓一（東北大）・小熊　博（宮城県産技セ）・山崎吉晴・浅野安良（ソフトバンクテレコム）・亀田　卓・中瀬博之・高木直・坪内和夫（東北大）仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(3) 、電子情報通信学会総合大会、B-5-45、2007 年 3 月

[5] 福田啓一（東北大）・小熊　博（宮城県産技セ）・山形文啓（東北大）・山崎吉晴・浅野安良（ソフトバンクテレコム）・亀田　卓・中瀬博之・高木　直・坪内和夫（東北大）、“仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(4)” 、電子情報通信学会総合大会、B-5-46 、2007 年 3 月

[6] 小熊　博（宮城県産技セ）・福田啓一・山形文啓（東北大）・山崎吉晴・浅野安良（ソフトバンクテレコム）・亀田　卓・中瀬博之・高木直・坪内和夫（東北大）、“仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(5)”、電子情報通信学会総合大会、B-5-47 、2007 年 3 月

共同プロジェクト研究

課題番号　H16／A11

採択回数	1　2　③

ナノスケール積層ジョセフソン接合のボルテックスダイナミクスとその高周波応用

［1］組織

代表者：中島健介
（弘前大学理工学部）
対応者：中島康治
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
門脇和男（筑波大学）
内田貴司（防衛大学校）
入江晃亘（宇都宮大学）
山下 努（物質・材料研究機構）
羽多野毅（物質・材料研究機構）
高野義彦（物質・材料研究機構）

研究費：校費３７万６千円，旅費２９万９千円

［2］研究経過

本研究は，高温超伝導体(High-T_C Superconductor：HTSC)の結晶がナノスケール積層ジョセフソン接合として振舞うことに着目し，積層接合内のジョセフソンボルテクスと電磁波との相互作用に基づいて発現する高周波機能性とそのデバイス応用に関する先端的知見の収集を目的として平成１６年度からの３年間にわたって実施された。

HTSC では，c 軸方向に 10nm 程度の格子間隔で積層した CuO_2 面が超伝導性を担っているため積層方位に沿ったオーダーパラメタの空間変化が大きく，超伝導特性に強い異方性が現れる。中でも $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ (Bi-2212)に代表される強い異方性を示すHTSC の場合には CuO_2 結晶層が絶縁的な特性を示す結晶層と交互に積層しているため，積層方向に流れる超伝導電流は CuO_2 層間のジョセフソン効果によって支配されており，固有ジョセフソン効果（Intrinsic Josephson Effect：IJE）と呼ばれる特異な現象が発現する。また，超伝導電流が CuO_2 積層を横切るように様々な方法でBi-2212等の単結晶を微細な結晶片に加工したデバイスは固有ジョセフソン接合（Intrinsic Josephson Junction：IJJ）と呼ばれ，ナノスケールで積層した均質なジョセフソン接合列を容易に実現することができる。

ナノスケール積層固有ジョセフソン接合では，HTSC 本来の大きな超伝導エネルギーギャップが有効に利用できることに加え，接合間の相互作用によってサブギャップ内に特異なジョセフソンプラズマ振動モードが存在することが，マイクロ波とジョセフソンプラズマの共鳴（Josephson Plasma Resonance: JPR）実験により確かめられている。HTSC のギャップ周波数はテラヘルツ波の領域にあり，サブギャップのプラズマ振動モードはランダウダンピングによる減衰が無いことから，ジョセフソンプラズマの励起は，チューナブルで CW 発振が可能なテラヘルツ波源に利用できる可能性を秘めている。

一方，固有ジョセフソン接合の接合面に平行な外部磁場を印加したときに接合内に導入されるジョセフソンボルテクスは接合電流によるローレンツ力によって高速運動し，サブギャッププラズマ振動モードの励起の手段として有望視されている。

そこで本研究では，HTSC ナノスケール積層ジョセフソン接合のボルテクスダイナミクスとその高周波応用に関する研究を行っている国内の研究者の協力によりテラヘルツ波発振の実現を目指した研究を展開するとともに，内外の研究者を交えた研究会を毎年開催し，本分野における最新データと知見の収集を図ってきた。

平成 18 年度は 3 年間の集大成として，元東北大学客員教授で昨年テラヘルツ放射に関する論文を発表して注目を集めている韓国浦項工科大学 Hu-Jong Lee 教授を含む 3 名を招待して国際研究集会を次のとおり開催した。

東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究
「ナノスケール積層ジョセフソン接合のボルテックスダイナミクスとその応用」研究会
日時：平成 19 年 3 月 16 日（金）9:30～17:00
場所：東北大学金属材料研究所 21 世紀 COE センター研修室
講演件数４件，参加者：２１名

International Workshop on Intrinsic Josephson Effects and Terahertz Emission

Program:

Plenary talk
9:30 Hu-Jong Lee, M.-H. Bae, and J.-H. Choi
Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea
"Collective Josephson Vortex Motion and THz Emission in Nano-Stacked High-Tc Intrinsic Junctions"

Invited talks
10:50 Niels. F. Pedersen
Technical University of Denmark
"Cavity resonance in intrinsic Josephson junctions"

11:30 Yuri I. Latyshev*, A. E. Koshelev**, M. Konczykowski***
*Institute of Radio Engineering and Electronics, RAS, Moscow, Russia
**Argonne National Laboratory, Argonne, USA
***Ecole Polytechnique, Palaiseau, France
"Dynamics of Josephson vortex lattice in a presence of pancake vortex lines"

Lunch Break

13:30 Kazuo Kadowaki*, U. Welp** and W. Kwok**
*University of Tsukuba
**Argonne National Lab., USA
"The latest result on THz emission of Intrinsic Josephson Junctions

14:10 "Round-Table Discussions
"Electromagnetic phenomena in High-Tc superconductors"
Cordinator: Kazuo Kadowaki, University of Tsukuba
Panelists;
H.B. Wang (NIMS, Tsukuba, Japan)
T. Hatano (NIMS, Tsukuba, Japan)
I. Kakeya (University of Tsukuba, Japan)
A. Irie (Utsunomiya University, Japan)
K. Nakajima (Hirosaki University, Japan)
...
16:30 **Closing**

［3］成果

（3－1）研究成果

低温超伝導体によるジョセフソン接合を用いたFFOでは，接合電流のローレンツ力を受けて接合中を運動するジョセフソンボルテクスが接合内を伝播する電磁波の位相速度と一致したときしたときに，*I-V* 特性上に速度整合電流ステップが現れる[5]。また，逆に電磁波をFFOに照射すると，照射した電磁波とジョセフソンボルテクスが位相ロックすることによってやはり *I-V* 特性上にゼロ交差ステップなどの電流ステップ応答が現れる[7]。つまり，電磁波応答特性の測定は，ボルテックス運動と電磁波との相互作用を調べる上で極めて有効な手段となりうる。特に，強い電磁波放射を実現するために求められる条件の一つであるボルテクスが積層全体にわたって in-phase にコヒーレント運動する状態においてどのような高周波応答が現れるかを探ることは極めて重要である。中島らは，Bi-2212 固有ジョセフソン接合で初めてボルテックスと外部から接合に入力した電磁波の位相ロックを示す明瞭なゼロ交差ステップを観測することに成功した。ステップがゼロ交差する電圧の大きさから接合間のボルテックスがコヒーレントに運動しながら電磁波と強く相互作用して位相ロックすることが明らかであり，この事実は，ボルテクスの運動によってジョセフソンプラズマを励起できることを強く示唆する。

門脇らは，Bi-2212 固有ジョセフソン接合に外部磁場 H を印加し，接合電流を流してボルテックスフロー状態にしたときに接合から放射される電磁波を図1のように配置した高感度なボロメータで測定した。その結果，図2に示すように印加磁場の向きを反転させると，ボルテックスが走行する方向がボロメータの置かれた方向へと向かう磁場方向（H^+）のときとそれとは逆の磁場方向（H^-）のときでは放射強度に明確な差があることを見出した。この実験事実は，ボルテックスが運動して向かう接合端から強い放射があることを示唆している。残念ながらこの実験の時点では，放射成分の周波数に関する情報が得られていなかったが，その後の研究による最新の実験では，ボルテックスの運動方向だけでなく，放射の周波数とより詳しいボルテックスダイナミクスに関する情報が得られつつあるとののことであり，今後の報告が待たれる。

Lee らは，これらの実験を発展させ，ボルテックスフロー状態にした発振用固有ジョセフソン接合（IJJ_{OC}）からの放射を，IJJ_{OC} の近傍においたもう一つの検出用固有ジョセフソン接合（IJJ_{DET}）で検出することを試みた。図3は，IJJ_{DET} において観測された1次高周波応答ステップの電圧 V_{DET} と IJJ_{OC} のバイアス電圧 V_{OC} との関係を示している。それぞれの電圧は，IJJ_{OC} と IJJ_{DET} の有効な接合数で割ってあるが，1次ステップの検出電圧 V_{DET} と V_{OC} とが極めてよく一致していることが分かる。また，ジョセフソン関係式（$V_{OC}=\Phi_0 f$, Φ_0 は磁束量子）から検出された放射の周波数は約1THzと見積もられている。

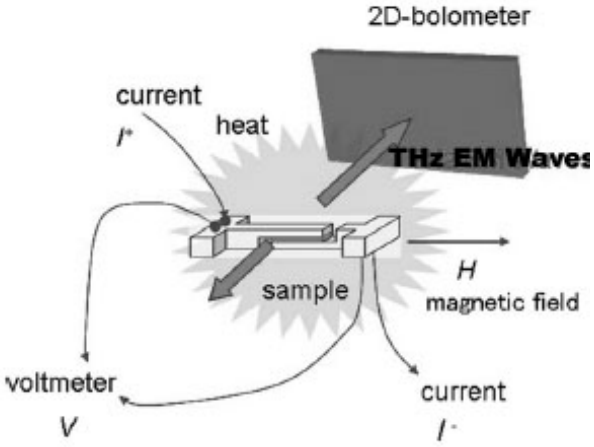


図1 ボロメータを使った固有ジョセフソン接合から放射されるボルテックスフロー励起波測定の概念図

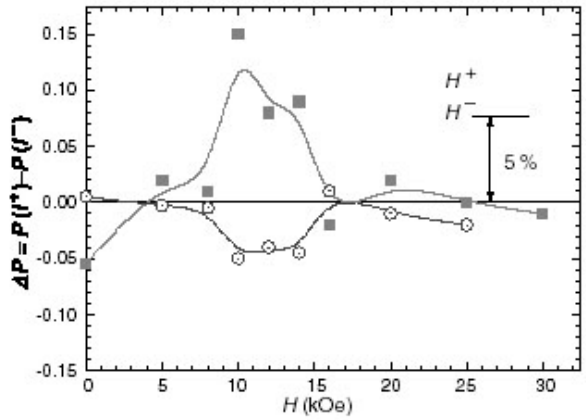


図 2 印加磁場の向きと強さに対するボロメータによって検出された放射強度の変化

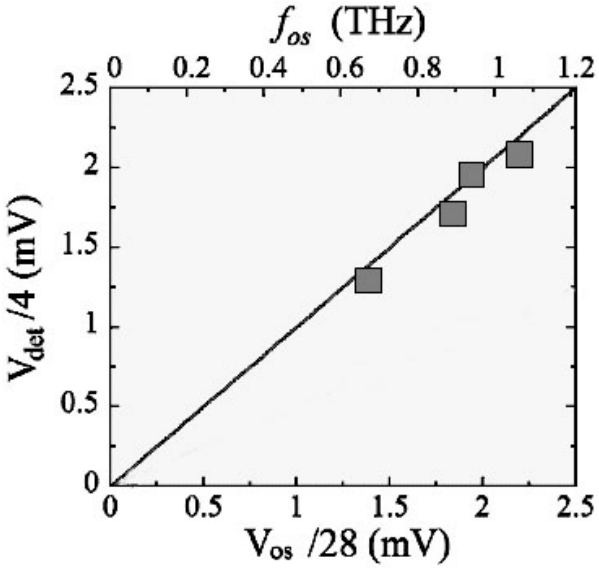


図 3 ボルテックスフローを起こしている接合のバイアス電圧 V_{OC} に対する検出接合で観測された1次高周波応答ステップの電圧の変化

（3－2）波及効果と発展性など

エレクトロニクスとフォトニクスの狭間にあって応用の遅れていたテラヘルツ波領域は，主としてフォトニクス技術を活用したテラヘルツ波源の出現に牽引される形で急速に応用の機運が高まっている。こういった中において本研究プロジェクトをとおして明らかとなった HTSC ナノスケール積層ジョセフソン接合（Bi-2212 固有ジョセフソン接合）のボルテックスダイナミクスとそれに付随する電磁波放射現象は，量子カスケードレーザと並んでエレクトロニクスによるテラヘルツ波の発生に向けた取り組みとして重要な意味を持っている。本方式によるテラヘルツ波源の実現にはまだ数多くの課題が残されているが，周波数チューナビリティとCW信号源であるという他のテラヘルツ波源に無い特長は，検出器や応用面での制約を大幅に緩和し，テラヘルツ波応用の一層の発展への寄与が期待される。

［4］成果資料

平成16年（2004）～平成18年（2006年）

1. K Nakajima et al., Microwave-induced effects on collective vortex motion in Bi-2212 intrinsic Josephson junction stacks, Supercond. Sci. Technol., Vol.17, pp.S381-S384 (2004).
2. T. KAWAE, T. YASUDA, S. AWAJI, K. NAKAJIMA, T. HATANO and T. YAMASHITA, "Characteristics of Charging Effect in One-Dimensional Array of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Intrinsic Josephson Junctions", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.44(24), pp.L766-L769, 2005.
3. Y. Yamada, K. Nakajima, T. Yasuda, T. Yamashita and K. Nakajima, "Shapiro Step Responses in the Flux-Flow State of Bi-2212 Intrinsic Josephson Junctions With Cooperation of Pancake Vortices", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol.15(2), pp.1023-1026, 2005.
4. Y. YAMADA, K. NAKAJIMA and K. NAKAJIMA, "RF Responses and In-Phase Josephson Vortex Motion in an Intrinsic Josephson Junction System with a Periodic Pinning Potential", Journal of the Korean Physical Society, Vol.48(5), pp.1053-1056, 2006.
5. K. Kadowaki, I. Kakeya, T. Yamamoto, T. Yamazaki, M. Kohri, Y. Kubo, "Dynamical properties of Josephson vortices in mesoscopic intrinsic Josephson junctions in single crystalline $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$", Physica C, 437–438, pp.111-117, 2006.

課題番号　H17／A01

採択回数	1	2	3

知的ナノ集積システムの実現に関する研究

［1］組織

代表者: 中島 康治(東北大学電気通信研究所)
責任者: 中島 康治(東北大学電気通信研究所)
分担者: 矢野 雅文(東北大学電気通信研究所)
二見 亮弘(東北大学大学院工学研究科)
山本 光璋(東北大学大学院情報科学研究科)
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(九州工業大学大学大学院生命体工学研究科)
林 初男(九州工業大学大学院生命体工学研究科)
和久屋 寛(佐賀大学理工学部)

研究費: 校費32万7千円, 旅費30万4千円

［2］研究経過

知的な情報処理に関する研究開発の重要性は高まる一方であり、本プロジェクトでは生物神経系の実験的研究、脳の情報処理原理を活用したシステム(ニューラルネットワーク)の可能性の論理的検討を行い、そこで得られた知見をハードウェア試作により実践的に検証する。そして自然な人間機械相互作用方式(例:ヒューマンインターフェイス)実現のための基礎研究を行う。これまでの実践的および論理的研究によってニューラルネットワークの可能性について様々な事実が蓄積されてきたが、本質的には、緩い意味で「人間とコンピューターでは得意課題が排他的である」という程度の理解しか得られていない。それは、ひとつには超並列なデータを処理するアーキテクチャーが明確になっていないこと、その他にはそもそも膨大な並列データの取捨選択方式が未知であることが理由である。実験、理論、実践をとおして現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、人間と機械の自然な対話環境実現のための基礎を築くことを目的とする。そこで広くプロジェクト構成メンバー間の相互理解を深めるため平成18年12月19、20日に、東北大学電気通信研究所にてプロジェクト研究会を実施した。そこでの発表テーマは以下の通りである(発表順)。

「MEMS 技術を用いた人工触覚=感圧システム向け能動型センサ素子とその周辺回路」
原田知親（山形大学）

「STDP を有するスパイキングニューロンモデルによる連想メモリとその CMOS 回路実現」
森江隆（九州工業大学大学院）

「身体に生じる無意識の揺れの特徴から個人を特定する」
矢内浩文（茨城大学）

「ＤＮＡ、タンパク質の１分子操作：変形と輸送」
佐野雅己（東京大学大学院）

「ID モデルによる最適化問題の解探索過程」
早川吉弘（東北大学）

「バーストニューロンモデル」
中島康治（東北大学）

「デジタルスパイクニューロンの学習則構築へ向けて」
鳥飼弘幸（法政大学）

「大脳皮質視覚野における信号伝播の多点同時計測」

小山内実（大阪大学大学院）

「自己組織化マップの逆投影作用に基づいたパターン生成」

和久屋寛（佐賀大学）

［3］成果

（3－1）研究成果

ヒューマンインターフェイス関連として、MEMS技術を用いた人工触覚について検討を行い、第1ステップとして感圧システム向け能動型センサ素子とその周辺回路についての成果を得た。

連想メモリ関連として、STDPを有するスパイキングニューロンモデルによる連想メモリとそのCMOS回路実現を目的として、積分発火型スパイキングニューロンを全結合し，グローバル興奮ニューロンを追加導入することにより，スパイクタイミングでアナログ量を表現したホップフィールド型連想メモリを実現した。さらに，対称型STDP（スパイクタイミング依存型シナプス可塑性）を導入して，記憶パターンを自己学習できることを示した。また，このスパイキングニューロンモデルおよびSTDPを実現するCMOS回路を設計・試作し，PSPの発生，重み付け加算，スパイク発火，不応期生成，伝播遅延生成，STDP特性などの基本特性を確認した。

ヒューマンインターフェイス関連として、身体に生じる無意識の揺れの特徴から個人を特定することを目的とした。人の身体には常に無意識の揺れが生じている。話をしているときには頭部が揺れ，じっと立っているつもりでも体は揺れている。その揺れをビデオカメラや足裏重心動揺計を用いて測定し，数秒～15秒間の時系列データの特徴から個人の識別を試みた。特徴量は，代表点(マーカーや重心)の2次元の動きから算出した10～30種類で，例えば，縦および横方向の揺れ量，平均半径，軌跡の平均速度，縦および横揺れ成分の相互相関係数などである。現在のところ10名程度であれば，ほぼ完全に個人の「分離」が可能であることが分かった。

分子論的視点から、DNA、タンパク質の1分子操作を目的として、その変形と輸送について詳細な実験を行い開放系としての議論を行った。また、ID モデルによる最適化問題の解探索過程やバーストニューロンモデルについて昨年度からの解析を進展させた。デジタルスパイクニューロンの学習則構築へ向けての検討を行った。生理的観点からは、大脳皮質視覚野における信号伝播の多点同時計測を行いその結果を評価した。自己組織化マップの逆投影作用に基づいたパターン生成について検討した。

（3－2）波及効果と発展性など

今年度も本プロジェクトにおいて学外研究者との交流が更に進展したことにより、2006年9月の国際会議「International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications」においてスペシャルセッションを開催した。その席上、スエーデンやイタリアなどヨーロッパ各国の研究者と研究交流を行うことができた。またスエーデン王立工科大学の大学院修士修了の研究生が1年半研究所に滞在し研究を行い、その成果を研究会において発表している。その他国内の研究者との活発な交流により新たな研究論文誌の発刊が検討され始めており、今後実現に向けた積極的検討がなされる予定である。

以上本プロジェクト研究では、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成することで、知的集積回路を開発し応用するための基礎概念や構成法の理解に進展が見られ、その成果は、学術的あるいは技術的な大規模問題の情報処理に活用する方向と同時に、携帯性や人間との親和性が重視される環境でのヒューマンインターフェイスを開発する上での基礎となると予想される。

［4］成果資料

(1) T. Kabe, S. Parui, H. Torikai, S. Banerjee and T. Saito,
Analysis of Current Mode Controlled DC-DC Converters through Piecewise Linear Models,
IEICE Trans. Fundamentals, E90-A, 2, pp. 448-456 (2007)

(2) H. Hamanaka, H. Torikai and T. Saito,
Quantized spiking neuron with A/D conversion functions,
IEEE Trans. Circuits Syst. II, 53, 10, pp. 1049-1053 (2006)

(3) Y. Matsuoka and T. Saito,
Rich sperstable phenomena in a PWC nonautonomous circuit with impulsive switching,
IEICE Trans. Fundamentals, E89-A, 10, pp. 2767-2774 (2006)

(4) Y. Matsuoka and T. Saito,
A simple chaotic spiking oscillator having piecewise constant characteristics,
IEICE Trans. Fundamentals, E89-A, 9, pp. 2437-2440 (2006)

(5) H. Torikai, H. Hamanaka and T. Saito,
Reconfigurable spiking neuron and its pulse-coupled networks:
basic characteristics and potential applications,
IEEE Trans. Circuits Syst. II, 53, 8, pp. 734-738 (2006)

(6) Osanai M, Yamada N, Yagi T,
Long lasting spontaneous calcium transients in the striatal cells.
Neurosci. Lett. 402: 81-85 (2006)
(7) Osanai M, Saegusa H, Kazuno A, Nagayama S, Hu Q, Zong S, Murakoshi T, Tanabe T,
Altered cerebellar function in mice lacking CaV2.3 Ca2+ channel,
Biochem. Biophys. Res. Commun. 344: 920-5 (2006)
(8) Shoichi Toyabe, Jiang Hong-Ren, Takenobu Nakamura, Yoshihiro Murayama and Masaki Sano,
Experimental Test of a New Equality: Measuring Heat Dissipation in an
Optically Driven Colloidal System,
Phys. Rev. E 75, 011122 (2007) <articles/0608415.pdf>
(9) H. Shiba, J. Ruppert-Felsot, Y. Takahashi, Y. Murayama, Q. Ouyang, and M. Sano,
Elastic Covection in Vibrated Viscoplastic Fluids,
Phys. Rev. Lett. 98, 044501
(2007),<articles/PhysRevLett_98_044501.pdf>
(10) Yusuke T. Maeda, and M. Sano,
Regulatory Dynamics of Synthetic Gene Networks with Positive Feedback,
J. Mol. Biol. 359, 1107-1124 (2006)
(11) K. Takeuchi, and M. Sano,
Role of unstable periodic orbits in phase transitions of coupled map lattices,
Phys. Rev. E 75, 036201 (2007)
(12) K. Sasaki, T. Morie, and A. Iwata,
A VLSI Spiking Feedback Neural Network with Negative Thresholding and Its Application to Associative Memory,
IEICE Trans. Electron., Vol. E89-C, No. 11, pp. 1637-1644(2006)
(13) H. Wakuya, H. Harada & K. Shida ,
An architecture of self-organizing map for temporal signal processing and its application to a Braille recognition task,
Syst. Comp. Jpn, Vol.38, pp.62-71, John Wiley & Sons(2007.03)
(14) Hiroshi Hamanaka, Hiroyuki Torikai and Toshimichi Saito,
Quantized spiking neuron with A/D conversion functions,
IEEE Trans. Circuits Syst. II, vol. 53, no. 10, pp. 1049-1053(2006)
(15) Hiroyuki Torikai, Hiroshi Hamanaka and Toshimichi Saito,
Reconfigurable spiking neuron and its pulse-coupled networks:
basic characteristics and potential applications,
IEEE Trans. Circuits Syst. II, vol. 53, no. 8, pp. 734-738(2006)
(16) Hogge Li, Yoshihiro Hayakawa, Shigeo Sato and Koji Nakajima,
Hardware Implementation of an Inverse Function Delayed Neural Network Using Stochastic Logic,
IEICE Trans. Information and Systems, vol. E89-D, no. 9, pp.2572-2578, Sep(2006)
(17)Johan Sveholm, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima,
Temporal Sequences of Patterns with an Inverse Function Delayed Neural Network,
IEICE Trans. Fundamentals, vol. E89-A, no. 10, pp.2818-2824, Oct(2006)
(18)Shinya Suenaga, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima,
Dynamical Behavior of Neural Networks with Anti-Symmetrical Cyclic Connections,
IEICE Trans. Fundamentals, vol. E89-A, no. 10, pp.2775-2786, Oct(2006)
(19)Y. Nakamiya, M. Kinjo, O. Takahashi, S. Sato, K. Nakajima,
Quantum Neural Network Composed of Kane's Qubits,
Jpn. Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10A, pp. 8030-8034, Oct(2006)
(20) 佐藤朱里, 早川吉弘, 中島康治,
Inverse Function Delayed モデルによる組み合わせ最適化問題正解率のパラメータ依存性, 電子情報通信学会論文誌基礎・境界, vol. J89-A, no. 11, pp. 960-972, Nov(2006)
(21) 小熊清典, 池田満昭, 砂原賢治, 松田健次, 兼田楨宏,
SUS440C 製ローラ上に形成した二硫化モリブデンスパッタ膜の大気中におけるすべり摩擦機構, トライボロジスト, vol52, no.11, pp835-842 (2006)
(22) 小熊清典, 池田満昭, 砂原賢治, 松田健次, 兼田楨宏,
二硫化モリブデン固体潤滑軸受の真空中での寿命と二硫化モリブデン膜被覆ローラの大気中での摩擦寿命, トライボロジスト, vol.52, no.1, pp.90-94 (2007)

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A02

採択回数	1　2　3

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

［1］組織

代表者：中居　倫夫
（宮城県産業技術総合センター）

対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
荒井　賢一（東北大学名誉教授）
脇若　弘之（信州大学工学部）
荒　　克之（岩手大学）
菊池　弘昭（岩手大学金属材料保全工学研究センター）
杤　修一郎（岐阜大学工学部）
藪上　　信（東北学院大学工学部）
阿部　宏之（宮城県産業技術総合センター）

研究費：校費　316,000円，旅費　158,000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，さらなる新機能を提案し実現していくためには，今までに無い，小型高機能かつ省電力なセンサデバイスが求められることになると予想される。

このような，小型高機能なセンサデバイスの一例として，携帯情報端末における磁気方位センサがある。このセンサは，地図情報とGPSを利用したモバイルナビゲーション機能の方位検出センサとしてよく知られている。この携帯電話用磁気方位センサは，MEMS技術と組合せることで磁気方位と加速度を同時に検出できる複合機能センサとして提案されている。このセンサは，方位検出・装置姿勢検出に加え，加速度を検出し，装置を振ることで操作する機能を付加するものであり，既に，実機に搭載されている。

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

高周波キャリア型磁界センサの不連続インピーダンス変化特性とは，微細加工された短冊状の薄膜磁性体において軸方向から傾斜したストライプ磁区構造を形成することで得られる，外部磁界に対し素子の高周波インピーダンスが不連続的に変化する現象である。この現象は磁区構造の急激な変化と同時に発生する。本プロジェクト研究では，この不連続インピーダンス現象の磁気センサへの応用を目指し，本現象が発生する条件の探索，現象発生の再現性確認，および，発生機構と原理の解明を行うことを目的として研究を行っている。

研究活動として，平成18年度に実施した検討課題と日程，会合の開催状況を以下に示す。

検討課題１：磁区構造のエネルギー解析に基づいた磁区構造転位の原理解明（期間：第１四半期および第２四半期）

検討課題２：検討課題１で提案した解析モデルを用いた既存実験結果の説明と予測される現象の確認実験（期間：第３四半期および第４四半期）

第１回会合　２００７年３月５日
テーマ：実験結果の報告と討論，および，アプリケーションについての提案

［3］成果

（3－1）研究成果

本プロジェクト研究の実験検討，および，共同研究メンバーによる討論の結果，以下のような成果が得られた。検討項目毎に箇条書きで示す。

a. 磁区構造のエネルギー解析に基づいた磁区構造転位の原理解明

高周波キャリア型磁界センサの不連続インピーダ

ンス変化現象は，微細加工された短冊状の薄膜磁性体において軸方向から傾斜したストライプ磁区構造を形成することで発現し，この現象は磁区構造の急激な変化と同時に発生することを見出している。本検討では，原理解明を目的に，このストライプ磁区から単磁区への構造転位について磁区構造のエネルギー解析に基づいた考察を行った。

解析に用いた磁区構造モデルを図１に示す。図１の上図はストライプ磁区に対応する解析モデル。下図はストライプが消滅した磁区（単磁区）に対応する解析モデルである。これらの解析モデル，特に還流磁区の存在は，実際の素子の磁区観察結果に基づき仮定した。

磁気エネルギーは，ゼーマンエネルギー，異方性エネルギー，反磁界エネルギー，磁壁エネルギーに基づき計算した。図２にそれぞれの磁区構造における磁気エネルギーの外部磁界依存性の計算結果を示

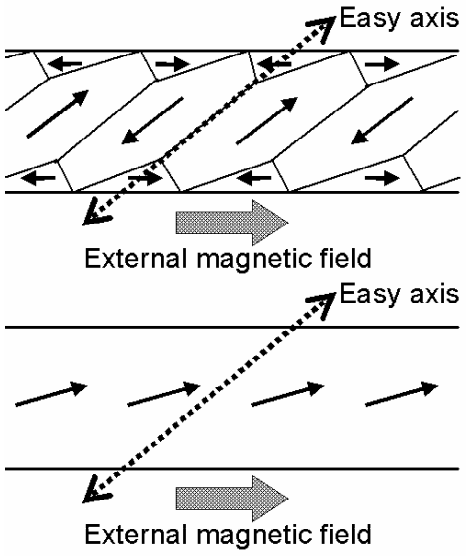


図１. エネルギー解析に用いた磁区構造

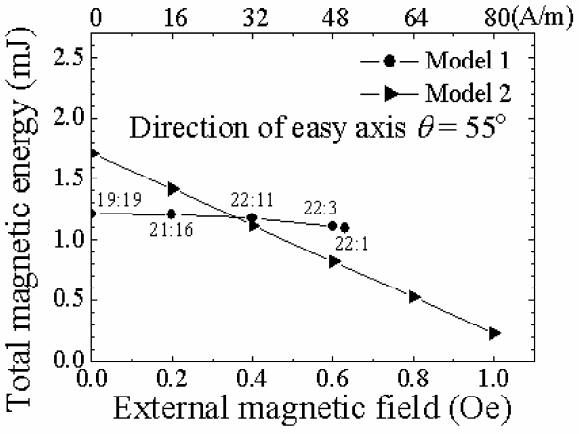


図２.　磁気エネルギーと外部磁界の関係

す。図の黒丸はストライプ磁区の磁気エネルギー，黒三角は単磁区の磁気エネルギーである。ストライプ磁区のプロットに示される数字は，磁区のストライプ幅の比率（単位μm）である。図は，磁化容易軸が素子幅方向から 55° 傾いた場合の結果である。この場合，ストライプ磁区と単磁区のエネルギーが交差する。このことは，エネルギー的に連続に磁区構造が転位し得ることを示している。このエネルギーレベルの交差は，不連続点が発生する磁化容易軸角度範囲として実験的に得られた角度範囲とほぼ一致することも確認した。

b. 提案した解析モデルを用いた既存実験結果の説明と予測される現象の実験確認

磁気エネルギー解析に基づく磁区構造転位モデルを用いて各種実験結果を説明することを試みた。その結果，素子寸法に伴う特性変化が，反磁界エネルギーを考慮することで説明できることを明らかにした。また，素子温度に伴う特性変化が，素子磁性体の有する実効的磁気モーメントの減少から定性的に説明できることも明らかにした。この結果は，前述の磁気エネルギー解析の結果と併せて，10th joint MMM/Intermag conference で発表し（発表番号 EX-01），Journal of Applied Physics に採録決定している。さらに，本研究で提案したエネルギーモデルに磁区構造転位の閾値エネルギーを導入した上で，外部磁界変化の経路を変化させた場合における磁区転位現象の発生点を予測して，これを実験的に確認した。この結果についても，今後，発表予定である。

c. 実験結果の報告と討論，および，アプリケーションについての提案

本研究で明らかにした不連続インピーダンス変化現象の原理とこれを基にした実験結果の説明から，新たな工学的応用が複数提案された。今後，これら提案課題について共同研究メンバーで分担して検討を行っていく予定である。なお，平成 18 年度は，本現象を利用した高感度磁気センサに関する検討結果を日本応用磁気学会誌に投稿（採録決定）し，関連の特許を出願した（特願 2006-309675）。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究において，高周波キャリア型磁界センサの不連続的インピーダンス現象の原理考察を実施する機会が得られた。基本原理解明の結果，本課題は，一定磁界で発生する磁区構造転位の視点から研究を発展させる状況になりつつある。この視点に基づいた新たなアプリケーションも提案され，本課題は新たな広がりを持ちつつある現状である。

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A04

採択回数	2

フォトニック結晶の光産業技術への展開

［1］組織

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

研究費：校費 31.6 万円，旅費 8.1 万円

［2］研究経過

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

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

特に今年度は、

（1）多様な実用化がそれぞれに進展してきた（結果を参照）。

（2）研究会では、さまざまな専門分野（光デバイス・光通信システム・バイオサイエンスの電気側，生物側，画像工学など）からの発表があり参加者には日頃にない刺激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：　2006 年 12 月 13 日(水)　　10:30-17:00
場所：東北大学　ナノスピン研究棟　４Ｆカンファレンスルーム
10:30-10:40　開会の挨拶
10:40-11:20　「フォトニック結晶ファイバを用いた 850nm 帯波長多重伝送実験」，長谷川英明、及川洋介、廣岡俊彦、吉田真人、中沢正隆（東北大学　電気通信研究所）
11:20-11:50　「フォトニック結晶アレイを用いた透明体の計測」，佐藤尚、荒木武、アントニー・ガレア、本間洋、川上彰二郎　（フォトニッククラティス、仙台応用情報学研究振興財団）
13:00-13:40　「赤外分光によるマイクロ・ナノ流路中の生体分子の挙動解析」，庭野道夫（東北大学　電気通信研究所）
13:40-14:10　「フォトニック結晶の顕微鏡技術への応用について」，井上喜彦、川嶋貴之、アントニー・ガレア、川上彰二郎（フォトニッククラティス、仙台応用情報学研究振興財団）
14:10-14:50　「蛍光・発光タンパク質を利用した生理機能イメージング」，永井健治（北海道大学　電子科学研究所）
15:10-15:50　「偏光縦スリットを用いた多層ディスクの読み出し技術」，小形哲也（株式会社リコー）
15:50-16:20　「フォトニック結晶を用いた偏光イメージングカメラ」，川嶋貴之、井上喜彦、太田晋一、川上彰二郎（フォトニッククラティス、宮城県産業技術総合センター、仙台応用情報学研究振興財団）
16:20-17:00　「画像・映像センシング技術の新展開 --- 見えないものを見る技術へ ---」，青木孝文（東北大学 情報科学研究科）
17:00　　閉会

［3］成果

（3－1）研究成果

① 偏光イメージングカメラの開発

本カメラは CCD の画素サイズにパタン化されたフォトニック結偏光子を、図1のように受像素子であるＣＣＤに直接張り合わせることで構成される。一つの領域は 4.65μm 角であり、45 度ずつ4種類の方位を持つ素子が、およそ 100 万ピクセル（1000×1000)集積化されている。1ショットの画像から、高速で2次元の偏光解析を行なうことができ、移動体や状態が変化する偏光計測に適した技術である。今年度はアレイ素子を搭載したカメラにおいて、リアルタイムの偏光解析ソフトおよび、表示するソフトを開発した。図2はボールと牛の模型であるが、偏光計測をすることにより形状認識および表面の凹凸の強調、物体の境界の明確化ができていることが分かる。その他図3のように(a) 透明体の歪み計測、(b)路面認識、(c)反射光の映り込みの除去、の実証を行ない、適用分野の探索を行った。

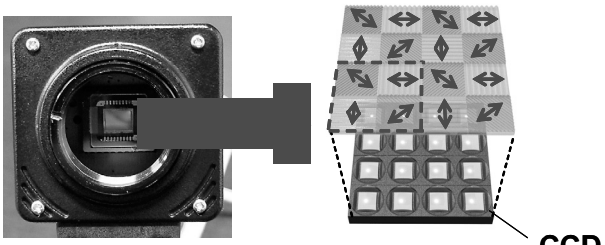


図1　パタン化偏光子をＣＣＤと一体化した偏光イメージングカメラの外観

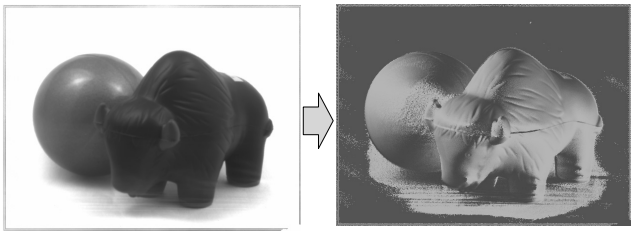


図 2（左)通常の CCD 画像と(右)偏光角のカラー表示画像

② 分光画像計測用フォトニック結晶

フォトニック結晶の偏光選択性波長フィルターアレイとＣＣＤを組み合わせた波長画像可視化デバイスを試作した。測定対象として生体表層付近の毛細血管中に存在するヘモグロビンの濃度や酸素飽和度を取り上げ、その2次元的分布を可視化するために波長 800nm 帯の近赤外光を用いることとした。この波長帯で4波長バンド計測を実施するためのフォトニック結晶偏光波長フィルターを設計し、試作した。図3には作製した素子の写真とその各領域での透過スペクトルの測定値を示す

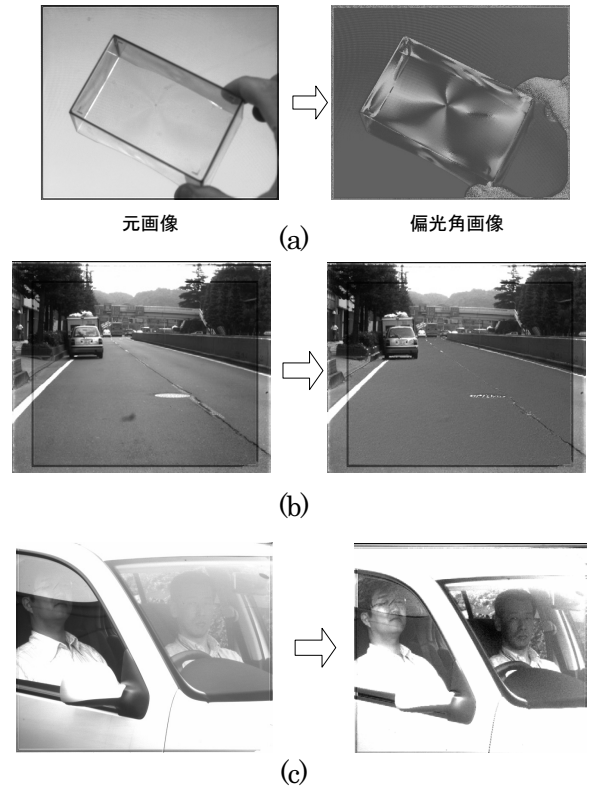


図3　偏光カメラによる撮影(a)透明体の歪み計測(b) 偏光情報からの路面抽出(c)反射光の映り込みの除去

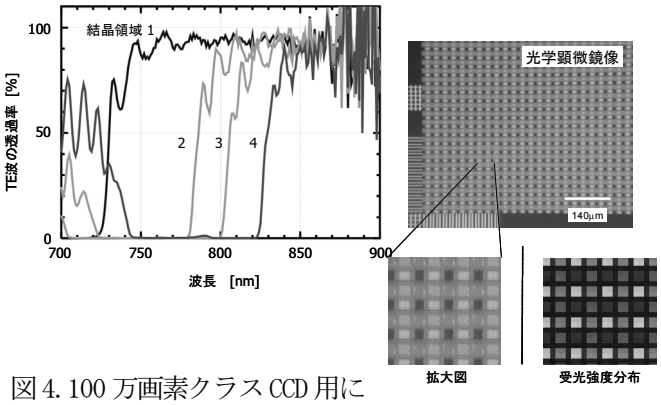


図4. 100 万画素クラス CCD 用にアレイ化した素子の顕微鏡写真（部分）と CCD で受光された強度分布の一例.

③ エリプソメータ

今年度は、精度向上のため CCD の感度バラつきや入射ビームの強度分布を補正する機能、及び標準サンプルを用いた較正のためのソフトを開発した。膜厚の異なる SiO_2 膜を数種測定した結果、図5のように測定精度の向上を確認した。

本エリプソメータの装置組み込みの一例として、た光源部と受光部を一体化したエリプソユニットを試作した。プロトタイプとしてエッチング装置に組み込むことに成功した。ユニットとして他の装置やチャンバに設置することが容易になる。

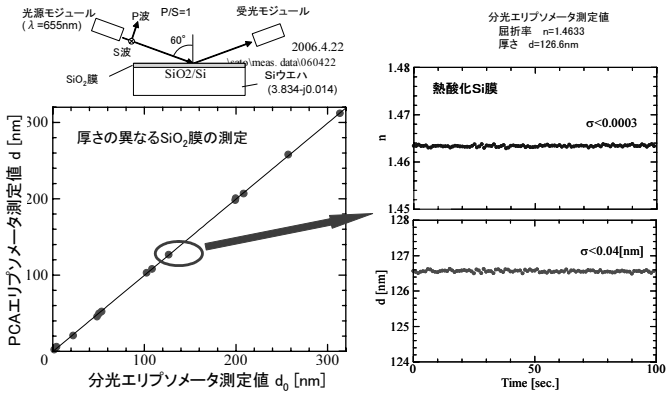


図5. 性能向上の実証(Si ウエハ上の厚さの異なる SiO_2膜)

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトによりフォトニック結晶の様々な分野への応用技術の開発が進んだ。画像応用や偏光計測技術では分担者との共著論文の発表や特許の共同出願をおこなった。更に顕微鏡応用分野では H18 年度から NEDO プロジェクトが採択され、大型プロジェクトに発展した。

［4］成果資料

［1］ S. Kawakami, “Photonic Crystal Everywhere Artificial Enable Diverse Key Functions,” OFC/NFOEC2007, San Jose, March 2007

［2］ S. Kawakami and Y. Inoue, “Novel Functions in Microscopy Realized by Patterned Photonic Crystals,” J. Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, in press.

［3］ 川上 彰二郎, "Photonic crystal Everywhere" を目指して, レーザー学会誌 レーザー研究, 34, 9, 657, 2006 年 9 月号

［4］ 川上 彰二郎, "Photonic crystal Inside"-フォトニック結晶は全ての光産業に参入中-, 電子情報通信学会誌, 89, 6, 488, 2006 年.6 月号

［5］ 川上 彰二郎, “フォトニック結晶の実用化の前線”, O Plus E, 28, 4, 381, 2006 年 4 月号

［6］ 川嶋 、佐藤、本間、井上、川上、太田、長嶋、青木、“フォトニック結晶偏光子を集積した偏光イメージングカメラの開発” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、2006 年 9 月

［7］ 佐藤尚, 小形哲也, 川嶋貴之,井上喜彦, 川上彰二郎, “ フォトニック結晶素子と光情報の記録, 撮像, 表示への応用”、電子情報通信学会部品材料研究会、2006 年 9 月

［8］ 大寺康夫, 三浦健太, 川嶋貴之, 川上彰二郎, “Ge/SiO2 を用いた短波長赤外用フォトニック結晶波長フィルター” 2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会、立命館大学、2006 年 8 月 29 日

［9］ 大寺康夫, 小貫哲平, 井上喜彦, 川上彰二郎、“フォトニック結晶による分光イメージング用モザイク波長フィルター” 2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会、立命館大学、2006 年 8 月 29 日

［10］ 川嶋貴之、佐藤尚、本間洋、井上喜彦、太田晋一、長嶋聖、青木隆文、川上彰二郎” 偏光子アレイを用いた偏光イメージングカメラの開発”、2006 年秋季 第 67 回応用物理学会学術講演会、立命館大学、2006 年 8 月 29 日

［11］ 大寺康夫, 小貫哲平, 井上喜彦,川上彰二郎, “分光計測用フォトニック結晶型波長フィルターの開発” 応用物理学会光波センシング技術研究会、2006 年 12 月

［12］ 大寺康夫, 井上喜彦, 三浦健太, 川上彰二郎、“自己クローニング型フォトニック結晶の波長フィルターへの応用”、電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会、2006 年 11 月

［13］ 川上彰二郎、“人口誘電材料としてのフォトニック結晶 -応用技術の展望-”、OITDA 多元技術融合光プロセス研究会、2006 年 11 月 29 日

［14］ 佐藤尚, 小形哲也, 川嶋貴之, 井上喜彦, 川上彰二郎、"フォトニック結晶素子と光情報の記録, 撮像, 表示への応用" 電子情報通信学会部品材料研究会、東京、2006 年 9 月 15 日

［15］ 佐藤尚,荒木武,川嶋貴之,川上 彰二郎, " フォトニック結晶アレイを用いたエリプソメトリーと偏光イメージング," 応用技術シンポジウム Senspec2006、パシフィコ横浜、2006 年 6 月 9 日

課題番号　H17／A05

採択回数	1	2	3

プラズマナノ理工学基盤研究

[1]組織

代表者 :畠山 力三　(東北大学大学院工学研究科)
責任者：庭野 道夫　(東北大学電気通信大学)
分担者：

田路 和幸　(東北大学大学院環境科学研究科)
川添 良幸　(東北大学金属材料研究所)
寒川 誠二　(東北大学流体科学研究所)
金子 俊郎　(東北大学大学院工学研究科)
大原 渡　(東北大学大学院工学研究科)
藤原 民也　(岩手大学工学部)
佐々木 悠彦 (宮城工業高等専門学校)
笠間 泰彦　((株)イデアルスター)
表 研次　((株)イデアルスター)
小松 健一郎 ((株)イデアルスター)
柴田 昌紀　((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)
金山 敏彦　(産業技術総合研究所)
小松 正二郎 (物質･材料研究機構)
斉藤 直昭　(産業技術総合研究所)
平田 孝道　(武蔵工業大学)
阿知波 洋次 (東京都立大学理学研究科)
岡崎 健　(東京工業大学大学院理工学研究科)
和田 節子　(電気通信大学量子･物質工学科)
大谷 俊介　(電気通信大学レーザ新世代研)
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　(名古屋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　(大阪大学接合科学研究所)
奥 健夫　(大阪大学産業科学研究所)
西原 功修　(大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)
中山 喜萬　(大阪府立大学大学院工学研究科)
佐野 紀彰　(兵庫県立大学大学院機械系工学専攻)
久保園 芳博 (岡山大学理学部)
福政 修　(山口大学工学部)
伊藤 早苗　(九州大学応用力学研究所)
河合 良信　(九州大学総合理工学府)
田中 雅慶　(九州大学総合理工学府)
白谷 正治　(九州大学システム情報科学研究院)
藤山 寛　(長崎大学工学部)
藤田 寛治　(佐賀大学理工学部)

研究費：物件費 45 万 1 千円，旅費 54 万 5 千円

[2]研究経過

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

本プロジェクトでは上記の目的を遂行するべく，非線形科学の最前線である不安定性・波動現象から，フラーレン・ナノチューブを用いたナノ科学技術について広範囲な分野を，統合的に鳥瞰・理解するための研究会を開催した．また，プラズマを活用して，機能性ナノ構造創成に関する実験研究を展開した.以下,研究活動状況の概要を記す.

（研究討論会等開催状況）
日時：平成 19 年 2 月 22 日，23 日
場所：東北大学大学院工学研究科
　　電気情報システム・応物系
　　1 号館　451・453 会議室

1.　「剣山型電極を用いた誘電体バリア放電とその応用」藤原 民也（岩手大学）

2. 「バイオエレクトロニクス、ナノテクノロジー、ＬＳＩ回路を融合したバイオ・ナノハイブリッドセンサシステムの開発」平田 孝道, 秋谷 昌宏（武蔵工業大学）
3. 「単層カーボンナノチューブの成長制御と物性評価への応用」本間 芳和（東京理科大学, CREST, JST）
4. 「プラズマモデリングによるカーボンナノチューブの成長制御とカーボンナノチューブの分光学的評価」酒井 洋輔, 須田 善行, 菅原 広剛, Krishnendu Bhattacharyya, 沖田 篤士, 尾関 充史, 齊藤 武, 前川 将之, 高山 純一（北海道大学）
5. 「大型水素負イオン源における負イオン源プラズマの特性」竹入 康彦（核融合科学研究所）
6. 「水中マイクロプラズマを用いたカーボンナノ材料の水溶化技術と応用」末廣 純也, 今坂 公宣（九州大学）
7. 「バイオエレクトリクス」秋山 秀典（熊本大学）
8. 「ソリューションプラズマ反応場の創製と応用」石崎 貴裕[1]、齋藤 永宏[1,3]、高井 治[2,3]（[1]名古屋大学 工学研究科, [2]名古屋大学 エコトピア科学研究所, [3]JST-CREST）
9. 「マイクロプラズマによる可視発光シリコンナノ粒子の合成」野崎 智洋, 岡崎 健（東京工業大学）
10. 「イオン液体を用いた気相 - 液相界面放電プラズマ生成・制御」馬場 和彦, 金子 俊郎, 畠山 力三（東北大学）
11. 「液中アーク放電によるカーボンナノ材料合成の反応場に関して」佐野 紀彰（兵庫県立大学）
12. 「宇宙プラズマ中での非線形相互作用による波動励起・電子加速過程」加藤 雄人（東北大学）大村善治（京都大学）
13. 「トカマクプラズマにおける電子温度勾配駆動乱流と帯状流のシミュレーション」井戸村 泰宏（日本原子力研究開発機構）
14. 「JT60 における「輸送障壁」の発生と制御」鎌田 裕（日本原子力研究開発機構）

本研究会では学内外を含め延べ 67 名以上の参加者があり，講演はプラズマ基礎物理分野から応用分野まで広範囲にわたっており，専門分野を越えて活発な議論がなされた.

[3]成果

（3－1）研究成果

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

I. 単層カーボンナノチューブ成長におけるイオン衝撃効果の解明

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の課題として，孤立した一本の SWNTs の成長方向制御という問題が挙げられる. これまで，本研究では上記の問題を克服するために，ナノチューブ成長場に強電場を発生させることが可能なプラズマ CVD 法により，一本の SWNTs をプラズマシース電場方向に配向成長させることに成功している．さらなる配向性制御のためには，プラズマ CVD 中シース電場の制御が必要不可欠であるが，この課題に取り組む上で，シース電場により加速を受けるイオンが SWNTs の構造に与える効果を詳細に検討することは極めて重要と言える. このような背景の元，プラズマ CVD 中の SWNT 成長とイオンエネルギーの観点から研究を行った. 図 1 (a)にはプラズマ CVD により成長した SWNTs のラマン強度の成長時間依存性を示す. 成長時間の増加と共に信号強度が増加し SWNTs の成長量が増加する一方で，ある一定時間以上の成長を行うと成長量が減少することが明らかとなった. そこで，基板に流入するイオンエネルギー

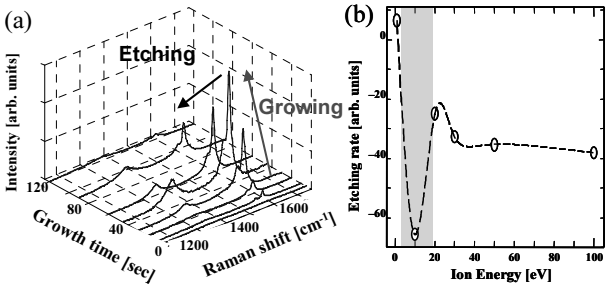


図 1 (a) ラマン強度の成長時間変化, (b) エッチング係数のイオンエネルギー依存性

を詳細に制御し，各々の条件下で SWNTs のエッチング係数を算出する実験を行った. その結果，10eV 程度の低イオンエネルギー領域で極端に SWNTs のエッチングが進行することが明らかとなった(図 1 (b)). この閾値エネルギーは炭素間の結合エネルギーに起因するものと思われる.

II. イオン液体－プラズマ界面プラズマ利用 DNA 内包カーボンナノチューブ形成

イオン液体は，正・負イオンのみから構成され，蒸気圧が極めて低い等の特徴を有した新しい概念の液体である．特に，イオン液体－プラズマ界面のプラズマシース電場を利用し，気相及び液相中でのイオン挙動，相間の物質輸送等を制御することによって，液体を必要とする生体高分子(DNA)と単層カーボンナノチューブ(SWNTs)から構成される DNA 内包 SWNTs の高効率創製法の確立が期待できる．

本研究では，気液界面領域へのプラズマイオン照射に着目し，そのイオンエネルギーの制御が可能な減圧条件下で実験を行った．イオン液体の表面にシース電場が形成され得る実験配位(液相中：駆動電極，気相中：接地電極)の場合にのみ，気相領域での電子密度の上昇や液相領域のイオン液体色の変化(図 2)が観測された．これは，シース電場によってイオン液体へのプラズマイオン照射が行われ，物理的・化学的反応を界面場で誘起したことに起因している．これらの結果から，気相から液相へのイオン照射を起点とした反応過程導入による新しいナノ物質創製法の確立が期待できる．

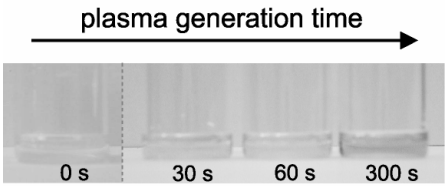


図 2：プラズマ生成時間に対するイオン液体色の変化．高周波電力 15 W.

III. アルカリーハロゲンプラズマによる pn 接合内包カーボンナノチューブ形成とその電気特性

接合構造を内包した SWNT 創製へ向けて，アルカリ塩であるヨウ化セシウム(CsI)を用いてアルカリ - ハロゲンプラズマを生成し，SWNT へのヨウ素(I)負イオン，セシウム(Cs)正イオン照射実験を行った．さらにその SWNT を用いて電界効果トランジスタ(FET)を形成することにより原子内包 SWNT の電気特性評価を行った．純粋な半導体性 SWNT は p 形の伝導特性を有するが，SWNT にアルカリ金属である Cs を照射，内包させることにより n 型の特性へと変化することがこれまでの我々の研究により明らかにされている．これに対して，アルカリ - ハロゲンプラズマを用い I を SWNT へ内包させることでより強固な p 型伝導特性が得られることが本研究により明らかとなった．これは Cs, I がそれぞれ SWNT 中で電子ドナー，電子アクセプタとして機能していることに由来する．以上の結果をもとに，接合構造形成のためプラズマ中に導入した SWNT 塗布基板への印加電圧を制御し I イオン，Cs イオンの順次照射を行った結果，特定の印加電圧極性時にのみ電流の流れるダイオード的な整流特性が確認された．また Cs/ I 内包 SWNT-FET のゲート電圧(V_G)に対するドレイン電流(I_{DS})特性を測定したところ，p 型，n 型といった特性とは異なる極めて特異な山状の伝導領域が観測された(図 3)．これは pn 接合の特殊な例として，キャリアが pn 接合間をトンネルする場合に観測される電流であることが報告されている．以上の結果から，アルカリ - ハロゲンプラズマを用いた異極性イオン照射により電子ドナー，アクセプタとして作用する Cs, I 原子の接合内包，及び SWNT 利用一次元 pn 接合素子の創製に成功したと言える．

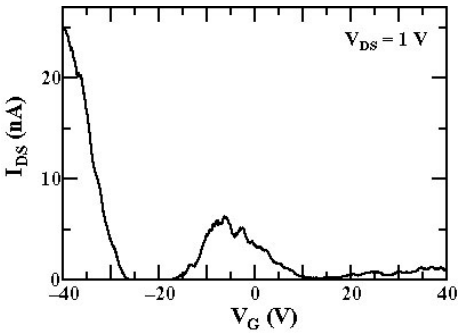


図 3：Cs/I 内包 SWNT–FET の電気特性.

IV. アルカリ金属・フラーレン内包二層カーボンナノチューブ形成とその電気特性

セシウム正イオンと C_{60} 負イオン及び電子からなる Q マシンプラズマを生成し，物理的，電気的に単層カーボンナノチューブより優れた特性を持つ二層カーボンナノチューブ（DWNT）を塗布した基板へ正・負イオンを照射することによって，原子・分子内包 DWNT の形成を行った．これらの DWNT を用いた電界効果トランジスタ(FET)の電気伝導特性を調べたところ，プラズマイオン照射前(Pristine)の DWNT が両極性半導体特性を示すのに対して，フラーレン C_{60} を内包することで p 型半導体特性に変化することが明らかになった．一方，セシウムを内包した DWNT は反対に高性能の n 型半導体特性を示すことが分かり，内包原子・分子により DWNT の電気特性を制御できることを実証した．

さらに，金属特性を示すDWNTにC_{60}を内包し，そのドレイン－ソース間の電圧V_{DS}－電流I_{DS}特性を調べたところ，電圧の増加に対して電流が急激に減少する負性微分抵抗特性が室温において観測された(図4)．これは，DWNT内で直径0.7 nmのC_{60}が量子井戸を形成したことに起因すると考えられ，C_{60}内包DWNTが量子効果デバイスとして有用であることを示している．

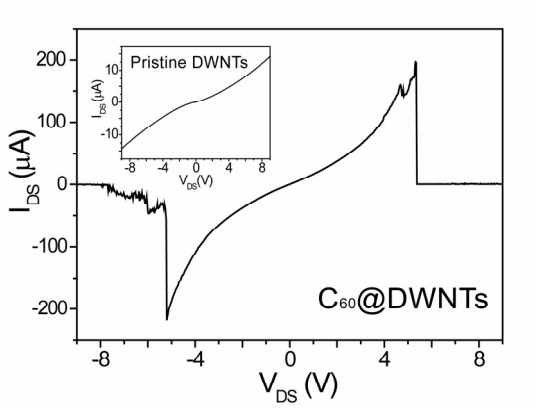


図4：フラーレン内包二層カーボンナノチューブの電気伝導特性.

[4]成果資料

主要論文リスト

1. “ Electrical Properties of Ferromagnetic Semiconducting Single-Walled Carbon Nanotubes”, Y. Li, R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Izumida, T. Okada, and T. Kato: Applied Physics Letters, vol. 89, No. 8, pp. 083117-1-3, 2006.
2. “ Electronic Transport Properties of Cs-Encapsulated Double-Walled Carbon Nanotubes”, Y. Li, R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Izumida, T. Okada, and T. Kato: Applied Physics Letters, vol. 89, No. 9, pp. 093110-1-3, 2006.
3. “Electronic Transport Properties of Cs-Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes Created by Plasma Ion Irradiation”, T. Izumida, R. Hatakeyama, Y. Neo, H. Mimura, K. Omote, and Y. Kasama: Applied Physics Letters, vol. 89, No. 9, pp. 093121-1-3, 2006.
4. “Alkali-halogen Plasma Generation by dc Magnetron Discharge”, W. Oohara, M. Nakahata, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, vol. 88, No. 19, pp. 191501-1-3, 2006.
5. “Simultaneous Control of Ion Flow Energy and Electron Temperature in Magnetized Plasmas”, K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, Applied Physics Letters, vol. 88, No. 11, pp. 111503-1-3, 2006.
6. “Generation of Argon-Ion Mixed Silicon Plasmas Forming Argon Encapsulated Silicon Clusters”, T. Kaneko, H. Takaya, and R. Hatakeyama, Applied Physics Letters, vol. 89, No. 24, pp. 241501-1-3, 2006.
7. “Experimental Evidence of m = -1 Helicon Wave Cutoff in Plasmas”, G. Sato, W. Oohara, and R. Hatakeyama: Journal of the Physical Society of Japan, vol. 75, No. 4, pp. 043501-1-4, 2006.
8. “Formation, Atomic Structures and Properties of Carbon Nanocage Materials”, T. Oku, I. Narita, A. Nishiwaki, N. Koi, K. Suganuma, R. Hatakeyama, T. Hirata, H. Tokoro, and S. Fujii: Topics of Applied Physics, vol. 100, pp. 187-216, 2006.
9. “プラズマを用いたカーボン系ナノ構造の創成”, 畠山 力三: 応用物理, vol. 75, No. 4, pp. 441-446, 2006.
10. “Diffusion Plasma Chemical Vapour Deposition Yielding Freestanding Individual Single-Walled Carbon Nanotubes on a Silicon-Based Flat Substrate”, T. Kato, R. Hatakeyama, and K. Tohji, Nanotechnology, vol. 17, pp. 2223-2226, 2006.
11. “Synthesis and Electrical Transport Measurement of Functionalized Double-Walled Carbon Nanotubes by Ferrocene Encapsulation”, Y. Li, R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Izumida, T. Okada, and T. Kato: Nanotechnology, Vol. 17, pp. 4143-4147, 2006.
12. “Synthesis of Cs-Filled Double-Walled Carbon Nanotubes by a Plasma Process”, Y. Li, R. Hatakeyama, T. Okada, T. Kato, T. Izumida, T. Hirata, and J. Qiu: Carbon, Vol. 44, pp. 1581-1589, 2006.
13. “Magnetic Characteriaztion of Fe-Nanoparticles Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes”, Y. Li, K. Kaneko, T. Ogawa, M. Takahashi, and R. Hatakeyama: Chemical Communications, No. 3, pp. 254-256, 2006.
14. “Fast Growth of Carbon Nanowalls from Pure Methane using Helicon Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition”, G. Sato, T. Morio, T. Kato, and R. Hatakeyama: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 6A, pp. 5210-5212, 2006.
15. “ Modification of Double-Walled Carbon Nanotubes by Cs Plasma Ion Irradiation”, Y. Li, T. Izumida, T. Okada, T. Kato, R. Hatakeyama

and J. Qiu: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10B, pp. 8330–8334, 2006.
16. “Atmospheric Pressure Glow-Discharge Plasmas with Gas-Liquid Interface”, K. Baba, T. Okada, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10B, pp. 8286–8289, 2006.
17. “ Flow Energy Control of Nitrogen Ions Generated by Electron Cyclotron Resonance”, K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10B, pp. 8050–8054, 2006.
18. “Effects of Ion Energy Control on Production of Nitrogen-C_{60} Compounds by Ion Implantation”, S. Abe, G. Sato, T. Kaneko, T. Hirata, R. Hatakeyama, K. Yokoo, S. Ono, K. Omote, and Y. Kasama: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10B, pp. 8340–8343, 2006.
19. “Single-Stranded DNA Insertion into Single-Walled Carbon Nanotubes Using Ion Irradiation in an Electrolyte Plasma”, T. Okada, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10B, pp. 8335–8339, 2006.
20. “Alkali-Halogen Plasma Generation using Alkali Salt”, W. Oohara, M. Nakahata, and R. Hatakeyama: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 10B, pp. 8075–8079, 2006.
21. “Growth of Vertically Aligned Carbon Nanotube Bundles using Atmospheric-Pressure Microplasma”, H. Yoshiki, T. Okada, K. Hirai, and R. Hatakeyama, Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 12, pp. 9276–9279, 2006.
22. “Nano Sized Magnetic Particles with Diameters Less than 1 nm Encapsulated in Single-Walled Carbon Nanotubes ”, Y. Li, R. Hatakeyama, T. Kaneko, and T. Okada: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 45, No. 15, pp. L428–L431, 2006.
23. “Development of a Low Temperature Plasma Source Providing Ion Flow Energy Control”, K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Plasma Sources Science and Technology, vol. 15, pp. 495 – 500, 2006.
24. “ Absorption and Penetration of Left-Hand Polarized Waves Related to Polarization Reversal Causing Electron Cyclotron Resonance”, K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Physical Review E, vol. 74, No. 1–2, pp. 016405-1–7, 2006.
25. “ Formation of Freestanding Single-Walled Carbon Nanotubes by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition”, T. Kato and R. Hatakeyama: Chemical Vapor Deposition, vol. 12, pp. 345–352, 2006.
26. “Production and Application of Reactive Plasmas Using Helicon-Wave Discharge in Very Low Magnetic Fields”, G. Sato, T. Kato, W. Oohara, and R. Hatakeyama: Thin Solid Films, vol. 506–507, pp. 550–554, 2006.
27. “Effects of Strong Magnetic Field on Carbon Nanotube Formation Using RF Glow-Discharge Plasma”, T. Kaneko, H. Matsuoka, T. Hirata, R. Hatakeyama, and K. Tohji: Thin Solid Films, vol. 506–507, pp. 259–262, 2006.
28. “DNA Negative Ion Irradiation toward Carbon Nanotubes in Micro Electrolyte Plasmas”, T. Okada, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Transaction of the Material Research Society of Japan, vol. 31, No. 2, pp. 459–462, 2006.
29. “アルカリ金属を内包したカーボンナノチューブ”, 畠山力三, 泉田健:「カーボンナノチューブの機能・複合化の最新技術」, シーエムシー出版, pp. 101–114, 2006.
30. “マイクロプラズマの DNA 超分子システム創製への応用”, 畠山力三, 岡田健, 金子俊郎:「機能材料」, シーエムシー出版, vol. 26, No. 6, pp. 15–22, 2006.
31. “DNA 超分子システム創製への応用”, 畠山力三, 岡田健, 金子 俊郎:「マイクロ・ナノプラズマ技術とその産業応用」, シーエムシー出版, pp. 205–220, 2006.
32. “Novel-Structured and -Functional Nanocarbons Created by Nanoscopic Plasma Processing”, R. hatakeyama, The Application of Nanocrystalline Diamond Like Carbon Materials, ed. N. R. Ray, pp. 119–130, 2006.
33. “Conversion of Toluene into Carbon Nanotubes Using Arc Discharge Plasmas in Solution”, T. Okada, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Thin Solid Films, vol. 515, pp. 4262–4265, 2006.

共同プロジェクト研究

採択回数	1	②	3

課題番号　H17／A06

IV 族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究

［1］ 組織

代表者：室田淳一（東北大学電気通信研究所）

分担者：

庭野道夫（東北大学電気通信研究所）
上原洋一（東北大学電気通信研究所）
櫻庭政夫（東北大学電気通信研究所）
竹廣　忍（東北大学電気通信研究所）
小柳光正（東北大学大学院工学研究科）
末光眞希（東北大学学際科学国際高等研究センター）
宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）
白木靖寛（武蔵工業大学総合研究所）
安田幸夫（高知工科大学総合研究所）
財満鎭明（名古屋大学大学院工学研究科）
酒井　朗（名古屋大学大学院工学研究科）
高木信一（東京大学大学院新領域創成科学研究科）
奥村次徳（首都大学東京理工学系）
平木昭夫（高知工科大学電子・光ｼｽﾃﾑ工学科）
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）
松本　智（慶應義塾大学理工学部）
佐々木公洋（金沢大学大学院自然科学研究科）
土屋敏章（島根大学総合理工学部）
宮尾正信（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
佐道泰造（九州大学大学院ｼｽﾃﾑ情報科学研究院）
宮崎誠一（広島大学大学院先端物質科学研究科）
中川清和（山梨大学工学部）
石谷明彦（ベルギー・ＩＭＥＣ）
阿部孝夫（信越半導体株式会社）
鷲尾勝由（日立製作所株式会社）
国井泰夫（日立国際電気株式会社）
宮本光雄（森田化学工業株式会社）
佐藤政明（新日本無線株式会社）
坂本謙二（物質・材料研究機構）
杉山直治（株式会社東芝基礎研究所）
小野昭一（株式会社イデアルスター）
横尾邦義（株式会社イデアルスター）
笠間泰彦（株式会社イデアルスター）
表　研次（株式会社イデアルスター）
Bernd Tillack（ドイツ・ＩＨＰ）
Matty Caymax（ベルギー・ＩＭＥＣ）
James Sturm（米国・プリンストン大学）
Judy Hoyt（米国・マサチューセッツ工科大学）
Erich Kasper（ドイツ・スツットガルト大学）
Vinh Le Thanh（フランス・マルセイユ大学）

配分研究費　　校費 41.4 万円，　旅費 53.7 万円

［2］研究経過

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

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

［3］研究成果

本年度は、IV 族半導体極限ヘテロ構造及びその形成プロセスの開発のために、表面異種原子層が

拡散・凝集しないような表面反応制御を駆使した原子層ドーピング構造形成とその電気的特性について調べた。そして、Si_2H_6ガスによるキャッピングSi成長時のPの表面偏析現象を抑制したP原子層ドープ Si エピタキシャル薄膜の形成において、大部分のP原子がヘテロ界面付近の厚さ2 nm以下の極薄領域に分布し、局所 P 濃度が 3×10^{21} cm^{-3}（原子密度 6%）に達する超高濃度ドーピング構造の実現に成功した。このP原子層ドープSi薄膜においては、従来知られていた高濃度 P ドープ Si より高いHall移動度を示すことも見いだした。また、基板非加熱下での Ar プラズマ照射下での SiH_4反応により実現した高平坦歪緩和 Ge 上へのナノオーダ高度歪 Si エピタキシャル薄膜において、500 ºC以上の熱処理により歪緩和が生じることを見いだし、ナノメータオーダの高度歪導入IV族半導体ヘテロ構造形成において500 ºC以下の低温プロセスが不可欠であることを明らかにした。さらに、歪 $Si_{0.8}Ge_{0.2}$／Si ヘテロ構造を用いた p 型共鳴トンネルダイオードの試作においては、量子井戸とスペーサの一部に極薄高 Ge 比率層（x=0.3、3 nm 厚）を導入することにより、170-190 K の高温域でも負性抵抗特性が発現することを見いだし、IV族半導体負性抵抗デバイスの室温動作実現のためには高Ge比率化の推進が有効なことを明らかにした。

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

［４］研究会活動

本研究プロジェクトが中心となり、IV族系ヘテロ構造・材料とデバイス応用、それを用いた回路やシステムの研究開発動向の調査のため、電気学会「IV族系ヘテロ超微細デバイス材料技術調査専門委員会」（平成18年2月発足）を設け、平成19年度も活動を継続することになっている。また、以下の３つの国際会議も開催した。

- **第 3 回 SiGe テクノロジー&デバイス国際会議**（3rd Int. SiGe Technol. and Device Meeting, Princeton 大学，2006-5/15-17，発表 122 件，参加者 180 名: Proceeding 特集号 Semicond. Sci. Technol., Vol.22, No.1, 2007）
- **第 2 回新 IV 族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ**（2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics，東北大通研ナノ・スピン実験施設，2006-10/2-3，発表 51 件，参加者 64 名）
- **SiGe&Ge 材料・プロセス・デバイス国際会議**（Int. SiGe & Ge Materials, Processing, and Devices Symp., 2006-10/29-11/3, Mexico，発表 131 件，参加者 180 名: Proceeding 特集号 ECS Trans., Vol.3, No.7, 2006）

これらの活動により、IV族半導体極限ヘテロ構造における物理現象を踏まえたデバイス製作技術、回路・システム化技術の構築と産学独連携体制構築を含む研究活動推進が産業発展のために重要であることが明確に示され、世界規模での研究連携のきっかけとなることが期待される。

今後も、この分野の共同プロジェクトを推進することにより、新しいIV族半導体光物性・電子物性の学問分野が大きく発展するだけでなく、次世代Si系極限ヘテロデバイス開発も実現することになるものと期待できる。

［５］主な研究発表

1. “Silicon Self-Diffusion in Heavily B-Doped Si Using Highly Pure 30Si Epitaxial Layer”, S. Matsumoto, S. R. Aid, S. Seto, K. Toyonaga, Y. Nakabayashi, M. Sakuraba, Y. Shimamune, Y. Hashiba, J. Murota, K. Wada and T. Abe, ECS Trans., Vol.2, No.2, Silicon Materials Science and Technology X (Edited by H. Huff, L. Fabry, D. Gilles, U. Goesele, T. Hattori, W. Huber, S. Ikeda, H. Iwai, P. Packan, H. Richter, M. Rodder, E. Weber and R. Wise, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2006), pp.287-297 (2006).
2. “Quantitative Evaluation of Interface Traps in a Nanometer-Thick SiGe/Si Heterostructure in Hetero MOS Devices” (**Invited Paper**), T. Tsuchiya, M. Sakuraba and J. Murota, 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices, Sendai, Japan, Jul. 3-5, 2006, (IEICE Technical Report, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers), ED2006-61, SDM2006-69 (2006-7), pp.21-24.
3. “Atomically Controlled Processing for Group IV Semiconductors by Chemical Vapor Deposition” (**Invited Review Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.45, No.9A, pp.6767-6785, (2006).
4. “Bドープ SiGe 選択 CVD 成長により形成された極浅ソース･ドレインと高 Ge 比率歪 SiGe ヘテロチャネルを有する高性能 pMOSFET”, 竹廣忍, 櫻庭政夫, 室田淳一, 土屋敏章, 電気学会論文誌 C, 電気学会, Vol.126, No.9, pp.1079-1082, (2006).
5. “SiGe/Si ヘテロ MOSFET におけるホットキャリアによるヘテロ界面準位の発生”, 土屋敏章, 櫻庭政夫, 室田淳一, 電気学会論文誌 C, 電気学会, Vol.126, No.9, pp. 1101-1106, (2006).

6. “Hot-Carrier-Degradation of Hetero-Interface in SiGe/Si-Hetero-MOSFETs”, T. Tsuchiya, M. Sakuraba and J. Murota, 2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 2-3, 2006, No. O-01.

7. “Epitaxial Growth of Group IV Semiconductor in ECR Plasma Enhanced CVD”, M. Sakuraba, D. Muto, M Mori, K. Sugawara, J. Murota, 2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 2-3, 2006, No. O-09.

8. “Fabrication of Sub-100-nm Gate-Length SiGe-Heterochannel MOSFETs with In-Situ Doped Selectively Epitaxial SiGe Source/Drain”, S. Takehiro, M. Sakuraba, T. Tsuchiya J. Murota, 2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 2-3, 2006, No.P-02.

9. “B Atomic Layer Formation on $Si_{1-x}Ge_x$(100) by Ultraclean LPCVD System”, K. Ishibashi, M. Sakuraba, J. Murota, Y. Inokuchi, Y. Kunii, H. Kurokawa, 2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 2-3, 2006, No.P-16.

10. “Electrical Characteristics of Hole Resonant Tunneling Diodes with High Ge Fraction Si/Strained $Si_{1-x}Ge_x$ Heterostructures on Si(100) Grown by Low-Temperature Ultraclean LPCVD”, T. Seo, M. Sakuraba and J. Murota, 2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Oct. 2-3, 2006, No.P-29.

11. “Atomically Controlled CVD Technology for Group IV Semiconductors” (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 8th Int. Conf. on Solid-State and Integrated-Circuit Technol. (ICSICT 2006), Shanghai, China, Oct. 23-26, 2006.

12. “Strain Control of Stripe Patterned Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si Heterostructures”, J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, ECS Trans., Vol.3, No.7, SiGe and Ge: Materials, Processing, and Devices (Edited by D. Harame et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2006), pp.421-427 (2006): 2nd Int. SiGe & Ge: Materials, Processing, and Device Symp. (210th Electrochem. Soc. Meeting), Cancun, Mexico, Oct. 29-Nov. 3, 2006, Paper No.6.3.

13. “A Study on B Atomic Layer Formation for B-Doped $Si_{1-x}Ge_x$(100) Epitaxial Growth Using Ultraclean LPCVD System”, K. Ishibashi, M. Sakuraba, J. Murota, Y. Inokuchi, Y. Kunii and H. Kurokawa, ECS Trans., Vol.3, No.7, SiGe and Ge: Materials, Processing, and Devices (Edited by D. Harame et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2006), pp.861-866 (2006): 2nd Int. SiGe & Ge: Materials, Processing, and Device Symp. (210th Electrochem. Soc. Meeting), Cancun, Mexico, Oct. 29-Nov. 3, 2006, Paper No.14.4.

14. “Atomic-Order Thermal Nitridation of $Si_{1-x}Ge_x$(100) at Low Temperatures by NH_3”, N. Akiyama, M. Sakuraba and J. Murota, ECS Trans., Vol.3, No.7, SiGe and Ge: Materials, Processing, and Devices (Edited by D. Harame et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2006), pp.1205-1210 (2006): 2nd Int. SiGe & Ge: Materials, Processing, and Device Symp. (210th Electrochem. Soc. Meeting), Cancun, Mexico, Oct. 29-Nov. 3, 2006, Paper No.20.4.

15. “The Instability of the SiGe/Si-Hetero-Interface in Hetero-MOSFETs due to Bias Stress”, T. Tsuchiya, S. Mishima, M. Sakuraba and J. Murota, 37th IEEE Semiconductor Interface Specialists Conf. (IEEE SISC 2006), San Diego, CA, Dec. 7-9, 2006.

16. “Carbon doping effect on strain relaxation during $Si_{1-x-y}Ge_xC_y$ epitaxial growth on Si(100) at 500 ^oC”, H. Nitta, M. Sakuraba and J. Murota, Semicond. Sci. Technol., Vol.22, pp.S5-S8, (2007).

17. “Strain control and electrical properties of stripe patterned Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) heterostructures”, J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, Semicond. Sci. Technol., Vol.22, pp.S33-S37, (2007).

18. “Hole tunneling properties in resonant tunneling diodes with Si/Strained $Si_{0.8}Ge_{0.2}$ heterostructures grown on Si(100) by low-temperature ultraclean LPCVD”, R. Ito, M. Sakuraba and J. Murota, Semicond. Sci. Technol., Vol.22, pp.S38-S41, (2007).

19. “Epitaxial growth of highly strained Si on relaxed Ge/Si(100) using ECR plasma CVD without substrate heating”, K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, Semicond. Sci. Technol., Vol.22, pp.S42-S45, (2007).

20. “Epitaxial growth of P atomic layer doped Si film by alternate surface reaction of PH_3 and Si_2H_6 on strained $Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) in ultraclean low pressure CVD”, Y. Chiba, M. Sakuraba and J. Murota, Semicond. Sci. Technol., Vol.22, pp.S118-S122, (2007).

課題番号　H17／A08

採択回数	1	②	3

視覚の統合処理過程の解明とその応用

［1］組織

代表者：矢口　博久
（千葉大学大学院工学研究科）
対応者：塩入　諭
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐藤雅之　（北九州市立大学国際環境工学部）
古賀一男　（名古屋大学エコトピア科学研究所）
北岡明佳　（立命館大学文学部）
仲泊　聡　（東京慈恵会医科大学眼科学講座）
石井雅博　（富山大学工学部）

研究費：物件費 308,000 円，旅費 344,000 円

［2］研究経過

我々は、網膜に映る莫大な量の視覚情報の中から、必要な情報を選択，統合して視覚認識をしている。そこには，奥行き知覚に関連する３次元認識過程と注意によって選択的な情報処理過程が大きく関わっている。人間の立体視機能については，異なる処理の結果をいかに統合するかについての前注意的処理を調べることが，また注意による選択過程についてはその動的な変化が注目されている。それらを定量的にモデル化に向けた基礎研究が本研究の目的であり、その知見に基づき視覚処理のモデルが構築できれば、視環境の適切な評価，設計，画像表示装置の設計などに広く応用できる。本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。前年度は、注意のモデル化のための基礎的データの収集と注意移動の基礎モデルの構築を行った。本年度は、立体視機能の時空間特性の詳細な検討および、視野安定機構を中心にした視覚空間処理機能に関する問題点の調査検討を行った。以下，研究活動状況の概要を記す。

平成１８年７月２８ー８月１日

2006年アジア視覚会議にて研究打ち合わせ

研究代表者，矢口と通研対応者塩入および分担者佐藤、古賀、石井が，研究テーマとその進め方について意見交換，議論した。また、矢口と塩入が両眼立体視の時間特性に関する実験の視覚情報の統合に関連した側面について議論した。

平成１８年１１月２８日ー３０日

研究打ち合わせ

古賀、佐藤、石井が来所し，視覚情報の統合に関わる眼球運動の影響を中心に、問題点の検討、研究方法などについて議論した。

平成１９年１月３１日ー２月２日

日本視覚学会2007年冬季大会にて研究打ち合わせ

矢口と塩入が，奥行き運動の時間特性の実験について議論した。

平成１９年２月６日

研究打ち合わせ

仲泊が来所し、奥行き運動知覚と立体盲の関連、脳損傷患者の奥行き知覚、物体認識について情報交換、および議論をした。

平成１９年３月１日―２日

研究打ち合わせ

矢口が来所し、色弁別特性と色覚モデル、それを踏まえた色知覚と顔認識の関連、さらにその画像工学的応用について情報交換、議論をした。

平成１９年３月５日―６日

研究打ち合わせ

北岡が来所し、色覚に関連する錯視について情報交換、および錯視と視覚情報の統合に関して議論をした。

（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，両眼立体視の基本特性として、奥行きに対する感度の空間周波数特性、時間周波数特性、それらの相互作用および視差（奥行き）依存性に関する実験をまとめ、奥行き情報の統合に関する時間特性について考察した。本実験では、運動する垂直縞を用いて、その空間周波数、時間周波数、および奥行き量（両眼視差）の変化に伴うコントラスト感度を測定した。その実験結果は前年度までに収集されていたものであるが、本年度には、その結果を説明するために、必要な両眼立体視に関わる検出器のモデルについて検討した。実験結果の示すところは、奥行きに対する感度は、刺激特性（時空間周波数、視差）に依存して変化するが、特に空間周波数と視差の間には大きな相関があり（大きさ一視差相関がある）、大きな視差のとき低い空間周波数鵜で感度が高いことが示された。一方時間周波数は、この空間周波数と視差の関係にはほとんど影響しないが、全体の感度には大きく関与し、その仕方は空間周波数に依存する。大きさ一視差相関は、通常異なる空間周波数帯域に感度を持つ複数のメカニズム（空間周波数チャンネル）があることで説明されるが、その点について、我々は慎重に検討し、必ずしもそうではないことを示した。両眼立体視のモデルのひとつ視差エネルギーモデルを基礎に我々の実験刺激に対する立体視の感度を予測すると、単一の周波数特性を持つチャンネルのでも、大きさ一視差相関がみられることを明らかにした。それに対して、空間周波数に依存した時間周波数特性は、複数のチャンネルの存在を示唆する。実験結果から、明暗コントラスト処理の過程で知られている時間的に低周波、空間的に高周波に感度を持つ経路と時間的に高周波、空間的に低周波に感度を持つ経路の両者が両眼立体視の処理に関わっていると考えることができる。これらの結果は、両眼立体視が広い時空間周波数領域に感度を持つ処理であり、その奥行き知覚のために、異なるチャンネルからの信号をいかに統合するかという問題を解く必要が明らかになった。

第2に、注意位置の測定方法としてサッカード眼球運動の潜時（刺激呈示からサッカード開始までの時間）が利用できることを示し、またその原因が、サッカードのゴール位置に対する注意の強さがサッカードの実行の早さに影響するためであることも明らかにした。被験者の注意は、あいまい刺激による　仮現運動刺激により制御した。この刺激は物理的には運動方向は決められないが、被験者の注意の向け方で方向が決まるもので、実験ではある方向に刺激を追跡する課題を課した。その上で、追跡刺激から様々な距離にサッカード刺激を呈示し、サッカードの潜時を測定した。その結果、追跡刺激位置で潜時が短く、そこから離れるに従って潜時が長くなることを明確にした。注意位置の測定方法は一般に検査刺激に対する応答時間や感度の位置による変動を利用して測定するために、よく制御された条件で長時間にわたる実験が必要になる。それに対してサッカード潜時を利用すると、比較的単純な実験条件でしかも短時間の測定で注意の程度が評価できる可能性があり、注意研究に有効性が高い成果といえる。また、そのメカニズムを検討するために、アンチサッカード条件における実験も行った。この実験は、サッカード刺激と反対側にサッカードを行うもので、注意の影響がサッカード刺激の検出自体にあるのであれば、サッカード刺激への視線移動と逆方法への視線移動いずれの場合も、サッカード刺激位置が注意位置と一致した場合に潜時が短いことになる。しかし、実験結果は、サッカードゴールが注意位置と同じ場合に潜時が短くなることを示した。これは、注意の強さがサッカード刺激検出に影響するだけでなく、サッカードの実行処理に影響することを意味する。注意の効果として知覚に関わるもの（刺激検出）と行動に関わる（サッカード潜時）ものがあることを示唆する興味深い知見である。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより学外研究者との有益な交流ができ，その結果はサッカード潜時の注意の測定方法の実質化、両眼立体視の時空間特性の定量化も可能となった。実シーンに対する注意のモデル化は現状で様々な問題がありその評価方法の確立は重要である。本プロジェクトの成果は、注意の測定それ自体だけでなく、その評価に対する貢献も期待できる。注意のモデル化は、人間の特性に合致した（いわゆる人にやさしい）情報表示システム，視環境の構築のための新しいアプローチを確立する可能性を持つため、そのようなシステムの実現に向けた大きな成果といえる。両眼立体視の時空特性の定量化も、立体情報の的確な評価、さらに３次元空間での注意の評価にも重要な貢献が期待できる。

また、注意と視覚情報の統合に関する研究分野の将来的発展を検討する機会得ることができ、視野安定機構の解明についての研究が重要な問題との認識にいたった。１９年度はその認識に基づき視野安定機構との関連を加えるために関連研究者との議論も行い、今後の方向づけの検討を加える。

［４］成果資料

(1) Lee, S., Shioiri, S., & Yaguchi, H. (2007). Stereo channels with different temporal frequency tunings. Vision Res, 47 (3), 289-297.

(2) Shioiri, S., Ogawa, M., & Yaguchi, H. (2006). Facilitation of temporal integration by visual attention. The Fourth Asian Conference on Vision (p. 56). Matsue, Japan.

(3) 松原和也，金子瑞樹，塩入諭，矢口博久 (2006). サッカード眼球運動と先行注意移動. 光学，20 (3), 156-164.

(4) 金子瑞樹，松原和也，塩入諭，& 矢口博久 (2006). 注意位置へのサッカードとアンチサッカード. 映像情報メディア学会技術報告，30 (pp. 41-43). 東京.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A09

採択回数	2

Rashba 効果を利用した半導体スピンデバイスの研究

［1］組織

代表者：古賀　貴亮
（北海道大学大学院情報科学研究科）
対応者：大野　英男（東北大学電気電信研究所）
大野　裕三（東北大学電気電信研究所）
分担者：大谷　啓太（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 29 万 6 千円，旅費 13 万 3 千万円

［2］研究経過

現代のエレクトロニクスは電子の電荷自由度を利用することで発展し続けてきた。従来型の半導体の集積化が進んでいる一方で、電子のスピン自由度を利用した電子デバイスの開発に向けた新しい試みが研究レベルで進んでいる。本研究では、ナノ・スピンデバイスの開発 －具体的にはスピン軌道相互作用（Rashba 効果）を利用した非磁性３重障壁共鳴トンネルスピンフィルター［Koga et. al., Phys. Rev. Lett. 88, 126601 (2002)］の実現－ を目指している。本年は、プロジェクトの第２年目に当たる。前年度は、AlGaSb/InAs/AlGaSb 量子井戸の低温、磁場中での電子輸送特性を研究し、Rashba 効果についての基礎的な知見を得ることを目指して研究を進めたが、プロセス上の困難により十分な成果があげられなかった。そこで、本年度は、フォトリソグラフィ、ウェットエッチング等の化学プロセスを用いない方法（In を押し付けて電極を形成）により、試料の磁気抵抗を測定し、その振動 －シュブニコフ・ド ハース(SdH)振動－ のビーティング解析から零磁場スピン分離エネルギーの大きさを議論することを試みた。また、構造反転非対称性に起因する Rashba 効果、結晶反転非対称性に起因する Dresselhaus 効果、磁場とスピンとのカップリングであるゼーマン分離効果、全てのスピン分離効果を含めた計算機シミュレーションを同時に行い、実験結果の定量的説明を試みた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究会

平成 18 年８月 15 日－18 日

第４回　半導体スピン関連現象の物理と応用に関する国際会議（PASPS IV）於　仙台国際センター

研究打ち合わせ

平成 18 年８月 18 日（金）15:00-17:00

平成 19 年２月１日（木）13:30-17:00

［3］成果

（3－1）研究成果

東北大通研で分子線エピタキシー法を使って成長した試料（VL1143、VL1144）の構造を表１に示す。これらの試料の、室温、77K、4.2K におけるキャリア濃度、電子易動度を表２に示す。ここで、室温、77K での測定は、Van der Pauw 法で行われ、4.2K での測定は、シュブニコフ・ド・ハース(SdH)測定によって行われた。

この実験においては、VL1143 では、故意のドーピングは行わず、そのため、量子井戸ポテンシャルが対称となる（＝スピン分離効果が小さい）ことが期待され、VL1144 においては、量子井戸の下側(基

表１：東北大通研で作製したエピ成長構造

サンプル名：**VL1143**（not intentionally doped）	
GaSb (cap)	5nm
AlSb	15nm
InAs	15nm
AlSb	15nm
GaSb(2.5nm)/AlSb(2.5nm) SL (×200)	1000nm
AlSb	75nm
GaAs	150nm
SI-GaAs(001) 基板	
サンプル名：**VL1144**（modulation doped sample）	
GaSb (cap)	5nm
AlSb	15nm
InAs	15nm
AlSb	12.5nm
n-InAs（Si *n*-doped 3×10^{12} cm^{-2}）	1.2nm
AlSb	25nm
GaSb(2.5nm)/AlSb(2.5nm) SL (×200)	1000nm
AlSb	75nm
GaAs	150nm
SI-GaAs(001) 基板	

表２：実験試料のの易動度（μ）及び
シートキャリア濃度（N_S）の測定結果

VL1143：
室温　μ=19500 cm^2/Vs, N_S=1.4×10^{12} cm^{-2}
77K　μ=74400 cm^2/Vs, N_S=6.6×10^{11} cm^{-2}
4.2K　μ=101900 cm^2/Vs, N_S=1.2×10^{12} cm^{-2}

VL1144：
室温　μ=26500 cm^2/Vs, N_S=2.1×10^{12} cm^{-2}
77K　μ=61000 cm^2/Vs, N_S=1.5×10^{12} cm^{-2}
4.2K　μ=18500 cm^2/Vs, N_S=1.8×10^{12} cm^{-2}

板側)にキャリア供給層を設けることにより、量子井戸のポテンシャル形状の対称性が崩れている（＝スピン分離効果が大きい）ことが期待された。

結果的には、VL1144 の試料で、1T 以上の磁場で明瞭な SdH 振動が観察されたが（図１参照）、VL1143 の試料では抵抗が低いながらも SdH 振動は 2T 以上の高磁場でしか観察されなかった。SdH 振動のビーティングに関しては、双方の試料とも観察されなかった。また、これらのサンプル間では、あまり大きなキャリア濃度の差が見られず、VL1144 でのポテンシャルの対称性の崩れの程度も限定的なものであると考えられる。

ゼーマン分離効果

上記の試料において、SdH のビーティングが観察されなかったということは、(1) 零磁場スピン分離の大きさが小さすぎる、(2) スピン分離の大きさは十分だが何らかの理由で SdH のビーティングに反映されない、のどちらかである。

まず、(2)の可能性を排除するために、磁場を印加する方向を試料表面に垂直な方向からある角度(θ)傾斜させた条件で実験を行い、シュブニコフ振動が消滅するθが存在することを確かめた。その結果、見かけ上の g 値を 8.1 と見積もることができた。このことは、少なくともゼーマン分離が主なメカニズムでのスピン分離に関しては、上記(2)の可能性は排除されたことになる。

モデル計算

上で見積もった見かけ上の g 値は、Rashba、Dresselhaus 分離を共に零と仮定した場合に得られる値である。本研究では、Rashba、Dresselhaus、Zeeman、全てのスピン分離メカニズムを含めたモデル計算を行った。この場合、実験結果のフィッティング・パラメータは、g 値（ここで得られる値が真の g 値）と量子井戸内の電場 E_z の２つに増えるが、その結果わかったことは、真の g 値は 8.1 以上には

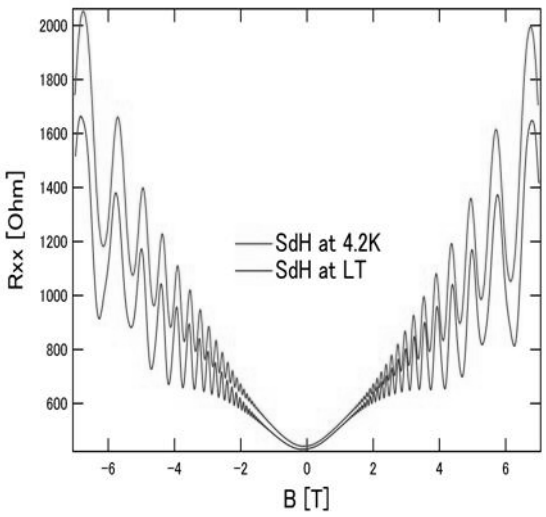


図１：VL1144 について測定されたシュブニコフ・ド　ハース振動。

成り得ないことである。g 値のバルク値としては、13～14 という値が報告されており、量子井戸状態においても g 値の大きさは同程度のオーダーであると予想される。そこで、今回の試料における真の g 値も 8 付近の値であると仮定すると、E_z は非常に小さな値にならなければならず、上記の(1)が、θ=0 の実験でビーティングが観察されなかったことの理由であったと結論することができる。

（３－２）波及効果と発展性など

InAs/AlSb 系量子井戸では、非常に質の高い試料でもビーティングが観察されないことが報告されており[Brosig et al, Phys. Rev. B 60, 13989 (1999)]、本研究分野でのミステリーの一つとして認識されている。他方、SdH 振動のビーティングは、零磁場スピン分離以外のことが原因で観察されることもある[Rowe et al, Phys. Rev. B 63, 201307 (2001)]。今後は、これらの結果も含めた問題の解決が望まれる。そこで、弱局在－反局在測定や、微細加工したループ配列構造中でのスピン干渉効果の検証など、SdH のビーティングに依らない方法で零磁場スピン分離エネルギーの値を見積もる努力を継続する。

［4］成果資料

１．金民祐，藤井孝彦，古賀貴亮，大谷啓太，“AlSb/InAs/AlSb 量子井戸における伝導帯スピン分離－ゼーマン分離－”，第 54 回応用物理学関係連合講演会（2007 春）

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A10

採択回数	1	(2)	3

次世代ビームデバイス用高電流電界放射微小電子源の研究

［1］組織

代表者：三村　秀典
（静岡大学電子工学研究所）
対応者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：根尾陽一郎（静岡大学電子工学研究所）
嶋脇秀隆（八戸工業大学工学部）
松本貴裕（スタンレー電気（株））
横尾邦義（東北大学名誉教授）
佐藤信之（東北大学電気通信研究所）
研究費：物件費３０万８千円，旅費４７万９千円

［2］研究経過

真空電子デバイスは、電子の飽和速度が半導体より約1000倍大きい、フォノンによる損失が無いため効率が良い、印加できる電圧が高く高出力である、高温動作など耐環境性に優れるなどの利点があり、高周波、高出力用途に広く用いられている。また、電子ビームはナノオーダ以下に絞れることが可能、物質との相互作用が極めて大きい等の理由により、電子顕微鏡を始めとする各種分析装置また描画装置に広く用いられている。しかし、現在の真空デバイス、機器用いられている熱陰極は、構造が大きい、電流密度が小さい、エネルギー分散が大きい、消費電力が高い、パルス化できないなど、問題点が多く、新しい電子源の開発が強く望まれている。一方、近年盛んに研究されている電界放射微小電子源は、ナノテクノロジーを用いて製作する微小冷陰極で、超小型、電流密度が高い、エネルギー分散が小さい、消費電力が小さい、パルス化が容易など、数々の長所を有している。しかし、電界放射微小電子源は、個々の電子源の絶対放射電流量が小さく、またこれを多数集積しても、電流絶対値が集積数に比例せず、絶対電流駆動能力が低いという問題点を有しており、熱陰極に代わり広く用いられるようにはなっていない。本研究は、10㎃以上の絶対電流駆動能力を有する微小電子源アレイを開発し、熱陰極に代わり、実際のデバイス、機器に用いられる微小電子源アレイを開発することを目的とする。

本プロジェクト研究の２年目であたる今年度は、前年の結果を基に、主に三村、根尾が電気通信研究所に赴き、新しいカーボン系微小電子源の開発を行った。

［3］成果

（3－1）研究成果

前年度、平行平板型 RF マグネトロンスパッタリング装置で、カーボン基板を H_2 ガスでエッチングすることにより製作した数多くの微小突起を有するグラファイトナノニードル電子源が、簡単なプロセスであるにもかかわらず、絶対値で 0.1mA（平均電界は 13V/μm）での放射電流を示すことを見出した。そこで、より電流の絶対値を増加させるため、カーボンロッド（直径 0.5mm）の片側の先端を約 10μm に尖らし、それに H_2 ガスプラズマを照射することにより、図１(a)に示すグラファイトナノニードル構造を製作した。図１(b)は１本のグラファイトナノニードルの TEM 像である。グラファイトナノニードルの先端半径は 5nm 以下であることがわかる。図１(c)は高解像度 TEM 像である。グラファイトナノニードルは根元から先端に向かい２次元のグラファイトシートから構成されていることがわかる。

図２にグラファイトナノニードル電子源の電子放射特性を示す。挿入図は F-N プロットである。放射電流の絶対値は、3.3mA（平均電界 11V/μm）に達した。このような、高電流は、グラファイトナノニードル電子源の先端が極めて先鋭化されており、電界集中係数が高いこと、個々のグラファイトナノニードルが２次元のグラファイトシートから構成されており、その電子移動度が極めて高いことによるものと考えられる。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究で開発したグラファイトナノニードルエミッタは絶対電流量で3.3ｍＡの高い放射電流を示す。そこで、この特性を利用して、小型Ｘ線管、真空紫外領域の新しい電子線励起光源の開発を行っている。

[4]成果資料

(1) M. Okada, Y. Neo, K. Kubomura and H. Mimura, "Structural and emission characteristics of Iron-Oxide whiskers on a steel plate", Jpn. J.

Appl. Phys. 45 No.6B (2006) 5624-5625.
(2) K. Shiozawa, Y. Neo, M. Okada, M. Takahashi, G. Hashiguchi, T. Ikedo, and H. Mimura, "Fabrication and Characteristics of Sputter-Induced Carbon Nanoneedle Field-Emitters and Si Electron-Transparent Films forApplication to Electron-Beam-Pumped Light Sources", Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) pp.L1067 - L1070.
(3) T. Matsumoto, Y. Neo, H. Mimura, M. Tomita and N. Minami, "Stabilization of electron emission from nanoneedles with two dimesional grapheme sheet structure in a high residual pressure region", Appl. Phys. Lett. 90 (2007) 103516-1-3.
(4) K. Shiozawa, Y. Neo, M. Okada, M. Takahashi, G. Hashiguchi, Y. Ikedo and H. Mimura, "Fabrication and characteristics of novel graphite field-emitters for application to electron-beam pumped light soureces", 19th International Vacuum Nanoelectronics Conference, China, 2006, pp.173-174.
(5) H. Shimawaki, Y. Neo and H. Mimura, "Electron emission from nanocrystalline silicon based metal-oxide-semiconductor cathode", 19th International Vacuum Nanoelectronics Conference, China, 2006, pp.211-212.
(6) T. Matsumoto, Y. Neo, and H. Mimura, "Stable electron emission from graphite-nanoneedles and their application to scanning electron microscopes", 19th International Vacuum Nanoelectronics Conference, China, 2006 pp.411-412.
(7) H. Mimura, K. Shiozawa, Y. Neo, M. Okada, M. Takahashi and G. Hashiguchi, "Electron-beam-pumped light sources using graphite nanoneedle field emitters and Si electron-transparent films", Proc. 23th sensor symposium, Japan, 2006, pp.509-512.
(8) K. Shiozawa, Y. Neo, M. Okada, H. Kume, T. Matsumoto, T. Ikedo, M. Takahashi, G. Hashiguchi, and H. Mimura, "Fabrication of novel graphite field emitters and their application to an electron beam pumped light sources", Proc. 22nd International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2006, pp.849-852.
(9) T. Matsumoto, Y. Neo, H. Kume and H. Mimura, "Bright electron beam from graphite nano-needle cold cathodes and their applications to electron beam devices", Proc. 22nd International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Japan, 2006, pp.869-870.
(10) K. Shizozawa, Y. Neo, M. Okada, M. Takahashi, G. Hashiguchi, T. Ikedo and H. Mimura, "Fabrication and emission characteristics of supper-induced carbon nanoneedle field emitters for application to electron-beam-pumped light sources", 2006 International Microprocess and Nanatechnology Conference, 2006, Japan, pp.312-313.

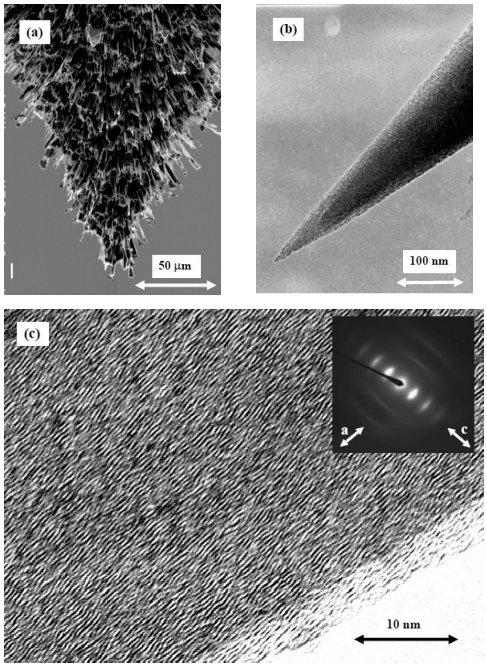


図１(a)製作したグラファイトナノニードル電子源の SEM 写真、(b)1 本のグラファイトナノニードルの TEM 写真、(c)グラファイトナノニードルの高分解能 TEM 写真

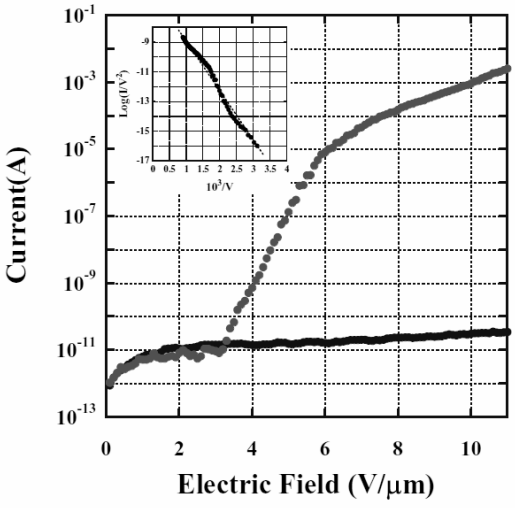


図２グラファイトナノニードル電子源の I-V 特性

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A11

採択回数	1　2　3

高機能有機薄膜センサーに関する研究

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

分担者：
原田　知親　（山形大学工学部）
劉　　士丕　（日本嘉晶電子）
遠田　義晴　（弘前大学理工学部）
嶋脇　秀隆　（八戸工業大学工学部）
石井　久夫　（東北大学電気通信研究所）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：材料費 31.2 万円，旅費 25 万円

［2］研究経過

有機薄膜と無機酸化物とのヘテロ接合は、高効率有機薄膜センサー、フレキシブル電界効果トランジスタ、有機発光デバイスなどに活用でき、さらに、それらを集積させれば高機能フレキシブル情報処理回路となる。これらの素子や回路の実現は人に優しい次世代ユビキタス情報処理の実現に大いに貢献すると考えられる。

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

本プロジェクトは本年度が２年目である。前年度で代表的なポリマー系有機半導体である P3HT と TiO_2の接合でダイオードを形成でき、光応答を確認するに至り、本年度でその高性能化を試みた。具体的には、光感度の増強であり、そのため飛行時間計測法を用いた移動度評価による高移動度材料の探索と、それで得られたαゼクチオフェン（α６T）によるダイオードの試作である。我々は、電気通信研究所において、打合せをおよび実験を、H18 年６月から約 10 回実施し、以下に示す成果を得た。

［3］成果

（３－１）研究成果

飛行時間計測法（Time-of-flight：TOF 法）を用いたポリマー系有機半導体の移動度評価による高移動度材料の探索とそれによって得られたα６T による有機無機ヘテロ接合ダイオードの試作と評価である。以下にその内容を記述する。

①TOF 法によるポリマー有機半導体の移動度評価

図１に本研究で使用した TOF 装置の概略を示す。窒素パルスレーザー光(337.1nm)を反射鏡を通し、サンプルボックス内に配置した有機半導体に照射するようになっている。光路上にハーフミラーを置き、光トリガーを検出する。サンプルボックス内の試料の実体配線図を図２に示す。試料となる有機半導体膜を透明電極で挟み、電圧をかけて膜に対して垂直な方向に電界をかける。ポリマー系有機半導体の殆どがｐ型材料であり、ここでは光入射面を正極としその対極を負極として、ホール移動の計測を試みた。この測定では、光入射面に窒素レーザー光が照射されその付近で発生したホールが負極に輸送される状態を変位電流としてデジタルオシロスコープに記録するようになっている。

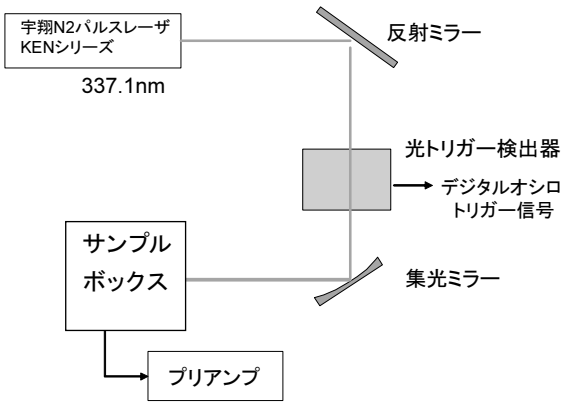


図１　TOF 測定装置の概略図

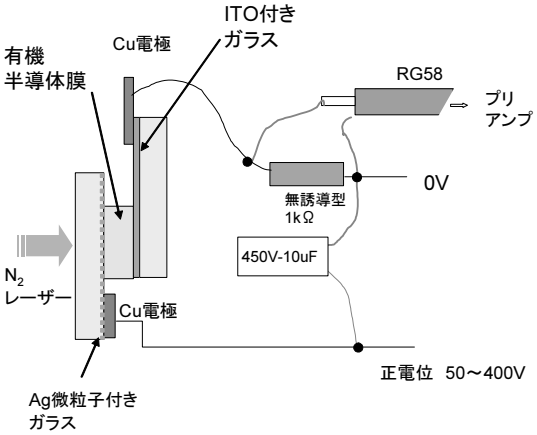


図２　TOF 計測用試料の実体配線図

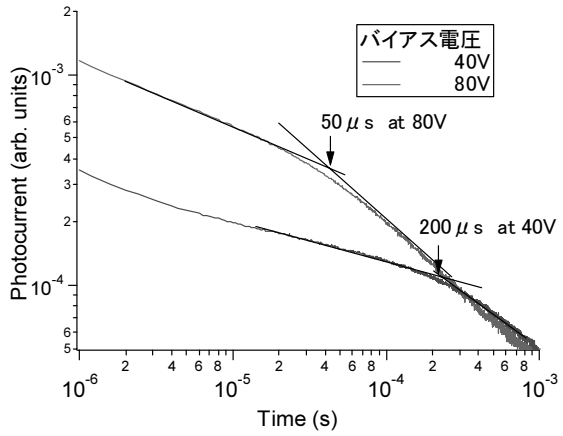


図３　α6T の TOF 波形

我々は塗布可能なポリマー系有機半導体材料を探索した結果、αゼクチオフェン（α６T）において、特段の高速な特性を見出すに至った。そのとき得られた TOF 波形を図３に示す。得られた飛行時間から計算される移動度は 0.02cm²/Vs と、昨年度まで取り組んでいた P3HT の 10^{-4}cm²/Vs 台に比べ、きわめて高速であることを見出した。これまで同材料について有機電界効果トランジスタの電気特性からその高速性が言われてきたが、ここから抽出される移動度は電極形成方法でおおきくばらつき、その精度について疑問視されていた。TOF 法は原理的に電極抵抗の影響を受けないため、より高い精度での計測が可能であり、今回改めて従来法と異なる形でその高速特性を確認することができたと考える。

②有機無機ヘテロ光センサの試作

TOF 計測より高特性が期待されるα６T を用い、図４に示される有機無機ヘテロダイオードを試作した。その結果、J-V 特性及び光電流において著しい改善を見出した。図５にその J-V 特性を示す。典型的なダイオードらしい整流特性が得られているが、順バイアス特性から得られる直列抵抗は 40Ωcm² と昨年度 P3HT を使った場合の数ｋΩcm² の場合に比べて大幅に改善され、センサーとしての出力上昇が期待される。これは有機半導体層での移動度改善が寄与したものと考えている。

図６に試作したダイオードの光照射下での J-V 特性を示す。ここでは光源として自動車用ハロゲンランプ（3500K-80W）をもちい、サンプル上距離５cm の位置で照射したものである。

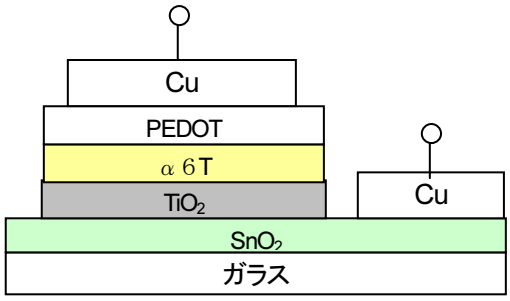


図４　有機無機ヘテロダイオード

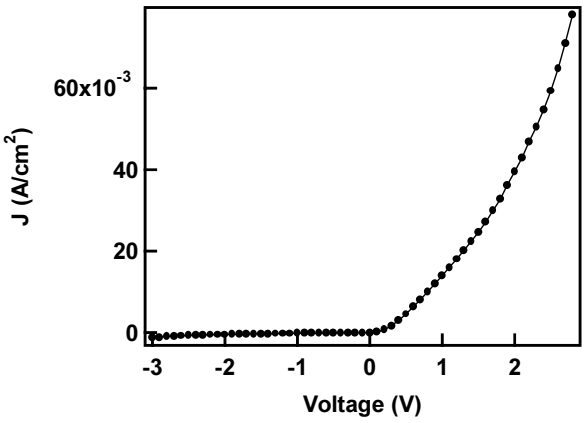


図５ α６T/TiO₂ ヘテロ接合ダイオードの J-V 特性

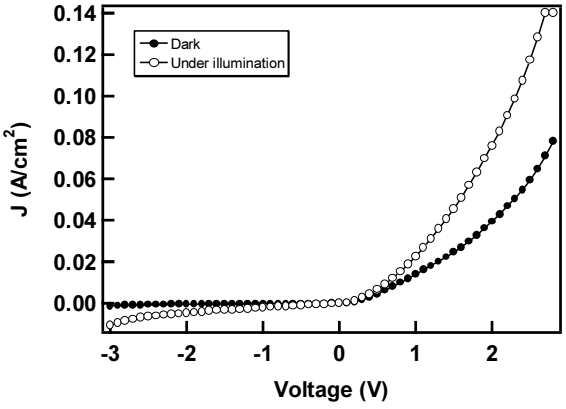


図６ α６T/TiO₂ ヘテロ接合ダイオードの
光応答特性

光源の波長特性は今後測定していく予定であるが、本照射条件は発電効率５％のアモルファス Si 太陽電池で５mA/cm² の発電を引き起こす程度の光強度であることがわかっている。測定から、本試作ダイオードで発電特性は見出せなかったものの、順バイアス１V で 10mA/cm² 程度の電流変動を見出し、Si デバイスともひけを取らぬ高感度を得ていることが明らかになった。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトでα６T と TiO_2 のヘテロ接合ダイオードにおいて、Si 太陽電池と比較しても遜色のない高感度特性を得るに至った。本試作ダイオードはほぼ室温に近い環境で製作可能であり、フレキシブルイメージセンサとしての実用化が期待される。今後分光感度測定を行い、光センサーとしての有用性を実証するほか、アレイ形成によるイメージングの実証にも継続予定のプロジェクトの中で見極めていく予定である。なお本成果については、応用物理学会や電気化学会、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. 廣瀬文彦、テイヘンシン、安部稔洋、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟, 「C-V 法による P3HT 薄膜のキャリア濃度・移動度評価」第 67 回応用物理学会 2006 年度秋季 30p-ZH-10
2. 栗林幸永、岩田博志、廣瀬文彦, 「多重内部反射赤外吸収分光法を用いた色素吸着酸化チタン表面の観察」　第 54 回応用物理学会 2007 春 29aV8
3. 安部稔洋、テイヘンシン、廣瀬文彦、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟,「有機無機ヘテロ接合ダイオードの電気特性評価」　第 54 回応用物理学会 2007 春 30pV1
4. テイヘンシン、小岩恭祐、松島優、廣瀬文彦、木村康男、庭野道夫、板谷謹悟,「Ｃ－Ｖ, 4 端子法を用いたＰ３ＨＴ薄膜のキャリア輸送特性評価」第 54 回応用物理学会　2007 春 29aV8

課題番号　H17／A12

採択回数	1　2　3

人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究

［1］組織

代表者：田中　章浩
（東京大学大学院人文社会系研究科）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：坂本　修一
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 29 万 2 千円，旅費 23 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.）

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

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

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

以下，研究活動状況の概要を記す.

11/20　研究打ち合わせ

昨年度実施した若年者での実験結果と，本年度実施した高齢者での実験結果について比較検討する議論をおこなった.

2/15　研究打ち合わせ

今年度のこれまでの成果を踏まえて，次年度の研究計画について議論した.

2/22-24　研究発表会

今年度の成果全体についての議論をおこなうとともに，関連する研究プロジェクトの成果も含めて意見交換をおこなった.

［3］成果

（3－1）研究成果

昨年度は，高齢者への適用の前段階として，若年者を対象とした実験を実施した.

昨年度得られた成果を実際に高齢者に適用するためには，さまざまな問題を解決する必要がある．例

えば，高齢者は聴力が低く，かつ個人間のばらつきも大きい. また, 音声の聴取能力にも個人差がある. そこで本年度は，高齢者を対象とした実験を実施した.

実験で用いる言語刺激には，数的に限定された刺激単語を用いた. 統制された単語を厳選することで, より詳細に映像の効果について分析するためである. 具体的には，三省堂「NTT データベース 日本語の語彙特性」から，1 子音違いで口の動きも異なる 4 モーラ単語のペアを選定した．各モーラ位置において 1 子音違いの単語を 5 ペアずつ用いた（第 1 モーラ位置でのペア単語の例として「トウハツ」と「モウハツ」）．女性話者が発話した単語の音声と映像を DV に記録した．実験では，同じ速度の音声と映像の提示タイミングをずらす非同期 AV 条件，音声を時間伸長し，映像と音声の速度が異なる伸長 AV 条件，時間伸長音声のみを提示する伸長 A 条件，統制条件（原音声のみ，映像のみ）を実施した．音声を聴き取りにくくするため，音声にノイズを重畳して提示した．ただし，若年者と同じ大きさのノイズを重畳すると，高齢者にとっては音声聴取が困難になる．そこで，予備実験によって適切なノイズの大きさを決定した．単語了解度はモーラ位置別に算出した．各条件，モーラ位置別の単語了解度をもとに，映像の効果（AV benefit）を算出した.

実験の結果，単語の語頭から語中では映像と音声の時間差が 200 ms 程度までであれば問題なく読唇が可能であるが，時間差が 400 ms 程度になると効率よく読唇できなくなることがわかった.

昨年の若年者の結果では，視聴覚間に 400 ms 程度の時間差が存在しても，視聴覚間の時間差が一定であれば語末では視聴覚が同期しているときと同等に読唇が可能であった．これは語頭から語末という短時間に視聴覚間の同期について補正が生じたためであると考えられる．しかし，高齢者では視聴覚間に 400 ms 程度の時間差が存在した場合，視聴覚が同期しているときと比べると成績が低下した．つまり，視聴覚間の補正は高齢者では生じなかった．また，若齢者と同様，高齢者においても，映像と音声の速度が異なり，視聴覚間の時間差が一定でない状況下では，補正が生じないことも示唆された.

また，話速変換による正の効果が一部の条件において確認された．話速変換による正の効果は単語では得られにくく，文・文章を刺激とした研究において広く報告されている．したがって，今後，実験刺激として文・文章を用いた場合には，映像の効果に加えて話速変換の効果もより顕著に得られることが期待できる.

このような視聴覚音声認知の時間特性に関する検討を進めることによって，音声の時間伸長の効果と読唇による映像の効果を両方活用できるような音声聴取補助システムの構築へとつながることが期待される.

（3－2）波及効果と発展性など

（大型プロジェクトへの発展・国際会議（シンポジウム）への発展・学外研究者との交流，共同研究による効果・研究者ネットワークの拡大・若手研究者の育成・新研究領域の開拓・成果の他分野への応用・萌芽的研究への発展等）

本プロジェクトは，電気通信分野と心理学分野の研究者により構成されている. 開始して 2 年の間に, 電気通信分野と心理学分野の研究者間での交流の場を継続的に得ることができた．電気通信分野の学会（日本音響学会，電子情報通信学会）のみならず, 心理学分野の学会（日本認知心理学会，日本基礎心理学会）で成果を発表したところ，学術的に高い評価を得て，日本認知心理学会優秀発表賞（社会的貢献度部門）を受賞した．このように分野間の交流も

飛躍的に活性化し，学際的なプロジェクトに発展しつつある.

［4］成果資料（以下１０.５ポイント）
（３頁以降は，本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リストを，１５件程度を掲載してください.）

【平成 17 年度】

（1）話速変換による話者映像のずれが単語了解度に及ぼす影響
津村光美，田中章浩，坂本修一，鈴木陽一
日本音響学会講演論文集, 2-Q-3（2005 年 9 月）, 473-474.

（2）話速変換単語音声聴取に非同期話者映像がもたらす影響
津村光美，田中章浩，坂本修一，鈴木陽一
電子情報通信学会技術研究報告, HIP2005-98 (2005 年 12 月）, 103-108.

（3）単語音声と話者映像のずれが視聴覚統合に及ぼす影響
津村光美，田中章浩，坂本修一，鈴木陽一
日本音響学会講演論文集，3-P-9（2006 年 3 月）.

（4）映像と音声のタイミングおよび速度の違いが単語音声認知に及ぼす影響
田中章浩，津村光美，坂本修一，鈴木陽一
Technical Report on Attention and Cognition, 2006, No.13.

【平成 18 年度】

（5）映像と音声の提示タイミングおよび提示速度の違いが単語音声認知に及ぼす影響
田中章浩・津村光美・坂本修一・鈴木陽一
日本基礎心理学会第 25 回大会, 広島国際大学, 2006 年.

（6）視聴覚の提示タイミングおよび提示速度の違いが単語音声認知に及ぼす影響
田中章浩・坂本修一・津村光美・鈴木陽一
日本音響学会聴覚研究会資料, 36(4), 369-374, 2006 年.

（7）音声言語理解に発話速度とポーズ長が及ぼす影響
田中章浩・坂本修一・鈴木陽一
日本認知心理学会第 4 回大会発表論文集，p.16, 2006 年. 【優秀発表賞受賞】

（8）Tanaka, A., Sakamoto, S., Tsumura, K. & Suzuki, Y. "Effects of Intermodal Timing difference and speed difference on auditory-visual speech perception."
Journal of the Acoustical Society of America, Vol.120, No.5, Pt.2, pp.3347-3348, 2006 年.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／A13

採択回数	1	②	3

細胞バイオトロニクスに関する研究

[１]　組織
代表者：篠原康雄
（徳島大学ゲノム機能研究センター）
責任者：庭野道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
片岡正俊（徳島大学ゲノム機能研究センター）
長宗秀明（徳島大学・工学部）
馬場嘉信（名古屋大学大学院工学研究科）
宮崎　均（筑波大学・生命環境科学研究科）
礒田博子（筑波大学・生命環境科学研究科）
溝口　剛（筑波大学・生命環境科学研究科）
木村康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 316,000 千円、旅費　434,000 円

[２]　研究経過

バイオエレクトロニクスは 21 世紀の重要な科学技術分野の一つとみなされているが、その技術革新のためには, 20 世紀に高度に発達した半導体集積回路技術と，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある．この融合が実現すれば，生体情報を物理信号に変換し，また，逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ・インタフェイスシステムが構築でき，現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献する。

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

当初の研究内容及び計画は以下の通りである。

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

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

本年度は、特に、(2)と(7)に関して集中的に研究を行った。

[３]　成果

（３－１）研究成果

(1) 細胞培養環境制御システムの構築

細胞培養は、通常、専用の細胞培養器の中で行われる。一般的な細胞培養の条件は、37℃、高湿度、CO_2 5 %を含む雰囲気である。37℃ の温度は哺乳類の一般的な体温であり、高湿度は培地(培養液) の蒸発防止のためである。培地にはｐＨを一定に保持するために炭酸水素ナトリウム ($NaHCO_3$) を添加しているが、時間とともにCO_2が脱気してしまうため、CO_2 5 %の条件で培養を行う必要がある。これらの条件から外れると、培

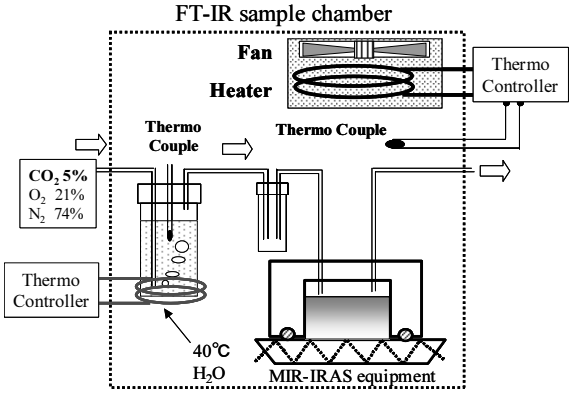


図 1　赤外分光用細胞培養環境制御システム。

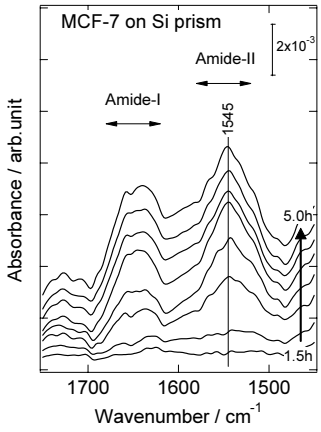


図 2　多重内部反射赤外分光用溶液セル内細胞の赤外吸収スペクトルの時間変化。

養細胞は生存できない。また、そもそも細胞の遺伝子発現は周囲の温度・pH等の条件に非常に敏感であり、実験環境は厳密に制御されている必要がある。そこで、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装置を実現するために、細胞培養の条件に合わせて計測装置の環境制御するシステムを構築した。図 1 に構築した制御システムの概念図を示す。

まず、赤外分光装置にヒータと温度調節機を取り付け、試料室全体を37◦C に加熱する。赤外分光装置の仕様から、試料室にはCO_2 ガス(および酸素) をチューブを介して供給する。その際、雰囲気ガスを一度洗浄びんに通すことによって湿度を与える。雰囲気ガスに十分な湿度を与えるため洗浄びんにも温度制御装置を取り付け、洗浄びんの温度を試料室内よりも高温に保つ構造になっている。

(2) 環境制御システムの動作試験結果

前述の環境制御システムの動作を確認した。試料室内の温度は 37±0.3◦C であった。一般的な細胞培養器の温度管理は 37±0.5◦C であるので、温度管理は条件を満たしていることが確認できた。

次に、実際に培養細胞を用いて、溶液セル内が細胞の生存できる条件に保たれているかを確認した。溶液セル内に MCF-7 細胞（付着細胞）を導入して、細胞培養器で 24 時間培養した後、多重内部反射赤外分光用溶液セルを赤外分光装置の試料室へ設置し、環境制御装置を動作させながら赤外吸収スペクトルの変化を 5 時間測定した。

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

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

（３－２）波及効果と発展性など

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

[４] 成果資料

第 19 回日本動物細胞工学会 2006 年度国際会議（The 19th Annual and International Meeting of the Japanese Association for Animal Cell Technology (JAACT2006)）会議録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　H17／A14

採択回数	1	(2)	3

RF 帯パーミアブルマテリアルによる高集積度 RF デバイスの開発

［1］組織

代表者：山口　正洋
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
池田 慎治（富山高専）
遠藤　恭（大阪大学大学院工学研究科）
岡本　聡（東北大学多元物質科学研究所）
川人 祥二（静岡大学電子工学研究所）
金　基炫（嶺南大学物理工学科）
佐藤 敏郎（信州大学工学部）
島田　寛（東北大学大学院工学研究科）
竹澤 昌晃（九州工業大学工学部）
益　一哉（東京工業大学統合研究院）
松下 伸広（東京工業大学応用セラミックス研究所）
宗像　誠（崇城大学工学部）
藪上　信（東北学院大学工学部）
山本 節夫（山口大学工学部）

研究費：物件費 27 万 7 千円，旅費 22 万円

［2］研究経過

本研究は，平成 14～16 年度にわたって実施した共同プロジェクト研究会「RF 集積回路における磁性薄膜応用技術の研究」の議論と成果に基づき，磁性薄膜研究者，磁性デバイスプロセス研究者，および回路技術者が共同で新規なデバイスの開発と評価を行い，これを通して新規な高集積度 RF デバイスを創出することを目的としている。すなわち，グラニュラ系，ヘテロアモルファス系ならびにマイクロパターン化膜などの RF 帯パーミアブルマテリアルを，集積化インダクタ，インピーダンス変換器，EMI 対策素子などに適用しその性能を評価するとともに，これを用いた RF 帯集積化マイクロ磁界プローブ，超低損失・SI 制御 LSI 配線，VCO や LNA などの集積回路へ適用する。

今年度の共同研究計画立案と段取り打合せは，基本的にメールベースで行った。年度末に研究結果に関する議論ならびに成果発表のために以下の分担者が東北大を訪れた。

平成 19 年 1 月 25～26 日に川人祥二教授（静岡大）が東北大を訪問し，RF 帯集積化マイクロ磁界プローブに関する研究打合せと成果発表を行った。同時期に竹澤昌晃助手（九州工大）が東北大を訪問し軟磁性薄膜の高感度磁区観察技術について意見交換を行った。1 月 29 日～2 月 2 日には金基炫助教授（韓国嶺南大）と磁性薄膜のオンチップ集積化プロセスについて意見交換と共同プロセス立案を行った。この間，1 月 30 日～2 月 1 日には池田慎治助教授（富山高専）が加わり，東北大分担者らとマイクロパターン化手法をオンチップ集積化で使用する場合の設計法とプロセスについて合同で議論した。2 月 2～3 日には遠藤恭助手（大阪大）と空間分解能 1μm，周波数 20GHz をカバー可能な新しい近傍次回計測技術について意見交換を行った。

さらに 1 月 12 日には後述の MMDM5 国際ワークショップ（ボルチモア）において，山口，佐藤，島田，藪上ならびに同会議参加者の Pasquale，McCord，Quandt，Vazquez，Lim らで磁性薄膜を用いた新しい電磁ノイズ抑制技術について意見交換を行っている。

［3］成果

（3－1）研究成果

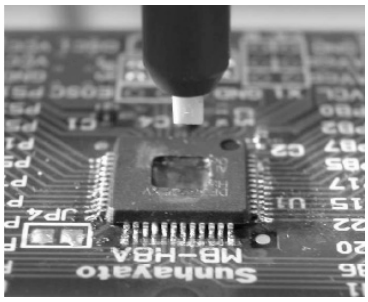
(a) 金属膜における強磁性共鳴半値幅の低減

強磁性共鳴に伴う透磁率分散半値幅の低減は，デバイス応用時の高い周波数選択性と低損失化に重要である。膜厚 0.25μm のアモルファス CoNbZr マイクロパターン化膜において最端部のパターン化膜素辺の幅を 2 倍としたところ，共鳴半値幅を 2.2GHz から 0.77 GHz へと約 1/3 に低減できた。これは膜端部の反磁界を低減することにより共鳴周波数自体の分散を低減できるためである。その一方で，強磁性／反強磁性交換結合を利用した Mn-Ir／Fe-Si 系薄膜を対象に Fe-Si 膜の交換スティフネスの分散を考慮した LLG シミュレーションによる強磁性共鳴の特性解析が行われ，Fe-Si 膜厚が厚いほど交換バイアス磁界の不均一分布範囲が拡がり，Fe-Si 膜内のルーズな交換相互作用の存在のために，Mn-Ir／

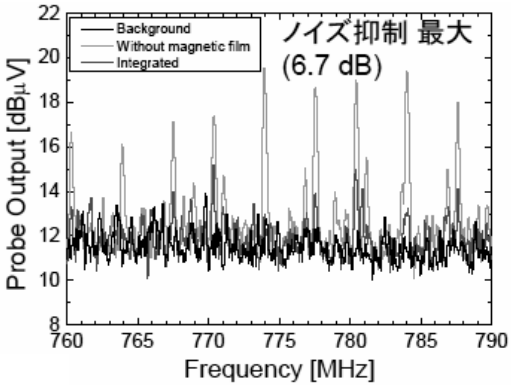
Fe-Si 界面の交換結合が Fe-Si 膜全体に有効に伝達されず，強磁性共鳴半値幅が広がると推定された。

(b)複合微粒子膜材料の合成と特性

微粒子は高い抵抗率を持つ反面，局所的な反磁場が大きくこれまで高い透磁率が期待できなかった。その透磁率の向上を目的として，複合構造について原理的な実験を行った。サイズの大きく異なる Fe と Fe_3O_4 微粒子を適当な体積率で複合させることによって，初透磁率を向上させることができた。 GHz 帯では適度な初透磁率と高電気抵抗が重要であることから，この複合効果は微粒子材料の特性向上に有効な手段の一つである。



(a) マイコンチップへの複合微粒子膜積層と近傍磁界計測実験



(b) 磁性膜集積化の有無によるノイズスペクトルの変化

図1　RF 帯パーミアブルマテリアルによる高周波近傍電磁ノイズ抑制実験

(c)高周波近傍電磁ノイズ抑制技術

市販LSIチップのパッケージ上部を化学的に溶解してチップ直上を開空間にさらし，この状態でチップを真空装置内に装着し，アモルファス CoZrNb，FeCo-AlNO グラニュラ薄膜，および複合型微粒子材料を適用した。チップ上で高周波磁界強度を計測し，磁性膜の有無あるいは，磁性膜の磁束飽和（磁気の効果がないと思われる状態）の有無により効果を検証した。代表的結果として，複合型微粒子材料を適用した場合 800MHz 帯で最大 6.7dB の抑制効果が得られていることなど，薄膜の有用性が明らかになっている。図1は，その近傍磁界測定実験の状況とパルス性ノイズの抑制状況を示している。

再配線層基板へ薄膜電磁ノイズ抑制体を集積化することは，現実的な用途開発に繋がる可能性が高いと思われる。再配線層基板（10 mm 角，動作周波数 40 MHz，ワンチップマイコン）上に 1.0 μm 厚の CoNbZr 軟磁性アモルファス薄膜（M_s = 1.1 T，H_k = 845 A/m，μ_0 = 1，000，f_{FMR} = 1.13 GHz）を集積化した。磁性薄膜集積化後，スクリーン印刷法により半田バンプを形成しプログラムを書き込みチップ動作時の近傍磁界を電界/磁界プローブで電界磁界を検出し，電界，磁界に分離した後スペクトラムアナライザで測定した。Fe 系複合磁性微粒子は 10 MHz～2.0 GHz の周波数帯域で 3.0～6.7 dB の抑制効果が認められ，磁性膜の良さを実証することが出来た。

磁性薄膜のノイズ抑制メカニズム解析によって，その導電性を無視できない場合が多いことが明らかになった。ノイズを熱損失に変えて抑制する上で，渦電流損失は有効に利用でき，それを実現するためにはシート抵抗値を適切に設計すればよいことが明らかになった。渦電流分布は膜寸法に強く依存するので，これを考慮した設計ならびに測定法構築が必要である。薄膜は現用のシートと異なり後付対策には使用できない。設計段階から薄膜のノイズ抑制効果を EMC 教頭統合設計の中で考慮するような利用法が最適である。

(d)高周波高空間分解能磁界プローブ

SOI-CMOS 多層配線基板を用いた窓寸法 180×180μm² のシールディドループコイル型磁界プローブが試作開発された。配線層のメタルの薄さによって生じる諸問題が検討され，結果として 50MHz～1GHz でプローブ出力は周波数にほぼ比例すること，空間分解能は 170μm，電界除去比は約 20dB という良好な結果が得られた。非侵襲性の改善が課題である。コイルをさらに小形化しオンチップ増幅器と組み合わせるための準備が整い，10GHz で 1μm 程度の高周波・高空間分解能が実現される見通しである。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトの参画者の一部によって，平成 19 年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度による「EMC 協調統合設計における LSI パッケージ・チップレベル集積化ノイズ抑制技術の研究開発」が開始されることになった。

本プロジェクトに関する企業からの関心が寄せられているため，次年度は企業メンバーを大幅に加え，大学発のシーズを企業ニーズに繋げるための研究開発を推進することになった。

本プロジェクトの参加者がコアメンバーとなって，平成 19 年 1 月 12 日に第 5 回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際ワークショップ(MMDM5)をアメリカ・ボルチモアで開催した。今後の更なる発展が期待されている。以下にプログラムを記す（著者

は第１著者のみ記述)。

12a-1 Effects of Ar Atmosphere Pressure and B contents on the Soft Magnetism of FeCoB Films, H. Imrane (Northeastern Univ., USA)

12a-2 Reference sample for magnetic permeability spectra measurements based on meta-materials, Marc Ledieu (CEA Le Ripault, France)

12a-3 Superpramagnetic properties and magnetic resonances for magnetic nanoparticles, Daiji Hasegawa (Tohoku Univ., Japan)

12a-4 Microwave characterization of nanostructures, M. Pasquale (INRM, Italy)

12a-5 Microwave assisted magnetization reversal, T. Moriyama (Univ. of Delaware, USA)

12a-6 Adjusting Magnetization Dynamics by Magnetic Domain Control, J. McCord (IFW Dresden, Germany)

12a-7 Engineering Microwave Properties of Glass-Coated Microwires for Radio-Absorption Screens, S.A. Baranov (CSIC, Spain)

12a-8 Co based glass coated microwires films as noise suppressors, K. L. Garcia (Tohoku Univ., Japan).

12p-1X Research on fine particles as high permeability material (invited), Y. Shimada (Tohoku Univ., Japan)

12p-2 Fully Embedded High Q Inductors and Filters into Multi-layered Organic Substrate, Seung J. Lee (Kwangwoon Univ., Korea)

12p-3 Toroid microinductors for rf applications using magnetic nanocomposites, E. Quandt (Univ. of Kiel, Germany)

12p-4 Narrow-band microstrip small signal suppressor based on Permalloy film, Yuri V. Khivintsev (UCCS, USA)

12p-5 Electromagnetic noise suppressors based on a coplanar waveguide transmission line integrated with a magnetic thin film, J-C Sohn (KIST, Korea)

12p-6 Numerical Analysis of Wave Instabilities in Nonlinear Ferrite Loaded Waveguiding and Resonator Structures Using Bifurcation Points of The Nonlinear Maxwell's Operator, M. Pardavi-Horvath (George Washington Univ., USA)

12p-7 Control of ferromagnetic resonance loss of RF noise suppressors using magnetic thin films for transmission lines, K. Maruta (Tohoku Univ., Japan).

12-p8 Self-biased Integrated Metal Magnetic Film Coupled Line Circulators for Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMIC), N. X. Sun (Northeastern Univ., USA)

12p-9 Fabrication of magnetic thin film directional coupler for mobile phones, K. Takizawa (Shinshu Univ., Japan)

［４］成果資料

(1) M. Yamaguchi et al., "Slit Design Consideration on the Ferromagnetic RF Integrated Inductor," IEEE Transactions on Magnetics, 42 (10), (2006), 3341-3343.

(2) K. H. Kim, M. Yamaguchi, "Ferromagnetic RF Integrated Devices—RF Integrated No ise Suppressor and Integrated Inductors," The Physics of Metals and Metallography, Vol. 102, Suppl. 1, (2006), S74–S79.

(3) K. Maruta et al., "Analysis of Optimum Sheet Resistance for Integrated Electromagnetic Noise Suppressor," IEEE Transactions on Magnetics, **42** (10), (2006), 3377-3379.

(4) T. Fukushima et al., "Evaluation of RF Magnetic Thin Film Noise Suppressor Integrated onto an Operating LSI Chip," Journal of the Magnetics Society of Japan, **30**, (2006),531-534.

(5) 島田寛，他，"複合微粒子集合体の初透磁率"，日本応用磁気学会誌, **30**, (2006), 540-544.

(6) S. Ikeda et al., "Micropatterned high perme-ability films with narrow bandwidth resonance loss for band stop filter," Journal of Applied Physics. **99**, (2006), 08P507.

(7) M. Sonehara et al., "Relation between microwave complex permeability and ferromagnetic Fe-Si layer thickness in Mn-Ir/Fe-Si exchange-coupled film," IEEE Transactions on Magnetics, **42**(10), (2006), 2984-2986.

(8) S. Aoyama et al., "An Active Magnetic Probe Array for the Multiple-Point Concurrent Measurement of Electromagnetic Emissions," IEEE Transactions on Magnetics, **42** (10), (2006), 3303-3305.

(9) M. Takezawa,et al, "Domain wall pinning by steplike thickness change in magnetic thin film," Journal of Applied Physics 99, 08B701 (2006).

課題番号　H17／A15

採択回数	1　②　3

導波路型光周波数シフタの高機能化に関する研究

[1] 組織

代表者：垣尾 省司
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
責任者：伊藤 弘昌
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中川 恭彦
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
小林 哲也（株式会社オプトクエスト）
渡辺 正行（株式会社オプトクエスト）

研究費：校費 30 万円，旅費 12 万 3 千円

[2] 研究経過

光周波数シフタ（Acoustooptic Frequency Shifter: AOFS）をレーザー共振器内に内蔵した周波数シフト帰還型（Frequency Shifted Feedback：FSF）レーザーは，長距離高分解能光距離計測や，環境計測ネットワーク構築，高精度 3 次元形状計測などに有効な新しいタイプのレーザーである。

筆者らは AOFS の集積化を目的として，本共同プロジェクト研究課題「弾性表面波を用いた光周波数シフタの集積化に関する研究」（課題番号 H14/A02）において，プロトン交換 $LiNbO_3$ 光導波路中の導波光を弾性表面波（Surface Acoustic Wave：SAW）により回折させ，周波数シフト光を得る導波路型光周波数シフタを提案した。85%程度の光回折効率が得られること，この導波路型 AOFS モジュールをリング型ファイバ共振器内に挿入すると，FSF ファイバレーザー発振が得られることなどを明らかにした。

本プロジェクトは，この導波路型 AOFS の特性向上と高機能化を図り FSF レーザーシステムに適用することを目的としており，本年度が第２年度であった。前年度は，導波路型 AOFS の光回折特性の改善，低駆動パワー化について検討した。本年度は，導波路型 AOFS を同一基板上で２段に従属接続したタンデム導波路型 AOFS を提案した。アップシフトとダウンシフトを組み合わせることにより，単一の AOFS では実現困難な高周波のシフト周波数と，kHz オーダーの極めて低いシフト周波数を実現した。このタンデム AOFS モジュールを，FSF ファイバレーザーに組み込み，光距離計測のデモンストレーションを行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。昨年度に引き続き本プロジェクトには，東北大学の原武文氏が参画し，主として東北大学グループは FSF ファイバレーザーへの適用に関する検討を，山梨大学グループは素子の設計・作製を，オプトクエストは光回折特性の評価，モジュール組み込みをそれぞれ担当した。平成 18 年 7 月 20 日（木）～21 日（金）に素子の評価実験，平成 18 年 12 月 15 日（金）に研究打合せ，および平成 19 年 2 月 27 日（火）～28 日（水）に FSF ファイバレーザーへの適用実験をそれぞれ行った。

[3] 研究成果

（3-1）研究成果

（1）タンデム導波路型 AOFS の設計と作製

図 1 にタンデム導波路型 AOFS の概観を示す。入力 2 ポート，出力 4 ポートの 2×4 AO スイッチの構成であり，1 段目と 2 段目の入力 SAW の組み合わせにより出力光を各ポートへ振り分ける。SAW 駆動周波数を 125 MHz とし，これまでに良好な特性を示した導波路幅 10μm，光回折部長さ L=4 mm，SAW ビーム幅 L_g=2 mm の導波路形状を同一基板上で２段化し，2×4 AO スイッチの導波路形状を設計した。２段に配列する際の連結部は，テーパで拡大した導波路幅（W=100μm）のまま直線導波路で連結した導波路形状と，入射部と同様のテーパ導波路で，導波

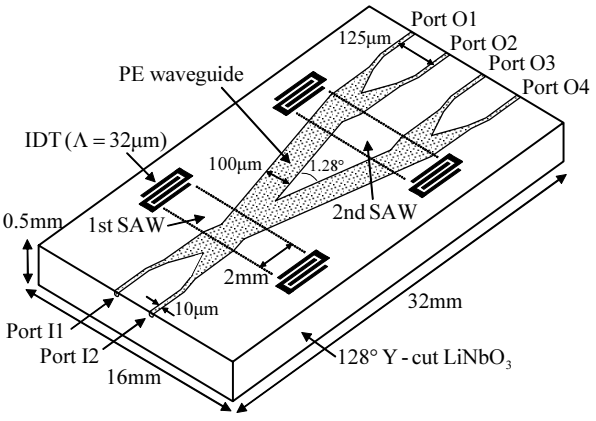


図１　タンデム導波路型 AOFS の概観

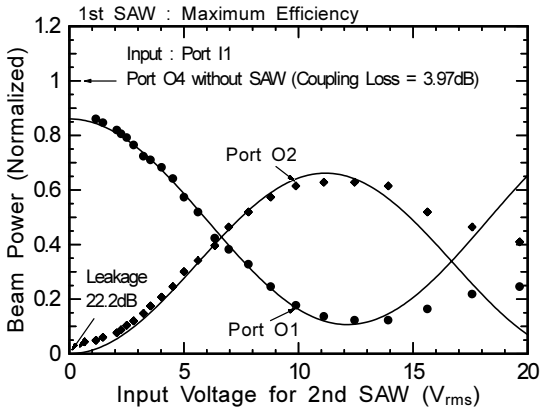


図２　タンデム AOFS の光回折特性

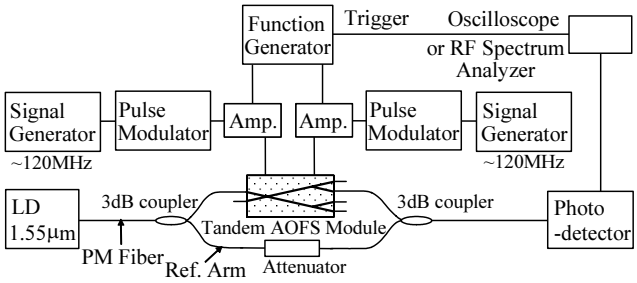


図３　ヘテロダイン検波の実験系

路幅 10 μm に集光し再びテーパ導波路で拡大する導波路形状をそれぞれ設計した。それぞれの導波路形状に対して SAW 伝搬領域に屈折率グレーティングを設定し，ビーム伝搬解析（BPM）を行った結果，直線導波路で直接接合した方が漏れ光パワーは少なく，良好な特性が得られた。

直線導波路で直接接合したタンデム導波路形状を採用し，128°Y カット $LiNbO_3$ 基板上にプロトン交換（PE）にて導波路を作製した。端面研磨，AR コーティング後に 1 段目，2 段目の SAW 励振用 IDT（波長Λ=32 mm，対数 20，交差幅 2 mm）を形成した。

（2）光回折特性の測定

偏波保持ファイバ通過後の LD 光（1.55 μm）を，レンズを介して入力ポートに入射させ，IDT に約 125 MHz のバースト RF 電圧を印加し，フォトディテクタで回折ポート，非回折ポートの光パワーを測定した。1 段目 IDT のみ，または 2 段目 IDT のみ駆動した場合は，それぞれ 92%，83%の最大回折効率が得られた。1 段目の入力 RF パワーを最大回折となるよう保持しておき，2 段目の光回折特性を測定した結果を図２に示す。2 段のスイッチ後に 63%の回折効率が得られた。

（3）光周波数シフトの観測

作製したタンデム導波路型 AOFS を，レンズを介して入出力偏波保持ファイバに光結合した状態でモジュールに組み込んだ。このモジュールを用いて光周波数シフトを観測した。1 段目と 2 段目の入力 SAW 方向の組み合わせにより，SAW 周波数による光周波数シフトを，1 段目と 2 段目の SAW 励振周波数（f_1，f_2）の和周波（f_1+f_2），または差周波（f_1-f_2）とすることができる。図３に光周波数シフト量の測定に用いたヘテロダイン検波の実験系を示す。2 段のスイッチング後の出力光を，光周波数シフトを受けていない参照光と合波させ，フォトディテクタで受光し，ビート信号をオシロスコープで観測した。SAW 入力方向の組み合わせに従って，和周波（約 250 MHz），または差周波の光周波数シフトが観測された。図４に差周波(500 kHz)のビート信号観測例を示す。f_1 を固定し，2 段目の SAW 励振周波数 f_2 を変化させたときの f_1-f_2 差周波に対する 2 段回折光のビート信号強度を図５に示す。DC から 5MHz 程度の光周波数シフト量が得られることがわかる。この帯域は SAW 励振用電極の帯域に相当する。

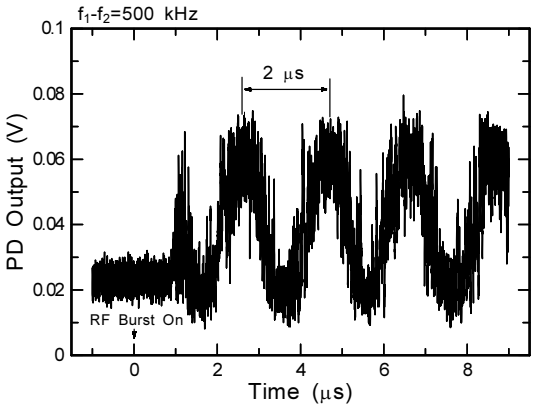


図４　差周波に対するビート信号の観測例

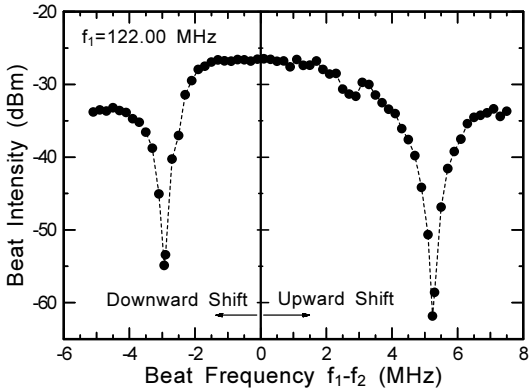


図５　差周波 f_1-f_2 に対するビート信号強度

（4）FSF ファイバレーザー発振

図６に示すように，タンデム AOFS モジュールをファイバ共振器内に挿入し，FSF ファイバレーザー

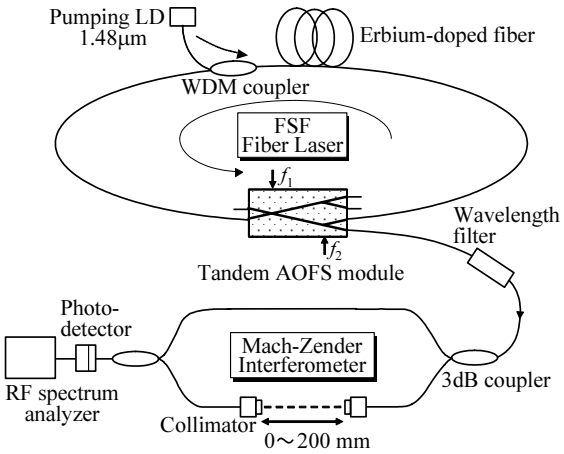


図６　FSF ファイバレーザーによる光距離計測実験系

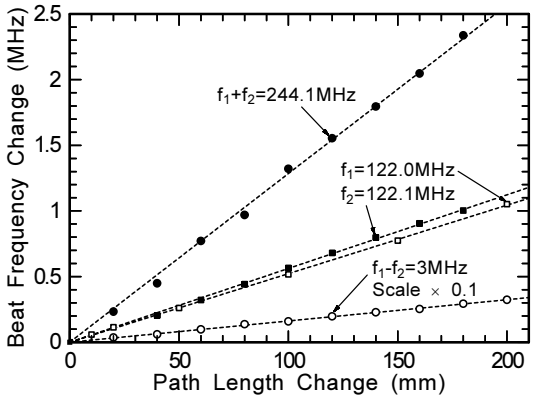


図７　空間光の伝搬長さに対する距離ビート周波数

発振させ，この出力光を用いて光距離計測のデモンストレーションを行った。空間光の伝搬長さに対する距離ビート周波数の変化を図７に示す。両者の関係は高い線形性を示し，1 段目と 2 段目をそれぞれ単一駆動した場合（f_1 or f_2），和周波（f_1+f_2），および差周波（f_1-f_2）の光周波数シフトに相当する３種類の傾きが得られた。

（3-2）波及効果と発展性

FSF レーザーは圧力，温度などの環境計測ネットワーク構築，高精度３次元形状計測など，光計測の分野で幅広い応用が期待されており，AOFS の集積化，高機能化を実現した本プロジェクトの成果は今後の FSF レーザーシステムの応用・展開に大きく寄与することが期待できる。提案したタンデム AOFS は, 光マトリックススイッチへの応用も期待できる。また，バルク AO 変調素子と比較して広い透過光波長帯域を有していることから, RGB のレーザ光を同一デバイスで制御可能な変調素子への展開が期待でき，並行して検討を進めている。

[4] 成果資料

(1) 川手寛之，垣尾省司，中川恭彦，原武文，伊藤弘昌，小林哲也，渡辺正行，“弾性表面波を用いた RGB 光変調素子の光変調特性，”日本音響学会 2006 年秋期研究発表会講演論文集，pp.865-866 (2006.9)

(2) 垣尾省司，魚谷真司，北村元樹，中川恭彦，原武文，伊藤弘昌，小林哲也，渡辺正行，“弾性表面波を用いた導波路型音響光学変調素子のタンデム化，”日本音響学会 2006 年秋期研究発表会講演論文集，pp.867-868 (2006.9)

(3) S. Kakio, S. Uotani, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi and M. Watanabe, “Monolithically integrated tandem waveguide-type acoustooptic frequency shifter driven by surface acoustic waves,” Proceedings of 2006 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp.240-243 (2006.10)

(4) S. Kakio, S. Uotani, M. Kitamura, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi and M. Watanabe, “Monolithically integrated tandem waveguide-type acoustooptic modulator driven by surface acoustic waves,” Proceedings of The 27th Symposium on Ultrasonic Electronics, pp. 255-256 (2006.11)

(5) H. Kawate, S. Kakio, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi and M. Watanabe, “Beam -propagation analysis of RGB acoustooptic modulator driven by surface acoustic waves,” Proceedings of The 27th Symposium on Ultrasonic Electronics, pp. 257-258 (2006.11)

(6) S. Kakio, S. Uotani, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi and M. Watanabe, “Improvement of diffraction properties in waveguide-type acoustooptic modulator driven by surface acoustic wave,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 2, pp.669-674 (2007.2)

(7) S. Kakio, M. Kitamura, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi and M. Watanabe, “Waveguide-type acoustoptic modulator driven by surface acoustic waves,” Proceedings of Japan-Taiwan Workshop on Future Frequency Control Devices, pp. 41-49 (2007.3)

(8) S. Kakio, S. Uotani, M. Kitamura, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi and M. Watanabe, “Monolithically integrated tandem waveguide-type acoustoptic modulator driven by surface acoustic waves,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, (2007) 掲載決定

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科）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
KYMYROVA Irina（会津大学コンピュータ理工学科）
RYZHII Maxim（会津大学コンピュータ理工学科）
佐藤　昭　（会津大学コンピュータ理工学科）

研究費：物件費31万7千円，旅費13万8千円

［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１年度であった。プロジェクトの立ち上げにあたりに，テラヘルツ利得を獲得するという究極的な目標に対して，基盤的な技術の確立に重点をおいた。すなわち，２次元プラズマの高効率な励起が可能なデバイス構造の検討に第一の重点をおき，テラヘルツ利得を得るためにキーとなる電子輸送特性の優れた材料システムの検討に第二の重点をおき，研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

平成18年7月2日～5日
研究打ち合せ
RYZHII Victor, KHMYROVA Irina, 佐藤昭が通研に来所し，会津大学におけるプラズマ共鳴デバイスのモデリングを中心とした研究成果を報告し，結果についての議論を行い，本年度の研究方針を策定した。

平成18年10月24日～25日
研究打ち合せ
RYZHII Victor, KHMYROVA Irina, RYZHII Maxim が通研に来所し，研究進捗状況の報告，結果についての議論，対外発表戦略についての議論を行なった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第１に，高電子移動度トランジスタ（HEMT）のドレイン端にラテラルショットキー接合を導入したプラズマ共鳴型のテラヘルツ検出素子構造を提案し，従来のショットキーダイオードと比較して，テラヘルツ帯での検出感度特性の優位性を解析的に示した。テラヘルツ電磁波が吸収されるとチャネル部に凝集した電子集団に分極振動が励起される。すなわちプラズマ振動が生じる。このとき，電子濃度と電子有効質量で定まるプラズマ速度と，ゲート長が与える定在波長によって与えられるプラズマ共鳴周波数にテラヘルツ電磁波の周波数が一致する場合，ショットキー接合部の非線形電流電圧特性によって，極めて効率よく整流検波成分を得ることができる。独自のデバイスモデルを構築し，電子輸送特性の良好な化合物半導体材料を仮定して単純なナローバンドの共鳴型ショットキーダイオードと検出感度特性

を室温下で比較した結果を図１に示す。基本共鳴周波数近傍ではプラズマ共鳴による 10dB 程度の顕著な感度増強効果が得られ，かつ，単純ショットキーでは検波能力が消滅する３次高調波帯においても基本共鳴周波数帯と同等の感度を得られることを明らかにした。

第２に，HEMT 型素子によるプラズマ共鳴効果を利用したテラヘルツ帯フォトミキシングの高効率化が可能なデバイスとして，量子井戸型赤外検出素子（QWIP）を HEMT と一体集積化した構造を提案した。図２に提案する素子構造を示す。ドレイン電極に QWIP が集積化されている。差周波数がテラヘルツ帯の赤外領域の２光子が QWIP に吸収されると，差周波テラヘルツ電流成分が HEMT チャネルに注入され，チャネル内部のプラズマを励起する。差周波テラヘルツ周波数がプラズマ共鳴周波数に合致する場合，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，質量消失効果を有する夢の材料として最近注目されているグラフェン（単原子層の炭素シート）を HEMT のチャネル層に導入した場合の，プラズマ共鳴増強効果を解析的に詳細に検討した。グラフェン内部の質量の消失した電子集団によるプラズマの運動方程式を量子論による運動量ーエネルギーの関係を用いて定式化し，ポアッソン方程式を連立して，定常状態における電子・ホールの時空間分布と電場分布を求め，プラズマ波の分散関係を導出した。その結果，ゲート層厚に比べて長波長の我々が興味のあるプラズマ波動においては線形分散特性を示すこと，通常の GaAs 系半導体層でチャネルを形成した素子と比較して，３～５倍のプラズマ速度したがって３～５倍のプラズマ共鳴増大効果を得られることを明らかにした。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，テラヘルツ帯プラズマ共鳴効果がデバイス素子構造と材料システムの工夫によって桁違いに改善できる見通しを得た。また，本プロジェクトで明らかになったこれらの成果は，次年度以降の共同研究プロジェクトへの継続によって，テラヘルツ利得獲得に向けた今後の発展が期待される。

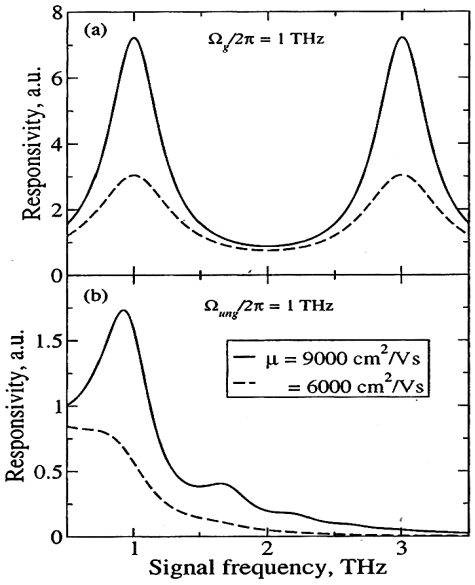


図１．テラヘルツ電磁波の検出感度特性．(a) ショットキードレイン HEMT，(b)ショットキーダイオード．

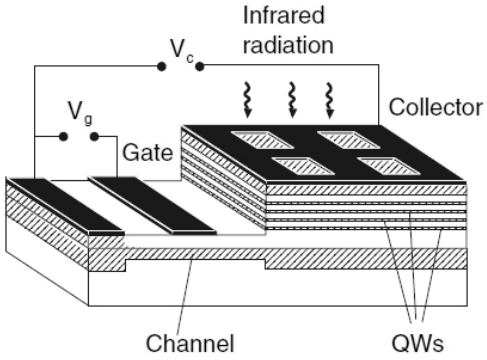


図２．QWIP-HEMT 集積化素子構造．

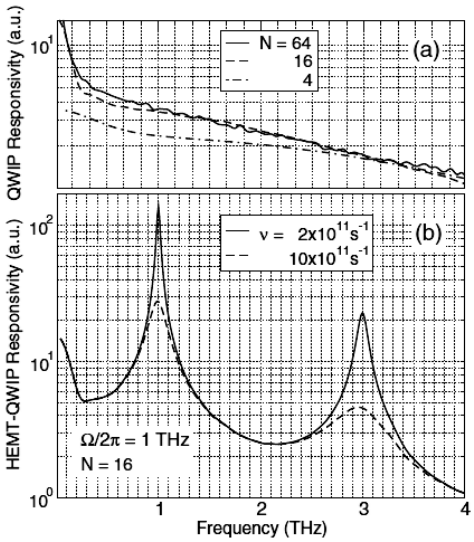


図３．テラヘルツフォトミキシング変換効率．(a) QWIP 単体素子，(b) QWIP-HEMT 集積化素子．

［4］成果資料

(1) V. Ryzhii, M. Ryzhii, I. Khmyrova, T. Otsuji and M. Shur, "Resonant terahertz photomixing in integrated high-electron-mobility transistor and quantum-well infrared photodetector device, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 4B, pp. 3648–3651, April 2006.

(2) A. Satou, V. Ryzhii, T. Otsuji and M. S. Shur, "Resonant terahertz detectors with lateral schottky junctions, " in Dig. the 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices, pp. 285-290, Sendai, Japan, July 2006.

(3) A. Satou, V. Ryzhii, T. Otsuji and M. S. Shur, "Resonant terahertz detection antenna utilizing plasma oscillations in lateral Schottky diode," in the Workbook of the International Topical Workshop "Tera- and Nano-Devices: Physics and Modeling," pp. 58-59, Aizu-Wakamatsu, Japan, Oct. 2006.

(4) V. Ryzhii, I. Kymyrova, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, V. Mitin and M. S. Shur, "Terahertz plasma waves in two-dimensional electron systems and their applications," in the Workbook of the International Topical Workshop "Tera- and Nano-Devices: Physics and Modeling," pp. 50-51, Aizu-Wakamatsu, Japan, Oct. 2006.

(5) V. Ryzhii, A. Satou, and T. Otsuji, “Plasma waves in two-dimensional electron-hole system in gated graphene heterostructures,” J. Appl. Phys. 101, pp.024509 1-5 (2007);

(6) V. Ryzhii, M. Ryzhii, and T. Otsuji, “Negative dynamic conductivity of graphene with optical pumping,” J. Appl. Phys. 101 (2007), in press.

(7) V. Ryzhii, I. Khmyrova, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, V. Mitin, and M. S. Shur, “Terahertz plasma waves in two-dimensional electron systems and their device applications,” Int. J. High Speed Electron. Syst. (2007), in press.

課題番号　H18／A02

採択回数	①　2　3

ノンクラシカルⅣ族ヘテロ構造デバイスの高性能・高信頼化の研究

［1］組織
代表者：土屋　敏章
（島根大学総合理工学部）

対応者：室田　淳一
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 30 万 9 千円，旅費 28 万 6 千円

［2］研究経過

近年，超大規模集積システム用のデバイスにおいて，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今後極めて重要となり，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．

本プロジェクトの初年度となる今年度においては，まず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い．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，より簡便で正確な局所ヘテロ界面準位密度評価技術の確立に向けた研究を展開した．

以上の共同プロジェクト研究のための研究実験および研究打合せを東北大学にて 3 回実施した．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，ナノ薄膜ヘテロ界面準位密度の評価法として考案した低温チャージポンピング（LTCP）法を局所ヘテロ界面準位密度が評価できるように拡張した．

従来，LTCP 法を用いることによって，ヘテロ界面準位が平面的に均一分布していることが仮定できる場合にのみ界面準位密度の算出が可能であった．そこで，局所的に存在するヘテロ界面準位の密度をも導出できるように LTCP 法を拡張した．局所界面準位の生成には SiGe/Si ヘテロ MOS トランジスタを用いてホットキャリア注入によりドレイン付近にヘテロ界面準位を発生させた．図 1 にホットキャリア注入前後の LTCP 特性を示す．ベースレベル 3V 付近でのチャージポンピング電流の増加が発生したヘテロ界面準位によるものであり，この電流増加から，発生したヘテロ界面準位の総量が算出できる．したがって，発生したヘテロ界面準位が存在する領域の幅がわかれば，発生した局所ヘテロ界面準位の密度を算出することが可能となる．そこで，図 1 のベースレベル 1.5V 付近

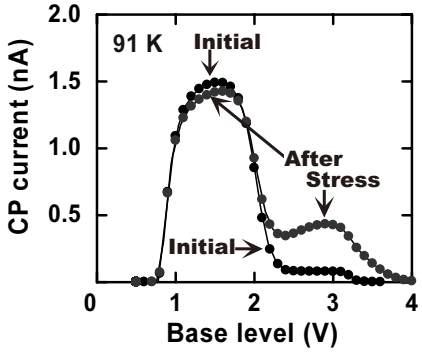


図1 SiGe/Si ヘテロ MOS トランジスタにおけるホットキャリア注入前後の低温チャージポンピング（LTCP）特性

における，ホットキャリア注入後のチャージポンピング電流が減少していることに着目し，その原因を解析することから，ホットキャリア注入によって劣化した領域の幅を導出する方法を考案した．

その結果，ヘテロ界面準位が発生した領域の幅を評価することが可能となり，局所発生した SiGe/Si ヘテロ界面準位密度を算出することが可能となった．

また，SiGe/Si ヘテロ界面の安定性を調べるため，ドレイン電流によって発生するジュール熱のヘテロ界面への影響について検討した．SiGe/Si ヘテロ MOS トランジスタに一定のドレイン電圧とゲート電圧を印加し，デバイス特性の経時変化を測定した．その結果，ホットキャリア劣化などとは異なる急激かつ顕著な特性変化をすることを見出した．LTCP 特性からは，ヘテロ界面が電気的には消失したかのように判断された．ドレイン電流低周波雑音レベルも急激な増加を示した．種々のバイアス条件による実験から，これらの変化はドレイン電流ジュール熱によって生じたものであることがわかった．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクト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．

［4］成果資料

（1）T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, “Characterization of Hot-Carrier Degraded SiGe/Si-Hetero-PMOSFETs,” Thin Solid Films, Vol. 508, Issues 1-2, pp. 326-328, 5 June, 2006.

（2）土屋敏章，櫻庭政夫，室田淳一，” SiGe/Si ヘテロ MOSFET におけるホットキャリアによるヘテロ界面準位の発生，” 電気学会論文誌 C，IEEJ Trans. EIS. vol. 126, no. 9, pp. 1101-1106, Sep. 2006.

（3）竹廣 忍，櫻庭政夫，室田淳一，土屋敏章，” B ドープ SiGe 選択 CVD 成長により形成された極浅ソース・ドレインと高 Ge 比率歪 SiGe ヘテロチャネルを有する高性能 pMOSFET，” 電気学会論文誌 C，IEEJ Trans. EIS. vol. 126, no. 9, pp. 1079-1082, Sep. 2006.

（4）T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, “Quantitative Evaluation of Interface Traps in a Nanometer-Thick SiGe/Si Heterostructure in Hetero MOS Devices,” 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2006), Tohoku Univ., Sendai, Japan, pp. 21-24, July 3-5, 2006. (Invited Paper)

（5）T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, “Hot-Carrier-Degradation of Hetero-Interface in SiGe/Si-Hetero-MOSFETs,” 2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, pp. 83-84, Oct. 2-3, 2006.

（6）S. Takehiro, S. Kawada, M. Sakuraba, T. Tsuchiya, and J. Murota, “Fabrication of Sub-100-nm Gate-Length SiGe-Heterochannel MOSFETs with In-Situ Doped Selectively Epitaxial SiGe Sourcs/Drain,” 2nd Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, Japan, pp. 11-12, Oct. 2-3, 2006..

（7）T. Tsuchiya, S. Mishima, M. Sakuraba, and J. Murota, “The Instability of the SiGe/Si-Hetero-Interface in Hetero-MOSFETs due to Bias Stress,” 37th IEEE Semiconductor Interface Specialist Conference (SISC 2006), San Diego, USA, P. 15, Dec. 7-9, 2006.

（8）土屋敏章，櫻庭政夫，室田淳一，“SiGe/Si ヘテロ MOSFET におけるヘテロ界面のホットキャリア局所劣化，” 電気学会 電子材料研究会資料 EFM-06-15, pp. 1-6, 2006 年 10 月 3 日.

（9）土屋敏章，櫻庭政夫，室田淳一，“SiGe/Si ヘテロ MOSFET におけるホットキャリア局所劣化へ

テロ界面領域の定量的評価,”電気学会 IV 族系ヘテロ超微細デバイス材料技術調査専門委員会，2006 年 11 月 17 日.
（１０）吉田啓一, 櫻庭政夫, 室田淳一, 土屋敏章, “SiGe/Si ヘテロ pMOSFET のチャージポンピング特性, “ 応用物理学会中国四国支部 2006 年度学術講演会，B-a-5，p. 118，2006 年 7 月 29 日.
（１１）三島誠史, 櫻庭政夫, 室田淳一, 土屋敏章, “SiGe/Si ヘテロ MOSFET におけるジュール熱によるヘテロ界面の不安定性,” 第 67 回応用物理学会学術講演会, 31a-ZR-7, 2006 年 8 月 29 日－9 月.1 日.
（１２）吉田啓一，櫻庭政夫，室田淳一，土屋敏章, “SiGe/Si ヘテロ pMOSFET のチャージポンピング特性に及ぼすパルスパラメータの影響,” 第 8 回 IEEE HISS，pp. 71-73，2006 年 11 月 25-26 日.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A03

採択回数	① 2 3

センサーコンピューティングによるウェアラブル情報共有空間の構築に関する研究

［1］組織

代表者：東野輝夫
（大阪大学大学院情報科学研究科）
対応者：白鳥則郎
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
石原　進（静岡大学工学部）
岡田謙一（慶應義塾大学理工学部）
片岡信弘（東海大学電子情報学部）
小泉寿男（東京電機大学理工学部）
佐藤文明（東邦大学理学部）
鈴木健二（電気通信大学電気通信学部）
柴田義孝（岩手県立大学ソフトウェア情報学部）
高橋　修（はこだて未来大学システム情報科学部）
滝沢　誠（東京電機大学理工学部）
塚本昌彦（神戸大学工学部）
富樫　敦（宮城大学事業構想学部）
檜垣博章（東京電機大学理工学部）
福田　晃（九州大学大学院システム情報科学研究院）
東野輝夫（大阪大学大学院情報科学研究科）
水野忠則（静岡大学情報学部）
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（静岡大学情報学部）

研究費：物件費 37 万 9 千円，旅費 46 万 2 千円

［2］研究経過

マイクロプロセッサが遍在するユビキタス社会も定着し，ユビキタスコンピューティングのための機器は人がそのまま着用できるウェアラブル機器になりつつある．ウェアラブル機器を用いて通信を行うことが基本となると，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概念の形成が必要となる．これをウェアラブル情報共有空間と名付ける．

本研究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，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指す．

平成 18 年度は，本プロジェクト研究の第 1 年度であった．まず，ウェアラブル情報共有空間のもととなる情報共有空間の概念について議論を深めた．次に，ウェアラブル情報共有空間の実現のため，センサ入力をもつウェアラブル機器を使用するアプリケーションシステムを開発し，このシステムと遠隔地の複数の空間との間で，楽しさの評価などの高度な情報をいかに円滑に伝えるかについて検討した．ウェアラブル情報共有空間を利用したシステムでは，同期型のシステムに Web ベースの非同期型のシステムを加えることにより，幅広い対象を取り扱えるようになった．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について検討した．

以下，研究活動状況を記す．

研究推進会議を 2 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．

＜第一回研究推進会議＞

日時：平成 18 年 5 月 25 日～5 月 26 日

場所：東北大学電気通信研究所

ウェアラブル情報共有空間のもととなる情報共有空間全般について議論を行なった．この議論の結果は，情報処理学会学会誌「情報処理」平成 19 年 2 月号の特集「社会の未来を拓くネットワーク情報共有空間」としてまとまった．以下に特集の項目を示す．

(1)「情報共有空間における協同」
岡田謙一（慶応義塾大学）

(2)「情報共有空間のためのウェアラブルコンピューティング」
塚本昌彦（神戸大学）

(3)「情報共有空間のためのセンサコンピューティング」
水野忠則（静岡大学），峰野博史（静岡大学）

(4)「情報共有空間のためのシームレスコンピューティング」
北須賀　輝明（九州大学），福田　晃（九州大学）

(5)「情報共有空間としての新しい Web の胎動」
富樫　敦（宮城大学）

(6)「情報共有空間のためのモバイル/アドホックネットワーク」
高橋　修（はこだて未来大学）

＜第二回研究推進会議＞

日時：平成 18 年 12 月 22 日～12 月 23 日

場所：東北大学電気通信研究所

A．講演と報告

(1) 「知識型学習支援から体感型協調学習支援へ」岡田謙一（慶応義塾大学）
(2) 「絵文字チャットコミュニケーション」宗森　純（和歌山大学）
(3) 「ワイヤレスアプリケーション」水野忠則（静岡大学）
(4) 「情報システム設計 I,II」宮西洋太郎(宮城大学)
(5) 「ホームネットワーク向けセンサデバイス UDSS」北須賀　輝明（九州大学）
(6) 「P2P システムにおける信頼度推定方式」佐藤文明（東邦大学）
(7) 「安心感の構造について」村山優子（岩手県立大学）
(8) 「A fault-tolerant models for wireless sensor-actuator networks」滝沢　誠（東京電機大学）
(9) 「少数の基準位置情報を移動無線端末間で補完する都市部向け位置推定手法」東野輝夫（大阪大学）
(10) 「白鳥研究室研究紹介」北形　元（東北大学）
(11) 「ユビキタスインフラストラクチャの研究」渡部　尚（静岡大学）
(12) 「A security platform for ubiquitous computing」高橋　修（はこだて未来大学）

［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)　グループ支援を目的とした協同作業空間の雰囲気伝達手法

オフィスや研究室といった作業空間の出入り口に接近したユーザに対し，空間内部の雰囲気およびその推移を伝達するシステム AS-Gate (AtmoShoric-Gate)を提案した．AS-Gate は，RFID などのセンサを用いたアウェアネス情報の収集部分，集めた情報の蓄積／管理部分，透過型スクリーンなどの出力インタフェースによる情報提示部分から構成されており，空間内部の状況の推移を３次元表現や色表現を用いて直感的に提示する．AS-Gate を実装し評価実験を行なった結果，ユーザが作業空間に入る前に内部の雰囲気を察知できるようになることで，グループの作業効率やコミュニケーションの活発化を促進する可能性を見いだした．

(2)　無線アドホックネットワークにおける近隣端末情報を利用した位置依存情報複製配布スケジューリング手法

無線アドホックネットワークでは，端末の移動や無線リンクの状態の変化により，トポロジの変化が頻発し，ある端末が保持するデータに対してアクセスが不可能な状況が起きてしまう．このような問題の解決方法としては各端末がもつデータの複製を他の端末に持たせる方法の一方法として SC(Skip Copy)方式がある．SC 法では位置依存情報をサーバレスのアドホックネットワークで扱うことを前提として，利用されるデータが Geocast によってアクセスされることを想定し，データ発生時に複製をデータ発生源周辺に疎らに配置する．SC 方式は端末密度が比較的高い状態では高いアクセス成功率を示すが，端末密度が低い状態では複製配置先の不足によりアクセス成功率が向上しないという問題が存在した．この問題を解決するために Persistent Skip Copy (PSC)方式を提案した．シミュレーションの結果，PSC 方式は端末密度が低く，端末の移動速度が速い場合においても SC 方式よりも高いアクセス成功率を示した．

(3)　安全な多重帰属制御を実現する VPN 分散管理プロトコルの提案

Virtual Private Network (VPN)はサイトと呼ばれるネットワーク上の地点間のセキュアな接続を提供する．VPN を構成するサイト数が増加するに伴い，複数の VPN に多重帰属したいというサイトも増加することが予想される．このような VPN の多重帰属を認めた場合，多重帰属をしているサイトを通じた情報の流出の危険性が考えられる．そこで，各 VPN が定めるポリシと呼ばれるアクセス条件に各サイトが違反していないかを検証できることが望ましい．しかし，既存の VPN アーキテクチャでは，このような多重帰属制御は想定されていない．そこで，既存の VPN プロトコルおよびアーキテクチャ上で，ポリシを用い，多重制御して VPN をセキュアに保つような VPN 管理手法の提案を行なった．

（３－２）波及効果と発展性など

マイクロエレクトロニクス技術や通信技術，センサ技術の融合により，センサーコンピューティングとウェアラブルコンピューティングに関する新しい市場が出来つつある．その理由として，各種超小型センサが実現されたこと，小型軽量な HMD(Head Mount Display)が開発されたこと，高速な無線 LAN や UWB(Ultra Wide Band)，RFID といった新たな無線通信技術が開発されたことと，第３世代携帯電話の普及が考えられる．本研究を実施することにより，新たな有線・無線ネットワークとセンサーシステムとの複合したセンサーコンピューティングの利用法が展開できる．本研究で実証する同期・非同期型システムのみならず，情報家電，教育システム，エンターテイメント，ホームコンピューティング，キッチンコンピューティング，情報コンテンツなど

に展開が可能であり，本研究による高度なコンピュータネットワークの利用形態は，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，日本における情報通信技術の新たな技術の進展が期待できる．

［４］成果資料

(1) 中村嘉隆，木谷友哉，木村　旭，山口弘純，中田明夫，東野輝夫：安全な多重帰属制御を実現するVPN分散管理プロトコルの提案，情報処理学会論文誌，Vol.48，No.2，pp.412-421 (2007).

(2) T.Enokido. Y.Tanaka, M.Itaya, and M.Takizawa: Distributed Coordination Protocols to Realize Scalable Multimedia Streaming in Peer-to-peer (P2P) Overlay Networks,Journal of Mobile Multimedia (JMM), Vol.2, No.4, pp.283-296 (2006).

(3) 北原圭吾，井上智雄，重野寛，岡田謙一：協調学習のためのテーブルトップインタフェース，情報処理学会論文誌，Vol.47，No.11，pp.3054-3062(2006).

(4) T.Takenaka, H.Mineno, Y.Tokunaga, N.Miyauchi,and T.Mizuno : Optimized Link State Routing-based Localization for Dense Irregular Sensor Networks, Third International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2006), pp.260-pp.265(2006).

(5) Tomoki Yoshihisa, Yukio Yasuhara, Koji Koyamada, Masahiko Tsukamoto :Design and Implementation for A Bimanual Input System on Virtual Environments, AINA'06, pp.655-659 (2006).

(6) Yoshihiro Otsuka, Tatsuyuki Kimura, Yu Miyoshi, Makoto Nakatsuji, and Akira Fukuda: Proposal of Flexible Interface Technology for Multidomain/Multivendor Network Management, APCC 2006, CD-ROM (2006).

(7) 由井薗隆也，宗森　純：研究グループの知識創造活動を支援するGUNGEN-SECIの表出化と連結化，情報処理学会論文誌，Vol.48,No.1,pp.30-42 (2007).

(8) 土田元，石原進：無線アドホックネットワークにおける近隣端末情報を利用した位置依存情報複製配布スケジューリング手法情報処理学会論文誌，Vol.47，No.12,pp.3234-3243 (2006).

(9) Daisuke Tamura, Goh Miyamoto, Masahiro Kuroda, Susumu Ishihara: Predictive Rate Control for Stream on Handover on wireless Lan, WPMC 2006, pp.615-619 (2006).

(10) Hiroshi Kuriyama,Hiroshi Mineno,Yasuhiro Seno, Takashi Furumura,and Tadanori Mizuno: Home Appliance Translator for Remote Control of Conventional Home Appliance, AINA2006 (2006).

(11) 江木啓訓，西川真由佳，安西　悠，重野　寛，岡田謙一：グループ支援を目的とした協同作業空間の雰囲気伝達手法，情報処理学会論文誌，Vol.47，No.4，pp.1219-1229(2006).

(12) Tomoya Enokido, Makoto Takizawa: Role-Based Concurrency Control for Distributed Systems, AINA'06,pp. 407-412 (2006).

(13) Noriki Uchida and Yoshitaka Shibata: QoS Control for Continuous Media Over Heterogeneous Environment by Wired and Wireless Network, International Workshop on Future Mobile and Ubiquitous Information Technologies, MDM-FMUIT2006, pp.163- 167, May. 2006.

(14) Noriki Uchida , Xuanrui Xiong , Kazuo Takahata and Yoshitaka Shibata: Packet and Frame Rate Control Methouds for Comtinuous Media Heterogeneous Environment by Wired and Wireless Network , Proc of The 12th International conference on Distributed Multimedia Systems, DMS2006, pp. 116-120 (2006).

(15) 宗森　純，大野純佳，吉野　孝：絵文字チャットによるコミュニケーションの提案と評価，情報処理学会論文誌，Vol.47,No.7，pp.2071-2080 (2006).

(16) 白鳥則郎，東野輝夫，宗森　純，岡田謙一，塚本昌彦,水野忠則，峰野博史，北須賀　明，福田　晃，富樫　敦，高橋　修：特集　社会の未来を拓くネットワーク情報共有空間，情報処理学会学会誌「情報処理」Vol.48，No.2，pp.121-159 (2007).

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
（山形大学工学部電気電子工学科）
対応者：尾辻　泰一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：佐野　栄一（北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター）
研究費：物件費 31 万 3 千円，旅費 23 万 0 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一年度である。スイッチ線路をキーデバイスとする新しい極短電気パルス生成法を具体的なテーマとする。スイッチ線路とは、非線形線路の一種であり、あるしきい値電圧を有するスイッチが離散的に装荷されるものとして定義される。これは、しきい値に満たないパルスを線路分散・損失によって排除し、それを越える振幅を持つパルスのみをソリトンパルスに変換する機構を有する。従来知られる非線形線路を用いると、単一パルスは複数のソリトンに分裂してしまう。これがパルス制御上の大きな障害であった。提案する線路の場合、しきい値電圧をはじめとする種々のパラメータの最適化設計によりパルス分裂を抑止し、単一極短パルス生成に成功することを動作原理としている。本年度の研究実施によって、共鳴トンネルダイオード (RTD) をスイッチの具現化素子として用いることによってこの機構を実現することが確認された。スイッチ線路を実デバイスで実現し、実践的設計技術を構築しその上で素子試作・評価によって技術の先鋭化を進めることが本プロジェクト研究の骨子である。そして申請期間内には(1)素子および回路シミュレータの研究開発と(2)回路試作に向けた要素技術の立ち上げとを平行して行う。それぞれについて以下研究経過を具体的に示す。

第一四半期において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要求を満足することが明らかになった。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 上に実装し動作確認に成功するに至った。この間、共同研究の枠組みの先鋭化を進めた。第二から第四四半期において、要素回路について電磁界解析設計を遂行する予定であった。時間領域でマクスウェル方程式を解く FDTD 法の実装を進め、分散性媒質を柔軟に取り入れることのできるツールの作成に至った。非線形性を取り入れるまでは至らなかったため来期以降早い段階でこの完遂を果たす予定でいる。各組織において個別に検討を進め、貴研究所において定期的会合の場を設けコンセンサスを得つつ進める形態をとった。殊に期末には学生を交えた研究交流を行い、中長期的検討項目の抽出を含め議論を深めた。また設計試作評価の準備をすすめ、RF プローバ、信号入力用のフォトダイオードなど計測用備品の購入、人員確保、貴研究所末光准教授との打ち合わせなど、次年度以降の研究活性化のための施策を実行した。

【研究交流実績】
8. 17/18 参加者:3 名【研究進捗報告/研究方針策定】
11. 20/21 参加者:5 名【研究進捗報告】
1. 21-23 参加者:13 名【18 年度研究総括】

［3］成果

（3－1）研究成果

【1】　共鳴トンネルダイオードを基調とする極短電気パルス生成の実践設計の遂行。

スイッチ線路という数理的対象を具現化する電子デバイスの探索の結果共鳴トンネルダイオードが適当であるという帰結を得た。実際の素子モデルを用いた解析を進め、動作原理をあらためて確認することに成功した。この過程について通信学会で報告し、好評を得た。

【2】　スイッチ線路を用いた連続光生成の新しい機構の発見。

本プロジェクトを遂行する過程で新たな連続電気信号生成技術の動作原理を考案するに至った。スイッチ線路にステップパルスを入力する。極短パルス生成の場合と同様にスイッチが ON 状態にあるとき、パルスは指数モードに乗って伝播する。一方 OFF 状態にあるときには正弦モードにのる。このハイブリッド波によってパルスエッジは線路上を前進伝播する。線路抵抗、スイッチによるコンダクタンスによってエッジは線路途上で消失する。この点で新たに OFF 状態において指数モードが励起される。指数モードのみからなる波動は逆進伝播のみが許され、この結果、ステップパルス入力時にはエッジが線路内を往復伝播することになる。この興味深い現象は繰り返し生ずるために連続光を生成する新しいプラットフォームを提供することになる。

今年度にはその動作原理を明らかにし、RTD を用いた実践設計をあわせ行った。果たして RTD によってこの連続光生成に成功する事実を知り、国内開催の国際会議 IWTND06 ならびに通信学会総合大会で報告を行った。一例として当該回路の発振周波数の電圧依存性を図 1 として示す。入力振幅の低減に伴い、パルスのターンアラウンド時間が減じられ発振周波数が向上する。図 1 を得るために、RTD の実モデルを採用し回路シミュレータ PSPICE を利用している。

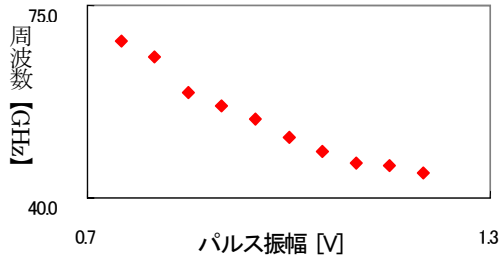


図 1：RTD 線路による連続光発振

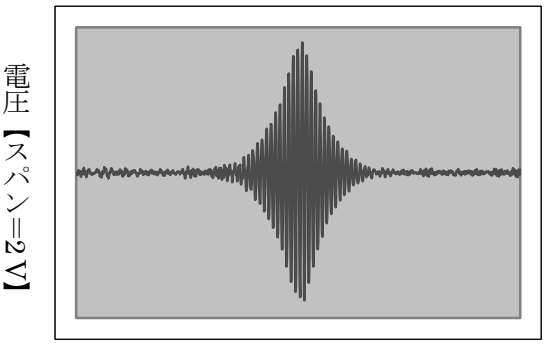


図 2：CRLH 線路上のソリトン

【3】　非線形 CRLH 線路を用いたソリトン生成

メタマテリアルの一種である CRLH 線路にバラクタを導入し、同線路上にソリトンの生成を予言することに成功した。従来が狭帯域応用に限定されていた左手系波動をパルス応用に拡大する基盤を構築することができた。この成果をもとにその応用的側面の議論をさまざま検討する段階に至った。参考までに、図 2 として非線形 CRLH 線路上に誘起されたソリトン波の様子を示した。包絡線はきれいな sech 関数の様相を呈し劣化のない伝播が確認された。

（3－2）波及効果と発展性など

通信学会での報告を受けて RTD の研究者から論文請求の照会を受けた。興味喚起に成功したものと理解している。RTD に造詣の深い研究者との交流は本プロジェクトの成功に極めて有効である。研究の輪が広がる予感を感じさせる事例であり大事にしていきたい。また，本プロジェクトで明らかになった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帯での電圧制御発振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た。回路試作に移行する初期検討が完了した意義は大きい。近い将来において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山形大学の学部学生 3 名に加わってもらった。各々は自らの指針に従って回路設計技術を体得し学会発表における他に遜色ないプレゼンテーションを行うまでに至った。若手研究者の育成の側面からも一定の価値を生んだものと理解している。

［4］成果資料

【1】 Koichi Narahara, Taiichi Otsuji, and Eiichi Sano," Generation of electrical short pulse using Schottky line periodically loaded with electronic switches," J. Appl. Phys., 100, 6, p. 024511, 2006.

【2】 Koichi Narahara, "Electromagnetic continuous-wave generation using switch lines," J. Appl. Phys., 100, 6, p. 064908, 2006.

【3】 Koichi Narahara, Taiichi Otsuji, and Eiichi Sano, "Pulse compression by quasi-steady propagation along switch lines," Jpn. J. Appl. Phys. 45, 7, p.5692, 2006.

【4】 Tatsunori Takahashi, Takuo Yamaki, and Koichi Narahara ,"Voltage-controlled oscillator using RTD transmission lines," Tech. dig. International workshop tera- and nono-devices: physics and modeling. p.20, 2006.

【5】 Koichi Narahara, Tatsunori Takahashi, Takuo Yamaki, and Toru Nakamichi, "Characterization of voltage-controlled oscillator using RTD transmission lines," Int'l J. High Speed Electron. Systems, in press.

【6】 Koichi Narahara, Toru Nakamichi, Taiichi Otsuji, and Eiichi Sano," Development of solitons in composite right- and left-handed transmission lines periodically loaded with varactors with symmetrical capacitance-voltage characteristics," Jpn. J. Appl. Phys. in press.

【7】 高橋辰典、八巻卓夫、楢原浩一、「RTD 線路を用いた電圧制御発振器」電子情報通信学会総合大会予稿集、2006.

【8】 八巻卓夫、高橋辰典、楢原浩一、「RTD 線路による極短電気パルス生成」電子情報通信学会総合大会予稿集、2006.

【9】 中道徹、楢原浩一、「非線形 CRLH 線路におけるソリトン生成」電子情報通信学会総合大会予稿集、2006.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A05

採択回数	①	2	3

次世代 Web のための
高度情報検索システムの基盤創成に関する研究

［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）
安藤敏彦（仙台電波工業高等専門学校）
菅沼拓夫（東北大学電気通信研究所）
北形　元（東北大学電気通信研究所）
板橋吾一（株式会社サイエンティア）
荒井秀和（株式会社サイエンティア）

研究費：　物件費 33 万 4 千円，旅費 0 円

［2］研究経過

Web上の情報検索をより容易に的確に行うことを目指して，現在のWeb の拡張としてセマンティックWebプロジェクトが国際的に進行している。このセマンティックWebの実現には，さまざまな空間からの情報の取得・獲得と同時に，それら情報に意味を与えることが重要である。意味はデータに対するメタデータとして与え，メタデータのモデル化と組織化にオントロジと呼ばれる概念知識を用いる。

本研究では，オントロジに基づいてソフトウェアエージェントが推論を行い，利用者の望むWeb情報を的確に検索するためのメカニズムについて検討し，高度なWeb情報検索システムの基盤を確立することを目指している。

具体的には，情報の対象領域として健康と運動を取り扱った。年齢，性別，身長，体重，血圧，既往歴，カロリー消費，脈拍数など，人の健康情報を手動入力とともに，センサデバイスなどで自動的に取得し，データベース化を行った。また，健康と運動に関する概念知識をオントロジとして構築し，そのオントロジを基盤として，健康を維持するための運動を人の健康状態を考慮して自動的に導出可能とする推論ルールを導入した。そして，これらデータベース，オントロジ，推論ルールを推論システムとして統合することで，利用者の健康状態に合った推奨運動とさまざまな関連情報をWeb上で利用者に提供するWeb情報検索システムの基礎を確立した。

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19年1月25日
- 場所：東北大学電気通信研究所
- 講演と報告：

(1)「次世代Web技術に基づくソーシャルアウェアなマルチメディア通信システムとその応用」（東北大）

----- 利用者が望むサービス品質やプライバシを自律的に判断し，それらを的確に反映したサービスを能動的に提供する，安心で便利な見守りシステムの実現について報告した。

(2)「地域情報基盤に基づく子供の見守り支援システム」（東北大）

----- 子供の状況に応じて，保護者が子供の危険／安全をより正確に判断できる情報を提供するシステムについて提案した。

(3) セマンティックWeb技術を用いた健康情報検索システムの構築（仙台電波高専）

----- 健康に関する知識をオントロジを用いて体系化し，推論ルールと連動して種々の運動アドバイスを検索するシステムについて述べた。

(4) センサデバイスによる生体情報の自動取得と検索（仙台電波高専）

----- 利用者の生活習慣病の改善・予防を支援する目的で，歩数，カロリー消費，脈拍数，血中酸素飽和度など，日常の生体情報の収集と管理を行う支援システムについて報告した。

- 今後の研究の進め方に関する討論

本推進会議であった発表内容を基盤とし，その応用や拡張を図ることで，プロジェクト研究のより一層の発展・展開を目指すよう方向付けを行った。

［3］成果

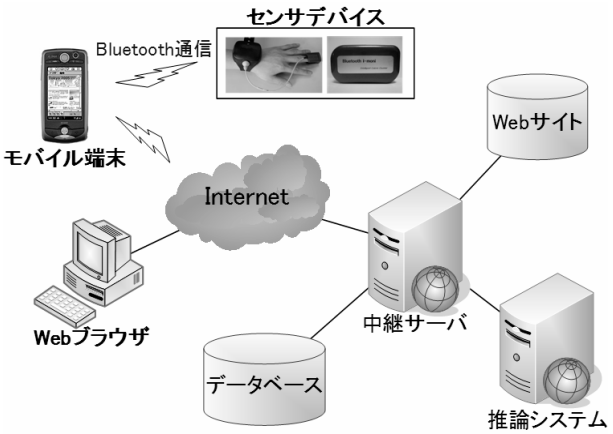
（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

(1) 健康支援のために，利用者の生体情報を自動的に収集・管理するシステムの実現

生活習慣病やメタボリックシンドロームの治療または予防を行っていくためには，自分自身で健康管理を行う必要がある。しかし，日々の生活において運動や食事の管理，そしてその記録と整理を行いながら健康管理を続けていくことは多大な労力を伴う作業であり，モチベーションの低下から途中で治療を放棄してしまうことが多く見られる。そのため，これら患者の負担となる作業を軽減し，容易に健康管理を行えるためのシステムを実現した。

構築したシステムの概要を下図に示す。運動を行う際，利用者はウェアラブルなセンサデバイスを用いて日々の運動データを測定する。ここで測定されたデータはBluetooth通信により利用者が所持するモバイル端末へリアルタイムに送信され，端末上に格納･表示される。測定が終了すると測定データは一括して中継サーバに送信され，Web上のデータベースに格納される。このような構成にすることで，測定データの取り出しからWebサーバへアップロードするまでの流れをモバイル端末上のアプリケーションを通じて実現でき，利用者にとって煩雑な作業を減らすことができる。また，センサデバイスのアプリケーションがBluetooth通信を利用できれば，どのようなセンサデバイスにでも柔軟に対応することができる。こうしてアップロードされた情報を利用し，利用者は自己の健康管理をインターネット上のWebページを通じて行うことが可能になる。このページでは日々の健康の記録や過去の記録の閲覧に加え，以下で述べる健康情報提供システムの利用も可能になる。



(2) 利用者の健康状態を考慮し，利用者に適した運動情報を推論し，Webベースで提供するシステムの構築

人の健康状態と運動との関わりを表現し記述するためにオントロジを用いた。オントロジを利用することで，従来の知識ベースでは表現されていない概念の意味や概念間の関係を表すことができ，健康情報を利用者に提供する上で，より高度な推論が行える。特に，人の健康データや運動の効果等の意味を機械が理解し，より適切な健康情報を導出できる。このオントロジにおける主要な概念（クラス）として，人，健康データ，健康目標，運動，運動の効果がある。また，これら概念間の関連（プロパティ）として，人への推奨運動，人が行うことに問題のある運動，運動から得られる運動の効果，運動を行うのに問題のある健康データなどがある。健康データには身体データがあり，身体データは身長，体重，血圧，BMI 等のデータ値をとるプロパティを持っている。さらに健康データには病歴があり，現病歴，既往歴といったサブクラスを持つ。これらは，人に健康情報を提供する際に考慮される基本データを表している。

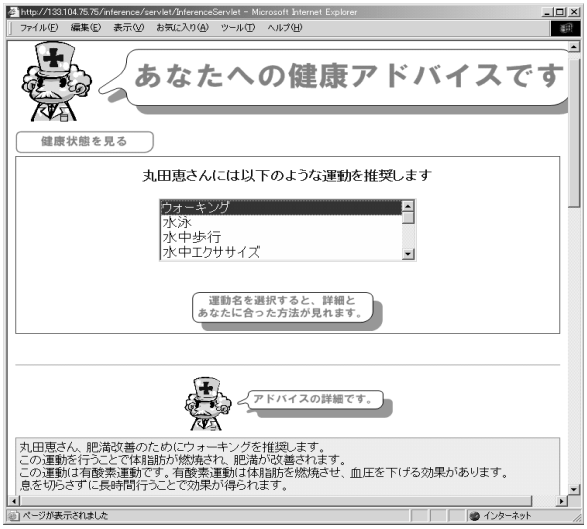
このオントロジに基づいて，人に運動に関する健康情報を提供するためのWebベースのシステムを設計・実装した。

システムの利用者は予め名前や年齢，身長等の個人データを入力しておく。また，利用者はセンサデバイスを装着し，それにより脈拍，消費カロリー等，日々変化する動的な生体データを取得する。取得されたデータはモバイル端末を経由するか，もしくは手動でデータベースへ送られ管理される。これらのデータは健康情報導出のために利用される。利用者が健康情報の要求や運動についての何らかの質問をした場合，システム中の推論エージェントでは，データベース中の利用者の年齢や身長等のデータ，センサデバイスで取得した脈拍や消費カロリー等のデータを取得し，推論エンジンに送信する。要求を受け取った推論エンジンは，予め与えられていたオントロジ，健康アドバイスや質問応答のための推論ルール，さらに受け取ったユーザデータをもとにして，推論を行い，利用者の健康状態に適した情報や，質問に対する適切な回答を導き出す。導出された情報や回答は，Web ページ経由で利用者に提示する。

健康と運動についての種々の関連ルールを使用して推論することにより，利用者の目標や健康状態に適合した運動を推奨したり，行うことに問題のある運動を導出したりしていくと同時に，その推論結果にいたる過程を，その提供情報の根拠として利用者に提示する。情報提供をよりきめ細かに行うために，例えば，利用者の年齢に応じて，行う運動の量を適宜変更して提供するような機能も備えている。

下図は本システムの実行例であり，「肥満を改善したい」という目標に対して，ウォーキングなどの運動を推奨運動として推論し，理由を含めて提示している。





（3－2）波及効果と発展性など

オントロジにおいては，従来のエキスパートシステムのような単なる事実と推論規則から構成されるような枠組みだけではなく，上位下位関係による概念の階層分類に基づいた事実のクラス分け，同義な事実の同等な取り扱い，反対概念の定義による反対事実の見い出しなど，オントロジに特有な推論規則の構成，推論規則の実行方法があり，本研究の推進によりそれらの基礎を確立することができた。そしてその基盤の上で，現在の Web よりも高度で知的な Web 情報検索システムの構築が行えると考えられる。

また，情報及びメタデータの対象領域として健康と運動をとりあげたことから，健康と運動に関心のある健常者，療養者に対して，現実的で有益な情報提供を行えることが成果として期待できる。

［4］成果資料

(1) S. Izumi, D. Kuriyama, G. Itabashi, A. Togashi, Y. Kato and K. Takahashi, "An Ontology-based Advice System for Health and Exercise," Proc. the 10th IASTED International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications (IMSA 2006), 535-029, pp. 95-100, 2006.

(2) 安田尚史, 三浦祐太朗, 和泉諭, 加藤靖, 高橋薫, "健康状態を考慮した運動アドバイス提供システム―推論メカニズム―", 情報処理学会第 69 回全国大会, 1N-4, 2007.

(3) 四倉涼, 和泉諭, 高橋薫, 加藤靖, "健康状態を考慮した運動アドバイス提供システム―運動アドバイスの提示―", 情報処理学会第 69 回全国大会, 1N-5, 2007.

(4) 和泉諭, 栗山大, 三浦祐太朗, 安田尚史, 四倉涼, 加藤靖, 高橋薫, "オントロジを利用した健康支援システムの設計と実装", 電子情報通信学会技術研究報告, SS2006-82, pp. 19-24, 2007.

(5) 栗山大, 和泉諭, 富樫敦, 高橋薫, 加藤靖, Bluetooth 通信を用いた生体情報監視システムの構築", 第 5 回情報科学技術フォーラム (FIT2006), 2G-1, 2006.

(6) 和泉諭, 栗山大, 富樫敦, 加藤靖, 高橋薫, "健康アドバイス導出のための領域オントロジと推論ルール", 第 5 回情報科学技術フォーラム (FIT2006), 2G-2, 2006.

(7) 三浦祐太朗, 和泉諭, 栗山大, 富樫敦, 加藤靖, 高橋薫, "オントロジに基づいた健康アドバイス導出システム", 第 5 回情報科学技術フォーラム (FIT2006), 2G-3, 2006.

(8) 板橋吾一, 和泉諭, 湯本純也, 高橋薫, 加藤靖, 富樫敦, "健康に関するルール構築と健康アドバイスへの適用", 情報処理学会第 68 回全国大会, 5B-7, 2006.

(9) 和泉諭, 佐藤ひかり, 青木浩之, 結城啓, 大場俊輔, 板橋吾一, 加藤靖, 高橋薫, 富樫敦, "健康に関する領域オントロジの構築", 情報処理学会第 68 回全国大会, 6B-5, 2006.

共同プロジェクト研究

採択回数	1　2　3

課題番号　H18／A06

音響情報によるセキュリティ向上技術に関する研究

［1］組織

代表者：薗田　光太郎
（独立行政法人　情報通信研究機構 情報通信セキュリティ研究センター）
対応者：西村　竜一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：なし
研究費：物件費 0 万 0 千円，旅費 27 万 7 千円

［2］研究経過

目的：近年，マルチメディア情報の流通や，人間の感覚に訴える情報コンテンツの増大に伴い，その制御に必要な情報通信技術・セキュリティの確保技術が重要となっている．本プロジェクトでは，音響工学の視点から，情報セキュリティ技術へ積極的な接点を開拓することを大きな目的としている．初年度の平成 18 年度は，音響信号へのインフォメーションハイディング・音響信号による本人認証などを検討内容とする研究を展開した．

研究活動状況の概要：研究打ち合わせを 7 回（5/25，6/22-23，8/8-10，11/13，2/19-23，3/2-3）行った．

［3］成果

（3－1）研究成果

（1）音響信号へのインフォメーションハイディング

埋め込まれた電子透かしの破壊を目的とする積極的な攻撃にも耐性を持つ音信号電子透かし埋め込み・検出手法として，Wavelet-QIM 法を考案し，攻撃耐性・聴感による劣化判断検査を行った．

本手法は，ウェーブレット変換（DWT：Discrete Wavelet Transform）におけるスケール-時間平面上でパワー最大となる係数を基点とし，その高調波を含む成分を表す係数群にメッセージビットに基づく量子化を行う（QIM：Quantization Index Modulation）ことで電子透かしを実現している．またメッセージビットを周波数(スケール)方向に並べて埋め込み，時間方向へは検出成績向上のために繰り返し同じビット列を埋め込むことにした．これにより，悪意の利用者が短いサンプルフレームを交換し聴感を維持したままメッセージの破壊を企てた場合にも一定の耐性を持つことを確認した．さらに，継続時間を保持したままピッチ成分のみを変形するいわゆるピッチスケーリング攻撃への耐性強化のためにウェーブレットパケット法を導入した．これによりほぼ 1oct ごとの係数セルがさらに分割されて表されることになり，微量のピッチスケーリングがあってもメッセージの埋め込まれた係数セルの構造が破壊されないことが示された．

（2）音響信号による本人認証

本人のみに特徴的に聴こえる音響信号をサーバがユーザに提示し，正確な回答をもって本人と認証する聴音型記憶認証の可能性を検討している．本研究には「本人にのみ特徴的に聴こえる音響信号」の提案，認証したいユーザへのその信号の「提示方法」の提案の二つの課題がある．本年度は，前者の音響信号として，本人が話すと同時に本人に聴こえている自分の声（自声聴取音）の利用可能性を検討した．本人（P）・他人（S）に P の自声聴取音・ダミーとなる低音強調高音抑圧した音声をヘッドフォン受聴させ親密度を評価させた．自声聴取音は，現時点で本来の信号を収録できないため，過去の文献より模擬化フィルタを用いて擬似音を使用した．その結果，他人の場合に自声聴取音とダミーの評価結果に差があまり見られない一方で，本人には自声聴取音に対する評価が高い傾向が観察された．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトは，音響工学と情報セキュリティの両分野にまたがった萌芽的研究として進められた．本プロジェクトのうち，音響信号へのインフォメーションハイディングの話題については電子情報通信学会で新しく発足したマルチメディア情報ハイディング研究会につながっており，今後ますます重要性が増してゆく当該分野での研究者ネットワークの拡大につながった．また，音響信号による本人認証の研究については，科学研究費補助金の若手研究 B 課題として H19 年度から採用された．

［4］成果資料

1．薗田，西村，鈴木，滝澤，「DWPT-QIM 電子透かし」，日本音響学会　2007 年春季研究発表会，3-P-12，3 月，2007 年.

2．薗田，阿瀬見，中里，吉岡，井上，滝澤，「聴覚の個人差に基づく認証方式の検討」，信学会　情報セキュリティ研究専門委員会 2007 年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2007)，2F4-2，p.175，1 月，2007 年.

以上

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
（電気通信大学大学院工学研究科）
対応者：佐藤　茂雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中島　康治　（東北大学電気通信研究所）
小野美　武　（東北大学電気通信研究所）
海老澤丕道　（東北大学大学院情報科学研究科）
林　正彦　（東北大学大学院情報科学研究科）
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）

研究費：物件費３７万１千円，旅費２８万７千円

［2］研究経過

Si-LSI で培われた微細加工技術を利用することにより、超伝導デバイスにおいても高集積化や極微細回路の製作が可能となってきている。また超低消費電力という高集積化における優位性や量子重ね合わせに基づく超並列性などを巧妙に応用することにより、スーパーコンピュータや量子コンピュータといった応用分野で Si-LSI を凌駕できる可能性が指摘されている。こうした背景のもと、本研究プロジェクトでは金属超伝導体を利用した磁束量子計算機と、酸化物超伝導体を利用した量子計算機の開発を行う予定である。

具体的に、金属超伝導体では、単一磁束量子を情報担体とする超高速・超低消費電力超伝導計算機の実用化に向けて、デバイス物理の解析、製作技術、回路設計技術、測定技術など各要素技術の熟成化を図り、かつそれらを統合的に理解することで高密度化への具体的な指針を提案する。高集積化への具体的な指針が示されると予想される。これにより、高速性や低消費電力といった単一磁束量子計算機の優位性をより明確にし、実用化を促進することが可能と考えられる。

酸化物超伝導体では、固有ジョセフソン接合を用いたマルチ量子ビット実現に向けて、理論解析及び数値解析により量子ダイナミクスの解明を図り、その結果に基づき、実験において量子ビット動作のための基本特性であるラビ振動の観測を行う予定である。本研究の遂行によりマルチ量子ビットの基本動作を確認できると予想され、また Bi2212 という材料を用いることで、超伝導量子ビットとして最も高温での動作が期待される。超伝導デバイスが有する計算能力はまだまだ未知数であり、本研究を遂行することによりこれを明らかにすることは、将来の計算機工学にとって非常に重要である。

第一年度にあたる本年度は、12 月 21,22 日に研究会を開催し、メンバー間の相互理解を図るとともに、率直な意見交換を行い、本研究のプロジェクトの方向性を確認した。以下に研究会のプログラムを示す。

1)「SQUID の高周波応答とその応用」
　水柿義直（電通大）
2)「SFQ 回路を用いた演算器並びにプロセッサの設計と試作」
　吉川信之（横浜国大）
3)「固有ジョセフソン接合における非線形効果とゆらぎについて」
　林　正彦（東北大）
4)「固有ジョセフソン接合の接合間結合と量子準位」
　町田昌彦（原子力研究開発機構）
5)「固有ジョセフソン多重接合系の MQT に対するキャパシティブ及びインダクティブ結合の効果」
　小山富男（東北大）
6)「Bi2212 固有ジョセフソン接合における共鳴トン

ネルについて」
　佐藤茂雄（東北大）
7)"Progress in the applications of intrinsic Josephson junctions"
　王　華兵（NIMS）
8)「ニューロ様量子計算アルゴリズムへの学習機能の導入について」
　金城光永（琉球大）
9)「上部・下部グランドプレーンを用いた単一磁束量子倫理回路の設計」
　明連広昭（埼玉大）
10)「ジョセフソン効果に基づく次世代交流電圧標準」
　前澤正明（産総研）
11)「単一磁束量子デバイスによるストカスティック論理ニューロシステムの高速化について」
　小野美　武（東北大）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度はまず第1に、演算能力を従来比 10 倍の 1400MOPS（毎秒 14 億回の演算性能）に高めた単一磁束量子（SFQ）回路のマイクロプロセッサを開発した。8 mm 角のチップにニオブ標準プロセスによって約 11,000 個の超伝導素子を集積化した世界最大の SFQ プロセッサで、機能性の面ではまだ十分ではないものの、1W あたりの処理能力は半導体に比べて数千倍優れている。大規模な SFQ 回路では回路への電源電流供給線から発生する磁場が回路動作に影響を与えるという問題があったが、新しい回路構造を導入することにより磁場を遮断し改善を図った。

第2に、Bi-2211 固有ジョセフソン接合において、マイクロ波照射による多重フォトン共鳴励起を観測し、金属系のジョセフソン接合とほぼ同じ効果が得られることを実験により確認した。これは固有ジョセフソン接合における量子ビット制御につながる成果である。また理論的解析結果から、接合間の磁気的・電気的結合により巨視的量子トンネルが強化されことが明らかになった。いずれの解析でも、Nをジョセフソン接合数として、トンネル頻度は接合間結合を考慮しない場合の N^2 倍になることが示された。これはマルチ量子ビット実現における有用な知見である。

第3に、新規量子電圧標準となり得る新規デバイスの創製と集積回路化が行われた。ジョセフソン効果に基づく直流電圧標準は既に実用化されているが、ディジタルシステムや量子コンピューティングを含めたエレクトロニクスへの幅広い応用分野を開拓するため、瞬時に電圧を変えることのできるデバイスを用いた交流電圧標準を実現が待たれている。本プロジェクトにおいては、バイアス電流を必要とせずに正弦波信号を印加するだけで高精度な電圧を発生するデバイスが考案され、電圧の ON-OFF 制御を含めて動作が実証された。また、SFQ 回路により構成された D/A 変換器が設計され、ニオブ集積回路上に実現された基本構成要素の正常動作が確認された。

（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。本年度の成果はまだ基礎的な部分があるものの、金属超伝導体の SFQ マイクロプロセッサの実用化、酸化物超伝導体の量子ビットの実現、それぞれにおいて重要な寄与を与えるものである。本プロジェクトを継続することにより、超伝導計算機のより早い実用化が期待される。

［4］成果資料

(1) Y. Mizugaki, K. Katoh, M. Moriya, K. Usami, and T. Kobayashi, "Zero-Crossing Shapiro Step in Asymmetric Two-Junction Superconducting Quantum Interference Device," Jpn. Journal of Applied Physics, Part 2, vol.45, no.24, pp.L621-L622, 2006.
(2) Y. Mizugaki and J. Chen, "Current-step-like structure in a YBCO grain boundary Josephson junction coupled to a gigahertz signal," Jounral of Physics: Conference Series, vol.43, pp.1282-1285, 2006.
(3) Y. Mizugaki and K. Katoh, "Zero-crossing Shapiro step generated in an asymmetric and nonhysteretic rf-current-driven two-junction superconducting quantum interference device," Journal of Applied Physics, vol.100, no.6, pp.064503-1-064503-4, 2006.
(4) Y. Nakamiya, M. Kinjo, O. Takahashi, S. Sato, K. Nakajima, "Quantum Neural Network Composed of Kane's Qubits," Jpn. Journal Applied Phys., vol.45, no.10A, pp.8030-8034, 2006.
(5) K. Inomata, S. Sato, M. Kinjo, N. Kitabatake, H. B. Wang, T. Hatano, K. Nakajima, "Study of macroscopic quantum tunnelling in Bi2Sr2CaCu2O8+δ intrinsic Josephson junctions," Supercond. Sci. Technol., vol.20, pp.S105--S109, 2007.
(6) M. Hayashi and H. Ebisawa, "Phase transition in superconducting network systems," Physica C, vol.437-438, pp.93–95, 2006.
(7) M. Hayashi, H. Ebisawa, K. Kuboku, "Geometrically frustrated crystals: Elastic theory and dislocations," Europhys. Lett., vol.76, no.2, pp.264-270, 2006.
(8) T. Koyama, "Correction due to the Goldstone Mode in

Neutral BCS Superconductors," Physica C, vol.437-438, pp.162-167, 2006.
(9) T. Koyama, M. Machida, M. Kato, T. Ishida, "Spontaneous Vortex Formation in a Quench Process in Superconducting Films with Small Holes," Physica C, vol.445-448, pp.257-259, 2006.
(10) M. Nagao, S. Urayama, S. M. Kim, H. B. Wang, K. S. Yun, Y. Takano, T. Hatano, I. Iguchi, T. Yamashita, M. Tachiki, H. Maeda, M. Sato, "Periodic Oscillations of Josephson-Vortex Flow Resistance in Oxygen-Deficient YBa2Cu3Ox," Phys. Rev. B, vol.74, no.5, p.054502 2006.
(11) T. Hatano, S. Kawakami, S. M. Kim, S. Urayama, K. Inomata, M. Nagao, S. J. Kim, H. B. Wang, K. S. Yun, Y. Takano, A. Ishii, S. Arisawa, T. Yamashita, M. Tachiki, "Possible formation of rectangular Josephson-vortex lattice in narrow Bi-2212 intrinsic Josephson junctions by the enhanced edge effect," J. Phys. Chem. Solids, vol.67, p.365, 2006.
(12) 長尾雅則、 羽多野毅、「高温超伝導体ウィスカ−高温超伝導体の結晶構造は多重ジョセフソン素子構造」, セラミックス, vol.41, no.4, p.283, 2006.
(13) H. B. Wang, S. Urayama, S. M. Kim, S. Arisawa, T. Hatano and B. Y. Zhu, "Terahertz oscillation in submicron sized intrinsic Josephson junctions," Appl. Phys. Lett., vol.89, 252506, 2006.
(14) S. Kim, S. Urayama, H. B. Wang, S. Kawakami, K. Inomata, M. Nagao, K. S. Yun, Y. Takano, K. Lee, T. Hatano, "Current-dependent flux-flow resistance and resonant current steps in BSCCO intrinsic Josephson junctions," J. Phys. Chem. Solids, vol.67, p.438, 2006.
(15) M. Maezawa, F. Hirayama, M. Suzuki, "Bit error rate measurements on RSFQ circuits using a SQUID current comparator," Superconductor Science & Technology, vol.19, no.5, p.S331, 2006.
(16) M. Maezawa, F. Hirayama, M. Suzuki, M. Ochiai, H. Kimura, "Fabrication and operation of a 1024-stage voltage multiplier for ac voltage standard applications," Journal of Physics: Conference Series, no. 43, p.1187, 2006.
(17) S. Yorozu, T. Miyazaki, V. Semenov, M. Hidaka, and J. S. Tsai, "Single Flux Quantum Circuit and Packaging Technology for Sub-Kelvin Temperature Operation," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, in press.
(18) S. Yorozu Y. Hashimoto Y. Kameda and T. Miyazaki, "Progress of RSFQ High Performance Packet Switch," Advances in Science and Technology, vol.47, pp.188-194, 2006.
(19) 萬　伸一、「単一磁束量子(SFQ)集積回路の開発と応用」, 応用物理, 第 76 巻, 第 1 号, pp.20-25, 2007.
(20) M. Machida and T. Koyama, "Time-Dependent Ginzburg-Landau Theory for Atomic Gasses Near the BCS-BEC Crossover," Phys. Rev. A, vol.74, 033603/1-6, 2006.
(21) M. Machida and T. Koyama, "Collective Dynamics of Macroscopic Quantum Tunneling in Layered High-Tc Superconductors," Supercond. Sci. Technol., vol.20, p.S23, 2007.
(22) M. Machida, "Edge Boundary Effects on Josephson Vortices in Layered High-Tc Superconductors" Phys. Rev. Lett., vol.96, 097002, 2006.
(23) K. Fujiwara, T. Hikida, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, S. Yorozu, H. Terai,"The influence of the ground current on large-scale single-flux-quantum circuits," Supercond. Sci. Technol., vol.19, pp.S362-S365, 2006.
(24) Y. Yamanashi, A. Akimoto, N. Yoshikawa, M. Tanaka, T. Kawamoto, Y. Kamiya, A. Fujimaki, H. Terai and S. Yorozu, "A new design approach for control circuits of pipelined single-flux-quantum microprocessors," Supercond. Sci. Technol., vol.19, pp.S340-S343, 2006.
(25) N. Yoshikawa, M. Tokuda1, T. Tomida, H. Kojima, K. Fujiwara, Q. Liu, T. Van Duzer, "Access time measurements of Josephson-CMOS hybrid memory using single-flux-quantum circuits," Supercond. Sci. Technol., vol.19, pp.S350-S353, 2006.
(26) H. Akaike, T. Yamada, A. Fujimaki, S. Nagasawa, K. Hinode, T. Satoh, Y. Kitagawa, "Demonstration of a 120 GHz Single-Flux- Quantum Shift Register Circuit Based on a 10 kA/cm2 Nb Process," Supercond. Sci. & Technol., vol.19, pp.S320-S324, 2006.
(27) A. Fujimaki, Y. Nishido, A.Sekiya, "High-Resolution Analog-to-Digital Converters toward Software Defined-Radio Receivers," IEICE Trans. Electronics E89C, pp. 113-118, 2006
(28) T. Yamada, A. Fujimaki, "A Novel Splitter with Four Fan-Outs for Ballistic Signal Distribution in Single-Flux-Quantum Circuits up to 50Gb/s," Jpn. J. Appl. Phys. Pt.2, vol.45, pp.L262-L264, 2006.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A08

採択回数	1　2　3

次世代通信・計測システムのデバイス開発と応用技術に関する研究

[1]組織

代表者：二川佳央
（国士舘大学工学部）
対応者：高木 直
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
石川容平（村田製作所）
伊山義忠（熊本電波工業高等専門学校）
伊東健治（三菱電機）
大平　孝（国際電気通信基礎技術研究所）
末松憲治（三菱電機）
徳満恒雄（ユーディナデバイス）
橋本　修（青山学院大理工学部理工学部）
松永　誠（三菱電機）
水野皓司（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 34 万 6 千円，旅費 32 万 5 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、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から系統的にこれらを検討し、総合的に評価してゆくと共に、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め、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 18 年度は、本プロジェクト研究の第 1 年度で、デバイス、無線システム、計測、応用の分野における検討と内容の紹介・討議を行い、今後のさらなるテーマとしてミリ波からテラヘルツ波への高周波化、高速化、広帯域化の技術開発とそのアプリケーションへの適用法について検討が必要なことを抽出した。

研究会の開催日程および概要は以下の通りである。

＜第1回研究会＞
平成18年6月2日（金）
東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン棟A506室
（発表内容）
(1) 石川容平　ベクトルポテンシャルと静電磁場モーメントが示す未来技術
(2) 伊東健治　携帯端末におけるマイクロ波デバイスの現状と将来展望
(3) 末松憲治　マイクロ波SiGe/CMOS デバイスの開発技術
(4) 徳満恒雄　ミリ波センサーと高集積MMICおよび開発技術者の育成
(5) 高木　直　IT21センタにおける研究の紹介　ブロードバンド・モバイル・ワイヤレス技術
(6) 大平　孝　マイクロ波アクティブ通信アンテナ技術
(7) 伊山義忠　高等教育におけるマイクロ波回路技術
(8) 二川佳央　マイクロ波を利用した生体計測
(9) 水野皓司　ミリ波生体センサーシステム

＜第2回研究会＞
平成18年10月20日（金）
東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン棟A401会議室
（発表内容）
(1) 大平　孝　発振回路の電力均衡とエネルギ均衡：NINOモデルの提案
(2) 香木　直　ミリ波ブロードバンド無線通信システムの検討
(3) 末松憲治　ソフトウェア無線用マルチバンド・マルチモード・コンバータIC
(4) 徳満恒雄　「センサーと高集積MMIC」および「若手教育」
(5) 伊山義忠　高専教育への適用を目指しての紙ねんどのマイクロ波特性評価
(6) 二川佳央　マイクロ波領域における生体材料の温度特性と温度効果
(7) 水野皓司　ミリ波イメージング技術に関するいくつかの話題

[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) マイクロ波・ミリ波デバイス

環境に対して軽負荷である SiGe および CMOS デバイスの超高速処理性能について検討を行い、高集積 MMIC の開発動向について調査検討を行った。UWB 等の次世代通信システムにおいては、SiGe あるいは CMOS デバイス等のシリコンベース技術で超高速性能が得られることのメリットは極めて大きく、高性能な大容量・低消費電力チップの提供と、より高機能 MMIC の開発が技術基盤確立に必要であることを確認した。

(2) 伝送路等を含む受動素子技術

超広帯域・超高速伝送が可能な伝送線路技術開発と次世代通信・計測デバイスの開発を担う技術者のために必要な伝送線路モデルの構築とその実現を図った。また、マイクロ波・ミリ波の伝送特性評価による計測技術に関して、次世代の高速・大容量・低消費電力のデバイスにより、格段にその精度が向上し、ユビキタスな環境への計測応用が実現されることを確認した。特にミリ波やテラヘルツに至る周波数のセンシングにより、生体計測、診断に対する新分野開拓の方向性を示した。

(3) アンテナ技術

次世代無線通信システムにおいて、マイクロ波アクティブ通信アンテナ技術の開発が必要とされている。本プロジェクトでは、マイクロ波回路とデジタル信号処理を融合したアダプティブアレーの提案が行われ、アダプティブアレーの設計と試作について検討がなされた。各アレー素子における重み付け制御とアレー合成をマイクロ波帯で処理し、判定と重み演算をデジタルで処理した。従来のデジタルビーム形成では、RF 受信器と ND 変換器がアレー素子と同数必要であったのに対して、これにより 1 系統だけで実現でき、ハードウエアが格段に簡易化できるとともにダイナミックレンジも向上できることを示した。

(4) 将来の通信・計測システム

これまで広く通信・計測を含めた分野で基本的に用いられているマクスウェルの方程式を基本として得られる波動方程式を基に、電磁波ベクトルポテンシャルと静電磁場モーメントに関する検討を行い、結果から得られた未来技術についての検討を行った。

（3-2）波及効果と発展性など

UWBを含めた次世代通信・計測システムについて各種技術分野について検討･評価を行い更なる大容量で高速かつ利便性の高い通信システムの実現に向けた指針を得た。また、現在開発されつつある通信システムの特性評価と新しい機能を追加した応用システムの実現に向けた基礎データが得られ、将来的に、人と環境を調和させた情報システムに関してその中核技術の先進的な成果が得られると考えられる。更に本プロジェクトでは、関連分野の次世代を担う技術者育成まで含め、通信・計測システム技術の確立を目的としており技術者育成の観点からの波及効果も期待できる。

今後はデバイス、無線システム、計測、応用分野を統合したさらなる高周波化、高速化、広帯域化に向けての技術開発の紹介と討議を深め、将来の情報システムの姿、それに必要な中核技術に関する検討を進めてゆく。

[4] 成果資料

(1) Yoshio Nikawa, “Non-Invasive Measurement of Blood Sugar Level in Millimeter Wave Using Resonant Applicator”, CD-ROM in PIERS 2006, August, 2006.
(2) Yoshio Nikawa and Yu Kanai, “Measurement of Complex Permittivity and Temperature Dependence for Thin Material within Cavity Resonator”, International Microwave Power Institute's 40th Annual Symposium Proceedings, pp. 82-84, August, 2006.
(3) Yoshio Nikawa, “Non-Invasive Measurement of Blood Glucose Level by Millimeter-Waves”, 2006 China-Japan Joint Microwave Conference Proceedings, Vol. 2, pp. 653-656, August, 2006.
(4) Yoshio Nikawa, “Recent Progress and Perspective on Microwave Application Technologies in Japan”, Book of Abstract, 3rd International Conference on Microwave Chemistry, 2006.
(5) T. Ohira, "Technical Essence of Stable and Low Phase Noise Microwave Oscillator Design (Tutorial)", European Microwave Conference, EuMC2006, SC2-1, Manchester, UK, Sept. 2006.
(6) 伊山義忠, "可塑性素材(紙ねんど)のマイクロ波帯特性評価", 2006信学ソ大, No.C-2-33, Sept. 2006.
(7) 関　勇、二川佳央, “マイクロ波領域における有機材料の複素誘電率温度依存性の評価”, 第6回マイクロ波効果・応用シンポジウム講演要旨集, pp. 123-124, 2006.
(8) Yoshio Nikawa and Tetsuyuki Michiyama, “マイクロ波による血糖値の計測”, 第 6 回マイクロ波効果・応用シンポジウム講演要旨集, pp. 83-86, 2006.

(9) 二川佳央, “直交 3 軸成分を考慮した電磁界可視化に関する検討”, 第 6 回マイクロ波効果・応用シンポジウム講演要旨集, pp. 139-140, 2006.
(10) T. Ohira, "A Simple but Persuasive Approach to Oscillator Characterization (Invited)", Asia-Pacific Microwave Conference, APMC2006, WS9-4, Yokohama, Dec. 2006.
(11) T. Michiyama, E. Tanabe, and Y. Nikawa, “Obliquely Cut Open Ended Coaxial Probe for Obtaining Complex Permittivity of Lossy Materials”, 2006 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, Vol. 1, pp. 587-590, Dec. 2006.
(12) Yoshio Nikawa and Yong Guan, “Patch Array to Heat Thin Material Using Microwave”, 2006 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, Vol. 1, pp. 1618-1621 , Dec. 2006.
(13) Yong Guan, Takamichi Nakayama and Yoshio Nikawa, “Study on Complex Permittivity of Materials With Temperature Change by Microwave Heating”, 2006 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, Vol. 1, pp. 1449-1452, Dec. 2006.
(14) Jun Hayashi and Yoshio Nikawa, “Equalizing of Group Delay for Feed Forward Amplifier Using Dielectric Filters”, 2006 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, Vol. 1, pp. pp. 1208-1211, Dec. 2006.
(15) 関勇、二川佳央, “円筒空洞共振器を用いた材料の複素誘電率のマイクロ波照射による温度依存特性測定”, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J89-C, No. 12, pp. 1032-1038, 平成 18 年 12 月.
(16) 大平 孝, 荒木 純道, "発振回路のNINO/ NISO モデル", 電子情報通信学会誌, 掲載予定, April 2007.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A09

採択回数　(1)　2　3

高次スピン機能ホイスラー合金の電子状態

［1］組織

代表者：白井　正文
（東北大学 電気通信研究所）
対応者：　同上
分担者：
鹿又　　武（東北学院大学 工学部）
山本　眞史（北海道大学情報科学研究科）
高橋有紀子（物質・材料研究機構）
小田　竜樹（金沢大学 自然科学研究科）
木村　昭夫（広島大学 理学研究科）
宮本　幸治（広島大学 理学研究科）

研究費：物件費２７万８千円，旅費３７万７千円

［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。また，形状記憶効果を示す合金はアクチュエータなどに広く利用されている。本プロジェクトでは，こうした有用な機能を発現するホイスラー合金を対象として，その電子状態と機能の相関を理論と実験の共同研究により解明することを目的として研究を行った。さらに，研究の過程で得られた知見を蓄積することにより，新規な高次スピン機能を発現するホイスラー合金の創製を目指した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

平成１８年８月１５日～１８日に仙台国際センターで開催された通研国際シンポジウム「第４回半導体におけるスピン関連現象の物理と応用」ならびに同時開催の「第１９回磁性薄膜と表面に関する国際会議」に参加するために仙台を訪れた木村昭夫・宮本幸治（広島大）両氏と，スピン分解光電子分光やＸ線吸収磁気円二色性測定によるホイスラー合金の電子状態および磁気特性の実験結果について打合せを行った。

平成１８年８月２９日に東北大学青葉山キャンパスにおいて開催されたワークショップ「磁性形状記憶とメタ磁性相転移」において，木村昭夫氏は強磁性ホイスラー合金の電子状態のＸ線光電子分光について，長尾和多加氏（東北大）はホイスラー合金と半導体のヘテロ接合界面の電子状態について講演を行った。その後，ホイスラー合金研究の第一人者である英国ラフバラ大学のジーベック教授を交えて種々議論を行った。

平成１８年９月２８日～２９日に東北大学電気通信研究所において開催された共同プロジェクト研究会「スピンエレクトロニクスの新展開」において，山本眞史氏（北大）はホイスラー合金電極を用いたトンネル磁気抵抗素子について，高橋有紀子氏（物材機構）はホイスラー合金のスピン分極率の測定結果について講演を行った。その後，スピン分極した電流源としてのホイスラー合金の有用性について，理論・実験の両面からの検討を行い，理論計算によって予測されたホイスラー合金の高スピン分極率が必ずしも実験的に確認されていない現状を確認した。また，今後の共同研究の推進方法に関して打合せを行った。

平成１８年１２月７日に東北大学電気通信研究所において「高次スピン機能材料の設計と創製」に関する研究会を開催した。木村昭夫氏はスピントロニクス材料の光電子分光について，小田竜樹氏（金沢大）は磁性ナノクラスタの理論設計について，三浦良雄氏（東北大）はホイスラー合金の電子状態とスピン依存電気伝導の理論計算について講演を行った。この機会に東北大学ならびに東北学院大学の若手研究者にも講演していただき，ホイスラー合金だけでなく形状記憶効果や熱電効果など幅広いスピン機能を発現する材料の実験研究の現状に関する意見交換を行った。

平成１９年２月１５日～１６日に東北大学電気通信研究所で開催された「第２回スピントロニクスに関する通研国際ワークショップ」において，山本眞史・高橋有紀子両氏とホイスラー合金のスピン分極率とトンネル磁気抵抗素子への応用について討論を行った。トンネル磁気抵抗素子の性能は着実に向上しているが，その起源が電極材料のホイスラー合金の特性によるものか，障壁材料の酸化マグネシウムによるものかについて議論を行った。

以上の研究会等での議論を踏まえて，平成１９年２月より，高スピン分極率と形状記憶効果を兼備えた高次スピン機能を発現する新たなホイスラー合金の開発に向けて，理論計算ならびに試料作製の準備を開始した。

［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。

ホイスラー合金電極と酸化マグネシウム MgO 障壁層からなるトンネル接合におけるスピン依存電気伝導を理論計算した。その結果，Co_2MnSi, Co_2FeSi などの価電子数の比較的多いホイスラー合金を電極としたトンネル接合の場合，平行磁化配置において Δ_1 対称性をもつバンド電子が MgO 障壁層を優先的に透過する機構によって大きなトンネル透過率が期待できることを見出した。一方，Co_2CrAl などの価電子数の少ないホイスラー合金を電極とした場合，Δ_1 バンドがフェルミ準位付近に存在しないために，低バイアス電圧下では Δ_1 バンド電子がトンネル伝導に寄与できず，桁違いに小さなトンネル透過率しか得られないことを明らかにした。（白井正文）

ホイスラー合金薄膜を電極とし，MgO をトンネル障壁に用いたエピタキシャル磁気トンネル接合を製作して，それらが比較的高いトンネル磁気抵抗を示すことを実証した。得られたトンネル磁気抵抗比は，Co_2MnSi を下部電極とした場合（上部電極は $Co_{50}Fe_{50}$）において室温で 90%（低温で 192%），$Co_2Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al$ を下部電極とした場合には室温で 109%（低温で 317%）に達する。さらに，これらホイスラー合金を上部・下部両電極に用いた磁気トンネル接合の製作にも成功している。また，半導体 GaAs 基板上に MgO 層を介してホイスラー合金薄膜を成長し，その結晶構造（特にエピタキシャル方位関係）と磁気特性を明らかにした。（山本眞史）

ホイスラー合金のスピン分極率と合金組成や規則度との関連を明らかにするために，点接触アンドレーフ反射測定を用いたスピン分極率測定を行った。その結果，Co_2FeSi のスピン分極率として約 50%という値が得られた。この値は理論計算値（100%）に比べて著しく低いが，同じホイスラー合金を電極とする磁気トンネル接合が示すトンネル磁気抵抗比の測定値からジュリエールの式を用いて導き出されたスピン分極率とよく対応している。スピン分極率の実験値と理論値が違っている理由として，ホイスラー合金の原子配列が完全には規則化していないことが考えられる。また，ホイスラー合金の表面・界面でのスピン分極率の低下が原因であることも考えられる。今後，ホイスラー合金のスピン分極率と合金組成・規則度・微細構造との関連を明らかにするために，ホイスラー合金／絶縁体／超伝導体接合を用いたアンドレーフ反射測定と微細構造観察を同時に行うことを計画している。（高橋有紀子）

強磁性転移温度以下でマルテンサイト変態を示すホイスラー合金 $Ni_2Mn_{1-x}Sn_x$ の強磁場下における磁性と電気伝導を調べた。スズ組成 16%のホイスラー合金において磁気相転移に伴う電気抵抗の不連続変化（約 46%）を観測した。さらに，強磁場により誘起された磁気相転移に伴う巨大な磁気抵抗効果（50%）を見出した。この実験結果は，磁気相転移に伴ってホイスラー合金の磁気構造や電子状態が著しく変化していることを示唆している。今後，理論・実験両面から研究を継続してミクロな機構を明らかにする必要である。（鹿又　武）

ホイスラー合金 $Fe_{3-x}V_xSi$ の電子状態の合金組成に対する依存性を光電子分光により明らかにした。バナジウム組成の増加に伴い，化学ポテンシャルがシフトすることを反映して，Si 2p 軌道準位が高束縛エネルギー側にシフトしていることを見出した。フェルミ準位の低エネルギー側 1 eV および 1.5～1.8 eV 付近に見られる光電子スペクトルの構造は Fe 3d 軌道成分によることを，スペクトルの入射光エネルギー依存性より明らかにした。フェルミ準位付近の電子状態は V 3d 軌道および Fe 3d 軌道からなり，高バナジウム組成の試料ではフェルミ準位におけるスペクトル強度が低下しており，擬ギャップが形成されている。（木村昭夫・宮本幸治・鹿又　武）

スピン軌道相互作用を考慮した相対論的擬ポテンシャルを開発し，Pt (111)表面上に吸着した Fe 原子が形成するナノ構造における磁気構造と磁気異方性を理論的に明らかにした。Pt (111)表面を Fe 原子が完全に覆った Fe 単原子層の場合，磁気容易軸は面内の最近接 Fe 原子方向である。一方，Pt (111)表面上の Fe 原子鎖構造では，磁気容易軸は原子鎖方向となる。磁性を担っている Fe 原子の局所電子状態は，近接する Fe および Pt 原子との軌道混成効果により敏感に変化するので，Fe 原子周りの局所構造を正確に考慮した計算が必要である。（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，研究分担者を中心とした学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「スピン流の創出と制御」の発足に結びついた。また，本プロジェクトで明らかになった強磁性ホイスラー合金電極を用いた磁気トンネル接合におけるスピン依存電気伝導に関する研究成果は，次世代トンネル磁気抵抗素子の開発や「スピン流」という新しい概念に基づく研究領域の進展に結びつき，今後の発展が期待されている。

［4］成果資料

(1) Y. Miura, H. Uchida, Y. Oba, K. Nagao, and M. Shirai, "Coherent tunneling conductance in magnetic tunnel junctions of half-metallic full Heusler alloys with MgO barriers," J. Phys.: Condens. Matter **19**, 365228 (2007).

(2) T. Marukame, T. Ishikawa, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "High tunnel magnetoresistance in fully epitaxial magnetic tunnel junctions with a full-Heusler alloy $Co_2Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al$ thin film," Appl. Phys. Lett. **88**, 262503 (2006).

(3) T. Ishikawa, T. Marukame, H. Kijima, K.-i. Matsuda, T. Uemura, M. Arita, and M. Yamamoto, "Spin-dependent tunneling characteristics of fully epitaxial magnetic tunneling junctions with a full-Heusler alloy Co_2MnSi thin film and a MgO tunnel barrier," Appl. Phys. Lett. **89**, 192505 (2006).

(4) T. Marukame, T. Ishikawa, S. Hakamata, K.-i. Matsuda, T. Uemura, and M. Yamamoto, "Highly spin-polarized tunneling in fully epitaxial $Co_2Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al$ / MgO / $Co_{50}Fe_{50}$ magnetic tunnel junctions with exchange biasing," Appl. Phys. Lett. **90**, 012508 (2007).

(5) T. Yano, T. Uemura, K.-i. Matsuda, and M. Yamamoto, "Effect of a MgO interlayer on the structural and magnetic properties of $Co_2Cr_{0.6}Fe_{0.4}Al$ tihn films epitaially grown on GaAs substrates," J. Appl. Phys. **101**, 063804 (2007).

(6) S. V. Karthik, A. Rajanikanth, Y. K. Takahashi, T. Okhubo, and K. Hono, "Spin polarization of quaternary $Co_2Cr_{1-x}Fe_xAl$ Heusler alloys," Appl. Phys. Lett. **89**, 052505 (2006).

(7) Z. Gercsi, A. Rajanikanth, Y. K. Takahashi, K. Hono, M. Kikuchi, N. Tezuka, and K. Inomata, "Spin polarization of Co_2FeSi full-Heusler alloy and tunneling magnetoresistance of its magnetic tunneling junctions," Appl. Phys. Lett. **89**, 082512 (2006).

(8) A. Rajanikanth, Y. K. Takahashi, and K. Hono, "Spin polarization of Co_2MnGe and Co_2MnSi thin films with A2 and $L2_1$ structures," J. Appl. Phys. **101**, 023901 (2007).

(9) K. Koyama, H. Okada, K. Watanabe, T. Kanomata, R. Kainuma, W. Ito, K. Oikawa, and K. Ishida, "Observation of large magnetoresistance of magnetic Heusler alloy $Ni_{50}Mn_{36}Sn_{14}$ in high magnetic fields," Appl. Phys. Lett. **89**, 182510 (2006).

(10) D. Kikuchi, T. Kanomata, Y. Yamaguchi, and H. Nishihara, "Magnetic properties of ferromagnetic shape memory alloys $Ni_{50+x}Mn_{12.5}Fe_{12.5}Ga_{25-x}$," J. Alloys Compd. **426**, 223 (2006).

(11) P. J. Brown, A. P. Gandy, K. Ishida, R. Kainuma, T. Kanomata, H. Morito, K. U. Neumann, K. Oikawa, and K. R. A. Ziebeck, "Crystal structures and magnetization distributions in the field dependent ferromagnetic shape memory alloy $Ni_{54}Fe_{19}Ga_{27}$," J. Phys.: Condens. Matter **19**, 016201 (2007).

(12) Y. T. Cui, A. Kimura, K. Miyamoto, K. Sakamoto, T. Xie, S. Qiao, M. Nakatake, K. Shimada, M. Taniguchi, S.-i. Fujimori, Y. Saitoh, K. Kobayashi, T. Kanomata, and O. Nashima, "Electronic structures of $Fe_{3-x}V_xSi$ probed by photoemission spectroscopy," Phys. Stat. Sol. (a) **203**, 2765 (2006).

(13) A. Hosokawa, M. Tsujikawa, H. Shiroishi, and T. Oda, "Development of fully relativistic pseudopotentials and application to a thin magnetic film on the metal," J. Magn. Magn. Mater. **310**, 1637 (2007).

(14) M. Tsujikawa, A. Hosokawa, and T. Oda, "Magnetic anisotropies of iron on the Pt (111) surface," J. Phys.: Condens. Matter **19**, 365208 (2007).

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A10

採択回数	①	2	3

聴覚を利用した拡張現実感システムの構築に向けた基礎的研究

［1］組織

代表者：小澤　賢司
（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
高根　昭一（秋田県立大学システム科学技術学部）
安倍　幸治（秋田県立大学システム科学技術学部）
竹島　久志（仙台電波工業高等専門学校）
岩谷　幸雄（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 32 万 5 千円，旅費 27 万 0 千円

［2］研究経過

人間と環境の調和を高めるために，例えば視覚で得た実環境の情報に，聴覚を通じて与えた人工環境の情報を重ねることで「情報に満ちた環境」を創成することが有益である．例えば，博物館で展示物に目を向けたとき，その展示物に関する情報が自分にだけ聞こえるようなシステムが考えられる．本プロジェクトは，このような聴覚を通じた拡張現実感システムの構築を念頭に置いて，その要素技術である音情報伝達技術の高精度化を目的とした．具体的には，所望の方向から音が聞こえるような技術を個人差までを考慮して実現することを目指している．また，あわせて視覚と聴覚との相互作用についても検討を行うこととした．

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，全メンバーが平成 18 年 8 月 9 日～10 日に東北大学電気通信研究所（以下，通研と略称）を訪れ，打ち合わせを行うとともに音響無響室において頭部伝達関数の測定をはじめとする音響実験を実施した．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す４テーマについて研究を行った．

(A) 頭部伝達関数の個人性の制御に関する研究
(B) 頭部伝達関数の個人性の克服に関する研究
(C) 頭部伝達関数の推定・測定に関する研究
(D) 視覚と聴覚の相互作用に関する研究

これらのテーマのうち，以下では特に(A)について詳述し，(B)～(D)については概要を述べる．

(A) 頭部伝達関数の個人性の制御に関する研究

聴覚高臨場感システムの構築にあたっては，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である頭部伝達関数を精密に再現することが重要である．頭部伝達関数には両耳間の音圧レベル差や時間差といった音源位置知覚の手がかりが含まれており，これを用いることで任意の位置の仮想音源（音像）を制御できる．しかしながら，頭部伝達関数は聴取者の身体形状に影響を受けるため，個人性が極めて大きい．そのため，他人の頭部伝達関数をそのまま用いて再現された音像は，方向や前後を誤って知覚されることが一般に知られている．そこで，頭部伝達関数に含まれる音空間情報の手がかりを，聴取者個人に合わせて推定する方法に関して検討を行った．

(1) 両耳間レベル差の推定

このテーマでは，頭部伝達関数に含まれる音源方向の手がかりとして，両耳間レベル差を聴取者ごとに推定することを提案した．頭部伝達関数の個人性は身体形状に起因することから，聴取者ごとに頭部の大きさや耳介の位置などの身体特徴量を抽出し，それらを基に両耳間レベル差を推定した．図 1 に，ある聴取者のある周波数帯域における両耳間レベル差について，実測値および提案法による推定値を示す．図から，音源方向に依存して変化する両耳間レベル差の特徴が，良好に推定できていることがわかる．［成果資料(1)］

(2) 両耳間レベル差の個人化による効果

次に，推定した両耳間レベル差を聴取実験によって主観的に評価した．実験では，他人の頭部伝達関数に対して提案法によって推定した両耳間レベル差を置換した音を合成し，聴取者には知覚した音像の方向を回答させた．ある聴取者について，提示した音像の方向に対する回答方向を図 2 に示す．図 2(a)は他人の頭部伝達関数をそのまま用いた場合，図

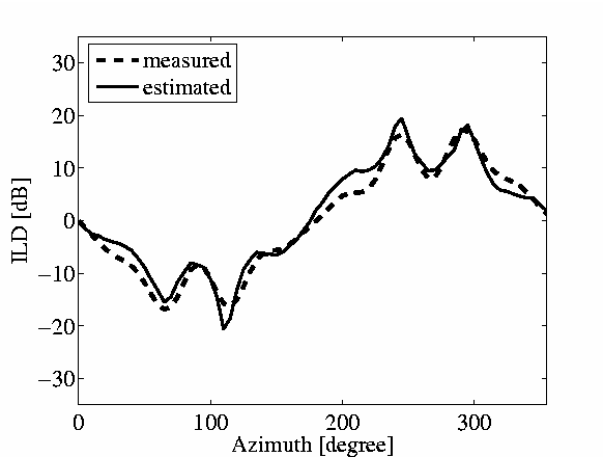


図 1: 音源方向に対する両耳間レベル差の変化. 実線は実測値, 点線は提案法による推定値.

2(b)はその頭部伝達関数の両耳間レベル差を推定したものに置換した場合の結果である．提案法の方が提示方向と解答方向の一致が多く見られ，良好に知覚されていることから,提案法の有効性が示された.［成果資料(1)，(2)，(3)］

(3) 両耳間レベル差の周波数特性に関する分析

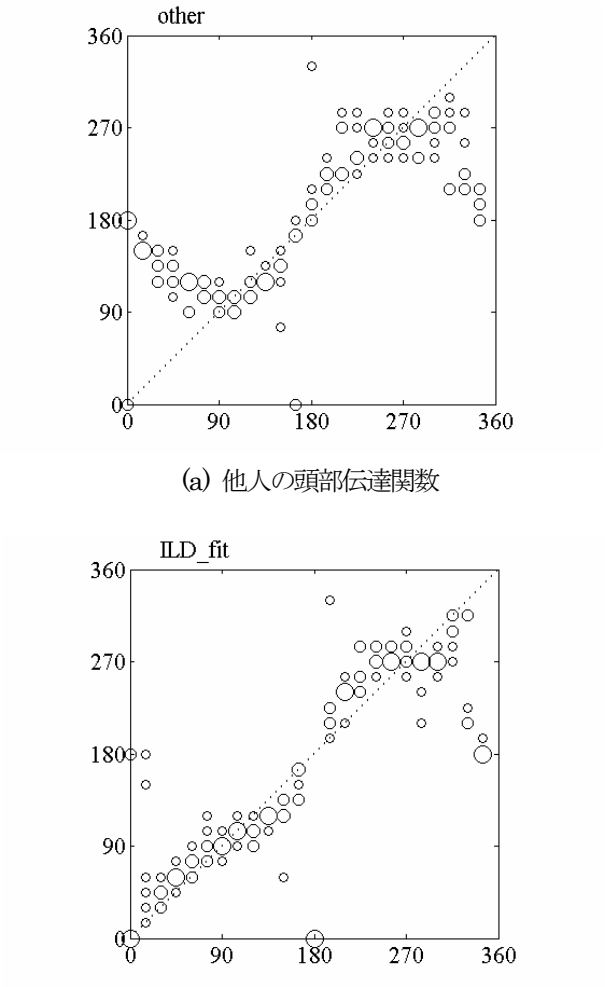
音波の回折による影響が周波数によって異なることから，両耳間レベル差は周波数依存性をもつ．両耳間レベル差の周波数特性を分析した結果，ある周波数帯域において特徴的な方向依存性を示すことがわかった．このことから，本プロジェクトの提案法において，両耳間レベル差を単なる左右耳における音圧レベルの差としてではなく，周波数帯域ごとの両耳間レベル差を推定したことの効果が示唆された.［成果資料(4)］

(4) 音場の音響特性も考慮した個人性の補正

音響伝達関数は，部屋の形状や壁の材質によっても影響を受けるため，聴覚高臨場感システムにおいては，原音場の音響特性を考慮した個人性の補正が重要である．本プロジェクトでは，聴取者ごとの頭部伝達関数に反射音成分を付加することで原音場で測定された伝達関数を模擬し，個人性を補正する方法を提案した．原音場で測定された伝達関数を畳み込んだ音源と提案法によって補正された音源を聴取実験によって比較した結果，聴感上同等であることが示された．［成果資料(5)，(6)］

(B) 頭部伝達関数の個人性の克服に関する研究

上記の研究テーマ(A)では,頭部伝達関数の個人性を信号処理により制御するという観点から行ったものであった．しかし，多くの人が利用する音提示システムを構築するという観点からは，個人ごとに制御を行うのは必ずしも実用的とはいえない.そこで,



(a) 他人の頭部伝達関数

(b) 提案法

図 2: 音像の提示方向に対する聴取者の回答方向

以下では二つの別の観点から研究を行った.

(1) 個人性の学習に関する基礎検討

仮に他人の頭部伝達関数を学習することができるのであれば，複雑な信号処理は不要であり，簡略なシステムを構築することが可能である．その学習の可能性を探るべく基礎実験を行ったところ，１時間程度の訓練を行うことで，他人の伝達関数を用いた場合でも音像定位位置に関して改善が見られることを示した.［成果資料(7)，(8)］

(2) 複数スピーカを用いた音像制御に関する検討

二つのスピーカから同じ音を再生した場合には，聴取者は合成音像と呼ばれる単一の音像を知覚することは古くから知られてきた．この合成音像の定位置は，二つのスピーカから放射する音のレベル差あるいは時間差によって制御可能であり，頭部伝達関数の精密な制御を行うことなく音像定位位置を制御するシステム構築の可能性が示唆される．このテーマでは，先に音が放射された側に偏って音像が定位するという先行音効果に着目しつつ，両耳間レベル差と時間差が音像の定位位置に及ぼす寄与を明らか

にした．［成果資料(9)，(10)］

(C) 頭部伝達関数の推定・測定に関する研究

このテーマでは，頭部の画像データに基づき境界要素法を利用して音源から両耳までの伝達関数を精密推定する可能性について検討した．推定した結果について評価実験を行ったところ，十分な効果の見られる被験者とそうでない被験者に分かれた．これは，精密推定が可能な周波数帯域に限界があることが影響したものと考察した．［成果資料(11)，(12)］

また，頭部伝達関数の測定には自由音場を用いるのが一般的であるが，反射音のある室においてその測定を行うことの可能性を検討した．具体的には，共通極・零モデルを利用することで反射音成分を除去することの可能性を示した．［成果資料(13)］

(D) 視覚と聴覚の相互作用に関する研究

視覚刺激が聴覚刺激のラウドネスに及ぼす寄与を検討し，両モダリティ刺激における変化の一致の程度が大きく影響することを示した．［成果資料(14)］

また，音の印象に関する視覚のクロスモダリティを評価するために必要なデータベース構築を進めている．［成果資料(15)］

（3－2）波及効果と発展性

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．初年度プロジェクトの成果により，頭部伝達関数の個人差までを考慮することで所望の位置から音が聞こえるようにするため基礎検討が終了したので，その発展および残された課題解決を考えることで拡張現実感システム構築の礎を与えることができると考えている．

［4］成果資料

(1) 渡邉貫治, 阿曽健司, 小澤賢司, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, "身体特徴量に基づく両耳間レベル差の予測と定位への効果," 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 サイバースペースと仮想都市研究会 2006年5月，pp. 1-6 (2006).

(2) K. Watanabe, K. Aso, K. Ozawa, Y. Iwaya, and Y. Suzuki, "Prediction of ILD based on listener's anthropometry," Proc. of 9th West Pacific Region. Acoust. Cong., #518 (in CD-ROM) (2006).

(3) 渡邉貫治, 阿曽健司, 小澤賢司, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, "両耳間レベル差の個人化が音像定位に及ぼす効果," 電子情報通信学会技術研究報告 EA2006-39，pp. 29-34 (2006).

(4) 渡邉貫治, 阿曽健司, 小澤賢司, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, "音像定位のスペクトラルキュー - 身体特徴量に基づく両耳間レベル差の予測(第 2 報) - ," 2006 年秋季日本音響学会講演論文集, pp. 471-472 (2006).

(5) 糸数真, 渡邉貫治, 小澤賢司, "バイノーラル個人性補正のための原音場における補正特性の模擬," 2006 年秋季日本音響学会講演論文集, pp. 473-474 (2006).

(6) 糸数真, 渡邉貫治, 小澤賢司, "外耳道伝達関数の導入による補正法の一般化 --バイノーラル個人性補正のための原音場における補正特性の模擬（第 2 報）--," 2007 年春季日本音響学会講演集, pp. 507-508 (2007).

(7) 山岸大輔, 小澤賢司, "DSP Starter Kit を用いたヘッドホン特性補償システム," 2006 年秋季日本音響学会講演集, pp. 551-552 (2006).

(8) 山岸大輔, 小澤賢司, "水平面内における音像定位の学習効果に関する検討," 2007 年春季日本音響学会講演集, pp. 417-418 (2007).

(9) 砂田大輔, 安倍幸治, 高根昭一, 佐藤宗純, "水平面上の2音源による先行音効果における音像方向の変化に関する考察," 信学技報 HIP2006-82 (2006).

(10) 砂田大輔, 安倍幸治, 高根昭一, 佐藤宗純, "水平面上に配置された 2 音源の時間差と定位方向の関係に関する考察," 2007 年春季日本音響学会講演集, pp. 415-416 (2007).

(11) S. Takane, K. Abe, and T. Sone, “Numerical estimation of individual HRTFs and their subjective evaluation,” Proc. of 9th West Pacific Regional Acoust. Cong., #286 (8 pages in CD-ROM) (2006).

(12) 小笠原亮, 岩谷幸雄, 高根昭一, 鈴木陽一, "頭部形状の頭部伝達関数への寄与に関する数値解析検, " 2007 年春季日本音響学会講演集, pp. 415-416 (2007)

(13) 高根昭一, 安倍幸治, "反射のある音場での測定に基づく HRTF の推定手法に関する考察," 2007 年春季日本音響学会講演集, pp. 415-416 (2007).

(14) K. Abe, S. Takane, and T. Sone, “A fundamental study on the effect of visual stimulus on loudness judgment," Proc. of 9th West Pacific Regional Acoust. Cong., #319 (6 pages in CD-ROM) (2006).

(15) 小田嶋英佑, 安倍幸治, 高根昭一, 佐藤宗純, “環境音・映像の定点観測データベースの構築とその時間的な印象変化の評価への応用," 信学技報 HIP2006-72 (2006).

課題番号　H18／A11

採択回数　①　2　3

FSF レーザー距離計測から得られる超高精度 3 次元点群データの幾何学的処理技術の確立

［1］組織
代表者：藤代　一成（東北大学流体科学研究所）
対応者：伊藤　弘昌（東北大学電気通信研究所）
分担者：竹島　由里子（東北大学流体科学研究所）
伊藤克利（宮城県産業技術総合センター）
原　武文（㈱光電製作所）
濱田　憲人（㈱光電製作所）

研究費：物件費 28 万 2 千円，旅費 13 万 6 千円

［2］研究経過

東北大学電気通信研究所伊藤研究室で開発された周波数シフト帰還型レーザー（FSF レーザー）は，超高精度な遠隔 3 次元計測を可能にする装置である．本プロジェクトでは，これにより計測された大規模点群データを幾何学的に処理することにより，将来的に生産現場における検査システムへの適用やリバースエンジニアリング手法等の活用を可能にするような基礎技術を確立することを目的として研究を行った．本年度はその初年度に相当する．

本年度は，下記のように計 4 回の研究打合せを行った．

第 1 回：平成 18 年 3 月 2 日　於：伊藤研究室
プレキックオフ，技術紹介
第 2 回：平成 18 年 4 月 24 日　於：伊藤研究室
キックオフ並びに目標設定
第 3 回：平成 18 年 5 月 18 日　於：流体研
点群処理ソフトの調査
第 4 回：平成 18 年 12 月 20 日　於：伊藤研究室
離散データ処理ソフトに関する討論

［3］成果

（3－1）研究成果

従来，点群によって構成されるサーフェス構造をレンダリングするには，三角化によって隣接点から局所ポリゴンの集合を生成した後，スムーズシェーディングを施すか，パラメタライズされた点群から制御点のネットワークを構成し，NURBS のような自由曲面で近似するかのいずれかが必要であった．これらに共通する問題は，点群の規模が大きいため，その接続関係を記述するデータ構造の容量が大きくなり，レンダリングの処理時間も多くならざるを得ないという点であった．しかし，もし応用が描画に限定されるなら，三角化のような前処理は本来必要としないはずである．実際，Pfister らは 2000 年に，サーフェル（surfels，surface cells）とよばれる，新たな点群近似手法を提案し，当時の典型的な計算環境を用いて，数万点から構成される複雑な剛体を実時間でレンダリングすることに成功している．

藤代らは 2003 年に，このサーフェルの定義を拡張し，剛体だけでなく，散逸データや半透明物体も同一の枠組みでレンダリングできるようにした．これを拡張サーフェル（extended surfels）とよぶ．

図 1 に，拡張サーフェルのプリミティブの定義を示す．各プリミティブは円盤状をなし，中心位置ベクトル（P），法線ベクトル（N），半径（r），円盤色（C），不透明度（α）の 5 つのパラメータを有する．これを標本点上に適切に配置することによって，物体表面を魚の鱗のように覆って近似する．

拡張サーフェルは，特に半径の制御により，散逸物体から剛体までを統一的に表現できるだけでなく，不透明度の選択によって不透明物体から半透明物体までもシームレスに表現することができる点が特徴的である．実際これまでにも，多孔物質内のコロイド粒子の移動シミュレーションや，砕波の表現に効果的に利用されてきた実績がある．

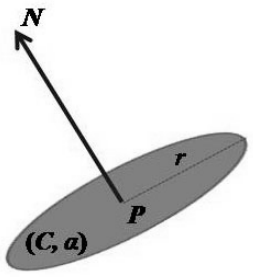
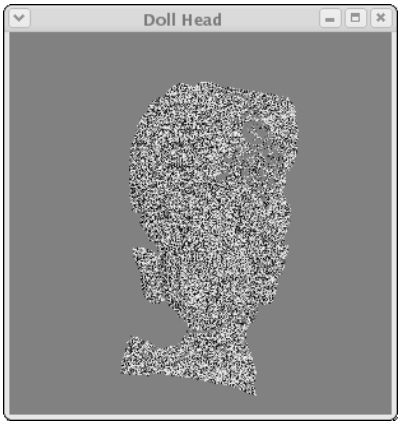


図 1　拡張サーフェルの定義

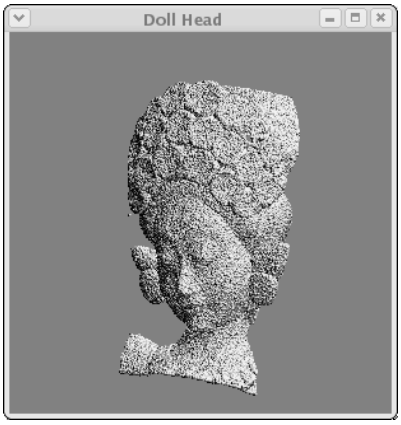
本プロジェクトの第1の成果は，この拡張サーフェルの処理系を用いて，FSF レーザーで計測された数十万点規模の点群データも，効果的にレンダリングできることを検証したことにある．

レーザー計測された点群の間には幾何学的な相関性が一切ない．そこで，この種のデータを処理する際には，拡張サーフェルプリミティブの法線をどのように推定するかがキーポイントとなる．なぜならば，この法線情報を照明モデルに適用して，各円盤の輝度を決定しない限り，計測物体の奥行き感が完全に消失してしまうからである．そこで我々は，与えられたプリミティブ中心に対して，隣接点候補から無限小の接平面の法線を効果的に推定する多重解像度解析機構を開発した．なお，プリミティブの半径に関しては，計測条件から穴の発生しない限界値が求められるので，それを利用して決定することにした．

我々は，Red Hat Linux が搭載された標準的PC上にプロトタイプシステムを実装した．実装に用いたプログラミング言語はC++，グラフィックライブラリはOpenGL である．



(a) 反射信号強度を利用しない場合



(b) 推定輝度を用いた場合

図2 FSF レーザー計測された人形頭部の拡張サーフェルレンダリング

図2 はFSF レーザー計測された 360,965 点から構成される人形頭部のレンダリング結果である．反射信号強度を利用しない場合，3 次元的手がかりが一切失われていることがわかる（**図 2(a)**）．一方，推定法線を Phong の照明モデルに入力して得られた輝度を利用して各プリミティブを描いた場合には，人形頭部の3次元的特徴がきちんと復元されていることがわかる（**図2(b)**）．これと同一の結果は，FSF レーザーで計測される反射信号強度を利用しても求められるが，固定された照明環境のなかで，異なる任意の方向から対象を再描画する場合には，その輝度をそのまま利用することができないことに注意されたい．これが，拡張サーフェルに対して開発された法線推定機構を利用する最大のメリットである．

なお，円盤表面に不透明度のガウス分布を適用して，アンチエイリアシングを実現することが，レンダリング結果の品質をさらに改善する課題として残されている．

（3－2）波及効果と発展性など

拡張サーフェルの利用には，多くの潜在的な応用がある．もし，拡張サーフェルによってソリッドテクスチャリングが可能になれば，従来の幾何学的モデルと同様に，ディジタルマテリアルの各種シミュレーションに役立てることができる．特に大事な点は，拡張サーフェルを利用することによって，入力から出力まで，一切ポリゴンのような仲介データ構造を導入する必要がなく，点群のような離散的データ構造だけを利用した効率的な処理系が構築できていることである．この考え方は，光造形技術を活用したリバースモデリングにまで拡張でき，3 次元CAD と連動させることにより，開発期間を短縮し，新製品の開発コストを低減化することもできる．さらに，精細な文化財保存を目指したディジタルアーカイビングへの応用も期待できる．

［4］成果資料

(1) I. Fujishiro, Y. Takeshima, T. Hara, and Hiromasa Ito: “Extended Surfels Approach to Efficient Rendering of FSF Laser-Measured Point Clouds,” *Annual Report 2006, Laboratory of Applied Quantum Optics*, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, March 2007, Section 4.2.

課題番号　H18／A12

採択回数　①　2　3

新規非鉛系環境調和型圧電・光学単結晶の育成と超音波マイクロスペクトロスコピー

［1］組織

代表者：櫛引　淳一
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：安達　正利（富山県立大学工学部）
研究費：物件費 27 万円，旅費 37 万 3 千円

［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電･光学単結晶材料の探索と新規$(K,Na,Li)(Nb,Ta)O_3$系圧電単結晶の創製・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、本年度が初年度であった．以下、研究活動状況を記す.

本年度は以下の日程で、研究打合せ、実験及び討論を行い、研究会に発表した.

打合せ、実験及び討論：

（1）平成 19 年 1 月 28 日ー31 日：安達正利教授，唐木智明助教授（富山県立大学）
（2）平成 19 年 2 月 21 日ー2 月 23 日：安達正利教授（富山県立大学）
（3）平成 19 年 3 月 1 日ー7 日：安達正利教授　（富山県立大学）

研究発表：

（1）平成 18 年 5 月 24-27 日：安達正利教授，唐木智明助教授（富山県大），「共沈殿法によるナノ $Bi_4Ti_3O_{12}$ 粉末の作製」，第 23 回強誘電体応用会議講演予稿集 pp. 1-2, 5. 24-27, 2006, 京都
（2）2006 年 7 月 31 日-8 月 2 日：安達正利教授、“Preparation of $Bi_4Ti_3O_{12}$ Thick Films by Screen Printing”, Proceedings of International Symposium on the Applications of Ferroelectrics 2006, pp. , July 31-August 02, 2006, The Sea Trail Conference Center and Golf Resort, Sunset Beach, North Carolina, USA.
（3）2006 年 8 月 6-10 日：安達正利教授、唐木智明助教授（富山県大）“Preparation of Ferroelectrics/Polyethylene Nanocomposites by In-situ Polymerization”
Proceedings of The China-Japan Joint Conference on Composite Materials (CJJCM-7), August 6-10, 2006, pp. , Dunhuang China.
（4）2006 年 9 月 3-7 日：安達正利教授、藤井正助手（富山県大）、“Fabrication of Ferroelectric Microstructures by Electron-beam-induced Patterning Process”, The 5th Asian Meeting on Ferroelectrics, September 3-7, 2006 Noda, Japan.
（5）平成 18 年 11 月 24 日：安達正利教授、唐木智明助教授（富山県大），「ＴＳＳＧ法による非鉛系圧電単結晶の育成と評価」平成 18 年度応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会、A-06　平成 18 年 11 月 24 日、新潟大学
（6）平成 18 年 11 月 25 日：安達正利教授、唐木智明助教授、藤井正助手 、「非鉛系圧電薄膜$(K,Na,Li)NbO_3$の作製」、平成 18 年度 応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会、G-08 平成 18 年 11 月 25 日、新潟大学
（7）平成 19 年 1 月 29-30 日：安達正利教授（富山

県大)、「スクリーン印刷法による $Bi_4Ti_3O_{12}$ 系厚膜の作製」　圧電材料・デバイスシンポジウム 2007、A-2, pp.7-8、2007、1.29-30.

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，$(K,Na,Li)NbO_3$ 単結晶を Top-Seeded Solution Growth (TSSG) 法を用い，良質な単結晶の育成を行い，育成した単結晶の評価を行った.

これまでに、結晶の大きさが約 27 mm × 27 mm，厚さは約 10 mm である $KNbO_3$ 結晶で、クラックがほとんど存在せず，良質の大型結晶が育成できた．また，結晶中にはドメインの筋を確認することができる. 結晶成長をゆっくりとした速度行うこと，冷却においては相転移温度付近でより慎重に徐冷を行うことが，良質な KN 単結晶の育成において重要な要素であることが分かった.

$KNbO_3$ は，高温では立方晶の常誘電体であるが，435℃で正方晶に，225℃で斜方晶に，さらに-10℃で菱面体晶に逐次相転移する．室温では斜方晶系強誘電体で大きな圧電性を持つ。一方，$NaNbO_3$ も同様な遂次相転移を示すが，室温では斜方晶の反強誘電体であり，圧電性を持たない．両者のほぼ中間，$(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3$ 固溶体セラミクスは大きな径方向結合をもつ．しかし，正方晶及び斜方晶への二つの相転移のため，徐冷時のクラック・双晶の発生や，室温で複雑な 180°,120°,90°,60° 分域が存在し，単分域化処理は非常に困難である。まず、この $KNbO_3$ の K サイトを Li で置換することにより、$KNbO_3$ 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 $20\times20\times10mm^3$ である。全体的にクラックの発生を抑えることができ、大型な結晶を引き上げることに成功した。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少し下げて結晶構造を室温で安定化で

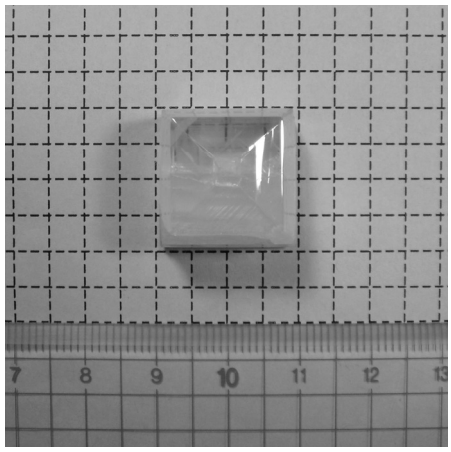


図1　$(K,Li)NbO_3$ 育成単結晶

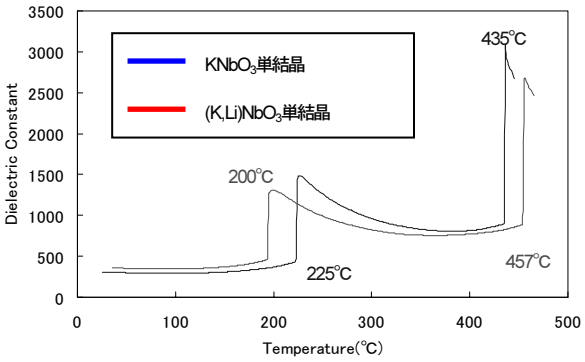


図2　$KNbO_3$ および $(K,Li)NbO_3$ 結晶の誘電率の温度特性

きる．それ故、この $(K,Na,Li)(Nb,Ta)O_3$ 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が創製が実現できる可能性がある.

第2に新しい2段階焼結法による大誘電率・高圧電定数をもつ $BaTiO_3$ セラミクスの作成を行った。最近の非鉛系圧電セラミックスに関する研究には、チタン酸バリウム $BaTiO_3$ (BT)セラミックスはその高い圧電特性が報告されて以来、再び注目を集めている。水熱合成のナノサイズ BT 粉末を用いてマイクロ波焼結で実現した高密度、微粒径のセラミックスに 50 nm のドメインが観察され、そのナノサイズのドメイン構造が高い圧電定数に貢献したと思われる。

我々はその製造コストを下げるため、量産性のある抵抗加熱二段階焼結を用いて高密度、微粒径を有する非常に高性能な BT 圧電セラミックスの特性を確認した。焼結プログラムとして、速度 600℃/h で第1焼結温度（T1）まで昇温して 1 min 保持した後、急速 30℃/min で第2焼結温度（T2）に下げて一定の時間（t2）を保持する。図1(a)と(b)に第1焼

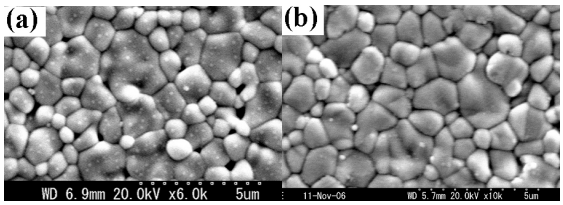


図1　T1=1320℃の試料(a)と引き続き T2=1150℃と t2=15 h で焼結した試料(b)の SEM 写真

結温度1320℃終了後の試料と引き続き第2焼結温度1150℃で 15 h 保持した試料の SEM 写真を示す。そのとき、それぞれの密度は5.67 と 5.91 g/cm^3 である。図1から、第2焼結温度では粒径があまり成長しないまま密度は上昇できることが分かった。試料の平均粒径は 1.6 μm、最大粒径は 3 μm 以下である。その性能は ε_{33}^T=5000、k_p=42%、k_{31}=25%、d_{31}=-185 pC/N、d_{33}=460 pC/N、Q_m=100 である。この焼結法は低コストで、室温での非鉛系圧電セラミックスの実用が可能となる。この $BaTiO_3$ 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・圧電的性質を東北大学の UMS 技術や非線形誘電率顕微鏡にて調べ、この現象を解明したい。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより，学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。また，本プロジェクトで明らかになった各種圧電単結晶材料の弾性･圧電特性の評価法として，直線集束ビーム（Line-Focus-Beam: LFB）超音波材料解析システムを基本とした「超音波マイクロスペクトロスコピー（Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS）技術」と圧電共振・反共振法で得られる材料定数に関する共同研究という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき，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）T. Futakuchi, Y. Sakai, T. Iijima and M. Adachi, “Preparation of Piezoelectric Thick Film Actuator by Screen Printing and Wet Etching”, Key Engineering Materials Vol. 301 (January 2006) pp. 45-48.

（2）Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, Takashi Iijima and Masatoshi Adachi, “Preparation of (Ba,Sr)TiO_3 Thick Film on ZrO_2 Substrates by Inkjet Printing”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 2A, 2006, pp. 846-849.

（3）F. Zhang, T. Karaki, M. Adachi and S. Li, “Preparation of Ferroelectric (Pb,Sr)TiO_3/Polyethylene Nanocomposites and Their Dielectric Properties”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 45, No. 3A, 2006, pp. 1873-1876.

（4）M. Adachi, N. Fujita, Y. Norimatsu and T. Karaki, “Growth of Potassium Niobate ($KNbO_3$) Single Crystals for Piezoelectric Applications”, Ferroelectrics, Vol. 334, 2006, pp. 91-96

（5）T. Fujii, T. Tanaka, M. Ishikawa, M. Adachi, “Fabrication and Characterization of Pb-Rich Lead Strontium Titanate Films by RF Magnetron Sputtering”, Ferroelectics, Vol. 335, 2006, pp. 119-125.

（6）T. Karaki, Y. Sumiyoshi and M. Adachi, “Growth of Pb[(In,Nb)Ti]O_3 Singl Crystals”, Ferroelectrics, Vol. 339, 2006, pp.13-19.

（7）Y. Sakai, T. Futakuchi and M. Adachi, “Preparation of $BaTiO_3$ Thick Films by Inkjet Printing on Oxygen-Plasma-Modified Substrates”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 45, No. 9B, 2006,pp. 7247-7251.

（8）Fan Zhang, Tomoaki Karaki and Masatoshi Adachi, “Coprecipitation Synthesis of Nanosized $Bi_4Ti_3O_{12}$ Particles”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 9B, 2006, pp. 7385-7388.

（9）Tomoaki Karaki, Kang Yan, Toshiyuki Miyamoto and Masatoshi Adachi, “ Lead-Free Piezoelectric Ceramics with Large Dielectric and Piezoelectric Constants Manufactured from $BaTiO_3$ Nano-Powder”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 476, No. 4, 2007, pp. L97-L98.

（10）唐木　智明，安達　正利，「単斜晶系圧電結晶の共振反共振法による材料定数の測定法」，富山県立大学紀要（第16巻，60-65），平成18年3月.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／A13

採択回数	(1)	2	3

視覚情報の脳内表現に関する研究

［1］組織

代表者：塩入　諭

（東北大学電気通信研究所）

分担者：

内川惠二（東京工業大学）

酒井　宏（筑波大学）

大澤五住（大阪大学）

川上　進：

村上郁也（東京大学）

宮内　哲（通信機構研究所）

研究費：物件費 287,000 円，旅費 319,000 円

［2］研究経過

人間生活にとって，感覚，知覚，認識機能は生物学的意味でも，社会学的意味でももっとも重要なもののひとつである。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，本年度が初年度であり、長期的課題としての方向性について議論することを最大の目標とした。以下，研究活動状況の概要を記す。

平成１８年7月２８～8月１日

2006年アジア視覚会議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１８年9月２９日～３０日

研究打ち合わせ

研究分担者内川、酒井、大澤、川上、村上、宮内が来所し，視覚科学の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1月３１日～2月２日

日本視覚学会 2007 年冬季大会にて研究打ち合わせ

塩入と内川が，次年度の活動について議論した

平成１９年3月　日

研究打ち合わせ

川上が来所し、運動視のモデルと運動残効の研究について情報交換、および議論をした。

平成１９年3月１日

研究打ち合わせ

内川が来所し、色覚研究について情報交換、および議論をした。

（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，研究打ち合わせにおいて、各分担者と学内外関連研究者の話題提供、議論を通して問題点の検討を行うことができた。その内容は、運動視を例にした、視覚処理の並列性と階層性について話題、図と地の知覚に対する、生理的モデルについて話題、視覚受容野の特性評価に関する新しい考え方についての話題、神経系の特性に基づく運動視モデルの空間認識への展開についての話題、運動情報の大域的統合メカニズムを調べるための心理物理実験について話題、脳活動計測に基づく睡眠中の脳活動と夢の役割について話題、色覚情報処理過程と心理物理的測定方法についての話題、視野安定に関連する眼球運動と視知覚との相互作用に関する話題、色覚異常者の色名応答から考える色覚研究今後の展開について話題などについて議論した。

議論を通していくつかの問題が明らかになった。それらは、生理学、心理学、計算機モデル、脳計測、障害者の知見を組み合わせた研究で質の高い成果が上げられている。しかし、そのような研究は必ずしも多くなく、積極的な連携が必要であるとの認識も得た。さらに将来的には、遺伝子分析や脳について薬理的研究との対応も視野に入れることの必要性も議論された。つぎに、研究テーマの設定については、流行に捕われないで、実現性の高いテーマに取り組むことと、積極的に重大ではあるが取り組み方の不明なテーマにチャレンジすることのバランスの重要性も認識された。具体的には、視覚処理の階層性を考えると、シンプルな刺激から複雑な刺激の認識へと筋道を考えると、局所的運動処理についてもモデルを構築し、その統合過程を調べるために、より複雑な刺激に対する心理物理実験を計画することが前者である。後者としては、関連する現象や測定結果（心理物理、生理）に基づき視野安定や運動方向の認識など視覚にとって重要な機能の理解を目指すものである。また、両者は必ずしも排他的な研究手法とはいえないことも議論された。例えば、視覚野の細胞の受容野を測定するために、ランダムドットを利用したデータ方法がある。単純な特性から複雑な特性まで、興味のある次元を仮定することで、同一のデータセットから、様々な特性について評価できる。これは、堅実な実験から未知の分野に展開できるという点で魅力的である。その他、刺激を共通化することで、異なる分野で連携が可能になる点も指摘され、その方略について検討した。

研究分野として、現状で感性工学などとの連携がないことも認識され、その点についても内川と塩入が中心に検討することにした。

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより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。その結果は、１９年度のプロジェクトにつながり、さらに広い範囲の研究者との交流を実現できこととなった。また感性工学的発展についての議論から、感性工学会における視覚のセッションの実現するための準備を進めている。これによって、視覚研究の学際性を高めより広い範囲からみた研究の重要性や汎用性などについての検討ができることを期待する。

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考えることから、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考えることができ、今後の方向性のひとつである。

［4］成果資料

本プロジェクトは、短期間でなんらかの研究成果をあげることを目標としていないため、ここにあげる成果はとくになし。

共同プロジェクト研究

課題番号　H16／B02

採択回数	1	2	(3)

ナノ構造形成プロセスと新機能半導体デバイスへの応用に関する研究

［1］組織

代表者　山部 紀久夫
（筑波大学）
対応者　遠藤 哲郎
（東北大学　電気通信研究所）
分担者　蓮沼　隆
（筑波大学）
白石　賢二
（筑波大学）
山田　啓作
（早稲田大学）
知京　豊裕
（(独)物質・材料研究機構）
長田　貴弘
（(独) 物質・材料研究機構）
猪川　洋
（静岡大学）
植松真司
（日本電信電話㈱）
影島　博之
（日本電信電話㈱）
遠藤　哲郎
（東北大学）

研究費：物件費５万円，旅費２６７，０８０円

［2］研究経過

シリコン集積回路に代表される情報デバイスは、次世代情報化社会を実現するために、さらなる高性能化が広く世の中から望まれている。そのため、ナノスケール構造のシリコン半導体デバイスを実現することは急務である。しかし、半導体表面におけるナノ構造形成のためのプロセス技術は未だ確立されていない。さらに、単なる微細化による半導体デバイスの高性能化には限界が見え始めている。以上の知見により、本共同プロジェクト研究会では、半導体におけるナノ構造形成プロセス技術に関する研究を行うと共に、当該ナノ構造によって発現する物理現象を応用した新機能シリコン半導体デバイスに関する研究を行うことを目的とする。

このような状況の下、平成 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。本年は３年目である。そして、今年度は平成１９年３月６日、７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３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：２００７年　３月６日
１４：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館４階小会議室

第４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：２００７年　３月７日
９：００～１６：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館４階小会議室

具体的には、以下の研究活動を行った。

1)　Si(111)表面の原子ステップ位置制御技術

シリコンは最も制御された結晶であるとともに、集積回路基板として永く使用され、高い実績を誇ってきた。ナノ構造形成プロセスの一つとしてシリコン表面の原子ステップの位置制御技術について調査した。

Si(111)面は、購入鏡面といえども、原子的には微細な凹凸を有している。これを1ppb以下の溶存酸素しか含まない純水中に浸漬すると、垂直のSi-H結合に覆われた原子的に平坦なテラス面と、水平なSi-H面をもつ原子ステップで構成された極めて平坦な表面を得ることができる。該超純水中では、OHイオンがシリコン表面をアタックし、もっとも耐性が強い上記結合だけで構成された面を得ることができる。

さらに浸漬を続けると、原子ステップが流れるように、エッチングが進行する。超純水中では、シリコン酸化膜はエッチングされないため、シリコン酸化膜は集積回路の素子分離にも用いられることから、このような超純水への浸漬によるステップフローエッチングを用いて、シリコン表面に原子ステップの位置を制御することができれば、それを利用したさらなるナノ構造形成にも展開できると期待される。

種々のシリコン酸化膜パターンを形成した表面での原子ステップフローから、以下の知見を得た。

① シリコン酸化膜で四方を囲んだパターン内部では、初期のステップがステップフローエッチングによりパターンエッチングに移動すると、エッチングが停止し、パターン内からステップを排除することができる。
これは、囲んだシリコン酸化膜のパターンが、原子ステップフローがパターン内部に侵入するのを妨げ、一方、もともと内部にあった原子ステップは、周辺にはき寄せられたことによると説明することができる。

② 四方のうちステップフローと平行にシリコン酸化膜パターンを形成すると、その間の領域のステップフロー速度は、該シリコン酸化膜パターンの幅(原子ステップの長さ)に依存することがわかった。
これは、水平なSi-Hで安定化した原子ステップが純水中の溶存酸素がラジカル化して、ステップをアタックすると、そこがキンクなり、OHイオンがアタックしやすい箇所となり、ステップに沿って原子が剥ぎ取られていく。つまり、長い原子ステップのどこか一箇所にキンクが形成されると、続く他の原子ステップ原子の剥ぎ取りは早いため、ステップフローエッチング速度は、エッチングのきっかけとなるラジカルによるアタックの頻度によって決まる。ステップ長が長いほど、この頻度は高い。よって、ステップフローエッチング速度は、原子ステップ長の一次関数となる。原理的には、ステップ長がゼロでは、ステップフロー速度はゼロとなる。しかし、実験的には、ゼロとならず有限の値を有する。これは、シリコン酸化膜とシリコンのパターン境界にキンクを発生しやすい状況があると考えられるが、現段階では、明らかとなっていない。

2) Si(111)表面の原子的平坦なテラス表面の自然酸化膜成長

シリコン表面に極微細構造を形成するためには、シリコン表面を空気中に放置したときの自然酸化膜の成長を調査し、制御することが必要となる。

Si(111)表面に形成された原子ステップ/テラス構造を空気中に晒すと、自然酸化膜が成長することが知られている。自然酸化膜の成長には、ランダムにシリコン表面に発生したシリコン酸化膜島が徐々に二次元的に広がっていく、いわゆる二次元島成長機構と、原子ステップから酸化が始まり、一次元的に広がっていく、ステップフロー成長機構があるとされている。今回、低溶存酸素超純水に浸漬して形成した原子ステップ/テラス構造の表面を赤外吸収と原子間力顕微鏡中でのin-situ観察により、自然酸化膜の成長を観察したところ、自然酸化膜の成長には上記2つの機構が混在し、急速なステップフローで始まるものの、上流のステップ端に近づく酸化速度が著しく減速することが明らかとなった。このような対応関係が実験的に明確になったのは初めてである。この原因は、現段階では詳細不明であるが、溶液浸漬によるシリコン表面の何らかの修飾、自然酸化膜中の応力やその記憶効果などが作用している可能性がある。

［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。

第一に、Si(111)表面の原子ステップの、低溶存酸素超純水中でのステップフローエッチングによる原子ステップの位置制御法について検討し、シリコン酸化膜のフェンス(ステップフローを停止する)効果を利用することが有効な手段となりうることを実験的に示した。

第二に、自然酸化膜成長をin-situで観察し、ステップフロー酸化と二次元島成長酸化という2つの機構が混在していることが明らかとなった。

(3-2)波及効果と発展性

本プロジェクトで明らかになった極薄シリコン酸化膜のリーク電流に関する成果は、ナノ構造形成の一環であり、今後の発展が期待されている。表面のラフネス抑制がしきい値変動を抑える要因の一つなることを示しており、微細デバイスにおける特性バラツキ抑制に大きく貢献するものと考えられる。

［4］成果資料

1) Ge Dot formation using Germane on a Monomethylsilane-Adsorbed Si(001)-2x1 Surface, Thin Solid Films, Volume 508, Issues 1-2, pp. 200-202, 5 June, 2006, Yuzuru Narita, Takeshi Murata, Atsushi Kato, Tetsuo Endoh, and Maki Suemitsu

2) Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films IEICE (to be published) Tetsuo Endoh, K.Hirose, and K.Shiroisi, Tetsuo Endoh, Kazuyuki Hirose, and Kenji Shiraishi
3) Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology using a Two-Dimensional Device Simulator IEICE (to be published), Tetsuo Endoh and Yuto Monma
4) Study of Effect of Halo Implantation on Nano-Scale Double Gate MOSFET International Symposium on Bio- and Nano- Electronics, Abstracts P-37, pp119-120, 2006 Yuto Momma and Tetsuo Endoh
5) Study of Stability on MCML (MOS Current Mode Logic) Inverter Circuit to Threshold Voltage Fluctuations Caused in Future Nanoscale Si-MOS Process Generation, International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, Abstracts P-39, pp. 123-124, 2006, H.-j. Na, M. Suemitsu, and T. Endoh
6) A 60nm NOR Flash Memory Cell Technology Utilizing Back Bias Assisted Band-to-Band Tunneling Induced Hot-Electron Injection (B4-Flash), 2006 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, p20-21, May, 2006, S.Shukuri, N.Ajika, M.Mihara, K.Kobayashi, T. Endoh, and M.Nakashima
7) Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology, 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp. 229-232, Sendai, July 3 – 5, 2006, Yuto Monma and Tetsuo Endoh
8) The Guideline of Tolerable Vth Fluctuation for MCML (MOS Current Mode Logic) Inverter Circuit 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp-233-236, Sendai, July 3 – 5, 2006, Hyoung-jun NA, Maki SUEMITSU, and Tetsuo EDNDO
9) Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films, 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp-271-276, Sendai, July 3 – 5, 2006, T.Endoh, K.Hirose, and K.Shiroisi
10) Low-temperature Heteroepitaxial Growth of 3C-SiC(111), ECS Transations - Cancun "Wide Bandgap Semiconductor Materials and Devices 7", October 31, 2006, Atsushi Konno, Yuzuru Narita, Takashi Ito, Kanji Yasui, Hideki Nakazawa, Tetsuo Endoh, and Maki Suemitsu
11) Study of Self-Heating in Si Nano Structure for FB-SGT with High-k Dielectric Films, 2006 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future ULSI Devices (IWDTF) pp. 115 – 116, Nov.8-9, 2006, Tetsuo Endoh and Kousuke Tanaka
12) N.Tokuda, M.Nishizawa, K.Miki, S.Yamasaki, R.Hasunuma and K.Yamabe;,."Formation of Cu Nanowires on Atomically Flattened Si(111) Surface Studied by Atomic Force Microscopy and Fourier Transform Infrared Spectroscopy", J.Jpn.Soc.Infrared Sci.Tec., Vol.15, 78-83 (2006).
13) Ryota Ozaki, Ryu Hasunuma and Kikuo Yamabe; "Atomic step-SiO2 hybrid nano structure on Si(111)", 1st International Symposiumu on Atomic Technology(ISAT-2007),TIMS CAMT, (Mar. 16-17), p77
14) Y.Tokukawa, S.Okamoto, R.Hasunuma, K.Yamabe, M.Ogino, H.Kuribayashi and Y.Sugahara; "Visualization of Two-Dimensional Distribution of Dielectric Degradation as Stress-Induced Etched SiO2 Surface Roughness", 1st International Symposiumu on Atomic Technology(ISAT-2007),TIMS CAMT, (Mar. 16-17), p80.
15) Shinichi Okamoto, Yui Tokukawa, Ryu Hasunuma, Masaaki Ogino, Hitoshi Kuribayashi, Yukinori Sugahara, Kikuo Yamabe, 「高電界印加後のシリコン酸化膜中の損傷評価」 (2007 年 2 月 2、3 日)、p109-112、応用物理学会薄膜・表面物理分科会／シリコンテクノロジー分科会共催特別研究会.
16) Yui Tokukawa, Shinichi Okamoto, Ryu Hasunuma, Kikuo Yamabe, Masaaki Ogino, Hitoshi Kuribayashi, Yoshiyuki Sugahara; "Visualization of Two-dimesional Distribution of Dielectric Degradation by Stress Induced Surface Roughness of Tunnel Silicon Dioxide", 2006 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future ULSI Devices-Science and Technology(IWDTF-06), The Japan Society of Applied Physics, (2006) p.117-118.

課題番号　H16／B03

採択回数 | 1　2　③

次世代情報通信における「音」の役割

[1] 組織

代表者：鈴木陽一
（東北大学電気通信研究所）

対応者：鈴木陽一
（東北大学電気通信研究所）

分担者：
武田一哉（名古屋大学）
宇佐川毅（熊本大学）
鹿野清宏（奈良先端大）
猿渡　洋（奈良先端大）
小林哲則（早稲田大学）
浅野　太（産総研）
伊勢史郎（京都大学）
尾本　章（九州大学）
河原英紀（和歌山大学）
赤木正人（北陸先端大）
柏野牧夫（NTT）
岩谷幸雄（東北大学通研）

研究費：校費 49千円，旅費 401千円

［2］研究経過

＜音と空間の非分性＞　音と映像は，人間にとって最も重要な情報メディアであり，音声・映像メディア処理技術は，印刷技術や電話の発明に見られるように，社会に大きなインパクトを与えてきた．映像が「像」，すなわち特定の対象を切り出すメディアであるのに対し，音響は「響（ひびき）」，すなわち対象に間接的に付加される「場」の情報を含むことを特徴としている．本来音響メディアは「空間」と独立には，議論しえない．

＜現代音響学の限界＞　しかし，電話の発明以来電気通信の一分野として発展した現代音響学は，「耳元に送話器，口元に受話器」を想定してきた．（「響き自体」を扱う建築音響領域を除いては），知覚・センシング・分析合成・理解の研究において，音の空間的性質を十分考慮していない．

＜音空間を中心とした音響学再構築の必要性＞　情報通信技術の急速な発展と変容，そして社会生活（産業，生活，福祉）への急速な浸透，という背景の中で，生活者が通信を意識せずに，他者や社会と交わることが求められている．したがって，人間が日常的に行っているように，音の空間性を自在に扱いうる，新しい音響学の枠組みが，次世代のコミュニケーションを支える基盤として強く求められている．

＜本研究の必要性＞

音響学は，生理学，認知心理学，理学，工学，情報科学，と幅広い分野を横断する学際科学である．受音デバイスの分散配置や信号処理の複数チャネル化，といった一面的なとらえ方で，音空間を研究することには限界がある．「音空間」という新しいパラダイムの上で，音響学全般にわたった研究を推進するためには，多くの分野の研究者による総合的研究が必要である．

以上の問題設定に基づき，マルチメディア時代における音情報通信の役割を考え，今後の研究の課題や目標について討議するため，今年度は3回の幹事会を開催した他，平成18年12月に，ホノルルにおける日米音響学会ジョイントミーティングの機会をとらえ，全体研究会を開催した．

［3］成果

（３－１）研究成果

初年度の研究会において，現在の視座，言い換えれば危機感について討議した結果，

・マルチメディア通信における音の軽視
・音の物理的性質から乖離

が要因として挙げられた．このような現状を打破するための方向性は次のとおりまとめられる．

・音を軽視しては，構成のマルチメディア通信シス

テムの構築は困難
・音はストレージ内の2進データではなく，空気を伝わるものとしてとらえねばならない.

これらの議論を受けて，個別の課題として取り組むべき課題は下記のとおりであった.
・コンテンツ情報処理技術
・複合感覚インターフェース基礎研究
・音声抽出技術
・聴覚メディア処理技術
・実環境音声対話システム開発
・人間の進化における音の役割の解明
・安全快適な社会を作るための音技術

これらの音に関する研究は，空間物理学，センサー・デバイス，信号処理，知能情報処理との連携や，視覚・映像分野，先端的な新産業業分野との連携を考える必要がある．この際，「音」の独自性，特徴発揮を心がける必要がある.

以上の議論を基礎として，今後の研究の方向性について議論した結果，「音空間」を中心とすることが適当との結論が得られた.

更に，音空間研究に関した具体的課題について，この研究が，以下のような構造にあることを勘案して議論を行った.

音　------　物理的な -------- 受聴者
物理　　音空間　　(非線形分割・統合)

その結果，次の5項目をサブテーマとすることが適当との結論を得た.

1) 音空間聴科学: 人間の卓越した聴空間知覚を支える，能動的情報処理の機序を学際統合的解明
2) 音空間センシング: 複数の音源と残響が存在する実際の音空間における，特定の音源信号抽出技法の構築
3) 音空間再構成: 臨場感あふれる音空間を柔軟に伝送・再構成するための未来技術の開発
4）音空間理解：音源の性質，位置等の知識をトップダウンに用いた，観測音空間のシーン理解に必要な学理の創建
5) 音空間インタラクティブ技術：ユーザが，音空間を介して，他の感覚情報と連携し自然な対話を行うための基盤技術構築

以上の，2年度目までの議論に基づき，今年度は，特に，将来への展開，特に大型研究費獲得のための分野性について重点的に議論を行った.　科研費に，このような音響学のテーマを申請する場合，音響学の学際性を反映し，通信，電気計測，感性，応用物理，機械，建築，心理，情報（知能情報）など様々な分野が考えられ，適切な審査を受けられないとの懸念がある．このような視点では，キーワードで審査員が選ばれるピアレビュー形式の研究費への応募の法が適切とも考えられる.

また，30年前の夢の研究を現在の環境でリバイバルするという視点も重要との指摘や，映像と音響の密結合技術，福祉技術の重要性も指摘された.

更に，イノベーション実現のための出口イメージを明確に描くことも重要である．この提案を受け，音場制御・騒音の問題・音場シミュレーションに関する計算科学の推進等の案も提起されたが，これは枠組みが小さくなるとの懸念もある.

また，総務省やNICTで展開を図っている超臨場感プロジェクトとの連携や，音響コンテンツセキュリティの実現，新しいエンターテイメント制作技術という案も挙げられた．音響信号処理のみならず，センサーやアクチュエーターの重要性，計算機シミュレーションと実環境との異同の評価等も重要な課題である.

今後，以上の議論に基づき，科研費への申請と，アンビエント情報処理の観点からの研究費獲得の２方面から検討を行ってゆくこととした.

（３－２）波及効果と発展性

マルチメディア通信システムは，今後の高度情報化社会の発展を支える上で，ますます重要性を増している．実際，インターネットや「ケイタイ」に見られる新しい情報通信技術の概念，社会生活（産業，生活，福祉）への情報技術の浸透と相まって，コミュニケーションを基盤とする人間社会そのものが，急速に変容している.

工学，情報学，認知科学の幅広い視点から統合的に研究を推進することにより，人間の言語情報処理や音楽文化的な営みと密接に関連した音情報通信サブシステムの高度化が可能となる．これにより，マルチメディア通信システムをより高品質で使いやすいものとして進化させるための最適設計理論の構築にむけて，重要な一歩を記せるものと期待される.

課題番号　H16／B04

電子ビームを利用する高密度磁気記録の研究

［1］ 組織

代表者： 村岡裕明
（東北大学電気通信研究所・教授）
対応者：村岡裕明
（東北大学電気通信研究所・教授）
分担者：
三村秀典
（静岡大学電子工学研究所・教授）
根尾陽一郎
（静岡大学電子工学研究所・助手）
サイモン・グリーブス
（東北大学電気通信研究所・助教授）
三浦健司
（東北大学電気通信研究所・助手）
飯田徹哉
（パイオニア総合研究所・室長）
三森歩美
（パイオニア総合研究所・副主事）
樋口隆信
（パイオニア総合研究所）

研究費：　旅費　137,280 円

［2］ 研究経過

磁気記録情報ストレージの高密度化は数十ナノメータサイズのビットを書き込むに至ったが、さらなる高密度化が求められている。このためには空間的に高い記録再生分解能を持つ磁気記録デバイスを実現する必要があるが、すでに改良が進んでいる現状を大きく改善するのは容易ではない。一方、リソグラフィーや電子顕微鏡に用いられる電子ビームは 1 nm 程度まで極めて細く絞り込むことが可能で、高い空間分解能性を得ることができるために、これを応用した新たなストレージ方式が期待できる。

本共同プロジェクト研究会は、この高い空間分解能を持つ電子ビームを利用して磁気ストレージの高密度化を目的とする調査・研究を行うもので、次世代ナノサイズ記録に向けての可能性を調査する。特に、既存磁気記録方式において直面している、記録磁化が熱擾乱により消失する熱磁気緩和と媒体ノイズの低減を記録ヘッドの磁界強度のバランスで解決しなくてはならないジレンマを解決できる可能性がある。

本研究会の検討内容は未だ萌芽的な段階にあるが、磁気記録媒体の一部のナノサイズで記録中に加熱することで記録磁界と熱勾配の両方を用いる高分解能化を期待している。

しかしながら、ポストテラビット級(超 1 Tbits/inch^2)の次世代高密度磁気記録における磁気的な記録再生分解能不足の課題と、電子ビーム技術が持つ微小径ビーム発生によるブレークスルーの可能性の間にはまだまだ原理的な問題を含めて多数の課題があり、両分野の研究者が情報交換を行って議論することが必要である。数回の研究集会を実施して、情報交換と実験とコンピュータシミュレーションに対する議論を行う。

すなわち、東北大通研においては、電子ビームを用いた新たな磁気記録面からの研究と記録再生理論の検討と実際のヘッドを用いた放電実験、及びコンピュータシミュレーションによる研究を行い、静岡大ではストレージにおいて実用的なデバイス構成で具体的に電子ビームを発生させる研究を分担する。また、パイオニアでは電子ビームによる高分解能記録の可能性検証を担当する。

昨年度は、電子ビームの生成について検討

を加え可能なビーム電力とビーム広がり幅に関する知見を得た上で、基本的な記録の可能性をコンピュータシミュレーションで確認した。

これらの研究を以下に示す日程で平成 18 年度は計 3 回の研究会を開いて討論を行ってきている。

(1) 平成 18 年 4 月 14 日
(2) 平成 18 年 6 月 19 日
(3) 平成 19 年 3 月 14 日

［3］ 成果

（3－1）Pt/Co 磁性膜による昇温温度測定

電子ビームを磁気記録に応用する際に先ず考えられるのは、磁気ヘッド直下の記録が行われている領域を細く絞った電子ビームを照射することで昇温して記録を行うことである。通常の磁気記録媒体は昇温によって保磁力が低下するので、常温では保磁力が高い高異方性材料を用いて熱的に安定な記録が実現できる。この際に昇温温度を測定することが必要であるが、通常は極めて狭い領域での温度上昇であるために測定は容易ではない。そこで、キュリー点の異なる磁性膜を作成して昇温による保磁力と磁化の消失を観測することで昇温温度の測定を試みた。まずは、そのための Pt/Co 人工格子膜を作製したところ、そのキュリー点を 200～500 度程度まで変化できることがわかった。この膜に弱磁界を印加しておけば、その局所的な磁化反転を観察することで昇温温度が測定できるものである。

（3－2）電子ビーム記録のシミュレーション検討

ボロノイ図形によるランダムな磁性粒子でモデル化した記録媒体に対して、ＬＬＧ方程式と熱伝導方程式を用いて計算を行った。電子ビームを照射した領域は、500K まで温度上昇があることが分かった。これはある程度有効な温度上昇であり、記録媒体材料を選べば現実的である範囲と考えられる。また、このときに記録パターンを計算した結果、明らかにビーム照射による昇温によって記録が明瞭になる結果が得られた。

（3－2）ハードディスク用浮上スライダによる電子ビームの発生の実験

電子ビームの放出には熱電子放出と電界放出がある。熱電子放出は加熱された電極を用いるが、大気中での金属の加熱は現実的ではない。一方で、現状のナノ加工技術を用いれば先端を絞り込んだチップを作って電界放出によって電子ビームを発生させることは可能であると考えられる。ここでは電界放出を試みた。

浮上スライダ型の磁気ヘッドはディスクに対して 10nm 程度までは容易に近接させることができる。この条件であれば電極チップ先端角が 50° 程度のとき放出される電子ビームの広がりは 80nm 離れた点で 13-15nm にできることがシミュレーションから示された。したがって、電子レンズ等の絞りを入れなくとも電子ビームを絞って媒体に当てることは可能である。

実際の磁気ヘッドを用いてディスク面に対向する磁気抵抗素子の電極が浮上面（ABS）に露出していることを利用して、ここから電子ビームを磁気ディスクに向けて放電させる実験を行った。本来、専用の放電電極を形成したスライダを用いた実験をおこなうべきであるが、予備的な実験として通常の浮上スライダを利用して、再生用の GMR 素子の電極がヘッドの浮上面に露出していることに着目して、ディスクと GMR 電極の間で電子ビームを放電させることを目標にした。現在のハードディスクのヘッドスライダはディスク面上を 10nm 程度で浮上しており、空気分子の平均自由行程より小さい距離である。従って、

放電電子が空気分子と衝突することなくディスク面に到達できる可能性がある。

実験の結果、電流特性を測定することができたが、同時にいくつかの課題も明らかになってきた。特に、この測定環境においては、例えば、電界放出電流が 1nA で印加電圧が 10V という測定になる。これは 10GΩという高抵抗の測定を行っていることであり、わずかなリーク電流でも問題になる。ヘッド素子は通常のスピンスタンドにおいてディスク上にセットされているが、ここでわずかな絶縁性の劣化によってもリーク電流値が測定すべき電流値を越える。このような場合にはこの無限大でない抵抗によるオーミック通電が電界放出電流をマスクする可能性があり、高い絶縁性を備えた実験環境の整備が必要であることがわかった。

また、放電のための電位差の印加によるクーロン力の発生によって、スライダがディスク面に引き寄せられて浮上高さが低下する可能性がある。これはヘッドクラッシュを発生させることになるので重要な懸念である。

（３－２）波及効果など

これまでの理論的な検討から、電子ビームの発生とディスク面での記録層の昇温が可能である。一方、電子ビームを実際に微小隙間に放電させる実験を行うには、実験系における極めて高い絶縁性や微小電流の精密測定が必要なことも明らかになった。一方で、大気中の放電における不安定性も予測されている。

以上の結果は、必ずしも電子ビームの発生とその磁気記録への利用は技術的に容易ではない可能性も示唆しており、いくつかの課題については基本的な検討を要することが明らかになった。

共同プロジェクト研究

課題番号　H16／B08

採択回数	1	2	③

高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究

［1］組織
代表者：遠藤　哲郎
（東北大学　電気通信研究所）
対応者：遠藤　哲郎
（東北大学　電気通信研究所）
分担者：
平本　俊郎
（東京大学）
渡部　平司
（大阪大学）
佐竹　郁夫
（大阪大学）
品田　賢宏
（早稲田大学）
堀口　文男
（東洋大学）
作井　康司
（ソニー㈱）
有門　経敏
（東京エレクトロン㈱）
永瀬　雅夫
（日本電信電話㈱）

研究費：物件費５万円，旅費１８４,９５０円

［2］研究経過

シリコン集積回路は、次世代電子システムには必要不可欠であり、そのため高度情報通信社会を支えるキーデバイスの一つである。また、同時にシリコン集積回路は、日本の基幹産業となっている。従って、シリコン集積回路の高性能化は近年その重要性がますます増加している。例えば、インターネット通信、マルチメディア通信を初めとする基幹情報通信システムにおいては、さらなる高速動作性、高機能化が要求されている。一方、情報通信機器の小型化・携帯化が進んでおり、末端情報通信システムにおいては、さらなる低消費電力動作化、及び、低価格化が要求されている。

特に、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージする半導体不揮発性メモリの高性能化、特にその大容量化・高速動作化が強く要望されている。また、産業の観点から見ると、半導体不揮発性メモリは、シリコン集積回路の中核製品であり、次世代半導体不揮発性メモリの基盤技術を構築することは急務である。

上記の状況を踏まえて、半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化に関する研究は、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のシリコン集積回路に広く用いられている基本素子である平面型ＭＯＳトランジスタ構造に基づくメモリセルは、最も重要な素子と考えられ、現在でも実用化のための研究が進められている。また、新しい回路技術、設計技術に関しても、多くの新規技術、実用化技術などが研究されている。

従来の半導体不揮発性メモリの研究の多くは、その基本的メモリセル構造や動作原理における革新的変革はなく、メモリセルの寸法を微細化することなどにより、半導体不揮発性メモリの高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現してきた。しかし、フラッシュメモリに代表される従来のデータストレージ用半導体不揮発性メモリは、①データ書き換え回数が約十万回に制限されている、②データ書き換え時の消費電力が大きい、③ゲート絶縁膜の信頼性に起因してその膜厚を７㎚ 以下に薄膜化できないため、ナノ領域までのデバイスの微細化（高集積化）が困難である等々の問題点に直面している。

従ってこの問題の打開には，微細加工技術の改善やゲート絶縁膜の高品質化や回路性能の向上といった個別の要素研究を進めてゆくだけでは不十分であり、所望の性能を達成し得る新しいデバイス構造・動作原理を提案すると共に，そのデバイスを実現するためのナノ材料プロセス研究からデバイス・回路設計研究までの幅広い研究を学際的に行っていく必要がある。

このような状況の下、平成16年度に、「高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年は３年目である。そして、今年度は昨年度の第４回研究会に引き続き、平成１９年２月７日、８日、２月２６日、２７日の日程で以下に示す４回の研究会を開催し、

ナノ領域でのスケーラビリティーに優れた高速大容量半導体不揮発性メモリに対する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。

第５回　高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会
日時：２００７年　２月７日
１３：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館４階小会議室

第６回　高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会
日時：２００７年　２月８日
９：００～１２：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館４階小会議室

第７回　高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会
日時：２００７年　２月２６日
１４：００～１８：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館４階小会議室

第８回　高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会
日時：２００７年　２月２７日
９：００～１２：００
場所：東北大学電気通信研究所
２号館３階セミナー室

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

［３］　成果

（３－１）研究成果

半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化に関する最新の研究状況と研究方向を議論するために、第５回～第８回高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会を開催し、本年は以下に示す研究成果を得た。

まず、本共同プロジェクト研究会での研究状況も踏まえて、今後半導体不揮発性メモリの大容量化・高速動作化を実現する上で研究を進めるべき課題を、①プロセス設計、②デバイス設計、③回路設計、④アーキテクチャー設計、⑤CAD 技術の各５項目に対して、幅広く議論した。

特に、その今年は、半導体不揮発性メモリに要求される性能・技術をアプリケーション毎に系統的に議論した。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、①基本記憶素子としての半導体不揮発性メモリセルの微細化に関する技術、②基本記憶素子としての半導体不揮発性メモリセルの高速動作化に関する技術、③半導体不揮発性メモリの高密度化・高速動作化を実現する回路技術に関する技術の研究を通して、半導体不揮発性メモリの高速動作化・大容量化を実現することにある。

これは、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージするキーデバイスを実現させるものである。さらには、情報通信産業、半導体産業を初めとする電子・情報技術分野における急成長の維持を、今後も可能にするものである。従って、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果は大きい。

また、本共同プロジェクト研究会により、学外研究者との交流が活性化した。この結果、本プロジェクトで明らかになりつつある大容量化・高速動作化半導体不揮発性メモリ技術は、新しい高性能メモリの発展に結びつき，今後の発展が期待されている。

今後、初年度に得た知見を元に、次年度も本共同プロジェクト研究会を継続し、さらに継続的に研究を深めてゆく予定である。

［４］成果資料

1) Ge Dot formation using Germane on a Monomethylsilane-Adsorbed Si(001)-2x1 Surface, Thin Solid Films, Volume 508, Issues 1-2, pp. 200-202, 5 June, 2006, Yuzuru Narita, Takeshi Murata, Atsushi Kato, Tetsuo Endoh, and Maki Suemitsu

2) Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films IEICE (to be published) Tetsuo Endoh, K.Hirose, and K.Shiroisi, Tetsuo Endoh, Kazuyuki Hirose, and Kenji Shiraishi

3) Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology using a Two-Dimensional Device Simulator IEICE (to be published), Tetsuo Endoh and Yuto Monma

4) Study of Effect of Halo Implantation on Nano-Scale Double Gate MOSFET International Symposium on Bio- and Nano- Electronics, Abstracts P-37, pp119-120, 2006 Yuto Momma and Tetsuo Endoh

5) Study of Stability on MCML (MOS Current Mode Logic) Inverter Circuit to Threshold Voltage Fluctuations Caused in Future Nanoscale Si-MOS Process Generation, International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, Abstracts P-39, pp.

123-124, 2006, H.-j. Na, M. Suemitsu, and T. Endoh

6) A 60nm NOR Flash Memory Cell Technology Utilizing Back Bias Assisted Band-to-Band Tunneling Induced Hot-Electron Injection (B4-Flash), 2006 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, p20-21, May, 2006, S.Shukuri, N.Ajika, M.Mihara, K.Kobayashi, T. Endoh, and M.Nakashima

7) Study of 30-nm Double-Gate MOSFET with Halo Implantation Technology, 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp. 229-232, Sendai, July 3 – 5, 2006, Yuto Monma and Tetsuo Endoh

8) The Guideline of Tolerable Vth Fluctuation for MCML (MOS Current Mode Logic) Inverter Circuit 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp-233-236, Sendai, July 3 – 5, 2006, Hyoung-jun NA, Maki SUEMITSU, and Tetsuo EDNDO

9) Physical Origin of Stress-Induced Leakage Currents in Ultra-Thin Silicon Dioxide Films, 2006 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2006), pp-271-276, Sendai, July 3 – 5, 2006, T.Endoh, K.Hirose, and K.Shiroisi

10) Low-temperature Heteroepitaxial Growth of 3C-SiC(111), ECS Transations - Cancun "Wide Bandgap Semiconductor Materials and Devices 7", October 31, 2006, Atsushi Konno, Yuzuru Narita, Takashi Ito, Kanji Yasui, Hideki Nakazawa, Tetsuo Endoh, and Maki Suemitsu

11) Study of Self-Heating in Si Nano Structure for FB-SGT with High-k Dielectric Films, 2006 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future ULSI Devices (IWDTF) pp. 115 – 116, Nov.8-9, 2006, Tetsuo Endoh and Kousuke Tanaka

12) Enhancement of field emission characteristics of tungsten emitters by single-walled carbon nanotube modification, Appl. Phys. Lett, D. Ferrer, T. Tanii, I. Matsuya, G. Zhong, S. Okamoto, H. Kawarada, T. Shinada, I. Ohdomari

13) Ge Nuclei for Fabrication of Poly-Si Thin Films on Glass Substrates K. Yasutake, H. Watanabe, H. Ohmi and H. Kakiuchi ECS Transactions“Thin Film Transistor Technology 8” 2006.10

14) Ge Nuclei for Fabrication of Poly-Si Thin Films on Glass Substrates K. Yasutake, H. Watanabe, H. Ohmi and H. Kakiuchi Meeting Abst. MA2006-02 Joint Int. Meeting of 210th Meeting of The Electrochemical Society and XXI Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquimica, Oct. 29-Nov. 3, 2006. Cancun, Mexico, (2006) #1575. 2006.10

15) Low-Temperature Growth of Epitaxial Si Films by Atmospheric Pressure Plasma Chemical Vapor Deposition Using Porous Carbon Electrode H. Ohmi, H. Kakiuchi, N. Tawara, T. Wakamiya, T. Shimura, H. Watanabe and K. Yasutake Jpn. J. Appl. Phys. 2006.10

16) Self-limiting oxidation of SiGe alloy on silicon-on-insulator wafers Takayoshi Shimura, Michihiro Shimizu, Shinichiro Horiuchi, Heiji Watanabe, Kiyoshi Yasutake, and Masataka Umeno Appl. Phys. Lett. 2006.9

17) Spatial Fluctuation of Electrical Properties in Hf-Silicate Film Observed with Scanning Capacitance Microscopy Y. Naitou, A. Ando, H. Ogiso, S. Kamiyama, Y. Nara, H. Watanabe and K. Yasutake Extended Abstracts of the 2006 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 2006, pp.392-393. 2006.9

課題番号　H16／B09

採択回数	1　2　3

半導体の酸化ダイナミクスの解明と ナノ構造形成技術への応用に関する研究

［1］組織
代表者：末光　眞希
（東北大学学際科学国際高等研究センター）
対応者：末光　眞希
（東北大学学際科学国際高等研究センター）
分担者：
白石　賢二（筑波大学物理学系）
植松　真司（NTT 物性科学基礎研究所）
影島　博之（NTT 物性科学基礎研究所）
福山　敦彦（宮崎大学工学部・材料物理工学科）
遠藤　哲郎（東北大電気通信研究所）

研究費：校費５万円，旅費３５万４千円

［2］研究経過

ユビキタスネットワーク社会の創造に向けたエレクトロニクス分野の基幹技術は、その生産性から、今後ともシリコンデバイスが基盤になると言われている。この火急の社会的要請のもと、現在最小寸法65nmのシリコンMOSトランジスタの研究・開発が完了し生産準備段階にあり、研究レベルでは既に15nm世代のシリコンMOSトランジスタの動作が実験的に確認されるに至っている。この発展を支えてきたのは、シリコン基板上における微細加工技術である。しかしながら、シリコンデバイスの高性能化は近年その重要性をますます増しており、さらなる微細化が要求されている。

上記の状況を踏まえて、シリコンデバイスの微細化プロセスに関する研究は、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のシリコンデバイスの製造プロセスにおける主要プロセスである酸化プロセスは、最も重要なプロセス技術の一つであると考えられ、現在でも実用化のための研究が精力的に進められている。にもかかわらず、従来のシリコンデバイスの微細加工プロセス技術では、ナノスケールの微細構造を簡便に且つ安定に且つ安価に形成することは困難であり、多くの問題に直面している。つまり、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であるが、当該プロセス技術は未だ確立されていない。

従ってこの問題の打開には，重要な半導体プロセスの一つである半導体表面・界面の酸化現象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形成のダイナミクスを解明することは必要不可欠である。

このような状況の下、平成16年度に、「半導体の酸化ダイナミクスの解明とナノ構造形成技術への応用に関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年は３年度である。そして、平成１９年1月２３日に以下に示す研究会を開催し、半導体の酸化ダイナミクスに関する研究を行なうと共に、当該知見を応用したナノ構造形成技術に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。

第４回　半導体の酸化ダイナミクス解明・ナノ構造形成技術研究会
日時：２００７年　1月２３日
１４：００～１８：００
場所：東北大学　電気通信研究所２号館
セミナー室

以下に上記研究会で得られた成果を述べる。

［3］成果

（3－1）研究成果

研究会は大きく分けて、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シリコン半導体表面・界面における酸化ダイナミクスに関する研究、③ナノスケール構造の形成プロセス技術に関する研究――について討論を進めてきた。初年度は、現在までに提案され、実用化されてきた半導体の酸化ダイナミクスに関する研究とその知見を応用したナノ構造形成技術に関する技術を系統的に整理し、Si酸化膜の欠陥評価法に関しても具体的検討を始めた。第２年度は、半導体の酸化ダイナミクスに関する研究とその知見を応用したナノ構造形成技術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３回　半導体の酸化ダイナミクス解明・ナノ構造形成技術研究会”を開催した。初年度にも増して広範な第一線の研究者を交えて行った当該研究会では、Si酸化膜の酸化ダイナミクス評価

に関する最先端の研究成果が報告され、同位元素を用いたSi酸化ダイナミクス研究、Si酸化における点欠陥の役割に関する第一原理計算、Si高圧酸化のその場光電子分光評価、Si(110)面とSi(100)面の酸化ダイナミクスの違い等について議論を深め、次年度以降の当プロジェクトの方向付けを行なった。

最終年度の平成18年度は、第４回「半導体の酸化ダイナミクス解明・ナノ構造形成技術研究会」を開催し、これまで議論を重ねてきたSi酸化ダイナミクスの理解を一層深めた。とくに酸化膜中に1eV程度の深さの酸素トラップが形成され、これが酸素拡散を律速する可能性が指摘されたが、これは極薄酸化膜の形成ダイナミクスの理解を大いに進めるものである。また次世代半導体デバイスで重要な役割を果たすと目されるSi(110)面の酸化に関して、最新の知見が紹介された。また３次元デバイスプロセスについて提案があった。

（３－２）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、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からシリコン半導体表面・界面における酸化ダイナミクスに関する研究を進め、その知見を応用して次世代高性能・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構造の形成プロセス技術の実現に向けて本研究会を推進することにあった。これらの活動を通じて、ナノスケール領域における微細構造形成技術に関する問題点を解決するための指針を明らかにすることができた。

これは、今日の半導体産業の中心をなすSiデバイスのより一層の微細化・高速化に必要不可欠なデバイス製造プロセスの基幹となる微細構造形成技術をさらに高度化を実現するものである。引いては、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。

［４］成果資料

(1) Epitaxial growth of hexagonal GaN films on SiC/Si Substrates by Hot-Mesh CVD Method Adv. Mater. Research, 11-12 (2006) 261-264. Kazuki Takahashi, Kanji Yasui, Maki Suemitsu, Ariyuki Kato, Youichirou Kuroki, Masasuke Takata and Tadashi Akahane

(2) Silicon Thin Film Growth by Pulsed Plasma CVD under Near-Atmospheric Pressure, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 891 (2006) April, Hirotatsu Kitabatake, Maki Suemitsu, Setsuo Nakjima, Tsuyoshi Uehara, and Yasutake Toyoshima

(3) Real-Time Observation of Initial Thermal Oxidation on Si(110)-16′2 Surface by Photoemission Spectroscopy, ECS Trans. 3 (2) (2006) 311-316, M. Suemitsu, A. Kato, H. Togashi, A. Konno, Y. Yamamoto, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, Y. Enta, and Y. Narita

(4) Deposition of Highly Crystallized Poly-Si Thin Films on Polymer Substrates Using Pulsed-Plasma CVD under Near-Atmospheric Pressure, ECS Trans. 3 (8) (2006) 119-124, M. Matsumoto, M. Suemitsu, T. Yara, S. Nakajima, T. Uehara, Y. Toyoshima, and S. Itou.

(5) Low-temperature Heteroepitaxial Growth of 3C-SiC(111) on Si(110) Substrate Using Monomethylsilane, ECS Trans. 3 (5) (2006) 449-455, Atsushi Konno, Yuzuru Narita, Takashi Ito, Kanji Yasui, Hideki Nakazawa, Tetsuo Endoh, and Maki Suemitsu

(6) Unique temperature dependence on the morphological evolution of Ge on Si(100), ECS Trans. 3 (2006), Arnold Alguno, Noritaka Usami, Yoshitaro Nose, Maki Suemitsu, and Kazuo Nakajima.

(7) Surface Chemistry of Si Epitaxy and Growth Modeling, J. Vac. Soc. Jpn., 49(2006), 530-534 in Japanese, Maki Suemitsu「Siエピタキシーの表面化学と成長モデリング」末光眞希

(8) ZnO on 3C-SiC, J. Korean Phys. Soc. 49 (2006), Tsutomu Minegishi, Yuzuru Narita, Shizuka Tokairin, Gakuyo Fujimoto, Hideyuki Suzuki and Zahra Vashaei, Kazushi Sumitani and Osami Sakata, Meongwhan Cho and Takafumi Yao, Maki Suemitsu

(9) Si(110)とSi(100)表面の初期酸化過程の違い−リアルタイム光電子分光測定から, 電子情報通信学会技術研究報告106 (2006) 61-63, 末光眞希、加藤篤、富樫秀晃、今野篤史、山本喜久、寺岡有殿、吉越章隆、成田克

(10) Si基板上SiC極薄膜の低温形成とユビキタスデバイスへの応用, 電気学会 EFM－06-24 (2006), 末光眞希、今野篤史、成田　克、伊藤　隆、安井寛治、中澤日出樹、遠藤哲郎

課題番号　H16／B10

採択回数	1　2　3

プログラム意味論の研究

［1］組織
代表者：佐藤 雅彦
（京都大学大学院情報学研究科）
対応者：外山 芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
五十嵐 淳
（京都大学大学院情報学研究科）
中澤 巧爾
（京都大学大学院情報学研究科）
亀山 幸義
（筑波大学システム情報工学研究科）
桜井 貴文（千葉大学理学部）

研究費：校費 35,000 円，旅費 246,000 円

［2］研究経過

本プロジェクトの目的

コンピュータプログラムの意味論の研究は 1960 年代以降活発に研究されてきている．とくに近年では，構成的な立場でプログラムの意味を研究する「操作的意味論」が中心的な研究テーマになっている．本研究では，プログラミング言語を先に与えられたものと考えずに，逆に「よい操作的意味論」が構築できるためにプログラミング言語が備えるべき性質を研究し，それを基にそのようなプログラミング言語の設計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三年度であった．本年度は前年度得られた結果を踏まえて，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 18 年 12 月 21 日から 22 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. 変数束縛を許す抽象構文に関する一階理論を提案した．この理論のすべての対象はあるカテゴリーを動き，カテゴリーを用いて理論で扱う対象に緩い型付けをすることができる．さらに，この理論の項の全体には，自由変数が生成する自由対称群 S が自然に作用する．項 A 中の自由変数 a を指定したとき，A の a による束縛の結果は，S の元で a 以外の A 中の自由変数を固定するものからなる群の A に対する作用の軌道として定義することができる．これにより，項を抽象的に定義することが可能になることを示した．

2. 再帰経路順序をみたす書き換えシステムの停止性は，従来は Kruskal の木埋め込み定理に基づいて

証明されていた．しかし，再帰経路順序を再帰経路関係に変更することで, Kruskal の木埋め込み定理をもちいない簡明な停止性証明が可能である．高階関数も取り扱える S 式書き換えシステム(SRS)を例にとり, 従来よりも著しく簡明な停止性証明を与えることに成功した．

3. 自然数やリストなど，データ構造に基づくプログラムの性質の自動証明手法として，項書き換えシステムの書き換え帰納法が知られている．この書き換え帰納法による証明手続きの正しさは，抽象原理に基づいて証明することが出来る．従来知られていた原理を拡張し，より強力な書き換え帰納法の証明システムを提案した．とくに，従来知られていたよりも一般的な単純化規則を導入した証明システム，および，方向付け不能な等式を扱うための新しい証明システムを提案した．

4. プログラム効率化のためのプログラム変換手法の 1 つとして，パターンによるプログラム変換が知られている．項書き換えに基づくパターンによるプログラム変換では，変換前後の操作的意味の不変性を項書き換えの定理自動証明法を用いて保証することが出来る．この枠組みを実現した実験システム RAPT を用いてプログラムの変換実験を行ない，より柔軟な変換を実現するための手法について検討を行なうとともに，より効率的なプログラムを出力するための変換パターンの作成法について考察を行なった．

5. λ項の頭正規形は抽象機械の実行により求めることができる．しかし，λ計算の簡約と抽象機械の実行過程は直接的に対応しているわけではないので，抽象機械の実行により求められる頭正規形が正しいものであることは自明ではない．この研究では，抽象機械を明示的代入計算の項とみなすことにより，得られる頭正規形が正しいものであることが簡単に証明できることを示した．さらにこの考え方を応用して，λμ計算の強正規化性を証明できることを示した．

6. メタプログラミングのためのプログラミング言語の実装技術の研究を行なった．自然意味論流の操作的意味論の定義を実装したインタプリタから，継続渡し変換，非関数化といったプログラム変換により抽象機会を導出するという既存技法を発展させ，メタプログラミングをモデル化したλ計算体系に適用し，同様に抽象機械が導けることを示した．さらに，引用された項を操作するという本来の意味論から，引用された低レベル命令列を操作する抽象機械を導出する発展技法を示した．

7. Herbelin のシーケント計算を用いて，古典論理の自然演繹における正規化手続きとシーケント計算におけるカット除去手続きの対応関係を明らかにした．これを利用して古典論理に対応する局所ステップカット除去手続きの合流性と強正規化性を示した．また，直観主義論理に対する通常のシーケント計算において，自然演繹の正規化手続きがどのようなカット除去手続きに対応するのかについても明らかにした．

8. 直観主義シーケント計算の部分体系として，一般除去規則と呼ばれる規則を含む直観主義自然演繹の正規化手続きと同型であるものを示し，そのカット除去手続きを定義した．また，そのカット除去手続きの合流性と強正規化性を証明した．この結果を拡張し，シーケント計算の局所ステップカット除去手続きで，一般除去規則と明示的代入を含む自然演繹の正規化手続きと同型であるものを示し，その合流性と強正規化性を証明した．

（３－２）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では，主に「性質のよい操作的意味論」を持つプログラミング言語構築のため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．そもそも操作的意味論は，その構成的な性格のため計算機上での実現が比較的容易であるため，本研究の成果は純粋な理論的成果に留まらず，プログラム検証や開発支援技術の新しい可能性を開くものとして期待できる．また，本プロジェクトの活発な交流を通して形成された，複数の大学の多岐に渡る計算機科学分野の研究グループ間のネットワークは，今後の電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークを形成する基盤となることが期待される．

［４］成果資料

1. 佐藤雅彦，計算と論理のための自然枠組 NF/CAL. コンピュータソフトウェア，vol. 23, no. 3, pp. 3 -- 13, 2006.
2. Yukiyoshi Kameyama and Masahiko Sato. E-learning of Foundation of Computer Science. The Fourth AEARU Workshop on Network Education Proceedings, pp. 169--180, 2006.
3. Kusakari Keiichirou, Nakamura Masaki, Toyama Yoshihito, Elimination Transformations for Associative-Commutative Rewriting Systems, Journal of Automated Reasoning, Vol.37, No.3, pp.205-229,

Oct 2006.
4. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Program Transformation by Templates: A Rewriting Framework, IPSJ Transactions on Programming, Vol.47, No.SIG 16 (PRO 31), pp.52-65, 2006.
5. Yuki Chiba and Takahito Aoto, RAPT: A Program Transformation System based on Term Rewriting, In Proceedings of the 17th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2006), Seattle, WA, USA, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4098, Springer-Verlag, pp.267-276, 2006.
6. Takahito Aoto, Dealing with Non-orientable Equations in Rewriting Induction, In Proceedings of the 17th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2006), Seattle, WA, USA, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4098, Springer-Verlag, pp.242-256, 2006.
7. Atsushi Ohori and Isao Sasano. Lightweight fusion by fixed point promotion. In Proceedings of the 34th ACM Symposium on Principles of Programming Languages (POPL '07), pp. 143—154, Nice, France, January 17—19, 2007, ACM Press.
8. 鈴木輝信，亀山幸義．階層化コントロールオペレータに対する型システムの構築．情報処理学会論文誌：プログラミング，to appear.
9. Yoshihiro Yuse and Atsushi Igarashi. A Modal Type System for Multi-Level Generating Extensions with Persistent Code. In Proceedings of the 8th ACM SIGPLAN Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP '06), 201—212, Venice, Itary, 2006.
10. Naokata Shikuma and Atsushi Igarashi. Proving Noninterference by a Fully Complete Translation to the Simply Typed Lambda-Calculus. In Proceedings of the 11th Annual Asian Computing Science Conference (ASIAN '06), 2006.
11. 岩間 太，五十嵐 淳，小林 直樹．計算資源使用法検証における計算資源の仕様と実際の使用法との適合性検証アルゴリズム．情報処理学会論文誌：プログラミング 48, SIG 4(PRO32), pp. 48—61, 2007.
12. Atsushi Igarashi and Hideshi Nagira. Union Types for Object-Oriented Programming. Journal of Object Technology, 6 (2), pp. 47—68, 2007.
13. Atsushi Igarashi and Masashi Iwaki. Deriving Compilers and Virtual Machines for Multi-Level Languages, submitted for publication.
14. Atsushi Igarashi and Mirko Viroli. Variant Path Types for Scalable Extensibility. In Proceedings of the International Workshop on Foundations and Developments of Object-Oriented Languages (FOOL/WOOD 2007), Nice, France, 2007.
15. Chieri Saito, Atsushi Igarashi and Mirko Viroli. Lightweight Family Polymorphism. Journal of Functional Programming, to appear.
16. Kentaro Kikuchi. Call-by-Name Reduction and Cut-Elimination in Classical Logic, in Proceedings of the 1st International Workshop on Classical Logic and Computation (CL&C 2006), 2006.
17. Kentaro Kikuchi. On a Local-Step Cut-Elimination Procedure for the Intuitionistic Sequent Calculus, in Proceedings of the 13th International Conference on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning (LPAR 2006), LNAI 4246, pp. 120--134, 2006.
18. Satoshi Ikeda and Koji Nakazawa. Strong Normalization Proofs by CPS-Translations. Information Processing Letters 99:163—170, 2006.
19. Koji Nakazawa. An Isomorphism between Cut-Elimination and Proof Reduction. Typed Lambda Calculi and Applications (TLCA '07), to appear.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B01

ペタバイト級情報ストレージシステムの研究

［１］ 組織

代表者：　村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
対応者：　村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
青井基：東北大学電気通信研究所（教授）
中村慶久：東北大学電気通信研究所（教授）
三浦健司：東北大学電気通信研究所（助手）
谷啓二：東京工業大学（客員教授）、日本原子力研究開発機構（研究主席）
松岡浩：日本原子力研究開発機構（技術主席・次長）
松並直人：日立製作所システム開発研究所（部長）
藤本和久：日立製作所システム開発研究所（主任研究員）
小河卓二：日立製作所 RAID システム事業部開発本部（主管技師）
浜田憲男：日立製作所 RAID システム事業部開発本部（部長）
国崎修：日立グローバルストレージテクノロジーズエンタープライズ本部（主任技師）

研究費：　旅費　16,020 円

［２］ 研究経過

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行っている共同プロジェクト研究会である。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は大きくとも 100GB（10^{11} バイト)程度であることを考えると極めて大きな情報量であることが理解されるが、この膨大な情報を電子的に蓄積してコンピュータで容易かつ効率的に利用することが情報ストレージ技術の大きな目標である。インターネットを考えると動画情報を含めて大量の情報が常に伝送されているが、これらはハードディスク装置や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になる。

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級のストレージ装置が使われているが、近い将来にはペタバイト（10^{15} バイト）級の容量が必要と目されている。しかしながら、単に容量を大きくするためにストレージ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、具体的なシステム構成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するために、次世代ペタバイトストレージのシステム的な課題を抽出しその解決のアプローチを明らかにする研究を行うものである。

［３］ 成果

（３－１）技術的検討内容

昨年より検討してきた階層型大容量ストレージシステムについて具体的な開発要素を想定した検討を開始した。特に、ペタバイト級の大規模ストレージシステムにおいて、その大容量性と高速性、省電力性や経済性等を適切に満たすための最適化システムを検

討することを意図した。主として、HDD ユニットの並列化マネージメント設計についてストレージシステムとしての最適化を図るが、同時に、既存の HDD 装置だけを前提とせず、記録密度およびデータレート、消費電力、さらにはディスクデータアロケーションやキャッシュ・アクセス手法などについてのあるべき性能の提示を含めた、総合的な研究を展開している。

今年度は、

1）平成 18 年 10 月 24 日～25 日
2）平成 19 年 2 月 2 日
3）平成 19 年 3 月 2 日

の 4 回の研究会を行って討論を深めた。

今年度の成果はいくつかの超高速コンピューティングに対するシステム的なストレージ構成提案をまとめた点である。すなわち、①高速ハードディスク装置（HDD）を並列に構成したオンライン層と高密度汎用ハードディスク装置を用いてオンライン階層の直下に配置されたニアライン階層の 2 レベルからなる高速階層ストレージシステムを想定した。磁気テープや光ディスクなどによるオフラインアーカイブは低速のために基本システムからは除外して検討した。②この階層化ストレージは高速性を現実的なコストで実現するためには有効な方法であること、③ただし、スループットを向上させるためには個々の HDD の運転方法について工夫を加えておくことが必要であり、並列化された多数のノードのうち、あるノードにプロセッサからのアクセスがあった場合に要求データを常にそのノードに用意できる場合と、ノードに存在せずデータ検索を要するのではその実効的な速度は大きく異なるものである。

さらには高速化のために HDD の並列数を増やすことは消費電力の増加を招くので、個々の HDD 単体での消費電力低減、並びにその運転方法に工夫を加える必要がある。

（３－２）波及効果と発展性など

大規模の並列 HDD により構成されるストレージ技術は、現時点ではインターネットや業務用データベースの大型情報ストレージサイトやスーパーコンピュータのストレージなど用途が限定されており、必ずしも幅広い需要を背景にしているわけではない。しかし、今後の爆発的なネットワークの超大規模化・超高速化に加えて、スーパーハイビジョンなどの次世代高細精度の広帯域動画情報やそのアーカイブに代表される大規模情報の急速な展開を考えると、将来のストレージシステムに関して先導的にそのあるべき姿を明らかにするとともに、そこに用いる HDD ユニットを含めたシステム性能について議論を深めておくことは次世代ストレージシステムの展開には重要である。

特に、わが国の超高速コンピューティング技術の幅広い展開を考える際には日本が得意とするストレージ技術においても世界をリードするシステム技術を培っておくことは意義があると思われる。

［４］　成果資料

論文としての成果はまだであるが、新たなストレージシステムの新規な特徴を具体化しつつある。今後、これを踏まえた具体的なシステム開発のための研究を展開できるようになってきている。

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B02

採択回数	1　2　3

電気・水素エネルギーシステム

［1］組織

代表者：濱島　高太郎
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：村岡　裕明
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
一ノ倉　理（東北大学大学院工学研究科）
船木　一夫（九州大学超伝導システム科学研究センター）
住吉　文夫（鹿児島大学工学部）
熊倉　浩明（物質材料研究機構超伝導材料研究センター）
白井　康之（京都大学大学院エネルギー技術研究部門）
中込　秀樹（千葉大学工学部）
新富　孝和（日本大学大学院総合科学研究科）
平林　洋美（高エネルギー加速器研究機）
槙田　康博（高エネルギー加速器研究機）
野池　達也（日本大学大学院総合科学研究科）
加藤　崇（日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門）
武田　実（神戸大学　海事科学部）
津田　理（東北大学大学院工学研究科）
谷貝　剛（東北大学大学院工学研究科）

研究費：校費 49,633 円，旅費 277,010 円

［2］研究経過

世界人口や IT 産業の急速な発展により、エネルギーは急激な増加の一途を辿っている。そのために、地球環境に優しい電気エネルギーシステムを早急に構築する必要がある。液体水素は超伝導電力機器を冷却すると同時に、燃料電池の燃料としての役割を果たすことができる。よって、このようなシナジー効果を活かすことにより、液体水素と超伝導と燃料電池をキーテクノロジーとした付加価値の高い電気・水素複合エネルギーシステムが可能となる。以上より、本プロジェクトでは、電気・水素複合エネルギーシステムの構築を目的とした研究開発を行っている。本プロジェクトは、本年度が 2 年目であり、本年度の研究活動状況の概要は、以下の通りである。

水素技術と将来の電気エネルギーの必須技術である超電導技術とを融合・複合した新しいエネルギーシステムを構築するには、多くの（液体）水素関連技術、（液体）水素を用いた応用技術、エネルギーシステム技術などの要素技術の研究開発状況を把握し理解する必要がある。そこで、本年度は、(1)水素社会と超電導技術の融合、(2)超電導コイルの冷媒としての液体水素、(3)液体水素冷却（または液体水素温度）超電導応用機器や超電導材料特性、(4)液体水素利用超電導機器システム（分散電源, 自動車, 船舶, 飛行機など）、(5)水素の発生、に着目し、電気・水素複合エネルギーシステムを実現するための技術的課題を明確にするとともに、課題解決のための具体的な施策について検討することにした。そして、これらの要素技術に対する理解を深めるために、基礎研究や応用研究に携わる各分野の研究者を集め、「第 2 回電気・水素複合エネルギーシステム研究会」を開催し、要素技術に関する検討を行った。

（研究発表会の開催状況）

第 2 回電気・水素複合エネルギーシステム研究会

日時：平成 19 年 1 月 12 日（金） 13:00 ～ 18:00

会場：東北大学 工学部 電気・情報系 1 号館 103 室

(1) 「バイオマスからの生物学的水素生産に関する研究」
野池達也（日本大学大学院総合科学研究科）

(2) 「液体水素利用中性子システム」
加藤　崇（日本原子力研究開発機構）

(3) 「MgB2 線の電磁気的熱的特性改善と液体水素温度超伝導応用」
船木和夫（九州大学大学院システム情報科学研究院）

(4) 「MgB2 センサーによる液体水素の液面検知」
武田　実（神戸大学海事科学部）

(5) 「液体水素デマンドバス」
新冨孝和（日本大学大学院総合科学研究科）
平林洋美（高エネルギー加速器研究機構）
槙田康博（高エネルギー加速器研究機構）

(6) 「液体水素冷却 SMES と燃料電池で構成する非常用電源」
槙田康博（高エネルギー加速器研究機構）
平林洋美（高エネルギー加速器研究機構）
新富孝和（日本大学大学院総合科学研究科）
(7) 「SMES 用液体水素冷却電磁力平衡コイルの可能性」
野村新一（東京工業大学原子炉工学研究所）
嶋田隆一（東京工業大学原子炉工学研究所）
粕谷幸司・田中規博（東京工業大学）
(8) 「液体水素と超電導機器で構成する複合システムの可能性」
濱島高太郎（東北大学大学院工学研究科）
(9) 「Bi2212 線材の液体水素温度(20K)応用の可能性」
淡路　智（東北大学金属材料研究所）
(10)「日本国内の液化水素の現状とイワタニの取組」
岩下博信（岩谷瓦斯株式会社）

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、電気・水素複合エネルギーシステムを実現するための技術的課題を明確にするために、電気・水素複合エネルギーシステムの構築に必要となる以下の要素技術を取り上げ、液体水素応用に関する各要素技術の特長や課題等について検討した。このうち、主な研究成果を以下に示す。

(1) 液体水素の液面検地技術

液体水素を用いた応用システムでは、液体水素の量を正確に把握しておく必要があることから、高精度、高信頼で大型化が可能な液面計の技術開発が必要となる。そこで、液面センサーとして有望視されている CuNi シースを有する MgB_2 線材を用いたモデル実験を行った。その結果、液面センサーの臨界温度制御や MgB_2 線材の熱的特性の把握が重要であり、今後は、液体水素の静止時ならびに振動時における液面センサーの測定精度、応答性、再現性などの検討が必要となることがわかった。

(2) 高温超伝導線材技術

液体水素温度での超電導応用では、超電導線材の安定性が重要となる。そこで、安定性の観点から、液体水素温度領域において有効となる超電導材料ならびに超電導特性について検討を行った。そして、超電導線材の n 値が安定性を大きく左右すること、また、Bi 系線材の n 値は結晶のアスペクト比に依存しており、溶融成長組織を有する Bi2212 は、焼結処理で作製する Bi2223 よりも n 値が高いことなどを明らかにした。また、これらの成果により、液体水素温度領域では、n 値が低く、冷却安定性の高い Bi2212 線材が有用であることがわかった。

(3) 液体水素エネルギー応用技術

輸送分野では、将来の水素社会に向けた、燃料電池自動車をはじめとする水素燃料自動車の技術開発が進んでいる。そこで、今回は、液体水素搭載のディマンドバス(燃料電池ハイブリッドバス)の可能性について検討を行った。その結果、高圧水素よりも液体水素の方が安全性や貯蔵の点で有利であるものの、運輸局の認可や県の承諾を得ることなど、技術的課題の他にも多くの課題が存在することが明らかになった。

(4) 液体水素冷却システム技術

液体水素冷却システムでは、安全を確保しつつ、液体水素をスムーズに循環させる必要がある。そこで、中性子ビーム減速用液体水素冷却システムにおいて、液体水素循環について検討を行った。その結果、液体水素循環は、液体ヘリウム循環に比べて、循環流量が約 2/3、循環用ポンプ動力が約 1/3 で済むことがわかった。

(5) 電力貯蔵技術

ＳＭＥＳコイルの冷却に液体水素を用いると、エネルギー貯蔵装置の体積効率や即応性を著しく向上させることが可能となり、高層オフィスビルや病院用の非常用電源としての応用が期待できる。そこで、本年度は、SMES と燃料電池を組合せた非常用電源システムについて検討を行った。その結果、今後は、液体水素の蒸発抑制（液体水素容器の断熱性能向上）、燃料電池への水素供給機構の確立、安全性の検証が重要となることがわかった。

また、SMES 運転時の電磁力支持についても検討を行った。その結果、コイルを構成する MgB_2 線材の応力限界の問題を解決するには、電磁力平衡コイルが有効であることがわかった。また、0.1MW モジュール用 SMES コイルの概念設計を行った。

(6) MgB_2 線材技術

MgB_2 は、金属系超伝導体の中では臨界温度が最も高く、構成元素が少ない。また、作製が比較的容易であり、製造コストが安価であることから、SMES 等の電力システムへの応用が期待されている。そこで、MgB_2 線材の熱的安定性を評価するために、常電導伝播ならびに交流損失の実験ならびに解析を行い、今後の改善策の指針を明らかにした。

(7) マイクログリッドシステム技術

IT 産業の発展や分散電源の増加に伴い、高信頼性を有する電力供給システムへの期待が高まっている。この様な電力供給システムを構築するには、直流給電方式が有効であり、直流給電には、ジュール損失を発生しない超電導ケーブルが適している。また、地球への環境負荷低減には、再生可能エネルギーの

活用が有効であり、中でも、水素を利用した燃料電池に期待が寄せられている。しかし、これには水素供給インフラの確立が不可欠となる。そこで、電力供給用超電導ケーブルと水素輸送用管路を一体化した、電力・水素輸送用超電導ケーブルの有効性について検討した。その結果、超電導ケーブル用管路を用いて電力と水素の同時輸送を行えば、必ずしも液体水素製造地と液体水素消費地（燃料電池設置場所など）を隣接させる必要はなく、電力・液体水素ともに、輸送効率が向上することがわかった。

（３－２）波及効果と発展性など

本年度の研究により、将来の革新的な分散型電源システムとして期待される、電気・水素複合エネルギーシステムの構築に必要となる関連要素技術に対する理解を深め、それらの研究開発状況や技術課題を把握することができた。これにより、関連要素技術開発や応用システム技術開発の方向性が明確になり、今後の電気・水素複合エネルギーシステム技術研究開発を効率的に進めることが可能になったと考える。今後は、同様の研究会や技術検討会を継続的に行い、更に詳細なる要素技術課題の抽出や、電気・水素複合エネルギーシステム構築に向けた具体的な施策の提案を行っていく予定である。

また、本プロジェクトは、学外研究者との交流、研究者ネットワークの拡大、若手研究者の育成の点でも大きく貢献している。今後も継続して、研究会や技術検討会を開催し、更なる研究者ネットワークの拡大ならびに活発な技術討論環境の整備に努めていく予定である。

［４］成果資料

(1) 濱島高太郎，谷貝剛，一ノ倉理，斎藤浩海，渡辺和雄，大平勝秀，平林洋美，新富孝和，槙田康博，熊倉浩明：「液体水素と超電導電力機器のシナジー効果」平成 17 年電気学会全国大会，5-025，p27, 2005

(2) 濱島高太郎，津田理，谷貝剛，一ノ倉理，渡辺和雄，大平勝秀，熊倉浩明，平林洋美，新富孝和，槙田康博：「液体水素冷却超電導電力機器の検討」第 72 回春季低温工学・超電導学会講演概要集，p28，2005

(3) 平林洋美：「液体水素と超伝導応用」低温工学，vol.40，pp.276-283，(2005)

(4) 中山知紀，谷貝剛，津田理，濱島高太郎：「液体水素冷却超電導コイルの安定性」超電導応用電力機器研究会，pp.67-71，2006

(5) T. Nakayama, T. Yagai, M. Tsuda, T. Hamajima: “Stability Analysis Of High Temperature Superconducting Coil In Liquid Hydrogen” 19th Internation Symposium On Superconductibity, Abstract p.360,(2006)

(6) 濱島高太郎，中山　知紀，谷貝剛，津田理：「液体水素冷却超電導電力機器」平成１８年秋季低温工学・超電導学会 講演概要集 p.57,2006

課題番号　H17／B04

採択回数	1	(2)	3

ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓

［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（筑波大院・数理物質科学研究科）
中山　弘（大阪市立大学・工学部）
纐纈　明伯（東京農工大・工学部）
一宮　彪彦（日本女子大学・理学部）
大野　隆央（物質材料研究機構）
伊藤　智徳（三重大学・工学部）
長谷川修司（東大院・理学系研究科）
中山　隆史（千葉大・理学部）
山口　浩司（ＮＴＴ物性基礎研）
野村晋太郎（筑波大院・数理物質科学研究科）
上田　一之（豊田工大・工学部）
木塚　徳志（筑波大院・数理物質科学研究科）
成塚　重弥（名城大学・理工学部）
平山　博之（東工大院・総合理工学研究科）
三木　一司（物質材料研究機構）
阿久津典子（大阪電通大・工学部）
名西やすし（立命館大・理工学部）

研究費：物件費　50,000 円、旅費 341,000 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とから容易に推測されるように、次世代のナノデバイスを有効に利用するには、その量子性の制御が不可欠となることは半導体デバイス製造現場でも認識されていることである。

量子性とともに、半導体デバイスの構成要素がナノスケール化すると、各構成要素に含まれる電子（ホール）等のキャリア数も当然少なくなってくるため、少数系の統計揺らぎも原理的に不可避にとなってくる。

ところが、半導体ナノデバイス特有の量子性と統計性を記述し、半導体ナノデバイスの設計指針となるべき「ナノ半導体物理」は体系的に整っているわけではない。一部のメソスコピック物理の分野等の理想的な系において、バリスティック伝導や量子ドット中の発光等の物理現象が議論されているにすぎず、半導体ナノデバイスの実現に必要な基礎物理的な基盤は全く揃っていないのが現状である。例をあげると、現実の半導体デバイスに不可避な、「ナノスケールの異種物質接合界面の電子状態」、「散逸のある場合のバリスティック伝導」等、現実の半導体ナノデバイス実現の際に不可欠となる基礎物理が全く手付かずの状態になっているわけである。

次世代のナノ半導体デバイス実現においては、基礎研究と応用研究の同時進行が求められている。20 世紀式の基礎研究を行ってから応用研究を行うというスタイルでは、実用化までの期間が極めて長くなってしまい、新しい技術のブレークスルーが生まれにくくなっているからである。

このような状況の下、平成１７年に「ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓」という研究課題で共同プロジェクト研究会が採択された。本プロジェクト研究会の最大の目的は、将来の半導体デバイスの実現に不可欠な「ナノ半導体物理」の構築と「ナノ半導体の作成・計測技術」の開拓を同時進行するための研究体制作りを行うことである。

本プロジェクトは，本年度が第２年度であった。先年度は、第１回当該共同プロジェクト研究会を平成１７年１０月１４日（金）～１５日（土）にかけて、宮城県岩沼市の「岩沼・モンタナリゾート」で開催し、多くの興味深いナノ構造独特の現象に関する研究発表と討論を行い、半導体ナノサイエンスに関する理解が深まった。第２年度である１８年度は、第２回当該共同プロジェクト研究会を平成１８年１１月１７日（金）～１８日（土）にかけて、宮城県仙台市の秋保温泉「ホールサムインばんじ」で開催し、ナノサイエンス及びナノテクノロジーに関する多くの質の高い研究発表が行われた。平成１８年度の研究発表の中には平成１７年度の研究会をきっか

けにはじまった共同研究の発表や、近未来のナノデバイス実現に大きなインパクトとなる研究発表も行われ、サイエンスとテクノロジーのバリアがナノ分野では極めて低くなっていることを再認識できた。

［3］成果

（3－1）研究成果

以下に第2回プロジェクト研究会についての概要を記す。第2回プロジェクト研究会は研究分担者に「ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓」に関する研究発表を募集して、平成18年11月17日（金）～18日（土）にかけて、宮城県仙台市の秋保温泉「ホールサムインばんじ」で開催した。平成18年度の第2回研究会は、22名の参加者によって熱のこもった討論が展開され、「ナノ半導体物理」を基礎にして「21世紀のナノテクノロジー」を日本発で切り拓けることを期待させる発表が多く行われ、メンバーの研究レベルの高さがヒシヒシと伝わってきた。以下に今回の研究会プログラムを記載する。

11月17日

(1) 13:44-13:45
はじめに
筑波大院・数物　白石 賢二

(2) 13:45-14:10
シリコン（１１１）表面の選択酸化
物質材料研究機構　三木 一司

(3) 14:10-14:35
室温で動作する2次元量子構造のデザインと作成
東工大院・総理工　平山　博之

(4) 14:35-15:00
Making a non-magnetic surface state magnetic (Part1)
東大院・理学系研究科　　長谷川 修司

(5) 15:00-15:25
シリコンナノピラミッドの成長と緩和
日本女子大・理学部　一宮 彪彦

(6) 15:25-15:50
Ge/Si(001)界面近傍の Ge 原子空孔における原子緩和
筑波大院・数物　高井 健太郎、白石 賢二、押山 淳

(7) 16:15-16:40
二次元電子系における歪効果と高感度センシング
NTT 物性基礎研　山口 浩司

(8) 16:40-17:05
ナノリンク系の過渡電流（電極の効果）
千葉大・理学部　中山 隆史

(9) 17:05-17:30
ナノスケールの同軸円筒型キャパシタにおける量子効果
筑波大院・数物 内田 之、岡田 、白石 二、押山 淳

(10) 19:45-20:10
有機触媒ＣＶＤの原理、装置、応用
大阪市大院・工、マテリアルデザインファクトリー　中山 弘

(11) 20:10-20:35
低誘電率材料設計
物質材料研究機構　大野 隆央

(12) 20:35-21:00
GaAs 上 InAs-SFT 形成に関する理論検討
三重大・工　伊藤 智徳

(13) 21:00-21:15
炭素ナノチューブと旧物質の複合体
筑波大院・数物　押山 淳

(14) 21:15-21:30
ナノスケール界面で何がおこるか？
筑波大院・数物　白石 賢二

11月18日

(15) 9:00-9:25
InN 厚膜成長を目指した原料分子制御 HVPE
東京農工大・工　纐纈 明伯

(16) 9:25-9:50
GaAs 表面窒化による GaN 超薄膜の作製と GaAs/c-Gan/GaAs 多層構造の作成
名城大・理工学部　成塚 重弥

(17) 9:50-10:15
MBE 法による高品質 InN 薄膜の結晶成長およびナノ構造作製
立命館大・理工　荒木 務、名西 やすし

(18) 10:40-11:05
量子チューブ中荷電励起子のアハロノフボーム効果
筑波大院・数物　野村 晋太郎

(19) 11:05-11:30
新原理磁性メモリの現状と課題
東北大通研　大野 英男

(20) 11:30-11:35
おわりに
東北大通研　大野 英男

今回の研究会では、（1）「ナノ半導体物理」の芽となるような基礎物理の研究結果、（2）「新しい半導体ナノ構造の製造方法」につながると期待される研究結果、だけでなく、（3）「次世代半導体ナノデバイスに指針を与える」ことのできる極めて実用的に重要な研究結果に関する発表も行われた。例をあげると「新原理磁性メモリの現状と課題（東北大・大野英男）、「ナノスケール界面で何がおこるか？」（筑波大・白石）、等は次世代半導体ナノデバイスに新展開を与えることが期待されるナノ半導体物理に関する基礎研究成果である。

（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、理論と実験、基礎と応用、ミクロとマクロ、異なる分野の研究者がナノサイエンス・ナノテクノロジーという一つのテーマに対して集中的に討論できたことは非常に意義が大きかったと考えられる。

現実に本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、現実に大きな実を結んだものもある。例えば、「金属／絶縁体ナノ界面制御」という極めて実用上重要な研究テーマに対して、元来は基礎物理の研究を行っている本プロジェクト研究会のメンバーである白石（筑波大）と中山（千葉大）で共同研究を行い、半導体デバイスの設計に極めて有益な指針を与えることに成功した。

以上のように本プロジェクト研究会が分野を超えた研究者間の真の意味の連携の機会を与える場となり、基礎研究と応用研究が同時進行するという将来のナノデバイスの研究開発に不可欠な研究体制の足がかりができたと考えている。将来的には、本プロジェクト研究会の討論をきっかけに、さらなる研究者間の有機的連携が生まれ、「ナノ半導体物理の新概念の構築」を皮切りに「新原理ナノデバイスの提案」、さらには実用化へとつながってゆくことが十分予想される。このような一連の研究成果こそが、２１世紀のナノテクノロジーに求められるものであり、日本が先端技術を武器に諸外国との競争に打ち勝つための必要条件となると考えている。

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B05

採択回数	1	(2)	3

ナノスピンマニピュレーションのための高性能交換磁気異方性材料の研究

［1］組織

代表者：角田　匡清
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
佐久間昭正（東北大学工学研究科）
土井　正晶（東北大学工学研究科）
齊藤　伸　（東北大学工学研究科）
岩田　聡　（名古屋大学エコトピア科学研究機構）
加藤　剛志（名古屋大学工学研究科）
山本　真平（京都大学化学研究所）
古門　聡士（静岡大学工学部）
佐藤　敏郎（信州大学工学部）
細糸　信好（北陸先端科学技術大学）
溝口　正　（学習院大学理学部）
山田　豊和（学習院大学理学部）
塚本　新　（日本大学理工学部）
小野　寛太（高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所）
鈴木　淑男（秋田県高度技術研究所）
武田　全康（日本原子力研究所）
中村　哲也（高輝度光科学研究センター）
鈴木　基寛（高輝度光科学研究センター）
梅津　理恵（産業技術総合研究所東北センター）
三俣　千春（日立金属(株)先端エレクトロニクス研究所）
岩崎　仁志（東芝(株)研究開発センター）
平野　辰巳（(株)日立製作所 日立研究所）

研究費：校費　0　円，旅費 417,380 円

［2］研究経過

強磁性／反強磁性積層膜で観測される交換磁気異方性は、通常印加磁界方向に追随する強磁性体のスピンが一方向に固着される現象であり、スピン相対角の人工制御性を生み出すため、磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）を始めとするスピントロニクスデバイスや超高密度磁気記録用スピンバルブヘッド等に既に実用化されている。近年では、超高密度垂直磁気記録媒体の裏打ち軟磁性膜の磁区制御、マイクロ波帯用薄膜磁気デバイスの共鳴周波数制御などへの応用、さらには、レーザー誘起超高速（数ピコ秒オーダー）磁化反転への応用など、これまでにない広い応用分野での検討がなされており、ナノスピンマニピュレーションに不可欠の要素技術となって来ている。一方で、およそ半世紀前の交換磁気異方性の発見以来、その物理の理解と特性開発が多くの研究者によって行なわれてきたものの、現在に至るまで、本事象の統一的解釈と特性導出のための材料設計指針を欠いているのが世界的に見た研究の実状である。

そこで本プロジェクト研究では、産業応用のための高性能交換磁気異方性の材料・プロセス設計指針の確立を最終目標とし、理論研究、材料開発、分析・評価、応用開拓の各分野の研究者を一堂に会して討論を行い、これまでの研究知見・手法などの研究資源の整理と共有化を図る。また従来、各応用デバイス毎に個別に検討されてきた、交換結合膜への要求特性、ならびに積層膜構成・形成プロセス等の産業応用上の問題点・課題の整理を行い、最終目標に向けた研究要件の明確化を行う。

本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。上記の目的を踏まえて、本年度は、下記5回の研究会を開催し、ナノスピンマニピュレーションのための高性能反強磁性材料に関する研究を展開した。

以下，研究活動状況の概要を記す。

○第1回研究会
日時：平成18年10月10日（火）
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系 351・353 会議室
参加者数：20名
プログラム：
『ナノ磁性粒子の磁気共鳴解析』
（東北大学未来科学技術共同研究センター／日立

金属先端エレクトロニクス研究所　三俣千春）

○第２回研究会
日時：平成 18 年 12 月 27 日（水）
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系 351・353 会議室
参加者数：25 名
主題：『硬Ｘ線による磁性材料研究』
プログラム：
『共鳴硬Ｘ線磁気散乱法による磁性薄膜・多層膜の磁気構造』
（奈良先端科学技術大学院大学　細糸信好）
『硬Ｘ線磁気円二色性による元素選択的磁化測定---ナノ構造の磁性を探る』
((財)高輝度光科学研究センター　鈴木基寛）

○第３回研究会
日時：平成 19 年３月６日（火）
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系２号館 204 会議室
参加者数：30 名
主題：『高速磁化ダイナミクスの理解と応用』
プログラム：
『超短パルス・レーザーを用いた磁化ダイナミクス計測と高速スピン制御への応用』
（日本大学理工学部　塚本　新）
『均一粒径磁性ナノ粒子の高周波磁気応用』
（東北大学大学院工学研究科　長谷川大二）

○第４回研究会
日時：平成 19 年３月８日（木）
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系２号館 205 会議室
参加者数：27 名
プログラム：
『SiO_2ナノリアクター法を用いた $L1_0$-FePt ナノ粒子の合成とその結晶配向制御』
（京都大学化学研究所　山本真平）

○第５回研究会
日時：平成 19 年３月 13 日（火）
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系２号館 204 会議室
参加者数：30 名
主題：『新たなスピンエレクトロニクス材料の探索』
プログラム：
『高性能スピンエレクトロニクス素子のための材料：理論からの提案』
（静岡大学工学部　古門聡士）
『Fe_4N 電極を有する強磁性トンネル接合膜のインバース TMR 効果』
（東北大学大学院工学研究科　須永和晋）

[3] 成果

(3―1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第１回研究会では、10^3 ないし 10^4 の原子磁気モーメントを含むナノ磁性粒子のスピンの動的挙動に関する理解を深めるため、ポリイミド膜中に析出させたＮｉナノ磁性粒子の電子磁気共鳴測定（ＥＭＲ）における体積占有率の変化に伴う共鳴磁場の変化についてマイクロマグネティクスを用いた解析に関する三俣による講演と、議論がなされた。模型解析では２次元形状のナノコンポジット膜に対して、共鳴磁場の変化が２次元的な反磁場の影響で変化していることが確認された。これは、一見キッテルの共鳴条件に従っているように見えるが、キッテル式に現れるように強磁性共鳴（ＦＭＲ）条件における静的反磁場を仮定すると、共鳴磁場の変化を十分説明することが出来ないのに対して、ラーモア運動による動的な反磁場の変化を考慮すると、共鳴磁場の変化を矛盾無く説明することが可能であることが分かった。

第２回研究会では、ナノスピン磁性体の磁気構造解析に関する新しい解析手法についての理解を深めるために『硬Ｘ線による磁性材料研究』と題した研究会を開催し、当該分野の第一線で活躍されている細糸氏ならびに鈴木氏の講演に基づいて議論を行った。細糸氏は、共鳴硬Ｘ線磁気散乱法による磁性薄膜・多層膜の磁気構造解析について詳細な解説を行い、Ｘ線の散乱過程で元素に固有なＸ線吸収端付近で顕著に見られる共鳴散乱現象を偏光したＸ線を利用して測定することで、元素選択的に磁気構造を決めることができ、金属人工格子を試料とした磁性研究の例として、磁性／磁性多層膜の磁気構造、界面磁性、間接交換結合と非磁性層の磁性などの最新の研究成果を紹介した。さらに、応用磁性材料として重要なスピンバルブ膜や magnetic tunnel junction 膜、exchange bias 効果を示す磁性膜は周期的な構造を持たないので磁気ブラッグ反射を示さないが、このような磁性数層膜に対する共鳴硬Ｘ線磁気散乱法の適用の可能性についても言及した。鈴木氏は、放射光を使った硬 Ｘ 線磁気円二色性 (X-ray magnetic circular dichroism: XMCD) 測定による、ナノ構造磁性体の元素別磁化観察について解説し、同手法の利点（元素選択性、高感度性、定量性）と、大型放射光施設 SPring-8 における実験装置の紹介、ならびに

XMCD で観測した Co 膜上の Pt ナノ薄膜 (Pt/Co) 、Au ナノ粒子、および収束イオンビームで作成した CoPt ナノドット試料の磁性について研究成果の実例を紹介した。

第３回研究会では、ナノスピンマニピュレーションの際の高速磁化ダイナミクスに関する理解を深めるために、塚本氏ならびに長谷川氏の講演と議論を行った。塚本氏は、磁化反転現象の支配因子と超短パルス・レーザーを用いた超高速磁化ダイナミクス計測法について述べた後、高速スピン制御へのアプローチとして、①希土類(RE)-遷移金属(TM)合金からなるフェリ磁性体が、各副格子磁気モーメントが打ち明けしあう角運動量補償点近傍で示す f およびαの発散的特性の実証②その熱動特性と超短時間加熱利用による高速磁化反転③光によるスピン直接制御、について最新の研究成果を紹介した。長谷川氏は、磁性ナノ粒子において、その磁化の方向が熱エネルギーに擾乱された結果現れる超常磁性現象が等方的な磁気特性を有することに着目し、その高周波応答に関する研究を行ってきた。従来、超常磁性現象の動的な応答は磁化の熱緩和に関する現象論によって解釈されてきたが、この現象論は歳差運動等の磁化の運動論が考慮されていないため強磁性共鳴が発現するような高周波領域における超常磁性現象の磁気応答を説明するには不十分であり、磁性ナノ粒子の高周波磁気応答を理解するためには，各種磁気エネルギーのみならず、磁化の運動論を考慮することが肝要であることについて述べ、熱エネルギーを考慮した Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式に基づき計算した磁性ナノ粒子の動的化過程および高周波応答限界を決定付ける要因に関して解説した。

第４回研究会では、磁性ナノ粒子の合成と結晶構造制御に関する議論のため、山本氏を招き、同氏らが近年精力的に研究を行っている SiO_2 ナノリアクター法を用いた $L1_0$-FePt ナノ粒子の合成とその結晶配向制御に関する講演を通じて議論を深めた。

第５回研究会では、ナノスピンマニピュレーションのための新しい材料を開発するために、『新たなスピンエレクトロニクス材料の探索』と題した研究会を開催し、古門氏による高性能スピンエレクトロニクス素子のための理論からの材料提案と、須永氏による　Fe_4N 電極を有する強磁性トンネル接合膜の磁気抵抗効果に関する最新の実験成果に関する講演と議論を行った。古門氏は、(1) Fe_4N の高スピン偏極伝導、(2)多数本のカーボンナノチューブ(CNT)を用いた強磁性トンネル接合の MR 比増大について紹介し、軽元素を含む強磁性体のスピン偏極伝導に注目した結果、ペロブスカイト型構造の Fe_4N のスピン偏極率 P は bcc-Fe のそれの 5 倍、fcc-Fe のそれの 2.5 倍になること、ならびに、この Fe_4N の高スピン偏極伝導は N により強められた 3d 軌道の伝導への寄与に起因し、高効率スピン注入電極になることが期待されることを述べた。須永氏は、古門氏の理論計算に基づき、Fe-N 薄膜を電極とした MTJ の TMR 効果について検討を行った結果、Fe_4N を強磁性電極とした MTJ において室温で比較的大きな（-33%）インバース TMR 効果が観測されたことを紹介し、インバース TMR 効果の起源について議論した。

これらの研究会活動を通じて、今後の高性能交換磁気異方性材料の開発研究の方向性に関する研究方針が明らかとなってきたことが本年度の主たる成果である。

（3―2）波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会は、材料開発、理論研究、応用研究ならびに解析技術研究の各分野から、交換磁気異方性材料に関する国内の第一線の研究者を集めたものであり、新たな研究コミュニティを確立することも目的の一つである。本年の活動によりその目的は達成され、共著での学会発表や論文執筆、さらには、共同での科学研究費補助金申請や、大型研究施設における研究プロジェクト申請など精力的な活動が行われると共に、多くの実りある提案がコミュニティの中から生まれつつある。本研究プロジェクトの継続的推進によって、新たな共同研究や、協力体制のより一層の強化が図られる。その結果として、独創的な高性能新材料の開発など、産業利用価値の高い大きな成果が生まれてくることが大いに期待される。

［4］成果資料

(1) M. Tsunoda, K. Imakita, M. Naka, and M. Takahashi, "$L1_2$ phase formation and giant exchange anisotropy in Mn_3Ir/Co-Fe bilayers", *J. Magn. Magn. Mat.,* **304**, 55 (2006).

(2) D. Y. Kim, C. G. Kim, C. O. Kim, M. Tsunoda, and M. Takahashi, "Angular dependence of exchange bias and coercivity in polycrystalline CoFe/MnIr bilayers", *J. Magn. Magn. Mat.,* **304**, e56 (2006).

(3) M.Tsunoda, T. Nakamura, M. Naka, S. Yoshitaki, C. Mitsumata, and M. Takahashi, "Soft x-ray magnetic circular dichrosim study of Mn-Ir/Co-Fe bilayers with giant exchange anisotropy", *Appl. Phys. Lett.,* **89**, 172501 (2006).

(4) M. Tsunoda, M. Naka, K. Imakita, S. Yoshitaki, and M. Takahashi, "Exchange Anisotropy of $L1_2$-Mn_3X (X = Ir, Rh, Ru) / Co-Fe Bilayers", *IEEE Transaction on Magnetics*, **42**(10), 2999 (2006).

課題番号　H17／B07

採択回数	1　②　3

ソフトウェア検証の理論と実践

［1］組織

代表者：小林　直樹
（東北大学大学院情報科学研究科）
対応者：外山　芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中島　震（国立情報学研究所）
萩谷　昌己（東京大学大学院情報理工学系研究科）
二木　厚吉（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
五十嵐　淳（京都大学大学院情報学研究科）
南出　靖彦（筑波大学大学院システム情報工学研究科）
武山　誠（産業技術総合研究所　システム検証センター）
青木　利晃（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）

研究費：通信費　５千円，資料作成費用　３万円

［2］研究経過

近年の情報化社会では、社会的基盤の多くがコンピュータに依存しており、ソフトウェアの信頼性への要求が高まっている。本共同プロジェクトでは、ソフトウェアの信頼性を保障する上で最も重要なソフトウェアの形式的な検証技術の発展・応用を目的として研究を行った。

本年度は、以下の１回の研究集会を開催した。

第一回：2006 年 12 月 20 日（水）～12 月 21 日（木）
発表 9 件

発表者と内容は以下のとおり。
末永 幸平（東京大学／東北大学）
「割り込みを用いた並行プログラムのデッドロック解析」
海野 広志（東京大学）
「依存型のオンデマンド型推論」
Marti Nicolas（東京大学）
「A Decision Procedure for Separation Logic」
大崎 人士（産業技術総合研究所）
「モデル検査技術の組込みソフトウェア現場導入」
中野昌弘（JAIST）
「補題発見による不変性検証の自動化」
照井 一成（国立情報学研究所）
「軽い線形論理を用いた多相型ラムダ項の実行時間検証」
五十嵐 淳（京都大学）
「Proving Noninterference by Fully Complete Translation」
中島 震（国立情報学研究所）
「Maude を用いた制約オートマトンについて」
小林 直樹（東北大学）
「並行プログラム解析器 TyPiCal の現状と今後の課題」

［3］成果

（3－1）研究成果

プログラム検証に関する会合を１回開き、当初の目標どおり、プログラム検証のための、モデル検査、型システム、定理証明、項書き換え等さまざまなアプローチからの研究者同士の情報交換が行えた。関連する成果をまとめた論文のリストは別紙に記載のとおり。具体的研究成果として、以下にあげるような、型システムとモデル検査の融合によるソフトウェア検証の手法の考案などが得られている。

成果例1: 型システムとモデル検査の融合による情報漏洩の検証

(Hiroshi Unno, Naoki Kobayashi, and Akinori Yonezawa, “Combining Model Checking and Type Inference for Finding Counterexample against Non-Interference,” Proceedings of ACM SIGPLAN Workshop on Programming Languages and Analysis for Security (PLAS 2006), pp.17-26, 2006.)

従来、ソフトウェアによる情報漏洩の検証手法として、型システムに基づくものとモデル検査に基づくものが提案されていたが、前者は解析の精度が悪く、後者は解析速度が遅いという欠点があった。本研究では、型システムを用いた粗い解析を高速に行い、その結果を用いてモデル検査の効率を向上する手法を考案した。

成果例2: 型システムとモデル検査の融合による資源使用法の検証

(Naoki Kobayashi, Kohei Suenaga and Lucian Wischik, “Resource Usage Analysis for the Pi-Calculus,” Logical Methods in Computer Science, vol.2, no. 3:4, pp.1-42, 2006.)

ファイルやメモリなどの計算資源を並行プログラムが正しく使用するか否かを静的に検証するため、まず型システムを用いて計算資源の使用法を近似した抽象プログラムを抽出し、その抽象プログラムをモデル検査によって検証するという手法を考案した。これにより、モデル検査では扱えない、無限状態をとりうるプログラムの検証が可能となった。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、異なるアプローチからの研究者同士の情報交換が促進できた。また、本プロジェクトの会合で議論したテーマに基づく学生の論文が国際会議に採択されるなど若手研究者の育成にもつながっている。

［4］成果資料

（1）Naoki Kobayashi, “A New Type System for Deadlock-Free Processes,” Proceedings of CONCUR 2006, Springer LNCS 4137, pp.233-247, 2006.

（2）Naoki Kobayashi, Kohei Suenaga and Lucian Wischik, “Resource Usage Analysis for the Pi-Calculus,” Logical Methods in Computer Science, vol.2, no. 3:4, pp.1-42, 2006.

（3）Hiroshi Unno, Naoki Kobayashi, and Akinori Yonezawa, “Combining Model Checking and Type Inference for Finding Counterexample against Non-Interference,” Proceedings of ACM SIGPLAN Workshop on Programming Languages and Analysis for Security (PLAS 2006), pp.17-26, 2006.

（4）Y. Minamide and A. Tozawa, “XML Validation for Context-Free Grammars,” Proc. of APLAS 2006, Springer LNCS 4279, pp.357-373, 2006.

（5）A. Tozawa and Y. Minamide, “Complexity Results on Balanced Context-Free Languages,” Proc. of FoSSaCS 2007, Springer LNCS, to appear, 2007.

（6）Kokichi FUTATSUGI, “Verifying Specifications with Proof Scores in CafeOBJ,” Proc. of 21st IEEE International Conference on Automated Software Engineering (ASE'06), pp. 3-10, 2006.

（7）Weiqiang Kong, Kazuhiro Ogata, Masaki Nakamura, and Kokichi Futatsugi, “A Review of Induction-Guided Falsification and Towards Its Automation,” Preliminary Proceedings of the 1st Asian Working Conference on Verified Software (AWCVS 2006), Macao, Oct. 2006.

（8）Jianwen Xiang, Kazuhiro Ogata, Weiqiang Kong, and Kokichi Futatsugi, “From Fault Tree Analysis to Formal System Specification and Verification with OTS/CafeOBJ,” Computer Software, JSSST, Vol. 23, NO. 3, pp. 134--146, 2006.

（9）青木利晃, “形式的手法による高信頼性組み込みソフトウェア開発,”情報処理学会 学会誌 Vol.47 No.5, pp.491-497, 2006.

（10）岩間 太, 五十嵐 淳, 小林 直樹, “計算資源使用法検証における計算資源の仕様と実際の使用法との適合性検証アルゴリズム,” 情報処理学会論文誌: プログラミング (掲載予定)

（11）Naokata Shikuma and Atsushi Igarashi, “Proving noninterference by a fully complete translation to the simply typed λ-calculus,” Proc. of ASIAN2006, Springer LNCS 2007 年(掲載予定)

（12）Y. Chiba, T. Aoto and Y. Toyama, “Program Transformation by Templates: A Rewriting Framework,” IPSJ Transactions on Programming, Vol.47, No.SIG 16 (PRO 31), pp.52-65, 2006.

（13）Yuki Chiba and Takahito Aoto, “RAPT: A Program Transformation System based on Term Rewriting,” LNCS 4098, Springer-Verlag, pp.267-276, 2006.

（14）Takahito Aoto, “Dealing with Non-orientable Equations in Rewriting Induction,” LNCS 4098, Springer-Verlag, pp.242-256, 2006.

（15）田辺 良則, 萩谷昌己, “階層的グラフ構造の記述と検証のための様相論理,” 日本ソフトウェア科学会第 23 回大会, 2006.

（16）著者名 櫻田英樹, 萩谷昌己, “遷移関係の詳細化による正則モデル検査の再構成と拡張,” 日本ソフトウェア科学会第 23 回大会, 2006.

（17）C. C. Frederiksen, and M. Hagiya, “Sub-Computation Based Transition Predicate Abstraction,” 情報処理学会論文誌 PRO, to appear.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B08

採択回数	1	(2)	3

スピンエレクトロニクスの新展開

［1］組織

代表者：小野 輝男
（京都大学化学研究所）
対応者：大野 英男
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
秋永　広幸（産総研）
安藤　功兒（産総研）
安藤　康夫（東北大工）
井上　順一郎（名大工）
伊藤　公平（慶大理工）
猪俣　浩一郎（物材機構）
大谷　義近（東大物性研）
勝本　信吾（東大物性研）
白井　正文（東北大通研）
鈴木　義茂（阪大基礎工）
高梨　弘毅（東北大金研）
多々良　源（首都大）
田中　雅明（東大工）
新田　淳作（東北大工）
前川　禎通（東北大金研）
宮崎　照宣（東北大工）
宗片　比呂夫（東工大理工）
湯浅　新治（産総研）
吉田　博（阪大産研）

研究費：物件費5万円，旅費28万8千円

［2］研究経過

電子の二つの自由度である電荷とスピンを利用するスピンエレクトロニクスは電荷のみを利用するエレクトロニクスの限界を打ち破る可能性を秘めた２１世紀の重要な科学技術である。金属スピンエレクトロニクス分野では、巨大磁気抵抗効果がHDDの高密度化を実現し、トンネル磁気抵抗効果を利用したMRAMが市場に出ようとしている。一方、強磁性半導体の発見を契機として発展した半導体スピンエレクトロニクス分野では、強磁性の電界制御など半導体特有のスピン操作が実現されている。本プロジェクトでは、これまでほぼ独立に発展してきた上記二つの分野の研究者が分野横断的に議論することで、分野の枠組みを超えたスピンエレクトロニクスの新たな展開を生み出すことを目的として研究会を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

平成18年9月28日～29日に東北大学電気通信研究所にて「スピンエレクトロニクスの新展開」に関するプロジェクト研究会を開催した。金属スピンエレクトロニクス分野と半導体スピンエレクトロニクス分野の研究者が多数集まり、23件の講演とともに今後のスピンエレクトロニクス研究の課題や目標について熱心な議論が行われた。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

金属スピンエレクトロニクス分野と半導体スピンエレクトロニクス分野の研究者による最新の情報交換と議論によって、今後のスピンエレクトロニクス研究の課題や目標が明確となった。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトでは、金属スピンエレクトロニクス分野と半導体スピンエレクトロニクス分野の研究者が分野横断的に議論を行い、両分野の交流が飛躍的に活性化した。両分野の融合による今後の新たなスピンエレクトロニクス発展へとつながることが期待される。

課題番号　H17／B09

採択回数	1　2　3

マイクロ波帯磁気応用技術に関する研究

［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（山形大学工学部）
池田　慎治（富山工業高等専門学校）
岡田　健一（東京工業大学精密工学研究所）
長田　　洋（岩手大学工学部）
川人　祥二（静岡大学電子工学研究所）
杉山　　進（立命館大学理工学部）
竹澤　昌晃（九州工業大学工学部）
丹　　健二（秋田県高度技術研究所）
辻本　浩章（大阪市立大学工学部）
中野　正基（長崎大学工学部）
中山　英俊（長野工業高等専門学校）
本田　　崇（九州工業大学工学部）
松下　伸広（東京工業大学応用セラミックス研究所）
宗像　　誠（崇城大学エネル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：校費 5 万円，旅費 45 万 1 千円

［2］研究経過

本研究会は，携帯電話や無線 LAN などの RF 回路における集積化磁性薄膜デバイスと材料技術，電子回路の高速化に伴って顕在化しているマイクロ波帯 EMI／EMC などのマイクロ波帯磁気応用技術について調査することを目的に，平成 18 年 4 月に発足した。平成 18 年度は，携帯電話 RF 回路への適用を目的とした磁性薄膜応用デバイス，集積化マイクロ磁界プローブを用いたマイクロ波 EMI 計測，新しいマイクロ波帯磁性薄膜材料などについて検討を行った。また，本研究会は，平成 18 年 5 月 8 日に米国サンディエゴ市で開催された MMDM4（4th International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials）を協賛するとともに，平成 18 年 12 月 19 日，20 日に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，MMDM5 ならびに電気学会合同研究会の中で本プロジェクト研究会と関連の深い主要な研究発表を列挙する。

MMDM5（平成 18 年 5 月 8 日、米国サンディエゴ市）

08a-1 Evaluation of Exchange-Biased Magnetic Material for High Density GHz Toroidal Integrated Inductor, B. Orlando[1-2], A-S. Royet[3], B. Viala[3], ([1] STMicroelectronics, France, [2] XLIM, France, [3] CEA-LETI, Grenoble, France)

08a-2 Polymer-Metal Nanocomposites for High Frequency Applications, A. Gerber[1], H. Greve[2], V. Zaporojtchenko[2], C. Schmutz[1], F. Faupel[2], E. Quandt[1], ([1]Caesar, Smart Mater. Group, Germany, [2]Christian-Albrechts-Univ. zu Kiel, Multicomponent Mater., Germany)

08a-3 Exchange-coupled CoFe multilayers for microwave applications, Y. Lamy[1,2], J.-P. Michel[1], B. VIALA[1], ([1]CEA Grenoble, France, [2]XLIM, CNRS, France)

08a-4 Interfacial coupling effect on microwave permeability for high frequency applications in CoFe/MnIr films, D. Y. Kim[1], C. G. Kim[1], C.-O. Kim[1], M. Tsunoda[2], M. Takahashi[2], M. Yamaguchi[3], [1]Chungnam Nat. Univ., Korea, ([2] Dept. of Electron. Engng., Tohoku Univ., Japan, [3] Dept. of Elect. and Commun. Engng., Tohoku Univ., Japan)

08a-5 Microwave Applications of Metamaterial Structures (Invited), T. Itoh, (Microwave Electron. Lab., UCLA, USA)

08a-6 Artificial microwave magnetic materials: metamaterial and magneto-mechanical approaches, C. Dudek[1,2], A. L. Adenot-Engelvin[1], M. Ledieu[1], J. M. Lerat[1,2] and O. Acher[1], ([1] CEA, France, [2] LEMA UMR 6157 CNRS, France)

08p-2 FeCoB films with high anisotropy field suitable for GHz band operation, A. Hashimoto[1], S. Ito[1], S. Nakagawa[1], M. Yamaguchi[2], ([1]Dept. of Physical Electronics, Tokyo Institute of Tech., Japan, [2]Dept. of Elec. and Commun. Engng., Tohoku Univ., Japan)

08p-3 Permeability Spectra of Granular CoFeHfO Thin-film Material, L. Li, D. Won Lee, S. X. Wang,

(Dept. of Mater. Sci. and Engng., Stanford Univ., USA)

08p-4 Dynamic Magnetic Properties of Fe_3O_4 Nanoparticle Assembly in Ultra-high Frequency Range, D. Hasegawa[1], T. Ogawa[1], M. Yamaguchi[2], M. Takahashi[3], ([1]Dept. of Electron. Engng., Tohoku Univ., Japan, [2]Dept. of Elec. and Commun. Engng., Tohoku Univ., Japan, [3]NICHe, Tohoku Univ., Japan)

08p-6 Theory of permeability in ferrite plated films used for GHz noise Suppressors, M. Abe[1], M. Tada[1], N. Matsushita[2], Y. Shimada[3], ([1]Dept. Phys. Elect., Tokyo Institute Tech., Japan, [2]Materials and Structures Lab., Tokyo Inst. Tech., Japan, [3]Dept. Elec. and Commun. Engng. Tohoku Univ., Japan)

08p-7 The circuit and reliability model of high frequency EMI filter module, S. Y. Tong, W. S. Ko, Y. T. Huang and M. J. Tung, (Mater. and Chem. Res. Lab., Industrial Tech. Res. Institute, Taiwan)

08p-8 Iron-Based Microwave Band-Stop Filters Operating Above 10 GHz, Bijoy K. Kuanr, I. R. Harward, Y. V. Khivintsev, R. E. Camley, Z. Celinski, (Univ. of Colorado at Colorado Springs, USA)

08p-10 Evaluation of RF Magnetic Thin Film Noise Suppressor Integrated onto an Operating LSI Chip, T. Fukushima[1], H. Ono[2], S. Koya[1], N. Masuda[3], M.Yamaguchi[1], ([1]Dept of Elec. and Commun. Engng., Tohoku Univ., Japan, [2]NEC Tokin Co., Japan, [3] NEC Co., Japan)

電気学会マグネティックス研究会（12 月 19 日(木), 20 日（金））

MAG-06-172 磁気ハイブリッドカプラに関する研究，辻本浩章，中村匡芳（大阪市大），宗像誠（崇城大）

MAG-06-173 Ferromagnetic Resonance Simulation of Mn-Ir/Fe-Si Exchange-Coupled Film on the Basis of LLG Equation with Taking Account of Exchange-Stiffness Dispersion Model, M. Sonehara, T. Ishikawa, K. Inagaki, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura (Shinshu Univ., Japan), H. Fujiwara (Univ. of Alabama, USA)

MAG-06-174 磁性薄膜乗算素子の形状に伴う特性変化に関する研究（薄膜電力計の高感度化），辻本浩章，出口悠太（大阪市大）

MAG-06-175 System In Package 用超薄型インダクタの開発，井上哲夫（東芝マテリアル）

MAG-06-176 CoFeB 磁性薄膜を用いた携帯電話 RF 回路用方向性結合器の特性改善，水田創，橋本篤典，杉浦一真，中沢政博，滝澤和孝，，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正（信州大），三宅裕子，秋江政則，上原裕二（富士通），宗像誠，八木正昭（崇城大）

MAG-06-177 磁性めっき線を用いたコイルの交流抵抗の低減，水野勉（信州大），榎木茂実（新川センサテクノロジ），鈴木貴之，朝比奈孝，野田真裕（信州大），品川宏樹（新川センサテクノロジ），植原精作，北沢弘（東京特殊電線）

MAG-06-178 磁性膜と表面弾性波素子を用いたセンシング技術，石田大輔，金本恭兵（豊橋技科大），申光鎬（慶星大，豊橋技科大），内田裕久，P. B. Lim，井上光輝（豊橋技科大）

MAG-06-180 形状磁気異方性を用いた高周波キャリア型薄膜磁界センサの試作，加藤智紀，石山和志，荒井賢一（東北大）

MAG-06-184 オンチップ集積化マイクロ磁界プローブを用いた伝送線路からの放射磁界計測，小屋祥太，鳥塚英樹，安井健史，菊池隼人，丸田佳織、山口正洋(東北大)，青山 聡，川人祥二(静岡大)

MAG-06-185 DC-DC コンバータ用マイクロパワーインダクタの高効率低背化に関する検討，石井豪，山口正洋（東北大），茶谷健一（NEC トーキン）

［3］成果

（3－1）研究成果

平成 18 年度に実施した共同プロジェクト研究会を通して得られた主要な研究成果を以下に示す。

(1) 携帯電話用磁性薄膜方向性結合器

携帯電話 RF 回路用受動部品の大半を占める LTCC（Low Temperature Co-fired Ceramics）チップ部品の代替を目的として，パワーアンプの送信電力制御のための方向性結合器をターゲットとした集積化薄膜方向性結合器の特性改善が図られた。図 1 は試作デバイスの模式図と外観写真を示すものである。本デバイスでは，主線路－副線路間の磁気結合を CoFeB 磁性薄膜の採用によってエンハンスするとともに，4 つのポートに薄膜キャパシタを設置

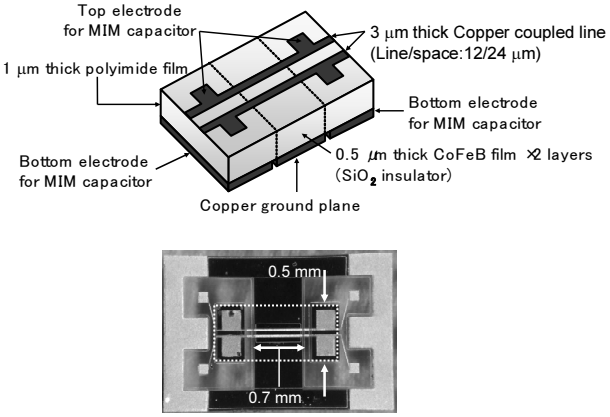


図 1 試作された磁性薄膜方向性結合器

することで線路間の電界結合を発生させている。ポート1−3ならびに2−3間のみに電界結合が生じるように薄膜キャパシタの構造を変更することで，挿入損失（0.6dB 以内），反射係数（−20dB 以下），結合度（−25〜−10dB），アイソレーション（−25ｄB 以下）のいずれに対しても 0.6〜2.3GHz という広い周波数帯で目標特性をクリアすることができた。今後は，実際にパワーアンプモジュールに接続した実動作試験を実施し，実用化の可能性検証が望まれる。

⑵ マイクロ波 EMI 対策技術

高速信号配線に軟磁性薄膜を装荷する新しいマイクロ波 EMI 対策において，薄膜材料のシート抵抗がノイズ吸収に大きな影響をおよぼし，最適シート抵抗の存在が実験的に確認されている。HFSS 電磁界シミュレータによって詳細に検討された結果，ノイズ吸収材料の最適シート抵抗の存在が再現されるとともに，薄膜内に誘導されたうず電流が広帯域ノイズ吸収に大きく寄与していることが明らかにされた。ノイズ吸収薄膜内のうず電流は主として配線電流の影像電流によるものであり，薄膜垂直方向磁界成分がその原因になっていることなどが議論された。

その他，軟磁性薄膜を用いた EMI 対策事例として，高速ロジック LSI の上部に直接軟磁性薄膜を形成するノイズ吸収技術が報告された。

⑶ 強磁性／反強磁性交換結合膜の問題

強磁性／反強磁性交換結合を利用した新しい磁性薄膜材料が新しいマイクロ波帯材料として期待されているが，強磁性共鳴半値幅が強磁性膜厚の増大とともに広がるという応用上重要な問題が指摘されている。この問題に対して，Mn-Ir／Fe-Si 系薄膜を対象に Fe-Si 膜の交換スティフネスの分散を考慮した LLG シミュレーションによる強磁性共鳴の特性解析が行われた。Fe-Si 膜内のルーズな交換相互作用の存在のために，Mn-Ir／Fe-Si 界面の交換結合が Fe-Si 膜全体に有効に伝達されず，Fe-Si 膜厚が厚いほど交換バイアス磁界の分布が大きくなり，強磁性共鳴半値幅が広がると推定されている。

（３−２）波及効果と発展性

マイクロ波 IC への適用を目指した集積化磁気デバイスについては，磁性薄膜方向性結合の特性改良が着実に進展しており，今後は実用化に向けた検討が進むものと期待される。

磁性材料の高周波損失を利用する EMI 対策技術では，磁性薄膜を用いたノイズ吸収に関するメカニズムが明らかになりつつあり，高速配線や LSI のノイズ輻射を抑制する局所的 EMI 対策技術として実用化されることが期待される。

新しいマイクロ波磁性材料では，交換結合系材料の諸課題が明らかになりつつあるとともに，グラニュラー系材料の特性改良も進み，今後は，実際の応用展開が大いに期待できる。

［４］成果資料

⑴ S. Aoyama et al., “An Active Magnetic Probe Array for the Multiple-Point Concurrent Measurement of Electromagnetic Emissions,” IEEE Transactions on Magnetics, **42** (10), (2006), 3303-3305.

⑵ K. Tan et al., “Detection of High- Frequency Magnetic Fields by a GMI Probe,” IEEE Transactions on Magnetics, **42** (10), (2006), 3329-3331.

⑶ M. Yamaguchi et al., “Slit Design Consideration on the Ferromagnetic RF Integrated Inductor,” IEEE Transactions on Magnetics, **42** (10), (2006), 3341-3343.

⑷ K. Maruta et al., “Analysis of Optimum Sheet Resistance for Integrated Electromagnetic Noise Suppressor,” IEEE Transactions on Magnetics, **42** (10), (2006), 3377-3379.

⑸ T. Fukushima et al., “Evaluation of RF Magnetic Thin Film Noise Suppressor Integrated onto an Operating LSI Chip,” Journal of the Magnetics Society of Japan, **30**, (2006),531-534.

⑹ 島田寛，他，“複合微粒子集合体の初透磁率”，日本応用磁気学会誌, **30**, (2006), 540-544.

⑺ S. Ikeda et al., “Micropatterned high permeability films with narrow bandwidth resonance loss for the band stop filter,” Journal of Applied Physics. **99**, (2006), 08P507.

⑻ M. Sonehara et al., “Relation between microwave complex permeability and ferromagnetic Fe-Si layer thickness in Mn-Ir/Fe-Si exchange-coupled film,” IEEE Transactions on Magnetics, **42**(10), (2006), 2984-2986.

⑼ M. Sonehara et al., “Mn-Ir/Fe-Si exchange-coupled multilayer film with plural ferromagnetic resonance absorptions for wideband noise filter,” Journal of Applied Physics, **99**, (2006), 08M309.

⑽ H. Nakayama et al., “Suppression of insertion loss by slit patterning of a magnetic film in a CoFeB/ polyimide hybrid thin-film coplanar line for a rf impedance matching device,” Journal of Applied Physics, **99**, (2006), 08P508.

⑾ K. Takizawa et al., “Analysis of Directional Coupler Using Magnetic/Dielectric Hybrid Transmission-Line for Cellular Phone,” Asia-Pacific Microwave Conference 2006 Proceeding, **2**, (2006), 1384-1387.

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B10

採択回数	1	(2)	3

プログラム自動生成とその信頼性に関する研究

［1］組織

代表者：亀山　幸義
（筑波大学システム情報工学研究科）
対応者：外山　芳人
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
高野　明彦
（国立情報学研究所ソフトウェア研究系）
小川　瑞史
（北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科）
胡　振江
（東京大学情報理工学系研究科）
長谷川　立
（東京大学数理科学研究科）
西村　進
（京都大学理学研究科）
細谷　晴夫
（東京大学情報理工学系研究科）
筧　一彦
（東京大学産学連携本部）
中野　圭介
（東京大学情報理工学系研究科）
協力者：
大堀　淳
（東北大学電気通信研究所）
浅井　健一
（お茶の水女子大学理学部）
青戸　等人
（東北大学電気通信研究所）
篠埜　功
（東北大学電気通信研究所）
千葉　勇輝
（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 20,000 円，旅費 321,000 円.

［2］研究経過

目的と概要：プログラム変換やプログラム特化など，プログラムを自動的に生成する方法に焦点を当てて，効率よく信頼性の高いソフトウェアを作成する手法を探求することを第一の目的とした．また，構造化文書や木構造などのデータを対象としたソフトウェアの自動生成法について探求することを第二の目的とした．本研究の特色は，ソフトウェア生成法自体の信頼性も保証することと，近年重要度を増している半構造化データ処理へ応用して実例を得ることの２点である．

今年度の活動：2 年目にあたり，各自が展開している最先端の研究を紹介して討論することにより，互いの研究の位置付けを確認し，新しい視点から研究を発展させるための活動を行った．今年度の研究集会は，平成 18 年 10 月 30～31 日に東北大学電気通信研究所においてメンバーのほぼ全員と研究協力者を得て開催した．

研究集会の主な発表テーマは以下の通りである．

*大堀　淳: Lightweight Fusion by Fixed Point Promotion
*中野　圭介: A Pushdown Machine for Functional XML Processing
*小川　瑞史: Visibly stack automata
*高野　明彦: 想・IMAGINE book search
*浅井　健一: Functional Unparsing in Direct Style
*筧　一彦: 分散メモリ環境下での木構造の効率的な縮約計算
*西村　進: Transforming Pointer Programs in Refinement Calculus extended with Separation Logic
*亀山　幸義: “back to direct style” problem with shift/reset
*千葉　勇輝，青戸　等人: RAPT: A Program Transformation System based on Term Rewriting.

［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.

・プログラム特化や実行時コード生成などにおいて，限定継続を操作することにより，生成されるコードの効率をあげることができる．限定継続を制御するオペレータを階層化して，多数の限定継続オペレータが共存できる計算体系に対して，型システムを構築した．得られた体系では，型の表現がコンパクトになり，また，健全性などの性質が成立することを示した．これにより,階層化コントロールオペレータを，静的型システムをもつプログラム言語に導入することが可能となった.

・C 言語などに見られる printf 関数は，与えるフォーマットによって引数の型が異なってくる．この挙動は，継続渡し形式でプログラムを書くと依存型を使わなくても型付けすることができる．本研究では，それを，部分継続を扱うコントロールオペレータである shift/reset を使って表現した．これにより printf 関数の本質を明らかにするとともに，shift/reset の型付けに関して興味深い知見を得た.

・ヒープに割り当てられたデータ構造を操作するプログラムの変換を行うための Refinement calculus の拡張を提案した. Refinement calculus は Back らによって提唱されたプログラム（一般的には述語変換子）の段階的詳細化のための枠組である．ベースとなる論理体系を Separation Logic で拡張することにより，Refinement calculus を，ヒープ操作を行うプログラムに対しても自然に拡張できることを示した．また，累積変数を持つ関数合成の融合を，適切なモノイド準同型の合成として定式化した．この定式化によって関数融合に関する種々の異なる方法をひとつの枠組の中で統一的に説明できることを示した.

・プログラムの並列化は，逐次プログラムを並列プログラムに変換するプロセスである．従来は ad-hoc な研究が多く，どのような逐次プログラムが並列可能なのかは明確になっていない．本研究は構成的アルゴリズム理論を用いて「並列化」を定式化し，逆計算プログラムの導出による新しい並列化アルゴリズムを提案し実現した．また，構成的手法に基づく並列化手法を，木のアルゴリズムの並列化にも応用できることを示した.

・XML変換処理の効率化とその拡張： 昨年度まで行ってきたXMLストリーム処理器の自動導出は, プログラマの技術や経験に頼ることなくXML変換処理の効率化が実現できる手法の一つであったが, 本年度においては，このストリーム処理器がスタック機構を用いることで高速化できることを実装により確認した.

・木構造データへの計算の需要が高まる中，それを並列に処理する機構に関しての提案を行なった．一次元配列とは異なり木構造は本質的に不均一であり，並列処理を行なう際の障壁のひとつとなっている．これに対して，木構造を同等の一次元表現とし，その上で木構造上の並列計算で必要とされている条件を満たす計算について，効率良く並列計算が行なえる機構を提案し，その効果を示した．また，この実装は，既存のストリーム処理と異なり遅延評 価などでは実現できない枠組みであるため，この方法を拡張することにより，プログラミング言語の新しい評価戦略として更なる研究が期待される.

・「連想による検索」の考えに基づいた実システムとして,「想－IMAGINE」という新しいシステムを構築し，一般公開した．これの特徴は，新書マップや文化財データベース，Wikipedia など，既存の複数のデータベースを横断的に，連想計算の方式で検索する点にある.

・モデル検査に基づく Java プログラム解析について，形式言語理論の拡張から既存ツールを用いた実装まで，研究を進めた．具体的には，2004 年に提案された Visibly Pushdown Automata に対して, 1967 年に提案された Stack Automata のアイデアを用いて拡張した Visibly Stack Automata を提案し，その閉包性や決定可能性を示した．また実装面では Java コンパイラの一つである SOOT および重み付プッシュダウンモデル検査のライブラリ Weighted PDS を用いて Points-to 解析を実装した.

・直観主義線形論理のモデルにおける，不動点演算子の構造に関する分析を行った．特に，数年来集中的に研究している twiner を用いたモデルにおける不動点演算子の具体的な構造を研究した．このモデルは 2 階の体系のよい性質をもったモデルになる点で重要だからである．その結果，高階の不動点演算子の解釈から得られる twiner は，数え上げ組合せ論に現れる Cayley 関数と呼ば

れる「べき級数」に対応しているという結果が得られた．また，それを用いて，不動点演算子の解釈の正規形の構造を決定した．

（３－２）波及効果と発展性など

本共同研究プロジェクトは，プログラム変換，プログラム生成，XML データ処理，構造化文書処理などの分野における第一線の研究者を網羅して構成している．これらの分野の研究者が、「構造のあるデータの操作と生成」を鍵として集中的に討論することにより、関数型言語と型システム、書換系などにおける各種の技法が情報交換され、新しい切り口による発想が生まれており、今後、国際的なプログラミング言語研究の場において存在感のあるグループが構成されることが期待できる。

［４］成果資料

1. K. Asai, "Logical Relations for Call-by-value Delimited Continuations," In a chapter of Trends in Functional Programming (TFP), pp. 63-78, to appear.

2. K. Kakehi, "Evaluating Parallel Tree Reduction Algorithm with Introducing an Approach for Random Tree Generation," 第 9 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 (PPL2007), 2007.

3. K. Kakehi, K. Matsuzaki, K. Emoto. "Efficient Parallel Tree Reduction on Distributed Memory Environment," In Proc. Fourth International Workshop on Practical Aspects of High-level Parallel Programming (PAPP2007), Beijing, China, Lecture Notes in Computer Science, 2007.

4. Y. Kameyama, M. Sato, “E-Learning of Foundation of Computer Science”, Proc. The Fourth AEARU Workshop on Network Education, pp. 169-180, 2006.

5. S. Katsumata, S. Nishimura, “Algebraic Fusion of Functions with an Accumulating Parameter and Its Improvement", Proceedings of the 11th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (ICFP ‘06), pp.227-238, ACM press, 2006.

6. S. Kawanaka, H. Hosoya, “biXid, a bidirectional transformation language for XML”, ACM International Conference on Functional Programming (ICFP ‘06,) pp. 201-214, 2006.

6. Li G., M. Ogawa. “On-the-fly model checking security protocols and its implementation by Maude”, 情報処理学会論文誌プログラミング,掲載予定（採録）.

7. K. Matsuzaki, Z. Hu, M. Takeichi, “Towards Automatic Parallelization of Tree Reductions in Dynamic Programming”, 18th ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures (SPAA 2006), Cambridge, USA, pp.39-48, 2006.

8. K. Morita, A. Morihata, K. Matsuzaki, Z. Hu, M. Takeichi, “Automatic Inversion Generates Divide-and-Conquer Parallel Programs”, ACM SIGPLAN 2007 Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI 2007), San Diego, USA, 2007.

9. S. Nishimura, "Reasoning about Data-Parallel Pointer Programs in a Modal Extension of Separation Logic", Algebraic Methodology and Software Technology, 11th International Conference (AMAST 2006), LNCS 4014, pp.293-307, Springer, 2006.

10. K. Nakano and S-C. Mu. “A Pushdown Machine for Recursive XML Processing”. The Fourth ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS'06), pp. 340-356, 2006.

11. 鈴木，亀山，階層化コントロールオペレータに対する型システムの構築，情報処理学会論文誌：プログラミング，掲載予定（採録）.

12. 高野，古書街で情報サービスの未来を想う，情報管理, Vol. 49, No. 7, pp. 392-394, 2006.

課題番号　H17／B11

採択回数	2

超高速光パルス制御技術に関する研究

［1］組織

代表者：土田　英実
（産業技術総合研究所光技術研究部門）
対応者：中沢　正隆
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
廣岡　俊彦（東北大学電気通信研究所）
吉田　真人（東北大学電気通信研究所）
挾間　寿文（産業技術総合研究所）
石川　　浩（産業技術総合研究所）
鳥塚　健二（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）
川西　哲也（情報通信研究機構）
菊池　和朗（東京大学）
納富　雅也（ＮＴＴ）
小林　功郎（東京工業大学）

研究費：消耗品費３万７千円，旅費２６万８千円

［2］研究経過

持続時間がピコ～フェムト秒領域の超高速光パルスを高度に制御する技術の開発は、時分割多重方式の光通信システム、極限時間域の光計測、光周波数標準・計測等の応用において極めて重要な課題である。超高速光パルス制御技術に関する研究では、次世代の超高速光制御技術の確立を目指すことを目的として、東北大学・電気通信研究所、産業技術総合研究所等の研究者の間で、超高速光パルス制御技術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，本年度が２年目に当たり、平成１８年１１月１３ー１４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、情報通信研究機構、東京大学、ＮＴＴ、東京工業大学の研究者が参加して研究会を開催し、１４件の発表を行った。超高速光パルス伝送、適応分散等化、光位相変復調、光クロック抽出、超高速光デバイス、光周波数計測、光周波数シンセサイザ、光分周、光ファイバレーザ等の発表に対して、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１３日（月）

１．開会挨拶　　中沢正隆（東北大学）
２．周波数安定化レーザと局発レーザを用いた 64、128 コヒーレント QAM 伝送の基礎実験：○本郷淳平、葛西恵介、吉田真人、中沢正隆（東北大学）
３．電気光学変調器による超高速光振幅・位相・周波数制御：川西哲也（情報通信研究機構）
４．デジタルコヒーレント光受信器：○菊池和朗（東京大学）
５．時間領域光フーリエ変換を用いた 160 Gbit/s-600 km OTDM 伝送：○廣岡俊彦、萩生田研一、熊倉崇、大澤耕、中沢正隆（東北大学）
６．再生モード同期半導体レーザを用いた 160Gb/s 光クロック抽出：○土田英実（産業技術総合研究所）
７．光コムを用いた高精度距離標準の開発：○美濃島薫、稲場肇、松本弘一（産業技術総合研究所）、飯野義行、熊谷薫（トプコン）
８．Cs 二重共鳴光セルを用いたモード同期レーザ型光原子時計の提案とその動作：○平山徹、吉田真人、中沢正隆（東北大学）
９．光周波数掃引が可能な 40 GHz ピコ秒モード同期ファイバレーザ：○吉田真人、葛西恵介、中沢正隆（東北大学）

１１月１４日（火）

１．ワイドギャップ II-VI 族半導体量子井戸サブバンド間遷移を利用した超高速スイッチの低エネルギー動作化：○秋本良一、秋田一路、Guangwei Cong、挾間寿文、石川浩（産業技術総合研究所）
２．InGaAs/AlAs/AlAsSb 半導体量子井戸サブバンド間遷移の相互位相変調を用いた 10Gb/s 波長変換：○土田英実、下山峰史、石川浩、物集照夫、永瀬成範（産業技術総合研究所）、葛西淳一（日立製作所）
３．InGaAs/AlAs/AlAsSb サブバンド間遷移スイッチにおける TM 光による TE 光位相変調のメカニズム：○石川浩、土田英実、下山峰史、物集照夫、永瀬成範、挾間壽文（産業技術総合研究所）

４．λ/4 シフト偏波保持 DFB ファイバレーザのリング共振器化と発振特性の向上：○鈴木聡人、高橋陽平、中沢正隆（東北大学）
５．フォトニック結晶ナノ共振器を用いた光制御の展開：○納富雅也(NTT)
６．特定領域研究"新世代光通信”の研究活動紹介：○小林功郎（東京工業大学）
７．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 周波数安定化した光ファイバレーザを送信器、および局部発振器として用いた直交振幅変調(QAM)伝送実験を行い、64、128QAM 信号に対して、それぞれ 525, 225km の伝送を実現した。
② 超高速光振幅・位相・周波数の制御を可能にする多機能光変調器を開発し、FSK、DQPSK など種々の変調信号の発生、アンバランス補正による消光比の向上、バイアス自動制御を実現した。
③ デジタル信号処理（DSP）回路を用いたデジタルコヒーレント光受信器を開発し、10Gsymbol/s の M-ary/PSK 信号の復調を行い、DSP による群速度分散と非線形位相雑音補償を実現した。
④ 時間領域フーリエ変換を用いた 160Gb/s 伝送システム実験を行い、分散と分散スロープによる波形歪み除去することにより、600km 伝送を実現した。
⑤ 再生モード同期半導体レーザを用いた 160Gb/s 光クロック抽出技術を開発し、パルス幅 2.3ps、タイミングジッター225fs を得た。また、半導体光増幅器を光ゲートスイッチとして用いた 160Gb/s 光３Ｒ再生の基本動作を確認した。
⑥ 光周波数コムを利用した高精度距離計を開発し、240m の距離において周期誤差 2μm、10m の距離において分解能 100nm を得た。また、可搬型のプロトタイプ機を開発し、国際比較に参加した。
⑦ Cs 二重共鳴セルを用いたモード同期レーザ型原子時計を提案、開発し、周波数安定度 1.2×10^{-12}（τ=1s）、8.8×10^{-14}（τ=100s）を実現し、一次標準器と同等の安定度を得た。
⑧ 短共振器化と共振器内エタロンの利用により、周波数掃引可能な 40GHz モード同期光ファイバレーザを実現した。1535-1560nm の波長可変範囲内で 3ps の短パルス出力を得た。
⑨ CdS/ZnSe/BeTe 量子井戸のサブバンド間遷移を利用した超高速光スイッチを開発し、導波路型素子において、緩和時間 200-250fs、ポンプエネルギー7pJ において消光比 10dB を実現した。
⑩ InGaAs/AlAs/AlAsSb 量子井戸のサブバンド間遷移における相互位相変調効果(XPM)を利用して、10Gb/s 波長変換を実現し、パワーペナルティ 2.53dB を得た。また、XPM を利用した種々の光信号処理回路を提案した。
⑪ InGaAs/AlAs/AlAsSb 量子井戸のサブバンド間遷移における相互位相変調効果が、バンド非放物性に関連したプラズマ効果により説明できることを理論解析により示した。
⑫ リング共振器型λ/4 シフト DFB 光ファイバレーザを試作し、光出力 0.4mW、スペクトル線幅 6kHz、相対強度雑音-110dB/Hz を得た。
⑬ フォトニック結晶によりナノ共振器を試作し、Q 値 3×10^{5}、低エネルギーの光スイッチングと双安定メモリ動作を実現した。
⑭ 文部科学省特定領域研究「新世代光通信のイノベーション」の基本構想、各イノベーションの概要と進捗状況を紹介した。

（３－２）波及効果と発展性など

超高速光通信技術に関して最先端のポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、超高速光デバイス技術、超短パルスレーザ技術、標準・計測技術に実績を有する産業技術総合研究所の研究者、および国内の関連する研究者が研究発表、討論を行うことにより、当該分野の研究開発が加速されるとともに、当該分野における我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待できる。

［4］成果資料

(1) M. Nakazawa, M. Yoshida, K. Kasai, and J. Hongou, “20 Msymbol/s, 64 and 128 QAM coherent optical transmission over 525 km using heterodyne detection with frequency-stabilised laser”, Electron. Lett., vol. 42, no. 12, pp. 710-712, (2006).

(2) K. Kasai, A. Suzuki, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Performance improvement of an acetylene (C_2H_2) frequency-stabilized fiber laser,” IEICE Electron. Express, vol.3, no. 22, pp. 487-492, (2006).

(3) K. Kasai, J. Hongo, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “Optical phase-locked loop for coherent transmission over 500km using heterodyne detection with fiber lasers,” IEICE Electron. Express, vol. 4, no. 3, pp. 77-81 (2007).

(4) T. Sakamoto, T. Kawanishi, and Masayuki Izutsu, “Continuous-phase frequency-shift keying with external modulation”, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron, vol. 12, no. 4, pp. 589 – 595 (2006).

(5) T. Kawanishi, T. Sakamoto, and M. Izutsu, “High-speed control of lightwave amplitude, phase, and frequency by use of electrooptic effect”, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron, vol. 13, no. 1, pp. 79-91 (2006).

(6) S. Tsukamoto, K. Katoh, and K. Kikuchi, “Coherent demodulation of optical multilevel phase-shift-keying signals using homodyne detection and digital signal processing”, IEEE Photon. Technol. Lett., vol.18, no.10, pp. 1131-1133 (2006).

(7) T. Hirooka and M. Nakazawa, “Optical adaptive equalization of high-speed signals using time-domain optical Fourier transformation (Invited paper)”, J. Lightwave Technol., vol. 24, no. 7, pp. 2530-2540, July (2006).

(8) T. Hirooka, T. Kumakura, K. Osawa, and M. Nakazawa, “Comparison of 40 GHz optical demultiplexers using SMZ switch and EA modulator in 160 Gbit/s-500 km OTDM transmission”, IEICE Electron. Express, vol. 3, no. 17, pp. 397-403, (2006).

(9) 中沢正隆, 廣岡俊彦, “超短光パルスを用いた高速光伝送技術の現状と将来展望,” 電子情報通信学会論文誌（招待論文）, vol. J89-B, no. 11, pp. 2067-2081, (2006).

(10) T. Hirooka, K. Hagiuda, T. Kumakura, K. Osawa, and M. Nakazawa, “160 Gb/s-600 km OTDM transmission using time-domain optical Fourier transformation,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 18, no. 24, pp. 2647-2649, (2006).

(10) H. Tsuchida, “160-Gb/s optical clock recovery using a regeneratively mode-locked laser diode”, IEEE Photon. Technol. Lett., vol.18, no.16, pp. 1687-1689 (2006).

(11) H. Tsuchida, “40-GHz subharmonic optical clock recovery using an injection-locked optoelectronic oscillator”, IEICE Electron. Express, vol.3, no.15, pp. 373-378 (2006).

(12) H. Inaba, Y. Daimon, F. -L. Hong, A. Onae, K. Minoshima, T. R. Schibli, H. Matsumoto, M. Hirano, T. Okuno, M. Onishi, and M. Nakazawa, “Long-term measurement of optical frequencies using a simple, robust and low-noise fiber based frequency comb,” Opt. Express, vol. 14, no. 12, pp. 5223-5231 (2006).

(13) M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, “Ultra-stable regeneratively mode-locked laser as an opto-electronic microwave oscillator and its application to optical metrology,” IEICE Trans. Electron., Invited paper, vol. E90-C, no. 2, pp. 443-449 (2007).

(14) K. Akita, R. Akimoto, T. Hasama, H. Ishikawa, and Y. Takanashi, “Intersubband all-optical switching in submicron high-mesa SCH waveguide structure with wide-gap II-VI-based quantum wells”, Electron. Lett., vol. 42, no. 23, pp.1352-1353 (2006).

(15) H. Ishikawa, H. Tsuchida, K. S. Abedin, T. Simoyama, T. Mozume, M. Nagase, R. Akimoto, T. Miyazaki, and T. Hasama, “Ultrafast all-optical refractive index modulation in intersubband transition switch using InGaAs/AlAs/AlAsSb quantum well”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 46, no. 8, pp. L157-L160 (2007).

(16) A. Shinya, S. Mitsugi, T. Tanabe, M. Notomi, I. Yokohama, H. Takara, and S. Kawanishi, “All-optical flip-flop circuit composed of coupled two-port resonant tunneling filter in two-dimensional photonic crystal slab”, Opt. Express, vol. 14, no. 3, pp. 1230-1235 (2006).

(17) M. Notomi, H. Taniyama, S. Mitsugi, and E. Kuramochi, "Optomechanical wavelength and energy conversion in high-Q double-layer cavities of photonic crystal slabs", Phys. Rev. Lett., vol. 97, 023903 (2006).

共同プロジェクト研究

課題番号　H17／B12

採択回数	1　2　3

高結合圧電材料とその応用に関する研究

［1］組織

代表者：櫛引淳一
（東北大学大学院工学研究科）
対応者：長　康雄
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
中村僖良（PDT ラボラトリー）
金井　浩（東北大学大学院工学研究科）
安達正利（富山県立大学工学部）
宇野武彦（神奈川工科大学工学部）
黒澤　実（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
小松隆一（山口大学大学院理工学研究科）
近藤　淳（静岡大学創造科学大学院ナノマテリアル部門）
関本　仁（首都大学東京理工学研究科）
高野剛浩（東北工業大学工学部）
竹中　正（東京理科大学理工学部）
中川恭彦（山梨大学大学院医学工学総合研究部）
橋本研也（千葉大学工学部）
広瀬精二（山形大学工学部）
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）
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 51 万 1 千円

［2］研究経過

高度情報化社会を迎え、圧電体中を伝搬する弾性波を利用した周波数制御・選択ならびに信号処理デバイスの重要性が益々高まっている。本プロジェクト研究会は、高結合圧電材料の開発およびその信号処理デバイスへの応用、さらには新しい弾性波機能デバイスの研究・開発を目的に行われている。

本年のプロジェクト研究会は、平成 19 年 1 月 29 日、30 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 2007」と題する公開シンポジウム形式で行われた。本年度もプロジェクト研究メンバーの他、一般からも講演を募り、30 件の研究発表が行われた。

本年度からの試みとして、招待講演を 2 件企画した。東理大の竹中氏による「非鉛圧電セラミックスの研究開発状況」と村田製作所の門田氏による「企業におけるＳＡＷデバイスの研究開発」と題した関心の高い内容の講演が行われ、昨年を上回る 122 名の参加者を得て活発なシンポジウムとなった。各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである。

（A）圧電体・強誘電体・単結晶

非鉛圧電セラミックスの研究開発状況、スクリーン印刷法による $Bi_4Ti_3O_{12}$ 系厚膜の作製、サブミクロン散乱体フリー四ほう酸リチウム単結晶の育成、ダイヤモンド単結晶の基礎音響特性および格子定数測定についての研究発表があった。

（B）バルク波デバイス

超音波プローブ用低速度＆低減衰シリコーンゴム材料、c 軸傾斜配向 ZnO 膜の電気機械結合係数と縦波横波同時励振トランスデューサへの適用、圧電定数に面内分布を持つ圧電板における横効果伸び振動モードの等価回路表示について、X端部に高粘性領域を持つ方形水晶 AT 板の 3-D 結合振動の数値解析、Twin-T 型複合水晶共振回路と発振器の試作に関する報告があった。

（C）計測・評価

非接触型走査型非線形誘電率顕微鏡による原子分解能観察、超高周波平面超音波材料解析システムによる育成法の異なるサファイア単結晶の音響特性の比較、LFB 超音波材料解析システムによる EUVL 用 TiO_2-SiO_2 超低膨張ガラス基板の評価・選別法について研究発表があった。

（D）薄膜

弾性表面波を用いた薄膜作成、石英基板上への単結晶薄膜形成の試み、直線集束ビーム／平面波超音波材料解析システムによる ZnO 単結晶・多結晶の

基礎音響特性測定、イオンチャネリング効果によるZnO圧電膜の配向制御に関する検討が報告された。

（E）弾性表面波Ⅰ

（11-20）ZnO膜/石英基板構造におけるSH型SAW特性、48.5度回転YカットLGS基板の表面波の伝搬特性、SAWデバイスを用いたWCDMAシステムの検討、ラム波による周期構造中の光波伝搬について発表があった。

（F）弾性表面波Ⅱ

企業におけるSAWデバイスの研究開発、温度特性の良好な携帯電話W-CDMA用フルバンド対応小形SAWデュプレクサ、分散型すだれ状電極を用いた位相直線・広帯域角型・低損失フィルタの解析と実験、ラダー型SAWフィルタにおける周波数特性合成に関する検討、AlN/ダイヤモンド構造SHF帯SAWフィルタの試作、AlGaN/GaN構造半導体結合弾性表面波素子に関する検討の研究成果が報告された。

（G）アクチュエータ

電気接点デバイスの振動解析、ハイパワー圧電セラミックスの簡易評価方法、斜対称形$LiNbO_3$単相駆動超音波モータの小形化に関する検討、還元処理ニオブ酸リチウムを用いた弾性表面波モータについて研究発表がなされた。

［3］成果

（3－1）研究成果

材料面では、$KNbO_3$圧電セラミックス作製時にBiと共にMnを微量添加することで、焼結密度および抵抗率が向上し良好な特性が得られた。スクリーン印刷法による$Bi_4Ti_3O_{12}$厚膜作製で、Bi_2O_3を10w%過剰に加えることで密度が高く空孔のない膜が得られた。四ほう酸リチウム単結晶育成中に乾燥空気を流すことで水分を除去し結晶中の散乱体を無くした結晶育成が可能となった。

バルク波デバイス関連では、超音波プローブ用の低損失音響レンズ材料としてシリコーンゴムに粒径の異なる100μm以下の各種酸化物粉末を添加し音響特性を評価した。圧電定数d_{31}が面内に分布した細い板における横効果伸び振動モードに対する分布定数等価回路表示を求めた。X端部の水晶粘性を仮想的に高めた方形水晶AT板について3-D結合振動を数値解析し、端部損失の導入がスプリアスとの結合の抑制に有効であることを確認した。

計測・評価関連では、高温高圧合成法およびマイクロ波プラズマ化学気相成長法によって作製されたダイヤモンド単結晶の格子定数分布と音響特性を評価した。ZnO単結晶および多結晶薄膜の音響特性を評価し、LSAW速度の低下から抵抗率を検出した。バクダサロフ法とキロプロス法で育成されたサファイア単結晶の音響関連物理定数を決定した。直線集束ビーム材料解析システムにより、極端紫外線リソグラフィ用TiO_2-SiO_2超低膨張ガラスの評価・選別法の検討を行った。非接触走査型非線形誘電率顕微鏡によりSi(111)の7×7構造の観察に成功し、SNDMはFIM、TEM、STM、AFMに次ぐ5番目の原子分解能を有する顕微鏡であることを示した。

薄膜関連では、バイオセンサーに用いられる生体分子膜の作製に応用可能な、SAWデバイスを用いた薄膜作製について検討した。非晶質基板への単結晶薄膜形成の技術であるコンタクトエピ法について検討を進め、Ce:YIG薄膜の単結晶化を確認した。

SAWデバイス関連では、WCDMA/GSMデュアルモード端末の高周波部について検討し、Diplexerを接続する方式が良好な特性となることがわかった。ラム波による回折・偏向面回転について理論的・実験的に検討を行い、偏向面回転は約2mW/(5mm)と高効率であることを確認した。表面が平坦化されたSiO_2膜、厚いCu電極、YX-$LiNbO_3$基板を組合せたラブ波を利用することでW-CDMA用のSAWデュプレクサの性能が大きく向上した。ラダー型SAWフィルタの周波数特性合成の検討を行い設計の自由度を拡大することができた。AlN/ダイヤモンド構造SAWフィルタを作製し6GHzでの動作を確認した。サファイア基板上のAlGaN/GaNヘテロ構造のSAW素子の基本特性と電界による制御特性など機能性を調べ、非線形動作・可変振幅動作帯域のオン／オフスイッチング動作などが可能であることを示した。

アクチュエータ関連では、電気接点デバイスのバウンス現象の対策のために、リードスイッチの開閉時の弾性振動について実験と数値解析を行った。対称形$LiNbO_3$単層駆動超音波モータの小型化の検討を行い、破壊特性、限界変位速度を調べた。弾性表面波モータの摩擦駆動の安定性向上のため、還元処理$LiNbO_3$を用いることを提案した。

（3－2）波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を母体として開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は、圧電材料を主題として、材料探索、作製、評価、デバイスへの応用と、それぞれ第一線で活躍する研究が集まり包括的に討論できる数少ない場として高く評価されている。発表論文が他の学術誌で引用されており、また、共同プロジェクトメンバー以外の一般の参加者も非常に多く、本年度は122名（メンバーを含む）の参加者を得るなど、当該分野での主要な研究集会のひとつとして認知されるに至ったことを示

している。

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大学および産業界の研究・技術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、次世代の弾性波デバイスの研究・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少なからぬ貢献をしていると言ってよい。

今までの成果を元に、次年度も引き続き本プロジェクト研究会を継続・発展させていく予定である。

［4］成果資料

(1) R. Hirose, K. Ohara and Y. Cho, "Observation of the Si(111)7 × 7 atomic structure usingnon-contact scanning nonlinear dielectric microscopy," Nanotechnology, Vol. 18, pp.084014-1- 084014-5 (2007).

(2) T. Shigematsu and M. K. Kurosawa, "Friction drive modeling of SAW motor using classical theory of contact mechanics," Proc. of 10th Int. Conf. on New Actuators, ACTUATOR 2006, pp. 444-447, Bremen, Germany, June, (2006).

(3) H.Kamizuma, T.Omori, K.Hashimoto and M.Yamaguchi, "Development of Fast - Scanning Laser Probe System Based on Knife-Edge Method for Diagnosis of Surface Acoust ic Wave Devices," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., and Freq. Contr., Vol. 52, No.6, pp. 1186 -1191 (2006).

(4) Y. Nakagawa, M. Shigeda and S. Kakio, "Temperature Characteristics of Substarte for lamb – Wave - Type Acoustic Wave devices," Jpn. J. Appl. Phys., Vol.45, No.5B, pp.4667-4670 (2006).

(5) S. Saito, J.-H. Kim, K. Nakamura, "Automatic Measurement of the Nonlinearity Parameter B/A in Liquid Media," Ultrasonics, Vol.44, pp.1429-1433 (2006).

(6) K. YAMADA, "Equivalent Network Representation for Length-Extensional Vibration Modes in a Side-Plated Piezoelectric Bar with a Varying Parameter Operating through the Transverse Piezoelectric Effect," Proc. Symp. Ultrason Electron., Vol. 27, pp.83-84 (2006).

(7) 山下洋八、細野靖晴、逸見和弘, "医用超音波プローブレンズ用シリコーンゴムの音響減衰特性に与える酸化物微粉末添加物の効果," ＵＳＥ２００６, 名古屋国際会議場、(2006年11月).

(8) H. Sekimoto, Y. Onozaki, S. Goka and Y. Watanabe, "Influence of Viscosity Loss on Coupled Vibrations of Ultrahigh Frequency AT-Cut Quartz Plates," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 5B, pp. 4638-4642 (2006).

(9) K. Matsumoto, Y. Hiruma, H. Nagata and T. Takenaka, "Piezoelectric Properties of Pure and Mn-dopled Potassium Niobate Ferroelectric Ceramics," Japanese Journal of the Applied Physics, Vol. 45, Part 1, No. 5B, pp.4479-4483 (2006).

(10) F. Zhang, T. Karaki and M. Adachi, "Coprecipitation Synthesis of Nanosized $Bi_4Ti_3O_{12}$ Particles," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 9B, pp. 7385-7388 (2006).

(11) 室地伸昭, 杉本光範, 松井義和, 近藤 淳, "弾性表面波素子を用いた薄膜作成," 学技報, US2006-109, pp. 47-52 (2007).

(12) 門田道雄, "実用化を目指した弾性表面波（SAW）デバイスの開発," 日本音響学会,誌 Vol.62, No.11, pp.826-833 (2006).

(13) 門田道雄、中尾武志、西山健次、木戸俊介、加藤雅則、表良一、米倉博、高田忠彦、北良一, "良好な温度特性を持つ小形 WCDMA フルバンド対応 SAW デュプレクサ", Proc. Symp. Ultrason.Electron., Vol.27, pp.39-40 (2006).

(14) 大橋雄二, 荒川元孝, 獅子谷卓, 櫛引淳一,杢野由明, 茶屋原昭義, 鹿田真一, "LFB 超音波材料解析システムによる合成ダイヤモンドの基礎音響特性," 2007 年春季第 54 回応用物理学会連合講演会予稿集, 30a-M-10 (2007.3).

(15) 間谷泰雄, 荒川元孝, 小田川裕之, 櫛引淳一, "サファイア単結晶の弾性定数の精密測定," 信学技報, Vol. US2006-50, pp. 39-44 (2006.9).

(16) J. Kushibiki, M. Arakawa, Y. Ohashi, and K. Suzuki, "Evaluation method of TiO_2-SiO_2 ultra-low-expansion glasses with periodic striae using the LFB ultrasonic material characterization system," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., Vol. 53, No. 9, pp. 1627-1636 (2006).

(17) 櫛引淳一, 大橋雄二, 荒川元孝, 田中智也, 獅子谷卓, "直線集束ビーム／平面波超音波材料解析システムによる ZnO 単結晶・多結晶の基礎音響特性測定," 日本音響学会春季 2007 年春季研究発表会講演論文集, 3-5-9 (2007.3).

課題番号　H17／B13

コミュニケーションダイナミックス

[1]組織
代表者：沢田康次
（東北工業大学）
責任者：矢野雅文
（東北大学通研）
分担者：
矢野雅文（東北大学電気通信研究所）
牧野悌也（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）
西田真也（ＮＴＴコミュニケーション科学基礎研究所）
菅原　研（東北学院大学教養部）
石田文彦（電気通信大学情報システム学研究科）
高地康宏（東北工業大学通信工学科）

研究費：校費　　0円、
旅費　120,000円

[2]研究経過

目的

人と人の言語・非言語コミュニケーション、コンピューター通信を介したコミュニケーションを時間的に捕らえ研究を行い、そのダイナミックな観点からコミュニケーション成立のメカニズムを定量的に理解する。

リアルタイム情報交換は、その極限として、二者または複数者の間でリアルタイムに発言または表現すると同時に相手の発言・表現を受け取ることであるが、現実のコミュニケーションはそのような機械的な情報交換だけではない。お互いが自分の主張を述べ、同時に他者の主張を理解し、その結果、自分の主張と他者の主張が有機的に統合されたものになっていることが必要である。　したがって、極限的なリアルタイムコミュニケーションは伝達情報の構造と脳機能の特性によって制限され、リアルタイムコミュニケーションを支援するマンーマシンインターフェイスの設計にもこのことが考慮されなければならない。

本研究は、コミュニケーションダイナミックスを研究しコミュニケーションを困難にしている場合の改善方法を明らかにするとともに、工学的にコミュニケーションが心地よく行われやすい情報ネットワークの設計に資することを目的とする。

[3]成果の概要

A)視覚情報の離散化による追従運動特性

視覚追従実験に関して前年度までに報告した「先行制御」が、視覚情報を離散化することによってさらに強化されることを明らかにし、そのモデルを構築した。（参考文献１）

B)先行制御の普遍性に関する理論的研究

上記の「先行制御」をフィードバック項とフィードフォワード項を持つ遅れ時間微分方程式を用い、摂動理論によって環境の変化に対する運動誤差を半解析的に求め、このモデルにおいては「先行制御」が広い範囲のパラメーター空間で成り立つ普遍性を持つことを証明した。（参考文献２）

C)先行制御機構における２要素間の相補性の研究

視覚追従特性においてフィードバック機構とフィードフォワード機構を独立に測定するこ

とができること、そのふたつの機構には相補性が存在する可能性があることを実験とモデルで示した。(参考文献３)

D)力学的コミュニケーションの研究

二人の被験者が相互に相手の運動を追従する視覚追従実験の速度相関から、自然発生的に生じるリズムの効果が相関係数を増加することを発見したこと、又、先行制御の効果を調べた。

F)CG による運転特性と先行制御

視覚追従研究における先行制御の応用として CG を用いた運転特性に現れる先行制御を東北工業大学村岡教授および太田教授と共同研究を行った。先行制御の度合いは若年者よりも老齢者のほうが大きいが、フィードバック機能が老齢者では充分でないために事故率が多いことが分かった。

[4]シンポジウム

「運動制御におけるフィードフォワードとフィードバックの計算論と神経機構」に関する討論会

日時；2007 年 2 月 26 日 13:30 より 2 月 27 日午前中まで。

場所；東北大学電気通信研究所 2 号館 4 F 中会議室

2 月 26 日午後 13:30～15:30

話題提供；三宅美博(東工大)、伊藤宏司(東工大)、矢野 G（東北大）

その後総合討論

午後 16:00～18:00

話題提供；村田哲(近畿大)、高草木薫(旭川医大)、土屋和雄（京都大）

その後総合討論

2 月 27 日　午前 9：30　～12:00

話題提供；澤田康次(東北工大)、福島菊朗（北大）

その後総合討論

[5]学術論文

1．高地康宏、沢田康次「視覚情報の断続化による追従運動の先行性の強化」　計測自動制御学会誌(校閲中)

２．F.Ishida and Y.Sawada, “Semi-analytical transient solution of a delayed differential equation and its application to the tracking motion in the sensory-motor syste“ Physical Review E75, 012901(2007)

３.「視覚追従実験におけるフィードバック機構とフィードフォワード機構の相補性」計測制御学会誌(準備中)

４.「相互視覚追従運動によるコミュニケーションダイナミックス」電子情報通信学会誌（準備中)

５.「高齢運転者のカーブ走行時運転挙動特性について」－ドライビングシミュレータによる走行実験分析、(人間工学学会誌査読中)

[6]総合解説

１）「心の線形科学」、「脳と心」特集号・・・・・・・・・学術月報 Vol.60, No.2(2007)

課題番号　H18／B01

採択回数　①　2　3

ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究

[1]　組織
代表者：荻野　俊郎（横浜国立大学大学院）
責任者：庭野　道夫
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
岩澤　康裕（東京大学理学研究科）
大泊　　巌（早稲田大学・理工学部）
岡畑　恵雄（東京工業大学）
馬場　嘉信（名古屋大学大学院工学研究科）
岩崎　裕（大阪大学産業科学研究所）
田畑　仁（大阪大学産業科学研究所）
宇理須恒雄（分子科学研究所）
益田　秀樹（首都大学東京都市環境学部）
西尾　和之（首都大学東京都市環境学部）
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）
永田　和宏（京都大学再生医学研究所）
久保田広志（京都大学再生医学研究所）
竹中　繁織（九州工業大学工学部）
谷井　孝至（早稲田大学・理工学部）
星野　忠次（千葉大学大学院薬学研究院）
篠原　康雄(徳島大ゲノム機能研究センター)
宮崎　　均（筑波大学生命環境科学研究科）
礒田　博子（筑波大学生命環境科学研究科）
水野　　彰（豊橋技術科学大学）
玉田　　薫（東京工業大学・総合理工）
森垣　憲一（産業技術総合研究所）
手老　龍吾（分子科学研究所）
成瀬　恵治（岡山大学医歯薬学総合研究科）
毛利　　聡（岡山大学医歯薬学総合研究科）
原　　正彦（東京工業大学総合理工）
高橋　庸夫（北海道大学情報科学研究科）
松崎　尹雄（三菱化学生命科学研究所）
水柿　道直（東北薬科大学）
吉信　達夫（東北大学大学院工学研究科）
上原　洋一（東北大学電気通信研究所）
木村　康男（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費 50 千円、旅費　491,000 円

[2]　研究経過

バイオエレクトロニクスは 21 世紀の重要な科学技術分野の一つとみなされているが、その技術革新のためには，20 世紀に高度に発達した半導体集積回路技術と，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある．この融合が実現すれば，生体情報を物理信号に変換し，また，逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ・インタフェイスシステムが構築でき，DNA チップの高度化など、現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献する。しかしながら，国内外を見渡しても，この種の研究は緒についたばかりで，ほとんど進展していないのが現状である．そこで本研究は、半導体工学や表面科学の研究者と、生命科学、バイオテクノロジー分野の研究者が協力して，ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的とした。

ナノ・バイオデバイス構築のためには，新規な製造プロセスの開発，製造プロセスの反応制御，構築したナノ構造体の物性評価，また，ナノ構造をベースとした新しいデバイス設計等の研究が必要である。具体的には，タンパク質、ペプチド、DNA などの生体物質をその本来の機能を失うことなく半導体材料表面に固定化し，さらに生体物質と無機材料とのインターフェイス技術を確立することが研究課題となる．そこで、薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた材料・電子工学の研究分野ばかりでなく、生体物質を自在に操作する技術を有する生化学・分子生物学分野の研究者の英知も結集して、新しいバイオ・半導体融合ナノ構造の構築法とその機能評価、また高感度生体計測技術について、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。

研究会テーマ
『バイオセンサ･バイオチップの新展開』
日時：平成 18 年 8 月 10 日(木)
「カーボンナノチューブネットワーク形成」荻野　俊郎(横浜国大)
「一分子固定やイメージングにおけるトップダウン」
谷井孝至(早稲田大学理工学部)

「生体に学ぶ疎水性表面の修飾法」 篠原康雄 徳島大学ゲノム機能研究センター
「グラミシジン挿入脂質膜の大規模シミュレーション」 星野忠次（千葉大学大学院薬学研究院）
【招待講演】「テクスチャー表面での濡れ」
奥村 剛（お茶の水女子大学理学部物理学科）
（講演要旨）植物の葉の表面はしばしば高い撥水性を示す。笹舟で遊ぶことができるのはこのおかげである。この高い撥水性は、葉の表面に複雑なミクロな凹凸があるためと考えられている。最近の技術進歩により、植物の葉をまねて、基板表面にミクロな凹凸を自在に作ることができるようになってきた。講演では、このような基板上での小さな水滴の振る舞いが凹凸によってどのように変化するかに係わるいくつかの話題を紹介した。
「化学イメージスキャナの開発に向けて」 吉信 達夫 東北大学工学研究科
「小型高性能イオンチャンネルバイオセンサーの開発」 宇理須恒雄 分子科学研究所
「赤外分光法と多変量解析を組み合わせた細胞の特性化」 竹中繁織 九州工業大学物質工学科
「再生医学で望まれる計測技術」岩田博夫 京都大学再生医科学研究所
「機能性 RNA と創薬」辻本豪三 京都大学大学院薬学研究科
【特別講演】「バイオからのナノテクへのあこがれ：ゲノムバイオロジーとナノテクノロジーの融合の必然性」
小原 収（かずさDNA研究所）
（講演要旨）ゲノムバイオロジーが過去10年の科学界での大きなキーワードであったとすれば、今後の10年はナノテクノロジーが重要なキーワードになるだろうと考えられています。ナノテクノロジーには様々な面白い現象や応用可能性があると思いますが、生命科学の研究者はその詳細を知らないままであるにも関わらず、「漠然」とした強いあこがれを抱いています。しかし、ゲノムバイオロジーには既に着々とナノテクノロジーを重要な解析技術として取り込んでいく体制が欧米では進んでおり、残念ながら我が国ではまだその目に見えるような成果が現れてきていません。講演では、こうした生命科学者のもつナノテクノロジーへの漠然としたあこがれを語るところから始めて、特にゲノムバイオロジーにおいてなぜナノテクノロジーとの融合が求められているかについて紹介した。

[3] 成果

（3－1）研究成果

本プロジェクト研究では，半導体や生体高分子のナノ構造をベースとした新しいバイオ電子デバイスを実現するための基盤技術の開発を目標にしている。この技術が開発されれば，生体物質の微視的相互作用（生体反応）の高精度分析や、血液中、体液中の成分の"その場"分析などの応用が可能である。また、この機能は、DNA チップの高度化など、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。研究会において、このテーマに対するさまざまな観点から研究の成果が報告され、特に生体分子によるナノ構造構築法、新規な生体計測デバイス、またバイオチップの現状についての興味深い発表と講演があった。

（3－2）波及効果と発展性など

本研究会は、ナノ構造デバイスの構築を目標に，固体表面をベースとした新しいナノ構造製造プロセスの開発や、ナノ構造体の物性評価などについて，今後の戦略目標について討論することを目的とした。その結果，今後の重点研究は固体表面を利用したバイオエレクトロニクス技術の確立であるとの結論に至り，本プロジェクト研究を立案した.

現在、この技術の開発には自己組織化機能などの化学反応制御法が極めて有効である。生物の細胞はまさに自然の自己組織化機能を利用してさまざまな機能を実現している。自己組織化を利用した高分子のナノ構造の構築や、それを新しいバイオエレクトロニクスに活用することは、今大きな発展を向かえる時期にあり、この分野の今後の研究の進展が大いに期待される。

[4] 成果資料

参考資料として、講演要旨を添付する。

課題番号　H18／B02

採択回数	1　2　3

共生コンピューティングのための ソーシャルウェア技術の研究

［1］組織

代表者：服部　文夫
（立命館大学情報理工学部）
対応者：白鳥　則郎
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
木下　哲男（東北大学情報ｼﾅｼﾞｰｾﾝﾀｰ）
菅原　研次（千葉工業大学情報科学部）
藤田　茂　（千葉工業大学情報科学部）
原　　英樹（千葉工業大学情報科学部）
桑原　和宏（立命館大学情報理工学部）

研究費：物件費5万円、旅費32万4千円

［2］研究経過

ユビキタスコンピューティング技術の進展にともない、現実空間とディジタル空間とを結びつける共生コンピューティングの概念が注目されている。その実現にかかせない技術の1つが、現実空間とディジタル空間の論理的なギャップを埋めて、人間の問題解決や協調を支援・促進するシステムーソーシャルウェアーである。本研究プロジェクトは、ソーシャルウェアのアーキテクチャと、その実現に必要な基盤技術について明らかにすることを目的としている。

本年度は、共生コンピューティングおよびソーシャルウェアの基本概念の確立と、その具体的な応用例となるアプリケーションの開発を中心に検討を進めた。現実空間と仮想空間のu-gapを埋めるメカニズムとしての共生コンピューティングの概念を明確にし、共生コンピューティングを構成するソーシャルウェア、パーセプチャルウェア、ネットワークウェアのアーキテクチャを検討した。また、ソーシャルウェアの具体例として、子供の見守りシステムや認知障害者支援システム等の開発を進め、アーキテクチャの妥当性を検証した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究会を2回開催し、共生コンピューティングに関する研究動向の調査結果および最新の研究結果を報告し、議論を重ねた。

＜第1回研究会＞

日時：平成18年6月30日
場所：東北大学電気通信研究所

A. 講演と報告

(1) 「ユビキタス社会基盤研究の動向」白鳥則郎（東北大）、藤田茂（千葉工大）
(2) 「共生コンピューティングの概念」菅原研次（千葉工大）
(3) 「ソーシャルウェア」木下哲男
(4) 「見守り支援システムの現状と今後の研究・開発計画について」藤田茂（千葉工大）

B. 議論

主として共生コンピューティングを構成する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のアーキテクチャについて議論を重ねた。

＜第2回研究会＞

日時：平成19年3月16日
場所：東北大学電気通信研究所

A. 講演と報告

(1) 「Socialware for people with cognitive disabilities」服部文夫（立命館大）
(2) 「地域情報基盤に基づく見守り支援システム」内海哲史（東北大）
(3) 「利用者間の関係に基づくアクセス制御法」北形元（東北大）
(4) 「子供の見守り支援システム」藤田茂（千葉工大）
(5) 「共生コンピューティングの研究動向」菅原研次（千葉工大）
(6) 「ソーシャルウェアの研究の方向性」木下哲男（東北大）

B. 議論

ソーシャルウェアの具体例として、認知障害者支援システム、子供の見守り支援システム等の開発状況を報告し、ソーシャルウェアの位置づけとそのアーキテクチャについて議論を重ねた。また、共生コンピューティングに関する研究動向を報告し、今後の方向性について議論するとともに、国際会議やシンポジウムを通じた研究の定着について戦略を検討した。

［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) 共生コンピューティングおよびソーシャルウェアの概念について

人、社会、情報環境を総合的な協調系としてとらえ、これらが共生する「共生社会」の実現に向けて、現実空間とディジタル空間のギャップ（u-Gap）を解消する技術として「共生コンピューティング」の概念を提唱した。また、共生コンピューティングを構成するソフトウェアとして、感覚的現実感を実現する「パーセプチャルウェア」、社会的現実間を実現する「ソーシャルウェア」、現実社会とディジタル社会の間のコミュニケーションを強化・支援する「ネットワークウェア」の３種類のソフトウェアの概念を提案した。

一方、共生コンピューティングにおけるソーシャルウェアの位置づけを検討し、ソーシャルウェアに期待される役割として、活動支援、パーセプチャルウェアとの連携、既存システム・資産の活用、ソーシャルウェアの再構成、社会知の獲得、などがあげられることを明らかにした。さらに、具体的なソーシャルウェアの設計要件を明らかにするために、具体的なアプリケーションとして、広域グループ活動の支援や地域活動の支援といったアプリケーションの開発を進めている。

(2) Socialware for people with cognitive disabilirities

認知症、高次脳機能障害、失語症などの認知障害者向けの支援を考えた時のソーシャルウェアのアーキテクチャとして、個人の行動を支援するパーソナルエージェント、コミュニケーションギャップを解消するコミュニケーションエージェント、コミュニティ活動を支援するコミュニティエージェントからなるマルチエージェントアーキテクチャを提案した。

また、具体的なアプリケーションとして以下の３つのアプリケーションを開発した。

①ネットワークを介した思い出セラピーシステム

認知症患者の介護のために、患者の古い写真に写っている人や日時などをアノテーションし、それを元に自動的に思い出ビデオを生成するシステムを開発した。さらにアノテーションをネットワークを介して患者と介護者が会話をする中でインタラクティブに行う手法を提案し、実験を行った。

②写真を用いた移動ナビゲーションシステム

認知症などの患者が外出する際の移動を支援するために、携帯機器に移動する方向の風景写真を次々と提示するナビゲーションシステムを開発した。実験により、空間認知能力の低い人でも容易に目的地に達することができることが確認された。さらに、コンテンツをコミュニティサーバに登録された写真群からピックアップして生成する手法を提案し、プロトタイプシステムを開発した。

③失語症者のための会話支援システム

失語症者を遠隔で介護するために、患者と介護者の両者の端末に同じコンテンツを表示し、視点を共有するシステムを実現した。さらに、コンテンツに関する両者の認知ギャップを解消するために、セマンティック Web の技術を適用して、適切なコンテンツ変換を実現するシステムの構築を進めている。

(3) 子供見守りシステムの開発

子供の行動を GPS などを使って監視し、通常の行動パターンと異なる行動をとったときに家族に通知するシステムの開発を進めている。実際に通学時の GPS データをリアルタイムに収集し、通常の行動パターンとリアルタイムで比較して異常行動を通知するシステムを構築し、実験によりその有効性を確認した。特に、単にルートをはずれただけでなく、推測される行動目的から逸脱した時点で初めてアラーム通知を行うことで、不要なアラームを削減して必要なアラームのみを通知する方法を実現している。今後、アラームの精度を向上させていくと同時に、通学以外の場面での見守り支援へと発展させていく予定である。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、千葉工業大学、立命館大学などの学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、共生コンピューティングの概念が認知され、研究コミュニティが確立しつつある。具体的には、本プロジェクトのメンバが中心となって、2007 年夏には IEEE International Conference on Cognitive Informatics において、共生コンピューティングに関する特別セッションを、また 2008 年春の電子情報通信学会情報・システムソサイエティ大会では共生コンピューティングに関するシンポジウムを開催する予定である。

ネットワーク技術やユビキタスコンピューティング技術の発展により、現実空間とネットワーク上の仮想空間の融合は必要欠くべからざるものとなっており、その上での活動を支援するソーシャルウェアの技術は今後ますます重要性を増すものと考えられる。共生コンピューティングにおけるソーシャルウェアの位置づけやアーキテクチャについては、さらに検討を重ねていく必要があるが、基盤となるマルチエージェント技術や、応用アプリケーションを含めて、今後の発展が大いに期待できる。

［4］成果資料

（1）白鳥則郎、菅原研次、菅沼拓夫、藤田茂、小出和秀：Symbiotic Computing　ーポスト・ユビキタス情報環境に向けてー、情報処理、47巻、8号、pp.811-816、2006.

（2）木下哲男、今野将、北形元、打矢隆弘、原英樹：ソーシャルウェア、情報処理、47巻、8号、pp.817-824、2006.

（3）Hattori, F., Kuwabara, K. Kuwahara, N., Abe, S., Yasuda, K.：Socialware for people with disabilities, Proc. of ICCI2007, 2007 (to appear).

（4）Kaminoyama, H., Matsuo, T., Hattori, F., Susami,.K., Kuwahara, N., Abe, S.：Walk navigation system for people with dementia, Proc.of HCI International 2007, 2007 (to appear).

（5）上ノ山広基、服部文夫、桑原教彰、桑原和宏、安部伸治：介護支援を目的とした移動ナビゲーションシステム、ヒューマンインタフェース学会誌、2007（to appear）.

（6）Kuwahara, N., Abe, S., Yasuda, K., Kuwabara, K,. ”Networked reminiscence therapy for individuals with dementia by using photo and video sharing”. In: ASSETS 06: The 8th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, (2006).

（7）Kuwahara, N., Yasuda, K., Abe, S., Kuwabara, K., “Networked interactive photo annotation and reminiscence content delivery”, In: The Semantic Web - ASWC 2006, LNCS 4185, pp.762 – 767, (2006).

（8）黒田貴之、北形元、菅沼拓夫、白鳥則郎：QuViE/P:3 次元仮想空間における利用者の知覚に基づく新しいQos制御方式の提案と応用、FIT2006（第5回情報科学技術フォーラム）5-7, LL-013, pp385-388, （2006）.

（9）高橋秀幸、山中一宏、東海林祥一、北形元、菅沼拓夫、白鳥則郎：uEyes:見る側と見られる側の双方にやさしいリアルタイム見守り支援システムの提案, FIT2006（第5回情報科学技術フォーラム）5-7, L0-002, pp415-418, (2006)

（10）Sugawara, K., Fujita, S., Shiratori, N., Suganuma, T., Kinoshita, T.:　A Computing Model to Bridge A GAP Between Real Space and Web Space, Proceedings of the 3rd International Conference on Web Information Systems and Technologies, pp.107-112, (2007).

（11）Konno, S., Koide, K., Fujita, S., Kinoshita, T., Sugawara, K., Shiratori, N. : RUIS: Development of Regional Ubiquitous Information System and Its Applications: Towards an Universal Ubiquitous Information Society, Proc. of the Third International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing(UIC), (2006).

（12）Takahashi, H., Tokairin, Y., Yamanaka, K., Suganuma, T., Kinoshita, T., Sugawara, K., Shiratori, N. : uEyes: A Ubiquitous Care-Support Service Based on Multiple Contexts Coordination, Proc. of the 2007 International Symposium on Applications and the Internet(SAINT'2007), IEEE Computer Society, Jan. 2007.

（13）荒谷寛和、藤田茂、菅原研次、ウェブページの相互評価による再ランキング手法の改良、日本知能情報ファジー学会誌、vol. 18, no. 2, pp. 196-212, 2006.

（14）打矢隆弘, 前村貴秀, 今野将, 木下哲男, "発展型エージェントシステムのための高機能エージェントリポジトリ", 合同エージェントワークショップ＆シンポジウム JAWS2006 講演論文集, (2006).

（15）今野将, 小出和秀, 藤田茂, 菅原研次, 木下哲男, 白鳥則郎, “共生コンピューティングに基づく地域情報基盤とその応用", 第2回InterSociety, 信学技報 AI2006-22, pp.7-11, (2006).

（16）打矢隆弘, 前村貴秀, 今野将, 木下哲男, ″発展型ソーシャルウェアの　ためのリポジトリ型フレームワーク″, 第2回InterSociety, 第2回InterSociety, 信学技報 AI2006-26, pp. 7-12, (2006).

（17）杜賑華, 打矢隆弘, 今野将, 木下哲男, ″階層型マッチメイク用ソーシャルウェアコンポーネントの設計″, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, (2007).

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B03

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：犬竹正明　(東北大学工学研究科)
対応者：末光眞希　(東北大学学際高等セ)
分担者：安藤　晃　(東北大学工学研究科)
飯塚　哲　(東北大学工学研究科)
服部邦彦　(東北大学工学研究科)
庭野道夫　(東北大学電気通信研究所)
佐藤信之　(東北大学電気通信研究所)
西山秀哉　(東北大学流体科学研究所)
佐宗章弘　(東北大学流体科学研究所)
藤原民也　(岩手大学工学研究科)
高木浩一　(岩手大学工学研究科)
高山正和　(秋田県立大学システム科学)
斉藤和史　(宇都宮大学工学研究科)
市村　真　(筑波大学プラズマ研)
北條仁士　(筑波大学プラズマ研)
池畑　隆　(茨城大学理工学研究科)
秋津哲也　(山梨大学工学部)
豊島安健　(産業技術総合研究所)
浦島邦子　(科学技術政策研究所)
荒川義博　(東京大学工学研究科)
小田哲治　(東京大学工学研究科)
渡辺隆行　(東京工業大学原子炉研)
小駒益弘　(上智大学理工学部)
都木恭一郎　(東京農工大学工学教育部)
津島　晴　(横浜国立大学工学研究院)
水野　彰　(豊橋技術科学大学)
神藤正士　(静岡大学工学部)
永津雅章　(静岡大学工学部)
菅井秀郎　(名古屋大学工学研究科)
河野明廣　(名古屋大学工学研究科)
堀　勝　(名古屋大学工学研究科)
佐々木浩一　(名古屋大学工学研究科)
上村鉄雄　(名城大学理工学部)
金子　修　(核融合科学研究所)
竹入康彦　(核融合科学研究所)
長山好夫　(核融合科学研究所)
吉村信次　(核融合科学研究所)
吉沼幹朗　(核融合科学研究所)
藤村紀文　(大阪府立大学工学部)
阪上雅昭　(京都大学人間・環境学研究科)
際本泰士　(京都大学人間・環境学研究科)
橘　邦英　(京都大学工学研究科)
斧　高一　(京都大学工学研究科)
田原弘一　(大阪大学基礎工学研究科)
永田正義　(兵庫県立大学工学研究科)
福政　修　(山口大学工学部)
内藤裕志　(山口大学工学部)
田中雅慶　(九州大学総合理工学研究院)
中島秀紀　(九州大学総合理工学研究院)
篠原俊二郎　(九州大学総合理工学研究院)
佐藤浩之助　(九州大学応用力学研究所)
間瀬　淳　(九州大学産学連携センター)
藤山　寛　(長崎大学工学部)
秋山秀典　(熊本大学工学研究科)
山部長兵衛　(佐賀大学工学部)
竹田　篤　((有) アイエスアイ)
藤井修逸　((株) アドテックプラズマテクノロジー)
中谷達行　((株) トーヨーテック)

研究費：　物件費　5万円、旅費　54万2千円

［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、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

としている。本プロジェクトは，本年度が初年度であり、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・制御法の総合的理解と、特性の評価、理論的検討などを進め、今後の応用研究へ展開を図っていく。

以下に，本年度開催した研究討論会の概要を記す。

第１回
日　時 : 平 18 年 7 月 24 日（月）
会　場 : 東北大学工学部電気情報館北研究棟 174 室
講　師 : 船木一幸（宇宙航空研究開発機構）
題　目 : 2D-MPD 研究の進展とプラズマ離脱実験・理論研究

第２回
日　時 ; 平成 18 年 3 月 8 日（木）
場　所 ; 東北大学工学部電気情報館 103 会議室
「プラズマ流の基礎と応用」研究会
(1) 犬竹正明（東北大院・工）　　あいさつ
(2) 田中雅慶（九大総理工）
“プラズマ・中性粒子結合系研究のための中性粒子流れ計測法”
(3) 阪上雅昭（京大院・人間環境）
“重力多体系でのポリトロープ状態の進化”
(4) 秋津哲也（山梨大・工）
“プラズマ実験 : 古い話と新しい話”
(5) Jen-Shin Chang（McMaster Univ.）
“最近のＥＨＤ大気圧プラズマ・ポンプの研究”
(6) 大友　裕唯（東北大院・工）
“電歪力駆動型ＥＨＤポンプの電極形状効果”
(7) Marlene Rosenberg (California 大, San Diego)
“Theoretical studies of space and laboratory dusty plasmas”
(8) 足立　聡（宇宙航空研究開発機構）
“宇宙航空研究開発機構におけるダストプラズマ研究の現状と将来計画”
(9) 芦川　直子　（NIFS）
“核融合プラズマ装置におけるダスト”
(10) 林　康明 (京都工芸繊維大)
“微小重力環境下における微粒子プラズマ臨界現象実験”
(11) 石原　修 (横浜国大)
“トリエステ会議報告と最近の微粒子プラズマ研究”

［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，宇宙航空研究開発機構（JAXA）の船木氏との研究討論により、Magneto-Plasma-Dynamic(MPD)プラズマ内での電磁場とプラズマとの相互作用に関する実験結果と数値解析との比較研究をおこない、加速現象の総合的理解に向けた議論を行った。また、先進的プラズマ推進に不可欠な磁場閉じ込め型プラズマの利用と、磁力線からのプラズマ離脱問題に関し、現状の研究進展状況に関する報告、及び、実験・理論解析両者において今後の研究に関する討論を行った。

第２に，「プラズマ流の基礎と応用」研究会において、以下のような報告と討論を行った。

完全電離状態のプラズマではなく、中性ガスと混在したプラズマ状態は、低温プロセスや大気圧プラズマ、又最近では宇宙プラズマなどで広く観測されているが、荷電粒子と中性粒子との運動量交換によって三極渦や目玉型の渦構造が形成されることが報告されている。このプラズマ内での粒子運動の様子を詳細に観測するために半導体レーザを用いたレーザ誘起蛍光法の開発が行われ、基礎的な測定例についての報告が九大の田中雅慶氏よりなされた。

また、流れ場の挙動を解明するためにはイオンの断熱指数の値が重要なパラメータの一つとしてあげられるが、プラズマ内での詳しい検討がなされていない。京大の阪上氏により、一般的な重力多体系を題材としてこの状態変化を調べるために、一般化された断熱指数としてのポリトロープ指数の時間的変化とその意味づけに関する報告があり、プラズマ流中でのイオン断熱指数の時間変化との関連性について議論が行われた。

山梨大学の秋津哲也氏からは、高密度プラズマを用いたアルヴェン波動励起伝搬に関する研究について、過去 20 年間の研究の動向と最近の話題について紹介があり、様々な形態の波動励起用アンテナや実験結果などに関し比較検討がなされた。あわせて、近年注目を集めている大気圧プラズマを用いた滅菌技術の展開と将来展望に関する話題提供が行われた。特に、この滅菌技術は山梨大学で進められている医工連携事業の中心的な技術として位置づけられ、大型処理施設の建設や医療現場での使用実績が積み上げられており、今後ますます研究の進展が見込まれる分野であると報告された。この研究においても非平衡プラズマを内包した高速ガス流の存在が重要であるとの報告があった。

カナダの McMaster 大学から Jen-Shin Chang 博士が来日され、本研究会において、最近のＥＨＤ(Electro-Hydro-Dynamic)大気圧プラズマ・ポンプの研究に関する報告と議論が行われた。EHD 現象は古くファラデーの時代より認識されていたが、最

近、液体中のＥＨＤ現象を利用した非機械的ポンプの実現や、大気圧下でのガス粒子のＥＨＤ流動現象などに注目が集まっており、その応用例として壁面近傍での境界層流に対してＥＨＤ駆動流を適用し、流体抵抗を減少させる研究などの紹介が行われた。また、東北大学の大友裕唯氏より電歪力を主な駆動力要因とする新しい型のＥＨＤポンプ研究の紹介があった。循環型流路を用いたポンプ能力の評価や電磁界計算と組み合わせた最適な電極形状の設計手法に関する報告がなされた。

本研究会ではコンプレックスプラズマに関する研究報告も行われ、プラズマ中のダストの挙動などを中心とした話題提供が行われた。特に宇宙航空研究開発機構の足立　聡氏により、最近の宇宙ステーションを利用した微少重力下での国際協力研究としてダストプラズマの結晶化や流体としての挙動に関する研究の現状と将来計画について報告があり、多くのプラズマ流研究との類似点や相違点などをふまえた新しい研究テーマの提案に関し、議論がなされた。

上記の２回の講演会および研究会の参加者は、それぞれ学内外を含め 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、宇宙プラズマにおけるプラズマジェットの形成や核融合プラズマ中における自発的な流れ場の形成と閉じ込めの改善、また同軸放電管によるアークジェットの形成といった自然界や産業応用研究など様々な場で観測されている流れが深く関与するプラズマ物性を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進めることができた。特にダストプラズマ研究会との合同研究会を開催することによって、ダストプラズマ内での流れ場の果たす役割についても検討を行い共通の認識を深めることが出来たことは、今後の研究進展に対して大きな成果の一つである。

また、学会活動への展開として、プラズマ・核融合学会でのシンポジウムの開催と、学会誌における企画記事「高速プラズマ流と衝撃波の研究事始め」の掲載を行い、研究者同士のネットワークの拡大や若手研究者への情報発信、教育効果を図った。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.Taruya, M.Sakagami,"Antonov problem and quasi-equilibrium states in an N-body system", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Vol.364, p.p.990-1010, (2005).

[2] H.Ohkawa, T.Akitsu, M.Tsuji, et.al., "Pulse-modulated, high-frequency plasma sterilization at atmospheric-pressure",Surface & Coatings Technology, Vol.200, p.p.5829-5835, (2006).

[3] H.Ohkawa, T.Akitsu, M.Tsuji, et al.,"Initiation and microbial-disinfection characteristics of wide-gap atmospheric-pressure glow discharge using soft X-ray ionization", Plasma Processes and Polymers, Vol.2,p.p.120-126,(2005).

[4] T.Akitsu, H.Ohkawa, M.Tsuji, et al., "Plasma sterilization using glow discharge at atmospheric pressure", Surface & Coatings Technology, Vol.193,p.p.29-34,(2005).

[5] J-S.Chang, Y.Uchida, K.Urashima, R.Taylor, "Transient barrier discharge characteristics of parallel-plate-type, packed-bed, non-thermal plasma reactor under high-humidity conditions", Plasma Processes and Polymers Vol.3, p.p.721-726, (2006).

[6] B.R. Locke, M.Sato, P.Sunka, M.R.Hoffmann, J-S.Chang,"Electrohydraulic discharge and nonthermal plasma for water treatment", Industrial & Engineering Chmistry Research, Vol.45,p.p.882-905,(2006).

[7] J-S.Chang, Y.Uchida, M.Ara, et al.,"Soot free non-thermal plasma reforming of hydro carbon gas by flow stabilized corona discharges", J. Advanced Oxidation Technologies, Vol.8, p.p.193-197, (2005).

[8] A.Ando, T.K.Watanabe, T.Makita, et.al., “Mach Probe Measurements in Unmagnetized Plasmas with Subsonic and Supersonic Flow”, Contributions to Plasma Physics, Vol.46, p.p.335-340, (2006).

[9] A.Ando, Y.Hosokawa, M.Hatanaka, et al., “Evaluation of Mach Probe Characteristics and Measurement of High-Mach-Number Plasma Flow”, Thin Solid Films, Vol 506-507C p.p.692-696, (2006).

[10] A.Ando, Y.Hosokawa, M.Hatanaka, et al., “Ion Heating Experiment by a helical Antenna in a Fast Flowing Plasma”, Thin Solid Films, Vol 506-507C, p.p.601-604, (2006).

[11] A.Ando, M.Inutake, M.Hatanaka, et al., “Alfven wave excitation and single-pass ion cyclotron heating in a fast-flowing plasma”, Physics of Plasmas, Vol.13, 057103 1-7, (2006).

[12] K.Hattori, H.Yamada, T.Kumagai, et al., “Characteristics of Atomospheric-Pressure DC Glow Discharge in Pin-Plate Electrodes by use of Gas Flow Stabilization Method”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, No.10B, p.p.8246-8250, (2006).

課題番号　H18／B04

採択回数	①	2	3

マルチメディア情報ハイディングの研究

［1］組織

代表者：野田　秀樹
（九州工業大学情報工学部）
対応者：鈴木　陽一
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
越前　　功（国立情報学研究所コンテンツ科学研究系）
河口　英二（九州工業大学名誉教授）
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）
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）
西村　竜一（情報通信研究機構ユニバーサルメディア研究センター）
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）

研究費：物件費５万円，旅費４４万７千円

［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，本年度が初年度であり，平成１８年6月２２日と１１月１３日の2回，東北大学電気通信研究所で研究会を開催した．

第１回研究会では，以下の発表が行われた．

・ステガノグラフィを用いたWebPageのアクセスコントロール（河口）
・歯科医療画像の管理技術，長崎県ベンチャー創出事業の案内（野崎）
・JPEG画像を用いた高性能ステガノグラフィ（野田）
・拡張可能な分散埋め込み型ファイルシステム（日置）
・二値画像／動画向け電子透かし（越前）
・サイレンへのステガノグラフィ埋込み技術（薗田）
・音響透かしの開発，秘匿音声通信，ユニバーサルデザイン（西村竜一）
・情報ハイディング，著作権保護技術（馬場口）

その後，本プロジェクトを核として，電子情報通信学会の２種研究会を設立する方向の議論が行われた．本研究会の活動を一層活性化させるために，新たなメンバーの募集活動を行うこと，ホームページの作成を行うことなどを決定した．

第２回研究会では，２種研究会設立の際には委員として参加予定の，松岡（NTTドコモ），西村（東京情報大），立花（IBM基礎研&阪大），合志（NHK技研），阿南（富士通研究所），新見（九州工大）の各氏による研究発表が行われた．その後，２種研究会設立に向けての議論を行った．研究会の名称を「マルチメディア情報ハイディング（ＭＩＨ）研究会」とすることとし，設立趣旨，取り扱う研究分野，研究会の委員構成などを記した設立趣意書（案）をとりまとめた．電子情報通信学会情報システムソサイエティの画像工学研究会の下での２種研究会として発足申請を行うことを決定した．画像工学研究会の下での研究会であっても，研究会活動は独自に行うことができるため，マルチメディアを取り扱うＭＩＨ研究会の特質が損なわれることはないと判断した．

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に述べる研究成果を得た．

東北大学電気通信研究所では，高信頼高品質ネットワーク通信技術の開発に関して検討を進めている．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．本年度は，音質を劣化させることなく高い秘匿性を保ったままでこの音情報をネットワーク通信するための新しい手法の開発を行った．音データの不正二次コピーを防止するために，ディジタル耐性だけでなくアナログ耐性を備えた電子透かし技術を提案した．アナログ耐性の高い電子透し技術は，より一般的なデータハイディング技術として，様々な応用が可能となる．特に，駅の構内放送や構内放送のように，空気伝搬しているPA音に付加的なディジタル情報を付加することが可能となる．このような付加情報は，聴覚障害者に音情報と同じ内容を文字で伝える等のユニバーサルデザインにも極めて有効であると期待できる．また，オープンなネットワークを経由して通信する際の安全性を向上させるために，秘密共有分散による暗号化とマルチパス通信の組み合わせによる新しいネットワーク秘匿通信手法を提案した．

大阪大学大学院工学研究科では，音響電子透かしを用いた録音位置推定に関する研究を実施した．不正録画された映画等著作物の海賊版がインターネットやパッケージメディアを通して配布され，著作権者に甚大な経済的損失を与えており，この対策が急務である．本研究では，著作物の不正録画者の特定を目指し，音響電子透かしを用いて，劇場・ホールなど，スピーカーで囲まれた広空間における音取得の２次元位置（単に録音位置と呼ぶ）を推定する手法を開発し，著作権保護システムに応用することを目的とする．ここでは，複数のチャネルに電子透かし信号をスペクトル拡散方式に基づき埋め込み，海賊版の録音信号から検出する各チャネルの透かし信号間の到達時間差により録音位置を推定する手法を具体化した．現在までに音響信号の音楽部分に電子透かしを埋め込み，シングルチャネルのマイクで記録した海賊版の音響信号から録音位置を推定する手法を提案し，約25平方ｍの空間での実験で推定誤差が1m以下であるという結果を得た．本手法は「どの劇場の，どの上映時間の，どの座席で」というより詳細な不正録画情報まで特定できる可能性をもつ．

京都大学では，データハイディング技術を応用して，複数のマルチメディアコンテンツに分散させてファイルシステムを埋めこむ枠組みを構築した．適切な埋め込みアルゴリズムを用いればコンテンツに埋め込まれた状態のファイルシステムの存在は知覚されることはないため，この枠組みをデータの秘密保持に用いることができる．これまでにカモフラージュになるコンテンツにデータを隠す手法は多数提案されてきた．しかしそこで対象とされていたのは単一のコンテンツのみであった．ここでは，複数の（さまざまな種類の）コンテンツに分散して埋めこみを行うことで，実用的なサイズのファイルシステムを自然な形で隠すことを可能とした．なお実装においてはプラグイン構造を採用した．これにより，埋め込み用プログラムをプラグインとして別途登録することで，さまざまなマルチメディアコンテンツを種類に関わらず同時に扱えるようになっている．また一旦作成したファイルシステムに新たなコンテンツを追加することでファイルシステムを拡張することができるようにしている．

九州工業大学では，秘密情報や秘密通信の存在自体を隠す技術であるステガノグラフィに関して，埋め込み検出が困難な安全性の高いステガノグラフィの開発研究を行っている．本年度は，静止画像の符号化規格として最も広く利用されている JPEG 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（JPEG ステガノグラフィと呼ぶ）を対象とした．JPEG ステガノグラフィに対する埋め込み検出は，埋め込み前後でのDCT係数のヒストグラム形状の変化を捉えて行われる場合が多い．埋め込みによってヒストグラム形状が変化しない方法を開発した．提案法では，情報の埋め込みは DCT 係数の量子化の際に（量子化後ではなく）行われるため，他の方法と比べて，埋め込み後の画像の品質劣化が少ないという特徴を有する．

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトを核として，新たに数多くの研究者が結集し，電子情報通信学会の２種研究会「マルチメディア情報ハイディング（ＭＩＨ）研究会」を発足させることができた．平成１９年５月に開催予定の第１回ＭＩＨ研究会では，この分野における著名な方々を招いて，情報ハイディング技術の概要や最新の動向および将来の展望等についての講演やパネル討論を計画している．更に，実際に情報ハイディング技術を応用したシステムのデモ展示も計画しており，さまざまな分野の参加者が，情報ハイディング技術を体感できる研究会となっている．

また，平成１９年１１月に台湾（高雄）で開催される国際会議ＩＩＨＭＳＰ２００７(International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing）では，本プロジェクトの複数のメンバーが会議開催に貢献するとともに，ＭＩＨ研究会として２件の Invited Session を企画した．

［4］成果資料

（1）Norihiro Fujita, Ryouichi Nishimura and Yoiti Suzuki, ”Audio secret sharing for 1-bit audio” , Acoustical Science and Technology Vol.27 No.3 pp171-173 (May, 2006)

（2）Ryouichi Nishimura, Norihiro Fujita and Yoiti Suzuki, “Secure voice communication with LD-CELP coding”, 9th Western-Pacific Acoustic Conference (Seoul, Korea) (26 June, 2006)

（3）Wang Huiqin, Ryouichi Nishimura, Yoiti Suzuki and Mao Lee, “Time-spread echo audio watermarking combined with fuzzy theory”, 9th Western-Pacific Acoustic Conference (Seoul, Korea) (26 June, 2006)

（4）Naoya Sasaki, Ryouichi Nishimura and Yoiti Suzuki, ″Audio watermarking based on association analysis″, 8th International Conference on Signal Processing, (Guilin, China) (17 November, 2006)

（5）Naoya Sasaki, Ryouichi Nishimura and Yoiti Suzuki, “An audio watermarking method based on association analysis”, 2nd International Symposium on Bio- and Nano-Electronics in Sendai (Sendai, Japan) (9-10 December, 2006)

（6）Yoiti Suzuki, Ryouichi Nishimura and Hao Tao, “Audio Watermark Enhanced by LDPC Coding for Air Transmission”, 2nd International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (Pasadena, USA) (18 December, 2006)

（7）中島悠太, 立花隆輝, 西村雅史, 馬場口登, ″音楽に対する電子透かしを用いた録音位置推定″, 日本音響学会 2006 年 秋季研究発表会, pp.458-459, (2006年9月)

（8）Y.Nakashima, R.Tachibana, M.Nishimura, N.Babaguchi, ″Estimation ofrecording location using audio watermarking″, Proc. of ACM Multimediaand Security Workshop 2006, pp.108-113, Geneva (2006-09).

（9）Y. Nakashima, R. Tachibana, M.Nishimura and N. Babaguchi, ″Determining Recording Location Based on SynchronizationPositions of Audio Watermarking,″ Proceedings of The 32nd International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2007), pp.II-253—II-256, Honolulu (2007-04).

（10）HIOKI Hirohisa, ″Crocus: A Steganographic Filesystem Manager″, Proceedings of the ACM Symposium on Information, computer and Communications security (ASIACCS'07), pp. 344—346, 20 Mar. 2007

（11）H.Noda, M.Niimi and E.Kawaguchi, ″High performance JPEG steganography using quantization index modulation in DCT domain″, Pattern Recognition Letters, Vol.27, pp.455-461(2006).

（12）M.Niimi, T.Nakamura and H.Noda, ″Application of complexity measure to reversible information hiding″, Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, pp.113-116(2006-10).

（13）H.Noda, Y.Tsukamizu and M.Niimi, ″JPEG2000 steganography possibly secure against histogram-based attack″, Lecture Notes in Computer Science, Vol.4261, pp.80-87(2006-11).

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B05

採択回数　①　2　3

ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究

［1］組織

代表者：安達　信泰
（名古屋工業大学セラミックス基盤工学研究センター）

対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）

分担者：

中村　隆（岐阜大学）

井上　浩（秋田大学）

丹　健二（秋田県産業技術総合研究センター）

川又　憲（八戸工業大学）

太田博康（仙台高感度電磁波測定技術リサーチセンター）

［2］研究経過

（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。）

ギガヘルツ帯高周波における近傍電磁界分布の可視化に関する研究は，近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは，電磁波セキュリティーを確保するために、60GHz 帯におよぶ広帯域で雑音レベル同程度の微弱な電界および磁界双方の強度分布を高感度に観測し、視覚的にイメージ化するプローブならびに計測システムの確立することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第１年度であった。

以下，研究活動状況の概要を記す。

月に１回程度のペースで研究討論，打ち合わせ会を開催し，プローブ技術，計測技術に関して，研究の現状把握と今後の方針について討議した。

研究費：旅費 33 万 4 千円

［3］成果

（3－1）研究成果

（本プロジェクトで明らかになった研究成果を具体的 に記載して下さい。）

本年度は，磁性ガーネット薄膜結晶を用いた磁界検出に関して以下に示す研究成果を得た。

まず，測定系には，電子回路に組み込まれたマイクロストリップライン上に光反射コートをした磁性ガーネット薄膜を置いて，1.3 ミクロンの赤外線レーザー走査により，膜の持つ光磁気効果（ファラデー効果）によりマイクロストリップライン上に発生する磁界分布を画像として取り込むシステムを採用した。その際に浮上した問題点として，高周波帯の磁界分布を行うと GHz を超えるあたりから磁界感度の低下が見られる点にあった。その点に関して高橋らは，膜面内に外部直流磁界バイアスを加えることにより，特定周波数帯の磁界感度が顕著になり，かつこの周波数帯は磁界バイアスを大きくすると増大することを指摘した[1]。 この現象は，膜の強磁性共鳴によるものである。そこで，実用化のステップとして，本研究では，膜自身が持つ磁気異方性エネルギーを利用して，外部磁界バイアスを下げること，すなわち，膜による面内方向への異方性磁界を増大させるような膜組成を検討した。出発組成は，MO インディケータとして直流磁界検出で以前，我々で行っていた $(BiLu)_3(FeGa)_5O_{12}$ と $(BPriLu)_3FeGa_5O_{12}$ の組成をベースにした。Bi 置換は，ファラデー効果を顕著に増大させる働きがある。Ga 置換は，鉄イオンを希釈し，磁気異方性を緩和する。ファラデー回転の磁界に対する傾きが大きくなり磁界検出感度が増す一方で，異方性磁界は減少するために今回の目的に対しては逆効果を生む。希土類 Pr 置換は，磁気異方性を顕著に増大させる働きがある。まず第１に，Pr 置換膜を作製し，異方性磁界の増大効果を調べた結果，磁化曲線から，面内方向への異方性が強くなり，面直方向の磁化を飽和させるのに6 kOeも要する強い異方性磁界を発生できるようになった。9 GH のマイクロ波を用いた強磁性共鳴が面内方向で2 kOe を下回る結果を得た。しかしながら，共鳴半値幅は数百 Oe となり，これは$(BiLu)_3(FeGa)_5O_{12}$ の系に比べて２桁程度大きな値となった。また，スペクトルにおける共鳴ピーク強度も低下した。この膜を用いて，磁気光学による磁界分布の評価を行った結果，バイアス磁界下での特定周波数帯の磁界感度が顕著になる現象が観察できなくなった。これは，強磁性共鳴の吸収半値幅の増大と共鳴ピーク強度の減少が原因と思われ，異方性磁界が増大したものの磁界分布評価には適さない組成と結論した。

そこで，次に，$(BiLu)_3(FeGa)_5O_{12}$ 系において，Ga は置換せず，結晶磁気異方性の効果で異方性磁界を増大することを試みた。ガーネット結晶は１１１方向に磁化容易軸が存在する。そこで，容易軸が膜面内になるように， $Gd_3Ga_5O_{12}$ 単結晶基板の（１１０）面を用い，薄膜の結晶成長を試みた。その結果，異方性磁界は Pr 置換の場合に比べて 2kOe 程度小さくなったものの，膜面内方向の強磁性共鳴磁界は 2kOe 程度の小さな値を示し，かつ共鳴の半値幅は 3Oe 程度になり，シャープな強い共鳴ピークが観測できた。この膜を用いて，磁気光学による磁界分布の評価を行ったところ，40GHz までの高周波帯域において，バイアス磁界による磁界感度の増大効果が観測できるようになり，また，マイクロストリップライン上の磁界分布も画像化できるようになった。

（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は，情報通信研究機構の拠点研究プロジェクトの一つである「電磁波セキュリティを確保するための高感度電磁波測定技術の研究開発」とすでにリンクさせて，研究から実用化への具体性をも考慮しながらすすめており，最近ますます問題となっている電磁環境への安全性を確立すべく，今後の発展が期待されている。

［４］成果資料
（３頁以降は，本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リストを，１５件程度を掲載してください。）

（１）Kono, T.; Machi, T.; Chikumoto, N.; Nakao, K.; Koshizuka, N.; Adachi, N.; Okuda, T. "**LPE growth of bismuth substituted iron garnet films with in-plane magnetization."** Nippon Oyo Jiki Gakkaishi Vol.30(6-2), pp.600-603 (2006).

（２）M. Takahashi, E. Suzuki, S. Arakawa, H. Ota, K. I. Arai, R. Sato, **"High Speed System for Electromagnetic Field Distribution,"** IEICE Trans. on Commun. VolE89-B, pp.2905-2912 (2006)

・・・・・

課題番号　H18／B06

採択回数　1　2　3

適応的な行動の発現と制御のメカニズム

［1］組織
代表者：
高草木　薫（旭川医科大学）
分担者：
淺間　一　東京大学
矢野 雅文　東北大学
冨田 望　東北大学
伊藤宏司　東京工業大学
近藤敏之　東京農工大学
松島俊也　北海道大学
前田雄介　横浜国立大学
村田　哲　近畿大学
大久保賢一　東京理科大学
有江浩明　早稲田大学
塩入諭　東北大学
市川純章　諏訪東京理科大学
松宮一道　東北大学
谷　淳　理化学研究所
栗木 一郎　東北大学
高草木 薫　旭川医科大学
森 大志　山口大学
中溝克己　近畿大学
土屋和雄　京都大学
青井伸也　京都大学
木村　浩　電気通信大学
田熊 隆史　大阪大学
井上 康介　茨城大学
鈴木隆文　東京大学
西川 郁子　立命館大学
関 和彦　生理学研究所
黒江康明　京都工芸繊維大学
野村泰伸　大阪大学
満渕邦彦　東京大学
中里泰三　順天堂大学
小山 純正　福島大学
神崎亮平　東京大学
太田順　東京大学
田村雄介　東京大学
石黒章夫　東北大学
大須賀 公一　神戸大学
清水正宏　東北大学
大脇大　東北大学
Tiaza Bem-Sojka　Polish Academy of Science, Poland
Pierre Meyrand　University of Bordeaux 1, France
三宅美博　東京工業大学
小池康晴　東京工業大学
沢田康次　東北工業大学
高地康宏　東北工業大学
石田裕昭　近畿大学
長野智晃　東京工業大学
櫻田　武　東京工業大学
登美直樹　東京工業大学
郷古　学　東京工業大学
福島　菊郎　北海道大学
大須　理英子　情報通信研究機構（NICT）

研究費：物件費 49,623 円，旅費 567,130 円

［2］研究経過

行動発現のメカニズムには生物学的観点から3つのレベルがあると想定される．第一のレベルは生存を可能にする身体恒常性のメカニズムである．これは，運動・感覚などの体性神経機能や循環・呼吸などの自律神経機能に相当する．第二のレベルは，自己内外の環境認知のメカニズムである．内臓感覚や外界環境情報に対しての認知や記憶，そしてその情報への価値の評価という高次脳機能がこれに相当する．そして第三のレベルは，社会やコミュニティーの中から自己のアイデンティティーを確立するメカニズムである．これは，対人関係や社会適応の仕組みであり，さらに社会を創造する仕組みを包含する．

環境はリアルタイムに変化するため，我々は常に時間と空間の持つパラメータ変化に対して適応的な行動を発現しなければならず，そのためには，“脳と身体，そして環境の相互作用が重要な役割を担う．しかし，脳神経系の疾患（パーキンソン病や認知症など）や筋・骨格系の障害（運動器疾患など）では，上記の何れかのレベルにおける適応障害が出現する．また，脳や身体に機能異常がない場合であっても，社会環境の変化に対して適応障害（うつ症状・心身症など）を起こすことがある．

本プロジェクトの研究目的は，生物の持つ適応的な行

動発現のメカニズムを参考にしながら，これを実現する工学システムの構築を目指すことにある．

これら研究により，生物およびロボットに共通する適応行動発現の数理的・生物的原理の解明と，上記の適応障害を克服のための工学的手法の考案，につながると期待される．

プログラム：

11月20日（月）13:00–18:00

1. 随意運動の階層性と身体－環境適応系
   ○冨田 望，矢野雅文（東北大学）
2. 脊髄・筋骨格系機構における分散運動制御系
   ○長野智晃（東京工業大学），近藤敏之（東京農工大学），郷古 学，伊藤宏司（東京工業大学）
3. ワイヤー拮抗駆動式ロボットアームの開発
   谷 淳（理化学研究所脳科学総合研究センター），菅野重樹（早稲田大学），○有江浩明（早稲田大学）
4. 採餌選択の多元的アルゴリズム
   松島俊也（北海道大学）
5. 招待講演 I
   「視標追跡眼球運動の制御機構」
   福島菊朗氏（北海道大学・医学部）
6. 文脈手掛り効果と無意識処理
   ○塩入 諭，真野拓郎，藤田克哉，松宮一道，栗木一郎（東北大学）
7. 人間の行うピボット操作のモデル化
   ○前田雄介，潮田達也，杉内 肇（横浜国立大学）
8. 柔軟な接触センサシステムにおける接触強さ情報を用いた角柱形状の触覚
   大久保 賢一，渡邊 健士（東京理科大学），市川 純章（諏訪東京理科大学），原 文雄（東京理科大学）

11月21日(火) 9:30–16:30

1. ボールキャッチングタスクにおける視覚と触覚の関係
   ○小池康晴，川瀬 利弘，辛 徳（東京工業大学）
2. コミュニケーションダイナミクスの研究
   ○高地康宏，沢田康次（東北工業大学）
3. 頭頂葉ニューロンによる自己身体感覚に基づく他者身体の認識
   ○石田裕昭，村田 哲（近畿大学）

4. 招待講演 II
   「運動の制御と学習－行動実験の立場から－」
   大須理英子氏（情報通信研究機構（NICT）/ATR脳情報研究所）
5. 招待講演 III
   “Multistability and neuromodulation: two mechanisms of network activity reconfiguration”
   Dr. Tiaza Bem-Sojka （Department of Bionics, Institute of Biocybernetics and Biomedical Engineering, Polish Academy of Sciences）
6. 招待講演 IV
   “Reconfiguration of a rhythmic motor program by a mechanoreceptor neuron”
   Dr. Pierre Meyrand （Laboratoire de Neurobiologie des Reseaux. CNRS/ University of Bordeaux1）

［3］成果

本年度の研究成果は，上記研究報告会において各研究班の報告で詳しく述べられた．ここではいくつかの成果をピックアップして概要を述べる．

1)「見なし情報」は，運動遂行における最上位の拘束条件であり，その下で，下位の複数レベルの拘束条件がリアルタイムに生成・充足されなければならない．本年度は，到達運動を例として，運動学・動力学的変化を手先・関節・筋空間に実時間で反映する自律分散制御機構を実現した．

2) 生物の運動制御系は，外部環境を内部に表象し，そこで得られる情報を予測的に用いて運動指令を生成していると考えられる．本年度は，身体・環境系の物理特性を単純な物理特性に分離して内部モデルを獲得する分離認知についての実験的考察を行った．結果，異なるダイナミクスを線形合成した環境では，手先空間における環境との相互作用パターンが時間的あるいは空間的に分離できる場合は，個別に内部モデルを形成できることを明らかにした．

3) 脳・身体系は，複数の部位に対して意図した時間順序で運動指令を出力し，協調的な動作を生成している．日常生活で多く見られる左右の協調運動を成立させる制御メカニズムについて考察した．その結果，a) 左右の同相運動では相互作用関係が強く，逆相運動では独立の制御系になる傾向が強いこと，b) その協調制御はフィードフォワード系として相互関係を持ち，特に，変位情報の相互依存性が強いこと，c) 左右手先の空間距離が近いほど相互依存性が強くなることを示唆する実験結果を見いだした．

成果報告後の総合討論において，生物の持つ適応的な行動発現の工学的実現のためには 1) 予測不可能な環境から行動に必要な認知情報(見なし情報)を生成する脳－環境連関の解明，2)動的環境に対する行動適応機能の生物学的解明，3)脳－身体－環境系から構成される適応機能のモデル構成，の3つの視点からモデルを構成し，課題を遂行していくことが重要であるとの結論を得た．

本プロジェクト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」が現在遂行中である．本プロジェクト研究で得られた知見を元に，生物の持つ適応的な行動発現の工学的実現のための道筋が明確になり，今後の発展が期待される．

［4］成果資料

1. Yano M. Purposive Locomotion of Insect in Indefinite Environment, In H Kimura et al. Eds., ***"Adaptive motion of animals and machines"***, Springer-Verlag, Tokyo, 31-40, 2006.
2. Makino Y, Yano M. Pictorial cues constrain depth in da Vinci stereopsis., ***Vision Res.*** 46(1-2):91-105, 2006.
3. Kawabata K, Saitoh K, Takahashi M, Sugahara M, Asama H, Mishima T, Miyano M, Integrated state evaluation for the images of crystallization droplets utilizing linear and nonlinear classifiers, ***Biological Crystallography***, ***Acta Crystallographica Section D***, vol. 62, pp. 1066-1072, 2006.
4. Kiencke U, Nielsen L, Sutton R, Schilling K, Papageorgiou M, Asama H. The Impact of Automatic Control on Recent Developments in Transportation and Vehicle System, ***Annual Reviews in Control***, No.30, pp. 81-89, 2006.
5. Aoi S, Tsuchiya K. Stability Analysis of a Simple Walking Model Driven by an Oscillator With a Phase Reset Using Sensory Feedback. ***IEEE Transactions on Robotics,*** 22(2):391-397, 2006.
6. Aoi S, Tsuchiya K. Bifurcation and Chaos of a Simple Walking Model Driven by a Rhythmic Signal. ***International Journal of Non-Linear Mechanics***, 41(3):438-446, 2006.
7. Kurabayashi D, Okita K, Funato T. Obstacle avoidance of a mobile robot group using a nonlinear oscillator network. ***IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems***, 186-191, Beijing, China, October 9-15, 2006.
8. Funato T, Kurabayashi D. Functional Structure of Autonomically Emerged Network in an Environment. ***IEEE International Conference on Computational Cybernetics,*** 315-320, Tallinn, Estonia, August 20-22, 2006.
9. Iida S, Kondo T, Ito K. Environmental Adaptation Mechanism for a Biped Walking Robot Control Based on Elicitation of Sensorimotor Constraints**,** ***From Animals to Animats 9, Lecture Notes in Computer Science*** 4095, pp.174-184, 2006.
10. Kondo T. Evolutionary design and behavior analysis of neuromodulatory neural networks for mobile robots control**.** ***Applied Soft Computing,*** 7, 189-202,
11. Takakusaki K. Forebrain control of locomotor behaviors. ***Brain Res. Rev.*** (in press)
12. Takakusaki K, Saitoh K and Kashiwayanagi M. The pedunculopontine nucleus and the basal ganglia in locomotion. In: ***Recent Breakthroughs in Basal Ganglia Research***, (ed by E. Bezard), 133-149,2006.
13. Kurkin SA, Akao T, Fukushima J, Fukushima K. Activity of pursuit neurons in the caudal part of the frontal eye fields during static roll-tilt. ***Exp Brain Res.*** 176(4):658-664., 2007.
14. Yamamoto K, Kawato M, Kotosaka S, Kitazawa S. Encoding of movement dynamics by purkinje cell simple spike activity during fast arm movements under resistive and assistive force fields. ***J Neurophysiol.*** 97(2):1588-99, 2007.
15. Miyazaki M, Yamamoto S, Uchida S, Kitazawa S. Bayesian calibration of simultaneity in tactile temporal order judgment. ***Nat Neurosci.***, 9(7): 875-877, 2006.
16. Crinion J, Turner R, Grogan A, Hanakawa T, Noppeney U, Devlin JT, Aso T, Urayama S, Fukuyama H, Stockton K, Usui K, Green D, Price CJ. Language control in the bilingual brain. ***Science***, 312 (5779); 1537-1540, 2006.
17. Le Bihan D, Urayama S, Aso T, Hanakawa T, Fukuyama H. Direct and fast detection of neuronal activation in the human brain with diffusion MRI. ***Proc. Nat. Acad. Sci.*** 103(21), 8263-8268, 2006.
18. Oshio K, Chiba A, , Inase M. Delay Period Activity of Monkey Prefrontal Neurons during Duration-Discrimination Task. ***Eur. J. Neurosci***. 23(10), 2779-2790, 2006.
19. Mori F, Nakajima K, Tachibana A, Mori S. Obstacle clearance and prevention from falling in the bipedally walking Japanese monkey, Macaca fuscata. ***Age and Aging,*** 35(S2), 19-23, 2006.
20. Matsuyama K, Kobayashi S, Aoki M. Projection patterns of lamina VIII commissural neurons in the lumbar spinal cord of the adult cat: an anterograde neural tracing study. ***Neuroscience.*** 19;140, 203-18, 2006.
21. Ott SR, Aonuma H, Newland PL, Elphick MR. Nitric oxide synthase in crayfish walking leg ganglia: Segmental differences in chemo-tactile centers argue against a generic role in sensory integration. ***J Comp Neurol***. 501(3):381-99, 2007.
22. Iwasaki M, Delago A, Nishino H, Aonuma H. Effects of previous experience on the agonistic behaviour of male crickets, Gryllus bimaculatus. ***Zoolog Sci.*** 23(10):863-72, 2006.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B07

採択回数	1　②　3

コンプレックスプラズマの基礎と応用

［1］　組織

代表者：石原修
（横浜国立大学大学院工学研究院）

対応者：舛岡富士雄
（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	東北大学大学院工学研究科
三重野哲	静岡大学工学部
冨田幸博	核融合科学研究所
上村鉄雄	名城大学理工学部
高橋和生	京都大学大学院工学研究科
林康明	京都工芸繊維大学工学部
渡辺征夫	九州大学大学院工学研究科
白谷正治	九州大学大学院工学研究科
足立聡	宇宙航空研究開発機構
依田真一	宇宙航空研究開発機構
高柳昌弘	宇宙航空研究開発機構
芦川直子	核融合科学研究所
真銅雅子	横浜国立大学大学院工学研究
小島力	横浜国立大学工学府
山野内敬	横浜国立大学工学府

研究費：校費５万円，旅費５１万円

［2］研究経過

超微細加工技術や超薄膜生成技術にプラズマが果たす役割は大いに期待されるところである。ここで使われる反応性プラズマ中には電子や正イオンに加えて大きな質量を持つクラスター、フラーレン、ナノ結晶、あるいはミクロン微粒子が存在し、これらの微粒子を含むプラズマは微粒子プラズマあるいはダストプラズマと呼ばれている。最近では複合体としての集団運動がもたらす新しい物理ゆえにコンプレックスプラズマと呼ばれるようになっている。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て研究会を開催した 。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に資する研究と、次世代超微細電子工学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を目的とした。先駆的プロジェクト研究を展開するために、全国のプラズマ工学者の英知を集めて議論してきた。

本プロジェクトは, 本年度が第２年度であった。申請グループの活動は日本マイクログラビティ応用学会誌の小特集―「低気圧放電プラズマ中における微粒子の挙動とその制御」（JASMA Vol.22, No. 1 (2005). 佐藤徳芳, 石原修, 東辻浩夫, 林康明, 渡辺征夫）で紹介され、その活動が研究会という形で続けられた。研究会は２度開催された。

（1）平成 18 年 4 月 27 日(木)東北大学工学部電気情報・物理工学科 2 号館 403 室で、おこなった。石原による趣旨説明のあと、高橋によるＭＡＸ　ＰＬＡＮＣＫプラズマ研究所帰国報告として、ドイツにおける微粒子プラズマ研究の進展、特に無重力コンプレックスプラズマ実験についての準備状況の報告を受け、足立によりフランスＯｒｌｅａｎにおけるダスト国際会議およびそのときに討議される無重力微粒子プラズマの日欧共同実験に向けた研究報告がされた。その後話題を、プラズマ中の微粒子系による臨界状態を中心に議論を進めた。東辻による研究の科学的意義と、微小重力の必要性の議論、 高橋により実現すべき実験条件と PK3 Plus〔ロシアードイツのプラズマクリスタル実験装置〕の機能・性能との整合性が議論された。日本における無重力実験については林が現状報告を行った。また依田・足立により、無重力実験の計画が提案された。最後に石原によるまとめで研究会が閉会した。

（2）平成１９年3月８日（木）東北大学工学研究科電気情報システム・応物系１０３講義室にて、「プラズマ流の基礎と応用」および「コンプレックスプラズマの基礎と応用」に関する合同研究会が開かれた。これは実験室および宇宙での微粒子プラズマ物理の先駆者であるカリフォルニア大学のローゼンバーグ教授の来日にあわせて日程を調整して行われたものである。

第１部では「プラズマ流の基礎と応用」を中心に、参加者によって「プラズマ・中性粒子結合系研究のための中性粒子流れ計測法」、「重力多体系でのポリトロープ状態の進化」、「プラズマ実験の歴史」、「最近のＥＨＤ大気圧プラズマ・ポンプの研究」「電歪力駆動型ＥＨＤポンプの電極形状効果」といった話題が提供された。

第２部では「コンプレックスプラズマの基礎と応用」を中心に議論が進んだ。　まずカリフォルニア大学サンジエゴ校の Marlene Rosenberg が「Theoretical studies of space and laboratory dusty plasmas」と題して、実験室及び宇宙空間でのダストプラズマのレビューを行った。続いて、宇宙航空研究開発機構の足立が「宇宙航空研究開発機構におけるダストプラズマ研究の現状と将来計画」について紹介した。　核融合科学研究所の芦川直子は「核融合プラズマ装置におけるダスト」について詳しい現状報告を行った。林は「微小重力環境下における微粒子プラズマ臨界現象実験」の最近の展開を紹介し、石原が平成１８年度秋のイタリアトリエステにおける微粒子プラズマ会議の報告と最近の横浜における微粒子プラズマ研究を紹介した。

［3］ 成果

（3－1）研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。プラズマ中に大量の微粒子を注入することにより、微粒子プラズマ研究は、固体・液体・気体という相変化の研究に結びつき、さらに超臨界現象への研究がグループの共通のテーマとして認識されるにいたった。今後、そのテーマを中心に共同研究が進むことを確認した。

臨界点および超臨界現象の物理にはいまだなぞが多く、物理的な解明がほとんどなされていない現実がある。それは臨界点に近づくほど相関長が長くなり、可視光程度になったときの散乱・回折光、熱容量、圧縮率、熱伝導率、電気抵抗など巨視的な物理量の測定から、臨界現象の解析が行われなければならなかったからである。一般に臨界点近傍でのみ、物理量の大きな変化が現れるため、非常に精密な測定を必要としていた。一方、微粒子プラズマでは密度揺動の観測が容易に観測可能であるため、臨界点前後の広い範囲において信頼性の高い測定と解析が期待される。

強結合微粒子プラズマを用いると、粒子の一つ一つを肉眼や CCD カメラ等で観察可能という特徴がある。そのため、微粒子プラズマを用いることにより、臨界点近傍から超臨界までの領域における各粒子の挙動をリアルタイムで逐次把握できることが可能になるであろう。

微粒子プラズマでの臨界現象の物理的解明は、物質における臨界現象全般の理解を助けることになると思われる。このため、微粒子プラズマによる臨界揺動を確認できれば、理論と実験両面から、臨界現象における臨界指数などのパラメータの精密な同定が行え、臨界現象をより正確に普遍的に捉えることができるようになるものと期待される。

（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，科学研究費基盤（B）微粒子プラズマによる臨界現象（代表、林康明、京都工芸繊維大）のプロジェクトに発展した。さらに無重力実験の国際プロジェクト（ＪＡＸＡ）の発展が見込まれている。

［4］成果資料

林康明、東辻浩夫、佐藤徳芳、渡辺征夫、上村鉄雄、石原修、飯塚哲、三重野哲、高橋和生、白谷正治、足立聡、高柳昌弘、微粒子プラズマにおける臨界現象、宇宙利用シンポジウム〔第２３回〕日本学術会議、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部、２００７年1月１５～１７日、Space Utilization Research, Vol. 23 (2007) 225-226.

石原修 他、宇宙における微粒子プラズマ、プラズマ核融合学会誌、Vol.82, pp. 75-76 (2006)

T. Yamanouchi, M. Shindo, O. Ishihara and T. Kamimura, Simulation on Cluster Structuring of Dust Particles Confined in a Plasma, Thin Solid Films **506-507**, 642-646 (2006).

O. Ishihara, *Coulomb Clusters in Dusty Plasmas*, in Plasma Physics Applied, edited by Crockett Grabbe (Transworld Research Network, Kerala, India, 2006), pp. 111-146.

O. Ishihara, *Complex Plasma : Dusts in Plasma,* Journal of Physics D: Appl. Phys. **40**, R121-R147 (2007).

Y. Hayashi, T. Fukumura, T. Isshiki, and R. Utsunomiya: "Highly Aligned Growth of Carbon Nanotubes by RF-Plasma-Assisted DC Plasma Chemical Vapor Deposition under High Pressure" Jpn. J. Appl. Phys. Vol.45, No.10B, 2006

K. Kitagawa, K. Nakamura, Osari, K. Takahashi, K. Ono, M. Oosawa, S. Hasaka, M. Inoue, Etching of high-k dielectric HfO_2 films in BCl_3-containing plasma enhanced with O_2 addition, Jpn. J. Appl. Phys. **45** (10) pp. L297-L300 (2006)

S. Nunomura, M. Kita, K. Koga, M. Shiratani, and Y. Watanabe, In situ simple method for measuring size and density of nanoparticles in reactive plasmas, Journal of Applied Physics, Vol. 99, pp. 083302-1-7 (2006).

T. Mieno, "Thermal motion of carbon clusters and production of carbon nanotubes y gravity-free arc discharge", J. Appl. Phys. 99 (2006) 104301(1-5).

H. Totsuji, "Equilibrium properties of two-dimensional Yukawa plasmas", Journal of Physics A: Mathematical and General,, **39**, 4493-4499 (2006).

H. Totsuji, "Thermodynamic instability and critical fluctuations in dusty plasmas" ,Journal of Physics A: Mathematical and General, **39,** 4565-4569 (2006).

H. Totsuji, T. Ogawa, C. Totsuji, and K. Tsuruta, "Structure of spherical Yukawa clusters", Journal of Physics A: Mathematical and General, 39, 4545-4548 (2006).

S. Adachi; M. Takayanagi, "Experimental study on Coulomb crystal formation in dusty plasmas", JAXA-RR-05-025E (2006).

M. Shiratani, K. Koga, S. Ando, T. Inoue, Y. Watanabe, S. Nunomura, and M. Kondo, Single step method to deposit Si quantum dot films using H_2+SiH_4 VHF discharges and electron mobility in a Si quantum dot solar cell, Surface and Coatings Technology, in press & available online ,2006.

S. Nunomura, M. Kita, K. Koga, M. Shiratani, and Y. Watanabe, In situ simple method for measuring size and density of nanoparticles in reactive plasmas, Journal of Applied Physics, Vol. 99, pp. 083302-1-7, 2006.

M. Shiratani, K. Koga, N. Kaguchi, K. Bando, and Y. Watanabe, Species responsible for Si-H_2 bond formation in a-Si:H films deposited using silane high frequency discharges, Thin Solid Films, Vol. 506-507, pp. 17-21, 2006.

K. Takenaka, K. Koga, M. Shiratani, Y. Watanabe, and T. Shingen, Mechanism of Cu deposition from $Cu(EDMDD)_2$ using H-assisted plasma CVD, Thin Solid Films, Vol. 506-507, pp. 197-201, 2006.

T. Kakeya, K. Koga, M. Shiratani, Y. Watanabe, and M. Kondo, Production of crystalline Si nano-clusters using pulsed H_2+SiH_4 VHFdischarges, Thin Solid Films, Vol. 506-507, pp. 288-291, 2006.

K. Koga, M. Shiratani, Y. Kitaura, Y. Watanabe, and A. Komori, Nano-particle formation due to interaction between H_2 plasma and carbon wall, Thin Solid Films, Vol. 506-507, pp. 656-659, 2006.

Y. Watanabe: Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.39, R329-R361, 2006.

N. Sato, Collection and Removal of Negatively-Charged Fine Particles in Plasmas (Invited), The 14th Gaseous Electronics Meeting, Murramarang Resort, Australia, February 6 - 9, 2006, Program & Abstracts III-1-1

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)
大野　英男(東北大学電気通信研究所)
小原　拓(東北大学流体科学研究所)
折田　義彦(海洋研究開発機構地球シミュレータセンター)
樫本　浩二(日本電気株式会社(NEC))
佐久間　弘文(海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター)
鈴木　陽一(東北大学電気通信研究所)
高木　敏行(東北大学流体科学研究所)
高瀬　和之(日本原子力研究開発機構原子力基礎工学部門)
谷　啓二(東京工業大学学術国際情報センター)
寺坂　晴夫(東京大学生産技術研究所)
徳田　伸二(日本原子力研究開発機構システム計算科学センター)
早瀬　敏幸(東北大学流体科学研究所)
福井　義成(宇宙航空研究開発機構(JAXA)
情報・計算工学センター)
福田　正大(宇宙航空研究開発機構情報・計算工学センター)
藤代　一成(東北大学流体科学研究所)
松尾　裕一(宇宙航空研究開発機構情報・計算工学センター)
圓山　重直(東北大学流体科学研究所)
村岡　裕明(東北大学電気通信研究所)
村松　壽晴(日本原子力研究開発機構次世代原子力システム研究開発部門)
森本　浩一(海洋研究開発機構経営企画室)
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)

―――

※以下、スパコン性能比較計測グループ：
ウィルソン・アジェリコ・タン・ディニョ(大阪大学)
笠井　秀明(大阪大学)
功刀　資彰(京都大学)
佐竹　信一(東京理科大学)
中西　寛(大阪大学)
中村　龍史(大阪大学)
長友　英夫(大阪大学)
三谷　昌輝(三重大学)
望月　明(東北大学電気通信研究所)
山邊　信一(奈良教育大学)
山本　義暢(名古屋大学)
吉岡　泰規(三重大学)

研究費：物件費　0 円、旅費　53 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として研究を行った。

本プロジェクト研究会は、本年度が初年度であった。以下、本年度における研究活動状況概要を記す。

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**(2～8人程度)を開催した。(約60回)

①新概念プロセッサシステムの検討については、本プロジェクト研究会の代表者である松岡が、電気通信研究所側対応者である羽生貴弘教授と片平にて頻繁に意見交換を行うとともに、東京三田にてNEC研究協力グループと平均2回／月程度のシステム検討を行った。また、5/15(大岡山東工大)、6/3(駒場東大)、6/30(上野 JAEA)、7/5(片平通研)、8/3(片平通研)、8/10(片平通研)、10/16(駒場東大)、1/9(片平通研)、3/14(片平通研)、3/19(上野 JAEA)、3/20(半蔵門JST)に小グループ会合を開催した。②新概念プロセッサストレージの検討については、7/21(杉田JAMSTEC)、11/29(片平通研)、1/16(片平通研)、2/2(丸の内日立)、2/15(片平通研)、3/2(片平通研)、3/27(片平通研)に小グループ会合を開催するとともに、後述の大グループ会合において、「『ペタバイト級情報ストレージシステムの研究』共同プロジェクト研究会(代表者:村岡裕明教授)」と連携して合同の意見交換を行った。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、8/10(片平流体研)、10/13(大洗JAEA)、10/16(片平流体研)、10/30(上野 JAEA)、12/6(片平流体研)、3/13(白山東洋大)、3/23(片平通研)に小グループ会合を開催した。④海洋流体シミュレーションへの応用開拓については、5/12(杉田JAMSTEC)、5/19(上野JAEA)、6/29(上野JAEA)、7/6(神田)、7/13(片平流体研)、9/8(杉田 JAMSTEC)、9/29(杉田 JAMSTEC)、10/13(杉田 JAMSTEC)、11/10(杉田JAMSTEC)、11/13(虎ノ門海洋政策研究財団)、12/8(上野 JAEA)、1/26(杉田 JAMSTEC)、2/15(上野 JAEA)、3/8(上野 JAEA)、3/15(上野 JAEA)に小グループ会合を開催した。⑤新分野シミュレーションへの応用開拓については、宇宙におけるロケット推進制御(折田氏JAMSTEC・福田氏JAXA)やコンサートホールにおける音場解析(鈴木陽一教授通研)への専用シミュレーションチップの応用可能性について、7/14(汐留JAXA)、7/28(東京)、8/8(片平通研)、11/6(上野 JAEA)、1/31(片平通研)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、4/6(汐留JAXA)、6/6(上野JAEA)、7/21(東京)、7/26(片平通研)、9/5(片平通研)、9/11(吉祥寺)、9/12(東京)、9/29(東京)、10/13(神田)、10/16(汐留JAXA)、10/23(片平通研)、11/16(多磨)、11/22(多磨)、2/5(新宿)に小グループ会合で検討を行った。

また、各分野におけるアプリケーション側の研究者と、デバイス・回路側の研究者が直接意見交換できる機会を設けることを主たる目的にして、10月24日から25日にかけて10～20人程度の**大グループ会合**を以下のとおり５回開催した。

○第１会合：10月24日10時40分～12時　片平

テーマ：片平発日本独自技術の紹介「新概念回路・デバイス」・・・“差動対回路とその可能性”について電気通信研究所の羽生貴弘教授から、“スピンメモリの最近の成果と展望”について同研究所の大野英男教授から解説いただき、意見交換を行った。また、電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟の施設見学も実施した。

○第２会合：10月24日13時～13時50分　片平

テーマ：片平発日本独自技術の紹介「計測融合シミュレーション」・・・“計測融合シミュレーションの最近の成果と展望”について流体科学研究所の早瀬敏幸教授から解説いただき、意見交換を行った。また、流体科学研究所の流体実験設備・可視化装置及びスーパーコンピュータ施設の見学も実施した。

○第３会合：10月24日15時～16時40分　秋保

テーマ：「最先端分野における数値シミュレーション、専用計算機活用等に関する今後の展開可能性について」:自由な相互意見交換)・・・“宇宙航空分野への展望”について宇宙航空研究開発機構の福田正大氏から、“海洋分野への展望”について海洋研究開発機構の折田義彦氏・板倉憲一氏・佐久間弘文氏から、“原子力分野への展望”について日本原子力研究開発機構の村松壽晴氏から、“計算科学分野への展望”について東京大学の寺坂晴夫教授から解説いただき、意見交換を行った。

○第４会合：10月24日17時～18時　秋保

テーマ：「次々世代スーパーコンピュータへの展望」・・・“次々世代スーパーコンピュータへの展望”について東京工業大学の谷啓二教授から解説いただき、意見交換を行った。

○第５会合：10月25日10時半～11時15分　片平

テーマ：片平発日本独自技術の紹介「垂直磁気記録」・・・“垂直磁気記録ストレージの最近の成果と展望”について電気通信研究所村岡裕明教授から解

説いただき、意見交換を行った。また、電気通信研究所 IT-21 センターのストレージ研究施設の見学も実施した。

［3］成果

（3－1）研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

前述の小グループ会合及び大グループ会合における意見交換を通じて、まず、第1に、原子力、海洋、宇宙などの流体数値シミュレーション活用分野で、今後とも大規模な計算を低消費電力低コストで実行できる計算システムの実現要請が強いことを把握した。第2に、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との認識を得た。第3に、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」ことが有益であるとの方向性を得た。

以上の検討結果をもとに、超低消費電力を追求した流体運動自己組織化シミュレータの試設計を開始した。ソフトウェアアルゴリズムからハードウェア演算回路に至るまでの全ての階層で単純化設計を極限的に追及することを基本的な方針として設定した。

“超単純な流体解析アルゴリズムの開発”では、流体が存在する空間中に張られた格子上を、仮想粒子が並進・衝突を繰り返しながら、その集団としての運動を自己組織化していく格子流体法を採用した。特に、計算モデルは、単純性追及の観点から、とりあえず2次元格子ガス法 FHP-I モデルを用いた。基本的な時間発展計算において実数を使用しないため、トランジスタを数多く必要とする演算回路（例：浮動小数点表示された数の乗算回路）を省略でき、超低消費電力化に大きく貢献する。また、本モデルは、任意の複雑形状の境界条件に適用できるという実用性も備えている。本件は、日本原子力研究開発機構(JAEA)のシステム計算科学センターと研究協力を行い、NEC 等の協力も得て、1 ノード(8CPU 並列、ベクトル化率 99.9%)のみの計算機規模で約3億格子点の計算実行を可能にした。また、衝突規則の工夫で負の粘性挙動を再現できることが判り、高レイノルズ数達成手法の考案に貢献にした。

また、シミュレーション計算の主要繰返し部分に対して、次世代の電子回路技術を応用し、さらなる高速化と超低消費電力化をコンパクトに実現するため、**“新概念回路技術によるシミュレーション加速プロセッサの設計”**に着手した。本件は、東北大学電気通信研究所と研究協力を行い、本共同プロジェクト研究会の対応をお願いしている羽生貴弘教授らのグループが提案しているトンネル磁気抵抗効果素子によるロジックインメモリ回路を基本にしたシステム設計を行うこととした。この基本回路は、電源を切っても情報が残る「不揮発性デバイス」を構成要素として内蔵しており、当該回路の中核部分の小規模な試作は、同研究所の大野英男教授らのグループにより実行可能であると思われる。特に、この不揮発性デバイスは、大規模集積回路上で、従来の演算回路部分に重ねてその上に製作できるので、回路面積のコンパクト性を損なわずに超低消費電力を達成できる技術として将来性がある。

さらに、**“シミュレーション加速プロセッサ応用システムの研究”**として、原子炉冷却系設計の支援実験解析や自律型水中ロボットの位置制御への応用などについて流体科学研究所、JAMSTEC、JAEA 等の関係者と検討を行い、競争的資金の共同応募申請やその準備に反映させた。

（3－2）波及効果と発展性など

原子力、航空・宇宙、地球環境など未来社会を構築するのに極めて重要な分野における流体挙動数値シミュレーションについて、新概念回路技術を駆使することにより、汎用計算機の性能向上トレンドを凌ぐ大規模計算または低コスト計算を達成できる可能性が高い。また、アプリケーション側の研究者が、デバイス・回路側の研究者の最新の研究成果を知ってその意味をよく理解し、自らのアプリケーションモデルやアルゴリズムをその方向に積極的に適合させていくなど、将来の可能性をともに追求していく意欲的なグループを形成しつつある。

［4］成果資料

当プロジェクト研究会における検討の直接成果ではないが、密接に係わる研究発表として下記1件。

（1）松岡、菊池： パッケージフローモデルによる原子炉システム過渡挙動の直感的理解法、日本機械学会 2006 年度年次大会講演論文集、Vol. 7, No.3933 (2006), pp. 147-148.

共同プロジェクト研究

課題番号　H18／B09

採択回数	1　2　3

新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックと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））
中村　孝（ローム（株））
木村啓明（ローム（株））
V. Gaudet（カナダ・アルバータ大）
C. 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）
望月　明（東北大学電気通信研究所）

研究費：校費５万円，旅費２２．９万円

［2］研究経過

ユビキタスネットワーク社会に適合する情報通信機器においては，高度な知的情報処理を高速に実行でき，かつ低消費電力性を有するコンパクトな携帯型ハードウェア端末にて実現する必要がある．すなわち，現有のチップ性能をはるかに超える高性能なVLSI チップを開発しなければならない．従来までの微細加工技術だけでチップ性能を向上させることは極めて困難である．実際，デシミクロン以細の超高集積ＶＬＳＩチップにおいては，トランジスタのスイッチング遅延より，配線の複雑さに起因するモジュール間データ転送ボトルネックが性能を決定できる主因となってきている．このような配線問題を本質的に解決するためには，ソフトウェア・アルゴリズムレベル，システム・アーキテクチャレベル，回路・デバイスレベル，材料・プロセスレベルというＶＬＳＩ実現上の各設計階層を統合したシステムインテクレーション技術に関する研究を積極的に実施することが極めて重要である．

本プロジェクトは初年度であり，具体的には以下のような次世代ＶＬＳＩコンピューティングへ向けたシステムインテグレーション技術に関する研究活動を実施した：

・平成 18 年 4 月 27 日　中島雅美氏(ルネサステクノロジ（株）)と，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する共同研究の一環として，多値技術に基づくSIMD 形 VLSI プロセッサに関する研究打合せを行った．
・平成 18 年 9 月 4 日　V. Gaudet 氏(カナダ・アルバータ大)と，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する共同研究の一環として，多値技術に基づくLDPC デコーダ LSI に関する研究打合せを行った．
・平成17年10月19日　V. Gaudet氏に紹介されたFrey Matthias氏（スイス・ETH)と，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する共同研究の一環として，多値技術に基づくLDPCデコーダLSIに関する研究打合せを行った．
・平成 17 年 11 月 6 日　淵上貴昭氏・藤森敬和氏・木村啓明氏(ローム(株))と，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する共同研究の一環として，強誘電体ロジック回路テストチップの試作に関する研究打合せを行った．
・平成 17 年 11 月 22 日　川上進先生と，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する共同研究の一環として，ビジョンプロセッサへの応用に関する研究打合せを行った．
・平成 17 年 11 月 28 日　有本和民氏・近藤弘郁氏・中島雅美氏(ルネサステクノロジ（株）)と，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する共同研究の一環として，多値技術に基づく SIMD 形 VLSI プロセッサに関する研究打合せを行った．

・平成 17 年 12 月 22 日　川上進先生と，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する共同研究の一環として，ビジョンプロセッサへの応用に関する研究打合せを行った.
・平成 18 年 2 月 9 日　有本和民氏・中島雅美氏(ルネサステクノロジ（株）)と，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する共同研究の一環として，多値技術に基づく SIMD 形 VLSI プロセッサ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，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する共同研究の一環として，不揮発性ロジック回路の応用に関して日常的に適宜研究打合せを行った.

［3］成果

（3－1）研究成果

新材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関連する本年度の具体的研究成果として，主な事項3点について以下に報告する：

①強誘電体デバイスを用いたマルチメディア応用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考案してきた，強誘電体キャパシタを用いて記憶機能と演算機能をコンパクトに一体化する回路技術「強誘電体ロジック」に基づく空間並列構造演算回路の典型例として，データベース検索システムやルーターなどでの一致検出・大小比較演算を並列処理する際に用いられる連想メモリ(CAM)回路を試作し，その性能評価を行った．完全一致検出 CAM および大小比較演算 CAM チップにおける基本セルでは，強誘電体キャパシタ内に記憶されているデータと外部入力データとの一致演算および大小比較演算の結果をそれぞれ出力する機能を有しており，強誘電体デバイスを用いることで，記憶機能と演算機能が強誘電体キャパシタ内でコンパクトに一体化できることを明らかにした．この成果は，平成 18 年4月開催の国際会議 IMFEDK（成果資料(1)）と平成 19 年1月開催の国際会議 ASP-DAC にて発表すると共に，ASP-DAC においては，Special Feature Award を受賞するに至った.

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

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，LDPC 復号アルゴリズム自体の改良について検討した．すなわち，復号化処理過程では更新される前後のデータが類似している．この類似性に着目することで，長い配線長で接続されたノードでのデータ到来を末待つことなく，復号化処理イタレーションを先行することができる．この改良の有用性を確認するため，本年度はまず同期式制御において，90nmCMOS 技術に基づきテストチップを設計および試作した．試作は東大 VDEC 提供の 90nmCMOS プロセスに従い，行った．設計内容に関しては，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．この研究成果は 2007 年 2 月末〆切の国際会議 Midwest Circuits and Systems へ投稿した（採否結果は 2007 年 5 月）．また，試作チップを用いたシステムレベルの性能評価について，当研究室博士課程学生がカナダ・アルバータ大学に約1ヶ月半程度滞在し，かつ研究代表者と研究分担者（望月助手）が先方を訪問して研究打合せをしながら適宜義技術の習得を図った.

③電流モード多値回路技術に基づく SIMD 形 VLSI プロセッサの構成

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，17 年度までに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．本年度はその応用例として，中島雅美氏（ルネサス・テクノロジ（株））らが取り組んでいる SIMD 形 VLSI プロセッサを，電流モード多値回路技術の活用でさらに高性能化する共同研究に取り組んだ．まず，SIMD 形 VLSI プロセッサの PE（Processing Element）が2ビット ALU やレジスタ等で構成されている点に着目し，これを4値化して4値1桁の ALU や4値レジスタ等の構成を行った．その結果，2値 CMOS 回路による実現と比較し，演算速度・消費電力・チップ面積（トランジスタ数）等の点で，多値回路技術に基づく構成の方が優れていることを明らかにした．この共同研究における研究成果は，2006 年 11 月〆切の IEEE ISMVL に投稿し，採択された（2007 年5月に発表予定）.

（3－2）波及効果と発展性など

VLSIチップ内のデータ転送問題を解決する技術の「不揮発性ロジック」に関する共同研究，およびLDPCデコーダLSIなどの次世代情報通信用高性能VLSIチップ実現技術に関す共同研究，さらに高性能VLSIプロセッサに関する共同研究等を実施し，これらに関する先端的技術を集積することで，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，本プロジェクトの趣旨に合致している．また，応用システム実現上で重要とな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ことが大いに期待される．

［4］成果資料

(1) H. Kimura, Y. Fujimori, T. Nakamura, H. Takasu and T. Hanyu, "Ferroelectric-Based Logic Circuit and Its Application to Content-Addressable Memory," Proceeding of IEEE The 2006 International Meeting for Future Electron Devices(2006IMFEDK), Kyoto, pp.41-42, April 2006.

(2) A. Mochizuki and T. Hanyu, “Highly reliable Multiple-Valued Circuit Based on Dual-Rail Differential Logic,” Proc. 36th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, vol.36, May 2006.

(3) A. Mochizuki, T. Kitamura, H. Shirahama and T. Hanyu, “Design of a Microprocessor Datapath Using Four-Valued Differential-Pair Circuits,” Proc. 36th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.36, May 2006.

(4) A. Mochizuki, Hirokatsu Shirahama and Takahiro Hanyu, "Design of a Low-Power Quaternary Flip-Flop Based on Dynamic Differential Logic," IEICE Trans. on Electronics, Vol.E89-C, No.11, pp.1575-1580, Nov. 2006.

(5) T. Takahashi and T. Hanyu, "Implementation of a High-Speed Asynchronous Data-Transfer Chip Based on Multiple-Valued Current-Signal Multiplexing," IEICE Trans. on Electronics, Vol.E89-C, No.11, pp.1598-1604, Nov. 2006.

(6) N. Onizawa and T. Hanyu, "Design and Evaluation of a NULL-Convention Circuit Based on Dual-Rail Current-Mode Differential Logic," IEICE Trans. on Electronics, Vol.E89-C, No.11, pp.1591-1597, Nov. 2006.

(7) S. Matsunaga, T. Hanyu, H. Kimura, T. Nakamura, and H. Takasu, "Implementation of a Standby-Power-Free CAM Based on Complementary Ferroelectric-Capacitor Logic," Proc. Asia and South Pacific Design Automation Conf.(ASP-DAC), pp.116-117, Jan. 2007.

課題番号　H18／B10

採択回数	1　2　3

生体電磁情報取得のための磁気利用技術

［1］組織

代表者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
対応者：石山　和志
（東北大学電気通信研究所）
分担者：
藪上　信　(東北学院大学工学部)
福永　博俊(長崎大学工学部)
中野　正基(長崎大学工学部)
山城　康正(琉球大学工学部)
山本　健一(琉球大学工学部)
井上　光輝(豊橋技術科学大学)
申　光鎬　(豊橋技術科学大学)
山崎　二郎(九州工業大学)
本田　崇　(九州工業大学)
竹澤　昌晃(九州工業大学)
杤　修一郎(岐阜大学工学部)
菊池　弘昭(岩手大学工学部)
長田　洋　(岩手大学工学部)
早乙女英夫(千葉大学工学部)
竹村　泰司(横浜国立大学工学部)
松下　伸広(東京工業大学応用セラミック研究所)
大森　賢次(住友金属鉱山㈱市川研究所)

研究費：物件費　　万円，旅費　　円

［2］研究経過

マイクロマシン技術において検討されている磁気を用いた手法は、動力源としてのみならず電力や信号伝送など様々な機能性を実現することが可能であることから、その重要性は益々高まってきている。さらにワイヤレスで動作する特徴を活かすことで生体情報取得機能への積極的な応用が期待される。そこで本共同プロジェクト研究会では、磁性材料、マイクロマシン、センサ、高周波磁界計測、などに関する研究者が一堂に会し、研究の初期段階にある磁気を利用した生体情報取得技術の発展のために必要な基礎的事項ならびに新たな応用例に関する検討を行い、この分野を一層発展させるために必要な調査検討を総合的に行うことを目的として開催した。

本研究会の開催にあたっては、事前にメール等を用いての持ち回り討論を数多く開催し、それらをもとにして遂行された各研究機関における成果を持ちより、平成 19 年 3 月 3 日に電気通信研究所で最終的な全体討論を行った。それら討論の内容は、本研究会が萌芽的テーマを扱っていることから多岐にわたるものとなった。

［3］成果

（3－1）研究成果

本研究会の討論の結果、いくつかの新たな研究シーズが生まれつつある。以下にそれらの中から代表的なものの概要を示す。これら以外にも、超高感度磁界センサに関する検討、生体内で局所加熱を行う素子の設計に関する検討、等に関する検討が行われた。

○　薄膜磁石材料の開発に関する検討

生体情報を取得するためのセンサならびにアクチュエータの実現にあたっては、高機能な材料の実現が必須である。特に微小な機械を想定する場合、大きなエネルギー積を有する薄膜磁石材料が必須となる。研究会では、SmCo、NdFeB、SmFeN など種々の永久磁石材料に対して、スパッタ法やレーザーアブレーション法など種々の作製手法を用いた試作に関する検討結果を報告するとともに、それらの薄膜磁石材料の特性について討論し、それらの高機能化に関する指針について議論をおこない、新たな材料開発に関する指針を明確化することができた。

これらの検討から得られた結果は、国際的に高い評価を受けており、2007 年 1 月に米国ボルチモアで開催された MMM/INTERMAG 国際会議(磁性材料と磁気応用に関する国際会議)において招待講演として採択されている。

CA-05. Magnetic Micro-Machines for Novel Applications. (Invited), M. Nakano, F. Yamashita, T. Honda, J. Yamasaki, K. Ishiyama, J. Fiedler, T. Yanai and H. Fukunaga, Nagasaki University, Kyushu Institute of Technology, RIEC Tohoku University, Matsushita Electric Industrial, Vienna University of Technology.

○　磁歪を利用したアクチュエータに関する検討

磁歪による磁性材料の寸法変化を利用したアクチュエータを提案し、大きな変位量を実現するために必要な材料選択ならびに構造設計に関する討論を行った。本研究会では特に、磁歪材料として FeSiB を用いることとし、アクチュエータの構造と変位量の関係について集中的に検討を行い、理論式の妥当性を実験結果との比較により検証するとともに、理論式から推定される最適構造のアクチュエータの試作を行った。その結果、Cu を基板として試作したアクチュエータが設計通りの大きな変位量と発生力を実現し、本検討の正当性を裏づけることができた。

これらの検討結果は国際的に高い評価を受けており、2007 年 9 月に英国カーディフで開催される SMM18(第 18 回軟磁性材料国際会議)において、招待講演として採択されており、研究代表者である石山が登壇する予定である。

○　位置検出機構に関する検討

磁気マーカーと磁気センサの組み合わせにより、マーカー位置をリアルタイムで検出することができる。これを生体情報取得に利用するために、ワイヤレス・バッテリーレスのマーカーを利用し、その検出位置精度を決定付ける要因について、ならびにマーカーの小型化に関して討論を行った。特にコイルの作り出す磁界の分布を正確に把握し、その結果を取り込んだ演算を行うことで検出位置誤差をさらに低下させ、より広い範囲で正確な位置検出が可能であることを明らかにした。

○　磁気を利用した非破壊検査に関する検討

原子力発電所の構造材料の劣化を診断するための非破壊検査を、磁気を利用して行うための検討が進められている。本研究会ではこれを生体磁気情報計測へ適用するための討論が進められた。すなわち、わずかな磁界分布の乱れ、あるいはわずかな磁気特性の変化をを高感度に検出する技術を利用して、生体内からの磁界情報あるいは生体内に埋設したマーカーからの信号を高感度に検出するための手法について、検討が進められた。

（3－2）波及効果と発展性など

本プロジェクトの検討結果をもとにして、前述のように世界的に注目され国際会議に招待される成果も出ているほかに、新しい萌芽的研究もいくつか生まれている。本プロジェクトの検討から生まれた新しいテーマを基にして、参加者らのグループにより申請されていた平成19年度科研費(基盤研究)が採択されており、また特定領域研究の申請準備も進められている。

このように本プロジェクトで生まれた研究者ネットワークから新たな学問領域が生まれ、さらなる科学技術の発展に寄与して行くものと考えている。

［4］成果資料

原著論文

1. 仙道雅彦、中居倫夫、橘奈緒子、星則光、鈴木秀夫、堀越直、藪上信、石山和志、荒井賢一、「端部磁性体を配置した高周波キャリア型磁界センサの感度向上に関する研究」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.225-228, (2006).
2. 村山芳隆、小澤哲也、堀越直、藪上信、石山和志、荒井賢一、「熱処理温度制御による高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.237-242, (2006).
3. 菊地健司、山崎彩、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「泳動型マイクロマシンの推力に関する研究」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.294-297, (2006).
4. 横田周子、山崎彩、仙道雅彦、我妻成人、師岡ケイ子、石山和志、荒井賢一、「磁性薄膜を用いた片持ち梁型磁気アクチュエータに関する検討」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.302-305, (2006).
5. 久富伸一、山崎彩、石山和志、我妻成人、仙道雅彦、荒井賢一、「スパイラル型磁気マイクロマシンを用いたディスポーザブルポンプシステム」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.306-310, (2006).
6. 豊田征治、杤修一郎、藪上信、大矢雅志、石山和志、岡崎靖雄、荒井賢一、「複数 LC 共振型磁気マーカを用いた多点位置検出システム」、日本応用磁気学会、vol.30, pp.391-395, (2006).
7. S. Hashi, M. Toyoda, S. Yabukami, K.

Ishiyama, Y. Okazaki, K. I. Arai, "Wireless Magnetic Motion Capture System for Multi-Marker Detection," IEEE Trans. Magnetics, vol.42, No.10, pp.3279-3281, (2006).

8. 山崎彩、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「磁気トルクを利用したマイクロマシンの小型化に関する検討」、電気学会論文誌 E、vol.126, No.11, pp.590-595, (2006).

9. 山崎彩、仙道雅彦、石山和志、早瀬敏幸、荒井賢一、「3 次元泳動特性解析法を用いたらせん型磁気マイクロマシンの形状設計」、日本機械学会論文集 C、vol.72, No.723, pp.3555-3560, (2006).

10. 村山芳隆、小澤哲也、薮上信、石山和志、荒井賢一、「10-13T 台の磁界検出分解能を有する高周波伝送線路型薄膜磁界センサ」、日本応用磁気学会誌、vol.31, pp17-22, (2007).

11. 横田周子、山崎彩、仙道雅彦、我妻成人、石山和志、荒井賢一、「弱磁界中で動作可能な片持ち梁型磁気アクチュエータに関する検討」、日本応用磁気学会誌、vol.31, pp.131-134, (2007).

12. 中居倫夫、高田賢一、阿部宏之、星則光、鈴木秀夫、石山和志、荒井賢一、「不連続インピーダンス変化特性を有した薄膜 GMI センサと微分回路を組み合わせた磁界検出方法に関する検討」、日本応用磁気学会誌、vol.31, pp216-220, (2007).

13. 加藤智紀、石山和志、荒井賢一、「形状磁気異方性による高周波キャリア型磁界センサの異方性制御」、vol.31, pp227-230, (2007).

第 5 章　国際会議・シンポジウム等

５．１　通研国際シンポジウム

第４回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ
4th International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials (MMDM4)

開 催 日：平成 18 年 5 月 8 日（月）（1 日間）
開催場所：アメリカ合衆国サンディエゴ市 Handlery Hotels and Resorts

本会議は高周波マイクロ磁気デバイスに関する世界的な関心の高まりを受けて 2002 年に創設されたもので、今回で第 4 回を数えた。46 名の参加者があり、うち日本からは 11 名であった。

今回は UCLA の T. Itoh 教授により Microwave Applications of Metamaterial Structures と題して最近注目されている左手系材料の現状と応用について、マイクロ波帯の伝送線路からのアプローチを紹介して頂いた。高 Q で極めて小さいインダクタが必須であり磁性体の利用が期待されるとのことであった。

一般講演では、ＧHz 帯ソフト薄膜材料に関する報告が多かった。まず CoFe 膜と NiMn、IrMn、NiO などの交換バイアス膜との多層膜（Lamy, CEA Grenoble、フランス。Orlando, STMicroelectronics、フランス。Kim、忠南大、韓国）が議論された。合金系では、Fe/ Fe-Ni クラスタアセンブル膜（隅山、名工大）、FeCoB アモルファス膜（橋本、東工大）などについて報告があり、さらに CoFeHfO グラニュラ膜（Li、Stanford 大、アメリカ）、FeNiCo-PTFE ナノコンポジット膜および FeCoBSi-SiO_2 多層膜（Garber, caesar, ドイツ）、フェライトめっき膜の透磁率発現機構（阿部、東工大）も議論された。

応用に関しては、まず Si メンブレン上に形成された薄膜インダクタに対して水平面内方向に永久磁石により静磁界を与え、コイル電流と磁界との相互作用によりメンブレンを振動させ、鎖交磁束量を変化させることで高インダクタンス化を試みるという発表があった（Dudek、CEA、フランス）。既述の Orlando、Gerber、Lamy らも磁性薄膜インダクタについて議論した。磁性マイクロワイヤについて、製法、GMI 効果、強磁性共鳴ならびにノイズ抑制体への応用に関する総合的な報告がなされた（Vázquez、CSIC、スペイン）。高周波抑制関係では、電磁ノイズ EMI フィルタモジュールの設計と信頼性が議論され（Tung、ITRI、台湾）、また LSI チップ上に CoZrNb 薄膜を実際に集積化した実証実験の結果が報告された（山口、東北大）。もっとも高い周波数帯の応用として Fe 薄膜による 10GHz 超の帯域阻止フィルタが議論された（Celinski、UCCS、アメリカ）。さらに HDD における高速データ転送用伝送線路の設計についても議論があった（西山、日立 GST）。

本会は日本応用磁気学会主催で行われ、会議プロシーディングスは日本応用磁気学会論文誌 2006 年 11 月号に掲載された。第 5 回以降は IEEE Magnetics Society の主催で継続されており、次回はマドリッドで平成 20 年 5 月に開催予定である。

国際シンポジウム

第４回 半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議
4th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-IV)

開 催 日：平成１８年８月１５日（火曜日）～１８日（金曜日）（４日間）
開催場所：仙台国際センター

スピンと電荷を利用した新しいデバイスの創製を目指した半導体スピントロニクス分野における最新の研究成果の発表を目的とした本国際会議が上記の日時・場所で開催された。この国際会議は東北大学電気通信研究所の大野英男教授を議長として、平成１２年に仙台で通研国際シンポジウムとして開催されたのを創始としている。その後、第２回がヴュルツブルク（ドイツ）で、第３回がサンタバーバラ（米国）で隔年に開催され、世界を一周して第４回が再び仙台で開催されることになった。依然として東北大学がこの研究分野の世界的な中心であることを象徴している事実である。

会議冒頭の基調講演において大野英男教授が III-V 族強磁性半導体におけるスピン関連現象に関する研究の現状と今後の展望を明快に提示した。それに引続いて、強磁性半導体、半導体へのスピン注入、スピン依存電気伝導・光学現象、量子情報技術としてのスピン関連現象や核スピンに関するセッションが開かれた。海外から参加した約７０名を含め総計２００名を越える参加者の間で活発な討論が繰り広げられた。また本国際会議は、「磁性薄膜と表面に関する国際会議」と共同開催したことが功を奏して、金属スピントロニクスと半導体スピントロニクス分野の研究者間の交流をより一層促進したという点においても大成功であった。近い将来、金属・半導体の壁を越えたスピントロニクス研究の新たな展開につながることを期待させる有意義な会議であった。

なお、本国際会議のプロシーディングス論文８４編はワイリー社の学術雑誌 Physica Status Solidi (c), Vol.3, No.12 (2006)に掲載されている。最後に、本国際会議は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「半導体ナノスピントロニクス」との共催であったことを付記する。

2nd International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開催日：2006 年 10 月 2 日（月）～3 日（火）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設
主催：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設

本国際ワークショップは，SiGeC 系IV族半導体材料とその極限ヘテロナノ構造のプロセス技術やデバイス高性能化技術に関する包括的な議論を目的に，本研究所の共同プロジェクト研究 H-17/A06「IV 族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究」が中心となって企画した国際会議であり，今回は第 2 回目となる．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たものでもあり，本研究所ナノ・スピン実験施設からは，プログラム委員長兼組織委員長として室田淳一教授が，組織委員として庭野道夫教授，櫻庭政夫助教授，竹廣忍助手が参加した．米国，ドイツ，フランス，ベルギーの各国拠点代表者を招待講演者として招くなど，ナノエレクトロニクス研究の最新研究動向を中心とする招待講演 12 件，一般講演 10 件，ショート&ポスター講演 29 件の総数 51 件の講演が行われ， 6 ヶ国から総数 64 名の参加者を迎えて活発な討論が行われた．世界の半導体産業の活性化のためにも，本国際ワークショップの開催は重要であり，継続開催（2007 年 11 月 8-9 日）も決定された．今後，世界規模での研究連携のきっかけとなることにより，本学問分野が大きく展開するであろう．本会議の詳細は http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/SiGeC2006/ において公開されている．

招待講演タイトルと講演者のリスト：

1. “SiGe:C BiCMOS Technologies for High Frequency Applications”, B. Tillack (IHP)
2. “MMICs using SiGe BiCMOS”, K.Washio (Hitachi, Ltd.)
3. “Mobility-Enhanced Device Technologies Using SiGe/Ge MOS Channels”, S. Takagi (MIRAI-AIST, Univ. Tokyo)
4. “Strained Heterostructure p-MOSFETs”, C. N. Chléirigh (MIT)
5. “Ge MOSFETs and high k gate dielectrics: a happy marriage thanks to thin epitaxial Si layers”, M. Caymax (IMEC)
6. “Interface Properties of Ge with High-k Dielectrics and Metals”, A. Toriumi (Univ. Tokyo)
7. “Growth and application of Ge dots in DotFETs”, O. Kirfel (Univ. Stuttgart)
8. “Si Photonics -On chip optical interconnection and beyond-”, K. Wada (Univ. Tokyo)
9. “Si(Ge)- based structures and materials for spintronic applications: from MRAM to ferromagnetic semiconductors”, V. Le Thanh (CRMCN-CNRS, Univ. Méditerranée)
10. “Control of Electronic Charged States of Si-based Quantum Dots for Floating Gate Application”, S. Miyazaki (Hiroshima Univ.)
11. “Formation of high quality SiGe buffers on Si and transport properties of structures grown on them”, Y. Shiraki (Musashi Inst. Technology)
12. “Buffer layer technology with misfit dislocation engineering”, A. Sakai (Nagoya Univ.)

国際シンポジウム

第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ
The 2nd RIEC International Workshop on Spintronics -MgO-based Magnetic Tunnel Junctions-

開 催 日：平成 19 年 2 月 15 日（木曜日）～16 日（金曜日）（2 日間）
開催場所：東北大学電気通信研究所　ナノ・スピン実験施設

→電気通信研究所国際シンポジウム、The 2nd RIEC International Workshop on Spintronics -MgO-based Magnetic Tunnel Junctions- (第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ：MgO 障壁磁気トンネル接合、主催責任者大野英男)が、平成 19 年 2 月 15,16 日の 2 日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設で開催された。本ワークショップは、スピントロニクスにおけるキーテクノロジの一つである巨大トンネル磁気抵抗効果とスピン注入磁化反転を示す MgO 障壁磁気トンネル接合における最近の進展、デバイス応用への課題、ならびに関連する物理現象などを取り上げ、包括的に議論すべく企画されたものである。日本をはじめとして、アメリカ、イギリス、アイルランド、韓国からの 18 名の専門研究者が招待講演者として実験、理論、その応用への発展について最新の研究成果を紹介した。 7 ヶ国、100 名を越える参加者によって極めて活発な討論と情報交換が行われた。





第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ会場風景

５．２　国際会議等の開催状況

第 3 回　SiGe テクノロジー&デバイス国際会議
3rd Int. SiGe Technol. & Device Meeting (ISTDM2006)

開催日：平成 18 年 5 月 14 日～17 日（4 日間）
開催場所：プリンストン（米国）

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 3 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，組織委員兼プログラム委員として室田淳一教授が参加し，全参加者は 180 名に達した。基調講演 2 件及び招待講演 17 件の他，一般口頭発表 57 件とポスター発表 46 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 55 件が学術論文としてまとめられ、その論文集は 2007 年 1 月に学術論文誌 Semiconductor Science and Technology (Vol.22, No.1, 2007) 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（2008 年 5 月 11-14 日，台湾）も決定されている。

国際会議等

第 2 回 ECS SiGe & Ge：
材料・プロセス・デバイス国際会議

2nd ECS SiGe & Ge:
Materials, Processing, and Devices Symp.

開催日：平成 18 年 10 月 29 日～11 月 3 日（6 日間）
開催場所：カンクン（メキシコ）

本国際会議は，近年，関心が高まっている 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て 2004 年に第 1 回目が開催され，今回は第 2 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）と櫻庭助教授（Epitaxy Committee）が参加し，全参加者は 180 名に達した。基調講演 2 件及び招待講演 33 件の他，一般口頭発表 59 件とショートロ頭講演 32 件が行われるとともに，“Germanium for CMOS”ワークショップ（発表 5 件）も開催され，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（131 件）が学術論文としてまとめられ、その論文集は 2006 年 10 月に学術論文誌 ECS Transaction (Vol.3, Issue 7, 2006) の特集号として出版されている。すでに次回の継続開催（2008 年秋，ハワイ）も決定され，世界の英知を結集した討論の場が準備されている。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。

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	安達 教授	松浦（祐）助教授
2	音響工学研究会	鈴木（陽）教授	伊藤（彰）助教授 坂本（修）助手
3	仙台“プラズマフォーラム”	犬竹 教授	畠山 教授
4	ＥＭＣ仙台ゼミナール	杉浦 教授	曽根 教授 山口（正）教授
5	コンピュータサイエンス研究会	小林（直）教授	青戸 助教授
6	システム制御研究会	吉澤 教授	渡邉（高）助教授
7	情報バイオトロニクス研究会	庭野 教授	吉信 教授
8	スピニクス研究会	山口（正）教授	角田 助教授 三浦（健）助手
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	川又 教授	張山 助教授 本間 助手
10	超音波エレクトロニクス研究会	長　　教授	平永 助手
11	ブレイン機能集積工学研究会	中島（康）教授	佐藤（茂）助教授
12	情報・数物研究会	海老澤 教授	田中（和）助教授 林　（正）助教授
13	生体・生命工学研究会	矢野 教授	三浦（治）助手
14	ナノ・スピン工学研究会	大野（英）教授	大野（裕）助教授

伝送工学研究会

主査　安達　文幸，　幹事　松浦　祐司

伝送工学研究会は，最も長い歴史をもつ研究会であり，19 年度はじめに第５００回を迎える。本研究会は，電波から光波に亘る電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的としており，放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの招待講演と研究報告を行ってきた。

本年度は 9 回の研究会が開催され，1 件の特別講演と 28 件の一般講演が行なわれた。最新の研究動向と成果が発表され，活発な議論が行われた。

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。2006 年度は，主査鈴木陽一教授，幹事坂本修一助手，伊藤彰則助教授のもとで，研究会 4 回(第 344 回～第 347 回)と通研講演会 1 回が開催された。会場は，全て電気通信研究所大会議室で行われた。なお，第 345 回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で，第 346 回は電子情報通信学会 HIP 研究会との共催で，第 347 回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催された。第 344 回は，2006 年 8 月 3 日(木)に開催され，研究発表 3 件，参加者は 26 名であった。第 345 回は，10 月 26 日(木)に開催され，研究発表 3 件，参加者は 52 名であった。第 346 回は，12 月 7 日(木)，8 日(金)に開催され，研究発表 31 件，参加者は延べ 153 名であった。第 347 回は，2007 年 3 月 2 日(金)に開催され，研究発表 10 件，参加者は 43 名であった。通研講演会は，2006 年 7 月 31 日(月)に Youngjin Park 教授(Korea Advanced Institute of Science and Technology)による「3-d virtual audio: HRTF customization and artificial ear technology」という題の講演が開催され，参加者は 33 名であった。

仙台“プラズマフォーラム”

主査　犬竹正明，幹事　畠山力三

本研究会は，放電，核融合などのプラズマ現象の基礎と新物質創生や材料表面の改質、電気推進機などの応用とそれに関連する最新の研究成果に関して，特別講演及び特別企画を開催するとともに，活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

平成１８年度の活動として，学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎およびプラズマ応用，計測に関する「研究討論会」を４回開催。大学院生によるプラズマ加速現象と加速機の開発，波動励起，不安定性やナノカーボン形成，炭素系薄膜形成，電気力学現象の利用などの研究発表会を２回開催。国内，国外研究者による大気圧プラズマ生成と応用，バイオ・ナノシステム，イオン液体，フラーレン・カーボンナノチューブ，プラズマ閉じ込めと核融合， 宇宙プラズマ，電気推進機，プラズマ流の基礎，微粒子プラズマの基礎と応用に関する「研究発表」を 2 回開催した。多様な展開を見せるプラズマの応用技術とそれを支える基礎研究に関し，最新の研究成果を持ち寄り討論を行うとともに情報交換を行うことが出来た。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　杉浦　行，幹事　曽根　秀昭，山口　正洋

ＥＭＣ（環境電磁工学）は，電磁ノイズと信号の電磁干渉（ＥＭＩ）や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野である。今日では，電気工学分野の研究者と技術者は，なんらかの形でＥＭＣ問題に関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もなく，1977 年 2 月に，ＥＭＣにいかに取組むべきかを調査し，学問として体系化する目的で，「ＥＭＣ仙台ゼミナール」が発足した。この活動は，誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであると言え，世界にＥＭＣ研究の方向を示し実践してきた。また，ここで討論された先進的な研究は，我が国や世界のＥＭＣ研究において，牽引力の役割を果たしており，独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。2001 年に IEEE の EMC Society で仙台 Chapter が設立され，連携して活動している。

平成 18 年度は，第 176 回（７月７日），第 177 回（12 月４日），第 178 回（１月 25 日）の３回の研究会を IEEE EMC-S Sendai Chapter Colloquium などと共催，協賛で開催し，それぞれ，磁気応用とＥＭＣに関する講演３件と，ＥＭＣに関する最近の話題３件，パッケージ・チップレベル集積化ノイズ解析・対策技術に関する講演９件が行われ，毎回 50 名程度の研究会参加者が学内外から集い，活発な議論が行われた。

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。２００６年度は第124回講演会から第132回講演会まで9回の講演会を開催した。

大崎 人士氏（産総研システム検証研究センター）は、ツリーオートマトン理論の最新研究動向を紹介した。Jeroen Ketema 研究員(東北大)は、遅延評価やストリームに基づくプログラミング言語のモデル化した無限書き換えシステムについて講演を行った。Bruce Reed　教授（McGill University）はグラフ彩色数の範囲ついて講演した。蓮尾 一郎氏（Radboud University Nijimegen）は、様相論理を用いた匿名性の定式化および順方向・逆方向シミュレーションの一般化について講演した。Jean-Pierre Jouannaud 教授(Ecole Polytechnique)は、決定手続きを高階型システム Calculus of Constructions に組み込むための枠組みについて紹介した。Aart Middeldorp 教授(University of Innsbruck)は、項書き換えシステムの停止性検証のための予想ラベリング手法について講演した。Jan Poland 氏（北海道大学）はベイズ学習の一致性に関する最新研究成果について講演を行った。Seok-Hee Hong 博士(University of Sydney and NICTA)は、大規模ネットワーク解析のためのグラフ描画理論と描画技術について講演を行った。Mohammad Kaykobad 教授（Bangladesh University of Engineering and Technology）は全域木の部分クラスである多数派全域木について講演を行った。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査　吉澤　誠，幹事　渡邉　高志

本研究会は，システム制御における，理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度の活動は下記のとおりである。

１）（講演会）オーストリア グラーツ工科大学知識発見研究所 BCI 研究室 レインホルト・シェーラー　氏（演題　Direct Brain-Computer Communication: Basic principle and applications of the Graz-BCI，主催：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系　魅力ある大学院教育イニシアティブ「生体・ナノ電子科学国際教育拠点」）

２）（通研講演会）国立循環器病センター研究所循環動態機能部血行動態研究室員　上村　和紀　氏（演題：急性心筋梗塞を自動的に治療するシステムの開発）

情報バイオトロニクス研究会

主査　庭野　道夫、幹事　吉信　達夫

バイオエレクトロニクスは21世紀の重要な科学技術分野の一つであるが、その技術革新のためには，20世紀に高度に発達した電子工学技術と，その多様な機能が次々と解明されつつある生化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある．このような背景を考慮して、本研究会では、電子工学分野の研究者と、生命科学、バイオテクノロジー分野の研究者が協力して，ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的とした。本年度は、共同プロジェクト研究会を１回開催し、竹内倫徳、平野愛弓氏の通研講演会を開催した。

［第１回］共同プロジェクト研究会『ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究』：「カーボンナノチューブネットワーク形成」荻野俊郎（横浜国大),「一分子固定やイメージングにおけるトップダウン」谷井孝至（早大理工),「生体に学ぶ疎水性表面の修飾法」篠原康雄（徳島大学ゲノム機能研究センター),「グラミシジン挿入脂質膜の大規模シミュレーション」星野忠次（千葉大学),「テクスチャー表面での濡れ」奥村剛（お茶の水女子大学),「化学イメージスキャナの開発に向けて」 吉信達夫（東北大),「小型高性能イオンチャンネルバイオセンサーの開発」　宇理須恒雄　（分子研）,「赤外分光法と多変量解析を組み合わせた細胞の特性化」　竹中繁織　九工大),「再生医学で望まれる計測技術」 岩田博夫（京都大学再生研),「機能性 RNA と創薬」　辻本豪三　（京都大学薬学研究科),「バイオからのナノテクへのあこがれ：ゲノムバイオロジーとナノテクノロジーの融合の必然性」小原　収（かずさＤＮＡ研究所）

［第２回］【通研講演会】「グルタミン酸受容体δ２サブユニット複合体によるシナプス結合と運動学習の制御」講師：竹内倫徳（東京大学医学系研究科),「海馬 CA1 領域における長期増強/長期抑圧と細胞外グルタミン酸濃度の相関：グルタミン酸電極を用いたリアルタイム測定」講師：平野愛弓（東北大学）

工学研究会

スピニクス研究会

主査　山口　正洋，　幹事　角田　匡清，三浦　健司

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 11 回の研究会を開催した。第 1 回は San Diego で開催された 4th International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials（MMDM）に協賛し、招待講演を含む 17 件の講演が行われた。第 2 回は IEEE 特任講師 R.S.Indeck 氏による講演会を開催した。第 3 回は EMC 仙台ゼミナールに協賛した。第 4 回は「スピンエレクトロニクスの展開と磁気構造検出」と題し阪大水口氏をはじめ 4 件の講演が行われた。第 5 回は日本応用磁気学会スピンエレクトロニクス専門研究会との協賛で、最新の材料開発動向を中心に 4 件の講演が行われた。第 6 回および第 7 回は電気学会ならびに電子情報通信学会東北支部に協賛し高周波磁気デバイスに関する講演が行われた。第 8 回は一般公募による特別研究会を開催し、東京工業大学で 2 日間にわたり 30 件の講演が行われ、95 人の参加を得て盛大に開催された。第 9 回は Baltimore で開催された 5th MMDM に協賛。第 10 回は IEEE EMC-S 仙台チャプタ・コロキウムに協賛。第 11 回は、東北大加齢研白石泰之先生はじめ医工学連携に関する 2 件の講演が行われた。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査　川又　政征，幹事　張山　昌論，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 18 年度は以下の 6 回を開催した。

第 49 回　平成 18 年 5 月 25 日（木）八戸地域地場産業振興センター
　研究発表 5 件

第 51 回　平成 18 年 9 月 14 日（木）東北大学電気情報館
　研究発表 1 件

第 52 回　平成 18 年 10 月 18 日（水）青葉記念会館 401（大研修室）
　平成 18 年度情報処理工学セミナーと共催．ポスターセッション 33 件

第 53 回　平成 18 年 11 月 13 日（月）東北大学電気情報館　　通研講演会
　演題：「デジタルシネマ技術の現状と今後の展開」
　講演者：太田直久(慶応義塾大学)

第 54 回　平成 19 年 1 月 27 日（土）琉球大学工学部　電気情報系会議室
　研究発表 9 件

第 50 回　平成 19 年 2 月 17 日（月）如水会館　カンファレンスルーム
　研究発表 2 件

超音波エレクトロニクス研究会

主査　長　康雄,　幹事　平永　良臣

第 47 回

日程：平成 18 年 7 月 21 日（金）

会場：東北大学電気通信研究所　大会議室

演題：

１．「LFB 超音波材料解析システムを用いた TiO_2-SiO_2 ガラスの脈理構造の評価の実験的検討」
大橋雄二，櫛引淳一，荒川元孝，鈴木光二　（東北大学大学院工学研究科）

２．「一致溶融組成 $LiTaO_3$ におけるナノドメイン反転ドットの断面計測」
大門靖裕，長 康雄　（東北大学電気通信研究所）

３．「ナノスケール周期分極リチウムタンタレートの作製」
田中健巧，長 康雄　（東北大学電気通信研究所）

第 48 回

日程：平成 18 年 10 月 26 日（金）

会場：東北大学電気通信研究所　大会議室

演題：

１．「位置固定騒音源の防音壁回折音の能動制御に関する実験的研究」
鈴木和憲，中島立視　（㈱竹中工務店技術研究所）

２．「A Speaker Verification System using MFCC and PCA-based MFDWC Feature Parameters」
Seong-Jun Hahm　（東北大学大学院工学研究科）
Ha-Joong Park, Min-Jung Kim, Joo-Gon Kim, Ho-Youl Jung, Hyun-Yeol Chung (Yeungnam University)

３．「一致溶融組成 $LiTaO_3$ 上に形成した微小分極反転ドットの長期保持特性」
小田川　望，長　康雄　（東北大学電気通信研究所）

第 49 回

日程：平成 18 年 11 月 22 日（水）

会場：東北大学電気通信研究所　大会議室

演題：

１．「心筋を模擬した金属線からの超音波散乱の角度依存性の計測」
小野寺鉄平，長谷川英之，金井 浩　（東北大学大学院工学研究科）

２．「鍼灸治療の評価を目指した音響放射圧を用いたひずみの発生」
小田切善孝，長谷川英之，金井 浩　（東北大学大学院工学研究科）

第 50 回

日程：平成 18 年 12 月 21 日（木）

会場：東北大学電気通信研究所　大会議室

演題：

１．「外膜位置同定を目指した血管壁軸方向変位の超音波計測」
沼田高典，長谷川英之，金井 浩 （東北大学大学院工学研究科）

２．「超音波による心臓壁内ストレインレート分布の高時間分解能計測」
吉新寛樹，長谷川英之，金井 浩 （東北大学大学院工学研究科）
田中元直 （東北厚生年金病院）

３．「超音波エコーの多チャネル同時受信系による散乱強度分布の高精度推定」
阿部優作，長谷川英之，金井 浩 （東北大学大学院工学研究科）

４．「ミクロンオーダの表面粗さ推定を目指した超音波ビーム偏向による
反射超音波の角度依存性計測」
工藤和樹，長谷川英之，金井 浩 （東北大学大学院工学研究科）

５．「プロトタイプ超音波メスを用いた軟組織切離中の組織変成における
周波数依存性の検討」
海老名孝介，長谷川英之，金井 浩 （東北大学大学院工学研究科）

６．「血管壁境界の高精度検出による内皮依存性血管弛緩反応の超音波計測」
金子琢哉，長谷川英之，金井 浩 （東北大学大学院工学研究科）

７．「LFB 超音波材料解析システムによる EUVL 用 TiO_2-SiO_2 超低膨張ガラスの
評価・選別法の検討」
大橋雄二，荒川元孝，櫛引淳一，鈴木光二 （東北大学大学院工学研究科）
三戸 翔 （東北大学工学部）

ブレイン機能集積工学研究会

主査　中島　康治，幹事　佐藤　茂雄、早川　吉弘

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は平成18年12月19日に九州工業大学大学院生命体工学研究科教授・森江隆氏による「STDPを有するスパイキングニューロンモデルによる連想メモリとそのCMOS回路実現」、茨城大学工学部講師・矢内浩文氏による「身体に生じる無意識の揺れの特徴から個人を特定する」と題して通研講演会を行った。その概要を以下に示す。森江氏の講演では、スパイクタイミングでアナログ量を表現したホップフィールド型連想メモリについてその構成方法とSTDP型学習則について紹介があった。また本連想メモリのCMOS回路の設計・試作結果が報告された。矢内氏の講演では、人の身体には常に無意識の揺れが生じているという事実が紹介され、その揺れをビデオカメラなどで測定し、時系列データから個人の識別を試みるという実験について報告があった。 10 名程度での識別においてほぼ完全に個人の分離が可能であることが報告された。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　海老澤 丕道
幹事　田中和之
幹事　林 正彦

情報・数物研究会は、情報科学の問題やスピン系の統計物理学的研究と超伝導やメソスコピック系の問題の物性理論的研究に関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。本年度は、計６回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：大久保潤（東北大学大学院情報科学研究科）“複雑ネットワーク生成モデルの数理”、竹田晃人（東京工業大学大学院総合理工学研究科）“量子誤り訂正符号の性能評価とスピングラスの相図”、大森敏明（理化学研究所脳科学総合研究センター）“海馬 CA1 錐体細胞の樹状突起における膜特性分布の推定”、内海裕洋（理化学研究所古崎物性理論研究室）“量子ドットにおける完全計数統計”、村田昇（早稲田大学理工学部）“学習アルゴリズムの幾何学構造”、石田武和（大阪府立大学大学院工学研究科）“MgB2 超伝導体の微細加工と中性子検出器応用”。

平成 18 年度に実施した講演会は以下の通りである。

第 98 回

日　時　平成 18 年 4 月 27 日(木) 午後 4:30-6:00
場　所　情報科学研究科棟 2 階中講義室
講　師　大久保潤氏（東北大学大学院情報科学研究科）
演　題「複雑ネットワーク生成モデルの数理」

第 99 回

日　時　平成 18 年 5 月 25 日(木) 午後 4:30-6:00
場　所　情報科学研究科棟 2 階中講義室
講　師　竹田晃人氏（東京工業大学大学院総合理工学研究科）
演　題　「量子誤り訂正符号の性能評価とスピングラスの相図」

第 100 回

日　時　平成 18 年 6 月 15 日(木) 午後 4:30-6:00
場　所　工学部電子情報システム・応物系3号館302号室
講　師　大森敏明氏（理化学研究所脳科学総合研究センター）
演　題　「海馬CA1錐体細胞の樹状突起における膜特性分布の推定」

工学研究会

第 101 回

日　時　平成 18 年 9 月 28 日(木) 午後 4:30-6:00

場　所　情報科学研究科棟 3 階 310 号室

講　師　内海裕洋氏（理化学研究所古崎物性理論研究室）

演　題　「量子ドットにおける完全計数統計」

第 102 回

日　時　平成 18 年 11 月 9 日(木) 午後 3:30-5:00

場　所　情報科学研究科新棟 2 階中講義室

講　師　村田昇氏（早稲田大学理工学部）

演　題　「学習アルゴリズムの幾何学構造」

生体・生命工学研究会

主査　矢野　雅文，　幹事　三浦　治己

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果に関して特別講演を開催するとともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成１２年９月に発足した。以下に平成１８年度の活動概要を示す。

第１５回は平成１８年１２月６日(水) に１３時半から１６時半まで工学部電子情報システム・応物系 1-103 会議室にて開催され、東北大学工学研究科電気・通信工学専攻の石黒章夫教授の「生命状態を持つような人工物はいかにして構築できるか－単純な運動機能を有する結合振動子系からのアプローチ－」と題する特別講演が行われた。引き続いて３件の一般発表があった。参加者は３４名であった。第１６回は第 347 回音響工学研究会と共催で平成１９年３月２日（金）に１３時から１７時まで電気通信研究所大会議室にて開催され、１０件の一般発表があった。参加者は４３名であった。通研講演会は平成１９年３月６日（火）に１４時から１５時まで電気通信研究所大会議室にて開催され、NTT コミュニケーション科学基礎研究所の北川智利リサーチアソシエイトの「聴覚と触覚の相互作用あれこれ」と題する講演が行われた。参加者は２１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 18 年度は以下の講演会を実施した。

第 19 回　平成 18 年 7 月 4 日

「Anisotropic thermopower and planar Nernst effect in (Ga,Mn)As」
Professor Jing SHI Department of Physics, University of California-Riverside, USA　東北大学電気通信研究所　客員教授

第 20 回　平成 18 年 8 月 7 日

「‘Nano-earthquakes’ in double quantum dots」
Dr. Wilfred G. van der Wiel NanoElectronics Program, MESA+ Institute for Nanotechnology, University of Twente, The Netherlands

第 21 回　平成 18 年 10 月 23 日

「全シリコン量子コンピュータの実現」
伊藤公平助教授　慶応義塾大学理工学部

第 22 回　平成 19 年 2 月 15 日

「高純度同位体 ^{30}Si を用いたシリコン自己拡散の研究―格子間シリコン原子の拡散係数の決定―」
松本智教授　慶應義塾大学理工学部
「Si 太陽電池のあるべき姿」
阿部孝夫　信越半導体㈱半導体磯部研究所・研究主幹

第 23 回　平成 19 年 3 月 1 日

「Maxwell-Wagner 効果素子としての有機FETと光第2次高調波による電界分布測定」
岩本光正教授　東京工業大学大学院・理工学研究科

５．４　通研講演会

Precoding and Iterative Receiver for MIMO Channels
MIMO チャネルにおける前置符号化と繰り返し信号処理を用いる受信機

Jinho Choi, Professor,
University of Wales Swansea, United Kingdom

開 催 日：平成１８年７月１８日（火）１３：００～１４：１５
開催場所：東北大学工学研究科　電子．情報系２号館　２０７会議室

本講演はＭＩＭＯチャネルにおける繰り返し信号処理を用いる受信機について述べている．まず，繰り返し信号処理と様々なＭＩＭＯ復号アルゴリズムの原理について紹介している．さらに，①前置符号化の設計法と，②繰り返し信号処理におけるチャネル推定の課題について述べている．

3-d virtual audio: HRTF customization and artificial ear technology

Korea Advanced Institute of Science and Technology
教授　Youngjin Park

開 催 日：平成 18 年 7 月 31 日
開催場所：電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室

人間が，両耳に到来する音波のどのような違いをどのように処理して音源の位置を把握するかを明らかにすることは，非常に重要，かつ，興味深い研究テーマである。近年，コンピュータの性能向上，および音響計測技術の発展に伴い，音空間知覚に影響を与える周波数手がかりの測定，分析，合成といったことが可能となってきた。この周波数手がかりは頭部伝達関数（HRTFs：Head Related Transfer Functions）と呼ばれている。HRTF は個人の身体形状（頭部形状や耳介の形状）に依存した伝達関数である。ヘッドホンなどを用いて音空間を再現する聴覚ディスプレイ技術においては，HRTF をいかに個人ごとに合わせこむかが重要となる。しかし，本人の HRTF と異なる HRTF を使用した場合，音像の前後誤判断，上下誤判断といったことが起こることが知られている一方で，全ての個人ごとに自分自身の頭部伝達関数を測定することは，時間・コストの両面から現実的ではない。

この講演では，以上のような現状を背景として，耳介形状の違いがインパルス応答に与える影響に着目し，既にある大規模 HRTF データベースから，各個人に適した HRTF を選択する手法，および，その HRTF を用いた音像定位実験により明らかとなった音像定位の手がかりについて紹介した。さらに，それらの知見を応用した，ロボット等に設置する耳の形状を最適化手法についても述べた。

通研講演会

単層カーボンナノチューブの成長制御と物性評価への応用

東京理科大学理学部 教授　本間 芳和

開 催 日：平成 19 年 2 月 22 日（木曜日）13：00～16：00
開催場所：東北大学工学研究科　電気情報システム・応物系
1 号館 4 階　451・453 会議室

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)のデバイス応用には，その形成位置・方向，さらには構造（カイラリティ）を制御する技術を確立することが必要である．成長過程のその場観察や触媒制御技術の研究を通じて SWCNT の成長過程を解明することにより，成長制御技術の高度化が検討された．これにより，単一の架橋 SWCNT や直立 SWCNT の形成を実現し，その光学特性の評価が可能となった．また，新たな触媒元素の探索により，形成機構の解明を目指している．以上のような最新の研究成果について紹介があり，今後の研究活動についても，活発な議論が展開された．

世界の雷を求めて　－地上から宇宙から－

大阪大学　教授　河崎善一郎

開 催 日：平成１８年１２月４日（月曜日）１３：３０～１５：００
開催場所:東北大学電気通信研究所 ナノスピン実験棟４階　カンファレンスルーム

雷放電物理を理解するため，大阪大学のグループでは色々な観測手法を考案し，国内外での野外観測や人工衛星を用いた観測を実施している。

この研究について本講演では，(1)阪大グループが開発してきた観測法を概括し，(2)これまで行ってきた海外 10 ヶ国での野外観測結果の紹介と(3)熱帯降雨観測衛星（TRMM）による雷観測結果を紹介した。特に，雷放電の位置を３次元リアルタイムで観測するために，VHF 帯の広帯域干渉計を開発し，世界中の様々な地点で雷観測を行っていることが紹介された。さらに，(4)この観測によって得られた雷放電現象やそのメカニズムに関する新たな知見について，分かり易い解説があり，テレビ等の科学番組にも取り上げられている旨の報告がなされた。また，(5)東大阪衛星プロジェクトについても言及された。学内外から５５名の聴講者があり，講演後に活発な議論が展開された。

離散的ベイズ学習における一致性について

北海道大学　Jan Poland

日時：２００６年１１月７日（火）　１３：３０ － １４：３０
場所：東北大学・電子情報システム・応物系１号館 351・353 号室

本講演では、ベイズ学習理論における最近の進展について述べる。特に、３つの基本的なベイズ推定法、すなわち、周辺化、事後確率最大化予測、確率的モデル選択を取り上げ、これらが、あらゆるベイズ推定の中で最も自然であることを論じる。また、学習対象が離散的な仮説クラスに含まれている場合、上記のベイズ推定法が、いずれも強一致性を有することを示す。

急性心筋梗塞を自動的に治療するシステムの開発

国立循環器病センター研究所
循環動態機能部 血行動態研究室員　上村　和紀

開 催 日：平成 19 年 2 月 23 日（金）16：00～17：30
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 2 号館 204 会議室

現在，国立循環器病センター研究所では，心不全治療のための新しい計測制御技術が開発されつつある．たとえば，小動物の心機能を無拘束でモニタリングするための無線電波通信による埋め込み型左室圧・容積センサ，画期的な機能を持った埋め込み型除細動器，あるいは，生体循環系のモデルに基づいて多変数循環動態を所望の状態に近づけることのできる自動制御システムなどである．本講演では，これらのような心不全治療のための電子情報通信技術の医工学への最先端応用事例を紹介する．

通研講演会

「グルタミン酸受容体δ２サブユニット複合体による シナプス結合と運動学習の制御」

東京大学医学系研究科　竹内倫徳

開 催 日：平成１９年３月２３日（金）１４：００～１５：３０
開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設４階カンファレンスルーム

本講演では、小脳シナプス可塑性に重要なグルタミン酸受容体δ2 サブユニット（GluRδ2）の生理機能を解明するためのトランスジェニックマウスを用いるアプローチについて紹介した。成熟小脳 PC 特異的に GluRδ2 を欠損させたマウスの作製を行い、GluRδ2 が、シナプス後膜肥厚部複合体の制御の鍵分子であることを見いだした。また、GluRδ2 の足場蛋白質デルフィリンの欠損マウスについても検討し、小脳 LTD の誘導制御が運動学習効率に重要な役割を担っている事を示した。

また、電気通信研究所の平野愛弓氏も神経シナプス可塑性におけるグルタミン酸の役割について、グルタミン酸センサーを用いるアプローチについて紹介した。

「工学の医療応用」

東北大学加齢医学研究所　白石泰之先生、棚橋よしかつ泌尿器科病院　棚橋善克院長

開 催 日：2006 年 3 月 14 日(水)
開催場所：東北大学 電気通信研究所 2 号館 4 階 大会議室

白石先生からは、「Engineering Based Medicine ～心臓血管外科治療への工学的アプローチ～」と題した講演を頂き、今日の医療技術の臨床応用に際して重要度が高まりつつある、工学的視点に基づく技術支援およびその評価手法の確立に関して、心臓血管外科治療をキーワードとして、新しい人工臓器開発とその工学的評価手法について詳細な解説が行われた。

棚橋先生からは、「外科は“外道”？：医学と工学の接点」と題した講演を頂き、最新の非侵襲検査・低侵襲手術に関する事例を紹介された。そもそも外科の語源は、“外道”だともいわれている。これは、本来、神から授けられた体にメスを入れることは邪道であるが、内科的には治せないので致し方なく手術をするということである。人を切るのが仕事だった侍が明治維新で刀を返上したように、21 世紀の外科医にもメスに代わる手技が求められており、それが非侵襲検査であり、低侵襲手術である。そして、それをめざすには、医学と理工学との密なる連携が不可欠となることに重点を置いた講演がなされ、改めて工学の医療応用の重要性が説かれた。講演後、聴講者との長時間にわたる討論が行われた。

通研講演会

デジタルシネマ技術の現状と今後の展開

慶応義塾大学　太田　直久

開 催 日：平成 18 年 11 月 13 日（月曜日）14：00～17：00
開催場所：東北大学電気情報系 2 号館　2 階　204 室

デジタル信号処理，高速ネットワーク，VLSI 技術の発展により，35mm 映画フィルムに匹敵する品質の映像がデジタル化される時代となっている．本講演では，日本におけるデジタルシネマ技術の現状，その技術をベースとした新たなアプリケーションの状況，世界を見た今後の展開に関して展望した．

The Longitudinal Movement of the Arterial Wall - An Overlooked Phenomenon -

Lund University, Research Assistant, Magnus Per Axel Cinthio

開 催 日：平成 19 年 3 月 7 日（水）13：30～15：00
開催場所：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

心臓血管系に関する研究では，心拍による血管壁の径方向の動きおよび径の変化が主なターゲットであった．血管の径方向の動きの計測は，心臓血管系に関する研究における確立されたツールとなっている．一方，動脈壁の長軸方向の動きに関しては,径の変化に比べ十分に小さいとされ,これまであまり注目されていなかった．本講演では，最近開発した超音波を用いて動脈壁の長軸方向の変位を計測できる手法，およびそれを用いて血管壁のずりひずみおよび血管軸方向への伸縮を評価できる手法が紹介され，それらの in vivo 計測における最新の研究成果が示された．

通研講演会

STDP を有するスパイキングニューロンモデルによる連想メモリとその CMOS 回路実現

九州工業大学大学院生命体工学研究科　教授　森江　隆

開 催 日：平成 18 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 5 階大会議室

本講演では、積分発火型スパイキングニューロンを全結合し、グローバル興奮ニューロンを追加導入することにより、スパイクタイミングでアナログ量を表現したホップフィールド型連想メモリが実現できることが紹介された。また対称型 STDP（スパイクタイミング依存型シナプス可塑性）を導入することにより、記憶パターンを自己学習できることが示された。さらに、このスパイキングニューロンモデルおよび STDP を実現する CMOS 回路を設計・試作した結果から、PSP の発生、重み付け加算、スパイク発火、不応期生成、伝播遅延生成、STDP 特性などの基本特性について報告がなされた。これらを通じて、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。

身体に生じる無意識の揺れの特徴から個人を特定する

茨城大学工学部　講師　矢内　浩文

開 催 日：平成 18 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 5 階大会議室

人の身体には常に無意識の揺れが生じている。話をしているときには頭部が揺れ、じっと立っているつもりでも体は揺れている。本講演では、その揺れをビデオカメラや足裏重心動揺計を用いて測定し、数秒～15秒間の時系列データの特徴から個人の識別に関する実験結果が報告された。代表点(マーカーや重心)の2次元の動きから算出した10～30種類のデータついて、例えば縦および横方向の揺れ量、平均半径、軌跡の平均速度、縦および横揺れ成分の相互相関係数などを特徴量として使い、現在のところ10名程度であれば、ほぼ完全に個人の「分離」が可能であることが報告された。これらを通じて、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。

MgB2 超伝導体の微細加工と中性子検出器応用

大阪府立大学大学院工学研究科　教授 石田 武和

開 催 日：平成１９年３月６日（火）午後　4:30-6:00
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１９年３月６日に、標記講演会を開催した。ご講演では、超伝導に関する入門的なレヴューから始めて、石田氏らが最近開発に成功された、MgB2 超伝導体を用いた中性子線検出器の機構や開発時のエピソードを詳しくお話し頂いた。MgB2 超伝導体は日本で生まれた超伝導体であり、その安価性や従来の金属系物質に比べて高い転移温度を持つ事などから最近特に注目を集めている。石田氏は、ボロン原子が中性子と大きな散乱断面積を持つ事に着目され、超伝導状態の MgB2 を用いた中性子線検出器を考案・作成された。その開発のプロセスにおいては大規模な数値シミュレーションを用いた物性予測が非常に有効であったことなどを具体的な例を示しながらお話し頂いた。この事は新奇デバイス開発における理論と実験の協力関係を考える上で示唆的であった。講演後には、中性子の検出確率や検出器におけるノイズ対策などについて活発な質疑応答がなされた。

聴覚と触覚の相互作用あれこれ

NTT コミュニケーション科学基礎研究所・リサーチアソシエイト・北川智利

開 催 日：平成１９年３月６日（火）１４：００～１５：００
開催場所：東北大学電気通信研究所　４階　大会議室

近年，異なる感覚間の相互作用・情報統合に関する神経科学的な研究が盛んに行われている。講演では,その中でも聴覚と触覚の相互作用について紹介して頂いた。まず音を聴くことでくすぐったさを感じる現象など、頭部近傍で生じる聴覚と触覚の相互作用についての研究をいくつか紹介して頂いた。また聴覚で生じる錯覚（連続聴効果）に類似した錯覚が触覚でも生じること、さらに音の提示によって触覚的な錯覚が促進される現象についても紹介して頂いた。広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、振動感覚としての共通性など、聴覚と触覚の組み合わせに特有の知覚特性について活発な議論がなされた。

通研講演会

Maxwell-Wagner 効果素子としての有機ＦＥＴと光第２次高調波による電界分布測定

東京工業大学大学院・理工学研究科・教授　岩本 光正

開 催 日：平成 19 年 3 月 1 日（木曜日）14:00～16:00
開催場所：東北大学 電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設　４階
　　カンファレンスルーム

有機 FET デバイスに関連した研究が活発である。しかし、デバイスの中で、有機材料本来の機能が活かしきれていないのが実状である。多くの研究機関から、動作電圧が大きく、かつ、移動度の低い有機 FET が報告されている。有機 FET の特性向上のためにはその動作原理の解明が不可欠である。そこで、誘電体や絶縁体の電気伝導現象を記述する物理を出発点とする Maxwell-Wagner 効果としての有機 FET の動作について報告された。また、それに基づいて展開した光第２次高調波測定を用いた非破壊非接触の有機 FET の電界測定についての結果が示され、有機 FET の動作について活発な討論がなされた。

第 6 章　　評価と分析

6.1 運 営 協 議 会 報 告

第２２回東北大学電気通信研究所運営協議会

日　時：２００６年１２月６日（水）午後１時３０分～午後６時３０分
場　所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟５階大会議室
出 席 者：青　木　利　晴（委　員）株式会社 NTT データ 相談役
有　信　睦　弘（　〃　）株式会社 東芝 執行役常務 経営監査部長
大　森　慎　吾（　〃　）独立行政法人 情報通信研究機構 理事
片　桐　　滋（　〃　）同志社大学工学部教授
小　林　直　人（　〃　）独立行政法人 産業技術総合研究所 理事
坂　内　正　夫（　〃　）国立情報学研究所長
榊　　裕　之（　〃　）東京大学生産技術研究所教授
武　市　正　人（　〃　）東京大学大学院情報理工学系研究科長
谷　岡　健　吉（　〃　）NHK 放送技術研究所長
横　山　直　樹（　〃　）株式会社 富士通研究所 フェロー兼ナノテクノロジー研究センター長
中　嶋　一　雄（　〃　）東北大学金属材料研究所長
齋　藤　文　良（　〃　）東北大学多元物質科学研究所長
木　下　哲　男（　〃　）東北大学情報シナジーセンター教授（川添センター長代理）
海老澤　丕　道（　〃　）東北大学大学院情報科学研究科教授
通研出席者：伊　藤　弘　昌（教　授）所　長
矢　野　雅　文（教　授）副所長
白　鳥　則　郎（教　授）副所長
大　野　英　男（教　授）ナノ・スピン実験施設長
中　島　康　治（教　授）ブレインウェア実験施設長
坪　内　和　夫（教　授）２１世紀情報通信研究開発センター長

室田淳一、舛岡富士雄、庭野道夫、鈴木陽一、村岡裕明、中沢正隆、長　康雄、羽生貴弘、枝松圭一、沼澤潤二、塩入　諭、尾辻泰一、大堀　淳、上原洋一、高木　直、古西　真の各教授

議　　事
１．当面する研究所の課題について
（１）研究所の活動全般について
①　沿革について
②　理念・目的・目標について
③　研究体制・組織について
④　研究員、支援職員数等について
⑤　教員の充足率、年齢構成について
⑥　学生数について
⑦　予算、外部資金受入状況について
⑧　共同プロジェクト研究の予算等について

⑨　特許・知財について
⑩　前回運営協議会における主な意見について
⑪　外部評価で提起された課題への対応について
⑫　中期目標・中期計画に係るスケジュールについて
⑬　青葉山新キャンパスへの移転計画について

（２）各部門等の研究活動の現況について
①　情報デバイス研究部門の現況について
②　ブロードバンド工学研究部門の現況について
③　人間情報システム研究部門の現況について
④　システム・ソフトウェア研究部門の現況について
⑤　ナノ・スピン実験施設の現況について
⑥　ブレインウェア実験施設の現況について
⑦　ＩＴ－２１センターの現況について

（３）全国共同利用研究所としての活動について
①　全国共同利用研究所としての１０年間の取り組みについて
②　全国共同利用研究所としての外部からの評価について
③　国立大学の法人化と全国共同利用について

（４）産学連携の在り方について
①　背景～ＩＴ－２１センターの実例～について
②　次世代モバイルインターネット端末の開発実施体制について
③　超小型大容量ハードディスクの開発実施体制について
④　外部評価の結果について
⑤　産学官連携研究についての現状認識について
⑥　課題について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●外部資金が１６億円と研究活動が非常に活発な状況が見える。これは全国の大学のすべてに言えることであるが、外部資金の獲得が順調なときはよいが、収入にフラストレーションがあると困ることになるのではないか。
●間接経費的なもので研究所全体として使える外部資金がどの程度あるのか。
●若い人がとんでもないことを始めたりとか、そういったダイナミズムが研究所のアクティブで感じられなかったが、それに関してどう考えているのか。
●例えばこれから我々学術サイドがつくっていかなければならないバリューというのが、スピードと容量と柔軟性、その柔軟性がその他もろもろなのかもしれないが、これから出していかなければならないソリューションに対して、あるいは様々な課題に対して、どんな価値をつくるかということの議論を踏まえた上での結果なのかどうか。
●ソフトウェア及び理論のグループに比べるとハードウェアの講座制の持っているパワーが非常に重要で、これが独立性との問題と両方混在し、学術分野においてアウトプットをきちんと確保しながらどんな形で折り合いをつけるか難しいところである。
●知財、特許をとらないというのは一つのポリシーだと思うが、特に産と学と連携をするセンターだといったときに、知財のポリシーをどのように考えているかお聞かせ願いたい。

●デバイスからソフトウェアまで一体化システムということで、これからはソフトウェアの話も随分出てくるかと思うが、スピードとか、容量はハードに係わってくるところが大きい。どうもハード、デバイスの研究者は、クリーンルームに入っているということがあって地味なのかもしれないが、全体的にアピールが弱いと感じる。

●ネットワークあるいは電気通信というものをどう使っていったら、今の時代あるいは２０年先の社会にとって本当に人間に優しいか、あるいは人間にとって価値のある電気通信の研究ができるだろうかと。デバイスの研究は東北大学の通研はまさに世界のリーダーなので、それに加えて通信をどう使っていくのかというところも更に強化していただければありがたい。

●企業への技術移転の件で、材料等の電子デバイスを技術移転する方法は高度だと思うが、その技術移転に対してエンドのみの技術移転なのか、あるいは、プロセスを含めて相手企業が立ち上がるまで、通研側が努力して技術移転されているのか。

●人間に優しいというのに加え、電気通信というのは恐らく環境問題に対する一番強力なソリューションだと思う。いわゆるエネルギーを抑えていくという。今回のまとめには、「環境」という言葉がほとんど出てこなかったが、例えばアピールするときに環境問題に対して電気通信がいかに貢献できるかというようなことも付け加えては如何か。

●ある意味で、サービス的な役割を担わなくてはいけないようなミッションがあると思っている。例えば分析センター、あるいは工場の技術系職員が、それも含めて研究室と一体になって、技術を研究に反映するようなやり方であると思うが、その技術系職員の年齢が年々高くなってきて、技術の継承がうまくいかなくなってくる。

●法人化のスキームの中で、各大学の本部は他の大学の面倒を見るという余裕がなくなって、自分の大学のことで手いっぱいになると。多くの全国共同利用の附置研等が、本部から他の面倒を見るなというようなことで孤立してはいけないので、応援団として来る、それがミッションだと思っている。そういう視点から見ると、通研が全国でどうしてもこの場所、この研究所のアクティビティーが必要だというものを持たないといけない。

　例えば地震なら地震、火山なら火山とか、天文なら天文とか、そういうのはわかりやすいが、電気通信の研究という中で、それが全国と一緒になって何かをやるというミッション、共同プロジェクトを限られた予算、3,000 万円なら 3,000 万円を使ってやっているというだけではちょっと分かりにくいという感じがする。これはどこの研究所でも同様で、全国共同利用のミッションをどうするかということであるが、一つは、法人化以降、大学が連携をするというモチベーションを失って、大学は、研究費や学生を取り合う、ある種の競争環境に置かれている。次のレイヤーが研究分野で連携をして一人ではできないことをやるというのが基本で、それが何であるかということだと思う。

●共同利用という意味で、例えばそこにしかない設備等を共同利用する機関は、非常に分かりやすい。しかし、この通研はそれとは違う道を歩むということですね。

　総括すると、ある種の理念とかビジョンとか、ここでなければできない、ここに人が集まれるような旗頭を立てる必要があると思う。

●産業界の本当の意図は、日本の将来の産業、あるいは将来の通信でも構わないが、将来の新しい産業構造のあり方を見据えたときに、どんな技術が必要になって、その中で例えば通信系はどんな部分を担うといったような大きな構想が欲しいと本当は思っ

ている。

●個別の研究における共同利用も大事であるが、電気通信の将来を、例えば１年に１遍、泊りがけで二日、三日、集ってブレーンストーミングをやるような場所を設定し、様々な意見交換を行うことによってビジョンを深めていくことも大変重要ではないかと思う。特に最近は、電気系が元気がないということもあって、研究のビジョンを関係者間で深めながら、通研に集うことが楽しみになるといったこともあるのではないかと思う。

●滞在型のプロジェクトといった時に、例えば他大学の大学院生と指導教官が、２～３週間滞在し研究を行った上で、大学院生だけを長期滞在させることができるとすると、そのことが非常に効果的であれば、研究費や旅費を持ってやってくるのではないかという気がする。例えばサンタバーバラなどでは、自転車で通えるような近隣の家に長期滞在するような方法をとっている。これは事務の手間隙がかかるが、そういった比較的長期滞在でコストパフォーマンスのいいチャネルをつくり、この研究所の共同利用の運営の一つのサービスとして提供すると大分変わってくるのかなという気がするので、是非検討願いたい。

●共同利用という名前をやめた方がいいと思う。世界のＣＯＥになると思うと、優れた研究施設、人材、明確なポリシー及び研究の方向性という必要条件を充たさなくてはならない。そうすればおのずと人は集ってくる。ですから、制度として共同利用というのはあるのでしょうか、私は施設をよく知らないんですが。利用ではなく、まさに連携だと思う。

●基本的には、ベースになる研究開発にかかるお金と、これを事業化するときにかかるお金だと、桁が違う。実際に事業化をしようと思うとそれだけの労力をかけなくてはいけない。ただし、だからといって普通は大学で開発されたものがそのまますぐに事業化するとは考えていない。例えばたまたま新しい材料が発見されて、それを具体的につくるプロセスがあって、そのプロセスに非常に多くのノウハウがあるというケースの場合にはもちろんそのノウハウを含めて、我々が大学に期待しているのは、それが論理的にきちんと製造できるというベーシックなところを明確にしてほしい、ここが一番の希望である。それを具体的にどういう形で、バリエーションをどうやって、どういう製品にしていくかというのは、産業の側の問題であり、企業側が色々考えなくてはいけない問題だと思っている。

●日本の場合は各企業が似たようなことをやっているものだから、ダブってお金をたくさんかけていて、非常にむだなことを実はやっている。企業サイドは大学側に製品化を求めているわけではなくて、むしろ製品化のベースになるところをきちんと詰めていただきたいと。この研究所は、むしろ海外に先んじて、はるかに進んだところでやっておられるのだから、そこの部分をぜひどんどん詰めていっていただきたい。トランスファーの部分はやはり共同で、産業化・事業化のところは恐らく企業サイドの問題だろうと思う。

●超臨界の産業フォーラムをつくると、参加企業の大半が東京の企業である。もちろん地元の仙台の企業も参加しているが、ただ、その成果がどこへ行くのかというと、どうしても東京に集ってしまう。

電気通信の場合においても同様であると考えられるが、東北大学の電気通信研究所は日本のＣＯＥの一つだと思っている。外部評価では「財団法人電気通信工学振興会とともにリサーチパークを経営するような大胆な構想があってもよいのではないか。」

ということが指摘されているので、是非ここが吸引力となって産業が集るような、多分そういうポテンシャルはあると思うので、そういうことを考えていかれたらいいのではないか。

●特許出願の数、絶対数がいいかどうかということは別として、余り多くないというのもある意味では現実的なのかなとも思う。やはり大学なので、企業と同じように知財を追い求めるよりは、むしろ本当の原理原則のところの解明を優先していくというところで注力していただいた方が、教育との両立という意味でもいいのかなという気がした。

第７期委員長のまとめ

本日の議論をまとめると、最初に研究所の研究状況の報告を基に、研究の成果を国際標準化、ＩＥＥＥの標準化、大学研究所の経営についての議論があった。会計システムについては、本来経営の実態をつかむためのものであって、決して単なる金の計算ではないので、それを十分に理解して使いこなしていくことが重要であり、何となく従来の延長で積み上げたままでの分類で行っているのではないかという意見があった。

講座制とテニュア制については、来年の移行にあたって、今、色々議論しているとのことであるが、若い先生方に大いに活躍していただけるモチベーションになると同時に、講座制的なある程度まとまった研究ができるようなやり方を考えてほしい。

研究のスピードとか容量を上げるという性能追求型の話と、もう一つは、今後のバリュー、柔軟性という言葉でカバーしているようであるが、結果として、今はなかなか尺度に出てこないような評価が、今後研究の上では必要であろう。

デバイスは、この研究所の今までの一番大きな柱であり、是非これを強力に進めてほしい。

研究と博士課程学生の教育、就職に関連して、ＤＣへの進学者が減っていることについては、社会全体の問題で憂慮すべきことで、この研究所だけの問題ではないが、来年は統計数値を出していただきディスカッションさせていただきたい。

知財戦略については、それぞれの大学の方法及び立場があるかと思うが、この研究所の方針を皆さんで議論することが必要であろう。

２０年先あるいはもっと手前かもしれないが、人間に優しい電気通信とは何か、またうまく利用してどうするかという、ある意味では将来のターゲットをどうするかということを議論しながら現在の研究を進めていくため、そのことを議論する場にこの電気通信研究所はふさわしいのではないかと思う。

共同利用の研究所としての課題は、一般論としての共同利用と、この研究所のやり方の議論の中で、この研究所の特色をきちんと出してほしい、そのためのリソースをきちんと充実する戦略が必要だろうとの意見、技術の継承も重要だとの意見があった。また、共同利用というよりは、ＣＯＥになることの方が重要ではないかとの意見もあった。

産学連携については、やはり大学と産業界との考え方の違い、あるいは理解が難しいところ、それから意外と個別にはよくやっているところと様々な議論があったが、このＩＴ－２１センターを今後どんな格好にすれば成功するだろうという、そんなにうまい話はないわけであるが、産業界と大学研究所との役割分担、それぞれのミッションをよくわきまえた上で、長期的あるいは短期的な連携はできるのではないかと思う。

拙いまとめですが、私もお手伝いしたいと思いますので、来年までのいろいろな施策に反映させていただきたいと存じます。

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
浅井彰二郎	2000～2003
浅見徹	2004～2005
甘利俊一	1996～2001
有信睦弘	2004～現在
飯島澄男	2002～2003
飯田尚志	2000
伊賀健一	2004～現在
池上徹彦	1996～1999
池上英雄	1996～1999
池田克夫	2000
石井健一郎	2002
伊藤龍男	2000～2001
今井秀孝	2001
植之原道行	1994～1999
宇理須恆雄	1994～1995
榎並和雅	2004～2005
大須賀節雄	1996～1999
大槻幹雄	1994～1995
大星公二	2000
岡部洋一	2002～2003
笠見昭信	2000～2001
梶村皓二	1998～1999
片桐滋	2005～現在
児玉皓雄	2000
後藤俊夫	2002～2003
古濱洋治	1995～1997
小林直人	2004～現在
坂内正夫	2000～2001 2006～現在
榊裕之	2004～現在
塩見正	2001～2005
下澤楯夫	2002～2003
進藤秀一	2000～2001
管村昇	2003～2004
武市正人	2004～現在
田中英彦	1994～1995
谷口健一	2001～2003
田村浩一郎	1995～1997

委員名	任期(年度)
東海林惠二郎	1994～1997
中村道治	1996～1999
長尾眞	1994～1997
平石次郎	1994
廣田榮治	1996～1999
三宅誠	2002～2003
山崎攻	2000～2001
山田宰	2000～2001
山田敏之	1998～1999
横山直樹	2002～現在
吉村和幸	1994
渡辺久恒	2000～2003
大森慎吾	2006～現在
谷岡健吉	2006～現在

6．3 外部評価結果要約

外部評価は1995年より始まり、第1回は委員会を開催せず、評価結果をまとめて冊子を作成。

1998年12月17日（木）・18日に第2回委員会、2002年5月16日（木）・17日（金）には第3回を開催している。

2006年度に第4回目を開催、結果要約は次のとおりである。

第4回外部評価委員会

1．日時：平成18年9月28日（木） 13時00分～20時00分
　　平成18年9月29日（金） 9時30分～12時00分

2．場所：東北大学電気通信研究所大会議室

3．総合評価委員名簿

委員長

神 谷 武 志	独立行政法人大学評価・学位授与機構学位審査研究部 客員教授

委員

青 野 正 和	独立行政法人物質・材料研究機構ナノシステム機能センター センター長
石 川 容 平	株式会社村田製作所シニアフェロー次世代技術研究所 所長
内 川 惠 二	東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授
榎 並 和 雅	独立行政法人情報通信研究機構 ユニバーサルメディア研究センター 客員研究員
下 原 勝 憲	同志社大学工学部情報システムデザイン学科 教授
武 市 正 人	東京大学大学院情報理工学系研究科 研究科長
安 田 幸 夫	高知工科大学総合研究所 教授
吉 田 博	大阪大学産業科学研究所 教授

4．評価報告書

（1） 総合評価結果の概要は評価委員会委員長コメント（要旨）のとおりであるが、各委員より提出された評価票を項目毎に取りまとめたものを併せて記載する。

（2） 各分野、研究部門の研究成果に対する学術面及び社会貢献面に関する評価は、既に行われている専門家による外部評価に委ねることとした。

◎ 評価委員コメント（要旨）

Ⅰ． 研究所の運営全般

1． 大学附置研究所としての運営

(1) 研究所全般

1-1) 附置研究所としてのこれまでの在り方

- 伝統を踏まえて非常によく運営されている。ハードウェア、ソフトウェアの融合と人間情報の重点化が今後の課題として浮かび上がっている。電気情報通信の専門家だけではなく、人文社会系の知恵も入れて将来のプランニングをしたら良いのではないか。
- 設立当初からの歴史は日本の科学技術に輝かしい1ページを飾ってきたことに敬意を表すとともに、この伝統を今後も守られることを期待する。伝統とは、独創と実用の2つに表現できよう。
- 全体的に極めて研究開発に積極的な運営が行われており、力強さと見事さを感じた。歴史的に見ても独創的な研究で多くの成果を挙げてきたことが現在の運営の基礎となっている。目的指向が強いため、基礎的研究といえども産業界で展開できる技術レベルまで完成度を高めている。
- 全体としてバランスよく運営が行われている。

(2) 研究組織

2-1) 研究所組織

- 10年単位で組織を大幅に見直し色々な分野の融合を図るよう考えている。
- ハード指向がかなり強いと感じたが、これは大きな特長である。ソフト方面に展開する場合には、社会科学、人文科学系の学部や研究者との強いコラボレーションが必要であり、戦略的研究企画立案にあたっては若い研究者の価値観も取り入れていくことが望ましい。
- 理念に関して、ハードの強い研究所から人間性豊かなコミュニケーションへと展開し、良い進化が図られている。
- 研究のホライズンを20年、10年、5年とミッション別に明確に決めて研究開発を行っていると同時に研究者の研究の自由度、多様性も堅持されている。
- 中長期的な戦略としては、部門を超えて20年ホライズンを試行するのも良いのではないか。或いは、分野設置を戦略的に企画できる工夫があると良い。

2-2) 研究部門

- 研究部門の再編について、ハード、ソフトが融合したような形で組織されているが、更に進めて実質化していくには継続した努力が必要である。組織図は縦糸の組織となっているが、視察等を通して実際には縦糸横糸のダイナミックな活動形態になっており、横断的研究が行われているので、表現上の工夫をしていただきたい。
- 大学附置研究所の特徴と思われるが、研究の方向性を示して教授の自主性を尊重している点は民間と違っており、参考になった。ただ、ハードから人間性豊かなコミュニケーションを目標とする以上、研究すべきフィールド、ベクトルを整えるためにも具体的なビジョンを明確にする努力を続けることで、さらにパワフルになると思う。

2-3) 実験施設

- ナノ・スピンという世界を代表する実験施設を保有し新技術の創出に成功していること、および新しい分野の開拓のためにブレインウェア実験施設を設けたことは評価で

きる。

2-4) 研究開発センター

- 大学の持つ実力を近未来の産業技術に育てる場が設定され、着実に成果をあげている。
  この組織によって社会とのインターフェイスが強化されている。
- 研究成果や参加企業の技術力向上のみならず、即戦力のある人材育成も期待できる。

(3) 人事

3-1) 教員の充足率・年齢構成・流動性

- 教員の年齢構成は良く考えて進められており、非常に良い。
- 世界一流の研究所としては比較的外国人教員が少ないと思われるので、引続き外国人教員及び女性教員登用については、努力してほしい。
- 教員の流動性について、内部昇格者と外部からの採用の比率を平準化するのが好ましいとの意見もあった。

3-2) 教員制度

- 新教員制度の対応についても良く考えている。
- 人事と教育に関し、研究科と一体となって良い運営が行われている。ただ、研究科と研究所とで教育研究の在り方が違っていても良いのではないか、例えば、若手の研究者がある期間集中的に研究に従事したい時には研究所に来て研究を行い、終ったら研究科に戻って教育を担当するようなメリハリの効いた人事交流等、新しい方向性を出すことも考えられる。

3-3) 教員以外の研究員

- ポストドクの数が多いことは活発に研究が行われていることの現れであろう。ただし、ポストドクのその後の就職先の配慮はなされているのか説明がなかった。若手研究者育成のためにも研究所として積極的に取り組んで欲しい。

(4) 研究予算

4-1) 外部資金の獲得状況

- 運営費交付金と外部資金の割合がほぼ半々というのは健全である（通研の教職員が外部資金の獲得において競争力を持っていることの証左である)。この資金を活用して活発に研究が行われている。

4-2) 研究費の配分

- 基準については伝統的な手法がとられているようである。結果としてうまく運営されているため現時点では問題ないと思われるが、研究所長のマネジメント力を高めるため、文書化したルール作りも重要と思われる。

・ 研究費の配分について、提供された資料で支出状況の全容を理解するのは難しい。研究の直接費、管理運営費、施設設備の更新費等の割合が分かるように工夫していただきたい。

(5) 教育

5-1) 大学附置研究所としての教育

・ 他の国立大学の附置研究所と比べて、学部と研究科との連携が密に行われており、学生から見ても研究所が良く見える形でうまく運営されている。若手教員の教育負担が大きくなり、研究時間が割かれるのではないかとの危惧があるが、若手の教員が研究以外のことに時間を割かれないよう配慮しているとのことであり、問題はないかと思われる。

5-2) 学生数・大学院生数

・ 大学院後期課程への進学率が高く、研究大学として評価が高いあらわれと考えられる。

5-3) 論文指導

・ 優れた研究成果を大学院生が挙げており、受賞などにも繋がっている。

・ 博士課程の在学者は、電子工学分野に比し情報分野において数が少なく、その中でも特定の研究室に偏っている傾向が見受けられる。情報分野の人材養成が進むことを期待する。

(6) 研究環境

6-1) 研究施設

・ ナノ・スピン研究棟など立派な施設を建てられており、稼働率高く施設の運用が行われている。一方、予算に関連することであるが、建物の一部が老朽化している。

2. 全国共同利用研究所としての活動

2-1) 全国共同利用の理念

・ 特色ある研究領域における研究者間の連携を促進するために、共同利用、共同研究という手段を提供していることは意味がある。

・ 全国共同利用研究所としてはその機能が限定的であること、すなわち、特殊設備等の利用に係るものでないことを明示した方がよいのではないかという意見があった。

2-2) 共同プロジェクト研究の運営

・ 通研で生まれ世界に情報発信できる研究テーマを中心に共同プロジェクトが組織・運営され,共同利用研としての指導的地位を確保している。

・ 共同プロジェクトへの参加者の満足度、改善への意見などを調べることは意味があるのではないか。

2-3）共同プロジェクト研究の成果

・ 大型設備を利用する共同利用とは違い、通研は全国的な研究交流の場として、研究者間の媒介役としての機能を十分に果たしている。
・ 幾つかの共同プロジェクトが大型プロジェクトに発展していることから成果は挙がっていると考えられる。

3． 国際活動

3-1）国際会議・シンポジウム

・ 国際会議及び国際シンポジウムをよく開催しているが、その研究テーマの分野が片寄っており、従来活発でない分野についても今後企画を進めてほしい。

3-2）外国との共同研究

・ 外国との共同研究は、多くのメリットをもたらすが、多くのデメリットを孕んでいることも事実である。その意味で多ければ良いというものではない。これまでの実績は妥当であると思う。
・ 世界トップレベルの成果を出している割には少ないと思う。

3-3）外国人研究者の訪問・交流

・ 電気通信研究所の研究成果が世界的であることを勘案すると、外国人研究者の招へい数及び留学生数が少ないので、もう少し増やした方が良い、との意見もあった。

3-4）外国人研究員の受入

・ 研究のトップを走っている研究グループの場合には、外国のライバルの研究者との最新の情報のリークということにもなるので、数だけの問題ではないとの意見もあり、国際化についてよく考えた上で進めてほしい。
・ 世界トップレベルの成果を出している割には少ないと思う。
・ 数多くの研究員を受け入れている。 地域にかたよりがある。

3-5）外国人留学生

・ 多くの留学生を受入れている。
・ 世界トップレベルの成果を出している割には少ないと思う。
・ 外国人留学生の卒業後の評判は、地域的には特に仙台が高い。理由は住環境と研究レベルの高さにあると考えられる。

4． 社会貢献

（1）社会との連携

1-1） 社会との連携

・ 青少年等への科学の啓蒙活動は意義がある。しかし、やり過ぎは研究の時間を奪うことになり、現在は適切な規模である。
・ 活発で妥当である。ただイベントやスクール・セミナーを羅列するのではなく、どのよ

うな目的意識でこれらイベントを開催し、あるいはイベントに参画し、どのような効果があったかがわかるともっと良い。

(2) 産業界との連携

2-1) 産業界との連携

- 産業界との連携については、IT－21センターを核として大学としては産学連携を極めてうまく進めている。
- 青葉山移転を契機に電気通信研究所が主体となり、財団法人電気通信工学振興会とともにリサーチパークを経営するような大胆な構想があっても良いのではないか。更に50年、100年先を目指した大きな成果が期待される。

5. 広報活動と情報公開

- Web の充実等、時代の流れに沿った活動で非常に好ましい結果である。
- 国際的な情報発信が十分か、検証することが望まれる。

Ⅱ. 研究部門・実験施設・IT-21センター等の活動

1. 情報デバイス研究部門

- 電子物性物理から情報デバイスまで重要な研究課題を取り上げており、それぞれ世界的な成果をあげている。

2. ブロードバンド工学研究部門

- 次世代ブロードバンド通信に向けた光ファイバ伝送、ワイヤレスネットワーク方式の分野で産業界に影響力の強い研究を進めると同時に、大容量ストレージ技術、テラヘルツ光源、ミリ波イメージングなど先端的基礎的テーマについて世界的水準の成果をあげている。
- テラヘルツの研究の位置づけについて必ずしも応用は通信とする必要はなく、周波数毎に最も適したアプリケーションを素直にタイトルに表現してもよいのではないか、との意見があった。

3. 人間情報システム研究部門

- 研究所が培ってきた伝統的な研究手法を発展させて新しいテーマに果敢にとりくんでいる。従来異なるアプローチと見られていた各分野を「人間情報システム」部門に統合したコンセプトは新鮮であり、統合の効果があらわれることを期待する。
- 現在行っている研究テーマは研究者の意向に依存しているところが多く、人間情報という方向性を考えると、ややばらばらな感じがする。文系との連携を意識した研究が必要ではないか。

4. システム・ソフトウェア研究部門

- 研究所がオリジナルな研究テーマとして培ってきた垂直磁気記録の次世代システム開拓

について リーダーシップを発揮した。コミュニケーションネットワークの分野で Mobile IPv6-MLB の国際標準化も大きな成果である。
・ 研究領域としてはきわめて大きなかつ重要な分野であるが、戦略的にどういう判断をし、どういう方向に向いているのか説明があると良かった。

5. ナノ・スピン実験施設
・ 世界に研究成果を情報発信し、国際レベルでの先端的研究拠点の役割を担っている。
・ 先端研究用に特化して設計されたクリーンルーム棟はよく整備され、稼働率も高い。
・ 関連研究分野の研究者も積極的に利用している。

6. ブレインウェア実験施設
・ まとまった研究投資はこれからということであるが、情報処理分野の中心的な課題をとりあげ、着実に成果をあげている。
・ 他の研究部門、実験施設と比較して、アピールするものが少ない。分野別外部評価結果も十分といえない。専門家の評価を参考にして不足分の充実に努力してほしい。

7. 21世紀情報通信研究開発センター(IT－21センター)
・ 大容量ストレージ装置開発、ブロードバンドワイヤレスネットワークのプロトタイプ開発とも緊密な産学連携体制によって研究成果をあげている。
・ 産学連携の成功事例として次なる展開がどうなるのか気になるところである。
・ 企業にとっても、研究成果だけでなく、ここで学んだ学生は即戦力のある人材に育つと期待できる。

8. 各種研究センター(評価・分析センター、やわらかい情報システム研究センター)
・ 研究所としてのパフォーマンスを高めるために共通サービス的業務を担う各種研究センターに人員および資金リソースを割き、研究的な態度で新機軸を打出していることは高く評価できる。
・ 情報システムの保守管理運用と研究を両立させようとしているが、難しいのではないか。管理運用は外注してもよいかもしれない。

9. 附属工場
・ 研究室で同工場が製作したステンレス製真空装置を見て、良い技術を持った工場と判断した。
・ 大学における試作工場運営の困難さが増す全国的な傾向の中で、各研究室から信頼される活動を続けており、健闘している。

10. 図書室
・ 伝統的な図書資料の維持管理や研究者の日常的需要に対応する閲覧サービスに貢献している。一方で情報化の進む中で全学図書館との関係がどのように進められているか、説明資料からは良くわからなかった。

Ⅲ．前回の外部評価結果に対する対応

- 前回外部評価の際に出された主要なコメントには積極的に対応している。とくに研究所の方向付けについては平成16年に行った組織の改編に生かされており、また産学連携の強化はIT-21センターの強力な活動等に結実している。
- 全体として良く検討している。ただし、教員の流動性、国際交流の展開、ビジョンの明確化、達成度評価の定量化などの面で十分かなどの質問が残る。もし、十分でないところが認識されているのであればそれを記述し、分析をすることが望ましい。

Ⅳ．その他

- 全委員とも全体に大部分の項目について「妥当」との判断をおこなった。中には「極めて妥当」と評価した委員、項目も少なくなかった。日本を代表する大学附置研究所である、との評価で一致した。
- 報告のあり方に関して、得られた良い成果のみを記述するばかりでなく、将来の課題や、努力するべき事項も記述し、今後の発展に資することが望まれる、との意見があった。

6．4　今後の課題

電気通信研究所は情報通信に関する全国で唯一の大学附置研究所であり、全国共同利用研究所でもある。したがって、日本の情報通信に関する研究開発で「高密度高次情報通信に関する学理とその応用の研究」を行うことを使命としているとともに、日本の情報通信に関する研究者コミュニティを組織してその研究拠点として活動しなければならない。その機能を十分果たすための問題点を挙げて今後の課題としたい。

1）　長期的な研究戦略

情報通信に関わる基礎基盤研究を強力に推進することに加えて、長期的視野に立った情報通信のビジョンを産官学の研究者に提示し、意見を集約することで今後の研究戦略を立てる。本年 3 月に所内の殆どすべての教員が個人の将来のビジョンを執筆した「ICT Dreams」を上梓した。これは研究所の個人レベルでの将来像であるが、これらをもとに所内の議論を活発にして、取りまとめるのも一つの方策として考えられる。

2）　プロジェクト研究の立案

大学の附置研究所を取り巻く環境は厳しいものがある。特に経常的な経費の削減は、研究所の体力を徐々に奪っていくものになる。これに対処するためには競争的資金の獲得が、これまで以上に重要になる。本研究所は研究企画戦略室を 3 年前に発足させて、事務部の協力の下に競争的研究資金の獲得に向けて各研究者の立案・提案を支援してきた。これらの支援によって、かなりの額の競争的資金が獲得できた。今後は新たな「情報通信」に関する競争的資金の枠組みを作るように働きかけるとともに、現在の科研費や科学技術振興調整費である CREST/JST などの枠組みでの研究課題に今まで以上に積極敵に応募して競争的資金の獲得をめざす必要がある。

3）　共同利用研として開かれた運営

本研究所はこれまでの全国共同利用研の設置が大型の設備の共同利用や資料の共同利用を目的として行われてきたのとは異なり、共同プロジェクト研究型の全国共同利用研究所として機能してきた。このことにより、本研究所が主導する形で共同プロジェクト研究による研究者のネットワーク造りが進んだと言って良い。現在年に 60 課題、延べ人数で約 700 人の研究者が本研究所に来て、研究を行っている。十分開いた形での運営を心掛けてきたつもりであるが、これをより一層進めるためには、共同プロジェクト研究の課題選考に、所外の研究者にも加わって貰い、より広い研究者コミュニティを組織化していくことが必要だと思われる。

4）　研究組織

本研究所は研究組織体制を 10 年毎に見直しており、現在は平成 16 年度に改組を行った体制で臨んでいる。この改組の特長は研究分野の配置とともに、研究に時間軸を取り入れて、5 年程度の実用化研究、10 年程度の次の実用化につながる研究、20 年程度掛けても革新的な基礎的な研究が行える組織にしたことである。これに加えて、柔軟な研究組織を整備して新分野を戦略的に開拓するために間接経費などを活用して、任期性の教授を任用していくことが必要である。

5）　国際的な共同研究拠点づくり

世界のリーディング・ユニバーシティとしては国際的な共同研究拠点づくりが欠かせない。そのためには現在行っている「ナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業」を継続することはもちろんのこと、国内外の学術交流大学間・部局間協定を積極的に推進することが必要である。さらに

協定を結んだだけでは不十分なので、部局間協定の締結や交流の実質化に関し努力する。このため、締結済みの部局間協定においては実質的交流に対して費用を一部手当てすることが必要であろう。また、国際交流という面から、本研究所は毎年１件以上国際シンポジウムを主催することを行ってきたが、毎年数件の国際会議あるいは国際シンポジウムを主催することが必要となる。

6）　産学連携の推進

産業界との連携はこれまでも推進してきたところであり、特に IT21 研究開発センターでは民間からの教授を招聘して、産学協働の研究開発を行ってきた。これなどを外部から見やすく、また参加しやすくするために、本研究所から積極的に情報発信する仕組みづくりを行う必要がある。現在通研版の Liaison　Program を作るべく企画中である。この Program をなるべく早く具体化することである。

7）　青葉山新キャンパスへの移転

青葉山新キャンパスへの移転に向けて、所内に「移転プロジェクト委員会」を立ち上げ、適切に対応する体制を構築している。なお、世界のリーディング・ユニバーシティとしては、上記の共同研究や、新分野開拓研究が必須であり、その研究スペース確保をする新たな整備手法を施設部と協力して、立案・実施。キャンパス整備は研究活動の基盤であるから、50 年、100 年後を見据えた整備が必要である。

8）　教育問題

本研究所は工学研究科、情報科学研究科の電気情報系と一体になって、研究教育を行ってきた経緯がある。しかしながら、最近は全国的に電気・情報系の人気が長期的に低下している事情を踏まえ、これに対処するために本研究所が工学研究科電気・情報系に「教育広報企画室」を作り、特任教授を採用し、その任に当たることを進めている。ここでは大学の入り口と出口である高校・企業への広報をおこない、優秀な学生の確保に努めるとともに、教育内容を充実させるために「カリキュラム検討委員会」を本年度中に設けることを行う。

第 7 章　結　言

結　言

研究活動を行うには良好な環境が必要です。現在電気通信研究所が抱えている最大の課題の一つは片平キャンパスから青葉山新キャンパスへの移転があります。平成 18 年 8 月には正式に 81ha の青葉山新キャンパス用地を宮城県から譲り受けました。現在環境アセスメントを行っているところで、それが終わり次第用地の造成工事が始まる予定で、約 4 年後には片平南キャンパスにある本研究所は青葉山新キャンパスに移転することになっています。本研究所では移転対応プロジェクト委員会を立ち上げて、50 年先, 100 年先の情報社会においても先導的役割を果たせる研究所としてのあり方までを議論しながら、建物の設計を進めているところです。しかしながら、ご存知のように昨今の国の財務事情は厳しい状態にあり、当然ながら国立大学に対する設備費もほとんど無いに等しい状況です。従いまして、このたびのキャンパス移転の場合には片平南キャンパスと雨宮地区の売却で得られた資金で移転することになっており、国からの建物を含めた設備費の支援は殆ど望めません。平成 15 年に新設されましたナノ・スピン総合研究棟も同時に青葉山新キャンパスに移転することが、研究所の活動にとっては欠かせません。現在の厳しい財務状況ではなかなか同時に移転することは困難ですが、なるべく早くナノ・スピン総合研究棟も移転して、発展性のある研究所を創り上げる努力しなければなりません。

緒言でも述べましたが、研究環境として重要な要因として社会情勢があります。マスメディアが伝えていますように、日本の経済状況を反映して、教育改革に関する議論が盛んであり、特に大学における研究・教育改革が話題になっております。残念ながら、学術や学問に対するビジョンが貧弱なままに、もっぱら経済効率の面からの議論が多く、組織の改廃、特に大学附置研究所の改廃に対する考え方に厳しいものを感じます。この議論が出てくる前に、すでに大学の法人化と同時に、国立大学に交付される運営交付金が効率化という名の下に毎年削減を強いられているうえに、さらに総人件費改革によって追い打ちをかけるように削減幅が増大されています。全国一律ですから本研究所も例外ではなく、定員に当たる教員配置数が法人化前には 86 だったものが、74 にまで減少することになります。研究・教育活動の源泉である人的資源が、その内容にかかわらず何のビジョンもなく一方的に削減されたのでは、活動のレベルを維持していくのは当然困難になります。今のやり方は一律に削減する方法ですから、これは研究組織を徐々に衰弱させ、ついには崩壊させる危険が大きく、一番愚かな方法を取っているように見えます。

現実に運営交付金が減少していく現実に対して、研究所としても手を拱いて見ているわけにはいきません。これに対する手立ては、すべての競争的資金に対して間接経費が 30%手当てされるようになったことだと思います。研究活動レベルを維持していくには競争的資金をあるレベル以上獲得することが必要になっています。そのために、本研究所では研究企画戦略室を 3 年前に発足させて、競争的研究資金の獲得に向けて各研究者の立案・提案を支援しています。本年度は e-Japan 計画で獲得した 3 つの IT プロジェクトが昨年度に終了しましたので、今年はその後継プロジェクトとして「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」を提案し、その実現を図ることに対して努力しています。その他さまざまな競争的資金の枠組み作りを積極的に支援するとともに、社会との連携を強くしていく必要があります。

ここで十分配慮しておかなくてはならないのは、社会情勢や産業界のニーズだけに振り回されないで、研究所が方向性を失わないことです。情報通信に関わる基礎基盤研究を強力に推進することに加えて、長期的視野に立った情報通信のビジョンを提示し、それを具体化していくためのテーマを抽出し、それを実行するためのプロジェクト研究の立案を行っていくことが重要になります。そのためには、ともす

れば個人が自己完結的に行っていた研究活動の枠を広げて、分野の異なる研究者が交流するサロン的な場などで活発に議論を行い、広い視野から情報通信のあるべき未来像を創ることだと思います。昨年度末に伊藤前所長の強いリーダシップの下で、研究所の助教以上の教員が各人の将来のビジョンを執筆した「ICT ドリームズ」を上梓しております。各々すぐれて面白い将来像を描いていると思いますので、これなどを議論の種にしてビジョンを作り、その実現に向けたシナリオを提言することなどが考えられます。このような試みは日本の情報通信の長期的な方向性を打ち出し、それを実現する役割を本研究所が担うという意味でも重要なことであると考えています。

最後になりましたが、本研究活動報告書をご覧いただいた方々から、忌憚のないご意見・ご感想を頂けますようお願いして結語としたいと思います。

資　料　編

第１章　予算の概要

本研究所の予算の概要

単位：千円

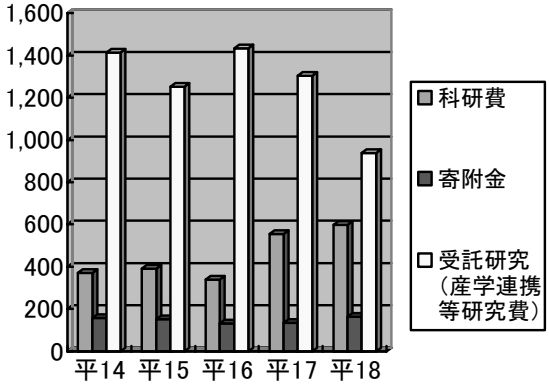
	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度
人　件　費	1,102,276	1,108,605	902,978	984,113	971,482
物　件　費	7,731,675	942,357	1,233,357	1,050,647	927,090
寄　附　金	158,446	152,682	132,530	134,002	163,591
共同利用研究施設運営費	37,826	37,435	37,138	37,309	35,893
施設整備費	6,986,679	0	235,000	0	0
その他物件費	548,724	752,240	828,689	879,336	727,606
産学連携等研究費	1,412,202	1,253,283	1,432,607	1,303,028	937,441
計	10,246,153	3,304,245	3,568,942	3,337,788	2,836,013
科学研究費補助金	371,385	390,190	338,459	554,680	599,040
合　計	(1,942,033) 10,617,538	(1,796,155) 3,694,435	(1,903,596) 3,907,401	(1,991,710) 3,892,468	(1,700,072) 3,435,053

※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 18 年度について大まかに分析すると、その他物件費約 7.3 億円の中の 1.9 億円がナノ・スピン実験施設の維持運営費、0.9 億円が IT２１センターの維持運営費、1.7 億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費、1.4 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 6.0 億円、寄附金 1.6 億円、及び産学連携等研究費 9.4 億円を加えた総額 18.4 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 7.6%である。平成 17 年度の直接研究費総額は 22.7 億円で、平成 18 年度は対前年度比約 18.9%の減少となっている。これは、振興調整費が平成 17 年度で終了したことと、平成 14 年度より 5 ヶ年計画で実施されてきた文科省 IT プログラムにおいて、これまで、本研究所と連携企業等が契約を交わし研究費を委託してきたものが、平成 18 年度から束ね契約方式にかわり、文科省から直接、本研究所連携企業等へ委託されることになった影響によるものである。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。

特に平成 14 年度～18 年度の受託研究の伸び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	２００６年度交付金額	補助金総額	研　究　課　題	採択年度
学術創成研究	枝松　圭一	113,490	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	62,530	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	173,160	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
特定領域研究	長尾和多加	7,900	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
	塩入　　諭	3,900	8,600	視覚の意識的処理と無意識的処理の役割	2006
	矢野　雅文	19,200	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	17,600	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
	中嶋　康治	12,800	42,600	局在電磁波による高速信号伝送を利用した単一磁束量子フーリーエ変換回路の研究	2006
基盤研究（S）	尾辻　泰一	37,830	101,300	低次元プラズモンの分散制御を利用した電磁波伝搬モード型回路の研究	2006
基盤研究（A）	大野　英男	18,980	27,800	ＩｎＡｓ量子カスケードレーザーの高性能化に関する研究	2005
	庭野　道夫	14,300	38,500	半導体表面赤外分光を用いた細胞の動的過程の解明と細胞チップへの応用	2005
基盤研究（B）	白鳥　則郎	5,200	14,600	超高速有線無線網におけるシームレスな人とネットワークの共生コンピューティング環境	2004
	白井　正文	3,600	15,500	ナノ磁性材料におけるスピン構造とそのダイナミクスに関する理論研究	2004
	櫻庭　政夫	4,700	14,700	Ⅳ族半導体原子層制御による電子帯変調と量子トンネル構造形成	2004
	四方　潤一	2,600	15,200	超高速光制御デバイスを用いたテラヘルツ帯バイオフォトニクスの研究	2004
	上原　洋一	2,900	15,600	個々の個体表面吸着種の振動分光	2005
	羽生　貴弘	7,670	14,600	多値双方向同時データ転送技術に基づく高速ＬＤＰＣデコーダＶＬＳＩの解明	2006
	佐藤　茂雄	11,180	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	12,480	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	9,750	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
基盤研究（C）	菅沼　拓夫	900	3,600	ポスト・ユビキタス環境を実現する共生コンピューティング向けプラットフォームの研究	2005
	矢野　雅文	700	3,500	コウモリのシングルエミッションエコーによる物体形状知覚の研究	2005

研究種目	氏　名	２００６年度交付金額	補助金総額	研　究　課　題	採択年度
萌芽研究	佐藤　茂雄	900	3,400	単一核スピン検出用トンネルデバイスに関する研究	2004
	鈴木　陽一	600	2,600	圧縮された音楽信号の原音修復に関する研究	2005
	羽生　貴弘	1,700	3,300	不揮発性デバイスに基づくクイックオンＶＬＳＩシステムの構築	2006
	遠藤　哲朗	2,900	3,700	デバイス設計の自由度を向上させる構造を有する縦型トランジスタに関する研究	2006
若手研究（Ａ）	大野　裕三	11,700	22,600	半導体量子ナノ構造におけるスピン依存伝導とスピン制御	2005
	大谷　啓太	7,670	12,500	偏光制御可能な多重波長量子カスケードレーザー	2006
若手研究（Ｂ）	篠埜　　功	700	1,400	広範囲なデータ型を対象とした機械的プログラム変換手法の確立	2005
	望月　　明	700	3,400	バケット通信に基づくチップ内高速多値データ転送ＶＬＳＩの開発	2004
	北形　　元	800	3,100	セキュアな利用者指向仮想ネットワークの構成法に関する基礎的研究	2004
	片野　　諭	1,100	1,100	走査トンネル顕微鏡を用いた単一分子の電気伝導特性の評価	2004
	青戸　等人	500	1,700	高階関数を用いたプログラム検証および変換技術の高度化に関する研究	2005
	菊池健太郎	500	1,000	シーケント計算に基づく型システムの研究	2005
	岩谷　幸雄	1,100	3,500	個人化頂角ディスプレイのための頭部伝達関数の選択・合成手法	2005
	坂本　修一	1,200	3,300	話者の映像及び話声の性質が高精度高感性音声提示システムに与える影響	2005
	宮本　克彦	700	3,400	広帯域ランダム波長同調可能な中赤外光源の開発とその生体試料識別への応用	2005
	小林慎一郎	600	3,700	有機薄膜電界効果トランジスタ界面への自己組織化単分子膜による変調と静電特性	2005
	小野美　武	1,100	3,200	新しい集積化法による高速・高密度磁束量子回路のニューロ演算への応用	2005
	打矢　隆弘	1,100	1,600	ユビキタス環境向けリボジトリ型マルチエージェントフレームワークの研究開発	2006
	松宮　一道	3,200	3,700	手作業の熟練課程における運動認知の異種感覚協調性のダイナミクス	2006
	長尾和多加	1,700	3,500	トンネル磁気抵抗の第一原理計算	2006
	三森　康義	1,700	3,500	半導体量子ドットにおける双極子ー双極子相互作用コヒーレント効果	2006
	三浦　良雄	1,900	3,600	スピン機能材料の結晶成長プロセスに関する第一原理シミュレーション	2006

２．受託研究費

研究分担者

単位：千円

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2006年度 研 究 費
文部科学省（ＲＲ２００２）	坪内　和夫	次世代モバイルインターネット端末の開発	163,688
文部科学省（ＲＲ２００２）	中村　慶久	超小型大容量ハードディスクの開発	160,643
文部科学省（ＲＲ２００２）	大野　英男	高機能・超低消費電力メモリの開発	184,573
文部科学省 LP（新産業基盤）	水野　皓司	医療用テラヘルツ光診断システムの開発	29,000
文部科学省 LP（e-Society）	大堀　　淳	プログラム自動解析に基づく高信頼ソフトウェアシステムの構築技術	31,992
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	14,821.3
総務省(戦略的情報通信研究開発推進制度)	尾辻　泰一	２次元プラズモン共鳴効果を利用した室温動作高効率テラヘルツ帯フォトミキサーの研究開発	12,738.7
総務省(戦略的情報通信研究開発推進制度)	亀田　　卓	アンテナ一体型超小型双方向無線通信チップの研究開発	8,041.8
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	11,700
総務省(戦略的情報通信研究開発推進制度)	鈴木　陽一	音情報の高信頼高品質ネットワーク通信技術の開発	15,087.8
総務省(戦略的情報通信研究開発推進制度)	小野美　武	単一磁束量子デバイスによるニューロチップの開発	5,064.8
総務省(戦略的情報通信研究開発推進制度)	中沢　正隆	光で時を刻む新Cs原子“光時計”の研究開発	23,147.8
(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構	長　　康雄	ナノテクノロジープログラム/ ナノテク・先端部材実用化研究開発/ 「超高密度強誘電体記録の実用化研究」	22,999.2
(独)科学技術振興機構	大谷　啓太	光・電波境界領域における高機能・低消費電力量子カスケードレーザーの開発	650
(独)科学技術振興機構	小坂　英男	(1)電子g因子の更なる低減とこれに付随する核スピン編極の制御 (2)軽い成孔ｇ因子の測定 (3)横磁場中の最低エネルギー励起子がゼーマン分裂する構造の探索 (4)g因子制御された量子井戸の磁気光学測定による光子-電子スピン転写の実証	5,850
(独)科学技術振興機構	大野　裕三	核スピン初期化法の確立	780
(独)科学技術振興機構	枝松　圭一	広域コヒーレント状態と単一光子の非線形相互作用を用いた量子位相ゲートの開発	2,299.7
(独)科学技術振興機構	庭野　道夫	新規ナノデバイスの構築	2,470

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2006年度 研 究 費
(独)科学技術振興機構	長　康雄	複合型走査型非線形誘電率顕微鏡の開発	159,771
(独)科学技術振興機構	遠藤　哲郎	事業化可能性試験」に関わる「高駆動・低電圧動作なオーミック接合・基板接地型有機トランジスタの設計」に関する研究	2,000
(独)科学技術振興機構	遠藤　哲郎	シーズ発掘試験/ 20GHｚ動作を目指す超高速ロジック回路技術の開発	2,000
(独)科学技術振興機構	石山　和志	シーズ発掘試験/ ワイヤレスマイクロポンプの開発	2,000
(独)科学技術振興機構	坂本　修一	両耳補聴システム用低電力生体通信モジュールの開発	1,210
キーコム(株)(ＪＳＴ事業)	水野　皓司	「60GHｚ帯広帯域フェルミアンテナ及び低歪みレンズの設計」	3,500
(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

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	2006年度研究費
凸版印刷(株)エレクトロニクス事業本部	遠藤　哲郎	次世代集積回路のＣＡＤ技術に関する研究	495
ベクターセミコン(株)	遠藤　哲郎	半導体集積回路の高精度測定システムに関する研究	990
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	4,897
日本電気(株)システムプラットフォーム研究所	鈴木　陽一	マルチスストリーム・マルチパス音響通信技術の研究	3,000
旭化成エレクトロニクス(株)	大野　英男	テラヘルツ帯量子カスケードレーザーの研究	1,142
(独)科学技術振興機構	大野　英男	非磁性半導体中の電子スピンに関する研究	20,000
(株)半導体先端テクノロジーズ	遠藤　哲郎	縦型トランジスタに関する研究	1,580
日産自動車(株)総合研究所 モビリテイ研究所	水野　皓司	ミリ波イメージングの車両応用に関する研究	1,000
(株)アドバンテスト研究所	伊藤　弘昌	小型コヒーレントテラヘルツ光源に関する研究	2,152.5
(株)立国際電気電子機械事業部 半導体装置システム研究所	室田　淳一	歪シリコンデバイス対応成膜技術	4,000
東京エレクトロン(株)	遠藤　哲郎	高密度不揮発性メモリデバイスに関する研究	3,000
(株)富士通研究所	中沢　正隆	超高速光信号処理技術	3,000
(株)光電製作所	伊藤　弘昌	周波数シフト帰還型レーザーによる光遠隔三次元計測機に関する研究	990
アジレント・テクノロジー・インターナショナル(株)	遠藤　哲郎	高周波回路の高効率・高精度測定に関する研究	2,135
(株)ＧＥＮＵＳＩＯＮ	遠藤　哲郎	次世代半導体不揮発性メモリに関する研究	1,420

〈知的クラスター〉

(株)アドバンテスト研究所 インテリジェント・コスモス研究機構	中沢　正隆	次世代フォトニクスに関する研究	40,000
ＮＥＣトーキン(株) 通研電気工業(株) 大井電気(株) リオン(株) インテリジェント・コスモス研究機構	鈴木　陽一	インテリジェントユニバーサルコミュニケーションに関する研究	32,986

〈研究経費なし〉

日本放送協会	沼澤　潤二	映像・音声コンテンツの蓄積配信サーバーの研究	－
早稲田大学ナノ理工学研究機構	遠藤　哲郎	ナノ構造デバイス材料技術に関する研究	－

機　関　名	氏　名	研　究　課　題	2006年度 研 究 費
日本電信電話(株) コミュニケーション科学研究所	鈴木　陽一	音声聴取能力測定法の研究	—
日本放送協会 放送技術研究所	鈴木　陽一	話速変換音声が情報受容に与える影響に関する研究	—
日本電信電話(株) コミュニケーション科学研究所	塩入　論	運動視・形態視情報と色情報の統合過程に関する共同研究	—
日本電信電話(株)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	—

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	１３，６５３	受入人数　　７名

１．３　奨学寄附金の受け入れ

Ａｇｉｌｅｎｔ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｉｅｓ　Ｆｏｕｎｄａｔｉｏｎ	
ＴＤＫ（株）	
ＴＤＫ（株）アプリケーションセンター	
アルプス電気（株）ペリフェラル事業部	
オムロン（株）インダストリアルオートメーションビジネスカンパニー	
（株）Ｗａｖｅ　Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ	
（株）アールデック	
（株）アドバンテスト	
（株）ルネサステクノロジ	
（株）東芝　セミコンダクター社	
（株）東芝デジタルメディアネットワーク社	
（株）東北テクノアーチ	
（株）日立国際電気	
（株）日立製作所システム開発研究所	
（株）日立製作所基礎研究所	
（株）日立製作所研究開発本部	
（株）半導体先端テクノロジーズ	
（株）富士通研究所	
（財）電気通信工学振興会	
（財）放送文化基金	
三洋貿易（株）	
昭和電工（株）	
情報ストレージ研究推進機構	
信越化学工業（株）新機能材料技術研究所	
大陽日酸（株）電子機材事業本部	
電源開発（株）	
ネオアーク（株）	
東日本電信電話（株）	
日立電線（株）研究開発本部	
横河電機（株）通信・測定器事業部	
リオン（株）	
計　　５９件	１６３，５９１，０００円

第２章　研究・学会活動状況

２．１　国際活動

区　　分		2002年度	2003年度	2004年度	2005年度	2006年度	合　計
海外派遣状況（人数）		131	90	100	131	236	688
国際的研究集会・学会等での招待講演者数（人数）		57	59	55	66	54	291
国際共同研究の実施状況（件数）		11	10	6	15	22	64
外国人研究者の来訪状況（人数）	１か月以上滞在	5	10	9	3	8	35
	１週間以上１か月未満	9	3	0	7	13	32
外国人研究員の受入状況（人数）		9	6	10	5	2	32

２．２　発表論文数

区　　分	2002 年度	2003 年度	2004 年度	2005 年度	2006 年度	合　計
掲載された論文数						
学会誌	２０３	１８８	２０９	１９６	２０８	１,００４
国際会議議事録等	２３４	１８７	１６２	１８０	２３３	９９６

2．3 学会役員一覧（2002～2006年度）

国内学会

学会名	役職名	任期	氏名
映像情報メディア学会	名誉会員	−	中村　慶久
日本応用磁気学会	名誉会員	2006.5～	中村　慶久
映像情報メディア学会	会長	2003～2004	中村　慶久
日本応用磁気学会	会長	2003.6～2004	荒井　賢一
日本物理学会	会長	2003.9～2004.9	潮田　資勝
電子情報通信学会エレクトロソサイエティ	会長	2005.4～2006.3	中沢　正隆
日本音響学会	会長	2005.5～2007.5	鈴木　陽一
情報処理学会	副会長	2004.5～2006.3	白鳥　則郎
日本物理学会	副会長	2002.9～2003.9	潮田　資勝
日本真空協会	常任理事	2000.4～2002.3	潮田　資勝
日本物理学会	理事	2002.4～2002.9	潮田　資勝
アメリカ物理学会	理事	2004.1～2005.12	潮田　資勝
エレクトロニクス実装学会	理事	1998～2004	坪内　和夫
日本応用物理学会	理事	2001～現在	庭野　道夫
日本騒音制御工学会	理事	2000.5～2004	鈴木　陽一
日本騒音制御工学会	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	1997～2002	水野　皓司
応用物理学会	評議員	1999～現在	伊藤　弘昌
日本応用磁気学会	評議員	1999.5～2003.5	青井　　基
日本応用磁気学会	評議員	2001.6～2005	村岡　裕明
電子情報通信学会	評議員	2000.5～2002.4	白鳥　則郎
人工知能学会	評議員	2004.4～2006.3	白鳥　則郎
日本表面科学会	評議員	2001～現在	庭野　道夫
映像情報メディア学会	評議員	2003.4～2005	村岡　裕明
映像情報メディア学会	評議員	2005.4～2007.6	沼澤　潤二
日本音響学会	評議員	2002.4～2003.3	長　　康雄
日本ソフトウェア科学会	評議員	2004～現在	大堀　　淳
応用物理学会	代議員	2001.4～2004.3	上原　洋一
応用物理学会	代議員	2006～現在	大野　裕三
日本騒音制御工学会	研究部会長	2002.5～2004.5	鈴木　陽一
光物性研究会	組織委員	2001.4～現在	枝松　圭一
電子情報通信学会	量子情報技術専門委員	2004.4～現在	枝松　圭一
日本表面科学学会	将来計画委員会委員	2002～現在	庭野　道夫

国際学会

学会名	役職名	任期	氏名
IEEE Computer Society	Vice Chair, Technical Committee on Multiple-Valued	1999.6～現在	羽生　貴弘
IEEE Magnetic Society	Administration Committee	2005～2007	村岡　裕明
IEEE Sendai Section	Chair	2006～2007	水野　皓司
IEEE Sendai Section	Secretary	2006～現在	中沢　正隆
IFIP (International Federation for Inofrmation Processing)	日本代表	2004～現在	白鳥　則郎

学　会　名	役　職　名	任　　期	氏　名
IOC (International Organizing Committee)	Chair	2005～2008	水野　皓司
IRMMW-THz (International Conference on Infrared and Millimeterwaves-THz	Chair	2005～2008	水野　皓司

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			
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	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 水野　皓司	イギリス （文部省と英国科学工学研究会議との学術交流企画に参加）	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	教官の交流 共同研究の実施 学術資料の交換
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	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
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	教官等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換 学部学生及び大学院学生等の交流
教授 室田　淳一	ドイツ	半導体物理学研究所	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	教官の交流 共同研究の実施 学術資料の交換
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 （ＣＲＭＣＮ）	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	教員等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換
教授 室田　淳一	ドイツ	アイエイチピー （ＩＨＰ）	2006.1.23	IV族半導体極限ヘテロ構造形成プロセスに関する研究	教員等の交流 共同研究の実施 刊行物の交換

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
橋本　光弘	H16.4.1～H19.3.31	ナノ磁性構造制御による磁気ストレージの超高密度化に関する研究
葭田　貴子	H17.4.1～H19.3.31	周辺視色知覚における視覚的注意と視覚的短気記憶の寄与
小川　　賢	H17.4.1～H19.3.31	光誘起ドーピング法を用いた有機半導体素子のキャリア制御
松坂俊一郎	H17.4.1～H20.3.31	半導体および半導体量子構造における電子スピン・核スピンダイナミクスに関する研究
鬼沢　直哉	H18.4.1～H20.3.31	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
今井信太郎	H18.4.1～H20.3.31	次世代ユビキタスサービスのための知識流通フレームワークに関する研究
高橋　知宏	H18.4.1～H19.3.31	電流モード多値双方非同期データ転送技術に基づく高速情報通信 VLSI に関する研究

教育研究支援者

氏名	任用期間	研究内容
金城　光永	H17.4.1～H18.3.31	量子ビットを用いた知能デバイスに関する研究
山田　靖幸	H18.4.1～H18.9.30	固有ジョセフソン接合の応用に関する研究
上田　　浩	H17.4.1～H18.3.31	複雑ネットワークのモデル化と実システムへの応用に関する研究
Jeroen KETEMA	H18.4.27～H19.3.31	書き換え技術に基づくソフトウェア検証
矢入　　聡	H18.10.1～H19.3.31	実ネットワークトラヒックのモデル化と管理システムへの応用
東海林　篤	H19.1.1～H19.3.31	量子もつれ光源および検出器の開発

外国人研究員

氏名	任用期間	研究内容
AbedinKazi MOONOWAR	H18.4.16～H19.3.31	超広帯域テラヘルツ波発生の研究
Jing SHI	H18.5.15～H18.7.14	半導体へのスピン注入電極に関する研究
Xiaohong XU	H18.7.1～H18.9.30	磁性材料および磁性半導体材料に関する研究
David WEI	H18.8.3～H18.9.1	モバイルコンピューティングと省電力コンピューティング、アドホックネットワークおよびセンサネットワーク、P2P 通信方式に関する研究
Tillack BERND	H18.12.7～H19.1.12	高性能 Si ベースデバイスの原子層制御プロセスの研究
Suhana Binti Mohammad Said	H18.12.13～H19.3.8	脂質二分子を用いたバイオセンシング技術の開発

２．６　特別研究員・大学院生の受入状況

区　　分	2002 年度	2003 年度	2004 年度	2005 年度	2006 年度	合　計
特別研究員	８	７	５	６	７	３３
大学院生	２１２	２１５	２３０	２３４	２２５	１１１６

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 「第4回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際ワークショップ」 4th International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials (MMDM4)	2006年5月8日(月)
2. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第4回半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議」 4th International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS-IV)	2006年8月15日(火)～18日(金)
3. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第2回新IV族半導体ナノエレトロニクス国際ワークショップ」 2nd International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics	2006年10月2日(月)・3日(火)
4. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第2回スピントロニクス国際ワークショップ」 2nd RIEC International Workshop on Spintronics	2007年2月15日(木)・16日(金)
5. 電気通信研究所工学研究会	随時
6. 電気通信研究所産学官フォーラム	2006年11月24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	年１回発行
3. 東北大学電通談話会記録	年３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
吸収クランプを用いた妨害波測定に関する研究	石津　雅也	杉浦　行
陽極酸化による室温動作単一電子トランジスタの作製に関する研究	伊藤　和雅	庭野　道夫
フォトニック結晶ファイバによる800nm帯WDM伝送に関する研究	及川　洋介	中沢　正隆
光フーリエ変換を用いた無歪み高速光伝送に関する研究	大澤　耕	中沢　正隆
ナメクジ微小脳における匂い記憶表現に関する時空間ダイナミクスの研究	大塚耕太郎	矢野　雅文
電子輸送測定による半導体電子スピ ンの磁気応答特性の研究	金城　英人	枝松　圭一
顕微ヘテロダイン非線形分光法による半導体単一量子構造の光学応答	小林　恭輔	枝松　圭一
光ポンププローブ測定による半導体電子スピンの磁気応答特性の研究	執行　英樹	枝松　圭一
動的負荷を用いた多値差動ロジックVLSIに関する研究	白濱　弘勝	羽生　貴弘
直線の到達時間を検出する運動視の神経網モデル	杉江　雄生	矢野　雅文
コウモリ型模擬外耳を用いた３次元空間定位に関する研究	辻村　誠幸	矢野　雅文
２次元プラズモンの分散特性を利用したテラヘルツ帯電磁波放射デバイスに関する研究	西村　拓也	尾辻　泰一
赤外反射吸収分光法を用いたカーボンナノチューブ成長過程のその場観察に関する研究	沼沢　武尊	庭野　道夫
モード同期ファイバレーザを用いたCs光原子時計に関する研究	平山　徹	中沢　正隆
強誘電体ロジックに基づく低電力TCAMの構成に関する研究	堀田　健介	羽生　貴弘
周波数安定化レーザを用いたコヒーレントQAM伝送に関する研究	本郷　淳平	中沢　正隆
ノイズ抑制シートを用いた不要電磁波の低減に関する研究	丸橋　雅幸	杉浦　行
身体イメージのリアルタイム生成による姿勢遷移運動の自律的制御	宮本　怜亮	矢野　雅文
赤外分光法を用いたマイクロ流路内生体分子挙動解析に関する研究	三好　智之	庭野　道夫
Double Gate型３次元構造MOSトランジスタのデバイス設計に関する研究	門間　優太	庭野　道夫
高分子有機トランジスタの動作特性に関する研究	山本　学志	庭野　道夫
磁歪駆動片持ち梁アクチュエータに関する研究	横田　周子	村岡　裕明
TMRロジックに基づく待機電力フリーFPGAの構成に関する研究	渡邊　康広	羽生　貴弘

電子工学専攻

題　　目	著　者	指導教員
非線形透磁率顕微鏡	遠藤　誠	長　康雄
燃焼炎を用いた金属酸化ナノチューブ堆積に関する研究	及川　大治	末光　眞希
InAs短波長量子カスケードレーザに関する研究	大西　秀和	大野　英男
SGTフラッシュメモリの高性能化に関する研究	大場　卓也	舛岡富士雄
Si(110)表面の反応素過程に関する研究	加藤　篤	末光　眞希
半導体表面に吸着した遷移金属原子の電子状態に関する理論研究	國本　和則	白井　正文
SGTフラッシュメモリのFN電流に関する研究	五味　典幸	舛岡富士雄

題　　目	著　　者	指導教員
垂直磁気記録媒体におけるスイッチング磁界分散の研究	近藤　　壮	村岡　裕明
核磁気共鳴による半導体核スピンのコヒーレント制御とその光学検出	近藤　裕佑	大野　英男
GHz帯無線通信用FBARデバイスの研究	佐久　泰臣	坪内　和夫
1.5μm帯高ピークパワーパルス光源とその非線形光学応用の研究	杉山　　卓	伊藤　弘昌
強誘電ナノドメインドットの断面計測	大門　靖裕	長　　康雄
強誘電体記録用トラッキング技術に関する研究	田中　健巧	長　　康雄
無線通信端末用小型アンテナモジュールの研究	戸崎　　篤	坪内　和夫
ハードディスク装置を用いるファイルサーバの高速化の研究	戸嶋　政文	村岡　裕明
SGT DRAMに関する研究	富澤　英之	舛岡富士雄
超広帯域無線通信システムの研究	トラン ハオ ゴク	坪内　和夫
垂直磁気記録媒体の信号品質の経時変化に関する研究	中本　篤志	村岡　裕明
数１０GHz帯の高速回路の安定動作技術に関する研究	羅　炯竣 ナ ヒョンジュン	末光　眞希
光注入型KTP-OPGによる狭線幅THz波発生の研究	名和原　彬	伊藤　弘昌
水素化Si(110)表面の酸化過程に関する研究	長谷川　智	末光　眞希
磁性元素をドープしたGaNのMBE成長と評価	播磨　利彰	大野　英男
強磁性半導体磁壁移動素子に関する研究	福田　昌紘	大野　英男
無線通信用超小型三次元実装SiPの研究	増田　耕平	坪内　和夫
大気圧プラズマを用いたSi系薄膜堆積に関する研究	松本　光正	末光　眞希
Carbon Atomic Layer Growth on Group IV Semiconductors by Plasma Processing (プラズマプロセスによるIV族半導体表面へのC原子層成長に関する研究)	ローランド　ビーノ　バンタクーロ	室田　淳一
分子線エピタキシ法による酸化亜鉛の結晶成長に関する研究	山尾　美幸	大野　英男
垂直磁気記録におけるトラック端記録状態の研究	山川　慶之	村岡　裕明

情報基礎科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
MobileIPv6-MIBs for Management of Next Generation Ubiquitous Networks and Its Applications (次世代ユビキタスネットワーク管理におけるMobileIPv6-MIBとその応用)	グェン タン チュン Nguyen Thanh Trung	白鳥　則郎
ネットワークイベントの広域分散型管理に関する研究	小松　達也	白鳥　則郎
多対多マルチメディア通信のためのアプリケーションレベル経路木反復構成法	髙野健一郎	白鳥　則郎
ユビキタス情報環境における情報資源の効果的なコンテクスト管理	東海林祥一	白鳥　則郎
共生コンピューティングに基づく利用者にやさしい見守り支援システム	山中　一宏	白鳥　則郎
MANETにおけるスループット向上のためのフレーム結合型ペーシング手法	渡部　修平	白鳥　則郎

システム情報科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
身体形状モデルを用いた頭部伝達関数の特徴解析	小笠原　亮	鈴木　陽一
多数マイクロホンによるバーチャル収音再生手法の研究	門井　　涼	鈴木　陽一
アソシエーション分析を利用した音情報電子透かしの研究	佐々木直哉	鈴木　陽一

論文題目

題　　目	著　　者	指導教員
音質評価における音質知覚因子に関する基礎的研究	高崎　政久	鈴木　陽一
頭部伝達関数の主観聴取選択用評価指標に関する基礎的研究	楊　　洋	鈴木　陽一

応用情報科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
磁束量子信号処理回路による高速フーリエ変換システムの集積化に関する研究	アレシャンドレ アキオ ラジ マルチンス	中島　康治
逆関数遅延モデルによる最適化問題処理ニューロシステムの設計に関する研究	佐藤　朱里	中島　康治
能動的情報資源を用いたウェブコンテンツ推薦に関する研究	武田　　理	木下　哲男
ブレインライク最適化システムのディジタルプロセッサ構成に関する研究	永嶋　宏和	中島　康治
エージェントシステムと非エージェントシステムの相互運用機構	真船　　勉	木下　哲男
マルチエージェントによる染色体領域の抽出・同定手法に関する研究	山口　　傑	木下　哲男
オントロジーを用いたエージェント組織化手法に関する研究	吉永　純也	木下　哲男

3．2　博士論文

電気・通信工学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
大容量無線ネットワークの研究	飯塚　　昇	坪内　和夫
電源線伝導妨害波の抑圧に関する研究	占部順一郎	杉浦　　行
有機トランジスタの界面評価と制御に関する研究	小川　　賢	庭野　道夫
フォトニック結晶ファイバによる800nm帯高速光伝送技術に関する研究	長谷川英明	中沢　正隆
フォトニック結晶ファイバによる800nm帯WDM伝送に関する研究	花邉　充広	尾辻　泰一
近距離デジタル無線通信システムに対する電磁妨害波の影響に関する研究	村上　隆秀	杉浦　　行

電子工学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
積層記録層を有するグラニュラ系垂直記録媒体の研究	稲葉　祐樹	村岡　裕明
Strained Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100) Heterostructure Formed by Stripe-Shape Patterning(微細加工により形成した歪Si/$Si_{1-x}Ge_x$/Si(100)ヘテロ構造に関する研究)	嚴　　丈雄 ウォム ジャンウン	室田　淳一
テラヘルツ帯導波路デバイスに関する基礎的研究	太田　洋恵	伊藤　弘昌
光増幅器の動的応答と制御に関する研究	高野　勝美	伊藤　弘昌
導波路型擬似位相整合波長変換デバイスの高性能化に関する研究	谷口　浩一	伊藤　弘昌
垂直磁気記録媒体のナノ磁性構造に基づく高密度記録機構の研究	橋本　光弘	村岡　裕明
ナノスケールSGTに関する研究	日高　　剛	舛岡富士雄
無線通信用電流モードアナログLSIの研究	朴　　龍雲	坪内　和夫
無線IPアクセスネットワークの研究	山形　文啓	坪内　和夫

情報基礎科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
マルチメディア通信サービスにおける知識型マルチエージェントに基づく柔軟なQoS制御方式	今井信太郎	白鳥　則郎

応用情報科学専攻

題　　目	著　　者	指導教員
エージェント指向マルチメディア通信システムの構成手法に関する研究	髙橋　晶子	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	研究課題・功績名等
文部科学省・平成18年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞	大谷　啓太	半導体スピントロニクス研究部	半導体工学分野における量子カスケードレーザの研究
情報処理学会東北支部 情報処理学会東北支部奨励賞	渡邊　康広	ブレインアーキテクチャ研究部	TMRロジックに基づくStand-by電流フリーFPGA
電子情報通信学会 第４３回業績賞	坪内　和夫	先端ワイヤレス通信技術研究分野	スペクトル拡散通信モデムの開発と実用化
総務省 第５６回「電波の日」 総務大臣表彰	杉浦　　行	通信環境工学研究分野	安全に電波を利用できる環境整備へ多大な貢献
応用物理学会 第20回講演奨励賞	山ノ内路彦	半導体スピントロニクス研究部	(Ga,Mn)Asにおける電流誘起磁壁移動速度の電流密度及び温度依存性
Thomson Scientific Laureate (Physics) トムソンサイエンティフィック栄誉賞	中沢　正隆	超高速光通信研究分野	2006年度ノーベル賞受賞者発表に先立ち、今年度または近い将来ノーベル物理学賞受賞の可能性のある有力な候補者として選出
社団法人電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ エレクトロニクスレター論文賞	舛岡富士雄	固体電子工学研究分野	ＳＧＴ試作のためのＳｉ柱側壁の犠牲酸化
社団法人電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ エレクトロニクスレター論文賞	中村　広記	固体電子工学研究分野	ＳＧＴ試作のためのＳｉ柱側壁の犠牲酸化
中国科学アカデミー半導体研究所名誉教授号	大野　英男	半導体スピントロニクス研究部	半導体スピントロニクスにおける優れた業績に対して授与
モバイル・コミュニケーション・ファンド 第５回ドコモ・モバイル・サイエンス賞	長　　康雄	誘電ナノデバイス研究分野	次世代移動体通信用超高密度ＳＮＤＭ強誘電体プローブメモリに関する研究
Acoustical Society of America（アメリカ音響学会） 第4回日米音響学会ジョイントミーティング2006 シルバーメダル授与(功績)	鈴木　陽一	先端音情報システム研究分野	日米音響学会共催、第４回ジョイントミーティング開催のための計画・編成などにおける、多大な功績を評して授与
Acoustical Society of America（アメリカ音響学会） 第4回日米音響学会ジョイントミーティング2006 音響工学（学生）部門１位	李　　軍鋒	先端音情報システム研究分野	A new speech enhan c ement method for two-input two-output hearing aids （２入力２出力補聴処理システムへの適用を考慮した新しい音声強調手法）
IEEE Sendai Section Student Award 2006 "The Best Paper Prize"	及川　洋介	超高速光通信研究分野	10 Gb/s x 4 channel WDM transmission over a 3 km-long photonic crystal fiber in the 800 nm region

賞　　名	氏　　名	所属分野・部・センター	研究課題・功績名等
IEEE Sendai Section Student Award 2006 "The Best Paper Prize"	大澤　　耕	超高速光通信研究分野	Fiber transmission of microwave and optical standard signals using a mode-locked fiber laser in the GHz region
IEEE Sendai Section, Student Award (The Encouragement Prize)	小川　悟史	コミュニケーションネットワーク研究分野	Network-Independent and User-Oriented Name Resolution Scheme
IEEE Sendai Section, Student Award (The Encouragement Prize)	モスタファ ムジディ	コミュニケーションネットワーク研究分野	An Adaptive Transmission Control Scheme for MANET
第１２回アジア・南太平洋地区設計自動化国際会議(ASP-DAC 2007)大学設計コンテスト部門 Special Feature賞	羽生　貴弘 松永　翔雲	ブレインアーキテクチャ研究部	Implementation of a Standby-Power-Free CAM Based on Complementary Ferroelectric-Capacitor Logic （相補形強誘電体キャパシタロジックに基づく待機電力フリーＣＡＭの実現）
第１２回ゲートスタック研究会 服部賞	富樫　秀晃	学際科学国際高等研究センター	Ｓｉ（１１０）－１６×２初期酸化過程のＳＴＭ観察
東北大学大学院工学研究科 工学研究科長賞	小川　　賢	ナノ分子デバイス研究部	有機トランジスタの界面評価と制御に関する研究
東北大学大学院工学研究科 電気・情報優秀賞（博士）	山ノ内路彦	半導体スピントロニクス研究部	強磁性半導体における電流誘起磁壁移動に関する研究
東北大学大学院工学研究科 電気・情報優秀賞（修士）	及川　洋介	超高速光通信研究分野	フォトニック結晶ファイバによる800 nm帯WDM伝送に関する研究
東北大学大学院工学研究科 電気・情報優秀賞（修士）	平山　　徹	超高速光通信研究分野	モード同期ファイバレーザを用いたCs光原子時計に関する研究

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
OSA	伊藤　弘昌
OSA	中沢　正隆
アメリカ物理学会	潮田　資勝
アメリカ音響学会	鈴木　陽一
イギリス物理学会評議会	大野　英男

IEEE = The Institute of Electrical and Electronics Engineers
OSA = Optical Society of America

国内学会

学　会　名	氏　名
電子情報通信学会	水野　皓司
電子情報通信学会	中村　慶久
電子情報通信学会	伊藤　弘昌
電子情報通信学会	白鳥　則郎
電子情報通信学会	中沢　正隆
電子情報通信学会	杉浦　　行
情報処理学会	白鳥　則郎
映像情報メディア学会	沼澤　潤二

第5章　トピックス

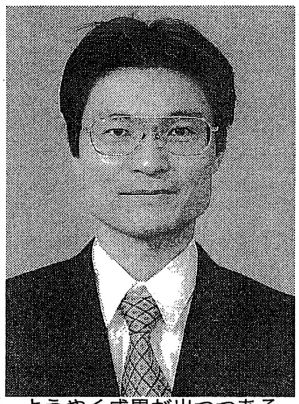
日刊工業　平成19年1月22日(月)〈21面〉掲載

芽はぐくむ研究室

東北大学・小坂英男助教授

量子中継器研究に本腰

テレポーテーションで1000km実現へ



ようやく成果が出つつある段階に来た…と小坂助教授

東北大学の小坂英男助教授は「量子テレポーテーション」技術を使って、未来の量子情報通信に必須な中継器の実用化に向けた研究に取り組む。

物質そのものではなく、量子の「状態」を瞬時に遠隔地へ転送するテレポーテーションはすでに実験レベルで成功しており、決してSFじみた空想の物語ではない。これを基盤技術とした量子中継器が実現すれば、「現状で150キロメートル程度が限界の量子情報通信が、10年後には約1000キロメートルまで延長できるようになる」という。

小坂助教授の研究テーマは「単一光子から単一電子スピンへの量子メディア変換」。科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（CREST）と、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）から支援を受ける。活発な量子情報処理研究分野のなかで小坂助教授は代表者を務め、産業技術総合研究所や理化学研究所などと共同で研究を進める。

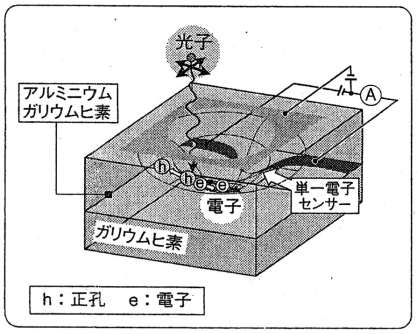
量子中継の実現には単一の量子「量子ビット（キュービット）」を使った量子通信と量子演算の二つの機能が必要になる。さまざまなキュービットを使った研究が世界中で試みられているが、小坂助教授は通信に有利な「光子キュービット」と演算に向く「電子スピンキュービット」の双方を利用する新しい方法を考案した。

そもそも量子中継の目的は通信の絶対的安全性を確保しつつ、情報を符号化した暗号の鍵を長距離間で生成することにある。光子から電子スピンに変換する「適材適所な」（小坂助教授）半導体素子が実現すれば、鍵生成時間が伝送距離に対して指数的に増大するのを阻止でき、いわゆる〝スケーラブル〟な距離延長が可能になるという。

小坂助教授はNECの主任研究員だった3、4年前に、量子中継器を使わずに通信距離を当時の最高値だった70キロメートルから100キロメートルまで伸ばす実験に成功、世界をリードする実績を残した。しかし実用化することを考えれば、今後は量子中継器の研究が不可欠になる。

NECを休職して客員研究員を務めた米カリフォルニア大学時代に新しい量子中継器の研究に出会い、「この量子中継器の研究に本腰を入れたい」とNECを退職、03年に東北大学電気通信研究所に拠点を構えた。研究室をゼロから立ち上げ、1年前には本格的な実験環境が整った。小坂助教授は「ようやくここ5年ほどだという。量子暗号通信や量子コンピューターなど、量子中継の実現が開く未来に期待がかかる。

（藤木信穂）



単一光子から単一スピンへの量子状態転写を実証するための半導体量子デバイス

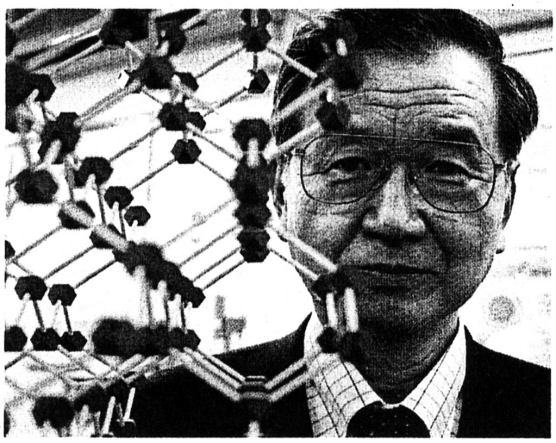
先端技術

Busi ness Week　2006年 4 月 3 日掲載

VoicesofInnovation

Thanks for the Memory

FLASH MEMORY CHIPS, which store data in cell phones, digital cameras, and music players, didn't exactly arrive in a flash. They were invented more than two decades ago by Fujio Masuoka, a midlevel factory manager at Toshiba. He was supposed to be working on chips called DRAMs (for dynamic random-access memory), which became the workhorses of the personal-computer revolution. But such semiconductors retain data only when the computer is switched on. That wasn't good enough for Masuoka. His heart was set on memory chips that would preserve the user's data whether the power was on or off, thus eliminating the need for fragile hard-disk drives.



The flash chips Masuoka developed now store data for all sorts of electronics

Few engineers had faith in Masuoka's ideas at the time. But the intervening years have provided sweet vindication to the circuit designer, who is now 62 and a professor at Tohoku University in the northern Japanese city of Sendai. Global demand for flash memory is poised to hit $25 billion this year, according to research from CLSA Asia-Pacific Markets, thanks mostly to fast-proliferating handheld gadgets. And on Mar. 21, Samsung Electronics unveiled the world's first 32-gigabyte drive built entirely of flash. This drive should lead to a new breed of futuristic—albeit expensive—notebooks. They'll be shock-resistant; they should boot up in seconds rather than minutes; and they could stay powered-up 50% longer than other notebook PCs between battery charges.

Nobody anticipated such a development in the early 1980s, when Masuoka began bucking conventional wisdom on data storage. "Simply put, I wanted to make a chip that could one day replace all other memory technologies on the market," he explains. To pull it off, Masuoka drew four other engineers into an ad hoc team and came up with a blueprint. In 1981 he filed a patent for EEPROM—short for electrically erasable, programmable read-only memory. One of Masuoka's colleagues simplified that to flash memory, because the transistors' ability to erase data in a split second reminded him of a camera flash.

Despite Samsung's recent announcement, many industry experts continue to question the long-term implications of Masuoka's invention. "If you're talking about servers or desktop PCs, flash memory will never replace hard-disk drives," says Nam Hyung Kim, an analyst at market research firm iSuppli. "Hard drives are 100 times cheaper."

Price, however, depends on volume, and production of flash memory is poised for an historic growth spurt. Intel, the world's biggest chipmaker and an early proponent of one type of flash, has inked a $2.4 billion joint venture with Micron Technology to produce such chips for consumer products and for PCs.

Toshiba, meanwhile, ranks as the world's second-largest flash memory maker, after Samsung. Masuoka says he is glad the company is profiting from his brainchild, but their relations have been strained for many years. In the '80s, Toshiba was slow to realize that it was sitting on a breakthrough, Masuoka says. The truth didn't sink in until Masuoka made a presentation at an international chip conference in San Jose, Calif., in 1984. Four years later, Intel came up with a competing version that was easier to manufacture.

Intel's move finally galvanized Toshiba, and Masuoka was promoted to head one of its advanced research labs. But his bluntness made him enemies in a culture where compromise and consensus are prized. Masuoka left Toshiba in 1994, after a run-in with his boss got him transferred to a position without staff or funds. In 2004 he sued the company for what he considered his rightful cut of its profits on flash: about $9 million. The case is pending in a Tokyo court.

Masuoka now predicts that current versions of flash may reach their technological limits in a few years. But he's convinced that some type of low-cost, 3D chip will eventually chase disk-drive makers out of business. There will always be another barrier, he concedes, but "someone will come up with a breakthrough technology to get around it." ■

-By Kenji Hall

BusinessWeek online Fujio Masuoka discusses the early days of flash memory in a Q&A at www.businessweek.com/extras

TORIN BOYD/POLARIS

日経産業　平成18年5月16日㈫〈9面〉掲載

Techno online

ネーミングの効用　難解な現象を平易に

日本物理学会会長の佐藤勝彦・東京大学大学院教授が新聞紙上で「科学への理解力向上にはネーミングが重要」といった趣旨のことを述べておられた。若者の理科離れ現象の背景に難解そうで取っつきにくいという声があるのを考えると、核心を突いた提言かもしれない。

同教授によれば、宇宙が生まれ、極微の状態から急激に膨張した現象を指して自らは「指数関数的膨張宇宙」と呼んだが、後に米国の研究者が「インフレーション宇宙」と呼んだので、「うーん、いいネーミングだ」と思わず叫んだという。宇宙が誕生したときの大爆発を指す「ビッグバン」についても同じことが言える。

科学の世界、技術の世界を問わず、ネーミングには感性への訴求力が大事な要素となる。

日本発の技術であるフラッシュメモリーは、電源を切ってもデータが消えない半導体の一種。従来のEEPROMというメモリーでは情報の消去が一ビットずつしか対応できないのに対し、フラッシュではすべて同時に一括消去が可能だ。

発明者の舛岡富士雄氏（現東北大学教授）は学会発表の際、何か参加者にうけるネーミングはないかと仲間と知恵を絞ったところ、一括消去という動作がヒントになって、写真のストロボのあのフラッシュという名称が浮かんだ。最初の論文ではフラッシュEEPROMと呼んだが、現在ではフラッシュメモリーが一般的な呼称となった。

難解な現象を平易に伝えるために、一般の社会現象や文化的事象のアナロジー（類推）を採用するのも一案である。

結晶の精製技術の一つにゾーン精製法と呼ばれるものがある。これは原料をボート状の容器に入れ、一方から他方へ順々に加熱・固化させていく手法。すると、不純物は初めに固まった部分からは消え去り、最後に固まる部分に集まる。

このような現象は専門的に「偏析」と呼ばれているが、これは一国の住民がある地域から他の地域に移り、人口分布がどんどん偏っていく「セグリゲーション」になぞらえたものだ。

学問の世界では「文理融合」が叫ばれているが、ネーミングにもその視点が必要のようだ。

（工業調査会会長　志村幸雄）

日経　平成18年7月28日㈮〈9面〉掲載

東芝のフラッシュメモリー関連特許の発明対価を巡る訴訟は、東京地裁で二十七日、東芝が元社員の舛岡富士雄・東北大教授（63）に和解金八千七百万円を支払うことで和解が成立した。同教授は和解後の会見で「従来の報奨金に比べて大きな前進」と述べたが、和解勧告の金額は「総合判断」というあいまいなもの。知的財産の評価方法にはなお課題が残る。

「裁判所とはいえ発明対価を適正に算定するのは現実的に難しい面がある。和解を勧めるしかなかったのだろう」。特許を持つ企業が多数加盟する日本知的財産協会の土井英男事務局長は指摘する。

殊に今回の東芝のように他メーカーと特許を相互に許諾し合う「包括クロスライセンス契約」を結んでいるケースでは、裁判所が個々の特許の発明対価を算定するのは一層困難。こうした事情から、裁判所の和解勧告で原告・被告双方が合意する現実的な決着に結びついたという見方は多い。

早稲田大学知的財産戦略研究所の梅原潤一・客員教授は「この種の電子関連特許なら億単位の対価支払いを命じる判決が出てもおかしくない。例えば、和解条件に今後の共同開発の約束など研究者にメリットがあるなら別だが、純粋に発明対価だとしたら安いと思う」と話す。

東芝社内でも今回の和解について今後のビジネスに影響はないと歓迎する声が多く、他メーカー幹部も「東芝にとってこの和解金は安い」とみている。

玉井克哉・東大教授は「判決と違い、和解決着では八千七百万円の算定根拠が分からない。優れた人材を日本に引き付けるためには、研究者が適正な報酬を得られる明確なルール作りを各企業が進める必要がある」と指摘する。

東芝フラッシュメモリー訴訟 和解

知財評価なお課題

高額な発明対価が認められた主な例

対象の特許権	時期	発明対価	相手企業
青色発光ダイオード・1審判決	04年1月	600億円（支払い命令は200億円）	日亜化学工業
同・控訴審で和解	05年1月	6億800万円（支払総額は8億4000万円）	同
光ディスク読み取り装置・1審判決	02年11月	約3500万円	日立製作所
同・控訴審判決（上告中）	04年1月	1億6500万円（支払い命令は1億6300万円）	同
人口甘味料の特許・1審判決	04年2月	1億9900万円（支払い命令は1億8900万円）	味の素
同・控訴審で和解	04年11月	1億5000万円	同
フラッシュメモリー	06年7月	8700万円	東芝

難しい発明対価の算定

河北新報　平成18年7月28日㈮〈3面〉掲載

半導体特許訴訟

発明対価8700万円で和解

東芝と元社員の東北大教授



携帯電話やデジタルカメラなどに広く使われている半導体「フラッシュメモリー」の開発者で、東芝（東京）の技術者だった舛岡富士雄東北大教授（六三）が特許権を会社に譲渡した対価の一部として約十億円の支払いを求めた訴訟は二十七日、東芝が舛岡教授に和解金八千七百万円を支払うことを条件に、東京地裁（設楽隆一裁判長）で和解が成立した。

和解が成立し記者会見する舛岡富士雄東北大教授（左）＝27日午前、東京・霞が関の司法記者クラブ

企業内発明の対価をめぐる訴訟で決着したケースの中では、三番目の高額とみられる。

東芝によると、和解は訴訟で争われたフラッシュメモリーの発明だけでなく、舛岡教授が東芝在職中に単独または共同で関与したすべての発明が対象。

請求額に比べて和解金は大幅に少ないが、舛岡教授は記者会見で「会社からこれまでに受け取った対価の六百万円に比べれば、けた外れに評価された金額。技術を大事にする方向性が日本の産業を発展させる。和解は大きな前進」と評価した。

訴状によると、舛岡教授は東芝に勤務していた一九八〇年と八七年、小型記録媒体を構成する二種類のフラッシュメモリーを開発。東芝は計四十一件の特許を取得した。

フラッシュメモリーは携帯電話などのほか、家庭用ゲーム機器や携帯用音楽プレーヤーにも使われ、舛岡教授は特許使用料や国内外での独占的販売で、東芝は少なくとも二百億円の利益を得たと主張。舛岡教授が受け取るべき発明の相当対価を八十億円とし、一部を請求した。

これに対し、東芝側は「舛岡教授一人で発明したわけではない」などと反論していた。

舛岡教授は七一年、東北大で博士号取得後、東芝に入社。九四年に退社し、同大工学部教授となった。

毎日　平成18年7月28日㈮〈1面〉掲載

発明対価8700万円

フラッシュメモリー訴訟和解

東芝と元社員

携帯電話などに使われている記憶装置「フラッシュメモリー」を発明した東芝の元社員で東北大電気通信研究所の舛岡富士雄教授（63）が、特許権を会社に譲渡した対価の一部として、計11億100万円の支払いを求めた3件の訴訟は27日、東京地裁（設楽隆一裁判長）で和解が成立した。東芝が8700万円を支払う内容。先週、東京地裁が8700万円という金額を明示して和解を勧告していた。舛岡教授側は、その他の請求を放棄した。

（3面にクローズアップ）

訴状などによると、舛岡教授は東芝在職中の80年と87年、パソコンなど機械内部で使われる「NOR（ノア）型」と、デジタルカメラのカードをはじめとするコンパクトフラッシュなどの外部記憶装置として使用する「NAND（ナンド）型」の2種類のフラッシュメモリー半導体を発明。特許権を譲り受けた東芝は国内だけで41件の特許を取得した。

舛岡教授側は04年3月～05年9月に提訴。「他の企業から受け取った特許使用料や製品の売り上げなどで、東芝は少なくとも200億円の利益を得た」として、本来受け取るべき発明の相当対価は80億円だと主張。その一部を請求していた。

東芝側は訴訟で「舛岡教授の発明は単なる改良発明で、問題の特許によって得た利益はない」と反論し、争っていた。

和解後に舛岡教授は「これまでに受け取った報酬から考えれば大きな前進。請求額に比べれば少ないのは確かだが、満足している」と話し、弁護団も「発明家を勇気づける報奨制度を裁判所が作ってくれた。そういう意義のある和解だ」と評価した。【高倉友彰】

毎日　平成18年7月28日㈮〈3面〉掲載

発明の対価 東芝訴訟和解

相場「1億円前後」に

デジタルカメラや携帯電話に欠かせない記憶装置「フラッシュメモリー」の発明対価として、東芝が元社員で東北大電気通信研究所の舛岡富士雄教授(63)に対し、8700万円を支払うことで合意した27日の和解は、「1億円前後」という対価の相場観を作る内容といえる。今後の同種訴訟や企業の対応に影響を与えそうだ。

「大発明の対価は『1億円もしくは準ずる金額』という3件の先例に続く和解だ」。和解成立を受けて会見した舛岡教授の代理人、升永英俊弁護士は、そう意義付けした。

3件の先例とは▽CD読み取り▽人工甘味料▽青色発光ダイオード(LED)――を巡る各訴訟を指す(別表)。判決や和解での金額を見れば、一般消費者も恩恵にあずかるような発明の対価は「1億円前後」という相場ができつつあると言えそうだ。

職務発明の対価の基準を発明者と「協議」したり「意見の聴取」をするよう会社側に求めた改正特許法(05年4月施行)は、04年1月に具体的な改正内容の検討を始めた。この検討時期と「1億円前後」の対価を司法が認めた時期はおおむね重なる。発明者の権利を保護する法改正を意識した司法判断がうかがえる。

今回の訴訟でも、東京地裁は係争中の3件のうち2件が結審した直後、8700万円という金額を明示して和解を勧告した。金額の根拠は示されなかったが「いつでも判決を言い渡せる状態での勧告には逆らえない」と升永弁護士は言う。

ただし「1億円前後」の相場が固まるか否かは社側と発明者の貢献度などを比べて金額を算出するのが一般的だが、専門家によると過去の裁判で会社側の貢献度は35～95%と事例ごとに大幅に違っていた。

知的財産権に詳しい松村信夫・大阪市立大法科大学院特任教授によると、最近は会社側の貢献度が重視され、発明者の対価が低くみられる傾向にあるという。「その流れに沿った和解だ。発明者の地位向上は対価だけではなく(人事などの)扱いなども含めた長期的・政策的な配慮が必要だろう」と指摘する。【高倉友彰】

訴訟、企業改革後押し

発明を巡って技術者が裁判を起こす動きは、90年代末から相次ぎ、法律改正、さらに企業改革を促す原動力となった。

会社での発明(職務発明)の取り扱いを定めた特許法旧35条が「発明の権利は従業員にあり、相当の対価で会社に譲渡できる」と定めていたものの、「相当の対価」を明示していなかったことから、労使の争いが法廷に持ち込まれ「訴訟ラッシュ」となった。これを機に35条は改正された。

厚生労働省所管の「労働政策研究・研修機構」が今年7月に公表した上場企業対象(37・8%社)の調査では「最近5年間で、対価見直しで報奨金支給を引き上げた」とした社は、回答した613社のうち44%と、02年当時の調査に比べ20%以上も増加。労使協議の場を持ち、内外に公表する企業も増えるなど、法改正が企業内の改革を後押ししている。

例えば、東芝や三菱電機、松下電器産業など家電メーカーをはじめ、自動車メーカーではホンダ、製薬会社の武田薬品工業、第一三共などは、発明による報奨金の上限を撤廃。さらに「発明相談委員会」「工業所有権審査委員会」など、報奨金に関する異論や相談を受け付ける窓口を設けて対応している。

しかし「1億円相場」の流れは、長期的に見て技術者のやる気をそぐ恐れもある。

05年1月、東京高裁の勧告で日亜化学工業と和解し、1審で認定された対価200億円を8億円に減額された中村修二・米カリフォルニア大サンタバーバラ校教授(53)は「司法は企業を守る発想に立っており、最高裁に持ち込んでもムダだというあきらめから和解を受け入れた。舛岡さんもそういう気持ちではないか」と語る。

政策研究大学院大学の隅蔵康一・助教授(知的財産権)は「8700万円という金額は日本のプロ野球のスター選手の年俸に満たない。技術の世界でも成功物語があれば、子供たちが理工系を目指し、次世代を担う技術者が増えるという好循環が生まれるだろう」と話す。【元村有希子】

■職務発明の対価を巡る主な裁判■

企業(対象の技術)	裁判状況	判決や和解額	発明者請求額
オリンパス(ビデオディスク)	最高裁判決(03年4月)	約230万円	2億円
日立製作所(CD読み取り)	最高裁審理中(04年1月※)	約1億6300万円	2億5000万円
味の素(人工甘味料)	高裁で和解(04年11月)	約1億5000万円	約6億9000万円
日亜化学工業(青色LED)	高裁で和解(05年1月)	8億4391万円	201億円
東芝(フラッシュメモリー)	地裁で和解(06年7月)	8700万円	約11億円
キヤノン(プリンター)	地裁審理中	― ―	10億円

※東京高裁の判決日

クローズアップ2006



舛岡富士雄氏

フラッシュメモリー　デジタルカメラ、デジタル携帯音楽プレーヤーなどに幅広く使われている記憶媒体。小型化でき、データをメモリー内部に読み書きする速度が速く、衝撃に強いのが特徴。東芝によると、05年の全世界の市場規模は約1兆3000億円と前年の1・5倍に拡大し、08年には2兆6000億円程度に成長する見通し。米調査会社のアイサプライ社の調べでは、東芝の世界出荷シェアは約25%で、韓国サムスン電子に次ぐ2位。

日刊工業新聞　平成18年7月28日㈮〈39面〉掲載

フラッシュメモリー訴訟

「発明報酬」8700万円

東芝、元社員舛岡氏と和解

携帯電話やデジタルカメラに使われる記録媒体のフラッシュメモリーを発明した東芝元社員で、東北大電気通信研究所の舛岡富士雄教授が同社に特許権の譲渡対価の一部として約11億円の支払いを求めた訴訟は27日、東芝が和解金8700万円を支払うことを条件に東京地裁（設楽隆一裁判長）で和解が成立した。

訴えによると、舛岡教授は東芝在職中の80年と87年、2種類のフラッシュメモリーを発明。東芝は計41件の特許を出願し、認められた。同教授は在職中に年数十万円、94年の退職後は計約600万円の報酬を受け取ったが、特許で東芝が得た利益は200億円を下らないと指摘。対価は80億円と主張していた。

東芝側は「支払う必要はない」と反論し争ったが、今月19日に裁判長が和解勧告していた。

フラッシュメモリーは、電源を切ってもデータが消えないなどの特徴を持つ半導体記憶装置。消費電力が小さく、パソコンやデジタルカメラ、携帯音楽プレーヤーなど広く使われている。

発明の対価訴訟では昨年1月、青色発光ダイオードをめぐり日亜化学工業が元社員の中村修二氏に過去最高額の8億4000万円を支払うことで東京高裁で和解。人工甘味料の発明では、味の素が元社員に1億5000万円を支払って和解したほか、日立金属に発明対価の1割を元研究員へ支払うよう命じる判決が最高裁で確定している。

今回の東芝と舛岡東北大教授の訴訟・和解は、職務発明に対する報奨制度のあり方と深くかかわっている。社員の発明に関する多くの訴訟や和解事例を見て、また、05年4月の特許法35条改正（別記）を踏まえ各企業は今、報奨制度をどう整備しているのだろうか。

日刊工業新聞が6月に主要企業約220社を対象に実施した「研究開発に関するアンケート」によると、この1、2年で「報奨制度を変更した」と答えた企業が77・4％と4分の3以上に達している。変更内容は「不服申立制度の整備」が、何らかの変更をした企業の71・4％と一番多く、以下「報奨算定の手法変更」（66・1％）、「報奨水準の引き上げ」（53・6％）、「報奨上限の撤廃」（同47・6％）と続く。

その他、「支給適用を10年間、遡及（そきゅう）させる」、「外国特許に対する報奨の充実」、「対価を定めるプロセスを改善」、「退職者への支払い」など多様な取り組みも出ている。

東芝では「不服申立制度の整備」のほか、一部補償金支給対象特許および補償金算出方法の明確化を実践している。

特許法35条（職務発明）従業者等（従業員など）が社命に基づいて発明をした場合、「使用者等」（会社など）が従業者等に〝相当の対価〟を支払う義務があるとする規定。

職務発明を発明者である従業員などから承継することを勤務規定などによってあらかじめ定めておくことができ（特許法35条2項の反対解釈）、会社が従業員から職務発明を承継した場合、会社は相当の対価を従業者に支払わなければならない（特許法35条3項）。

05年4月の改正は発明の対価の基準について会社と従業員が協議し、十分に従業員に知らせる（協議、開示、意見聴取）ことを基本としている。

進む職務発明報奨、整備

「制度変更した」77％

本社アンケート

人と会社

東芝「主張考慮された」

事業拡大へ早期解決選択

東芝は今回の和解勧告について「貢献度の評価として、事業として利益を得るには大規模な投資が必要で、そのリスクは企業が負担していることなど、当社主張や職務発明対価に関する考え方が考慮された内容だった」（同社）と判断し、和解を決めた。

同社では、この和解により、舛岡教授が単独、または共同発明者となっている東芝在職中のすべての職務発明に関する一切の債権債務がなくなること、を確認したと強調。外国特許や出願中のもの、特許登録に至らなかったもの、ノウハウまでも含み、すべて東芝が権利を持つことを明確にした。

NANDフラッシュメモリーの市場規模は05年に1兆3000億円、08年に2兆6000億円に倍増すると予測されている。東芝は同市場で韓国サムスン電子に次ぐ世界第2位のシェアを持ち、営業利益の大部分を同メモリーで稼ぎ出す主力事業になっている。今後も積極的な投資で事業拡大を目指す計画で、このためにも特許に関する問題を早急に解決することを選択したかたちだ。

舛岡教授「大きな前進」

金額の質問に表情複雑

「従来に比べれば大きな前進だ」。フラッシュメモリー発明をめぐる東芝との訴訟で和解が成立したのを受け、東北大電気通信研究所の舛岡富士雄教授は27日、東京・霞が関の司法記者クラブで記者会見し、一定の評価を示した。

舛岡教授は「これまで頂いた額の10倍以上。発明のオリジナリティーを裁判所が認めてくれた」と評価。「東芝などが『技術屋』を上席役員待遇とするなど、産業界で技術を大事にする方向に一定の役割を果たしたと思う」と語った。

ただ、終始笑顔はなく、8700万円という金額について重ねて問われると、複雑な表情も見せた。教授側代理人の升永英俊弁護士は「裁判所は今回の和解で、発明者を勇気付ける枠組みをつくってくれた」と話した。

産経　平成18年7月28日㈮〈28面〉掲載

フラッシュメモリー訴訟

東芝、発明者に和解金8700万

対価 請求の1割弱

携帯電話やデジタルカメラなどに使われる記録媒体「フラッシュメモリー」を発明した元東芝社員の舛岡富士雄・東北大教授(63)が、同社に発明対価の一部として約11億円を求めた訴訟は27日、東芝が舛岡教授に8700万円を支払うことなどを条件に東京地裁（設楽隆一裁判長）で、和解が成立した。

訴状によると、舛岡教授は東芝在職中の昭和55年と62年に2種類のフラッシュメモリーを開発。東芝は特許出願し、登録された。舛岡教授は、東芝が平成15年度までに、特許で少なくとも2000億円の利益を得ており、80億円が発明対価と主張。その一部の約11億円を請求していた。

一方、東芝側は「舛岡教授の特許は半導体業界ではほとんど使われておらず、発明の貢献度はなかった」などと反論していた。訴訟が結審した今月中旬、裁判所が和解を勧告。両者が2回の和解協議で合意した。

フラッシュメモリーは、画像や音声を繰り返し記憶できる上、電源を切ってもデータが消えないなどの利点があり、デジカメや携帯音楽プレーヤー向けに需要が拡大している。

発明対価をめぐる訴訟では、東京地裁で16年1月、日亜化学工業が青色発光ダイオードの開発者に対し、200億円を支払う内容の判決が出され、東京高裁が企業側に200億円の支払いを命じた。「発明対価」は注目を集め、その後、同種の訴訟が急増した。

だが1年後、東京高裁の和解では会社側の事情も考慮され、和解金は8億円まで抑えられた。その後も1億円を超えるような発明対価が認められた例はない。

背景には、発明対価に対する判例が徐々に確立され、高額な報酬が認められにくくなったことが挙げられる。日本知的財産協会の土井英男事務局長は「最近の訴訟では、研究者の報酬は発明による収益の5%あたりが多くみられる」と話す。

高額の発明対価は減少の流れ

あるベテラン裁判官は「発明対価をめぐる訴訟では、研究者の事情だけでなく、会社の規模や設備、それまでの投資など、研究者の事情以外のことも考慮して対価報酬を算出することが一般化してきた」と話す。また、17年施行の改正特許法は、発明対価を会社と研究者の自主的な取り決めに基づくものと定め、取り決めなどが不合理な場合にだけ、裁判所が対価を算定する。企業側が報奨金を引き上げるなど、研究者への融和的な動きも目立つ。

判例の固定化と融和路線。和解はこのような傾向の反映とも言え、高額な発明対価が認められるケースは今後、減少していくことを予想させる。

（佐久間修志）

視点

フラッシュメモリー訴訟の和解で、東芝が舛岡富士雄・東北大教授に支払う8700万円は、確定した発明対価の訴訟で3番目に高額だが、請求額の1割以下にとどまった。今後も多くの収益が見込まれる発明の対価としては、低く抑えられているとの意見も聞かれる。

平成16年1月の青色発光ダイオード特許訴訟では、発明による収益の50%分の報酬を研究者に認めた（昨年1月、東京高裁で8億4000万円を支払う条件で和解）。これを契機に、企業側に研究者への発明対価を見直す動きが広がった。

東芝の話「裁判所の和解勧告が当社の主張や発明対価に関する考え方を相当考慮した内容と判断し、和解に応じた」

舛岡教授の話「和解では、これまでよりも金額が多くなり、発明が評価されたと思う。気分的には満足できる」

河北新報　平成18年７月28日㈮〈10面〉掲載

フラッシュメモリー訴訟和解

8700万円に「低額」の声

発明対価の在り方に一石

経済

東芝が二十七日、フラッシュメモリーなどの発明対価を求め同社を提訴していた元技術者の舛岡富士雄東北大教授(六三)と八千七百万円の支払いで和解した。職務発明をめぐる訴訟では過去三番目の高額決着だが、「東芝の稼ぎ頭の製品が対象なのを考えると金額はかなり低い」との見方もあり、発明対価の在り方をめぐって一石を投じそうだ。

和解額のうち、フラッシュメモリー発明の寄与分は明らかにされていないが、舛岡氏が対価として主張した八十億円に比べると1㌫程度。青色発光ダイオードの発明をめぐる日亜化学工業の訴訟でも、元従業員の中村修二・米カリフォルニア大教授が和解で得た約六億円(遅延損害金を含め約八億四千万円)は、中村氏が対価と主張した六百億円の1㌫にとどまった。

企業経営者には「画期的な発明でも製品化して必ずもうかるとはいえない。発明報酬も事業リスクを考慮して算定すべきだ」(電機大手)という意見が多く、高額の報酬には違和感が強い。一方で発明報酬が極端に低く抑えられると、研究意欲が減退し海外への頭脳流出を促す事態も招く。

昨年四月施行された改正特許法では、労使間協議などで決まった合理的なルールに従い支払われた報酬は裁判でも尊重されることになった。

企業が巨額な発明報酬を支払わされるリスクは減ったとの見方が多いが、職務発明ルールづくりについては今後も経営者と社員の真剣な議論が不可欠だ。

朝日新聞　平成18年７月28日㈮〈34面〉掲載

フラッシュメモリー発明

東芝、元社員に8700万円

和解が成立

デジタルカメラや携帯電話に搭載される記録媒体「フラッシュメモリー」を発明した東芝元社員の舛岡富士雄・東北大教授(63)が、発明への正当な対価を受け取っていないとして同社を相手に約11億円の支払いを求めた訴訟は27日、東京地裁(設楽隆一裁判長)で和解が成立した。記者会見した舛岡氏側の代理人・升永英俊弁護士によると、東芝側が8700万円を支払う内容で、決着した発明対価訴訟では過去3番目の高額。

訴えによると、舛岡氏は東芝社員時代の80年と87年、それぞれ異なる型のフラッシュメモリー半導体を発明。東芝に特許権を譲渡した。

舛岡氏側は、同社が02年度末までに100億円の特許使用料を受け取ったうえ、特許による優位性を生かして100億円の利益を上げたと算定。対価としてその一部を請求した。

升永弁護士は「日本の産業にとって大変重い結果だと思う」と話した。

舛岡氏は「私個人にとっても技術者全体にとっても、裁判を起こした意義があった」と語った。

東芝のコメント　当社は、裁判所の和解勧告が当社主張及び当社の職務発明対価に関する考え方を相当程度考慮した内容と判断し、和解をした。

河北新報　平成18年８月１日㈫〈１面〉掲載

河北春秋

小学生のわが子と夏休みの自由研究の話になり、親の体験を問われた。虫の標本、アリの観察記、庭に棒を立てての日時計作り…▼何かを発見したり、作ったりする面白さに出合う絶好の時が夏休み。ただ、こんな話も聞く。「近ごろ、ネットの情報を集めただけの自由研究が多くて」とある小学校の先生▼世の中が便利になると、自分の足で調べ、知恵を絞ることも面倒に。情報の海に流される危険は、大人だけでない。だからこそ、オリジナルな発想がますます貴重になる▼「写真のフラッシュをイメージして命名した」。舛岡富士雄東北大教授は以前、本紙記事で語った。一瞬で古い情報を消し新たな書き込みができる半導体「フラッシュ・メモリー」のこと。パソコンから家電まで、デジタルの普及はこの記憶媒体の恩恵だ▼東芝の研究所にいた二十数年前に発明した。その報酬は八千七百万円―。特許権を有する古巣の会社に対価を求めた訴訟の和解金だ。高い安いでなく、発明の価値に正しい評価を、との思いだった▼最近、こうした開発者による訴訟が相次ぐ。企業社会は長年、個人のオリジナリティーに厚く報いる努力を惜しんできた。「やっぱり理系はつまらない」では、日本のものづくりの根っこも枯れる。夏休みの発見や発明、大事に育てたい。

日経産業新聞　平成18年８月１日㈫〈11面〉掲載

東芝フラッシュ訴訟和解

発明対価の支払いに意義

舛岡東北大教授に聞く

技術者の処遇も改善



東北大学の舛岡富士雄教授が東芝在職中に発明したフラッシュメモリーの特許に対し、東芝が八千七百万円を支払うことで和解が成立した。原告の舛岡教授は三十一日、日本経済新聞のインタビューで「利益の一部から発明者対価を支払うことを認めた点に意義がある」と述べた。

――対価として少ないという声もある。

「訴状に記述した請求額や、和解金などの具体的な金額は訴訟代理人にまかせた。算出根拠や審理過程における和解金額の決定手順は代理人からも聞かされていない」

――和解内容が日本の産業界に与える影響をどうみる。

「東芝在職中の特許に関する報奨金は約六百万円。訴訟対象とした最新の特許は二〇〇七年で切れることを考慮すれば、退職後の追加の報酬も三百万円という見方がある。それに比べて和解金額は三十倍近くになった。ただ、金額よりも東芝が発明対価の支払いを認めたこと自体が重要だ」

「会社の利益に結びつく成果を出した研究者に対しては発明対価の支払いだけでなく、経営陣への登用などそれなりの処遇をしてほしいという願いもあった。訴訟を起こしてから、東芝では研究者出身の上席常務が誕生するなど、間接的に影響を与えたと思う」

日経産業新聞　平成18年８月１日㈫掲載

フラッシュ・メモリー発明対価

「訴訟の目的達成」



舛岡東北大教授

東芝の元東北大教授

東北大学の舛岡富士雄教授が、東芝在職中に発明したフラッシュ・メモリーの特許に対する相当対価を求めた訴訟で、東芝が八千七百万円の和解金を支払うことで、二十七日東京地方裁判所で和解が成立した。三十一日、原告の舛岡教授は日本経済新聞社の記者の取材に応じ、「訴訟の目的を達成した」と語った。

舛岡教授は和解金など具体的な金額決定について、訴訟代理人に任せていたことを明らかにした。東芝側が利益の一部から発明者対価を和解金として支払うに至ったことについては、目的が達成されたとしている。「会社の利益に貢献した研究者を経営陣として登用する環境を整備するきっかけになる」と指摘した。

読売新聞　平成18年8月9日㈬〈11面〉掲載

なるほど！経済

特許収入や売上高に応じて報酬

発明の対価 制度化進む

■迷走

企業の研究者が仕事で発明した「職務発明」に対し、製品の売上高や特許収入などに応じて対価を支払う制度が広がっている。報酬に不満を抱いた研究者から、十分な対価を求める訴訟が相次いだためだ。昨年改正された特許法では、企業と研究者が協議して合理的な制度を導入するよう促しており、報酬の上限を撤廃した企業も多い。しかし、報酬額を適切に評価するには課題も多い。（池松洋、松原知基）

日本企業の多くは従来、社内の研究者の発明に報いるルールを持っていなかった。

例えば、日亜化学工業で青色発光ダイオードを発明した中村修二・米カリフォルニア大教授は、在職中に2万円を受け取っただけだ。東芝でフラッシュメモリーを発明した舛岡富士雄・東北大教授は退職後に600万円を支給された。

中村、舛岡両氏は、自らの発明により企業が手にした膨大な利益を、発明者自身にも適正に配分するように求め、それぞれ所属していた企業を相手取り、訴訟を起こした。

しかし、裁判所も確たる答えを持っていたわけではない。中村氏の訴訟では、東京地裁が200億円もの対価の支払いを日亜化学に命じた後、2005年1月の高裁段階での和解では、8億4400万円に減額されるなど、「迷走」と言える状況を示した。

■法改正

発明者からの相次ぐ提訴を契機に、企業側も、明確なルールを定めるようになった。

日立製作所では①特許を活用した製品について売上高などに比例して年3万円以上で上限なし②特許料収入に比例して年10万円以上で上限なし――の金額を支払う仕組みだ。三菱化学は5年間の利益が60億円以上の発明に、2億5000万円を上限として報奨金を支給する。

05年4月の特許法改正で、企業と従業員が協議して対価の合理的な算定法を定めるよう求めたことも追い風となり、特許庁が今年1月に行った調査（全国1093法人対象）によると、8割以上の企業や大学・研究機関が新たな職務発明規定を導入したという。

改正後の06年7月に和解した舛岡氏と東芝の事例では、対価は8700万円とされた。算定基準については双方とも明らかにしていないが、裁判所が各企業のルールの合理性を判断する流れとなっていることなどから、「東芝の現在の報奨制度を参考にした可能性がある」（企業法務に詳しい弁護士）との見方もある。

■実情

企業側がルール整備を進めたのは、裁判で巨額報酬を強いられることを避けるほか、報酬に不満を持った研究者が韓国や中国の企業に転出し、半導体などの技術流出を招いたことへの反省もある。企業防衛の色彩が強いことから、実際の報酬は、驚くような高額にはなっていないようだ。

パイオニアでは、05年度に1000万円以上の報酬を受け取った研究者が10人近くいるが、最高額でも約2500万円という。武田薬品工業は05年度、延べ346人に計1億7893万円を支給した。さらに、デジタル家電製品では半導体一つに約100の特許が存在し、プラズマテレビは数百件という特許の塊で、研究者一人あたりの貢献度を算定するのは難しい。独自技術を守るため、情報公開につながる特許をあえて取得せず、中核部品を「ブラックボックス化」する企業が増えた点も、研究者にとっては「逆風」と言える。

■影響

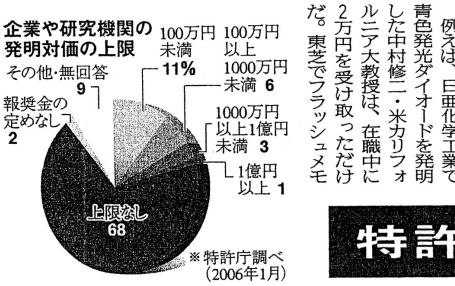
ルールを明確にすることが、思わぬ影響を及ぼすこともある。

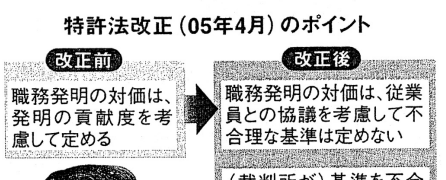
ある大手電機の研究部門のトップは「新たな制度で、研究者が金になる研究に傾斜することになれば、長期的には競争力の劣化につながる」と懸念する。

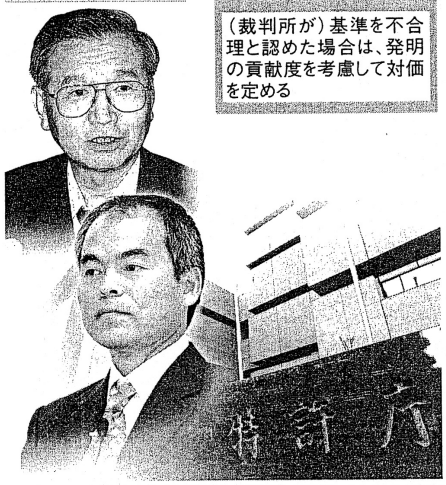
また、今後の訴訟では、労使協議に基づく報酬ルールが確立されていれば、裁判所が合理的と判断するケースが増えるとの観測も多く「研究者側に勝ち目はほとんどない（日亜化学や東芝の訴訟を担当した弁永英俊弁護士）との声もある。訴訟に期待できないとなれば、海外への流出を招く事態にもなりかねず、各企業には、ルールの更新や運用面での工夫が求められる。

発明報奨制度の導入例

ソニー	特許出願時と登録時にそれぞれ最大100万円。さらに貢献度に応じ年間5万～200万円以上まで6段階評価
船井電機	社外からの特許収入が1000万円以内で10%、さらに1000万円を超える分の5%を支給
セイコーエプソン	①特許出願時と登録時に各2万円、売り上げに従い最大数百万円 ②特許収入の2.5%（①、②から選択）
三菱化学	5年間の営業利益が60億円以上で2億5000万円、30億～60億円未満で1億5000万円を上限に支給
コスモ石油	特許収入が3年間で5000万円以上の場合などに2%を支給
武田薬品工業	全世界の売上高をもとに算定。上限なし







フラッシュメモリーを発明した舛岡富士雄氏（上）と青色発光ダイオードを発明した中村修二・米カリフォルニア大教授

訴訟相次ぎ企業も「防衛」■進まぬ高額化

日経エレクトロニクス　平成18年8月14日掲載

――日本の研究者はどのように会社と付き合っていけばよいのでしょう。

会社から言われたことばかりをやっていてはいけないということです。会社の上司はできることしか命令しません。そのような仕事は80%の力で全部こなせるはずです。残りの20%の力を使って，できないと思われているオリジナリティーのある技術にチャレンジし続ける必要があるのではないでしょうか。

今の若い技術者は「会社が認めてくれない」とよく言いますが，それはやり方を知らないだけです。会社は，研究者が特許を出すことについては奨励しています。だから，自分がやったことはどんどん特許を出願すればいいわけです。

その特許を米Texas Instruments Inc.や米Intel Corp.，Samsung Electronics社など外部の企業にクロス・ライセンスなどを通して認めてもらえれば，会社の上司も取り組んでいる内容を認めざるを得なくなるわけです。研究者はそうして自分の会社でのポジションを上げていけばいいのです。

――オリジナリティーのある技術を目利きできるようにするために，企業はどうしたらよいと思いますか。

今きちんと目利きしたとしても結果が出るのは5～10年先の話です。ですが，強い会社は内部でオリジナリティーのある技術を必ず生み出しています。例えば，トヨタ自動車の技術は，製品化されるまで表に出てきませんが，ハイブリッド車などイノベーションを産んでいます。しかも，個々の技術者の成果が見えにくい中でも，内部ではきちんと技術を評価し，技術者のモチベーションを高めていると感じています。このような仕組みが重要だと思います。



技術者をきちんと評価し，待遇していかなければ日本メーカーに未来はありません。現在，工学部を志望する学生がどんどん減っています。理系では医学部が大人気で，東京大学の工学部に入学するよりも地方国立大学の医学部へという傾向にあります。東京大学でさえそうなのですから，他大学の工学部はもっと悲惨な状況です。

NANDフラッシュ・メモリを開発した当時，私は40歳代でしたが，同世代の大手銀行の社員に比べて半分程度の給料しかもらっていなかったと思います。技術者に対する待遇がこの程度なら，誰も工学部に入らなくなるのは当然のことではないでしょうか。技術者もきちんとした待遇を受けられることを，もっと世の中に見せる必要があるのではないでしょうか。

インタビューを終えて

舛岡氏に初めてお会いしたのは1989年の学会「IEDM（International Electron Devices Meeting）」でした。デバイス・プロセスに関するこの学会で，東芝は十数件の論文を発表し，当時，研究所に在籍した舛岡氏の部門からも多くの論文が通っていました。

IEDMといえば，LSIチップのISSCCと並んで，半導体関係者にとってはオリンピックのような学会です。そんなすごい学会なのに，「IEDMもレーティングのない国内の学術講演会も似たようなものだ」という舛岡氏の発言を記憶しています。オリジナリティーを追求し続けてきた同氏にとって，国際学会のひのき舞台も国内の講演会も，同じ研究環境の一部と映ったのでしょう。

あれから20年弱，当時の技術は1兆円を超えるフラッシュ・メモリ産業を産み出しました。この規模は，まだまだ拡大し続けます。しかし，既に舛岡氏の思いは次へと飛んでいるようです。オリジナル技術で新しい挑戦を始め，次の数十兆円に挑戦しています。（編集長　室井）NE

河北新報　平成18年8月20日(日)〈5面〉掲載

社説

半導体特許訴訟

技術者の待遇改善が急務

職務発明をめぐる対価訴訟の和解が相次ぐ中、先ごろ、また一つ大きな決着があった。半導体「フラッシュメモリー」生みの親の舛岡富士雄東北大教授が、発明当時勤務していた東芝に対し、特許権譲渡の対価約十億円の支払いを求めた訴訟で、東芝が八千七百万円を支払うことで和解が成立した。企業が研究者に対し、職務上の発明であっても相当の対価を支払う流れは今回の訴訟で決定的になったとみるべきだろう。

和解金は請求額に比べ、大幅に抑えられた。だが、舛岡教授は記者会見で「和解は大きな前進。技術を大事にする方向性が日本の産業を発展させる」と意義を強調した。

これまで、いかに日本の職務発明が冷遇されてきたか。舛岡教授も身をもって体験した一人で、教授の発明をいち早く称賛したのは米国だった。

米有力経済誌フォーブスは二〇〇二年六月号で、舛岡教授を日本の科学者として二人目の表紙に起用、「アンサング・ヒーロー」（褒めたたえられない英雄）と題した特集記事を掲載した。記事は、フラッシュメモリー市場について「インテルなどの米国勢が上位を占めているのに対し、製品を考案した当の日本企業が低迷している」と指摘。「舛岡教授の発明を正当に評価しなかったからだ」と、独創技術を認めようとしない日本の企業風土を痛烈に批判した。

舛岡教授は、この二年後に提訴に踏み切るが、日本と対照的な米国の評価が後押しした格好だ。今回の舛岡教授の訴訟と和解は、同様の趣旨で提訴し、〇五年一月に和解した中村修二・米カリフォルニア大教授の青色発光ダイオード訴訟とともに、日本企業の知的財産に対する後進性を印象付ける結果となった。

「知的財産立国」を掲げ、国もようやく技術者の待遇改善に動きだした。〇三年に施行された知的財産基本法に基づき、職務発明に対する報酬は企業と従業員の契約で決定するーなどの枠組みが制度化された。〇五年には特許法も改正され、知的財産権を侵害した場合の罰則規定なども強化される見通しになっている。

企業の意識改革も具体化している。報酬の上限額を廃止し、金額に不服申し立てできる委員会を設置したり、段階別に報酬の金額を明確化する制度を導入したりするなどのメーカーも目立ってきた。発明の対価や待遇をより手厚くする代わりに、技術開発競争を活性化させ、収益増につなげるという「攻め」の姿勢が定着しつつある。

情報技術（IT）化や環境負荷の低減などにより、技術開発のテンポは急激に速まっている。産業経済のグローバル化で企業間競争は激化の一途をたどっている。「発明は一人で成し遂げられるものではない」「社員の会社への忠誠心があれば問題にならない」などとあぐらをかいている企業は、もはや時代錯誤と言える。いかに発明を奨励し、優秀な人材にインセンティブ（優遇措置）を示すことこそが、企業生存の道だ。

日経産業　平成18年８月29日㈫掲載

電子「論評」

デバイス・エレクトロニクス

フラッシュメモリー発明対価訴訟

双方納得の不思議

かつて東芝に在籍していた東北大学の舛岡富士雄教授がフラッシュメモリーに対する職務発明対価を東芝に請求していた訴訟で、七月二十七日に東京地方裁判所で和解が成立した。七月十二日に口頭弁論が終了し、九月二十八日に判決を予定していたが、判決前の和解勧告を双方が受け入れた。最終的な請求額は総額十一億百万円。これに対し和解対象は訴訟対象以外も含む「すべての職務発明」に拡大し、和解金額は八千七百万円となった。

この一報を聞いたとき筆者は、十一億百万円でもゼロでもなく、八千七百万円という中途半端な和解金額で双方が手を打った点が不思議だと思った。なぜなら舛岡教授側は審理の当初、同教授がフラッシュメモリーを発明し、「大パイオニア発明（最初の発明）」と主張していたからだ。一方の東芝はそれを全面否定し、互いに譲らなかった。

和解金額にお互いが納得している理由はこうだ。東芝は社内規定に従って、退職後も舛岡教授に対し職務発明特許の対価（補償金）を毎年支給していた。訴訟になってからその支払いを止めたが、舛岡教授による訴訟前と同様の取り扱いで社内規程に基づく支払いが続いたとすれば、舛岡教授に支給される補償金の総額が和解金額とそれほど遜色（そんしょく）がないものになると思われる」としている。

仮に支給される〇三年分（〇四年支払い）以降の補償金の合計額は、東芝のフラッシュ関連事業の業績とも関連する将来分を含むため、一概にどちらの評価が正しいとはいえない。だが立場が違うものの互いが東芝の社内規定に基づく評価をしている。これが互いに和解金額に納得している一番の理由だ。

審理の論点は、大パイオニア発明であるかどうかよりも、次第に実際の東芝の職務発明に広がっており、今後支払うだろう補償金とは単純に比べられないとしている。さらに「仮に訴訟が提起されず、訴訟前と同様の取り扱いで社内規程に基づく支払いが続いたとすれば、舛岡教授に支給される補償金の総額が和解金額とそれほど遜色（そんしょく）がないものになると思われる」としている。

実際、今回の和解勧告書に記された発明者貢献度に対する考え方の項では、特許法一条の「発明を奨励し」、「産業の発達に寄与する」という目的を達成するために、従業員へのインセンティブのほか、企業が厳しい経済情勢および国際的な競争の中でこれに打ち勝ち発展していくことを可能とすべきだとしている。半導体の製品開発やライセンス戦略においては、さまざまな社内外の知的財産の蓄積を利用しているとともに、それらは常に更新されている。技術者の名誉からすれば「最初の発明」であるかどうかも重要かもしれない。しかし今後は特定の特許が特定の製品や事業にどれだけ貢献しているかをきちんと立証しなければ、高額な発明対価請求訴訟を起こすことは難しくなるだろう。（神保進一）

東北大学舛岡教授の東芝に対するフラッシュメモリー発明対価請求訴訟経過内容

年月日	主な動き
2004年3月2日	単独発明特許21件と対応外国特許について10億円請求（第１事件）
2004年3月23日	第１回口頭弁論
2004年5月12日	単独発明特許４件と対応外国特許について100万円請求（第２事件）、その後第１事件と併合審理
2005年4月21日	第９回口頭弁論、三村量一裁判長から設楽隆一裁判長に交代
2005年9月9日	共同発明特許15件について100万円請求（第３事件）、実質審理保留
2006年2月23日	第16回口頭弁論、弁論準備手続に入ることを決定、第１回弁論準備手続
2006年7月12日	第６回弁論準備手続、第17回口頭弁論（最終弁論）、第1事件のうちＮＡＮＤ型に関する日本の特許５件を主にして10億円を請求、第２事件のうち米国の特許３件を主にして1億円を請求
2006年7月20日	和解手続に入ることを決定、第３事件を併合
2006年7月27日	和解成立、すべての職務発明（外国特許、共同発明、出願中、その他ノウハウを含む）に対し8700万円支払う

日経　平成18年９月25日(月)〈21面〉掲載

法務

SWITCH ON MONDAY

発明対価訴訟、法廷闘争 報われず？

企業内発明者は地位向上

元従業員発明者が企業に発明対価を求めた裁判が相次ぎ決着している。二〇〇五年一月の青色発光ダイオード（LED）訴訟和解以降、発明者の期待ほどの金額は得られない例も多く、「訴訟は割に合わない」と話す発明者もいる。訴訟のもたらした変化として、発明報奨制度や技術者の処遇改善を評価する声もある。半面、発明の具現化に奔走した他の職種への配慮など、新たな課題も見えてきた。

七月末、フラッシュメモリー訴訟で、東芝が発明者の舛岡富士雄・東北大教授（63）に八千七百万円を支払うことで和解が成立した。青色LED訴訟の八億四千万円、味の素訴訟（〇四年十一月）の一億五千万円に次ぐ高額での決着で、同教授は「満足とは言えないが、大きな前進」と評価した。ただ、高額対価が認められた例は多くはない。

青色LED訴訟和解後、現在までに確認できる判決・和解は十六件で、大半の発明者は一億円以上を要求。半数で対価が認められたが、一千万円を超えたのは三件だけだ＝表参照。五十億円の要求に対し、五十四万円しか認められなかった例もある。

一審の「二百億円判決」で社会に衝撃を与えたLED訴訟の元原告、中村修二・米カリフォルニア大教授（52）は和解後、「八億四千万円への減額は一〇〇％負け」と語った。七月に最高裁で千二百六十五万円の対価が確定した元日立金属社員の岩田雅夫氏（61）も「生涯年収の減少分すら補えない」と漏らす。

日本の特許法では、企業内の発明でも特許を受ける権利は個人にあり、企業は権利を譲り受ける代わりに発明者に相当の対価を支払う。この考え方の起源とされるドイツの特許事情に詳しいピーター・ホームバーグ弁護士によると、「ドイツでは対価を巡る発明者と企業の争いは表面化するものだけでも年間五十件以上。和解が多く、最高クラスの特許でも対価は七千五百万円程度」という。

対価算定の転機として多くの専門家が挙げるのが、青色LED訴訟和解時に裁判所が示した「対価の基準」だ。「発明対価は様々なリスクを負担する企業の共同事業者が好況時に受ける利益の額とはおのずから性質が異なる」としており、億円単位の対価は、サラリーマン発明者にはまず認めないということだ。

ある訴訟で発明者の代理人を務める弁護士は「この基準によると、これを機に年十件以上の特許を出願する企業の大半が発明報奨規定を従業員と協議して見直した。

通常、特許を重視する企業は特許出願時に一件当たり数千円、特許登録時に一万円程度を発明者の従業員に払う。特許が売り上げ拡大や他社とのライセンス交渉で役立った場合、社内審査を経て、毎年の実績に応じた補償金や報奨金を払うことが多い。

他職種との〝逆格差〟も課題に

オムロンは今年五月、前年に改定した「スーパー特許補償制度」に基づく対価を発明者に支払った。最高支給額は四百万円程度とみられ、過去からの累積では一千万円を超えた発明者も複数いるようだ。プリンター技術で報奨金を受けた佐野強氏（38）は「特許の評価基準が以前より明確になった」と歓迎する。

同社は近年、技術者の専門職の「フェロー」や「技術主幹」などの昇格試験に対象者の発明の評価を導入した。以前は技術者の実績が、必ずしも社内の処遇に反映されなかった点を改善したという。

新たな課題もある。発明者と他の従業員との〝逆格差〟だ。知的財産問題に詳しい玉井克哉・東大教授は、特許が利益を生むには、発明者だけでなく、製品の実用化や製造ラインを改良した人々や営業マンの貢献も大きい。発明者の過度の優遇は新たな不公平感を生みかねない」と指摘する。

こうした問題への配慮もあって、東芝は主に技術者を想定して〇五年七月に創設した全社表彰制度の第一回受賞者を非技術者とし、今年の第二回では技術者を選んだ。

東京理科大大学院の生越由美教授は「優秀な研究者と企業は発明対価訴訟を混乱のうちに終わらせず、より良い発明と企業の競争力向上につなげる千載一遇のチャンスに変えつつある」とみている。

（法務報道部　渋谷高弘）



青色ＬＥＤ訴訟で会見する中村修二・米カリフォルニア大サンタバーバラ校教授㊧と東芝との和解後会見する東北大学の舛岡富士雄教授

青色ＬＥＤ訴訟和解以降の主な発明対価訴訟の判決など

時期	争われた発明	裁判所	被告	対価	金額
2006年9月	液晶材料	東京地裁	ＪＳＲ	○	239万円
7月	フラッシュメモリー	東京地裁（※）	東　芝	○	8700万円
	洗浄処理剤	知財高裁	和光純薬工業	×	—
	窒素磁石	最高裁	日立金属	○	1265万円
6月	半導体記憶装置	東京地裁	三菱電機	×	—
5月	印字装置	東京地裁	NTT－AT	○	1222万円
3月	分割錠剤	知財高裁	ファイザー	×	—
	半導体製造工程	大阪地裁	キヤノンマシナリー	○	745万円
	エンジン燃焼噴射技術	東京地裁	豊田中央研究所	○	54万円
1月	写真感光材料技術	東京地裁	コニカミノルタホールディングス	×	—
2005年11月	抗血小板剤	東京地裁	大塚製薬	×	—
9月	育毛剤有効成分	大阪地裁	三省製薬	○	480万円
7月	ガス栓部品	大阪地裁	藤井合金製作所	○	199万円
6月	気管支拡張剤	大阪高裁	大塚製薬	×	—
4月	電子部品用樹脂	大阪地裁	住友化学	×	—
1月	ステンレス部品	東京高裁	東　芝	×	—
	青色発光ダイオード	東京高裁（※）	日亜化学工業	○	8億4000万円

（注）※は和解、ＮＴＴ－ＡＴはＮＴＴアドバンステクノロジの略

朝日　平成18年10月1日(日)〈4面〉掲載

今さら聞けない フラッシュメモリー

億単位のスイッチで情報保つ

携帯音楽プレーヤーや携帯電話、デジタルカメラなどのメモリーは、フラッシュメモリーと呼ばれる半導体メモリーだ。SDカード、xDピクチャーカード、コンパクトフラッシュなどにも入り、大量記憶ができる。

デジタル機器の中では、情報は「0」と「1」の組み合わせで表される。ハードディスクでは磁極のならび方（6月18日付で紹介）で、DVDではレーザー光への反射率の違い（9月3日、10日付で紹介）で「0」と「1」を区別している。

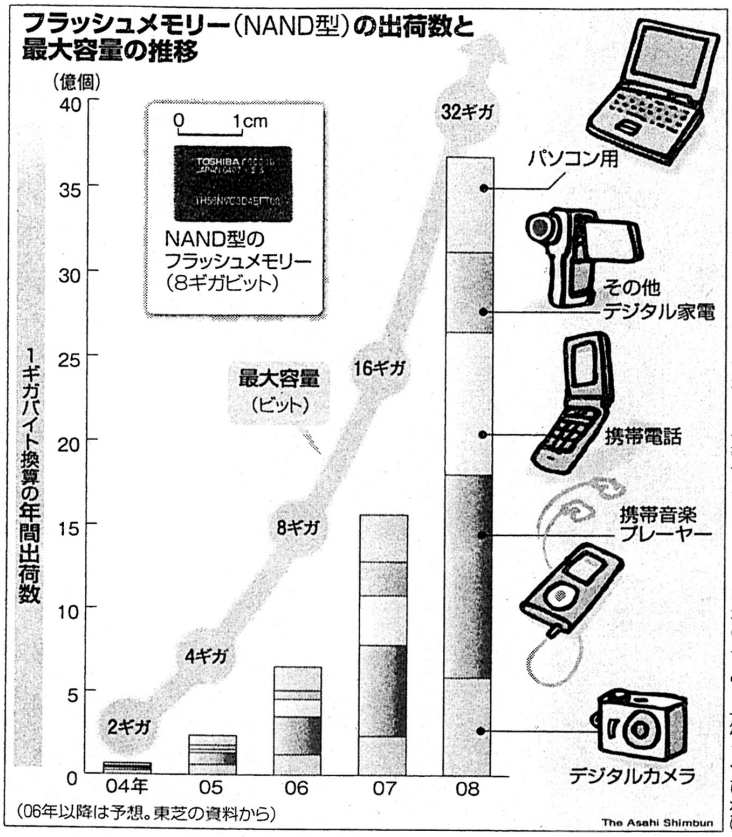
最も一般的な半導体メモリーであるDRAMは、電気を担う粒子である電子の有無で「0」「1」を記録する。指先ほどのシリコン結晶の中に、印刷技術を使って小さなコンデンサー（蓄電器）を数百万～数億個もならべ、それぞれが充電されていれば「1」、放電していれば「0」と示す。

DRAMは頻繁に書き込み、読み出しをするのに適しているが、電源をオフにすると、情報が失われる性質がある。これではメモリーカードのような使い方はできない。

そこで電源を切っても大丈夫な「不揮発性」メモリーが開発された。こちらもシリコン製だが、コンデンサーの代わりにスイッチをならべてある。電気が通れば「1」、通らなければ「0」という具合で情報を記憶する。都合がいいことに、スイッチの状態は電源を切っても保持される。

このようなメモリーの中でも急速に普及しているのがフラッシュメモリー。80年代、当時、東芝の技術者だった舛岡富士雄・東北大学教授が「ハードディスクなど記憶媒体を置き換えたい」と考えて発明した。

情報を写真のフラッシュのように一瞬にして書き換えられる性質からこんな名前が付いた。読み書き速度はDRAMよりずっと遅いが構造が単純で比較的安いのが特徴。大容量を作りやすく、情報保存向きのNAND（ナンド）型と読み出しが速いNOR（ノア）型がある。世界市場は前者が約2兆円、後者はその4割程度と見られている。（服部桂）



日経ビジネスオンライン　平成18年10月10日①掲載

ノーベル賞"空振り"に憂う日本の未来

いつしか染みついたモノマネ体質と決別せよ

2006年10月10日　火曜日　　舛岡　富士雄

キーワード　　技術革新　イノベーション　半導体

少々気が早いが、残念ながら、今年は日本からノーベル賞受賞者が出なかった。新聞もテレビも熱心に報道しないのであまり話題にもならない。

ノーベル賞が出ないのには理由がある

もちろん、ノーベル賞受賞者が出ないことが日本の科学技術力の低下を示していると言い切ることはできないし、逆に、ノーベル賞を取ればすべて良しというわけでもない。

ノーベル賞はあくまで結果であり、受賞者が出るか出ないかに一喜一憂しても意味がない。しかし、技術開発の最前線に立つ者として、世界の産業をリードするような画期的な新技術が日本から続々と生み出されているなどとは、とても言えないのである。

筆者の専門とする「電気」の技術範囲に限ってみると、世界に先駆けるような大発明はほとんどが欧米からのもので、歴史的に見ても日本発は数えるほどしかない。

数年前、600ページにもおよぶ大部の電気技術史本がフランスで出版された。古いところでは、マックスウエル、ヘルツ、オーム、エディソン、パスカル。比較的新しいところでは、ショックレイ、バオディン、ブラッティン、キルビー、ノイスなどの功績が詳しく紹介されている。当然のことであるが、ほとんどがノーベル賞を受賞している。

ところが、日本が生み出し、世界の科学技術の発展に役立ったと認められたものは、八木・宇田アンテナ、江崎ダイオード、そして手前味噌ではあるが筆者のフラッシュメモリの3つだけでなのである。日本人の多くは「日本の技術は世界に誇るべきものだ」と考えているが、世界の電気技術史から見ればその存在感は薄い。

開拓者精神が失われた技術の現場

日本は欧米で生み出された発明を応用して、性能と品質の良い製品を作ることには長けてきた。だが、同じようなことは、台湾や韓国、中国などの国々でもできるようになってしまった。日本の技術やノウハウが他国に流出することを懸念する声があるが、簡単に真似されてしまうぐらいに技術力の格差が縮まってきているのだ。

では、今後どうすればいいのか。やはり、というか、言うまでもなく、世界に先駆ける革新的な技術を生み出して、その粋を集め、付加価値の高い製品を生産し、それを世界に送り出すこと以外に発展への道はない。それが技術と産業のすそ野を大きく広げていくのである。

このコラムについて

日々、生み出される膨大なニュース。その本質と意味するところは何か。そこから何を学び取るべきなのか――。本コラムでは、NB online編集部が選んだ注目のニュースを、その道のプロフェッショナルである執筆陣が独自の視点で鋭く解説。ニュースの裏側に潜む意外な事実、一歩踏み込んだ読み筋を引き出します。

著者プロフィール

舛岡　富士雄（ますおか　ふじお）



1943年、群馬県高崎市生まれ。1971年、東北大学大学院工学研究科電子工学博士課程を修了。工学博士。1971年、東芝に入社。1994年に退社。同年10月に東北大学情報科学研究科教授。現在、東北大学電気通信研究所教授。2004年7月に日本ユニサンティスエレクトロニクスのCTO（最高技術責任者）に就任。研究分野は、集積回路を中心とした半導体分野。NAND型フラッシュメモリの発明者として知られる。受賞歴、多数。

こちらも読んでみませんか？

NB100
三菱UFJフィナンシャル・グループ　クレジットカード事業に注力は「吉」となるか

時流超流
もう1つの「ソニーショック」

日経情報ストラテジー発ニュース
ダイソン、日本市場で急成長の秘密

ニュースを斬る
ノーベル賞"空振り"に憂う日本の未来

2006/10/10

日経ビジネスオンライン　平成18年10月10日②掲載

ノーベル賞“空振り”に憂う日本の未来

いつしか染みついたモノマネ体質と決別せよ

2006年10月10日　火曜日　　舛岡　富士雄

キーワード　　技術革新　イノベーション　半導体

ところが、今の日本ではそうした状況がきちんと理解されていない。筆者が専門とする半導体分野では、新しい技術を開発しようとする熱い意欲が産学官のどこからも全く感じられないのである。

シリコンの集積回路の分野では、数年前から米国と韓国、台湾に技術と利益の点で完全に負けた。この状況を逆転し、日本の半導体を復活させるため、産学官共同のプロジェクトが1000億円単位の巨額の国費をつぎ込んで開始された。

モノマネ技術では負けるのは当然

そのうち数百億円が投入されたプロジェクトの研究内容を見て愕然とした。それは、米国で進められていた同様の研究プロジェクトで作られていた開発計画と瓜二つだったのだ。つまり、貴重な国費を使って、民間企業ではできないようなオリジナリティーの高い研究に挑戦しようというのではなく、米国のモノマネを始めようというのだ。

少なくとも米国が取り組んでいないテーマに目をつけて、リスクを取ろうというのが本筋ではないのか。こんなことをやっていては、戦う前に負けるのはわかっている。

その産学官共同の大プロジェクトは、昨年で当初予定の5年間を終了した。すると、すぐに別の新しい産学官共同プロジェクトがスタートした。そして、公開された研究プロジェクトは、またもや米国の開発計画の丸写しである。日本独自の挑戦的な研究開発テーマは全く見当たらない…。

筆者は現在、3次元半導体「SGT」の開発に取り組んでいる。平面だった半導体チップを円柱形にすることによって、超高速処理、高密度集積、低消費電力、低コストを一挙に実現しようという画期的な技術である。世界のどこにもないオリジナル技術だ。ところが、文部科学省や経済産業省、総務省などに研究資金補助を応募しても全て拒否されてきた。

捨てる神（？）あれば、拾う神あり。救ってくれたのは、日本ではなく、ドバイの投資家である。舛岡という私個人に100億円以上を投資してくれたのだ。すでに仙台と東京に研究拠点を作り活動を開始した。技術研究には、必ず成功するという保証はない。だが、成功した暁には世の中を変えるぐらいの大きな可能性がある。巨万の富をも生む。そういうメカニズムが日本ではうまく働いていないように思う。

そして、なによりも他国のモノマネではなく、新しいものを生み出してやるという技術者の気概を取り戻さなければならない。我々は、SGTで世界を必ず制覇するつもりだ。

このコラムについて

日々、生み出される膨大なニュース。その本質と意味するところは何か。そこから何を学び取るべきなのか――。本コラムでは、NB online編集部が選んだ注目のニュースを、その道のプロフェッショナルである執筆陣が独自の視点で鋭く解説。ニュースの裏側に潜む意外な事実、一歩踏み込んだ読み筋を引き出します。

著者プロフィール

舛岡　富士雄（ますおか　ふじお）



1943年、群馬県高崎市生まれ。1971年、東北大学大学院工学研究科電子工学博士課程を修了。工学博士。1971年、東芝に入社。1994年に退社。同年10月に東北大学情報科学研究科教授。現在、東北大学電気通信研究所教授。2004年7月に日本ユニサンティスエレクトロニクスのCTO（最高技術責任者）に就任。研究分野は、集積回路を中心とした半導体分野。NAND型フラッシュメモリの発明者として知られる。受賞歴、多数。

朝日　平成18年11月20日(月)夕刊掲載

街角の信号機、自動車のテールランプ、携帯電話のバックライト……。至るところで使われている、電流を通すと光り出す半導体部品、発光ダイオード。最初は赤色しかなく、青色を加えようと、世界中の研究者が競った。

その夢を実現させたのが、いまカリフォルニア大学サンタバーバラ校教授の中村修二(52)である。突破口は、地方企業の研究者だった中村の執念から生まれた。

中村は79年、徳島県阿南市にある化学メーカー、当時社員200人の日亜化学工業に入社する。命じられるまま、赤色ダイオードの開発をしてきた。手作りの装置を何度も爆発させながら、3度の商品開発に成功したが、すでに世にある製品ばかりで全然売れない。「お荷物」とまで言われた。

こんな失敗はこりごりだ。今度はやりたいものを。青色ダイオードが浮かんだ。「20世紀中の商品化はむり」とされ、周囲は相手にしない。一笑に付される覚悟で、当時の社長小川信雄に直訴した。

「青色ダイオードをやりたいのですが」

「いいよ」

「研究費に5億円かかります。米国にも留学させてください」

「いいよ」

小川は中村を買っていた。89年に中村は、青色ダイオードの材料として、大手が開発を断念した「窒化ガリウム」を選んだ。

ニッポン人・脈・記　ものづくりの力⑥

異端児 半導体の先端に



中村修二さん

舛岡富士雄さん



「発明の対価」世間に問う

難しさはうわさどおり。きれいな薄膜の結晶が必要なのに、できるのは真っ黒でぼろぼろの結晶ばかり。結晶を作る装置の改良に一人で明け暮れた。毎日、午前中に装置を直し、午後に実験をする。社内の会議にも電話にも出ない。

1年半後、きれいな透明な膜ができた。それからは、まるで宇宙探検。「まだだれも行ったことがない場所を、飛行船にのって探検している気がした」。93年、日亜化学は青色発光ダイオードの商品化を発表し、世界を驚かせた。

中村はいう。「一番大きかったのは、私が日本の主流からはずれていたことかもしれない」。徳島大で学生結婚して地元に残った。大手企業に入った同期を横目に、なにくそという思いが支えた。

中村が地方から生まれた異端児とすれば、舛岡富士雄(63)は、大企業のなかの異端児だった。

東北大学の博士課程を終えて東芝に入った舛岡は、80年ごろ、工場での生産管理の仕事の合間に、全く新しい半導体メモリー、フラッシュメモリーを考案する。

従来型のメモリーは、電源を切ると、データがすべて消えてしまった。舛岡が考えたのは、スイッチを切ってもデータが記憶されたまま残るメモリー。いまでは、携帯電話や携帯用のデジタル音楽プレーヤーに欠かせない。

当時、日本は従来型のメモリーで世界のトップだった。新メモリーの開発を進言しても、「なぜ、そんな製品をやるのか。もうかっているじゃないか」。舛岡の技術を買いに来たのは、米国の半導体メーカー、インテルだった。

やがて上司から疎んじられ、研究所長から技監へと「昇進」を告げられる。部下も開発予算もない名誉職。舛岡は94年、東芝をやめ、母校東北大の教授になった。



升永英俊さん

日本発の技術開発の最先端を走った中村と舛岡は、その後、発明の対価を求めて古巣の企業を提訴した。中村は04年の一審判決で、200億円の対価を認められ、一躍、世間の注目を集めた。

2人の代理人を引き受けたのは弁護士の升永英俊(64)。升永もまた、群れない人である。理系が好きで、弁護士登録の年に、東大工学部も卒業した。知的財産の専門家で、「自分は天才じゃないから」と徹底的に準備する。平日は毎日、事務所に泊まり込む。

升永は言う。「人の知恵や独創性が価値を生み、利益となる時代なのに、企業も社会も時代に即したルールをまだ築けないでいる」

昨年1月、中村は、高裁の勧告をうけて、8億円での和解に応じた。舛岡も今年7月、東芝と和解した。企業側が2人の貢献を真っ向から争った裁判は、白黒をつけぬままの決着となった。

「出るクイ」を歓迎する仕組みをつくり、いかに社会や企業の活力にむすびつけるか。重い宿題が残されている。（田中郁也）

河北新報　平成19年1月3日㈬〈13面〉掲載

学び究めて

東北大100年

第2部 実学の系譜

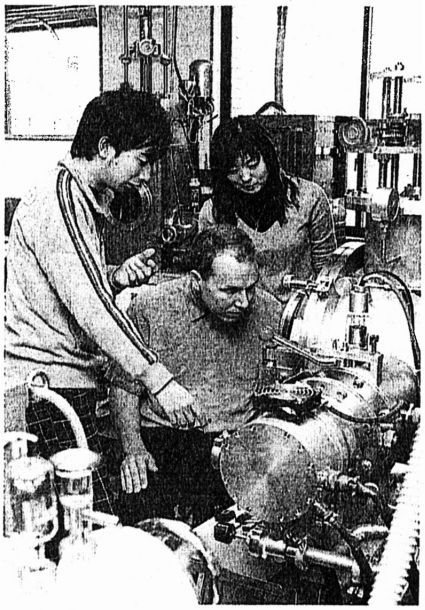
世界最先端の研究成果を社会や人々の日常生活に役立てる「実学尊重」の学風。各分野で輝かしい実績を上げてきた背景には、師から弟子へ、先輩から後輩へと脈々と受け継がれた伝統があった。

西澤潤一・首都大学東京学長（元東北大総長）が創設し、世界をリードしてきた半導体研究所は、フラッシュメモリーを開発した舛岡富士雄電気通信研究所教授、デバイス技術開発の小柳光正工学研究科教授らの人材を生み出した。

金属材料研究所は、本多光太郎元総長のKS磁石鋼や、親子で所長を務めた増本量、健両氏によるアモルファス合金の開発などで、産業界の発展に大きく貢献した。現在も論文引用数で世界のトップを走る。理学研究科付属ニュートリノ科学センターは、観測施設カムランドを使い、世界初の地球ニュートリノ検出に成功した。

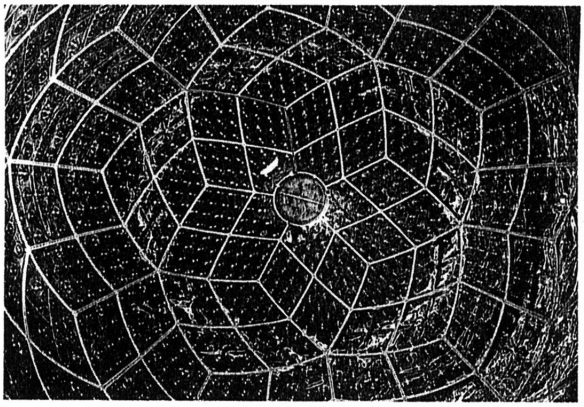
医療にも革新的な取り組みがあった。肺移植の分野でリードしている加齢医学研究所は、結核からがんに至るまでの肺疾患の研究を行った前身・抗酸菌研究所時代から蓄積があった。医と工学の連携では、人工心臓やCTスキャンなど医用工学のパイオニアとして実績を重ね、加齢研の仁田新一教授らの人工臓器工学に受け継がれる。

法学部では戦後、大教授時代が花開いた。民法、刑法、憲法、国際法…。東大をしのぐ優秀な教授陣が集まり、日本の民主主義のありようを提示した。



金属材料の基礎研究と応用に取り組み、産業発展に貢献してきた金属材料研究所の実験室。「金研」の名は全国に鳴り響く＝仙台市青葉区

各分野での実績紹介



ニュートリノ研究施設「カムランド」の内部。天空の星のように、内壁に取り付けられた光電子増倍管が、素粒子をキャッチする＝岐阜県飛騨高山市

化学と工業　平成19年2月1日掲載

半導体メモリ時代の幕開け

電源を切っても情報が消えない不揮発性メモリは、パソコン、デジカメなどで使われ始め、急成長している。なかでもフラッシュメモリ[*15]は、ブロック単位でデータの書き込みや消去ができるため処理速度が速く、半導体メモリの長所である低消費電力も魅力だ。これらのシステムを組みあげる基礎として材料化学が中心になっていることも重要である。

フラッシュメモリは、東北大学電気通信研究所舛岡富士雄教授が東芝の研究者時代に発明し、半導体の歴史に名を残したことで有名だ。舛岡教授は、「1950年にバイポーラトランジスタが発明されてから、半導体の歴史にはだいたい20年サイクルでエポックが起きています。1970年にはCPU[*16]、DRAM[*17]、1990年にはフラッシュメモリが登場し、それぞれ電子機器やコンピュータの産業に大きな貢献をしています。特に、フラッシュメモリは唯一日本から発信されたシリコン集積回路です」と振り返る。

さらに「メモリは単なる記憶装置ではなく、これからは人間社会を取り囲むシステムを支援・解決するためのソフトウエアを入れる器になります。そのために必要な容量に制限はありませんね。しかも、安く製造することがいちばん重要です」とユビキタス社会に向けた新たな半導体開発の必要性を説く。次の20年サイクルである2010年を目指して、舛岡教授はこれまでとはまったく異なる考えに基づくSGT[*18]という名前の半導体（図5）の研究試作に着手している。最大の特徴は、現在平面で構成されているMOSトランジスタ[*19]を、立体的な円柱形にする点にある。シリコン、ソース電極、ゲート電極などの要素はこれまでのものと変わらないが、円筒形だと占有面積が数分の1になり、高速化と低消費電力化、そして低コスト化が格段に進むという。

現在のフラッシュメモリは容量が4ギガバイト程度であるが、SGTで作るとテラバイトオーダーも可能となる。これを低価格で作れれば、HDDに取って代わる時代が近いうちに来るかもしれない。多くの技術の中の1つであるSGTが完成すれば、産業構造を変える第4の波になる可能性が高い。舛岡教授は最後に「半導体技術の発展はこの先30年は続くでしょう。それを支える化学分野も重要になると思います」と付け加えた。

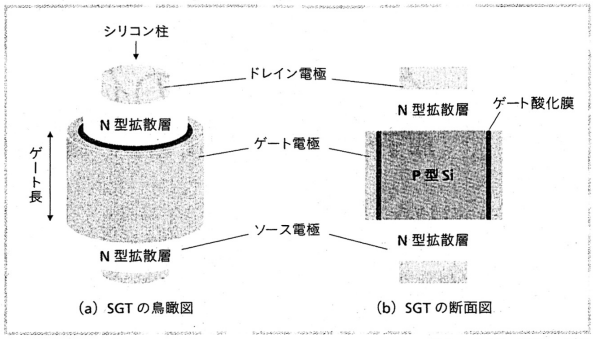


図5：SGT（提供：東北大学 舛岡富士雄教授）
SGTは、シリコン柱にN型拡散層、酸化膜、金属を順に巻いた円柱形の構造であり、従来の平面型と比較した占有面積は数分の1になる。

過渡期を迎えるストレージ

情報を記録するためのストレージ技術はこの50年余で劇的な進化を遂げ、今なおその勢いは衰えを知らない。ここ1年ほどの間に、若者の間では小型HDDや半導体メモリに音楽を入れて持ち歩くというスタイルが一般化しつつある。近い将来には気に入った映像を持ち歩くといったことも当たり前になるだろう。

ストレージ高密度化の多くの部分を支えているのは材料技術の進歩だ。HDDは、当初は短命で終わると思われたが、技術改良により、現在ではコンピュータの記憶装置として中心的位置を占めている。光ディスクは、映像・画像・データの長期保存というHDDとは異なる目的をもち、可搬性にも優れていることから、両者は今後共存していくだろう。一方、これから注目されるのが半導体メモリの高密度化と低価格化だ。半導体メモリがHDDの座を奪い、パソコンからHDDか消える日が来るのだろうか？ それともHDDがさらなる発展をするのか、今後の展開が楽しみだ。

膨大な数のストレージ装置の情報がインターネットで互いに接続される将来、社会は、そして、化学の研究現場はどのように変わっていくのだろうか。

（サイテック・コミュニケーションズ　山本威一郎）

[*15] フラッシュメモリ：フラッシュメモリは、デジカメなどに使われる「SDメモリーカード」やPCに簡単に接続できるUSB（Universal Serial Bus）メモリなどに使用されている。
[*16] CPU：Central Processing Unit
[*17] DRAM：Dynamic Random Access Memory
[*18] SGT：Surrounding Gate Transistor
[*19] MOSトランジスタ：Metal Oxide Semiconductorの略。金属と半導体との間に酸化物絶縁体を挟んだ構造の半導体。オンオフのできるスイッチの役割をする電界効果型トランジスタと言われるものの1つである。構造が簡単で高集積化に適していて、小さな電力で動作するのが特長。

河北新報　平成19年2月7日(水)〈3面〉掲載

第2部　実学の系譜　②

学び究めて

東北大100年

●●10

特許取得　重要性説く

西澤道場（下）

「メダルの先生は厳しかった。成果が出ないと、会ってもらえなかった」。広島大（広島県東広島市）の研究室の本棚にある東北大元総長西澤潤一の肖像が刻まれたメダルを、教授角南英夫(六三)はまぶしそうに眺めた。

エレクトロニクス分野で最大の米国電子電気学会（IEEE）＝?＝は二〇〇二年、エジソンやベルら大科学者の名前を冠した最高賞のメダルズに「ニシザワ」を加えた。

論文すべて検証

四年後、コンピューターに不可欠のメモリー「DRAM」の基本技術で、初めて日本人グループがニシザワメダルズを共同受賞した。そのうち角南と、東北大教授の小柳光正(六〇)は一九七〇年前後に西澤研究室にいた。在籍時期が異なる二人だが、後に日立の開発チームで机を並べ、互いに切磋琢磨（せっさたくま）した。

角南は電荷を蓄積する機能をシリコンに溝を掘って組み込んだ。対照的に小柳は、シリコン上に立体的に電荷を蓄積させることに成功した。世界のDRAMには、角南、小柳のいずれかの技術が使われている。

小柳は西澤研に入って、面食らった。西澤から「論文が間違えているから直せ」と手渡されたのは、集積回路で〝バイブル〟と称される文献だった。大学院の五年間、自作の測定機を使い、論文のデータをすべて検証したという。

小柳は「課題の答えは見つけられなかったが、シリコンとモノづくりの基礎を学んだ。わたしの発見は西澤研の経験の延長線上にある」と振り返る。

「称賛なき英雄」

記録した情報を電気的に一時消去して、再度書き込むことができる「フラッシュメモリー」。デジタルカメラや携帯電話に搭載され、現在の高度情報社会を支えるこの技術の生みの親も、西澤研出身の東北大教授舛岡富士雄(六三)だ。

舛岡は、西澤研で修士課程を修了した後、八〇年代に東芝の研究員としてフラッシュメモリーの特許を取った。記録保持性が高いだけでなく、安価で、軽く、低消費電力という発想は、実学そのもの。米国でいち早く評価され、大きな半導体市場を形成した。だが、日本での評価は低く、そんな舛岡の境遇を米経済誌は特集を組んで「Unsung Hero（称賛なき英雄）」と紹介した。

「特許は独創のよろい」。大学院生に対し、西澤は特許の重要性をたたき込んだという。自身が考案した技術の特許手続きを舛岡らに課した。当時は、企業ですら特許に関心が低かった時代。大学の研究者が特許を取ることを批判する風潮すらあった。

弟子たちが証明

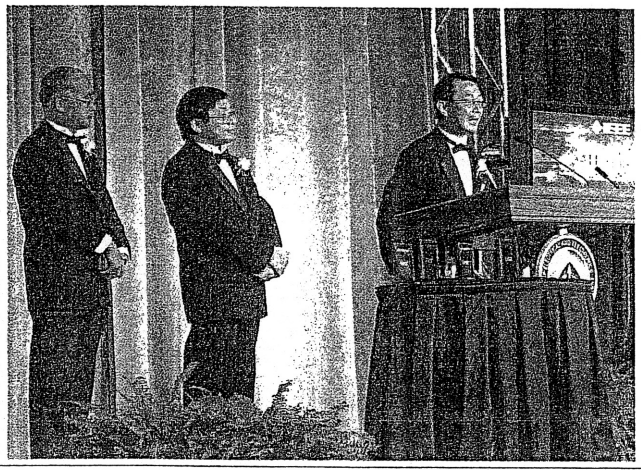
西澤の技術を理解しないと、申請書類の作製がままならない。実験データがない場合は、自分で理論計算もした。舛岡は「社会に役立つ技術がどういうものか。先生の着想を学ぶ、生きた学問だった」と言う。

「わたしの指導について、いろいろなことを言う人がいるが…。決して悪いわけではないことを、弟子たちが証明してくれた」

昨年十二月、都内のホテルの一室で開かれた西澤研究室・半導体研究所の同窓会。西澤は出席した五十人の弟子を前に、上機嫌で語った。

西澤が持参したのは、IEDM（国際電子デバイス会議）が、設立五十周年を記念して選出した優秀講演五十八件のリスト。日本人研究者六人が含まれたうち、小柳、角南、舛岡が選ばれ、西澤研出身者が半数を占めていた。

（敬称略）



ニシザワメダルズ授賞式でスピーチする角南さん（右）と小柳さん（中央）。〝産業のコメ〟と呼ばれた半導体産業のけん引役＝2006年6月、米国・ミネアポリス

?　IEEE　世界150カ国に約38万人の会員がいて、コンピューター、バイオ、通信、電力、電子、航空などの39の専門部会がある。主な活動は国際会議の開催、論文誌の発行、技術教育。表彰制度は、研究分野ごとに部門賞があり、その上位に20世紀を代表する科学者の名を冠した14の「メダルズ」がある。

日経　平成18年12月15日(金)〈17面〉掲載

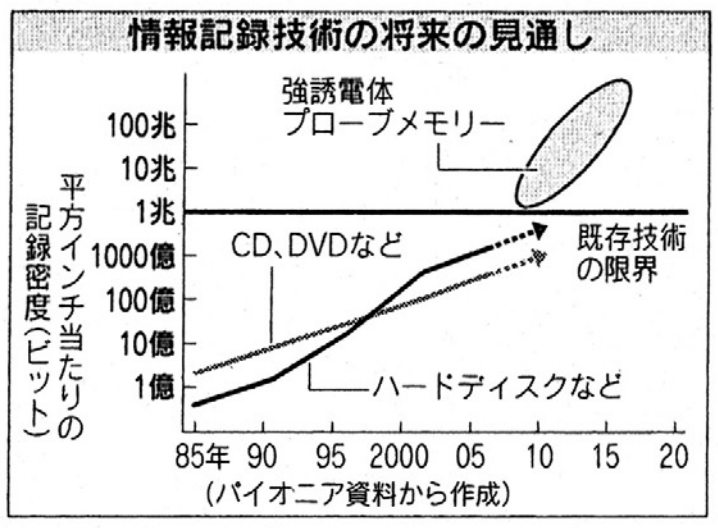
巨大容量の次世代メモリー

ハイビジョンを1500時間保存

東北大とパイオニアが開発

従来技術の限界突破

パイオニアと東北大学は、携帯音楽プレーヤーなどに使われているメモリーに比べ、数十倍―一万倍以上の情報を記録できる新型メモリーを開発した。切手大のサイズ換算で十テラ（テラは一兆）ビット以上の情報を保存できる。ハイビジョン映像で千五百時間程度に相当する。従来のメモリーの記録容量限界を超えることが可能で、将来のメモリーの有力候補になりそうだ。



開発したのは「強誘電体プローブメモリー」。「強誘電体」という材料に微小な針をいくつも並べて情報を記録したり、読み出ししたりする。

産学共同研究グループは原型機を作り、画像をデータ化して記録することに成功した。基本原理だけでなく、実際のメモリーとして利用できることまで確認した。パイオニアは今後、装置化できるように研究を進め、二〇一〇年ごろまでに実用化にメドをつける。

情報記録装置には様々なものがあるが、携帯音楽プレーヤーやデジタルカメラ、ノート型パソコンなど携帯電子機器には、高速動作するフラッシュメモリーやハードディスクなどが使われている。しかし記録できる情報量は現在、一平方インチあたり数十メガ（メガは百万）ビットから数百ギガ（ギガは十億）ビットで、今後、研究開発が進んでも同一テラビットが技術限界といわれている。

パイオニアなどが開発したメモリーは原型機レベルだが、従来のメモリーの技術限界を超えている。理論的には同四千テラビットまで可能だとしている。

新型メモリーならば小型・大容量の情報を記録できる。高精細映像を大量に保存し、外出先でも好きな時に映像を鑑賞できる携帯電子機器の実現も夢ではなくなりそうだ。

電気変化読み、高密度化

強誘電体プローブメモリー

強誘電体プローブメモリーは、「強誘電体」と呼ばれる材料に微小な針で電圧をかけ、電気的性質が変わることを利用する。今回、一ナノ（ナノは十億分の一）メートル以下という微細なスペースでも微弱な電気の変化を読み取れる技術を使い、メモリー実現に道を開いた。

いったん記録すれば電源を切っても情報が残るタイプで、大容量メモリーとして期待されてきた。情報記録の研究は以前にもあったが、高密度記録をしようとすると記録スペースが微細になる。このため電気の変化が微弱で、情報を記録するのは難しかった。

今回は東北大学の技術を利用し、電流の位相や周波数を計測することで変化を把握できるようになり、高密度化を実現した。

情報記録装置も、「MEMS」と呼ぶ微細加工技術を応用した。情報を書き込んだり読み出したりする。微小な針を十―一千本作って並べる。多数並べているため、記録速度は毎秒百メガ（メガは百万）ビット以上。フラッシュメモリーと同等以上になるという。

微小な針も半導体などの微細加工技術をうまく応用できれば、量産化も可能になりそうだ。

日経　平成19年2月26日(月)〈19面〉掲載

危ういぞ科学技術立国 ③

インフルエンザのウイルス研究で世界をリードする東京大学医科学研究所の河岡義裕教授は、一九九九年に米国から帰国したときのことが忘れられない。研究所に赴任後、三年間は国の大きな研究予算をとれなかった。成果は出していたが「（応募しても）かすりもしなかった」と話す。

再生医療研究の第一線で活躍する京都大学の山中伸弥教授も同じ経験を持つ。米国からの帰国後、研究費に恵まれず実験用マウスのエサやりなど雑用も一人でこなしていた。「研究者をやめようかなと思った」

転機は訪れる。大阪大学の岸本忠三教授（元総長）が、二〇〇一―〇三年にかけて自ら研究リーダーを務める国のプロジェクトに二人を誘った。「独創性がずば抜けていた」という。

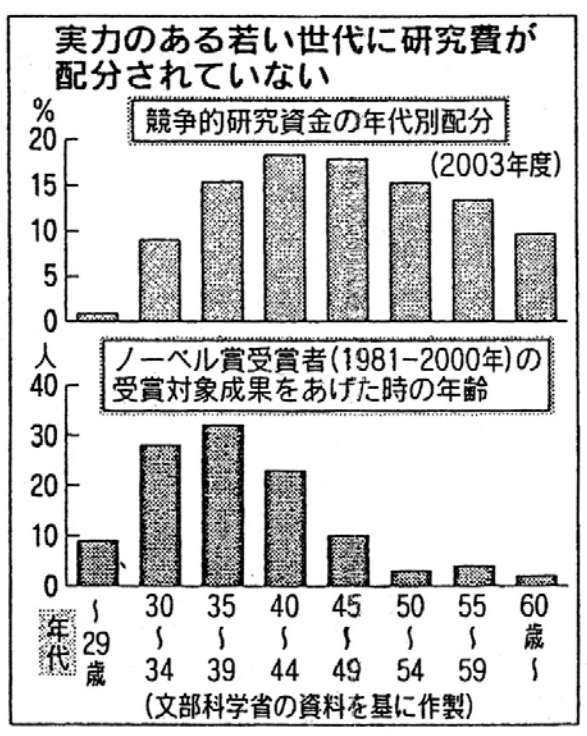
論文掲載で左右

その後、河岡教授は鳥インフルエンザウイルスの変異メカニズムなどを解明。ネイチャーなど有名科学誌に論文を掲載し続けている。山中教授も昨年、皮膚の細胞から様々な組織や臓器に変化しうる万能細胞をつくり、海外でも大きな話題となった。

独創的研究に届かぬ予算

官流配分 若手育たず

国の研究費配分は著名な科学誌の掲載歴に大きく左右される。論文は常識を覆す研究ほど最初は掲載されにくい。若手の独創的な研究は選考外になりやすい。「（評価できないなら）平等に研究費をばらまく方がましだ」と岸本教授は評価システムのまずさを嘆く。



海外勢は独創的な研究を発掘することに貪欲（どんよく）だ。なにも欧米にとどまらない。

携帯電話やデジタルカメラに広く使われるフラッシュメモリーの父、東北大学の舛岡富士雄教授。今は、既存の十分の一以下の大きさになるMPU（超小型演算処理装置）の開発に取り組む。研究の後ろ盾はアラブ首長国連邦ドバイに本部を置くユニサンティス。用意された研究費は百億円以上にのぼる。

世界中で共同開発を手がけるユニサンティスは独自の研究者ネットワークを使い舛岡教授に目をつけた。〇三年末から本部の担当者や投資家らが自家用ジェット機で何度も来日、東北大の研究室を訪れた。英ケンブリッジ大学の研究者数人もやってきて専門的な内容をチェック、〇四年末に契約を結んだ。舛岡教授は国にも研究費を申請しているが却下され続けている。

海外も冷ややか

研究評価の仕組みに疑問を持たれる日本に海外の研究者は冷たい。

政府が世界最高レベルの生命科学研究機関にしようともくろむ沖縄科学技術大学院大学。高市早苗・沖縄担当相は一月上旬、アジアのバイオ研究の中心地として頭角を現してきたシンガポールを訪れた。同相は「取り組みの参考になった」というが中身のある協力を得られなかった。

沖縄大学院大学は今年、開校予定だった。当初はノーベル賞級の研究者五十人を世界中から招く計画で、準備機関の理事長にノーベル賞受賞者のシドニー・ブレナー氏を迎えた。しかし招きに応じてくれる一流の研究者は現れず開校のメドすら立たない。

ある内閣府幹部は「（超一流の研究機関や人材は）橋や道路を造る感覚ではうまくいかない」とこぼす。予算総額を増やし有名人を集めるという「官制」のやり方だけでは独創性は育（はぐく）めない。

＝次回は3月5日付に掲載

日刊工業　平成19年2月5日(月)〈20面〉掲載

地域イノベーション創出事業

札幌医大など26件

JSTが採択

科学技術振興機構（JST）は地域イノベーション創出総合支援事業の06年度育成研究課題として、札幌医科大学大学院医学研究科の鳥越俊彦助教授を代表者とする「免疫・がんの個性診断を可能とするレクチン／抗体複合型診断薬の開発」など26件を採択した。研究成果活用プラザおよびJSTサテライトで実施する研究で、研究費支援は年3000万円、研究期間2－3年。171件の応募から選出した。

その他の採択課題は次の通り。（カッコ内は研究代表者）

▽スキンケアチップを利用したスフィンゴ脂質、セラミド等の皮膚機能改善への応用（五十嵐靖之北海道大学先端生命科学研究院教授）▽生体用高機能性チタン合金の組成の最適化と医療器具への応用（花田修治東北大学金属材料研究所教育研究支援者）▽高速データ書き込み性能を有する超大容量3次元構造不揮発性半導体メモリの開発（遠藤哲郎東北大学電気通信研究所助教授）▽光ライゲーションを用いた高感度遺伝子解析システムの開発（藤本健造北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科准教授）▽はんだ付け用低温硬化型導電塗料の開発（谷野克巳富山県工業技術センター所長）▽有機－無機ハイブリッド系新規接着剤の開発と鉄道車両への実用化研究（中村修平三重大学大学院工学研究科教授）▽高密度プラズマ処理によるプラスチック界面密着技術の実用化研究（曽井秀郎名古屋大学大学院工学研究科教授）▽ダンパー型ケーブルの開発と建築構造物に適用した場合の耐震設計法の確立（渡邊史夫京都大学大学院工学研究科教授）▽ペプチド性新興・再興ウイルス膜融合阻害剤の大量生産法の確立と創薬展開（藤井信孝京都大学大学院薬学研究科教授）▽人体・環境への調和を目指した高強度・快削性黄銅合金の開発（近藤勝義大阪大学接合科学研究所教授）▽高空間分解能蛍光x線分析装置の開発（辻幸一大阪市立大学大学院工学研究科助教授）▽間葉系幹細胞（MSC）の安全性判定法とそれを用いた細胞治療法の事業化（加藤幸夫広島大学大学院医歯薬学総合研究科教授）▽伸び切り鎖ナノ結晶体による超高性能汎用高分子材料の開発（彦坂正道広島大学大学院総合科学研究科教授）▽染色体不安定性に起因する老化関連疾患のリスク診断キット・装置の開発（田原栄俊広島大学大学院医歯薬学総合研究科教授）▽加齢黄斑変性および糖尿病網膜症の新規治療薬の開発（石橋達朗九州大学大学院医学研究院教授）▽個人のHLA型に合わせたテーラーメードのT細胞ワクチン開発（宇高恵子高知大学医学部教授）▽広食性土着天敵クロヒョウタンカスミカメを利用した施設　果菜類の害虫防除法の確立（荒川良高知大学農学部教授）▽交流磁場誘導型カラム分離システムの開発（青柳隆夫鹿児島大学大学院理工学研究科教授）▽制御型ヒト抗体結合ペプチドによる抗体の検出、精製技術の開発（伊東祐二鹿児島大学工学部助教授）▽注射に代わる経鼻投与デバイスを用いた糖尿病と肥満に対するペプチド医薬品の開発（中里雅光宮崎大学医学部教授）▽バイオラピッドプロタイピングシステムの開発（中山功一九州大学病院整形外科医員）▽インフルエンザワクチン産生に適した3D高密度細胞培養法の研究（佐藤成大岩手医科大学医学部教学生物系教授）▽個人のHLA型に合わせたテーラーメードのT細胞ワクチン開発（宇高恵子高知大学医学部教授）▽広食性土着天敵クロヒョウタンカスミカメを利用した施設　果菜類の害虫防除法の確立（荒川良高知大学農学部教授）▽交流磁場誘導型カラム分離システムの開発（青柳隆夫鹿児島大学大学院理工学研究科教授）▽制御型ヒト抗体結合ペプチドによる抗体の検出、精製技術の開発（伊東祐二鹿児島大学工学部助教授）▽注射に代わる経鼻投与デバイスを用いた糖尿病と肥満に対するペプチド医薬品の開発（中里雅光宮崎大学医学部教授）

化学工業日報　平成18年4月3日(月)掲載

光通信向け複合材料

東北大

CNT均一分散

溶媒選択でバルク化も

光通信デバイスに最適なカーボンナノチューブ（CNT）複合材料技術が開発された。東北大学電気通信研究所の中沢正隆教授、同多元物質科学研究所の戒能俊邦教授のグループが成功したもので、ポリメチルメタクリレート（PMMA）などにCNTを均一分散しただけでなく、厚さ一ミリメートルのバルク体を得ることができた。これまでは厚みが数百マイクロメートルレベルが限界だったが、CNT、ポリマーがともに溶ける溶媒の選択によって可能になった。

CNTは波長一マイクロメートル帯で可飽和吸収光学効果（弱い光を吸収し強い光を透過する）があるとともに、その回復時間が一ピコ（十のマイナス十二乗）秒と超高速であることが知られている。

このためCNTをレーザー内部に挿入して超短パルスを発生させる技術が開発されてきたが、CNTが凝集して光散乱損失が発生する問題があった。

この問題を解決するために、CNTを均一分散する技術が検討されている。しかし、ガラス基板にスプレーで吹き付ける手法は厚さが数十ナノメートル、ポリビニルアルコール（PVA）に分散させる手法は数百マイクロメートル程度で、しかも長期的な特性劣化が避けられなかった。

同グループは光ファイバーに使われるPMMA、ポリスチレン（PS）中に溶媒としてクロロベンゼンあるいはテトラヒドロフランを用いて、CNTを均一分散することに成功した。試作したPMMA・CNT複合材料は二十ミリメートル角で、厚さが一ミリメートル。CNTの分散濃度は五百ppm。

この複合材料をレーザー内部に挿入したところ、百七十一フェムト（十のマイナス十五乗）秒と超短光パルスが発生でき、高速光デバイスに有効であることを確認した。

河北新報　平成18年９月４日(月)〈３面〉掲載

世界最長600キロ伝送成功

超高速光信号

東北大電通研

東北大電気通信研究所の中沢正隆教授（超高速光通信）と広岡俊彦助手は、独自に開発した光通信の信号パルスに生じる波形のゆがみを除去する技術を使い、超高速光信号の伝送で世界最長の六百キロに成功した。フランスで二十四日に始まる欧州光通信国際会議で発表する。

中沢教授らは二〇〇三年から、周期の乱れが極めて少ない周波数スペクトルを持つ「フーリエ限界パルス」を入力信号として、波形のゆがみを完全に取り除く「光フーリエ変換装置」の開発を進めてきた。

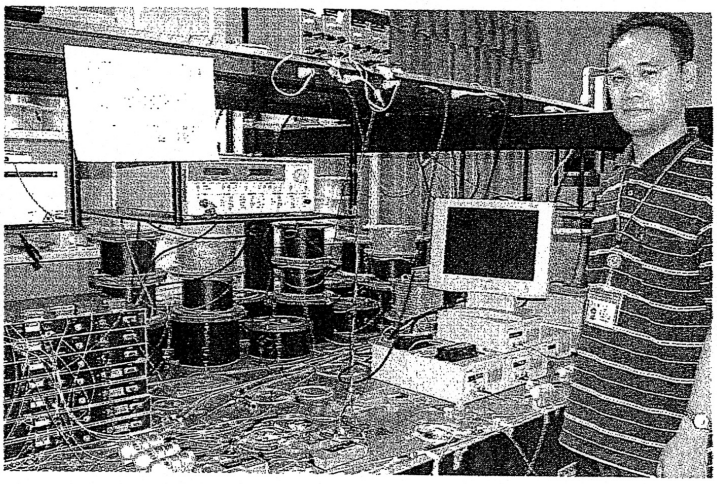
この技術を光通信で一般的に用いられる伝送方式に適用した実験では、実際に長さ六百キロの光ファイバーで、パルス光源から光信号を入力し、変換装置を経由して受信。現在、実用化されている伝送速度の十六倍に当たる毎秒百六十ギガビットの超高速光信号が、安定して伝送できることを実証した。

伝送速度が毎秒百ギガビットを超える超高速光通信では従来、光ファイバー中の波長分散などによる波形のゆがみが原因で、伝送距離は四百キロが限界だった。

光フーリエ変換装置が実用化されると、既存の光通信伝送網の受信部に装置を設置するだけで、超高速伝送が可能になる。新たなインフラ整備の必要がないため、コスト面のメリットも大きいという。

六百キロは東京―大阪間に相当する。中沢教授は「速さや安定性、伝送距離などについて、実用化に必要な動作が実証できた。さらに伝送距離の拡大を目指したい」と話している。

波形ゆがみ除去技術 応用



超高速光信号の安定した長距離伝送に成功した実験装置。右は広岡助手＝仙台市青葉区の東北大電気通信研究所

日刊工業　平成18年９月７日㈭〈28面〉掲載

ノーベル賞の有力候補者

日本から中沢東北大教授

米トムソンが27人選出



中沢　教授

米トムソンサイエンティフィック（コネッチカット州）は06年のノーベル賞の有力候補者となる06年トムソンサイエンティフィック栄誉賞の受賞者27人を発表した。日本からは物理学賞に「世界中の高速光ファイバー通信ネットワークに革命をもたらしたエルビウム添加ファイバー増幅器の開発」で、フランスと英国の研究者とともに中沢正隆東北大学電気通信研究所教授が名を連ねた。

受賞者は物理学、化学、医学・生理学、経済学の4分野における学術論文の被引用数とインパクトの強い論文数などのデータから世界の科学の進歩に大きな影響力を発揮したと認められた科学者。02年から栄誉賞を発表しており、これまでに予想した27人中4人がノーベル賞を受賞。的中率は約7分の1となる。

河北新報　平成18年９月７日㈭〈33面〉掲載

ノーベル物理学賞

東北大教授に受賞の可能性

米会社が予測

米国の学術情報会社、トムソンサイエンティフィックは六日、論文の引用回数などに基づく独自のノーベル賞受賞予測を発表、日本人では中沢正隆東北大教授が物理学賞を受賞する可能性があるとの見方を示した。

中沢教授は、通信に利用する光が途中で減衰しないよう、光ファイバーの中で増幅ができる「エルビウム添加ファイバー増幅器」を開発。現在世界中で利用されている光による大容量通信システムの発展に大きな貢献をした。英、フランスの二研究者と共同受賞の可能性があるという。

化学、医学生理学、経済学に日本人の有力候補はいなかった。

同社によると二〇〇二年以来、受賞の可能性があるとした研究者二十七人のうち、四人がノーベル賞を受賞しているという。ノーベル賞は来月二日から各賞が発表される。

日刊現代　平成18年９月８日〈５面〉掲載

日刊ゲンダイ

2006年(平成18年)9月8日〈5〉

ノーベル物理学賞

「いたずらだと思って研究室でも黙っていました」

受賞予測に名前が挙がった東北大教授を直撃



光通信技術の第一人者

アメリカの学術情報会社「トムソンサイエンティフィック」の恒例のノーベル賞受賞予測。日本人では東北大学の中沢正隆教授（53）が「物理学賞を受賞する可能性がある」と発表されて話題になっている。

中沢教授は光通信技術の第一人者。通信に利用する光が光ファイバーの中で減退しないようにする増幅器の研究開発が評価された。

現在のような高速インターネットが世界中で普及した背景には、中沢教授の研究成果があったわけだが、ノーベル賞となるとさすがに〝寝耳に水〟だったようで、「なんで私が？」（中沢教授）というのが率直な感想だという。

中沢教授によれば、今週月曜日にアメリカから手紙が届き、ノーベル賞受賞者の予測リストのひとりとしてプレス発表すると書かれていたという。しかし、「エイプリルフールのようないたずらだと思い、研究室のみんなにも黙っていた」そうで、きのうの報道発表を受けて研究室は上を下への大騒ぎになったという。

「ホントに受賞するとは思いませんが、ノーベル物理学賞といえば素粒子や宇宙の起源といった深遠なテーマの研究が対象だと思っていました。それが光の増幅器という極めて実用的な研究にもスポットライトが当たったことがうれしいです」

祝杯にはまだまだ気が早そうだが、「さすがに学生の僕を見る目がぜんぜん違いますね」。

ちなみに、02年以降でトムソン社が受賞の可能性があるとした研究者27人のうち、実際の受賞者は4人。ノーベル賞は来月2日から各賞が発表になる。

「実用研究が対象になってうれしい」

日経産業　平成18年９月７日㈭〈13面〉掲載

ノーベル賞

東北大・中沢氏と予想

米トムソン　光増幅器の開発

技術情報サービスの米トムソンは六日、来月に発表されるノーベル賞の受賞研究者の予想を公表した。日本人では物理学賞で高性能な光増幅器の開発を手掛けた東北大学の中沢正隆教授を候補に挙げた。

中沢教授は一九八〇年に東京工業大学博士課程修了後、日本電信電話公社（現ＮＴＴ）に入社。英国研究者らの成果を生かし、エルビウムを添加した光ファイバーの増幅器を開発した。

開発した装置は入力した光を百―千倍に増幅する働きがあり、古河電気工業やＮＴＴなどが商品化。都市間やビルなどを結ぶ中継点に広く普及し、高速通信社会の実現に大きく貢献した。中沢教授は長距離通信を可能にする「光ソリトン」の研究者としても世界に名が知られている。

トムソンは学術論文の引用件数などを手掛かりに予想した。〇五年は化学賞で、高効率の触媒を開発したロバート・グラブス米カリフォルニア工科大学教授の受賞が的中した。

また、昨年は日本人では米カリフォルニア大学の中村修二教授と九州大学の新海征治教授、東京大学の十倉好紀教授の三人を候補に挙げていた。トムソン社は「今年の予想は直近の論文引用数を調べた結果だが、（中村教授ら）三人がノーベル賞の候補から完全に外れたわけではない」としている。

毎日　平成18年９月17日(日)〈21面〉掲載

並木道

お金と仕事

東北大電気通信研究所の中沢正隆教授が、10月に発表されるノーベル物理学賞の候補に挙げられた。「エルビウム添加ファイバー増幅器」と呼ばれる装置を開発、光ファイバー通信に革新をもたらした実績が評価された。

インタビュー取材の撮影で、中沢教授に会った。「名前が挙がっただけでも光栄なこと」。素顔の中沢教授は謙虚で気さく、話好きな人だった。「気難しい人では」という先入観は吹き飛んだ。

画期的な技術の開発者と聞いて私が思い出したのは、青色発光ダイオードの中村修二教授だ。中村教授はこの開発をめぐる会社との裁判を経て、普通のサラリーマンの年収の何倍ものお金を手にした。「画期的な発明にはそれに見合った対価を」という考え方は正しいと思う。

一方、５年前、ＮＴＴの研究所から請われて東北大にやってきた中沢教授は「自分のやりたい研究がしたいから東北大学に来た。世の中のため、社会のためになるようなものを開発したい」と話す。

お金じゃない、とは簡単には言えないが、気持ちも大切だ。カメラのファインダー越しに、熱心に語る中沢教授の姿はとても魅力的だった。私もそういう姿勢で仕事に向かおうと思った。

【長谷川直亮】



日刊工業　平成18年９月18日(月)〈１面〉掲載

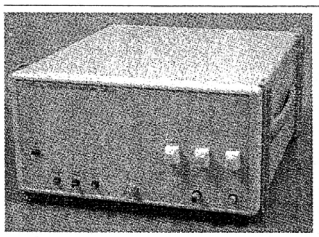
次世代光通信

既設網で160ギガビット・600km

東北大 大型投資不要に

東北大学の中沢正隆教授と廣岡俊彦助手らは、現在主流である最も簡易な伝送方式を用いて、次世代の高速光通信である毎秒160ギガビットの速度で東京―大阪間に当たる600キロメートルの長距離光伝送に初めて成功した。従来は400キロメートルが限界だった。既設の光伝送システムに光信号波形のゆがみを取り除く独自開発の装置を付加するだけで、大型投資を行わずに通信網を高速化できる。装置は５年後をめどに１台50万―100万円程度で実用化をにらむ。

中沢教授らが開発した「光フーリエ変換回路」（写真）装置は、毎秒100ギガビットを超える高速光伝送において品質低下の要因となる光信号波形のゆがみを一括で排除できる。従来のようにゆがみを持つ波形を時間軸上で補正せず、周波数軸上に変換して出力することでゆがみが抑制され、高品質で信頼性の高い安定な伝送が行える。これまでの長距離伝送は全く異なる伝送方式に切り替え、信号の誤りを訂正する高価な装置を導入する必要があるなど実用には不向きだった。



この装置を既存方式による光伝送システムの受信部に導入すると、現在実用化されている伝送速度の16倍である超高速光信号の伝送で長距離化を実現した。毎秒160ギガビットの伝送速度は１秒間に映画約４本を送れる容量に相当する。実用化が見込まれる５―10年後には高精細度テレビ（ＨＤＴＶ）のハイビジョン映像や音声、映像、文字を融合した複合メディアなどの高速伝送が一段と進むことになる。

研究は文部科学省の助成を受けて行われ、成果はフランスで開かれるヨーロッパ光通信国際会議「ＥＣＯＣ2006」で26日に発表する。

週刊新潮　平成18年9月21日㈬掲載

ノーベル物理学賞候補「東北大教授」の受賞確率

ノーベル賞の季節到来。10月2日からの発表に先駆けて、米文献データ会社のトムソン社が、自然科学と経済学の計4分野で有力候補者27人を選出。東北大電気通信研究所の中沢正隆教授(53)がその一人に。

「『サイエンス』や『ネイチャー』など9000冊の学術情報誌を解析。被引用件数の上位0・1%にランクされた方を候補者に選出しています」(トムソンの日本事務局)

物理学賞候補に挙げられた中沢教授が語る。

「私が研究した光ファイバー増幅器は、物理というより工学的なものですから、物理学賞にはかすりもしないと思っていたのですが、ただ、過去の受賞者を調べると、無線電信やレーザー、集積回路でも受賞している。となれば……」

教授が開発したのは、エルビウム添加ファイバー増幅器(EDFA)。

「光ファイバーを通る光は、100㌔で100分の1まで減衰します。元に戻すのに、エルビウムという希少元素にレーザー光を当てて増幅するのですが、これまでは大掛かりな装置が必要でした。89年、米粒ほどの半導体レーザーを使って掌サイズの増幅器をつくることに成功したのです」



物理学賞5人目となるか

95年から実用化した中沢教授のEDFAは、国際電話に使う海底ケーブルを通る光を増幅。最近は、インターネットの高速化を可能にした。

トムソン社が02年から05年までに選出したのは計27人(延べ86人)で、ノーベル賞受賞は4名。うち初選出の年に受賞に到ったのは3人である。

'06.9.21　134

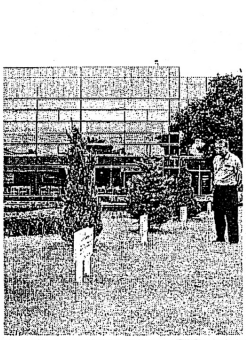
日経産業新聞　平成18年９月25日(月)〈15面〉掲載

日本人のノーベル賞候補

企業研究者の業績光る

80年代の成果目立つ

今年のノーベル賞は十月二日から順次発表される。日本人の受賞者は二〇〇三年から途絶えているが、科学技術分野で受賞に値する業績を持つ研究者は数多い。最近目立つのは企業に所属する研究者だ。ノーベル賞を目標に研究開発に力を入れる企業もある。日本の企業研究者でノーベル賞第一号となった島津製作所の田中耕一フェロー（〇二年化学賞）に続く研究者はいつ登場するか――。



ノーベル賞学者に依頼し、4本の樹木を植樹した（千葉県袖ケ浦市の三井化学研究所）



NEC 飯島氏



三井化学 藤田氏

化学

三井化学・藤田氏　オレフィン系触媒

NEC・飯島氏　炭素ナノチューブ

日立・神原氏　DNAの解析技術

千葉県袖ケ浦市にある三井化学の研究所。敷地内にはマツやツゲなど四本の樹木をきれいに植えた場所がある。いずれもノーベル化学賞の受賞者が植樹した樹木だ。

樹木の前には、野依良治・理化学研究所理事長（〇一年受賞）や米カリフォルニア工科大学のロバート・クラプス博士（〇五年受賞）ら四人の名前を刻んだプレートがある。

植樹はノーベル賞学者に限定で、同社が二年おきに主催する触媒に関する国際シンポジウムに来日した際、植樹を依頼した。植樹の狙いについて、同社の山口彰宏専務は「ノーベル賞級の研究成果をめざすよう研究者に奮起を促すため」と話す。

中国の追い上げが激しい化学業界で生き残るには競争力の高い新規事業が必要。ノーベル賞はそれを実現する究極の目標といえる。

そんな同社が化学賞の候補と期待しているのが、藤田照典・触媒科学研究所長（48）だ。新しいオレフィン重合触媒を開発、汎用プラスチックのポリエチレンの合成に使う「メタロセン触媒」に比べて三百倍効率が高い。新しい触媒の開発では過去に多数のノーベル賞受賞が出ていることもあり、期待が集まる。

化学賞では、カーボンナノチューブ（筒状炭素分子）を発見したNECの飯島澄男特別主席研究員（67）も有力な候補者だ。ナノチューブはまったく新しい炭素物質で、薄型ディスプレーや電子デバイスなどに応用が期待される。

ただ、最近注目を集めるのはナノメートルサイズの物質の人体への安全性問題。アスベスト（石綿）問題をきっかけに安全性が議論になっている。飯島研究員も東京大学などと協力してナノチューブの安全性の確認にも力を入れている。

生化学の分野を中心に計測技術の成果についても、化学賞の対象になっている。DNA（デオキシリボ核酸）の解析技術を開発し、ヒトゲノム（遺伝情報）解読に貢献した日立製作所の神原秀記フェロー（61）も候補の一人。ゲノム研究関連の受賞者は最近出ていないこともあり、注目されている。



大北氏 東中

物理学

NTT出身・中沢氏　光ファイバー増幅

物理学賞では、候補者として今年になって急浮上したのがNTT出身で東北大学の中沢正隆教授（54）だ。NTT在職時代にエルビウムを添加した光ファイバーの増幅器を開発。微弱な光信号を百倍以上に高める働きがあり情報通信時代の幕開けを演出した。今月、米技術調査会社のトムソンが候補に挙げて一気に注目が集まった。

中沢教授が増幅技術を開発したのは一九八八年。当時のNTTは次世代通信技術を巡り米ATT&Tなどと激しい開発競争を繰り広げた。「最先端の研究が思う存分やれた」（同教授）。当時、基礎研究で世界をリードしたNTTの底力が生み出した成果といえる。

光ファイバーの分野でノーベル賞受賞はまだない。中沢教授は「光ファイバーでは私より先駆的な成果を上げた研究者はいる」と話すが、世界が注目する研究者だ。

物理学賞の候補としては常に名前があがるのが、日立製作所の外村彰フェロー（64）だ。基礎物理学で長年論争が続いていた「アハラノフ・ボーム（AB）効果」の存在を実証し、論争にけりをつけた。企業研究者として基礎物理学に貢献した業績は特筆に値すると評価されている。

外村フェローの開発した電子線ホログラフィーの技術で確認したものだが、同技術は超電導現象の原理解明にも役立っている。

生理学医学

三共出身・遠藤氏　高脂血症の治療薬

民間企業の研究者も名前が挙がる。今年の日本国際賞を受賞した元三共研究員の遠藤章・バイオファーム研究所長（72）がその一人。高コレステロール血症の治療薬「スタチン」を発見、多くの患者を救った。ほかにも脳研究ブームのきっかけをつくった光トポグラフィーを開発した日立の小泉英明フェロー（59）も名前が挙がる。

民間企業にとって自社の研究者がノーベル賞を受賞すれば、世界的に知名度が上がる絶好のPR機会だ。ただ、今回挙げた候補者はいずれも日本企業が基礎研究に力を注いだ一九八〇年代の成果が多い。今後も候補者を増やせるかどうかは、研究開発で長期的な視点を持つ経営者マインドにかかっているといえそうだ。

（竹下敦宣）

来月２日から受賞者発表

委員会が厳格選考

今年の自然科学系ノーベル賞は十月二―四日の三日間にかけて発表される。初日の二日は生理学医学賞、三日は物理学賞、四日は化学賞だ。今年は発表の日程が例年に比べて少し早いが、選考作業は順調に進んでいるもようだ。

ノーベル賞はほぼ一年かけて選考する。前年の九月に各賞のノーベル委員会が国内外の主要な研究者にあてて推薦依頼を送る。依頼の数は二千―三千通で、締め切りは翌年の一月末。回収率は一―二割程度で、ここで推薦がなければ候補者にはなれない。また、同じ人を多数の推薦者が挙げている場合、組織的な動きとみて排除することもあるという。

選考作業は春から本格的に始まる。原則五人からなる各賞のノーベル委員会が受賞分野や対象者を絞り込む。推薦された研究者で興味があれば委員会が独自に追加調査をする。九月下旬までに最終候補者を絞り、当日開く委員会で決定する。受賞しなくても最終選考に残れば、翌年に引き継がれるという。

日本は科学技術基本計画で「五十年間に三十人程度のノーベル受賞者を輩出する」との目標を掲げた。まだ、日本学術振興会はストックホルム事務所を設けて宣伝活動を続ける。

ただ「ロビー活動は全く効果がない」と、〇二―〇五年にかけてスウェーデン日本大使館に在籍した赤池伸一・内閣府参事官補佐は話す。委員会は外部からの圧力を排除し、業績に基づいて受賞者を決める。厳格な選考作業がノーベル賞の威厳を保っている。

朝日新聞　平成18年９月27日㈬〈33面〉掲載

ノーベル賞候補27人予想

論文引用回数など調査

顔ぶれ激変、日本人は１人

米の学術情報会社

ノーベル賞の発表が10月2日から始まる。米国の学術情報サービス会社トムソンサイエンティフィックはこのほど、自然科学3分野と経済学の有力候補27人を発表した。02年から毎年発表しているが、今年は顔ぶれがらりと変わった。

同社によると、近年同じような候補リストが続いたため、過去に名前が挙がった人は今年から除外することに決めた。ただ、一度リストに入れば将来にわたって受賞の可能性があるとしている。

同社は、過去20年以上の論文を調べ、他の研究者から引用される回数が各分野で上位0・1％に入る論文を抽出。著者について、主導的な役割を果たしたかを推定したり、同姓同名の研究者を除いたりしたうえ、ノーベル賞で重視されるという「最初に見つけた人」を引用をさかのぼって調べあげたという。

同社前身のISI社で社内向けに発表していた予想も含めれば、89年から計26人が的中という。

日本人は、今年は中沢正隆・東北大電気通信研究所教授1人。高性能な光増幅器を研究し、大容量光通信の発展に貢献した研究者だ。

昨年は、物理学賞に青色発光ダイオードの中村修二・米カリフォルニア大教授と、高温超伝導物質や巨大磁気抵抗効果などを研究する十倉好紀・東大教授。化学賞に、分子の自己組織化の研究で知られる新海征治・九大教授の名前が挙げられていた。（小堀龍之）

トムソン社が今年発表した自然科学分野のノーベル賞候補（敬称略）

【物理学】
「インフレーション理論の構想と改良」
＝アラン・H・グース（米）ら3人
「巨大磁気抵抗効果（GMR）の発見」
＝アルベール・フェール（仏）ら2人
「エルビウム添加光ファイバーの開発」
＝中沢正隆（日）ら3人
【化学】
「細胞回路と信号伝達経路の解明」
＝ジェラルド・R・クラブツリー（米）ら2人
「有機金属化学と触媒などの研究」
＝トビン・J・マークス（米）
「有機合成化学への貢献」
＝デイビッド・A・エバンズ（米）ら2人
【医学生理学】
「核内ホルモン受容体の解明」
＝ピエール・シャンボン（仏）ら3人
「ジーン・ターゲティング法への貢献」
＝マリオ・R・カペッキ（米）ら3人
「DNA型鑑定法の先駆的発明など」
＝アレク・J・ジェフリーズ（英）

日経　平成18年９月29日㈮〈15面〉掲載

通信速度10倍に

既存の光ファイバー

東北大 信号のゆがみ補正

東北大学の中沢正隆教授らの研究グループは、都市間を結ぶ既存の光ファイバーをそのまま使って通信速度を十倍以上にする装置を開発した。光信号のゆがみを補正する装置で、ハイビジョン並みの映像の通信を低コストでできるようになるという。五年以内の実用化を目指す。

新装置は、光ファイバー一本当たりの通信量を増やすときに生じる光信号のゆがみを補正する。研究グループは光信号の波形にゆがみが生じても光の周波数の分布は変わらない点に着目。周波数の情報をもとに光信号の波形を作り直す。

データの受信部に一台設置して実験したところ、東京―大阪間（約五百キロメートル）の距離より長い全長六百キロメートルの光ファイバーで、毎秒百六十ギガ（ギガは十億）ビットの通信が可能なことを確認した。

都市間光ファイバーの通信速度は現在、同十ギガビットが主流だが、今後情報量が増加すると考えられる。そのために光ファイバーを新たに増設するとコストがかかってしまうが、新装置を使えば増設しないで高速化できる。

光ファイバー一本当たりの通信量を増やす研究は盛んで、同百ギガビットを超す通信の実験が進んでいる。

ただ、従来のゆがみ補正手法は高価な高精度部品を使ったり、一本のファイバーに装置を複数取り付けたりする必要があった。新装置なら部品が比較的安価で、取り付けも一台で済む。

読売　平成18年10月16日夕刊（東京版）掲載

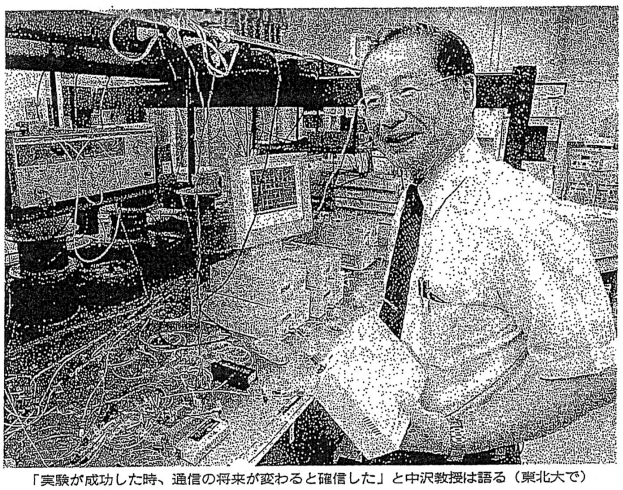
あの瞬間

レーザー照射し光増幅

大容量・高速ネット通信を実現

東北大学電気通信研究所教授 中沢（なかざわ） 正隆（まさたか）さん 54

1980年、東京工業大学大学院博士課程修了。日本電信電話公社電気通信研究所、マサチューセッツ工科大学客員研究員などを経て、2001年から現職。



「実験が成功した時、通信の将来が変わると確信した」と中沢教授は語る（東北大で）

茨城県東海村のNTT電気通信研究所の研究室で、後輩たちに声をかけたのを今も覚えているという。「さあ、実験を始めようか」。机の上にはエルビウムという希少金属を混ぜ込んだ光ファイバーに、超小型のレーザー発生器を接続した光増幅器が置かれていた。

途中で光の力が衰え、あまりに遠くなると、届かない――。光通信の、それが当時、最大の弱点だった。衰える前に光をどう増幅するかという課題の解決に向け、当時、各国の研究者はしのぎを削っていた。

光を活性化する物質・エルビウムを加えた光ファイバーに波長1・48㍍・㍍のレーザー光を照射すると、レーザーのエネルギーがファイバーの中を走る光信号に受け渡され、光信号のパワーが衰えず、遠くまで届く。「誘導放出」と言われるこの原理を利用した手法で、光信号の強さは一気に10倍にも増した。しかも、この光増幅器は弁当箱程度の大きさだった。

高速インターネットを世界中に普及させることになる技術が、実用化に向けて動き始めた瞬間だった。「これで通信が変わる」。1988年8月だった。

＊

通信事業が大きな転換期を迎えた80年代、電話線より高速大容量通信が可能な光ファイバーによるネットワークの構築が、世界的な課題になり始めていた。

長距離を進むと、弱まってしまう光信号を途中で増幅させるための研究に着手したのは82年から。光ファイバーに強いレーザーを当てれば、中を通過する光が強まる――「誘導ラマン散乱」という手法の研究に着手した。ただ、高出力のレーザーが発生可能な超小型半導体レーザー発生器を沖電気と共同で開発したものの、光信号の強さはわずかしか向上しない。

転機が訪れたのは、87年から88年にかけて。エルビウムを添加したファイバーに、1・48㍍・㍍の波長のレーザーを照射すると、光信号が強まるという論文がイギリスやアメリカで相次いで提出された。光を活性化する物質・エルビウムの存在は60年代から知られていて、当時、これを添加した光ファイバーをすでに三菱電線工業と共同製作していただけに「先を越された」と思った。

ところが、欧米の研究者が開発したレーザー発生装置はいずれも巨大で、一定の間隔で設置が必要となる光ファイバーの通信網に使うには、使い勝手があまりにも悪過ぎた。「うちのが使えるはずだ」。超小型半導体レーザーとエルビウムの組み合わせが、世界的ネットワークの実現を一気に引き寄せた。

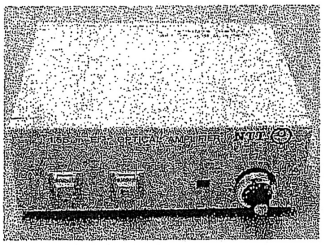
＊

その後、光の強さを1万倍にまで増強することが可能になり、94年にはNTTが小型の光増幅器の実用化にこぎつけた。当時の郵政省（現総務省）が「マルチメディア社会」構想を掲げ、NTTも各家庭の近くまで光ファイバー通信網を伸ばす計画を押し進めると、光増幅器がその基盤整備を支えた。これが現在の「ブロードバンド」「光100メガ」といった高速インターネットの土台構築へとつながっていく。

5年前に東北大に教授として招かれて以降も、短時間にいかに大量の情報を送るかに力を注ぐ日々が続き、今年8月には、家庭用光回線の1000倍以上の毎秒160ギガ・㍍という大量の情報を600㌔先まで送る実験に成功した。

「レーザーを捨てなかったことと、組み合わせの妙が大きな成功を生んだ。ネットのビジネスによる十人長者が様々に脚光を浴びている。しかし、ネット社会構築までには、日本の研究者の多くの汗が流れている。

（長谷部耕二）



NTTが製品化した初期の光増幅器。大きさは弁当箱ぐらい

SCIENCE WALK

朝日　平成18年11月23日㈭掲載

次世代高速通信で世界記録

東北大 中沢教授、「逆転の発想」長距離化成功

わずか数秒で600キロ先に

インターネット技術は日進月歩だ。パソコンに限界まで詰め込んだデータを、髪の毛ほどの太さの光ファイバーでわずか数秒で600キロ離れた場所に届ける技術が、東北大で産声を上げている。1秒あたり160ギガビット（Gbps）という伝送速度で世界最長記録を樹立し、9月にフランスで開かれた学会に報告した中沢正隆教授の研究室を訪ねた。（長野剛）

伝送距離2倍に

実験室には、一抱えほどもある糸巻き状に巻かれた光ファイバーがゴロゴロしていた。直線に伸ばせば京都まで届くこの光ファイバーで、600キロの高速通信の世界記録を達成したという。

仙台―東京間など、情報伝送の幹線となる500キロ前後までの中距離では現在、伝送速度は10Gbpsだ。映像など大容量の情報のやりとりが活発になり、現行の16倍にあたる160Gbpsの高速伝送が、次世代開発の目標になっている。

そんな中、中沢さんたちは今春、伝送距離300キロ台が限界だった160Gbpsの通信で、距離を2倍近くすることに成功した。「光の学問では常識なのに、伝送の開発では見落とされていた現象に注目しました」と語る。



光のひずみ克服

光伝送は、情報を光の点滅に置き換えて光ファイバーを通し、送信する。ごく一瞬の光のフラッシュ（パルス）を、受信機で捕らえられるかが成功のカギを握る。

一般的に、伝送速度が上がるとパルスを捕らえづらくなる。同じ時間により多くの情報＝パルスを送るため、ひとつのパルスを捕捉するための時間が短くなるためだ。160Gbpsだと、パルス一つの割当時間は1600億分の1秒で、現行の16分の1になる。

さらにやっかいなことに、パルスはより長距離を伝送するほどひずみが出て、長時間だらだら光るようになる。すると高速伝送では、次のパルスが光るまでの光が無い時間が十分とれなくなり、パルスの見分けがつきにくくなる。

この問題の解決のため、中沢さんは光に含まれる各周波数の成分ごとの強度分布（スペクトル）はひずまないという光学の「常識」に着目した。受信機でパルスごとのスペクトルを測定し、前後のパルスと見分けることで高速度下のパルスの読み取りを実現した。

神様のサイコロ

「最初からスペクトルに注目した訳じゃありません」と中沢さん。数年前、共同研究者の助手とペンを手にしながら、パルスのひずみ解消法を議論をしていた時、ふと手元の紙を見直すと、スペクトルとパルスの関係とも解釈できる数式が出来上がっていた。その時、「スペクトルの測定がパルス判別に使える、と気付いた」のだという。まさに逆転の発想だった。

光伝送の最先端を走り続けてきた中沢さん。NTT社員時代に開発した、光ファイバー内で弱まった光信号を増幅する装置は、今やネット社会を支えている。この実績で9月、米国の学術情報サービス会社に「ノーベル賞候補」の1人にあげられたが、本人は至って「凡才」を自認する。「目的をすんなり達成できない凡才は努力の限りを尽くす。すると神様がコロッと知恵のサイコロを振ってくれるんです。良いアイデアはそうやって生まれるんでしょうね」

研究室に置かれた総長600キロの光ファイバーを巻いたコイル。このファイバーを使い、中沢教授らは大容量の通信技術を開発した＝東北大で

キーワード

伝送速度　電子情報は「1」と「0」の数字の羅列に置き換えられている。情報の持つ「1」と「0」の文字数を合わせた数が情報量でビットと表記し、例えば「1011」という情報なら5ビット。伝送速度は、1秒に何ビット送るかを示す。ビット毎秒（bps）が単位で、1000bpsはK（キロ）bps、100万bpsはM（メガ）bps、10億bpsはG（ギガ）bpsと表記する。ちなみに、パソコンのハードディスク容量などで使われる情報量単位のバイトは、1バイト＝8ビットだ。

産経　平成19年1月15日㈪〈14面〉掲載

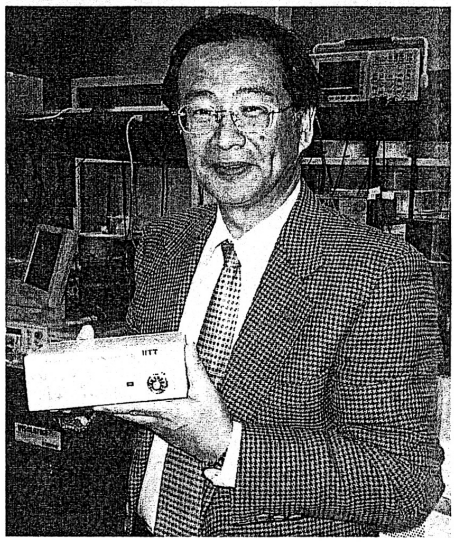
Science

知の先端

文字や音声、映像などの膨大な情報が飛び交う現代社会。高速・大容量のインターネットを支えているのは、全世界に張り巡らされた光ファイバーだ。光通信が実用段階に入った1980年代、長い距離を伝わると光が弱まってしまうことが最大の弱点だった。それを克服したのが、東北大学電気通信研究所の中沢正隆教授が開発した画期的な光増幅器だ。弁当箱ほどの大きさの光増幅器の登場で高速・大容量のインターネットが一気に普及し、情報社会の基盤が築かれた。（溝上健良）

画期的な光増幅器を開発

東北大学電気通信研究所教授　中沢正隆さん



光通信　飛躍的に進化

情報社会の基盤を築く

ものづくりに熱中した子供時代

山梨県の養蚕農家の生まれ。小学生のころはプラモデル作りに熱中した。中学では技術家庭の授業で3球ラジオの組み立て実習があり、中沢さんのグループが最初に音が出た。うれしくなって5球のラジオも自作。「いわゆる勉強より、自分でいろいろ考えてものを作るのが好きだった。今でもそうですが、好奇心が強かったんでしょうね」と自己分析する。

金沢大学の電子工学科に進み、25歳で結婚。院生時代は小学校教諭の妻が生活を支えてくれた。「おかげで研究に専念することができた。妻には頭が上がりません」

東工大大学院では電電公社OBだった武者利光教授（当時）のもとで5年間、光の性質について研究し、武者氏の推薦で電電公社入り。以来、取得した特許は100件以上、発表した論文は350本と、ものづくりに熱中した体力が、旺盛な研究意欲の支えだ。

融合

ラマン散乱の実験用に、波長1・48㍍㍍の光を出す半導体レーザー発振器を使っていた。エルビウム添加光ファイバーも手元にある。半導体レーザーは強力なエネルギーを要するラマン散乱用なので、この波長では世界最高レベルの出力だった。直感的に「これは使える」と思った。

ラマン散乱の研究を中断し、エルビウム添加光ファイバーと半導体レーザー発振器を組み合わせた光増幅の研究に取りかかった。結果はすぐに出た。3㍍の光ファイバーを通すと、光の強さが10～20倍に増幅されたのだ。「研究は新たな技術の融合が大事なんです」。光通信が革命的に変わる予感がした。

製品化された光増幅器は弁当箱サイズ。実用化にも支障はない。90年代半ば、太平洋横断光ケーブルに採用され、光通信の大容量化が実現した。

この技術によって光―電気―光の変換がなくなり、光通信が本領を発揮し始めた。10年余で全世界に普及した光通信について、中沢さんはまだまだ成長の余地はあるとみている。2001年からは東北大電気通信研究所に移り、次の革新に向けた挑戦を続けている。

光ファイバーの中を光が100㌔進むと、光の強さは100分の1になってしまう。80年代の光通信では、数十㌔おきに設置された中継器で光の信号をいったん電気に変換し、同じ信号の強い光を作っていた。この方法だと、高速化が難しいなど光の強みを生かし切れないのも難点だった。

光の信号をそのまま増幅する装置の開発に、世界中の研究者がしのぎを削る中、中沢さんは電電公社に入って数年後に、光ファイバーそのものを増幅器にしてしまう「アクティブ線路」を考案し、特許を取得した。

アクティブ線路の原理は「誘導ラマン散乱」と呼ばれる。光ファイバーにレーザー光を当てて活性化させる。信号光が活性化したファイバーを通ると、そのエネルギーを受け取って信号光が強められる仕組みだ。強力なレーザー光源が必要となるため、当時は実現に至らなかったが、研究の過程で光増幅の「鍵」となる物質に突き当たる。

「鍵」

特定の光で活性化させると、光を増幅する性質を持つ希少金属のエルビウム（原子番号68）だ。

発奮

中沢さんは最初、別の目的の固体レーザー用の材料としてエルビウムに着目したのだが、エルビウムを添加した光ファイバーで光増幅を起こす研究を進めた。だが、成果が出る前の87年、英仏の研究者らがエルビウム添加光ファイバーを使った光増幅器を開発したと発表。「ショックだった。すでに自分が提案していた内容なのに、参考文献に挙げられていない。彼らは絶対に読んでいるはず…」

ただ、英仏の研究者はエルビウムを活性化させる光源に冷蔵庫大の固体レーザー発振器を使っていた。この大きさでは、実用化は難しい。

88年初め、今度は米国の研究グループが「波長1・48㍍㍍の光をエルビウム添加光ファイバーに通すと光増幅ができる」との論文を発表する。光増幅の効果が小さすぎて、あまり注目されなかった論文だが、中沢さんの脳裏で実用的な光増幅器のイメージが浮かんだ。

■好きな言葉　よく考えることが大事
■趣味・好きな音楽　オーディオをいじるのが好き。音楽はジャズもポピュラーも何でも聴く。ピアノのクラシックは好きでよく聴く
■スポーツ　学生時代は剣道。今はゴルフで90前後のスコアで月1回ほどやっている。冬の間、仙台ではゴルフができないので、関東に遠征している
■子供のころなりたかった職業　真空管からトランジスタに代わりつつある時代で、電子工学的な、ものを作る仕事を考えた
■若手研究者にひとこと　自分の背中に持っている刀を、いつも研いでおくべきだ。自分の未来を切り開くために刀を抜くときに、刃がボロボロではいけない。知識で刀を研いでおくことが大事
■家族　長男が独立し、仙台市内で妻、長女、二女と4人暮らし

なかざわ・まさたか　昭和27年9月、山梨県生まれ。55年、東京工業大大学院博士課程修了、電電公社（現NTT）入社。59～60年、米マサチューセッツ工科大学客員研究員。平成11年、東北大電気通信研究所客員教授、13年、同教授。9年、科学技術庁長官賞。14年、米国電気電子学会ノーブル賞。17年、ウッド賞など。

日刊工業　平成18年９月13日㈬〈37面〉掲載

10km測定で誤差10㌢以内
レーザー距離計を開発
光電製作所

光電製作所（山梨県上野原市、加藤毅社長、０５５４・２０・５８６０）は、10㌔㍍を測定しても誤差が10㌢㍍以内という超高精度レーザー距離計を開発した。東北大学電気通信研究所の伊藤弘昌所長らの研究成果をもとに、科学技術振興機構（ＪＳＴ）の事業で企業化に成功した。遠距離で接近が難しかった物体の計測、大型構造物などの歪みや振動解析、光ファイバーセンサーの遠隔計測、光３次元座標計測器などへの応用が期待される。年明けにも販売する予定だ。同社は周波数シフト帰還型レーザーの光周波数コムを利用した周波数領域方式の超高精度光学式距離計を開発。従来法では実現できなかった測定誤差を除去して高精度化を達成して数百㌔㍍もの長距離測定を可能にした。偏光状態を制御するグマ字型レーザー共振器を応用してレーザー光の乱れを解決し、さらに周波数計測信号処理アルゴリズムを高速処理するハードウエアを開発し、毎秒１０００点の高速計測を実現した。

光距離計は光波を目標物まで往復させて、時間や周波数、位相などの情報からその距離を求める装置。測量機器をはじめ多くの分野で利用されているが、高精度化を実現するには計測方法上の制限があったため、これを克服した新タイプの距離計が求められていた。

日経産業　平成18年７月21日㈮〈３面〉
（坪内研）掲載

高速無線の範囲拡大
半径1.5㌔㍍に　東北大と実験
日本テレコム　ノムコ

日本テレコムは二十日、無線によるデータ交換が可能な範囲が半径一・五㌔㍍となる新技術の実験を開始すると発表した。東北大学と協力し、今月から仙台市内で始める。現在利用されている公衆無線ＬＡＮ（構内情報通信網）よりも通信範囲が大幅に広がり、災害時の通信など行政サービスに生かせるとみている。

日本テレコムは同日、総務省から実験免許を取得。米クアルコムが開発した無線システムを用い、宮城県庁やＪＲ仙台駅の周辺で実験する。通信速度は下りが最大毎秒三・二㍊（㍊は百万）㍃、上りは同約九百㌔㍃。動画の受信速度やＩＰ（インターネット・プロトコル）電話の品質についてデータを得るのが目的。

公衆無線ＬＡＮには最大五十四㍍㍃で通信できる規格があるが、通信範囲が約百㍍に限られている。一方で携帯電話やＰＨＳは通信範囲が広いものの、現在は実効速度が数百㌔㍃にとどまっている。日本テレコムと東北大、宮城県は公衆無線ＬＡＮと新技術を組み合わせ、都市を広くカバーする無線システムの構築を目指す。

河北新報　平成18年８月５日㈯〈11面〉（坪内研）掲載

高速次世代無線ＬＡＮ

移動中でも安定受信

東北大など　仙台で広域実証実験

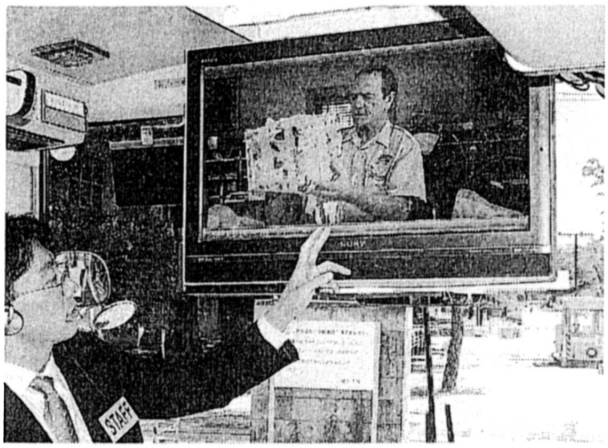
東北大電気通信研究所と宮城県産業技術総合センター、日本テレコムなどは四日、次世代型の高速無線構内情報通信網（ＬＡＮ）の広域実証実験を仙台市で実施した。

移動中でも、動画など大容量のデータを送受信できる無線システムとして、二年後の実用化を目指す。

構築中の無線システムは通信速度が最大毎秒三・二メガビットで、携帯電話の約十倍。受信範囲は半径一・五キロと広く、時速二百五十キロの高速移動中も通信できるのが特徴だ。

実験では、市中心部の電通研、県庁、ＪＲ仙台駅東口の三カ所に基地局を開設。バスで移動実験を行い、動画の受信状況や、基地局の通信エリアを移る際に無線がスムーズに切り替わる様子などが紹介された。

電通研の中瀬博之助教授は「通信エリアは携帯電話並みに広く、移動中もネット利用に十分な速度を確保できている。実験結果を実用化に結び付けたい」と話している。



バスでの移動中も、大容量の動画像がインターネットを通じて安定的に通信された

電通研の研究は、文部科学省の「次世代モバイルインターネット端末の開発」事業の一環。次世代型の無線ネットアクセスは世界レベルでの開発競争が展開されている。

日経　平成18年８月５日㈯〈35面〉掲載

次世代広域無線ＬＡＮ

仙台で実証実験

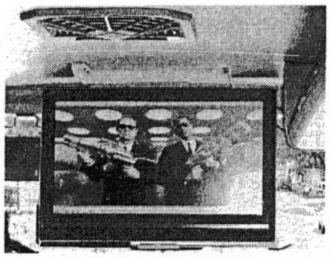
東北大など

東北大学や日本テレコム、宮城県は自動車で移動しながら高速のデータ通信ができる次世代広域無線ＬＡＮ（構内情報通信網）の実証実験を仙台市内で始めた。実証実験では三つの無線基地局を設置。それぞれの基地局から半径一・五キロメートルの地域で接続できるようにして、自動車で移動している時の動画の受信速度などのデータを集める。

次世代無線ＬＡＮの伝達速度は最大毎秒三・二メガビットで、動画像など大容量データの高速通信が可能という。将来は災害時の通信としても活用する予定で、二年以内の実用化をめざす。

日刊工業　平成18年８月10日㈭〈22面〉（坪内研）掲載

広域ブロードバンド無線
移動中の高速接続検証
東北大、日本テレコムなど



東北大・日本テレコム・宮城県の広域移動ブロードバンド無線アクセス公開実験

【仙台】東北大学電気通信研究所附属21世紀情報通信研究開発センター（IT－21センター）、日本テレコム、宮城県の3者は、仙台市内で広域移動ブロードバンド無線アクセス公開実験を行い、無線カバー地域内で移動中でも常時高速インターネット接続ができることを検証した。今後さらにシステムの拡張などを進め、総務省が中心になって導入を検討している新しいブロードバンド無線アクセス方式の具体化・実用化に向けて提案していく。

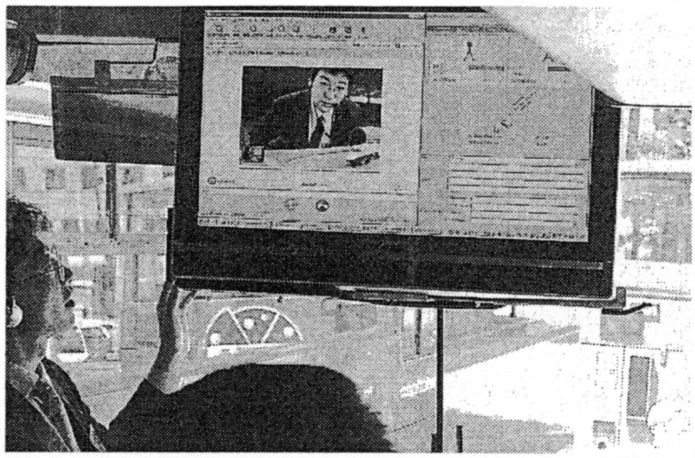
無線方式は米クアルコム社のフラッシュOFDM方式で、周波数は2ギガヘルツ帯、占有帯域幅は1・25メガヘルツ。サービスエリアは基地局から半径1・5キロメートルと3G携帯電話並みの広域をカバー。PCカード型ユーザー端末を用いて下り伝送速度は最大毎秒3・2メガビットと高速で、パケット遅延は50ミリ秒以下と有線並みのレスポンス。

公開実験は東北大電気通信研究所と宮城県庁、仙台駅に隣接した日本テレコム宮城センターの3カ所に設置した基地局と車両間で行われ、走行車両からのネットアクセス、動画ストリーミング、走行車両と地上間の動画チャット、車両間の動画チャットなどを実験、基地局間のハンドオーバー（無線通信のつなぎ・引き継ぎ）もスムーズなことを確認した。

毎日　平成18年９月５日㈫〈19面〉（坪内研）掲載

宮城

無線LAN利用 高速通信の実験
東北大と県など



バスで移動しながら、無線LANで動画を送受信する実験＝仙台市青葉区で

東北大と県、日本テレコムは無線LANを利用した高速通信実験に取り組んでいる。新幹線並みの時速250キロでの移動中でも、大容量データが携帯電話の約10倍の速さで送受信可能。より高速でデータを送れるよう実験を重ね、2年以内の実用化を目指している。

無線LANはケーブルを使わず、電波で文字や音声、画像などのデータを送受信するシステム。

報道関係者に公開した実験では、県庁など仙台市内中心部3カ所に設置した基地局を利用して、無線が届く半径約1・5キロの範囲をバスで移動しながら、動画などがスムーズにやり取りできることを確認した。

将来的には、災害発生時の緊急通信などでの活用も期待されている。同大電気通信研究所IT－21センターの坪内和夫センター長は「仙台から全国に展開したい」と話している。【石川貴教】

平成18年８月４日

「広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス（BWA）開発実験」（坪内研等）

TV報道



NHK



MMT



TBC



OX－TV

仙台経済界

HOTNEWS

仙台のビジネストレンドが20分でわかる！

モバイルブロードバンド実証実験

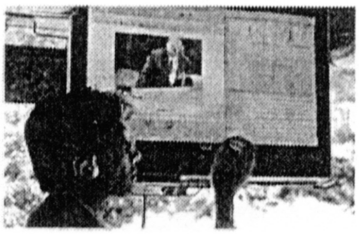
産学官連携、2年後の本格実用化目指す

東北大学片平キャンパス内にある電気通信研究所のナノスピン実験棟において8月4日、『広域移動ブロードバンド無線アクセス』の公開実験が行われた。これは、産学官連携による次世代ブロードバンド技術開発の一環で、最終目標は世界標準の『ユビキタスネットワーク化』にある。

現在オフィスやホテルなどで利用されている無線ランアクセスは高速だが、カバーエリアは半径100m程度のスポット型。一方、一般的に利用されている携帯電話やPHSなどのデータ通信は、広いサービスエリアを提供しているが、実行速度にやや難がある。近い将来、携帯電話のパソコン化やパソコンの携帯化が一層進むことが予想され、無線アクセスの新システムが普及すれば、情報量もスピードもアップする。例えば、高速で移動中の新幹線や車からもインターネットに接続でき、移動中の車輌間でも鮮明な画像で動画チャットができるなど、いつでも、どこでも、誰とでも情報交換が可能になるという。カーナビなどへの活用をはじめ、災害時や救急・緊急車輌からの情報収集、伝達など、防災通信や行政ネットワークサービスへの活用も期待される。

共同開発は東北大学電子通信研究所（IT-21センター）と日本テレコム㈱、宮城県の連携によるもので、実験にはクアルコム・ジャパン㈱と伊藤忠テクノサイエンス社が協力した。都市部での広域実証実験は初めてで、宮城県庁と仙台駅東口の日本テレコムセンター、東北大学のIT-21センターに基地局を設置し、仙台市の中心街をカバーする広いエリアで行われた。メーン会場からインターネットへのアクセスや移動中の車輌との動画チャットなどを行った後、走行中のバスからも同様の実験を行った。

現在、総務省を中心にブロードバンドワイヤレスアクセス（BWA）の新方式導入に向けて議論が行われており、今後も実験を重ね、新BWA方式の課題解決へ提案していく予定だという。



走行中のバス内での動画チャット

日経コミュニケーション（Web）

国内ニュース　日経コミュニケーション

ITpro > Network > 携帯＆モバイル　はてな A B　お気に入りへ　印刷　ヘルプ

日本テレコム，東北大学などが最大通信速度2.6Mビット/秒の無線BB実験を公開

記事一覧へ▶



［画像のクリックで拡大表示］

日本テレコム，東北大学，宮城県の3団体は8月4日，宮城県仙台市内で実施している無線ブロードバンドの実証実験を公開した。「Flash OFDM」という規格を採用した無線の実験である。実証実験を開始したのは2005年7月だが，関係者以外に内容を公開したのはこれが初めて。

公開実験では，静止した状態での速度測定サイトを利用したスループット測定に加え，Webアクセス，1Mビット/秒の動画ストリーミング，IP電話ソフト「Skype Video」によるテレビ電話などのデモを実施。さらに，仙台市内を走行するバスに乗りながら，Skype Videoや動画ストリーミングを利用して見せた。

静止状態では，家庭のADSL（asymmetric digital subscriber line）と遜色ない品質でWebアクセスや動画ストリーミングを利用できた（動画を表示）。バスの走行中は，Skype Videoや動画ストリーミングが時折途切れることがあったが，おおむね安定した通信を実現していた。

All about（Web）

LAN

ネットワーク構築について　ネット上の侵入者を監視する
個人情報の取扱について　スポンサード・リンク

▶ リンク

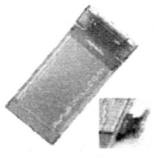


【News】2.6Mbpsの高速移動体通信

「LAN」ガイド：岡田 広司　2006年08月10日

最大速度2.6Mbpsの無線実験を公開

2006年8月4日に日本テレコム/東北大学/宮城県は宮城県仙台市内で無線ブロードバンドの実証実験を公開した。最大通信速度は、2.6Mbpsとなっている。2.6Mbpsというと、普段オフィスや家庭で利用している無線LANと比べるとかなり遅く感じるが、こちらは携帯電話のようにどこでも受信できる移動体通信端末だ。そのため、固定端末の無線LANと比較することは適当ではない。



Air H:NEC AX520N(W-OAM対応モデル)

移動体通信端末というと、DDIポケットのAir Hが一般的だ。同社の専用料金コース「つなぎ放題コース」、「ネット25」を利用した場合、256kbpsという通信速度となる。最近アンテナが整備されつつある同社のW-OAMでも408kbpsという速度なので、2.6Mbpsがいかに高速なデータ通信かが分かる。

河北新報　平成18年6月28日㈬〈3面〉掲載

従来マイナス269度で制御　東北大が新技術

テラヘルツ波 室温でも放射

電極の形状を工夫
超高速通信に応用期待

超高速通信に対応可能なテラヘルツ波（テラは一兆）＝？＝を室温で放射できる仕組みを、東北大電気通信研究所の尾辻泰一教授（テラヘルツ電子工学）らのグループが開発した。電波と光波の間の周波数帯にあるテラヘルツ波は超高速通信に応用した場合、光ファイバー通信と無線通信の情報を共有しやすく、情報伝達の機能が飛躍的に向上するという。

超高速通信への応用

放射の原理は、二つの電極の間に、もう一つ置いた電極に電圧をかけて電子をため、光波を当てて電子を振動させる。単純な形状の電極を使用し電極に、くし形を二つかみ合わせた形状を採用。光波も周波数が異なる二つを使い、室温でも安定して高い出力のテラヘルツ波放射に成功した。実験では一―十テラヘルツ波の放射を確認した。

情報通信分野への応用

超高速通信への応用には小型化が不可欠で、実験室レベルではクリアされていたが、室温で使えないことが課題だった従来の手法では、マイナス二六九度の極低温下でなければ振動を制御できなかった。

グループは、間に置く電極の形状が実現すれば、光波から受け取った情報をスムーズに無線情報として送ることが可能で、電気信号の処理も数百倍速くなるという。

？ テラヘルツ波　1秒間に1兆回振動している電磁波。薬剤の分析やがん組織の選別、建材内部の画像化などに実用化されている。医療分野などでは既に室温で使用されているが、超高速通信に応用する場合は放射の仕組みが異なる。

尾辻教授は「今後五年をめどに、信号処理を含めたシステムとして集積する技術を確立し、超高速通信の実用化につなげたい」と話している。

北大量子集積エレクトロニクス研究センターとの共同研究で、二十八日に米国で開かれるデバイス研究国際会議で発表される。

日刊工業　平成18年6月28日㈬〈29面〉掲載

テラヘルツ波

室温で放射成功

東北大など　プラズモン共鳴利用

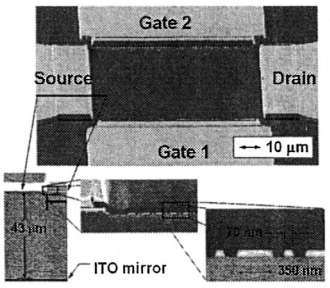
【仙台】東北大学電気通信研究所の尾辻泰一教授は、北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センターの佐野栄一教授らと共同で、プラズモン共鳴効果を利用した集積型テラヘルツ光源素子を試作し、室温下でテラヘルツ帯電磁波を放射することに成功した。実用化されれば、長く未踏周波数領域とされてきたテラヘルツ帯を情報通信の中枢として活用することが可能だという。

この成果を28日に米ペンシルベニア州で開催中のデバイス研究国際会議で発表する。テラヘルツ帯光源技術の開発はこれまでにも行われているが、マイナス296度Cという極低温下での動作に限定され、室温下では使えないなどの短所があった。

尾辻教授らが試作した素子は、ゲートと呼ばれる電極構成部分を二重回折格子型に組み、縦型共振器を持った独自の構造。ゲートは細い電極が連なったくし状の形になっており、電極幅の異なる2本のゲートを両側から組み入れた。縦型共振器は、素子表面の活性層と素子裏面にはった透明金属電極膜で形成した。

二つのゲートに大きさの違う電圧をかけると、それぞれの電極の真下部分に濃度の異なる電子の集団が作られる。そこへ外部から赤外線レーザーを照射すると、電子が集団で振動するプラズモンが発生。縦型共振器によりそのプラズモンの共鳴反応が起こり、レーザーに含まれるテラヘルツ帯の周波数成分に同調した電磁波が放射される。

現在は放射する電力の精密測定などを進めており、07年度末をめどに素子を開発する予定。商用化につながれば、数十ギガビット級の情報量を持つ光情報を、そのまま無線情報へ置き換えることも可能だという。



通信研究所の尾辻泰一教授は、北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センターの佐野栄一教授らと共同で、プラズモン共鳴効果を利用した集積型テラヘルツ光源素子を試作した素子の電子顕微鏡写真

読売　平成18年6月28日㈬〈13面〉掲載

テラヘルツ帯電磁波 簡便に放射

東北大・北大チームが成功

無線通信の速度大幅アップに期待

無線通信の速度を飛躍的に上げられるなどとして注目されている「テラヘルツ帯電磁波」を、簡便な方法で放射させることに東北大電気通信研究所の尾辻泰一教授と北海道大の研究チームが成功した。従来、放射させるのに極めて低温で大型の装置が必要だったが、室温・小型で可能となり、普及に向け大きな一歩となるという。成果は米ペンシルベニア州で開かれるデバイス研究国際会議で発表された。

テラヘルツ帯電磁波は、可視光と電波の中間にあたる周波数を持つ電磁波。尾辻教授らは「プラズモン共鳴」という電子の振動を利用した特殊な半導体素子を開発し、簡便な方法によるテラヘルツ帯電磁波の放射を実現させた。

現在、一般的に使われている光通信と無線通信は、直接情報をつなげることができず、通信速度の低下が避けられなかった。しかし、テラヘルツ帯を仲介することで、数千倍の通信速度が可能になるという。

また、X線検査などでは難しかった麻薬や火薬を簡単に検出する装置にも利用でき、空港などでのテロ対策に威力を発揮すると期待されている。

尾辻教授は「来年度までにテラヘルツ光源素子を実用化させたい」と話しているという。

日経NET　平成18年６月28日（尾辻研）掲載

プレスリリース　NIKKEI NET

業 種	IT／半導体	発表日	2006/06/28
企業名	東北大学 ｜ ホームページ：	http://www.tohoku.ac.jp/index-j.html	

東北大学、新原理半導体電子デバイスで室温動作テラヘルツ帯電磁波放射に成功

プラズモン共鳴を利用した新原理半導体電子デバイスで室温動作テラヘルツ帯電磁波放射に成功

東北大学電気通信研究所の尾辻泰一研究グループは、北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センターの佐野栄一研究グループとの共同で、プラズモン共鳴効果を利用した新原理半導体電子デバイスを用いて室温動作テラヘルツ帯電磁波放射に成功し、この成果を６月２８日（現地時間６月２７日午後２時）に米国ペンシルバニア州で開催されるデバイス研究国際会議（６５ｔｈ　Ｄｅｖｉｃｅ　Ｒｅｓｅａｒｃｈ　Ｃｏｎｆｅｒｅｎｃｅ）で発表することになりました。

研究概要

電波と光波の境界域にあるテラヘルツ帯は、長らく未踏周波数領域とされてきたが、近年、広帯域光源や高感度検出素子の開発が急速に進み、テラヘルツイメージングに代表される物質同定・生体計測などの産業応用に向けて、大きな展開を見せ始めている。しかしながら、これらのシステムはいずれもテーブルトップの装置サイズを必要としていた。この魅力あるテラヘルツ帯を超高速通信など次世代の情報通信技術へ有効利用を図るためには、現在のマイクロプロセッサーなどのＬＳＩ技術のように、小型・集積化が可能でかつ室温で動作するデバイス技術の開発が不可欠であり、新たなデバイスの創出が望まれていた。

今回、東北大学電気通信研究所の尾辻泰一研究グループは、北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センターの佐野栄一研究グループと共同で、化合物半導体によるナノ加工プロセス技術を利用して２次元プラズモンの共鳴効果という従来にない新しい動作原理を利用した集積型のテラヘルツ光源デバイスを試作し、室温環境下で素子からのテラヘルツ帯電磁波放射の観測にはじめて成功した。この素子は、光通信に利用される赤外線レーザーを照射してプラズモンを励起し、レーザー光に含まれるテラヘルツ帯の周波数成分に同調した電磁波を放射することができる。

従来、２次元プラズモンの共鳴効果自体は自明の物理現象であり、極低温下で観測されてきた。デバイス応用への提案も過去になされてきたが、熱による散乱のために室温での有効利用には至っていなかった。今回の室温動作成功の決め手となったのは、２重回折格子型ゲートと呼ばれる櫛状になった特殊なゲート電極構造と、素子表面の活性層と素子裏面の透明金属電極膜とで形成された縦型共振器構造を特徴とする独自の素子構造にある。特殊なゲート電極構造は、プラズモンの励振からテラヘルツ電磁波放射に至る一連の量子効率の大幅な改善に寄与し、縦型共振器構造は、レーザー共振器と類似の利得増強作用をもたらす。電気光学サンプリングと呼ばれる特殊な測定技術を用いて、素子から放射されるテラヘルツ帯の電界振動成分の検出に成功した。

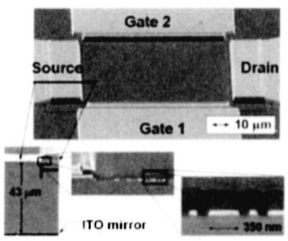
この成果により、テラヘルツ光源はラップトップサイズからマイクロチップサイズに劇的にスケールダウンし、しかもチップ内部では複雑な信号処理までこなすことが可能となる。テラヘルツ帯を信号処理の中枢として活用することが可能になり、光通信と無線通信の完全なリンクをたった１個のマイクロチップで実現することも夢ではなくなる。

http://release.nikkei.co.jp/print.cfm?relID=133567 (1/2)2006/06/28 12:15:17

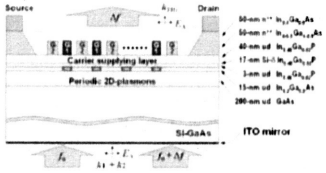
プレスリリース　NIKKEI NET

参考図

試作した素子の電子顕微鏡像



試作した素子の断面構造



閉じる

NIKKEI NET

(C) 2006 Nihon Keizai Shimbun, Inc. All rights reserved.

http://release.nikkei.co.jp/print.cfm?relID=133567 (1/2)2006/06/28 12:15:17

読売新聞　2006年 6 月28日掲載

YOMIURI ONLINE　読売新聞

地域 宮城　宮城トップ

ホーム　社会　スポーツ　マネー・経済　政治　国際　科学　地域　特集

企画・連載　県内の天気予報　イベント情報　リンク　取材網　読売グループ

テラヘルツ帯電磁波　簡便に放射

無線通信の速度大幅アップに期待　東北大・北大チームが成功

無線通信の速度を飛躍的に上げられるなどとして注目されている「テラヘルツ帯電磁波」を、簡便な方法で放射させることに東北大電気通信研究所の尾辻泰一教授と北海道大の研究チームが成功した。従来、放射させるのに極めて低温で大型の装置が必要だったが、室温・小型で可能となり、普及に向け大きな一歩となるという。成果は米ペンシルベニア州で開かれるデバイス研究国際会議で発表された。

テラヘルツ帯電磁波は、可視光と電波の中間にあたる周波数を持つ電磁波。尾辻教授らは「プラズモン共鳴」という電子の振動を利用した特殊な半導体素子を開発し、簡便な方法によるテラヘルツ帯電磁波の放射を実現させた。

現在、一般的に使われている光通信と無線通信は、直接情報をつなげることができず、通信速度の低下が避けられなかった。しかし、テラヘルツ帯を仲介することで、数千倍の通信速度が可能になるという。

また、X線検査などでは難しかった麻薬や火薬を簡単に検出する装置にも利用でき、空港などでのテロ対策に威力を発揮すると期待されている。

尾辻教授は「来年度までにテラヘルツ光源素子を実用化させたい」と話している。

（2006年6月28日 読売新聞）

宮城テレビ放送　OH！バンデス　平成18年 6 月28日（尾辻研等）



日経　平成18年８月25日㈮〈15面〉掲載

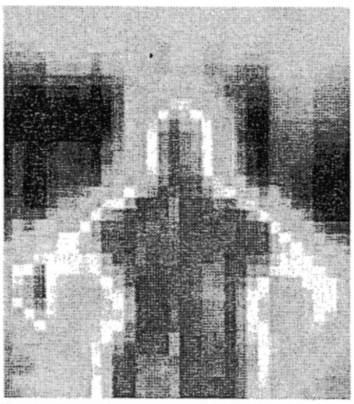
炎の向こうカメラで「透視」

東北大など　人間から出る電波検出

火災時の救助にも応用

東北大学や富士通などの研究グループは、障害物などに隠れて目で見えない人間や物を「透視」できる新型カメラを開発した。人間や物から出る微弱な電波「ミリ波」を検出し、画像化する。火災時に炎の向こうにいる人を撮影すると人影が分かるなど、防災活動に役立つほか、内部が空洞になっている建材の検査、衣服に隠し持った異物の検出など安全管理分野でも使えそうだ。検出器の精度を上げ、三年以内の実用化を目指す。





炎の後ろに立つ人を可視光で撮影した場合（写真上）と新型カメラの場合

東北大学の水野皓司客員教授と富士通、消防車の製作などを手がけるモリタテクノス（大阪府東大阪市）のグループが開発した。

ミリ波は赤外線などと同じように、人の体や物質から常時出ていて、炎や煙、ベニヤ板、紙、衣服などを透過する。ミリ波の強度は温度や物質によって違うため、障害物を透過してきたミリ波を解析すれば、障害物を透視するように向こう側が見える。

カメラはポリエチレン製のレンズ、ミリ波検出器、パソコンなどからなる。高性能のミリ波増幅器を搭載し、微弱なミリ波でも検知して画像化できるようにした。

開発したカメラを使い、巨大な炎の後ろに立つ人物を撮影する実験をした。目で見ると、炎しか分からないが、カメラで撮影した画像には人影がくっきり写っていた。火災時などに利用できれば、炎に包まれた場所で救助を待っている人を素早く探し当てることが可能になる。

今回のカメラ技術は、衣服の中の金属やプラスチックでできた異物から出るミリ波も検出できる。空港などのセキュリティー検査に応用できそうだ。また、シロアリの被害を受けた建材をカメラで見ると、内部がどの程度空洞化しているかの判定も原理的には可能で、様々な用途が期待できるという。

現在のカメラは、検出できるミリ波の種類が限られるため、画像の解像度が低い。様々なミリ波を検出できるようにして解像度を上げて実用化を目指す。

▼ミリ波　波長がミリメートルサイズの電波の総称。波長はテレビの電波より短く、赤外線よりも長い。障害物を検知する車載レーダーにはミリ波が使われている。

最近ではコンピュータ～～～

日経産業　平成18年12月26日㈫〈10面〉（水野研）掲載

先端技術

バイオ・医療で成果

2006年 技術トレンド調査

感染症対策や再生医療など医療分野の発見・新技術に高評価――。日本経済新聞社と日経産業消費研究所が科学技術振興機構と共同で実施した二〇〇六年の「技術トレンド調査」でこんな傾向が鮮明になった。研究成果を社会還元する要請が強まり、安全・安心や健康に関する産官学連携のプロジェクトに多額の予算がつき込まれている。そんな中から優れた結果が出ているようだ。

（1面参照）

総合トップ キリン米子会社 鳥インフルに新抗体

得点の高い技術開発成果は、ほとんど医療・バイオ系で占めた。とりわけ猛威をふるうインフルエンザに関連する成果が目立つ。

総合評価のトップは、キリンビールの米子会社、ジェミニサイエンス（カリフォルニア州）が開発した新しい治療用抗体となった。

動物実験の結果からすると、鳥インフルエンザの治療に幅広く効果が見込めそうだ。現在広く使われているホフマン・ラ・ロシュの治療薬「タミフル」より耐性を起こしにくい特徴もあるという。話題性とともに実用性、市場性が大きいと評価された。

同様に、植物原料を使わずタミフルを化学合成する手法の開発（柴崎正勝・東京大学教授ら）や、鳥インフルエンザが人に感染しやすくなるウイルスの構造変化を解明（河岡義裕・東大教授ら）――のインフルエンザ関連の成果が、いずれも五位に入った。両教授とも世界で活躍が認められており、国内製薬業界の競争力強化につながればと期待されている。

◎　◎

再生医療関係では、京都大学の山中伸弥教授らの成果の評価が高い。マウスの皮膚細胞から、あらゆる生体組織に成長できる胚（はい）性幹細胞に似た万能細胞を開発。受精卵が不要でクローン技術も使わなくて済む。各国の専門家が「大ヒットだ」と絶賛している。新規性と学術性で高得点を挙げた。

一方、実用性や市場性の視点からでは、産業界独自性の高い技術開発が高い評価点を得た。

日立製作所の世界最小の無線ICチップ（タグ）は、大きさが〇・一五㍉角、厚さは七・五㍃（㍃は百万分の一）㍍。市場性で三位に、総合で十五位に入って健闘した。

日立は〇三年に前身の「ミューチップ」を発売、この分野の世界規格に認められた。新チップは従来チップと比べ面積で四分の一に、厚さで八分の一に小型化し、紙の中に簡単に入れられる。ただ、一二―三倍に延ばした。半導体生産の現場で漏れがあると修復に時間がかかるため、早めに保守・交換している。長寿命化はコスト削減につながり、高評価を得た。ただ、ほかの項目の得点が伸びず、総合では五十三位だった。

住友スリーエムの太陽光を反射・吸収する樹脂フィルムは、市場性で一位。ポリエチレンテレフタレートを光の波長よりも薄くし、二百枚以上を重ねた。これまでの金属を蒸着したフィルムに比べ薄くて効果が高いという。窓ガラスに張って夏場の室内温度の上昇を抑え、省エネにつながる。価格を従来フィルムと同等（工事費込みで一平方㍍当たり約一万六千円）に抑え、需要を開拓している。

研究開発の焦点は最近、イノベーションの創出に絞られている。今後も実社会の課題解決に向けた成果が重要視されるだろう。



日立が開発した世界最小ICチップ（黒い四角）。周辺の白い粒は食塩

2006年の重要技術総合順位（上位35位まで）

順位	開発主体	成果の概要	総合点	新聞掲載日
1	ジェミニサイエンス（キリン米子会社）	鳥インフルエンザに新抗体	10.3	05/12/19 朝刊
2	京都大学	新万能細胞、マウス皮膚で神経や筋肉	10.1	8/11朝刊
3	浜松ホトニクス	乳がん5㍉でも早期発見	9.9	11/10朝刊
4	国立感染症研究所・東京医科歯科大学	ＨＩＶ抗体作成に成功	9.8	11/20朝刊
5	東京大学	タミフルを化学合成	9.5	2/25産業
	東京都神経科学総合研究所など	アルツハイマー病、新ワクチンを開発		6/14朝刊
	東　大	鳥インフルエンザ、変化の仕組み解明		10/16朝刊
	京　大	切断神経９㌢再生		11/29夕刊
9	京　大	ダイオキシン分解倍速の細菌	9.1	1/16朝刊
10	オンコリスバイオファーマ	がん組織、風邪ウイルスで攻撃	9.0	3/27朝刊
	岡山大学など	人工網膜、電力不要に		4/11産業
	産業技術総合研究所	電子軌道、温度で変化の結晶		11/6産業
	東ソー	希少金属使わぬ液晶パネル材		11/26朝刊
	理化学研究所など	たんぱく質「ＳＵＭＯ」、がん化抑える機能		11/27産業
15	日立製作所	世界最小ＩＣチップ	8.83	2/6朝刊
	大阪大学など	アルミ、鉄並み強度に		4/14朝刊
	ＮＴＴ	紫外線ＬＥＤ、世界最短波長を開発		5/18朝刊
	東芝メディカルシステムズ・国立がんセンター	ＣＴ画像、解像度３倍に		11/3朝刊
	セイコーエプソン	薄膜トランジスタ、インクジェットで印刷		4/6朝刊
20	カイオム・バイオサイエンス	抗体作製１週間で	8.8	9/21産業
	慶応義塾大学・大日本住友製薬	脊髄損傷を薬剤で治療		11/14産業
→	東北大学など	新型カメラ、炎の向こうをカメラで「透視」		8/25朝刊
	日本化薬	太陽電池電圧1.5倍、光に反応する色素で発電		9/14産業
24	コニカミノルタ	有機ＥＬ利用、薄くて曲がる照明	8.7	6/30朝刊
	ＮＴＴなど	電子１個の流れ測定、超高感度の電流計		6/16朝刊
	昭和大学	食道がん、直径１㍉で発見		10/3朝刊
27	愛知産業と九州工業大学	50度で金属溶接	8.6	6/21産業
	ＫＤＤＩ	携帯、生活まるごと記録		7/5産業
	理研と東北大	塩害に強いイネ開発、種に炭素イオン照射		9/22朝刊
	京大など	新レーザー開発、光線はドーナツ形		6/22夕刊
	セイコーエプソン	極薄指紋センサー、カードに搭載		2/24朝刊
	東　レ	プラスチックフィルム、金属の光沢実現		9/22朝刊
	横浜国立大学	光の速度1000分の１に、次世代高速通信を後押し		10/30朝刊
	阪　大	関節リウマチ、ＤＮＡの異常分解が一因		10/26産業
35	ＮＥＣ	高速伝送装置、次世代スパコン用	8.5	9/16朝刊
	オムロン・竹中工務店など	侵入者の行動推測、警備の優先判断		11/7産業
	紫明半導体	シリコン基板の青色ＬＥＤ		11/7産業
	電気通信大学・松下電工など	採血なしで血糖値測定		11/24朝刊

（注）新聞掲載日は、日経各紙の東京最終版による

《調査の概要》　二〇〇五年十二月から〇六年十一月にかけて日本経済新聞と日経産業新聞に掲載された最先端の技術開発の記事の中から、国内の研究機関、日本人研究者が主にかかわった技術開発成果を二百九十件選び出し、日経産業消費研究所の先端技術評価委員会と科学技術振興機構で技術移転にかかわる専門家に内容を評価してもらった。評価の視点として①実用性②市場性③新規性④学術性⑤話題性――の五項目を設け、それぞれ評価の高い順に三点、二点、一点で採点し、平均点を算出した。

プレジデント　2007年1月1日号（水野研）掲載

仕事に使える技術の話 65

on-demand r&d application

中野不二男=文
text by Fujio Nakano
取材協力=東北大学
電気通信研究所

ミリ波カメラ

ベニヤ板や炎の向こう側が写る

可視光と電波の性質を兼備

いっとき、1眼レフのカメラは姿を消すのでは、と思われた。そのぐらいデジカメの進歩と普及は急速だった。

しかしフタをあけてみれば、フィルム・カメラの時代よりも、むしろ1眼レフがふえたような気さえする。やはりレンズをとおして見たままを画像に、というこだわりがユーザーにはあるのだろう。

デジカメは、もはや光学機器というよりも映像機器だ。が、1眼レフにかぎっていえば、結局のところ35㎜フィルムがCCDに変わっただけで、「あるがままを撮す」という光学系の部分はそのままだった。

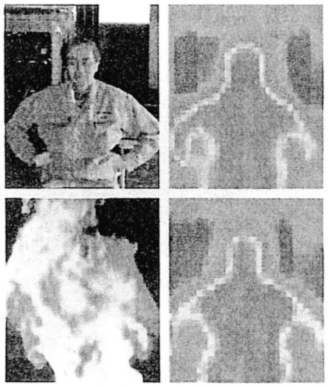
「あるがままを撮す」ことができるのは、光を利用したカメラの最大の利点である。たとえストロボを使おうとも、とにかく被写体からくる光をとらえるのだ。

これがたとえばX線カメラだと、そうはいかない。X線をあて、その透過光を画像化するので、何かと面倒である。やはり空港の手荷物検査であれ、医療診断であれ、「あるがままを撮す」ことがベストなのだ。

ところで、光は電磁波の一種である。光すなわち可視光は、波長が1㎛（マイクロメートル＝0.001㎜）から0.1㎛とひじょうに短く、したがって周波数の高い領域の電磁波だ。反対にラジオなどの電波に使用されている中波は、波長が100ｍ～1000ｍで周波数はとても低い。

そもそも電磁波の性質とは、ひらたくいうと新体操のリボンである。あの長いリボンがついた棒を、選手が震わせるように細かく速く振ると、小刻みの波がたくさん生まれる。それがリボンの先へ先と直線的に伝わってゆく。可視光は、そういう小刻みで直進性の強い電磁波である。したがって障害物に弱く、かんたんに遮られてしまう。

これに対し中波は、リボンの棒をゆっくりと大きく振ったときに生まれる波である。障害物があっても回り込んだり乗り越えたりして、どこまでもたくましく進む。だから周波数が594kHzしかないNHK第1放送は、山間でもビルの谷間でもよく聞こえる。



ミリ波は雲、炎、煙、ベニヤ板、封筒、段ボールなどを透過する性質を持つ。写真右下は、東北大の水野皓司客員教授らが開発した「ミリ波カメラ」で撮影した炎の向こう側の人物。可視光ではまったく見えないが（左下）、ミリ波カメラでは炎がないとき（右上）と同様に撮影できた。

ならば、である。いわゆる電波と可視光線の中間は、いったいどのあたりだろう。つまり直進性に優れた光のような性質と、電波のようにたくましく進む性質を、ほどほどに備え持つ電磁波である。そういう中間領域の電磁波が、「ミリ波だ」。

テレビの地上波VHFより波長の短いのがUHF、その次が電子レンジなどに使われるマイクロ波のSHF。ミリ波はその次に位置するEHFで、名前のとおり波長が1㎜から1㎝である。その次はサブミリ波で、次は赤外線、そして可視光線という順番だ。

そういう、光のようでもあり電波のようでもあるミリ波を利用して、「あるがままを撮す」ことができるようになったら、どうなるだろう。つまり「ミリ波カメラ」による撮影だ。

空港での手荷物検査にも!

たとえば人間である。人間は、自然のうちに赤外線を出しているように、ミリ波も出している。そのミリ波を利用して撮すのだ。すると、相手は光のようでもあり電波のようでもあるミリ波だから、被写体がベニヤ板の向こうにいようが、燃えさかる炎の向こうにいようが、ちゃんと写るのである。

現段階では、デジカメのように一瞬でカシャッというわけにはいかないし、鮮明な画像は期待できないが、とにかくはっきりと人間が写るのだ。被写体となるのは、人間だけではない。内部をシロアリに食われた材木は、その中身がはっきりと画像になる。そのうえ果物の熟成度まで、糖度のちがいが画像によって確認できるのである。

ミリ波カメラは、高性能化の真っ最中だ。企業も参加して開発が進んでいる。空港の手荷物検査や、火事現場での消防隊による救助活動用、そして果物の検査用など、すでに用途がひろがりつつある。まもなく〝省〟になるお役所も、きっと興味を持つだろうナ。

P

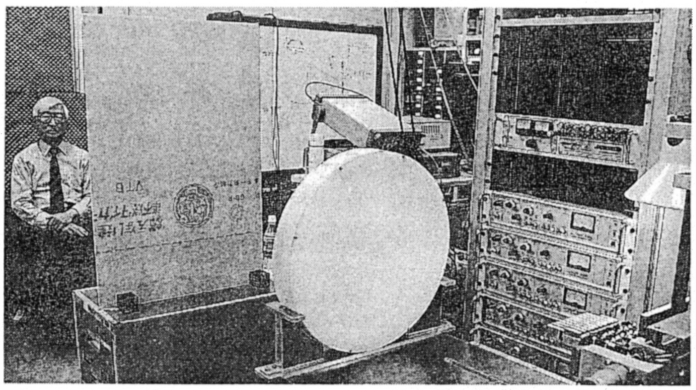
●なかの・ふじお　1950年、新潟県生まれ。通信社、新聞社、オーストラリアのエンジニアリング会社などを経てフリーに。科学の最先端現場を取材中。

朝日　平成19年2月1日㈭〈28面〉掲載

〝透視〟実用化あと一歩

東北大チーム、マジメに装置開発

透視。かつての超能力ブームをほうふつさせる技の実現に、科学の力でマジメに挑んでいる人々がいる。東北大学の客員教授・水野皓司さん（電子工学）のチームは、壁や炎などの向こうにいる人の姿をぼんやり映し出せる装置を開発し、富士通らとともに実用レベルの開発を急ぐ。利用目的は、火災などで逃げ遅れた人を探し出す装置や、空港などの保安装置の開発などで、至ってマジメだ。（長野剛）

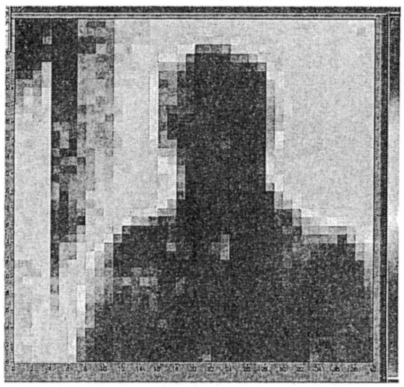


救助・防犯に応用期待

ゴッ・ゴッ・ゴッ……。水野さんの研究室。小指ほどの大きさの板を10枚、ピアノの鍵盤状に並べた装置が、取り付けられた枠の上で上下左右に動き出した。装置の前には建築用の壁材が立てられ、その後ろでイスに座る水野さんの姿は見えない。

待つこと約30秒。装置が止まり、隣のパソコン画面に赤い人型の像が浮かんだ。これは壁の向こうの水野さんの姿。見事、透視の成功だ。

「私の体から出ているミリ波が壁を突き抜け、装置にキャッチされたのです」。……？



㊤右端の台に取り付けられた小さなピアノの鍵盤のようなものが透視装置。左の壁材の後ろに隠れた水野さんの姿を透視している。中央の白い樹脂はレンズ㊦透視装置とつながったパソコン画面に、壁材の向こうに隠れた水野さんのシルエットが現れた＝いずれも東北大で

先端を見る

波長数㍉の力

ミリ波とは、波長が数㍉の電磁波の総称。物質の熱エネルギーなどが変化して出来るため、人体などあらゆる物質から放出されているという。

人間の目に見える電磁波は可視光と呼ばれる光で、波長は1万分の数㍉。物体を突き抜けられず「透視」は無理だ。だが、波長が長くなるほど突き抜け能力が高まり、波長1㍉前後から石膏の壁材や服の布地など、多くの物体を突き抜けるようになる。だから、透視したい人体などから出ているミリ波をうまくキャッチ出来れば、透視できる、というわけだ。

水野さんたちは、このミリ波を効率よくとらえるアンテナの発明者。小指ほどの大きさのセラミック板に金の薄膜で模様を書いただけのシンプルな設計で、波長8㍉のミリ波を受信できるアンテナを97年に開発した。

透視装置はこの板状のアンテナを10枚、ピアノの鍵盤状に並べてある。透視装置は、カメラで言えばフィルムにあたる。

樹脂製のレンズを通ったミリ波は、装置近くで透視している物体の像をつくるが、アンテナが測定できるのは像の一部分の「色」だけだ。そこで、装置を上下左右に動かして多くの部分の色を調べ、透視している物体の全体像を作り出す。

小型化がカギ

問題は装置が大きくなりすぎること。波長8㍉のミリ波をキャッチするには、アンテナの板の短い方の一辺が8㍉以上必要。波長3㍉をキャッチする技術を開発中で、これだと一辺3㍉にでき、実用レベルにできるという。「あと1、2年で完成したい」と意気込む。

逃げ遅れ発見

この技術が応用できる分野は防災やセキュリティーなど。例えば火災現場に応用すれば、どこに逃げ遅れた人がいるかが分かる。空港などでも、服を着た人を透視することで隠し持った凶器も発見できるはずだ。

水野さんは04年に東北大を定年退官。現在は、国などから支給される研究費の一部で大学に部屋を借り、研究を続けている。「好きな研究をして社会のお役に立てるなら、こんなうれしいことはない」

週刊文春 BUSINESS 臨時増刊　4月5日号抜粋（石山研）

Leaders

赤丸チェック！ 週刊文春2006年委員会編
40代・日本のキーマン300人

表紙を飾ったヤクルトの古田敦也プレーイング・マネジャーが
ちょうど不惑の40歳。「団塊の世代」が社会の一線から去ろうという時代に、
日本を支える40代から、小誌が独自の観点から選んだ
元気印の女性や、世界に通用する俊英、不況にもまけないタフネス、
この精鋭300人を見よ！

科学者・技術者

プロ野球と同じく世界の檜舞台をめざす

40代の科学者・研究者としてまず思い浮かぶのが、民間から初のノーベル化学賞を受賞した田中耕一（46）。少し変わったところでは、宇宙飛行士の野口聡一（40）と、国際的にも認知された人材を輩出している。

いまや、スポーツの世界にたとえていうと、野茂やイチロー、松井秀喜がメジャーリーグに挑戦して成功したように、科学者の間では、どれだけ世界と対話できるかが成功のカギとなっている。

「理系こそ世界に出て行かないと話にならない」とある科学者はいう。フリー・エージェントを宣言してメジャーリーグに挑戦する選手が増えて、日本のプロ野球の衰退を危惧する声もあり、同じように人材の流出から将来日本の研究レベルの空洞化が心配されるが、あまり悲観しすぎることもないのではないか。

かつてに比べて研究費の増加など、格段に環境はよくなっているが、それだけに責任も重い。ナノテクノロジーをはじめ、日本が世界に誇る技術や研究に期待がかかる。

名前	組織	寸評
相田卓三(49)	東京大学	世界一細い糸を作った
阿部彩子(42)	東京大学気候システム研究センター	気候システム解明を通じて地球史を研究
阿波賀邦夫(46)	名古屋大学	有機強磁性体を世界に先駆け開発
石井裕(49)	マサチューセッツ工科大学	タンジブル（触覚できる）インターフェイスを提唱
石浦一成(44)	クラレ	曲がるアクリル樹脂の開発をリード
→ 石山和志(42)	東北大学電気通信研究所	カプセル型内視鏡を体外から操作するのに成功
市村厚一(43)	東芝	光で駆動する量子コンピュータを考案
伊藤公平(40)	慶應大学	全シリコンの量子コンピュータ作りをめざす
岩井俊雄(43)	東京大学先端科学技術研究センター	心地よいデジタルメディアを追求
岩佐義宏(47)	東北大学金属材料研究所	フラーレンを中心とするナノカーボン材料の開発
岩田洋夫(47)	筑波大学	触覚など体性感覚をもつメディアの研究
大澤敏(44)	金沢工業大学	抗菌性をもつ生分解性プラスチックを開発
岡野栄之(46)	慶應大学	神経幹細胞の同定と中枢神経の再生に関する研究
柿本辰男(43)	大阪大学	植物ホルモン・サイカトニンの合成酵素と受容体の発見
加藤茂明(45)	東京大学	細胞にあって、特定の物質を感知する受容体の研究
金子清俊(47)	国立精神・神経センター神経研究所	BSEをはじめとするプリオン研究
雄田俊英(43)	産業技術総合研究所	"印刷"で作れるディスプレーの研究
川崎雅司(44)	東北大学金属材料研究所	金属酸化物をエレクトロニクス材料として積極的に活用
北野宏明(44)	ソニーコンピュータサイエンス研究所	たんぱく質や遺伝子などの複雑な相互作用を研究
北村俊雄(48)	東京大学医科学研究所	レトロウイルスを使ったたんぱく質同定法を開発
五條理志(41)	埼玉医科大学総合医療センター	再生医療を世界に先駆け実現
小谷元子(45)	東北大学	「結晶格子」と「ランダムウォーク」の関連を数学的に証明
近藤勝義(42)	東大先端科学技術研究センター	結晶粒子微細化でマグネシウムの強度を向上
西道隆臣(46)	理化学研究所	アルツハイマー病の原因たんぱく質研究の第一人者
佐竹健治(47)	産業技術総合研究所	地震と津波の「予測地図」をめざす
芝清隆(46)	癌研究会癌研究所	たんぱく質の新しい合成法の開発をめざす
下村伊一郎(42)	大阪大学	脳脂肪細胞の多機能性と生活習慣病発症メカニズムの解明をめざす
白鳥世明(42)	慶應大学	ナノ単位で厚さをコントロールできるプラスチック薄膜を開発
関口智嗣(46)	産業技術総合研究所	多数のコンピュータをつなぐグリッド・コンピューティングで日本を牽引
高木信一(46)	東京大学	半導体内部の電子の挙動を調べ新型素子構造に道を開いた
高橋敏(41)	NTTサイバースペース研究所	高精度の音声認識技術を開発
田畑泰彦(46)	京大再生医科学研究所	多彩な再生医療材開発

名前	組織	寸評
田原太平(44)	理化学研究所	超高速の分解分光装置で新しい分子現象を解明
秩父重英(42)	筑波大学	青色LEDの謎を解明
富田優(40)	マサチューセッツ工科大学	世界最高の磁場を作る高温超伝導材料を開発
富田勝(47)	慶應大学先端生命科学研究所	コンピュータで細胞の全体像をシミュレート
中谷和彦(46)	大阪大学産業科学研究所	有機小分子が遺伝子のミスマッチを特異的に認識することを発見
中谷喜洋(47)	ハーバード大学	がん抑制に関わるたんぱく複合体の構解析をすすめる
永田晴紀(40)	北海道大学	民間と共同してロケット開発
中福雅人(45)	東京大学	中枢神経系の再生と脳疾患治療への応用をさぐる
野田進(45)	京都大学	光を制御できるフォトニック結晶の立体構造を作る
平野靖史朗(48)	国立環境研究所	微小粒子物質などの健康への影響を調べ続ける
平間淳司(48)	金沢工業大学	常温で地磁気の10万分の1を検知する高感度センサーを開発
深水昭吉(46)	筑波大学	生活習慣病に関係する遺伝子を働かせる「転写因子」に取り組む
藤田誠(46)	名古屋大学	新しい集合性分子システムを設計
船津高志(47)	東京大学	一分子生理学（ナノバイオ）を世界に先駆けて開発
古市昌一(47)	三菱電機	数人で同時操作する協調型コンピュータをめざす
古澤明(43)	東京大学	量子コンピュータにつながる量子テレポーテーションを創成
堀井洋一(40)	日立製作所	水晶玉型表示装置を開発
真鍋真(46)	国立科学博物館	中生代の爬虫類・鳥類の進化の研究
丸山茂夫(45)	東京大学	アルコールを使った単層カーボン・ナノチューブの低温合成法を開発
光吉俊二(40)	AGI	人間の感情を把握する音声認識システムを開発
三宅正人(40)	産業技術総合研究所	100種の酵素で作った新型チップで新薬候補探索の高速化をめざす
宮地充子(40)	北陸先端科学技術大学院大学	暗号化技術のエキスパート
村上洋一(48)	東北大学	電子の軌道自由度を調べる新型の研究手段を世界で初めて開発
茂木健一郎(43)	ソニーコンピュータサイエンス研究所	脳科学研究でマスコミでも活躍
森郁恵(48)	名古屋大学	線虫頭から人間の神経回路の解明をめざす
森田浩介(48)	理化学研究所	113番目の新元素を発見
柳沢正史(44)	テキサス大学	睡眠と食欲に関わる「オレキシン」を研究
山崎健二(45)	東京女子医科大	国産初の人工心臓を開発
山中伸弥(42)	奈良先端科学技術大学院大学	初期胚分化や腫瘍形成を調節する因子の発見と再生医療への応用
横田隆徳(46)	東京医科歯科大学	RNA（リボ核酸）を使って遺伝子の働きを抑えるRNA干渉の医療応用
渡辺博之(45)	玉川大学	LEDを使った野菜工場のシステムを開発

42

秋田魁新報　平成18年10月29日㈰〈４面〉掲載

磁気センサー 常温動作では 世界最高感度

東北大助教授が開発

地球が出す磁気の一千万分の一という、極めて弱い磁場を測定できる磁気センサーを、東北大電気通信研究所の石山和志助教授が二十八日までに開発した。

常温で動作する磁気センサーとしては世界最高感度だという。

サイズは小指のつめに乗る程度と小さいため、携帯電話や腕時計に組み込めば、世界中、どこにいても方角が高精度で分かる機能を新たに盛り込めるという。

もう一段の感度アップを目指しており、心臓や脳から出る磁気を測定し、異常をいち早く見つける診断装置への応用が最終目標だ。

石山助教授はコバルトなど三種の金属でできた合金は、周囲の磁場の変化に敏感に反応することに着目。ガラス基板の上に、この合金の薄い膜を作り、縦一㍉、横五㍉のセンサーを作製した。

純度の高い材料を使い、三種の組成比や合金を作るときの温度など、さまざまな条件で実験を繰り返し、五年がかりで現在の感度を達成した。

石山助教授は「検出回路の雑音を減らすことでさらに感度を高め、二年以内にはこのセンサーで生体計測を実現したい」と話している。

河北新報　平成18年２月10日㈮掲載

視覚障害者向け「音空間認識」ゲーム

商品化へ試用調査

宮教大付属小児童が協力

「面白い」夢中で挑戦

仙台市の企業と大学が開発した視覚障害者向けのパソコンゲーム「BBBeat（ビー・ビー・ビート）」を子どもたちに体験してもらう試用調査が先日、仙台市青葉区の宮城教育大付属小で行われた。感想などを反映させ、健常者にも魅力的な市場性の高いゲームとして商品化するのが狙い。付属小三年生の三十三人が協力した。

「BBBeat」は、周囲の人や物の状況を音でイメージする「音空間認識能力」を訓練するゲーム。東北電力グループの通研電気工業（仙台市）を中心とした民間企業四社と、東北大と東北福祉大が二〇〇五年に開発した。マーケティング会社が調査に協力し、ゲームの中の児童の行動や感想などから、商品の魅力や改善点を検証した。

ゲームは、さまざまな方向から音が聞こえる特殊なヘッドホンを着用。ハチの羽音が聞こえてくる方向に顔を向け、コントローラーのボタンを押す。ヘッドホンには体の動きをとらえるセンサーが組み込まれており、顔の向きと羽音の方向が合えば得点になる。

最初は戸惑っていた児童らも「難しい」「そこじゃないよ」などと声を上げながら、夢中になってゲームに挑戦した。山田佑樹くん（九つ）は「頭の上や下で音がするときが難しかった。音に合わせて体を動かす感覚が面白い」と楽しんでいた。



夢中になってゲームに挑戦する児童

同様の調査は既に県立盲学校でも実施された。通研電気工業が、今回の結果も踏まえ商品開発を進める方針だ。同社の厨川純一・製品開発部副部長（四八）は「ヘッドホンの大きさやゲームの難易度など改善点が見つかった。ソフトの動作の安定性も、今後の課題として取り組みたい」と話した。

東北放送制作　2007年９月８日㈮18：16～18：55
イブニング・ニュースTBC
「最先端！バーチャルの世界」



情報通信ジャーナル　2006年８月号掲載

キャンパス 研究室訪問 Vol.6

～明日のユビキタス社会を担う
未来のトップランナー 金の卵 たち～

東北大学大学院



新しく完成した視聴ルーム。まだピカピカ。

無響室に設置した「球状スピーカアレイ」（円錐状に多数のスピーカを並べた装置）の前で。前列右から４番目が鈴木陽一先生、左隣が西村竜一先生。無響室の吸音材は新素材のポリエステル不織布を用いており、これはフリースと同じくPETボトルを再利用したものだそう。

東北大学　大学院　情報科学研究科　システム情報科学専攻　音情報科学研究室　鈴木陽一研究室　★「電気通信研究所　人間情報システム研究部門　先端音情報システム研究分野」、「工学部電気・情報系（情報工学コース）先端音情報システム研究分野」にも属する。

■研究テーマ
＜人間の聴覚情報処理の解明をめざして＞
●音像定位に関する研究
●聴覚における特徴抽出および文脈効果に関する研究
●聴覚を含めたマルチモーダル情報処理に関する研究
＜快適な音環境と高度な音響通信システムの実現をめざして＞
●聴覚ディスプレイに関する研究
●ディジタル補聴システムとその評価方法に関する研究
●電子透かしに関する研究

■指導教授・教員・職員
教授　鈴木陽一／助教授　西村竜一／助手　坂本修一／技術職員　齋藤文孝／非常勤研究員　李軍鋒、下村正夫／技術補佐員　小貫輝義／秘書　小室まり／事務補佐員　今野亜未
★http://www.ais.riec.tohoku.ac.jp/index-j.html

■博士課程（D）、修士課程（M）、学部生（B）
座談会出席メンバー：（D1）岡本拓磨＜静岡・沼津東＞、姜大基＜韓国・昌信＞、（M2）門井涼＜千葉・暁星国際＞、楊洋＜中国ハルビン・第三＞、（M1）関本彩保＜高知・土佐塾＞、阿部俊一郎＜神奈川・大和＞
※＜＞内は出身高校

（D3）中尾勝也＊社会人・リオン、矢入聡、（D1）魏浩石、（M2）小笠原亮、佐々木直哉、高崎政久、（M1）佐々木愛、瀬戸幹生、沼畑俊、吉村美智子、（B4）千葉武尊、半田浩規

※敬称略。学年等は、06年6月23日現在のものです。

6

キャンパス訪問

音響通信システムから補聴器まで　聴覚研究の最先端をいく学生の聖地

世界最高水準のICT大国をめざすニッポン。その未来を担う"金の卵"たちを探して、今回は東北大学大学院へ。
鈴木・西村研究室は、初代・抜山平一教授の時代より約90年間、音響工学研究の最先端を走り続ける伝統ある研究室だ。



空間情報も含めた個人の音の聞こえ方を計測し、より臨場感あふれるシステムを開発中。

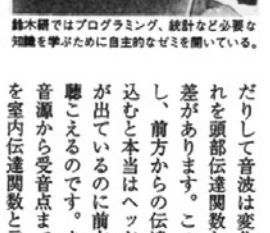
——歴史を遡ると、世界初のデジタル補聴器CLAIDHA、最近では音空間認識能力を高めるゲーム、電子透かしなど、多彩な研究成果を形にされていますね。

鈴木●ええ。音は日常生活において重要な役割を担っていますが、通信システムにおいても例外ではありません。そこで人間がどのように音を聴くのかという、心理音響実験の結果を踏まえた音響通信システム、マルチメディアシステムの実現に取り組んでいます。さらに最近は聴覚だけではなく、視覚や運動感覚との総合的な知覚（マルチモーダル情報処理）の研究にも力を入れています。

外部騒音や反射音を最小限にする無響室、71個のスピーカがついた球状スピーカアレイ、理想的な視聴環境を実現した視聴室…音響研究を究めようと志す学生は、抜群の環境を求めて国内外から仙台に集まる。

岡本●3次元音空間について研究中です。部屋に多数のマイクロホンを設置し、音を保存、それを別空間で再現しています。誰がどんな顔の向きで話していたかにまでこだわるんです。

姜●僕は、韓国の大学で鈴木研の前身である曽根先生の研究室を卒業した李先生の研究室にいましたが、よりよい実験環境を求めて留学しました。いまは聴覚ディスプレイ、多チャンネルスピーカを用いての音場再生手法について研究中です。聴取者が動いても聴こえ方が変化しない、究極の臨場感を実現したシステムを作りたいです。



鈴木研ではプログラミング、統計など必要な知識を学ぶために自主的なゼミを開いている。

門井●僕は秋の研究室公開を見てここに決めました。音情報は身近だし、他の人が音をどう感じているかにも興味があるし。現在は劇場などにマイクロホンをもったダミーヘッドを設置し、聴取者に合わせた信号処理をして再現し、聴取者にも劇場にいるかのような感覚で聴いてもらえるような研究をしています。

楊●千葉工大の交換留学生として来日して6年目。東北大出身の先生に勧められて来ました。聴覚ディスプレイの個人化に関する研究をしています。今後も音の研究をさらに進めていきたい。

関本●頭部伝達関数について研究しています。人間の鼓膜に音が達するまでに肩や耳で反射したり回り込んだりして音波は変化します。それを頭部伝達関数と言い、個人差があります。この特性を応用し、前方からの伝達関数を畳み込むと本当はヘッドホンから音が出ているのに前方からの音に聴こえるのです。また、室内の音源から受音点までの伝達特性を室内伝達関数と言い、この2つの伝達関数を合成することで多様な音環境を模擬でき、より高度な臨場感が得られるんです。

——ということは、人によって聴こえている音は違うのですか。

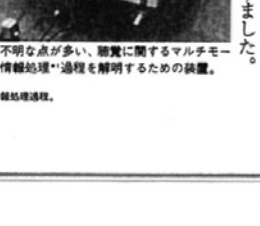
関本●じつは、体型や耳の形状の違いによって大きく異なるんです。その違いを明らかにするのが私のテーマです。

阿部●僕は音声通信の暗号化に関する研究をしています。企業間の電話には、傍受されたら困る極秘情報も多いので、暗号化してTV放映終了後のザ～みたいな音にしてしまうんです。

——なるほど。ところで仙台の暮らしはいかがですか？

姜●楽しい！温泉や宴会など、イベントもいっぱいあって。

岡本●先生も面白いし…。先日はみんなで視聴ルームに集まり、W杯観戦で盛り上がりました。



未だ不明な点が多い、聴覚に関するマルチモーダル情報処理*1過程を解明するための装置。

東北大鈴木＆西村研　ハミ出しメモ

●研究室の理念＆座右の銘
理念は「音の科学の深い理解に基づいた高度な通信システムの実現」です。座右の銘は、日本国憲法前文にある「国際社会において、名誉ある地位を占めたいと思ふ」です。研究者たる者、常に世界でも通用する研究を!!を目標に日々研究を行っています。

●行きつけの喫茶店、居酒屋
研究室飲み会の２次会ではほぼ必ず、帰り道にある「ラブミー牧場」という居酒屋に寄ってしまいます。超BIGな名物おにぎり＆マスターによる記念撮影が特徴です。泊まりがけの飲み会では「元気屋」という定食屋のおにぎりを夜食用に持参します。端数はおまけしてくれます。

●飲み会のペースは？
大体月イチくらいです。４月に新歓、お花見、７月にビアパーティ、８月に院試打ち上げ、10月に芋煮会（←宮城＆山形の伝統行事）、11月の駅伝大会後におでんパーティがあります。また８月の夏合宿、12月の忘年会、３月の追い出しコンパは泊まりがけです。他にもイベントに合わせた飲み会を適宜開催。これらの様子は、研究室HPにアップされていますので見てみてください。

●面白エピソードなど…
本研究室にいると、音だけでなく言葉遣いなども大変勉強になります。これは用語の定義の話ですが、先日のゼミで鈴木先生が「ジュースっていうのは本来は果汁100%のもののことを言うんだよ」とおっしゃられたのを聞いて、皆大変驚いていました。そのせいか、最近研究室の冷蔵庫には100%のジュースが多いような…。

＊1：五感や体性感覚（平衡感覚、空間感覚など）など複数の感覚情報を組み合わせて判断する人間の情報処理過程。

7

河北新報　平成19年１月26日㈮〈１面〉掲載

盗聴に強いネット通信

東北大とNEC共同開発

信号分解し秘密保持

東北大の鈴木陽一・電気通信研究所教授（先端音情報システム）と牧野正三・工学研究科教授（知的通信ネットワーク工学）らのグループは二十五日までに、IP電話などインターネット音声通信の安全性を向上させる新技術の開発に成功した。音声信号を分解し、複数のネットワークを経由してデータを送ることで、通信の秘密保持機能を高めた。

従来の盗聴対策は信号を変換して暗号化する手法が一般的で、技術の悪用で解読される可能性があった。

グループは、送り手側の音声をデジタル信号化した上で分解。受け手側は分散した情報がすべてそろわないと、音声として復元できないシステムをつくった。分解した情報は通信途中で盗聴されても、単独では雑音にしか聞こえない仕組みだ。

情報を発信する際、複数のネットワークで送る通信技術（マルチパスルータ）を併用することで、安全性はさらにアップ。現在、ネット経路は六億通りあるとされ、すべての情報を把握するのは不可能に近いという。

信号が分散するのに比例して情報量も増える点がネックだが、信号の一部分だけを分解する技術も考案した。

インターネットの普及に伴い、ネット経由で通話先と接続するIP電話の利用者は年々増加。総務省によると、二〇〇六年九月末現在、契約件数は全国で千三百万件に達している。

研究開発はNEC（東京）と共同で行われ、三年後の実用化を目指す。鈴木教授は「セキュリティーが向上しただけでなく、音質や音声が伝わる速度も現在のIP電話と差はなく、実用レベルにある」と話している。

日経　平成19年１月26日㈮〈17面〉掲載

東北大 NEC IP電話の盗聴防ぐ

暗号技術開発 音声データ分割送信

東北大学の鈴木陽一教授とNECは、IP（インターネットプロトコル）電話を盗聴しにくくするための暗号技術を開発し、実証実験に成功した。次世代ネットワークの構築で普及が加速するIP電話を一層安全に利用できるようになるという。三―四年後の実用化を目指す。

IP電話はインターネットの技術を基にしており、安価に長距離通話ができる。これまでの固定電話の代わりに通信会社が提供するタイプと、パソコンにマイクなどをつないで専用のソフトウエアを使って通話するタイプがある。

開発したのは、音声データを分割して別々の通信経路で送ることによって安全性を高める技術で、両タイプに使える。まずマイクや電話口で発した音声のデータを、携帯電話などで利用する符号化技術で圧縮。これを分割して別々の通信経路に送る。受信側で送られてきたデータを復元する。

通信内容を盗聴しようとしても、ほぼ無数にある経路の中から分割した音声データが通過する複数の経路を特定するのはほぼ不可能で、盗聴は困難という。

パソコンのソフトウエア上で利用するIP電話にも暗号化技術は採用されているが、暗号の鍵を不正入手されると盗聴される恐れがある。また、通信会社が提供するIP電話は専用回線を利用しており、盗聴される恐れはほとんどないが、次世代ネットワークではインターネット上で利用するようになるため、安全性をさらに高める技術が必要になるという。

画像ラボ　2007年２月号掲載

G0611-13
0915-6755/07/¥500/論文/JCLS

頭部運動感応型ソフトウェア聴覚ディスプレイの開発

DSPを用いない高臨場感音空間合成システム

東北大学
矢入　聡・岩谷 幸雄・鈴木 陽一

我々人間は、音の到来方向によって伝達特性（頭部伝達関数： HRTF）が異なることを手がかりとして、音のする方向や距離を把握することができる。この伝達特性を信号処理的に再現することができれば、任意の位置にある音源を計算機上で模擬することが可能である。この原理に基づき３次元空間上に音像を提示できるシステムを聴覚ディスプレイ（Virtual Auditory Display：VAD）と言う。本稿では、聴覚ディスプレイの原理を述べ、我々が開発したソフトウェアVADとその応用を紹介する。

はじめに

音像定位と頭部伝達関数

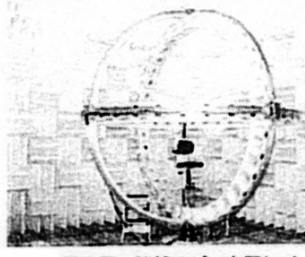
我々は、音を聞けばその音がする方向や距離を把握することができる。このような能力を「音像定位能（Sound Localization）」と呼ぶ。ここで、「音像」とは、視覚で認識された「像」になぞらえた呼称である。視覚での知覚は視野に収まる空間内に限定されるが、音像定位能は前方・後方の区別なく、自身を取り囲む空間全体をカバーできる。しかも、この能力は視覚と同じ2チャネルの入力（左右の耳）のみで成し遂げられることを考えると、驚くべき能力であることが分かる。

音源から放射された音は、壁に反射したり障害物を回折したりすることで変化するが、さらに鼓膜に届く直前に頭部や耳の影響によっても変化する。前者の特性は室伝達関数と呼ばれ、後者の特性は頭部伝達関数（Head-Related Transfer Function: HRTF）[1]と言われている。音像定位能は、主にHRTFを経験的に利用して行われているとされている。例えば、音源が右寄りにあれば、右耳に届く音は左耳に届く音に比べ、より早く大きく聞こえ、音像が右に知覚される。この例から直感的に理解できるように、音像定位においては、両耳の入力信号の時間差（位相差）、レベル差、あるいはHRTFのスペクトル特徴などを手がかりにして位置情報へマッピングしていると考えられている。

聴覚ディスプレイの原理

音像定位能の原理から、逆に、もし耳元において両耳のHRTFを制御できれば、様々な方向から聞こえる音を模擬することが可能になる。このようなシステムが聴覚ディスプレイ（Virtual Auditory Display: VAD）である。ある特定位置に音像を提示するには、その方向を示すHRTFに対応したインパルス応答（Head-Related Impulse Response: HRIR）をモノラル音源に畳み込んでバイノーラル信号を作ればよい。聴覚ディスプレイの原理は単純に言えばこれだけである。しかし、HRTFが、音が空気中を伝わり、頭や耳などで反射、回折を受けた伝搬経路特性であることから理解できるように、HRTFは個人性が強いことが知られている。さらに、他人のHRIRを畳み込んだ音を聴取した場合、方向を間違って知覚したり、前後を誤ったりすることがある[2]。つまり、VADを実用化するには、HRTFの個人化が必須であるが、未だに完全な解決を見ていない。

聴取者のHRIRを全周にわたって測定するために、我々は、第1図に示す自作の球状スピーカアレイを無響室内に設置し、アレイを水平方向に回転させながら測定を行っている。これにより、水平角5度おき、仰角10度おきの約1200方向からのHRIRを測定可能である。しかし、全周にわたって測定するのに約2時間必要であり、その間聴取者は中心に配置された椅子に頭を固定して座り続ける必要があるなど、多大な労力を必要とするため、測定による個人化は現実的ではないと言える。



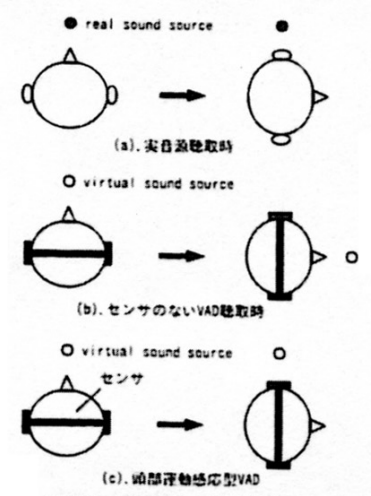
第１図　球状スピーカアレイ

一方、我々はこの球状スピーカアレイを用いて130人分以上のHRIRを測定しコーパスを構築した。コーパスには、HRIRと同時にレーザスキャナで計測した、3次元身体形状も含まれている。これをテストベッドとして、例えば、コーパスから簡単な聞き比べによって最適なHRTFを選ぶ方法[3]や、身体形状から両耳のレベル差、時間差等を推定する方法[4]などを研究している。

頭部運動感応型聴覚ディスプレイ

VADは、両耳元においてHRTFを再現すればいいのであるから、スピーカやヘッドフォンを問わず構築が可能である。しかし、クロストークがなく、聴取時に周囲の影響を受けにくいことから、ヘッドフォンによる提示法が広く用いられている。

現実世界では、頭部を動かしても音像の絶対位置は変化しない（第2図(a)）。しかしながら、ヘッドフォンで再生される音空間は、頭部を動かすと一緒に動いてしまう（第2図（b））。これを回避するためには、頭部運動をセンシングし、反対方向へ音像を移動させる必要がある（第2図（c））。このようなVADを「頭部運動感応型VAD」と呼ぶ。実環境において音を聞く際には、聴取者の動きや音源の移動などで音信号の動的な変化が生じると、音のする方向がよりわかりやすくなることが知られている[5]～[7]。VADにおいても、頭部運動感応型にすることによって前後誤判断が劇的に小さくことが分かっている[8]。



第２図　頭部運動と音像位置の関係

なお、頭部運動感応型聴覚ディスプレイでは、センサ情報を取得してから処理を行うため、聴取者の動きが音の出力に反映されるまでには必然的にシステム遅延が発生する。

ソフトウェア聴覚ディスプレイSifASo

1990年代前半において実時間で動作するVADを構成するには、DSPボードを用いる必要があった。しかしながら、当時のDSPボードは高価であり、限られたメモリ上にハードウェア周りを意識したプログラミングをする必要があるなど、保守や改良を行う上で効率が悪かった。2000年前後になると、CPUの演算能力の向上などにより、ソフトウェア上で実時間動作するVADが開発されるようになってきた[9), 10]。我々もソフトウェア聴覚ディスプレイSifASo（Simulative Environment for Acoustic 3D Software）の開発を行っている。SifASoには、Windows版とLinux版が存在する。

Windows版は、Dynamic Link Library（DLL）として開発され、処理アルゴリズムの容易な再利用による開発コストの大幅な削減を目的としている。HRIRの畳み込みのみならず、ドップラ効果や簡単な形状の室内における初期反射音、後部残響音のレンダリング機能も備えている。一方、Linux版は単一の音源を提示する低遅延で頭部運動感応型VADとして開発した。Linuxはカーネル2.6以降、プリエンプタブルカーネル技術や固定オーバーヘッドリアルタイムスケジューラなどを取り入れ、汎用OSのなかでも、リアルタイム性を追求した試みが盛んである。このため、低遅延で安定したDA変換が実現できると考え、研究用ツールとして開発したのがLinux版である。

SifASo（Windows版）

Windows版のSifASoは、主に3次元音響アプリケーション開発を目的とするものである[11]。今後の拡張性、柔軟性、メンテナンス性を考慮し、プログラミング言語はオブジェクト指向言語であるC++を用いてDLLとして開発した。音出力のリアルタイム性のためには、ソフトウェアオーディオインタフェースも重要である。現在、PCのオーディオインタフェースとして有名なものは、Microsoft社によって開発されたDirectXと、Steinberg社によって開発されたASIOがある。DirectXはプログラミングの立場からは扱いやすいオーディオインタフェースである。これに対し、ASIOはプログラムからバッファの長さ等も制御できリアルタイム性に優れる。Windows版SifASoでは、DirectXとASIOの両インタフェースに対応できるように設計した。第1表にSifASoの実装環境についてまとめる。

第１表　Windows版SifASoの実装環境

Operating System	Windows XP Professional Edition
CPU	Pentium 4 Extreme Edition 3.2 GHz
Memory Size	2 GB
Audio Interface	DirectX(ver 9.0), ASIO
Compiler	Microsoft Visual Studio .Net 2003
Programming Language	C++

また、SifASoは第3図のように、制作するアプリケーションに応じて、レンダリングの種類を選択できる構成とした。用意したレンダリングの種類は以下の4種である。

- 位置情報（静止、低速移動音像用）
- 位置情報＋ドップラ効果（高速移動音像用）
- 位置情報＋初期反射音（室内用Ⅰ）
- 位置情報＋初期反射音＋後部残響音（室内用Ⅱ）

この4種類のレンダリングは、アプリケーションの種類に応じて使い分けることができる。

いずれのレンダリングにおいても、音源（または聴取者）の位置を一定間隔（例えば、描画更新周波数の60 Hz）で変化させることが可能であり、これにより頭部運動感応型VADを実現できる。 具体的には、3次元位置センサ（NEC Tokin社製のMDP-A3U9Sや、Polhemus社製のFastrakなどが対応可能）からの頭部運動情報を、頭部角度指定メソッドに入力するだけでよい。なお、本エンジンを使った際のシステム遅延を計測した結果、位置情報のみをレンダリングした場合、センサ更新も含め約32 msであった。

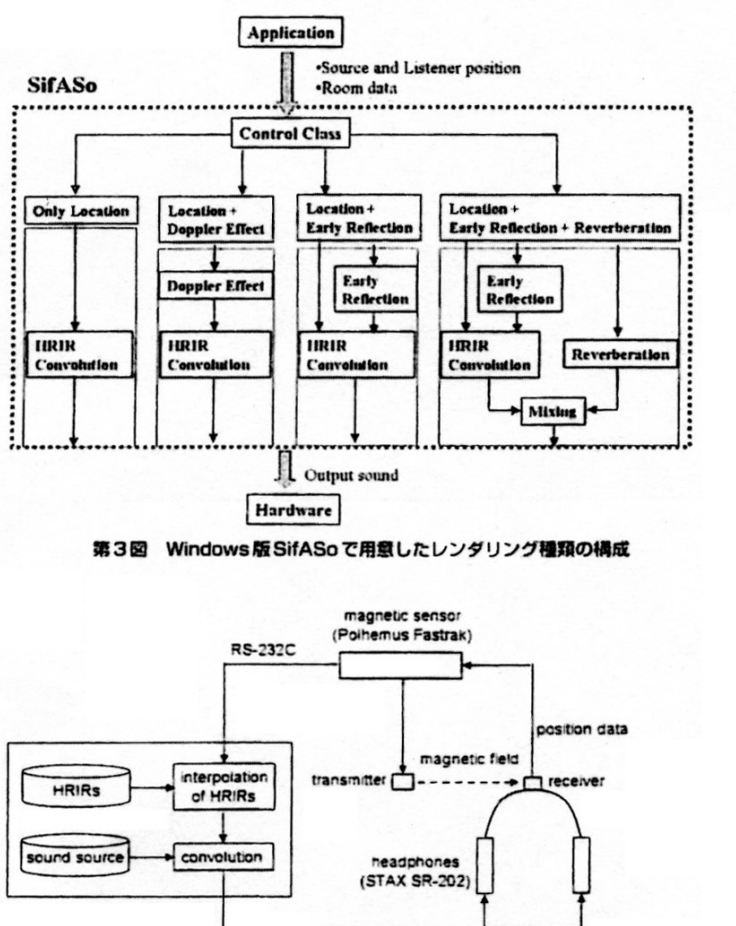
SifASo（Linux版）

一方、VADは、現実世界の音空間認知過程を解明するに当たり、コンパクトな研究環境を提供するためのツールとして、利用が期待できる。このため、以下のような開発目標をおき、研究用のSifASoを開発した。

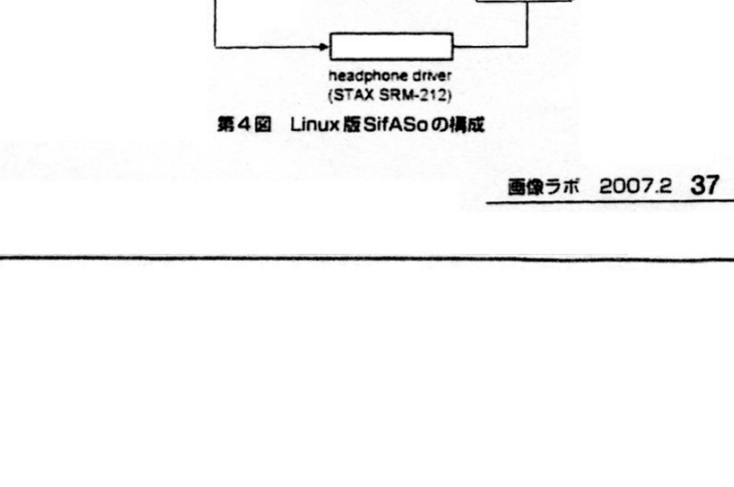
- なめらかなHRIRの補間
- ジッタのないDA変換
- 低遅延

この実現のためには、OSとしての汎用性とリアルタイム性が必要であり、種々の検討の結果Linuxを用いることとした。開発したLinux版[12]の構成図を第4図に示す。Linux版は単一音像の任意の位置の提示に特化した。頭部運動感応型VADであり、位置センサは、Polhemus Fastrakに対応している。各方向のHRIRを初期遅延と主応答とに分け、なめらかなに補間を行っている[13]。Pentium 4（3.06 GHz）、メモリ2 GbyteのPC上のLinux（カーネル2.6）に実装した結果、開発したシステムの遅延は約12 msであった。内訳としてセンサ更新間隔が8.3 ms、センサ通信遅延が約2 msであり、その他の処理遅延は2 ms以下である。これは、Windows版よりも小さくなっただけでなく、世界の他の現行システムと比較しても小さい。

本システムを用いて、頭部運動感応型聴覚ディスプレイシステム利用時に頭部を動かした際の、システム遅延の検知限を調べた[14]。その結果、検知限はおよそ75 msであることが明らかとなった。これは、従来のシステムよりも小さなシステム遅延を実現できたからこそ検証可能となったものである。速い頭部運動に対してもHRIRの厳密な再現が可能なことから、今後特に頭部運動が聴取時に与える影響を詳細に調べるにあたり、本システムは非常に有効であると期待できる。



第３図　Windows版SifASoで用意したレンダリング種類の構成



第４図　Linux版SifASoの構成

SifASoの応用

我々は、SifASoの応用にあたって、Windows版をもとにして、視覚障害者のための空間認識訓練用ソフトウェアを3種類開発した[15]。

1つめのBBBeatは、音だけで楽しめるもぐら叩きゲームである。羽音を頼りに、プレイヤーの周囲に現れるハチをハンマーで追い払うというもので、ハチの羽音にHRIRを畳み込んで出力することによって3次元空間内の任意の位置にハチを出現させている。また、プレイヤーの動きをSifASoの出力に反映させるために、プレイヤーの頭部、上腕部、下腕部、及びハンマーに3次元センサ（NEC Tokin, MDP-A3U9S）を取り付け、頭部の回転運動とハンマーの動きを検出する。アプリケーションはこれらの情報をもとに、ハチとハンマー位置を割り出し、当たり判定を行う。このゲームはもちろん音のみで行うこともできるが、健常者も同様に遊べるようにDirectXで描画されるゲーム画面も用意されている。第5図にそのゲーム画面を示す。このゲームで繰り返し遊ぶうちに、音の位置を正確に把握する能力の向上が期待される。実際、訓練効果について検証した結果、音源位置を把握する能力のみならず、会話中に話している人の方を向くフェースコンタクト能力、移動物体の回避能力などにおいて統計的に有意な訓練効果が認められた[16]。



第５図　音によるもぐら叩きゲーム BBBeat（健常者用画面）

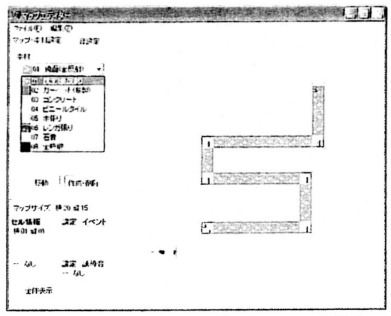


第６図　音によるレーシングゲーム SoundFomula（健常者用画面）

2つめは、音によるレーシングゲーム、SoundFomulaである（第6図）。このゲームでは、プレイ中の速度感を高めるために、ドップラ効果を含んだSifASoのレンダリングアルゴリズムが使用されている。プレイヤーは頭部角度を検出するセンサがついたヘッドフォンを装着し、ゲームパッドにより自機の操作を行う。機体の操作はアクセルとブレーキによる速度操作及び左右の移動が可能である。自機は4つのサウンドガイド（左上、右上、左下、右下）の中を走り、壁に近づいた際には、近づいた壁の方向から警告音が発せられるため、これらの音に注意して壁にぶつかることなく自機の位置を把握することができる。さらに、常に自機の前方にコースの中心を示すガイドが鳴っており、それによる位置確認も可能である。

3つめは、マッピング能訓練システム、MentalMapperである。我々は、あらかじめ地図を見ておくことで、実際にその場に行ったときも、自分のたどった経路や位置を把握することができる。このようなときに、あらかじめ眺めた地図情報をもとにして、脳内に地図を描き、それを利用していることが知られている。この脳内地図のことをメンタルマップという。健常者の場合、このメンタルマップはほとんどの者が簡単に描くことができる。しかしながら、視覚障害者においては、地図という概念を理解することは非常に困難であり、思い通りにメンタルマップを描くには、日常生活において多くの経験を積む必要がある。そして、このような不自由さを取り除くには、視覚障害者は何らかの方法でメンタルマップ形成のための訓練をする必要があると考えられる。本アプリケーションは、このような観点から、VR空間に迷路を作り出し、メンタルマップの形成を補助することを目的に開発された。最大のメリットは、実際の歩行訓練などに伴う危険を憂慮することなく訓練ができることである。

MentalMapperでは、プレイヤーはセンサがついたヘッドフォンを装着し、前進したい方向を実際に向いた後、ゲームパッドを操作することでVR空間内を移動する。通路には所々に音源を配置してあり、プレイヤーは誘導音を頼りに通路を進み、ゴールを目指す。ゴール後に、スタート地点から音だけをたよりに通ってきた道筋を絵に描くことで、聴覚によるメンタルマップ形成能力を訓練できる。また、認知させたい地図を自由に編集できるように、「マップエディタ」を用意した（第7図）。通路のデザインはもちろんのこと、通路の素材もコンクリート、木材、カーペットなどから変更可能であり、壁や床で音が響く様子を自由に編集可能である。



第7図　マッピング能訓練システムMentalMapperのマップエディタ

おわりに

本稿では、頭部運動感応型聴覚ディスプレイシステムの原理と、我々の開発したシステムの概要を述べた。今後、これらのシステムの応用、さらなる高精度化を進めていく予定である。

参考文献

1) J. Blauert, "Spatial Hearing," The MIT Press (1983).
2) M. Morimoto and Y. Ando, "On the simulation of sound localization," J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 1, 167 (1980).
3) 西坂宏二，岩谷幸雄，鈴木陽一，"移動音像の定位感に基づく聴覚ディスプレイの個人化，" 音講論，659 (2004).
4) 渡邊貴治，岩谷幸雄，行場次朗，鈴木陽一，高根昭一，"身体特徴量に基づく両耳間時間差の予測に関する検討，" 日本バーチャルリアリティ学会論文誌，10, 4, 609 (2005).
5) H. Wallach, "On sound localization," J. Acoust. Soc. Am., 10, 270 (1939).
6) W. R. Thrlow and P. S. Runge, "Effect of induced head movement in localization of direction of sound," J. Acoust. Soc. Am., 42, 480 (1967).
7) W. R. Thrlow, J. W. Mangels and P. S. Runge, "Head movements during sound localization," J. Acoust. Soc. Am., 42, 489 (1967).
8) Y. Iwaya, Y. Suzuki and D. Kimura, "Effects of head movement on front-back error in sound localization," Acoust. Sci. & Tech., 24, 322 (2003).
9) E. M. Wenzel, J. D. Miller and J. S. Abel, "Sound Lab: A real-time, software-based system for the study of spatial hearing," 108th Convention of the Audio Engineering Society, Paris, Preprint 5140 (2000).
10) T. Lokki, "Physically-Based Auralization-Design, Implementation, and Evaluation," Doctoral dissertation in Helsinki University of Technology (2002).
11) 豊田将志，"3次元音空間のレンダリング技法に関する研究，" 東北大学博士学位論文 (2005).
12) 矢入聡，岩谷幸雄，鈴木陽一，"頭部運動感応型ソフトウェア聴覚ディスプレイの開発，" 日本バーチャルリアリティ学会論文誌，11, 3, 437 (2006).
13) K. Watanabe, S. Takane and Y. Suzuki, Interpolation of Head-Related Transfer Functions based on the Common-Acoustical-Pole and Residue model," Acoust. Sci. & Tech., 24, 335 (2003).
14) S. Yairi, Y. Iwaya and Y. Suzuki, "Investigation of System Latency Detection Threshold of Virtual Auditory Display," In Proceedings of International Conference on Auditory Display (ICAD2006) (2006).
15) 大内誠，岩谷幸雄，川崎浩一，鈴木陽一，"高精度聴覚ディスプレイ技術による3次元音ゲーム，" 日本バーチャルリアリティ学会第10回論文集 (2005).
16) 本多明生，柴田竜，行場次郎，西坂宏二，岩谷幸雄，鈴木陽一，"3次元聴覚ディスプレイを用いた聴覚ゲーム検者の転移効果－実音源定位課題と衝突物体回避課題に及ぼす影響－，" 信学技法，HIP2005-32，71 (2005).

【筆者紹介】

矢入　聡
東北大学
電気通信研究所
教育研究支援者（ポスドク研究員）
〒980-8577
宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
TEL：022-217-5079
FAX：022-217-5562
E-mail：yairi@fir.riec.tohoku.ac.jp

岩谷幸雄
東北大学
大学院情報科学研究科　電気通信研究所
助教授
〒980-8577
宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
TEL：022-217-5078
FAX：022-217-5562
E-mail：iwaya@fir.riec.tohoku.ac.jp

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
教授
〒980-8577
宮城県仙台市青葉区片平2-1-1
TEL：022-217-5460
FAX：022-217-5535
E-mail：suzuki@ais.riec.tohoku.ac.jp

Keyword　頭部伝達関数　聴覚ディスプレイ

音源から耳元までの音の伝達特性のこと。方向依存性、個人依存性がある。
頭部伝達関数が音の到来方向により変化するさまを再現し、任意の位置にある音源を計算機上で模擬するシステム。

電波　平成19年２月28日㈬（鈴木研）掲載

音楽の中に文字情報

時間差送信で東北大

スピーカから流れる案内放送や音楽などの音に、文字情報を自由に乗せて送信するシステムを東北大電気通信研究所の鈴木陽一教授と西村竜一客員助教授らの研究グループが開発した。

音をテレビやラジオの電波のように利用してデータを送信。鈴木教授は、受信機能を組み込んだ携帯電話で、液晶画面に文字を表示させることを想定している。

駅や空港で流れる案内放送を聴覚障害者向けに文字でも表示したり、テーマパークではイベントの最中でもテーマ音楽に乗せて迷子情報なども送信できるという。

「データの到達距離が短いなど課題も残るが、新たな情報の伝達手段として実用化を目指す。

人の耳に入ってくる音は、発信源から直接来る音だけでなく、壁などに反射し遅れて到達する音もあるが、通常は時間差がほとんどないため、複数の音は同時に聞こえる。

鈴木教授は、この現象に注目し、本来の音に、送信を遅らせた小さな音を複数加え、この音に文字情報を乗せた。

実験では音楽を使い、1００分の1秒後に、音量を落とした文字情報付きの音を加えてスピーカで再生した。

マイクで音を収録し、成分を分析した結果、約3㍍までの距離なら1秒に1文字のペースで文字を復元できたという。

鈴木教授は「実験はまだ基礎レベルだが、文字情報を加えても、元の音の音質に影響を与えず、高品質のシステムを開発できる」と話している。

日経　平成19年３月23日㈮〈15面〉掲載

ネット障害時 円滑送信

NECと東北大 データ増やさず

NECと東北大学は、音楽や動画を通信障害があっても円滑にインターネット配信できる技術を開発した。従来の障害回避技術を使うと送信データ量が一・五―二倍に増えたが、新技術ではデータ量がほとんど増えない。NTTが整備を進める次世代ネットワーク（NGN）向けのネットワーク放送技術として実用化を目指す。

NECと鈴木陽一・東北大教授らのグループが開発した技術は、音質や画質にできるだけ影響を与えないようデータを間引き、音楽や映像を二つに分けて別々の経路で配信するもの。音楽配信に対応したシステムを試作し、通信障害などで一方のデータが欠落しても影響をほとんど受けないことを確かめた。

一般に通信障害に対応するためには、付加的な情報を一緒に送る必要がある。情報量が大幅に増えてしまい、かえって円滑な送受信が難しくなるケースがある。新技術は付加的な情報を五%程度増やすだけで対応できるという。NECはネット放送技術として二―三年後をメドにNGNで利用できるよう信頼性などを高める。

日経産業　平成18年5月8日(月)〈9面〉掲載

次世代デバイス 最前線 1

スピントロニクス

電子の自転で情報処理

演算・メモリー二役

増幅・制御研究進む

情報社会をけん引してきたシリコン半導体の限界が現実味を帯びてきた。現在の微細化技術が物理的な壁にぶつかり早ければ二〇二〇年ごろ新しい原理のデバイスが必要になるとの見方が高まっているからだ。この壁を打ち破ろうと世界の企業や大学が取り組む次世代デバイス研究の最前線を紹介する。一回目はスピントロニクス。

半からスピンを操る技術や新材料の発見が続き、デバイスの実用化も夢物語ではなくなってきた。

「シリコン半導体の限界を超える新しい戦略だ」

米カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）は三月九日、スピントロニクス分野で世界最大級の産学協同研究を始めると発表した。

スタンフォード大学や米IBM、インテルなど半導体メーカー六社が参加する。UCLAのキャンパス内に約三百平方㍍の研究室を設け、四年間に約二十億円を投入して開発に取り組む計画だ。

スピントロニクスとは電子がまるで地球の自転のように動く「スピン」現象を利用したデバイスのこと。電子（電荷）の有無で情報を処理する現在のシリコン半導体に比べ、演算速度が速く消費電力が少ない。

インテルのパオロ・ガルディニ技術戦略担当役員は「ムーアの法則を維持し続け、経済成長のけん引役になる」と産学連携の意義を説明。シリコン半導体の微細化と情報処理が一定の周期で向上するとしたムーアの法則も限界が指摘されるが、スピントロニクスだと法則を継続できるとみる。

△　△

スピン現象はすでにハードディスクの磁気ヘッドが情報を記録するのに利用されている。トランジスタという論理回路に応用しようとする考えは、一九九〇年に米パデュー大学の研究チームが最初に提唱した。

当初、電子スピンの方向をうまく制御する方法がなく実現は困難を極めた。ところが九〇年代後半からスピンを操る技術や新材料の発見が続き、デバイスの実用化も夢物語ではなくなってきた。

NTTは量子ドットというナノ（ナは十億分の一）メートルサイズの材料を用いてスピンをうまく制御する方法を開発。三ナノ㍍の間隔で量子ドットを半導体基板上に配置したデバイスの試作に取り組む。

東北大学の大野英男教授らは電界で磁性を持たせたり消したりする半導体材料を世界で初めて発見した。思い通りの向きを持つ電子スピンをデバイスに入れる材料になると期待される。大野教授は二〇〇四年に大学内に専門の研究棟を建設。世界的な研究拠点の一つとなっている。

大野教授はスピントロニクスの魅力を「論理回路とメモリーの機能も併せたデバイスが実現できる点にある」と強調する。スピンの向きは電源を切ってもそのまま保てる。

△　△

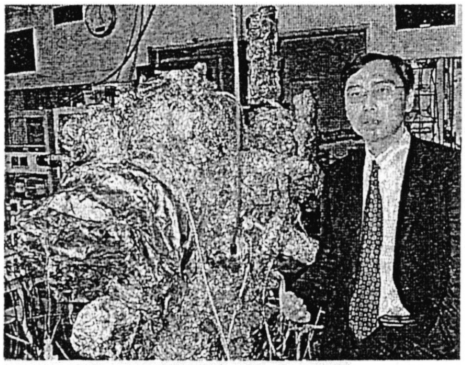
東京大学の田中雅明教授はシリコンやゲルマニウムといった既存の半導体材料を使ってスピントロニクスの実現を目指す。試算ではスピントロニクスで論理回路を組めば現在の半導体で三十四個必要なトランジスタが十個で済むことがわかった。メモリー機能を組み込むと数個も可能になるという。

また、「機能を自由自在に変えられるハードウエアが実現できる」（田中教授）。シリコン半導体だと汎用性に乏しいが、スピントランジスタなら一個で様々な機能に対応でき、デバイスを増やすだけで性能を高めることが可能。高速で低消費電力という特長から携帯電話などに応用が期待される。

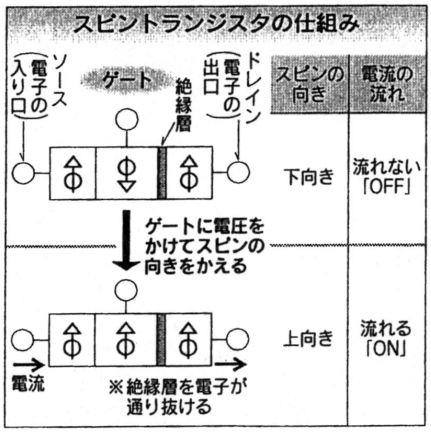
もちろん実現に向けた課題は山積だ。NTT出身でスピントロニクスに取り組む東北大学の新田淳作教授は「まずシリコン半導体のようなトランジスタを実現するのが第一歩」と指摘する。スピンを持つ電子を増幅・制御できないと回路すら組めないからだ。

日立製作所などはスピンを電気で簡単に制御する「スピンホール効果」という働きを発見した。研究のすそ野は広がりつつある。黎明（れいめい）期に位置するスピントロニクスだが、技術革新が生まれる土壌は着実に育ってきた。（竹下敦宣）

＝次回は15日付に掲載します



東大の田中教授は高性能の薄膜装置を使い、論理回路とメモリーを一体化したデバイスの開発に取り組む



The Japan Journal　2006年 6 月号掲載

SCIENTISTS

King **Spin**

Inoue Masayuki profiles semiconductor spintronics pioneer Ohno Hideo.

Electrons have two characteristics: they have an electrical charge and have spin, which is what makes substances magnetic. Modern-day electronics makes use of this electrical charge in electronic devices and of the spin in magnetic devices.

Currently, the spotlight is on semiconductor spintronics, which involves the use of semiconductor materials to enable both the electrical charge and spin characteristics of electrons to be demonstrated simultaneously. This technology will also provide the foundation for the future realization of ultra-high-speed computing devices, ultra-high-capacity storage devices, and quantum information processing.

The driving force behind this world of semiconductor spintronics is Ohno Hideo, who is research director of Ohno Semiconductor Spintronics at the Japan Science and Technology Agency (JST) and also a professor at the Research Institute of Electric Communication of Tohoku University.

"It is not that I had set any major goals. We started this research simply because we were interested to see what would happen if we could combine a semiconductor with magnetic material. Naturally, there was no such word as 'spintronics' at that time," explains Ohno. "But, since we started this research, everyday brings new things, so I feel like I am part of one long adventure."

Ohno really got into semiconductor spintronics research in a serious way in 1988 when he was a visiting researcher at the IBM Thomas J. Watson Research Institute in the United States. During his time there, Ohno and his colleagues succeeded in turning an III-V compound semiconductor, which is the material used in electro-optic devices, into a magnetic semiconductor. The magnetic semiconductor he produced at that time featured an (In, Mn) As composition, where some of the indium arsenide (InAs) was replaced with the magnetic element manganese.

"Theoretically, I was not expecting that semiconductors could be turned into magnets, so this really took us by surprise," recalls Ohno. "But I think the result, in large part, came out of my knowledge of semiconductor crystal growth, which I studied for more than ten years from around the time I was in graduate school."

Ohno subsequently went on to study III-V magnetic semiconductors, finding out more and more about their properties as he went along. Then, in 2000, the research group headed up by Ohno used (In, Mn) As to produce a field-effect transistor structure (FET) and succeeded in controlling the substance's ferromagnetism and paramagnetism. Generally, ferromagnetic substances become paramagnetic along with increases in temperature, but in a world first, by applying electric current at a constant temperature (of -250 degrees), Ohno and his team were able to change reversibly the properties of the magnet (or in this case, the semiconductor).

Ohno is also working on a Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology research project, known as the "Spin Memory" (MRAM: Magnetic Random Access Memory) project, which is aimed at realizing devices that utilize spintronics technology. Spin memory is a form of non-volatile memory that records information in binary form (as "0" or "1") in the direction of the magnetic field created by tiny magnets, and that can be written and rewritten unlimited times at high-speed. In 2004, Ohno's research group succeeded in moving the magnetic domain wall that contains the magnetic field that runs in the direction of the magnets, using a low-density current, and without using an external magnetic field, to induce a magnetic inversion in ferromagnetic material. Traditionally, spin memory required high-density current to produce an external magnetic field, but this is no longer necessary. These results are considered an important breakthrough in efforts to realize low-power-consumption, gigabit-class, large-capacity MRAM.

As Ohno explains, "The major general electronic manufacturers normally have people specializing in either semiconductor research or magnetic recording research. While bringing these two fields together could open up a whole new world, we haven't seen any serious efforts to bridge the two." And he goes on to say, "In these terms, the research we are doing is really filling the gap between these two fields."

Ohno is also directing much of his energy into the development of a quantum cascade laser (QCL), which will create a fusion between the two research areas of crystal growth technology and lasers. QCLs generally operate based on different light-emitting principles to semiconductor lasers. They enable the free selection of transition wavelength and are capable of high output. As a light source for high-resolution biological and chemical spectroscopy, they are also reportedly effective in the detection of trace-element chemical substances and air-polluting substances and in the diagnosis of cancer. However, a QCL needs to be produced from materials that are much better suited to producing a high-performance, light-emitting element. Ohno is aiming to develop the world's leading QCL that uses the new material, InAs.

In this way, Ohno is creating fusions between different research areas to achieve world-class breakthroughs. According to Ohno, curiosity is the key to making a breakthrough. However, this does not mean that curiosity is the only criteria he takes into account when he pursues an area of research. "It's not that I just want to do something new that no one else has done before. I want to do something 'tasty' as well," he says. "I still remember the words of Dr. Esaki Leona (the winner of the Noble Prize for Physics in 1973) who said, 'It is necessary to select what is important to you before starting anything.'" ■



INOUE MASAYUKI

Ohno Hideo—"part of one long adventure"

By INOUE Masayuki, University of Human Arts and Science/Culture Eye

Nature　2006年 8 月10日㈭掲載

for smooth and continuous replay of video pictures. Nakamura's group has also worked on audio and video magnetic tapes, so they are also conducting research on the use of HDDs to record video pictures.

The personal server with the 10GB HDD described above was born in this context. High-definition video pictures can be recorded and transmitted by wireless LAN to large screen TVs. Nakamura thinks the technology can also be applied to car navigation systems and to electronic medical records that could include high-definition images.

Research is being carried out to increase the data transfer speed by using a cylindrical storage medium with multiple heads. Theoretically, a data amount of more than 100GB could be stored within the cylindrical surface of an AAA battery.

Nakamura says that "the traditional philosophy of Tohoku University to do research for society has been unconsciously pushing me forward." From Iwasaki to Nakamura, and the next generation of technologists, the laboratory continues to use state of the art equipment such as disk and head evaluation equipment, ultrahigh vacuum film deposition systems and clean rooms, to research and develop technologies into new useful articles.

Dr. Yoshihisa Nakamura

Professor,
Previous Director of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

www.ricc.tohoku.ac.jp/lab/next-generation-int/index-e.html



Spintronics research

Semiconductor spintronics opens the way for future spin devices

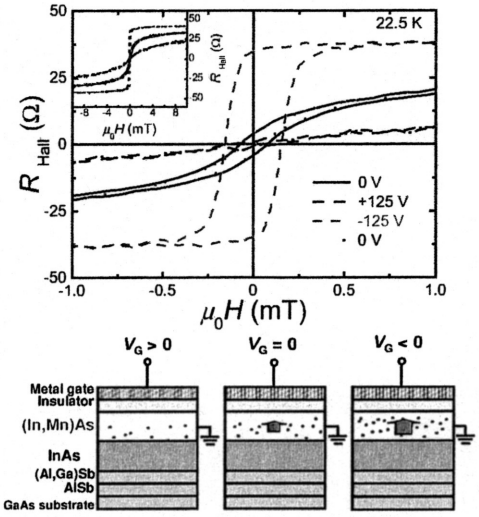
Spintronics shows tremendous potential as the foundation for next generation information technology, communications and electronics.

Electrons have two properties, 'charge' and 'spin', the source of magnetism. In modern electronics, the electron charge is used to process information in semiconductor integrated circuits and, for information storage, such as HDDs, magnetic materials taking advantage of electron spin are used.

The concept of spintronics is that if electrons are going to be used, then it is better to use both their charge and spin properties. Applications include ultra-high density storage and quantum computing.

Hideo Ohno, professor of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, is a leading player in the spintronics field. His research is focused on semiconductor spintronics, where the spin of electrons moving in semiconductor structures is used.

Ohno has succeeded in fabricating ferromagnetic semiconductors by doping non-magnetic III-V compound semiconductors such as InAs [1992] and GaAs [1996] with magnetic Mn ions. Furthermore, he showed that the electron spin direction can be aligned using heterostructures, made by inserting the non-magnetic III-V semiconductor GaAs or (Al,Ga)As between (Ga,Mn)As layers. Later Ohno found out that the ferromagnetism becomes stronger when the number of carriers increases in the conducting layer [5]. From these results, at low temperatures of approximately 25K, he succeeded in switching the ferromagnetism on and off at a constant temperature by switching a voltage of approximately 125V and changing the hole density in the (In,Mn)As ultra-thin films. This was the first ever report



In a ferromagnetic semiconductor (In,Mn)As ultrathin film, the ferromagnetism can be switched on and off at a constant temperature by adjusting the electron holes inside the material.

on the electrical control of the magnetic properties of a material.

In 2004, Ohno's group succeeded in reversing magnetization by moving the boundaries of the regions where magnetization is aligned (magnetic domain walls) with a very low current density of 10^3A/cm^2 through a (Ga,Mn)As ultrathin film. These results will enable the fabrication of low power consumption, semiconductor spin devices.

Based on these successes, Ohno received the 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize from the European Physical Society.

Ohno is currently also working on magnetic random access memory (MRAM) devices. In April 2004, the Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics was completed with state of the art equipment including molecular beam epitaxy equipment, femtosecond laser systems, and Fourier transform infrared spectrometers.

"In Tohoku University, you feel a pressure to do first class work. Since the research environment is among the best in the world, we need results. Currently, the synergy of fundamental and applied research is producing good results", says Ohno.

Dr. Hideo Ohno

Professor,
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

www.ohno.ricc.tohoku.ac.jp



*1) S. Iwasaki and K. Takemura, "Analysis of the Circular Magnetization Mode for Short Wave Length Recording", IEEE Transactions on Magnetics, vol.MAG-13, no.5, pp.1173-1175, Sep. 1975
*2) S. Iwasaki, Y. Nakamura and K. Ouchi, "Perpendicular Magnetic Recording with a Composite Anisotropy Film", IEEE Transactions on Magnetics, vol.MAG-15, no.6, pp.1456-1458, Nov. 1979
*3) Y. Nakamura, IEICE Trans. Electron., vol. E78-C, no.11, pp.1477-1492, Nov. 1995
*4) Y. Nakamura, J. Magn. Soc. Jpn., 18 (Suppl. S1), pp.161-170, 1994.
*5) T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J.Cibert and D. Ferrand, Science, Vol. 287, pp. 1019-1022, 2000.
*6) H. Ohno, D. Chiba, F. Matsukura, T. Omiya, E. Abe, T. Dietl, Y. Ohno and K. Ohtani, Nature, Vol. 408, No. 6815, p. 944, 21 December 2000.
*7) M. Yamanouchi, D. Chiba, F. Matsukura, H. Ohno, Nature Vol. 428, pp. 539-542, 1 Apr 2004.

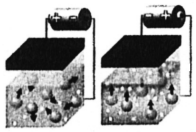
sendai.indd 7

東北大学 Annual Review　2006年掲載

研究3成果



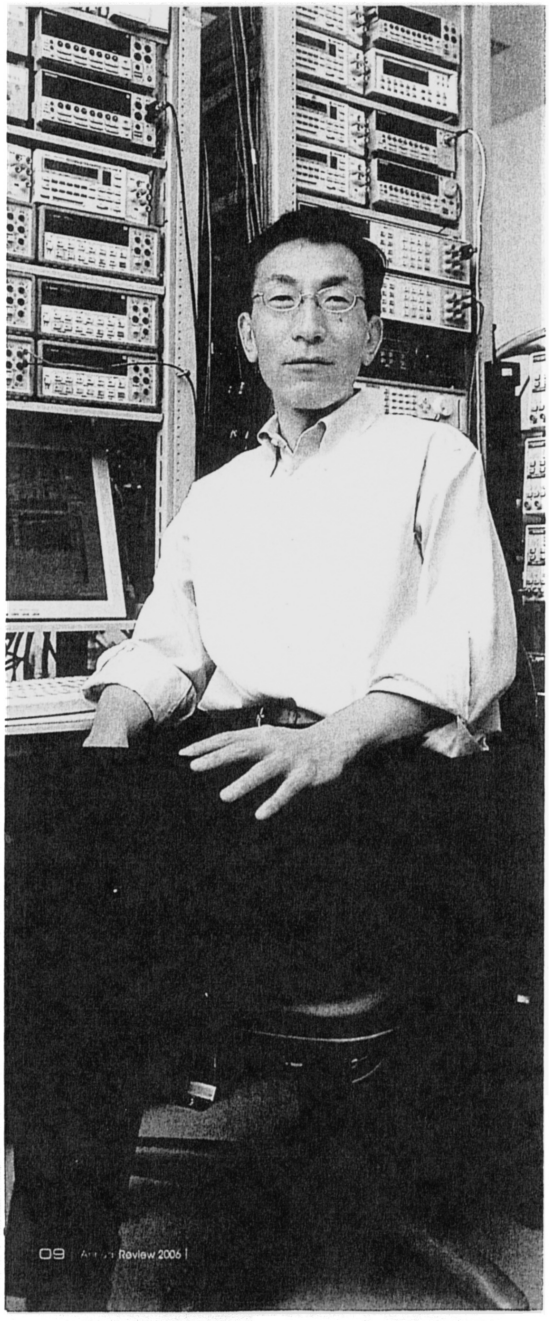
新しい強磁性半導体(磁石と半導体の性質を同時に持つ材料)の開発



強磁性半導体では、外部から電圧を加えることで磁石の性質をオン・オフできる。

古代ギリシア文明の中で発見されて以来、磁石は、外部からの力によってもその性質を変えることはできないものとされてきた。大野教授は、自らが開発した「強磁性半導体」に極低温下で電圧を加えれば磁石の性質がオフ(半導体状態／右)になり、電圧を変えればオン(スピン状態／左)になることを実証。数千年に及ぶ常識を覆し、新しい可能性を示した。

日本人３人目の「アジレント欧州物理学賞」受賞



電子は電荷とスピンという性質を持つ。この電荷の性質を利用するトランジスタなどの半導体デバイスと、スピンの性質を利用する磁気ディスクなどの磁気デバイスという2つの技術が車の両輪のようになって、エレクトロニクス技術は発展してきた。そしていま、電荷とスピン双方の性質を利用するスピントロニクス技術が、演算デバイスへのブレークスルー技術として、量子コンピュータへの基礎技術として期待されている。

大野英男教授は、スピントロニクスの最前線で、強磁性となる半導体材料を開発し、また固体中のスピンコヒーレンス制御などの研究によりスピントロニクスの新しい技術領域を開拓し、発展させてきた。電荷・スピンと次元の究極制御による高機能ナノ・スピン集積デバイスの実現を目指すナノ・スピン実験施設では、半導体スピントロニクス研究部を主導。2005年には、外部から電圧を加えることで磁石の性質をオン・オフできることを強磁性半導体を使って実証し、日本人としては3人目のアジレント欧州物理学賞を受賞した。

外部からの力で磁石の性質を変えた。

大野半導体スピントロニクスの快挙。

【半導体スピントロニクス】

大野英男教授

Hideo Ohno

1954年生まれ。北海道札幌南高校出身。東京大学工学部卒業、工学研究科修了。IBMトーマス・J・ワトソン研究所客員研究員などを経て、1994年に東北大学工学部教授に。2004年に電気通信研究所ナノ・スピン実験施設長に就任。スピントロニクス技術の開拓で、2003年度のThe IUPAP Magnetism Prizeに続いて、2005年度にはアジレント欧州物理学賞、日本学士院賞を受賞した。



アジレント欧州物理学賞の賞状。アメリカとポーランドの研究者の間に大野教授の名が記されている。国境を越えた出合いと共同があり、化学反応のようにして花開いた研究の一例である。

電気通信研究所大野研究室

http://www.ohno.riec.tohoku.ac.jp/

@nifty News　2007年２月13日（時事通信による）掲載

高速で消費電力少ないRAM、試作に成功=日立と東北大(時事通信)

日立製作所中央研究所と東北大電気通信研究所の研究チームは13日までに、スイッチを切っても情報が消えず、高速で消費電力が少なく、記憶容量が大きいRAM(随時書き込み読み出しメモリー)の試作に成功した。米国で開かれた国際固体素子回路会議で発表した。パソコンや携帯電話に現在使われている各種のメモリーを1つのチップに集約することにつながる成果という。

このRAMは「スピン注入磁化反転方式」と呼ばれ、「0」と「1」のデジタル情報の記録を、薄い膜状磁石の磁化の向きを操作することによって行う。1．8ボルトの低電圧で書き込み時間は100ナノ秒(ナノは10億分の1)、読み出し時間は40ナノ秒、記憶容量は2メガ(メガは100万)ビット。

[時事通信:2007年02月13日15時11分]

フジサンケイ ビジネスアイ
平成19年2月14日㈬掲載

低電力で大容量実現

日立・東北大が高速RAM

日立製作所中央研究所と東北大電気通信研究所の研究チームは13日までに、スイッチを切っても情報が消えず、高速で消費電力が少なく、記憶容量が大きいRAM（随時書き込み読み出しメモリー）の試作に成功した。米国で開かれた国際固体素子回路会議で発表した。

パソコンや携帯電話に現在使われている各種のメモリーを1つのチップに集約することにつながる成果という。

このRAMは「スピン注入磁化反転方式」と呼ばれ、「0」と「1」のデジタル情報の記録を、薄い膜状磁石の磁化の向きを操作することによって行う。1・8㌾の低電圧で書き込み時間は100㌨（1㌨は10億分の1）秒、読み出し時間は40㌨秒、記憶容量は2㍂（1㍂は100万）㌭。

これまで、同様に磁化の向きで情報を記録し、スイッチを切っても情報が消えない磁気記録装置としては、MRAM（磁性記録式随時書き込み読み出しメモリー）が製品化されている。

しかし、薄膜磁石と絶縁膜、薄膜磁石のサンドイッチ構造の素子を2本の電線で挟み、磁界を発生させて書き込む方式のため、記憶容量を大きくしようとすると、消費電力が多くなってしまう。

この問題を解決するため、日立中央研究所と東北大電気通信研究所の研究チームは、素子に対し垂直に電気を流すだけで書き込みができるよう工夫した。

この研究開発は文部科学省の委託で行われた。

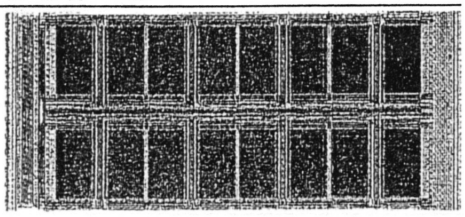
河北　平成19年2月14日㈬〈1面〉掲載

大容量MRAM開発

東北大 大野教授 世界初、実用化に道

東北大電気通信研究所の大野英男教授（半導体スピントロニクス）の研究グループは十二日、スピン注入磁化反転方式を用いた磁気メモリー（MRAM）＝？＝で、二㌊の不揮発性チップの試作に成功したと発表した。メガビット級のMRAMの成功は世界で初めてで、磁気メモリーの実用化に道を開く研究となる。

スピン注入磁化反転方式は、記憶素子に電流を流し、磁石のS極とN極の反転を利用して記録する技術。記憶素子を小さくすると、磁化反転に要する電流も少なくて済むが、記憶素子の微細化技術が課題で、試作段階でも四㌐㌭が最大だった。グループは今回、一気に五百倍の集積を目指した特殊なメモリー回路技術を開発した。



東北大と日立が共同開発した2㍂㌭の不揮発性メモリーチップ

新しいメモリーは、電源を切ってもデータが消えない不揮発性で一般的に使われているDRAM（記憶保持動作が必要な随時書き込み読み出しメモリー）と、ブロック単位で書き換え可能なフラッシュメモリーの特徴を併せ持ち、書き込み速度が速い。低消費電力で、書き換え回数はほぼ無制限。書き込みに要する時間はフラッシュメモリーの千―一万分の一だという。

グループの大野裕三・助教授は「パソコンから家電まで汎用性の高い不揮発性メモリーとして、実用レベルに近づいた」と話している。

研究は日立製作所（東京）の研究機関と共同で行われ、試作品は日立が半導体トランジスタの基礎部分、電通研が記憶素子を製作した。成果は十二日から米サンフランシスコで開かれている国際固体素子回路会議で発表される。

？ 磁気メモリー（MRAM、磁気ランダムアクセスメモリー） 従来のDRAMやSRAM（記憶保持動作が不要な随時書き込み読み出しメモリー）などの半導体メモリーは、一つ一つの記憶素子が電荷を蓄積しているかどうかで「1」か「0」かを判断するが、磁気メモリーは、磁石のS極とN極の違いを利用して記憶する。

電波　平成19年２月14日㈬掲載

電子デバイス・部品

日立と東北大

高速・低電力の不揮発性RAM

スピン注入磁化反転方式 2メガビット品試作に成功

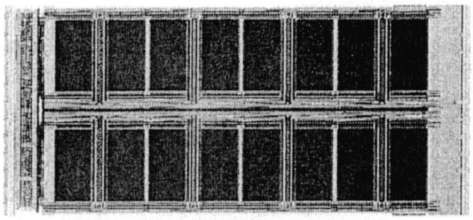
日立製作所と東北大学電気通信研究所（所長＝大野秀男教授）は、スピン注入磁化反転方式を用いた2メガビットの不揮発性RAMチップの試作成功を発表した。（1面参照）

今回開発された新技術は、高速読み出しを低消費電力な不揮発性RAM（ランダム・アクセス・メモリー）の高集積化（〝ギガビット級ユニバーサルメモリー〟＝UM）に道を開くものとして期待される。商品化の次期は2010年以降を予定。

日立と東北大の共同開発チームは、MgO（酸化マグネシウム）をトンネル絶縁膜の材料とし、低電力書き込みと高出力読み出し可能なTMR素子をメモリーセルに用い、スピン注入磁化反転方式に適したメモリー回路を新たに開発した。これにより、1・8Vで書き込み時間100ナノ秒、読み出し時間40ナノ秒の最速動作をする2メガビットのスピン注入磁化反転RAMチップを試作、所定のメモリー動作が可能なことを確認した。

この技術成果は、ISSCC07で発表された。

＊スピン注入磁化反転方式＝電気的磁化反転方式とも呼ばれる。強磁性膜を流れる電子のスピンの向きをある向きに揃え、スピンの向きの揃った電流（ある向きに磁化した電流）として書き込みする技術。



日立と東北大が試作に成功した2メガビットスピン注入磁化反転RAMチップ

日経産業　平成19年２月14日㈬掲載

新型MRAM

2メガビットチップ試作

日立と東北大 集積化の技術確認

日立製作所と東北大学の大野英男教授らは、情報の書き込み方式を変更した新型のMRAM（磁性記録式随時書き込み読み出しメモリー）を試作した。高集積化する際の課題を洗い出し、二メガ（メガは百万）ビットのチップを試作した。

二〇一〇年以降の実用化を目指す。

十一日から米サンフランシスコで開かれている国際固体素子回路会議（ISSCC）で発表した。

MRAMは素子に加える磁界の向きを電気的に操作してデータを書き込むが、微細化すると電流が大きくなり素子が壊れやすくなる。

試作した新型MRAMは、磁界を操作せずに電流で素子の電子の状態（スピン）が変わる現象を利用して書き込んだり、読み出したりする。集積化しやすいと期待されており、研究が加速している。

日立は大容量化するため、書き込み読みだしの操作をする回路設計や電流の加え方を詳しく調べ、誤作動の無い仕組みを考案。読み出す際に加える電流で誤って書き込まないよう大電流をかけないようにした。

新型MRAMはこれまでも動作確認向けの数キロビットの素子は試作されていた。二メガビットの素子を試作して基本技術を確認したのは初めてとしている。

書き込みに必要な電流の低減や高速動作などの改良を進めて実用化を目指す。

科学新聞　平成19年２月16日㈮〈１面〉掲載

不揮発性RAM高集積化

スピン注入磁化反転方式でチップ試作

東北大、日立が共同

CPUの低電力化などに期待

東北大学電気通信研究所の大野英男教授らは、日立製作所と共同で、不揮発・高速・低電力など、従来の各種メモリの長所を併せ持ち、なおかつ大容量化を可能とするスピン注入磁化反転方式による不揮発性RAMチップ（容量2㍋ビット）を世界で初めて試作した。これにより、配線電流によって生じる磁界を利用する従来の方式と比べ、不揮発性RAMのさらなる高密度化・低消費電力化が可能になり、携帯端末による大容量データ通信や低消費電力CPUなどが期待できる。国際固体素子回路会議（ISSCC、米国サンフランシスコ）で12日、発表した。

磁気記録装置は、磁気の向き（磁化方向）によって、0と1のデジタル情報を記録する。不揮発性RAMは、高速処理、低消費電力などの優れた特性を持っているため、現在使われているすべての半導体メモリに置き換わるユニバーサルメモリとして期待されており、世界的に熾烈な研究開発競争が行われている。これまでに、配線電流によって生じる磁界で書き込む磁界書き込み方式のMRAMで4㍋ビットの製品が出荷されている。

不揮発性RAMでは、記録・再生ユニットとしてトンネル磁気抵抗（TMR）素子を動作させる。TMR素子は、2つの強磁性膜を張り合わせたもので、両者の磁化の向きが平行（0）または反平行（1）の状態を電気信号の差として出力し読み出すことができる。しかし、磁界書き込み方式の場合、記録容量を増大させるために、TMR素子を微細化すると、書き込みに必要な磁界も増えるため、消費電力が上昇してしまうという問題があった。

この課題に対して、データ書き込みに磁界を用いずTMR素子に電流を流すだけでTMR素子の記録層の磁化方向を反転させる「スピン注入磁化反転法」の可能性が1996年の理論研究によって示された。電気的磁化反転は、TMR素子を流れる電子スピンが、記録層の磁化にエネルギーを受け渡し回転力を与える現象。TMR素子の面積が小さくなるほど、つまり大容量になるほど磁化反転に必要な電流が少なくなり、低消費電力で書き込みが可能になる。

しかし課題もある。従来の半導体では、メモリの基本動作である1と0の信号は電流のオンとオフで制御できるが、スピン注入磁化反転方式では、TMR素子に流す電流の向きを1と0で逆にするという特殊な回路動作が必要になる。また、読み出し電流によって書き込みが行われないような工夫が必要になる。

共同研究チームはまず、双方向電流切り替え回路技術を開発した。1つのメモリセルに2本のビット線を設けて、電流方向に応じて一方のビット線がグラウンドの役目を担う。また、TMR素子に流れる電流方向を切り替えるスイッチを回路に設け、1㌨毎に書き込み電流の向きを切り替えて情報を書き込む。

また、TMR素子の読み出し時の特性を解析し、読み出し時の誤書き込みは、読み出し電流の向きによって起きにくくなること、読み出し時に重要なTMR素子の電気抵抗比は、ビット線の電圧が低いほど大きくなることを解明。そこで、ビット線の電圧を0・7㍼に低減し、スピン注入磁化反転RAM制御回路における誤書き込みの課題を解決した。

開発した回路技術を使って、0・2㍍のCMOSプロセスで2㍋ビットのスピン注入磁化反転RAMチップを試作し、動作確認したところ、1・8㍼の低電圧で書き込み時間100㌨秒、読み出し時間40㌨秒でのメモリ動作が可能であることを確認した。電気抵抗が大きく高い感度が得られたことで、低電圧での高速読み出しが可能になったという。

今回の成果により、微細化、低電力化に優位なスピン注入磁化反転方式の基本回路技術が確立できた。今後、ギガビット級のスピン注入磁化反転RAMの実現に道を開くものと期待される。

なお、この研究は文部科学省のIT プログラム「高機能・超低消費電力メモリの開発」プロジェクトで行われたもの。

日刊工業　平成19年２月14日㈬〈28面〉掲載

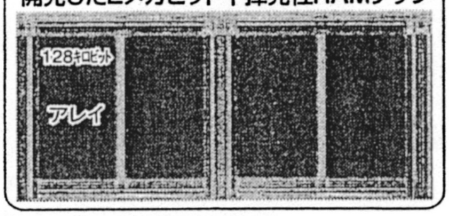
スピン注入
磁化反転方式

不揮発性RAM試作

日立と東北大

高速・省電化に道

開発した2メガビット不揮発性RAMチップ



日立製作所と東北大学電気通信研究所の大野英男教授は、スピン注入磁化反転方式による2メガビットの不揮発性RAMチップを世界で初めて試作することに成功した。配線電流によって生じる磁界を利用する従来の方式に比べて高速・低消費電力化が図れるとともに、パソコンや携帯電話などに使われる従来の各種メモリーを一つのチップに集約することが可能になる。実用化は2010年度以降になる見通しだ。

文部科学省の委託事業「ITプログラム」の研究開発課題の一つ「高機能・超低消費電力メモリの開発」で得られた。研究成果は米国で開催中の「国際固体素子回路会議」で14日（現地）に発表する。

不揮発性RAMの中核となる磁気抵抗素子は、研究チームが独自に開発した酸化マグネシウムを使い、強磁性膜、絶縁膜、強磁性膜の3層構造にした高出力トンネル磁気抵抗素子を用いた。データの書き込みには磁界を使わず、電流を素子に直接流すことによって磁化の向きを反転させるスピン注入磁化反転方式を採用するとともに、同方式に適した新たなメモリー回路技術を開発した。

試作した集積回路は1・8ボルトの低電圧で、書き込み時間100ナノ秒、読み出し時間40ナノ秒の高速作動を実現。将来の高速・大容量・低消費電力不揮発メモリーとしての性能と優位性を実証した。

半導体産業新聞　平成19年３月７日掲載

●日立と東北大学

スピン注入磁化反転RAMを開発

2Mビット不揮発性RAMチップを試作

㈱日立製作所（東京都千代田区丸の内一―六―六、☎〇三―三二五八―一一一一）と東北大学電気通信研究所の大野英男教授は共同で、「スピン注入磁化反転方式」による二Mビット不揮発性RAMチップを世界で初めて試作した。低電力書き込みと高出力読み出しが可能なトンネル磁気抵抗効果素子（TMR）のメモリーセルと、スピン注入磁化反転方式に適したメモリー回路技術を新たに開発、一・八Vの低電力で、書き込み時間一〇〇ナノ秒、読み出し時間四〇ナノ秒でのメモリー動作を確認した。今回の開発はユニバーサルな不揮発性メモリー実現に道を拓いたもので、二〇一〇年以降の実用化を目指す。

高速、低電力動作が可能で高集積に優れ、かつ不揮発性という従来の各種メモリーの長所を併せ持った次世代メモリー「ユニバーサルメモリー」の有力候補としてスピン注入磁化反転RAMが注目されている。有望視されているMRAMはTMR素子微細化による書き込み磁界の増大がネックとなっている。

スピン注入磁化反転RAMは、TMR素子に電流を流し、電子のスピンの作用によって強磁性膜を磁化反転させ、磁化の向きによる電気抵抗値の変化を利用してデータの記録・読み出しを行う。今回開発したスピン注入方式は、電流の向きで書き込む情報が決まるため、書き込みたい情報に応じて、ビットごとに流す電流の向きを選択できる双方向電流書き込み回路を開発した。また、電流の量で書き込みか読み出しかが決まるため、大電流（高速）読み出し時に誤書き込みが起こるリスクがあったが、平行化電流方向で読み出しを行うことで解決の見通しを得た。

今後、高速化、低電力化、高温動作、多値化、高機能化などの課題に取り組む。

日経エレクトロニクス　平成19年２月26日㈪掲載

What's New　夢よもう一度

スピン注入MRAMが進展 日立らが2Mビット品試作

2010年以降に実用化目指す

DRAM並みの高速性を備え，書き換え回数が無制限，しかも電源を切っても情報が消えない。機器設計者が長年待ち望んできた「不揮発性の主記憶」の実現に道を開く技術を日立製作所らが開発した。同社は，スピン注入磁化反転と呼ぶ新たな動作方式に基づくMRAMの2Mビット・チップを東北大学電気通信研究所と共同で試作し，米国で開催された「ISSCC 2007」で概要を発表した(図1)。

試作チップにおける1.8Vの電圧供給時の書き換え時間は約100ns，読み出し時間は約40nsである。今回，10^9回の書き換えが可能なことも確認している。「今回は評価時間の関係から10^9回までしか調査しなかった。能力的には無制限書き換えが可能」(日立製作所)としている。メモリ・セル面積も比較的小さい。試作チップのセル面積は1.6μm×1.6μmで，$16F^2$(セル部分の設計ルールFは0.4μm)に相当する。現時点で単体DRAMの理論的なセル面積である$6F^2$～$8F^2$の約2倍に抑えている。

日立製作所らは，単体DRAMの代替などを目指して，今後，高集積化とともに，読み出しや書き換えの時間を10ns未満に短縮するための技術開発などに取り組む。「2010年以降の実用化を目指す」(日立製作所)方針だ。

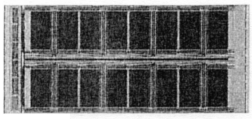


図1　試作したスピン注入方式の2MビットMRAM
チップ面積は5.32mm×2.5mmである。電源電圧は＋1.8V。メモリ・セル面積は1.6μm×1.6μm(セル部分の設計ルールFは0.4μm)。MR比が100%のTMR素子を用いた。トンネル絶縁膜はMgO。回路部分は0.2μm世代のCMOS技術で製造した。

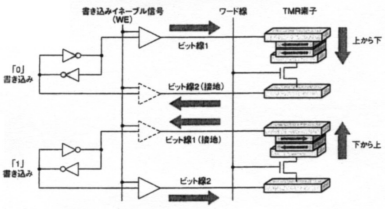


図2　双方向の電流切り替え回路を開発
スピン注入方式MRAMは，書き込む電流の向きで書き込む情報を決める。「0」を書き込む場合，TMR素子の上から下に書き込み電流を流す。「1」を書き込む場合，下から上に書き込み電流を流す。1ビットごとに書き込み電流の向きを「上から下」または「下から上」に切り替えられるように，1個のメモリ・セルに2本のビット線(ビット線1，ビット線2)を設け，書き込み電流の方向に応じて一方のビット線に接地線の役目を負わせるようにした。「0」を書き込む場合にはビット線1からビット線2(接地線)へ，「1」を書き込む場合にはビット線2からビット線1に書き込み電流が流れる。

セル書き換え電流は200μA

スピン注入方式は，既存のMRAMの欠点を根本的に解決できる。かつて単体DRAMを代替できる不揮発性メモリとして脚光を浴びたMRAMは，現在は理想と現実のギャップに苦しんでいる。既に4Mビット品が製品化されているものの，特定市場向けのニッチ製品の域を出ていない。MRAMが苦境に立たされた最大の要因が微細化が難しいことである[注1]。微細化するほど書き換え電流が増すためだ。試作例ではセル当たりの書き換え電流が10mAと大きいものもあった。

スピン注入方式は，この問題に解を与える。TMR素子などに電流を流すことで磁化が反転する現象を利用する。書き換え電流が磁性材料の寸法に比例するため，微細化するほど電流を小さくできる。日立らの試作チップでは，セル当たりの書き換え電流が200μAと小さい。

2種類の技術を開発

今回日立らは試作チップのメモリ容量を一気に2Mビットに高めた。スピン注入方式MRAMの開発に取り組むメーカーはほかにもあるが，ここまでの容量を実現した例はなかった。例えば，ソニーが2005年12月に発表したメモリ・アレイの容量は4Kビットで，今回の1/512にすぎなかった。

日立らの成果は大容量化にとどまらない。特筆すべき点は，より実用化を意識した技術の開発に取り組んだことである。スピン注入という動作原理を持ち込む上で新たに必要になる2種類の技術を開発した。

一つは，双方向の電流切り替え回路技術である(図2)。スピン注入方式MRAMでは，書き込み電流の向きで書き込む情報を決める。「0」を書き込む場合はTMR素子の上から下に，「1」を書き込む場合は下から上に書き込み電流を流す。このため，書き込む情報に応じて，1ビットごとに電流の向きを選択できる回路が必要になる。

従来の半導体メモリで利用されている信号書き込み回路は，電流がビット線からメモリ・セルを経由して接地側に流れ出るという一方向の回路構成を採るものだった。日立らは今回，1個のメモリ・セルに2本のビット線を設け，電流方向に応じて一方のビット線を接地用にするようにした。

日立らが開発したもう一つの技術が，読み出し時の誤書き込み防止技術である(図3)。スピン注入方式MRAMでは，TMR素子に流す電流の量により，書き込みか読み出しかを決める。読み出し電流が大きすぎると，誤って情報を書き換えてしまう可能性がある。日立らが読み出し特性を解析した結果，読み出し時の誤書き込みは，読み出し電流の向きによって起こりやすさが違うことが分かった。

具体的には，読み出し電流の向きとして，TMR素子の上から下に流れる方向を採用することで，誤書き込みが起こりにくくなるという[注2]。「0」が書き込まれた状態で読み出し電流をTMR素子の下から上に流すと，TMR素子が低抵抗状態であるため大きな電流が流れ誤書き込みが起こりやすくなる。　(大石 基之)

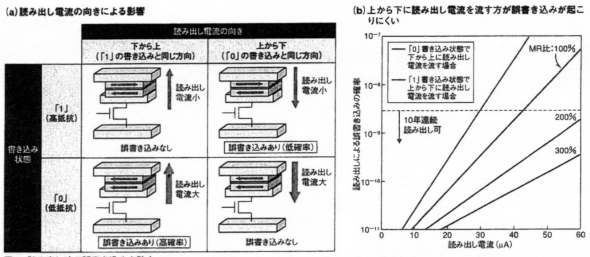


図3　読み出し時の誤書き込みを防止
スピン注入方式MRAMでは，電流の量により，書き込みか読み出しかを決める。このため，読み出し時に大電流を流すと，誤って書き込んでしまう現象が起こり得る(a)。特に，「0」が書き込まれた状態において読み出し電流をTMR素子の下から上の方向(「1」の書き込みと同じ方向)に流すと，TMR素子が低抵抗状態であるため大きな電流が流れてしまい誤書き込みが起こりやすくなる(b)。このため，今回は読み出し電流を上から下の向きに流すようにした。

注1) MRAMは，磁性材料の磁化方向で「0」「1」を記憶する。従来のMRAMでは，電流を流した配線の周囲に生じる磁界を利用して，磁化を反転させていた。この手法では，書き換え電流が磁性材料の寸法に反比例するため，微細化するほど書き換え電流が増す。

注2) このほか読み出し時のTMR素子の電気抵抗比は，ビット線の電圧が低いほど大きくなることも分かった。このため，日立らはビット線の電圧を0.7Vに低減するようにした。このことも，読み出し時の誤書き込みの問題を回避するのに寄与した。

日経産業　平成18年5月1日(月)（中島康治教授）掲載

高温超電導

夢と現実 発見から20年

▼S▲

超電導は情報社会を長年支える半導体を淵源（りょうが）する性能を秘める。情報処理にかかる消費電力が少なく、高速で動作できるからだ。これらの特長を生かし、コンピューターや携帯電話の分野に頭角を現そうとしている。

半導体を超える日

「日本の超電導研究がおそらく世界で最も進んでいる」

米国家安全保障局（NSA）が二〇〇五年八月に発表した超電導コンピューターに関する報告書。NSAは二百五十七ページにも及ぶ分厚い報告書の中で、日本の技術力を分析し高く評価した。超電導工学研究所が開発する超電導デバイスに注目したためとみられる。

日本発「SFQ」

同研究所が手掛けるのは、超電導現象を利用した単一磁束量子回路（SFQ）と呼ばれるデバイス。磁束量子という磁力線の束をリング状の超電導材料で捕らえ、磁束量子の有無をコンピューターの「0」「1」として計算処理する。東北大学教授の中島康治らが一九七〇年代に原理を考案、同研究所などが開発を進める日本発の技術だ。

これまでに名古屋大学と共同で動作速度が百二十ギガ（ギガは十億）ヘルツというスーパーコンは大型化しているという。

コンピューター向けの超電導デバイスは低温で抵抗がゼロになるニオブなど金属系材料を使うが、ビスマス系などの高温超電導物質を使ったデバイスの応用も進んでいる。その一つが、携帯電話の基地局で電波を正確に送受信する高周波フィルターだ。

「二十カ月間、安定して動いています」。四月二十一日に都内で開かれた超電導デバイスに関するシンポジウムで、中国清華大学教授の曹必松は自慢げにこう語った。清華大は超電導フィルターを北京市や河北省唐山市にある米モトローラの基地局に設置、試験運用を続ける。

フィルターは細い超電導配線をくしのように並べた構造。配線の間に電波を流すと特定の波長だけが通るため、雑音が取り除ける。現在のフィルターに比べて雑音を除去する能力が高い。一つの基地局で広い地域をカバーでき、将来見込まれる高速通信でもクリアな音声や画像を携帯に送受信できる。

本格実用2015年に

米国では携帯電話の混信が大きな問題。米スーパーコンダクター・テクノロジーズが商品化した基地局が全米約五千カ所に設置された。清華大も実験がうまくいけば、近く実用化する考えだ。

国内では富士通が〇二年に開発した。NTTドコモなどがサービスを始めた第三世代携帯電話に導入を狙ったが、コストが見合わず採用は見送られた。国内では第四世代携帯の導入にはまだ時間がかかるため「当面は海外市場を開拓していく」（富士通）考えだ。

経済産業省は昨年十月、情報通信分野における超電導の本格的な実用化は二〇一五年前後と予想した。市場規模は五兆円程度になると期待される。それに対し、半導体は〇五年で三十兆円を大きく上回る。

二十世紀後半の人間生活に革命をもたらした物理学の巨人「半導体」。超電導はそれに代わって二十一世紀の主役になれるのか。勝負はこれから。

＝敬称略

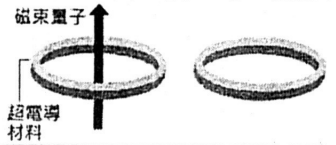
（竹下敦宣）

＝おわり



超電導工学研究所が開発したSFQ

単一磁束量子回路（SFQ）の仕組み



磁束量子	ある	なし
情報処理	「1」	「0」

（注）磁束量子の有無で情報を処理していく

最速・小型スパコン 携帯送受信 鮮明に

超電導をコンピューターに応用しようという研究の歴史は古い。一九七〇年代に米IBMが超電導材料の間に絶縁体を入れる「ジョセフソン素子」のコンピューター開発に挑んだ。

NTTも最盛期は研究者四十人の体制で取り組むなど、一時は世界の半導体メーカーが開発を競った。

超電導が注目された理由は、当時から限界が指摘されていたシリコン半導体の後継と期待されていたからだ。ジョセフソン素子は電流の強弱によって、絶縁体の間に電圧がかかったり消えたりする。それを論理素子に使えば、半導体を上回る高速処理が実現できる。消費電力も理論的には半導体の百万分の一になるという。性能をうまく引き出す研究が加速し始めた。また、携帯電話やインターネットなどの進歩に伴い、低消費電力で高速演算という超電導の利点が再び脚光を浴びている。

ナノテクで再び脚光

超電導の材料開発がうまくいかず研究が下火になったが、二〇〇〇年以降は望みの材料をつくるナノテクノロジー（超微細技術）が進み、

河北　平成18年10月20日㈮〈31面〉掲載



河北　平成18年11月22日㈬〈11面〉掲載

創業60周年を記念
本社工場で展示会

仙台・通研電気工業

東北電力グループで電子応用機器などの開発と製造を手掛ける通研電気工業（仙台市）は二十一日、今年で創業六十周年を迎えたのを記念し、同社の先端技術を公開する展示会を泉区の本社工場で開いた。



低速から高速までの通信機器に対応できる映像伝送システムをはじめ、地下に埋設された配電線を監視する装置など同社が開発した技術と精密機械を、現物とパネルで展示。訪れた取引先企業の担当者らが、興味深そうに説明を聞いた。

通研電気工業は一九四六年十一月、旧東北帝国大電気通信研究所の研究成果を製品化するのを目的に設立。五六年に東北電力が資本参加し、電力設備の自動化関連装置などの開発を進めてきた。

本社工場を公開して開いた展示会＝仙台市泉区の通研電気工業

河北　平成18年12月15日㈮〈27面〉掲載

新所長に矢野氏

東北大電通研

東北大電気通信研究所は十四日、伊藤弘昌所長（六三）の任期満了に伴う所長選で、矢野雅文教授（六〇）を選出した。任期は二〇〇七年四月一日から三年間。

矢野氏は福岡県出身。九州大大学院理学研究科博士課程単位取得退学。東大薬学部助教授などを経て、一九九二年東北大電気通信研究所教授。〇四年四月から同研究所副所長。専門は生体システム工学、生命情報学。

日経　平成19年1月22日(月)〈44面〉掲載

私の履歴書

奈於玲 ㉑
崎江

5年ぶりの里帰り

エサキダイオードを作り出したという功績で日本にいる時から、次々と賞をいただいてきた。一九五九年の仁科記念賞がはじまりで、六〇年にエリオット・クレソン賞、エリオット・クレソン賞をもらった友人のミュンヘン工科大学教授ルドルフ・メスバウワーは何と、同じ年にノーベル物理学賞を三十二歳の若さで受賞している。

翌六二年の悪夢のような思い出は、ケネディ大統領とフルシチョフ首相が渡り合ったキューバ危機である。

この頃になると、IBMで

羽田にマスコミ殺到

米の研究生活、軌道に乗る

はグループを率い、研究の方は次第に軌道に乗りだした。英語もよく通ずるようになったが、それは周りの人が私の英語の癖をよく理解できるようになっただけであった。半金属ビスマスなどを研究対象とし、磁場と電場の下で新しいタイプの電子と音響量子の相互作用を発見したり、トンネル分光という新分野を開拓したりしていた。

六五年五月、日本学士院賞受賞の報が届き、五年ぶりに帰国した。授賞理由は「エサキ・ダイオードならびにその応用の研究」で、有名な八木式アンテナの発明者八木秀次教授が推挙してくれた。早速、八木先生を訪ね、謝意を表したが、お目にかかるのはこれが最初であり、最後になった。

帰国当時の状況を週刊新潮五月二十九日号のグラビア記事を借りて伝えよう。「江崎玲於奈氏の里帰り」と題し、次のように記している。

――「もう僕など忘れられていると思っていたのに…」

羽田に着くやTV、新聞、雑誌に追いかけまわされた江崎氏はこう悲鳴に近い嘆声をあげた。〝エサキダイオード〟を発明した江崎氏がソニーをやめIBMの招きで渡米した時は「頭脳の海外流出」と話題になった。（中略）

「アメリカに行ったのは決して学界に不満があったわけではなく、私の知識欲とチャンスとが一致したから。向こうの研究新生活についていえば科学者がいつでも自然淘汰されるということです。年功や経歴にとらわれず実力のあるものが常によいポジションにつく。フレキシブルなんです。そして科学者には常に創造力が要求されている」――。

帰国に際し、私は電子計算機の超高速記憶装置の試作品を携えてきた。六百個のエサキダイオードを使用し、当時世界最高スピードを誇っていた。学士院賞受賞の日、天皇陛下にもお目にかけたいと思ったのであるが、一見、たいへん高価な機械に見えたため、私の説明もむなしく、羽田で通関できず一時没収されてしまった。ところが、そこにいた多数のマスコミ関係者の代表が税関と掛け合い、やっと無事通関できた。マスコミの威力が私に与してくれたのである。



日本に持ち帰った超高速記憶装置を前に
（新潮社提供）

日本のどこでもよく聞かれた質問は「いつ日本に帰ってくるのか」。同誌の記事で私はこう答えている。

「アメリカに永住する気持ちはない。しかし今すぐ日本に帰って来るというわけではない。まだまだ向こうでの研究生活は続くでしょう」

実際は通算三十二年に及ぶ米国滞在となった。

（物理学者）

日経エレクトロニクス　2006年７月３日掲載

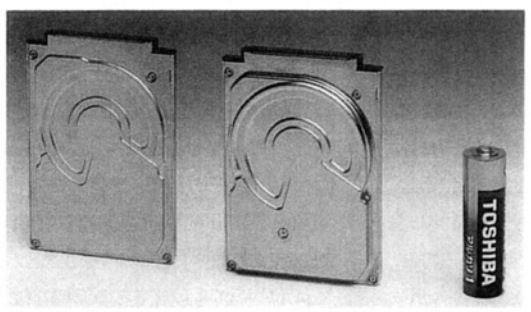
垂直磁気記録,30年の苦闘(6)

最終回



ある日突然「垂直」の文字が消えた

本誌は，2005年5月9日号で「記録密度500G目指すHDD，垂直記録で見えた2010年への道」を掲載した（左の写真）。垂直記録の高い潜在能力と国際会議「Intermag 2005」で発表された新技術を組み合わせれば高い記録密度を実現できる，としている。



東芝は2005年6月半ばに，世界で初めて垂直記録方式を採用したHDDを実用化した。1.8インチ型のディスク1枚で容量40Gバイトの「MK4007GAL」（左），ディスク2枚で容量80Gバイトの「MK8007GAH」（右）。

「垂直は終わったのか？ 俺の人生は何だったんだ…」

東芝で垂直記録方式を用いたHDDを試作していた下村和人は，深いため息をついた。下村は2004年4月，研究開発部門から離れて製品の設計部に移った。以前の部署と同じフロアだったが，新しい仕事に追われる中で，その後の開発状況を確認する余裕はなかった。異動後の慌ただしさが一段落した2004年夏ごろ，下村は気付いた。東芝社内のどの書類からも「垂直」の文字が忽然（こつぜん）と消えているのだ。

「やっぱりダメだったのか」

下村は試作の途上で出くわしたさまざまな課題に思いを巡らせた。中には，いまだに考えるだけでも気が重くなるものもある。きっと，あの壁を突き破ることができなかったに違いない。下村と同時期に設計部から研究開発部門に移った山本耕太郎の存在も気になった。実製品を見慣れた設計部の厳しい目で，垂直記録方式の実用化は難しいと断じたのではないか。下村は肩を落とした。

現実は，下村の予想と正反対だった。下村が知るのは，2.5インチ型でディスク1枚当たり60Gバイトの試作機まで。その後，開発はとんとん拍子に進み，下村が異動してから2カ月後の2004年6月にはディスク1枚で80Gバイトに到達。2004年夏には，2.5インチ型と比べてひと回り小さい1.8インチ型で，40Gバイト/ディスクの試作機を作り上げた。

機は熟した。2004年夏，東芝はついに決断した。垂直記録方式を1.8インチ型に適用して製品化する。発売は2005年第2四半期。それまでに，北米随一の家電展示会「2005 International CES」が1月，磁気関連技術の国際学会「Intermag 2005」が5月に控えている。万一情報が漏れたら，イベントに合わせてライバル・メーカーが先に製品発表に踏み切るかもしれない。東芝では，厳しいかん口令に加え，社内で「垂直」という文字を使うことさえ禁じるお達しが下った。

垂直記録方式の代わりに用いた言葉は「新方式」。さすがにこれは関係者の間で不評だった。

「もっといい名前ないのかな」

写真：柳生貴也（p.123左，p.124右上），花井智子（p.125上の集合写真）





東芝で垂直記録方式のHDDの開発を推進した田中陽一郎氏（左）。2006年8月には，面記録密度が178Gビット/（インチ）²と過去最高である2.5インチHDD「MK2035GSS」の量産を開始する（右）。

「バレバレだよね」

下村は，それすら気付かぬほど気が動転していたようだ。

え，出したんですか？

垂直が消えた日からはや数カ月。日曜日に当たる2004年12月12日，実用化に向けた長期信頼性試験の結果が判明した。月曜日に試験結果を確認した田中陽一郎らはゴーサインを出す。広報担当者はすぐさま製品発表の段取りを整えた。Xデーは翌14日。11時きっかり，WWWサイトにニュース・リリースを掲載することを決めた。

当日。東京・新宿にある工学院大学の一室で，2005年5月に名古屋で開催予定のIntermag 2005のプログラム委員会が朝から開かれていた。磁気の理論や応用で著名な国内外の研究者が総勢50人ほど集まり，応募があった論文を精査して，どのセッションにどの順番で割り振るかを決めていた。

委員の一人である田中は，何事もなかったように議論に加わった。そして，ちょうど昼休みが終わったころ。田中の周りがにわかにざわついた。何人かの研究者が近寄ってきた。あるものは顔を赤くして，別のものは無表情で。その誰もが田中をじっと見据え，我先に声を掛けようと口を開いた。

「あれ，東芝さん，出したんですか？」

「おめでとうございます」

「本当なの？」

田中は至って冷静だ。

「あ，バレちゃいましたか」

研究者たちは，昼休みの間に東芝の発表に気が付いた。居ても立ってもいられずに，田中の元に駆け付けた。彼らの静かな興奮は，口伝えに参加者の間に伝播していった。祝福のムードが漂う中，田中はいつもの笑顔のままでいた。

委員会が終わると，田中は早速電話をかけた。垂直記録方式の発案者で恩師の岩崎俊一に報告するためだ。

「おかげさまで出荷が決まりました」

「おおそうか。おめでとう」

岩崎の声は，ただただうれしそうだったという。

胸を張って給料をもらえる

東芝は予定通り，製品発表から半年後の2005年6月半ばに，世界で初めて垂直記録方式を用いた1.8インチHDDの量産を開始した。面記録密度は133Gビット/（インチ）²。当時の世界最高値である。ディスク1枚の容量は40Gバイトだった。

実用化を支えた技術者たちの思いはさまざまだ。

「これまでは会社に食べさせてもらっていた。これで，やっと胸を張って給料をもらえる」

ヘッドなどの開発に従事した田口知子には，実はこれまで一度も製品につながる成果がなかった。入社以来初めて，自ら開発した技術が製品に生かされる喜びを味わった。

「すごい。田口さんもみんなもすごい」

垂直記録方式の実用化を断念したと勘違いした下村は，田口ら東芝の技術者たちの力をあらためて思い知った。下村に失敗を感じさせたほどの難題を解決したことに心底感服した。

素直に喜ぶ開発担当者に比べて，現場を指揮する立場の田中陽一郎や山本，研究開発部門から製品設計部に戻ってきた田中勉の表情は複雑だ。これから先を見据えて気持ちを新たにしていた。

「技術開発に終わりはない。今こそがスタートだ」

そして各社が垂直へ

2005年6月に東芝が先陣を切った後，2006年に入って他のHDDメーカーも続々と垂直記録方式の製品を投入した。

東芝から遅れること半年，2006年1月にはHDD世界最大手の米Seagate Technology LLCが2.5インチ型の出荷を開始した。面記録密度は132Gビット/（インチ）²で東芝と同等だ。2006年4月に同社は，3.5インチ型へ垂直記録方式の適用範囲を広げた。

東芝の田中陽一郎の後輩，高野公史が率いる米Hitachi Global Storage Technologies, Inc.（HGST社）の開発チームも実用化にこぎ着けた。HGST社は，東芝がニュース・リリースを公開した2004年末に，垂直記録方式を使った試作機「プロト6」を得意先に配るところまできていた。しかしその面記録密度は88Gビット/（インチ）²で東芝には及ばなかった。HGST社は2006年5月17日に発表会を開く。この日から垂直記録方式を用いた2.5インチHDDのサンプル出荷を始めたことを明らかにした。面記録密度は131.5Gビット/（インチ）²。本格的な量産は2006年第3四半期の予定である。

これらのメーカーを懸命に追いかけるのが富士通である。同社は1990年ごろに，いち早く垂直記録方式の実用化に取り組んだものの，途中で頓挫してしまった。当時は，富士通でHDDの記録媒体やヘッドを担当する研究者のほとんどが垂直記録方式にかかわっていたという。事業化を断念したことは，トラウマのように研究者たちの脳裏に焼き付き，研究の再開を口にする者はいなかった。研究開発を指揮した三浦義正の下で垂直記録方式のHDDの試作に奔走した溝下義文もその一人だった。時が流れてストレージシステム研究所長に就任した溝下を，2000年12月にある若手研究者が訪ねた。

世代交代で垂直を再開

富士通の渦巻拓也にとって，垂直記録方式の研究開発は夢だった。これまで長手記録方式で成果を上げてきたが，既存技術の改良が中心で，新しい技術をゼロから生み出す喜びを味わったことはなかった。それこそがメーカーに入社した醍醐味（だいごみ）だ。そう思っていた。

渦巻にチャンスが回ってきたのは2000年。日立製作所（当時）の高野の発表によって垂直記録方式の研究の機運が盛り上がった。これを逃す手はない。A4判で数枚分の資料に研究開発再開の必要性をまとめて，上司の田中厚志とともに溝下の前に現れた。

「垂直記録の研究開発をやらせてください」

溝下は垂直記録の事業化を断念した後，長手記録媒体の記録密度を高めることに全力を注いだ。その結果，長手記録方式の延命の決め手になったSFMedia（synthetic ferri media）と呼ぶ記録媒体を開発した。今後もSFMediaの改良で，記録密度はさらに高まるとみられていた。垂直記録方式の研究再開を提案することは，上司が開発した技術の否定になるのではないか。

しかし溝下は驚きも反対もせずに，研究再開を了承した。溝下とともに垂直記録方式に取り組んでいた当時の研究者たちは，ほとんど事業部へ移っていた。研究の現場を担うのは当時を知らない若い研究者たちである。垂直記録方式を新鮮な目で見て，今度はきっと成功に導いてくれるに違いない。溝下は，渦巻らにエールを送った。

手書きの報告書

富士通が垂直記録方式の研究再開を決断したのは2000年末だった。東芝や日立からおよそ2年遅れていた。

再開が決まってすぐ，渦巻はあるベテラン研究者を訪ねる。研究者人生の1/3を垂直記録媒体にささげた人物だった。彼から手渡された技術報告書の束は，10年前の技術者の思いでずっしりと重い。垂直記録の課題や，それに対してどのように取り組んだかが手書きで克明に記されていた。この報告書を起点に，渦巻は垂直記録媒体の研究を手探りで始めた。最初は，記録密度が全く伸びない日々が続く。何をやってもうまくいかない。きっと先輩たちも同じように苦しんだのだろう。

2002年にはヘッドの研究も始めた。担当者は，1990年当時も垂直記録の研究に携わった戸田順三。垂直記録の課題や弱点を熟知した頼もしい存在だ。二人の努力は徐々に実を結ぶ。2002年下期にディスク1枚で30Gバイトの2.5インチ型を，さらに2004年にはディスク1枚40Gバイトの2.5インチ型の試作機を作製した。

富士通は2005年夏，垂直記録方式を使った製品を2006年夏以降に量産する決断を下した。現在も，渦巻らの仕事は終わっていない。昔と違って，今では製品を無事に出荷するまでが研究所の仕事である。記録媒体の製造を担当する山形富士通に，渦巻の部下が常駐して支援を続けている。











HGST社は，垂直記録方式を用いた2.5インチHDDの出荷を始めることを2006年5月17日に発表した（右下）。2006年5月25日には，東京に東北工業大学 学長の岩崎俊一氏を招いて「Father of Perpendicular Recording」と記された記念の盾を贈呈した（左上）。贈呈式には日立製作所やHGST社の首脳陣のほかに，高野公史氏（右上）が参加した。

富士通は，2006年夏以降に垂直記録方式を用いた2.5インチHDDを製品化する予定である。下の写真は，左から開発に携わる溝下義文氏，戸田順三氏，田中厚志氏，渦巻拓也氏。同社は2002年下期に垂直記録方式を用いて，30Gバイト/ディスクの2.5インチHDDを試作していた（左）。

一か八かではない

30年近い年月を振り返って，岩崎はこう思う。「研究開発は一か八かではない。賭けでも好奇心でもない。それでは人を動かせない。最初の構想が重要なのだ。完結するまで続けることも，同じように大事だ。メーカーが実用化するなど，世の中が動くまで続けなければならない。最後まで責任を持つべきだ」。

東北大学では，垂直記録方式の生みの親である岩崎の後を継いだ，いわば育ての親の中村慶久，さらにその次を担う村岡裕明が垂直記録方式の改良を地道に続けている。彼らの研究室は，実用化につながる研究成果に加え，多数の人材を輩出してきた。

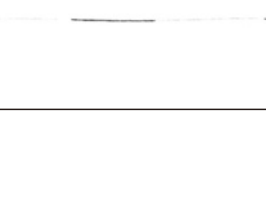
2006年2月に，岩崎の教え子の一人で田中陽一郎や高野の先輩に当たる東芝の山森一毅が，岩崎の元を訪れた。彼の手には垂直記録方式を用いた0.85インチHDDの試作品があった。記録容量は8Gバイト。岩崎は，垂直記録方式が，こんなに小さいのにこれだけの容量を持つ製品を生むとは正直，思ってもみなかった。現実は岩崎が30年前に描いたイメージを超えた。岩崎は，これまで果たしてきた研究者を導く灯台の役割がついに終わったことを悟る。あとは教え子たちに任せよう――。

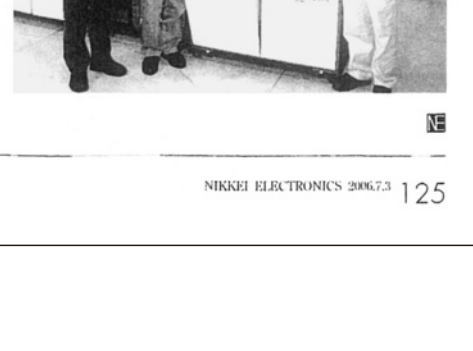
岩崎の元を巣立った技術と人材は，未知なる大空に向かって力強く羽ばたいている。　=敬称略

――終わり――

（河合 基伸）

東北大学（左）では，岩崎俊一氏が発案した垂直記録方式の研究が脈々と続いている。右の写真は，左から村岡裕明氏，中村慶久氏，渡辺功氏。中央は，1979年に作られてから数々のデータを測定してきた富士通製のスピンスタンド。





NE

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	１０	6		１２	２８
北海道大学	2	1		1	4
東京大学	2	2		5	9
名古屋大学	2				2
大阪大学	1			3	4
九州大学	1				1
東京工業大学	3	1		4	8
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
京都大学		1			1
千葉工業大学		1			1
先端北陸科学技術大学院大学		1		1	2
サルフォード大学		1			1
室蘭工業大学		1			1
早稲田大学		1			1
福井大学				1	1
九州芸術工科大学				1	1
モンペリエⅡ大学				1	1
合　　計	２４	１６	0	２９	６９

※　2007.４.１付施行の学校教育法改正に伴ない、教員組織が助教授から准教授へ、助手から助教に変更された。

教員の充足率

		教　　授	准教授及び講師	助　　教	計
2003.4.1 現在	定　員	27	26	35	88
	現　員	27	22	38	87
	充足率	**100%**	**84.6%**	**108.6%**	**98.9%**
2004.3.1 現在	定　員	27	25	34	86
	現　員	27	19	37	83
	充足率	**100%**	**76.0%**	**108.8%**	**96.5%**
2005.3.1 現在	定　員	27	24	34	85
	現　員	24	17	34	75
	充足率	**88.9%**	**70.8%**	**100%**	**88.2%**
2006.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	27	17	29	73
	充足率	**103.8%**	**73.9%**	**90.6%**	**90.1%**
2007.4.1 現在	定　員	26	23	32	81
	現　員	24	16	29	69
	充足率	**92.3%**	**69.6%**	**90.6%**	**85.2%**

※ 2007.４.１付施行の学校教育法改正に伴ない、教員組織が助教授から准教授へ、助手から助教に変更された。

構　　成　　員

（平成１９年２月１日現在）

所長（併）・教授　　伊　藤　弘　昌

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
助教授（兼）	宮　下　哲　哉
助　手	片　野　　諭

■物性情報工学研究分野

教　授	白　井　正　文
教　授（兼）	海老澤　丕　道
助教授（兼）	林　　正　彦
助　手	三　浦　良　雄
〃	阿　部　和多加

■量子光情報工学研究分野

教　授	枝　松　圭　一
教　授（兼）	中　尾　光　之
〃　（〃）	坪　川　　宏
助教授	小　坂　英　男
助教授（兼）	片　山　統　裕
助　手	三　森　義　康
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	舛　岡　富士雄
教　授（兼）	伊　藤　隆　司
〃　（〃）	末　光　眞　希
助教授（兼）	小　谷　光　司
助　手	中　村　広　記
事務補佐員	鈴　木　敦　子

■誘電ナノデバイス研究分野

教　授	長　　康　雄
助　手	平　永　良　臣
〃	廣　瀬　龍　介
技術職員（技術部）	我　妻　康　夫
非常勤研究員	石　川　健　哉
〃	小　林　慎一郎
技術補佐員	大　竹　睦　実

■プラズマ電子工学研究分野

教　授（兼）	犬　竹　正　明
助教授	遠　藤　哲　郎
助教授（兼）	飯　塚　　哲
〃　（〃）	安　藤　　晃

■磁性デバイス研究分野

客員教授	鷲　尾　勝　由
〃	本　田　耕一郎

ブロードバンド工学研究部門

■超高速光通信研究分野

教　授	中　沢　正　隆
教　授（兼）	山　田　博　仁
助教授（兼）	松　浦　祐　司
助　手	吉　田　真　人
〃	廣　岡　俊　彦
非常勤研究員	鈴　木　聡　人
事務補佐員	平　川　映　子
〃	篠　崎　頼　子

■応用量子光学研究分野

教　授	伊　藤　弘　昌
教　授（兼）	横　山　弘　之

助教授	四 方 潤 一
助教授（兼）	渡 邉 高 志
助 手	宮 本 克 彦
技術職員（技術部）	田 久 長 一
〃	今 野 勇 治
非常勤研究員	長 能 重 博
技術補佐員	庄 子 鉄 雄
〃	齋 藤 美紀子
事務補佐員	長 岡 亜紀子

■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
助教授	中 瀬 博 之
助教授（兼）	小田川 裕 之
助 手	亀 田 卓
事務補佐員	竹 下 小百合

■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
助教授	Simon GREAVES
助教授（兼）	周 暁
助 手	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
助教授	末 光 哲 也
助教授（兼）	工 藤 栄 亮
助 手	ﾒｼﾞｱｰﾆ ﾔｰﾔ ﾑﾊﾞﾗｸ

■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
〃	ｱﾍﾞﾃﾞｨﾝ ｶｼﾞ ﾓﾉﾜﾙ
非常勤研究員	我 妻 壽 彦
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（兼）	山 口 正 洋
〃 （〃）	濱 島 高太郎
助教授	石 山 和 志
助教授（兼）	津 田 理

■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
助教授（兼）	伊 藤 彰 則
講 師	長谷川 英 之
助 手	坂 本 修 一
技術職員（技術部）	齋 藤 文 孝
非常勤研究員	李 軍 鋒
〃	小 林 まおり
〃	下 村 正 夫
技術補佐員	小 貫 輝 義
事務補佐員	小 室 ま り
〃	今 野 亜 未

■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
助教授	栗 木 一 郎
助教授（兼）	田 中 和 之
助 手	松 宮 一 道

■通信環境工学研究分野

教 授	杉 浦 行
教 授（兼）	澤 谷 邦 男
〃 （〃）	堀 口 進
助教授（兼）	陳 強
〃 （〃）	姜 暁 鴻
事務補佐員	濱 田 恵

■マルチモーダルコンピューティング研究分野（客員）

客員教授	川　上　　進
客員助教授	西　村　竜　一
〃	ｽﾊﾅﾋﾞﾝﾃｨ･ﾓﾊﾏﾄﾞｻｲﾄﾞ

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
助教授（兼）	瀧　本　英　二
〃　（〃）	住　井　英二郎
助　手	篠　埜　　功
非常勤研究員	松　野　　裕
〃	ｸﾞｴﾝ ﾄﾞｳｸ ﾌｰ
〃	上　野　雄　大
事務補佐員	大　友　詳　子

■コンピューティング情報理論研究分野

教　授	外　山　芳　人
教　授（兼）	静　谷　啓　樹
〃　（〃）	篠　原　　歩
〃　（〃）	阿　曽　弘　具
助教授	青　戸　等　人
助教授（兼）	大　町　真一郎
講　師	酒　井　正　夫
助　手	菊　池　健太郎
非常勤研究員	ケテマ イエロン
事務補佐員	佐々木　佳　奈

■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
助教授	菅　沼　拓　夫
助教授（兼）	水　木　敬　明
助　手	北　形　　元
講　師	和　泉　勇　治
事務補佐員	三　浦　佳　奈

■情報コンテンツ研究分野

教　授	沼　澤　潤　二
教　授（兼）	加　藤　　寧
〃　（〃）	木　下　哲　男
助教授（兼）	阿　部　　亨
〃　（〃）	張　山　昌　論
助　手	山　田　　洋

■情報社会構造研究分野（客員）

客員教授	松　岡　　浩

■次世代情報ストレージ寄附研究分野

教　授	中　村　慶　久
助教授	鈴　木　良　夫
事務補佐員	佐　藤　安由美

附属研究施設

附属ナノ・スピン実験施設

施設長（併）	大　野　英　男
教　授	
技術職員（技術部）	土　田　貞　夫
〃　（〃）	佐々木　龍太郎
非常勤研究員	大　友　嘉　郎
〃	目　黒　敏　靖
技術補佐員	小田切　節　子
〃	須　藤　惠久美
事務補佐員	大　場　正　美

■ナノヘテロプロセス研究部

教　授	室　田　淳　一
教　授（兼）	亀　山　充　隆
〃　（〃）	須　川　成　利
助教授	櫻　庭　政　夫
助教授（兼）	張　山　昌　論
事務補佐員	村　中　裕　美

■半導体スピントロニクス研究部

教　授	大　野　英　男

教 授（兼）	高 橋 研
〃 （〃）	佐 橋 政 司
助教授	大 野 裕 三
〃	松 倉 文 礼
助教授（兼）	角 田 匡 清
〃 （〃）	土 井 正 晶
助 手	大 谷 啓 太
非常勤研究員	李 永 珉

■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
助教授（兼）	金 子 俊 郎
講 師	大 原 渡
助 手	木 村 康 男
〃	平 野 愛 弓

■ナノスピンメモリ研究部

助教授	池 田 正 二

附属ブレインウェア実験施設

施設長（併）	中 島 康 治
教 授	

■実世界コンピューティング研究部

教 授	矢 野 雅 文
教 授（兼）	松 木 英 敏
〃 （兼）	石 黒 章 夫
助教授（兼）	佐 藤 文 博
助 手	牧 野 悌 也
〃	坂 本 一 寛
〃	三 浦 治 己
非常勤研究員	冨 田 望
〃	伊 藤 仁

■ブレインアーキテクチャ研究部

教 授	羽 生 貴 弘
教 授（兼）	一ノ倉 理
〃 （〃）	青 木 孝 文
助 手	望 月 明
技術補佐員	菊 池 範 子

■知的ナノ集積システム研究部

教 授	中 島 康 治
教 授（兼）	川 又 政 征
助教授	佐 藤 茂 雄
助教授（兼）	阿 部 正 英
助 手	早 川 吉 弘
〃	小野美 武
事務補佐員	田 口 亜由美

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	加 藤 修 三
客員助教授	岩 田 誠
技術補佐員	中 山 英 太

▲ストレージ分野

教 授	青 井 基
助教授	島 津 武 仁
客員助教授	山 川 清 志
非常勤研究員	渡 辺 功
技術補佐員	菊 池 弘 之
事務補佐員	西 條 恵 美

■安全衛生管理室

室 長（兼）	矢 野 雅 文
教 授	
副室長（兼）	庭 野 道 夫

教　授	
助　手	佐　藤　信　之
事務補佐員	千　葉　綾　子

共通研究施設

■評価・分析センター

センター長（兼）	庭　野　道　夫
教　授	
助　手	佐　藤　信　之
技術職員	我　妻　成　人
〃	山　下　　毅
事務補佐員	千　葉　綾　子

■やわらかい情報システムセンター

センター長	白　鳥　則　郎
教　授	
助教授	岩　谷　幸　雄
助　手	打　矢　隆　弘
非常勤研究員	矢　入　　聡
技術補佐員	大　學　紀　子
〃	鈴　木　みどり
〃	駒　形　順　子

■附属工場

工場長（兼）	庭　野　道　夫
教　授	
技術職員（兼）	渡　辺　博　志
〃	菅　原　宗　朋
〃	米　澤　隆　二
〃	庄　子　康　一
〃	末　永　　保
技術一般職員	佐々木　龍太郎

事　　務　　部

事務部長　　新　田　正　人

総務課長　　阿　部　竹　廣

庶務係長　　手代木　雅　子

主　　任　　相　澤　拓　也

技術専門職員　　師　岡　ケイ子

事務補佐員　　青　山　美弥子

〃　　寺　島　弘　美

〃　　伊　藤　智　恵

〃　　小　熊　絵　美

研究協力係長　　松　浦　幸　夫

主　任　　菅　原　公美子

事務補佐員　　大比良　由紀絵

〃　　樋　渡　理　枝

図書係長　　村　上　康　子

技術補佐員　　早　坂　幸　子

ＩＴ２１センター事務室

事務補佐員　　佐　藤　貞　志

〃　　村　田　利　江

〃　　白　鳥　千亜紀

〃　　伊　藤　智栄子

経理課長　　佐　藤　　巖

経理係長　　石　垣　　忠

主　　任　　清　野　　彰

事務職員　　鈴　木　智　子

事務補佐員　　小　島　紫津子

〃　　沓　澤　倫　子

〃　　佐　藤　智　子

〃　　海　谷　和　子

用度係長　　和　田　喜　一

主　　任　　今　野　　透

事務職員　　谷　村　　俊

技術職員　　阿　部　良　勝

事務補佐員　　川　北　久美子

〃　　角　田　郁　子

〃　　菅　澤　　修

技術補佐員　　三　島　　妙

（研究支援推進員）

東北大学電気通信研究所

研究活動報告　第13号

2007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