



RIEC

Annual Report 2005

# 研究活動報告

---

第12号(2005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	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	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	66
2項 半導体スピントロニクス研究部	68
3項 ナノ分子デバイス研究部	70
6節 ブレインウェア実験施設の目標と成果	72
1項 実世界コンピューティング研究部	74
2項 ブレインアーキテクチャ研究部	76
3項 知的ナノ集積システム研究部	78
7節 21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果	80

1 項	企画開発部	82
2 項	研究開発部 モバイル分野	84
3 項	研究開発部 ストレージ分野	86
8 節	評価・分析センター	88
9 節	やわらかい情報システム研究センター	90
10 節	附属工場	92
11 節	安全衛生管理室	94

#### 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	97
H15/A05	有機半導体デバイスの基礎と応用	100
H15/A07	生体用高分解能テラヘルツセンサー	102
H15/A08	高臨場感システム構築のためのマルチモーダル情報処理に関する研究	105
H15/A09	ユビキタス共有空間のための知的コミュニケーションに関する研究	108
H15/A10	$K_3Li_2Nb_5O_{15}$ 単結晶とリラクサーチタン酸鉛系PMN-PIN-PT、及びランガサイト系 $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$ 単結晶の超音波マイクロスペクトロスコーピー	111
H15/A11	情報伝達物質としての糖類の機能解明を目指したテラヘルツ分光スペクトル解析	115
H16/A01	超清浄雰囲気スパッタ法による 600Gbit/in <sup>2</sup> 級垂直磁気記録媒体	119
H16/A02	周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究	122
H16/A03	SNDMナノサイエンス&テクノロジー創成に関する研究	125
H16/A04	スピ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	128
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	131
H16/A08	情報システムの遠隔評価環境に関する研究	134
H16/A10	次世代ホットスポットネットワークの研究	137
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高周波応用	139
H17/A01	知的ナノ集積システムの実現に関する研究	142
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発生条件 探索と原理考察	145
H17/A03	テラビット垂直スピニクストレージシステムの研究	147
H17/A04	フォトニック結晶の光産業技術への展開	150
H17/A05	プラズマナノ理工学基盤研究	153
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	157
H17/A07	低損失可とう性THz導波路の分光分析システムへの応用	160
H17/A08	視覚の統合処理過程の解明とその応用	163
H17/A09	Rashba 効果を利用した半導体スピンデバイスの研究	166
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	169
H17/A11	高機能有機薄膜センサーに関する研究	172
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	175
H17/A13	細胞バイオトロニクスに関する研究	178
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	180
H17/A15	導波路型光周波数シフタの高機能化に関する研究	183
H17/A16	FSFレーザを用いたOFDR法によるPBON光ファイバアクセスネット ワークの故障診断に関する研究	185
H15/B01	微粒子プラズマの基礎と応用	188
H15/B03	低消費電力・高速MOS集積回路に関する研究	191
H15/B04	ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究	193
H15/B05	次世代VLSIコンピューティングとシステムインテグレーション技術	195
H15/B08	ヒューマノイドロボットの展開	198
H15/B09	高気圧・高密度プラズマの生成と制御	200

H16/B01	ナノスケール磁性体の機能発現と高周波・光情報デバイスへの応用	203
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	206
H16/B03	次世代情報通信における「音」の役割	209
H16/B04	電子ビームを利用する高密度磁気記録の研究	211
H16/B06	セキュリティ性検証のための書き換え技法	214
H16/B08	高速大容量半導体不揮発性メモリに関する研究	217
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	220
H16/B10	プログラム意味論の研究	223
H17/B01	ペタバイト級情報ストレージシステムの研究	226
H17/B02	電気・水素エネルギーシステム	228
H17/B03	ワイヤレス磁気ドライブ技術の生体情報への展開	231
H17/B04	ナノ半導体物理の構築とその作製・計測技術の開拓	234
H17/B05	ナノスピス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	237
H17/B06	次世代ナノ・エレクトロニクスのための光・スピン・電荷制御の理論	240
H17/B07	ソフトウェア検証の理論と実践	243
H17/B08	スピエレレクトロニクスの新展開	245
H17/B09	マイクロ波帯磁気デバイスの開発と応用に関する研究	246
H17/B10	プログラム自動生成とその信頼性に関する研究	249
H17/B11	超高速光パルス制御技術に関する研究	252
H17/B12	高結合圧電材料とその応用に関する研究	255
H17/B13	コミュニケーションダイナミクス	258

## 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	261
1 項	第3回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ (3 <sup>rd</sup> International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials (MMDM3))	261
2 項	第4回Siエピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議 (4th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4))	262
3 項	第1回 新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ (First International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics)	264
4 項	GSIS 国際シンポジウム新時代の情報科学：脳、心および社会 (GSIS International Symposium on Information Sciences of New Era: Brain, Mind and Society)	265
5 項	第1回スピントロニクス国際ワークショップ (The 1st RIEC International Workshop on Spintronics –Spin Transfer Phenomena–)	266
2 節	国際会議等の開催状況	267
1 項	第2回超高速フォトニックテクノロジーシンポジウム (The 2nd International Symposium on Ultrafast Photonic Technologies)	267
2 項	第3回スピントロニクスと量子情報技術に関する国際スクールおよび会議 (The Third International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH III))	268
3 項	2005 Microwave Workshops & Exhibition (MWE 2005)	269
3 節	工学研究会	270
1 項	伝送工学研究会	271
2 項	音響工学研究会	271
3 項	仙台"プラズマフォーラム"	272
4 項	EMC仙台ゼミナール	272
5 項	コンピュータサイエンス研究会	273

6項	システム制御研究会	273
7項	情報バイオエレクトロニクス研究会	274
8項	スピニクス研究会	274
9項	ニューパラダイムコンピューティング研究会	275
10項	超音波エレクトロニクス研究会	276
11項	ブレイン機能集積工学研究会	278
12項	情報・数物研究会	279
13項	生体・生命工学研究会	279
14項	ナノ・スピン工学研究会	280
4節	通研講演会	282
1項	白井 宏 「レーダ散乱断面積を用いた物体の形状認識について」	282
2項	赤木 正人 「歌声らしさの知覚とその歌声合成への応用」	282
3項	栗木 恭一 「宇宙システムの安全・信頼性」	283
4項	藤原 修、関川 純哉 「静電気とEMC」	283
5項	南出 靖彦 「定理証明系 Isabelle/HOL とその応用」	284
6項	氏家 弘裕 「映像酔い事例及び同一映像提示実験による影響要因分析—安心・安全な ユビキタス映像環境の実現に向けて」	284
7項	岡畑 恵雄 「生体分子間相互作用や反応を重さで測る」	285
8項	本田 崇 「磁気マイクロマシンの新しいデザインコンセプト」	285
9項	本村 陽一 「ベイジアンネットによる確率的情報処理システム」	286
10項	A.F.W. van del Steen 「Novel Developments in Echocardiography」	286
11項	林 初男 「海馬における時系列学習と $\theta$ 位相コーディング」	287
12項	土居 伸二 「単一神経細胞モデルの非線形ダイナミクス： ロバスト性, 閾値性, カオス, 再考」	287
13項	小山 富男 「d波超伝導体ドットを用いた $0-\pi$ ジョセフソン接合の 量子論的位相ダイナミクス」	288
14項	佐藤 直行 「リズムから探る脳の記憶：物—場所連合記憶における海馬の 神経ダイナミクス」	288
15項	吉川 信之 「単一磁束量子回路の展望」	289
16項	水柿 義直 「高周波磁界駆動 SQUID の非線形特性とその応用」	289
17項	町田 昌彦 「固有ジョセフソン接合における集団的巨視的量子トンネル現象」	290

## 第6章 評価と分析

1節	運営協議会報告	291
2節	過去の運営協議会委員名簿	296

## 第7章 結言

### 【資料編】

第1章	予算の概要	299
1節	競争的資金の獲得状況	300
2節	非常勤研究員経費	306
3節	奨学寄附金の受け入れ	307
第2章	研究・学会活動状況	308
1節	国際活動	308
2節	発表論文数	309
3節	学会役員一覧	310

4 節	外国の大学等との学術交流交換協定締結一覧	312
5 節	学振特別研究員及び研究所研究員	313
6 節	特別研究員・大学院生の受入状況	314
7 節	広報活動と情報公開	315
<b>第 3 章</b>	<b>論文題目</b>	<b>316</b>
1 節	修士論文題目	316
2 節	博士論文題目	318
<b>第 4 章</b>	<b>受章・受賞</b>	<b>319</b>
1 節	本年度の受章・受賞者	319
2 節	学会フェロー等	321
<b>第 5 章</b>	<b>トピックス</b>	<b>322</b>
<b>付 録</b>	<b>教員の最終学歴一覧表</b>	<b>373</b>
	教員の充足率	374
	構成員	378

# 第 1 章 緒 言

## 緒 言

2004年4月の国立大学法人化移行と時を同じくして行った改組による新体制の2年目の活動をまとめる時期になりました。この改組により整えた、4研究部門、2実験施設、1研究開発センターという体制は、研究分野の軸と研究の発展に伴う時間軸を長期（20年）、中期（10年）、短期（5年）の3つに分割し、そのミッションを明確にしております。すなわち、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、システム・ソフトウェア研究部門の各部門における研究は研究所の基本であり、20年以上のスパンで研究を継続できる環境をもつことから、全国共同利用の附置研究所の特長を最大限に生かして行う基礎的研究を各研究分野が実施するというものです。「ナノ・スピンの実験施設」および「ブレインウェア実験施設」の2施設で行う中期の研究は、10年という時間軸で今後の社会に大きく貢献する研究を組織的、計画的に行うものです。短期の研究は5年程度での実用化を目指す体制で、産学連携による実用化技術開発を推進する「二十一世紀情報通信研究開発センター（IT21センター）」を中心に据えて行う、というものです。本体制での活動も開始してから2年を過ぎ、定常的な運営に入ってきました。

今後の情報通信の研究展開は、ソフトウェアとハードウェアとの融合が不可欠であるということの共通理解に立ち、伝統的にハードに強いと言われてきた本研究所の特徴を維持しつつ、ソフトウェアやシステム関連の研究を強化して、両者のバランス良い研究体制を実現することへの努力を行ってきております。その成果が、今後少しずつ成果として目に見えてくることと思えます。さらに若い世代の活動が外部からもよく見える体制の努力も活発に行ってきております。

法人化後、教育、研究と並び大学に期待される大きな柱は社会的貢献であります。外部機関との連携については、NHK放送技術研究所、独立行政法人通信技術総合研究機構との間で夫々包括的な協定を結んでいます。これらの研究所は、電気通信研究所と補完的な研究領域・実績を持っているため、新たな革新的な研究の芽が育つ可能性を秘めています。また、宮城県産業技術総合センターとの間で包括的な協定を結んでおります。東北大学は地元との結びつきが希薄であると言われていたなかであって、本協定に基づき講習会や技術交流会など地道な活動を着々と実施しているところであります。

本研究所は「e-Japan重点計画」を推進する「ITプログラム」実施機関として、「次世代モバイルインターネット端末の開発」、「超小型大容量ハードディスクの開発」および「高機能・超低消費電力メモリの開発」、の計3プロジェクトを、IT21センターおよびナノ・スピン実験施設で実施しており、多くの成果を挙げてきております。研究期間も最後の1年間を残すこととなり、とりまとめの年を迎えております。

本研究所は、今まで通り、工学研究科と情報科学研究科の電気情報系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ます、巻頭のご挨拶といたします。

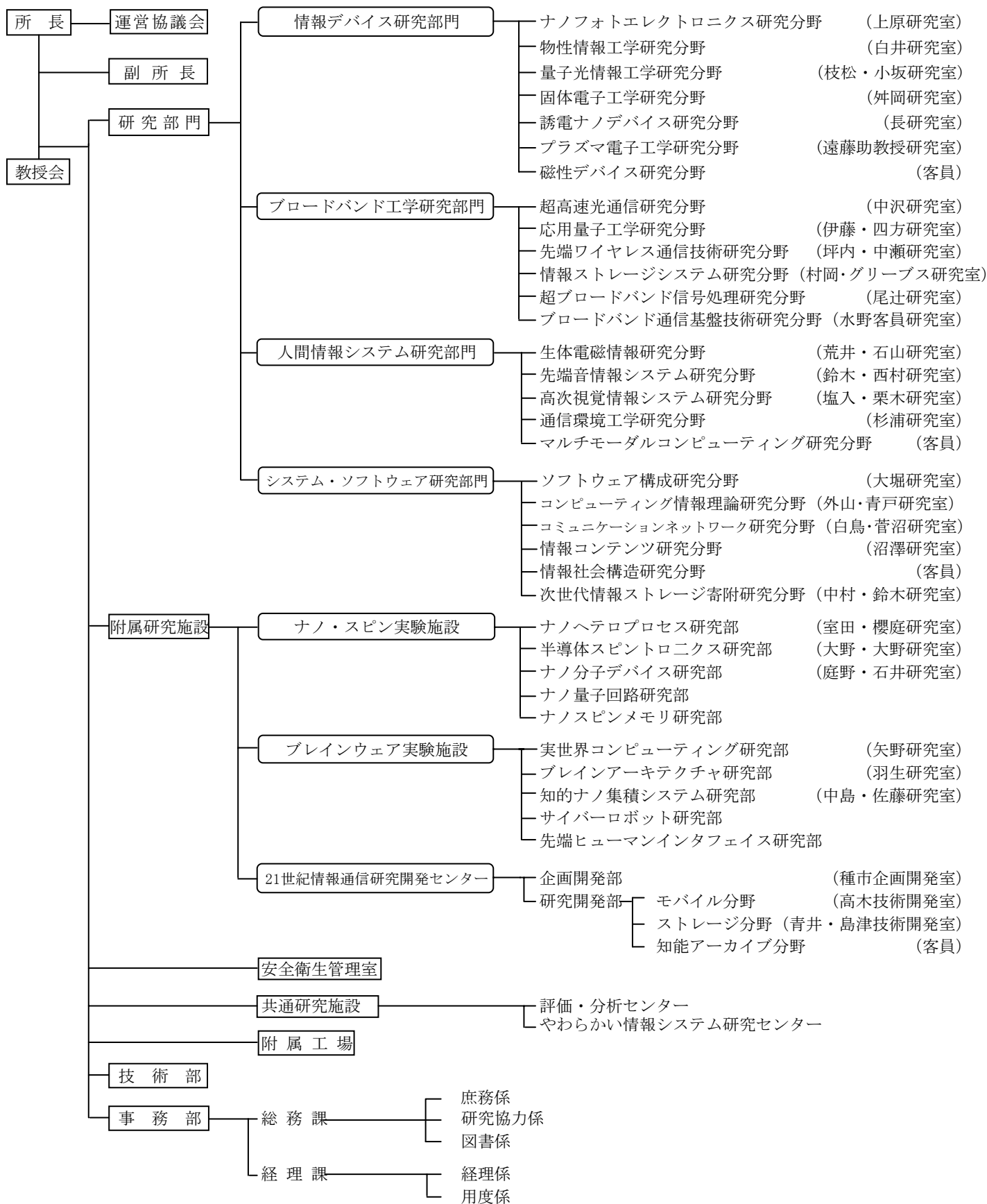
2006年（平成18年）5月15日

電気通信研究所長 伊藤 弘 昌



## 第 2 章 組織・運営

# 組 織 図



## 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  
浅見 徹（委員）株式会社 KDDI 研究所 代表取締役所長  
有信 睦弘（ ” ）株式会社 東芝 執行役常務 研究開発センター所長  
伊賀 健一（ ” ）独立行政法人 日本学術振興会理事  
榎並 和雅（ ” ）NHK放送技術研究所長  
小林 直人（ ” ）独立行政法人 産業技術総合研究所理事  
榊 裕之（ ” ）東京大学生産技術研究所教授  
塩見 正（ ” ）独立行政法人 情報通信研究機構理事  
片桐 滋（ ” ）NTTコミュニケーション科学基礎研究所長  
武市 正人（ ” ）東京大学大学院情報理工学系研究科長  
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  
井口 泰孝（ ” ）東北大学大学院工学研究科長  
丸岡 章（ ” ）東北大学大学院情報科学研究科長  
井上 明久（ ” ）東北大学金属材料研究所長  
中西 八郎（ ” ）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  
阿曾 弘具（ ” ）東北大学大学院工学研究科教授

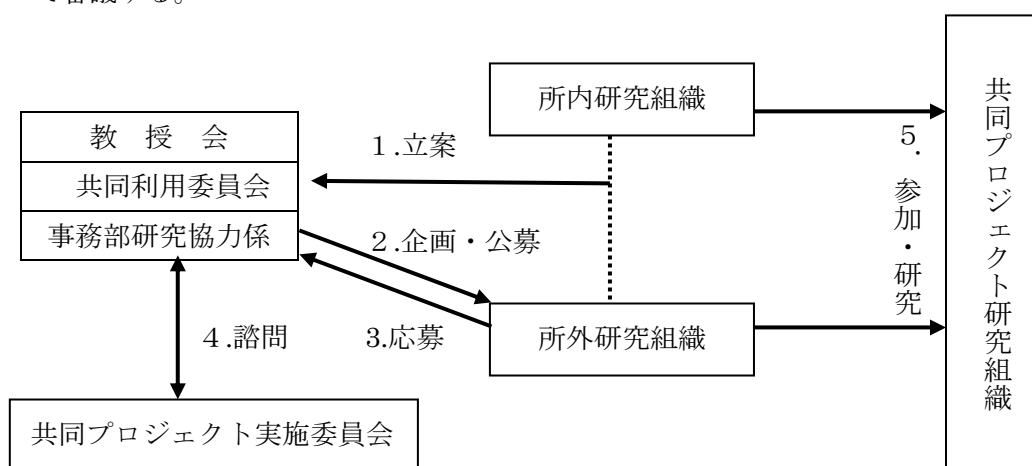
## 2. 3 共同研究組織

本研究所は平成6年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成16年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレイクウェア実験施設」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

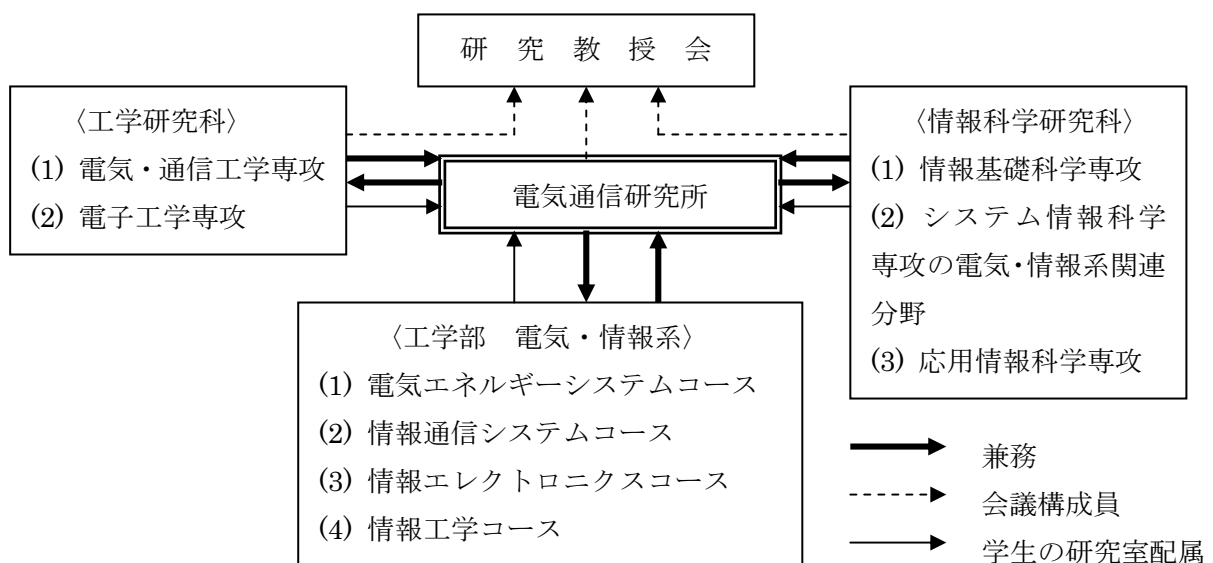
東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学専攻が順次設立されるとともに、「一体運営」の協力関係が維持されている。

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、通研教官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、2004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、2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ている。2005年度に通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は234名、一研究室当たり平均9.3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、全教官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・情報系の教官も通研兼務であり、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氣的制御，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，下記の研究分野を設置して研究を行っている．

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. 磁性デバイス研究分野（客員研究分野）
7. ナノ・スピン実験施設ナノヘテロプロセス研究部

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

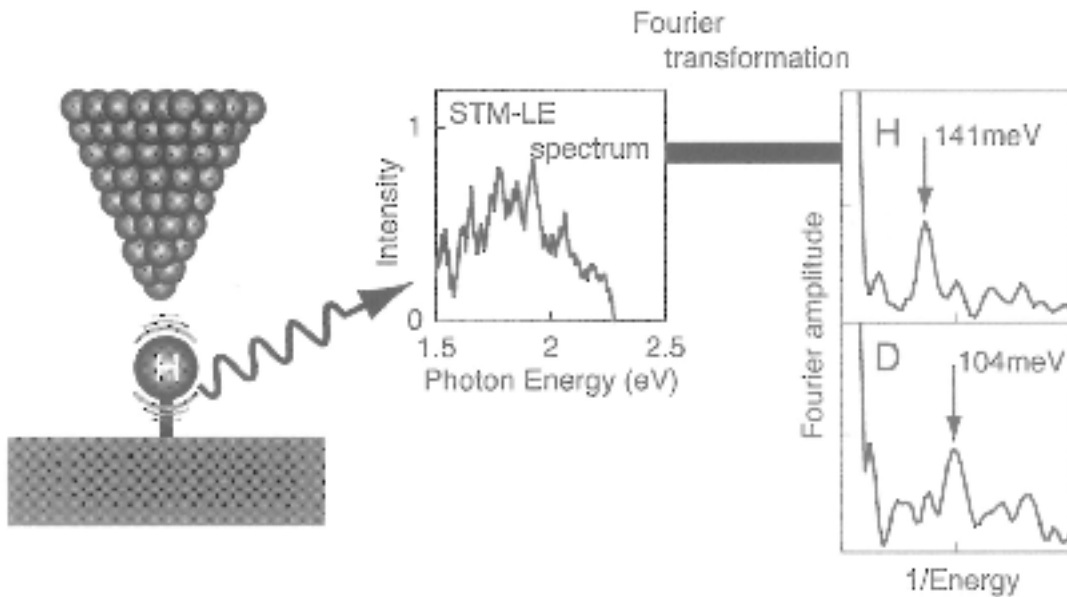


図1 STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

1. 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。走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いた局所分光 (STM発光分光、走査型トンネル分光、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。

2. 過去1年間 (2005年4月から2006年3月まで) の主な成果

2.1 個々の表面吸着分子の振動分光

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。本研究分野では過去数年にわたり、STM発光分光による個々の表面吸着種の振動分光法の研究を行ってきた。探針直下の吸着種の振動エネルギーがSTM発光スペクトル中の微細構造として反映されるが、その形状が試料材質や用いる探針の履歴により大きく異なることの原因解明が解決すべき課題として残っていた。



今年度は、探針、試料の材質を変化させることにより、振動誘起の微細構造がどのように変化するかを組織的に研究した[1]。その結果、試料、探針の材質の組み合わせに強く依存する（試料-探針間隙に励起される）局在表面プラズモンの強度と振動誘起の微細構造形状の間の相関関係が明らかになった。この成果により、過去に行った実験で解釈できなかった振動誘起の微細構造形状が統一的に理解できるようになった。

## 2.2 新しい計測手法の開発：光電子分光による振動分光

新しい物性の発見と画期的デバイスの開発は表裏一体であり、本研究分野が扱う研究領域においても新規な表面計測手法の開発は重要な課題である。本年度は、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に理化学研究所・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（チームリーダー：上原洋一）と共同で取り組んだ。その結果、1モノレイヤー以下の吸着量の一酸化炭素分子の振動エネルギーが光電子スペクトルのフェルミ・エッジより低エネルギー側に現れる微細構造から決定できることを発見した[2]。この発見はレーザー光源と光電子分光をベースとする新しい表面振動分光手法が開発できたことを意味する。従来の振動分光法で用いられてきた励起源と比較してレーザー光源は時間領域での制御性に格段に優れているので、今後、本手法は高い時間分解能と高い感度を併せ持つ表面振動分光法として発展することが期待される。

## 3. 職員名

教授： 上原 洋一（2005年より）

## 4. 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）。

## 4. 過去1年間の発表論文、解説記事、著書

- [1] Y. Uehara, H. Kobayashi, P. Siska, and S. Ushioda, "Vibration of H atomic chains on Ni(110) measured by scanning tunneling microscope (STM) light emission spectroscopy", *Surface Science* **587**, no.1-2, 12-18, 2005.
- [2] R. Arafune, K. Hayashi, S. Ueda, Y. Uehara, and S. Ushioda, "Inelastic photoemission due to scattering by surface adsorbate vibrations", *Phys. Rev. Lett.* **95** no. 20, 207601 1-3, 2005.
- [3] 上原洋一, 潮田資勝, "走査型トンネル顕微鏡 (STM) 発光分光" (実戦ナノテクノロジー・走査プローブ顕微鏡と局所分光(共著)), pp. 286-302, 裳華房, 2005.

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

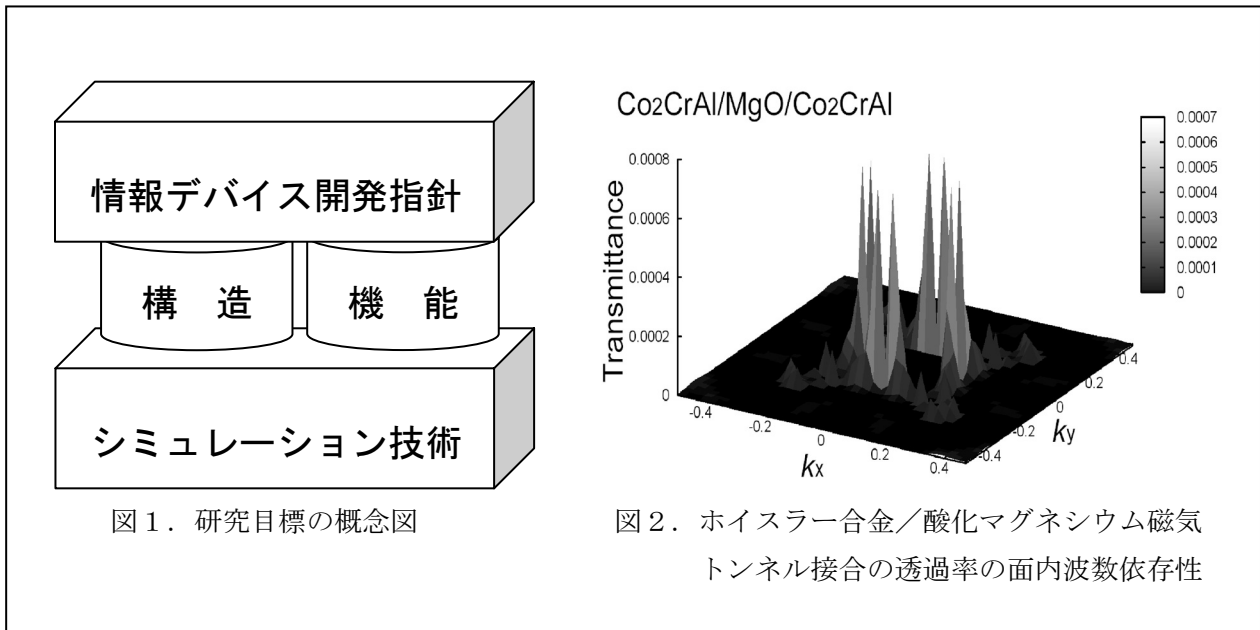


図1. 研究目標の概念図

図2. ホイスラー合金/酸化マグネシウム磁気トンネル接合の透過率の面内波数依存性

＜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。

＜2005年度の主な成果＞

1. ハーフメタル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理論研究

ハーフメタル電極と単結晶酸化マグネシウム障壁層からなる磁気トンネル接合におけるスピン偏極電気伝導を理論的に解析し、トンネル磁気抵抗比の向上の可能性を検証した。電極材料としては、高い強磁性転移温度を有し、原子配列不規則化に対しても高いスピン偏極率を保持するホイスラー合金を考慮した。エネルギー的に安定な界面結晶構造を有する磁気トンネル接合の平行磁化状態におけるスピン依存電気伝導率を理論計算した結果、価電子数の多いホイスラー合金を電極とした場合、大きな分散をもつ多数スピンバンド電子による顕著なトンネル透過率が得られた。一方、価電子数の少ないホイスラー合金では大きな分散をもつ多数スピンバンド電子が低バイアス電圧下で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(図2)。この成果は、ホイスラー合金/酸化マグネシウム磁気トンネル接合の電極材料選択の指針を与える重要なものである。

## 2. ワイドバンドギャップ磁性半導体における格子欠陥の影響に関する理論研究

強磁性半導体クロム添加窒化ガリウムにおいて格子欠陥が磁気相互作用に及ぼす影響を第一原理計算に基づいて検証した。まず、窒化ガリウムにドーパされたクロム原子はガリウム原子を置換し易く、このときドーパされたクロム原子と窒素空孔が最隣接位置を占める傾向があることを見出した。さらに、クロムスピン間にはたらく磁気相互作用を調べたところ、クロム原子と窒素空孔が複合欠陥を形成することにより、クロムスピン間の強磁性相互作用が著しく弱められ、強磁性状態の安定性が低下することを明らかにした。この成果は、スピントロニクス材料としてのクロム添加窒化ガリウムの利用価値を引出すためには、窒素空孔や酸素不純物などの格子欠陥を抑制することが必要であることを指摘した重要なものである。(下記[7], [9])

### <職員名>

教授 白井 正文 (2002 年より)  
 助手 三浦 良雄、長尾 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)。

### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] H. Akinaga, M. Mizuguchi, K. Nagao, Y. Miura, and M. Shirai, "Materials design and molecular-beam epitaxy of half-metallic zinc-blende CrAs and the heterostructures," *Half-metallic Alloys: Fundamentals and Applications*, Lecture Notes in Physics, Vol. 676, edited by I. Galanakis and P. H. Dederichs, ISBN 3-540-27719-6, Springer-Verlag, pp. 293-311, 2005.
- [2] M. Geshi, M. Shirai, K. Kusakabe, and N. Suzuki, "First-principles calculations of half-metallic zinc-blende type superlattices," *Computational Materials Science*, Vol. 36, Nos. 1-2, pp. 143-146, 2006.
- [3] K. Nagao, Y. Miura, and M. Shirai, "Half-metallicity at the (110) interface between a full-Heusler alloy and GaAs," *Physical Review B*, Vol. 73, No. 10, Article No. 104447, pp. 1-7, 2006.
- [4] M. Shirai, "First-principles study on defects in GaN-based ferromagnetic semiconductors (invited talk)," Air Force Office of Scientific Research Workshop on Wide Band Gap Ferromagnetic Semiconductors, Edinburgh, Scotland, 15-19 May, 2005.
- [5] M. Shirai, Y. Miura, and K. Nagao, "The effect of Coulomb interaction on half-metallic Heusler alloys,"  $\Psi_k$  Conference 2005 Towards Atomistic Materials Design, Schwäbisch Gmünd, Germany, 17-21 September, 2005.
- [6] M. Shirai, "Defects in the spintronic materials (invited talk)," The 2nd International Symposium on Point Defects and Nonstoichiometry, Kaohsiung, Taiwan, 4-6 October, 2005.
- [7] T. Nakano, M. Shirai, K. Nagao, and Y. Miura, "The effect of N-vacancy on structural and magnetic properties of Cr-doped GaN," The 2nd International Symposium on Point Defects and Nonstoichiometry, Kaohsiung, Taiwan, 4-6 October, 2005.
- [8] Y. Miura, K. Nagao, and M. Shirai, "*Ab initio* study on stabilities of half-metallic Co-based full-Heusler alloys," The 50th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, San Jose, USA, 30 October-3 November, 2005.
- [9] T. Nakano, M. Shirai, Y. Miura, and K. Nagao, "The influence of nitrogen vacancy on magnetic properties of (Ga,Cr)N," The 15th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, Kyoto, Japan, 6-10 March, 2006.

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

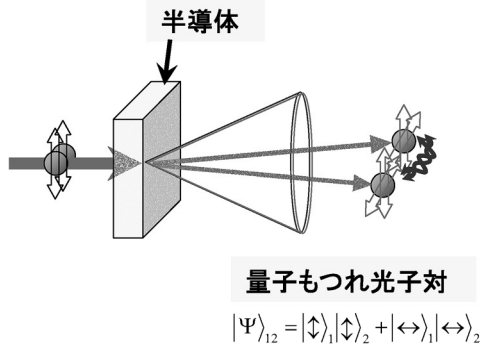


図1. 半導体を用いた量子もつれ光子対発生

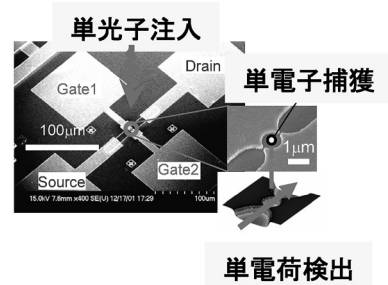


図2. 単一光子→単一電子量子非破壊検出デバイス

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マイ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。

過去1年間の主な成果

(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。本年度は、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。半導体から直接生成した量子もつれ光子対が Bell の不等式を破ることを実験的に検証したのは世界初である。

(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、その一環として、半導体量子構造中

の電子状態の  $g$  値を光学的および電氣的に精密に測定する方法を開発，実証した。

### 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

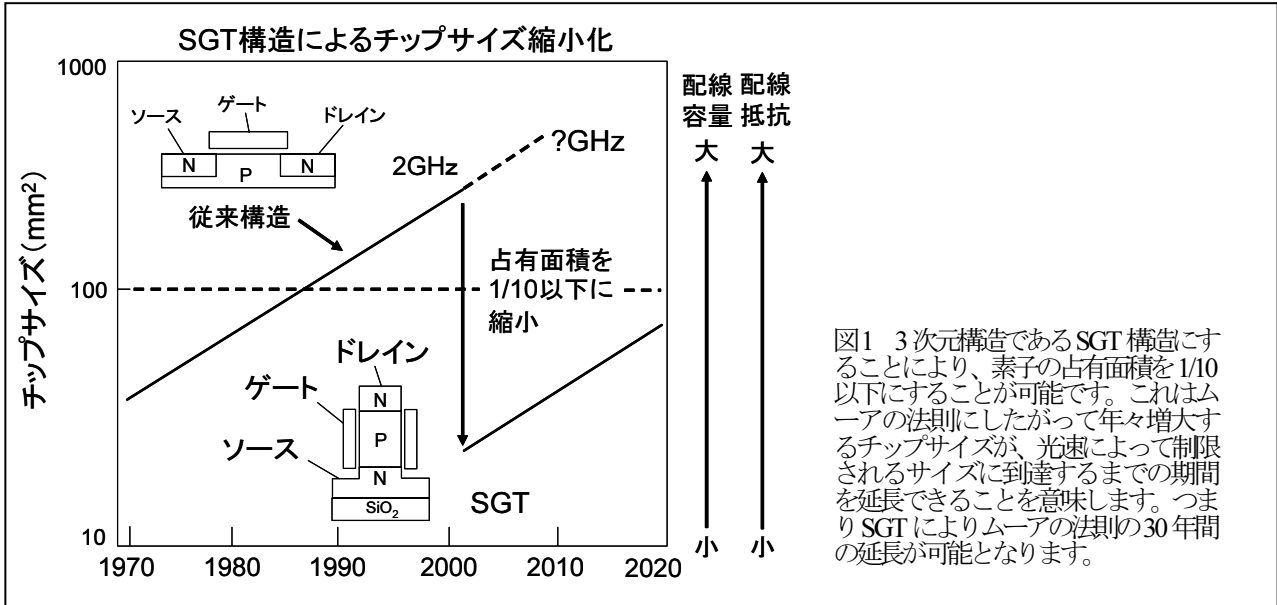
1987 年東北大学大学院理学研究科博士課程修了，東北大学工学部助手，California Institute of Technology 客員研究員，東北大学大学院工学研究科助教授，大阪大学大学院基礎工学研究科助教授，2003 年 1 月より現職

### 過去 1 年間の主な発表論文

1. 半導体の励起子分子を用いた量子もつれ光子対の生成，大畠悟郎，枝松圭一，日本物理学会誌 **60**, No.5, 359-362 (2005)
2. Generation of entangled photons via biexciton-resonant hyper-parametric scattering, G.Oohata, R. Shimizu, and K. Edamatsu, Proc. SPIE **5721**, 15-18 (2005)
3. 半導体へのレーザー照射による量子もつれ光子対発生，枝松圭一，大畠悟郎，レーザー加工学会誌 **12**, No.2, 109-111 (2005)
4. 量子もつれ光子対と量子干渉実験，枝松圭一，大畠悟郎，清水亮介，O plus E **27**, No.6, 622-628 (2005)
5. Theory of multiwave mixing and decoherence control in a qubit array system, M. Sasaki, A. Hasegawa, J. Ishi-Hayase, Y. Mitsumori, and F. Minami, Phys. Rev. B **71**, 165314/1-14 (2005)
6. Local field effect on Rabi oscillations of excitons localized to quantum islands in a single quantum well, Y. Mitsumori, A. Hasegawa, M. Sasaki, H. Maruki, and F. Minami, Phys. Rev. B **71**, 233305/1-4 (2005)
7. 量子もつれ光子対，枝松圭一，大畠悟郎，清水亮介，光技術コンタクト **43**, No.7, 376-383 (2005)
8. 半導体を用いた量子もつれ光子対の発生，枝松圭一，大畠悟郎，オプトロニクス **285**, No.9, 145-149 (2005)
9. 量子もつれ，枝松圭一，光科学研究の最前線，18-19，「光科学研究の最前線」編集委員会編，強光子場科学研究懇談会 (2005)
10. 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, in press.

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



<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)。

<2005 年度の主な成果>

1. SGT の理論解析

SGT の強反転領域における電子移動度が実効垂直電界の緩和により増加することを示した。シリコン柱直径 10nm の SGT では、反転電荷密度  $1 \times 10^{-7} \text{C/cm}^2$  のときにプレーナ MOSFET に対して電子移動度が 53.4%増加した[1]。また、Floating Channel (FC)-SGT フラッシュメモリセルの S-factor を求める解析モデルを導出し、その解析結果が三次元デバイスシミュレーション結果とよく一致することを確認した。FC-SGT フラッシュメモリセルは、従来の平面型フラッシュメモリセルと比較して、十分小さい S-factor を示す。その結果として、FC-SGT フラッシュメモリセルは、従来の平面型フラッシュメモリセルよりも多値化の実現を容易にすることを明らかにした[4]。

2. ナノスケールシリコン柱の試作

埋め込みゲート型 SGT のためのナノスケールシリコン柱の試作プロセスを提案した。

電子ビームリソグラフィを用いることにより、40nm の直径の埋め込み領域を持つシリコン柱を試作できることを示した。加えて、シリコン側壁のエッチングレートの面方位依存性を示した[10]。

### <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。

### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] 坂本渉, 羽田秀生, 桜庭弘, 中村広記, 舛岡富士雄, “強反転領域における SGT の移動度増加”, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J88-C, No. 5, pp. 338-339, May, 2005.
- [2] F. Matsuoka, H. Sakuraba, F. Masuoka, “Device Design Guidelines for FC-SGT DRAM Cells With High Soft-Error Immunity”, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.52, No.6, pp. 1194- 1199, June, 2005.
- [3] H. Nakamura, I. Pesic, H. Sakuraba, F. Masuoka, “Analysis of the NAND-type DRAM-on-SGT for High-Density and Low-Voltage Memory”, Proceedings of 35th European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC 2005), pp.193-196, Grenoble, September 12-16, 2005.
- [4] 山崎宏明, 中村広記, 桜庭弘, 舛岡富士雄, “FC-SGT フラッシュメモリセルのサブスレッショルド特性に関する解析”, 電気情報通信学会論文誌 C, Vol. J88-C, No. 11, pp. 989-996, Nov. 2005.
- [5] 日高剛, 網川裕之, 中村広記, 桜庭弘, 舛岡富士雄, “SGT 試作のための Si 柱側壁の犠牲酸化”, 電気情報通信学会論文誌 C, Vol. J88-C, No. 12, pp. 1230-1232, Dec. 2005.
- [6] Hideo Haneda, Wataru Sakamoto, Iliya I. Pesic, Hiroki Nakamura, Hiroshi Sakuraba, Fujio Masuoka, “An Accurate Model of the C-V Characteristic due to Quantum Mechanical Effects for the Surrounding Gate Transistor”, 2005 International Semiconductor Device Research Symposium, Symposium Proceedings, FA4-02, Maryland, December 7-9, 2005.
- [7] Takuya Ohba, Hiroki Nakamura, Hiroshi Sakuraba, Fujio Masuoka, “A Novel Tri-Control Gate Surrounding Gate Transistor (TCG-SGT) Flash Memory Cell”, 2005 International Semiconductor Device Research Symposium, Symposium Proceedings, FA5-04, Maryland, December 7-9, 2005.
- [8] Iliya Pesic, Hiroki Nakamura, Hideo Haneda, Hiroaki Yamazaki, Hiroshi Sakuraba, Fujio Masuoka, “Analytical Modeling of Short-Channel Multi-Gate SOI MOSFETs with Special Emphasis on the Partially-Depleted and Fully-Depleted Surrounding Gate Transistor”, 2005 International Semiconductor Device Research Symposium, Symposium Proceedings, FP4-02, Maryland, December 7-9, 2005.
- [9] 門脇卓也, 中村広記, 桜庭弘, 舛岡富士雄, “フィードバック技術を用いた新しいビットラインダイレクトセンス回路によるフラッシュメモリの高速化”, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J89-C, No. 1, pp. 40-47, January, 2006.
- [10] T. Kitagawa, T. Hidaka, T. Ohba, H. Amikawa, T. Izumida, S. Ohtsu, H. Nakamura, H. Sakuraba, F. Masuoka, “Fabrication of Nanometer Silicon Pillars for Buried-Gate-Type Surrounding Gate Transistor by Silicon Quasi-Isotropic Etching”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, No. 1A, pp. 54-56, January, 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

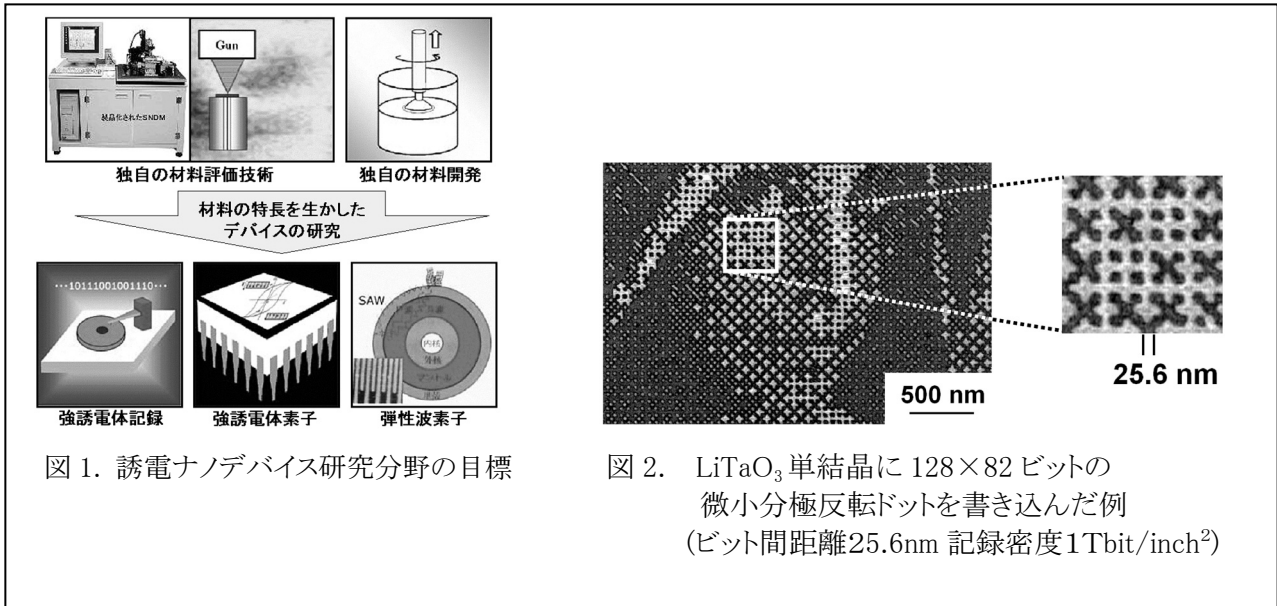


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

図 2. LiTaO<sub>3</sub> 単結晶に 128×82 ビットの  
微小分極反転ドットを書き込んだ例  
(ビット間距離25.6nm 記録密度1Tbit/inch<sup>2</sup>)

### <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氣的に行える世界で初めての装置であり、既に実用化に成功している。現在は半導体のドーパントプロファイル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。

### <2005 年度の主な成果>

#### 1. UHV-SNDMの研究開発

超高真空 (UHV) SNDMの開発の基本部分を作製し、それを用いてシリコンの原子ステップの観測に成功した。見積もられた垂直方向分解能は0.01 nmである。

#### 2. SNDMプローブメモリーに関する研究[5],[8]

最高記録密度で 10.1 Tbit/inch<sup>2</sup> を達成した。1Tbit/inch<sup>2</sup> の実記録にも成功した。

#### 3. SNDMによる半導体素子の評価に関する研究[9]

昨年度のMONOS型フラッシュメモリに続きフローティングゲート型のフラッシュメモリ蓄えられた電子の分布に世界で初めて成功した。さらにこの結像理論を構築し像の解



積を行った。

#### 4. 3次元分極分布観測用SNDMの開発[7]

ナノスケールで3次元的な分極分布を計測できるAFMタイプ3D-SNDMの開発に成功した。

#### <職員名>

教授 長 康雄 (2001年より)

助手 大原 鉦也 助手 廣瀬 龍介

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

産学連携研究員 鄭 大容 技術補佐員 小田川 望 技術補佐員 大竹 睦実

#### <教授のプロフィール>

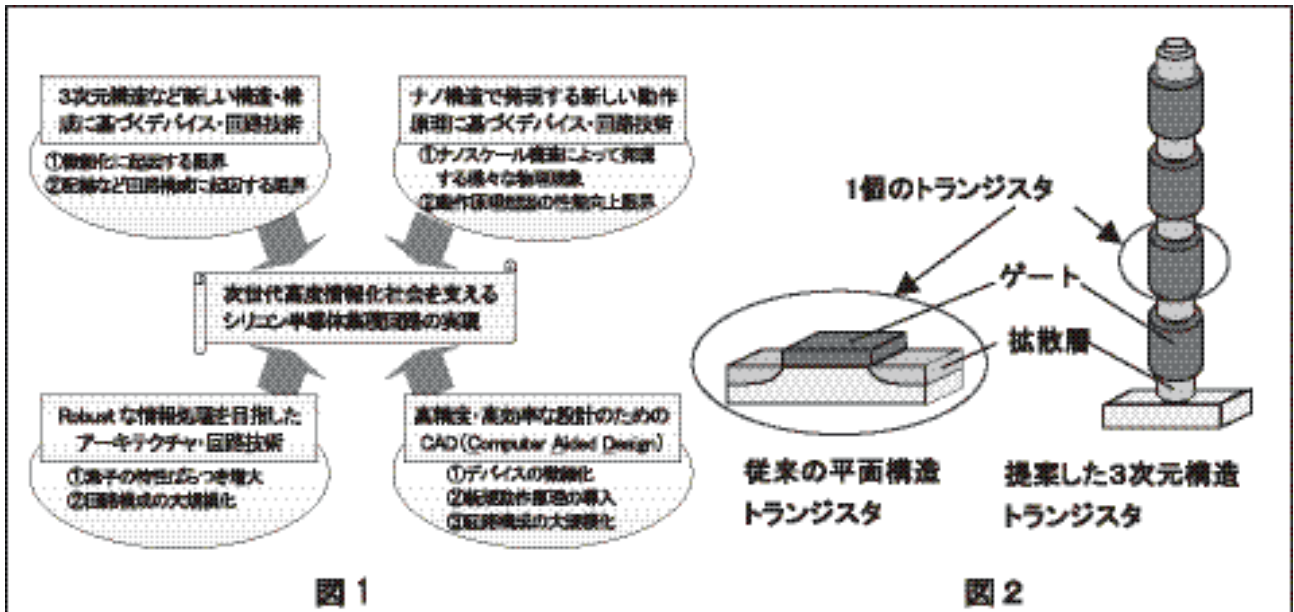
1980年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1986年3月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1985年4月 同大電気通信研究所助手。1990年3月 山口大学工学部助教授。1997年10月 東北大学電気通信研究所助教授 2001年7月 同教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡及び超高密度強誘電体記録の研究開発に従事。市村学術賞功績賞受賞 (2004年)、藤尾フロンティア賞受賞 (2005年)。

#### <2005年度の主な発表論文等>

- [1] Tomoyuki SUGIHARA, Hiroyuki ODAGAWA and Yasuo CHO: "Three-Dimensional Measurement for Absolute Value of Polarization Angle by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.44, No.6B, pp.4325-4329, 2005.
- [2] Yasuo Cho: "Ultrahigh-Density Ferroelectric Data Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.44, No.7B, pp.5339-5343, 2005.
- [3] Yoshiomi HIRANAGA and Yasuo CHO: "Ultrahigh-Density Ferroelectric Data Storage with Low Bit Error Rate", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.44, No.9B, pp.6960-6963, 2005.
- [4] Tomoyuki SUGIHARA and Yasuo CHO: "Investigation of Three-Dimensional Domain Structure in LiTaO<sub>3</sub> by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.44, No.9B, pp.7169-7173, 2005.
- [5] Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou Tanaka, and Yoshiomi Hiranaga; "Realization of 10 Tbit/in.<sup>2</sup> memory density and subnanosecond domain switching time in ferroelectric data storage" Appl. Phys. Lett., Vol. 87, No.23, pp. 232907-1-232907-3, 2005.
- [6] Yoshiomi Hiranaga, Kenkou Tanaka and Yasuo Cho: "Nanodomain Manipulation for Reduction of Bit Error Rate in Terabit / Inch<sup>2</sup>-Class Ferroelectric Data Storage", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.45, No.3B, pp.2220-2224, 2006.
- [7] 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, pp.S162-S166, 2006.
- [8] Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou Tanaka and Yoshiomi Hiranaga: "Nanodomain manipulation for ultrahigh density ferroelectric data storage", Nanotechnology, Vol.17, pp.S137-S141, 2006.
- [9] 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, pp.S185-S188, 2006.
- [10] Takeshi Morita and Yasuo Cho: "Piezoelectric property of an epitaxial lead titanate thin film deposited by the hydrothermal method", Appl. Phys. Lett., Vol.88, pp112908-1-112908-3, 2006.

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



＜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な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)。

＜2005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、基本素子である MOSFET の微細化に伴い、そのトランジスタ特性の揺らぎが大きくなっている。特に、しきい値電圧の変動は、回路特性に大きな影響を及ぼすため、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、回路のデータ検出感度、信号増幅率を中心に、高速動作時における回路の安定性を検討した。また、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回路の安定性を解析した<sup>[3][5][6]</sup>。

[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、ナノスケールサイズのトランジスタ性能を向上させるためには、そのボディポテンシャルの制御が重要である。本年は、この視点にたち、高性能で高集積化可能なナノスケール MOS トランジスタの候補の一つとして、超薄型ボディ Si を有したダブルゲート (DG) MOSFET に対してショートチャネル効果を抑制する技術を検討した<sup>[2][4][7]</sup>。

[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

当該技術の実現に不可欠であるナノ構造形成プロセス、特に、シリコン (111) 上に高密度なナノドットを形成するプロセスに関する研究を進めた<sup>[1]</sup>。

[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、3次元構造トランジスタ設計用の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 (株)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。

### <2005年度の主な発表論文等>

- [1] Y.Narita, M.SAKAI, T. Murata, T.Endoh and M.Suemitsu, "Ge-Dot Formation on Si(111)-7X7 Surface with C Predeposition Using Monomethylsilane", JAPANESE Journal of Applied Physics, Vol.44, No3, 2005, pp.L123-L125.
- [2] Yuto Momma, Tetsuo Endoh, "Study of Effect of Halo Implantation on 30nm Ultra Thin Body Si Double-Gate MOSFET with 100nm Gate Length," TOHOKU-SECTION JOINT CONVENTION RECORD OF INSTITUTES OF ELECTRICAL AND INFORMATION ENGINEERS, JAPAN, 2005, pp.33. 2A17.
- [3] H.-j. Na, K. Tanaka, Y. Momma, M. Suemitsu, and T. Endoh, "Effect of Threshold Voltage Fluctuations on Stability of Inverter Circuit of MOS Current Mode Logic," TOHOKU-SECTION JOINT CONVENTION RECORD OF INSTITUTES OF ELECTRICAL AND INFORMATION ENGINEERS, JAPAN, 2005, pp. 31, 2A18
- [4] Yuto Momma, Tetsuo Endoh, "Study of Effect of Halo Implantation on Nano-Scale Double Gate MOSFET," International Symposium on Bio- and Nano- Electronics in Sendai Book of Abstracts., 2006, pp.119-120. P-37
- [5] 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 in Sendai Book of Abstracts, 2006, pp123-124, P-39
- [6] 羅炯竣, 田中幸介, 門間優太, 末光眞希, 遠藤哲郎, "MCML インバーター回路の安定性に対するしきい値ばらつきの影響に関する検討," 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会 23a-X-5, 2006
- [7] 門間優太, 遠藤哲郎 "100nm ゲート長 30nm ボディ Si のダブルゲート MOSFET における haloI/I の効果に関する検討", 第53回応用物理学関係連合講演会 25p-X-16.

## 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、日々増加し続ける情報量を瞬時にやり取りすることにより、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通信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からミリ波・サブミリ波、テラヘルツ波、さらには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、記録技術について主に研究開発している。

具体的な研究分野は、先端ワイヤレスに関するマイクロ波情報通信分野、ミリ波・サブミリ波を利用した超ブロードバンド信号処理に関する超高周波工学研究分野、光・テラヘルツ領域での通信に関する光通信・応用量子光学の2研究分野、情報ストレージ・半導体スピントロニクスに関する情報記録・材料科学の2研究分野、ならびにブロードバンド通信の基盤技術を研究する客員分野の7研究研究分野から成っている。平成17年度の研究活動の概要は分野毎に別途記すが、そ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) 無線LAN技術などを応用したホットスポットネットワークならびに1パケットで高速に周波数偏差を補償する方式や端末IDの高速識別方式の研究を行った。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重回折格子型ゲートと縦型共振器構造を有する新規なプラズモン共鳴型フォトミキサーデバイスを考案し、新構造による放射利得・帯域特性の改善効果を数値解析により確認した。更に、ゲートバイアスによるプラズモン非線形応答の変調作用によって、周波数逡倍動作が可能であることを見出した。

### (3) 超高速光通信研究分野

(目標) 光・量子エレクトロニクスおよび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、ならびに光信号処理の研究を行い、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) 時間領域光フーリエ変換を用いて波形歪みを除去することにより、160 Gbit/s OTDM信号の600 kmの伝送に成功した。モード同期ファイバレーザの短共振器化を図り且つ共振

器内にエタロン素子を挿入することにより、1 GHz 以上の光周波数掃引に成功した。フォトニック結晶ファイバと VCSEL を用いて 800 nm 帯で 10 Gbit/s=5 km 光伝送に成功した。

#### (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いて、超広帯域にわたる波長のランダムアクセスと高出力化を実現した。共焦点型コヒーレントラマン分光により生体関連物質のテラヘルツ帯振動計測・解析を進めた。さらに、周波数シフト帰還型レーザの距離計測精度の向上を実現し、精細な 3 次元イメージを得ることに成功した。

#### (5) 情報ストレージシステム研究分野

(目標) 超高密度記録を実現する未来型垂直磁気記録のための新たな記録再生方式の確立に取り組んでいる。同時に、高速・大容量ストレージシステムとして高密度ハードディスク装置を応用・展開する研究を行っている。

(成果) 垂直記録の超高密度化を達成するために、その指導原理となる記録媒体のナノ微細磁気構造に立脚した記録再生理論の確立に取り組み、新たなディスク構造とその可能性を明らかにした。また、超小型ハードディスクを内蔵する映像ファイルサーバ (IT21 プロジェクト) の応用上必須なデータ転送の高速化も検討した。

#### (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 の電流誘起磁壁移動の機構と磁壁抵抗の起源の解明、半導体量子構造における局所核スピンコヒーレンスの光検出、熱処理及び界面改質層による高性能 ZnO 単結晶トランジスタの実現、および高出力 MgO 障壁トンネル磁気抵抗素子と低電流密度での電氣的磁化反転の実現、などの成果を挙げた。

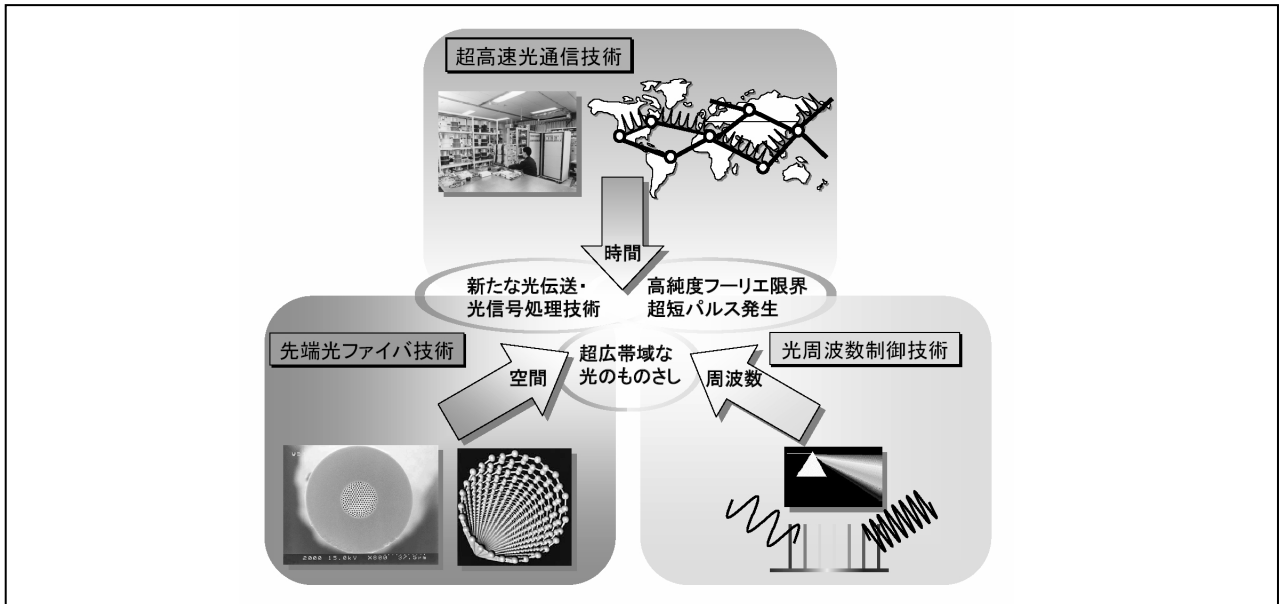
#### (7) ブロードバンド通信基盤技術研究分野

(目標) 当分野では、電磁波スペクトルのうちミリ波・テラヘルツ波領域の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) 当該年度に、フォーカル・プレーン・イメージング装置 (ミリ波カメラ)、及び近距離イメージング装置を試作し、それらをセキュリティ、医学を含む種々の分野に応用した。その成果は、国際会議の招待講演 1 件、論文発表 (国際会議発表を含む) 5 件などにて発表した。

## 超高速光通信研究分野

### 次世代超高速光通信技術に関する研究



#### <分野の目標>

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

#### <2005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。本年度は時間領域光フーリエ変換を実際に超高速・長距離 OTDM 伝送実験に適用し、本伝送技術の詳細な性能評価を行なった。その結果、単一偏波 OOK (On-Off Keying)方式による 160 Gbit/s (4×40 Gbit/s)伝送において、従来は 200 km 以下であった伝送距離を、600 km まで大幅に延長することに初めて成功した。524 km 伝送後に測定した誤り率特性において、OFT を用いない場合には分散および分散スロープによる波形歪みによりエラーフロアが見られるが、OFT を用いて歪みを除去することによりフロアが消失した。600 km 伝送後では OFT 後にもフロアが残留するが、誤り率  $10^{-9}$  におけるパワーペナルティが 2.7dB 改善された。以上の結果、OFT を用いることにより安定なエラーフリー伝送を実現することに成功した。

## 2. 超高速光パルス発生・制御技術に関する研究

本研究分野では、10~40 GHz 帯ピコ秒パルス発生およびその制御技術に関する研究を進めている。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。本年度はレーザ共振器内に狭帯域ファブリー・ペローエタロンを挿入し、かつ共振器長を大幅に短くすることにより、発振周波数の安定化において問題となっていたモードホップを抑制することに成功した。さらにエタロン素子の温度とレーザ共振器長を同時制御することにより、発振周波数を 1 GHz 以上連続掃引することに成功した。

また本研究分野では本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。本年度はマイクロ波の周波数を Cs の共鳴周波数(9.1926 GHz)の周りに矩形波状にデジタル的に変化させ、正弦波変調されていないマイクロ波を Cs ビーム管に入射することにより、長期安定度の向上に成功した。本方式による周波数安定度は積分時間 $\tau=1,000$  s 以上で従来の位相敏感検波方式を超える安定度が達成され、 $\tau=5000$  s では  $8.0 \times 10^{-14}$  に達することを示した。

## 3. 波長 1.5 $\mu\text{m}$ 帯周波数安定化エルビウムファイバレーザに関する研究

光の位相を利用したコヒーレント通信や高感度な光測定技術には、周波数を安定化した光源が不可欠である。本研究分野では、単一モードファイバレーザの発振周波数を波長 1.55  $\mu\text{m}$  帯のアセチレン分子( $\text{C}_2\text{H}_2$ )の吸収線に安定化することにより、狭線幅かつ超高安定なファイバレーザの開発に取り組んでいる。本年度は周波数安定化部で使用する光位相変調器の温度特性の向上ならびに電気制御回路の改良を行い、さらに半値全幅が 1 GHz の超狭帯域光フィルタ(FBG: Fiber Bragg Grating)を用いることにより、本レーザの周波数安定度および信頼性の大幅な改善を図った。その結果、積分時間 $\tau=1$  s~100 s で  $2 \times 10^{-11}$  という高い周波数安定度を実現した。また、レーザ周波数の FBG への自動トラッキングおよびアセチレン分子吸収線への自動安定化のアルゴリズムを構築し、CPU を搭載した周波数安定化レーザ装置を実現した。

## 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、波長 850 nm で単一モード動作する PCF を作製し、さらに単一モード AlGaAs VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser)ならびに Si-APD (Avalanche Photo Diode)を組み合わせることにより、800 nm 帯で 10 Gbit/s-5 km 光伝送に成功した。5 km 伝送後には PCF の損失(5.2 dB/km)により S/N 比が劣化するため、誤り率  $10^{-9}$  において 3.5 dB のパワーペナルティが生じている。しかし誤り率にフロアは見られず、エラーフリー伝送が実現できている。本伝送技術により光イーサネット等の短距離での 800 nm 高速光通信を低コストで実現することができる。

## ＜職員名＞

教授 中沢 正隆 (2001年より)

助手 吉田 真人、廣岡 俊彦

研究支援者 鈴木 聡人

## ＜教授のプロフィール＞

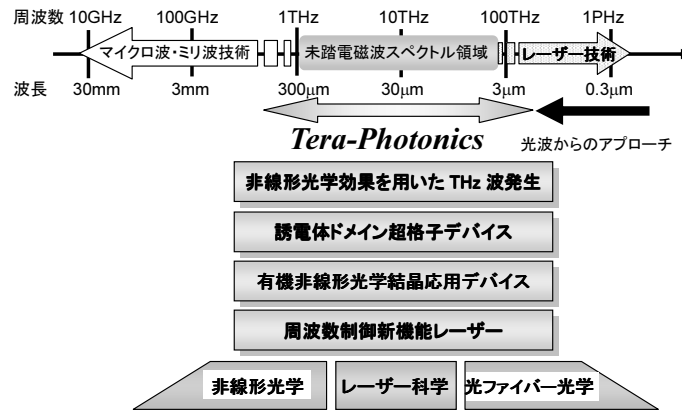
1952年山梨県生まれ。1980年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士）。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。1984～1985年 MIT 客員研究員。1989年グループリーダー、1994～1998年特別研究員、1999年より NTT R&D フェロー、1999～2000年東北大学電気通信研究所客員教授。2001年4月より東北大学電気通信研究所教授。1989年11月 OITDA 桜井健二郎記念賞、1990年10月英国 IEE, Electronics Letters Premium 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 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。

## ＜2005年度の主な発表論文等＞

- [1] K. Haneda, M. Yoshida, M. Nakazawa, H. Yokoyama, and Y. Ogawa, "Linewidth and relative intensity noise measurements of longitudinal modes in ultrahigh-speed mode-locked laser diodes," *Opt. Lett.*, Vol. 30, No. 9, pp. 1000-1002, 2005.
- [2] M. Yakabe, K. Nito, M. Yoshida, M. Nakazawa, Y. Koga, K. Hagimoto, and T. Ikegami, "Ultrastable cesium atomic clock with a 9.1926-GHz regeneratively mode-locked fiber laser," *Opt. Lett.*, Vol. 30, No. 12, pp. 1512-1514, 2005.
- [3] 長谷川英明, 廣岡俊彦, 中沢正隆, "零分散-分散フラットフォトニック結晶ファイバの最適分散設計法の提案," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-C, No. 7, pp. 519-527, 2005.
- [4] 廣岡俊彦, 中沢正隆, 二見史生, 渡辺茂樹, "時間領域光フーリエ変換を用いた超高速無歪み光パルス伝送," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-B, No. 8, pp. 1402-1410, 2005.
- [5] M. Nakazawa and T. Hirooka, "Distortion-free optical transmission using time-domain optical Fourier transformation and transform-limited optical pulses," *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol. 22, No. 9, pp. 1842-1855, 2005.
- [6] 葛西圭介, 吉田真人, 中沢正隆, "アセチレン( $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ )分子の吸収線を用いた偏波保持周波数安定化ファイバレーザ," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-C, No. 9, pp. 708-715, 2005.
- [7] 矢加部正嗣, 二戸晃, 吉田真人, 中沢正隆, "ファイバレーザ型光マイクロ波発振器の周波数掃引特性とCs原子ラムゼイフリンジの観測," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-B, No. 9, pp. 1829-1836, 2005.
- [8] 長谷川英明, 亀卦川学, 吉田真人, 廣岡俊彦, 中沢正隆, "フォトニック結晶ファイバと従来ファイバの融着接続における最適な空孔テーパの観測とフレネル反射の低減," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-C, No. 10, pp. 779-787, 2005.
- [9] M. Nakazawa and T. Hirooka, "ABCD matrix formalism of time-domain optical Fourier transformation for distortion-free pulse transmission," *IEICE Electron. Express*, Vol. 3, No. 4, pp. 74-79, 2006.
- [10] H. Hasegawa, Y. Oikawa, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "10 Gb/s transmission over 5 km at 850 nm using single-mode photonic crystal fiber, single-mode VCSEL, and Si-APD," *IEICE Electron. Express*, Vol. 3, No. 6, pp. 109-114, 2006.



## 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

## &lt;分野の目標&gt;

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（THz）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リクス（Tera-Photonics）の確立と体系化を目指している。

## &lt;2005 年度の主な成果&gt;

## 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、高効率な波長変換が可能な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。擬似位相整合を用いた表面放射型 THz 波発生法を検討し、これに基づき周期分極反転 LiNbO<sub>3</sub> (PPLN) 結晶を独自に設計・製作した。1.5μm 帯半導体レーザーおよび光ファイバ増幅器を用いた高出力 2 波長光を PPLN 結晶中で差周波混合することにより、1~3THz 領域で周波数可変な THz パルス発生および連続 THz 波発生に成功した。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 結晶を用いた差周波混合により、1~40THz (波長 300~7.5μm) にわたる超広帯域の周波数可変 THz 波発生に成功した。

## 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。非線形光波長変換に着目した高出力・広帯域波長可変な中赤外コヒーレント光源として、励起光波長同調型の中赤外光パラメトリック発振器 (OPO) の研究開発を行った。励起光にはガルバノオプティカルスキャナを用いた高速波長制御 2 $\mu\text{m}$  帯 KTP-OPO を開発し、これを用いて ZnGeP<sub>2</sub>-OPO を励起することにより、波長 5~10 $\mu\text{m}$  (周波数 30~60THz) 領域で所望の波長に高速 (ms オーダ) にアクセスでき、kW レベルの高出力特性をもつ中赤外コヒーレント光源を実現した。

### 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性が指摘されつつある。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。THz 帯 CARS 分光計において新たに共焦点型配置を検討し、生体分子水溶液について 0.9~51THz の超広帯域にわたる振動スペクトルを取得した。さらに偏光特性を用いた背景シグナルの抑制を行い、新たに低周波領域 (2~15THz 域) の強い共鳴を見出した。

### 4. 周波数シフト帰還型レーザ

周波数シフト帰還型 (FSF) レーザは、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媒質に帰還させるタイプのレーザであり、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てきた。半導体光増幅器を用いた小型の FSF レーザを構成し、出力約 20mW で周波数チャープレート 85PHz/sec, チャープ幅 130GHz 以上の特性を得た。これを用いて周波数領域リフレクトメトリによる遠隔距離計測を行い、従来の 10 倍程度の計測精度向上 (1m の距離で精度 1.5 $\mu\text{m}$ ) を確認した。また、その応用として遠隔物体のプロファイロメトリを行い、精細な 3 次元イメージを得ることに成功した。

#### <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 シンジャーユ 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、事務補佐員 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。1998~2005 年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、2005年よりテラヘルツ光研究プログラム・テラヘルツ光源研究チームリーダーを兼務。2005年より科学技術振興機構戦略的創造研究事業・研究領域「光の創成・操作と展開」研究総括を兼務。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。

### <2005年度主な発表論文等>

- [1] Y. Sasaki, H. Yokoyama and H. Ito, "Surface-emitted continuous-wave terahertz radiation using periodically poled lithium niobate," *Electron. Lett.*, Vol. 41, No. 12, pp. 712-713 (2005).
- [2] Y. Sasaki, Y. Avetisyan, H. Yokoyama, H. Ito, "Surface-emitted terahertz-wave difference-frequency generation in two-dimensional periodically poled lithium niobate", *Optics Letters*, **30** (21), 2927-2929, 2005.
- [3] M. Takahashi, Y. Ishikawa, J. Nishizawa, H. Ito, "Low-frequency vibrational modes of riboflavin and related compounds," *Chem. Phys. Lett.*, Vol. 401, pp. 475-482 (2005).
- [4] T. Yago, Y. Ishikawa, H. Ito, H. Tanaka, E. Kwon, K. Sakamoto, K. Suto, M. Watanabe, and J. Nishizawa, "Correlation Field Splitting of Intramolecular Vibrations of Crystalline Tetracene in Terahertz Region," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 6A, pp. 4145-4150 (2005).
- [5] S. Kakio, S. Uotani, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Iizuka, T. Kobayashi, and M. Watanabe, "Diffraction properties and beam-propagation analysis of waveguide-type acoustooptic modulator driven by surface acoustic wave," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 6B, pp. 4472-4476 (2005).
- [6] K. Ishihara, T. Ikari, H. Minamide, J. Shikata, K. Ohashi, H. Yokoyama, and H. Ito, "Terahertz Near-Field Imaging Using Enhanced Transmission through a Single Subwavelength Aperture," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 29, pp. L929-L931 (2005).
- [7] K. Ishihara, G. Hatakoshi, T. Ikari, H. Minamide, H. Ito, and K. Ohashi, "Terahertz Wave Enhanced Transmission through a Single Subwavelength Aperture with Periodic Surface Structures," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 32, pp. L1005-L1007 (2005).
- [8] T. Hidaka, H. Minamide, H. Ito, J. Nishizawa, K. Tamura, and S. Ichikawa, "Ferroelectric PVDF cladding terahertz waveguide," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 23, No. 8, pp. 2469-2473 (2005).
- [9] K.-H. Cho, B. K. Rhee, Y. Sasaki and H. Ito, "Pulsed intracavity optical parametric oscillator with high average power based on periodically poled LiNbO<sub>3</sub>," *J. Nonlinear Opt. Phys. & Mat.*, Vol. 14, No. 3, pp. 383-389 (2005).
- [10] 原武文, Cheikh Ndiaye, 伊藤弘昌, "周波数シフト帰還型レーザーによる超高精度光計測技術", *応用物理*, Vol. 74, No. 6, pp. 697-702 (2005).

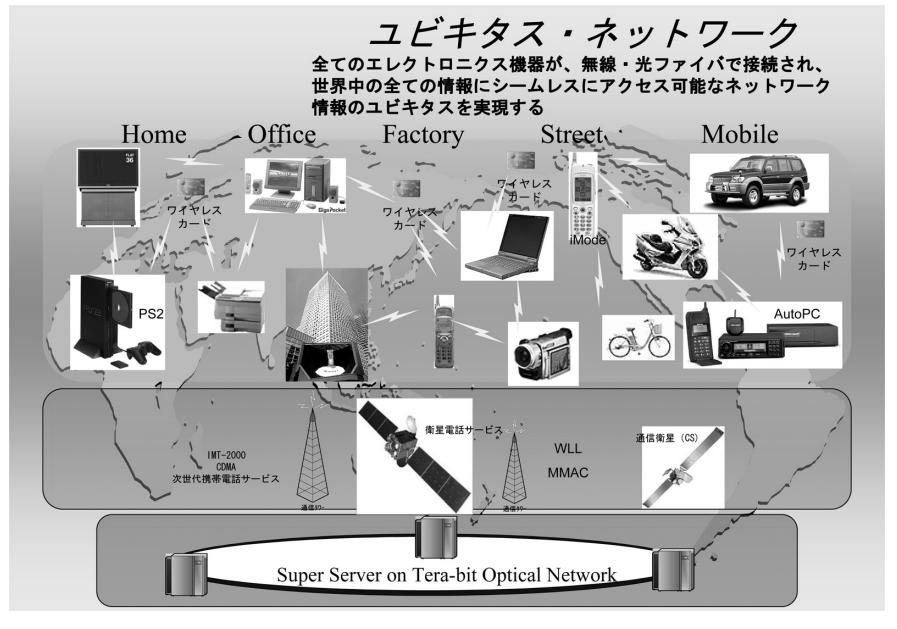
## 先端ワイヤレス通信技術研究分野

### 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す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。

#### <2005 年度の主な成果>

##### 1. ホットスポットネットワークの研究

無線 LAN 技術などを応用したホットスポットネットワークに関する提案・開発を行った。特に、今後ますますの普及が考えられるパケット通信方式において、1 パケットで周波数偏差を補償する方式や端末 ID の高速識別方式の提案を行った。

##### 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 帯無線 LAN 用超小型アンテナや RF B 級プッシュプル 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。特に基板間接続に SBB (Stud Bump Bonding) や銅ボールを用いた、高周波伝送線路についての検討・評価を行った。

#### 4. MOCVD 法による AlN 薄膜を用いた弾性表面波 (SAW) および薄膜バルク波共振器 (FBAR) フィルタ

無線 LAN 帯域である 2.4GHz 帯および 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、SAW および FBAR フィルタの設計・試作を行った。特に今年度は、5GHz 帯用 FBAR の試作・評価を行った。

#### <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 月米国パーデュー大学客員助教授。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。

#### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] K. Uehara, Y. Aota, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota and K. Tsubouchi, "Growth of Atomically Flat-Surface Aluminum Nitride Epitaxial Film by Metalorganic Chemical Vapor Deposition," Jpn. J. Appl. Phys., vol.44, no.5A, pp.2987-2992, May 2005.
- [2] K. Uehara, Y. Aota, T. Shibata, S. Kameda, H. Nakase, Y. Isota and K. Tsubouchi, "Surface Acoustic Wave Properties of Atomically-Flat-Surface Aluminum Nitride Epitaxial Film on Sapphire," Jpn. J. Appl. Phys., vol.44, no.6B, pp.4512-4515, June 2005.
- [3] 中瀬 博之, 大嶋 尚一, 藤井 隆司, 亀田 卓, 磯田 陽次, 坪内 和夫, ブロードバンド伝送平衡型ペア線路の設計, エレクトロニクス実装学会誌, vol.8, no.4, pp.277-281, July 2005.
- [4] K. Nakajima, N. Suematsu, K. Murakami, T. Takagi, H. Nakase, Y. Isota and K. Tsubouchi, "A 5GHz-Band SiGe-MMIC Quadrature Modulator Using a Circular Polyphase Filter for 1Gbps Transmission," 35th European Microwave Conference (EuMW2005), Paris, France, EuMC48-1, pp. 979-982, Oct. 2005.
- [5] K. Uehara, Y. Aota, S. Kameda, H. Nakase and K. Tsubouchi, "Low Propagation Loss of Atomically-Flat Surface AlN with Low Dislocation Density for 5-GHz Band SAW Devices," Proc. 2005 IEEE International Ultrasonics Symposium, Rotterdam, 5D-5, Sept. 2005.
- [6] F. Yamagata, G. Kanazawa, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase and K. Tsubouchi, "Seamless Handover for Hotspot Network Using Adaptive Flow Control Method," Asia-Pacific Conf. on Commun. (APCC2005), 4F3, Oct. 2005.
- [7] A. Yamaguchi, Y. Kawamura, H. Oguma, S. Kameda, H. Nakase and K. Tsubouchi, "Carrier Frequency Offset Compensation for Burst Packet Using Polar Coordinates Conversion," Asia-Pacific Conf. on Commun. (APCC2005), 6F1, Oct. 2005.
- [8] 中瀬 博之, 大嶋 尚一, 藤井 隆司, 亀田 卓, 磯田 陽次, 坪内 和夫, 高密度多層基板を用いた 60 GHz 帯伝送平衡型ペア線路, 信学論, vol.J88-C, no.11, pp.957-963, Nov. 2005.
- [9] T. Takagi and K. Tsubouchi, "Mobile Wireless Communications - Broadband technologies for over Gbit/sec," 1st IEEE Int. Workshop on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT2005), Singapore, Dec. 2005 (Keynote Address, invited).
- [10] Y. Nagai, Y. Shirokura, Y. Isota, F. Ishizu, H. Nakase, H. Oguma and K. Tsubouchi, "Implementation of 324Mbps WLAN Equipment with MAC Frame Aggregation for High MAC-SAP Throughput," IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC2006), Las Vegas, Nevada, USA, TA2-1, Jan. 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

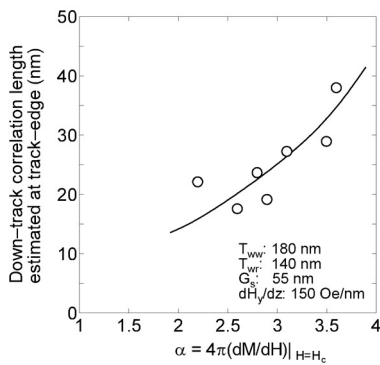


図 1. 垂直磁気記録媒体でのトラック端揺らぎの磁気特性依存性

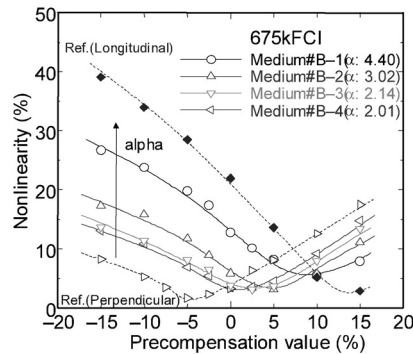


図2 非線形転移位置シフトの記録媒体依存性の測定例。

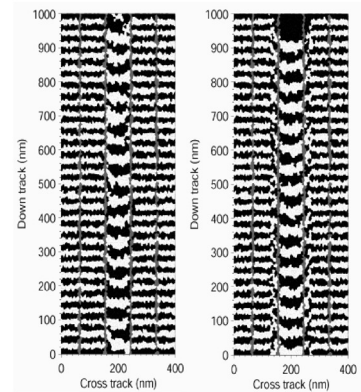


図3 コンピュータシミュレーションによる高密度記録磁化状態。

<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。当面の目標は 1 Tbits/inch<sup>2</sup> 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クスによるコンピュータシミュレーションを駆使して、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。

<2005 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

現在の国際的な磁気記録の記録密度の目標は上記の 1 Tbits/inch<sup>2</sup> という超高面密度記録であるが、本研究室ではこれ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が、記録媒体のナノ微細磁気構造に立脚して再生信号の SN 比に着目した検討を続けていることが特徴である。本年度は、トラック端の揺らぎの大きさを発生するノイズから定量化する手法を確立して具体的に測定を行った。(図 1) また、再生信号の非線形性についての理解も進め、これまで議論されてきた静磁気的な相互作用に基づく非線形の転移位置ずれに加えて、記録媒体の微細磁気構造による非線形性要因があることも明らかにした。(図 2)

## 2. 600 Gbits/inch<sup>2</sup>記録のためのヘッドディスク記録再生条件の明確化

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。本年度は、従来型の微粒子型垂直磁気記録媒体に加えて、トラック端をリソグラフィによって除去したディスクリートトラック型記録媒体の可能性を検討した。(図3) また、同時に2層記録層からなる積層型媒体についても検討を進め、これらの次世代垂直磁気記録方式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<sup>2</sup>の高密度記録の可能性のあることを見出した。

## 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に参加して垂直磁気記録を用いる超小型 HDD デモのためのドライブ試作を行った。この超小型垂直 HDD の特徴ある応用として、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。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の広がりを考えると、映像用途に可能性があるが、映像情報は途切れなく転送されることが必須なために総合的な転送レートの下限を保障する必要がある。特に、ハイビジョン動画転送には少なくとも18 Mbps以上の転送速度が必要である。試作したファイルサーバに関する動作速度を検証するとともに速度限界の制限要因等の調査した。また、ドライブを並列化する可能性についても検討を開始している。

### <職員名>

教授 村岡 裕明 (2000年より)  
 助教授 サイモン・J・グリーブス (2003年より)  
 助手 三浦 健司 (2003年より)

### <教授のプロフィール>

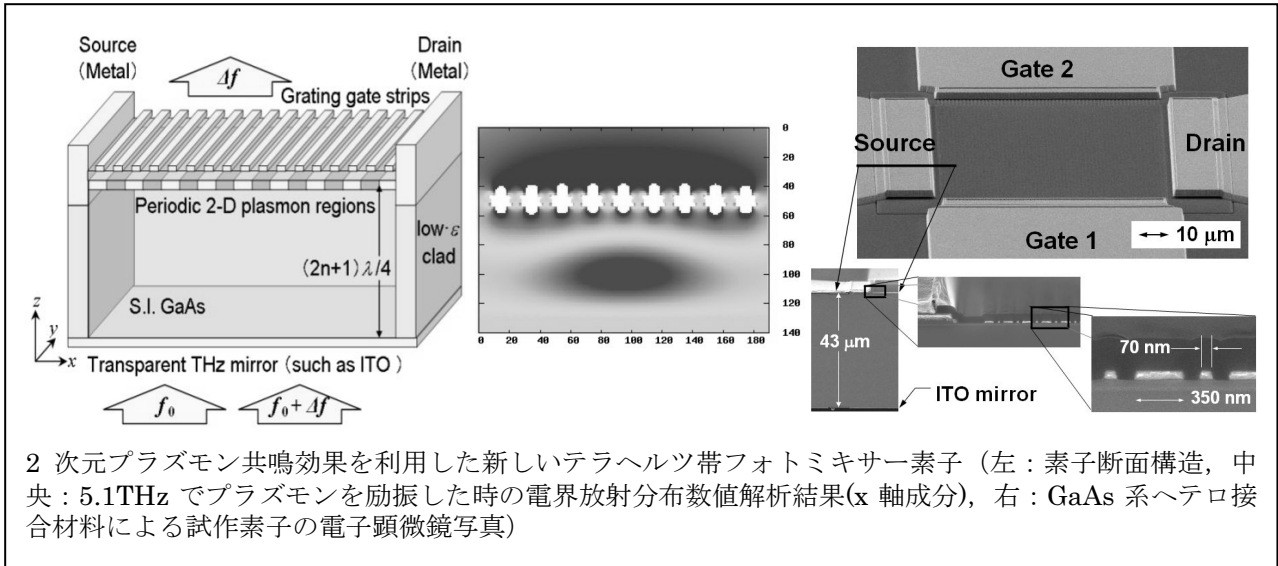
1981年 東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業(株), 1991年電気通信研究所助手, 1993年同助教授, 2000年同教授。高密度磁気記録理論, 磁気記録デバイス及び記録方式, 情報ストレージ方式, 等の研究・開発に従事。電子情報通信学会, 映像メディア学会, 日本応用磁気学会, IEEE各会員。工学博士。IEEE Magnetics Society Administration Committee.

### <2005年度の主な発表論文等>

- [1] 橋本光弘、三浦健司、村岡裕明、青井基、中村慶久、“垂直二層膜媒体における逆磁区ノイズ電圧の特徴化”、日本応用磁気学会誌, Vol. 29, No.9, pp. 891-984, 2005.
- [2] Simon J. Greaves, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, “Simulations of Perpendicular Media for 400 Gb/in<sup>2</sup>”, IEEE Trans. Magn., Vol. 41, No.2, pp. 713-718, 2005.
- [3] Simon J. Greaves, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, “The Effect of Write Head Structures on Written Transitions in Perpendicular Media”, IEEE Trans. Magn., Vol. 41, No.10, pp. 3058-3060, 2005.
- [4] Simon J. Greaves, Hiroaki Muraoka, “Fluctuation Fields in Perpendicular Media”, IEEE Trans. Magn., Vol.41, No.10, pp. 3124-3126, 2005.
- [5] 関健太、橋本光弘、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非線形ひずみの解析”、日本応用磁気学会誌, Vol. 30, No.2, pp. 108-111, 2006.
- [6] 須藤大輔、橋本光弘、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気クラスタリングのトラックエッジノイズへの影響”、日本応用磁気学会誌, Vol. 30, No.2, pp. 122-126, 2006.

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



<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。

<2005年度の主な成果>

1. 半導体二次元プラズモンのテラヘルツ帯共鳴効果に関する研究

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、バンド間光学励起による2次元プラズモンのテラヘルツ帯共鳴動作の観測に成功している。今回、光励起キャリアがテラヘルツ帯プラズマ共鳴特性に与える影響をモデル化し、 $0.15\ \mu\text{m}$ ゲートのInGaP/InGaAs/GaAs高電子移動度トランジスタ（HEMT）を用いて実験的に検証した。（関連文献：[2], [10]）

2. プラズモン共鳴型テラヘルツ帯フォトミキサーの高性能化に関する研究

2光波混合光から差周波テラヘルツ電磁波を放射するフォトミキサーとしてのデバイス応用は、光・ミリ波リンクや光パケット通信などの次世代情報通信システムへのテラヘルツ帯利用を可能にする中核技術となる。我々は、高電子移動度トランジスタをベースとして、入れ子型2重回折格子型ゲートと縦型共振器構造を有する新規なプラズモン共鳴型フォトミキサーを考案した。提案する新構造の導入による放射利得と帯域の改善効果を有限差分時間領域法（FDTD法）による数値解析により確認した。更に、電界放射特性の構造・



材料依存性を明らかにし、デバイス設計への重要な指針を得た。(関連文献：[3], [7], [9])

### 3. プラズモン共鳴型テラヘルツ帯フォトミキサーの高機能化に関する研究

2次元プラズモンの非線形応答特性に着目し、上述したフォトミキサー素子のテラヘルツ帯高次モード電磁波放射特性について理論解析を行った。その結果、2次元プラズモン領域上に配置されている格子型ゲートのバイアス条件により、プラズモン共鳴フォトミキサーを周波数逡倍器として利用可能であることを見いだした。(関連文献：[1], [4]-[6], [8])

#### <職員名>

教授 尾辻 泰一 (2005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。

#### <2005年度の主な発表論文等>

- [1] V. Ryzhii, A. Satou, I. Khmyrova, M. Ryzhii, T. Otsuji, "Terahertz Photomixing in UTC-Photodiode with Electron Resonant Cavity," in the 9th International Symposium on Contemporary Photonics Technology (CPT2006) Technical Digest, Paper # P-11, Tokyo, 11-12 Jan. 2006.
- [2] M. Hanabe, N. Imamura, T. Uno, T. Ishibashi, Y.M. Meziani, T. Otsuji, "Effects of Parasitic Capacitance on the Terahertz Plasmon Resonance in GaAs MESFET's," in the International Workshop on Terahertz Technology Extended Abstracts, Paper # 17PS-19, Nakanoshima, Osaka, Japan, 16-18 Nov. 2005.
- [3] Y.M. Meziani, M. Hanabe, T. Nishimura, T. Otsuji, V. Ryzhii, "Numerical Study on the Radiation Properties of Plasmon-Resonant Photomixers," in the International Workshop on Terahertz Technology Extended Abstracts, Paper # 17PS-42, Nakanoshima, Osaka, Japan, 16-18 Nov. 2005.
- [4] V. Ryzhii, M. Ryzhii, I. Khmyrova, T. Otsuji, M. Shu, "Terahertz Photomixing in Heterostructure Device Based on Integration of High-electron Mobility Transistor and Quantum-well Infrared Photodetector," in 2005 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP 2005) Proceedings, Paper # F3-3, Seoul, Korea 12-14 Oct. 2005.
- [5] M. Hanabe, T. Nishimura, T. Otsuji, E. Sano, "Highly Frequency-Tunable Terahertz Plasmon-Resonant Photomixer with Super-Grating Gate Structure," in Abstracts of the Joint 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves & 13th International Conference on Terahertz Electronics, pp. 638-639, Williamsburg, Virginia, 19-23 Sept. 2005.
- [6] V. Ryzhii, M. Ryzhii, I. Khmyrova, T. Otsuji, M. Shur, "Resonant terahertz photomixing in integrated HEMT-QWIP device," in the 2005 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2005) Extended Abstracts, Paper # G-4-5, Kobe, Japan, 12-15 Sept. 2005.
- [7] M. Hanabe, T. Nishimura, M. Miyamoto, T. Otsuji, E. Sano, "Structure-Sensitive Design for Wider Tunable Operation of Terahertz Plasmon-Resonant Photomixer," in Tech. Dig. of the 6th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, pp. 52-53, Awaji Island, Hyogo, Japan, 22-25 Aug. 2005.
- [8] T. Nishimura, M. Hanabe, M. Miyamoto, T. Otsuji, E. Sano, "Terahertz Frequency Multiplier Operation of 2-D Plasmon-Resonant Photomixer," in Tech. Dig. of the 6th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, pp. 58-59, Awaji Island, Hyogo, Japan, 22-25 Aug. 2005.
- [9] T. Otsuji, M. Hanabe, T. Nishimura, N. Imamura, E. Sano, V. Ryzhii, "Widely-Tunable Terahertz Plasmon-Resonant Photomixer Based on Heterostructure Integrated Microelectronics," in Abstracts of the 35th Workshop on Physics and Technology of THz Photonics, ISSSP, p. 5, Erice, Italy, 20-26 July 2005.
- [10] M. Hanabe, T. Otsuji, T. Ishibashi, T. Uno, V. Ryzhii, "Modulation Effects of Photocarriers on the Terahertz Plasma-Wave Resonance in High-Electron-Mobility Transistors under Interband Photoexcitation," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 6A, pp. 3842-3847, June 2005.

## ブロードバンド通信基盤技術研究分野（客員部門）

### ミリ波～テラヘルツ波を用いた計測技術の研究開発



ミリ波は炎を透過することを示した実験。上段は、左から人物写真、赤外線像、ミリ波像を示す。下段は、人物と撮像装置との間に炎があった場合で、ミリ波では炎の向こうを観測できることを示す。

#### <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、ミリ波の特徴は一般的に次のような項目を挙げることができる；赤外線～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。

#### <2005年度の主な成果>

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. 昨年度設計法を確立した広帯域アンテナ（フェルミ・アンテナと呼ばれており、特許取得済み）を組み込んだイメージング素子を製作した（35 GHz 帯）。
2.  $1 \times 10$  のイメージング素子アレイ（35 GHz 帯）を組み立てた。
3. 組み立てたイメージングアレイを用いて、各種物体の計測を始めた。上に示した炎を透したイメージングはそのうちのの一つである。

4. 家庭用蛍光灯から 35 GHz 帯のミリ波が放射されていることを見出し、反射器を用いることによって 2000 K の輝度温度を得た。これを用いてインコヒーレントミリ波イメージングを行い、木材中の節あるいはシロアリ被害の検出が可能であることを示した。
5. 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、本学病院皮膚科にて実際に人の皮膚の観測を始めた。

### <職員>

客員 教授 水野皓司 (2004 年より)  
 非常勤研究員 我妻壽彦 (2005 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ーを兼務。この間、ミリ波、サブミリ波帯デバイス・計測装置の研究開発に従事。昭 59 第 17 回科学計測振興会賞受賞、平 5 IEEE フェロー、平 10 K. J. Button Medal 受賞、平 11 情報通信月間表彰 (東北電気通信管理局)、平 15 文部科学大臣賞 (研究功績者)、電子情報通信学会フェロー。平 16 2005 Distinguished Educator Award (IEEE Microwave Theory and Techniques Society)

### <2005 年度の主な研究発表>

- [1] N. Horiuchi, Y. Segawa, T. Nozokido, K. Mizuno and H. Miyazaki, "High-transmission waveguide with a small radius of curvature at a bend fabricated by use of a circular photonic crystal", *Optics Lett.*, vol. 30, no. 9, pp. 973–975, May 2005,
- [2] M. Sato, T. Hirose, H. Sato, K. Sawaya, and K. Mizuno, "A Novel Small Tapered Slot Antenna for Passive Imaging Sensors", *IEEE International Microwave Symposium, Long Beach*, June 2005.
- [3] K. Mizuno, H. Matono, Y. Wagatsuma, H. Warashina, H. Sato, S. Miyanaga, and Y. Yamanaka, "New Applications of Millimeter-Wave Incoherent Imaging (**Invited**)", *IEEE International Microwave Symposium, Long Beach*, June 2005.
- [4] H. Sato, K. Sawaya, Y. Wagatsuma, K. Mizuno, "Broadband FDTD Design of Fermi Antenna for Passive Millimeter Wave Imaging," *2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE '05), Beijing*, vol. 1, pp. 123-126, August, 2005.
- [5] H. Sato, Y. Takagi, Y. Wagatsuma, K. Mizuno, K. Sawaya, "Time Domain Characteristics of Broadband Antipodal Fermi Antenna and Its Application To Through-wall Imaging," *Proc. International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP'05), Seoul, Korea*, vol. 1, pp. 387-390, Aug. 2005.
- [6] 佐藤弘康, 澤谷邦男, 我妻壽彦, 水野皓司, "コルゲート構造付フェルミアンテナの広帯域 FDTD 解析," *電子情報通信学会論文誌 (B)*, Vol. J88-B, No. 9, pp. 1682-1692, 2005 年 9 月.

### 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。

2005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)磁氣的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を遂行した。

(成果)磁性薄膜の異方性の高度な制御ならびに新たな検出回路設計により室温で動作する世界最高感度の磁界センサを開発した。このセンサは、高感度非破壊検査、あるいは生体磁気計測への適用が期待されている。さらに、磁気マーカーを利用したリアルタイム位置検出システムを開発し顎運動計測システムならびに三次元位置情報入力のためのヒューマンインターフェース装置への適用を図った。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を行い、そのマイクロ化の検討、微小化学分析機器用マイクロポンプへの応用、ならびに生体内でワイヤレス動作可能な次世代医療機器への応用を図っており、その一部は臨床応用が始まっている。

#### (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次元音空間認識過程の解明を進め、その知見に基づいて高い臨場感を有する聴覚ディスプレイの開発を推進し、この技術を用いた視覚障害者向けの音空間認識能訓練システムの開発と評価を行った。また、ネットワーク上のデジタル音信号伝送の高セキュ

リテ化に資するため、著作権の保護と配信データの固体化を可能とするデジタル音信号用の高精度電子透かしの開発、及び、マルチホーミングと秘密共有分散の考え方に基づくデジタル音声秘話技術の開発を行った。高齢化社会における老人性難聴の増加を見越したデジタル補聴の研究については、新しいアルゴリズムの開発と、骨伝導デバイスを応用した新しい補聴器の開発を進めた。更に、聴覚と視覚、聴覚と自己運動感覚の相互作用に関する複合感覚情報処理について研究を行い、興味ある知見を得た。このうち、視聴覚相互作用が音声聴取に及ぼす効果・影響の研究は NHK 技研との共同研究である。

### (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) 視覚的注意に関して、その特性の測定方法としてサッカード眼球運動の潜時を利用する方法を確立した。注意を向けている位置に視線を移動する場合は、そうでない位置へサッカードする場合に比べて、数十ミリ秒程度潜時が短くなることは、すでに知られていたが、それが注意を向けることによる感度上昇に対応することを明らかにした。これは、サッカード潜時によって注意の強さが測定できることへの根拠を与える意味でも重要である。その他、動画像に対する注意位置の推定モデルの構築の試みと、動画像における注意の重要性を発見するなどの成果を上げた。視覚処理の階層性と並列性の研究においては、運動視の処理に速い運動に感度を持つものと遅い運動に感度を持つ 2 種類の異なる運動検出器が存在することを発見した。特に遅い運動に感度を持つ運動検出器の存在は、従来の運動視に対する考え方を変更する必要性を示唆する。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。

### (4) 通信環境工学研究分野

(目標) 様々な電子機器から発生する不要電磁波について、その測定法を開発し、これによって不要電磁波の特性を解明する。さらに、不要電磁波が各種通信システムに及ぼす影響を研究する。また、研究成果の国際規格化に努める。

(成果) (a) 不要電磁波計測用アンテナの校正法については、アンテナの垂直配置を用いる方法や、平均法や非線型最小二乗法を用いる方法を研究した。その成果は学術論文のみならず、国際無線障害特別委員会(IEC/CISPR)の国際規格草案に記載されている。また、(b) 妨害波低減用フェライトコアについては、電源線に装着したときの効果を模擬機器を使って研究した。その成果は CISPR 規格の技術報告書に記載される予定である。さらに、(c) 電子レンジやパソコンの妨害波について、その理論モデルを導出して、無線 LAN や Bluetooth システムなどの近距離無線通信システムへの影響について研究した。

## 生体電磁情報研究分野

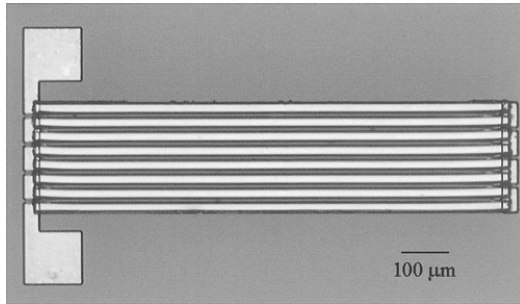
磁気物性制御技術の確立と  
高機能磁気デバイス・システムの開発

図1 高周波キャリア型薄膜磁界センサ

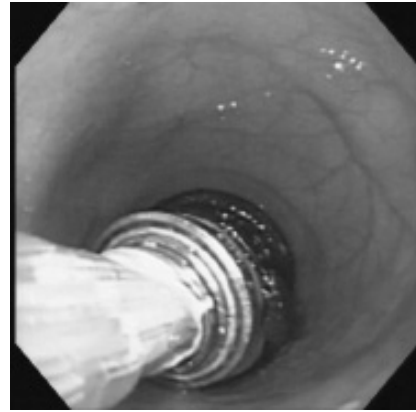


図2 イヌ大腸内で模擬内視鏡を誘導する磁気マイクロマシン

分野の目標 本分野では、磁氣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し、それにより示された最適構造のセンサが  $7.6 \times 10^{-9} (\text{Oe}/\text{Hz}^{1/2})$  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用いた大幅な感度特性の改善方法を提案している。

2. 磁気モーションキャプチャシステム:微小な磁界発生源(マーカー)の発する磁界を高感度三次元磁界センサにより計測し、マーカーの位置と向きを算出する位置検出システムの開発を行っている。LC 共振する微小コイルマーカーを利用して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、スパイラル形状を基本と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  $10^{-12} \text{m}^3/\text{s}$  の微小流量制御可能なポンプの開発を行った。

職員	教授	荒井賢一(1986年から)
	助教授	石山和志(2003年から)
	助手	藪上 信
	技術職員	師岡ケイ子, 我妻成人

#### 荒井賢一教授のプロフィール

1966年3月 東北大学工学部電子工学科卒業. 1971年3月 同学大学院工学研究科博士課程修了. 1971年4月 同学助手, 電気通信研究所. 1975年4月 同学助教授, 電気通信研究所. 1986年4月 同学教授, 電気通信研究所. 軟質磁性材料の研究およびマイクロ磁気デバイス, マイクロ磁気センサ, アクチュエータ等のスピニックスデバイスとその医療応用に関する研究に従事. 市村賞, 科学技術庁長官賞, 電気学会業績賞受賞. 日本学術会議第18期第五部会幹事.

#### 研究テーマ

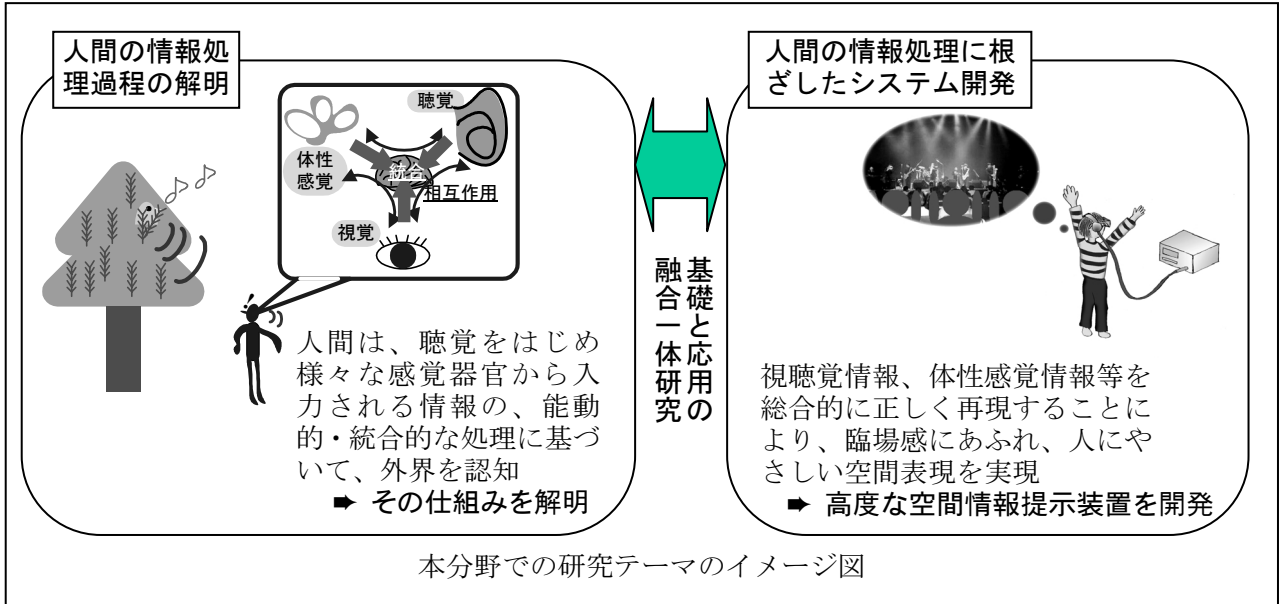
1. 高機能スピニックス材料の創製
2. 集積化マイクロ磁気デバイス・センサ
3. 生体内駆動用磁気マイクロロボット
4. 超高周波磁気計測・EMC計測
5. 磁気モーションキャプチャシステム

#### 過去1年間の主な発表論文

1. S. Yabukami, H. Mawatari, N. Horikoshi, Y. Murayama, T. Ozawa, K. Ishiyama, K. I. Arai, "A design of highly sensitive GMI sensor," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol.290-291, pp.1318-1321, (2005).
2. S. Hashi, Y. Tokunaga, S. Yabukami, T. Kouno, T. Ozawa, Y. Okazaki, K. Ishiyama, K. I. Arai, "Wireless motion capture system using magnetically coupled LC resonant marker," Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol.290-291, pp.1330-1333, (2005).
3. 久富伸一、山崎彩、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「スパイラル型磁気マイクロマシンを用いたマイクロポンプ」、日本応用磁気学会誌、vol.29, pp.161-164, (2005).
4. 千葉淳、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「ブタ腸内におけるカプセル内視鏡用磁気アクチュエータの駆動」、日本応用磁気学会誌、vol.29, pp.343-346, (2005).
5. 堀越直、藪上信、村山芳隆、小澤哲也、石山和志、荒井賢一、「振幅変調による高周波キャリア型薄膜磁界センサの設計」、日本応用磁気学会誌、vol.29, pp.472-476, (2005).
6. 相馬宗尚、仙道雅彦、石山和志、庄子康一、渡邊博志、荒井賢一、「肝臓中を移動する磁気マイクロマシンの進行方向制御」、日本応用磁気学会誌、vol.29, pp.594-597, (2005).
7. 小澤哲也、横田周子、堀越直、藪上信、石山和志、荒井賢一、「高周波キャリアを用いた位相検出型薄膜磁界センサの開発」、日本応用磁気学会誌、vol.29, pp.663-666, (2005).
8. 小澤哲也、馬渡宏、藪上信、石山和志、荒井賢一、「高周波キャリア型薄膜磁界センサの位相差検出による交流磁界測定装置の開発」、日本応用磁気学会誌、vol.29, pp.831-837, (2005).
9. Kenji Kikuchi, Aya Yamazaki, Masahiko Sendoh, Kazushi Ishiyama, Ken Ichi Arai, "Fabrication of a Spiral Type Magnetic Micromachine for Trailing a Wire," IEEE Trans. Magnetics, vol.41, No.10, pp.4012-4014, (2005).
10. Aya Yamazaki, Masahiko Sendoh, Kazushi Ishiyama, Ken Ichi Arai, "Wireless Magnetic Micromachine of Planar Structure With Magnetic Thin Film," IEEE Trans. Magnetics, vol.41, No.10, pp.4021-4023, (2005).

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



<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。人間の知覚情報処理系の中で、聴覚モードは最重要な情報処理過程のひとつである。本分野の研究目標は、このような視点で聴覚系の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、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、さらには快適な音環境を実現することである。

<2005 年度の主な成果>

1. 3次元音空間認識と制御手法の研究

音空間認識過程の解明に関する研究では、聴取者の頭部運動の役割について調査している。人間は頭部を動かすことによって、聴取音の特性を能動的に時間変化させ、これにより、より多くの音空間情報を得ている。この機構解明に用いるために、3次元音空間の制御に関する検討に重点をおき、高精度聴覚ディスプレイの開発を進めた。また、聴覚ディスプレイで生成すべき音空間を実空間から効果的に採取する手法についても検討を行い、マイクロホンアレー信号処理による音源位置および放射特性の推定手法の提案を行った。

2. 聴覚ディスプレイの福祉応用システム開発

高精度な聴覚ディスプレイは、視覚障害者用知覚訓練装置などの福祉応用も可能である。この場合、実時間動作や個々人の特性差に対する短時間で精度の高いキャリブレーションも重要な要素となる。そこで、勝ち抜き戦方式に基づく効率的な頭部伝達関数の選択法の開発を行った。また、システム遅延の許容限の測定を実施し、今後のシステム開発に有用な知見を得た。



### 3. ネットワーク秘匿通信技術の開発

近年普及が著しい VoIP においては、従来の公衆回線網による電話通信と異なり、会話データがオープンなネットワークを経由して交換されるため、その安全性の確保が急務となっている。そこで、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するとともに、音声符号化と組み合わせることにより、秘密共有分散を行った際のデータ量増加を抑えた場合の性能を評価した。

### 4. 音声知覚過程の解明とデジタル補聴器の研究

高性能で快適な補聴システムの開発は、高齢化社会におけるバリアフリー通信の観点から重要な課題である。そこで、本学の耳鼻咽喉科および東京大学や宮城工業高等専門学校の共同研究者とともに基礎研究から応用開発まで広い範囲にわたって共同研究を展開している。本年度は、視覚および聴覚情報の話速変換時における音声知覚の解明へ向けた研究を実施し、数多くの示唆に富んだ実験データを得た。また、音声聴取能力測定に適した音表は、補聴器の適合評価にも有用と考えられることから、単語認知要因を考慮した単語了解度試験リストの構築を行った。

#### <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 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、デジタル補聴器、音信号のデ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。

#### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] 村瀬敦信、坂本修一、中島史絵、鈴木陽一、川瀬哲明、小林俊光、“両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響”、Audiology Japan、48 巻、pp. 59-64、2005.
- [2] B.-S. Ko, R. Nishimura and Y. Suzuki, “Time-Spread Echo Method for Digital Audio Watermarking,” IEEE on MultiMedia, Vol. 7, No. 2, pp. 212-221, 2005.
- [3] K. Sonoda, R. Nishimura and Y. Suzuki, “Reduction of Distributed Data Size in Audio Content Fingerprinting (CoFIP),” Acoust. Sci. & Tech., Vol. 26, No. 4, pp. 362-364, 2005.
- [4] H. Takahashi, R. Nishimura and Y. Suzuki, “Time-Spread Echo Digital Audio Watermarking Tolerant of Pitch Shifting,” Acoust. Sci. & Tech., Vol. 26, No. 6, pp. 530-532, 2005.
- [5] K. Watanabe, S. Takane and Y. Suzuki, “A Novel Interpolation Method of HRTFs Based on the Common-Acoustical-Pole and Zero Model,” ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA., Vol. 91, pp. 958-966, 2005.
- [6] 渡邊貫治、岩谷幸雄、行場次郎、鈴木陽一、“仮想音環境のための頭部伝達関数コーパス”、情報技術レターズ、4 巻、pp.237-240、2005。(船井ベストペーパー賞)

## 高次視覚情報システム研究分野

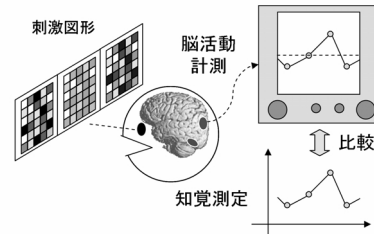
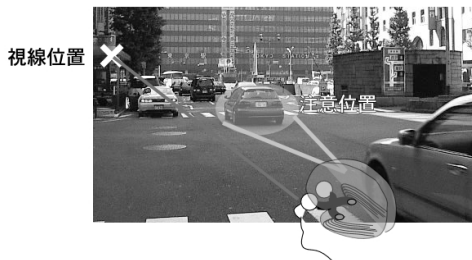
視覚機能の理解とそれに基づく的確な  
映像表現と視環境の評価

図 1. 注意位置と視線位置の測定. 図 2. 脳活動と知覚の対比による研究.

## 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の実験を中心に脳機能測定やコンピュータビジョン的アプローチを利用して、視覚による空間知覚、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。

## 2. 過去1年間の主な成果

## 2. 1 視覚的注意の解明とモデル化に関する研究

今年度は3つの点で大きな進展があった。まず、視覚的注意の測定方法として、サッカーボール眼球運動の潜時を利用する方法を確立した。この手法は、注意を向けている位置に視線を移動する場合は、そうでない位置へサッカーボールする場合に比べて、数十ミリ秒程度潜時が短くなることは、すでに知られていたが、それが注意を向けることによる感度上昇に対応することを明らかにした。つまり、注意の強さに応じて潜時が変化する。さらにサッカーボール眼球運動に先行して、注意の移動があることを実験的に明らかにした。これは、サッカーボール潜時によって注意の強さが測定できることへの根拠を与える意味でも重要である。今後この注意測定法を利用することで、様々な場面で注意の強さを測定することができる。

二つ目は、動画像に対する注意のモデル化の試みである。誘目性の最も強い位置に注意が向く、という仮定のもとで注意位置を決定するモデルを構築し、被験者の視線位置とモデルの予測位置の比較によりモデルの妥当性を評価した。その結果、このアプローチの有効性が確認され、またモデルの問題点も明らかになった。

最後に運動対象を注意で追跡する場合の注意による視覚処理の促進効果を明らかにした。日常生活において特に注意を向けるのは動く対象であり、対象が静止している場合も自身が動いていることがほとんどである。本研究では、静止刺激と運動刺激を用いて、それぞれの上で

明滅するテスト刺激の検出感度を測定した。その結果、運動刺激に対してのみ注意による感度上昇が確認された。これは、運動対象における時間変化の検出を必要とするような視覚課題に注意が非常に重要であることを意味する。

## 2. 2 視覚処理の階層性と並列性の研究

この分野では、運動視の処理に2種類の異なる運動検出器が存在することを発見した。二つの格子縞を重ねた刺激に対する順応による、それぞれに対する運動残効から、視覚系には遅い運動に選択的な感度を持つ運動検出器が存在することを明らかにした。この遅い運動の検出器は、従来の速い運動に感度を持つ運動検出器と、大脳の担当する領野、処理機構、機能において異なる可能性がある。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。

### 1. 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)

### 2. 塩入 諭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。

### 3. 主な研究発表

1. T. Yoshida and S. Shioiri, "Object substitution masking during attentive tracking," *Journal of Vision* 5(8), 33 (2005).
2. H. Yaguchi, N. Watanabe, and S. Shioiri, "Effects of S-cone excitation on color discrimination threshold," in *AIC 2004 Color and Paints, Interim Meeting of the International Color Association* (2005), pp. 69-72.
3. H. Yaguchi, Y. Ushio, D. Thainh, J. C. Shin, and S. Shioiri, "Imaging system for mesopic vision," presented at the Proceedings of the 10th Congress of International Colour Association, Part1, 2005.
4. Y. Watanabe, T. Kezuka, K. Harasawa, M. Usui, S. Shioiri, and H. YAGUCHI, "Motion-in-depth perception of strabismus patients," *INVESTIGATIVE OPHTHALMOLOGY & VISUAL SCIENCE* 46 S, 5634 (2005).
5. I. Kuriki, K. Sadamoto, and T. Takeda, "MEG recording from the human ventro-occipital cortex in response to isoluminant color stimulation," *Vis Neurosci* 22(3), 283-293 (2005).
6. K. Matsumiya, "Influence of Exclusive Binocular Rivalry on Perceived Depth in the 'Sieve Effect'," *Optical Review* 13(1), 39-45 (2006).

## 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

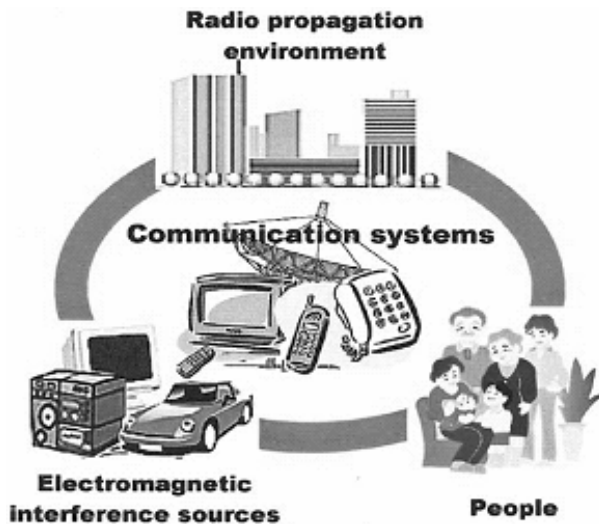


図1 通信環境の様々な要素

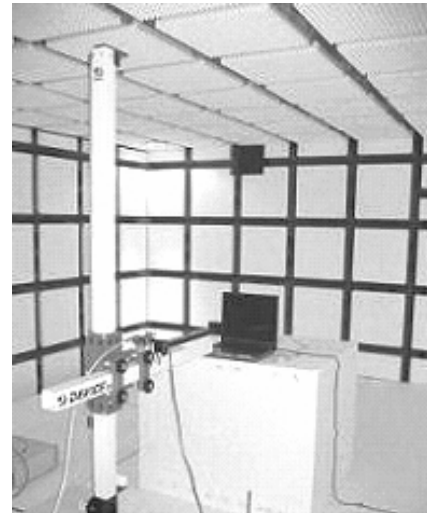


図2 無反射室内での実験

## ＜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。

## ＜2005年度の主な成果＞

## 1. 電磁妨害波計測に用いるアンテナの校正法

近年、国際無線障害特別委員会(IEC/CISPR)で、電磁妨害波の測定に使用するアンテナの校正法について国際規格作りが進行しており、このプロジェクトリーダーを当分野が担っている。このため、この数年間、アンテナの自由空間アンテナ係数を決定する校正法として、垂直偏波アンテナ配置を用いる方法や、平均法や非線型最小二乗法を用いる方法を研究している。なお、この成果は学術論文のみならず、国際規格の草案に掲載されて各国に意見照会が行われている。

## 2. フェライトコアによる電源線伝導妨害波の低減

電子機器の電源線には、これを伝搬する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。しかし、このコアの妨害波抑圧特性の評価法や、有効なコアの使用法が未だ確立していない。このため、模擬電子機器を使って、電源線に装着されたコアの妨害波抑圧特性の研究を行い、この抑圧効果の実用的な推定法を導出した。なお、フェライトコアの特性に関して昨年開発した評価法は、学術論文のみならず、国際規格の技術報告書に記載される予定である。

### 3. 電子レンジの妨害波による近距離無線通信システムへの妨害

著しく普及している電子レンジは、無線 LAN や Bluetooth システムと同じ周波数を利用するため、これによる通信障害が懸念されている。このため、電子レンジ妨害波の理論モデルを用いて、様々な近距離通信システムへの干渉問題を研究した。

### 4. パソコンの妨害波特性と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スペクトル拡散クロック信号について、その妨害波の理論モデルを導出して、周波数変調に用いる最適な変調信号の研究を行った。さらに、クロック妨害波によって生じる近距離無線通信システムへの妨害についても研究した。

## <職員名>

教授：杉浦 行（1999年～）

助教授：松本 泰（2000年～2005年10月）

助手：藤井勝巳（2001年～2006年3月）

## <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。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

## <2005年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Matsumoto, M. Nakatsuka, T. Murakami, K. Fujii, and A. Sugiura, "Reduction of Microwave Oven Interference in DS-SS WLAN Systems by Using Adaptive Filters," IEICE Trans. on Commun., vol. E88-B, pp. 3221-3228, 2005.
- [2] K. Fujii, A. Sugiura, "Average of the Height-Dependent Antenna Factor (invited)," IEICE Trans. on Commun., vol. E88-B, pp. 3108-3114, 2005.
- [3] Y. Matsumoto, K. Fujii, and A. Sugiura, "An Analytical Method for Determining the Optimal Modulating Waveform for Dithered Clock Generation," IEEE Trans. on EMC., vol. 47, no. 3, pp. 577-584, 2005.
- [4] K. Fujii, S. Harada, A. Sugiura, Y. Matsumoto, and Y. Yamanaka, "An Estimation Method for the Free-Space Antenna Factor of VHF EMI Antennas," IEEE Trans. on EMC., vol. 47, no. 3, pp. 627-634, 2005.
- [5] 村上, 松本, 藤井, 杉浦, "電子レンジ雑音環境下における Bluetooth システムの伝送特性の検討," 電子情報通信学会論文誌 vol. J88-B, pp. 1139-1149, 2005.
- [6] J. Urabe, K. Fujii, Armad Mukifza Bin Harun, Y. Matsumoto, and A. Sugiura, "A Study of EMI Suppression Characteristics of Ferrite Cores," EMC-Zurich in SINGAPORE 2006, Feb.27-Mar.3, Singapore.
- [7] T. Murakami, Y. Matsumoto, K. Fujii, and A. Sugiura, "Interference in the Bluetooth Wireless Systems caused by Electromagnetic Disturbances from Spread Spectrum Clock Systems," EMC Europe Workshop 2005 EMC of Wireless Systems, Rome, Sep. 19-21, P3.15, pp. 399-402, 2005.
- [8] Y. Matsumoto, K. Fujii, and A. Sugiura, "Effects of Spread Spectrum Clocking on Measured Noise Spectra (invited)," EMC Europe Workshop 2005 EMC of wireless Systems, Rome, Sep. 19-21, O1.4, pp. 9-12, 2005.
- [9] K. Fujii, Y. Nakajima, A. Sugiura, Y. Matsumoto, and Y. Yamanaka, "A Novel Standard Loop Antenna for Antenna Calibration in the MF and HF bands," 2005 IEEE International Symposium on EMC, Chicago, Aug. 8-12, TU-PM-OF-1, 2005.
- [10] T. Shimizu, Y. Matsumoto, K. Fujii, and A. Sugiura, "Performance Evaluation of IEEE802.11a WLAN Interfered by Spread Spectrum Noises from a PC Clock System," 2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 3AD-8, pp. 1529-1532, Beijing, Aug. 8-12, 2005.
- [11] S. Tsushima, K. Fujii, Y. Matsumoto, A. Sugiura, and Y. Yamanaka, "Calibration of VHF EMI Antennas Using Vertical Polarization," 2005 International Symposium on Antennas and Propagation, FE2-2, pp. 1233-1236, Seoul, Aug. 3-5, 2005.

### 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、やわらかいネットワーク技術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分野、さらに本年度から高信頼・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を加えた5分野・1寄附研究分野から構成されている。平成17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、多相型レコード演算等の最先端機能を世界で初めて装備しC言語との相互運用性などの実用上重要な特徴を備えた次世代高信頼プログラミング言語 **SML #** のバイトコードコンパイラの開発に成功し、世界に向けたアルファリリースを行った。基礎理論の研究では、証明論を基礎とし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を構築し、また、Cut除去定理と機械語コードの操作的意味との関連を明らかにし機械語コードの論理的解釈の枠組みを完成させた。

#### (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 を実装し、その有効性を実験をとおして明らかにした。さらに、リダクションの戦略に関する新しい理論的基礎を与え、関数型プログラムの評価メカニズムの設計原理を拡張した。また、従来知られていた帰納的定理自動証明手法の拡張、自動証明システムにおける補題自動発見手法の改良、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計算の停止性証明法の提案等を行った。

#### (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、2005年6月に、インターネット国際標準規格(RFC)として内定し、テレビ、新聞、Web等で報道されるなど、社会的にも大きなインパクトを与えた。また、やわらかいネットワークの具体的な実現として、マルチメディア型井戸端 LAN システム、やわ

らかい3次元仮想空間システム、遠隔見守り支援システム等を開発し、共生システムの核となるやわらかいネットワークの有効性の検証を行い、従来にない先進的なやわらかさを実現していることが確認された。

#### (4) 情報コンテンツ研究分野

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映像コンテンツの制作・流通・管理手法の確立を目的として、映像コンテンツにおける特徴的なパラメータ抽出手法として、ショットに含まれるカメラワークパラメータ、特に撮影者が強調したい演出対象を狙うズームパラメータの推定と、ズーム時における背景の除去方法の検討を行った。また多様な映像コンテンツ制作を支える基盤技術として超高速カメラの映像コンテンツを超高転送レートで蓄積することができるシリンドラストレージシステムの研究を、所内他部門・分野と共に進め、シリンドラ状媒体における超高転送レート・高密度記録の可能性の検証を行った。

#### (5) 情報社会構造研究分野

人間社会における創造活動を支援する有力な手段として「超高速コンピューティングによる数値シミュレーション技術」に注目し、この技術が広く社会に普及・活用されるための基盤技術の研究を行っている。特に、応用分野の広い流体挙動シミュレーションを、超高速にしかも小型・低消費電力・低コストで実行できるシステムの実現可能性を検討し、現状のハードウェア技術をベースにした場合には、ベクトル処理を混成したDRP(動的再構成可能プロセッサ)システムが方向性としては有利であろうとの分析を行った。

#### (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。記録密度増大に伴い、従来の面内磁気記録方式では限界に達し、垂直磁気記録方式のHDDが製品化されるに至った。本研究部門では、さらに高密度なテラビット級を実現するための、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。まず、計算機シミュレーションより、高密度化を実現するためのヘッド構造および媒体特性の把握をすすめた。また、高安定・低ノイズ性にて期待されるパターン媒体に関しては、再生信号処理検討より、従来の媒体よりも、低エラーレートが実現できることを明らかにした。高速シリンドラ・ストレージの研究に関しては、特別に試作したヘッド、媒体系を用いて記録再生を行ない、ヘッドの浮上量30nm、線記録密度の指標であるD50値として310kFCIの特性を確認した。

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

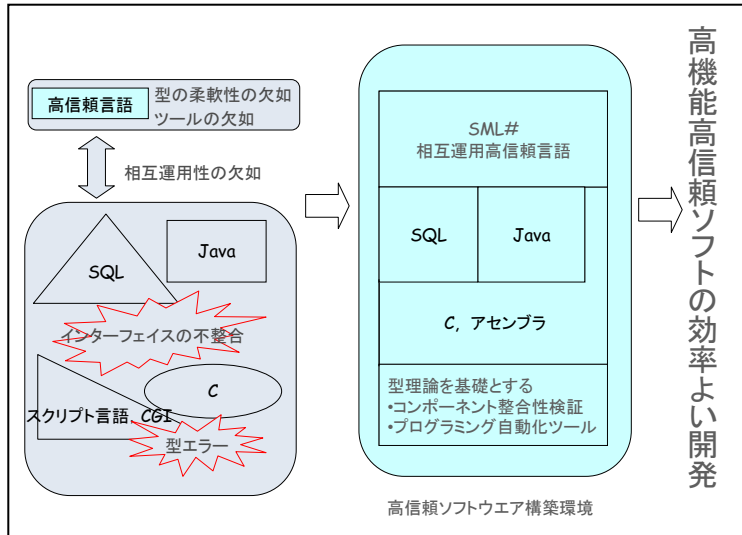


図 1。次世代高信頼プログラミング言語 SML # とそサポート環境の概要

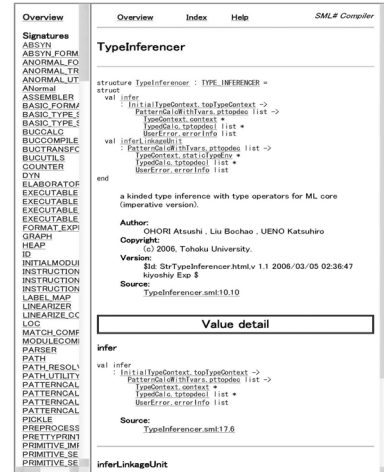


図 2。当研究室で開発したツールで表示した SML # の内部構造

<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ェア構築原理の確立を目指し、コンパイルの論理的基礎の確立、低レベルコードの検証理論の構築、高信頼コンポーネントフレームワークのための型理論の構築などの基礎研究を進めている。

<2005 年度の主な成果>

1. SML# バイトコードコンパイラの開発とそのアルファ版のリリース

SML# は以下の特徴をもつ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 などの既存言語とのシームレスな相互運用性
- (ウ) データベースとの高い相互運用性
- (エ) Standard ML と上位互換性を持つ

本年度は SML# のバイトコードコンパイラの開発に成功し、世界の研究者向けにアルファリリースを行った。<http://www.pllab.riec.tohoku.ac.jp/smlsharp/> よりダウンロード



ード可能である。

## 2. 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。

## 3. 機械語コードの証明論的基礎の確立

論理学の証明論に基づき機械語コードの意味や性質を記述するシステムを構築することを目指し継続して来た基礎研究で最後まで残っていた課題である証明の Cut 除去定理と機械語の操作的意味との関連の確立に成功し、機械語コードの論理的解釈の枠組みを完成させた。本研究により、

(ア) ラムダ計算同様、機械語コードも証明システムと同型である。

(イ) コンパイルやその逆変換は、証明系間の証明変換として系統的に定式化できる。

(ウ) コードの実行は、証明の Cut 除去過程として厳密に表現できる。

等の性質が示された。これら成果は、従来ソースレベルに限定されていたプログラミング言語の型理論を、機械語コード生成を含むプログラミング言語のコンパイルの過程に対する証明論的枠組みへと一般化することを可能にするものである。

### <職員名>

教授 大堀 淳 (2005年より)

助手 篠埜 功 (2005年より)

非常勤研究員：チョイ・クワンフン

秘書 大友 詳子

### <教授のプロフィール>

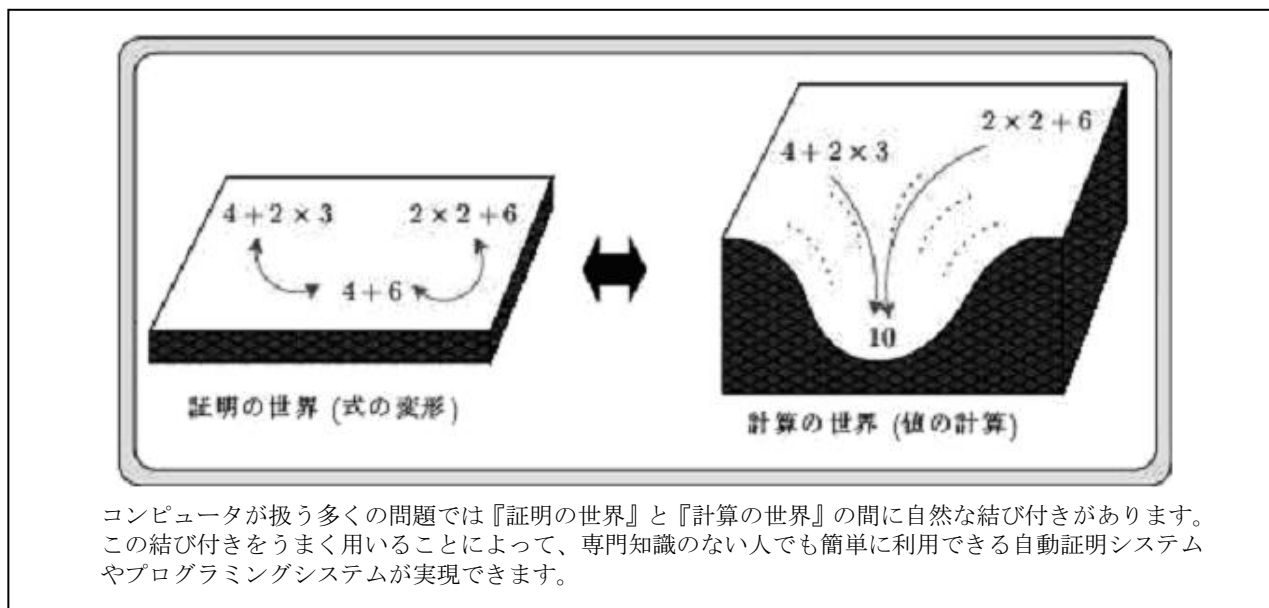
1957年生。1981年東京大学文学部哲学科卒業。同年沖電気工業(株)入社。1989年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了。Ph.D. その後、英国王立協会特別研究員(グラスゴー大学)、沖電気工業(株)関西総合研究所特別研究室長、京都大学数理解析研究所助教授、北陸先端科学技術大学院大学教授を経て、2005年4月より東北大学電気通信研究所教授。プログラミング言語の基礎研究に従事。1996年第10回日本IBM科学賞受賞。

### <2005年度の主な発表論文等>

- [1] Isao Sasano, Mizuhito Ogawa, Zhenjiang Hu. Maximum Marking Problems with Accumulative Weight Functions. International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3722, pp. 562-578, 2005.
- [2] 大堀 淳. SML#を中核とする機能指向開発環境: ``Functional Development`` Manifesto (招待講演), 第12回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ論文集, レクチャーノート・ソフトウェア学, 近代科学社, 201-204, 2005.

## 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



## &lt;分野の目標&gt;

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 | (3) 関数・論理融合型言語 |
| (2) プログラム検証・変換・合成 | (4) 定理自動証明システム |

## &lt;2005年度的主要成果&gt;

## 1. プログラムの融合変換

関数型プログラムを書き換えシステムとしてモデル化し、帰納的定理の自動証明手法である書き換え帰納法によってプログラムの融合変換が実現できることを明らかにした。また、変換に必要な補題を自動的に導入・証明するメカニズムを組み込んだ変換システムを提案し、プログラム融合変換システムのプロトタイプの実装を進めた。

## 2. 変換パターンに基づくプログラム変換

変換パターンに基づく項書き換えシステムの等価変換法を提案し、プログラム変換の正当性が自動的に保障される変換パターンの構成方法を提案した。さらに、変換パターンに基づくプログラム変換システムの実装および実験を進めた。

## 3. 高階帰納的定理の自動証明手法

単純型付き項書き換えシステムの枠組みに基づき、高階システムの帰納的定理の形式化を与えるとともに、潜在帰納法による帰納的定理の自動証明手法を提案した。さらに、自動証明に不可欠な高階十分完全性が決定可能となるクラスを示した。帰納的定理の自動証明手法を応用したプログラム変換システムのプロトタイプの実装を行った。

## 4. 高階帰納的定理の自動証明手法

第一階システムの停止性の自動証明技法として知られる依存対手法を単純型付き高階システムへ拡張した。第一階システムで補助的な役割を果たしていた部分項基準に頭部変数の具体化を組み込むことにより効果的な停止性自動証明手法となりうることを明らかにした。

### <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。

### <2005年度の主な発表論文等>

- [1] Yoshihito Toyama, Reduction strategies for left-linear term rewriting systems, In Processes, Terms and Cycles: Steps on the Road to Infinity, Essays Dedicated to Jan Willem Klop, on the Occasion of His 60th Birthday, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3838, pp.198-223, 2005.
- [2] Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Program Transformation by Templates based on Term Rewriting, In Proceedings of the 7th ACM-SIGPLAN International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2005), ACM Press, pp.59-69, 2005.

## 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

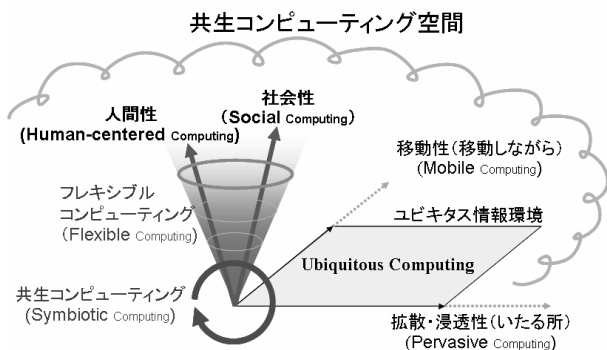


図1 共生コンピューティングの概念

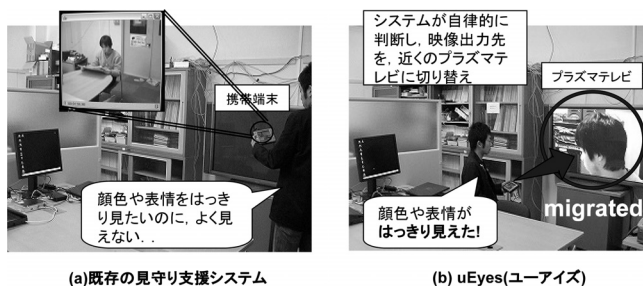


図2 見る側・見られる側双方にやさしい見守り支援システム uEyes

### <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
- (2) フレキシブル・コンピューティングの基盤と応用
- (3) やわらかい情報ネットワーク
- (4) ネットワーク管理、計測と性能評価

### <2005年度の主な成果>

#### 1. やわらかいネットワークの研究

ネットワーク環境における様々な変動（利用者のQoS、トラフィック、バンド幅など）へ柔軟に対処するための知的なネットワークアーキテクチャの構成を目的としている。今年度は、共生の核となるやわらかいネットワークの評価用アプリケーションとして、マルチメディア型井戸端LANシステム、知識流通に基づくユビキタスマルチメディア通信サービス、やわらかい3次元仮想空間システム QuViE/P、高齢者の遠隔見守り支援システム uEyes 等を開発し、実験を通じてその有効性の検証を行った。その結果これら

のシステムは、我々が提案した新しいリポジトリ型知的エージェントアーキテクチャの効果により、従来にない先進的なやわらかさを実現していることが確認された。また、平成18年3月に、情報処理学会全国大会の「Symbiotic Computing シンポジウム」において、招待論文として基調講演を行い、学术界、産業界から大きな注目を集めた。

## 2. 超高速ネットワークの研究

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的としている。今年度は、ネットワークトラフィックとアプリケーションログの計測・解析に基づくネットワークイベント検出モデルの構成、およびイベント検出・分析のための支援ツール群の開発を行った。これにより Winny 等による異常トラフィックの検出・分析を効果的に支援することが可能となった。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。

## 3. 次世代ユビキタスネットワークの研究 —国際標準化に成功—

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、2005年6月に、インターネット国際標準規格(RFC)として内定した。さらに、上記 MIB に基づいたモバイル IPv6 ネットワーク上での管理情報収集モデルの提案と実験を実施し、本 MIB の有用性を世界で初めて確認した。本研究の成果は、テレビ、新聞、Web 等で報道されるなど、社会的にも大きなインパクトを与えた。

### <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

### <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, 人とコンピュータが共生するための情報通信システム, コミュニケーションなどに関する研究に従事。

### <2005年度主な発表論文等>

- [1] G. Chakraborty, D. Chakraborty and N. Shiratori, "A heuristic algorithm for optimum transmission schedule in broadcast packet radio networks," Computer Communications, Vol.28, No.1, pp.74-85, 2005
- [2] Z. U. M. Abusina, S. M. S. Zahir, A. Ashir, D. Chakraborty, T. Suganuma and Norio. Shiratori, "An engineering approach to dynamic prediction of network performance from application logs", International Journal of Network Management, Vol.15, No.3, pp.151-162, 2005
- [3] K. Naik, D. S. L. Wei, Y. T. Su and N. Shiratori, "Analysis of Packet Interference and Aggregated Throughput in a Cluster of Bluetooth Piconets Under Different Traffic Conditions, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vo.23, No.6, pp.1205-1218, 2005
- [4] K. Koide, G. Kitagata, H. Kamiyama, D. Chakraborty, G. Mansfield Keeni and N. Shiratori, "MobiSNMP-A Model For Remote Information Collection from Moving Entities Using SNMP over MobileipV6", IEICE Trans. Commun., Vol.E88-B, No.12, pp.4481-4489, 2005
- [5] H. Takahashi, T. Suganuma and N. Shiratori, "AMUSE: An Agent-based Middleware for Context-aware Ubiquitous Services", Proc. of the International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS2005), pp.743-749, 2005

## 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



## デジタル動画コンテンツのユビキタス環境

## ＜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、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・付与する研究、大量に蓄積されたデジタル動画コンテンツを効率よく検索し視聴するための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シリンダストレージシステムの研究に取り組んでいる。

## ＜2005年度の主な成果＞

## 1. ズームショットにおけるオブジェクト抽出の研究

映像コンテンツにおける特徴的なパラメータとして、ショットに含まれるカメラワークパラメータ、特に撮影者が強調したい演出対象を狙うズームショットに着目し、そのズームパラメータの推定と、ズーム時における背景の除去方法を検討した。本手法によりズー

ムパラメータの推定精度の向上と、ズームパラメータ補償後の、空間的・時間的な連続性を考慮した動領域判定の誤り低減が見込まれた。

## 2. ストリーミングにおける QoS 技術の基礎検討

現在インターネット上で配信されている動画コンテンツのストリーミングはバッファ遅延時間を許容する擬似ストリーミングであり、数秒から数分程度の遅延や再生時の中断が生じるため、高品質動画コンテンツのストリーミング配信や遠隔会議などのリアルタイム用途に不向きである。ここではまず、アプリケーションレベルの QoS 制御技術の調査と、リアルタイムストリーミングへの技術要件の抽出に取り組んだ。

## 3. 高速転送シリンダ状ストレージシステムの研究

超高速・高精細カメラ出力など超高速転送レートデータを蓄積するストレージシステムの一提案として、シリンダ状媒体とマルチヘッドで構成するストレージシステムの基盤技術の研究を 21 世紀情報通信研究開発センター研究開発部ストレージ分野・次世代情報ストレージ寄附研究部門と共に進めている。本年度はシリンダ状媒体に向け設計・試作したヘッドの記録再生特性と浮上特性を明らかにし、シリンダ状媒体においてもディスク媒体と同様、ヘッドの浮上特性を制御でき、高密度記録に寄与できることを示した。

### <職員名>

教授 沼澤 潤二 (2004 年より)

助手 山田 洋 (2005 年より)

### <教授のプロフィール>

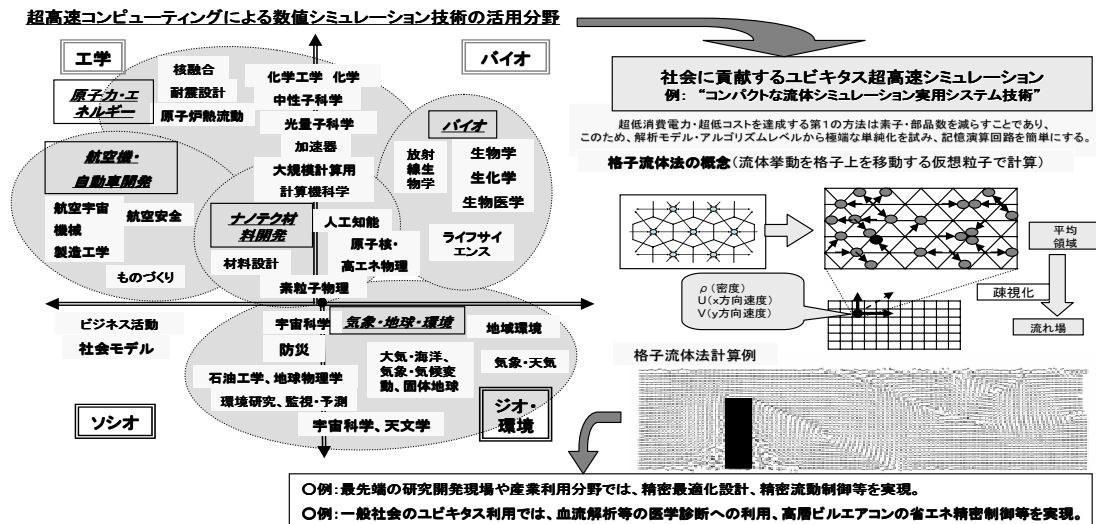
1971年3月 北海道大学大学院修士課程修了。同年4月 日本放送協会入局。1996年6月 日本放送協会放送技術研究所部長。1999年6月 日本放送協会技術局部長。2002年6月 日本放送協会放送技術研究所研究主幹。2004年4月 東北大学教授(電気通信研究所、情報科学研究科)、現在に至る。テレビジョン学会鈴木記念賞受賞(昭和55年度)。IUMRS-ICAM-93 Distinguished invited paper 受賞(平成5年)。映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞受賞(平成7年度)。東京都技術功労者表彰受賞(平成15年度)。映像情報メディア学会評議委員(平成17・18年度)。映像情報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

### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] 沼澤潤二 “総論～映像情報ストレージ技術の現状と将来展望～”, 映像情報メディア学会誌, Vol.60, No.1, pp.2-5, 2006.
- [2] Weixing Xia, Junji Numazawa, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka and Yoshihisa Nakamura, “Analysis of Recorded Track Width Using 3D FEM in Perpendicular Magnetic Recording”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 59, No. 4, pp. 604-609, 2005.
- [3] H. Yamada, T. Shimatsu, I. Watanabe, R. Tsuchiyama, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, "Read/write performance of perpendicular double-layered cylindrical media," J. Magn. Magn. Mat., 287, pp.486-490, 2005.
- [4] 山田洋, 土山龍司, 島津武仁, 渡辺功, 青井基, 村岡裕明, 中村慶久, “傾斜パッド型ヘッドを用いた CoPtCr-SiO<sub>2</sub> 垂直二層膜シリンダ状媒体の検討”, 日本応用磁気学会誌, Vol.29, No.5, pp.549-552, 2005.

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社会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。

本分野が設置されたのが 2004 年度からであることもあり、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ることとした。

## <2005 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。特に、原子力のような巨大技術においては、予算や環境等の制約により実験が困難な場面も多く、計算機による数値シミュレーションは従来から重要な研究手段となっている。また、このような超高速シミュレーションが研究開発の現場のみならず、“知的情報通信サービス”と呼べる形で広く産業界や一般社会生活に貢献できるようにするためには、超高速情報通信ネットワー



クの整備とともに、“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し、“社会情報システム”に自然に組み込まれるようにもっていく必要がある。この観点から、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係わり合いが深い“流体シミュレーション”のユビキタス利用に道を開くための基盤技術研究として、超大規模格子流体法ハードウェアアルゴリズムの研究を実施した。第一段階として、流路形状を任意に設定できる流体挙動解析を非常に単純なアルゴリズムによりベクトル処理 99.7%で実行した。

なお、平成 17 年 4 月 14 日、電気通信研究所、流体科学研究所及び日本原子力研究所(現在の独立行政法人日本原子力研究開発機構)との間で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を締結した。これは、超高速コンピューティングに対して最大のニーズをもつ“原子力研究分野”、数値シミュレーションで人類社会に最大の貢献が可能な“流体科学分野”、超小型超低消費電力生体機能化などの最大の実用性を生み出す“知的 IT 分野”の連携を効果的に実現するための枠組みであり、これを核にしてさらに広範囲の実用応用分野に関する研究機関との連携体制を構築する準備を行った。

### <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 (2004 年 7 月まで電気通信研究所、8 月以降、流体科学研究所)

### <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。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。日本知能情報ファジィ学会、日本技術士会等に所属。

### <2005 年度の主な発表等>

- [1]松岡, 菊池, “超高速専用プロセッサによるシミュレーションを目指したセルオートマトン計算モデル”, 日本応用数理学会 2005 年度年会論文予稿集 pp. 276-277, 2005. 9. 23~25.
- [2]松岡, “超高速コンピュータが切り開く原子力研究開発と未来社会”, 電子情報通信学会第二種研究会マイクロ波シミュレータ時限研究専門委員会第 11 回マイクロ波シミュレータワークショップ pp. 10-34, 2005. 12, 12.

## 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

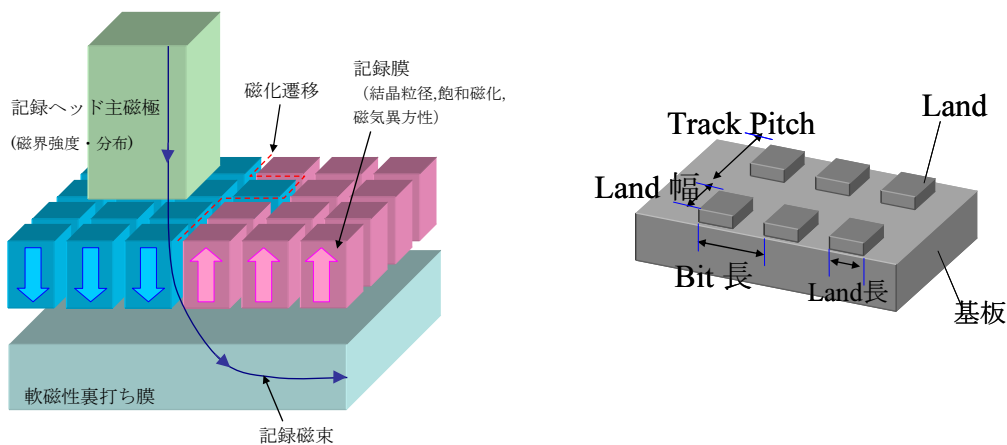


図1 記録ヘッド・2層垂直媒体のマイクロマグネティクス・モデル, および, 図2 パターン媒体の概念図

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、高記録密度に適した高い磁界出力を得るための記録ヘッド構造の検討を行い、コイル位置などにつき有効な設計指針を得た。

## 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た。

## 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。

シリンダ状基体を用いた垂直二層膜媒体を試作し、シリンダ状媒体用に開発したヘッドおよび測定装置を用いた記録再生実験を行った。現在、ヘッドの浮上量（機械的）として30nm、線記録密度の指標である $D_{50}$ 値として、310 kFCIの特性を得ており、さらに改善中である。また、高速システムの開発なども視野に入れて検討を続けている。

### 【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。

### 【主な研究発表】

1. H.Yamada, T. Shimatsu, I.Watanabe, R.Tsuchiyama, H. Aoi, H. Muraoka, Y.nakamura: "Read/write performance of perpendicular double-layered cylindrical media", J. Magn. and Magn. Mater., IEEE Trans. Magn., 287, No.4, pp.486-490, 2005.
2. Y. Suzuki, Y. Nishida, H. Aoi: "Spacing loss factor for the read back from a perpendicular medium with a soft underlayer", J. Magn. and Magn. Mater., 287, No.4, pp.138-143, 2005.
3. Y. Suzuki, H. Saito, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura: "Reproduced waveform and bit error rate analysis of a patterned perpendicular medium R/W channel", J. Appl. Phys., 97, 2005.

### 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。

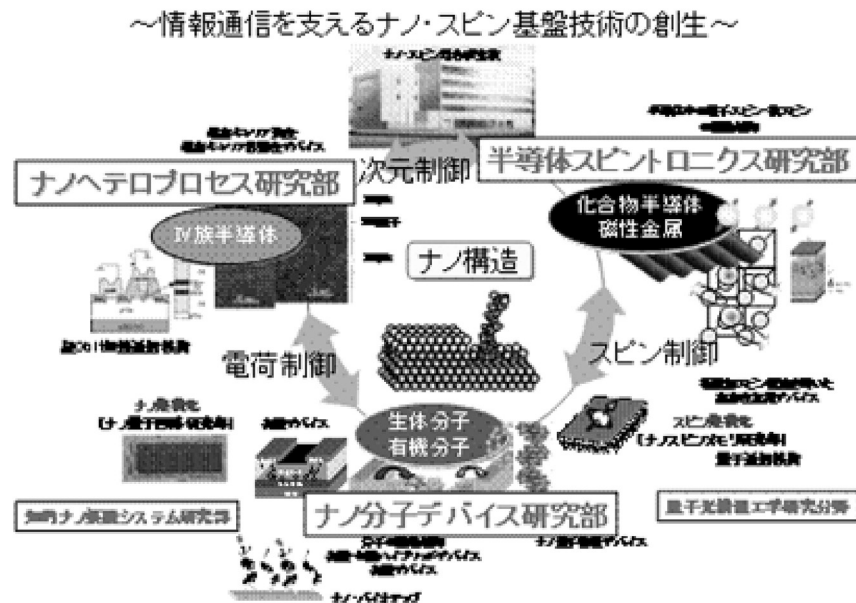
現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」の4研究部、すなわちナノヘテロプロセス研究部、半導体スピントロニクス研究部、ナノ分子デバイス研究部、ナノスピンメモリ研究部と施設共通部、及び知的ナノ集積システム研究部、量子光情報工学研究分野が入居し連携して研究を進めている。

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、スピンドバイス技術、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 16~17 年度の研究成果のハイライトを記す。

室田・櫻庭研究室 (ナノヘテロプロセス研究部) 化学気相成長における表面吸着・反応制御により、SiGe 系 IV 族半導体表面上に形成した N 原子層表面における低温 Si エピタキシャル成長を実現し、原子層ドーパナノヘテロ構造の形成を可能にした。また、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  表面上に形成した P 原子層表面における  $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガスを用いた低温 Si エピタキシャル成長により、P 原子の表面偏析現象を効果的に抑制し、Si/ $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ヘテロ界面近傍に  $10^{21} \text{ cm}^{-3}$  を超える超高濃度 P ドーピングを可能にした。また、低エネルギー Ar プラズマ照射下での  $\text{GeH}_4$  や  $\text{SiH}_4$  の表面反応制御により、基板加熱なしでの高平坦ナノメータオーダー歪 Ge 薄膜並びに歪 Si 薄膜のエピタキシャル成長を実現した。以上のように、新規物性発現に必要となる IV 族半導体原子層制御ヘテロ積層構造の実現に関して重要な成果を得た。

大野・大野研究室 (半導体スピントロニクス研究部) 電子の電荷とスピンを使う半導体スピントロニクス基盤技術の確立とその展開を目指して研究を進め、以下の成果を得た。(1) 強磁性半導体(Ga,Mn)As におけるパルス電流による磁壁移動速度を測定し、磁壁移動機構がスピン流と局在スピンの相互作用によることを示した。また、磁壁により生じる電気抵抗変化を検出し、内因的抵抗成分はスピン流の非断熱的輸送に起因することを明らかにした。(2) 時間分解カー回転測定法により、半導体量子井戸構造における局所的な核スピニコヒーレンスの光検出を実証した。(3) InAs 量子カスケードレーザの室温パルス発振を実現し、高性能中赤外領域半導体レーザへの端緒を得た。(4) MgO 障壁トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子で、世界最高の TMR 比 (室温 361%) と世界最小電流密度 ( $10^5 \text{ A/cm}^2$  台) での電氣的磁化反転を実現した。

庭野・石井研究室 (ナノ分子デバイス研究部) ①表面積の大きなポーラス Si を用いることにより顕微赤外分光法による DNA の検出が可能であることを示した。また、ポーラス Si フィルムを同一基板上に並べることにより、DNA マイクロアレイとして用いることもできることを示した。②赤外分光法でポーラスアルミナ自己組織化膜の形成過程を実時間観察し、Al/Si 界面を制御することにより、ナノスケールのポーラスアルミナ規則構造を溶液プロセスのみにて Si 表面へ転写することに成功し、溶液プロセスを用いた単電子ナノデバイス構築の可能性を示した。③金属 Ti の陽極酸化により直径 70 nm、長さ 10  $\mu\text{m}$  に及ぶ  $\text{TiO}_2$  ナノチューブを数分という短時間で作製することに成功した。また、この  $\text{TiO}_2$  ナノチューブを用いて色素増感太陽電池を作製し、その動作を確認した。④変位電流測定法を用いて有機 FET の光誘起ドーピング機構を解明し、それを制御することで定量的にドーピングレベルを制御できることを実証した。

中島・佐藤研究室（知的ナノ集積システム研究部） 官能外観検査用 PCI カード型ニューロボードの共同開発を行った。逆関数遅延ニューロモデルの最適値問題完全正解パラメータを明らかにするとともに、従来不可能であった連続時間において時系列情報の記憶に成功した。さらに、バースト機能を持つ進化型モデルの提案により最適値問題において更なる高性能化を確認した。量子計算状態の制御に向けて、高温超伝導体固有ジョセフソン接合において外部照射電磁波による共鳴現象を観測した。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を使った学習則を導出し、量子ビットの学習可能性を示した。磁束量子による確率的動作ニューロシステムの構成に必要な乱数生成回路、比較器、アップダウンカウンタの演算ブロックを 8-bit 精度で設計、全システムはジョセフソン接合 3400 個で構成され、その基本動作を数値解析により確認した。

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。世界初となるこれらの成果を Nature 誌に発表した後、さらに高い量子もつれをもつ光子対の生成にも成功している。(2) 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発 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。

水野研究室（ブロードバンド通信基盤技術研究分野） 当分野は、電磁波スペクトルのうちミリ波・テラヘルツ波領域の計測への応用、特にイメージング技術の開発を目的とするもので、当該年度にイメージング用広帯域アンテナを開発し、それを用いてフォーカル・プレーン・イメージング装置（ミリ波カメラ）、近距離イメージング（フレネル・イメージングと名付けた）装置、およびその応用に関して研究を行った。その成果は、国際会議の招待講演 2 件、論文発表（国際会議発表を含む）11 件などにて発表した。なお、特許出願 2 件を行っている。

坪内・中瀬研究室（先端ワイヤレス通信技術研究分野） 2.4GHz 帯および 5GHz 帯広帯域無線通信移動端末用 RF フィルタの実現を目指し、SAW(surface acoustic wave) BAW (bulk acoustic wave) デバイスの研究開発を行った。SAW デバイスでは、MO-CVD (metalorganic chemical vapor deposition) 法で AlN 成膜を行い、原子層レベルで平坦化した AlN/サファイヤ構造を用いた SAW フィルタの試作・評価により、SAW 伝搬特性の改善が可能であることを示した。BAW デバイスでは、MO-CVD 法で成膜した AlN 膜を用いて、FBAR(film bulk acoustic resonator)の試作・評価を行った。

伊藤・四方研究室（応用量子光学研究分野） 新たに開拓した擬似位相整合 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 波発生デバイスを実現した。そこでは、まず擬似位相整合を用いた表面放射型 THz 波発生という新しい原理を考案し、これに基づく周期分極反転 LiNbO<sub>3</sub>(PPLN) 結晶デバイスを独自に設計・製作して、その動作を実証した。次に、光通信波長帯光半導体レーザおよび光増幅器を用いて高ピーク出力の波長可変 2 波長光パルス発生を実現した。この 2 波長を PPLN-THz 波発生デバイス中で差周波混合することにより、1-3THz 領域で周波数可変な、高繰り返し(繰り返し>1MHz)の THz 波パルス発生に成功し、さらに 2 波長光源デバイスを CW 動作させることにより、狭線幅(~1MHz)の周波数可変 CW-THz 波発生にも成功した。

舩岡研究室 (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、SGT 試作のための Si 柱側壁の犠牲酸化条件を示した。さらに、Buried Gate 型 SGT の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<sup>2</sup>)以上の超高密度記録の要素技術開発等为目标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、今まで、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が明らかになりつつある。平成 17 年度は、ナノ・スピン棟における超高分解能 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なマスク作製の基礎実験を開始した。

大見研究室 (未来科学技術共同研究センター) 高密度・低電子温度のRLSA (Radial Line Slot Antenna) プラズマを用いたプロセス技術を開発し、シリコン基板を直接ラジカルにより直接窒化したゲート絶縁膜の研究を行った。従来はシリコン窒化膜をゲート絶縁膜に使うと界面準位が激増して移動度が低下してしまいトランジスタが動作しない事が多かったが、低ダメージのラジカル窒化技術を用いることにより、1 nm以下で、酸化膜に比べてリーク電流を1/1000に減少した窒化膜を実現した。また、フラッシュメモリ用トンネル酸化膜形成の研究開発を行った。フラッシュメモリのトンネル酸化膜 (10nm) は、信頼性の問題から薄膜化が難しく、低消費電力化の妨げとなっている。本研究室では、RLSAプラズマを用いることにより、現状のトンネル酸化膜 (10nm) と同等の信頼性を持ちながら、厚さ8nm以下に薄膜化したトンネル絶縁膜を形成することに成功した。

荒井・石山研究室 (生体電磁情報研究分野) 微細加工した磁性薄膜の高周波インピーダンスが外部磁界に対して敏感に変化することを利用した高周波キャリア型超高感度薄膜磁

界センサの検討を行っている。これまでの検討により、室温で動作するセンサとして世界最高の磁界検出感度が得られている。このセンサの一層の高感度化、さらにはこのセンサを利用した脳磁界・筋磁界計測などの生体電磁情報計測や、三次元マウス・顎運動計測などのワイヤレス位置情報検出技術の検討、非破壊検査装置への適用など種々の応用技術に関する検討を遂行中である。

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、最小素子径 30nm を有する強磁性トンネル接合素子 (MTJ) の形成が可能であることを世界で初めて明らかにした。一方、HDD (Hard disk drive) の更なる高記録密度化のため、次世代再生ヘッドとして期待されている CPP 型 GMR 素子の更なる微細化技術は必要不可欠となっている。そこで、磁気特性にダメージを及ぼさず且つ歩留まりの良い CPP 型 GMR 素子の作製を目的として、先に報告した MTJ の加工と同様のプロセスの適応性について検討を行った結果、MTJ と同様に最小径 30nm を有する CPP 型 GMR 素子の作製に世界で初めて成功した。

島山・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 (SWNT) 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、単層 SWNT 固有のシグナルを確認し、世界で初めてプラズマ CVD による SWNT 形成に成功している。さらに、SWNT を構成するグラファイトの結晶性をラマンスペクトルから算出し、プラズマパラメータとの相関を調べた結果、電子温度・電子（イオン）密度に対する最適値の存在が明らかになった。また、アルカリ金属、磁性微粒子、生体高分子等を用いた SWNT の機能化に関する研究において、ラマンスペクトルによる解析を行った。その結果、異種物質の内包を示すスペクトル変化が観測され、プラズマ中イオン照射法による機能性物質内包 SWNT の形成に初めて成功している。これら機能性物質内包 SWNT 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が明らかになっている。

尾辻研究室（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。

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） ハーフメタル強磁性体材料  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  ホイスラー合金に着目し、高品質エピタキシャル薄膜作製技術を駆使して高性能



な強磁性トンネル素子を得ることを目的として実験を行った。ナノ・スピン実験施設のマグネトロンスパッタ装置を用いて、MgO (001) 基板の上に  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  を下部電極とするトンネル素子を成膜した。絶縁層の酸化時間、磁場中熱処理条件を最適化し、トンネル磁気抵抗 (TMR) 特性の改善を行なった結果、2 K において 159% という大きな TMR 比を得た。TMR 比は Al-O 絶縁層を用いたトンネル素子で世界最大の値である。また、CoFe のスピン分極率を 50% と仮定して  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  のスピン分極率を見積もると 89% となった。この結果は、 $\text{Co}_2\text{MnSi}$  がハーフメタル材料であることを示した世界で初めての結果である。

川崎研究室（金属材料研究所超構造薄膜化学研究部門） 従来透明電極として用いられてきた透明酸化物薄膜は、最近になって薄膜成長技術が大きく進歩したことにより、高純度バルク結晶と遜色ない特性の実現が可能になってきた。本研究では、透明酸化物半導体のワイドギャップという固有の物性を活かし、その光電子機能をアクティブな薄膜デバイスとして応用する試みを行っている。最近これまで困難とされてきた p 型酸化亜鉛の合成に成功し、酸化亜鉛青色発光ダイオードを初めて実現した。また、酸化亜鉛をチャンネルとした透明電界効果トランジスタにおいて、室温の電界効果移動度が  $250 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  に達する素子の開発に成功した。これらを好例として、そのほかにも薄膜の高品質化によって幅広いデバイス新機能が期待されるため、今後も透明酸化物エレクトロニクスにおける薄膜技術の一層の進歩およびデバイスの実証に励んでいく必要がある。

ナノヘテロプロセス研究部

半導体立体ナノ構造の実現と応用のための基盤技術の研究

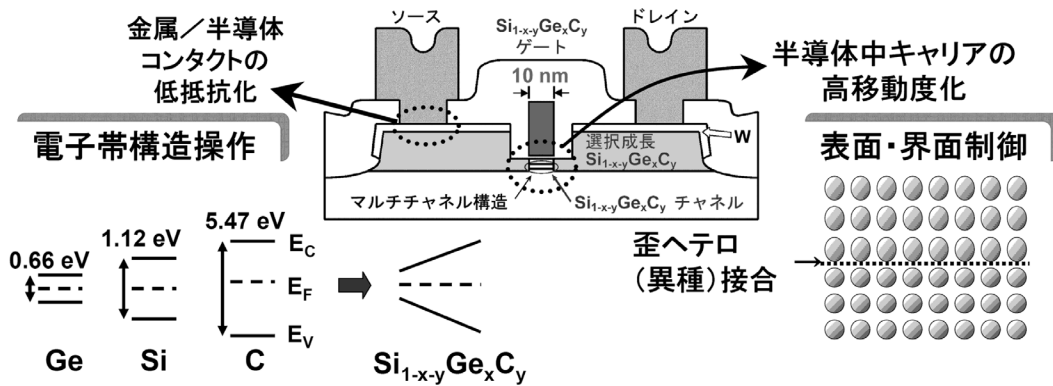


図1. ナノヘテロ人工IV族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用.

<分野の目標>

薄膜形成やエッチングを原子オーダー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）

<2005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

ナノオーダー歪Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/p型Si(100)上のP原子層表面上へのSiエピタキシャル成長について研究を進めた結果、SiH<sub>4</sub>ガスの代わりに反応性の高いSi<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガスを用いることにより効果的にP原子の表面偏析現象が抑制されることを見だし、Si/ナノオーダー歪Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>ヘテロ界面近傍への10<sup>21</sup>cm<sup>-3</sup>をはるかに超える超高濃度Pドーピングの実現に成功した。また、Si(100)基板上への歪Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>薄膜のエピタキシャル成長におけるC原子導入効果について研究を進めた結果、歪Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>エピタキシャル薄膜中の歪量を大幅に緩和させることが可能となり、歪緩和が生じる臨界膜厚を増大させることができることを明らかにした。そして、Si-Si, Si-Ge, Ge-Ge結合の歪状態はC原子導入にほとんど影響されないことを見だし、C原子近傍の近距離においてのみ結合歪緩和が生じているものと結論付けた。さらに、ECR Arプラズマ照射下でのGeH<sub>4</sub>表面反応により基板非加熱下のSi(100)基板上にエピタキシャル成長させた高度歪Ge薄膜の熱的安定性について研究を進めた結果、400℃以下の熱処理において表面ラフネスは増加しないが、350℃以上の熱処理により大きく歪が緩和す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ー厚さの異種薄膜および超高濃度不純物ドーブ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

SOI 基板上への Si p-i-n 発光素子, Si/Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si p-i-n 受光素子及び Si 窒化膜光導波路の集積化について研究を進めた結果, その発光素子駆動時の受光素子の光応答特性は Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> 膜厚や Ge 比率の増加とともに大きく向上することを明らかにした. そして, その特性向上において, バンドギャップ減少効果のみならず, 光電変換効率の向上も大きく寄与しているものとして結論付けた. 現在, さらに, 立体加工したナノヘテロ人工 IV 族半導体の物性とそのデバイス応用についても研究を進めている.

### <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)

### <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) 山崎貞一賞受賞.

### <研究テーマ>

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

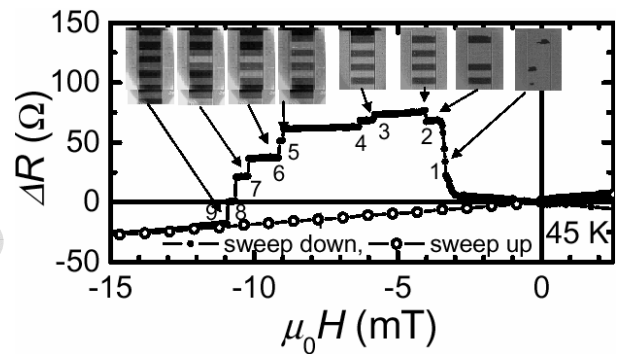
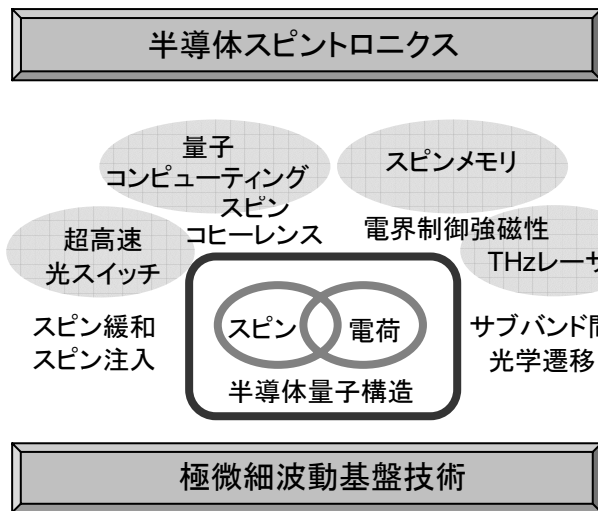
### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, "Atomically Controlled CVD Technology for Future Si-Based Devices" (**Invited Paper**), Proc. Int. Symp. ULSI Process Integration IV, Spring Meeting of The Electrochem. Soc., Quebec City, Canada, May 15-20, 2005, pp.53-66.
- [2] T. Yamazaki, S. Ohmi, S. Morita, H. Ohri, J. Murota, M. Sakuraba, H. Ohmi and T. Sakai, "Separation by Bonding Si Islands for Advanced CMOS LSIs Application", IEICE Trans. Electron, Vol.E88-C, No.4, pp.656-661, (2005).
- [3] H. Shim, M. Sakuraba and J. Murota, "Effect of grain boundary on electrical characteristics in B- and P-doped polycrystalline Si<sub>1-x</sub>yGe<sub>x</sub>C<sub>y</sub> film deposited by ultraclean LPCVD", Thin Solid Films, Vol.508, No.1-2, pp.36-39, (2006).
- [4] H. Nitta, J. Tanabe, M. Sakuraba and J. Murota, "Carbon effect on strain compensation in Si<sub>1-x</sub>yGe<sub>x</sub>C<sub>y</sub> films epitaxially grown on Si(100)", *ibid*, Vol.508, No.1-2, pp.140-142, (2006).
- [5] K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, "Thermal effect on strain relaxation in Ge films epitaxially grown on Si(100) using ECR plasma CVD", *ibid*, Vol.508, No.1-2, pp.143-146, (2006).
- [6] J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, "Strain relaxation by stripe patterning in Si/Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si(100) heterostructures", *ibid*, Vol.508, No.1-2, pp.239-242, (2006).
- [7] B. Tillack, Y. Yamamoto, D. Bolze, B. Heinemann, H. Rücker, D. Knoll, J. Murota and W. Mehr, "Atomic layer processing for doping of SiGe", *ibid*, Vol.508, No.1-2, pp.279-283, (2006).
- [8] H.-S. Cho, M. Sakuraba and J. Murota, "Surface reaction and B atom segregation in ECR chlorine plasma etching of B-doped Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> epitaxial films", *ibid*, Vol.508, No.1-2, pp.301-304, (2006).
- [9] T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, "Characterization of hot-carrier degraded SiGe/Si-hetero-PMOSFETs", *ibid*, Vol.508, No.1-2, pp.326-328, (2006).
- [10] A. Yamada, M. Sakuraba and J. Murota, "Photo detection characteristics of Si/Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si p-i-n diodes integrated with optical waveguides", *ibid*, Vol.508, No.1-2, pp.399-401, (2006).

他 学術雑誌 9 件, 国際会議発表論文 16 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 の磁壁による抵抗を測定した結果の例。磁壁の数に応じて素子の抵抗が変化する。挿入写真は素子のカー効果偏光顕微鏡像。

<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、金属磁性体スピンメモリ素子の研究を精力的に行っている。

GaAs/AlAs、InAs/GaSb、GaN、ZnO などの非磁性半導体と、強磁性半導体(Ga,Mn)As、(In,Mn)As、及び閃亜鉛鋳型室温強磁性体 CrSb を取り上げ、分子線エピタキシ法で高品質な量子構造を成長している。これまでに、強磁性半導体/非磁性半導体量子構造の作製とそのスピン物性の解明を行うと共に、二次元電子間の量子輸送現象における新しいスピン現象を明らかにしてきた。また、InAs 量子井戸中のサブバンド間の光学遷移によるレーザ発振を世界で初めて電流注入により実現した。更に、金属磁性体磁気抵抗素子において世界最高の出力を得ることに成功している。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・システムの実現に力を注いでいる。

<2005 年度の主な成果>

- ・電流誘起磁壁移動の機構の解明: (Ga,Mn)As におけるパルス電流による磁壁移動の速度の測定を行い、移動機構がスピン流と局在スピンの相互作用によることを示した(文献 2)。
- ・磁壁抵抗の検出と機構の解明: (Ga,Mn)As 中の磁壁の存在により生じる電気抵抗変化を検出し、内因的抵抗成分はスピン流の非断熱的輸送に起因することを明らかにした(文献 1)。
- ・核スピンコヒーレンスの光検出: 時間分解カー回転測定法により、GaAs/(Al,Ga)As 半導体量子井戸構造における局所的な核スピンコヒーレンスの光検出を実証した(文献 3)。

- ・ InAs 量子カスケードレーザ: InAs 量子カスケードレーザの室温パルス発振を実現し、高性能中赤外領域半導体レーザへの端緒を得た。
- ・ 高出力 TMR 素子: スパッタ法により  $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$  強磁性電極と MgO 障壁を形成し、熱処理で(001)面に高配向させたトンネル磁気抵抗(TMR)素子において、室温で 361%(5 K で 578%)の世界最高の TMR 比を実現した(文献 4, 10)。
- ・ スピン注入磁化反転:  $\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20}$  層と MgO 層から成る高出力 TMR 素子で、 $10^5 \text{ A/cm}^2$  台のスピンの注入で磁化反転が可能であることを実証した(文献 8)。

### <職員名>

教授 大野 英男 (1994 年より)

助教授 大野裕三 (2001 年より)

助手 松倉 文礼、大谷 啓太、池田 正二(ナノスピンメモリ研究部)

非常勤研究員 許 懐哲、李 永珉

### <教授のプロフィール>

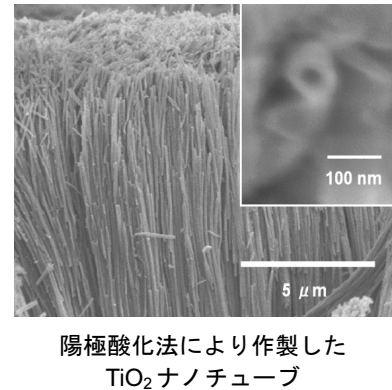
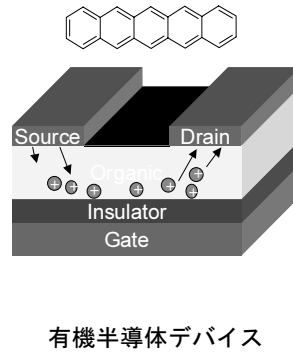
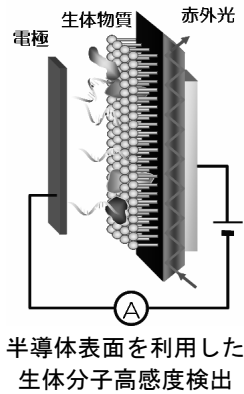
1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T. J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。第12回日本IBM科学賞、2003年度The IUPAP Magnetism Prize、平成17年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize 受賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、APS、IEEE、AVS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

### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] D. Chiba, M. Yamanouchi, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Domain-Wall Resistance in Ferromagnetic (Ga,Mn)As," *Physical Review Letters*, Vol. 96, No. 9, 096602, Mar. 2006.
- [2] M. Yamanouchi, D. Chiba, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Velocity of Domain-Wall Motion Induced by Electrical Current in the Ferromagnetic Semiconductor (Ga,Mn)As," *Physical Review Letters*, Vol. 96, No. 9, 096601, Mar. 2006.
- [3] H. Sanada, Y. Kondo, S. Matsuzaka, K. Morita, C. Y. Hu, Y. Ohno, and H. Ohno, "Optical Pump-probe Measurements of Local Nuclear Spin Coherence," *Physical Review Letters*, Vol. 96, No. 6, 067602, Feb. 2006.
- [4] S. Ikeda, J. Hayakawa, Y. M. Lee, R. Sasaki, T. Meguro, F. Matsukura, and H. Ohno, "Dependence of Tunnel Magnetoresistance in MgO Based Magnetic Tunnel Junctions on Ar Pressure During MgO Sputtering," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 44, No. 48, pp. L1442-L1444, Nov. 2005.
- [5] K. Ohtani, K. Fujita, and H. Ohno, "Mid-infrared InAs/AlGaSb superlattice quantum-cascade lasers," *Applied Physics Letters*, Vol. 87, 211113, Nov. 2005.
- [6] K. Morita, H. Sanada, S. Matsuzaka, C. Y. Hu, Y. Ohno, and H. Ohno, "Strong anisotropic spin dynamics in narrow n-InGaAs/AlGaAs (110) quantum wells," *Applied Physics Letters*, Vol. 87, 171905, Oct. 2005.
- [7] C. Y. Hu, K. Morita, H. Sanada, S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Spin precession of holes in wurtzite GaN studied using time-resolved Kerr rotation technique," *Physical Review B*, Vol. 72, No. 12, 121203, Sep. 2005.
- [8] J. Hayakawa, S. Ikeda, Y. M. Lee, R. Sasaki, T. Meguro, F. Matsukura, H. Takahashi, and H. Ohno, "Current-driven magnetization switching in CoFeB/MgO/CoFeB magnetic tunnel junctions," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 44, No. 41, pp. L1267-L1269, Sep. 2005.
- [9] K. Ohtani, K. Fujita, and H. Ohno, "InAs Quantum Cascade Lasers Based on Coupled Quantum Well Structures," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 44, No. 4B, pp. 2572-2574, Apr. 2005.
- [10] J. Hayakawa, S. Ikeda, F. Matsukura, H. Takahashi, and H. Ohno, "Dependence of Giant Tunnel Magnetoresistance of Sputtered CoFeB/MgO/CoFeB Magnetic Tunnel Junctions on MgO Barrier Thickness and Annealing Temperature," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 44, No. 19A, pp. L587-L589, Apr. 2005.

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



<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。

<2005 年度の主な成果>

1. 有機半導体における光誘起ドーピング機構の解明

照射光のエネルギーによる光有機ドーピングの影響を調べた。その結果、電荷移動 (CT) エキシトン状態を形成するような大きなエネルギーの光を照射することで、光誘起ドーピング効果が促進されることを見出した。これは、有機分子とドーパントに対してどのような光を照射すべきかの指針を与えるもので、共蒸着を用いた分子ドーピングのような系においても活用可能なものである。

2. 電界を用いたポーラス Si 中への DNA 分子の高速導入法の確立

これまで、ポーラス Si マイクロアレイを用いた顕微赤外吸収分光法による DNA ハイブリダイゼーション検出手法を提案してきた。本手法を実用化するためには、DNA のポーラス Si 層への導入を高速化する必要がある。その高速化のために電界を用いた DNA の高速導入法を提案し、ポーラス Si マイクロアレイに正電圧を印加することにより DNA の導入が促進されることを確認した。

### 3. 陽極酸化 TiO<sub>2</sub> ナノチューブの作製と応用

過塩素酸、エタノール混合液中においてチタンの陽極酸化により 70 nm 程度の直径を持つ酸化チタンナノチューブを高速に形成できることを見出した。これを熱処理することによりアナターゼに結晶化させることができる。この結晶化させた TiO<sub>2</sub> ナノチューブを用いて色素増感太陽電池の試作も行い、その動作を確認した。

#### <職員名>

教授 庭野 道夫 (1998 年より)

助教授 石井 久夫 (2002 年より)

助手 木村 康男 (1999 年より)

#### <教授のプロフィール>

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

#### <2005 年度の主な発表論文等>

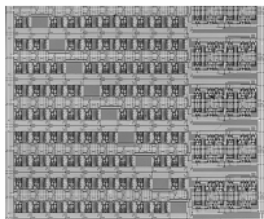
- [1] Miyamoto K, Ishibashi K, Hiroi K, Kimura Y, Ishii H, Niwano M, "Label-free detection and classification of DNA by surface vibration spectroscopy in conjugation with electrophoresis", APPLIED PHYSICS LETTERS **86** (5) (2005) 053902.
- [2] Hosoi Y, Okamura K, Kimura Y, Ishii H, Niwano M, "Infrared spectroscopy of pentacene thin film on SiO<sub>2</sub> surface", Applied Surface Science **244** (1-4) (2005) 607-610.
- [3] Satoshi Ogawa, Tatsuo Naijo, Yasuo Kimura, Hisao Ishii, and Michio Niwano, "Photoinduced doping effect of pentacene field effect transistor in oxygen atmosphere studied by displacement current measurement", Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 252104.
- [4] 山口遼太郎、石橋健一、白木宏一、宮本浩一郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫, 「顕微赤外分光法によるポーラスシリコン表面上における DNA 分子の検出」表面科学 **26**(9) (2005) 537-541.
- [5] Satoshi Ogawa, Tatsuo Naijo, Yasuo Kimura, Hisao Ishii, and Michio Niwano, "Displacement current measurement as a tool to characterize organic field effect transistors", Synthetic Metals **153** (1-3): Part 2 (2005) 253-256.
- [6] 宮本浩一郎、石橋健一、山口遼太郎、木村康男、石井久夫、庭野道夫, 「多重内部反射型赤外吸収分光法による DNA ハイブリダイゼーションの液中その場観察」, 表面科学 **26**(9) (2005) 553-558.
- [7] H. Ishii, S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, and M. Niwano, "Ambient Gas Effect to Pentacene FET Studied by Displacement Current Measurement: Photo-induced Doping Effect", The proceeding of International Symposium on Super-Functionality Organic Devices, (IPAP Conference Series 6) (2005) 31-34.
- [8] S. Ogawa, T. Naijo, Y. Kimura, H. Ishii and M. Niwano, "Photo-induced doping of organic field effect transistors studied by displacement current measurement and infrared absorption spectroscopy in the multiple internal reflection geometry", Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) 530-533.
- [9] Naofumi Abiko, Keiji Sugi, Tamotsu Suenaga, Yasuo Kimura, Hisao Ishii, and Michio Niwano, "Carrier injection characteristics of metal/Alq<sub>3</sub> interface with a long chain alkane insertion layer", Jpn. J. Appl. Phys. **45**, (2006) 442-446.
- [10] 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.

### 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、電腦世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術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の現3研究部構成に加えて、サイバーロボット研究部、先端ヒューマンインタフェー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。

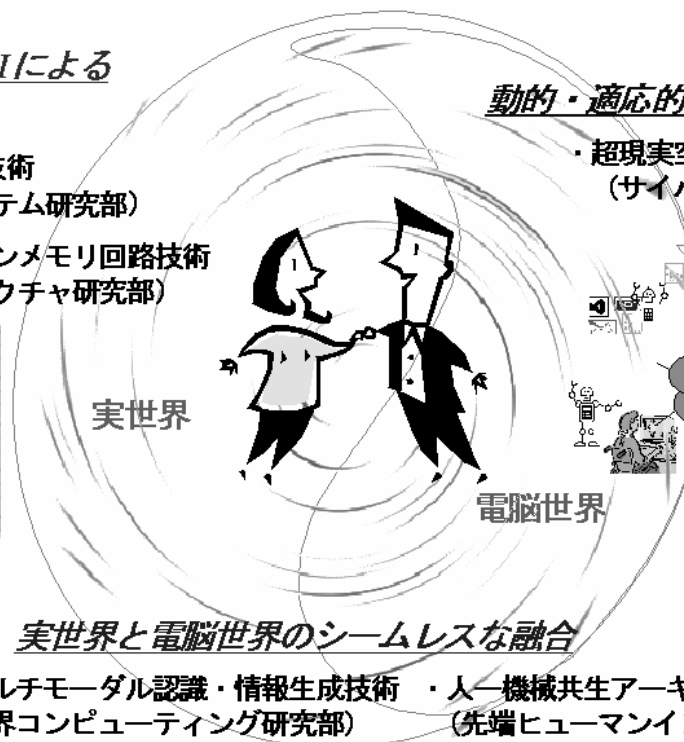
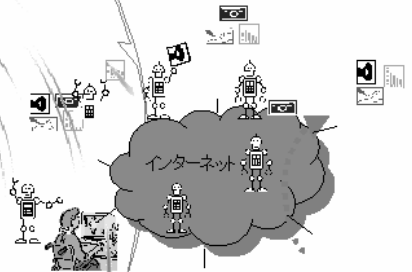
#### 超並列ブレインLSIによる ハードウェア環境

- ・超並列ニューロLSI技術  
(知的ナノ集積システム研究部)
- ・不揮発性ロジックインメモリ回路技術  
(ブレインアーキテクチャ研究部)



#### 動的・適応的ソフトウェア環境

- ・超現実空間構成技術  
(サイバーロボット研究部)



#### 実世界と電腦世界のシームレスな融合

- ・高次マルチモーダル認識・情報生成技術  
(実世界コンピューティング研究部)
- ・人-機械共生アーキテクチャ技術  
(先端ヒューマンインタフェース研究部)

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を行う。これらにより，知的ナノ集積システムの構築を目指す。

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

実世界の3次元空間認識において、単眼性の絵画的情報処理で得られた3次元構造の推定が、両眼性情報処理を大域的に拘束することで、奥行き知覚が柔軟に決定されることを示した。この拘束条件の生成機能は実世界における柔軟な認識システムの設計原理となりうる。また、随意運動が姿勢と運動の統御により行われていることに着目し、目的を境界条件とし、それと内部モデルから拘束条件として速度ベクトルを生成し、環境との相互作用により得られる力情報から速度ベクトルを充足する制御方法の有効性を明らかにした。

### 羽生研究室

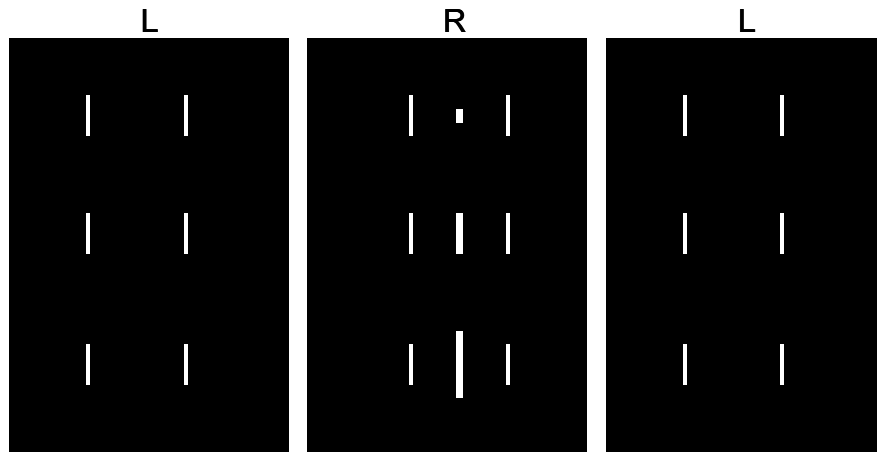
ロジックメモリ回路技術として、トンネル磁気抵抗効果素子を活用し、不揮発性記憶機能を内蔵した演算回路を考案した。その一例として、MR比1000%と仮定して16ビットワード不揮発性連想メモリ（CAM）を構成した場合、同等機能CMOS実現と比較して、演算時間を88%、動的消費電力を70%、トランジスタ数を20%にそれぞれ低減できることを示した。また、多値符号化法とその電流モード回路技術の活用により高性能非同期データ転送VLSIを考案。同等機能2値CMOS回路による従来の非同期データ転送方式と比較し、配線数1/3、電力消費を1/2に削減しながら、スループットを約7倍程度向上できることを明らかにした。

### 中島研究室

官能外観検査用PCIカード型ニューロボードの共同開発を行った。逆関数遅延ニューロモデルの最適値問題完全正解パラメータを明らかにするとともに、従来不可能であった連続時間において時系列情報の記憶に成功した。さらに、バースト機能を持つ進化型モデルの提案により最適値問題において更なる高性能化を確認した。量子計算状態の制御に向けて、高温超伝導体固有ジョセフソン接合において外部照射電磁波による共鳴現象を観測した。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を使った学習則を導出し、量子ビットの学習可能性を示した。磁束量子による確率的動作ニューロシステムの構成に必要な乱数生成回路、比較器、アップダウンカウンタの演算ブロックを8-bit精度で設計、全システムはジョセフソン接合3400個で構成され、その基本動作を数値解析により確認した。

実世界コンピューティング研究部

奥行き多義性を解消する拘束条件の自律的生成機構



絵画的手がかりが両眼性奥行きを決定するステレオグラム(Makino & Yano, 2006)

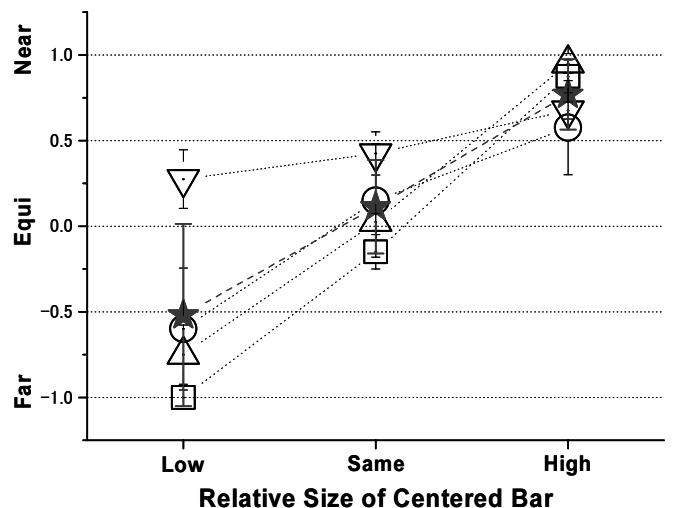
複雑な実世界における認識と制御の問題は工学の目指すゴールの一つであるが、未だその情報原理は明らかではない。これは環境が本質的に予測不可能に変化するという意味で無限定であるためである。無限定な環境でシステムが機能するためには、時々刻々必要な情報を自ら獲得・生成しなくてはならない。

我々は環境の状態をあらかじめ完全に把握することができないため、感覚刺激は多様に解釈可能でありいわゆる多義性が存在する。すなわち、環境を一意的に認識・知覚するという問題は不良設定問題となり、これを解くためには問題を良設定化する拘束条件を脳という情報処理システム自身が生成しなければならない。さらに、我々は多義性を解消するために質的に異なる情報を並列処理することから、複数の拘束条件が動的に相互作用する機構を明らかにすることが脳の動作原理を解明する上で本質的に重要である。

我々は、奥行き知覚における脳の基本的動作原理の解明を目的とし、両眼奥行き多義性を導入したステレオグラムを用いて、異なる奥行き手がかりがどのように相互作用するかを心理物理学的に検討した。ステレオグラムは3本の垂直バーで構成され、中央バーは左右どちらかの眼にのみ提示される(上図)。中央バーは主観的遮蔽面を誘導することで安定して見えるが、両眼視差が存在しないことからほぼ無限の奥行き多義性を有することになる。

バー間に絵画的手がかりとして「相対的大きさ」「コントラスト差」を導入し、中央バーの知覚奥行きを測定した。実験結果は、1)それぞれの絵画的手がかりが中央バーの奥行きを決定すること(右図)、2)「相対的大きさ」と「コントラスト差」が奥行き情報として矛盾する場合、知覚奥行きはより優勢な「相対的大きさ」に依存すること、3)これらの傾向はすべての被験者で共通であるが、実際の知覚奥行きは被験者ごとに異なること、を示した。

これら結果は、単眼性の絵画的情報処理で得られた3次元構造の推定が、両眼性情報処理を大域的に拘束するこ



相対的な大きさ手がかりにより中央バーの奥行きが決定 (Makino & Yano, 2006)

とで、奥行き知覚が被験者ごとに柔軟に決定されること示唆する。このような脳の基本的動作原理は、実世界で機能する柔軟な情報処理システムの設計原理となる。

#### <職員>

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 富田 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。

#### <研究テーマ>

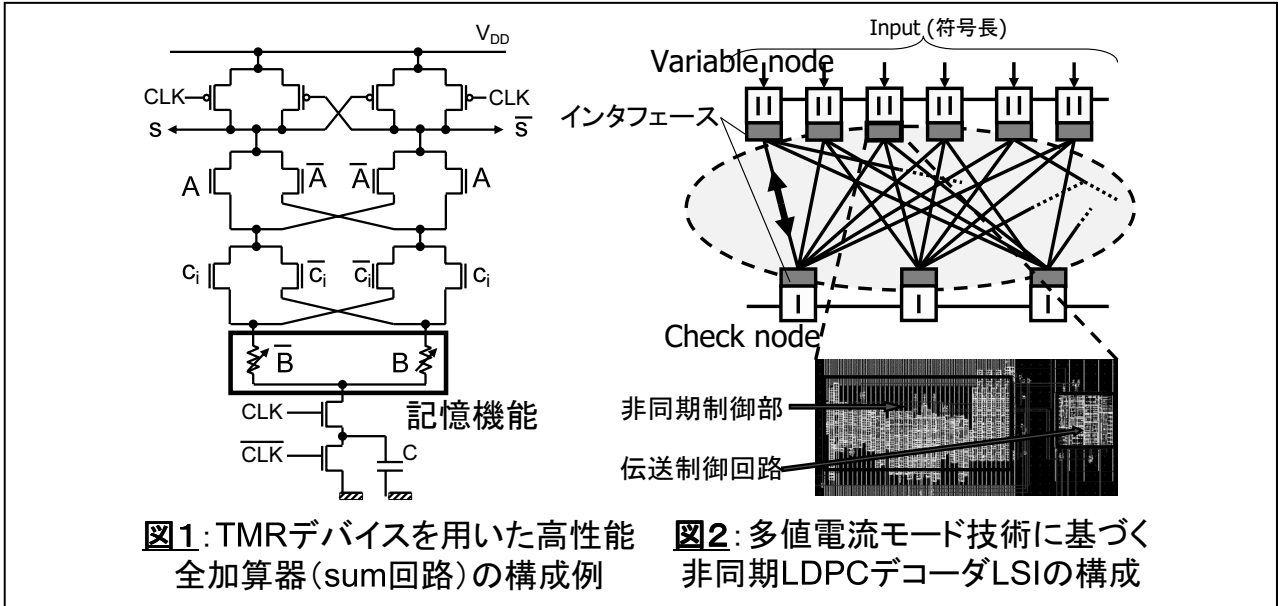
1. 視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究
2. 記憶の生成とその時空間的発展のメカニズム
3. 無限定環境下における2足歩行・6足歩行ロボットの研究
4. コンテキストに依存する神経回路の役割の研究
5. 音響定位と不特定話者の音声認識の研究

#### <主な研究発表>

- 【1】 Y. Makino, M. Yano (2006). Pictorial Cues Constrain Depth in da Vinci Stereopsis, *Vision Research*, Vol.46, 91-105.
- 【2】 吉原佑器, 富田望, 浅野智孝, 牧野悌也, 矢野雅文 (2006) 拘束条件生成充足による実環境下の随意運動制御～制御パラメータのリアルタイム調節～, 計測自動制御学会第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 157-162.
- 【3】 富田 望, 矢野 雅文 (2006) 実時間筋緊張制御によるヒト歩行特性の創発的獲得, 計測自動制御学会第18回自律分散システム・シンポジウム資料, 175-178.
- 【4】 Y. Makino, H. Makinae, T. Obara, M. Yano (2006), Brain Regions Related to Odor Learning and Memory in Terrestrial Slug, *Inciralia Fruhstorferi*, Proc. 11<sup>th</sup> AROB, OS7-1.
- 【5】 矢野 雅文, 富田 望 (2005). 随意運動のための「見なし情報」の創発, 計測と制御, VOI.44, 590-595.
- 【6】 N. Saito, H. Mushiake, K. Sakamoto, Y. Itoyama, J. Tanji (2005). Representation of Immediate and Final Behavioral Goals in the Monkey Prefrontal Cortex during an Instructed Delay Period, *Cerebral Cortex*, 15, 1535 – 1546.
- 【7】 M. Ito, M. Yano (2005). A Local Vector Coding for High Quality Voice Analysis/Synthesis, *J. Acoust. Soc. America*, Vol.118, 2024.
- 【8】 伊藤仁, 矢野雅文 (2005). 局所変化率に基づく有声音の符号化, 電子情報通信学会信学技報, Vol.EA2005-2, 7-12.
- 【9】 K. Sakamoto, T. Onizawa, M. Yano (2005). Competition Between Spatial and Temporal Factors in Simple Apparent Motion is Modulated by Laterality, Proc. 4th IEEE Intern. Conf. Develop. Learn., 175-179.
- 【10】 K. Sakamoto, H. Mushiake, N. Saito, J. Tanji (2005). Transient Synchrony and Dynamical Representation of Behavioral Goals of the Prefrontal Cortex, Proc. 4th IEEE Intern. Conf. Develop. Learn., 207-211.
- 【11】 安池誠, 牧野悌也, 矢野雅文 (2005). 時空間ダイナミクスによる匂い情報コーディング, 電子情報通信学会信学技報, NC2005-5, 23-26.

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



<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には、応用に特化したシステムアーキテクチャ・ハードウェアアルゴリズムと共に、転送ボトルネックを解消する新回路・デバイスアーキテクチャを考案することが重要である。本研究分野では、従来の延長上にはない新しいパラダイムに基づくハードウェアアーキテクチャの研究を行っている。具体的には、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 1)、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 2)、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。

<2005 年度の主な成果>

1. TMRロジック基本回路とその応用：

TMR 素子は自由層の磁化方向に依存して抵抗値の異なるメモリデバイスである。この性質を活用して記憶機能と演算機能を一体化した演算基本回路を構成する。微小な抵抗値の変化を検出できる回路構造として差動対回路を基本にした TMR ロジック演算回路の構成方法を考案した。図 1 は、TMR ロジックに基づく全加算器 (SUM 回路) の構成を示す。TMR 素子の活用による記憶機能と演算機能の一体化効果で、同等機能の CMOS 実現と比較して電力消費・素子数などを大幅に削減できることを明らかにした。また一例として、

動画圧縮の動き検出やステレオビジョンの特徴点抽出で多用される差分絶対値演算器をパイプライン形で構成した場合についても検討し、同等機能 CMOS 実現と比較して大幅な性能向上が達成されることを明らかにした。

## 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 デコーダは高い誤り訂正符号能力を有しており、その高性能ハードウェア実現が望まれている。LDPC デコーダでは、Check ノードと Variable ノード間の相互データ転送にて性能劣化を引き起こしている。本研究では、各ノードに渡来するデータの前後には類似性があるため、以前に到来したデータを用いて演算を実行しても BER にそれほど影響しない点に着目し、このノード間データ転送に、本研究室で考案した多値電流モード技術に基づく高速双方向非同期データ転送方式を適用すると共に、その効果を検討した。図 2 はその設計例を示している。この結果、クロックを必要としないためクロック分配に伴う消費電力を大幅に削減することができる点、非同期制御により平均遅延でデータ転送が可能となるため、高速化が達成できる点等を確認すると共に、提案の非同期回路方式が所望の動作を実行することを回路シミュレーションにより明らかにした。

### <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，1994 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 2 回受賞(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)。

### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] A. Mochizuki, H. Kimura, M. Ibuki and T. Hanyu, "TMR-Based Logic-in-Memory Circuit for Low-Power VLSI," IEICE Transactions on Fundamentals, E88-A, 6, 1408/1415, June 2005.
- [2] A. Mochizuki, T. Hanyu and M. Kameyama, "Design of a Low-Power Multiple-Valued Integrated Circuit Based on Dynamic Source-Coupled Logic," J. Multiple-Valued Logic and Soft Computing (JMVL), 11, 5-6, 481/498, 2005.
- [3] T. Takahashi and T. Hanyu, "Control Signal Multiplexing Based Asynchronous Data Transfer Scheme Using Multiple-Valued Bidirectional Current-Mode Circuits," JMVL, 11, 5-6, 499/518, 2005.
- [4] T. Hanyu, S. Kaeriyama and M. Kameyama, "Logic-in-Memory VLSI for Fully Parallel Nearest Pattern Matching Based on Floating-Gate MOS Pass-Transistor Logic," JMVL, 11, 5-6, 619/632, 2005.
- [5] M. Kameyama, T. Hanyu and T. Aoki, "Multiple-Valued Logic as a New Computing Paradigm -- A Brief Survey of Higuchi's Research on Multiple-Valued Logic," JMVL, 11, 5-6, 407/436, 2005.
- [6] T. Hanyu, A. Mochizuki and M. Ibuki, "TMR-Based Logic-in-Memory Circuit and Its Application," 14th International Workshop on Post-Binary ULSI Systems, 22/29, May 2005.
- [7] A. Mochizuki and T. Hanyu, "0.2V-Swing Multiple-Valued Differential-Pair Circuit and Its Application to Arithmetic VLSI," 14th International Workshop on Post-Binary ULSI Systems, 35/41, May 2005.
- [8] N. Onizawa, A. Mochizuki, T. Hanyu and Vincent C. Gaudet, "Multiple-Valued Duplex Asynchronous Data Transfer Scheme for Interleaving in LDPC Decoders," IEEE Int. Sym. on Multiple-Valued Logic, 138/143, May 2005.
- [9] A. Mochizuki and T. Hanyu, "A 1.88ns 54x54-bit Multiplier in 0.18 $\mu$ m CMOS Based on Multiple-Valued Differential-Pair Circuitry," 2005 Symposium on VLSI Circuits, D. Technical Papers, 17-3, 264/267, June 2005.

## 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

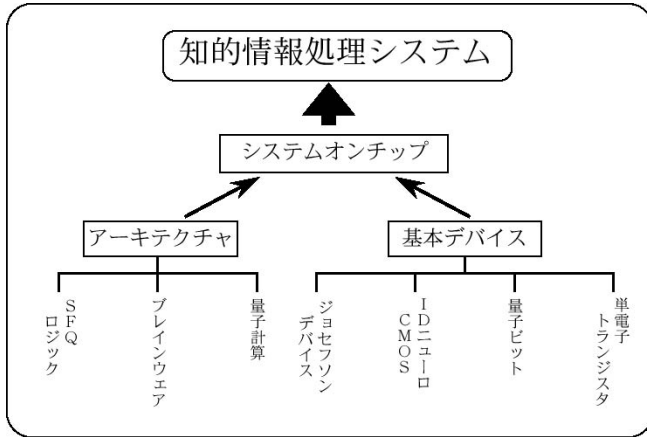


図1 知的ナノ集積システム研究部の研究目標

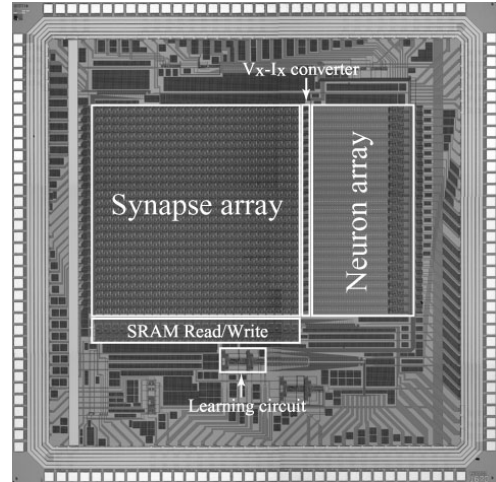


図2 逆関数遅延ニューロシステム  
(36ニューロン搭載)

#### <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ほぼ100%の解答を与える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た。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た。

#### <2005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] 官能外観検査システムの実用化を目指した、PCIカード型ニューロボードの共同開発を行った。臨界状態ブレインシステムでは、逆関数遅延ニューロンモデルのネットワークにおいて最適値問題の静的な正解表現を確実に得る為のパラメータを明らかにした。時系列情報の記憶に関しても逆関数遅延ニューロンモデルを用いた構成を提案し、これまで不可能であった連続時間モデルにおいて、離散時間モデルと同等の性能を達成可能であることを示した。さらに、実際の脳で観測されるバースト発火現象を再現可能なモデルへと改良を行い、その結果として最適値問題において更なる高性能化を確認するに至っている。[3, 7, 9, 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[4]、外部照射電磁波による共鳴現象を観測し、量子状態の制御を試みた。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[5, 6, 8]を使った学習則を導出し、量子ビットにおいても学習が可能であることを示した。

[磁束量子データプロセッサの研究] ストカスティックロジックによるニューロシステムを設計し、ニューロン回路の構成に必要な乱数生成回路、比較器、アップダウンカウンタなどの基本演算ブロックの設計を 8-bit の精度で行い、その基本動作を数値シミュレーションにより明らかにした。これらの演算ブロックを接続したストカスティックニューロ演算システムは 3400 個のジョセフソン接合で実現可能であることを示した[1]。

### <職員名>

教授 中島 康治 (1995 年より)

助教授 佐藤 茂雄 (2002 年より)

助手 早川 吉弘、小野美 武

研究機関研究員 金城 光永          秘書 今野 真裕美

### <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。

### <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] T. Kondo, M. Kobori, T. Onomi, and K. Nakajima, "Design and Implementation of Stochastic Neurosystem Using SFQ Logic Circuits," IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.15, no.2, pp.320-323, 2005.
- [2] 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 Trans. Applied Superconduct., vol.15, no.2, pp.1028-1031, 2005.
- [3] H. Li, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, "Retrieval Property of Associative Memory Based on Inverse Function Delayed Neural Networks," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E88-A, no. 8, pp.2192-2199, 2005.
- [4] K. Inomata, S. Sato, K. Nakajima, et al., "Macroscopic Quantum Tunneling in a d-Wave High-Tc  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  Superconductor," Physical Review Letters, vol. 95, p. 107005, 2005.
- [5] M. Kinjo, S. Sato, Y. Nakamiya, and K. Nakajima, "Neuromorphic quantum computation with energy dissipation," Physical Review A, vol. 72, No. 5, p. 052328, 2005.
- [6] Y. Nakamiya, M. Kinjo, O. Takahashi, S. Sato, and K. Nakajima, "Basic Property of a Quantum Neural Network Composed of Kane's Qubits," Proc. the 2005 Int. Joint Conf. Neural Networks, pp.1104-1107, 2005.
- [7] Y. Hayakawa, H. Li, and K. Nakajima, "Retrieval Property of Associative Memory with Negative Resistance," Proc. the 2005 Int. Joint Conf. Neural Networks, pp.1187-1192, 2005.
- [8] M. Kinjo, S. Sato, K. Nakajima, et al., "Artificial Neural Network-inspired Quantum Adiabatic Evolution Algorithm with Energy Dissipation," Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications, pp. 198-201, 2005.
- [9] J. Sveholm, Y. Hayakawa and K. Nakajima, "Temporal Sequences of Patterns with an Inverse Function Delayed Neural Network," 2005 Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications, pp. 254-257, 2005.
- [10] S. Suenaga, Y. Hayakawa and K. Nakajima, "Influence of Nonlinearity on the Limit-cycles of Neural Networks with Asymmetrical Cyclic Connections," Int. Symp. Nonlinear Theory and its Applications, pp. 357-356, 2005.

## 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16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17年度は、1Gbps超の無線LAN端末の実現へ向けて、変調方式の検討を行った。また、三次元システムチップの実現へ向けて、60GHz ICの試作、試作したICのフリップチップボンディング実装、銅ボールによる基板積層実装を行い、三次元システムチップを構成する上で十分な性能を有していることを確認した。5GHz帯IFICの要素試作を行い、各パーツの特性を確保した。また、FlashOFDMによるモバイルブロードバンド実証実験を行い、1Mbps以上のスループットを半径1km程度に対して提供できることを確認した。

## 2. 超高速高密度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<sup>2</sup>)の超高記録密度、ならびに、2Gbps級の超高速データ転送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<sup>2</sup>)の記録の実証を目指す。



平成 17 年度は、ディスクリートトラック記録 (DTR) を採用時の 500 Gbits/inch<sup>2</sup> の実証実験に向けた記録ヘッドを含む記録再生系の仕様を提案し、ハード・ソフトスタック媒体ならびに Ku<sub>2</sub> 媒体のいずれの媒体においても同記録密度が達成可能であることを、磁化反転磁界と熱安定性の計算により明らかにした。また、CoPt/Ru 膜を用いた微細ドットは、安定な単磁区構造と高い熱安定性、保磁力の制御性を有し、1Tbits/inch<sup>2</sup> 相当の必要条件を満たすことが明らかとなった。さらに、超高感度リーダ技術としてスピン蓄積素子の予備実験を行った結果、オールメタル素子構造では世界最高となる高感度なスピン蓄積素子出力を確認した。

## <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

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

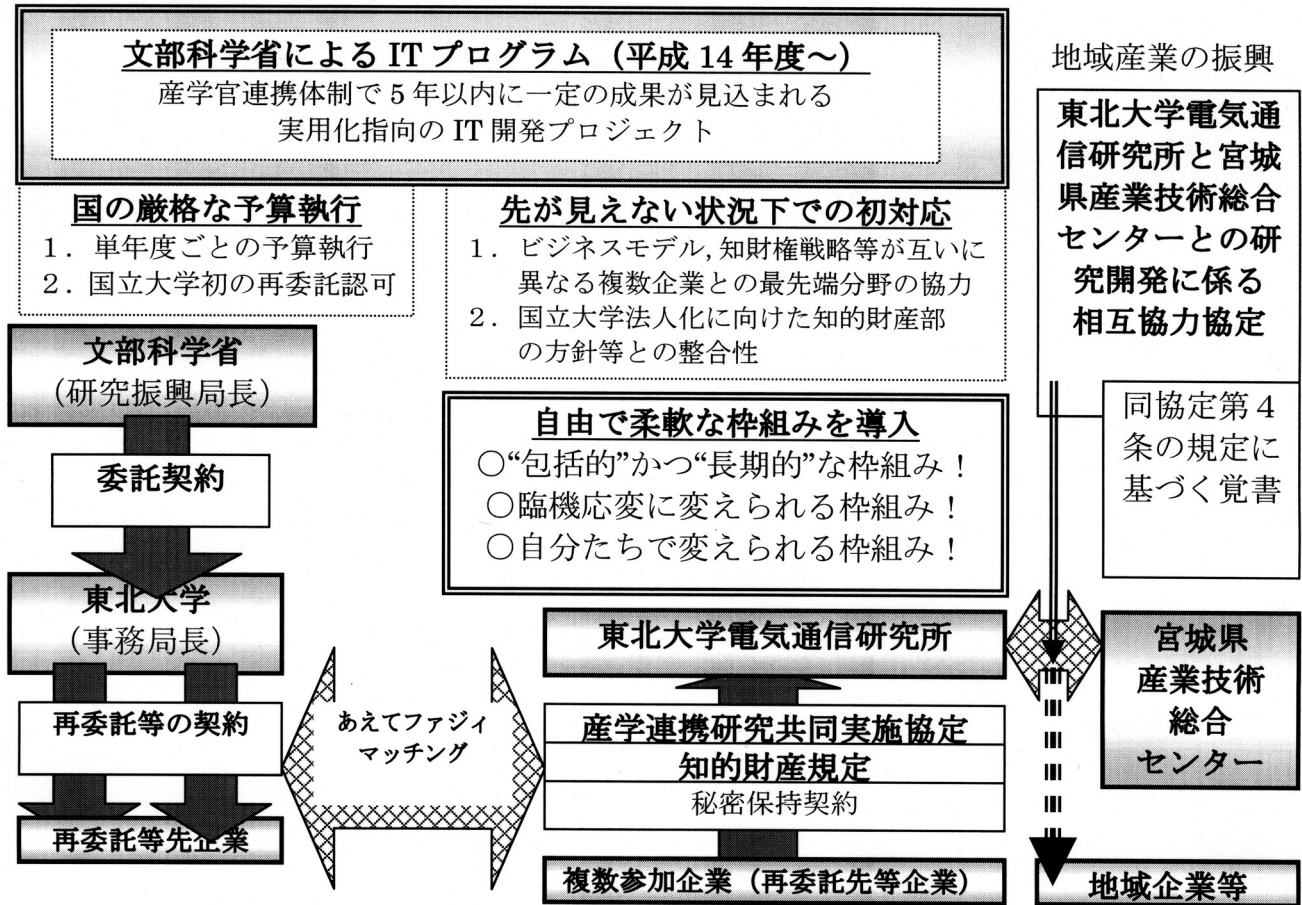
技術職員 寒河江 克己

運営委員

本研究所教授 坪内 和夫	大学院工学研究科教授	安達 文幸
中村 慶久		内田 龍男
高木 直	大学院情報科学研究科教授	亀山 充隆
青井 基	日本電気(株)	嶋脇 秀徳
種市 百器	(株)富士通研究所	押木 満雄
長 康雄	本研究所事務部長	新田 正人
村岡 裕明		
鈴木 陽一		
白鳥 則郎		
大野 英男		
羽生 貴弘		

IT-21センター企画開発部

効果的な産官学連携プロジェクト実施体制の構築



1. 部の目標：

- (1) 真に効果的な産官学連携体制の構築
- (2) 地域社会への技術的貢献体制の探索
- (3) 次世代 IT へのプロジェクト展開研究

2. 過去1年間(2005年4月～2006年3月)の主な成果：

(1) 真に効果的な産官学連携体制の構築：

電気通信研究所が平成14年度から5ヶ年計画により文部科学省研究振興局から受託した IT プログラム(世界最先端 IT 国家実現重点研究開発プロジェクト)の3課題に係るプロジェクトは、電気通信研究所を中心とする強力な産学連携体制(cf. 上図)のもとに順調に進展した。これらプロジェクトに直接参加している企業は、“次世代モバイルインターネット端末の開発プロジェクト(リーダー：坪内和夫教授)”の場合：三菱電機、日本電気、松下電器産業、日本テレコム の4社、“超小型大容量ハードディスクの開発プロジェクト(リーダー：中村慶久教授)”の場合：日立製作所、東芝、富士通、三菱総合研究所、富士電機の5社、“高機能・超低消費電力メモリの開発プロジェクト(リーダー：大野英男教授)”の場合：アルバック、日立製作所の2社、合計10社である。特筆すべきことは、平成14年10月10日に締結した「産学連携研究共同実施協定」、「知的財産規定」等に盛り込んだ特徴(①プロジェクト担当者レベルによる決定権の保持、②プロジェクトリーダーによる指導力確保、③「日本版バイ・ドール法の趣旨」と「大学の新しい使命である“社会貢献”の趣旨」を臨機応変にバランス良く実現できる知財権体系)がいかに発揮されたことである。

(2) 地域社会への技術的貢献体制の探索 :

ITプログラムのような国家プロジェクトを実施していくほかに、電気通信研究所が蓄積してきた研究開発成果を地域社会に還元していくことが重要である。このため、平成15年7月17日、「東北大学電気通信研究所と宮城県産業技術総合センターとの研究開発に係る相互協力協定書」を締結した。その趣旨は、世界最先端の研究を行う大学の研究所と地域企業を熟知している県の研究所が相互に協力して地域産業の振興を図ることにある。既に、この枠組みを利用して、「地域企業の技術者向け共催トレーニング」の開催、次世代無線 LAN 標準化委員会への共同参加、共同研究の提案など具体的な活動成果が得られている。なお、平成15年9月10日、「上記協定書第4条の規定に基づく覚書」を締結した。これにより、相互の研究施設、設備等を使って行う協力研究を円滑に進める土台が確立したので、今後のより密接な研究協力への道を開くことができた。

**3. 職員名 :**

教授 種市 百器 (現職就任年:2004年)

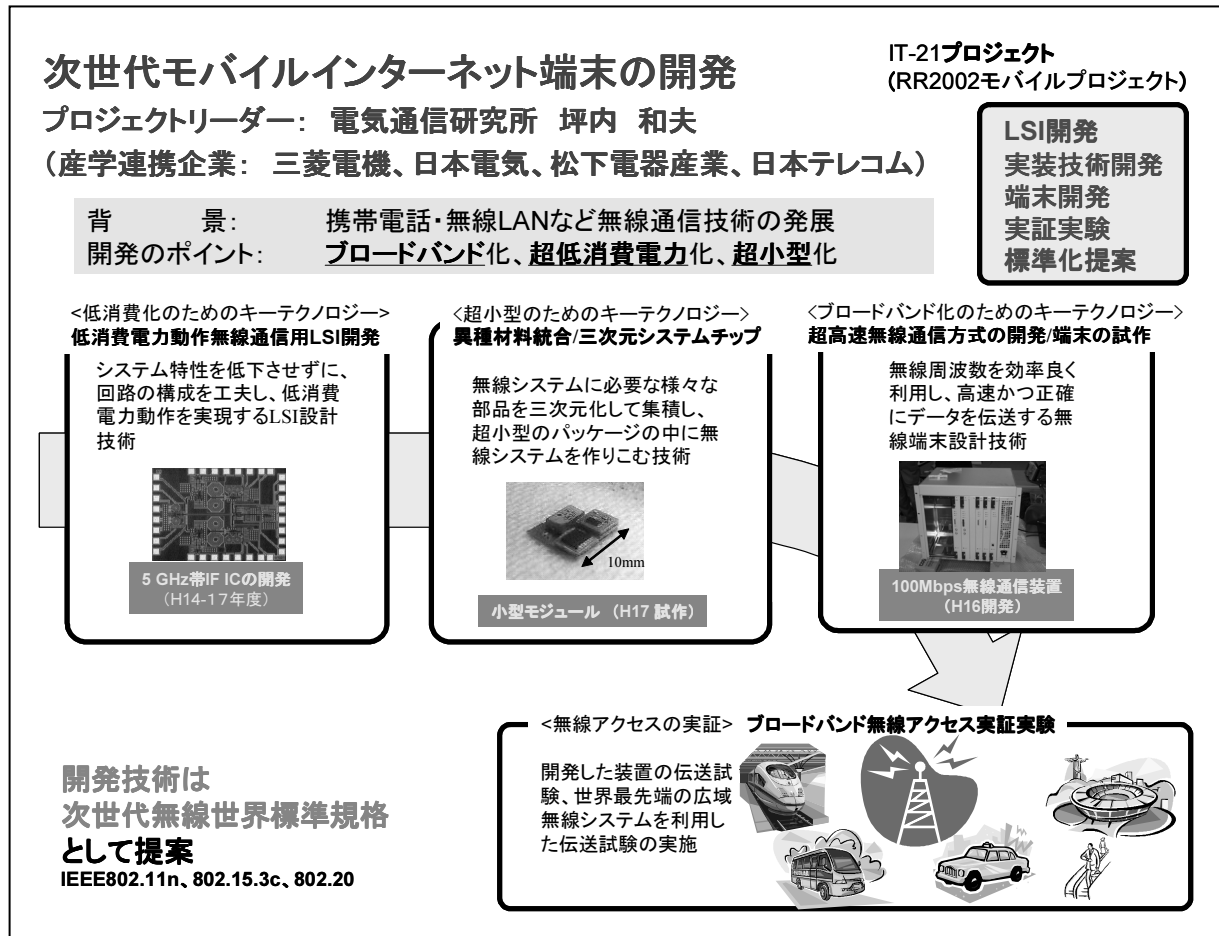
**4. 教授のプロフィール(研究歴等) :**

1979年3月東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程終了、1979年4月科学技術庁入庁、1994年7月日本原子力研究所企画室調査役、1996年5月通商産業省工業技術院研究開発官(エネルギー輸送貯蔵担当)、1997年7月通商産業省関東通商産業局産業振興部長、1998年7月海洋科学技術センター企画部調査役、1999年10月科学技術振興事業団科学技術理解増進部調査役、2003年10月独立行政法人科学技術振興機構科学技術理解増進部調査役、2004年5月文部科学省大臣官房付、2004年6月より現職。

**5. 過去1年間(2005年4月～2006年3月)の主な発表論文 :** 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



<分野の目標>

全てのエレクトロニクス機器に無線通信端末を実装し、ネットワークに接続するユビキタスネットワークを実現するための次世代モバイルインターネット端末の開発を目標に、電流モードアナログ信号処理による低消費電力無線通信コア回路の開発、60GHz帯の超高周波RF-ICの開発による1Gbpsの伝送速度の実現、超高速ベースバンドLSIの開発、異種材料統合/三次元システムチップ構築技術の開発、ホットスポットワイヤレスアクセスシステムの開発を国内移動体通信機メーカー及び第一種通信事業者との産学連携プロジェクトとして実用化技術開発を推進している。

<2005年度の主な成果>

1. 超低消費電力無線通信コア回路の開発

電流モード信号処理回路として、電圧電流変換回路、電流電圧変換回路、シリアルパラレル変換回路を試作し、低消費・高速動作を確認した。

2. 超高速無線端末用LSIの開発

昨年度試作した世界最高速5GHz帯324Mbps無線LAN端末の評価を行った。高速通信制御、高速無線通信方式を採用することで実効速度約170Mbpsを実現した。また、5GHz帯ワンチップアナログICの開発を継続して行っている。

### 3. 超高周波 RF-IC の開発

60GHz 帯高出力増幅器 IC、ミキサ IC を三次元システムチップ用に再設計し試作した。

### 4. 三次元システムチップ構築技術の開発

誘電体多層基板上へ、上記の開発 60GHz IC をフリップチップ実装し、モジュールを作り上げた。また、アップコンバータモジュールとしての特性を評価した。60GHz 帯を利用可能な三次元配線構造を明らかにした。

### 5. モバイルブロードバンド実証実験

Flash-OFDM を用いたモバイルブロードバンドシステムの、街中におけるスループット・受信電力特性などを測定し、その特性に関して明らかにした。

## <職員名>

教授 高木 直 (2005 年より)

客員助教授 岩田 誠 (2002 年より)

技術補佐員 中山 英太

## <教授のプロフィール>

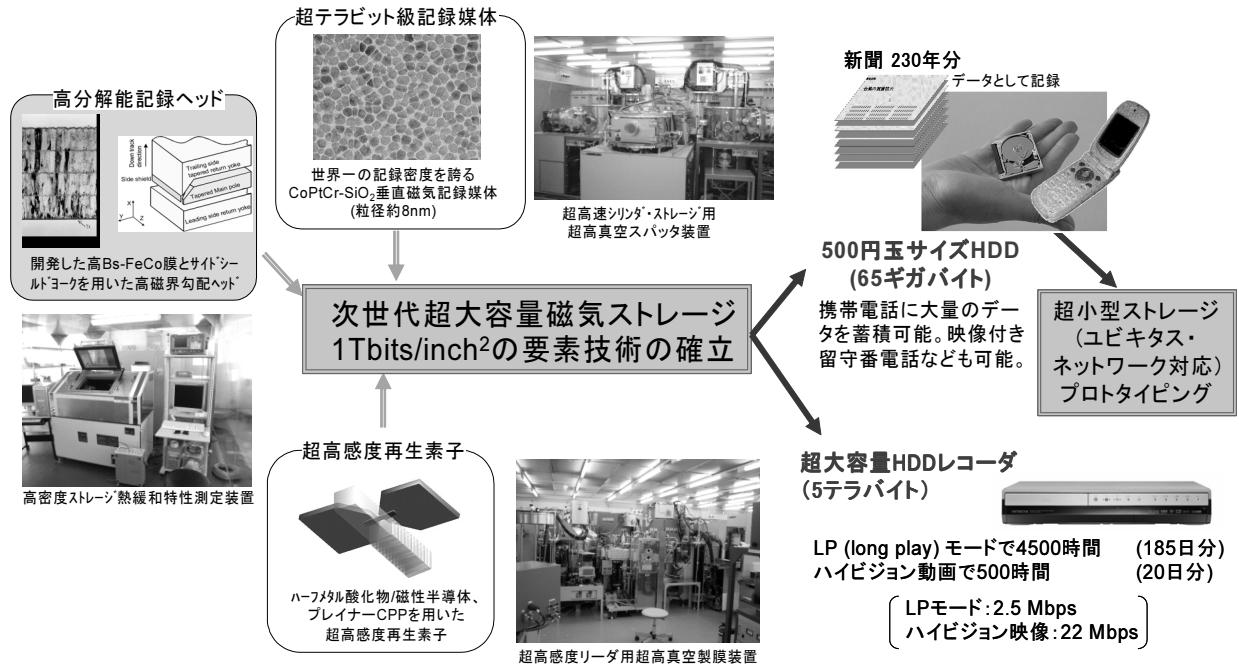
平成 17 年 4 月

## <2005 年度の主な発表論文等>

- [1] T. Takagi and K. Tsubouchi, "Mobile Wireless Communications - Broadband technologies for over Gbit/sec," 1st IEEE Int. Workshop on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT2005), Singapore, Dec. 2005 (Keynote Address, invited).
- [2] 下山 和也, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 電力増幅器用楕形 MOSFET の配線部設計手法の検討, 電子情報通信学会シリコンアナログ RF 研究会予稿集, Nov. 2005.
- [3] 中瀬 博之, 永井 幸政, 藤村 明憲, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, 5GHz 324Mbps 無線 LAN 端末の開発, 電子情報通信学会シリコンアナログ RF 研究会予稿集, Nov. 2005.
- [4] 中瀬 博之, トラン ハオ ゴク, 大嶋 尚一, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, 1Gbps 超無線 LAN 用変調方式の検討, 信学技報, RCS2005-120, pp.79-82, Nov. 2005.
- [5] 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, 信学技報, WBS2005-70, pp.31-36, March 2006.
- [6] トランハオ ゴク, 高木 潤, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 60GHz 帯の屋内マルチパス伝搬特性の評価, 信学総大, A-5-23, March 2006.
- [7] 戸崎 篤, 藤木 裕介, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 超小形アンテナのキャパシタによる整合の検討, 信学総大, B-1-127, March 2006.
- [8] 山口 敦由, 福與 賢, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 1-Bit フラグを用いた高速 RFID 識別方式 (1): 計算機シミュレーション評価, 信学総大, B-5-143, March 2006.
- [9] 福與 賢, 山口 敦由, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内和夫, フラグを用いた高速 RFID 識別方式 (2): 実測による評価, 信学総大, B-5-144, March 2006.
- [10] 増田 耕平, 竹内 太志, 吉田 拓央, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, SBB 技術を用いた 60GHz 帯増幅器の実装・評価, 信学総大, C-2-32, March 2006.

研究開発部ストレージ分野

垂直磁気記録による 1Tb/in<sup>2</sup> 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<sup>2</sup>) 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ている。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と、国内ハードディスクドライブメーカー等を結集し、産学が連携した研究プロジェクト体制で強力に推進中である。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ている。

＜2005 年度の主な成果＞

5 年間のプロジェクトの 4 年目にあたり、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) 記録再生系の仕様設計： ディスクリートトラック記録 (DTR) を採用時の 500 Gbits/inch<sup>2</sup> (ギガビット毎平方インチ) の実証実験に向けた記録再生系の仕様を提案し、並行して、その評価設備を準備した。

- 2) 高分解能単磁極ライタ： シミュレーションにより、トレーリングシールドなどのヘッド磁極構造の検討を行ない、1)の記録密度を達成できる単磁極ヘッドの構造案を得た。
- 3) 超高感度リーダ技術： 日立、東芝と共同で  $1\text{Tb}/\text{in}^2$  の記録密度を目指した超高感度センサー構造の開発、検証を進めた。特に、超高真空リーダスパッタ装置で形成した高品質な薄膜を用いてスピンの蓄積素子の予備実験を行った結果、オールメタル素子構造では世界最高となる高感度なスピンの蓄積素子出力を確認した。
- 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[4]ならびに  $K_{u2}$  媒体[2, 3]のいずれの媒体においても、ディスクリット技術と併用することで  $500\text{ Gbits}/\text{inch}^2$  の記録密度が達成可能であることを、磁化反転磁界と熱安定性の計算により明らかにした。また、CoPt/Ru 膜を用いた微細ドット[5]は、安定な単磁区構造と高い熱安定性を有し、且つ、保磁力の値を適切に制御できることが明らかとなり、 $1\text{Tbits}/\text{inch}^2$  相当の必要条件を満たすことが明らかとなった。
- 5) 超小型モバイルHDDプロトタイプの開発： データ転送レート向上の対策立案のためのテスト機の開発試作とそれを用いたデータチューニングを実施した。

### <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] T. Shimatsu, H. Sato, T. Oikawa, Y. Inaba, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, H. Muraoka, and Y. Nakamura, "High Potential Magnetic Anisotropy of CoPtCr-SiO<sub>2</sub> Perpendicular Recording Media," IEEE Transactions on Magnetism, vol. 41, pp. 566-571, 2005.
- [2] T. Shimatsu, H. Sato, K. Mitsuzuka, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, O. Kitakami and S. Okamoto, " $K_{u2}$  magnetic anisotropy term of CoPtCr-SiO<sub>2</sub> media for high density recording," Journal of Applied Physics, vol. 97, pp. 10N111(1-3), 2005.
- [3] 佐藤英夫, 島津武仁, 三塚 要, 及川忠昭, 北上 修, 岡本 聡, 村岡裕明, 青井 基, 中村慶久, "CoPtCr-SiO<sub>2</sub>垂直磁気記録媒体の結晶磁気異方性エネルギーの2次項  $K_{u2}$  と構造," 日本応用磁気学会誌, vol. 29, pp. 427-431, 2005.
- [4] Y. Inaba, T. Shimatsu, O. Kitakami, H. Sato, T. Oikawa, H. Muraoka, H. Aoi, and Y. Nakamura, "Preliminary Study on (CoPtCr/NiFe)-SiO<sub>2</sub> Hard/Soft-stacked Perpendicular Recording Media," IEEE Transactions on Magnetism, vol. 41, pp. 3136-3138, 2005.
- [5] N. Kikuchi, R. Murillo, J. C. Lodder, K. Mitsuzuka, and T. Shimatsu, "Magnetization Process of High Anisotropy CoPt Nanosized Dots," IEEE Transactions on Magnetism, vol. 41, pp. 3613-3615, 2005.

### 3. 8 評価・分析センター

#### 材料・デバイスおよびシステムの測定・評価・分析

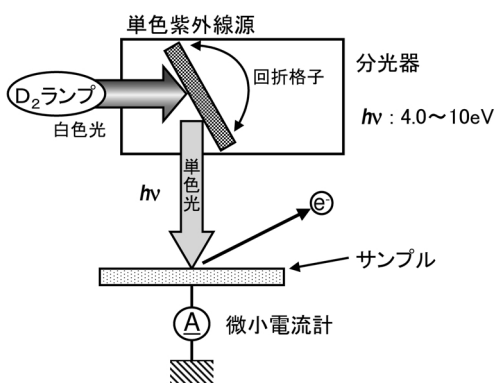


図1 微小電流計を用いた常圧下光電子分光法

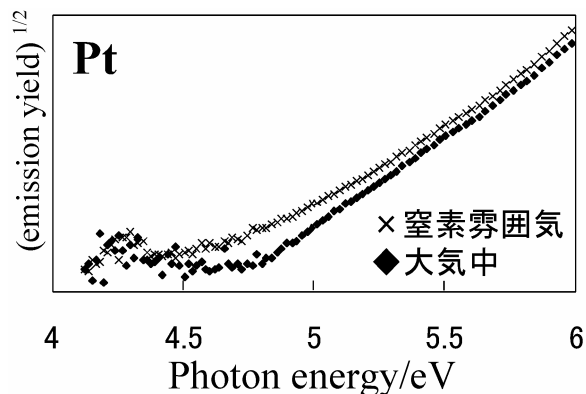


図2 常圧下光電子分光法による測定結果の例

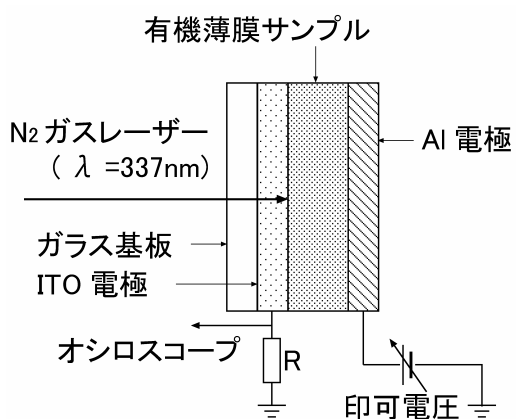


図3 TOF法を用いた有機EL材料のキャリア移動度分析法

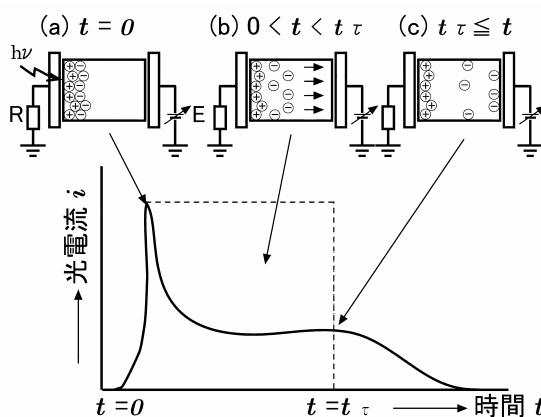


図4 パルスレーザー光照射による誘起電流波形

#### 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、 $\mu$ RHEED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、分子電子工学研究分野及び名古屋大学と共同で微小電流計を用いた常圧下光電子分析法の開発を、また、分子電子工学研究分野及び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実現を行っている。

これまでの光電子分光法は真空中での測定であり、種々の雰囲気において測定可能な手法の開発が望まれてきた。現在、大気中で光電子収量分光 (PYS) 測定を行うための装置が市販されているが、光電子によって発生する酸素イオンを利用しているため、酸素以外の雰囲気ガス中や真空中では動作しない。そこで我々は、微小電流計と窒素パージ型分光器を用いた光電子収量分析装置を開発し、任意の雰囲気中で約 4~10eV での広いエネルギー範囲において、試料の仕事関数の測定を可能にした。

従来は光電子放出に伴い試料に流れる電流を電流計で計測する電流法は感度が悪いため、PYS測定に用いることはできなかったが、我々は加速電極を付加することで、任意のガス種および任意のガス圧において動作するPYS測定装置を開発することに成功した。一例として、大気中で研磨・洗浄したPt基板の、窒素雰囲気及び大気中での測定結果を図2に示す。この結果から、Ptでは窒素雰囲気と大気中でしきい値が異なることがわかり、大気中の水分子が基板表面に吸着することにより仕事関数が変化することが明らかになった。

また、現在、有機ELデバイスの高性能化に必要なキャリア輸送機構の解明を行うために、TOF法を用いた測定システムの実現を行っている。TOF法は図3及び図4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印可電圧制御、レーザー光照射制御、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。

## 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

分子電子工学研究分野の項を参照。

## 5. 主な発表論文等

C. W. Baik, S. G. Jeon, D. H. Kim, N. Sato, K. Yokoo and G. S. Park, "Third-Harmonic Frequency Multiplication of a Two-Stage Tapered Gyrotron TWT Amplifier", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol 52, No. 5, pp. 829-838, 2005.

### 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

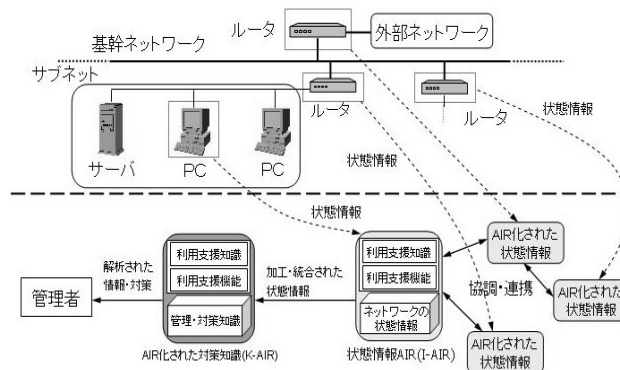


図 2 AIR-NMS の概念

#### 1. 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

#### 2. 過去 1 年間 (2005 年 4 月～2006 年 3 月) の主な成果

##### (1) 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、能動的な情報資源原理 (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1に示す成果が得られた。

##### (2) やわらか知能ネット実証システムの導入 (研究テーマ2に関連)

昨年度導入した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「やわらかい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。

### (3) エージェントシステムのインタラクティブ開発環境の構築（研究テーマ1に関連）

再利用性・インタラクティブ性を特徴とするエージェントシステムの開発方法論とその支援環境を構築し、評価実験によりその有用性を検証した。本年度は文献2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、Webインタフェース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3, 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, 8に示す成果が得られた。

## 3. 職員

### (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 (1997年より) 木下 哲男 (1997年より, 情報システムセンター所属)  
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 藪上 信 打矢 隆弘

非常勤研究員 上田 浩

研究支援推進員 大學 紀子, 鈴木みどり, 菅野 舞子

### (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

研究支援推進員 大學 紀子, 鈴木みどり, 菅野 舞子

## 4. 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。

## 5. 主な研究発表

1. 今野将, 吉村智志, 岩谷幸雄, 阿部亨, 木下哲男, "能動的情報資源を用いた自律的なネットワーク監視システム", FIT2005 第4回科学技術フォーラム情報技術レターズ, LF-009, pp. 111--114, 2005.
2. 打矢隆弘, 前村貴秀, 菅原研次, 木下哲男, "エージェントシステムのインタラクティブ開発環境", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D-I, No. 9, pp. 1344--1355, 2005.
3. 渡邊貫治, 岩谷幸雄, 行場次朗, 鈴木陽一, "仮想音環境のための頭部伝達関数コーパス", FIT2005 第4回科学技術フォーラム情報技術レターズ, pp. 237--240, 2005.
4. Yukio Iwaya, Masashi Toyoda and Yoiti Suzuki, "A new rendering method of moving sound with the doppler effect", International Conference on Auditory Display 2005, pp. 253--255, 2005.
5. 渡邊貫治, 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誌, Vol. 10, No. 4, pp. 609--618, 2005.
6. 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, Vol. 62, No. 3, pp. 224--232, 2005.
7. 上田浩, "CAによる免疫系とHIVの相互作用モデルについて", 電子情報通信学会論文誌A, Vol. J88-A, No. 5, pp. 1365--1371, 2005.
8. 上田浩, 岩谷幸雄, 阿部亨, 木下哲男, "HIVの多様性を考慮したセル・オートマトンによるHIV感染モデル", 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」, Vol. 46, No. SIG17(TOM13), pp. 114--121, 2005.

## 3. 10 附属工場

### 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迅速にかつ精度良く製作する必要がある。そのための技術支援を当工場は担ってきている。通研専任教官から選出された工場長と運営委員が附属工場の管理と運営に当たっている。

当附属工場は、これまでに数々の新しい工作方法を開拓し、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や構築の研究、高密度磁気記録の研究を始め、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 147 件で、昨年度とほぼ同じであった。製作した主な製作名は以下のとおりである。

- 庭野研 (27 件) チタン蒸着用超高真空チャンバー・真空測定用ミニチャンバー・溶液セル  
メタルマスク・ホルダー一式・ミラーホルダー・TEM 試料台 他
- 枝松研 (24 件) クリンルームブース・ヘリウム BT 台・クライオスタット用台  
分光器用スリット・BT のピラー加工・サンプルホルダー 他
- 上原研 (19 件) UHV サンプルトランスファーシステム・ウォブルスティック先端加工  
レーザーアダプター・光学架台・トランスファーロッドの加工 他
- 大野研 (17 件) 分光器レンズ治具・クライオスタット用サンプルロッド加工・サンプルホルダー  
メタルマスク・8 T マグネットサンプル治具 他
- 矢野研 (12 件) マイクロフォン固定装置・エコー解析用対象物体固定装置・模擬外耳製作器具  
トランスデューサー回転装置・模擬外耳 他
- 青井研 (10 件) スパッタ装置&ターボポンプ継手フランジ・超高真空スパッタカソード用 BP 板  
クリンルーム用配線架台・2.5 インチウエハーホルダー・ 他
- 実験施設 (9 件) スピンコーターヘッド・6 インチレチクル現像及びレジスト剥離用治具  
3 インチウエハ現像用治具・Si ウエハ顕微鏡観察台 他
- 鈴木研 (7 件) 点音源ハウジング・口鼻耳管モデル・骨伝導デバイス押付け装置  
声道モデル「い」・無指向性音源測定治具 他
- 中島研 (6 件) ヘリウムデュワー架台・希釈冷凍機用サーマルアンカー・ペレット作成治具 他
- 尾辻研 (6 件) 小型 X-Y ステージ加工・アルミプレート加工 他
- 中沢研 (5 件) FBG 用マスクホルダー・曲線スリット板・格子状スリット 他
- 末光研 (5 件)  $\phi 203A1$  フランジ- $\phi 34$  ポート溶接・ $\phi 152$  フランジタップ加工 他
- 杉浦研 (5 件) アンテナ固定用治具
- 伊藤研 (1 件) 3 次元評価サンプル

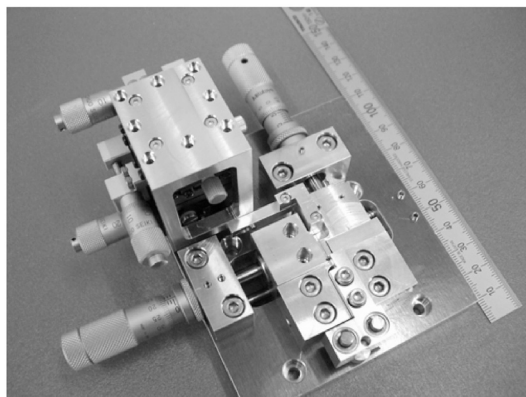
**<附属工場組織>**

工場長（教授）庭野 道夫  
技術職員 渡邊 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 洋一

**今年度製作した製品**



シリンダー用磁気ヘッド接着治



有機・金属ハイブリッド蒸着装置



チタン蒸着用超高真空チャンバー

## 3. 1 1 安全で快適な環境の実現と維持による研究支援

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

- 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。
- 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。

- 職員および学生を対象とした各種安全教育の実施。
- 学内の他部局や監督官庁との連絡調整。

#### 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「人間性豊かなコミュニケーションを実現する総合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なってきたおり、特に企業の参加に関しては、平成 8 年度に本所内規「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に係る研究者の受入れ等に関する申し合わせ」を作成し、公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきた。

今年度は、平成 17 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 17 年度共同プロジェクト研究

平成 17 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 57 件 (A : 30 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、30 件のうち 20 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 12 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 13 件に、B タイプの研究のうち 15 件には、民間の研究者が参加している。

平成17年度共同プロジェクト研究採択一覧

- H15/A05 有機半導体デバイスの基礎と応用
- H15/A07 生体用高分解能テラヘルツセンサー
- H15/A08 高臨場感システム構築のためのマルチモーダル情報処理に関する研究
- H15/A09 ユビキタス共有空間のための知的コミュニケーションに関する研究
- H15/A10  $K_3Li_2Nb_5O_{15}$  単結晶とリラクサーチタン酸鉛系 PMN-PIN-PT、及びランガサイト系  $Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$  単結晶の超音波マイクロスペクトロスコーピー
- H15/A11 情報伝達物質としての糖類の機能解明を目指したテラヘルツ分光スペクトル解析
- H16/A01 超清浄雰囲気スパッタ法による 600Gbit/in<sup>2</sup> 級垂直磁気記録媒体
- 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
- 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高周波応用
- 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発生条件探索と原理考察
- H17/A03 テラビットストレージに関する研究
- 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/A07 低損失可とう性 THz 導波路の分光分析システムへの応用
- 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nde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
- H17/A16 FSF レーザを用いた OFDR 法による PBON 光ファイバアクセスネットワークの故障診断に関する研究
- H15/B01 微粒子プラズマの基礎と応用
- H15/B03 低消費電力・高速 MOS 集積回路に関する研究
- H15/B04 ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究
- H15/B05 次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術
- H15/B08 ヒューマノイドロボットの展開
- H15/B09 高気圧・高密度プラズマの生成と制御
- H16/B01 ナノスケール磁性体の機能発現と高周波・光情報デバイスへの応用
- 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/B06 セキュリティ性検証のための書き換え技法
- 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・水素エネルギーシステム
- H17/B03 ワイヤレス磁気ドライブ技術の生体情報への展開
- 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นม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/B06 次世代ナノ・エレクトロニクスのための光・スピン・電荷制御の理論
- 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 マイクロ波帯磁気デバイスの開発と応用に関する研究
- 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ックス

○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日以後に来年度の研究応募要項の公開，2月25日前後が申請書の提出締切となっており，採否の結果は3月下旬頃に申請者の所属機関の長を通して通知される。研究期間は，4月1日より3月15日までであり，研究終了後4月25日前後までに共同プロジェクト研究報告書を提出して頂くことになっている。なお，上の「理念と概要」の項で述べたように，本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるため，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

## 課題番号 H15/A05

# 有機半導体デバイスの基礎と応用

### [1] 組織

代表者：平本 昌宏	(大阪大学大学院工学研究科)
責任者：石井 久夫	(東北大学電気通信研究所)
分担者：	
梶弘 典	(京大化研)
中村 雅一	(千葉大工)
谷垣 勝己	(東北大理)
竹延 大志	(東北大金研)
広光 一郎	(島根大総合理工)
佐藤 佳晴	(JST)
上野 信雄	(千葉大工)
小谷 正博	(学習院大)
村田 英幸	(北陸先端大)
中山 隆博	(日立製作所材料研究所)
関 修平	(阪大産研)
島田 敏宏	(東大理)
金井 要	(名大院理)

研究費： 校費 4,288 円、旅費 291,580 円

### [2] 研究経過

#### 【概要】

機能的有機材料を用いたエレクトロニクス素子は、低コスト・大面積プロセス、フレキシブル素子構造が可能である等の特徴を有し、近年その研究が加速している。特に、有機 EL 素子においては市場で既存の技術との競争段階に入っている。その他、有機トランジスタ、有機太陽電池などの種々のデバイス研究も実用化をにらんで精力的に進められている。

このようなデバイス研究が盛んであるのに対して、それを支える有機デバイス物理に関しては十分な解明がなされていない。現在のシリコンテクノロジーが、シリコンに対する徹底的な基礎・応用研究の蓄積の上に花開いているのに対して、有機半導体ならびにそのデバイス物理は未解明な課題が山積している。本研究では、まず有機デバイスの基礎を固めるために、有機デバイスそのものを種々の分光的手法と電気測定法を用いて調べ、有機電界発光素子、有機電界効果トランジスタや有機太陽電池などの既存のデバイスの動作機構を解明し、素子の性能向上をはかることを目指す。さらに、種々の有機デバイスの研究者と最新の成果発表と情報交換を行い、有機電界発光素子に続く、実用有機複合デバイスの方向性を確立することを目的とする。

#### 【本年度の成果】

研究会「有機半導体デバイスの基礎と応用」を平成17年12月12日－13日に開催した。昨年度の研究会と同様に、「有機デバイスの動作機構解明に向けた諸課題」と「有機デバイスの将来」を2つの柱として、討論主体の研究会を開催した。前者の課題としては、テーマとして、有機トランジスタ、有機メモリ素子、有機太陽電池などの素子における各メンバーが抱えている有機デバイス物理の諸問題を議論した。また、千葉大上野教授から有機半導体の電子構造に関する最新の研究成果や、学習院大学の小谷教授から有機半導体の光物性に関する新旧の研究に関する総説講演を頂き、デバイス物理の基礎を議論した。後者の課題として

は、JST の佐藤博士に、企業サイドからの視点で「有機半導体デバイスの現状と将来」に関する討論に加わって頂き、有機半導体デバイスの今後に関して有益な意見交換ができた。研究会参加者は、民間研究機関からの参加者、大学院生を含めて、39名で、二日間にわたって活発な討論が行われた。以下に、研究会のプログラムを付記する。

2005年12月12日(月)

梶弘典 (京大化研)	「固体 NMR 法による非晶 TPD の構造とダイナミクス」
中村雅一 (千葉大工)	「有機/絶縁体界面におけるドーピングは起こっているか？」
谷垣勝己 (東北大理)	「SAMS による電極表面処理と FET 特性」
竹延大志 (東北大金研)	「有機単結晶トランジスタ」
平本昌宏 (阪大工)	「分子結晶におけるアバランシェ現象」
広光一郎 (島根大総合理工)	「金/フタロシアニン界面での異常に低いホール注入効率とその改善法」

石井久夫 (東北大通研) 「有機薄膜デバイス中の分極に関して」

【特別講演】

上野信雄 (千葉大工) 「有機半導体薄膜・界面の高分解能光電子分光」

2005年12月13日(火)

【特別講演】

小谷正博 (学習院大) 「有機結晶のなかの励起子と電子」

村田英幸 (北陸先端大) 「有機 EL 素子の劣化を支配する各種要因について」

中山隆博 (日立製作所材料研究所) 「燐光材料 PtOEP を用いた有機 LED における PLdecay の評価」

関修平 (阪大産研) 「共役高分子鎖の分子内電荷輸送特性の電極レス評価法」

島田敏宏 (東大理) 「有機半導体中のトラップに関するいくつかの実験 他」

金井要 (名大院理) 「有機半導体薄膜における大気効果」岩佐義宏 (東北大金研)

【3】成果

(3-1) 研究成果

研究会を通じて、有機トランジスタ(FET)、電界発光(EL)、太陽電池、有機メモリなどの有機デバイスについて、キャリア問題に関して議論を深め、意見交換を行い、諸課題を洗い出し討議した。参加メンバーは、物理、化学、電気、また、産業界、大学教官、院生、と種々のバックグラウンドを持っており、異分野間、院生を含む若手研究者との間の積極的でフランクなディスカッションを行い、有機デバイスの将来を担う研究者の密な交流を目指した。前回の研究会同様に、分からないところは理解できるまで意見交換するという実質重視の研究会とし、研究報告にくわえ、懇親会においても、徹底的な討論を行い、メンバー間の交流を図った。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて、有機デバイスの「基礎と応用」の両方の視点から活発に研究を進めている国内の研究者が一同に会して、実質重視で議論を戦わすことができ、研究を進めていく上での有用なヒントを得ることが出来た。これを契機として、デバイス物理の解明が進むことが期待される。また、グループ研究としての競争的資金への申請などの展開を目指してゆきたい。

【4】成果資料

参考資料として、本プロジェクト研究で行った研究会の報告書を添付する。

## 生体用高分解能テラヘルツセンサー

### [1] 組織

代表者：大橋 啓之  
 (日本電気株式会社 基礎・環境研究所)  
 責任者：伊藤 弘昌  
 (東北大学電気通信研究所)  
 分担者：石原 邦彦  
 (日本電気株式会社 基礎・環境研究所)  
 四方 潤一 (東北大学電気通信研究所)  
 横山 弘之 (東北大学未来科学技術共同  
 研究センター)  
 上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)  
 研究費：校費 33 万円、旅費 31 万円

### [2] 研究経過

癌などの検出に役立つテラヘルツ波の研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、波長より小さいサイズのテラヘルツ波近接場による高分解能テラヘルツセンサーを開発することを目的として、東北大学伊藤研究室が開発したテラヘルツ波光源と、NECが開発した表面プラズモンにより近接場を増強する技術とを組み合わせることによって、波長より小さい開口からの透過波および近接場のエンハンス効果とそれを用いたニアフィールドイメージングについて研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- 2005/6/30-7/1 共同実験
- 2005/8/18-19 共同実験
- 2005/11/10-11 共同実験
- 2005/12/20-21 共同実験
- 2006/2/2-3 共同実験
- 2006/2/16-17 共同実験
- 2006/2/28-3/1 共同実験
- 2006/3/13 研究打ち合わせ
- 2006/3/14 プロジェクト報告会  
および共同実験

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

#### A. 高出力、高空間分解能化の検討

まず第1に、波長以下の径の開口からの大幅な透過エンハンスを示す **Bull's eye** 素子 (単一開口+同心円状周期溝) について、さらに高い出力および空間分解能を得るため、新たに **Bow-tie** 型開口の導入について検討を行った。図1は、**Bow-tie** 型開口を有する **Bull's eye** 素子の概略図を示したものである。**Bull's eye** 構造は、基板上の同心円状の溝に沿って製膜された金属薄膜からなり、その中心部に **Bow-tie** 型開口が形成される。基板はテラヘルツ帯で透明であり、テラヘルツ波は基板側から入射される。本構造における **Bow-tie** 型開口の効果を調べるため、3次元 FDTD 解析を行った。図2(a)は、**Bow-tie** 型開口のみの透過スペクトルを計算した結果を示したものである。**Bow-tie** 型開口は透過スペクトルにピークを有することが知られており、かつピーク波長は開口径に依存して大きくシフトすることがわかる。これより、**Bow-tie** 型開口を有する **Bull's eye** 構造は、**Bow-tie** 型開口および **Bull's eye** 構造それぞれの透過ピーク波長を一致させることが重要であると考えられる。図2(b)は、それぞれの透過ピーク波長が約 200 $\mu\text{m}$  となるように設計した場合の透過スペクトルを計算した結果を示したものである。これより、**Bull's eye** 構造への **Bow-tie** 型開口の導入は、大幅な透過エンハンス効果の増大が可能であることがわかる。

図3(a)は、本素子の電場強度  $|E|^2$  の時間平均分布を示したものである。基板側において、周期溝によって励起された表面波が定在波を形成し、さらに開口近傍に非常に強い近接場が生成されていることがわかる。図3(b)および(c)は、**Bull's eye** 構造における開口を、**Bow-tie** 型開口および従来の円形型開口とした場合について、出射側の電場強度分布を比較した結果を示したものである。**Bow-tie** 型とした場合、電場は突起の先端近傍の微小な領域に強く生成され、電場強度は入射波の 1780 倍に達することがわかる。この結果は、**Bull's eye** 構造への **Bow-tie** 型開口の導入が、透過率の大幅な増大だけでなく、空間分解能の大幅な向上が期待できることを示していると考えられる。

### B. 素子の透過測定および空間分解能測定

第2に、素子を実際に作製し、透過スペクトル測定および空間分解能測定を行った。作製した Bow-tie 型開口を有する Bull's eye 素子の写真を図4(a)に示す。作製は、まずテラヘルツ用透明樹脂基板（屈折率  $n=1.5@1-3$  THz, 基板厚 2 mm）上に、周期  $P=132 \mu\text{m}$  の同心円状の溝（溝幅  $66 \mu\text{m}$ 、溝深さ  $13 \mu\text{m}$ 、溝数 10）をダイヤモンドバイトによる切削加工によって形成した後、Au( $0.4 \mu\text{m}$ )を  $45^\circ$ 斜め製膜した。最後に、同心円の中心のAu膜にBow-tie型開口（開口径  $50 \mu\text{m}$ 、突起間隔  $5 \mu\text{m}$ 、突起角度  $90^\circ$ ）をFIB (Focused Ion Beam) を用いて形成した。測定は、テラヘルツ波パラメトリック発振器 (TPO) によって発生したテラヘルツ波を素子の基板側から照射し、開口部から透過した透過光をボロメータ (4K Si bolometer) で検出することによって行った。

図4(b)は、作製した素子の透過スペクトルを測定した結果について示したものである。ここでは比較のため、開口部を円形開口（開口径  $50 \mu\text{m}$ ）とした従来型の Bull's eye 素子の結果についても示した。Bow-tie 型開口を用いた場合、透過ピーク波長 ( $207 \mu\text{m}$ ) において従来 Bull's eye と比較して大幅な透過光の増大が得られていることがわかる。次に、Bow-tie 型開口を有する Bull's eye 素子の空間分解能を、金属薄膜を用いて測定した。金属薄膜はテラヘルツ用透明樹脂基板上に成膜した Cr( $200 \text{nm}$ )を使用し、Cr 薄膜の直線エッジ部分を素子開口近傍に近接させてスキャンすることにより測定した。テラヘルツ波の波長は  $207 \mu\text{m}$ 、素子と金属薄膜との距離は約  $10 \mu\text{m}$  である。図5に測定した結果を示す。空間分解能は、透過光の 10%-90% を最小2乗近似で定義した場合  $12 \mu\text{m}$  で、波長の約  $1/17$  にも達しており、回折限界を大きく超える高い空間分解能が得られていることがわかる。

### C. テラヘルツ近接場イメージング

第3に、Bow-tie 型開口を有する Bull's eye 素子を実際に2次元イメージングへ適用した。実験に用いたイメージング用の試料は、テラヘルツ用透明樹脂基板上に作製した金属ラインパターン（幅  $20 \mu\text{m}$ 、膜厚  $200 \text{nm}$ 、Cr）である。テラヘルツ波の波長および素子との距離は、空間分解能測定と同じ条件で行った。図6に測定した結果を示す。波長の約  $1/10$  の金属パターンが、高いコントラストで良好にイメージングできていることがわかる。これより、Bow-tie 型開口を有する Bull's eye 素子が、透過率の大幅な増大だけでなく、空間分解能の大幅な向上に非常に有効であることが確認された。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトでは、表面プラズモン共鳴による金属微小開口からのテラヘルツ波透過波および近接場増強効果を確認し、さらに回折限界を大きく超える高い空間分解能を有するニアフィールドイメージング像が得られることを明らかにし、高空間分解能センシングが期待される。本プロジェクトで明らかになった高空間分解能テラヘルツセンシングの成果は、さらなる高分解能化と生体関連試料へのセンシング適用および実用化へ向けて、今後の発展が期待されている。

### [4] 成果資料

- (1) K. Ishihara, G Hatakoshi, T. Ikari, H. Minamide, H. Ito, and K. Ohashi, "Terahertz wave enhanced transmission through a single subwavelength aperture with periodic surface structures," Jpn. J. Appl. Phys. 44, L1005 (2005).
- (2) K. Ishihara, T. Ikari, H. Minamide, J. Shikata, K. Ohashi, H. Yokoyama, and H. Ito, "Terahertz near-field imaging using enhanced transmission through a single subwavelength aperture," Jpn. J. Appl. Phys. 44, L929 (2005).
- (3) 石原、大橋、四方、碓、南出、伊藤、「表面プラズモンによる微小開孔からの長波長光の増強」、ナノオプティクス研究グループ第14回研究討論会
- (4) K. Ishihara, T. Ikari, H. Minamide, J. Shikata, H. Yokoyama, K. Ohashi, and H. Ito, "THz near-field imaging with subwavelength resolution using surface-wave assisted bow-tie aperture," submitted to Appl. Phys. Lett.

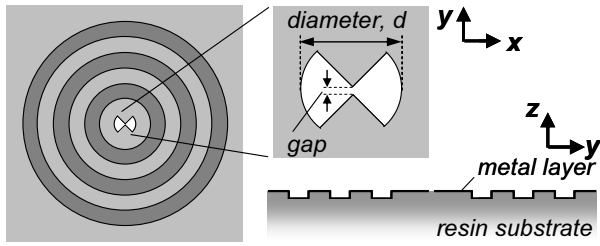


図1 素子概略図

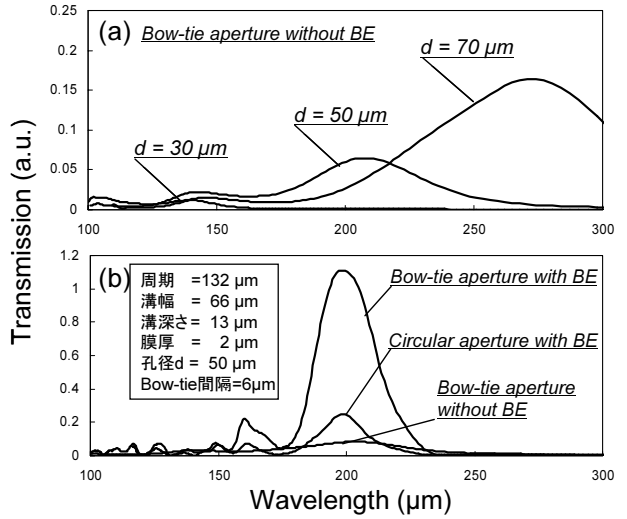


図2 Bull's eye(BE)構造およびBow-tie型開口に関する透過スペクトル計算結果

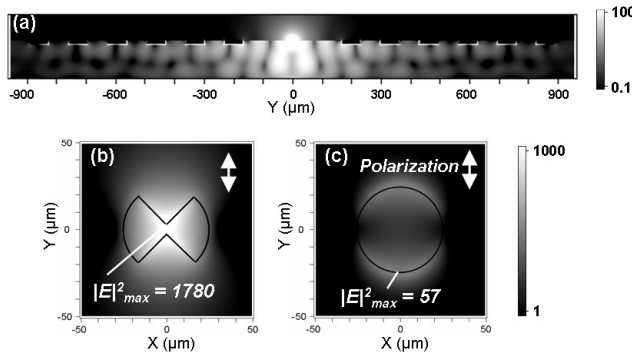


図3 電場強度 $|E|^2$ の時間平均分布計算結果(Bull's eye構造を有するBow-tie型開口および円形開口の比較)

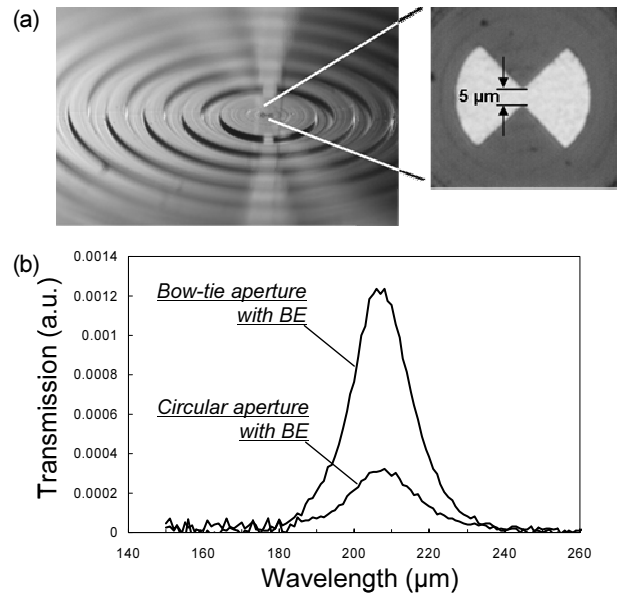


図4 素子写真および透過スペクトル測定結果

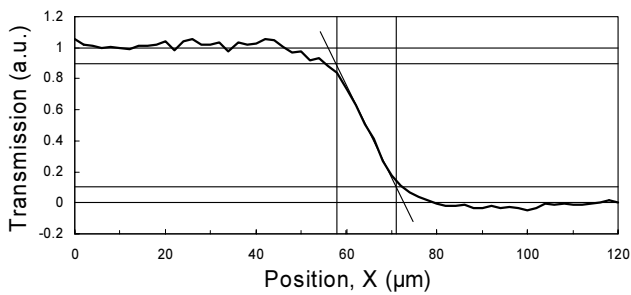


図5 空間分解能測定結果

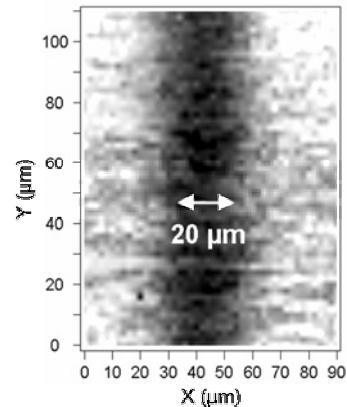


図6 THzニアフィールドドイメーシング像



課題番号 H15/A08

採択回数 1 2 ③

## 高臨場感システム構築のための マルチモーダル情報処理に関する研究

### [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：

曾根 敏夫  
(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)

研究費：校費 32 万 0 千円，旅費 37 万 0 千円

### [2] 研究経過

「臨場感」は、昨今のマルチメディア機器について、その性能を語る際のキーワードである。しかし、その感覚の性質は定量的に明らかにされているとは言い難い。それゆえに、真に高臨場感なシステムを実現するために、マルチモーダル情報をどのように処理すればよいのかも明らかにされていないのが現状である。そこで、本研究では、視覚・聴覚・触覚を研究対象として取り上げ、以下の2点について研究を行うこととした。

1. マルチモーダル臨場感の定量的測定
2. 高臨場感を実現するシステムの設計・開発

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。前年度までに明らかとなったマルチモーダル臨場感の特性や高臨場感システム開発の要点を踏まえ、さらに研究を進展させるべく活動を行った。

以下、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、山梨大学側のメンバーが平成17年9月1日～2日、同年9月26～29日、平成18年3月14日～16日の3回にわたって東北大学電気通信研究所（以下、通研と略称）を訪れ、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。さらに、本プロジェクトの内容を精査することを目的として、関係分野の研究者との意見交換の機会を設けることとした。具体的には、以下の研究者を通研に招き、通研対応者である鈴木をリエゾンとして意見交換を

行った。

- ・山田真司 金沢工業大学助教授
- ・坂本慎一 東京大学生産技術研究所助教授
- ・赤木正人 北陸先端科学技術大学院大学教授
- ・荻木禎史 熊本大学工学部助手

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す5テーマについて研究を行った。

- (A) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討
- (B) 音響頭部伝達関数の測定・処理に関する研究
- (C) 音空間情報の伝送がネットワークを介した強調作業に及ぼす効果に関する検討
- (D) 環境音知覚に及ぼす視覚情報の影響に関する検討
- (E) 「粗さ」に関する聴覚と触覚のクロスモダリティに関する検討

これらのテーマのうち、(A)～(C)は上記目的の「高臨場感を実現するシステムの設計・開発」に関わるものであり、(D)・(E)は「マルチモーダル臨場感の定量的測定」に関わるものである。以下では、これらテーマのそれぞれについて研究成果の概要を述べる。

#### (A) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討

原音場において両耳で観測される音圧を再生音場において両耳に精密に再生することにより高い臨場感を得る手法は、両耳の聞こえを制御することから総称してバイノーラル録音・再生手法と呼ばれている。本テーマでは、当プロジェクトメンバーが以前に提案した、聴取者の音響特性における個人差までを補正する手法の高度化を図ることとした。

当プロジェクトで提案した手法は、十分な性能を有することが前年度までに実証されていたものの、現実場面で利用するために支障となる二つの拘束条件が残されていた。一つは、原音場において録音に用いるマイクロホンと再生音場において補正特性を測定するために用いるマイクロホンの特性が同一で

なければならぬことである。もう一つは、完全な個人性補正を行うためには、聴取者自身が少なくとも一回は原音場に向向いて補正特性の測定を行うことが必要であることである。本年度は、これら二つの拘束条件を解除する方法について検討した。

まず、使用するマイクロホンに関する拘束条件については、補正式の導出過程において数式を構成する項の整理方法を工夫することで解除されることを見いだした。具体的には、補正音場において補正特性を測定する際に利用するマイクロホンを、原音場においての補正特性の測定に予め利用しておきさえすれば、原音場における実際の録音に用いるマイクロホンには何らの制約条件がないことを明らかにした。[成果資料(1)]

次に、聴取者が原音場に出向く必要があるという拘束条件については、原音場以外の室で測定した補正特性のスペクトルを ARMA (Auto-Regressive Moving-Average) モデルを用いることで原音場における本来の補正特性に近似することで解除できることを示した。その原理は前年度までに示していたが、本年度はその近似を行った結果が、再生音の音質や音像定位位置に与える影響までを実験的に検討した。その結果、十分な性能が得られることが示されたので、聴取者は例えば近隣の録音スタジオなどで補正特性を測定すればよいことになり、遠方の原音場に出向く必要があるという拘束条件は解除された。[成果資料 (2)]

以上を通じて、当プロジェクトとして提案した高臨場感再生手法の実用性を飛躍的に高めることに成功した。

### (B) 音響頭部伝達関数の測定・処理に関する研究

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測定することがまず重要となる。本プロジェクトでは、通研対応者である鈴木が提唱した optimized TSP (Time- Stretched Pulse) 法を実装した測定システムを、DSK (Digital signal processor Starter Kit) を用いた可搬性に優れたシステムとして構築した。[成果資料 (3), (4)]

聴取者以外の者の頭部伝達関数を用いて合成した音を聴取した場合には、音の到来方向の前後を誤って知覚する現象が生ずることが一般的に知られている。その原因を探るために、実際に通研音響無響室において測定した頭部伝達関数について、前後方向に特異的に現れる相違を詳細に分析した。その分析結果に基づき、他人の伝達関数を用いても前後誤りを生じさせないような高臨場感再生を実現する信号

処理法を示唆した。[成果資料 (5)]

頭部伝達関数には個人差があるが、それは個人の身体特徴量の相違に起因するものである。逆に、身体特徴量から本人の頭部伝達関数を推定できれば好都合である。当プロジェクトでは、聴取者の上半身についての3次元スキャン画像から身体特徴量を抽出し、それに基づいて頭部伝達関数の要素の一つである両耳間音圧レベル差を予測することを提案した。提案法によって予測したレベル差を付加した音を聴取する実験を行った結果として、音像定位方向の誤りの減少が確認され、提案法の有効性が示された。[成果資料 (6)]

### (C) 音空間情報の伝送がネットワークを介した強調作業に及ぼす効果に関する検討

音の空間情報を伝達する高臨場感システムが、遠隔協調作業の効率向上にも有益であることを検証するために、テレビ会議を対象に取り上げて検討した。さらに、ネットワークを介して情報伝送する際に必要とされる情報圧縮の効果も合わせて検討した。その結果から、以下の2点を明らかにした。

- (1) 音の再生方式としては、バイノーラル再生系が、モノラル方式、ステレオ方式よりも高い単語了解度が得られた。
- (2) チャンネル録音再生系を用いるならば、「非圧縮のステレオ方式」よりも「TwinVQ 符号化を行ったバイノーラル方式」の方が、伝送情報量及び単語了解度という二つの点について優れていることを示した。

以上から、今後さらに多くの需要が見込まれる遠隔共同作業環境において、音の録音・伝送・再生にはバイノーラル方式と音の高エネルギー符号化をあわせて利用することが有効であることを示した。[成果資料 (7)]

### (D) 環境音知覚に及ぼす視覚情報の影響に関する検討

これまでに当プロジェクトとして、環境音の音色因子や情報因子についての知覚に及ぼす、音源に関する言語情報の影響、および視覚情報の影響を独立に測定する実験を行ってきた。本年度は、それらの実験結果を統合して分析することで、聴覚と視覚によるマルチモーダル知覚の性質を検討した。その結果から、音源映像という視覚情報は、言語情報と同様に音源に対して聴取者が有するイメージを喚起することによる影響に加えて、映像そのものの美しさや音と同期した映像の動きなど、静的な情報を与える言語とは異なる性質を有することを明らかにした。[成果資料(8)]

また、一昨年度の研究に引き続き、特に環境音のラウドネス知覚に及ぼす視覚情報の影響を観測した。その結果、音刺激に視覚刺激を付加することにより、中央値で $\pm 2.5$  dB 程度のラウドネスの増加、あるいは減少が生じることが示された。しかし、映像付加による量的因子の因子得点変化と、そのラウドネス変化に良い対応が見られなかったことから、形容詞対を用いた主観的評価に基づく量的因子得点の変化をラウドネスと 1 対 1 に対応づけるのは適切ではないこと明らかとなり、今後さらに詳細な検討の必要性が示唆された。[成果資料(9)]

#### (E) 「粗さ」に関する聴覚と触覚のクロスモダリティに関する検討

上記(D)のテーマでは、視覚と聴覚のみを取り上げていた。しかし、高臨場感を実現するマルチモーダル環境を考える際には、空間内でのオブジェクトとのインタラクションにおいて重要な触覚といった他のモダリティも十分に考慮する必要がある。そこで、昨年度に引き続き、オブジェクトの表面特性に関する触覚表現である「粗さ」に着目して、聴覚とのクロスモダリティに関する検討を行った。

昨年度の実験においては、被験者の回答のしやすさを優先するために、基準刺激ありの相対的 ME (Magnitude Estimation) 法を用いて測定を行っていた。しかし、固定した基準刺激による判断バイアスが懸念されたので、本年度は基準刺激なしの絶対的 ME 法によって実験を実施した。その結果、聴覚刺激に触覚刺激を付加すること、および触覚刺激に聴覚刺激を付加することは、互いに粗さを増加させるという統計的に有意な効果を観測することができた。この成果は、聴覚・触覚マルチモーダルシステムにおいてユーザに与える情報強調に利用可能である。[成果資料 (10), (11)]

#### (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。また、前述のとおり、本研究に関連する分野の研究者との意見交換が実現され、研究内容をより深いものにする契機が与えられた。

上記のテーマ(A) バイノーラル録音・再生手法の高度化に関する検討の結果に基づいて計画立案した研究課題「自由度の高い音響空間再生手法の確立」が日本学術振興会による平成 17~18 年度科学研究費補助金に採択された。このように、本プロジェクトの成果から派生したテーマについても、今後の発展が期待できるものと考えている。

#### [4] 成果資料

- (1) Ozawa, K., "Expansion of an individual equalization method for binaural signals," *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol. 26, No. 3, pp. 309-311 (2005).
- (2) 筒井健介, 小澤賢司, 鈴木陽一, "バイノーラル補正における音場に関する拘束条件の解除," *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 10, No. 4, pp. 565-572 (2005).
- (3) 山岸大輔, 小澤賢司 "DSP Starter Kit を用いた 2 チャネルインパルス応答測定系の構築," *音響学会講演集 2005 年 9 月*, pp. 657-658 (2005).
- (4) Yamagishi, D. and Ozawa, K., "A two-channel impulse response measurement system based on a DSP starter kit," *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol. 27, No. 2, pp. 117-119 (2006).
- (5) 山本雅樹, 渡邊貫治, 小澤賢司, "前方および後方の HRTF における相違の分析," *音響学会講演集 2006 年 3 月*, pp. 575-576 (2006).
- (6) 渡邊貫治, 阿曾健司, 小澤賢司, 岩谷幸雄, 鈴木陽一, 小澤賢司, "身体特徴量に基づく両耳間レベル差の予測," *音響学会講演集 2006 年 3 月*, pp. 577-578 (2006).
- (7) 中貝順一, 小澤賢司, "音の再生方式と高能率符号化が競合話者存在下での単語理解度に及ぼす影響," *電子情報通信学会論文誌 A*, Vol. J88-A, No. 9, pp. 1026-1034 (2005).
- (8) Abe, K., Ozawa, K., Suzuki, Y., and Sone, T., "Comparison of the effects of verbal versus visual information about sound sources on the perception of environmental sounds," *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 92, No. 1, pp. 51-60 (2006).
- (9) 安倍幸治, 佐藤剛, 高根昭一, 曾根敏夫, "環境音のラウドネス評価に対する映像の影響の基礎的検討," *日本音響学会騒音・振動研究会資料*, N-2005-34, pp. 1-8 (2005).
- (10) 北村絵美, 宮下克也, 小俣昌樹, 小澤賢司, 今宮淳美, "粗さに関する聴覚と触覚のクロスモダリティに及ぼす実験条件の影響," 第 7 回日本感性工学会大会予稿集, p. 278 (2005).
- (11) Kitamura, E., Miyashita, K., Ozawa, K., Omata, M., and Imamiya, A., "Cross modality between haptic and auditory roughness with a force feedback device," *J. Robotics and Mechatronics*, Vol. 18, No. 4, pp. 450-457 (2006).

## ユビキタス共有空間のための 知的コミュニケーションに関する研究

### [1] 組織

代表者：岡田 謙一

(慶應義塾大学理工学部)

対応者：白鳥則郎

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

石原 進 (静岡大学工学部)

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)

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：校費 380,000 円, 旅費 696,560 円

### [2] 研究経過

マイクロプロセッサや IC タグが遍在するユビキタス社会が広がりつつある。ユビキタス性を活かすためには単に万物にマイクロプロセッサなどが埋め込まれるだけではなく、それらのモノ間や計算機との通信によって、遠隔地から人とモノとの情報共有できるユビキタス共有空間の概念の形成が必要である。

本研究では、ユビキタス共有空間を実現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、ヒューマンインタフェース、エージェントシステム、セキュリティシステム、ウェアラブルコンピューティング、通信システムの基盤技術の確立を目指してきた。

平成 17 年度は、本プロジェクト研究の第 3 年度であった。前年度は個々の基盤技術の検討を行った。本年度は、前年度の成果を踏まえながら、ユビキタス共有空間実現のため、基盤技術を組み合わせ、室内などにおける対面の作業環境を中心としたアプリケーションシステムを実装し、この

システムと遠隔地の複数の空間との間で、高次の意思伝達がいかに円滑に行えるかについて実証実験を行った。ユビキタス共有空間を利用したシステムでは、同期型のシステムに加え、新たに放送型システムも加えて、幅広い対象に対して取り扱いを可能とした。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ユビキタス環境において、相手や環境に応じて扱う情報と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 1 回開催し、最新の研究成果を持ち寄り、議論を重ねた。

開催日程および概要は以下の通りである。

< 第一回研究推進会議 >

日時：平成 17 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) 「インターネット放送とその動向」  
村山 優子 (岩手県立大)
- (2) 「ユビキタスインフラストラクチャ」  
渡辺 尚 (静岡大学)
- (3) 「ユーザ指向タイムクリティカルネットワークのための IEEE 802.11 マルチホップネットワーク高スループット化手法の提案」北須賀 輝明 (九州大)
- (4) 「アドホックネットワークにおけるセキュアルーティング」佐藤文明 (東邦大学)
- (5) 「レガシー家電製品のネットワーク制御に関する研究」水野忠則 (静岡大)
- (6) 「ワイヤレスネットワークにおける現実的なモビリティモデルの生成」東野輝夫 (大阪大)
- (7) 「ユビキタス環境における体感型学習プラットフォーム」岡田謙一 (慶應大)
- (8) 「ポータルサイトを持ったグリッドコンピューティングシステム～プロバイダーが運用するビジネスモ

- デル～」片岡信弘（東海大）
- (9) 「ウェアラブル・ユビキタスコンピューティングに関する研究」塚本昌彦（神戸大）
  - (10) 「交差点無停止通過型交通管制方式の提案と検討」宮西洋太郎（宮城大）
  - (11) 「北京エクスプローラ II」宗森 純（和歌山大）
  - (12) 「モバイルアドホックネットワークにおけるセキュリティ」高橋 修（はこだて未来大）
  - (13) 「次世代健康福祉・介護情報基盤技術開発コンソーシアム（ATWC）とは」富樫 敦（宮城大）

### [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) 複合現実感における作業記録の可視化手法の提案と評価

複合現実感技術を用いて現実空間に仮想物体を重畳させることで、産業分野などにおける作業をシミュレーションする事ができる。これはユビキタス共有空間の状況を遠隔地に伝えるためには必要な技術の一つである。そこで作業者が装着しているビデオシースルーHMDからの映像に加え、作業者による仮想物体の操作情報および作業者と仮想物体の位置・姿勢情報を磁気センサを用いて記録し、それらを関連付けて可視化することにより、複合現実感空間で行われた作業の把握を支援する事を提案した。そして提案概念を実現する作業把握システムMR Work Visualizerを構築し、その有用性を評価した。

##### (2) 有線と無線の二重通信によるホームネットワーク

家庭内のユビキタス共有空間のコミュニケーションに使用するものの一つにホームネットワークがある。本研究ではNo New Wireを実現する通信媒体として、既に宅内に敷設されている電力線、そして無線通信であるZigBeeを併用し、低コストなホームネットワーク環境を構築した。一戸3階建ての住居にて、有線と無線の相互補完ネットワークシステムを適用し実証実験を行った結果、通信環境になんら対策を講ずる事なく100%のデータ通信成功率を得た。特異な配電状態でも92%を確保できる事もわかった。無線と有線単独での通信伝送の成功率は各々約80%と約70%であるため、このシステムにより、12%から30%のデータ通信成功率の改善ができ、家庭や家庭程度の小さい空間になんら通信環境を改善する事なく実用的なネットワークを設置できる可能性を見いだした。

##### (3) ルールに基づくユビキタスデバイスのためのネットワークトポロジ発見手法

本研究では、ユビキタス共有空間を実現するための入出力制御デバイスの一つであるユビキタスチップ間のネットワークトポロジ（ネットワークの構成形態）を発見するための手法を提案した。ユビキタス共有空間においてはさまざまな通信手段が混在し、アプリケーション要求によって最適な通信手段やプロトコル環境が異なるため、ネットワークトポロジの発見においても、できるだけ柔軟な方式を採用する必要がある。そこで本研究ではイベント駆動型ルールを用いた柔軟なネットワークトポロジ発見手法を実現する。提案手法はルール組み合わせでトポロジ発見を実現するため、ルールを変更する事で状況に応じた柔軟な処理が可能となる。さらにシミュレータおよびユビキタスチップ実機上で提案するトポロジ発見手法を動作させ、提案手法が有効に働く事を確認した。

#### (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と通信技術の融合により、ユビキタスコンピューティングに関する新しい市場が広がっている。その理由として、センサやRFIDによる計測技術の進歩、高速な無線LANやホームネットワーク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。そして、本研究の実証実験を通して、ユビキタス共有空間を実現するための基盤技術を確立した。

本研究で開発した試作システムは、情報家電、教育システム、知的生産システム、健康福祉システム、エンターテインメントなどのアプリケーションに展開が可能である。本研究による対面環境下及び分散環境下での高度なコンピュータネットワークの利用形態は、ユビキタス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であり、日本における情報通信技術の新たな技術の定着が期待できる。また、本プロジェクトにより明らかになった、ユビキタス共有空間のための知的コミュニケーションに関する成果は、新しい通信環境の研究領域の開拓に結びつき、国際会議や国内シンポジウムへの今後の発展が期待できる。

### [4] 成果資料

- (1) 吉田雄紀, 高見澤信弘, 中上恭介, 後藤幸功, 村山優子: テレプレゼンスを重視したインターネット放送の実践, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02005) シンポジウム; pp. 241-244 (2005).
- (2) Takahiro Fujiwara, Takashi Watanabe: An ad hoc networking scheme in hybrid networks for emergency communications, International Journal on Wireless Ad hoc Networks, Elsevier, Vol. 3, Issue 3, pp. 607-620, 2005.

- (3) T. Munaka, T. Yamamoto, T. Watanabe: A Reliable Advanced Join system for data multicasting in ITS Networks, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.6, No.4 (2005).
- (4) Hiroshi Mineno, Kazuo Hida, Miho Mizutani, Naoto Miyauchi, Kazuhiro Kusunoki, Akira Fukuda, Tadanori Mizuno: Hierarchical Position Estimation for a Tracking System using Mobile Detectors, GESTS International Transactions on Computer Science and Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 21-32 (2005).
- (5) Hideki Shimada, Teruaki Kitasuka, Akira Fukuda, and Hideki Sunahara: Access Point Determination Method Considering Route Stability on the Hybrid Ad-hoc Network," Proc. the 2005 International Conference on Wireless Networks (ICWN-05), pp. 348-353, Las Vegas, Nevada, USA, June 27-30 (2005).
- (6) Teruaki Kitasuka, Kenji Hisazumi, Tsuneo Nakanishi, and Akira Fukuda: Positioning Technique of Wireless LAN Terminals Using RSSI between Terminals, Proc. the 2005 International Conference on Pervasive Systems and Computing (PSC-05), pp. 47-53, Las Vegas, Nevada, USA, June 27-30 (2005).
- (7) Yamada, K. Kitazawa, H. Tasase, T. Tamura, Y. Naoe, T. Furumura, T. Shimizu, K. Yoshida, M. Kojima and T. Mizuno: Dual Communication System Using Wired and Wireless Correspondence in Home Network, Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 9<sup>th</sup> International Conference, KES2005, Proceedings, Part1, pp. 438-444 (2005).
- (8) Thilmee M. Baduge, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino: An Efficient Overlay Multicast Protocol for Heterogeneous Users, 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 11, pp. 2614-2622 (2005).
- (9) Teruo Higashino and Hirozumi Yamaguchi: A Testing Architecture for Designing High-Reliable MANET Protocol, Proceedings of the 25th IFIP International Conference on Formal Techniques for Networked and Distributed Systems (FORTE 2005), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3731, pp. 20-23 (2005) (Invited Paper/Keynote Speech)
- (10) Kumiko Maeda, Kazuki Sato, Kazuki Konishi, Akiko Yamasaki, Akira Uchiyama, Hirozumi Yamaguchi, Keiichi Yasumoto and Teruo Higashino: Getting Urban Pedestrian Flow from Simple Observation: Realistic Mobility Generation in Wireless Network Simulation, Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM2005), pp. 151-158 (2005).
- (11) 宮狭和大, 坂内祐一, 重野寛, 岡田謙一: 複合現実空間における作業記憶の可視化手法の提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 1, pp. 181-192 (2006).
- (12) Shintaro Ueda, Shin-ichiro Kaneko, Nobutaka Kawaguchi, Hiroshi Shigeno and Kenichi Okada: A Real-Time Stream Authentication Scheme for Video Streams, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 2, pp. 415-425 (2006).
- (13) 岸野泰恵, 寺田努, 塚本昌彦, 義久智樹, 早川敬介, 粕谷 篤, 西尾章治郎: ルールに基づくユビキタスデバイスのためのネットワークトポロジ発見手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 2, pp. 521-533 (2006).
- (14) 宗森 純, 上坂大輔, タイミンチー, 吉野 孝: 位置情報を用いた汎用双方向ガイドシステム xExplorer の開発と適用, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 1, pp. 28-40 (2006).
- (15) Taguchi, K., Watanabe, K., Enokido, T., and Takizawa, M.: Causally Ordered Delivery in a Hierarchical Group of Peer Processes, Computer Communications Journal, Vol. 28, No. 1, pp. 1337-1347 (2005).
- (16) Watanabe, K., Hayashibara, N., and Takizawa, M.: CBF: Look-up Protocol for Distributed Multimedia Objects in Peer-to-Peer Overlay Networks, Journal of Interconnection Networks (JOIN), Vol. 6, No. 3, pp. 323-344 (2005).

課題番号 H15/A10

採択回数 1 2 3

## K<sub>3</sub>Li<sub>2</sub>Nb<sub>5</sub>O<sub>15</sub> 単結晶とリラクサーチタン酸鉛系 PMN-PIN-PT、 及びランガサイト系 Ca<sub>3</sub>NbGa<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>14</sub> 単結晶の 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：校費 32 万円，旅費 39 万円

## [2] 研究経過

本代表研究者らは、物質・材料表面の音響特性を非接触的・非破壊的に定量計測できる直線集束ビーム (Line-Focus-Beam: LFB) 超音波材料解析システムを基本とした「超音波マイクロスペクトロスコピー (Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS) 技術」に関する基礎研究および応用開発研究を進めている。本プロジェクトでは、オプトエレクトロニクスや弾性表面波 (SAW) エレクトロニクス材料としての KNbO<sub>3</sub>、K<sub>3</sub>Li<sub>2</sub>Nb<sub>5</sub>O<sub>15</sub> およびランガサイト系単結晶や医用超音波診断装置の超音波プローブ用リラクサー系単結晶の開発研究に応用するもので、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 3 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 18 年 2 月 14 日～17 日：安達正利教授、唐木智明助教授 (富山県立大学)

(2) 平成 18 年 2 月 26 日～3 月 1 日：安達正利教授 (富山県立大学)

(3) 平成 18 年 3 月 28 日～31 日：安達正利教授、唐木智明助教授 (富山県立大学)

研究発表：

- (1) 平成 17 年 2 月 23-24 日：「ニオブ酸カリウム (KNbO<sub>3</sub>) 単結晶の育成」, 圧電材料・デバイスシンポジウム 2005, pp. 15-16, 東北大学, 安達 正利教授, 唐木 智明助教授 (富山県立大学).
- (2) 平成 17 年 6 月 27-30 日：“Evaluation of Material Constants in NdCa<sub>4</sub>O(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> Piezoelectric Single Crystal”, 4<sup>th</sup> Asian Meeting on Electroceramics AMEC-4, Zhijiang Hotel, Hangzhou, China, 安達 正利教授, 唐木 智明助教授 (富山県立大学).
- (3) 平成 17 年 9 月 5-9 日：“Growth of Potassium Niobate (KNbO<sub>3</sub>) Single Crystals for Piezoelectric Applications”, 11<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, IMF-05-013, Iguassu Falls, Argentine/Brazil. 安達 正利教授, 唐木 智明助教授 (富山県立大学).
- (4) 平成 17 年 9 月 5-9 日：“Growth of Pb[(In,Nb)/Ti]O<sub>3</sub> Single Crystals”, 11<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, IMF-017-009, Iguassu Falls, Argentine/Brazil. 安達 正利教授, 唐木 智明助教授 (富山県立大学).
- (5) 平成 17 年 9 月 27-29 日：招待講演「酸化物圧電単結晶育成の現状とその動向」、日本音響学会 2005 年秋季研究発表会、2-3-2、東北大学, 安達 正利教授.
- (6) 平成 17 年 11 月 6-9 日：Invited, “Growth of Potassium Niobate (KNbO<sub>3</sub>) Single Crystals for Piezoelectric Applications”, The Twelfth US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, PV.2, 安達 正利教授, 唐木 智明助教授 (富山県立大学).
- (7) 平成 18 年 2 月 15-16 日：「希土類カルシウム

オキソボレート結晶の圧電評価について」, 圧電材料・デバイスシンポジウム 2006, A-3, 東北大学, 安達 正利教授, 唐木 智明助教授 (富山県立大学).

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、ニオブ酸カリウム (KN:KNbO<sub>3</sub>) は非鉛系圧電材料として超音波トランスデューサ, 圧電振動子, SAW デバイスなどのデバイスの素材として注目を集めている。しかし, KN は育成後除冷中に 435°C, 225°C 近傍において立方晶系 (常誘電相) → 正方晶系 (強誘電相) → 斜方晶系 (強誘電相) へと相転移し, クラック, 双晶が発生することなどの技術的な困難があり, 良質で大型の単結晶を得ることは困難とされている。本研究では, 近年の環境問題で世界的な関心を集めている非鉛系圧電材料であるニオブ酸カリウム (KNbO<sub>3</sub>) 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 KNbO<sub>3</sub> 単結晶の評価を行った。

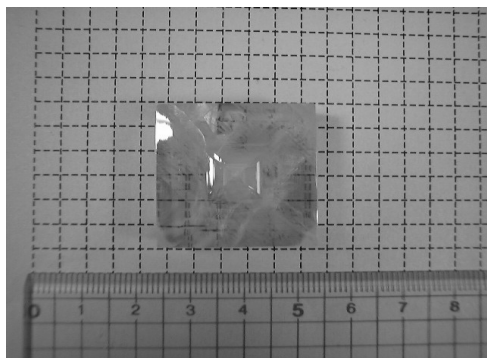


図1 KN 単結晶の写真

育成した結晶を図1に示す。育成条件は, 引き上げ方向が[100], 引き上げ速度は0-0.5mm/h, 種子回転速度は8-10rpm, 空気雰囲気中で, 育成後の冷却に65時間かけた。図に示すように, 結晶の大きさは, 約27mm × 27mm, 厚さは約10mm, 重量29.8gである。結晶にはクラックがほとんど存在せず, 良質の結晶が育成できた。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<sub>3</sub>は, 高温では立方晶の常誘電体であるが, 435°Cで正方晶に, 225°Cで斜方晶に, さらに-10°C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ある。一方, NaNbO<sub>3</sub>も同様な逐次相転移を示すが, 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<sub>0.5</sub>Na<sub>0.5</sub>)NbO<sub>3</sub>

固溶体セラミクスは, L. Egerton<sup>[5,6]</sup>によると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, 単分域化処理は困難であり, 不均一温度変化などにより分域状態も変わりやすい。そのため単分域化処理が容易でなく, 複数回の分極処理を必要とする。この(K,Na)NbO<sub>3</sub>のAサイトをLiで置換すると, 其の量に応じて, ペロフスカイト→タングステンブロンズ→イルメナイト構造に変化する。タングステンブロンズ及びイルメナイト構造では逐次相転移を示さなく, 室温で正方晶または菱面体晶系となる。また, 分域構造も単純な反平行の180°のみとなり分極処理が容易である。さらに, Taを加えることにより高いキュリー温度を少し下げて結晶構造を安定化できる。この(K,Na,Li)(Nb,Ta)O<sub>3</sub>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, 分域制御が容易な圧電単結晶が創製できる可能性がある。

第2に, インジウムニオブ酸鉛(PIN)-マグネシウムニオブ酸(PMN)-チタン酸鉛(PT)3成分系単結晶PIMNTは, 比較的高いキュリー温度を有する圧電材料として注目されている。フラックスにPbOおよびB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用い, TSSG法で以下に示す組成を持ったPIMNT単結晶を作製した。

表1 育成結晶の組成と転移温度

Samples	Composition	Phase	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)
#1	24/42/34	tetragonal	220	
#2	24/43/33	rhombohedral	213	70
#3	24/44/32	rhombohedral	208	120
#4	24/45/31	rhombohedral	201	165

溶液組成をPIMNT25/37/38にしても育成を行い, T<sub>c</sub>=203°C, T<sub>m</sub>=103°Cの結晶を育成することができた。また, フラックスの割合をPIMNT:PbO:B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=60:37:3にしても単一のペロフスカイト構造が得られることが確認できた。さらに, フラックスの融点を下げる効果により, 白金棒では1080°C, PMNT種子結晶では1050-1070°Cでの育成が可能となった。

TSSG法で良質なPIMNT結晶の育成方法を確立した。ただし, 良質なPIMNT単結晶を育成するには, PMNT種子結晶を用いて種子付け後にネッキングを行い, 徐々に結晶径を大きくしていくことが重要である。この方法に原料の連続充填を行うことで, 均一性の高い大型PIMNT単結晶の育成も可能であることが示された。

第3は, 希土類カルシウムオキソボレート結晶(RCaO(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)の圧電評価である。RCOB系結晶は単斜晶系で点群*m*に属し, 関連する独立の圧電材料定数がもっとも多いので, その評価方法は



$$\frac{\varepsilon^T}{\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} 9.9 & 0 & -1.9 \\ & 16 & 0 \\ & & 10 \end{bmatrix}$$

$$d = \begin{bmatrix} d_{11} & 3.9 & -4.8 & 0 & d_{15} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -4.4 & 0 & 14 \\ -1.3 & -2.5 & d_{33} & 0 & d_{35} & 0 \end{bmatrix}$$

表2 誘電・弾性・圧電特性

未だに確立されていない。本研究では、結晶のあらゆる回転のカット面を理論的に解析し、適切な測定法を提案する。さらに  $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$  (NdCOB) 結晶を用いて測定を行い、提案した測定法の実用性を討論する。表2は、短冊型圧電振動子の共振・反共振法で求めたNdCOBの諸定数である。

### (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ーピー (Ultrasonic Micro-Spectroscopy: UMS) 技術」と共振・反共振法で得られる材料定数に関する共同研究という新しい研究領域の開拓(萌芽的研究の発見)に結びつき、材料定数測定法の融合など、今後の発展が期待される。

### [4] 成果資料

#### 発表論文

- (1) M. Adachi, Fujita, Y. Norimatsu and T. Karaki,  
“Growth of Potassium Niobate ( $\text{KNbO}_3$ ) Single Crystals for Piezoelectric Applications”, to be published in *Ferroelectrics*, April, 2006.
- (2) T. Karaki, Y. Sumiyoshi and M. Adachi,  
“Growth of  $\text{Pb}[(\text{In},\text{Nb})\text{Ti}]\text{O}_3$  Single Crystals”, to be published in *Ferroelectrics*, April, 2006
- (3) Masatoshi Adachi, Nao Fujita, Yoshiki Norimatsu and Tomoaki Karaki, “Growth of Potassium Niobate ( $\text{KNbO}_3$ ) Single Crystals for Piezoelectric Applications”, Program Summary and Extended Abstracts of The Twelfth US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics, pp. 421-423, PV.2, Nov. 6-9, 2005.
- (4) M. Furuhashi, A. Yajima, K. Goto, H. Sato, T. Funasaka, S. Kawano, S. Fujii, T. Higuchi,

$$s^E = \begin{bmatrix} 8.2 & -1.5 & -3.2 & 0 & -0.35 & 0 \\ & 7.4 & -1.6 & 0 & 0.37 & 0 \\ & & 9.3 & 0 & 0.33 & 0 \\ & & & 34 & 0 & 0.23 \\ & & & & 21 & 0 \\ & & & & & 19 \end{bmatrix}$$

M. Ueno, T. Karaki and M. Adachi,

“Development of Monolithic CMOS-SAW Oscillator”, *Proceedings of 2005 IEEE International Ultrasonics Symposium*, IEEE Cat. No. : 05CH37716C, pp. 2194-2197, September 18-21, 2005, Rotterdam, The Netherlands.

- (5) 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.

#### 口頭発表

- (1) 安達 正利, 藤田 直, 唐木 智明,  
「ニオブ酸カリウム ( $\text{KNbO}_3$ ) 単結晶の育成」,  
圧電材料・デバイスシンポジウム 2005,  
平成 17 年 2 月 23-24 日, pp.15-16, 東北大学.
- (2) Karaki, M. Adachi and Y. Kuniyoshi,  
“Evaluation of Material Constants in  $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$  Piezoelectric Single Crystal”,  
4<sup>th</sup> Asian Meeting on Electroceramics AMEC-4, June 27-30, 2005, Zhijiang Hotel, Hangzhou, China.
- (3) M. Adachi, Fujita, Y. Norimatsu and T. Karaki, “Growth of Potassium Niobate ( $\text{KNbO}_3$ ) Single Crystals for Piezoelectric Applications”, 11<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, IMF-05-013, Sept. 5-9, 2005, Iguassu Falls, Argentina/Brazil.
- (4) T. Karaki, Y. Sumiyoshi and M. Adachi,  
“Growth of  $\text{Pb}[(\text{In},\text{Nb})\text{Ti}]\text{O}_3$  Single Crystals”,  
11<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, IMF-017-009, Sept. 5-9, 2005, Iguassu Falls, Argentina/Brazil.
- (5) 安達 正利,  
招待講演「酸化物圧電単結晶育成の現状とその動向」、日本音響学会 2005 年秋季研究発

- 表会、2-3-2、9月27-29日、東北大学.
- (6) 唐木 智明, 安達 正利, 国吉 幸浩,  
「希土類カルシウムオキソボレート結晶の圧電評価について」, 圧電材料・デバイスシンポジウム2006, A-3, 2006年2月15-16日,  
東北大学

## 情報伝達物質としての糖類の機能解明を目指した テラヘルツ分光スペクトル解析

### [1] 組織

代表者：亀岡 孝治

(三重大学)

責任者：伊藤 弘昌

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

橋本 篤 (三重大学生物資源学部)

中西 健一 (三重大学生物資源学部)

狩野 幹人 (三重大学知財統括室)

研究費：校費 320,000 円，旅費 270,000 円

### [2] 研究経過

テラヘルツ分光手法およびそのデバイス開発が急速に進展しており、テラヘルツスペクトルの理論的解釈が急務となっている。また、テラヘルツ分光手法のもっとも効果的な利用としてバイオ分野への応用があげられ、生命活動の基点となる糖類のテラヘルツスペクトルの理解は、情報伝達物質としての糖類の機能解明の一助を担うものとして注目を集めている。一方、官能基の基準振動に基づく情報が得られる中赤外スペクトルは、糖類の構造解析や機能解明に関する有効な手法の一つであり、テラヘルツスペクトルと中赤外スペクトルを併置することにより、糖類のテラヘルツスペクトルの理解の進展が期待される。三重大学生物資源学部では様々な単糖・二糖類をはじめオリゴ糖、多糖類の中赤外分光解析をおこない、その生体内における物理化学的および生物化学的な機能解明を行っている。また、これらの知見に基づき、中赤外分光法を援用した植物細胞の動的糖代謝過程の解析をおこなうとともに、pH や温度変化を考慮した解糖系酵素反応計測技術の確立を目指している。さらに、様々な栄養糖や情報糖を用いた植物細胞培養をおこない、中赤外分光的見地からそれら糖類の生体内における機能解明を目指している。そこで、本プロジェクトでは、上記糖類の

テラヘルツスペクトル取得の可能性を模索するとともに、糖類のテラヘルツスペクトルに関して中赤外スペクトルと併置することでその特徴抽出を目的とした。

プロジェクトの1年目となる一昨年度は、生物の代謝活動と密接に関連している単糖類（ガラクトース、フルクトースなど）・二糖類（トレハロース、スクロースなど）およびグルコースが直鎖に結合したマルトオリゴ糖のテラヘルツスペクトル特性について検討し、二糖類やマルトオリゴ糖を構成する単糖の種類とその結合形態が同じであっても、結合している単糖の数、つまり分子全体の挙動がテラヘルツスペクトルに反映されていることを実験的に示した。また、プロジェクトの2年目となる昨年度は、二糖類の結合形態に着目したテラヘルツスペクトルと中赤外スペクトルとの比較、および糖類のテラヘルツスペクトルの理論的解析を可能にする実験条件の探索を行った。そこで、プロジェクトの3年目となる本年度は、生体系における糖類がNaやKを含む塩と共存することで様々な機能を有していることに着目し、塩類が糖水溶液中の糖類の赤外分光特性に及ぼす影響の把握を試みた。また、糖類のテラヘルツスペクトルの理論的解析の為のデータ取得を目的とし、単糖類・二糖類のテラヘルツスペクトルに及ぼす温度依存性、および糖単結晶の極低温における偏光性について実験的に検討した。

以下、研究活動の概要を示す。まず、昨年度までの実験結果に基づき、単糖類・二糖類の選定を行った。具体的には、単糖類として、解糖系の起点となり代表的な栄養糖の一つであるグルコースとフルクトース、およびグルコースのエピマーであるガラクトースとマンノースを採用した。また、グルコース-グルコースおよびグルコース-フルクトースからなり、単糖-単糖の結合形態が異なる二糖類として、D-グルコース2分子が結合したトレハロース ( $\alpha$ -1,1 結合) とマルトース ( $\alpha$ -1,4 結合)、および

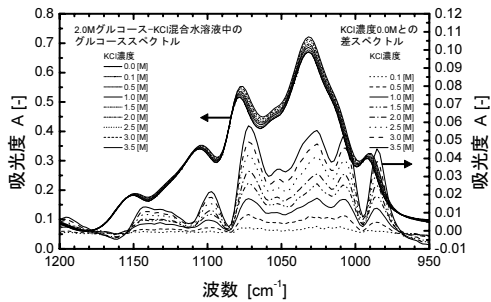


図1. グルコーススペクトルに及ぼす KCl 濃度の影響.

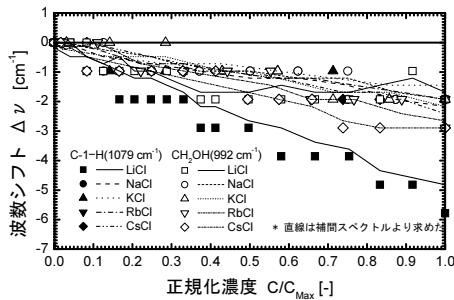


図2. グルコーススペクトルの波数シフトとアルカリ金属塩化物濃度との関係.

D-グルコースとβ-D-フルクトースが結合したスクロース (α-1,2 結合) を用いた。

そして、FT-IR を用いてグルコース-アルカリ金属塩水溶液中の中赤外スペクトル、および単糖類・二糖類粉末とトレハロース単結晶のテラヘルツスペクトルを測定した。その際、塩類として、アルカリ金属 (Li, Na, K, Rb, および Cs) 塩化物を採用した。また、トレハロースに関しては、単結晶を用いて極低温における偏光依存の分光実験を行った。

### [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。

糖の指紋領域 (1200  $\text{cm}^{-1}$ ~950  $\text{cm}^{-1}$ ) における 2.0 M グルコース-KCl 混合水溶液中のグルコーススペクトルを図1に示す。KCl 濃度の変化に対して、スペクトルパターンが連続的に変化した。また、他の4種類のグルコース-アルカリ金属塩化物混合水溶液においても同様の傾向が認められた。

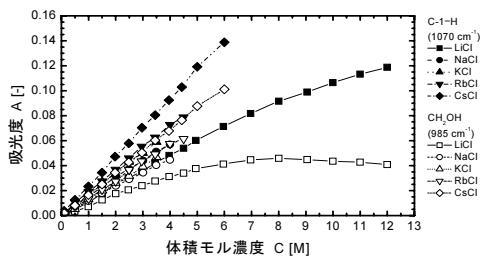


図3. グルコース官能基の吸光度に及ぼすアルカリ金属塩化物濃度の影響.

つぎに、塩化物の影響を受けた水とグルコースとの相互作用を反映する官能基のうち、疎水基の C-1-H (1079  $\text{cm}^{-1}$  付近) および親水基の  $\text{CH}_2\text{OH}$  (992  $\text{cm}^{-1}$  付近) に着目し、アルカリ金属の種類および濃度が波数シフトに及ぼす影響について検討した (図2)。その際、それぞれの波数シフトの基準は、2.0 M グルコース水溶液とした。また、5種類の塩化物では飽和溶液濃度が異なることから、飽和溶液濃度付近を1として濃度の正規化を行い横軸とした。グルコース-LiCl 混合水溶液において、C-1-H 基は LiCl および水との相互作用の程度が大きい官能基であることが示された。

さらに、グルコース水溶液中のグルコーススペクトルを基準として、各グルコース-アルカリ金属塩化物混合水溶液中のグルコーススペクトルの差を求めた (図1)。その結果、各官能基が塩化物濃度から受ける影響は、スペクトルにおける吸収波数よりも低波数側に認められた。そして、上記2種類の官能基の吸光度と5種類の塩化物の濃度との関係をプロットしたところ (図2)、グルコース-LiCl 混合水溶液において C-1-H 基および  $\text{CH}_2\text{OH}$  基の吸光度は非直線性を示し、LiCl から受ける影響が特徴的であることがわかる。

一方、糖類のテラヘルツ分光情報の理論的解析アプローチを可能にするためのスペクトル取得の基礎的実験として、各種単糖類・二糖類粉末のテラヘルツスペクトル測定を行い、スペクトル特性の比較と温度の影響について検討した。スペクトル測定試料は、糖微細粉末をポリエチレン粉末と混合、加圧成型したペレットである。図4に各種単糖類・二糖類微細粉末の 4.2 K および 300 K におけるテラヘルツ領域における吸光度スペクトルを示す。いずれの温度においても、単糖類間および二糖類間において、立体配置や骨格構造の違いによるテラヘルツ分光スペクトルの顕著な違いを観測することができた。また、単糖類・二糖類とも、4.2 K におけるスペクトルは、300 K におけるスペクトルにくらべてピーク数が多く、そのピーク幅もシャープとなっている。さらに、4.2 K において単糖類のスペクトルと二糖類のスペクトルを比較すると、二糖類の方がより複雑な波形を示した。つまり、300 K におけるスペクトルは、4.2 K におけるスペクトルピークのシフトや複数のシフトのオーバーラップなどによってブロードな波形となっており、基礎

的なスペクトル解析には 4.2 K におけるスペクトルの方が適しているものと考えられる。しかしながら、糖類等の代謝関連物質は常温の水溶液系においてその機能を発現するものがほとんどであり、代謝関連物質のスペクトル解析においては、温度の影響や常温におけるスペクトル特性の理解が不可欠である。ところで、本実験では、グルコース 2 分子もしくはグルコースとフルクトースが結合した二糖を供試し

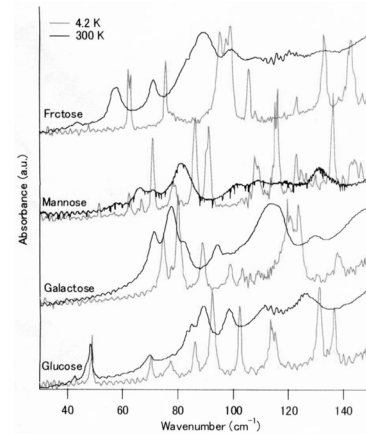
た。このことと図 4 に示した結果は、中赤外吸収スペクトルが基本的に分子を構成する官能基の振動情報を表しているのに対し、テラヘルツスペクトルは、単糖類の種類、およびそれら単糖の結合形態の差異を反映していることを実験的に示唆している。

図 5 は、厚さ 0.3~0.5 mm まで切削したトレハロース単結晶を試料とし、ワイヤグリッド偏光子を用いて結晶軸と平行から垂直まで 15 度毎に変え、4.2 K において取得したスペクトルであり、偏光角度の影響を示している。72  $\text{cm}^{-1}$  および 80  $\text{cm}^{-1}$  における大きな 2 つの吸収ピークは、各偏光角度においても安定していた。また、96  $\text{cm}^{-1}$  近傍のピークは、偏光角度においてその吸収の強さが変化した。このように、各々の偏光角度において、偏光に顕著に依存したピークと依存しないピークが観測された。このように、本研究では、生体内において興味深い機能を発現するトレハロースのテラヘルツスペクトルの偏光依存性を実験的に把握することができた。一方、一般的に糖類の重合度が大きくなると螺旋状の構造を呈するようになるので、今後、テラヘルツスペクトルの偏光依存性に及ぼす重合度の影響、および二糖類・オリゴ糖類の構成単糖の種類・結合形態の影響などを検討する必要があるものと考えられる。

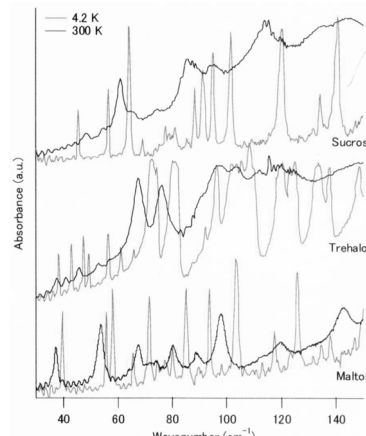
### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、これまで共同研究が比較的困難であった非線形光学分野の研究者と生物学、食品工学、農業工学などを包括した広義の生物系研究者との交流を飛躍的に活性化し、糖類のテラヘルツ分光情報と中赤外分光情報を併置することで、テラヘルツ分光技術を利用した生体内における糖類の機能解明という萌芽的研究への発展性を示すことができた。また、今後の研究の展開に重要となる、様々

な発展性に関わる課題を抽出することができたものと思われる。したがって、本プロジェクトで得られた研究成果は、注目されているバイオ関連分野へのテラヘルツ利用に関して、基礎と応用の両側面からのアプローチの指針を提示したものであるといえる。



(a) 単糖類



(b) 二糖類

図 4. 単糖類・二糖類微粉末のテラヘルツスペクトル。

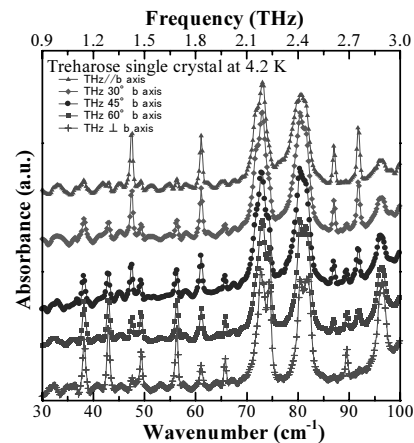


図 5. トレハロース単結晶のテラヘルツ吸収スペクトルに及ぼす偏光角度の影響 (4.2 K)。

## [4] 成果資料

- (1) Nakanishi, K., Hashimoto, A., Kanou, M., Pan, T., Kameoka, T.: Mid-Infrared Spectroscopic Measurement of Ionic Dissociative Materials in Metabolic Pathway, *Applied Spectroscopy*, **57**, 1510-1516 (2003).
- (2) 石川陽一, 南出泰亜, 碓智文, 伊藤弘昌, 橋本篤, 亀岡孝治, 茶園博人: テラヘルツ波パラメトリック発振器を用いた糖類スペクトルの観測, 2004年春季第51回応用物理学関係連合講演会, 30-pN-10, p1226 (2004).
- (3) Guo, R., Ishikawa, Y., Minamide, H., Ikari, T., Ito, H., Imai, K., Hashimoto, A., Kameoka, T.: A compact, narrow-line-width, fast-date-acquiring, ais-TPG spectrometer, Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications Topical Meeting and Tabletop Exhibit (CD-ROM), TuB6 (2004).
- (4) Ishikawa, Y. Minamide, H., Ikari, T., Ito, H., Hashimoto, A., Kameoka, T., Chaen, H., Nishizawa, J.: Observation of dynamical interaction modes in THz-region spectra by using Terahertz-wave parametric oscillator, Conference Digest of the 2004 Joint 29<sup>th</sup> International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 12<sup>th</sup> International Conference on Terahertz Electronics, Tu10.2, pp285-286 (2004).
- (5) Kanou, M., Yamanaka, A., Hashimoto, A., Kameoka, T.: Infrared spectroscopic analysis of saccharides in aqueous solutions with alkaline metal salts, Proceedings of 10th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Conference (CD-ROM), P-01-056 (2004).
- (6) 石川陽一, 南出泰亜, 碓智文, 伊藤弘昌, 橋本篤, 亀岡孝治, 茶園博人: 極低温における糖単結晶の偏光依存テラヘルツスペクトル, 2005年春季第52回応用物理学関係連合講演会, 31p-W-13, p1261 (2005).
- (7) Hashimoto, A., Pan, T., Kanou, M., Nakanishi, K., Kameoka, T.: Mid-infrared spectroscopic monitoring of enzyme reaction associating with ionic dissociative metabolites, Computer Applications in Biotechnology 2004, Marie-Noëlle Pons and Jan F. M. van Impe eds., pp.375-380, Elsevier (2005)
- (8) Hashimoto, A., Yamanaka, A., Kanou, M., Nakanishi, K., Kameoka, T.: Simple and Rapid Determination of Metabolite Content in Plant Cell Culture Medium Using an FT-IR/ATR Method, *Bioprocess and Biosystems Engineering*, **27**, 115-123 (2005).
- (9) Kanou, M., Nakanishi, K., Hashimoto, A., Kameoka, T.: Infrared spectroscopic analysis of saccharides in aqueous solutions, *Applied Spectroscopy*, **59**, 885-892 (2005).
- (10) Hashimoto, A., Asada, K., Matsuo, T., Teraura, C., Yamamura, T., Yasui, K., Yamanaka, A., Kanou, M., Kameoka, T.: Mid-infrared spectroscopic characteristics of glycine in aqueous solution, Proceedings of 7th Asia-Pacific Conference of Biochemical Engineering, CUR-06 (2005)
- (11) 橋本篤: 食品加工プロセスにおける赤外線利用技術の開発, 日本食品工学会第6回年次大会, p.58 (2005).
- (12) 山中淳, 松尾知美, 狩野幹人, 橋本篤, 亀岡孝治: 中赤外分光法を利用したタバコ BY-2 細胞による二糖類の取込み挙動に関する研究, 化学工学会第71年会, C301 (2006).

課題番号 H16/A01

採択回数

1

2

3

## 超清浄雰囲気スパッタ法による 600Gbit/in<sup>2</sup>級垂直磁気記録媒体

### [1] 組織

代表者：

高橋 研（東北大学未来科学技術共同研究センター）

通研対応教官：

村岡 裕明（東北大学電気通信研究所）

分担者：

齊藤 伸（東北大学大学院工学研究科）

研究費：校費 35万円，旅費 13万円

### [2] 研究経過

垂直磁気記録媒体の研究・開発は、100 Gbit/in<sup>2</sup>を越えるハードディスク（HD）の実用化を目前に控えます重要性を増している。媒体記録磁性層と裏打ち軟磁性層との積層構成からなり、記録磁性層には、20 nm以下の膜厚での磁気特性の向上ならびに安定導出が、裏打ち層には低ノイズ化のための単磁区状態の安定化が求められ、これらを解決する材料・プロセスの確立が急務となっている。

本プロジェクトは今年度が2年度であった。前年度は、垂直磁気記録媒体用記録層に不可欠な非磁性粒界の形成プロセスならびに材料選定指針に関する知見を得た。今年度は同媒体用裏打ち軟磁性膜について特に精力的に検討を行い、代表者がこれまでに確立した超清浄雰囲気薄膜作製法を基盤技術として、600 Gbit/in<sup>2</sup>級の記録密度を有するHDの実現を目的として垂直磁気記録媒体用材料・プロセスに関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究会：

日時：平成18年1月24日（火）13:30～14:30

場所：東北大学電気情報系1号館351・353室

題目：

『GMRヘッド積層膜の構造解析』

(株)日立製作所 日立研究所 電子材料研究部

平野 辰巳

研究打合せ：

平成17年12月23日（金）13:00～17:00

平成18年2月28日（火）13:00～17:00

平成18年3月2日（木）13:00～17:00

### [3] 成果

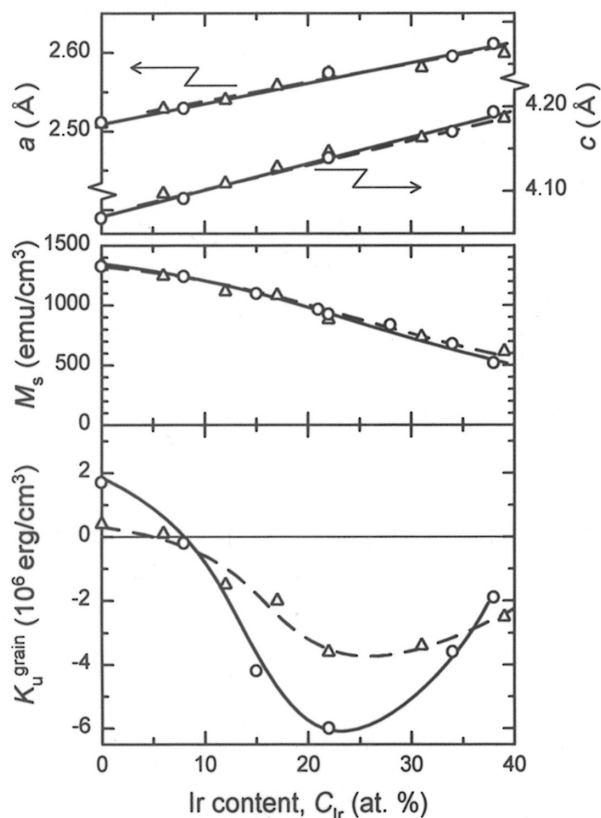
#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

#### 負の一軸結晶磁気異方性をもつ軟磁性材料を用いた裏打ち膜の提案

代表者らは、簡素な層構成で WATE とスパイクノイズを同時抑制するために、一軸結晶磁気異方性エネルギーが負である材料の  $c$  面配向化により、負の垂直磁気異方性エネルギーを具備させた軟磁性裏打ち膜 (SUL) を提案した。

Fig. 1 上段に in-plane および out-of-plane XRD プロファイルの回折角から導出した  $c$  面配向 CoIr 結晶粒の格子定数  $a, c$  の  $C_{Ir}$  に対する変化を示す。  $a, c$  は下地層の種類によらず、  $C_{Ir}$  を増加させるにつれ直線的に増加しており、今回検討した  $C_{Ir}$  の範囲では、Ir は六方晶相内に固溶していることが確認できる。 Fig. 1 中段には  $C_{Ir}$  に対する  $c$  面配向 CoIr 膜の飽和磁化 ( $M_s$ ) を、下段には一軸結晶磁気異方性エネルギー ( $K_u^{grain}$ ) を示す。  $M_s$  は下地層に依存せず、  $C_{Ir}$  を 0 から 39 at. % まで増加させると、  $1350 \text{ emu/cm}^3$  から  $700 \text{ emu/cm}^3$  まで単調に減少した。一方、  $K_u^{grain}$  については  $C_{Ir} = 7 \text{ at. %}$  付近で符号が正から負に変わり、  $C_{Ir} = 22 \text{ at. %}$  で極小



**Fig. 1** Change in (top) lattice constants,  $a, c$ , (middle)  $M_s$  and (bottom)  $K_u^{grain}$  as a function of the Ir content for  $c$ -plane-oriented CoIr films using (triangle) Ti/Ru and (circle) Ta/ Pt/ Ru underlayers, respectively.

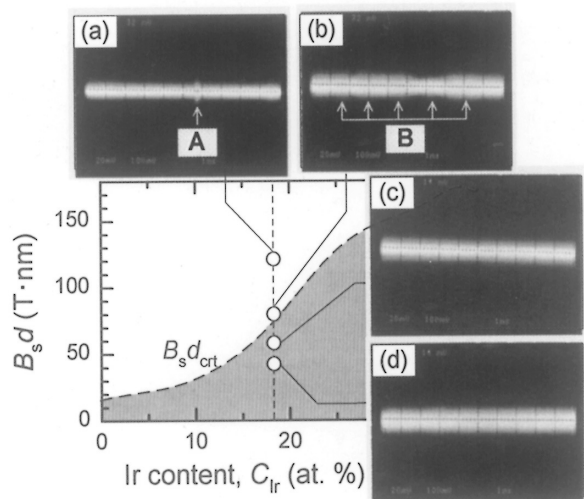
をとる傾向が認められる。以上のように  $c$  面配向させた CoIr 薄膜の  $K_u^{grain}$  は、下地層によって絶対値が多少変化するものの、  $C_{Ir} = 20 \text{ at. %}$  付近で  $10^6 \text{ erg/cm}^3$  オーダーの大きな負の値を有することが確かめられた。

Fig. 2 には、CoIr の実効膜厚を種々に変化させた際のエンベロップの評価結果を示す。図中には、ネール磁壁安定化臨界実効膜厚 ( $B_s \cdot d_{crit}$ ) の計算結果も併せて示した。計算結果によると、  $C_{Ir} = 18 \text{ at. %}$  の SUL における  $B_s \cdot d_{crit}$  は  $76 \text{ T} \cdot \text{nm}$  と予想される。エンベロップの評価結果によると、実効膜厚が  $80 \text{ T} \cdot \text{nm}$  以上である (a) (b) では、スパイクノイズ (図中 A, B 部) が明瞭に確認された。これに対し実効膜厚が  $76 \text{ T} \cdot \text{nm}$  よりも薄い (c) (d) では、経時変化するノイズ成分は観測されなかった。

このように提案した SUL では、厚膜におけるネール磁壁の安定化に加え、垂直方向の磁化率の低減および面内方向の軟磁性化が確認されている。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

研究会の開催により、多層膜や試料表層の構造解析に関する理論や評価手法を、本学内外の広範な専門に渡る磁性材料研究者と議論・交流する機会を得た。また本プロジェクト研究により、垂直磁気記録媒体用記録層に不可欠な SUL の材料選定指針に関する新奇な知見が得られた。本研究を継続して推進してゆくことによって、高記録密度化に即応した実用材料・プロセスの先駆的研究展開が期待される。



**Fig. 2** Envelopes for perpendicular double-layered media using  $c$ -plane-oriented CoIr film as SUL. The Ir composition was fixed to 18 at.%, and the effective thickness of CoIr was set to (a) 120, (b) 80, (c) 60, and (d) 40 T·nm. “A” and “B” indicates the positions of observed spike noise. The effective critical thickness,  $B_s d_{crit}$ , calculated from the experimentally obtained  $M_s$  and  $K_u^{grain}$ , is also shown.



**[4] 成果資料**

1. 斉藤 伸、橋本篤志、高橋 研、迎 展彰  
「Al/NiP 上に作製しためっき軟磁性裏打ち層の磁気特性と単磁区化」  
日本応用磁気学会誌, **28**, 289-294 (2004).
2. 斉藤 伸、板垣憲和、高橋 研  
「Ti 下地, Ti キャップ層を用いた CoCr 系ポストアニール媒体における磁性結晶粒の磁氣的孤立化」  
日本応用磁気学会誌, **28**, 295-300 (2004).
3. Shin Saito, Norikazu Itagaki, and Migaku Takahashi  
"Improvement of Perpendicular Magnetic Properties by Postannealing for M'-CoCrPt-M Stacked Media (M, M' = Ti, Ta, Ru, Pt, CrMn, MnSi)"  
*IEEE Transactions on Magnetism*, **40**, 2467-2469 (2004).
4. A. Hashimoto, S. Saito and M. Takahashi,  
"Magnetization reversal mechanism of soft magnetic underlayer pinned by antiferromagnetic layer"  
*Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **287**, 287-291 (2005).
5. N. Itagaki, S. Saito, and M. Takahashi  
"Diffusion analyses of non-ferromagnetic element in the cap-layer of post-annealed CoCrPt perpendicular media"  
*IEEE Transactions on Magnetism*, **41**, 3187-3189 (2005).
6. 橋本篤志、斉藤 伸、高橋 研  
「負の一軸結晶磁気異方性をもつ軟磁性材料を用いた裏打ち膜の提案 — WATE およびスパイクノイズの同時抑制のために—」  
日本応用磁気学会誌, **30**, 135-140 (2006).

## 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：  
 菅木 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 35 万円，旅費 28 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2年度であった。前年度は、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。まず、特定方向の音を強調することが可能であるかを、指向特性を測定することにより確認した。結果、左右 30 度以上の範囲では、5 dB 以上の抑圧ができることがプロトタイプヘッドセットを用いてシミュレーションにて確認できた。

本年度は、前年度の成果を踏まえながら、両耳補聴システムを実用化する際に問題となる、ハウリングキャンセラーのアルゴリズム開発をその可能性に関する検討を行った。

### [3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、両耳間レベル差に基づくハウリングキャンセラーのアルゴリズム開発を行い、シミュレーションによる性能評価を行った。

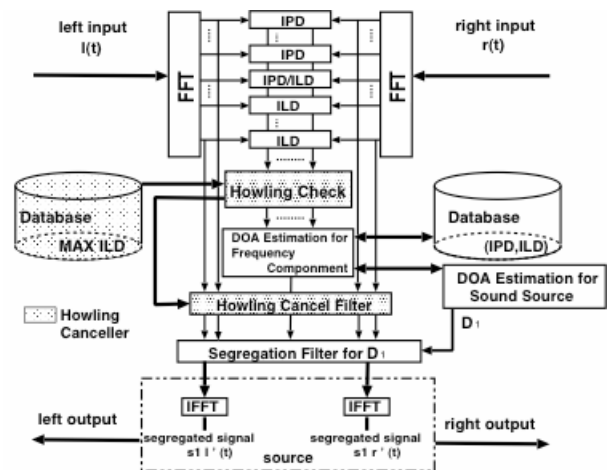


図 1 ハウリングキャンセル機能を有する周波数領域両耳聴モデル

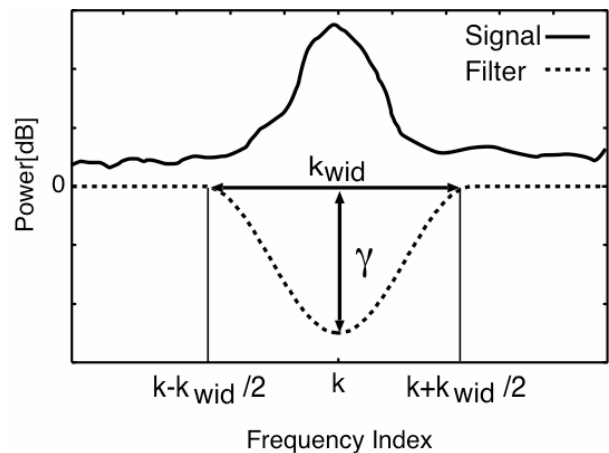


図 2 重み付け関数

#### 1) ハウリングキャンセルアルゴリズム

周波数領域両耳聴モデルにハウリングキャンセラーを組み込んだブロック図を図 1 に示す。両耳の入力信号を周波数領域に変換し、両耳間位相差、レベル差を求める。次に、周波数ビン毎に、その両耳間レベル差に基づきハウリングが生じているか否かを判断する。判断は事前に 96 の HRTF から求め

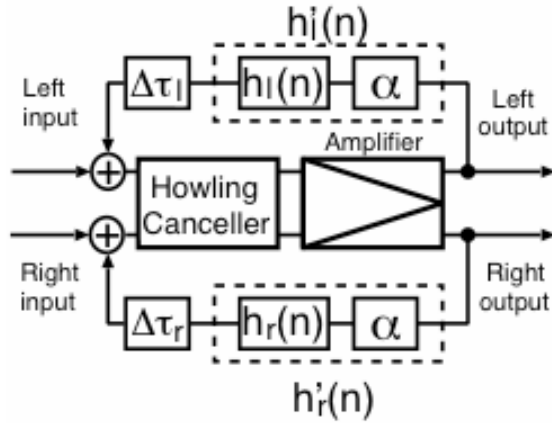


図 3 ハウリングシミュレーションモデル

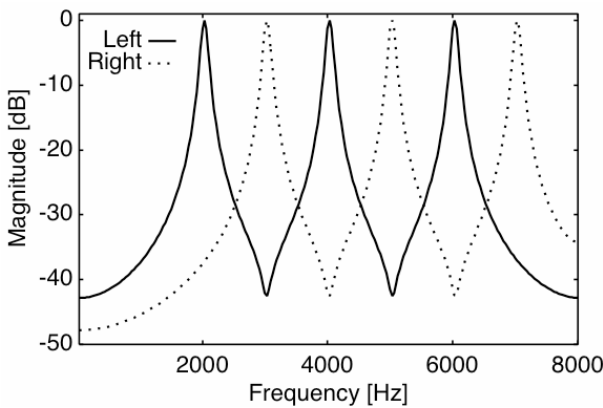


図 4 模擬したフィードバック特性

たデータベース  $\xi_{\max}$  と観測された信号から得られた  $\xi_{lr}$  と比較し、データベースの値より大きい、すなわち、異常な両耳間レベル差である場合に、ハウリングが生じていると判断する。ハウリングが生じていると判断された場合は、周波数領域において両チャンネルに同じ重み付けを行う。次式は重み付け関数であり、それを図 2 を示す。

$$W(k) = \sum_{k=1}^{N/2} g(k)$$

$$g(k+q) = \begin{cases} 0, & q=0, \text{ if } |\xi_{lr}(k)| \leq \xi_{\max}(k) \\ 0.5 \left( 1 - \cos\left(\frac{2\pi q}{k_{wid}} + \pi\right) \right) \cdot \gamma, & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、 $k_{wid}$  は、周波数領域における窓幅であり、パラメータ  $q$  は、 $-k_{wid}/2 \leq q \leq k_{wid}/2$  である。 $\gamma$  は減衰係数である。

2) シミュレーション

図 3 にハウリングを模擬するためのブロック図

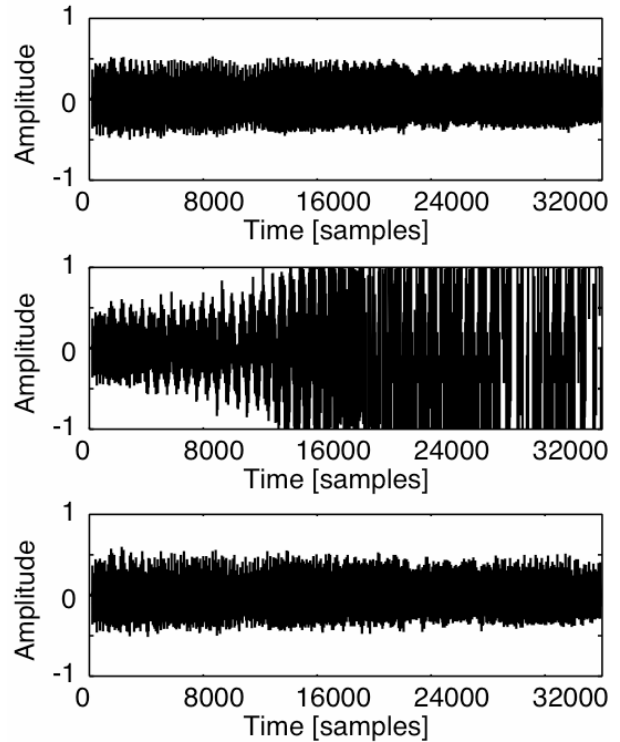


図 5 シミュレーション結果(時間領域: 上段 入力信号, 中段 制御前の出力信号, 下段 制御後の出力信号)

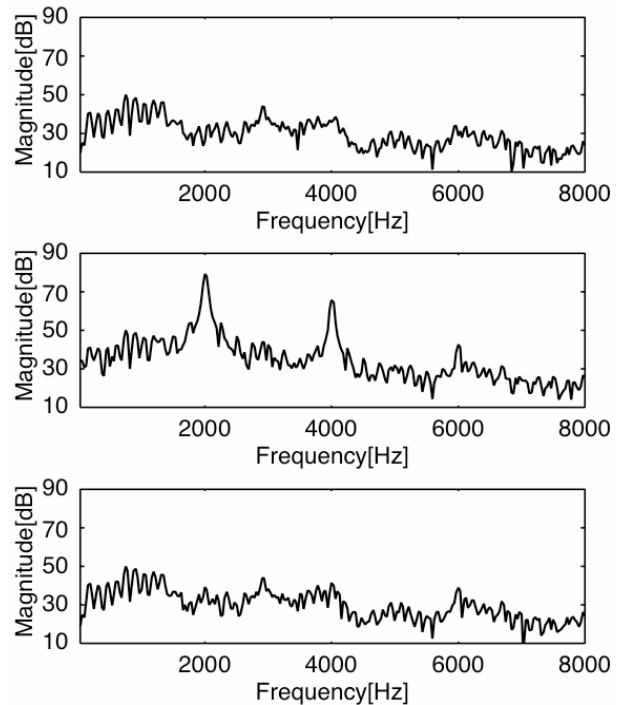


図 6 シミュレーション結果(周波数領域: 上段 入力信号, 中段 制御前の出力信号, 下段 制御後の出力信号)

を示す。 $h_l(t)$ ,  $h_r(t)$  は、スピーカからマイクロホンまでの左右それぞれの伝達関数である。これに、図 4 に示す周波数特性を有するハウリングが生じる伝達関数を適用し、ハウリングを模擬した。図 5 にシミュレーションの結果を時間波形で示す。図 5 の上段は入力信号である。中段は、ハウリングを生じさせ、制御を行っていない場合の出力信号である。下段は、制御を行った場合である。同様に、図 6 に周波数特性を示す。この結果より、開発したアルゴリズムは、複数のハウリングが生じている周波数成分を同時に制御できており、入力信号に近いパワに制御出来ていることが示された。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて、周波数領域両耳聴モデルの応用を進めているが、今回のハウリングキャンセル機能は人の耳を保護すべき最低限の機能である。製品化する際に必ずクリアしなければならない課題であるため、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。また、本アルゴリズムは、多点観測による振動抑圧アルゴリズムでもあり、機械振動の抑制などに発展させることが可能と考えられる。

## [4] 成果資料

(1) Tsuyoshi Usagawa, Kotaro Matsuo, Sho Kawano, Hidetoshi Nakashima, Yoshifumi Chisaki, A SIMPLE HOWLING CONTROL FOR BINAURAL HEARING AID SYSTEM, Proc. twelfth International Congress on Sound and Vibration (ICSV12), Paper No. 0203 (CDROM), pp. 1-8 (Invited) 2005. 7

(2) 菅木 禎史, 松尾 浩太郎, 萩原 克守, 河野 翔, 中島 栄俊, 宇佐川 毅, 周波数両耳聴モデルの活用, 第 2 回音空間・HRTF 徹底討論ワークショップ, B-3 2005. 7

(3) 松尾 浩太郎, 杉本 晋也, 菅木 禎史, 宇佐川 毅, 両耳補聴システムにおけるハウリングメカニズムのモデル化, 日本音響学会 2005 年秋季研究発表会講演論文集, pp. 687-688, 3-Q-20, 2005. 9

(4) 杉本 晋也, 宮田 睦巳, 松尾浩太郎, 西村義隆, 菅木 禎史, 宇佐川 毅, 両耳補聴システムの DSP 実装, 熊本県産学官技術交流会資料集, pp. 88-89, 2006. 1

(5) 河野 翔, 萩原 克守, 中島 栄俊, 菅木 禎史, 宇佐川 毅, 周波数領域両耳聴モデルを用いた仰角

推定の性能に関する検討, 日本音響学会 2006 年春季研究発表会講演論文集, pp. 633-634, 2006. 3

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(株)総合研究所)

木島 健 (セイコーエプソン(株)テクノロジー  
プラットフォーム研究所)

佐藤次幸 (中央精機株式会社, SNDM プ  
ロジェクト)

本田耕一郎 (株富士通研究所)

安武 正敏 (S I I ナノテクノロジー(株))

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)

研究費：校費 33 万円，旅費 35 万円

### [2] 研究経過

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

4. SNDM による半導体素子の評価に関する研究

5. ナノドメインエンジニアリングを用いた強誘電体機能素子の研究

等に関して、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 17 年 12 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 の開発の基本部分を作製し、それを用いてシリコンの原子ステップの観測に成功した。見積もられた垂直方向分解能は 0.01 nm 程度を達成した。

第 2 に「SNDM プローブメモリーに関する研究」においては、最高記録密度で 10.1 Tbit/inch<sup>2</sup> を達成した。また実記録に於いても 280 Gbit/inch<sup>2</sup> でエラーフリーの記録を実現し、1 Tbit/inch<sup>2</sup> の実記録にも成功した。

第 3 に「針式 AFM タイプ SNDM の研究開発に関する研究」では高次非線形誘電率顕微鏡法を応用した非接触 SNDM 法を新たに開発し、原子ステップの観測に成功した。また超音波振動子を用いた非接触型の針式 SNDM を開発してその動作確認も行った。特に後者の SNDM は今後生体等のソフトマテリアルの研究に役立つようになると考えられる。第 5 に「SNDM による半導体素子の評価に関する研究」では昨年度の MONOS 型フラッシュメモリに続きフローティングゲート型のフラッシュメモリ蓄えられた電子の分布に世界で初めて成功した。さらにこの結像理論を構築し像の解釈を行った。

最後の「ナノドメインエンジニアリングを用いた強誘電体機能素子の研究」ではナノスケールでの周期分極反転 LiTaO<sub>3</sub> 結晶の作製に成功した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的

に活性化し、2つの大型プロジェクトに発展している。一つは科学技術振興調整費・産学官共同研究の効果的な推進における「SNDM強誘電体メモリ」(参加企業・パイオニア)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) Atsushi Onoe, Sunao Hashimoto, Yasuo Cho: "Nano-sized domain inversion characteristics in LiNbO<sub>3</sub> group single crystals using SNDM", *Materials Science and Engineering*, B 120 (2005), pp.130-133.
- 2) Tomoyuki SUGIHARA, Hiroyuki ODAGAWA and Yasuo CHO: "Three-Dimensional Measurement for Absolute Value of Polarization Angle by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.44, No.6B (2005) pp.4325-4329
- 3) Yasuo Cho: "Ultra-high-Density Ferroelectric Data Storage Based on Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.44, No.7B(2005) pp.5339-5343
- 4) Yoshiomi HIRANAGA and Yasuo CHO: "Ultra-high-Density Ferroelectric Data Storage with Low Bit Error Rate", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.44, No.9B(2005) pp.6960-6963
- 5) Tomoyuki SUGIHARA and Yasuo CHO: "Investigation of Three-Dimensional Domain Structure in LiTaO<sub>3</sub> by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.44, No.9B(2005) pp.7169-7173
- 6) Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou Tanaka, and Yoshiomi Hiranaga; "Realization of 10 Tbit/in.2 memory density and subnanosecond domain switching time in ferroelectric data storage" *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 87, No.23, (2005) pp. 232907-1-232907-3
- 7) 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<sub>3</sub> thin film fabricated by hydrothermal epitaxy", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.88, No.5 (2006) pp.052901-1-052901-3
- 8) W. S. Ahn, W. W. Jung, S. K. Choi, and Yasuo Cho: "Retention loss phenomena in hydrothermally fabricated heteroepitaxial PbTiO<sub>3</sub> films studied by scanning probe microscopy", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.88, No.8 (2006) pp.082902-1-082902-3
- 9) Yoshiomi Hiranaga, Kenkou Tanaka and Yasuo Cho: "Nanodomain Manipulation for Reduction of Bit Error Rate in Terabit / Inch<sup>2</sup>-Class Ferroelectric Data Storage", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.45, No.3B (2006) pp.2220-2224
- 10) 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, (2006), pp.S162-S166
- 11) Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou Tanaka and Yoshiomi Hiranaga: "Nanodomain manipulation for ultrahigh density ferroelectric data storage", *Nanotechnology*, Vol.17, (2006), pp.S137-S141
- 12) 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, (2006), pp.S185-S188
- 13) Takeshi Morita and Yasuo Cho: "Piezoelectric property of an epitaxial lead titanate thin film deposited by the hydrothermal method", *Appl. Phys. Lett.*, Vol.88 (2006), pp.112908-1-112908-3
- 14) Y. Hiranaga, K. Tanaka, and Y. Cho: "Achievement of Low Bit Error Rate in Ferroelectric Ultrahigh-density Data Storage", 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques & 13th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Abstract, (July 3-8 2005, Sapporo, Japan), P.225
- 15) Tomoyuki Sugihara and Yasuo Cho: "Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy for Observation of Nano-scale Three-dimensional Ferroelectric Domain Structure", 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques & 13th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Abstract, (July 3-8 2005, Sapporo, Japan), P.495
- 16) Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou Tanaka, Yoshiomi Hiranaga: "Ferroelectric data storage with 10Tbit/inch<sup>2</sup> class memory density and sub-nanosecond switching time", 8<sup>th</sup> International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy, Abstract, (August 15-18 2005, Bad Essen, Germany), P.110
- 17) Koya Ohara and Yasuo Cho: "Non-contact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy with sub-nanometer high resolution", 8<sup>th</sup> International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy, Abstract, (August 15-18 2005, Bad Essen, Germany), P.111
- 18) Tomoyuki Sugihara and Yasuo Cho: "Three-Dimensional Observation of Nano-scale Ferroelectric Domain using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy with Electric Field Correction by Kelvin Probe Force Microscopy", 8<sup>th</sup> International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy, Abstract, (August 15-18 2005, Bad Essen, Germany), P.112
- 19) Koya Ohara and Yasuo Cho: "Non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy utilizing higher order nonlinear dielectric constant detection", 11<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, Abstract, (September 5-9, 2005, Foz do Iguaçu, Brazil)
- 20) Yoshiomi Hiranaga and Yasuo Cho: "Terabit per square inch information data storage on ferroelectrics with bit

- error rate”, 11<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, Abstract, (September 5-9 2005, Foz do Iguacu, Brazil)
- 21) Y. Cho; “Study on Nano-Scale Ferroelectric Domains Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 6th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology, Abstract, (September 11-16 2005, Kapalua, Maui, Hawaii), P.155 【invited】
- 22) Y. Cho, S. Hashimoto, N. Odagawa, K. Tanaka, Y. Hiranaga; “Ferroelectric Domain Engineering for the Ultra High-Density Data Storage with 10Tbit/inch<sup>2</sup> Memory Density and Sub Nano-Second Switching Time”, International Symposium on Ferroelectric Domain Structuring (ISDS’05), Abstract, (November 15-19 2005, Ekaterinburg, Russia), pp.60-61. 【invited】
- 23) K. Tanaka, Y. Hiranaga, Y. Cho; “Real Information Storage Using Ferroelectrics with the Density of 1 Tbit/inch<sup>2</sup>”, International Symposium on Ferroelectric Domain Structuring (ISDS’05), Abstract, (November 15-19 2005, Ekaterinburg, Russia), pp.50-51.
- 24) Yasuo Cho and Tomoyuki Sugihara; “Three-dimensional observation of nano-scale ferroelectric domain using scanning nonlinear dielectric microscopy”, 2005 MRS Fall Meeting ABSTRACTS, (November 28-December 2 2005, Boston, U.S.A.), P536
- 25) Tanaka Kenkou, Hiranaga Yoshiomi and Yasuo Cho; “Real Information Recording in Ferroelectric Data Storage Medium with Memory Density of 1 Tbit/inch<sup>2</sup>”, 2005 MRS Fall Meeting ABSTRACTS, (November 28-December 2 2005, Boston, U.S.A.), P551
- 26) Sunao Hashimoto and Yasuo Cho; “10Tbit/inch<sup>2</sup> Ferroelectric Data Storage with Offset Voltage Application Method”, 2005 MRS Fall Meeting ABSTRACTS, (November 28-December 2 2005, Boston, U.S.A.), pp.551-552
- 27) Mirai Katoh and Yasuo Cho; “Surface Potential Investigation on Nano Domain Formation in Lithium Tantalate Single Crystal”, 2005 MRS Fall Meeting ABSTRACTS, (November 28-December 2 2005, Boston, U.S.A.), P553
- 28) Lili Tian, Venkatraman Gopalan, David A. Scrymgeour, Tomoyuki Sugihara, Koya Ohara, and Yasuo Cho; “Nanoscale Piezoelectric and Nonlinear Dielectric Response across a Single 180° Ferroelectric Domain Wall”, 2005 MRS Fall Meeting ABSTRACTS, (November 28-December 2 2005, Boston, U.S.A.), P972
- 29) Koichiro Honda, Sunao Hashimoto and Yasuo Cho; “Visualization of Charges Stored in Flash memories using in Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, 2005 MRS Fall Meeting ABSTRACTS, (November 28-December 2 2005, Boston, U.S.A.), P975

## スピ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

## [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：荒井 賢一

(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)

小山 敏幸 (物質・材料研究機構)

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：校費31万円，旅費26万円

## [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ノ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ノ構造体デバイスの可能性を、スピノ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2年度である。電子伝導の量子化を実現するためには、ナノメートル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グループ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ノ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、荒井研究室及びスピノ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、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探求することを考え、下記研究会を開催した。

電気通信研究所共同プロジェクト主催で、年度2回の研究会を開催した。

第一回テーマ：「金属と酸化物のエピタキシャル磁性超(格子)薄膜とその応用」

日時：2006年3月16日(木) 15:00-17:00

場所：東北大学大学院工学研究科電気情報系2号館1階106講義室

主催：東北大学電気通信研究所共同プロジェクト

共催：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」、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

1. 挨拶と講演者の紹介(佐橋政司)

2. 松井正顯先生特別講演

第二回テーマ：「ナノ構造体の計測とスピノ伝導」

日時：2006年3月27日(月) 13:30-17:00

場所：東北大学大学院工学研究科電気情報系2号館106講義室

主催：東北大学電気通信研究所共同プロジェクト

共催：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」、東北大学工学研究科電子



工学専攻超微細電子工学講座

- 1. 開催挨拶 佐橋政司 (東北大)
- 2. AFM を用いた物性計測技術と原子操作技術 阿部真之(大阪大)
- 3. TEM・3DAP によるナノ組織解析 宝野和博 (物材機構)
- 4. スピントランスファー磁化反転 中村志保 (東芝)

[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) CoFeNOL スピンバルブ薄膜の高性能化に関する研究

Co<sub>100-x</sub>Fe<sub>x</sub>-NOL SPSV 膜における NOL の構造と磁性の検討を行った。Fe<sub>70</sub>Co<sub>30</sub>-NOL の挿入によって高い  $\Delta R/R$  (13.2%) と大きな  $H_{cx}$  (> 800 Oe) を同時に実現することに成功した。これは非平衡な fcc 構造をもつ Co<sub>100-x</sub>Fe<sub>x</sub> 層からの Fe 原子の拡散により増大した交換結合バイアスを、NOL 中のフェリ磁性成分の強磁性結合により上のピン層まで保ち、一方で酸化によるスペキュラ反射効果の増大により MR 変化率が上昇したためであると考えられる。

この研究成果は、50th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials 2005, GR-10: “Structural Characterization of Co<sub>100-x</sub>Fe<sub>x</sub> Nano Oxide Layer” および第 29 回日本応用磁気学会学術講演会 “Co<sub>100-x</sub>Fe<sub>x</sub>-NOL のピンアシスト効果について” において報告した。また、JAP および J. Magn. Soc. Jpn に採択、掲載された。

2) Cu-AlO<sub>x</sub> NOL (Nano-Oxide-Layer) 形成過程の考察

In-situ Conductive-AFM 観察における表面電流強度の違いから、Cu-AlO<sub>x</sub> NOL のメタルパス構造および AlO<sub>x</sub> の構造と形態を明らかにした。AlO<sub>x</sub> の形態を制御する方法として、自然酸化前に 300 °C の熱処理を施すことにより、Al を粒状に集合させることで、膜面内に Al の粗密な領域を形成することが有効であることが判った。また Cu/Al 表面では、熱処理により、テラス端に微粒子が集まる傾向が観察された。これは、Cu (111) テラスを露出するように Al 粒が移動することで、表面エネルギーが減少することによるものと考えられる。(図 2)

この研究成果は 50th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials 2005, HB-04: “Formation Mechanism of Conductive Channels in Al-Cu NOL for CCP-CPPGMR Spin Valve.” および第

29 回日本応用磁気学会学術講演会: “Cu-AlO<sub>x</sub> NOL 形成課程の考察” において報告した。また、J. Magn. Soc. Jpn に採択、掲載された。

3) 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。このスピンドYNAMIX 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ンネルを含む 1 ナノメートル厚の絶縁体層を用いたナノ狭帯電子系構造体薄膜では、2 種類のナノパターンニング機構によって、導電チャンネル径をリソグラフィ法では不可能な 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し、下記のような研究成果を得た。

1. コヒーレントマイクロ波発信に適した NOL の検討を行った。Cu-AlO<sub>x</sub> NOL および CoFe NOL における導電チャンネルの形成メカニズムを解明し、コヒーレントマイクロ波発信に適していることを明らかとした。Cu-AlO<sub>x</sub> NOL および CoFe NOL 表面の In-Situ C-AFM/STM 観察より、それぞれ図 1 と図 3 のような導電チャンネルが観測されている。

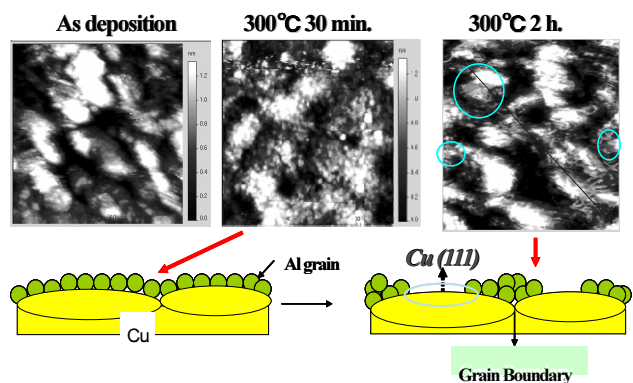


図1 Cu (111) 配向面上での Al 粒の分離と凝集の挙動

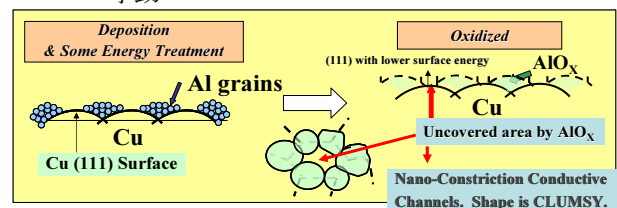


図2 Cu-AlO<sub>x</sub> NOL における導電チャンネルの形成メカニズム (模式図)

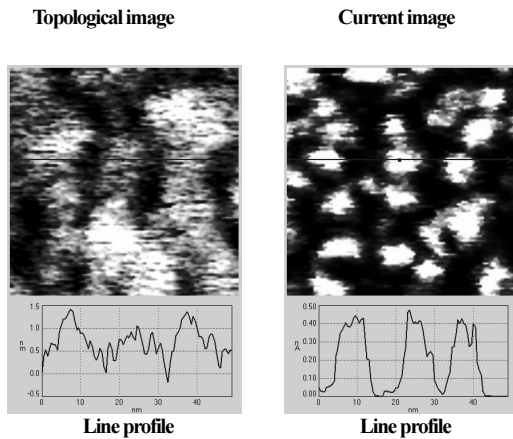


図3 CoFe NOL 表面の C-AFM 像(図右の白色部が Co の導電チャンネル)

2. 垂直通電型デバイス作製のための素子加工プロセスを検討した。熱酸化シリコン基板/Cu 電極上に自己組織化ピラーの形成を含む所定の薄膜積層体を EB 蒸着装置と IBS 装置によって成膜し、薄膜積層体を完成させた後、フォトリソグラフィとイオンミリングにより数ミクロンの垂直通電型 GMR 素子に加工した。

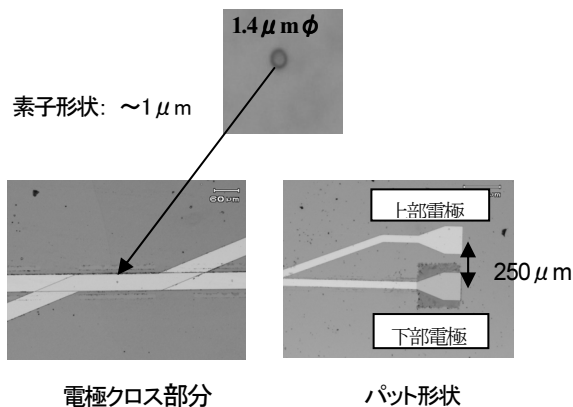


図4 スピン電流駆動型マイクロ波発振素子作製

3. マイクロ波計測系を下図のように試作した。図5に示すようにスペクトルアナライザ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、測定系を構築した。

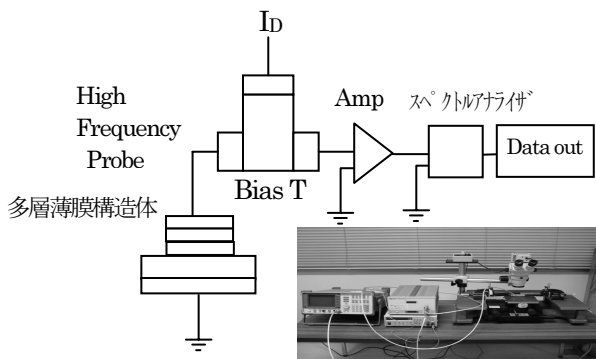


図5 スピン電流駆動型マイクロ波発振測定系

(3-2) 波及効果と発展性など

微小な導電チャン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ならびに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 (論文)

- (1) Hiroaki Endo, Masaaki Doi, Naoya Hasegawa, and Masashi Sahashi, "STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF  $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$  NANO OXIDE LAYER", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 99,08R703(2006).
- (2) 遠藤広明, 土井正晶, 長谷川直也, 佐橋政司, "  $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$ -NOL のピンアシト効果について", 日本応用磁気学会誌, 30, 127 (2006).
- (3) 河崎昇平, 蘇峻永, 三宅耕作, 土井正晶, 佐橋政司, " Cu-AlO<sub>x</sub>NOL(Nano-Oxide-Layer)形成課程の考察", 日本応用磁気学会誌, 30 No.3,(2006) 357.
- (4) M. Doi, M. Izumi, H. Endo, H.N.Fuke, H. Iwasaki, and M. Sahashi, "Enhancement of Room Temperature-Exchange Biasing in Specular Spin Valves", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 41(2005)2932-2934.
- (5) M. Doi, M. Izumi, Y. Abe, H. Fukuzawa, H. N. Fuke, H. Iwasaki and M. Sahashi, "Exchange Coupling and NOL Magnetism Consideration in  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$  Specular Spin-valves", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 286 (2005)381-386.
- (6) Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, "Magnetism of  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ -NOL in Specular Spin-Valves", IEEE TRANS. ON MAGNETICS, 40(2004) 2263-2265.
- (7) H. Fukuzawa, H. Yuasa, S. Hashimoto, K. Koi, H. Iwasaki, M. Takagishi, Y. Tanaka, and M. Sahashi, "MR Ratio Enhancement by NOL Current- Confined-Path Structures in CPP Spin Valves", IEEE TRANS. ON MAGNETICS, Vol.40,(2004) 2236-2238.

課題番号 H16/A07

採択回数 1 ② 3

## 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, 今野 将（東北大学電気通信研究所）, 木下 哲男（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 40 万円 旅費 52 万円

### [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フィック解析技術
- (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。

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るであろう。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、このようにありたいという利用者の願望やアイデアから、本プロジェクトは、研究開始後 2 年目となる。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して様相の比較調査、相互間の動作試験及び研究討議をおこなった。さらに、18 年 3 月 6 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、今後の研究の進め方について種々討議した。東北大学側 3 件、秋田大学側 6 件の研究発表または報告があった。発表内容はネットワーク関係の多岐な分野にわたるものであったが、アプリケーションの広がりを感じさせた。

### [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・開発を推進する本研究においては、萌芽的なもの、計画やアイデアから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観を述べる。

#### (1) 高速ブロードバンドトラフィック解析技術 (1-1) VoIP トラフィックの自己相似性の挙動

近年、高速 IP ネットワークが拡大するにつれて、様々なサービスが提案され、普及が進んでいる。その一つとして IP ネットワーク上で音声通信を行う VoIP (Voice over IP) がある。VoIP には双方向で安定した通信が必要であり、高品質な VoIP サービスの提供にはサービス状態の監視が不可欠である。しかし、現在一般的に利用されている状態監視手法は安定した通信品質を必要とするサービスの状態監視を行うには不十分である。そこで、構内 LAN を模した実験ネットワークにおける VoIP の確率過程の検討を行った。

通話中の理想的な VoIP トラフィックはパケットの分布が一様分布であり、アプリケーションレベルでの自己相似性はない。しかし、実験ネットワークにおいて生成した擬似トラフィックにおいて自己相似性を観測すると、弱いながらも自己相似性があることが判明した。この主な原因として考えられるのは、IP ネットワークスイッチや伝送装置、端末装置でのパケット処理の不規則性によるごくわずかなパケットジッタが考えられる。このため、十分小さい測定時間ごとのパケット数は一定でなく、揺らぎが発生すると考えられる。このように理想的には自己相似性を持たないアプリケーションであっても IP ネットワークに起因する自己相似性が短い測定時間単位で観測されるという興味深い結論を得た。

### (1-2) OBS におけるバーストブロッキング回避技術

近年、ブロードバンドサービスの急速な普及によりインターネットへのユーザアクセス網の速度は100M[b/s]が一般的になりつつある。メトロ網などには、従来の数十倍もの容量が求められ、広域バックボーンネットワークのために高密度の波長多重技術 (Wavelength-Division Multiplexing, WDM) が新たに開発され、大容量化が急速に進展している。現在のWDM網では、エンドーエンド間に各波長チャンネルを設定する波長パススイッチング方式が用いられている。インターネットのトラヒックは時間的かつ地理的な変動が激しく、トラヒックの変動に動的に対応できるスイッチング方式が求められている。その解決策として OBS 方式 (Optical Burst Switching: 光バースト交換方式) が提案されている。この OBS 方式では、宛先やバースト長などの制御情報から構成された制御信号と宛先が同一な IP パケット列のデータ部分から構成された光バースト信号を別々の波長を用いて伝送し、中継ノードにおいて制御信号をもとにバースト単位のスイッチングを行うため、波長の有効利用が可能となる。しかし、OBS では中継ノードにバッファを持たないため、ブロッキングが生じた場合、バースト信号が破棄される。宛先ノードまでのホップ数 (通過ノード数) に比例してバースト信号のブロッキング率が増加する。そこで、ホップ数を考慮したブロッキング回避技術が必要となる。本研究は、波長の一部をノードで終端せず、バイパスさせることで実質的なホップ数を低減させる方式を新たに提案し、その有効性をシミュレーションで検証し、その適用領域を明らかにした。

### (1-3) 並列ハードウェア処理を用いた Beneš の高速化

ブロードバンドサービスの急速な普及に伴いスイッチングノードの大容量化が求められている。最も構成が簡単な従来のクロスバー型スイッチは、回路規模がスイッチサイズ  $N$  の 2 乗に比例して増大し、大規模なスイッチには適さない。2 入力×2 出力の単位スイッチを構成要素とする多段スイッチの回路規模は  $N \log N$  となり、大規模化に適している。本研究では、多段スイッチ網のひとつである Beneš 網の経路を算出する処理を高速化するものである。従来、ソフトウェアベースの並列制御により高速化を図るというアプローチが試みられたが、本研究では 2 つの方策を検討した。第一はハードウェア処理に適した、簡単なロジック動作に基づくスイッチ制御アルゴリズムを新たに提案したことである。第二は従来のメッシュ接続に代

わり、回路規模を削減可能なバス構成を基本とする制御回路の構成原理を新たに提案したことである。

### (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) 没入型音空間の試作

複合現実感通信の実現が期待される段階にきている。この研究を一步進めるべく、複合現実感型音場再生シミュレータの構築が進行している。この一環として、昨年度構築した超多チャンネルスピーカを配置した Recording Room と、複合現実感型聴覚ディスプレイシステム LADOMi を用いて、没入型音空間の試作を行った。Recording Room の位置センサ上方を用いて、空間内の絶対位置と聴取者の立ち位置、顔の方向を測定し、目的の位置に音像を提示可能となるシミュレータの完成を見た。聴取実験を行った結果、仮想音像と実音像の探索精度は、ほぼ等しい結果となり、本シミュレータの有効性を証明した。

#### (2-2) ファジー推論ニューラルネットワークを用いた動画像からの動オブジェクト抽出

画像系列から運動する物体の動きベクトルを求めることは、動画像を扱う分野では重要な問題である。動画像は静止画像を時間軸上に並べたものであるが、画像、特に実写画像はノイズや複雑な色調変化などのあいまいな情報を多分に含んでおり、汎用性に富んだシステムを構築する必要がある。あいまいな情報を扱うことに適した理論として、ファジー集合がある。これを利用することであいまいさを吸収でき、耐ノイズ性を高める効果が期待できる。そして、ファジー集合の考え方を階層型ニューラルネットワークに組み込んだ、ファジー推論ニューラルネットワークがある。これはニューラルネットワークの持つ学習能力により複雑な変化に対して知識を獲得することで、処理を自動化しやすい利点がある。本研究では、ファジー推論ニューラルネットワークを用い、動画像中における動オブジェクトの抽出および動きベクトルを求める手法を提案し、検証した。提案するアルゴリズムは、画素値、座標、および仮の動きベクトルをファジー推論ニューラルネットワークに入力し、このデータで学習を行う。次いで、領域の仮決定および動きベクトルの推定値を得る。そして、ファジー推論によりオブジェクトの同定を行うものである。

### (3) マルチエージェントシステム構築環境の整備

#### (3-1) 異種エージェントの相互運用機構の開発

近年インターネットの急速な普及から、相互に接

続された計算機を利用した協調的問題解決の仕組みが求められるようになってきている。これを実現するための枠組みとして、分散環境で環境の変化に柔軟に対応し知的な処理を実現するマルチエージェントシステムの研究が進められている。

エージェント技術研究の一環として、マルチエージェントシステムの協調動作を支援する実行環境（プラットフォーム）が多数開発されている。しかし、これらのエージェントプラットフォームのほとんどは特定の目的、用途に合わせて開発されたため、それぞれに処理能力の差が存在している。そこで、異種エージェント相互運用機構を提案・試作した。開発した相互運用機構により異種プラットフォーム間のエージェント運用環境のスケラビリティが格段に向上すると期待される。

### [3-2]波及効果と発展など

今日のネットワークの進展は喝采をもって社会に受け入れたネットワークアプリケーションの発明にあった。今後の超高速ネットワークの普及には単なる現状の延長ではなく、想定外の利用が産み出されることであろう。この創生には、試行錯誤的とも思われる実験から得られた知見を積み重ねる努力が必要である。

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い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スイッチングノードの機能に大きく関わっている。光信号を電気信号に変換することなくスイッチングできればよい。スイッチングのタイミングはアプリケーションが発生するトラヒックの特性に依存する。ここに、ネット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生されるものと考えられる。

### [4] 研究成果

(1) 矢 隆弘, 前村 貴秀, 菅原 研次, 木下 哲男, “エージェントシステムのインタラクティブ開発環境”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D-I, No. 9, pp. 1344-1355, 2005.

(2) 渡邊 貫治, 岩谷 幸雄, 行場 次朗, 鈴木 陽一, “仮想音環境のための頭部伝達関数コーパス”, FIT2005情報技術レターズ, pp. 237-240, 2005. (船井ベストペーパー賞)

(3) 今野 将, 吉村 智志, 岩谷 幸雄, 阿部 亨, 木下 哲男, “能動的情報資源を用いた自律的なネットワーク監視システム”, FIT2005情報技術レターズ, pp. 111-114, 2005.

(4) Yukio Iwaya, Masashi Toyoda and Yoiti Suzuki, “A new rendering method of moving sound with the doppler effect”, International Conference on Auditory Display 2005, pp. 253-255, 2005.

(5) R. Igarashi, S. Ono, H. Inoue, A. Takahashi, Y. Iwaya and M. Sakata, “Some Features of Network Traffic Depending on Protocols”, Proc. of ICMR 2005, pp. 426-431, 2005.

(6) 打矢 隆弘, 前村 貴秀, 菅原 研次, 木下 哲男, “社会活動支援のためのマルチエージェント型発展システムの構成法”, FIT2005講演論文集, 2005.

(7) 藤田 茂, 打矢 隆弘, 今野 将, 北形 元, 原 英樹, 菅沼 拓夫, 木下 哲男, 菅原 研次, 白鳥 則郎, “共生コンピューティング(1) -概念とモデル-”, InterSociety2005ワークショップ予稿集, pp. 16-17, 2005.

(8) 菅沼 拓夫, 打矢 隆弘, 今野 将, 北形 元, 原 英樹, 藤田 茂, 木下 哲男, 菅原 研次, 白鳥 則郎, “共生コンピューティング(2) -アーキテクチャと開発技術-”, InterSociety2005ワークショップ予稿集, pp. 18-19, 2005.

(9) 打矢 隆弘, 前村 貴秀, 木下 哲男, “マルチエージェントに基づく発展型ソーシャルウェアの実現法”, InterSociety2005ワークショップ予稿集, p. 24, 2005.

(10) 前村 貴秀, 打矢 隆弘, 木下 哲男, “エージェントリポジトリによるマルチエージェント組織の発展的再構成方式”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウムJAWS2005講演論文集, pp. 145-152, 2005.

(11) 打矢 隆弘, 李 迪, 前村 貴秀, 木下 哲男, “ヘテロジニアスエージェントプラットフォームにおけるエージェント組織化手法”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウムJAWS2005講演論文集, pp. 153-160, 2005.

(12) 大内 誠, 岩谷 幸雄, 鈴木 陽一, 川崎 浩一, “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回大会論文集, 2005.

(13) 大内 誠, 岩谷 幸雄, 鈴木 陽一, 棟方 哲弥, “視覚障害者の認知地図形成能訓練を目指した3次元音響ゲーム様コンテンツの開発”, 第14回視覚障害者リハビリテーション研究発表大会, 2005.

(14) 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, “ハーストパラメータとネットワークトラヒック量変化との相関”, 電気関係学会東北支部連合大会, p. 162, 2005.

(15) 加賀沢真明, 小原仁, 坂田真人, “カラー画像における人物の顔領域抽出”, 電気関係学会東北支部連合大会, p. 264, 2005.

(16) 濱田健吾, 小原仁, 坂田真人, “Benes網の並列制御回路構成法の検討”, 電気関係学会東北支部連合大会, p. 169, 2005.

(17) 織田信弥, 小原仁, 坂田真人, “OBSにおけるホップ数を考慮したブロック回避手法の提案”, 電気関係学会東北支部連合大会, p.61, 2005.

## 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 (山梨大学総合情報処理センター)

小俣 昌樹 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

研究費：校費 3 5 万円，旅費 2 5 万円

### [2] 研究経過

現在の社会生活は、コンピュータネットワークによって接続された多数の情報システムによって支えられている。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、身振り、音声など）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型の複合システムであるため、遠隔地からネットワークを利用して評価データを取得する。このような遠隔評価環境の構築に付随し、評価に有効なデータの特徴を明確化する。

平成 17 年度は、本プロジェクトの第 2 年度であった。本年度では、上記の目的の達成に向けて、プロジェクト内での基本要素技術の確立を中心に、新たな試みとして、心拍・皮膚電気反応・筋電図などの生体情報を評価指標として取り入れた。

具体的な研究活動のために、研究組織を以下の 2

グループに分けた。

① マルチモーダル情報および生体情報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観測・評価するための分析支援システムとして、視線および心拍・皮膚電気反応・筋電図などの生体情報を取得するシステムを研究した。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した。

② ネットワーク管理機能実現グループ (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生体情報を獲得するための根幹システムとして、「やわらかいネットワークシステム」を研究した。また、遠隔地の被験者と評価者とをネットワークで繋ぐための、ビデオ会議システムを実験した。この研究過程から、高速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した。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。

### (1) 研究打ち合わせ

- ・ 日 時：平成 17 年 7 月 4 日 ～ 7 月 5 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)，北形元 (東北大学)，今宮淳美 (山梨大学)，小俣昌樹 (山梨大学)
- ・ 打ち合わせ内容：
  - 「情動インタフェースおよび情動に伴うネットワーク制御」に関する打ち合わせを行った。
  - ① 平成 16 年度の研究成果報告のまとめとして、「注視と発話による入力」、「Web でのディレクトリ検索における視線分析」および「風の可触化モデル」について説明した。
  - ② 平成 17 年度のこの時期までの研究成果として、「生理指標とユーザビリティ評価指標との関係の検証実験」および「明度の触覚への影響の検証実験」について議論した。
  - ③ 平成 17 年度後半の共同研究の提案内容として、「情動を取り入れたユーザビリティ

スト」,「情動とメディアとの関係」,「情動とネットワークコンテンツ」,「情動とゲーム」について議論・検討した。

## (2) 研究会

- ・ 日 時：平成17年 11月 3日～ 11月 4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）, 北形元（東北大学）, 増田尚則（情報通信研究機構）, 今宮淳美（山梨大学）, 郷健太郎（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 風の可触化モデルの評価結果および今後の拡張について  
小俣昌樹（山梨大学）
  - ③ Do physiological Data relate to traditional usability indexes?  
林涛（山梨大学）
  - ④ タッチ画面インタフェースのデザインについておよびJGNIIでの接続について  
郷健太郎（山梨大学）
  - ⑤ 3次元共有空間における利用者の知覚を考慮したエージェント型QoS制御方式  
黒田貴之（東北大学）
  - ⑥ C-QUSE: QoSを考慮したコンテクストアウェアなマルチメディア通信システム  
高橋秀幸（東北大学）
  - ⑦ プロジェクト全体の今後の活動について  
今宮淳美（山梨大学）

## (3) JGNIIを利用したDVTS通信実験

- ・ 日 時：平成18年 2月 10日
- ・ 場 所：東北大学電気通信研究所, 山梨大学今宮研究室
- ・ 参加者：菅沼拓夫（東北大学）, 北形元（東北大学）, 小俣昌樹（山梨大学）

共同で利用申請を行ったJGNIIを利用して, 高品質な動画像および音声を送受信するシステムである「DVTS」を使用した通信実験を行った。

## (4) JGNIIを利用したDVTS通信実験

- ・ 日 時：平成18年 2月 21日
- ・ 場 所：東北大学電気通信研究所, 山梨大学総合情報処理センター, 山梨大学今宮研究室
- ・ 参加者：菅沼拓夫（東北大学）, 郷健太郎（山梨大学）, 小俣昌樹（山梨大学）

JGNIIを利用して, 「DVTS」による通信実験を行った。

## [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2年度である平成17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・筋電図などの生体情報を評価指標として取り入れた情動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, ネットワーク基盤技術として, 事例ベース推論を用いて自動的に計算機資源状態の変化特性を反映させたQoS調整戦略決定知識を獲得する手法を提案した。この手法は, 従来のやわらかいビデオ会議システム(FVCS)では計算機資源状態の変化特性を反映させたQoS調整戦略決定知識を与えることが難しく, 効果的なQoS調整戦略を実行することが困難であるという問題を解決する。

第2に, 3次元共有空間のQoS調整において, 利用者の主観的な品質評価に着目し, 計算機やネットワークの高負荷時に利用者の知覚レベルQoSを可能な限り保持しつつ資源の回復を図る, エージェント型QoS制御方式を提案した。そして, ユーザエージェントの保持する利用者の知覚レベルQoSとシステムレベルQoS間の関係に関する知識獲得のための予備実験を行った。

第3に, 遠隔評価環境において触覚モダリティを取り入れた評価を行うために, 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を構築した。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2つの触覚刺激を使用する点に特徴をもつ。また, このモデルを使用して天気図の風を可触化するシステムのプロトタイプを作成した。

第4に, ユーザビリティ評価に関する新たな評価指標として, 皮膚電気反応や脈波などの生体情報を取り入れて, 従来の評価指標との関係を分析した。このために, ビデオゲームのプレイヤーの生体情報を計測して, プレイ時のストレスに関する質問紙調査を行った。その結果, タスクパフォーマンスが下がると皮膚電気反応も低下することがわかった。また, 生体情報は, 被験者のストレスレベルに関する質問紙への回答を反映していることがわかった。なお, 本研究成果は, OZCHI2005にてベスト・ペーパー5編のうちのひとつに選出された。

### (3-2) 波及効果と発展性など

情報システムの遠隔評価環境は, 今後利用される

超高速ネットワークでの協調作業支援システムを評価するシステムとして重要な研究領域であり、今後の発展が期待されている。また、今後の情報システムでは、JGN II ネットワークの利点である遠隔性と高速大容量性を利用することは十分考えられ、このようなシステムを前提とする評価システムは極めて重要である。

本プロジェクトで培われたやわらかい情報ネットワークおよび生体情報を用いたユーザビリティ評価指標の研究を進展させて、今後も情報システムの遠隔評価環境に関する研究を継続・発展させる予定である。

#### [4] 成果資料

- (1) Imai, S., Suganuma, T., Shiratori, N.: Knowledge Circulation Framework for Flexible Multimedia Communication Services; IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E88-D, No.9, pp.2067-2078(2005).
- (2) 武田, 打矢, 北形, 菅沼, 白鳥: やわらかいビデオ会議システムにおける効果的な QoS 調整戦略を決定するための知識獲得手法; 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J88-D1, No.9, pp.1378-1387(2005).
- (3) Suganuma, T., Tokairin, Y., Takahashi, H., Shiratori, N.: AMUSE: An Agent-based Middleware for QoS-aware Ubiquitous Services; Information Technology Letters, Vol.4, LF-008, pp.107-110(2005).
- (4) Takahashi, H., Suganuma, T., Shiratori, N.: AMUSE: An Agent-based Middleware for Context-aware Ubiquitous Services; Proc. of the International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS2005), pp.743-749(2005).
- (5) Takahashi, H., Tokairin, Y., Suganuma, T., Shiratori, N.: Design and Implementation of An Agent-based middleware for Context-aware Ubiquitous Services; Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques (Proc. of the 4th SoMeT2005), Vol.129, pp.330-350(2005).
- (6) 黒田, 今井, 武田, 北形, 菅沼, 白鳥: 3次元共有空間における利用者の知覚を考慮したエージェント型 QoS 制御方式, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム (JAWS2005) 講演論文集, pp.535-542(2005).
- (7) 黒田, 菅沼, 白鳥: やわらかいシステムにおけるやわらかさの評価法とその応用; 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 (Dicomo2005), Vol.2005, No.6, pp.809-812(2005).
- (8) Lin, T., Hu, W., Omata, M., Imamiya, A.: Do Physiological Data Relate to Traditional Usability Indexes?, OZCHI2005, November (2005) (**The best 5 papers of the conference 受賞**).
- (9) Hu, W., Lin, T., Sakai, K., Imamiya, A., Omata, M.: Visual and Haptic Interaction on Virtual Haptic Roughness Perception with Different Lightness, Proceedings of IASTED-HCI 2005, Nov. 14-16, (2005).
- (10) Omata, M., Ishihara, M., Kwok, M. G., Imamiya, A.: Haptizing Wind on a Weather Map with Reactive Force and Vibration, IFIP INTERACT2005 pp.19-29, September (2005).
- (11) Hu, W., Sakai, K., Imamiya, A., Omata, M., Lin, T.: Lightness Influence on Virtual Haptic Roughness Perception, FIT2005 Letters, Vol.4, pp. 249-252, (2005).
- (12) Higuchi, Y., Mitsuishi, T., Go, K.: A Methodology and a System for Scenario-Based Instructional Design of Interactive Instruction with Multimedia Educational Materials; Proceedings of the HCI International 2005, Lawrence Erlbaum Associates (CD-ROM), Las Vegas, Nevada, July 22-27 (2005).



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)

礪田陽次 (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 31 万円

### [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2年度であった。前年度は、実証実験として、WLAN 用超小型アンテナの特性試験を行い、独自に設計・試作したアンテナの特性と今後の技術的課題を明らかに

した。WLAN を用いたアミューズメントホットスポットシステムの基礎検討と、システム設計を行い、WLAN 及びバックボーンネットワークに必要な技術課題を明らかにした。平成 16 年 10 月に開催された、片平まつりにて、IEEE802.11b を用いたホットスポットフィールドを構築し、テレビ電話、ワイヤレス IP フォン、多人数参加可能なゲームなどのサービスを実装し、運用テストを行った。IEEE802.11 標準化委員会より得られたドキュメントから、次世代無線 LAN 技術の動向を把握し、システムローミングの重要性を確認した。

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とワイヤレス LAN のシームレス接続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。

超小型アンテナの試作として、本年度は、HFSS を用いた三次元電磁界シミュレーションを行い、小型アンテナであるメアングアンテナの特性解析を行う。また、試作アンテナによる実測を行い、その特性を明らかにするとともに、シミュレーション特性との比較検討を行う。さらに、検討の結果を用い、5GHz に最適な小型アンテナの構造を新たに提案し、シミュレーション及び試作評価によりその特性を明らかにする。

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、モバイル特性を明らかにする。また、無線 LAN との共用試験を行い、シームレスシステムローミング実現のための課題を明らかにする。

## [3] 成果 (以下10.5ポイント)

## (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。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。大きさを0.1波長以下として、メアンダラインアンテナを設計した。その結果、シミュレーション、実測結果ともに、低い放射効率であることがわかった。その原因は、アンテナ自体の放射インピーダンスが低く、マッチング条件が整っていないことにより放射に寄与する電力が小さいことであることが明らかになった。現在は、この結果をもとに、放射インピーダンスを高める構造の提案と、シミュレーション及び実測による評価を進めている。

第2に、モバイルブロードバンドシステムと無線LANシステムとのシームレスハンドオーバーの実現へ向けて、まず、FlashOFDMによるモバイルブロードバンド実証試験を行った。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する。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、アンテナを中心に半径1km程度の範囲で、1Mbps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ている。

次年度は、基地局を増設して、エリア調査を行うとともに、無線LANとのハンドオーバー実験へと進む予定である。

## (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] 藤木 裕介, 戸崎 篤, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 磯田 陽次, 高木 直, 坪内 和夫, 5GHz帯イメージメアンダラインアンテナ, 信学技報, AP2005-42, pp.31-36, July 2005.
- [2] 戸崎 篤, 藤木 裕介, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 超小形アンテナのキャパシタによる整合の検討, 信学総大, B-1-127, March 2006.
- [3] 中山 英太, 藤村 明憲, 永井 幸政, 小熊 博, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 324Mbps 超高速無線LAN 端末のスループット特性, 信学総大, A-5-19, March 2006.
- [4] トランハオ ゴク, 高木 潤, 亀田 卓, 中瀬 博之, 高木 直, 坪内 和夫, 60GHz帯の屋内マルチパス伝搬特性の評価, 信学総大, A-5-23, March 2006.
- [5] 中瀬 博之, 永井 幸政, 藤村 明憲, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, 5GHz 324Mbps 無線LAN 端末の開発, 電子情報通信学会シリコンアナログRF研究会予稿集, Nov. 2005.
- [6] 中瀬 博之, トランハオ ゴク, 大嶋 尚一, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, 1Gbps 超無線LAN 用変調方式の検討, 信学技報, RCS2005-120, pp.79-82, Nov. 2005.

## 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

### [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36万円，旅費49万6千円

### [2] 研究経過

高温超伝導体(High- $T_C$  Superconductor : HTSC)は、超伝導性を担う  $\text{CuO}_2$  結晶層が積層した結晶構造を有しているため積層方位に沿ってオーダーパラメタが格子スケールで大きく変動し、電流輸送特性などの物性値には異方性が現れる。中でも  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  (Bi-2212)に代表される強い異方性を示す HTSC の場合には  $\text{CuO}_2$  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が  $\text{CuO}_2$  層間のジョセフソン効果によって支配され、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  $\text{CuO}_2$  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の場合、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、接合間の強い相互作用によってジョセフソンプラズマ振動モードが超伝導ギャップ内に現れる。こういったサブギャッププラズマ振動モードの励起によって発生する準粒子はラ

ンダウダンピングによる減衰が無く、これを励起することで HTSC のギャップ周波数に相当するテラヘルツ波の発生が可能であると考えられている。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することで接合内に導入されるジョセフソンボルテックスのフェーズダイアグラムやそれらが集団的に運動する際のダイナミクスにも、ナノスケール積層特有のボルテックス間の強い相互作用によってユニークな特性が現れる。ジョセフソンボルテックスの運動は、ボルテックスと接合内を伝播する電磁波との強い相互作用を利用して高周波増幅や高周波発振を可能とするとともに、サブギャッププラズマ振動モードの励起の手段としても有望視されておりその研究の重要性が増している。

本研究プロジェクトでは、周波数と電力の両面で従来の超伝導フラックスフロー発振器 ( FFO ) の性能を遥かに上回る新しい超高周波ソースの実現を目指し、様々な物性評価と高周波応答といったデバイス特性評価の両面から HTSC ナノスケール積層固有ジョセフソン接合におけるボルテクスダイナミクスに関する知見を幅広く収集することを目的として平成16年度に発足した。今年度は、数値シミュレーションと実験の両面からナノスケール積層固有ジョセフソン接合の高周波応答に関する研究を展開するとともに、研究打ち合わせを1回 (平成17年12月9、10日 仙台市)、研究会を1回 (平成18年2月3日 仙台市) 開催した。

以下に研究会の概要を記す。

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17年2月3日 (金) 13:30~17:30

場所：東北大学電気通信研究所2号館 W214 会議室

講演件数9件，参加者：24名

講演者 (所属)

講演題目

1. 立木 昌 (物質材料研究機構)

固有ジョセフソン接合におけるボルテックス・フローとテラヘルツCW波放射

2. 門脇 和男 (筑波大学)  
Bi-2212 固有ジョセフソン接合からのテラヘルツ放射
3. Alexei Ustinov (University of Erlangen)  
Detection of RF Radiation from the Intrinsic Josephson Junctions
4. 王 華兵 (物質材料研究機構)  
Novel Current Steps in Layered Josephson Junctions
5. 中島 健介 (弘前大学)  
Bi-2212 固有ジョセフソン接合におけるボルテクスフローの数値解析
6. 川江 健 (金沢大学)  
Ca-doped YBCO 固有ジョセフソン接合の基礎特性
7. 長尾 雅則 (物質材料研究機構)  
R-123 単結晶ウィスカーの育成とその異方性の評価
8. 掛谷 一弘 (筑波大学)  
Bi-2212 微小接合におけるロックイン現象の磁場依存性
9. 宮城 茂彦 (東理大/物材機構)  
ウィスカー十字接合のジョセフソン磁束フロー特性と高周波特性

### [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に、 $I-V$  特性上に速度整合電流ステップが現れる。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。つまり、電磁波応答特性の測定は、ボルテ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調べることは極めて重要である。本研究では昨年度までに Bi-2212 固有ジョセフソン接合にミリ波を照射したときにボルテクスのコヒーレント運動を示唆するシャピロステップ的な高周波応答 (図 1) が現れることを見出した。本年度は、シャピロステップ的な高周波応答のメカニズムを数値シミュレーションと実験の両面から探り、コヒーレント運動を実現するための知見を収集した。

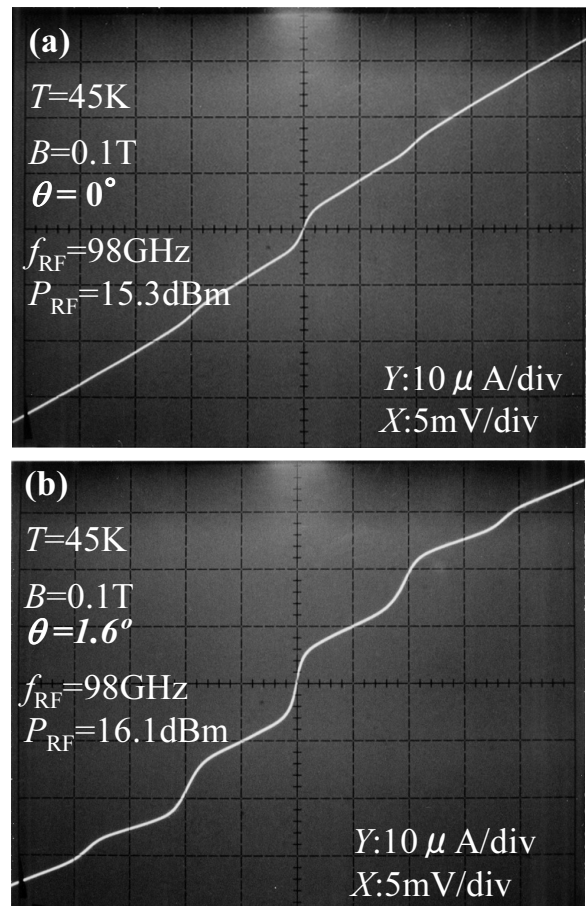


図 1  $B=0.1T$  の外部磁場を印加した状態で高周波 (98GHz) を照射したときに観測される高周波誘導電流ステップ。磁場を接合面に平行(a)な状態から僅かに傾けたとき(b)にシャピロステップ的な振る舞いを示す電流ステップ列が明瞭に観測される。

図 1 (b)に見られるシャピロステップ的な高周波応答は、 $B=0.1T$  の磁場を接合面から  $1.6^\circ$  傾けることにより超伝導層 ( $CuO_2$  面) にパンケーキボルテクスが導入されたときに観測された。パンケーキボルテクスはジョセフソンボルテクスに対して周期的ピニングポテンシャルとして作用すると考えられることから、積層固有ジョセフソン接合の数値モデルとしてよく用いられる誘導結合サイナーゴールドン方程式に周期的ポテンシャルを導入した数値モデルを提案し、実験結果が再現される条件でのボルテクスの運動状態を数値シミュレーションにより明らかにした。

図 2 は、数値シミュレーションにより得られた 2 種類の  $I-V$  特性(a), (b)と接合内の位相分布(c)を示している。計算に用いた接合モデルは 3 層の Bi-2212 固有ジョセフソン接合に対応しており、それぞれ  $B=0.55T$  の直流磁場と高周波( $f=50GHz$ )を同時に印加した条件の下でシミュレーションを行った。図 2 (a)は、周期的ピニングポテンシャルの寄与を考慮し

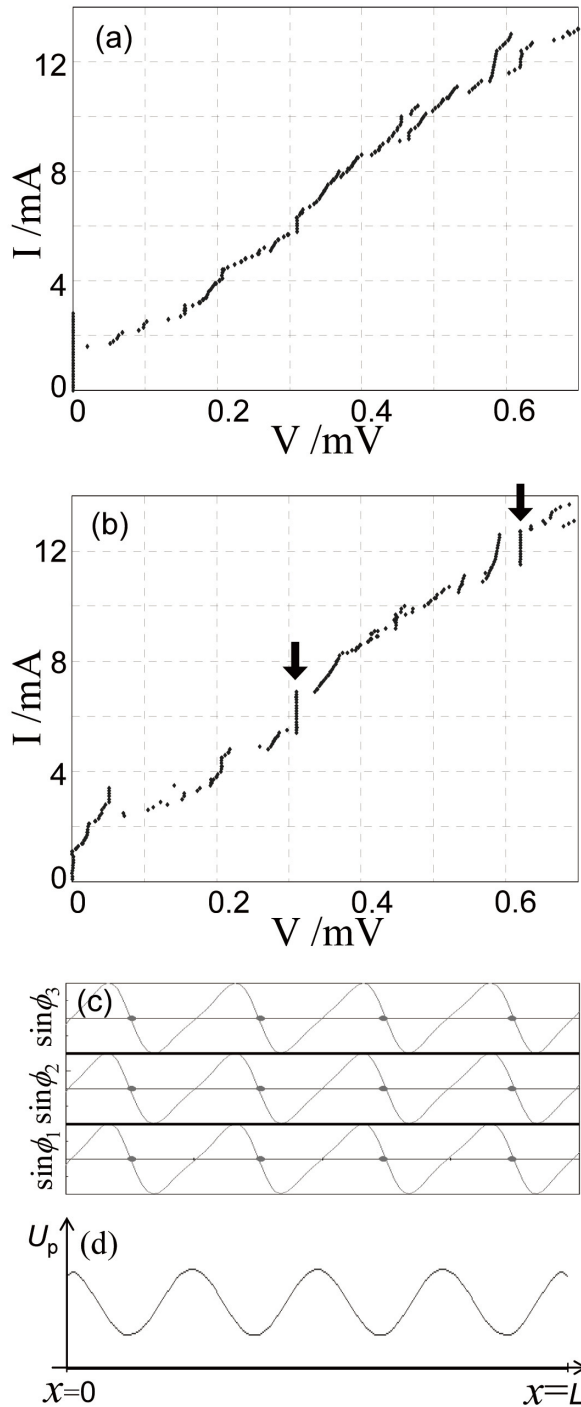


図2 Bi-2212に対応する3接合積層モデルに対して(d)に示した周期的ポテンシャルの有無を考慮して得られた $I$ - $V$ 特性(a), (b)と接合内の位相空間分布(c)の計算結果。

ておらず、実験で得られた図1(a)の $I$ - $V$ 特性に対応する。一方、図2(b)は、パンケーキボルテクスを導入した際に得られた図1(b)の実験結果を再現するためにジョセフソンボルテクスが図2(d)に示す正弦関数的な周期的ピンギングポテンシャルの中を運動したときの計算結果を示している。ピンギングポテンシャルの導入によって矢印で示した位置に明瞭な電

流ステップが現れており、高周波電力に対するステップ高さの依存性も含めて図2(b)の実験結果とよく一致することが明らかとなった。図2(c)は、このとき3つの接合それぞれにおける位相 $\phi$ の空間分布 $\sin\phi(x)$ を示している。周期的ピンギングポテンシャルがジョセフソンボルテクス(図2(c) —●—)のin-phaseに揃ったコヒーレント運動に効果的であることが確認できる。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本研究により明らかになった周期的ピンギングポテンシャルのジョセフソンボルテクスのin-phaseでコヒーレントな運動に対する有効性は、積層固有ジョセフソン接合からの電磁波放射の実現に向けて極めて有用な知見である。

本研究プロジェクトは、固有ジョセフソン接合の機能性に着目する研究者の数少ない情報交換の場になっており、今後本プロジェクトを通して高温超伝導体単結晶ならびに固有ジョセフソン接合の機能性に着目した新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される。

### [4] 成果資料

1. Y. Yamada *et al.*, Shapiro Step Responses in the Flux-Flow State of Bi-2212 Intrinsic Josephson Junctions With Cooperation of Pancake Vortices, IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 15, pp. 1028-1031 (2005).
2. J. Chen *et al.*, Dynamic Range of High Temperature Superconducting Josephson Detecting Systems at Millimeter-Wave Band, IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol.5, pp.530-532 (2005).
3. T. Kawae *et al.*, Characteristics of Charging Effect in One-Dimensional Array of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  Intrinsic Josephson Junctions, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, pp.L766-L769 (2005).
4. K. Nakajima *et al.*, Millimeter-Wave Sensitivity of YBCO Grain Boundary Josephson Junctions Coupled With Coplanar Waveguide-Fed Slot Dipole Antennas, IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 15, pp.549-551 (2005).
5. 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).
6. K. Inomata *et al.*, Evaluation of junction parameters with control of carrier concentration in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  stacked junctions, Physica C, Vol.412-414, pp.1396-1400 (2004).
7. S-J. Kim *et al.*, Characteristics of two-stacked intrinsic Josephson junctions with a submicron loop on a  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  (Bi-2212) single crystal whisker, Physica C, Vol.412-414, pp.1401-1405 (2004).

## 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)  
         水柿 義直(電気通信大学電子工学科)  
         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)  
         宮原 一紀(東京電機大学情報環境学部)  
         斎藤 利通(法政大学工学部)  
         藤巻 朗(名古屋大学大学院工学研究科)  
         八木 哲也(大阪大学大学院工学研究科)  
         土居 伸二(大阪大学大学院工学研究科)  
         森江 隆(九州工業大学大学院生命体工学研  
         究科)  
         林 初男(九州工業大学大学院生命体工学研  
         究科)  
         和久屋 寛(佐賀大学理工学部)  
         猪股 邦宏(理化学研究所)  
         東海林 彰(産業技術総合研究所)  
         川畑 史郎(産業技術総合研究所)

研究費: 校費 38 万円, 旅費 37 万円

### [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17年9月16、17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)。

「海馬における時系列学習とθ位相コーディング」  
林 初男(九州工業大)

「単一神経細胞モデルの非線形ダイナミクス:ロバスト性, 値性, カオス, 再考」  
土居 伸二(大阪大・助教授)

「ID モデルのバースト発火への拡張とその応用」  
末永 晋也(東北大)

「先行制御の数理モデル」  
石田 文彦(電気通信大)

「介在神経回路網ダイナミクスの回路トポロジー依存性」  
片山 統裕(東北大)

「海馬CA1におけるSTDPのモデリング」  
北嶋 龍雄(山形大)

「ID モデルの離散化へ向けて」  
早川 吉弘(東北大)

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

今年度は、ニューラルネットワークの可能性について、単一ニューロンのモデルベースからネットワークによる振る舞い、更には知的処理システムとしてのアプローチと広範囲に渡る成果が出ている。

まず、生物学で最も精密なモデルである Hodgkin-Huxley モデル(単一細胞モデル)について、そのダイナミクスの再考が行われ、パラメータのばらつきも含めて、モデルの性質を構造的に理解し用いることの重要性が示された。海馬 CA1 における STDP のモデリングとその数値実験を通じて、GABA 抑制は、タイミング依存および周波数依存の LTD によることが示唆された。

さらにネットワークベースとしては、生理学的知見に基づいて構築された、介在ニューロン回路網の数理モデルにおいて、ニューロン間の信号伝達遅延とネットワークの small-world 構造によってニューロン活動の同期性が高められる等の多くの知見が得られた。海馬神経回路におけるネットワークモデルにおいては、CA3 におけるダイナミカルアクティビティに基づく影響を考慮する事で、一連の行動計画に必要な時系列の学習が可能である事が示された。

また、知的処理システムへのアプローチとしては、更にシンプルな単一神経細胞モデルである逆関数遅延モデルにおいて、最適値問題の解法に飛躍的正解率の向上がもたらされることが判明し、その基礎的な集積回路の試作が行われ、基本的動作の確認がなされてきたが、ハードウェア化が有利である離散型の逆関数遅延モデルへのアプローチも同等の性能を得る事が可能であると結論された。さらに生態系で注目されているバースト発火現象の逆関数遅延モデルへの導入を行い、情報処理システムとしての性能向上が可能である事が示された。

### (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提案するに至った。また昨年同様にスウェーデンの研究者との国際交流により、王立工科大学の大学院修士の新たな修了生が研究生として1年半研究所に滞在し、研究を行うことになった。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) Basic Property of a Quantum Neural Network Composed of Kane's Qubits, Proc. of the 2005 International Joint Conference on Neural Networks, pp.1104-1107, Montreal Canada, July 2005, Y. Nakamiya, M. Kinjo, O. Takahashi, S. Sato, and K. Nakajima

(2) Retrieval Property of Associative Memory with Negative Resistance, Proc. of the 2005 International Joint Conference on Neural Networks, pp.1187-1192, Montreal Canada, July 2005, Y. Hayakawa, H. Li, and K. Nakajima

(3) Artificial Neural Network-inspired Quantum Adiabatic Evolution Algorithm with Energy Dissipation, Proc. of 2005 International Symposium on MOLTA, pp. 198-201, Bruges, Belgium, Oct. 2005, M. Kinjo, S. Sato, Y. Nakamiya, and K. Nakajima

(4) Temporal Sequences of Patterns with an Inverse Function Delayed Neural Network, Proc. of 2005 International Symposium on NOLTA, pp. 254-257, Bruges, Belgium, Oct. 2005, J. Sveholm, Y. Hayakawa and K. Nakajima

(5) Influence of Nonlinearity on the Limit-cycles of Neural Networks with Asymmetrical Cyclic Connections, Proc. of 2005 International Symposium on NOLTA, pp. 357-360, Bruges, Belgium, Oct. 2005, S. Suenaga, Y. Hayakawa and K. Nakajima

(6) Design and Implementation of Stochastic Neurosystem Using SFQ Logic Circuits, IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.15, no.2, pp.320-323, June 2005, T. Kondo, M. Kobori, T. Onomi, and K. Nakajima

(7) Retrieval Property of Associative Memory Based on Inverse Function Delayed Neural Networks, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E88-A, no. 8, pp.2192-2199, Aug. 2005, H. Li, Y. Hayakawa, and K. Nakajima

(8) Neuromorphic quantum computation with energy dissipation, Physical Review A, vol. 72, No. 5, p. 052328, Nov. 2005, M. Kinjo, S. Sato, Y. Nakamiya, and K. Nakajima

(8) Generation of very slow neuronal rhythms and chaos near the Hopfbifurcation in single neuron models, J. Computational Neuroscience 19, 325-356 (2005), S. Doi and S. Kumagai

(9) Automatic repair mechanism of secret sharing storage system, Trans. IEICE Fundamentals E88-D, 971-975 (2005), D. Hayashi, T. Miyamoto, S. Doi and S. Kumagai

(10) Bifurcation Analysis of the Hodgkin-Huxley Equations, In: (K.A.Lindsay et al. Eds.) Modeling in the

Neurosciences: From Biological Systems to Neuromimetic Robotics (2nd ed.), Chapter 17, pp.459-478, CRC PRESS (2005), S.Sato, H.Fukai, T.Nomura and S.Doi:

(11) Bifurcation Analysis of a Nonlinear Dynamical System Model of Myocardial Cells and Its Relation to Drug Sensitivity, Proc. of SICE Annual Conference 2005, pp.113-118 (2005), S.Nagata, N.Takahashi, S.Doi and S. Kumagai

(12) Determination of Protein Structures by Cluster Optimization with a Gaussian Objective Function, Proc. of SICE Annual Conference 2005, pp.107-112 (2005), R.Usui, Y.Tamura, S.Doi and S.Kumagai

(13) Synchronized theta rhythm selection in a dentate gyrus network model, Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (2005) pp.405-409., Katsumi Tateno, Hatsuo Hayashi, and Satoru Ishizuka

(14) A silicon resonate-and-fire neuron based on the Volterra system, Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (2005) pp.82-85, Kazuki Nakada, Tetsuya Asai, Yoshihito Amemiya, and Hatsuo Hayashi

(15) Resonate-and-Fire Neuron モデルのアナログ CMOS 集積回路化、信学技報 NC2005-69 (2005) pp.35-40、中田一紀、浅井哲也、林 初男

(16) 感覚入力信号の周波数に依存した嗅内皮質-海馬閉回路形成と位相コーディング、信学技報 Vol. 105, No. 417 (NLP) (2005) pp.47-52、五十嵐潤、立野勝巳、林 初男

(17) リズムと感覚運動制御、三村昌泰監修蔵本由紀編、シリーズ「非線形・非平衡現象の数理」第1巻 リズム現象の世界、第3章(pp.97-135)、東京大学出版会、2005、沢田康次、石田文彦

(18) Parameter optimization of a Josephson latching driver based on bit-error-rate simulations, Physica C, vol. 426-431, Part 2, 1 October 2005, pp. 1680-1686, H. Kojima, Y. Yamashiro, K. Fujiwara, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, H. Terai and S. Yorozu

(19) Consideration of logic synthesis and clock distribution networks for SFQ logic circuits, Physica C, vol. 426-431, Part 2, 1 October 2005, pp.1687-1692, A. Akimoto, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, S. Yorozu and H. Terai

(20) Design and implementation of double oscillator time-to-digital converter using SFQ logic circuits, Physica C, vol. 426-431, Part 2, 1 October 2005, pp. 1699-1703, T. Nishigai, M. Ito, N. Yoshikawa, A.

Fujimaki, H. Terai and S. Yorozu

(21) 20 GHz operation of bit-serial handshaking systems using asynchronous SFQ logic circuits, IEEE Trans. Applied Superconductivity. vol. 15, June 2005, pp.255-258, M. Ito, K. Kawasaki, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, H. Terai, S. Yorozu

(22) Characterization of 4 K CMOS devices and circuits for hybrid Josephson-CMOS systems, IEEE Trans. Applied Superconductivity. vol. 15, June 2005, pp.267-271, N. Yoshikawa, T. Tomida, M. Tokuda, Q. Liu, X. Meng, S. R. Whiteley, T. Van Duzer

(24) Advanced design approaches for SFQ logic circuits based on the binary decision diagram, IEEE Trans. Applied Superconductivity. vol. 15, June 2005, pp. 380-383, T. Nishigai, M. Ito, N. Yoshikawa, K. Obata, K. Takagai, N. Takagai, A. Fujimaki, H. Terai, S. Yorozu

(25) Error rate test of large-scale SFQ digital circuit systems, IEEE Trans. Applied Superconductivity. vol. 15, June 2005, pp. 427-430, K. Fujiwara, N. Nakajima, T. Nishigai, M. Ito, N. Yoshikawa, A. Fujimaki, H. Terai, S. Yorozu

(26) Observation of quantized energy levels in a Josephson junction using SFQ circuits, IEEE Trans. Applied Superconductivity. vol. 15, June 2005, pp. 864-867, Y. Yamanashi, M. Ito, A. Tagami, N. Yoshikawa

(27) Effect of Edge Boundaries on Josephson Vortices in Layered High-Tc Superconductors, Phys. Rev. Lett. 96,097002(2006), M.Machida

(28) Structure of a Quantized Vortex near the BCS-BEC Crossover in an Atomic Fermi Gas, Phys. Rev. Lett. 94, 140401(2005), M.Machida and T.Koyama,

(29) Coexistence of Vortex Liquid and Solid in Rotating Bose-Einstein Condensate, J.Low Temp. Phys. 138, 617(2005), M.Machida, N.Sasa, and H.Matsumoto

(30) Josephson Half-quantized Vortices in Long Square  $\pi$  Junctions around  $d\text{-dot}$ , Physica C 426-431, 1566-1571(2005), M.Machida, T.Koyama, M.Kato, and T.Ishida

(31) Quasi-particle spectrum of nano-scale conventional and unconventional superconductors under magnetic field, Physica C 426-431, 41-45(2005), Masaru Kato, Hisataka Suematsu, Masahiko Machida, Tomio Koyama and Takekazu Ishida

(32) Vortex dynamics in nano-scaled superconducting complex structures ( $d\text{-dot}$ ), Physica C 426-431, 122-126(2005), Masayuki Ako, Masahiko Machida, Tomio Koyama, Takekazu Ishida and Masaru Kato,



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発生条件探索と原理考察

### [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：荒井 賢一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

脇若 弘之 (信州大学工学部)

荒 克之 (岩手大学)

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

菊池 弘昭 (岩手大学金属材料保全工学  
研究センター)

栢 修一郎 (岐阜大学工学部)

藪上 信 (東北大学電気通信研究所)

仙道 雅彦 ((財)みやぎ産業振興機構)

阿部 宏之 (宮城県産業技術総合センタ  
ー)

研究費：校費 400,000 円，旅費 130,000 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ェ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。映像を記録するカメラ・ビデオ機能，音楽・映像情報のダウンロードと再生機能，地図情報のダウンロードとGPSを組み合わせたナビゲーション機能，電子マネー機能，ワンセグサービスによるテレビ受信機能等，これら新機能が数年後には陳腐化するような勢いで社会に供給されているのが現状である。このような携帯情報端末には，これらの高度な機能を維持動作させるために様々なセンサデバイスが組み込まれている。一例として，電池の健全性を検出するセンサ，折りたたみ構造の開閉を検出するセンサ，ナビゲーション機能において方位と装置姿勢を検出するセンサ，内蔵ハードディスクのデータ損傷を防ぐための加速

度センサ，個人認証センサ等がある。これら複数のセンサシステムが，手のひらに収まるような小型装置の中に納められている。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予想される。

携帯情報端末における磁気センサの応用は，折りたたみ構造の開閉検出，モバイルナビゲーション機能の方位検出等がよく知られている。最近では，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が磁気センサを基本センサとして用いることで実現されている。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た。研究シーズとして，外部磁場の変化で磁区構造と素子インピーダンスが不連続的に転位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。

本研究の背景として，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に関しては，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の発現を見出している。また，この現象は磁区構造の急激な変化と同時に発生することも見出している。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た。

研究活動として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：試作プロセス検討による素子安定性向上の検討（期間：第1四半期）

検討課題2：不連続インピーダンス現象の発生条件  
探索（期間：第2四半期）

検討課題3：磁区構造の詳細な観察と現象の考察  
（期間：第3四半期）

検討課題4：現象発生の再現性と歩留り確認  
（期間：第4四半期）

第1回会合 2006年3月3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. 試作プロセス検討による素子安定性向上の検討  
素子の磁性膜を成膜する RF スパッタ装置の成膜条件検討、および、アモルファス膜の成膜に不可欠である基板冷却を確保できる成膜治具の設計と試作検討を行い、再現性と安定性の高いセンサ膜成膜のノウハウを構築し、実験者の技量に依存しない安定した成膜特性を実現できた。
- b. 不連続インピーダンス現象の発生条件探索  
従来、実験確認されている、不連続インピーダンス現象の発生条件は矩形短冊形状のセンサ素子の短辺長さ 20  $\mu\text{m}$ 、長辺長さ 1000  $\mu\text{m}$  から 3000  $\mu\text{m}$ 、膜厚 2  $\mu\text{m}$  から 4  $\mu\text{m}$  の範囲と限定的な寸法範囲に限られていた。本検討では、不連続インピーダンス現象の発生条件範囲を明らかにするため、従来より広い条件範囲での試作検討を行った。本検討は、現象の原理解明の意味でも有用な知見となる。検討では、センサ素子の短辺長さ 20  $\mu\text{m}$  から 100  $\mu\text{m}$ 、長辺長さ 1000  $\mu\text{m}$  から 3000  $\mu\text{m}$ 、膜厚 0.7  $\mu\text{m}$  から 3  $\mu\text{m}$  の寸法範囲で素子を試作評価した。結果として、今回検討した条件範囲において、不連続インピーダンス現象が発生することを確認した。
- c. 磁区構造の詳細な観察と現象の考察  
不連続インピーダンス現象の発生原理を解明するためには、現象に伴う磁気的エネルギーの遷移を明らかにすることが不可欠であり、このためには、現象が発生する際の磁区構造を明確にすることが重要である。本検討では、不連続インピーダンス特性を有する素子の磁区構造、特に、ストライプ状磁区構造端部の還流磁区の有無に重点をおいて検討を行った。また、外部から磁場を負荷した場合の磁区構造変化についても、今回試作した寸法範囲の素子について、検討を行った。結果として、不連続インピーダンス特性を有

する素子において、ストライプ状磁区端部に還流磁区構造が見られることを確認した。素子幅 50  $\mu\text{m}$  以上では還流磁区が明確に観察され、素子幅 20  $\mu\text{m}$  では還流磁区が存在するとは明瞭に観察できないが、還流磁区が存在すると予測される部分に磁壁の屈曲が観察されることを確認した。

#### d. 現象発生の再現性と歩留り確認

一枚の基板内に、同一形状のセンサ素子を 6 行 9 列、合計 54 個配置した試作用マスクを作製し、不連続インピーダンス特性を有する素子の歩留り評価を行った。具体的には、評価パラメータとして GMI 比 ( $\angle Z / Z_{\min}$ ) 20% 以上、インピーダンス変化量に占めるステップ的変化の割合 ( $\angle Z_{\text{step}} / \angle Z$ ) 30% 以上の両方を満たし、かつ、印加磁場増加時と減少時に対称的に不連続インピーダンス現象が発生する素子の歩留りを評価した。結果として、80% を超える歩留りを確認した。条件を満たさない素子は、基板端部に集中していることから膜厚分布ムラや基板ホルダ縁部によるコンタミ混入が不良原因と考えられ、基板端部を除いた素子歩留りは、90% を超える。この値は、今後のアプリケーション検討への展開を行うにあたり、期待できる結果と言える。

#### e. 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

実験検討で得られた結果と今後の検討課題、さらに、本素子の今後の展開であるアプリケーション検討について、共同研究者間で討論をおこなった。本討論の結果に基づき、今後、引き続き検討を行う予定である。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

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特性を有した高周波キャリア型磁界センサに関する研究は、我々の研究グループにより現象が見出された後、本プロジェクト研究において、発生条件、歩留まり確認、原理考察を実施する機会が得られた。本報告に示したように、本現象は、高い発生歩留りを確保でき、発生条件も比較的広い範囲で発生することが確認できた。このことは、本現象を応用したアプリケーション開発への展開を期待させる結果である。今後、平成 17 年度の結果を踏まえ、現象の発生原理解明に注力するとともに、講演、論文等による検討結果の公開を行う予定である。また、磁気センサ以外への用途展開を含め、新研究領域の開拓、成果の他分野への応用を検討し、大型プロジェクトへの発展を図る所存である。

## 課題番号 H17/A03

## テラビット垂直スピニックス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：  
 杉田愷 (東北工業大学電子工学科・教授)  
 大沢壽 (愛媛大学工学部・教授)  
 岡本好弘 (愛媛大学工学部・助教授)  
 山本節夫 (山口大学工学部・助教授)  
 高橋則雄 (岡山大学工学部・教授)  
 藤原耕治 (岡山大学工学部・助教授)  
 金井靖 (新潟工科大学工学部・教授)  
 青井基 (東北大学電気通信研究所・教授)  
 島津武仁 (東北大学電気通信研究所・助教授)  
 サイモングリーブス (東北大通研・助教授)  
 中村慶久 (東北大学通研・客員教授)  
 山川清志 (東北大通研・客員助教授)  
 大内一弘 (秋田県高度技術研究所・所長)  
 本多直樹 (秋田県高度技術研究所・次長)  
 高橋慎吾 (秋田県高技研・主任研究員)  
 伊勢和幸 (秋田県高度技術研究所・研究員)  
 玉城孝彦 (NHK 放送技研・主任研究員)  
 岡崎裕 (ソニー・統括課長)  
 田上勝通 (TDK・部長)  
 二本正昭 (中央大学・教授)  
 高野公史 (日立 GST・副本部長)  
 押木満雄 (富士通研究所・所長代理)  
 田中陽一郎 (東芝・部長)

研究費：物件費 0 円、旅費 380 千円

## 〔2〕 研究経過

IT 社会におけるコンピュータの小型高性能化やネットワークのブロードバンド化等の情報インフラ整備が進むと、情報を如何に蓄積し発信するかが IT 社会発展の鍵となるため大容量情報ストレージが強く求められ

る。さらにマルチメディア化の進行の結果、極めて大きな情報量とリアルタイム性を同時に求められる高品位動画情報への需要が飛躍的に増大しており、従来のデータストレージでは機能しなくなりつつある。これらの要求に応えるには磁気ストレージシステムの飛躍的な性能向上が必須であり、本共同研究では本所で提案した垂直スピニックスストレージシステムの基礎研究を行っている。

磁気記録研究は、材料・デバイスの議論から、システムや信号処理等の検討まで幅広い領域を含むため、本共同研究では参加研究者の研究分担を、ヘッド・ディスク系のデバイス研究と信号処理系のシステム研究の二つに分けて行う。本所では、超高密度垂直磁気記録媒体の作製・解析、高飽和磁束密度軟磁性主磁極膜を有する強磁界単磁極ヘッドの作製、試作したヘッド・ディスクを用いた記録再生特性の評価及び垂直磁気記録のリードライト系におけるシステム設計を行う予定である。

今年度の全体会議は平成 18 年 2 月 14 日に開催し、研究成果を持ち寄っての討論を行った。

## 〔3〕 成果

## (3-1) 研究成果

各研究機関での以下のような分担の成果が得られた。

信号処理では、愛媛大から実測のノイズ性状を考慮してジッタと逆磁区ノイズを含む垂直磁気記録チャンネルにおいて、高密度記録を行うための信号処理方式についての研究

報告があり、600Gbits/inch<sup>2</sup>の面記録密度のために適切なチャネル方式が報告された。特に、現状の垂直磁気記録では記録媒体のグラニューラ構造を反映して磁化転移位置がランダムに揺らぐジッタノイズの比率が大きくなっている。このジッタノイズは転移位置が揺らぐことから発生するものであるから信号に付随して生じる特徴があり（無信号ではノイズもゼロになる。）、通信系でよく仮定される信号には関係なくランダムに発生する加算性のノイズとは本質的に異なる性質を持っている。磁気記録用の再生チャネルにおいても、これまではランダムノイズを前提にした設計がされてきたが、このような従来の信号処理系では優れたエラーレートを確保できないために、これまでに確立された記録再生信号処理系とは異なる考え方が必要である。今年度における愛媛大の信号処理研究では信号とノイズの相関を効率良く利用することで、転移ジッタがビット長の10%でも所要エラーレートを確保できる方式の提案があった。これは従来7%程度が限界であったことに対して優位性のある成果である。

また、秋田県高度技術研究所ではシリコン単結晶ウェハの異方性エッチングを利用して3次元の絞込み構造の主磁極を持つ新規プレーナ型単磁極ヘッドの研究を続けている。これまで大きな記録磁界発生が有限要素法シミュレーションにより示されているが、今年度はそのヘッド試作に取り掛かり主磁極の形成と励磁コイルをリソグラフィで形成することに成功した。

東北大では新たなシリンダ型の記録媒体を用いる記録方式について昨年提案された傾斜パッド型のABS形状を持つスライダによるリードライト測定結果について報告され、スペーシングの低下によってさらに改善が期待されることが示された。また、垂直磁

気記録再生理論の研究ではトラック端の記録揺らぎからダウントラック相関長を求めた結果についての報告があった。この結果は、クロストラック相関よりもクラスタサイズが大きいことが示唆され、急峻なトラック端磁界分布を持つ記録ヘッドを用いて記録する必要性が示唆された。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本共同研究で遂行されてきたこれまでの成果を発展させ、今年度の目標面記録密度である600 Gbits/inch<sup>2</sup>を垂直磁気記録方式によって達成するための要素研究を展開した。

本プロジェクトは文部科学省のRR2002「超小型大容量ハードディスクの開発」の土台に結び付いており、これまで垂直磁気記録を導入した超小型1インチ径ハードディスク装置のプロトタイピングに成功するなど実用性の高い成果を得ている。

### [4] 成果資料

- (1) S. J. Greaves, Y. Kanai, H. Muraoka  
“Controlling the written track width in perpendicular recording media”  
Trans.Magn.Soc.Japan vol.5 No.2
- (2) Motohiro Suzuki, Hiroaki Muraoka, Yuuki Inaba, Hayato Miyagawa, Naomi Kawamura, Takehito Shimatsu, Hiroshi Maruyama, Naoki Ishimatsu, Yoichi Isohama, Yoshiaki Sonobe  
“Depth profile of spin and orbit magnetic moments in a subnanometer Pt film on Co”  
Physical Review B vol.72
- (3) Simon Greaves, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka  
“The Effect of Write Head Structures on Written Transitions in Perpendicular Media”  
IEEE Trans.Magn vol.41 No.10

- (4) T. Shimatsu, H. Sato, K. Mitsuzuka, T. Oikawa, Y. Inaba, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura, O. Kitakami, S. Okamoto  
“Ku2 magnetic anisotropy term of CoPtCr-SiO<sub>2</sub> media for high density recording”  
J.Appl.Phys vol.97
- (5) T. Shimatsu, H. Sato, T. Oikawa, K. Mitsuzuka, Y. Inaba, O. Kitakami, S. Okamoto, H. Aoi, H. Muraoka, Y. Nakamura  
“CoPtCr-SiO<sub>2</sub> Perpendicular Media for High Density Recording with a High Order Magnetic Anisotropy Energy Term”  
IEEE Trans.Magn vol.41 No.10

## 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)

山本 正樹 (東北大学 多元物質科学研究所)

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)

大寺 康夫 (東北大学 先進医工学研究機構)

青山 勉 (株式会社フォトニックラティス)

玉村 敏明 (有限会社ナノエフコンサルタント)

研究費：校費 39 万円，旅費 8 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（用いる光の半波長程度の周期で屈折率の大小異なる材料を周期配置した構造体）である。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。

これまで多くの機関ではフォトニック結晶は光通信の分野に重点が置かれてきたが、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、光計測など光通信に限定されず光産業分野全般への応用に努力してきた。本研究プロジェクトでは端緒が見いだされた応用分野をより深く追求することを目的とし、応用技術として光計測、映像、バイオ・メディカル、通信、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する。フォトニック結晶の作製、応用デバイスの試作・評価を行ない、新規応用分野を開拓する。以下、本プロジェクトの今年度の研究活動状況の概要を記す。

(1). プロジェクト・クリーンルーム (PCR) におけるプロセス開発

PCRにてフォトニック結晶用のパターン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。詳細は結果で述べる。

(2). 研究討論会を以下の内容で開催した。

日時：10月13日(木) 10:30-17:00

場所：東北大学 ナノスピ研究棟 5F大会議室  
10:30-10:35 開会の挨拶

10:35-11:15 「フォトニック結晶を用いたマルチスペクトルイメージング用波長フィルタアレイ」大寺康夫 (東北大学 先進医工学研究機構)

11:15-11:55 「フォトニック結晶ファイバ、VCSEL、Si-APDを用いた850nm帯10Gbit/s光伝送実験」中沢正隆、長谷川英明、及川洋介、廣岡俊彦、吉田真人 (東北大学 電気通信研究所)

13:00-14:00 「フォトニック結晶の実用化への歩み：最近の進展と展望」川上彰二郎 ((株)フォトニックラティス、仙台応用情報学研究振興財団)

14:00-14:40 「高規則性アルミナナノホールアレーの形成とフォトニクスへの応用」益田秀樹 (首都大学/KAST)

14:40-15:20 「フォトニック結晶アレイを用いた膜厚・屈折率計測機への応用」佐藤尚<sup>1</sup>、津留俊英<sup>2,3</sup>、佐々木良裕<sup>4</sup>、川上彰二郎<sup>1,3</sup> (<sup>1</sup>(株)フォトニックラティス、<sup>2</sup>多元物質科学研究所、<sup>3</sup>仙台応用情報学研究振興財団、<sup>4</sup>東北大学工学研究科)

15:20-15:40 休憩

15:40-16:20 「ナノ構造を用いた生体光計測」庭野道夫 (東北大学 電気通信研究所)

16:20-17:00 「フォトニック結晶を用いた偏光イメージャとそのデータ処理アルゴリズムの開発」川嶋貴之<sup>1</sup>、青木孝文<sup>2</sup>、川上彰二郎<sup>3</sup> (<sup>1</sup>(株)フォトニックラティス、<sup>2</sup>東北大学大学院情報科学研究科、<sup>3</sup>仙台応用情報学研究振興財団)

### [3] 成果

(3-1) 研究成果

①フォトニック結晶用の基板パターンニング技術：  
プロジェクトクリーンルームにて、電子ビームリソグラフィおよび反応性イオンエッチングを用いた微細なライン&スペースパタンの形成技術を開発し

た。特にエッチング装置を導入したことで、全てのプロセスを本クリーンルーム内で実施できるようになった。露光条件やエッチング条件を検討することよりピッチ 200nm まで微細なパターンに対応することに成功した。本技術を用いて応用開発のための各種フォトニック結晶を作製した。

#### ②薄膜の厚さや屈折率を計測するエリプソメータ：

本方式のエリプソメータはフォトニック結晶からなる波長板アレイ、偏光子アレイ、CCD 撮像素子を組み合わせた偏光計測モジュールを用いる。従来型に比べて駆動部がなく、小型、軽量、安定性が高い。今年度は小型化した偏光計測モジュール (24mm×35mm×78mm) を用いて小型軽量のポータブル・エリプソメータを構成した (フットプリント A4 版、重量 4kg と従来の約 1/10)。また偏光計測データから膜厚および屈折率を導出するソフトウェアを開発した。実際に Si ウェハ上の各種 SiO<sub>2</sub> 膜の屈折率と厚さを測定し、高い再現性と厚さ分解能を実証した。

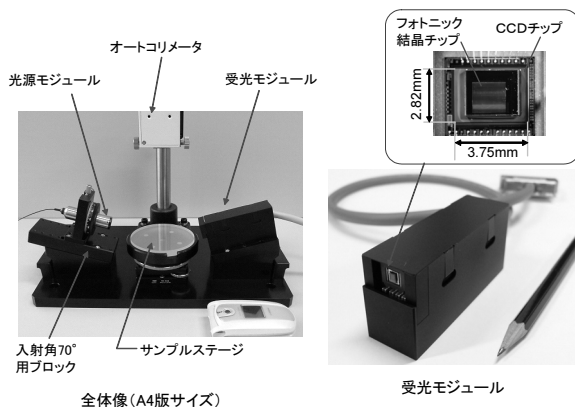


図1. 試作したエリプソメータ

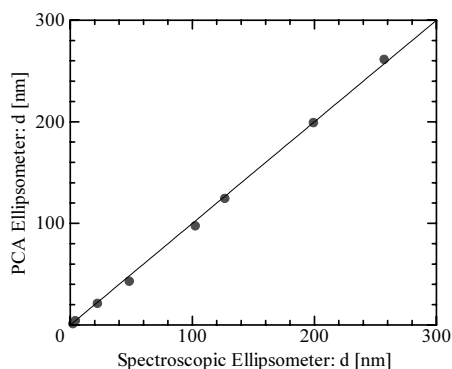


図2. 厚さの異なる SiO<sub>2</sub> 膜の測定結果。横軸は分光エリプソメータで測定した公称値。縦軸が本エリプソメータで測定した膜厚。

#### ③偏光による画像情報取得デバイス (偏光イメージング)：

CCDの画素サイズにパタン化したフォトニック結晶偏光子を、受像素子である CCD に直接張り合わせることで、各画素間で異なる偏光情報を同時取得できるデバイスの試作を行った。さらに得られる偏光情報を数値処理することで、各領域における偏光成分の振幅、無偏光成分の振幅、偏光方向を導出するアルゴリズムを開発し、画像処理を行った。その結果、例えば自動車の撮影した画像から偏光成分を解析すると、ガラス面の向きの違いといった表面形状の情報が得られることが明らかとなった。これは物体の形状や平坦面における傷、突起などを高速に検出する技術に展開できる。



図3. 偏光イメージングカメラで撮影した自動車の画像(上)とその情報から偏光方向を導出し、方向を色で表現した画像(下)。フロントとサイド面の法線方向の違いが色の違いとして表示されている。

#### ④波長分割による画像情報取得デバイス：

フォトニック結晶の波長フィルタアレイと CCD などの 2次元イメージセンサを組み合わせ、計測物体からの放射光や反射光の波長情報を取得する 2次元可視化デバイスを考案し、設計・試作を行なった。ここでは測定対象を生体表面の組織中に存在するヘモグロビンの濃度や酸素飽和度を 2次元的に可視化することし、波長 800nm 帯の近赤外光を用いた。この波長帯を 4つの狭帯域波長スロットに分解するためのフォトニック結晶フィルタを設計し、試作した。遮断波長が約 6nm ずつ等間隔で異なる 12個の長波長透過フィルター領域を、一枚の基板の上に並列して作製することに成功した。次年度にはフィルターアレイを CCD センサーの画素程度にまで微細化し、波長分解画像の取得を試みる予定である。

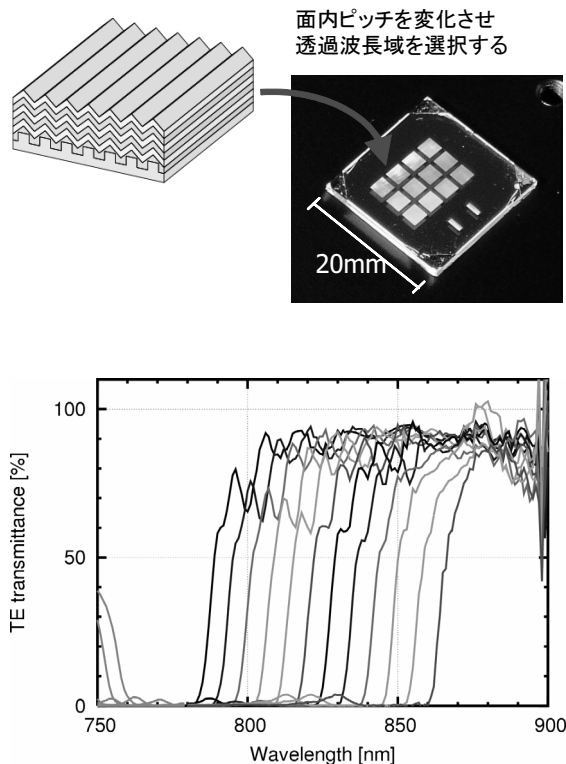


図 4. 生体計測用フォトニック結晶波長フィルター。(上)外観写真。一辺2.2mmのフィルター領域が12ヶ並列配置されている。(下)測定された各領域の透過スペクトル。

### (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を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を発表した。更に開発を進めることで大型プロジェクトへの展開の可能性が大きい。

#### [4] 成果資料

- [1] T. Sato, Y. Sasaki, and S. Kawakami, "Photonic-Crystal-Array Ellipsometry," PECS-VI, June 2005.
- [2] T. Kawashima, Y. Inoue, H. Abe, T. Sato, and S. Kawakami, "Recent Developments of Photonic Crystal Polarizers," PECS-VI, June 2005.
- [3] N. Hashimoto, Y. Homma, T. Sato, T. Aoyama, T. Chiba, H. Uetsuka, and S. Kawakami, "A compact and highly accurate DOP monitor," ECOC, September 2005.
- [4] 佐藤、佐々木、川上、"フォトニック結晶アレイからなる偏光計測モジュールとエリプソメトリーの実証," 秋季応用物理学学会学術講演、10p-ZF-2、2005

年9月,

- [5] 川嶋、佐々木、佐藤、石川、川上、沼、長嶋、青木、"偏光子アレイを用いた偏光イメージングデバイスの開発," 秋季応用物理学学会学術講演、7p-ZR-14、2005年9月,
- [6] 佐々木、佐藤、津留、田所、川上、"フォトニック結晶アレイを用いた膜厚・屈折率アナライザ," 電子通信学会ソサイエティ大会、C-3-79、2005年9月.
- [7] 橋本、本間、佐藤、青山、千葉、上塚、川上、"PMD マネージメント向け小型・高精度 DOP モニタの開発," 電子通信学会ソサイエティ大会、C-3-106、2005年9月.
- [8] 大寺、佐々木、川嶋、川上、"変分表現と FDTD 法の連携による周期構造の遮断特性の計算," 電子通信学会ソサイエティ大会、C-3-84、2005年9月.
- [9] 大寺、小貫、佐藤、川上、"フォトニック結晶アレイを用いた波長分割イメージングデバイス," 電子通信学会ソサイエティ大会、C-3-80、2005年9月.
- [10] 馬場、橋本、佐藤、大寺、川上、"液晶装荷による可変機能フォトニック結晶導波路の検討," 電子通信学会ソサイエティ大会、C-3-84、2005年9月.
- [11] 川嶋、佐藤、川上、長嶋、太田、青木、"パターン化偏光子を用いた偏光イメージングデバイスと利用技術の開発" 電子通信学会総合大会、2006年3月.
- [12] 佐藤、川嶋、井上、青山、川上、"フォトニック結晶アレイ応用デバイスの実用化動向," 電子情報通信学会総合大会、2006年3月.
- [13] 大寺、小貫、井上、川上、"フォトニック結晶による可視～近赤外域用波長フィルタ・アレイ," 応用物理学関係連合講演会、2006年3月.
- [14] 大寺、小貫、佐藤、川上、"フォトニック結晶による多波長イメージング用モザイク型波長フィルタの作製," 物理学関係連合講演会、2006年3月.
- [15] 佐藤尚、佐々木良裕、川嶋貴之、石川理、大寺康夫、川上彰二郎、"微細偏光子アレイと CCD の一体化による偏光イメージングモジュール," 第30回光学シンポジウム、2005年6月16日
- [16] 佐藤尚、佐々木良裕、川上彰二郎、"フォトニック結晶アレイを用いた小型・並列処理型エリプソメータ," 第30回光学シンポジウム、2005年6月16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科）  
 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 愨彦（宮城工業高等専門学校）  
 蒔田 律郎（(株)イデアルスター）  
 山下 冬子（(株)イデアルスター）  
 今崎 篤（(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）  
 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）  
 秋谷 昌紀（武蔵工業大学）  
 平田 孝道（武蔵工業大学）  
 斉藤 直昭（産業技術総合研究所）  
 阿知波 洋次（東京都立大学理学研究科）  
 寺嶋 和夫（東京大学新領域創成科学研究科）  
 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ー新世代研）  
 石橋 幸治（理化学研究所）  
 佐伯 紘一（静岡大学理学部）  
 三重野 哲（静岡大学理学部）  
 永津 雅章（静岡大学工学部）  
 水野 彰（豊橋技術科学大学エコロジー工学系）  
 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）  
 水谷 孝（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）  
 松本 和彦（大阪大学産業科学研究所）  
 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）

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所）

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 60 万 0 千円，旅費 59 万 0 千円

### [2]研究経過

プラズマ科学は、21世紀の重点的研究分野と目されている環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、フロンティア（宇宙など）そして情報通信のいずれにも、学問的基盤として根幹的に関わっている。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18年2月23日，24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 103会議室

1. 「シアー流をもつプラズマにおける不安定性の固有モード解析」伊藤 淳（核融合科

学研究所)

2. 「プラズマフロー速度シアの先進的研究～複数種イオンの効果, 磁力線平行・垂直フロー速度シア同時制御～」市來 龍大, 林賢一郎, 齋藤 洋孝, 金子 俊郎, 畠山 力三 (東北大学)
3. 「宇宙プラズマ中の非線形波動と粒子加速」大村 善治 (京都大学)
4. 「磁気リコネクション室内実験の進展ーTS-3 実験から TS-4・UTST 実験へー」小野 靖 (東京大学)
5. 「核融合装置における超高熱流プラズマ制御とプラズマデタッチメント現象」大野 哲靖 (名古屋大学)
6. 「プラズマを利用した新規カーボンナノマテリアルの創製」小塩 明 (三重大学)
7. 「強い静電相互作用によるナノ凝縮系・DNAの構造形成」田中 基彦 (核融合科学研究所)
8. 「架橋カーボンナノチューブの成長制御と機能化」小林 慶裕 (N T T 物性科学基礎研究所)
9. 「フラーレン系物質を使った薄膜電界効果デバイスの作製と単一分子操作によるナノデバイス作製への道」久保園 芳博 (岡山大学)
10. 「マイクロ波プラズマを用いた医療器具用低温滅菌技術の開発」永津 雅章 (静岡大学)
11. 「液相レーザーアブレーションによるナノ材料の調製」佐々木 毅, 清水 禎樹, 越崎 直人 (産業技術総合研究所)
12. 「プラズマプロセスによるカーボンナノチューブ利用新規ナノ電子デバイスの構築」加藤 俊顕, 泉田 健, 畠山 力三 (東北大学)
13. 「電解質マイクロプラズマ中電場重畳法によるカーボンナノチューブへの DNA 内包」岡田 健, 金子 俊郎, 畠山 力三 (東北大学)

本研究会では学内外を含め延べ58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. 拡散プラズマ CVD 法によるシリコン平面基板上への孤立垂直配向単層カーボンナノチューブ形成

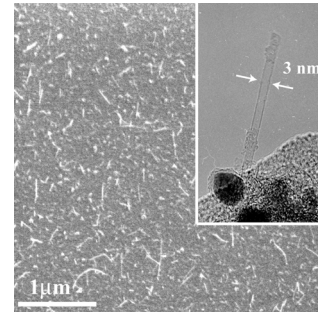


図1:シリコン基板上に孤立垂直配向したSWNTsのSEM像。挿入図は形成されたSWNTsのTEM像を示す。

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。しかしながら従来の手法では絶縁粒子状物質であるゼオライトを触媒保持材料として使用していたため, 産業応用に直結させるまでには至らなかった。そこで, プラズマ拡散領域を利用した新たなプラズマ CVD 手法を確立した。本手法により基板に入射するイオンエネルギーを詳細に制御した結果, ゼオライトを使用しないシリコン平面基板上に孤立垂直配向のSWNTsを形成することに成功した。シリコンベースの平面基板上に成長可能となったことで, トランジスタ等の半導体分野への応用が十分可能になったといえる。

#### II. 電解質マイクロプラズマ利用 DNA 内包カーボンナノチューブ形成

DNA は水溶液中で負イオンとして存在するため, SWNTs を塗付したアノード電極に直流電場を印加することで DNA 負イオンを SWNTs へ照射することが可能となる。さらに溶液中で糸玉状構造をとる DNA を効果的にカーボンナノチューブへ内包させるために, DNA を伸張させるための高周波電場を重畳印加した。このようにして DNA を内包した SWNTs の創製が実

現されている。また、アデニンのみで構成されている塩基数 30 の DNA ( $A_{30}$ ) と電子ドナー性の高いグアニンを含む塩基数 30 の DNA ( $AG_{30}$ ) をラマンスペクトルで評価した結果, radial breathing mode の波数領域においてスペクトル形状が異なることが明らかになった。これは, SWNTs と DNA の相互作用が塩基配列によって異なることを示しており, SWNTs の電気特性を変化させる可能性を示している。

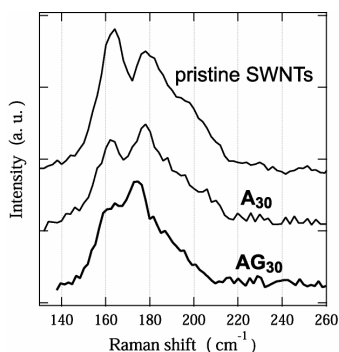


図 2 : 異なる塩基配列の DNA 負イオン照射後のラマンスペクトル。励起波長は 488 nm.  $V_{DC} = 10$  V,  $V_{RF} = 150$  V.

### III. アルカリハロゲンプラズマ源を用いたアルカリ金属/ハロゲン原子内包単層カーボンナノチューブ形成とその電気特性

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( $I$ )イオン, セシウム( $Cs$ )イオンの照射を行って, それらの原子内包 SWNT の形成を行った。さらに原子内包 SWNT を用いた電界効果トランジスタ(FET)の電気特性評価を行った。アルカリハロゲンプラズマは, 直流及びマグネトロン放電によって生成されている。さらに磁気フィルターによって電子と正負イオンを分離することによって, 純  $Cs - I$  プラズマを生成している。このプラズマ中に SWNT 塗布基板を導入して, 正あるいは負の直流電圧を印加することにより  $I$  イオン,  $Cs^+$ イオンの照射を行った。半導体性 SWNT 自体は  $p$  型の伝導特性を有するが,  $Cs^+$ を照射・内包させた SWNT は,  $Cs^+$ のドーズ量に比例して  $n$  型の特性へと遷移していくことが, これまでの研究により明らかにされている。一方,  $I$  を照射・内包させた場合には  $p$  型の伝導特性を示す(図 3)が, 照射しない SWNT 自身の示す  $p$  型電導特性に比べて, ソース-ドレイン電流( $I_{DS}$ )が流れ始めるゲート電圧( $V_G$ )の閾値が明確に正方向へとシフトすることが確認された。この結果は SWNT に内包された  $I$  が電子アクセプタとして作用し, より強固な  $p$  型伝導特性を有する SWNT

が創製されたことを示している。

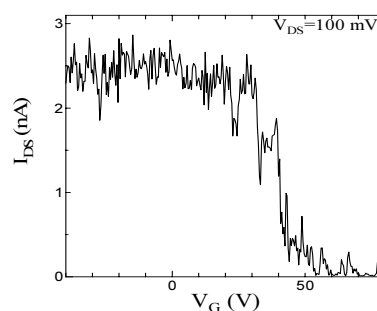


図 3 :  $I$  照射 SWNT-FET の電気特性。

### IV. 鉄内包単層カーボンナノチューブ形成とその電気特性

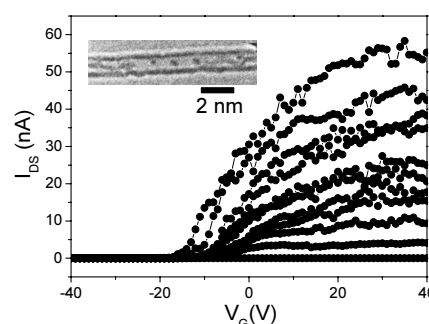


図 4 :  $Fe@SWNT$ -FET の電気特性。挿入図は  $Fe@SWNT$  の TEM 像を示す。

フェロセン( $C_5H_5$ ) $_2Fe$  を用いて, 磁性体である直径 1 nm 以下の鉄微粒子を内包させた SWNTs の形成を行った。まず, 真空中でフェロセンを熱拡散法( $180^\circ C$ )によって SWNTs に内包させておき, 次にこの ferrocene@SWNT を高温( $700^\circ C$ )に加熱することによってフェロセンを解離させて,  $Fe@SWNT$  を形成した。 $Fe@SWNT$  の磁気特性について測定したところ, 低温では強磁性特性を示し, 室温では常磁性体の特性を示すことがわかった。また,  $Fe@SWNT$  を用いた FET の電気特性を測定したところ,  $n$  型の伝導特性を示すことが明らかになった(図 1)。一方, ferrocene@SWNT を用いた FET の電気特性を測定したところ, 両極性特性を示すことがわかった。以上より,  $Fe$  を内包させることにより, 強磁性半導体特性を有する SWNT を創製できる可能性が示された。

### [4] 成果資料

主要論文リスト

1. "Effects of Ion Bombardment on Carbon Nanotube Formation in Strongly Magnetized Glow-Discharge Plasmas", T. Kaneko, H. Matsuoka, R. Hatakeyama, and K. Tohji: Japanese

- Journal of Applied Physics, vol. 44, No. 4A, pp. 1543-1548, 2005.
2. "Polarization-Reversal Induced Damping of Left-Hand Polarized Wave on Electron Cyclotron Resonance", K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Physical Review Letters, vol. 94, No. 21, pp. 215001-1-4, 2005.
  3. "Development of a Plasma Source Using Atmospheric-Pressure Glow Discharge in Contact with Solution", K. Hirai, T. Okada, T. Kaneko, R. Hatakeyama, and H. Yoshiki: Journal of Plasma and Fusion Research, vol. 81, No. 6, pp. 417-418, 2005.
  4. "Laser-Induced-Fluorescence Characterization of Velocity Shear in a Magnetized Plasma Column Produced by a Segmented Q-machine Source", E. W. Reynolds, T. Kaneko, M. E. Koepke, and R. Hatakeyama: Physics of Plasmas, vol. 12, No. 7, pp. 072103-1-6, 2005.
  5. "Measurements of Electronic Transport Properties of Single-Walled Carbon Nanotubes Encapsulating Alkali-Metals and C<sub>60</sub> Fullerenes via Plasma Ion Irradiation", T. Izumida, G-H. Jeong, Y. Neo, T. Hirata, R. Hatakeyama, H. Mimura, K. Omote and Y. Kasama: Japanese Journal of Applied Physics, vol. 44, No. 4A, pp. 1606-1610, 2005.
  6. "Creation of Novel Structured Nanotubes Based on Plasma Technology", R. Hatakeyama, T. Hirata, W. Oohara, T. Kato, and T. Izumida: Journal of the Vacuum Society of Japan, vol. 48, pp. 238-240, 2005.
  7. "Strict Preparation and Evaluation of Water-Soluble Hat-Stacked Carbon Nanofibers for Biomedical Application and Their High Biocompatibility: Influence of Nanofiber-Surface Functional Groups on Cytotoxicity", Y. Sato, K. Shibata, H. Kataoka, S. Ogino, F. Bunshi, A. Yokoyama, K. Tamura, T. Akasaka, M. Uo, K. Motomiya, B. Jeyadevan, R. Hatakeyama, F. Wataru, and K. Tohji: Molecular BioSystems, vol. 1, pp. 142-145, 2005.
  8. "Influence of Length on Cytotoxicity of Multi-Walled Carbon Nanotubes Against Human Acute Monocytic Leukemia Cell Line THP-1 *in vitro* and Subcutaneous Tissue of Rats *in vivo*", Y. Sato, A. Yokoyama, K. Shibata, Y. Akimoto, S. Ogino, Y. Nodasaka, T. Kohgo, K. Tamura, T. Akasaka, M. Uo, K. Motomiya, B. Jeyadevan, M. Ishiguro, R. Hatakeyama, F. Watari, and K. Tohji: Molecular BioSystems, vol. 1, pp. 176-182, 2005.
  9. "プラズマ科学視点のフラーレン・ナノチューブ", 畠山 力三: 月刊 化学工業, vol. 56, No. 6, pp. 50-59, 2005.
  10. "Creation of Carbon Nanomaterials Based on Plasma Science and Future Prospects", R. Hatakeyama, T. Hirata, T. Okada, T. Kato, T. Izumida, W. Oohara, and T. Kaneko: Journal of the Institute of Engineers on Electrical Discharges in Japan, vol. 48, No. 2, pp. 14-20, 2005.
  11. "Aligned Carbon Nanotube Formation via Radio-Frequency Magnetron Plasma Chemical Vapor Deposition", R. Hatakeyama and T. Kato: Journal of Plasma and Fusion Research, vol. 81, No. 9, pp. 653-659, 2005.
  12. "Electrostatic Waves in a Paired Fullerene-Ion Plasma", W. Oohara, D. Date, and R. Hatakeyama: Physical Review Letters, vol. 95, No. 17, pp. 175003-1-4, 2005.
  13. "プラズマ応用としてのカーボンナノチューブのナノスペース制御", 畠山力三: NEW DIAMOND, vol. 21, No. 4, pp. 16-22, 2005.
  14. "Effects of Polarization Reversal on Localized-Absorption Characteristics of Electron Cyclotron Wave in Bounded Plasmas", K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Physics of Plasmas, vol. 12, No. 10, pp. 102107-1-7, 2005.
  15. "Velocity-Shear-Driven Drift Waves with Simultaneous Azimuthal Modes in a Barium-Ion Q-machine Plasma", T. Kaneko, E. W. Reynolds, R. Hatakeyama, and M. E. Koepke: Physics of Plasmas, vol. 12, No. 10, pp. 102106-1-6, 2005.
  16. "Effect of Cerium Ions in an Arc Peripheral Plasma on the Growth of Radial Single-Walled Carbon Nanotubes", Y. Sato, K. Motomiya, B. Jeyadevan, K. Tohji, G. Sato, H. Ishida, T. Hirata, and R. Hatakeyama: Journal of Applied Physics, vol. 98, No. 9, pp. 094313-1-10, 2005.
  17. "Electrically Triggered Insertion of Single-Stranded DNA into Single-Walled Carbon Nanotubes", T. Okada, T. Kaneko, R. Hatakeyama, and K. Tohji: Chemical Physics Letters, vol. 417, Issues 4-6, pp. 288-292, 2006.
  18. "Simultaneous Control of Ion Flow Energy and Electron Temperature in Magnetized Plasmas", K. Takahashi, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, vol. 88, Issues 11, pp. 111503-1-3, 2006.
  19. "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.

課題番号 H17/A06

採択回数 1 2 3

## IV 族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究

## [1] 組織

代表者：室田淳一（東北大学電気通信研究所）  
 分担者：  
 庭野道夫（東北大学電気通信研究所）  
 上原洋一（東北大学電気通信研究所）  
 竹廣 忍（東北大学電気通信研究所）  
 櫻庭政夫（東北大学電気通信研究所）  
 小柳光正（東北大学大学院工学研究科）  
 末光眞希（東北大学学際科学国際高等研究センター）  
 宇佐美德隆（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）  
 財満鎮明（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）  
 荒井英輔（名古屋工業大学工学部）  
 佐々木公洋（金沢大学工学部）  
 土屋敏章（島根大学総合理工学部）  
 宮尾正信（九州大学大学院システム情報科学研究院）  
 佐道泰造（九州大学大学院システム情報科学研究院）  
 坂本謙二（物質・材料研究機構）  
 中川清和（山梨大学工学部）  
 宮崎誠一（広島大学大学院先端物質科学研究科）  
 石谷明彦（ベルギー・IMEC）  
 阿部孝夫（信越半導体株式会社）  
 鷺尾勝由（日立製作所株式会社）  
 国井泰夫（日立国際電気株式会社）  
 森谷 敦（日立国際電気株式会社）  
 宮本光雄（森田化学工業株式会社）  
 池田拓也（太陽日酸株式会社）  
 佐藤政明（新日本無線株式会社）  
 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）  
 笠間泰彦（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 49 万円, 旅費 59 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、原子オーダーで制御された 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 を原子層ドーパした 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

本年度はその第1年目であり、原子オーダーで制御されたIV族半導体極限ヘテロデバイスの高性能化を目指して、IV族半導体を中心とする元素の原子層ヘテロ積層により製作したヘテロ積層膜の高品質化のために、結晶欠陥制御、応力緩和制御、臨界膜厚制御の研究を進めた。具体的には、C原子の導入を行うことにより、Si(100)基板上に歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ エピタキシャル薄膜の歪量を緩和させることができ、臨界膜厚を増大させることができることを見いだした。そして、Si-Si、Si-Ge、Ge-Ge結合の歪状態はC原子導入にほとんど影響されないことから、C原子近傍の近距離においてのみ結合歪緩和が生じているものと結論付けた。また、そのヘテロ積層膜により構成される人工結晶を適用したダイオード製作プロセスの構築とともに、積層構造・膜界面構造の安定性や拡散・凝集といった観点から研究を行った。具体的には、ナノオーダー歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ /p型Si(100)上のP原子層表面上へのSiエピタキシャル成長時において、 $\text{SiH}_4$ ガスの代わりに反応性の高い $\text{Si}_2\text{H}_6$ ガスを用いることにより効果的にP原子の表面偏析現象が抑制され、Si/ナノオーダー歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ヘテロ界面近傍に $10^{21}\text{cm}^{-3}$ をはるかに超える超高濃度Pドーピングが実現されていることを見いだした。

以上のように、原子オーダーで制御された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

本共同プロジェクト研究が中心となり、以下の2つの国際会議を開催した。

・第4回Siエピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議 (ICSI-4, 2005年5月23-26日, 淡路島)

基調講演2件、招待講演20件と一般講演143件の合計165件(うち、日本101件、欧州43件、米国7件、アジア14件)の発表を行うとともに、世界各国から221名の参加者を得、Si及びSiGe系ヘテロ材料の結晶成長機構の理論から物性、プロセス技術及び超微細半導体デバイスや電子・光複合デバイスへの応用までの幅広い領域について包括的に議論された。特に、東北大学の関係する発表は22件に達した。本ICSI-4の発表論文の多くはThin Solid Films誌の特集号(Vol. 508, Issues 1-2, 2006)に掲載された。

・第1回新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ(2005年5月27-28日, 東北大学通研ナノ・スピン実験施設)

通研ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業活動の一環として開催され、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7件の他、一般講演21件が行われ、活発で有意義な討論が交わされた。次年度の継続開催(2006年)も決定され、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、IV族半導体極限ヘテロデバイスの高性能化の学問分野が大きく展開すると同時に、次世代新機能デバイス開発の道も開拓されるものと期待できる。

## [5] 主な研究発表

1. “Atomically Controlled CVD Technology for Future Si-Based Devices” (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, Int. Symp. ULSI Process Integration IV, Spring Meeting of The Electrochem. Soc., Quebec City, Canada, May 15-20, 2005, pp.53-66.
2. “Atomic Control of SiGe Epitaxy and Doping” (**Invited Paper**), B. Tillack, Y. Yamamoto, D. Bolze, B. Heinemann, H. Ruecker, D. Knoll, D. Wolansky, J. Murota and W. Mehr, 4th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4), Awaji-Island, Hyogo, Japan, May 23-26, 2005, pp.82-83.
3. “P Atomic Layer Formation on  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ (100) and Subsequent Si Epitaxy Using  $\text{Si}_2\text{H}_6$  by Ultraclean Low Pressure CVD”, Y. Chiba, M. Sakuraba and J. Murota, 4th Int. Conf. Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4), Awaji-Island, Hyogo, Japan, May 23-26, 2005, pp.10-11.
4. “Quantitative Evaluation of the Interface Trap Density in Nanometer-Thick SiGe/Si Heterostructures by Low-Temperature Charge-Pumping Technique (**Invited Paper**)”, T. Tsuchiya, M. Sakuraba and J. Murota, 13th Int. Workshop on The Physics of Semiconductor Devices, New Delhi, India, Dec.13-17, 2005.
5. “Impact of seed layer on material quality of epitaxial germanium on silicon deposited by low pressure chemical vapor deposition”, O.O. Olubuyide, D.T. Danielson, L.C. Kimerling and J.L. Hoyt, Thin Solid Films, Vol.508, pp.14-19, (2006).
6. “Effect of grain boundary on electrical characteristics in B- and P-doped polycrystalline  $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$  film deposited by ultraclean

- LPCVD”, H. Shim, M. Sakuraba and J. Murota, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.36-39, (2006).
7. “In-situ observation of rapid crystalline growth induced by excimer laser irradiation to Ge/Si stacked structure”, A. Yamashita, Y. Okamoto, S. Higashi, S. Miyazaki, H. Watakabe and T. Sameshima, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.53-56, (2006).
  8. “Characterization of metal-induced lateral crystallization of amorphous SiGe on insulating film”, M. Itakura, S. Masumori, T. Ohta, Y. Tomokiyo, N. Kuwano, H. Kanno, T. Sadoh and M. Miyao, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.57-60, (2006).
  9. “Carbon effect on strain compensation in  $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y$  films epitaxially grown on Si(100)”, H. Nitta, J. Tanabe, M. Sakuraba and J. Murota, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.140-142, (2006).
  10. “Thermal effect on strain relaxation in Ge films epitaxially grown on Si(100) using ECR plasma CVD”, K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.143-146, (2006).
  11. “Control of misfit dislocations in strain-relaxed SiGe buffer layers on SOI substrates”, N. Taoka, A. Sakai, S. Mochizuki, O. Nakatsuka, M. Ogawa and S. Zaima, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.147-151, (2006).
  12. “Decay characteristics of electronic charged states of Si quantum dots as evaluated by an AFM/Kelvin probe technique”, J. Nishitani, K. Makihara, M. Ikeda, H. Murakami, S. Higashi and S. Miyazaki, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.190-194, (2006).
  13. “Ge dot formation using germane on a monomethylsilane-adsorbed Si(001)- $2 \times 1$  surface”, Y. Narita, T. Murata, A. Kato, T. Endoh and M. Suemitsu, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.200-202, (2006).
  14. “Influence of point defects on the optical properties of self-assembled Ge/Si hut clusters”, T.K. Nguyen-Duc, V. Le Thanh, V. Yam, P. Boucaud, D. Bouchier, O.G. Schmidt and J. Derrien, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.207-212, (2006).
  15. “Strain relaxation by stripe patterning in Si/Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si(100) heterostructures”, J. Uhm, M. Sakuraba and J. Murota, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.239-242, (2006).
  16. “Non-selective thin SiGe strain-relaxed buffer layers: Growth and carbon-induced relaxation”, M. Caymax, R. Delhougne, M. Ries, M. Luysberg and R. Loo, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.260-265, (2006).
  17. “Atomic layer processing for doping of SiGe”, B. Tillack, Y. Yamamoto, D. Bolze, B. Heinemann, H. Ruecker, D. Knoll, J. Murota and W. Mehr, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.279-283, (2006).
  18. “P doping control during SiGe:C epitaxy”, Y. Yamamoto, B. Tillack, K. Köpke and R. Kurps, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.288-291, (2006).
  19. “Surface reaction and B atom segregation in ECR chlorine plasma etching of B-doped Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> epitaxial films”, H.-S. Cho, M. Sakuraba and J. Murota, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.301-304, (2006).
  20. “Electrical properties for poly-Ge films fabricated by pulsed laser annealing”, H. Watakabe, T. Sameshima, H. Kanno and M. Miyao, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.315-317, (2006).
  21. “Characterization of hot-carrier degraded SiGe/Si-hetero-PMOSFETs”, T. Tsuchiya, M. Sakuraba, and J. Murota, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.326-328, (2006).
  22. “Thin-body Ge-on-insulator p-channel MOSFETs with Pt germanide metal source/drain”, T. Maeda, K. Ikeda, S. Nakaharai, T. Tezuka, N. Sugiyama, Y. Moriyama and S. Takagi, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.346-350, (2006).
  23. “Strain dependence of hole Hall mobility in compressively strained Ge channel heterostructures”, Y. Abe, H. Sato, Y. Ozawa, K. Sawano, K. Nakagawa and Y. Shiraki, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.355-358, (2006).
  24. “Photo detection characteristics of Si/Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>/Si p-i-n diodes integrated with optical waveguides”, A. Yamada, M. Sakuraba and J. Murota, *Thin Solid Films*, Vol.508, pp.399-401, (2006).

## 低損失可とう性THz導波路の分光分析システムへの応用

### [1] 組織

代表者：日高 建彦

(湘南工科大学工学部)

対応者：伊藤 弘昌

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

村澤 健吾 (湘南工科大学非常勤講師)

石川 明洋 (湘南工科大学大学院生)

小城絢一郎 (同)

徐 亮 (同)

研究費：校費38万円，旅費21万円

### [2] 研究経過

最近の高出力コヒーレントテラヘルツ光源の進歩は目覚ましい。その結果、コヒーレント光源を使った、生体物質分光が多数報告されるようになった。テラヘルツ光源はフェムト秒パルス光発振レーザを必要とする場合が多く、そのフェムト秒パルス光レーザは大電力電源が必須である（最近ではテラヘルツ光源が小型化されつつあると見受けられるが）。このような大電力電源は安全性の見地からは、測定ポイントからなるべく切り離して設置されるべきである。その結果、テラヘルツ発振源—測定点距離は数mに及ぶことも想定され、水蒸気による吸収損失は重大な問題となる。また、距離をとればとるほど、光学アライメントは困難となる。これらの問題は可とう性低損失導波路の導入で解決しうる。かくして、低損失可とう性THz導波路の研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。我々は、かねてより、強誘電性PVDF(Poly Vinylidene Fluoride)を用いた、可とう性導波路を文部科学省委託研究「新産業基盤「未踏光学(テラヘルツ光学)」開発創生プロジェクト内で開発してきた。導波路の伝送効率としては、既に室内での分光実験に供用しうる程度の伝送効率を得ている。本プロジェクトにおいて、これまでの成果をふまえて、可とう性導波路を分光システムに導入することを目的として研究を行った。この導波路の内径(導波部分)は2-3mmである。一方テラヘルツ光源からのテラヘルツ波はビーム径が10mm程度以上であり、当然、凸レンズなどを使った集光—結

合レンズシステムが必要である。このようなコンベンショナルな凸レンズを用いた集光—結合システムは実際上の取り扱いが煩雑である。可視—近赤外光領域で使われている光ファイバコネクタ同様の、アライメントフリーな結合ツールの開発が望まれる。また、導波路内に水分が流入するのを阻止するためのプラグが必要である。

以上の問題を軽減するべく、水分流入阻止プラグを兼ねた、中空導波路差込式「なす」型簡易結合レンズを試作した。また、このレンズと導波路を使った分光実験を行った。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

##### 3-1-1 なす型レンズの試作

中空導波路差込式「なす」型簡易結合レンズを開発した。(このレンズは水分流入阻止プラグを兼ねている。)試作なす型レンズの概観図と写真を図1に示す。入射テラヘルツ光(ほとんど平行光である)は、凸レンズ状に加工研磨された入射凸レンズ面でレンズ内部の焦点に集光される。焦点距離は30mmとした。この焦点を通過した光は導波路と同じ口径のステムに入り、レンズ後端面の凸レンズ曲面で平行光となる。ステム後端面の凸レンズとしての焦点距離は5mmである。レンズ全長は35mm、直径は20mmとした。ステム長は5mmである。

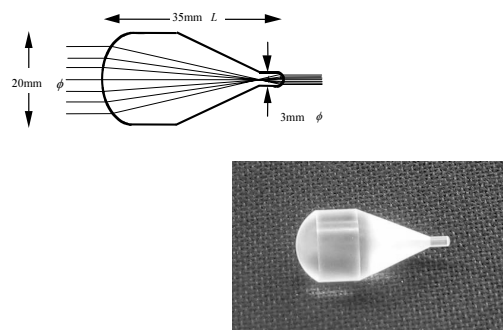


図1 簡易結合レンズの概観図と写真。



入射光に対するレンズのシフトあるいはティルトにより、焦点はずれるが、側面のコーン部に当たった光は全反射されほとんどシステムに導かれる。シフトあるいはティルトが小さい場合、ずれ光もほとんどシステムに導かれ、損失無く導波路へラウンチされる。以下の測定はすべて LiNbO<sub>3</sub> / Mg:LiNbO<sub>3</sub> を用いた可変波長パラメトリック発振器と液体 He 冷却ボロメータを用いた。

図2はレンズのシフト時の出力特性である。レンズなしの3mm内径、30cm長中空導波路を、光束径が20mm程度の入射平行光の中心付近に置く。この状態で導波路先端を左右（水平）にプラスマイナス10mmまで振り、検出器出力を記録する。それが図2中の●で示されている。このプロファイルは入射ビームプロファイルを示している。最大出力点がビームの中心である。この場合の結合効率が入射ビームの有効断面積と導波路断面積の比で表され、この実験では5%以下であった。次にレンズを装着、導波路-レンズを一体として左右にシフトさせる。その結果が■で示されている。出力変動はレンズなしの時とほとんど変わらない。すなわち、レンズ位置に関して数mmのトレランスがあることがわかった。これは、レンズ装着時に、ほぼアライメントフリーになっていることを示している。通常の凸レンズを集光に使うシステムでは、トレランスはこの十分の一以下である。

なお、この実験では、上下方向のシフト依存性は得ていない。

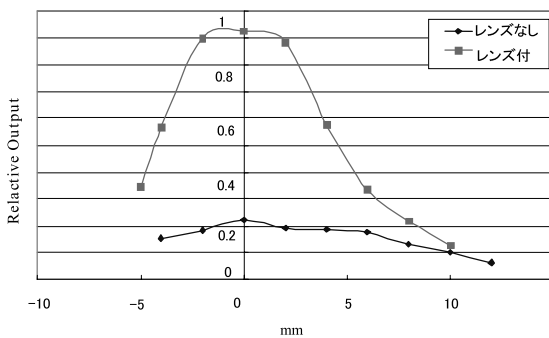


図2 なす型レンズのシフト依存性。5mm程シフトさせても十分な出力が得られる。測定周波数は1.5THz。

図3はレンズ-導波路全体を入射テラヘルツ光軸に対して、水平方向に「ティルト（傾き）」させたときの出力特性である。この場合も通常の凸レンズを使う方法よりトレランスが大きいことが認められた。理論との比較は別途報告する予定である。

図4は、レンズなしの時の出力と、その状態で、レンズを装着した時（この時アライメント調整なし）の

導波路曲げ角に対する出力変化を示した物である。アライメントフリーでレンズを装着するだけで、20倍程度の出力増倍を得ている。

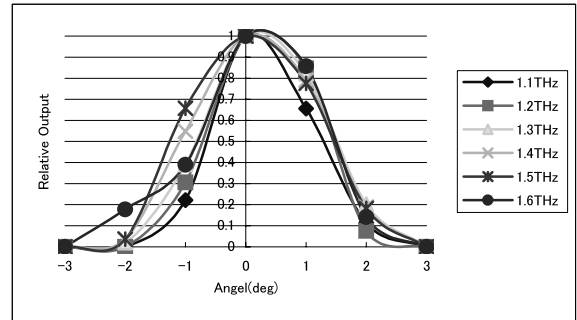


図3 レンズ-導波路のティルト依存性

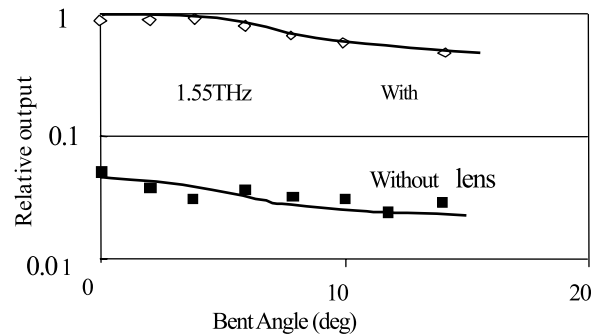


図4 アライメントフリーでのレンズ装着時の出力変化

### 3-1-2 分光システム試作

次にこのレンズと可とう性導波路を使ったテラヘルツ吸収分光実験を試みた。図5のようなTHz加熱吸収測定箱を試作した。

これは、先の、なす型レンズと可とう性PDVF導波路、サンプル加熱装置、窒素充填穴などを装備したものである。サンプルは加熱箱内部のPVDF導波路を二

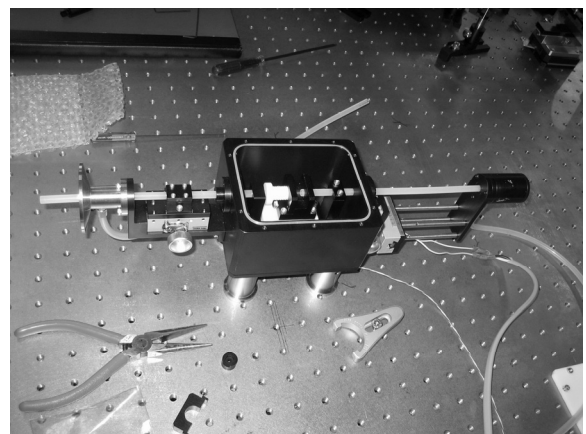


図5 THz加熱吸収測定箱

分割し、ギャップを取り、その間に装着する。加熱温度範囲は10–70度であった（ヒータの容量に依存）。

図6はギャップによる出力減少の程度を測定したものである。ギャップが2mmに至るまで、損失は十分小さいと見なされる。図中、0mmギャップ時の出力変動はこの実験における発振出力–検出感度の変動によるものと思われる。

図7にこの吸収分光装置を用いた、損失測定の一例を示す。サンプル  $\text{KNO}_2$ （亜硝酸カリウム）と、テラヘルツ領域で吸収のないポリエチレン粉末を希釈混合し、ペレット状に加圧成形して吸収測定を行った。濃度は5wt%., 厚さは1mm程度である。

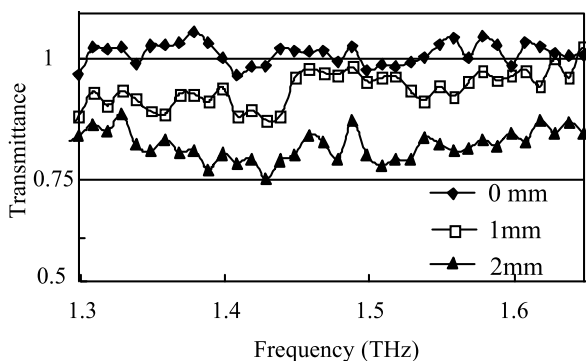


図6 ギャップを持ったレンズ–導波路の出力特性。ギャップが2mmに至るまで損失は十分小さい。

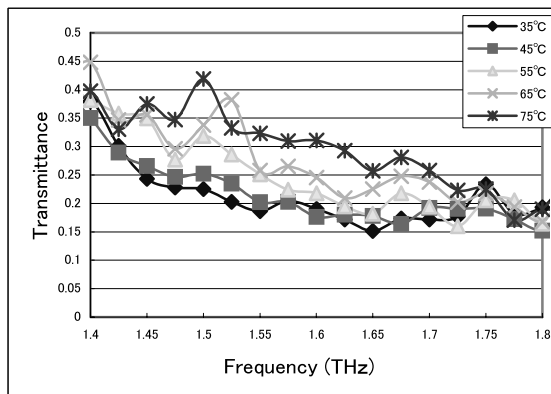


図7  $\text{KNO}_2$  のテラヘルツ加熱吸収特性。著しい温度依存性を示している。

$\text{KNO}_2$  は45°C付近に強誘電性相転移がある。よって、THz吸収にも転移温度前後で大きな変動が期待される。図8に比較のため当該温度範囲では相転移を示さない  $\text{NaNO}_2$ （亜硝酸ナトリウム）の加熱吸収特性を

示す。特に著しい温度依存性は示されなかった。

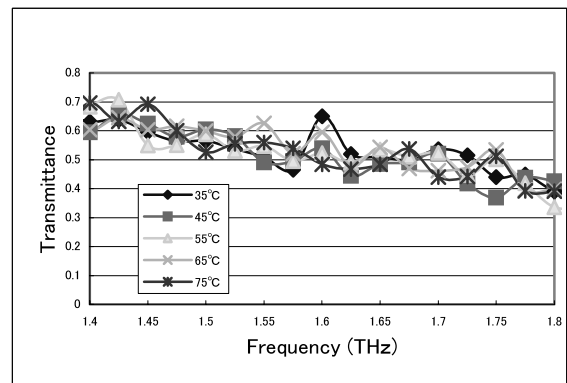


図8  $\text{NaNO}_2$ （亜硝酸ナトリウム）の加熱吸収特性。

### (3–2) 波及効果と発展性など

本研究により、THz加熱吸収分光測定が著しく簡便化された。これらの成果は学術論文、国際学会、各種の国内学会で報告しつつある。

### 謝辞

この研究は文部科学省プロジェクト「新産業基盤（未踏光学（テラヘルツ光学/医療用テラヘルツ診断システムの開発（代表者西澤潤一））」の一部として行われた。関係各位に深謝します。また、なす型レンズおよび加熱吸収測定箱の設計製作を担当された、(有)パックスの工藤朗人氏に感謝します。

### (3–3) 研究活動状況の概要。

装置の設計製作を平成17年12月までに行い、平成18年2月14、15、16日に東北大電気通信研究所にて実験を集中して行った。

### [4] 成果資料

- (1) T.Hidaka, H.Minamide, H.Ito, J.Nichizawa, K.Tamura and S.Ichikawa, IEEE J.Lighwave Tech., Vol.23, 2469(2005).
- (2) T.Hidaka, A.Ishikawa, J.Kojoh, H.Minamide, T.Ikari, Y.Ishikawa, and H.Ito, CPT2006, p-14 (Tokyo 2006)
- (3) 小城絢一郎, 石川明洋, 日高建彦, 南出泰亜, 碓智文, 伊藤弘昌, 応用物理学会 2006 春, 23A-M-5
- (4) 石川明洋, 小城絢一郎, 日高建彦, 南出泰亜, 石川陽一, 伊藤弘昌, 応用物理学会 2006 春 23A-M-11

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：

松原和也 (千葉大学自然科学研究科)

服部和成 (千葉大学自然科学研究科)

金子瑞樹 (千葉大学自然科学研究科)

小川昌之 (千葉大学自然科学研究科)

中里陽一 (千葉大学自然科学研究科)

吉澤将則 (千葉大学自然科学研究科)

研究費：校費 38 万円，旅費 51 万円

### [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過程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することが本研究の目的であり、それにより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。

本研究では、複数のメカニズムの情報統合のモデル化の例としての立体視モデルの構築と、注意移動のモデル化のための移動特性の評価を中心課題とする。17年度は、注意のモデル化のための基礎的データの収

集と注意移動モデルの構築を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

平成17年7月20日～22日

日本視覚学会2005年夏季大会にて研究打ち合わせ  
研究代表者、矢口と通研対応者、塩入が、研究テーマについて、意見交換、議論し、千葉大での心理物理実験の計画立案をした。

平成17年9月10日～16日

研究打ち合わせ

松原和也、服部和成、金子瑞樹、小川昌之、中里陽一、吉澤将則が通研に来所し、千葉大における心理物理実験の進捗状況の報告、結果についての議論を行い、その後の研究方針を決めた。また、実験結果の一部を利用して注意移動のモデルのプロトタイプを作成した。

平成17年12月20日～22日

研究打ち合わせ

塩入が千葉大に出張し、心理物理実験の結果似ついでの議論とモデル化の方針を決定をした。

平成18年3月2日～3日

研究打ち合わせ

松原和也が通研に来所し、千葉大における心理物理実験の進捗状況の報告、結果についての議論を行い、論文作成の準備を行った。

## [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、運動対象を注意で追跡する場合の注意による視覚処理の促進効果を明らかにした。人間は視野内の膨大な情報の中から必要な情報を選択的に取り出し、効率的に処理している。それを可能にしているのが視覚的注意という機能である。これまで視覚的注意について様々な研究がなされ、注意の状態によって刺激の検出や弁別閾、反応時間などが影響を受けるなどの特性が明らかにされてきた。日常生活において特に注意を向けるのは動く対象であり、対象が静止している場合も自身が動いていることがほとんどである。運動刺激を対象とするためには、注意の時間特性を測定することが不可欠であり、それはまた注意を理解しモデル化していく上でも非常に重要である。本研究では、静止刺激と運動刺激を用いて、それぞれの上で明滅するテスト刺激の検出感度を測定した。

静止刺激に対する注意の有無の影響を調べた結果、時間変化（刺激の明滅）の検出感度は、注意を向けた位置の刺激でも、それ以外の刺激でもほとんど同じであった。感度は、刺激の時間変化の周波数に依存して変化し、10Hz付近に感度の最大を持つもので、従来知られているものとおなじであった。明滅刺激の検出は前注意的な処理であるとの考えと一致する結果である。しかし、運動刺激が明滅する場合は、顕著な注意の効果があった。注意を向けている刺激において、そうでない刺激に対するよりも感度が高く、注意の影響が確認された。注意の効果は、刺激の運動速度の上昇とともに増大することから、運動対象における時間変化の検出を必要とするような視覚課題に注意が非常に重要であることが明らかになった。実験結果によると、注意を向けていない条件では、刺激の運動速度が上昇するに従い感度が低下するが、注意を向けることにより、それが一定値に確保できることがわかる。注意が速度の上昇に伴う感度低下を補う働きがあると考えることができる。

第2に、動画像に対する視線移動の予測モデルを構築した。本モデルは、刺激画像の特徴に基づくボトムアップ処理を中心とする、特徴地図の算出を基礎におく。従来の静止画像へのモデルを動画像に拡張するにあたり、視覚系の時間特性を考慮することが特徴である。時間変化する対象への注意が重要である事は前述の実験でしめしているため、この拡張は、視覚の注意モデルとして不可欠のものである。画像特徴を時空間変化としてとらえその応答から特徴の強さを決定した、それに従う注意の移動を予測し、人間の視線移動と比較した。

本研究では誘目性の最も強い位置に注意が向く、という仮定のもとで注意位置を決定するモデルを構築

したが、被験者の視線位置とモデルの予測位置の比較によりモデルの妥当性、すなわち注意位置予測に関して本モデルが有効であるかどうかを評価する必要がある。ここで、モデルが完全な予測をしたということは、被験者の視線位置の空間位置、さらには時間位置ともに完全に一致することを指す。

そこで、本モデルの評価指標として、各時間におけるモデルの予測した注意位置と被験者の視線位置の間の距離を用いる。モデルが被験者の視線に近い位置を予測したのならば、空間的な距離が短くなるはずである。ここでは比較対象として、被験者の視線位置とランダムな予測位置の距離を用いた。

本研究の新規性は、時間特性の考慮にあるため、その影響も評価した。各フレームに対して静止画の特徴の目立ちに基づく注意移動モデルと、時間特性を考慮した時空間的な目立ちに基づくモデルを比較した。その結果、注視位置の予測精度は十分ではないが、人間の視線移動の特徴をとらえることができることがわかった。また、時間特性考慮することによって、予測がより正確になることも明らかになった。

## (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより学外研究者との有益な交流ができ、その結果は注意研究を運動対象に広げるきっかけを作った。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実現は難しいと認識が一般的であるが、本プロジェクトの成果はそれが不可能ではないことを示した点で重要である。それにより、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方向性を示すことができた点は大きな成果である。今後、プロジェクトを継続する事で、視覚処理の統合過程における注意の役割、とそのモデル化の研究を促進することができる。

また、大学院生との協力体制は、将来産業界で活躍する彼らにとり当研究所とのネットワーク作りの一助ともなり、本研究テーマに関連した多くの研究が有効に応用的発展につながる基礎作りともなった。今後さらに重要性が増大する人間の視覚機能を考慮した産業の発展に対する、重要な役割を果たすことが期待できる。

## [4] 成果資料

1. H. YAGUCHI, N. WATANABE, and S. SHIOIRI, "Effects of S-cone excitation on color discrimination threshold," in *AIC 2004 Color and Paints, Interim Meeting of the International Color Association* (2005), pp. 69-72.
2. T. Yoshida and S. Shioiri, "Object substitution masking during attentive tracking," presented at the Vision Sciences Society Journal of Vision, Sarasota, FL., USA, 2005.
3. 小川昌之, 塩入諭, 矢口博久, "時間周波数特性への注意の影響" presented at the OpticsJapan2005 講演予稿集, 東京, 2005.
4. 金子瑞樹, 松原和也, 塩入諭, 矢口博久, "視覚的注意による刺激追跡時の脳波解析," presented at the OpticsJapan2005 講演予稿集, 東京, 2005.
5. 高橋遼, 矢口博久, 塩入諭, 渡邊直孝, "色弁別におけるS錐体の時間周波数特性," presented at the 日本視覚学会 2005 年夏季大会 VISION, Sendai, 2005.
6. 中里陽一, 塩入諭, 矢口博久, "フリッカ運動残効における色情報の両眼間転移," presented at the 日本視覚学会 2006 年冬季大会 VISION, Tokyo, 2006.
7. 服部和成, 塩入諭, 矢口博久, "注意移動モデルの動画への適用の試み," presented at the 日本視覚学会 2006 年冬季大会 VISION, Tokyo, 2006.
8. 松原和也, 金子瑞樹, 塩入諭, 矢口博久, "サッカーボール眼球運動と先行注意移動" 光学 **20**(3), 156-164 (2006).
9. 中里陽一, 塩入諭, 矢口博久, "フリッカ運動残効における色情報の両眼間転移," presented at the 日本視覚学会 2006 年冬季大会 VISION, Tokyo, 2006.
10. 小川昌之, 塩入諭, 矢口博久, "時間的加重効果における注意の効果," presented at the 映像情報メディア学会技術報告, 東京, 2006.
11. 金子瑞樹, 松原和也, 塩入諭, 矢口博久, "注意位置へのサッカーボールとアンチサッカーボール," presented at the 映像情報メディア学会技術報告, 東京, 2006.

## Rashba 効果を利用した半導体スピnde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 (東北大学電気通信研究所)

大野 裕三 (東北大学電気通信研究所)

分担者：大谷 啓太 (東北大学電気通信研究所)

研究費：校費 37 万円，旅費 22 万円

### [2] 研究経過

近年、半導体デバイスの微細化が進み、電荷自由度のみを利用した従来型の電子デバイスの限界も指摘されている。本研究では、電子のスピン自由度に関わる物理現象を生かした新たなスピン・ナノデバイスを開発するとともに、その背景となる物理現象の理解を深める。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フィルター [Koga et. al., Phys. Rev. Lett. 88, 126601 (2002)] の実現を目指す。第一段階として、Al(Ga)Sb/InAs/Al(Ga)Sb 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。

以下、研究活動状況の概要を記す。

東北大通研において、分子線エピタキシー法を用いて、表 1 に示す Al(Ga)Sb/InAs/Al(Ga)Sb 量子井戸構造の作製を行った。北海道大学では、これらの

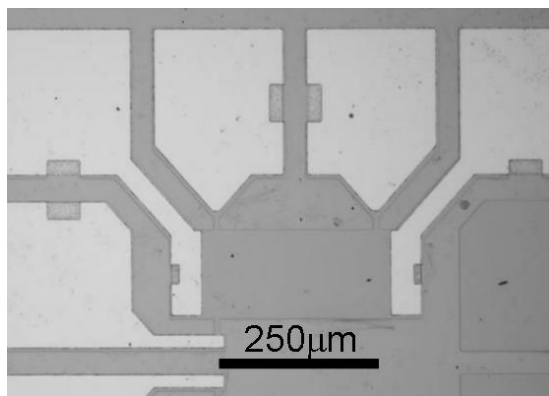


図 1 作製したホールバーの顕微鏡写真 (VL1143-4)

エピウェハをフォトリソグラフィプロセスによって

表 1：東北大通研で作製したエピ成長構造

サンプル名：VL1115 (not intentionally doped)	
GaSb (cap)	5nm
Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> Sb	20nm
InAs	20nm
Al <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> Sb	20nm
GaSb/AlSb SL (×15)	60nm
AlSb	75nm
GaAs buffer	150nm
SI-GaAs(001) 基板	

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 δ-doped 3×10 <sup>12</sup> cm <sup>-2</sup> )	1.2nm
AlSb	25nm
GaSb(2.5nm)/AlSb(2.5nm) SL (×200)	1000nm
AlSb	75nm
GaAs	150nm
SI-GaAs(001) 基板	

ホールバーに加工し (図 1)、希釈冷凍機温度 (~60 mK)、磁場下での電子輸送現象を測定した。なお、as-grown の状態で Van der Pauw 法により測定した (於東北大)、これらのサンプルの、室温、77 K での易動度 ( $\mu$ )、シートキャリア濃度 ( $N_s$ ) は、表 2 に示す通りであった。

表2：表1に示すサンプルの室温、77Kでの易動度 ( $\mu$ ) 及びシートキャリア濃度 ( $N_S$ )

VL1115 :

室温 データなし。  
77K データなし。  
50mK 非常に高抵抗 (60 k $\Omega$ 以上)

VL1143 :

室温  $\mu=19500$  cm<sup>2</sup>/Vs,  $N_S=1.4\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>  
77K  $\mu=74400$  cm<sup>2</sup>/Vs,  $N_S=6.6\times 10^{11}$  cm<sup>-2</sup>  
60mK(ゲート有,  $V_g=0.0V$ )  $N_S=2.2\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>  
4.2K(ゲート無)  $N_S=7.9\times 10^{10}$  cm<sup>-2</sup>  
60mK(ゲート無)  $N_S=8.8\times 10^{10}$  cm<sup>-2</sup>

VL1144 :

室温  $\mu=26500$  cm<sup>2</sup>/Vs,  $N_S=2.1\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>  
77K  $\mu=61000$  cm<sup>2</sup>/Vs,  $N_S=1.5\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>  
60mK(ゲート有,  $V_g=0.0V$ )  $N_S=1.3\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>  
60mK(ゲート無)  $N_S=1.4\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>

本研究では、これらのホールバー素子にゲート電極を蒸着し、ゲート電場によるスピン制御を行うことが目的であった。そのため、最初のプロセスにおいては、エピウェハキャップ層上にプラズマCVD法によりSiO<sub>2</sub>絶縁膜を100nm程度堆積し、その上にTiをアドヒージョン層にしてゲート電極としてAuを蒸着した。但し、この方法では、プラズマCVDプロセスで300°C以上の高温を使用するため、ショットキー層及びキャップ層からSbが抜け、Sb poorな組成になってしまうと考えられる。そのためか、ゲート電極からの電流リークが大きく、 $V_g=0.0V$ の条件でのみ実験が可能であった。図2に

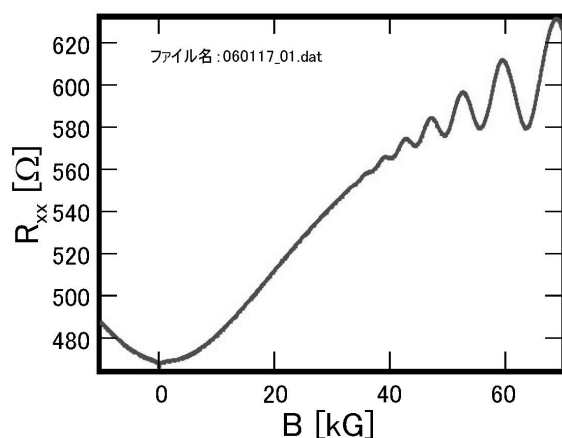


図2：VL1143素子に見られたシュブニコフ・ド・ハース振動(ゲート付素子,  $V_g=0.0V$ , 測定温度60 mK)。振動周期に対応するキャリア濃度は  $N_S=2.2\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>。

VL1143素子の温度60 mKでの磁気抵抗を示す。ここに見られるシュブニコフ・ド・ハース(SdH)振動の振動周期より、キャリア濃度は  $N_S=2.2\times 10^{12}$  cm<sup>-2</sup>と見積もられた。ゲート電極の蒸着に際しては、上記のようなプロセス上の障害が多く、また、Sb系化合物は酸・アルカリに対する耐性が非常に悪いこともわかってきたため、ゲート電極を蒸着しない最も単純なホールバー素子を作製し、その特性を評価することを次なる課題とした。但し、この場合においても、Sb系化合物半導体は、非常に薬品耐性が悪く、フォト・レジスト現像液(MND-3)に対しては言うまでもなく、例えば、汎用的な半導体洗浄液としてよく使われるフルウチ化学のセミコクリーンに対しても化学的に侵食されるようである。また、このような化学的に活性な表面は電荷を発生している模様で、その為、隣り合う素子の間での絶縁が悪くなっているケースも多かった。本研究においても、ゲート有り・無し、いずれの素子においても、SdHの周期から見積もった  $N_S$  とホール測定から見積もった  $N_S$  が一致せず、隣り合う素子の間が電氣的に完全に絶縁されていないことが示唆された。そのため、そのようなサンプルでは、電気抵抗、ホール測定が正しく行われたとは言い難く、例えば、図2の測定の抵抗値自体は、信頼できる値とは言えない。しかし、SdH振動が観察されている場合は、その振動周期は、2次元電子気体の  $N_S$  を直接反映しているので、そこから見積もられた  $N_S$  値は物理的に意味のある値と言える(表2参照)。

半導体量子井戸中の伝導電子に働くスピン軌道相互作用の大きさを定量的に調べる数少ない方法の1つが、低温零磁場付近に正の磁気抵抗として観察さ

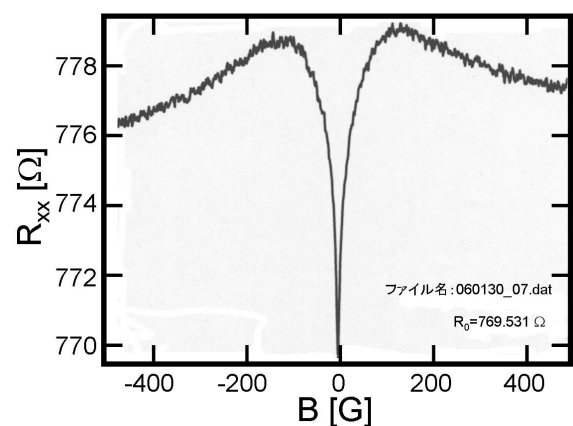


図3：VL1143素子に見られた反弱局在効果(ゲート電極無しの素子, 測定温度30 mK)。測定は3端子法で行われたため、抵抗値自体は正確な値ではない。

れる、反弱局在効果の解析である。本研究においては、上記化学プロセス上の問題により、素子の電極端子の一部が不良であることが多く、材料の特性を正確に（定量的に）評価できる4端子法での測定には殆ど成功しなかった。図3に示すのは、このような状況の中で、不良の端子を使用せず、電流端子と電圧端子を共通にする等して3端子法で測定した、低温ゼロ磁場付近での磁気抵抗の様子である。なお、磁場は、量子井戸面に垂直の方向に印加しており、温度は、30 mKである。ここに示されるように、零磁場付近で抵抗が鋭く極小となる、反弱局在効果を綺麗に示しており、この電子系には、大きなスピン軌道相互作用が働いていることを示唆している。ただし、本測定は3端子法での測定であるため、定量的なスピン軌道相互作用パラメータ値の抽出は、将来の課題となっている。このような課題克服のためにも、今後は、プロセス条件の最適化を行い、4端子法での測定に耐えうる素子を作製することが必要である。

研究会：

日時：平成17年6月8日（水）・9日（木）

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

研究会名：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 平成17年度夏の研究会

日時：平成18年2月8日（水）・9日（木）

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

研究会名：The 1st RIEC International Workshop on Spintronics -Spin Transfer Phenomena-

研究打ち合わせ：

平成17年6月10日（金）17:00～19:00

平成18年2月 7日（火）14:00～19:00

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本研究においては、Sb系化合物半導体のプロセス条件に関する知見を深めることができた。また、作製した素子の低温（30～60mK）での磁気抵抗測定において、シュブニコフ・ド・ハース振動が観察され、量子井戸中に2次元電子ガスが存在することが確認された。また、3端子法という不完全な方法での測定ではあるが、低温零磁場付近で正の磁気抵抗（反弱局在効果）が観察され、本研究で作製した量子井戸中において、強いスピン軌道相互作用が働いていることが確認された。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本研究により、Al(Ga)Sb/InAs/Al(Ga)Sb系材料についての理解が深まった。また、他の材料との比較を行うことにより、GaAs量子井戸、InSb量子井戸など他の材料系でのスピントロニクスデバイスについての展望も広がった。今後、本研究においては、AlSbをバリア、InAsを井戸にした、共鳴トンネル(RTD)デバイスの開発に注力する。RTDデバイス開発においては、デバイスの殆どの部分をInAs層が占めるため、上述のSb系化合物半導体の化学プロセス上の難点を回避することができ、且つ、本研究の目的である、3重障壁非磁性共鳴トンネル・スピン・フィルターの実現にも、最短距離でアプローチできるからである。

### [4] 成果資料

特になし。



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] 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)

井上 翼 (静岡大学工学部)

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))

榊原慎吾 (ヤマハ (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：校費39万円、旅費53万円

### [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ー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出電流量が小さく、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、結局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、10mA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1年目である今年度は、

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

カーボンナノチューブ (CNT) はそれ自体アスペクトが高く、電界集中が容易なため電子源として有望であるが、ディスプレイ以外の真空デバイスに用いる場合には、多くの場合電子源に直接数kV以上の高圧を印加するため、電子源の動作中にCNTを堆積または印刷した基板からCNTがはく離するという問題がある。そこで、動作中にはく離の問題がなく、簡単なプロセスで高安定、高電流の電子源を製作するため、並行平板型RFマグネトロンスパッタリング装置により、グラファイト基板をカソード側に置きエッチングし、数多くの微小突起を形成しそれを電子放出ティップとする電子源を開発した。エッチング用のガスとしてイオン半径が小さく反応性の高い $H_2$ ガスを用いた。

図1(a)はRFパワー：600W、圧力：30Paで作製した新しいグラファイトエミッタのFE-SEM像である。針状のティップを均一で高密度に形成することができた。 $H_2$ ガスを用いてナノ構造を形成するためには高いRFパワー、比較的高い圧力という条件下でスパッタを行うことが重要である。

図1(b)は針先端の拡大像である。球状の粒子が連なったような形状である。このティップの蛍光X線を測定したところ、カーボンが主であったがその他にFe、Niが検出された。これはスパッタ時にステンレス製のサンプルホルダーを使用しており、Feが同時にスパッタされ基板に堆積したためと考えられる。このFeが触媒として作用しカーボンニードルの形成が促進されていると考えられる。

図2は $H_2$ を用いて作製したカーボンニードルのTEM像である。カーボンニードルの長さ方向と平行にストライプ状の構造がある。電子線回折像によりこのティップはカーボンの単結晶と多結晶とが混在していることが分かった。

図3にそのエミッション特性を示す。測定は2極構造(アノードとカソードの間隔は0.1mm)で行い、真空度は $5 \times 10^{-5}$  Paである。横軸はアノード電圧、

縦軸はカソード電流である。閾値電界は  $5\text{V}/\mu\text{m}$  であり、 $13\text{V}/\mu\text{m}$  で約  $0.1\text{mA}$  の電流が得られた。グラフアイト基板として、 $1\text{mm}\phi$  から  $3 \times 10\text{mm}^2$  まで大きさを変化させたが、絶対電流量は基板の面積を大きくしても約2倍変化しただけであった。

図4にエミッション電流の安定性を示す。電界強度を高くするにつれ、電流の安定性（直流電流レベルに対して変動電流の比）が良くなり、 $11\text{V}/\mu\text{m}$  の電界強度で安定性は約6.4%であった。これは、電界強度が強くなるにつれ、電流を放出するティップ数が増え、積分効果（平均化効果）で電流が安定するためである。また、この電子源では、ティップのはく離の問題は生じなかった。

以上のように、極めて簡便な方法で安定性の良い電子源を製作することに成功した。しかし、電流の絶対値は  $0.1\text{mA}$  と低く、大電流用電子源としては課題が残った。今後、エッチング条件の最適化により絶対電流量の増加を図る。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、絶対電流量の多い微小電子源を開発し、実際のデバイス、機器に微小電子源が幅広く利用できるようにしたいと考えている。

### [4] 成果資料

- (1) H. Shimawaki, Y. Neo and H. Mimura, "Electron emission from planar-type cathodes based on nanocrystalline silicon thin films", J. Vac. Sci. Technol. B 24 (2006) 971-973.
- (2) Y. Neo, H. Shimawaki, T. Matsumoto and H. Mimura, "Smith-Purcell radiation from ultraviolet to infrared using a Si field emitter", J. Vac. Sci. Technol. B 24 (2006) 924-926.
- (3) H. Mimura, Y. Neo, H. Shimawaki, Y. Abe, K. Tahara and K. Yokoo, "Field emission characteristics of a graphite nano-needle cathode and its application to scanning electron microscopy", Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 073511-1-3.
- (4) G. Yuan, H. Song, Y. Jin, H. Mimura and K. Yokoo, "Effect of distribution of field enhancement factor on field emission from cathode with a large number of emission sites", Thin Solid Films, 484 (2005) 379-381.
- (5) S. Takeda, K. Ishino, Y. Inoue, A. Ishida, H. Fujiyasu, H. Kominami, H. Mimura, Y. Nakanishi and S. Sakakibara, "Growth of Pillarlike GaN Nanostructures", Jpn. J. Appl. Phys. 44 (2005) 5664-5666.
- (6) H. Mimura, Y. Neo, H. Shimawaki, T. Matsumoto and K. Yokoo, "Emission characteristics and application of semiconductor field emitters", Appl. Surf. Sci. 22 (2005) 498-503.

- (7) H. Mimura, Y. Neo, and H. Shimawaki, "Fabrication of Si field emitters with a focus electrode", 20<sup>th</sup> Cong. Inter. Commission Optics, Chanchun, China, August 21-26, 2005 (Invited).
- (8) T. Matsumoto and H. Mimura, "Intense electron emission from graphite nanocrater (GRANC) cold cathode and its application to scanning electron microscopes", 18<sup>th</sup> Inter. Vac. Nanoelectronics Conf., Oxford, UK, July 10-14, 2005 pp.250-251.
- (9) H. H. Shimawaki, Y. Neo, H. Mimura and K. Yokoo, "Electron emission from planar-type cathodes based on nanocrystalline silicon thin films", 18<sup>th</sup> Inter. Vac. Nanoelectronics Conf., Oxford, UK, July 10-14, 2005 pp.227-228.
- (10) Y. Neo, H. Shimawaki, T. Matsumoto and H. Mimura, "Smith-Purcell radiation from ultraviolet to infrared using a Si-field emitter", 18<sup>th</sup> Inter. Vac. Nanoelectronics Conf., Oxford, UK, July 10-14, 2005 pp.22-23.

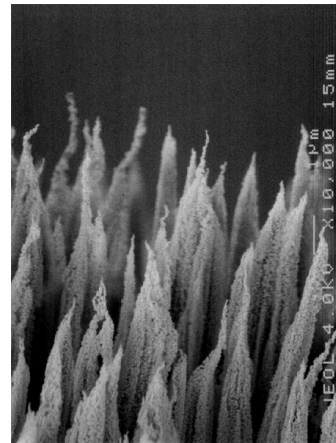


図1 (a) RF パワー : 600W、圧力 : 30Pa で作製した新しいグラフアイトエミッタの FE-SEM 像

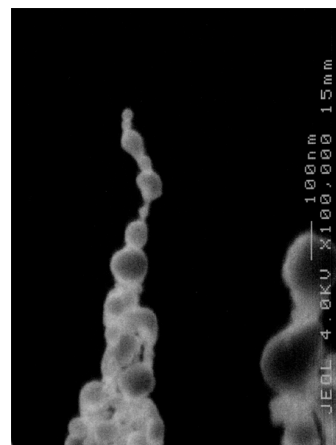


図1 (b) 針先端の拡大像

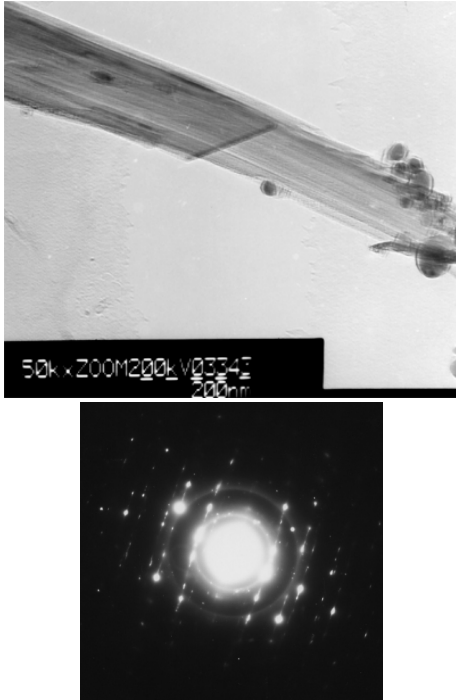


図2 H<sub>2</sub>を用いて作製したカーボンニードルのTEM像

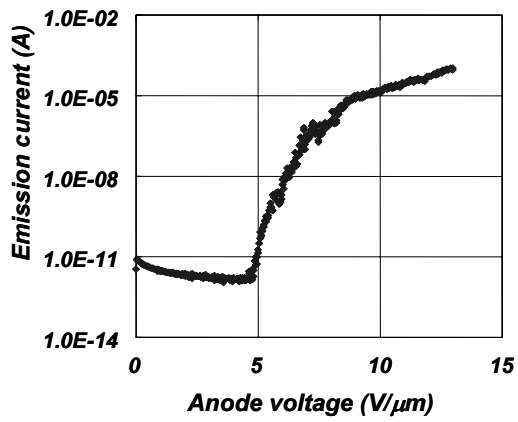


図3 新しいカーボンエミッタのエミッション特性  
4 ~ 8 × 10<sup>-5</sup> Pa

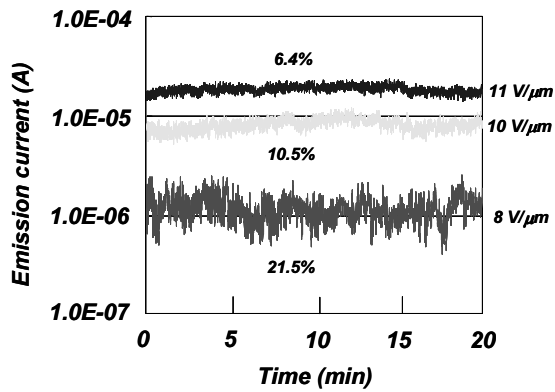


図4 エミッション電流の安定性

## 高機能有機薄膜センサーに関する研究

### [1] 組織 (以下10.5ポイント)

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：

向田 昌志 (山形大学工学部)  
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 39 万円，旅費 26 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 ( $\text{TiO}_2$ ) を形成し、 $\text{TiO}_2$  とポリシオフェンのヘテロ接合を形成し、光センサーとしての動作の確認を試みた。また光触媒で懸念されるセンサー界面の光劣化の影響をあきらかにするため  $\text{TiO}_2$  表面での光化学反応の機構を評価し知見を得た。

本プロジェクトは、本年度が第1年目である。本プロジェクトにおいて、東北大電気通信研究所において、研究打合せをおよび共同実験を、H17年6月から計10回実施し、以下に示すような成果を得た。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、次の研究成果を得た。まず第1に、チタンアルコキッドを原材料にした MOCVD 法を試み、 $250^\circ\text{C}$ での低温でアナタース結晶質の  $\text{TiO}_2$  を形成可能にし、同法を用いてフレキシブル基板として広く使われているポリイミドフィルムに同薄膜を形成することに成功した。また第2に、 $\text{TiO}_2$  表面上での有機物の光化学反応過程を明らかにするために、多重内部反射型赤外吸収分光法を用いて観察した。その結果、 $\text{TiO}_2$  表面での光反応 (光触媒酸化反応) は大気中の湿度成分で加速されることを明らかにし、本研究で目標としている光センサーの高効率安定動作のためには、界面の防湿対策が改めて重要であることを明らかにした。さらに、H17年度後半では  $\text{TiO}_2$  薄膜とポリシオフェン (P3HT) の接合で p n 接合を形成し、光応答を確認することができ、光センサーとして原理が成り立つことを明らかにしている。以下のその具体的な内容を記述する。

#### ①MOCVD 法による低温高品質 $\text{TiO}_2$ 薄膜形成

図1に示される MOCVD 装置を製作し、 $\text{TiO}_2$  薄膜の低温形成試験を行った。原料に  $\text{Ti}[\text{OC}_3\text{H}_7]_4$  を用い、気化器でキャリアガスの  $\text{N}_2$  と混合し、加熱した基板に照射することで反応させ、より低温での  $\text{TiO}_2$  堆積を狙った。

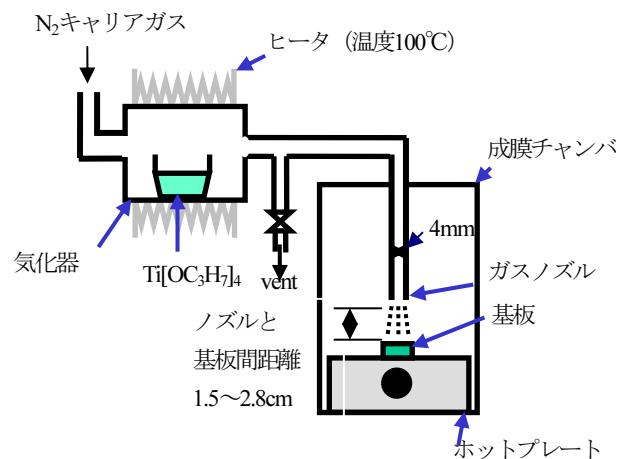


図1  $\text{TiO}_2$  MOCVD 装置の概略図

図2に本試験で得られたTiO<sub>2</sub>薄膜の成長速度と結晶性の基板温度依存性を示す。同図において、実点がアナタース結晶質での成膜であり、空点がアモルファスを示す。本研究の光センサーの実現には、n型酸化半導体であるアナタース結晶であることが必要である。この結果から、成長速度を抑えることで、250℃でも十分にアナタース薄膜の形成が可能であることが示された。さらに、本CVD法を用いて、ポリイミド上にTiO<sub>2</sub>成膜を試み(図3)、アナタース結晶薄膜を確認することができた(図4)。本試験結果で得られた低温成長性とフレキシブル基板成膜の実証は、初めての知見である。

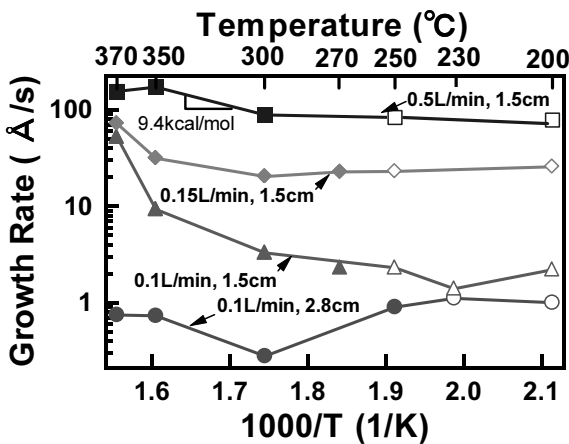


図2 TiO<sub>2</sub>の成長速度と結晶性

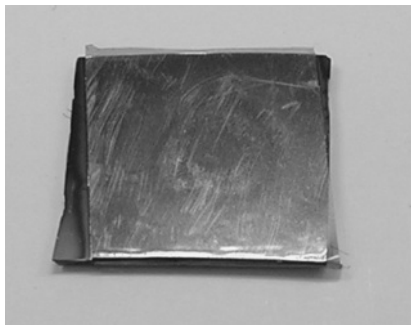


図3 ポリイミド上に成膜したTiO<sub>2</sub>

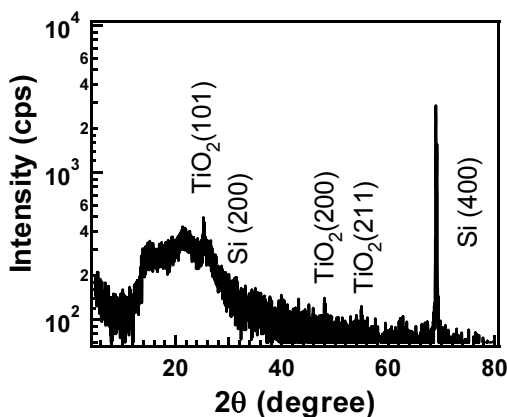


図4 フレキシブル基板上TiO<sub>2</sub>薄膜のXRD

②多重内部反射赤外分光法によるTiO<sub>2</sub>表面上の光化学反応の評価

図5に示される多重内部反射赤外分光装置を組み上げ、TiO<sub>2</sub>表面での光化学反応(光触媒反応)を観察し、湿度や吸着水の界面に与える影響を明らかにすることを試みた。ここでは自然放置で吸着した炭化水素不純物の変化を観察した。その結果を図6に示す。光触媒による表面吸着炭化水素の酸化反応が明瞭に観察できることがわかる。反応雰囲気を変えて試験したところ、空気中に含まれる水分によって光触媒反応が加速されることを見出した(図7)。これは光センサー形成のために水分吸着防止が重要であることを示すものであり、同センサーの長期安定性確保のための重要な情報となった。さらに、光触媒の分野において、長年、光触媒の前駆体として空気中の酸素によるO<sub>2</sub>か、水分によるOHラジカルなのか論争になっていたが、本結果はその論議に初めて実験的な証拠を与えるものであり、その内容を早速Applied Surf. Sci.誌に投稿し、掲載通知を受けている。

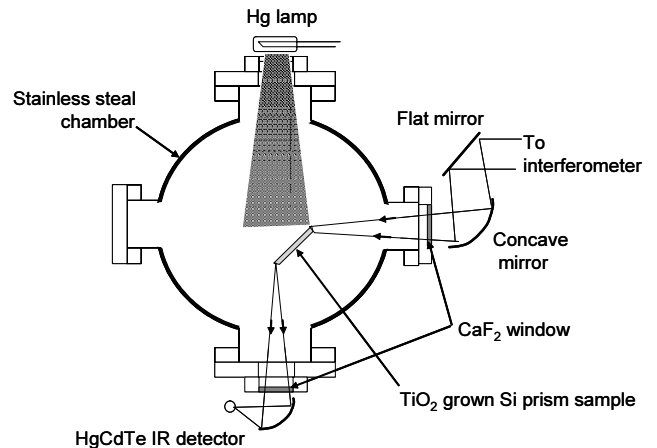


図5 多重内分反射赤外測定系統

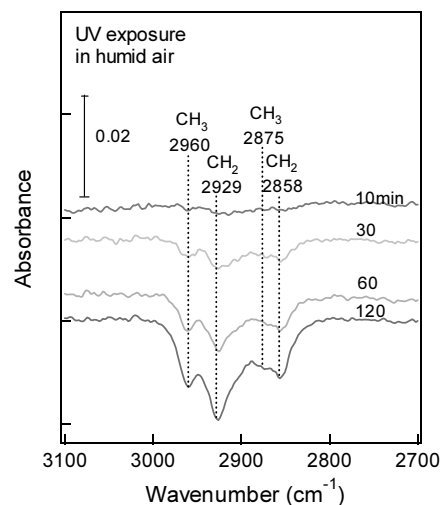


図6 UV照射中の炭化水素の分解過程の多重内部反射赤外吸収分光測定

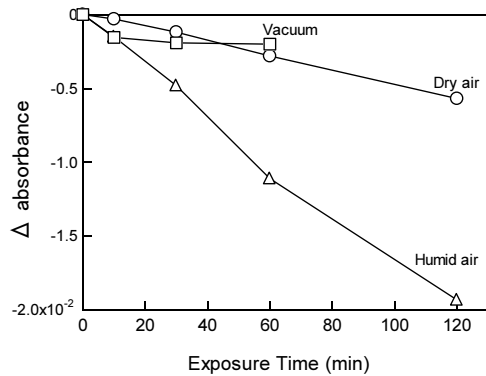


図7 TiO<sub>2</sub>上吸着炭化水素密度の照射時間変化  
縦軸は 2929/cm の CH<sub>3</sub>の赤外吸収率の変化量を表わす。

### ③有機無機ヘテロ光センサの試作

本プロジェクト研究では、上記で開発した TiO<sub>2</sub>-CVD を用い、図 9 に示す有機無機ヘテロダイオードを試作した。その結果、光照射無しの場合、正バイアス（順バイアス）に対して、逆バイアスの方で明らかにダイオード電流は小さく、整流特性になっていることがわかった。光を照射した場合、逆バイアス領域で電流が増加しており、これは TiO<sub>2</sub> 或いは P3HT 膜で光吸収をして発生したキャリアが、ダイオード電流として流れていることを示すものである。本測定結果は、電流量として微弱ではあるものの、有機無機ヘテロダイオードが光センサとして動作することを実証するものである。

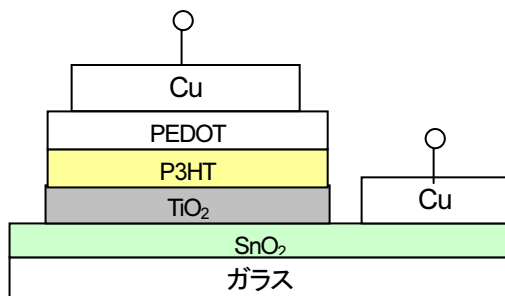


図8 有機無機ヘテロダイオード

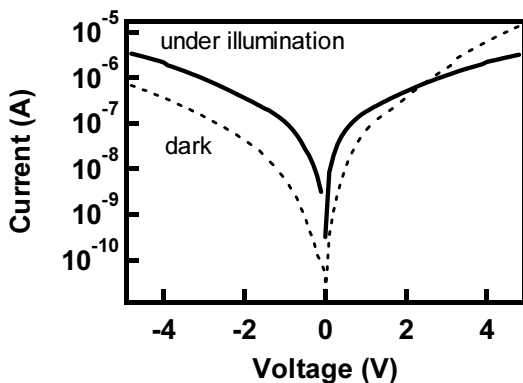


図9 有機無機ヘテロダイオードの I-V 特性

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトで得られた成果として低温 TiO<sub>2</sub> 形成技術は、フレキシブル光センサーへの適用のみならず、低温でどこでも光触媒膜をつける技術として、環境浄化、抗菌防汚、バイオメディカル技術への展開が期待されるものである。また TiO<sub>2</sub> 表面での反応解析については、本技術により光センサーの長期安定性確保のための重要な情報が得られた他、高活性光触媒開発にも役立つものである。さらに、有機無機ヘテロダイオードの光センサーとしての実証は、まだ端緒であるが、今後光感度向上を狙い、CCD のようなイメージセンサや有機太陽電池としての可能性を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で議論を行い、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 「FTIR 法を用いた TiO<sub>2</sub> 表面上有機汚染の光触媒除去過程の観察」, 廣瀬文彦, 栗田幹也, 木村康男, 庭野道夫, 2005 年春季 第 52 回応用物理学関係連合講演会 講演番号 29p-K-2
- ② 「大気CVD法によるアナターズ TiO<sub>2</sub> 膜の低温形成」 廣瀬文彦, 伊藤正志, 木村康男, 庭野道夫, 2005 年秋季 第 66 回応用物理学会学術講演会 講演番号 p-G-6
- ③ “Photocatalytic oxidation of natural organic adsorbates on anatase TiO<sub>2</sub> films observed by infrared adsorption spectroscopy with a multiple internal reflection geometry”, F. Hirose, K. Kurita, Y. Kimura, M. Niwano, Applied Surface Science, to be published.

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：校費 37 万円，旅費 39 万円

### [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。

#### 5/9-10 研究打ち合わせ

研究全体の進行計画および第1実験の計画を中心に打ち合わせをおこなった。

#### 9/20 研究打ち合わせ

第1実験の結果について議論をおこなった。

#### 9/26-29 研究打ち合わせ

音響学会での発表に関する打ち合わせをおこなった。

#### 11/8 研究打ち合わせ

第2実験の結果について議論をおこなった。

#### 11/16 研究打ち合わせ

HIP 研究会での発表資料に関する打ち合わせをおこなうとともに，第3実験の計画について議論をおこなった。

#### 12/14-15 研究打ち合わせ

HIP 研究会での発表に関する最終打ち合わせをおこなった。

#### 12/16 研究打ち合わせ

HIP 研究会での発表時の質疑をもとに，研究の議論をおこなった。

#### 1/13-14 研究打ち合わせ

第3実験の予備的な結果(中間報告)について議論をおこなった。

#### 2/10 研究打ち合わせ

第2実験と第3実験の結果について比較検討する議論をおこなった。

#### 2/14 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。

#### 3/4-9 研究打ち合わせ

音響学会での発表，注意と認知研究会での発表に関する打ち合わせをおこなうとともに，今年度の成果全体についての議論をおこなった。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、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、日本語単語を刺激として用いた2つの実験を完了し、1つの実験を開始した。

#### 第1実験

視聴覚メディアにおいて、映像を加工せずに音声の話速のみを下げると、開始時点では映像と音声と同期しているにもかかわらず、徐々に音声が遅延し、映像と音声の非同期が拡大していくという事態が発生する。このような場合においても映像は音声聴取に対して正の効果をもたらすのか、それとも負の効果をもたらすのかという点は明らかではない。第1実験ではこの問題に取り組むにあたって、まず日本語単語全体における代表的傾向を把握するために、幅広い単語(1000単語)を用いた探索的実験を大学生を対象に実施した。

実験の結果、映像と音声とが最大400msずれる条件においても、音声のみ提示した場合と比べて、映像と音声を提示した場合のほうが単語理解度が高かった。この結果は、映像と音声の非同期が拡大していくという非常に不自然な事態においても、映像は音声聴取に対して正の効果をもたらすことを示している。

#### 第2実験

第2実験では、より詳細に映像の効果について分析するために、限定された刺激単語を用いた実験を実施した。刺激単語は、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。単語理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理解度をもとに、映像の効果(AV benefit)を算出した。

非同期条件では、第1~3モーラ(語頭~語中)では、非同期量200msまでは映像の効果は有意に低下せず、非同期量が400msになると映像の効果

が有意に低下した。一方、第4モーラ(語末)では非同期量が400msになっても映像の効果は高い値で安定していた。この結果は、語頭から語末のわずかな間に音声と映像のタイミング差を検出し、補正できるメカニズムの存在を示唆している。

一方、伸長条件では、第1~3モーラでは伸長量が増大しても映像の効果に有意な変化は見られなかったが、第4モーラでは音声伸長量200ms以上で映像の効果が有意に低下しており、補正とは逆の現象が生じた。つまり、映像と音声の速度が異なり、映像と音声の時間差が一定でない状況下では、時間差の補正が生じないことがわかった。

#### 第3実験

現在、第2実験と同様の実験を高齢者を対象に実施している。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、これらの問題を克服できるように実験方法を修正することから開始した。現在、これらの問題を克服できるめどがついたので、本格的な実験に入ろうとしている段階である。

#### (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1年の間に、実際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(日本心理学会注意と認知研究会)で成果を発表したところ、学術的に高い評価を得て、本プロジェクトが異分野にも認知されるに至った。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。

また、本プロジェクトでは、視聴覚間で時間差のみ存在する(速度差は存在しない)場合には視聴覚統合が生じ、速度差が存在する(必然的に時間差も存在する)場合には視聴覚統合が生じない可能性を指摘するに至った。この知見は、視聴覚統合の時間特性の研究分野に新たなブレイクスルーをもたらし、速度差という要因に着目する萌芽的研究に結びつく可能性があり、日本心理学会注意と認知研究会の代表者からも、今後の発展が期待されている。



[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。)

(1) 話速変換による話者映像のずれが単語理解度に及ぼす影響

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.

## 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)  
 磯田博子 (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)  
 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：校費 400,000 千円、旅費 567,620 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、磯田)
- (2) 測定環境の制御技術の確立(担当：庭野、石井、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、磯田、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、磯田)
- (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(4)に関して集中的に研究を行った。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

##### (1) Si 基板表面上のチトクロム c の固定化

現在、我々が目標としている赤外吸収分光法を用いたタンパク質相互作用の検出には、Si 基板表面にタンパク質を効果的に固定化する方法が必

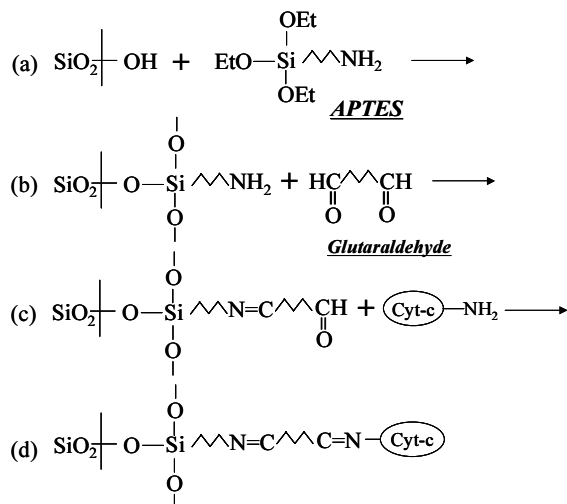


図1 Cyt-c 固定化のための Si 表面修飾.

要である。そこで、3-aminopropyl-triethoxysilane (APTES)、glutaraldehyde (GA) を用いたチトクロム c タンパク質 (Cyt-c) の Si 表面上固定化法を検証した。(図 1 参照) 表面修飾の各段階は、多重内部反射型赤外吸収分光法(MIR-IRAS)、原子間力顕微鏡(AFM)によって確認した。実験結果よりこの固定化方法は、基板表面に Cyt-c を十分な結合力で固定化できることが示された。また、赤外吸収スペクトルから固定化量を比較すると、チオール基-SH を介した固定化よりも 3 倍程度改善されたことが分かった。

今後の課題は、基板表面に固定化された Cyt-c の抗体抗原反応を赤外吸収分光法で検出することである。

## (2) GaAs と Si 表面の MCF-7 細胞吸着

多重内部反射型赤外分光法による細胞変化のリアルタイム観察のためには、細胞を Si 表面あるいは GaAs 表面に活きた状態で吸着させる必要がある。細胞の活性を損なわずに表面吸着させるためには、細胞に対する適合性が優れた表面を用意しなければならない。そこで、本研究では、①GaAs 基板表面と②極薄 Si 酸化膜で被覆した GaAs 基板を用意して、付着細胞 (MCF-7) の成長の様子を顕微鏡で観察した。GaAs 基板表面上で細胞を培養し、24 時間後顕微鏡観察を実施した。

その結果、図 2 に示すように、極薄 Si 酸化膜で被覆した GaAs 基板表面上のほうが、被膜なしの GaAs 表面に比べて、細胞の成長が良好であることが分かった。

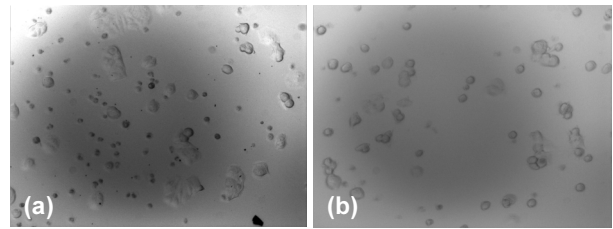


図2 (a)GaAs 基板表面と(b)極薄 Si 酸化膜で被覆した GaAs 基板上の付着細胞 (MCF-7) の成長の様子。

今後の課題は、極薄 Si 酸化膜で被覆した GaAs プリズムを作製し、そのプリズム表面上で細胞を培養して、細胞のアポトーシス (細胞死) や細胞分化の様子を赤外分光でその場観察することである。

## (3-2) 波及効果と発展性など

本研究で用いる多重内部反射赤外分光法は、研究参加者 (庭野) が 10 年以上の期間に渡って開発してきた手法で、以下のような特徴を有する。①様々な測定環境に対応できる。②室温で測定できる。③エネルギーの低い赤外線を使っているので、被測定対象に損傷を与えない。④通常の透過型の赤外分光法に比べて感度が桁違いに高い。⑤測定時間が数分程度と短いため、リアルタイム性がある。

バイオ技術の日常生活への浸透を図るためには、既存のポスト・ゲノム解析機器に加え、新たな原理に基づいた解析機器の開発が必要不可欠である。特に、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

応用物理学会誌に掲載した解説記事を添付する。

庭野道夫：「表面赤外分光による生体計測」応用物理 第 74 巻 第 12 号 (2005 年) 1569 頁。

## 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：荒井 賢一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

川人祥二 (静岡大学電子工学研究所)

佐藤 敏郎 (信州大学工学部)

益 一哉 (東京工業大学精密工学研究所)

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)

山本 節夫 (山口大学工学部)

研究費：物件費 39 万円，旅費 26 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、グラニューラ系、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。

以下、研究活動状況の概要を記す。

平成 17 年 8 月 10 日および平成 18 年 1 月 27-28 日に静岡大工学部青山聡氏 (川人研究グループ) 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を行った。平成 17 年 11 月 17 日、12 月 20 日、平成 18 年 2 月 20 日、および 3 月 2 日に東工大松下グループが東北大を訪問し、超高周波帯薄膜透磁率測定装置を使用し、スピンスプレーフェライト薄膜の高周波特性を計測するとともに

共同研究打合せを行った。また東工大益一哉教授と研究代表者とは平成 17 年 9 月 13 日、2005 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2006, 神戸)の機会に共同研究打合せを行った。さらに、東工大松下講師、崇城大宗像助教授、ならびに山口大山本教授らと研究代表者とは、9 月 19～22 日、日本応用磁気学会学術講演会の機会に共同研究打合せを行った。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

(本プロジェクトで明らかになった研究成果を具体的に記載して下さい。)

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、GHz 帯における薄膜透磁率法に関する研究を行い、20GHz まで測定可能な見通しを得た。これは携帯電話用 RF 集積化磁性薄膜インダクタや集積化電磁ノイズ抑制体など、GHz 帯で磁性薄膜を磁束の通路として利用するための基礎評価法として、本共同研究の遂行上、不可欠の開発事項である。開発の指針は、コプレーナ線路上に磁性薄膜を配置し、Nicolson-Weir 法<sup>11)13)</sup>により複素透磁率を算出するものである。主たる課題は(i)磁性薄膜の反磁界の低減と(ii)計測の S/N 比の確保を両立させることであった。その結果、信号線幅 10mm のコプレーナ線路を用いた場合、アモルファス CoNbZr 薄膜試料の強磁性共鳴周波数は、薄膜本来の値 0.93GHz に対して、0.97GHz (+4.3%)とほぼ一致した。電磁界シミュレーションによれば、この場合に薄膜に印加される局所的な磁界強度比は 1.27 倍に留まると解析された。本研究で使用した薄膜に対しては、強度比をこの程度に抑えることで、共鳴周波数を適切に計測できることが明らかになった。次年度には本装置を用いて新しい薄膜材料を評価する予定である。

第 2 に、磁性薄膜を用いた高周波電磁ノイズ抑制技術の具体的応用が進展した。(a)まず、伝送線路上に磁性薄膜試料を装着し、その表面抵抗値を  $R_s=10^2\Omega/\square$  のオーダーに設計すると、ノイズ抑制に必要な損失量が極大値を示すことを明らかにできた。これは磁性膜中の渦電流と薄膜の電気抵抗率とのバ

ランスで決定されるものである。(b)次に、薄膜の実装方式としてチップのパッシベーション膜の上から磁性膜をスパッタ成膜する方式を検討した。実験では、市販 LSI チップのパッケージ上部を化学的に溶解し、磁性膜をスパッタ成膜した。実用化が可能となるならば、半導体プロセスのポストプロセスとして磁性膜を集積化し、その後パッケージ工程に移ればよい。TEM セル法および磁気プローブ法による計測の結果、100MHz~2GHz 帯において0~20dB のノイズ抑制効果が得られた。これは実動作 LSI チップへ磁性膜を集積化した世界最初の結果であり、今後の発展が期待される。(c)また、プリント配線盤に直接フェライトメッキ膜を製膜する手法が開発され、電気絶縁性の確保状況と、ノイズ抑制効果が検討された。その結果、数 $\mu\text{m}$ の膜厚であっても従来のノイズ抑制シート(厚さ数10 $\mu\text{m}$ 以上)と同等のノイズ抑制効果を示すことが明らかとなった。(d)高精細デジタル動画インターフェースへの適用を目的に、電磁障害の原因となる不平衡信号を抑制する GHz 帯コモンモードフィルタが試作された。本フィルタは、スクリーン印刷で作製され、Mn-Zn フェライト/ポリイミド複合材料厚膜を用いた結合線路構造を有する。試作デバイスは、GHz 帯において10~45dB のコモンモード減衰量を示す。次の技術課題は、平衡モード信号に対する挿入損失(5~20dB)を低減することである。

第3に、携帯電話 RF 回路用の CoFeB 磁性薄膜結合線路型方向性結合器が試作された。本デバイスでは、マイクロストリップ結合線路に CoFeB 磁性膜を採用して線路間の磁気結合を高めるとともに、静電容量スタブによる電界結合を利用している。本デバイスは、磁性膜の採用によって線路間スペーシングを大きくしても磁界結合の低下が少なく、電界結合にスタブ静電容量を利用することで線路間の磁界結合と電界結合を独立に設計できる。試作デバイスは0.5×1.0mm のサイズを有し、0.8~2GHz 帯において、反射係数、挿入損失、結合度は、それぞれ、-20dB 以下、0.6dB 以下、-20~-30dB であり、携帯電話用途の目標特性を満足した。今後、アイソレーションの改良が望まれる。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトによって、学外研究者との実質的な共同研究が活性化した。ま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18年5月7日に第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(MMDM4)をアメリカ・サンディエゴで開催し、8カ国から46名の参加者を得た。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)。

08a-1 “Evaluation of Exchange-Biased Magnetic Material for High Density GHz Toroidal Integrated Inductor,” B. Orlando (STMicroelectronics, France)

08a-2 “Polymer-Metal Nanocomposites for High Frequency Applications,” Andreas Gerber (CEASAR, Germany)

08a-3 “Exchange-Coupled CoFe Multilayers for Microwave Applications,” Y. Lamy (CEA Grenoble DIHS/LIMN SPINTEC, France)

08a-4 “Interfacial Coupling Effect on Microwave Permeability for High Frequency Applications in CoFe/MnIr Films,” D-Y Kim (RCAMM, Chungnam National Univ., Korea)

08a-5 “Microwave Applications of Metamaterial Structures(Invited),” T. Itoh (UCLA)

08a-6 “Artificial Microwave Magnetic Materials: Metamaterial and Magneto-Mechanical Approaches,” C. Dudek (CEA Le Ripault/ LEMA UMR 6157 CNRS, France)

08a-7 “High Saturation Magnetization and High Electrical Resistivity in Soft Magnetic Fe and Fe-Ni Alloy Cluster Assembled Films,” K. Sumiyama (Nagoya Inst. Tech., Japan)

08p-1 “Characterization of Magnetic Materials and Their Resonances,” Massimo Pasquale (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Italy)

08p-2 “FeCoB Films with High Anisotropy Field Suitable for GHz Band Operation,” A. Hashimoto (Tokyo Institute of Technology)

08p-3 “Permeability Spectra of Granular CoFeHfO Thin-film Material Liangliang,” Li, Dok Won Lee (Stanford Univ., USA)

08p-4 “Dynamic Magnetic Properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticle Assembly in Ultra-high Frequency Range,” D. Hasegawa (Dept. of Electronic Engineering, Tohoku Univ., Japan)

08p-5 “Microwave Properties of Composite Microwires: From Magnetoimpedance to Ferromagnetic Resonance and Magneto-absorption,” M. Vázquez (CSIC, Spain)

08p-6 “Theory of Permeability in Ferrite Plated Films Used for GHz Noise Suppressors,” M. Abe (Dept. Phys. Elect., Tokyo Institute Technology, Japan)

08p-7 “The Circuit and Reliability Model of High Frequency EMI Filter Module,” S. Y. Tong (Industrial Technology Res. Inst., Taiwan)

08p-8 “Iron-Based Microwave Band-Stop

Filters Operating Above 10 GHz,” Bijoy K. Kuanr (Center for Magnetism and Magnetic Nanostructures, Univ. of Colorado at Colorado Springs, USA)

08p-9 “Transmission Loss Analysis and Design of Transmission Line for High Data Rate HDD,” Nobumasa Nishiyama (Hitachi Global Storage Technologies Japan, Japan).

08p-10 “Evaluation of RF Magnetic Thin Film Noise Suppressor Integrated onto an Operating LSI Chip,” T. Fukushima (Dept of Electrical and Communication Eng., Tohoku Univ., Japan)

[4] 成果資料

- (1) M. Yamaguchi, K. Maruta, H. Ono, “Operating Mechanism for RF Electromagnetic Noise Suppression Sheets”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3565-3567, (2005).
- (2) K. H. Kim, H. Orikasa, T. Kyotani, M. Yamaguchi, “RF Noise Suppression Using Carbon-Coated Permalloy Nanorod Arrays”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.4075-4077, (2005).
- (3) K. Sugahara, S. Tanabe, M. Yamaguchi, “Frequency-Independent Equivalent Circuit Model for Ferromagnetic RF Integrated Inductors”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3529-3531, (2005).
- (4) E. Yu, J. S. Shim, I. Kim, J. Kim, S. H. Han, H. J. Kim, K. H. Kim, M. Yamaguchi, “Development of FeCo-Based Thin Films for Gigahertz Applications”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3259-3261, (2005).
- (5) C. W. Ji, S. H. Kim, I. Kim, J. Kim, K. H. Kim, M. Yamaguchi, “Effects of Post Annealing on the Magnetic Properties of FeCoBN Thin Films”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3277-3279, (2005).
- (6) K. Kondo, T. Chiba, S. Yoshida, S. Okamoto, Y. Shimada, N. Matsushita, M. Abe, “FMR Study on Spin-Sprayed Ni-Zn-Co Ferrite Films with High Permeability Usable for GHz Range Noise Suppressors”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3463-3465, (2005).
- (7) 青山聡,川人祥二,安井健史,山口正洋,“CMOS-SOI技術を用いた集積化アクティブ磁界プローブ”,信学技報, Vol.105, No. 185, pp45-50 (2005).
- (8) S. Aoyama, S. Kawahito, T. Yasui, M. Yamaguchi, “An SOI-CMOS Active Magnetic Probe for High-Frequency Electromagnetic Emissions,” Proc. of Solid State Device and Materials (SSDM2005), Kobe, JAPAN, pp.304-305 (2005)
- (9) S. Aoyama, S. Kawahito, T. Yasui, M. Yamaguchi, “A High-Sensitivity Active Magnetic Probe using CMOS Integrated Circuits Technology,” Proc. of Electrical Performance of Electronic Packaging, Austin, USA, pp.103-106 (2005)
- (10) H. Nakayama, T. Yamamoto, Y. Mizoguchi, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, Y. Miyake, M. Akie, Y. Uehara, M. Munakata, “Development of an Integrated RF Impedance Matching Device with LPF Function using a CoFeB Magnetic/Polyimide Dielectric Hybrid Thin-Film Coplanar-Line”, Asia-Pacific Microwave Conference 2005 Proceedings, pp. 720-722, (2005).
- (11) M. Sonehara, T. Sugiyama, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, “Preparation and Characterization of Mn-Ir/Fe-Si Exchange-Coupled Multilayer Film with Ru Underlayer for High-Frequency Applications”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3511-3513, (2005).
- (12) K. Yanagisawa, F. Zhang, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, “A New Wideband Common-Mode Noise Filter Consisting of Mn-Zn Ferrite Core and Copper/Polyimide Tape Wound Coil”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3571-3573, (2005).
- (13) R. Shimazu, M. Tada, N. Matsushita, H. Handa, M. Abe, “Expedient magnetic separation using Ni Wires, Applicable for robot-manipulated bio-screening systems”, 41, (10), pp. 4143-4145, (2005)
- (14) 大城和宣・登尾尚史・藤森宏高・三上秀人・藤井重男・松浦満・山本節夫, “フェライト薄膜を使用したサーキュレータの設計”, 日本応用磁気学会誌29巻4号, pp. 490-493, (2005).

## 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 18 万 2 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などに有効な新しいタイプのレーザーである。このような計測デバイスへの応用のために、AOFS の集積化が必要とされているが、現状のシステムでは AOFS にバルク結晶を用い、バルク弾性波により周波数シフト光を得ているため集積化が困難である。

筆者らは、平成 14 年度から 17 年度にわたり、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、図 1 に示すようなプロトン交換 LiNbO<sub>3</sub> 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、作製した。65%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 レーザー発振が得られることなどを明らかにした。しかし、数 W 以上の RF パワーを要することや、約 3 割の入力光パワーが失われるなどの問題点も明らかにされた。

そこで本プロジェクトでは、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する。

以下、研究活動状況の概要を記す。本年度は、主として (1) 導波路型 AOFS の光回折特性改善、(2) 一方向性電極の適用に関する検討を行った。

前研究課題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をそれぞれ担当した。この間、平成 17 年 9 月 29 日 (木)、および平成 18 年 3 月 8 日 (水)～9 日 (木) に評価結果に関する討論を行った。

### [3] 研究成果

#### (3-1) 研究成果

##### (1) 導波路型 AOFS の光回折特性改善

ビーム伝搬法 (BPM) を用いた導波光伝搬の解析により、本素子の問題点は、出力テーパ導波路中の導波光の干渉、集光部分の漏れ光に起因することを明らかにした。そこで、導波路交差幅  $L$  よりも SAW ビーム幅  $L_g$  を狭くすること、すなわち複雑な干渉を示すテーパ導波路拡大部から SAW 伝搬領域 (屈折率グレーティング) を遠ざけることにより、光回折特性の改善を検討した。

BPM 解析により光回折特性のシミュレーションを行った結果、 $L_g < L$  とすると光回折効率が改善され、漏れ光パワーが小さくなることがわかった。この結果に従い、導波路交差幅  $L$  を 3.4, 4mm, SAW ビーム幅  $L_g$  を 2, 3mm とし、 $L_g < L$  となる組み合わせで導波路型 AOFS 試料を作製した。 $L_g=2\text{mm}$  の IDT 対数は 30 対、3mm では 20 対である。SAW 波長はいずれも 20 $\mu\text{m}$  である。

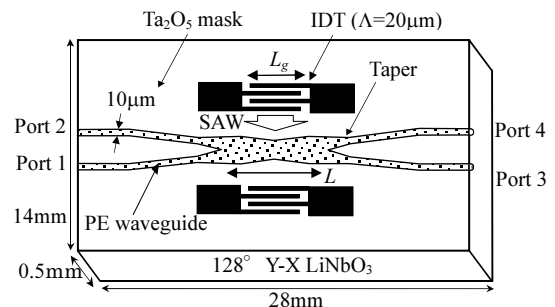


図 1 導波路型 AOFS の概観

$L=4\text{mm}$ ,  $L_g=2\text{mm}$ , 導波路幅 10 $\mu\text{m}$  の試料の光回折特性 (測定光波長 1.55 $\mu\text{m}$ , 駆動周波数 195MHz) を図 2 に示す。これまでよりも約 20% 大きな 84% の最大回折効率が得られた。しかし、非回折光パワーの最小値 (10%) はこれまでと同様の値であった。また、これまでの素子では両者

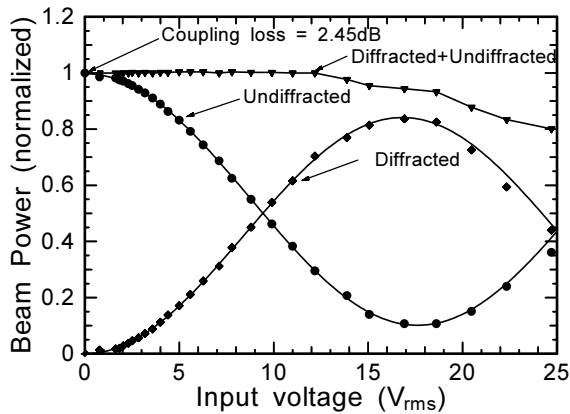


図2  $L=4\text{mm}$ ,  $L_g=2\text{mm}$  の導波路型 AOFS 試料の光回折特性 (光波長  $1.55\mu\text{m}$ )

のピークを示す電圧の差が約  $4V_{\text{rms}}$  発生していたが、この差が  $1V_{\text{rms}}$  に減少した。

(2) 一方向性電極の適用

プレーナ光導波路上のブラッグ回折に一方向性電極を適用した。一方向性電極には、電気機械結合係数変化型 (Electromechanical Unidirectional Transducer : EUDET) を採用した。まず、基板を全面プロトン交換した後、膜厚  $0.27\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  反射片を RF スパッタ膜で形成した。次に、この反射片から  $1/8$  波長ずらして Al 製 IDT を形成した。IDT の SAW 波長は  $20\mu\text{m}$ 、交差幅は  $2\text{mm}$ 、対数は 30 対である。波長  $0.633\mu\text{m}$  の He-Ne レーザ光をプリズムカップラ法によりプレーナ光導波路に導波させ測定した光回折特性を図 3 に示す。一方向性電極を適用することにより、通常の IDT の  $1/\sqrt{2}$  の入力電圧で最大回折効率を得ることができた。

(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、高分解能 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、本プロジェクトの成果は今後の FSF レーザーシステムへの応用・展開に大きく寄与することが期待できる。現在、導波路型 AOFS を 2 段に従属接続した 2 段光周波数シフタの作製を検討している。シフト周波数の高周波化を図ることができるばかりでなく、アップシフトとダウンシフトを組み合わせ、kHz オーダーの極めて低い周波数シフトを実現できる可能性がある。さらに、本素子はバルク 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、例えば、RGB の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る。

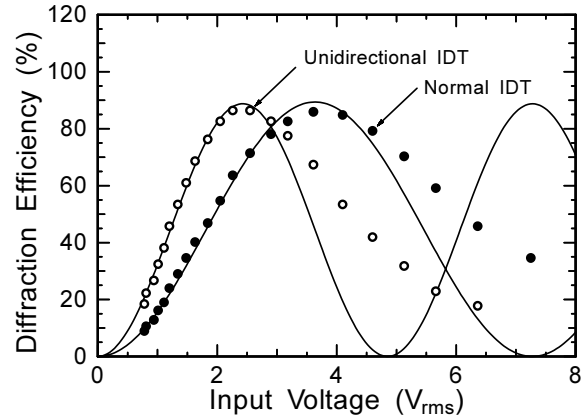


図3 一方向性電極を適用したプレーナ光導波路上の光回折特性 (光波長  $0.633\mu\text{m}$ )

[4] 成果資料

- (1) S. Kakio, S. Uotani, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Iizuka, T. Kobayashi, M. Watanabe, "Diffraction properties and beam-propagation analysis of waveguide-type acoustooptic modulator driven by surface acoustic wave," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 6B, pp.4472-4476. (2005.6)
- (2) 魚谷真司, 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導波路型音響光学変調素子の光回折特性の改善," 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp.1211-1212 (2005.9)
- (3) 魚谷真司, 垣尾省司, 中川恭彦, 原武文, 伊藤弘昌, 飯塚孝, 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光回折特性の改善," 第 26 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム予稿集, pp. 465-466 (2005.11)
- (4) 川手寛之, 魚谷真司, 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 光変調素子の解析," 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp. 995-996 (2006.3)
- (5) S. Kakio, S. Uotani, Y. Nakagawa, T. Hara, H. Ito, T. Kobayashi, M. Watanabe, "Improvement of diffraction properties in waveguide-type acoustooptic modulator driven by surface acoustic wave," Jpn. J. Appl. Phys., 投稿中



課題番号 H17/A16

採択回数 ① 2 3

## FSF レーザを用いた OFDR 法による PBON 光ファイバアクセスネットワークの故障診断に関する研究

### [1] 組織

代表者：鄒 念育  
 (琉球大学工学部電気電子工学科)  
 対応者：伊藤 弘昌  
 (東北大学電気通信研究所)  
 分担者：波平 宜敬  
 (琉球大学工学部電気電子工学科)

研究費：物件費 37 万，旅費 18 万

### [2] 研究経過

インターネットを中心としたデータ通信の利用形態が高度化するに従って、従来のアクセスネットワークは不十分となり、光ファイバ化による高速アクセスネットワークが求められ、効率的経済的な FTTH(Fiber To The Home) 光ファイバアクセスシステムの構築がますます進展しつつある。光ファイバアクセスネットワークでは、コストの低減のために、スターカプラーより 1 台の伝送装置である SLT(Subscriber Line Terminal)からの信号を複数の加入者装置 ONU(Optical Network Unit)で共用する PBON(Passive Branched Optical Network)方式が多く用いられている。PBON の各分岐光ファイバ線路の故障を準時かつ他のユーザーに影響しないで診断する方法が要求されている。

一方、周波数シフト帰還型(FSF)レーザは東北大学伊藤研究室が提案した高速で線形な周波数チャープ光源であり、光周波数領域リフレクトメトリ法(OFDR)法を用いて近距離より 100 km まで 100  $\mu$ m 程度の高精度光計測が実現でき、光ファイバの波長分散と偏波モード分散および津波計測の応用が提案されている。

本研究では FSF レーザを用いた OFDR 法より光ファイバアクセスシステム PBON の分岐光ファイバ線路の故障診断への新たな応用に関する研究を目的とする。

以下、本年度の研究活動の概要を記す。

- (1) 東北大学と琉球大学両グループは提案する FSF ファイバレーザを用いて OFDR 法より光ファイバアクセスシステム PBON の分岐光ファイバ線路の故障診断方法の案を E-mail 通信より検討し、意見交換をした。
- (2) 研究代表者の鄒念育の 1 回目の東北大学通研(平成 17 年 6 月 29 日～7 月 3 日)出張により、東北大学のグループと原理方案について打ち合わせを行った。
- (3) 東北大学のグループは実験に必要な波長可変 FSF レーザの発振特性などを改善した。両グループは E-mail 通信よりデータ交換や検討などを行った。
- (4) 研究代表者の鄒念育の 2 回目の東北大学通研(平成 17 年 12 月 3 日～12 月 7 日)出張により、東北大学が開発した波長可変 FSF レーザで共同実験を行い、提案する方法を実証した。
- (5) 今回提案する方法と実験結果を分析比較し、共同研究結果を東北大学と琉球大学の両グループ連名で国際会議へ論文投稿中である。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(1). FSF ファイバレーザを用いて OFDR 法より光ファイバアクセスシステム PBON の分岐光ファイバ線路の故障診断方法を提案した。

提案する診断方法の原理図を図 1 に示す。通信光源(LD)と計測光源 FSF レーザの出力は波長多重カプラー(WDM)より合波され、その後光増幅器(EDFA)、Circulator、Star coupler を通して、被測定ファイバネットワークに入る。各分岐光ファイバ線路において反射波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  の Fiber Bragg Grating (FBG) を置く。光源 FSF レーザの発振波長がこれらの反射波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  と合致しながら順次出力される。各 FBG より反射された波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$

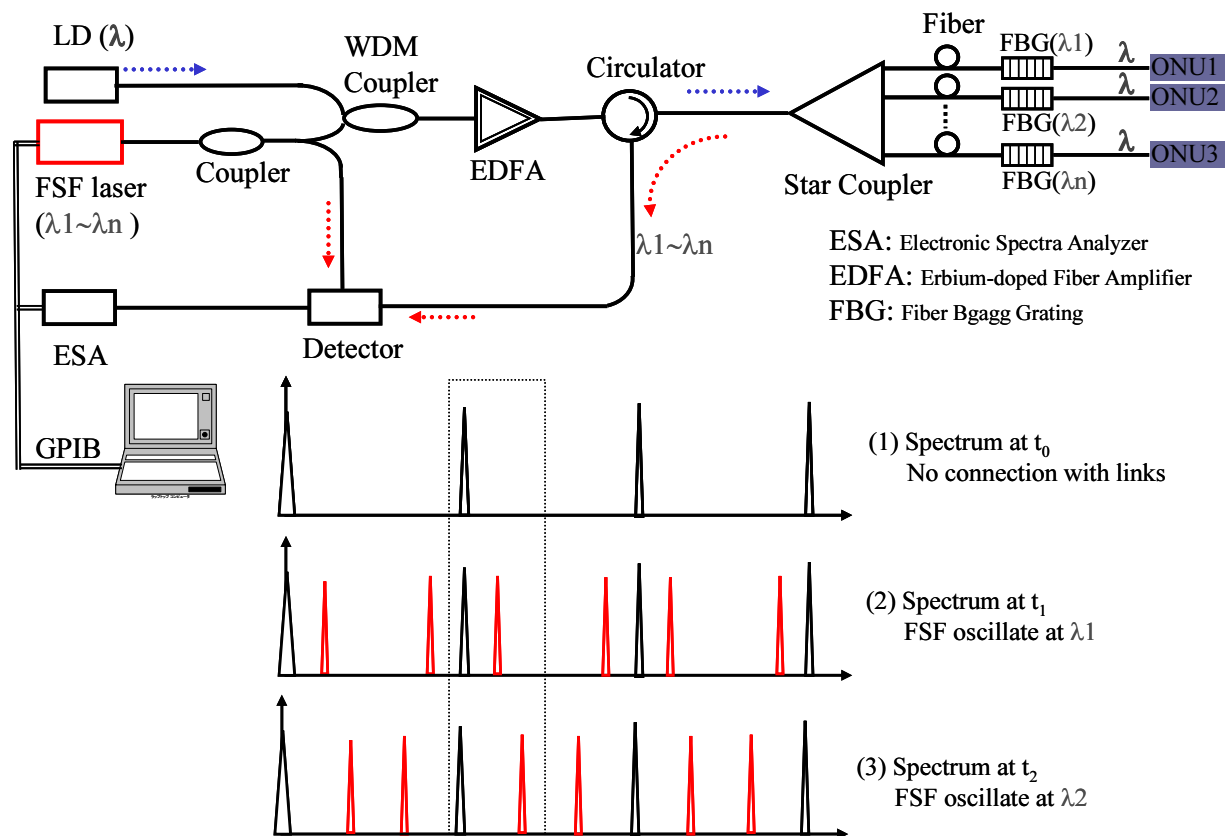


図1 Measurement diagram and principle

の光がCirculatorを経由し光検波器(Detector)において、FSFレーザから分波された参照光と干渉してビート信号が生じる。同図の(1)、(2)及び(3)示すようにElectronical Spectra Analyzer(ESA)でビート信号を計測して各分岐光ファイバの状態をモニタする。

(2) 波長可変FSFレーザを立ち上げ、出力特性を改善した。

図2に今回開発した波長可変FSFレーザ光源の構成を示す。4つのミラーで構成したリング共振器内に半導体増幅器(SOA)と音響光学素子(AOM)及び偏光制御器を挿入し、ドップラ効果により周波数シフトを受けた1次回折光を波長選択してSOA媒質に帰還することにより、波長可変FSFファイバレーザが発振する。このレーザの出力がチャープ周波数コムなることを判明した。AOMの1次回折効率が40%、DRIVING周波数が80MHzであった。

図3に、光スペクトラムアナライザで観測した本光源の波長可変動作を示す。波長可変範囲は1540nm~1570nmで、発振半値幅は0.6nmであった。Free Spectra Range (FSR)は約1.1GHzであった。

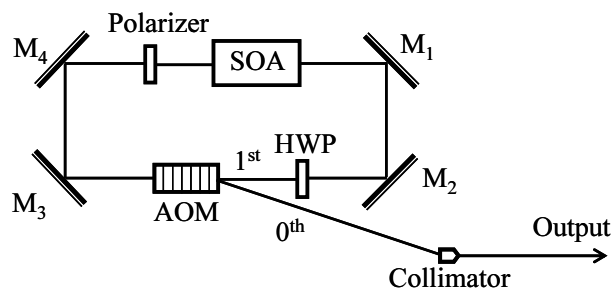


Fig. 2 Diagram of SOA FSF laser

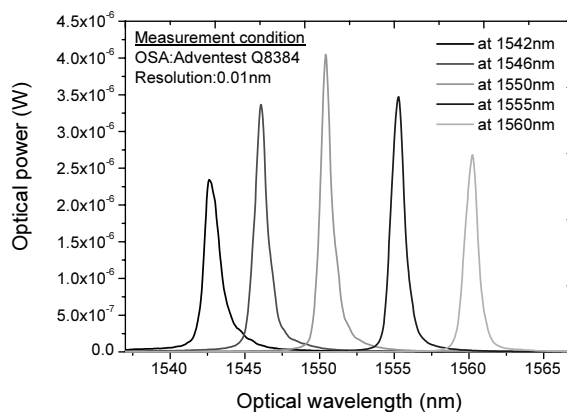


Fig. 3 Oscillation spectrum of the FSF laser

(3). 上述の FSF レーザを用いた OFDR 法により光ファイバアクセスシステム PBON の分岐光ファイバ線路の故障診断の実証実験を行った。使用する通信光源の波長が 1550nm であった。被測定分岐ファイバの長さが 5km と 10km, それぞれ反射波長 1542nm と 1546nm (反射率が 99.5%) の FBG を接続した。観測したビート信号を図 4、図 5 に示す。分岐ファイバが接続された場合 FSF レーザの FSR 信号と DC 信号の間にビート信号が観測されたのに対し、接続なしではビート信号は観測されなかった。このように、本提案方法により分岐ファイバの有無と区別が可能であることの確認ができた。

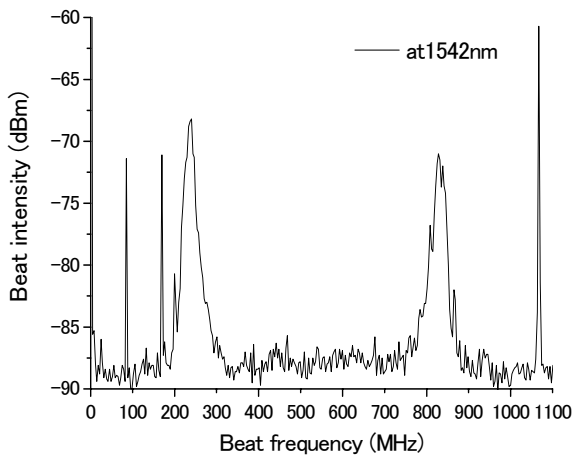


Fig.4 Experimental result1

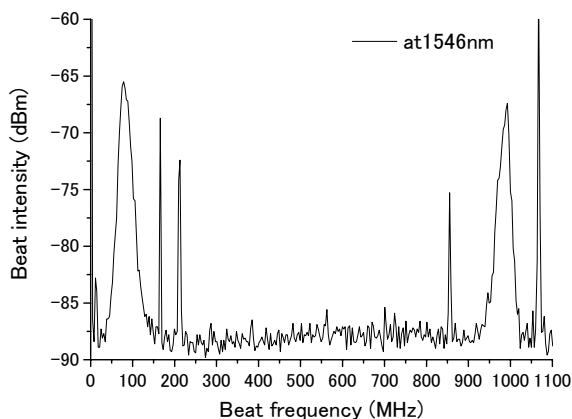


Fig.5 Experimental result2

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究の結果より、周波数シフト帰還型ファイバレーザを用いた光周波数領域リフレクトメトリ法によるPBONの分岐光ファイバ線路の故障診断方法が期待できる。

[4] 成果資料

- (1) Nianyu Zou, Yoshinori Namihira, Cheikh Ndiaye and Hiromasa Ito, "Fault Location for Branched Optical Fiber Networks based on OFDR Technique Using FSF Laser as Light Source", Annual Report 2005 of Itolab, RIEC, Tohoku University

## 微粒子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：舩岡富士雄  
 (東北大学電気通信研究所)  
 分担者：  
 佐藤徳芳 (東北大学名誉教授)  
 飯塚哲 (東北大学大学院工学研究科)  
 真銅雅子 (横浜国立大学大学院工学研究院)  
 三重野哲 (静岡大学工学部)  
 富田幸博 (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)  
 東辻浩夫 (岡山大学工学部)  
 小島力 (横浜国立大学大学院工学研究院)

研究費：校費5万円，旅費5.1万円

### [2] 研究経過

近年プラズマを用いた超微細加工技術や超薄膜生成技術の早期実現が要望されている。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、フラージェン、ナノ結晶、あるいはミクロン微粒子が存在する。これらの微粒子を含むプラズマはダストプラズマまたはコンプレックスプラズマとも呼ばれ、その物性と応用に関する研究は最近最も注目される分野のひとつになっている。本プロジェクト研究会ではこれまでに蓄積されてきたプラズマ制御技術を微粒子プラズマに適用し、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、広く意見交換を行うために研究会を組織した。

研究会開催：平成18年3月4日、東北大学工学部電気・情報系会議室にて微粒子プラズマ研究会を開催した。研究会は微粒子プラズマの理論で活躍するシドニー大学理学部物理のSergey Vladimirov教授の来日にあわせて設定された。Vladimirov教授によるオーストラリアにおけるコンプレックスプラズマ研究の講演、核融合科学研究所の富田助教授による核融合炉におけるダスト微粒子の問題、横浜国立大学真銅雅子助手による微粒子周辺のプラズマ粒子の運動、横浜国立大学小島力大学院生による極低温下での微粒子挙動についての実験の講演が行われ活発な討論がもたれた。またその後、無重力下での微粒子実験について宇宙航空研究開発機構の依田教授、足立助教授を交えて集中討議がなされた。

微粒子は分子に比べてきわめて大きな質量をもち、その重力効果は無視できないため、微粒子形成における重力効果、結晶形成における重力効果を明らかにすることが期待されている。無重力下にするにより、プラズマの構造制御やエネルギー制御によって、外部からプラズマ中に大きさや形状の決まった微粒子を注入することにより、その挙動を調べる実験計画についての意見交換がなされた。共同研究者との討論を通じて微粒子プラズマの基礎物性を明らかにし、より高精度のプラズマプロセスを目指すことがこれからの課題となっている。

## [3] 成果

## (3-1) 研究成果

共同研究者のあいだでの討議を通して、微粒子制御の問題には無重力実験が非常に重要になるという共通の認識が得られ、先行して実験を進めるドイツのマックスプランク研究所との協力関係を進めることが検討された。

## (3-2) 波及効果と発展性など

本研究会の活動を通して、微粒子プラズマ研究における国際協力の重要性が再認識されるようになった。特に微粒子制御においては無重力実験が重要であり、メンバーのこれまでの研究実績(東北大、静岡大、京都工繊大における微小重力実験)を踏まえて、ドイツおよびロシアとの共同研究の可能性が追求されている。現在宇宙航空研究開発機構(JAXA)における大型プロジェクト申請に向けての準備の段階に入っている。

## [4] 成果資料

O. Ishihara and N. Sato, Attractive Force on Like Charges in a Complex Plasma, *Physics of Plasmas*, **12**, 070705-1-070705-3 (2005).

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 and N. Sato, Repulsive and Attractive Forces on Dust Particles in a Cluster, 4<sup>th</sup> International Conference on the Physics of Dusty Plasmas (June 13-17, 2005, Orleans, France)

O. Ishihara, Attractive Force Resulting from a Free Energy in a Complex Plasma, 14<sup>th</sup> Gaseous Electronics Meeting (5-9 February, 2006, Murrumarang, NSW, Australia)

H. Totsuji, C. Totsuji, T. Ogawa, and K. Tsuruta, Ordering of dust particles in dusty plasmas under microgravity,, *Physical Review E* 71, 045401-1 - 045401-3(R) (Apr. 2005).

H. Totsuji, T. Ogawa, C. Totsuji, and K. Tsuruta, Structure of spherical Yukawa clusters: A model for dust particles in dusty plasmas in an isotropic environment,, *Physical Review E* 72, 036406-1 -

036406-6 (Sep. 2005).

H. Totsuji, C. Totsuji, M. Sanusi Liman, and K. Tsuruta, Structure of finite two-dimensional systems of dust particles at finite temperatures, *Physics of Plasmas*, 12, (Issue 10) 102108-1 - 102108-5 (Oct. 2005).

H. Totsuji, Equilibrium properties of two-Dimensional Yukawa plasmas,, *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 39 (2006) 4493-4499. SPECIAL ISSUE: SCCS05 (Strongly Coupled Coulomb Systems 2005, June 20-25, 2005, Moscow, Russia).

H. Totsuji, Thermodynamic instability and critical fluctuations in dusty plasmas, *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 39 (2006) 4565-4569. SPECIAL ISSUE: SCCS05 (Strongly Coupled Coulomb Systems 2005, June 20-25, 2005, Moscow, Russia).

-

H. Totsuji, T. Ogawa, C. Totsuji and K. Tsuruta, Structure of spherical Yukawa clusters, *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 39 (2006) 4545-4548. SPECIAL ISSUE: SCCS05 (Strongly Coupled Coulomb Systems 2005, June 20-25, 2005, Moscow, Russia).

N. Sato, Collection and Removal of Negatively-Charged Fine Particles in Plasmas (Invited) The 14th Gaseous Electronics Meeting, Murrumarang Resort, Australia, February 6 - 9, 2006, Program & Abstracts III-1-1

N. Sato, Spinning Motion of Fine Particles in Plasmas (Invited) *New Vistas in Dusty Plasmas* (edited by L. Boufendi, M. Mikikian, and P. K. Shukla, The American Institute of Physics, New York, 2005), p.97 - 104

N. Sato, Dust Collection and Removal - NFP-Collector (Invited) *Ukrainian Journal of Physics* 50, No. 2, 171 - 175 (2005)

Y. Tomita, R. Smirnov, S. Zhu, Induced Charge of Spherical Dust Particle on Plasma-Facing Wall in Non-uniform Electric field, *Plasma Science and Technology*, Vol.8, No.1, (2006) 122-124.

Y. Tomita, R. Smirnov, and S. Zhu , "Stationary Potential Formation and Oscillations in Plasma with Immovable Dust Particles", Plasma Science and Technology, Vol. 7, No. 1 (2005) 2657 - 2659

Y. Hayashi: "Static and Dynamic Behaviors of Fine Particles in a Plasma under Microgravity Condition", AIP Conference Proceedings, 799, pp.466-469 (2005).

T. Mieno, A. Yamori, "Explosion Production of Fullerenes from Carbonaceous Bullet in Vacuum Using Rail Gun", Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 45(2006)2768-2770.

Md. K. H. Bhuiyan, T. Mieno, "Modification of dielectric properties of C60, C70 and C84 thin films by oxygen absorption", Thin Solid Film, 506-507 (2006) 239-243.

三重野哲、トピックス「無重力下での単層炭素ナノチューブ合成」、NEW DIAMOND, No.78, Vol. 21, 3, (2005), p. 26-27.

T. Mieno, T. Mizutani, M. Takeguchi, "Novel Materials Processing by Advanced Electromagnetic Energy Source", Edited by S. Miyake (分担), ELSEVIER, Netherlands, (2005), p.45-48.

T. Mieno, D. Kato, A. Yamashiro, "Thermal Properties of Gravity-free Arc discharge and Its Application to Production of Carbon Clusters", Proc. 17th Int. Sympo. Plasma Chem., (Tronto, 2005), Vol. 1 (CD), (2005), No. F5.

T. Mieno, N. Matsumoto, Md. K. Hassan Bhuiyan, "Efficient Production of Fullerenes and Nanotubes by Means of the JxB Gas-Arc Discharge", Proc. 17th Int. Sympo. Plasma Chem., (Tronto, 2005), Vol. 1 (CD), (2005), No. A7.

T. Mieno, Md. K. H. Bhuiyan, N. Matsumoto, "Efficient Mass-Production of Fullerenes and Carbon Nanotubes by the JxB Arc Discharge Method", Proc. 4th Int. Conf. Global Research and Education (inter-academia 2005) (Wuppertal, Germany), Vol. 1, (2005), p. 123-132.

S. Usuba, Y. Kakudate, T. Mieno, "Gravity Effect on the Gas Evaporation Synthesis of Fullerenes", Proc. 6th Japan China Workshop on Microgravity Science (Saga), Vol. 1, (2005), p. 147-148.

T. Mieno, S. Hasegawa, A. Yamori, "Synthesis of Fullerenes by Shooting and Explosion of a Carbonic Bullet by Using a Rail Gun", Proc. 6th Int. Conf. Reactive Plasmas, Matsushima, 2006. 1. 26, p. 791-792.

S. Adachi, M. Takayanagi and S. Yoda, "One-dimensional Model of Plasma Crystal by Basing on Power Balance", Sixth Japan-China Workshop on Microgravity Sciences, Saga, Japan (2005).

W. Suzukawa, Re. Ikada, Y. Tanaka, and S. Iizuka, "Production of low-density plasma by coaxially segmented rf discharge for void-free dusty cloud in microgravity experiments", Appl. phys. Left. 88(2006)121503.

課題番号 H15/B03

採択回数 1 2 3

## 低消費電力・高速MOS集積回路に関する研究

### [1] 組織

代表者：舩岡 富士雄  
(東北大学電気通信研究所)

対応者：舩岡 富士雄  
(東北大学電気通信研究所)

分担者：岩井 洋  
(東京工業大学 フロンティア創造共同  
研究センター)

安田 幸夫  
(高知工科大学 総合研究所)

服部 健雄  
(武蔵工業大学大学院工学研究科 総合  
研究所シリコンナノ科学研究センター)

中村 広記  
(東北大学電気通信研究所)

研究費：校費 4万8千円 旅費 13万2千円

### [2] 研究経過

MOS集積回路は、高度情報通信社会を支えるキーデバイスの一つであると共に、日本の基幹産業となっている。従って、MOS集積回路は、次世代電子システムには必要不可欠であり、MOS集積回路の低消費電力化と高速化は近年その重要性を増している。

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。この様に、MOS集積回路は、高度情報通信システムにおけるキーデバイスとしてさらなる高速動作性、高機能化、低消費電力動作性、及び、微細構造化による低コスト化が求められている。

上記の状況を踏まえて、MOS集積回路の低消費電力化および高速化に関する研究は、近年ますますその重要性を増しており、世界中で精力的に行われている。例えば、現在のMOS集積回路に用いられ

ている基本スイッチング素子である平面型MOSトランジスタは、最も重要な素子と考えられ、現在でも広く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MOS集積回路の研究の多くは、その基本素子であるMOSデバイスの寸法を微細化することにより、集積回路の高速化・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、従来のMOSトランジスタは、ソース、ドレイン、ゲート、つまり、素子の入出力端子が、半導体基板上に平面的に配置されていたために、半導体基板上の素子面積を微細化するためには高度の微細加工技術を必要としていた。そのため、微細構造を有するMOSトランジスタの製造コストは近年増加の一途をたどっている。また、各入出力端子が半導体基板上に形成されているために各端子の寄生容量、寄生抵抗が大きいため、応答速度が遅く、消費電力が大きかった。また、各素子を接続する配線構造の限界により、さらなる高機能化が困難になってきている。

以上の理由により、従来技術の延長による微細MOSトランジスタでは、その構造的な原因により、将来の超高性能情報通信システムから要求される性能を達成できる集積回路を実現する事は、原理的に困難となってきている。従って、上記問題点を克服する新しいデバイス設計、回路設計、アーキテクチャー設計が求められるようになってきている。

このような状況の下、平成15年度に「低消費電力・高速MOS集積回路に関する研究」という研究課題で共同プロジェクトが採択された。本年度が第3年度であった。

前年度は、本プロジェクトでは、今後MOS集積回路の高性能化を実現する上で研究を進めるべき課題として、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の各4項目について深く議論を行い、物理的限界に達しているとされるMOS集積回路の性能を、今後も引き続き高性能化していくことができることを明らかにした。そこで本年度は、前年度の成果を踏まえながら、MOS集積回路の高性能化に関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を示す。

第3回低消費電力・高速MOS集積回路研究会

日時：2006年 3月3日

9：00～11：00

場所：ホテルクレセント コスモスB会議室

MOS集積回路の高性能化に対する問題点を克服する技術的方向性、及び、具体的な設計手法に関して活発な議論がなされた。

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

MOS集積回路の高性能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3回低消費電力・高速MOS集積回路研究会を開催し、3年目である本年は、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前年度までの研究状況も踏まえて、現在までに提案され、実用化されてきたMOS集積回路の高性能化に関する技術を系統的に整理した。そして、現在のMOS集積回路の動作速度、消費電力、高密度化を律速している要因を解析した。

この知見を元に、前年度までに定めた、今後MOS集積回路の高性能化を実現する上で研究を進めるべき課題である、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の各4項目に対してさらに深く議論した。そして今年度は特に、ひずみシリコン導入による移動度向上のためのSiGe/Si系の歪および欠陥の制御や、光電子分光を用いたゲート絶縁膜の評価に関して議論を行った。その結果、物理的限界に達しているとされるMOS集積回路の性能を、今後も引き続き高性能化していくことができることを明らかにした。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、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微細化の限界を克服するための設計手法の成果は、超高速情報処理能力を必要とする基幹情報通信システム、及び、低消費電力処理能力を必要とするモバイル情報システムにおけるキーデバイス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ている。



課題番号 H15/B04

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：宇理須恒雄  
(岡崎共同研究機構分子科学研究所)

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)  
 岩崎 裕 (大阪大学産業科学研究所)  
 辛 埴 (東京大学物性研究所)  
 上野 信雄 (千葉大学工学部)  
 荻野 俊郎 (横浜国立大学大学院)  
 斎藤 峯雄 (NEC基礎研究所)  
 玉田 薫 (産業総合技術研究所)  
 三木 一司 (産業総合技術研究所)  
 岡崎 進 (分子科学研究所)  
 水野 彰 (分子科学研究所)  
 養王田正文 (東京農工大工学部)  
 山崎 昌一 (静岡大学理学部)  
 菅原 正雄 (日本大学文理学部)  
 堀 勝 (名古屋大学工学研究科)  
 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)  
 佐藤 憲一 (東北薬科大学)  
 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：校費 50 千円、旅費 512,180 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・インタフェー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・バイオ電子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、アミノ酸、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集積し、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。そこで本年度は、昨年度に引き続き、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、研究会を 2 回開催した。

以下に、研究会のプログラムを付記する。

**第 1 回研究会**「バイオセンサ・バイオチップの現状と展望」(平成 17 年 7 月 29 日)

①「イオンチャンネルバイオセンサー要素技術開発と表面科学」 宇理須恒雄 (分子研)

②【特別講演】「生体分子間相互作用や反応を重さで測る」 岡畑恵雄 (東工大)

水晶発振子マイクロバランス (QCM)法を用いて、振動数変化から生体分子間相互作用をナノグラムスケールの重量変化として追跡する。QCM 上に DNA 鎖を固定化すれば、DNA の塩基配列特異的に結合するタンパク質や抗生物質の結合の経時変化が求められる。ポリメラーゼや制限酵素の反応過程も追跡できる。糖鎖を基板に固定化すれば、糖加水分解酵素や糖転移酵素の触媒作用(酵素の結合、反応、脱離)が追跡できる。

③「2, 3 の細胞アレイの例とその基礎となる細胞-機材相互作用について」 岩田博夫 (京都

大学再生医科学研究所)

- ④「ナノ構造配列上への生体分子固定と一分子イメージング」 谷井孝至 (早稲田大学理工学部)  
「ZF工学の開拓. DNA結合蛋白質を利用した分子機能の自由配列」 山村剛士 (東京理科大)
- ⑤「赤外DNAセンサで見るDNA分子の水素結合状態」 庭野道夫 (東北大電気通信研究所)

**第2回研究会**「バイオセンサ・バイオチップの将来展望」平成17年12月9日

- ①「マイクロチップイムノアッセイ」 渡慶次学(財)神奈川科学技術アカデミー
  - ②「ナノホールアレイにもとづくバイオデバイスの構築」西尾和之(首都大学東京都市環境学部)  
「生体分子計測の為のバイオインターフェース」
  - ③原 正彦(東京工大 総合理工学研究科)
  - ④【招待講演】「バイオインスパイアード表面の機能制御とナノバイオ領域への展開」  
石原一彦 (東京大学大学院工学系研究科)
- 分子生物学と微細加工技術の革命的発展に伴い、これらを融合したナノバイオ分野が開拓されつつある。これに対応すべき材料の表面機能化について、生体構造から啓発されたバイオインスパイアード手法を解説。さらにリン脂質ポリマーバイオ材料の展開を議論した。
- ⑤「近赤外分光法による細胞・遺伝子解析およびFT-IR基板上での細胞動向について」  
磯田博子 (筑波大学北アフリカ研究センター)
  - ⑥【特別講演】「メカニカルストレスと生体—基礎から臨床まで—」成瀬恵治(岡山大医歯薬総合研究科)シリコンエラストマーを利用したソフトリソグラフィを駆使したメカニカルストレス感知機構の解明(医学)、メカニカルストレス負荷三次元培養(再生医療)、運動良好精子選別および授精卵培養(生殖補助医療)への展開について最近の知見を紹介した。
  - ⑦「迅速診断を目指した電気化学的遺伝子検出法の開発」竹中繁織(九州工業大学物質工学科)
  - ⑧「糖鎖生体膜モデルの計算機シミュレーション」星野忠次(千葉大学大学院薬学研究院)
  - ⑨【特別講演】「ゲノム情報からの創薬」  
辻本豪三(京都大学大学院薬学研究院)

ゲノム科学が進展し、個々の遺伝子やタンパク質の機能解析がすすみ、病気の発症機序に基づく明確な治療標的が多くなることが予想されている。これまでの創薬が一つの標的分子を対象とし、その機能、病態における役割等を調べていたのに対して、全ゲノムが明らかになることにより、全遺

伝子あるいは全タンパク質を対象とした網羅的研究が可能となり、生命現象の全体像をとらえる研究、非常に複雑多様な病気の機構を丸ごと網羅的に解析することが可能になる。

### [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へ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や新規な生体計測デバイスについての興味深い発表があった。

#### (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 H15/B05

採択回数 1 2 3

## 次世代 VLSI コンピューティングと 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：

亀山充隆 (東北大学大学院情報科学研究科)

川又政征 (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)

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)

C. Winstead (米国・ユタ州立大)

E. Fung (カナダ・アルバータ大)

中村 孝 (ローム (株))

木村啓明 (ローム (株))

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))

内山邦男 ((株) 日立製作所 中央研究所)

研究費：校費5万円，旅費29万円

### [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 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、デシマイクロン以下の超高集積 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 VL

SI 実現上の各設計階層を統合したシステムインテグ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。

本プロジェクトは最終年度であり、前年度まで行った研究をさらにさらに推進した。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行った：

- 平成 17 年 7 月 4 日 松岡浩氏(日本原子力研究開発機構)を交え、「次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究発表会を行った。
- 平成 17 年 7 月 21 日～11 月 20 日 E. Fung 氏(カナダ・アルバータ大)が長期滞在し、世界初の非同期 LDPC デコーダ LSI の設計・評価を共同で行った。
- 平成 17 年 10 月 8～9 日 C. Winstead 氏(米国・ユタ州立大)と、「次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究打合せを行った。
- 平成 17 年 11 月 11 日 中村孝氏・木村啓明氏(ローム(株))と、「次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究打合せを行った。
- 平成 17 年 12 月 7 日 徳田伸二氏・松岡浩氏(日本原子力研究開発機構)を交え、「次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究発表会を行った。また、これ以降、松岡浩氏とは毎週 1 回のペースで研究打合せを行った。
- 平成 18 年 2 月 2 日 川上進先生と、「次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究打合せを行った。
- 平成 18 年 2 月 23 日 内山邦男氏((株)日立)と、「次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究打合せを行った。
- 平成 18 年 2 月 24 日 川上進氏と、「次世代 VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究打合せを行った。

- ・平成18年3月3日 中村孝氏・木村啓明氏(ローム(株))と、「次世代VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究打合せを行った。
- ・平成18年3月17~18日 中島雅美氏(ルネサステクノロジ(株))と、「次世代VLSI コンピューティングとシステムインテグレーション技術」について研究打合せを行った。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

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連する本年度の具体的研究成果として、主として以下に述べる2点について述べる：

#### 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」に基づき、パイプライン処理用基本演算回路および空間並列構造用基本演算回路の実証を行った。また、マルチメディア応用例として高速加算器に用いられるパイプライン冗長2進全加算器(SDFA)、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)回路についても動作検証を行った。パイプラインSDFA(Signed-Digit Full Adder)回路では、論理基本ゲート1個に対応する演算が強誘電体ロジックゲート1個で実現でき、その出力結果は強誘電体の分極の向きとして強誘電体キャパシタに書込まれるため、演算機能と記憶機能が強誘電体キャパシタ内でコンパクトに一体化される。そのため、パイプラインラッチ(記憶回路)のオーバーヘッドの無いゲートレベルパイプライン構造が容易に実現できることとなり、高いスループットが達成される。また、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が、いずれのチップにおいても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された空間並列構造を、コンパクトに実現できることを明らかにした。

#### 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、昨年度まで研究を推進してきた高速双方向非同期データ転送技術を導入することによりLDPCデコーダの高性能化を図る。処理を非同期化するにあたり、最もその効果が表れるアーキテクチャの検討を行った。LDPCデコーダは前後のデータの類似性から、到来したデータから逐次演算を行ってもBERがそれほど変わらない。この特性を最大限活かすため、CheckノードとVariableノード、そしてデータ転送はそれぞれ自身のタイミングで非同期的に動作するようにし、接続で競合が起こらないよう調停器を置く構成とした。これにより調停回路によって競合が起こらないようにしつつそれぞれが独立に動作することが可能となる。その結果、①最悪遅延によらないそれぞれの遅延に応じた最高速の動作が可能となるため、結果的に高速化が達成でき、②クロックを必要としないためクロック分配に伴う消費電力を大幅に削減することができる。CheckノードとVariableノードを非同期制御するための回路と非同期データ転送部分の回路を構成し、複合処理を非同期制御で行うシミュレーションをしたところ、正常に動作することを確認した。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

情報通信用の次世代高性能VLSIチップ実現技術に関する研究討論会を開催し、これに関する先端技術の集積で、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、研究討論会にて議論するシステムインテグレーション技術は、次世代システムLSI技術に直結するものであり、我が国半導体産業の活性化に大きく寄与することが大いに期待される。

### [4] 成果資料

- (1) A. Mochizuki, H. Kimura, M. Ibuki and T. Hanyu, "TMR-Based Logic-in-Memory Circuit for Low-Power VLSI," IEICE Transactions on Fundamentals, Vol. E88-A, No.6, pp.1408-1415, June 2005.
- (2) A. Mochizuki, T. Hanyu and M. Kameyama, "Design of a Low-Power Multiple-Valued Integrated Circuit Based on Dynamic Source-Coupled Logic," Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, Vol.11, No.5-6, pp.481-498, 2005.
- (3) T. Takahashi and T. Hanyu, "Control Signal Multiplexing Based Asynchronous Data

- Transfer Scheme Using Multiple-Valued Bidirectional Current-Mode Circuits," *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, Vol.11, No.5-6, pp.499-518, 2005.
- (4) T. Hanyu, S. Kaeriyama and M. Kameyama, "Logic-in-Memory VLSI for Fully Parallel Nearest Pattern Matching Based on Floating-Gate MOS Pass-Transistor Logic," *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, Vol.11, No.5-6, pp.619-632, 2005.
- (5) M. Kameyama, T. Hanyu and T. Aoki, "Multiple-Valued Logic as a New Computing Paradigm -- A Brief Survey of Higuchi's Research on Multiple-Valued Logic," *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, Vol.11, No.5-6, pp.407-436, 2005.
- (6) T. Hanyu, A. Mochizuki and M. Ibuki, "TMR-Based Logic-in-Memory Circuit and Its Application," 14th International Workshop on Post-Binary ULSI Systems, pp.22-29, May 2005.
- (7) A. Mochizuki and T. Hanyu, "0.2V-Swing Multiple-Valued Differential-Pair Circuit and Its Application to Arithmetic VLSI," 14th International Workshop on Post-Binary ULSI Systems, pp.35-41, May 2005.
- (8) N. Onizawa, A. Mochizuki, T. Hanyu and Vincent C. Gaudet, "Multiple-Valued Duplex Asynchronous Data Transfer Scheme for Interleaving in LDPC Decoders," *Proc. 35th IEEE Int. Sym. on Multiple-Valued Logic*, pp.138-143, May 2005.
- (9) A. Mochizuki and T. Hanyu, "A 1.88ns 54x54-bit Multiplier in 0.18 $\mu$ m CMOS Based on Multiple-Valued Differential-Pair Circuitry," 2005 Symposium on VLSI Circuits, Digest of Technical Papers, 17-3, pp.264-267, June 2005.

## 課題番号 H15/B08

## ヒューマノイドロボットの展開

## 1. 組織

代表者：矢野雅文（東北大学電気通信研究所）

分担者：

青沼 仁志（北海道大学電子科学研究所）  
 浅間 一（東京大学人工物研究センター）  
 安藤 規泰（東京大学情報理工学系研究科）  
 石黒 章夫（名古屋大学工学研究科）  
 伊藤 宏司（東京工業大学総合理工学研究科）  
 太田 順（東京大学 工学系研究科）  
 荻原 直道（京都大学）  
 木村 浩（電気通信大学情報システム学研究科）  
 高草木 薫（旭川医科大学）  
 辻田 勝吉（京都大学工学研究科）  
 鄭心 知（京都高度技術研究所）  
 富田 望（東北大学電気通信研究所）  
 中隣 克己（近畿大学医学部）  
 細田 耕（大阪大学大学院工学研究科）  
 森 大志（山口大学農学部獣医学科）  
 井上 康介（茨城大学工学部）  
 柳原 大（豊橋技術科学大学医学部）

研究費：物件費 50,000 円 旅費 538,910 円

## 2. 研究経過

人を含めた全ての動物は複雑で無限定な環境において適応的に行動できる運動機能を有している。そのためには、「身体」という物理的実体を介して外との多様な動的インタラクションを生み出す「移動」という行為が重要である。「知」の獲得にとって「移動」は本質的であり、移動により生じる動的な相互作用によって創発的に獲得される適応的運動機能を「移動知」と呼ぶことにした。高次脳機能に対して、移動知は「生存脳機能」と位置づける。もちろん高次機能のベースとして生存脳がある。現在のヒューマノイドロボット研究において最も欠如している概念が、この生存脳的な知能である。

通常ロボットに目的を設定した時、ロボットが環境変化に合わせて柔軟にロボット自身を自律的に制御する問題は逆問題となる。この逆問題を解くことが、実環境で機能するロボット実現するためには不可欠となる。逆問題は一般的には不良設定問題となるので、この不良設定問題を良設定問題にするために必要な拘束条件をシステムの外からシステムに課

すことによって解くのが従来の方法である。例えば、評価関数を与えて軌道を事前に計算し、生成された軌道を拘束条件として拘束を満足するように制御をする方法はこれに当たる。このような継時的処理に基づく情報処理のパラダイムでは、環境変化や不測の事態に対してそのつど拘束条件を設定し直して対処しなければならないので、自律性やリアルタイム性が保証されない。本研究では時々刻々変化する環境に応じて拘束条件としての「見なし情報」を生成し、それをリアルタイムで充足する方法を確立する。この方法は行為することで初めて知を獲得するという「移動知」の根幹をなす概念であり、知に対する新しい方法論でもある。

プログラム：

## 第1部 研究発表

7月27日（水）14:00～17:00

1) 「小脳：運動制御研究から情動と認知に対する役割を明らかにするために」

柳原 大（東京大学）

2) 「フェロモン行動を行う昆虫の社会性発現機構の構成論的理解」

太田 順（東京大学）

3) 「適応的な脚式移動生成の統一的理解に向けて」

木村 浩（電気通信大学）

4) 「移動知：行動からの知能理解 ー生物学・工学融合による知の発現メカニズムの解明ー」

浅間 一（東大）

## 第2部 研究発表

7月28日（木）9:30～12:00

1) 「ラットの二足歩行で分かること」

森大志（山口大学）

2) 「バランスの力学という観点からの共通原理の抽出」

石黒 章夫（名古屋大学）

鄭 心知（京都高度技術研究所）

3) 「脚式ロボットの歩行制御に関する研究」

辻田勝吉（大阪工業大学）

4) 総合討論

本プロジェクトでは、生物学と工学の研究者が一体となり、神経生理学モデル化技術と動的モデリング技術を統合した生体システムモデルを構成する。このような構成論的・システム論的アプローチによって移動知発現のメカニズムを明らかにしていく方

法論が重要であることが再確認された。具体的には、生理学的解明（生物学）、モデル生成と人工システムによる実験（工学）、モデルの検証（生物学）、原理の解明・応用（工学）という、生物学と工学の融合プロセスによって研究を進める。特に適応的行動能力の中でも（A）環境の変化に適応させ認知するメカニズム、（B）環境に対して身体を適応させるメカニズム、（C）他者並びにその集合体としての社会に適応させるメカニズム、という三つの適応機能に着目し、それぞれ三つのグループを組織して研究を行うとともに、（D）移動知生成の普遍的な共通原理の解明を目指すことが重要であるとの認識を得た。

#### （A）環境の変化に適応させ認知するメカニズム

ある環境における運動目的は、生命システムが仮設する「見なし情報」によって具体的に設定される。環境に応じて目的を達成する行為は随意運動であり、この制御は一般的に不良設定問題となるが、「見なし情報」は随意運動に必要な最上位の拘束条件といえることができる。また、運動遂行に必要な様々なレベルでの拘束条件は、仮設された「見なし情報」に依存して設定されるべきものとなる。さらに、環境及びシステムの状態の予測不可能な変化に対応するためには、「見なし情報」を環境との相互作用から時々刻々生成し、それをリアルタイムで充足する必要がある。これらの過程こそが、随意運動を実行するために運動制御系すなわち大脳皮質運動関連領域に求められる計算論的課題となる。このスキームを実現するために、生理学的知見を基に構成論的に随意運動モデルを構成しその環境適応能力を評価する必要がある。

#### （B）環境に対して身体を適応させるメカニズム

動物はその冗長で複雑な筋骨格構造を巧みに協調させ、多様な環境に適応的な歩行運動を形成することができる。こうした動物の優れた歩行生成能力は、生体の神経回路網による制御機構に帰着されてきた。しかし、近年の研究により動物は身体筋骨格構造の自然な振る舞いを合目的的に利用することにより環境に適応的な運動を実現していることが明らかになってきた。したがって「移動知」の理解には神経制御系のみならず、動物の筋骨格系を構成する各要素に内在する力学的特性、およびそれら要素間の相互作用による自律分散的な情報処理のメカニズムを明らかにすることが重要である。動物の適応的歩行生成原理を構成論的に解明するために、四足・二足歩行が可能なニホンザルをモデル動物としたシミュレーションモデルを構築することを提案した。

（C）他者並びにその集合体としての社会に適応させるメカニズム

自然界における生物は程度の差こそあれ、他個体との相互作用により社会を形成し、協調・競合しながら生存している。これを個体の視点から眺めた場合、複雑かつ多様な環境において適応的に振る舞える機能を有しているといえる。このような社会性や適応性を生み出しているメカニズムを解明することは非常に重要である。本研究では、生物の社会性を3つのレベルから捉える。(a)他者との相互作用による経験に基づき自身の振る舞いを変える機能、(b)複数の個体が共通の場に存在することで相互作用が生じて振る舞いが変化、(c) a, b の結果として個体群としての大域的秩序の形成。上記問題は振る舞いを介した移動知的社会性として理解することができる。この問題の解明のためには、個体自身の構造並びに振る舞いができるだけ単純であることが望ましい。そのために本研究では昆虫に注目する。フェロモン行動、回避・喧嘩行動という特徴ある社会を構成するコオロギに注目し、それら社会性の構築メカニズムのシステム工学的解明を試みた。

#### （D）共通原理：バランスの力学

行動主体が発現する振る舞いは、制御系と機構系、およびこれらを取り巻く環境との間の相互作用の力学によって規定される。直接的な設計対象である制御系と機構系がこの力学の中心に位置している事実を改めて着目すると、これらは設計過程で同等の重みを持って扱われるのが妥当である。このような背景から、与えられた機構系のダイナミクスを積極的に活用するダイナミクスベース制御に基づいた研究が活発に行われている。一方で「機構系から制御系へ歩み寄る」思想に基づく設計方策を明示的に扱った研究は依然として乏しい。本研究では行動主体の振る舞い形成において、その機構系にどの程度寄与させるべきかというバランスの力学ともいえるべき観点から研究を進め、移動知の共通原理の抽出を行うことを提案した。

最終的に本プロジェクトを中心として得られた研究パラダイム・研究成果を元にして、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現—移動知の構成論的理解—」（領域番号 454）が採択された。

課題番号 H15/B09

## 高気圧・高密度プラズマの生成と制御

## [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)  
           斉藤輝雄 (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)  
           田中雅慶 (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)  
           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)  
 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)  
 中谷達行 (株) トーヨーテック)

研究費：校費 5 万円、旅費：58 万円

## [2] 研究経過とその成果

本研究では、高気圧・高密度プラズマの生成・制御法を総合的に理解し、お互いのプラズマ特性の評価、理論的検討などを進め種々の応用研究へ適応することを目的としている。そこで今年度は、プラズマの流れが深く関与する基礎・応用研究を行う研究者による研究討論会を開催した。

(研究討論会開催状況)

## 第1回

日 時：平成 17 年 6 月 7 日 (火)  
 会 場：東北大学工学部電気情報館 103 会議室  
 講 師：船木一幸 (宇宙航空研究開発機構)  
 題 目：JAXA の深宇宙探査と先端推進技術研究

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の深宇宙ミッションと将来計画全体のレビューが行われ、高効率な新宇宙航行システムとして提案された磁気プラズマセイルの概念および計算機シミュレーション結果について述べられ、実験室内で行われた実験結果について報告があった。さらに、この新宇宙電気推進システムの課題について述べられた。

## 第2回

「流れが深く関与するプラズマの諸現象」研究会  
 日 時：平成 18 年 2 月 27 日 (月) ~ 28 日 (火)



場 所：東北大学工学部電気情報館 103 会議室

- (1) 犬竹正明（東北大院・工） あいさつ
- (2) 吉田善章（東大院・新領域）  
“RT1 プロジェクトが目指すもの（高速流プラズマの物理）”
- (3) 阪上雅昭（京大院・人間環境）  
“Experiment on Blackhole Physics in Laboratories.”
- (4) 磯部裕和（東北大院・工）  
“遷音速プラズマ流中のイオンマッハ数と断熱指数評価”
- (5) 柴田雅希（東北大院・工）  
“宇宙推進機応用を目指したプラズマ流中のイオン加熱と加速”
- (6) 田原弘一（阪大院・基礎工）  
“カस्प・ダイバージェントノズル状外部磁場をもつMPD推進機の性能とプラズマ特性”
- (7) 國中 均（JAXA宇宙科学研究本部）  
“はやぶさ探査機のイオンエンジンによる深宇宙動力航行”
- (8) 栗木恭一（宇宙科学研究所名誉教授，前・宇宙開発委員会委員）  
“宇宙システムの安全性・信頼性”
- (9) 田中雅慶（九大院・総理工）、三宅文彦（名古屋大院・理）  
“背景中性粒子流れと相互作用する渦”
- (10) 曾我之泰（京大院・人間環境）  
“回転波動に駆動される純電子プラズマの径方向輸送現象”
- (11) 青木 順（京大院・人間環境）  
“回転する純電子プラズマの平衡分布への緩和過程と新しい計測手法”
- (12) 河井洋輔（京大院・人間環境）  
“不安定な軸対称回転流から乱流を経由して到達する軸対称な安定分布の形成過程（渦運動とモード結合の2視点から解析する）”
- (13) Kyu-Sun Chung（東大 / 漢陽大）  
“Measurement of flow velocity by Mach probes in magnetised and un-magnetised plasmas.”
- (14) 佐々木浩一（名大院・工）  
“レーザー応用低温プラズマ診断の最近の話題”
- (15) 山田浩義、服部邦彦（東北大院・工）  
“流れを用いた直流大気圧グロー放電の安定維持”
- (16) 北畠弘達（東北大院・工）  
“大気圧プラズマを用いたSi 薄膜堆積”

高温・高密度プラズマ研究において、吉田氏によ

り天体の磁気圏に似た構造のプラズマを実験室に作り出し、その高 $\beta$ という特徴をつかかって、先進的核融合を可能にする超高温のプラズマ閉じ込めを行うとともに、プラズマの流れが生み出す様々な複雑現象の解明やプラズマ宇宙物理の基礎研究を行うことを目的としたRT1 プロジェクトの報告があった。

基礎研究においては、阪上氏により、通常気体流中のラバールノズル中での遷音速流の音速点を利用したブラックホールのホーキング輻射の模擬実験の原理の解説と現在の実験の状況について報告された。田中、三宅の両氏により、ECH によるプラズマ生成を行い、プラズマ中に形成される渦現象についての研究報告があった。曾我、青木、河井氏らのグループにより、Malmberg Trap で閉じ込めた純電子プラズマの粒子の径方向輸送機構や平衡分布への緩和過程など、実験ならびに計算解析手法などの報告がなされた。

プラズマ流の応用として、柴田氏により、東北大学 HITOP 装置のMPD アークジェットにより生成される高速プラズマ流中での高周波加熱の効率化と磁気ノズルを用いた流れエネルギー制御に関する実験結果について報告があった。また、田原氏によりカस्प・ダイバージェントノズル状磁場をもつMPD スラスタの性能特性とプラズマ状態について述べられた。國中氏により、マイクロ波放電式ECH型イオンエンジンを搭載した小惑星探査機「はやぶさ」の軌道運用について報告がなされた。さらに、栗木氏によりパルスMPD推進機として初めての性能・耐久試験も行われたフリーフライヤーSFUの有人宇宙システム安全性・信頼性の概念について紹介された。

プラズマ計測の分野において、Chung氏により、プラズマ流を評価するための静電プローブ測定法についての報告がなされ、磯部氏により磁気ラバールノズルを通過するプラズマ流について、マッハプローブを用いたイオンマッハ数計測と理論値の比較から断熱指数の評価に関する報告があった。さらに、佐々木氏により、レーザー分光法（レーザー吸収分光法およびレーザー誘起蛍光法）を利用した低温プラズマ診断技術に関して、特に、プラズマ中の流れの測定に関連した最近の話題について報告があった。

大気圧プラズマの基礎・応用研究分野においては、山田氏により、針対平板電極間に直流高電圧を印加し、放電路に高速の気流を流すことで大気圧下でも高い放電電流までグロー放電を維持できる手法を用い、気流流速の増加とともにグロー放電最大維持電流が増加し、特に陽極近傍に高速の気流を流すことがグロー放電の安定維持に有効である実験報告がなされた。北畠氏により、パルス電界プラズマを用い

てシラン-水素系の大気圧プラズマを初めて実現し、ガラス基板上にポリ Si 薄膜を堆積したとの報告があった。

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] 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、様々な立場で研究が行われてきたプラズマの生成・制御法を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進めることができた。また、今年度は基礎物理の観点と応用面に至る広範な研究分野について取り扱った。これらのことは、プラズマを取り扱う上で共通する物理現象を把握し、種々の応用研究へ適応するために必要とされる制御法や計測法について新しい知見が得られた。高密度および低密度プラズマを対象としたプラズマ流とプラズマ内部構造形成や粒子相互作用の関係、磁気ノズルや閉じ込めなど磁場との相互作用等の研究は、基礎研究および応用分野でさらなる研究の発展・理解につながることを期待される。

### [成果資料]

- [1] 田原弘一, 森崎裕之, 加賀谷洋一, “カスプ・ダイバージェントノズル状外部磁場をもつMPDスラスタの性能とプラズマ特性”, プラズマ応用科学, Vol.13, 55-61(2006).
- [2] 國中, 堀内, 西山, 船木, 清水, 山田, “「はやぶさ」搭載マイクロ波放電式イオンエンジン”, 日本航空宇宙学会誌, Vol.53, No.618, (2005).
- [3] Z. Yoshida et al., "First Plasma in the RT-1 Device", Plasma Fusion Rec. 1, 008 (2006).
- [4] M. Ichimura, T. Cho, et al., "ICRF Experiments and Potential Formation on the GAMMA 10 Tandem Mirror", Plasma Science and Technology, Vol. 8, No.1 87-90(2006).
- [5] M. Y. Tanaka, K. Nagaoka, et al., "Plasma Hole", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol. 33 No.2 454-455(2005).
- [6] Y. Kiwamoto, J. Aoki, Y. Soga, and A. Sanpei, "Controlled experiments on self-organization of ordered structures in a pure electron plasma", Plasma Phys. Controlled Fusion, Vol.47, A41-51 (2005).
- [7] Y. Soga, Y. Kiwamoto and N. Hashizume, "Transport Processes of a Non-neutral Plasma Coupled to an External Rotating Wave", Phys. Plasmas., Vol.13, No.4 (2006). (in press).
- [8] Y. Kurita and M. Sakagami "CFT Description of Three-dimensional Hawking-Page Transition", Prog.Theor.Phys. ,113, 1193-1213 (2005).
- [9] E. W. Reynolds, T. Kaneko, M. E. Koepke, and R. Hatakeyama, "Laser-Induced-Fluorescence Characterization of Velocity Shear in a Magnetized Plasma Column Produced by a Segmented Q-machine Source", Physics of Plasmas, Vol. 12, No. 7, 072103-1-6(2005).
- [10] 青柳潤一郎, 各務聡, 竹ヶ原春貴, 橋武史, 三島弘行, 齋藤憲吉, 長島隆一, 栗木恭一, “ヒドラジン分解反応促進に対する放電プラズマの適用検討”, 宇宙技術 (日本航空宇宙学会オンラインジャーナル), Vol.4, 1-6(2005).
- [11] S. Matsuyama, N. Ohnishi, A. Sasoh, K. Sawada, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 19, No. 1, 28-35(2005).
- [12] H. Kitabatake, M. Suemitsu, et al., "Incubation-Free Growth of Polycrystalline Si Films by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Using Pulsed Discharge under Near Atmospheric Pressure", JJAP, Vol.44, No.22, L683-L686(2005).
- [13] K. Sasaki, T. Maeda, N. Takada, et al., "Productions of radicals and particulates by the interaction between high-density hydrogen plasma and a graphite plate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, No.10, 7614-7618(2005).
- [14] A. Ando, T. S. Watanabe, T. K. Watanabe, H. Tobar, K. Hattori, M. Inutake, "Evaluations of Para-Perp Type Mach Probe by Using a Fast Flowing Plasma", J. Plasma and Fusion Research, Vol.81, No.6, 451-457(2005).
- [15] K. Hattori, H. Yamada, H. Isobe, A. Ando and M. Inutake, "Stabilization Effects of Local Gas Flow for Sustaining DC Atmospheric Pressure Glow Discharges", Proc. of 27th Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, (Eindhoven, The Netherlands), P2-21(2005).
- [16] A. Ando, M. Hatanaka, M. Shibata, H. Tobar, K. Hattori, and M. Inutake, "Heating and Acceleration of Fast-Flowing Plasma for Advanced Space Thruster", Plasma Application and Hybrid Functionally Materials, Vol.14, 31-34 (2005).

課題番号 H16/B01

採択回数 1 2 3

## ナノスケール磁性体の機能発現と 高周波・光情報デバイスへの応用

### [1] 組織

代表者：井上 光輝

(豊橋技術科学大学)

対応者：荒井 賢一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

荒井 賢一 (東北大通研)  
石山 和志 (東北大通研)  
藪上 信 (東北大通研)  
高梨 弘毅 (東北大金研)  
高橋 研 (東北大学院)  
猪股 浩一郎 (東北大学院)  
石尾 俊二 (秋田大)  
石井 清 (宇都宮大)  
山田 興二 (埼玉大)  
山口 一弘 (茨城高専)  
田中 雅明 (東大)  
阿部 正紀 (東工大)  
佐藤 勝昭 (東京農工大)  
竹村 泰司 (横浜国大)  
森迫 昭光 (信州大)  
佐藤 敏郎 (信州大)  
岩田 聡 (名古屋大)  
神保 睦子 (大同工大)  
井上 光輝 (豊橋技科大)  
内田 裕久 (豊橋技科大)  
西村 一寛 (豊橋技科大)  
栢 修一郎 (岐阜大)  
節原 裕一 (阪大)  
阿部 浩也 (阪大接合科学研)  
藤田 直幸 (奈良高専)  
伊崎 昌伸 (大阪市立工研)  
本多 茂男 (島根大)  
八木 正昭 (崇城大)  
山崎 二郎 (九工大)  
福永 博俊 (長崎大)  
加島 篤 (北九州高専)

研究費：校費 5万円, 旅費 5.9万円

### [2] 研究経過

グラニューラー磁性薄膜や磁性フォトニック結晶あるいは磁性ドットなどのように、ナノ構造を導入した磁性体は、連続体構造磁性体では発現しない新たな磁気的性質を示すことから、新しい機能性磁気情報デバイスを実現する構成媒体として高い魅力を備えている。例えばグラニューラー磁性薄膜では、軟磁性・高抵抗・高磁気異方性の共存、大きなトンネル磁気抵抗効果、量子サイズ効果などが報告されている。また磁性フォトニック結晶では極めて大きなファラデー・カー効果やフォトニック・バンドギャップ形成に伴う新規の磁気光学効果などが報告されている。

本研究は、これらナノスケール構造を導入した磁性体の新しい機能発現の探求と、その高周波領域及び光領域で動作する情報デバイスへの応用を総合的に調査研究することで、先進的なグローバル・ユビキタス情報通信を支える磁気キーデバイス開発に資することを目的とするものである。

本プロジェクトは平成16年度に開始され、電気学会「ナノ構造磁性体の機能調査専門委員会」や日本学術振興会アモルファス・ナノ第147委員会と連携して、平成16年度には3回の研究会を開催した(東北大2回、島根大2回)。本年度はこれらの成果を踏まえながら、ナノ構造磁性体の高周波・光機能を中心として、具体的な応用を視野に研究会を実施した。以下、研究活動状況の概要を記す。

#### (1) 電気学会マグネティックス研究会に協賛

- ・ 月日：平成17年7月14, 15日, 場所：東北大学電気通信研究所大会議室, テーマ：ナノスケール構造磁性体, マイクロ磁気デバイス, 磁気応用一般, 発表論文数：14編
- ・ 月日：平成17年12月5, 6日, 場所：慶星大学(韓国・釜山), テーマ：ナノ機能性材料, 磁性材料, 磁気デバイス・システム, 磁気応用一般, 発表論文数：50編
- ・ 月日：平成17年12月12, 13日, 場所：ホテル壮観会議室, テーマ：磁性材料ならびに磁気応用一般, 発表論文数：23編

(2) 日本学術振興会アモルファス・ナノ材料第 147 委員会第 90 回研究会に協賛

・月日：平成 17 年 9 月 23 日，場所：JA 長野ビル，  
テーマ：ナノ構造磁性体と磁気記録，発表論文数：  
4 偏

(3) モスクワ国際会議に協賛

・月日：平成 17 年 6 月 25-30 日，場所：モスクワ  
大学，テーマ：高周波特性，磁性半導体，磁性フォ  
トニック結晶，磁気輸送現象・スピントロニクス，  
メタ材料，ナノスケール磁性材料，ソフト磁性体，  
新磁性体，バイオ磁気，発表論文数：約 500 件

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度はナノ構造磁性体の機能として，高周波機能，光機能を中心に研究会を開催した。これまでの研究会ではナノ構造磁性体の形成手法や計測手法など，基礎的研究に焦点が絞られていたが，最近ではナノ構造磁性体の高周波応用としてフィルタなどの受動部品への展開や EMC 関連での応用が精力的に研究されている。これら従来からの高周波磁束制御によるデバイス応用に加えて，スピン波や静磁波など過去に注目された情報キャリアが再び注目をあつめつつある。

一方，光応用では，ナノ構造を導入することによる青色対応の磁性材料や，空間光変調デバイスなどの具体的応用が展開されている。磁性体の光応用では光磁気記録が重要な位置づけにあったが，最近では熱をキーワードとして光磁気も新たな展開がなされている。この分野については，平成 18 年 6 月に千葉で開催される MORIS で総合的な研究報告がなされるものと期待される。

#### (3-2) 波及効果と発展性

今年度は海外での学会・研究会への協賛を通じ，この分野における国内外研究者との交流が拡大した。また，若手研究者を中心としたポスター発表を柔術させることによって，当該分野の若手育成に寄与した。この若手中心による海外での研究成果発表は今後も継続的に行うことが協議され，平成 18 年度には台湾での研究会を企画している。

本プロジェクトでターゲットにしたナノ構造磁性体の光応用では，ホログラムデータストレージへの応用を念頭に新しい光情報処理デバイスが提案され，文部科学省ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野開発や，科研費基盤研究 S などの大型プ

ロジェクトが開始されている。また，本研究会メンバーが中心となった大型プロジェクトへの提案準備も開始されている。

さらに，電子電気応用を念頭においたナノスケール磁性体に関する最新の情報を含む書籍の出版準備が開始され，平成 19 年度発刊を目標に活動がなされている。

### [4] 成果資料

- (1) M. Abe and M. Tada, "Phenomenological theory of permeability in spin-sprayed NiZn ferrite films usable for GHz conducted noise suppressors," MAG-05-135 (9), Tech. Rep., IEEJ (2005).
- (2) H. Saito, Y. W. Rheem and S. Ishio, "Simulation of high-resolution MFM tips for high-density magnetic recording media with low bit aspect ratio," J. Magn. Mater., vol.287, 102 (2005).
- (3) N. Fujita, M. Izaki and M. Inoue, "Fabrication of metal-oxide nano-composite films from aqueous solution by metal-oxide co-electrodeposition," J. Magn. Mater., vol.300, e350 (2005).
- (4) H. Sakuma, T. Taniyama, K. Ishii, Y. Kitamoto and Y. Yamazaki, "Analysis of atomic arrangement in magnetic Fe-Pt nanoparticles," J. Magn. Mater., vol.300, 284 (2005).
- (5) A. Yamazaki, M. Sendoh, K. Ishiyama, and K. I. Arai, "Wireless magnetic micromachine of planar structure with magnetic thin film," IEEE Trans. Magn., vol.41, 4021 (2005).
- (6) T. Shinagawa, M. Izaki, H. Inui, K. Murase and Y. Awakura, "Microstructure and electronic structure of transparent ferromagnetic ZnO-spinel iron oxide composite films," Chem. Mater., vol.18, 763 (2006).
- (7) T. Hirose, Y. Fujiwara, M. Jimbo, T. Kobayashi and S. Shiomi, "Magneto-current of magnetic transistors employing various Schottky junctions," J. Magn. Mater., vol.286, 124 (2005).
- (8) K. Hamaya, T. Taniyama, Y. Kitamoto, T. Fujii and Y. Yamasaki, "Mixed magnetic phases in (Ga, Mn)As epilayers," Phys. Rev. Lett., vol.94, 147203 (2005).
- (9) N. N. Shams, X. Liu, M. Matsumoto and A. Morisako, "Perpendicular orientation of Ba-ferrite thin film with Al top layer and underlayer," IEEE Trans. Magn., vol.41, 4362 (2005).
- (10) T. Miyazaki, O. Kitakami, S. Okamoto, Y. Shimada, A. Akase, Y. Murakami, D. Shindo, Y. K. Takahashi and K. Hono, "Size effect on the ordering of L1<sub>0</sub> FePt nanoparticles," Phys. Rev. B, vol.72, 144419 (2005).
- (11) H. Fukunaga, M. Nakano, Y. Matsuura, H. Takehara

- and F. Yamashita, "Magnetic properties of Nd-Fe-B nanocomposite films prepared by a new method using pulsed laser deposition," *J. Alloys and Compounds*, vol.408-412, 1355 (2005).
- (12) S. Sugimoto, K. Haga, M. Nakata, T. Kagotani, K. Inomata and J. Akedo, "Magnetic properties of Fe/(NiZnCu)Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> composite films prepared by aerosol deposition method," *IEEE Trans. Magn.*, vol.41, 3460 (2005).
- (13) K. Machida, T. Tezuka, T. Yamamoto, T. Ishibashi, Y. Morishita, A. Koukitsu and K. Sato, "Magnetic structure of cross-shaped permalloy arrays embedded in silicon wafers," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol.290-291, 779 (2005).
- (14) T. Shima, K. Takanashi, Y. K. Takahashi and K. Nono, "Formation of octahedral FePt nanoparticles by alternate deposition of FePt and MgO," *Appl. Phys. Lett.*, vol.88, 063117 (2006).
- (15) G. Watanabe, S. Koizumi, T. Yamada, Y. Takemura, and J. I. Shirakashi, "Magnetoresistance of patterned NiFe thin films with structures modified by atomic force microscope nanolithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol.23 (6), 2390 (2005).
- (16) H. Asada and H. Ii, Y. Yamasaki, M. Takezawa, and T. Koyanagi, "Micromagnetic study of domain-wall pinning characteristics with grooves in thin films," *J. Appl. Phys.*, vol.97, 10E317 (2005).
- (17) S. Ohya, P. N. Hai and M. Tanaka, "Tunneling magnetoresistance in GaMnAs/AlAs/InGaAs/AlAs/GaMnAs double-barrier magnetic tunnel junctions," *Appl. Phys. Lett.*, vol.87, 012105 (2005).
- (18) K. Yamaguchi, S. Tanaka, H. Watanabe, O. Nittono, K. Yamada and T. Takagi, "Analysis of Barkhausen noise using Monte Carlo simulation for nondestructive evaluation," *J. Mater. Proc. Technol.*, vol.161, 338 (2005).
- (19) Khanikaev A. B., Baryshev A. V., Inoue M., Granovsky A. B., and Vinogradov A. P., "Two-dimensional magnetophotonic crystal exactly solvable model," *Phys. Rev. B*, vol.72 (3), 035123 (2005).
- (20) Aktsipetrov O. A., Dolgova T. V., Fedyanin A. A., Murzina T., Inoue M., Nishimura K. and Uchida H., "Magnetization-induced second- and third-harmonic generation in magnetophotonic crystals," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol.22 (1), 176 (2005).

## 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 大学院電子・物理工学専攻)

対応者 遠藤 哲郎  
(東北大学 電気通信研究所)

分担者 蓮沼 隆  
(筑波大学大学院電子・物理工学専攻)

山田 啓作  
(早稲田大学 ナノテクノロジー研究所)

知京 豊裕  
(独)物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所)

長田 貴弘  
(独)物質・材料研究機構 ナノマテリアル研究所)

遠藤 哲郎  
(東北大学 電気通信研究所)

研究経費：校費 50,000 円 旅費 187,300 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2年目である。そして、

今年度は平成18年3月14日の日程で研究会を開催し、当該研究分野における技術的方向性、及び、具体的な研究手法に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。

### 第2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：2005年 3月14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

具体的には、以下の研究活動を行った。

- 1) Si(111)表面の原子的平坦なテラス表面の極薄シリコン酸化膜の表面・界面ラフネス  
シリコン酸化膜の表面・界面の原子的凹凸を調査し、極薄化における技術課題について調査した。

単結晶シリコン表面を熱酸化すると、原子層毎に酸化が進行するとされている。これが事実であれば、膜厚の不均一さはせいぜい原子層1層に留まることになる。Si(111)面の原子的に平坦な原子テラスの酸化に伴う、シリコン酸化膜表面と界面を、AFMを用いて評価したところ、表面は、1nm程度の膜厚までは、ほぼ初期シリコン表面のラフネスを保つ、その後膜厚の増加と共に、徐々にラフネスが増大するのに対して、界面は、0.7nm厚ですでに凹凸は、4-5倍に増大し、その後は2.5nm程度まではほぼ変化を示さないことが明らかになった。

このような膜厚の変動をデバイスの観点から捉えるため、平均膜厚に対する変動の比率をみると、膜厚2nm程度より薄膜では、薄膜化と共に、しきい値変動に対する影響は大きくなり、1.5nm程度で10%を越えることが分かった。

- 2) 極薄シリコン酸化膜のリーク電流の二次元分布  
原子的平坦なテラス表面に形成した1nm程度の厚さであるシリコン酸化膜のリーク電流の二次元分布を調査した。

極薄ゲート絶縁膜では、原子レベルであっても、

その膜厚変動の全体に対する比率は大きくなるため、リーク電流の二次元分布に影響する可能性があり、調査した。

形成されたシリコン酸化膜の表面・界面の複数の場所での凹凸がほぼ同一であることを確認した上で、シリコン酸化膜のリーク電流の二次元分布を電流同時AFMで測定した結果を基に、二次元分布の変動をあらゆる指数を決めた。1nm程度の極薄シリコン酸化膜では、リーク電流は直接トンネル電流により、膜厚に対して指数関数的に変化する。そこで、リーク電流の対数の自乗平方根を変動指数とした。この変動指数はSi(111)面の原子の平坦なテラス表面の熱酸化膜では、1.5nm程度で変動の急激な増大をもたらすことが明らかとなった。この膜厚は、表面のラフネスが荒れ始める膜厚より、わずかに厚い。これは、極薄膜ではリーク電流が大きく、感度が低下しているためである。評価面積の縮小などによって対応はとれる。

これらについて、研究討論会を東北大学電気通信研究所にて開催し、18年度に向けての研究の方向を討論した。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下のことが明らかとなった。

第一に、原子の平坦なテラス表面の熱酸化により得られた極薄シリコン酸化膜では、界面のラフネスは表面には極薄膜では伝播せず、ある程度の厚さに達してから、増加し、その後は界面のラフネスが停滞するにもかかわらず、表面のラフネスは増大を続ける。このようなラフネスはしきい値ゆらぎに大きく影響することが明らかとなった。

第二に、極薄シリコン酸化膜のリーク電流の二次元分布の評価から、界面より表面のラフネス増大と大きく相関することがあきらかとなった。

#### (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) 徳田規夫、西澤正泰、三木一司、山崎 聡、  
蓮沼 隆、山部紀久夫”原子的に平坦化され

たSi(111)表面へのCu ナノ細線の形成と原子間力顕微鏡およびフーリエ変換赤外分光法による評価”、日本赤外線学会誌、「特集日本の宇宙科学・天文学における赤外線技術」、第15巻第1&2号 2006年2月。

- (2) A.Uedono, K.Ikeuchi, T.Otsuka, K.Shiraishi, K.Yamabe, S.Miyazaki, N.Umezawa, A.Hamid, T.Chikyow, T.Ohdaira, M.Muramatsu, R.Suzuki, S.Inumiya, S.Kamiyama, Y.Akasaka, Y.Nara, K.Yamada, “Characterization of HfSiON gate dielectrics using mono-energetic positron beams”, J.Appl. Phys., 99(2006) 054507-1-6.
- (3) R.Hasunuma, J.Okamoto, N.Tokuda, and K.Yamabe: “Morphological Change in Surface and Interface during Ultrathin SiO<sub>2</sub> Film Growth”, Electrochem. Soc., Tran.Vol.1, No.1 ”Physics and Chemistry of SiO<sub>2</sub> and the Si-SiO<sub>2</sub> Interface-5”. (2005) 255-265.
- (4) N.Tokuda, N.Sasaki, H.Watanabe, K.Miki, S.Yamasaki, R.Hasunuma and K.Yamabe; “Selective Growth of Ag Nanowires on Si(111) Surfaces by Electroless Deposition”, J.Phys.Chem. (B), Letters, 109(2005) pp.12655-12657.
- (5) K.Yamabe, M.Goto, K.Higuchi, A.Uedono, K.Shiraishi, S.Miyazaki, K.Torii, M.Boero, T.Chikyow, S.Yamasaki, H.Kitajima, K.Yamada and T.Arikado: “Charge Trapping by Oxygen-Related Defects in HfO<sub>2</sub>-based High-k Gate Dielectrics”, IEEE 2005 Int. Reliability Physics Symposium Proceeding, (2005)p648-649.
- (6) M.Goto, K.Higuchi, K.Torii, R.Hasunuma and K.Yamabe; “Transient Characteristics of HfAlOx gate Dielectric Films”, Trans. Mat. Res. Soc. Jpn, 30(2005) pp.201-204.
- (7) N.Tokuda, M.Nishizawa, K.Miki, S.Yamasaki, R.Hasunuma and K.Yamabe; “Selective Growth of Monoatomic Cu Rows at Step Edges on Si(111) Substrates in Ultralow-Dissolved- Oxygen Water, Jpn.J.Appl.Phys., 44 (2005)L613-615.
- (8) A.Uedono, M.Kiyohara, N.Yasui and K.Yamabe: “Suppression of oxygen diffusion by thin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films grown on SrTiO<sub>3</sub> studied using a monoenergetic positron beam”, J.Appl.Phys., 97 (2005)033508.
- (9) 岡本純一、蓮沼 隆、山部紀久夫、”極薄シリコン酸化膜表面・界面ラフネスと酸化温度”、第53回応用物理学学会学術講演会 25a-P7-11 2006

- (10) 上殿明良, 池内恒平、大塚 崇, 白石賢二, 山部紀久夫, 宮崎誠一, 梅澤直人, アブドゥルハミド, 知京豊裕, 大平俊行, 村松 誠, 鈴木良一, 犬宮誠治, 神山 聡, 赤坂泰志, 奈良英雄、山田啓作、”低速陽電子ビームを用いた HfSiON ゲート絶縁膜の空隙の評価”、第 53 回応用物理学会学術講演会 25p-V-10 2006
- (11) 樋口恵一, 内藤達也, 犬宮誠治, 蓮沼 隆, 山部紀久夫、”HfSiON ゲート絶縁膜のリーク電流と絶縁破壊特性の相関”、第 53 回応用物理学会学術講演会 25p-V-18 2006
- (12) 内藤達也, 樋口恵一, 犬宮誠治, 蓮沼 隆, 山部紀久夫、”HfSiON 膜の経時絶縁破壊寿命の温度依存性”、第 53 回応用物理学会学術講演会 25 瀬-費-19 2006
- (13) 岡本純一, 蓮沼 隆, 山部紀久夫、”CAFМ を用いた極薄シリコン酸化膜の均一性評価”、第 66 回応用物理学会学術講演会 8p-ZK-2 2006
- (14) 樋口恵一, 内藤達也, 鳥居和功, 蓮沼 隆, 山部紀久夫、”HfO<sub>2</sub> 系ゲート絶縁膜における非対称な分布をもった電荷トラップ”、第 66 回応用物理学会学術講演会 10p-ZK-11 2006
- (15) 内藤達也, 樋口恵一, 犬宮誠治, 蓮沼 隆, 山部紀久夫、”HfO<sub>2</sub> 系極薄膜の絶縁性劣化に対する窒化効果”、第 66 回応用物理学会学術講演会 10p-ZK-3 2006
- (16) 山部紀久夫, 山田啓作、”ULSI プロセス・デバイス技術と計算科学の融合---イントロダクトリー・トーク”、第 66 回応用物理学会学術講演会 9p-ZK-1 2006
- (17) Y.Narita, M.SAKAI, T. Murata, T.Endoh and M.Suemitsu, “Ge-Dot Formation on Si(111)-7X7 Surface with C Predeposition Using Monomethylsilane”, JAPANESE Journal of Applied Physics, Vol.44, No3, 2005, pp.L123-L125,
- (18) Yuto Momma, Tetsuo Endoh, “Study of Effect of Halo Implantation on 30nm Ultra Thin Body Si Double-Gate MOSFET with 100nm Gate Length,” 平成 17 年度 電気関連学会東北支部連合大会 講演論文集., 2005, pp.33. 2A17.
- (19) H.-j. Na, K. Tanaka, Y. Momma, M. Suemitsu, and T. Endoh, “Effect of Threshold Voltage Fluctuations on Stability of Inverter Circuit of MOS Current Mode Logic,” 平成 17 年度電気関係学会東北支部連合大会論文集, 2005, pp. 31, 2A18
- (20) Yuto Momma, Tetsuo Endoh, “Study of Effect of Halo Implantation on Nano-Scale Double Gate MOSFET,” International Symposium on Bio- and Nano- Electronics in Sendai Book of Abstracts., 2006, pp.119-120. P-37
- (21) 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 in Sendai Book of Abstracts, 2006, pp123-124, P-39
- (22) 羅炯竣, 田中幸介, 門間優太, 末光眞希, 遠藤哲郎, “MCML インバーター回路の安定性に対するしきい値ばらつきの影響に関する検討,” 2006 年春季第 53 回応用物理学関係連合講演会 23a-X-5, 2006
- (23) 門間優太, 遠藤哲郎 “100nm ゲート長 30nm ボディ Si のダブルゲート MOSFET における halo/I の効果に関する検討”、第 53 回応用物理学関係連合講演会 25p-X-16, 2005



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)

研究費：校費 5 万円，旅費 58 万円

## [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う、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ンネル化、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17年9月に全体研究会開催した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会の方向性について、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

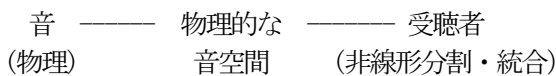
これらの議論を受けて、個別の課題として取り組むべき課題は下記のとおりであった。

- ・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・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、音空間研究に関する具体的な課題について、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。



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に解明する。

キーワード：選択的注意、感覚運動協応、心理物理学、脳活動計測、神経生理学

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いて、特定の音源信号抽出技法の構築を行う。

キーワード：ブラインド信号分離、高残響実空間、超多センサー、自由聴取点

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を行う。

キーワード：超高臨場感音空間合成、音空間コラボレーション、音拡張現実感

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を行う。

キーワード：聴覚情景分析、音空間の特徴抽出、パターン認識、高次モデル化

5) 音空間インタラクティブ技術

一般ユーザが、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を行う。

キーワード：対話、ユニバーサルコミュニケーション、マルチモーダル情報統合

(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すと考えられる。

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)

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 244,000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トル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、リソグラフィや電子顕微鏡に用いられる電子ビームは1nm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1Tbits/inch<sup>2</sup>)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大きな溝があり、両分野の研究者が情報交換を行い、認識を共有することがまず肝要である。本年度は主としてこの視点からの活動を行う。数回の研究集会を実施して、情報交換とコンピュータシミュレーションを実施する。

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の方式研究と記録再生理論の検討、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。

これらの研究を以下に示す日程で平成 17 年度は計 5 回の研究会を開いて討論を行って

きている。

- (1) 平成 17 年 5 月 11 日
- (2) 平成 17 年 7 月 6 日
- (3) 平成 17 年 10 月 14 日
- (4) 平成 17 年 12 月 7 日
- (5) 平成 18 年 1 月 26 日

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

##### [既存技術の調査]

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、磁気ヘッド直下で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。この方式はすでに近接場光や局所プラズモンによる加熱が提案されており、これらによる加熱型磁気記録の研究発表は数多いが、いずれも磁気ヘッドへの加熱源の実装に難があって具体的なヘッド構造の提案がなく、実用的な段階への研究の展開は必ずしも進んでいないことがわかった。

一方、本研究で目指す電子ビームによる加熱についての学会報告は調査の範囲では少なくとも最近では見当たらず、2001年に公開された特許があるのみであった。このことから磁気ストレージに対する電子ビームの利用に関する知見は多くはなく、自ら検討する必要があるとの結論に至った。

##### [電子ビームの発生]

電子ビームの放出には熱電子放出と電界放出があるが、熱電子放出は大気中で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。

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。チップ先端角が 50 度程度のとき放出される電子ビームの広がりには 80nm 離れた点で 13~15nm にできる。また、底面が直径 1 $\mu$ m で高さが 1 $\mu$ m の円錐形チップ（頂点の投影角度で 52 度）から放出された電子ビームが 20nm 離れた点で直径 14.1nm に絞ることができることも示された。以上のシミュレーションの結果、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と考えられる。特に、カーボンナノチューブを電子源に使う検討は今後重要になると考えられる。

また、ヘッド磁界中を進む電子ビームが不要にローレンツ力によって曲げられるおそれについても検討した結果、1000G の磁界中で 1nm のずれであることが分かった。これは電子ビームの広がり比べて一桁小さい値で問題ないと思われる。さらに、入射後に記録媒体中に侵入する電子ビームの深さもほとんど無視できることが明らかになり、媒体深部でエネルギー放射領域が大きく広がって空間分解能が劣化するおそれはないと言える。

ただし、電子ビームの放出強度が不安定になることが懸念されるので、制御によるエミッション安定化は必要と予測される。

##### [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。電子ビームが 1mW のパワーでビーム径が 50nm とし、1ns 昇温で 1ns 冷却とした場合に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。これは必ずしも十分ではないものの有意な温度上昇であり、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 Co の温度依存性を適用できるとすると、75nm の範囲で磁化反転が起こって記録が形成される結果が得られた。

さらに、記録磁界の印加と電子ビーム照射点の位置関係（オフセット）について検討を加えて、-100nm（100nm の遅れ）が適当である結果が得られた。このときに、三日月形のビットパターンが形成されている。

[浮上スライダを用いた電子ビームの放電実験]

これまでの成果をふまえて、実際に電子ビームを現実的なヘッドディスク系において放電させる実験を開始した。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、いくつかの課題を明らかにすることができた。

(1) 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とが分かった。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である。

(2) ヘッド素子においてわずかに絶縁性が損なわれた場合にはこの無限大でない導電率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る。例えば、電界放出電流

が 1nA であれば、10V の印加電圧に対して 10GΩ という高抵抗でも問題になる。このような高い絶縁性を備えた実験環境の整備が必須であることがわかった。

### (3-2) 波及効果と発展性など

これまでの検討から、必要な強度の電子ビームの発生とディスク面での局所領域への絞込みは可能であり、電子ビームから発生されると予測されるエネルギー密度で必要なディスク面の昇温が可能なが分かった。これらの結果は、今後の可能性を引き続き吟味する価値があることを示唆するものなので継続して研究会を開催することとした。また、平成 17 年度からは、実際のハードディスクのスライダを用いた実験を通して、電子ビームをディスク面に放電させる技術を検討していくつかの課題を明らかにしてきた。

今後は、これらの課題を解決できる具体的なヘッド方式に関する技術提案を行うことが目標である。

### [4] 研究会報告

Simon Greaves, Hiroaki Muraoka, “Simulation of electron beam thermally assisted recording,” 第 14 回ハイブリッド記録研究会, 2005 年 6 月 23 日

## セキュリティ性検証のための書き換え技法

### [1] 組織

代表者：外山 芳人  
 (東北大学電気通信研究所)  
 対応者：外山 芳人  
 (東北大学電気通信研究所)  
 分担者：酒井 正彦  
 (名古屋大学大学院 情報科学研究科)  
 結縁 祥治  
 (名古屋大学大学院 情報科学研究科)  
 鈴木 太郎  
 (会津大学 コンピュータソフトウェア学科)  
 奥居 哲  
 (中部大学 工学部情報工学科)  
 松本 利雅  
 (北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科)  
 岩見 宗弘  
 (島根大学 総合理工学部 数理・情報システム学科)

研究費：校費 20,000 円, 旅費 242,530 円

### [2] 研究経過

ネットワーク環境における電子マネーや電子選挙などのさまざまな応用において情報セキュリティ技術はきわめて重要な基盤技術である。本プロジェクトでは、セキュリティ性を、並行計算モデルと書き換え計算モデルの両面から検討し、並行計算モデルの強力な記述能力と、書き換え計算モデルによる自動証明手法を組み合わせることにより、セキュリティ性の新しい自動検証技術の確立を目的として研究を行った。

本年度は、研究集会を開催し、研究分担者がこれまでの研究成果について情報交換するとともに、XML 文書変換のセキュリティ性検証手法と書き換え計算モデルに基づく形式化を中心に検討を進めた。その結果、XML 文書変換の検証可能条件、書き換えモデルによる自動検証法などについて研究を進展させることができた。

研究集会は3月10日に電気通信研究所で開催された。まず、外山研究室で開発中の書き換えモデルに基づく XML 文書変換システムの紹介が行われた後、奥居(中部大)が XML 文章検証のための高階パターンマッチングに基礎理論について説明した。また、鈴木(会津大)は形式言語理論に基づく XML 文章の解析法について発表し、書き換えモデルによるセキュリティ性検証技術について討論を行った。

ついで、松本(北陸先端大)が様相論理に基づくセキュリティ性の自動検証技術について発表を行い、自動証明システムの可能性について論じた。また、岩見(島根大)は高階システムのモジュラ性と応用について発表した。青戸は、帰納的定理の自動証明手法について発表を行い、セキュリティ性の自動検証への応用に関して論じた。

## [3] 成果

## (3-1) 研究成果

- (1) 定理自動証明手法に基づくセキュリティ性の検証技術の確立を目指して、木オートマトンの近似に基づくプロトコルの検証手続きの研究を進めた。また、セキュリティ性の検証範囲を広げることを目的として、書き換えシステムの帰納的定理自動証明システムを拡張するとともに、その上での定理自動証明の実験を行った。さらに、証明過程を観測して自動的に補題を発見する補題発見メカニズムの改良を行い、補題発見メカニズムをもつ定理自動証明システムが多くの実験例に対してきわめて有効に働くことを示した。
- (2) 書き換え計算モデルによる XML 文書変換システムの実験を行い、セキュリティ性の自動検証法の検討を行った。また、XML 文書の変換を(列を許すように拡張された)項の書き換えとしてとらえて、XML 文書変換のための書き換えシステムを構成する手法を提案した。これにより、XML 文書変換の理論的枠組みを書き換え計算モデルと自然に結びつけることが可能となる。さらに、制限された二階の書き換えシステムを用いて、XML 文書からの抽出と合成がより柔軟かつ強力に行える表現力の高い変換処理の記述法を実現した。
- (3) プロセス代数の意味論に対する一般的な意味論に対する研究と  $\pi$  計算の体系に時間を導入した体系について代数意味論の研究をおこなった。これらの基礎的研究に基づき、GUI プログラムにおける通信プロセスのインタフェースを提供するプログラミング環境を実装した。同様のインタフェースの拡張によって暗号化にもとづく拡張についても検討した。さらに、Web アプリケーションと GUI プログラミングの枠組についての研究を発展させ、通信にもとづく計算において主に Haskell に基づく型によってプログラミング言語が構成できるのかについて解析を行った。通信プロセスにおけるセキュリティ性をもつ計算については、これらの型および形式モデルに基づいて構成できることを示した。

## (3-2) 波及効果と発展性など

これまで研究討論をとおして、本プロジェクトの目標である書き換え技法に基づくセキュリティ性の検証に関して成果が蓄積されつつある。これらの成果は、木オートマトン、書き換えシステム、完備化、帰納的定理証明、並行計算モデルなどを組み合わせた高機能なセキュリティ性検証技術の理論的基礎となりうるものであり、実用的なプロトコル検証技術や高信頼ソフトウェア開発技術の新しい可能性を開くものとして期待できる。

## [4] 成果資料

- (1) Y.Toyama, Reduction strategies for left-linear term rewriting systems, In Festschrift for J.W.Klop, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3838, pp.198-223, 2005.
- (2) Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Introducing Sequence Variables in Program Transformation based on Templates, In Proceedings of the Forum on Information Technology 2005 (FIT2005), Information Technology Letters, Vol.4, pp.5-8, 2005 (in Japanese).
- (3) Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Program Transformation by Templates based on Term Rewriting, In Proceedings of the 7th ACM-SIGPLAN International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2005), ACM Press, pp.59-69, 2005.
- (4) Yuki Chiba, Takahito Aoto, and Yoshihito Toyama, RAPT: A Program Transformation System based on Term Rewriting, The 8th JSSST Workshop on Programming and Programming Languages, pp. 60-74, 2006.
- (5) 青戸等人, 書き換え帰納法における向き付け不能な等式の証明, 第8回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集, pp. 75-89, 2006.
- (6) 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, パターンに基づくプログラム変換システム, 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 3A-1, 2005.
- (7) 奥谷大介, 坂部俊樹, 酒井正彦, 草刈圭一朗, 西田直樹, 暗号プロトコル記述からカラーペトリネットへの変換による機密性検証電子情報通信学会技術報告, Vol.105, No.490 (SS2005-58), pp.19-24 (2005,12).
- (8) 奥谷大介, 坂部俊樹, 酒井正彦, 草刈圭一朗, 西田直樹, カラーペトリネットを用いた暗号プロトコルの安全性検証, 平成17年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集, p.O-198(2005,9).
- (9) 田代善彦, 坂部俊樹, 酒井正彦, 草刈圭一朗, 西田直樹, 項正規表現に基づくSpi計算の機密性検証, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.596 (SS2005-82), pp.35-40(2006,2).
- (10) S. Yuen, K. Kato, D. Kato, K. Agusa, Web Automata: A Behavioral Model of Web Applications based on the MVC, コンピュータソフトウェア, Vol.22, 2205, pages 44-57.
- (11) A. Mizuno, K. Mano, Y. Kawabe, H. Kuwabara, S. Yuen, K. Agusa, Name-passing style GUI Programming in a  $\pi$ -calculus-base language Nepi, Electric Notes in Theoretical Computer Science, Vol.139(1), pp.145-168, 2005.
- (12) H. Kuwabara, S. Yuen, K. Agusa, Congruence Properties for a Timed Extension of the  $\pi$ -calculus, DSN2005, IEEE Computer Society, pp.207-214 (Supplemental Volume), 2005.
- (13) 今井敬吾, 結縁祥治, 阿草清滋, Haskell のための非同期局所化  $\pi$  計算に基づくネットワークプログラミングフレームワーク, 第58回情報処理学会プログラミング研究会 (PRO-2005-5), 2006



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：

品田 賢宏  
(早稲田大学  
先端科学・健康医療融合研究機構)

作井 康司  
(㈱東芝 セミコンダクター社)

堀口 文男  
(㈱東芝 セミコンダクター社)

有門 経敏  
(東京エレクトロン(株))

貝塚 考亘  
(東京エレクトロン(株))

中林 肇  
(東京エレクトロン(株))

研究費：校費 5 万円、旅費 200,980 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な変革はなく、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7nm以下に薄膜化できないため、ナノ領域までのデバイスの微細化(高集積化)が困難である等々の問題点に直面している。

従ってこの問題の打開には、微細加工技術の改善やゲート絶縁膜の高品質化や回路性能の向上といった個別の要素研究を進めてゆくだけでは不十分であり、所望の性能を達成し得る新しいデバイス構造・動作原理を提案すると共に、そのデバイスを実現するためのナノ材料プロセス研究からデバイス・回路設計研究までの幅広い研究を学際的に行っていく必要がある。

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2年目である。そして、昨年開催した第一回高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会に引き続き、今年度は平成18年3月2日、3月3日、3月14日の日程で以下に示す3回の研究会を開催し、ナノ領域でのスケ

ーラビリティ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2回 高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会

日時：2005年 3月2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3回 高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会

日時：2005年 3月3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 高速大容量半導体不揮発性メモリ研究会

日時：2005年 3月14日

10:00~12:00

場所：東北大学電気通信研究所  
2号館4階小会議室

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2回~第4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、昨年に整理した現在の半導体不揮発性メモリの大容量化、高速動作化、特に高速データ書き込み動作化を律速している要因毎に系統的に詳細に解析を行った。

特に、今年度からはCAD技術分野も追加して、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。

#### (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) T. Shinada, S. Okamoto, T. Kobayashi, I. Ohdomari, "Enhancing semiconductor device performance using ordered dopant array", *Nature* 437, 1128 (2005).
- (2) M. Uchigasaki, T. Kamioka, T. Hirata, T. Shimizu, F. Lin, T. Shinada, I. Ohdomari, "Development of liquid-metal-ion source low-energy ion gun / high-temperature ultrahigh vacuum scanning tunneling microscope combined system", *Rev. Sci. Inst.* Vol.76, No. 126109, Dec. 2005
- (3) D. Ferrer, T. Tanii, I. Matsuya, G. Zhong, S. Okamoto, H. Kawarada, T. Shinada, I. Ohdomari, "Enhancement of field emission characteristics of tungsten emitters by single-walled carbon nanotube modification", *Appl. Phys. Lett.*, 88. 033116/1-033116/3, Jan. 2006
- (4) T. Shinada, T. Kobayashi, D. Ferrer, S. Okamoto, I. Ohdomari, "Improvement of photocatalytic-activity in titanium oxides by focused transition-metal ion implantation", *The Eighth International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN 8)*, Stockholm, Sweden, June 2005
- (5) T. Kamioka, M. Uchigasaki, E. Nakayama, T. Hirata, T. Shinada, J. Kurosawa, I. Ohdomari, K. Uta, "Development of Liquid Metal Ion Gun / UHV Scanning Tunneling Microscope Combined System (LM-IG / UHV-STN)", *The*

- Eighth International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN 8), Stockholm, Sweden, June 2005
- (6) T. Shinada, T. Kobayashi, S. Okamoto, I. Ohdomari, "Real-time detection of single-ion impact using on-state semiconductor devices", International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-10), Aix-en-Provence, France, July 2005
- (7) 小林高洋、品田賢宏、岡本晋太郎、黒沢智紀、中山英樹、大泊巖、"シングルイオン入射のリアルタイム検出"、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学、徳島、2005年9月
- (8) D. Ferrer, 品田賢宏、松谷巖、G. Zhong, 岡本晋太郎、谷井孝至、川原田洋、大泊巖、"Synthesis of Carbon Nanotube field Emitters on Tungsten Tip"、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学、徳島、2005年9月
- (9) 岡本晋太郎、品田賢宏、大泊巖、"クーロンポテンシャル型電子軌道量子ビットとその読み出しに関する基礎的検討"、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学、徳島、2005年9月
- (10) 小出敬、新井達也、目島壮一、宋光燮、ドミンゴ フェレール、品田賢宏、大泊巖、川原田 洋、"昇温ダイヤモンド表面へのNiイオン照射による局所低抵抗領域の電気特性"、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学、徳島、2005年9月
- (11) 岡本晋太郎、品田賢宏、小林高洋、黒沢智紀、中山英樹、大泊巖、"単一イオン注入誘起欠陥のシリコン抵抗体に与える電気的影響評価"、第53回応用物理学関係連合講演会、武蔵工業大学、東京、2006年3月
- (12) 中山英樹、品田賢宏、岡本晋太郎、小林高洋、黒沢智紀、大泊巖、"電流変化検出型単一イオン検出システムの開発"、第67回応用物理学学会学術講演会、武蔵工業大学、東京、2006年3月
- (13) Y.Narita, M.SAKAI, T. Murata, T.Endoh and M.Suemitsu, "Ge-Dot Formation on Si(111)-7X7 Surface with C Predeposition Using Monomethylsilane", JAPANESE Journal of Applied Physics, Vol.44, No3, 2005, pp.L123-L125,
- (14) Yuto Momma, Tetsuo Endoh, "Study of Effect of Halo Implantation on 30nm Ultra Thin Body Si Double-Gate MOSFET with 100nm Gate Length," 平成17年度 電気関係学会東北支部連合大会 講演論文集., 2005, pp.33. 2A17.
- (15) H.-j. Na, K. Tanaka, Y. Momma, M. Suemitsu, and T. Endoh, "Effect of Threshold Voltage Fluctuations on Stability of Inverter Circuit of MOS Current Mode Logic," 平成17年度電気関係学会東北支部連合大会論文集, 2005, pp. 31, 2A18
- (16) Yuto Momma, Tetsuo Endoh, "Study of Effect of Halo Implantation on Nano-Scale Double Gate MOSFET," International Symposium on Bio- and Nano- Electronics in Sendai Book of Abstracts., 2006, pp.119-120. P-37
- (17) 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 in Sendai Book of Abstracts, 2006, pp123-124, P-39
- (18) 羅炯竣、田中幸介、門間優太、末光眞希、遠藤哲郎、"MCML インバーター回路の安定性に対するしきい値ばらつきの影響に関する検討," 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会 23a-X-5,2006
- (19) 門間優太、遠藤哲郎 "100nm ゲート長 30nm ボディ Si のダブルゲート MOSFET における halo/I の効果に関する検討"、第53回応用物理学関係連合講演会 25p-X-16, 2005
- (20) 堀口文男、與田博明、田原修一、"MRAM 多層化における MTJ 抵抗の重み付け係数の最適化", 信学論 (C), vol. J88-C, No. 4, pp. 280-281, (Apr. 2005).
- (21) 堀口文男、與田博明、田原修一、"MRAM 多層化における各種検出法の MTJ 抵抗の重み付け係数の最適化", 信学論 (C), vol. J89-C, No. 2, pp. 62-68, (Feb. 2006).
- (22) 堀口文男, "MRAM 多層化における MTJ 抵抗の重み付け係数の最適化", 工業技術 (東洋大学工業技術研究所報告)、第28号、pp. 65-66, (Feb. 2006).
- (23) F.HORIGUCHI,"Advanced memory concepts for DRAM and nonvolatile memories," Proceedings of ESSDERC 2005, pp.181-184,(Sept. 2005).

## 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37万円

### [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2年度である。そして、平成18年3月1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

日時：2006年 3月1日

14:00~18:00

場所：東北大学 学際科学国際高等研究センター  
1階大会議室

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

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年度である本年は、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。

この知見を元に、半導体の酸化ダイナミクスを解明し、その知見を応用したナノ構造形成技術を実現する上で研究を進めるべき課題を幅広く議論した。

### (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、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る。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を解決するための指針を明らかにすることを目指す。

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・高速化に必要な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。

今後、初年度、二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) 村田威史, 末光眞希“Si(001)上ゲルマン吸着に伴う水素移動と Ge/Si 原子交換の観察”, 真空, 48(2005), pp.23-27
- (2) K. Senthil and M. Suemitsu, “Initial adsorption and C-incorporation of organosilanes at Si(001) investigated by temperature-programmed desorption”, Applied Surface Science, 242 (2005) pp.270-275.
- (3) Y. Narita, M. Sakai, T. Murata, T. Endoh, and M. Suemitsu, “Ge-dot formation on Si(111)-7x7 surface with C predeposition using monomethylsilane”, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, 44(2005) pp. L123-L125.
- (4) M. Sakai, M. Suemitsu, and Y. Narita, “Scanning-Tunneling Microscopy Observation of Monomethylsilane Adsorption on Si(111)-7x7”, Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, 44 (2005), pp. 1419-1421
- (5) M. Suemitsu, T. Abe, H.-J. Na and H. Yamane, “MoO<sub>2</sub> Hollow Fiber with Rectangular Cross Sections”, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2- Express Letters, 44(2005), pp. L449-L450.
- (6) H. Kitabatake, M. Suemitsu, H. Kitahata, S. Nakajima, T. Uehara and Y. Toyoshima “Incubation-Free Growth of Polycrystalline Si Films by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Using Pulsed Discharge under Near Atmospheric Pressure”, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2- Express Letters, 44(2005), pp. L683-L686
- (7) H. Togashi, H. Asaoka, T. Yamazaki, and M. Suemitsu, “Nucleation of Oxides during Dry Oxidation of Si(001)-2x1 Studied by Scanning Tunneling Microscopy”, Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, 44(2005), pp. L1377-L1380
- (8) T. Ikari, A. Fukuyama, T. Murata, M. Suemitsu, N. Haddad, V. Reita, J.P.Roger, D. Fournier, “Carrier recombination velocities at the SiO<sub>2</sub>/Si interface investigated by a photo-thermal reflection microscopy”, Materials Science and Engineering B124-125(2005) 345-348
- (9) A. Konno, K. Senthil, T. Murata, M. Suemitsu, “Temperature-dependent carbon incorporation into the Si<sub>1-y</sub>C<sub>y</sub> film during gas-source molecular-beam epitaxy using monomethylsilane”, Appl. Surf. Sci., 252(2006) pp.3692-3696, (available on line on July 7, 2005)
- (10) Maki Suemitsu, Yoshiharu Enta and Hideaki Togashi, “Integrated Description for Random-Adsorption and 2D-Island Growth Kinetics in Thin Film Growth: Autocatalytic-Reaction Model and Kinetic Monte-Carlo Simulation”, Appl. Surf. Sci. ##(2005) pp..(available on line on Sept. 8.2005)

- (11) Y. Narita, T. Murata and M. Suemitsu, "Suppression of atomic exchange between Ge and Si during germane adsorption on Si(001) using atomically flat surface", *Thin Solid Films* 508(2006)166-168. (available on line on Nov. 14., 2005)
- (12) Y. Narita, T. Murata, A. Kato, T. Endoh and M. Suemitsu, "Ge Dot Formation using Germane on a Monomethylsilane-Adsorbed Si(001)-2x1 surface", *Thin Solid Films* 508(2006)200-202. (available on line on Nov. 15., 2005)
- (13) Kazuki Takahashi, Kanji Yasui, Maki Suemitsu, Ariyuki Kato, Youichirou Kuroki, Masasuke Takata and Tadashi Akahane, "Epitaxial growth of hexagonal GaN films on SiC/Si Substrates by Hot-Mesh CVD Method", *Adv. Mater. Research*, (2006) in press.

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)

大堀 淳 (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)

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 400,000 円，旅費 297,660 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二年度であった。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、二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。

第一回目のプロジェクト研究会は、平成 17 年 7 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と今後の共同研究の方向等についての意見交換が行われた。第二回目のプロジェクト研究会は、平成 17 年 11 月 24 日から 11 月 25 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. 様々な論理体系や計算体系を表現するための自然枠組のために、抽象操作と具体化操作を備えた構造を持つ式の理論を提案した。この理論においては、アリティに加えてカテゴリの概念を導入し、豊富な数学的概念を表現することができるようになった。
2. プログラム変換技法をパターン化し、変換パターンとしてシステムに蓄積することにより、様々なプログラム変換技法の自動適用が可能になること

- が期待できる. このような一般的なプログラム変換の実現を目指し, 書き換えシステムに基づく理論的基礎を与えるとともに, その理論に基づくプログラム変換システム RAPT を実装した. 本システムの特徴は, 変換の正当性を潜在帰納法を利用して完全に自動検証できることである.
3. 多くのプログラム変換では, 自然数やリストなどのデータ構造に基づくプログラムの帰納的な性質を補題や変換規則として利用している. そこで, 強力な自動証明法である書き換え帰納法に基づいたプログラム融合変換システムを提案し, そのプロトタイプを実装した. 本システムの特徴は, 自動証明システムとプログラム変換システムが一体となって働くため, プログラム変換に必要な補題を自動証明しながら, その結果を利用して変換をさらに進められる点にある.
  4. 完備化や書き換え帰納法などの定理自動証明手法では, 書き換えシステムの停止性を保証することが不可欠である. そこで, 関数型プログラムを対象とした高階書き換えシステムの停止条件について, 理論的基礎の検討を行うとともに, 自動証明やプログラム変換への応用が容易な新しい停止性判定手法を開発した. また, 高階書き換えシステムを対象とする帰納的定理の枠組みを明らかにし, 高階関数の等価性を踏まえた帰納的定理の自動証明法を提案した.
  5. 構成的論理学の証明論を基礎とする機械語コードの意味論の構築およびその意味論を基礎とした JAVA のバイトコードのアクセス制御機構の構築に関する研究の紹介を行い, 関連するトピックの討論を行った.
  6. プログラムの意味を定める方法の一つであるプログラム変換によって定めた操作的意味と, プログラム言語に直接与えた操作的意味が一致することを, 形式的に証明する研究を行った. 具体的には, プログラム言語のモデルとしてラムダ計算の体系を選び, これに対する CPS 変換の健全性と完全性の証明を高階抽象構文を用いて形式化する研究をおこなった. その結果, 健全性の証明の形式化は問題なくできること, 完全性の証明に必要な逆 CPS 変換は合成的でないため, この形式化には適さないこと, さらに, ラムダ計算に第一級継続を加えた体系では, 逆 CPS 変換も合成的であるため, 高階抽象構文による形式化ができることの3点を示した.
  7. ラムダ・ミュー計算の強正規化性の別証明を与えるために, mark 付き計算をというものを提案した. この計算系は, 単純型付λ計算に, 定義(変数に項を)と定義をコピーしてよい場所を指定できる mark という加えた計算系であり, ラムダ・ミュー計算の項を CPS 変換してこの計算系の項に変換すれば, ラムダ・ミュー計算の強正規化性をこの計算系の強正規化性の証明に帰着できる. そして, この計算系の強正規化性は単純型付ラムダ計算の強正規化性と同様に証明でき, ラムダ・ミュー計算の強正規化性を直接 reducibility を使って証明した場合に比べて容易である. また, ラムダ・ミュー計算の変種の強正規化性の証明も CPS 変換を変更すればよい.
  8. 昨年度提案した CPS 変換による強正規化性証明法がより広い体系に対して適用可能であることを示し, 値呼びラムダ・ミュー計算や選言とその置換簡約を含むような自然演繹古典論理の強正規化性を提案の方法で証明した. また, 既に提案されている増加項の概念を用いた別の証明方法も置換簡約を含む自然演繹古典論理の強正規化性に対して有効であることを示し, さらに, 一般除去規則とその置換簡約を含む体系の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, 本研究の成果は純粹な理論的成果に留まらず, プログラム検証や開発支援技術の新しい可能性を開くものとして期待できる. また, 本プロジェクトの活発な交流を通して形成された, 複数の大学の多岐に渡る計算機科学分野の研究グループ間のネットワークは, 今後の電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークを形成する基盤となることが期待される.
- [4] 成果資料
1. 佐藤 雅彦. フレーゲの計算機科学への影響. 科学哲学, 38 (2), pp.21-33, 2005.
  2. Y. Toyama. Reduction strategies for left-linear term rewriting systems. In Festschrift for J.W.Klop, Lecture Notes in Computer Science, Vol.3838, pp.198-223, 2005.
  3. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama. Introducing Sequence Variables in Program



- Transformation based on Templates. In Proceedings of the Forum on Information Technology 2005 (FIT2005), Information Technology Letters, Vol.4, pp.5-8, 2005 (in Japanese).
4. Yuki Chiba, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama. Program Transformation by Templates based on Term Rewriting. In Proceedings of the 7th ACM-SIGPLAN International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2005), ACM Press, pp.59-69, 2005.
  5. Yuki Chiba, Takahito Aoto, and Yoshihito Toyama. RAPT: A Program Transformation System based on Term Rewriting. The 8th JSSST Workshop on Programming and Programming Languages, pp. 60-74, 2006.
  6. 青戸等人. 書き換え帰納法における向き付け不能な等式の証明. 第8回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ論文集, pp. 75-89, 2006.
  7. 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人. パターンに基づくプログラム変換システム. 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 3A-1, 2005.
  8. 吉原宏之, 亀山幸義. プログラムに対する変換の正しさの形式検証. 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 東北大学, 2005年9月.
  9. Yukiyoshi Kameyama, Hiroyuki Yoshihara. Metatheorem Proving in Twelf and its Semantics. Theorem Provers Meeting, Japan Advanced Institute of Science and Technology, Nov. 2005.
  10. Yukiyoshi Kameyama, Hiroyuki Yoshihara. Formalizing Equational Correspondence Proof for CPS Transformation based on Logical Framework. Type Theory Workshop, National Institute of Informatics, Tokyo, Jan., 2006.
  11. Atsushi Igarashi, Chieri Saito, and Mirko Viroli. Lightweight family polymorphism. In Kwangkeun Yi, editor, Proceedings of the 3rd Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS2005), Vol. 3780 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 161-177, Tsukuba, Japan, November 2005.
  12. Futoshi Iwama, Atsushi Igarashi, and Naoki Kobayashi. Resource usage analysis for a functional language with exceptions. In Proceedings of the ACM SIGPLAN Workshop on Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation (PEPM'06), pp. 38-47, Charleston, SC, January 2006.
  13. Isao Sasano, Mizuhito Ogawa, Zhenjiang Hu. Maximum Marking Problems with Accumulative Weight Functions. International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing (ICTAC2005), LNCS 3722, pp.562--578, 2005.
  14. 中澤巧爾, 龍田真. 選言を含む古典論理の強正規化性. 第8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 (PPL2006) 論文集, pp.187-202, 2006.

## 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： 青井 基  
(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：  
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 170 千円

### [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いかに大きな情報量であるかが分かるが、この膨大な情報を電子的に蓄積してコン

ピュータで容易に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いはいない。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体系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

ハードディスク装置 (HDD) を並列に構成し、磁気テープや光ディスクをオフラインアーカイブとして装備するストレージシステムを想定して、その大容量性と高速性、省エネ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。主として、HDD ユニットの並列化マネジメント設計についてペタバイト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 17 年 4 月 28 日
- 2) 平成 17 年 6 月 9 日
- 3) 平成 17 年 7 月 4 日
- 4) 平成 17 年 8 月 9 日
- 5) 平成 17 年 10 月 27 日
- 6) 平成 17 年 11 月 22 日
- 7) 平成 18 年 2 月 9 日

の 7 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提案をまとめた点である。すなわち、次世代スーパーコンピュータとして計画されているペタフロップス級の演算能力を持つコンピューティングシステム、及びその 10 倍の能力の次次期システムにおけるストレージ容量仕様を見積もった。

その結果は、①ドライブ構成は主記憶と直結して高速性を実現するオンラインとそのオンラインストレージの 1 段下の記憶階層を受け持ってオンラインストレージからのデータを高速性よりも容量と経済性を重視するニアラインストレージから構成する多段型とする、②記憶容量は演算速度に比例して大きくなるのが求められるものとし、現実的な範囲で必要な容量を確保する、③計算ジョブが終了した後に、次の計算タスクに素早く移行するために主記憶からオンラインストレージへのデータダンプは数十分から

数時間であることが必要であり、この要求がシステムの高速性を決める要求となる、などの考え方をはっきりさせて検討を加えた。その結果、10 ペタフロップスマシンを例に必要なストレージ容量を、オンライン 10 ペタバイトとニアライン 100 ペタバイトと導き、また、さらに高速化して 100 ペタフロップスとなった際にはオンライン 100 ペタバイト、ニアライン 1 エクサバイトとなることを見積もった。

### (3-2) 波及効果と発展性など

ペタバイト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や動画情報やそのアーカイブに代表される大規模情報の幅広い普及を鑑みると、将来のストレージシステムに関する先導的な技術内容と研究要素を含んでいる。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の議論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

研究会を開始したばかりであり、成果論文はまだであるが、研究活動の結果は新たな国家プロジェクト提案のためのデータとして活用している。

## 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：荒井 賢一

(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)

楨田 康博 (高エネルギー加速器研究機)

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 5 万円，旅費 14 万円

### [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。このようなシナジー効果を組み合わせると、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期待できる。そこで、本プロジェクトでは、この電気・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た。本プロジェクトは、本年度が初年度であり、本年度の研究活動状況の概要は以下の通りである。

電気・水素複合エネルギーシステムを構築するには、1) 液体水素冷却の超伝導電力機器の概念検討、

2) 液体水素の二次エネルギー源としての機能と冷媒としての機能に関する検討、3) 最近発見された経済性の高い  $MgB_2$  超伝導線材の現状と開発状況の検討、4) 燃料電池、自然エネルギー、電力系統、負荷で構成される電源システムの制御方法の検討、5) 電力変換器で構成した分散型の電源システム構築に向けた概念検討、などを通じて、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を検討する必要がある。そこで、電気・水素複合エネルギーシステムの構築に必要な要素技術に対する理解を深めるため、その基礎研究や応用研究に携わる各分野の研究者を集め、「第 1 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 1 回電気・水素複合エネルギーシステム研究会

日時：平成 17 年 12 月 22 日 (木) 11:00 ~ 16:15  
会場：東北大学 工学部 電気・情報系 451・453 会議室

- (1) 「500m 超電導ケーブルの開発」  
植田清隆 (東北大学大学院工学研究科)
- (2) 「水素温度付近での高温超電導線の特性」  
渡辺和雄 (東北大学金属材料研究所)
- (3) 「液体水素と超伝導応用」  
平林洋美 (高エネルギー加速器研究機構)
- (4) 「水素の液化と液体水素利用技術」  
中込秀樹 (千葉大学工学部)
- (5) 「スラッシュ水素技術の開発状況について」  
大平勝秀 (東北大学流体研究所)
- (6) 「液体水素冷却による非常用電力貯蔵装置」  
新富孝和 (日本大学大学院総合科学研究科)  
楨田康博 (高エネルギー加速器研究機構)
- (7) 「Cu シース系  $MgB_2$  線材の開発について」  
志村聡・腰塚直己 (超電導工学研究所)
- (8) 「クールエナジーシステムへの取り組み」  
一ノ倉理 (東北大学大学院工学研究科)
- (9) 「液体水素冷却超電導コイルの特性」  
濱島高太郎 (東北大学大学院工学研究科)

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、電気・水素複合エネルギーシステムの構築に必要な要素技術について理解を深め、技術開発状況の把握ならびに今後の課題の抽出に主眼を置いて研究を行った。具体的には、以下に示す様な要素技術を取り上げ、液体水素温度領域における各技術の特長や課題について検討した。このうち、主な研究成果を以下に示す。

##### (1) 超伝導ケーブル技術

これまでに、要素技術開発から 500m の模擬ケーブルを用いた実環境模擬試験に至るまで幅広く研究開発が行われており、技術的には実用化レベルに達している。液体水素冷却を用いれば、ケーブルの更なる小型化や冷却安定化向上を期待できるが、その場合、冷却システムの低コスト化が大きな課題となる。

##### (2) 高温超伝導線材技術

これまでに、液体水素温度での超伝導線の熱特性や電気的特性の鍵を握るのは電流分岐のメカニズムであり、超伝導体やマトリクスの特性が液体水素冷却での超伝導線や超伝導テープ線の電流容量を大きく左右することが考えられるが、今後は、液体窒素冷却時の安定性試験による実験的検証が課題となる。

##### (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おり、ドイツでは、実際に空港内で液体窒素燃料バスが走行するにまで至っている。しかし、このような水素社会を実現するには、水素燃料の高効率供給インフラの確立が重要課題となる。

##### (4) 水素液化技術

液体水素を水素燃料の主流にするには、大型液化機ならびに小型冷凍機の効率向上や、ハンドリング技術の簡素化が必要となる。また、水素燃料タンクとして高圧ボンベがよいかクライオスタットがよいかを明確にすることも今後の課題となる。

##### (5) スラッシュ水素技術

スラッシュ水素は、液体ヘリウムに比べて、液化動力が 1/5、蒸発潜熱が 20 倍という特長がある。スラッシュ水素を用いれば、ボイルオフガスやタンク容積・重量を軽減でき、輸送・貯蔵効率を向上させることが可能となるが、スラッシュ水素は、液体水素中に固体水素粒が混在する固液二相流体であるため、取り扱い技術の確立や流体損失の低減化が課題となる。

##### (6) 電力貯蔵技術

SME S コイル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応答性を著しく向上さ

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を期待できる。ただし、安全性や経済性の向上が大きな課題となる。

##### (7) MgB<sub>2</sub>線材技術

MgB<sub>2</sub> は、金属系超伝導体の中では臨界温度が最も高く、構成元素が少ないことから、作製が比較的容易であり、製造コストが安価であるという特長がある。しかし、臨界電流密度ならびに磁界特性の向上が大きな課題となる。

##### (8) 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。このような電力供給システムを構築するには、交流給電方式のみならず直流給電方式をも採用したハイブリッドシステムが有効となる。これには、高効率な変換器の開発、高信頼性の電力監視・制御システム技術の確立が課題となる。

##### (9) 超伝導コイル技術

超伝導コイルを液体水素冷却することによって、クエンチ時の温度上昇抑制、安定性の向上、超伝導線材量の削減など様々な効果を期待できる。しかし、これまでは理論的考察によるものが多く、今後は、液体水素冷却時の安定性や安全性など、超伝導特性に関する実験的考察ならびに検証が課題となる。

#### (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な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、各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、また、今後の電気・水素複合エネルギーシステム技術に関する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。具体的には、経済性で有利となる MgB<sub>2</sub> 線を用いた液体水素冷却超伝導機器の検討や、小型試験システムの構築に向けた検討などを予定している。

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, 槇田康博, 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, 槇田康博:「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) 大平勝秀:「スラッシュ水素の密度および質量流量測定技術の開発」低温工学, vol.40, pp.396-403, (2005)
- (5) 濱島高太郎, 津田理, 谷貝剛:「液体水素冷却超電導コイルの安定性検討」平成 18 年電気学会全国大会, 5-036, p43, 2006

課題番号 H17/B03

採択回数 1 2 3

## ワイヤレス磁気ドライブ技術の生体情報への展開

### [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：

荒井賢一(東北大学電気通信研究所)

藪上 信(東北大学電気通信研究所)

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)

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)

栢修一郎(岐阜大学工学部)

菊池弘昭(岩手大学工学部)

大森賢次(住友金属鉱山(株)中央研究所)

小林宏一郎(岩手大学工学部)

研究費：校費 50,000 円，旅費 669,740 円

### [2] 研究経過

既に大きな学問分野が形成されているマイクロマシンあるいは MEMS(Micro Electro Mechanical System)の研究の中で、特に磁気を駆動源として利用する方法は、ワイヤレスで電気エネルギーあるいは電気信号を供給することが可能であり、広い応用分野への適用が期待されている。そこで本プロジェクトは、微小な機械を対象とし、駆動のためのエネルギーあるいは制御のための信号を、磁気を利用してワイヤレスで送受信することを研究対象とするマイクロ磁気ドライブ技術の確立を目指す。加えてこの技術の特徴を活かし、生体内とのエネルギーや信号のやりとりに着目して総合的な調査検討を行うことを目的として研究を行っ

た。

本プロジェクトは磁気アクチュエータならびに磁気センサに関する第一線の研究者により構成されていることから、各メンバーがそれぞれの研究機関で挙げた成果を持ち寄り討論を行うことで、前述の目的達成に向けた検討を行った。

討論会はいずれも電気通信研究所において下記の通り行うとともに、随時電子メールを用いた持ち回り会議を開催した。

#### 【第1回】平成17年9月14日

##### 生体磁気計測の現状と課題について

生体中を流れる電気信号により生じる磁界を計測することで、脳や心臓の活動に関する重要な情報を取得することができる。特に心臓が発生する磁界について、その発生部位と発生磁界量、さらに超伝導を利用した計測方法の現状、ならびに新たな計測手法に関する検討などが討論された。

#### 【第2回】平成18年1月25日

##### 脳磁界計測の役割と計測手法について

脳の活動を調べる手法として脳磁界の計測が行われている。実際に仙台市太白区の広南病院を訪問し、脳磁界の測定現場を見学するとともに、脳磁界計測により得られる情報、現状の脳磁界計測の問題点などについて知見を得た。さらに、それら問題点の解決手法について討論を行った。

#### 【第3回】平成18年2月13日～14日

##### ワイヤレス磁気ドライブ技術の生体情報への展開(全体討論Ⅰ:新たな材料開発と新しいデザインコンセプトによる磁気ドライブ技術)

磁気ドライブにおける基本原理を基に新たなドライブ技術を構築するためには、材料とデザインが重要である。磁気によるエネルギー発生や伝達に欠かせない材料である永久磁石材料に関して、近年新たな開発局面に

入りつつある薄膜や粉末形状の材料に関して、現状と課題が報告され討論された。さらにアクチュエータ実現のために材料が具備すべき仕様について討論された。

一方、磁気マイクロマシンを動作させるためには、応用例に応じた原理の選択が必要である。様々なマイクロマシンを題材として取り上げ、そのデザインコンセプトに関する討論を行うとともに、マシンサイズを変化させた場合のデザインについても検討を行ない、超小型マシンを動作させる際に必要な事項について検討した。

#### 【第4回】平成17年3月13日

##### ワイヤレス磁気ドライブ技術の生体情報への展開(全体討論Ⅱ:磁気マイクロマシンの医療応用)

磁気ドライブ技術によりワイヤレスで動作するマイクロマシンは、医療分野への応用が期待されている。既に臨床応用が開始された内視鏡的粘膜切除術(Endoscopic mucosal resection; EMR)を補助する磁気アクチュエータや、開発の進められている飲み込む内視鏡の誘導機構を始めとして、検討が進んでいる体内埋め込み型ポンプやカテーテル誘導機構などについて、そのメカニズムと問題点、材料開発への期待、などが討論された。

これら会合を通じて、磁気ドライブ技術に関して国内外で行われている幅広い研究の最新動向を掌握するとともに、今後の研究の推進方針を討論した。

#### [3] 成果

##### (3-1) 研究成果

本プロジェクトにおける討論を通じて、多くの提案が産み出され、その一部は参加した研究者らによってより具体的な実験検討が行われた。それらの研究成果の一部を下記に示す。

##### a. 超高感度センサの開発

脳磁界や心臓磁界の計測には、感度の極めて高い磁界センサである SQUID が使われている。しかしながら SQUID は超伝導を利用することから装置が大型化する、維持費が高額になる、さらに検出の位置分解能が低いなどの問題点がある。それに対して本プロジェクトを中心とする研究グループが検討している新たな超高感度磁界センサは、室温で動

作するため冷却機構が不要であるとともに、センサを小型化できるため、位置分解能を向上させることができる。検討の結果、交流磁界に対して  $7.6 \times 10^{-9} (\text{Oe}/\text{Hz}^{1/2})$  と SQUID に匹敵する磁界検出分解能が得られることを明らかにした。さらにこのセンサは mm サイズ以下の空間分解能で磁界検出できる可能性があることから、生体磁界検出を行うための新しいセンサとしての可能性を有している。しかしながら磁界検出分解能に周波数依存性があり、生体情報計測において重要な低周波での感度が不足しており、さらなる検討が必要である。

##### b. 超小型アクチュエータの開発

アクチュエータが小型になると、電源ケーブルの質量が相対的に大きくなるため、磁気で動作するワイヤレスアクチュエータは、小型化に有利といえる。しかしながら小型化に伴ってエネルギーの授受を行う磁性材料の体積も減少するばかりでなく、動作の負荷となる外部環境との摩擦力が相対的に増加し、動作しにくくなると考えられる。これに対して本プロジェクトを中心とするグループによる討論で、回転して動作するアクチュエータにおいては、磁性体体積と摩擦力による負荷とがいずれも長さの3乗に比例するとする考え方が提案され、実際に実験を行ったところ、薄膜磁石を用いて 30 ミクロン×80 ミクロン程度の大きさのプロペラ形状の薄膜を外部磁界により水中で回転させ得ることが示され、提案の妥当性を確認できた。これにより磁気ドライブ技術の超小型アクチュエータへの適用の可能性が大きく広がった。

##### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトで提案されている磁気ドライブ技術は、萌芽的なテーマでもあることからその発展する方向は種々存在する。磁気アクチュエータの医療応用についても、国立がんセンターにおいて EMR 補助システムは 20 名を越える患者の手術に適用し、すべて成功している。一方、磁気ドライブ技術の重要性は広く知られるようになり、国際会議においても磁気ドライブに関する独立セッションが設けられるようになってきている。本プロジェクトはこれらの流れを発展させることに対して大きな貢献を果たしたものといえる。



## [4] 成果資料

本プロジェクト研究会による成果は論文として公表している。代表的論文は下記のとおりである。

- (1) S. Yabukami, H. Mawatari, N. Horikoshi, Y. Murayama, T. Ozawa, K. Ishiyama, K. I. Arai, "A design of highly sensitive GMI sensor," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol.290-291, pp.1318-1321, (2005).
- (2) S. Hashi, Y. Tokunaga, S. Yabukami, T. Kouno, T. Ozawa, Y. Okazaki, K. Ishiyama, K. I. Arai, "Wireless motion capture system using magnetically coupled LC resonant marker," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol.290-291, pp.1330-1333, (2005).
- (3) 山崎彩、仙道雅彦、石山和志、師岡ケイ子、荒井賢一、「平面型構造の磁気マイクロマシンの試作」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.157-160, (2005).
- (4) 久富伸一、山崎彩、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「スパイラル型磁気マイクロマシンを用いたマイクロポンプ」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.161-164, (2005).
- (5) 菊地健司、山崎彩、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「ワイヤを牽引する磁気マイクロマシンの試作」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.176-179, (2005).
- (6) 千葉淳、仙道雅彦、石山和志、荒井賢一、「ブタ腸内におけるカプセル内視鏡用磁気アクチュエータの駆動」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.343-346, (2005).
- (7) 堀越直、藪上信、村山芳隆、小澤哲也、石山和志、荒井賢一、「振幅変調による高周波キャリア型薄膜磁界センサの設計」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.472-476, (2005).
- (8) 相馬宗尚、仙道雅彦、石山和志、庄子康一、渡邊博志、荒井賢一、「肝臓中を移動する磁気マイクロマシンの進行方向制御」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.594-597, (2005).
- (9) 小澤哲也、横田周子、堀越直、藪上信、石山和志、荒井賢一、「高周波キャリアを用いた位相検出型薄膜磁界センサの開発」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.663-666, (2005).
- (10) 小澤哲也、馬渡宏、藪上信、石山和志、荒井賢一、「高周波キャリア型薄膜磁界センサの位相差検出による交流磁界測定装置の開発」、*日本応用磁気学会誌*、vol.29, pp.831-837, (2005).
- (11) Kenji Kikuchi, Aya Yamazaki, Masahiko Sendoh, Kazushi Ishiyama, Ken Ichi Arai, "Fabrication of a Spiral Type Magnetic Micromachine for Trailing a Wire," *IEEE Trans. Magnetism*, vol.41, No.10, pp.4012-4014, (2005).
- (12) Aya Yamazaki, Masahiko Sendoh, Kazushi Ishiyama, Ken Ichi Arai, "Wireless Magnetic Micromachine of Planar Structure With Magnetic Thin Film," *IEEE Trans. Magnetism*, vol.41, No.10, pp.4021-4023, (2005).
- (13) Shuichiro Hashi, Yuuki Tokunaga, Shin Yabukami, Masaharu Toyoda, Kazushi Ishiyama, Yasuo Okazaki, Ken Ichi Arai, "Development of Real-Time and Highly Accurate Wireless Motion Capture System Utilizing Soft Magnetic Core," *IEEE Trans. Magnetism*, vol.41, No.10, pp.4191-4193, (2005).

## 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)

瀧瀬 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 (N T T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：校費 50,000 円、旅費 370,000 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、半導体チャンネル等、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 20 Å 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、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となってくる。

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ないわけではない。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ために、当該分野の第一線の研究者を一同に集め、本音の討論を行うことである。

第1回当該共同プロジェクト研究会は平成17年10月14日(金)～15日(土)にかけて、宮城県岩沼市の「岩沼・モンタナリゾート」で開催された。第1回研究会ではナノスケールの物質で起こる基礎的現象とその計測方法、新しいナノスケール物質の作製方法に焦点を絞り、研究会メンバーを中心に講演を募集した。その結果、多くの多くの興味深いナノ構造独特の現象に関する研究発表が行われるとともに、活発な討論が行われた。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

平成17年度の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」で開催した。平成17年度の第1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」の構築を皮切りに「21世紀のナノテクノロジー」を日本発で切り拓こうという各研究者の気迫が伝わってきた。以下に今回の研究会プログラムを記載する。

-----  
10月14日

- (1) 13:40-13:45  
はじめに 筑波大院・数理物質科学研究科  
白石 賢二
- (2) 13:45-14:05  
Si(111)表面上に成長したAgナノ薄膜内への電子量子閉じ込め(2)  
東工大院・総合理工学研究科 平山 博之
- (3) 14:05-14:25  
Si(100)面上のSn超格子構造のISS-STMによる観察  
豊田工大・ハイテクリサーチセンター  
上田 一之、柴田 秀幸、吉村 雅満
- (4) 14:25-14:45  
表面構造のガラス結晶化転移での電気伝導  
東大院・理学系研究科 長谷川 修司
- (5) 14:45-15:05  
ビスマス原子細線をテンプレートとして用いたクラスター等のナノ構造作製  
物質材料研究機構 James Owen
- (6) 15:05-15:25  
III-V族化合物半導体ナノワイヤにおける構造多形  
三重大・工学部 秋山 亨、中村 浩次、伊藤 智徳
- (7) 15:25-15:45  
ダイヤモンドのSTM観察  
物質材料研究機構 三木 一司
- (8) 16:05-16:25  
Si基板へのGa<sub>n</sub>直接成長-Si表面の終端水素制御-  
東京農工大・工学部 瀬瀬 明伯
- (9) 16:25-16:45  
スラブ型フォトニック結晶を用いた光フィルターの設計と作製

- NEC 基礎・環境研究所 五明 明子
- (10) 16:45-17:05  
カゴメ格子鎖の電気伝導  
千葉大・理学部 中山 隆史
  - (11) 17:05-17:25  
反射高速陽電子回折による表面評価  
日本女子大・理学部 一宮 彪彦
  - (12) 20:00-20:20  
量子ドット超格子の光物性探索  
筑波大院・数理物質科学研究科 野村 晋太郎
  - (13) 20:20-20:40  
吸着子によるサーマル・ステップ・バンチング：単純六方格子(0001)面の場合  
大阪電通大・工学部 垣井 祥成、阿久津 典子
  - (14) 20:40-21:00  
有機触媒(Cat)CVDによる有機・無機ハイブリッド薄膜の低温成長  
大阪市大・工学部 中山 弘

-----  
10月15日

- (15) 9:15-9:35  
有機分子架橋系の電気伝導特性  
物質材料研究機構 奈良 純、大野 隆央
  - (16) 9:35-9:55  
SiC基板上でのカーボンナノチューブ生成メカニズム  
名城大・理工学部 成塚 重弥
  - (17) 9:55-10:15  
炭素ネットワーク物質の磁性  
筑波大院・数理物質科学研究科 岡田 晋、押山 淳
  - (18) 10:15-10:35  
メカニカル素子におけるナノ半導体構造  
NTT物性基礎研 山口 浩司
  - (19) 10:35-10:55  
磁性半導体におけるスピン流とスピントルク  
東北大通研 大野 英男
  - (20) 10:55-11:15  
呼吸を司る酵素、チトクローム酸化酵素における原子レベルのプロトン移動機構  
筑波大院・数理物質科学研究科 白石 賢二、神谷 克政、Mauro Boero、押山 淳
  - (21) 11:15-11:20  
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、(3)「新しい半導体ナノ構造の計測方法」にブレークスルーを与える可能性のある研究結果、という本研究会の3つの大きなターゲットに関する発表が数多く行われた。例えば、「カゴメ格子鎖の電気伝導の理論(千葉大・中山)」、「Si 基板上への GaN の成長方法(東京農工大・瀬瀬)」、「反射高速陽電子回折による表面評価(日本女子大・一宮)」等がこれらに該当する今後の発展の期待される研究成果である。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を通して、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・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、共同研究がはじまった。また、今年度のプロジェクト研究会をきっかけに新たな共同研究も生まれている。「金属/絶縁体ナノ界面制御の実用化」という応用寄りのテーマに対して、元来はナノ界面の基礎物理の研究を行っていた理論研究者が参入し、実用化に近い研究者と共同し、デバイス分野の国際会議への投稿を検討するまでに至っている。

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将来各国との競争に打ち勝つための必要条件となると期待している。

課題番号 H17/B05

採択回数 1 2 3

## ナノスピス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：荒井 賢一  
(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)  
久米 泰介 (名古屋大学工学研究科)  
松山 秀生 (北海道大学理学研究科)  
佐藤 敏郎 (信州大学工学部)  
曾根原 誠 (信州大学工学部)  
溝口 正 (学習院大学理学部)  
山田豊和 (学習院大学理学部)  
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)  
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)

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 483,860 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従する強磁性体のスピ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ナルブヘッ

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、ナノスピス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、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1年度であった。上記の目的を踏まえて、本年度は、下記2回の研究会を開催し、ナノスピス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17年10月4日(火)～5日(水)  
場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系103会議室

参加者数：70名(2日間延べ)

プログラム：

10月4日(火)

『交換磁気異方性研究の現状と課題』(東北大学工学研究科 角田匡清)

『Mn-Pt/強磁性エピタキシャル膜のトルク測定お

よびMCD測定』(名古屋大学工学研究科 久米泰介)

『 $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{NOL}$  を用いた SV 薄膜における交換結合磁界の増大』(東北大学工学研究科 土井正品)

『Mn-Ir/Fe 基アモルファス交換バイアス膜の作製と Fe-Pt 垂直記録媒体への応用』(秋田県産業技術総合研究センター 鈴木淑男)

『マイクロ波帯用 Mn-Ir/FeSi 交換結合磁性膜の開発』(信州大学工学部 曾根原誠)

『Influence of interface coupling and magnetization reversal on microwave permeability in exchange coupled CoFe/MnIr bilayers』(東北大学工学研究科、忠南大学 DongYoung Kim)

『 $\text{Mn}_3\text{TM}$ ( $\text{TM}=\text{Rh}, \text{Ir}, \text{Pt}$ )規則相合金と  $\gamma$  相 Mn 系合金のネール温度と磁気構造』(東北大学工学研究科 梅津理恵)

10月5日(水)

『交換結合バイアスと強磁性スピン成分の発生』(日立金属 三俣千春)

『元素選択磁気ヒステリシス測定の磁性研究への応用』(高輝度光科学研究センター 中村哲也)

『中性子回折, 反射法による交換結合膜の研究の現状について』(日本原子力研究所 武田全康)

『交換結合膜の磁気イメージング』(高エネルギー加速器研究機構 小野寛太)

『スピン偏極走査トンネル顕微分光法の原理と Mn(001)のスピン依存局所状態密度』(学習院大学理学部 山田豊和)

## ○第2回研究会

日時:平成18年1月24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:

『GMR ヘッド積層膜の構造解析』(日立製作所 日立研究所 平野辰巳)

## [3] 成果

### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第一に、第1回研究会での討論の結果、高性能交換磁気異方性を発現するための反強磁性材料の開発の現状と、その物性理解の現状について整理と理解がなされた。

角田、久米、土井の講演では、反強磁性薄膜の最新の研究成果に基づいた報告がなされた。

また、梅津の講演では、Mn 系合金の構造と磁性

について、講演者らのグループで積み重ねてきた詳細な研究成果を中心とした、反強磁性体の材料物性そのものに関する知見の整理がなされた。

三俣の講演では、これらの実験結果に基づき、交換磁気異方性の起源を明らかにすることを目的に行った独自の理論研究の成果ならびに、これまでに提案されている理論研究について平易に解説がなされた。

鈴木、曾根原、Kim の講演では、応用サイドからみた交換磁気異方性材料の開発の現状についての報告とデバイス応用上必要な薄膜物性についての議論がなされた。

中村、武田、小野、山田の講演では、交換磁気異方性の起源解明に不可欠な微視的磁気構造評価技術として、軟X線磁気円二色性、偏極中性子回折・反射、光電子顕微鏡、スピン偏極 STM を用いた、反強磁性材料の磁区構造解析ならびにスピン構造解析に関する最先端技術の解説がなされた。

第2回研究会では、平野らのグループで開発した、X線反射率法と偏極中性子反射率法とを併用した GMR 膜の積層構造解析・磁気モーメント解析の技術に関する講演がなされた。GMR ヘッドの高感度化のための積層膜の極薄化と固定層・自由層の多層化において、GMR 膜内の複数の強磁性層の磁気モーメントの解析結果と VSM による測定結果との比較検討、積層膜界面におけるラフネス・ミキシングなどの物理的・化学的構造と磁氣的構造との比較検討、などについて解説と議論がなされた。

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、協働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) 角田匡清、芦沢好人、仲真美子、吉滝慎一郎、中村哲也、  
“Mn<sub>3</sub>Ir/Co-Fe 積層膜の巨大交換磁気異方性と反強磁性スピンの磁化過程との相関”,  
Nanotechnology in SPring-8, **6**, 47 (2005)
- (2) M. Tsunoda, Y. Ashizawa, M. Naka, S. Yoshitaki, and T. Nakamura, “Study of the correlation between the giant exchange anisotropy and the magnetization process of antiferromagnetic spins in Mn<sub>3</sub>Ir/Co-Fe bilayers”, SPring-8 User Experiment Reports, **15**, 131 (2005).
- (3) C. Mitsumata, A. Sakuma, K. Fukamichi, and M. Tsunoda, “Uncompensated Spin Elements in Ferromagnetic and Antiferromagnetic Bilayer with Non-Collinear Spin Structure”, Mater. Trans. **47** (1), 11 (2006).
- (4) M. Tsunoda, T. Nakamura, M. Naka, S. Yoshitaki, C. Mitsumata, and M. Takahashi, “XMCD Study of Mn-Ir/Co-Fe bilayers with giant exchange anisotropy”, Digest of Intermag 2006, EC-08 (2006).

## 次世代ナノ・エレクトロニクスのための 光・スピン・電荷制御の理論

### [1] 組織

代表者：草部 浩一  
(大阪大学大学院基礎工学研究科)

対応者：白井 正文  
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

藤原 毅夫 (東京大学大学院工学系研究科)  
川添 良幸 (東北大学金属材料研究所)  
浜田 典昭 (東京理科大学理工学部)  
小口多美夫 (広島大学大学院先端物質科学研究科)  
播磨 尚朝 (神戸大学理学部)  
矢花 一浩 (筑波大学計算科学研究センター)  
渡邊 聡 (東京大学大学院工学系研究科)  
常行 真司 (東京大学大学院理学系研究科)  
前園 涼 (物質材料研究機構)  
相澤 秀昭 (北海道大学創成科学共同研究機構)  
高橋 学 (群馬大学工学部)  
鈴木 直 (大阪大学大学院基礎工学研究科)  
赤井 久純 (大阪大学大学院理学研究科)  
吉田 博 (大阪大学産業科学研究所)  
笠井 秀明 (大阪大学大学院工学研究科)  
広瀬喜久治 (大阪大学大学院工学研究科)  
白井 光雲 (大阪大学産業科学研究所)  
森川 良忠 (大阪大学産業科学研究所)  
中西 寛 (大阪大学大学院工学研究科)  
小野 倫也 (大阪大学大学院工学研究科)  
Wilson A. Diño (大阪大学大学院工学研究科)  
佐藤 和則 (大阪大学産業科学研究所)  
小倉 昌子 (大阪大学大学院理学研究科)  
Dinh Van An (大阪大学産業科学研究所)  
柳沢 将 (大阪大学産業科学研究所)  
木崎 栄年 (大阪大学産業科学研究所)

研究費：校費 49,960 円，旅費 580,130 円

### [2] 研究経過

高集積化，高速応答，高感度，低消費電力，複合入力応答などの機能を実現する新しいエレクトロニクスを牽引する素材開発の分野において，経験的方

法論に頼らない電子状態計算手法による物質予測法は，この数年さらに重要性を増している。実際，科研費特定領域研究が設定され，最先端・高性能汎用スーパーコンピュータの開発利用プロジェクト（京速計算機開発）における中心課題の一つに数えられるなど，社会的な要請が生じていると考えられる。本プロジェクトでは，ナノスケール物質のスピン・電荷構造の理論予測や光などの外場による物質相の制御を可能にする革新的開発手法を生み出すために，研究者間ネットワークの構築を行い，次世代ナノ・エレクトロニクスを牽引する電子状態計算法の継続的開発を可能とすることを目的とした。

以下，研究活動状況の概要を記す。

本年度は，理論的物性予測の光通信・スピンエレクトロニクス・次世代エレクトロニクスへの応用について，第一原理的物性予測手法に関する理論研究を主導する各研究機関の代表的研究者の参加を得て，次世代ナノ・エレクトロニクスに関する研究を行い，以下の共同プロジェクト研究会を開催して，その成果を取りまとめた。

第一回の研究会「次世代ナノ・エレクトロニクスのための光・スピン・電荷制御の理論」を，平成17年10月26日～27日に東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟カンファレンスルームで開催した。口頭発表による講演26件に加えて，大学院生を含む若手研究者によるポスター発表16件があり，60名を越える参加者を得て活発な討論が行われた。初日には「物質中の伝導現象に関する第一原理計算」，「超大規模計算へ向けた展開」，「電子秩序相を同定する電子状態計算」と題する三つのセッションが，また二日目には「Beyond LDA 手法による電子相関効果」，「表面・界面に関する電子状態計算」，「ナノ構造における物質応答とダイナミクス」というセッションが企画され，当該研究分野の第一線で活躍している研究者の講演が行われた。講演後の質疑応答のための時間だけでなく，休憩時間にも活発な討論が行われていたのが印象的であった。



### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下の項目に示す研究成果を得た。

1. 物質中の電気伝導に関する第一原理計算について、第一原理計算によるナノスケール構造の電気伝導予測、電気物性計測に関するシミュレーション手法の現状をまとめ、マンガン酸化物の電気伝導やホイスラー合金をベースとした三層構造のスピニ依存電気伝導などの具体的計算例における有効性を明らかにした。

2. 超大規模計算に向けた展望について、オーダー $N$ 法による10 nmスケール系の動的プロセスと電子物性や強誘電体薄膜の高速な分子動力学シミュレーションの実例を通して理論の有効性を示し、材料設計用スーパーコンピュータの現状と将来について俯瞰した。

3. 電子秩序相を同定する電子状態計算について、マルチフェロイック系、ナノスピノードル分解を発生する半導体スピントロニクス系、表面ナノ構造の表面局在電子系とその磁性について、マテリアルデザインの立場から現状の成功事例を示し、半導体スピントロニクスデバイス、表面スピントロニクスデバイスへの応用は高効率な開発を実現していることを示すとともに、今後の展開の方向を明らかにした。

4. LDA手法による電子状態計算について、トランスコリレイティッド法による固体の電子状態計算や量子拡散モンテカルロ法による固体周期系計算の現状をまとめ、GW近似によるA型反強磁性 $\text{LaMnO}_3$ の電子構造、 $\text{PrRu}_4\text{Sb}_{12}$ における電場勾配とフェルミ面の同時決定、第一原理計算手法による超高压下超伝導転移、自己相互作用補正によるZnOベース希薄磁性半導体の電子状態と磁性への適用例を通して、電子状態計算の有効性を明らかにした。また、フント則といった原理に対する理解を深めるためにも超高精度計算が必用であることを示した。

5. 表面・界面に関する電子状態計算について、 $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ などの絶縁体界面における導電性、有機/金属界面の構造と電子状態への適用における成功事例を示し、金属表面上の吸着磁性原子において発生する近藤効果が理論計算による実験の評価を通して明らかにされるなど、基礎・応用の両面で電子状態計算の有効性を明らかにした。

6. ナノ構造における物質応答とダイナミクスについて、表面反応における水素のダイナミクスの第一原理計算事例が評価され、さらに時間依存密度汎関数法による光応答計算、磁性半導体の光応答、CrにおけるX線共鳴散乱などの光学応答に関する第一原理計算の有効性を示した。また、赤外線照射・振動励起による半導体中の不純物拡散の制御、フラ-

レン分子架橋の非弾性電子輸送と分子運動制御などの原子スケール・ナノスケールでの物質制御の第一原理計算による評価法と応用事例を明らかにした。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトに並行して、科学研究費補助金特定領域研究「次世代量子シミュレータ・量子デザイン手法の開発」(代表:赤井久純大阪大学教授)がスタートした。それを受けて、「次世代ナノ・エレクトロニクスのための光・スピン・電荷制御の理論」研究会は当該特定領域研究の共催として実施した。本研究会では応用分野に重点を置いた議論を行ったが、理論の基礎的側面に重点をおいた研究会の実施が必用と考えるに至り、東京大学物性研究所短期研究会「次世代ナノ・エレクトロニクスのための電子状態計算の基礎理論」(口頭発表34件、ポスター発表16件、パネルディスカッション「物性科学研究における京速計算に向けた展望と期待」を含む)へも引き継いで、さらに研究を継続した。また、特定領域研究の各班会議での議論にも大いに波及効果を与えたと考えられる。さらに本研究会の成果の総合として、日本物理学会第61回年次大会において、領域4・11合同シンポジウム「次世代第一原理量子シミュレーションによる量子デザイン手法の展開」が開催され、英国・米国からの講演を含む8件の講演により、最高精度電子状態計算手法から第一原理オーダー $N$ 大規模分子動力学法計算までを包含した現状での研究の総括と展望が示された。京速計算機を含む大型プロジェクトへの波及効果を含めて、今後の発展が期待されている。

### [4] 成果資料

- (1) T. Ono and K. Hirose, "First-principles study of electron-conduction properties of helical gold nanowires," *Phys. Rev. Lett.* **94**, 206806 (2005).
- (2) M. Ogura and H. Akai, "The full potential Koriinga-Kohn-Rostoker method and its application in electric field gradient calculations," *J. Phys. : Condens. Matter* **17**, 5741 (2005).
- (3) H. Totsuka, S. Furuya, and S. Watanabe, "Theoretical analysis of apparent barrier height on an Al surface: Difference by measurement methods," *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 5459 (2005).
- (4) T. Hoshi, Y. Iguchi, and T. Fujiwara, "Nanoscale structures formed in silicon cleavage studied with large-scale

- electronic structure calculations: Surface reconstruction, steps, and bending,” *Phys. Rev. B* **72**, 075323 (2005).
- (5) T. Hashimoto, T. Nishimatsu, H. Mizuseki, Y. Kawazoe, A. Sakaki, and Y. Ikeda, “*Ab initio* study of strain-induced ferroelectricity in  $\text{SrTiO}_3$ ,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 7134 (2005).
- (6) Y. Uratani, T. Shishidou, F. Ishii, and T. Oguchi, “First-principles predictions of giant electric polarization,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 7130 (2005).
- (7) K. Sato, H. Katayama-Yoshida, and P. H. Dederichs, “High Curie temperature and nano-scale spinodal decomposition phase in dilute magnetic semiconductors,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, L948 (2005).
- (8) T. Kishi, M. David, W. A. Diño, H. Nakanishi, H. Kasai, and F. Komori, “Ground state magnetic properties of Fe nanoislands on  $\text{Cu}(111)$ ,” *J. Phys. Soc. Jpn.* **74**, 3057 (2005).
- (9) H. Harima and K. Takegahara, “Fermi surfaces of  $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$  based on the LDA+U method,” *Physica B* **359**, 920 (2005).
- (10) N. Umezawa, S. Tsuneyuki, T. Ohno, K. Shiraishi, and T. Chikyow, “A practical treatment for the three-body interactions in the transcorrelated variational Monte Carlo method: Application to atoms from lithium to neon,” *J. Chem. Phys.* **122**, 224101 (2005).
- (11) S. U. Maheswari, H. Nagara, K. Kusakabe, and N. Suzuki, “*Ab-initio* calculations of lattice dynamics and superconductivity in FCC lithium and iodine and BCC tellurium,” *J. Phys. Soc. Jpn.* **74**, 3227 (2005).
- (12) S. Yanagisawa and Y. Morikawa, “Theoretical investigation on the electronic structure of the tris-(8-hydroxyquinolino) aluminum / aluminum interface,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, 413 (2006).
- (13) W. A. Diño, E. T. Rodulfo, and H. Kasai, “Temperature dependence of the spectral profile of the Yosida-Kondo resonance for a single magnetic atom adsorbed on a metal surface,” *Surf. Sci.* **593**, 49 (2005).
- (14) T. Nakatsukasa and K. Yabana, “Unrestricted TDHF studies of nuclear response in the continuum,” *Eur. Phys. J. A* **25**, 527 (2005).
- (15) M. Takahashi and J. Igarashi, “*Ab initio* study of L-edge x-ray resonant scattering from chromium in spin density wave state,” *J. Phys. Soc. Jpn.* **75**, 013701 (2006).
- (16) K. Shirai, T. Michikita, and H. Katayama-Yoshida, “Molecular dynamics study of fast diffusion of Cu in silicon,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 7760 (2005).
- (17) T. Yamamoto, K. Watanabe, and S. Watanabe, “Electronic transport in fullerene  $\text{C}_{20}$  bridge assisted by molecular vibrations,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 065501 (2005).
- (18) V. A. Dinh, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, “Dilute magnetic semiconductors based on wide bandgap  $\text{SiO}_2$  with and without transition metal elements,” *Solid State Commun.* **136**, 1 (2005).
- (19) T. Fukushima, K. Sato, H. Katayama-Yoshida, and P.H. Dederichs, “Spinodal decomposition under layer by layer growth condition and high Curie temperature quasi-one-dimensional nano-structure in dilute magnetic semiconductors,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, L416 (2006).
- (20) H. Kizaki, K. Sato, A. Yanase, and H. Katayama-Yoshida, “First-principles materials design of  $\text{CuAlO}_2$  based dilute magnetic semiconducting oxide,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, L1187 (2005).
- (21) N. Fujima and T. Oda, “Structures and magnetic properties of iron chains encapsulated in tubal carbon nanocapsules,” *Phys. Rev. B* **71**, 115412 (2005).
- (22) T. Ishikawa, H. Nagara, K. Kusakabe, and N. Suzuki, “Determining the structure of phosphorus in phase IV,” *Phys. Rev. Lett.* **96**, 095502 (2006).
- (23) R. Maezono, “Precise *ab-initio* calculations of Nano Materials” (in Japanese) Review article appeared in *The Bulletin of the Society of Nano Science and Technology*, **3** 87-95 (2005) .
- (24) T. Saitoh, M. Nakatake, H. Nakajima, O. Morimoto, A. Kakizaki, Sh. Xu, Y. Moritomo, N. Hamada and Y. Aiura, “Unusual electron-doping effects in  $\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{FeMoO}_6$  observed by photoemission spectroscopy,” *Phys. Rev. B* **72** (2005) 045107-1-6.

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)

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、プロジェクトの1年目であり、以下の2回の研究集会を開催した。

第一回：2005年8月1日(月)～2日(火)

発表8件

第二回：2006年2月23日(木)～24日(金)

発表9件

### [3] 成果

(3-1) 研究成果

プログラム検証に関する会合を年2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で、小林らにより VMCAI2006 で発表された型とモデル検査の融合による並行プログラムの検証等、本会合の交流による成果が得られている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、異なるアプローチからの研究者同士の情報交換が促進でき、2006年度からは新たなメンバーにプロジェクトに加わってもらうことができた。

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, "Type-Based Information Flow Analysis for the Pi-Calculus," *Acta Informatica*, 42(4-5), pp.291-347, 2005

(2) N. Kobayashi, K. Suenaga, and L. Wischik, "Resource Usage Analysis for the Pi-Calculus," *Proc. of VMCAI 2006*, Springer LNCS 3855, pp.298-312, 2006

(3) F. Iwama, A. Igarashi, and N. Kobayashi, "Resource Usage Analysis for a Functional Language with Exceptions," *Proceedings of PEPM'06*, ACM Press, pp.38-47, 2006

(4) Yoshihito Toyama, "Reduction strategies for left-linear term rewriting systems," *Festschrift for J. W. Klop*, Lecture Notes in Computer Science 3838, pp.198-223, 2005

(5) 千葉勇輝, 青戸等人, 外山芳人, 「パターンに基づくプログラム変換における列変数の導入」, *FIT2005*, 情報技術レターズ, Vol. 4 pp.5-8, 2005

(6) Y. Chiba, T. Aoto and Y. Toyama, "Program transformation by templates based on term rewriting," *Proc. of the 7th ACM-SIGPLAN International Conference on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP 2005)* pp.59-69, 2005

(6) Y. Tanabe, K. Takahashi, M. Yamamoto, A. Tozawa, and M. Hagiya, "A Decision Procedure for the Alternation-free Two-way Modal mu-calculus," *TABLEAUX 2005*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol.3702, pp.277-291, 2005

(7) Y. Nakagawa, R. Potter, M. Yamamoto, M. Hagiya, and K. Kato, "Model Checking of Multi-Process Applications Using SBUML and GDB," *Workshop on Dependable Software -- Tools and Methods --*, Supplemented Volume of the 2005 International Conference on Dependable Systems and Networks, pp.215-220, 2005

(8) 田辺良則, 高橋孝一, 山本光晴, 佐藤貴洋, 萩谷昌己, 「BDD を用いた 2 方向 CTL 論理式充足可

能性決定手続きの実装」, *コンピュータソフトウェア*, Vol.22, No.3, pp.154-166, 2005

(9) Yasuhiko Minamide, "Static Approximation of Dynamically Generated Web Pages," *In Proc. of the 14th International World Wide Web Conference*, pp. 432-441, 2005

(10) 大熊浩示, 南出靖彦, 「実行可能なコンパイラの形式化と検証」, *情報処理学会論文誌:プログラミング*, No. SIG 6(PRO 25), pp.18-34, 2005

(11) Kokichi Futatsugi, Joseph Goguen, and Kazuhiro Ogata, "Verifying Design with Proof Scores," *Proc. of 1st IFIP-WG2.3 Conf. on Verified Software: Tool, Theory, and Experience (electric form)*, 2005

(12) Kazuhiro Ogata and Kokichi Futatsugi, "Equational Approach to Formal Analysis of TLS," *Proc. of the 25th Intl. Conf. on Distributed Computing Systems*, IEEE Computer Society Press, pp.795-804, 2005

(14) Takahiro Seino, Kazuhiro Ogata, and Kokichi Futatsugi, "Mechanically Supporting Case Analysis for Verification of Distributed Systems," *Journal of Pervasive Computing and Communications*, 1(2), pp.135-145, Troubador, 2005

課題番号 H17/B08

採択回数 (1) 2 3

## スピン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)

井上 順一郎 (名大工)

伊藤 公平 (慶大理工)

猪俣 浩一郎 (東北大工)

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：校費 5 万円，旅費 31 万円

### [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 17 年 10 月 4 日～5 日に東北大学電気通信研究所にて「スピン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。金属スピントロニクス分野と半導体スピントロニクス分野の研究者が多数集まり、17 件の講演とともに今後のスピン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。

金属スピントロニクス分野と半導体スピン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、金属スピントロニクス分野と半導体スピン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された。両分野の融合による今後の新たなスピントロニクス発展へとつながることが期待される。

## マイクロ波帯磁気デバイスの開発と応用に関する研究

### [1] 組織

代表者：佐藤 敏郎

(信州大学工学部)

対応者：荒井 賢一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

阿部 正紀 (東京工業大学理工学研究科)  
 石井 修 (山形大学工学部)  
 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)  
 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 60 円

### [2] 研究経過

携帯電話 MMIC 用集積化磁性薄膜インダクタや薄膜 LC フィルタ，磁性体と誘電体のハイブリッドで構成される分布定数型デバイス，EMI 計測用マイクロプローブや高周波キャリア型薄膜磁界センサなど，数百 MHz から GHz 帯を動作周波数とする新しい高周波マイクロ磁気デバイスが続々と出現しており，発展著しい情報通信分野のニーズに対応すべく，さらに高い周波数帯をカバーする超高周波マイクロ磁気デバイスの実現が強く要望されている。

本研究会は，携帯電話や無線 LAN などの RF 回路における磁気デバイスの開発事例と実用化のための課題を抽出し，これらデバイスの実用化に資することを目的に平成 17 年 4 月に発足した。平成 17 年度は，10GHz を超える超々高周波磁性薄膜透磁率の評価技術，種々のマイクロ波応用デバイスなどについて検討を行った。平成 17 年 12 月 12 日，13 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，23 件の発表・討論を行った。以下に，これらの概要を記す。

12 月 12 日(月)

**MAG-05-174** CPW 線路を用いた 20GHz 帯における透磁率測定を試み，山口正洋，小峰友裕，塩澤誠一 (東北大学)

**MAG-05-175** Mn-Zn フェライト/ポリイミド複合材料を用いた GHz 帯コモンモードフィルタの試作，榊田洋彰，佐藤敏郎，山沢清人，三浦義正 (信州大学)

**MAG-05-176** RF 強磁性薄膜インダクタにおけるパターン化磁性膜の配置とその高周波特性，Kim Ki Hyeon，山田啓壽，山口正洋 (東北大学)

**MAG-05-177** 携帯電話用磁性薄膜方向性結合器の基礎検討，滝澤和孝，中沢政博，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-05-178** マイクロファクトリ用リニアマイクロコンパヤの開発，柳 貴裕，小森望充 (九州工業大学)

**MAG-05-179** 熱時効した FeCu 引張試験片の磁気特性，菊池弘昭，千葉一也，荒 克之，鎌田康寛，小林 悟，高橋正氣 (岩手大学)

**MAG-05-180** 段差による磁性薄膜の磁壁ピンニング，竹澤昌晃，江尻圭多，山崎二郎 (九工大)，浅田裕法，小柳 剛 (山口大)

**MAG-05-181** 方向性 Fe-3%Si 鋼板の磁区構造計算，岩田圭司，藤倉昌浩 (新日鐵)，福田由佳 (NSSOL)，今福宗行 (日鐵テクノ)

**MAG-05-182** 磁性膜を用いた薄膜電力計，辻本浩章，奥野洋平 (大阪市立大学)

**MAG-05-183** Development of High Density and High Efficiency Machines, M. Enokizono, T. Todaka, Y. Tsuchida, A. Ikariga, S. Urata(Oita University), T. Mauchi(Akashi Electric Machinery), A. Umeduki, K. Ebihara, H. Shioduki (SYMEX), H. Shimoji(E-asit), Y. Gotho (FACT), M. Obata, Y. Kido(Oita Industrial Research Institute)

**MAG-05-184** MO 空間光変調器の開発とホログラム光体積記録への応用，井上光輝 (豊橋技科大)，P. B. Lim (JST-CREST)，井村智和，梅澤浩光

(FDK), 堀米秀嘉 (オプトウエア)

**MAG-05-185** 回転して推進するマイクロマシンのスケーリング則に関する検討, 石山和志, 山崎 彩 (東北大学), 仙道雅彦 (みやぎ産業振興機構), 荒井賢一 (東北大学)

12月13日 (火)

**MAG-05-186** 鉄損計測と B-H ループ面積, 田中清貴, 山本哲也, 園田敏勝 (近畿大学)

**MAG-05-187** 変圧器の非線形性と電圧制御系, 山本哲也, 田中清貴, 園田敏勝 (近畿大学)

**MAG-05-188** 複素 E&S モデルを用いた三相変圧器モデル鉄心の磁界解析, 中ノ上賢治, 浦田信也, 中畑 和, 戸高 孝, 榎園正人, 下地広泰 (大分大学)

**MAG-05-189** メカニカルアロイング法により作製した Fe-Co-Mn 合金の磁気特性, 宮里周作, 山城康正 (琉球大学)

**MAG-05-190** 低温 ECR による Si マイクロマシニングと磁性体の微細構造加工, 大山賢司, 竹澤昌晃, 本田 崇, 森本祐治, 山崎二郎 (九工大)

**MAG-05-191** 差動コイルを用いた金属片探査システムに関する検討, 安武知治, Tomasz Chady, 植田雄二, 榎園正人 (大分大学)

**MAG-05-192** 位相計測による LC 共振型磁気マーカーの多点位置検出システム, 加藤智紀, 藪上 信 (東北大学), 栢修一郎 (岐阜大学), 荒井賢一 (東北大学), 岡崎靖雄 (岐阜大学)

**MAG-05-193** 永久磁石を使った科学教材用水中マイクロロボット, 福田隆志, 本田 崇, 山崎二郎 (九州工業大学)

**MAG-05-194** 外部磁界で駆動する魚型マイクロロボットの旋回モード, 富江真弘, 本田 崇, 山崎二郎 (九州工業大学)

**MAG-05-195** 磁気マシンを用いたマイクロポンプの微小流量制御に関する検討, 久富伸一, 山崎 彩, 石山和志, 我妻成人 (東北大学), 仙道雅彦 (みやぎ産業振興機構), 荒井賢一 (東北大学)

**MAG-05-196** 生体内で働く泳動型磁気マイクロマシンの基礎的検討, 菊地健司, 山崎 彩 (東北大学), 仙道雅彦 (みやぎ産業振興機構), 石山和志, 荒井賢一 (東北大学)

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

平成 17 年度に実施した本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)20GHz におよぶ超々高周波磁性薄膜透磁率計測**  
シールドループコイルと進行波外部磁界を利用する磁性薄膜透磁率計測に対して, Nicolson Wier

法を発展させた, コプレーナ線路 (CPW) 上にサンプルを装荷する新しい方法が提案された。サンプル幅と線路幅の関係を最適化することで, 測定周波数上限をこれまでの 9GHz から 20GHz にまで高めることに成功した。

#### (2)集積化マイクロ波磁気デバイス

モノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC : Monolithic Microwave Integrated Circuit) への応用を目指して, 磁性薄膜インダクタや磁性薄膜伝送線路デバイスの開発が進められている。

RF 集積化磁性薄膜インダクタでは, コイル導体に対するスリットパターン化 CoZrNb 磁性膜の最適配置に関する検討が行われ, 磁性膜エッジをコイル導体エッジからシフトする構造がインダクタンスの増大と高 Q を両立できることが示された。

携帯電話 RF 回路用の CoFeB 磁性薄膜結合線路型方向性結合器が試作された。本デバイスでは, マイクロストリップ結合線路に CoFeB 磁性膜を採用して線路間の磁気結合を高めるとともに, 静電容量スタブによる電界結合を利用している。本デバイスは, 磁性膜の採用によって線路間スペーシングを大きくしても磁界結合の低下が少なく, 電界結合にスタブ静電容量を利用することで線路間の磁界結合と電界結合を独立に設計できる。試作デバイスは 0.5 × 1.0mm のサイズを有し, 0.8~2GHz 帯において, 反射係数, 挿入損失, 結合度は, それぞれ, -20dB 以下, 0.6dB 以下, -20~-30dB であり, 携帯電話用途の目標特性を満足したが, アイソレーションが小さく, 今後の改良が望まれるところである。

#### (3)マイクロ波 EMI 対策技術

磁性材料の高周波損失を利用する EMI 対策技術として, RF 回路にフェライトメッキ膜を直接被着する手法が開発された。数  $\mu\text{m}$  厚のフェライト膜で数十  $\mu\text{m}$  以上の厚さを有する金属磁性材料/樹脂複合シートと同等のノイズ抑制効果を示すことが明らかとなった。

高精細デジタル動画像インターフェース (HDMI : High Definition Multimedia Interface) への適用を目的に, 電磁障害の原因となる不平衡信号を抑制する GHz 帯コモンモードフィルタが試作された。本フィルタは, スクリーン印刷で作製され, Mn-Zn フェライト/ポリイミド複合材料厚膜を用いた結合線路構造を有する。試作デバイスは, GHz 帯において 10~45dB のコモンモード減衰量を有するが, 平衡モード信号に対する挿入損失が 5~20dB と大きいことが大きな課題である。

#### (3-2) 波及効果と発展性

20GHz にもおよぶ超々高周波磁性薄膜透磁率計測技術は, 今後のマイクロ波帯磁性材料開発におい

る有力な支援ツールとなることが期待される。

MMIC への適用を目指した集積化磁気デバイスについては、低損失化やさらなる小型化が課題であるが、着実に特性改良が進み、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 対策技術として、RF 回路にフェライトメッキ膜を直接被着する技術が実用化の段階を迎えつつあり、今後の進展が期待される。

本共同プロジェクト研究会研究分担者らを中心に、第3回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際シンポジウム (MMDM3: International Symposium on High Frequency Micromagnetic Devices and Materials) が東北大学電気通信研究所国際シンポジウム後援事業として開催された。引き続き、2006年5月8日に、第4回シンポジウム (MMDM4) が米国サンディエゴ市で開催される予定である。

#### [4] 成果資料

- (1) 中山英俊, 山本知弘, 溝口裕子, 佐藤敏郎, 山沢清人, 三浦義正, 三宅裕子, 秋江正則, 上原裕二, 遠藤恒雄, 宗像誠, 八木正昭, “携帯電話PA用インピーダンス整合器への適用を目的としたCoFeB/ポリイミドハイブリッド薄膜コプレーナ線路の低損失化”, 日本応用磁気学会誌29巻6号, pp. 667-674, (2005).
- (2) H. Nakayama, T. Yamamoto, Y. Mizoguchi, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, Y. Miyake, M. Akie, Y. Uehara, M. Munakata, “Development of an Integrated RF Impedance Matching Device with LPF Function using a CoFeB Magnetic/Polyimide Dielectric Hybrid Thin-Film Coplanar-Line”, Asia-Pacific Microwave Conference 2005 Proceedings, pp. 720-722, (2005).
- (3) K. Takizawa, M. Nakazawa, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, M. Munakata, M. Yagi, “Directional coupler composed of CoFeB metallic magnetic film/polyimide dielectric film hybrid transmission-line”, Asia-Pacific Microwave Conference 2005 Proceedings, pp.2819-2822, (2005).
- (4) K. H. Kim, T. Fukushima, M. Yamaguchi, H. Orikasa, T. Kyotani, “Radio frequency applications of carbon nanotube coated permalloy nanorod array”, Asia-Pacific Microwave Conference 2005 Proceedings, pp.1400-1403, (2005).
- (5) E. Yu, J. S. Shim, I. Kim, J. Kim, S. H. Han, H. J. Kim, K. H. Kim, M. Yamaguchi, “Development of FeCo-Based Thin Films for Gigahertz Applications”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3259-3261, (2005).
- (6) C. W. Ji, S. H. Kim, I. Kim, J. Kim, K. H. Kim, M. Yamaguchi, “Effects of Post Annealing on the Magnetic Properties of FeCoBN Thin Films”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3277-3279, (2005).
- (7) K. Kondo, T. Chiba, S. Yoshida, S. Okamoto, Y. Shimada, N. Matsushita, M. Abe, “FMR Study on Spin-Sprayed Ni-Zn-Co Ferrite Films with High Permeability Usable for GHz Range Noise Suppressors”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3463-3465, (2005).
- (8) M. Sonehara, T. Sugiyama, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, “Preparation and Characterization of Mn-Ir/Fe-Si Exchange-Coupled Multilayer Film with Ru Underlayer for High-Frequency Applications”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3511-3513, (2005).
- (9) K. Sugahara, S. Tanabe, M. Yamaguchi, “Frequency-Independent Equivalent Circuit Model for Ferromagnetic RF Integrated Inductors”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3529-3531, (2005).
- (10) M. Yamaguchi, K. Maruta, H. Ono, “Operating Mechanism for RF Electromagnetic Noise Suppression Sheets”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3565-3567, (2005).
- (11) K. Yanagisawa, F. Zhang, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, “A New Wideband Common-Mode Noise Filter Consisting of Mn-Zn Ferrite Core and Copper/Polyimide Tape Wound Coil”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3571-3573, (2005).
- (12) H. Suzuki, N. Sugiyama, T. Sato, K. Yamasawa, Y. Miura, Y. Miyake, M. Akie, Y. Uehara, “A Thin Film Spiral Microstrip Transmission-Line Using CoZrNb Soft Magnetic Thin Film for A Quarter Wavelength Transformer”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.3574-3576, (2005).
- (13) K. H. Kim, H. Orikasa, T. Kyotani, M. Yamaguchi, “RF Noise Suppression Using Carbon-Coated Permalloy Nanorod Arrays”, IEEE Transactions on Magnetics, 41, (10), pp.4075-4077, (2005).



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)

笥 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)

研究費：物件費 2 万円、旅費 37 万円

### [2] 研究経過

目的と概要： 複雑化・大規模化する今日のソフトウェアに対して、「効率」と「信頼性」を両立させたソフトウェア作成法が必要とされている。本研究では、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、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、具体的な応用領域として、構造化文書や木構造などのデータを対象としたソフトウェアの自動生成法について探求することを第二の目的とした。本研究の特色は、ソフトウェア生成法自体の信頼性も保証することと、近年重要度を増している半構造化データ処理へ応用して実例を得ることの2点である。

今年度の活動：本プロジェクトは、本年度が初年度であった。そこで、本年度は、プログラム変換、プログラム特化などプログラム生成の技法の側面と、XML や構造化文書の処理など、プログラム生成の対象となるデータ領域の側面の2つの面から最新の研究状況を把握し、効率よく信頼性の高いソフトウェアを作成する手法を考える端緒とする活動を行った。

今年度の具体的な研究活動として、研究集会を平成 17 年 11 月 14～15 日に東北大学電気通信研究所で開催した。この集会には、メンバーのほぼ全員が参加し、各自の最新の成果を報告するとともに、本研究プロジェクトの観点から議論をおこなった。

中野は、プログラム変換の技法を用いた XML データの効率的な処理方法の提案と、ラムダ計算の項の逆関数についての新しい課題について報告した。笥は、プログラム可能な構造化文書の編集操作が双方向で行える言語について報告した。長谷川はカテゴリー論に基づく項書き換えシステムの強正規化可能性について、証明の鍵となるアイデアを説明した。高野は、連想検索エンジンの新たなアプリケーションとして、『神保町ナビ』という古書店データベースを開発した事例を紹介した。細谷は、XML データの変換言語について、従来の木オートマトンを用いる方法にかわり、単項 2 階論理の枠組みを用いる方法について紹介した。西村はデータ並列計算のプログラムの正しさを保証するためのプログラム論理の提案を行った。小川は、停止性を証明するための順序に関するプログラム変換と「数え上げ符号化」の一般化について報告した。亀山は、線形なエフェクト (副作用) をもつプログラム言語に対する型システムの提案を行い、CPS 変換とよばれるプログラム変換において型付けが保存されることを示した。また、外山は書き換えに基づくプログラム変換システムについて、また、大堀は新しい関数型プログラム言語 SML# の処理系の作成について報告した。

これらの研究は、手法においても対象領域においてもかなり広範囲に及んでいるが、それぞれの研究における共通性のある話題が多いことが認識された。具体的には、ソフトウェアや XML、構造化文書な

どをある種の（高階、あるいは、構造のはいった）データ構造とみなし、プログラム変換や文書の変換といった操作を、このデータ構造に対する変換としてとらえることにより、各研究が統一された枠組みにおいて比較検討できることを認識し、この枠組みにおいてプログラム（変換）の系統的構成方法や正当性の保証という視点で各研究をくくることができそうだ、ということが確認できた。

### [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。

- ・CPS 変換、部分計算（プログラム特化）や「評価による正規化 (normalization by evaluation)」などのプログラム変換・効率化技法に頻出するプログラム上のイディオムとして、**shift/reset** とよばれるコントロールオペレータがある。これらのコントロールオペレータを、高度な型システムをもつプログラム言語の中で自由に記述できるようにするため、副作用を線形な範囲に限定した型システムを提案した。

- ・「連想検索」の原理に基づく検索エンジンの新たな応用領域として、実在する古書店街（神田神保町）の情報を容易に検索できるデータベースシステムを開発し、一般公開した。

- ・NTTの開発する時刻認証システムの基礎となる Merkle 木の漸増的生成法の正しさを保証する二つの性質について、充足可能性検査器 **MONA** を用いた証明を与えた。具体的には、(1) 漸増的生成の正当性、(2) 漸増的サニティ検査（システムの自己検査）の正当性の 2 点である。特に後者については、NTTでは巨大データによる実験によるチェックしかなされておらず、本研究の証明が初めてのものである。

- ・線形論理の圏論的モデルを計算体系とみなす研究を行った。ラムダ計算の圏論的モデルは古くから知られているが、その上に計算の構造をいれるのは難しい。ラムダ計算のかわりに線形論理を考えることで、その圏論的モデル上にも計算構造がはいるであろうという予想のもとに研究を行った。圏論的モデル上の計算構造は、もともとの線形論理の体系上に自然に入る計算構造より、グラフリダクションのような共有構造を精密にモデル化した体系に近いことが分かった。また、共有構造と関数構造が独立していることから、後者を入れ換えるだけで直観主義線形論理にも古典線形論理にも対応できることが分かった。

- ・XML 文書の双方向変換を記述するために従来使われている言語である **XSLT** は双方向変換が記述できないという欠点がある。2005 年度には、文書作成システムで実現したような、依存関係を保証する双方向変換機構を含む、より一般的な構造化文書に対する双方向変換のための **Java** ライブラリ **BiXJ** を開発した。この **BiXJ** により、XML 処理によく利用されている **XQuery** や **XSLT** による処理記述を順方向の記述とした双方向変換のコードを得ることができ、**XQuery** や **XSLT** の処理系では実現できない逆方向への変換も同時に実現することができる。

- ・リスト上の並列加算操作などに代表される、リンクデータ構造上のデータ並列計算アルゴリズムの正当性を検証するためのプログラム論理を提案した。提案したプログラム論理は次のようなものである。(1) 並列アルゴリズムに内在する分割統治の手法を論理式の形で明示するために、**Separation Logic** を使い、ヒープの互いに重なり合わない分割を表現した。(2) データ並列計算コマンドの部分正当性を表現するためにさらに様相記号を導入した。これらによって、健全なプログラム論理の体系が得られ、データ並列アルゴリズムの形式的な検証が可能となった。

- ・データの汎用表現として **XML** が多用される中、その内容の一部抽出や表現形式の変更など、変換結果の編集が元データにも反映できる木構造間の双方向変換が重要となっている。現在、この変換のライブラリ開発を行なっているが、一つの部分木を複数出現させるといった複雑な変換は、双方向変換として満たすことが望まれる **PutGet** という性質を持たないという問題がある。一つの **XML** 表現内の一部分が変換を通じて別の一部分に依存するという、**PSD** と呼ばれる構造の研究を行なっており、この下では複数出現を自然に表現できるため、**PutGet** を満たす性質の良い双方向変換があれば良いことになる。双方向変換を利用した場合に **PSD** 全体として整合性がとれる条件を明らかにした。これにより、変換による整合性を保ちつつ **PSD** 内のどの部分の変更も伝搬させることができる。

- ・XML 変換処理は、木構造操作よりもストリーム処理の方が時間とメモリ消費の両面で効率的に実行されることが知られているが、ストリーム処理プログラムを直接記述することは非常に難しく、バグも生じさせやすい。本研究では、ユーザにとって記述のしやすい木構造上の再帰的定義から、効率的なストリーム処理プログラムを自動導出する手法を提案

した。この手法は、先行研究である属性文法を利用した手法よりも広い範囲のXML変換処理を扱うことができ、その再帰的な記述方法のために、既存のXML変換言語の実装への適用も期待される。また、導出されたXMLストリーム処理プログラムは、限られた形の書き換え規則で与えられており、スタック機構等を用いて更なる高速化も予想される。

以上のように、今年度は、プログラム変換、プログラムの検証、XML データや構造化文書処理といった各方面で成果を得、さらに、これらの成果を有機的に統合するための手がかりを得た。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、国内のプログラム変換、XML データ処理、構造化文書処理の第一線の研究者を網羅して構成しており、これらの最先端の研究者間のネットワークを構成することにより、従来にはない発想が生み出す研究母体ができたと考える。特に、ソフトウェアの基礎的分野で国際的に競争力のある研究グループが国内には非常に少ないことから、既に国際的な舞台で多くの研究発表をこなしている本グループの活動により、日本のソフトウェア研究、ひいてはソフトウェア産業への波及効果が期待できる。

### [4] 成果資料

- (1) Yuki Yoshi Kameyama, "Axioms for Control Operators in the CPS Hierarchy", Higher-Order and Symbolic Computation, to appear (in 2006).
- (2) 吉原宏之、亀山幸義、「プログラムに対する変換の正しさの形式検証」、日本ソフトウェア科学会第22回大会予稿集、東北大学、2005年9月。
- (3) Mizuhito Ogawa, Eiichi Horita, Satoshi Ono, "Proving Properties of Incremental Merkle Trees", Proceedings of the 20th International Conference on Automated Deduction, CADE-20, Springer LNAI 3632, pp.424-440.
- (4) Isao Sasano, Mizuhito Ogawa, Zhenjiang Hu, "Maximum Marking Problems with Accumulative Weight Functions", Proceedings of International Colloquium on Theoretical Aspects of Computing, ICTAC05, Springer LNCS3722, pp. 562-578.
- (5) Dongxi Liu, Zhenjiang Hu, and Masato Takeichi, "Bidirectionalizing XQuery", Technical Report METR 2006-25, Department of Mathematical Informatics, University of Tokyo, 2006.
- (6) Dongxi Liu, Zhenjiang Hu, and Masato Takeichi. "An Environment for Maintaining Computation Dependency in XML Document", Proc. of ACM Symposium on Document Engineering (DocEng2005), Bristol, UK, November 2005, pp. 42-51.
- (7) Susumu Nishimura, "Verifying Data-Parallel Programs with Separation Logic", short presentation, SPACE 2006, - 3rd Workshop on Semantics, Program Analysis and Computing Environments for Memory Management, 2006.
- (8) Haruo Hosoya, "Type Systems for XML", Proc. of Third Asian Symposium on Programming Languages and Systems, LNCS 3780, Springer, 2006.
- (9) Tadahiro Suda, Haruo Hosoya, "Non-backtracking Top-Down Algorithm for Checking Tree Automata Containment", Proc. of 10th International Conference on Implementation and Application of Automata, LNCS 3845, Springer, pp. 294-306, 2006.
- (10) D. Liu, Z. Hu, M. Takeichi, K. Kakehi, H. Wang. "A Java Library for Bidirectional XML Transformation", 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 仙台, 2005年9月。
- (11) 中野 圭介, Macro Forest Transducer からのXMLストリーム処理の自動導出, 日本ソフトウェア科学会第22回大会, 2005.
- (12) Keisuke Nakano, "Streamlining Functional XML Processing", The First DIKU-IST Joint Workshop on Foundations of Software, 2005.

## 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)

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)

杉山 和彦 (京都大学)

多久島 裕一 (東京大学)

宮崎 哲弥 (情報通信研究機構)

田中 有 (富士通研究所)

研究費：旅費35万1千円

### [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、本年度が初年度に当たり、平成17年11月21～22日に電気通信研究所において、東北大学、産業技術総合研究所、東京大学、京都大学、情報通信研究機構、富士通研究所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21日（月）

1. 開会挨拶 中沢正隆（東北大学）
2. モード同期レーザによる光コムを用いた光周波数シンセサイザ Thomas Schibli・○美濃島薫・洪鋒雷・稲場肇・尾藤洋一・大苗敦・松本弘一（産業技術総合研究所）
3. モード同期ファイバレーザを用いた光周波数計測 ○稲場肇・大門雄太・美濃島薫・洪鋒雷・大苗敦・Thomas Schibli（産業技術総合研究所）・大西正志・奥野俊明・平野正晃（住友電工）・中沢正隆（東北大学）・松本弘一（産業技術総合研究所）
4. 1 オクターブ光周波数コムを用いた光分周 ○杉山和彦（京都大学）
5. 光電子発振器を用いた 40Gb/s 光クロック抽出 ○土田英実（産業技術総合研究所）
6. 高速光ファイバ伝送における適応分散等化技術 ○多久島裕一（東京大学）
7. 時間領域光フーリエ変換を用いた 160 Gbit/s 超高速無歪み伝送 ○廣岡俊彦・中沢正隆（東北大学）
8. 光位相変復調方式の超高速光通信への適用 ○宮崎哲弥（情報通信研究機構）
9. 450km 分散シフト光ファイバにおける 10GHz ピコ秒パルスの縦モードコム の広がり測定 ○大澤耕・羽根田健太郎・廣岡俊彦・吉田真人・中沢正隆（東北大学）

11月22日（火）

1. 周波数安定化レーザと光周波数計測 ○洪鋒雷（産業技術総合研究所）
2. 水素メーザを用いた超高速安定 PLL モード同期ファイバレーザ ○吉田真人・平山徹・矢加部正嗣・中沢正隆（東北大学）・古賀保喜・萩本憲（産業技術総合研究所）
3. 再生モード同期ファイバレーザを用いた光 Cs 原子時計 ○平山徹・矢加部正嗣・吉田真人・中沢正隆（東北大学）・萩本憲・古賀保喜（産業技術総合研究所）
4. 320GHz 光パルスのタイミング雑音計測

- 土田英実（産業技術総合研究所）
5. サブバンド間遷移スイッチの高速応答特性  
○石川浩・永瀬成範・物集照夫・秋本良一・李炳生・秋田一路・挾間壽文（産業技術総合研究所）・下山峰史（富士通研究所）
6. フォトニック結晶双安定全光スイッチ ○田中有（富士通研究所）・河島整・池田直樹・杉本喜正・挾間壽文・石川浩（産業技術総合研究所）
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 モード同期レーザによる光周波数コムに周波数可変CWレーザを位相同期し、掃引速度80GHz/s、周波数安定度  $1 \times 10^{-13}$ （積分時間 $|=1$ s）の光周波数シンセサイザを実現した。
- ② モード同期光ファイバレーザを用いた光周波数計測システムを構築し、 $C_2H_2$ 安定化レーザの周波数計測を行った。
- ③ 周波数安定化レーザに1オクターブ光周波数コムを位相同期し、光分周器を実現した。また、基準光周波数として、冷却された単一イオンの時計遷移を検討した。
- ④ 光電子発振器を用いた40Gb/s光クロック抽出を開発し、パルス幅9.8ps、同期範囲37.4MHz、タイミングジッター260fsを得た。また、160Gb/sデータ信号からのサブハーモニッククロック抽出を実現した。
- ⑤ ディザフィルタ法によるインサースペルシブ分散モニタ技術を開発して、ネットワークの適応分散補償を行い、障害回復時間300msを得た。
- ⑥ 時間領域フーリエ変換を用いた線形波形歪み除去技術を開発し、160Gb/s伝送における適応分散等化を確認し、光フーリエ変換のためのパラボラパルス発生法を提案した。
- ⑦ パイロットキャリアを用いたQPSK自己ホモダイン検波技術、および160Gb/s多値伝送技術を開発し、現場試験により動作を確認した。
- ⑧ 10GHz光パルスを長さ450kmの分散シフト光ファイバ中を伝送し、縦モード線幅の広がり測定し、雑音の要因を明らかにした。
- ⑨ ヨウ素を基準とした周波数安定化レーザとSr光格子時計を開発し、光周波数コムを用いて絶対周波数を測定した。
- ⑩ 水素メーザを基準とした超高安定モード同期ファイバレーザを開発し、PLLモード同期方式に比べて周波数安定度を40倍向上した。
- ⑩ 再生モード同期レーザを用いたCs原子時計を

開発し、周波数安定度  $1.7 \times 10^{-13}$  ( $\tau=100$ s) を得た。

- ⑪ 光電子ハーモニックミキサの性能改善を図り、時間Talbot効果により発生した繰り返し320GHz光パルスのタイミング雑音を計測した。
- ⑫ 半導体量子井戸中に形成されたサブバンド間遷移を利用する光スイッチを製作し、超高速応答特性を評価した。
- ⑬ フォトニック結晶微少共振器を用いた光双安定スイッチを試作し、熱効果による双安定動作を観察し、パルス伝搬特性を評価した。

#### (3-2) 波及効果と発展性など

超高速光通信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、超高速光パルス信号処理技術、レーザ制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所の研究者が討論を行うことにより、当該分野の研究開発が加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待できる。

## [4] 成果資料

- (1) M. Yakabe, K. Nito, M. Yoshida, M. Nakazawa, Y. Koga, K. Hagimoto, and T. Ikegami, "Ultrastable cesium atomic clock with a 9.1926-GHz regeneratively mode-locked fiber laser," *Opt. Lett.*, vol. 30, no. 12, pp. 1512-1514, June (2005).
- (2) 廣岡俊彦, 中沢正隆, 二見史生, 渡辺茂樹, "時間領域光フーリエ変換を用いた超高速無歪み光パルス伝送", *電子情報通信学会論文誌*, vol.J88-B, no. 8, pp. 1402-1410, August (2005).
- (3) M. Nakazawa and T. Hirooka, "Distortion-free optical transmission using time-domain optical Fourier transformation and transform-limited optical pulses," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 22, no. 9, pp. 1842-1855, September (2005).
- (4) 矢加部正嗣, 二戸晃, 吉田真人, 中沢正隆, "ファイバレーザ型光マイクロ波発振器の周波数掃引特性と Cs 原子ラムゼイフリンジの観測", *電子情報通信学会論文誌*, vol. J88-B, no. 9, pp. 1829-1836, September (2005).
- (5) M. Nakazawa and T. Hirooka, "ABCD matrix formalism of time-domain optical Fourier transformation for distortion-free pulse transmission," *IEICE Electron. Express*, vol. 3, no. 4, pp. 74-79, February (2006).
- (6) H. Tsuchida, "Timing noise measurement of 320 GHz optical pulses using an improved optoelectronic harmonic mixer", *Opt. Lett.*, vol.31, no.5, pp.628-630 (2006).
- (7) 土田英実, "光パルスとマイクロ波の同期技術", *レーザー研究*, vol.33, no.6, pp.373-377 (2005).
- (8) 土田英実, "超短光パルスのタイミング雑音計測", *オプトロニクス*, no.284, pp.96-102 (2005).
- (9) T. R. Schibli, K. Minoshima, F. -L. Hong, H. Inaba, Y. Bitou, A. Onae, and H. Matsumoto, "Phase-locked widely tunable optical single-frequency generator based on a femtosecond comb", *Opt. Lett.*, vol.30, no.17, pp.2323-2325 (2006).
- (10) Y. Bitou, T. R. Schibli and K. Minoshima, "Accurate wide-range displacement measurement using tunable diode laser and optical frequency comb generator", *Opt. Exp.*, vol.14, no.2, pp.644-654 (2006).
- (11) 美濃島薫, "高品位フェムト秒光コムと光周波数シンセサイザ", *オプトロニクス*, no.286, pp.100-106 (2005).
- (12) K. Sugiyama, F.-L. Hong, J. Ishikawa, A. Onae, T. Ikegami, S. N. Slyusarev, K. Minoshima, H. Matsumoto, H. Inaba, J. C. Knight, W. J. Wadsworth and P. St. J. Russell, "Optical frequency measurement using chirped-mirror-dispersion-controlled mode-locked Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> laser", *Jpn. J. Appl. Phys* (May, 2006, in press).
- (13) H. Kawashima, N. Ikeda, Y. Sugimoto, T. Hasama, H. Ishikawa and Y. Tanaka "AlGaAs-based photonic crystal microcavity and its optical bistability", *CLEO/QELC2006* (accepted for oral presentation).
- (14) J. Jiang, A. Onae, H. Matsumoto and F.-L. Hong, "Frequency measurement of acetylene-stabilized lasers using a femtosecond optical comb without carrier-envelope offset frequency control", *Opt. Express* vol.13, no.6, pp.1958-1965 (2005).

## 高結合圧電材料とその応用に関する研究

### [1] 組織

代表者：中村 僖良

(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)

宇野武彦 (神奈川工科大学工学部)

金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)

櫛引淳一 (東北大学大学院工学研究科)

黒澤 実 (東京工業大学大学院総合理工学研究科)

小松隆一 (山口大学工学部)

近藤 淳 (静岡大学工学部)

関本 仁 (首都大学東京都市教養学部)

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)

長 康雄 (東北大学電気通信研究所)

中川恭彦 (山梨大学工学部)

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 (東北大学大学院工学研究科)

若月 昇 (石巻専修大学理工学部)

岩田浩一 (京セラキンセキ (株))

江口 治 (京セラキンセキ (株))

門田道雄 ((株) 村田製作所)

木村悟利 (日本電波工業 (株))

佐藤良夫 ((株) 富士通研究所)

芝 隆司 ((株) 日立メディアエレクトロニクス)

船坂 司 (セイコーエプソン (株))

谷津田博美 (日本無線 (株))

山下洋八 ((株) 東芝)

研究費：校費 50,000 円、旅費 646,990 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。本研究は、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、関連する大学および産業界の研究・技術者が一堂に会して研究討論を行い、情報通信システムの根幹を担う弾性波デバイス分野の一層の発展を目指して行われた。

本プロジェクト研究会は、前年度まで3年間にわたって行われた研究テーマである「圧電材料と弾性波デバイスに関する研究」を継承する形で、平成18年2月15日、16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2006」と題する公開シンポジウム形式で行われた。過去3年の研究会と同様に、本年度も前記のプロジェクト研究メンバーの他、一般からも講演を募り、33件の研究発表が行われ、108名の出席者を得て活発な討論がなされた。シンポジウムのセッション区分と各セッションでの発表内容の概要は次のようである。

#### (A) 圧電・強誘電材料 I

走査型非線形誘電率顕微鏡による超高密度実データ記録、超音波原子間力顕微鏡の高精度化、カルシウムオキソボレート結晶の圧電評価、 $\text{KNbO}_3$ 系非鉛圧電セラミックスの圧電特性、高品質  $\text{LiKb}_4\text{O}_7$  単結晶の育成とその光学特性、誘電率&高結合係数系圧電材料の設計、焦電性を改善した  $\text{LiTaO}_3$  ウエハー、 $\text{KNbO}_3$  単結晶の育成についての研究発表があった。

#### (B) 圧電薄膜デバイス

$\text{AlN}$  圧電薄膜を使用した低損失 FBAR フィルタの開発、PMN-PT 薄膜の作製とアドミタンス特性、縦結合 SMR 型圧電薄膜フィルタの解析、面内配向 ZnO 膜の  $k_{15}$  の評価とすべりモード共振子への応用、GaN 薄膜上のレイヤーモード素子の特性に関する報告があった。

#### (C) 弾性表面波デバイス

良好な温度特性と大きな反射係数をもつ SAW 基板、傾斜形チャープ IDT を用いた弾性表面波分散形遅延線の音場分布解析、モノリシック CMOS-SAW 発振器の開発、SAW アンテナ分波器への等価回路の適用、超高結合・零温度特性をもつ弾性表面波基板を用いた低損失フィルタの解析と実験についての発表があった。

#### (D) 超音波応用計測

サファイア単結晶の弾性定数の精密測定、六方晶系圧電単結晶の高精度音響関連物理定数決定に関する理論的検討、サブハーモニック超音波を用いた閉じたき裂の評価、2つの音響放射圧による対象物内ひずみの発生と対象物内変位の超音波計測に関する発表があった。

#### (E) バルク波デバイス

イオンビームエッチングによる水晶振動子の周波数変動、高結合ラム波による側圧を用いた光ファイバー光の偏波面回転、開閉電気接点におけるクーロン静電力による弾性振動、方形水晶AT板における3D振動の粘性損失を考慮した解析の発表があった。

#### (F) 圧電・強誘電材料II

シリカ超構造薄膜における諸現象、人工水晶の育成と光学評価、リラクサ系高性能圧電材料、マイクロ波焼結した高性能チタン酸バリウムの特性、 $\text{KNbO}_3$  結晶の交流電界による分極処理についての報告がなされた。

#### (G) トランスデューサ・アクチュエータ・センサ

水熱合成法によるPZT厚膜の超音波送信特性、 $\text{LiNbO}_3$  振動子を用いた高速回転型超音波モータ、高周波SAWによる低電力での微量液体搬送、水晶基板上を伝搬する横波型弾性表面波を利用したセンサの検討、弾性表面波デバイスを用いた高温用メタノールセンサの開発について報告された。

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

材料面では、 $\text{KNbO}_3$ 系や $\text{BaTiO}_3$ の非鉛圧電セラミックスおよびリラクサ系の高性能圧電材料の開発、 $\text{RCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{LiKB}_4\text{O}_7$ 、人工水晶等の圧電結晶の育成と評価および光学特性の観測、 $\text{KNbO}_3$ 結晶の分極処理等が報告され、新しい圧電材料の開発に大きな進展が見られた。また、非線形誘電率顕微鏡による超高密度誘電体記録技術の開発や、超音波顕微鏡による材料解析システムの高安定化がなされるなどの成果があった。

圧電薄膜デバイス関連では、PMN-PT薄膜の作製と評価、面内配向ZnO圧電薄膜の評価とその共振子への応用、音響多層膜を用いた縦結合型圧電薄膜フィルタの解析、低損失FBARの開発、シリカ超構造薄膜における諸現象について新成果が報告され、この分野の進展に大きく寄与した。

バルク波デバイス関連では、イオンビームエッチングによる水晶振動子の周波数変動や粘性損失を考慮した振動解析結果が紹介された。さらに、ラム波による光ファイバー光の偏波面制御やクーロン静電力による弾性振動について興味ある研究報告がなさ

れた。

圧電応用デバイス関連では、水熱合成法によるPZT系厚膜の超音波送信特性が報告されたほか、高速回転型の超音波モータやSAWによる液体搬送の試み、SAWを利用した各種のセンサの開発結果等が示された。

超音波応用計測関連では、圧電単結晶の弾性定数の精密測定手法や音響関連物理定数の高精度決定についての理論検討、および、サブハーモニック超音波を用いたき裂の評価や音響放射圧を利用した生体組織の計測について新しい研究成果が紹介された。

弾性表面波関連では、良好な温度特性と高い結合係数あるいは反射係数をもつSAWデバイスのための基板構造や基板材料が示された。また、弾性表面波分散型遅延線の音場分布の解析や、圧電薄膜上のレイヤーモード素子の特性について新しい知見が示された。さらに、モノリシックCMOS-SAW発振器の開発やSAWアンテナ分波器の解析手法が報告された。

#### (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4年間にわたり開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は産学界からの関心が極めて高く、毎年恒例の行事として定着してきた感がある。シンポジウムにはプロジェクト研究メンバー以外の一般の参加者も非常に多く、発表論文が他の学術誌で引用されるなど、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。この研究発表の場を通じ、大学および企業の研究・技術者間の密接な情報交換と研究協力の場が一層強固なものとなってきていることは非常に意義深い。今後も同様の研究集会を継続的に開催し、多くの参加者を得て活発な討論が行われれば、次世代の新しい弾性波デバイスの研究・開発が一層進展し、我が国が引き続きこの分野をリードするうえで少なからず貢献することが期待される。

本年度までに得た知見をもとに、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、当該分野における研究の一層の進展を図りたい。好評である公開シンポジウム形式の開催を今後も継続し、いずれは国際シンポジウムとしての実施も視野に入りたいと考えている。

### [4] 成果資料

- (1) Hideyuki Hasegawa, Mikito Takahashi, Yoshifumi Nishio and Hiroshi Kanai, "Generation of Strain Inside Object Using



- Dual Acoustic Radiation Force,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 45, No. 5B, 2006 (in press).
- (2) Kenji Matsumoto, Yuji Hiruma, Takeru Yoshida, Hajime Nagata and Tadashi Takenaka, “Piezoelectric Properties of Pure and Mn-doped Potassium Niobate Ferroelectric Ceramics”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 45, Part 1, No. 5B (2006) (掲載決定) .
- (3) 古畑 誠、矢島有継、後藤健次、船坂司、河野秀逸、藤井知、樋口天光、上野真由美、唐木智明、安達正利、”Development of a monolithic CMOS-SAW oscillator”, *IEEE Trans. UFFC*, Vol.52, 2005.
- (4) Hitoshi Sekimoto, Yoshihisa Onozaki, Takeshi Tamura, Shigeyoshi Goka and Yasuaki Watanabe, “Two-Dimensional Analysis of Coupled Vibrations of UHF AT-Cut Quartz Plates with Electrodes of Plano-Mesa Shape”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 6B, pp. 4516-4519, 2005.
- (5) Yasuo Cho, Sunao Hashimoto, Nozomi Odagawa, Kenkou tanaka, and Yoshiomi Hiranaga, “Realization of 10 Tbit/in.<sup>2</sup> memory density and subnanosecond domain switching time in ferroelectric data storage”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 87, No.23, pp.232907-1-232907-3, 2005.
- (6) 門田道雄, 木村哲也「Al 電極を用いても良好な温度特性と大きな反射係数をもつ SAW 基板」*Proc. Symp. Ultrason. Electron.*, Vol.26, (2005) pp.23-24 (16-18 Nov. 2005).
- (7) H. Koyama, K. Nakamura, and T. Takano, “High coupling KNbO<sub>3</sub> width-extensional vibrators with a polar multidomain structure”, *J. Appl. Phys.*, 97, 063506 (2005).
- (8) Hiromi Yatsuda, Makoto Nara, Takashi Kogai, Hidenobu Aizawa, Shigeru Kurosawa “STW Gas Sensors Using Plasma-Polymerized Allylamine”, *Thin Solid Films*, in 2006, (to be published).
- (9) Jun Tsutsumi, Masafumi Iwaki, Yasuhide Iwamoto, Tsuyoshi Yokoyama, Takeshi Sakashita, Tokihiro Nishihara, Masanori Ueda and Yoshio Satoh, “A Miniaturized FBAR Duplexer with Reduced Acoustic Loss for the WCDMA Application”, *Proc. 2005 IEEE Ultrason. Symp.*, pp.93-96.
- (10) 田伏祥平, 松井義和, 塩川祥子, 近藤 淳 「横波型弾性表面波センサを用いたアルコール水溶液測定」、*信学技報 US2005-77*, pp.19-22, 2005.
- (11) 中川恭彦、重田光善、柴田和匡、垣尾省司「ラム波型弾性波素子用基板の温度特性」、*電子情報通信学会論文誌*、Vol.J89-C, No.1, pp34-39,(2006).
- (12) K.Hohkawa, C. Kaneshiro, K. Koh, K. Nishimura and N. Shigekawa, “Layermode devices on epitaxially grown GaN film on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>”, *Proc. 2005 IEEE Ultrason. Symp.*, pp.1600-1603, 2005.
- (13) Takehiro Takano, Hideki Tamura, Yoshiro Tomikawa and Manabu Aoyagi, “An ultrasonic motor using the 1st longitudinal and the 2nd flexural vibration modes of a LiNbO<sub>3</sub> rectangular plate”, *Proc. of The first International Workshop on Ultrasonic motors*, 2005.
- (14) Takehiko UNO, Satoru NOGE, and Hirotaka SHIMOTORI, “Behaviors of Dielectric Superlattice Thin Films Composed of Silicate Glass Nanolayers”, *Jpn. J. Appl. Phys. Vol.44, No.6B*, pp.4336-4338 (2005).
- (15) 宇佐見洋子・若林小太郎・大場健司, 「人工水晶の育成と光学評価」、第50回人工鉱物討論会講演要旨集 2B8, pp.124-125, 2005.
- (16) Nboru Wakatuki and Yu Yonezawa, “Time-coordinated Non-arcing Breaking Operation of Reed Switches for Higher Current”, *Proc. 51th IEEE Holm Conference on Electric Contact*, pp.139-143, 2005.
- (17) K. Nakamura, S. Sato, S. Ohta, K. Yamada and A. Doi, “Analysis of Thickness-Extensional Waves Propagating in the Lateral Direction of Solidly Mounted Piezoelectric Thin Film Resonators”, *IEEE Trans. UFFC*, Vol.52, 4, pp.604-609 (2005).
- (18) J. Kushibiki, M. Arakawa, Y. Ohashi, K. Suzuki, and T. Maruyama, “A super-Precise CTE Evaluation Method for Ultra-Low-Expansion Glasses Using the LFB Ultrasonic Material Characterization System”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.44, 6B, pp.4374-4380 (2005).

## 課題番号 H17/B13

# コミュニケーションダイナミクス

### [1]組織

代表者：沢田康次

(東北工業大学)

責任者：白鳥則郎

(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中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

(1) この目的を実現するために、コミュニケーションの成立条件の基礎的研究として、実時間情報処理は生物が生存するのに必要な機能であることに着目し、実時間処理の数理的本質をとらえるために、被験者を更に増加して前年度に引き続き、ヒトと単純運動を行うターゲットとのコミュニケーションおよび人と人のコミュニケーションの研究を行った。まず前者により人への視覚入力からモデルを使って計算される運動出力と実際の人の出力の相関をベストにするモデルとモデルパラメーターを決めた。

このためにモデルに含める必要のある要素はリズム成分であることを発見した。これは人の運動が円運動の場合でも、等角速度運動ではなくリズム成分を持っていることを示している。このリズム成分の存在は人の感覚—運動系の種々の面で重要な役割を果たしている。

さらに、人の運動はノイジーであって、モデルにノイズ成分を加えないと人の運動との相関

は十分得られないことが判明した。このノイズは単に筋肉が不規則な成分を持つのか、脳がそのような信号を出して筋肉が反応しているのかはこの研究では確かめていないが、興味ある問題なので先行研究があると考えられる。

(2) 本年度の新しい成果として、2個のPCを用いて、被験者Aと被験者Bが相互に追従する実験システムを構築した。被験者対の数100程度に対して、両者の速度時系列の相互相関を主な統計量として解析した。この結果は(A) 相関時間ゼロにピークを持つタイプ、(B) 相関時間の有限の場所に対照的なピークを持つタイプ、(C) 相関時間の有限のところのひとつのピークのみ示す場合が観測された。(A)タイプは両者の運動がほぼ一致している場合、(B)タイプは、一方が他方に追従して運動を修正する時間帯とその逆がほぼ等確率に実現しているばあい。(C)タイプは一方が他方に常に追従している場合であることを示している。

(3) このような実験結果をモデル化するため、(1)で得られたモデルでパラメーターが異なる対を用い、一方の運動出力を他方が視覚情報として入力するコミュニケーションモデルのシミュレーションを行い、あるパラメーター範囲でPCネットワークを介した人と人のコミュニケーションの実験データに類似の結果が得られることを確認した。

また、昨年度の研究の発展として、間欠性視覚情報による追従運動に関するものがある。楕円軌道を描くターゲットの視覚情報の間欠性が何故手動の先行性を増大するかを解明するために、手動速度のFFTを測定し、手の運動のリズムを生む第二高調波成分の位相とオービット中の位置関係を調べた。その結果、手の速度はだ円の短軸を通過する地点で一番早く、長軸を

通過する地点で一番遅く、そのことが第二高調波成分となっていることが判明した。このリズム的な運動とターゲットの出現場所の関係で手のターゲットとの位相関係が決まる。すなわち、長軸を通過するときにターゲットが提示されると、そこでposition-matchingが行われてそれ以外のところで位相差が先行できるが、短軸を過ぎる頃にposition-matchingがおこなわれると、それ以外のところは速度がより遅いので、手の運動の位相は先行しないことをすでに昨年報告した。

このことを一般化すると、以下のように表現できることがわかった。

「人がある軌道に沿って運動を行うと、その曲率で決まるリズム的な速度成分が現れる。その軌道に対するこのリズムはその軌道が常時提示されなくとも記憶され、位置情報の提示はインターミットでも十分追従できる。しかし全体の運動が平均的にターゲットに先行するか遅れるかは、位置情報の提示箇所によって変わる。曲率の大きい場所で位置誤差を提示すると、運動が全体として先行し、曲率の小さい場所で位置誤差表示を行うと、全体の運動は遅れる。このことから、動的適応性を高めるために有効と考えられる先行制御には、曲率の大きいところで位置誤差を獲得する必要があることを明らかにした」

## シンポジウム

「コミュニケーションダイナミクス」

日時 3月10日(金)11時—17時

場所 東北大学電気通信研究所 2号館中会議室 (仙台市青葉片平2丁目1の1)

プログラム

○挨拶 白鳥則郎

○手動運動モデルの過渡解による先行制御のロバスト性の証明、石田文彦（電気通信大学大学院情報システム学研究科）

○局所変化率に基づく音声・楽器音の高精度分析技術の研究、伊藤 仁（東北大学電気通信研究所）

○自律エージェントによる「対等な他者」の内モデル構築、牧野 貴樹（東京大学総括プロジェクト機構）

○協調タッピングにおけるタイミング共有機構の解析、三宅 美博（東京工業大学総合理工学研究科）

○脳磁計(MEG)によるヒト色覚中枢の時間応答の非侵襲的計測、栗木 一郎（東北大学電気通信研究所）

○仮名の認識と生成に係わる時間的非一様性 矢内 浩文（茨城大学工学部）

○コミュニケーションダイナミクスー相互追従実験におけるヒトと機械の協調運動 高地 康宏 沢田 康次（東北工業大学情報通信工学科）

predictive mechanism with illusory perception” 2005 査読中

4. [招待講演] コミュニケーションダイナミクス ～ 先行制御機構をもつ複数エージェントの相互作用の研究 ～電子情報通信学会 NLP 研究会（2006,11 北九州市） 沢田康次・高地康宏

5. Y. Takachi, Y. E. Sawada, ” A phas-equation model for a large phase lead in manual tracking caused by intermittent visual information”、(IJCNN. モントリオール 2005)

6. Y. Takachi, and Y. E. Sawada: “Study of the phase relation between hand and a predictable target with intermittent display”, 9th International Conference on Cognitive and Neural Systems, (Boston 2005.5)

論文発表（査読中を含む）

1. F. Ishida Y. Sawada, “Robustness of the Dynamic Error Minimization Principle of the Proactive Control in Sensory-Motor System” , Physical Review Letters, 2006 投稿中)

2. Y. Takachi, Y. Sawada “感覚運動系における位置情報の局所化がリズムを含む運動に与える影響とその有効性 (2006 投稿中)

3. Y. Takachi, Y. Sawada, ” Frequency shift in extrapolated manual tracking caused by a

## 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3回高周波マイクロデバイス・材料

#### 国際ワークショップ

#### 3<sup>rd</sup> International Workshop on

#### High Frequency Micromagnetic Devices and Materials (MMDM3)

表記ワークショップは2005年4月11日～12日に東北大学工学部青葉記念会館で9ヶ国92名の参加者（うち海外19名）を得て開催された。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、第1回デルフト工科大（オランダ）、第2回ボストン大学（アメリカ）に続いて今回で第3回を数えた。日本の研究者らが主体的に運営しており、次第にこの分野の研究発表・意見交換の場として定着しつつある。

会議冒頭の基調講演で、佐藤敏郎氏（信州大）から日本におけるマイクロ磁気デバイス研究の最新状況が紹介された。次いで高周波薄膜の開発状況が報告された。グラニューラ薄膜に話題が集中し、スパッタ法による Co-Fe-Pd-O（大沼、電磁研）、Co-Fe-Al-O（Pasquare, Italy）、10 $\mu$ m 厚の Co-Zr-O（Sullivan, Dartmouth Coll., USA）、ならびに蒸着法による Ni-Fe-B-O（伊藤（哲）、NEC トーキョー）などの微細構造と高周波磁気特性などが議論された。

高周波インダクタについては最多の8件の発表があり、まず GHz 帯への応用を狙ったトロイダルインダクタ（Quandt, CAESAR, Germany）、ソレノイド型・伝送線路型（Wang, Stanford Univ., USA）、スパイラル型（Royet および Couderc, DRT-LETI, France）、空心型（伊藤、フジクラ）などの報告があった。シリコンプロセスへの適合性を考慮した材料開発やプロセス設計が進み、薄膜の積層化やパターン化技術の導入によって薄膜の面内で等方的あるいは二軸方向に同等な磁気特性を得てインダクタンスや Q 値をより向上させるための工夫が施され、近接効果による銅損解析も進展した。Ni-Co-Zn フェライトチップインダクタおよびチップキャパシタによる DC-DC コンバータ（Tung, ITRI, Taiwan）の開発状況も報告された。

マイクロ・ナノワイヤも本会議の話題として定着しつつあり、500MHz までの Fe(Mo)BSi アモルファスワイヤの MI 特性（Zhukov, Univ. Pais Vasco, Spain）、3GHz に及ぶ薄膜 NiFe/i/Au/i/NiFe マイクロワイヤの精緻な GMI 特性計測（Garcia-Arribas, Univ. Pais Vasco, Spain）、アモルファスワイヤ分散型コンポジットにおける GMI 特性と可変誘導率特性の可能性（Panina, UK）、およびナノワイヤの FMR、MFM 解析（Vazquez, CSIC, Spain）などが報告された。

マイクロ EMC 技術は日本からの新技術発信という感があり、薄膜シールドループコイルによるデカップリングキャパシタの電流解析（増田、NEC）、エアロゾルデポジション法による Fe/(Ni-Zn-Cu)Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 薄膜（杉本、東北大）およびスピンスプレー法による耐熱性（260 $^{\circ}$ C）Ni-Zn フェライト薄膜（近藤、NEC トーキョー）とその電磁ノイズ抑制体への応用が報告され、いずれも注目された。

会議初日には仙台市内で懇親会が開催され、電気通信研究所荒井賢一教授（日本応用磁気学会会長）の Welcome Talk を皮切りに大いに話が弾んだ。2日目午後には、東北大工学部電気情報系、東北大通研などの見学会が行われ、好評を博した。会議プロシーディングスは日本応用磁気学会論文誌 2005 年 11 月号に掲載された。日本学術振興会、青葉工学振興会、ならびに仙台観光コンベンション協会などから貴重な支援を頂いた。心から謝意を表します。詳細は会議 Web <http://www.itmag.ecei.tohoku.ac.jp/mmdm/mmdm3/> をご参照下さい。

## 第4回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議 4th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-4)

開催日：2005年5月23日～26日（4日間）

開催場所：淡路夢舞台国際会議場

共催：東北大学電気通信研究所，名古屋大学大学院工学研究科，九州大学大学院システム情報科学研究所，日本学術振興会半導体界面制御技術第154委員会，日本学術振興会薄膜第131委員会

次世代 Si デバイスの飛躍的な性能向上及び産業応用を目的とする本国際会議 ICSI-4 が，淡路夢舞台国際会議場において開催された。本学電気通信研究所（以下，通研）共催の本国際会議において，通研からは組織委員長として室田淳一教授が，プログラム委員として末光眞希教授が，実行委員として櫻庭政夫助教授が参加した。Si 系半導体ヘテロ構造に関する第一線の研究者が一堂に会し，Si 及び SiGeC 系ヘテロ材料の結晶成長機構の理論から物性，プロセス技術及び超微細半導体デバイスや電子・光複合デバイスへの応用までの幅広い領域について包括的に議論した。この研究領域は，次世代 Si デバイスや新しい概念のデバイス創生に直接的に関係しているため，研究者の関心が極めて高く，国内外（14ヶ国）から総数221名の参加者（内，海外48名）を迎え，以下の基調講演2件，招待講演20件に加え，一般講演40件，ポスター発表103件の発表が行われた。その国別内訳は日本101件，欧州43件，アジア14件，米国7件で，特に東北大学の関係する発表は22件に達した。本国際会議の発表論文の多くは通常の査読プロセスを経て，Thin Solid Films 誌の特集号 (Volume 508, Issues 1-2 (June, 2006): Proc. 4th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures) として出版済みである。次回開催（2007年，フランス）も決定されている。本会議の詳細は <http://www.ed.kyushu-u.ac.jp/~icsi4/> において公開されている。

### 基調講演・招待講演のタイトルと講演者のリスト：

#### 【基調講演】

1. “History and Novel Developments in Si Based Hetero- and Nanostructures”, G. Abstreiter (Tech. Univ. München)
2. “Thirty Years of Silicon Molecular Beam Epitaxy and The Flourishing of Silicon Heterostructures”, Y. Shiraki (Musashi Inst. Technol.)

#### 【招待講演】

1. “Study of CVD High-k Gate Oxides on High-Mobility Ge and Ge/Si Substrates”, S.V. Elshocht (IMEC)
2. “Enhanced Si and B Diffusion in Semiconductor-grade SiO<sub>2</sub> and The Effect of Strain on Diffusion”, M. Uematsu (NTT Basic Research Laboratories)
3. “Si Microphotonics for Optical Interconnection”, K. Wada (Univ. Tokyo)
4. “Light Emission and Optical Gain from Nanostructured Silicon”, N. Dalbosso (Uni. Trento)
5. “Silicon Nanotubes: Synthesis and Characterization”, P. Castrucci (Univ. ROMA)
6. “Silicon Nanocrystal Memories and Single Electron Transistors”, T. Hiramoto (Univ. Tokyo)

7. “The Role of Point Defects in Strain Relaxation in Epitaxially Grown SiGe Structures”, A.F. Vyatkin (Russian Academy of Sciences)
8. “Strained Ge MOSFET Technology and Beyond”, E.A. Fitzgerald (MIT)
9. “Silicon-Based Single-Electron Devices”, Y. Takahashi (Hokkaido Univ.)
10. “Alloying and Ordering of SiGe Islands”, O.G. Schmidt (Max Planck Inst.)
11. “Self-assembled Semiconductor Nano-structures on Si by Epitaxy”, Z.M. Zhao (UCLA)
12. “Non-selective and Selective Thin SiGe Strain-Relaxed Buffer Layers: Growth and Carbon-induced Relaxation”, M. Caymax (IMEC)
13. “Atomic Control of SiGe Epitaxy and Doping”, B. Tillack (IHP)
14. “Towards a Si/SiGe Quantum Cascade Laser for Terahertz Applications”, D.J. Paul (Univ. Cambridge)
15. “SiGe Superlattices Designed for Efficient IR Light Emission”, P. Werner (Max Planck Inst.)
16. “SOI, sSOI and Strain Engineering for CMOS technology”, D.K. Sadana (IBM)
17. “A hp22 nm Node Low Operating Power (LOP) Technology with Sub-10 nm Gate Length Planar Bulk CMOS Devices”, N. Yasutake (Toshiba)
18. “The Critical Role of Epitaxy in The Fabrication of Enhanced Mobility Substrates”, M. Kennard (Soitec)
19. “Oxygen-Vacancy-Induced Threshold Voltage Shifts in Hf Related High-k Gate Stacks”, K. Shiraishi (Tsukuba Univ.)
20. “Formation of Si/Ge Nanostructures at the Atomic Level - Observed by STM”, B. Voigtländer (Forschungszentrum Jülich)



# 第1回 新IV族半導体ナノエレクトロニクス 国際ワークショップ

## First International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開催日：2005年5月27日～28日，6月13日（3日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設

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して包括的に議論することを目的に，本研究所の共同プロジェクト研究H-17/A06「IV族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究」が中心となって企画した国際会議である．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8件の他，一般講演21件が行われ，活発で有意義な討論が交わされ，全参加者は50名（内，海外8名）に達した．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な意味を持つものであり，すでに来年度の継続開催（2006年）も決定され，世界の英知を結集した討論の場が準備されている．今後，この分野の研究機関の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/SiGeC2005/> 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：**（注．No.8のみ6月13日開催）

1. “Infrared Photodetectors with Ge/Si Structures”, E. Kasper (Univ. Stuttgart)
2. “Engineered Substrates and their Future Role in Microelectronics”, E.A. Fitzgerald (MIT)
3. “Ge/Si nanostructures: Control of dot size, position by selective epitaxy and influence of point defects”, V. Le Thanh (CRMC-N/CNRS)
4. “Atomic Layer Processing for Doping of SiGe”, B. Tillack (IHP)
5. “Characteristics and Integration of Selectively grown Strain-Relaxed SiGe buffer layers”, M. Caymax (IMEC)
6. “Control of Charged States of Silicon-Based Quantum Dots and Its Application to Floating Gate MOS Memories”, S. Miyazaki (Hiroshima Univ.)
7. “Strained-Si/SiGe/Ge-On-Insulator CMOS and Substrate Technologies” S. Takagi (MIRAI-AIST and Univ. Tokyo)
8. “MOSFETs in Strained Heterostructures on Insulator” J.L. Hoyt (MIT)

## GSIS 国際シンポジウム

## 新時代の情報科学：脳、心および社会

GSIS International Symposium on Information Sciences of New Era:  
Brain, Mind and Society

開催日：平成17年9月26日～27日

開催場所：仙台エクセルホテル東急

情報科学は今日の最も重要な学問テーマであり、アルゴリズムや計算理論のような計算機科学、バイオインフォマティクスや人工知能や認知科学のような脳情報科学、はたまたインターネットやデータマイニングのような新しい分野まで多岐に渡ります。情報科学に関する研究の動向を見定め、この分野の研究に強い活力と良い方向付けを与えるとともに、今後の研究協力態勢の樹立を行うことを目的として、情報科学研究科と電気通信研究所の共催で本シンポジウムは平成17年9月26～27日の2日間に渡り、仙台エクセルホテル東急を会場として開催されました。シンポジウム委員長として丸岡章教授が、実行委員会委員長として西関隆夫教授が、実行委員として鈴木陽一教授と堀口進教授が参画しました。シンポジウムのテーマは人工知能、認知科学、バーチャルリアルティ、脳情報科学、大規模ネットワークの可視化、高次音響処理、ユビキタス社会、未来の3次元テレビ放送や感性通信などであり、これらに関する関心は高く、国内外(6カ国)から総数347名の参加者(内、外国人参加者70名)があり、まさに学際的なシンポジウムとなりました。主な招待講演者は人工知能の開祖の Marvin Minsky 教授 (MIT)、ロボティクスやVRの金出武雄教授 (CMU)、ニュートラルネットワークなどの脳科学の甘利俊一博士 (理研)、複雑なネットワークの可視化の Drothea Wagner 教授 (Karlsruhe 大)、バイオインフォマティクスの宮野悟教授 (東大)、ユビキタスコンピューティングの竹林洋一教授 (静岡大)、知的集積システムの亀山充隆教授 (東北大・情報科学研究科)、マルチモーダルコミュニケーションの鈴木陽一教授 (東北大・電気通信研究所) などの超一流の研究者であり、情報科学の最先端の研究成果の発表ばかりでなく、情報科学の新しい研究分野の創成も期待できます。講演していただいた全ての招待論文を取りまとめて、189頁もの論文集 Proceedings of GSIS International Symposium を発行しております。

## 第1回スピントロニクス国際ワークショップ

The 1st RIEC International Workshop on Spintronics – Spin Transfer Phenomena –

開催日: 2006年2月8日(水)–9日(木)

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 1st RIEC International Workshop on Spintronics – Spin Transfer Phenomena – (第1回スピントロニクス国際ワークショップ: スピン移行現象)が、平成18年2月8,9日の二日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設で開催された。大野英男教授が主催責任者として会議運営を行った。本ワークショップは、近年高い関心を集めている種々の磁性ナノ構造において観測されるスピン移行現象を取り上げ、その進展を深く議論するべく企画されたものである。日本を始めとして、アメリカ、フランス、イギリス、ポーランド、中国からの20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、130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。

## 5. 2 国際会議等の開催状況

### The 2nd International Symposium on Ultrafast Photonic Technologies

(第2回超高速フォトニックテクノロジーシンポジウム)

- ・開催日 2005年8月1日(月)～3日(水)
- ・開催場所 University of St Andrews (St Andrews, UK)

- ・会議・シンポジウムの概要

本シンポジウムは、伝送速度 160Gb/s 以上の超高速フォトニクスおよびネットワークに関して研究を進めている日欧米の著名な技術者 71 名が参加し開催された。公開シンポジウムにおいて次世代の超高速光技術についての取組みや今後の進め方についての紹介・討論が行なわれ、活発な意見交換・情報交換がなされた。また本シンポジウムではポスターセッションも併設され、超高速フォトニックテクノロジーに関して最新の研究成果が数多く発表された。

## 第3回スピントロニクスと量子情報技術に関する 国際スクールおよび会議

The Third International School and Conference on  
Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH III)

開催日：平成17年8月1日～5日（5日間）

開催場所：兵庫県・淡路夢舞台国際会議場

SPINTECH III は平成17年8月1日から5日間にわたり、兵庫県・淡路夢舞台国際会議場において開催され、大野英男教授は吉田博教授（大阪大学産業科学研究所）とともに組織委員長として会議運営を行った。本研究集会はスピントロニクスと量子情報技術に関する最新の研究についての成果発表と共に、若手研究者の教育を目的として開催されている。この目的を実現するために、大学院生や若手研究者を主な参加対象として日程の前半にスクール、後半に会議という形式で行っている。特にスクールにおいては、実験、理論の両面から世界の著名な専門家を講師として迎え、その講義を通して次世代を担う若手に同分野の理解を深めてもらった。後半の会議では数々の最先端の研究が報告された。2001年にハワイで第1回目が開催され、2003年ベルギー、そして今回日本で行われるに至った。世界23カ国、参加者総数は250名を超え、他の国際会議よりも参加者の年齢層が低いいためか会場は終始熱気あふれるものとなった。

## 2005 Microwave Workshops & Exhibition (MWE 2005)

会議名：2005 Microwave Workshops & Exhibition (MWE 2005)

開催日：2005年11月9日～11日

開催場所：横浜、パシフィコ横浜

会議概要：

MWE (Microwave Workshops & Exhibition) は、4年ごとに日本で開催される APMC (Asia-Pacific Microwave Conference) の間を継承する形で1991年から日本で開催されている。その基本方針は、ワークショップと技術展示会を一体として毎年開催することにより、マイクロ波とその関連分野の活動を一層発展させることにある。

MWE2005 は高木 直 実行委員長（東北大学）のもと、“電波で築く地球ネットワーク”を基調コンセプトとし、2005年11月9日～11日の3日間、パシフィコ横浜で開催された。

開会式では、基調コンセプトに沿って、安達文幸氏（東北大学教授）による「超高速を狙うブロードバンド移動無線技術」および榎並和雅氏（NHK放送技術研究所所長）による「デジタル放送と今後の展望」のタイトルで基調講演が行われた。

ワークショップでは、マイクロ波関連の最新技術を発表・討議する18のテクニカルセッション、2つのパネルセッションと初学者を対象にした5つの基礎講座が開催され、第一線で活躍している国内外の専門家による総計96件の講演が行われた。

併設された技術展示会では、国内外500社の企業からの出展参加があり、出展申し込み企業123社、出展小間数207と過去最高規模であった。また技術展示会では、他に24の大学研究室からの出展、歴史展示、注目テーマのシステム展示等もおこなわれた。

MWE2005 の参加登録者数は5,962名にのぼり成功裏に開催された。

## 5. 3 工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研究会名	主査	幹事
1	伝送工学研究会	澤谷 教授	陳 助教授
2	音響工学研究会	鈴木(陽) 教授	西村 助教授 鈴木(基) 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	曾根 教授 松本 助教授
5	コンピュータサイエンス研究会	外山 教授	周 助教授
6	システム制御研究会	吉澤 教授	渡邊 助教授
7	情報バイオエレクトロニクス研究会	庭野 教授	石山 助教授
8	スピニクス研究会	佐橋 教授	石山 助教授 池田(慎) 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
10	超音波エレクトロニクス研究会	長 教授	大原 助手
11	ブレイン機能集積工学研究会	中島 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 教授	大野(裕) 助教授

## 伝送工学研究会

主査 澤谷 邦男, 幹事 陳 強

伝送工学研究会は、最も長い歴史をもつ研究会であり、17年度末の時点で490回を数えている。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10回の研究会が開催され、3件の特別講演と34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 西村竜一, 鈴木基之

音響工学研究会は、音波、固体振動、超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し、討論や意見交換をする場として、1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は、電気音響、聴覚・心理音響、建築音響、騒音制御、デジタル補聴器、音声分析・合成、音声認識・理解、音環境工学など、多岐にわたっている。2005年度は、主査鈴木陽一教授、幹事西村竜一助教授、鈴木基之助手のもとで、研究会7回(第337回～第343回)と通研講演会1回が開催された。会場は、第342回が東北大学工学部電気・情報系451・453会議室、その他は全て電気通信研究所大会議室で行われた。なお、第338回および第342回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催され、第341回は電子情報通信学会HIP研究会との共催で開催された。第337回は、2005年5月26日(木)に開催され、研究発表4件、参加者は31名であった。第338回は、7月21日(木)に開催され、研究発表5件、参加者は55名であった。第339回は、10月27日(木)に開催され、研究発表2件、参加者は33名であった。第340回は、11月15日(火)に開催され、研究発表2件、参加者は33名であった。第341回は、12月15日(木)、16日(金)に開催され、研究発表28件、参加者は延べ116名であった。第342回は、12月20日(火)に開催され、研究発表9件、参加者は50名であった。第343回は、2006年2月17日(金)に開催され、研究発表6件、参加者は21名であった。通研講演会は、2006年3月10日(金)に赤木正人教授(北陸先端科学技術大学院大学教授)による「歌声らしさの知覚とその歌声合成への応用」という題の講演が開催され、参加者は31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、放電および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17年度の活動として、学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎およびプラズマ応用、計測に関する「研究討論会」を3回開催。大学院生によるプラズマ加速現象、波動励起、不安定性やカーボンナノチューブ、大気圧放電、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、プラズマ結晶、計測法、電気推進機、プラズマプロセス、フラーレン・カーボンナノチューブなどを取り上げた「特別講演会」を5回開催。その他、国内研究者による負イオン源開発、プラズマ基礎、核融合、ナノテクノロジーに関するプラズマ研究、流れが深く関与するプラズマ諸現象、微粒子プラズマの基礎と応用に関する「研究発表」を4回開催した。以上の研究会参加者は、学内外合わせて常時50名前後であり活発な議論が行われた。

## EMC仙台ゼミナール

主査 杉浦 行, 幹事 曾根 秀昭, 松本 泰

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にいかに取り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17年度は、第173回（6月24日）、第174回（11月14・15日）、第2回電灯線インターネット（PLC）ワークショップ、第175回（12月26・27日）の3回の研究会をIEEE EMC-S Sendai Chapter Colloquium及びWorkshopと共催、加えて、第174回は電波科学連合（URSI）E分科会日本委員会、第175回はIEEE Student Branch at Tohoku Universityの協賛で開催し、それぞれ放電とEMCに関する講演2件と、電灯線ネットワークに関する研究8件、電子機器のノイズ対策に関する講演5件が行われ、毎回40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 外山 芳人, 幹事 周 暁

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。2005年度は第117回講演会から第123回講演会まで7回の講演会を開催した。

Fer-Jan de Vries 教授 (University of Leicester) は、無限ラムダ式と無限リダクションを許した拡張ラムダ計算の形式モデルについて講演した。Peter Dybjer 教授 (Chalmers University of Technology) は、評価に基づく正規化アルゴリズムを Martin-Lof の型理論に基づいて説明するとともに、その応用について講演した。南出靖彦 講師 (筑波大学) は、定理証明系 Isabelle/HOL とその応用について紹介した。Andrzej Proskurowski 教授 (University of Oregon) は、任意のマッチングを削除しでもグラフが連結であるようなグラフのクラスについて最近の研究結果を紹介した。Wen-Lian Hsu 教授 (Academia Sinica, IIS) は、PQ-木、PC-木、平面グラフなどについて、最近の研究結果を紹介した。宮部博史氏 (NTT サイバーコミュニケーション総合研究所) は、産業界が抱えるソフトウェアの課題について講演した。Manuel Fahndrich 氏 (Microsoft Research) は、Singularity オペレーティングシステムにおけるプロセス間的高速・高信頼通信について講演した。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

## システム制御研究会

主査 吉澤 誠, 幹事 渡邊 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) 神奈川大学工学部教授 瀬古沢 照治 氏 (演題: 八百万コンセプトに基づくユビキタス情報社会システムの創造), 会津大学コンピュータ理工学部助教授 森 和好 氏 (演題: 既約分解を考えないシステムの安定について), 東北大学医学部助教授 本間 経康 氏 (演題: 複雑系の話), トヨタ自動車(株) 李 海妍 氏 (演題: 強化学習の応用), 2) (講演会) 名古屋大学大学院工学研究科助教授 石黒 章夫 氏 (演題: 量的な変化から質的な変化をいかにして創発させるか? —大自由度を有するロボットの自律分散制御—, 主催: 計測自動制御学会東北支部), 3) (通研講演会) 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門マルチモダリティ研究グループ研究グループ長 氏家 弘裕 氏 (演題: 映像酔い事例及び同一映像提示実験による影響要因分析 —安心・安全なユビキタス映像環境の実現に向けて—), 4) (講演会) 米国アリゾナ州立大学フルトン工学部ハーリントン生体工学科教授 メチン・アカイ 氏 (演題: Neural Engineering: Neurogenesis and Informatics, 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」, 共催: 計測自動制御学会東北支部, 生体医工学会東北支部)。

## 情報バイオトロニクス研究会

主査 庭野 道夫、幹事 石山 和志

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、研究会を2回開催し、岡畑恵雄氏の通研講演会を開催した。

[第1回] 研究会テーマ『バイオセンサ・バイオチップの現状と展望』「イオンチャンネルバイオセンサー要素技術開発と表面科学」 宇理須恒雄 (分子研) 「生体分子間相互作用や反応を重さで測る」 (通研講演会) 岡畑恵雄 (東工大) 「2, 3の細胞アレイの例とその基礎となる細胞-機材相互作用について」 岩田博夫 (京大再生医科研) 「ナノ構造配列上への生体分子固定と一分子イメージング」 谷井孝至 (早大学理工) 「ZF 工学の開拓、DNA 結合蛋白質を利用した分子機能の自由配列」 山村剛士 (東京理大) 「赤外 DNA センサで見る DNA 分子の水素結合状態」 庭野道夫 (東北大)

[第2回] 【特別講演】「FT-IR と多変量解析を利用した X、Y 精子の識別」 講師：竹中繁織 (九州工業大学物質工学科・教授)

## スピニクス研究会

主査 佐橋 政司、幹事 石山 和志、池田 慎治

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6回の研究会を開催した。第1回は、仙台で開催された3rd International Workshop on High Frequency Micromagnetic Devices and Materialsに協賛し、6件の招待講演を含む18件の講演が行われた。第2回は日本応用磁気学会ハイブリッド記録専門研究会との協賛で、磁気記録に関する最新の材料開発動向を中心に5件の講演が行われた。第3回はCPP-MR(current-perpendicular-to-plane magnetoresistance)の最近の進展について、現状ならびにその応用について6件の講演があった。第4回は、一般公募による特別研究会を開催し、米沢市の会場で2日間にわたり32件の講演が行われ、110人の参加を得て盛大に開催された。第5回は通研講演会に協賛し、九州工業大学の本田崇助教授より「磁気マイクロマシンの新しいデザインコンセプト」と題してマイクロマシンに関する最新の技術動向に関する講演がなされた。第6回は、東北大において行われている最新の研究動向に関して5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

本研究会は、従来の延長上にはない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的としており、平成17年度は以下の5回を開催した。

第44回 平成17年7月2日(土) グリーンピア大沼  
研究発表 7件

第45回 平成17年10月24日(月) 青葉記念会館401(大研修室)  
平成17年度情報処理工学セミナーと共催. ポスターセッション 36件

第46回 平成17年12月3日(土) 如水会館 カンファレンスルーム  
研究発表 2件

第47回 平成17年12月23日(金) 琉球大学工学部 電気情報系会議室  
研究発表 8件

第48回 平成18年2月16日(木) 東北大学電気情報館 通研講演会  
演題:「ベイジアンネットによる確率的情報処理システム」  
講演者: 本村陽一(産業技術総合研究所)

## 超音波エレクトロニクス研究会

主査 長 康雄, 幹事 大原 鉱也

### 第44回

日程：平成17年7月21日（木）

会場：東北大学電気通信研究所 大会議室

演題：

1. 「対象物表面形状の超音波計測に関する基礎実験」  
有原千尋, 長谷川英之, 金井 浩（東北大学大学院工学研究科）
2. 「動脈壁の弾性率計測に基づく線維組織内コラーゲン含有率の推定  
～弾性率断層像と病理染色画像の整合度評価法の検討～」  
稲垣 淳, 長谷川英之, 金井 浩（東北大学大学院工学研究科）, 市来正隆（JR 仙台病院）, 手塚文明（仙台医療センター）
3. 「タンタル酸リチウム単結晶における探針下でのナノ分極反転現象に関する一実験的考察」  
加藤未来, 長 康雄（東北大学電気通信研究所）
4. 「個々の音韻の聞き取りの違いが単語の語音聴取域値に与える影響」  
吉川忠祐, 坂本修一, 鈴木陽一（東北大学電気通信研究所）  
天野成昭, 近藤公久（日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
5. 「歌詞認識結果を用いた歌声のセグメンテーションに関する検討」  
細谷 徹, 鈴木基之, 伊藤彰則, 牧野正三（東北大学大学院工学研究科）

### 第45回（通研講演会）

日程：平成17年11月10日（木）

会場：東北大学工学部電気・情報系 451・453 会議室

演題：「Novel Developments in Echocardiography」

講師：A. F. W. van der Steen（Professor, Erasmus University Rotterdam, Netherlands）

### 第46回

日程：平成17年12月20日（火）

会場：東北大学工学部電気・情報系 451・453 会議室

演題：

1. 「超音波加振によるひずみの生成とその空間分布の計測」  
高橋幹人, 長谷川英之, 金井 浩（東北大学大学院工学研究科）
2. 「生体イメージングの高精度化を目指した超音波ビーム偏向の自動設計法」  
増山 堯, 長谷川英之, 金井 浩（東北大学大学院工学研究科）
3. 「超音波を用いた対象物表面形状の高精度計測」

- 有原千尋, 長谷川英之, 金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)
4. 「KFMによる電界分布補正機構付き SNDM を用いた強誘電体分極の面内計測」  
杉原智之, 長 康雄 (東北大学電気通信研究所)
  5. 「10Tbit/inch<sup>2</sup>強誘電体記録」  
橋本 直, 長 康雄 (東北大学電気通信研究所)
  6. 「線状レーザービームを用いた非破壊検査と光音響トモグラフィーの基礎的研究」  
畠山美香, 大瀧直樹, 遠藤春男, 星宮 務 (東北学院大学 工学部/工学研究科)
  7. 「超音波による動脈壁組織性状診断のための弾性ライブラリの構築  
～弾性率に基づく動脈壁組織分類法の検討～」  
稲垣 淳, 長谷川英之, 金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)  
市来正隆 (JR 仙台病院), 手塚文明 (仙台医療センター)
  8. 「心筋からの超音波散乱の線維方向依存性の計測」  
鎌田広章, 長谷川英之, 金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)
  9. 「LFB 超音波材料解析システムによる TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> ガラスの脈理の評価法  
～正確な漏洩弾性表面波速度の計測～」  
荒川元孝, 大橋雄二, 櫛引淳一 (東北大学大学院工学研究科)

# 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17年9月16日に九州工業大学大学院生命体工学研究科教授・林初男氏による「海馬における時系列学習と $\theta$ 位相コーディング」、大阪大学大学院工学研究科助教授・土居伸二氏による「単一神経細胞モデルの非線形ダイナミクス：ロバスト性、値性、カオス、再考」と題して通研講演会を行った。

その概要を以下に示す。海馬神経回路におけるネットワークモデルにおいては、CA3におけるダイナミカルアクティビティに基づく影響を考慮する事で、一連の行動計画に必要な時系列の学習が可能であることを示す事が出来、これにより海馬における時系列学習と $\theta$ 位相コーディングの関係を明らかにする事が出来るといった、新しい知見が紹介された。更に、生物学で最も精密なモデルであるHodgkin-Huxleyモデル（単一細胞モデル）について、そのダイナミクスの再考が行われ、パラメータのばらつきも含めて、モデルの性質を構造的に理解し用いることの重要性が示された。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 海老澤丞道, 幹事 田中 和之, 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 10 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：増田直紀（理化学研究所 脳科学総合研究センター）“複雑ネットワークの科学：入門から最近の研究動向まで”、井上純一（北海道大学大学院情報科学研究科）“量子力学的効果に基づく最大周辺化事後確率推定の最良性条件”、加藤勝（大阪府立大学大学院工学研究科）“微小超伝導体の渦糸状態”、御領潤（青山学院大学理工学部）“Two-gap 超伝導体のフラックス・フロー抵抗、および特異な磁束を持つ渦糸”、山崎啓介（東京工業大学精密工学研究所）“特異モデルと代数幾何”、井上真郷（早稲田大学理工学部電気・情報生命工学科）“Bowman-Levin 近似による LDPC 復号法”、鈴木正（東京大学大学院新領域創成科学研究科）“シミュレーテッド量子アニーリング”、棚本哲史（(株) 東芝 研究開発センター LSI 基盤技術ラボラトリ）“電荷量子ビットにおけるデコヒーレンス・フリー状態の有効性”、Jonathan Hatchett（理化学研究所 脳科学総合研究センター 脳数理研究チーム）“Spin models on disordered small-world networks”、小山富男（東北大学金属材料研究所）“d 波超伝導体ドットを用いた  $0 - \pi$  ジョセフソン接合の量子論的位相ダイナミクス”。

## 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 17 年度の活動概要を示す。

第 13 回は平成 17 年 9 月 12 日(月) に 14 時から 17 時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子工学専攻の吉信達夫教授の「化学イメージセンサの開発と応用」と題する特別講演が行われた。引き続いて 4 件の一般発表があった。参加者は 31 名であった。第 14 回は平成 17 年 2 月 22 日(火) に 13 時半から 17 時まで電気通信研究所中会議室で開催され、理化学研究所脳科学総合研究センターの佐藤直行研究員の「リズムから探る脳の記憶：物一場所連合記憶における海馬の神経ダイナミクス」と題する特別講演（通研講演会）が行われた。引き続いて 4 件の一般発表があった。参加者は 37 名であった。いずれの回も広範な分野からの参加者があり、活発な討論がなされた。



## ナノ・スピン工学研究会

主査 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17年度は以下の講演会を実施した。

第11回 平成17年4月4日

「Quantum Well Infrared Photodetectors: Thermal Imaging "Ultrafast" Detection」

Dr. Harald Schneider, Fraunhofer Institute for Applied Solid Physics (IFA), Germany

第12回 平成17年4月19日

「Ferromagnetism in ZnO-based DMSs」

Dr. Hyeon-Jun Lee, Research Center for Dielectric and Advanced Matter Physics (RCDAMP), School of Physics, Pusan National University, Korea

第13回 平成17年7月28日

「Effects of Magnetic and electrostatic disorder in Mn-based II-VI and III-V magnetic semiconductors」

Professor Tomasz DIETL, Laboratory for Cryogenic and Spintronic Research, Institute of Physics, Polish Academy of Sciences and ERATO Semiconductor Spintronics Project of JST, Warszawa, Poland; also Institute of Theoretical Physics, Warsaw University, Poland

第14回 平成17年7月28日

「Magnetic properties of ferromagnetic (Ga,Mn)As」

Dr. M. Sawicki, Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland

第15回 平成17年10月24日

「Research Activities on Ge/Si Nanostructures at CRM-CNRS, Luminy」

J. Derrien 教授 (CRM-CNRS) (フランス地中海大学副学長)

第16回 平成17年12月22日

「単一磁束量子回路の展望ーポスト CMOS デバイスとしての可能性と量子コンピュータへの応用ー」

吉川信行 横浜国立大学工学研究院 教授

「高周波磁界駆動 SQUID の非線形特性とその応用」

水柿義直 電気通信大学 電気通信学部 助教授

第17回 平成18年1月12日

「固定ジョセフソン接合における集団的巨視的量子トンネル現象」

町田昌彦 日本原子力研究開発機構、 JST

「マイクロ波照射下固定ジョセフソン接合における巨視的量子トンネリングの観測」

中宮裕希 東北大学通研

第18回 平成18年1月30日

「Semiconductor spintronics and single-spin control」

Professor Michael E. Flatté, University of Iowa

## 5. 4 通研講演会

### レーダ散乱断面積を用いた物体の形状認識について

中央大学理工学部教授 白井 宏

開催日：平成18年2月22日（水）13:00～

開催場所：電気・情報系103号会議室

平成18年2月22日（水）午後1時より電気・情報系103号会議室において、学内・学外から約90名の出席を得て通研講演会が行われた。講師は中央大学理工学部教授の白井 宏氏で、演題は「レーダ散乱断面積を用いた物体の形状認識について」であった。講演では、導体表面で散乱する電磁波の性質を高周波漸近解法に基づく光線理論によって解析することにより、多面体のそれぞれの構成面を推定する手法を説明した。また、本手法を用いて、2次元金属物体の形状を推定する事例を紹介し、手法の有効性と適用範囲を示した。最後、光線理論による物体形状の推定に関する研究動向についての紹介があった。この後、参加者から多くの質問が出され、活発な討論が交わされた。

### 歌声らしさの知覚とその歌声合成への応用

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科教授 赤木 正人

開催日：平成18年3月10日

開催場所：電気通信研究所2号館4階大会議室

歌は歌詞である言語情報だけではなく、非言語情報の一つである“歌声らしさ”，あるいは歌い手の感情情報までも伝達することが可能である。そこで、非言語情報を付加することで、歌詞朗読音声から歌声へ変換・合成するシステムの構築が行われている。本講演では、その過程において、

- (1) 歌声の基本周波数に含まれる歌声知覚に重要な音響的特徴
- (2) 歌声のスペクトルに含まれる歌声知覚に重要な音響的特徴
- (3) 歌声知覚において重要な役割を担っている音響的特徴

の3つの課題を検討することで、音声を歌声として知覚するために重要な音響的特徴を明らかにすることが試みられた。また、変換・合成システムの構築法、および、そのシステムを用いた合成音による歌声知覚の実験結果が紹介された。

# 宇宙システムの安全・信頼性

宇宙科学研究所名誉教授 栗木 恭一

宇宙システムは、一旦軌道に打ち上げられれば、地上からの指令以外のアクセス無しに正常に作動せねばならない。そのためのシステム信頼性は必須の要請であるが、「人的損害・大規模損傷を生じてはならない」とする安全性への配慮はシステム開発の至上命題である。

本講演では、H-II ロケットで打ち上げられ、若田宇宙飛行士がスペースシャトルで回収作業を行ったフリーフライヤー（SFU）を具体例に、有人宇宙システムの安全性・信頼性の概念が紹介された。

## 1. 静電気と EMC 2. 自動車用電圧電流領域における電気接点開閉時のアーク放電の測定と解析

1. 名古屋工業大学 藤原 修, 2. 静岡大学 関川 純哉

平成17年6月24日に、藤原修先生（名古屋工業大学）と関川純哉先生（静岡大学）を講師に招き、通研講演会が IEEE EMC-S Sendai Chapter Colloquium と共催で電気通信研究所 W214 室にて行なわれた。

藤原修先生から「静電気と EMC」と題して、静電気放電（ESD）の現象における電荷、電流、電波の関係について、マイクロ波帯まで及ぶ発生電界の測定法から、ESD の計算モデル化と FDTD 計算による解析及び耐性試験などの研究について、基礎から最新の成果までを含めて系統的に講演していただいた。また、自動車電源システムの 42V 化に伴って車載用電磁リレーが求められている耐アーク性能の向上の課題に関して、関川純哉先生から「自動車用電圧電流領域における電気接点開閉時のアーク放電の測定と解析」と題して、新しい電圧電流条件における電気接点の損傷過程を 3 次元的に観測する実験によって障害発生の予測をするための指標を検討している研究について、経時変化の動画像など多くの観測データを使った講演が行われた。

## 定理証明系 Isabelle/HOL とその応用

筑波大学 講師 南出 靖彦

日時：2005年9月30日（金） 13:30 - 16:30

場所：東北大学・電気通信研究所・2号館・2階 W214

Isabelle/HOL は高階論理に基づく定理証明システムで、プログラミング言語、暗号、プロトコルなどの様々な対象の形式化、検証に用いられている。本講演では、Isabelle/HOL の基礎となる論理と使い方について説明する。さらに、グラフの深さ優先探索の形式化、Isabelle/HOL を用いた C プログラムの検証などの応用例について紹介する。

### 映像酔い事例及び

### 同一映像提示実験による影響要因分析

—安心・安全なユビキタス映像環境の実現に向けて—

(独)産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門

マルチモダリティ研究グループ 研究グループ長 氏家 弘裕

開催日：平成18年2月16日（木）15:00~16:30

開催場所：東北大学大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 101 講義室

近年の情報通信技術の急速な進展は、人間を取り巻く映像環境を一変させた。すなわち、家庭や職場において人間は高輝度・高精細・大画面ディスプレイ、高性能のテレビゲーム機、映像表示携帯電話などの新しい映像機器に囲まれている。また、遠隔会議システム・VR 外科手術・テーマパークのアトラクションでは人工的立体視が用いられている。このような映像メディアに関連する機器の開発に加え、テレビゲーム・アニメ・インターネット上に流通するデジタルコンテンツなどの制作は、現在、わが国が最も得意とする産業分野になっている。

ところが、このような新しいユビキタスな映像環境には、たとえば、光過敏性発作・映像酔い・眼精疲労などのような好ましくない影響が含まれる場合がある。特に成長期の子供への影響を考えたとき、これらへの対策を怠ると、新しい映像機器の開発やデジタルコンテンツ産業の健全な発展を大きく妨げる可能性がある。

そこで本講演では、映像の生体影響として、特に映像酔いを中心に解説し、その対策および ISO における国際的なガイドラインづくりに関連する研究動向を紹介する。

## 「生体分子間相互作用や反応を重さで測る」

東京工業大学フロンティア創造共同研究センター 教授 岡畑 恵雄

開催日：平成17年7月29日 午後2:00より

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノスピ実験施設 4階 カンファレンスルーム

本講演では、水晶発振子マイクロバランス (QCM)法を用いて、振動数変化から生体分子間相互作用をナノグラムスケールの重量変化として追跡する技術を紹介した。QCM 上に DNA 鎖を固定化すれば、DNA の塩基配列特異的に結合するタンパク質や抗生物質の結合の経時変化が求められる。また、ポリメラーゼや制限酵素の反応過程も追跡できる。糖鎖を基板に固定化すれば、糖加水分解酵素や糖転移酵素の触媒作用（酵素の結合、反応、脱離）が追跡でき、Michaelis-Menten 式では求められない詳しい動力学が求められる。

## 「磁気マイクロマシンの新しいデザインコンセプト」

九州工業大学大学院工学研究科 助教授 本田崇

開催日：2006年2月14日(火)

開催場所：東北大学 電気通信研究所 2号館4階 大会議室

磁気現象を利用したマイクロマシン（磁気マイクロマシン）は、マシンとしての基本性能である発生力や変位が大きいだけでなく、外部磁界によるワイヤレス駆動や導電性液体中での駆動など他原理にはないユニークな特徴を有し、医療・産業分野など様々な分野への展開が期待されている。磁気マイクロマシンの多くは永久磁石を内蔵し、その回転や並進運動を付随する機構により所望の運動に変換するが、マクロな世界の機構を単純に小さくするのではなく小さなサイズに適した機構を与える必要がある。例えば、微小な生物を模倣したデザイン（生物模倣）の採用や、摩擦力・粘性力の積極的な利用などは有効な手法であると考えられる。本講演では、これまで講演者が試作した永久磁石を動力源とするマイクロマシン（あるいは、マイクロロボット）の事例が紹介され、どのような発想で機構の設計を行ったのかに重点を置いて解説が行われた。紹介された事例は、生物模倣によりデザインした水中マイクロロボットと体内埋込用マイクロポンプ、摩擦力を利用した電磁マイクロモータ、ならびに最近注目されるアミューズメント・教育機器へ応用した事例など多岐にわたるものであった。講演後、聴講者との長時間にわたる討論が行われた。

## ベイジアンネットによる確率的情報処理システム

産業技術総合研究所 本村 陽一

確率的情報処理はいまやシステムとして実現し、実社会における様々な統計データから知識を抽出し活用する新しい技術的枠組みとして確立される段階に来ている。

本講演では産総研で開発したベイジアンネットソフトウェアを活用して実現した様々な人間の認知的なモデルやそれを活用して可能になる新しい情報サービスについても紹介した。

## Novel Developments in Echocardiography

A. F. W. van der Steen

(Professor, Erasmus University Rotterdam, Netherlands)

開催日：平成17年11月10日（木）

開催場所：東北大学 工学部 電子・応物・情報系 451・453 会議室

概要：現在の心臓診断に必要不可欠な心エコー法（心臓超音波断層法）に関して、その歴史と現状、さらに今後の展望について詳細な解説があった。現在の心エコー法では、心臓の2次元の断層画像および血流速度分布をリアルタイムに描出可能であり、医師はこれらの断層像から心臓の形態・動き・血流動態を観察して心臓の診断を行っている。このような情報を非侵襲的に得られる現在の心エコー法も大変有用であるが、心臓はその形状・動きが複雑なため、3次元断層像の描出など、なお要求は多い。本講演では、3次元心臓断層像など、最新の研究成果が紹介された。さらに、心臓疾患の主な原因である動脈硬化症の診断のために開発された、血管内超音波（IVUS）を用いた血管壁弾性特性計測法についても紹介があった。

# 海馬における時系列学習と $\theta$ 位相コーディング

九州工業大学大学院生命体工学研究科 教授 林 初男

開催日：平成 17 年 9 月 16 日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの実験施設 5 階大会議室

海馬神経回路におけるネットワークモデルにおいて、CA3 におけるダイナミカルアクティビティに基づく影響を考慮する、つまり、シナプスが STDP の特徴をもつならば、最後に到達した刺激を短い時間、動的なパターンとして保持出来ることを考慮すれば、CA3 の異なるサイトへ入力される順序刺激は、放射状に広がる動的なパターンへと関係づけられることとなり、一連の行動計画に必要な時系列の学習が可能であると示す事ができる。また、このモデルの拡張によりラットの脳内で表現される場所情報は、嗅内皮質-海馬間のループ回路組織に起因する  $\theta$  周期で符号化されるといった海馬における時系列学習と  $\theta$  位相コーディングの関係を明らかにする新しい知見が紹介された。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。

## 単一神経細胞モデルの非線形ダイナミクス： ロバスト性，閾値性，カオス，再考

大阪大学大学院工学研究科 助教授 土居 伸二

開催日：平成 17 年 9 月 16 日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの実験施設 5 階大会議室

Hodgkin-Huxley型微分方程式は、種々の神経細胞のみならず、筋肉細胞、心筋細胞、膵臓  $\beta$  細胞、ある種の植物細胞等々、実に多様な細胞の電氣的興奮現象のモデル化に用いることのできるパワフルな数理モデルである。近年、システムバイオロジーやインシリコバイオロジーなど、数理モデルを用いた生命現象の研究が盛んであるが、HH型方程式は、それらの研究の中でも中心的位置を占めることが期待される。また、HH型方程式は、分岐現象を始めとする非線形現象の宝庫であり、力学系理論の重要な研究対象でもある。本講演では、このHH方程式への再考が行われ、パラメータのばらつきも含めて、モデルの性質を構造的に理解し用いることの重要性が示された。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。



## d 波超伝導体ドットを用いた

0- $\pi$  ジョセフソン接合の量子論的位相ダイナミクス

東北大学金属材料研究所 小山 富男

平成18年3月31日に、標記講演会を開催した。ご講演では、d-dot と呼ばれる、s-波超伝導体に微小な d-波超伝導体を埋め込んだ構造を持つデバイスの物理的な性質に関する理論的解析についてお話し頂いた。このような系においては、界面での二つの超伝導体の位相差の関係によって、ふたつの超伝導体は0- $\pi$ ジョセフソン接合系を形成し、自発的な超伝導電流が現れることが知られている。その際、自発電流の向きが反転した2つの状態が可能で、それらの状態は同じエネルギーを持ち、縮退する。ご講演では、先生の最新のご研究に基づき、d-dot 系での位相差のダイナミクスを記述する現象論的理論を、ロンドン理論とジョセフソン効果の現象論を用いて議論することにより、d-dot が量子二準位系として振る舞う可能性を議論された。また、この系は、近年注目されている量子計算機素子としての応用が可能であること。さらに、複数のドットがインダクティブに結合した系に対する理論的な拡張についてもお話し頂いた。講演後は特に量子計算機素子としての実現可能性等について活発な議論がなされた。

## リズムから探る脳の記憶：

## 物一場所連合記憶における海馬の神経ダイナミクス

(独) 理化学研究所 脳科学総合研究センター 佐藤 直行

開催日：平成18年2月27日(月)

開催場所：電気通信研究所2号館4階大会議室

日々経験する出来事を記銘貯蔵する上で大脳海馬は「どこで・なにが」の記憶を時々刻々作っていると考えられる。講演では海馬が記憶の形成にどのように関わっているかに関する背景をご説明頂いた後、ラット海馬神経の「シータ波リズムの同期現象」を取り上げ、講演者らがその役割を検討した結果、この海馬神経の数ヘルツでのリズム同期を用いて物一場所連合記憶のような複雑な環境情報を瞬時に神経ネットワークに構造化することが可能であることをモデルと実験によって示したことをご紹介頂いた。これは脳神経のリズムが環境と個体の情報をまとめる役割を果たしている可能性を示唆するものである。広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、活発な質疑応答がなされた。

## 単一磁束量子回路の展望

—ポスト CMOS デバイスとしての可能性と量子コンピュータへの応用—

横浜国立大学大学院工学系研究院 教授 吉川 信之

開催日： 平成 17 年 12 月 22 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

単一磁束量子(SFQ)を情報担体とするSFQ回路は、高速性と低消費電力性に優れ、ポストCMOSデバイスの有力候補の1つである。本講演では、CMOS回路の限界とそれにかわる新デバイスについての紹介があり、その中の有力候補であるSFQ回路について最近の発展と今後の展望の紹介がなされた。また、量子コンピュータなど、新たな応用分野への展開について紹介があり今後の研究に向けた活発な討論がなされた。

## 高周波磁界駆動 SQUID の非線形特性とその応用

電気通信大学電気通信学部 助教授 水柿 義直

開催日： 平成 17 年 12 月 22 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

ジョセフソン素子の重要な非線形特性の一つに、高周波信号を印加した際に発生する定電圧の電流ステップ(シャピロステップ)がある。その電圧は、「整数×物理定数×周波数」で表され、使用する材料の物性値に依存しないことから、直流電圧の国家標準として使用されている。本講演では、ステップの電流位置がジョセフソン素子の特性や印加高周波信号の周波数に依存し、大きなステップが得られる素子として高周波磁界駆動SQUIDについての紹介がなされた。その動作原理や特長についての紹介があり、いくつかの応用例について活発な討論がなされた。

# 固有ジョセフソン接合における 集団的巨視的量子トンネル現象

日本原子力研究開発機構 研究主幹 町田 昌彦

開催日：平成18年1月12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4階カンファレンスルーム

高温超伝導体 Bi-2212 結晶中に形成される固有ジョセフソン接合は量子デバイスへの応用が期待されている。本講演では、最近報告された巨視的量子トンネル現象に関する実験を踏まえ、経路積分を用いた理論解析について最新の研究成果が紹介された。まず電場結合、磁場結合など固有ジョセフソン接合間の結合を考慮した際の集団的巨視的量子トンネル現象に関して報告がなされた。また電場結合によるエネルギー準位分裂が起きることが示された。この結果を応用することで、接合数分の量子ビットが実現可能であるという興味深い理論予測が示され、今後の量子ビット応用に関し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21回東北大学電気通信研究所運営協議会

日 時：2005年10月25日（火）午後1時30分～午後6時00分

場 所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの総合研究棟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

浅見 徹（ 〃 ）株式会社 KDDI 研究所 代表取締役所長

有信 睦弘（ 〃 ）株式会社 東芝 執行役常務 研究開発センター長

伊賀 健一（ 〃 ）独立行政法人 日本学術振興会 理事

榎並 和雅（ 〃 ）NHK 放送技術研究所長

小林 直人（ 〃 ）独立行政法人 産業技術総合研究所 理事

塩見 正（ 〃 ）独立行政法人 情報通信研究機構 理事

片桐 滋（ 〃 ）NTT コミュニケーション科学基礎研究所長

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副研究科長（代理）

丸岡 章（ 〃 ）東北大学大学院情報科学研究科長

井上 明久（ 〃 ）東北大学金属材料研究所長

中西 八郎（ 〃 ）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

阿曾 弘具（ 〃 ）東北大学大学院工学研究科教授

通研出席者：伊藤 弘昌（教 授）所長

矢野 雅文（ 〃 ）副所長

白鳥 則郎（ 〃 ）副所長

大野 英男（ 〃 ）ナノ・スピン実験施設長

中島 康治（ 〃 ）ブレインウェア実験施設長

坪内 和夫（ 〃 ）21世紀情報通信研究開発センター長

舛岡富士雄、鈴木陽一、外山芳人、村岡裕明、中沢正隆、長 康雄、

羽生貴弘、白井正文、青井 基、枝松圭一、沼澤潤二、種市百器、

尾辻泰一、大堀 淳、上原洋一の各教授

### 議事審議

#### 1. 研究所の今後のあり方について

##### (1) 研究所の活動全般について

① 教員その他研究員数及び支援職員数一覧について

② 教員の充足率について

③ 学部学生・大学院学生在籍状況について

- ④ 平成 17 年度電気通信研究所予算概要、予算の推移について
  - ⑤ 外部資金受入状況について
  - ⑥ 共同プロジェクト研究件数、共同プロジェクト研究者数について
  - ⑦ 通研の特許・知財の現況について
  - ⑧ 新研究分野について
  - ⑨ 人事構想について
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) IT-21 センターの現況について
3. 新領域における研究展開（マルチフェースウェア）
4. 東北大学新キャンパス構想について

以上の説明の後、次のような意見質問が出された。

- 大学の使命は卓越した研究と同時に教育だろうと思う。私自身は研究所で採用を担当しており、色々な大学院から優秀な研究者に来ていただければと思っているが、逆に送り出す方として、高い水準の教育を受けた大学院生を、どこに就職させるかという努力をされているかどうか。
- 留学生について、私が一般的に受けている印象からすると非常に少ないと感じるが、何か考えなり、方針はあるのか。
- 国際化という問題があるが、外国人の教員枠はあるのか。アメリカの大学は、周知のとおり世界中からメンバーが集まっていて、国際色の非常に豊かな活動をしているが、恐らくそのアカデミーメンバーの国際化と学生の国際化は連動しながら前に進んでいる。例えば 10 年、20 年という将来を見た時に、日本の産業界をどう引っ張っていくのか、これは国際化を抜きには考えられなくなってくる。通研は、研究の内容に関しては間違いなく、非常にすぐれたトップクラスの成果がたくさん出ている研究所であるので、それゆえに是非国際化の方もリーディング、リーダーシップをとっていただければありがたい。
- 配属学生数が 260 名ぐらい、そのうち大学院学生が 200 名ということで、研究機関としても、教育機関としてもすごい貢献をしておられる。大学院の学生がたくさんいるということは研究にも非常にプラスであるが、ただ、最近の大学院学生は、落ちこぼれとか色んな学生がいる。我々も同様であるが、何かそういう問題も抱えておられないかなと思うので、その辺のところを是非、お教えいただけるといいなという印象であった。
- 通研として男女共同参画、女性の研究者、院生、教員を増やす努力をされているか、あるいは考えておられるか、お聞きしたい。

- 共同研究のプロジェクト、Aタイプ、Bタイプに分かれているが、どのように違うか。また、東北大学の通研以外のところと比べた場合に、共同プロジェクト数というのは多いのか、それとも少ないのか、ご教示願いたい。
- 通研は共同利用型研究所で、研究者コミュニティに対して共同利用を通して寄与していることは、企業と活発に共同研究をされていることでわかるが、文部科学省が設立の趣旨とした共同利用型研究所の運営協議会の本来の目的がわかる資料等があれば、どういう状況か確認できよかったと思うが。
- 特許の件であるが、研究活動の概況で IT-21 センターでは、例えば垂直磁気等、相当すばらしい研究を各メーカーさんで行っているようであるが、恐らくメーカー側では相当の特許を出されているだろうと思う。その割には通研の特許数が、17年度で16件というのは少ないのではないかと思うが、どのように考えたらいいのか教えていただきたい。
- 大学でポーターを送り込んでいるのは東北大学だけなのか。
- 大学でやった基礎研究を、どのようにして企業に持ってくるかという方法を作っていないと、研究資金の有効利用がしにくい。最近、国プロというのがあるが、それをうまく商品化までもっていくのが、非常に難しい。その辺も含めながら、もう一歩進めて、通研中心に開発プラットフォームとか、新しいチェーンモデルを作るかということを目指したら、よろしいのではないか。
- 実用化について、通常、企業の研究所で研究結果を実用化するというのはかなり大変で、つまり研究成果がある程度物になるという形に見えても、それを実際に製品にする、あるいは物にするというところまでは、実は物すごくステップが違う話になる。したがって、通研で実用化という言い方をする場合、どんな視点で実用化という言葉を使っているのか、その考え方を教示願いたい。
- 成果評価の点で、特許や論文について、全体として評価指標として整理をされているか。
- 人件費について、充足率が90%であるので、充足していない分を当てて5年間の時限の教授を雇い、新しい研究に携わっていただくといったが、これは恒常的な形なのか、それともあくまでも5年たったらおしまいという、先が全く見えないものなのか。
- 若手の柔軟な昇進について、年齢にとらわれないような登用、昇任、昇進の制度を、どのように実施しているか伺いたい。
- 人材の確保にあたり、非常勤を雇用する場合で、例えばポスドク等について、30歳程度の方を雇用し5年たつと35歳になる。そこで契約を打ち切った時に、その方の将来については相当気になり、大きな問題である。説明の中で、外部競争資金で非常勤の研究員を確保することも考えなければいけないという話もあったが、実態はどうなっているか、また議論はされているのか教えていただきたい。
- 新しい研究体制になったこと、また、独法化されたので、人事構成を新しい方向で試みられたらどうだろうと申し上げたい。研究組織の大きさと、いいことを言い出した若手をいかに育てていくかは非常に難しく関連している。これは一般的にも難しいテーマであるが、助教授の充足率が低く、これから充足しようとしている時であるからこそ、よく考えてほしい。将来、助教授の諸君をどのように遇するのか、今までどおり部門のシ

リーズ型でいくのか。また、リセットをかけたとして、そのテーマというのはリセットがかかるのかどうか。例えば、教授2、助教授2の構成で、分野よりも少し大きい単位で、独立性と責任というものは保ちながらも重要なテーマについて研究していく、それが研究のブラッシュアップには大事である。このような少し大き目のサイズのグループピニングというのも一つのヒントになるかと思う。いいことを言い出すようなチャンスを掴まない、しかも責任と独立というものを保ちながら、長期に亘りどのように人事構成を行っていくかは、新しい大事な問題だと思う。是非、見本を見せていただきたい。

- 大学、特に通研のように部門制がある場合は、大きな研究はやりやすいと思うが、教授間若しくは研究室間の連携は逆にある種の壁ができやすくなるのではないかと思うが、これらをどうするかというところで何かお考えがあれば、ご教示願いたい。
- 人件費について、教員の充足率が95%で、その充足していない5%分を新しい分野に投入するという話があったが、法人としての評価は、原則として100%に充足することが外部評価につながる。5年、10年任期の半教員のような採用の仕方は、確かに一つの視点だと思われる。しかし、大学法人とすると、運営費交付金は効率化係数により、どんどん減少していく状況にあるため、非常に不確定要素が多いので、このような差額の資金は、RA、TA、研究支援職員等の研究をサポートする立場の者の充実に使ってもらいたいという視点もある。所の将来方針に従ったプロジェクトは、特別教育研究経費等を獲得し、それを特任教授や客員研究員で採用するのが、今のオーソドックスで、大学法人から望まれていると思っているが、考えをお聞かせ願いたい。
- マルチフェースウェアの(1)、(2)、(3)はどういう関係があるのかという議論もあると思うが、この三つとも単独でも興味のある研究であって、有望なテーマではないかと考えている。通研は日本の大学の研究所の中でコミュニケーションにターゲットを置いた唯一の研究所として優れた実績がある。一方、通研はこれだけのスタッフと予算規模の研究所であるから、それ相当の責任を担った組織と思われる。その責任というのは、一番強いところを伸ばしていくことはもちろんのこと、技術や研究の動向が変化した時、すぐにそれをフォローするポテンシャルを有しているということではないか。そのような視点から見ると、ソフトとハードの融合であるとか、マルチフェースウェアとか、あるいはデバイスとか、通信媒体とか、今日説明のあった非常に幅広く研究テーマの他、通信対象の情報そのものの研究も必要ではないか。今日の説明では、コンテンツの方面や情報の表現に触れられたが、少し割合としては少ない。通研のオリジナルな視点で情報そのものにも目を向けた研究も望まれる。
- マルチフェースウェアについては、物すごく夢が大きくて、最終部分と途中途中で解決しなければいけない問題が、まだすっきり整理されていないような気がするので、できれば、外部の人も入れて議論して、一つひとつクリアしていくかという、ステップを整理する必要があるような気がする。
- 通信におけるメモリと高速伝送、それは技術的にも20年ぐらいは尽きるところがないのではないかと思われる。そういう点で、やはりポイントを外さない戦略、これが必要ではないかと思う。附置研の役割はそれぞれあった訳で、それが過去であれ、また新しく生まれ変わって、電気通信の新しい息吹を感じ取った20年先のものであつ



でも、ポイントを外さないでいただきたい。その様な研究所が日本でしっかりしたところをやっていけば、リードを保てるのではないかと考えている。

#### 研究所内視察

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
〃	知的ナノ集積システム研究部
〃	ブレインアーキテクチャ研究部

#### 第6期委員長のまとめ

本日の意見を集約すると、前半の研究所全般の活動については、優秀な人材の確保、外部との共同研究、若手の人材に活躍してもらうための方策とか、女性とか留学生あるいは国際化等についてある意味では当然であるが、たくさん意見を賜ったと思うので、今後は是非これらの意見を取り入れて運営していただきたい。

後半について、研究所の今後のあり方、特に中期目標・中期計画の一環として新しいマルチフェースウェアの提案があり、大変魅力ある研究だと思うので、是非大きな仕事となるように、外部の方々の力も巻き込みながら色々な意見をいただいて、具体的なステップを整理して進めていただきたい。

さて、第6期の運営協議会委員として、2年間のタームが終わるわけであるが、ちょうど我々委員がお手伝いした2年間というのは、独立法人化が始まり、それに合わせて新しい運営体制になった時期である。研究所の方はちょうど同時に改組をされ、ご説明あった新研究分野を企画し、5年、10年、20年というタームを設定した新研究体制や産業界との連携の緊密化、人事や評価の柔軟化と活性化など、色々な手を打ち始め、具体的にようになってきたところだと思われる。まだ2年間で、スタートしたところであるが、まずまずの方向で順調に進んでいるのではないかと考える。伊藤先生はじめ各先生方のご努力に委員一同、敬意を表したい。我々、委員会のタームは終わるわけであるが、この電気通信研究所の発展に今後もまた何らかの形で是非貢献したいと考えており、今回の議論が少しでもお役に立てられれば幸いだと考えている。

我々も勉強になったと思う。通研の今後のご発展をお祈りし、終わりにしたい。

## 6. 2 過去の運営協議会委員名簿（外部者のみ）

委員名	任期(年度)
相磯秀夫	1998～1999
青木利晴	2004～現在
浅井彰二郎	2000～2003
浅見徹	2004～現在
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～現在
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
榊裕之	2004～現在
塩見正	2001～現在
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

# 第 7 章 結 言

## 結 言

本研究所の改組と法人化移行が 2004 年に一致して行われてから 2 年、全国共同利用研究所となつてから 12 年余が経過しました。本研究所は法人化後も、設置目的に沿って「高密度高次情報通信に関する学理とその応用の研究」の中核的研究拠点として維持・発展に努めます。

運営費交付金をはじめとした経常経費の恒常的な減少に対して、活発な研究活動を継続して行うために研究企画戦略室を中心に、所としての対応を進めております。研究をとりまく環境は年毎に急変しており、その敏速な対応が求められています。

このような状況のもとで、本研究所の今後の課題は次のように要約されます。

### (1) ハードとソフトの融合

今後の情報通信において、ハードウェアとソフトウェアが真に一体化した新しいウェアが求められています。われわれはこれを“マルチフェースウェア”と名付け、研究体制構築に努めています。これによる誰でもがどこでも使える真のユビキタス高機能情報システムの創成を目指して、以下に示す研究課題の取り組みに努力する必要があります。

- 専用システム並みの超高性能と汎用システムを超える柔軟性を持つ情報システムを実現する基盤技術を確立する。
- ハードウェア技術の限界、ソフトウェア技術の限界である「消費電力・速度」、「容量」及び「柔軟性」にブレークスルーもたらしめるための研究開発を実施する。

### (2) 競争的な資金の獲得と財政的な自立

今後、文部科学省から本学に配分される予算は年々減少し、予算項目ごとに申請し、競争的に評価され採択される仕組みとなることが予想されます。

研究・教育環境の維持・向上のためには、所内はもとより学内外の研究者や機関と連携することにより、グループやプロジェクトを積極的に組織し、競争的資金の獲得を真剣に考える必要があります。これは、本研究所の財政的な自立に向けた基盤となる方策です。二十一世紀情報通信研究開発センター（IT-21 センター）及びナノ・スピンの実験施設で実施されている 3 つの IT プログラムは、5 年間の研究期間を 2007 年 3 月に終了します。終了に向けての努力とともに、2007 年度以降の新しい研究体制構築のための努力が必要な時期となっています。