



研究活動報告

Vol.16

(二〇〇九年度)

Annual Report 2009

研究活動報告

第16号(2009年度)



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

東北大学電気通信研究所

目 次

【本編】

第1章 緒言	1
第2章 組織・運営	
1項 組織図	3
2項 運営協議会名簿	4
3項 共同研究組織	5
4項 教育組織	6
第3章 研究活動	
1節 情報デバイス研究部門の目標と成果	7
1項 ナノフォトエレクトロニクス研究分野	8
2項 量子光情報工学研究分野	10
3項 固体電子工学研究分野	12
4項 誘電ナノデバイス研究分野	14
5項 物性機能設計研究分野	16
2節 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果	18
1項 超高速光通信研究分野	20
2項 応用量子光学研究分野	22
3項 先端ワイヤレス通信技術研究分野	24
4項 情報ストレージシステム研究分野	26
5項 超ブロードバンド信号処理研究分野	28
6項 ブロードバンド通信基盤技術研究分野	30
3節 人間情報システム研究部門の目標と成果	34
1項 生体電磁情報研究分野	37
2項 先端音情報システム研究分野	39
3項 高次視覚情報システム研究分野	41
4項 先端情報通信領域創成研究分野	43
5項 ユビキタス通信システム研究分野	45
4節 システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果	47
1項 ソフトウェア構成研究分野	49
2項 コンピューティング情報理論研究分野	51
3項 コミュニケーションネットワーク研究分野	53
4項 情報コンテンツ研究分野	55
5節 ナノ・スピン実験施設の目標と成果	57
1項 ナノヘテロプロセス研究部	65
2項 半導体スピントロニクス研究部	67
3項 ナノ分子デバイス研究部	69
4項 ナノスピンメモリ研究部	71
6節 ブレインウェア実験施設の目標と成果	73
1項 実世界コンピューティング研究部	75
2項 知的ナノ集積システム研究部	77
3項 マイクロアーキテクチャ研究部	79
4項 新概念VLSIシステム研究部	81

7 節	21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果	83
1 項	企画開発部	85
2 項	研究開発部 モバイル分野	87
3 項	研究開発部 ストレージ分野	89
8 節	安全衛生管理室	91
9 節	やわらかい情報システム研究センター	93
10 節	研究基盤技術センター	95

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
H19/A01	超高周波対応磁性ナノ粒子分散型磁性誘電材料に関する研究	100
H19/A02	ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究	103
H19/A03	高次スピン機能材料の理論設計と創製	106
H19/A04	IV族半導体量子ドットの価電子制御とMOSメモリへの応用	108
H19/A05	3Dサウンドによる視覚障害者の歩行訓練実現のための基礎研究	111
H19/A06	頭部伝達関数計測系の精緻化に関する研究	114
H19/A07	脳内における色情報の基本表現(色覚アルファベット)に関する研究	117
H19/A08	ナノ物性計測手法の開発と物性探索への応用	120
H19/A10	補聴器への周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究	123
H19/A13	利用者の状況に適應する分散型情報表示システムの構築と生理的指標による評価	126
H19/A14	次世代ホットスポットネットワークの研究	129
H20/A01	プラズマナノバイオエレクトロニクス基礎研究	132
H20/A02	ナノフォトリクス・フォトリック結晶の応用のフロンティア	137
H20/A03	ECRスパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御	140
H20/A04	IV族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究	143
H20/A05	高移動度2次元ホールガスの作製	146
H20/A06	知的ナノ集積システムとその応用に関する研究	149
H20/A07	有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究	152
H20/A08	イオンチャネルチップに関する研究	154
H20/A09	人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究	156
H20/A10	バイノーラル技術における音像定位の学習効果	159
H20/A11	赤外光を用いた細胞チップに関する研究	162
H20/A13	傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究	164
H20/A14	高度映像コンテンツ検索技術に関する研究	167
H21/A01	環境負荷低減に資する超伝導計算機技術に関する研究	170
H21/A02	金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究	173
H21/A03	IV族系ヘテロデバイスの高性能・高信頼化のためのヘテロ界面に関する研究	176
H21/A04	超音波マイクロスペクトロスコープおよび圧電共振・反共振法によるランガサイト系 圧電単結晶の評価と高温用センサへの応用	179
H21/A05	電気磁気効果酸化物薄膜のスピンエレクトロニクス応用に関する研究	182
H21/A06	自己組織化マルチナノピラー構造によるSTTマイクロ波発振とその応用に関する 研究	185
H21/A07	スイッチ線路発振器間の同期機構の解明	188
H21/A08	直列接続共鳴トンネル素子を用いた高性能THz信号源の研究	191
H21/A09	様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発	194
H21/A10	3次元音響空間におけるコミュニケーションの高度化に関する研究	197
H21/A11	視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究	200
H21/A12	シナリオ・ツアー・アニメ技術に関する研究	202
H21/A13	センサークラウドによる持続性のある情報化社会基盤の構築に関する研究	205

H19/B01	民生用合成開口レーダシステム開発の課題と展望	208
H19/B02	光を用いた地震等の計測とそのネットワークングに関する研究	211
H19/B04	微粒子プラズマ科学の展開	214
H19/B09	証明論的アプローチによるプログラム構成原理	217
H20/B02	高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用	220
H20/B03	新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究	223
H20/B04	ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究	226
H20/B05	半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合ー技術を先導する半導体サイエンスを 目指してー	229
H20/B06	量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究	232
H20/B08	光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究	235
H20/B09	次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究	238
H20/B10	高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・システムソフト ウェアの開発	241
H20/B11	推論エンジンを用いたプログラム自動検証法の研究	244
H21/B01	プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用	248
H21/B02	次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究	251
H21/B03	小電力無線通信方式	254
H21/B04	複素ニューラルネットワークの実用化	257
H21/B05	人間と調和性の高い情報システム構築のための人間特性理解	260
H21/B06	視覚科学の学際的アプローチに向けて	263
H21/B07	ナノ・バイオの融合による新規バイオデバイスに関する研究	266
H21/B08	生物の適応的運動機序の構成論的解明	268
H21/B09	不揮発性ビット演算大規模コンピューティングの創造開拓	271
H21/B10	次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究	274
H21/B11	新概念 VLSI システムとそのシステムインテグレーション技術	277
H20/S01	スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発	281
H20/S02	スピントロニクス連携ネットワーク	284
H21/S01	人間の機能を取り込んだ革新的新概念による情報通信システム	287

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	291
1 項	ミリ波国際シンポジウム (Global Symposium on Millimeter Waves 2009 <GSMM 2009>)	291
2 項	マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ (Mini R.I.E.C. workshop on multimodal perception)	292
3 項	第4回超高速フォトニックテクノロジーに関する国際シンポジウム (The 4 th International Symposium on Ultrafast Photonic Technologies (ISUPT 2009))	293
4 項	パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウムPIMRC 2009 (Personal Indoor and Mobile Radio Communications Symposium 2009)	294
5 項	第2回RIEC-CNSI ナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトンクス に関する国際ワークショップ(第5回スピントロニクス国際ワークショップ) (2 nd RIEC-CNSI Workshop on Nanoelectronics, Spintronics and Photonics) (5 th RIEC Symposium on Spintronics)	295
6 項	空間音響の原理と応用に関する国際ワークショップ (International workshop on the principles and applications of spatial hearing <IWPASH 2009>)	296
7 項	第5回新IV族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ (5 th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics)	297

8 項	第 6 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ (6 th RIEC International Workshop on Spintronics)	298
9 項	第 2 回 ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ (2 nd International Workshop on Nanostructure & Nanoelectronics)	299
2 節	国際会議等の開催状況	300
1 項	第 6 回 Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議 (6 th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-6))	300
2 項	7 th Japan-Korea Symposium on Surface Nanostructures	301
3 項	第 1 回 Si ベースナノエレクトロニクス&フォトンクス国際ワークショップ (1 st Int. Workshop on Si based nano-electronics and-photonics (SiNEP-09))	302
4 項	ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議 (6 th ECS Int. Symp. on ULSI Process Integration)	303
5 項	International Symposium on “Control and Elucidation of Growth Mechanism of Graphene for device applications in the next generation”	304
6 項	第 3 回 移動知国際シンポジウム (The 3 rd International Symposium on Mobiligence)	305
3 節	工学研究会	306
1 項	伝送工学研究会	307
2 項	音響工学研究会	311
3 項	仙台 “プラズマフォーラム”	312
4 項	EMC 仙台ゼミナール	313
5 項	コンピュータサイエンス研究会	314
6 項	システム制御研究会	315
7 項	情報バイオロニクス研究会	316
8 項	スピニクス研究会	317
9 項	ニューパラダイムコンピューティング研究会	318
10 項	超音波エレクトロニクス研究会	319
11 項	ブレインウェア工学研究会	321
12 項	情報・数物研究会	322
13 項	生体・生命工学研究会	323
14 項	ナノ・スピン工学研究会	324
4 節	通研講演会	326
1 項	James A. Harrington Scientific Misconduct: the good, the bad, and the ugly	326
2 項	Densil Cabrera Spatial hearing in rooms	327
3 項	吉川 研一 DNA の高次構造転移：荷電によるナノ構造制御	327
4 項	原田 高志 エレクトロニクス機器におけるノイズ抑制のための実装構造	328
5 項	五十嵐 淳 プログラム理論演習システムのための “Prelogical” Framework とその実装	329
6 項	Hee-kap AHN Efficient Geometric Algorithms for Spatial Skyline Queries	329
7 項	飯島 淳彦 From Eyes to Brain	330
8 項	豊田 麻子 今、広島が熱いー広島市における情報通信戦略ー	330
9 項	八木 哲也 脳視覚野への機能的刺激の試み	331
10 項	金藤 敬一 導電性高分子を用いた人工筋肉のトレーニング効果	331
11 項	David Michael Miller Logic Synthesis of Reversible Circuits	332
12 項	中島 雅美 クラウドコンピューティング時代に求められる組込みプロセッサ とその実現	332
13 項	大石 和明 Mobile WiMAX 用 RF トランシーバ LSI	333

14項	浅井 哲也	ゆらぎを積極的に利用する生体模倣集積回路	333
15項	夏目 季代久	脳内海馬で観察される神経リズム現象	334
16項	根本 香絵	量子コンピュータとその実現性	334
17項	河内山 隆紀	fMRIによる脳機能画像解析法入門	335
18項	Jean-Louis COUTAZ	Terahertz Time-Domain Spectroscopy	336
19項	Wojciech KNAP	Field Effect Transistors for Terahertz Detection	336
20項	Yahya Moubarak MEZIANI	Trends in Terahertz Plasma Wave Devices	337
21項	榎原 浩一	非線形線路を用いた高速信号生成制御に関する検討	337
22項	前澤 宏一	共鳴トンネル素子を活かす新しい集積化技術	338

第6章 評価と分析

1節	運営協議会報告	339
2節	過去の運営協議会委員名簿	345

第7章	結言	347
-----	----	-----

【資料編】

第1章	予算の概要	349
1節	競争的資金の獲得状況	350
2節	非常勤研究員経費	360
3節	奨学寄附金の受け入れ	361

第2章	研究・学会活動状況	362
1節	国際活動	362
2節	発表論文数	363
3節	学会役員一覧	364
4節	外国の大学等との学術交流協定締結一覧	366
5節	学振特別研究員及び研究所研究員	368
6節	特別研究員・大学院生の受入状況	370
7節	広報状況と情報公開	371

第3章	論文題目	373
1節	修士論文	373
2節	博士論文	377

第4章	受章・受賞	379
1節	本年度の受章・受賞者	379
2節	学会フェロー等	382

第5章	トピックス	383
-----	-------	-----

付録	教員の最終学歴一覧表	386
	教員の充足率	387
	構成員	388

第 1 章 緒 言

緒言

日頃から、東北大学電気通信研究所の研究活動には一方ならぬご高配、ご支援を賜り、厚くお礼申し上げます。さて、ここに本研究所の2009年度研究活動を報告書として取りまとめましたのでご高覧頂き、ご意見、ご感想などを頂ければ誠に嬉しく思います。

電気通信研究所は、八木・宇田アンテナやマグネトロンなど本学で展開された情報通信の先駆的研究を受けて、1935年に工学部附属電気通信研究所として設置された組織であります。以来、「高次情報通信の学理およびその応用の研究」をその使命として掲げ、情報通信に関する成果を社会に還元してきました。人と人との密接かつ円滑なコミュニケーションは、人間性豊かな社会の発展のための基盤であり、それを支える情報通信技術は、情報化社会の今日においてますますその重要性を増しています。このため、研究所の組織を、20年先を見据えた研究を行う4大研究部門、10年先を見据えて活動する2実験施設、そして5年後の実用化を目指す研究開発センターの3体制とし、社会の要請に応えられるように整えています。さらに、本学大学院工学研究科、情報科学研究科および医工学研究科の電気情報系6専攻との密接な連携の下、最先端の研究を推進するとともに、国際的研究者および高度な技術者を輩出するよう務めています。

大学の法人化と共に附置研究所も大きく変わりつつあります。2010年4月からは全国共同利用の研究所から共同利用・共同研究拠点として新たな第一歩を踏み出しました。このことは組織として大学における研究所の重要性を明確に示すチャンスであると同時に、その存在意義を問われ世の中の評価にさらされる厳しい時期でもあります。研究所内での部門を越えた各種連携ならびにA、B、Sと名付けられた70の共同研究プロジェクト運営により産官との技術交流・連携を加速し、人間性豊かなコミュニケーションの実現を目指して頑張っていく所存であります。

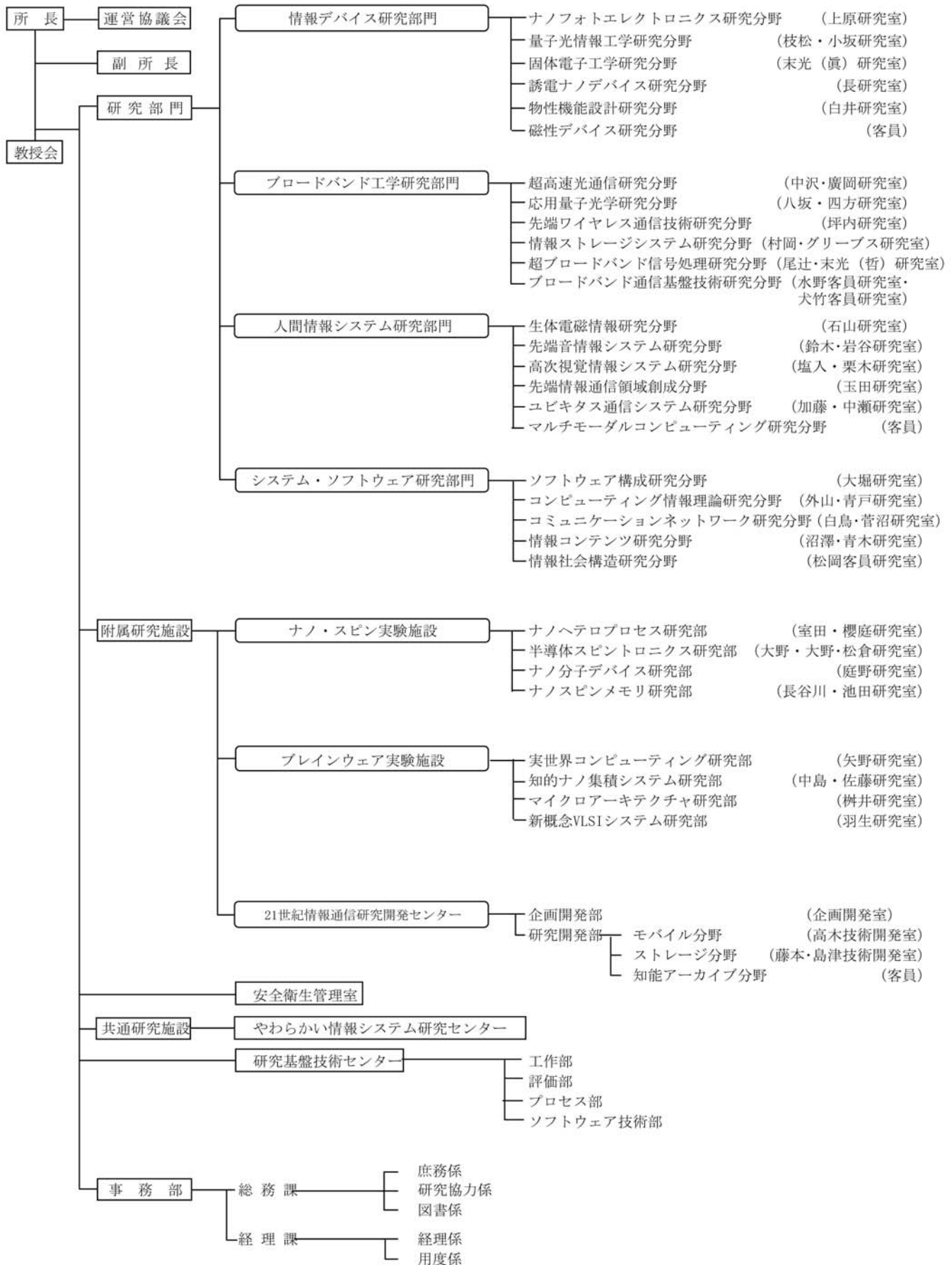
今後ともご指導・ご鞭撻の程宜しくお願い申し上げます。

平成22年6月28日

東北大学電気通信研究所長 中 沢 正 隆

第 2 章 組織・運営

2. 1 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運営の大綱について、研究所の長の諮問に応じ、審議する組織である。

青野 正和（委員）独立行政法人物質・材料研究機構フェロー
荒川 泰彦（"）東京大学 先端科学技術研究センター 教授
太田 賢司（"）シャープ株式会社 技術担当 兼 知的財産権本部長
久保田啓一（"）NHK 放送技術研究所長
久間 和生（"）三菱電機 上席常務執行役 開発担当
國尾 武光（"）NEC 執行役員 中央研究所長
一村 信吾（"）産業技術総合研究所 理事
坂内 正夫（"）情報・システム研究機構理事、国立情報学研究所長
外村 佳伸（"）NTT コミュニケーション科学基礎研究所長
丹羽 邦彦（"）科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
富田 眞治（"）京都大学 名誉教授
富永 昌彦（"）独立行政法人 情報通信研究機構 理事
西尾章治郎（"）大阪大学 理事・副学長
吉田 博（"）大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
花輪 公雄（"）東北大学 大学院理学研究科長
内山 勝（"）東北大学 大学院工学研究科長
西関 隆夫（"）東北大学 大学院情報科学研究科長
新家 光雄（"）東北大学 金属材料研究所長
齋藤 文良（"）東北大学 多元物質科学研究所長
小林 広明（"）東北大学 サイバーサイエンスセンター長
高橋 研（"）東北大学 大学院工学研究科 教授

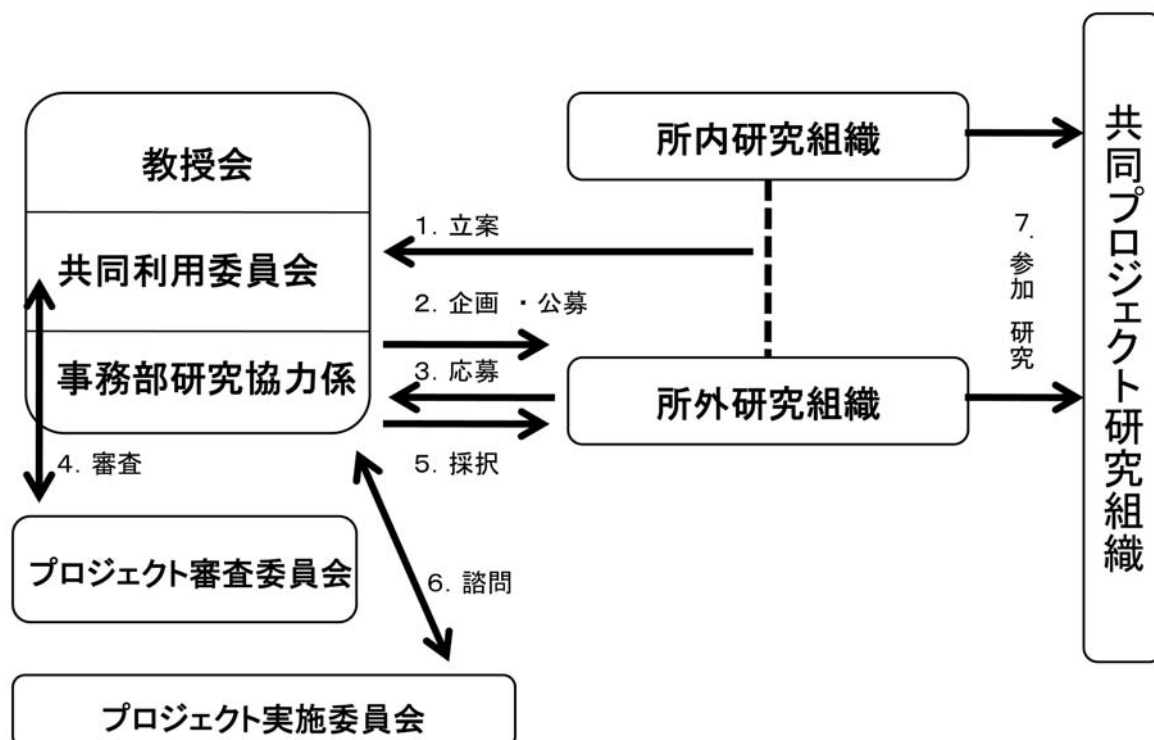
2. 3 共同研究組織

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

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

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるためにユーザーの要望など所内外から広くご意見を戴き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同利用委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部研究協力係」より全国の国公立大学及び研究機関に通知され、各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、平成19年度に外部委員を含めたプロジェクト審査委員会を設置した。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「プロジェクト実施委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案を承認し、実行に移される。

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



2. 4 教育組織

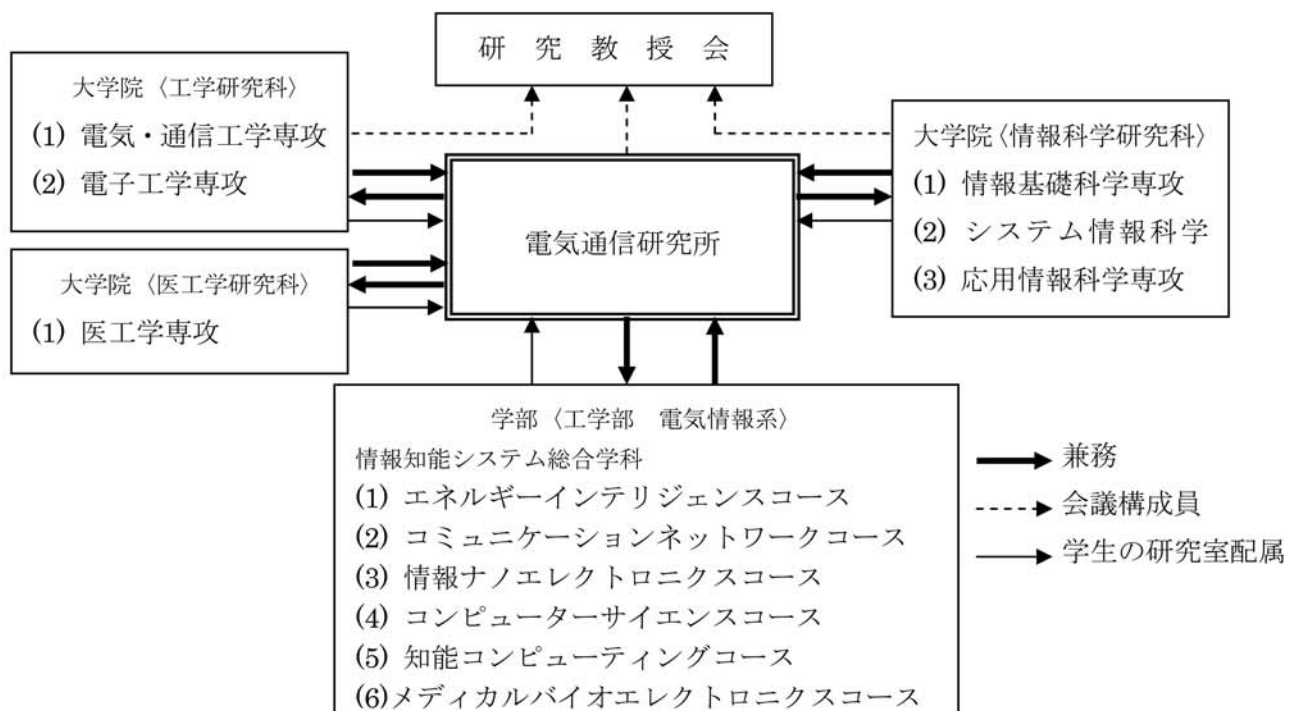
東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学科が順次設立されるとともに、これらの電気・情報系4学科との「一体運営」の協力関係が維持構築された。

現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004年、電気・情報系4学科は応用物理学科と合同の大学科、電気情報・物理工学科となった。2007年には情報知能システム総合学科と改称し、そのなかの6コースが電気・情報系と位置づけられている。また、大学院重点化に伴い、通研教員と大学院の関係は兼担から兼務へ変わっている。2009年度は、通研の27研究部・分野のうち9研究部・分野が工学研究科電気・通信工学専攻に、11研究部・分野が電子工学専攻に、2分野が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4分野がシステム情報科学専攻に、1研究部が応用情報科学専攻に、3研究部・分野が医工学研究科医工学専攻に、それぞれ所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は131名、一研究室当たり平均4.8名に達している。

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

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

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



第 3 章 研究活動

3. 1 情報デバイス研究部門の目標と成果

本部門は「物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成」という大きな目標の下に、材料設計、評価、プロセス、デバイス、システムにわたる研究を実施している。この部門で展開している研究は本研究所の設置目的達成のための重要な基礎となるもので、次世代情報処理通信工学の基盤となる未開拓の新機能情報デバイスの実現を図ることを目的としている。そのために、次世代情報処理機能デバイス実現の基盤となる、ナノスケール光電変換機能、量子スピン機能制御などの新しい量子物性機能や構造機能の実現を図ると共に、これらの新しい機能を活用したフォトニックデバイス、再構成可能論理デバイス、誘電情報デバイス、電子・光相関効果電子デバイス、量子効果デバイスなどを実現することを目標とする。

目標に到達するために、下記の6研究分野を設置し、さらにナノ・スピン実験施設の1分野であるナノヘテロプロセス研究部と有機的連携を保ちつつ研究を行っている。

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

各分野の目標ならびに2009年度の研究活動の成果の概要を、次ページ以降に記述する。なおナノヘテロプロセス研究部の目標・成果については、後述のナノ・スピン実験施設の節で述べる。

ナノフォトエレクトロニクス研究分野

ナノ構造物性の探索とデバイス応用

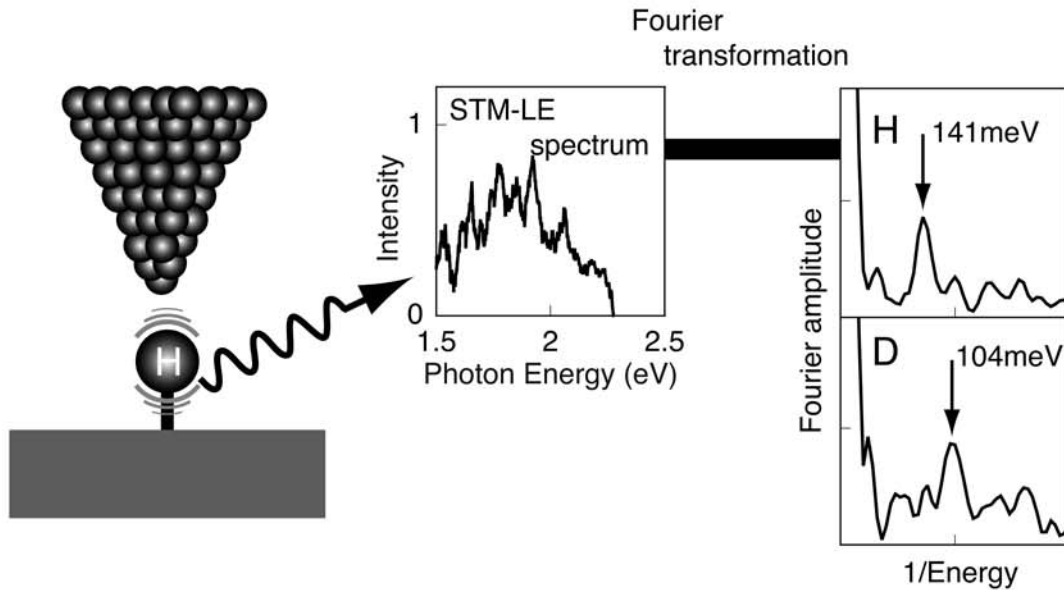


図1 STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

<分野の目標>

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

<2009年度の主な成果>

本分野のロード・マップに記されているように、2009年度における本分野の研究テーマは「ナノ構造の物性・機能探索」と「ナノ構造計測手法の開発」に集約される。これらに関し、次のような進展・成果があった。

1. ナノ構造の物性・機能探索

物性探索：STM発光分光により、Ag(110)-(2x1) O表面の局所電子状態密度と

Ni(110)-(2x1)O表面の局所誘電関数を決定した。また、自己組織化単分子膜で覆われたAu基板のSTM電子トンネル物性を解明した。

機能探索：分子が本来有する機能を固体（基板）表面上で発現させるためには、分子と基板との間の相互作用を弱めることが重要である。この目的のための単層絶縁膜を、清浄Au(111)表面上にNaClを蒸着することにより作製し、そのダイナミクスをSTMのイメージング機能で明らかにした。今後、この単層絶縁膜上に分子を吸着し、発現される機能を観測する。

2. ナノ構造計測手法の開発

STM発光分光は一つひとつの吸着分子の振動分光を（STMの位置分解能で）可能にしてきた。しかし、吸着種が載っている基板の振動（フォノン）が計測されたことは無かった。今年度は、STMの位置分解能でフォノン・エネルギーの計測を可能にする手法の開発に成功した。また、nA領域のトンネル電流で励起されるSTM発光は極めて微弱であり、計測上の障害となっていた。プリズム結合型STM発光が発光強度を1桁以上向上させることを実証した。観測されたSTM発光スペクトルから探針直下のナノ構造の誘電特性を決定するためには理論解析が不可欠である。解析対象が均質な試料系に限定されるという従来用いられていた解析手法（STM発光の誘電関数理論）の欠点が、マックスウエルの方程式を直接数値的に解く手法の一つであるFinite-Differential-Time-Domain法を用いることにより解決されることを見いだした。

<職員名>

教授 上原 洋一（2005年より）

助教 片野 諭（2006年より）

<教授のプロフィール>

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

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Hirata, K. Sakamoto, Y. Uehara, and S. Ushioda, "Tip-enhanced Raman scattering spectroscopy of nanometer-scale domains in Ni(110)-(2x1) O surface", *Jpn J. Appl. Phys.* **48**, 110206 (2009).
- [2] Y. Uehara, M. Kuwahara, S. Katano, and S. Ushioda, "Scanning tunneling microscope light emission spectra of polycrystalline $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ and Sb_2Te_3 ", *Solid State Commun.* **149**, 1902 (2009).
- [3] Y. Uehara and S. Ushioda, "Local density of states of partially oxidized Ag(110) surfaces observed using scanning tunneling microscope light emission spectroscopy", *Jpn J. Appl. Phys.* **49**, 035702 (2010).

量子光情報工学研究分野

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

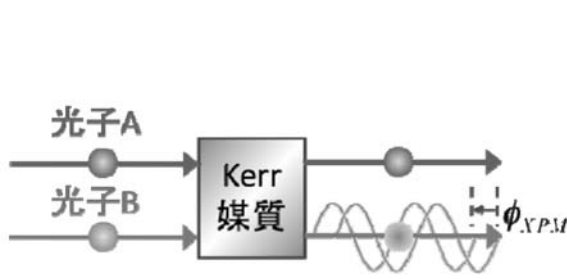


図1. 単一光子による光学非線形性

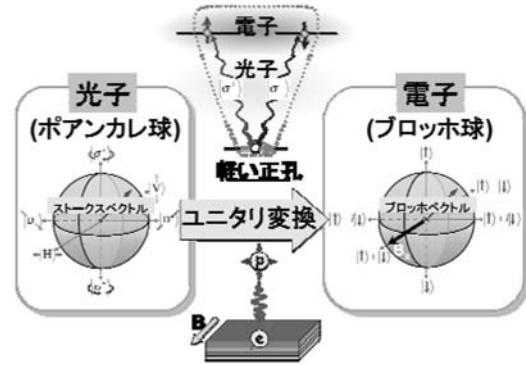


図2. 光子の偏光→電子スピンへの量子メディア変換

<分野の目標>

現在の情報処理・通信技術は、信号を電圧や周波数などの古典的でマクロな物理量に対応させて様々な処理を行っているが、近い将来、情報の高密度化と高速化に限界が訪れることが指摘されている。これに対し、個々の電子や光子などの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。

<2009年度の主な成果>

(1) 新材料を用いた量子もつれ光子対の発生・検出方法の開発

量子相関をもった光子対の発生とその利用技術は、量子情報通信技術の最も重要な要素の一つである。本研究分野では、半導体や擬似位相整合非線形光学結晶を用いた量子もつれ光子の発生・検出方法について研究している。本年度は、(1)高効率擬似位相整合アップコンバージョン検出技術の開発、(2)制御された周波数もつれ光子対光源の開発、等の成果を得た。

(2) 光ファイバ、光導波路における単一光子レベルでの光学非線形性の測定

光子間の量子状態制御は、量子情報通信において本質的に重要な要素である。本研究分野では、光ファイバやSi細線光導波路を用いて、単一光子レベルの光によって誘起される光カー効果の測定に世界で初めて成功した。

(3) 光子から電子スピンへの量子メディア変換技術の開発

量子情報通信技術の発展には、量子メディア（量子ビット）間のインターフェース技

術が重要となる。本年度は、量子情報通信に欠かせない光子と量子情報処理に欠かせない半導体中の電子スピンの間で量子状態が転写し得ることを実験的に示し、超伝導量子・核スピン・イオンなどの量子メディアを相互に光接続する量子メディア変換の可能性を提示した。

(4) 半導体量子ドット、量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し、半導体量子ドット等の量子構造の光物性および量子光学的な性質を研究している。半導体量子構造におけるスピン状態の高感度な測定手法の開発はスピントロニクスや量子情報通信分野で重要である。本年度は、ヘテロダイン検波を用いた超高感度カー回転分光法を開発し、単一の半導体量子ドット中の励起子による光誘起カー効果の測定に成功した。

<職員名>

教授 枝松圭一 (2003年より)
 准教授 小坂英男 (2003年より)
 助教 三森康義 (2004年より)
 研究員 清水亮介, 久津輪武史, 東海林篤 (2009年11月まで), 松田信幸
 秘書 阿部真奈美, 濱田美香 (2010年3月より)

<教授のプロフィール>

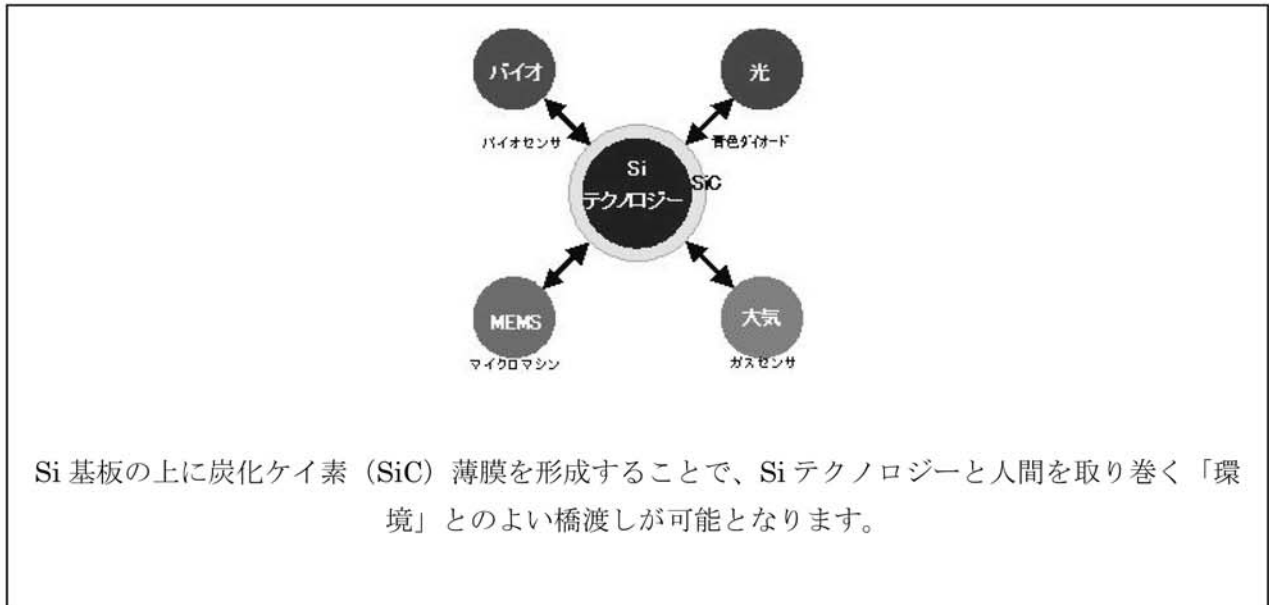
1987年東北大学大学院理学研究科博士課程修了, 東北大学工学部助手, California Institute of Technology 客員研究員, 東北大学大学院工学研究科助教授, 大阪大学大学院基礎工学研究科助教授, 2003年1月より現職

<2008年度の主な発表論文等>

- [1] Generation of cross-polarized photon pairs via type-II third-order quasi-phase matched parametric down-conversion [S. Nagano, A. Syouji, R. Shimizu, K. Suizu, H. Ito, and K. Edamatsu: Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 050205/1-3 (2009)]
- [2] Duty ratio dependence of difference frequency generation for millimeter-terahertz wave spectra using periodically poled lithium niobate [K. Suizu, T. Shibuya, S. Nagano, K. Edamatsu, H. Ito, and K. Kawase: Appl. Phys. Express **2**, 072301/1-3 (2009)]
- [3] Electrical measurement of a two-electron spin state in a double quantum dot [N. Yokoshi, H. Imamura, and H. Kosaka: Phys. Rev. Lett. **103**, 046806/1-4 (2009)]
- [4] High-flux and broadband biphoton sources with controlled frequency entanglement [R. Shimizu and K. Edamatsu, Opt. Express **17**, 16385-16393 (2009)]
- [5] 量子リソグラフィ-量子もつれ光子の回折と干渉- [清水亮介: 光アライアンス **20**, No. 10, 10-14 (2009)]
- [6] Generation of entangled photons in semiconductors [K. Edamatsu: Proc. Int. School of Phys. "Enrico Fermi", Course CLXXI, "Quantum Coherence in Solid State Systems", IOS Press, Amsterdam, 15-31(2009)]
- [7] All-optical phase modulations in a silicon wire waveguide at ultra-low light levels [N. Matsuda, R. Shimizu, Y. Mitsumori, H. Kosaka, A. Sato, H. Yokoyama, K. Yamada, T. Watanabe, T. Tsuchizawa, H. Fukuda, S. Itabashi, and K. Edamatsu: Appl. Phys. Lett. **95**, 171110/1-3 (2009)]
- [8] Measurement of the cross-Kerr nonlinearity induced by a single-photon-level coherent pulse in a photonic crystal fiber [N. Matsuda, R. Shimizu, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu: Proc. 9th Int. Conf. on Quantum Communication, Measurement and Computing, 228-231 (2009)]
- [9] Coherent transfer of light polarization to electron spins in a semiconductor [H. Kosaka, H. Shigyou, Y. Mitsumori, Y. Rikitake, H. Imamura, T. Kutsuwa, K. Edamatsu: Proc. 9th Int. Conf. on Quantum Communication, Measurement and Computing, 245-248 (2009)]
- [10] 光子と電子の量子情報交換 [小坂英男: 日本物理学会誌 **65**, 2-9 (2010)]

固体電子工学研究分野

シリコンユビキタステクノロジー



<分野の目標>

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

<2009 年度の主な成果>

1. 有機シラン・ガスソース MBE 法による Si 基板上 SiC 低温・超低圧・高速成長

有機シランを用いた Si 基板上に SiC 薄膜を成長させると、赤外干渉により単色温度計の温度表示が振動する。この現象を用いて開発した Si 基板上の SiC 薄膜成長のリアルタイムモニタ法を用い、有機シランを用いた Si 基板上 SiC 薄膜の成長機構を明らかにするとともに、二段階成長による高速成長法を開発した[1]。

2. グラフェンでの電子・フォノン相互作用を世界で初めて確認

グラフェンは次世代超高速電子材料として注目されている。グラフェンを Si 基板上に形成したグラフェン・オン・シリコン (GOS) 構造を用い、SiC 上グラフェンにおける電子・フォノン相互作用をラマン散乱を用いて観測することに初めて成功するとともに[2,7]、GOS を用いた FET の作製に成功し、その良好な電気特性を確認した[8]。

3. Si(110)表面酸化機構の解明

S(110)-16×2 表面の初期酸化機構を放射光光電子分光とトンネル顕微鏡を用いて世界に先駆けて明らかにした[4][5]。

4. 大気圧プラズマ法による Si 系多結晶薄膜の低温形成

大気圧プラズマを用いた多結晶 Si 薄膜では、接地および給電電極の間に両極等価性があることを見出した[3]。これはロールツーロール法に繋がる発見である。またアンモニアを用いずに SiN を形成する技術を開発した[6]。

<職員名>

教授 末光 眞希 (2008 年より)

助教 吹留 博一 (2008 年より)

技術補佐員 三浦 明美

非常勤研究員 Alugno Arnold Café

<教授のプロフィール>

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

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] Low-temperature, low-pressure and ultrahigh-rate growth of single-crystalline 3C-SiC on Si substrate by ULP-CVD using organosilane. Materials Science Forum, 645-648 (2010), pp147-150, E. Saito, S. Filimonov, M. Suemitsu
- [2] Epitaxial growth processes of graphene on silicon substrates, Japanese Journal of Applied Physics, 49(1), (2010), pp 01AH03-1-01AH03-4] Hirokazu Fukidome, Yu Miyamoto, Hiroyuki Handa, Eiji Saito, and Maki Suemitsu
- [3] Cleaning-Free Deposition of Highly Crystallized Si Films on Plastic Film Substrates Using Pulsed-Plasma CVD under Near-Atmospheric Pressure, ECS Transactions, 25 (2009) pp345-350, Mitsutaka Matsumoto, Syun Ito, Yohei Inayoshi, Shogo Murashige, Hirokazu Fukidome, Maki Suemitsu, Setsuo Nakajima, Tsuyoshi Uehara, and Yasutake Toyoshima
- [4] SR-PES and STM Observation of Metastable Chemisorption State of Oxygen on Si(110)-16×2 Surface, Spring-8 Research Frontiers, 2008 (2009) pp82-83, Maki Suemitsu
- [5] Initial oxidation of Si(110) as studied by real-time synchrotron-radiation x-ray photoemission spectroscopy, J. Vac. Sci. Technol. B27(1), (2009), pp547-550, M. Suemitsu, Y. Yamamoto, H. Togashi, Y. Enta, Yoshigoe and Y. Teraoka
- [6] Ammonia-free deposition of silicon nitride films using pulsed-plasma chemical vapor deposition under near atmospheric pressure, J. Vac. Sci. Technol. B,27(1) (2009) pp223-225, M. Matsumoto, Y. Inayoshi, S. Murashige, M. Suemitsu, T. Yara, S. Nakajima, T. Uehara, Y. Toyoshima
- [7] Raman-Scattering Spectroscopy of Epitaxial Graphene Formed on SiC Film on Si Substrate, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 7 (2009) pp107-109, Yu Miyamoto, Hiroyuki Handa, Eiji Saito, Atsushi Konno, Yuzuru Narita, Maki Suemitsu, Hirokazu Fukidome, Takashi Ito, Kanji Yasui, Hideki Nakazawa and Tetsuo Endoh
- [8] Si 基板上に形成したエピタキシャルグラフェンとその電子デバイス応用, 電子情報通信学会 信学技報, 108(437), (2009) pp1-6, 尾辻 泰一, 末光 哲也, 姜 顯澈, 唐澤 宏美, 宮本 優, 半田 浩之, 末光 眞希, 佐野 栄一, リズィー マキシム, リズィー ヴィクトール

誘電ナノデバイス研究分野

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

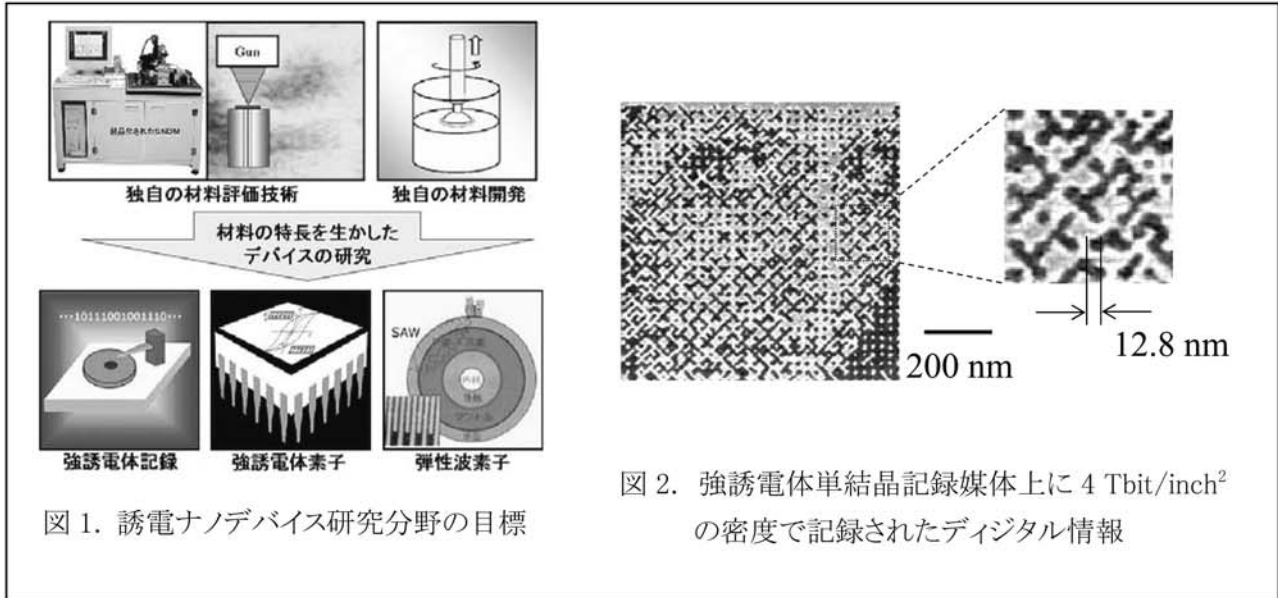


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch² の密度で記録されたデジタル情報

<分野の目標>

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

<2009 年度の主な成果>

1. NC-SNDM による原子レベル極性判別

非接触 SNDM (NC-SNDM) 法を用いて超高真空化におけるシリコン表面や酸化チタンおよびチタン酸ストロンチウムといった酸化物表面の原子分解能観察を行い、個々の原子に対応する双極子モーメントの分布の詳細を明らかにした。

2. 超高密度強誘電体記録デバイスの研究開発

テラビット級の記録再生が可能な次世代記録方式として期待される強誘電体記録の研究開発に関して、記録保持特性の向上が見込まれる強誘電体ディスクリット媒体を新たに提

案した。また、高密度ビットパターンの記録再生に適用可能な高精度サーボトラッキングに関する研究開発を行った。

3. SNDM を用いた半導体デバイス評価法の開発

SNDM の高感度・高分解能静電容量計測の特長を生かした半導体デバイスのドーパントプロファイル解析に関する手法を提案し、その有用性を明らかにした。

<職員名>

教授 長 康雄 (2001年より)

助教 平永 良臣 助教 金 暢大

技術職員 我妻 康夫 非常勤研究員 小林 慎一郎 非常勤研究員 岡崎 紀明

<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)、ドコモ・モバイル・サイエンス賞 (2006年)、ISIF² 2009 OUTSTANDING ACHIEVEMENT AWARD 受賞 (2009年)。

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Nobuhiro Kin, Yuhei Osa, and Yasuo Cho, "Observation of local dipole moment of Si atoms on Si (100) surfaces using noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy", J. Appl. Phys., Vol.106, pp.014302-1-014302-5, 2009.
- [2] Dae-Yong Jeong and Yasuo Cho, "Characterization and comparison of nanoscale domain boundary in congruent and stoichiometric LiTaO₃ with scanning nonlinear dielectric microscopy", Appl. Phys. Lett., Vol.95, pp.022908-1-022908-3, 2009.
- [3] Nobuhiro Kin and Yasuo Cho, "Non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy imaging of TiO₂ (110) surfaces", 12th International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy and Casimir 2009 Workshop, ABSTRACTS, p.155, 2009.
- [4] Shin-ichiro Kobayashi and Yasuo Cho, "Characterizations of Carbon Material by Non-contact Scanning Non-linear Dielectric Microscopy", 12th International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy and Casimir 2009 Workshop, ABSTRACTS, p.156, 2009.
- [5] Yoshiomi Hiranaga, Tomoya Uda, Yuichi Kurihashi, Yasuo Cho, Michio Kadota and Hikari Tochisita, "Nano-Domain Formation on Ferroelectrics and Development of HDD-Type Ferroelectric Data Storage Test System", 21st International Symposium on Integrated Ferroelectrics and Functionalities, ABSTRACTS, p.113-114, 2009.
- [6] Nozomi Odagawa and Yasuo Cho, "Dependence of long term stability on the initial radius of small inverted domains formed on congruent single-crystal LiTaO₃", Appl. Phys. Lett., Vol.95, pp.142907-1-142907-3, 2009.
- [7] N.Kin, Y.Cho, "Study of TiO₂(100) 1×1 and 1×3 Surfaces by Non-contact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy Combined with Scanning Tunneling Microscopy", 2009 MRS fall meeting, 2009.
- [8] K.Honda, Y.Cho, "Observation of Dopant Profile of Transistors Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", 2009 MRS fall meeting, 2009.
- [9] 本田耕一郎、長康雄：“走査型非線形誘電率顕微鏡 (SNDM) による半導体デバイスの評価” 顕微鏡, Vol.44, No.3, pp.170-173, 2009.
- [10] Yoshiomi Hiranaga and Yasuo Cho, "Intermittent contact scanning nonlinear dielectric microscopy", Rev. Sci. Instrum., Vol. 81, pp.023705-1-023705-5, 2010.

物性機能設計研究分野

次世代スピndeバイス創製のための物性・機能の理論設計

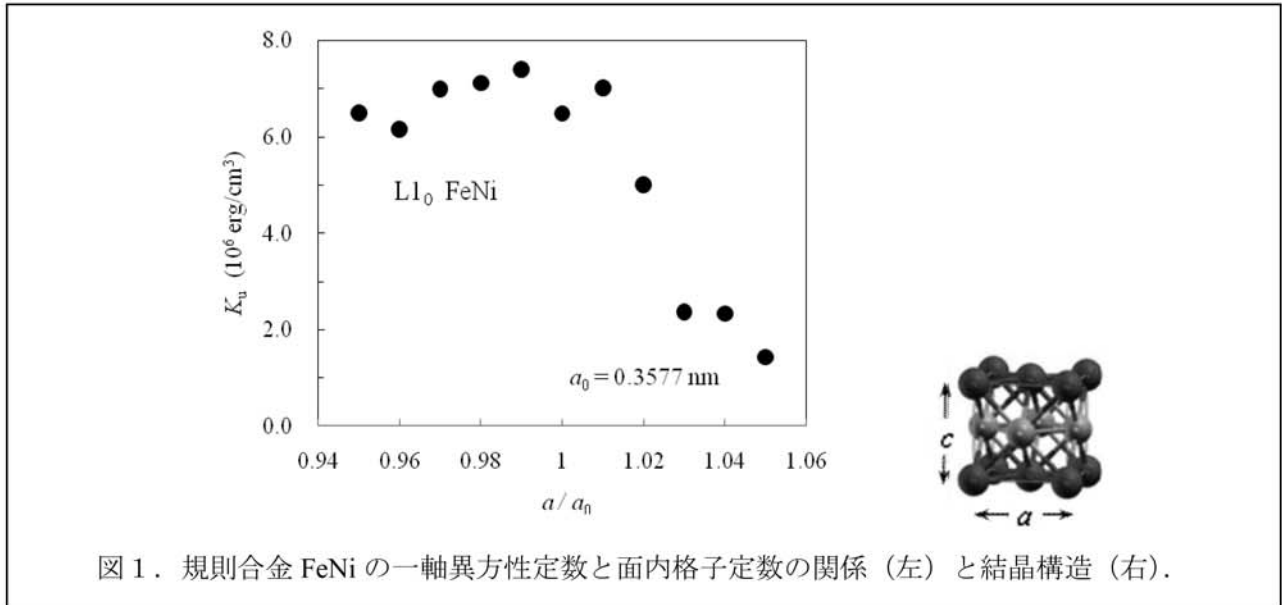


図1. 規則合金 FeNi の一軸異方性定数と面内格子定数の関係 (左) と結晶構造 (右).

<分野の目標>

本研究分野では、次世代情報デバイスの基盤となる材料やナノ構造において発現する量子物理現象を理論的に解明し、デバイス性能の向上につながる新しい機能を有する材料やナノ構造を理論設計することを研究目標としている。同時に大規模シミュレーション技術を駆使した画期的な物性・機能の設計手法を確立することを目指している。

現在は、スピントロニクス研究の一環として、高スピン偏極材料を用いたデバイス構造におけるスピン依存電気伝導の理論解析を主たる研究テーマとしている。また、垂直磁気材料の磁気異方性とその電界制御に関する理論研究にも着手している。

<2009 年度の主な成果>

1. 高スピン偏極材料を用いた磁気抵抗素子の理論設計

高スピン偏極ホイスラー合金を用いた膜面垂直電流型巨大磁気抵抗素子において室温で比較的大きな磁気抵抗比が観測されているが、さらに磁気抵抗比を向上させるためには、強磁性金属/非磁性金属界面でのスピン依存散乱を増幅することが重要である。そこで、強磁性金属と非磁性金属の電子構造の整合性と界面散乱の相関を明らかにするため、 Co_2MnSi /非磁性金属/ Co_2MnSi 三層構造の電子構造と電気伝導特性を第一原理計算した。非磁性金属スペーサとして Cr または Ag を用いた場合を比較すると、多数スピンバンドのコンダクタンスは Ag スペーサの方が大きくなる。この傾向は巨大磁気抵抗素子において報告されている実験報告とよい一致を示している。両者の電気伝導特性の違いは、ホイスラー合金と非磁性金属のフェルミ面形状の整合性の違いに起因していることを確認した。非磁性ホイスラー合金を中間層に用いると、フェルミ形状の整合性はさらに改善する。

2. 垂直磁気規則合金を用いたトンネル磁気抵抗素子の理論設計

記憶ビットとして磁気トンネル接合を利用した不揮発性スピンメモリの高集積化を実現するためには、磁気トンネル接合の微細化に伴う磁化の熱ゆらぎ耐性の向上が重要な課題である。この問題を解決する方策の一つとして、大きな一軸磁気異方性を示す規則合金 FePt や CoPt を電極に用いることが試みられている。そこで、高価な Pt を含まない新たな垂直磁気材料として規則合金 FeNi の適用性を理論的に検討するために、その磁気異方性を第一原理計算し、最大で約 $7 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ の垂直磁気異方性を示すことを明らかにした (図 1)。さらに、この規則合金を電極に用いた FeNi/MgO/FeNi(001)磁気トンネル接合のトンネル磁気抵抗比を理論的に評価したところ、最大で 50%程度であることが判明した。したがって、高出力トンネル磁気抵抗素子を作製するためには、FeNi/MgO 界面に Fe 原子層を挿入することが不可欠である。

<職員名>

教授 白井 正文 (2002 年より)

助教 阿部 和多加、三浦 良雄

<教授のプロフィール>

1984 年 3 月 大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業。1988 年 3 月 同大学院基礎工学研究科物理系専攻博士後期課程中退。1988 年 4 月 同大基礎工学部技官 (教育職)。1988 年 11 月 同助手。1996 年 4 月 同助教授。2002 年 4 月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。工学博士。酸化物超伝導体の電子格子相互作用、遷移金属化合物の遍歴電子磁性、第一原理計算に基づく機能物質設計に関する理論研究に従事。第 8 回井上研究奨励賞受賞 (1992 年)。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] M. Suzuki, Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, "The effect of interfacial Fe layers inserted into FePt/MgO/FePt (001) magnetic tunnel junctions: A first-principles study", IEEE International Magnetism Conference 2009, Sacramento, California, USA, May 5, 2009.
- [2] Y. Miura, M. Suzuki, K. Abe, and M. Shirai, "A first-principles study on the tunneling magnetoresistance of Fe-inserted FePt/MgO/FePt magnetic tunnel junctions", 20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, Berlin, Germany, July 22, 2009.
- [3] Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, "Half-metallic behavior of $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{Co}_2\text{MnAl}/\text{MgO}$ interface and its coherent tunneling conductance: An *ab initio* study", International Conference on Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 27, 2009.
- [4] M. Tsujikawa, Y. Miura, M. Shirai, and T. Oda, "Electric field effects on magnetic anisotropy for a MgO/Pt/Fe/Pt (001) film: A first-principles study", International Conference on Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 28, 2009.
- [5] M. Shirai, Y. Miura, and K. Abe, "First-principles calculations of half-metallic Heusler alloys: The effect of atomic disorder and interfaces", Epitaxial Ferromagnetic Films and Spintronic Applications, eds. A. Hirohata and Y. Otani, ISBN 978-81-308-0319-7, pp. 187-205, Research Signpost, 2009.
- [6] 白井正文, "高効率スピン源の理論設計", スピンエレクトロニクス基礎と材料・応用技術の最前線, 高梨弘毅 監修, ISBN 978-4-7813-0105-1, pp.173-182, シーエムシー出版, 2009.
- [7] T. Kanomata, Y. Kitsunai, K. Sano, Y. Furutani, H. Nishihara, R. Y. Umetsu, R. Kainuma, Y. Miura, and M. Shirai, "Magnetic properties of quaternary Heusler alloys $\text{Ni}_{2-x}\text{Co}_x\text{MnGa}$ ", Phys. Rev. B, Vol. 81, No. 21, Article no. 214402, pp. 1-6, 2009.
- [8] Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai, "Half-metallic behavior of $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{Co}_2\text{MnAl}/\text{MgO}$ interface and its coherent tunneling conductance", J. Phys.: Conf. Series, Vol. 200, Article no. 052016, pp. 1-4, 2010.

3.2 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

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

(1)先端ワイヤレス通信技術研究分野

(目標)複数の無線通信システムを統合し、あらゆるデータへのアクセスをシームレスに実現できるディペンダブル・エアの実現を目指して、最先端ワイヤレス情報通信技術 (Wireless IT) 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て研究・開発する。

(成果)モバイルワイヤレス通信の高速化・広域化を目指したシングルキャリア/マルチキャリアハイブリット通信技術の検討を行った。伝搬路・デバイス特性補償技術である周波数領域等化を ASIC へ実装した。ミリ波帯 RF CMOS 発振器など無線通信端末の高速化・小型化・低消費電力化のための先端ハードウェアを試作した。5GHz 帯用 RF フロントエンドデバイスの高性能化を目指して FBAR フィルタ・発振器の検討を行った。

(2)超ブロードバンド信号処理研究分野

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

(成果)シリコン基板にエピタキシャル成長した新材料グラフェン(末光眞希教授提供)を用いて FET を試作し、シリコン FET を 20 倍上回る高い電子移動度の実現に成功した。フェムト秒赤外線レーザーでポンピングしたグラフェンにおいて、グラフェンの負性導電率に起因するテラヘルツ帯誘導増幅放射の観測にはじめて成功し、新原理テラヘルツレーザー実現の端緒を拓いた。

(3)超高速光通信研究分野

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

(成果)サブピコ秒光パルス用の超高速時間領域フーリエ変換器を往復型の光位相変調器構成により新たに作製した。さらに、これを用いて単一偏波 640 Gbit/s/channel DPSK 信号の 525 km 伝送に初めて成功した。コヒーレント QAM 伝送において 256 QAM への超多値化に世界で初めて成功し、これにより 5.4 GHz の光帯域で 64 Gbit/s-160 km 伝送を実現し 11 bit/s/Hz にも及ぶ高い周波数利用効率の可能性を明らかにした。

(4)応用量子光学研究分野

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

(成果)外部共振器構造を導入した半導体レーザー光源で、外部制御光に対する応答速度を飛躍的に拡大できることを数値解析により明らかにした。また、テラヘルツ帯バイオセンサーの研究におい

て、新たなプロセス技術を用いて高品質な表面プラズモン共振器の作製に成功した。

(5)情報ストレージシステム研究分野

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

(成果)大規模コンピュータシミュレーションと記録再生実験によって2Tbit/inch²の高面密度記録がビットパターン型垂直媒体によって可能になることを示した。また、ペタバイト級の大容量並列型ストレージシステムの喫緊の課題である省電力化について新規階層化ストレージアーキテクチャを開発・評価し、システム性能を劣化させずに50%以下に電力を削減できることを明らかにした。

(6)ブロードバンド通信基盤技術研究分野(水野客員研究室)

(目標)電磁波スペクトラムのうちミリ波・テラヘルツ波領域のイメージング計測を、セキュリティ分野の危険物検知、また医用分野の生体計測などへ応用することを目標としている。

(成果)空港におけるセキュリティ・チェックへの応用を目的に77GHz帯のパッシブイメージング装置のプロトタイプを組み上げ、成田空港にて実証試験を行った。また、本学大学院の協力を得てミリ波計測の医用応用に関する研究を行った。

(7)ブロードバンド通信基盤技術研究分野(犬竹客員研究室)

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

(成果)今年度は、1)国土交通省の委託研究として、大規模自然災害時に威力を発揮するリアルタイム画像生成 SAR システムの概念設計、2)遅延時間高精度設定可能な波形合成回路の開発を、他大学および企業の研究者・技術者との共同研究として進めた。

(8)ナノ・スピン実験施設 半導体スピントロニクス研究部

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

(成果)電界印加による強磁性体薄膜のキュリー温度と飽和磁化変調の直接の磁化測定による観測に世界で初めて成功した。また、スピンホール効果による半導体中のスピン流生成のドーピング濃度依存性について系統的な研究を行いスピンホール伝導度を定量的に求めた。さらに低閾値電流密度化、高温動作化が期待できる金属導波路構造 GaAs テラヘルツ量子カスケードレーザの発振に成功した。

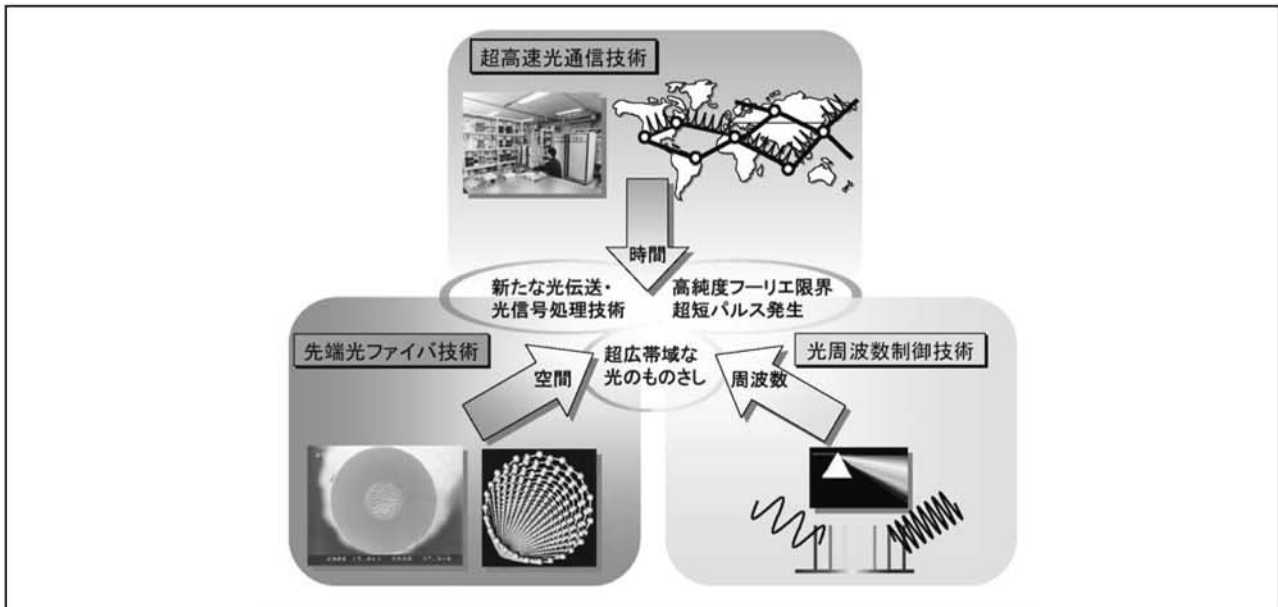
(9)ナノ・スピン実験施設 ナノスピンメモリ研究部

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

(成果)垂直磁化 CoFe/Pd 多層膜電極を有する MgO 障壁 TMR 素子において CoFeB や Fe を挿入することで室温 78%の TMR 比を実現した。CoFeB/MgO/CoFeB TMR 素子において $RA = 1 \Omega\mu\text{m}^2$ で 122%の TMR 比を観測した。スピン注入磁化反転書込み TMR 素子を用いた 32Mb SPRAM チップ、Ternary Content-Addressable Memory、Lookup-Table の基本回路の世界初の動作実証を行った。

超高速光通信研究分野

次世代超高速光通信技術に関する研究



<分野の目標>

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

<2009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、時間領域光フーリエ変換法を用いた新たな超高速光伝送技術の研究開発に取り組んでいる。本年度は超高速光フーリエ変換器(OFTC: Optical Fourier Transform Circuit)を用いて単一偏波 DPSK 方式により 640 Gbit/s/channel-525 km 長距離光伝送に世界で初めて成功した。本実験では、サブピコ秒の光パルスの光フーリエ変換に必要な強い周波数チャープを実現するために、新たに往復型の位相変調器構成により超高速 OTDM 用 OFTC を作製した。本 OFTC を用いることにより、誤り率 10^{-9} におけるパワーペナルティは 5.5 dB から 3 dB に抑えられ、チャンネル間の誤り率のばらつきが低減されるなど伝送性能が大きく改善されている。本伝送系に偏波多重および DQPSK を適用することにより 1.28~2.56 Tbit/s/channel 長距離伝送の実現が期待される。

2. コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究分野では周波数利用効率の向上を目指して、光の位相と振幅に同時に情報を乗せるコヒーレント QAM (Quadrature Amplitude Modulation)方式による光多値伝送技術に取り組んでいる。本年度は 256 QAM への超多値化を世界で初めて実現し、これにより 5.4 GHz の光帯域で 64 Gbit/s-160 km 伝送に成功した。160 km 伝送後は 5.5 dB のパワーペナルティが生じるものの、FEC (Forward Error Correction)リミット(2×10^{-3})以下の誤り率を達成しており、11 bit/s/Hz にも及ぶ高い光周波数利用効率を実現できる可能性がある。さらに、コヒーレント光伝送の高速化への取り組みとして、コヒーレント光パルスの OTDM により 400 Gbit/s-225 km 伝送(偏波多重 10 Gsymbol/s \times 4 OTDM, 32 RZ/QAM)に成功した。

<職員名>

教授 中沢 正隆 (2001 年より) 准教授 廣岡 俊彦 (2007 年より)
 助教 吉田 真人 学振特別研究員 葛西 恵介
 秘書 篠崎 頼子

<教授のプロフィール>

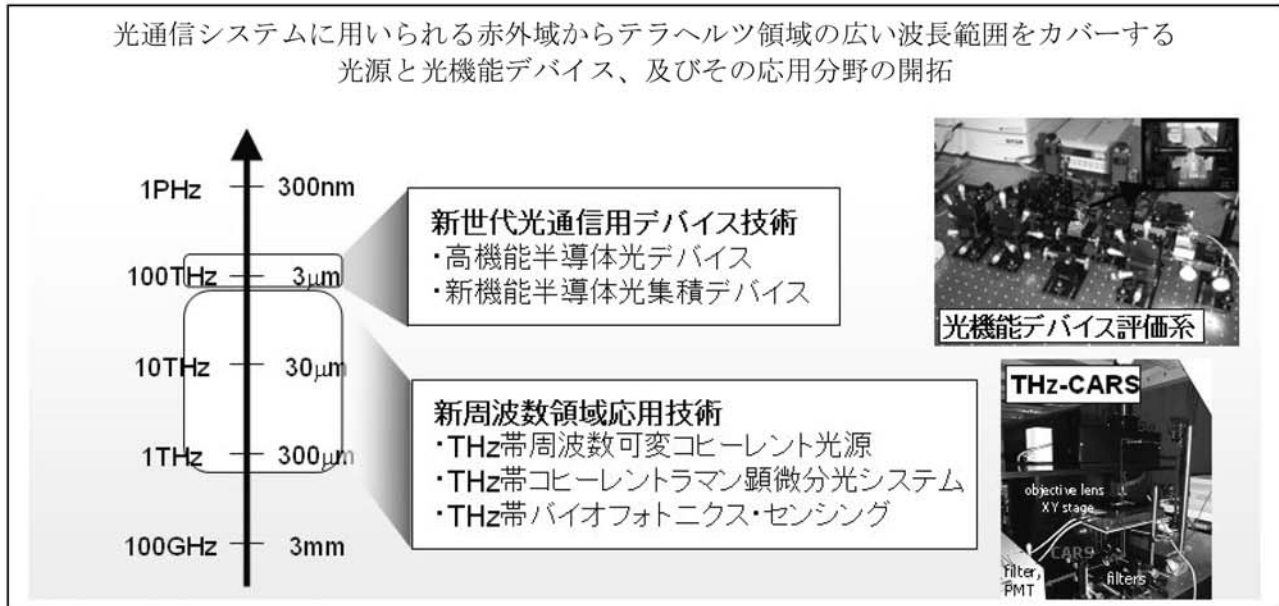
1952 年山梨県生まれ。1980 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了 (工学博士)。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。1984~1985 年 MIT 客員研究員。1999 年 NTT R&D フェロー。2001 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。2002 年 IEEE Daniel E. Noble Award、2005 年 OSA R. W. Wood Prize、2006 年 Thomson Scientific Laureate、2009 年産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞など受賞。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。2009 年本学 Distinguished Professor、2010 年本研究所所長。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] K. Kasai and M. Nakazawa, "FM-eliminated C₂H₂ frequency-stabilized laser diode with an RIN of -135 dB/Hz and a linewidth of 4 kHz," Opt. Lett., vol. 34, no. 14, pp. 2225-2227 (2009).
- [2] 中沢正隆, "EDFA の 20 年と将来展望," 電子情報通信学会論文誌, vol. J92-C, no. 8, pp. 339-359 (2009).
- [3] T. Hirooka, M. Okazaki, T. Hirano, P. Guan, M. Nakazawa, and S. Nakamura, "All-optical demultiplexing of 640-Gb/s OTDM-DPSK signal using a semiconductor SMZ switch," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 21, no. 20, pp. 1574-1576 (2009).
- [4] P. Guan, M. Okazaki, T. Hirano, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Low-penalty 5x320 Gbit/s/single-channel WDM DPSK transmission over 525 km using time-domain optical Fourier transformation," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 21, no. 21, pp. 1579-1581 (2009).
- [5] K. Koizumi, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "10-GHz 11.5-ps pulse generation from a single-mode gain-switched InGaAs VCSEL at 1.1 μ m," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 21, no. 22, pp. 1704-1706 (2009).
- [6] K. Koizumi, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "10 Gbit/s photonic crystal fiber transmissions with 1.1 μ m directly-modulated single-mode VCSEL," IEICE Electron. Express, vol. 6, no. 22, pp. 1615-1620 (2009).
- [7] F. Shohda, M. Nakazawa, R. Akimoto, and H. Ishikawa, "An 88 fs fiber soliton laser using a quantum well saturable absorber with an ultrafast intersubband transition," Opt. Express, vol. 17, no. 25, pp. 22499-22504, (2009).
- [8] M. Nakazawa, S. Okamoto, T. Omiya, K. Kasai, and M. Yoshida, "256-QAM (64 Gb/s) coherent optical transmission over 160 km with an optical bandwidth of 5.4 GHz," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 22, no. 3, pp. 185-187 (2010).
- [9] K. Koizumi, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "A 10-GHz optoelectronic oscillator at 1.1 μ m using a single-mode VCSEL and a photonic crystal fiber," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 22, no. 5, pp. 293-295 (2010).
- [10] M. Nakazawa, "Recent progress on ultrafast/ultrashort/frequency-stabilized erbium-doped fiber lasers and their applications," Frontiers of Optoelectronics in China, vol. 3, no. 1, pp. 38-44 (2010).

応用量子光学研究分野

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



<分野の目標>

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

<2009年度の主な成果>

1. 高機能半導体光デバイス

超高速・大容量光通信システムを構築する上で、光信号で高速制御可能な高機能半導体光デバイスの実現が必須である。この高機能半導体光デバイス実現のため、外部制御光による光デバイス高速制御の研究を推進した。半導体レーザを外部信号光で制御することで、その動作速度を拡大できることを数値解析により明らかにした。また、外部共振器構造を導入したパッシブフィードバック半導体レーザにより、動作帯域の飛躍的な拡大が期待できることを数値解析により実証し、デバイス構造の最適化を進めた。

2. 表面プラズモン共鳴を用いた THz バイオセンシング

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

オセンサーにおいてデバイス作製の高速化と再利用性を考慮し、THz 領域での複素誘電特性に優れた有機高分子材料 (SU-8) を用いたプロセス技術を検討した。高精度な表面プラズモン共振器の微細周期構造を作製するため、電子ビームリソグラフィにより周期幅・周期数の異なる高精度マスクを作製し、これを用いた有機材料 SU-8 の紫外露光プロセスと金薄膜蒸着により、高品質かつ複数の THz 帯プラズモン共振器を Si 基板上に同時に作製することに成功し、本プロセス技術の有用性を実証した。さらに、本デバイスを用いた高解像度 THz イメージングシステムの構築を進めた。

<職員名>

教授 八坂 洋 (2008 年より)

准教授 四方 潤一 (2003 年より)

<教授のプロフィール>

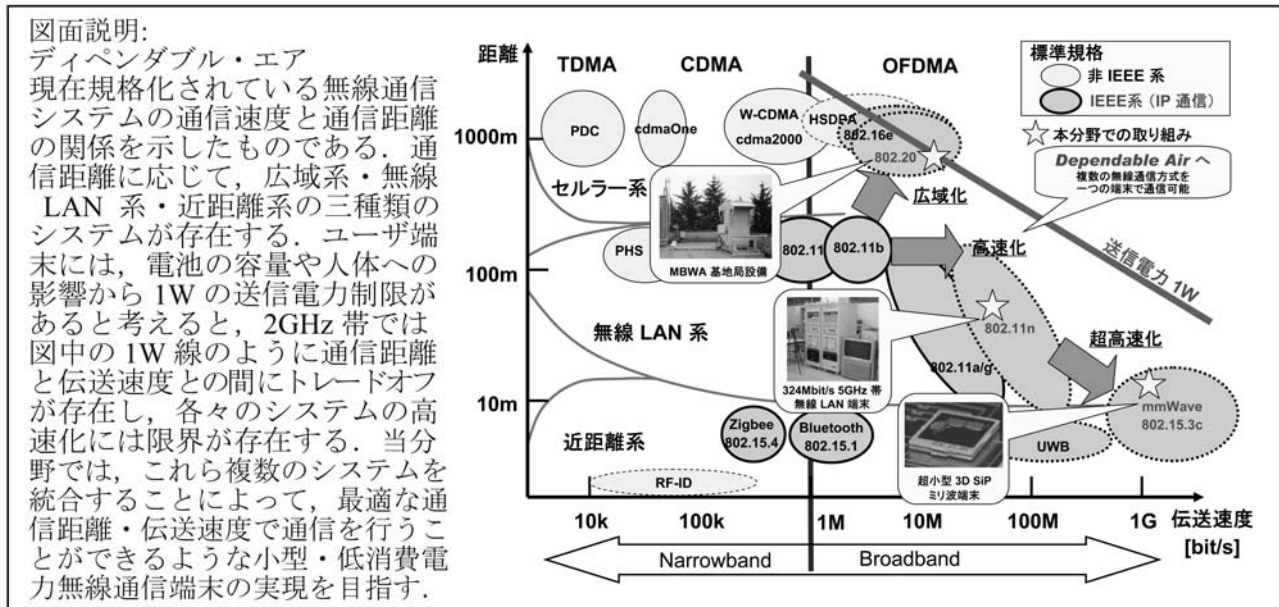
1983 年 3 月 九州大学理学部物理学科卒業。1985 年 3 月 同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。1985 年 4 月 日本電信電話 (株) 入社、NTT 厚木電気通信研究所、NTT 光エレクトロニクス研究所、NTT 光ネットワークシステム研究所、NTT フォトニクス研究所勤務。1993 年 12 月 工学博士 (北海道大学)。2008 年 4 月 東北大電気通信研究所教授、現在に至る。光信用高機能半導体光デバイスの研究開発に従事。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] K. Tsuzuki, Y. Shibata, N. Kikuchi, M. Ishikawa, T. Yasui, H. Ishii, and H. Yasaka, "Full C-band tunable DFB laser array co-packaged with InP Mach-Zehnder modulator for DWDM optical communication systems," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 15, No. 3, pp. 521-527, May/June 2009.
- [2] 笠谷和生、大橋弘美、柴田泰夫、八坂洋、土屋治彦、"光集積回路用低損失 InP 光導波路の検討"、電子情報通信学会論文誌、Vol.J92-C、No.4、pp.119-129、2009.
- [3] N. Kikuchi, Y. Shibata, K. Tsuzuki, H. Sanjoh, T. Sato, E. Yamada, T. Ishibashi, and H. Yasaka, "80-Gb/s Low-Driving-Voltage InP DQPSK Modulator With an n-p-i-n Structure," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 21, No. 12, pp. 787-789, June 2009.
- [4] 四方潤一、"フォトニクス基礎 (伊藤弘昌編 電気・電子工学基礎シリーズ 10, 朝倉書店)," 第 3 章 非線形光学の基礎, pp. 59-78, 第 7 章高機能光計測, pp.184-200, Nov. 2009.
- [5] J. Shikata, Y. Nomura, and H. Yasaka, "Surface-plasmon terahertz-wave resonator for high-resolution imaging beyond diffraction limit," Interdisciplinary Science of Nanomaterials, P-20, Sept. 2009.
- [6] J. Shikata, Y. Nomura, H. Yasaka, H. Minamide, and H. Ito, "Terahertz imaging beyond diffraction limit," 36th IEEE Nano-Spin Engineering Workshop, April 2009.

先端ワイヤレス通信技術研究分野

ディペンダブル・エアの実現に向けて



<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高度情報化社会の実現は目前である。当研究分野では広域・高速通信可能で、複数のシステムをシームレスに切り替え可能なネットワークであるディペンダブルエアの実現を目指して、先端ワイヤレス情報通信技術 (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。

<2009 年度の主な成果>

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

移動通信環境においても高速 IP ネットワークにアクセス可能とする MBWA 方式の検討を行った。今年度は MBWA など広域系システムで重要となる周波数領域等化技術について、ASIC への実装を行った。また、広域・高速通信の両立を目指したシングルキャリア・マルチキャリアハイブリッド通信方式の提案・評価を行った。

2. 高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF モジュールの研究

無線通信端末の伝送速度高速化・小型化・低消費電力化を目指し、60GHz 帯 Si CMOS VCO・送信増幅器やスケラブル A/D 変換器などの検討を行った。特に、本年度は、90nm Si CMOS プロセスを用い、それぞれの要素回路の試作・評価を行った。

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

異種材料デバイスを 3 次元実装することにより、高周波帯でもシームレスに実装可能で

あることを提案した。今年度は特に 60GHz 帯超小型アンテナをモジュールに実装し、実測評価を行った。

4. MOCVD 法による AlN 薄膜を用いた薄膜バルク波共振器 (FBAR) フィルタ・発振器
無線 LAN 帯域である 5GHz 帯用の RF フロントエンドフィルタの高性能化を目指し、FBAR フィルタ・発振器の検討を行った。今年度は主に FBAR を用いた発振器の試作・評価、及び FBAR の高周波化の検討を行った。

<職員名>

教授 坪内 和夫 (1993 年より)

助教 亀田 卓

<坪内和夫教授のプロフィール>

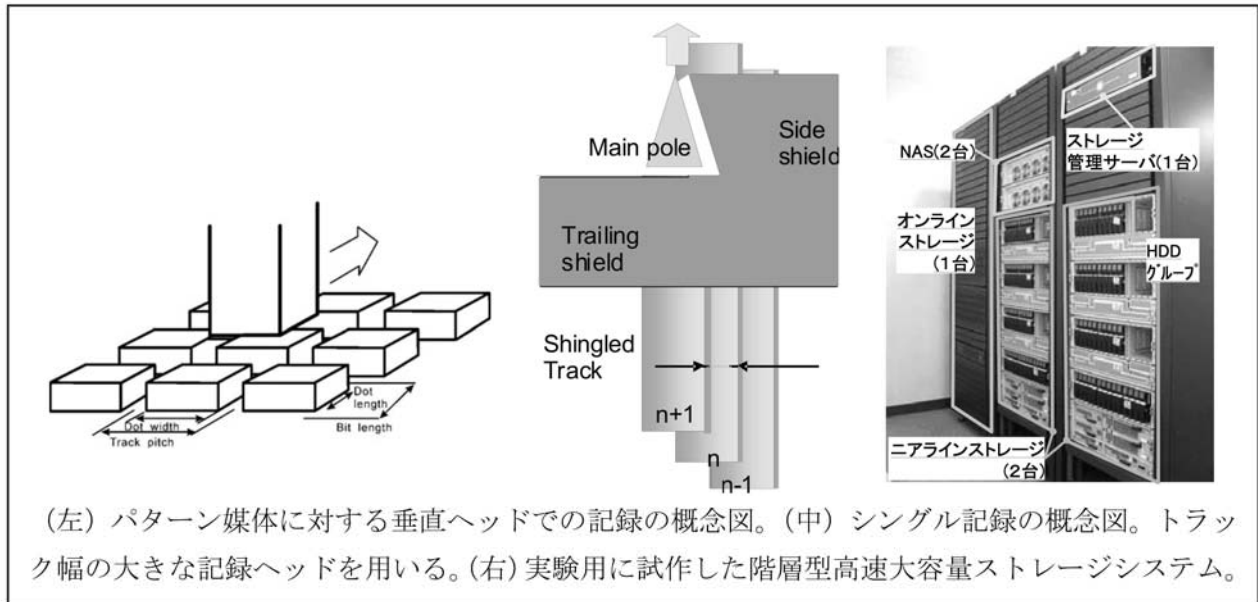
昭和 49 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。昭和 49 年 4 月東北大学電気通信研究所助手。昭和 57 年 4 月～10 月米国パーデュー大学客員助教授。昭和 58 年 3 月助教授。平成 5 年 3 月教授。昭和 58 年服部報公賞，平成 6 年第 26 回市村学術賞貢献賞，平成 8 年第 11 回電気通信普及財団賞 (テレコムシステム技術賞)，平成 9 年第 22 回井上春成賞，平成 15 年東北総合通信局長「電波の日」表彰，平成 17 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞，平成 17 年度電子情報通信学会業績賞，第 5 回産学官連携功労者表彰「文部科学大臣賞」受賞。日本物理学会，応用物理学会，電気学会，電子情報通信学会，日本エレクトロニクス実装学会，IEEE 会員。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] K. Komatsu, S. Sannomiya, M. Iwata, H. Terada, S. Kameda, and K. Tsubouchi, "Interacting Self-Timed Pipelines and Elementary Coupling Control Modules," IEICE Transactions on Fundamentals, vol.E92-A, no.7, pp.1642-1651, July 2009.
- [2] S. Tanifuji, T. T. Thanh, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "5GHz band low phase noise Si-CMOS oscillator using FBAR", IEICE Electron. Express, vol.7, no.3, pp.165-169, 2010.
- [3] S. Yoshida, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "60 GHz Band Planar Monopole Antenna Using Organic Substrates for Ultra-Small WPAN Modules," Global Symposium on Millimeter Waves 2009 (GSMM2009), April 2009.
- [4] S. Kameda, H. Oguma, T. Takagi, K. Tsubouchi, N. Izuka, Y. Asano, and Y. Yamazaki, "Feasibility Study of Downlink Transmission with 256 QAM Based on Results of MBWA System Field Trial," European Wireless 2009, pp.140-144, May 2009.
- [5] T. T. Ta, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A 5GHz Band Low Noise and Wide Tuning Range Si-CMOS VCO," Proc. 2009 IEEE Radio Freq. Integrated Circuits Symp., 571, June 2009.
- [6] S. Tanifuji, Y. Aota, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Discussion of Millimeter Wave FBAR with Very Thin AlN Film Fabricated Using MOCVD Method," 2009 IEEE Int. Ultrason. Symp., P2-P-02, Sept. 2009.
- [7] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Measured Uplink Throughput Performance of MBWA System in Urban Area," 12th Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Commun. (WPMC2009), Sendai, Sept. 2009.
- [8] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Uplink Throughput Performance of FH-OFDMA Improved by 16 QAM: Effect Estimation and Validation in MBWA System Field Trial," Proc. 20th Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun., Sept. 2009.
- [9] I. Kashiwamura, S. Tomita, K. Komatsu, T. N. Hao, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi "Investigation on Single-Carrier and Multi-Carrier Hybrid System for Uplink," Proc. 20th Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun., Sept. 2009.
- [10] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Feasibility Study of Uplink Transmission with 64 QAM Based on Results of MBWA System Field Trial", 5th IEEE Broadband wireless access workshop, colocated with IEEE GLOBECOM 2009, pp21-25, Hawaii, Nov. 2009.

情報ストレージシステム研究分野

垂直磁気記録を用いた
次世代大容量磁気ストレージシステムの構築



<分野の目標>

IT 技術の進展とともに扱う情報量の飛躍的な増大が続いており、2010 年には 1000 エクサバイト (10^{21} バイト) を超えると見られている。この膨大な情報の蓄積を担う中心的な技術がハードディスク装置を代表とする磁気ストレージである。現在の目標は磁気ディスク面の高密度記録化による記録容量の拡大で 1 Tbits/inch^2 の実現が間近になっており、数年先を目指して 5 Tbits/inch^2 の研究が行なわれている。本分野では、コンピュータシミュレーションを含めた記録再生理論の検討、及び実際のヘッドディスクを用いた高密度記録再生の実験を通して、今後の超高密度記録を実現するための記録再生方式の確立に取り組んでいる。また、ハードディスクドライブを応用した大容量高速ストレージシステムの省電力アーキテクチャとそのシステム制御技術の研究を加速させている。

<2009 年度の主な成果>

1. 垂直磁気記録ハードディスクの記録再生理論の研究

上記の 1 Tbit/inch^2 ではビットサイズは 1 辺が 25.4 nm 四方相当である。このような超微細ビットでは、熱エネルギーによる磁化擾乱の影響が大きく微細粒子構造を持つ記録媒体を使うことができなくなる。本研究室では、記録層をリソグラフィで加工してビットを物理的に分離して形成するパターン媒体 (図左) による高密度化に注力している。昨年度に 2 Tbit/inch^2 の記録密度が実現できるものの 10^{-5} の書込誤りが課題となることがわかっているが、これを復号時の信号処理で解決できることを示した。また、今年度は、強いヘッド磁界を発生できるシングル記録方式 (図中) の解析に取り組み、実験的に従来方式の 150% の記録密度がトラック密度の向上の結果達成できることを明らかにした。

2. コンピュータシミュレーションによる超高密度記録の研究

本研究室では、超高密度記録の実験に先行して検討を進めるために、適切なモデル化によるシミュレーションとして、磁気スピンの歳差運動を表現してナノ領域の磁化挙動を動的に解析でき、熱擾乱現象もモデル化可能な LLG (Landau Lifshitz Gilbert) 方程式によるコンピュータシミュレーションを用いた検討を進めている。今年度は、新たに高分解能記録ヘッドを考案して解析を行い、上記のシングル記録によって従来の記録媒体でも 2 Tbits/inch² 以上の記録能力を実現できることを明らかにした。これはディスクに微細加工を施す必要がない記録方式としての利点がある。

3. 高速大容量ストレージシステムのシステム化の研究

ネットワーク上の情報量の急速な拡大が続いており、ハードディスクにはパソコンの外部記憶装置としての役割に加えて、クラウドの前提となる大規模データストレージの重要性が増している。特に、並列化したハードディスク数の急激な台数の増加による消費電力増が大きな社会的な課題になっている。IT21 センターにおけるストレージプロジェクトと連携してストレージシステムの消費電力を低減する研究を進め、新たな階層化ストレージの省電力アクセスによって 50% の電力削減の見通しを得ている。(図右)

<職員名>

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

<教授のプロフィール>

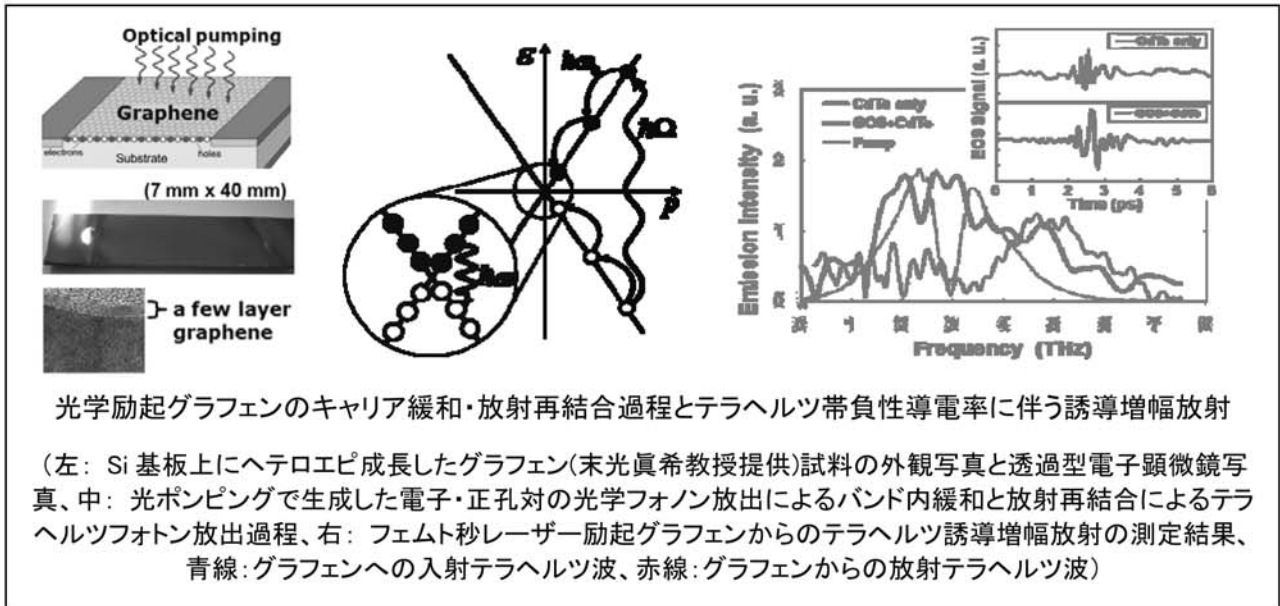
1981 年 東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業(株)、1991 年電気通信研究所助手、1993 年同助教授、2000 年同教授。高密度磁気記録理論、磁気記録デバイス及び記録方式、情報ストレージ方式、等の研究・開発に従事。電子情報通信学会業績賞 (2003 年)。IEEE Fellow (2008 年)。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] Yuichi Ohsawa, Kiyoshi Yamakawa, and Hiroaki Muraoka, "Effect of ion-beam damage in Fe-Co tapered main pole," J. Appl. Phys. 105, 07B727 (2009).
- [2] Simon Greaves, Yasushi Kanai, and Hiroaki Muraoka, "Shingled Recording for 2–3 Tbit/in²," IEEE Trans. Magn., 45, 10, 3823-3829, 2009. [Invited]
- [3] Kenji Miura, Eiji Yamamoto, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, "Estimation of Maximum Track Density in Shingled Writing," IEEE Trans. Magn. 45, 10, 3722-3725, 2009
- [4] Junichi, Yasumori, Yoshiaki Sonobe, Simon J. Greaves, Hiroaki Muraoka, "Servo-Pattern and Guard-Band Formation in Perpendicular Discrete-Track Media by Ion Irradiation," IEEE Trans. Magn., 45, 10, 3703-3706, 2009.
- [5] Yasushi Kanai, Yoshihiro Jinbo, Toshio Tsukamoto, Simon John Greaves, Kazuetsu Yoshida, and Hiroaki Muraoka, "Finite-Element and Micromagnetic Modeling of Write Heads for Shingled Recording," IEEE Trans. Magn. 46, 3, 715-721, March 2010. [Invited]
- [6] Kiyoshi Yamakawa, Hiroaki Muraoka, Kinya Fudano, Simon John Greaves, Yuichi Ohsawa, Kazuyuki Ise, and Yoshihisa Nakamura, "High Field-Gradient Design of Single-Pole Write-Head With Planar Pole Structure," IEEE Trans. Magn., Vol.46, No.3, pp. 730-737, 2010. [Invited]
- [7] S. J. Greaves, T. Mizuno, and H. Muraoka, "Transition Formation in Heat-Assisted Magnetic Recording," J. Magn. Soc. Jpn., Vol.34, No.2, pp. 49-52, 2010.

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

<2009 年度の主な成果>

1. 新材料グラフェンによる新概念テラヘルツレーザーに関する研究

新材料グラフェンの導入による新概念テラヘルツレーザーの創出をめざしている。フェムト秒赤外線レーザーでポンピングしたグラフェンにテラヘルツ波を照射した結果、負性導電率が理論上予測されるテラヘルツ帯域内での増幅利得を有する誘導放出の観測に初めて成功した。さらに、グラフェンを利得媒質としてレーザー共振器を構成する場合の具体的なレーザー素子構造と発振条件を明らかにするとともに、発振条件を左右するプラズモンの分散特性を理論的に明らかにした。グラフェンによる新概念テラヘルツレーザーにつながる優れた成果である。(関連文献: [1]-[4])

2. 新材料グラフェンによる極限高速トランジスタに関する研究

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

作し、Si-MOSFET の性能を 20 倍上回る優れた電子ドリフト移動度の実現に成功した。グラフェン FET の高精度デバイスモデリングの研究も推進した。(関連文献：[5]- [7])

3. 二次元プラズモン共鳴を利用したテラヘルツ帯光源・検出デバイスに関する研究

二次元プラズモン共鳴という新しい動作原理に立脚したテラヘルツデバイスの開発を推進している。二重回折格子型ゲート電極を特徴とする独自のデバイス構造を用いて、GaAs 系、InP 系、および GaN 系ヘテロ接合材料によるエミッター・ディテクタ素子を試作し、テラヘルツ帯における μW オーダの放射強度と 10V/W オーダの優れた検出感度特性を実現した。さらにこれらのデバイスを分光計測用光源、ならびにイメージング用検出器として応用し、集積型テラヘルツデバイス実用化へ向けて大きく前進した。(関連文献：[8] - [10])

<職員名>

教授 尾辻 泰一 (2005 年より)

准教授 末光 哲也 (2006 年より)

産学官連携研究員 鷹林 将

JSPS 外国人特別研究員 BOUBANBA TOMBET Stephane Albon

秘書 上野 佳代

<教授のプロフィール>

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

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] H. Karasawa, T. Komori, T. Watanabe, M. Suemitsu, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Observation of Carrier Relaxation and Recombination Dynamics in Optically Pumped Epitaxial Graphene Heterostructures Using Terahertz Emission Spectroscopy," Tech. Dig. CLEO-Europe, CF8.3, Munich, Germany, June 2009.
- [2] V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, A. A. Dubinov and V. Y. Aleshkin, "Feasibility of terahertz lasing in optically pumped epitaxial multiple graphene layer structures," J. Appl. Phys. Vol. 106, pp. 084507-1-6, 2009.
- [3] V. Ryzhii, A. Dubinov, T. Otsuji, V. Mitin, M.S. Shur, "Terahertz lasers based on optically pumped multiple graphene structures with slot-line and dielectric waveguides," J. Appl. Phys. Vol. 107, pp. 054505-1-5, 2010.
- [4] V. V. Popov, T. Yu. Bagaeva, T. Otsuji, and V. Ryzhii, "Oblique terahertz plasmons in graphene nanoribbon arrays," Phys. Rev. B, Vol. 81, pp. 073404-1-4, 2010.
- [5] E. Sano and T. Otsuji, "Theoretical evaluation of channel structure in graphene field-effect transistors," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48, pp. 041202-1-5, 2009.
- [6] V. Ryzhii, M. Ryzhii, A. Satou, T. Otsuji, and N. Kirova, "Device model for graphene bilayer field-effect transistor," J. Appl. Phys. Vol. 105, pp. 104510-1-9, 2009.
- [7] H.-C. Kang, R. Olac-vaw, H. Karasawa, Y. Miyamoto, H. Handa, T. Suemitsu, H. Fukidome, M. Suemitsu, T. Otsuji, "Extraction of drain current and effective mobility in epitaxial graphene channel FETs on silicon substrate," SSDM 2009: Int. Conf. Solid-State Devices and Materials, pp. 954-955, Sendai, Japan, Oct. 2009.
- [8] Y. Tsuda, T. Komori, A. El Fatimy, T. Suemitsu, and T. Otsuji, "Application of plasmonic microchip emitters to broadband terahertz spectroscopic measurement," J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 26, pp. A52-A57, 2009.
- [9] W. Knap, M. Dyakonov, D. Coquillat, F. Tepe, N. Dyakonova, J. Lusakowski, K. Karpierz, M. Sakowicz, G. Valusis, D. Seliuta, I. Kasalynas, A. El Fatimy, Y.M. Meziani, T. Otsuji, "Field effect transistors for terahertz detection: physics and first imaging applications," J. Infrared Milli. Terahz Waves, Vol. 30, pp. 1319-1337, 2009.
- [10] D. Coquillat, S. Nadar, F. Tepe, N. Dyakonova, S. Boubanga-Tombet, W. Knap, T. Nishimura, T. Otsuji, Y. M. Meziani, G. M. Tsymbalov, and V. V. Popov, "Room temperature detection of sub-terahertz radiation in double-grating-gate transistors," Opt. Express, Vol. 18, pp. 6024-6032, 2010.

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



上図は、開発した 77 GHz 帯パッシブ・イメージング装置の実証試験風景を示す（成田国際空港にて。2009 年 10 月 14 日～19 日）。装置は、左上の写真にて左側、右上の図にて右奥にあり、その前に立っている人物の衣服下にある異物を検出するデモンストレーションを行うと同時にまた現場で周囲から混入する電波雑音等を計測した。左上（あるいは左下）で、座っている測定員の前にイメージング画像が見えるが、可視光像の上に赤色円形をマーキングすることにより、異物の位置を示している。これは、プライバシーを配慮した結果の工夫である。

<分野の目標>

電磁波の応用は、通信、計測、エネルギーの 3 分野に大別できるが、電磁波スペクトラムのうちミリ波領域は、これまで通信をその主要な応用範囲として開発が行われてきている。一方、本研究分野では、この領域を計測の手段として用い、セキュリティ分野あるいは生体計測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、一般的にミリ波を計測の手段として用いる特徴として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、更に 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。

<2009 年の主な成果>

本研究分野では、ミリ・テラヘルツ波計測のうち特にイメージング技術に重点をおき、研究開発を進めている。本年度は、現在本研究が援助を得ている文部科学省安全・安心科学技術プロジェクト「ミリ波パッシブ撮像装置の開発」の最終年度にあたり、開発した

77GHz 帯パッシブ・イメージング装置（プロト1）の実証試験遂行を目的に研究・開発を行った。なお、本プロジェクトは、東北大学、マスプロ電工（株）、中央電子（株）の3者の参加による共同開発である。

本年度の主な成果を以下に述べる。

1. 動画を撮るために、一次元のセンサアレイと振動平面鏡（flapping mirror）の組み合わせの構造を設計、製作した。現在2～4枚 / 秒の画像取得に成功している。
2. 各センサの特性が時間的に変動する影響を除くために、視野内の特定の場所を常にモニタすることによって各センサを校正する方法を考案・採用し、画像品質の向上に成功した。
3. 防災関連企業の協力を得て、人物を炎を透過して動画で撮像することに成功し、ミリ波（少なくとも35及び77GHz帯）は炎を透過し、また炎はミリ波を放射していないことを確認した。
4. 成田国際空港（株）のご協力を得て、開発した77GHz帯イメージング装置について実地試験を行った（上図）。この結果、環境電波雑音、室温の影響、装置の寸法などの今後の実用機開発にとって貴重な種々なデータを得ることができた。その他、テロ対策特殊装備展 '09に出展し、将来ユーザになり得る人々からの意見を聴取した。

<職員>

客員 教授 水野皓司（2004年より）

<水野皓司客員教授のプロフィール>

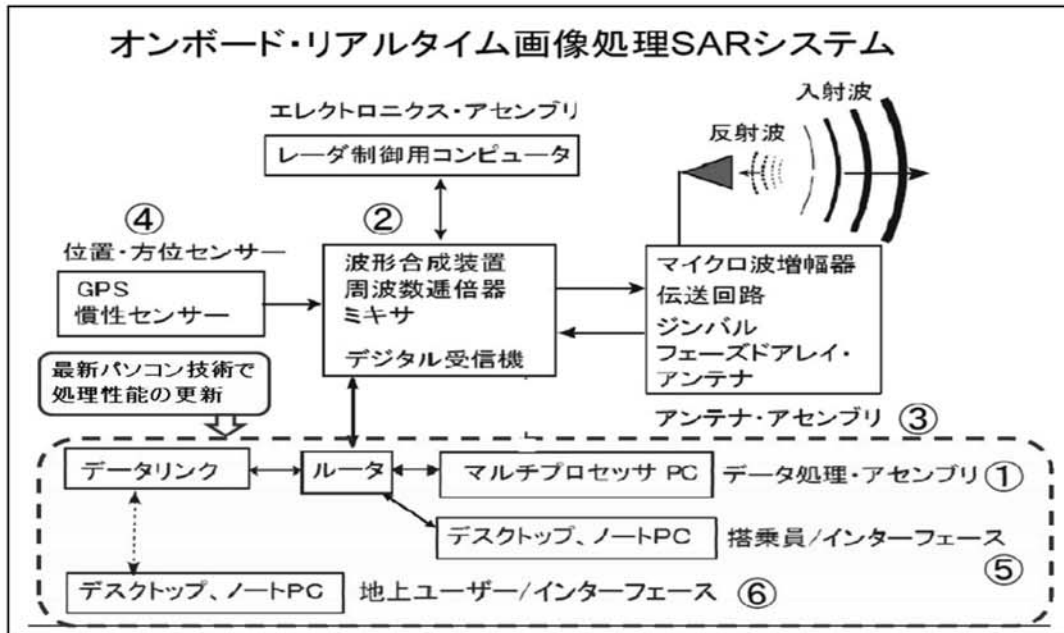
1963年3月 東北大・工・電子卒。1968年3月 同大学大学院博士課程了。工博。東北大助手、助教授を経て、1984年4月 教授（電気通信研究所）、2004年3月 定年退官、客員教授（東北大学名誉教授）。1972年 ロンドン大客員研究員、1990年 カリフォルニア工科大、ロンドン大客員教授。1990年より1998年まで理化学研究所チームリーダーを兼務。この間、ミリ波、サブミリ波帯デバイス・計測装置の研究開発に従事。1984年 第17回科学計測振興会賞、1993年 IEEE フェロー、1998年 K. J. Button Medal、1999年 情報通信月間表彰（東北電気通信管理局）、2003年 文部科学大臣賞（研究功績者）、電子情報通信学会フェロー、2005年 Distinguished Educator Award (IEEE Microwave Theory and Techniques Society)、などを受賞。

<2009年度の主な研究発表>

- [1] 佐藤弘康、澤谷邦男、水野皓司、“ミリ波パッシブイメージング技術、”計測と制御、Vol. 48, No. 10, pp. 748-753, (2008年10月)。
- [2] 水野皓司、“ミリ波リモートセンシング、”ミリ波技術の基礎（電気学会）、pp. 280-288、オーム社（東京）、2009。

ブロードバンド通信基盤技術研究分野（客員部門）

高分解能合成開口レーダの開発と民生応用



<分野の目標>

本研究の目標は、全天候型災害救助や防災監視に適した航空機搭載型の高分解能合成開口レーダ（SAR：Synthetic Aperture Radar）システムの開発である。

今年度の目標は、1) リアルタイム画像生成 SAR システムの概念設計、2) 高精度遅延時間設定可能なチャープマイクロ波合成回路系の開発である。3) これらを大学および企業の研究者・技術者との共同研究として進める。また、通研共同プロジェクト研究会を開催し、航空機搭載 SAR の民生応用について、全国の大学・企業の研究者と討論を行う。

<2009 年度の主な成果>

1. 国土交通省の公募委託研究に採択（4年計画）

平成 21 年度より国土交通省の委託研究として「リアルタイム画像生成 SAR システムの実用化に関する技術開発」（研究代表者：犬竹正明）が採択された。水害等の大規模自然災害時の河川・道路・鉄道・電力・港湾の施設等の防災監視や救助活動の初動対応に威力を発揮でき、有人・無人の航空機・ヘリコプタに搭載可能な小型軽量の高分解能・高画質 SAR の技術開発である。また、平成 21 年度より科学研究費：挑戦的萌芽研究「スポットライト方式 SAR システムの開発」（代表者：間瀬淳）が採択され、共同研究が推進された。

2. スポットライト SAR システムの全体設計（上図参照）

本年度の共同研究成果の一つは、スポットライト SAR システムの全体設計である。具体的には、Ku バンドマイクロ波を採用し、高分解能(10 cm)、小型軽量(50 kg 以下) で、機

上におけるリアルタイム画像生成が可能な SAR システムを設計した。

3. 高精度遅延時間設定可能なチャープマイクロ波波形合成回路の開発（上図-②参照）

成果の二つ目は、スポットライト SAR に必須の高精度遅延時間設定が可能なチャープマイクロ波波形合成回路の開発である。また、SAR 画像生成ソフトおよび計算機シミュレーションのソフトを開発した。

マイクロ波ビームを広角度にスキャンできるジンバルはスポットライト SAR に必須である（上図-③）。ジンバルにはビームの位置・方位を検出する GPS/慣性センサー(IMU)を装備する必要がある（上図-④）。超小型 MEMS 慣性センサー(MEMS-IMU)付き小型軽量ジンバルを次年度に製作予定である。

4. 民生用 SAR に関する通研共同プロジェクト研究会の開催

平成 22 年 2 月 4 日、通研共同プロジェクト研究会(代表者：間瀬淳九大特任教授)を IEEE GRSS (Geo-science and Remote Sensing Society)との協賛で開催した。1) 民生応用を対象とした航空機搭載 SAR の国内外の現状、2) リアルタイム SAR の概念設計、3) SAR 解析ソフトの提案などの講演がなされた。大学や関連企業からの参加者 40 名余による活発な意見交換が行われ、民生用 SAR 開発に関する全国的産学連携ネットワークを構築できた。

<職員名>

客員教授 犬竹 正明 (2007 年より)

<教授のプロフィール>

1966 年 3 月 東京大学工学部航空学科宇宙工学専修卒業。1968 年 3 月 同大学院工学系研究科修士課程修了。1972 年 3 月 同大学院工学系研究科博士課程修了。1972 年 4 月 日本学術振興会奨励研究員。1973 年 4 月 東京大学宇宙航空研究所協同研究員。1974 年 4 月 名古屋大学プラズマ研究所助手。1980 年 5 月 筑波大学物理工学系助教授。1994 年 4 月 東北大学工学部電気工学科教授。1997 年 4 月 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻教授に配置換え。2007 年 3 月 同定年退職。2007 年 4 月 東北大学電気通信研究所客員教授、現在に至る。東北大学名誉教授。日本学術会議連携会員。高密度プラズマ源の開発。アルヴェン波の物理機構解明と磁場核融合プラズマ加熱への応用。磁気ノズル中超音速プラズマ流の波動加熱・加速の物理機構解明と宇宙プラズマ推進機への応用。ミリ波・レーザによるプラズマ診断法等の研究開発。民生用高性能合成開口レーダの開発に従事。プラズマ・核融合学会論文賞 (1993 年)。平成 20 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門) (2008 年)。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] 近木祐一郎, 池地弘行, 間瀬 淳, 犬竹正明, 佐藤源之, 北條仁士
「スプリットビーム方式合成開口レーダ」特願 2009-150179.
- [2] A. Mase, Y. Kogi, N. Ito, *et al.*, “Advancement of Micro-wave Diagnostics for Magnetically Confined Plasmas”, *Plasma Devices Operations* **17**, 98-116 (2009).
- [3] X. Feng, M. Sato, Y. Zhang, *et al.*, “CMP Antenna Array GPR and Signal-to-Noise Ratio Improvement”, *IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.* **6**, 23 -27 (2009).
- [4] Y. Yokota, A. Mase, *et al.*, “Reconstruction method of X-mode ultrashort-pulse reflectometry in LHD”, *Proc. Int. Symp. Laser-Aided Plasma Diagnostics* (Sept. 2009).

3.3 人間情報システム研究部門の目標と成果

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

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

この目標を遂行するため、本部門は現在、以下の4研究分野から構成されている。(1) 生体と情報通信環境について有用な情報の創成と制御システム実現することを研究する生体電磁情報研究分野。(2) 聴覚認識情報処理過程の解明と高次音環境及びマルチモーダル情報の認識・符号化・提示システムの研究開発を行う先端音情報システム研究分野。(3) 視覚を中心とした脳の情報処理機構の解明と視環境・情報環境評価などの応用的展開の研究を行う高次視覚情報システム研究分野。(4) 分子およびナノ粒子の自己組織化による新規機能性材料の創出とバイオセンシング応用に関する研究を行う先端情報通信領域創成研究分野。(5) いつでも何処でもユビキタスに通信手法を意識することなく通信できる環境の実現をめざすユビキタス通信システム研究分野。

2009年度の本研究部門における研究目標と成果は以下のとおりであり、分野ごとに概要を記載する。

(1) 生体電磁情報研究分野

(目標) 磁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) 磁気を利用した磁界センサならびに歪みセンサに関して引き続き検討を行い、使用する薄膜材料の異方性の強度と方向を制御することにより極めて高い感度を実現した。さらに、生体内での活用が期待されている磁気微粒子のマニピュレーション技術に関する新たな提案を行い、凝集と分散を外部から制御する手法の可能性を示した。加えて磁気マーカーを利用した三次元位置検出システムに関する検討を行い、その検出精度を決定する要因を明確化した。外部から磁界を与えて動作させる磁気アクチュエータに関しては、マイクロポンプ、微小カンチレバー等に関する検討を行い、また内視鏡手術を補助する機構に関する検討を医療現場と共同で進めている。

(2) 先端音情報システム研究分野

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

(成果) 将来のマルチモーダル、マルチメディア通信システムの実現に重要な人間のマルチモーダル知覚情報処理過程を、特に、異なった感覚情報の時空間統合の観点から明らかにする研究を強力に進めている。本年度は、周辺視野領域において音によって誘導される視覚刺激の動きの知覚(SIVM: Sound-Induced Visual Motion)を発見し発表した。また、3次元音空間制御手法に研究を進め、その鍵となる頭部伝達関数(HRTF)と頭部形状の関係を

明らかにするとともに、アンビソニックス集音・再生システム、包囲型マイクロホンアレイによる高精細音場解析技術等を開発した。また、高齢者の聞き取り改善のための話速変換が読唇音声知覚過程に及ぼす影響の解明など、聴覚障害者のバリアフリー実現を目指す研究を進めた。この他、Multiple description符号化によるネットワーク音情報通信のセキュア化とロバスト化、次世代補聴システムへの適用を念頭に、環境雑音と音声信号とを効果的に分離する選択的両耳聴アルゴリズムの開発を進めた。

(3) 高次視覚情報システム研究分野

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

(成果) 視覚的注意機構のモデル化の研究、視覚認識の初期、中期、高次特性の研究において、4つの成果があった。まず注意による運動対象の追跡時において、注意はその周囲に分布し異なる位置に分割できないことを明らかにし、それに基づき注意のモデル化を試みた。将来的には、画像コンテンツや交通環境など視環境の評価に利用できる。次に、我々の研究グループが発見した、運動視における2種類の運動検出器（遅い運動と速い運動の検出器）が処理機構において、遅い運動検出器は放射状の動きや回転の動きなどの大域的な運動に関与することを順応実験によって明らかにし、さらにそれが注意の追跡による運動知覚と異なることも明確にした。視覚認識においても画像処理においても注目されていない遅い運動信号の重要性を示す知見であり、運動情報の視覚認識への影響に新しいものを付け加えたことになる。3つめは、立体知覚の時間特性についての研究をまとめ、動画の観察と静止画の観察における処理メカニズムの違いを明らかにした。また、立体盲といわれる障害にも運動対象と静止対象に対するものがあることを示し、新しい問題点を明らかにした。4つめとしては、脳活動計測やその分類解析によって色情報の脳内表現が赤／緑成分および青／黄成分の比率で表されているのではない可能性を示した。

(4) 先端情報通信領域創成研究分野

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

(成果) 高分子ナノ相分離構造を利用し、金および銀ナノ微粒子を二次元空間内に規則配置させることにより、両金属のプラズモン共鳴場を結合させ、プラズモン共鳴バンド位置を自在に制御することに成功した。一方、銀微粒子二次元結晶シートをマーカーとして、酸化チタンの非接触光触媒活性について評価し、陽極酸化で作製した酸化チタンナノチューブが非常に強い非接触触媒活性を有することを発見した。これらは3次元光触媒リソグラフィやナノエレクトロニクスデバイスの自浄などに応用可能である。

(5) ユビキタス通信システム

(目標) 一つの無線携帯端末でユニバーサルにかつ利用者のポリシーにより指定されたモードで通信するための通信機器、電波伝搬環境やアンテナに関する基礎的研究を行い、いつでも何処でもユビキタスに通信手段を意識する事なく通信できる環境の実現を図る。具体的にはこの大目標に向かい、屋内で数ギガビット/秒の伝送を行うミリ波を用いた Super Broadband Wireless (SBW) Communications の核となる技術である“携帯端末に実装可能な超高速通信用ビームフォーミングアンテナ及びRF”の開発を行う。また日本発技術の国際標準化に貢献または国際標準化のリードに貢献する。

(成果) SBW Communications を実現するためのコア技術である、携帯端末に実装可能なビームフォーミングアンテナ及びこれをドライブする CMOS を用いた RF アンプの研究開発等を行い、2009 年度は以下に示す主な成果を得た。

- 1) 離散的位相(90度ステップ)制御による4素子ビームフォーミングアンテナの研究結果、アンテナ利得変動が0.9dB以下と実用的であることを明確に、また各種アンテナの中、スロット型アンテナがより実用的であること、さらに各アンテナ素子の位相の組み合わせは11パターンとすれば十分であることを、計算機シミュレーションで明らかにした。
- 2) これらの成果を基に固定移相器によるビームフォーミングアンテナを試作・評価し、設計値に近い、良好なアンテナ利得・ビーム形成を確認した。
- 3) CMOS を用いた高効率60GHz Class-B 電力増幅器を検討し、動作点で約20%(従来比約2倍)の電力付加効率が可能であることを計算機シミュレーションで明確にし、試作によりその可能性を確認した、
- 4) 意図的な反射体設置による通信継続確率向上を検証するシミュレータを開発し、ミリ波通信の解決すべき課題の一つである“通信継続確率向上”へ大きく前進した。

上記成果に加え、日本発のミリ波実用化コンソーシアム(CoMPA, Chair:加藤修三)(22機関)を組織化し、海外の賛同機関(17機関)をパートナーズ(Partners)として受け入れ、合計39機関を指導し、会議をリードした結果、2009年9月にミリ波標準化(IEEE802.15.3c)の標準化が完了した。これは、日本発の技術を日本の組織がリードして達成した初めてのIEEE802標準化成功例であり、今後の日本の産業界にとって良い参考例となるであろう。

生体電磁情報研究分野

生体との良好なコミュニケーションを目指して

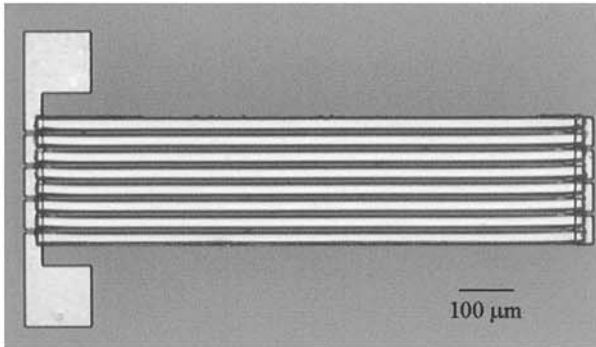


図1 高感度薄膜磁界センサ

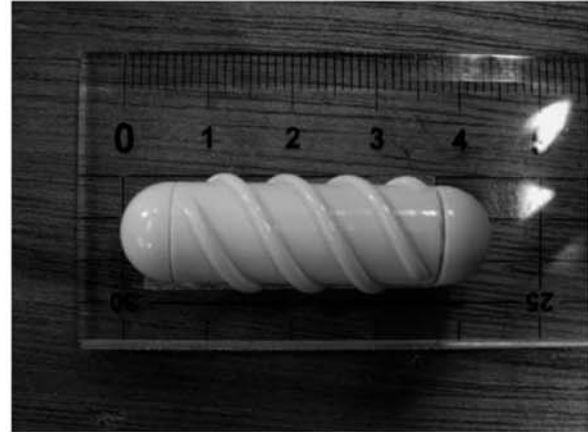


図2 カプセル内視鏡駆動用磁気アクチュエータ

<分野の目標>

磁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する。これらの研究を通じて、生体の発する情報を受け取る技術ならびに生体に対して働きかけを行う技術の確立を目指す。

<2009年度の主な成果>

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

磁性薄膜の異方性の方向制御により磁区構造を制御し、外部磁界あるいは外部から与えたひずみに対して極めて急峻にインピーダンスが変化する素子を実現した^{[1][5][6]}。この素子を磁界センサとしてみた場合には超高感度磁界センサあるいは外部磁界履歴を記憶する素子としての応用が期待され、また歪センサとしてみた場合には従来のストレインゲージに比べて1万倍程度の極めて高い感度を有するセンサとして様々な応用が期待される。

2. 磁気微粒子のマニピュレーションに関する研究

生体内での活用が期待されている磁気微粒子のマニピュレーション技術に関する新たな提案を行い、回転磁界を利用して凝集と分散を外部から制御できることを実験的に確認した^[2]。

3. 三次元位置検出システムに関する研究

磁気マーカーを利用した三次元位置検出システムに関する検討を行い、その検出精度を決定する要因を定量的に明らかにするとともに、その小型化への指針を示した^[3]。

4. 磁気アクチュエータに関する研究

外部から磁界を与えて動作させる磁気アクチュエータに関して、磁気トルクを利用したマイクロポンプとその医療応用、磁歪を利用した微小カンチレバー型アクチュエータに関する検討を引き続き推進し、またカプセル内視鏡を体外から与える磁界により駆動・制御する技術の開発を医療機器メーカーと共同で進めている。

5. 軟磁性圧粉磁心に関する研究

鉄系アモルファス粉の製造手法の確立とそれを利用した圧粉磁心の開発を行い、従来材料に比べて高い磁束密度と低い損失を実現し[4]、電磁エネルギー変換用次世代磁性材料としての可能性を示した。

<職員名>

教授 石山 和志 (2007年より)

助教 栢 修一郎 (2008年より)

<教授のプロフィール>

1986年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1988年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。1988年4月 同大電気通信研究所助手。1993年1月 博士(工学)学位取得。2003年1月 同助教授。2003年4月から2005年3月まで内閣府総合科学技術会議事務局参事官補佐(兼務)。2007年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。磁気工学ならびに磁気応用に関する研究開発に従事。電気学会優秀論文発表賞(1991)、原田研究奨励賞(1996)、Best Paper Award on International Conference on Ferrites (2000)、生体医工学シンポジウムベストリサーチアワード(2004)、日本応用磁気学会論文賞(2005)。

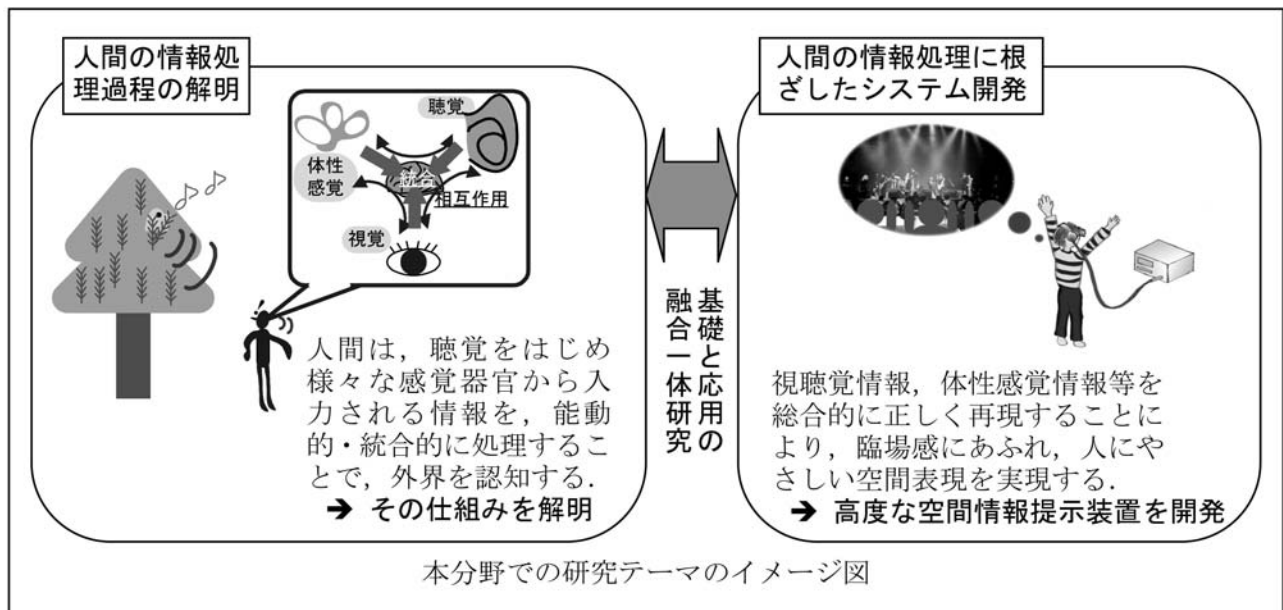
<2009年度の主な発表論文等>

査読付原著論文

- [1] 中居 倫夫, 高田 健一, 石山 和志, 「傾斜した面内ストライプ磁区の磁区構造転移を利用した大バルクハウゼンセンサの検討」 *Journal of the Magnetism Society of Japan*, Vol. 33(2009), No. 3, pp.287-292.
- [2] 中村治貴, 栢修一郎, 石山 和志, 「回転磁界を用いた磁性微粒子の分散に関する基礎検討」 *Journal of the Magnetism Society of Japan*, Vol. 33(2009), No. 3, pp.319-323.
- [3] S. Hashi, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. Ishiyama, K.I. Arai, "Numerical Study on the Improvement of Detection Accuracy for a Wireless Motion Capture System," *IEEE Transactions on Magnetics*, Volume 45, Issue 6, June 2009 Page(s):2736 - 2739
- [4] I. Otsuka, T. Kadomura, K. Ishiyama, M. Yagi, "Magnetic Properties of Fe-Based Amorphous Powder Cores With High Magnetic Flux Density," *IEEE Transactions on Magnetics*, Volume 45, Issue 10, Oct. 2009 Page(s):4294 - 4297
- [5] T. Nakai, K. Takada, K. Ishiyama, "Existence of Three Stable States of Magnetic Domain for the Stepped Giant Magnetoimpedance Element and Proposal for Sensor With Memory Function," *IEEE Transactions on Magnetics*, Volume 45, Issue 10, Oct. 2009 Page(s):3499 - 3502
- [6] Y. Suwa, S. Hashi, K. Ishiyama, "Study of strain sensor using FeSiB magnetostrictive thin film," *IEEE Trans. Magnetics*, vol.46, No.2, 2010 pp.666-669.

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。本分野の研究目標は、人間の知覚情報処理系の中で最も重要な情報処理過程の一つである“聴覚モード”における情報処理過程を明らかにすることである。さらに、聴覚情報と視覚・体性感覚情報とのマルチモーダル処理過程についても研究を行っている。これらの基礎的な知見を応用し、高度な音響情報通信システムやユーザインターフェース、さらには臨場感にあふれ快適な3次元音空間表現を実現する。

<2009年度の主な成果>

1. 聴覚および聴覚を含むマルチモーダル感覚情報処理過程の解明

人間は複数の感覚情報を統合並列処理することにより外界をより安定・正確に認識している。本研究室ではマルチモーダル感覚情報処理過程における聴覚情報の役割に着目して研究を進めてきた。本年度は主に視聴覚情報の情報統合に関連する研究を進め、移動する聴覚刺激によって実際には静止している視覚点滅刺激が動いて見える聴覚誘導性視運動知覚 (sound induced visual motion : SIVM) を世界で初めて発見したほか、視聴覚定位不斉などこれまでにない新しい知見を数多く得ることができた。

2. 3次元音空間認識と制御・再現手法の研究

音空間認識時には、音像定位の対象となる音源の位置からの音だけでなく、反射音といった周囲の音の存在も大きな役割を果たす。本年度は可動式ダミーヘッドを用いて、頭部運動が音像定位に及ぼす影響を知覚実験により詳細に検討した。その結果、頭部運動のベクトル方向と音像の変化の方向が整合することが重要であるという知見が得られた。

また、バーチャルリアリティ環境下での音空間知覚では、背景となる音の存在により、

ターゲットとなる音のリアリティが高まるという結果も得られている。

3. 高信頼高品質ネットワーク通信技術の開発

音情報は、高品質マルチメディア情報の重要な要素の一つである。特にネットワーク通信における音情報の重要性は高まっており、その情報の秘匿性の維持も大きな課題となっている。本年度は、Multiple Description (MD) スカラー量子化を用いた音声圧縮手法を発展させ、MP3 圧縮された音楽信号への MD 符号化の適用可能性の検討を進めた。

4. 聴覚障害者のバリアフリー実現に関する研究

聴覚障害者に音による情報を的確に伝達する手法の開発は、加速する高齢化社会において非常に重要な課題の一つである。そこで本年度は、補聴器を両耳装用した際の音声信号の分離・抽出アルゴリズム（選択的両耳聴アルゴリズム）の検討を行い、ウェーブレット変換を用いた新たなアルゴリズムを開発、提案した。さらに、音声聴取能力の短時間測定手法の開発や、話速変換時における読唇音声知覚過程の解明など、聴覚障害者のバリアフリー実現を目指す研究を進めた。

<職員名>

教授 鈴木 陽一 (1999 年より)

准教授 岩谷 幸雄 (2007 年より)

助教 坂本 修一

技術職員 齋藤 文孝

非常勤研究員 岡本 拓磨, 小林 まおり, 崔 正烈, 寺本 渉, 大谷 真 研究支援者 千葉 順子
事務補佐員 小野寺 美紀

<教授のプロフィール>

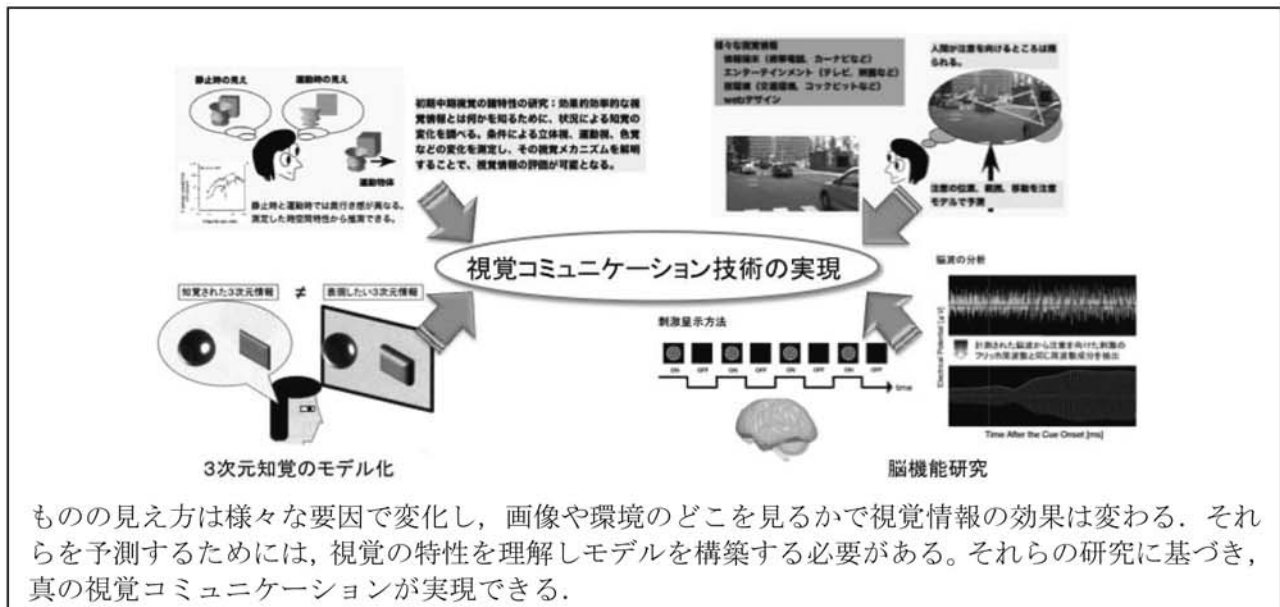
1976 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業。1981 年 3 月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1981 年 4 月 同大電気通信研究所助手。1987 年 4 月 同大大型計算機センター助教。1989 年 7 月 同大電気通信研究所助教授。1999 年 8 月 同教授、現在に至る。音の大きさおよび音色、騒音の評価、3 次元音空間知覚と制御、デジタル補聴器、音信号のデジタル信号処理手法等、人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事。日本音響学会佐藤論文賞受賞 (1992 年, 1994 年), (社) 日本音響学会会長 (2005 年 5 月から 2007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

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] Sota Hidaka, Yuko Manaka, Wataru Teramoto, Yoichi Sugita, Ryota Miyauchi, Jiro Gyoba, Yôiti Suzuki and Yukio Iwaya: "Alternation of sound location induces visual motion perception of a static object," PLoS ONE, 4, e8188, 2009
- [2] Akio Honda, Hiroshi Shibata, Yukio Iwaya, Jiro Gyoba and Yôiti Suzuki: "Transfer effects on communication and collision avoidance behavior from playing a three-dimensional auditory game based on a virtual auditory display," Applied Acoustics, 70, 868-874, 2009
- [3] Akinori Ito, Shun'ichiro Abe, Yôiti Suzuki: "G.711 information hiding for speech based on substitution of least significant bits and estimation of tolerable distortion," Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2009), 1409-1412, 2009
- [4] Junfeng Li, Shuichi Sakamoto, Satoshi Hongo, Masato Akagi and Yôiti Suzuki: "TS-BASE/WF: Two-Stage BinAural Speech Enhancement with Wiener filter Based on Equalization-Cancellation Model," Proc. 2009 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics (WASPAA2009), 133-136, 2009

高次視覚情報システム研究分野

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



<分野の目標>

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

<2009年度の主な成果>

1. 両眼間速度差による奥行運動知覚

3次元の動き、奥行運動を見るために働く脳内機構には複数の処理系がある。我々は、それらの中の両眼の網膜像の速度の違い、両眼間速度差の重要性を指摘し、その諸特性について検討を続けてきた。その中で、刺激のスケール依存の処理（空間周波数選択性）に関して、両眼間速度差検出機構が特徴的な処理をしていることを発見した^[4]。通常運動視のメカニズムは、異なる空間周波数選択性を持つ多くの検出器からなることが知られているが、我々は奥行運動に関してはそれとは全く異なることを示した。両眼間速度差検出機構の空間周波数選択性は広帯域であり、空間周波数選択性を持つ複数の単眼の運動検出器の出力を統合するものであることを明らかにした。これは、3次元対象の運動に対する処理系が対象物の網膜上でのスケールにとらわれず速度の処理を示唆し、視覚系

の空間処理の特徴として意義深いものである。

2. 定常脳波の測定による視覚的注意移動の測定

視覚的注意は、視線と独立して移動するため、その測定のためには様々な工夫が必要である。心理物理学実験によって注意移動の時間特性は詳細に調べられているが、それらの手法には手続きが煩雑になる、時間解像度は限られるなどの制約がある。我々は、正弦波状に明暗変化する視覚刺激（フリッカー刺激）によって誘発される脳波（SSVEP, steady state visual evoked potential）を利用する方法を利用し、注意移動の時間特性の測定に成功した^[1]。その結果は、心理物理学実験で知られている外因性注意（視野周辺に呈示される刺激によって誘導される注意移動）と内因性注意（自覚的な注意移動）の相違についても検出することができ、注意の測定方法としての有効性を示した。

<職員名>

教授 塩入 諭（2005年より）
 准教授 栗木 一郎（2006年より）
 助教 松宮 一道（2005年より）
 産学連携研究員 荻谷 光晴 松原 和也 秘書 今野 亜未

<教授のプロフィール>

1986年 東京工業大学・大学院総合理工学研究科博士課程修了。その後1989年5月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務。カナダより帰国後、1990年4月までATR視聴覚機構研究所で勤務。1991年5月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手、助教授、同大学メディカルシステム工学科教授を経て、2005年3月より東北大学電気通信研究所・教授。運動視、立体視、色覚を中心とした初期視覚処理と、眼球運動および注意による視覚情報の選択過程のメカニズムの解明とその応用を目的に、視覚現象の調査、視覚処理の諸特性を測定、それに基づく定量的モデルの構築などの研究に従事。

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Kashiwase, K. Matsumiya, I. Kuriki, and S. Shioiri: "Comparison of the time course of attentional shifts with endogenous and exogenous controls", *Society for Neuroscience (SfN)*, Chicago, USA, October, 2009.
- [2] 松原和也, 松宮一道, 塩入 諭, 高橋修一, 石川貴規, 大橋 功: "輝度コントラスト, 刺激偏心度の主観的奥行き量への影響", 電子情報通信学会技術研究報告 (画像工学), IE2009-191, 71-75, 2010.
- [3] K. Matsumiya, H. Sugiyama, S. Shioiri, and I. Kuriki: "Influence of auditory information on reading speed and eye movement control in reading", *Kansei Engineering International* Vol. 8, No. 2, 225-231, 2009.
- [4] S. Shioiri, D. Kakehi, T. Tashiro, and H. Yaguchi: "Integration of monocular motion signals and the analysis of interocular velocity differences for the perception of motion-in-depth", *Journal of Vision*, vol. 9, no. 13, article 10, pp.1-17, 2009.
- [5] T. Kitakawa, S. Nakadomari, I. Kuriki, and K. Kitahara: "Evaluation of early state of cyanopsia with subjective color settings immediately after cataract removal surgery", *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.*, vol. 26, no. 6, pp.1375-1381, 2009.
- [6] S. Shioiri, and K. Matsumiya, "Motion mechanisms with different spatiotemporal characteristics identified by an MAE technique with superimposed gratings" *Journal of Vision*, vol. 9, no. 5, pp.1-15, 2009.

先端情報通信領域創成研究分野

銀ナノ微粒子二次元結晶シートの作製とデバイス応用

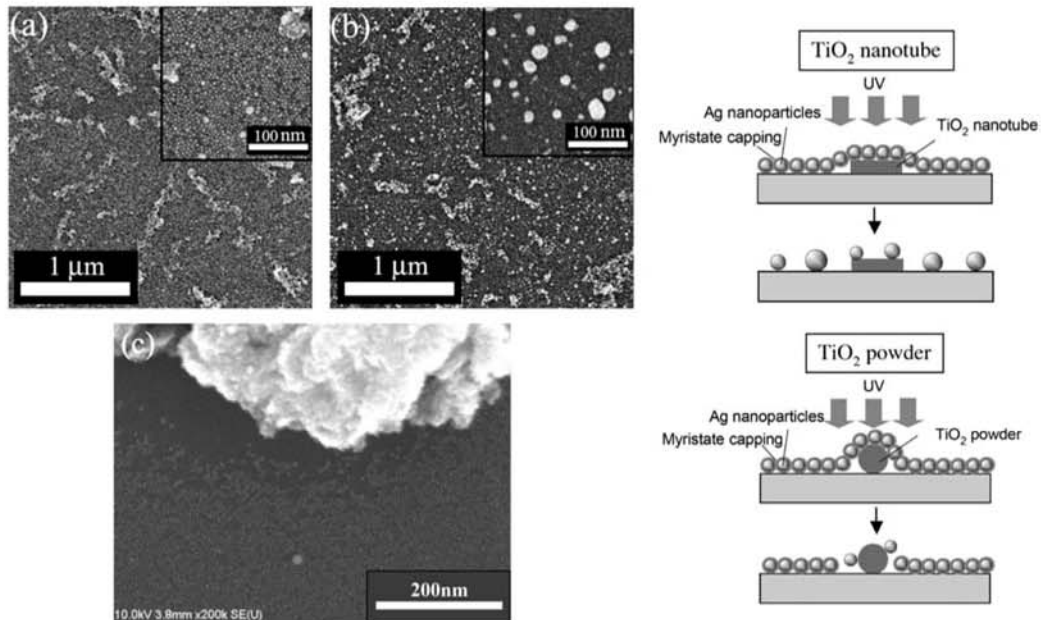


図1 TiO₂ ナノチューブ分散基板に銀ナノ微粒子結晶シートを1層累積し、紫外線照射した際の表面の高分解能SEM像；(a) 照射前、(b) 照射後。非接触触媒作用によりTiO₂ ナノチューブに直接触れていない銀微粒子も分解/溶融している。(c) は市販品TiO₂ パウダーでの結果。非接触触媒作用はほとんどみられない

<分野の目標>

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

<2009年度の主な成果>

1. 光応答性自己組織化単分子膜の異性化反応による金属電極仕事関数の制御：[1]

アゾベンゼンジスルフィド自己組織化単分子膜で修飾した金電極に紫外-可視光を交互に照射し、光異性化反応に伴う表面仕事関数の変化をケルビンプローブ法により定量評価した。その結果、トランス-シス光異性化に伴う分子ダイポールの変化に比例して電極表面仕事関数が変化することを分子軌道法計算および接触電位差測定により確認した。本法は有機デバイス作製時における界面電位差制御に応用できる。

2. 金および銀ナノ微粒子自己組織化アレイによるプラズモン共鳴バンド位置の制御：[2]

高分子ナノ相分離構造を利用し、金および銀ナノ微粒子を二次元空間内に規則配置させることにより、両金属のプラズモン共鳴場を結合させ、プラズモン共鳴バンド位置を自在に制御することに成功した。これまでコア-シェル型など多成分系粒子の化学合成でしか実現しないと思われていた2種金属の中間領域での共鳴をアレイ間の協同的プラズモン励起にて実現した例である。

3. 銀微粒子二次元結晶シートによる酸化チタンナノチューブ非接触触媒活性の評価：[3]

銀微粒子二次元結晶シートをマーカーとして、酸化チタンの非接触光触媒活性について評価した。その結果、陽極酸化で作製した酸化チタンナノチューブが非常に強い非接触触媒活性を有することを発見した。この非接触触媒作用は市販品パウダー試料ではみられない現象であり、3次元光触媒リソグラフィやナノエレクトロニクスデバイスの自浄などに応用可能。

<職員名>

教授 玉田 薫 (2007年より)

<教授のプロフィール>

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

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Photoisomerization of azobenzene containing self-assembled monolayers investigated by Kelvin probe work function measurements, T. Nagahiro, H. Akiyama, M. Hara, K. Tamada, J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 172 (1-3), 2009, 128-133.
- [2] Tunable Surface Plasmon Band of Position Selective Ag and Au Nanoparticles in Thin Block Copolymer Micelle Films, H. Acharya, J. Sung, B.-H. Sohn, D.H. Kim, K. Tamada, C. Park, Chem. Mater. Chem. Mater. 2009, 214248-4255.
- [3] Ag nanoparticle sheet as a marker of lateral remote photocatalytic reaction, T. Nagahiro, K. Ishibashi, Y. Kimura, M. Niwano, T. Hayashi, Y. Ikezoe, M. Hara, T. Tatsuma, K. Tamada, Nanoscale, 2010, 2, 107-113.
- [4] 表面プラズモン共鳴法, 玉田薫, 第3版現代界面コロイド化学の基礎 日本化学会編(丸善)2009.
- [5] 超分子の新しい展開とナノマテリアル(SAMバイオデバイス), 玉田薫, 超分子サイエンスー基礎から材料への展開ー(エヌティーエス)2009.
- [6] 表面プラズモン共鳴法, 玉田薫, 第3版現代界面コロイド化学の基礎、日本化学会編(丸善)2009.

ユビキタス通信システム研究分野

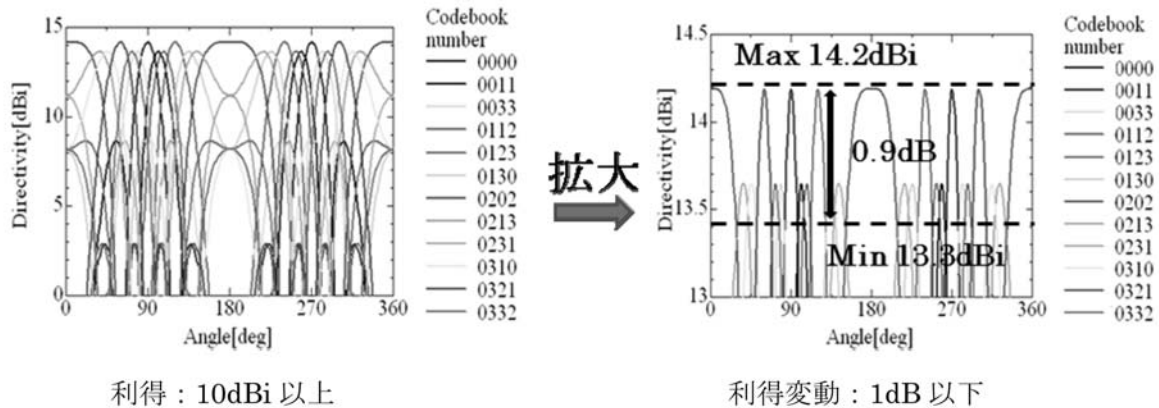
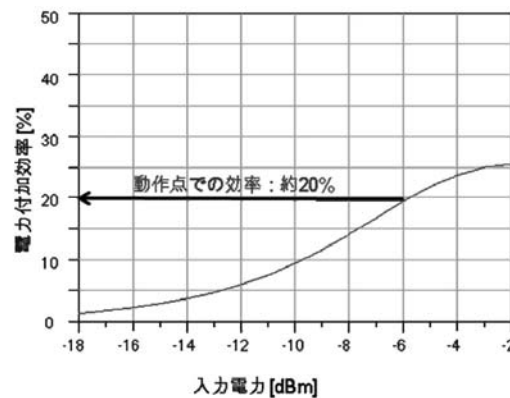
ミリ波(60GHz)を用いた
Super Broadband Wireless System の実現

図 1 指向性・利得と利得変動

図 2 クラス B 電力増幅器の電力付加効率 (PAE)
20% PAE@動作点 (Pout=3dBm)

<分野の目標>

一つの無線携帯端末でユニバーサルにかつ利用者のポリシーにより指定されたモードで通信するための通信機器、電波伝搬環境やアンテナに関する基礎的研究を行い、いつでも何処でもユビキタスに通信手段を意識する事なく通信できる環境の実現を図る。具体的にはこの大目標に向かい、屋内で数ギガビット/秒の伝送を行うミリ波を用いた Super Broadband Wireless (SBW) Communications の核となる技術である“携帯端末に実装可能な超高速通信用ビームフォーミングアンテナ及び RF”の開発を行う。また日本発技術の国際標準化に貢献または国際標準化のリードに貢献する。

<2009 年度の主な成果>

SBW Communications を実現するためのコア技術である、携帯端末に実装可能なビームフォーミングアンテナ及びこれをドライブする CMOS を用いた RF アンプの研究開発等を行い、2009 年度は以下に示す主な成果を得た。

1) 離散的位相(90 度ステップ)制御による 4 素子ビームフォーミングアンテナの研究結果、アンテナ利

得変動が 0.9dB 以下と実用的であることを明確に、また各種アンテナの中、スロット型アンテナがより実用的であること、さらに各アンテナ素子の位相の組み合わせは 11 パターンとすれば十分であることを、計算機シミュレーションで明らかにした。

- 2) これらの成果を基に固定移相器によるビームフォーミングアンテナを試作・評価し、設計値に近い、良好なアンテナ利得・ビーム形成を確認した。
- 3) CMOS を用いた高効率 60GHz Class-B 電力増幅器を検討し、動作点で約 20%(従来比約 2 倍)の電力付加効率が可能であることを計算機シミュレーションで明確にし、試作によりその可能性を確認した、
- 4) 意図的な反射体設置による通信継続確率向上を検証するシミュレータを開発し、ミリ波通信の解決すべき課題の一つである“通信継続確率向上”へ大きく前進した。

上記成果に加え、日本発のミリ波実用化コンソーシアム(CoMPA, Chair:加藤修三)(22 機関)を組織化し、海外の賛同機関(17 機関)をパートナーズ(Partners)として受け入れ、合計 39 機関を指導し、会議をリードした結果、2009 年 9 月にミリ波標準化(IEEE802.15.3c)の標準化が完了した。これは、日本発の技術を日本の組織がリードして達成した初めての IEEE802 標準化成功例であり、今後の日本の産業界にとって良い参考例となるであろう。

<職員名>

教授 加藤 修三 (2008 年より)
 准教授 中瀬 博之 (2008 年より)
 助手 沢田 浩和 (2009 年より)

<教授のプロフィール>

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

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Kato, H. Harada, R. Funada, T. Baykas, C-S Sum, J. Wang, M A. Rahman, Single Carrier Transmission for Multi-Gigabit 60-GHz WPAN Systems, IEEE J. on Selected Areas in Commun., Vol. 27, No. 8, Oct. 2009.
- [2] Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Katsuyoshi Sato, and Hiroshi Harada, A Sixty GHz Vehicle Area Network for Multimedia Communications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 27, No. 8, Oct. 2009,
- [3] Chin-Sean Sum, Xueli An, Zhou Lan, Tuncer Baykas, Junyi Wang, Ryuhei Funada, Mohammad Azizur Rahman, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, A Synchronization-Frame-Aided Interference Mitigation Mechanism for Millimeter-wave WPAN, The 20th Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Symposium 2009 (PIMRC'09), Tokyo, Sep. 13-16, 2009,
- [4] 加藤修三, 家庭内ワイヤレススーパーブロードバンドの技術動向(基調講演), 周波数資源シンポジウム 2009, 東京, 2009/6/12.
- [5] 加藤修三, IEEE802.15.3c ミリ波 WPAN 標準化最新動向(招待講演), ワイヤレスジャパン 2009「IEEE802 ワイヤレス技術フォーラム」、東京 2009 年 7 月 22-24 日.

3.4 システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果

システム・ソフトウェア研究部門は「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかもリアルタイムでコミュニケーションできるユビキタス環境の構築を目的としている。そこで本部門は、通信とコンピュータを融合した高度なシステム・ソフトウェア・コンテンツに関して、高信頼・高機能ソフトウェアの研究を行うソフトウェア構成研究分野、新しいソフトウェアの基礎理論の研究を行うコンピューティング情報理論研究分野、共生コンピューティングの研究を行うコミュニケーションネットワーク研究分野、ネットワーク指向のコンテンツ管理・利用技術の研究を行う情報コンテンツ研究分野の4基幹分野と情報社会構造研究分野(客員)から構成される。以下、基幹分野における2009年度の研究活動成果の概要を述べる。

(1) ソフトウェア構成研究分野

高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の確立、さらに基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指し研究を行ってきた。基礎理論の研究では、ML系高階関数型言語とC言語との相互運用機構の理論的性質を明らかにし、C言語との連携機構を有する言語とそのコンパイルアルゴリズム、およびその実装方式を構築した。さらにそれら基礎研究成果を生かし、次世代高信頼プログラミング言語SML#の開発を進め、本年度は、SML#オブジェクトファイルとCライブラリとの静的リンクを実現するためのコンパイル方式、Cと互換性を持つオブジェクトファイルを生成するコンパイラバックエンドなどを新たに開発した。

(2) コンピューティング情報理論研究分野

定理自動証明手法に基づくプログラミング変換の検証を目的として、2階変換パターンに基づくプログラム変換手法の研究を進めた。2階一般化アルゴリズムを考案し、それを応用して、具体的なプログラム変換から変換パターンを抽出する方法について研究を進めた。近年、多くの停止性自動検証器が提案されているが、合流性についてはあまり知られていない。そこで、直和分解や可換分解といった分解手法を用いて、項書き換えシステムの合流性を判定する合流性検証器ACPを構築するとともに、減少ダイアグラム手法や拡大手法に基づく新しい合流性判定法を開発した。また、単純型付きS式書き換えシステムの停止性証明法や、無限項書き換えシステムの頭部正規化可能性の反証手続きを提案した。

(3) コミュニケーションネットワーク研究分野

次世代ユビキタスネットワークの新しい管理法(総務省・SCOPEプロジェクト(平成19~21年度))について研究し、その成果に基づきIETFにおいて「Network Mobility Management Information Base(NEMO-MIB)」に関する標準化活動を推進した。その結果、平成21年4月14日にNEMO-MIBの国際標準化に成功した(RFC5488)。また、本件に関する記事が、平成21年7月23日に河北新報に掲載され、本研究開発の成果が社会的にも注目された。さらに「共生コンピューティング」について、モデル、アーキテクチャの詳細化、精緻化を進め、高齢者見守り支援システム(uEyes)、現実/仮想統合型共生空間(SymbioZone)等のプロトタイプシステムを開発した。これらの研究成果は、国際ジャーナルに、招待論文1件を含め6件掲載された。また情報科学技術フォ

ーラム(FIT2009)や通研公開などにおいてデモ展示や体験型実験を行い、学术界、産業界から高く評価されている。

(4) 情報コンテンツ研究分野

情報コンテンツの創生技術、検索技術、配信技術等について検討を進めた。コンテンツ創生技術として、文章情報(シナリオ)を入力するだけで3Dアニメ映像を出力するDMD(Digital Movie Director)、仮想試着システムのための人体姿勢推定技術等の開発を進めた。また、検索技術として、映像情報に対する高精度ショット検出技術、映像メタデータ自動付与技術等の検討を進めた。配信技術に関しては、ビデオストリーミング配信を低コスト高性能で実現する分割放送スケジューリング方式やオーバーレイマルチキャスト方式について基本アルゴリズムの確立を行った。

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

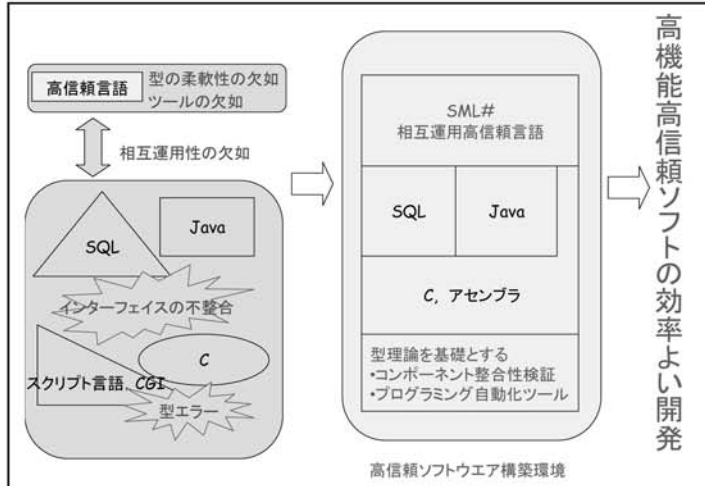


図1. 次世代高信頼プログラミング言語 SML # とそのサポート環境の概要

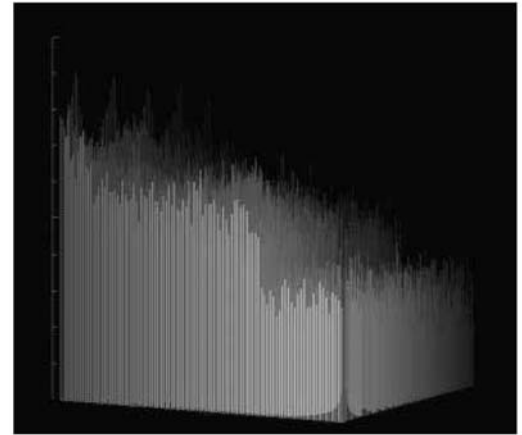


図2. SML # の最先端相互運用機能を用いて実現したサウンド解析プログラムの出力例

<分野の目標>

今実現しつつある高度情報化社会が、従来通りの信頼性と安全性を確保しながら発展していくためには、高信頼ソフトを効率よく構築する技術の確立が必須である。高信頼プログラミング言語の開発は、その中核をなす重要な課題である。そこで、当研究室では、高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の研究、さらに、基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指している。具体的には、これまでに我々の基礎研究によって得られたレコード多相性などの先端機能を装備した次世代高信頼プログラミング言語 SML#の開発を進めるとともに、より堅牢で信頼性の高いソフトウ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。

<2009 年度の主な成果>

1. SML # コンパイラの開発

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

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

これら機能は我々の基礎研究成果によって可能となった最先端のものと評価されている。たとえば、SML#の基礎の一つである表示的意味論に基づくパターンマッチングコンパイル方式は、2009年10月に日本ソフトウェア科学会第21回論文賞を受賞している。

本年度は、(1)x86 ネイティブコードおよびCと互換性を持つオブジェクトファイルを生成するコンパイラバックエンド、(2)OS が提供するリンカによる SML#オブジェクトファイルと C ライブラリとの静的リンクを実現するためのコンパイル方式、(3)関係データベースと SML#のシームレスな連携を実現するデータベース接続機能のプロトタイプ等を新たに開発した。

2. 外部関数インターフェースの理論と実装

本研究分野における SML#コンパイラの開発によって実現された ML 系高階関数型言語とC言語との相互運用機構について、その理論的性質を明らかにし、さらにコールバックや多相関数等も取り扱うより高機能な外部関数インターフェースを実現する研究を行い、C言語との連携機構を有する言語とそのコンパイルアルゴリズム、およびその実装方式を構築した。CとMLとの高機能な相互運用を達成するためには、相互運用可能な関数の宣言機構、データ表現の違いの吸収、関数呼び出し規約の違いの吸収、多相型のサポート等の技術的課題を解決する必要がある。この研究では、我々の既存研究の成果である自然なデータ型を実現する型主導コンパイル方式および遠隔関数呼び出しを実現するコンパイル方式等を応用し、これらの課題を包括的に解決したシームレスな外部関数インターフェースを実現した。この成果は、高信頼言語の適用可能性を広げ、より実用的な次世代プログラミング環境の実現を可能にするものである。

3. フラットニングに基づくモジュールコンパイルの新方式の提案

SML#が基礎とする Standard ML のモジュールシステムは、型とプログラムの階層的な定義を含む複雑なシステムである。通常の実装では、この複雑なモジュールシステムは、それ自身型付きの型言システムと解釈され実行時の評価を伴う言語処理系として実現されている。しかしこのようなアプローチでは、SML#のモジュールを静的コンパイルし、Cなどの他の言語のモジュールとリンクすることは困難である。本研究では、階層的なモジュール構造をフラットニングし、静的に核言語の式の列にコンパイルする方式を確立した。この結果は、SML#のモジュールを、Cのオブジェクトとリンク可能なオブジェクトファイルへコンパイル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 上野 雄大 (2009年より)

<教授のプロフィール>

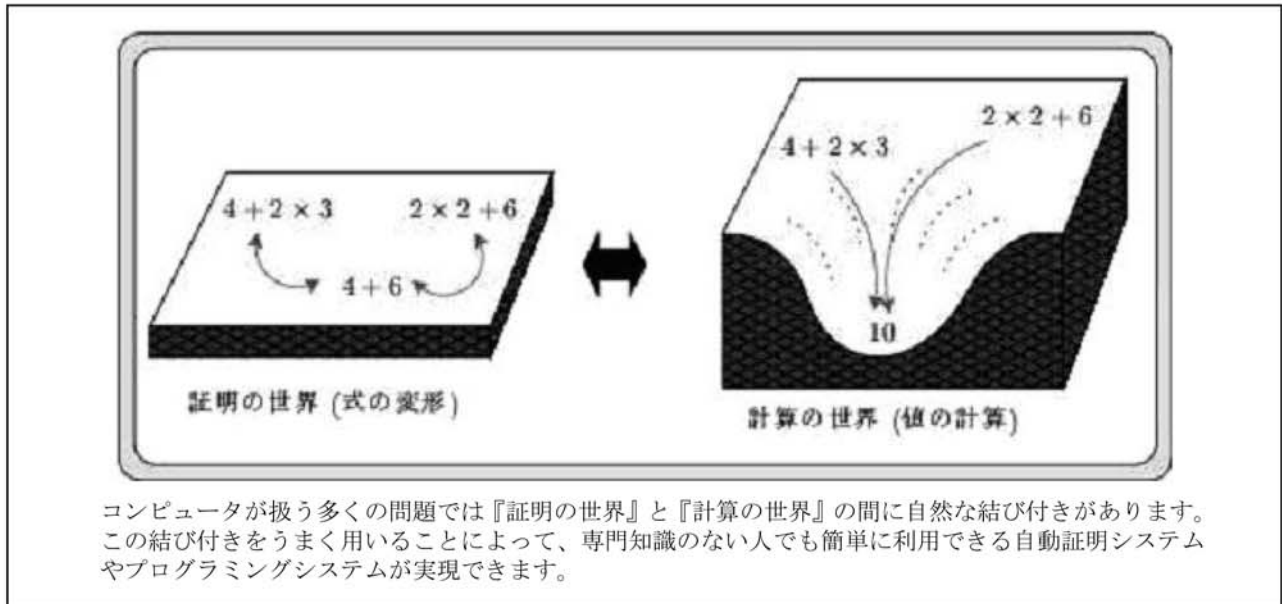
1957年生。1981年東京大学文学部哲学科卒業。同年沖電気工業(株)入社。1989年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了。Ph. D. その後、英国王立協会特別研究員(グラスゴー大学)、沖電気工業(株)関西総合研究所特別研究室長、京都大学数理解析研究所助教授、北陸先端科学技術大学院大学教授を経て、2005年4月より東北大学電気通信研究所教授。プログラミング言語およびデータベースの基礎研究に従事。1996年第10回日本IBM科学賞受賞。

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Liu Bochao, 大堀 淳, A Flattening Approach for ML Module Compilation and Implementation, 日本ソフトウェア科学会論文誌「コンピュータソフトウェア」, Vol.26, No. 3, 136--154, 2009.
- [2] 上野雄大, 大堀 淳, SML#の外部関数インターフェース, 日本ソフトウェア科学会論文誌「コンピュータソフトウェア」, 2010年4月(掲載予定).

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



<分野の目標>

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

研究テーマ

- | | |
|-------------------|----------------|
| (1) 書き換えシステムの基礎理論 | (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 |

<2009年度の主な成果>

1. 変換パターンに基づくプログラム変換

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

2. 合流性自動判定法の研究

近年多くの停止性自動検証器が提案されているが合流性についてはあまり知られていない。そこで、現在知られている複数の合流性判定方法を実装するとともに、これらの判定条件が直接適用できない複雑な項書き換えシステムに対しては、直和分解や可換分解といった分解手法を用いて合流性判定を行う合流性自動判定器の開発を進めた。さらに、減少ダイアグラム法や拡大手法をもちいた新しい合流性判定法を提案した。

3. 明示的代入計算の書き換え理論

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

<職員名>

教授：外山 芳人（2000年4月より）
 准教授：青戸 等人（2003年1月より）
 助教：菊池健太郎（2004年10月より）

<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。

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Takahito Aoto and Toshiyuki Yamada, Argument filterings and usable rules for simply typed dependency pairs, In Proceedings of the 7th International Symposium on Frontiers of Combining Systems (FroCoS 2009), Trento, Italy, LNAI 5749, pp.117-132, 2009.
- [2] Takahito Aoto, Junichi Yoshida and Yoshihito Toyama, Proving confluence of term rewriting systems automatically, In Proceedings of the 20th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2009), Brasília, Brazil, LNCS 5595, pp.93-102, 2009
- [3] 吉田順一, 青戸等人, 外山 芳人, 項書き換えシステムの合流性自動判定, コンピュータソフトウェア, Vol.26, No.2, pp.76-92, 2009.
- [4] 寫津聡志, 青戸等人, 外山 芳人, 反証機能付き書き換え帰納法のための補題自動生成法, コンピュータソフトウェア, Vol.26, No.2, pp.41-55, 2009.
- [5] Takahito Aoto, Sound lemma generation for proving inductive validity of equations, In Proceedings of the 28th International Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS 2008), Bangalore, India, Dagstuhl Seminar Proceedings, Vol.08004, pp.13-24, 2008.

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

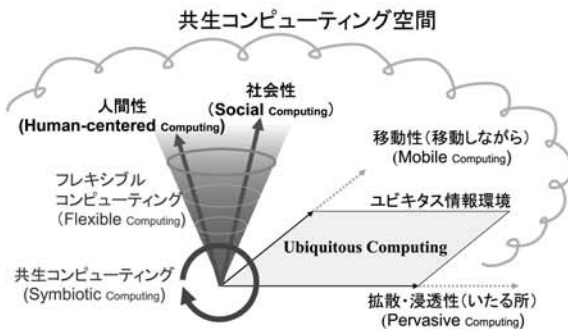


図1 共生コンピューティングの概念

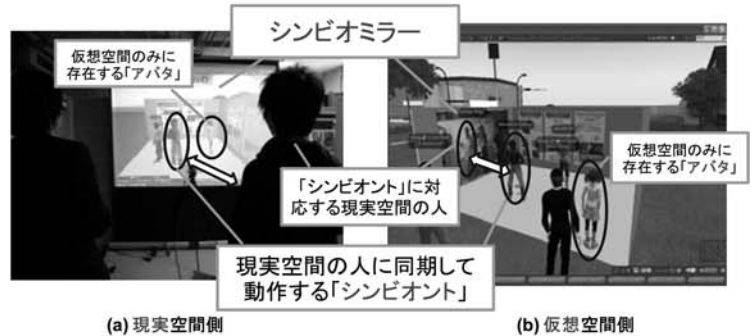


図2 現実/仮想統合型共生空間システム (SymbioZone)

<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いて人間と共生する情報通信システムの構成論を確立することである。

<研究テーマ>

- (1) 共生コンピューティング：理論と応用
- (2) 共生社会と健康管理・見守り支援，現実空間/仮想空間の統合・融合
- (3) 超高速広域ネットワークの計測・解析とモバイルネットワーク管理

<2009年度の主な成果>

1. 共生コンピューティングの研究

現実空間(RS: Real Space)における人々が、デジタル空間(DS: Digital Space)に存在するサービスを受けようとしたときに障害となる阻害要因を u-Gap と呼ぶ。共生コンピューティングとは、共生社会へ向けて、u-Gapの解消、すなわち「u-Bridge」を構築するためのコンピューティングである。今年度は、共生コンピューティングのモデルとアーキテクチャの詳細化、精緻化について検討した。具体的には、パーセプチュアルウェア、ソーシャルウェア、ネットワークウェアからなる共生コンピューティングアーキテクチャの詳細設計と基本実装を行った。また、共生コンピューティングの

応用として、高齢者見守り支援システム(uEyes)、健康支援システム、現実/仮想統合型共生空間システム(SybmioZone)などのプロトタイプの開発を進めた。これらの研究成果は、国際ジャーナルに招待論文1件を含め6件掲載され、また情報科学技術フォーラム(FIT2009)や通研公開などにおいてデモ展示や体験型実験を行うなど、学术界、産業界から高く評価されている。

2. ネットワーク管理の研究

ユビキタスネットワークの実用化に向けて、IPv6 ネットワークモビリティを管理するための Management Information Base (MIB) を世界に先駆けて構成した。また、本成果をもとに IETF の MEXT WG にてインターネット標準化活動を推進し、2009年4月14日、「Network Mobility Management Information Base (NEMO-MIB)」の国際標準化に成功した(RFC 5488)。さらに本件に関する記事が、**新聞に掲載**されるなど、本研究開発の成果が社会的にも注目された。

<職員名>

教授：白鳥 則郎（1993年より） 准教授：菅沼 拓夫（2003年より）

客員准教授：Debasish Chakraborty 産学官連携研究員：高橋秀幸 秘書：守屋佳織

<教授のプロフィール>

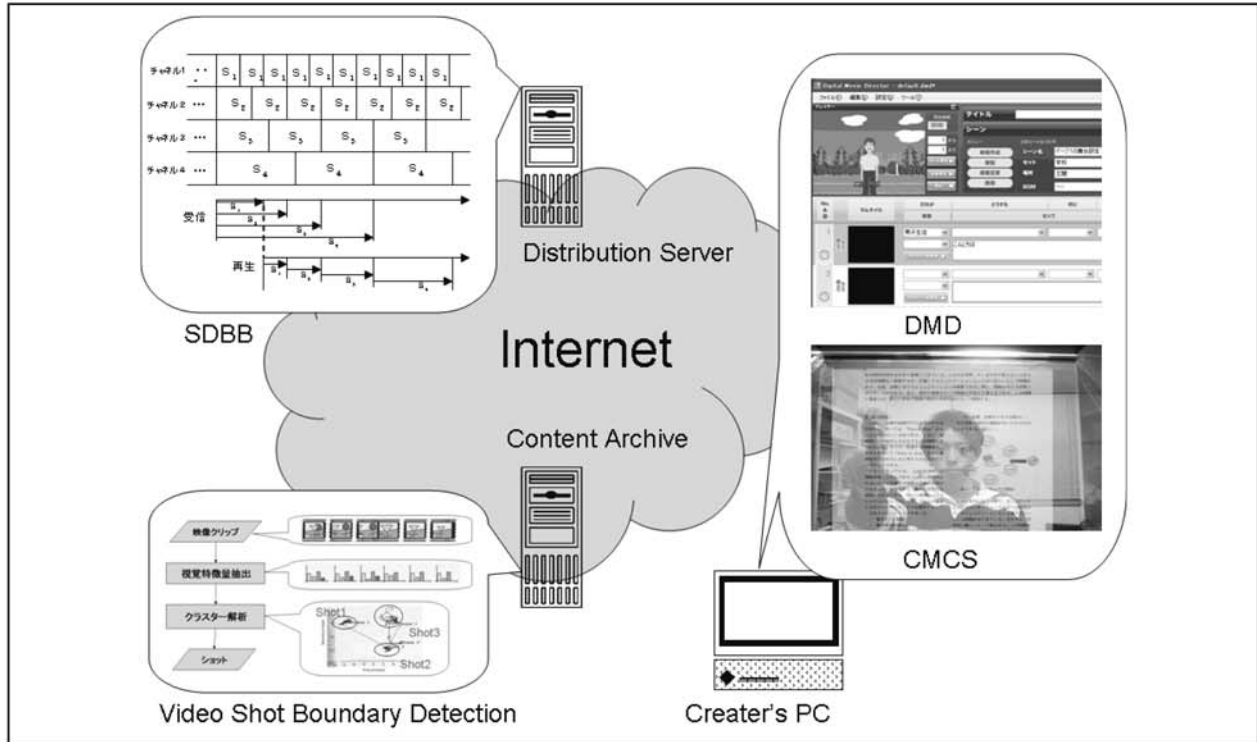
1946年宮城県生まれ。1977年東北大学大学院博士課程修了。1984年東北大学助教授（電気通信研究所）。1990年東北大学教授（工学部情報工学科）。1993年東北大学教授（電気通信研究所）。1998年 IEEE Fellow, 2000年情報処理学会フェロー, 2002年電子情報通信学会フェロー。1985年情報処理学会25周年記念論文賞, 平成8年度情報処理学会論文賞, 平成19年度情報処理学会功績賞, 2001年度電子情報通信学会業績賞, 同学会論文賞, 1997年 IEEE ICOIN-11 Best Paper Award, 1998年 IEEE ICOIN-12 Best Paper Award, 2000年 IEEE ICPADS Best Paper Award, 2001年 IEEE 5-th WMSCI Best Paper Award, 2007年 UIC-07 Outstanding Paper Award, 1991年第6回電気通信普及財団賞, 2002年東北総合通信局長表彰, 平成21年度文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）など。2002年情報処理学会・副会長, 2002年 IFIP 日本代表, 2007年日本学術会議・連携会員, 2009年情報処理学会・会長。現在, 人と IT 環境が共生するための方法論と技術, およびコミュニケーションなどに関する研究に従事。

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Satoru Izumi, Kazuhiro Yamanaka, Yoshikazu Tokairin, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, "Ubiquitous supervisory system based on social contexts using ontology," Mobile Information Systems (MIS), Vol.5, No.2, pp.141-163, 2009.
- [2] Shintaro Imai, Atsushi Takeda, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, "Effective Ubiquitous Service Provisioning based on Knowledge Circulation Framework," International Journal of Business Intelligence and Data Mining (IJBIDM), Vol.4, No.1, pp.78-98, 2009.
- [3] Satoshi Utsumi, S. M. S. Zabir, and Norio Shiratori, "TCP-Cherry for satellite IP networks: Analytical model and performance evaluation," Computer Communications, Vol.32, No.12, pp.1377-1383, 2009.
- [4] Hideyuki Takahashi, Yoshihisa Sato, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori, "A Dynamic Control Scheme of Context Information based on Multi-agent," International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.1, No.2, pp.45-54, 2009.
- [5] Takuo Suganuma, Hideyuki Takahashi, and Norio Shiratori, "Agent-Based Middleware for Advanced Communication Services in a Ubiquitous Computing Environment," International Journal of Software Science and Computational Intelligence, Vol.2 No.1 pp. 1-23, 2010.
- [6] Goutam Chakraborty, Kshirasagar Naik, Debasish Chakraborty, Norio Shiratori, and David Wei, "Analysis of the Bluetooth device discovery protocol," Wireless Networks, Vol.16, pp.421-436, 2010.

情報コンテンツ研究分野

次世代デジタルコンテンツの創生・理解・流通・消費



<分野の目標>

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

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

<2009年度の主な成果>

1. シナリオ入力アニメ映像自動生成システム DMD におけるキャラクター立ち位置自動化技術の開発
2. IPTV時代に適した高能率かつ実ネットワークに適した分割放送スケジューリング方式の開発
3. 直感的ユーザインターフェースを備えたCGキャラクター動作自動生成手法の開発

4. 検出もれゼロを実現する高精度映像ショット検出技術の開発

<職員名>

教授 沼澤 潤二 (2004年より)

准教授 青木 輝勝 (2007年より)

秘書 武藤 伸子

<教授のプロフィール>

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

<2009年度の主な発表論文等>

- [1]青木輝勝、安里諒、沼澤潤二、“分割放送スケジューリング方式における遅延揺らぎ特性の解析とその改善に関する一検討”、電子情報通信学会論文誌、Vol.J-93-B, No.1, Jan, 2010. [2]Terumasa AOKI and Uwe Kowalik, “BROAFERENCE – A Prototype of an Emotion-based TV Quality Rating System”, Emotional Engineering : Service Development (Chapter 12), Springer, May, 2010 (To be published).
- [3]青木輝勝、“Web2.0/3.0 時代に向けたユーザ発信コンテンツ創生/配信技術の現状と今後”、FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム、特別セッション：サイバーワールドとリアルワールドとの接点、2009.9. (招待講演)
- [4]関野真洋、青木輝勝、沼澤潤二、“映像メタデータ自動付与実現のための映像・静止画像マッチング手法の一検討”、情報処理学会研究報告、オーディオビジュアル複合情報処理 (AVM), Vol.2009-AVM-67, No.8, 2009.
- [5]梅田直樹、青木輝勝、沼澤潤二、“フレームベースクラスタリングを利用した高精度映像ショット境界検出の一検討”情報処理学会研究報告、オーディオビジュアル複合情報処理 (AVM), Vol.2009-AVM-67, No.8, 2009.
- [6]壹岐勇太郎、青木輝勝、沼澤潤二、“オーバーレイ型映像配信における低遅延チャンネルザッピング実現に関する一検討”、電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (IN)、2010.1.
- [7]安里諒、青木輝勝、沼澤潤二、“受信エラー耐性を有する分割放送型配信手法に関する一検討”、電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会 (IN)、2010.3.
- [8]関野真洋、青木輝勝、沼澤潤二、“映像メタデータ自動付与実現のための Web 情報を用いた画像マッチング手法の一検討”、FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム、I-010, 2009.9.
- [9]安里諒、青木輝勝、沼澤潤二、“分割放送型配信においてチャンネル間ジッタの与える影響に関する一検討”、FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム、I-035、2009.9.
- [10]壹岐勇太郎、青木輝勝、沼澤潤二、“オーバーレイ型映像配信プロトコルにおけるザッピング視聴の快適化の一検討”、FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム、2009.9.
- [11]梅田直樹、青木輝勝、沼澤潤二、“階層的クラスタリングを利用した映像ショット検出の一検討” FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム、2009.9.
- [12]森由有、青木輝勝、沼澤潤二、“布シミュレーション演算量削減のための質点バネモデル補間法に関する一検討”、FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム、2009.9.
- [13]今野瞳、青木輝勝、沼澤潤二、“矢印表現による効率的キーフレーム補間手法の一検討”、FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム、2009.9.
- [14]安里 諒、青木輝勝、沼澤潤二、“受信エラー耐性を有する分割スケジューリング放送方式に関する一検討”、情報処理学会創立50周年記念全国大会(第72回全国大会)、4ZD-1、2010.3.
- [15]壹岐勇太郎、青木輝勝、沼澤潤二、“低遅延チャンネルザッピング実現のためのオーバーレイ型映像配信に関する一検討”、情報処理学会創立50周年記念全国大会(第72回全国大会)、2010.3.
- [16]今野瞳、青木輝勝、沼澤潤二、“3DCG アニメーションのためのスケルトン半自動生成の一検討”、電子情報通信学会2010年総合大会、2010.3.
- [17]松崎康平、青木輝勝、沼澤潤二、“顔情報に着目した光源推定の一検討”、電子情報通信学会2010年総合大会、2010.3.
- [18]松本大輔、青木輝勝、沼澤潤二、“画像特徴量を用いた有害コンテンツ検出法の一検討”、電子情報通信学会2010年総合大会、2010.3.

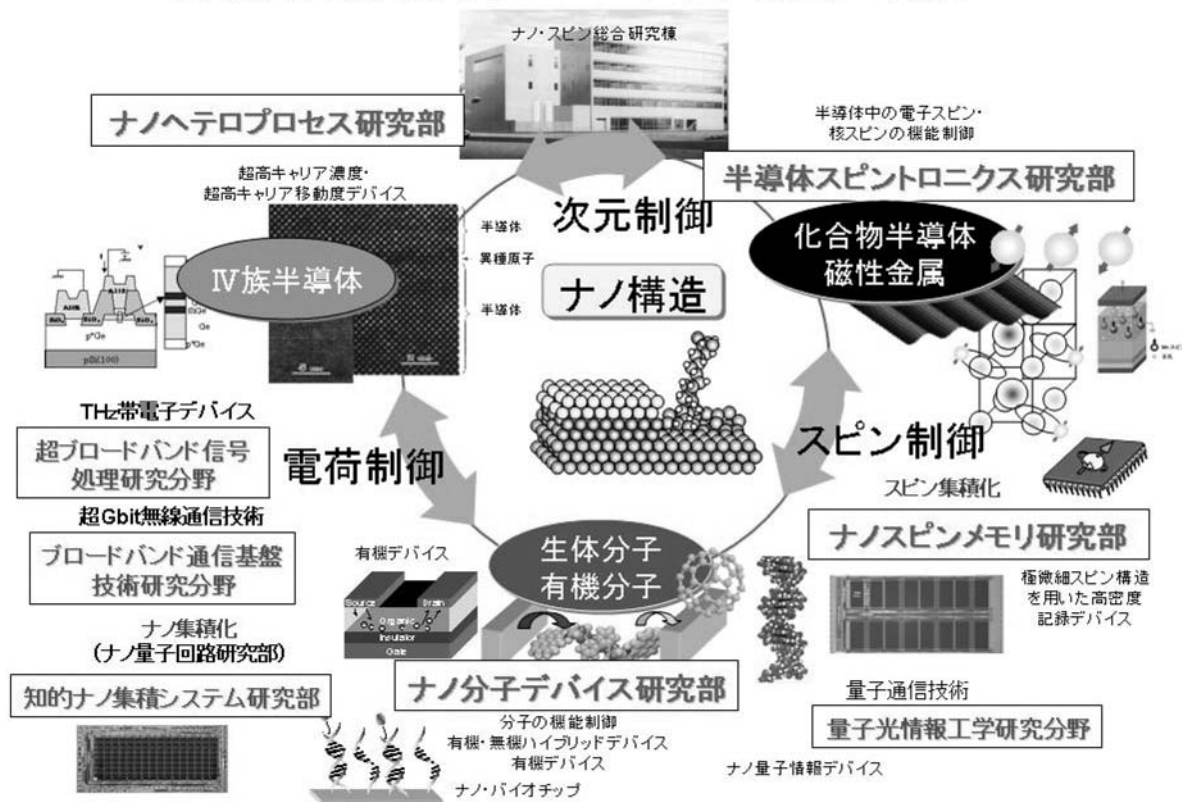
3. 5 ナノ・スピン実験施設の目標と成果

「ナノ・スピン実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を創生することにある。これを実現するため、「ITプログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピン総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。

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

今後施設にはナノ量子回路研究部が整備される予定である。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界の COE となることを目標としている。

～情報通信を支えるナノ・スピン基盤技術の創成～



以下に、施設研究部と利用研究室の平成 21 年度の研究成果のハイライトを記す。

室田・櫻庭研究室（ナノヘテロプロセス研究部）

IV 族半導体ヘテロ構造の歪制御と高キャリア濃度化のための基盤技術構築を目標として研究を進め、以下の成果を得た。(1) 歪 $\text{Si}_{0.3}\text{Ge}_{0.7}$ 上に形成した P 原子層表面への Si キャップ層エピタキシャル成長において、反応性の高い Si_2H_6 を用いた低温・高速 Si 堆積により、P 原子層ドーピングを超高濃度化することに成功した。(2) 歪 $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ /Si ヘテロ界面への C 原子層ドーピングにより、熱処理時の Si と Ge の相互拡散や歪緩和を効果的に抑制できることを見いだした。(3) 基板非加熱 ECR プラズマ CVD プロセスによる高濃度 B 原子層ドーパ Si エピタキシャル薄膜形成において、Si キャップ層形成におけるプラズマの低エネルギー化の推進は、Si 結晶へのプラズマ損傷や B 還元脱離の問題を抑制し、Si 単結晶ナノ薄膜への B 原子層ドーピングの超高濃度化のために極めて重要であることを明らかにした。

大野・大野・松倉研究室（半導体スピントロニクス研究部）

電子の電荷とスピンを使う半導体スピントロニクス基盤技術の確立とその展開を目指して研究を進め、以下の成果を得た。(1) 直接の磁化測定による強磁性半導体(Ga,Mn)As 薄膜における電界効果の観測に世界で初めて成功し、電界によるキュリー温度と自発磁化の変調を観測した。(2) スピンホール効果による半導体中のスピン流生成のドーピング濃度依存性について顕微カー回転測定法により系統的な研究を行いスピンホール伝導度を定量的に求めた。(3) GaAs テラヘルツ量子カスケードレーザにおいて、閾値電流密度 0.8 kA/cm^2 、最高動作温度 146 K の発振に成功した。

庭野研究室（ナノ分子デバイス研究部）

①イオン液体を用いた P3HT 有機トランジスタを作製し、低電圧で高出力電流が得られることを示した。また、動作中における P3HT 膜の赤外その場観察を行い、電気化学ドーピングによってトランジスタ動作していることを解明した。②フッ化アンモニウム溶液中で基板の上に堆積された金属チタン膜を陽極酸化することにより、酸化チタンナノチューブ膜を基板の上に直接形成することに成功した。③半導体微細加工技術を用いて作製した微細孔を用いることにより、機械的かつ電氣的耐久性に優れた人工細胞膜を作製することに成功した。また、シリコン基板に絶縁層をコーティングすることによりノイズを抑制できることを示した。④ポーラスアルミナのナノ孔中にチャンネルタンパク質を包埋した人工脂質 2 分子膜の作製に成功し、これまでのテフロン膜を支持膜とした場合と比べて、機械的かつ電氣的耐久性に優れていることを確認した。

中島・佐藤研究室（知的ナノ集積システム研究部）

(1) 高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルの離散モデルを提案し、正解状態の安定性を解析することで、その利用可能性を示すことができた。更に、我々が提案した新概念の非線形ダイナミクス解析手法を結合系へと拡張を行い、バースト発火ダイナミクスを結合させた BVP モデルで設計・実現することができた。(2) 高温超伝導体 Bi2212 固

有ジョセフソン接合において、共鳴励起特性における Q 値低下の要因について解析し、Q 値改善のため、バイアスラインの高周波ノイズ低減用フィルタ回路とマイクロ波導入用マイクロストリップ線路の設計を行った。(3) 磁束量子高速フーリエ変換用の 4 ビット並列乗算器の高速動作を目的として、桁上げ先見加算器を Nb 集積回路により集積化し、同回路の 30GHz までの高速動作の実証に成功した。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用した、組み合わせ最適化問題を解くネットワークを提案し、数値解析による動作を確認した。

枝松・小坂研究室（量子光情報工学研究分野）

1. 光子から電子スピンへの量子メディア変換

量子情報通信技術の発展には、量子メディア（量子ビット）間のインターフェース技術が重要となる。我々は、量子情報通信に欠かせない光子と量子情報処理に欠かせない半導体中の電子スピンの間で、量子状態が転写し得ることを実験的に示した。本研究成果は、超伝導量子・核スピン・イオンなどの量子メディアを相互に光接続する量子メディア変換の可能性を提示したものである。

2. 単一量子ドットにおける超高感度カー回転分光法の開発

半導体量子構造におけるスピン状態の高感度な測定手法の開発は、スピントロニクスや量子情報通信分野で重要である。本研究分野では、ヘテロダイン検波を用いた超高感度カー回転分光法を開発し、単一の半導体量子ドット中の励起子による光誘起カー効果の測定に成功した。

池田准教授研究室（ナノスピンメモリ研究部）

トンネル磁気抵抗（TMR）素子の高出力化、スピン注入磁化反転書込み技術、スピンメモリ・ロジックの開発を進め、以下の成果を得た。(1) 垂直磁化 CoFe/Pd 多層膜電極と MgO 障壁からなる TMR 素子において CoFeB や Fe を挿入することにより室温 78% の TMR 比を実現した。(2) MgO 成膜後に基板を均一に加熱する手法を適用した面内磁化 CoFeB/MgO/CoFeB 保磁力差型 TMR 素子において $RA=1\Omega\mu\text{m}^2$ で 122% の TMR 比を観測した。(3) スピン注入磁化反転書込み TMR 素子を用いた 32Mb SPRAM チップ、Ternary Content-Addressable Memory (TCAM)、Lookup-Table 等の基本回路の世界初の動作実証がなされた。

尾辻・末光研究室（超ブロードバンド信号処理研究分野）

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、第一に、グラフェンをチャネル材料とするポスト Si-CMOS テクノロジーの開拓として、シリコン基板にエピタキシャル成長したグラフェン（末光眞希教授提供）を用いてバックゲート型 FET を試作し、Si-MOSFET の性能を 20 倍上回る優れた電子ドリフト移動度の実現に成功した。また、グラフェン FET の高精度デバイスモデリングの研究も推進した。第二に、半導体 2 次元プラズモン共鳴を利用した独自構造によるテラヘルツ帯エミッターの自励発振原理を解明するとともに、テラヘルツ帯における μW オーダの放射強度と 10V/W オーダの優れた検出感度特性を実現し

た。さらにこれらのデバイスを分光計測用光源、ならびにイメージング用検出器として応用し、集積型テラヘルツデバイス実用化へ向けて大きく前進した。

坪内研究室（先端ワイヤレス通信技術研究分野）

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

石山研究室（生体電磁情報研究分野）

生体情報を取得するために必要な超高感度歪みセンサの開発を引き続き遂行した。平成 21 年度はさらなる高感度化のため、磁歪薄膜の最適な内部残量応力制御のためのセンサ素子の作製条件について検討を行った。また、歪み印加時の磁区観察、磁化特性およびインピーダンス特性について詳細な検討を行った。その結果、センサ感度 18,000 という世界最高感度の歪みセンサ素子を実現した。

高橋・角田・斎藤研究室（電子工学専攻電子物理工学分野）

磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) 素子の低消費電力化ならびにハードディスク装置 (HDD) の高記録密度化には、トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子における電流誘起磁化反転 (CIMS) の高効率化、および、磁化固定層の安定化がそれぞれ必要とされる。CIMS の高効率化に関しては正と負の CIMS を組み合わせた高効率素子実現への基礎検討として Fe₄N を強磁性層に用いた TMR 素子の作製を行い、負の CIMS を確認した。また、Fe₄N が負の異方性磁気抵抗効果を示し、磁気抵抗変化率が 50 K 以下で -1.5 % から -4 % 以下まで大きく変化することを明らかにした。磁化固定層の安定化に関しては固定層に用いられる強磁性層材料の検討を行い、体心立方格子強磁性層を用いた場合に交換磁気異方性が增大することを見いだした。

山口・遠藤研究室（電気・通信工学専攻電磁理論分野）

サブミクロン軟磁性アモルファス微粒子と、Ni-Fe 薄膜の高周波数帯 (GHz 帯) デバイスへの応用を検討し、以下の知見を得た。アモルファス微粒子に関しては、その利点は高飽和磁化でありサブミクロンサイズである。独自の微粒子合成法に加えて、磁場による微粒子の析出を検討した。磁場中で合成すると、微粒子がほぼ直線状に連結した形状となり、高い透磁率特性の障害となる反磁場を低下させることができる。その微粒子において、微細構造、軟磁性を明らかにし、0.050–10 GHz の周波数帯域における透磁率の顕著な増大を観測した。一方、Ni-Fe 薄膜に関して、コプレーナ線路を利用した強磁性共鳴測定により Ni 組成の異なる Ni-Fe 膜のダンピング定数を検討した。その結果、Ni 組成の範囲が 0.67–0.76 ではダンピング定数は増加し、Ni 組成を 0.76 から 0.86 へと変化させるとダイピング定数は一度減少した後再び増加した。また、これらの値がバルクに比べて高くなることを示した。

佐橋・土井研究室（電子工学専攻超微細電子工学講座）

極薄（～1nm）の酸化物層中に、1～2nmφの強磁性ナノ接点サイズの導電チャネル(金属伝導)を複数個形成した NOL(Nano-Oxide Layer)を用いたスピンバルブ薄膜素子を作製し、その接点領域(ナノ狭窄部)に閉じ込められるナノ狭窄磁壁による磁気抵抗効果を用いた新規なスピントランスポーターマイクロ波発振（STO）磁性体の研究を行っている。本年度はマイクロ波発振磁性体用コプレナー線路のマスクパターンの設計と試作を行い、ネットワークアナライザを用いて S11 パラメータの測定を行った。その結果、ほぼ 50Ω のインピーダンスマッチングを示すコプレナー線路の設計指針を確立した。素子抵抗の異なる STO 素子の計測に適した電極パターンのマスク作製とその計測周波数範囲の高周波数化等を合わせて今後継続して STO の研究を行う。

伊藤(隆)・小谷研究室（電子工学専攻固体電子工学分野）

擬似単結晶 Si 薄膜を用いた低温 Poly-Si 薄膜トランジスタの高性能化の研究を行っている。擬似単結晶 Si 薄膜を形成するレーザアニール装置において、新規光学系を導入し、これより結晶グレインの伸長化を図り、100 μm を超える結晶グレイン形成可能となった。またこのレーザアニール技術を強誘電体結晶化にも適用することで、プロセスの低温化を図るとともに、電気特性改善を行うことができた。新規デバイス構造としてナノグレーティング MOSFET を提案しているが、これを Si 薄膜トランジスタに適用し、この構造により Si 薄膜トランジスタの性能が向上することを示した。RF 集積回路のプロトタイプング技術として、Above CMOS インダクタを提案しており、これによるパラメータ調整方法などを示した。

畠山・金子研究室（プラズマ基礎工学分野）

非磁性金属触媒からプラズマ CVD により単層カーボンナノチューブを成長することに初めて成功した。磁性金属と非磁性金属からの SWNTs 成長条件をプラズマ CVD と熱 CVD で詳細に比較した結果、プラズマ CVD により非磁性金属触媒から SWNTs を成長させるには、成長場の水素混入量を極力低減する必要があることが明らかとなった。さらにこの結果を磁性金属と非磁性金属触媒表面における炭化水素の吸着エネルギーの違いにより説明した。一方、ナノ粒子合成に関して、プラズマが液相表面に接する特殊な反応場を作り出すことに成功し、この気液界面を利用したナノ粒子合成に成功した。さらに、プラズマパラメータとナノ粒子サイズにある程度の相関があることが判明した。

山田・大寺研究室（光波物理学工学分野）

Si をコア SiO₂ をクラッドとした Si 細線光導波路を用いて光集積回路実現に向けた研究を行っている。本年度の研究では、レーザーダイオードや光ファイバーとの接続を目的とした Si 光導波路への光入出力方式の研究を行い計算、実験の両面において良好な結果を得た。他の Si 系導波路デバイスでは、1次元フォトリソニック結晶において特異な光の局在モードが存在することを発見した。

安藤研究室（応用物理学専攻スピントロニクス分野）

スピントロニクス分野において、ハーフメタル材料として非常に大きな期待が持たれている Co_2MnSi ホイスラー合金薄膜を電極とし、高品位な MgO 薄膜を絶縁層とした強磁性トンネル接合の開発を行った。今年度は、 Co_2MnSi 電極と MgO 絶縁層の界面に種々の極薄膜を挿入し、界面状態の改善を試みた。その結果、界面に 2 原子層程度の非常に薄い CoFe を挿入した強磁性トンネル接合において、室温で 350%、低温 2K で 1275% の巨大なトンネル磁気抵抗(TMR)比を観測することに成功した。また、極薄 CoFe 層の挿入により、TMR 比の温度依存性を改善することができた。

川崎研究室（金属材料研究所超構造薄膜化学研究部門）

我々の研究グループでは、酸化物界面における 2 次元電子ガス(2DEG)濃度の電界制御を目的とする研究を進めている。MBE 法により作製した MgZnO/ZnO ヘテロ接合の条件最適化により非常に高い電子移動度 $180,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を実現した。また、このヘテロ接合に原子層堆積法(ALD 法)により絶縁層を作製し、電界効果トランジスタ構造とすることでゲート電界による 2DEG のキャリア濃度制御を行った。その結果、酸化物で始めて分数量子ホール効果の観測に成功した。以上の成果は、今後の酸化物薄膜トランジスタにおける物性研究を一層加速させるものと期待される。

また、室温以上のキュリー温度を持つ強磁性半導体 Co ドープ TiO_2 薄膜をチャンネルとした電気二重層トランジスタを作製し、 TiO_2 薄膜のキャリア濃度制御を行った。その結果、室温強磁性半導体では始めて常磁性状態から強磁性状態へのゲート電場によるスイッチングに成功した。この成果を生かし、今後はスピントロニクスデバイスとしての応用へ研究を展開する予定である。

新田研究室（知能デバイス材料学専攻量子材料物性学分野）

半導体ヘテロ接合におけるスピン軌道相互作用(SOI)に関して以下の成果を得た。(1)ゲート電極付きの $\text{InGaAs}/\text{InAlAs}$ 半導体量子細線の磁気輸送測定により、スピン緩和長がホール素子の場合と比較し 10-65 倍も増大することを実験的に明らかにした。理論解析により 1 次元閉じ込め効果と Rashba スピン軌道相互作用が Dresselhaus スピン軌道相互作用に近づくことで生じる Persistent Spin Helix 状態の前駆現象であることを突き止めた。(2)メゾスコピックリング構造におけるスピン干渉効果のリングサイズ依存性を評価した。電子スピンの伝播する距離に応じ、Aharonov-Casher 効果に生じる抵抗振動周期が系統的に変化することから、スピン位相の電界制御がリングサイズにも依存することを明らかにした。

北上研究室（多元物質科学研究所ナノスケール磁気デバイス研究分野）

本分野では、磁性体を用いた超高密度不揮発記録デバイスの実現を目的とし、磁性材料開発および磁性体ナノ構造の磁氣的挙動に関する研究を行っている。磁化反転速度は磁気デバイスの動作速度に直結し応用上も重要となることから、ナノ秒領域のパルス磁場下における高保磁力磁性体の磁化反転過程について研究を進めた。ナノ磁性体の磁化挙動を高感度に検出できる異常 Hall 効果と組み合わせ、単一の Co/Pt ドットの磁化過程について調べた結果、サブナノ秒領域での反転核生成と、ナノ秒程度の時間でのその成長という二段

階の過程で進行していることが明らかとなった。

田中研究室（医工学研究科・医用ナノシステム工学研究分野）

コンフィギュレーションデータをスピン注入磁気メモリ(SPRAM)に記憶させて、ダイナミックに機能書き換えを行う3次元積層型リコンフィギュラブルスピンプロセッサを提案し、実現に向けた研究を進めている。平成21年度は、SPRAMのSPICEモデリングを行い、SPICEシミュレータでSPRAMを含む回路を直接解析可能とした。これによりシミュレーションの高速化および効率化に成功した。また、SPRAMロジックブロックを含む基本リコンフィギュラブル回路の高速化設計を行い、SPRAM書込回路を改良した。その結果、ワーキングメモリ(SRAM)からのリードバック時間を2.4%高速化することに成功した。

羽生研究室（新概念VLSIシステム研究部）

磁気トンネル接合素子(MTJ: Magnetic Tunnel Junction)素子特性を活用することで、FPGA(Field-Programmable Gate Array)におけるLUT(Lookup Table)演算機能と不揮発性記憶機能を一体化させた回路の試作を行った。0.14 μ m CMOS/MTJプロセスで設計された本試作チップでは従来CMOS方式と比較して2/3の素子数削減と、静的消費電力の削減を達成している。本集積回路は、日立製作所においてMOSトランジスタ部分の作製を行い、MTJデバイス部分を東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設で作製した。なお、本研究は大野研究室、池田准教授研究室との共同研究の成果である。

藤本研究室（IT21センター 研究開発部ストレージ分野）

本分野では、平成19年度から「超高速大容量ストレージシステム」の研究開発を行っている（文部科学省受託研究「高機能・超低消費電力コンピューティングのためのデバイス・システム基盤技術の研究開発」のサブテーマ）。

その内、テラビット級次世代ナノパターン媒体ならびに超高感度リーダ技術の研究として、平成21年度は、昨年度に引き続き、ナノスピン研究棟の高分解能電子線描画装置を用いて、微細なドットアレイやスピン蓄積素子を作製するためのレジストマスクを作製し、これらの作製とその基礎特性の解析を継続して行った。特に、ドット径が10~15 nmのテラビット級垂直磁化ドットの磁化反転機構の実験的評価を開始した。また、スタティックテストを用いたナノパターン媒体（ドット径60 nm）の記録再生特性の予備実験の結果、パターン媒体にヘッドで記録を正確に行うための記録マージンは、ビット長に対して約70%となることが明らかとなった。

末光研究室（固体電子工学研究分野）

本年度は、次世代デバイス材料：グラフェンのエピタキシャル膜を用いた電界効果トランジスタ(FET)の作製技術の構築、及び電子デバイス特性の評価を目的とした研究を行った。その結果、通常のシリコン技術を用いてグラフェンFETの作製・評価に成功した。さらに、グラフェンのデバイス応用において大きな壁となっている絶縁膜として有機薄膜の可能性を探索した。その結果、有機薄膜を絶縁膜としたグラフェンFETが超高速FETとして有望であることを明らかにした。

遠藤研究室（学際科学国際高等研究センターナノ知能システム研究分野）

スピンメモリ素子である Magnetic Tunneling Junction (MTJ)素子とシリコン CMOS回路を融合した新しいスピンドバイス技術の確立を目指し、そのデバイス研究、およびその集積化プロセス研究から試作・測定までを一貫して行った。

本年度我々は、MTJ を $0.14\mu\text{m}$ のデザインルールの 0.3nm の表面粗さを持つシリコン集積回路平面上に $60\times 180\text{nm}^2$ プロセスで試作した回路の評価を行い、室温でトンネル磁気抵抗比 138%、反平行時の抵抗 $3.63\text{k}\Omega$ の MTJ の特性を確認した。さらに、書込みトランジスタにより MTJ を DC、AC 駆動させることに、世界で初めて成功した。この結果は、我々の MTJ が MTJ ベースのロジック回路を実現するために十分な書込み、読み込み特性を持つことを示す成果である。なお、本研究は大野研究室、池田准教授研究室との共同研究の成果である。

寒川研究室（流体科学研究所・知的ナノプロセス研究分野）

ダメージフリー中性粒子ビームエッチング技術とサブ 10nm バイオテンプレート技術の融合による量子ドット太陽電池・量子ドットレーザーの実現を目標として研究を進め、以下の成果を得た。(1) 高密度 2 次元ナノディスクアレイのナノディスクの膜厚を変化させることでバンドギャップエネルギーの制御に成功した。この成果は Si タンデム型太陽電池の実現に大きな可能性を示すものである。また、 100K で約 630nm の PL 発光を確認した。

(2) 中性粒子ビームを用いた GaAs/ AlGaAs 量子井戸構造の垂直加工に成功した。GaAs 側壁に格子欠陥がなく、低ラフネスな表面での加工に成功した。加工された GaAs/ AlGaAs 量子井戸はエッチングされていないものと同等の発光強度を示したことから、超低ダメージ GaAs/ AlGaAs エッチングが実現したことが分かった。

八坂・四方研究室（応用量子光学研究分野）

光通信システムに用いられる赤外域からテラヘルツ (THz) 領域の広い波長範囲をカバーする光源と次世代高機能光デバイス、及びその応用分野の開拓を行っている。生体分子の高感度検出や回折限界を超える高解像度の THz イメージングを実現するため、表面プラズモン共鳴を用いた THz 帯バイオセンサーの研究を進め、有機材料 (SU-8) を用いた新たなプロセス技術により、複数の局所電場増強用 THz 帯プラズモン共振器をシリコン基板上に高品質かつ高精度に作製することに成功した。

ナノヘテロプロセス研究部

半導体立体ナノ構造の実現と応用のための基盤技術の研究

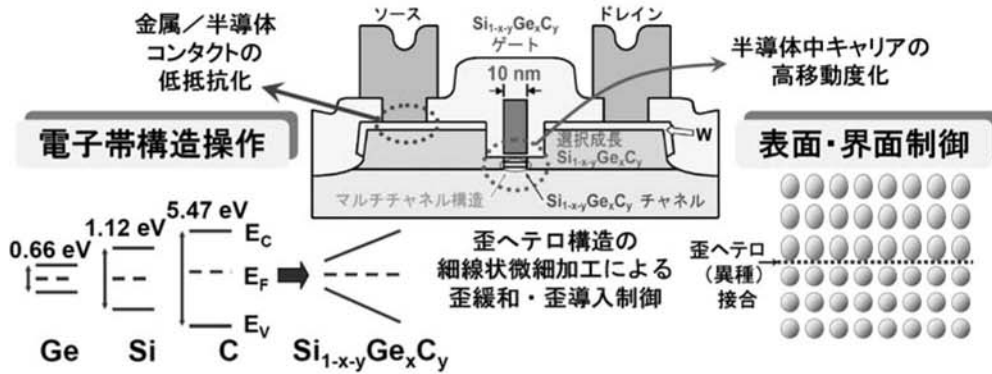


図1. ナノヘテロ人工IV族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用.

<分野の目標>

薄膜形成やエッチングを原子オーダ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分子レベル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)

<2009年度の主な成果>

表面・界面が原子精度で制御されたナノヘテロ人工IV族半導体とそれを適用したナノヘテロデバイスを製作するためには、積層構造とその界面構造の安定性や拡散・凝集といった観点からのナノヘテロ構造制御技術が重要となる。本年度は、IV族半導体ヘテロ構造の歪制御と高キャリア濃度化のための基盤技術構築を目標として研究を進め、以下の研究成果を得た。

- (1) 熱CVDプロセスによる歪Si_{0.3}Ge_{0.7}上に形成したP原子層表面へのSiキャップ層エピタキシャル成長において、従来のSiH₄に代えて反応性の高いSi₂H₆を用いた低温・高速Si堆積により、P原子層ドーピングを超高濃度化することに成功した。
- (2) 熱CVDプロセスによる歪Si_{0.55}Ge_{0.45}/Siヘテロ界面へのC原子層ドーピングにより、熱処理時のSiとGeの相互拡散や歪緩和を効果的に抑制できることを見いだした。
- (3) 基板非加熱ECRプラズマCVDプロセスによる高濃度B原子層ドーパシエピタキシャル薄膜形成において、Siキャップ層形成におけるプラズマの低エネルギー化の推進は、Si結晶へのプラズマ損傷やB還元脱離の問題を抑制し、Si単結晶ナノ薄膜へのB原子層ドーピングの超高濃度化のために極めて重要であることを明らかにした。

<職員>

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

<室田淳一教授のプロフィール>

1948年生まれ。1970年北大・工・電子卒。1972年同大学院修士課程修了。同年日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所。1983年同公社厚木電気通信研究所を経て、1985年東北大学電気通信研究所助教授、1995年同教授、現在に至る。SiベースIV族半導体原子制御プロセスの研究に従事。第3回(平成15年度)山崎貞一賞受賞。平成22年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞(研究部門)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

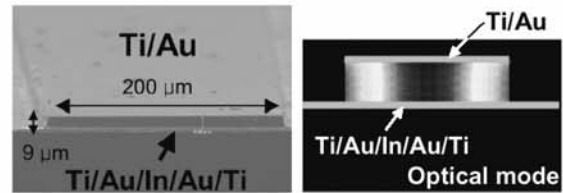
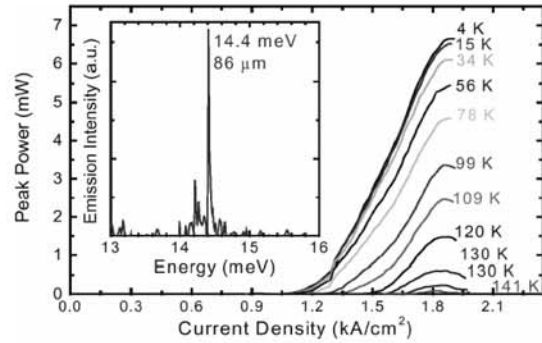
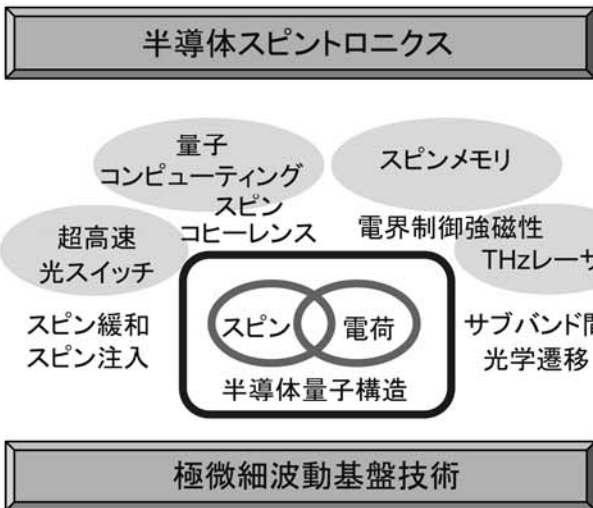
<2009年度の主な発表論文等>

- [1] J. Murota and M. Sakuraba, "Atomically Controlled Processing for Group-IV Semiconductors" (**Invited Paper**), 2009 Int. Conf. on Semiconductor Technology for Ultra Large Scale Integrated Circuits and Thin Film Transistors (ULSIC vs. TFT), Xi'an, China, Jul. 5-10, 2009: ECS Trans., Vol.22, No.1 (The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2009), pp.111-120 (2009).
- [2] M. Sakuraba and J. Murota, "Resonant Tunneling Diodes with Highly Strained Heterostructures of Si/Si_{1-x}Ge_x Epitaxially Grown on Si(100)" (**Invited Paper**), 1st Int. Workshop on Si Based Nano-Electronics and -Photonics (SiNEP-09), Vigo, Spain, Sep. 20-23, 2009, pp.81-82.
- [3] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, "Atomically Controlled CVD Processing for Doping of Si-Based Group IV Semiconductors" (**Invited Paper**), Symp. E10: ULSI Process Integration 6 (216th Meeting of the Electrochem. Soc.), Vienna, Austria, Oct. 4-9, 2009, Abs.No.2360: ECS Trans., Vol.25, No.7 (The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2009), pp.177-184 (2009).
- [4] M. Sakuraba, K. Sugawara and J. Murota, "Atomically Controlled Plasma Processing for Epitaxial Growth of Group IV Semiconductor Nanostructures", Symp. E10: ULSI Process Integration 6 (216th Meeting of the Electrochem. Soc.), Vienna, Austria, Oct. 4-9, 2009, Abst.No.2367: ECS Trans., Vol.25, No.7 (The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2009), pp.229-236 (2009).
- [5] M. Sakuraba, T. Nosaka, K. Sugawara and J. Murota, "Epitaxial Growth of Group IV Semiconductor Nanostructures Using Atomically Controlled Plasma Processing" (**Invited Paper**), 5th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 29-30, 2010, No.I-13, pp.69-70.
- [6] T. Seo, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, "Improvement in Negative Differential Conductance Characteristics of Hole Resonant-Tunneling Diodes with High Ge Fraction Si/Strained Si_{1-x}Ge_x/Si(100) Heterostructure", Solid-State Electron., Vol.53, pp.912-915, (2009).
- [7] K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, "Electrical Characteristics of Thermal CVD B-Doped Si Films on Highly Strained Si Epitaxially Grown on Ge(100) by Plasma CVD without Substrate Heating", Thin Solid Films, Vol.518, pp.S57-S61, (2010).
- [8] T. Kawashima, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, "Heavy Atomic-Layer Doping of Nitrogen in Si_{1-x}Ge_x Film Epitaxially Grown on Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD", Thin Solid Films, Vol.518, pp.S62-S64, (2010).
- [9] Y. Chiba, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, "Impact of Si Cap Layer Growth on Surface Segregation of P Incorporated by Atomic Layer Doping", Thin Solid Films, Vol.518, pp.S231-S233, (2010).
- [10] T. Hirano, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, "Heavy Carbon Atomic-Layer Doping at Si_{1-x}Ge_x/Si Heterointerface", Thin Solid Films, Vol.518, pp.S222-S225, (2010).
- [11] T. Nosaka, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, "Heavy B Atomic-Layer Doping in Si Epitaxial Growth on Si(100) Using Electron-Cyclotron-Resonance Plasma CVD", Thin Solid Films, Vol.518, pp.S140-S142, (2010).

他 学術雑誌 8 件, 国際会議発表論文 24 件

半導体スピントロニクス研究部

極微細波動基盤技術：
半導体スピントロニクスからテラヘルツ光の発生まで



金属導波路構造を有するテラヘルツ量子カスケードレーザ

<分野の目標>

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

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

<2009 年度の主な成果>

- ・ 外部電界印加による正孔濃度変化に伴う強磁性半導体(Ga,Mn)As の自発磁化とキュリー温度の両方の変調を直接の磁化測定により見出した。この振る舞いはバルク材料を対象とした既存理論モデルの枠組内では説明できない。薄膜に対して適用可能なモデルを構築し、そのモデルが実験結果を定量的に説明可能であることを示した。(文献 3)
- ・ スピンホール効果と光注入によって生成されるそれぞれのスピン蓄積量を比較・解析す

ることによってスピンホール導電率 σ^{SH} を実験的に決定し、n型GaAsにおける外因性スピンホール効果の電子濃度 n 依存性について調べた。 σ^{SH} は n に対して増加する結果となり、電界(5~20 mV/ μ m)に対して一定であることを明らかにした。また、理論モデルと比較して σ^{SH} の計算結果が実験結果を定量的に良く説明できることを示した。(文献2)

- ・低閾値電流密度化、高温動作化が期待できる金属導波路構造 GaAs テラヘルツ量子カスケードレーザの発振に成功した。Au導波路構造で観測された閾値電流密度は0.8 kA/cm²、最高動作温度は146 Kであった(図)。さらに種々の金属を用いた金属導波路の導波路損失を計算して、Cuが最も低損失であることを見出し、これを実験的に実証した。

<職員名>

教授 大野 英男 (1994年より)

准教授 大野 裕三 (2001年より)、松倉 文礼 (2006年より)

助教 大谷 啓太

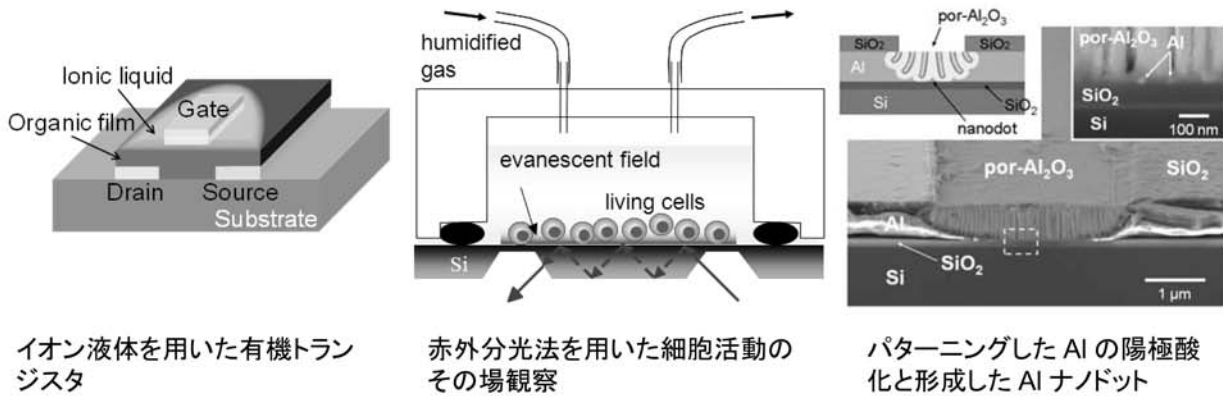
<教授のプロフィール>

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

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] K. Morita, H. Sanada, S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Intersubband exchange interaction induced by optically excited electron spins in GaAs/AlGaAs quantum wells," Applied Physics Letters, Vol. 94, 162104, April 2009.
- [2] S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Electron density dependence of the spin Hall effect in GaAs probed by scanning Kerr rotation microscopy," Physical Review B, Vol. 80, 241305, December 2009.
- [3] M. Sawicki, D. Chiba, A. Korbecka, Y. Nishitani, J. A. Majewski, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Experimental probing of the interplay between ferromagnetism and localization in (Ga, Mn)As," Nature Physics, Vol. 6, pp. 22-25, January 2010.
- [4] S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Scanning Kerr Microscopy of the Spin Hall Effect in n-Doped GaAs with Various Doping Concentration," Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, Vol. 23, pp. 37-39, January 2010.
- [5] M. Ono, S. Matsuzaka, Y. Ohno and H. Ohno, "Gate Voltage Control of Nuclear Spin Relaxation in GaAs Quantum Well," Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, Vol. 23, pp. 131-133, January 2010.
- [6] M. Endo, D. Chiba, H. Shimotani, F. Matsukura, Y. Iwasa, and H. Ohno, "Electric double layer transistor with a (Ga, Mn)As channel," Applied Physics Letter, Vol. 96, 022515, January 2010.
- [7] Y. Nishitani, D. Chiba, M. Endo, M. Sawicki, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Curie temperature versus hole concentration in field-effect structures of (Ga,Mn)As," Physical Review B, Vol. 81, 045208, January 2010.
- [8] M. Ono, H. Kobayashi, S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Gate voltage dependence of nuclear spin relaxation in an impurity-doped semiconductor quantum well," Applied Physics Letters, Vol. 96, 071907, February 2010.
- [9] S. Marcet, K. Ohtani, and H. Ohno, "Vertical electric field tuning of the exciton fine structure splitting and photon correlation measurements of GaAs quantum dot," Applied Physics Letters, Vol. 96, 101117, March 2010.
- [10] D. Chiba, A. Werpachowska, M. Endo, Y. Nishitani, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Anomalous Hall effect in field-effect structures of (Ga,Mn)As," Physical Review Letters, Vol. 104, pp. 106601, March 2010.

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

イオン液体を用いた有機トランジスタ

赤外分光法を用いた細胞活動の
その場観察

パターニングした Al の陽極酸化と形成した Al ナノドット

<分野の目標>

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

<2009 年度の主な成果>

1. イオン液体を用いた P3HT 有機トランジスタの作製とその評価

イオン液体を用いた P3HT 有機トランジスタを作製し、低電圧で高出力電流が得られることを示した。また、動作中における P3HT 膜の赤外その場観察を行い、電気化学ドーピングによりトランジスタ動作していることを解明した。

2. 陽極酸化による酸化チタンナノチューブ膜の基板上への直接形成

フッ化アンモニウム有機電解液中で基板上に堆積された金属チタン膜を陽極酸化することにより、酸化チタンナノチューブ膜を基板上に直接形成することに成功した。

3. 半導体微細加工技術を利用した人工脂質 2 分子膜の作製

半導体微細加工技術を用いて作製した微細孔を用いることにより、機械的かつ電氣的耐久性に優れた人工細胞膜を作製することに成功した。また、シリコン基板に絶縁層をコー

ティングすることによりノイズを抑制できることを示した。

4. ポーラスアルミナのナノ孔中への人工脂質 2 分子膜形成

ポーラスアルミナのナノ孔中にチャネルタンパク質を包埋した人工脂質 2 分子膜の作製に成功し、これまでのテフロン膜を支持膜とした場合と比べて、機械的かつ電氣的耐久性に優れていることを確認した。

<職員名>

教授 庭野 道夫 (1998 年より)

助教 木村 康男 (1999 年より)

<教授のプロフィール>

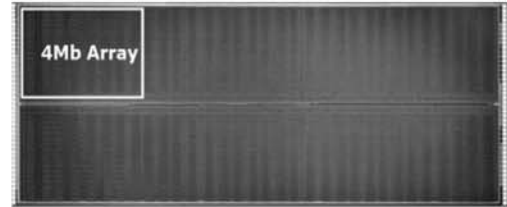
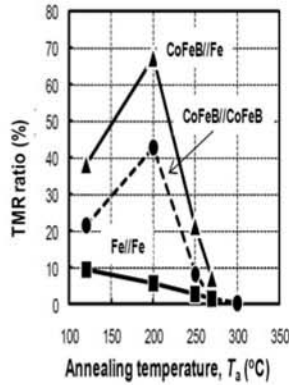
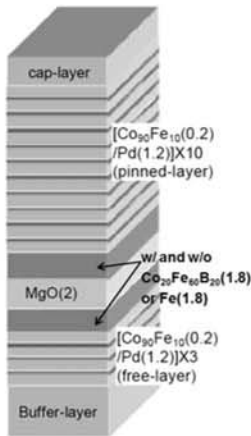
昭 55 東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。昭 55 宮城教育大助手、昭 61 東北大学助手 (電気通信研究所)、昭 63 助教授、平 10 教授。これまで固体光物性、半導体表面物性、半導体材料工学、表面化学の研究に従事。最近は、赤外分光による表面物性の研究や分子デバイスの開発研究に力を注いでいる。応用物理学会、表面科学会、日本物理学会、電気情報通信学会、電気学会などの会員。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Kimura, M. Niwano, N. Ikuma, K. Goushi, and K. Itaya, "Organic field effect transistor using pentacene single crystals grown by liquid-phase crystallization process", *Langmuir*, **25**(9) (2009) 4861-4863.
- [2] F. Hirose, K. Kuribayashi, M. Shikaku, Y. Narita, Y. Takahashi, Y. Kimura, and M. Niwano, "Adsorption Density Control of N719 on TiO₂ Electrodes for Highly Efficient Dye-Sensitized Solar Cells", *Journal of The Electrochemical Society*, **156**(9) (2009) B987-B990.
- [3] A. Hirano-Iwata, R. Yamaguchi, K. Miyamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, "In situ real-time monitoring of biomolecular interactions by using surface infrared spectroscopy", *J. Appl. Phys.* **105**(10) (2009) 102039.
- [4] K. Tanaka, A. Hirano-Iwata, K. Miyamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, "In situ Surface Infrared Study of DNA Hybridization on Au Island Films Evaporated on Silicon Surfaces", *Jpn. J. Appl. Phys.* **48**(4) 04C186, 2009.
- [5] A. Hirano-Iwata, A. Oshima, K. Onodera, K. Aoto, T. Taira, R. Yamaguchi, Y. Kimura, and M. Niwano, "Self-formation of bilayer lipid membranes on agarose-coated silicon surfaces studied by simultaneous electrophysiological and surface infrared spectroscopic measurements", *Appl. Phys. Lett.* **94** (2009) 243906.
- [6] A. Hirano-Iwata, K. Aoto, A. Oshima, T. Taira, R. Yamaguchi, Y. Kimura and M. Niwano, "Free-Standing Lipid Bilayers in Silicon Chips-Membrane Stabilization Based on Microfabricated Apertures with a Nanometer-Scale Smoothness", *Langmuir* **26**(3) (2010) 1949-1952

ナノスピンメモリ研究部

スピンを用いたナノサイズデバイス・メモリの研究



Process	150 nm CMOS
Density	32Mb
Memory cell size	1.0 x 1.0 μm
TMR size	100 x 200 nm
Chip size	15.32 x 6.19 mm
Write	300 $\mu\text{A}/\text{cell}$, 40 ns
Read	32 ns

IEEE Trans. Magn. 45 (2009) 3476.
Appl. Phys. Lett., 95 (2009) 232516.

VLSI Circuits 2009.

32Mb スピン注入磁化反転型メモリ.

垂直磁化磁気トンネル接合(MTJ)の開発.

<分野の目標>

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

<2009 年度の主な成果>

高機能・低消費電力が期待されるスピンメモリ・ロジック実現に向けた基盤技術として、面内・垂直磁化トンネル磁気抵抗 (TMR) 素子の高出力化、スピン注入磁化反転評価、スピンメモリ・ロジック基本回路試作を進めた。以下、主な成果について具体的に述べる。

1. Spin-transfer torque 垂直磁化 TMR 素子では低い磁化反転電流密度と高い熱安定性の両立が期待されている。そこで、垂直磁化 CoFe/Pd 多層膜電極と MgO 障壁からなる TMR 素子を作製した。CoFe/Pd 多層膜と MgO 障壁間に CoFeB や Fe を挿入することにより、室温で 78% の TMR 比を実現した(文献 4、5)。
2. 世界最高の TMR 比(室温で 604%、低温で 1144%)が得られた高温熱処理 (>500°C) した CoFeB/MgO/CoFeB 保磁力差型 TMR 素子においては、CoFeB 中の B が Ta 界面に拡散していることが electron energy loss spectroscopy (EELS) の結果から判明し、CoFe(001)/MgO(001)/CoFe(001)高結晶配向状態になっていることがわかった(文献 3、9)。
3. MgO 成膜後に基板を均一に加熱する手法を適用した面内磁化 CoFeB/MgO/CoFeB 保磁力差型 TMR 素子において $RA=1 \Omega \mu\text{m}^2$ で 122% の TMR 比を観測し、この手法が低 RA 領域での TMR 特性改善に有効であることを確認にした(文献 7)。
4. 積層フェリ自由層 TMR 素子(接合面積: $60 \times 180 \text{nm}^2$)を COMS 回路上に実装させる試作プロセスを開発し、Ternary Content-Addressable Memory (TCAM)、Lookup-Table 等の基本回路の世界初の動作実証に寄与した(文献 1、8)。

5. スピン注入磁化反転特性を評価・改善した MgO 障壁 TMR 素子をメモリセルに用いた世界最大規模の 32 メガビットの SPRAM チップを試作し、書込み時間 40 ナノ秒、読出し時間 32 ナノ秒でのメモリセル動作を確認した(文献 2、6)。

<職員名>

准教授 池田 正二 (2006 年より)
 客員教授 長谷川晴弘 (2007 年 11 月より 2009 年 9 月まで)
 産学連携研究員 甘 華東
 非常勤研究員 山本 浩之
 非常勤研究員 三浦 勝哉
 非常勤研究員 山本 弘輝

<准教授のプロフィール>

1996 年 3 月 室蘭工業大学工学研究科博士後期課程修了。1996 年 4 月 室蘭工業大学電気電子工学科助手。1999 年 2 月 富士通株式会社, 株式会社富士通研究所。2003 年 5 月 東北大学電気通信研究所産学連携研究員。2005 年 6 月 同助手。2006 年 4 月 同准教授、現在に至る。

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Matsunaga, K. Hiyama, A. Matsumoto, S. Ikeda, H. Hasegawa, K. Miura, J. Hayakawa, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Standby-power-free compact ternary content-addressable memory cell chip using magnetic tunnel junction devices", Applied Physics Express, Vol. 2, pp. 023004, February 2009.
- [2] T. Devolder, J. V. Kim, C. Chappert, J. Hayakawa, K. Ito, H. Takahashi, S. Ikeda, and H. Ohno, "Direct measurement of current-induced fieldlike torque in magnetic tunnel junctions", Journal of Applied Physics, Vol. 105, pp. 113924, June 2009.
- [3] S. V. Karthik, Y. K. Takahashi, T. Ohkubo, K. Hono, S. Ikeda, and H. Ohno, "Transmission electron microscopy investigation of CoFeB/MgO/CoFeB pseudospin valves annealed at different temperatures", Journal of Applied Physics, Vol. 106, pp. 023920, July 2009.
- [4] J. H. Park, S. Ikeda, H. Yamamoto, H. Gan, K. Mizunuma, K. Miura, H. Hasegawa, J. Hayakawa, K. Ito, F. Matsukura, and H. Ohno, "Perpendicular magnetic tunnel junctions with CoFe/Pd multilayer electrodes and an MgO barrier", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, pp. 3476-3479, September 2009.
- [5] K. Mizunuma, S. Ikeda, J. H. Park, H. Yamamoto, H. Gan, K. Miura, H. Hasegawa, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "MgO barrier-perpendicular magnetic tunnel junctions with CoFe/Pd multilayers and ferromagnetic insertion layers", Applied Physics Letters, Vol. 95, pp. 232516, December 2009.
- [6] R. Takemura, T. Kawahara, K. Miura, H. Yamamoto, J. Hayakawa, N. Matsuzaki, K. Ono, M. Yamanouchi, K. Ito, H. Takahashi, S. Ikeda, H. Hasegawa, H. Matsuoka, and H. Ohno, "32-Mb 2T1R SPRAM with localized bi-directional write driver and '1'/'0' dual-array equalized reference cell", in Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers 2009, pp.84-85, June 2009.
- [7] H. D. Gan, K. Mizunuma, S. Ikeda, H. Yamamoto, K. Miura, H. Hasegawa, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "CoFeB/MgO/CoFeB Magnetic Tunnel Junctions with Low Resistance-Area Product and High Magnetoresistance", 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2009), K-7-1, October 2009.
- [8] S. Ikeda, J. Hayakawa, K. Miura, H. Hasegawa, R. Sasaki, H. Yamamoto, H. D. Gan, J. H. Park, F. Matsukura, and H. Ohno, "Advanced magnetic tunnel junctions for hybrid spintronics/CMOS circuits", Aian-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2009), June 2009. (Invited)
- [9] S. Ikeda, J. Hayakawa, H. D. Gan, K. Miura, H. Yamamoto, H. Hasegawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "Material Science of Tunnel Magneto-resistance Exceeding 600% at Room Temperature", International Conference on Magnetism (ICM 2009), July 2009. (Half-Plenary)

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、新概念VLSIシステム研究部、知的ナノ集積システム研究部、マイクロアーキテクチャ研究部の4研究部構成に加えて、サイバーロボット研究部、先端ヒューマンインタフェ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、本研究所及び本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野の研究成果と全国のブレインウェア分野の研究者の英知を結集して研究を行う。



<施設の目標>

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

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

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

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

＜2009 年度の主な成果＞

実世界コンピューティング研究部 (矢野研究室)：本年度は、次の3つの主要な成果を得た。第一に、匂い情報を、時間次元を用いて神経生物学的に表現するアルゴリズムを提案・定式化し、嗅覚における認知機能が情報表現レベルで創発すること計算論的に明らかにした。第二に、各関節のリアルタイムな運動学的・動力学的情報から計算される「動き易さ指標」を自律分散的に用いることで、腕の運動・姿勢制御が可能であること、運動全体にわたる大域的なエネルギー最適性が得られることを示した。また、心理物理的実験により、予測不可能性の高い環境における運動実行が環境適応能力を高めることを明らかにした。第三に、合成音声を用いた知覚実験により、母音知覚に対してフォルマントピークとスペクトル傾きが及ぼす影響を調べ、帯域制限スペクトルにおける局所的傾きとピークの突出性という特徴量により母音知覚が統一的に説明可能であることを示した。

新概念 VLSI システム研究部 (羽生研究室)：不揮発性ロジックインメモリ回路技術の実用的応用例として、MTJ 素子を不揮発記憶デバイスとして用いた FPGA (Field-Programmable Gate Array) の論理演算回路ブロック LUT (Lookup Table) 回路チップの試作に初めて成功し、その瞬時再起動などの基本原理動作を検証した。また、昨年度考案した不揮発性 TCAM セルアレーに基づき、細粒度 power-gating を活用することで、無駄な電力消費を大幅に低減できることを明らかにした。さらに、昨年度考案した、1 線のみで非同期データ転送が可能な多値 single-track 方式に基づくデータ転送チップを 0.13 μ m CMOS プロセスで試作し、長距離配線 (5mm) 下において高効率な非同期データ転送が可能となることを実証した。

知的ナノ集積システム研究部 (中島・佐藤研究室)：(1) 高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロン離散時間モデルを提案し、正解状態の安定性を解析することで、その利用可能性を示した。また、新概念の非線形ダイナミクス解析手法を結合系へと拡張を行い、バースト発火ダイナミクスを、結合させた BVP モデルで設計・実現した。(2) 高温超伝導体 Bi2212 固有ジョセフソン接合における共鳴励起特性の劣化要因について解析し、高周波ノイズ低減用フィルタ回路とマイクロ波導入用マイクロストリップ線路の設計を行った。(3) 磁束量子 4 ビット並列乗算器用桁上げ先見加算器を Nb 集積回路により集積化し、同回路の 30GHz までの高速動作の実証に成功した。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用した、組み合わせ最適化問題を解くネットワークを提案し、数値解析による動作を確認した。

マイクロアーキテクチャ研究部 (榎井研究室)：従来から行ってきたワイヤレス・センサーネットワークなどに応用可能な低コスト・低消費電力トランシーバ IC の研究に加え、自律型ロボット用高速 A/D (アナログ/デジタル) 変換器の研究に取り組んでいる。今年度は、低消費電力トランシーバ関連技術として、① Fractional-N PLL シンセサイザにおいて、立ち上げ時間を最小化することによる低消費電力化回路の実現、② IF Filter において、必要な演算増幅器 (オペアンプ) の数を従来の半分に削減することが可能な Active gm-RC 方式に関して、Bandpass Filter への新規適用技術の確立を行った。高速 A/D (アナログ/デジタル) 変換器では、従来型パイプライン A/D 変換器の 1/10 の消費電力と 1/5 の面積を実現するため、Time-Interleaved 方式 A/D 変換器用デジタル補正技術のハードウェア最適化研究に着手した。また、設計生産性の向上に関し、 g_m - I_D Lookup Table 手法を用いた演算増幅器の最適化設計手法の研究を進め、セトリング解析をベースに高速化と低消費電力化をトレードオフできるアルゴリズムを完成した。

実世界コンピューティング研究部

認知機能を創発する匂い情報表現アルゴリズムの定式化

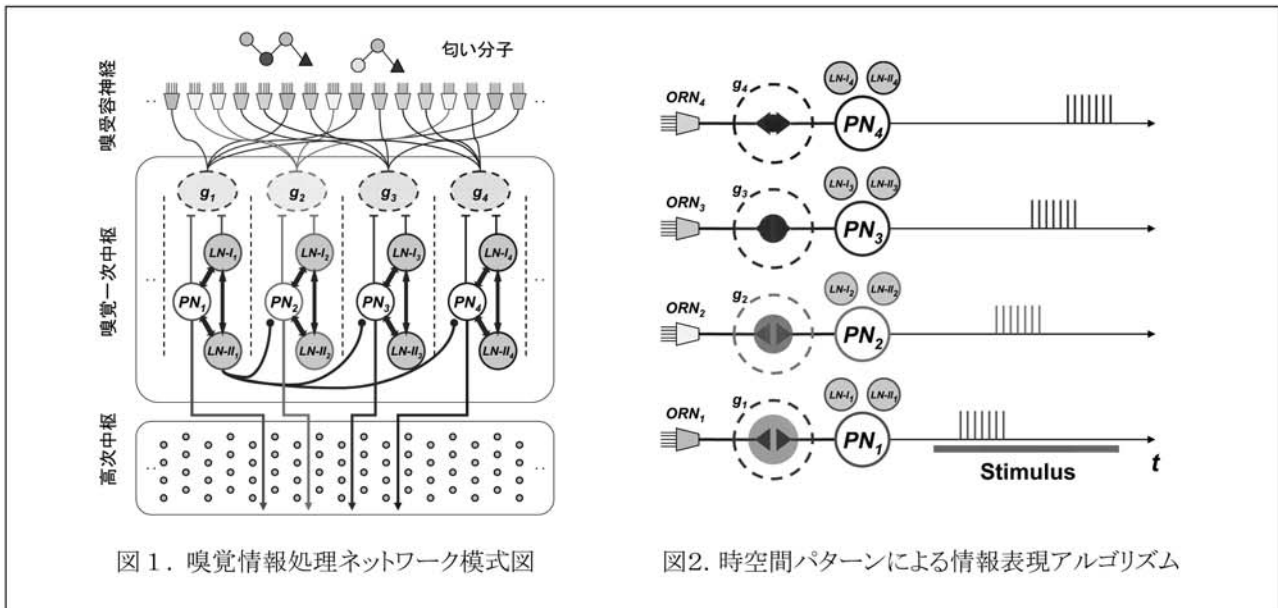


図1. 嗅覚情報処理ネットワーク模式図

図2. 時空間パターンによる情報表現アルゴリズム

<分野の目標>

時々刻々変化し続ける無限定な実環境において、生物は周囲との調和的な関係を自律的に構築することができる。本研究分野では、この生物の優れた情報処理原理を解明し、工学的に応用することを目的としている。主な研究課題は、1) 視覚認識における情報表現と図と地の分離の研究、2) 記憶の生成とその時空間的発展のメカニズムの研究、3) コンテキストに依存する神経回路の役割の研究、4) 音響定位と不特定話者の音声認識の研究、5) 無限定環境下における2足・6足歩行および腕到達運動制御の研究等である。

<2009年度の主な成果>

匂いにより引き起こされる嗅覚一次中枢の時空間的活動パターンが濃度変化にロバストで、その時間的構造が匂いの類似性を coarse-to-fine (大まかから詳細)に反映し、更に、この一次中枢の表現は、高次中枢で、スパースなスパイクの時空間パターンに変換されることが生理学的に知られている(図1)。匂いの濃度不変な認知と類似性評価は、嗅覚パターン認識における最も基本的かつ重要な計算論的課題である。この課題を遂行するためのアルゴリズムの定式化は、嗅覚情報処理機構を理解する上で重要である。

我々は、匂い入力依存的に決定される糸球体活動パターンの特徴を、糸球体活動強度順で決定される糸球体ランキングとして抽出するアルゴリズムを提案し、アルゴリズムを実行する神経回路モデルを構築した(図2)。一次中枢モデルでは、興奮性出力神経と抑制性介在神経からなる糸球体モジュールを側抑制的に結合することで糸球体ランキングを出力神経活動の時間的シーケンスに変換する。活動シーケンスは、匂いの特徴を時間軸上に階層的に表現する。高次中枢モデルでは、この時間的シーケンスを評価し空間的結合

に保存することで、匂いの濃度不変な記憶表現を可能にしている。これにより「未知の匂いと記憶した匂いとの類似性」の評価を行い、嗅覚認知における「時間-精度トレードオフ」、「匂い混合」などの機能が情報表現レベルで創発する（図3）。

「時間-精度トレードオフ」は感覚モダリティによらない生物認知の普遍的特徴で、適応的な行動発現に重要である。時間次元を用いた階層的情報表現は、この認知機能発現に必須と考えられる。時空間的活動パターンを用いた情報コーディングは、嗅覚以外の感覚モダリティでも明らかにされつつあり、他モダリティ、モダリティ統合における情報表現の問題を考える上で本研究の成果は重要となる。

<職員名>

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

<教授のプロフィール>

福岡県久留米市生まれ、九州大学大学院理学研究科博士課程単位取得退学、東京大学助教授等を経て1992年より現職。脳の情報原理を解明することを目標に研究を進めている。特に脳の情報処理の柔軟性は情報生成能力によるものと考え、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。

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Makino and M. Yano, "Investigating the Underlying Intelligence Mechanisms of the Biological Olfactory System," *Advances in Artificial Intelligence*, Vol. 2010, Article ID 478107, 2010.
- [2] 吉原佑器、牧野悌也、富田望、矢野雅文、"関節の動きやすさのリアルタイム最適化は大域的最適な腕運動を生成するか?"計測自動制御学会論文集、Vol. 45、pp. 570-579、2009.
- [3] 伊藤岳大、牧野悌也、矢野雅文、"時空間表現された匂い情報の記憶と想起の神経モデル"日本神経回路学会第19回全国大会講演論文集、pp. 68-69、2009
- [4] Y Matsuzaka, K Sakamoto, T Tanaka, Y Furusawa and H Mushiake, "Cannula-aided penetration: A simple method to insert structurally weak electrodes into brain through the dura mater," *Neurosci. Res.*, Vol. 65, pp. 126-129, 2009.
- [5] 富田望、矢野雅文、"二足歩行運動のリアルタイム環境適応機構"計測と制御、Vol. 48、pp. 681-686、2009.
- [6] Y Makino and M Yano, "Rules for self-organization of a model olfactory network that evaluates a temporal sequence of neural activity," *Neurosci. Res.*, Vol. 65, p. S210, 2009.
- [7] M Yano, "Hospitality Technology : The Place of Culture Technology," 季刊 iichiko, Vol. 101, pp. 37-46, 2009.
- [8] R Kobayashi, S Kanno, S Lee, T Fukushima, K Sakamoto et al., "Development of double-sided Si neural probe with microfluidic channels using wafer direct bonding technique," *Proceeding of the 4th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, pp. 96-99, 2009.
- [9] K Sakamoto et al., "A simple device allowing silicon microelectrode insertion for chronic neural recording in primates," *Proceeding of the 4th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, pp. 104-107, 2009.
- [10] K Sakamoto, H Nakajima, T Suzuki and M Yano, "Global closure," *ICONIP 2008, Part I, LNCS 5506*, pp. 258-265, 2009.

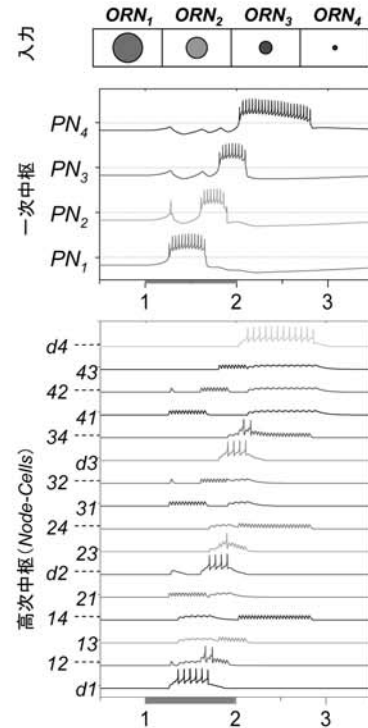


図3. モデル出力. 一次中枢により、匂い情報としての入力強度順 $ORN_1 \rightarrow ORN_2 \rightarrow ORN_3 \rightarrow ORN_4$ をPN発火順序 $PN_1 \rightarrow PN_2 \rightarrow PN_3 \rightarrow PN_4$ へ変換. 更に、高次中枢ではNode Cell (NC) 発火シーケンス $NC_{12} \rightarrow NC_{23} \rightarrow NC_{34}$ として抽出.

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

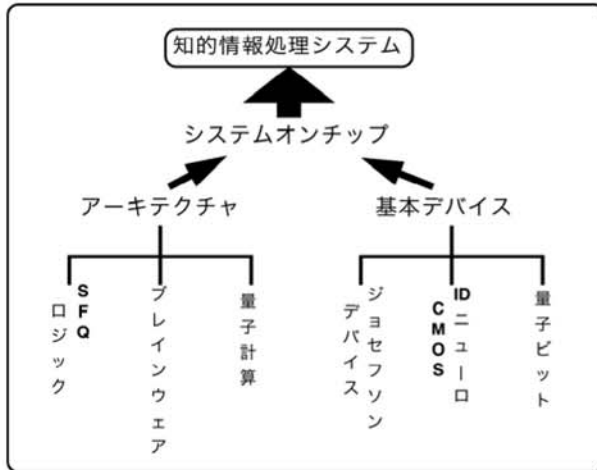


図1 知的ナノ集積システム研究部の研究目標

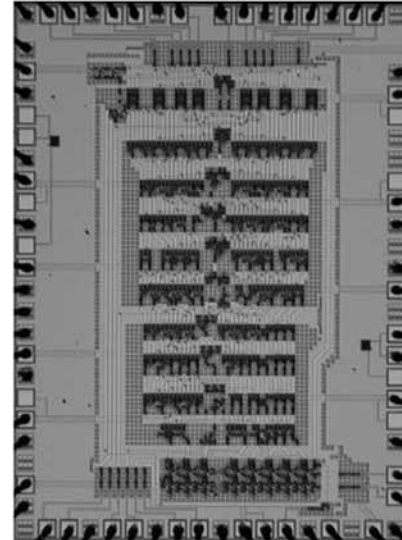


図2 超伝導磁束量子回路による4ビット並列乗算器

<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100%の解答を与えるアクティブシリコンブレインシステムの提案を行い、プロトタイプをシリコンチップ上に作り出し、さらに高次のシステムへと展開している。また集積化超伝導素子を用いたFFTの構成や量子計算へのニューロ的手法の導入などの提案も行っている。

<2009年度の主な成果>

[集積化ブレインコンピュータとダイナミック知的記憶システムの研究]

高次シナプス結合を持つ逆関数遅延ニューロンモデルの離散モデルを提案し、正解状態の安定性を解析することで、その利用可能性を示すことができた。更に、我々が提案した新概念の非線形ダイナミクス解析手法を結合系へと拡張を行い、バースト発火ダイナミクスを結合させたBVPモデルで設計・実現することができた。

[量子計算デバイスとアルゴリズムの研究]

高温超伝導体Bi2212固有ジョセフソン接合において、共鳴励起特性におけるQ値低下の要

因について解析し、Q値改善のため、バイアスラインの高周波ノイズ低減用フィルタ回路とマイクロ波導入用マイクロストリップ線路の設計を行った。

[磁束量子データプロセッサの研究]

磁束量子高速フーリエ変換用の4ビット並列乗算器の高速動作を目的として、桁上げ先見加算器をNb集積回路により集積化し、同回路の30GHzまでの高速動作の実証に成功した。また、超伝導量子干渉デバイスによるニューロ素子を利用した、組み合わせ最適化問題を解くネットワークを提案し、数値解析による動作を確認した。

<職員名>

教授 中島 康治 (1995年より)、准教授 佐藤 茂雄 (2002年より)、助教 小野美 武
秘書 八木 菜々子

<教授のプロフィール>

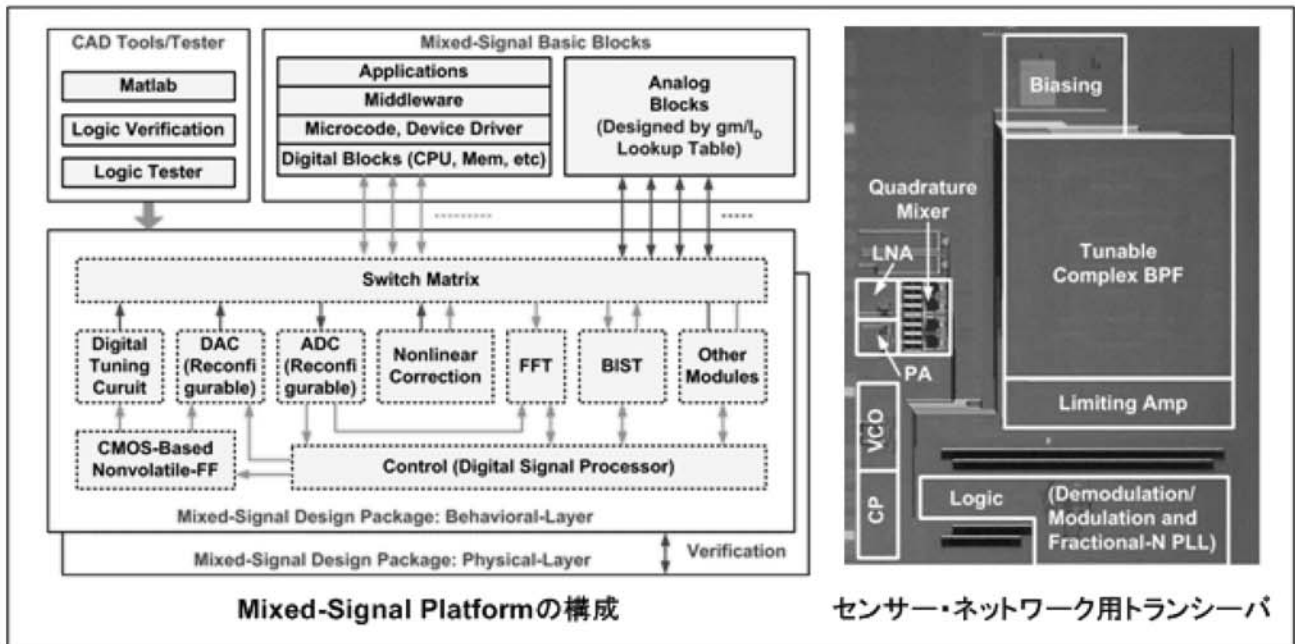
1949年仙台市生まれ、東北大学工学部電気工学科、同大学院博士課程修了の後、東北大学電気通信研究所助手、助教授を経て1995年より同研究所教授。ジョセフソン能動伝送線路に関する研究で博士の学位を取得、その後磁束量子・反磁束量子のソリトンとしての相互作用の直接観測に成功、その結果を基に量子力学的な位相の概念に基づく電子計算機システムを提案し、基本集積回路の試作と動作の検証を行った。さらにシリコン集積回路による知的情報処理の研究に進み、現在は連想記憶システムやニューラルネットワークによる知的情報処理システムの実現を目指している。

<2009年度の主な発表論文等>

- [1] S. Sato, K. Matsushita, K. Inomata, H. Wang, T. Hatano, M. Kinjo, and K. Nakajima, Collective Dynamics of Intrinsic Josephson Junctions, Ext. Abst. 12th International Superconductive Electronics Conf., TD-P35, Fukuoka, June 2009.
- [2] S. Sakuraba, T. Onomi, and K. Nakajima, 4-bit Parallel Multiplier for a Fast Fourier Transform, Ext. Abst. 12th International Superconductive Electronics Conf., SP-P40, Fukuoka, June 2009.
- [3] T. Onomi, T. Kondo, and K. Nakajima, Implementation of High-Speed Single Flux-Quantum Up/Down Counter for the Neural Computation Using Stochastic Logic, IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.19, no.3, pp.626-629, June 2009.
- [4] K. Kurose, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Analyses of the dynamics of interconnected van der pol models based-on a concept of potential with active areas, Proc. 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 423-426, Sapporo, Japan, Oct. 2009.
- [5] T. Sota, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, The Quartic Form Energy Function for General Combinatorial Optimization Problems, Proc. the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 527-530, Sapporo, Japan, Oct. 2009.
- [6] Y. Hayakawa and K. Nakajima, Parameter Analysis for Removing the Local Minima of Combinatorial Optimization Problems by Using the Inverse Function Delayed Neural Network, Advances in Neuro-Information Processing, 15th International Conf. ICONIP 2008, Auckland, New Zealand, Revised Selected Papers, Part I, LNCS 5506, pp. 875-882, 2009.
- [7] Y. Hayakawa and K. Nakajima, Design of the Inverse Function Delayed Neural Network for Solving Combinatorial Optimization Problems, IEEE Trans. Neural Networks, vol.21, no.2, pp.224-237, Feb. 2010.

マイクロアーキテクチャ研究部

Mixed-Signal Platform の研究



<分野の目標>

ユビキタス社会の到来によって、通信やセンシング用途等に向け Mixed-Signal (アナログ・デジタル混載) 回路設計技術と、IC 上へのシステム搭載技術の向上が要求されている。マイクロアーキテクチャ研究部では、Mixed-Signal SoC (System on a Chip) のアーキテクチャ・回路設計、および、その設計生産性の向上を研究の対象とし、ブレインウェアに関連したセンサー・ネットワークへの応用や、将来の脳的コンピュータ実現への貢献を目標としている。

オープンシステムで使用される Mixed-Signal SoC では、スケールアップされた CMOS テクノロジーを利用し、目標性能を低価格・低消費電力で実現することが要求されているが、スケールアップによって顕著化した RF/アナログ回路の特性劣化・変動を抑制するため、SoC 上のデジタル回路を利用し、性能を向上する技術に大きな注目が集まっている。我々の第 1 の目標は、デジタル回路による補正技術のみならず、IP 再利用などのデジタル設計手法をより大規模な SoC に展開し、Mixed-Signal Platform を実現することにある。さらに第 2 の目標として、SoC の低価格化に向け、デジタル回路と比較して設計が困難な RF/アナログ回路において、設計生産性を大幅に向上できる自動設計手法の確立を挙げる。

<2009 年度の主な成果>

1. Mixed-Signal Platform の研究

これまで進めてきたワイヤレス・センサーネットワークに応用可能な低コスト・低消費電力トランシーバ IC 研究に加え、センサー用高速度・低消費電力 A/D 変換器実現のためのデジタル・アシスト技術の研究に着手した。トランシーバ IC に関しは、外部部品点数を削減することによって低価格が可能となる Low-IF アーキテクチャに着目し、Complex

Bandpass Filter (BPF) の最適化実現手法と, Software-Defined Radio への展開の研究を実施している. 本年度は, Active RC 方式における抵抗・容量のばらつきを自動的に補正可能な Digital Tuning 回路の開発と, これよりもさらに面積・消費電力を大幅に削減実現可能な, Active g_m -C 方式の研究を行っている. また, デジタル補正情報を蓄積する不揮発メモリ技術とその応用を研究するため, Fractional-N PLL シンセサイザの研究を行っている.

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

アナログ回路の基本回路である OTA (Operational Transconductance Amplifier) は, A/D 変換器, フィルタ, センサ・フロントエンド回路などに活発に応用されているが, 消費電力と性能のトレードオフを行いながら仕様に合わせて設計することが極めて困難となっている. 特に近年 CMOS デバイスのスケールリングによって, 電流電圧特性が旧来の 2 乗側で表現することができなくなった結果, 設計者のアイデアを実現しやすい Hand Analysis ベースの設計から, シミュレータへの依存度の高い設計への移行という, 重大な問題が発生している. 本課題を解決するため, g_m/I_D Lookup Table を用いた Hand Analysis ベースの自動設計手法の研究を行っている. 10bit 100MS/s の Pipeline A/D 変換器用の OTA の自動設計技術, および, この OTA に利用可能な低電圧対応 Common-Mode Feedback 回路を新たに開発した.

<職員名>

教授 榊井 昇一 (2007 年より)

<教授のプロフィール>

1984 年 3 月 名古屋工学部電気工学科卒業. 1986 年 3 月 同大学院工学研究科電気電子コース博士前記課程修了. 1984 年 4 月 新日本製鐵 第一技術研究所 入社. 1990 年 4 月 同主任研究員, ならびに, スタンフォード大学客員研究員. 1992 年 4 月 新日本製鐵 エレクトロニクス研究所 主任研究員. 1996 年 4 月 新日本製鐵 LSI 事業部 部長代理. 1999 年 4 月 富士通 プロジェクト課長. 2000 年 9 月 富士通研究所 主任研究員. 2001 年 9 月~11 月 トロント大学客員研究員. 2003 年 4 月 富士通研究所 主管研究員. 2006 年 5 月 東京工業大学 博士 (工学). 2007 年 4 月 東北大学 電気通信研究所 教授, 現在に至る. 不揮発メモリの設計と応用, ならびに, Mixed-Signal SoC の研究開発に従事. 第 10 回 FPGA/PLD Design Conference ユーザ・プレゼンテーション審査員特別賞 (2003 年), 文部科学大臣表彰 (研究功績者) (2004 年).

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] H. Kondo, M. Sawada, N. Murakami, S. Masui, "Design of Complex BPF with Automatic Digital Tuning Circuit for Low-IF Recivers" IEICE Trans. on Electronics, vol.E92-C, no.10, pp.1304-1310, 2009
- [2] T. Konishi, K. Inazu, S. Masui, "A Continuous-Time Common-Mode Feedback Circuit for High-Gain, Wide-Output-Range Fully-Differential OTAs," International Conference on Solid State Devices and Materials, pp. 930-931, 2009.
- [3] 小西貴之・榊井昇一, " g_m/I_D 法を用いた高速・高利得 OTA の最適化設計", 電子情報通信学会 集積回路研究会 ICD 2009-84, 2009 年 12 月 14 日

新概念 VLSI システム 研究部

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

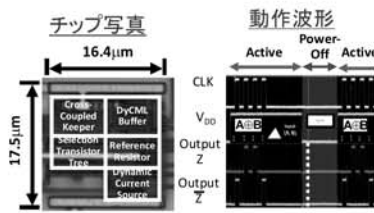


図1. MOS/MTJハイブリッド2入力LUT回路
試作チップ: MTJ素子活用により不揮発性
記憶機能と演算機能を一体化.

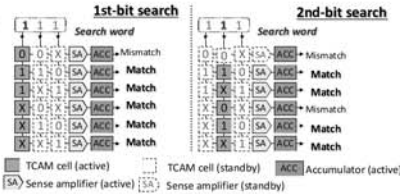


図2. 細粒度パワーゲーティング方式に基づく
不揮発性TCAM: 記憶ワードと検索ワードとの比
較を先頭ビットから順に逐次的に行うことで不
一致セル検出と同時に電源カットを行うことで
超低消費電力化を達成.

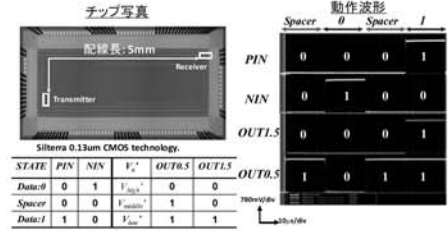


図3. 高速非同期データ転送回路: 0, 1, スペー
サの3通信状態を多値電流レベルで直接表現し、1線
/bitを達成. 0.13µm CMOSチップ上にて、高効率な非
同期通信の実証に成功.

<分野の目標>

現在の VLSI (Very Large Scale Integration) においては、素子間の配線に起因するメモリと演算器間のデータ転送ボトルネック、プロセス微細化に伴うリーク電流がもたらす消費電力の増大、および材料特性ばらつきに起因する信頼性の低下といった様々な要因がシステム性能を向上させる上で深刻な問題となっている。これらの問題を全く新しい視点から解決する新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現を目的とし、本研究部では、従来の延長上にはない新しい概念に基づく VLSI アーキテクチャに関する研究、すなわち記憶機能を演算回路に分散化させることにより膨大なメモリバンド幅を実現するロジックインメモリ VLSI アーキテクチャと、それを実現する新デバイス・多機能デバイスを活用した不揮発性ロジック技術 (図1, 2), 次世代 VLSI コンピューティングにおける配線問題を解決する多値電流モード非同期回路技術 (図3) など、マルチメディア応用高性能 VLSI プロセッサの設計法および実現法に関する研究を行っている。

<2009 年度の主な成果>

1. 不揮発性記憶素子を用いた LUT 回路チップの試作

従来の FPGA (Field-Programmable Gate Array)における待機電力問題を根本的に解決できるハードウェアとして、不揮発性 FPGA の実現が期待されている。本年度は、MTJ (Magnetic Tunnel Junction)素子を用いた不揮発性ロジック技術により、FPGA の基本構成要素である LUT (Lookup Table)回路における記憶機能の不揮発化およびコンパクト化を達成し、さらに実チップでの基本動作検証に成功した。

2. 細粒度パワーゲーティング方式に基づく不揮発性 TCAM の評価

昨年度に試作チップにより動作実証した不揮発性 MTJ (Magnetic Tunnel Junction)素子に基づく 2T-2MTJ 型 TCAM (Ternary Content-Addressable Memory) セル回路を元にした超低消費電力 TCAM アーキテクチャを考案し、その性能を評価した。TCAM における一致検出演算を先頭ビットから逐次的に検索を行うことで、不一致セルを検出すると同時に以降の不要な演算をパワーゲーティングにより停止させ、稼働率を抑えることで、超低消費電力化が達成されることを示した。

3. 多値 single-track 方式に基づく高効率 (1 線/bit) 非同期データ転送チップの試作

非同期式制御は同期式制御による問題(最悪遅延動作, クロックスキュー)を本質的に解決可能な手法である一方, データ転送効率が低い(2線/bit以上)ことが問題であった. 本年度は, 昨年度提案を行った高効率な非同期データ転送方式(1線/1bit)である多値single-track方式」に基づくデータ転送チップを0.13 μ m CMOSプロセスで試作し, 長距離配線(5mm)下において高効率な非同期データ転送を実証した.

<職員名>

教授: 羽生貴弘(2002年より)

助教: 夏井雅典(2008年より), 松本 敦(2007年より)

産学官連携研究員: 松永翔雲, 鬼沢直哉, 鈴木大輔(2009年より)

<教授のプロフィール>

1984年3月東北大学工学部電子工学科卒, 1989年3月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了. 同年同大学工学部助手, 1993年2月同助教授, 2002年4月同大学電気通信研究所教授, 現在に至る. 不揮発性ロジック, 多値VLSI技術とそのマルチメディア応用VLSIコンピューティングに関する研究に従事. IEEE多値論理国際シンポジウム優秀論文賞(1986,1988), 丹羽記念賞(1988), 坂井記念賞(2000), LSIデザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞(2002), ASP-DAC2007 Special Feature Award(2007), 応用物理学会JJAP論文賞(2009), 電子情報通信学会優秀論文賞(2010), 市村学術賞貢献賞(2010), を受賞.

<2009年度の主な発表論文等>

- (1) Naoya Onizawa, Takahiro Hanyu, and Vincent C. Gaudet, Design of High-Throughput Fully-Parallel LDPC Decoders Based on Wire Partitioning, IEEE Trans. on VLSI Systems, Vol.18, No.3, pp.482-489, 2010.
- (2) Daisuke Suzuki, Masanori Natsui, Shoji Ikeda, Haruhiro Hasegawa, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Fabrication of a Nonvolatile Lookup-Table Circuit Chip Using Magneto/Semiconductor-Hybrid Structure for an Immediate-Power-Up Field Programmable Gate Array, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno and Takahiro Hanyu, IEEE 2009 Symposia on VLSI Circuits, Dig. Tech. Papers, pp.80-81, 2009.
- (3) 鈴木大輔, 夏井雅典, 羽生貴弘, TMRロジックに基づくルックアップテーブル回路とその瞬時復帰可能FPGAへの応用, 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J92-C, No.7, pp.233-240, 2009.
- (4) 廣崎旭宏, 松本敦, 羽生貴弘, TMRデバイスを用いたしきい値変動補償を有する電流モード多値回路の構成, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.J93-D, No.1, pp.10-19, 2010.
- (5) Naoya Onizawa, Takahiro Hanyu, and Vincent C. Gaudet, High-Throughput Bit-Serial LDPC Decoder LSI Based on Multile-Valued Asynchronous Interleaving, IEICE Trans. Electron., Vol.E92-C, No.6, pp.867-874, 2009.
- (6) Naoya Onizawa and Takahiro Hanyu, Robust Multiple-Valued Current-Mode Circuit Components Based on Adaptive Reference-Voltage Control, Proc. 39th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.39, pp.36-41, 2009.
- (7) Takashi Matsuura, Hirokatsu Shirahama, Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, Timing-Variation-Aware Multiple-Valued Current-Mode Circuit for a Low-Power Pipelined System, Proc. 39th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, Vol.39, pp.60-65, 2009.
- (8) Yo Ohtake, Naoya Onizawa, and Takahiro Hanyu, High-Performance Asynchronous Intra-Chip Communication Link Based on a Multiple-Valued Current-Mode Single-Track Scheme," Proc. 42th International Symposium on Circuits and Systems, pp.1000-1003, May 2009 (Taipei, Taiwan).
- (9) Shoun Matsunaga, Atsushi Matsumoto, Masanori Natsui, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno, and Takahiro Hanyu, Fine-Grain Power-Gating Scheme of a CMOS/MTJ-Hybrid Bit-Serial Ternary Content-Addressable Memory, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), K-6-6, pp. 1382-1383, 2009.

3. 7 21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果

産学官連携による実用化技術の研究開発 ～モバイルとストレージ～

<センターの目標>

電気通信研究所がこれまでに蓄積してきた情報通信技術 (IT) に関する実績を、産学官連携研究開発体制により、5年間の期間をもって実用化技術として完成させることを目的とする。大学の保有する基本技術をコアとして、社会が求めるアプリケーションとマッチングをとり、設計・実装・評価まで行うことで、製品化へ適応可能な実用化技術を完成させる。プロジェクトの推進には、産業界からの技術者を多く受け入れ、大学の保有する先端技術、先端設備を研究開発現場にて体験することで、若手技術者の教育・社会人技術者の再教育センターとしての役割を果たす。また、開発した技術を用いた新しいビジネスモデルの創出とベンチャー企業の創出・育成などにより、日本全国並びに東北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。

<2009年度の主な成果>

現在は、2プロジェクト体制とし、センター専任としてモバイル分野・ストレージ分野を設置し、民間からプロジェクト担当教授を招聘した。平成14年度から平成18年度まで、文部科学省 IT プログラム (RR2002) のプロジェクトとして、「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超高速高密度ハードディスクの開発」を受託し、研究開発を進めてきたが、平成19年度からはこれらの研究成果をさらに発展させた「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」と「超高速大容量ストレージシステムの開発」を実施している。各プロジェクトの概要と平成21年度の成果を以下に示す。

1. ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発

平成19年度に JST の CREST タイプ研究「ディペンダブル VLSI システムの基盤技術」に対して、新規プロジェクト「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」を提案し、採択された。提案プロジェクトは、ディペンダビリティの高い広域・超高速ワイヤレスネットワークである Dependable Air の実現を目指している。平成24年度までの研究期間の中で、複数の無線通信システムを統合し、伝送距離・通信速度・消費電力・QoS の最適制御を行うことが可能となる無線通信端末である DWS (Dependable Wireless System) の実現を目指す。本年度は主に、(1) オールシリコン CMOS による送信器・受信器用 RF IC の設計・実装・評価、(2) 広帯域周波数領域等化 (FDE) 技術の ASIC への実装・評価、(3) 方式ごとに適応的にビット幅・サンプリング周波数を切り替えるスケーラブル ADC の検討を行った。

2. 超高速大容量ストレージシステムの開発

本分野では、平成19年度から、文部科学省からの受託研究「超高速大容量ストレージシステム」を、

本研究所（村岡研究室）ならびに学内の研究室と、国内ハードディスクドライブメーカー等を結集した産学連携により実施している。ここでは、超テラビット毎平方インチ級の次世代垂直磁気記録の要素技術開発と、超高速ストレージサブシステムのための予知型2次元データ配置技術方式により、記録密度と消費電力の限界を打破し、2011年に現状の1/20以下の消費電力/記憶容量比を達成すること等を目標としている。平成21年度は、2テラビット毎平方インチの記録方式（仕様）の提案、要素技術開発（スピン蓄積効果を用いた基本素子の高出力化、高磁気異方性L1₁型CoPt系三元合金垂直膜の開発、等）、新規省電力サブシステム技術による省電力化（電力1/2）の方式実証等、予定通り進捗している。

<職員名>

センター長・教授 坪内 和夫

技術職員 寒河江克己

企画開発部

教授 古西 真

研究開発部

モバイル分野

教授 高木 直

客員教授 岩田 誠

ストレージ分野

教授 藤本 和久

客員教授 青井 基

准教授 島津 武仁

客員准教授 山川 清志

運営委員

本研究所教授 坪内 和夫

高木 直

藤本 和久

古西 真

長 康雄

村岡 裕明

鈴木 陽一

白鳥 則郎

大野 英男

羽生 貴弘

大学院工学研究科教授

安達 文幸

伊藤 隆司

大学院情報科学研究科教授

亀山 充隆

本研究所事務部長

佐藤 一永

IT-21センター企画開発部

研究開発の課題の提示と実施の支援

<分野の目標>

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

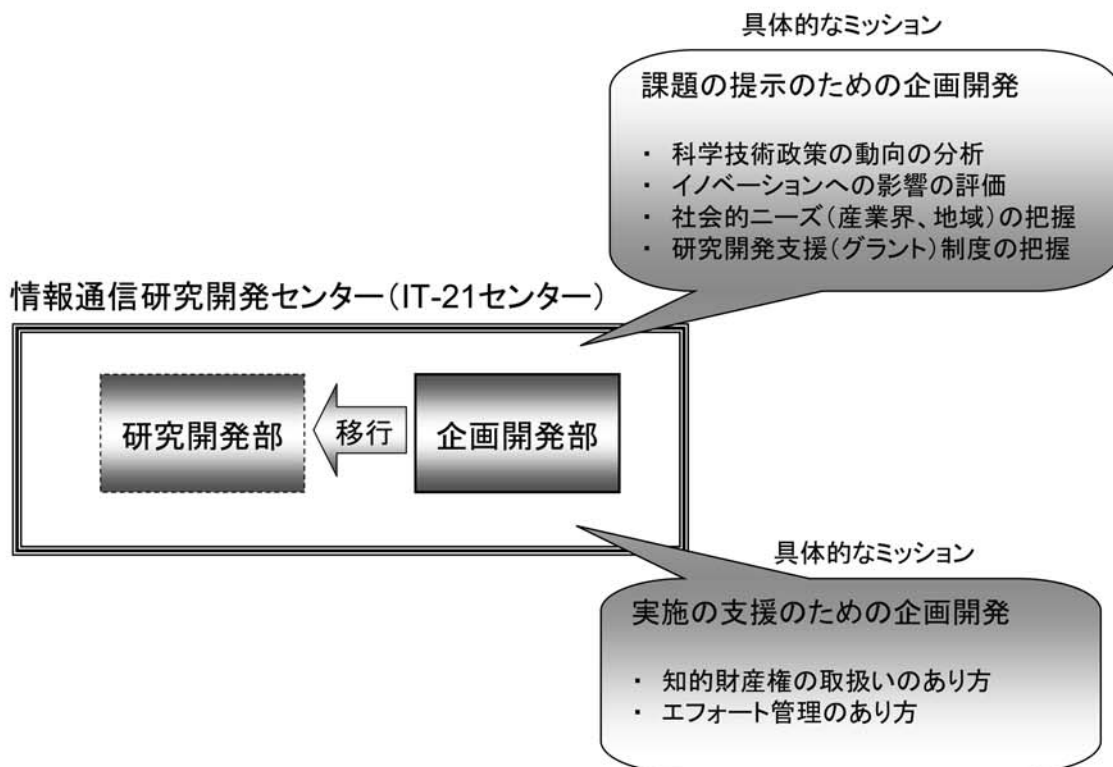
<2009年度の主な成果>

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

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

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

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



<職員名>

教授 古西 真

秘書 鏡谷 真知子

<教授のプロフィール>

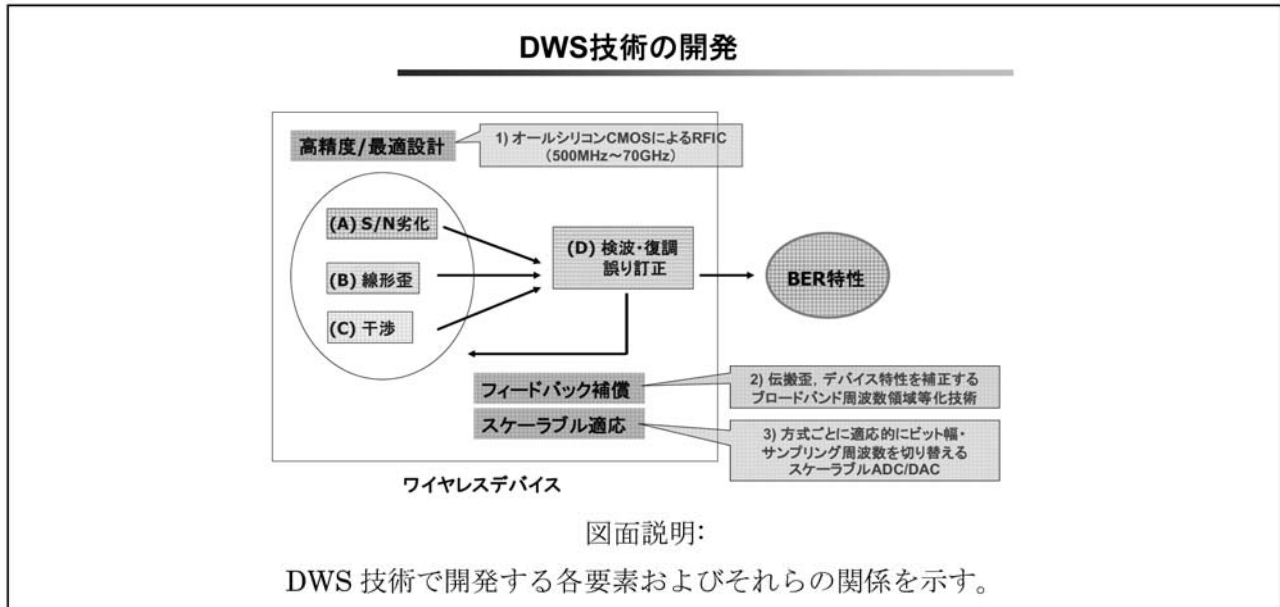
1984年3月 東京大学工学部産業機械工学科卒業。1986年3月 東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻修士課程修了。1986年4月 科学技術庁（現 文部科学省）入庁。1991年11月から1994年4月 青森県総括主幹（1992年4月 副参事）。2000年7月 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部 統括安全審査官（2001年1月 経済産業省原子力安全・保安院統括安全審査官）。2002年5月 文部科学省情報科学技術研究企画官。2004年1月 内閣官房内閣情報調査室調査官。2005年1月 経済産業省原子力安全・保安院核燃料サイクル規制課長。2006年8月～2009年9月 東北大学電気通信研究所附属二十一世紀情報通信研究開発センター教授（2006年11月～2008年3月 総長特任補佐に併任）。2009年9月～ 内閣府参事官（日本学術会議事務局（審議二担当））。2009年12月～ 東北大学電気通信研究所客員教授。

<2009年度の主な発表論文等>

産学連携のための国立大学における知的財産権の管理、運用のあり方、知財管理 Vol. 59、No. 11、2009

IT-21センターモバイル分野

ディペンダブル・エアを実現するための DWS (Dependable Wireless System) 技術の開発



<分野の目標>

JST CREST タイプ研究プロジェクト「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」(研究期間: 平成 19~24 年度) により, ディペンダブル・エアを実現するための無線通信端末の構成要素 DWS 技術の研究開発を行う。特に, 本研究課題では, 以下の要素技術開発を中心に行う。

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

<2009 年度の主な成果>

1. オールシリコン CMOS による RFIC

90nm シリコン CMOS プロセスを用いた 5GHz 帯ならびに 60GHz 帯 RF 回路の設計・試作・評価を行った。今年度は特に 5GHz 帯 VCO (Voltage Controlled Oscillator) を試作・評価した。まず, シミュレーションによって, 提案したバラクタ回路を用いた VCO は従来 VCO より 1MHz 離調での位相雑音は 7dB 改善することを示した。試作した VCO はシミュレーションと同等の特性が得られた。また, FOMT (Figure of Merit with Tuning Range) を用い, 試作した VCO を評価した結果, 提案した VCO の FOMT は -182dBc/Hz と, 先行研究と比較してもとても良好な値であった。さらに, VCO の構成が簡単なためチップサイズ 0.5mm² で実現できた。

2. デジタル回路による特性補償回路

周波数領域等化回路を用いた伝搬路ならびに高周波回路の補償技術の研究開発を行っている。周波数領域等化技術については、従来、主にシミュレーションレベルでの評価が行われてきたが、当グループにて、初めてハードウェア上に実装を行い、その動作を実証してきた。これまで、FPGA (Field Programmable Gate Array) に周波数領域等化回路を実装し、マルチパスフェージング伝搬環境下における BER (Bit Error Rate) 特性補償実験を行い、周波数領域等化回路による BER 改善効果を実証してきた。

本年度は、特に 180nm シリコン CMOS プロセス ASIC (Application Specific Integrated Circuit) への実装を行った。その結果、2mm 角サイズで、周波数領域等化回路が実装できることを示した。また、試作 ASIC の評価用基板を試作した。今後、この評価用基板を用いて、試作した ASIC の実測評価を行う予定である。

3. 適応スケラブル ADC/DAC

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

<職員名>

教授 高木 直 (2005 年より)

客員教授 岩田 誠 (2003 年より)

<教授のプロフィール>

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

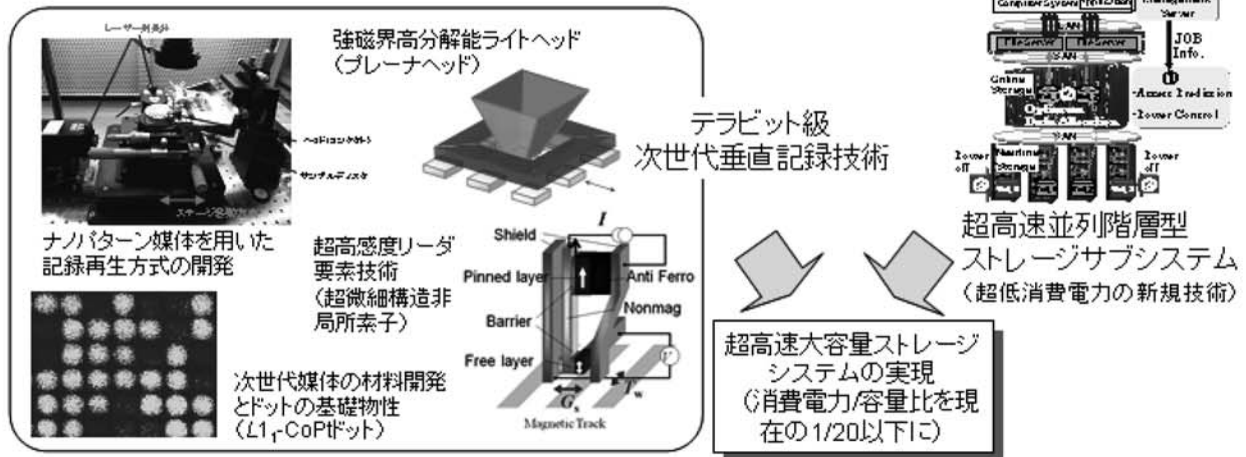
<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Tanifuji, T. T. Thanh, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "5GHz band low phase noise Si-CMOS oscillator using FBAR", IEICE Electron. Express, vol.7, no.3, pp.165-169, 2010.
- [2] S. Yoshida, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "60 GHz Band Planar Monopole Antenna Using Organic Substrates for Ultra-Small WPAN Modules," Global Symposium on Millimeter Waves 2009 (GSMM2009), April 2009.
- [3] S. Kameda, H. Oguma, T. Takagi, K. Tsubouchi, N. Izuka, Y. Asano, and Y. Yamazaki, "Feasibility Study of Downlink Transmission with 256 QAM Based on Results of MBWA System Field Trial," European Wireless 2009, pp.140-144, May 2009.
- [4] T. T. Ta, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A 5GHz Band Low Noise and Wide Tuning Range Si-CMOS VCO," Proc. 2009 IEEE Radio Freq. Integrated Circuits Symp., 571, June 2009.
- [5] S. Tanifuji, Y. Aota, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Discussion of Millimeter Wave FBAR with Very Thin AlN Film Fabricated Using MOCVD Method," 2009 IEEE Int. Ultrason. Symp., P2-P-02, Sept. 2009.
- [6] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Measured Uplink Throughput Performance of MBWA System in Urban Area," 12th Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Commun. (WPMC2009), Sendai, Sept. 2009.
- [7] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Uplink Throughput Performance of FH-OFDMA Improved by 16 QAM: Effect Estimation and Validation in MBWA System Field Trial," Proc. 20th Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun., Sept. 2009.
- [8] I. Kashiwamura, S. Tomita, K. Komatsu, T. N. Hao, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi "Investigation on Single-Carrier and Multi-Carrier Hybrid System for Uplink," Proc. 20th Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun., Sept. 2009.

研究開発部ストレージ分野

Tb/in² 級超高速大容量ストレージシステムの開発

ITプログラム(2002-2006年)による世界最先端の垂直磁気記録の基本技術を持続的・効率的に発展



<分野の目標>

情報爆発の時代を迎え、情報ストレージデバイスとしてのハードディスクドライブの大容量化、高速化の実現が強く求められている。本分野では、平成18年度までの5年間、ITプログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」を文部科学省から受託し、世界最高密度の超小型垂直磁気ハードディスクの実現等の産学連携研究の成果を通じて垂直磁気 HDD の実用化、高密度化に貢献してきている。平成19年度からは、これらの研究成果をさらに発展させた「超高速大容量ストレージシステム」の研究開発を、本研究所（村岡研究室）ならびに学内の研究室と、国内ハードディスクドライブメーカー等を結集した産学連携により実施している。ここでは、超テラビット毎平方インチ級の次世代垂直磁気記録の要素技術開発と、超高速ストレージサブシステムのための予知型2次元データ配置技術方式により、記録密度と消費電力の限界を打破し、2011年に現状の1/20以下の消費電力/記憶容量比を達成すること等を目標としている。

<2009年度の主な成果>

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

- 1) 次世代垂直記録媒体の開発： CoあるいはPtの一部を第3元素M (M: Fe, Cr, Mn, Pd) に置換したL₁型Co-Pt-M三元規則合金膜の形成に成功し、昨年度に検討したNiへの置換の結果と総合的な解析を行うことで、媒体として優れた特性を有する材料・組成を明確にした。また、ドット径が10~15nmのテラビット級垂直磁化ドットの準静的な磁化反転機構を解析すると共に、ドット周辺部の微細加工ダメージの定量化に成功した。
- 2) 超高感度リーダ技術の開発： 日立と共同で、スピン蓄積基本素子の出力向上を目標として、高スピン分極率構造および長スピン拡散長材料の適用について検討した。特に、

MgO 障壁層によるスピン分極率の向上によって、スピン蓄積効果による信号の高出力化に成功した。

- 3) 高分解能単磁極ライタ： 昨年度までに実施したシミュレーションによる基本ヘッド構造の基本設計を基に、2 Tbits/inch² の次世代垂直記録の記録方式を提案するための高記録分解能ライトヘッドの設計を行なうと共に、テーパー主磁極を有するライトヘッド素子の試作を行った。
- 4) 超テラビット記録方式： 次世代ナノパターン媒体への記録性能と再生系エラー解析を含めたシミュレーションにより、2 Tbits/inch² の記録方式（仕様）を提案した。また、さらなる記録密度向上のための技術課題を抽出し、その解決手法の検討に着手した。さらに、スタティックテストを用いたナノパターン媒体（ドット径 60 nm）の記録再生特性の予備実験の結果、パターン媒体にヘッドで記録を正確に行うための記録マージンは、ビット長に対して約 70%となることが明らかとなった。
- 5) 超高速並列階層型サブシステム： 株式会社日立製作所が実施する予知型 2 次元データ配置方式によるサブシステムの評価と連携しながら、予知型 2 次元データ配置技術の方式を改良し、本技術を利用した高性能・低消費電力化開発の方向付けを行なった。特に、試作サブシステム（容量 64TB）を学内スーパーコンピュータに実際に接続して、省電力と高速性維持の一次検証を完了した。検証結果に基づく新省電力アーキテクチャのデータ転送速度と消費エネルギー試算の結果、実用的な容量 1PB で、平均転送速度を落とさず消費電力 1/2 以下に削減の見込みを得た。

<職員名>

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

<藤本和久教授のプロフィール>

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

<2009 年度の主な発表論文等>

- [1] Kazuhisa Fujimoto, Hirotohi Akaike, Naoya Okada, Kenji Miura, and Hiroaki Muraoka, "Power-aware Proactive Storage-tiering Management for High-speed Tiered-storage Systems," *SustainIT '10 (online proceedings)* (2010).
- [2] Kiyoshi Yamakawa, Hiroaki Muraoka, Kinya Fudano, Simon John Greaves, Yuichi Ohsawa, Kazuyuki Ise, and Yoshihisa Nakamura, "High Field-Gradient Design of Single-Pole Write-Head With Planar Pole Structure," *IEEE Trans. Magn.*, Vol.46, pp. 730-737 (2010).
- [3] T Shimatsu, H Sato, H Kataoka, S Okamoto, O Kitakami, and H Aoi, "Magnetic and structural properties of L1₁ type CoPt-C ordered alloy perpendicular films as a function of C content," ICM2009, Th-C-10-10 (*J. Phys.: Conf. Ser.*, in press).

他

3.8 安全で快適な環境の実現と維持による研究支援



安全衛生講習会



応急手当講習会

<安全衛生管理室の概要>

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

<研究所における安全衛生管理体制と安全衛生管理室の役割>

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

<安全衛生管理室の活動内容>

所内での実際の安全衛生管理では、まず安全衛生委員会が研究所における安全管理の基本的方針を示し、次に安全衛生管理室がそれに基づく具体的な行動内容の策定と実行を行っている。大学の組織は各部署（研究室など）の独立性が高いために、通常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通りである。

- 研究所内の職員、学生を対象とした安全衛生講習会・高圧ガス保安講習会の開催。
- 研究所内の安全衛生管理体制、作業環境などの点検、および改善の支援。
- 局所排気装置の定期自主点検の支援。
- 応急手当講習会の開催。
- 安全衛生関係の法令の調査および安全衛生管理に関する情報の収集。
- 各部署の安全管理担当者へのアドバイスや情報の提供。
- 学内の他部局や監督官庁との連絡調整。
- Webページによる関連情報の提供。

<職員名>

室長（教授）	庭野 道夫
副室長（教授）	上原 洋一
助 教	佐藤 信之
事務補佐員	千葉 綾子

3. 9 やわらかい情報システムの研究開発と 所内情報システムの管理運用

<センターの目標>

現在のコンピュータに代表される情報システムは、前もって決められた使い方での固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

<2009年度の主な成果>

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

オーバーレイネットワークは、様々なネットワーク機能を簡易に実現し、迅速に展開する手段として極めて有用である。しかしながら、信頼できないホストとのP2P接続によるセキュリティ上のリスクの増大など、運用やセキュリティ面での問題をもたらしている。そこで我々は、大規模オーバーレイネットワークのためのスケーラブルな分散認証手法の開発を行っている。本年度は文献1,2に示す成果が得られた。

(2)知的なネットワーク管理支援に関する研究(研究テーマ2に関連)

管理業務に必要な情報や知識を能動的に活動させ連携・協調させることにより、管理者にかかる作業労力の負荷を軽減し迅速かつ正確な障害への対処を実現する研究として、エージェント型のネットワーク管理支援システムやネットワークの長期的なデータ収集・蓄積システムを開発している。図1に、開発中のエージェント型ネットワーク管理支援システムを示す。本年度は文献3に示す成果が得られた。

(3) 知的ユーザインタフェースに関する研究(研究テーマ3に関連)

やわらかい情報システムにおける利用者の自然な利用形態を促進させる研究として、実空間とデジタル空間の両者を親和的に融合する、開放型協働作業環境に関連する研究を行っている。本年度の研究成果として、文献4,5に示す成



図1 エージェント型ネットワーク管理支援システム

果が得られた。生体内におけるやわらかい情報処理メカニズムに関する研究として、文献6,7示す成果が得られた。

< 職員名 >

(1) 運営委員会

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

(2) 実施委員会

教授 外山 芳人 (2007年より) 木下 哲男 (1997年より, 情報シジミ-センター所属)
准教授 青戸 等人 (2003年より) 青木 輝勝 (2009年より) 北形 元 (2007年より)
助教 吉田 真人 小野美 武 笹井 一人
教育研究支援者 長田 俊明
研究支援推進員 鈴木 みどり 新妻 祥子

(3) 常勤職員

准教授 北形 元 (2007年より)
助教 笹井 一人
教育研究支援者 長田 俊明
研究支援推進員 鈴木 みどり, 新妻 祥子

< 教授のプロフィール >

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

実施委員長・外山芳人教授のプロフィールは、コンピューティング情報理論研究分野を参照。

< 2009年度の主な発表論文等 >

1. J. Makishi, D. Chakraborty, T. Osada, G. Kitagata, A. Takeda, K. Hashimoto, N. Shiratori, "An Efficient Load-balancing Technique for Overlay Application Layer Multicast," CODEC, (Kolkata, India), Dec. 14-16, 2009.
2. J. Makishi, D. Chakraborty, T. Osada, G. Kitagata, A. Takeda, K. Hashimoto, N. Shiratori, "A Fair Load Sharing Scheme for Multi-source Multimedia Overlay Application Layer Multicast," Proc. of the 4th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS 2010), Krakow, Poland, Feb. 15-18, 2010.
3. Akihiro Satoh, Toshiaki Osada, Toru Abe, Gen Kitagata, Norio Shiratori, Tetsuo Kinoshita, "Traffic Classification in Mobile IP Network," Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications (ICUT 2009), 2009.12.
4. 酒徳 哲, 黒田 貴之, 北形 元, 木下 哲男, 白鳥 則郎, "分散部分空間 結合に基づく開放型アプリケーション連携法", 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J92-B, No.4, pp.741-749, 2009.
5. Akira Sakatoku, Akifumi Kawato, Toshiaki Osada, Gen Kitagata, Norio Shiratori, Tetsuo Kinoshita, "3D Symbiotic Environment for Collaborative Work," Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications (ICUT 2009), 2009.12.
6. 笹井一人, 長田俊明, 北形 元, 木下哲男, "自律分散環境におけるエージェントのロバストな環境認識機能", Proc. of Joint Agent Workshops and Symposium 2009 (JAWS2009), pp. 210-215, 2009.10.
7. 笹井 一人, "生物学的システムにおけるヘテラルキー構造と, 開放型 MAS への応用について", 第21回生体生命工学研究会 特別講演, 2009.10.

3. 10 高度な専門知識と技術に基づいた研究支援

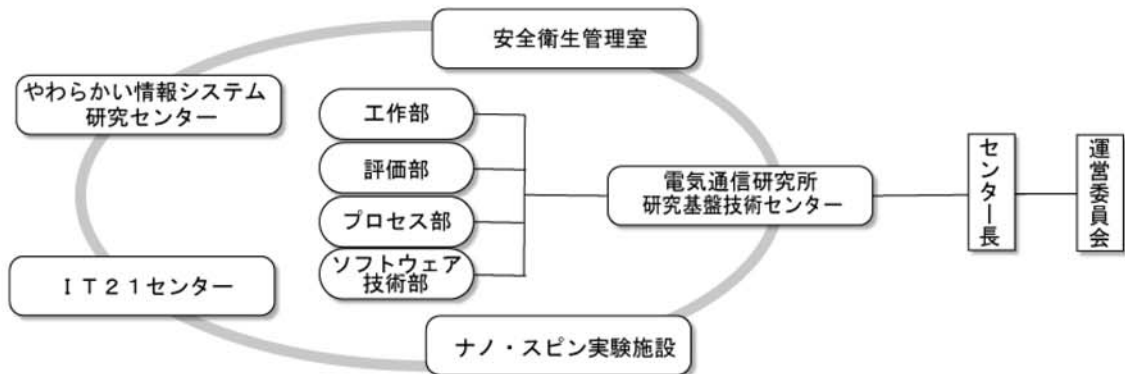
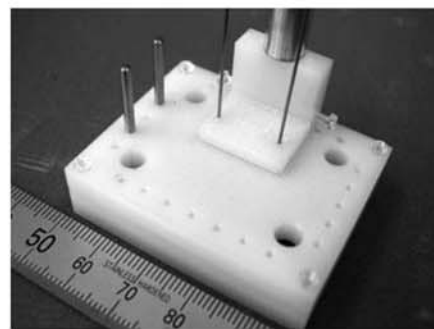


図 研究基盤技術センター 概略図



マニピュランダム用刺激提示装置



留置式電極アレイマニピュレーター

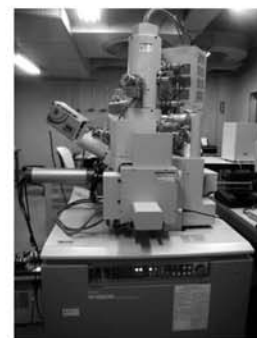
写真 工作部の主な製作品



電子ビーム蒸着装置



収束イオンビーム加工装置



電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置

写真 プロセス部保有の加工装置および評価部保有の分析装置

<分野の目標>

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

<2009年度の主な成果>

1. 工作部

工作部では、これまでに数々の新しい工作方法を開拓し、特殊な機器や各種超高真空容器などの精密工作を行い、半導体表面・界面の微細構造の解析、高密度磁気記録の研究をはじめ、数々の高度情報通信に関わる研究に貢献してきた。本年度、各研究室からの制作依頼は129件(所内114件、所外15件)であった。各研究室の制作数は以下の通りである。

庭野研：37件、枝松研：27件、上原研：13件、横山研：10件、鈴木研：7件、末光研：6件、矢野研：5件、坪内研：4件、玉田研：3件、大野研：3件、ナノ・スピン実験施設：3件、伊藤研：3件、評価部：2件、石黒研：2件、中沢研：1件、八坂研：1件、塩入研：1件、事務部：1件

2. 評価部

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

原子間力顕微鏡、走査型電子顕微鏡、汎用X線回折装置、電子スピン共鳴装置、高分解能走査型電子顕微鏡、電子ビーム蛍光X線元素分析装置、X線励起蛍光X線元素分析装置、液体クロマトグラフ、赤外分光光度計、赤外可視分光器、光学特性測定装置、大気下光電子測定装置、ダイシングソー

3. プロセス部

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

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

4. ソフトウェア技術部

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

<職員名>

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

第 4 章 共同プロジェクト研究

4. 1 共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

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

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

○共同利用委員会

共同プロジェクト研究の運営のために、共同利用委員会及びプロジェクト実施委員会、プロジェクト審査委員会が設置されている。共同利用委員会は、共同プロジェクト研究に関する重要な事項を審議するために設置されており、その構成は、本研究所教授並びに本学工学研究科及び情報科学研究科の教授9名の委員よりなっている。共同利用委員会の使命は、本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら、所内外の意見を広く求め、研究所の目的である「人間性豊かなコミュニケーションを実現する総合的科学技術の学理と応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで、公募研究の内容、採択の基準、外部への広報、企業の参加に関する点等について議論を行ってきており、特に企業の参加に関しては、平成8年度に本所内規「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究に係る研究者の受入れ等に関する申し合わせ」を作成し、公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきている。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、平成19年度に外部委員を含めたプロジェクト審査委員会を設置した。また、共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために、本所専任の教員により組織されているプロジェクト実施委員会が設置されている。

今年度のテーマは、平成21年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い、次の4テーマを取り上げることとした。

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

○平成21年度共同プロジェクト研究

平成21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64件(A:37件, B:24件, S:3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、37件のうち23件が外部よりの提案、Bタイプは短期開催の研究会形式の研究で、24件のうち16件が外部よりの提案のものである。Sタイプは組織間連携の共同プロジェクト研究であり、3件おこなわれ、いずれも外部よりの提案によるものであった。また、Aタイプの研究のうち10件に、Bタイプの研究のうち12件、またSタイプには、1件に民間の研究者が参加している。

平成21年度共同プロジェクト研究採択一覧

H19/A01	超高周波対応磁性ナノ粒子分散型磁性誘電材料に関する研究
H19/A02	ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究
H19/A03	高次スピン機能材料の理論設計と創製
H19/A04	IV族半導体量子ドットの価電子制御とMOSメモリへの応用
H19/A05	3Dサウンドによる視覚障害者の歩行訓練実現のための基礎研究
H19/A06	頭部伝達関数計測系の精緻化に関する研究
H19/A07	脳内における色情報の基本表現（色覚アルファベット）に関する研究
H19/A08	ナノ物性計測手法の開発と物性探索への応用
H19/A10	補聴器への周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究
H19/A13	利用者の状況に適応する分散型情報表示システムの構築と生理的指標による評価
H19/A14	次世代ホットスポットネットワークの研究
H20/A01	プラズマナノバイオロニクス基礎研究
H20/A02	ナノフォトニクス・フォトニック結晶の応用のフロンティア
H20/A03	ECRスパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御
H20/A04	IV族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究
H20/A05	高移動度2次元ホールガスの作製
H20/A06	知的ナノ集積システムとその応用に関する研究
H20/A07	有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究
H20/A08	イオンチャネルチップに関する研究
H20/A09	人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究
H20/A10	バイノーラル技術における音像定位の学習効果
H20/A11	赤外光を用いた細胞チップに関する研究
H20/A13	傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスに関する研究
H20/A14	高度映像コンテンツ検索技術に関する研究
H21/A01	環境負荷低減に資する超伝導計算機技術に関する研究
H21/A02	金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究
H21/A03	IV族系ヘテロデバイスの高性能・高信頼化のためのヘテロ界面に関する研究
H21/A04	超音波マイクロスペクトロスコープおよび圧電共振・反共振法によるランガサイト系圧電単結晶の評価と高温用センサへの応用
H21/A05	電気磁気効果酸化薄膜のスピンロニクス応用に関する研究
H21/A06	自己組織化マルチナノピラー構造によるSTTマイクロ波発振とその応用に関する研究
H21/A07	スイッチ線路発振器間の同期機構の解明
H21/A08	直列接続共鳴トンネル素子を用いた高性能THz信号源の研究
H21/A09	様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発
H21/A10	3次元音響空間におけるコミュニケーションの高度化に関する研究
H21/A11	視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究
H21/A12	シナリオ・ツー・アニメ技術に関する研究
H21/A13	センサークラウドによる持続性のある情報化社会基盤の構築に関する研究

- H19/B01 民生用合成開口レーダシステム開発の課題と展望
- H19/B02 光を用いた地震等の計測とそのネットワークに関する研究
- H19/B04 微粒子プラズマ科学の展開
- H19/B09 証明論的アプローチによるプログラム構成原理
- H20/B02 高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用
- H20/B03 新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究
- H20/B04 ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究
- H20/B05 半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合—技術を先導する半導体サイエンスを目指して—
- H20/B06 量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究
- H20/B08 光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究
- H20/B09 次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究
- H20/B10 高信頼プログラミング言語システムを活用したディペンダブル・システムソフトウェアの開発
- H20/B11 推論エンジンを用いたプログラム自動検証法の研究
- H21/B01 プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用
- H21/B02 次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究
- H21/B03 小電力無線通信方式
- H21/B04 複素ニューラルネットワークの実用化
- H21/B05 人間と調和性の高い情報システム構築のための人間特性理解
- H21/B06 視覚科学の学際的アプローチに向けて
- H21/B07 ナノ・バイオの融合による新規バイオデバイスに関する研究
- H21/B08 生物の適応的運動機序の構成論的解明
- H21/B09 不揮発性ビット演算大規模コンピューティングの創造開拓
- H21/B10 次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究
- H21/B11 新概念 VLSI システムとそのシステムインテグレーション技術
- H20/S01 スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発
- H20/S02 スピントロニクス連携ネットワーク
- H21/S01 人間の機能を取り込んだ革新的新概念による情報通信システム

○ 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日直後に来年度の研究応募要項の公開，2月25日前後が申請書の提出締切となっており，採否の結果は3月下旬頃に申請者の所属機関の長を通して通知される。研究期間は，4月1日より3月15日までであり，研究終了後3月31日前後までに共同プロジェクト研究報告書を提出していただく事になっている。なお，上の「理念と概要」の項で述べたように，本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるため，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.shtml>

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力係

電話：022-217-5422

超高周波対応磁性ナノ粒子分散型磁性誘電材料に関する研究

[1] 組織

代表者：高橋 研

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：長 康雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

小川 智之 (東北大学大学院工学研究科)

河野 健二 (太陽誘電株式会社)

研究費：物件費17万9千円，旅費8万5千円

[2] 研究経過 (以下10.5ポイント)

大容量の情報が瞬時にやりとりされるユビキタスネットワーク社会において、ブロードバンドに対応した低消費電力の小型通信機器・メモリデバイスは必要不可欠である。特に、無線LAN規格の5GHz、W-CDMAの2GHz、ウルトラワイドバンド規格3.1GHz~10.6GHzなどの超高周波帯域に対応した、超低消費電力型内部回路や小型アンテナなどの高周波駆動電子デバイスの開発が急務とされている。これら電子デバイスでは、従来、デバイスを構成している材料の誘電率やデバイス形状のみに着目してデバイス特性の制御を行ってきたが、材料の誘電率やデバイス形状の制御のみでは特性向上に限界が指摘されている。本申請研究では、化学合成技術を基盤として高周波計測技術ならびに電子デバイス技術との融合により、従来になかった新たな磁性体/誘電体複合材料と高周波デバイスの実現を目的としている。上記で述べた高周波デバイスを実現するために必要な透磁率を達成するため、磁性ナノ粒子の粒径はFeおよびFeCo合金の場合10nm以下と得られている。また、低損失かつ高透磁率を得るため、平均粒径に対する粒径分散値(粒径のばらつき)は少なくとも20%以下が必要である。本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。初年度では、Feナノ粒子を中心に平均粒径10nm以下および粒径分散20%以下を目標値とした均一粒径合成手法を獲得し、第2年度では、5nm以下の鉄ナノ粒子で構成される磁性ナノ粒子集合体のGHz帯域高周波駆動の実験的実証と、

将来的に必須となる高充填化を意図したナノ粒子の形状制御技術を獲得した。今後、超高周波帯域で高透磁率化を実現するためには、鉄ナノ粒子の飽和磁化を200emu/g程度まで向上させることが必須となるが、均一粒径化を可能とする熱分解法で合成された鉄ナノ粒子の飽和磁化は170emu/g程度と小さい。そこで、本年度では、熱分解法における鉄ナノ粒子の生成過程を詳細に検討し、鉄ナノ粒子の飽和磁化の向上のための指針の獲得を目指した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

①熱分解法で合成したFeナノ粒子の粒子生成過程

熱分解法で合成した4nm~10nmのFeナノ粒子の5Kにおける飽和磁化は、粒径に依存し、特に5nm以下では粒径の減少とともに150emu/gから70emu/gまで急激に減少する振る舞いが観測されている。この飽和磁化の減少は反応後および反応時の水分・酸素による酸化で説明することが困難であり、粒子の結晶構造やナノ微細構造起因する可能性を探る必要がある。この原因解明には、熱分解法における粒子生成過程の把握が鍵を握る。粒子生成過程は大きく二段階に分けられ、核生成過程と粒子成長過程と考えられており、これら二つの過程を分離して評価することが重要となる。

本節では、前駆体分解速度と各粒子成長パラメータとの相関について検討し、熱分解法で合成したFeナノ粒子の粒子生成過程を議論する。図1に前駆体分解速度と最長の反応時間で合成して得られる粒径、 D_{sat} (図中■印)の関係を示す。前駆体分解速度が速くなるにしたがって、 D_{sat} は低減することが分かる。速い分解速度の場合、核生成過程と粒子成長過程の二段階の粒子生成過程のうち、核生成過程においてFe(CO)₅の分解で発生するFe原子数が増大する。このため、Fe原子で瞬間的に形成される核の発生頻度が高くなり、その結果、核生成数が増大する。一方、合成で用いたFe(CO)₅の総投入量は一定であるため、核生成数が増大すると、粒子成長過程において成長に寄与できるFe原子数も減少し、結果として D_{sat} は低減するものと考えられる。

図1に、1分経過時の粒径、 D_{min} (図中●印)、および粒径の経時変化を一次対数関数で近似した傾き、すなわち粒子成長速度、 $dD/d\log t$ (図中○印)の前駆体分解速度依存

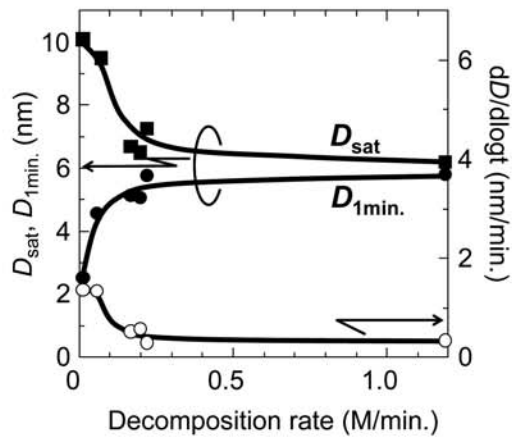


図1 熱分解法で合成した Fe ナノ粒子の飽和粒径 D_{sat} と初期粒径 D_{1min} の前駆体分解速度依存性。

性を示す。分解速度が速いほど、 D_{min} は増大し、 $dD/d\log t$ は低減することが分かる。先にも述べたように、速い分解速度において核生成数が多量であることおよび D_{min} が大きくなることから、速い分解速度で $dD/d\log t$ が低減する振る舞いは、粒子成長過程において成長に寄与できる Fe 原子数が少なくなっているためであると考えられる。

核の大きさは、理論的に約 1 nm 程度と報告されている。これに対し、図 1 で得られた 2.5 nm~5.8 nm の D_{min} は文献値よりも大きい。これは、核の大きさが原材料や材料種に依存するものの、1 min. の反応時間においてさえ、核生成過程が終了し、初期粒子の生成が速く進んでいるものと考えられる。つまり、 D_{min} はシート粒子として Fe ナノ粒子の生成過程に寄与し、その後の粒子成長過程を経てナノ粒子化するものと考えられる。核生成過程と D_{min} の関係は、本研究の結果のみで理解するには不十分であり、今後より詳細な理論的・実験的検証が必要となる。

②前駆体分解速度および粒子成長速度と飽和磁化との相関

本節では、前駆体分解速度および粒子成長速度が飽和磁化に及ぼす影響について議論する。先にも述べたように、飽和磁化は粒径に依存するため、その影響を除くため、本節では粒径が 5 nm~7 nm のナノ粒子の飽和磁化についてのみ議論した。

図 2 (a) に飽和磁化の前駆体分解速度依存性を示す。0.1 M/min. 程度の速い分解速度で合成した場合、 $M_s \sim 100$ emu/g の低い飽和磁化の Fe ナノ粒子が得られているのに対し、0.2 M/min. より速い分解速度で合成した場合では $M_s = 150$ emu/g ~ 170 emu/g となり、速い分解速度で合成した場合の飽和磁化に比べ大きい飽和磁化を有する Fe ナノ粒子が得られた。また、図 1 に示したように、分解速度が速くなるほど D_{min} が増大することから、初期粒子が図 2 (a) の飽和磁化の前駆体分解速度依存性と相関があるものと考えられる。IR スペクトルにおける 1960 cm^{-1} 付近に現

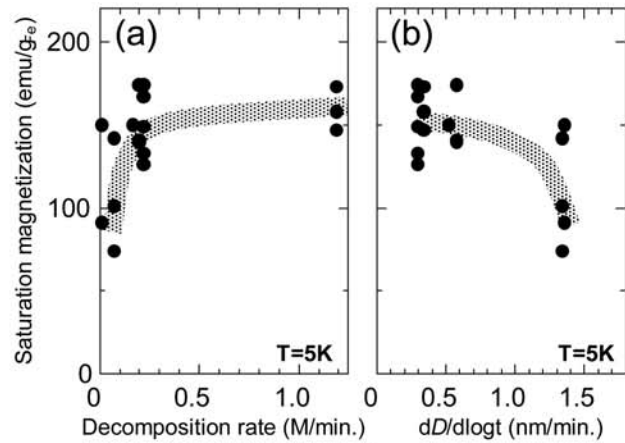


図2 熱分解法で合成した Fe ナノ粒子の飽和磁化と(a)前駆体分解速度および(b)粒子成長速度との関係。

れる吸収は、前駆体の $\text{Fe}(\text{CO})_5$ が分解する過程で発生する中間生成物であり、 $\text{Fe}_x(\text{CO})_y$ に起因する吸収である。反応溶液中の $\text{Fe}_x(\text{CO})_y$ 濃度の反応時間依存性から、速い分解速度 ($\sim 0.1 \text{ M/min.}$) の場合、初期粒子の生成過程において $\text{Fe}_x(\text{CO})_y$ 濃度が増大し、その後の粒子成長過程で徐々に減少する傾向が得られた。一方、 0.2 M/min. より速い分解速度の場合、初期粒子の生成過程から $\text{Fe}_x(\text{CO})_y$ に起因する IR 吸収は観測されなかった。したがって、初期粒子の生成過程において、 $\text{Fe}_x(\text{CO})_y$ の存在が高 M_s を有する相の形成を阻害している可能性が考えられる。しかしながら、 $\text{Fe}_x(\text{CO})_y$ が飽和磁化に及ぼす影響に関しては、核と D_{min} との関係性を明らかにしつつ、更に定量的な検証が必要である。

図 2 (b) に飽和磁化の $dD/d\log t$ 依存性を示す。 $dD/d\log t \sim 1.4 \text{ nm/min.}$ で合成した場合、 $M_s \sim 100$ emu/g の低い飽和磁化を有する Fe ナノ粒子が得られている。一方、 $dD/d\log t$ を低減させ、 0.5 nm/min. の成長速度で合成した場合、 $M_s = 130 \text{ emu/g} \sim 170 \text{ emu/g}$ の高い飽和磁化が得られており、速い成長速度で合成した場合の飽和磁化に比べ、大きい値が得られた。これにより粒子成長速度を低減させることで、高い飽和磁化の Fe ナノ粒子が得られる可能性が示唆された。また、各反応時間で得られた粒子の飽和磁化は、反応時間の増加とともに増加する傾向を示し、反応時間 1 min.、つまり初期粒径の時、飽和磁化は $M_s = 101$ emu/g となり、反応時間 60 min.、粒径 9.7 nm の時、飽和磁化は $M_s = 172$ emu/g となる。反応時間 1 min. から 60 min. までの飽和磁化は、粒径の増加する振る舞いと同様の増加傾向を示す。さらに、 $T_r = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ の反応温度においても各反応時間で得られる飽和磁化は $T_r = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ の場合と同様の振る舞いを示した。これは、初期粒子の飽和磁化に比べ、粒子成長過程において、より高い飽和磁化を有する相が形成していることを強く示唆するものである。

以上の結果から、初期粒子生成後の粒子成長過程において、粒子成長速度を遅くすることで高い飽和磁化を有する α 相の形成が促進されている可能性が考えられる。よって、

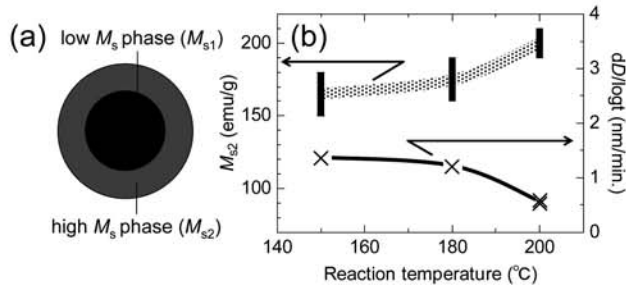


図3 (a) 熱分解法で合成したFeナノ粒子のナノ微細構造モデル図、および(b) M_{s2} と粒子成長速度の反応温度依存性

より高い飽和磁化のFeナノ粒子を合成するためには、粒子生成過程においてFe(CO)₅の分解速度を速くし、かつ、粒子成長過程において粒子成長速度を遅くすることが必要であると考えられる。

③Feナノ粒子の微細ナノ構造の検討

以上で述べた実験結果を踏まえ、本節では、作製したFeナノ粒子の微細ナノ構造について議論する。実験事実として下記に述べる三点、

- (i) Feナノ粒子は、 D_{min} の粒径を有する粒子をシート粒子として、粒子成長過程を経て形成される、
- (ii) Fe(CO)₅分解速度に対する D_{min} と飽和磁化との間に相関がある、
- (iii) 粒子成長過程で形成した相は、シート粒子が有する飽和磁化より大きい、

が挙げられる。これらの結果から、図3 (a)に示すような、二種類の M_s 相で構成されるコア-シェル型のFeナノ粒子を仮定する。つまり、シート粒径 D_{min} 、体積 V_1 で M_{s1} の飽和磁化を有するコア粒子と、体積 V_2 で M_{s2} の飽和磁化 ($M_{s1} < M_{s2}$) を有するシェル層で構成されると仮定し、粒径および飽和磁化の反応時間依存性の結果を用いて、 M_{s1} の値として初期粒子の M_s および各粒径における M_s を用いることで、次式、

$$M_s \cdot V = M_{s1} \cdot V_1 + M_{s2} \cdot V_2, \\ V = V_1 + V_2, \quad (2)$$

により M_{s2} の値を算出した。

図3 (b)に反応温度と M_{s2} との関係を示す。ここで M_{s2} は各反応温度において、最大値と最小値を見積もりプロット(図中|印)している。反応温度の上昇に伴い、 M_{s2} の値が増加する傾向がみられた。高温での合成では、粒子成長過程において速い分解速度、かつ遅い粒子成長速度で粒子成長していると考えられる。したがって、図3で得られた M_{s2} と粒子成長速度の関係は、前節で述べた結果と矛盾しない。以上の検討から、熱分解法における粒径低減に伴う飽和磁化の低減は、初期核の飽和磁化が非常に小さいことに由来し、今後、原材料の最適化などにより初期核径の低減を図ることで改善できる

可能性が考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、有機金属錯体やポリマーを中心とした有機化学、合成技術や複合化技術を担う化学工学、磁気物理や材料物性を中心とした磁気物性工学、および電子デバイスを担う電子・電気工学などで構成される異分野融合型・領域横断型の新しい研究領域・学術領域となり得る可能性を秘めている。本プロジェクトの将来にわたる積極的かつ継続的な取り組みにより、ナノ粒子ハイブリッド材料や超低消費電力かつ超高周波帯域対応デバイスなど従来にない新たな材料産業・電子デバイス産業の創出が期待される。

[4] 成果資料

- (1) “Challenge of ultra high frequency limit of permeability for magnetic nanoparticle assembly with organic polymer ~ Application of Superparamagnetism ~” (invited), D. Hasegawa, H. Yang, T. Ogawa and M. Takahashi, *J. Magn. Magn. Mater.* **321**, 746-749 (2009).
- (2) “Achieving a non-interacting magnetic nanoparticle system through direct control of interparticle spacing”, H. Yang, D. Hasegawa, M. Takahashi and T. Ogawa, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 013103-1-013103-3 (2009).
- (3) “粒子成長速度が Fe ナノ粒子の飽和磁化に及ぼす影響”, 小川智之, 瀬戸亨, 長谷川大二, H. T. Yang, 高橋研, *日本磁気学会誌* **33**, 247 – 251 (2009).
- (4) “トピックス：高周波デバイス対応磁性ナノ粒子/ポリマー複合材料”, 長谷川大二, 小川智之, 高橋研, まぐね **4**, No. 4, 180-185 (2009).
- (5) “Facile synthesis of magnetite nanoparticles by reduction phase transformation from γ - maghemite nanoparticles in organic solvent”, H. T. Hai, H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Colloid and Interface Science* **341**, 194-199 (2010).
- (6) “Phase transformation of FeO/Fe₃O₄ core/shell nanocubes and facile synthesis of Fe₃O₄ nanocubes”, H. T. Hai, H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Applied Physics* 2010 (掲載決定).
- (7) “Wustite (core)/spinel (shell) nanoparticles: a general product of the decomposition of iron-oleate complex”, H. T. Hai, H. T. Yang, H. Kura, D. Hasegawa, Y. Ogata, T. Ogawa and M. Takahashi, *Journal of Colloid and Interface Science* 2010 (掲載決定).

採択番号 H19/A02

採択回数 1 2 ③

ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する 基礎研究

[1] 組織

代表者：上田 浩

(群馬大学総合情報メディアセンター)

対応者：岩谷 幸雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：木下 哲男(東北大学サイバーサイエンスセンター)

久米原 栄(群馬大学総合情報メディアセンター)

奈須野 裕(苫小牧工業高等専門学校)

玉本 英夫(秋田大学工学資源学部)

小原 仁(秋田大学工学資源学部)

五十嵐 隆治(秋田大学工学資源学部)

横山 洋之(秋田大学工学資源学部)

高橋 秋典(秋田大学工学資源学部)

藤原 克哉(秋田大学工学資源学部)

今野 将(千葉工業大学工学部)

打矢 隆弘(名古屋工業大学情報基盤センター)

北形 元(東北大学電気通信研究所)

矢入 聡(仙台高等専門学校)

研究費：物件費 24 万 8 千円，旅費 39 万円

[2] 研究経過

近年著しく発展し、またそのアプリケーションも多様化したインターネットの運用においてセキュリティの確保や帯域資源の有効活用はますます重要な課題となっている。VoIP, P2P, ストリーミング, ゲーム, Web 閲覧に加え DoS・DDoS 等の悪意あるトラフィックが疎通し、また可用帯域が随時変化するインターネットにおいて、適切なネットワーク診断法を提供することは、管理者支援はもちろん QoS 確保、ネットワーク設計の観点からも重要である。

一方、1994 年以來、パケットトラフィックには自己相似性がある、より詳細には長期依存過程に従っているとの様々な報告がなされている。自己相似性とは、“対象の持つ特徴が長さや時間などのスケール変換に対して不変である性質”と定義できる。本プロジェクトでは東北大学電気通信研究所、群馬大学、秋田大学、苫小牧高専の基幹ネットワークのトラフィックを観測し、そのパケットトラフィックの

自己相似性を考慮した解析を行ってきた。それぞれの機関のパケットトラフィックには自己相似性が認められることに加え、マルウェアなどに起因するネットワーク状態の変化とトラフィックの自己相似パラメータの変化に相関が見られる場合があることを報告した。さらにネットワーク起因の自己相似性が見られることも報告した。この知見をさらに進め、実測トラフィックからネットワーク状態を同定できるだけのノウハウを蓄積できれば、冒頭に述べた「適切なネットワーク診断法」の確立に寄与できるものとする。

本プロジェクトは、本年度が最終年度であった。前年度は、研究を進める上での基盤となる、実測トラフィックの収集と蓄積手法、トラフィックのグラフ的解析手法、バックグラウンドトラフィックに焦点を当てた、シミュレータによるモデル化ならびにその実システムへの応用を進め、我々の提案手法が有効であることを明らかにした。加えてこれらの手法を能動的情報資源のアーキテクチャを取り入れたエージェント指向ネットワーク管理システム、AIR-NMS の一部として実装し、能動化された経験的知識や情報資源が運用管理上有用な知識を自動提示することが可能となるという成果を得た。本年度は、前年度の成果を踏まえながら、研究を継続した。

以下、研究活動状況の概要を記す。まず、今年度の成果の中間報告ならびにディスカッションのために研究集会を開催した。トラフィック工学研究会 in 伊香保 2010：平成 22 年 2 月 18 日(木)、19(金)、群馬大学 伊香保研修所(参加者：上田、木下、久米原、打矢)。本研究集会では各機関のトラフィックの動向に加え、大学等研究機関の基幹ネットワークの現状ならびにサービスの方向性を含めた議論がなされた。

さらに、今年度の成果をまとめるため研究発表会を開催した。東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト「ネットワーク状態把握のためのノウハウ抽出に関する基礎研究」研究発表会：平成 22 年 3 月 15 日(月) 13：20-17：25、東北大学電気通信研究所 1 号館 3F S305 セミナー室(参加者：上田、岩谷、木下、久米原、小原、北形、五十嵐、高橋、打矢、学生多数)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

第一に、トラフィックのアクティブ測定技術に関する成果である。アクティブ測定技術は、重要な状態パラメータである End-to-End 通信路における可用帯域を測定するための多数の方式が提案されてきた手法である。それらの方法はパケットペア方式とパケットトレイン方式の2つに大別される。前者は測定用パケット量が少ないが、測定精度が悪い。後者は測定制度が良いが、測定用パケット量が増える。本研究では、2つのパケットトレインを用いて可用帯域を推定する方法を提案した。シミュレーションの結果、提案方式は従来と同等の測定精度を確保しつつ、測定用パケット量を最大で約90%削減できることを示すことができた[4](11), (12)。

第二は、トラフィックのグラフ的解析手法に関する成果であり、我々は異常トラフィック流入時の Pox Diagram の散布形状(Pox Diagram Dispersion)に着目し、Pox Diagram 上限点群から導出した傾きである H_{sup} 、Pox Diagram 下限点群から導出した傾きである H_{inf} 、さらに Pox Diagram 全体の点から推定される従来の H と3種の評価量による異常検知を試みている。トラフィックの Level Shift 点を統計的な変化点として検出する CUSUM 法と、我々が提案している Pox Diagram Dispersion に基づく LS 検出法との比較を試みた結果、Pox Diagram Dispersion に基づく LS 検出法は妥当であると結論付けた。本研究ではCyclicな変化を含むLS重畳トラフィックに対する検討を実施できなかったが、これまでのシミュレーション研究の結果より、CUSUM法では検知困難なLSでも $H_{\text{inf}}(t)$ による検知が可能となることが十分期待できる。これは今後鋭意検討すべき課題となる[4](14)。

第三は、シミュレータによるトラフィックのモデル化に関する成果である。実トラフィック時系列は、トラフィックの Diurnal Variation (日変化) を考えれば明白であるが、基本的にはトレンドやサイクル等を含む非定常な時系列である。Willinger et al. が提唱した ON/OFF モデルは、実トラフィックに近いシミュレーション時系列を得ようとする場合は最適なモデルであると考えられる。本研究ではこの ON/OFF モデルを用い、種々の条件下で発生する実トラフィックにより近いシミュレーショントラフィックの生成を目指した。現時点では、適当なパラメータ設定では理論的なハーストパラメータ H と一致する系列の生成が可能であることを確認している。今後は、より広い範囲で理論的な H と一致する系列生成が可能となるパラメータの設定と、この系列を用いたシミュレーション応用、たとえば異常検知や

QoS 制御の観点からのシミュレーショントラフィックの生成が達成すべき課題となる[4](14)。

これらの成果の応用として、能動的情報資源(AIR)のアーキテクチャを取り入れたエージェントによるネットワーク管理システム、AIR-NMSの一部としての実装を評価を行った。本システムでは、ネットワークの様々な状態情報や、管理者が有する多様なネットワーク管理知識を情報資源とみなし、それらの活用を支援する知識と機能をソフトウェアエージェントとして実装・付加することで、各情報資源へ能動性を与えている。これら能動化された情報資源が組織化・協調することにより、AIR-NMSは、ネットワークの様々な状態情報に基づき、多様な障害への具体的な対策案を管理者に提示することが可能となっている。本プロジェクトでは、AIR-NMSが必要とする多数のネットワーク管理知識を効果的に獲得・利用する方法を提案し、その効果を実験により評価を行った。本アプローチは次の理由からネットワーク異常検知にも有効であると考えられる。異常検知手法は、不正検知手法に比べ検知精度が低いいため、複数の異常検知手法を組み合わせた研究が多く存在する。特定の異常検知手法を組み合わせた手法は存在するが、管理者が自由に異常検知手法を組み合わせることは困難である。用いる情報資源が異なるため、相互に協調連携させて運用することが難しく管理者にかかる負担が大きい。本プロジェクトでは、複数の異常検知手法におけるネットワーク管理の自動化による管理者の負担軽減を目的として、複数の異常検知手法の協調的分析機構を提案した。これら能動的情報資源に基づく手法の有効性を示すものとなった[4](1)~(8)。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究は、複数の研究機関が連携しネットワークトラフィックデータ収集ならびに解析を進めている特色あるプロジェクトであり、昨年度に引き続き5機関でシミュレーションと実測データの両面から共同で研究を進める体制が整い、学外研究者との交流が活性化した[4](15), (16)。本プロジェクトには多数の学部生・大学院生がコミットしており、若手研究者の育成に資するものとなった[4]。

本プロジェクトの成果は、研究機関における基幹システムなど大規模分散システムのボトルネック検出手法やQoS制御手法への発展、とりわけ、AIR-NMSへの組み込みによる、ネットワーク運用管理支援技術への応用が期待される。さらに本応用は不均一な環境におけるエージェントの相互接続システムのモデルケースとなることから、多数のエージェントからなる大規模ソーシャルウェアへの発展が考えられる[4](9), (10)。

[4] 成果資料

(1) 高橋 優介, 三杉 大輔, 高橋 晶子, 笹井 一人, 阿部 亨, 木下 哲男: “AIR-NMSにおける能動的知識源の協調問題解決方式,” 第8回情報科学技術フォーラム (FIT2009) 講演論文集, F024, pp. 445-446, 2009.

(2) 三杉 大輔, 笹井 一人, 高橋 優介, 佐藤 彰洋, 北形 元, 木下 哲男: “能動化されたトラヒック情報によるネットワーク異常検知,” 第8回情報科学技術フォーラム (FIT2009) 講演論文集, F060, pp. 551-552, 2009.

(3) 高橋 優介, 三杉 大輔, 高橋 晶子, 笹井 一人, 阿部 亨, 木下 哲男: “AIR-NMSにおける能動化されたネットワーク管理知識の組織化・協調方式,” 電子情報通信学会技術研究報告, NS2009-70, pp. 57-62, 2009.

(4) 三杉 大輔, 高橋 優介, 笹井 一人, 佐藤 彰洋, 北形 元, 木下 哲男: “ネットワークトラヒック分析支援エージェントによる能動的異常検知,” 情報処理学会研究報告, DPS2009-141, No. 27, 2009.

(5) 高橋 優介, 三杉 大輔, 高橋 晶子, 笹井 一人, 阿部 亨, 木下 哲男: “能動化された知識の組織化によるネットワーク障害管理支援方式,” 情報処理学会研究報告, DPS2009-142, 2010.

(6) 三杉 大輔, 高橋 優介, 佐藤 彰洋, 笹井 一人, 北形 元, 木下 哲男: “能動的情報資源に基づく複数の異常検知手法の協調的連携手法,” 情報処理学会研究報告, DPS2009-142, 2010.

(7) 菅原 創, 高橋 優介, 笹井 一人, 北形 元, 阿部 亨, 木下 哲男: “AIR-NMSにおける障害診断のための情報源分析手法,” 電子情報通信学会全国大会 2008 年総合大会講演論文集, D-8, 2010.

(8) 丹治 直幸, 高橋 優介, 長田 俊明, 笹井 一人, 北形 元, 木下 哲男: “管理外ネットワーク情報資源獲得のための仮想 I-AIR の提案,” 電子情報通信学会全国大会 2008 年総合大会講演論文集, B-6, 2010.

(9) 打矢 隆弘, 小山 宗賢, 内匠 逸, 木下 哲男: “エージェント開発環境 IDEA におけるインタラクション知識記述支援機構,” JAWS2009 講演論文集, 2009.

(10) 打矢 隆弘, 内匠 逸, 木下 哲男: “エージェントシステムにおける発展的組織再構成の制御手法,” 信学技報, IN2009-128(2010-2), pp. 11-16, 2010.

(11) 長谷川 和音, 加藤 陽介, 小原 仁: “異速度パケットトレインペアを用いた可用帯域のアクティブ測定法の提案,” 計測自動制御学会, 東北支部第 251 回研究集会, 2009

(12) Y. Kai, K. Hamada, H. Obara: “Design of Partially-Asynchronous Parallel Processing Elements for Setting up Benes Networks in $O(\log 2N)$ Time,” International Conference on Photonics in Switching, PT-13, 2009

(13) A. Takahashi, R. Igarashi, H. Ueda, Y. Iwaya, T. Kinoshita: “Network Anomaly Detection Based on R/S Pox Diagram,” Proceedings of the 6th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR' 2009 AKITA), Akita, Japan, AP-26, pp. 328-333, October 21-23 2009.

(14) 高橋 秋典, 五十嵐 隆治, 上田 浩, 岩谷 幸雄, 木下 哲男: “パルス型 DoS 攻撃におけるトラフィック特性の変化,” 平成 21 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2B-20, p70, (仙台, 8 月), 2009.

(15) 久米原 栄, 上田 浩: “Wireshark パケット解析リファレンス,” ソフトバンククリエイティブ, ISBN 978-4797352597 (2009)

(16) 久米原 栄, 上田 浩: “Wireshark 網路協定分析與管理,” 博碩文化股份有限公司, ISBN 978-986-201-292-5 (2010)

高次スピン機能材料の理論設計と創製

[1] 組織

代表者：木村 昭夫

(広島大学 理学研究科)

対応者：白井 正文

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

鹿又 武 (東北学院大学 工学部)

今田 真 (立命館大学 理工学部)

小田 竜樹 (金沢大学 理工研究域)

辻川 雅人 (金沢大学 自然科学研究科)

崔 芸涛

(広島大学 放射光科学研究センター)

宮本 幸治

(広島大学 放射光科学研究センター)

叶 茂

(広島大学 理学研究科)

研究費：物件費22万9千円，旅費42万円

[2] 研究経過

近年盛んに研究されているスピントロニクス分野において、高いスピン偏極率を有する強磁性材料はトンネル磁気抵抗素子の高性能化などに不可欠な材料である。ホイスラー合金は、構成元素の組合せにより高スピン偏極強磁性材料の他、高効率熱電変換材料や巨大磁歪材料としての機能を発現することが知られている。本プロジェクトでは、複数の有用な機能が備わった新しいホイスラー合金を理論設計すると共に、実際に材料を試作し、その物性や電子構造を実験的に検証することによって、新規な高次スピン機能を発現する磁性材料の創製を目指した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本年度の共同プロジェクト研究では、広島大学、東北学院大学、金沢大学、立命館大学、東北大学の研究グループを主体として共同研究を実施した。

東北大学と金沢大学において第一原理計算に基づいた高次スピン機能を発現するホイスラー合金と強磁性金属/誘電体薄膜の理論設計を行った。東北学院大学では新規ホイスラー合金のバルク試料の作製ならびに結晶構造・磁性・電気伝導・熱電特性などの基礎物性の測定を実施した。また、広島大学放射

光科学研究センターおよび大型放射光施設において、軟X線から硬X線領域の放射光で励起した高分解能光電子分光法により試料の電子構造を調べた。

平成20年7月および12月に東北大学電気通信研究所において、各研究グループで得られた研究成果を持ち寄り、研究の現状報告ならびに今後の共同研究の推進方法に関して意見交換を行った。個々の研究成果については次節で詳述する。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

高スピン偏極ホイスラー合金を電極に用いた磁気トンネル接合(MTJ)において室温における巨大なトンネル磁気抵抗(TMR)比を得るためには、MTJ界面におけるギャップ内電子状態を介したスピン反転過程を抑制することが重要である。そこで実際に作製された $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$ 界面における終端面構造を、X線吸収磁気円二色性(XMCD)測定により決定することを試みた。Fe基板上に作製した $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$ 薄膜のXMCDスペクトルから磁気総和則を用いてCoおよびMn原子のスピン磁気モーメントの Co_2MnSi 膜厚依存性を求めた。その結果、膜厚が薄くなるにつれてスピン磁気モーメントが増大することが明らかになった。実験と同じ Co_2MnSi 膜厚をもつ $\text{Fe}/\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$ 薄膜に対して第一原理計算結果と比較すると、 $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$ 界面がMnSi終端のときに実験と極めてよく対応する結果が得られた。一方、Co終端界面に対する計算結果は Co_2MnSi 膜厚の減少にしたがってスピン磁気モーメントの減少を示し、実験結果とは定性的に異なる。XMCD実験と第一原理計算の結果を組合せることにより、作製された $\text{Fe}/\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{MgO}$ 薄膜ではMnSi終端界面が実現されていると結論づけることができた。

(三浦良雄, 白井正文)

垂直磁気異方性を示す $\text{Pt}/\text{Fe}/\text{Pt}(001)$ 薄膜および $\text{MgO}/\text{Pt}/\text{Fe}/\text{Pt}(001)$ 薄膜について、第一原理計算により磁気異方性エネルギー(MAE)の電界依存性を調べ、MgOの接合が磁気異方性の電界効果へ与える影響について解析を行った。

両薄膜ともにMAEは電界に対して線形に変化し、

金属表面内向き（外向き）の電界により減少（増加）する結果が得られた。これは FePt 薄膜について行われた実験で得られている傾向と一致している。Pt/Fe/Pt(001)薄膜では電界に対する磁気異方性エネルギーの変化の傾きが 74 fJ/Vm (GGA 計算) と得られた。MgO を接合した薄膜では、電界に対する MAE 変化の傾きが、MgO 中の比誘電率に比例して増大する結果が得られた。電界によるスピン密度、局所状態密度、バンド構造等の変化から MAE の変化する原因について解析を行った。また、MAE と金属表面付近での電荷移動、誘電体中での誘電分極との関係を明らかにするために、電界により誘起される電気分極の見積もりも行った。本研究により、誘起される誘電分極と MAE の変化の関係について明らかに出来た。

(辻川雅人, 小田竜樹, 三浦良雄, 白井正文)

高スピン偏極ホイスラー合金 Co_2MnGa と形状記憶ホイスラー合金 Ni_2MnGa の混晶系 $\text{Ni}_{2-x}\text{Co}_x\text{MnGa}$ を対象として、両材料が示す機能を兼備した新規材料の創製を目指した。まずは $\text{Ni}_{2-x}\text{Co}_x\text{MnGa}$ の磁化と透磁率を調べ、磁気相図を決定した。 Ni_2MnGa に Co を添加すると、キュリー温度が上昇し、マルテンサイト変態温度は著しく低下することが実験的に確かめられた。一方、理論計算の結果、Co 組成が 90%以上の混晶に対しては比較的高いスピン偏極率が保持されるものの、それより Co 組成が少なくなると急速にスピン偏極率が低下することが明らかになった。したがって、この混晶系では高スピン偏極率と形状記憶効果を兼備した材料は実現不可能であることが判明した。しかしながら理論計算で予測された磁化は Co 組成 60%付近で最大値を取り、磁化の絶対値ならびに組成依存性ともに実験結果と非常によい対応を示し、第一原理計算に基づく物性予測の確からしさを裏づけている。

(三浦良雄, 白井正文, 鹿又 武)

外部磁場によって高速で駆動する大変位アクチュエータへの応用が期待される、新しいタイプの強磁性形状記憶合金 $\text{Ni}_2\text{Mn}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}$ におけるマルテンサイト変態の発現メカニズムをミクロな立場から解明するために、最先端の大型放射光施設スプリング・エイトを利用した硬 X 線光電子分光および第一原理計算による理論的手法を駆使して詳細にその電子構造を調べた。

その結果、ニッケル (Ni) の電子状態が大きくスピンの向きによってエネルギー的に分裂しており、そのうちの少数スピン状態がマルテンサイト変態に大きく関わっていることを見いだした。また、母相

である Ni_2MnSn ではその状態が完全に電子で埋められており、マルテンサイト変態に関わらないが、Mn を過剰にしていくことにより、ニッケルの少数スピン状態に空きが生じ構造を変えてエネルギー分裂を起こした方が有利であることを見いだした。

(叶 茂, 木村昭夫, 三浦良雄, 白井正文, 鹿又 武)

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、研究代表者ならびに研究分担者間の研究交流が飛躍的に活性化した。第一原理計算に基づく材料設計、試料作製、物性評価という新材料探索プロセスが非常に有効な手段であることを明確に示すことができた。強磁性形状記憶合金はアクチュエータへの応用が期待されている有用な高次スピン機能材料であり、本プロジェクトで確立したマルテンサイト変態の微視的起源の理解により、新材料創製に向けた研究開発が加速するものと期待される。また、強磁性体の磁気異方性の電界制御は次世代スピンメモリの磁化反転技術としての応用が期待される。

[4] 成果資料

- (1) M. Ye, A. Kimura, Y. Miura, M. Shirai, Y. T. Cui, K. Shimada, H. Namatame, M. Taniguchi, S. Ueda, K. Kobayashi, R. Kainuma, T. Shishido, K. Fukushima, T. Kanomata, "Role of electronic structure on martensitic phase transition of $\text{Ni}_2\text{Mn}_{1+x}\text{Sn}_{1-x}$ studied by hard x-ray photoelectron spectroscopy and *ab initio* calculation," *Phys. Rev. Lett.* **104**, 176401 (2010).
- (2) T. Saito, T. Katayama, T. Ishikawa, M. Yamamoto, D. Asakawa, T. Koide, Y. Miura, and M. Shirai, "Interface structure of half-metallic Heusler alloy Co_2MnSi thin films facing a MgO tunnel barrier determined by x-ray magnetic circular dichroism," *Phys. Rev. B* **81**, 144417 (2010).
- (3) T. Kanomata, Y. Kitsunai, K. Sano, Y. Furutani, H. Nishihara, R. Y. Umetsu, R. Kainuma, Y. Miura, and M. Shirai, *Phys. Rev. B* **80**, 214402 (2009).
- (4) M. Tsujikawa and T. Oda, "Electronic Structure and Magnetic Anisotropy in Iron Chains from a First Principles Study," *J. Comput. Theor. Nanosci.* **6**, 2597-2602 (2009).
- (5) M. Tsujikawa and T. Oda, "Finite Electric Field Effects in the Large Perpendicular Magnetic Anisotropy Surface Pt/Fe/Pt(001): A First-Principles Study," *Phys. Rev. Lett.* **102**, 247203 (2009).

課題番号 H19/A04

IV 族半導体量子ドットの価電子制御と MOS メモリへの応用

[1] 組織

代表者：宮崎 誠一
(広島大学大学院先端物質科学研究科)

対応者：室田 淳一
(東北大学電気通信研究所)

分担者：村上 秀樹
(広島大学大学院先端物質科学研究科)
室田 淳一
(東北大学電気通信研究所)
櫻庭 政夫
(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 21 万 3 千円、旅費 31 万 9 千円

[2] 研究経過

「だれもが安全に安心して使える先進的なグローバル・ユビキタス情報通信」の実現、すなわち情報通信技術の高度化には、情報処理デバイスのメインストリームであるシリコン系 MOS デバイスの高性能化・高機能化が必須課題となっている。

本共同プロジェクト研究では、MOS デバイスの機能レベルでの進化を目的として、IV 族半導体量子ドットで発現する特異性・機能性を活用した MOS デバイスの開発に向け、量子ドットの電子帯構造や帯電特性を制御するための基礎研究を推進している。

本年度は、IV 族半導体量子ドットと SiGe 系高移動度チャンネルとの組み合わせに着目し、まず下地となる SiGe/Si ヘテロ接合のエネルギーバンド構造の定量評価に力点を置き、研究に取り組んだ。具体的には、LPCVD 法により形成した極薄 Si/Si_{0.55}Ge_{0.45} ヘテロ構造の価電子帯不連続量を、光電子分光手法により精査した。

また、本共同プロジェクト研究の推進するために、東北大学にて実験打ち合わせを実施し、共同研究分担体制を築くと共に、極薄 Si/SiGe ヘテロ構造(プロジェクト対応者の室田淳一教授より提供)について、価電子帯不連続量を光電子分光手法により評価でき

ることを明らかにした。その成果の一部を、本プロジェクト対応者の室田 淳一教授が中心的に組織・運営した 5th International Workshop in New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (1 月 29-30 日、東北大学) でポスター発表すると共に、第 55 回春季応用物理学会 (3 月 17-20 日、東海大学) で発表(講演番号:18p-C-6)を行った。これらの研究会での、講演や意見・情報交換を通じて、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。更に、これまでの詳細分析結果を取りまとめて、5 月 24-26 日にストックホルムで行われる 5th The Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) に投稿した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、LPCVD 法により形成した極薄 Si/SiGe ヘテロ構造の価電子帯に形成されるバンド不連続構造を、X 線光電子分光法(XPS)により直接評価した。

化学溶液洗浄した p-Si(100)および Strained SOI (Si cap 15nm, BOX 145nm)上に、SiH₄ と GeH₄ ガスを用いた LPCVD により厚さ~8nm の Si_{0.55}Ge_{0.45} 層を基板温度 500°C で堆積した。その後、~5nm の Si 層を同様の LPCVD により形成し、H₂ と O₂ の混合ガス雰囲気中 700°C での表面酸化により、厚さ~5nm の SiO₂ 層と~1.5nm の Si 層を形成した。また、深さ方向分析のために化学溶液エッチングにより試料の薄膜化を行い、薄膜化の過程で、原子間力顕微鏡(AFM)により表面マイクロラフネスを調べ、XPS により化学結合状態と価電子帯オフセットを評価した。

希釈 HF 溶液による SiO₂ 薄膜化過程で測定した価電子帯スペクトルを SiO₂ と Si/Si_{0.55}Ge_{0.45} の 2 成分に分離した結果を図 1 に示す。各信号は、SiO₂ 膜除去後の Si/Si_{0.55}Ge_{0.45} に相当する価電子帯信号を用いて分離している。また、希釈 HF 処理前後で表面ラフネスが変化しないこと(RMS=0.16nm)を AFM より確認している。分離した価電子帯信号の立ち上がりのエネルギー差は、SiO₂ 薄膜化前で 4.95eV であり、0.5%HF 浸漬により SiO₂ を 1.5nm まで薄膜化することで、0.25eV 減少する。この減少分は、図 1 中に示

すバンド図のような SiO_2 膜中の電位変化と解釈できる。また、 Si より $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ の価電子帯上端が浅いことを考慮すると、 SiO_2 と $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ の価電子帯不連続量は 4.70eV と決定できる。

SiO_2 膜除去後、光電子脱出角 90° と 15° で測定した価電子帯スペクトルの差分から、 Si 層に相当する価電子帯信号を求めた(図2)。価電子帯信号上端のエネルギー差より、 Si 層の価電子帯上端は、 $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ より $\sim 0.20\text{eV}$ 深いことが分かった。 SiO_2 と $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ の価電子帯不連続量が 4.70eV であることを考慮すると、 SiO_2/Si 層界面では 4.50eV である。この結果は、熱酸化 $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 界面の価電子帯不連続量の報告値(4.49eV [J. L. Alay et al., J. Appl. Phys., 81 (1997) 1606])と一致する。

次に、 $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}/\text{p-Si}(100)$ 界面の価電子帯不連続量を見積もるために、 H_2O_2 による表面酸化と希釈 HF による酸化膜のエッチングを繰り返し行い、 $\text{Si}/\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ 層の薄膜化した。まず、異なる $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ 膜厚の試料の価電子帯スペクトルから、 Si 基板に相当する成分を抽出した(図3)。この成分の形状は、別途準備した水素終端 $\text{Si}(100)$ 基板のVBスペクトルの形状にほぼ一致し、そのエネルギー差から、 $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}/\text{p-Si}(100)$ 界面の価電子帯不連続量は、 0.30eV であることが分かった。

また、Strained SOI 上に形成した $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ について、同様の手順により価電子帯不連続量を評価した結果、 $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}/\text{Strained Si}$ 界面では 0.20eV であり $\text{p-Si}(100)$ に比べ 0.10eV 低下する。これは、歪の影響による Si のバンドギャップの低下に起因したと考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

上述した様に、本年度では LPCVD 法により形成した極薄 Si/SiGe ヘテロ構造において、光電子分光手法により高精度に価電子帯不連続量を評価できることを明らかにした。今後の研究展開として、前年度までに確立した光電子分光分析手法を利用して、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ ヘテロ構造において、 Ge 比率による $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ 界面の価電子帯不連続量の変化を精査する。また、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 系高移動度チャンネルに適した電荷蓄積ポテンシャル井戸を実現し得る Ge 系量子ドットの高密度形成およびその価電子制御に取り組み、デバイスレベルでその有効性を検証する。 Si 量子ドットよりも正孔に対する深いポテンシャル井戸を形成できる Ge 系量子ドットの形成により、電荷保持ノードとしての機能向上が期待できる。さらには、本プロジェクトで確立した光電子分光手法を用いて、 Ge 比率による $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ 界面の価電子帯不連続量の変化を明らかにすることで、 Ge 系量子ドットフロー

ティング MOS メモリの設計指針が得られる。

本共同プロジェクト研究をベースとした国際連携ネットワークについては、2010 年度に開催予定の2つの国際会議、5th The International SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) (May 24–26, Stockholm) および 6th International Workshop in New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (東北大学) を通じて(いずれの国際会議にも、研究代表者がプログラム委員として参画)、さらなる連携強化を進めるので、関連分野の発展にも貢献できると期待される。

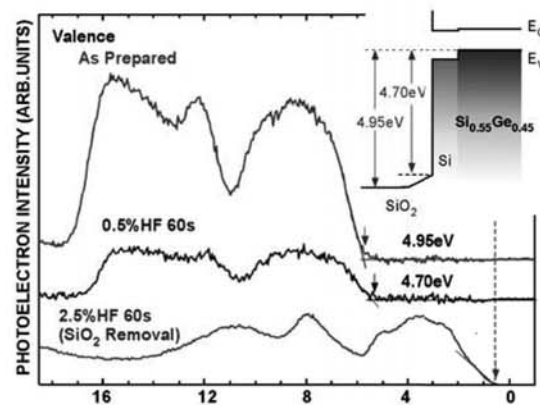


図1. 希釈 HF 浸漬による SiO_2 薄膜化過程における波形分離した価電子帯スペクトル

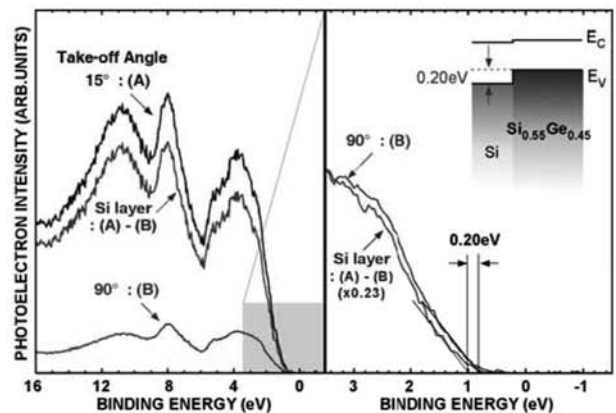


図2. SiO_2 膜除去後、極薄 $\text{Si}/\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ ヘテロ構造の価電子帯スペクトル分析

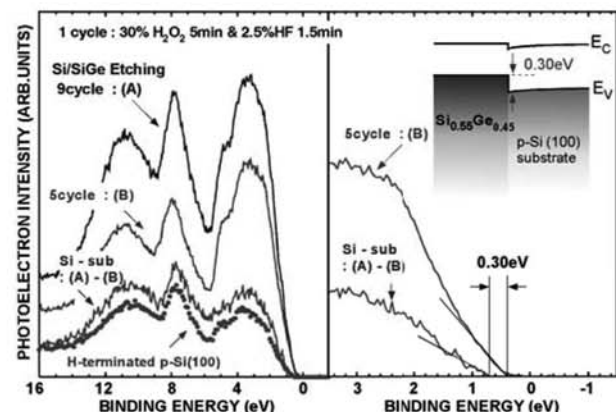


図3. $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}/\text{Strained SOI}$ における $\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}$ 層薄膜化前後の価電子帯スペクトル評価

[4] 成果資料

(1) Akio Ohta, Katsunori Makihara, Seiichi Miyazaki, Masao Sakuraba, Junichi Murota, “Evaluation of Valence Band Offsets for $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{SiGe}_{0.5}/\text{Si}$ Heterostructures Using by X-ray Photoelectron Spectroscopy”, 5th International Workshop in New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, P-17, p.51 (January 29-30, Tohoku University)

(2) 大田 晃生、牧原 克典、宮崎 誠一、櫻庭 政夫、室田 淳一、「 $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{SiGe}_{0.5}/\text{Si}$ ヘテロ構造の価電子帯オフセット評価」、第55回春季応用物理学会、18p-C-6、13-013 (3月17-20日、東海大学)

(3) Akio Ohta, Katsunori Makihara, Seiichi Miyazaki, Masao Sakuraba, Junichi Murota, “Determination of Valence Band Alignment in $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{Si}_{0.55}\text{Ge}_{0.45}/\text{Si}$ Heterostructures”, 5th The International SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) (May 24 - 26, Stockholm) submitted.

採択番号 H19/A05

採択回数 1 2 ③

3Dサウンドによる 視覚障害者の歩行訓練実現のための基礎研究

[1] 組織

代表者：関 喜一

(産業技術総合研究所)

対応者：岩谷 幸雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

大内 誠 (東北福祉大学)

鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)

矢入 聡 (仙台高等専門学校)

大谷 真 (信州大学)

水戸部一孝 (秋田大学工学資源学部)

棟方 哲弥 (産業技術総合研究所)

本多 明生 (いわき明星大学)

鈴木 雅史 (秋田大学工学資源学部)

吉村 昇 (秋田大学)

平成21年12月1日 第1回 東北大通研

- 聴覚ディスプレイ API について企業 (大井電気) と打合せ。
- GPS の動作確認。

平成22年3月4日 第1回 東北大通研

- 大井電気と打合せ後の作業結果
- スケジュール確認
- H21 予算
- H22 予算
- 学会

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、前年度の結果を基に、実際のシステムの実装を行った。

研究費：物件費 23 万 5 千円，旅費 29 万 1 千円

[2] 研究経過

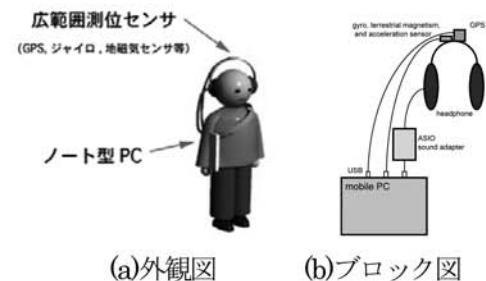
視覚障害者の仮想空間における歩行訓練の研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、視覚障害者が安全な音響仮想環境内で実際に歩き回りながら歩行訓練を受けることができるような仮想環境歩行訓練技術を開発する。そのための基礎研究として、頭部伝達関数をシミュレートした3次元音響再生技術(3Dサウンド)と、GPSなどの広範囲位置計測技術を用いて、実際に歩き回れるくらいに面積の広い音響仮想環境内を実現することを目的として研究を行った。

前年度(H20年度)は、視覚障害に関連したGPS等の広範囲測位技術、および3次元音響に関する先行研究の調査を基に、訓練システムの開発を開始した。

本年度は、前年度の結果を基に、実際のシステムの実装を行い、視覚障害教育またはリハビリテーションの現場において試験導入を行い、有効性を検証した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究打合せ：



(c)実装例の写真

図1 本システムの構成

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

プロトタイプシステムのハードウェア構成は以下の通りである：

- モバイル PC
 - Panasonic 社 TOUGH BOOK CF-19KW1AJS
 - Intel Core 2 Duo, 1.2GHz
 - 重量：約 2.3 kg
 - タッチスクリーン搭載
- GPS
 - San Jose 社 GM-158-USB
 - 5Hz サンプリング
 - NMEA GGA フォーマット出力
 - 位置正確度：DGPS 時 2.6 m
 - 寸法：46.2 × 38.0 × 16.1 mm
 - 重量：70 g
- 地磁気・セラミックジャイロ・加速度一体型センサ
 - NEC Tokin 社 MDP-A3U9S
 - 125 Hz サンプリング
 - 角度分解能 1 deg
 - 寸法：20 × 20 × 15 mm
 - 重量：6 g
- ASIO 対応オーディオインタフェース
 - M-Audio 社 Transit USB
 - 44.1 KHz サンプリング
 - 量子化分解能：16 bit
- ヘッドホン
 - Sennheiser 社 HD 280 Professional
 - 密閉型
 - 周波数特性 8Hz - 25,000Hz
 - 重量：220 g

またソフトウェアの構成は以下の通りである：

- OS
 - Microsoft Windows Vista Business SP1
- アプリケーション開発環境
 - Microsoft Visual C++ 2008
 - Win32API
- ミドルウェア
 - SiFASo (Simulative environment for 3-D Acoustic Software)

本システムのソフトウェアの操作は GUI (Graphical User Interface)を通して行う。操作画面（図 2）は、画面左側に仮想訓練環境内部の様子を表示し、画面右側にコントロール（操作ボタン等）を配置した。

プロトタイプではタッチパネルを用いており、マウスやトラックパッドの他に、画面のボタンに直接触れることで操作できる。

なお本システムは本来、被訓練者が PC を携帯して移動することを想定しているため、指導員用インタフェースはワイヤレスで接続された別のモバイル端末で実現する必要がある。現在、ワイヤレスタッチパネル (Panasonic 社 TOUGH BOOK CF-08) などの導入によって、インタフェースのワイヤレス化を検討している。

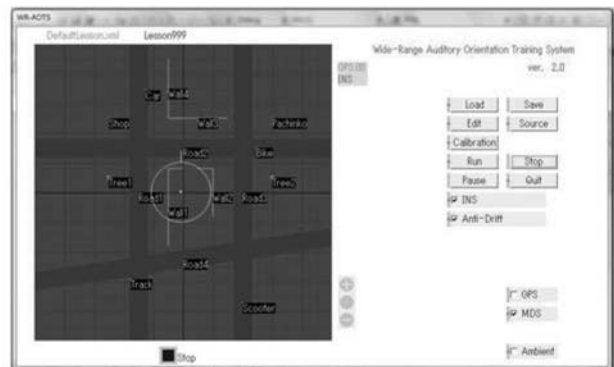


図 2 本システムの訓練士用インタフェース

システムの特長の概要を述べる（詳細は 2008 年度報告参照）。

広範囲測位技術の実装

高価高精度な磁気位置方向センサなどを用いず、低コスト化・広範囲化を実現するため、GPS・地磁気・ジャイロ・加速度センサを使用した。

3次元音響処理の PC への実装

高価な DSP を用いず、PC の汎用 CPU で 3 次元音響処理を行うことを可能とするミドルウェアである SiFASo (Simulative environment for 3-D Acoustic Software)を用いた。

オーディオ出力は、ASIO (audio stream input output) 対応オーディオインタフェースを使用することとした。

音源定位・障害物知覚の要因の再現

仮想訓練環境の要素は、音源、道、壁、および目印 (ランドマーク) の 4 つとした。

音源は自動車の音や商店の音を再現できるものと

し、また遠方からの騒音も再現できるものとした。壁は、反射や遮音を再現できるものとした。

仮想訓練環境の自由編集

XML による仮想環境表現を採用することにより、指導員が仮想訓練環境を自由に編集可能。

一部保留となっている機能

プロトタイプでは、以下の機能が未実装または未対応となっている。早急に対応したい。

無限距離音源（騒音源）による壁からの反射が未実装。これは3次元音響処理用ミドルウェアである SiFASo が距離による遅延の再現に十分対応していないためである。現在 SiFASo のアップデート作業中である。

仮想環境の編集機能が未実装である。現在はテキストエディタや XML エディタ、または旧訓練システムで編集した XML ファイルを読み込んで使用している。

GPS の誤差が大きく、現在は必要に応じて GPS を OFF とし、地磁気・ジャイロ・加速度センサのみによる慣性測位で動作させている。DGPS が適正に動作していないことが原因と考えられるため、機種の変更または、GPS を用いない広範囲測位を導入する必要がある。

当初の計画通り、2010年2月に国立障害者リハビリテーションセンター学院視覚障害学科における生活訓練指導員養成過程において、訓練システムを導入した。

導入の結果、本システムは教室に居ながらにして歩行空間における音の代表的な変化を学習することができるため、指導員候補生に対して仮想空間を用いた聴覚空間認知の習得を効率よく行わせることができた。

[4] 成果資料

- 1) Yukio IWAYA, "Sound space perception in virtual environments with head movements," Proc. of International Workshop on the principles and applications of spatial hearing (IWPASH2009), (in CDROM 4 pages), November 2009, Zao, Japan (invited paper).
- 2) 大谷真、岩谷幸雄、矢入聡、"バイノーラル技術の基礎と応用", 騒音制御 Vol. 33, No.3, 2009.
- 3) 大谷真、岩谷幸雄、小林まおり、矢入聡、鈴木陽一、千葉武尊、"背景音が3次元仮想音空間に与える聴感的影響", 信学技報 EA2009-51, pp.49-54, 2009.
- 4) Yoshikazu SEKI, Yukio IWAYA, Takeru CHIBA,

Satoshi YAIRI, Makoto OTANI, Makoto OH-UCHI, Tetsuya MUNEKATA, Kazutaka MITOBE, and Akio HONDA, "Auditory Orientation Training System for the Blind by using Wide-Range 3-D Sound," CVHI 2009, CD-ROM (Wroclaw, 2009-4).

- 5) Yoshikazu SEKI, Yukio IWAYA, Takeru CHIBA, Satoshi YAIRI, Makoto OTANI, Makoto OH-UCHI, Tetsuya MUNEKATA, Kazutaka MITOBE, and Akio HONDA, "Auditory Orientation Training System for the Blind by using PC-Based Wide-Range 3-D Sound Technology," IWPASH 2009, D10, USB-memory (Zao, 2009-11).
- 6) Yoshikazu SEKI, Yukio IWAYA, Takeru CHIBA, Satoshi YAIRI, Makoto OTANI, Makoto OH-UCHI, Tetsuya MUNEKATA, Kazutaka MITOBE, and Akio HONDA, "Development of Auditory Orientation Training System for the Blind by using PC-Based Wide-Range 3-D Sound Technology," Extended paper of IWPASH 2009, ??-?? (in printing).
- 7) Yoshikazu SEKI, Tetsuji SATO, "Auditory Orientation Training System: Orientation and Mobility Instruction for Blind People using Acoustic Virtual Reality," IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering (in printing).
- 8) Yoshikazu SEKI, "Effect of Velocity and Stepping Time on the Continuity of a Discrete Moving Sound Image," IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing (in printing).
- 9) 関喜一、"（翻訳）盲・視覚障害百科事典"、中田英雄（監訳）、（明石書店、東京、2009-12）
- 10) 関喜一、岩谷幸雄、千葉武尊、矢入聡、大谷真、大内誠、棟方哲弥、水戸部一孝、本多明生、"広範囲電子的測位による3次元音響を用いた視覚障害者の聴覚空間認知訓練の可能性（第3報）"、第35回感覚代行シンポジウム、予稿集、73-76（東京、2009-12）。
- 11) 関喜一、岩谷幸雄、千葉武尊、矢入聡、大谷真、大内誠、棟方哲弥、水戸部一孝、本多明生、"聴覚ディスプレイと歩行トレーニング"、日本機械学会第22回バイオエンジニアリング講演会、講演番号0733、講演論文集 p.305（岡山、2010-1）

頭部伝達関数計測系の精緻化に関する研究

[1] 組織

代表者：平原 達也

(富山県立大学工学部)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

岩谷 幸雄 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費20万6千円，旅費26万5千円

[2] 研究経過

ヒトの頭部伝達関数 (HRTF: Head Related Transfer Function) は、任意の3次元位置にある仮想的な音像を呈示する聴覚ディスプレイシステムに不可欠である。このHRTFは方向と距離の関数で個人毎に異なるために、長時間をかけた精密な音響計測が必要になる。本プロジェクトでは、現有のHRTF計測システムの問題点を改善し、ヒトのHRTFをより高精度に安定して計測できる測定系を構築することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。以下、研究活動状況の概要を記す。

4月、5月は今年度の研究実施計画を立案した。また、富山県立大では昨年度構築した相反法を用いたHRTF計測システムの性能改善に取り組んだ。9月に日本大学で開催された日本音響学会研究発表会にて昨年度と本年度に得られた結果の一部を一般講演で発表した。また、本プロジェクト研究の進捗状況を確認するとともに今後の予定を協議した。11月11日～13日に宮城蔵王で開催されたIWPASH (International Workshop on the Principles and Applications of Spatial Hearing) でこれまでの研究成果の一部を発表した。12月は改良した相反法によるHRTF計測システムを用いて、頭部近接音場のHRTFを計測した。そして計測データの解析を行い同HRTF計測システムの改善結果を確認した。また、IWPASHのSelected paperを執筆した。1月は富山県立大で相反法によるHRTF計測システムを用

いて、体表面上の音源から外耳道入り口までの音響伝達関数を測定した。また、相反法によるHRTF計測法の問題点等についてまとめた論文を執筆した。2月1日にRIECでこれまでの研究成果についての議論を行った。また、3月には東京で開催された日本音響学会春期研究発表会で本年度に得られた結果の一部を一般講演で発表した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に、HRTF計測時の音響系の変動、すなわち、実頭の位置変動と收音系のS/N変動の原因を明らかにした。昨年度までにRIECで計測したHRTFのデータを詳細に検討した結果、收音系の電気的な接続を適切に行ってHRTFを計測した場合には、そのS/N変動はほとんどないことがわかった。無響室内に設置したマイクロホンプリアンプから制御室内に設置したA/Dコンバータまでの接続ケーブルとコネクタ、A/Dコンバータ入力端子から分岐して信号モニタアンプへの接続ケーブルとコネクタ、A/Dコンバータと信号モニタアンプの筐体間の接続を確実にし、モニタアンプ出力を実験者の耳で確認するとともに、オシロスコープ等で信号ライン電圧を監視することは、基本であり重要である。

RIECのシステムでは、スピーカアレイの回転に伴って耳栓マイクとマイクロホンプリアンプとを接続するケーブルが引っぱられる場合があり、マイクロホンプリアンプを適切な位置に配置することも重要である。また、マイクロホンプリアンプの筐体とスピーカアレイとが接触した場合にもノイズが混入することがあり注意が必要である。

一方、HRTF計測中の被験者の頭部の動きは不可避である。後頭部を保持する治具を用いた場合でも、1時間以上にわたる長時間のHRTF計測の間に頭部は動く。頸部サポート具を装着して頭部を固定した場合には頭部の動きは抑制されるが、サポート具による反射が不可避である。

これらより、HRTFをより高精度に安定して計測するためには、HRTFの計測時に被験者の頭部位置を同時計測して頭部の角度を明らかにするか、

HRTF の計測時間を短縮して測定中の被験者の頭部運動の影響を排除することが必要であると考える。

第二に、両耳の外耳道入り口に音源を置き、頭部周辺にマイクロホン置いて音響伝達関数を測定する相反法による HRTF 計測システムの性能改善に取り組み、その有効性と問題点を検証した。

相反法による HRTF の計測には、外耳道に挿入できるサイズの小型スピーカが必要となる。平均的な外耳道の直径は 7~8 mm で、そこに挿入できるスピーカユニットとしては、Fig.1 に示すようなバランスド・アーマチュア型のものしかない。

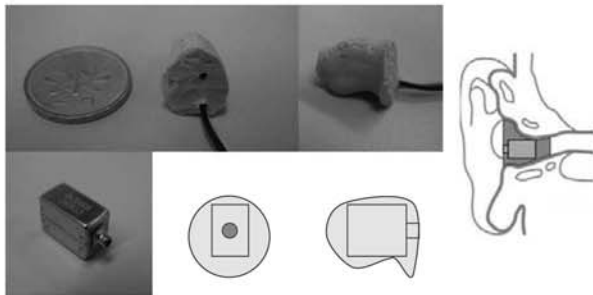


Fig.1 耳栓スピーカの概観と構造

Fig.2 は Knowles 社製の 3 種の小型スピーカ ED-29689, BK-28510, DTEC-30008 の出力音圧を比較した結果である。0.6 kHz 以下の帯域では BK-28510, DTEC-30008 の出力音圧は ED-29689 よりも 7 dB 高い。0.6~2.5 kHz の帯域では DTEC-30008 の出力音圧は他よりも 9 dB 高い。2.5~4 kHz の帯域では 3 種のスピーカの出力音圧に差はない。4 kHz 以上の帯域では ED-29689 の出力音圧は DTEC-30008 よりも 16 dB 高い。ED-29689 は高域において出力音圧が高く、特に、16 kHz の周波数では BK-28510 よりも 30 dB、DTEC-30008 よりも 40 dB 出力音圧が高い。DTEC-30008 は 12 kHz 以上の帯域では出力音圧が低くなるが、12 kHz 以下の帯域では他よりも出力音圧が高い。

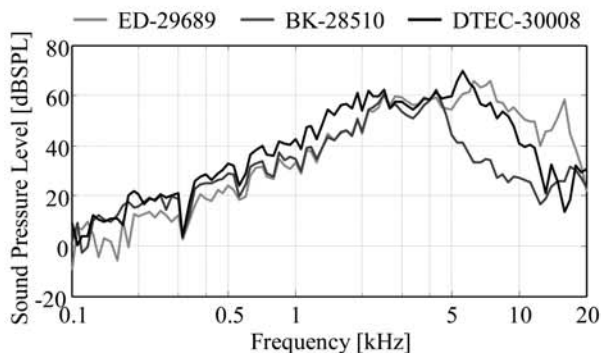


Fig.2 3種の小型スピーカの出力音圧特性

Fig. 3 は、距離 1 m における水平面 30 度ごとの 12 方向の、DTEC-30008 の周波数特性を重ねて描いたものである。耳栓スピーカの出力音圧レベルは 0.4~14 kHz の帯域において 30 dB SPL 以上で、方位による周波数特性の違いは見られなかった。しかし、0.4 kHz 以下の帯域では耳栓スピーカの出力音圧レベルは、暗騒音レベル以下であった。また、14 kHz 以上の帯域においては指向性があり、スピーカの前面 (方位角 300~60 度) に対しての放射音圧レベルは 40 dB SPL であるが、側面 (方位角 90, 270 度) に対しての放射音圧レベルは 20 dB 低く 20 dB SPL であった。

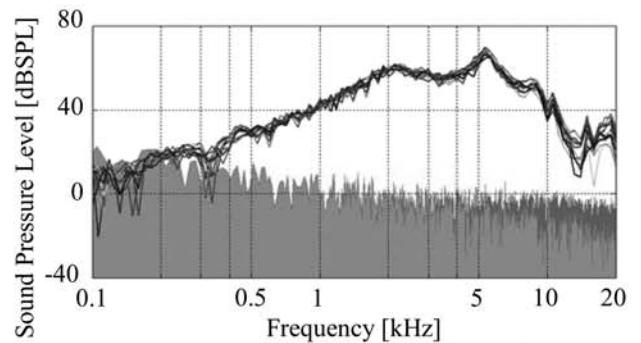


Fig.3 耳栓スピーカ出力音圧特性の方向依存性

バランスド・アーマチュア型の小型スピーカユニットは過大入力に対して高調波歪が発生しやすい。Fig. 4はDTEC-30008への入力電圧を (a) 1.1 V, (b) 4.0 V としたときの TSP 応答波形とそのスペクトログラムである。それぞれの場合の TSP 信号の出力音圧は 55 dB SPL と 62 dB SPL である。小型スピーカユニットへの入力電圧をある程度以上上げると出力音圧は高くなるが、高調波歪は増加する。このように、TSP 応答信号の S/N 向上と高調波歪の低減はトレードオフの関係にあり、適切なレベル管理を行う必要がある。

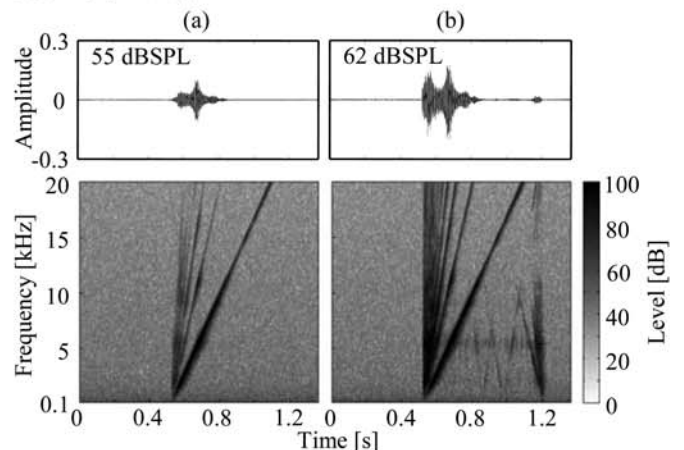


Fig.4 (a) 55 dB SPL および (b) 62 dB SPL の音圧を出した場合の TSP 応答信号とそのスペクトログラム

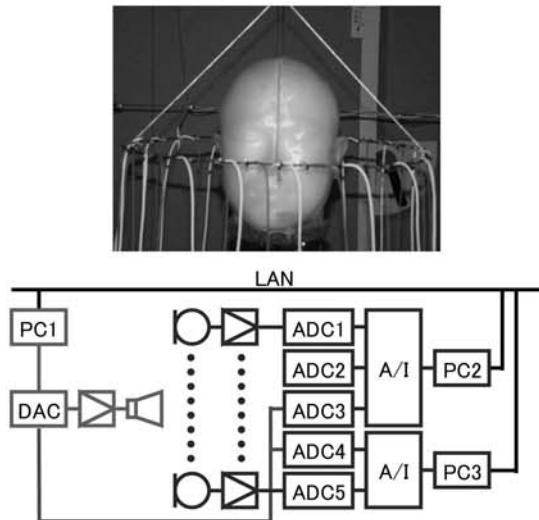


Fig.5 相反法による 36ch の HRTF 計測システム

今年度構築した相反法による 36ch の HRTF 計測システムを Fig.5 に示す。36 個のマイクロホン (Primo, EM133) は、半径 1.0m あるいは 0.2 m の円状のフレームを高さ 1 m に固定し、10 度間隔で取り付けた。耳栓スピーカは、小型スピーカ (Knowles, DTEC-30008 あるいは ED-29689) をシリコン印象材に埋め込んだものを用いた。電気音響系は以下のとおりである。PC に接続した D/A 変換器 (EDIROL, UA-101) の出力電圧はアンプ (audio-technica, AT-HA20) を経て耳栓スピーカを駆動する。マイクロホンの出力電圧はマイクアンプ (audio-technica, AT-MA2) で増幅されマルチトラックレコーディング用の A/D 変換器 (PreSonus, DIGIMAX FS) に入力され、FireWire オーディオ・インタフェース (PreSonus, FireStudio Lightpipe) を介して PC に取り込まれる。PC1 から PC2, 3 に録音開始の命令が TCP/IP 経由で送信される。PC2, 3 の録音開始時刻は異なるため、ADC3, 4 に DAC から出力される基準信号を入力して時間軸を合わせた。また、5 台の A/D 変換器と 2 台のオーディオ・インタフェースはワードクロック同期を取った。

インパルス応答計測用の TSP 信号はサンプリング周波数 48 kHz、信号長 65,536 点の OATSP を使用し、加算平均回数は 20 回とした。計測時間は 30 秒であった。

Fig.6 に頭部中心から 1.0 m の通常距離と、0.2 m の近接距離の HRTF を相反法で計測した結果の一例を示す。耳栓スピーカには DTEC-30008 を用いた。S/N が低い 0.4 kHz 以下の低域と 15 kHz の近傍で HRTF には計測誤差が認められたが、その他の帯域では従来法で計測した HRTF および数値計算で求めた HRTF と類似した結果が得られた。相反法による HRTF 計測系のボトルネックは耳栓スピー

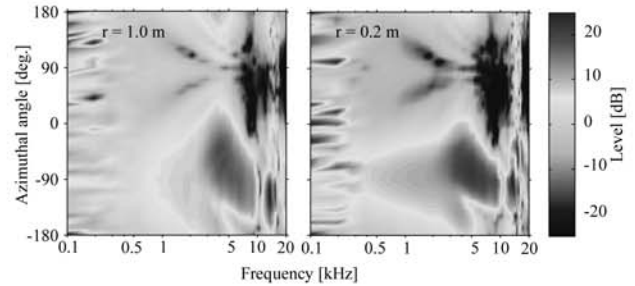


Fig.6 相反法によって測定した、距離 1 m と 0.2 m の HRTF のコンター図の一例

カの出力音圧で、広帯域で出力音圧が高い小型スピーカを得ることが今後の課題である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトでは、RIEC の HRTF 測定システムの問題点を改善し、ヒトの頭部伝達関数をより高精度に安定して計測することを可能とするとともに、従来の直接法では不可避の長時間に渡る HRTF 計測中の頭部運動の影響を排除できる相反法による HRTF 測定システムを新たに構築し、その有効性と問題点を確認した。これらの成果は、バイノーラル技術による立体音場再生の根幹を成す頭部伝達関数の音響計測精度を向上させるものであり、関連分野に大きな波及効果がある。また、本プロジェクトで得られたいくつかの成果は、現在進めつつある超臨場感コミュニケーション技術の音響デバイス・システムの研究開発にも結びつくと考えられる。

[4] 成果資料

- (1) 平原達也、大谷真、戸嶋巖樹、"頭部伝達関数の計測とバイノーラル再生にかかわる諸問題、" Fundamentals Review 2(4), 68-85 (2009.04)
- (2) T. Hirahara, D. Morikawa, M. Otani, "Effect of Head Movement in HRTF Measurements," Proc. IWPASH (2009.11)
- (3) N. Matsunaga, T. Hirahara, "Re-examination of an HRTF measurement system via reciprocity," Proc. IWPASH (2009.11)
- (4) 松永悟行、平原達也、"頭部伝達関数の高速計測法の検討、" 日本音響学会講演論文集, 667-668 (2009.09)
- (5) 松永悟行、平原達也、"相反法による HRTF 計測の問題点、" 信学技報 EA2009-74, 107-112 (2009.10)
- (6) 松永悟行、平原達也、"相反法による近接場 HRTF の計測、" 日本音響学会講演論文集, 653-654 (2010.03)

採択番号 H19/A07

採択回数 1 2 3

脳内における色情報の基本表現 (色覚アルファベット) に関する研究

[1] 代表者：栗木 一郎

(東北大学電気通信研究所)

対応者：栗木 一郎

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

内川恵二 (東京工業大学大学院総合理工学研究科)

矢口 博久 (千葉大学大学院融合科学研究科)

小松 英彦 (自然科学研究機構生理学研究所)

北岡 明佳 (立命館大学文学部心理学専攻)

岡嶋 克典 (横浜国立大学)

篠森 敬三 (高知工科大学工学部)

中内 茂樹 (豊橋技術科学大学)

仲泊 聡 (国立障害者リハビリテーションセンター)

辻村 誠一 (鹿児島大学工学部)

鯉田 孝和 (自然科学研究機構生理学研究所、
現・豊橋技術科学大学)

溝上 陽子 (千葉大学大学院融合科学研究科)

研究費：物件費20万4千円，旅費24万3千円

[2] 研究経過

色情報表示メディアの普及により，色覚メカニズムが十分に考慮されない色表示が増えている。例えば，色覚異常者にとって読みにくい配色のハザードマップが作成され，色覚異常者が罹災するリスクが高まる等の問題を生み出している。色の感覚は脳内で作りだされているため，脳内の色覚メカニズムの理解と正しい応用は重要な課題であると考えられるが，脳内の色情報処理についてはその基本特性すら明らかにされていない。ヒトの視覚には約6万色を見分ける能力があるといわれているが，色の見え方を表現するために個別の色に選択的に応答する6万種類の細胞を供えているとは考えにくく，むしろ少数の基本要素（「色覚アルファベット」と仮称）を組み合わせていると考えるのが適切であると考えられている。色覚アルファベットに関する間接的な証拠（例：なぜ中間色と呼ぶか？）は多いが，実験手法

の困難さから，色の見え方の成立機序を直接的に示す科学的な知見が存在しないのが現状である。

昨年度・一昨年度における研究推進会議や国際会議における議論から脳内の色情報処理について解明すべき事柄が多数あることが明らかにされ，問題の中心が (1) 赤，緑，青，黄といった基本的な色の知覚に対応する神経基盤が未解明である事や (2) 脳内の色情報表現における基本色の種類（数）などに絞られることが明らかになってきた。それらの問題を深く掘り下げるため，個々の研究者において行われてきた実験の成果報告を中心とした定期会合を開催した。その会合の場において，次年度以降の本プロジェクトの発展的継続のための方針について話し合うブレインストーミングを行った。

脳内における視覚情報処理の理解が進むことによって，逆に「脳内にどのような情報を与えれば適切な視覚をあたえられるか」という問題に対する糸口を得ることができる。したがって人工視覚技術は脳内情報表現の研究の延長線上にある，将来的な研究テーマである。現時点では，色情報の脳内表現に関する情報交換の過程で派生したテーマであるが，本共同プロジェクト研究の助成を部分的に受けているためその範囲について報告を行う。

以下，これらの研究活動状況の概要を記す。

色覚に関する脳内表現の基礎研究については，以下の概要で会合を開き，各研究者の研究状況の報告およびその内容に関する詳細な検討を行った。

期日：平成21年11月13日(金)～11月14日(土)

場所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室
題目：

1. 栗木一郎「脳活動分類による脳内色覚メカニズムの考察」
2. 鯉田孝和・小松英彦「皮質電気刺激による色覚への影響～色度図上でのマッピング」
3. 中内茂樹・南 哲人・中島加恵「顔色に対する脳活動」

4. 北岡明佳「色の恒常性による色の錯視」
5. 岡嶋克典「自然物の質感知覚 ～食品の鮮度判定など～」

また、研究分担者からの推薦により本研究課題に深く関連する研究を進めている以下の4名を招聘し、最新の研究成果の報告を行って頂くとともに議論にも参加して頂いた。

6. 郷田直一（自然科学研究機構生理学研究所）「初期色情報処理過程における非線形性」
7. 永井岳大（豊橋技術科学大学）「仮現運動軌跡における輝度・色弁別感度低下」
8. 山内泰樹（山形大学大学院理工学研究科）「生理的要因からの等色関数の個人差の検討」
9. 徳永留美（高知工科大学）「Material and Lighting colour」

人工視覚研究については、前年度に応募した科研費（挑戦的萌芽）が不採択となったこともあり、個別に情報交換を行うにとどまった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度に行った研究の成果については以下の通りである。

【色覚のメカニズムに関する研究】

栗木はfMRIによって測定した脳活動を分類することにより色の知覚を脳活動から推測できることを示すとともに、脳内での色情報表現が赤／緑、青／黄の2成分表示によって表現されているのではないことを示唆する研究成果を報告した。

鯉田・小松は、人工視覚への応用が期待できる大脳皮質の神経細胞の刺激技術に関する研究報告を行った。サルの下側頭皮質における細胞に電気刺激を与えることによって、色の知覚が物理的な光の色度でどのように変化するかについて、行動実験をもとに報告した。この研究は外的に誘発された脳内の神経活動が色情報に与える変容から脳内の色情報表現に関する示唆を与える重要な研究である。

中内らは視覚系が特異的な情報処理を行っていることで知られている顔情報処理について、顔色に対する脳活動の計測結果を報告した。

北岡は周辺環境（特に照明光）の理解に伴って同じ光に対して異なる色を知覚する色恒常性現象に伴う錯覚現象について報告した。色恒常性は脳内で専一に処理されていると考えられ、色の見えを決める機構の解釈について有意義な知見を照会した。

岡嶋は物体の質感に関する視覚情報処理について報告を行った。色覚の情報処理機構は単に色をみる

ためだけのものではなく、物体認識にも活用されており、その一端として質感認識が挙げることができる。本報告は色覚の研究に関する将来的な発展性に関する示唆を与えるものであった。

郷田は、電気生理学的に得られた大脳の第一次視野における神経細胞の色選択性を改めて解析した結果、主要な応答の軸が5つあることを報告した。また、さらに単純な線形加算と半波整流の処理を組み合わせた神経回路モデルによってこれらの神経細胞の挙動をある程度説明できることを示した。これらの結果は色覚アルファベットの基準数に関する示唆を与える重要な報告である。

永井は、網膜像から物体の「切り出し」が行われた後の脳の高次の情報処理では主に物体に付随した属性について、物体を基準として情報処理が行われていることに着目した研究報告を行った。移動する物体の経路上に複数の色や輝度のターゲットを配置し、それらが知覚的に統合される際の特徴について研究を行うことで脳内の色情報の扱いに関して示唆が与えられる知見であると考えられるが、研究自体がまだ萌芽的な段階にあり、将来的な発展可能性が期待される。

山内は、色情報の原点である錐体の配列ならびに個人差から派生する、色の見えの個人差について、等色関数を測定する研究に関する将来的な構想を報告した。色情報処理に関する研究では、個人間の共通点と個人差の問題が常につきまとう。脳内の情報処理に至る前の錐体視物質や錐体配列のレベルでの個人差を十分に考慮しなければ、脳内情報処理のどこからどこまでが個人差かについて十分に検討することができず、今後の研究方針に重要な示唆を与える研究報告であった。

徳永は、照明光の色が変化した際にも同一物体に対する色の見えが概ね一定である色恒常性現象において、その色の見えが全く同一とならないことに着目し、その違いを考慮した色の見え方の脳内情報表現について、多次元尺度構成法を用いて考察した研究について報告した。その結果、照明条件に関して、物体の色の見え方とは別に独立した1軸をもっている可能性があることを示唆する実験結果を示した。この報告は脳内の色情報表現の構築が高次のレベルではどのような形態になるかについて重要な示唆を与えていると考えられる。

これらの研究成果を総合すると、脳内の色情報処理がテレビ信号のような「赤／緑、青／黄」の2成分（正／負を別にすると4成分）表記による情報表現ではなく、個別の色に対応する情報表現を持っている可能性を強く示唆する報告が多数得られている

状況であると考えられる。しかしながら、色情報表現の具体的な形式について最終的な結論を与える段階には到っておらず、今後も継続して研究を進めていく必要があると考える。

また、高次の視覚情報処理は物体の属性としての情報処理の性質を強く示すようになるため、将来の研究プロジェクトの方向性としては、質感などの物体の属性に関連した課題について研究を推進していくことが重要であるという示唆を得た。

【人工視覚に関する研究】

本研究テーマは、近い将来に開始すべき共同研究の課題ではあるが、あくまでも事前調査段階にある。今年度は具体的な活動ができなかったが、研究分担者の仲泊が企画・編集に当たった「神経眼科」誌における特集記事の1つとして、「皮質刺激型人工視覚の新たな可能性」と題した記事を栗木が投稿し、現状の人工視覚研究サーベイを行った上での新たな人工視覚システムの構想を記述した論文を発表した。

具体的には、網膜色素変性や黄斑変性などの要因で錐体の機能が失われ失明した網膜においては、残存神経を刺激する技術に関する研究が進められているが、その方法で視覚像の空間解像度を十分に読字が可能なレベルに引き上げるのは困難であり、大脳皮質と視野の間における、中心視野を大きく拡大して皮質上に投影する非対称なマッピング特性（レチノトピー特性）を利用する方が適切であるという事を主張している。また、この論文の最大の特徴は、視覚が主観的体験であることから、人工的に与えられた視覚と残存する視覚のマッチングあるいは人工的に与えられた視覚に対する観察者の感覚を重視し、人工視覚システムのチューニングや利用者のリハビリテーションのプログラムに関する提案をも行う内容となっている点にある。

（3-2）波及効果と発展性など

【色覚アルファベットについて】

今回の研究報告を総括することにより、脳内での色情報処理の様態についてある程度の示唆を得ることはできたが、まだ解明に到った状態ではないため、直接的な社会への波及効果は期待できない。また現在では色情報を主要に扱っているが、脳内で扱われている視覚情報の様態を明らかにするための技術や手順が確立されることによって、将来的に色覚以外の視覚情報の脳内での表現形式を明らかにする統一的方法を開発することが可能ではないかと期待される。

また、本研究プロジェクトにおける過去2年間の成果について、本プロジェクトのメンバーのうち3

名が日本光学会（応用物理学会）の年次大会である Optics & Photonics Japan 2009 におけるシンポジウム「色彩工学と色覚研究の最前線」において、本研究プロジェクトに関連したそれぞれの研究成果について講演をおこなった。

【人工視覚に関する研究について】

現時点では大型研究プロジェクトとしての研究助成を得るには到っていないが、視覚に関する脳内情報表現の研究成果の出口の1つとして人工的に視覚情報を与える方法に対して何らかの貢献ができるのではないかと考えている。現時点では全くの萌芽的段階であるが、遠くない将来、大脳皮質の視覚野を直接刺激する際に与える情報の質を制御する技術が必要となることが予想される。従って、本研究課題も将来にわたって本格的に研究を推進する必要性があるのではないかと考えられる。

大脳皮質における神経細胞の刺激には、東北大・加齢研の富田らが開発したチャンネルロドプシン-2を利用する構想であり、現在はこのチャンネルロドプシン-2を用いた網膜での動物実験について共同研究を行っている。この共同研究を発展させ、人工視覚技術において脳内情報表現に関する知見の集積を活用したシステムの構築に向けて展開させて行くことが必要であると考えられる。

[4] 成果資料

1. 栗木一郎：皮質型人工視覚の新たな可能性. *神経科学*, 26 (4), 396-406, 2009.
2. 栗木一郎：色の錯視とは何か. *光学*, 39 (2), 89-95, 2009.
3. 中村慎吾, 栗木一郎, 松宮和道, 孫 沛, 上野賢一, 田中啓治, 程 康, 塩入 論：脳活動のパターン解析による色相選択性細胞の存在の検証. *日本視覚学会 2009 年夏季大会*.
4. Kuriki I, Kitakawa T & Nakadomari, S : Temporal property of long term chromatic adaptation mechanism studied in the very early phase of cyanopsia. *Society for Neuroscience Annual Meeting 2009*.
5. 中内茂樹, 岡嶋克典, 栗木一郎：シンポジウム「色彩工学と色覚研究の最前線」, *Optics and Photonics Japan*, 2009.

ナノ物性計測手法の開発と物性探索への応用

[1] 組織

代表者：上原 洋一
(東北大学電気通信研究所)

対応者：同上

分担者：

稲岡 毅 (琉球大学)
桑原正史 (産業技術総合研究所)
坂本謙二 (物質・材料研究機構)
佐野陽之 (石川工業高等専門学校)
片野 諭 (東北大学)

研究費：物件費 18 万 5 千円，旅費 20 万円

[2] 研究経過

近年、ナノメートル物性研究の急速な進展により、微細領域に特有な現象が数多く見いだされ、すでに工学的な応用研究の段階に達しているものも少なくない。しかし、このような段階に達しながらその一方で現象の本質が十分理解されていない場合も多く見受けられる。このアンバランスの原因の一つはマクロな領域では極めて有効であった物性計測手法の多くがナノメートル領域には適用できないことによる。

本共同研究プロジェクトの目的はナノ領域物性計測に有効な計測手段を開発するとともに、それを新奇な物性の探索や解明に応用することにある。具体的には、(1) 電気通信研究所で開発された走査型トンネル顕微鏡 (STM) 発光振動分光法の機構解明と拡張、(2) 超高真空探針増強ラマン分光法の開発、(3) STM 発光分光法の新奇ナノ材料開発への適応、を目標とした。(1) の手法は原子位置分解能を有する新しい振動分光法である。一方、(2) の手法の位置分解能は (1) の手法に劣るが、ラマン散乱特性の試料が有する幾何学的対称性に対する依存は良く理解されているので、構造解析手法としての側面を (2) は有する。このような意味で (1) と (2) は相補的な関係にある計測手法であるといえる。

以上の目的を達成するために、(1) の研究課題

に関しては、事前の電子メール等での打合せを経て、稲岡氏との共同研究を平成 22 年 3 月 7 日～9 日の期間に電気通信研究所にて実施した。探針直下の吸着種の振動エネルギーが STM 発光スペクトル中に反映される機構について稲岡氏から有力な機構提案とモデル解析計算の提示がなされた。

(2) の研究課題に関しては、これまで Ni(110)-(2x1) O 表面のナノドメインの探針増強ラマン散乱光計測を坂本氏と共同で実施してきた。その結果、個々のナノドメインのラマン・スペクトル計測に成功したが、原理的な問題が残されたままになっていた。すなわち、一つひとつのナノドメインのラマン散乱光の検出が可能になるためには、 10^6 倍以上のラマン散乱光増強が必要になる。一方、Ni 自体は強い増強効果を示す材料ではない。そのような状況でなぜ個々のナノドメインのラマン散乱光が計測出来たのか、その機構を解明する必要があった。このために、佐野氏と平成 21 年 8 月 25 日～27 日、坂本氏と平成 21 年 11 月 12 日～13 日に集中的に議論した。

(3) の研究課題に関しては、次世代光記録や不揮発メモリの原材料として期待されている Ge-Sb-Te 合金系の一種である Sb_2Te_3 の STM 発光計測を電気通信研究所で行い、その結果の解析を電子メールベースで桑原氏と行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

項目 [2] に記した (1) ～ (3) の研究課題に関して平成 21 年度に得られた成果の概略を以下に記す。

課題 (1) に関しては、探針直下の吸着種の振動エネルギーが STM 発光スペクトル中に反映される機構について稲岡氏から電磁気学的な結合によるモデルの提案がなされた(以下、稲岡モデル)。

試料-探針間のバイアス電圧を V_0 としたとき、STM 中のトンネル電流は、角振動数が $\hbar\omega \leq eV_0$ の関係を満たす周波数範囲で振動双極子 $\mathbf{p}(\omega)$ を励起する。

ここで、 \hbar はプランク定数を 2π で割った数、 e は素電荷である。この双極子から周波数 ω をもつ電磁波(光)が放射され、STM 発光となる。図1はCu(110)表面上の単分子ベンゼンからの STM 発光スペクトルである。このスペクトル中で量子カットオフと呼ばれるスペクトルの上限

値 eV_0 から測って 85

meV だけ低エネルギー側にステップ状の構造が見られる。この構造が単一ベンゼンの分子振動に起因するものであることは同位体効果より確認している。稲岡氏との共同研究の目的はこのような振動誘起構造が STM 発光スペクトル中に発現する機構の解明であった。図2は稲岡氏のモデルに基づく数値計算結果の一例である。簡単のため、トンネル電流が単一の振動数 $\hbar\omega_0 = 2eV$ の双極子 $\mathbf{p}(\omega_0)$ を励起した

と考える。振動数 $\hbar\omega_{vib} = 0.2eV$ で振動する分子振動を稲岡モデルで STM 発光に取り込むと、STM 発光スペクトルは図2のようになり、トンネル電流が励起する角周波数 ω_0 の発光に $\omega_0 - \omega_{vib}$ の周波数の発光が付け加わる。これが図1に見られるステップ構造の発現機構であり、当初の目的である「STM 発光振動分光法の機構解明」がなされたといえる。

課題(2)に関しては、図3に示すような STM イメージを示す Ni(110)-(2x1)O 表面の探針増強ラマン分光を行って来た。探針増強ラマン散乱は STM の探針と試料間に形成されるナノメートル・サイズのギャップによる電磁気学的増強効果により、探針直下のナノメートル領域の局所ラマン分光を可能にする方法である。実際、図3の試料においても、明るくイメージされるドメインと暗くイメージされるドメインのどちらの直上に探針を固定するかにより、ラマン散乱スペクトルは全く異なっていた(成果資料(1))。しかし、この計測結果には原理的な興味・疑問がある。計測は 0.1 mm 程度のビーム直径に集光された励起光を STM の試料探針ギャップに照射

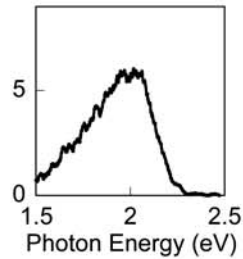


図1 ベンゼン分子の STM 発光スペクトル

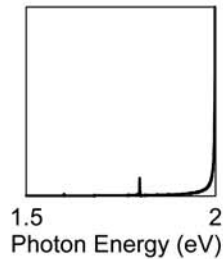


図2 稲岡モデルの計算結果の一例

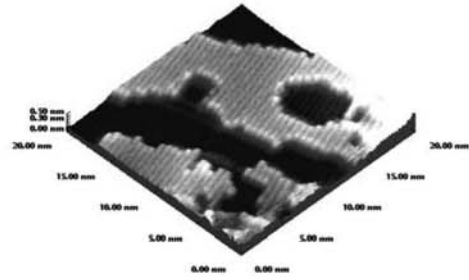


図3 Ni(110)-(2x1)O の STM イメージ

して行い、探針直下のナノドメインのラマン散乱を得ている。このことは、探針(すなわち、ギャップ)の存在により、少なくとも 10^6 倍以上の電磁気学的増強がもたらされていることを意味する。一方、Ni はラマン散乱を実施したスペクトル領域に於いて、大きな誘電的損失を有し、探針増強ラマン散乱配置を用いたとしてもこのような強い電磁気学的増強を示さないとするのが通説である。

この問題を解決するために、Ni(110)-(2x1)O 表面の2種類のドメインの誘電的性質(誘電関数)を、実験的には STM 発光分光により(東北大学・電気通信研究所が担当)、理論的には第一原理計算により(佐野氏が担当)行った。その結果を図4に示す。このグラフはバルク Ni の誘電関数の虚部と暗くイメージされたドメインのその差スペクトルを示し、実線が理論結果、破線が実験結果である。極めて高い整合性が得られている。この整合性は第一原理計算が適切になされていることを示すものであり、理論計算結果の中身から、表面電子状態に関する知見が得られた。それによれば、図3の暗くイメージされるドメインには酸素吸着に伴う占有及び非占有電子状態がフェルミ面近傍に誘起されており、占有-非占有状態間電子遷移がラマン散乱励起・散乱光と共鳴をすることにより、強い増強が得られたことが結論された。

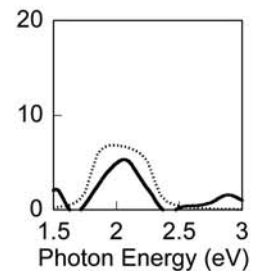


図4 誘電関数の虚部

課題(3)に関しては、 Sb_2Te_3 の STM 発光スペクトルの温度依存性(室温と 77K) およびピコ秒レーザーの照射効果について実験・検討を行った。該当物質の STM 発光機構はすでに解明されており(成果資料(2))、キャリア注入により生成された電子と正孔の再結合に伴う発光である。77K の試料温度では単一周波数の発光が観測されるが、室温になると熱的に励起されたフォノンとの相互作用により、

スペクトル幅は広がる。特徴的なのは、この広がりに全モードのフォノンが関与するのではなく、特定のフォノンが強く関わる点である。このため、スペクトル広がりには、このフォノンのエネルギー分だけ離散的に起こる。興味深いのは、試料を 77K にしてピコレーザーを照射した場合に観測される STM 発光スペクトルである。形状は室温の STM 発光に極めて類似している。これはピコ秒レーザーにより材料中にフォノンが励起され、それと STM 発光が相互作用を行っていることを示すものであるが、重要なのはピコ秒レーザーではなく、同じパワーの CW 光を照射した場合には、フォノンによる広がりは発生しない（通常の 77K のスペクトルに戻る）点である。すなわち、電子トンネルによるキャリア注入と照射光によるフォノン励起が同時に起こっていることを示し、STM 発光分光によりフォノン寿命の決定を可能にすることを強く示唆するものである。

（3-2）波及効果と発展性

平成 19 年度から平成 21 年度の 3 年間にわたり、標記課題の共同プロジェクト研究を実施してきた。最終年度に当たり、(1) ～ (3) の課題に関し、以下のような波及効果と発展性を期待している。

課題 (1) : STM 発光分光により表面吸着種の振動エネルギーが決定できることは数年以上前から実験的には明らかであった。しかし、発現機構の解明がなされておらず、独立した計測手法としての活用を阻んできた。本共同研究プロジェクトの実施により、理論の専門家から電気通信研究所では考えもしなかった機構が提示され、有効に機能しそうであることが分かりつつある。一旦、機構が解明されれば、どの振動モードが検出可能になるかを示す選択則や、どのような計測配置が振動モード検出に適しているか、等を容易に予想することができるようになった。その結果、ごく最近、表面吸着分子のみならず、固体材料のフォノン計測も可能になることがわかってきた。このことは、STM の高位置分解能性で個々の固体ナノ構造のフォノン計測が可能になることを意味し、例えば次世代の大規模集積回路を構成する微細構造評価への応用も期待される。この課題の成果はこのような方向に発展させる。

課題 (2) : 探針増強ラマン散乱自体は多くの研究機関で実施されており、その意味で独創性はない。しかし、この共同研究で明らかになったことは、探針直下の局所電子状態が電子トンネル励起発光スペクトルに予想した以上の影響を与えることである。このような効果を有効に用いれば、電圧のみで特性を制御しうる光源が実現できることを期待させるものであり、この課題の成果はそのような方向に発展

させる。

課題 (3) : Sb_2Te_3 のバンド間遷移発光とフォノンの相互作用に関し、極めて興味深い知見が得られた。すなわち、発光が特定のフォノンとのみ相互作用をする点である。この特性の物理的な解明はこれからであるが、このような特性を利用した光励起 THz 光源等への展開を考えてゆく。また、ピコ秒レーザーと組み合わせて結果得られた成果については、今後ナノメートルの位置分解能とピコ秒の時間分解能を有する振動分光法として開発・発展を図っていく。

[4] 成果資料

- (1) Y. Hirata, K. Sakamoto, Y. Uehara, and S. Ushioda, "Tip-Enhanced Raman Scattering Spectroscopy of Nanometer-Scale Domains in Ni(110)-(2x1) O Surface", *Jpn. J. Appl. Phys.* **48**, 110206 (2009).
- (2) Y. Uehara, M. Kuwahara, S. Katano, and S. Ushioda, "Scanning tunneling microscope light emission spectra of poly-crystalline $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ and Sb_2Te_3 ", *Solid State Commun.* **149**, 1902 (2009).

課題番号 H19/A10

補聴器への周波数領域両耳聴モデルの応用に関する研究

[1] 組織

代表者：宇佐川 毅

(熊本大学大学院自然科学研究科)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

菅木 禎史

(熊本大学大学院自然科学研究科)

中島 栄俊 (熊本電波高専)

研究費：物件費 21 万 3 千円，旅費 27 万 9 千円

[2] 研究経過

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

本プロジェクトは、これまでに、この FDBM の性能向上と、医療福祉分野を中心とした応用システムの開発を目的として、FDBM の応用の一例である両耳補聴システムへの適用の可能性を探った。また、両耳補聴システムで必要となるハウリングキャンセル機能の検討を行った。昨年度は、時間-周波数領域フィルタリングの事後処理を行い、ミュージカルノイズの低減を行い音質の評価を行った。【文献 1-6】

音の品質評価は、ヒトによる主観的な方法と SNR などによる客観的な方法がある。ヒトによる主観的な評価は人的にも時間的にも高コストである。一方、客観的な評価は計算機により容易に得ることができるが、人の聴感による評価と一致しない問題がある。そこで、本年度は、音声符号化の評価に用いられる主観的な評価と対応がとれているとされる客観的な音質評価である Perceptual evaluation of speech quality (PESQ) を FDBM の音質評価に適用して評価を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

【FDBM について】

FDBM は、右耳、左耳位置に相当する場所での入力信号から音波の到来方向を推定し、その方向から音を強調できる。2 入力で方位角のみならず仰角まで推定でき、出力信号には音源の方向情報を残したまま強調できる。演算量が少なく、実時間処理が期待できるアルゴリズムである。

Fig. 1 は FDBM のブロック図であり、入力信号を高速フーリエ変換し、両耳間位相差・レベル差を用いた音源方向推定および分離を行い、逆高速フーリエ変換により出力を得るまでの流れを示している。

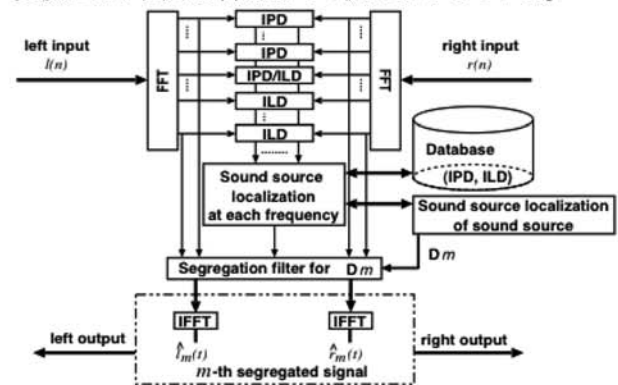


Fig.1 周波数領域両耳聴モデルのブロック図

【PESQ について】

PESQ は ITU-T より勧告されている客観的な音質評価手法であり、そのブロック図を Fig. 2 に示す。図に示されているように、PESQ は心理音響モデルを考慮しているため人間の聴感に近い評価を示すことが期待されるが、雑音抑圧処理を行った信号に対する評価の精度を保証していない。本報告では、PESQ による評価は原信号にターゲット信号を用い、評価値間の相対的な比較を主目的に使用する。PESQ によって与えられる PESQ score の範囲は -0.5~4.5 であり、4.5 は処理信号が原信号と同質であることを示す。

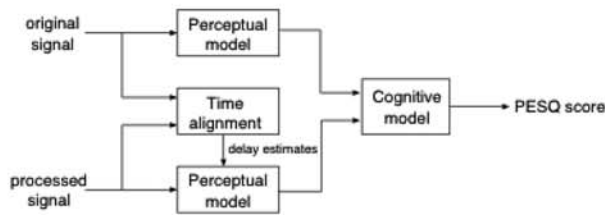


Fig. 2 PESQ のブロック図 (ITU-T Recommendation P. 862 より)

【評価】

評価は、左右の出力信号をそれぞれについて行った。左チャンネルの入力信号の SNR は

$$SNR_{in_l} = 10 \log \left| \frac{E[l_i(n)^2]}{E[(l_i(n) - l(n))^2]} \right| \quad (1)$$

と定義した。ここで、 $E[\]$ は期待値であり、左耳の位置での入力信号 $l(n)$ とし、対象音源の信号は $l_i(n)$ である。右側も同様に定義した。次に、出力は式(1)

の $l(n)$ を出力信号 $l_i(n)$ に置き換え、

$$SNR_{out_l} = 10 \log \left| \frac{E[l_i(n)^2]}{E[(l_i(n) - \hat{l}_i(n))^2]} \right| \quad (2)$$

とした。

また、SNR と PESQ の関係だけでなく、同時にコヒーレンスも参照値とした。

まず、対象音源と雑音源 1 つ場合についてシミュレーションを行った。対象音源と雑音源の位置を Fig. 3 に示す。対象音源を正面 ($0^\circ, 0^\circ$) に置き、男声を用いた。また雑音源 1 を ($-30^\circ, -20^\circ$) に置き、女声を用いた。Fig. 4(I-a) において、 SNR_{in} は、左右それぞれの SNR である。 SNR_{in} と入力 SNR との差は利得である。SNR が 5dB 付近で $SNR_{in,r}$ と $SNR_{out,r}$ が交差しており、交点より左側で SNR が改善していること示している。一方、SNR が 5dB 以上では、入力 SNR が十分に高く、FDBM が音質の低下させていることになる。左チャンネルも同様の傾向が確認できる。コヒーレンスの結果は Fig. 4(I-b) である。これは、SNR の場合と同様の傾向が示されている。Fig. 4(I-c) は PESQ の結果であり、SNR、コヒーレンスに比べて全ての SNR で改善されていることがわかる。これらの結果より、高 SNR では FDBM の分離処理により歪みが生じているが、PESQ の結果より無視できる可能性があることが示唆された。また、雑音源 1 を ($60^\circ, 20^\circ$) に設置し、男声を用いた場合の結果を Fig. 4(II) に示す。対象音源と雑音源 1 の角度がさら

に離れることにより改善量が増えているが、Fig. 4(I) に比べ評価値の左右差が小さくなっている。Fig. 4(II) は、Fig. 4(I) の傾向とほぼ同じである。

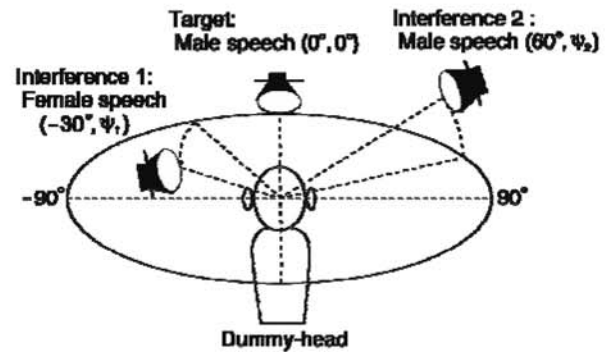
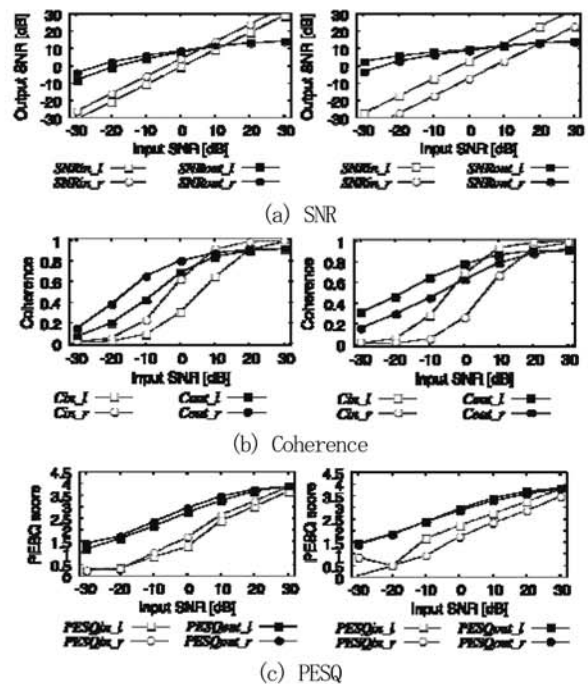


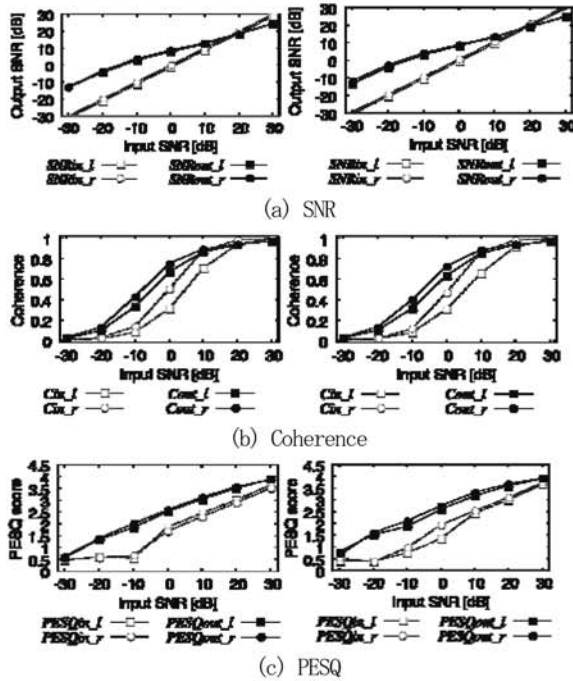
Fig. 3 対象音源と雑音源の位置



(I) Interference: Female speech (II) Interference: Male speech
Fig. 4 1つの雑音源が存在する場合の結果

次に、2つの雑音源がある場合を検討した。まず、すべての音源が水平面にある、雑音源 1 を ($-30^\circ, 0^\circ$)、雑音源 2 を ($60^\circ, 0^\circ$) の場合の結果を Fig. 5(I) に示す。対象音源には男声、雑音源 1, 2 にそれぞれ男声、女声を用いた。また、音源が平面上にない場合、すなわち雑音源 1 を ($-30^\circ, -20^\circ$)、雑音源 2 を ($60^\circ, 20^\circ$) を設置した場合の結果を Fig. 5(II) に示す。

Fig. 5 における結果のほとんどは Fig. 4 と同じ傾向を示しているが、改善量は少なくなっている。これは音源が増えることにより時間周波数領域でのスパース性が確保できなくなったためと考えられる。



(I) Same elevation (II) Different elevation

Fig. 5 2つの雑音源が存在する場合の結果

これらの結果より, SNR やコヒーレンスは知覚現象を考慮していない手法であり, ヒトが知覚できない成分までを評価しているが, PESQ は知覚現象を考慮しているため聴覚閾値以下の周波数成分を評価しないためであると考えられる。このことより補聴器を対象とした評価では, 利用者の聴覚閾値を考慮した評価手法が必須であることが明らかになった。

(3-2) 波及効果と発展性など

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

[4] 成果資料

(1) Yoshifumi Chisaki, Ryouji Kawano, Tsuyoshi Usagawa

On bit rate reduction of inter-channel communication for a binaural hearing assistance

system, IEICE Trans. A, Vol.E91-A, No.8, pp.2041-2044 (2008)

(2) 河野亮詞, 菖木禎史, 宇佐川毅

両耳補聴システムのための周波数領域両耳聴モデルを用いた音源分離・時間・周波数フィルタリングによるミュージカルノイズの低減, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.306, EA2008-98, pp.81-85 (2008)

(3) Minako Tomita, Yoshifumi Chisaki, Tsuyoshi Usagawa

Quantitative evaluation of sound source segregation performance by means of the frequency domain binaural model, Proc. InterNoise 2008, 0759, pp.1-9 (CDROM) (2008)

(4) 富田美奈子, シャリファ サウン, 菖木禎史, 宇佐川毅,

周波数領域両耳聴モデルによる音源分離性能における定量評価 - 音源方向への依存性についての検討 -, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.306, EA2008-99, pp.87-92 (2008)

(5) Tsuyoshi Usagawa, Minako Tomita, Sharifah Binti Saon, Yoshifumi Chisaki

An Objective Evaluation of Segregated Speech Signal By Means of Frequency Domain Binaural Model, 日本音響学会聴覚研究会資料, Vol.38, N0.8, H-2008-139, pp787-792 (2008)

(6) 富田美奈子, 河野亮詞, 菖木禎史, 宇佐川毅

周波数領域両耳聴モデルによる音源分離におけるミュージカルノイズ抑制の試み - 時間・周波数フィルタリングを用いた分離フィルタの事後処理 -, 日本音響学会 2009 年春季研究発表会講演論文集, pp.795-798 (2009)

(7) Minako Tomita, Sharifah Saon, Yoshifumi Chisaki and Tsuyoshi Usagawa

Quantitative evaluation of segregated signal with frequency domain binaural model Acoustical Science & Technology, Vol.30, No.6, pp.448 - 451 (2009)

(8) 富田美奈子, 菖木禎史, 宇佐川毅

周波数領域両耳聴モデルにおける音源分離性能の検討 - 音源分離に関するパラメータの分離性能への影響 -, 日本音響学会九州支部 学生のための研究発表会, pp.5 - 8 (2009)

採択番号 H19/A13

利用者の状況に適應する分散型情報表示システムの構築と 生理的指標による評価

[1] 組織

代表者：今宮 淳美

(山梨大学大学院医学工学総合研究部)

対応者：菅沼 拓夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

白鳥 則郎 (東北大学電気通信研究所)

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

郷 健太郎 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

小俣 昌樹 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

研究費：物件費 21 万 9 千円，旅費 29 万 2 千円

[2] 研究経過

人間とコンピュータとの対話システムの設計・開発に関するユーザビリティ (有効さ, 効率, 満足度) 評価では, 設計ガイドラインや人間工学の視点から多くの研究がおこなわれている。このようなユーザビリティ評価では, タスク遂行時間, 操作エラー率, 質問紙調査など, 比較対象とする対話システム間での総括的なデータによって, その優劣を決めることが多い。しかしながら, 異なる対話システム間でなぜ総括的な差が生じるのか, 主観的評価の結果と客観的評価の結果とが相反する可能性があるのはなぜか, また, ユーザの感性要因 (面白さ, 好み, 疲労, 集中度など) にどう影響するのかなど, システムを改善するために必要な情報を解明する手法は十分に確立されていない。特に, ユビキタス・コンピューティング環境における分散システムでは, ユーザの操作形態や利用状況がさまざまに変化するため, ユーザの操作プロセスや操作中の感性要因を形式的に評価することが重要である。

本プロジェクトの目的は, 分散デバイス環境やギガビットネットワーク環境において, いつでもどこ

でもそして誰でもが使用するようなユーザインタフェースを評価対象として, 操作形態や利用状況の変化に伴う人間の心的・身体的負荷を考慮した新たなユーザビリティ評価方法を確立することである。このために, ユーザの注意 (集中度) と生理指標との関係, およびユーザの主観的満足度と心的・身体的負荷との関係を解明する。

平成 21 年度は, 今年度までに開発した要素技術をブラッシュアップするとともに, その有効性を検証する。このために, 以下の 2 つのフェーズで研究を進めた。

(1) 力触覚や生体情報に基づいたユーザビリティ指標の解明 (山梨大学)

力覚を伴う両手入力モデルを提案する。また, ネットワーク協調作業を支援するための仮想影インタフェースを提案する。さらには, 視線データと生理データを統合して, 人間の「注意」を分析する。

全体として, 昨年度までの成果を統合するとともに, 新たなチャンネルとして脳血流の導入を試みる。そして, コンピュータユーザの「注意レベル」を識別する手法を検討する。

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

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

以下, 本年度の研究活動状況の概要を記す。

- 平成 21 年度 第 1 回研究会
 - ・ 日 時：平成 21 年 11 月 6 日 13:30～
 - ・ 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），
 - 和泉 諭（東北大学），
 - 酒徳 哲（東北大学），
 - 野口博司（東北大学），
 - 今宮淳美（山梨大学），
 - 小俣昌樹（山梨大学），
 - 小笠原慧（山梨大学）
 - ・ 研究発表内容：
 - ① 仮想影カーソルによる遠隔協調作業時のコミュニケーション支援および花によるコミュニケーション支援（山梨大 小俣）
 - ② やさしい見守り型健康支援システムの研究開発状況（東北大 和泉）
 - ③ 実空間とデジタル空間の融合に基づくエージェント支援型協働作業環境（東北大 酒徳）
 - ④ **Symbiotic Reality**: 現実空間と仮想空間の融合に向けて（東北大 野口）
 - ⑤ ウィンドウの表示状態の履歴を利用するタスク再開支援システム（山梨大 小笠原）
 - ⑥ 共生空間に関する研究について（東北大 菅沼）
 - ・ 平成 21 年度 第 2 回研究会
 - ・ 日 時：平成 22 年 3 月 3 日 13:30～
 - ・ 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），
 - 和泉 諭（東北大学），
 - 酒徳 哲（東北大学），
 - 伊藤大視（東北大学），
 - 今宮淳美（山梨大学），
 - 小俣昌樹（山梨大学），
 - 籠島 聖（山梨大学），
 - 菊井則和（山梨大学）
 - ・ 研究発表内容：
 - ① ウィンドウの使用履歴に基づくタスク再開支援システムの設計（山梨大 小俣）
 - ② 触覚による探索対象の特徴づけが探索に及ぼす影響の検証（山梨大 菊井）
 - ③ 仮想空間における眼瞼の動きに連動する視覚効果（山梨大 籠島）
 - ④ 共生コンピューティングに基づく利用者によさしい見守り型健康支援システム，（東北大学 和泉）
 - ⑤ 共生空間におけるアプリケーションにつ
- いておよび今後の研究について（東北大 菅沼）
- ⑥ 拡張現実感についておよび今後の研究について（山梨大 小俣）
- [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、人間の押下時の力覚を取り入れた両手操作を提案した。このシステムは、デバイスを持つ指の力量に連動してデバイス操作のパラメータを変化させたり、非利き手のテーブルへの押下の力量に連動して利き手のデバイス操作のパラメータを変化させたりする。これによって、従来の利き手のデバイス操作だけの連続した操作とは異なり、両手で同時並行に操作できたり、力量センサの付いていないデバイスを操作対象にできたりする。
- 第2に、グループウェアでのそれぞれのユーザのカーソルに仮想影を付加するシステムを開発した。仮想影とは、ユーザの身体をビデオ撮影して、その中のユーザの身体部分だけを黒く塗りつぶして実時間で送信し続ける映像のことである。これによって、影の輪郭などからそのカーソルの操作者を識別できるだけでなく、身体の動きや手振りなどによって意図を伝えやすくなったり、協調感や楽しさを与えられたりする。
- 第3に、多人数の対象者の健康状態を効果的に見守る共生型健康支援システムの実現のために、データストリームマイニング技術に基づく観測対象者の健康状態の推測モデルを構築したうえで、マイニング結果に基づく使用センサおよび情報獲得頻度の調整システムを実装した。その結果、体調の異常状態を即応的に検出したり、利用者数が増加してもデータを効果的に獲得したりするシステムを構築できた。
- (3-2) 波及効果と発展性など
- 本プロジェクトの波及効果として、ネットワーク上のグループウェアや見守りシステムにおいて、人間の力触覚やノンバーバルな情報を取り入れることで、従来よりもさらに利用者に適応するヒューマンインタフェースを備えるネットワークシステムを構築できるようになると考える。
- また、発展性として、人間の生体信号から身振り手振りさらには情動を予測することが可能になると、情報システムをはじめとする、様々な工業製品やプロトタイプを、ユーザのふるまいや情動を含めて評価することが可能になると考える。さらには、感情チャンネルおよび注意チャンネルを伴うスーパーコミュニケーション環境のための基盤技術になると考える。

[4] 成果資料

- (1) Masaki Omata, Kenji Matsumura and Atsumi Imamiya: A Multi-level Pressure-Sensing Two-Handed Interface with Finger-Mounted Pressure Sensors, Proceedings of Graphics Interface 2009, pp. 434-446, 2009.
- (2) Masaki Omata, Masahiro Kosaka, Atsumi Imamiya: A pen-tablet-orientation-pointing method for multi-monitors, Proceedings of CHINZ 2009, pp. 53-60, 2009.
- (3) 小俣昌樹, 深澤寛和, 今宮淳美: 仮想影カーソルによる遠隔協調作業時のコミュニケーション支援, 第8回情報科学技術フォーラム (FIT2009) 第3分冊, pp.57-60, 2009.
- (4) 小俣昌樹, 濱田 祐介, 小笠原慧, 今宮 淳美: コンピュータ操作時における香り刺激による生体情報の変化の検証, テレイマージョン技術・サイバースペースと仮想都市・香りと生体情報」合同研究会, pp.57-62, 2009.
- (5) 小笠原慧, 小俣昌樹, 今宮淳美: ウィンドウの表示状態の履歴を利用するタスク再開支援システムの提案, HCG シンポジウム, B5-2, 2009.
- (6) 郷 健太郎, 柏木 賢治, 松田 兼一, 間渕文彦, 岩沼 宏治, 鈴木 智博, 中山 淳二: 眼科遠隔診療システムの設計, 人間中心設計, Vol. 5, No. 1, pp. 38-44, 2009.
- (7) 郷 健太郎, 柏木 賢治, 松田 兼一, 間渕文彦, 豊木 博泰, 岩沼 宏治, 八代 一浩, 中山 淳二, 土屋 康久, 深沢 陽一: 眼科遠隔診断と診断用ロボットの開発, View Point, Vol. 8, pp. 20-28, 2009.
- (8) Kentaro Go: What Properties Make Scenarios Useful in Design for Usability? in M. Kurosu (Ed.): Human Centered Design, HCI2009, LNCS 5619, pp. 193-201, 2009.
- (9) 柏木賢治, 郷 健太郎, 田辺直彦, 地場達也, 阿部圭哲: 遠隔操作型眼科遠隔診療ロボットの開発とその臨床的有用性について, 第13回日本医療情報学会春季学術大会プログラム・演題抄録集, p. 19, 2009.
- (10) Satoru Izumi, Kazuhiro Yamanaka, Yoshikazu Tokairin, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Norio Shiratori: Ubiquitous Supervisory System based on Social Contexts using Ontology, Mobile Information Systems, Vol.5, No.2, pp.141-163, 2009.
- (11) Hideyuki Takahashi, Yoshihisa Sato, Takuo Suganuma, and Norio Shiratori: A Dynamic Control Scheme of Context Information based on Multi-agent, International Journal of Informatic Society (IJIS), Vol. 1, No. 2, pp. 45-54, Aug. 2009.
- (12) Takuo Suganuma, Hideyuki Takahashi, Norio Shiratori: Agent-based Middleware for Advanced Communication Services in Ubiquitous Computing
- (13) Takuo Suganuma, Hideyuki Takahashi, Satoru Izumi, Tetsuo Kinoshita and Norio Shiratori: User-oriented Healthcare Support System based on Symbiotic Computing, Proc. of the 8th IEEE International conference on Cognitive Informatics (ICCI2009), pp.133-140, 2009.06.
- (14) Hideyuki Takahashi, Satoru Izumi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita and Norio Shiratori: An Agent-based Healthcare Support System in Ubiquitous Computing Environments, Proc. of the 7th International Conference on Smart Homes and Health Telematics (ICOST2009), LNCS 5597, pp.237-240, 2009.07.
- (15) Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Norio Shiratori: An Agent-based Management Scheme of Context Information for Context-aware Service, Proc. of the 3rd International Universal Communication Symposium (IUCS 2009), pp.319-324, 2009.12.
- (16) Hideyuki Takahashi, Satoru Izumi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, and Norio Shiratori: An Agent-based Framework for Healthcare Support System, Proc. of the 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems (PRIMA2009), LNAI 5925, pp.471-486, 2009.12.
- (17) Hideyuki Takahashi, Satoru Izumi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, and Norio Shiratori: Design and Implementation of Healthcare Support System based on Agent-based Framework, Proc. of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Technologies & Applications (ICUT 2009), pp.213-218, 2009.12.

採択番号 H19/A14

採択回数 1 2 3

次世代ホットスポットネットワークの研究

[1] 組織

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

分担者：

小野寺隆 (宮城県産業技術総合センター)
堀 豊 (宮城県産業技術総合センター)
小熊 博 (宮城県産業技術総合センター)
山崎吉晴 (ソフトバンクテレコム研究所)
飯塚 昇 (ソフトバンクテレコム研究所)
浅野安良 (ソフトバンクテレコム研究所)
高木 直 (東北大学電気通信研究所)
亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 19 万 8 千円，旅費 42 万円

[2] 研究経過

近年，次世代の高速大容量通信の実現を目指して，回線交換技術をベースに発展してきたセルラー系携帯電話において，3.9G 及び IMT-Advanced として 4G の標準化及び開発検討が進められている。また，データ通信用の無線技術として標準化されてきた IEEE802 系ワイヤレスブロードバンド通信においては，セル径が約 100m の準静止状態でスループット 100Mbit/s 以上を実現する IEEE802.11n やセル径が約 10m 級でミリ波帯を用いて 2Gbit/s 以上を目指す IEEE802.15.3c，セル径が 1km 級で，高速移動しながらの 10Mbit/s 級のブロードバンド通信を目指して，IEEE802.16 や IEEE802.20 標準化が推進されている。

本研究プロジェクトは，IP (Internet Protocol) ベースで発展するホットスポットネットワークを，サービス・ネットワーク・システム・無線通信方式・端末技術・標準化活動の観点から検討を行い，次世代のネットワークアーキテクチャを確立することを目的とする。本プロジェ

クトは，本年度が第 3 年目である。

これまで，本研究グループでは次世代広域移動体ブロードバンド無線通信のアクセス方式のキー技術である OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 方式を実装した方式の一つである FLASH-OFDM (Fast Low-latency Access with Seamless Hand-off) 方式によるモバイルブロードバンド実証実験を，100 万人都市の仙台市中心街をフィールドとして行い，孤立セルにおける特性，マルチセルにおける特性評価を実施し，国内外の学会で発表している。本年度は，その実測結果に基づき周波数帯域を拡大した際の変調のカバレッジ推定，シングルキャリア通信とマルチキャリア通信のハイブリッド化について議論を行った。

以下，研究活動状況の概要を記す。

広域移動体通信実験結果及び次世代移動体通信技術に関する研究議論を，東北大学電気通信研究所 IT-21 センターの 2F セミナールームを会場に開催した。以下に開催日を列挙する。

2009: 5/15, 6/16, 6/23, 6/30, 7/14, 8/5, 9/3, 10/7, 11/9, 11/30, 12/3, 12/15

2010: 1/6, 3/1

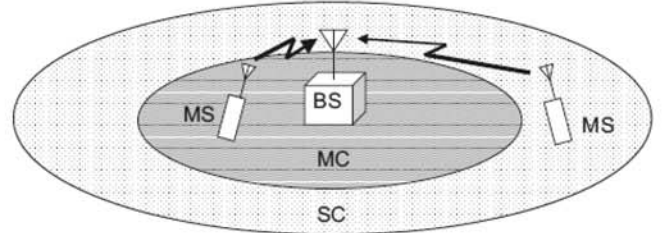
[3] 成果

(3-1) 研究成果

次世代広域移動体ブロードバンド無線通信規格では OFDM に代表されるように DFT (Discrete Fourier Transform) を送受信機の両方に用い周波数領域で信号処理を行うマルチキャリア伝送が多く採用されている。マルチキャリア通信方式は多値変調と誤り訂正による符号化利得が良好な点や MIMO (Multi-Input Multi-Output) との親和性の点でシングルキャリアより優位である。しかしながら，PAPR (Peak to Average Peak Ratio) が大きいという問題がある。PAPR が高いとパワーアンプのバックオフを大きくとる必要があり平均送信電力が低くなる。このように，カバレッジ確保の点

ではマルチキャリア伝送よりシングルキャリア伝送の方が有効である。そこで我々は、マルチキャリア伝送とシングルキャリア伝送をハイブリッド化する通信方式を提案した。図1に想定する通信環境を示す。本システムはUplinkを想定している。ハイブリッドシステムでは一つの端末にシングルキャリア伝送とマルチキャリア伝送の両方式を備え、状況に応じて伝送方式を切り替える。基地局から近い端末はマルチキャリア伝送を使用し遠い端末ではシングルキャリア伝送を使用する。またマルチキャリア伝送では QAM (Quadrature Amplitude Modulation) を使用する。一方でシングルキャリア伝送ではカバレッジを広げるために PAPR の大きな QAM を使用せず PSK (Phase Shift Keying) を用いる。このように、広いカバレッジを確保することを目的としたシングルキャリア通信と高速伝送を目的としたマルチキャリア通信の両伝送方式を併用することで、広域エリアで効率的に通信が可能となる。

図2にマルチキャリア通信方式である OFDM の Uplink の 16QAM の適用エリアについて帯域を 1.28MHz から 20.48MHz に拡大した場合のカバレッジ推定結果を示す。試算には仙台市の中心市街地で実施した FLASH-OFDM の実験結果を用いている。FLASH-OFDM は周波数帯域が 1.28MHz であり、仙台市内の実験では孤立セル下において 16QAM の閾値となる受信信号電力は -90dBm であった。なお、周波数帯は 2GHz 帯を用い空中線電力やアンテナ利得等、全てのパラメータに関して、基地局及び端末ともに携帯電話で使用される移動体通信システムと同程度である。グラフから、周波数帯域が 1.28MHz, 2.56MHz, 5.12MHz, 10.24MHz, 20.48MHz と拡大するに従って 16QAM の閾値となる受信電力は -90dBm, -87dBm, -84dBm, -81dBm, -78dBm となる。仙台市内の受信信号電力の累積確率から 16QAM のカバレッジエリアを推定すると周波数帯域の拡大に従い、70%, 55%, 45%, 35%, 25% となることが推測される。このように送信電力制限が厳しい Uplink において、帯域が 20MHz の条件下においても都市部の 25% のエリアでは 16QAM が使用できることが期待できる。



MS: Mobile Station BS: Base Station
MC: Multi-Carrier SC: Single-Carrier

図1 シングルキャリア/マルチキャリアのハイブリッドシステムの概要

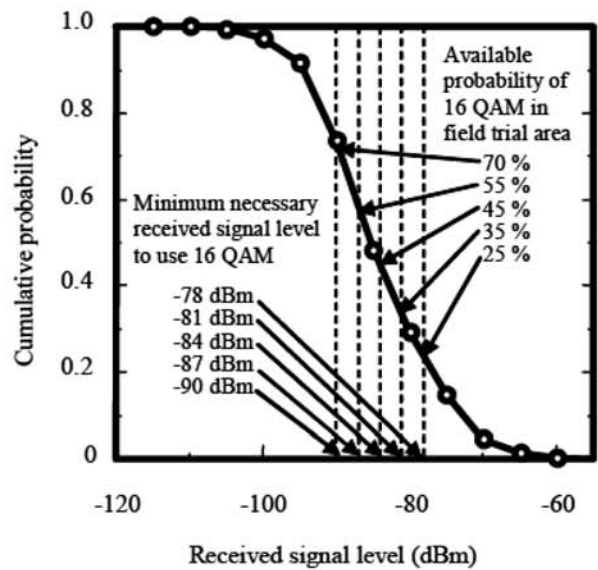


図2 OFDM の Uplink の 16QAM のカバレッジエリア推定

(3-2) 波及効果

広域移動体ブロードバンド無線通信技術は、ノート PC 用のデータ通信用途だけでなく、次世代 ITS の根幹を支えるテクノロジーである。第 3.9 世代携帯電話の LTE (Long Term Evolution), 第 4 世代携帯電話の LTE-Advanced においてシングルキャリア伝送に加え、本プロジェクトで先駆けて取り組んでいる OFDM が採用されている。ニュートラルな組織が主導により実測データを基にした研究議論を活発に実施し、その成果を公開している本プロジェクトの意義は非常に大きい。本プロジェクトは世界に先駆けてモバイルブロードバンドシステムの有用性、課題を明らかにするものであり、本プロジェクトから得られた成果は、将来の移

動体通信システム設計に大きく寄与するものである。さらに本プロジェクトの研究成果を積極的に国内外の学会発表することにより、本学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、国内外の大学、企業との関係が非常に強化されている。

今後は本研究グループ間における更なる密接な協力関係により、産学官による地元地域のモバイル技術・ビジネスの拠点化に向けた取り組みへの大きな発展へと期待できる。

(4) 成果資料

- [1] 坪内和夫, “ディペンダブル・エア,” 信学総大, CS-2-1, March 2010. (依頼講演)
- [2] 亀田卓 他, “ディペンダブルワイヤレスシステム: 周波数領域等化を用いた広帯域無線通信端末の検討,” 信学ソ大, ABS-1-5, Sep. 2009. (依頼講演)
- [3] S. Kameda, et al., “Feasibility Study of Downlink Transmission with 256 QAM Based on Results of MBWA System Field Trial,” Proceeding of European Wireless 2009 (EW2009), pp.140-144, May 2009.
- [4] H. Oguma, et al., “Measured Uplink Throughput Performance of MBWA System in Urban Area”, Proceeding of the 12th Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'09), Sep. 2009.
- [5] H. Oguma, et al., “Uplink Throughput Performance of FH-OFDMA Improved by 16 QAM: Effect Estimation and Validation in MBWA System Field Trial,” Proceeding of the 20th Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2009), Sep. 2009.
- [6] I.Kashiwamura, et al., “Investigation on Single-Carrier and Multi-Carrier Hybrid System for Uplink”, Proceeding of the 20th Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2009), Sep. 2009.
- [7] H. Oguma, et al., “Feasibility Study of Uplink Transmission with 64 QAM Based on Results of MBWA System Field Trial”, Proceeding of IEEE 5th Broadband Wireless Access Workshop (BWA-WS) co-located with GLOBECOM'09, pp21-25, Nov. 2009.
- [8] 柏村 育郎 他, “シングルキャリア・マルチキャリアハイブリッド通信方式の検討”, 信学技報, SR2009-8, pp.51-55, 2009年5月.
- [9] 柏村 育郎 他, “シングルキャリア・マルチキャリアハイブリッド通信方式の検討～遠近問題を考慮した特性評価～”, 信学技報, RCS2009-79, pp.7-12, 2009年8月.
- [10] 小熊 博 他, “仙台地域におけるモバイルブロードバンドアクセス実験～QAMの適用効果～”, 信学技報, RCS2009-193, pp.155-160, 2009年12月.
- [11] 富田俊輔 他, “仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(14) -Uplinkにおける16QAMの適用効果-”, 信学ソ大, B-5-71, Sep. 2009.
- [12] 小熊 博 他, “仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(15) -Uplinkにおける64QAMへの適用検討-”, 信学ソ大, B-5-72, Sep. 2009.
- [13] 亀田卓 他, “広帯域無線通信端末への周波数領域等化技術の適用,” 信学総大, CS-2-8, March 2010.
- [14] 小熊 博 他, “仙台地域におけるモバイルブロードバンド実証実験(16) -帯域20MHz条件下のUplinkにおける16QAMのカバレッジ推定-”, 信学総大, B-5-26, March 2010.

課題番号 H20/A01

プラズマナノバイオエレクトロニクス基礎研究

[1] 組織

代表者：畠山 力三
(東北大学大学院工学研究科)

対応者：庭野 道夫
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

田路 和幸 (東北大学大学院環境科学研究科)
川添 良幸 (東北大学金属材料研究所)
寒川 誠二 (東北大学流体科学研究科)
金子 俊郎 (東北大学大学院工学研究科)
加藤 俊顕 (東北大学大学院工学研究科)
藤原 民也 (岩手大学工学部)
高橋 和貴 (岩手大学工学部)
笠間 泰彦 ((株)イデアルスター)
表 研次 ((株)イデアルスター)
岡田 洋史 ((株)イデアルスター)
吉木 宏之 (鶴岡工業高等専門学校)
佐藤 直幸 (茨城大学大学院理工学研究科)
白井 肇 (埼玉大学大学院理工学研究科)
金山 敏彦 (産業技術総合研究所)
小松 正二郎 (物質・材料研究機構)
平田 孝道 (東京都市大学)
阿知波 洋次 (首都大学東京都市教養学部)
岡崎 健 (東京工業大学大学院理工学研究科)
寺嶋 和夫 (東京大学新領域創成科学研究科)
小林 慶裕 (NTT 物性科学基礎研究所)
湯田坂 昌子 (NEC 基礎・環境研究所)
佐伯 紘一 (静岡大学理学部)
三重野 哲 (静岡大学理学部)
永津 雅章 (静岡大学工学部)
石黒 静児 (核融合科学研究所)
田中 基彦 (中部大学全学共通教育室)
菅井 秀郎 (中部大学大学院工学研究科)
篠原 久典 (名古屋大学大学院理学研究科)
大澤 幸治 (名古屋大学大学院理学研究科)
庄司 多津男 (名古屋大学大学院工学研究科)
堀 勝 (名古屋大学大学院工学研究科)
斎藤 弥八 (名古屋大学大学院工学研究科)
白藤 立 (名古屋大学大学院工学研究科)
須田 善行 (豊橋技術科学大学)
前川 孝 (京都大学大学院理学研究科)

酒井 道 (京都大学大学院工学研究科)
佐野 紀彰 (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)
節原 裕一 (大阪大学溶接科学研究所)
松本 和彦 (大阪大学産業科学研究所)
浜口 智志 (大阪大学工学研究科)
中山 喜萬 (大阪大学大学院工学研究科)
奥 健夫 (滋賀県立大学工学研究科)
久保園 芳博 (岡山大学理学部)
大原 渡 (山口大学工学部)
橋 邦英 (愛媛大学大学院理工学研究科)
伊藤 早苗 (九州大学応用力学研究所)
田中 雅慶 (九州大学総合理工学府)
白谷 正治 (九州大学システム情報科学研究所)
中嶋 直敏 (九州大学工学研究院)
藤山 寛 (長崎大学工学部)
秋山 秀典 (熊本大学自然科学研究科)

研究費：物件費 35 万 4 千円，旅費 37 万 3 千円

[2] 研究経過

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

本プロジェクトでは上記の目的を遂行すべく、バイオ、医療、プラズマエレクトロニクス等のプラズマバイオ融合科学分野から、フラーレン・ナノチューブを用いたナノ科学技術に渡る広範囲な分野を、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22年2月23日，24日

場所：東北大学大学院工学研究科
青葉記念会館 401 大研修室

- 「LB膜味覚センサの研究/大気圧プラズマ源を用いた生体組織・細胞の活性化」秋谷 昌宏，平田 孝道（東京都市大学大学院工学研究科）
- 「カーボンナノチューブの電子準位と複合機能」中嶋 直敏（九州大学工学研究院）
- 「カーボンエレクトロニクスを目指したカーボンナノチューブとグラフェンの成長制御」吾郷 浩樹（九州大学先端物質化学研究所・JST さきがけ）
- 「ナノホーンのDDS応用可能性」湯田坂 雅子（産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター）
- 「マイルドなプラズマを用いた血液止血器具の開発を目指して」及び「プラズマ凝固装置を用いた内視鏡治療の現状について」榊田 創，池原 譲，丹羽 徹（産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門，糖鎖医工学研究センター，和歌山県立医科大学）
- 「DLCプラズマコーティング技術の生体医療機器への応用」中谷 達行，新田 祐樹，岡本 圭司（トーヨーエイテック株式会社新商品開発部）
- 「プラズマ化学修飾を用いた医療用材料の低温プロセス」荻野 明久，野口 卓，永津 雅章（静岡大学創造科学技術大学院）
- 「液相プラズマ利用DNA-CNT 電子デバイスの形成と電気特性制御」金子 俊郎，李 永峰，畠山 力三（東北大学大学院工学研究科）
- 「DNAの高次構造転移：荷電によるナノ構造制御」吉川 研一（京都大学大学院理学研究科）
- 「分子生物学におけるプラズマの応用 -プラズマを用いた分子導入方法の確立」佐藤 晋（BKバイオ株式会社）
- 「バイオパーティクルの迅速計数とプラズマによるウイルス不活化メカニズム」水野 彰（豊橋技術科学大学エコロジー工学系）

日時：平成22年3月13日

場所：東北大学大学院工学研究科

電子情報システム・応物系 451・453 大会議室

- 「プラズマ科学の振興と磁化プラズマの産業応用」藤山 寛（長崎大学大学院生産科学研究科）
- 「高密度BN薄膜のプラズマ・レーザプロセスによる成長原理と半導体化」小松 正二郎（物質・材料研究機構半導体材料センター）
- 「精密時間制御プラズマCVDによるカイラリティ及び長さばらつきの極めて狭い単層カーボンナノチューブの成長」加藤 俊顕，畠山 力三

(東北大学大学院工学研究科)

- 「Innovative Nano Temperature-Sensor of $C_{59}N$ Encapsulated Carbon Nanotubes」李 永峰，金子 俊郎，畠山 力三（東北大学大学院工学研究科）

本研究会では学内外を含め延べ85名以上の参加者があり，講演は「プラズマバイオ融合科学」を主テーマに，バイオ応用プラズマプロセス，医療応用プラズマプロセス，プラズモニクス，新規ナノ物質形成プラズマプロセス，さらには産業応用プラズマプロセス等の立場から，専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3]成果

(3-1) 研究成果

本研究プロジェクトにおいては，気体，液体，気液界面プラズマ中の新規ナノバイオプロセッシング法を駆使することにより，特定の原子及び分子を内包した新機能を有する超分子構造（新機能性進化）ナノチューブを創製する等のカーボンナノチューブの基礎と応用研究を展開することを目的としており，以下に示す研究成果を得た。

I. 異種原子接合内包単層カーボンナノチューブの形成と電気特性評価

単層カーボンナノチューブ(SWNTs)の内部空間を積極的に修飾することで，SWNTs 全体の電気特性を大きく変調可能であることがこれまでの我々の研究により明らかになっている。これまでは，単一原子・分子の内包に限られていたが，本研究では1本のSWNT内部に電子ドナー・アクセプターの異種原子接合内包構造の形成をプラズマイオン照射法により行った。まず，セシウム(Cs)原子とヨウ素(I)原子の接合内包 SWNTs (Cs/I@SWNTs)に関して，電界効果トランジスタ(FET)ドレイン電流(I_{ds})・ゲート電圧(V_G)特性を測定した結果，CsをIとほぼ同量照射した試料に関して， V_G が0V付近の場合のみ I_{ds} が流れる，山状 I_{ds} - V_G 特性が観測された。このような特性は，pn接合間のトンネル電流に由来するものと説明できる。さらに，この試料の I_{ds} -ドレイン電圧(V_{ds})出力特性においては大気中でも安定な整流特性が実測された(図1)。以上の結果から本手法で形成した1本のSWNT内部でpn接合構造が形成されていることが初めて実証された。

一方で，電子アクセプタ物質としてIの代わりにフラーレン(C_{60})分子を用いた場合のCs/ C_{60} 接合内包 SWNTs(Cs/ C_{60} @SWNTs)に関しては興味深い特性の違いが現れた。先ず，Cs/I@SWNTsの場合に観測された山状特性はCs/ C_{60} @SWNTsにおいては観測されなかった。しかし，整流特性は V_G 電圧が正の

場合、つまり電子キャリア領域でのみ観測された。この様な違いがなぜ生じるかに関する答えを得るために、理想的に SWNTs 内部に Cs と C₆₀、及び Cs と I が一次的に内包された系を考え、これについて簡単な電位計算を行った。この結果、SWNTs と電子ドナー、アクセプタ物質間の電荷移動率の違い、及び内包原子・分子サイズの違いを考慮することにより、内包物質が SWNTs の単位長さあたりに与えるキャリア密度 (N_D:ドナー, N_A:アクセプタ) には大きな違いが生じるということが明らかとなった。Cs と I の間では、ほぼ N_D=N_A が成り立つのに対し、Cs と C₆₀ の場合には、Cs に比べ C₆₀ 内包領域のキャリア密度が約 10 分の 1 (N_D=10N_A) となることが見積もられた。このキャリア密度の違いは、SWNTs 内部での電位分布に大きな違いを及ぼす。pn 接合領域に形成される空乏層において、p(n)型領域に染み出す空乏層幅を l_p(l_n)とすると、l_p/l_n ∝ N_D/N_A という関係が成り立つことが、これまでの半導体物理では良く知られている。つまり、今回の結果では、Cs が内包された領域に比べ、C₆₀ が内包された領域での空乏層幅が極めて広くなることを意味している。一方で、Cs/I@SWNTs の場合空乏層はほぼ対称的に形成されるため、容易に pn 接合間のトンネル電流が生じ I_{DS}-V_G 特性において山状特性が得られたと考えている。

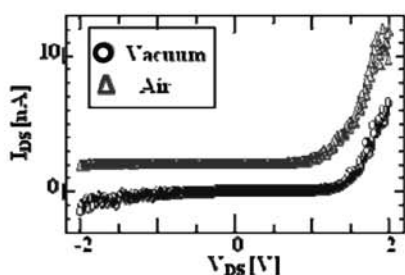


図 1. Cs/I@SWNTs の大気安定整流特性 (見やすさのために大気中での特性はオフセットをかけて表示している)。

II. 気相-液相界面プラズマを利用した DNA-ナノ粒子複合材料創製

極めて小さな蒸気圧、大きな熱容量等のユニークな特徴を有するイオン液体を用いることによって、これまでにナノバイオ物質創製の新規反応場として注目されているプラズマと液体が接する気相-液相界面プラズマの生成に成功し、その基礎特性を明らかにしてきた。本年度は、バイオセンサやドラッグ・遺伝子デリバリーシステム等への応用のために、DNA とナノ粒子の複合材料 (コンジュゲート) の形成を行った。これらは、ナノ粒子の表面プラズモン共鳴を利用した高感度センサとして、また光によりナノ粒子をマニピュレートし、薬剤としての DNA

を自在にカプセルとしてのカーボンナノチューブから出入れする手法として利用できる。ここでは、プラズマ還元法を用いて液相中でナノ粒子を合成し、同時に液中に存在する DNA と反応させてコンジュゲートを作製した。

図 2 に、DNA の濃度を変化させて気相-液相界面プラズマの照射により形成した金ナノ粒子の水溶液の写真、及びそのときの紫外・可視光の吸収特性を示す。DNA の濃度を増加させるに従って、水溶液の色が次第に濃い赤紫色に変化し、約 550nm の吸収強度が増大していくことが分かる。これは、Au ナノ粒子の表面プラズモン共鳴により、入射光の振動電場と Au ナノ粒子内の自由電子が波長 500-600 nm 領域で共鳴的に振動するためである。この結果は、DNA 濃度の増大により金ナノ粒子の合成量が増大することを示しているが、これは金ナノ粒子が形成される過程において DNA がナノ粒子の表面を修飾し、ナノ粒子の成長を抑制することで、小さい粒径の金ナノ粒子が高密度で形成されたためと考えられる。また、このときの吸収光のピークを示す波長が DNA 濃度によって変化しているが、これは金ナノ粒子の粒径が変化したことと、表面に DNA が修飾したことでその誘電率が変化したことが原因と考えられる。

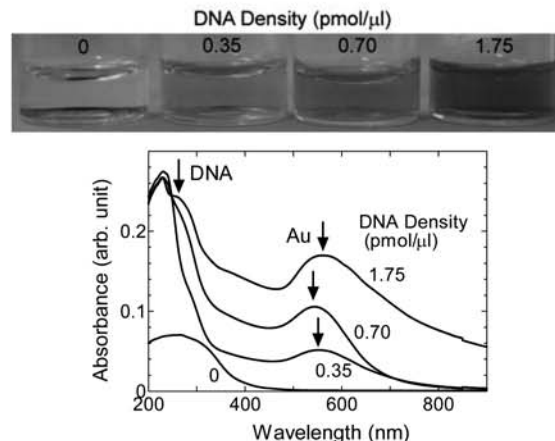


図 2. プラズマ照射により形成した金ナノ粒子水溶液の写真及び紫外・可視光吸収特性の DNA 濃度依存性。

III. アザフラーレン内包カーボンナノチューブの光誘起電子輸送特性

フラーレンを内包したカーボンナノチューブ (ピーポッド) は、1次元伝導性、半導体・ダイオード特性、超伝導性、発光性等の特有の電気・磁気・光学特性の発現が期待されている物質である。本年度は、フラーレン(C₆₀)の炭素原子一つを窒素原子で置き換えたアザフラーレン(C₅₉N)を内包した単層カーボンナノチューブピーポッドを用いて FET を形成し、電気輸送特性を光照射下において観測すること

で、その光学特性を調べた。ピーポッドはプラズマイオン照射法および熱拡散法を用いて合成し、スピンコート法を用いてソースドレイン電極間に架橋させることで FET デバイスを形成した。電気特性は、ソースドレイン電圧 ($V_{DS}=1\text{ V}$) 及びゲート電圧 ($V_G=40\text{ V}$) を一定にし、そのときソースドレイン電極間に流れる電流 I_{DS} の時間発展を、光照射の有無の条件下で測定することによって調べた。

図 3 は、光照射(400 nm)時および未照射時に測定された n 型半導体特性を示す $C_{59}N$ ピーポッド ($C_{59}N@SWNT$) FET デバイスの I_{DS} 時間発展を示している。光を $t=130$ 秒の時刻に 1 秒間照射することで、 I_{DS} が急激に減少することが明らかとなり、さらに光照射を停止後も減少した電流が維持されることが分かった。この減少した I_{DS} は、 V_G を変化させることによって元の状態に復元することも新たに明らかになった。

この現象は、内包された $C_{59}N$ と SWNT との結合が光照射によって切断され、SWNT に移動していた電荷が $C_{59}N$ に再移動するために引き起こされるためと考えられる。この成果は、ナノチューブフレキシブルシステムが、光照射によって電子移動を制御できることを示し、光検出、光スイッチング、感光性ワイヤー等への応用が期待される。

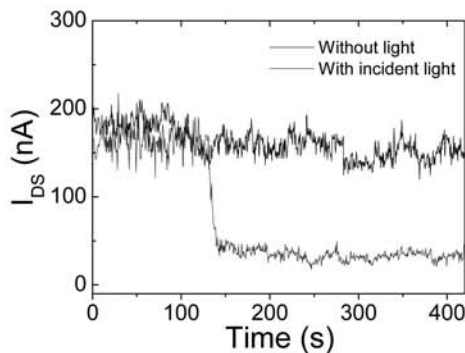


図 3. 光照射時および未照射時の $C_{59}N$ ピーポッド FET デバイスの電気輸送特性。

[4] 成果資料

1. “Transport of Energetic Electrons in a Magnetically Expanding Helicon Double Layer Plasma”, K. Takahashi, C. Charles, R. Boswell, W. Cox, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, Vol. 94, No. 19, pp. 191503-1-3, 2009.
2. “Static Gas-Liquid Interfacial Direct Current Discharge Plasmas Using Ionic Liquid Cathode”, T. Kaneko, K. Baba, and R. Hatakeyama: Journal of Applied Physics, Vol. 105, No. 10, pp.103306-1-5, 2009.
3. “Liquid-Gas Interfacial Plasmas for Formation of

Novel Nanobiomaterials”, T. Kaneko, K. Baba, and R. Hatakeyama: Plasma and Fusion Research, Vol. 4, pp. 028-1-8, 2009.

4. “P-N Junction with Donor and Acceptor Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes”, T. Kato, R. Hatakeyama, J. Shishido, W. Oohara, and K. Tohji: Applied Physics Letters, Vol. 95, No. 8, pp. 083109-1-3, 2009.
5. “Formation of P-N Junction in Double-Walled Carbon Nanotubes Based on Heteromaterial Encapsulation”, Y. F. Li, R. Hatakeyama, W. Oohara, and T. Kaneko: Applied Physics Express, Vol. 2, No. 9, pp. 095005-1-3, 2009.
6. “Formation of Azafullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes Using Plasma Ion Irradiation Method”, Y. Hanabusa, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, Vol. 8, pp. 0530-0533, 2009.
7. “Effects of Gas Ion Density on Formation of Gas-Atom Encapsulated Silicon Fullerenes”, M. Yabuno, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, Vol. 8, pp. 0517-0521, 2009.
8. “Generation of Electron Cyclotron Resonance Plasmas Including Iron-Atom for Synthesis of Iron Endohedral Fullerenes”, G. Yokokura, H. Ishida, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, Vol. 8, pp. 0508-0511, 2009.
9. “Creation of Functional Double-Walled Carbon Nanotubes by Plasma Processing”, Y. F. Li, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, Vol. 8, pp. 0534-0538, 2009.
10. “Effect of Gold Catalytic Layer Thickness on Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes Using Thermal and Plasma CVD”, Z. Ghorannevis, T. Kato, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, Vol. 8, pp. 0595-0598, 2009.
11. “Gas-Liquid Interfacial Plasmas: Basic Properties and Applications to Nanomaterial Synthesis”, T. Kaneko, K. Baba, and R. Hatakeyama: Plasma Physics and Controlled Fusion, Vol. 51, No. 12, pp. 124011-1-8, 2009.
12. “Novel Gas-Liquid Interfacial Plasmas for Synthesis of Metal Nanoparticles”, T. Kaneko, K. Baba, T. Harada, and R. Hatakeyama: Plasma Processes and Polymers, Vol. 6, No. 11, pp. 713-718, 2009.
13. “Versatile Control of Carbon Nanotube Semiconducting Properties by DNA Encapsulation Using Electrolyte Plasmas”, T. Kaneko and R.

- Hatakeyama: Applied Physics Express, Vol. 2, No. 12, pp. 127001-1-3, 2009.
14. "High-Performance Negative Differential Resistance Behavior in Fullerenes Encapsulated Double-Walled Carbon Nanotubes", Y. F. Li, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Journal of Applied Physics, Vol. 106, No. 12, pp. 124316-1-6, 2009.
 15. "Synthesis and Properties of Nitrogen Atom Encapsulated Fullerene", J.U. Ahamed, S. Miyanaga, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Transactions of the Materials Research Society of Japan, Vol. 34, No. 4 pp. 773-776, 2009.
 16. "Light-Induced Electron Transfer Through DNA-Decorated Single-Walled Carbon Nanotubes", Y. F. Li, T. Kaneko, Y. Hirotsu, and R. Hatakeyama: Small, Vol. 6, No. 1, pp. 27-30, 2010.
 17. "Formation of Quantum Dots in Single Stranded DNA-Wrapped Single-Walled Carbon Nanotubes", Y. F. Li, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Applied Physics Letters, Vol. 96, No. 2, pp. 023104-1-3, 2010.
 18. "Synthesis of Monodispersed Nanoparticles Functionalizing Carbon Nanotubes in Plasma-Ionic Liquid Interfacial Fields", K. Baba, T. Kaneko, R. Hatakeyama, K. Motomiya, and K. Tohji: Chemical Communications, Vol. 46, No. 2, pp. 255-257, 2010.
 19. "Growth of Single-Walled Carbon Nanotubes from Nonmagnetic Catalysts by Plasma CVD", Z. Ghorannevis, T. Kato, T. Kaneko, and R. Hatakeyama, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49, No. 2, pp. 02BA01-1-4, 2010.
 20. "Electrical Transport Properties of Calcium Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes Realized Using Calcium Plasma", T. Shimizu, T. Kato, W. Oohara, and R. Hatakeyama, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49, No. 2, pp. 02BD05-1-3, 2010.
 21. "Tailoring the Electronic Structure of Double-Walled Carbon Nanotubes by Encapsulating Single-Stranded DNA", Y. F. Li, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Small, Vol. 6, No. 6, pp. 729-732, 2010.

採択番号 H20/A02

採択回数 1 ② 3

ナノフォトンクス・フォトニック結晶の応用のフロンティア

[1] 組織

代表者：川上 彰二郎

(財団法人 仙台応用情報学研究振興財団)

対応者：中沢 正隆

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

庭野 道夫 (東北大学 電気通信研究所)
 青木 孝文 (東北大学 大学院情報科学研究科)
 佐藤 俊一 (東北大学 多元物質科学研究所)
 山田 博仁 (東北大学 電気・通信工学専攻)
 大寺 康夫 (東北大学 電気・通信工学専攻)
 青山 勉 (株式会社フォトニックラティス)
 永井 健治 (北海道大学 電子科学研究所)
 小形 哲也 (株式会社リコー 中央研究所)
 埜田 友也 (株式会社ニコン 光技術研究所)
 及川 博道 (株式会社ジーオングストローム)

研究費：物件費 24 万 9 千円，旅費 15 万 5 千円

[2] 研究経過

フォトニック結晶をはじめとするナノ構造からなる光学材料は、材料や構造パラメータを設計することにより様々な有用な光学特性を実現すること、さらにそれらを自由に集積化できることが大きな特長である。本プロジェクトでは、申請者のグループが独自に開発した積層構造のフォトニック結晶(自己クローニング型)や、ナノホールやフォトニック結晶ファイバなどのナノ構造を基盤として多方面の光産業分野への応用を開拓してきた。

本研究プロジェクトでは光計測、映像、バイオ・メディカル、通信、また要素技術として電磁波解析、作製技術、デバイス化技術にわたる幅広い経験を有する研究者で組織し、議論を進めてきた。またプロジェクト・クリーン・ルーム(PCR)にてフォトニック結晶用のパター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。

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

下に記載する。

日時：2010年3月4日(木) 13:00-17:25

場所：東北大学 電気通信研究所 1号館4階講堂(N408)(片平キャンパス)

- 13:00 開会あいさつ
 13:05 「シングルショット位相シフトホログラフィ-3次元動画画像計測技術-」粟辻安浩、伊東謙一、田原樹、角江崇、下里祐輝、藤井基史、西尾謙三、裏升吾、久保田敏弘、的場修(京都工芸繊維大学)
 13:40 「太陽系外惑星の将来探査計画へのフォトニック結晶の応用」村上尚史(北海道大学大学院工学研究科)
 14:15 「フィルム状CNT可飽和吸収体を用いた波長1.1および1.5 μ mフェムト秒ファイバレーザ」正田史生、吉田真人、中沢正隆(東北大学 電気通信研究所)
 14:50 休憩
 15:10 「生体分子のふるまい、かたち、はたらきを生きたまま観察する蛍光1分子可視化技術の現在と展望」谷 知己(北海道大学)
 15:45 「エリプソメトリーによる高精度三次元形状計測法の開発」津留俊英、山本正樹(東北大学 多元材料物質研究所)
 16:20 「色素増感太陽電池のための透明電極上への酸化チタンナノチューブの直接形成」木村康男、小島領太、庭野道夫(東北大学 電気通信研究所)
 16:55 「波長板アレイ型偏光イメージングセンサーを用いたリターダンスの2次元分布測定」川嶋貴之、佐藤尚、井上喜彦、川上彰二郎((株)フォトニックラティス)
 17:30 閉会

[3] 成果

(3-1) 研究成果

① 2次元複屈折評価システム

図1にフォトニック結晶偏光子アレイの外観を示す。本フォトニック結晶は、凹凸パタンを有する基板の上に積層した誘電体多層膜からなり、断面が三角波状の構造をもつ。溝の方向が異なる領域を同一基板上に形成することで、光軸方向の異なる素子を一括集積可能となる。

今回新たに開発した偏光イメージングセンサと、それを用いたリターダンス分布測定の光学系を図2に示す。本センサは、光軸方向が異なるフォトニック結晶波長板アレイと、均一な軸方向をもつ薄型偏光子とをCCDセンサ上で一体化した構造である。全偏光状態を2次元的(縦288x横384画素)に計測することが可能である。光源の偏光状態とサンプルを置いたときの偏光状態を、複数の波長で計測し、その変化量を解析することで、サンプルのリターダンスと光軸方向の2次元分布を算出する。波長オーダーのリターダンスをもつサンプルの一例としてプラスチックケースを測定した。図3(a)は従来の偏光子アレイ型センサでの測定結果である。 $\lambda/4$ (=130nm)で折り返された表示となり、一意的に値が求まらない。図3(b)は本センサを用い、3つの波長フィルタの測定結果から次数までを求めた解析結果である(中心波長543nm)。従来の10倍以上(2000nm以上)の大きなリターダンスの2次元分布を連続的な値として計測できることを実証した

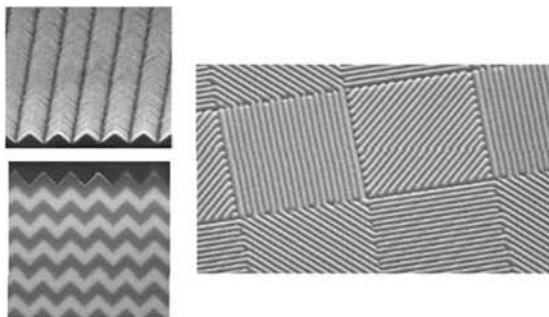


図1. フォトニック結晶アレイの断面および表面SEM写真

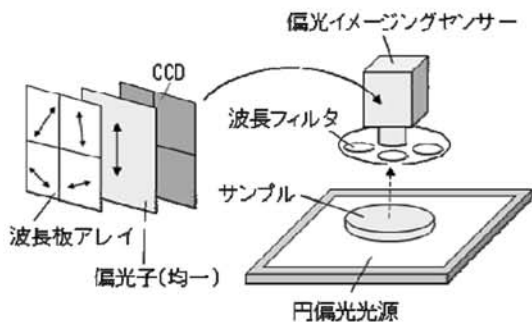


図2. リターダンス2次元分布の測定系

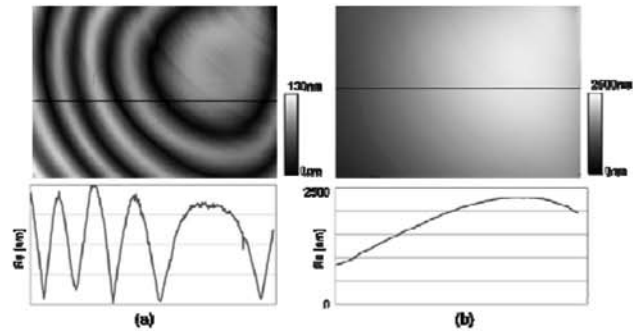


図3. プラスチックケースの測定例 (a)偏光子アレイ型 (b)波長板アレイ型

②偏光イメージングの応用

フォトニック結晶を用いた偏光イメージング技術が様々な分野に展開されている。研究会の発表にもあるように、フォトニック結晶偏光子アレイとCCDを組み合わせた偏光イメージングカメラを用いることで、デジタルホログラフィやエリプソメトリによるリアルタイムの形状観察が実現されている。またフォトニック結晶アレイ素子を取り入れた独自の偏光フィルタリングにより、生体分子の観察や天体観測などに適用され有用性が確認されている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの期間中、フォトニック結晶及びナノ構造の様々な光分野への応用開発が進んだ。特に、画像応用や偏光計測技術、レーザ応用では分担者との共著論文の発表を多数おこなった。本プロジェクトは今年度で終了であるが、今後もここで広げた多くの研究者との輪を継続させて、更に新しい技術の展開を進めたい。

[4] 成果資料

- [1] 佐藤尚, 川嶋貴之, 荒木武, 井上喜彦, ファーブル・ローラン, 川上彰二郎, “波長板アレイ型偏光イメージングセンサーを用いた数波長程度のリターダンスの2次元分布測定,” 第34回光学シンポジウム, pp. 43-44, 2009年7月.
- [2] 川嶋貴之, 佐藤尚, 千葉貴史, 川上彰二郎, “偏光イメージングのSiCウェファ欠陥評価への応用,” 第34回光学シンポジウム, pp. 45-46, 2009年7月.
- [3] 川上彰二郎, “フォトニック結晶による超並列超微細オブティクス” 第113回微小光学研究会「微細空間の微小光学」, 特別講演, 2009年7月.
- [4] 佐藤尚, 千葉貴史, ローラン・ファーブル, 川嶋貴之, 川上彰二郎, “波長板アレイ型偏光イメージングセンサーを用いた数波長程度のリターダンスの2次元分布測定” 応用物理学学会学術講演会, 11aG-2, 2009

年9月.

[5] 佐藤尚, 川嶋貴之, 井上喜彦, 川上彰二郎, “フォトニック結晶偏光素子アレイと計測システムへの応用”, 光ディスク懇談会 2009年9月.

[6] T. Kawashima, L. Fabre, T. Chiba, T. Sato, and S. Kawakami, “2-D birefringence measurement using photonic crystal technology”, FMC9-4, IDW’09, Miyazaki, December 2009.

[7] 佐藤尚, 川嶋貴之, 井上喜彦, 川上彰二郎, “フォトニック結晶偏光素子アレイと計測システムへの応用”, 電子情報通信学会 総合大会, C-3-72, 2010年3月.

[8] 川嶋貴之, 井上喜彦, 佐藤尚, “偏光イメージングセンサと2次元偏光計測への応用”, 応用物理学会学術講演会, 19pJ-6, 2010年3月.

採択番号 H20/A03

ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御

[1] 組織

代表者：小野 俊郎

(弘前大学大学院理工学研究科)

対応者：室田 淳一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

室田 淳一 (東北大学電気通信研究所)

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

豊田 宏 (弘前大学大学院理工学研究科)

福田 幸夫 (諏訪東京理科大学システム工学部)

研究費：物件費 23 万 3 千円，旅費 19 万 6 千円

[2] 研究経過

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

今年度は、本プロジェクトの第 2 年度目であり、膜形成制御の観点から高配向な多結晶 ECR-AlN 膜の電歪特性の評価、およびゲート界面品質制御の観点から ECR イオン流エネルギー制御による界面トラップに関する評価、を行った。

膜形成制御においては、平成 20 年度の成果である、成膜基板表面粗さと ECR-AlN 膜配向品質を具体的に評価することを決定した (e メールによる紙上会議)。評価は薄板 Si 上に両端を導電性電極ではさむように ECR-AlN 膜を形成したユニモルフ型カンチレバーを作成した試料を用いた。膜の厚み方向に印可する電場とカンチレバーのたわみ特性から電歪係数を求めた。得られた電歪係数 d_{33} は 24 pm/V、成膜による AlN 膜としては世界最高性能の電歪特性であることが確認できた。

高誘電体ゲート膜の形成と、基板/誘電体界面品質制御においては Si-MIS および Ge-MIS の特性評価を中心に行った (e メールによる紙上会議)。

Si-MIS では平成 20 年度の成果である、誘電体成膜の初期において基板表面へのイオン衝撃を緩和した成膜による CV 特性の改善に関連し、ECR 成膜による膜応力の解析を行った。ECR-SiO₂ 膜での評価では、V_{FB} シフトの大きい as-depo 状態では界面は原子オーダーで平滑であり、界面応力フリーの状態であること、また、V_{FB} シフトの軽減される熱処理 (~400°C) 状態では、界面が数原子オーダーの凹凸を有し、膜の界面応力も引張り側に大きくなることがわかった。Ge-MIS では ECR プラズマ酸化と ECR-Al₂O₃ キャップによるゲート酸化膜構造の評価を行い、界面固定電荷が $4 \times 10^{10} \text{cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ と従来にない高品質化を実現した。

以上の結果は国内学術講演会、国際会議において発表し大きな反響を得るとともに、本プロジェクトの目的である有機 EL、高分子材料の共存するユビキタス MEMS デバイスへの応用に大きな可能性を見出した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

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

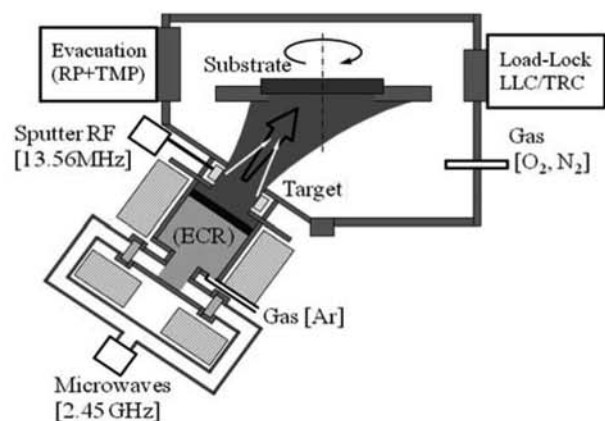


図 1 ECR スパッタ装置

ターゲットを配置し、これに高周波電力(13.56MHz)を印加して、プラズマ流中の一部のイオンによるスパッタリングにより成膜原料を試料に供給する。試料基板は同時に、プラズマ流中のイオン照射を受けて成膜反応が支援される。スパッタターゲットに電力を供給しない状態では、基板に直接 ECR プラズマ流が照射されるので、導入する反応性ガスにより基板の酸化、窒化が促進され、良質な酸化膜、窒化膜が得られる。

図2に AlN 膜の電歪特性評価のためのユニモルフ型カンチレバーの構造を示す。基板は Si 単結晶(厚さ 150 μ m、幅 10mm、長さ 40mm)に下部電極として Al 膜を抵抗加熱蒸着により形成する。続いて ECR スパッタにより AlN 膜を室温成膜する。最後に上部電極として抵抗加熱蒸着により Al 膜を形成する。AlN 膜は膜厚方向の電歪特性を利用するバルク弾性波デバイス (BAW) 用材料として有望視されている。この構造では AlN 膜の膜厚方向の電歪(d_{33})が発生するが、AlN 膜の特性としてこれに対応した膜面方向の電歪 (d_{31}) が発生し、はり先端を上下に変位させる。このためはりの変位を計測して d_{31} 係数を求めることで d_{33} 係数を評価することができる。図3に電極間に電圧 (0-40V、正弦波) を印加したときのはり先端の変位を示す。この特性から得られる d_{31} 係数は 12pm/V であり、換算により d_{33} 係数は 24pm/V が得られた。通常の成膜による d_{33} 係数は 5pm/V 程度であり、室温成膜にもかかわらず、高配向膜の特性を発揮して、従来と比較して大

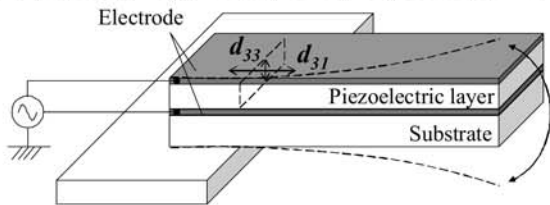


図2 ECR-AlN 電歪特性測定試料

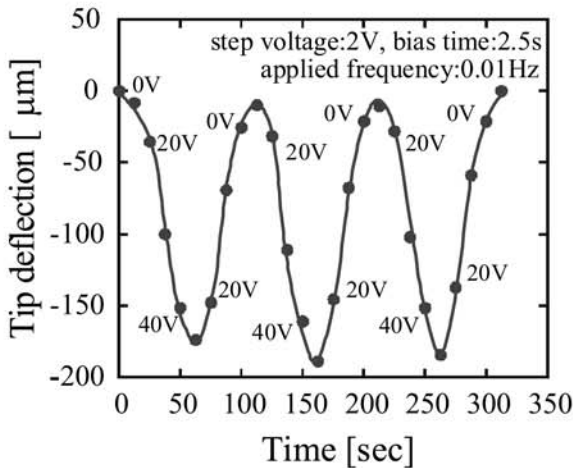
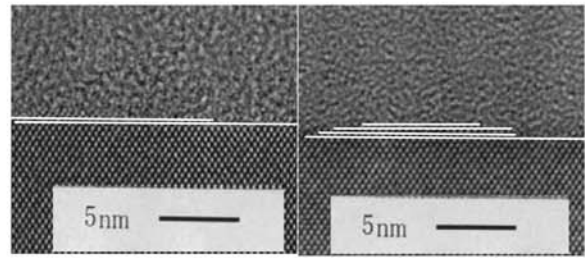


図3 はり先端の変位特性

きな電歪特性であることが確認できた。

Si-MIS の CV 特性評価では、平成 20 年度の成果において、成膜初期のナノ膜厚領域を ECR イオン流によるエネルギーを低エネルギーにすることが、 V_{FB} シフトの改善に効果があることを見いだした。そこで ECR-SiO₂/Si 界面の性状について検討した。図4に ECR-SiO₂/Si 界面の TEM 写真を示す。CV 評価で V_{FB} シフトの大きい as-depo 膜(a)では 1 原子ステップオーダーで平滑な界面となっていることがわかる。一方、CV 評価で V_{FB} シフトが解消されるアニール後(b)では数原子オーダーの凹凸を有する



(a) as-deposited SiO₂ (b) 400°C-annealed SiO₂
図4 ECR-SiO₂/Si 界面の TEM 写真

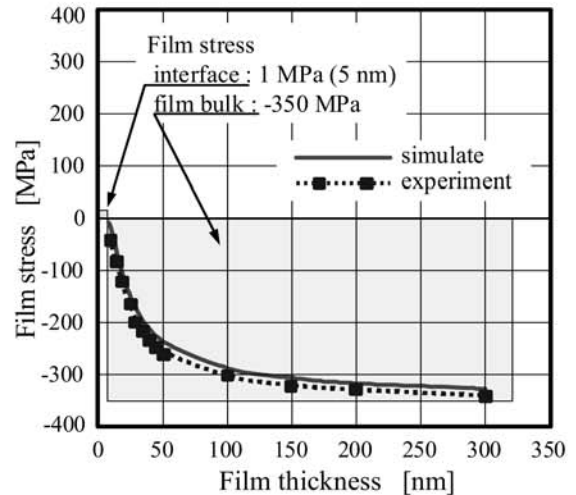


図5 ECR-SiO₂膜内応力 (as-depo)

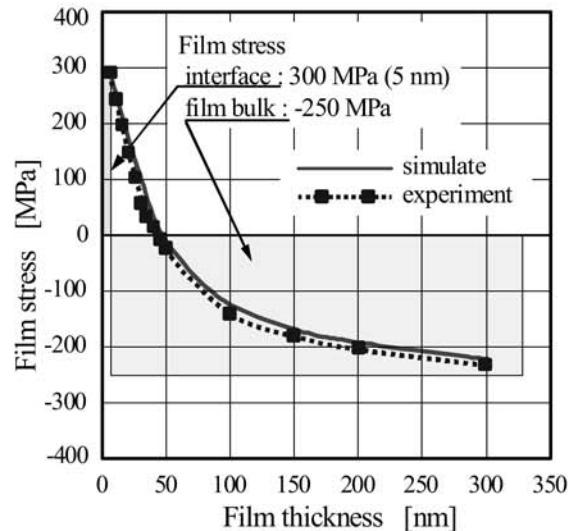


図6 ECR-SiO₂膜内応力 (熱処理後)

界面となっている。この結果から成膜後に界面に歪みが発生し、熱処理により界面原子が再配列することでこれを解放することにより、界面の物理配置は乱れるものの、CVの V_{FB} シフトは改善されることが推測された。界面での歪み状態を評価するため膜内の応力を測定した。図5に ECR-SiO₂の as-depo 膜の膜厚と応力の関係を、図6には熱処理後の関係を示す。また、それぞれにおいて、界面(5nm)に一定の界面応力、それ以降の膜厚においては一定の膜バルク応力が生じるとしてフィッティングした計算値も示す。as-depo 膜(図5)では膜バルク応力は 350MPa と大きいものの界面は応力フリーの状態であった。また、熱処理後の膜(図6)では 300MPa の界面応力、250MPa の膜バルク応力であった。この結果は図4に示した熱処理による界面の凹凸荒れの発生、CVにおける V_{FB} シフトの発生を説明する上では逆の結果となっている。今後さらに詳細な検討が必要である。

Ge-MIS による CV 評価では Al/ECR-sputtered-Al₂O₃/ECR-plasma-oxidized-GeO₂/Ge のスタックゲート構造を検討した。プラズマ酸化は Al₂O₃ 成膜条件でターゲットにスパッタ RF の印加を停止した条件とした。CV から測定した界面固定電荷は $4 \times 10^{10} \text{cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ と、Si 並の高品質であり、Ge-MIS では従来にない高品質化を実現した。

(3-2) 波及効果と発展性など

以上の結果は低エネルギーのイオン照射をともなう ECR スパッタ成膜の各種電子デバイスへの応用において、低温での高品質膜形成に貴重な結果を提供している。ECR プラズマ成膜法は、他の高密度プラズマ技術に比較して装置の小型化が困難とされていることから、極く限られた用途以外には普及していない。

高密度集積 Si 半導体分野では依然として高温処理を前提としてプロセス開発が進められているが、これを援用している化合物半導体、表示デバイスや、Si の後継材料として有望な Ge-MISFET などの分野は室温に近い低温プロセスの要求が高く、技術的な乖離がみられる。また今後の展開として、有機液晶などの FPD、SoC 化を目指す MEMS 分野では室温近傍でのプロセス構築が必要不可欠となっている。

本成果をもとに FET の低温形成など、これまでにない研究分野の提案が可能であり、高機能電子デバイスの発展に大きく寄与できる。

[4] 成果資料

(1) H. Yasui, H. Toyota, M. Shimada, T. Ono, Low temperature deposition of highly oriented AlN polycrystalline films by using ECR sputtering, The 10th International Symposium on Sputtering and Plasma Processes (ISSP 2009), Proceedings, TF_1-5, pp.280-283 (2009).

(2) H. Arihara, H. Toyota, J. Murota, M. Sakuraba, Y. Fukuda, T. Ono, An electrical characterization of metal oxy-nitrides deposited by an ECR sputtering for MIS gates, The 10th International Symposium on Sputtering and Plasma Processes (ISSP 2009), Proceedings, TF_2-2, pp.293-296 (2009).

(3) 小野俊郎, 豊田宏, 有原浩之, 福田幸夫, 室田淳一, 櫻庭政夫, ECR スパッタ成膜誘電体を用いた MIS キャパシタの電気特性安定化, 平 21 応物学術講演会(富山大学, 2009.9.8), 11p-TE-7, p754.

(4) Yukio Fukuda, Yohei Otani, Tetsuya Sato, Hiroshi Toyota and Toshiro Ono, Effective passivation of Ge surface by high-quality GeO₂ formed by Electron-Cyclotron-Resonance plasma oxidation for Ge-based electronic and photonic devices, 5th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (SiGe(C) 2010), Abstracts, pp.5-6 (2010).

採択番号 H20/A04

IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成と そのデバイス応用に関する研究

[1] 組織

代表者：室田淳一（東北大学電気通信研究所）
 分担者：
 庭野道夫（東北大学電気通信研究所）
 上原洋一（東北大学電気通信研究所）
 末光真希（東北大学電気通信研究所）
 櫻庭政夫（東北大学電気通信研究所）
 宇佐美德隆（東北大学金属材料研究所）
 小柳光正（東北大学大学院工学研究科）
 田中 徹（東北大学大学院工学研究科）
 白木靖寛（武蔵工業大学総合研究所）
 安田幸夫（高知工科大学総合研究所）
 財満鎮明（名古屋大学大学院工学研究科）
 中塚 理（名古屋大学大学院工学研究科）
 酒井 朗（大阪大学大学院基礎工学研究科）
 高木信一（東京大学大学院工学研究科）
 鳥海 明（東京大学大学院工学研究科）
 奥村次徳（首都大学東京理工学系）
 平木昭夫（高知工科大学総合研究所）
 伊藤利道（大阪大学大学院工学研究科）
 野崎眞次（電気通信大学電子工学科）
 田部道晴（静岡大学電子工学研究所）
 高橋庸夫（北海道大学大学院工学研究科）
 小野俊郎（弘前大学大学院理工学研究科）
 松本 智（慶應義塾大学理工学部）
 佐々木公洋（金沢大学大学院自然科学研究科）
 土屋敏章（島根大学総合理工学部）
 宮尾正信（九州大学大学院システム情報科学研究所）
 佐道泰造（九州大学大学院システム情報科学研究所）
 宮崎誠一（広島大学大学院先端物質科学研究科）
 須田良幸（東京農工大学総合メディアセンター）
 中川清和（山梨大学医学工学総合研究部）
 有元圭介（山梨大学医学工学総合研究部）
 樽茶清悟（科学技術振興機構）
 Roland Brunner（科学技術振興機構）
 坂本謙二（物質・材料研究機構）
 石谷明彦（ベルギー・IMEC）
 阿部孝夫（信越半導体（株））
 鷲尾勝由（日立製作所（株））
 国井泰夫（日立国際電気（株））
 宮本光雄（森田化学工業（株））
 佐藤政明（新日本無線（株））

竹廣 忍（（株）沖電気工業）
 水島一郎（（株）東芝セミコンダクター社）
 杉山直治（（株）東芝研究開発センター）
 小野昭一（（株）イデアルスター）
 横尾邦義（（株）イデアルスター）
 笠間泰彦（（株）イデアルスター）
 表 研次（（株）イデアルスター）
 Bernd Tillack（ドイツ・IHP）
 Matty Caymax（ベルギー・IMEC）
 James Sturm（米国・プリンストン大学）
 Judy Hoyt（米国・マサチューセッツ工科大学）
 Erich Kasper（ドイツ・シュトゥットガルト大学）
 Vinh Le Thanh（フランス・マルセイユ大学）

研究費：物件費 35 万 2 千円，旅費 58 万 2 千円

[2] 研究経過

[目的] IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成プロセスの開発は大規模集積回路の高性能化及びその上への新機能デバイス搭載等のために極めて重要である。本研究では、原子層制御 CVD・エッチング・不純物ドーピング・MBE 等における表面・界面反応制御プロセス技術を駆使して、原子オーダーで制御された IV 族半導体ナノヘテロ構造およびそのナノ立体構造の形成と導入される歪分布を制御し、高度歪制御ナノ立体構造を有する大規模集積化対応 IV 族半導体ナノ構造デバイスの実現を目的とする。さらに、形成した構造体から発現する新機能の探索を行う。材料としては、Si-Ge-C 系多層ヘテロエピタキシャル薄膜をはじめとして、P や B、N 等のドーパント原子、Si 窒化膜等の絶縁膜、さらに W 等の金属薄膜まで幅広く扱う。

[概要] 本プロジェクトは、Si-Ge-C 系エピタキシャル薄膜やその積層構造及びそのナノ立体構造形成と歪分布制御についての研究を重点的に行う。また、P や B、N 等の原子層ドーピングを適用したナノヘテロ構造の光物性・電子物性に関する研究も進め、キャリアの輸送や生成・再結合に関わる新規物性探索を行い、ナノデバイス高性能化への応用を目指す。原子レベルでの表面・界面構造の評価には STM/AFM・RHEED・XRD、表面の吸着物質・原子結合の同定には XPS・FTIR・ラマン分光等を用いる。

また、共鳴トンネルダイオード・量子箱・量子細線等の量子構造における電気特性、Si ベース発光ダイオード・受光ダイオード特性の評価を行い、IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造の適用によるナノデバイスの高性能化と新機能デバイス創生のための指針を得る。

[情報交換活動等] IV 族半導体の原子層制御技術やヘテロデバイス技術に関して、外部研究機関分担者との共同研究の成果を国際会議及び学術論文（海外機関 14 件）として発表した。また、本研究プロジェクトが中心となり、原子オーダーで制御された新 IV 族原子制御ヘテロ構造・材料技術とそれを適用した次世代超微細デバイスの実現、並びに、それを用いた回路やシステムについての研究開発動向の調査のため、電気学会「新 IV 族原子制御デバイス材料技術調査専門委員会」（平成 20 年 2 月～平成 22 年 1 月）が設置され活動を行った。さらに、以下の 4 つの国際会議も開催した。

- 第 6 回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議 (6th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-6), Los Angeles, USA, 2009 年 5 月 17-22 日, 発表 146 件, 参加者 130 名, プロシーディング特集号: Thin Solid Films 誌(Vol.518, Suppl.1) を 2010 年 1 月に出版済)
- 第 1 回 Si ベースナノエレクトロニクス&フォトンクス国際ワークショップ (1st Int. Workshop on Si based nano-electronics and -photonics (SiNEP-09), Univ. Vigo, Spain, 2009 年 9 月 20-23 日, 発表 50 件, 参加者 70 名)
- ECS 第 6 回 ULSI プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. E10: "ULSI Process Integration 6", 216th Meeting of the Electrochem. Soc., Vienna, Austria, 2009 年 10 月 4-9 日, 発表 52 件, 参加者 80 名, プロシーディング特集号: ECS Trans. 誌を平成 21 年 10 月に出版済)
- 第 5 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 (5th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, 東北大通研ナノ・スピン実験施設, 2010 年 1 月 29-30 日, 発表 40 件, 参加者 60 名)

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

[3] 成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、IV 族半導体の超高キャリア濃度化を図るために、熱 CVD プロセスによる高濃度 B 原子層ドーピング Ge エピタキシャル薄膜形成について研究を進めた結果、 B_2H_6 表面反応を $100^\circ C$ まで低温化することにより、Ge(100)上の B 原子面密度は $2-3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ (約 0.3-0.4 原子層) 付近で自己制限的に飽和することを見いだした。さらに、この飽和 B 原子面密度は水素分圧の減少とともに増加し、水素導入しない場合には飽和せず、連続的に薄膜堆積していくこともわかった。これらの結果から、自己制限的 B 原子層形成において、反応雰囲気中の水素の存在が重要な役割を果たすことが明らかとなった。

第 2 に、基板非加熱 ECR プラズマ CVD プロセスによる高濃度 B 原子層ドーピング Si エピタキシャル薄膜形成について研究を進めた結果、Si キャップ層形成におけるプラズマの低エネルギー化の推進は、Ar プラズマ照射による Si 結晶へのプラズマ損傷や B 還元脱離の問題を抑制し、Si 単結晶ナノ薄膜への B 原子層ドーピングの超高濃度化のために極めて重要であることを明らかにした。第 3 に、熱 CVD プロセスによる Si-Ge 系ヘテロ構造への C 原子層ドーピングについて研究を進めた結果、4 nm 厚の歪 $Si_{0.55}Ge_{0.45}$ と Si とのヘテロ界面に C 原子層ドーピングすることにより、熱処理時の Si と Ge の相互拡散や歪緩和を効果的に抑制できることを見いだした。

第 4 に、熱 CVD プロセスによる歪 $Si_{0.3}Ge_{0.7}$ 上に形成した P 原子層表面への Si キャップ層エピタキシャル成長において、従来の SiH_4 の代わりに反応性の高い Si_2H_6 を原料ガスとして用いることにより、Si 堆積を低温化・高速化させる研究を進めた結果、 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ (約 0.5 原子層) まで P 原子層ドーピングを超高濃度化することに成功した。また、 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ を超えた分の表面 P 原子はヘテロ界面には取り込まれず、表面偏析していく傾向にあることを見いだした。

以上のように、IV 族半導体高度歪制御ナノ立体構造の適用によるナノデバイス高性能化と新機能デバイス創生のための重要な成果を得た。今後も、この分野の共同プロジェクトを推進することにより、Si ベース IV 族半導体原子制御プロセスの学問分野が大きく発展するだけでなく、次世代 Si 系高度歪制御ナノ立体構造デバイス開発も実現することになると期待できる。

[4] 成果資料

1. "Heavy B Atomic-Layer Doping Characteristics in Si Epitaxial Growth on B Adsorbed Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD System", H. Tanno, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, Solid-State Electron., Vol.53, pp.877-879, (2009).

2. "Improvement in Negative Differential Conductance Characteristics of Hole Resonant-Tunneling Diodes with High Ge Fraction Si/Strained Si_{1-x}Ge_x/Si(100) Heterostructure", T. Seo, K. Takahashi, M. Sakuraba and J. Murota, Solid-State Electron., Vol.53, pp.912-915, (2009).
3. "B atomic layer doping of Ge", Y. Yamamoto, K. Koepke, R. Kurps, J. Murota and B. Tillack, Thin Solid Films, Vol.518, pp.S44-S47, (2010).
4. "Electrical Characteristics of Thermal CVD B-Doped Si Films on Highly Strained Si Epitaxially Grown on Ge(100) by Plasma CVD without Substrate Heating", K. Sugawara, M. Sakuraba and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.518, pp.S57-S61, (2010).
5. "Heavy Atomic-Layer Doping of Nitrogen in Si_{1-x}Ge_x Film Epitaxially Grown on Si(100) by Ultraclean Low-Pressure CVD", T. Kawashima, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.518, pp.S62-S64, (2010).
6. "Heavy B Atomic-Layer Doping in Si Epitaxial Growth on Si(100) Using Electron-Cyclotron-Resonance Plasma CVD", T. Nosaka, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.518, pp.S140-S142, (2010).
7. "Heavy Carbon Atomic-Layer Doping at Si_{1-x}Ge_x/Si Heterointerface", T. Hirano, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.518, pp.S222-S225, (2010).
8. "Impact of Si Cap Layer Growth on Surface Segregation of P Incorporated by Atomic Layer Doping", Y. Chiba, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, Thin Solid Films, Vol.518, pp.S231-S233, (2010).
9. "Atomically Controlled Processing for Group-IV Semiconductors" (**Invited Paper**), J. Murota and M. Sakuraba, 2009 Int. Conf. on Semiconductor Technology for Ultra Large Scale Integrated Circuits and Thin Film Transistors (ULSIC vs. TFT), Xi'an, China, Jul. 5-10, 2009: ECS Trans., Vol.22, No.1 (Edited by Y. Kuo, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2009), pp.111-120 (2009).
10. "Control of Group IV Semiconductor Processing on Atomic Scale" (**Keynote Lecture**), B. Tillack, Y. Yamamoto and J. Murota, 1st Int. Workshop on Si Based Nano-Electronics and -Photonics (SiNEP-09), Vigo, Spain, Sep. 20-23, 2009, pp.71-72.
11. "Resonant Tunneling Diodes with Highly Strained Heterostructures of Si/Si_{1-x}Ge_x Epitaxially Grown on Si(100)" (**Invited Paper**), M. Sakuraba and J. Murota, 1st Int. Workshop on Si Based Nano-Electronics and -Photonics (SiNEP-09), Vigo, Spain, Sep. 20-23, 2009, pp.81-82.
12. "Atomically Controlled CVD Processing for Doping of Si-Based Group IV Semiconductors" (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, Symp. E10: ULSI Process Integration 6 (216th Meeting of the Electrochem. Soc.), Vienna, Austria, Oct. 4-9, 2009, Abs.No.2360: ECS Trans., Vol.25, No.7 (Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2009), pp.177-184 (2009).
13. "Atomically Controlled Plasma Processing for Epitaxial Growth of Group IV Semiconductor Nanostructures", M. Sakuraba, K. Sugawara and J. Murota, Symp. E10: ULSI Process Integration 6 (216th Meeting of the Electrochem. Soc.), Vienna, Austria, Oct. 4-9, 2009, Abst.No.2367: ECS Trans., Vol.25, No.7 (Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2009), pp.229-236 (2009).
14. "Atomic Level Control for Group IV Semiconductor Processing" (**Invited Paper**), B. Tillack, Y. Yamamoto and J. Murota, 5th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 29-30, 2010, No.I-05, pp.9-10.
15. "Effects of 193 nm Excimer laser radiation on SiO₂/Si/SiGe heterostructures grown on s-SOI substrates" (**Invited Paper**), S. Chiussi, J.C. Conde, A. Benedetti, C. Serra, M. Sakuraba and J. Murota, 5th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 29-30, 2010, No.I-11, pp.65-66.
16. "Epitaxial Growth of Group IV Semiconductor Nanostructures Using Atomically Controlled Plasma Processing" (**Invited Paper**), M. Sakuraba, T. Nosaka, K. Sugawara and J. Murota, 5th Int. Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 29-30, 2010, No.I-13, pp.69-70.

高移動度 2 次元ホールガスの作製

[1] 組織

代表者：樽茶 清悟
(東京大学大学院工学研究科/ 科学技術振興機構)

対応者：大野 裕三
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
大野 英男 (東北大学電気通信研究所)
寺岡 総一郎 (科学技術振興機構)
天羽 真一 (科学技術振興機構)
羽田野 剛司 (科学技術振興機構)
久保 敏弘 (科学技術振興機構)
都倉 康弘 (NTT 物性科学基礎研究所/
科学技術振興機構)

研究費：物件費 24万2千円，旅費 5万円

[2] 研究経過

半導体量子ドット中の電子の持つスピンを量子ビットとして用いようとする研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。量子ゲート操作を行うためにはスピンのコヒーレンスを可能な限り長く保つことが重要となる。GaAs 量子ドット内の電子スピンの場合、結晶格子を構成するすべての核種がスピンを有しており、電子スピンは超微細相互作用を通じて結晶中の核スピンの揺らぎを感じ、これが電子スピンのコヒーレンスに主要な影響を与える。この問題の解決のため、材料系として核スピンを殆んどもたないもの(Graphene, Si/SiGe など)、または核スピンをもっているものの影響が小さいもの(p -GaAs など)の利用が考えられる。 p -GaAs の場合、価電子帯の正孔スピンは p-like な状態を持っているため接触相互作用に基づく核スピンの相互作用は無視できるほど小さいと考えられており核スピンによるデコヒーレンス問題の解決へ向けてのひとつの有望な候補とされている。さらに二次元正孔ガスの異方的な g -因子はスピントロニクスデバイスへの応用上からも関心がもたれている。本プロジェクトでは、二次元正孔ガスと輸送現象、スピンドायナミクスの測定手法を用いて正孔-核スピン相互作用お

よびスピン軌道相互作用の効果に関する基礎的な知見を得ることを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、高移動度 2 次元ホールガスの基板成長ならびにスピン共鳴の測定を行い、動的核スピン偏極が起こらないこと、スピン軌道相互作用の影響が顕著であることが明らかになった。そこで本年度は、前年度の成果を踏まえながら、GaAs 正孔系ナノ構造におけるスピンドायナミク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。

東北大学電気通信研究所ナノスピン実験施設大野研究室において昨年度に引き続き高移動度 2 次元ホールガスの成長が行われた。従来の変調ドーブ高移動度基板のほか、Rashba 相互作用の制御の観点からバッファ層を導電性とした基板を含め、GaAs(311)A 基板上に量子井戸または単一ヘテロ構造が MBE 成長された。ICORP 量子スピン情報プロジェクトでは前年度のオーミック端子、ホールバーによるショットキーゲートのテスト結果を進めて微細加工プロセスの条件を探索、上述の基板から作成したホールバー試料に電子線描画およびドライエッチングを併用して量子ポイントコンタクトおよび量子ドット構造を作成、輸送現象の測定を行った。また前年度、二次元系で観測されたスピン共鳴について解析を進め、成長基板の構造反転非対称性に起因する Rashba 項によるスピン軌道相互作用の効果として実験で観測された外部磁場に対して非線形なスピン分裂と磁気抵抗測定の Shubnikov-de Haas(SdH)振動の概要を再現できることが判り、学会、研究会(成果資料(7)および(10))にて報告した。その際、価電子帯の Rashba 相互作用について安藤教授(東京工大)、Winkler 准教授(Northern Illinois University)より理論の立場からそれぞれ有益なご指摘をいただき、(3-1)で後述のように再度解析を進めた上で、結果は3月の量子スピン情報プロジェクト最終報告会(成果資料(11))にて報告した。同会議では p -型 GaAs の細線に関して経験の豊富な Hamilton 研究員(The University of South Wales)と価電子帯のサブバンドや基板、デバイスの構造について議論の機会があり今後の進展に有用なご示唆をいただいた。

[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、前年度の表面ショットキーゲートによる二次元正孔キャリア濃度変調の成功を受けて表面ショットキーゲートによる量子ポイントコンタクト構造および量子ドット構造の作成と評価を進めた。前者は量子ドットのバリアとしての機能だけでなく0.7 アノマリをはじめとするスピン状態が関与する現象に関心をもたれている。単一ヘテロおよび量子井戸の基板を用いて種々試みた結果、少数のデバイスではあるが量子化コンダクタンスおよびチャージングダイヤグラムの徴候を示した。しかしながら閉じ込めの強さやスピン分裂を議論するには現状課題を残している。また二次元系では見られなかった電荷の蓄積および空乏化にともなう履歴現象が観測された。これは信頼性のあるゲート操作の妨げとなるものであるが、研究者との直接の交流を通して知る限りでは p -型のショットキーゲートに普遍的な現象とも思われるが、 p -型 GaAs による細線の報告例そのものが n -型のそれに比べて非常に少なく、原因および根本的な対策はいまのところ確立していない模様である。本プロジェクトでも変調ドープ層に微細なエッチング加工を施した Self aligned gate などを試みた。根本的な解決は得られなかったものの、条件によっては良好な特性を示す場合もあり、今後の基板およびデバイス構造を検討するうえで有用な指針が得られた。

第2に前年度スピン共鳴吸収の実験によって観測された p -GaAs 二次元正孔ガスにおける外部磁場による非線形なスピン分裂がスピン軌道相互作用による顕著な効果として理解された。当初は成長基板の構造反転非対称性に起因する Rashba 相互作用を波数 k の一次まで考慮したハミルトニアンに基づいて、固有値厳密解を用いて観測された外部磁場に対して非線形なスピン分裂と磁気抵抗測定 Shubnikov-de Haas (SdH) 振動の概要を再現した。その後、価電子帯については最低次として k の3次の項を考慮すべきことが判り、状態密度を計算する際に用いられる TraceFormula の方法にスピン軌道相互作用を取り入れることによって Magneto-Oscillation とスピン歳差運動を自己無撞着に数値的に解いた。結果は或る有限磁場にてフェルミ面上のスピン分裂が消失し、強磁場の極限ではゼーマン分裂に漸近する k の一次で得られたのと定性的には同様な振る舞いを確認した。量子ドットナノ構造においては歪みと運動量の離散化の相乗効果で正孔スピンの寿命は長くなると

期待されているが、強いスピン軌道相互作用の効果は軌道運動の散乱と相まってスピンコヒーレンスに影響を及ぼすので二次元系における理解は重要であると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流を活性化し、従来から正孔スピンを用いた量子ドットを理論面で推進していた Basel 大学のグループ (ICORP 共同研究) をはじめとする内外のグループとの連携も深まることが期待される。また本プロジェクトで明らかにされる正孔系における核スピンとの相互作用およびスピン軌道相互作用の効果に関する知見は、 p -GaAs を用いた量子ドットナノ構造の作成に際しての指針を与え、量子演算へ向けてのより長い位相記憶時間の実現とスピン操作等の応用への動機付けとなり、今後の発展が期待される。

[4] 成果資料

(H20 年度)

(1) 寺岡総一郎, 天羽真一, 羽田野剛司, 久保敏弘, 都倉康弘, 大野裕三, 大野英男, 樽茶清悟
日本物理学会第 64 回秋季大会、概要集第 4 分冊
20pYK-6 (2008 年 9 月 20 日~23 日, 岩手大学、盛岡市)

(2) S. Teraoka, S. Amaha, T. Hatano, T. Kubo, Y. Tokura, Y. Ohno, H. Ohno, and S. Tarucha
The 23rd Nishinomiya-Yukawa Memorial International Workshop Spin Transport in Condensed Matter, Spin Transfer in Condensed Matter”, Abstract P-10 (27. Oct. ~28. Nov. 2008 YITP, Kyoto University, Kyoto, Japan)

(3) S. Teraoka, S. Amaha, T. Hatano, T. Kubo, Y. Tokura, Y. Ohno, H. Ohno, and S. Tarucha
International Symposium on Nanoscale Transport and Technology ISNTT2009, Abstract PWe-13 (20~23. Jan. 2009, NTT Basic Research Laboratory, NTT Corporation, Atsugi, Kanagawa, Japan)

(4) 寺岡総一郎, 天羽真一, 羽田野剛司, 久保敏弘, 都倉康弘, 大野裕三, 大野英男, 樽茶清悟
第 13 回半導体スピン工学の基礎と応用 PASPS-13, Abstract C-4 (2009/1/27~28 東北大学電気通信研究所ナノスピン研究施設)

(5) 寺岡総一郎, 天羽真一, 羽田野剛司, 久保敏弘, 都倉康弘, 大野裕三, 大野英男, 樽茶清悟
日本物理学会第 64 回年次大会概要集第 4 分冊
27pTX-3(2009/3/27~30 立教大学、立教池袋中学・高校)

(H21 年度)

(6) S. Teraoka, S. Amaha, T. Hatano, T. Kubo, Y. Tokura, Y. Ohno, H. Ohno, and S. Tarucha
“The 18th International Conference on Electronic properties of Two-Dimensional Systems”, Abstract Tu-eP71 (19-24. July 2009 Kobe international Conference Center Japan)

(7) 寺岡総一郎, 天羽真一, 羽田野剛司, 久保敏弘, 都倉康弘, 大野裕三, 大野英男, 樽茶清悟
日本物理学会第 65 回秋季大会, 概要集第 4 分冊
25pXD-10 (2009 年 9 月 25 日~28 日 熊本大学黒

髪キャンパス)

(8) S. Teraoka, S. Amaha, T. Hatano, T. Kubo, Y. Tokura, Y. Ohno, H. Ohno, and S. Tarucha
The 2nd RIEC-CNSI Workshop on Nanoelectronics, Spintronics and Photonics Abstract P-10 (22~23.Oct. 2009 RIEC Tohoku University)

(9) 寺岡総一郎, 天羽真一, 羽田野剛司, 久保敏弘, 都倉康弘, 大野裕三, 大野英男, 樽茶清悟
”第 14 回半導体スピン工学の基礎と応用 PASPS-14”, Abstract A2 (2009 年 12 月 21~22 日、慶應義塾大学日吉キャンパス来往舎)

(10) S. Teraoka, S. Amaha, T. Hatano, T. Kubo, Y. Tokura, Y. Ohno, H. Ohno, and S. Tarucha
“6th RIEC International Workshop on Spintronics”, Abstract P10 (5-6 Feb. 2010 "Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics, Research Institute of Electrical Communication. Tohoku University, Sendai Japan)

(11) S. Teraoka, S. Amaha, T. Hatano, T. Kubo, Y. Tokura, Y. Ohno, H. Ohno, and S. Tarucha
"International Symposium on Quantum Nanostructures and Spin-related Phenomena”, Abstract P2 (9-11. March 2010 "Komaba Campus, University of Tokyo, Komaba, Tokyo, Japan)

(12) 寺岡総一郎, 天羽真一, 羽田野剛司, 久保敏弘, 都倉康弘, 大野裕三, 大野英男, 樽茶清悟
日本物理学会第 65 回年次大会、概要集第 4 分冊
21aHV-8 (2010 年 3 月 20 日~23 日 岡山大学津島キャンパス 岡山市)

採択番号 H20/A06

採択回数 1 (2) 3

知的ナノ集積システムとその応用に関する研究

[1] 組織

代表者: 中島 康治(東北大学電気通信研究所)
 責任者: 中島 康治(東北大学電気通信研究所)
 分担者: 矢野 雅文(東北大学電気通信研究所)
 中尾 光之(東北大学大学院情報科学研究科)
 片山 統裕(東北大学大学院情報科学研究科)
 雨宮 好仁(北海道大学工学部)
 浅井 哲也(北海道大学工学部)
 原田 知親(山形大学工学部)
 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)
 堀尾 喜彦(東京電機大学工学部)
 斎藤 利通(法政大学工学部)
 八木 哲也(大阪大学大学院工学研究科)
 土居 伸二(京都大学大学院工学研究科)
 森江 隆(九州工業大学大学院生命体工学研究科)
 林 初男(九州工業大学大学院生命体工学研究科)
 石川 眞澄(九州工業大学大学院生命体工学研究科)
 和久屋 寛(佐賀大学理工学部)
 引原 隆士(京都大学工学部)
 上田 哲士(徳島大学工学部)
 西尾 芳文(徳島大学工学部)
 合原 一幸(東京大学生産技術研究所)
 香田 徹(九州大学システム情報科学研究院)

研究費: 校費 25 万 3 千円, 旅費 40 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、ハードウェア化をも視野に入れた新たな情報処理システムを原理的な観点から追求すると同時に、その

応用の可能性についても基礎研究を行う。これまでの実践的および論理的研究によってニューラルネットワークの可能性について様々な事実が蓄積されてきたが、本質的には、緩い意味で「人間とコンピューターでは得意課題が排他的である」という程度の理解しか得られていない。それは、ひとつには超並列なデータを処理するアーキテクチャーが明確になっていないこと、その他にはそもそも膨大な並列データの取捨選択方式が未知であることが理由である。実験、理論、実践をとおして現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、人間と機械の自然な対話環境実現のための基礎を築くことを目的とする。そこで広くプロジェクト構成メンバー間の相互理解を深めるため平成21年12月17日に第一回目の、平成22年3月1日に第二回目の共同プロジェクト研究会を、東北大学電気通信研究所にて実施した。そこでの発表テーマは以下の通りである(発表順)。

【第一回共同プロジェクト研究会】

「大脳基底核線条体ニューロン・グリアにおける自発 Ca^{2+} リズム」

小山内 実 (東北大学医学系研究科)

「ナノ構造を用いた安定化人工細胞膜の形成とセンサ応用」

平野 愛弓 (東北大学医工学研究科)

「人工網膜デバイスの開発と視覚代行への応用について」

八木 哲也 (大阪大学)

「フィードバック SOM を用いた時系列信号処理の試み〜オンライン文字認識への適用について〜」

和久屋 寛 (佐賀大学)

「領域ベース結合 MRF モデルによる大局的画像領域分割と CMOS 回路設計」

森江 隆 (九州工業大学)

「極低電圧かつ極低電力で駆動するアナログ集積回路とその応用」

原田 知親 (山形大学)

「逆関数遅延ニューラルネットワークの応用を目指して」

早川 吉弘 (仙台高専)

「高次結合逆関数遅延ネットワーク～ TSP, QAPへの適用～」

曾田 尚宏 (東北大学)

「Van der Pol 相互結合系の動的解析～ ポテンシャルとアクティブ領域～」

黒瀬 幸司 (東北大学)

「超伝導ニューラルネットワークとその4-Queen問題への応用」

前波 勇介 (東北大学)

【第二回共同プロジェクト研究会】

「Waves in Nonlinear Coupled Oscillators : Intrinsic Localized Mode」

引原 隆士 (京都大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

生理学的な生体内情報処理の理解・応用を目指した研究成果として、まず、大脳皮質の活動が線条体の自発活動に与える影響を調べるために、線条体の細胞に対して細胞内カルシウム($[Ca^{2+}]_i$)イメージングによる細胞活動の計測による解析手法が示された。次に、細胞膜を模した脂質二分子膜 (人工細胞膜) を半導体加工技術との融合により構築し、神経伝達物質レセプターチャネルを膜中に埋め込むことで人工神経細胞膜センサへの試みが示された。さらに、目の網膜細胞を電子回路的に模倣して開発された人工網膜チップを用いた最新の研究成果が示された。

ニューラルネットワーク関連の成果としては、与えられた多次元データ間の類似性に基づいた学習を行い、2次元のマップ上に配置するという特徴を持つ SOM に時系列信号を扱わせる拡張を施した Elman 型フィードフォワード SOM を使った時系列処理 (オンライン文字認識) についての研究成果が示された。

CMOS 関連の成果としては、人の視覚系に存在する大局的画像分割能力に着目し、抵抗ヒューズネットワークを用いた CMOS 集積回路についての成果が示された。さらに、極低電圧駆動アナログ回路の発案とその応用の可能性についての成果が示された。

最後に、ポテンシャルとそのアクティブ (負性抵抗) 領域という新しい考え方をを用いてニューロンシステムを理解しようとする研究については、ダイナミクスの解析への適用、応用システムの検討、さらには、超伝導デバイスのヒステリシス性を利用したニューロンシステムの提案まで幅広い成果が示された。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトには、神経生理学、非線形物理学、理論脳科学、集積回路工学等に幅広い分野の研究者の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成しているため、「International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications」をはじめとする様々な分野の国際会議においてその成果を発信することができ、現コンピュータでは克服しきれない知的処理の課題を補間する近未来の情報システムの議論の場所を作り上げることができたと考えている。そのために本プロジェクト研究の成果は、学術的あるいは技術的に、これまで克服困難であった人間らしい知的情報処理を克服する方向を示すと同時に、ナノスケール集積化をも視野に入れた研究であるために携帯性や人間との親和性が重視される環境での小型ヒューマンインターフェイス等へ応用する技術を示す上での重要な示唆を与えると予想される。

[4] 成果資料

- (1)Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., "Low-voltage process-compensated VCO with on-chip process monitoring and body-biasing circuit techniques," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer, vol. E92-A, no. 12, pp. 3079-3081, (2009).
- (2)Kikombo A. K., Tabe M., and Amemiya Y., "Photon position sensor consisting of single-electron circuits," Nanotechnology, vol. 20, no. 40, 405209, 2009.
- (3)Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., "A 300-nW, 7-ppm/ $^{\circ}$ C, 20-ppm/V CMOS voltage reference circuit consisting of subthreshold MOSFETs," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 44, no. 7, pp. 2047-2054 (2009).
- (4)Byungsoo Kim, Vakhtang Putkaradze, and Takashi Hikiyara, Manipulation of single atoms by atomic force microscope as a resonance effect, Phys. Rev. Lett. 102, 215502 (2009). Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology, June 8, 2009 issue.
- (5)T.Hikiyara, Resonant manipulation of particles in nanosystems, RANM2009, Kuala Lumpur, Malaysia, Aug. 25 (2009).
- (6)B. Kim, T. Hikiyara, and V. Putkaradze, Atomic Manipulation by Mechanical Resonance (NOLTA2009), Sapporo, Japan, October 18-21, 2009.

- (7) M. Kimura and T. Hikiyama, Experimental Manipulations of Intrinsic Localized Mode in Macro-Mechanical Cantilever Array Toward Micro-System (NOLTA2009), Sapporo, Japan, October 18-21, 2009.
- (8) Y. Kawashima, D. Atuti, K. Nakada, M. Okada and T. Morie, Coarse Image Region Segmentation Using Region- and Boundary-based Coupled MRF Models and Their PWM VLSI Implementation, Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2009), pp. 1559-1565, Atlanta, USA, June, 2009.
- (9) K. Matsuzaka and T. Morie, A Simplified Region-Based Coupled MRF Model for Coarse Image Region Segmentation Toward its VLSI Implementation, Proc. of Int. Symp. on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2009), pp. 202-205, Sapporo, Japan, Oct. 2009.
- (10) Y. Morita & H. Wakuya : Online feedback error learning control for an inverted pendulum, Int. J. of Innovative Computing, Information and Control, Vol.5, pp. 3565-3572, 2009
- (11) H. Wakuya & K. Yamashita : A new type of Hopfield network with controllable synaptic weights for solving combinatorial optimization problems, Int. J. of Innovative Computing, Information and Control, Vol.5, pp. 5051-5060, 2009
- (12) H. Wakuya & S. Nagano : Fraction-applicable self-organizing map, ICIC Express Letters, Vol. 3, pp. 1381-1386, 2009
- (13) H. Wakuya & A. Terada : Temporal signal processing by feedback SOM: An application to on-line character recognition task, In Neural Information Processing, Part II, LNCS 5864 (Eds. C.S. Leung, M. Lee & J.H. Chan) , pp. 865-873, Springer, 2009
- (14) 佐村俊和、林初男、”リカレントネットワークにおけるSTDPと抑制による興奮伝導路の形成”、電子情報通信学会技術研究報告、109、269 pp. 133-138、2009.
- (15) 佐村俊和、林初男、”海馬CA3における抑制性結合の投射異方性による興奮波の一方向伝導”、第1回Brain-ISセミナー、九州工業大学、1月、2010.
- (16) Hirotsugu Okuno and Tetsuya Yagi, "A mixed analog-digital vision sensor for detecting objects approaching on a collision course," Robotics and Autonomous Systems, vol.57, iss.5, pp.508-516, 2009.
- (17) J. Hasegawa, T. Yagi., "Real-time emulator of dynamical features of sustained and transient channels in the vertebrate retina," in Proc 2009 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS 2009), Nov. 26-28, Beijing, China, 2009; pp. 197-200
- (18) Hasegawa, J. and Yagi, T., "Emulation of retinal cell responses during fixational eye movements", IEICE Electronics Express, vol. 7, no. 3, pp. 184-189, 2010.
- (19) "Implementation of High-Speed Single Flux-Quantum Up/Down Counter for the Neural Computation Using Stochastic Logic," IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.19, no. 3, pp. 626-629, June 2009, T. Onomi, T. Kondo, and K. Nakajima
- (20) "Design of the Inverse Function Delayed Neural Network for Solving Combinatorial Optimization Problems", Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, IEEE Trans. Neural Network, Vol.21, No.2, pp. 224-237., Feb.2010.
- (21) "Collective Dynamics of Intrinsic Josephson Junctions," S. Sato, K. Matsushita, K. Inomata, H. Wang, T. Hatano, M. Kinjo, and K. Nakajima, Extended Abstracts of the 12th International Superconductive Electronics Conference, TD-P35, Fukuoka, June 2009
- (22) "4-bit Parallel Multiplier for a Fast Fourier Transform," S. Sakuraba, T. Onomi, and K. Nakajima, Extended Abstracts of the 12th International Superconductive Electronics Conference, SP-P40, Fukuoka, June 2009
- (23) Analyses of the dynamics of interconnected van der pol models based-on a concept of potential with active areas, K. Kurose, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Proceedings of the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 423-426, Sapporo, Japan, Oct. 2009
- (24) The Quartic Form Energy Function for General Combinatorial Optimization Problems, T. Sota, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Proceedings of the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 527-530, Sapporo, Japan, Oct. 2009

有機ヘテロ接合太陽光発電デバイスの研究

[1] 組織 (以下10.5ポイント)

代表者: 廣瀬 文彦

(山形大学理工学研究科)

対応者: 庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者:

林靖彦 (名古屋工大)

小野 幸子 (工学院大学)

玉田薫 (東北大学電気通信研究所)

宇佐美徳隆 (東北大学金研)

木村 康男 (東北大学電気通信研究所)

研究費: 材料費 26.2 万円, 旅費 38.5 万円

[2] 研究経過

本研究では、界面修飾による色素増感太陽電池の高効率化と、n 型無機 Si と有機半導体との有機無機ヘテロ接合太陽電池の電荷分離機構の研究を進めた。前者の研究では、高温溶媒吸着法により色素飽和吸着量を促進できることを見出し、当該電池の高効率化のための作製技術として利用できることを明らかにした。また後者の研究では、バンドダイアグラムを明らかにし、電荷分離層の特定や開放電圧の要因を考察し、さらなる高効率化のためのアイデアを得るにいった。本研究成果に関する討論を行うため有機太陽電池分野で活躍されている研究者を招へいし、H22年3月に電気通信研究所ナノスピ実験施設で研究会を開催した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

色素増感太陽電池において、増感色素を如何に高密度で酸化チタン電極上に化学吸着させるかが高効率化のためとキとされている。本研究では、代表的な高効率色素として知られる N719 を、アナタース酸化チタン薄膜に吸着させて、その吸着構造と密度を多重内部反射赤外吸収分光を用いて調べた。図1に、色素溶媒浸漬において、溶液温度を室温から変化させたときの赤外吸収スペクトルの変化を示す。

室温から高温に、あるいは低温に変動させることで、色素の吸着は増強されることがわかったが、低温の方では色素は酸化チタン上で化学吸着にならず、単に物理吸着をしていることが分かった。一方高温では発電に寄与する化学吸着状態の色素を効果的に増強できることが分かった。この結果を用いて高温色素吸着装置を独自に開発し、それを用いて作製した色素増感太陽電池の発電特性を評価した。その結果は、図2に示されるように高温溶媒では著しい短絡電流の増強がみられることがわかった。この結果は、高効率な色素増感太陽電池の製法を開発するために重要な示唆を与えるものであり、成果は J. Electrochem. Soc. 誌に投稿中である。

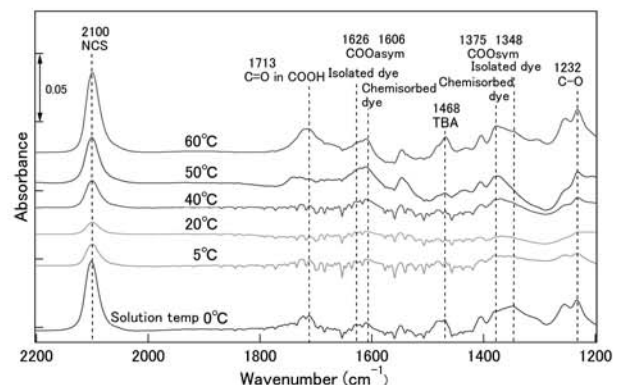


図1 高温色素溶媒浸漬で吸着させた酸化チタン上 N719 色素の赤外吸収スペクトルの変化

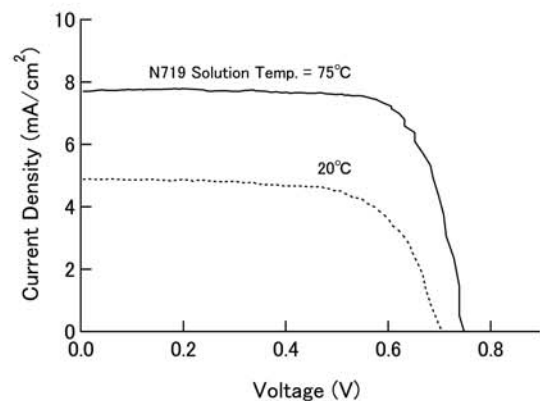


図2 高温色素溶媒吸着法を用いて作製した色素増感太陽電池の発電特性

本研究では、色素増感太陽電池のほかに、酸化チタン/ α 6T や n 型 Si/ α 6T などの有機無機ヘテロ接合での太陽電池化の可能性についても調べてきた。H21 年度では、 α 6T と Si の接合について調べ、図 3 のようなバンドダイアグラムで接合を表せることを、V-I および C-V 解析を通して明らかにしてきた。この接合においても理想的な整流特性があり、しかも 0.4V 程度の内蔵電位をもち、発電の可能性を見出した。そこで、 α 6T 膜の膜厚を変化させながら、発電特性の変化を取得したところ、図 4、表 1 に示されるように 1% 未満ではあるが発電能があることが実証された。Si 太陽電池はこれまでフレキシブル化が難しいとされてきたが、それはドーピングに高温を要することが原因である。本研究のような太陽電池では、単純に有機半導体膜を低温で蒸着するだけで太陽電池特性が得られる。このことは、Si 薄膜を使ったフレキシブル電池の実現の可能性を示唆するものである。今後、PET 基板上に形成したフレキシブル Si 膜を用いて、ローコストフレキシブル太陽電池の試作を試みる予定である。

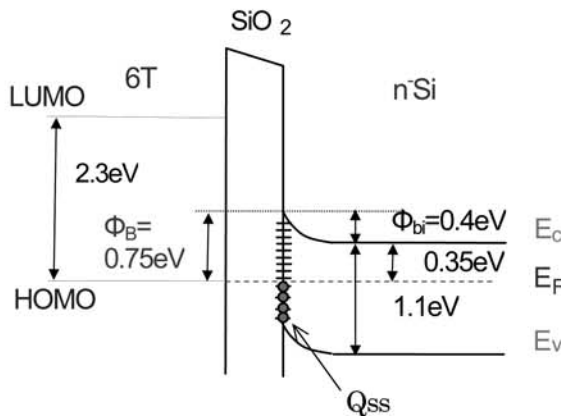


図 3 α 6T/n-Si 接合のエネルギーダイアグラム

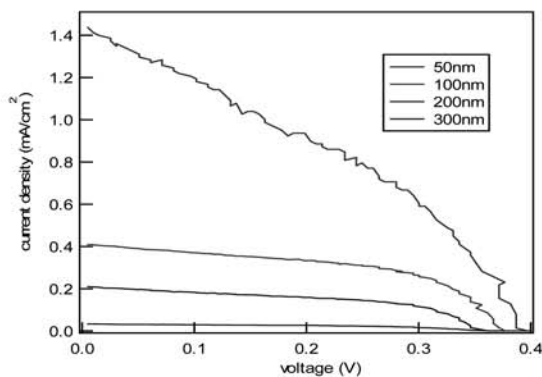


図 4 α 6T/n-Si 太陽電池の発電特性

表 1 α -6T/n-Si 接合太陽電池の発電特性

膜厚 (nm)	短絡電流 I_{sc} (mA/cm ²)	開放電圧 V_{oc} (V)	FF	効率 η (%)
50	1.437	0.397	0.352	0.401
100	0.406	0.377	0.523	0.161
200	0.209	0.362	0.490	0.074
300	0.038	0.346	0.482	0.012

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトで、色素増感太陽電池の界面観察を通して得られた高温溶媒吸着法は、高性能色素増感太陽電池の低コスト製造法として活用できると考えられる。また有機無機ヘテロ接合太陽電池研究では、電荷分離機構が明らかにされつつあり、内蔵電位の増強のための界面修飾試験を実施中であり、一層の高効率化を進めていく予定である。またフレキシブル化が実証できれば、新たな電池形態として認知されるものと考えられる。本研究の成果を持って、NEDO 等の実用化研究につなげる予定である。

[4] 成果資料

1. "In-situ observation of N719 adsorbed on TiO₂ in dye sensitized solar cells by IR absorption spectroscopy", F. Hirose, K. Kuribayashi, M. Shikaku, T. Suzuki, Y. Narita, Y. Kimura, M. Niwano, *J. Electrochemical Society*, Vol.156 (2009) B987.
2. "P3HT/Al organic/inorganic heterojunction diodes investigated by I-V and C-V measurements", F. Hirose, Y. Kimura, M. Niwano, *IEICE Transactions on Electronics*, Vol.92-C (2009)1475-1478.
3. "Adsorption density control of N719 on TiO₂ electrodes for highly efficient dye sensitized solar cells", F. Hirose, K. Kuribayashi, M. Shikaku, Y. Narita, Y. Kimura, M. Niwano, *Journal of Electrochemical Society*, Vol.156(2009)B987-B990.

イオンチャネルチップに関する研究

[1] 組織

代表者：菅原 正雄

(日本大学文理学部)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

井出 徹 (大阪大学大学院生命機能研究科)

宇理須恒雄 (分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域)

手老 龍吾 (分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域)

星野 忠次 (千葉大学大学院薬学研究院)

片山 統裕 (東北大学大学院情報科学研究科)

木村 康男 (東北大学電気通信研究所)

平野 愛弓 (東北大学大学院医工学研究科)

宮本浩一郎 (東北大学大学院工学研究科)

研究費：物件費 24 万 9 千円，旅費 37 万 3 千円

[2] バイオの時代と言われる 21 世紀においては、現在の半導体加工技術をバイオテクノロジーと融合することにより、バイオテクノロジーのさらなる高度化が強く望まれている。特に、その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題である。この融合が実現すれば、生体情報を物理信号に変換し、また、逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ・インタフェースシステムが構築でき、現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献すると期待されている。

本研究では、生体高分子の中でも特に創薬の観点から注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に、半導体ナノ微細加工技術との融合により、新規なバイオ電子デバイスとしてのイオンチャネルチップやアレイの開発を目指している。具体的には、半導体微細加工技術やナノ構造体の融合により、新しいハイスループットな機能解析法としてのイオンチャネルチップおよびイオンチャネルアレイを開発する。この技術が開発されれば、イオンチャネルタンパク質と神経伝達物質との相互作用のような生体物質の微視的相互作用(生体反応)の高精度な"その場"分析などへの応用が可能となる。また、現在急成

長しているバイオエレクトロニクスの分野の更なる発展にも貢献できる。半導体工学の研究者とチャネル研究の分野で活躍する研究者とが協力して、新しいバイオエレクトロニクスの分野を開拓すると期待される。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であり、イオンチャネルの機能発現に必須のマトリクスである脂質二分子膜を半導体材料表面に集積するための新規ナノ構造プロセスを開発することから研究を開始した。半導体微細加工や、ナノポーラス構造体を用いた新しい人工細胞膜デバイスの設計と作製を行い、チップ化・アレイ化への障害となっている脂質二分子膜の機械的脆弱性の問題についても検討を行った。さらに、生体組織より抽出したイオンチャネルタンパク質を、構築した人工脂質二分子膜系に包埋するため、ラット脳からのグルタミン酸レセプターチャネルの抽出に着手し、活性を保持した状態でのチャネルタンパク質の抽出に成功している。また、平成 21 年 6 月 19 日、および平成 22 年 1 月 15 日には、ナノ分野とバイオ分野の研究者を集めて、共同プロジェクト研究会を開催し、周辺領域の研究者との交流を行うとともに、勉強の場とした。以下のその概要を示す。

電気通信研究所共同プロジェクト研究会

日時平成 21 年 6 月 19 日 (金) 13:10~17:05

場所：東北大学電気通信研究所

「単結晶基板上のグラフェンとそのバイオ応用」

荻野 俊郎 (横浜国立大学工学研究院)

「高分子ナノ集積体を利用した自己支持性ナノ薄膜の作製」 三ツ石 方也 (東北大学多元物質科学研究科)

「興奮性シナプス形成過程における伝達物質放出様式の解析」 桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)

「神経幹細胞機能制御のためのバイオインターフェース設計」 加藤 功一 (京都大学再生医科学研究科)

「Electrochemical generation of Nanobubbles for protein removal」 Vince Craig (Australian National University)

「神経回路網形成の分子基盤～細胞内シグナルにより細胞接着能を変える電位依存性K⁺チャネルとシ

ナプス形成機構～」

木村 一志 (三重大学医学部)

「計算機を用いた抗ウイルス薬の開発」

星野 忠次 (千葉大学薬学研究院)

電気通信研究所共同プロジェクト研究会

日時平成 22 年 1 月 15 日 (金) 13:00～17:00

場所: 東北大学電気通信研究所

「脳視覚野への機能的刺激の試み」

八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)

「シナプス可塑性の光生理学的解析」

神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究科)

「グリア細胞に過剰発現したアミロイド前駆体蛋白によるシナプス修飾作用」 桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)

「固体基板表面におけるパターン化モデル生体膜の開発」 森垣 憲一 (神戸大学自然科学先端融合研究環遺伝子実験センター)

「細胞膜タンパク質の観察と細胞接着制御のためのナノ・マイクロ加工」 谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

厚さ 200–240 nm の窒化ケイ素ナノ薄膜を堆積した半導体基板上に微細孔をリソグラフィ技術によって作製し、その微細孔の中で脂質二分子膜を形成することにより、二分子膜センサーの安定化を試みた。微細孔の形状は、ウェットエッチング法で作製することにより、エッジの形状が nm オーダーで滑らかになるように設計されている。また、脂質分子の疎水基側が配列しやすくなるように、表面をシランカップリング剤にて疎水化処理を行った。このようにして作製した微細孔の中で、二分子膜を単分子膜貼り合せ法によって形成し、その機械的強度について検討した。その結果、 ± 1 V 以上の耐電圧性と、膜寿命 15–43 時間を達成した。また、モデルチャネルのグラミシジンを含んだ状態においても、多数回にわたる溶液交換に耐える強い機械的強度を保持しており、従来にない、機械的強度の非常に高い二分子膜を構築することに成功した (図)。

次に、実際の生体レセプターに基づくイオンチャネルチップへと展開するため、神経伝達物質 L-グルタミン酸の受容体であるグルタミン酸受容体チャネルをラット大脳より抽出し、構築した脂質二分子膜系に包埋して、グルタミン酸を投与した際のチャネル電流を記録することに着手した。その際、このチャネルの開閉が ms オーダーと高速であるため、支

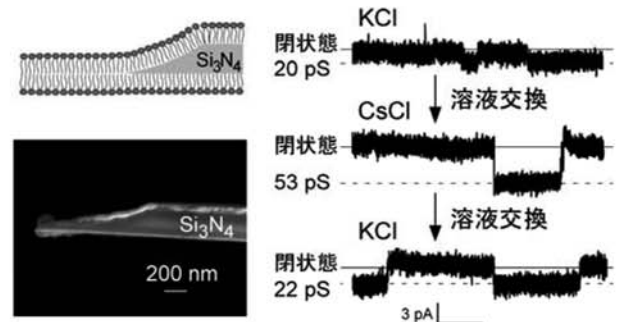


図 微細孔のエッジ形状設計と SEM 画像, グラミシジンイオンチャネル電流

持体由来の過渡応答成分やノイズ電流を最小化することから着手し、コーティング層を支持体に追加することにより膜電気特性の最適化に成功した。来年度は、効率のよいチャネルタンパク質の包埋と、ノイズ電流の軽減について検討を行い、センサーとしての特性 (感度, 選択性, 応答速度, 再現性, 耐久性) について評価する。また、多数個の孔の同時加工が容易であるという半導体微細加工の特徴をいかし、イオンチャネルアレイへの展開についても検討する。

3-2) 波及効果と発展性など

半導体とバイオ素子との融合を目指す研究は、近年、ますます盛んになっている。特に、レセプターイオンチャネルタンパク質は、神経後シナプスでの情報伝達タンパクであり、固体デバイスとチャネルタンパクとの結合部は、その実現が望まれているブレイン・マシン・インターフェイスにおける接合部にも相当する。この分野は今大きな発展を向かえる時期にあり、今後の研究の進展が大いに期待される。

[4] 成果資料

(1) Ayumi Hirano-Iwata, Kouji Aoto, Azusa Oshima, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, *Langmuir*, 26, 1949–1952 (2010).

(2) Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Kota Onodera, Kouji Aoto, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, *Appl. Phys. Lett.*, 94, 243906-1-3 (2009).

(3) Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano, and Masao Sugawara, *Trends in Anal. Chem.*, 27, 512-520 (2008).

人間の眼球運動時の視野安定機構に関する研究

[1] 組織

代表者：佐藤 雅之
(北九州市立大学国際環境工学部)

対応者：塩入 論
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
古賀 一男
(名古屋大学エコトピア科学研究所)
十河 宏行
(愛媛大学法文学部)
渡邊 淳司
(NTT コミュニケーション科学基礎研究所)
松宮 一造
(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費23万9千円，旅費27万7千円

[2] 研究経過

本プロジェクトの目的は、①サッカード眼球運動時の誤定位、②サッカード時の変位抑制におけるブランク効果および③ランドマーク効果に関して詳細な心理物理実験を行うことにより、人間の眼球運動時の視野安定機構における網膜座標系の変換と網膜情報の統合過程について検討することである。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、ランドマーク効果に関する実験装置の開発を行い、予備的な実験を行った。そこで、ランドマーク効果が刺激のパターンに強く依存することが明らかになった。また、ブランク効果に関する実験を行い、色刺激と輝度刺激に対する効果の違いを比較した。そこで、ブランク効果が、色刺激に対しては効果が小さく、輝度刺激特有のものであることが明らかになった。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえて、色刺激と輝度刺激におけるランドマーク効果の大きさを比較した。

平成22年3月1日～3日に本所でミーティングを行い、研究の打ち合わせと実験データの収集を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

実験1：等輝度ターゲットに対するサッカード変位抑制におけるブランク効果

(1) 実験方法

輝度条件では、背景は19.1 cd/m²の均質なグレーであった。ターゲットは最大輝度83.2 cd/m²の2次元ガウシアン ($\sigma = 0.5^\circ$) であった。色条件では、背景は均質な赤であった。ターゲットは背景と等輝度の緑のガウシアンであった。

図1に1回の試行の手順を示す。被験者はモニター中央のターゲットを固視し、スタートボタンを押す。約1秒後にターゲットは右もしくは左に6°もしくは8°移動する。被験者は直ちにターゲットに向けてサッカードを行う。サッカードの開始をトリガーとして、ターゲットはさらに右または左に移動する。この2回目の移動時に250 msのブランクを設ける条件と設けない条件で、2回目の移動方向が検出される変位量の閾値を比較する。

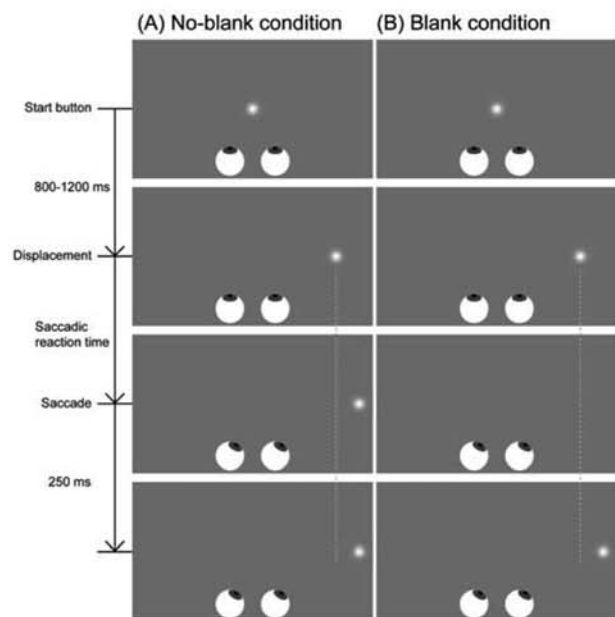


図1. サッカードの開始をトリガーとしてターゲットの位置を変える。ブランクなし条件(左)とブランクあり条件(右)における変位検出閾を比較する。

(2) 実験結果

図2に、サッカードを行わない統制条件で得られた変位検出閾に対するサッカード時の閾値の比を示す。輝度条件では、ブランクありの条件では閾値の比は2倍程度であるのに対し、ブランクなしの条件では、5倍程度となった。このブランクの効果はこれまでの報告と一致する傾向である。一方、色条件では、ブランクの有無にかかわらず、閾値の比は2倍程度である。これは、ブランク効果が輝度刺激に対して固有のものであることを表している。

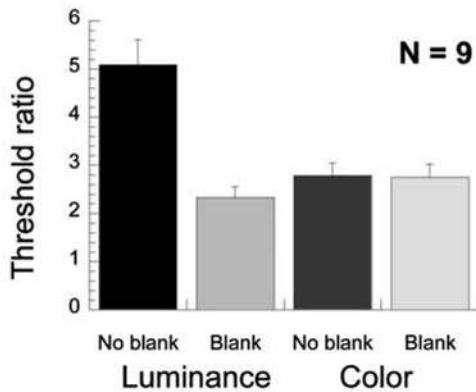


図2. 色刺激と輝度刺激に対するブランクの効果。

実験2: 等輝度刺激に対するサッカード時のランドマーク効果

(1) 実験方法

背景は 22.8 cd/m² の一様な黄色であった。輝度条件では、ターゲットとディストラクタは背景と同じ色の円と正方形であった。輝度は 114 cd/m² であった。等輝度条件では、それらは背景と等輝度の緑色であった。

図3に1回の試行の手順を示す。被験者は固視点を見ながら、スタートボタンを押す。約1秒後に固視点が消え、ターゲットとディストラクタが呈示される。被験者は直ちにターゲットに向けてサッカードを行う。サッカードの開始をトリガーとして、ターゲットもしくはディストラクタが右または左に

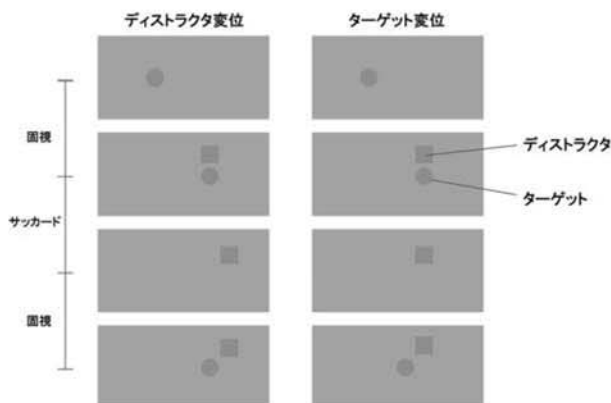


図3. サッカードの開始をトリガーとしてディストラクタもしくはターゲットの位置を変える。

0.25° 移動する。このときターゲットは 100 ms 間消失する。被験者はターゲットとディストラクタのどちらの位置が変わったかを応答する。

(2) 実験結果

図4に正答率を示す。等輝度条件では、ディストラクタが変位した条件では正答率が低く、ターゲットが変位した条件では正答率が高い傾向が顕著である。これは、ターゲットとディストラクタのどちらが実際に動いたかによらず、被験者はターゲットが移動したと答えることを示しており、サッカード直後に呈示されたランドマークの効果を経験した Deubel et al. (1998) と一致する結果である。輝度条件でも同様の傾向が見られるが、効果は小さかった。特に被験者 KM は非常に高い確率でディストラクタの移動を検出した。

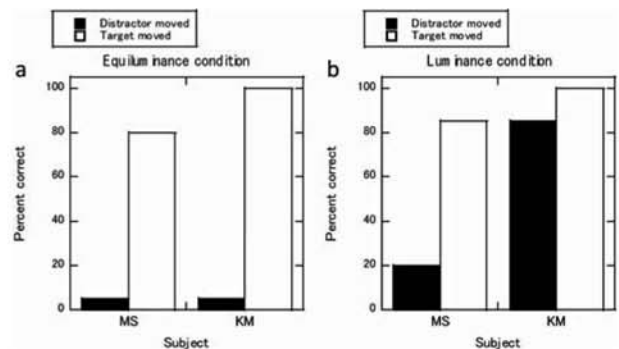


図4. 色刺激と輝度刺激に対するランドマーク効果。

等輝度条件と輝度条件の実験結果の違いを説明する要因の1つとして刺激の視認性が挙げられる。実験で用いた等輝度刺激は、輝度刺激よりも視認性が低かった。これは実験結果にどのような影響をおよぼすのだろうか。刺激の視認性の効果を明らかにするために、輝度条件のターゲットとディストラクタのコントラストを変数として実験を行った。図5に実験結果を示す。刺激のコントラストとディストラクタの変位検出率に正の相関があることがわかる。

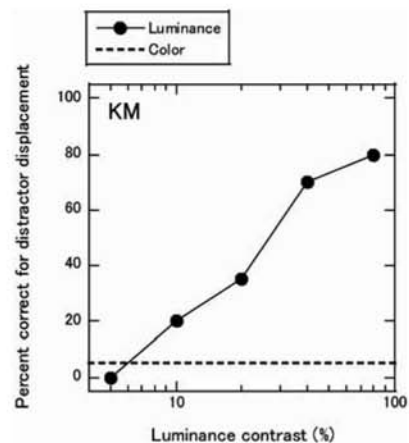


図5. 刺激の輝度コントラストがディストラクタの変位検出率におよぼす効果。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、サッカード時のブランク効果やランドマーク効果が刺激の色、輝度、コントラストの影響を強く受けることが明らかになった。これは、サッカード時の視野安定・統合メカニズムを解明するための重要な発見である。

ディストラクタのコントラストを高くすると、ランドマークとしての強度が高くなることが予想される一方、ディストラクタの変位自体が検出されやすくなることも予想される。今後は、ターゲットとディストラクタの色、輝度、コントラストを独立に変えて、これらがランドマーク効果に及ぼす効果を検

討する必要があると考える。

[4] 成果資料

- (1) Naoko Teraue, Yasuaki Tamada, and Masayuki Sato: The blanking effect in saccadic suppression of image displacement for isoluminant target. The 5th Asia-Pacific Conference on Vision, Brisbane, July 2008.
- (2) 寺上奈保子・佐藤雅之：等輝度ターゲットに対するサッカード変位抑制におけるブランク効果. 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 福岡, 2009年10月.

採択番号 H20/A10

採択回数 1 ② 3

バイノーラル技術における音像定位の学習効果

[1] 組織

代表者：小澤 賢司

(山梨大学大学院医学工学総合研究部)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

木下 雄一郎 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

岩谷 幸雄 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 23 万 0 千円，旅費 27 万 6 千円

[2] 研究経過

グローバル化が進む社会のインフラストラクチャとして、高臨場感通信技術の発展は必須のものである。遠隔会議システムにおいて映像チャンネルに障害が発生した場合でも音声チャンネルさえ利用できれば電話会議が実現できるように、音声通信は人間同士のコミュニケーションの基本要素であると考えられる。また、コンサートホールでの演奏を精密に再生するといった場合には、音響通信が人間の感動といった高次の感性情報までを担うチャンネルとなる。本プロジェクトは、このような音響に関わる高臨場感通信の実現手法の一つであるバイノーラル技術に焦点を当てたものである。バイノーラル技術は、原音場においてダミーヘッド（音響マネキン）の両耳で録音した音を、ヘッドホンで再生することで高い臨場感を容易に実現できるため、マルチメディア環境構築の実現に有望な技術である。これまでの予備的検討により、不完全な録音再生系を用いた場合でさえ、音像定位に関して1時間程度の訓練を行えば良好な音像定位を達成できる可能性が示された。本研究では、この学習効果をより深く検討することを目的として研究を実施することとした。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。昨年度の成果である頭部伝達関数の精密再生手法を利用して、また昨年度までに予備的検討に基づいて本年度は主に正中面内における音像定位の学習効果を取り上げて検討を行った。次節に研究活動状況の概要を記す。研究進捗については、基本的に電子メールを用いてメンバー全員で協議検討を行った。その検討結果を受けて、平成21年12月に東北大学電

気通信研究所（以下、通研と略称）の音響無響室において一部の実験を実施した。また、本プロジェクトの研究内容をさらに精査することを目的として、通研対応者である鈴木をリエゾンとして関係分野の研究者と意見交換を行った。意見交換を行った研究者を以下に列挙する。

兼頭 亮介 (大阪大学大学院工学研究科)

川村 正樹 (山口大学大学院理工学研究科)

西村 竜一 (情報通信研究機構)

杉田 陽一 (産業技術総合研究所)

櫻井 研三 (東北学院大学教養学部)

行場 次朗 (東北大学大学院文学研究科)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す2テーマについて研究を行った。

(A) 正中面内の音像定位に関する学習効果に関する実験的検討

(B) 水平面内の音像定位に関する学習効果に関する予備的検討

これらのテーマのうち、本報告では、特に(A)に関して詳述し、(B)に関しての詳細データは未公開(平成22年度に発表予定)であるため、速報として公開した部分について概要を述べるに留めることとする。

まず、ここでは、両研究テーマに共通する背景を述べる。本プロジェクトでは、音源から聴取者の鼓膜までの音響伝達関数を、頭部伝達関数(HRTF: Head-Related Transfer Function)と定義する。例えばコンサートホールといった原音場における音源の位置などの音響空間情報を、例えば自宅のリビングルームなどの再生音場において精密に再現することは、原音場のHRTFを精密に再現することと等価である。バイノーラル技術は、その再現を両耳の鼓膜面という限定された2点のみで行う技術である。我々人間は両耳で聴取した音だけで周囲の3次元音環境を知覚していることから、HRTFには音像定位を知覚するのに十分な情報が含まれている。それらは、両耳間時間差(ITD: Interaural Time Difference)、両耳間強度差(ILD: Interaural Level Difference)、そしてスペクトラルキュー(音源方向によって変化

する HRTF の特徴) である。

このうち、音像の方位角の知覚に関しては ITD と ILD が支配的要因であり、一方、仰角の知覚にはスペクトラルキューが関係していることが知られている。そこで、本研究では、まず正中面（両耳から等距離にある点の軌跡）内における音像定位を取り上げることとした。これは、正中面内に音源がある場合には、ITD も ILD も 0 であるので、音像定位におけるスペクトラルキューの学習効果のみを検討することができるからである。

(A) 水平面内の音像定位に関する学習効果に関する実験的検討 (成果資料 [1])

実験は訓練ステップとテストステップで構成されており、どちらのステップでも、被験者は防音室にてヘッドホン(Sennheiser, HD600)を装着して刺激音を受聴し、音像定位方向をタッチパネルで回答した。ただし、訓練ステップでは、音像定位方向を回答後に提示角度が示されるので、被験者は納得するまで刺激音を聞き直した後、次の刺激音を受聴した。初日はテストステップ (pre) の後に訓練ステップを行い、その後にもう一度テストステップ (mid1) を行った。2~7 日目は、訓練ステップの後にテストステップ (mid2~mid7) を行った。7 日目から 1 週間以上を隔ててテストステップ (post1) を行い、そこからさらに 1 週間以上を隔ててテストステップ (post2), さらに 1 ヶ月以上を隔ててテストステップ (post3) を行った。被験者は 6 名 (男性 4 名, 女性 2 名) である。

刺激音の合成に用いた HRTF は、通研の無響室で測定した、成人男性の外耳道入口までの伝達関数である。用いた HRTF (左耳) の仰角依存性を図 1 に示す。なお、図中の P, N はそれぞれ HRTF における主要なピーク、ノッチであり、各ラインは視察により求めた。刺激音として、訓練ステップではピンクノイズ (3 s) を用いた。訓練ステップでの 1 セッションにおける提示角度は 10~170° を 20° 間隔で区切った 9 方向であり、各方向につき 5 回の訓練を行った。一回の訓練に要した時間は約 15 分である。テストステップでの提示角度は 0~180° を 20° 間隔で区切った 10 方向であり、各方向につき 5 回提示した。さらに、被験者が刺激音の音色を記憶して回答することを避けるために、テストステップでは訓練ステップでのピンクノイズとは異なる、音楽 (6 s, RWC 研究用音楽データベース “The Ramp”) を用いた。なお、両ステップ共に、刺激音の提示角度の試行順序はランダムとした。

例として、被験者 1 名の pre と post3 での結果を図 2 に示す。図 2 を見ると、pre での定位精度は非常に低いが、post3 では改善されていることが読

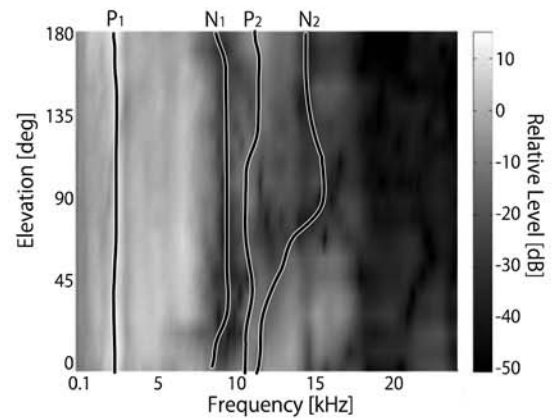
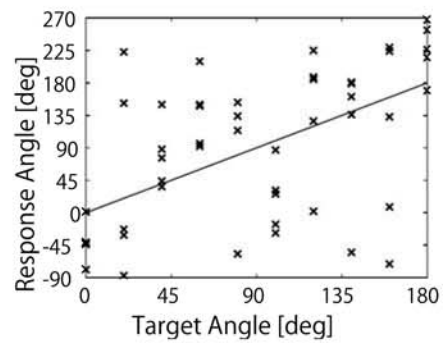
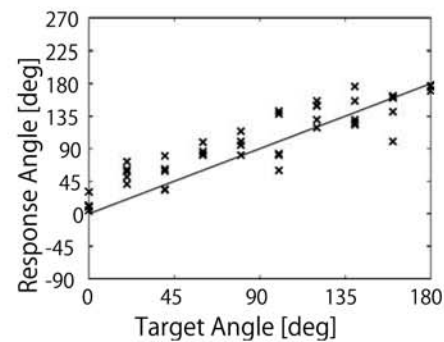


図 1: 刺激合成に用いた HRTF の仰角依存性



(a) 訓練前 (pre)



(b) 訓練終了後 1.5 ヶ月後 (post3)

図 2: 正中面内音像定位実験の結果 (被験者 1)

み取れる。まず、提示角度からどの程度ずれた方向に音像を定位しているかについて分析し、続いて、被験者の回答がどの程度ばらついているかについて分析する。なお、前者を方向誤差と呼び、後者を平均標準偏差と呼ぶ。

方向誤差の算出手順を以下に示す。まず、ある提示角度における回答角度の平均をとり、その値から提示角度を引いた絶対値をとる。これを全提示角度について求め、それらの平均値を算出する。図 3 は、方向誤差に関しての、全被験者の平均値と標準偏差である。図 3 を見ると、方向誤差は 1 セッションの訓練を受けると大幅に減少し、その後も訓練を続けることで徐々に減少する傾向が見られ、mid7 付近では約 20° となっている。

次に、平均標準偏差の算出手順を以下に示す。ま

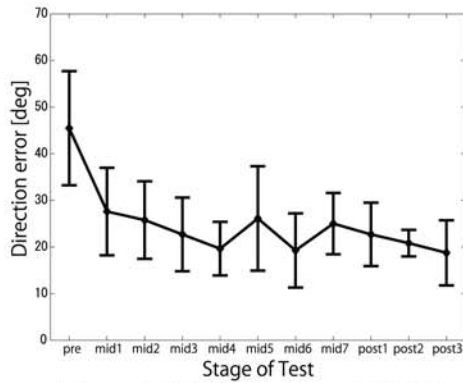


図3: 全被験者についての方向誤差

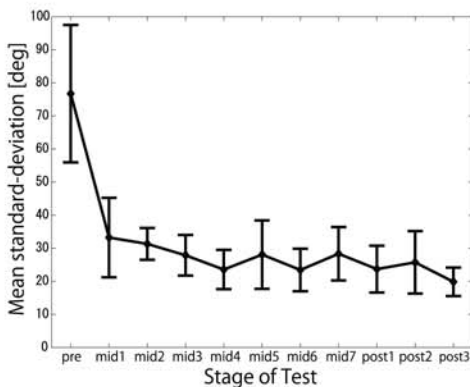


図4: 全被験者についての平均標準偏差

ず、ある提示角度における回答角度の標準偏差を求める。これを全提示角度について求め、それらの平均値を算出する。図4は、平均標準偏差に関しての、被験者全員の平均と標準偏差である。図4を見ると、平均標準偏差も方向誤差と同様に1セッションの訓練を受けると大幅に減少し、その後も訓練を続けることで徐々に減少する傾向が見られ、mid7付近では25°程度である。

図3および図4に示した結果について、被験者を繰り返しとみなしてテストの段階を要因とした一要因分散分析を行った結果、訓練の効果が有意であった。LSD検定を行ったところ、方向誤差については「pre>それ以外」という結果が得られた(LSD値は9.48)。平均標準偏差については、「pre>それ以外」、「mid2以前>post3」という結果が得られた(LSD値は11.27)。いずれについても1セッションの訓練で有意に効果が現れることがわかった。また、図3、図4を見ると、訓練終了から少なくとも1.5ヶ月を経過したpost3でも学習効果は持続していることがわかる。さらに、この効果は訓練時とは異なる刺激音に対して見られていることから、被験者は刺激音の音色そのものを記憶したわけではない。以上から、スペクトラルキューを短時間の訓練で学習することは可能であるといえる。

先行研究によると、仰角の知覚には、HRTFにおける主要なノッチであるN1とN2が重要であるといわれている。すなわち、N1とN2の周波数が、仰角

に依存して変化するので、我々はこのN1とN2の中心周波数の対をスペクトラルキューとして仰角を知覚していると考えられている。本実験で用いたHRTFについては、図1で示したとおり、N1、N2の利得が、HRTFのピークであるP1と比べて約25dBと、ノッチの深さが深い。さらに、P2の利得はN1と比べて約10dB高くなっている。以上のように、ノッチが明瞭でわかりやすいため、学習が可能であったのではないかと考えている。

(B) 水平面内の音像定位に関する学習効果に関する実験的検討 (成果資料 [2])

上記(A)の検討によって、スペクトラルキューについては短時間の訓練によって学習可能であることが示された。そこで、ITD、ILDが支配的な要因である方位角定位について検討を行うため、(A)と同様な実験を水平面内の音像定位に関して実施した。

実験結果として、30分程度の訓練を2回実施することにより方位角定位に有意な改善が見られた。このことからILD、ITDに関しても学習可能であることが示された。なお、ILD、ITDが水平面内においては、例えば右前方45°と右後方45°ではITD、ILDともほぼ等しいため、前後誤判断が生ずる場合が少なくない。この前後誤判断もスペクトラルキューの学習により改善されることも示した。詳細については、平成22年度中に報告する予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究プロジェクトの実施により、プロジェクトメンバー間の交流が継続的に発展した。本年度のプロジェクトの成果により、3次元音空間情報を伝達する高臨場感音響通信システムの構築のためには、複雑な信号処理を行うことは必ずしも必要ではなく、人間の学習能力を利用することの有効性が示された。このことは、3次元音空間情報伝達による視覚障害者ナビゲーションシステムの構築を容易に実現することなどへの応用が期待される。

[4] 成果資料

- [1] 佐藤智洋, 小澤賢司, “正中面内での音像定位におけるスペクトラルキューの学習効果,” 音響学会講演集 2009年9月, pp. 529-530 (2009).
- [2] K. Ozawa and D. Yamagishi, “Learning to remediate sound localization in the horizontal plane,” Proc. of International Workshop on the Principles and Applications of Spatial Hearing (IWPASH 2009), #P1 (4 pages in Electrical Proceedings) (2009).

赤外光を用いた細胞チップに関する研究

[1] 組織

代表者：篠原 康雄

(徳島大学疾患ゲノム研究センター)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

片岡 正俊 (産業技術総合研究所
四国センター)

宮崎 均 (筑波大学大学院生命環境科学
研究科)

磯田 博子 (筑波大学大学院生命環境科学
研究科)

山田パリーダ (筑波大学大学院生命環境科学
研究科)

韓 峻奎 (筑波大学大学院生命環境科学
研究科)

岩田 博夫 (京都大学再生医学研究
所)

有馬 祐介 (京都大学再生医学研究所)

木村 康男 (東北大学電気通信研究所)

平野 愛弓 (東北大学大学院医工学研究科)

宮本浩一郎 (東北大学大学院工学研究科)

研究費：物件費 25 万 5 千円，旅費 36 万 8 千円

[2] 現在，半導体加工技術とバイオテクノロジーとの融合によるバイオテクノロジーのさらなる高度化が強く望まれている。特に，その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系との融合を図ることが急務の課題となっている。

本研究では，多重内部反射型赤外分光法を利用し，主に細胞の動的過程を，リアルタイムかつ網羅的に解析できる高度な生体計測手法の開発を目的としてスタートしている。研究課題は，①細胞レベルの基本的変化（細胞成長，アポトーシス，分化等）を非破壊かつリアルタイムに検出すること，②ミトコンドリアのような細胞内器官の動態を低分子化合物（ATP や GTP）の濃度変化を指標にリアルタイムで検出すること，③生体分子（タンパク質や脂質分子）間の相互作用をリアルタイムに検出することとし，そのための具体的な技術開発項目としては，①検出感度を従来技術に比べ少なくとも 2 桁の増大，②多

重計測（多サンプル計測）技術の確立，③温度や細胞培養環境などの測定環境制御法の確立，④最適な応用法の探索と実証であり，これら一連の技術を統合・集積化することにより，将来の高感度細胞チップの実現の基礎を築くことを目標とした。

本プロジェクトは，本年度が第 2 年度であり，①付着細胞を対象とした長期間の細胞活動モニタリングシステムの構築，②付着細胞の分化過程の *in situ* 非標識観察，③浮遊細胞を対象とした細胞成長及び細胞応答過程のリアルタイム計測，④人工細胞膜形成過程の非標識リアルタイム計測，に関して集中的に検討を行った。

平成 22 年 2 月 22 日（月）には，研究代表者の篠原 康雄（徳島大学疾患ゲノム研究センター・教授）が庭野研究室に来訪し，付着細胞の脂肪細胞への分化過程のモニタリングについて，実験データに基づいて議論を行った。さらに，このモニタリング系の薬物スクリーニングへの応用についても討論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

(1) 分化過程のリアルタイムモニタリング

細胞応答に基づく薬剤スクリーニング法への展開を目指し，付着細胞 3T3-L1 に分化誘導剤を投与した際の脂肪細胞への分化過程を，多重内部反射赤外分光法を用いて追跡した。この分化過程は肥満過程のモデルとして，メタボリックシンドロームをターゲットとする薬物開発において注目されている過程である。本研究では，まず，細胞が健全に成長できる培養環境を，赤外分光器の測定室内に構築することから研究を開始した。分化においては一週間にもわたる長期間培養を必要とするため，フロー型の培養システムを測定室内に構築した。さらにヒータと温度制御装置を用いることにより，試料室内の温度を 37°C に保つようにし，CO₂ インキュベータと同等の細胞培養環境を構築した。

この測定システムを用いて，付着細胞 3T3-L1 に分化誘導剤を投与した際の細胞応答についてリアルタイムモニタリングを行った。その結果，分化を誘導した細胞では，タンパク質に特徴的な吸収帯であるアミド I (~1650 cm⁻¹) およびアミド II (~1550 cm⁻¹) バンドと，

脂質分子のC=O伸縮振動に由来する 1740 cm^{-1} 付近の吸収バンドが観測された。この細胞の脂質分子としては、主に脂肪滴中のトリアシルグリセリドと細胞膜中のリン脂質が挙げられるが、細胞増殖を行った対照実験では 1740 cm^{-1} 付近に有意な吸収は観測されず、分化誘導時に現れた 1740 cm^{-1} 付近のピークは脂肪細胞への分化の過程を反映したものであると言える。また、分化誘導剤を投与しなかった場合は 1740 cm^{-1} 付近でピーク強度の増加は見られず、また、分化阻害剤を誘導剤とともに投与した場合は、一過性にピーク強度の増大が見られるもののその後は減少に転じ、通常の分化の場合とは、まったく異なるスペクトルの変化を示した。これらの結果は、本研究の装置が、脂肪細胞への分化過程のモニタリングや、メタボリックシンドロームを対象とする薬物開発におけるスクリーニング法としての可能性をもつことを示唆している。

(2) 多重内部反射赤外分光法を用いた脂質二分子膜形成過程の *in situ* 観察

細胞における薬物応答の第一段階は、細胞膜表面における物質認識である。したがって、シリコン表面に人工的に細胞膜構造を構築することは、細胞に作用する薬物の反応機構を評価する上でも重要である。本研究では、シリコン表面上において人工細胞膜(脂質二分子膜)を、細胞膜類似機能を保持した状態で再現性よく構築することを目指し、脂質二分子膜の形成過程を半導体表面分光法によって追跡した。従来、基板表面上に作成した支持二分子膜においては、イオンチャネルのような脆弱なタンパク質の失活が問題であったが、近年、基板と脂質二分子膜との間に水保持層としてのアガロースゲルをはさむことにより、チャネル活性が保持できることが報告されてきた。本研究では、このアガロース支持二分子膜系の形成過程について、多重内部反射型赤外分光法を用いてその場観察を行った(図1)。その結果、膜形成に伴い、脂質分子に由来する吸収ピークが増大すること、またそれと同時に、脂質の溶媒である *n*-デカンに由来する吸収ピークが減少していくことを観測した。また、脂質分子に由来するピークは、 $G\Omega$ レベルの高い抵抗を持つ膜が形成された場合のみ観測され、低抵抗の膜においては見られないことを見出し、チャネル活性の記録においては必須の条件となる $G\Omega$ シールの形成について、経験則を見出すことに成功した(*Appl. Phys. Lett.*, 2009, 94, 243906)。

(3) 細胞内器官活動のその場計測

細胞内動的過程の例として、細胞内器官の中でも特に重要な働きをもつミトコンドリアの動的過程のその場計測法について検討した。ミトコンドリアは、生体内のエネルギー通貨といわれるアデノシン3リ

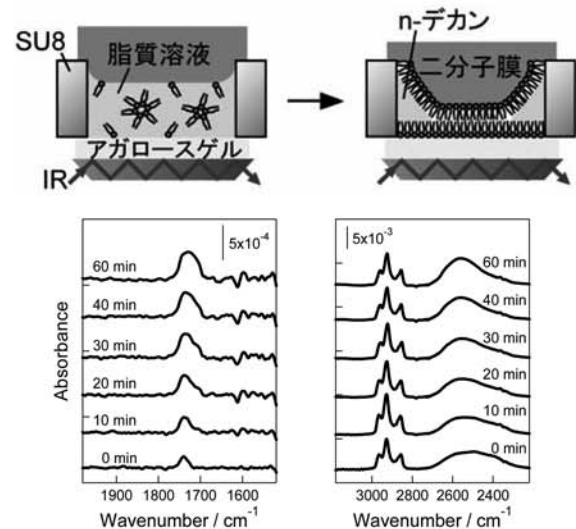


図2 多重内部反射赤外分光法を用いた脂質二分子膜の形成過程のその場観察

ン酸(ATP)を、アデノシン2リン酸(ADP)と無機リン酸(Pi)から合成するという重要な役割をもち、また近年ではアポトーシスや様々な疾患との関連もあることから非常に注目を集めている。本研究では、リン酸部位の赤外吸収スペクトルがATP、ADP間で異なることに基づいてATP合成時および分解時の赤外吸収スペクトルを検討し、ミトコンドリアの本質的機能であるADP \leftrightarrow ATP変換過程を非標識その場計測することに成功した。

3-2) 波及効果と発展性など

本研究でその実現を目指す、細胞の機能や細胞に生じる変化を非破壊かつリアルタイムで捉える技術は、個々の分子を標的とした解析とは異なり、細胞や内部器官の全体像を把握するものとして今までにない斬新なものである。また、本研究の手法は創薬スクリーニングのみならず、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

- (1) A. Hirano-Iwata, R. Yamaguchi, K. Miyamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, *J. Appl. Phys.*, 105, 102039-1-11 (2009).
- (2) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, K. Onodera, K. Aoto, T. Taira, R. Yamaguchi, Y. Kimura, and M. Niwano, *Appl. Phys. Lett.*, 94, 243906-1-3 (2009).
- (3) R. Yamaguchi, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, M. Niwano, K. Miyamoto, H. Isoda and H. Miyazaki, *J. Appl. Phys.*, 105, 024701-1-7 (2009).

傾斜磁区を有した薄膜素子の磁区構造転移を利用した 磁気デバイスに関する研究

[1] 組織

代表者：中居 倫夫
(宮城県産業技術総合センター)

対応者：石山 和志
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

荒井 賢一 (東北大学名誉教授)
脇若 弘之 (信州大学工学部)
松尾 哲司 (京都大学工学研究科)
栢 修一郎 (東北大学電気通信研究所)
藪上 信 (東北学院大学工学部)
竹澤 昌晃 (九州工業大学工学研究科)
菊池 弘昭 (岩手大学金属材料保全工学
研究センター)
高田 健一 (宮城県産業技術総合センター)

研究費：物件費 24 万 9 千円，旅費 11 万 3 千円

[2] 研究経過

本プロジェクト研究では、小型高機能かつ省電力な磁気デバイスの創製を目的に、微小な薄膜素子の磁区転移を用いた素子を提案し実証している。本研究の基礎となる磁区転移素子は、微細加工された短冊状の薄膜磁性体素子に、素子の長軸方向に対し面内に傾斜したストライプ磁区構造を形成することで得られ、外部磁界の変化に伴う磁区構造のトポロジカルな転移（ストライプ磁区と単磁区の相転移）が発生する。昨年度は、磁区構造転移現象を磁気センサ、高周波インダクタ、あるいは、磁気光学デバイス等へ応用することを目的として、従来素子に対する優位性を明確化するとともに、デバイス試作を行って基礎特性の確認を行った。今年度は、現象の発生原理解明を行うことを目的に、材料パラメータや素子構造による特性変化を実験検討し、これを磁区シミュレーションと比較した。

平成21年度の研究活動として実施した検討課題と会合の開催状況を以下に示す。

検討課題：平成21年度は、現象の原理解明を目的に、材料パラメータや素子構造による特性変化について実験と磁区シミュレーションを比較検討した

第1回会合 2009年12月17日

テーマ：素子形状と異方性方向の制御に伴う特性変化と磁区シミュレーションの比較

第2回会合 2010年3月1日

テーマ：材料組成を変化させた場合の特性変化に関する実験結果報告

[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 素子形状と異方性方向がヒステリシス特性に及ぼす効果とヒステリシスの制御則

ストライプ状磁区構造と長手方向に磁気モーメントが向いた単磁区構造の間で発生する磁区転移のヒステリシス特性は、素子長さと同方性方向を制御することで、図1のように制御することができる。素子は、Ar雰囲気中でRFスパッタした $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ のアモルファス薄膜で作製されており、膜厚は $2.1\ \mu\text{m}$ である。素子形状は、幅 $20\ \mu\text{m}$ 、長さ $1000\sim 3000\ \mu\text{m}$ でリフトオフ法を用いて成形した。磁性体の磁気異方性は、真空磁界中熱処理で誘導した。熱処理条件は $673\ \text{K}\cdot 240\ \text{kA/m}$ の回転磁界中熱処理を2時間、 $673\ \text{K}\cdot 240\ \text{kA/m}$ の静磁界中熱処理を1時間とした。静磁界中熱処理における磁界印加方向は、素子幅方向を基準として角度設定した。素子の電極は、高周波プローブで測定可能な形状とし、RFスパッタしたCu薄膜をリフトオフ法でパターンニングして作製した。

図1の特性は、磁場中熱処理時の磁場方向として、装置の指示値で素子幅方向から 60° の方向として作製した素子のヒステリシス特性である。素子磁性体の長さは、各々、(a) $1000\ \mu\text{m}$ 、(b) $3000\ \mu\text{m}$ である。外部磁界は素子の長手方向に印加し、 $-2.16\ \text{Oe}$ から $+2.16\ \text{Oe}$ と増加させ、連続的に $+2.16\ \text{Oe}$ から $-2.16\ \text{Oe}$ まで減少させて測定した。測定周波数は $50\ \text{MHz}$ である。外部磁界の掃引速度は、1ステップ $2\ \text{mOe}$ として $20\ \text{mOe/s}$ で測定した。掃引測定を行うことから、ネットワークアナライザは、測定値の平均化処理を行わない設定とした。このため、図の測定結果は、測定ノイズが除去されないままとなっている。図から、2つの不連続点で挟まれたインピーダンスが一段低い領域は、磁性体長さが増加するにつれて、幅が狭くなり左右に分離する傾向があることがわかった。磁性体

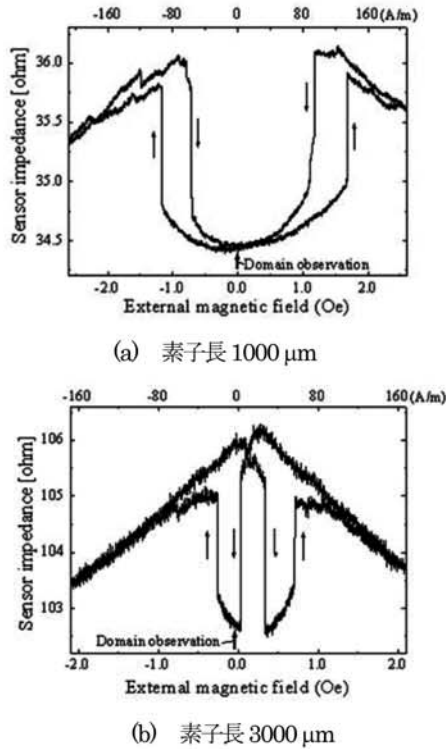


図1. 素子インピーダンスのヒステリシス

長さ1000 μm (図1(a)) では、外部磁界増加時と減少時に現れる一段低いインピーダンスの領域が、大部分で重なっているのに対し、磁性体長さが3000 μm (図1(b)) になると、左右に分離する。

このヒステリシスの変化傾向は、磁性体の膜厚・幅・長さが等しい素子に対し異なる異方性方向を誘導した素子でも観測され、異方性角度を大きくした場合にはヒステリシスのプロファイルが左右に分離する。

本研究では、上記のヒステリシス変化が、素子の磁区状態に応じたエネルギー解析に基づき説明できることを明らかにした。

図2は、磁気エネルギーの計算に用いた2次元モデルを示す。磁区構造は、実際の素子の磁区観察結果を基にモデル化し、外部磁界の変化に伴い 180° 磁壁の傾き角度が磁化容易軸方向に一定のままで磁区領域の幅が変化する、という制限を導入して磁気エネルギーの計算を行った。磁気エネルギーは、ゼーマンエネルギー、静磁エネルギー、磁壁エネルギーの和として計算し、磁区領域の幅は、外部磁界の値に応じてエネルギーが極小になる磁区幅を数値計算で求めて安定状態とした。図中の説明では、ストライプ磁区の状態をILLD (Inclined Landau-Lifshitz-like domainの略字)、単磁区の状態をLSD (Longitudinal single domainの略字) と表記する。

図3に外部磁界と素子磁性体の磁気エネルギーの関係を示す。計算に用いたパラメータは、実験のパラメータに合わせて、磁化容易軸方向： 60° 、異方性磁界： 7 Oe 、飽和磁化： 0.93 T とした。交換ステイ

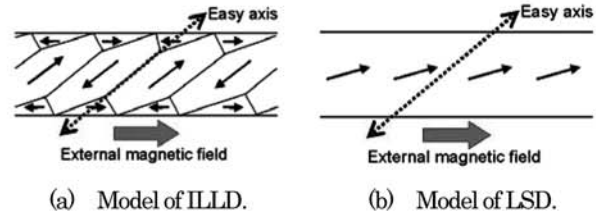


図2. エネルギー解析に用いた磁区モデル

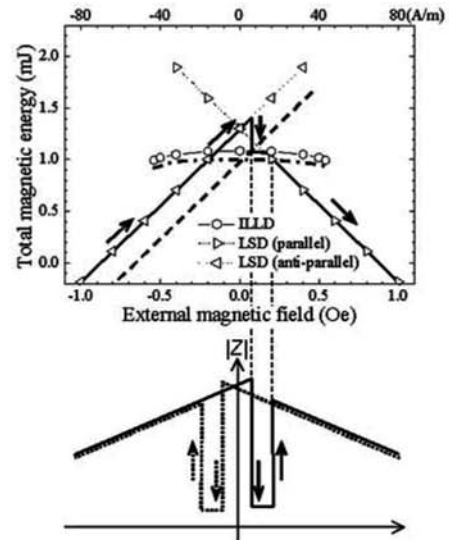


図3. ヒステリシスの解析結果

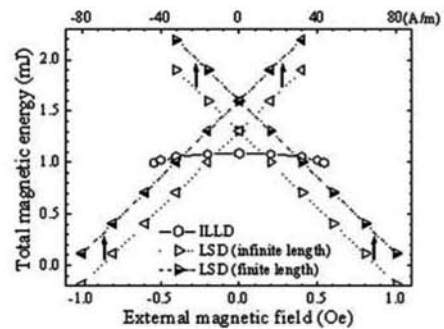


図4. 磁気エネルギーの変化

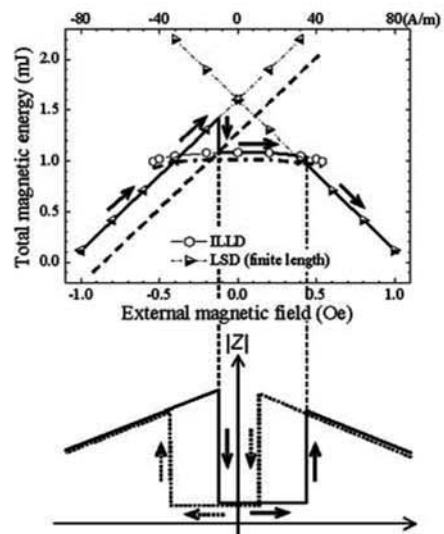


図5. 磁気エネルギー変化を考慮したヒステリシス

フネス定数は、 1.49×10^{-11} J/mとした。図3から、ストライプ磁区 (ILLD) と単磁区 (LSD) の磁気エネルギーが交差することがわかる。この磁気エネルギーの交差は、エネルギー的には連続に磁区構造がストライプ磁区から単磁区に変化し得ることを示している。このエネルギーの交差は、本素子条件では磁化容易軸方向が 60° 付近のみで発生し、磁区転移現象が発生する条件とほぼ一致する。

ここで、インピーダンス不連続点のヒステリシスは、磁区変化の方向に応じて異なるエネルギー障壁を導入することで説明できる。また、この磁気エネルギーとエネルギー障壁とで構築された、シンプルな磁区転移モデルが実験結果をよく説明することも我々の研究により示されている。エネルギー障壁の閾値を導入して、本報告の実験条件における、磁区のエネルギー状態と素子インピーダンス変化を推定した図を図3の下図に示す。このインピーダンス変化は、実験結果の図1(b)とよく一致していることがわかる。

ここで求めた磁気エネルギーの計算に、素子長さを短くした場合の反磁界エネルギー、あるいは、異方性角度を小さくした場合の磁区エネルギー、何れか一方を考慮した場合の相対的なエネルギー関係の変化は図4の矢印方向の変化となる。

反磁界あるいは異方性角度を制御した場合に対応する図4のエネルギー状態におけるインピーダンスのヒステリシスは、図5のように変化する。これは、実験結果の図1(a)とよく一致していることがわかる。

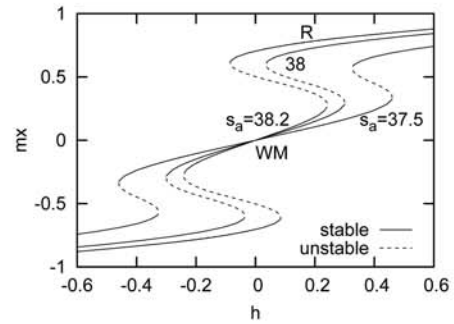
以上の結果から、磁区転移のヒステリシスをコントロールする制御のポイントは、2つの磁区状態のエネルギー関係を制御することであることがわかった。

② 単純化磁区構造モデルによる磁区転移の解析

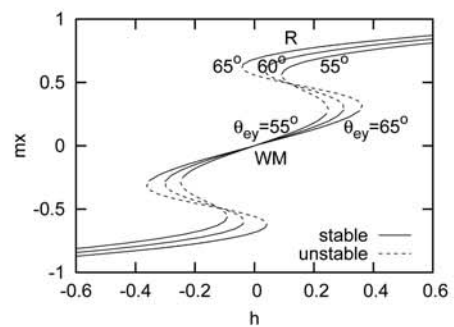
今年度から本共同プロジェクト研究に参加して頂いた、京都大学の松尾哲司 准教授が提唱している単純化磁区構造モデルを本研究の磁区転移の解析に応用した。ここでは紙面の都合上結果のみを示すが、形状異方性の大きさと異方性の角度を変化させた場合の磁化状態図を図6に示す。

図6(a)は形状異方性を変化させた場合の磁化状態であり m_x は規格化平均磁化、 h は外部磁界の大きさを表すパラメータである。 S_a は減磁界の影響に関するパラメータであり、素子長手方向の形状異方性の大きさを表すパラメータである。図の実線は安定状態、破線は不安定状態。状態Sは、モーメントが容易軸方向を向いた安定状態、Rは磁化回転した状態、WMは 180° 磁壁移動の解を示す。図6(a)から、長く減磁界が小さい素子ほど、ヒステリシスが左右にスプリットする特性になることが示された。

図6(b)は容易軸角度に対する磁化状態図である。



(a). 反磁界エネルギーを考慮した磁化状態



(b). 容易軸方向を変化させた場合の磁化状態

図6. 単純化磁区構造モデルによる解析結果

この場合も容易軸角度が大きくなる程、磁区転移のヒステリシスが左右にスプリットする特性になることが示されている。

以上の結果から、本手法の磁区構造シミュレーションからも、本研究の磁区転移が異なる磁区構造のエネルギー安定状態間の転移現象であることが示された。(単純化磁区構造モデルの詳細と解析結果は、電気学会マグネティクス研究会資料 MAG-09-214を参照)

(3-2) 波及効果と発展性

以上の結果に基づき、平成21年度は国内発表(電気学会マグネティクス研究会 講演番号: MAG-09-213 およびMAG-09-214)を行った。また、国際学会発表(Intermag2009 発表番号: DF-04, ICM2009 発表番号: Tu-A-4.1-23)を行った。

今後は、アプリケーションの提案とともに実用スペックを実現するための材料設計指針を構築していく予定である。

[4] 成果資料

- (1) T. Nakai, K. Takada, and K. Ishiyama: *IEEE Trans. Magn.*, **45**, 10, 3499-3502 (2009).
- (2) T. Nakai, K. Takada, and K. Ishiyama: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **33**, 287-292 (2009).
- (3) 中居倫夫, 高田健一, 石山和志: 電気学会マグネティクス研究会資料 MAG-09-213 (2009).

採択番号 H20/A14

採択回数 1 2 3

高度映像コンテンツ検索技術に関する研究

[1] 組織

代表者：沼澤 潤二
(東北大学電気通信研究所)

対応者：
沼澤 潤二
(東北大学電気通信研究所)
青木 輝勝
(東北大学電気通信研究所)

分担者：稲毛 健一 (株) デジコンキューブ
丹野 義和 (株) デジコンキューブ
伊藤 学 (株) デジコンキューブ

研究費：旅費 16万8千円

[2] 研究経過

本共同研究では、教育・ビジネスを問わず誰もが簡単に映像アーカイブも用いて映像制作を経験できる「ネットワーク協調制作環境」の実現を大目標に、映像アーカイブ技術について研究開発することを目標とする。このため、昨年度に引き続き映像プロダクションである(株) デジコンキューブと共同研究を行い、技術集団と実務(制作者) 集団とのコラボレーションにより、実用的な映像アーカイブ技術を開発する。

このための研究打ち合わせを年7回開催した。以下、研究活動状況の概要を記す。

第1回研究打ち合わせ (5月13日～5月14日)

研究テーマ詳細とスケジュール

第2回研究打ち合わせ (8月3日～8月5日)

研究用コンテンツの選別(1/2)

第3回研究打ち合わせ (11月13日)

研究用コンテンツの選別(2/2)

第4回研究打ち合わせ (12月3日～12月4日)

研究用コンテンツの実験環境構築(1/2)

第5回研究打ち合わせ (1月28日～1月30日)

研究用コンテンツの実験環境構築(2/2)

第6回研究打ち合わせ (2月24日～2月25日)

映像ショット検出に関する意見交換

メタデータ付与に関する意見交換

第7回研究打ち合わせ (3月4日～3月5日)

映像ショット検出に関する意見交換

メタデータ付与に関する意見交換

[3] 成果 (以下10.5ポイント)

(3-1) 研究成果

近年、データの圧縮技術やネットワーク関連技術、記憶媒体の発展を背景に、映像コンテンツが一般的に広く利用されてきている。しかし、ユーザが映像コンテンツの取得、蓄積を容易に行うことができる一方、映像データが大量になることで、ユーザが閲覧したいコンテンツにたどり着くことが困難になっている。そのため、映像コンテンツに対してメタデータによる検索を行うために、自動的にメタデータを付与する研究が盛んに行われている。

昨年度の研究成果では、メタデータを付与する前処理として必須となる映像の構造化に取り組み、ショットレベルの構造化(ショット検出)において、検出漏れをゼロに保ったまま、誤検出を減らす手法を開発した。

今年度は、ショット検出の精度向上に加え、最終目標である映像メタデータの自動付与への次のステップとして、Web上静止画像と映像ショットとのマッチングに、SIFT特徴量を改良したアルゴリズムを用いた手法を開発し提案している。

以降、(1)にショット検出の精度向上について、(2)にWeb上静止画像と映像ショットとのマッチングについて説明する。

(1) 新しいクラスタ間距離 D' を加えたショット検出の精度向上

本手法では、映像クリップからフレーム間差分をショット境界とショット内に分類してショット境界を検出していく従来研究で主に使われている手法を採らない。全てのショットが、一枚のフレームという状態、つまり検出漏れがゼロの状態から同じショットであるフレーム同士を繋げていくことで、検出漏れがゼロの状態を保ったまま、ショット自体を検

出す手法を提案している。

同じショットの時間軸上で近いフレーム同士は類似度が高いという性質がある。そのため、分類対象がフレーム毎の多次元ベクトルである階層的クラスタリングを行うことにより、類似度が高いフレーム同士を繋げる処理を行う。しかし、クラスタリングを行う対象が映像の各フレームであるということ、つまり時間軸に対しての情報を考慮していないため、次のような問題がある。

- ・ 時間的に不連続なフレームは同一ショットになるはずがないが、類似度が高いことで同一ショットになってしまう
- ・ 時間軸上で隣接し、類似度が低い2フレームが同一ショットになるはずはないが、これらのフレームがそれぞれ含まれる2クラスタ間の類似度が近くなるために、同一ショットに判定されてしまうことがある。

それぞれの問題を解決するために以下の2つの改良を加える。

(改良1) 併合するクラスタの制約

階層的クラスタリングではクラスタ間距離が最も低い2つのクラスタから随時併合していった。しかし、時系列的に遠い位置にあるフレームでも画像の類似度が高い場合は併合してしまうと考えられる(図1)。その場合、クラスタの中のフレームが全て同一ショット内のフレームのまとまりとならない場合ができてしまう。

そのため、タイムスタンプが近いクラスタ群同士から併合していく必要がある。そこで、2つのクラスタの中のフレームの内最もタイムスタンプが近いフレームのタイムスタンプの差がnフレーム以下であるクラスタ対を候補とした。

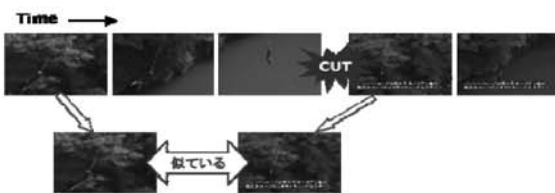


図1 不連続なフレームを併合する問題

(改良2) クラスタ間距離D'の定義

図2のように隣接するフレームの類似度が低いにも関わらず、それぞれのフレームが含まれるクラスタの類似度が高くなってしまいうために、同一ショットと判定されてしまう問題がある。

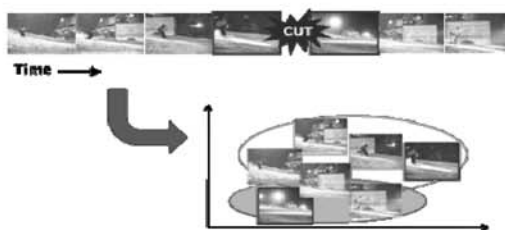


図2 類似度の低い隣接するフレームを併合する問題

この問題を解決するために、クラスタ C_A, C_B に対して既存のワード法のクラスタ間距離 $D(C_A, C_B)$ に加えて、近接フレーム間の距離 $FD(C_A, C_B)$ を導入して、 α を用いた新しいクラスタ間距離 $D'(C_A, C_B)$ を提案した。

$$FD(C_A, C_B) = \frac{|C_A \cup C_B|}{|F_A \cup F_B|} D(F_A, F_B)$$

$$D'(C_A, C_B) = \alpha D(C_A, C_B) + (1 - \alpha) FD(C_A, C_B)$$

但し、 $0 \leq \alpha \leq 1$

$|C_A \cup C_B|$ は C_A, C_B に含まれるフレームの数である。また、 F_A, F_B は C_A, C_B のクラスタ間でタイムスタンプが近い方から m フレームを C_A, C_B それぞれから取り出したものである。

評価実験の結果、制約するフレーム数を3フレームとしたとき、Precisionの値は制約を加えなかったときの0.249から0.322となり、制約を加えることの有効性が確かめられた。また、クラスタ間距離 D' を用いた時、Precisionは最大0.222上がり、0.544という結果が得られた。よって、クラスタ間距離 D' を用いることの有効性が確かめられた。

(2) Web上静止画像と映像ショットとのマッチング

膨大な映像コンテンツの中から希望のコンテンツを高速検索するには、映像コンテンツへのメタデータ付与が必要であるが、その付与コストは計り知れない。そこで、Web上のほとんどの静止画像には、検索エンジンにて自動的にメタデータが付与されていることに着目し、映像コンテンツとWeb上の静止画像との対応付け手法を開発する。これにより映像コンテンツへのメタデータ自動付与が可能となる(図3)。

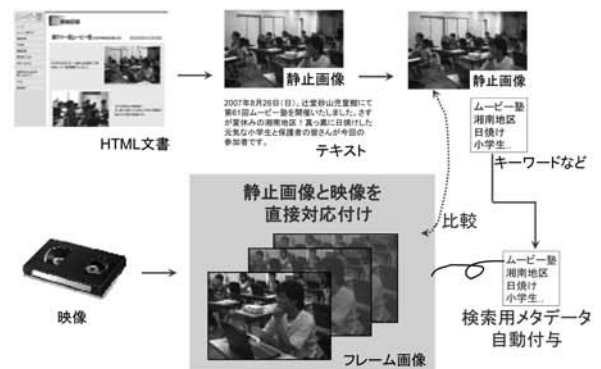


図3 システム概念図

提案手法は、映像内に含まれる特定のオブジェクト

領域の有無を検出する技術として、画像内の特徴点についての画像特徴量の一つであるSIFT特徴量[1]を改良した手法である。本手法の特徴は、映像ショットに含まれる複数のフレーム画像全体から抽出できる全SIFT特徴量を使用するのではなく、ある程度絞り込みを行った上で静止画像との対応付けにある。

撮影対象となっているオブジェクトは、オブジェクトの動きやカメラの動きなどがあってもフレームアウトしないように意図して撮影されると考えられる。一方で、撮影者にとって興味の薄い背景領域やオブジェクトは、フレームアウトが生じることがある。このことから、ショット内において短時間ではなく、長時間にわたって連続して撮影された領域は、撮影対象オブジェクトである可能性が高いと考えられる。ショット内の連続した時刻の2つのフレーム画像において、対応付けが可能な局所領域は、フレームアウトしていないと考えることができる。したがって、ショット内の各フレーム画像から抽出できるSIFT特徴量のうち、フレーム画像間での対応付けが連続して続くものについては、撮影対象オブジェクト領域に含まれるSIFT特徴量である割合が高いと考えられる。そこで、フレーム画像間で連続して対応付けが可能な特徴点だけを選別することにより、時間的に代表的な特徴点として絞りこむ。類似度の指標としては、特徴点に対応付けられた率を使用し、対応点率=対応点数 / min(対象特徴点数, 静止画像中特徴点数)で定義する。

評価実験として、画像縮小を行った時の対応点率を図4に示す。このとき、元画像からの縮小によって、抽出特徴点数の平均は238 [個] → 91.1 [個] → 38.8 [個]と減少したが、対応点率はほぼ変化を示さなかった。このことから、画像の縮小によって適切に特徴点数の絞り込みを行えたと考えられる。また、連続出現する特徴点を抽出したときの対応点率についても、連続出現する特徴点による絞り込みにより、特徴点数は減少し対応点率が向上した。

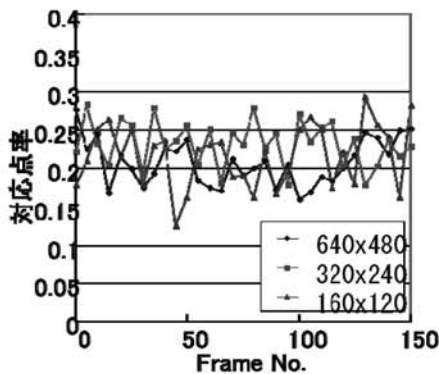


図4 画像縮小時の対応点率

以上のことより、(1)及び(2)の提案手法はどちらも良好な成果が得られたといえる。

(3-2) 波及効果と発展性など

昨年度の研究成果に続き、本年度の研究成果は、大目標である映像メタデータの自動付与の実現に向け大きく寄与したといえる。近年のデジタルコンテンツの大流通時代では、その検索のためのメタデータ付与は、放送局のみならずCGMが急増する現在、プロシューマ化した一般においても重要な技術であることは言うまでもない。今後は、この共同研究開発を大目標の達成のためさらに推し進め、実務者であるデジコンキューブの評価実験を加えることで、実用に耐えうる技術に仕上げる予定である。

なお、本成果を含めた本共同研究内容を、今年度の“総務省SCOPE地域ICT振興型研究開発”に公募予定である。

[4] 成果資料

[1]梅田直樹, 青木輝勝, 沼澤潤二, "階層的クラスタリングを利用した映像ショット検出の一検討", FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム, 2009.9.

[2]関野真洋, 青木輝勝, 沼澤潤二, "映像メタデータ自動付与実現のためのWeb情報を利用した画像マッチング手法の一検討", FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム, I-010 (2009)

[3]梅田直樹, 青木輝勝, 沼澤潤二, "フレームベースクラスタリングを利用した高精度映像ショット境界検出の一検討", AVM研究会 第67回研究会, 2009.12.

[4]関野真洋, 青木輝勝, 沼澤潤二, "映像メタデータ自動付与実現のための映像・静止画像マッチング手法の一検討", 情報処理学会研究報告, オーディオビジュアル複合情報処理(AVM), Vol.2009-AVM-67, No.8, pp.1-6 (2009)

採択番号 H 2 1 / A 0 1

環境負荷低減に資する超伝導計算機技術に関する研究

[1] 組織

代表者：水柿 義直

(電気通信大学電気通信学部)

対応者：佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

中島 康治 (東北大学電気通信研究所)

小野美 武 (東北大学電気通信研究所)

海老澤丕道 (東北大学大学院工学研究科)

林 正彦 (秋田大学教育文化学部)

小山 富男 (東北大学金属材料研究所)

羽多野 毅 (物質・材料研究機構
ナノシステム機能センター)王 華兵 (物質・材料研究機構
ナノシステム機能センター)東海林 彰 (産業総合研究所
エレクトロニクス研究部門)前澤 正明 (産業総合研究所
エレクトロニクス研究部門)猪股 邦宏 (理化学研究所
フロンティア研究システム)

明連 広昭 (埼玉大学工学部)

町田 昌彦 (原子力研究開発機構
システム計算科学センター)

吉川 信行 (横浜国立大学工学研究院)

藤巻 朗 (名古屋大学大学院工学研究科)

北野 晴久 (青山学院大学理工学部)

金城 光永 (琉球大学工学部)

太田 幸宏 (原子力研究開発機構
システム計算科学センター)

研究費：物件費 29 万 8 千円，旅費 45 万 8 千円

[2] 研究経過

超伝導現象は巨視的な量子現象であり，これを利用した電子デバイスは超低消費電力，超高速動作，超高感度など，現在の半導体デバイスを遥かに凌ぐ特性を有している。また量子ダイナミクスそのものを利用する，驚愕的な計算能力を有する量子計算機への応用も強く期待されている。Si-LSI の限界が現実的になりつつある現在，こうした超伝導デバイス

の優位性がより顕著になってきている。特に環境負荷低減の観点から，他のデバイスでは代え難い超低消費電力性（デバイス冷却にかかる電力を含めて）がより注目を集めている。こうした事実を踏まえ，超伝導計算機の実用化が次世代情報処理システム構築のための最重要課題となると予想される。

以上の背景のもと，本提案課題では実用化を強く意識し，そのために必要な超伝導計算機技術を，周辺技術も含めて確立することを目的とする。具体的な研究計画は次の通りである。①単一磁束量子を情報担体とする超高速・超低消費電力超伝導計算機では，製作プロセスの改良による高集積化と，セルライブラリの蓄積を含む回路・システム設計技術の成熟化を図り，CPU 実装テスト等を通じて実用計算機技術として確立する。本所では主に回路設計と測定技術に関する課題を遂行する。②酸化超伝導体固有ジョセフソン接合を用いたマルチ量子ビット実現に向けて，実験解析及び理論構築による量子ダイナミクスの解明を図る。最近の実験結果からジョセフソン接合の接合間結合が実現のための鍵となることが予想されており，これが中心的課題となると予想される。本所では主にデバイスの特性測定に関する課題を遂行する。

第一年度にあたる本年度は，11月26日に研究会を開催し，メンバー間の相互理解を図るとともに，率直な意見交換を行い，本研究のプロジェクトの方向性を確認した。以下に研究会のプログラムを示す。

- 1) 「超伝導島電極を有する強磁性単一電子トランジスタでのスピン依存伝導」水柿 義直 (電通大)
- 2) 「2層グラフェンにおける超伝導近接効果」林 正彦 (秋田大)
- 3) 「新規鉄系超伝導体の異方性評価と新しい固有ジョセフソン効果の可能性」町田 昌彦 (JAEA)
- 4) Shapiro steps in Josephson junctions with multiple tunneling channels: Identification of \pm s-wave symmetry in iron-pnictide superconductors, 太田 幸宏 (JAEA)
- 5) 「多ギャップ固有ジョセフソン接合におけるジョセフソン効果」小山 富男 (東北大)

- 6) Tunable THz Josephson oscillators, 王 華兵 (NIMS)
- 7) 「Low-Tc ジョセフソン接合列における MQT」
佐藤 茂雄 (東北大)
- 8) 「広いダイナミックレンジを持つデジタル DRoS の設計」明連 広昭 (埼玉大)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度はまず第1に、これまでにマイクロプロセッサ動作が実証されている単一磁束量子(SFQ)回路の性能の更なる向上を目的として、新 Nb 集積プロセスに対応した論理セルライブラリの設計が行われた。新 Nb 集積プロセスでは、従来に比べて 2.5 倍の超伝導 Nb 層数 (10 層) と従来比 4 倍の臨界電流密度 (10kA/cm²) を有する Nb/AlOx/Nb 接合を利用することができる。試作と測定の結果、従来ライブラリと比べて 56%のセル面積に縮小された新型セルが、同一の消費電力ながら 2倍のクロック周波数で動作することが確認された。動作検証されたセルの数は 300 を超え、再構成可能なデータパスを利用するアーキテクチャへの応用を目指した小規模基本構成回路の試作も行われた。これらの結果は、SFQ 回路の更なる高集積化が可能であることを示すものである。

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

第3に、ジョセフソン回路における高精度電圧発生機構を利用した SFQ 型デジタル-アナログ変換器(SFQ-DAC)の基本構成回路の高機能化として、電圧増倍セルの増倍率増加とパルス数増倍回路の増倍率可変化が行われた。電圧増倍セルの増倍率増加は、セル内の出力段の構成を単一 SQUID から積層 SQUID に変更し、さらに高次モード動作を行わせることで、従来の 1セル1倍の増倍率を 1セル4倍まで増加させるものである。一方のパルス数増倍回路の増倍率可変化は、従来は増倍率が固定されてい

たものを、回路内のフリップ・フロップの内部状態を変更することで、最大増倍率以内の任意の増倍率を実現するものである。いずれについても、標準 Nb プロセスによる試作と測定により、その動作が確認された。今後、電圧増倍セルの多段接続動作、パルス数増倍回路の可変数増加などの課題を克服することで、SFQ-DAC への応用を目指す。

(3-2) 波及効果と発展性など

高速性と低消費電力性、さらに量子並列性をあわせ持つ超伝導素子を用いた計算機の実現により、次世代スーパーコンピュータの実用化が期待される。本研究ではまだ基礎的な部分があるものの、金属超伝導体の SFQ マイクロプロセッサの実用化、酸化物超伝導体の量子ビットの実現、それぞれにおいて重要な寄与を与えるものである。本プロジェクトを継続・発展させることにより、超伝導計算機のより早い実用化が期待される。

[4] 成果資料

- (1) Y. Mizugaki, R. Kashiwa, A. Kawai, M. Moriya, K. Usami, and T. Kobayashi, "Magnetic Isolation Enhanced by a Superconducting Loop in Josephson Integrated Circuits," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol.48, no.7, pp.073001-1-5, 2009.
- (2) 河合章生, 柏竜太, 守屋雅隆, 小林忠行, 水柿義直, "ニオブ集積回路における平行線路間の相互インダクタンス評価," *電子情報通信学会和文論文誌 C*, vol.J92-C, no.9, pp.523-530, 2009.
- (3) T. Onomi, T. Kondo, and K. Nakajima, "Implementation of High-Speed Single Flux-Quantum Up/Down Counter for the Neural Computation Using Stochastic Logic," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol.19, pp.626-629, 2009.
- (4) S. Sato and K. Nakajima, "Application of Single Electron Devices Utilizing Stochastic Dynamics," *Int. Journal of Nanotechnology and Molecular Computation*, vol.1, pp.29-42, 2009.
- (5) T. Koyama, H. Matsumoto, M. Machida and K. Kadowaki, "In-Phase Electrodynamics and Terahertz Wave Emission in Extended Intrinsic Josephson Junctions," *Phys. Rev. B*, vol.79, 104522, 2009.
- (6) M. Tachiki, S. Fukuya and T. Koyama, "Mechanism of Terahertz Electromagnetic Wave Emission From Intrinsic Josephson Junctions," *Phys. Rev. Lett.*, vol.102, 127002, 2009.
- (7) T. Imamura, T. Kano, S. Yamada, M. Okumura, M. Machida, "High-Performance

Quantum Simulation for Coupled Josephson Junctions on the Earth Simulator: A challenge to Schrodinger Equation on 2564 Grids”, International Journal of High Performance Computing (accepted).

(8) H. Nakamura, M. Machida, “First-principles calculations of the effect of pressure on the iron-based superconductor LaFeAsO”, Phys. Rev. B, vol.80, 165111, 2009.

(9) Yukihiro Ota, Masahiko Machida, Tomio Koyama, Hideki Matsumoto, “Theory for Josephson vortex structure in Josephson junctions with multiple tunneling channels: Vortex enlargement as a probe for $\pm s$ -wave superconductors”, Phys. Rev. B, vol.81, 014502, 2010.

(10) Yukihiro Ota, Masahiko Machida, Tomio Koyama, Hideki Matsumoto, “Theory of heterotic SIS Josephson junctions between single- and multi-gap superconductors”, Phys. Rev. Lett., vol.102, 237003, 2009.

(11) M. Hayashi and H. Ebisawa, “Topological Defect and Quasi-particle Dynamics in Charge Density Waves”, Physica C (in press)

(12) M. Hayashi, H. Yoshioka and A. Kanda, “Theoretical Study of Superconducting Proximity Effect in Single and Multi-layered Graphene,” Physica C (in press)

(13) Y. Krockenberger, K.-S. Yun, T. Hatano, S. Arisawa, M. Kawasaki, and Y. Tokura, “Layer-by-layer growth and magnetic properties of Y3Fe5O12 thin films on Gd3Ga5O12”, J.Appl. Phys. vol.106, 123911, 2009.

(14) H. B. Wang, S. Guenon, J. Yuan, A. Iishi, S. Arisawa, T. Hatano, T. Yamashita, D. Koelle, and R. Kleiner, “Hot spots and waves in Bi2Sr2CaCu2O8 intrinsic Josephson junction stacks - a study by Low Temperature Scanning Laser Microscopy”, Phys. Rev. Lett., vol.102, 017006, 2009.

(15) H. B. Wang, B. Y. Zhu, C. Gurlich, M. Ruoff, S. Kim, T. Hatano, B. R. Zhao, Z. X. Zhao, E. Goldobin, D. Koelle, and R. Kleiner, “Fast Josephson vortex ratchet made of intrinsic Josephson junctions in Bi2Sr2CaCu2O8”, Phys. Rev. B, vol.80, 224507, 2009.

(16) H. Park, Y. Yamanashi, K. Taketomi, N. Yoshikawa, M. Tanaka, K. Obata, Y. Itou, A. Fujimaki, N. Takagi, K. Takagi, S. Nagasawa, “Design and Implementation of SFQ

Half-Precision Floating-Point Adders”, IEEE Trans. Appl. Superconductivity, vol.19, pp.634-639, 2009.

(17) H. Hara, H. Park, Y. Yamanashi, K. Taketomi, N. Yoshikawa, K. Obata, M. Tanaka, N. Takagi, K. Takagi, A. Fujimaki, S. Nagasawa, “Design and Implementation of SFQ Half-Precision Floating-Point Multipliers”, IEEE Trans. Appl. Superconductivity, vol.19, pp.657-660, 2009.

(18) K. Ota, K. Hamada, R. Takemura, M. Ohmaki, T. Machi, K. Tanabe, M. Suzuki, A. Maeda, and H. Kitano, “Comparative study of macroscopic quantum tunneling in Bi2Sr2CaCu2Oy intrinsic Josephson junctions with different device structures,” Phys. Rev. B, vol.79, 134505, 2009.

(19) T. Ohashi, H. Kitano, I. Tsukada, A. Maeda, “Critical charge dynamics of superconducting La2-xSrxCuO4 thin films probed by complex microwave spectroscopy: Anomalous changes of the universality class by hole doping,” Phys. Rev. B, vol.79, 184507, 2009.

(20) K. Inomata, M. Watanabe, T. Yamamoto, K. Matsuba, Y. Nakamura and J. S. Tsai, “Superconducting non-linear resonator for non-destructive readout of a flux qubit,” Journal of Physics: Conference Series 150, 052077, 2009.

(21) Kunihiro Inomata, Tsuyoshi Yamamoto, Michio Watanabe, Kazuaki Matsuba, and Jaw-Shen Tsai, “,” J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 27, 2286, 2009.

(22) H. Akaike, K. Shigehara, A. Fujimaki, T. Satoh, K. Hinode, S. Nagasawa, and M. Hidaka, “The Effects of a DC Power Layer in a 10-Nb-Layer Device for SFQ LSIs,” IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, no. 3, pp. 594-597, 2009.

(23) I. Kataeva, H. Akaike, A. Fujimaki, N. Yoshikawa, N. Takagi, K. Inoue, H. Honda, and K. Murakami, “An Operand Routing Network for an SFQ Reconfigurable Data-Paths Processor,” IEEE Trans. Appl. Supercond., vol.19, pp.665-669, 2009.

採択番号 H21/A02

採択回数 ① 2 3

金属ナノ構造体とそのナノデバイス応用に関する研究

[1] 組織

代表者：玉田 薫（東北大学電気通信研究所）

分担者：及川英俊（東北大学多元物質科学研究所）

増原 陽人（東北大学多元物質科学研究所）

小野寺 恒信（東北大学多元物質科学研究所）

下村 政嗣（東北大学原子分子材料高等研究機構）

藪 廣（東北大学多元物質科学研究所）

原 正彦（東京工業大学大学院総合理工学研究科）

林 智広（東京工業大学大学院総合理工学研究科）

立間 徹（東京大学生産技術研究所）

坂井 伸行（東京大学生産技術研究所）

松原 一喜（東京大学生産技術研究所）

岡本 晃一（京都大学大学院工学研究科

／JST さきがけ）

牛島 洋史（産業技術総合研究所光技術研究部門）

福田 伸子（産業技術総合研究所光技術研究部門）

石原 照也（東北大学大学院理学研究科）

上原 洋一（東北大学電気通信研究所）

片野 諭（東北大学電気通信研究所）

庭野 道夫（東北大学電気通信研究所）

木村 康男（東北大学電気通信研究所）

梶川浩太郎（東京工業大学大学院合理工学研究科）

加野 裕（室蘭工業大学工学部）

馬場 暁（新潟大学超域研究機構）

研究費：物件費 26 万 1 千円，旅費 27 万 5 千円

[2] 研究経過

本プロジェクトは、昨年度の調査研究（共同プロジェクト研究 H20/B01）の結果をもとに、高度に組織化された異なる空間的次元（1次元／2次元／3次元）を有する金属ナノ構造体の作製、基礎物性評価、およびデバイス応用に関する研究を進めることを目的として研究を行った。金属ナノ材料表面に局在するプラズモンは、その集合構造により複雑な電磁場相互作用を励起し、これまでにない新奇な材料特性を生む可能性を秘めている。ボトムアップ型ナノテクノロジーにより合成された数 nm の形状・粒径の揃った金属ナノ材料を距離および位置制御しながら自在に空間配置し、そこから現れる新たな物性を

引き出す研究は今なお極めてチャレンジングな課題である。この共同プロジェクト研究では、異分野研究者の英知を集結し、これらの問題解決に挑戦した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

個々のチーム間での共同研究実施に加えて、以下の日程で、研究推進会議ならびに外部有識者を加えての研究討論会を実施した。

第1回 研究推進会議

期日：平成 21 年 9 月 28 日（月）13：00～

場所：東北大学電気通信研究所 1 号館 N309 号室

参加者：増原、平井（下村代理）、林、立間、岡本、牛島、福田、石原、上原、片野、木村、玉田

第1回 研究討論会

期日：平成 21 年 9 月 30 日（水）13：00～

場所：東北大学電気通信研究所 1 号館 N309 号室

参加者：プロジェクトメンバー（梶川、加野、馬場、玉田）に加えて

Wolfgang Knoll（オーストリア国立研究所所長）

藤田 克彦（九州大学）

中嶋 健（東北大 WPI）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

【3次元構造体形成】

銀ナノ微粒子を含むハニカム構造形成について、100%微粒子からなる系と両親媒性ポリマーとの混合系について検討を行った。これまでの研究例[1]から安定したハニカム構造形成のためには、高湿度環境で疎水性微粒子を用いる必要があるとの指針をたて、60%以上湿度で、オクタデカンチオール修飾銀微粒子を用いた実験を行い、図1に示すようなメッシュ状構造体を得るに至った。孔サイズが不均一なため、光学フィルム応用にはさらなる改良が必要であるが、導電ナノメッシュ材料としての応用の可能性も平行して模索すべきと思われる。一方、銀ナノ微粒子／ポリマーとの混合系では、ポリマー単体で作製した場合にほぼ等しい規則的ハニカム構造が作製できた。この膜の光学特性について伝搬型 SPR 法を用いて評価した結果、以下の特徴を確認した。

- 5 μm 膜厚であってもハニカム膜最表層と大気との界面は界面と認識されず、プリズム全反射角は大気中と変わらない

- プラズモンしみ出し長 (数 100nm) 分の体積平均に相当する共鳴角シフトを検出、そのため 5 μm の膜でも実効膜厚は 80nm と非常に小さい

この説明は、ポリマーハニカム膜(単独膜)の SPR データにも十分に適用できるもので [2]、今回の検討を通じて伝搬型 SPR とポリマーハニカム膜の相互作用に関する総合的理解ができたと言える。

[1] Li, et al, Langmuir 2005, 21, 2017. Yonezawa et al, Adv. Mater. 2001, 13, 140.

[2] Nishikawa, et al, Langmuir 2000, 16, 1337.

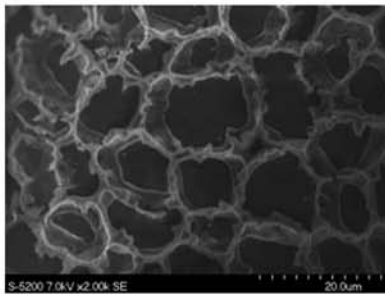


図1 C18-thiol 修飾銀ナノ粒子で作製したハニカム膜 SEM 像

【基礎光学物性】

銀ナノ微粒子二次元結晶からの STM 発光について検討し、微粒子が二次元結晶構造を形成した場合のみ、その協調的効果で強い STM 発光がみられることを実験的に確認した。さらにこの発光が微粒子修飾分子(ミリスチン酸あるいはアルカンチオール)の分子振動と関係することを発光波形解析ならびにラマン分光により確認した。これらは近年注目されている金属ナノ微粒子からの STM 発光 [3] のメカニズム解明に寄与する重要な結果である。これについて現在論文投稿準備中である。

[3] F. Silly, A. O. Gusev, F. Charra, A. Taleb, and M. P. Pileni, Appl. Phys. Lett. 79, 4013 (2001).

【理論計算】

銀ナノ微粒子二次元結晶シート内で生じる局在プラズモンの結合状態ならびに微粒子シートと金属基板間の電磁氣的相互作用について、FDTD 計算シミュレーションにより予測した。その結果、2D シートにおける微粒子間の相互作用距離が微粒子対 (2 個) に比べてはるかに長距離であること、協調的効果により、励起される電磁場強度が微粒子対に比べてさらに増強されることがわかった (図2)。この協調的効果が出現する境界条件について明らかにすることは今後微粒子集合体デバイス開発の上で重要な鍵となる。

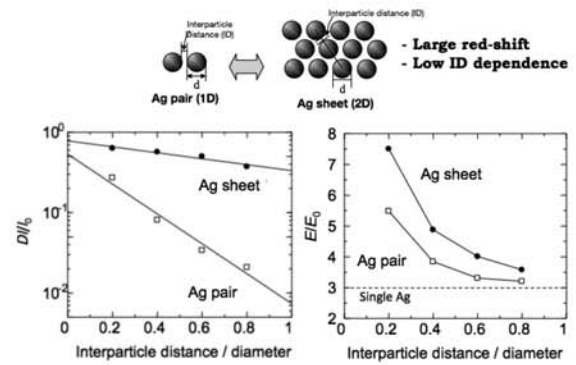


図2 粒子間距離とプラズモン共鳴吸収ピークのシフトおよび励起電場強度との関係 (計算値)。FDTD計算値では1桁以上離れた位置にある粒子同士も相互作用することが示唆された

また誘電体である銀ナノシートにおいても (各微粒子内での局所的な電子振動はあるが、有機分子により遮蔽されているため長距離的な電子移動はない絶縁膜)、局在プラズモン場の結合により、伝搬型 SPR が励起され、これが金属表面に励起された伝搬型 SPR モードと強い相互作用を示すことを実験および FDTD 計算により明らかにした (図3)。これはこれまで報告例のない全く新しい現象であり、プリズムカップリングを必要としない新しい SPR 励起方法として、広い応用が期待できる。

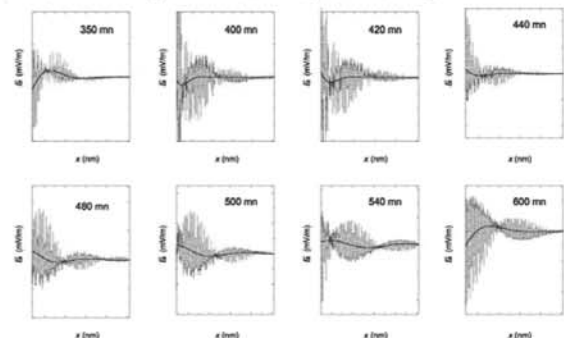


図3 銀ナノシート上に励起された長周期プラズモンモード (計算値)。これらは金基板とは同じ共鳴波数を持ち、強く相互作用する。

【異種材料複合・応用デバイス研究】

酸化チタンナノチューブと銀ナノ微粒子シートとの複合化に関する検討は、局在プラズモンによる酸化チタンナノチューブの非接触触媒作用の評価研究に発展し、特許取得に至った。また環境関連の研究成果として、H21年6月4日プレス発表した (日経産業新聞、他)。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトを通じ、学外研究者との共同研究が大きく進展し、基礎と応用の両面で大きな研究成果が得られた。特に、この共同プロジェクト研究の成果をもとに、JST 企業研究者活用型基礎研究推進事業に応募、採択されるに至った (研究題目: トッ

ブダウン／ボトムアップ融合による次世代プラズモンセンサの開発)。

さらには同成果をもって臨んだ新規国際交流プロジェクト (JST アジア研究教育拠点事業：日韓共同プロジェクト) において共同研究が進展し、論文を発表した。学生間の交流も進み、現在延世大学修士学生を研究生として受け入れ、さらなる共同研究を進めている。

また同成果により招待を受けた国際会議発表を通じて、新たな国際共同研究が進行中である (シンガポール国立大学／ナンヤン工科大学)。

[4] 成果資料

国際招待講演

- [1] “Fabrication and Application of Plasmonic Nanosheet Composed of Nanoparticles”, 3rd Asian Conference on Colloid & Interface Science (ACCIS2009), 韓国済州島 2009年10月12日
- [2] “Application of Plasmonic Ag Nanosheet: Characterization of Photocatalytic Activity of TiO₂ nanotube”, 7th International Symposium on Modern Optics and Its Applications (ISMOA 2009), インドネシアバンドー 2009年8月12日
- [3] “Fabrication and Application of Plasmonic Ag Nanosheet”, 6th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2009), 秋田大学 2009年10月21日
- [4] “Fabrication and Application of Plasmonic Ag Nanosheet”, 6th SINGAPORE INTERNATIONAL CHEMICAL CONFERENCE (SICC6), シンガポール

国際会議場、2009年12月16日

- [5] “Fabrication and Application of Plasmonic Ag Nanosheet”, Workshop on Advanced Biodpecific Interaction Analysis, シンガポールナンヤン工科大学 2010年2月3-4日

査読付き論文

- [1] Ag nanoparticle sheet as a marker of lateral remote photocatalytic reaction, T. Nagahiro, K. Ishibashi, Y. Kimura, M. Niwano, T. Hayashi, Y. Ikezoe, M. Hara, T. Tatsuma, K. Tamada, *Nanoscale*, 2010, 2, 107-113.
- [2] Tunable Surface Plasmon Band of Position Selective Ag and Au Nanoparticles in Thin Block Copolymer Micelle Films, H. Acharya, J. Sung, B.-H. Sohn, D.H. Kim, K. Tamada, C. Park, *Chem. Mater.* 2010, 21, 4248-4255.

著書

- [1] プラズモンセンサーの現状、玉田薫、シーエムシー、印刷中 (2010)
- [2] SAMバイオデバイス、玉田薫、超分子サイエンス～基礎から材料への展開～ (エヌティーエス) 2009.

特許

- [1] 酸化チタンナノチューブを含む非接触型光触媒、非接触型光触媒シートおよび非接触型光触媒シートの作製方法、玉田薫、庭野道夫、木村康男、永広武士、石橋健一、特願2009-081544.

IV族系ヘテロデバイスの高性能・高信頼化のための ヘテロ界面に関する研究

[1] 組織

代表者：土屋 敏章
(島根大学総合理工学部)

対応者：

分担者：室田 淳一
(東北大学電気通信研究所)
櫻庭政夫
(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 24 万 3 千円，旅費 22 万 9 千円

[2] 研究経過

近年，超大規模集積システム用デバイスとして，半導体ヘテロ構造を導入した新構造デバイスの研究が活発化している。導入したヘテロ構造の真価を十分発現させるためには，デバイス特性に及ぼすヘテロ界面の影響を十分に理解する必要があり，ヘテロ構造の高品質化・高信頼化が重要となる。さらに，将来の極微細化されたナノスケールデバイスでは界面物性の揺らぎがデバイス特性の性能を決定づける可能性もあり，半導体ヘテロ界面，特に，ナノ薄膜ヘテロ界面に関する広範かつ詳細な研究が極めて重要になる。本研究では，このような新構造ナノヘテロデバイスの真価を十分に発揮させるために必須となる，ヘテロ界面に関する基本的事項を明らかにすることを主目的としている。具体的には，ナノ薄膜 SiGe/Si ヘテロ構造において，そのヘテロ界面準位の数やエネルギー準位の揺らぎの評価技術を提案・確立し，ヘテロ界面の電気的品質とその安定性を明らかにし，デバイス特性に及ぼすヘテロ界面物性の影響を明らかにしていく。

これまで，申請者らはヘテロ界面準位密度の評価法である低温チャージポンピング法を独自に開発し，半導体ヘテロ界面準位の存在をはじめ実験的に示した。また，ホットキャリア効果によりヘテロ界面

準位が発生することを示すと共に，発生した局所ヘテロ界面準位の密度の評価法を確立した。これらの基本技術を用いて，デバイス動作時のチャネル電流によるジュール熱によってヘテロ界面劣化が生じ，デバイス特性も劣化することを明らかにした。さらに，ヘテロ界面物性の揺らぎ，特に，界面準位の数とエネルギー準位の揺らぎ評価法を検討し，その見通しを得た。

このようなこれまでの成果に基づき，本年度は，界面物性の揺らぎ評価技術を確立させ，界面物性揺らぎとデバイス特性との相関を検討できるレベルにまで到達させることを目的とする。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

界面物性の揺らぎ評価技術を確立させるため，本年度は，まず，通常の MOS 界面準位を対象にして取り組むこととし，申請らがこれまでの検討によって見通しを得た界面物性揺らぎ法を極微小ゲート MOSFET へ適用した。

図 1 に極微小ゲート MOSFET のチャージポンピング (CP) 特性を示す。この図では CP 測定時のゲートパルス周波数 f が 250 kHz であるため，界面準位 1 個当たりの CP 電流 ($ICP=qf$) は 40 fA となる。したがって，この MOSFET は 4 個の界面準位を含んでいることがわかる。このように，個々の MOSFET に含まれる界面準位の数は CP 電流の最大値から求めることができるので，界面準位の数の揺らぎ評価は比較的容易に行うことができる。図 2 に 13 個の MOSFET の CP 測定から得られた，個々の MOSFET に含まれている界面準位の数を示す。MOSFET のゲート寸法のばらつきは小さく，このばらつきが界面準位数の評価に及ぼす影響は無視できることを確認している。図から，界面準位数の揺らぎがかなり大きいことがわかる。

我々は，図 3 に示すように，CP 測定に用いるゲートパルスの幅 t_w (つまり，パルスのオン時間 t_{on})

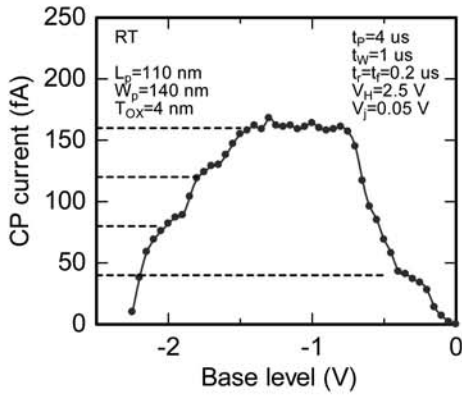


図1 4個の界面準位を有するMOSFETのチャージポンピング特性. $f=250$ kHz.

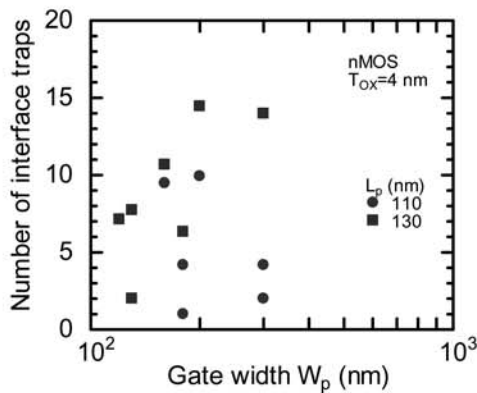


図2 極微小ゲートMOSFETに含まれる界面準位の数の揺らぎ.

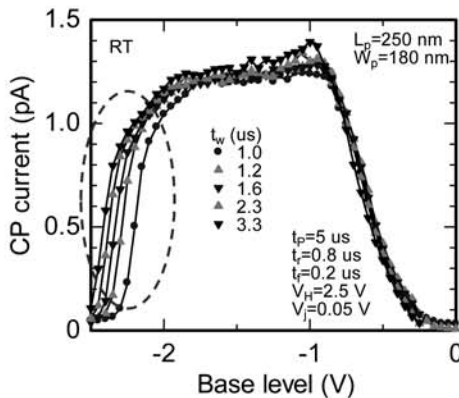


図3 ゲートパルスのオン時間変化による、チャージポンピング特性の立ち上がり部における過渡現象

の変化に対して、CP特性の立ち上がり部に過渡特性が現れることを見出した。この部分での一定ベースレベルにおけるCP電流は t_{ON} に対して飽和特性を示す。この飽和特性の時定数 τ_T は、MOS反転層の電子が界面準位に捕獲される過程を反映している。界面準位における電子の捕獲率 $c_n (=1/\tau_T)$ は $\sigma_n v_{TH} n$

と表わされ (σ_n は電子に対する捕獲断面積, v_{TH} はキャリア熱速度, n は反転層の電子濃度), このような過渡特性が見られるのは、CP特性の立ち上がり部では n が比較的小さいため、 c_n が小さく、 τ_T が大きくなったためである。

したがって、CP特性立ち上がり部の t_{ON} 依存性からバンドギャップ内の広い範囲における界面準位の少数キャリア捕獲過程を検出することができる。なお、同様にして、CP特性立ち上がり部の t_{OFF} 依存性から、界面準位の多数キャリア捕獲過程が検出できることを確認している。

図4に極微小ゲートMOSFETにおけるCP特性の t_w (つまり、 t_{ON}) 依存性の例を示す。このCP特性ではゲートパルス周波数が200 kHzであり、界面準位1個当たりのCP電流は32 fAとなる。したがって、図4では3個の界面準位を含んでいる。個々の界面準位によるCP電流が図のX軸(ゲートパルスのベースレベル)に対してシフトしている原因は、局所的なMOS反転閾値電圧の揺らぎ、隣接した界面準位が電荷を捕獲したことによる電位揺らぎ、界面準位の電子捕獲率 c_n の揺らぎなどが考えられる。図4で注目すべきは、右側のCP信号において、 t_w (つまり、 t_{ON}) の減少に伴ってCP電流最大値までもが減少している点である。このことは、このMOSFETにはかなり小さい c_n を有する界面準位も含まれていることを示していると考えられる。 $c_n = \sigma_n v_{TH} n$ であることから、このような c_n の揺らぎは、界面準位のエネルギー準位に依存した電子の捕獲断面積 σ_n の揺らぎを反映しているものと考えられる。

このように、ゲートパルスのオン時間の変化に対して現れる過渡CP特性は、個々のMOSFET固有のもの(fingerprint)であり、個々の界面準位のエネルギー準位に依存したキャリア捕獲率、および、その揺らぎに関する情報を含んでいる。

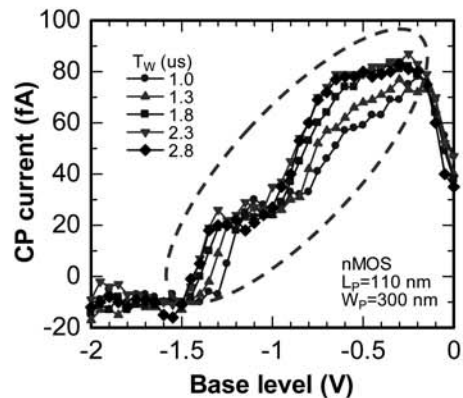


図4 3個の界面準位を有するMOSFETの過渡チャージポンピング特性の一例. $f=200$ kHz.

このような評価法を用いて、2~3 個以下の界面準位を含む MOSFET における各界面準位のキャリア捕獲過程を検出した。図 5 に各界面準位による CP 特性立ち上がり部における CP 電流のゲートパルスのオン時間依存性を示す。界面準位の電子捕獲率の比較を可能にするため、各界面準位に対して反転時の有効ゲート電圧を同一にし、反転層の電子濃度を同一にしている。図 5 は、界面準位の電子捕獲率が各界面準位によって異なっていることを示している。

以上のように、極微小ゲートの通常 MOSFET を用いることによって、申請者らが提案した評価法により、界面準位の数とキャリア捕獲過程の揺らぎを直接検出できることを明らかにした。

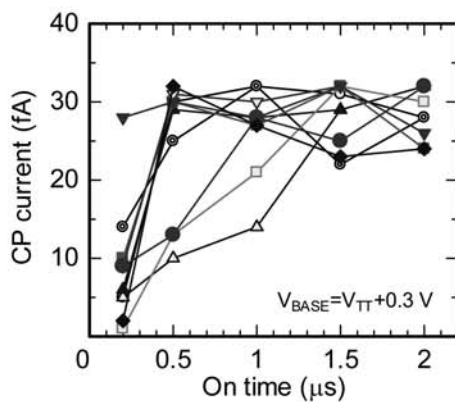


図 5 個々の界面準位の電子捕獲過程の揺らぎ

(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をヘテロ界面に適用することで、ヘテロ界面物性の揺らぎ評価が可能であることを明らかにし、当初の目的であった、界面物性揺らぎとデバイス特性・信頼性との相関を検討できるレベルにまで到達させることができた。

また、本手法は界面準位 1 個 1 個を検出して個々の電気的特性を明らかにするという究極的なものであり、ナノスケールデバイスにおけるキャリア伝導やキャリアの振る舞いを明らかにする上で極めて有効な手段になると考えられる。

[4] 成果資料

- (1) 土屋敏章, “ナノスケール MOS デバイスにおける界面物性の揺らぎ—界面トラップ 1 個 1 個を検出して評価する—”, 応用物理, 第 78 巻, 第 9 号, pp. 868-872, 2009.
- (2) T. Tsuchiya, Y. Mori, Y. Morimura, T. Mogami, and Y. Ohji, “Direct Observation of Fluctuations in Both the Number and Individual Carrier

Capture Rate of Interface Traps in Small Gate-Area MOSFETs,” Proc. of the 39th European Solid-State Device Research Conference, Athens, Greece, pp. 387-390, Sep. 14-18, 2009.

(3) T. Tsuchiya, Y. Mori, Y. Morimura, and T. Mogami, “Fluctuation in Electronic Properties of Interface Traps in Nano-MOSFETs,” 4th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, Sendai, pp. 3-4, Jan. 29-30, 2010.

(4) 森村由太, 最上 徹, 大 路 譲, 土屋敏章, “界面準位を数個含む極微細 MOSFET のチャージポンピング特性,” 応用物理学会中国四国支部 2009 年度学術講演会, Ca1-4, p. 59, 2009 年 8 月 1 日 (広島大学).

(5) 森 祐樹, 最上 徹, 大 路 譲, 土屋敏章, “ナノスケール MOSFET における Si/SiO₂ 界面準位数の揺らぎ,” 応用物理学会中国四国支部 2009 年度学術講演会, Ca1-5, p. 60, 2009 年 8 月 1 日 (広島大学).

(6) 嘉藤俊宏, 最上 徹, 大 路 譲, 土屋敏章, “MOSFET の界面準位密度に及ぼすチャネルドープの影響,” 応用物理学会中国四国支部 2009 年度学術講演会, Ca1-6, p. 61, 2009 年 8 月 1 日 (広島大学).

(7) M. Hu, Y. Morimura¹, T. Mogami, and T. Tsuchiya, “Direct Observation of Fluctuation in the Carrier Capture Process of Single Interface Traps in MOSFETs,” 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 17a-A-8, 2010 年 3 月 17 日-20 日 (東海大学湘南キャンパス).

採択番号 H21/A04

採択回数 ① 2 3

超音波マイクロスペクトロスコピーおよび圧電共振・反共振法によるランガサイト系圧電単結晶の評価と高温用センサへの応用

[1] 組織

代表者：櫛引 淳一

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：長 康雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：安達 正利 (富山県立大学)

研究費：物件費 20 万 9 千円，旅費 21 万 6 千円

[2] 研究経過

本代表研究者は、物質・材料表面の音響特性を非接触的・非破壊的に正確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。一方、共同研究者は、これまで、圧電結晶の評価を圧電共振・反共振周波数法で行ってきた。

本研究の目的は、物質の基本的材料定数(誘電率、圧電定数、弾性定数)を正確に計測するために、主に外部振動子からの縦波、横波超音波パルスを利用する UMS 技術 (東北大学) と、各種方位の圧電振動子の共振・反共振周波数から求める方法 (富山県立大学) の二つがある。UMS 技術では、非常に精密に固体中の音速、擬似表面波速度が測定できるが、装置の性格上、高温までの材料定数を求めるのが困難である。一方、共振法では、厚みたて振動 (k_{33})、厚みすべり振動 (k_{15}) などの測定では、試料の寸法、浮遊容量や純粋なモードの励振の問題があり、音速を与える反共振周波数を正確に求めるのが困難ではある。一方、高温までの定数測定は比較的容易行える。

本プロジェクトでは、両者の優れた測定法を融合し、効率の良い新しい材料定数の計測方法を開発する事を目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。そこで、本年度は、ランガサイト系単結晶である $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$ の弾性・圧電・誘電特性に関する

研究を展開した。

ランガサイト系単結晶は水晶と同じ 3 方晶系 32_1 に属し、電気機械結合が水晶の 3-5 倍と大きく、温度安定性に優れ、機械的品質係数 Q_m が非常に大きいことで知られ、BAW や SAW 用基板として注目されてきた。最近ランガサイト系単結晶は常誘電体で、融点 (1300-1500°C) まで相転移が無いことから高温用のセンサに最適でありその重要性を増している。

以下、研究活動状況の概要を記す。

打合せ、実験及び討論：

- (1) 平成 21 年 12 月 26 日～29 日：
教授 安達 正利 (富山県立大学)
- (2) 平成 22 年 1 月 31 日～2 月 4 日：
教授 安達 正利 (富山県立大学)
准教授 唐木 智明 (富山県立大学)
- (3) 平成 22 年 3 月 14 日～16 日：
教授 安達 正利 (富山県立大学)

研究発表

- (1) M. Adachi and T. Karaki,
“Growth of Potassium Niobate Single Crystals for Piezoelectric Application”,
II.7, 2009 U.S. NAVY WORKSHOP ON ACOUSTIC TRANSDUCTION MATERIALS AND DEVICES Proudly presenting our 31st year MAY 12 – 14, 2009, Pennsylvania State University.
- (2) Masatoshi Adachi and Tomoaki Karaki,
“Growth of (K,Li)NbO₃ Single Crystals for Piezoelectric Applications”,
China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, Aug. 20-23, pp. 41-42, 2009, Dunhuang, China.
- (3) T. Karaki, K. Yan, F. Chen, M. Adachi and H. Kubota,
“High-Performance BaTiO₃ Piezoelectric Ceramics”,
China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials

and Their Applications, Aug. 20-23, pp. 66-67, 2009, Dunhuang, China.

(4)室河 弘隆、竹内 敬典、安達 正利、唐木 智明

「K(Nb,Ta)O₃単結晶の育成と評価」、第70回応用物理学学会学術講演会講演予稿集、8p-ZH-5, pp.216, 2009年9月8-11日、富山大学。

(5)唐木 智明、張 帆、安達 正利、

「水熱合成による板状(K,Na)NbO₃粉末の作製」圧電材料・デバイスシンポジウム 2010、B-3、pp.25-26、2010年2月1-2日、東北大学工学部青葉記念会館

(6)廠 康、唐木 智明、安達 正利、

「2wt%0.6B₂O₃-0.4CuO 添加の 0.95 (K_{0.5}Na_{0.5})NbO₃-0.05BaTiO₃圧電セラミックスの作製と圧電性の評価」

圧電材料・デバイスシンポジウム 2010、B-4、pp.227-230、2010年2月1-2日、東北大学工学部青葉記念会館

[3] 成果

(3-1) 研究成果

東北大学では、開発された UMS 技術や非線形誘電率顕微鏡を、富山県立大学では、圧電共振・反共振周波数法により、ランガサイト (A₃BC₃D₂O₁₄) 系圧電単結晶の高温センサへの応用を目的に正確な材料定数の測定と、より高温までの定数の測定を行う。特に、Ca₃NbGa₃Si₂O₁₄は、他のランガサイト系化合物と違って A, B, C, D の各サイトに最適なイオン半径と価数を持った唯一の陽イオンが配置される秩序配列構造を有している。無秩序配列構造であれば、結晶中にランダムな歪の分布が誘起され、それが組成の不均一性や電氣的・機械的特性に影響を与える。La₃Ta_{0.5}Ga_{5.5}O₁₄および Ga サイトの一部を Al で置換した La₃Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O₁₄ (La₃Ta_{0.5}Ga_{5.5}O₁₄:Al) 単結晶は、特に、圧電性に優れ高温センサへの応用が期待される。そのため本研究では高温度範囲でこれらの音響関連物理定数の精密値を超音波マイクロスペクトロスコーピー技術および圧電共振・反共振周波数法により定める。

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、現在、La₃Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O₁₄単結晶から圧電・弾性・誘電特性の測定用試料を切り出し、加工し、測定を開始した。熱膨張係数は、 $\alpha_{11}=5.63 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、 $\alpha_{33}=3.87 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ at 25°C。高温センサとして応用するために、600°Cの高温までの熱膨張係数の値を測定した。UMS 技術測定法からは、23°Cにおけるすべての弾性定数 $s_{11}^E, s_{12}^E, s_{13}^E, s_{14}^E, s_{33}^E, s_{44}^E, s_{66}^E$ 、圧電定数 d_{11}, d_{14} 、誘電率 $\epsilon_{11}^T, \epsilon_{33}^T$ や結晶内

での LSAW 速度の分布等を既に測定した。共振・反共振法でも、弾性定数 $s_{11}^E, s_{14}^E, s_{33}^E$ 等の値とそれらの温度特性を求めた。それらの結果を表1および表2に示す。すべての誘電・弾性・圧電定数とその温度係数を求めるため、UMS 技術および共振・反共振法の電氣的測定技術を駆使し、正確な LTGA 単結晶の音響に関するすべての物理定数、結晶性の評価をすべく努力している。

表1 23°CでのLTGAの定数の比較

弾性コンプライアンス定数 10 ⁻¹² [m ² /N]	東北大	富山県立大
s_{11}^E	9.0377	8.9900
s_{12}^E	-4.4938	
s_{13}^E	-1.7388	
s_{14}^E	-3.6006	-3.5759
s_{33}^E	5.1654	5.1178
s_{44}^E	21.417	
s_{66}^E	27.063	
$2s_{13}^E+s_{44}^E$	17.939	19.102
圧電 d 定数 [pC/N]		
d_{11}	-6.4977	-6.6645
d_{14}	4.0302	
誘電率(応力一定時)		
$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$	19.703	21.301
$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	74.698	
密度 [kg/m ³]	6108.8	
電気機械結合係数 k_{12}	0.16364	0.16185

表2 LTGAの定数とそれらの温度特性(富山県大)

	25°Cでの定数 10 ⁻¹² [m ² /N]	温度係数1次 10 ⁻⁶ /°C	温度係数2次 10 ⁻⁸ /°C
s_{11}^E	8.9893	-38.323	20.701
s_{33}^E	5.1186	77.142	-211.34
s_{14}^E	-3.5725	466.02	-71.856
$2s_{13}^E+s_{44}^E$	19.181	2056.4	72.158
		10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁸ /°C
k_{12}	0.1619	190.06	417.559
$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$	21.300	-8.8730	186.192
	10 ⁻¹² [C/N]	10 ⁻⁶ /°C	10 ⁻⁸ /°C
d_{12}	-6.6666	166.62	521.598

さらに高温センサとして応用するために、今後はより高温（600°C程度）での各定数を測定を行う。

（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。圧電材料の高性能化に重要な役割を果たす原材料の酸化鉛（ $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 等）は、廃棄処理などによる環境に悪影響をもたらすことが報告されている。環境にやさしい高性能な非鉛系圧電性セラミックスの開発が急務となっている。

さらに地球温暖化防止京都議定の議定書を受け、炭酸ガス等の排出量規制が行われ、各国で対策が講じられている。そのため、自動車の内燃機関用燃焼圧測定や発電所等や電気炉内で内部または移動中の物体の測温で、高温まで使える高精度なRF温度・圧力センサが必要である。それにはシリンダ内の苛酷な環境にも耐え得る圧力・温度センサが必要である。

高温用圧電材料に要求される性能は、

☆非鉛圧電体である、

☆キュリー温度や相転移温度が高い、

☆高温で高い電気抵抗率を有する、

☆圧電性が大きく、その温度依存性が小さい、

☆焦電効果小さい（又はない）（応力による発生電荷と重複）

現在使用されている圧電材料には、水晶、PZT、 LiTaO_3 、 LiNbO_3 があるが、高温センサとしては先に述べた理由で不適當である。一方、ランガサイト系単結晶は非鉛であり、融点（約 1325-1500°C）まで相転移を起こさなく、水晶と同じ結晶構造をとり、焦電性もなく（応力による発生電荷と重複しない）、品質係数Qが非常に大きいことが特長である。この材料を用いれば高温用のセンサーへの応用が期待される。

このように、高温用センサの需要は今後ますます

高くなり、この分野でのランガサイト系圧電単結晶は将来性・可能性が極めて高い。

[4] 成果資料

- (1) Tomoaki Futakuchi, Tatsunori Kakuda, Yuichi Sakai, Shigeki Kakiuchi, and Masatoshi Adachi, "Preparation of $\text{MBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (M=Ba,Ca) thick films by screen printing", Key Engineering Materials Vol. 388(2009) pp. 187-190.
- (2) Tadashi Fujii, Suguru Hirabayashi and Masatoshi Adachi, "Fabrication of Lead-free Ferroelectric Microstructures by Electron-Beam-Induced Patterning Process", Ferroelectrics, Vol. 382, pp. 253-257 (2009)
- (3) Kang Yan, Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi, Zero Temperature Compensated Microwave Dielectric Properties of $\text{Ca}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{TiO}_3\text{-Li}_{0.5}\text{Ln}_{0.5}\text{TiO}_3$ System, Ferroelectrics Vol. 378, pp. 1-7, 2009.
- (4) Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, and Masatoshi Adachi "Electric Properties of $[(\text{BaO})_{1.00}(\text{XO})_x](\text{Ti}_{0.95}\text{Zr}_{0.05})\text{O}_2$ (X= Ca, Sr, Ba) Ceramics Fired under Reduced Atmosphere", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 48, No. 9, pp. 09KD02-1-4, 2009.
- (5) Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, and Masatoshi Adachi, "Preparation and Characterization of Lead Free Multi-layer Ceramic Actuators with Ni Inner Electrodes Prepared by Inkjet Printing", Key Engineering Materials Vols. 421-422 (2010) pp. 26-29.
- (6) Tatsunori Kakuda, Tomoaki Futakuchi, Tsutomu Obata, Yuichi Sakai, and Masatoshi Adachi, "Preparation of $\text{CaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Based Thick Films on Si Substrates by Screen Printing", Key Engineering Materials Vols. 421-422 (2010) pp. 50-53.
- (7) Junhua Lv, Tomoaki Karaki and Masatoshi Adachi, "Phase Transitions, Electrical Properties and Temperature Characteristics of $(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})_{1-x}\text{Ba}_x\text{TiO}_3$ -Lead-Free Piezoelectric Ceramics", Extended Abstracts and Proceedings of 14th US-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Materials, E-3, pp. 261-264, Resort at the Mountain Welches, Oregon, USA. October 11-14, 2009.

採択番号 H 2 1 / A 0 5

電気磁気効果酸化物薄膜のスピン트로ニク応用に関する研究

[1] 組織

代表者：佐橋 政司

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：石山 和志

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

浅野 秀文 (名古屋大学 教授)

中谷 亮一 (大阪大学 教授)

五味 学 (名古屋工業大学 教授)

今村 裕志 (産業総合研究所 主任研究員)

研究費：物件費 21 万 9 千円，旅費 0 万 0 千円

[2] 研究経過

電界による磁化の操作、すなわち電圧駆動磁化反転(磁化のスイッチング)に関する研究は、MRAM などの磁気メモリの超低消費電力化の観点から、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、電界による磁化の操作の可能性を調査することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。最初の年度では、スピンバルブ薄膜のピン層中に挿入されたオングストロームオーダーの極めて薄い Cr_2O_3 反強磁性体が示す強磁性体との交換結合 (Exchange Bias) について、3K～室温の温度範囲で 20K 刻みでトレーニング効果を調べ、 CoO 反強磁性体と比較することで、電気磁気効果を有する Cr_2O_3 のみで、交換結合バイアス磁界と磁気抵抗比のいずれにおいても 120K あたりにトレーニング効果の大きさを表す κ (system constant) 値のピークが現れることを明らかにした。そこで、本年度は、最初の年度の成果を踏まえ、電界(電圧)による $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Co}_9\text{O}_{10}\text{Fe}_{10}$ 界面磁化の操作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。

近年、マルチフェロイクス(強磁性または反強磁性と強誘電性との共存) および電界(電圧)による磁化の操作に関する研究が盛んになって来たことを踏まえ、本年度は研究会立ち上げの準備期間として、分担者とともに動向調査することを優先させた。

研究討論：

1. UC Berkley の R. Ramesh 教授と最新の酸化物マルチフェロイクスの研究結果について議論した。最新のデータとして、マルチフェロイクス材料(強誘電性と反強磁性)である BiFeO_3 酸化物薄膜と CMR (Colossal MagnetoResistance) を示す強磁性ペロブスカイトの LaSrMnO_3 酸化物薄膜との(001)接合で、10kV/cm の低電界において、電界印加による磁化の 90 度操作に成功したことが紹介された。残念ながらブロッキング温度が 120K と低く、低温でのデータであった(Nature への投稿準備)。

2. 研究分担者と磁化の電界操作に関する研究をいくつかのカテゴリーに分けて議論した。電界による磁化の操作に関する研究は、古くから電気磁気効果として知らせていたが、たとえば電気磁気効果を示す反強磁性体 Cr_2O_3 と強磁性体との接合界面における交換結合を利用した、電界による界面磁化の操作と強磁性体に導入される一方向異方性の反転の報告が Borisov, P. や Binek, C. らによって行われて以来、薄膜を使った「磁化の電界操作」の研究が活発となった。したがってカテゴリーの一つは、「電気磁気効果を示す Cr_2O_3 のような反強磁性体と強磁性体との接合界面磁化の操作と電界による一方向異方性の反転」である。

Cr_2O_3 における反強磁性ドメイン(磁区)のスイッチングに関する研究は、古く T. J. Martin and J. C. Anderson の 1966 年の IEEE Trans. Magn. の論文に遡り、電界と磁界の同時印加効果として反強磁性ドメインのスイッチングが起こることが報告されている。一般には、単位体積あたりの自由エネルギー (F) は、場の Power Series として下式のように記述可能である。 $F = F_0 + \sigma_i H_i + \rho_i E_i + 1/2 \chi_{ij} H_i H_j + 1/2 \chi'_{ij} E_i E_j + \alpha_{ij} E_i H_j \dots \dots \dots$ (1)

Cr_2O_3 の磁気対称性(3m)を考慮し、かつ α_{ij} が Time-Anti-Asymmetry であることを考えると、二つの反強磁性ドメイン(+,-)の自由エネルギーは、それぞれ以下のように表わされる。

$$F^+ = 1/2 \chi_{ij} H_i H_j + 1/2 \chi_{ij} E_i E_j + \alpha_{ij} E_i H_j \dots\dots(2)$$

$$F^- = 1/2 \chi_{ij} H_i H_j + 1/2 \chi_{ij} E_i E_j - \alpha_{ij} E_i H_j \dots\dots(3)$$

したがって、二つの反強磁性磁区のエネギー差は、 $F^+ - F^- = 2\alpha_{ij} E_i H_j$ となり、 E と H が同じ向きときは、(-)磁区の方がエネギーが低くなり、逆向きときは、(+)磁区の方がエネギーが低くなる。そのために、電界と磁界の向きが同じか逆かによって磁化を操作することが可能となる。

このカテゴリーには、強誘電性と反強磁性を合わせ持つ、マルチフェロイクスである BiFeO_3 も広い意味では含まれるが、反強磁性軸を含む面と自発電気分極間には一定の関係があり、磁化のスイッチング操作は難しい。

この種の研究で異なるカテゴリーとなるものに、「マルチフェロイクスバリアを用いたトンネル接合」デバイスがある。M. Gajek, A. Fert らの CNRS / Thales とパリ大のグループの研究が、このカテゴリーとなる。 $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ (LSMO)/La 置換 BiMnO_3 (LBMO)/Au 構造では、LSMO と LBMO の磁化が平行、反平行で Spin-up のバリアハイトが $\Delta\phi_{\text{ex}}$ だけ異なり、平行時には低バリアハイトとなりトンネル電流密度が大きくなる。これに加えて、バリアの電気分極の向きによりトンネル電子が感じるポテンシャルが異なる。よって、2nm の極薄マルチフェロイクス LBMO をバリアとするスピニフィルター型のトンネル接合は、磁化(スピン)と電気分極の自由度を同時に合わせ持つことができ、磁化の自由度を使つての読み出しと電界による書き込みが可能となり 4-state memory となり得る。また、これを発展させた 8-logic memory も理論的には考えられる。

また加えて、スピニバルブ薄膜のピン層中に挿入されたオングストロームオーダーの極めて薄い反強磁性 Cr_2O_3 が示す、強磁性体との交換結合(Exchange Bias)については、最初の年度の成果を踏まえ、トレーニング効果の大きさを表す κ (system constant) 値をモニターとして、電界(電圧)による $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 界面の磁化の操作と交換結合への影響について調べ、世界で初めてオングストロームオーダーの Cr_2O_3 を用いた界面の磁化の操作とトレーニング効果による実証に成功した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、Martin と Anderson が提唱した Cr_2O_3 の反強磁性ドメインのスイッチングをスピニバルブ膜のトレーニング効果においても確認した。第2に、世界で初めてオングストロームオーダーの

Cr_2O_3 を用いた界面の磁化の操作に成功したことがある。

(1) CIP(Current-In-Plane)ジオメトリのスピニバルブ膜 ($\text{Si}/\text{Alumina}/\text{NiFeCr}/\text{IrMn}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$)における GMR のトレーニング効果 κ_{MR} の印加電流(電圧)依存性を、電流をピン方向に印加した場合と、電流をピン方向と反対に印加した場合について調べた結果を図1に示す。図1より明らかなように、電流をピン方向と反対に印加した場合には、 κ_{MR} の電流依存性はほとんど認められないのに対し、電流をピン方向に印加した場合には明瞭な κ_{MR} の電流依存性が認められた。そしてこの現象は Martin と Anderson が提唱した Cr_2O_3 反強磁性ドメインのスイッチングで説明できることを明らかにした。すなわち、ピン層

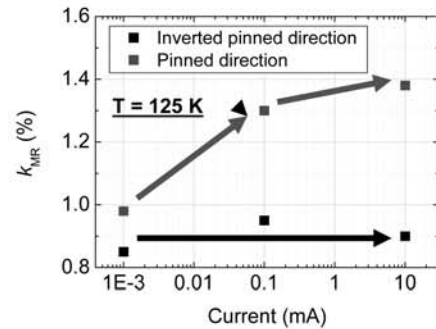


Fig. 1. κ_{MR} as a function of current in the pinned direction (red square) and opposite one.

磁化の向きに電流を流す(電界を印加する)と κ_{MR} は電流の増大とともに大きくなる。この結果は、 E と H が同方向のときに磁化のスイッチングが起こることを示した Borisov や Binek の結果と一致している。したがって、 Cr_2O_3 をピン層に挿入したときのみに見られる κ_{MR} の特異な温度依存性は電気磁気効果によるものである。

(2) 図2にモデルと実験結果との比較および CIP-GMR, ピン保磁力, 交換バイアス磁界と電流(電界)印加方向の関係性をまとめて示す。Martin と Anderson による反強磁性ドメインのスイッチングおよび Borisov, Binek らの実験からの経験則を基にモデルを構築した。CIP-GMR はピン逆方向電流のときの方がピン方向電流のときより大きく、保磁力もピン逆方向電流のときの方が大きい。ヒステリシス中心である交換バイアス磁界は両者で変わらず、モデルと実験結果は一致をみた。したがって、世界で初めてオングストロームオーダーの Cr_2O_3 を

用いた界面の磁化の操作に成功したことになる。

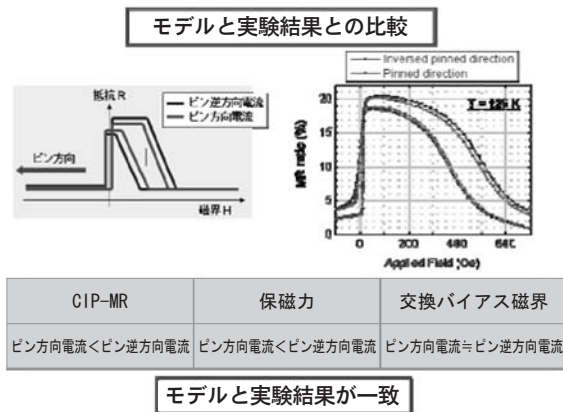


Fig. 2. モデルと実験結果との比較

(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、MPB (Morphotropic Phase Boundary) 研究会へと発展、強磁性体、強誘電体、強弾性体との融合領域の創成への足がかりとなった。また、本プロジェクトで明らかになったスピバルブ膜におけるCr₂O₃の電気磁気効果を用いた磁化の操作やマルチフェロイック酸化物を用いた Tunneling ElectroResistance(TER)の成果は、低電圧駆動による多ビットロジックメモリ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。

[4] 成果資料

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:

1. "Anomalous temperature dependence of training effect in specular spin valve using ultrathin Cr₂O₃ nano-oxide layer with magnetoelectric effect", Kazuya Sawada, Naoki Shimomura, Masaaki Doi, and Masashi Sahashi, *J. Appl. Phys.* **107**, 09D713 (2010)
2. "Interlayer Coupling Through Cu Spacer and Its Unique Temperature Dependency in Spin Valve With Co_{1-x}Fe_x/Cr-NOL", K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and M. Sahashi, *IEEE Trans. Magn.* **45**, 4019 (2009)
3. "ナノ構造磁性酸化物層を含むスピバルブ薄膜の磁気結合", 澤田和也, 遠藤広明, 土井正品, 佐橋政司, *日本磁気学会誌* **32**, 205 (2008)
4. "Exchange Bias Characteristics in Specular Spin Valve System With Embedded (Co-Fe)/Cr Nano-Oxide Layer in Pinned Ferromagnetic

Layer", M. Sahashi, K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and N. Hasegawa, *IEEE Trans. Magn.* **43**, 3668 (2007)

5. "Structural characterization of Co_{100-x}Fe_x nano-oxide layer", Hiroaki Endo, Masaaki Doi, Naoya Hasegawa, and Masashi Sahashi, *J. Appl. Phys.* **99**, 08R703 (2006)
6. "Enhancement of Room Temperature -Exchange Biasing in Specular Spin Valves", Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiroaki Endo, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, *IEEE Trans. Magn.* **41**, 2932 (2005)
7. "Exchange coupling and NOL magnetism consideration in Co_{1-x}Fe_x specular spin-valves", M. Doi, M. Izumi, Y. Abe, H. Fukuzawa, H. N. Fuke, H. Iwasaki, and M. Sahashi, *J. Magn. Mater.* **287** (2005), 381
8. "Magnetism of Co_{1-x}Fe_x-NOL in Specular Spin-Valves", Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, *IEEE Trans. Magn.* **40** (2004), 2263
9. "Nano-oxide-layer specular spin valve heads with synthetic pinned layer: Head performance and reliability", N. Hasegawa, F. Koike, K. Ikarashi, M. Ishizone, M. Kawamura, Y. Nakazawa, A. Takahashi, H. Tomita, H. Iwasaki, and M. Sahashi, *J. Appl. Phys.* **91** (2002), 8774
10. "Specular spin-valve films with an FeCo nano-oxide layer by ion-assisted oxidation", Hideaki Fukuzawa, Katsuhiko Koi, Hiroshi Tomita, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, *J. Appl. Phys.* **91** (2002), 6684
11. "Feature of Current-Induced Microwave Oscillation in Nano-Contacts Magneto-Resistive Devices After High-Temperature Annealing", Tetsuya Nakamura, Hiroshi Suzuki, Yoshihito Okutomi, Masaaki Doi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi", *IEEE Trans. Magn.* **46** (2010), 2212
12. "High Level Oscillation With Narrow Linewidth in Magnetic Nano-Contact Spin Torque Oscillator With Synthetic AF Spin-Valve Structure", Hiroaki Endo, Toshiyuki Tanaka, Masaaki Doi, Susumu Hashimoto, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, *IEEE Trans. Magn.* **45** (2009), 3418

採択番号 H 2 1 / A 0 6

採択回数 ① 2 3

自己組織化マルチナノピラー構造によるSTTマイクロ波発振とその応用に関する研究

[1] 組織

代表者：土井 正品

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：石山 和志

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

佐橋 政司 (東北大学大学院工学研究科)

三宅 耕作 (東北大学大学院工学研究科)

遠藤 哲郎 (東北大学学際科学国際高等研究センター)

小野 輝男 (京都大学化学研究所)

鈴木 義茂 (大阪大学大学院工学研究科)

今村 裕志 (産業技術総合研究所)

研究費：物件費 2 1 万 9 千円，旅費 1 6 万 2 千円

[2] 研究経過

本研究の目的は、ナノ磁性体におけるスピンドYNAMIXを利用した GHz 帯のマイクロ波発振に関する研究を行い、簡便で高効率(高 Q)、超小型・超低消費電力のマイクロ波発振デバイスを開発することである。このようなナノ磁性体を用いた新規なマイクロ波の発振機構は、従来の半導体集積化デバイスの一部に、自己組織化により集積化されたナノ磁性体から成る発振回路を組み込むだけで実現されるものであり、従来の半導体デバイス発信機と比較して簡便、超小型・超低消費電力の GHz 帯マイクロ波デバイスへの道を切り拓くものである。また、その原理からナノ磁性体中の磁化の方向、バイアス磁界、電流などにより発振周波数を調律可能(Tunable)なデバイスとすることも可能であり、近年特に研究が活発化しているユビキタス電子タグ、チップ間無線通信のような至近短距離を対象とした情報通信用の新デバイスの進展に大きく寄与するものであり、コミュニケーション用通信技術等にも展開が期待できる。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。

これまでに、図 1 に示した極薄酸化物層(Nano-Oxide-Layer:NOL)を用いたナノ狭窄構造では Cu/AlO_x-NOL や CoFe-NOL および

Co_{0.9}Fe_{0.1}/Fe-AlO_x NOL や Fe_{0.5}Co_{0.5}-AlO_x NOL を用いればリソグラフィーでは形成不可能な 10 nm 以下の導電チャンネルを、自己組織化ナノパターンニングにより作製可能となり、ナノスコピック領域における電子/スピン輸送物理、ならびにスピンドYNAMIXの研究が可能であることを示した。ここで、試料の素子サイズは 0.3~0.4 μm² であり、このような大きな素子サイズにおいてスピントランスファートルク(STT)マイクロ波発振がはじめて観測された。Conductive-AFM 像によって見積もられた素子面積あたりのチャンネル占有面積から電流密度を算出すると約 1×10⁹A/cm² となる。素子サイズの微細化と素子間の直並列回路を設計することで低電流化が可能であると考えられる。さらに本系では電流の狭窄効果により発振の低電流化が可能となる。このナノ狭窄磁壁型(ナノコンタクト(NC))MR 素子では、面積抵抗 RA=0.3~1.0 Ωμm² において MR 比 4~12% が示されている。本年度は、これまでの成果を踏まえながら、STT マイクロ波発振とその応用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。

・今村ら(産業技術総合研究所)の理論研究グループとナノ狭窄磁壁型(ナノコンタクト(NC))MR 素子の STT マイクロ波発振について年間 5 回の研究打ち合わせを行った。

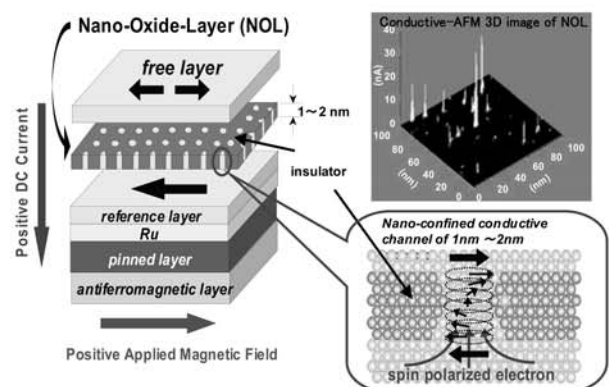


図 1 ナノ狭窄磁壁型マイクロ波発振素子

・チップ間無線通信による3次元実装に関する調査を行った。「2010 IEEE INTERNATIONAL SOLID-STATE CIRCUITS CONFERENCE」に参加し、特に Forum“Silicon 3D-Integration Technology and Systems”における10件の発表内容を解析した。現状技術としてマイクロバンプを用いた接触型 TSV (Through Si Via) の3次元実装についての報告がなされた。接触型 TSV では機械的な接触による信頼性および実装プロセスが重要課題である。これに対して3次元実装無線通信では慶応義塾大学の黒田らの誘導結合による無線通信の取り組みが精力的に報告されていた。誘導結合による無線通信では、誘導結合チップ(コイル)のサイズ、通信距離の増加による消費電力の増加が重要課題である。本調査結果からナノ狭窄磁壁型スピントルクオシレータは超小型・低消費電力発振器として実用上有力な発振素子となる可能性が高いことが考えられる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、MR変化率が4~6%と低いにも関わらず、高い出力の発振を観測したことから、磁壁が狭窄された健全な導電チャネル間もしくは狭窄磁壁内でのコヒーレント位相マイクロ波発振が起きていることを示唆する結果が得られた[2]。同素子において得られた最大出力は約0.2nW、最大Q値は約600である。さらに、リファレンス層の磁化反転部において高いQ値($f/\Delta f: 600, \Delta f=12\text{MHz}$)のシャープな発振が、7GHz近傍で観測され、その出力レベルはおおよそ20nV/√Hzに達することが明らかとなった[4]。この発振はシンセティックピン層のスピンフロップ領域近傍で起きていることからリファレンス層側での磁化の不安定性に起因した発振が磁壁を介して

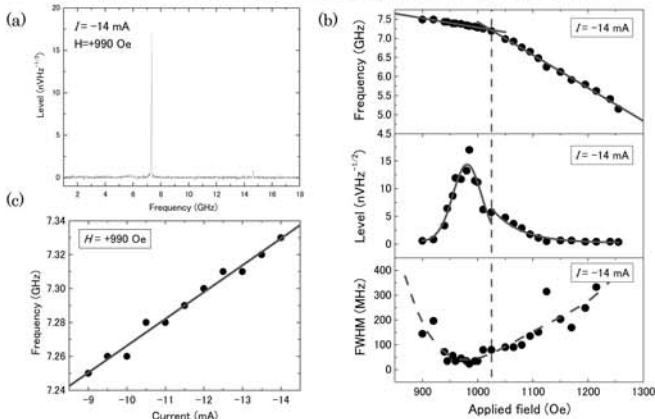


図2 Fe-AlO_x NOL 強磁性ナノコンタクト MR 素子におけるマイクロ波発振(a)、周波数の外部磁場(b)及び印加電流(c)依存性

フリー層と結合し、比較的均質で単一モードのコヒーレント発振が励起されている可能性があると考えている。ここで図に示すようにその発振周波数は印加電流および印加磁場によって変化することから周波数の調律可能なオシレータであることを検証している。

第2に、フリー層の磁化方向がリファレンス層の磁化方向と完全に反平行であるときには発振が観測しにくいといった本系独特の特徴ある実験結果が得られた[5]。松下、今村らによる狭窄磁壁のスピントルク発振のシミュレーションの結果では完全に反平行であるときには発振は観測されず、フリー層とリファレンス層の磁化方向の角度が180°からずれたときに発振することが報告されている。そこでフリー層とリファレンス層の磁化相対角を180°から変化させることを目的に、膜面内において印加磁場の方向を変化させて NCMR 素子のマイクロ波発振特性の測定を行った。その結果、発振強度はフリー層とリファレンス層の磁化の相対角度が140°のとき最大を示した。最大で10倍以上の発振強度となり、半値幅は極小を示した(図3)[1]。また、発振周波数は印加磁場の角度が大きくなるほど周波数が減少する傾向が見られた。この結果は狭窄磁壁により励起されたスピントルク発振のシミュレーションの結果と定性的に一致しており、狭窄された磁壁に起因した発振であることが示唆された。ここで、発振周波数が8GHzとフリー層の強磁性共鳴周波数と一致していることから、狭窄磁壁を起源とした局所的なスピンダイナミクスがフリー層で生じる定在波モードを介してフェーズロックしていることが考えられる。

第3に、図4に示すように外部からのマイクロ波投入によるスピントランスファーマイクロ波発振との電気的フェーズロックの検証を行った[6]。したがって、本系での強磁性導電チャネルのチャンネル径およびチャンネル間隔の分散の改善とコヒーレント

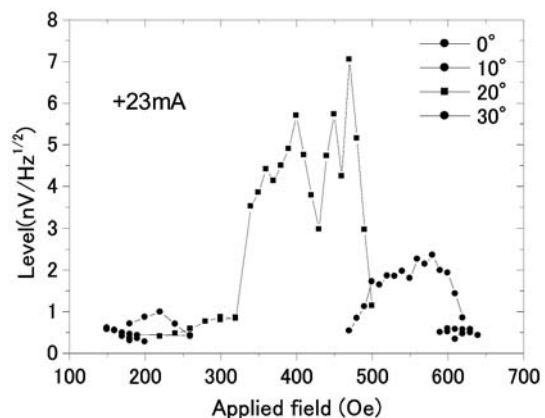


図3 発振強度の印加磁場方向依存性

位相マイクロ波発振、理論により提唱されている磁気抵抗比の増大(100%級)、ならびに直流電流(スピントランスファー)で励起されるスピン波のモードロッキング、電氣的結合によるマルチチャンネル間の位相同期を組み合わせることによって、マイクロ波域の発振の出力をさらに増加させ、マイクロ波発振を μW 以上の実用化レベルに引き上げることが可能であると考えられる。

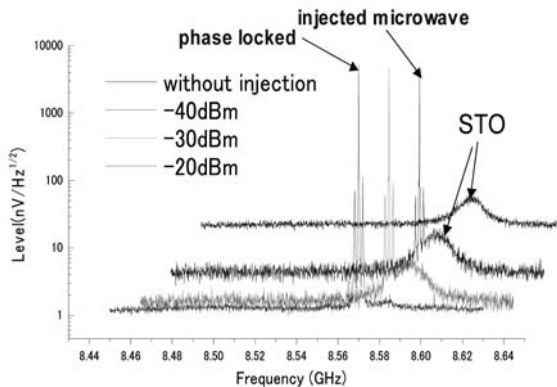


図4 スピントランスファーマイクロ波発振との電氣的フェーズロッキングの検証

(3-2) 波及効果と発展性など

ナノ狭帯磁壁型マイクロ波発振素子においてスピントルクオシレータの実験研究調査を行った。その結果、発振の低電流化が確認でき、低面積抵抗・高磁気抵抗比の素子を開発および磁氣的・電氣的フェーズロッキングによる μW 以上の発振出力を可能とする高Q値のスピントルクオシレータ開発についての指針が示された。さらに、印加磁場の方向を変化させて NCMR 素子のマイクロ波発振特性の測定を行った実験結果により、狭窄された磁壁に起因した発振であることが強く示唆されたことから、100GHz以上の発振周波数を有するスピントルクオシレータの実現が期待できる。ナノ狭帯磁壁型スピントルクオシレータは超小型・低消費電力発振器として実用上最も有力な発振素子となる可能性が高いと考えられる。

本プロジェクトで明らかになったナノ狭帯磁壁型(ナノコンタクト(NC))MR素子のSTTマイクロ波発振の研究成果は、高密度電流注入とマルチチャンネルによるアレイ化は、高出力発振ならびに、そのTunable化がミクロンサイズで可能となり、ナノ構造デバイス間における高速無線通信機能の実現、およびそれを用いたナノ通信システムの構築を可能とし、例えばバイオセンサーを用いた詳細な生体情報のリアルタイム測定、NEMSの無線遠隔操作、複数のナノマシン同士の無線通信を介した共同作業、電子回路間のチップ間無線通信、マイクロ波・ミリ波を利用

した超高密度記録などが可能となり、波及効果は図り知れないものがある。21世紀の新たなユビキタスを生み出す短距離応用デバイスに画期的な革新をもたらすとともに、スピントランスファー駆動による電子デバイス分野で、国際的な主導権を発揮できることが期待される。

[4] 成果資料

1. “Enhancement of microwave oscillation under angled in-plane magnetic field in spin torque oscillator based on ferromagnetic nanocontact magnetoresistance element”, H. Suzuki, T. Nakamura, H. Endo, M. Doi, K. Matsushita, H. Imamura, H. N. Fuke, M. Takagishi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, submitted.
2. “Spin-Transfer Induced Microwave Oscillations in Spin Valves with Ferromagnetic Nano-Contacts in Oxide Spacer Layer”, M. Doi, H. Endo, K. Shirafuji, H. Suzuki, S. Kawasaki, M. Sahashi, M. Takagishi, H. N. Fuke, S. Hashimoto, H. Iwasaki, H. Imamura, to be submitted.
3. “Fe/AlO_x-NOLを用いたNCMR素子におけるマイクロ波発振の特徴”, 田中俊行, 遠藤広明, 土井正晶, 福家ひろみ, 岩崎仁志, 佐橋政司, 日本磁気学会誌, in press.
4. “High Level Oscillation With Narrow Linewidth in Magnetic Nano-Contact Spin Torque Oscillator With Synthetic AF Spin-Valve Structure”, H. Endo, T. Tanaka, M. Doi, S. Hashimoto, H. N. Fuke, H. Iwasaki, and M. Sahashi: IEEE Trans. Magn., 45, No. 10, 3418 (2009).
5. “Characteristics of microwave oscillations induced by spin-transfer-torque in a ferromagnetic nanocontact magnetoresistive element”, H. Suzuki, H. Endo, T. Nakamura, T. Tanaka, M. Doi, S. Hashimoto, H. N. Fuke, M. Takagishi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Appl. Phys., 105, 07D124 (2009).
6. “Dependence of injection locking on oscillation line-width in Nano-Contacts Magnetoresistive Spin-Torque Oscillators (NCMR-STO)”, M. K. Al-Mahadawi, H. Endo, T. Tanaka, H. Suzuki, M. Doi, S. Hashimoto, H. N. Fuke, and M. Sahashi, 11th Joint MMM-INTERMAG Conference, Jan. 18-22 (2010), Washington DC, EY-1

スイッチ線路発振器間の同期機構の解明

[1] 組織

代表者：植原 浩一

(山形大学大学院理工学研究科)

対応者：尾辻 泰一

(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費22万5千円，旅費11万1千円

[2] 研究経過

本プロジェクト研究は非線形波動制御によって高周波信号を生成し、外部発振器による同期、あるいは自己同期、相互同期、大域的同期を実現する機構を構築することを目的とする。これは、将来において(1)超高時間分解計測、(2)高解像度電磁波イメージング、(3)高ビットレートパルス無線、(4)超高速コンピューティングを実現するための要素技術であり、貴研究所の公募要項にある「超広帯域通信のための次世代システムの創成」に資するものである。これまでの研究実施によって、スイッチ線路にステップパルスを入力することによって、そのエッジが振動伝搬することをみている。このエッジの振動現象に関わる同期を検証することが直接的な課題である。

(1)モデルとする振動子が複数ノードで構成されるという属性、(2)加えるDC値の大小によって振動数が広範に制御するという属性、(3)結合系を局所的なものから大域的なものへと柔軟に変化させることができるという属性を主となる拠り所として、工学的・数理工学的価値を認めることである。

本プロジェクト研究は本年度が初年度である。当期においては良好な位相特性をもつ高周波信号源の新しい設計指針を提案する。これを推進するために、(1)振動子結合系の数理モデルの適用と、(2)スイッチとしてエサキダイオードの個別部品を用いた基本動作の実験的検証を平行して行う。これまでの研究実施の帰結をもとに、実践的設計技術を構築しその上で素子試作・評価によって実験的に進めることと、同期現象の数理的理解の推進、工学応用の提案とを、本プロジェクト研究の骨子とした。

第一および第二四半期において、(1)次元拡張による高機能回路、(2)しきい値動作をはじめとする信号処理回路、ならびに(3)振動子間の局所的・非局所的・大域的結合回路について、検討をすすめた。そ

して、第四四半期までに、エサキダイオードを用いた外部同期評価を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2次元線路への拡張に際して生ずる周波数同期現象についてまず述べ、エサキダイオードを用いた外部同期解析および実験の帰結に続ける。

【2次元スイッチ線路における周波数同期現象】

図1に2次元スイッチ線路の単位セルの構造を示す。1次元線路の際と同様に、ステップパルスを入力すると、そのエッジは特徴的な振動伝搬を行う。図2には周期境界を用いて無限長線状に入力セルを設けた際のエッジの振る舞いを示した。いまのモデルでは、エッジは $t = 0.66 \mu\text{s}$ で転回点に至り逆進に転じている。この振動周期は、伝搬方向に依存性を有する。また、コンパクトな領域を入力セルとする場合には、部位によって振動周期は異なることとなる。2次元スイッチ線路は、こうしたさまざまな周波数運動が共存する系として考えねばならない。

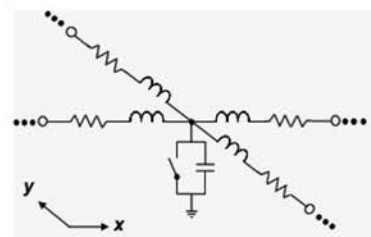


図1: 2次元スイッチ線路の単位セル

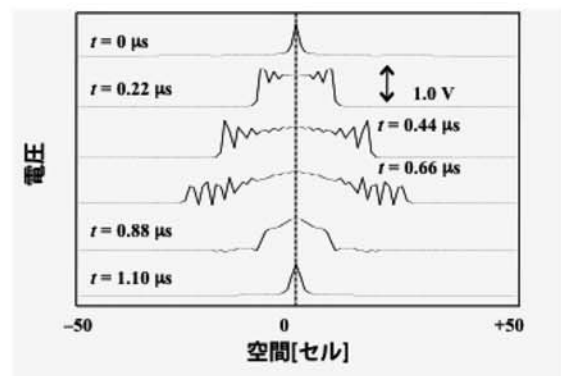


図2: 無限長線状入力によるエッジの振動

複数の周波数運動の共存は、その後の定常に至る過程で周波数同期現象を引き起こす。図3, 4は、有限長線状入力に対する応答を示している。有限長の際には、当初、線状部位における振動周期は大きく、一方、エッジにおいて振動周期は小さい。すると、エッジにおいて生ずる短周期運動が線路全体に波及していく。図3では両端エッジから2次元パルスが生成され中央に向かうように進行する。両端から到来したパルスは中央で互いに衝突し、消滅する。こうした定常時波動伝搬特性を獲得するに至る過渡的な振舞いを図4に示している。縦軸は、入力セルの近傍に位置し、x方向に9点をとり観測される電圧波形を描いている。この際には、x方向に2000セルを設けた解析を行い、最も下部に位置するx=100の波形はエッジ近傍における波形、もっとも上部に位置するx=1600の波形は中央部における波形である。当初行われていた長周期波形は、エッジより生じた短周期波形に取って代わられていく。こうして、周波数同期の結果、線路に存在するエッジの振動周波数は、1次元線路における場合に比べ、大きくなる。

パルス生成にあっても、2次元線路におけるパルス幅の短縮化の程度は、1次元線路におけるそれを凌駕し、その優位性が認められるところであり、高周波信号を生成する立場において、2次元線路の価値は大きい。

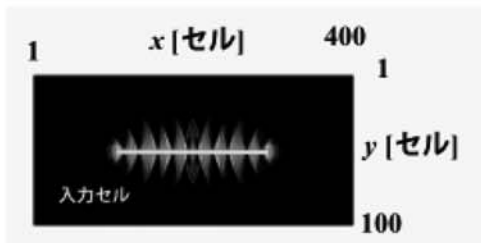


図3:有限長線状入力に対する応答

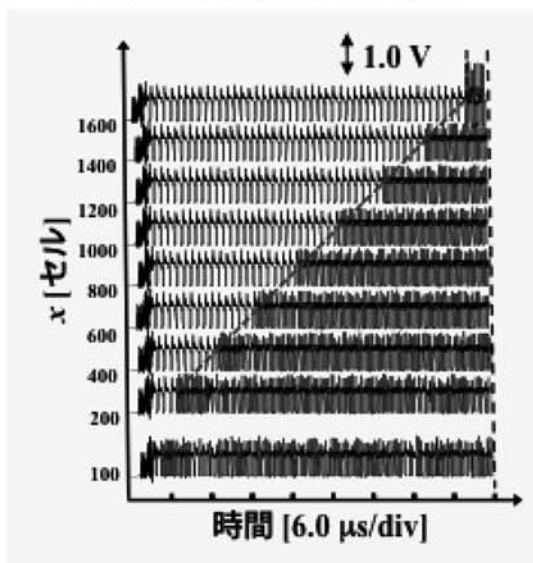


図4:周波数同期現象

【エサキダイオードを用いた外部同期解析・実験】
ブレッドボードを用いて回路を試作し、外部同期の実験的検証を行った。スイッチにはエサキダイオード(NEC 1S1763)を使用した。エサキダイオードのピーク電流値およびピーク電圧値は、それぞれ6.0 mA、85 mV である。また、線路インダクタおよび線路容量にはそれぞれ、1.0 μ H のインダクタ(TDK SP0508)、470 pF のコンデンサを使用した。線路抵抗には、1.0 Ω の抵抗(Tyco Electronics CFR25J)を用いた。これらの素子を用いてブレッドボード上に 36 ノード分の回路を作成した。図5に検証した外部同期系の構成図を示した。バイアス V_0 によってスイッチ線路には 1.2 MHz 程度を基本周波数とする振動エッジが生ずる。適宜調整した振幅・周波数をもつ正弦波源を接続し、外部同期の様子を見る。

広く知られるように横軸に外部発振器出力信号周波数、縦軸に外部発振器出力信号振幅をとり、同期の有無をプロットするとアーノルドの舌を得ることができる。図6は解析の結果を示す。基本波の自然周波数 1.2 MHz およびそのN倍波において、顕著な同期を見ることができる。

外部発振器信号振幅の増大とともに、分周波の生成が見取れた。Feigenbaum シナリオが確立しているように思われる。自己同期、相互同期、大域的同期いずれにおいても、それを実現する構成の考案、基礎的性質を明らかにする解析コードの開発を推進した。次年度以降に包括的な報告を行う予定である。

なお、繰り返しを避けるべく詳述は行わないが、外部同期に関しては、実験においても同様の帰結を得ている。



図5:検証した外部同期系

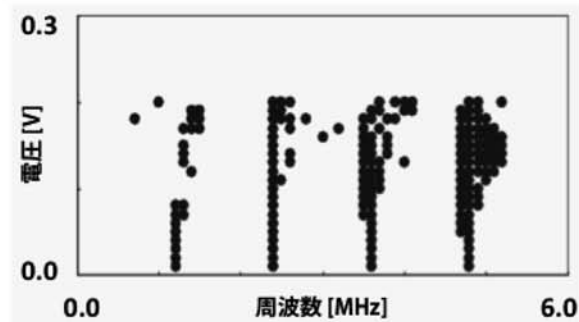


図6:アーノルドの舌

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究の実施によっては、振動子結合系の数理解理解によってこれまでに明らかになってきている様々な帰結（たとえば大域的周波数引き込み）を直接的に工学利用するプラットフォームを提供しうる。そして、例えば、共鳴トンネルダイオードプロセスによる試作の成功を通じては、全電気超高周波システム構築を展望する。将来的には、(1) 超高時間分解計測、(2) 高解像度電磁波イメージング、(3) 高ビ

ットレートパルス無線、(4) 超高速コンピューティングを実現するための要素技術の実現性が確保される。より現実的な課題を抽出するとともに、全電気テラヘルツシステムの提案という類例の乏しい価値を見いだすことが可能となる。一方、高機能化の議論をすすめることによって、検討する非線形波動の工学利用の裾野を拡大することができる。

[4] 成果資料

【1】 "Characterization of two-dimensional transmission lines periodically loaded with electronic switches for generation of short

pulses," K. Narahara, Jpn. J. Appl. Phys. **49**, pp. 014101-014106 (2010).

【2】 "Dynamics of oscillating pulse edges in two-dimensional switch lines," K. Narahara, IEICE Electronics Express **7**, no. 4, pp. 314-319 (2010).

直列接続共鳴トンネル素子を用いた 高性能 THz 信号源の研究

[1] 組織

代表者：前澤 宏一

(富山大学大学院理工学研究部)

対応者：尾辻 泰一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

森 雅之 (富山大学大学院理工学研究部)

笠原 康司 (富山大学大学院理工学研究部)

中野 純 (富山大学大学院理工学研究部)

研究費：物件費 25 万円、旅費 25 万 5 千円

[2] 研究経過

共鳴トンネル素子は THz を超える高速性を持つ高周波デバイスであり、最近 THz 領域の信号源として注目を集めている。しかし、共鳴トンネル発振器にはスプリアス発振やバイアス不安定性という大きな問題があり、これまでその出力はマイクロワットレベルと非常に小さなものであった。我々はこの問題を抑制できる新しい構成の発振器を提案している。本応募課題の目的はこの提案を用いて高効率・高出力な THz 信号源を実現することにある。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、上記目的を達するため、発振器の構成に関する、より具体的な検討を行うとともに、実際に試作するために必要なプロセス技術の検討を行った。また、この過程において、実用上重要な負荷変動に強い発振器のアイデアを得、その可能性についても検討した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究目的で述べたように共鳴トンネル素子は THz 領域の発振が可能であるが、出力が非常に小さいという問題点があった。これは、トランジスタ発振回路と異なり、負性抵抗が直流から存在することに起因する。このため、電圧供給ラインの寄生インダクタによる低周波のスプリアス発振が生じやすく、これを抑えるために、負性コンダクタンスの小さな、小面積 (おおむね $1\mu\text{m}^2$ 以下) の共鳴トンネル素子

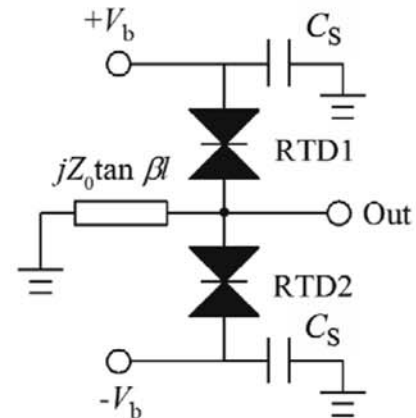


図 1 共鳴トンネルダイオードペア発振器の基本構成

を使う必要があった。この問題を解決するため、我々は新しい構成の共鳴トンネル発振回路を提案してきた。この構成は共鳴トンネルダイオードを二つ直列に接続し、その接続点に共振器を設けたものである (図 1)。これにより、共振点とバイアス点が分離でき、上記の問題を抑制することができる。この結果、共鳴トンネル素子の面積に対する厳しい制限が取り除かれ、大きな出力パワーが得られる。

まず、共鳴トンネル直列型発振器の 100GHz を超える周波数での動作実証を行うための予備検討を進めた。100GHz を超える周波数では、高周波プローブを用いた通常の電氣的測定が困難となる。このため、アンテナとの集積化を行い、シリコンボロメータを用いた測定を行うこととした。これを実現するため、東北大通研尾辻研究室に設置された THz 測定系を利用するために必要な設計条件について検討を行った。

次に、共鳴トンネル素子の作製プロセスの再検討を行った。これまで用いてきた、ウエットエッチングによるエアブリッジ配線プロセスでは、良好な特性を持つ共鳴トンネルダイオードを歩留まり良く作成することが困難であったためである。

また、共鳴トンネル発振器のもう一つの欠点であ

る負荷インピーダンスの変動に弱い点を改善する検討を行った。これは、共鳴トンネル素子が二端子素子であり、入出力分離が困難なことに起因する。通常、この問題を回避するためにアイソレータが用いられるが、ここで目的としている THz 領域では良好なアイソレータの実現が困難である。我々はこのに対して、三次高調波を用いた共鳴トンネルペア発振器について検討を行った。

なお、これらの検討のため、東北大において二回の研究打ち合わせを行った（平成 21 年 9 月、平成 22 年 3 月）。

[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。

①100GHz 以上の高周波発振の測定技術の検討

ボロメータを用いた超高周波発振確認のためのアンテナ内蔵型共鳴トンネル発振器の設計指針を明らかにした。

②共鳴トンネル素子の新規プロセスの提案とその効果の確認

歩留まり向上を目指し、従来のウエットエッチングによるエミッタ引き出し電極のエアブリッジ配線にかえて、絶縁膜によるサイドウォール構造を導入した。この結果、従来プロセスでは、30-40%程度であった素子歩留まりが90%以上に改善した。これにより、来年度の回路試作への準備が整った。

③三次高調波を用いた共鳴トンネルペア発振器の提案

共鳴トンネル発振器において問題となる、負荷インピーダンスによる発振周波数の変化を解決するために、図2に示すような、三次高調波発振器を提案した。

この構造は、3つの共鳴トンネルペア発振器を common resonator でリング状に接続したもので、さらにその出力を合成する power combiner を設けている。ここで、3つの発振器が三相の発振を行うと、power combiner の接続点は基本波と二次高調波に対して仮想グラウンドとして働き、出力には三次及び、その整数倍の高調波のみが現れる。

我々は、現実的なデバイスパラメータを用いたシミュレーションを行い、系が広い条件で三相発振を示すこと、及び、三次高調波出力が得られることを確認した。(図3に三相発振波形、出力波形の例を

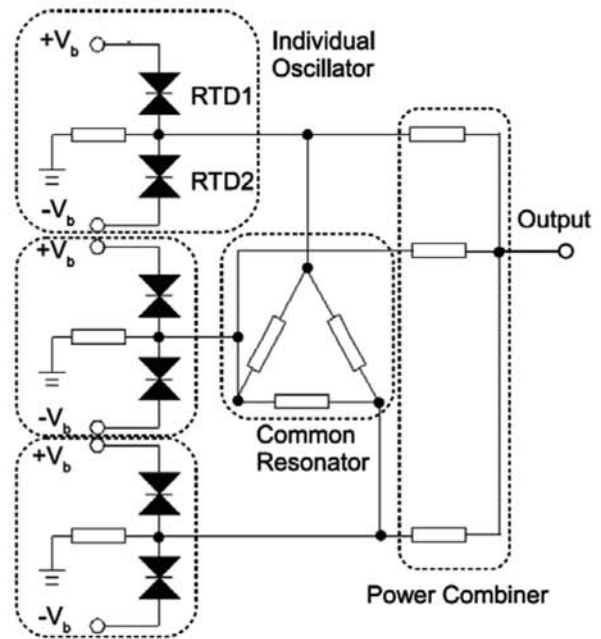


図2 共鳴トンネルダイオードペアを用いた三次高調波発振器の基本構造図

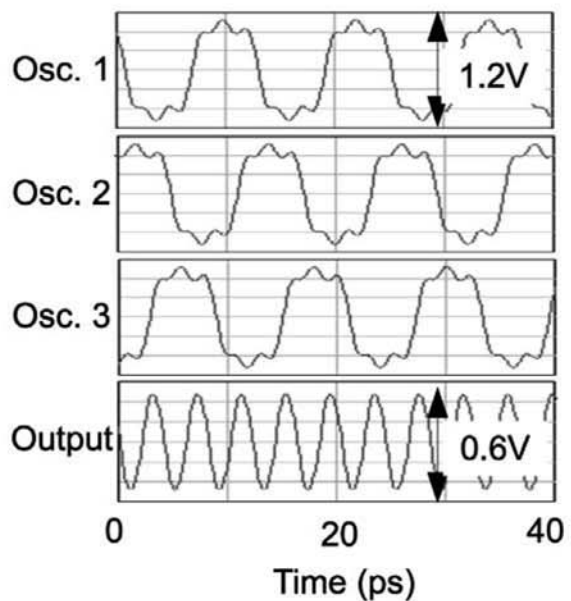


図3 それぞれの共鳴トンネルダイオードペア発振器の発振波形と、出力波形

示す。) さらに、負荷インピーダンスを変化させたシミュレーションを行い、出力周波数が出力インピーダンスによらず、安定した発振が可能なることも確認した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本年度は、プロジェクト初年度として、今後の実験的検証の基盤となるプロセス検討を行うとともに

三次高調波発振器の可能性を示した。

本提案は、最近関心が高まっている THz 波 (100GHz-10THz)の信号源として有望であり、THz 波の応用範囲を大きく拡大する可能性を秘めている。

[4] 成果資料

- [1] K. Maezawa, T. Ohe, K. Kasahara, M. Mori, "A third harmonic oscillator using coupled RTD pair oscillators," Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM2009) Nagano, Japan, Aug. 26-28 (2009).
- [2] K. Kasahara, T. Ohe, M. Mori, K. Maezawa, "RF small signal characterization of active transmission lines loaded by InGaAs/AlAs resonant tunneling diodes," International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2009), Sendai, Japan, Oct. 7-9 (2009).
- [3] K. Maezawa, N. Kamegai, S. Kishimoto, T. Mizutani, and K. Akamatsu, "Improved Bias Stability of the Resonant Tunneling Diode Pair Oscillators Integrated on an AlN Ceramic Substrate," Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 04C084.
- [4] K. Maezawa, T. Sakamoto, K. Kasahara, M. Mori, "Possibility of Terahertz Amplification by Active Transmission Lines Loaded with Resonant Tunneling Diode Pairs," Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 124503.

採択番号 H 2 1 / A 0 9

様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発

[1] 組織

代表者：佐藤 洋

(独) 産業技術総合研究所

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

坂本修一 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 24 万円，旅費 14 万 5 千円

[2] 研究経過

様々な音環境下における音声聴取能力の計測方法の開発は、近年ますますその重要性を増している。その背景を以下に述べる。現代社会は高齢化が進み、加齢による聴力損失を伴った人々が増加しているため、また、ハートビル法などに代表されるように、障害者が社会的に自立して公共施設を利用できるようなインフラの整備が進められようとしている。このように、生活環境から高齢者や障害者を排除しないためには、ヒトとヒト、またはヒトと空間や設備を利用する際のインターフェースとしての音声によるコミュニケーションシステムが十分機能し、ヒトと生活環境を調和させ、生活環境を構成する様々な製品、設備、及び施設の利便性が向上していくことが望ましい。ところが、これまで案内放送や会話などの音声情報の聴き取りに関して、日常生活環境において個人あるいは補聴器等のデバイスを装着している受聴者の音声の聴きとり能力を定量的に評価する方法がなかったため、確保すべき品質や、想定すべきユーザー像が明確に示されていなかった。

そこで、本プロジェクトでは、簡易的に音声聴取能力を計測するシステムを開発することを目的として研究を開始した。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。本年度は、本プロジェクトに基盤を構築するため音声聴取成績の測定システムの開発およびそれを用いた実験的研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

第1回打ち合わせは5/27、28に行った。その際は過去に行った単語了解度試験の手法や得られた結果の精度を元にして、短時間でより精度よく音声聴取能力を測定する際に考慮すべき課題を議論し、提

示した単語を選択肢の中から回答させる選択方式が実験参加者の負担も少なく適切であるという結論を得た。その結論にしたがって、選択肢として使用すべき単語が具備すべき要件の検討を開始した。

第2回打ち合わせは7/14に行った。その際にはこれまでの検討結果から、正解となる単語に対し親密度が同程度で、かつ、音韻的に近い単語を選定すべきとの結論が得られ、それにしたがって実際に単語を選定した。さらに、測定システムを構成するソフトウェアの開発を行った。これまでの議論をまとめ、分担者の坂本が登壇し、「音場適用を考慮した簡易型単語了解度測定法の提案」の発表を日本音響学会2009年秋季研究発表会において行った。また、この発表に先立って、佐藤は開発中の試験法の必要性を示すための客観データをまとめた発表を招待講演として行った。

その後、開発したシステムを利用して産業技術総合研究所において計測を行った。

第3回打ち合わせは2/2に行った。その際には、計測システムを構成する可搬型装置の構成及び計測結果のまとめ方に関する議論を計測の途中経過をみながら行った。

第4回打ち合わせは3/12、13に研究会として行った。その際には使用している単語データベースの共同作者である、NTT基礎研の天野成昭博士、近藤公久博士を招き、両氏の本課題に関連の深い研究成果を発表していただいた。また、効率的なデータ収集手法、データのまとめ方に関する議論、および、効果的な成果の発信について議論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究の成果

1) 成果の概要

本研究は、音声聴取能力測定のための、①試験用音声の作成、②代表的な音環境の作成、③測定手順の開発、④測定用ソフトウェアの開発、⑤測定機器の選定と作成、⑥測定システム検証のための被験者実験、の6つの項目からなる。本年度の成果それぞれの項目について記す。

①対応教員がこれまで研究対象としてきた単語を用いた音源を用いて、短時間測定を行うための単語の選択を行った。その上で、聴き取り間違いをおこし

た場合を想定した選択肢を作成した。

②音声聴取に対する妨害量が大い音声スペクトルを持つ騒音を用いて測定手法の開発を行った。

③および④ 測定手順及び実現するためのソフトウェアを開発した。

⑤現在所有する機器を用いてソフトウェアの開発と実験を行った。

⑥高齢者と若齢者それぞれ 20 名程度を用いた騒音下での音声聴取実験を産業技術総合研究所で試験的に行った。提案方式と通常方式の大きな違いは回答方法と所要時間にある。提案方式の回答方法は画面に提示された 6 つの単語から聞こえた単語を選択する方法であり、通常方式は書き取る方法による。提案方式は 10 分程度で図のプロットを得ることができ、通常方式で同じ測定点数を得るために要する 1/3 から 1/5 の所要時間で測定が終了する。図 1 に開発した測定システムのユーザーインターフェースを示す。



図 1 開発システムのユーザーインターフェース

2) 開発手法の基本概念

本測定手法では、単語了解度を以下のような近似で表現し、実際の聴取実験により得られたデータに基づいて、近似された値を算出することを考えた。

単語了解度は S/N が向上するにつれて上昇し、累積正規分布関数やロジスティック関数といった心理測定関数で近似することが出来る。ここで、50%聴取域値は Speech Reception Threshold (SRT) と呼ばれる。

本測定手法では、この心理測定関数における最大単語了解度、SRT、SRT での心理測定関数の傾きというの 3 つのパラメータで心理測定関数を近似することを考え、これら 3 つのパラメータが短時間で取得できるように聴取実験によりデータを取得する。

これまでの研究により、加齢に伴う単語了解度の変化が、先に示した 3 つのパラメータで近似可能であり、かつ、そのパラメータは平均聴力レベルから算出できるという結果が得られている。また、心理

測定関数の傾きは平均的には被験者の聴力とは無関係であることがわかっている。したがって、今回提案するような手法のように、これらのパラメータを短時間で推定することで、聴取者個人の音声聴取能力を正しく測定できると考えている。

今回構築したシステムでは、親密度別単語了解度試験用音声データセット 2007 (FW07) に収録された単語群のうち、高親密度単語を提示した。音声提示された後に実験参加者には、「提示された単語」、「一子音のみが異なる単語」「母音列は同じであるが子音が全く異なる単語」「母音子音ともに全く異なる単語 (3 単語)」の 4 種の単語を文字で表示し、その中から実際に聴取したと思う単語を選択させた。これら 4 種の単語については、単語間の親密度の差がないように選定した。

音場での音声聴取能力測定を考慮するため、スピーカを用いて刺激音を提示することとした。スピーカは聴取者に対し正面になるように設置し、校正用刺激により、各種ノイズ、刺激音声のレベルを頭部中心の位置で校正する。

3) 開発手法による計測結果と従来法との比較

前にも述べたように開発手法は短時間で測定できることおよび分析時間がかからず、即時に結果が出ることが特徴である。そこで従来法との測定結果を比較し、提案法の妥当性を検証する。

まず図 2 において 20 名の若齢健常者を用いて測定した結果を示す。図 2a は従来法により測定した結果であり、被験者 1 名あたりの使用単語数は 140 単語、また、測定所要時間は 20-25 分であった。その後得点を算出するための手続きに 10 分程度要したため、30-35 分程度の所要時間であった。図 2b は提案手法により測定した結果である。被験者 1 名あたりの使用単語数は 40 単語、測定終了直後に結果が提示されるため、被験者属性等の調査を含めても 10 分程度で全て測定が終了する。図 2 による比較により、従来法の測定のばらつきは小さく、提案法はばらつきが大きいことがわかる。ただし、従来法の曲線の傾きが大きいため、得点が 50% 程度の条件での標準偏差は両手法とも 10% 程度であり、同等である。最高得点に達した部分の得点に関しては従来法の標準偏差が 1% 程度であるのに対し、提案法は 4% 程度となる。選択肢選択に由来するばらつきなのか被験者の態度で統制できるばらつきなのかについて検証が必要である。曲線の傾きについては従来法は急峻でばらつきが小さく、提案法による結果は緩やかでばらつきが比較的大きい。図 3 に高齢者 24 名を用いて測定した結果を示す。若齢者と比較すると聴力像のバリエーションが大きいことからばら

つきが大きい。50%点近傍のばらつきは従来法が14%程度であるのに対し提案法は20%程度となる。しかし、それぞれの曲線の対応はおおよそ一致しているように見える。以上のように単語数が少ないことと選択技法を用いることによる測定のばらつきが生じる。しかし、曲線の傾向が一定であることから提案法から従来法への値の変換が必要な場合には容易に変換できると考えられ、今後その変換（推定）精度を検証する予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究の成果として、音声聴取能力の測定に適用できる「様々な音環境のシミュレーション装置」、「音声聴取能力試験用音声試料」、「音声聴取能力試験装置（ソフトウェア）」が開発される予定である。個々の成果物に関する基本技術は申請者及び対応教員がすでに保持しており、両者の共同作業により、上記の成果が実現できると予想している。

本研究が実現することにより、聴覚情報環境のユニバーサル化を促進するツールとなり、質的により豊かな音声コミュニケーションの実現により、特に高齢者・聴覚障害者のQoL(Quality of Life)の向上を

促進することができる。

本プロジェクトは、東北大学-産業技術総合研究所包括協定における研究プログラムとして開始され、現在に至る。またこの枠を超えた学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。本研究の成果は日本音響学会における音バリアフリー研究調査委員会でも報告されており、本研究のエッセンスをこの委員会で大規模に計測することに発展した。本プロジェクトによって開発される予定の音声聴取能力測定システムは、短時間で容易に音声聴取能力の測定が行えることから、幅広い応用が期待され、新たな実用的聴覚測定手段として今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

(1) 坂本修一, 佐藤洋, 鈴木陽一, “音場適用を考慮した簡易型単語了解度測定法の提案,” 日本音響学会講演論文集, 3-10-11 (2009 年秋)

(2) 佐藤洋, “空間の音声伝送性能と聴取者の音声聴取能力の関わり,” 日本音響学会講演論文集, 3-10-9 (2009 年秋, 招待講演)

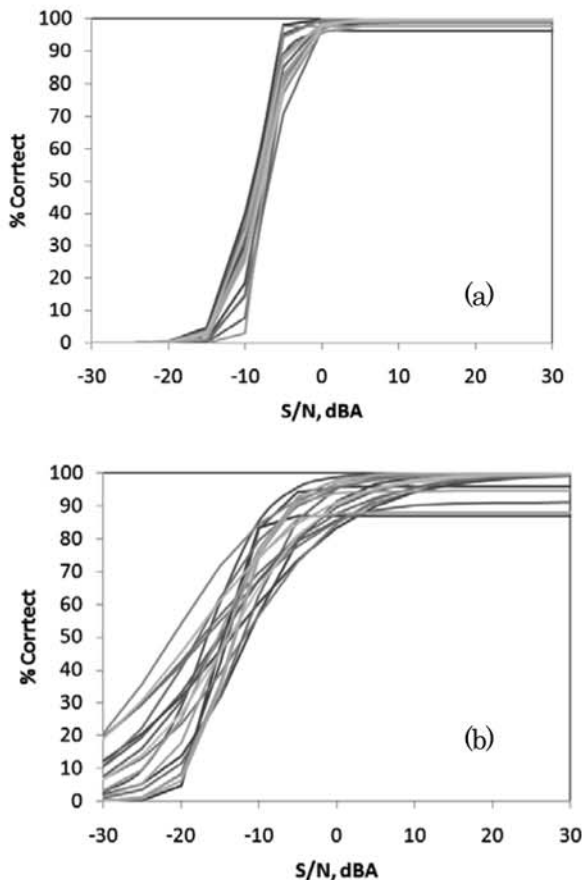


図2 若齢健常者20名による単語了解度計測結果。上図(a)は従来法による結果, 下図(b)は提案法による結果。

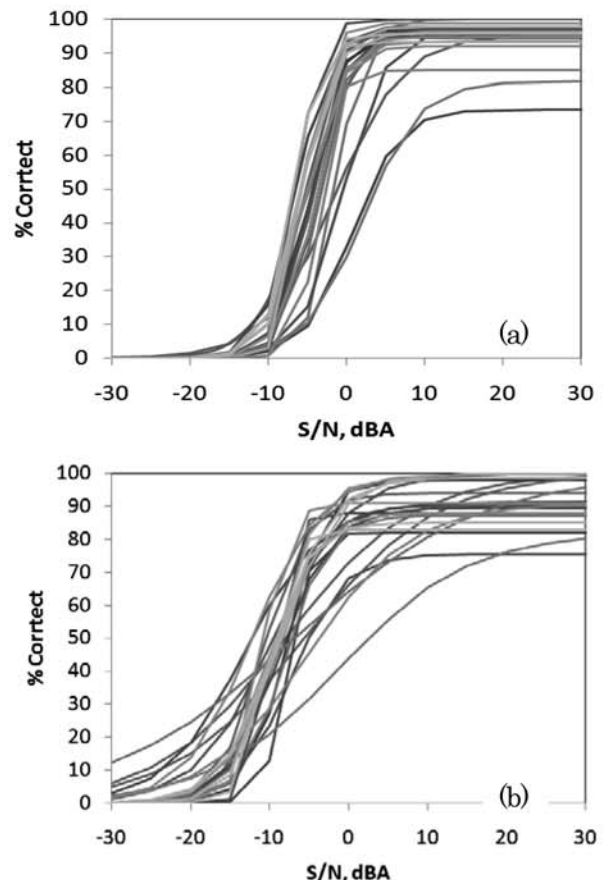


図3 高齢者20名による単語了解度計測結果。上図(a)は従来法による結果, 下図(b)は提案法による結果。

採択番号 H21/A10

3次元音響空間におけるコミュニケーションの 高度化に関する研究

[1] 組織

代表者：近藤 和弘

(山形大学大学院理工学研究科)

対応者：岩谷 幸雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

矢入 聡 (仙台高等専門学校)

三浦 正範 (山形大学大学院理工学研究科)

科)

研究費：物件費18万5千円，旅費9万8千円

[2] 研究経過

本研究では、遠隔コミュニケーションにおける音空間の3次元化がもたらす高臨場感知覚への効果とそれを実現するためのシステム全体の仕様を明らかにすることで、音声を中心とした次世代マルチメディア・コミュニケーション環境の設計指針を図る。

高い臨場感を備えた遠隔コミュニケーション・システムでは、参加する人間同士があたかもその場を共有している感覚が必要になるが、これがコミュニケーションを活性化、円滑にするか明らかになっていない。例えば音声のみを用いたコミュニケーションでも各発話者の音像を水平面内で45°以上話せば-6 dBのSN比でも音声了解度が70%以下に低下しないことが分かっている。しかし遠隔コミュニケーション・システムとして本格活用するためには、さらに全体の遅延の影響、音声と映像の同期ならびに3次元空間内の相対配置、音像定位に用いる頭部伝達関数の精度の検討等、単に空間を提示するだけでなく、他の影響についても総合的に検討する必要がある。そこで本研究ではこれらの実際システムを構築する上で考えなければいけない要素を明らかにし、その影響を検討する。具体的には、コミュニケーション環境がどの程度高度化されたかを測定するために、音声了解度、没入感、臨場感など多面的な主観評価により検討する。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。本

年度は、この研究の足がかりをまず築くことを第1の目的とし、基本的なデータの取得とその活用を心がけた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) まず電気通信研究所内の設備を用いて、山形大学所属教員および学生6名分の個人頭部伝達関数の測定を行った。この測定では電気通信研究所内の大型無響室内に設置したスピーカーアレイより発生される試験音を各個人の外耳道入口に埋め込んだマイクで集音した。試験音は被験者を中心とする球面上を一定間隔でカバーする全ての点から発生し、集音する必要がある。このため、1名あたり2時間以上の測定時間が必要であり、かなり大規模な集音・測定となった。

(2) (1)で述べた個人頭部伝達関数とは別に、電気通信研究所 電気通信研究所所有マネキン(高研社製 SAMRAI)の頭部伝達関数の提供を受けた。このデータは後に各個人の頭部伝達関数を用いた場合の性能との比較に用いる。

(3) 同じく SAMRAI マネキンを用いて頭部伝達関数がたまたみこまれた試験音の集音も行った。まずは自動車内の集音を試みた。SAMRAI を試験車内に設置し、SAMRAI の外耳道に小型コンデンサマイクを設置し、試験車天井に配置したスピーカーより試験音を再生し、集音した。

(4) 測定した個人頭部伝達関数を用いて、試験音声を正面に音像定位し、妨害音を水平面上の任意の角度に定位し、音声了解度を測定した。また同じ測定をマネキンの頭部伝達関数を用いて行い、了解度を比較した。

(5) マネキンの頭部伝達関数を用いて、妨害音を水平面上のみではなく、上方および下方の仰角に定位させた場合の了解度を比較した。

以上の成果の一部は通研国際シンポジウムとして開催された(International Workshop on Principles and Applications of Spatial Hearing)にて発表し、電気通信研究所の方々の他、国内外の専門家の意見を伺った。

[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。

まず試験音声と妨害音とを頭部伝達関数をたたみ込み、別の場所に定位指させた場合の音声了解度を測定した。実験には、複数の頭部伝達関数のセットを用いた。

試験音声は、正面に定位させ、妨害音は水平面上の任意角度に定位させた場合の音声了解度を比較した。頭部伝達関数は各個人ごとに測定したものの (Individual HRTF) とマネキンを用いたもの (KEMAR HRTF) の 2 種類を用いて比較した。これらの伝達関数を試験音にたたみこみ、水平面上の任意方位角に定位させた。また実際スピーカーを定位位置に設置し、この位置から試験音声および妨害音を発生した場合の了解度も比較した (Real Sources)。試験音と妨害音の SNR は頭部中心で -12 dB とした。被験者数は健聴者 5 名であった。音声了解度は二者択一型の単語対を用いた試験 (Diagnostic Rhyme Test, DRT) であり、60 単語対について正答率を測定して、了解度を求めた。これを図 1 に示す。横軸は妨害音の水平面上の定位角度であり、縦軸は音声了解度である。

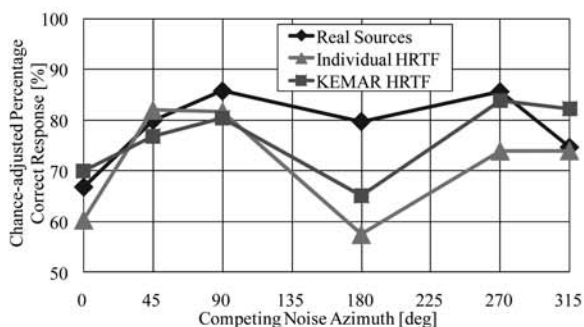


図1 各頭部伝達関数を用いて音像定位した音声と妨害音の音声了解度比較

分散分析の結果、個人およびマネキンの頭部伝達関数を用いて定位した音声了解度は、スピーカーから発生した音声了解度より有意に低いことが分かった。ただし、この結果は妨害音が真後ろ(180°)にある時のみ顕著であり、他の方位角では大きな差は見られない。また個人の頭部伝達関数を用いた方が、マネキンよりも若干了解度は高いものの、その差はわずかであり、各個人の伝達関数を測定するコストを正当化するほどの差ではないことが分かった。

次に妨害音に仰角を与えた場合の音声了解度を比較した。実験条件は前記とほぼ同様であるが、頭部伝達関数はマネキンのもののみを用いた。試験音は全て正面に定位した。妨害音は方位角は 0, ±60, および 180°, 仰角は 0 および ±60° のいずれかの位置に定位した。この結果を図 2 に示す。横軸は妨害

音の水平面上の定位角度、縦軸は音声了解度である。被験者数は健聴者 6 名とした。実線は試験音声対妨害音の音圧比が -6 dB、破線は -12 dB の結果である。

この結果から、同じ SNR (実線どおし、破線どおし) であれば、了解度にほとんど差がないことが分かる。すなわち仰角はほとんど了解度に影響がないことが分かった。試験音は正面に定位しているため、同じ方位角であれば、妨害音に仰角を与えて定位すれば、試験音と距離が離れるため、了解度が向上することが期待された。しかし、図 2 の結果より仰角を用いて試験音との距離を延ばしても了解度向上が期待できなかったことが分かった。

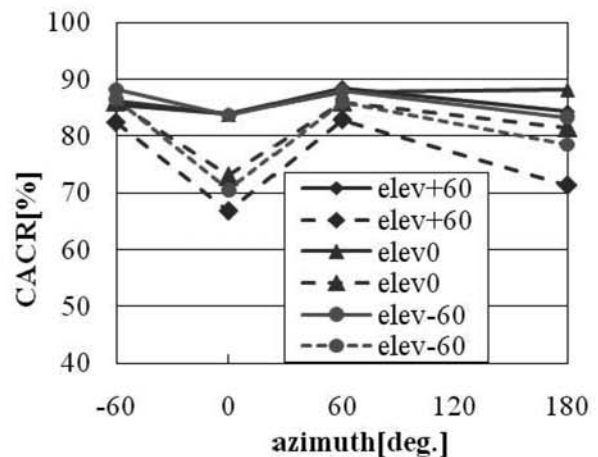


図2 妨害音の仰角ごとの水平角度による音声了解度の変化

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果の一部は学生 2 名の国際学会発表 (International Workshop on Principles and Applications of Spatial Hearing) につながっており、また彼らがその分野のトップの国外専門家と交流するきっかけとなり、大変に有意義となった。また、この学会で得たコメントを通して未検討であった問題の発掘や、本プロジェクト研究の新しい発展につながっている。

また、本プロジェクトを通じて球状スピーカーアレイを用いた全方向の頭部伝達関数測定を行うことができ、その際参加した学生に他に類のない設備を使った音響実験を行う機会を与えることができた。

本年度の結果から、頭部伝達関数を合成して定位させた音声を用いた音響会議システムでは、音声了解度という観点では、頭部伝達関数に種類に関してロバストであることが分かった。これは標準的なマネキンの頭部伝達関数を用いても了解度の高いシステムが実現できる可能性が示唆されたことを意味する。しかし、そこで得られる臨場感や全体の音空間の印象についてはさらに調べていく必要がある。

[4] 成果資料

(1) Kazuhiro Kondo, Takahito Chiba, Yuichiro Kitashima and Noriyasu Yano, "Intelligibility Comparison of Japanese Speech with Competing Noise Spatialized in Real and Virtual Acoustic Environments," *Acoustical Science & Technology*, vol. 31 (2010) (in print)

(2) 小林洋介, 井上脩平, 近藤和弘, 中川清司, “仮想3次元音響空間における競合立体妨害音の仰角が日本語音声了解度に与える影響,” 日本音響学会 2010 年春季研究発表会, 3-P-24 (2010.3).

(3) 小林洋介, 近藤和弘, 中川清司, “音声認識システムによる音声了解度推定のための音響モデル適応方法の検討,” 平成 21 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, B-2-1 (2010.3)

(4) 神田敬幸, 近藤和弘, 小林洋介, 中川清司, 柳生寛幸, 岩谷幸雄, “空気伝導と骨伝導ヘッドホンを用いた空間定位音声了解度の比較,” 平成 21 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, B-2-3 (2010.3)

(5) 井上脩平, 近藤和弘, 小林洋介, 中川清司, 岩谷幸雄, “仮想音響空間内の妨害雑音の仰角が音声了解度に及ぼす影響,” 平成 21 年度第 6 回情報処理学会東北支部研究会, B-2-4 (2010.3)

(6) Yosuke Kobayashi, Kazuhiro Kondo, and Kiyoshi Nakagawa, "Influence of Various Stereo Coding Modes on Encoded Japanese Speech Intelligibility with Competing Noise," *Proc. International Workshop on the Principles and Applications of Spatial Hearing (IWPASH)*, Miyagi, Japan (2009.11)

(7) Takayuki Kanda, Hiroyuki Yagyū, Yosuke Kobayashi, Kazuhiro Kondo, and Kiyoshi Nakagawa, "Comparison of Localized Speech Intelligibility with Competing Noise Using Regular and Bone-Conduction Stereo Headphones," *Proc. International Workshop on the Principles and Applications of Spatial Hearing (IWPASH)*, Miyagi, Japan (2009.11)

(8) 小林洋介, 近藤和弘, 中川清司, “HE-AAC におけるステレオ符号化方式が日本語音声了解度に与える影響,” 日本音響学会 2009 年秋季研究発表会, 3-Q-28, pp. 803-806 (2009.9).

(9) 柳生寛幸, 矢野式安, 近藤和弘, “骨伝導音の空間音像定位精度および音声了解度の特性,” 日本音響学会 2009 年秋季研究発表会, 3-Q-30, pp. 811-814 (2009.9)

(10) 齋藤直, 近藤和弘, 中川清司, 高野勝美, “実空間における音声了解度への頭部運動の影響,” 日

本音響学会 2009 年秋季研究発表会, 3-Q-29, pp. 807-810 (2009.9)

(11) Masanori Miura, Yuki Fukazawa, Kazuhiro Kondo, and Hideharu Isaka, "Towards Reliable Articulation Evaluation Inside Automobiles Using Binaural Mannequins," *Proc. 38th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (Internoise)*, Ottawa, Canada (2009.8)

(12) Yosuke Kobayashi, Kazuhiro Kondo and Kiyoshi Nakagawa, "Intelligibility of Low Bit Rate MPEG-Coded Japanese Speech in Virtual 3D Audio Space," *Proc. 15th International Conference on Auditory Display*, pp. 99-102, Copenhagen, Denmark (2009.5)

採択番号 H 2 1 / A 1 1

視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究

[1] 組織

代表者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

内川恵二(東京工業大学)

酒井 宏(筑波大学)

小川 正(京都大学)

川上 進(東北大学)

村上郁也(東京大学)

宇賀貴紀(順天堂大学)

河原純一郎(産業技術総合研究所)

西田眞也(NTTコミュニケーション科学基礎研究所)

一川 誠(千葉大学)

石井雅博(富山大学)

栗木一郎(東北大学)

松宮一道(東北大学)

研究費：物件費 24 万 1 千円，旅費 36 万 7 千円

[2] 研究経過

人間生活にとって、感覚、知覚、認識機能は生物学的意味でも、社会学的意味でももっとも重要な機能のひとつである。しかしその研究は、多種の分野にまたがり、成果も断片的、限局的なものが多い。本プロジェクトでは、視覚研究に注目し、分散した多くの知見を総合し、モデル化を実現するための協調的システムの実現を目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であったが、前年度までのプロジェクト「視覚情報の脳内表現に関する研究」で得られた知見に基づいている。そのプロジェクトでは、脳内の視覚情報処理機構の理解には、視覚のモデル化が重要であり、特に共通基盤として利用できるモデル構築の必要性が認識された。そこで、本プロジェクトは、一般性、汎用性、および公開性の高いモデル構築について検討した。

平成21年7月21ー7月23日

2009年日本視覚学会夏季大会にて研究打ち合わせ
研究代表者、塩入および分担者小川が、研究テーマとその進め方について意見交換、議論した。

平成21年11月24日ー25日

研究打ち合わせ
研究分担者、村上、小川、酒井、石井、宇賀、西田、川上が来所し、運動視、面の知覚、視覚的注意、受容野の理解、刺激への応答、判断の神経機構など視覚機能、視覚実験の各レベルの処理、および研究成果の散逸を防ぐ試みや共通モデルを構築する環境について議論した。

平成22年1月21日ー1月22日

2010年日本視覚学会冬季大会にて研究打ち合わせ
研究代表者、塩入および分担者西田が共通モデルのプラットフォームについて議論した。

平成21年3月1日

研究打ち合わせ
研究分担者、河原が来所し、注意の瞬き処理のモデルについての意見交換、モデル化に関する議論を行った。

平成21年3月19日

インターネット研究会
多くの視覚研究者の間の情報交換を通して、共通モデル構築のための知見を集めるために、web を利用した研究会を発足し、第1回目を行った。今後も定期的に継続する予定である。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、視覚処理の階層的構造の理解のために、初期視覚の諸特性の研究、注意処理の研究、判断の神経基盤の研究など、異なるレベルの処理の中からいくつかのトピックについて、各参加者の最近の研究を中心に議論した。以下に検討内容を示す。

運動視には周辺の運動信号に影響されて、見え方が異なる現象が知られている。周辺と逆の運動成分

が知覚さえるのが運動対比，同方向であれば同化である。一般的にその処理機構は初期視覚の中でも比較的低次の神経機構であると考えられているが，村上らは必ずしもそうでないことを示した。動きが知覚されるか否かは，むしろ最終的な動きの判断に近いレベルの処理である可能性は，視覚モデルにおける出力の取り扱いに対する位置づけとしても重要である。

酒井らは，輪郭線の抽出から，面を判断し，さらに物体表象の中心軸を求める視覚処理モデルを構築した。このモデルは，神経細胞の応答特性と人間の心理物理学的知見の特性の両方を兼ね備えた点で，ユニークであり，視覚モデルのあり方のひとつの典型としての意義を認識した。一方，中心軸表現など高次の機能については，研究の初期段階であり，視覚モデルとして妥当性は今後の課題であろう。このように，モデル研究は一般的に，新しい領域への挑戦でもあるので，共通モデルの構築という目標とは一致しない点もある点は重要である。

視覚的注意のモデルの評価には，視線位置分布が利用されることが多い。しかし，視線分布には無視できない個人差があることから，多くの被験者の平均的特性を見る必要がある。そのために必要な被験者数については，データ収集を通してしか判断することはできない。石井らはこの点に注目し，注視点分布の一致性の評価を行い，必要な一致度を得るための被験者数の評価ができることを示した。注意のモデルに限らず視覚モデルでは，個人差の扱いは重要である。初期視覚の諸特性は比較的個人差は小さいことから，例えば20名程度の平均で代表することもできるが，より高次の処理ではより多くの被験者が必要であると予想され，その基準についての検討が必要不可欠であるとの認識にいたった。

視覚実験では同じ刺激に対して被験者の応答が異なることが頻繁にある。それは求められる応答の判断に対する神経機構の不安定性（確率的ゆらぎ）のせいであると考えられるが，そのような問題も動物実験によって電気生理学的に調べるのが可能になりつつある。小川らは，課題を学習する過程での誤りと神経応答の関連から，判断に関わる神経機構の特性を評価できることを示した。

同一の視覚刺激に対して，異なる課題を与えられた場合にも，我々は課題を遂行することができる。そのためには，同じ刺激に感度を持ち，異なる役割を果たす神経機構が必要となる。宇賀らは，MTの細胞の調査から，霊長類の視覚は，異なる課題を遂行するために，異なる細胞群の応答を読み取っていることを示した。MTなどの視覚処理系自体は課題

に依存した変調を受けるというより，それらの応答を監視する高次の処理過程によって，課題に依存した応答を可能とすると考えられる。これは，課題に伴う応答の変化は，初期，中期の視覚モデルの機能として考える必要がないことを意味する。

注意の瞬きに関連する現象に lag-1 sparing とよばれる現象がある。これは標的刺激の処理をした直後に他の刺激に注意を向けられない現象（注意の瞬き）の例外であり，標的刺激の直後はそのさらに後の刺激よりも，検出が容易であるというものである。河原らは，この現象に関する2種類のモデルに関する論争を経て，注意の瞬きが注意の構えの保持に関わる現象であることを明らかにした。注意機構のモデル化は，このような論争にも有益である可能性を確認した。

以上の具体的な研究に加えて，視覚モデルとしての視覚注意モデルの検討，汎用性の高い環境として，データフロープログラミングの利用，研究情報の共有を目指す他機関のシステムの動向や問題点についても議論した。

（3-2）波及効果と発展性など

本年度の研究から，共通基盤としての視覚モデル構築にあたっての問題点を把握できた。現状でそのカバーすべき範囲は，初期，中期視覚処理過程で，応答の判断や課題の理解には関連しない領域，また個人差の影響が比較的小さい機能を想定することが重要であることを認識した。モデル環境としてはデータフロープログラミングの要素のように，視覚機能をブロック化できるものが適当であり，今後具体的なモデルを構築しながら検討を進める。

本研究の目的は，新規な分野に挑戦することではなく，既存の分野の知見を十分利用できるようなするためのシステムを構築することにある。それが実点すれば，基礎研究のみならず映像評価など画像工学一般に大きく貢献できる。その実現のためには，プロジェクトの構成員に限らずより広く，多くの研究者による議論を活性化する必要がある。今後は，今年度開始したインターネットによる研究会を通して，共通視覚モデルの構築に必要な情報や利用方法などについて検討を続ける予定である。本研究活動はその結果のみならず，過程において研究者ネットワークの拡大，若手研究者の育成，他分野への応用的展開など多くの発展が期待できる。

〔4〕成果資料

本プロジェクトは，研究環境の構築を目指すもので，短期的に公表する研究成果はない。

採択番号 H 2 1 / A 1 2

シナリオ・ツー・アニメ技術に関する研究

[1] 組織

代表者：青木 輝勝
(東北大学電気通信研究所)

対応者：
青木 輝勝
沼澤 潤二
(東北大学電気通信研究所)

分担者：安田 浩 (東京電機大学)
工藤 浩輔 (東京電機大学)
佐藤 薫生 ((株) ビッグタウンズ)
坂本 琢也 ((株) ビッグタウンズ)
井上 雅春 ((株) ビッグタウンズ)
能代 明子 ((株) ビッグタウンズ)

研究費：旅費 29 万 1 千円

[2] 研究経過

本共同研究では、研究代表者らが研究開発中の STA(Scenario To Anime)システムである DMD2.0 (Digital Movie Director) のサーバクライアント化を実現するとともに、このシステムを基盤とした複数ユーザによる共創制作実験を通じて、ネットワーク上の共創効果について検討することを目的とする。このための研究打合せを年 1 回、実証実験を 1 回開催した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

第 1 回研究打ち合わせ (2 月 9 日～2 月 10 日)

実証実験の詳細とスケジュール

第 2 回研究打ち合わせ (3 月 14 日～3 月 15 日)

実証実験の実施とデータ解析

[3] 成果

(3-1) 研究成果

これまでの DMD2.0 システムの研究成果を基礎として、Animepedia システムを構築し、この

Animepedia 上での実証実験を行うこととした。

Animepedia とは、アニメコンテンツによって個々の項目 (アイテム) を説明するインターネット上の百科事典であり、この Animepedia をインターネット上で公開することを最終目的としたシステムである。Animepedia は、オンライン百科事典として広く利用されている Wikipedia のいわばアニメ版と言えるものであり、物理的に離れた複数のユーザがインターネット上での共創制作を通じてある項目の説明用アニメコンテンツを創生し、編集し、公開するものである。

このようなシステムが実現できれば、文章よりもアニメに親しみを持つ 3 歳～10 歳位の児童達に対し、受信型教育 (ある事柄を調べる) において大きな教育効果を発揮するのみならず、発信型教育 (自ら新たな項目について説明用アニメコンテンツを作る) を実現できるという点からも意義の高いものである。

また、教育用途のみならず、これまで実現が困難であった「アニメコンテンツの共創制作」を実現するものであることから、アマ・プロ問わずコンテンツ制作分野に大きな影響を与えるものである。

さらに、本システムによって作られた各項目毎の説明用アニメコンテンツはセリフ情報に自動翻訳処理を施すことにより、容易に外国語版に変換することが可能である。したがって、早期にこの課題に取り組むことにより、本分野において世界的にデファクト標準化できる可能性が高い。すでに商用アニメーションはジャパニメーションとして世界中から高い評価を得ているが、今後、Web2.0/3.0 時代において CGM/UGC(Consumer Generated Media / User Generated Content)コンテンツの増加が予想される中、現在、文章が中心の CGM/UGC コンテンツの発展形として CGM/UGC アニメーション分野、共創型アニメーション分野を開拓することにより、本分野で世界をリードすることはコンテンツ立国を踏まえた日本の国策・国益を考えた上で極めて重要である。

(1)実験方法

図1のサーバクライアントシステムを構築し、実験を実施した。

図1に示す通り、ユーザは、

- (1)ログインする。
- (2)作品 N 個が推薦される。
- (3)それらを視聴する。
- (4)N 個の作品のうち気に入った1つを選び、その作品を更新する。
- (5)アップロードする。(2)に戻る。

を繰り返すことにより、アニメ辞書のアイテムを作ってゆくこととする。

また、具体的な実験条件として下記を設定する。

・制作時間

制作時間を 40 分とする。40 分を前半、後半 20 分ずつに分け、前半 20 分間は「ひな形作成時間」と位置づけ、ひとりで自由なテーマ (タイトル)のもと制作を行い、後半 20 分間は「共創時間」と位置づけ、上記(2)~(5)の繰り返しを行う。

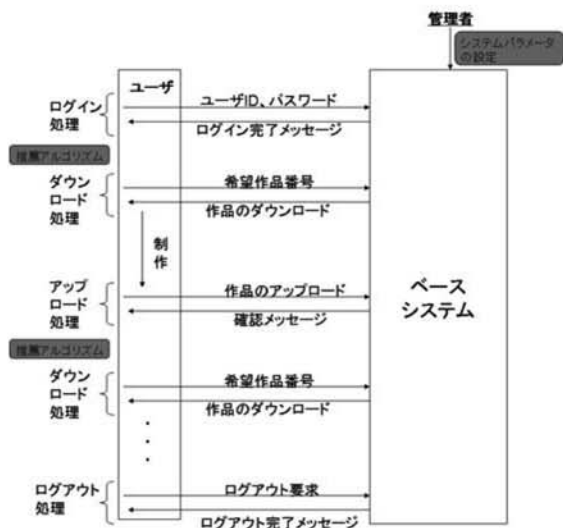


図1 試作システムの処理の流れ

・アイテムのテーマ

制作開始後前半 20 分間は自由とする。後半 20 分間は N 個のアイテムを視聴しそのうちのひとつを選択することになるので、選択した作品のテーマにあわせて制作を行う。

・アイテム間の距離 D

D=3,5,7,9 について実験を行う。具体的には 4 回

の実験のうち、1 回目は D=5、2 回目は D=9、3 回目は D=3、4 回目は D=7 として実験を実施する。

(2)実験結果の評価 (客観評価)

本実証実験では、

- (1)一定時間における作品数
- (2)一定時間における作品履歴ツリーの幅
- (3)一定時間における作品履歴ツリーの深さ

を作品履歴ツリー上の距離 D をパラメータとして評価することを目的としている。

そこで、作品履歴ツリーを解析し、上記(1)に関する結果を図2に、上記(2)に関する結果を図3に、上記(3)に関する結果を図4に示す。

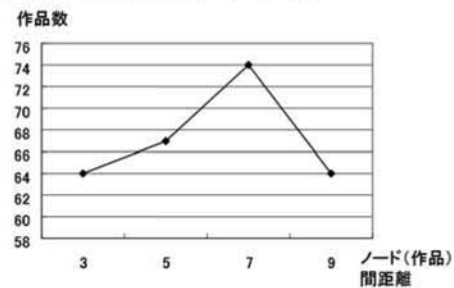


図2 生成されたノード数

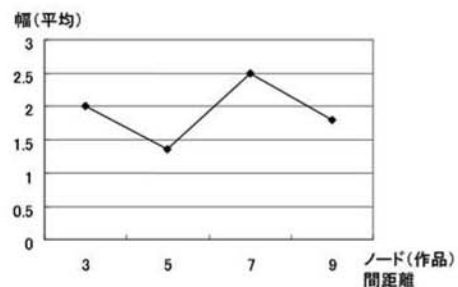


図3 履歴ツリーの幅 (平均値)

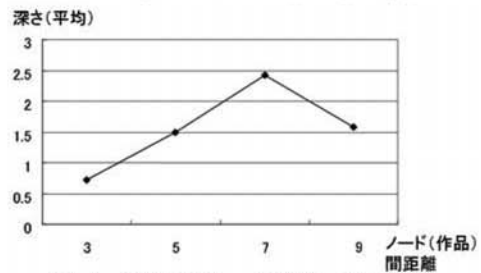


図4 履歴ツリーの深さ (平均値)

以上の図2、図3、図4の結果において、本共同研究グループの仮説である「共創曲線」の存在を仮定するならば、生成された作品数 (図2)、履歴ツリーの深さ (図3) は非常にその傾向が顕著に現れており、逆に履歴ツリーの幅 (図4) にはその傾向が

現れていない、と言える。

換言すると、本実験結果のみからの限定的な結論ではあるが、これまで明確でなかった「共創度」について、「生成された作品数」、または、「履歴ツリーの深さ」、または、この両者の線形和のような形式で定義することにより、共創曲線が得られることを示唆している。

(3)実験結果の評価 (主観評価)

本実証実験では、主観評価項目として、

- (1)アンケートによる「制作のおもしろさ」の評価
- (2)アンケートによる「作品のおもしろさ」の評価
- (3)アンケートによる「他作品が参考になったか」の評価

を候補として挙げ、作品履歴ツリー上の距離 D をパラメータとしてこれらを実験を行った。

この主観評価の結果を図5～図7に示す。

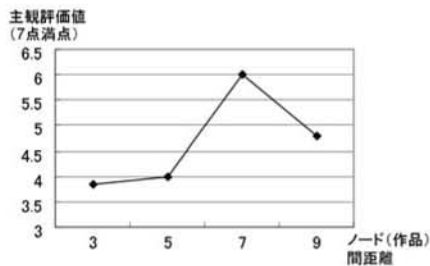


図5 主観評価結果 (質問 1 制作は楽しかったか?) (平均)

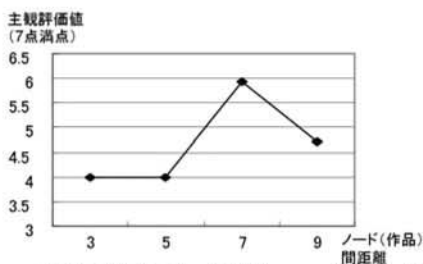


図6 主観評価結果 (質問 2 良い作品ができたか?) (平均)

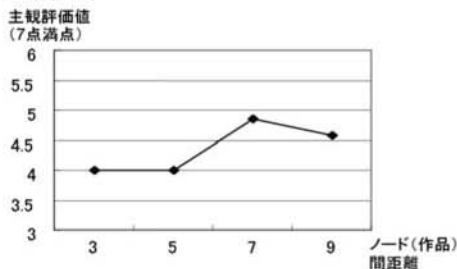


図7 主観評価結果 (質問 3 他作品が参考になったか?) (平均)

以上の図5～7の結果において、「共創曲線」の存在を仮定するならば、制作のおもしろさ (図5)、作品のおもしろさ (図6)、他作品の参考度 (図7) のいずれもはその傾向が現れており、特に、制作のおもしろさ (図5)、作品のおもしろさ (図6) においてはその傾向が顕著であると言える。

実際、アンケートの自由コメント欄において、 $D=3$ に関しては「同じような作品ばかりが推薦されてつまらない」という意見が多数寄せられ、少なくとも D の値が小さすぎると「共創度」は著しく低下することは明示的 (体感的) に実証されたといえる。一方、 $D=5,7,9$ に関しては「あまり差を感じない」とする回答がいくつか散見されたが、図5～7から明らかな通りアンケート結果から暗示的 (非体感的) ながらその効果は実証されている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同研究では Animepedia システムを試作し、実証実験を行ったところ、限定的な実験条件であるとは言え、(3-1)で述べた通り、客観評価、主観評価いずれの評価結果からも本共同研究グループの仮説「共創曲線」が存在することを実証することができた。この結果は、これまで経験的、あるいは定性的にしか議論されてこなかった「共創」という概念に対して、定量的評価を与える世界ではじめての実験結果であり、その成果は学術上、あるいは産業応用上極めて意義の高いことであると言える。

[4] 成果資料

- [1]青木輝勝, "Web2.0/3.0 時代に向けたユーザ発信コンテンツ創生/配信技術の現状と今後", FIT2009 第8回情報科学技術フォーラム・特別セッション「サイバーワールドとリアルワールドとの接点」, 2009. (招待講演)
- [2]Terumasa AOKI and Uwe Kowalik, "BROAFERENCE - A Prototype of an Emotion-based TV Quality Rating System", "Emotional Engineering" (Chapter IV Emotional TV Rating), Springer-Verlag(2010) (To be published)
- [3]青木輝勝, 安田浩, "ツリー型 CGM 制作における共創効果の一検討", 情報処理学会論文誌 (投稿中)。

採択番号 H21/A13

センサークラウドによる持続性のある 情報化社会基盤の構築に関する研究

[1] 組織

代表者：高橋 修

(はこだて未来大学システム情報科学部)

対応者：白鳥 則郎

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

石原 進 (静岡大学大学院創造科学技術研究部)

岡田 謙一 (慶應義塾大学理工学部)

片岡 信弘 (東海大学電子情報学部)

小泉 寿男 (東京電機大学理工学部)

佐藤 文明 (東邦大学理学部)

鈴木 健二 (電気通信大学電気通信学部)

柴田 義孝 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部)

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)

東野 輝夫 (大阪大学大学院情報科学研究科)

福田 晃 (九州大学大学院システム情報科学研究科)

水野 忠則 (静岡大学大学院創造科学技術研究部)

宮西 洋太郎 (宮城大学事業構想学部)

宗森 純 (和歌山大学システム工学部)

村山 優子 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部)

渡辺 尚 (静岡大学大学院創造科学技術研究部)

研究費：物件費 30 万 1 千円，旅費 55 万 6 千円

[2] 研究経過

近年、ネットワークコンピューティングや Web サービス、SaaS (software as a service)、ASP (アプリケーション・サービス・プロバイダ)、SOA (サービス指向アーキテクチャ) など、ネットワーク上のサーバに処理を分担させる様々なアーキテクチャが提案され実現されてきている。また、仮想化やグリッドコンピューティングなどの技術が実用化され、その技術が組み合われて、クラウドコンピューティングという考え方が提唱されるようになってきた。クラウドコンピューティングでは、ユーザは目の前のサーバを利用するのではなく、インターネットの先にある各種のサーバを実現方法や提供場所などの物理的な環境に依存することなく利用できるようになる。

一方で、無線ネットワーク技術や小型センサー機器の開発により、センサーネットワークが実用化されるに至っている。しかし、現在のセンサーネットワークは食品のトレーサビリティアプリケーション

や、気象情報収集アプリケーションなど、特定のアプリケーション毎に個別に管理された垂直統合システムでしかない。

この研究では、異なるセンサーネットワークから得られるセンサー情報を収集し、蓄積統合し、分析し、利用者に適切に通知するサービスをインターネット上で提供するセンサークラウドという情報化社会基盤の構築を目指す。このシステムが構築されることで、例えば電力会社では気象情報と家庭の太陽電池パネルからの発電量との情報を統合して、発電所での適切な発電量制御が可能になる。また、GPS や加速度センサー、地磁気センサーなどの各種のセンサーが搭載された携帯電話や音楽情報機器が開発されており、それらのセンサー情報を統合することによって歩行者の流れや都市のヒートアイランドの状況を監視することができ、適切な歩行者誘導や広告情報提示、都市計画などに応用することができる。

本年度は、このプロジェクトの初年度である。本年度の目標は、センサークラウドに必要な技術的な問題点を整理し、その解決方法の方向を議論するとともに、事例システムに適用して一部評価を実施していくことである。課題として整理されたものには、センサークラウドを効率よく制御するためのプログラミング方法、センサークラウド同士の連携方法、大規模センサーネットワークにおける情報検索、センサーネットワークのルーティング方法、センサーを操作するためのユーザインタフェースなどである。今年度は、これらの課題に対する解決方法の提案が事例実験などを含んで展開された。

以下、研究活動状況を記す。

研究推進会議を 1 回開催し、最新の研究成果を持ち寄り、議論を重ねた。開催日程および概要は以下の通りである。

<研究推進会議>

日時：平成 21 年 12 月 18 日～12 月 19 日

場所：東北大学電気通信研究所

A. 講演と報告

- (1) 「ユビキタスコンピューティングにおける屋内端末位置推定技術とそのサービス応用に関する研究」福田晃 (九州大学)
- (2) 「情報化社会基盤構築と企業理解のための大学院講義『情報産業論』」小泉寿男 (東京電機大学)

- (3) 「ソフトウェアプロセス識別と改善方式」片岡信弘 (東海大学)
- (4) 「センサーネットワークの全体プログラミングに関する研究」塚本昌彦 (神戸大学)
- (5) 「アドホック・センサーネットワークの実装による評価」渡辺尚 (静岡大学)
- (6) 「絵文字チャットの分析」宗森純 (和歌山大学)
- (7) 「コミュニケーションヒストリー」水野忠則 (静岡大学)
- (8) 「トラスト研究進捗報告」村山優子 (岩手県立大学)
- (9) 「この7年間の研究を振り返って」富樫敦 (宮城大学)
- (10) 「電子トリアージ用医療端末の開発」岡田謙一 (慶応義塾大学)
- (11) 「エージェントフレームワークに基づくヘルスケアシステムに関する研究」菅沼拓夫 (東北大学)
- (12) 「センサークラウド向けルーティングプロトコルの検討」高橋修 (はこだて未来大学)
- (13) 「P2P型情報検索方式の改良と評価」佐藤文明 (東邦大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

(1) 電子トリアージ用医療端末の開発

トリアージとは、災害時の救急救命医療において用いられる、救命可能者の選別や治療順位を決定する作業である。従来、トリアージは、4種類に色分けされた紙のタグを使って行われてきた。しかし、ペンで紙タグに記入することから迅速なトリアージが行えないとか、傷病者の病状をリアルタイムで把握できないために急変傷病者を見逃す可能性があるといった問題があった。

この研究では、傷病者にリモートセンサーデバイスを装着して、傷病者の生体情報をセンサや外部端末により取得することで、生体情報に基づくトリアージを可能とする。トリアージ結果をLEDで表示したり、ホストPCに送信することで傷病者の搬送優先度を決定してデバイス側に通知してLEDで表示するなどを可能とする。

センサーデバイスを使ったトリアージによる傷病者情報は、医療従事者用の端末に入力されるが、評価実験の結果、紙タグに比べて約半分の時間で迅速に傷病者情報を入力できることがわかった。

(2) センサーネットワークのプログラミング環境

センサーネットワークは、固定的な動作を予め組み込んで動作させるというのが現在の基本的なプログラミング方法であるが、この研究ではセンサーネットワークを配布した後、その接続関係や位置関係に基づく動作を含めてセンサーの動作をプログラムするための方法を提案している。

応用として格子状に配置されたセンサーに設置されたLEDを点灯させ、図形や文字を表示する動作をさせることで、様々なディスプレイを可能とする。

プログラム言語の特徴として、セルオートマトンのように隣接するセンサー間でコマンドが伝搬されていくことが基本になる。ある場所を起点として、上下左右のノードへ指定されたノード数だけ情報伝搬を行うコマンドや、指定された回数だけそれを繰り返すコマンド、並列動作させるコマンドなどを持ち、それによって直線や矩形領域のセンサーを点灯させることができる。また、それらを組み合わせたマクロ表現によって、起点の移動、直線、ボックス、円の描画、点滅などの操作ができる。

この言語を使うことで、個々のセンサーに複雑なプログラムを組み込むことなく、多数のセンサーに協調した動作をさせることができる。

(3) センサークラウド向けルーティングの研究

センサーネットワークに使われる端末は省電力設計のため、電波の到達距離の短いものが多い。そのため、必然的にセンサーからデータ収集端末までの距離は長い経路になりがちである。この研究では、移動ノードを含むセンサーネットワークにおいて、ノードをクラスタリングし、その中心ノードであるクラスタヘッドが経路の新しさを評価し、できるだけ新しい経路を利用することで信頼性の高い経路を選択するものである。従来のアドホックネットワーク用ルーティングであるDSRにくらべて、ノードが高速に移動してしまう環境でも、効率よく通信が可能であることが明らかとなった。

(4) P2P型情報検索方式とその改良

センサーネットワークの応用では、ある特徴を持った観測値が得られたセンサーを知りたい場合がある。例えば、温度が急激に変化した温度センサーの場所や、車間が急に短くなった車間距離センサーの場所などである。情報を検索するには、センサーに対して検索をかける必要がある。このような場合、センサー情報を1つのサーバで管理するのは高コストであるため、P2P (Peer to Peer) 型の情報検索が重要となる。P2P型の情報検索の中で、情報の特徴量 (名前など) にハッシュ関数を適用して求めた値と、ノードIDとを対応づけてそのノードが情報を管理する方法である、分散ハッシュテーブル (DHT) と呼ばれる方式が注目されている。しかし、DHTはノードの故障や、ネットワークに新しいノードが追加されたり抜けることで構成が頻繁に変更すると検索誤りが発生しやすい問題があった。検索誤りを防ぐためには、高頻度で情報維持の制御メッセージを交換するコストがかかる。

この研究では、分散ハッシュテーブルを階層的に構成する方法を提案している。ノードの参加脱退頻度に応じて、グルーピングを行って、情報維持の制御メッセージを参加脱退頻度に応じて配分している。この結果、同じコストをかけても検索誤りが2割程度削減できることを示した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトメンバーが中核となる新しい国際学会が設立され、白鳥、東野、岡田、水野、宗森らによる国際会議 IWIN(International Workshop on Informatics)2009 を Hawaii Tokai International College で開催した。本国際会議において、本プロジェクトに関わる無線ネットワークやセキュリティに関する研究成果が報告された。

本プロジェクトで明らかになったセンサークラウドの基盤技術や応用技術は、日常生活や社会活動を支える共通基盤として必須のものとなると考えられ、情報化社会を支えるシステムとソフトウェアの進展に寄与するものとなる。また、大量のセンサーノードを効果的に制御したり、プログラムの更新をするなどのスウォームコンピューティングや、エネルギー効率の高い ICT システムを構築するグリーンコンピューティングなどへの展開も期待できる。

[4] 成果資料

- (1) Hiroyuki Narumi, Yoh Shiraishi, Osamu Takahashi: A Proposal of Reliable Cluster-by-Cluster Routing Method in MANET, and its Evaluation, Proc. of International Workshop on Infomatics 2009 (Sept. 2009)
- (2) Masataka Kikawa, Takashi Yoshikawa, Shinzou Ookubo, Atsushi Takeshita, Yoh Shiraishi, Osamu Takahashi: A proposal of the presence detection method using the RSSI of Bluetooth, and its evaluation, Proc. of International Workshop on Infomatics 2009 (Sept. 2009)
- (3) Hiroyasu Mitsui, Hidetoshi Kambe, and Hisao Koizumi, "Use of Teaching Embedded Software Development Including HW/SW Co-Design", IEEE Transaction on Education, Vol. 52, No. 3, pp. 436-443, August 2009.
- (4) 大川 勉、上西 司、平林秀一、鈴木 亮、三井浩康、小泉寿男: ビジネスプロセスモデリングと実行モデリングを連結させた情報システム発手法とその試作評価, 電気学会論文誌 C, Vol.129, No.9, pp.1747-1758, 2009.
- (5) 佐藤文明: 参加脱退率を考慮した階層型分散ハッシュテーブルの構成方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 2 (2010. 2).
- (6) 中田 圭佑, 前田 久美子, 梅津 高朗, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫: "災害現場の被災者や救援者の行動記述とそれをを用いたネットワークシミュレーション環境の提案", 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 9, pp. 2327-2339 (Sept. 2009).
- (7) Sae Fujii, Takashi Nomura, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino: "Real-time Trajectory Estimation in Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings of the 12th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2009), (Oct. 2009).
- (8) Takeaki Koga, Shigeaki Tagashira, Teruaki Kitasuka, Tsuneo Nakanishi, Akira Fukuda, Multipoint Relay Selections with QoS Support in Link State Routing Protocol for Multi-hop Wireless Networks, IEICE Trans. on Fundamentals, Vol. E92-A, No. 9, pp. 2218-2226 (2009).
- (9) 松浦知子, 田頭茂明, 北須賀輝明, 中西恒夫, 福田晃, ホームネットワークのためのセンサ連携を支援するイベント駆動フレームワーク, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-B, No. 7, pp.1050-1060 (2009).
- (10) 香川健太郎, 伊藤淳子, 宗森 純: 動画共有システムに与える直感的絵文字コメント投稿機能と感情共有機能の効果, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 3 (2010, 印刷中).
- (11) Jun Munemori, Moonyati Binti Mohd Yatid, Taro Fukuda, Junko Itou: Proposal and Evaluation of Pictograph Chat Communicator III, CollabTech2009, pp. 78-83 (2009).
- (12) Y. Murayama, Y. Fujihara: Issues on Anshin and its factors, In Yan, Z. (ed): Trust Modeling and Management in Digital Environment, IGI global pp.441-452 (2010).
- (13) 藤原康宏, 山口健太郎, 村山優子: 情報セキュリティの専門知識を持たない一般ユーザを対象とした安心感の要因に関する調査, 情報処理学会論文誌, vol. 50, No. 9, pp. 2207-2217 (2009).
- (14) Mimoza Duresi, Vamsi Paruchuri, Arjan Duresi, Leonard Barolli, and Makoto Takizawa, A Scalable Anonymous Protocol for Heterogeneous Wireless Ad Hoc Networks, Journal of Embedded Computing, Vol. 3, No. 1, pp. 77-85 (2009).
- (15) Ailixier Aikebaier and Makoto Takizawa, A Protocol for Reliably, Flexibly, and Efficiently Making Agreement among Peers, International Journal of Web and Grid Services (IJWGS), Vol. 5, No. 4, pp. 356-371 (2009).
- (16) Hiroshi Mineno, Yuichiro Kato, Kenji Obata, Hiroshi Kuriyama, Keiichi Abe, Norihiro Ishikawa, and Tadanori Mizuno: Adaptive Home/Building Energy Management System Using Heterogeneous Sensor/Actuator Networks, IEEE Consumer Communications Networking Conference (CCNC2010) (2010. 1).
- (17) 岡嶋雄太, 山本峻, 坂内祐一, 岡田謙一, "遠隔ユーザの注意を作業物体上に反映する MR 遠隔コラボレーション", 日本 VR 学会論文誌特集号, Vol. 14, No. 2, pp185-192, 2009年6月.
- (18) 林雅樹, 宮下広夢, 岡田謙一, "仮想空間における生体情報を利用した感性情報マッピング手法", 日本 VR 学会論文誌, Vol. 14, No. 2, pp147-156, 2009年6月.
- (19) Satoru Izumi, Kazuhiro Yamanaka, Yoshikazu Tokairin, Hideyuki Takahashi, Takuo Suganuma, Norio Shiratori: Ubiquitous Supervisory System based on Social Contexts using Ontology, Mobile Information Systems, Vol. 5, No. 2, pp. 141-163 (2009)
- (20) Hideyuki Takahashi, Satoru Izumi, Takuo Suganuma, Tetsuo Kinoshita, and Norio Shiratori: Multi-agent system for User-oriented Healthcare Support, International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol. 1, No. 3, pp. 32-41 (2009)

採択番号 H19/B01

民生用合成開口レーダシステム開発の課題と展望

[1] 組織

代表者：間瀬 淳

(九州大学産学連携センター)

対応者：坪内 和夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

犬竹 正明 (東北大学電気通信研究所)

池地 弘行 (九州大学産学連携センター)

佐藤 源之 (東北大学東北アジア研究センター)

渡邊 学 (東北大学東北アジア研究センター)

近木祐一郎 (福岡工業大学電子情報工学科)

北條 仁士 (筑波大学数理物質科学研究科)

山口 芳雄 (新潟大学工学部)

木村 宏 (岐阜大学工学部)

森山 敏文 (長崎大学工学部)

大森 慎吾 (情報通信研究機構: NICT)

浦塚 清峰 (情報通信研究機構: NICT)

降旗 正忠 (財) 資源探査用観測システム・
宇宙環境利用研究開発機構
(JAROS)金井 宏 (無人宇宙実験システム研究開発
機構: USEF)

島田 政信 (宇宙航空研究開発機構: JAXA)

富尾 武 (宇宙航空研究開発機構: JAXA)

加茂 圭介 (富士重工業(株) 宇都宮製作所)

村上 道篤 (三菱電機(株) 開発本部)

牧野 滋 (三菱電機(株) 開発本部)

原 芳久 (三菱電機(株) 鎌倉製作所)

村田 稔 (日本電気(株) 誘導光電事業部)

辻 信行 (ツジ電子(株))

米澤 千夏 (東北大学大学院農学研究科)

齋藤 元也 (東北大学大学院農学研究科)

川村 宏 (東北大学大学院理学研究科)

中島 一郎 (東北大学大学院工学研究科)

澤谷 邦男 (東北大学大学院工学研究科)

古西 真 (東北大学電気通信研究所)

多田 順次 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費5万円，旅費30万円

[2] 研究経過

本プロジェクト研究は、安心安全な社会の構築のため、世界最高性能の航空機等搭載型合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) システムを開発することを目標とし、現在まで様々な異なる分野で開発されてきたマイクロ波基盤技術の現状を把握し、それらのシステム統合により民生用合成開口レーダシステムを開発する際の課題を抽出することを目的としている。

具体的には、SAR システム技術に関する研究会、および SAR システムの民生応用に関する検討会を開催し、①現在までに開発された SAR リモートセンシング装置の現状把握と課題抽出、②高性能の航空機等搭載型 SAR システム開発要件のまとめ、③安心安全社会の構築のための(無人)航空機等搭載型 SAR リモートセンシングデータの利用システムを検討するとともに、新しい民生応用分野の開拓等を行っていくことである。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1) 東京フォーラム2009・東北大学電気・情報系研究集会：平成21年11月18日、(東京都)学術総合センターにて実施、犬竹研究室パネル展示。

2) 平成21年度東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究会」(IEEE GRSS (Geoscience and Remote Sensing Society 協賛))：

平成22年2月4日13:00-17:30、東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室にて開催、参加者46名。

3) 通研 SAR 設計開発検討会—マイクロ波回路系：平成22年2月5日10:00-15:00、東北大学電気通信研究所1号館N棟308講義室にて実施、出席者13名。

4) 通研 SAR 設計開発検討会—GPS-IMU ジンバル系：平成22年2月5日15:00-17:30、東北大学電気通信研究所1号館N棟308講義室にて実施、出席者13名。

5) 第139回 KASTE C セミナーおよび SAR 検討会：平成22年2月8日14:00-17:00、九州大学産学連携センター3階研修室にて実施、参加者30名。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

各研究活動において得られた成果を記述する。

1) 東京フォーラム2009・東北大学電気・情報系研究集会：犬竹研究室より「合成開口レーダの高性能化と民生応用」についてパネル展示があった。

2) 平成21年度東北大学電気通信研究所「共同プロジ

エクト研究会」(IEEE GRSS (Geoscience and Remote Sensing Society 協賛)):

平成 21 年度の内容は、i) 日本における自然災害時の初動対応の現状と SAR システムへの期待、ii) 航空機搭載高分解 SAR の開発・設計の現状、iii) 外国(ドイツ)における SAR 開発とその応用についての紹介、iv) SAR データの解析などソフトウェアの研究、に大別することができる。それぞれの主な内容を概説する。

i) 山際(国土交通省)が「大規模災害時の初動対応における装備・システムのあり方」について報告した。災害時には、迅速な初動対応が防災機関に求められる。国土交通省では、現地支援体制の迅速かつ円滑な確立のため、平成 20 年 5 月に緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE)を発足させ、岩手・宮城内陸地震などにおいて多方面から高い評価を得たが、同時に夜間及び悪天候時における被災状況把握の困難性や、山間部における情報伝達の遅れなど様々な課題が明らかとなった。このため、専門家で構成する検討委員会を平成 20 年 11 月に設置し、様々な観測技術を活用した初動体制のあり方についての提言をとりまとめた。本提言では、夜間・悪天候時の状況把握手段として、複数のセンサ(光学/SAR)と搭載手段(ヘリコプター、航空機、人工衛星)を状況に応じ組み合わせる方法、情報伝達手段としては、衛星通信と光ファイバーネットワークを利用する方法が提案されている。

ii) 池地(九州大学)、近木(福岡工業大学)が「航空機搭載スポットライトモード SAR の開発」の題名で発表した。池地は、スポットライトモード SAR によって得られた地表面の画像を数例紹介し、災害時の有用性についての説明を行った。洪水時の浸水域は SAR 画像では黒く写ること、コヒーレントチェンジディテクション(CCD)や干渉 SAR を使って地表の経時変化が精度良く観測できる事例を紹介した。その後、今年度より開発が始まった 10 cm 精度スポットライトモード SAR のハードウェアやソフトウェアの開発要素、動作原理についての概要を説明した。近木は、SAR 構成要素として今年度開発する、Waveform Synthesizer、Digital Receiver、Frequency Synthesizer の電子部品についての詳細を解説した後、レーダの運転パラメータの計算手法について概説した。

岡田(三菱電機株)は、「航空機搭載 10 cm 級高分解 SAR レーダシステムの開発」について報告した。SAR の高分解能化という観点から、電波の送信帯域を広帯域にする必要があるため、広帯域を確保可能な Ku 帯で SAR システムの開発を行っていること、2005 年度には 500 MHz の帯域を有する SAR システムを航空機に搭載し 30 cm 分解能を達成したこと、2008 年度には帯域を 1.5 GHz まで拡張し 10 cm 分解能を達成したことが述べられた。また、SAR の更なるアプリケーシ

ョンの一貫として、位相情報を用いた変化抽出技術の試験を実施し、車の通過跡等の活動に伴う位相変化から、従来の SAR 振幅画像では判別困難な微小変化を抽出することに成功したことが報告された。講演では、開発中の 10 cm 級高分解能 SAR の紹介とともに、高精度インタフェロメトリ技術や変化抽出技術の事例も紹介された。

iii) 入部(東北大学)が「ドイツ航空宇宙センター(DLR)における航空機 SAR 開発とその応用」の題名で、同センターに 2007 年 7 月から 2 年 3 か月間客員研究員として滞在した際の DLR の状況や自身の研究内容を報告した。ドイツでは、DLR および欧州航空宇宙企業 EADS Astrium 社主導のもと衛星 SAR システム Terra SAR-X が開発され 2007 年に観測が始まっている。注目すべきこととして、2010 年に打ち上げが予定されているもう一基の衛星 SAR と組み合わせることでタンデム形態となるため、経時変化によるコヒーレンス低下の問題を解消したインターフェロメトリック観測、ポーラリメトリックインターフェロメトリック観測が可能となり、今後多くのアプリケーションの展開が期待されていることが述べられた。また航空機 SAR の応用例として、都市部の災害観測に応用可能な偏波 SAR による建物の方位推定、地表に分布する点散乱体による航空機の軌道補正残差の推定・除去が紹介された。

iv) 森山(長崎大学)は、「SAR 偏波データの校正と解析」について発表した。偏波 SAR データの解析では、三成分散乱モデル分解がよく利用されている。数学的に厳密な方法ではないが、測定した Covariance 行列を複数の規範散乱モデルの行列の組み合わせとしてモデルフィットし、そのパラメータからターゲットの特性を評価しようとする方法である。規範散乱モデルは自然植生に存在する表面散乱、2 回散乱と体積散乱である。一方、都市域では 1 回(表面)散乱、2 回散乱、3 回散乱など構造物の幾何的構造が散乱メカニズムの原因である。したがって、三成分散乱モデルにより都市域で体積散乱が評価されても解釈が困難となる。このような間違っただモデルフィットの結果により、幾何学的な構造物とレーダの位置関係から生じる場合がある(アジマス回転)。この回転を補正することにより、間違っただモデルフィットを防げる可能性があることが述べられた。発表では、アジマス回転による散乱モデルの Covariance 行列の回転を考慮し、モデルフィットを行う方法が提案された。また、偏波校正についても述べられた。

3) 通研 SAR 設計開発検討会—マイクロ波回路系:

平成 21 年度より、本プロジェクト構成員が中心となり、「航空機搭載スポットライトモード SAR の開発」が始まっている。本検討会では、SAR 構成要素の中心となる Waveform Synthesizer 他のマイクロ波部品の設計・

製作および評価方法についての討論が行なわれた。

4) 通研 SAR 設計開発検討会—GPS-IMU ジンバル系: 同上プロジェクトの機械的構成要素—アンテナの駆動機構—としてのジンバル系の設計・製作および評価方法についての討論が行なわれた。

5) 第 139 回 KASTEC セミナー、SAR 検討会:

「航空機搭載スポットライトモード SAR の開発」についてのセミナーが九州大学産学連携センターにて開催された。講演は池地、近木が行なった。大学院生、企業研究者を含め～30 名の出席があり、学生からの質問も多く活発な討論が行なわれた。

(3-2) 波及効果と発展性など

1) 本プロジェクトにより、SAR 研究に関連し、全国的な規模でのネットワークの拡大、特に、民生用を中心とした応用分野の広がり、産学連携など新しい観点に基づいたネットワーク構築を図ることができた。

2) 本プロジェクト研究の主目標である、スポットライト方式 SAR システムの開発に関連して、平成 21 年度より、国土交通省委託研究 (代表者: 犬竹)、科学研究費・挑戦的萌芽研究 (代表者: 間瀬) が採択され、研究が推進されている。

3) 民生用合成開口レーダシステムの応用分野や種々の要素技術の開発に基づいて、横断形プロジェクトの形成や産官学連携の発展に努力している。

[4] 成果資料

- (1) X. Feng, M. Sato, Y. Zhang, C. Liu, F. Shi, and Y. Zhao, "CMP Antenna Array GPR and Signal-to-Noise Ratio Improvement", *IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.* **6**, 23-27 (2009).
- (2) A. Mase, Y. Kogi, N. Ito *et al.*, "Advancement of Microwave Diagnostics for Magnetically Confined Plasmas", *Plasma Devices Operations* **17**, 98-116 (2009).
- (3) S. Kusano and M. Sato, "Evaluation of Trihedral Corner Reflector for SAR Polarimetric Calibration. *IEICE Trans. on Electronics*, **E92-C**, 112-115 (2009).
- (4) H. Hojo, A. Mase, and K. Kawahata, "Interferometry for Weakly Relativistic Plasmas", *Plasma Fusion Res.* **4**, 010 (2009).
- (5) X. Feng, M. Sato, C. Liu, and Y. Zhang, "Profiling the Rough Surface by Migration", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* **6**, 258-262 (2009).
- (6) D. Zhang and A. Mase, "Simulation experiment of breast cancer detection using an ultrashort-pulse radar system", *Proc. IEEE Int. Conf. on Electronics Measurement & Instruments, Beijing*, (Aug. 2009) Vol. 3, pp. 432-434.
- (7) 間瀬 淳、長江大輔「信号ピーク測定システム」特願 2009-138284.
- (8) 近木祐一郎、池地弘行、間瀬 淳、犬竹正明、佐

藤原之、北條仁士「スプリットビーム方式合成開口レーダ」特願 2009-150179.

- (9) H. Hojo and A. Mase, "Electromagnetic-Wave Transmittance Characteristics in One-Dimensional Plasma Photonic Crystal", *J. Plasma Fusion Res. SERIES*, **8**, 477-479 (2009).
- (10) 長山好夫、山口聡一郎、間瀬 淳、近木祐一郎「平面マイクロ波アンテナ、一次元マイクロ波アンテナ及び二次元マイクロ波アンテナアレイ」特開 2009-200719.
- (11) H. Hojo and A. Mase, "Modeling of Plasma Photonic Crystals and Their Wave Propagation Characteristics", *Proc. 34th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave*, M5E30-0393 (Sept. 2009).
- (12) Y. Kogi, K. Akaki, A. Mase *et al.*, "Application of Multi-Channel IF System for ECE Radiometer on KSTAR and LHD", *Proc. 34th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave*, W4D02-0315 (Sept. 2009).
- (13) T. Khuut and M. Sato, "Evaluation of Van Khan Tooril's Castle: An archaeological site in Mongolia by GPR" [*Exploration Geophysics* **40** (2009) 69-76].
- (14) M. Gaballah and M. Sato, "A New Approach in Enhancement of Ground Penetrating Radar Target Signal by Pulse Compression", *Exploration Geophys.* **40**, 77-84 (2009).
- (15) K. Akaki, A. Mase, Y. Kogi *et al.*, "Study of Dual-Dipole Antenna Array for Millimeter Wave Imaging", *Proc. 34th Int. Conf. on Infrared, Millimeter, and Terahertz Wave*, R5E41-0055 (Sept. 2009).
- (16) Y. Yokota, A. Mase *et al.*, "Reconstruction method of X-mode ultrashort-pulse reflectometry in LHD", *Proc. Int. Symp. Laser-Aided Plasma Diagnostics* (Sept. 2009).
- (17) D. Nagae and A. Mase, "Measurement of Vital Signal by Microwave Reflectometry and Application to Stress Evaluation", *Proc. 2009 Asia Pacific Microwave Conf., Singapore* (Dec. 2009) TU3P-9/1-4.
- (18) D. Zhang and A. Mase, "Empirical Formula for Fourier Series Expansion Method with Complex Coordinate Stretching Layers", *Proc. 2009 Asia Pacific Microwave Conf., Singapore* (Dec. 2009) TU3P-20/1-4.
- (19) 間瀬 淳、張 丹、伊藤直樹、北條仁士「マイクロ波イメージングシステム」特願 2009-266780.
- (20) M. Watanabe, M. Matsumoto, M. Shimada, T. Asaka, H. Nishikawa, and M. Sato, "Simultaneous Observation Data of GB-SAR/PiSAR to Detect Flooding in an Urban Area", *J. Advances in Signal Processing* 560512 (2010).
- (21) H. Hojo, Y. Yasaka, and A. Mase, "Effects of Plasma Resonance on Surface Waves in Axially Non-Uniform Plasmas", *Plasma Fusion Res.* **5**, 006 (2010).
- (22) 間瀬 淳、長江大輔「信号ピーク周波数測定システム」特願 2010-030225.

採択番号 H19/B02

光を用いた地震等の計測とそのネットワーキングに関する研究

[1] 組織

代表者：新谷 昌人
(東京大学地震研究所)

対応者：中沢 正隆
(東北大学電気通信研究所)

分担者：三ヶ田 均
(京都大学大学院工学研究科)

浅川 賢一
(海洋研究開発機構)

高橋 幸男
(海洋研究開発機構)

国松 直
(産業技術総合研究所
活断層研究センター)

村上 裕
(産業技術総合研究所地質情報研究部門)

浅沼 宏
(東北大学大学院環境科学研究科)

坂田 正治
(元防災科学技術研究所)

堀 輝人
(東京大学地震研究所)

研究費：物件費5万円，旅費18万円

[2] 研究経過

我が国は地震大国であり、地震、津波あるいは地殻変動といった地球科学に関する研究開発は学術的な観点からも、また防災や地震予知などの観点からも非常に重要である。当該分野の研究をさらに促進するためには、より小型で高感度・高精度な計測装置が望まれており、さらには計測機器を面的に配置することが可能となれば、より有意義な情報を得ることが期待される。

高精度な地震あるいは津波計測技術を考えて場合、レーザー光利用は大きな可能性を秘めている。とくに波長1.55 μm 帯の光ファイバー通信用レーザー光であれば、光ファイバー網を利用したデータ送受信や光源の一元管理などが可能となる。本研究では東北大学電気通信研究所と東京大学地震研究所をはじめとした

地震関連研究者の間で、高精度レーザー光を応用した地震・火山関係および津波計測に関する研究討論を行い、それぞれの研究活動を紹介して、将来の方向性を議論することを目的としている。

本プロジェクトは本年度が第3年度(最終年度)であった。前年度はプロジェクト研究会を開催し、国内外の地球科学計測に関する情報交換を行い、当該分野の研究状況を共有するとともに、電気通信研究所で開発された高精度レーザー光源を用いて地震研究所で開発中の絶対重力計を動作させ性能評価を実施するなど、具体的な共同開発研究をすすめることができた。今年度は従来からすすめている各機関における要素技術開発を継続するとともに、さらなる共同研究の進展および本プロジェクトが目指す計測ネットワーキングに関する研究計画を策定した。要素技術開発に関しては、東京大学地震研究所において小型絶対重力計・レーザー干渉式広帯域地震計・ボアホール式傾斜計の開発をすすめた。海洋研究開発機構において光干渉式塩分濃度センサーの開発、電通研において周波数安定化光源の開発が継続して実施された。

本年度の研究成果報告と関連技術の紹介を兼ねて平成22年3月8日(月)に電気通信研究所においてプロジェクト研究会を開催した。東京大学、海洋研究開発機構、電通研など国内の大学・研究機関および企業からの参加・発表があった。本プロジェクト研究に関連の深い分野として、NEC光デバイス事業部の山崎氏をお招きし、狭線幅波長可変レーザーに関する講演をしていただいた。3つのリング共振器による広範囲の可変波長弁別方式により、狭線幅かつ通信帯のほぼ全域をカバーする波長可変特性を実現した。波長多重システムの光源としての応用が期待される。電通研葛西氏からは1.5 μm 帯リング型 $\lambda/4$ シフトDFB半導体レーザーの周波数安定化の研究が紹介された。従来のエルビウムファイバーレーザーや外部共振器型LDに比べて、狭線幅と低強度ノイズを同時に実現した。高出力化と周波数安定度の向上が今後の課題である。東大地震研の高森氏からは折りたたみ振り子を用いたボアホール(観測掘削孔)設置用傾斜計の研究が報告された。地殻変動傾斜による振り子の変位を光ファイバー変位計

で検知することにより簡素な構成で高い分解能が得られた。地震研鋸山観測所による試験観測では、潮汐信号などが検知され、42m 水管傾斜計と同等以上の性能が示された。真英計測の坪川氏からは単純自由落下法による小型絶対重力計の開発が報告された。また、極限環境における観測をめざしたレーザー干渉式広帯域地震計に関して、地震研堀氏からは開発状況について、沖電気新藤氏からは装置の設計・製作の概要の報告があった。これらの研究内容は、後述の研究成果の項で説明する。研究会の最後に、海洋研究開発機構の浅川氏からヘテロダインマイケルソン干渉計による塩分測定の基礎的実験が報告された。海洋の塩分濃度はブイなどにより観測され、大気海洋相互作用や熱循環の解明を通じて気候予測に貢献する。従来のセンサーは安定性に乏しく定期的なメンテナンスが欠かせないが、本研究の干渉計による屈折率測定の方法はそれらの問題の解決に有利である。小型一体型干渉計に塩水セルを組み込んだ測定では理論とほぼ一致する塩分濃度が測定されたが、検出誤差は従来の方法よりもやや大きい結果が得られた。今後、推定された誤差要因を除去して精度を高めていくとともに、実用化への課題についても検討をすすめる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の当プロジェクトに関する研究成果は上述のようにプロジェクト研究会で報告されたが、小型絶対重力計およびレーザー干渉式広帯域地震計についての成果を以下に詳述する。

絶対重力計は重力加速度の絶対値を9桁程度の確度で計測する装置であり、プレート運動に伴う地面の沈み込みや火山噴火の際のマグマ等地下流体の検知に使用される。従来の市販の装置は大型で野外観測に不向きでコストも高く、観測点を多数展開するのに問題があった。小型で低コストの装置を開発するために、干渉計測の高度化および小型高性能レーザー光源が必要である。前者については自由落下する落体の回転運動を抑制する方法を考案し、必要な測定精度が得られる見込みが得られた。後者として、周波数安定化半導体レーザーを検討している。昨年度に原理検証を目的とした絶対重力計実験機の光源として、電通研ですでに開発されたアセチレン安定化ファイバーレーザーを用いた結果、絶対重力計としてはほぼ必要な性能で機能することが確認されている。今年度は本体を小型化したプロトタイプを製作し、その性能評価を行った。測定基準となる鏡の落下装置は振動や回転の誤差が生じにくいサイレントドロップ方式を考案し、落下距離 10cm のものを製

作した。干渉計・除振機構は昨年度と同様の原理のものを ICF253 サイズの真空容器に収納できるように小型化した。光源は、今回はファイバーレーザーではなく波長安定化 He-Ne レーザーを用いた。この構成で、国立天文台江刺地球潮汐観測施設において数日間の観測を実施した結果を図1に示す。上段（左軸）が測定された重力加速度であり、地球潮汐の理論値（灰色破線）と一致した正しい計測が行われていることを示している。理論値からのずれ（中段）から見積もると $0.8 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ の精度であり、目標精度 ($1 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$) が達成されていることがわかった。地面振動（下段、右軸）の除振が有効に機能していることも確認された。今後は小型化をさらに進めるとともに、波長安定化半導体レーザー光源を用いて実用性を向上させる予定である。

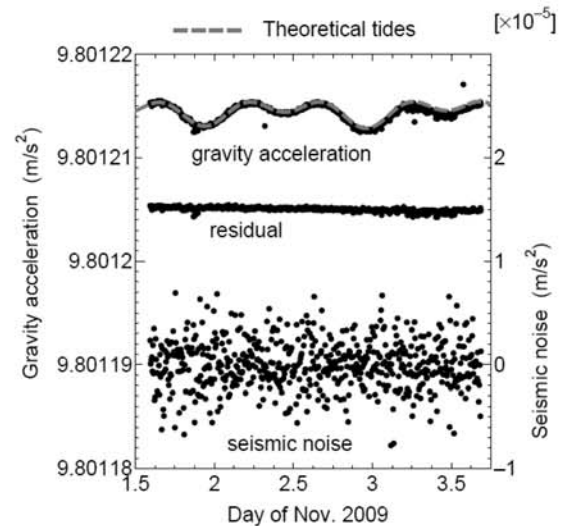


図1 小型絶対重力計の観測結果

レーザー干渉式広帯域地震計は、地下深部や惑星探査などの極限環境における高精度地震観測を目的としたものであり、高低温 ($-50 \sim 250^\circ\text{C}$) での動作や設置時の耐振動、省電力などの条件をクリアするものでなければならない。レーザー干渉計はこれらに有利な計測法であり、地震計の参照振り子の位置検出に用いている。光源や光検出器と地震計本体は光ファイバーで接続されているため、地震計本体（震動検知部）には半導体素子が使用されておらず極限環境における動作が可能な構造となっている。検出性能としては、レーザー干渉計を使用することにより、目標とする地球や火星の大気励起による常時自由振動が検知可能であることが試験観測結果などに基づいて示されている。今年度は耐環境性能として高低温および耐振動について実験を行った。温度環境に対してはレーザー干渉計自体に問題はないが、使用される光学部品の劣化や光軸のずれなど

が懸念されるため、レーザー干渉計部分のみの温度を変化させて干渉効率の変化などを測定した。その結果、 $-50\sim 50^{\circ}\text{C}$ の範囲では性能の劣化は認められず、惑星探査の温度条件の範囲では問題ないことがわかった。地下深部設置の場合は 250°C に達するため、高温側について今後実験をすすめる。耐振動試験は、振り子部分の構造をH2A ロケットの打ち上げ振動で加振し損傷の有無を調べた。当初、振り子のヒンジ部分に座屈や破断が発生したが、それらが生じにくい構造を見出した。これらの温度試験、振動試験の結果を踏まえた小型地震計を試作し(図2)今後総合的な試験を実施する。

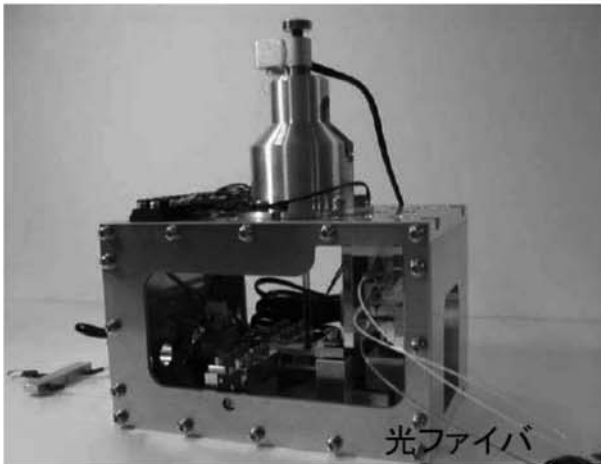


図2 レーザー干渉式広帯域地震計(試作機)

(3-2) 波及効果と発展性など

高精度レーザーは、地震・津波・地球科学関連計測技術の高精度化、ネットワーク化などに大きな可能性を秘めている。レーザー関連技術と地震等地球科学では属する学術分野が異なるため、従来は研究者間の交流機会があまりなかったが、本共同プロジェクト研究により、両者の研究現状を共有することができ、光源開発やその応用について共同開発をすすめることができた。

周波数安定化レーザー光源に関しては、電通研および地震研でそれぞれ研究が進展し、安定度は要求レベルに達し、機能性がさらに向上すればさまざまな地球科学計測に応用可能となる。光計測に基づいた地球科学観測機器の開発は飛躍的に進み、地下深部や惑星の地震探査(レーザー干渉式広帯域地震計)、火山観測(小型絶対重力計)、海洋計測(塩分濃度計)など多岐にわたっている。空間スケールの大きい現象が研究対象となる地球科学においては1点よりも多点の観測網からデータを得ることがより本質的であり、今後は光計測に基づいたセンサーを光ネットワークで結ぶ研究を進めていく必要がある。このような状況を踏まえ、地下深部計測や惑星探査観測を光ネットワーク

で構築することをめざした「極限環境における高精度光計測ネットワークに関する研究」という研究課題の科研費申請を行った。これには地震計・温度計等の複数の光センサーをネットワーク化する開発研究のほか、関連分野の研究者による研究会の開催なども含まれている。本共同プロジェクトで培われた新しい計測手法により地球惑星科学観測研究がますます進展することが期待される。

[4] 成果資料

(1) T. Hori, A. Araya, S. Moriwaki and N. Mio, Formulation of frequency stability limited by laser intrinsic noise in feedback systems, *Appl. Opt.*, vol. 48, no. 2, pp. 429-435, 2009.

(2) A. Takamori, A. Araya, Y. Otake, K. Ishidoshiro and M. Ando, Research and development status of a new rotational seismometer based on the flux pinning effect of a superconductor, *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 99, no. 2B, pp. 1174-1180, 2009.

(3) 新谷昌人, わが国におけるレーザー歪計観測の進展, 「光科学研究の最前線2」(強光子場科学研究懇談会), 2009.

(4) K. Kasai and M. Nakazawa, FM-eliminated C_2H_2 frequency-stabilized laser diode with an RIN of -135 dB/Hz and a linewidth of 4 kHz, *Opt. Lett.*, vol. 34, no. 14, pp. 2225-2227, July (2009).

(5) M. Nakazawa, M. Yoshida, and K. Kasai, C_2H_2 Absolutely Optical Frequency-Stabilized and 40 GHz Repetition-Rate-Stabilized, Regeneratively Mode-Locked Picosecond Erbium Fiber Laser at $1.53\ \mu\text{m}$, "Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO 2009), CMY4, May (2009).

(6) M. Nakazawa, Recent progress on ultrafast/ultrashort/frequency-stabilized erbium-doped fiber lasers and their applications, *Frontiers of Optoelectronics in China*, vol. 3, no. 1, pp. 38-44, March (2010).

(7) 新谷昌人, 坪川恒也, 小型絶対重力計の開発, 月刊地球, in press.

(8) A. Araya, A. Takamori, W. Morii, H. Hayakawa, T. Uchiyama, M. Ohashi, S. Telada, and S. Takemoto, Analyses of far-field coseismic crustal deformation observed by a new laser distance measurement system, *Geophys. J. Int.*, in press.

(9) 新谷昌人, レーザー干渉法の精密測地観測への応用, 測地学会誌, in press.

採択番号 H19/B04

微粒子プラズマ科学の展開

[1] 組織

- 代表者：林 康明
(京都工芸繊維大学工学科学研究科)
- 対応者：庭野 道夫
(東北大学電気通信研究所)
- 分担者：
- 佐藤徳芳 (東北大学)
 - 飯塚哲 (東北大学工学研究科)
 - 石原修 (横浜国立大学工学研究院)
 - 三重野哲 (静岡大学理学部)
 - 上村鉄雄 (名城大学理工学研究科)
 - 高橋和生 (京都工芸繊維大学工学科学研究科)
 - 東辻浩夫 (岡山大学自然科学研究科)
 - 渡辺征夫 (九州大学)
 - 白谷正治 (九州大学システム情報科学研究院)
 - 足立聡 (宇宙航空研究開発機構)
 - 久保田潤平 (横浜国立大学工学研究院)
 - 山野内敬 (宮城工業高等専門学校)
 - 柴田裕実 (京都大学工学研究科)
 - 増崎貴 (核融合科学研究所)
 - 布村正太 (産業技術総合研究所)

研究費：物件費 5万円，旅費34万円

[2] 研究経過

プラズマ化学反応による薄膜作製および超微細加工技術は、現在の先端産業を支える重要な技術となっている。今後もナノ情報デバイス創成を支えるナノテクノロジーと関連して、超薄膜作製、極超微細加工、ナノ粒子製造など、その発展が大いに期待されているところである。ここで使われる反応性プラズマは、一般には、中性粒子、電子および正イオンの荷電粒子からなるが、作製の条件によっては、大きな質量を持つクラスター、フラージェン、ナノチューブ、ナノ結晶、あるいはミクロンサイズの微粒子

が存在する。プラズマ中では、これらのナノ粒子や微粒子の表面に大量の電子が付着し、あたかも巨大な負イオンのように振舞う。こうしたプラズマは、微粒子プラズマ、ダストプラズマ、あるいはコンプレックスプラズマとも呼ばれている。大量の微粒子が含まれるプラズマは、複合体としての集団運動により様々な新しい物理現象を呈する。本プロジェクト研究会では、ナノメータからミクロンサイズまでの特徴的構造を持つ微粒子プラズマの基礎的性質を系統的に解明することを目的とした。さらにその成果をもとに、炭素系薄膜やシリコン系薄膜等のナノ微細構造制御や高機能化や、次世代極超微細電子デバイスの開拓に不可欠な微粒子プラズマの精密制御法を目指した研究を行うこと、さらには相転移・臨界現象など物理基礎に関する諸課題を解明する手段として利用することを目的とした。

具体的には、本プロジェクトでは、低温プラズマ中におけるナノ・ミクロン微粒子の生成、凝集、クラスター形成の基礎過程を解明する。その成果を、微粒子新材料や新しい合成技術の開発研究、およびプラズマ中での微粒子輸送制御技術の開発に生かす。また、ナノ微粒子やミクロン微粒子の発生が炭素系・シリコン系薄膜の膜質に与える影響を明らかにする。さらに、外部からプラズマ中に一定の形状・サイズを有する微粒子を投入し、内・外部電磁界による挙動を調べる。微粒子は分子に比べてきわめて大きな質量をもつため、プラズマ中での挙動における重力効果は無視することはできず、微小重力条件下における、微粒子やクラスターの形成、微粒子群の構造形成などについても明らかにする。プラズマ中の微粒子形成は、宇宙や核融合炉内でも共通する現象として捉えることができる。

本年度は、3年間のまとめとして、微粒子プラズマ研究に関連する広い範囲の研究者との議論を通して今後の展開について検討を行った。

以下、研究会を中心とした研究活動状況の概要を記す。

研究会は、平成21年9月18日(金)～19日(土)の一泊二日で、秋保のホテルクレセントの会議室で行った。

初日は、4件の講演が行われた。講演は、京都大学の柴田准教授による「ダスト加速器を用いた宇宙ダスト衝突シミュレーション実験」、核融合科学研究所の増崎准教授による「核融合装置におけるダスト研究」、産業技術総合研究所の布村正太研究員による「シリコン微粒子の生成と応用」、および、岡山大学の東辻浩夫教授と京都工芸繊維大学の高橋和生准教授による「微粒子プラズマの臨界現象に関する国際宇宙ステーションでの基礎実験」であった。また、夕食後に、東北大学の佐藤名誉教授による「湾曲配位によるボイド消去」、京都工芸繊維大学の高橋和生准教授による「微粒子プラズマにおけるプラズマ診断」に関するコメントがなされた。

二日目は、午前中に、岡山大学の東辻浩夫教授により「微粒子プラズマにおける臨界点のもう一つの可能性」について短い講演が行われた後、「微粒子プラズマ研究の今後の展開について」の議題で全体討論を行った。その後、京都工芸繊維大学の林康明教授より「立方体真空槽マグネトロンプラズマ中の微粒子挙動」について短い講演があった。午後は、「微小重力環境下微粒子プラズマ研究の今後の展開について」の議題で、国際研究協力とISS実験の今後の展開や来年度のJAXA-WG活動に関する討論を行った。

会議での討論内容および結論を要約すると、次のとおり。

二日目午前の討論では、まず、微粒子プラズマプロジェクトの申請についての議論が行われた。最初に林より前回の科学研究費補助金進学術領域研究の応募内容と審査結果についての報告があり、次に、九州大学の古閑助教より新学術領域研究の申請についてコメントがなされた。その後、討論が行われ、切り口として熱プロセスと対比させ非平衡プロセスや自己組織化を取り上げる、数物系でなく工学分野で提出し基礎を踏まえた上での材料科学を提案、“計測”を切り口にする、微粒子プラズマしかできないものを提案（ナノ微粒子新材料や宇宙微粒子など）、などの意見が提出された。また、微粒子プラズマ研究会などの研究会組織を来年度どのように運営していくかについての話し合いを行った。さらに、研究領域を拡大するために若手の育成をどのようにするかかの討論も行った。意見として、学内講演会にダスト関係の人を呼んで宣伝する、微粒子プラズマ関係の研究会の開催を一般にアナウンスする、ワークショップとの連携でアジアへ拡大していく、などの提案があった。

二日目午後の討論では、ESA-ProposalやISS実験の今後の展開と国際協力について林より説明があった。その後、日本固有の装置開発を科研費Sで申請する、JEM (Kibou) への装置搭載を検討するこ

となどの提案があり、またPK-4プロジェクトへの対応の仕方について話し合いを行った。

[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。

本年度の大きな成果は、本研究会で議論を行ってきた“微粒子プラズマにおける臨界現象”に関して、国際宇宙ステーションのロシアモジュール内に設置されているプラズマ実験装置Pk-3 Plusを利用する機会を得、その予備的実験を実行できたことである。経過は次のとおり。

平成21年5月に、東辻、高橋、足立、林の4名がドイツのマックスプランク研究所に赴き、Pk-3 Plusを用いたISS実験を担当している研究者と共に、実施する実験条件の詳細な検討を行った。その結果に基づき、平成21年7月と平成22年1月に実験を実行した。現時点では、第1回目の平成21年7月に行った実験の結果を解析しているところであるが、概略、次のことが分かった。

粒径 $9.2\mu\text{m}$ の微粒子を用いて、アルゴンガス圧力40Pa、放電電力1W、DC変調実施の下では、中心にボイドが消滅するまで微粒子をプラズマ中に導入することができた。しかし一方で、Heartbeat Instabilityが生じ、微粒子配列は結晶状にはなりにくい。放電電力2Wや、粒径 $14.9\mu\text{m}$ の微粒子を用いた実験も行われたが、途中で放電が停止するトラブルが生じた（予定していた残りの条件下での実験は、第2回目の平成22年1月に行われた）。第1回目の実験では、臨界点に向けた実験条件における微粒子プラズマの性質の概要を把握できた。第2回目の実験結果の解析については、シャトルなどによりデータが地上に降ろされた後に入手して行う。

(3-2) 波及効果と発展性など

研究会での討論の結果に基づき、平成22年度科学研究費補助金の新学術領域研究に、“微粒子プラズマ科学—体系化と物質創成—”の領域名で再応募した。また、科学研究費補助金の基盤研究Sに、“微小重力環境下微粒子プラズマ実験”の研究課題名で申請を行った。

さらに、すでに進めているドイツやロシアと国際共同研究をさらに促進させるべく、欧州宇宙局(ESA)の国際宇宙ステーションを利用した実験公募に対するドイツ・マックスプランク研究所を中心とした申請において、共同研究者として参画した。

[4] 成果資料

- (1) Y. Hayashi, M. Imano, Y. Mizobata and K. Takahashi: "Development of fine-particle plasma systems for basic and applied research", *Plasma Sources Sci. Technol.* 18, to be published.
- (2) Y. Hayashi, T. Fukumura, K. Odani, T. Matsuba, R. Utsunomiya: "Growth of well-aligned carbon nanotubes by RF-DC plasma chemical vapor deposition", *Thin Solid Films*, 518, pp.3506-3508 (2010).
- (3) Y. Hayashi, Y. Mizobata, and K. Takahashi: "Behaviors of Fine Particles in a Planar Magnetron Plasma", *J. Plasma Fusion Res. SERIES*, 8, pp.298-301 (2009).
- (4) H. Totsuji: "Restoration of Three-Dimensional Correlation Function and Structure Factor from Two-Dimensional Observations of Sliced Volume", to appear in *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol.79, No.6 (2010).
- (5) H. Totsuji: "Phase Diagram of Strongly Coupled Yukawa Particulates in Deformable Background and Application to Fine Particle (Dusty) Plasmas", *Journal of Plasma and Fusion Research SERIES*, Volume 8, Proceedings of the 14th International Congress on Plasma Physics (ICPP2008), September 8-12, 2008, Fukuoka, Japan, pp.0257-0260 (2009).
- (6) H. Totsuji: "On estimation of three-dimensional pair distribution function from two-dimensional sliced data", *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol.78, No.6, 065004-1-065004-2 (2009).
- (7) H. Totsuji: "Thermodynamic instability and critical point of fine particle (dusty) plasmas: enhancement of density fluctuations and experimental conditions for observation", *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, Vol.42, 214022(9 pages), (2009).
- (8) Y. Nakamura and O. Ishihara: "Measurements of electric charge and screening length of micro-particles", *Physics of Plasmas*, 16, 043704-1-043704-5 (2009).
- (9) Yukihiro Tomita, Takatoshi Yamada, Osamu Ishihara: "Charging of Dust Particles in Magnetic Field", *Journal of Plasma and Fusion Research Series* 8, 273-276 (2009).
- (10) J. Kubota, C. Kojima, W. Sekine and O. Ishihara: "Coulomb cluster in a plasma under cryogenic environment", *Journal of Plasma and Fusion Research Series* 8, 286-289 (2009).
- (11) W. Sekine, O. Ishihara and M. Rosenberg: "Dust dynamics in cryogenic environment", *Journal of Plasma and Fusion Research Series* 8, 290-293 (2009).
- (12) G-D. Tan & T. Mieno: "Experimental and numerical Studies of Heat CONvection in the Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotubes by Arc Vaporization", *Jpn. J. Appl. Phys.* 49 (2010) (in press).
- (13) T. Mieno & S. Hasegawa: "Titan Satellite could be a Carbon-Cluster Factory -From Light-Gas Gun Experiment -", *Tran. Jpn. Soc. Aeronautical Space Sci. (JSASS)*, 53 (2010) (in press).
- (14) G-D. Tan & T. Mieno: "Synthesis of single-walled carbon nanotubes by arc-evaporation under high gravity condition", *Thin Solid Films*, 518 (2010) p. 3541-3545 .
- (15) S. Takechi, T. Onishi, S. Minami, T. Miyachi, M. Fujii, N. Hasebe, K. Mori, K. Nogami, H. Ohashi, S. Sasaki, H. Shibata, T. Iwai, E. Grün, R. Srama, N. Okada : "Characteristics of piezoelectric lead zirconate titanate multilayered detector bombarded with hypervelocity iron particles", *Adv. Space Res.* 43 455-459 (2009).
- (16) S. Takechi, K. Nogami, T. Miyachi, M. Fujii, N. Hasebe, T. Iwai, S. Sasaki, H. Ohashi, H. Shibata, E. Grün, R. Srama, N. Okada: "Laboratory calibration measurements of a piezoelectric lead zirconate titanate cosmic dust detector at low velocities", *Adv. Space Res.* 43 905-909 (2009).
- (17) K. Nogami, M. Fujii, H. Ohashi, T. Miyachi, S. Sasaki, S. Hasegawa, H. Yano, H. Shibata, T. Iwai, S. Minami, S. Takechi, E. Gruen, R. Srama : "Development of the Mercury dust monitor (MDM) onboard the BepiColombo mission" *Planet. Space Sci.* 58 108-115 (2010).
- (18) Nunomura S, Kondo M: "Precursor flux-dependent microstructure of thin-film silicon prepared by hydrogen diluted silane discharge plasmas", *J. Phys. D - Applied Physics*, 42(18 A), 185210, 2009.
- (19) Nunomura S, Yoshida I, Kondo M: "Time-dependent gas phase kinetics in a hydrogen diluted silane plasma", *Appl. Phys. Lett.* 4(7), 071502, 2009.

採択番号 H19/B09

採択回数 1 2 ③

証明論的アプローチによるプログラム構成原理

[1] 組織

代表者：佐藤 雅彦
 (京都大学大学院情報学研究科)
 対応者：外山 芳人
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：
 五十嵐 淳
 (京都大学大学院情報学研究科)
 中澤 巧爾
 (京都大学大学院情報学研究科)
 亀山 幸義
 (筑波大学システム情報工学研究科)
 桜井 貴文 (千葉大学理学部)

研究費：物件費 3 万 5 千円，旅費 24 万 3 千円

[2] 研究経過

本プロジェクトの目的

証明の構文的性質を議論する証明論は、論理学における主要な分野の一つとして古くから活発に研究されているが、構文的対象を操作するその手法は、計算機科学、とくにプログラムとその計算過程を構成的な立場から構文論的に表現する操作的意味論と密接に関連する。本研究では、証明論的手法をプログラム意味論、とくに操作的意味論の研究に応用し、構成的な立場からより性質のよいプログラミング言語を設計する指針を与えることを目的とする。

研究会の開催状況

本プロジェクトは本年度が第三年度であった。上記目的達成のため、一回のプロジェクト研究会を開催し、活発な議論を通して、ロジックの立場、計算論の立場、さらにこれらを統合した型理論の立場からプログラミング言語の本質を追及した。

プロジェクト研究会は、平成 21 年 11 月 26 日から 27 日に東北大学電気通信研究所において開催され、本研究参加の研究者らによって最新の研究結果の紹介と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。

- 人間による計算と論理に関する知的活動をコンピュータ上で支援する「自然枠組」(Natural Framework)を実装するためのプログラミング言語の設計について考察をした。この言語の中核部分で必要となる数学的対象は、それぞれ、ある基本的な「概念」(concept)を満足するものとして特徴づけられ、そのため抽象化の操作を必要としない帰納的な記号操作でこれらの数学的対象が構成できることを示した。
- リダクションを行わず評価によって正規形を求める技術である Normalization by Evaluation (NBE 法) を、型無しラムダ計算に対して適用した例について考察した。NBE 法の対象を停止性をみたくラムダ式のみで制限することで、NBE 法の

正当性を比較的簡単に証明することができ、実装も Scheme の値呼び評価をそのまま利用できるのが容易である。

3. 古典論理に基づく型体系から直観主義論理に基づく型体系への簡約を保つ変換を与えた。ここでいう簡約を保つ変換とは、1 ステップの簡約が 1 ステップ以上の簡約に写される変換のことであり、この変換を使うと強正規化性を容易に示すことができる。さらに、変換した先で 1 ステップ以上の簡約があれば変換元でも 1 ステップ以上の簡約が存在するための条件について考察した。

4. 「限定継続」を持つ名前呼び計算について考察した。先行研究では、意味論・形式体系とも未整理であったが、本研究では、CPS 変換に基づく意味論を系統的に考察し、4 種類の意味論が自然に生じることを確認した。また、それらに対する体系を定式化し、健全かつ完全な公理化が可能であることを明らかにした。

5. 無限項上の強頭部正規化可能性について考察した。無限項を簡約の対象とするとき、書き換えシステムの強頭部正規化可能性は、書き換え列の極限の存在を保証する基本的な性質となっている。従来、強頭部正規化可能性を自動検証する試みについては提案されているが、反証についてはあまり試みがない。強頭部正規化可能性を自動的に反証する試みについて報告をした。

6. 操作的意味論には、プログラムの計算の各ステップを項の二項関係として表す small-step 意味論とプログラムとその実行結果を関連付ける big-step 意味論のふたつの流儀があり、プログラム実行の直観的な意味に対して、両方の流儀で表現された意味論が何らかの意味で等価であることを証明することもよく行われる。本研究では、二つの流儀を比較し、big-step 意味論が、プログラム意味論を初めて学ぶ者には理解しやすい傾向があるものの、定義をうまく与えていることを示すことがより困難であることを示した。

7. 直観主義論理のクリプキ意味論を一般化することによって得られる様々な論理の述語拡大に対して、ツリーシーケント計算の手法を用いて完全性を証明した。また、それを通してヒルベルト流の公理系の完全性の証明を与えた。

8. 段階的計算に対する CPS 意味論に関する考察を

行なった。段階的計算とは、各部分プログラムに計算を行うべき計算ステージを明示することで、段階的に計算手続きを行っていく計算メカニズムである。段階的な計算手続きの下では、現在のステージで実行されるべきプログラムのみが評価され、以降のステージで実行されるプログラムは現在のステージでは評価をしないプログラムコードとして扱われる。この計算メカニズムを用いることで動的コード生成や部分計算などの技術が実現される。段階的計算の機構を備えた計算モデルは既にいくつか提案されているが、そこで与えられている意味論は段階的計算の直観を形式的に書き下した操作的意味論が主である。そこで本研究では、段階的計算の他の意味論による理由づけを与えることを目標とし、継続渡しスタイル(CPS)変換を用いた意味論の考察を行なった。

9. 存在型を含むラムダ計算における型付け問題について考察した。型付け問題には、与えられた項が与えられた型を持つか否かを判定する型検査問題と、与えられた項が何らかの型を持つか否かを検査する型付け可能性問題があるが、存在型と関数型を含むラムダ計算の体系、および、存在型と組型と継続型を持つラムダ計算の体系のそれぞれにおいて、これら二つの問題が Turing 還元可能性の意味で同値であることを証明した。この結果は存在型を含むラムダ計算における型付け可能性問題の決定不可能性に対する新たな証明を与える。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では、より性質の良いプログラミング言語の実現を目標に、主に構成的な立場からプログラム意味論の基礎的な研究を行ない、関連の成果が蓄積されつつある。構文的対象を直接扱う構成的な手法に基づくアプローチは、計算機上での実現が比較的容易であると考えられる。このため本研究の成果は純粋な理論的成果に留まらず、プログラム検証や開発支援技術の新しい可能性を開くものとして期待できる。また、本プロジェクトの活発な交流を通して形成された、複数の大学の多岐に渡る計算機科学分野の研究グループ間のネットワークは、今後の電気通信研究所を中心とした国際的な研究ネットワークを形成する基盤となることが期待される。

[4] 成果資料

[1] Takahito Aoto and Toshiyuki Yamada, Argument filterings and usable rules for simply typed dependency pairs. In Proceedings of the 7th International Symposium on Frontiers of Combining Systems (FroCoS 2009), Trento, Italy, LNAI 5749, pp. 117–132, 2009.

[2] Takahito Aoto, Junichi Yoshida and Yoshihito Toyama, Proving confluence of term rewriting systems automatically. In Proceedings of the 20th International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2009), Brasilia, Brazil, LNCS 5595, pp. 93–102, 2009.

[3] 吉田順一, 青戸等人, 外山 芳人, 項書き換えシステムの合流性自動判定. コンピュータソフトウェア, Vol. 26, No. 2, pp. 76–92, 2009.

[4] 寫津聡志, 青戸等人, 外山 芳人, 反証機能付き書き換え帰納法のための補題自動生成法. コンピュータソフトウェア, Vol. 26, No. 2, pp. 41–55, 2009.

[5] 杉浦啓介, 亀山幸義, コード実行機能と計算エフェクトを持つ型付きマルチステージ言語. コンピュータソフトウェア, accepted for publication.

[6] Koji Nakazawa and Makoto Tatsuta. Type Checking and Inference for Polymorphic and Existential Types in Multiple Quantifier and Type-Free Systems. Chicago Journal of Theoretical Computer Science, to appear.

[7] Yuki Kato and Koji Nakazawa. Type checking and inference are equivalent in lambda calculi with existential types. In Post-workshop Proceedings of 18th International Workshop on Functional and (Constraint) Logic Programming (WFLP 2009), Lecture Notes in Computer Science, to appear.

採択番号 H20/B02

高性能圧電材料の開発と情報・通信デバイスへの応用

[1] 組織

代表者：櫛引 淳一

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：長 康雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

中村 健良 (PDT ラボラトリー)

金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)

安達正利 (富山県立大学工学部)

宇野武彦 (神奈川工科大学工学部)

黒澤 実 (東京工業大学大学院総合理工学研究科)

小松隆一 (山口大学大学院理工学研究科)

近藤 淳 (静岡大学創造科学大学院ナノマテリアル部門)

関本 仁 (首都大学東京理工学研究科)

高野剛浩 (東北工業大学工学部)

竹中 正 (東京理科大学理工学部)

中川恭彦 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

橋本研也 (千葉大学大学院工学研究科)

広瀬精二 (山形大学大学院理工学研究科)

深海龍夫 (信州大学工学部)

宝川幸司 (神奈川工科大学工学部)

山田 顕 (東北学院大学工学部)

若月 昇 (石巻専修大学大学院理工学研究科)

鹿田真一 (独立行政法人産業技術総合研究所
ダイヤモンド研究センター)

江口 治 (京セラキンセキ)

門田道雄 (村田製作所)

木村悟利 (日本電波工業)

佐藤良夫 (富士通研究所)

芝 隆司 (日立メディアエレクトロニクス)

船坂 司 (セイコーエプソン)

谷津田博美 (日本無線)

山下洋八 (東芝リサーチコンサルティング)

小田川裕之 (熊本高等専門学校)

研究費：物件費 5 万円，旅費 5 7 万円

[2] 研究経過

本研究会は、次世代情報通信システム用の圧電材料の開発からその物性と性能評価、更にはデバイスまで包括的に研究討論を行い、研究・開発を進めることを目的に行われている。本年度は平成 22 年 2 月 1、2 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 2010」と題する公開シンポジウム形式で行われた。プロジェクト研究メンバーの他、一般からも講演を募り、山口大学の小松隆一氏による「ほう酸塩圧電結晶の探索と高品質ほう酸塩結晶育成」と静岡大学の近藤淳氏による「音による液滴制御を利用したマイクロ実験室の研究」と題する招待講演 2 件を含む計 35 件の研究発表が行われた。参加者は 114 名であり活発なシンポジウムとなった。各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである。

(A) 薄膜： LFB 超音波材料解析システムによる石英ガラス上の ZnO 多結晶薄膜の評価、RF バイアスパッタ法による簡便な面内配向 ZnO 薄膜の形成、傾斜配向 AlN 膜の構造が横波音響特性におよぼす影響、スパッタ法による(001)配向(K,Na)NbO₃薄膜の圧電特性について発表があった。

(B) 圧電・強誘電材料： ほう酸塩圧電結晶の探索と高品質ほう酸塩結晶育成に関する招待講演に続いて、KNbO₃系強誘電体セラミックスの大振幅圧電特性、水熱合成による板状(K,Na)NbO₃粉末の作製、2 wt % 0.6B₂O₃-0.4CuO 添加の 0.95(K_{0.5}Na_{0.5})NbO₃-0.05BaTiO₃ 圧電セラミックスの作製と圧電性の評価、Application of Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ Crystals and Their 1-3 Composites in Ultrasonic Transducers についての発表があった。

(C) バルク波・薄膜デバイス I： ナノダイヤモンド薄膜を用いた F B A R 試作、Quantitative Analysis of Power Leakage at the Anti-Resonance Frequency in an FBAR Device、超広帯域共振子とそのチューナブルフィルタへの応用、超高周波レーザドップラ振動計を用いたディスク型共振子の振動モード同定、PZT の成膜技術とその高周波共振子への適用に関する研究についての発表があった。

(D) アクチュエータ： 単相駆動モータ用モード結合 LiNbO₃ 矩形板の結晶カット角の検討、非鉛積層圧電セラミックスを用いた屈曲 2 重モード小型片持ちはりモータの設計方法、圧電アクチュエータによる開閉電気接点の弾性・塑性変形の検討についての発表があった。

(E) バルク波・薄膜デバイス II： 輪郭振動型 AlN 振動子の作製プロセスと高 Q 化、多共振型圧電振動子の音響特性、表面負荷近似に基づいた水晶 AT 板

振動子に対する接着層の影響の数値解析、ラム波利用の光モード変換器についての発表があった。

(F) 弾性表面波： $Ta_2O_5/Al/LiNbO_3$ 構造を用いた高結合 SAW 共振器、COMSOL Multiphysics を用いた高速 SAW デバイスシミュレーション、対面張り合わせ構造を持つ SAW 素子に関する基礎検討、水晶回転 Y 板 X 伝播の分散特性、ボール SAW 素子におけるすだれ状電極の方位と伝搬特性の関係、電極幅・膜厚を考慮した一方向性分散型すだれ状電極と位相直線・広帯域角型・低損失フィルタの解析についての発表があった。

(G) センサ： 音による液滴制御を利用したマイクロ実験室の研究についての招待講演に続いて、ボール SAW センサを用いた多種類の危険・有害ガス分析法の開発、高温相水晶による無電極ワイヤレス温度センサの検討についての発表があった。

(H) 計測・評価： 強誘電体における空間分解ラマンおよびカソードルミネッセンス分光分析、エピタキシャル PZT 系薄膜の偏光顕微ラマン分光分析、超音波マイクロスペクトロスコピー技術による ZnO 単結晶の音響関連物理定数の決定、漏洩弾性表面波伝搬特性の理論的・実験的検討、Y 軸伝搬 Z 軸偏波の横波音響特性の測定についての発表があった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

薄膜の関連では、異なる作製方法の ZnO 多結晶薄膜に対して c 軸配向性の違いを LSAW 速度測定により捉えた。バイアススパッタ法によるスパッタ成膜中の基板へのイオン照射により面内配向 ZnO 薄膜が簡便に形成可能であることを明らかにした。c 軸傾斜 AlN 膜について結晶粒界が明確な高角度傾斜膜では横波速度が低下する問題を発見した。RF マグネトロンスパッタ法による (001) 配向 $(K,Na)NbO_3$ 薄膜で非鉛圧電薄膜中では最高の圧電定数 $e_{31} = -4.3 \sim -5.5 \text{ C/m}^2$ を得ることに成功した。

圧電・強誘電材料の関連では、四ほう酸リチウム単結晶の育成、材料探索、新圧電材料探索についての研究成果報告の他、 $KNbO_3 + Mn$ セラミックス圧電特性が大振幅領域において優れた機械的安定性を有することが示された。水熱反応と熱処理による低コスト、省エネ、量産可能な板状ニオブ酸カリウム粉末の生成に成功した。2wt% の $0.6B_2O_3 \cdot 0.4CuO$ 添加して焼結することで、粒界・圧電性の大きい非鉛系 $0.95(K_{0.5}Na_{0.5})NbO_3 \cdot 0.05BaTiO_3$ の作製に成功した。1-3 混合 PMN-PT で従来の PZT トランスデューサよりも 6.7% 広帯域幅、4 dB 優れた感度、92% の結合係数を達成した。

バルク・薄膜デバイスの関連では、ナノダイヤモンド上にダイアフラム型 FBAR を試作し良好な特

性が得られ、FBAR 共振器の音響損失の定量解析とレーザープローブ測定結果の解釈をした。 $LiNbO_3$ 基板に Cu 電極を埋め込むことで従来の 1.3 倍の比帯域 17% が得られた。ディスク型共振子の屈曲モード振動で生じるスプリアスを超高周波レーザドップラ振動計によりモード特定できた。成膜前に下部電極形成することによりプロセス中の PZT 膜へのダメージを低減し、電気機械結合係数も 12.1% まで向上した。高結合係数と高 Q 値の両立が可能な広がりモード振動子で figure of merit が共振周波数 71、反共振周波数 94、 k^2 が 2.5% 前後の良好な性能が得られた。2つの整合層を接着した多共振型圧電振動子の周波数帯域の下限は共振体の、上限は圧電振動子の共振周波数で決まることを示し、試作振動子で比帯域 88% を得た。方形水晶 AT 板の結合振動におけるシリコン系接着剤層による厚みすべり主共振の抵抗増加が表面負荷近似で 3D 計算モデルに導入できることを示した。屈折率周期構造中を伝搬する光波のモード変換デバイスとしてラム波を用いた効率的な変換器の作製に成功した。

アクチュエータの関連では、単結晶 $LiNbO_3$ 矩形板の結合モード利用単相駆動モータにおける結合メカニズムと適切な結晶カット角について検討した。非鉛積層圧電セラミックスを用いた片持ちはりモータは鏝半径により回転重視型とトルク重視型とを制御できることを明らかにした。電気接点を圧電アクチュエータで精密開離して、接点接触状態と接点溶解現象と放電現象の関係を明らかにした。

弾性表面波の関連では、 $Ta_2O_5/Al/5^\circ YX-LiNbO_3$ の最適 Ta_2O_5 膜厚を見出し、SAW 共振器では最小挿入損失 0.17 dB、最大減衰量 27 dB、 K^2_s は 23%、ラダー型フィルタでは最小挿入損失 0.4 dB、-3 dB 帯域幅は 230 MHz の良好な特性が得られた。COMSOL Multiphysics 有限要素法ツールにより SAW デバイス全体の 2D 解析を実用的な時間で実現した。SAW デバイス基板同士を高分子材料・低融点金属で対面張り合わせしモード結合させ特性向上・小型化を図った。水晶 ST 板近傍の擬似縦波モードの伝播定数を与える近似式を導出した。ボール SAW 素子の受信波形が乱れる場合、一周毎に SAW 伝搬経路が異なっていることを見出した。重ね合わせ露光を必要としない、アップとダウン双方向に方向性をもつ一方向性分散型すだれ状電極で良好な低損失特性と角型特性が得られることを示した。

センサの関連では、弾性波を利用した液滴搬送・混合・計測用の使い捨て可能なマイクロ実験室を、センサプレート/マッチング層/圧電結晶構造で実現した。保持力の大小異なるカラムの直列/並列の切換え機構を導入し小型で高速分析可能なボール

SAW 多種類ガスセンサを実現した。相転移後の β 水晶の圧電共振がAT・BT板において900°Cまで高いQ値が得られることを示した。

計測・評価の関連では、偏光ラマン分光とカソードルミネッセンスを用いた強誘電体の三次元的なドメイン構造解析の可能性を示した。超音波マイクロスペクトロスコーピー技術を用いて、ZnO単結晶の高精度な音響関連物理定数決定、LSAWおよびY軸伝搬Z軸偏波横波に対する誘電緩和に起因する速度分散、減衰係数の変化を理論的・実験的に検討し抵抗率評価の可能性を示した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を母体として開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は、圧電材料を主題として、材料探索、作製、評価、デバイスへの応用と、それぞれ第一線の研究を包括的に討論できる数少ない場として高く評価されている。発表論文が他の学術誌で引用されており、当該分野での主要な研究集会の一つとして認知されるに至った。関連分野で活発に研究を進めている研究者が集って発表と討論を行うことで、密接な情報交換と研究協力がなされ、次世代の圧電デバイスの研究・開発を効果的に進展させ、我が国が引き続きこの分野で世界をリードするうえで本プロジェクト研究会は大きく貢献したと考えている。今までの成果を元に、通信・デバイス分野への一層の発展が期待されている。

[4] 成果資料

- (1) J. Kushibiki, Y. Ohashi, M. Arakawa, T. Tanaka, S. Yoshida, Y. Kourai, and N. Sakagami, "Ultrasonic microspectroscopy of ZnO single crystals grown by the hydrothermal method," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 49, 026602 (2010).
- (2) J. Kushibiki, Y. Ohashi, M. Arakawa, T. Tanaka, S. Yoshida, and K. Asano, "Development of a micro line-focus-beam ultrasonic device," Appl. Phys. Express, Vol. 2, 086501 (2009).
- (3) J. Kushibiki, Y. Ohashi, M. Arakawa, and T. Tanaka, "Procedures for determining acoustical physical constants of class *6mm* single crystals by ultrasonic microspectroscopy technology," J. Appl. Phys., Vol. 105, 114913 (2009).
- (4) M. Kadota, T. Ogami, K. Yamamoto, Y. Negoro and H. Tochishita, "High-Frequency Lamb Wave Device Composed of LiNbO₃ Thin Film", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.48, 07GG08-1-4 (2009).
- (5) M. Kadota, T. Nakao, T. Murata, and K. Matsuda, "High-Frequency Surface Acoustic Wave Resonator Filter Composed of ZnO/High-Density Electrode/Quartz Structure", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 07GG03-1-4 (2009).
- (6) T. Murata, M. Kadota, T. Nakao, K. Matsuda, and K. Hashimoto, "Improvement of Shape Factor and Loss of Surface Acoustic Wave Resonator Filter Composed of SiO₂/High-Density-Electrode/LiTaO₃", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 07GG05-1-4 (2009).
- (7) Y. Nakai, T. Nakao, K. Nishiyama and M. Kadota, "Surface Acoustic Wave Duplexer composed of SiO₂/Cu-electrode/ LiNbO₃ Structure having convex and concave portions", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 07GG02-1-5 (2009).
- (8) H. Sekimoto, T. Fujiwara, S. Goka, and Yasuaki Watanabe, "Three-Dimensional Analysis of Coupled Vibrations of Rectangular AT-Cut Quartz Plates with Tab Electrodes," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 082503 (2009).
- (9) H. Kanai, "Propagation of Vibration Caused by Electrical Excitation in the Normal Human Heart," Ultrasound Med. Biology, Vol. 35, pp. 382-394 (2009).
- (10) K. Ikeshita, H. Hasegawa, and H. Kanai, "Flow-Mediated Change in Viscoelastic Property of Radial Arterial Wall Measured by 22MHz Ultrasound," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 07GJ10-1-5 (2009)
- (11) S. Shikata, S. Fujii, and T. Sharda, "Fabrication of Film Bulk Acoustic Wave Resonator from Nano-Crystalline Diamond", Diamond and Related Materials, Vol. 18, pp. 253-257 (2009).
- (12) Y. Hiruma, H. Nagata, and T. Takenaka, "Thermal depoling process and piezoelectric properties of bismuth sodium titanate ceramics", J. Appl. Phys., Vol. 105, 084112-1-8 (2009).
- (13) H. Nagata, T. Hirose, K. Hikita, Y. Hiruma and T. Takenaka, "Evaluation of piezoelectric properties for KNbO₃-based ceramics," Ferroelectrics, Vol. 381, pp. 191-195 (2009).
- (14) M. Nemoto, Y. Hiruma, H. Nagata and T. Takenaka, "Control of Microstructures of Textured (Bi_{1/2}K_{1/2})TiO₃-BaTiO₃ Ceramics," Ferroelectrics, Vol. 385, pp. 149-154 (2009).
- (15) N. Yasuda, M. Sugimoto, J. Kondoh, "Novel Micro-Laboratory on Piezoelectric Crystal," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 07GG14 (2009).
- (16) K. Yamada, H. Honda, S. Horiuchi, and T. Kinai, "Liquid-Level Sensing by Trapped-Energy-Mode Thickness Vibration," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 48, 07GB08-1-3 (2009).
- (17) N. Wakatsuki, N. Takatsu, T. Maeda and T. Kudo, "Analytical model of melting phenomena for breaking relay contacts," ICICE Trans. ELECTRON., Vol. E92-C, No. 8, pp.1003-1007 (2009).

採択番号 H20/B03

採択回数 1 ② 3

新概念材料・記憶原理に基づく 大容量半導体メモリに関する研究

[1] 組織

代表者：渡部 平司
(大阪大学 大学院工学研究科)

対応者：遠藤 哲郎
(東北大学 学際科学
国際高等研究センター)

分担者：

宮崎 誠一
(広島大学 大学院先端物質科学研究科)

堀口 文男
(東洋大学 工学部
コンピューテーション工学科)

内富 直隆
(長岡技術科学大学 工学部 電気系)

佐竹 郁夫
(大阪大学 大学院理学研究科)

白石 賢二
(筑波大学 計算科学研究センター)

名取 研二
(筑波大学 数理物質科学研究科)

有門 経敏
(東京エレクトロン株式会社)

執行 直之
(株)東芝 セミコンダクター社
メモリ事業部)

村岡 浩一
(株)東芝 東芝研究開発センター)

最上 徹
(株)Selete 半導体先端テクノロジーズ)

佐藤 基之
(株)Selete 半導体先端テクノロジーズ)

研究費：物件費 5万円，旅費41万1千円

[2] 研究経過

半導体メモリの大容量化・高速動作化に関する研究が、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。

これらはシリコン集積回路が、次世代電子システムには必要不可欠であり、高度情報通信社会を支えるキーデバイスの一つであることに起因する。特に、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージする半導体メモリの高性能化、特にその大容量化・高速動作化が強く要望されている。また、産業の観点から見ると、半導体メモリは、シリコン集積回路の中核製品であり、次世代を担うための基盤技術を構築することは急務である。

従来の半導体メモリの研究の多くは、その基本的メモリセル構造や動作原理における革新的変革はなく、メモリセルの寸法を微細化することなどにより、半導体メモリの高速化・低消費電力化・高集積化・低コスト化を実現してきた。しかし、フラッシュメモリに代表される従来のデータストレージ用半導体不揮発性メモリは、①データ書き換え回数が約十萬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。

上記の状況を踏まえて、この問題の打開には、微細加工技術の改善やゲート絶縁膜の高品質化や回路性能の向上といった個別の要素研究を進めてゆくだけでは不十分であり、所望の性能を達成し得る新しいデバイス構造・動作原理を提案すると共に、そのデバイスを実現するためのナノ材料プロセス研究からデバイス・回路設計研究までの幅広い研究を学際的に行っていく必要がある。そして、これら新規材料や新概念の物理を活用して、近年スピンメモリや相変化メモリなど様々な新規メモリの提案・研究が

活発化してきている。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。昨年度は、今後半導体メモリの大容量化・高速動作化を実現する上で研究を進めるべき課題、①新規材料、②プロセス設計、③デバイス設計、④デバイス動作原理、⑤回路設計、⑥アーキテクチャー設計、⑦CAD 技術の各7項目を抽出し、これらに基づき検討を進めた。

本年度も昨年度定めた方針に基づき、引き続いて「新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究」について、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研究を進めた。

具体的な活動として、本年度は、産官学の半導体デバイス分野の中核をなす研究者の集まる研究集会 NWDTF と共同で、平成22年1月10日に本研究について研究会を開催し、当該研究分野における技術的方向性、及び、具体的な研究手法を含む様々な分野に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論が交わされた。

NWDTF-10 in Sendai および
通研共同プロジェクト合同研究会
(IEEE 仙台共催)
日時：2010年 1月10日
場所：東北大学・学際科学国際高等研究センター
1階 セミナー室

[3] 成果

(3-1) 研究成果

半導体メモリの大容量化・高速動作化に関する最新の研究状況と研究方向を議論し、研究のさらなる進展を目指し、上述の研究会を開催し、本年は以下に示す研究成果を得た。

本共同プロジェクト研究会での研究状況、今後半導体メモリの大容量化・高速動作化を実現する上で研究を進めるべき課題、①新規材料、②プロセス設計、③デバイス設計、④デバイス動作原理、⑤回路設計、⑥アーキテクチャー設計、⑦CAD 技術の各7項目に対して、幅広く議論した。

特に、ゲルマニウムなどの新規材料に関して、MOS 界面形成過程とその絶縁特性の関係について、真空一貫プロセスを用いて系統的に評価した結果について議論を行った。

また、SiO₂ 酸化膜に埋め込まれたナノドットへの電子の注入・放出を実験、理論両面から検討することで、ナノ界面における電子ダイナミクスの

物理の解明を進め、その物理の新規の半導体メモリへの適応の可能性について考察した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会の目標とする成果は、①基本記憶素子としての半導体メモリセルの微細化に関する技術、②基本記憶素子としての半導体メモリセルの高速動作化に関する技術、③半導体メモリの高密度化・高速動作化を実現する回路技術に関する技術、④上述の性能を実現するために材料・プロセス技術など研究を通して、半導体メモリの高速動作化・大容量化を実現することにある。

これは、マルチメディア情報などの膨大なデータをシームレスに携帯機器で活用する、いわゆるユビキタスネットワークの実現に向けて、そのデータをストレージするキーデバイスを実現させるものである。さらには、情報通信産業、半導体産業を初めとする電子・情報技術分野における急成長の維持を、今後も可能にするものである。従って、電子・情報通信技術分野に於ける本研究成果の波及効果は大きい。

本年度は、本プロジェクトを通じた、研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大の結果、上述したように、産官学の半導体研究分野の中核をなす研究者らによる研究会 NWDTF との共同での研究会を開催に至り、より広く新概念材料・記憶原理に基づく大容量半導体メモリに関する研究への応用について意見交換および技術討論を行った。

また、共同研究会においては、多くの若手研究者に研究報告の機会を与え、一流の研究者達との議論の場を設けた。これらは若手研究者の育成につながると期待される。

この結果、本プロジェクトで明らかになりつつある大容量化・高速動作化半導体メモリ技術は、新しい高性能メモリの発展に結びつき、今後の発展が期待されている。

今後、これまでに得た知見を元に、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) Takashi Ando, Tomoyuki Hirano, Kaori Tai, Shinpei Yamaguchi, Shinichi Yoshida, Hayato Iwamoto, Shingo Kadomura, and Heiji Watanabe, "Band-Edge High Performance Metal-Gate/High-k nMOSFET Using Hf-Si/HfO₂ Stack", IEEE Transactions on

- Electron Devices, 56 (12) 3223-3227 (2009)
- (2) Katsuhiko Kutsuki, Gaku Okamoto, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, "Fabrication of Single-Crystal Local Germanium-on-Insulator Structures by Lateral Liquid-Phase Epitaxy", Program and Exhibit Guide of 2009 MRS fall meeting, pp.113 (2009)
- (3) Katsuhiko Kutsuki, Gaku Okamoto, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, "Impact of Plasma Nitridation on Physical and Electrical Properties of Ultrathin Thermal Oxides on Ge(100)", Program and Exhibit Guide of 2009 MRS fall meeting, pp.114 (2009)
- (4) Okamoto, Katsuhiko Kutsuki, Shingo Ogawa, Takashi Yamamoto, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, "New Insights into Flatband Voltage Shift and Minority Carrier Generation in GeO₂/Ge MOS devices", Abstracts, 40th IEEE Semiconductor Interface Specialists Conference, Session4, 4.2(2009)
- (5) Takayoshi Shimura, Yuki Okamoto, Shimokawa Daisuke, Tomoyuki Inoue, Takuji Hosoi, and Heiji Watanabe, "Synchrotron X-ray Diffraction Studies of Thermal Oxidation of Si and SiGe", ECS Transactions, 19 (2) 479-493 (2009)
- (6) Fumitaka Iga and Tetsuo Endoh, "Evaluation of Time-Dependent Power Consumption in SONOS type MOS diode during Program Operation by using Pulsed IV system", The 2009 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK2009), C-4, May 14-15, 2009.
- (7) Tetsuo Endoh, Kazuhiro Suzuki, Masashi Kamiyanagi, Masakazu Muraguchi, "Study of Stability of MOS Current Mode Logic NAND Circuit on Input Timing Fluctuation", The 2009 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK2009), SC-7, May 14-15, 2009
- (8) Tetsuo Endoh, Fumitaka Iga, Shoji Ikeda, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Masashi Kamiyanagi, Haruhiro Hasegawa, Takahiro Hanyu and Hideo Ohno, "The Performance of Magnetic Tunnel Junction Integrated on the Back-end Metal Line of CMOS Circuits", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2009), K-7-6, Oct. 7-9, 2009
- (9) Masashi Kamiyanagi, Fumitaka Iga, Shoji Ikeda, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Haruhiro Hasegawa, Takahiro Hanyu, Hideo Ohno, Tetsuo Endoh, "Transient characteristic of fabricated Magnetic Tunnel Junction (MTJ) programmed with CMOS circuit", 2009 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2009) June 24-26, 2009, 1A.3
- (10) Masakazu Muraguchi, Yukihiro Takada, Shintaro Nomura, Tetsuo Endoh, Kenji Shiraishi, "Importance of the Electronic State on the Electrode in Electron Tunneling Processes between the Electrode and the Quantum Dot", 2009 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2009), June 24-26, 2009, 3A.8

採択番号 H20/B04

ナノ半導体材料とそのデバイスへの応用に関する研究

[1] 組織

代表者：山部 紀久夫
 (筑波大学 数理物質科学研究科)

対応者：遠藤 哲郎
 (東北大学 学際科学国際高等研究センター)

分担者：

山田 啓作
 (早稲田大学 ナノテクノロジー研究所)

蓮沼 隆
 (筑波大学 数理物質科学研究科)

知京 豊裕
 (独立行政法人 物質・材料研究機構
 半導体材料センター)

品田 賢宏
 (早稲田大学 先端科学・
 健康医療融合研究機構)

猪川 洋
 (静岡大学 電子工学研究所)

中山 隆史
 (千葉大学 大学院理学研究科)

白石賢二
 (筑波大学 数理物質科学研究科)

研究費：物件費 5万円，旅費31万1千円

[2] 研究経過

シリコン集積回路に代表される情報デバイスは、次世代情報化社会を実現するために、さらなる高性能化が広く世の中から望まれている。そのため、ナノスケール構造のシリコン半導体デバイスを実現することは急務である。しかし、半導体表面におけるナノ構造形成のためのプロセス技術は未だ確立されていない。さらに、単なる微細化による半導体デバイスの高性能化には限界が見え始めている。以上の知見により、本共同プロジェクト研究会では、半導体におけるナノ構造形成プロセス技術に関する研究を行うと共に、当該ナノ構造によって発現する物理現象を応用した新機能シリコン半導体デバイスに関する研究を行うことを

目的とし、量子論・統計学などのサイエンスを学術的背景とする第一線の研究者と、材料工学・デバイス工学・集積回路工学を学術的背景とする第一線の研究者をコアメンバーとして組織し、分野横断的かつ緊密な議論を行うことで、将来のナノ半導体材料の指導原理の開拓を目指すと共に、それを応用したナノメタ世代に適合した新しいデバイス技術の創生を目指している。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、ナノ半導体材料とそのデバイス応用に関して、シリコン(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・界面ラフネスに着目し、シリコン酸化膜の表面・界面の原子的凹凸を調査することで、極薄化における技術課題について、特に絶縁膜の破壊機構に注目して研究を進めた。

さらに、シリコン(110)、(100)面での表面ラフネス変化に着目し、シリコン酸化膜表面のラフネスの成長が、未酸化シリコンの放出と強く関連していることを明確化した。

本年度は昨年度からの発展として、極薄シリコン酸化膜の破壊現象について、超平坦シリコン上に形成したシリコン酸化膜の絶縁破壊現象の解明を目指し研究を行った。

さらに、当該ナノ構造によって発現する物理現象の解明とそのデバイス応用を目指し、シリコン-シリコン酸化膜界面における電子移動過程について実験、理論両面から研究を行った。

本年度は、産官学の半導体デバイス分野の中核を担う研究者の集まる研究会 NWDTF との共同で、平成22年1月10日に本研究について研究会を開催した。

NWDTF-10 in Sendai および
 通研共同プロジェクト合同研究会
 IEEE 仙台共催
 日時：2010年 1月10日
 場所：東北大学 学際科学国際高等研究センター
 1階 セミナー室

当該研究分野における技術的方向性、及び、具体的な研究手法を含む様々な分野に関して、今年度の研究成果を踏まえて活発な議論がなされた。

[3] 成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(3-1) 研究成果

原子的に平坦なシリコン単結晶表面を熱酸化することによって、シリコン酸化膜表面・界面の原子レベルのマイクロラフネスを観察することができる。これは、鏡面研磨表面では見出せない状態である。

本プロジェクトにおいては、本年度はこの超平坦シリコン上に形成したシリコン酸化膜の絶縁破壊現象の解明を目指し研究を行った。具体的には、絶縁膜に印加するストレスシーケンスとその後の回復処理シーケンスを様々変化させて、絶縁膜の信頼性特性に対する影響を観察した。さらに、半導体デバイスのゲート材料として導入が進められつつある高誘電体材料にもターゲットを広げ、同様にストレス印加による欠陥準位の変化を調べることで、その膜質変化、局所的絶縁破壊のメカニズムを明らかにするための、知見を得た。

また、昨年度取り組んだシリコン半導体表面における初期酸化のメカニズム関しても引き続き議論を行った。評価分析的手法からのアプローチだけでなく、半導体表面の物理的形狀並びに酸化物表面の物理的形狀の相関関係をベースに、その電気的特性と絶縁膜の物理的形狀の関係を議論し、シリコン(111)表面の原子ステップにおける絶縁破壊とその回復機構の関係を解明するための準備を進めた。

また、シリコン-シリコン酸化膜界面における電荷移動過程を実験、理論両面から検討を行い、ナノ界面における電荷の挙動と、信頼性の関係について、デバイス応用を視野に入れた検討を行った。

上述の成果を踏まえて、本研究の基盤となるシリコン半導体表面における反応過程及びナノスケール構造の形成プロセス、電荷移動過程に関する議論を行った。具体的には、シリコン半導体表面に形成する高誘電率極薄膜の材料とデバイスへの応用への課題等に関して議論を行い、当該学問分野の現状と今後の課題を系統的に分類し、今後の研究に対する方向性を得た。

(3-2) 波及効果と発展性など

本年度は、本プロジェクトを通じた、研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大の結果、上述したように、産官学の半導体研究分野の中核をなす研究者らによる研究会 NWDTF との共同での研究会を開催するに至り、より深くナノ構造形成プロセスとその新

機能半導体デバイスへの応用について意見交換および技術討論を行う場を得た。

また、共同研究会においては、多くの若手研究者に研究報告の機会を与え、一流の研究者達との議論の場を設けた。これらは若手研究者の育成につながると期待される。

以上述べたように、本プロジェクトで明らかになりつつある極薄シリコン酸化膜の破壊機構およびナノ界面における電荷移動に対する成果は、今後のナノデバイスの信頼性の科学発展に大きく貢献するものと考えられ、大きな発展が期待される。

今後、これまでに得た知見を元に、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) Y. Kabe, J. Kitagawa, Y. Hirota, S. Sato, M. Sometani, R. Hasunuma and K. Yamabe, "Long TDD Lifetime of SiO₂ Film by Controlling Degradation Rate and SiO₂ /Si Micro-roughness", 216th ECS Meeting (2009)
- (2) Mitsuru Sometani, Ryu Hasunuma, Masaaki Ogino, Hitoshi Kuribayashi, Yoshiyuki Sugahara, and Kikuo Yamabe, "Suppression of Leakage Current of TEOS-SiO₂ with Bandgap Increasing by High Temperature Annealing", 215th ECS Meeting (2009)
- (3) M. Sometani, S. Sato, M. Ogino, H. Kuribayashi, Y. Sugahara, A. Uedono, R. Hasunuma, K. Yamabe, "Effects of Thermal Annealing on CVD-SiO₂ Films", The 4th International Symposium on Atomic Technology (ISAT-4) (2009)
- (4) Chihiro Tamura, Yuuki Kikuchi, Kenji Ohmori, Motoyuki Sato, Ryu Hasunuma, Kikuo Yamabe, "Trap Generation by Stress Application in Gate Insulators of MOSFETs", The 4th International Symposium on Atomic Technology (ISAT-4) (2009)
- (5) Katsuya Kamata, Ryota Ozaki, Takanobu Yada, Ryu Hasunuma, Kikuo Yamabe, "Control of atomic step flow on Si (111) with immersing in ultra low dissolved oxygen water", 2nd Tsukuba-Hsinchu Bilateral Symposium on Advanced Materials Science and Technology (TSAMS2009)

- (6) Masakazu Muraguchi, Yoko Sakurai, Yukihiro Takada, Yasuteru Shigeta, Mitsuhisa Ikeda, Katsunori Makihara, Seiichi Miyazaki, Shintaro Nomura, Kenji Shiraishi, and Tetsuo Endoh, “New Tunneling Model with Dependency of Temperature Measured in Si Nano-Dot Floating Gate MOS Capacitor”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2009), K-2-1, Oct. 7-9, 2009
- (7) Tetsuo Endoh, Kazuhiro Suzuki, Masashi Kamiyanagi, Masakazu Muraguchi, “Study of Stability of MOS Current Mode Logic NAND Circuit on Input Timing Fluctuation”, The 2009 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai (IMFEDK2009), 120-121, May 14-15, 2009 SC-7
- (8) Masashi Kamiyanagi and Tetsuo Endoh, “The Stable Circuit Operation of Current Controlled MCML against Fluctuation of Supplied Voltage”, The 2009 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai, (IMFEDK2009) 58-59, May 14-15, 2009 C-3
- (9) Masashi Kamiyanagi, Fumitaka Iga, Shoji Ikeda, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Haruhiro Hasegawa, Takahiro, Hanyu, Hideo Ohno, Tetsuo Endoh, “Transient characteristic of Fabricated Magnetic Tunnel Junction (MTJ) programmed with CMOS circuit”, 2009 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2009) June 24-26, 2009, 1A.3
- (10) Masakazu Muraguchi, Yukihiro Takada, Shintaro Nomura, Tetsuo Endoh, Kenji Shiraishi, “Importance of the Electronic State on the Electrode in Electron Tunneling Processes between the Electrode and the Quantum Dot”, 2009 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD2009), June 24-26, 2009, 3A.8

採択番号 H20/B05

半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合 -技術を先導する半導体サイエンスを目指して-

[1] 組織

代表者：白石 賢二

(筑波大院・数理物質科学研究科)

対応者：大野 英男

(東北大学・電気通信研究所)

分担者：

押山 淳 (東大院・工学系研究科)

中山 弘 (大阪市立大学・工学部)

藤原 明伯 (東京農工大・工学部)

一宮 彪彦 (日本女子大学・理学部)

大野 隆央 (物質材料研究機構)

伊藤 智徳 (三重大学・工学部)

長谷川修司 (東大院・理学系研究科)

中山 隆史 (千葉大・理学部)

山口 浩司 (NTT物性基礎研)

野村晋太郎 (筑波大院・数理物質科学研究科)

遠藤 哲郎 (東北大・学際センタ)

名取 研二 (筑波大院・数理物質科学研究科)

平山 祥郎 (東北大院・理学研究科)

宮崎 誠一 (広島大院・先端物質科学研究科)

名西やすし (立命館大・理工学部)

研究費：物件費 50,000 円， 旅費 361,000 円

[2] 研究経過

今日の半導体ナノデバイス技術の進展は目覚しく、ゲート絶縁膜、半導体チャネル等、ナノデバイスの各々の構成要素がナノスケールで構成されるようになってきている。実際、商用化されているパソコンに搭載されている MOSFET のゲート絶縁膜厚ですら 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。これらから容易に推測されるように、次世代のナノデバイスの発展には、従来のスケールリングだけではなく、新しいサイエンスに立脚したデバイス機能の向上が必要不可欠となっている。

上記のように新しいサイエンスが次世代のデバイス開発に必要な不可欠であると言われて久しいがどのようなサイエンスを創成すべきか？という疑問に対しては必ずしも明快な解答がない状況が続いていた。これはサイエンスとテクノロジーが半ば分断されており、次世代のデバイスのブレークスルーに必要なサイエンスを問いただして来なかったことにその原因がある。また、次世代の半導体デバイス実現にお

いては、基礎研究と応用研究の同時進行が求められている。20世紀式の基礎研究を行ってから応用研究を行うというスタイルでは、実用化までの期間が極めて長くなってしまい、新しい技術のブレークスルーが生まれにくくなっていることも指摘されて久しい。

このような状況の下、平成20年に「半導体サイエンスと半導体テクノロジーの融合 -技術を先導する半導体サイエンスを目指して-」という研究課題名で共同プロジェクト研究会が採択された。本共同プロジェクト研究会の最大の目的は、半導体サイエンスと半導体テクノロジーの国内を代表する研究者をメンバーとして組織し、共同プロジェクト研究会で分野横断的かつ緊密な議論を行い、現時点では半ば分断されているサイエンスとテクノロジーが無理なく連携できるようになり、科学技術立国日本の再生への極めて重要な足がかりを作ることである。

第1回の当該共同プロジェクト研究会は平成20年12月5日(金)～6日(土)にかけて、宮城県仙台市の「ウェルサンピア仙台(仙台市若林区蒲町字東10)」で開催され、18名の参加者による17件の成果発表と討論が行われた。平成20年度の成果をさらに発展させた第2回の当該共同プロジェクト研究会は平成21年10月16日(金)～17日(土)にかけて仙台市の「茂庭荘」で開催され、18名の参加者による15件の成果発表と極めて活発な討論が行われた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

平成21年度の第2回共同プロジェクト研究会は研究分担者に「半導体サイエンス、半導体テクノロジーおよびその融合」に関する研究発表を募集して、平成21年10月16日(金)～17日(土)にかけて、宮城県仙台市の「茂庭荘」で開催した。平成21年度の第2回研究会は、18名の参加者によって熱のこもった討論が展開され、サイエンスとテクノロジーの他に技術経営の観点からも講演があり、現在分断されているサイエンスとテクノロジーの間を埋め、日本発で新技術を切り拓こうという参加した研究者の思いがひしひしと伝わってきた。

以下に今回の研究会プログラムを記載する。

第一日目 10月16日

- (1) 13:19-13:20 白石賢二 筑波大院数物
はじめに
- (2) 13:20-13:45 織瀬 明伯 東京農工大
AlN 厚膜結晶成長のための原料探索 -Si 汚染の減少を目指して
- (3) 13:45-14:10 喜多 隆 神戸大工
GaAs 中窒素配列構造の制御とスケーラブル光子デバイスに向けた基礎サイエンス
- (4) 14:10-14:35 野村晋太郎 筑波大院数物
二次元電子系-量子ドット結合系のトンネル現象の光励起効果
- (5) 14:35-15:00 平山祥郎 東北大院理
GaAs 量子井戸における電子スピンと核スピンの相互作用
- 休憩 25分 15:00-15:25
- (6) 15:50-16:15 中山隆史 千葉大院理
有機固体中の金属原子の拡散
- (7) 15:50-16:15 中山弘 大阪市立大工
有機Cat-CVD法の実用化をめざして
- (8) 16:15-16:40 白石賢二 筑波大院数物
SiN層を用いたMONOS型メモリの動作機構の一考察
- (9) 16:40-17:05 大野英男 東北大通研
スピントロニクス素子を用いた論理集積回路
- 休憩 17:05-19:20
- (10) 19:20-19:45 宮崎誠一 広島大院工
シリコン系量子ドット・メタルナノドットの形成制御と機能発現
- (11) 19:45-20:10 名取 研二 東工大
Si ナノワイヤトランジスタの輸送特性
- (12) 20:10-20:35 山口栄一 同志社大院総政
イノベーションと技術経営
- (13) 20:35-24:00 パネル討論
科学と技術の融合は日本産業の再生の切り札

になるか?

パネリスト：山口栄一、平山祥郎、大野英男、名取研二、中山弘、織瀬明伯他

第二日目 10月17日

- (14) 9:00-9:25 遠藤 哲郎 東北大学際センタ
ナノワイヤMOSFETの駆動電流の時間的揺らぎに関する考察
- (15) 9:25-9:50 長谷川修司 東大院理
トポロジカル絶縁体の表面
- (16) 9:50-10:15 一宮彪彦 日本女子大
Si(111) $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$ (Au, Ag) 構造の形成と相転移
- (17) 10:15-10:40 山口 浩司 NTT物性基礎研
化合物半導体・超伝導接合素子を用いた高感度変位検出
- (18) 10:40-11:25 総合討論 司会 大野英男
半導体科学、半導体技術のあるべき姿は?
- (19) 11:25-11:30 大野英男 東北大通研
おわりに

平成21年度研究会では、(1)「新しい半導体サイエンス」につながる基礎科学の研究成果、(2)「21世紀のナノテクノロジー」にブレークスルーを与える可能性のある基礎技術の研究成果、という本研究会が重要と考えている2つの分野に関連する成果発表が数多く行われた。なかでも特に注目を集めたのは、技術経営の立場からの講演であり、最先端のサイエンスと最先端のテクノロジーの融合の重要性が再認識された。「イノベーションと技術経営(同志社大院総政・山口栄一)」はサイエンスとテクノロジーの分野を超えた融合が科学技術立国実現のために必要不可欠であることを大英帝国時代から今日に至るまでの科学技術史を振り返って議論したもので非常に迫力があつた。

基礎サイエンスと実デバイスの融合を目指した講演もいくつか行われたことも注目に値する。例えば、「Si ナノワイヤトランジスタの輸送特性(東工大・名取研二)」はバリスティック輸送という基礎科学の観点からSi ナノワイヤトランジスタのデバイス特性を議論したものである。このようにサイエンスとテクノロジーの融合を目指した講演が2年目になって行われるようになったことは1年目の本研究会における討論によりサイエンスとテクノロジーの融

合を意識する研究者が増え、互いの交流が深まった効果であると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究会を通して、半導体サイエンスと半導体テクノロジーの研究者が「真の意味のサイエンスとテクノロジーの融合」に対して集中的に討論できたことは非常に意義が大きかったと考えられる。現実に本共同プロジェクト研究会をきっかけとして、いくつかの「サイエンスとテクノロジーの融合」を目指した研究が、サイエンスとテクノロジーの垣根を越えてはじまったのがはっきりと実感できた。このような理想的な展開が可能となったのは本プロジェクト研究会で分野間の垣根を越えた本音の討論が行えたことが極めて大きいと考えている。

以上のべてきたように、本共同プロジェクト研究会が「真の意味のサイエンスとテクノロジーの融合」への機会を与えるきっかけとなり、サイエンスとテクノロジーが同時進行すると 21 世紀のテクノロジーに適合した研究体制への布石がある程度構築できたのではないかと考えている。

採択番号 H20/B06

量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究

[1] 組織

代表者：大谷 啓太

(東北大学電気通信研究所)

対応者：大谷 啓太

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

大野 英男 (東北大学電気通信研究所)

岡野 章一 (東北大学大学院理学研究科・
理学部 附属惑星プラズマ・
大気研究センター)笠羽 康正 (東北大学大学院理学研究科・
理学部 地球物理学専攻)関根 徳彦 (情報通信研究機構 新世代ネ
ットワーク研究センター
先端ICTデバイスグループ)

平川 一彦 (東京大学生産技術研究所)

平山 秀樹 (理化学研究所基幹研究所 先
端光科学研究領域 テラヘル
ツ光研究グループ テラ
ヘルツ量子素子研究チーム)寶迫 巖 (情報通信研究機構 新世代ネ
ットワーク研究センター
先端ICTデバイスグループ)松浦 祐司 (東北大学大学院医工学研究科
医工学専攻)

山西 正道 (浜松ホトニクス株式会社)

渡辺 正裕 (東京工業大学大学院総合理工
学研究科)

研究費：物件費5万円，旅費15万9千円

[2] 研究経過

近年地球温暖化という極めて困難な危機に直面し、安全・安心で持続可能な社会の実現が人類喫緊の課題として広く認識されつつある中、長波長領域の光が注目されている。長波長領域とは中赤外からテラヘルツの領域を指し、多くの有機分子、ガス分子などの振動・回転による吸収が存在する。長波長領域の光はこれらを高感度にセンシングすることが可能であるため、温

室効果ガスや大気汚染物質などの環境計測、危険物検出などのセキュリティコントロール、さらには生体・医療など多岐にわたる分野で活躍が期待されている。しかしながら光子及び光技術の成熟度という観点から見ると、可視域や光通信に使われる赤外域などと比較して十分であるとは言えず、開発が急務である。

量子カスケードレーザ(J. Faist, F. Capasso *et al.*, *Science* 1994)は半導体量子井戸構造に形成される電子準位(サブバンドと呼ばれる)間の遷移を用いたレーザで、長波長領域をカバーできる唯一の電流注入型半導体光源である。量子カスケードレーザは活性領域に発光層を多段に接続したユニークな構造を用いることで、通常の半導体ダイオードレーザでは難しいフォトンエネルギーの小さな領域においても高出力発振を可能とし、長波長高性能光源としての地位を不動のものとしている。

欧米諸国では量子カスケードレーザに関するワークショップが数多く開催され、盛んに議論されているが、日本では量子カスケードレーザに特化した研究集会は現在まで行われたことはなかった。昨年度本研究により国内で初めて開催が実現し、日本の量子カスケードレーザの研究者が一同に会せば、デバイス物理、デバイス材料、及びデバイス応用の3点で世界に類を見ない非常にバランスの良い研究体制となることがわかった。

第2回目となる本年度は引き続き継続してレーザの諸特性を司るデバイス物理と、高性能・高機能化に向けた指針に関して議論を行うとともに量子カスケードレーザを用いた究極のセンシング技術の構築を目指す研究者と有機的に連携することを目指した。

[3] 成果

平成21年11月4日に東北大学電気通信研究所ナノスピン実験施設において第2回目の研究会を開催した。合計26名の参加者によって熱のこもった議論が展開された。以下に研究会プログラムを記載する。

「量子カスケードレーザの高性能化と応用に関する研究」

- (1) 開会挨拶 13:00-13:05
大野英男 (東北大学電気通信研究所)
- (2) 「間接注入励起、長波長(～13.5 μm)量子カスケードレーザによる非常に高い T_0 (～460 K)の実現」 13:05-13:30
山西正道、藤田和上、枝村忠孝、菅博文(浜松ホトニクス、中研)
- (3) 「量子カスケードレーザを用いた惑星赤外線レーザーヘテロダイン分光器開発 2009」 13:30-13:55
笠羽康正、中川広務、村田功、岡野章一、青木翔平 (東北大学大学院理学研究科)
- (4) 「8 μm 帯量子カスケードレーザの研究開発」 13:55-14:20
藤田和上、古田慎一、杉山厚志、枝村忠孝、秋草直大、山西正道、菅博文(浜松ホトニクス、中研)
- (5) 「Si/CaF₂量子カスケード構造からの室温EL発光」 14:20-14:45
渡辺正裕 (東京工業大学大学院総合理工学研究科)
- 休憩 14:45-15:15
- (5) 「外部光注入によるテラヘルツ量子カスケードレーザの強度変調」 15:15-15:40
関根徳彦¹、寶迫巖¹、平川一彦² (¹情報通信研究機構、²東京大学生産技術研究所)
- (6) 「フォトリック結晶電極構造を用いたテラヘルツ帯TM電磁波モードの制御」 15:40-16:05
酒瀬川洋平、井原章之、平川一彦 (東京大学生産技術研究所、ナノ量子研究機構)
- (7) 「GaN/AlGa_N系THz帯量子カスケードレーザ構造の作製と評価」 16:05-16:30
寺嶋亘、應磊瑩、平山秀樹 (理化学研究所、テラヘルツ量子素子研究チーム)
- (8) 「金属導波路構造 GaAs テラヘルツ量子カスケードレーザの発振特性」 16:30-16:55
大谷啓太、林宗澤、大野英男 (東北大学電気通信研究所)
- (9) 閉会挨拶 16:55-17:00
大谷啓太 (東北大学電気通信研究所)

研究会では中赤外、及びテラヘルツ量子カスケードレーザの動作機構、機能性の向上、新材料開発、環境計測への応用に関する研究成果が発表され、多くの知見を得ることができた。以下に成果の概要をまとめる。

- 縦光学フォノン散乱を用いて活性層へ間接的にキャリアを注入することで、優れた温度特性を持つ波長 13.5 μm の中赤外量子カスケードを実現した。温度 300 K から 348 K で観測された閾値電流密度の特性温度 T_0 は 460 K とこれまでの最高の値であった。
- 惑星大気・系外惑星大気分析への展開に向けて量子カスケードレーザをベースとした In-situ、及びヘテロダインの小型赤外分光器を提案試作した。
- ワットレベルの光出力を持つ量子カスケードレーザの開発に成功した (発振波長 8 μm)。又広帯域波長可変用新構造を提案し、実験的に実証した。
- 室温において Si 基板上 Si/CdF₂ 量子カスケード構造からエレクトロルミネッセンスを観測した。発光ピークは波長 1.4 μm 、及び波長 1.7-2.0 μm の領域で観測された。
- バンド間外部光によりテラヘルツ量子カスケードレーザの強度変調に成功した。
- 金属・半導体フォトリック結晶構造を用いて TM 偏光テラヘルツ波に対するフォトリックバンドギャップ形成に成功した。
- GaN/AlGa_N 量子カスケードレーザ構造からテラヘルツエレクトロルミネッセンスの観測に成功した。
- 種々の金属を用いた金属導波路テラヘルツ量子カスケードレーザの導波路損失を計算して、Cu が最も低損失であることを見出し、これを実験的に実証した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究では国内の量子カスケードレーザの開発に関わる研究者が一同に会し、高機能化・低消費電力化に向けた指針とレーザ応用を議論する場を提供した。新しいキャリア注入の機構と

大規模計算によるその検証、バンド間光による変調やフォトニック結晶導入による機能性の向上、高いポテンシャルを秘めた新材料開発、惑星大気計測に向けた小型分光器の開発など、世界をリードする成果に関して質重視で議論を行うことができ、研究開発を進めていく上での有用なヒントを得ることができた。今後、デバイス物理、デバイス材料、及び応用の3点でバランスのとれた体制を生かし、研究を深めることで日本発の大きなブレークスルーが期待できると考えられる。

採択番号 H20/B08

採択回数 1 (2) 3

光波位相制御による高度通信・計測システムに関する研究

[1] 組織

代表者：土田 英実
(産業技術総合研究所光技術研究部門)

対応者：中沢 正隆
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

廣岡 俊彦 (東北大学電気通信研究所)
 吉田 真人 (東北大学電気通信研究所)
 石川 浩 (産業技術総合研究所)
 挾間 寿文 (産業技術総合研究所)
 鳥塚 健二 (産業技術総合研究所)
 森 雅彦 (産業技術総合研究所)
 吉富 大 (産業技術総合研究所)
 秋本 良一 (産業技術総合研究所)
 鍛塚 治彦 (産業技術総合研究所)
 美濃島 薫 (産業技術総合研究所)
 洪 鋒雷 (産業技術総合研究所)
 稲場 肇 (産業技術総合研究所)
 中嶋 善晶 (産業技術総合研究所)
 齊藤 晋聖 (北海道大学)
 山田 浩治 (NTT)
 鈴木 明 (NEC)

研究費：物件費5万0千円，旅費24万5千円

[2] 研究経過

次世代の超広帯域光通信システム、超高精度計測・標準システムを確立するためには、光波の超高速性に加えて、マイクロ波領域で培われた高度な位相制御技術を光波に適用するための研究開発が重要である。光波は高いキャリア周波数を有するため、技術的な障壁は大きい。実現できれば、マイクロ波帯で確立された通信・計測技術の性能を遙かに凌駕する可能性を有している。本研究では、次世代の高度な光位相制御技術を確立することを目的として、東北大学・電気通信研究所、産業技術総合研究所等の研究者の間で、光位相制御技術とその応用に関する研究討論を行い、研究活動の紹介と将来の方向性に関する議論を行った。

本プロジェクトは、今年度が2年目に当たり、平

成21年11月19～20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、北海道大学、NTT、NECの研究者が参加して研究会を開催し、13件の発表を行った。コヒーレント光伝送、超高速光伝送、光信号処理、フォトニック結晶光ファイバ、光スイッチ、シリコンフォトニクス、光周波数標準・計測等の発表に対して、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19日(木)

1. 開会挨拶 中沢正隆(東北大学)
2. 光周波数標準を用いた「秒の二次表現」：○洪鋒雷(産業技術総合研究所)
3. 狭線幅光周波数コム(1)：○稲場肇，中嶋善晶，保坂一元，岩國加奈，美濃島薫，大苗敦，洪鋒雷(産業技術総合研究所)
4. 狭線幅光周波数コム(2)：○中嶋善晶，稲場肇，保坂一元，岩國加奈，美濃島薫，大苗敦，洪鋒雷(産業技術総合研究所)
5. 波長1.1 μm VCSELとフォトニック結晶ファイバを用いたGHz帯光-マイクロ波発振器：○小泉健吾，吉田真人，中沢正隆(東北大学)
6. フォトニック結晶ファイバの現状と将来展望：○齊藤晋聖，小柴正則(北海道大学)
7. 光PLLを用いた単一チャネル400 Gbit/s-225 km OTDM-32 RZ/QAM コヒーレント伝送：○葛西恵介，大宮達則，関鵬宇，吉田真人，廣岡俊彦，中沢正隆(東北大学)
8. 5 Gsymbol/s (60 Gbit/s) 偏波多重64 QAM-OFDM コヒーレント伝送：○大宮達則，岡本聖司，吉田真人，中沢正隆(東北大学)
9. 時分割ベクトル光サンプリングによる光信号波形計測：○土田英実(産業技術総合研究所)

11月20日(金)

1. シリコンフォトニクスの現状と将来展望：○山田浩治(NTT)
2. AlAsSb/InGaAs サブバンド間遷移光スイッチに関する最近の進展：○鍛塚治彦，秋本良一，物集照夫，牛頭信一郎，Cong Guangwei，秋田一路，小笠原剛，挾間壽文，石川浩(産業技術総合研究

所)

3. カーボンナノチューブならびに ISBT 素子を用いたフェムト秒ソリトンファイバレーザ：○正田史生，中沢正隆，戒能俊邦，小松京嗣（東北大学），真多淳二，塚本遵（東レ），秋本良一，石川浩（産業技術総合研究所）
4. 波長可変レーザの現状と将来展望：○鈴木明（NEC）
5. 時間領域光フーリエ変換法による 320Gbit/s/ch WDM 信号の 525 km 伝送：○関鵬宇，廣岡俊彦，中沢正隆（東北大学）
6. 閉会挨拶 土田英実（産業技術総合研究所）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

- ① 光時計を実現する上での問題点と解決策、光格子時計の実験、秒の2次表現の概念、勧告された周波数リスト等を紹介し、秒の再定義に向けた道筋を議論した。
- ② 赤外域の高安定共振器と光周波数コムを利用して、可視波長域で狭線幅レーザを実現する方法を提案し、相対線幅の測定法、および光周波数コムの位相雑音源について議論した。
- ③ 電気光学変調器を組み込んだモード同期ファイバレーザの高速制御を行い、光周波数コムの相対線幅 7.6mHz を実現した。
- ④ 波長 1.1 μm の VCSEL とフォトニック結晶ファイバを用いて、10GHz 光・マイクロ波発振器を実現し、時間ジッタ 0.9ps、光パルス幅 11.5ps を得た。
- ⑤ 屈折率導波型フォトニック結晶ファイバ、中空コア、およびソリッドコアフォトニックバンドギャップファイバの伝送路としての可能性を明らかにし、光通信等への応用を議論した。
- ⑥ 光 PLL 回路を用いたコヒーレント伝送システムを構築し、単一チャンネル 400Gb/s、偏波多重 32RZ/QAM (10Gsymbol/s x 40TDM) 信号の 225km 伝送を実現した。
- ⑦ 周波数安定化ファイバレーザと光 PLL 回路を用いたコヒーレント伝送システムにより、偏波多重 5Gsymbol/s、64QAM-OFDM 信号 (60Gb/s) の 60km 伝送を実現し、周波数利用効率 11.1bit/s/Hz を得た。
- ⑧ 局発光の位相を離散的に変調する時分割ベクトル光サンプリングによる光信号波形計測技術を開発し、BPSK 信号、および半導体光増幅器の相互利得・位相変調を評価した。
- ⑨ 細線導波路、受動・能動デバイスと集積化、非線

形デバイス、光・電子集積などシリコンフォトニクスの現状と将来展望を紹介した。

- ⑩ 相互位相変調効果を用いたサブバンド間遷移光スイッチにおいて、位相変調機構の解明により変調効率を大幅に改善し、160/40Gb/s 多重分離、160Gb/s 波長変換を実現した。
- ⑪ カーボンナノチューブ、および ISBT 素子を可飽和吸収体として用いたソリトンファイバレーザを試作し、パルス幅 135fs、および 88fs を得た。
- ⑫ 波長可変レーザの用途と市場、種々の構造を紹介し、リング共振器波長可変レーザの構造、要素技術、デバイス特性を報告した。
- ⑬ 時間領域フーリエ変換による波形歪み除去を利用して、320Gb/s/ch-5 波 WDM 信号 (1.6Tb/s) の 525km 伝送を実現した。

(3-2) 波及効果と発展性など

光波の位相制御を利用する光通信システム、計測・標準システムは、現在のシステムの性能を遙かに凌駕する可能性を有することから、国内外の機関で研究開発が活発化している。本研究課題は次世代の光通信と計測標準を、光波の位相制御という共通の技術基盤で捉えて、デバイスからシステムに渡る広範囲な議論を行う点において、独自性と優位性を有していると考えられる。光波位相制御とコヒーレント光伝送に関して最先端のポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、高機能光デバイス、光信号処理、レーザー制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所の研究者が議論を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

[4] 成果資料

- (1) T. Kohno, M. Yasuda, K. Hosaka, H. Inaba, Y. Nakajima, and F. L. Hong, "One-dimensional optical lattice clock with a Fermionic ^{171}Yb isotope," *Appl. Phys. Express*, vol. 2, 072501 (2009).
- (2) Y. Nakajima, H. Inaba, K. Hosaka, K. Minoshima, A. Onae, M. Yasuda, T. Kohno, S. Kawato, T. Kobayashi, T. Katsuyama, and F. L. Hong, "A multi-branch, fiber-based frequency comb with millihertz-level relative linewidths using an intra-cavity electro-optic modulator," *Opt. Express*, vol. 18, no. 2, pp. 1667-1676 (2010).
- (3) K. Koizumi, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "A 10-GHz optoelectronic oscillator at 1.1 μm using a single-mode VCSEL and a photonic crystal fiber," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 22, no. 5, pp. 293-295, (2010).
- (4) T. Murao, K. Saitoh, and M. Koshiba, "Detailed theoretical investigation of bending properties in solid-core photonic bandgap fibers," *Opt. Express*, vol. 17, no. 9, pp. 7615-7629 (2009).
- (5) F. Saitoh, K. Saitoh, and M. Koshiba, "A design method of a fiber-based mode multi/demultiplexer for mode-division multiplexing," *Opt. Express*, vol. 18, no. 5, pp. 4709-4716 (2010).
- (6) K. Kasai, T. Omiya, P. Guan, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Single-Channel 400 Gbit/s, OTDM-32 RZ/QAM Coherent Transmission over 225 km Using an Optical Phase-Locked Loop Technique," *Optical Fiber Communication Conference (OFC 2010), OThD6*, March (2010).
- (7) T. Omiya, H. Goto, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "24 Gbit/s, 64 QAM-OFDM coherent transmission with a bandwidth of 2.5 GHz," *European Conference on Optical Communication (ECOC 2009)*, 1.3.2, September (2009).
- (8) M. Nakazawa, S. Okamoto, T. Omiya, K. Kasai, and M. Yoshida, "256-QAM (64 Gb/s) coherent optical transmission over 160 km with an optical bandwidth of 5.4 GHz," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 22, no. 3, pp. 185-187 (2010).
- (9) H. Tsuchida, "Simultaneous prescaled clock recovery and serial-to-parallel conversion of data signals using a polarization modulator-based optoelectronic oscillator," *J. Lightwave Technol.*, vol. 27, no. 17, pp. 3777-3782 (2009).
- (10) H. Kuwatsuka, R. Akimoto, T. Mozume, S. Gozu, K. Akita, T. Ogasawara, and H. Ishikawa, "Observation of four-wave mixing signals from an AlAsSb/InGaAs ISBT (Inter Sub-Band Transition) optical waveguide," *International Conference on Photonics in Switching (PS2009)*, Fr12-3, September (2009).
- (11) F. Shohda, M. Nakazawa, R. Akimoto, and H. Ishikawa, "An 88 fs fiber soliton laser using a quantum well saturable absorber with an ultrafast inersubband transition," *Opt. Express*, vol. 17, no. 25, pp. 22499-22504, (2009).
- (12) T. Matsumoto, A. Suzuki, M. Takahashi, S. Watanabe, S. Ishii, K. Suzuki, T. Kaneko, H. Yamazaki, and N. Sakuma, "Narrow spectral linewidth full band tunable laser based on waveguide ring resonators with low power consumption," *Optical Fiber Communication Conference (OFC 2010), OThQ5*, March (2010).
- (13) P. Guan, M. Okazaki, T. Hirano, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Low-penalty 5x320 Gbit/s single-channel WDM DPSK transmission over 525 km using time-domain optical Fourier transformation," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, no. 21, pp. 1579-1581, (2009).

採択番号 H20/B09

次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究

〔1〕組織

代表者： 村岡 裕明
 (東北大学電気通信研究所)

対応者： 村岡 裕明
 (東北大学電気通信研究所)

分担者：

藤本和久：東北大学電気通信研究所：教授
 青井基：東北大学電気通信研究所：客員教授
 サイモン・グリーブス：東北大学電気通信研究所：
 准教授

三浦健司：東北大学電気通信研究所：助手
 松岡浩：東北大学電気通信研究所・客員教授：
 谷啓二：日本原子力研究開発機構那珂核融合研究
 所：研究主席

山本康友：日立製作所システム開発研究所：部長
 藤林昭：日立製作所システム開発研究所：主任研究
 員

島田健太郎：日立製作所システム開発研究所：シ
 アアーキテクト

赤池洋俊：日立製作所システム開発研究所：研究員
 小河卓二：日立製作所 RAID システム事業部開発本
 部：RAID テクニカルスペシャリスト

浜田憲男：日立製作所 RAID システム事業部：部長
 大沢寿：愛媛大学：教授
 岡本好弘：愛媛大学：准教授
 仲村泰明：愛媛大学：助教
 金井靖：新潟工科大学：教授
 山川清志：東北大学電気通信研究所：客員准教授
 伊勢和幸：秋田県高度技術研究所：主任研究員
 木谷貴則：秋田県高度技術研究所：研究員

研究費： 物件費0円、旅費41万5千円

〔2〕研究経過

本共同プロジェクトは、昨年度より継続して2年
 目である。一貫して超大容量情報ストレージ技術の
 省電力化に関する研究を行うことを目的にしている。
 人類が取り扱うデジタル情報は飛躍的な拡大を続け
 ており、最近の統計ではすでに1800エクサバイト
 (10²¹バイト)を超えているとの推定もある。通常
 の個人のパソコンにおけるストレージ容量が数百
 GB (10¹¹バイト)程度であることを考えると極めて

大きな情報量であることが理解されるが、最近のネ
 ットワークコンセプトに基づくクラウドコンピュー
 ティングが急速な発展を続けており、ここでは動画
 映像や長時間音楽情報配信など大規模データが大量
 に送受されており、情報ストレージの需要はさらに
 急速に伸びている。この膨大な情報を電子的に蓄積
 してコンピュータで容易かつ効率的な利用を提供す
 るのが情報ストレージ技術である。主としてハード
 ディスク装置 (HDD)、さらには磁気テープ装置な
 どの主として磁気を用いた情報ストレージからアク
 セスされていることが多い。

この際に、同時に、大容量情報のアクセスには高
 速のデータ転送能力がなければ、巨大な情報量を現
 実的な時間で処理できないので高速性も極めて重要
 である。HDDは1台で数百Mbpsの転送能力があ
 るが、さらにこれを並列で転送することで高速化を
 図っている。この結果、記録容量の大規模化と併せ
 てシステム当たりで使用されるHDDの数は増加の
 一途を辿っている。現在の大規模情報ストレージサ
 イトではテラバイトから数十テラバイト級のストレ
 ージシステムが主流であるが、急速な情報量の拡大
 を背景に近い将来にはペタバイト (10¹⁵バイト) 級
 の容量が一般的になると思われる。しかし、ストレ
 ージ容量を大きくするために、単にHDDのユニッ
 ト数を比例的に増加させることはその大きさや消費
 電力などの観点から現実的ではなく、将来の具体的
 なシステム構成指針は必ずしも定まっていない。

このような背景から、ストレージ装置の高密度化
 とともにその高密度性を生かす用途を含めた総合的
 なストレージ研究を展開し、次世代ペタバイトスト
 レージのシステム的な課題を抽出しその解決のアプ
 ローチを明らかにする研究を行うものである。

本共同研究は、大規模ストレージサブシステムの
 研究を目標に開始した昨年度の成果を受け、今年度
 はHDD自体の高密度・大容量化も含めた総合的な
 研究に展開することとした。昨年度は多数のHDD
 を並列化したRAID型ストレージサブシステムの省
 電力アーキテクチャを中心に議論を進めたが、HDD
 の高密度化と大容量化は省電力化にも直接貢献する
 ものであり、このための研究も包括的に進めた。以
 下、研究活動状況の概要を示す。

研究打合せの開催状況は下記の通りである。

○ストレージサブシステムグループ (7回)

2009年4月16日
2009年7月2日
2009年9月10日
2009年10月30日
2009年12月3日
2010年2月4日
2010年3月8日

○高密度磁気記録グループ (9回)

2009年4月22日
2009年6月10日
2009年7月8日
2009年8月20日
2009年9月29日
2009年10月27日
2009年12月1日
2010年1月26日
2010年3月2日

[3] 成果

(3-1) 研究成果

【ストレージサブシステムの成果】

これまでのストレージシステムで最も重視されてきたのはHDDの故障によるデータ損失の回避である。このためにRAIDと呼ばれる並列化したHDD構成として障害から回復できるようにパリティ情報を同時に記録してデータ保全性を確保している。このように信頼性や大容量高速性が重視されてきたため、高価な高速ディスク回転数の高信頼HDDを多数用いてシステムを構成している。ところが、最近の大容量動画情報の急速なネットワーク上での普及やクラウドコンピューティング化による大量の情報複製によってストレージ容量は急速な増加を続けており、データセンターでのその消費電力は温室効果ガス排出や電力コスト、さらには排熱や騒音・設置スペースなど今後ますます深刻化する大きな環境問題として注目されるに至った。(IEEE Spectrum, February 2009)

本共同研究ではすでに平成17年度ころより、新たな並列化ストレージシステムの方式提案を行って検討を続けてきた。昨年より検討してきた階層型大容量ストレージシステムの省電力化についてすでに提案方式を絞り込んでいたが、これを具体的な方式設計とその開発要素の抽出を行った。

ハードディスク装置(HDD)は磁気を用いる記録であるためにその記憶が揮発性(電源を切っても記録情報を失わない)である。これはいったん記録された情報を保持するのに本質的にはまったく電力

を必要としないことを意味している。これまでの方式では高速のデータ入出力を担う階層に消費電力の大きい高速HDDを、その下位に使用頻度の下がったデータを対比させる低消費電力HDDを置く階層化までは既知であったが、本グループではすべての情報を下位(ニアライン)HDDに蓄えた後にいったん電源を切り、使用される情報を予知して少量の高速HDDにステージングする従来とは逆の発想によるストレージシステムの実現を目指してきた。このシステムは大きな容量を持つ下位階層のHDDがほとんど電源が止まっているために大幅な消費電力削減が期待される。しかし、データは通常停止したHDDに存在しており、読み出しにはディスク回転を立ち上げる時間を確保しなければならないため予知が正確でなければデータアクセスに待ちが発生して読み出し速度性能が低下するリスクを持っている。

このリスクを定量的に把握するために待ち行列理論を用いて、アクセスされたデータをニアラインHDDから上位(オンライン)HDDにコピーする(ステージングする)時間と読み出し時間との確率統計的な解析を通じて、さまざまな条件でアクセスがミスヒットするエラーレートを計算した。

今年度は制御ソフトウェアを実装した上で、スーパーコンピュータに実際に接続して運用する実証的な省電力実験を実施した。その結果、1ペタバイト級のストレージで50%の電力削減を確認できた。ただし、ジョブの待ち行列数が少なく投入後すぐに実行されるような状況ではデータをニアラインからオンラインへのデータコピーが間に合わないことが明らかになった。これを防ぐために待ちジョブ数がある値以下の場合には強制的にジョブ実行をディレイさせるアルゴリズムを検討している。

【高密度磁気記録の研究】

磁気記録の高密度化はHDDの大容量性と小型化及びビット単価の低廉化のための一貫した研究要素であるが、本プロジェクトではそれに加えて、必要な記録容量に対してHDD台数の低下が可能という意味での省電力化が大きな狙いで、10倍の高密度化は1/10の省電力と等価である。

昨年度以来、コンピュータシミュレーションによる記録再生理論の検討、強磁界垂直磁気記録ヘッド、高密度信号処理方式、の3つの検討を続けているが、今年度はスタティックテスターによる実験的検討を加えて行っている。

シミュレーションによる成果では、引き続き、パターン媒体とシングル2次元記録の2つの代表的な次世代の高密度磁気記録方式についてその高記録密度性を検証している。パターン媒体では5Gbit/inch²の高い記録密度が可能なが明らかに

なっているが、そのためには記録ヘッドの記録磁界勾配の改良が必要になっている。またシングル型 2 次元記録についてもシミュレーションでの 2 Gbit/inch² の検証を踏まえて高いトラック密度の可能性を引き続き検討している。

強磁界の記録ヘッドの研究については、平面型垂直ヘッドの主磁極構造の最適化を完了しているが、さらに記録媒体の軟磁性裏打ち層の構造を工夫することで高記録磁界勾配をが実現できることが分かった。特にこれまで例のない 1000 Oe/nm という高い値が有限要素法を用いたシミュレーションから示された。

信号処理方式については、ビットパターン媒体で問題になる記録誤りの対策についての検討を行った。LDPC 符号を用いる反復複合法とリードソロモン符号による誤り訂正を検討し、ビットパターン媒体の記録特性上避けがたいと予測されている 10⁻⁵ の書き込み時のエラーレートに対しても事実上問題がないことが明らかになった。これはビットパターン媒体の研究にとって重要な成果である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究は平成 19 年度より採択された文部科学省の「次世代 IT 基盤構築のための研究開発」の「高機能・超低消費電力スピンドバイス・ストレージ基盤技術の開発」プロジェクトの取り組みの一部として検討を続けている。採択後も学術面での機敏な研究打合せの実施などこの大型プロジェクトを機動力のある形で支援する研究活動を担う重要な活動している。

大規模の並列 HDD により構成されるストレージ技術は、今後急速な拡大が続いており、今後のスーパーハイビジョンなどの次世代高細精度の広帯域動画情報やそのアーカイブに代表される大規模情報の急速な展開を考えると極めて広範な ICT 技術での波及効果が想定され、将来のストレージシステムに関して先導的な開発が必要である。

[4] 成果資料

1. Kazuhisa Fujimoto, Hirotohi Akaike, Naoya Okada, Kenji Miura, and Hiroaki Muraoka, "Power-aware Proactive Storage-tiering Management for High-speed Tiered-storage Systems," First USENIX Workshop on Sustainable Information Technology (SustainIT '10), 8th USENIX Conference on File and Storage Technologies, Feb 22, 2010, San Jose.
2. Kiyoshi Yamakawa, Yuichi Ohsawa, Simon Greaves, and Hiroaki Muraoka, "Pole design optimization of shielded planar writer for 2 Tbit/in² recording," J. Appl. Phys. 105, 07B728 (2009).

3. Yuichi Ohsawa, Kiyoshi Yamakawa, and Hiroaki Muraoka, "Effect of ion-beam damage in Fe-Co tapered main pole," J. Appl. Phys. 105, 07B727 (2009).
4. 平澤和則, 金井靖, 吉田和悦, Simon Greaves, 村岡裕明, "シールドを有する単磁極ヘッドのマイクロマグネティックス解析", Journal of Magnetism Society of Japan, 33, 5, pp. 403-413, 2009.
5. Simon Greaves, Yasushi Kanai, and Hiroaki Muraoka, "Shingled Recording for 2-3 Tbit/in²," IEEE Trans. Magn., 45, 10, 3823-3829, 2009. [Invited]
6. Kenji Miura, Eiji Yamamoto, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, "Estimation of Maximum Track Density in Shingled Writing," IEEE Trans, Magn. 45, 10, 3722-3725, 2009
7. Junichi, Yasumori, Yoshiaki Sonobe, Simon J. Greaves, Hiroaki Muraoka, "Servo-Pattern and Guard-Band Formation in Perpendicular Discrete-Track Media by Ion Irradiation," IEEE Trans. Magn., 45, 10, 3703-3706, 2009.
8. Yasuaki Nakamura, Yoshihiro Okamoto, Hisashi Osawa, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, "A Study of LDPC Coding and Iterative Decoding System in Magnetic Recording System Using Bit-Patterned Medium With Write Error," IEEE Trans. Magn., 45, 10, 3753-3756, 2009.
9. 安森順一, 安仁屋政憲, 島田明, 園部義明, S.J. Greaves, 三浦健司, 村岡裕明, 高木利哉, 竹内義行, "イオン照射型 DTM における磁気特性解析", Journal of Magnetism Society of Japan, 33, 429-433, 2009.
10. Yasushi Kanai, Yoshihiro Jinbo, Toshio Tsukamoto, Simon John Greaves, Kazuetsu Yoshida, and Hiroaki Muraoka, "Finite-Element and Micromagnetic Modeling of Write Heads for Shingled Recording," IEEE Trans. Magn, 46, 3, 715-721, March 2010. [Invited]
11. Kiyoshi Yamakawa, Hiroaki Muraoka, Kinya Fudano, Simon John Greaves, Yuichi Ohsawa, Kazuyuki Ise, and Yoshihisa Nakamura, "High Field-Gradient Design of Single-Pole Write-Head With Planar Pole Structure," IEEE Trans. Magn., Vol.46, No.3, pp. 730-737, 2010. [Invited]
12. S. J. Greaves, T. Mizuno, and H. Muraoka, "Transition Formation in Heat-Assisted Magnetic Recording," J. Magn. Soc. Jpn., Vol.34, No.2, pp. 49-52, 2010.
13. 竜野良亮, 嵯峨秀樹, 三浦健司, 青井基, 村岡裕明, "スタティックテスターによる連続媒体とパターン垂直媒体のコンタクト記録・再生", J. Magn. Soc. Jpn, 34, 2, 64-68, 2010.

採択番号 H20/B10

採択回数 1 2 3

高信頼プログラミング言語システムを活用した ディペンダブル・システムソフトウェアの開発

[1] 組織

代表者：加藤 和彦（筑波大学大学院システム情報工
学研究科コンピュータサイエ
ンス専攻）

分担者：

大堀 淳（東北大学電気通信研究所）

河野 健二（慶應義塾大学理工学部情報工
学科）

大山 恵弘（電気通信大学 電気通信学部
情報工学科）

品川 高廣（筑波大学大学院システム情報
工学研究科コンピュータサイ
エンス専攻）

阿部 洋丈（豊橋技術科学大学 情報工学
系）

杉木 章義（筑波大学大学院システム情報
工学研究科コンピュータサイ
エンス専攻）

研究費：物件費 0 円，旅費 198,000 円

[2] 研究経過

研究目的と概要：

オペレーティングシステムに代表されるシステムソフトウェアは高度のセキュリティと信頼性が求められるが、その設計と実現については未だ系統的な方法が確立されているとは言い難いのが実情である。本研究では、関数型言語 ML に代表される高信頼プログラミング技術を活用し、ディペンダブルなシステムソフトウェアの開発のための検討を行うことを目的として研究を実施した。

本プロジェクトが開始されて 2 年目にあたる本年度の主な活動として、昨年度に引き続き、研究集会の機会を設けて各メンバーの研究内容の相互理解を深めるとともに、本プロジェクトの目的達成のためにより具体的な方針設定が行われた。特に本年度は、大堀らが研究開発を進めている関数型言語 SML# の方向性と、クラウドコンピューティングやソフトウェアセキュリティ分野への適用可能性についての考察を行った。また、各研究グループの進めている研

究テーマの相互連携の可能性や今後の本格的な共同研究の方針についても議論を行った。

研究活動状況の概要：

本年度の主な活動として、2009 年 8 月に東北大学において、研究代表者および分担者を中心に、大学院生も交え研究集会が開催され、各研究グループの研究の経緯やその成果についての紹介がなされた。加藤グループからは、ディペンダブルなクラウドコンピューティングに関する研究プロジェクト（総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度（SCOPE）における 2009 年度新規採択課題 ICT イノベーション促進型研究開発「ディペンダブルな自律連合型クラウドコンピューティング研究開発」）の紹介がなされた。そこでは特に、参加者の杉木により、クラウドコンピューティング研究開発のためのシェル環境として開発が進められている Kumoi についての説明およびデモが行われた。また、大堀グループからは、高信頼プログラミング言語 SML# の研究開発（文部科学省・リーディングプロジェクト e-Society 基盤ソフトウェア開発の課題「プログラムの自動解析に基づく高信頼ソフトウェアシステム構築技術」として実施）について説明がなされた。特に大堀からは、SML# の理論的基礎の一部となるカーリー・ハワード同型対応原理に基づくコンパイルのための証明論についての紹介があり、また参加者の上野からは、ML と C 言語の間の多相型外部関数インターフェースに関する紹介がなされた。さらに河野グループからは、彼らの開発している Yataglass+ について説明が行われた。Yataglass+ はネットワークレベルのコード解析ツールで、特にメモリスキャン攻撃が組み込まれたシェルコードの振る舞いを解析するためのものである。また、大山グループからは、彼らが推進している関数型言語による OS の実装が紹介された。また、阿部グループからは、大規模なデータ転送時のスループットを予測するための手法に関する研究が紹介された。また上記の研究紹介とともに、それぞれの立場から研究の方向性などについての議論が行われ、さらに今後の共同研究の方向性などについても検討された。

〔3〕 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、先端の高信頼プログラミング技術が今日のシステムソフトウェア開発に対してどのように貢献可能かを明らかにし、またそこでの議論を通じ、このような技術によるディペンダブルなシステムソフトウェア開発へと発展させることを目標としている。また、高信頼プログラミング言語技術をこうした開発に利用する際に、実際にどのような問題が発生し、それに対してどのように対処すべきかについても明らかにすることを目指している。

以上の観点から、本年度は、ディペンダブルなシステムソフトウェアの研究開発経験を有する加藤・河野・大山・品川・阿部・杉木らと、高信頼プログラミング言語システムの研究開発経験を有する大堀らとの間での議論を通じて、互いの研究の理解を深めることにより、各自の研究推進に活かすとともに、実際のシステム構築に向けたプロトタイプシステム設計とその実現に向けた具体的な方法について検討してきた。

本年度は、SML#によるC言語とのシームレスな連携に注目しながら、各研究グループの推進しているシステムソフトウェア開発およびそれに関する解析手法などへの適用可能性について検討を行い、翌年度以降のより具体的な共同研究への方向性について議論を行った。特に本年度は、加藤らの推進するディペンダブルなクラウドコンピューティング基盤の研究開発を中心としたシステムソフトウェアに対して、SML#およびその研究開発で得られた知見を活かすためのいくつかの方向性についての案が検討された。今後はこれらの案をさらに詳細化し、より具体的な共同研究プロジェクトの立ち上げへと発展させることを目指している。また、大山らの推進する関数型言語によるOSの開発についての検討もなされた。そこではOSの高信頼化のために関数型言語による開発の意義や、設計の基本方針について主に大堀らのグループとの意見交換がなされ、今後の研究の推進や共同研究の可能性に対し、本プロジェクトでの研究交流が活かされた。

翌年度以降は、本年度に実施された研究集会を通じて得られた共同研究の方向性をさらに具体化し、実際のディペンダブルなシステムソフトウェア開発へと発展させることを考えている。また、翌年度以降において、加藤グループの推進するクラウドコンピューティング基盤開発を中心とした各グループのシステムソフトウェア開発の現場に、大堀グループによるSML#およびそれに関連する知見を導入することを行いたいと考えている。これにより、これまで各研究グループで進めてきたそれぞれの方法論

を融合したより高信頼なディペンダブルシステム構築のための設計と実現を目指していきたいと考えている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトによる波及効果および研究の発展性については、以下のものが挙げられる。

まず、昨年度から2年間にわたり本プロジェクトで開催された研究集会での議論を通じて、各研究メンバーがそれぞれ進めてきた研究テーマに新たな知見が加わることによる相乗効果を得ることができたと考えている(具体的な研究成果は、〔4〕成果資料を参照のこと)。特に加藤グループが進めているサステナブルシステムやディペンダブルなクラウドコンピューティング基盤、さらにはBitVisorなどといったシステムに、SML#のような高信頼かつC言語との親和性の高いプログラミング言語を導入することの有効性を確認することができ、実際のシステム開発への足がかりとなったと考えられる。また、クラウドコンピューティングのような種々の要素技術の蓄積によってはじめて実現可能となる大規模な基盤ソフトウェアの研究開発にとって、さまざまなシステムソフトウェア開発経験を持つ参加メンバーが集まり議論を行うことは非常に有意義である。また、本プロジェクトでの研究集会の場を通じ、お互いの研究テーマとの接点を検討することにより、より本格的な共同研究プロジェクトへと発展することが期待される。

さらに、本プロジェクトで開催された研究集会には、昨年度と同様に、今年度も各研究グループに所属する多くの若手研究者や大学院生も参加した。このような研究分野の近いメンバーによる研究交流の場は、若手研究者が他のグループとの質疑などを通じて新たな知見を得たり、自身の所属する研究室だけからは得られない新しい研究テーマを発見したりするための非常に有意義な機会となった。その意味で、本プロジェクトの推進が若手研究者の育成にも貢献していると言える。

[4] 成果資料

1. 杉木 章義, 加藤 和彦, “Kumoi:クラウドコンピューティング研究・開発のためのシェル環境の構築”, 情報処理学会第21回コンピュータシステムシンポジウム(ComSys 2009), 2009年11月.
2. M. Ishikawa, K. Hasebe, A. Sugiki, and K. Kato, “Dynamic Grid Quorum: A Novel Approach for Minimizing Power Consumption without Data Migration in Grid Quorums”, IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA'09), pp.142-149, Dec. 2009.
3. 杉木 章義, 加藤 和彦, “実験計画法を利用したMapReduceタスクのパラメータ設定”, 第7回ディペンドブルシステムワークショップ(DSW'09 Summer), 日本ソフトウェア科学会, 2009年7月.
4. 大和崎啓, 長谷部浩二, 杉木章義, 加藤和彦, “耐障害性向上のための自己安定性に基づくインターネットサービス基盤の構築”, 日本ソフトウェア科学会 コンピュータソフトウェア, to appear.
5. Yosuke Chubachi, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Hypervisor-based Prevention of Persistent Rootkits. In Proceedings of the 25th ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2010), pp.214-220, 2010.
6. Toshihiro Yokoyama, Miyuki Hanaoka, Makoto Shimamura, Kenji Kono, Takahiro Shinagawa. Reducing Security Policy Size for Internet Servers in Secure Operating Systems. IEICE Transaction on Information and Systems, 第E92-D巻, 第11号, Nov, 2009.
7. 品川 高廣, 忠鉢 洋輔, 河野 健二, 加藤 和彦. 実行時のフェーズを用いたセキュリティポリシー簡略化. 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, 第2巻, 第2号, 166-177頁, 2009年6月.
8. 嶋村 誠, 河野 健二. Yataglass+: メモリスキャン攻撃を組み込んだ攻撃コードの振る舞い解析. IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems, vol.2(4), to appear.
9. Toshihiro Yokoyama and Miyuki Hanaoka and Makoto Shimamura and Kenji Kono and Takahiro Shinagawa. Reducing Security Policy Size for Internet Servers in Secure Operating Systems. IEICE Trans. on Information and Systems, vol.E92-D(11), pp 2196-2206, 2009.
10. 嶋村 誠, 河野 健二. Yataglass: 攻撃の擬似実行による攻撃メッセージの振る舞いの解析. 情報処理学会論文誌, vol.50(9), pp.2371-2381, 2009年.
11. Makoto Shimamura and Kenji Kono. Yataglass: Network-level Code Emulation for Analyzing Memory-scanning Attacks. Conference on Detection of Intrusions and Malware & Vulnerability Assessment (DIMVA), LNCS 5587, pp.68-87, 2009.
12. Chung-Han Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu and Kyoji Umemura. Evaluation of the Throughput Measurement Method using Connection Pairs. In Proceedings of The Tenth Workshop on Internet Technology (WIT2009), Furano, Japan, June 2009.
13. Keisuke Okamura and Yoshihiro Oyama. Load-based Covert Channels between Xen Virtual Machines. In Proceedings of the 25th Symposium on Applied Computing (SAC 2010), Sierre, Switzerland, March 2010.
14. Sho Ohtahara, Takayuki Kamiyama, Yoshihiro Oyama. Anomaly-based Intrusion Detection System Sharing Normal Behavior Databases among Different Machines. In Proceedings of the IEEE 9th International Conference on Computer and Information Technology (CIT 2009), pages 217-222, Xiamen, China, October 2009.
15. Yu Adachi, Yoshihiro Oyama. Malware Analysis System using Process-level Virtualization. In Proceedings of the 14th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC '09), pages 550-556, Sousse, Tunisia, July 2009.
16. 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲. アプリケーションデータを保護するためのVMMIに基づくアーキテクチャ. 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム, Vol. 2, No. 3, pages 173-188, September 2009.
17. 神山 貴幸, 大山 恵弘: コールスタック情報を利用したモデル分割に基づく異常検知システム 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム ACS 25, to appear.
18. 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲: システムコール制御に基づく仮想マシン間サンドボックスシステム: 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム ACS 25, to appear.

採択番号 H20/B11

推論エンジンを用いたプログラム自動検証法の研究

[1] 組織

代表者：小川 瑞史
 (北陸先端科学技術大学院大学)
 対応者：大堀 淳
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：岩沼 宏治 (山梨大学)
 鍋島 英知 (山梨大学)
 関 浩之 (奈良先端科学技術大学院大学)
 浅井 健一 (お茶の水女子大学)
 岩崎 英哉 (電気通信大学)
 高橋 孝一 (産業技術総合研究所)
 廣川 直 (北陸先端科学技術大学院大学)
 Li Xin (北陸先端科学技術大学院大学)
 研究費：物件費 0 円，旅費 25.4 万円

[2] 研究経過

プログラムの高信頼化の研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは自動推論技術や推論エンジンの実装を用いてプログラム検証に適用することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度は第2年度であり、以下、研究活動状況の概要を記す。主な活動は研究集会を1回行った。なお参考文献は査読付(またはそれに準じるもの)のみをあげる。

H21年11月26日(木)～27日(金)に研究集会を東北大学電気通信研究所で開催した。発表リストならびに概要は以下の通りである。これに加え、増子萌(御茶ノ水女子大)、上野雄大(東北大)ほか数名のオブザーバ参加があった。

11月26日(木)

1. 大堀 淳 (東北大) Provanly Correct A-Normalization through Proof Transformation

概要：本発表では、発表者によるコンパイルの証明論的解釈を基礎とし、高水準言語コンパイラの重要なステップであるA正規形変換が系統的に構築可能であることを示す。コンパイラの証明論的解釈は、ソース言語から機械語コードに至るコンパイル段階に現れる中間言語を、すべて、直感主義的論理学の

証明システムと解釈し、コンパイルの各段階を、それら証明システム間の証明変換と解釈する試みである。この枠組みでは、コンパイルの正しさを、証明システム間の証明変換が証明システムのカット除去関係を保存するという性質として確立することができる。この表明論的枠組みは構成的であり、証明システム間の変換が可能であると言う性質の証明から、対応するコンパイル段階を実現するアルゴリズムが抽出できる。この証明論的解釈に基づき、ラムダ式をA正規形に変換するコンパイル過程を証明変換として表現し、その証明変換から、プログラムの静的意味と動的意味を保存するA正規形への変換アルゴリズムが抽出可能であることを示す。

2. 関浩之 (奈良先端大) Multiple Context-Free Grammar and Macro Grammar

概要：多重文脈自由文法(multiple context-free grammar, mcfg)は文脈自由文法(cfg)の自然な拡張であり、cfgにおいて非終端記号が文字列を導出するのに対し、mcfgにおいては非終端記号は文字列のm項組を導出する(mはその非終端記号に指定された回数と呼ばれる定数)。cfgの拡張は他にも種々行われているがその代表的なものにマクロ文法(macro grammar, mg)がある。mcfgでは上記のm項組の成分間で同期を取った導出を行うことにより文字列の複写を行うのに対し、mgでは表層複写(いったん導出した文字列をそのまま複写する)能力がある。mgでは、生成規則において非終端記号を関数記号として扱い、その引数を変数で表し、右辺に同一変数を複数回記述することによってこの表層複写を表現する。このことが原因で、mcfgでは所属問題が入力系列長の多項式時間で可解であるのに対して、mgではNP困難である。しかし、mcfgとmgの生成能力の関係についてはほとんど解明されていなかった。本研究では、

$$1\text{-MCFL}(m+1) = L^2\text{-ML}(m) \\ \subset VL\text{-ML}(m) \subseteq 2\text{-MCFL}(m+1)$$

(mは非負整数であり、一番右の包含関係は、mが正整数であるときストリクトすなわち \subset)を示した。ここで、mcfgにおいて生成規則右辺に現れる非終端記号の個数の最大値をその規則の位数とよぶ。

r -MCFL(m)で、非終端記号の次数が m 以下かつ、生成規則の位数が r 以下の m cfg で生成される言語クラスを表す。一方、VL-ML(m)で、非終端記号の次数が m 以下かつ表層複写のない m g によって生成される言語クラスを表す。さらに L^2 -ML(m)で、非終端記号の次数が m 以下かつ、生成規則右辺に非終端記号が高々一つしか現れず表層複写もない m g によって生成される言語クラスを表す。

[1] Yuki Kato, Tatsuya Akutsu and Hiroyuki Seki, 'A Grammatical Approach to RNA-RNA Interaction Prediction,' *Pattern Recognition*, 42, pp.531-538, 2009.

[2] Yuki Kato, Tatsuya Akutsu and Hiroyuki Seki, 'Dynamic Programming Algorithms and Grammatical Modeling for Protein Beta-Sheet Prediction,' *Journal of Computational Biology*, 16(7), pp.945-957, 2009.

[3] Ryo Yoshinaka, Yuichi Kaji and Hiroyuki Seki, 'Chomsky-Schutzenberger-Type Characterization of Multiple Context-Free Languages,' 4th International Conference on Language and Automata Theory and Applications (LATA 2010), Trier, Germany, May 2010 (to appear).

3. 南出靖彦 (筑波大) Report on TPPmark09: Undirected graph and spanning tree

2009年11月20,21日に関西学院大学で開催した第5回定理証明と定理証明系に関する研究集会(TPP09)において議論した対話的定理証明の課題(TPPmark09)について報告した。TPPmark09は、無向グラフにおける経路などの概念の形式化と連結な無向グラフには全域木が存在することの証明からなっている。南出は、グラフ理論のハンドブックに示されている定義、証明に基づき証明支援系 Isabelle/HOL より形式化、証明を行った。証明が多少煩雑になる場面もあったが証明支援系において、自然にグラフに関する議論、証明を行えることが示せた。また、Daniel GAINA の Cafe OBJ のよる証明も紹介した。連結成分を基礎として木などの概念を定義することで、必要な概念が簡潔に記述でき、自動証明が可能になっている。

4. 岩沼宏治 (山梨大) Basis of Efficient Equational Consequence Finding on SOL-Tableaux

概要 : In this talk, we study an efficient equality consequence finding tableaux, and give a new variant of Brand, Bachmair-Ganzinger-Voronkov and Paskevich's modification methods. As is well known, effective equality computing is very difficult in a top-down deduction framework such

as connection tableaux, due to a strict restriction to re-writable terms. The modification method with ordering constraints is a well-known remedy for top-down equality computation, and Paskevich adapted the method to connection tableaux. However the improved modification method still causes essentially redundant computation which originates in a symmetry elimination rule for equational clauses. The symmetry elimination may produce an exponential number of clauses from a given single clause, which inevitably causes a huge amount of redundant backtracking in connection tableaux. In this paper, we study a simple but effective remedy, that is, we abandon such symmetry elimination for clauses and instead introduce new equality inference rules into connection tableaux. We implemented the proposed methods in a sophisticated consequence finding system SOLAR and show a preliminary experimental results for TPTP benchmark problems.

[4] K. Iwanuma, H. Nabeshima, K. Inoue, 'Toward an Efficient Equality Computation on Connection Tableaux: A Modification Method without Symmetry Transformation,' *Proceeding of Inter. Workshop on First-Order Theorem Proving (FTP2009)*, pp.19-33, 2009

5. 廣川直 (北陸先端大) Decreasing Diagrams and Relative Termination

Aart Middeldorp (University of Innsbruck) との共同研究により得られた、項書換えシステムのための強力かつ自動化可能な合流性条件を紹介した。項書換えは、定理証明・宣言型プログラミング言語の基盤を成す計算モデルである。この計算モデルにおける最も重要な2つの性質の一つは、計算の整合性を保証する「合流性」である(もう一つは計算が必ず完了することを保証する「停止性」)。本研究では、合流性の二大条件である、危険対定理(Knuth, Bendix 1970)と直交性条件(Rosen 1973)を左線形の場合に包含する合流性条件を発見した。この新たな合流性条件は自動化することができ、評価のため実際に合流性自動検証ツールとして実装した。このツールを用いた合流性の問題集上での実験から、この条件が前述の2つより遥かに強力であることが判明した。

[5] Harald Zankl, Nao Hirokawa, and Aart Middeldorp. 'KBO Orientability,' *Journal of Automated Reasoning* 43(2), pp. 173-201, 2009

[6] Nao Hirokawa and Aart Middeldorp.

Decreasing Diagrams and Relative Termination, Proc. the 5th International Joint Conference on Automated Reasoning, 2010, To appear.

6. 櫻井加奈子 (お茶の水女子大) A GUI library for visualizing proof trees

概要：証明木は、プログラムの検証を含む定理証明の最も単純化した形である。証明木は、型推論や型ベースのプログラム解析などの動作を確認するためにしばしば手で描かれる。ここでは証明木を描くのを助けるため、証明木可視化システムを作る方法について検討した。型システムの定義を与えると、それに沿った GUI が構築される形でシステムは作られているため、種々の型システムの動作確認などいろいろなところで使われることが期待される。現在、このシステムをベースにして、単純型付きラムダ計算、shift/reset を含むラムダ計算、System F が実装されており、さらに簡約規則や自然言語の文法規則にも使われ始めている。

[7] 櫻井加奈子、浅井健一、汎用的に証明木の GUI を作成する『Miki β』の開発、第12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、掲載予定 (2010)。

7. 浅井健一 (お茶の水女子大) Teaching interactive programming to non-CS-major students: an experience using PLT Scheme environment

概要：コンピュータサイエンスを専攻とはしない学生に対してプログラミングを教えるのは簡単ではない。ここでは、お茶の水女子大学で行っている PLT Scheme の World ティーチパックを使った一般教養の授業について報告した。World ティーチパックは、ごく少数の概念のみを使ってインタラクティブなゲームを作ることのできるパッケージである。十分な数のティーチングアシスタントを揃えることができれば、文系の学生でも十分についてこられることが報告された。

11月27日 (金)

8. 小川瑞史 (北陸先端大) Solving dataflow equations over infinite domains

概要：Dataflow equation を解く問題は、古くは70年代に東上の dataflow framework として定式化された。これはモデル検査の視点で見ると、有限状態遷移系上の有限束重み付モデル検査とみなせ、プログラム解析では手続き内解析に相当する。90年代に、プッシュダウン状態遷移系上の有限束重み付モデル検査に相当する抽象文法問題に拡張された。これはプログラム解析では手続き間解析に相当する。

ここでは、さらに有限束重みを ω^2 -WQO 束 (順序制約をもつ無限束) に拡張した際に、dataflow equation の遅延解法が決定可能性であることを論じた。

9. 岩崎 英哉 (電通大) A Functional Presentation System in Haskell

概要：Functional languages are now attracting more and more attention in program development. This talk presented a system named Happyou for creating and running a slide presentation developed in Haskell. The main targets of Happyou are rather static text-based slides in which logically structured contents such as items are frequently used. Happyou serves an embedded domain specific language in Haskell for the description of slides. Unlike most WYSIWYG tools for presentation, Happyou offers high level of abstraction and re-usability of slides, which originate from the benefits of a functional language. One of the distinguishing features of Happyou is static correctness checking of the logical structure of slide contents, which is not possible in the existing functional presentation system in Scheme. This feature is implemented by encoding the constraints that a slide has to obey into a type using a phantom type, and entrust the task to the Haskell's type checking mechanism. Happyou's slide viewer is implemented in Haskell and integrated into the entire Happyou system. By this design choice, Happyou can make the full use of the Haskell's features including lazy evaluation.

10. Li Xin (北陸先端大) Scale up and accelerate stacking-based context-sensitive

概要：講演者はここ数年、重み付プッシュダウンモデル検査に基づく文脈依存 Java points-to 解析およびその実装に取り組んできた。バックエンドの重み付モデル検査器は既存の Weighted PDS ライブラリを活用しているが、ナイーブに用いるとメモリアーバフローを起こし、十分なスケーラビリティが得られない。ここでは部分モデル上にモデル検査を適用して全体を構成する incremental なアルゴリズムについて示し、その実装によりスケーラビリティの向上を示した。

[9] Xin Li, Mizuhito Ogawa, Conditional Weighted Pushdown Systems and Applications, Proc. ACM SIGPLAN 2010 Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation

(PEPM10), pp.141-150.

[10] Xin Li, Mizuhito Ogawa, Stacking-based Context-Sensitive Points-to Analysis for Java, Proc. Haifa Verification Conference 2009 HVC09, to appear in Springer LNCS.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本研究プロジェクトの直接の研究成果はないが、本プロジェクト参加メンバーによる近年（本年度を含む）の研究成果について研究集会を行い、それぞれの研究成果を用いた共同研究の可能性について可能性を探った。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの研究成果はいまだではあるが、組織横断的・分野横断的な研究メンバーによる研究集会により、具体的な共同研究課題が討議された。これにより、現在の **state-of-the-art** の手法、ならびに分野横断的な問題の交換がなされ、新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき、今後の発展が期待されている。

特に、形式言語における理論的成果であるプッシュダウンオートマトンの拡張・決定アルゴリズム等をツール実装を含め、現実の **SML** などプログラミング言語の高信頼化・最適化に応用を検討した。

また開催した研究集会においては、浅井研究生（御茶ノ水女子大）、小川研助教・ポスドク（北陸先端大）など若手研究者の発表も多く今後の進歩が期待されている。

[4] 成果資料

直接的な研究成果はないが、研究集会における研究交流のもととなる資料を[1]の報告にあげた。

採択番号 H21/B01

プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用

[1] 組織

代表者：安藤 晃（東北大学工学研究科）
 対応者：末光真希（東北大学電気通信研究所）
 分担者：犬竹正明（東北大学電気通信研究所）
 佐藤岳彦（東北大学流体科学研究所）
 服部邦彦（日本工業大学共通教育系）
 船木一幸（宇宙航空研究開発機構）
 佐々木浩一（名古屋大学大学院工学研究科）
 中島秀紀（九州大学総合理工学研究院）
 篠原俊二郎（九州大学大学院総合理工学研究院）
 佐藤 浩之助（九州大学応用力学研究所）
 佐宗章弘（名古屋大学大学院工学研究科）
 小紫公也（東京大学大学院
 新領域創成科学研究科）
 津島 晴（横浜国立大学大学院）
 戸張博之（日本原子力研究開発機構）
 北野勝久（大阪大学大学院工学研究科）
 田中雅慶（九州大学大学院総合理工学研究院）
 高木浩一（岩手大学工学部電気電子工学科）
 水野 彰（豊橋技術科学大学エコロジー工学系）
 都木恭一郎（東京農工大学共生科学技術研究院）
 吉村信次（核融合科学研究所）
 永田正義（兵庫県立大学工学研究科）
 永岡賢一（核融合科学研究所）
 上杉喜彦（金沢大学自然科学研究科）
 津守克嘉（核融合科学研究所）
 林 信哉（佐賀大学理工学部）
 永津雅章（静岡大学創造科学技術大学院）
 竹入康彦（核融合科学研究所）
 市村 真（筑波大学数理物質科学研究科）
 中嶋節男（積水化学工業（株）NBO 開発推進
 センター）

研究費：物件費 5万円、旅費 44万4千円

[2] 研究経過

現在、プラズマ生成技術は新しい材料の製造プロセス分野においても欠かせぬ手段として活用されており、半導体集積回路、太陽電池、発光ダイオード、ダイヤモンド合成、セラミック製造、磁性材料、超

電導材料など各種薄膜形成、微細加工、表面改質応用に不可欠なナノテクノロジーの基盤技術となっている。

特に、最近は大気圧領域で動作する高気圧・高密度プラズマがその反応性の強さや効率の高さなどで強く興味を持たれている。このようなプラズマ生成制御技術にはプラズマの流れ場が重要な役割を果たしていることが明らかとなってきた。プラズマの流れが新しい機能性場を生み出し、ナノ分野をはじめ宇宙推進技術や種々の応用研究に重要な役割を果たしている。現在では基礎研究だけでなくプラズマ流の計測・可視化技術も含めた応用研究が積極的に進められている。

本研究では、次世代のナノ情報デバイスの創製をはじめ、宇宙技術や他の産業応用に関連した分野間を越えた研究交流を積極的に図ることを目的とし、プラズマの流れが生み出す新機能性場についての基礎研究や応用研究に関する研究会を開催した。これまで様々な立場で研究が行われてきたプラズマ流の生成・制御法を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進め、特性の評価、理論的検討などを進め、今後の応用研究へ展開を図ることを目的として開催された。

以下に、本年度開催した研究討論会の概要を記す。

第1回

日時：平成21年8月5日（火）

東北大学工学部電気情報館北研究棟にて、服部邦彦氏（日本工大）を交えて大気圧プラズマ流中の放電特性や計測法に関して意見交換を行った。特に材料ガス気流と放電特性に及ぼす影響や気流の空間分布計測など議論があった。また、高電圧機器の開発や応用に関しての情報交換を行った。

第2回

日時：平成21年2月22日（月）、23日（火）

東北大学工学部電気情報館103講義室にて、「プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用」に関する研究会を開催した。発表題目と講師は以下の通り。

- (1) 佐藤 浩之助 (九大・総理工特任教授)
“長時間維持球状トカマク計画QUESTの概要と展望”
- (2) 坂本瑞樹 (九州大学 応用力学研究所)
“PWI 模擬実験装置 APSEDAS におけるタングステンへの低エネルギー・高フラックスプラズマ照射実験”
- (3) 永岡賢一 (核融合科学研)
“LHD イオン ITB プラズマの熱輸送、運動量輸送、不純物粒子輸送に関する研究”
- (4) 吉村信次 (核融合科学研)
“発散磁場領域での軸方向流れの LIF 計測実験”
- (5) 寺坂 健一郎 (九大・総理工)
“自己較正可能な方向性プローブを用いたイオン流れ計測”
- (6) 荒巻良介、高橋直大、條 真悟、安藤 晃 (東北大)
“外部磁場重畳型MPDの動作特性とAlfven臨界速度”
- (7) 高橋和貴 (岩手大・工)
“ダブルレイヤーイオン加速の大出力化へ向け”
- (8) 上杉喜彦 (金沢大・自然科学)
“低温水素・窒素混合プラズマ照射による炭素材損耗とダスト成長抑制”
- (9) 田口敬洋、下川龍太郎、安藤 晃 (東北大)
“気液混相中における放電現象を用いた脱色・滅菌処理”

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、日本工大の服部邦彦氏との研究討論により、大気圧下における放電現象とその計測手法に関し討論を行うとともに、最近の実験結果に関する問題点をもとに、実験・理論解析両者において今後の研究に関する方向性を示した。

第2に、「プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎と応用」に関する研究会において、以下のような報告と討論を行った。

まず九州大の佐藤 浩之助氏より、長時間維持球状トカマク計画QUESTにおける新規実験の開始状況について報告がなされた。研究の主要な要素は、電子パーシユタイン波による電流駆動と能動的壁温制御(リサイクリング率制御)によるPWI(プラズマ壁相互作用)の研究であり、平成20年6月のファーストプラズマ生成を経て、球状トカマク(ST)立上げ(誘導、RFのみ、混成)並びにSTの電流駆

動実験が推進されてきた。最近、10 kA レベルのST プラズマの長時間維持(〜700ms)に成功したとの報告がなされた。

九州大応用力学研究所の坂本瑞樹氏より、ヘリコン波プラズマを生成可能な小型 PWI 模擬実験装置の開発について報告があった。この装置では、ヘリコン波を用いた高密度プラズマを生成し、そのプラズマ流をタングステンに照射する装置で、材料表面近傍のバルマー線発光強度空間分布計測、タングステンの水素吸蔵特性、光学反射率計測に基づく材料表面改質の実時間計測を行い、水素励起状態に関して、材料近傍のプラズマでは上流のプラズマに比べて相対的に高準位のポピュレーションが高いことが明らかとなった。また、タングステンの表面温度が500K〜600K を超えると新たな水素捕獲サイトが生成されることが報告された。

つづいて核融合科学研究所の永岡賢一氏より、LHD 装置でのイオン熱輸送の改善プラズマ(イオンITBプラズマ)を対象として行われている熱・不純物・運動量輸送研究の最近の進展について報告があった。高温プラズマ中心部からの不純物の吐き出しは、イオン温度勾配と強い相関を示し、Zの大きいイオン種ほど顕著であり、単純な拡散現象だけで説明できない運動量輸送が存在し、イオン温度勾配と相関をもつ成分も観測されたなどが報告された。

核融合研の吉村信次氏から、実験室 ECR プラズマ中において発散磁場領域におけるイオンの流れを、絶対値計測が可能なレーザー誘起蛍光(LIF)法を用いて行った結果について報告がなされた。通常LIF法では計測の障害となる反射光を積極的に利用することで、絶対波長較正が不要な流速計測法を確立した。HYPER-I 装置での計測では、磁場の発散とともにイオンが超音速まで加速されていることが確認されたことが報告された。

九大・総理工の寺坂健一郎氏からは、プラズマのマッハ数とプラズマ電位を計測するために開発中のFine Multihole Directional Langmuir Probe (FM-DLP) の紹介があった。微小なDebye長程度の捕集孔径(直径0.15 mm)を持つプローブで、その特性を定常弱磁化プラズマで調べた結果について報告があった。

つぎに、東北大の荒巻良介氏から、超音速・超アルヴェン速プラズマの形成を目指した実験研究の最新の結果について報告がなされた。イオンマッハ数 M_i とアルヴェンマッハ数 M_A がともに1を越える超アルヴェン速プラズマ流の形成が確認されたことや、 M_i 、 M_A の軸方向分布の同時測定を行った結果について報告があった。またその際に磁気ノズル重畳に

よる加速効果やアルヴェン臨界速度を超えたプラズマ流形成に関する実験結果の報告がなされた。

岩手大の高橋和貴氏からは、発散磁場配位中で生成した高周波プラズマ中に自発的に形成される電気二重層(ダブルレイヤー:DL)に関する荷電粒子の振る舞いについて報告があった。永久磁石利用発散プラズマ源の諸特性と、ダブルレイヤー形成に伴って超音速イオン加速現象についての最新の実験報告があり、これを用いた無電極電気推進への応用に関して議論された。

さらに、金沢大の上杉喜彦氏からは高周波誘導プラズマ源を用いた、炭素材(黒鉛および多結晶ダイヤモンド被覆黒鉛)へのアルゴン・水素・窒素混合プラズマ照射実験について報告があった。水素に対してごく微量の窒素付加(1%以下)で炭素ダスト生成が大きく抑制されることが見いだされた。これは、窒素原子導入により揮発性分子(HCN, CN, C₂N₂等)形成と炭素微粒子凝集が抑制されることによるものと思われる。また揮発性 HCN 分子には、水素が含まれることからグラファイト材への水素同位体吸蔵も低減されることが期待されることが報告された。

最後に東北大の田口敬洋氏よりナノ秒オーダーの高電圧パルス放電を用いて気液混合状態での放電実験を行い、脱色や滅菌などの水処理技術への展望について紹介があった。

以上のように、プラズマの流れが関与して様々な新機能性場の形成が行われ、多彩な研究への展開が図られている現状を認識でき、相互の類似点や相違点などをふまえた議論と、新しい研究テーマの提案に関し、活発な意見交換がなされた。

上記の講演・研究会の参加者は、学内外を含め50名以上であった。各講演内容に対して参加者による活発な討論が行われ、理論的、実験的側面ならびに応用についての理解に大きく寄与した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、宇宙推進や核融合研究、材料開発から環境改善にいたるまで、様々な産業への応用が展開されつつあるプラズマ流に関する話題と研究成果が報告され、討論が行われた。プラズマの加速、加熱、流れ場の形成、計測手法などについて議論や情報交換を行い、自然界や産業応用研究など多様な場で応用がすすめられているプラズマ流に関し、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。プラズマ流が生み出す新機能性場を総合的に理解し、さらに大気圧下や気液混相中でのプラズマ形成や産業応用への展開についても紹介があり、共通の認識を深めることが出来たことは、今後の研究進展に対して大きな成

果であった。本研究会活動を基点として、プラズマの流れが生み出す新機能性場の基礎研究および応用分野において、今後ますます研究の発展・理解につながることを期待される。

[4] 成果資料

- [1] R. Aramaki, S. Jo, N.T. Akahashi and A. Ando, "Production of a super-Alfvénic plasma flow in a diverging magnetic nozzle", Proc. of the 27th General Scientific Assembly of the Asia Plasma and Fusion Association (APFA2009), P27p2-43, pp.1-5, (2009).
- [2] A. Ando, A. Komuro, C. H. Moon, "RF plasma Production by Using FET Inverter Power Supply", Frontier of Applied Plasma Technology, Vol.2, pp.67-70 (2009).
- [3] A. Ando, C.H. Moon, K. Tsumori, and Y. Takeiri, "Characteristic of rf H⁻ ion source by using FET power source", AIP-Conference Proceedings, No.1097, pp.291-296 (2009).
- [4] M. Sakamoto, T. Miyazaki, Y. Higashizono, K. Ogawa, K. Ozaki, N. Ashikawa, M. Tokitani, T. Shoji, S. Masuzaki, K. Tokunaga, K. Ohya, A. Sagara, N. Yoshida, K.N. Sato, "Surface Modification of Tungsten Mirrors due to Low Energy Helium Plasma Irradiation in the Compact PWI Simulator APSEDAS", Physica Scripta, T138 No.014043, (2009).
- [5] Y. Higashizono, M. Sakamoto, T. Miyazaki, K. Ogawa, K. Ozaki, Y. Nakashima, Tatsuo Shoji, N. Ashikawa, M. Tokitani, K. Tokunaga, S. Masuzaki, K. Ohya, A. Sagara and K.N. Sato, "Axial Profile of Balmer-Alpha Emission near a Tungsten Target in the Compact PWI Simulator APSEDAS", Plasma and Fusion Research, Vol.4, 043 (2009).
- [6] Kazunori Takahashi, Yutaka Shida, and Tamiya Fujiwara, "Magnetic-field-induced enhancement of ion beam energy in a magnetically expanding plasma using permanent magnets", Plasma Sources Science and Technology, 19, 025004 (2010)
- [7] Kazunori Takahashi, Yutaka Shida, Tamiya Fujiwara, and Kaoru Oguni, "Supersonic Ion Beam Driven by Permanent-Magnets-Induced Double Layer in an Expanding Plasma", IEEE Transactions on Plasma Science 37, 1532 (2009).
- [8] M. Kyo, Y. Takeguchi, Y. Uesugi, Y. Tanaka, S. Masuzaki, "Suppression of Carbon Dust Formation by Nitrogen Injection into Hydrogen Plasmas in Detached Plasma Conditions", Plasma and Fusion Res., Vol. 5, 004, pp. 1-3, 2010.

採択番号 H 2 1 / B 0 2

採択回数 ① 2 3

次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の 機構解明及び制御の研究

[1] 組織

代表者：末光 眞希

(東北大学電気通信研究所)

対応者：末光 眞希

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

Karsten Horn (Fritz-Harber Institute)

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

遠田 義晴 (弘前大学理工学研究科)

遠藤 哲郎 (東北大学学際科学国際高等研究センター)

川合 眞紀 (理化学研究所)

吉村 雅満 (豊田工業大学)

影島 博之 (NTT 物性科学基礎研究所)

白石 賢二 (筑波大学数理物質科学研究科)

斎藤 理一郎 (東北大学理学研究科)

北島 正弘 (防衛大学校)

末光 哲也 (東北大学電気通信研究所)

日比野 浩樹 (NTT 物性科学基礎研究所)

伊藤 隆 (東北大学学際科学国際高等研究センター)

安井 寛治 (長岡技術大工学研究科)

佐野 栄一 (北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター)

福山 敦彦 (宮崎大学工学部・材料物理工学科)

成田 克 (山形大学理工学研究科)

永瀬 雅夫 (NTT 物性科学基礎研究所)

田中 悟 (九州大学大学院工学府)

吹留 博一 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費5万円，旅費27万2千円

[2] 研究経過

炭素原子の二次元シートであるグラフェンは、その二次元性に起因した優れた物性を有する。特に、シリコンよりも二桁高いというグラフェンの電子・正孔移動度は特筆に値する。ゆえに、グラフェンは次世代情報化社会の実現を可能にする次世代半導体材料として有望視されており、既に ITRS Roadmap

に次世代チャネル材料として取り上げられている。

しかしながら、このグラフェンの製造プロセスの現状には大きな問題点がある。グラフェンの主製造法である「グラファイト塊からのスコッチテープを用いた劈開法」は微小片しか製造出来ないため、大量生産には不向きである。そのため、グラフェンを用いたデバイスの実用化のために、量産化に適したグラフェン製造の探索及び確立が急務となっている。

更に、この製造法に対する要件として、

- ① 厚さが原子数層分の高品質な極薄膜
- ② CMOS との適合性
- ③ エッジの電子・化学状態制御
- ④ 良好なグラフェン/絶縁物の界面特性

という厳しい条件が ITRS Roadmap に付記されている。これらの内、①と②はグラフェン実用化に向けての最重要かつ緊急を要する課題である。

このような研究背景を鑑み、研究代表者は「次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成機構の解明とその制御」に関する研究会を通研共同プロジェクト研究会として実施した。本研究会の最終目標は「実用的なグラフェン製造プロセスの確立」に向けての共通認識の確立であり、当面の具体的な課題として「CMOS プロセスと適合する高品質グラフェン極薄膜製造法」を取り上げた。

本プロジェクトは、本年度が第一年度であり、「次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究」に関する第一回共同プロジェクト研究会を、平成 21 年 10 月 6 日に開催した。この第一回研究会においては、グラフェン研究に関わる国内の第一線の参加者 8 名による御講演に加えて、ドイツ・フリッツハーバー研究所の Horn 教授にも特別講演をして頂けることとなった。

これら著名な研究者による講演会を企画した結果、50人以上もの聴衆が本研究会に参加し、グラフェン形成機構と制御に関する理解を巡って活発な議論が行われた。これが芽となって、幾つかの共同研究が開始されている。なお、今回の研究会の発表内容は、講演者の先生方の御厚意により、要旨集としてまとめ、相互の研究の理解を図るようにした。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

【通研共同プロジェクト研究会】

通研共同プロジェクトを、下記の講演者及び講演題目の下に行った(敬称略)：

1 Kastem Horn

(独・FHI)

Electronic structure and growth of graphene on silicon carbide

2 末光眞希

(東北大学通研)

Formation of epitaxial graphene on silicon substrates

3 田中悟

(九州大学)

Formation and Properties of Nanographene on vicinal SiC surfaces

4 川合真紀

(東大・理研)：

Scanning probe spectroscopy of CNT

5 永瀬雅夫

(NTT 物性基礎研)

Microscopic conductance measurement of few-layer graphene on SiC using integrated nanoprobe

6 吉村雅満

(豊田工大)

Carbon nanotube tips for high-resolution SPM

7 影島博之

(NTT 物性基礎研)

First-principles study on energetics of C aggregation on SiC surfaces for understanding epitaxial graphene growth mechanism

8 斎藤理一郎

(東北大理)

Phonon softening phenomena in graphene and nanotubes

9 日比野浩樹

(NTT 物性基礎研)

Surface electron microscopy studies of structure and electronic properties of epitaxial few-layer graphene grown on SiC

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究会での討論が契機となって、下記の通研・ドイツ(フリッツ・ハーバー研究所・Erlangen 大学) 研究所間の共同研究、通研・SPring-8 間の共同研究プロジェクト、及び通研-NTT 物性基礎研究所間の共同研究が開始され、現在も継続している。

(1. ドイツとの共同研究)

本年度の共同プロジェクト本研究会にて発表して頂いた独フリッツ・ハーバー研究所の Horn 教授との討論から、Horn 教授及び Seyller 教授とともに、

微細加工 SiC 基板上でのエピタキシャルグラフェン形成過程の原子レベル研究に関する共同研究が開始された。2010 年度以降も共同研究は継続され、具体的な共同研究も進行中である。

(2. SPing-8 との共同研究)

1.の微細加工 SiC 基板上でのエピタキシャルグラフェンの原子レベル観察のために、SPing-8 の光電子顕微鏡(PEEM)を用いた研究を共同で行っている。2009A 期・2009B 期・2010A 期の三期連続で共同研究課題が採択されている。これらの PEEM 観察結果から、微細加工パターンとグラフェンの構造・電子物性に強い相関が存在することが明らかとなった。

(3. NTT 物性基礎研究所との共同研究)

本年度の共同プロジェクト本研究会にて発表して頂いた NTT 物性基礎研究所の日比野浩樹博士との討論から、低速電子顕微鏡(LEEM)による SiC 上のエピタキシャルグラフェンの微視的な層数分布・二次元原子配列の研究を開始している。2010 年度以降も、この共同研究は継続して行われる予定である。

[4] 成果資料

- (1) H. Fukidome, Y. Miyamoto, H. Handa, E. Saito, and M. Suemitsu, *Jpn. J. Appl. Phys.* 49 (2010) 01AH03.
- (2) Hirokazu Fukidome, Ryota Takahashi, Yu Miyamoto, Hiroyuki Handa, Maki Suemitsu, Akitaka Yoshigoe, Yuden Teraoka *arXiv*. 1001.4955 (2010).
- (3) M. Suemitsu and H. Fukidome, to be published in *J. Phys. D* (2010) (invited review paper).
- (4) R. Olac-vaw, H.-C. Kang, H. Karasawa, Y. Miyamoto, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, to be published in *Jpn. J. Appl. Phys.*
- (5) H. C. Kang, R. Olac-vaw, H. Karasawa, Y. Miyamoto, H. Handa, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji, *Jpn. J. Appl. Phys.*, *in press*.
- (6) H. Handa, Y. Miyamoto, H. Fukidome, and M. Suemitsu, *IEICE Tech. Rep. ED 2009* (2009) 10.
- (7) Y. Miyamoto, H. Handa, H. Fukidome, T. Ito, M. Suemitsu, *e.-J. Surf. Sci. Nanostruct.* 7 (2009) 107.
- (8) H. Handa, Y. Miyamoto, H. Fukidome, and M. Suemitsu, *I EICE Tech. Rep. ED 2009*, (2009) 10.
- (9) M. Suemitsu, Y. Miyamoto, H. Handa, M. Suemitsu, *e.-J. Surf. Sci. Nanostruct.* 7 (2009) 311.
- (10) 尾辻 泰一, 末光 哲也, 姜 顯, 唐澤 宏美, 宮本 優, 半田 浩之, 末光 眞希, 佐野 栄一, リズィー マキシム, リズィー ヴィクトール, *信学技報* 108 (2009) 1.
- (11) Hideki Nakazawa, Takeshi Kinoshita, Yuhta Kaimori, Yuhki Asai, Maki Suemitsu, Toshimi Abe, Kanji Yasui, Tetsuo Endoh, *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009) 116002.
- (12) M. Matsumoto, S. Ito, Y. Inayoshi, S. Murashige, H. Fukidome, M. Suemitsu, et al., *ECS Trans.* 25 (2009) 345.
- (13) 尾辻泰一, *信学技報* 109 SDM-133 (2009) 109.
- (14) E. Saito, S. Filimonov, M. Suemitsu, *Mater. Sci. Forum.* 645-648 (2010) 147.
- (15) Y. Komae, K. Yasui, M. Suemitsu, T. Endoh, T. Ito, H. Nakazawa, Y. Narita, M. Takata, and T. Akahane, *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009) 076509.

採択番号 H 2 1 / B 0 3

小電力無線通信方式

[1] 組織

代表者：加藤 修三

(東北大学電気通信研究所)

対応者：加藤 修三

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

加藤寧 (東北大学大学院情報科学研究科)

吉岡良雄 (弘前大学大学院理工学研究科)

佐々木重信 (新潟大学工学部)

米山 努 (東北工業大学)

越後 宏 (東北学院大学)

塩川孝泰 (東北学院大学)

中橋 幸一 (東京ドローイング)

鎌野 秀三 (日本大学工学部)

鹿子嶋 憲一 (茨城大学工学部)

梅比良 正弘 (茨城大学工学部)

橋本研也 (千葉大学工学部)

原田 博司 (独情報通信研究機構)

中澤勇夫 (通信放送国際研究所)

栗原 宏 (宏動 株式会社)

研究費：物件費5万円，旅費58万6千円

[2] 研究経過

【本プロジェクトの目的・概要】

近年、積極的に導入されつつあるワイヤレス LAN(WLAN)の性能拡大及びワイヤレス PAN(Personal area network)(WPAN)の研究が国際的に盛んになりつつある。前者は100m程度、後者は10m程度をサービスエリアとして通常10dBm程度の小電力で、前者は300Mbps、後者は数Gbpsの高速、超高速伝送を当面のゴールとしている。これらの分野では日本がPHY, MACいずれの分野でも世界に後れをとっている。本研究会は東北大学電気通信研究所が中心となり、東北地方を中心にこれら無線の分野で活躍中の幅広い分野の研究者が集い、製品開発・応用までを見据えた日本における小電力無線通信研究開発の底上げを狙う。また、全体としていくつかの機関の組み合わせで、外部資金獲得の母体を構成し、技術・Funding両面から当

該分野の無線技術の底上げを目指す。さらに、本研究会は研究の種々の課題について自由・滑達に議論ができる場とし、学習・議論を通じ、若手研究者の育成にも資する。

本研究会では電気通信研究所が要となり、東北地方を中心に12の機関と研究活動を展開することにより、電気通信研究所の”拠点CEO”としての地位をゆるぎないものとする。

【研究集会等の開催状況】

本年度はSeminar on Small Power Wireless Communicationsと題して、計3回の研究会を行った。各回には講演テーマを設けて、その分野において第一線で活躍している研究者にご講演いただいた。下記に各回の講演者と講演題目を示す。

第1回開催 (2010年2月1日)

テーマ「Millimeter wave device technologies」

技術講演

- 米山 務 氏 ((株) MMEX 社長、東北大・東北工大名誉教授) “NRD ガイドとは何か、何ができるか”
- 江刺 正喜 氏 (東北大学教授) “MEMS の集積化とパッケージング”
- 李 可人 氏 (独立行政法人 情報通信研究機構 主任研究員) “60GHz 帯 WPAN 用広帯域平面アンテナ”
- 柴垣 信彦 氏 (日立製作所中央研究所 主任研究員) “60GHz 帯 WPAN 用ミリ波 RF 回路技術～シリコン能動回路と低価格モジュール技術～”
- 門 勇一 氏 (NTT マイクロシステムインテグレーション研究所 スマートデバイス研究部 部長) “人体近傍電界通信技術”

特別講演

- 中西 道雄 氏 (UTStarcom 社元社長)
“電気通信産業界から見た若手大学研究者及び卒業生への期待”

第2回開催 (2010年2月19日)

テーマ「Global standardization and applications」

技術講演

- 澤谷 邦男 氏 (東北大学教授) “長距離 RFID 用ア

ンテナ”

- 原田 博司 氏 (独立行政法人 情報通信研究機構 ユビキタスマバイルグループグループリーダー) “IEEE802.15.3c/15.4g 国際標準化への取り組みと動向”
 - 梅比良 正弘 氏 (茨城大学教授) “ミリ波 WLAN/WPAN における MIMO 通信の可能性”
 - 福永 茂 氏 (沖電気工業株式会社 センサネットワークベンチャーユニット マネージャ) “IEEE802.15.4d 標準化活動の紹介と、それに関連した通信方式の開発”
 - 佐々木 重信 氏 (新潟大学教授) “TV ホワイトスペースをめぐる IEEE802 無線システムの標準化動向”
- 特別講演
- 大谷 進 氏 (NEC 常務) “電気通信システム・装置産業界から見た若手大学研究者及び卒業生への期待”

第3回開催 (2010年3月8日)

テーマ「Wireless networking and device technologies」

技術講演

- 水野 皓司 氏 (東北大学名誉教授) “ミリ波を用いた透視技術”
- 溝口 匡人 氏 (NTT未来ねっと研究所 主幹研究員) “マイクロ波帯無線 LAN の高速化動向”
- 中嶋 信生 氏 (電気通信大学教授) “屋内測位や老人・介護施設センサーネットワークに適用可能な近距離無線装置と実施例について”
- 原 晋介 氏 (大阪市立大学教授) “位置推定問題における受信電力と到来時間の利用について”
- 阪口 啓 氏 (東京工業大学准教授) “電力伝送と融合したワイヤレスグリッド”

特別講演

- 枘川 正也 氏 (FPD アソシエーツ) “デバイス産業界から見た若手大学研究者及び卒業生への期待”

[3] 成果

(3-1) 研究成果

第1回研究会では、小電力無線通信技術の一つに挙げられる 60GHz 帯ミリ波無線通信について、大学と企業のアンテナ・デバイス技術への取り組みについて講演が行われ、研究者間での情報共有を行うことができた。また無線通信への応用が期待されている MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems)の最新技術や、人体近傍電界通信技術といった極至近距離(1mm-10cm)での無線通信技術研究の講演も

行われ、終始活発な議論が行われた。

第2回研究会では、IEEE802 国際標準化委員会において実際に技術提案を行っている研究者から、今後の無線通信技術の国際標準化動向について、情報を得ることができた。ミリ波 WPAN, Smart Utility Network, RF-ID, TV White Space などの小電力無線技術が世界的に注目を集めていることが紹介され、国際標準化の場で日本から技術提案していくことの重要性について認識を高めることができた。

第3回研究会では、小電力無線通信を用いた位置推定技術や無線電力電送など通信以外への応用技術についての研究成果の紹介が行われ、小電力無線通信が多様な用途に利用可能であることを明らかにした。またマルチユーザ MIMO 技術、MIMO ネットワーク符号など無線の最先端技術についての講演が行われ、実現のための技術的課題について整理することができた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本年度末、本共同プロジェクト研究の成果をベースに電子情報通信学会に“短距離無線通信時限研究会”の設立を提案し、承認された。次年度この研究会との研究会共催も行き、この分野における日本の研究活性化を強力に推進する。

又、個々の大学・企業ではシステム・応用までを見据えた全体の研究が難しいが、このような研究会をとおして、全体を学習・研究することができ、この分野で弱い日本無線通信のボトムアップが図れると同時に新しいシステム提案、技術の萌芽が期待される。

さらに、議論を通し得られた有用な研究テーマについては共同で外部資金に応募し、当該テーマ研究開発を加速させる。さらに、これら活動を通し、若手研究者の育成に資する。

本プロジェクトに関する研究テーマは海外、特に米国では盛んであり、その outcome としては WLAN、WPAN に加え今ホットな Smart grid 等があり、これからの発展が大いに期待される。

本プロジェクトは東北地方を中心に 12 の機関が共同で研究開発を行うことから、電気通信研究所の“拠点 CEO”の役割実現にもおおいに貢献すると期待される。

[4] 成果資料

論文

1. Shuzo Kato, Hiroshi Harada, Ryuhei Funada, Tuncer Baykas, Chin Sean Sum, Junyi Wang, M Azizur Rahman, "Single Carrier Transmission for Multi-Gigabit 60-GHz WPAN Systems" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 27, No. 8, Oct. 2009.
2. Junyi Wang, Zhou Lan, Chang-Woo Pyo, Tuncer Baykas, Chin-Sean Sum, M Azizur Rahman, Jing Gao, Ryuhei Funada, Fumihide Kojima, Hiroshi Harada and Shuzo Kato, "Beam Codebook Based Beamforming Protocol for Multi-Gbps Millimeter-Wave WPAN Systems" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 27, No. 8, Oct. 2009.
3. Zhou Lan, Chin-Sean Sum, Junyi Wang, Tuncer Baykas, Fumihide Kojima, Hiroyuki Nakase, Hiroshi Harada, "Relay with Deflection Routing for Effective Throughput Improvement in Gbps Millimeter-Wave WPAN Systems" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 27, No. 8, Oct. 2009.
4. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Katsuyoshi Sato, and Hiroshi Harada, "A Sixty GHz Vehicle Area Network for Multimedia Communications" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 27, No. 8, Oct. 2009.
5. Yozo Shoji, Hirokazu Sawada, Chang-Soon Choi, and Hiroyo Ogawa "A Modified SV-Model Suitable for Line-of-Sight Desktop Usage of Millimeter-Wave WPAN Systems," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.57, Issue 10, Part 1, pp.2940-2948, Oct. 2009.

国際会議

6. Chin-Sean Sum, Zhou Lan, Ryuhei Funada, Junyi Wang, Tuncer Baykas, Mohammad Azizur Rahman, Hiroshi Harada and Shuzo Kato, "Virtual Time-Slot Allocation Scheme for Throughput Enhancement in a Millimeter-wave Gbps WPAN Cross Layer Design" *WN-P3, Topics in Wireless Networks I, Paper #8, Wed, 17 Jun, 2009.*
7. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Masahiro Umehira, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, "Millimeter-wave Propagation Characterization for Multi-gigabit Video Transmission System in Living Room",

Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference, 2009, pp.1080-1083.

8. Hirokazu Sawada, Katsuyoshi Sato, Ryuhei Funada, Hiroshi Harada, and Shuzo Kato, "Propagation Characteristics of Millimeter Wave Wireless Personal Area Network" *Workshop of PIMRC 2009*
9. Shuzo Kato, Hiroshi Harada, Fumihide Kojima, Ryuhei Funada, Tuncer Baykas, Chang Woo Pyo, Zhou Lan, Chin-Sean Sum, Junyi Wang, and Mohammad Azizur Rahman, "Millimeter Wave (60 GHz) Wireless PAN Standardization Activities and Super Broadband Applications", *Workshop of PIMRC 2009*
10. Hiroshi Harada, Ryuhei Funada, Tuncer Baykas, Chin-Sean Sum, M Azizur Rahman, Junyi Wang, and Shuzo Kato, "PHY Design for IEEE802.15.3c Wireless Personal Area Network", *Workshop of PIMRC 2009*
11. Changwoo Pyo, Zhou Lan, Fumihide Kojima, Hiroyuki Nakase**, Hiroshi Harada, and Shuzo Kato, "MAC Protocol Design and Performance Study for 802.15.3c Wireless Personal Area Network", *Workshop of PIMRC 2009*
12. Chin-Sean Sum, Tuncer Baykas, Zhou Lan, Junyi Wang, Ryuhei Funada, Mohammad Azizur Rahman, Chang Woo Pyo, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, "Common Mode Signaling (CMS) for Intersystem Coexistence Enhancement", *Workshop of PIMRC 2009*
13. Zhou Lan, Junyi Wang, Chin-Sean Sum, Tuncer Baykas, Ryuhei Funada, Mohammad Azizur Rahman, Chang Woo Pyo, Fumihide Kojima, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, "Device Synch Frame Transmission for Adjacent Piconet Co-existence", *Workshop of PIMRC 2009*
14. Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, Masahiro Umehira, Katsuyoshi Sato, Hiroshi Harada, "Polarization Dependence in Double Directional Propagation Channel at 60GHz", *Proceedings of PIMRC 2009*
15. Chin-Sean Sum, Xueli An, Zhou Lan, Tuncer Baykas, Junyi Wang, Ryuhei Funada, Mohammad Azizur Rahman, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, "A Synchronization-Frame-Aided Interference Mitigation Mechanism for Millimeter-wave WPAN", *Proceedings of PIMRC 2009.*

採択番号 H 2 1 / B 0 4

複素ニューラルネットワークの実用化

[1] 組織

代表者：廣瀬 明
(東京大学大学院工学系研究科)

対応者：佐藤 茂雄
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

中島 康治 (東北大学電気通信研究所)
黒江 康明 (京都工芸繊維大学大学院
工芸科学研究科)

合原 一幸 (東京大学生産技術研究所)
田中 剛平 (東京大学生産技術研究所)
青木 宏之 (東京高等工業専門学校)
古橋 武 (名古屋大学大学院工学研究科)
橋 完太 (工学院大学情報学部)
Eckhard S. M. Hitzer (福井大学工学部)
松井 伸之 (兵庫県立大学大学院工学研究科)
磯川 悌次郎 (兵庫県立大学大学院工学研究科)
西村 治彦 (兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科)

金城 光永 (琉球大学工学部)
村瀬 一之 (福井大学工学部)
根本 幾 (東京電機大学情報環境学部)
西川 郁子 (立命館大学情報理工学部)
新田 徹 (産業技術総合研究所)
萩原 将文 (慶応義塾大学理工学部)
木ノ内 誠 (山形大学大学院理工学研究科)

研究費：物件費 5 万 0 千円，旅費 37 万 9 千円

[2] 研究経過

高度に成熟した Si-LSI 技術に支えられ、現代の計算機は驚異的な計算能力を有するようになった。しかし一方で、パターン認識や学習など、フォンノイマン型計算機が苦手とする問題も数多く残されている。アナログ情報処理が有効な課題も数多く存在し、脳型情報処理を実現するニューラルネットワークでは、パターン認識や組み合わせ最適化問題などを効率的に解くことができることが知られている。また自律的動作による解探索や学習によるエラー訂正・適応的動作が可能であり、こうした機能の重要性は今後高まっていくと予想される。ニューラルネット

ワークモデルのひとつとして複素ニューラルネットワークが提案されており、ニューロンの出力が振幅と位相で表現されるため、波動的性質を有することが知られている。またパターン認識、画像処理、時系列予測等において、位相情報を活用する波動的情報処理の優位性が知られている。代表者は複素ニューラルネットワークにいち早く注目し、レーダー画像の画像処理等へ応用しその有効性を明らかにしており、本分野において世界的に主導的役割を果たしてきている。また最近では、この技術を東南アジアの地雷発見等に応用し重要な社会貢献を果たしてきている。

人間と環境を調和させるには、要求される情報処理を障壁なく効率的に行うことが必要不可欠であり、アナログ情報、デジタル情報、時間情報、位相情報などを適材適所で利用することが肝要である。本プロジェクトでは、アナログ情報、位相情報を効率的に扱うことが可能な複素ニューラルネットワークの情報処理能力を数理解析により明らかにし、ハードウェアの開発と併せて実用化技術として確立することを研究目的とする。また派生技術として量子ニューラルネットワークの計算能力を明らかにすることも目的とする。

具体的には、まず、複素ニューラルネットワークの情報処理能力を神経回路の統計力学やクリフォード代数、量子断熱定理等の手法を用いて評価する。その中で、波動ダイナミクスと量子トンネリングの有効性を明らかにし、画像処理等実応用における優位性を明らかにする。また、FPGA や量子デバイスを利用しハードウェアとして実現し、すぐに実用化できる技術として確立する。本所では FPGA と量子デバイスによる実現を主な研究テーマとする。

第一年度にあたる本年度は、12月14日、15日に研究会を開催し、メンバー間の相互理解を図るとともに、率直な意見交換を行い、本研究のプロジェクトの方向性を確認した。以下に研究会のプログラムを示す。

- 1)「複素ニューラルネットワークの利点とその起源」
廣瀬 明 (東大)
- 2)“Neural Computation with Clifford Algebra”

Eckhard Hitzer (福井大)

3)「複素ニューラルネットワークと Steiner Circles」
新田 徹 (産総研)

4)「複素ニューラルネットワークによるクラシファイヤーの構築」 Md. Faijul Amin (福井大)

5)「複素リカレントニューラルネットワークのダイナミクスとその応用」 黒江 康明 (京都工繊大)

6)「ニューラルネットワークの手法を用いた断熱的量子計算」 佐藤 茂雄 (東北大)

7)「四元数ニューラルネットワークモデルとその応用」 磯川 悌次郎 (兵庫県立大)

8)「複素ニューラルネットワークによる多階調画像復元」 田中 剛平 (東大)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度はまず第1に、イメージングに関するアプリケーションの展開を行った。具体的には、MRI イメージングの信号画像処理に複素ニューラルネットワークを適用し、血管の効果的な抽出に成功した。またセキュリティ・スクリーニング用のミリ波レーダシステムに利用する研究を進めた。さらに複素ニューラルネットワークの利点とその起源を具体的に広くアピールすべく、国際会議におけるチュートリアルセッションおよびスペシャルセッションにおいて、本共プロ研究者が中心となり、複素ニューロの世界の第一線の研究者と興味を持つ近傍分野の研究者とで討論を行い、有益な指針を得るとともに出席者間で認識を深めた。

第2に、ハミルトニアンの断熱的变化による量子計算アルゴリズムを、量子波動性を有するニューラルネットワークに適用し、残留エネルギーと計算時間の関係を明らかにし、組合せ最適化問題の解法において、従来の焼きなまし法などに比べはるかに優れた性能を有することを確認した。本手法において、ハミルトニアンはニューロン間の結合によって定まるため、従来提案されている人工神経回路を用いたシナプス荷重値の設計方法を利用することができる。ゆえに、人工神経回路に量子ダイナミクスを導入することにより、解探索性能の向上を図ることができる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト遂行により以下の成果が得られると考えられる。

- ・複素ニューラルネットワーク理論の構築と、情報処理能力の解明。

- ・レーダー画像解析などパターン認識における波動的情報処理・位相情報処理の優位性を明らかにする

こと。

- ・量子波動性を導入したニューラルネットワークの提案と工学的応用。

- ・FPGA や量子デバイスによる複素ニューラルネットワークのハードウェア化。

- ・複素ニューラルネットワークを応用した情報処理システムのプロトタイプの実現と実用化。

[4] 成果資料

1)A.Handayani, A.B.Suksmono, T.L.R.Mengko A.Hirose, "Blood Vessel Segmentation in Complex-Valued Magnetic Resonance Images with Snake Active Contour Model," International Journal of E-Health and Medical Communications, vol.1, pp.41-52, 2010.

2)T.Nishino, R.Yamaki, A.Hirose, "Ultrasonic imaging for boundary shape generation by phase unwrapping with singular-point elimination based on complex-valued Markov random field model," IEICE Trans. on Fundamentals, vol.E93-A, pp.219-226, 2010.

3)Y.Baba, A.Hirose, "Spectral fluctuation method: A texture-based method to extract text regions in general scene images," IEICE Trans. On Information Systems, vol.E92-D, pp.1702-1715, 2009.

4)K.Tanizawa, A.Hirose, "Search Control Algorithm Based on Random Step Size Hill-Climbing Method for Adaptive PMD Compensation," IEICE Trans. on Commun., vol.E92-B, pp.2584-2590, 2009.

5)S.Tan, A.Hirose, "Chirp Z-Transform-based Fading Channel Prediction," Electron. Lett., vol.45, pp.418-420, 2009.

6)A.Hirose, S.Hamada, R.Yamaki, "Envelope phase detection for millimeter-wave active imaging," Electron. Lett., vol.45, pp.331-332, 2009.

7)E. Hitzer, K. Tachibana, S. Buchholz, I. Yu, "Carrier method for the general evaluation and control of pose, molecular conformation, tracking, and the like," Advances in Applied Clifford Algebras, vol.19, pp. 339-364, 2009.

8)E. Hitzer, "Real Clifford Algebra $Cl(n,0)$, $n = 2,3(mod 4)$ Wavelet Transform, edited by T.E. Simos et al., AIP Proceedings of ICNAAM 2009, pp.781-784, 2009.

9)E. Hitzer, "Clifford (Geometric) Algebra Wavelet Transform, in V. Skala and D. Hildenbrand (eds.), Proceedings of GraVisMa 2009, 02-04 Sep. 2009,

- Plzen, Czech Republic, pp. 94-101, 2009. [Online: http://gravisma.zcu.cz/GraVisMa-2009/Papers_2009/!_2009_GraVisMa_proceedings-FINAL.pdf]
- 10)G. Tanaka and K. Aihara, "Complex-Valued Multistate Associative Memory with Nonlinear Multilevel Functions for Gray-Level Image Reconstruction," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol.20, pp.463-1473, 2009.
- 11)G. Tanaka and K. Aihara, "Backpropagation Learning Alogrithm for Multilayer Phasor Neural Networks," *Proc. of ICONIP, Lecture Notes in Computer Science*, vol.5863, pp.484-493, 2009.
- 12)浜田 隆史, 新田 徹, "複素数を表現する局所神経回路", *日本神経回路学会, 第 19 回全国大会講演論文集*, pp.92-93, 2009.
- 13)新田 徹, "複素ニューラルネットワークの特性", *計測自動制御学会ニューラルネットワーク・フォーラム 2010*, 2010.
- 13)M. T. Pham, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, Questionnaire Data Analysis Based on a New Dendrogram for Visualization of Hierarchical Structure of Proximity, *Proc. The 10th International Symposium on Advanced Intelligent Systems*, pp18-21, 2009.
- 14)M. T. Pham, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, K. Tachibana, Robust Feature Extractions from Geometric Data using Geometric Algebra, *Proc. The 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp.535-539, 2009.
- 15)M. T. Pham, T. Yoshikawa, T. Furuhashi, K. Tachibana, Pattern Recognition based on Two-dimensional Dendrogram Map using Spring Model, *Proc. of the 1st International Workshop on Aware Computing*, pp.614-619, 2009.
- 16)T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, An Iterative Learning Scheme for Multistate Complex-Valued and Quaternionic Hopfield Neural Networks, *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2009)*, pp.1365-1371, 2009.
- 17)N.Matsui, H.Nishimura, and T.Isokawa, Qubit Neural Network: Its Performance and Applications, in T.Nitta ed., *Complex-Valued Neural Networks: Utilizing High-Dimensional Parameters*, Information Science Reference (IGI Global), Hershey, New York, chapter XIII (pp.325-351), 2009.
- 18)T.Isokawa, N.Matsui, and H.Nishimura, Quaternionic Neural Networks: Fundamental Properties and Applications, in T.Nitta ed., *Complex-Valued Neural Networks: Utilizing High-Dimensional Parameters*, Information Science Reference (IGI Global), Hershey, New York, chapter XVI (pp.411-439), 2009.
- 19)Kanta Tachibana. Motion tracking with geometric algebra-valued particle filter. In *Computer Graphics, Vision and Mathematics (GraVisMa) 2009*, p.6, 2009.
- 20)Fajjul Amin, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase: Ensemble of Single-Layered Complex-Valued Neural Networks for Classification Tasks, *Neurocomputing*, vol.72, pp.2227-2234, 2009.
- 21)Fajjul Amin, Kazuyuki Murase: A single-Layered Complex-Valued Neural Network for Real-Valued Classification Problems, *Neurocomputing*, vol.72, pp.945-955, 2009.

採択番号 H 2 1 / B 0 5

人間と調和性の高い情報システム構築のための人間特性理解

[1] 組織

代表者：矢内 浩文

(茨城大学工学部)

対応者：中島 康治

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

早川 美徳 (東北大学
教育情報基盤センター)

赤羽 秀郎 (茨城大学工学部)

石田 文彦 (富山工業高等専門学校)

荒木 修 (東京理科大学理学部)

中島 康治 (東北大学

電気通信研究所)

早川 吉弘 (宮城工業高等専門学校)

佐藤 茂雄 (東北大学

電気通信研究所)

田中 敦 (山形大学大学院理工学研究科)

佐野 雅己 (東京大学大学院理学系研究
科)

八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)

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)

菅原 研 (東北学院大学教養学部)

金城 光永 (琉球大学工学部)

研究費：物件費 5 万 0 千円，旅費 2 万 7 千円

[2] 研究経過

情報システム、特にヒューマンインターフェイス、を人間中心設計 (human-centered design) しようという動きが起こって久しい。しかし、主に 2 つの理由で目的が達成されていない。一つには、そもそも人間特性の(本質的な)理解が進んでいないこと。もう一つは、(断片的にはあれ事例が蓄積されている) 人間特性をシステム設計へ適用するための具体的な指針が示されていないことである。この研究では、第二の観点に配慮しつつ主に第一の観点で問題を整理し解決することを目的とした。

具体的には、次のテーマに焦点を当てて研究を進

めた。

- “数の把握と表出”，“文字の知覚と探索”を素材に人間の特性(反応時間，エラー率など)に関するデータを収集し分析する。
- 前項の結果を数理的にモデル化し，その特性の要因となる脳および身体メカニズムを推定する。

研究内容の焦点は次の通りである。

- 数に関すること—情報システムを操作する際には、候補から選択する作業を頻繁に繰り返すことになる。そのような選択は、数の把握(例。いくつあるうちの何番目か)と表出(例。希望する候補を選択する、適切な回数キーを叩く)に還元できる。そこで、数の把握と表出の反応時間やエラー率を分析する。
- 文字に関すること—文字の知覚に要する時間が、文字の視覚情報(形)、文字の聴覚情報(音)とどのような関係にあるかを分析する。また、文字を探索する課題を素材に、知覚とエラーのメカニズムを推定する。

【注】上記 2 項の考察を進めるにあたっては、「脳」の特性の分析という視点ではなく、「脳+身体」の特性の分析という視点を導入する。一例を挙げれば、課題を遂行する際の行為(行動)が人間特性に及ぼす好影響と悪影響に注目する。

本年度は初年度であったため、メンバーの間で問題に対する理解の共有と、問題を解決するために利用可能な理論などに関する情報効果を行なった。すなわち、人間特性にみられる確率論的現象(ゆらぎなど)を分析するための手法の情報交換を行ない、プロジェクト研究のターゲットとするデータをどのような観点で分析してゆくべきか討論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度のプロジェクト研究では、2009 年 12 月 15 日に東北大学電気通信研究所ナノ・スピコン総合研究棟にて研究討論会を開催した。話題提供者とテーマは以下の通りである。

- 早川 美徳, 古橋 翔 (東北大学) 「一次元交通流の自然渋滞とボトルネック効果: 譲り合い

の有効性]

- 石田 文彦 (富山高専) 「運動先行性から眺めた視覚目標追跡運動時の振舞い」
- 赤羽 秀郎 (茨城大学) 「ゆらぎの観点から見た生物の調和行動」
- 佐村 俊和, 林 初男 (九州工業大学) 「異方性抑制による海馬 CA3 の興奮伝導路の生成」
- 矢内 浩文 (茨城大学) 「“数の把握と表出” として “文字の知覚と探索”」

討論会では, 上記テーマに即しつつ, 加えてそれぞれの現象の考察や解析手法などが人間特性理解にどうつながりうるかを議論した。そこから, ゆらぎの統計的解析や, リズムの分析が人間特性理解にも有用なツールであることが確認できた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより, 東北大学内外の研究者の交流が飛躍的に活性化した。また, 異分野の研究手法について互いに情報交換することができたため, 本プロジェクトで掲げた目標の達成に留まらず, 新たな課題にも対応しうるネットワークが形成できた。

[4] 成果資料

- (1) “外観検査システムのための高速ハードウェアニューラルネットワークの設計”, 電子情報通信学会論文誌A, vol. J92-A, no. 1, pp. 37-47, Jan., 2009, 千承佑, 早川吉弘, 中島康治
- (2) “Implementation of High-Speed Single Flux-Quantum Up/Down Counter for the Neural Computation Using Stochastic Logic,” IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol. 19, no. 3, pp. 626-629, June 2009, T. Onomi, T. Kondo, and K. Nakajima
- (3) “Memory effects on scale-free dynamics in foraging Drosophila”, Journal of Theoretical Biology, vol. 260, no. 3, p. 353-358, 2009, M. Koganezawa, H. Hara, Y. Hayakawa, I. Shimada
- (4) “Design of the Inverse Function Delayed Neural Network for Solving Combinatorial Optimization Problems ”, Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, IEEE Trans. Neural Network, Vol. 21, No. 2, pp. 224-237., Feb. 2010.
- (5) “Fluctuation of the scattering probability in two-dimensional triangle atomic system”, 20th International Conference on Noise and Fluctuations, pp. 483-486, 2009, H. Akabane and N. Miwa
- (6) “ Collective Dynamics of Intrinsic Josephson Junctions,” S. Sato, K. Matsushita, K. Inomata, H. Wang, T. Hatano, M. Kinjo, and K. Nakajima, Extended Abstracts of the 12th International Superconductive Electronics Conference, TD-P35, Fukuoka, June 2009
- (7) “4-bit Parallel Multiplier for a Fast Fourier Transform,” S. Sakuraba, T. Onomi, and K. Nakajima, Extended Abstracts of the 12th International Superconductive Electronics Conference, SP-P40, Fukuoka, June 2009
- (8) Analyses of the dynamics of interconnected van der pol models based-on a concept of potential with active areas, K. Kurose, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Proceedings of the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 423-426, Sapporo, Japan, Oct. 2009
- (9) The Quartic Form Energy Function for General Combinatorial Optimization Problems, T. Sota, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Proceedings of the 2009 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp. 527-530, Sapporo, Japan, Oct. 2009
- (10) Solving Combinatorial Optimization Problems with the Quartic Form Energy Function of the Neural Network, T. Sota, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Proceedings of the 2nd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, pp. 69-70, Sendai, Japan, Oct. 2009
- (11) Analyses of Two Dimensional Hindmarsh-Rose Type Model Based-on a Concept of Potential with Active Areas, K. Kurose, T. Sota, Y. Hayakawa, and K. Nakajima, Proceedings of the 2nd Student Organizing International Mini-Conference on Information Electronics Systems, p. 167, Sendai, Japan, Oct. 2009
- (12) “人間のキー連打にみられる subitizing-counting を連想させる特性”, 日本神経回路学会全国大会 2009 (JNNS2009), P3-8, 2009, 高橋弘輔, 黒澤恭平, 矢内浩文
- (13) “リカレントネットワークにおけるSTDPと抑制による興奮伝導路の形成”, 電子情報通信学会技術研究報告, 109, 269, pp.133-138,

2009, 佐村俊和, 林初男

- (14) バーストニューロンモデルのポテンシャル上のアクティブ領域に基づく動特性解析, 第 58 回理論応用力学講演会, 2C08, 東京, 2009 年 6 月, 中島康治, 早川吉弘, 黒瀬幸司
- (15) 逆関数遅延ニューラルネットワークを用いたナンバープレースの解法, 日本神経回路学会第 19 回全国大会, P1-17, 仙台, 2009 年 9 月, 早川吉弘, 中島康治
- (16) 非線形自己結合を持つ逆関数遅延ニューラルネットワーク, 日本神経回路学会第 19 回全国大会, P1-18, 仙台, 2009 年 9 月, 曾田尚宏, 早川吉弘, 中島康治
- (17) Two Dimensional Hindmarsh-Rose Type Model のポテンシャル上のアクティブ領域に基づく動特性解析, 日本神経回路学会第 19 回全国大会, P2-20, 仙台, 2009 年 9 月, 黒瀬幸司, 早川吉弘, 中島康治

視覚科学の学際的アプローチに向けて

[1] 組織

代表者：筒井健一郎

(東北大学生命科学研究科)

対応者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

酒井 宏 (筑波大学)

西田眞也 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所)

村上郁也 (東京大学)

宇賀貴紀 (順天堂大学)

河原純一郎 (産業技術総合研究所)

田中真樹 (北海道大学)

一川 誠 (千葉大学)

吉田 正俊 (生理学研究所)

富田 浩史 (東北大学)

金子寛彦 (東京工業大学)

齋木 潤 (京都大学)

渡邊克己 (東京大学)

研究費：物件費0円，旅費21万3千円

[2] 研究経過

人間の情報処理機構を理解する事は、今後の情報通信技術の発展にとって必要不可欠である。例えば、インターネットの発達には、多くの人に恩恵をもたらしたが、新しい技術の発達は必ずしも人に使いやすいものではないし、また利用できない人を排除する傾向も生み出している。そのような環境の中で、より人間性豊かな社会を作り出すためには、人間の脳機能を理解しその特性に合わせた技術を確立することが必要である。一方、脳機能の理解のためには、生理学、心理学、情報科学、工学、生物学、医学など多岐にわたる分野で様々なアプローチにより研究が進んでいる。それぞれの分野での研究の発展はめざましいものがあるが、脳機能の全体的理解からその応用までを考えると、分野をまたぐ情報交換や共同研究の重要性は明らかである。特に、電気通信研究所における研究としては、人を技術のユーザーとして全体的に捉えることも含めた視点の上で、脳機能の理解を考える立場がもとめられる。脳の基礎研究から、情報通信技術への応用も想定できるような

人間の情報処理機能全体を考える研究のための情報交換の場を持つことが本プロジェクトの目的である。

本プロジェクトは、本年度が初年度であったが、議論の時間の確保によって、問題点を深く掘り下げという方向性の意義が確認された。以下、研究活動状況の概要を記す。

平成21年9月30日 - 10月1日

研究会

代表者筒井，分担者吉田，田中，西田，齋木，富田，一川，村上，宇賀，渡邊が来所し，吉田，田中，西田，齋木，松宮の講演に基づき，学内の参加者も含めて，関連研究分野の展開について議論した。各講演と議論について2時間程度の時間をとり，個別の実験内容，周辺分野の動向および今後の展開など広い分野での議論することができた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

以下に研究会において議論した各テーマについて、その概要を記す。

1. 盲視ザルにおける視覚的気づきと意思決定

(吉田 正俊)

講演内容は、第1次視覚野に損傷を与えて、盲視モデルとしたサルに対する知覚実験であった。視覚体験がないと判断できるサルは、刺激呈示位置への視線移動ができることから、盲視状態が形成されたことを確認し、その判断が上丘による視覚的気づきと関連することを示唆するものである。問題は、意識的であるのか、無意識的であるのかの判断をどうするかにある。講演では、刺激の検出と弁別の難易の違いをもとに、意識的判断の介在について議論した。問題点としては、信号検出理論による解析の解釈、視覚的気づきの定義、盲視患者の症例そのものにも曖昧さ、判断の確率変動の意味など多岐にわたったが、視覚的気づきを持つ意味と気づきの介在しない無意識的処理の意味について多くの示唆が与えられた。

2. 時間情報処理の神経生理学的研究 (田中真樹)

講演内容は、待ち時間の長さ判断の神経基盤を調査す

るもので、ある種の積分処理に基づくことを示すサル
の神経生理学実験についてであった。被験体が課題開
始時を予測し待機する期間での神経活動が累積的に
変化する根拠を示し、時間評価に関するいくつかのモ
デルに対して、積分処理を含むものの妥当性を明らか
にしている。時間の処理は、複数の処理系で異なる種
類の処理がされていると考えられるが、数秒程度の
時間予測は、おそらく人間の社会的行動にとっても重
要であり、その神経機構の理解は広い分野での貢献も
期待できる。これは、例えばそれより短い時間特性、
ちらつきや運動の検出は、視知覚そのものに重要であ
る点と対照的である。また主観的時間感覚との関連に
ついての議論もあったが、簡単に答えを出せる問題で
はないことを確認した。

3. Trajectory Integration of Shape and Color of Moving Object (西田真也)

講演内容は、視覚情報の時間的統合において、運動経
路が重要な役割を果たすことを示す心理物理実験に
ついてであった。これは運動視のメカニズムが、その
経路に沿った情報を統合することで、運動対象をより
精度よく認識することに貢献する機構があることを
示した。また、一般的に信じられている色に対する時
間特性が、運動経路に沿った統合を考慮すると、実際
にはよりよい時間解像度を持つことも明らかにして
いる。時間の判断については、多感覚情報の同期とい
う点でも重要であるが、複数感覚情報の統合処理にお
ける時間特性としてその限界が2,3Hz程度との推定も
示された。知覚、認識処理において時間同期の問題は、
情報統合の基礎でもることから、その神経基盤との
対応や情報通信環境との関連の検討が重要であるこ
とが認識された。

4. 視覚記憶：視覚性ワーキングメモリにおける特徴 統合と更新を中心に (斎木潤)

講演内容は、視覚性ワーキングメモリにおける情報の
統合と更新についての行動実験とfMRI実験について
であり、視覚記憶は初期視覚システム同様、各特徴が
トポグラフィックマップの形で保持されていること
を示唆するものであった。視覚情報の保持が、必ずし
も特徴を統合した対象物の表現ではなく、特徴地図的
な表現があるとのモデルの提案であり、短時間の記憶
に基づき行動する際の視覚記憶機能にとって、重要な
指摘である。またその記憶表現において各特徴に対し
個別にアクセスできるか否かは、特徴統合処理の形式
として大きな違いとなる点など、記憶表象についての
モデルの重要性について議論した。

5. 運動視と身体部位情報 (松宮一道)

講演内容は、自身の行動が運動視に影響することを示
す心理物理実験であり、自身の手の位置の体制感覚と
視覚感覚、およびそれによって操作される対象の視覚
情報すべてが存在するときに働く運動視に関連する
メカニズムの存在を示唆するものであった。感覚知覚
において、観察者の能動性の重要性を指摘する研究は
近年増加していて、その視点からも体制感覚と視覚の
協調的処理は興味深い点、また十分ではないが神経生
理学との対応がとれつつある点の重要性が認識され
た。さらに自身の手の感覚の影響については、より強
固な根拠の必要制なども指摘された。

(3-2) 波及効果と発展性など

長時間の議論を確保したことから、研究の意義や本
質的問題について検討することができた。例えば、
意識をどう捉えるか、主観的な時間感覚とは何か、
視覚における座標系の扱いをどうすべきか。視覚対
象をまとまりのあるオブジェクトとして認識する意
義はなにか、実験から明らかにできるのはどこまで
かなどの問題は研究分野全体に対する大きな疑問で
あり、今後解決する必要があるものである。

これらの問題は、そこで扱う概念自体への大きな
問題意識の反映でもあり、それらを他分野の研究者
が共有することの意義は大きい。意識を持つことの
意義はなにか、時間表現が本当に必要であり、また
生体が明示的に持っているものであるのか、意識的
にアクセスできる感覚情報がどのような座標系に表
現されているか、意図的に避けられているとも思わ
れるオブジェクトの概念の扱い、行動を目的とした
知覚という考えの妥当性など今後、視覚、知覚に限
らず脳研究の広い領域で価値のある問いといえるで
あろう。

一方、各テーマの研究の将来的な社会貢献として、
病態モデルの確立とそれに基づく臨床的研究から、
治療やリハビリテーションへ展開や、人間が受け取
る情報の質を考える上で、従来十分評価されていな
い視点を提供するなど、ヒューマンインターフェー
ス分野での中期的な貢献についての議論もあった。
これは、工学分野の研究者だけではなく、人間の研
究に関連する研究で方向性を考える上で必要な視点
と考えられ、研究分野の将来的発展に寄与する議論
であったといえる。

[4] 成果資料

以下に、研究会における議論に関連する研究論文を
成果資料としてあげる。

M. Yoshida, K. Takaura, R. Kato, T. Ikeda, and T. Isa,
Striate cortical lesions affect deliberate decision and
control of saccade: implication for blindsight, *J Neurosci*,

Vol. **28**, pp. 10517-10530 (2008)

M. Tanaka, Cognitive signals in the primate motor thalamus predict saccade timing, *J Neurosci*, Vol. **27**, pp. 12109-12118 (2007)

Terao, M., Watanabe, J. Yagi, A. and Nishida, S. Smooth pursuit eye movements improve temporal resolution for color perception (投稿中)

J. Saiki and H. Miyatsuji, Feature binding in visual working memory evaluated by type identification paradigm, *Cognition*, Vol. **102**, pp. 49-83 (2007)

K. Matsumiya and H. Ando, World-centered perception of 3D object motion during visually guided self-motion, *J Vis*, **9**, pp. 15 11-13 (2009):

S. Shioiri and K. Matsumiya, Motion mechanisms with different spatiotemporal characteristics identified by an MAE technique with superimposed gratings, *J Vis*, **9**, pp. 1-15 (2009):

K. Tsutsui, H. Sakata, T. Naganuma, and M. Taira (2002): Neural correlates for perception of 3D surface orientation from texture gradient, *Science*, Vol. **298**, pp. 409-412.

N. Wagatsuma, R. Shimizu, and K. Sakai, Spatial attention in early vision for the perception of border ownership, *J Vis*, Vol. **8**, pp. 22 21-19, (2008)

I. Motoyoshi, S. Nishida, L. Sharan, and E. H. Adelson, Image statistics and the perception of surface qualities, *Nature*, **447**, pp. 206-209 (2007)

T. Uka and G. C. DeAngelis, Linking neural representation to function in stereoscopic depth perception: roles of the middle temporal area in coarse versus fine disparity discrimination, *J Neurosci*, **26**, pp. 6791-6802 (2006)

J. Kawahara, When do additional distractors reduce the attentional blink?, *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, Vol. **35**, pp. 1043-1061 (2009):

M. Ichikawa, Illusory temporal order for stimuli at different depth positions, *Atten Percept Psychophys*, **71**, pp. 578-593 (2009)

H. Tomita, E. Sugano, H. Isago, T. Hiroi, Z. Wang, E. Ohta, and M. Tamai (2010): Channelrhodopsin-2 gene

transduced into retinal ganglion cells restores functional vision in genetically blind rats, *Exp Eye Res*, Vol. **90** pp.429-436

K. Fukuda, H. Kaneko, and K. Matsumiya, Vertical-size disparities are temporally integrated for slant perception, *Vision Res*, Vol. **46**, pp. 2749-2756 (2006)

T. Ogawa and H. Komatsu, Target selection in area V4 during a multidimensional visual search task, *J Neurosci*, Vol. **24**, pp. 6371-6382 (2004)

S. Shimegi, Q. S. Fischer, Y. Yang, H. Sato, and N. W. Daw, Blockade of cyclic AMP-dependent protein kinase does not prevent the reverse ocular dominance shift in kitten visual cortex, *J Neurophysiol*, Vol. **90**, pp. 4027-4032 (2003)

K. Watanabe and K. Yokoi, Dynamic distortion of visual position representation around moving objects, *J Vis*, Vol. **8**, pp. 13 11-11.(2008)

I. Kuriki, H. Ashida, I. Murakami, and A. Kitaoka, Functional brain imaging of the Rotating Snakes illusion by fMRI, *J Vis*, **8**, pp. 16 11-10 (2008)

ナノ・バイオの融合による新規バイオデバイスに関する研究

[1] 組織

代表者：萩野 俊郎

(横浜国立大学大学院)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

宇理須恒雄 (分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域)

田畑 仁 (東京大学大学院工学系研究科)

辻本 豪三 (京都大学大学院薬学研究科)

岩田 博夫 (京都大学再生医学研究所)

原 正彦 (東京工業大学・総合理工学研究科)

林 智広 (東京工業大学・総合理工学研究科)

谷井 孝至 (早稲田大学・理工学部)

星野 忠次 (千葉大学大学院薬学研究院)

溝口 明 (三重大学医学系研究科)

篠原 康雄 (徳島大学疾患ゲノム研究センター)

宮崎 均 (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

磯田 博子 (筑波大学大学院生命環境科学研究科)

手老 龍吾 (分子科学研究所・生命・錯体分子科学研究領域)

玉田 薫 (東北大学電気通信研究所)

吉信 達夫 (東北大学大学院工学研究科)

木村 康男 (東北大学電気通信研究所)

平野 愛弓 (東北大学大学院医工学研究科)

宮本浩一郎 (東北大学大学院工学研究科)

研究費：物件費5万円，旅費37万3千円

[2] 研究経過

バイオエレクトロニクスは21世紀の重要な科学技術分野の一つであるが、その技術革新のためには、20世紀に高度に発達した半導体集積回路技術と、その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある。この融合が実現すれば、生体情報を物理信号に変換し、また、逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ・インタフェイスシステムが構築

でき、DNAチップやプロテインチップの高度化、さらに膜タンパクチップへの展開など、現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献する。しかしながら、国内外を見渡しても、この種の研究は緒についたばかりで、ほとんど進展していないのが現状である。そこで本研究では、半導体工学や表面科学の研究者と、生命科学、バイオテクノロジー分野の研究者が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討議することを目的とした。

ナノ・バイオデバイス構築のためには、新規な製造プロセスの開発、製造プロセスの反応制御、構築したナノ構造体の物性評価、また、ナノ構造をベースとした新しいデバイス設計等の研究が必要である。具体的には、タンパク質、ペプチド、DNAなどの生体物質をその本来の機能を失うことなく半導体材料表面に固定化し、さらに生体物質と無機材料とのインターフェイス技術を確認することが研究課題となる。そこで、薄膜材料プロセスや反応制御に係わってきた材料・電子工学の研究分野ばかりでなく、生体物質を自在に操作する技術を有する生化学・分子生物学分野の研究者の英知も結集して、新しいバイオ・半導体融合ナノ構造の構築法とその機能評価、また高感度生体計測技術について、討議することを目的としている。本年度は第3年度であり、前年度の成果をさらに発展させるため、ナノデバイスとバイオ素子、特に、人工細胞膜との融合に関する研究や、細胞界面に関する研究、また、脳を含む実際の生体機能観測の現場において、新たな測定手法への需要や、計測現場における様々な課題について知見を深めるため、下記の通り研究会を開催した。以下に、研究会のプログラムを付記する。

情報バイオトロンクス研究会

電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催

日時平成21年6月19日(金)13:10~17:05

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

「単結晶基板上的グラフェンとそのバイオ応用」
 荻野 俊郎 (横浜国立大学工学研究院)
 「高分子ナノ集積体を利用した自己支持性ナノ薄膜の作製」
 三ツ石 方也 (東北大学多元物質科学研究所)
 「興奮性シナプス形成過程における伝達物質放出様式の解析」
 桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)
 「神経幹細胞機能制御のためのバイオフィンターフェース設計」
 加藤 功一 (京都大学再生医科学研究所)
 「Electrochemical generation of Nanobubbles for protein removal」
 Vince Craig (Australian National University)
 「神経回路網形成の分子基盤～細胞内シグナルにより細胞接着能を変える電位依存性K⁺チャネルとシナプス形成機構～」
 木村 一志 (三重大学医学部)
 「計算機を用いた抗ウイルス薬の開発」
 星野 忠次 (千葉大学薬学研究院)

情報バイオエレクトロニクス研究会
 電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
 日時平成 22 年 1 月 15 日 (金) 13:00～17:00
 場所: 東北大学電気通信研究所
 ナノ・スピン実験施設
 4 階カンファレンスルーム

「脳視覚野への機能的刺激の試み」
 八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)
 「シナプス可塑性の光生理学的解析」
 神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究科)
 「グリア細胞に過剰発現したアミロイド前駆体蛋白によるシナプス修飾作用」
 桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)
 「固体基板表面におけるパターン化モデル生体膜の開発」
 森垣 憲一 (神戸大学自然科学先端融合研究環遺伝子実験センター)
 「細胞膜タンパク質の観察と細胞接着制御のためのナノ・マイクロ加工」
 谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクト研究では、半導体や生体高分子、特に膜タンパク質や人工細胞膜のナノ構造をベースとした新しいバイオ電子デバイスを実現するための基盤技術の開発を目標にしている。この技術が開発

されれば、生体物質の微視的相互作用 (生体反応) の高精度分析や、血液中、体液中、あるいは脳組織中の成分の“その場”分析などへの応用が可能である。また、この機能は、DNA チップやプロテインチップ、イオンチャネルチップ、膜タンパク質チップ、細胞チップ、神経細胞チップの高度化など、現在急成長しているバイオエレクトロニクスの更なる発展に貢献する。本研究会において、このテーマに対するさまざまな観点から研究の成果が報告され、特に生体分子によるナノ構造構築法、新規な生体計測デバイス、またバイオチップの現状についての興味深い発表と講演があった。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究会は、ナノ構造デバイスの構築を目標に、固体表面をベースとした新しいナノ構造製造プロセスの開発や、ナノ構造体の物性評価などについて、今後の戦略目標について討論することを目的とした。その結果、今後の重点研究は固体表面を利用したバイオエレクトロニクス技術の確立であるとの結論に至り、本プロジェクト研究を立案した。

現在、この技術の開発には、細胞膜構造の自発的形形成に見られるように、自己組織化機能などの化学反応制御法が極めて有効である。生物の細胞はまさに自然の自己組織化機能を利用してさまざまな機能を実現している。自己組織化を利用した高分子のナノ構造の構築や、それを新しいバイオエレクトロニクスに活用することは、今大きな発展を向かえる時期にあり、この分野の今後の研究の進展が大いに期待される。

[4] 成果資料

(1) Ayumi Hirano-Iwata, Kouji Aoto, Azusa Oshima, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, *Langmuir*, 26, 1949-1952 (2010).

(2) Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Kota Onodera, Kouji Aoto, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, *Appl. Phys. Lett.*, 94, 243906-1-3 (2009).

(3) Ayumi Hirano-Iwata, Ryo-taro Yamaguchi, Ko-ichiro Miyamoto, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, *J. Appl. Phys.*, 105, 102039-1-11 (2009).

また、参考資料として、講演要旨を添付する。

採択番号 H 2 1 / B 0 8

生物の適応的運動機序の構成論的解明

[1] 組織

代表者：細田 耕

(大阪大学大学院工学研究科)

対応者：矢野 雅文

(東北大学電気通信研究所)

分担者：(五十音順, 敬称略)

青井 伸也	京都大学工学研究科
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
伊藤 宏司	東京工業大学総合理工学研究科
稲瀬 正彦	近畿大学医学部
井上 康介	茨城大学工学部
大須賀公一	神戸大学大学院工学研究科
大武 美保子	東京大学
太田 順	東京大学大学院工学系研究科
荻原 直道	京都大学大学院理学研究科
川端 邦明	独立行政法人理化学研究所
神崎 亮平	東京大学先端科学技術研究センター
北澤 茂	順天堂大学医学部
木村 浩	京都工芸繊維大学大学院
倉林 大輔	東京工業大学大学院理工学研究科
近藤 敏之	東京農工大学共生科学技術研究院
高草木 薫	旭川医科大学医学部
田熊 隆史	大阪工業大学工学部
辻田 勝吉	大阪工業大学工学部生体医工学科
土屋 和雄	同志社大学工学研究科
鄭 心知	(財)京都高度技術研究所
中俣 克己	近畿大学医学部
花川 隆	国立精神・神経センター神経研究所
船戸 徹郎	京都大学工学研究科
細田 耕	大阪大学大学院工学研究科
松山 清治	札幌医科大学保健医療学部
森 大志	山口大学農学部獣医学科
柳原 大	東京大学大学院情報学環

研究費：物件費5万円, 旅費 57万9千円

[2] 研究経過

生物の適応的な行動は、環境との絶妙な調和の上に成り立っている。環境を一方向的にモデル化し、そのモデルの逆モデルに基づいて環境を制御、もって適応的な行動を生み出そうという従来の工学的手法にはその限界があり、環境とその生物の身体、そし

て脳機能の相互作用を利用することによって、より環境調和的なシステムの構築が可能となる。本プロジェクトでは、生物、医学、工学、情報科学などさまざまな分野の研究者による自由な議論とこれに基づく新たな生工連携の枠組みを利用し、このような相互作用を利用した、適応的なシステムに関する研究を推進した。

生物の適応機序は、(1)環境変化に対して生存を可能にする身体恒常性維持のメカニズム、(2)環境適応性を向上するための環境認知のみなしメカニズム、(3)個体が属する社会やコミュニティの中の相互作用を利用し、より環境適合性を向上する社会的メカニズム、に大きく分類されると考えられる。先行研究によって、身体恒常性維持に脳や神経伝達回路、あるいは神経伝達物質などがどのように関わっているか、環境適応性を向上させるために生体がどのように情報を圧縮し、無限定な環境をどのように「みなして」振る舞いを生成するか、あるいは社会的な昆虫や動物が如何にして自らの社会性を生み出し、それを利用することによって適応性を生み出しているかに関する知見が得られている。しかしながら、その機序は生体としての文脈内で解釈されるべきものであり、生体や社会は非常に複雑なシステムであるがゆえに切り出して考察することは難しい。本プロジェクトでは、生物のこのような適応性を参考にしながら、これをロボットやシミュレーションなどの構成的な手法で再現し、その基礎的な構造を理解することによって人工的な情報システムの適応性に関する新たな知見を探ることを目的とした。

また、本プロジェクト研究に参加している研究者を主体とした科研費特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現」が別途遂行された(平成17年度から21年度の5ヶ年間)。これら研究や本プロジェクトの研究成果の一部は、平成21年12月18日-19日、東北大学電気通信研究所の研究会にて発表された。

プログラム：

12月18日(金)

13:30~17:50

- 「移動知」プログラムの到達点I：神経生理学からのまとめ

高草木薫氏 (旭川医科大), 柳原 大氏 (東京大学)

- 関節間の協調に基づく歩行運動の解析
船戸徹郎氏 (京都大学工学研究科)
- Slimebot の結合振動子系における振動パターンと適応機能のサイズ依存性
清水正宏氏 (東北大学工学研究科)
- 生工連携の基幹となるモデリング技術
太田順氏 (東京大学)

12月19日(土)

9:30 ~ 12:30

- 時間・価値・他者 採餌決定をめぐる考察
松島俊也氏 (北海道大学)
- 接触タイミング予測における視覚と触覚の関係
小池康晴氏 (東京工業大学)
- 「移動知」プログラムの到達点II: システム生物学からのまとめ
伊藤宏司氏 (東京工業大学)
- 「移動知」研究の今後を考えるII: 生物学の立場から
矢野雅文氏 (東北大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは運動生理学研究を行う生物学研究者とバイオメカニクス・ロボティクス研究を行う工学研究者とが連携し、主に2つの研究グループに分かれて共同研究が行われた。その2つとはそれぞれ、【1】環境変化に対して生存を可能にする身体恒常性維持のメカニズム (主に脊椎動物のロコモーションを対象とした研究)、【2】環境適応性を向上するための環境認知のみなしメカニズム(主にヒト随意運動を対象とした研究)である。

第1のグループは、研究方法論として構成論的な研究方法(システムバイオメカニクス)を採用した。ロコモーションに関連する神経部位の神経生理学的な研究方法とともに、その成果をバイオメカニクス研究に取り入れ、神経筋骨格モデルを構成してシミュレーションを行い、システム論的にその原理を解明することを目指した。具体的には、生物学研究者が主体となり、サル・ネコ・ラットなどの実験動物による電気生理的・神経薬理的・分子遺伝学的手法を駆使した脳性理学研究を展開し、脊椎動物の歩行と姿勢の統合的神経機構の解析を試みた。結果、
“大脳皮質-網様体脊髄路、大脳皮質-小脳-脊髄連関、脊髄反射の利得調節に寄与する筋緊張制御系がリアルタイムの姿勢制御に関与することが示唆さ

れた。それら神経性理学研究による結果を基に、工学研究者らが中心となってニホンザルの歩行シミュレーション、ヒト歩行時のキネマティクス解析などが行われた。結果として生物のロコモーションに関わる環境適応機構の重要な知見が得られた。

第2のグループは、環境の変化を認知し身体を動作させるのに必要な情報を生成するメカニズムに関する共同研究が行われた。特に、生物が外部環境を内部に表象する(内部モデル)ことで、予測不可能な環境変化に対し実時間で予測的に運動指令を生成するメカニズムについて研究が進められた。特に、上肢到達運動などの随意運動を例として、情報論的な拘束条件(みなし情報)の競合により、実時間で適応行動を生成する工学モデルを開発した。また、到達運動、キャッチング動作を例に、内部モデル形成とそれに基づく予期適応のメカニズムを実験的に解析し、行動発現がフィードフォワード的にプログラムされていることを明らかにした。この機能を予期適応(Anticipatory Adaptation)と呼び、適応のメカニズムを、生成の複雑性に応じてパラメータ適応、状態適応、文脈適応という三層に分類した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究の目標を達成するために、生物学や医学で得られた知見を基にして適応的な知能発現の機序についての仮説を立て、これを工学的な手法を用いることによって実現し、機序の基本的機能の解明を目指した。得られた構成論的知見を、生物や医学分野にフィードバックし、あらたな適応機能に関する知見を得ることができた。さらに、これらの研究から得られた知見をもとに、生物に限定されず、工学においてもそれが適用されるような移動体の共通原理に関する構成的知見を探索することを試みた。本研究プロジェクトでの成果は、当初の目的であった「人工的な情報システムの適応性に関する新たな知見の解明」ばかりで無く、生物・医学分野に対して研究成果をフィードバックできたことが最大の成果である。これにより各研究領野の垣根を越えて学際的な研究領域をしつつ、新たな科学技術とその適用分野を創生することができた。これら結果は、いままでの工学的手法では実現できなかった波及効果と発展性をもたらしたといえる。本研究の成果は、運動障害患者の病態解明や新規治療法の考案、そしてリハビリテーションなど医療分野への応用も期待できる。

[4] 成果資料

- 1) Manabu Gouko, Koji Ito, An Action Generation Model by Using Time Series Prediction and Its Application to Robot Navigation, *International Journal of Neural Systems*, Vol.19, No.2, pp.105-113, 2009
- 2) Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, "Construction of Reversible Lattice Molecular Automata", *International Journal of Modern Physics C*, Vol.20, No.6, pp.901-929, 2009.
- 3) Matsuyama K., Takakusaki K, "Organizing Principles of Projections of the Long Descending Reticulospinal Pathways and Their Targets' Spinal Commissural Neurons: With Special Reference to the Locomotor Function", *Handbook on White Matter: Structure, Function and Changes* (Editors: Westland T.B., Calton R.N.), pp.335-356, 2009.
- 4) Tsuchiya Y., et al., "A Jak2 inhibitor, AG490, reverses lipin-1 suppression by TNF-alpha in 3T3-L1 adipocytes", *Biochem. Biophys. Res. Comm.*, Vol.360, pp.614-619, 2009.
- 5) Takakusaki K., Okumura T., Koyama Y., "Subcortical mechanisms of controlling muscle tone and locomotion with respect to the pathogenesis Cataplexy in Narcolepsy", *Narcolepsy: Symptoms, Causes and Diagnosis and Treatment.*, Nova Science Publishing Co. New York, USA, in press.
- 6) Takakusaki K, Iwamuro H, "Firing properties of the pedunculopontine tegmental nucleus neurons with respect to the basal ganglia modulation", *Neuroscience Research*, Vol.65, S71, 2009.
- 7) Koh Hosoda et al., "Pneumatic-driven jumping robot with anthropomorphic muscular skeleton structure", *Autonomous Robots*, vol.28, 2010 (in press).
- 8) Yasuhiro Sugimoto, Shinya Aoi, Naomichi Ogihara, Kazuo Tsuchiya, "The Stabilizing function of musculoskeletal system for periodic motion", *Advanced Robotics*, Vol.23, No.5, pp.521-534, 2009.
- 9) Kazuhiko Nakatani, Yasuhiro Sugimoto, Koichi Osuka, "Demonstration and Analysis of Quadrupedal Passive Dynamic Walking", *Advanced Robotics*, Vol.23, No.5, pp.483-501, 2009.
- 10) T. Hosoido, F. Mori, et al, "Characteristics of H- and M-waves recorded from rat forelimbs", *Neuroscience Letters*, Vol.450, pp.239-241, 2009.
- 11) Y. Wada, F. Mori, et al, "Distribution of dendrites from longissimus lumborum motoneurons stained intracellularly with biocytin in the adult cat", *Acta Veterinaria Scandinavica*, in press.
- 12) Hiroaki Ishida, Katsumi Nakajima, Masahiko Inase and Akira Murata, "Shared Mapping of Own and Others' Bodies in Visuo-Tactile Bimodal Area of the Monkey Parietal Cortex", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2009 (in press).
- 13) Ogihara, N., et al., "Development of an Anatomically Based Whole-Body Musculoskeletal Model of the Japanese Macaque (*Macaca fuscata*)", *American Journal of Physical Anthropology*, Vol.139, pp.323-338, 2009.
- 14) Ogihara, N., Makishima, H., Nakatsukasa, M., "Three-dimensional musculoskeletal kinematics during bipedal locomotion in the Japanese macaque reconstructed based on an anatomical model-matching method", *Journal of Human Evolution*, 2010 (in press).
- 15) Matsuura, Y., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., "A method for quantifying articular surface morphology of metacarpals using quadric surface approximation", *International Journal of Primatology*, 2010 (in press).
- 16) Oishi, M., Ogihara, N., Endo, H., Ichihara, N., Asari, M., "Dimensions of forelimb muscles in orangutans and chimpanzees", *Journal of Anatomy*, Vol.215, pp.373-382, 2009.
- 17) Oishi, M., Ogihara, N., Endo, H., Komiya, T., Kawada, S., Tomiyama, T., Sugiura, Y., Ichihara, N., Asari, M., "Dimensions of the foot muscles in the lowland gorilla", *Journal of Veterinary Medical Science*, Vol.71, pp.821-824, 2009.
- 18) Kagaya, M., Ogihara, N., Nakatsukasa, M., "Rib orientation and implications for orthograde positional behavior in non-human anthropoids", *Primates*, Vol.50, pp.305-310, 2009.
- 19) T. Fujiki, K. Kawabata, et al., "Establishment of social status without individual discrimination in the cricket", *Advanced Robotics*, Vol.23, pp.563-578, 2009.
- 20) Masatoshi Ashikaga, et al., "Establishment of Social Status without Individual Discrimination in the Cricket", *Advanced Robotics*, Vol.23, No.5, pp.563-578, 2009.
- 21) Jun Ota, "Goal State Optimization Algorithm Considering Computational Resource Constraints and Uncertainty in Task Execution Time", *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.57, No.4, pp.403-410, 2009.
- 22) Jun Ota, "Rearrangement Planning of Multiple Movable Objects by a Mobile Robot", *Advanced Robotics*, Vol.23, No.1-2, pp.1-18, 2009.
- 23) Kousuke Inoue, Jun Ota, and Tamio Arai, "Iterative Transportation by Multiple Mobile Robots Considering Unknown Obstacles", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.21, No.1, pp.44-56, 2009.
- 24) Masao Sugi, et al., "Quantitative Evaluation of Automatic Parts Delivery in Attentive Workbench Supporting Workers in Cell Production", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.21, No.1, pp.135-145, 2009.
- 25) Y. Ikemoto, Y. Ishikawa, T. Miura, H. Asama, "A mathematical model for caste differentiation in termite colonies (Isoptera) by hormonal and pheromonal regulations", *Sociobiology*, Vol.54, Vol.3, pp.841-859, 2009.
- 26) Y. Ikemoto, et al., "Force Sensor System for Structural Health Monitoring Using Passive RFID Tags", *Sensor Review*, Vol.29, No.2, pp.127-136, 2009.
- 27) Kanako Nakajima, et al., "Interpolation of binarized CLSM images for extraction of premotor neuron branch structures in silkworm moth", *Sensor Review*, Vol.29, No.2, pp.137-147, 2009.
- 28) Fukushima R and Kanzaki R, "Modular subdivision of mushroom bodies by Kenyon cells in the silkworm", *J Comp Neurol*, Vol.513, pp.315-330, 2009.
- 29) Fujiwara T, Kazawa T, Haupt S S, Kanzaki R, "Ca2+ imaging of identifiable neurons labeled by electroporation in insect brains", *NeuroReport*, Vol.20, No.12, pp.1061-1065, 2009.
- 30) Suzurikawa J, Nakao M, Jimbo Y, Kanzaki R, and Takahashi H, "Light-addressed stimulation under Ca2+ imaging of cultured neurons", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol.56, No.11, pp.2660-2665, 2009.
- 31) Iwano M, Hill E, Mori A, Mishima T, Kumagai T, Ito K and Kanzaki R, "Neurons Associated With the Flip-Flop Activity in the Lateral Accessory Lobe and Ventral Protocerebrum of the Silkworm Moth Brain", *J Comp Neurol*, Vol.518, pp.366-388, 2010.
- 32) Nakajima K, Morishita S, Asama H, Kazawa T, Kanzaki R, Mishima T, "Structural comparison of premotor neurons in silkworm moths", *FORMA*, 2010 (in press).
- 33) Namiki S Haupt S S, Kazawa T, Takashima A, Ikeno H, and Kanzaki R, "Reconstruction of virtual neural circuits in an insect brain", *Focus Review, Frontiers in Neuroscience*, Vol.3, No.2, pp.206-213, 2009.

採択番号 H 2 1 / B 0 9

不揮発性ビット演算 大規模コンピューティングの創造開拓

[1] 組織

代表者：松岡 浩

(理化学研究所)

計算科学研究機構設立準備室)

対応者：羽生 貴弘

(東北大学電気通信研究所)

分担者：以下、50音順

青井 基(東北大学電気通信研究所)

青柳 哲雄(日本原子力研究開発機構
システム計算科学センター)板倉 憲一(海洋研究開発機構
地球シミュレータセンター)井戸村 泰宏(日本原子力研究開発機構
核融合研究開発部門)

大野 英男(東北大学電気通信研究所)

折田 義彦(日本海洋科学振興財団)

檜本 浩二(日本電気株式会社)

角田 晋也(海洋研究開発機構
海洋工学センター)佐久間 弘文(海洋研究開発機構
地球環境フロンティア研究センター)

鈴木 陽一(東北大学電気通信研究所)

高木 敏行(東北大学流体科学研究所)

高瀬 和之(日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学部門)谷 啓二(日本アドバンステクノロジー
株式会社)寺坂 晴夫(会津大学
先端情報科学研究センター)

徳田 伸二(高度情報科学技術研究機構)

早瀬 敏幸(東北大学流体科学研究所)

福井 義成(海洋研究開発機構
地球シミュレータセンター)

福田 正大(計算科学振興財団)

藤代 一成(慶應義塾大学理工学部
情報工学科)藤縄 幸雄(リアルタイム地震情報利用協
議会)

村岡 裕明(東北大学電気通信研究所)

村松 壽晴(日本原子力研究開発機構)

関西光科学研究所レーザー技術
利用推進室)

矢野 雅文(東北大学電気通信研究所)

横川 三津夫(理化学研究所次世代スーパ
ーコンピュータ開発実施本部)渡辺 正(日本原子力研究開発機構
安全研究センター)

研究費：物件費 0円、旅費 33万7千円

[2] 研究経過

超高速コンピューティングによる数値シミュレーションは、原子力、航空・宇宙、地球環境、医療など未来社会を構築するキーテクノロジーであり、その“超高速”に対するニーズはとどまるところを知らない。今後、“さらなる超高速”を技術的に実現し、社会に広く普及させるためには、“超低消費電力でコンパクトな設計”を極限まで推し進める必要がある。これには、リーク電流の低減など従来の延長線上の対応のみでは不十分である。むしろ、低消費電力を達成する強力な方法 (①不揮発性デバイス、②演算・記憶・制御機能の一体化や動的再構成可能化、③ロジックインメモリ構造、④非同期転送によるグローバルクロック削除など) をデバイス・回路レベルで採用し、これらのシンプルな組み合わせで実現できる“基本プロセッサ回路”をベースに、そこから各種アプリケーションへ展開していく道を探るべきであろう。

本研究会は、この具体的1方策として「不揮発性ビット演算大規模コンピューティング技術」の可能性を追求する。多くのアプリケーションは、相当の工夫をすれば、ビット演算 (and, or, not, shift 等) のみで数値シミュレーションにおける繰り返し計算部分を構成できる。ビット演算を用いると、ソフトウェア的には、実数演算において生じる打ち切り誤差の蓄積がなく、数値計算的にも安定である。また、if 文等の分岐処理を皆無にすることができるので、ハードウェア的には、パイプライン処理に手戻りがなく、先読みが完全に成功する。さらに、一連のデータ処理を1ビット幅で実行できるため、通常のパ

ソコン1 CPUでも数10並列計算、ベクトル処理プロセッサでは典型例として16384並列のSIMD計算を1 CPUで実現できる。そのうえ、この基本プロセッサ回路には、多数のトランジスタを使用する浮動小数点演算回路が不要であるため、低消費電力化と回路面積のコンパクト化に有利である。そして何よりも、回路がシンプルな論理演算回路の繰り返しとなるため、電気通信研究所が現在開発中の“不揮発性スピン演算回路”の応用事例として、この種の“数値シミュレーション専用プロセッサ”を最初に想定することは非常に魅力的なものと考えられる。

以上の基本認識に立ち、本研究会では、デバイス・回路レベルから各分野のアプリケーションに至るまでの多階層にわたる専門家が十分な意見交換を行う。そして、「不揮発性ビット演算コンピューティング」という手段によって、多数の分野において“超低消費電力でコンパクトな超高速コンピューティング”が実現されることを目指し、将来に向けた課題を抽出・検討しながら、その可能性を創造開拓していくということを目的に活動を行ってきた。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、以下、その活動状況を記載する。

本研究会は、多分野にわたる多数のメンバーから構成されているので、集中的な意見交換を行うため、その都度、検討事項を限定して、当該事項に関する小グループ会合(数人程度以下)を20数回開催した。開催場所は、その都度関係するメンバーが集まりやすい場所を選定し、東京の各地、三ノ宮、仙台等である。

また、専門分野の異なるメンバーの相互コミュニケーションや異分野融合研究の促進を図るため、平成22年2月18日に中グループ会合を2回開催し、デバイス・回路技術の研究者、超高速コンピューティングの普及推進者、超高速コンピューティングを各分野で応用していきたいニーズをもつ関係者等の間で、異分野横断的な研究会を行った。

○第1会合：2月18日10時～12時 片平通研

冒頭、研究会の趣旨説明を行った後、松岡から①資料「4桁解像度を実現する第3のシミュレーションアプローチ(仮想世界からの現実収束アプローチ)平成22年2月18日午前の部：松岡、菊池」及び格子ガス法の他分野への応用(電磁場、音場)について説明するとともに、意見交換を行った。また本件に関連して、現在、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点公募型共同研究(試行)「格子ガス法超並列計算手法の実用規模問題への適用可能性評価」において実施中のプログラム開発について、関係メ

ンバーで協力して、平成22年度地球シミュレータ公募プロジェクトに応募することを決定した。

また、

②「ロボット潜水艇など海洋分野へのシミュレーション応用」に関して日本海洋科学振興財団の折田義彦氏から、

③「次々世代超高速コンピューティングのためのテンソルプロセッサ(勝手にインプリメント)」に関して海洋研究開発機構の福井義成氏から、ご説明を頂き、質疑応答及び意見交換を行った。

○第2会合：2月18日13時50分～17時片平通研

共同プロジェクト研究会の趣旨説明の後、以下の各分野についてメンバーからご説明を頂き、質疑応答及び意見交換を行った。(注：以下は、分野別に発表内容の位置づけを整理しなおしてあるため、実際の発表順やパワーポイントプレゼン資料のタイトルとは異なります。)

A. 不揮発性演算回路からの展開：

④「不揮発性ロジックインメモリ技術をめぐる最近の成果」に関して電気通信研究所の羽生貴弘教授、

⑤資料「ビット演算シミュレーションによる流体粘性の制御と展望(平成22年2月18日松岡浩、菊池範子)」について理化学研究所の松岡浩、

B. 実験とシミュレーション：

⑥「原子力安全分野における熱流動解析と実験」に関して日本原子力研究開発機構の渡辺正氏、

⑦「計測融合シミュレーション技術をめぐる最近の成果」に関して東北大学流体科学研究所の早瀬所長、

C. 幅広い応用と異分野融合：

⑧「リアルタイム地震情報の活用」に関してリアルタイム地震情報利用協議会藤縄幸雄氏、

D. 超高速コンピューティングの現状と将来：

⑨「地球シミュレータの最近の動向」に関して海洋研究開発機構の板倉憲一氏、

⑩資料「超ペタスケールシミュレーションと次々世代プラットフォームへの1展望(2010年2月18日日本アドバンステクノロジー(株)谷啓二)」について日本アドバンステクノロジー株式会社の谷啓二氏。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、初年度であり、研究会活動による研究内容の進展はこれから本格化していく段階にある。本年度に得た研究成果は、一言でいえば、“新粘性

制御法による超並列ビット演算流体シミュレーション手法の開発”への円滑な着手である。プログラム開発には、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータSX-9を利用した。具体的には、「揺動散逸モデル付き微小整数型格子流体法シミュレーションコードの開発」という開発課題を設定し、平成20年5月9日づけで新規にサイバーサイエンスセンターに申請書を提出し、同年6月4日づけで課題が採択された。大規模科学計算システム利用申請は平成20年6月18日づけで行い、同年6月からSX-9の利用を開始し、平成21年度は、この継続申請を提出して研究活動を続行した。

もともとユビキタスなスーパーコンピューティング展開を目指しているため、具体的には、原子炉やその小型実験装置において、外部から測定可能な限られた場所の限られたデータから、全体系における流れ場を推測する“計測融合シミュレーション”を行う超高速専用シミュレータの実現を念頭に置き、その動作をスーパーコンピュータでシミュレーションすることを目的として設定した。このとき、専用シミュレータのハードウェア内部では、できるだけ多くの格子点に関する計算を1チップ内で超並列に行いたいという理由から、ひとつの格子点に係る計算は、極力トランジスタ数が少なく回路面積を小さくできる演算・記憶回路で実現されることが望ましい。この観点から、微小整数演算やビット操作演算のみで流体挙動を模擬できる“格子ガス法”を採用するとともに、高級言語によるプログラムをうまく記述することによって、当該プログラムからハードウェア演算回路の動作を1対1に直接推定できるものを開発することとした。

具体的には、流体挙動をシミュレーションする時間発展部分の計算を、4種のビット操作演算 (and, or, not, shift) のみで記述するとともに、if文等の分岐を皆無にすることで、ハードウェア的に手戻りのないパイプライン演算回路の実行を高級言語(C言語)レベルで直接推定できるプログラムを作成した。以上のシミュレーションは、すべてSX-9を利用して行い、その動作を確認することができた。また、揺動散逸モデルについては、平成20年度において2次元流体シミュレーションで格子点数を様々に変化させ、円柱後流における双子渦やカルマン渦が生成する計算条件の比較を行った。平成21年度には、この2次元モデルに関する知見を3次元モデル(FCHCモデル)に発展させ、ベクトル化率99.9%以上(ベクトル長250以上)で効率よく計算できるプログラムを作成するとともに、MPIによる64並列までの計算実行を確認した。また、格子点数を変化させずに流体の揺動散逸状態を変化させる1方法を考

案できた。これは、各格子点で生じる仮想粒子の2体衝突の段数を制御するもので、これまでの3次元シミュレーションによる観測では、双子渦が発生する以前の小さいRe数領域からカルマン渦が発生するRe数領域までの粘性について、格子点数を変化させずに、従って計算時間を長時間化させずにシミュレーションできることを確認した。

以上の成果は、東北大学サイバーサイエンスセンターのご支援の賜であり、深く感謝いたします。

上述の粘性制御手法をさらに発展させるためには、今後、SX-9よりも大規模なベクトル計算機を利用することが不可欠になる。このため、共同プロジェクト研究会メンバーと協力して平成22年度地球シミュレータ公募プロジェクトに応募した。

(3-2) 波及効果と発展性など

「新粘性制御法による超並列ビット演算流体シミュレーション手法の開発」については、今後、有限長円柱の後流に発生する3次元うずの数値シミュレーションを行い、既に先行研究で得られている実験結果やナビエ・ストークス解法によるシミュレーション結果等と比較することにより、実用的な大規模問題への適用可能性を評価することとしている。

特に、これまで自主開発してきた超並列ビット演算による格子ガス法流体シミュレーションコードに対して、仮想粒子の衝突規則を変化させることによって格子点数を増やさずに流体粘性を変化させる新しい粘性制御法を組み込み、粘性が非常に小さい場合の高レイノルズ数大規模問題をどこまでシミュレーション可能かその限界を追求する計画である。

本研究が計画どおり進展し、超並列ビット演算による3次元格子ガス法流体シミュレーションコードによって、実用的な大規模問題に手が届く高レイノルズ(Re)数領域のシミュレーションが可能であることを実証できれば、本手法に関心をもつ研究者が現れ、それぞれの大規模流体問題に本手法を適用していくであろう。その適用を通じて、これまでの流体解析の主流であるナビエ・ストークス解法と比較して本手法がもつ特徴的な利点についての理解が進み、また、そのハードウェア実現の多様性のゆえにスパコン以外のユビキタス利用にも応用が開けると考えられる。さらに、格子ガス法は、仮想粒子のもつ物理量の解釈を変えることにより、電磁場、音場、応力場などの解析に適用できるため、今後、流体分野に限らず幅広い分野の応用に発展していくことが期待できる。

[4] 成果資料

東洋大学計算力学研究センター第5回計算力学シンポジウム「ビット演算によるシームレスな流体シミュレーションの展開」○松岡、菊池、2010.3.24

次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究

[1] 組織

代表者：越前 功

(国立情報学研究所コンテンツ科学研究系)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

青木 直史(北海道大学大学院情報科学研究科)

伊藤 彰則(東北大学大学院工学研究科)

河口 英二(九州工業大学名誉教授)

貴家 仁志(首都大学東京システムデザイン学部)

近藤 和弘(山形大学大学院理工学研究科)

藪田 光太郎(情報通信研究機構情報通信セキュリティ研究センター)

田中 清(信州大学工学部)

新見 道治(九州工業大学情報工学部)

西村 明(東京情報大学総合情報学部)

西村 竜一(情報通信研究機構)

野崎 剛一(長崎大学情報メディア基盤センター)

野田 秀樹(九州工業大学情報工学部)

馬場口 登(大阪大学大学院工学研究科)

日置 尋久(京都大学大学院人間・環境学研究科)

宮崎 明雄(九州産業大学情報科学部)

吉田 真紀(大阪大学大学院情報科学研究科)

脇山 正博(北九州工業高等専門学校制御情報工学科)

研究費：物件費5万円，旅費5万7千2円

[2] 研究経過

デジタルコンテンツは編集・コピーが容易，インターネットでの不正配布が容易であるため，その著作権保護，情報漏えい対策，機密性の確保が重要な課題となっている。これら課題への従来対策としてコンテンツの暗号化があるが，正規ユーザによりコンテンツの暗号化が一旦解除されてしまうと，以降の流通に対し

て，暗号は効力を持たないという問題があった。そのような中，暗号とは異なる情報保護技術として情報秘匿(ハイディング)が注目を集めている。情報ハイディングは暗号と併用可能な技術であり，デジタル情報の著作権保護や安全確保のための中核技術として期待されている。本共同研究プロジェクトでは，情報ハイディングに関連のあるマルチメディア信号処理，情報セキュリティの研究者が一同に会して，デジタルコンテンツの著作権保護，情報漏えい対策，機密性確保を実現する次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究発表や討論を行った。本プロジェクトが検討した流通モデルを科研費特定領域研究などの新たなプロジェクトやIFIP(International Federation for Information Processing)などの国際標準化組織へ提案することにより，研究組織の更なる発展を目指すとともに，デジタルコンテンツ流通の高次利用に関する国際的な情報発信源の役割を果たすことが期待できる。

本プロジェクトは，本年度が初年度である。本年度は，本プロジェクトの研究メンバーが参加する情報ハイディングの関連研究会(電子情報通信学会『マルチメディア情報ハイディング(MIH)研究会』)にて以下の研究会を開催した。

第7回研究会

(第8回情報科学技術フォーラム(FIT2009)のイベント企画として開催)

日時：2009年9月2日(水)，場所：東北工業大学

FIT2009 イベント企画：『マルチメディア情報ハイディングの最新応用技術と今後の展望』

講演(1)データハイディング技術を利用した音声メディアの高付加価値化

青木直史 北海道大学 大学院情報科学研究科

講演(2)文字パターンへの情報埋め込みの試み

大町真一郎 東北大学 大学院工学研究科

講演(3)モバイル端末における音響データハイディング技術の応用

松岡保静 NTT ドコモ 先端技術研究所

講演(4)映像監視とプライバシー保護

馬場口登 大阪大学 大学院工学研究科

第8回研究会

日時：2009年11月27日(金)，場所：国立情報学研究所

招待講演：印刷物のセキュリティを実現する紙の暗号化技術

阿南 泰三 富士通研究所

ほか，一般講演5件

第9回研究会

(電子情報通信学会 2010年総合大会内のシンポジウムセッション(DS-3)として開催)

日時：2010年3月16日(火)，場所：東北大学
2010総合大会シンポジウムセッション『マルチメディア情報ハイディング』

講演：音響電子透かしを用いた屋内での録音位置推定

兼頭亮介，中島悠太，馬場口登(大阪大学)

ほか，4件

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に述べる研究成果を得た。

東北大学では，G.711音声信号に情報ハイディング技術を用いることにより，最大8kbpsと高いビットレートの補助情報を挿入する基盤技術の開発と高度化を行い，音質劣化許容歪の測定を詳細に行った。その結果は，デジタル信号処理の分野で最も権威のある国際会議 ICASSP に採択となり発表を行った[1]。また，音楽のような広帯域音信号にマルチプルデスクリプション符号化を適用することにより，パケット落ちに対し，高く，かつ適応的な耐性を持たせる符号化法について検討し，ウィーナフィルタによって歪を低減する新しい符号化方式の提案を行った[2]。

山形大学では，ステレオ音響信号用電子透かしを検討した。高域を単一チャンネルで置換し，エコーを加えチャンネル間相関を原音に一致させるが，その極性を利用してデータを埋め込む。スペクトル拡散やエコー埋め込み方式と比較したところ，加算雑音やMP3ではスペクトル拡散方式が低い透かしエラー率を保てるが，サンプル周波数変換，サンプルクロッピングなどに対しては提案方式が他の方式に比べ低いエラー率を示した。透かしを埋め込んだ音質では提案方式が他の方式より高い品質を保つことが分かった[3-5]。

国立情報学研究所では，個人情報の2次流通をコントロールするデータプロテクションモデルを検討した。具体的には，今後の医療分野での普及が期待される Electronic Health Records (EHR) と呼ばれる医療情報の電子記録を共有するプラットフォーム

において，患者が医療データを送信する際に，電子透かし方式により当該患者の管理情報を医療データに埋め込むことで，情報保有者から漏えいした個人情報情報を患者側が検知できる方式を構築し，第三者機関が無い場合でもプライバシー漏えいを検知可能な方式を考案した。方式の考案にあたっては，技術検討だけではなく，各種法規の評価やEHRを実際に運用している国立大学医学部の研究者にヒアリングを実施し，EHRシステムへの適用可能性を検討することで実用性を兼ね備えることを重視した[6-8]。

京都大学では，WWW上で公開される適当なファイルツリー(以下 cover web)に別のファイルツリー(以下 weblet)を密かに埋め込み，また取り出す枠組みを開発した。weblet は cover web にその構造とともに自動的に埋め込まれる。埋め込み後の cover web は通常のファイルとして，サーバにアップロードして，公開できる。weblet のファイルを取り出す際には，weblet 用の proxy 経由で，通常のブラウザを使えるようになっている。このとき，目的のファイルは，埋め込み時に決まる cover web 内の代表ファイルの URL と weblet 内のパスを組み合わせて指定する。weblet のファイルを取り出す際，proxy はサーバに対して cover web のファイルを要求するだけであり，weblet の存在はサーバ側には完全に透過となる。この枠組みを利用することで，簡便に，WWW上で秘密情報を共有することが可能になった[9]。

九州工業大学では，画像中への情報の埋め込みに関して，QIM (Quantization Index Modulation) や WP (Wet Paper) 符号を用いた，画質劣化の少ない埋め込み法を研究している。本年度は，JPEG 画像を対象とした改ざん場所の特定可能なフラジャイル電子透かしにおいて，WP 符号を用いた高性能な埋め込み法を提案した。提案法は，量子化前の実数 DCT 係数の情報を積極的に利用して，画質劣化が少ない埋め込みを行う点が特徴である。提案法は，LSB 置換やマトリックス埋め込みと比べて画質劣化が少ない方法であることを確認した[10-12]。

(3-2) 波及効果と発展性など

情報ハイディングを専門とする研究者が，一同に会して，次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究発表や討論を行うことで，暗号を中心に構築されていた従来の流通モデルにはなかった新たな発想が生まれ，従来モデルと比べてより有効で実用的な流通モデルが確立される可能性が高い。また，検討した流通モデルを科研費特定領域研究や IFIP などへ提案することで，研究組織の更なる発展を目指すとともに，デジタルコンテンツ流通の高次利用に関する国際的な情報発信源の役割を果たすことが

期待できる。また、情報ハイディングと信号処理を専門に扱う IEEE 国際会議 IIH-MSP (International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing) では、本プロジェクトの複数のメンバーが会議開催に貢献するとともに、例年の2件以上の Invited Session を企画している。

本プロジェクトや MIH 研究会の今後の継続的活動によって、マルチメディア情報ハイディング分野の国内の研究活動が一段と活性化され、新たな研究成果創出に繋がるとともに、国際的な情報発信源の役割を果たすことができるものと確信している。

[4] 成果資料

- [1] Akinori Ito, Shun'ichiro Abe, Yōiti Suzuki, "G.711 information hiding for speech based on substitution of least significant bits and estimation of tolerable distortion," Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2009) 1409-1412, (2009, Taipei).
- [2] Hoseok WEY, Akinori ITO, Yōiti SUZUKI, "Multiple Description Coding for Wideband Audio Signal Transmission," Proc. Intl. Conf. on Network Infrastructure and Digital Content, 769-773 (2009.11, Beijing).
- [3] Kazuhiro Kondo and Kiyoshi Nakagawa, "A Digital Watermark for Stereo Audio Signals Using Variable Inter-Channel Delay in High-Frequency Bands and its Evaluation," International Journal of Innovative Computing, Information and Control, vol. 6, no. 3(B), pp. 1209-1220, Mar. 2010.
- [4] Kazuhiro Kondo, "Evaluation of a Stereo Audio Data Hiding Method Using Inter-Channel Decorrelator Polarity," Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Dallas, TX, Mar. 2010.
- [5] Kazuhiro Kondo, "A Data Hiding Method for Stereo Audio Signals Using the Polarity of the Inter-Channel Decorrelator," Proc. International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP), pp. 86-89, Kyoto, Japan, Sept. 2009.
- [6] S. Wohlgemuth, I. Echizen, N. Sonehara, G. Muller, "On Privacy in Business Processes - Observing Delegation of Personal Data by Using Digital Watermarking", Proc. of International Conference on e-Business (ICE-B 2009), pp. 27-32, (July 2009).

[7] S. Wohlgemuth, N. Sonehara, G. Mueller, I. Echizen, "On Privacy-aware Delegation of Personal Data using Digital Watermarking," Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP2009), pp. 1-4, in CD-ROM, (September 2009).

[8] S. Haas, S. Wohlgemuth, I. Echizen, N. Sonehara, and G. Mueller, "On Privacy in Medical Services with Electronic Health Records", Proc. of International Medical Informatics Association WG4 Security in Health Information Systems (IMIA SiHIS 2009), pp. 1-9, in CD-ROM (November 2009).

[9] HIOKI Hirohisa, "Web behind Web — A Steganographic Web Framework", Proceedings of Intelligent Information Hiding and Multimedia Processing (IIHMSP) 2009, pp.60-63, Sep. 2009.

[10] T. Ishida, K. Yamawaki, H. Noda and M. Niimi, "An improved QIM-JPEG2000 steganography and its evaluation by steganalysis", IPSJ Journal, Vol. 50, No. 10, pp. 2568-2573 (2009).

[11] 新見道治, "情報ハイディングの現状と展望", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-A, No. 2, pp. 52-61 (2010).

[12] 山脇和美, 野田秀樹, 新見道治, "Wet Paper 符号を用いた画質劣化の少ない改ざん検出用 JPEG 画像の生成", 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 3 (2010) 掲載予定.

採択番号 H 2 1 / B 1 1

新概念 VLSI システムと そのシステムインテグレーション技術

[1] 組織

代表者：羽生 貴弘

(東北大学電気通信研究所)

対応者：羽生 貴弘

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

松岡 浩 (独立行政法人 理化学研究所)

中島 雅美 (ルネサステクノロジ (株))

望月 明 (ルネサステクノロジ (株))

木村 啓明 (ローム (株))

Kenneth C. Smith (カナダ・トロント大)

Vincent Gaudet (カナダ・アルバータ大)

Glenn Gulak (カナダ・トロント大)

Wai-Tung Ng (カナダ・トロント大)

夏井 雅典 (東北大学電気通信研究所 助教)

松本 敦 (東北大学電気通信研究所 助教)

研究費：物件費 5 万円，旅費 21 万 6 千円

[2] 研究経過

本格的なユビキタスネットワーク社会の到来が叫ばれている昨今において、情報処理の分野における研究開発の重要性は以前にも増して高まっている。従来の情報処理技術においては処理速度、すなわちチップのスループットにもっともウエイトが置かれており、この点においては現在においても引き続き重要なものである。その一方で、ノート PC、携帯電話、携帯オーディオ端末等のモビリティを重視する電子機器の爆発的な普及に伴い、処理速度以外のシステム指標、すなわちチップ占有面積や消費電力を小さく、低く抑えることが、環境保護の側面とも相まって重要な課題であるといえる。これらの特性、すなわち処理速度、占有面積、消費電力に優位性を持つチップを将来に渡り継続的に作り続けていくことは、従来技術の延長、すなわちチップ設計ルールの微細化だけでは困難であるといわざるを得ない。現実には、設計ルールが 40nm 以下のルールで設計されたチップにおいては、トランジスタのスイッチング速度に起因する遅延に対して、配線の複雑さが主たる要因であるモジュール間転送にかかる遅延時間

の占める相対的割合が増加してきている。

このような配線遅延にまつわる問題の根本的な解決手段としてはデザインルールのシュリンクのみに依拠した性能向上思想からの脱却、すなわちソフトウェア技術、システムアーキテクチャ技術、回路デバイス技術といった VLSI 設計技術の各レイヤー技術を多角的に進展させ、それらの技術を統合したシステムインテグレーションを推進していくことが重要であることは言うまでもない。

初年度となる本プロジェクトにおいては、具体的に以下に挙げる研究活動を通じて、次世代 VLSI コンピューティングの実現を目指すためのシステムインテグレーション技術の推進に努めた：

- 平成 21 年 4 月～6 月 Vincent C. Gaudet 氏 (カナダ・アルバータ大学・准教授) をこの期間、客員准教授として招へいし、新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として、非同期式転送方式に基づく回路実現とそのシステム性能評価用シミュレータ環境構築に関する研究打合せを行った。
- 平成 21 年 4 月 27 日～5 月 1 日 Warren J. Gross 氏 (カナダ・マギール大学・准教授)、Vincent C. Gaudet 氏 (カナダ・アルバータ大学・准教授) と、新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として、確率的状態遷移に基づく非同期データ転送方式とその応用に関する研究討論を行った。
- 平成 21 年 12 月 16 日 中島正美氏 (ルネサステクノロジ (株)) と、新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として、many-core プロセッサとその回路技術に関する研究討論を行った。特に、今後の低消費電力化を推進する上で、不揮発性ロジックなどの新しい回路技術が有用であるなどの有益な知見を得られた。
- 平成 22 年 1 月 31 日～2 月 6 日 Wai-Tung Ng 氏 (カナダ・トロント大学) と、新概念材料・

デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として、不揮発性素子を用いた回路や、DC-DC変換に関する研究打合せおよび集中講義を行った。また、この技術を不揮発性回路へ組み込んだ回路構成に関して、今後も研究討論を続けることを確認した。

- 平成22年2月26日 関部勉氏(パナソニック)と、新概念材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術の一環として、不揮発性ロジック回路とその応用システムへの展開に関する意見交換を行った。
- その他、松岡浩氏(日本原子力研究開発機構)と材料・デバイスに基づく高機能ロジックとシステムインテグレーション技術に関する共同研究の一環として、不揮発性ロジック回路の応用に関して日常的に適宜研究打合せを行った。また、その総括として、平成21年2月27日に福田正大氏(宇宙航空開発機構)を交えたシステム応用とその効果・今後の展開等に関する意見交換を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

新概念 VLSI システムとそのシステムインテグレーション技術に関連する本年度の具体的研究成果として、主な事項3点について以下に報告する：

(1) TMR 素子を用いたロジックインメモリ VLSI の構成

本研究代表者らの研究グループがこれまでに考案してきた、TMR 素子等の不揮発性記憶素子を CMOS 回路に組み込むことによって記憶機能と演算機能の一体化を実現することによる、高速、低消費電力かつコンパクトな回路構成であるロジックインメモリ技術に関する研究を行っている。記憶機能と演算機能を回路レベルでコンパクトに一体化する新しい演算デバイスを開発することで、メモリ・演算器間データ転送ボトルネックのない「超高速処理」回路・システムを実現する。また、不揮発性記憶機能が分散されたため、電源をオンすれば瞬時にシステムが起動する「クイックオン」機能と、使うときだけ回路に電流が流れる「ノーマリーオフ」機能が合わせて実現できる VLSI システムを実現する。さらに、ハードウェア構成を変えずロジック機能を自由に変更できる「動的再構成可能」回路を実現し、しきい値電圧ばらつきなどの製造プロセス変動を調整できる新しい集積回路技術の有用性を実証することが可能となる。

TMR 素子を用いたロジックインメモリ技術として、

不揮発性ロジック回路の特徴である再構成可能な性質を利用し、加算器、FPGA(Field Programmable Gate Array)、TCAM(Ternary CAM)等の回路を実際に試作し、その原理動作の検証を行った。これらの TMR ロジックに関しては、査読付き国際学会での発表を行い、学術論文、招待講演により、学外への発信を積極的に行った。

(2) 電流モード双方向非同期データ転送を用いた非同期式 LDPC デコーダの構成と実現

LDPC デコーダは Check ノードと Variable ノードを相互配線網で接続した構成となっており、ノード間のデータ転送を繰り返すことからデータ転送の遅延が性能向上のボトルネックとなっている。そこで Check ノードと Variable ノードの間のデータ転送に、本研究代表者らが考案した高速双方向非同期データ転送技術を活用することにより LDPC デコーダ全体の高性能化を図ることを目的に研究している。本年度は昨年度までに検討してきた、LDPC 復号アルゴリズムの改良に基づいて、VDEC 提供の 90nm CMOS 技術により試作したテストチップの評価を行った。これらの内容に関しては、学術論文、並びに査読付き国際学会を行った。

尚この内容に関しては、共同研究を実施しているカナダ・アルバータ大学の V. Gaudet 氏と連絡を取り合いながら実施したことを付記する。

(3) 電流モード多値回路技術に基づくマルチコアプロセッサと演算器、並びに多値回路の信頼性に関する研究の実施

本研究代表者らは、電流モード多値回路技術に関する研究に長く取り組んでおり、差動形回路を基本ゲートとした、高速かつ低消費電力性を同時に有する電流モード多値回路に関する基本回路を提案してきた。本年度は、電流モード多値回路のさらなる低消費電力化と、電源電圧変動や温度変動に対する耐性を有する高信頼化に関する回路技術、さらには、今まで多値回路を手で設計していたものをコンピュータで自動的に配置配線する VLSI 設計 CAD の構築に関する研究を行った。それらの結果を、学術論文、査読付き国際会議論文にまとめた。

(3-2) 波及効果と発展性など

情報通信用の次世代高性能 VLSI チップ実現技術に関する研究討論会を開催し、これに関する先端的技術の集積を行うことで、電気通信研究所が日本の情報通信関連技術の発信地となり、共同研究プロジェクトの趣旨に合致している。また、研究討論会にて議論するシステムインテグレーション技術は、次世代システム VLSI 技術に直結するものであり、我が国半導体産業の活性化に大きく寄与するものである。特に TMR 素子に基づく不揮発性ロジック技術

は、現在電気通信研究所で推進中のプロジェクトである IT プログラムにおいて中核を占める研究内容であり、極めて革新性の高い研究である。

[4] 成果資料

(1) Shoun Matsunaga, Kimiyuki Hiyama, Atsushi Matsumoto, Shoji Ikeda, Haruhiro Hasegawa, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno, and Takahiro Hanyu, "Standby-Power-Free Compact Ternary Content-Addressable Memory Cell Chip Using Magnetic Tunnel Junction Devices," *Applied Physics Express (APEX)*, vol. 2, no. 2, pp. 023004-1~023004-3, 2009.

(2) 鈴木大輔, 夏井雅典, 羽生貴弘,
"TMR ロジックに基づくルックアップテーブル回路とその瞬時復帰可能 FPGA への応用,"
電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J92-C, No. 7, pp. 233-240, July 2009.

(3) Naoya Onizawa, Takahiro Hanyu, and Vincent C. Gaudet, "High-Throughput Bit-Serial LDPC Decoder LSI Based on Multiple-Valued Asynchronous Interleaving," *IEICE Trans. Electron.*, Vol. E92-C, No. 6, pp. 867-874, June 2009.

(4) Naoya Onizawa, Takahiro Hanyu, and Vincent C. Gaudet, "Design of High-Throughput Fully-Parallel LDPC Decoders Based on Wire Partitioning," *IEEE Trans. on VLSI Systems*, Vol. 18, No. 3, pp. 482-489, Mar. 2010.

(5) 廣崎旭宏, 松本敦, 羽生貴弘,
"TMR デバイスを用いたしきい値変動補償を有する電流モード多値回路の構成,"
電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J93-D, No. 1, pp. 10-19, Jan. 2010.

(6) S. Matsunaga, J. Hayakawa, S. Ikeda, K. Miura, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Circuit, Future Prospects and Issues," *2009 Design, Automation and Test in Europe (DATE 2009)*, pp. 433-436, April 22, 2009.

(7) Naoya Onizawa and Takahiro Hanyu, "Robust Multiple-Valued Current-Mode Circuit Components Based on Adaptive Reference-Voltage

Control," *Proc. 39th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic*, Vol. 39, pp. 36-41, Naha, Okinawa, Japan, May 2009.

(8) Takashi Matsuura, Hirokatsu Shirahama, Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, "Timing-Variation-Aware Multiple-Valued Current-Mode Circuit for a Low-Power Pipelined System," *Proc. 39th IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic*, Vol. 39, pp. 60-65, Okinawa, Japan, May 2009.

(9) Yo Ohtake, Naoya Onizawa, and Takahiro Hanyu, "High-Performance Asynchronous Intra-Chip Communication Link Based on a Multiple-Valued Current-Mode Single-Track Scheme," *Proc. 42th International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 1000-1003, May 2009 (Taipei, Taiwan).

(10) Daisuke Suzuki, Masanori Natsui, Shoji Ikeda, Haruhiro Hasegawa, Katsuya Miura, Jun Hayakawa, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno and Takahiro Hanyu, "Fabrication of a Nonvolatile Lookup-Table Circuit Chip Using Magneto/Semiconductor-Hybrid Structure for an Immediate-Power-Up Field Programmable Gate Array," *IEEE 2009 Symposia on VLSI Circuits, Dig. Tech. Papers*, pp. 80-81, June 2009

(11) T. Hanyu, "Ultra-Low Power IC Technology Integrated with Innovative Materials," *2009 International Conference on Solid-State Devices and Materials, Workshop*, pp. 1-9, Oct. 6, 2009.

(12) Masanori Natsui and Takahiro Hanyu, "MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture," *International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)*, K-8-1, pp. 1398-1399, Sendai, October, 2009.

(13) Shoun Matsunaga, Atsushi Matsumoto, Masanori Natsui, Tetsuo Endoh, Hideo Ohno, and Takahiro Hanyu, "Fine-Grain Power-Gating Scheme of a CMOS/MTJ-Hybrid Bit-Serial Ternary Content-Addressable Memory," *International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)*, K-6-6, pp. 1382-1383, Sendai, October,

2009.

(14) T. Hanyu,
"A MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile
Logic-in-Memory Architecture," Advances in
Magnetic Nanostructures, p.21, Oct. 8, 2009, Vail,
CO, USA.

(15) T. Hanyu
" MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile
Logic-in-Memory Architecture and Its
Applications, " 11th Joint MMM-Intermag
Conference, Jan.18-22, 2010 Washington, DC.

採択番号 H20/S01

採択回数 1 ② 3

スーパーハイビジョンの実現に向けた要素技術開発

【1】組織

代表者：三村 秀典（静岡大学電子工学研究所）
 対応者：鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）
 分担者：青木 徹（静岡大学電子工学研究所）
 根尾陽一郎（静岡大学電子工学研究所）
 川人 祥二（静岡大学電子工学研究所）
 伊藤 真也（静岡大学電子工学研究所）
 原 和彦（静岡大学電子工学研究所）
 小南 裕子（静岡大学電子工学研究所）
 猪川 洋（静岡大学電子工学研究所）
 佐藤 弘明（静岡大学電子工学研究所）
 村岡 裕明（東北大学電気通信研究所）
 塩入 諭（東北大学電気通信研究所）
 伊藤 崇之（NHK放送技術研究所）
 栗田泰市郎（NHK放送技術研究所）
 江上 典文（NHK放送技術研究所）
 岡本 信治（NHK放送技術研究所）
 大竹 浩（NHK放送技術研究所）
 林 直人（NHK放送技術研究所）
 渡辺 馨（NHK放送技術研究所）
 江本 正喜（NHK放送技術研究所）

研究費： 物件費・旅費 300万円

【2】研究経過

スーパーハイビジョン(SHV)は将来のテレビジョンシステムで、走査線数4320本の超高精細映像と三次元マルチチャンネル音響で構成され、ハイビジョンの16倍の超高精細映像で極めて高い臨場感が得られることを特徴とする。本研究では、東北大学、静岡大学およびNHKの研究グループが研究共同体を形成し、NHKが実現を目指しているこのスーパーハイビジョンプロジェクトを実現するために必要なスーパーハイビジョンの基盤となるデバイス、および、映像音響およびストレージサブシステム、視聴覚品質評価などの要素技術を開発することを目的として研究を行う。

そのために各研究グループが以下の達成を目標として研究を行っている。

【静岡大学電子工学研究所】

川人研究室：スーパーハイビジョン用CMOSイメ

ージセンサの研究

三村研究室：スーパーハイビジョンディスプレイおよびスーパーハイビジョンHARP用収束電極付微小電子源の形成

原 研究室：スーパーハイビジョンディスプレイ対応新規蛍光体の合成

猪川研究室：単電子カウンティング光検出器の研究

【東北大学電気通信研究所】

鈴木研究室：スーパーハイビジョン聴覚ディスプレイサブシステム構成法の研究

村岡研究室：スーパーハイビジョンストレージサブシステム構成法の研究

塩入研究室：スーパーハイビジョン映像評価法の研究

【NHK放送技術研究所】

材料・デバイス：スーパーハイビジョン用イメージセンサ、ディスプレイ、ストレージシステムの研究

人間・情報：スーパーハイビジョン映像音声評価法の研究

本プロジェクトは研究の進捗状況の把握および今後の展開に向けて、以下に示すような研究打ち合わせを数回に亘って行った。

1. 第1回：2009年11月25日（水）

場 所：NHK放送技術研究所 大会議室

出席者：静岡大学 三村、川人、原、中西、

NHK 八木、江上、大竹、岡本、斎藤

内 容：

I. 研究紹介およびディスカッション

I-1 高速撮像素子研究の現状

スーパーハイビジョン(SHV)用の撮像素子に求められる、超高精細と高フレームレートとを両立できるCMOSイメージセンサの研究開発状況について、川人教授より紹介された。

I-2 蛍光体研究の現状

SHV用ディスプレイおよび光源への応用をめざした蛍光体研究の現状について、①色純度の高い蛍光体、②レーザーアニールによる高品質化、③窒化物材料の探索の観点から、原教授

より紹介された。

II. 総合討論

高速撮像素子研究は、静岡大学のシーズとNHK 技研のニーズがうまくマッチしており、今後、本プロジェクト発の共同研究として、さらに発展させてゆきたい。

ディスプレイについては、SHV の先の立体テレビにも適用できる超高精細ディスプレイまで視野に入れた開発にあたって、各種ディスプレイ(液晶、PDP 等)の動向も見極めながら今後も連携してゆく。

2. 第2回：2009年12月22日(火)

場 所：NHK 放送技術研究所 大会議室

出席者：東北大学 鈴木、村岡、塩入

NHK 八木、渡辺、安藤、林、江本、齋藤

内 容：

I. 研究紹介およびディスカッション

I-1 音響研究の現状

22.2 チャンネルから2チャンネル聴覚ディスプレイ用信号への聴取者適応ミクスダウン技術について岩谷准教授より紹介され、頭部伝達関数の特徴量スペクトラルキューNO の操作による上昇角知覚補正の可能性が示され、また、スピーカ再生とバイノーラル收音・ヘッドフォン再生による音の仰角知覚の実験結果について渡辺主研より紹介され、スピーカ再生とヘッドフォン再生、正面および側面で仰角知覚が変化することが報告された。

I-2 記録系研究の現状

SHV 放送サービスの実現には、ストレージの転送レートと記録容量の飛躍的な向上が必要である。並列化などの高速化を図り、高密度化で大容量化に対応する。これらの現状について村岡教授より紹介があり、今後も国プロへの共同提案を視野に入れながら、連携して研究を進めて行くことが確認された。

I-3 評価系研究の現状

将来の高臨場感放送システムとして有望な広視野映像システムを想定し、視覚的注意と視野との関係に着目して、周辺視の効果を調べている。観視者の視覚的注意におけるトップダウンな過程の画質評価に及ぼす影響等について、塩入教授より紹介された。

評価の研究ではあるが、ワンセグや従来の映像システムとSHVにおける視覚的注意の違いが解明できれば、圧縮方式の開発にも使える可能性がある等、活発な議論が交わされた。

II. 総合討論

年明けの全体会に向けて、プロジェクトの進め方について方針を議論した。

3. 第3回：2010年1月6日(水)

場 所：NHK 放送技術研究所

出席者：静岡大学 三村、中西

東北大学 鈴木、村岡、塩入

NHK 八木、江上、大竹、岡本、渡辺、

林、江本、齋藤

内 容：

I. スーパーハイビジョン(SHV)の研究開発ロードマップ(RM)

SHV の RM について八木部長より説明があった。

II. 総合討論

・SHV の RM は、常に見直しをしている。

・本プロジェクト発足のきっかけとなった東北大学・古西教授の考えは、税金で運営されている大学の社会貢献として、NHK が大学に期待するのはどこかを考えて連携すべき、というものであった。SHV という出口を持つNHK 放送技術研究所、光・映像分野にシャープなスペクトルを持つ静岡大学電子工学研究所、ブロードな得意分野を持つ東北大学電子通信研究所が連携するのは理想的な組合せである。

・本プロジェクトで、メーカーがやればできることをやっても意味はない。営利企業がやらない、手を出すにはリスクが大きすぎる分野、仕様・方式を決めるための研究を手がけるべきであり、現在のテーマ選択は適切である。

・3年で一区切りと考え、来年度もう1期継続して、次につなげる成果を出したい。

・来年度は、早い時期から全体会を開催するよう調整する。3年間の成果を世に問うシンポジウムの開催も検討する。外部資金獲得に向けた活動にもなる。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本共同プロジェクト研究を推進するにあたり、昨年度のキックオフミーティング、研究会議において設定されたサブプロジェクトの今年度の研究計画に基づいて研究を展開した。それぞれのサブプロジェクトの研究成果は下記の通りである。

【静岡大学・川人教授-NHK・大竹主研】

超高精細高フレームレート撮像素子の実現に向けて、撮像素子の設計環境の構築、製造技術等の検討などを行った。その結果、33M 画素、120 フレーム

毎秒において 12 ビット階調でデータを出力するための A/D 変換方式、並列データ出力方式等がほぼ確定し、実現の見通しが得られた。

【静岡大学・三村教授】

SHV ディスプレイや SHV HARP では、電子ビームを収束でき、かつ放出電流量が減少しない電界放出微小電子源の開発が重要である。平成 21 年度は、volcano 構造の新型ダブルゲート型の試作を行い、収束時でも放出電流が減少しないことを確認した。

【静岡大学・原 教授—NHK・岡本主研】

SHV 放送用モニターの開発に向け、ディスプレイの高精細化に対応できる薄膜蛍光体のレーザを用いる低温作製プロセスについて、照射するレーザ波長による結晶化度および発光特性の違いから、高輝度化のための指針を得た。

【静岡大学・猪川教授】

電子ビーム露光とリフトオフ・プロセスを用いて金の表面プラズモンアンテナを有する SOI フォトダイオードを作製した。光電流の分光特性から、アンテナが共鳴的に光を吸収していることを示唆するデータを得た。

【東北大学・鈴木教授—NHK・渡辺主研、安藤主研】

22.2ch 音声信号を家庭で使用する際に必須となるダウンミキシング技術について検討した。頭部伝達関数合成によるバーチャル音源の配置について検討し、仰角の制御には伝達関数の零点の位置が鍵となり得ることが示された。

【東北大学・村岡教授—NHK・林主研】

ストレージ機器にとってスーパーハイビジョン映像は、大きな記録容量と超高速転送レートが技術的な課題である。特に非圧縮超広帯域映像について、並列化構成した高速ストレージによる高速レートと記録容量を同時に満たすシステム構成を検討した。

【東北大学・塩入教授—NHK・江本主研】

周辺視特性を考慮した注意モデルを利用し、画像サイズ変化に伴う観察者の視線移動特性変化の評価を試みた。その結果、ディスプレイを広視野にするほど、その端には注意が向きにくくなることを示唆する結果をえた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究がスーパーハイビジョンの開発を支援することにより、NHK が 2020 年以降に実用化を目指す SHV による放送サービスの実現に寄与するとともに、静大電研、東北大通研共に、NHK という公的機関を通じた社会貢献という形で、将来の画像技術に対して多大なる貢献ができ、またそれが画像技術コミュニティに広く認められる。SHV 技術は、放送技術改革にとどまらず、サイエン

ス、医療、バイオ、福祉等に改革をもたらすビッグ技術に確実に発達するものと考えられる。現時点から、SHV 技術を支援しておくことは、今後国家プロジェクト等のビッグプロジェクト獲得につながる可能性が高い。

[4] 成果資料

- S. Shafie, S. Kawahito, I.A. Halin, W. Zuha and W. Hasan : MDPI Sensors, **19**[12] (2009) 9452-9467.
- J.H. Park, S. Aoyama, T. Watanabe, K. Isobe, and S. Kawahito : IEEE Trans. Electron Devices, **56**[11] (2009) 2414-2422.
- H. Mimura : 22nd Int'l. Vacuum Nanoelectronics Conf., (Hamamatsu, Japan, 2009) pp.1-2 (Keynote Address).
- M. Nagao, T. Yoshida, S. Kanemaru, Y. Neo and H. Mimura : Jpn. J. Appl. Phys. **48** (2009) 06FK02-1-4.
- 岡本信治 : 第 329 回蛍光体同学会講演会予稿集 (2009) p.1.
- T. Kobayashi, H. Komoda, Y. Kawanishi, T. Mori, H. Kominami, Y. Nakanishi and K. Hara : Extended Abst. 28th Electronic Materials Symposium, (2009) p.309.
- H. Satoh and H. Inokawa : 2009 IEEE Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW-09), (Kyoto, Japan, 2009) pp. 117-118.
- V. Singh, H. Inokawa, T. Endoh and H. Satoh : Jpn. J. Appl. Phys., **49**[3] (2010).
- Y. Iwaya, M. Otani, T. Magariyachi and Y. Suzuki : Proc. of 10th Western Pacific Acoustics Conference, CD-ROM, Paper no. 0231, (Beijing, China, 2009).
- M. Otani, Y. Iwaya, T. Magariyachi and Y. Suzuki : Proc. of Int'l. Workshop on the principles and applications of spatial hearing (IWPASH2009), (in CDROM 4 pages), (Zao, Japan, 2009).
- K. Miura, E. Yamamoto, H. Aoi and H. Muraoka : IEEE Trans, Magn. **45**[10], (2009) 3722-3725.
- H. Shiino, M. Kawana, E. Miyashita, S. Watanabe and N. Hayashi : J. Appl. Phys. **105**, 07B906, 2009.
- S. Shioiri and K. Matsumiya, J. Vis, **9** (2009) 1-15.
- 伊東孝幸, 真野拓郎, 松宮一道, 栗木一郎, 塩入論 : 映情学技報, **33**[17], HI2009-81, (2009) pp. 53-55.

スピントロニクス連携ネットワーク

[1] 組織

代表者：伊藤 公平

(慶應義塾大学理工学部)

対応者：大野 英男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

江藤 幹雄 (慶應義塾大学理工学部)
 齋木 敏治 (慶應義塾大学理工学部)
 枝松 圭一 (東北大学電気通信研究所)
 白井 正文 (東北大学電気通信研究所)
 羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)
 村岡 裕明 (東北大学電気通信研究所)
 池田 正二 (東北大学電気通信研究所)
 大野 裕三 (東北大学電気通信研究所)
 小坂 英男 (東北大学電気通信研究所)
 島津 武仁 (東北大学電気通信研究所)
 板倉 文礼 (東北大学電気通信研究所)
 平山 祥郎 (東北大学理学研究科)
 安藤 康夫 (東北大学工学研究科)
 佐橋 政司 (東北大学工学研究科)
 高橋 研 (東北大学工学研究科)
 新田 淳作 (東北大学工学研究科)
 角田 匡清 (東北大学工学研究科)
 土井 正晶 (東北大学工学研究科)
 高梨 弘毅 (東北大学金属材料研究所)
 前川 禎通 (東北大学金属材料研究所)
 齋藤 英治 (東北大学金属材料研究所)
 遠藤 哲郎 (東北大学学際科学国際高等
 研究センター)
 川崎 雅司 (東北大学原子分子材料科学
 高等研究センター)
 宮崎 照宣 (東北大学原子分子材料科学
 高等研究センター)
 吉田 博 (大阪大学基礎工学研究科)
 鈴木 義茂 (大阪大学基礎工学研究科)
 木村 剛 (大阪大学基礎工学研究科)
 草部 浩一 (大阪大学基礎工学研究科)
 佐藤 和則 (大阪大学基礎工学研究科)
 河野 浩 (大阪大学基礎工学研究科)
 白石 誠司 (大阪大学基礎工学研究科)

研究費： 物件費・旅費 300万円

[2] 研究経過

スピントロニクス (Spintronics) とは、物質の電気特性と磁気特性の双方を制御することにより得られる新しい物理現象の探求とそれを利用した、エレクトロニクス・マグネティクス・フォトニクスといった電子・情報通信産業のイノベーションを創成する学術分野である。

スピントロニクス分野の発展に対する我が国の科学者・工学者の寄与は極めて大きい。材料とナノテクノロジーに力点を置いた日本の基幹研究が、スピントロニクス展開をリードしてきた。トンネル現象などの量子力学的効果を顕在化するためには、我が国が得意とするナノテクノロジーや材料技術が不可欠であるからである。最近では量子力学的なナノスケールのスピントロニクス現象が実際のデバイスに用いられるところまで分野は進展している。また基礎的な面では、スピン流などを取り入れて古典電磁気学を更に発展させる展開も繰り広げられている。

産業界からの注目も高い。微細化 (ムーアの法則) のみに頼る手法では半導体産業の発展が限界を迎える現在、世界的に最も影響力が強い「国際半導体技術ロードマップ (International Technology Roadmap for Semiconductors、通常略してITRS)」は10年後の電子・情報通信産業の発展を支える重点技術の有力候補としてスピントロニクスを明記している。これを受けて、米国ではインターネットなどの戦略的開発支援で有名なDARPAがスピントロニクス分野でプロジェクトを発足させた。我が国においても総合科学技術会議が革新的技術戦略に取り上げて技術立国のためのリーダーシップとプライオリティーを確保することが重要かつ緊急であることを強調している。すなわち、基礎科学的興味と産業界のニーズが発展を促し、さらにそれらが協調的に発展をとげている科学技術革新分野がスピントロニクスである。

我が国における電気工学と磁気工学の歴史は、個々の分野としては長いものの、「電気と磁気の交わり」であるスピントロニクスが顕在化したのは最近である。科学研究費補助金の枠組みでは、半導体スピントロニクス重点・特定領域が2件、金属スピントロニクス重点領域が1件過去に実施された。現在では、それらの発展形である半導体・金属スピントロニクス協調型特定領域が進行中であり、大学を中心とした学術機関の研究交流が活発化している。



図1 Spintronics Research Net のホームページ

しかし、基礎研究のさらなる深化とそれが産業イノベーションに密接に係わる現在、参加研究者が限定された科研費やその他の競争的研究資金の枠組みを超えて、国公立大学の先端的学術成果、共同利用・共同研究拠点としての附置研のリソース、さらには産業界のイノベーションニーズを統合した、組織間連携をベースとする全国の研究者に門戸の開かれたスピントロニクス連携研究ネットワークを構築することが研究者のコミュニティーから求められている。

そこで本プロジェクトでは、組織間連携に基づくスピントロニクス連携研究ネットワークを構築し、基礎研究を一層充実させると共に、産業イノベーションまでの幅広いスピントロニクス研究を格段に推進した。

[3] 成果

平成20年度に開始した本事業では、スピントロニクス研究の3大要素(基礎物性、材料・素子開発、材料・素子デザイン)を核としたネットワーク構築を進めている。基礎物性ネットワークの中心を慶應義塾大学、材料・素子開発ネットワークの中心を東北大学、材料・素子デザインの中心を大阪大学に設置し、この3校が軸となって全国の研究機関をつなげている。特に慶應義塾大学に設置された慶應義塾先端研究センター「スピントロニクス研究センター」は本

スピントロニクス連携のコアになると同時に、関東ノードのコアとして関東周辺のスピントロニクス研究者の研究交流・情報交換の場を提供する基盤を整えた。

具体的な研究成果は[4]成果資料の(学術論文)に示す通りであるが、平成21年度は特に連携ネットワークの強化として図1に示す Spintronics Research Net ホームページを開設し、そこでは最新の研究成果の講演(1時間程度の解説講演と15分程度の学会講演)をカテゴリー化して聴講できるようにした。様々な講演ビデオを YouTube に投稿し、そのビデオを本ホームページに埋め込むことによりサーバーの負担を軽減している。また、スピントロニクス分野に関連した基礎的な講義ビデオも多数掲載している。さらにはスピントロニクス連携ネットワークのメンバー研究室を平易に紹介する4分間程度のビデオを日本と英語で作製し、本ホームページから閲覧できるようにした。このビデオの内容は理工系学部3・4年生が理解できるレベルを目指したため、結果として、当該分野への興味を広く一般において高めるとともに、スピントロニクスに興味をもつ企業からも分かりやすいと好評である。研究成果と研究内容の一般への公開という観点からビデオはとても効果的である。

また平成21年12月21-22日には研究会「第14回半導体スピン工学の基礎と応用」(http://www.appi.keio.ac.jp/Itoh_group/PASPS14/PASPS14program.html)を慶應義塾大学にて開催し、最新成果が招待講演5件、一般講演(口頭)24件、一般講演(ポスター)20件の合計49件によって発表され、それらを参加登録者121名が聴き入り活発な討論を行った。本会議がスピントロニクス連携ネットワークの定例の集まりであり、次回は筑波大学で開催される。

[4] 成果資料

(主催研究会予稿集)

第14回半導体スピン工学の基礎と応用、平成21年12月21-22日、慶應義塾大学日吉キャンパス。

(学術論文)

- 1) H. Mukuda, T. Ohara, M. Yashima, Y. Kitaoka, R. Settai, Y. Onuki, K. M. Itoh, and E. E. Haller, "Spin Susceptibility of Noncentrosymmetric Heavy-Fermion Superconductor CeIrSi_3 under Pressure: ^{29}Si Knight-Shift Study on Single Crystal," *Phys. Rev. Lett.* **104**, 017002 (2010).
- 2) H. Morishita, L. S. Vlasenko, H. Tanaka, K. Semba, K. Sawano, Y. Shiraki, M. Eto, and K. M. Itoh,

- "Electrical Detection and Magnetic-Field Control of Spin States in Phosphorus-Doped Silicon," *Phys. Rev. B* **80**, 205206 (2009).
- 3) A. Yang, M. Steger, T. Sekiguchi, D. Karaiskaj, M. L. W. Thewalt, M. Cardona, K. M. Itoh, H.R. Iemann, N. V. Abrosimov, M. F. Churbanov, A. V. Gusev, A. D. Bulanov, I. D. Kovalev, A. K. Kaliteevskii, O. N. Godisov, P. Becker, H.-J. Pohl, J. W. Ager III, and E. E. Haller, "Single-Frequency Laser Spectroscopy of the Boron Bound Exciton in ^{28}Si ," *Phys. Rev. B*, **80**, 195203 (2009).
 - 4) Y. Shimizu, Y. Kawamura, M. Uematsu, K. M. Itoh, M. Tomita, M. Sasaki, H. Uchida, and M. Takahashi, "Atom Probe Microscopy of Three-Dimensional Distribution of Silicon Isotopes in $^{28}\text{Si}/^{30}\text{Si}$ Isotope Superlattices with Sub-Nanometer Spatial Resolution," *J. Appl. Phys.*, **106**, 076102 (2009).
 - 5) H. Hayashi, T. Itahashi, K. M. Itoh, L. S. Vlasenko, and M. P. Vlasenko, "Dynamic Nuclear Polarization of ^{29}Si Nuclei in Isotopically Controlled Phosphorus Doped Silicon," *Phys. Rev. B* **80**, 045201 (2009).
 - 6) S. Miyamoto, O. Moutanabbir, E. E. Haller, and K. M. Itoh, "Spatial Correlation of Self-Assembled Isotopically Pure Ge/Si(001) Nanoislands," *Phys. Rev. B* **79**, 165415 (2009).
 - 7) M. Ono, H. Kobayashi, S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Gate voltage dependence of nuclear spin relaxation in an impurity-doped semiconductor quantum well", *Applied Physics Letters*, **96**, 071907 (2010).
 - 8) X. Kozina, S. Ouardi, B. Balke, G. Stryganyuk, G. H. Fecher, C. Felser, S. Ikeda, H. Ohno, and E. Ikenaga, "A nondestructive analysis of the B diffusion in Ta-CoFeB-MgO-CoFeB-Ta magnetic tunnel junctions by hard x-ray photoemission", *Applied Physics Letter*, Vol. 96, pp. 072105, February 2010
 - 9) Y. Nishitani, D. Chiba, M. Endo, M. Sawicki, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Curie temperature versus hole concentration in field-effect structures of (Ga,Mn)As", *Physical Review B*, Vol. 81, pp. 045208, January 2010.
 - 10) M. Endo, D. Chiba, H. Shimotani, F. Matsukura, Y. Iwasa, and H. Ohno, "Electric double layer transistor with a (Ga, Mn)As channel", *Applied Physics Letter*, Vol. 96, pp. 022515, January 2010
 - 11) Y. Nishitani, D. Chiba, F. Matsukura, and H. Ohno, "ac susceptibility of (Ga, Mn)As probed by the anomalous Hall effect," *J. Appl. Phys.*, **105**, 070516 (2009).
 - 12) V. A. Dinh, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "First principle study of spinodal decomposition thermodynamics in half-Heusler alloy $\text{CoTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Sb}$," *Journal of superconductivity and novel magnetism*, **23**, 75-78 (2010).
 - 13) V. A. Dinh, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "Half-metallicity and High- T_c ferromagnetism in Si-containing Half-Heusler alloy," *Journal of superconductivity and novel magnetism*, **23**, 79-82, (2010).
 - 14) V. A. Dinh, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "Structural and magnetic properties of room temperature ferromagnets NiCrZ," *Journal of computational and theoretical nanoscience*, **12**, 2589-2596 (2009).
 - 15) H. Kizaki, M. Toyoda, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "First-principles calculations of electronic structure on $(\text{Ti, Co})\text{O}_2$ within self-interaction-corrected LDA," *Thin solid films*, **518**, 1194-1196 (2009)
 - 16) V. A. Dinh, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "First principle materials design of half-metallic ferromagnetic half-Heusler alloys," *IEEE transactions on magnetics*, **45**, 2663-2666 (2009)
 - 17) H. Kizaki, M. Toyoda, K. Sato and H. Katayama-Yoshida, "First-principles study on electronic structure and spin state of rutile $(\text{Ti, Co})\text{O}_2$ by self-interaction corrected local density approximation: role of oxygen vacancy," *Appl. Phys. Express*, **2** 053004, (2009).

採択番号 H21/S01

人間の機能を取り込んだ革新的新概念による情報通信システム

[1] 組織

代表者：八木 康史

(大阪大学産業科学研究所)

分担者：

中島 康治 (東北大学電気通信研究所)

矢野 雅文 (東北大学電気通信研究所)

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)

塩入 諭 (東北大学電気通信研究所)

梶井 昇一 (東北大学電気通信研究所)

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

山口 明人 (大阪大学産業科学研究所)

朝日 一 (大阪大学産業科学研究所)

沼尾 正行 (大阪大学産業科学研究所)

鷺尾 隆 (大阪大学産業科学研究所)

田中 秀和 (大阪大学産業科学研究所)

小林 光 (大阪大学産業科学研究所)

高橋 昌男 (大阪大学産業科学研究所)

研究費：物件費・旅費300万円

[2] 研究経過

現在のインターネットを含む情報システムは流通する情報量が指数関数的に増大して危機的状況にある。情報の質を上げ、しかも消費エネルギーを1桁下げること無しには高度情報社会は急速に混乱へ向かうと推測される。それを回避するため人間の機能を情報通信システムに取り込んだ柔軟で自在性の高い革新的情報システム、ブレインウェアシステムの構築が目的である。構成的手法による高次脳機能の解明を行い、それに基づき情報処理システムをハードウェアとして実現する。現在の情報システムを築く基礎となっている、ノイマン、シャノン、ウィーナーによる科学技術では実世界と実時間で相互作用する情報システムは実現できず、ブレインウェアシステムを早急に立ち上げなければ、日本のエレクトロニクス産業の活性化はあり得ないと予想される。ターゲットはインターネットを含む全世界的な情報システム全体であり、関連分野が広く組織間連携がなければ目的を達成できない。

具体的な研究内容は次の通りである。構成的手法

による高次脳機能の解明と情報システムへの応用のための脳活動計測を行い、ブレインウェア開発ターゲットの設計とその仕様を確立し、それを忠実に反映したハードウェアシミュレーションを行う。さらにハードウェアとして実現するための半導体集積回路や各種デバイスの解析・検証を行い、ナノテクノロジーを駆使してそれらをシステムとして構成する。

第一年度にあたる本年度は、講演会を計4回開催した。以下に各講演会の概要を記す。

第一回 講演会

日時・場所：8月31日 東北大学電気通信研究所
講演題目：八木研究室におけるコンピュータビジョン技術の紹介

講演者：八木康史 大阪大学産業科学研究所

概要：

・反射屈折光学系の最新動向

凸面鏡と単一カメラからなる全方位視覚センサは、周囲360度シームレスな観測が同時に可能なことから、自律移動ロボット、テレプレゼンス、バーチャルリアリティ、遠隔監視などの応用分野で注目され活用されてきた。全方位視覚センサを始めると反射屈折光学系は、通常のカメラやディスプレイでは得られない光学特性を生み出すことから、実利用の観点からは極めて有効な手段である。本講演では、これまで考案した全方位視覚センサとその応用事例、さらに各種反射屈折光学系を用いた複数の凸面鏡を用いた複眼全方位ステレオ技術、超広角ヘッドマウントディスプレイ、BRDF 反射特性計測システム、カメラキャリブレーション技法等について紹介がなされた。

・歩容映像解析とその応用

顔に人それぞれ違いがあるように、歩き方にも違いがある。人の歩き方(歩容)の違いは、歩幅手の振り、姿勢など無意識下で現れる周期的運動として検出される。歩容認証技術は、わずか30画素程度の大きさで映し出された人物像からでも、動画像解析を行うことで高認証率を可能にする技術で、30画素の人物像は、数十メートル・数百メートル離れた場所を歩く人から、個人を特定することと等価であり、広域監視のための有力な生体情報といって過言でない。また、犯罪の未然防止との関連では、個

人認証にかかる時間も重要であるが、本技術は、登録人数 1000 名ぐらいであれば、十分実用的な早さで動作可能である。本発表では、歩容特徴とはどのようなものか、また、その応用としての歩容認証技術とさらにデジタルエンターテインメント応用について紹介がなされた。

第二回 講演会

日時・場所：10月21日 大阪大学産業科学研究所
講演題目：人間の視覚特性と脳機能

講演者：塩入 諭 東北大学電気通信研究所

概要：人間の視覚系は並列性にすぐれ、見るという行為は我々の直感とは異なり多くの処理過程の総合的な処理を意味する。本講演では運動視における複数の処理経路とそれらの機能に関する研究と視覚的注意の測定の研究について紹介された。運動視においては、従来研究では見落とされていた遅い速度に感度を持つ運動処理機構の存在を見だし、それが速い速度に感度を持つ検出器と異なる特性を見出したことについて紹介された。これは、遅い運動視覚処理における独自の役割を果たすことを意味する。また、従来の両眼視差に加えて、両眼間速度差手掛かりにより奥行き運動の知覚が可能であることを示し、両眼視差処理とは異なる処理機能を持つことを明らかにした点が紹介された。これは奥行き運動という同一機能に対しても、異なる処理過程が存在することを意味するが、両者は時間特性に差があり異なる役割を持つと考えられる。これらは、視覚の画像処理的側面である。一方、視覚は網膜像情報を単に受動的に処理するだけではなく、能動的に選択する過程である。視覚的注意は、初期視覚以降の処理を選択的に促進するものであり、視覚の動的な処理の重要な機能である。視覚的注意を理解し、その予測モデル構築するためには、注意の測定が必要であるが、それは簡単ではない。視覚的注意は視線と強く関連するが、注意は視線と異なる位置に向けることもでき、また範囲を持つ。注意は視線のように直接測ることはできない。そのため新たに開発された注意測定手法と、注意の空間特性について紹介された。

第三回 講演会

日時・場所：12月21日 東北大学電気通信研究所
講演題目：機能性酸化物ナノエレクトロニクス ～非線形巨大外場応答と新概念情報デバイスへの可能性～

講演者：田中 秀和 大阪大学産業科学研究所

概要：機能性酸化物は、高温で強磁性・超巨大磁気抵抗等の多彩なスピン物性を発現し、僅かな摂動により大きく非線形に物性が変化しうる。この非線形を利用した酸化物薄膜・ヘテロ構造デバイス（酸

化物不揮発性スピンメモリ、酸化物確率共鳴デバイス）の例を紹介し、その応用展開について議論を行った。

第四回 講演会

日時・場所：2月2日 大阪大学産業科学研究所
講演題目：不揮発性ロジックインメモリ回路技術とその応用

講演者：羽生 貴弘 東北大学電気通信研究所

概要：現在のVLSIチップにおける配線量増大に伴う性能劣化・電力増大の問題、特に、オンチップメモリは揮発性であるため常時通電するため、これに伴う静的消費電力増大の問題を解決するため、不揮発性メモリの一つである磁気トンネル接合（Magnetic Tunnel Junction; MTJ）デバイスとシリコンデバイスを組み合わせた新回路技術、MTJロジックインメモリ回路を考案。その回路構成、動作原理を述べると共に、同等機能のCMOS実現と比較した性能上の優位性について、具体的適用事例を交えて紹介がなされた。さらに、テストチップ試作を通じて、本提案技術の原理動作の実証事例を紹介がなされた。

講演題目：Mixed-Signal SoCの展望

概要：ブレインウェア実験施設における集積回路（SoC）設計技術の位置づけから、設計生産性の重要性を示し、今後のブレインコンピュータなど多くの通信用SoCへの適用可能なMixed-Signal Platformの基礎概念と、設計生産性の大幅向上に寄与できる、gm/Id Lookup Table法の有効性が示された。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、東北大学電気通信研究所と大阪大学産業科学研究所において交互に、メンバーによる講演会を計4回開催し、メンバー間の相互理解を図るとともに、率直な意見交換を行った。その中で、本研究のプロジェクトの方向性の意識合わせを行い、ブレインウェア技術の実用化に向けて、注力すべき具体的な研究項目を確認した。また、研究項目ごとに参画メンバーを決定すると共に、共同研究体制の強化に努めた。その結果、全方位視覚センサと各種反射屈折光学系の応用、歩容映像解析とその応用、運動視の複数の処理経路の機能と視覚的注意の測定技術、酸化物薄膜・ヘテロ構造デバイスの応用、MTJロジックインメモリ回路の提案、Mixed-Signal Platformの基礎概念に関して新たな成果を得た。

(3-2) 波及効果と発展性など

現在の情報システムは危機的とも言える状況にあるため、これをクリアすべく新しい情報システムが

吃緊に必要である。そのため人間の機能を情報通信システムに取り込んだ柔軟で自在性の高いシステムをできるだけ早急に実現することが必須である。本プロジェクトを遂行し、革新的新概念によるブレインウェアシステムを早急に実現することが、日本のエレクトロニクス産業の再生につながり、ひいてはこの研究のすそ野の大きさから見て、日本を活性化して再生する最良の方策になりうる。組織間連携によりこの方向の研究を推進することは、現在各方面で形成されつつある脳研究に基づく情報システム開発の萌芽的組織の中核となる拠点形成を可能とし、今後の研究を牽引する組織を構築することが可能となる。

[4] 成果資料

- (1) S. Shioiri, D. Kakehi, T. Tashiro, H. Yaguchi, "Integration of monocular motion signals and the analysis of interocular velocity differences for the perception of motion-in-depth," *Journal of Vision*, vol.9, pp.1-17, 2009.
- (2) S. Shioiri and K. Matsumiya, "Motion mechanisms with different spatiotemporal characteristics identified by an MAE technique with superimposed gratings," *J. Vis.*, vol.9, pp.1-15, 2009.
- (3) S. Matsunaga, J. Hayakawa, S. Ikeda, K. Miura, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Circuit, Future Prospects and Issues," 2009 Design, Automation and Test in Europe (DATE 2009), pp.433-436, 2009.
- (4) D. Suzuki, M. Natsui, S. Ikeda, H. Hasegawa, K. Miura, J. Hayakawa, T. Endoh, H. Ohno and T. Hanyu, "Fabrication of a Nonvolatile Lookup-Table Circuit Chip Using Magneto/Semiconductor-Hybrid Structure for an Immediate-Power-Up Field Programmable Gate Array," *IEEE 2009 Symposia on VLSI Circuits, Dig. Tech. Papers*, pp.80-81, 2009.
- (5) 鈴木大輔, 夏井雅典, 羽生貴弘, "TMR ロジックに基づくルックアップテーブル回路とその瞬時復帰可能 FPGA への応用," *電子情報通信学会論文誌 C*, vol.J92-C, pp.233-240, 2009.
- (6) M. Natsui and T. Hanyu, "MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture," *International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)*, K-8-1, pp.1398-1399, 2009.
- (7) S. Matsunaga, A. Matsumoto, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fine-Grain Power-Gating Scheme of a CMOS/MTJ-Hybrid Bit-Serial Ternary Content-Addressable Memory," *International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM)*, K-6-6, pp.1382-1383, 2009.
- (8) T. Hanyu, "A MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture," *Advances in Magnetic Nanostructures*, p.21, 2009.
- (9) T. Hanyu, "MOS/MTJ-Hybrid Circuit with Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture and Its Applications," *11th Joint MMM-Intermag Conf.*, FZ-02, p.1533, 2010.
- (10) 廣崎旭宏, 松本敦, 羽生貴弘, "TMR デバイスを用いたしきい値変動補償を有する電流モード多値回路の構成," *電子情報通信学会論文誌 D*, vol.J93-D, pp.10-19, 2010.
- (11) K. Goto, H. Tanaka, T. Kawai, "Controlled Fabrication of Epitaxial (Fe,Mn)3O4 Artificial Nanowire Structures and their Electric and Magnetic Properties," *Nano Letters*, vol.9, pp.1962-1966, 2009.
- (12) K. Gotoh, H. Tanaka, T. Kawai, "Fabrication of (Fe,Mn)3O4 ferromagnetic oxide nanostructure using Molybdenum nano-mask atomic force microscope lithography," *J. Appl. Phys.*, vol.105 064301, 2009.
- (13) N. Suzuki, H. Tanaka, T. Kawai, "Fabrication of Single Crystalline (La,Ba)MnO3 Nanodot Array by Mo/SiOx Lift-Off Technique," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.48, 116511, 2009.
- (14) 小西貴之, 梶井昇一, "gm/ID 法を用いた高速・高利得 OTA の最適化設計," *電子情報通信学会集積回路研究会, ICD 2009-84*, pp.43-48, 2009.
- (15) H. Kondo, M. Sawada, N. Murakami, and S. Masui, "Design of Complex BPF with Automatic Digital Tuning Circuit for Low-IF Receivers," *IEICE Trans. Electron*, vol.E92-C, pp. 1304-1310, 2009.
- (16) T. Onomi, T. Kondo, and K. Nakajima, "Implementation of High-Speed Single Flux-Quantum Up/Down Counter for the Neural Computation Using Stochastic Logic," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol.19, pp.626-629, 2009.
- (17) Yoshihiro Hayakawa and Koji Nakajima, "Design of the Inverse Function Delayed Neural Network for Solving Combinatorial Optimization Problems," *IEEE Trans. Neural Network*, vol.21, pp. 224-237, 2010.

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

ミリ波国際シンポジウム

GSMW 2009(Global Symposium on Millimeter Waves 2009)

開催日：平成 21 年 4 月 20 日（月曜日）～22 日（水曜日）（3 日間）

開催場所：東北大学片平キャンパス さくらホール

参加人数：115 名

電気通信研究所主催の通研国際会議、GSMW2009 が東北大学さくらホールで 2009 年 4 月 20 日から 22 日まで開催され、参加者は 8 ヶ国から 115 名と成功裡に終了した。本国際会議は今年が 10 年(回)目であり、GSMW の名称に変更してから 2 年(回)目である。本国際会議はマイクロ波・ミリ波無線通信に特化したユニークな国際会議として知られ、従来はデバイス中心の会議であったが、GSMW2009 はデバイスの論文に加え、約 40%のシステムに関する論文で構成され、この分野の研究者が集う国際会議としてはバランスがとれた国際会議として新しい道を歩み出すことが出来た。

本会議への投稿論文は 88 件を数え、62 件が採択され、16 フル、1 スペシャルセッション(2 パラレルセッション)で発表された。また、採択された 62 論文中、22 論文は学生の発表であり、これらの中から優秀な論文 3 件に学生論文賞を授与した。会議の要であるキーノート・バンケットスピーカーには日本から 2 名、海外から 3 名の著名な方々に、オープニングは矢野通研所長をお願いした。本国際会議の成功は通研のファイナンシャルなサポート、IT21 センターの協力等、多くの皆様のご協力・支援のたまものです。ここに深謝いたします。(加藤 修三記)



Keynote speech -Professor Tsubouchi (左)



及び Dr. Michael Marcus(右)

マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ Mini R.I.E.C. workshop on multimodal perception

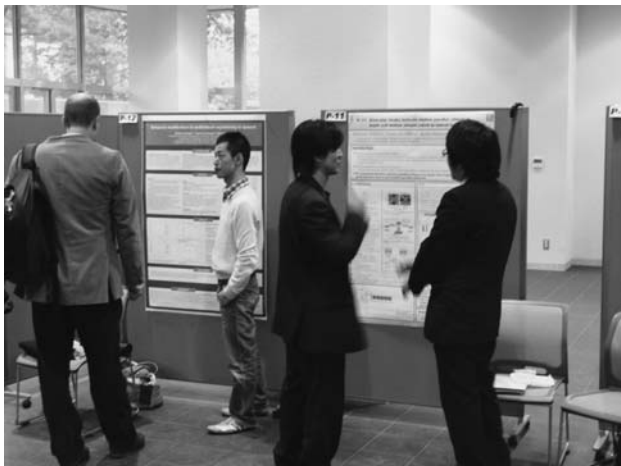
開催日：平成 21 年 4 月 24 日（金曜日）～25 日（土曜日）（2 日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 1 号館大会議室・片平さくらホール

参加人数：70 名

本国際ワークショップは、2009 年 4 月 24、25 日の二日間にわたり、マルチモーダル感覚（複数感覚）情報の統合処理過程のテーマとして、東北大学片平さくらホールを会場に開催された。開催にあたっては、電気通信研究所が主催者となり、東北大学電気情報系グローバル COE プログラム CERIES の共同主催、かつ、日本バーチャルリアリティ学会 VR 心理学研究会の共催により運営された。

マルチモーダル感覚情報の統合処理過程の研究において世界的に有名な、Prof. Jean Vroomen（Tilburg University）と Prof. Charles Spence（University of Oxford）による 2 件の招待講演とあわせ、国内からもこの分野で精力的に研究を行っている研究者による 4 件の招待講演が行われた。また、25 日の昼食時には一般講演を集めたポスターセッションも企画され、本研究分野の学際性を表すかのように、様々な研究分野をバックグラウンドにもった研究者による 12 件のポスター発表も行われた。当日は学内学外から計 70 名の参加があり、至る所で活発な議論が行われ、成功裏にワークショップは終了した。



ポスターセッションの様子



招待講演の様子

第4回超高速フォトニックテクノロジーに関する 国際シンポジウム

The 4th International Symposium on Ultrafast Photonic Technologies
(ISUPT2009)

開催日：平成21年8月4日（火）～5日（水）（2日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン棟カンファレンスルーム

参加人数：137名

2009年8月4日、5日の2日間にわたり、通研国際シンポジウム ISUPT 2009 (The 4th International Symposium on Ultrafast Photonic Technologies)が通研ナノ・スピン棟カンファレンスルームにおいて開催された（実行委員長：中沢正隆教授）。本シンポジウムは、超高速フォトニクス分野におけるデバイスからシステムさらには計測技術に至る最新の研究トピックスを世界の第一人者の方々よりご講演頂き、この分野の多方面にわたる研究者の間で議論を深めることをその開催主旨としている。2003に幕張メッセで開催された第1回シンポジウムを皮切りに、第2回（2005年・St. Andrews 大学）、第3回（2007年・MIT）を経て、今回第4回のシンポジウムが情報通信研究機構、産業技術総合研究所との共催により6年ぶりに日本で開催された。本シンポジウムは日本学術振興会(JSPS)先端研究拠点事業の支援も受けて行なわれた。

シンポジウムでは、時間・周波数制御技術、光源・変調技術、伝送技術、信号処理・ルータ技術などのテーマについて国内外の著名な研究者による22件の招待講演が行なわれ、137名の参加者が集い活発な議論が繰り広げられた。また参加企業10社による展示会も併設され、学術・産業の両面で超高速フォトニクスの最新動向に触れることの出来る絶好の機会となった。



パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウム PIMRC2009

(Personal Indoor and Mobile Radio Communications Symposium 2009)

開催日：平成2009年9月13日（日曜日）～16日（水曜日）（4日間）

開催場所：東京ウエスチンホテル

参加人数：802名

電気通信研究所が中心となり独立行政法人情報通信研究所(NICT)と共催したPIMRC2009(通研国際シンポジウム)が東京ウエスチンホテルで2009年9月13日から16日まで開催された。参加登録者は41ヶ国から861名(内、日本人は203名、実参加者数802名(内主催者側スタッフ19名))と不況下にもかかわらず大成功であった。本国際会議は今年が20年(回)目であり、無線通信に関する国際会議として論文の質では世界1の評価を得ていたが、今回は参加者数でも他の無線通信に関する国際会議を大きく引き離し、質・量の両面から世界1の無線通信に関する国際会議となり、この記念すべき国際会議を主催した電気通信研究所は大変名誉な貢献をすることができた。

会議は投稿論文1158件から639件を採択し、これらは64フル、3ハーフ及び5ポスターセッション(計8パラレルセッション)で発表された。また、これらに加え、Workshop5セッション、Panel6セッションを併催した。本国際会議は3件の最優秀論文賞、及び学生論文賞を授与した。会議の要であるキーノート・バンケットスピーカーは海外から元IEEE COMSOC会長、Dr. Donald Schillingをはじめ5名の著名な方々をお願いし、オープニングは矢野通研所長及び河内総務省総括審議官をお願いし、ジネラルコチエアの通研坪内教授、及びCTIF日本の大森教授のリードにより進められた。このような大国際会議の成功は通研のサポート、IT21センターの協力等、多くの皆様方のご協力・支援無しでは考えられません。ここに深謝いたします。(加藤 修三記)



Keynote speech - Dr. Schilling (左)



Panel session 風景(右)

第2回 RIEC-CNSI ナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトンクスに関する国際ワークショップ (第5回スピントロニクス国際ワークショップ)

2nd RIEC-CNSI Workshop on Nanoelectronics, Spintronics and Photonics
(5th RIEC Symposium on Spintronics)

開催日：平成21年10月22日（木曜日）～23日（金曜日）（2日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：71名

2009年10月22、23の両日に、本学電気通信研究所とカリフォルニアナノシステムインスティテュート（CNSI）が主催する標記国際ワークショップが附属ナノ・スピン実験施設において開催された（組織委員長：通研・大野英男、カリフォルニア大サンタバーバラ校（UCSB）・David D. Awschalom 教授、本学電気情報系GCOEプログラム「情報エレクトロニクスシステム教育拠点」との共催）。第1回目のワークショップが昨年10月にUCSBで開催され、本学から教員・研究員16名、学生3名の合計19名が派遣されたのを受け、第2回目となった今回は、UCSBから教員6名、学生5名の11名が参加し、本学の電気通信研究所、金属材料研究所、多元物質科学研究所、工学研究科、及び理学研究科から教員20名、研究員11名、学生29名の60名（合計71名）が参加した。ワークショップでは口頭講演13件（東北大7件、UCSB6件）、ポスター講演28件（UCSB5件、東北大23件）のナノエレクトロニクス、スピントロニクス、及びフォトンクスに関する最先端の研究成果が発表され、活発な討論が行われた。本学とUCSBは電気通信研究所が世話部局として国際学術交流協定を結んでいるが、今回のワークショップを通してさらに交流が深まった。また、来年度も開催を予定している。本ワークショップ開催にあたり財団法人電気通信工学振興会より支援をいただいた。ご支援を賜りました各位に心より御礼申し上げます。



空間音響の原理と応用に関する国際ワークショップ International workshop on the principles and applications of spatial hearing (IWPASH 2009)

開催日：平成 21 年 11 月 11 日（水）～13 日（金）（3 日間）

開催場所：宮城蔵王ロイヤルホテル

参加人数：90 名

International workshop on the principles and applications of spatial hearing (IWPASH 2009: 空間音響の原理と応用に関する国際ワークショップ) は、2009 年 11 月 11 日から 13 日までの三日間にわたり、宮城蔵王ロイヤルホテルにて開催された。本ワークショップは、電気通信研究所が主催となり、東北大学電気情報系グローバル COE プログラム CERIES と情報通信機構 (NICT) の共同主催、日本音響学会の共催、および青葉工学会等の後援等の支援を受けた。主な議論の中心は、タイトルが示すとおり空間音響知覚の原理とその応用であり、20 件の招待講演と 13 件のデモンストレーションセッション、33 件のポスターセッションのシングルセッションとして構成された。総計 9 ヶ国から 90 名の参加があり、そのうちの約 1/3 は海外からの参加者であった。いずれも質の高い発表と議論・展示が行われ、最先端の空間音響技術についてデモやポスターを前に情報交換が夜遅くまで行われた。加えて、海外からの研究者へは、日本のこの分野における研究レベルの高さも十分に示すことができたものと考えられる。閉会にあたり、次回開催への期待が紹介され盛会のうちに終了した。



IWPASH 2009 の様子と参加者集合写真

第5回新IV族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ 5th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics

開催日：2010年1月29日（金）～30日（土）（2日間）

開催場所；主催：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピンの実験施設

共催：文部科学省グローバルCOEプログラム：「情報エレクトロニクスシステム教育研究拠点」（東北大学電気・情報系），日本学術振興会半導体界面制御技術第154委員会，電気学会電子材料技術委員会

本国際ワークショップは，新IV族半導体材料のプロセス技術及びナノデバイスへの応用までの幅広い領域についての包括的な議論を目的に，本研究所の共同プロジェクト研究H20/A04「IV族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究」が中心となって企画した国際会議である．本ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業活動の一環として開催され，組織委員長兼プログラム委員長として室田淳一教授が，組織委員として末光眞希教授，櫻庭政夫准教授が参加した．総数60名の参加者を迎え，ドイツ，米国，フランス，ベルギー，スペインの各国拠点代表者による招待講演18件，一般ポスター講演22件の総数40件の講演（内、東北大学の関係する発表14件）が行われ，活発な討論が行われた．世界の半導体産業の活性化のためにも，本国際ワークショップの開催は重要であり，次回は関連国際会議と合同で，2011年5月に開催することが決定されている．今後，世界規模での研究連携のきっかけとなることにより，本学問分野が大きく展開すると期待される．本会議の詳細は

<http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/SiGeC2010/> において公開されている．

招待講演者リスト：

- | | |
|--|--|
| 1. Erich Kasper
(Univ.Stuttgart, Germany) | 11. Stefano Chiussi
(Univ. Vigo, Spain) |
| 2. Toshiaki Tsuchiya
(Shimane Univ., Japan) | 12. Shotaro Takeuchi
(Nagoya Univ., Japan) |
| 3. Yukio Fukuda
(Tokyo Univ. Sci., Suwa, Japan) | 13. Masao Sakuraba
(Tohoku Univ., Japan) |
| 4. Yoshiyuki Suda
(Tokyo Univ. Agri& Technol., Japan) | 14. Vinh Le Thanh
(Aix-Marseille Univ., France) |
| 5. Bernd Tillack
(IHP & Tech. Univ. Berlin, Germany) | 15. Kaoru Toko
(Kyushu Univ., Japan) |
| 6. Matty Caymax
(IMEC, Belgium) | 16. Yasuo Takahashi
(Hokkaido Univ., Japan) |
| 7. Akira Toriumi
(Univ. Tokyo, Japan) | 17. Seiichi Miyazaki
(Hiroshima Univ., Japan) |
| 8. Maki Suemitsu
(Tohoku Univ., Japan) | 18. Shinichi Takagi
(Univ. Tokyo, Japan) |
| 9. Michiharu Tabe
(Shizuoka Univ., Japan) | |
| 10. Eugene A. Fitzgerald
(MIT, USA) | |

第 6 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ 6th RIEC International Workshop on Spintronics

開催日：平成 22 年 2 月 5 日（金曜日）～ 6 日（土曜日）（2 日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：133 名

2010 年 2 月 5, 6 日の両日に、本学電気通信研究所が主催する標記国際ワークショップが附属ナノ・スピン実験施設において開催された[組織委員長：通研・大野英男教授、本学電気情報系 GCOE プログラム「情報エレクトロニクスシステム教育研究拠点」との共催、本学金属材料研究所での 4th Intl. WS on Spin Currents & 2nd Intl. WS on Spin Caloritronics (2 月 8-10 日)とのジョイント開催]。参加者 133 名の内、国外からの参加者は 54 名を数えた。アメリカ、フランス、ドイツ、ポーランド、チェコ、韓国、日本から 20 名の研究者を招待講演者として迎えた。2007 年度にノーベル物理学賞を受賞した A. Fert 先生は招待講演者の一人として参加され、また同賞を Fert 先生と同時受賞した P. Grünberg 先生の参加もされた。ポスターセッションでは、中国、韓国、日本から 26 件の一般講演があった。ワークショップの内容は非磁性半導体、磁性半導体、金属磁性体の作製方法と材料物性から、それらを利用した素子特性、集積回路まで、基礎物理から最新の工学応用を含む幅広い話題をカバーした。活発な議論を通して、スピントロニクスの研究開発動向と将来の方向性が明らかとなり、非常に有意義なワークショップとなった。学内外からの学生の参加も多数あり、学生の国際性を育むという観点からも大きな成果を得ることができた。本ワークショップ開催にあたり財団法人電気通信工学振興会、本学金属材料研究所、文科省特定領域研究「スピン流の創出と制御」よりご支援を頂いた。ご支援を賜りました各位に心より御礼申し上げます。



第2回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する 国際ワークショップ

2nd International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

開催日：平成22年3月11日（木曜日）～12日（金曜日）（2日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：44名

本ワークショップは、ナノ構造作製技術やそのナノ構造体の特性評価、ならびに、そのナノ構造を用いたデバイス応用へのアプローチ・課題に関する最近の進展・動向についての議論・討論を目的として企画され、平成22年3月11、12日の2日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設にて開催された。海外(ドイツ、韓国、台湾、シンガポール)から4名、日本から10名の招待講演者によって、実験方法の詳細や結果など、ナノ構造体やその応用についての最新の研究成果が紹介され、活発な討論がなされた。特に、海外からの招待講演者については、60分もの長時間の講演時間が割かれ、通常では得られない詳細な研究成果についての発表がなされた。また、その内容は、酸化チタンナノチューブや、カーボンナノチューブ、グラフェンというように多岐にわたり、様々なナノ構造体の作製方法やそれらの電子デバイスまたはバイオセンサへの応用の可能性について議論された。参加人数は、44名を数え、活発で有意義な討論及び情報交換が行われた。



第2回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップでの討論の風景

5. 2 国際会議等の開催状況

第6回 Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議

6th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-6)

開催日：平成21年5月17日～22日（6日間）

開催場所：ロサンゼルス（米国）

本国際会議は、Si エピタキシーとヘテロ構造・ナノ構造の物理とデバイス技術の研究分野における新展開に関して包括的に議論することを目的に、企画・開催された国際会議である。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは室田淳一教授（組織委員）と櫻庭准教授が参加し、全参加者は約130名であった。招待講演18件の他、一般口頭発表53件とポスター発表75件の計146件の発表が行われ、Si 及び SiGeC 系ヘテロ材料の結晶成長機構の理論から物性、プロセス技術及び超微細半導体デバイスや電子・光複合デバイスへの応用までの幅広い領域について最新の研究動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた。また、上記発表の多くが学術論文としてまとめられ、その論文集は学術論文誌 *Thin Solid Films*, Vol.518 (2010)の特集号として出版済である。日本を含む世界の半導体産業の活性化のためにも、本会議の開催は重要な意味を持つものであり、次世代 Si 系ヘテロナノデバイス開発の道が開拓されると期待されることから、すでに関連国際会議と合同での継続開催（2011年5月、仙台）も決定され、世界の英知を結集した討論の場が準備されている。本会議の詳細は <http://cnsi.ctrl.ucla.edu/ICSI-6/pages/homepage> において公開されている。

7th Japan-Korea Symposium on Surface Nanostructures

開催日時：2009.7.14-7.16

開催場所：仙台

概要：東北大学のアジア拠点教育事業の一環として、日韓両国からの15名の参加者を迎えて、固体表面構造に関する国際シンポジウムを行い、固体表面構造に関する研究発表を11件行い、他の参加者と活発な議論を行った。研究発表の題目は以下に記す；

- 1) Characteristic Energy Band Values and Photo-Electron Attenuation Length of a CVD Diamond (001)2x1 Surface, *Shozo Kono, Tohoku University*
- (2) Availability of Graphene-on-Silicon Technology to Electronics, *Hirokazu Fukidome, Tohoku University*
- (3) Physical properties of epitaxial graphene on SiC, *Joung Real Ahn, Sungkyunkwan University*
- (4) Graphene Theory, *Choi, Sungkyunkwan University*
- (5) Single Carrier Spectroscopy and Hole Dynamics at Si(001) Surface, *In-Whan Lyo, Yonsei University*
- (6) Study of MgO buffer layer growth on Si(001) surface, *Tadashi Abukawa, Tohoku University*
- (7) Composition of Ge(Si) islands capped with Si by spectroscopic photoemission emission and low energy electron microscopy, *Alguno Arnold Café, Tohoku Univ.*
- (8) Nucleation kinetics of magic 2D islands in epitaxial growth, *Sergey Filimonov, Tomsk State Univ.*
- (9) Towards diluted magnetic surfaces, *Shuji HASEGAWA, Department of Physics, University of Tokyo*
- (10) STM study on magnetic vortices in nano-size superconductors, *Yukio Hasegawa, University of Tokyo*
- (11) Spin-resolved STM of organic molecules, *Tadahiro Komeda, Tohoku University*

第1回 Si ベースナノエレクトロニクス&フォトンクス 国際ワークショップ

1st Int. Workshop on Si based nano-electronics and -photonics (SiNEP-09)

開催日：平成 21 年 9 月 20 日～23 日（4 日間）

開催場所：ビゴ（スペイン）

本国際会議は、Si ベースナノエレクトロニクス及びフォトンクスと関連する材料・デバイス技術に関して包括的に議論することを目的として企画・開催された国際会議である。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは室田淳一教授（アドバイザー委員、プログラム委員）と櫻庭准教授（プログラム委員、招待講演者）が参加し、全参加者は約 70 名であった。基調講演 8 件及び招待講演 22 件の他、一般講演・ポスター発表 20 件の計 50 件の発表が行われ、上記分野における最新の研究開発動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた。今後、この分野の研究が推進されることにより、Si ベースナノエレクトロニクス及びフォトンクスに関連する材料・デバイスの学問分野が大きく展開するであろう。

第6回 ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議 6th ECS Int. Symp. on ULSI Process Integration

開催日：平成21年10月4日～9日（6日間）

開催場所：ウィーン（オーストリア）

本国際会議は、ULSI プロセスインテグレーションと関連する材料・デバイス技術に関して包括的に議論することを目的として企画・開催された国際会議である。本研究所附属ナノ・スピンの実験施設からは室田淳一教授（組織委員、招待講演者）と櫻庭准教授が参加し、全参加者は約80名であった。基調講演4件及び招待講演28件の他、一般講演・ポスター発表20件の計52件の発表が行われ、上記分野における最新の研究開発動向の報告とともに活発で有意義な討論が交わされた。また、上記発表はすべて学術論文としてまとめられ、その論文集は2009年10月に学術論文誌 ECS Transaction (Vol.25, No.7, 2009) の特集号として出版されている。今後、この分野の研究が推進されることにより、ULSI プロセスインテグレーションに関連する材料・デバイスの学問分野が大きく展開するであろう。

International Symposium on “Control and Elucidation of Growth Mechanism of Graphene for device applications in the next generation”

開催日時：2009.10.6

開催場所：仙台

概要：日本及びドイツから第一線の研究者を迎えて、グラフェンに関する研究発表、特に固体表面上でのグラフェンのエピタキシャル成長の原子レベル機構解明、及び STM などを用いたナノプローブによるグラフェンの電子物性に関する研究発表がなされた。計9件の研究発表がなされた。50名以上の参加者があり、研究発表に関する盛んな議論が行われた。研究発表の題目は以下に記す；

- (1) Electronic structure and growth of graphene on silicon carbide, *Karsten Horn, FHI, Germany*
- (2) Formation of epitaxial graphene on silicon substrates, *Maki Suemitsu, Tohoku University*
- (3) Formation and Properties of Nanographene on vicinal SiC surfaces, *Satoru Tanaka, Kyushu University*
- (4) Scanning Tunneling Spectroscopy of Carbon Materials, *Maki Kawai, University of Tokyo*
- (5) Microscopic conductance measurement of few-layer graphene on SiC using integrated nanoprobe
Masao Nagase, NTT Basic Research Laboratories
- (6) Carbon nanotube tips for high-resolution SPM, *Masamichi Yoshimura, Toyota Technological Institute*
- (7) First-principles study on energetics of C aggregation on SiC surfaces for understanding epitaxial graphene growth mechanism, *Hiroyuki Kageshima, NTT Basic Research Laboratories*
- (8) Phonon softening phenomena in graphene and nanotubes, *Riichiro Saito, Tohoku University*
- (9) Surface electron microscopy studies of structure and electronic properties of epitaxial few-layer graphene grown on SiC, *Hiroki Hibino, NTT Basic Research Laboratories*

第3回移動知国際シンポジウム

**The 3rd International Symposium on Mobiligence in Awaji, Japan,
November 12-21, 2009**

開催日：平成21年11月19日～21日

開催場所：兵庫県，淡路市，夢舞台国際会議場

文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究「移動知」に関する第3回国際シンポジウムを、兵庫県淡路市夢舞台国際会議場において、平成21年11月19日～21日で開催した。われわれ人間は、未知の環境においても適応的に行動することができる。全ての動物は、さまざまな形態の移動行動、リーチング、捕獲などの腕・手の動作行動、他の個体に対する社会行動などを、多様で複雑な環境において適応的に行うことができる。これらの機能は、動物が生存する上で最も基本的で必須な知的機能（生存脳機能）であり、我々はこれを「移動知」"Mobiligence" と呼ぶ。本シンポジウムでは、移動知における「環境適応」「身体適応」「社会適応」「共通原理」に関する最新の研究成果を発表するとともに、国内外の研究者との活発な議論を行った。シンポジウムでは、招待講演3件、口頭発表14件、及びポスター発表81件が行われた。

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	松浦祐司 教授	片桐崇史 助教
2	音響工学研究会	鈴木陽一 教授	岩谷幸雄 准教授 伊藤 仁 助教
3	仙台“プラズマフォーラム”	畠山力三 教授	飯塚 哲 准教授
4	EMC仙台ゼミナール	曾根秀昭 教授	山口正洋 教授
5	コンピュータサイエンス研究会	小林直樹 教授	青戸等人 准教授
6	システム制御研究会	吉澤 誠 教授	本間経康 准教授
7	情報バイオトロニクス研究会	庭野道夫 教授	吉信達夫 教授
8	スピニクス研究会	高橋 研 教授	Simon Greaves 准教授 遠藤 恭 准教授
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	亀山充隆 教授	阿部正英 准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	梅村晋一郎教授	大橋雄二 助教
11	ブレインウェア工学研究会	中島康治 教授	佐藤茂雄 准教授
12	情報・数物研究会	田中和之 教授	田中和之 教授
13	生体・生命工学研究会	中尾光之 教授	松宮一道 助教
14	ナノ・スピン工学研究会	大野英男 教授	大野裕三 准教授

伝送工学研究会

主査 松浦 祐司, 幹事 片桐 崇史

伝送工学研究会は、最も長い歴史をもつ研究会であり、これまでの開催回数は500回を超える。本研究会は、電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的としており、放射・伝搬・伝送およびこれらに用いるデバイスや方式などの招待講演と研究報告を行ってきた。

本年度は9回の研究会が開催され、招待および特別講演が3件、一般講演が34件行なわれた。最新の研究動向と成果が発表され、活発な議論が行われた。

第518回

日時：2009年5月26日（火） 13:00～14:30

場所：東北大学 電気・情報系103会議室

演題：

1. マルチユーザ MIMO 多重における格子基底縮小の適用効果
板垣将志, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)
2. 周波数領域フィルタリングを用いるSC-FDEに関する検討
奥山卓, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)
3. ラピッドプロトタイピング技術を用いた微細構造ポリマー光ファイバの製作—コアレスファイバの試作—
片桐崇史, 松浦祐司 (東北大学大学院工学研究科)
4. 3次元CIP法による電磁界散乱解析
Jerdvisanop Chakarothai, 陳強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

参加人員：35人

第519回

日時：2009年6月23日（火） 13:00～14:30

場所：東北大学 電気・情報系451・453会議室

演題：

1. CG-FMMによるモーメント法の高速化に関する一検討
今野佳祐, 陳強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)
2. テラヘルツ波伝送用誘電体内装中空ファイバの細径化
角川嘉規, 松浦祐司 (東北大学大学院医工学研究科)
3. 直交周波数分割多重伝送におけるPAPR低減法の一検討
武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

参加人員：34人

第520回

日時：2009年7月21日（火） 13:00～15:30

場所：東北大学 電気・情報系451・453会議室

演 題 :

1. 銀二重クラッド管を用いた光学膜内装金属中空ファイバの製作と伝送特性
岩井克全¹, 本郷晃史², 高久裕之¹, 宮城光信^{1,3}, 石山純一³, 石芸尉⁴, 松浦祐司⁵ (1: 仙台電波工業高等専門学校, 2: 日立電線(株), 3: 宮城工業高等専門学校, 4: 復旦大学, 5: 東北大学大学院医工学研究科)
2. Si細線光導波路の曲げ損失理論解析
外間洋平, 北智洋, 大寺康夫, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)
3. Theoretical and Experimental Study on Modulated Scattering Antenna Array for Mobile Handset
王琳, 何芒, 陳強, 袁巧微, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)
4. Walsh-Hadamard precodingと周波数領域ブロック信号検出を用いるターボ符号化シングルキャリア伝送の誤り率特性
山本哲矢, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)
5. DS-CDMA信号伝送におけるチップ等化器と Overlap FDE の BER 特性比較
小原辰徳, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

参加人員 : 35 人

第 521 回

日 時 : 2009 年 9 月 24 日 (木) 13:00 ~ 15:30

場 所 : 東北大学 電気・情報系 451・453 会議室

演 題 :

1. 中空光ファイバ型ガスセルを用いたラマン分光計測
沖田佳也, 片桐崇史, 松浦祐司 (東北大学大学院医工学研究科)
2. Estimation of Current Distribution of Multiple Coherent Sources by Using Improved SPM Method
チャカロタイ・ジェドヴィスノフ, 井上智博, 甄源, 陳強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)
3. 自己クローニング型フォトニック結晶による波長選択フィルターを用いた近赤外イメージングの検討
クルニアタン・ダニエル, 大寺康夫, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)
4. 周波数選択性チャンネルにおけるシングルキャリア分散アンテナネットワーク下りリンク送信ダイバーシチの検討
松田大輝, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)
5. 周波数領域送受信等化を用いるマルチコード CDMA の伝送特性
武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

参加人員 : 35 人

第 522 回

日 時 : 2009 年 10 月 26 日 (月) 13:00 ~ 14:30

場 所 : 東北大学 電気・情報系 451・453 会議室

演 題 :

1. 変調散乱素子を用いた近傍電磁界測定
井上真豪, 陳強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

2. 90° Hybrid 付 APFA を用いた自己相関イメージングレーダ
工藤健裕, 佐藤弘康, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)
 3. シングルキャリア伝送におけるジョイント MMSE-FDE ・ スペクトル合成のビット誤り率特性
小原辰徳, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)
- 参加人員： 32 人

第 523 回

- 日時： 2009 年 11 月 24 日 (火) 13:00 ~ 14:45
場所：東北大学 電気・情報系 103 会議室
演題：
1. 【招待講演】 3GPP LTE-Advanced 無線インターフェースと標準化動向
今村大地 (パナソニック株式会社 東京 R&D センター)
 2. シングルキャリア伝送における既知系列を用いる QRM-MLD 周波数領域ブロック信号検出
山本哲矢, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)
 3. 変調波源からの放射界の測定法に関する研究
佐山稔貴, 陳強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)
- 参加人員： 37 人

第 524 回

- 日時： 2009 年 12 月 22 日 (火) 13:00 ~ 14:00
場所：東北大学 電気・情報系 103 会議室
演題：
1. 二波長レーザ同時照射による硬組織蒸散の高効率化
渡邊智紀, 松浦祐司 (東北大学大学院医工学研究科)
 2. Si 細線ブラッググレーティングフィルターの特性制御
北智洋, 石川亮太, 大寺康夫, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)
- 参加人員： 38 人

第 525 回

- 日時： 2010 年 1 月 15 日 (金) 13:00~15:30
場所：東北大学 電気・情報系 103 会議室
演題：
1. 【招待講演】 ワイヤレスが繋ぐ雲の向こう側 — Cloud Computing 時代のワイヤレスアクセス技術 —
福田英輔 ((株)富士通研究所ネットワークシステム研究所)
 2. ジョイント送信 / 受信 MMSE-FDE を用いるシングルキャリア・ハイブリッド ARQ
武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)
 3. 上りリンク SC-FDMA における周波数領域繰り返し逐次 MUI キャンセラ
奥山卓, 武田一樹, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

4. 2GHz 帯デュアルバイアスフィード SiGe 低雑音増幅器の動作解析及び試作結果
谷口英司¹，下沢充弘¹，末松憲治²（1：三菱電機株式会社情報技術総合研究所，
2：三菱電機株式会社鎌倉製作所）
5. 改良 SPM 法による複数コヒーレント波源上の電流分布推定の実験的検討
甄源、チャカロタイ・ジェドヴィスノフ、陳強、澤谷邦男（東北大学大学院工学研
究科）
参加人員：42 人

第 526 回

日 時：2010 年 2 月 23 日（火） 13:00~17:00

場 所：東北大学 電気・情報系 103 会議室

演 題：

1. 【通研講演会・特別講演】 Scientific Misconduct: the good, the bad, and the ugly.
Prof. James A. Harrington（Rutgers University, Ceramic Engineering Dept.
Former president of SPIE-The International Society for Optical Engineering）
2. 中空光ファイバを用いた 3 次元レーザ捕捉に関する検討
森崎嘉武¹，片桐崇史¹，松浦祐司^{1,2}（1：東北大学大学院工学研究科，2：東北
大学大学院医工学研究科）
3. 周波数領域繰り返し逐次 MUI キャンセラを用いる SC-FDMA における送受信アン
テナダイバーシチの効果
奥山卓，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
4. 格子基底縮小を用いたマルチユーザ MIMO のセルラシステム上りリンク容量
板垣将志，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
5. ウィナーフィルタを用いる重畳型パイロットチャネル推定
内海哲哉，武田一樹，安達文幸（東北大学大学院工学研究科）
6. 77 GHz 帯近距離パッシブイメージング用小型レンズアンテナの特性
滝本未来¹，中田淳²，山田康太³，佐藤弘康¹，澤谷邦男¹（1：東北大学大学
院工学研究科，2：中央電子株式会社，3：マスプロ電気株式会社）
7. 電車走行時の電波雑音の数値解析
平尚大，陳強，澤谷邦男（東北大学大学院工学研究科）

参加人員：40 人

音響工学研究会

主査 鈴木陽一，幹事 岩谷幸雄，伊藤仁

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。2008年度は、主査鈴木陽一教授、幹事岩谷幸雄准教授、伊藤仁助教のもとで、研究会4回（第354回、第355回、第356回、第357回）と通研講演会1回が開催された。会場は、第354回、第356回、第357回が電気通信研究所2号館大会議室、第355回が東北大学工学部電子情報システム・応物系1号館103会議室で行われた。なお、第355回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で、第356回は電子情報通信学会HIP研究会、日本認知心理学会感性学研究部会との共催、第357回は生体・生命工学研究会と合同で開催された。第354回は、2009年10月29日（木）に開催され、研究発表3件、参加者は50名であった。第355回は、12月26日（木）に開催され、研究発表8件、参加者はのべ70名であった。第356回は、12月17日（木）、18日（金）に開催され、研究発表23件、参加者は延べ124名であった。第357回は、2010年3月3日に開催され、研究発表4件、参加者は35名であった。通研講演会は、2009年12月7日（月）にシドニー大学のProf. Densil Cabrera氏を迎え、「Spatial hearing in rooms」という題の講演が開催され、参加者は20名であった。

仙台 “プラズマフォーラム”

主査 畠山カ三, 幹事 飯塚哲

本研究会は、放電、核融合等のプラズマ現象の基礎と新規物質創製や材料表面の改質、並びに電気推進機等へのプラズマ応用とそれに関連する最新の研究成果に関して、特別講演及び特別企画を開催するとともに、活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

平成21年度の活動として、学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎物理、プラズマプロセス応用、プラズマ推進機応用、プラズマ環境応用等に関する「研究討論会」を3回開催。大学院生による気液混相プラズマの生成と応用、プラズマ利用新機能性ナノカーボンの形成と応用、プラズマ流及び速度シアの形成と物理現象解明等の研究発表会を1回開催。国内、国外研究者によるプラズマナノバイオエレクトロニクス等の基礎研究、プラズマ流の基礎と応用、負イオンプラズマ・微粒子プラズマの科学等に関する「研究発表」を4回開催した。多様な展開を見せるプラズマの応用技術とそれを支える基礎研究に関し、最新の研究成果を持ち寄り討論を行うとともに情報交換を行うことができた。以上の研究会参加者は、学内外合わせて常時50名前後であった。

EMC 仙台ゼミナール

主査 曾根 秀昭, 幹事 山口 正洋

EMC (環境電磁工学) は、電磁ノイズと信号の電磁干渉 (EMI) や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり、電気工学分野の研究者と技術者は、EMC 問題に関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もない 1977 年 2 月に、EMC にいかに取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 EMC Society 仙台 Chapter が設立され、連携して活動している。

平成 21 年度は、第 183 回(7月 28 日)は Jun Fan 先生 (MUST) の講演会、第 184 回(12 月 1 日)は小塚洋司先生 (東海大名誉教授) の講演会が行われた。第 185 回(1 月 8 日)は 4 件の研究発表と原田高志先生 (NEC) の招待講演 “エレクトロニクス機器におけるノイズ抑制のための実装構造” が行われ、第 186 回(3 月 18 日)に Tzong-Lin Wu 先生 (National Taiwan University) の講演会を行った。

コンピュータサイエンス研究会

主査 小林 直樹, 幹事 青戸 等人

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研および電気・情報系に所属する研究室間の学問の交流を図ることを目的としている。2009年度は第149回講演会から第154回講演会まで6回の講演会を開催した。

五十嵐淳氏（京都大学）は形式体系を記述するための言語 **Prelog** および記述から導出検査器を自動生成するコンパイラについて、松田一孝氏（東京大学）は補関数を記述するプログラムの導出にもとづく順方向プログラムから整合性のとれた逆方向変換プログラムの導出について、川本裕輔氏（東京大学）は暗号プロトコルの形式的検証における計算論的健全性について紹介した。江口直日氏（神戸大学）は帰納的関数論と項書換の手法にもとづく計算量クラスの分析法である非明示的計算量について、四熊尚方氏（京都大学）はインタラクティブプログラムに対する情報公開ポリシーについて、**Hee-Kap AHN** 氏（POSTECH）は **Spatial Skyline Query (SSQ)** にもとづく優先度解析について紹介した。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査 吉澤 誠, 幹事 本間 経康

本研究会は、システム制御における、理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。本年度の活動は以下のとおりである。

- 1) (講演会) チェコ工科大学プラハ校 助教授 ブコフスキ イボ氏 (演題: Nonconventional Neural Architectures and Applications for Complex Systems)
- 2) (通研講演会) 新潟大学大学院医歯学総合研究科 助教 飯島 淳彦氏 (演題: From Eyes to Brain)
- 3) (通研講演会) 広島市副市長, 最高情報責任者 豊田 麻子氏 (演題: 今, 広島が熱いー広島市における情報通信戦略ー)

情報バイオトロニクス研究会

主査 庭野 道夫、幹事 吉信 達夫

ナノ・バイオエレクトロニクスは 21 世紀の重要な科学技術分野であるが、その発展のためには、電子工学技術と、多様な機能をもつ生化学反応系との融合が必要である。このような背景のもと、本研究会では、電子工学の研究者と生命科学の研究者が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの未来を議論することを目的としている。本年度は、情報バイオトロニクス研究会を 2 回開催し、八木哲也氏による通研講演会と、共同プロジェクトメンバーらによる研究会を行った。

[第 1 回] 情報バイオトロニクス研究会: 「単結晶基板上的グラフェンとそのバイオ応用」講師: 荻野俊郎 (横浜国立大学), 「高分子ナノ集積体を利用した自己支持性ナノ薄膜の作製」三ツ石方也 (東北大学), 「興奮性シナプス形成過程における伝達物質放出様式の解析」桂林秀太郎 (福岡大学), 「神経幹細胞機能制御のためのバイオインターフェース設計」加藤功一 (京都大学), 「Electrochemical generation of nanobubbles for protein removal」Vince Craig (Australian National University), 「神経回路網形成の分子基盤～細胞内シグナルにより細胞接着能を変える電位依存性 K^+ チャンネルとシナプス形成機構～」木村一志 (三重大学), 「計算機を用いた抗ウイルス薬の開発」星野忠次 (千葉大学)

[第 2 回] 【通研講演会】「脳視覚野への機能的刺激の試み」講師: 八木哲也 (大阪大学), 情報バイオトロニクス研究会: 「シナプス可塑性の光生理学的解析」神谷温之 (北海道大学), 「グリア細胞に過剰発現したアミロイド前駆体蛋白によるシナプス修飾作用」桂林秀太郎 (福岡大学), 「固体基板表面におけるパターン化モデル生体膜の開発」森垣憲一 (神戸大学), 「細胞膜タンパク質の観察と細胞接着制御のためのナノ・マイクロ加工」谷井孝至 (早稲田大学)

スピニクス研究会

主査 高橋 研, 幹事 Simon Greaves, 遠藤 恭

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 10 回の研究会を開催した。

第 1 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section と共催し、IEEE 特任講 Krishnan 氏と大野英男教授（通研）による講演会を開催した。第 2 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section の協賛を受けて、3 件の講演が行われた。第 3 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section の協賛を受けて、Axel von der Weth 氏による講演会を開催した。第 4 回は電気学会東北支部主催の第 1048 回学術講演会に協賛し、岡山大学高橋則雄教授による講演が行われた。第 5 回は一般公募による特別研究会を開催し、山形大学工学部で 2 日間にわたり 34 件の講演が行われ、105 人の参加を得て盛大に開催された。第 6 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section の協賛を受けて、2 件の講演が行われた。第 7 回は電気学会マグネティックス研究会に、また第 8 回は工学研究会 EMC 仙台ゼミナールに協賛した。第 9 回は通研講演会との共催で、九州工業大学金藤敬一教授による講演会を開催した。第 10 回は IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section の協賛を受けて、6 件の講演が行われた。本年度の運営は、主査：高橋研教授（電子）、幹事：Simon Greaves 准教授（通研）、遠藤恭准教授（電気・通信）、企画幹事：菊池伸明助教（多元研）、斉藤伸准教授（電子）、佐藤文博准教授（電気・通信）、島津武仁准教授（通研）、栢修一郎助教（通研）で行った。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査 亀山 充隆, 幹事 阿部 正英

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 21 年度は以下の 5 回を開催した。

第 64 回 平成 21 年 6 月 2 日 (火) 情報知能システム総合学科 通研講演会

演題: 「Logic Synthesis of Reversible Circuits」

講演者: Michael Miller (University of Victoria, Canada)

第 65 回 平成 21 年 9 月 18 日 (金) 函館・啄木亭

研究発表 6 件

第 66 回 平成 21 年 10 月 14 日 (水) 情報知能システム総合学科

平成 21 年度情報処理工学セミナーと共催. ポスターセッション 39 件

第 67 回 平成 21 年 11 月 20 日 (金) 情報知能システム総合学科

GCOE 第 2 回 超高速・高精度デジタル信号処理アルゴリズムとシステムに関するワークショップと共催. 研究発表 5 件

第 68 回 平成 21 年 12 月 5 日 (土) 東京・日本青年館ホテル

研究発表 2 件

超音波エレクトロニクス研究会

主査 櫛引 淳一, 幹事 大橋 雄二

第61回

日時：平成21年10月15日（木）15:00～17:00

会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系 103 会議室

演題：

1. 「超音波顕微鏡を用いた加熱凝固組織の音響インピーダンス評価」
◎獅子谷 卓¹, 吉澤 晋¹, 梅村 晋一郎^{2,1}
(¹ 東北大学大学院工学研究科, ² 東北大学大学院医工学研究科)
2. 「筋肉の弾性特性評価を目指した線状集束トランスジューサによる超音波加振」
◎澤田 丈考¹, 長谷川 英之^{1,2}, 金井 浩^{2,1}
(¹ 東北大学大学院医工学研究科, ² 東北大学大学院工学研究科)
3. 「マイクロ LFB 超音波材料解析システムの ZnO 単結晶評価への応用」
◎吉田 翔, 大橋 雄二, 荒川 元孝, 櫛引 淳一, 坂上 登
(東北大学大学院工学研究科)
4. 「LFB 超音波材料解析システムによる石英ガラス上の ZnO 多結晶薄膜の評価」
◎近藤 貴則¹, 吉田 翔¹, 高麗 友輔¹, 大橋 雄二¹, 荒川 元孝¹,
櫛引 淳一¹, 藤井 知²
(¹ 東北大学大学院工学研究科, ² セイコーエプソン株式会社)

第62回

日時：平成21年11月26日（木）13:00～18:10

会場：東北大学工学部電子情報システム・応物系 103 会議室

演題：

1. 「小閉空間内音場の音圧と粒子速度に着目したグローバル制御に関する一検討」
◎伊勢 友彦^{1,2,3}, 岩谷 幸雄², 鈴木 陽一²
(¹ 東北大学院情報科学研究科, ² 電気通信研究所, ³ アルパイン(株))
2. 「WWWを用いた音声ドキュメント索引付けの研究」
◎宇野 有, 伊藤 仁, 伊藤 彰則, 牧野 正三 (東北大学工学研究科)
3. 「VHF/UHF 帯における平面超音波材料解析システムを用いた ZnO 単結晶の音響特性の測定」
◎高麗 友輔, 吉田 翔, 大橋 雄二, 荒川 元孝, 櫛引 淳一, 坂上 登
(東北大学大学院工学研究科)
4. (電気学会東北支部主催 第1057回学術講演会と共同開催)
「150年前のプロジェクトX ー大西洋横断電信ケーブルが世界を変えたー」
白崎 勇一
(マリン・エコ・テック 代表取締役, 東京大学生産技術研究所 research fellow)

5. 「異なる室での音の仰角知覚に関する検討」
◎松井 健太郎, 安藤 彰男 (NHK 放送技術研究所)
6. 「超音波プローブ回転走査による心筋収縮弛緩特性の高時間分解能 3次元計測」
◎大河内 惇也¹, 長谷川 英之^{1,2}, 金井 浩^{2,1}
(¹ 東北大学大学院医工学研究科, ² 東北大学大学院工学研究科)
7. 「治療用超音波発生のためのMOSFET階段波駆動回路」
◎師 綱助¹, 吉澤 晋², 梅村 晋一郎^{1,2}
(¹ 東北大学医工学研究科, ² 東北大学工学研究科)
8. 「位相共役法による集束超音波音源の振動解析: ラム波の影響」
◎金島 泰浩¹, 吉澤 晋², 梅村 晋一郎^{1,2}
(¹ 東北大学医工学研究科, ² 東北大学工学研究科)

第63回

日時: 平成21年12月17日(木) 15:00 ~ 16:20

会場: 東北大学工学部電子情報システム・応物系 103 会議室

演題:

1. 「有限要素法による治療用超音波トランスデューサの振動解析」
◎大津 賢治¹, 吉澤 晋², 梅村 晋一郎¹
(¹ 東北大学大学院医工学研究科, ² 東北大学大学院工学研究科)
2. 「ZnO 単結晶に対する漏洩弾性表面波伝搬特性の理論的・実験的検討」
◎吉田 翔, 高麗 友輔, 大橋 雄二, 荒川 元孝, 櫛引 淳一
(東北大学大学院工学研究科)

以上

ブレインウェア工学研究会

主査 中島 康治, 幹事 佐藤 茂雄

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は第一回を平成21年7月17日、第二回を平成21年10月30日、第三回を平成21年12月16日にそれぞれ開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである。第一回：「環境適応的な随意運動を可能とするリアルタイム制御機構」富田望（東北大）、「組み合わせ最適化問題の正解を導くニューラルネットワークの設計」早川吉弘（仙台電波高専）、「上流工程におけるソフトウェア主導によるプラットフォームシステムアーキテクチャ設計」山下浩一郎（富士通研究所）、「大容量、低電力CAMアーキテクチャおよび回路技術」半澤悟（東北大）、第二回：（紙面の都合上省略）、第三回：「クラウドコンピューティング時代に求められる組込みプロセッサとその実現」中島雅美（ルネサステクノロジ）、「Mobile WiMAX用RFトランシーバLSI」大石和明（富士通研究所）、「ゆらぎを積極的に利用する生体模倣集積回路」浅井哲也（北大）、「脳内海馬で観察される神経リズム現象」夏目季代久（九工大）。なお、以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査 田中和之, 幹事 田中和之

情報・数物研究会は、確率的情報処理・統計的学習理論・情報通信理論とその情報統計力学的アプローチに関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。本年度は、計8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：川村正樹氏(山口大学大学院理工学研究科) “電子透かしに対する情報統計力学からのアプローチ”、小渕智之氏（東京工業大学理工学研究科）“±J イジングモデルのレプリカ数に関する相転移と零点”、林正人（東北大学大学院情報科学研究科）“量子暗号・量子情報処理～新しい通信と情報処理～”、兼村厚範（京都大学大学院情報学研究科）“画像超解像”、坂田綾香氏(東京大学大学院総合文化研究科)“Partial Annealing 模型と、進化モデルへの適用”、吉田真紀（大阪大学大学院情報科学研究科）“電子透かし性能向上のための統計的手法”、川村正樹（山口大学大学院理工学研究科）“電子透かしの復号アルゴリズム”、Chiou-Ting Candy Hsu（National Tsing Hua University, Taiwan）“Tampering Detection in JPEG Images”。

生体・生命工学研究会

主査 中尾光之, 幹事 松宮一道

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21年度の活動概要を示す。

第21回は平成21年10月22日(木)に13:30から17:40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、東北大学医学系研究科の小山内実准教授の「大脳基底核線条体における自発カルシウムリズム」と東北大学電気通信研究所の笹井一人助教の「生物学的システムにおけるヘテラルキー構造と、開放型MASへの応用について」と題する2件の特別講演が行われた。引き続いて5件の一般講演があった。参加者は34名であった。第22回は平成22年3月3日(水)に13:00から15:10まで電気通信研究所大会議室にて、第356回音響工学研究会と共同開催で4件の一般講演が行われた。参加者は35名であった。通研講演会は平成22年3月12日(金)に14:00から17:00まで東北大学生命科学プロジェクト総合研究棟1F103会議室にて開催され、(株)国際電気通信基礎技術研究所・ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタの河内山隆紀先生の「fMRIによる脳機能画像解析法入門」と題する講演が行われた。参加者は21名であった。いずれの会も広範な分野からの参加者があり、活発な討論がなされた。

ナノ・スピン工学研究会

主査 大野 英男, 幹事 大野 裕三

21世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、ナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究を総合的・集中的に推進することを目的に、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分論議することを目的としている。平成21年度は以下の講演会を実施した。

第36回 平成21年4月17日

「Frequency-agile DAST THz-wave source and its application on free carrier measurement in GaN wafers」

Hiroaki Minamide, Seigo Ohno, and Hiromasa Ito RIKEN

第37回 平成21年6月10日

「Interplay between carrier localization and magnetism in diluted magnetic and ferromagnetic semiconductors」

Professor Tomasz Dietl (電気通信研究所客員教授, Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland)

第38回 平成21年7月28日

「Terahertz time-domain spectroscopy -an original way to explore the far infrared spectrum of nanostructures/materials」

Jean-Louis Coutaz (Professor at University of Savoie, France), Wojciech Knap (Visiting Professor at RIEC, Tohoku University, on leave from CNRS, Montpellier)

「Field effect transistors for terahertz detection: physics and first imaging applications」

Professor Wojciech Knap (Visiting (RIEC, Tohoku University, on leave from CNRS, Montpellier)

第39回 平成21年7月28日

「Single charge and spin storage and readout in self-assembled InGaAs quantum dots」

Professor Gerhard Abstreiter (Walter Schottky Institut and Physik-Department, Technische Universität München, Germany)

第 40 回 平成 21 年 10 月 6 日

「Reversible control of magnetization in a ferromagnetic material by means of spin-orbit magnetic field」

Professor Leonid Rokhinson (Department of Physics and Birck Nanotechnology Center, Purdue University)

第 41 回 平成 21 年 11 月 17 日

「Ultrafast optical control with single self-assembled quantum dots」

Professor Maurice S. Skolnick (Department of Physics and Astronomy, University of Sheffield, UK)

第 42 回 平成 21 年 12 月 10 日

「Towards efficient electrical spin detection in spin-transport devices, and optical detection of stochastic “spin noise”」

Dr. Scott A. Crooker (National High Magnetic Field Laboratory, Los Alamos, NM, USA)

第 43 回 平成 22 年 3 月 10 日

「Trends in terahertz plasma waves devices」

Associate Professor Yahya Moubarak MEZIANI (Dept. Fisica Aplicada, Salamanca University, Spain)

「Nonlinear transmission lines for generation and management of high-frequency electrical signals」

檜原浩一准教授 (山形大学大学院理工学研究科)

「Novel integration technology and its application to resonant tunneling diodes」

前澤宏一教授 (富山大学大学院理工学研究科)

第 44 回 平成 22 年 3 月 4 日

「Parasitic effects in GaN-based high electron mobility transistors」

Professor Gaudenzio Meneghesso (University of Padova, Italy)

5. 4 通研講演会

Scientific Misconduct: the good, the bad, and the ugly

Prof. James A. Harrington, Rutgers University,

開催日：平成22年2月23日（火曜日）13:00～14:00

開催場所：東北大学工学研究科講義棟1階 103会議室

本講演会ではニュージャージー州立ラトガース大学セラミック工学科のハリントン教授が、国際学会 SPIE 会長としての経験や、米国政府が関連するワーキンググループでの経験をもとに、最近問題化している「科学者の不正行為」について、多くの例をあげて説明された。これらの問題が生じていることを認識することが必要であり、不正行為を未然に防ぐための措置や発見した場合の対応法などについてもご紹介いただいた。普段の専門的な講演とは異なり、研究者、科学者にとって重要な事項についての興味深い内容に対し、講演後はさまざまな議論が展開された。

Spatial hearing in rooms

University of Sydney (シドニー大学)

Prof. Densil Cabrera (デンシルカブレラ教授)

開催日：平成21年12月7日(月曜日) 15:00~16:30

開催場所：東北大学電気通信研究所2号館 4階 大会議室

室内において音源が存在する場合、直接音のみならず、反射や残響、回折等さまざまな物理現象を経て両耳に到達する。人間はその信号から、自身のいる音空間の様子を知覚する。今回は、シドニー大学の Densil Cabrera 教授をお迎えし、音源の単なる方向定位にとどまらず、距離知覚や部屋のサイズの知覚、聴覚と視覚の相互作用など多岐にわたり音空間の知覚に関する講義が行われた。また、最新の研究成果として、発言者の音声を用いて部屋の音響特性を測定する手法の説明が行われた。その実験の一部は、電気通信研究所内で行われたものであり、シドニーでの実験結果との比較などを通して、手法の有効性が活発に議論された。

DNA の高次構造転移：荷電によるナノ構造制御

京都大学 大学院理学研究科 教授 吉川 研一

開催日：平成22年2月24日(水曜日) 10:00~11:00

開催場所：東北大学大学院工学研究科 青葉記念会館 401大会議室

細胞の中において遺伝情報を担っているDNA分子は全長がcm程度の細長い紐状の分子であるが、その長鎖DNAの折り畳み転移を溶液中での荷電状態により制御する試みについて、実験・理論両面から非常に分かりやすく解説された。具体的には、DNAの硬さの指標である持続長は50nm(200塩基対)程度であるが、その1000倍程度の長鎖DNAでは、著しい不連続性を伴う“無秩序-秩序”転移を示すことが紹介された。一方、現在の分子生物学の実験手法が得意とする持続長程度の短鎖DNAではこのような物性は消失しており、その振る舞いの差異を詳細に説明された。以上のような最新の研究成果についての講演があり、活発な議論が展開された。

エレクトロニクス機器におけるノイズ抑制のための 実装構造

NEC システム実装研究所 研究部長 原田高志

開催日：平成22年1月8日（金曜日） 13：30～17：15

開催場所：東北大学 サイバーサイエンスセンター 講義室

GHz帯に及ぶノイズ抑制を行う際、従来ノイズ対策として用いられてきたフィルタ、コンデンサなどの部品（電流・電圧で抑制）を直ちに適用する事できない。そこで、講師は高周波のノイズ対策として、(1)電波吸収帯、(2)電磁シールド材、(3)メタマテリアルを例に取り上げ、抑制手法について講演を行った。(1)電波吸収帯を用いたノイズ抑制対策としては、RFの機器内でのカップリングを防ぐために磁性吸収体を例に挙げ、効率的な抑制には機器内における吸収体の配置が重要である事を説明した。(2)電磁シールド材を用いた対策では、磁性材料と筐体を使ったシールドの効果为例に挙げ、反射損、吸収損、多重反射による損でシールドのノイズ吸収効率が決まることに言及した。(3)メタマテリアルを用いた対策では、Electric Band Gap (EBG)構造を用いた基板内部の伝導雑音抑制为例に挙げ、積層型キャビティ EBG構造を適用することで通信機器内のS/Nを改善し、消費電力を1/10にしても通信可能となる具体例を示した。学内外から28名の聴講者があり、講演後に活発な議論が展開された。

プログラム理論演習システムのための "Prelogical" Framework とその実装

京都大学 准教授 五十嵐 淳

日時：2009年5月8日（金） 15:00–16:00

場所：東北大学・電気情報系3号館206号室

講演者が京都大学で行っているプログラム理論(主に core ML の操作的意味論・型システム)に関する大学院講義「ソフトウェア基礎論」のための演習システムの設計と実装について概説する。演習システムは、学生が入力した具体的な ML プログラムの評価や型付けの導出を検査し正誤を返す CGI プログラムである。導出の正しさの検査をする部分は OCaml で書かれているが、これは推論規則や抽象構文定義を含む体系記述から自動的に生成されている。自動生成をする理由は、講義の進度に応じて拡大・修正されていく対象言語ひとつひとつについて導出検査器を手で作成するのは手間がかかり誤りが混入しやすいためである。我々は、形式体系記述のためのメタ言語 Prelog(仮称)を設計し、導出検査器を自動生成するコンパイラを作成した。Prelog の特徴は、推論規則中で OCaml 関数によって実装された述語を使用することにある。これにより、非形式的に記述される付帯条件を簡単に表現することができる。

Efficient Geometric Algorithms for Spatial Skyline Queries

Hee-Kap AHN 助教授

POSTECH (Pohang University of Science and Technology), 韓国

日時：2009年11月30日（月） 14:30–15:30

場所：東北大学・情報科学研究科研究棟8階810ゼミ室

Spatial Skyline Query(SSQ)は特定のデータ集合のなかで基準によってより高い優先度を持つデータを抽出する優先度分析としてよく知られている。様々な属性のデータを扱うデータマイニングではデータが空間的な性質を持つ場合の新しい優先度分析が必要となる。既存の SSQ の問題点とその改善方法、優先度の側面でもより良い評価をもらえる SSQ の部分集合の全体を抽出する効率的なアルゴリズムを示した。

From Eyes to Brain

新潟大学大学院 医歯学総合研究科
総合生理学分野 助教 飯島 淳彦

開催日：平成 21 年 9 月 25 日（金）13：00～14：00

開催場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 2 号館 204 号室

近年の映像社会は、我々に迫力満点・臨場感あふれる映像を提供している。映像は、眼球から生体内に入り脳内処理を経て我々の認知するところとなる。美しい映像は感動を、ひどい映像は生体に悪影響をもたらす。本講演では、映像が生体に与える効果・影響の発現メカニズムを解明しようと映像視聴時の生体情報計測について、視覚系を中心とした、その計測結果が紹介された。また、映像の生体影響とその周辺領域の最近の成果が報告され、活発な議論が展開された。

今、広島が熱いー広島市における情報通信戦略ー

広島市副市長 最高情報責任者
豊田 麻子

開催日：平成 21 年 11 月 28 日（金）15：00～16：00

開催場所：日立金属 高輪和彊館 3 階会議室

広島市副市長および最高情報責任者として広島市政を推進している立場から、広島のこと、広島の情報通信戦略、昨今話題となっているオリンピックのこと、そして世界恒久平和の実現に向けた取り組みまで現在の“広島”のトピックスについて講演され、地方自治体の情報通信戦略などについて活発な議論が展開された。

脳視覚野への機能的刺激の試み

大阪大学大学院工学研究科・教授・八木 哲也

開催日：平成22年1月15日（金）13:00～13:50

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設4階カンファレンスルーム

講演者の研究室では、視覚野や大脳基底核などのスライス標本を用いて、電気刺激によって惹起された信号の伝播様式を光学的な手法によって解析している。今回の講演会では、カルシウム感受性色素および電気感受性色素を用いたイメージングによる実験解析結果についてご紹介いただくとともに、八木グループで現在進行中の、計測結果をフィードバックしながら神経組織に対し様々な刺激を実行する機能的刺激実験系の開発についても分かりやすく解説いただいた。未来の Brain Computer Interface (BCI) デバイスと人工シナプスとの接点について、医学、薬学、化学、電子工学の多様な分野の研究者から各々のバックグラウンドに基づいた意見が交換され、活発な討論が展開された。

導電性高分子を用いた人工筋肉のトレーニング効果

九州工業大学大学院生命体工学研究科 教授 金藤 敬一

開催日：平成22年2月4日（木）15:00～16:30

開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系 講義棟 103 会議室

高い引張荷重の適用により導電性高分子であるポリアニリン(PANI)フィルムの電解変形(ECMD)に基づく人工筋肉のトレーニング効果について検討した。酸化と収縮によってフィルムにおけるアニオンの挿入と除去をそれぞれ行うことにより、人工筋肉は駆動している。酸化の場合には、非局在化したポリカチオンもしくはポーラロンがアニオン付近のポリマー鎖に沿って誘導され、隣接した重合鎖間での静電的に連結することにより、フィルムが硬化することを示した。収縮の場合にはフィルムは可逆的に初期状態へ戻ることを説明できる。これらの結果をもとにして、バイオマテリアルに磁性材料を導入したときの効果や、バイオマテリアルと磁性材料を融合することによる新規材料の開発など、今後の研究方針について活発な議論が展開された。

Logic Synthesis of Reversible Circuits

University of Victoria, Canada. Prof. David Michael Miller

開催日：平成21年6月2日（火曜日）16:00～17:30

開催場所：東北大学工学部 情報知能システム総合学科 1号館 103 会議室

Recently, there has been considerable interest in reversible logic due to its connection to low power design and quantum and optical computing circuits. This presentation will provide an introduction to reversible and quantum logic circuits. Established techniques for the synthesis of reversible circuits will be presented with the emphasis on circuits composed of multiple-control Toffoli gates. Transformation of those circuits to quantum realizations will also be discussed. A new approach which supports the fully automated synthesis of a reversible circuit realizing a completely-specified irreversible function will be introduced. Lastly a new post-synthesis approach for optimizing reversible circuits will be described. For many circuits, this technique results in a significant improvement (sometimes greater than 50%) in the quantum circuit cost through the addition of only one or two extra lines in the reversible circuit.

クラウドコンピューティング時代に求められる 組込みプロセッサとその実現

ルネサステクノロジ 主任技師 中島 雅美

開催日：平成21年12月16日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設 A401 室

クラウドコンピューティング環境が進展する中、情報通信端末などに使われる組込みプロセッサには、高い処理性能、小さい面積、低い消費電力が求められている。一方、プロセッサを実現するための半導体プロセス技術は、これまで、微細化することで、トランジスタの高性能化、小型化、低消費電力化を同時に実現してきたが、最近のプロセスでは、これらの特性が満たせなくなってきており、プロセッサのアーキテクチャによる解決が求められている。本発表では、そのような背景のもと開発された組込みプロセッサを、デモを交えて紹介して頂いた。

Mobile WiMAX 用 RF トランシーバ LSI

富士通研究所 大石 和明

開催日：平成 21 年 12 月 16 日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設 A401 室

Mobile WiMAXは、モバイル・ブロードバンド・ネットワークを提供する無線規格である。その無線周波数は地域により主に2.3/2.5/3.5 GHz帯の3つの帯域が使用されるため、RFトランシーバは、これらの帯域に対応する必要がある。本発表では、シングル・サイドバンド・ミキサを用いたダブル・コンバージョン方式により、効率よくマルチバンドを実現する回路について紹介して頂いた。受信機は-71.5 dBmから-20 dBmの広い範囲を受信でき、送信機は56 dB以上のダイナミックレンジを実現した。

ゆらぎを積極的に利用する生体模倣集積回路

北海道大学 准教授 浅井 哲也

開催日：平成 21 年 12 月 16 日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設 A401 室

現在の電子回路システムは、雑音やゆらぎの要素を極力排除するよう設計されている。それらの要素はシステムの誤動作を招く「障害」となりえるからだ。一方、生物は雑音やゆらぎを巧く利用して情報処理を行うと考えられている。本講演では、この仕組みを取り入れた三つの電子回路システムを紹介して頂いた。まず、雑音が避けられない環境下で、逆にその雑音を利用して不要な雑音を抑えつつパルス密度変換を行う（雑音を利用してノイズシェーピングを行う）神経ネットワーク電子回路を紹介頂いた。次いで、個々の神経素子間に直接的な結合がなくても、雑音によりそれらの神経素子回路が同期発火するような神経ネットワーク電子回路を紹介頂いた。最後に、雑音／ばらつきを利用してパルス信号伝送の効率を上げる神経システムの電子回路化例を紹介頂いた。上記の電子回路は、素子バラツキや（外部）雑音を積極的に利用することで性能向上を目指すものであり、雑音／ゆらぎの避けられないナノシステムにおける新しい情報処理アーキテクチャの構築に応用できるかもしれない。

脳内海馬で観察される神経リズム現象

九州工業大学 教授 夏目 季代久

開催日：平成21年12月16日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設 A401 室

脳内には様々な振動現象が観察される。エピソード記憶に関与している海馬は、それらの振動源として有名である。海馬で観察される θ 波、 β 波、 γ 波などの振動現象は学習に関与する機能的リズムと呼ばれる。一方で、記憶学習障害を伴うてんかん波も海馬で発生する。機能的リズムも、てんかん波も海馬神経細胞の同期活動により誘導される。本発表では、海馬スライスを用いて、これら学習に関与する機能的リズムと機能不全を起こすてんかん波の違いを観察して得られた、神経細胞の同期性に違いがある事を示唆する実験結果について紹介して頂いた。

量子コンピュータとその実現性

国立情報学研究所 准教授 根本香絵

開催日：平成21年6月8日（金）午後1：00－3：30

開催場所：東北大学電子情報システム応物系2号館204会議室

平成21年6月8日に、標記講演会を開催した。ご講演では、量子計算に焦点をおいて、量子的な性質がどのように量子計算に登場し、量子コンピュータがどのように動作するのかを概観し、量子情報処理の実現に向けた最先端研究の現状を解説していただいた。量子情報処理は、量子的な性質を積極的に用いて情報処理を行おうことによって高速な処理や安全な通信を実現しようというものである。根本氏は、これまで量子コンピュータをはじめとして量子情報処理におけるさまざまな先駆的研究を進められており、世界的に注目を集めている。講演会には、東大の岡田真人教授、本学の林正人准教授も出席されるなど、関連する研究分野の第一線で活躍する研究者を交えての多くの活発な質疑応答がなされた。

fMRI による脳機能画像解析法入門

(株)国際電気通信基礎技術研究所
ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタ
研究員・河内山 隆紀博士

開催日：平成22年3月12日（金）14：00～17：00

開催場所：東北大学生命科学プロジェクト総合研究棟 1階 103会議室

現在、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）は、非侵襲脳活動計測を代表する手法として、ヒトの高次脳機能の解明に大きく貢献している。その一方で、実験の簡便さや脳が活動しているようにも見える美しい図が一人歩きして、fMRI が非常に微弱な生体信号を計測し、加えて数々の画像処理・信号処理によって結果を導いていることは忘れられがちである。正確な実験のためには、fMRI の特性を理解した実験計画が必要であるし、また解析においても、生体計測データ特有の注意点があることを把握しておかなければならない。今回は、fMRI による脳活動計測研究を行う際に必要とされる実験計画法や解析原理について解説された。また、最近の研究で用いられている新しい脳活動データの解析手法についても紹介された。本講演会では、工学系分野の方だけでなく、医学系、文学系、生物学系の広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、fMRI を用いた脳活動計測の様々なテクニックおよび原理について活発な議論がなされた。

Terahertz Time-Domain Spectroscopy

Universite de Savoie, France

Jean-Louis COUTAZ, Professor

開催日：平成21年7月28日（火）10:00～11:00

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設棟4階 カンファレンスルーム

テラヘルツ帯分光測定法として実用化が進むテラヘルツ時間領域分光法(TDS)の歴史・理論・技術とその応用展開について紹介いただいた。まず、半導体テラヘルツパルス光源のバリエーションと時間分解能律速要因、並びに半導体テラヘルツ検出器のバリエーションと測定感度律速要因が示された。次に、各種半導体・誘電体・有機材料の周波数分散特性・吸収スペクトル、並びに人工周期構造体：メタマテリアルの透過吸収反射特性の測定方法と結果が紹介された。それらの測定結果より、フーリエ変換赤外分光計による周波数分解計測に比べ、30倍以上の高いS/N比とダイナミックレンジが実証された。今後についても、活発な議論が展開された。

Field Effect Transistors for Terahertz Detection

RIEC, Tohoku Univ. on leave from CNRS, Univ. Montpellier, France

Wojciech KNAP, Visiting Professor, Research Director

開催日：平成21年7月28日（火）11:00～12:00

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設棟4階 カンファレンスルーム

電界効果型トランジスタ(FET)のチャネル内に凝集された電子集団の粗密波：プラズマ波は、ゲート長がサブミクロンオーダーでその共鳴周波数がテラヘルツ帯に到達する。この電子集団がテラヘルツ帯電磁波を吸収した場合、プラズマ波の強い非線形性のために、整流効果すなわち検波応答が生じる。本講演では、デバイスモデリングと数値解析、ならびに最近の各種材料システムによって作製された微細ゲートFETによるテラヘルツ波検出の実例を基に、その検出感度特性、雑音性能、偏光特性が具体的に示された。室温動作では、ショットキーバリアダイオードを凌駕する感度特性・応答速度とマイクロボロメータを凌駕する優れた雑音特性が紹介された。今後についても、活発な議論が展開された。

Trends in Terahertz Plasma Wave Devices

Salamanca University, Spain

Yahya Moubarak MEZIANI, Associate Professor

開催日：平成22年3月10日（水）13:00～13:40

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設棟5階 A508室

テラヘルツ電磁放射の検出/放出に二次元電子システムにおける集団的分極振動：プラズマ波を使用できる。本講演では、テラヘルツプラズマ電子波デバイスの研究開発動向と将来展望が述べられた。まず、種々の構造と材料系で作製されたサブミクロントランジスタにおけるテラヘルツ電磁波の検出特性が紹介され、イメージングへの適用可能性が示された。次に、GaAs系材料による2重回折格子型トランジスタとGaN系材料による単一ゲートトランジスタの優れたテラヘルツ波放射特性が紹介された。これらのデバイスを導入することによって、テラヘルツ分光計測装置とイメージ装置の高性能化が進展するものと期待され、今後の展望についての活発な議論が展開された。

非線形線路を用いた高速信号生成制御に関する検討

山形大学大学院理工学研究科，榎原浩一，准教授

開催日：平成22年3月10日（水）13:40～14:20

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設棟5階 A508室

二端子素子を周期装荷した伝送線路をキーデバイスとする高速信号生成制御について最新の研究動向が紹介された。第一の話題は、トンネルダイオード線路を用いた、パルス信号、あるいは発振周波数に制御性のある周期信号を生成に関する。第二は、ショットキーダイオード線路を用いた、パルスの振幅・位相制御に関する。トンネルダイオード線路に、ダイオードのピーク電圧と交わるような形態で電圧波を与えると、ピーク電圧を境にして指数関数モードと正弦関数モードがそれぞれ誘起され、電気信号の生成制御に関わる興味深い波動伝搬特性を呈することが明らかにされた。また、混在右手左手線路にショットキーダイオードを装荷した伝送線路は非線形シュレディンガーソリトンの生成に適することが明らかにされ、その設計論と制御手法が示された。今後の展望を含め、活発な議論が展開された。

共鳴トンネル素子を活かす新しい集積化技術

富山大学大学院理工学研究科, 前澤宏一, 教授

開催日：平成22年3月10日（水）14：20～15：00

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設棟5階 A508室

共鳴トンネルダイオード(RTD)は、超高周波動作が可能な量子効果デバイスであり、その微分負性抵抗特性はテラヘルツ (THz) 領域まで持続することが報告されている。しかし、RTD は二端子素子であるため、入出力分離が困難であること、また、RTD は直流から負性抵抗が存在するため、低周波のスプリアス発振が起りやすいという問題点があった。本講演では、これらの問題を解決するための独自の試みについて紹介された。まず、集積化を容易にする新しいプロセスである FSA (Fluidic Self Assembly) について紹介された。本手法は、微小なデバイスブロックを溶液中に散布し、他の基板上に設けられたリセスに配置するというものである。これによって、容易に完成した集積回路上に RTD を配置することが可能となる。さらに、本 FSA 技術を応用した極短パルス生成回路、発振器、THz 増幅器などの新しい RTD 集積回路の構成法が明らかにされた。回路構成、動作原理から今後の展望まで、活発な議論が展開された。

第 6 章 評価と分析

6. 1 運 営 協 議 会 報 告

第 2 5 回東北大学電気通信研究所運営協議会

日 時：2009年12月2日（水）午後1時30分～午後5時00分

場 所：東北大学電気通信研究所2号館4階大会議室

出 席 者：荒 川 泰 彦（東京大学 生産技術研究所 教授）

太 田 賢 司（シャープ株式会社 取締役専務執行職員
技術担当 兼 知的財産権本部長）

坂 内 正 夫（情報・システム研究機構理事・国立情報学研究所長）

外 村 佳 伸（NTT コミュニケーション科学基礎研究所長）

丹 羽 邦 彦（科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー）

富 田 眞 治（京都大学 物質-細胞統合システム拠点 教授）

吉 田 博（大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授）

今 泉 俊 文（東北大学 理学研究科 副研究科長）

西 関 隆 夫（東北大学 情報科学研究科長）

新 家 光 雄（東北大学 金属材料研究所長）

小 林 広 明（東北大学 サイバーサイエンスセンター長）

通研出席者：矢 野 雅 文（教授）所長

庭 野 道 夫（教授）副研究所長

鈴 木 陽 一（教授）副研究所長

大 野 英 男（教授）ナノ・スピンの実験施設長

中 島 康 治（教授）ブレインウェア実験施設長

坪 内 和 夫（教授）21世紀情報通信研究開発センター長

多田特任教授、室田淳一、外山芳人、中沢正隆、羽生貴弘、白井正文、枝松圭一、沼澤潤二、大堀淳、高木直、上原洋一、石山和志、榊井昇一、玉田薫、末光眞希、八坂洋、加藤修三、の各教授

議 事

- (1) 研究所の活動全般について
 - ① 沿革について
 - ② 理念・目的・目標について
 - ③ 研究体制・組織について
 - ④ 研究員、支援職員数等について
 - ⑤ 教員の充足率、年齢構成について
 - ⑥ 学生数について
 - ⑦ 院生の進路について

- ⑧ 予算、外部資金受入状況について
- ⑨ 共同プロジェクト研究の予算等について
- ⑩ 特許・知財について
- ⑪ 前回運営協議会における主な意見について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- 世界トップレベルの研究拠点では、国際化を進めていくことが大切と思われるが、先ほどのご説明では外国人研究者の数が少ないように思われるので、国際化の推進についてどのように検討していこうとしているのかぜひお聞きしたい。
- 世界トップレベルの研究拠点では外国人研究者の比率を将来的には30%程度確保することが目標とされておりますし、留学生30万人計画も始まりました。しかし、外国人向けの公募を特に実施していることはございませんので、ほとんど応募が無いというのが現状です。
- 省エネの問題について、太陽電池など、むしろエネルギー全般にわたって、さらにこの研究所が取り組む今後の目標・方向性というのがありますでしょうか。あるいは電気自動車も入ってくるかもしれませんし、コミュニケーションの今後の省エネについてお聞かせ願いたい。
- ご指摘のように、東北大学の電気情報系全体として、エネルギーの問題に関する研究科・専攻等の設置を検討しております。エネルギーについては作る方法と使う方法の2種類あるのですが、後者の制御システム等に関して研究しており、新しい方法でパラダイムを変えていかなくてはいけないと考えております。
- 車と車の間の通信ですとか、あるいはさらにもう少しパーソナルな空間の通信等について、極めて重要な将来の情報通信問題だと思っております。そういった観点から、光と無線の融合を1つの大きな柱として進んでおりまして、特にテラヘルツ技術につきましては近距離への通信応用ということで、研究所としても非常に力を入れております。
- 研究体制のところで、研究部門や研究センター・施設等との関係につきまして、「20年ホライズン」「10年ホライズン」というご説明がありましたが、この辺の関係というのは、例えば20年ホライズンで行っているものでも、どこかの時点で10年ホライズンに変更するようになされているのでしょうか。あるいは全く個別に違うものなののでしょうか。
- 教授の在職年数は約20年程度ですので、その意味で研究部門としては20年程度ということ掲げております。その中で次世代につながるようなものを生み出す卵みたいなところ（萌芽）がございましたら実験施設の方に移行していき、その実験施設の中で次のパテントを取ったり、ある程度実用化に向けての研究が進みましたら、そこで実用化研究を5年ぐらいで実施することを目的としています。
- 学生の進路について、平成20年度の「その他」が多いのですが、何か理由があるのでしょうか。例えば、グーグル等外国の企業に沢山就職してしまうことなどの理由があるのでしょうか。
- そこまで把握しておりません。
- 電気系と情報系の学生では余り融合しないで、ほとんど交流しない傾向にあると思うので

すが、何か教育方法や対策等がございますか。

- 多分東北大学の特殊事情だと思いますが、電気情報系という形で4学部を私たちの東北大学の電気情報系の教員が同じ教育をしております。したがって、学部の入り口が違うという違和感が最初からない傾向があり、講義に関しましてはかなり共通に全部とれるようにしてありますので、見かけ上はきれいに分かれておりますけれども、実質的には逆に壁はかなり低いという運営をしております。
- 受託研究費の構成の割合は、公的機関と民間との共同研究でどのくらいでしょうか。
- 受託研究費は主に国費の割合が多いです。

(2) 研究所重点領域と学術ロードマップについて

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- 若い研究者を前面に出す体制を、新しい大学体制の中心にお考えいただきたい。
- 研究環境を整えながら、検討を行っております。
- 長期的な視野に立って、電気と情報が融合するテーマ選定の戦略性を検討いただきたい。
- 幅広い研究分野も増えておりますので、研究所名の変更等も検討されているのでしょうか。
- 改組のときにネーミングも含めて議論しておりますが、伝統を受け継いでいくという結論に至っております。
- 人間性豊かなコミュニケーション、無意識通信、社会、環境と調和した技術等を目指していくとすると、技術だけを追求して行くとどうしても見識が狭くなるので、倫理、社会システム、文化等とのコラボレーションとも必要ではないか。
- アカデミックロードマップについて、①社会に問いかけていくようなマップであるとするのか、②あるいは各研究室の研究計画という意味でのロードマップとするのかという位置づけで見方が変わってくると思います。
- 社会に問いかけるマップであると①一つは、各研究部門の枠の中で発展して広がったり重なったりして、枠を越えた全体の流れみたいなものが出てきて初めてロードマップあるいはビジョンというものになるのではないかと思います。②二つ目には、社会のニーズ等もきちんとマップの中に入っていて、どう関係していくのかということが示されると、ロードマップとして、あるいはアカデミックロードマップとして意味が出てくると思います。
- 大学の研究室あるいは大学の研究所としての、フロントバック的なものがここでは非常に重要であり、途中でいろいろな物が生み出されるというのが重要であると考えているので、それが何らかの形で込められると大学の研究所のマップとして良いのではないかと考えます。
- アカデミックロードマップを目指して作成しましたが、初めての試みですので、今後ご意見等を反映した改訂を行っていく予定です。
- 我々もこのようなロードマップを作成しましたが、「総花的」とよく言われます。やはり世界レベルで考えたときに、1つの研究結果の中での期待される分野等があると分かりやすくなり、ユニーク性という意味での特徴が出るのではないかと考えるので、ぜひ検討して

いただきたい。

- 個別に上げていけば幾つかありますが、所としての検討はしていないので、ぜひ今後検討したいと考えます。
- 企業の立場から見ても、今後アカデミーがどう動いていくのか参考になります。

(3) グローバルCOE「情報エレクトロニクスシステム教育研究拠点」について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- グローバルCOE同士で何か連携した教育等のアプローチはやっておられるのでしょうか。
- 東北大学のグローバルCOE運営委員会で検討を行っており、他大学との交流等について来年度予定しております。

(4) 最先端研究開発支援プログラム

「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- 汎用目的のものを指向されているのでしょうか。ロジックメモリはスペシャルパーパスで開発なされておるかと思われませんが。
- スペシャルパーパスのものから入りますが、どこまで汎用に置き換えることが出来るかということを目指しています。

(5) 共同利用・共同研究拠点について

- 1) 拠点としての研究所体制について
- 2) 共同プロジェクト研究 (A・B)
- 3) 組織間共同研究 (S)

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- 共同利用・共同研究の予算が、少し足りないのではないのでしょうか。
- 競争的資金の間接経費を、特定のところに集中して使用することはしていないのですか。
- 制度上は可能です。ただし、現在一番問題となっているのは、法人化時点での定員減やその後の人件費の削減です。長期的な人事経費の確保が難しく、将来ビジョンにも影響しております。
- 現在の評価システムに問題があり、費用対効果や市場原理による短期間の評価の仕方は好ましくないのではないかと考えます。大学の中でもう少し自由度を確保し、研究者の自由な発想を尊重して、それを生かせる研究環境というのを大学としてはつくらなくてはいけないものと考えます。

(6) その他

- 人間性豊かなコミュニケーションの実現が目的となっていますが、始めにあって欲しい社会システム、デザインというのは、文系・社会科学的な要素が必要なのではないのでしょうか。
子供や女性も含めて人間性豊かなコミュニケーションを実現する社会はどういうものかということを示さないで、せつかく最終的に先端的な実用化が行われても、社会が受け入れられなければ産業としては全く成立しないことになるのではないのでしょうか。
- 今の情報通信がこれだけ発達したときに、一番被害を受けているのが子供とか年寄りとか、物すごくストレスの強い社会になってしまったと思います。それは便利ではあるけれども、決して豊かな生活を保障しているものではないということになってきます。そういう意味で、技術の発達と人間の生活が豊かになることが必ずしも一致していない。それをこれまでは経済的な発展を進歩だと思っていたところがありましたが、人間性豊かというのは我々が人間の個性というか、それを生かしながらコミュニケーションをキッチンとできるような社会をお互いに理解し、自分を主張できる社会をサポートする、そういう意味の情報通信技術というのが多分これから重要になってくるだろうと考えております。
- これからは、リアルワールドとの接点在实际非常に問題になってくると言われております。そういう意味でも要素新技術あるいは要素処理技術というものを本当に真剣に考えなくては行けない。そうするとパラダイムそのものが変革をしなくては行けない、そういう時代に来ているかもしれません。情報通信はそういう意味では非常に大きな問題もあるし、大きな危機感を持って臨んでいるというのが現状です。
- 電気通信研究所も以前はかなりハードウェア、デバイス寄りだったのですけれども、情報通信寄りに分野構成も徐々に変えてきております。今後はサービスサイエンス、コンテンツ、あるいは医療、福祉等も重要と考え、研究分野も幾つか増やしております。
- 重要なのは社会的な視点とか将来的な視点で戦略を立てるときに、横軸にビジョンやターゲットを議論しますが、同時に、二次元の軸で、今ここの研究所が持っているCOE性やポテンシャルというものを合わせて、その二次元の中で戦略を議論していかなければと考えます。
- 社会的に発信していることとか研究所の役割はどうかという部分と、それを研究する人たちがどう思うのかという両面があると思います。両方へのメッセージの発信のつもりで要素案を書いたり目標を書いたりするのが良いのではないのでしょうか。さっき立ち位置を確認するとのお話がありましたが、それも含めて、社会に対して今の自分の研究はどうかと考えることが重要なのではないのでしょうか。
- 学術の流れの中で、優れた研究者を多く呼び寄せて発展していくということが1つあります。他方、若い研究者が育つ中で、自分が全く従来世の中で考えられてないような分野を切り開いていくという、時間をかけて、そういうことも組織にユニーク性を持たせるためには必要であると考えられるわけです。その観点から言いますと、確かに大部分の研究所あるいは大学での講座制に近いものをしていっているわけですが、10%なり20%ぐらいですか、准教授独立あるいは研究室制度をとっていくというような試みをされるようなことはお考えになりませんか。
- ご指摘のように、今まさにその設計をやっております。

- 大きなプロジェクトでしたら1つの研究室だけじゃなくて、合同でやった方が良い研究もあるかもしれませんので、いろいろな形で適性を見て組織というのは運営していくのが良いのではないかなと思います。
- 現在定年を迎える教授が多いので、後の将来構想の中で、どの教授のポストをどういうふうに転換していくかというのを組織的かつ戦略的に検討するのがよろしいのではないのでしょうか。
- 伝統を引き継ぐ研究者と外部からの研究者の招への割合は、50・50ぐらいの割合が一番、研究所が活性化するものと考えております。また、分野をまたいで自由に議論できて、研究の相談もできるという環境をつくるのが大事と考えます。
- 法人化以降、書類書き、申請書書き、自己評価等の業務で教員が物すごく忙しくなりました。まず自由な雰囲気を持つための時間を一般教員に与えるような工夫が一番重要と考えます。
- 女性研究者の進出が非常に少ないのではないかという問題がありますが、女子学生の少なさやドクターへの進学率が低いことが影響して、難しい問題です。
- 自分の分野だけでわかっていてもだめで、他の分野の人にどれだけ重要性がわかってもらえるかということもすごく大事だと考えます。国費を使って研究する立場では、うまく社会に発信していくという仕組みが非常に大事で、そういうことも意識に入れて経営していただければと思っております。

議長のとめ

私としては非常に有意義な、いろんな意見を聞かせていただきまして、通研の重要性を改めて認識させられました。

ただ、もう少し、グローバル化やオープンイノベーション、標準化等の議論もいつかできれば良いのではないかと感じました。

どうも長時間ありがとうございました。

6. 2 過去の運営協議会委員名簿（外部者のみ）

委員名	任期(年度)
相磯秀夫	1998～1999
青木利晴	2004～2007
青野正和	2007～現在
浅井彰二郎	2000～2003
浅見徹	2004～2005
甘利俊一	1996～2001
荒川泰彦	2008～現在
有信睦弘	2004～2007
飯島澄男	2002～2003
飯田尚志	2000
伊賀健一	2004～2006
池上徹彦	1996～1999
池上英雄	1996～1999
池田克夫	2000
石井健一郎	2002
一村信吾	2009～現在
伊藤龍男	2000～2001
今井秀孝	2001
植之原道行	1994～1999
宇理須恆雄	1994～1995
榎並和雅	2004～2005
大須賀節雄	1996～1999
太田賢司	2009～現在
大槻幹雄	1994～1995
大星公二	2000
大森慎吾	2006～2007
岡部洋一	2002～2003
笠見昭信	2000～2001
梶村皓二	1998～1999
片桐滋	2005～2007
久保田啓一	2008～現在
國尾武光	2008～現在
久間和生	2008～現在
児玉皓雄	2000
後藤俊夫	2002～2003
古濱洋治	1995～1999
小林直人	2004～2008
坂内正夫	2000～2001 2006～現在
榊裕之	2004～2006
塩見正	2001～2005
下澤楯夫	2002～2003
進藤秀一	2000～2001
管村昇	2003～2004
武市正人	2004～2007
田中英彦	1994～1995

委員名	任期(年度)
谷岡健吉	2006～2007
谷口健一	2001～2003
田村浩一郎	1995～1997
東海林惠二郎	1994～1997
外村佳伸	2008～現在
富田眞治	2008～現在
富永昌彦	2008～現在
中村道治	1996～1999
長尾眞	1994～1997
西尾章治郎	2008～現在
丹羽邦彦	2008～現在
平石次郎	1994
廣田榮治	1996～1999
三宅誠	2002～2003
山崎攻	2000～2001
山田宰	2000～2001
山田敏之	1998～1999
横山直樹	2002～2007
吉田博	2007～現在
吉村和幸	1994
渡辺久恒	2000～2003

第 7 章 結 言

結言

全国“唯一の XX 研究所”などとよく使いますが、元々附置研究所は大学の特色を生かしながらも、その研究分野に関してはオーバーラップのない組織を作り上げてきたもので、唯一という言葉はそんなに力強く響きません。それは企業の研究所、国立・私学研究所などを含めると競争相手は沢山あり、その中で一番になるのは中々難しいからであります。しかしその中で、伝統と文化を生かして、他の組織にはまねの出来ない大学特有の深い知識に根ざした次世代の産業基盤を作ることが附置研究所にとって大変重要に思います。

東北大学電気通信研究所は弱電から創始したデバイスの強い研究所ですが、今ではそれにソフトウェア部門を加え、デバイスからソフトウェアまで幅の広い研究を展開しております。昨年の秋には東京フォーラムを「脳の科学と情報通信」という形で開催し、多くの参加者があり好評を博しました。例えば、目の画像処理やリアリティのある音場空間の実現のためには、それに即した DSP や LSI が必要です。我々はそれらが包含された形での新たなシステムを世の中に提案していきたいと思えます。確かにデバイスとソフトの融合と言うのは大変難しく、「言うは易く行うは難し」です。しかし難しい分野ですから戦略を練っていろいろな角度から攻めていきたいと思えます。失敗も多いかも知れませんが、20年先の地球の文明に大きく役立つような新たな方向が見い出せたらと思っています。

そのために20以上の研究室からなる4大研究部門の壁を越え、新たな形で異分野融合が出来るように工夫を凝らし始めました。ナノ・スピンおよびブレインウェアの2施設もシステム展開が図れる機動力のある組織にしていきたいと思えます。また、助教や准教授など若手が飛躍できるようなプログラムも考え始めています。

これをお読みになって、「これではそのような新たな方向がよく見えない」とか、「これが面白いのでは」と言うようなご意見・ご提案を頂きましたなら望外の幸せであります。今後ともご指導・ご鞭撻の程、宜しく願い申し上げます。

資 料 編

第1章 予算の概要

本研究所の予算の概要

単位：千円

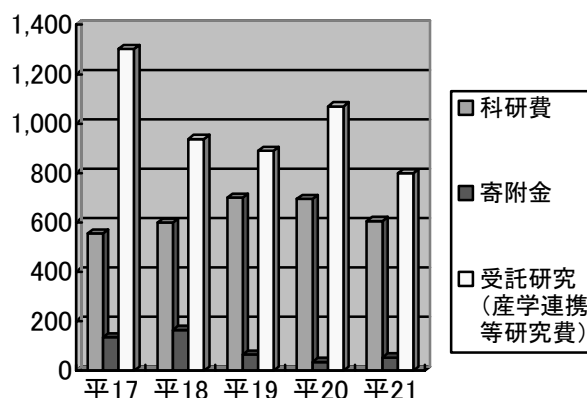
	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
人 件 費	984,113	971,482	970,961	879,481	1,026,511
物 件 費	1,050,647	927,090	813,724	953,000	1,562,318
寄 附 金	134,002	163,591	64,818	34,265	51,954
共同利用研究 施設運営費	37,309	35,893	35,833	34,722	34,675
施設整備費	0	0	0	185,000	760,000
その他物件費	879,336	727,606	713,073	699,013	715,689
産学連携等研究費	1,303,028	937,441	888,833	1,069,832	798,053
計	3,337,788	2,836,013	2,673,518	2,902,313	3,386,882
科学研究費補助金	554,680	599,040	700,615	694,883	605,100
合 計	(1,991,710) 3,892,468	(1,700,072) 3,435,053	(1,654,266) 3,374,133	(1,798,980) 3,597,196	(1,455,107) 3,991,982

※その他物件費は、経常的な物件費及び各種旅費を計上。

※合計欄の上段（ ）書きは競争的研究資金の合計で内数。

本研究所の過去5年間の予算は上の表に示したとおりである。この内容を平成21年度について大まかに分析すると、その他物件費約7.2億円の中の1.6億円がナノ・スピン実験施設の維持運営費、0.9億円がIT21センターの維持運営費、1.4億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費、2.0億円が営繕費・その他の経費であり、この外、各研究分野で研究費として使用した経費としては、大学運営資金として1.3億円であった。各研究分野に配分された研究費（1.3億円）に、科学研究費補助金6.1億円、寄附金0.5億円、及び産学連携等研究費8.0億円を加えた総額15.9億円が直接の研究経費として各研究分野で使用された。直接研究経費に占める大学運営資金の割合は8.2%である。平成20年度の直接研究費総額は19.3億円で、平成21年度は対前年度比約17.6%の減少となっている。これは、産学連携等研究費及び科学研究補助金の減少によるものである。受託研究、科学研究費補助金、寄附金等による外部資金の導入は、本研究所の研究活動を一層充実させるために不可欠であるとともに、研究所の活性度を反映する指標でもありと考えられる。

右に示した過去5年間のグラフに見るように、これら3種の予算は年度により若干の増減があるものの高い水準を維持している。特に受託研究については、提案型受託研究及びプロジェクト型研究の増加によるところが大きく、本研究所の全国共同利用型研究所としての活性度、また、その役割の重要性が更に増していることの証であると考えられる。



1. 1 競争的資金の獲得状況

1. 科学研究費補助金及び助成金

(1) 科学研究費補助金

・文部科学省（日本学術振興会含む）

研究代表者

単位：千円

研究種目	氏名	2009年度 交付金額	補助金総額	研究課題名	採択年度
学術創成研究	枝松 圭一	51,870	382,100	超高効率量子もつれ光源および検出器の創成と量子もつれ回復プロトコルの研究	2005
特別推進研究	長 康雄	103,870	204,200	非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録	2006
	鈴木 陽一	114,920	344,500	マルチモーダル感覚情報の時空間統合	2007
特定領域研究	矢野 雅文	10,400	83,000	大脳皮質運動関連領域が創る「見なし情報」による随意運動制御	2005
	櫻庭 政夫	7,600	41,200	IV族系量子デバイス製作のための原子層制御プラズマプロセスの構築	2006
	中島 康治	3,300	42,600	局在電磁波による高速信号伝送を利用した単一磁束量子フーリエ変換回路の研究	2006
	白井 正文	4,400	15,800	高効率スピン源の理論設計	2007
	大野 裕三	14,500	43,500	半導体量子構造における核スピンの光制御・検出	2007
	大野 裕三	3,900	12,600	スピン流と光物性調整班	2007
新学術 領域研究	小坂 英男	5,590	8,600	光子と電子の動的スピン量子相関	2009
基盤研究(S)	尾辻 泰一	18,980	101,300	低次元プラズモンの分散制御を利用した電磁波伝搬モード型回路の研究	2006
	中沢 正隆	41,990	141,500	繰り返しと光周波数を同時安定化した GHz 帯モード同期パルスレーザの実現とその応用	2009

研究種目	氏名	2009年度 交付金額	補助金総額	研究課題名	採択年度
基盤研究(A)	白鳥 則郎	9,360	37,500	人・社会・環境と情報システムが共生するためのネットワークコンピューティング技術	2007
	室田 淳一	16,120	36,600	CVD 原子層積層による高キャリア濃度・高異動度IV族半導体人工結晶の創成	2007
	大野 英男	4,940	26,200	InAs 量子カスケードレーザの次元生の制御とその効果	2007
	庭野 道夫	19,760	38,900	非標識バイオ計測を目指した3次元表面ナノ構造設計	2008
	坪内 和夫	6,760	35,800	超高速無線通信制御用DSPの開発	2008
	小坂 英男	24,570	36,200	半導体量子ドットにおける単一電子スピン状態のトモグラフィ測定と任意光制御	2009
基盤研究(B)	中島 康治	2,600	14,600	大規模結合高次アクティブシリコンニューロンの試作による人工ブレインの構成的研究	2006
	栢 修一郎	3,380	14,300	運動機能サポートシステムの開発	2007
	櫻庭 政夫	6,240	14,200	室温動作を可能にするIV族半導体量子デバイスの製作	2007
	四方 潤一	2,470	14,700	局所電場制御によるテラヘルツ帯バイオフォトニクスの研究	2007
	松倉 文礼	5,330	14,300	強磁性半導体中の電流誘起磁壁移動	2008
	玉田 薫	12,090	14,900	プラズモニックナノシート：ナノ近接場界面の創出と応用探索	2009
	木村 康男	12,740	15,000	陽極酸化セルフアライン室温動作単電子トランジスタ	2009
	栗木 一郎	9,880	14,400	視覚情報の脳内での分離・統合に関する研究	2009

研究種目	氏名	2009年度 交付金額	補助金総額	研究課題名	採択年度
基盤研究(B)	末光 眞希	17,160	15,100	Si (110) 表面ステップ挙動の解明と Si 上グラフェンナノリボンの自己組織的 形成	2009
	吉田 真人	6,240	13,300	1. 1 μ m 帯 VCSEL を用いたパルス光源 技術および高速光伝送技術に関する研 究	2009
基盤研究(C)	外山 芳人	1,430	17,600	定理自動証明に基づくプログラム変換 システムの研究	2007
	青戸 等人	1,430	2,800	リップリング法と書き換え帰納法を融合 した定理自動証明法の研究	2008
	菅沼 拓夫	1,040	3,500	ウェルエイジングミドルウェアにおける 中・高齢者支援のための領域オントロジ 技術	2008
	岩谷 幸雄	1,300	3,500	インタラクティブ音空間システムの構築	2008
	牧野 梯也	1,430	2,400	時間次元を用いた匂い情報表現:濃度 不変性と分類の時間-精度トレードオフ	2009
	沢田 浩和	2,730	3,600	ミリ波 Vehicle Area Network (VAN) 伝送技術の研究	2009
挑戦的 萌芽研究	白鳥 則郎	600	3,200	ネバー・ダイ・ネットワーク:環境の悪化に 耐えて稼働するネットワークを目指して	2007
	中島 康治	1,000	3,000	ジョセフソン逆関数遅延ニュートラルネッ トワーク	2007
	末光 眞希	900	3,500	新奇量子構造SiGeナノハットおよびナ ノリングの自己組織的形成	2008
若手研究(S)	廣岡 俊彦	25,870	76,900	超高速光パラボラパルスの発生と光伝 送・信号処理への応用	2009
若手研究(B)	坂本 修一	2,340	3,300	話者映像及び話声を含む感性情報を 考慮した高精度高感性視聴覚音声提 示システムの構築	2008
	三森 康義	2,210	3,300	半導体量子ドットにおける多光波混合 による位相緩和抑制制御	2008

単位：千円

研究種目	氏名	2009年度 交付金額	補助金総額	研究課題名	採択年度
若手研究(B)	小野美 武	1,040	2,600	単一磁束量子論理回路によるストカステイック論理ニューロ演算のハードウェア化	2008
	吹留 博一	2,470	3,300	固液界面を反応場として用いた有機結晶成長の完全制御と電子デバイスへの応用	2008
	夏井 雅典	1,430	3,300	製造ばらつきフリー高信頼多値 VLSI の系統的設計法の構築	2009
	松宮 一道	4,030	3,600	異種感覚情報による手の操作機構	2009
	寺本 渉	2,990	3,100	広視野視覚運動情報によって形成される聴覚空間の歪みの検証	2009
	平永 良臣	1,300	3,400	次世代超高密度記録デバイスのための非線形誘電率顕微鏡による強誘電体薄膜のナノ計測	2009

2. 受託研究費
研究代表者

単位：千円

機 関 名	氏 名	研 究 課 題	2009 年度 研究費
文部科学省 (次世代 IT 基盤構築)	大野 英男	高機能・超低消費電力スピンドバイス・ストレージ基盤技術の開発	326,765
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	白鳥 則郎	ネットワークモビリティをサポートする新世代ユビキタスネットワーク監視フレームワークに関する研究開発	5,938
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	石山 和志	ガーネットを利用した高分解能高周波磁界測定システムの開発	15,293
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	坂本 修一	軸対称型収音装置を用いた高精度・高感性バーチャル音空間創成システムの構築	11,746
総務省 (戦略的情報通信研究開発推進制度)	小坂 英男	室温固体素子を用いた量子中継器実現へ向けた研究開発	14,646
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	松本 敦	ネットワークオンチップ構成における多値・非同期式ネットワークに関する研究	17,550
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	尾辻 泰一	「グラフェン・オン・シリコン革新材料プロセスデバイス技術の開拓」の中の「グラフェン・オン・シリコン (GOS) デバイスならびにプラズモン共鳴型 GOS (PRGOS) テラヘルツデバイス技術の開発」	20,778
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	末光 眞希	「グラフェン・オン・シリコン (GOS) プロセス技術の開発」	22,470
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	坪内 和夫	「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」の中の「オール Si CMOS RF デバイス・回路の開発」	101,400
(独) 科学技術振興機構 (戦略的創造研究推進事業)	小坂 英男	量子状態転写の実証実験	40,287

単位：千円

機 関 名	氏 名	研 究 課 題	2009 年度 研究費
(独) 科学技術振興機構 (戦略的国際科学技術協力推進事業)	大野 裕三	強磁性体／半導体接合からなる面内スピ ンバルブにおける効率的なスピ ン電圧／電流 の生成	9,112
(独) 科学技術振興機構 (重点地域研究開発推進プログラム) (育成研究)	加藤 修三	携帯電話に搭載可能な超高速通信用ミリ波 ビームフォーミングアンテナの研究開発	25,000
(独) 科学技術振興機構 (重点地域研究開発推進プログラム) (シーズ発掘試験)	柁 修一郎	3次元非接触型ヒューマンインターフェ ースの開発	2,000
(独) 日本学術振興会 (先端研究拠点事業形成型)	中沢 正隆	超高速光通信に関する拠点形成	17,600
(独) 情報通信研究機構	岩谷 幸雄	革新的な三次元映像技術による超臨場感コ ミュニケーション技術の研究開発	3,465
(独) 日本学術振興会 (先端学術研究人材養成事業)	加藤 修三	超高速屋内ブロードバンド無線通信システ ム	26,740
(独) 情報通信研究機構	鈴木 陽一	革新的な三次元映像技術による超臨場感コ ミュニケーション技術の研究開発	1,000
TDK(株)テクノロジーグループ SQ 研究所	村岡 裕明	熱アシスト記録における記録・再生磁化過 程に関する研究	3,000
(株) 富士通研究所	長 康雄	走査型非線形誘電率顕微鏡技術	1,500
(株) ムサシノエンジニアリング	島津 武仁	電子部品、デバイスの真真空気密封止を行う 為の室温原子拡散接合技術の開発	6,000
(財) みやぎ産業振興機構	柁井 昇一	自律型ロボット用高性能ADコンバータデジ タルアシストの研究開発	1,540
国土交通省 国土技術政策総合研究所	犬竹 正明	リアルタイム画像生成合成開口レーダの実 用化に関する技術開発	17,000

予算の概要

(独) 科学技術振興機構	玉田 薫	トップダウン／ボトムアップ融合による次世代プラズモンセンサの開発	4,821
(独) 科学技術振興機構	大野 裕三	半導体量子構造におけるスピン流の生成・検出と電子・核スピンドYNAMIKSの解明	19,500

3. 民間との共同研究

〈研究経費あり〉

単位：千円

機 関 名	氏 名	研 究 課 題	2009 年度
			研究費
(独) 科学技術振興機構	枝松 圭一	多光子波束による物質の非線形光学応答	4,545
日本電気(株)	矢野 雅文	先端理論のネットワーク運用管理への適用方法の研究	3,675
トヨタ自動車(株) (株)豊田自動織機 アイシン精機(株)	島津 武仁	原子拡散接合に関する研究開発	1,320
(株)日立製作所	島津 武仁	エネルギーアシスト用高 Ku 磁性薄膜技術の開発	2,420
京セラキンセキ(株)	島津 武仁	水晶デバイス用接合技術の開発	2,710
パナソニック(株)セミコンダクター 社半導体デバイス研究センター	尾辻 泰一	プラズマ共鳴デバイスに関する研究	990
エム・イー・エス・アフティ(株)	室田 淳一	ECR 成膜法によるIV族半導体薄膜の形成	1,000
(株)日立国際電気研究開発本部 半導体装置システム研究所	室田 淳一	固相成長による新構造メモリ向け基盤作製技術	2,000
(株)富士通研究所	榊井 昇一	Mixed-Signal Platform の研究	10,000
日本電気(株)	坪内 和夫	屋内ミリ波 MIMO 用の伝搬モデルの調査・適用の検討	1,575
(株)富士通研究所	中沢 正隆	超高速光信号処理技術	3,000
(株)日立製作所基礎研究所	大野 英男	強磁性体を応用したスピンドバイスの研究	3,600
パナソニック(株)デジタル・ネットワ ーク開発センター	鈴木 陽一	次世代両耳連携補聴方式に関する基礎的研究	2,010
日本電信電話(株) フォトリクス研究所	八坂 洋	半導体光デバイス高性能化の研究	3,300
日本電気(株)	青木 輝勝	映像創成コミュニティの研究	2,619
(独)物質・材料研究機構	枝松 圭一	多波長直交偏光光子対光源の研究	500
ソニー(株) コアデバイス開発本部	塩入 諭	奥行き知覚の定量化及びモデル化に関する研究	7,535

予算の概要

単位：千円

機 関 名	氏 名	研 究 課 題	2009 年度
			研究費
シャープ(株)	庭野 道夫	微生物検出に関する技術開発	1,000
日本電信電話(株) サイバースペース研究所	鈴木 陽一	高精細音空間創生に向けた音響データ収集・解析	2,970
トヨタ自動車(株)	塩入 諭	高齢者の認知能力を向上させる HMI 技術の研究	28,857

〈研究経費なし〉

機 関 名	氏 名	研 究 課 題	2009 年度
			研究費
(独)産業技術総合研究所	上原 洋一	ストレージ材料のナノスケール光電子物性評価法の確立	-
(独)産業技術総合研究所	枝松 圭一	超伝導光検出技術の量子情報デバイスへの応用と微弱光計測標準技術の構築	-
(独)産業技術総合研究所	岩谷 幸雄	ロボットのための仮想音空間生成に関する研究	-
(独)情報通信研究機構	石山 和志	高周波磁界計測手法の開発研究	-
(財)国際超電導産業技術研究センター (独)産業技術総合研究所	中島 康治	SFQ 回路による高速フーリエ変換技術	-
日本電気(株)	羽生 貴弘	不揮発性論理回路の高度化に関する研究	-
(独)日本原子力研究開発機構 (独)産業技術総合研究所	末光 眞希	次世代半導体デバイスへの応用に向けた基礎材料に関する研究	-
セイコーエプソン(株)	玉田 薫	トップダウン/ボトムアップ融合による次世代プラズモンセンサの開発	-

〈民間等共同研究員〉

機 関 名	氏 名	研 究 課 題	2009 年度
			研究料
日本ユニサテイスエレクトロニクス(株)	犬竹 正明	高集積回路に関する研究	630
(株)半一	庭野 道夫	半導体デバイス材料の特性評価	420
NECトーキン(株)	末光 眞希	電子材料における有機構造解析に関する研究	420
アルプス電気(株)技術本部	庭野 道夫	新規酸化チタン材料の製造技術開発	420

1. 2 非常勤研究員経費

単位：千円

事 項	実 績 額	備 考
非常勤研究員経費	26,749	受入人数 5名

1. 3 奨学寄附金の受け入れ

AOARD：アジア宇宙航空研究開発事務所／AFOSR：米国空軍科学技術局		
JSR（株）		
アドバンスデザイン（株）		
アルプス電気（株）		
（株）Wave Technology		
（株）アドバンテスト研究所		
（株）タキオン		
（株）日立製作所中央研究所		
（財）石田記念財団		
（財）電気通信工学振興会		
（財）放送文化基金		
情報ストレージ研究推進機構		
新日本製鐵（株）技術開発本部 鉄鋼研究所		
ソニー（株）先端マテリアル研究所材料解析センター		
タカノ（株）		
田中貴金属工業（株）		
中央電子（株）		
東日本電信電話（株）		
日立電線（株）技術本部 技術研究所エレクトロニクス研究開発センタ		
計	26件	51,953,500円

第2章 研究・学会活動状況

2. 1 国際活動

区 分	2005年度	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	合 計	
海外派遣状況 (人数)	131	236	157	134	170	828	
国際的研究集会・学会等での招待講演者数 (人数)	66	54	74	76	112	382	
国際共同研究の実施状況 (件数)	15	22	33	41	39	150	
外国人研究者の来訪状況 (人数)	1か月以上滞在	3	8	3	4	3	21
	1週間以上	7	13	5	8	19	52
	1か月未満						
外国人客員研究員の受入状況 (人数)	1	2	3	1	2	9	
外国人教員の受入状況 [客員教授・客員准教授] (人数)	4	5	2	5	10	26	

2. 2 発表論文数

区 分	2005 年度	2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	合 計
掲載された論文数						
学 会 誌	196	208	163	189	192	948
国際会議議事録等	180	233	266	256	239	1,174

2. 3 学会役員一覧 (2005～2009年度)

国内学会

学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
映像情報メディア学会	名誉会員	—	中村 慶久
日本磁気学会	名誉会員	2006.5～現在	中村 慶久
電子情報通信学会エレクトロニクスサイエティ	会長	2005.4～2006.3	中沢 正隆
日本音響学会	会長	2005.5～2007.5	鈴木 陽一
日本視覚学会	会長	2007～2009	塩入 諭
情報処理学会	会長	2009～2010	白鳥 則郎
情報処理学会	副会長	2004.5～2006.3	白鳥 則郎
日本音響学会	理事	2001～2005 2007～現在	鈴木 陽一
アメリカ物理学会	理事	2004.1～2005.12	潮田 資勝
日本騒音制御工学会	理事	2000.5～2008.5	鈴木 陽一
日本表面科学会	理事	2006～2009	玉田 薫
日本神経回路学会	理事	2007～現在	中島 康治
日本磁気学会	理事	2009～現在	村岡 裕明
電子情報通信学会	理事	2009～2010	中沢 正隆
日本騒音制御工学会	評議員	2004.5～2008.5	鈴木 陽一
レーザー学会	評議員	2003.6～現在	伊藤 弘昌
応用物理学会	評議員	1999～2007	伊藤 弘昌
応用物理学会	評議員	2008～現在	庭野 道夫
日本磁気学会	評議員	2001.6～2005	村岡 裕明
人工知能学会	評議員	2004.4～2006.3	白鳥 則郎
日本表面科学会	評議員	2001～2007	庭野 道夫
映像情報メディア学会	評議員	2003.4～2005	村岡 裕明
映像情報メディア学会	評議員	2005.4～2007.6	沼澤 潤二
日本磁気学会	評議員	2007～現在	石山 和志
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2006.4～現在	鈴木 陽一
日本ソフトウェア科学会	評議員	2004～現在	大堀 淳
プラズマ核融合学会	評議員	2006～2008	犬竹 正明
映像情報メディア学会	諮問評議委員	2007～現在	青木 輝勝

国際学会

学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
IEEE Computer Society	Vice Chair, Technical Committee on Multiple-Valued Logic	1999.6～現在	羽生 貴弘
IEEE Magnetic Society	Administration Committee	2005～現在	村岡 裕明
IEEE Magnetic Society	Distinguished Lecturer	2009.1～12	大野 英男
IEEE Sendai Section	Chair	2006～2007	水野 皓司
IEEE Sendai Section	Secretary	2006～2007	中沢 正隆
IFIP (International Federation for Information Processing)	日本代表	2004～2005	白鳥 則郎
IRMMW-THz (International Conference on Infrared and Millimeterwaves-THz Electronics)	Chair, IOC	2006～2008	水野 皓司
Optical Society of America	Board of Director at large	2007～	中沢 正隆

2. 4 外国の大学等との学術交流協定締結一覧

1. 部局間協定

代表者	協定校		協定締結年月日	研究課題	協定の主な内容					更新状況
	国名	研究機関名			学生の交流	刊行物の交換	研究指導	共同研究の実施	教官等の交流	
教授 津屋 昇	ポーランド	ポーランド科学アカデミー物理学研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾性結合に関する研究		○	○	○	○	継続
教授 沢田康次	アメリカ	シカゴ大学 ジェームス・フランク研究所	1987.4.27	カオスと乱流		○		○	○	失効
教授 曾根敏夫	タイ	チュラロンコン大学理学部	1987.4.28	都市騒音の実態と住民への影響に関する計測と評価の国際比較による研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	中国	ハルビン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究		○		○	○	失効
教授 水野皓司	イギリス	ロンドン大学 クイーンメアリー・ウエストフィールドカレッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の測定に関する研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	中国	深圳大学科研処	1987.6.15	計算機ネットワーク構築に関する研究		○		○	○	失効
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェースとエージェントの知的化		○		○	○	失効
教授 山下 努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素子に関する研究	○	○		○	○	失効
教授 山下 努	ロシア	ロシア科学アカデミー通信電子工学研究所	1998.2.23	超伝電子通信デバイスの研究	○	○		○	○	失効
教授 山下 努	中国	南京大学 電子科学技術系	1998.4.16	超伝導ミリ波・サブミリ波デバイスの研究	○	○		○	○	失効
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 情報通信工学部	1998.11.6	ニューラルネットワークと知的情報処理に関する研究	○	○		○	○	失効
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー (IHP)	2000.1.22	IV族半導体極限ヘテロ構造形成プロセスに関する研究		○		○	○	継続
教授 室田淳一	フランス	国立科学研究所 固体材料ナノサイエンス研究センター	2005.10.24	半導体表面・界面制御結晶成長の基礎と応用の研究		○		○	○	継続

教授 大野英男	中国	中国科学院 半導体研究所	2007.4.12	半導体と半導体素子およびスピントロニクス の基礎と応用の研究		○		○	○	継続
教授 加藤修三	アメリカ	ラトガース大学 ワイヤレスネット ワーク研究所 (WINLAB)	2009.12.8	超高速屋内ブロードバ ンド無線通信システム の研究	○			○	○	継続

2. 大学間協定

代表者	国名	協定校	協定締結 年月日	目標	協定締結 のねらい					更 新 状 況
					共同 研究 の 促進	学生 ・ 教 職 員 交 流	国 際 貢 献	地 域 連 携	そ の 他	
教授 大野英男	アメリカ	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	1990.3.15	ナノエレクトロニクス・スピントロニクス 分野および先端材料分 野において国際共同研 究を推進する	○	○				継続
教授 白鳥則郎	タイ	キングモンクット工 科大学 ラカバン校	2004.4.15	共同教育プログラムの 推進、学生交流及び共 同研究の推進	○	○				継続
教授 村岡裕明	イギリス	ヨーク大学	2004.6.7	文化、教育及び科学技 術上の交流の促進	○	○	○			継続
教授 伊藤弘昌	ドイツ	ドレスデン工科大学	2006.6.26	共同研究を促進し、学 生・教職員の交流を活 発に行う	○	○				継続
教授 室田淳一	ドイツ	ベルリン工科大学	2009.8.26	共同研究を促進し、学 生・教職員の交流を積 極的に行う	○	○	○			継続
教授 白鳥則郎 鈴木陽一	台湾	国立清華大学	2009.12.2	毎年数名の教員・学生 の相互訪問により、共 同研究を促進する	○	○				継続
教授 白鳥則郎	フランス	コンピエヌ工科大学	2010.3.15	共同研究を活性化させ、研究者交流と学生 交流を活発に実施する	○	○				継続

2. 5 学振特別研究員及び研究所研究員

日本学術振興会特別研究員

氏名	任用期間	研究内容
田中 健巧	H19.4.1～H22.3.31	強誘電体プローブメモリに関する研究
西谷 雄	H20.4.1～H23.3.31	強磁性半導体電界効果トランジスタの特性に関する研究
松田 信幸	H20.4.1～H22.3.31	弱い光学非線形性をもつ媒質における単一光子誘起位相シフト測定技術の確立とその応用
内海 哲史	H21.4.1～H23.3.31	衛星ネットワークにおける新しいE n d - t o - E n d 輻輳制御に関する研究
葛西 恵介	H21.4.1～H24.3.31	高い周波数利用効率を有する大容量QAMコヒーレント光伝送に関する研究
和泉 諭	H21.4.1～H24.3.31	ポスト・ユビキタス情報環境を目指した共生型知識処理基盤技術に関する研究
小野 真証	H21.4.1～H24.3.31	半導体における核スピンコヒーレンスの制御に関する研究
遠藤 将起	H21.4.1～H24.3.31	強磁性半導体の物性と電界効果素子応用に関する研究
浅川 香	H21.4.1～H23.3.31	視聴覚音声情報の時空間相互作用に関する認知科学的研究
松本 光正	H21.4.1～H23.3.31	150℃級プロセスによるフレキシブルディスプレイ用高結晶性TFTの実現
白濱 弘勝	H21.4.1～H22.3.31	多値回路アーキテクチャとその応用に関する研究

教育研究支援者

氏名	任用期間	研究内容
東海林 篤	H20.4.1～H21.12.31	量子もつれ光源および検出器の開発
笹井 一人	H20.5.1～H21.4.30	情報ネットワーク、ソフトウェアシステム、トラフィック計測・解析、ネットワーク管理、ユーザインタフェース等の情報通信
犬竹 正明	H21.4.1～H22.3.31	民生用合成開口レーダの開発
多田 順次	H21.4.1～H22.3.31	次世代のグローバル・ユビキタス情報通信技術の開発を推進するため、ハード・ソフト両面の研究を融合し、システム化を図る。
長田 俊明	H21.7.1～H22.3.31	ネットワークトラフィックの観測、解析、解析結果のネットワーク管理知識へフィードバック、およびネットワーク管理の実務支援

外国人研究員

氏名	任用期間	研究内容
Katz Brian F.G.	H21. 2. 1～H21. 6.30	臨場感音コミュニケーションの開発に関する研究
Debasish Chakaraborty	H21.4.1～H23. 3.31	ダイナミックネットワーク技術の研究開発
Dietl Tomsz Stanislaw	H21.4.2～H21. 6.16	強磁性半導体の物性とその制御に関する研究
Gaudet Vincent Charles	H21.4.1～H21.6.30	LDPC Decoding Algorithm and Its VLSI Realization に関する研究
Vincent Stuart James Craig	H21. 6.1～H21.7.31	表面プラズモン分光法による吸着のイオン効果に関する研究
Elias Procopio Duarte Junior	H21.6.15～H21.8.15	インターネットの信頼性と、エンドツーエンド透過性とのトレードオフに関する研究
Sergey Filimonov	H21.6.19～H21.8.19 H22.4.1～H22.5.31	超低圧 CVD による Si 上 SiC 成長の理論的研究
Knap Wojciech	H21.7.15～H21.8.21	プラズマウェーブヘルツ電子工学に関する研究
Densil Cabrera	H21.9.27～H21.12.27	高次アンビソニック法を用いた音声の室内音響レンタリングシミュレーションに関する研究
Dominique Coquillat	H21.10.1～H21.10.31	ブロードバンド通信基盤技術研究

2. 6 特別研究員・大学院生の受入状況

区 分	2005年度	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	合 計
特 別 研 究 員	6	7	5	7	11	36
大 学 院 生	234	225	194	200	131	984

2. 7 広報状況と情報公開

開催行事

1. 電気通信研究所国際シンポジウム 「ミリ波国際シンポジウム」 Global Symposium on Millimeter Waves 2009 (GSMM2009)	2009年4月20日(月)～22日(水)
2. 電気通信研究所国際シンポジウム 「マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ」 Mini R.I.E.C. workshop on multimodal perception	2009年4月24日(金)～25日(土)
3. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第4回超高速フォトニックテクノロジーに関する国際シンポジウム」 The 4th International Symposium on Ultrafast Photonic Technologies	2009年8月4日(火)～8月5日(水)
4. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第20回パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウム」 Personal Indoor and Mobile Radio Communications Symposium 2009 PIMRC2009	2009年9月13日(日)～9月16日(水)
5. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第2回 RIEC-CNSI ナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトニクスに関する 国際ワークショップ (第5回スピントロニクス国際ワークショップ)」 2nd RIEC-CNSI Workshop on Nanoelectronics, Spintronics and Photonics (5th RIEC Symposium on Spintronics)	2009年10月22日(木)～10月23日(金)
6. 電気通信研究所国際シンポジウム 「空間音響の原理と応用に関する国際ワークショップ」 International workshop on the principles and applications of spatial hearing 2009 (IWPASH2009)	2009年11月11日(水)～11月13日(金)
7. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第5回新I V族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ」 5th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics	2010年1月29日(金)～1月30日(土)
8. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第6回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ」 6th RIEC International Workshop on Spintronics	2010年2月5日(金)～2月6日(土)
9. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第2回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップ」 2nd International Workshop on Nanostructure & Nanoelectronics	2010年3月11日(木)～3月12日(金)
10. 電気通信研究所工学研究会	随時
11. 電気通信研究所産学官フォーラム	2009年11月18日(水)

出版物

1. 電気通信研究所要覧（和文・英文）	年 1 回発行
2. 電気通信研究所研究活動報告（和文・英文）	年 1 回発行
3. 東北大学電通談話会記録	年 2 回発行
4. ナノ・スピンの実験施設研究報告書	年 1 回発行
5. 電気通信研究所 アカデミックロードマップ 2010	随 時

その他

1. 電気通信研究所ホームページ	公開中
2. 電気通信研究所総覧 Web 公開	公開中
3. 電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中

第3章 論文題目

3.1 修士論文

電気・通信工学専攻

題 目	著 者	指導教員
多関節アームモデルにおける運動姿勢の最適制御	遠藤 一寿	矢野 雅文
スペクトル全体形状に基づく母音知覚モデルの研究	小原 桂二	矢野 雅文
脳における多義的なアモダル補完の計算論に関する研究	熊田 太一	矢野 雅文
上肢到達運動のリアルタイム適応機構の研究	酒井 宏忠	矢野 雅文
シングルキャリア・マルチキャリアハイブリッド無線通信システムの研究	柏村 育郎	坪内 和夫
高速無線通信RFフロントエンド用VCOの研究	タトアン タン	坪内 和夫
半導体レーザの周波数安定化に関する研究	森 杏	中沢 正隆
カーボンナノチューブを用いた超短パルスレーザに関する研究	正田 史生	中沢 正隆
ストレージサブシステムにおけるアクセス最適化の研究	岡田 尚也	村岡 裕明
スタティックテスターによる垂直磁気記録特性評価に関する研究	竜野 良亮	村岡 裕明
磁気弾性薄膜を利用した高感度歪みセンサに関する研究	諏訪 靖明	石山 和志
高電子移動度トランジスタの極限高速化デバイス構造に関する研究	福田 俊介	尾辻 泰一
光励起グラフェンのキャリア緩和・放射再結合過程とテラヘルツレーザー 応用に関する研究	唐澤 宏美	尾辻 泰一
プラズモン共鳴型テラヘルツ波放射デバイスとその分光応用に関する研究	小森 常義	尾辻 泰一
電流モード多値シングルトラック方式に基づく非同期データ転送回路に関 する研究	大竹 遥	羽生 貴弘
MTJ素子を用いた高密度不揮発性TCAMの構成に関する研究	樋山 公之	羽生 貴弘
Many-coreプロセッサ用低消費電力電流モード多値通信方式に関する研究	松浦 貴史	羽生 貴弘

電子工学専攻

題 目	著 者	指導教員
超高速分光法による III-V 族半導体量子ドットの励起子ラビ振動の研究	朝倉 健太	枝松 圭一
顕微ヘテロダイナミクス分光法の開発と微小領域スピンドイナミクスの観測	上平健太郎	枝松 圭一
2 周期直列擬似位相整合素子を用いた量子もつれ光子発生の研究	鈴木 寛史	枝松 圭一
半導体量子構造における電子スピニコヒーレンスの磁気光学的生成および測定の研究	人見 隆太	枝松 圭一
CuCl 励起子共振器ポラリトンの非線形光学応答	松浦 心平	枝松 圭一
強磁性半導体における電流及び磁界による磁壁駆動	神田 明典	大野 英男
高移動度 2 次元電子系におけるスピンドイナミクスの光検出	高橋 卓也	大野 英男
強磁性/非磁性構造におけるスピン流の電氣的検出	福永 淳	大野 英男
イオン液体有機トランジスタの動作機構に関する研究	深瀬 智史	庭野 道夫
表面赤外分光法を用いた非標識細胞活動計測法に関する研究	近藤 康彦	庭野 道夫
ナノポーラス構造を用いた脂質二分子膜センサに関する研究	平良 祐	庭野 道夫
水素終端IV族半導体表面における反応制御に関する研究	宇藤 敦司	室田 淳一
IV 族半導体ヘテロ量子構造形成に関する研究	高橋 邦彰	室田 淳一
非接触走査型非線形誘電率顕微鏡による半導体表面計測に関する研究	長 侑平	長 康雄
間欠接触式走査型非線形誘電率顕微鏡に関する研究	畑中 佑紀	長 康雄
MOS Current Mode Logic の高速化に関する研究	上柳 雅史	遠藤 哲郎
表面プラズモン増強型走査トンネル顕微鏡発光分光	三本木智則	上原 洋一
Si (110) 表面における極薄熱酸化膜形成過程と界面構造に関する研究	鈴木 康	末光 眞希
有機シランを用いたシリコン基板上 3C-SiC 薄膜形成とその表面グラフェン化に関する研究	宮本 優	末光 眞希
常圧プラズマ CVD 法による Si 薄膜トランジスタに関する研究	村重 正悟	末光 眞希
マグネタイト表面および半導体との界面における電子状態に関する理論研究	泉谷 一磨	白井 正文
強磁性ホイスラー合金/非磁性金属積層構造におけるスピン依存伝導に関する理論研究	二川 晃一	白井 正文
スピネル障壁トンネル接合におけるスピン依存伝導に関する理論研究	村本 慎伍	白井 正文

情報基礎科学専攻

題 目	著 者	指導教員
移動ネットワークにおけるネットワーク構成情報の高次処理に関する研究	阿部 春彦	白鳥 則郎
共生型健康支援システムにおけるセンサデータの効果的な獲得手法	小林 有佑	白鳥 則郎
オーバーレイネットワークにおける分散認証に関する研究	中山 誠也	白鳥 則郎
移動ネットワークにおける管理情報の収集制御方式に関する研究	丸山 貴史	白鳥 則郎
等式項書き換え系の合流性判定法	道又 淳一	外山 芳人

システム情報科学専攻

題 目	著 者	指導教員
映像メタデータ自動付与のための映像/Web画像類似度判定に関する研究	関野 真洋	沼澤 潤二
分割スケジューリング手法を用いた高信頼放送型配信方式に関する研究	安里 諒	沼澤 潤二
ザッピング視聴を考慮したオーバーレイ型映像配信システムに関する研究	壹岐勇太郎	沼澤 潤二
フレームベースクラスタリングを利用した高精度映像ショット境界検出に関する研究	梅田 直樹	沼澤 潤二
実写/CG合成アプリケーションにおける実写背景自動モデリング技術に関する研究	清水 大輔	沼澤 潤二
体軸回転に対応した仮想試着システムに関する研究	森 由有	沼澤 潤二
球状アレイを用いた聴取者適応型3次元音場情報取得システム	小玉 純一	鈴木 陽一
頭部伝達関数の全方位高精度合成に関する研究	佐藤 渉	鈴木 陽一
視聴覚空間統合の時間特性に関する研究	藤井 真治	鈴木 陽一
高度な感性を有する提示情報の評価法に関する基礎的研究	吉田 和博	鈴木 陽一
頭部運動を伴う3次元音空間知覚に関する研究	増山 友介	鈴木 陽一
視覚的注意モデルの構築とその評価	伊東 孝幸	塩入 諭
視線移動を考慮した自然画像統計解析	田村 隼	塩入 諭
運動検出器の時空間周波数特性に関する研究	原田 智紀	塩入 諭
視覚表象と運動表象の比較	山崎 隆紀	塩入 諭
項書き換え系の合流性判定手続き	村井 正勝	外山 芳人
関数型言語とデータベースの相互運用のための型付きデータベース接続の実現	遠藤 弘基	大堀 淳

論文題目

応用情報科学専攻

題 目	著 者	指導教員
磁束量子伝送線路を用いた高スループット信号処理集積システムに関する研究	桜庭 栄	中島 康治
欠損を含むシルエット画像列からの人物行動認識手法に関する研究	植田 大介	木下 哲男
能動化された知識の組織化によるネットワーク障害管理支援に関する研究	高橋 優介	木下 哲男
能動的情報資源に基づくネットワークトラヒックの協調的分析機構に関する研究	三杉 大輔	木下 哲男

3. 2 博士論文

電気・通信工学専攻

題 目	著 者	指導教員
不揮発性ロジックインメモリ集積回路とその応用に関する研究	松永 翔雲	羽生 貴弘
TMR ロジックに基づく高機能・低消費電力 FPGA の構成に関する研究	鈴木 大輔	羽生 貴弘
SWAP 法によるアモルファス軟磁性粉末の作製とその加圧成形磁心の磁気特性に関する研究	大塚 勇	石山 和志
二次元プラズモンの分散制御を利用したテラヘルツ帯電磁波放射・変調デバイスに関する研究	西村 拓也	尾辻 泰一
超高速無線通信システムの研究	トラン ハオ ゴク	坪内 和夫
FBARを用いた無線通信用RFデバイスの研究	谷藤 正一	坪内 和夫
移動体通信用受信アナログRFフロントエンド回路に関する研究	谷口 英司	坪内 和夫
低電圧駆動大容量メモリ回路の研究	俣野 達哉	坪内 和夫
適応的電流パス制御に基づく低消費電力電流モード多値 VLSI に関する研究	白濱 弘勝	羽生 貴弘
イオン照射法によってパターニングされた CGC 型垂直磁気記録媒体の記録再生特性に関する研究	安森 順一	村岡 裕明

電子工学専攻

題 目	著 者	指導教員
A Study on GaAs/AlGaAs Terahertz Quantum Cascade Lasers(GaAs/AlGaAs テラヘルツ量子カスケードレーザに関する研究)	林 宗澤	大野 英男
電界効果による強磁性半導体の磁性制御に関する研究	西谷 雄	大野 英男
常圧プラズマ CVD 法による Si 系薄膜形成に関する研究	松本 光正	末光 眞希
強誘電体ナドメインエンジニアリングによる高密度データストレージシステムの開発に関する研究	田中 健巧	長 康雄

情報基礎科学専攻

題 目	著 者	指導教員
共生コンピューティングに基づくグループ学習の知的支援に関する研究	宮本 俊光	白鳥 則郎

システム情報科学専攻

題 目	著 者	指導教員
音情報の Multiple description 符号化に関する研究	魏 浩石	鈴木 陽一
視聴覚情報による空間知覚に関する研究	姜 大基	鈴木 陽一

論文題目

応用情報科学専攻

題 目	著 者	指導教員
創造的活動における知識の組織的な活用方法に関する研究	南野 謙一	木下 哲男
疑似投票方式に基づくハイブリッド型情報推薦システムに関する研究	宇田 隆幸	木下 哲男

第4章 受章・受賞

4. 1 本年度の受章・受賞者

賞名	氏名	所属分野・部・センター	業績
平成21年度科学技術分野 文部科学大臣表彰科学技術 賞「研究部門」	白鳥 則郎	コミュニケーションネットワ ーク研究分野	コンピュータネットワークの高次管理技術に関 する先駆的研究
Global Symposium on Millimeter Waves 2009 (GSMM2009) Best Student Paper Award	吉田 賢史	先端ワイヤレス通信技術研 究分野	60GHz Band Planar Monopole Antenna Using Organic Substrates for Ultra-Small WPAN Modules
電気学会東北支部「優秀論 文発表賞B」	樋山 公之	新概念VLSIシステム研究分 野	「TMR素子を用いた高密度不揮発TCAMの構 成」
平成20年度(第70回) 電 子情報通信学会 功績賞	中沢 正隆	超高速光通信研究分野	受賞理由「エルビウム光ファイバ増幅器の開 発など光通信の長年に亘る高度化と電子情 報通信学会運営への多大な貢献」
情報処理学会東北支部 「奨励賞」	大竹 遥	新概念VLSIシステム研究分 野	「電流モードsingle-track方式に基づく非同期 データ転送の高速化」
電子情報通信学会ソフトウ ェア無線研究会・研究奨励賞 (2008 Young Investigator Award in Software Radio)	亀田 卓	先端ワイヤレス通信技術研 究分野	「無線 LAN・広域モバイルブロードバンドワイ ヤレスアクセス間ローミング技術」「マルチキャ リア MSK 変調を用いた高速無線通信システ ムの FPGA 実装」
日本ソフトウェア科学会 第13回論文賞 (2008年度)	大堀 淳	ソフトウェア構成研究分野	「表示的意味論に基づくパターンマッチングコ ンパイル方式の構築と実装」大堀淳, 櫻坂 智, Vol. 24, No. 2(2007), pp. 113-132.(論文 共著者と共同)
第7回産学官連携功労者表 彰(内閣総理大臣賞)	中沢 正隆	超高速光通信研究分野	エルビウム光ファイバ増幅器(EDFA)の開発 とその高度化
応用物理学会・解説論文賞	枝松 圭一	量子光情報工学研究分野	K. Edamatsu, Entangled Photons: Generation, Observation and Characterization, Jpn. J. Appl. Phys. 46, 7175-7187 (1997), invited review paper
応用物理学会・JJAP論文賞	松永翔雲 池田正二 長谷川晴弘 遠藤哲郎 大野英男 羽生貴弘	ナノスピンメモリ研究分野 半導体スピントロニクス研 究分野 新概念VLSIシステム研究分 野	「Fabrication of a Nonvolatile Full Adder Based on Logic-in-Memory Architecture Using Magnetic Tunnel Junctions」 Applied Physics Express (APEX), vol. 1, no. 9, pp. 091301-1~091301-3, Aug.2008.
応用物理学会 第3回(2009年度)フェロー表 彰	室田 淳一	ナノヘテロプロセス研究分 野	「IV族半導体ヘテロCVD技術による原子制御 プロセスの開発」の業績。この表彰制度は、応 用物理学会における継続的な活動を通じて 応用物理学の発展に多大な貢献をした研究 者を表彰するもので、受賞者にはフェローの 称号が授与される
日本感性工学会 第10回大会 優秀発表賞	栗木 一郎	高次視覚情報システム研 究分野	日本感性工学会・第10回大会において優秀 な口頭発表を行った筆頭発表者に対して与 えられた。受賞発表題名:「蛇の回転」錯視に おける運動知覚時の脳活動に関する研究

受章・受賞

賞名	氏名	所属分野・部・センター	業績
平成21年度日本磁気学会 学術奨励賞(内山賞)	三浦 良雄	物性機能設計研究分野	「高スピン偏極率を有するホイスラー合金/MgO界面の理論設計」に対して
電子情報通信学会 ELEX Best Paper Award	後藤広樹 大宮達則 葛西恵介 吉田真人 中沢正隆	超高速光通信研究分野	Polarization and frequency division multiplexed 1 Gsymbol/s, 64QAM coherent optical transmission with 8.6 bit/s/Hz spectral efficiency over 160km
東北大学総長特別賞	中沢 正隆	超高速光通信研究分野	平成21年6月20日に「エルビウム光ファイバ増幅器(EDFA)の開発とその高度化」を対象として、産学官連携活動において、優れた成功事例をおさめた研究者等に対して贈られる産学官連携功労者表彰の中で、最高権威である「内閣総理大臣賞」を受賞した。
Global COE Program International Conference 2009 in conjunction with Japan-Korea Asian Core Program General Meeting 2009 「The Best of bests Presentation Award」	半田 浩之	固体電子工学研究分野	”Control of epitaxial growth of graphene on silicon substrates” 81件のポスター発表の中からただ1件選ばれたもの
The International Symposium on Integrated Ferroelectrics and Functionalities:ISIF2 2009「OUTSTANDING ACHIEVEMENT AWARD」	長 康雄	誘電ナノデバイス研究分野	”Scanning nonlinear dielectric microscopy in the field of Ferroelectric Materials”
平成21年度石田(實)記念 財団研究奨励賞	三浦 健司	情報ストレージシステム研究分野	「ハードディスクの高密度化に関する研究」に対して
平成21年度石田(實)記念 財団研究奨励賞	北形 元	やわらかい情報システム研究分野	「オーバーレイネットワークのためのスケラブルな分散認証に関する研究」に対して
第57回電気科学技術奨励賞 (オーム賞)	末永 保	研究基盤技術工作研究分野	「真空一貫有機薄膜作製・評価装置の開発」に対して
IEEE Sendai Section Student Award 2009 “The Best Paper Prize”	関 鵬宇	超高速光通信研究分野	Low-penalty 5x320 Gbit/s (1.6 Tbit/s) WDM DPSK Transmission over 525 km Using Time-domain Optical Fourier Transformation
International Workshop on Terahertz Technology 2009 「Excellent Paper Award	唐澤 宏美	超ブロードバンド信号処理研究分野	Observation of THz Stimulated Emission in Optically Pumped Epitaxial Graphene Heterostructures
IEEE Sendai Section Student Award 2009 “The Best Paper Prize”	小森 常義	超ブロードバンド信号処理研究分野	Application of Plasmon-Resonant Microchip Emitters to Broadband Terahertz Spectroscopic Measurement
第14回(2009年)応用物理 学会東北支部講演奨励賞	宇藤 敦司	ナノヘテロプロセス研究分野	H ₂ およびAr熱処理によるSi(100)とGe(100)の水素終端構造変化と水素吸着反応の研究に関して
IEEE Sendai Section Student Awards 2009 “The Encouragement Prize”	山本 衛史	情報ストレージシステム研究分野	”Track Density Enhancement by Shingled Writing in Hard Disk Drive”

賞名	氏名	所属分野・部・センター	業績
平成21年度 光科学技術研究振興財団 研究表彰	廣岡 俊彦	超高速光通信研究分野	時間領域光フーリエ変換を用いた超高速無歪み光伝送技術に関する研究
田中貴金属工業株式会社 2009年度 第11回「貴金属に関わる研究助成金」プラチナ賞	島津 武仁	ストレージ分野	「次世代ストレージ・メモリへの応用に向けたL1 ₁ 型Co-Pt垂直磁化膜の高性能化」
応用物理学会 第11回光・量子エレクトロニクス業績賞 (宅間宏賞)	中沢 正隆	超高速光通信研究分野	エルビウム光ファイバ増幅器(EDFA)の先駆的研究開発と光通信への応用
平成21年度東北大学総長教育賞	末光 眞希	固体電子工学研究分野	学友会文化部長として、学友会文化部諸団体をとりまとめ、百周年記念行事における音楽活動の指導等、学生教育における課外活動の活性化に貢献した。
日本音響学会 第23回ポスター賞	浅川 香	先端音情報システム研究分野	日本音響学会2009年秋季研究発表会において発表した「事前提示刺激の視聴覚非同期量のばらつきが音声の視聴覚同時性知覚に与える影響」が優れた発表として選定された。
平成21年度東北大学大学院工学研究科長賞	西谷 雄	半導体スピントロニクス研究分野	電界効果による強磁性半導体の磁性制御に関する研究
平成21年度東北大学大学院工学研究科長賞	正田 史生	超高速光通信研究分野	カーボンナノチューブを用いた超短パルスレーザに関する研究
平成21年度東北大学総長賞	金井 駿	半導体スピントロニクス研究分野	本学の教育目標にかない、かつ学業成績が特に優秀であるため

4. 2 学会フェロー一覧

国際学会

学 会 名	氏 名
IEEE	水野 皓司
IEEE	中村 慶久
IEEE	舛岡富士雄
IEEE	白鳥 則郎
IEEE	中沢 正隆
IEEE	村岡 裕明
IEEE	加藤 修三
OSA	伊藤 弘昌
OSA	中沢 正隆
アメリカ物理学会	潮田 資勝
アメリカ音響学会	鈴木 陽一
イギリス物理学会評議会	大野 英男

IEEE = The Institute of Electrical and Electronics Engineers

OSA = Optical Society of America

国内学会

学 会 名	氏 名
電子情報通信学会	水野 皓司
電子情報通信学会	中村 慶久
電子情報通信学会	伊藤 弘昌
電子情報通信学会	白鳥 則郎
電子情報通信学会	中沢 正隆
電子情報通信学会	杉浦 行
電子情報通信学会	加藤 修三
情報処理学会	白鳥 則郎
映像情報メディア学会	沼澤 潤二
電子情報通信学会	中島 康治
応用物理学会	大野 英男
応用物理学会	室田 淳一

第5章 トピックス

記事名	掲載年月日	出典
情報処理学会長に東北大学の白鳥教授	2009年 4月18日	河北新報
日立と東北大「予知型データ配置方式」によるストレージシステムを開発	2009年 5月18日	マイコミ ジャーナル
高速・大容量ストレージ 消費電力17%減 東北大・日立 データ処理を予測	2009年 5月19日	日経産業
高速データ処理 省電力に 東北大と日立 ストレージ新技術	2009年 5月25日	日刊工業
地下の異変 無人で探れ 光ファイバーで建物を監視	2009年 5月30日	朝日新聞
非接触でも酸化チタンの光触媒性能確認	2009年 6月2日	サイエンス ポータル
東北大 光触媒の効果10倍に 作用面積 ナノチューブで拡大	2009年 6月4日	日経産業
産学官連携会議 総理大臣賞 中沢・東北大教授ら表彰	2009年 6月9日	日刊工業
テラヘルツ波新レーザー実現へ 東北大グループ シリコン基板に「グラフェン」 室温で放射成功 超高速通信 応用も	2009年 6月22日	河北新報
薄い存在感に危惧	2009年 6月23日	日刊工業
MRAM 容量16倍、10年以上作動 日立 東北大 2015年にもPC搭載へ 素子小さく、磁気制御	2009年 6月26日	日経産業
炭素材でテラヘルツ光 東北大と会津大 レーザー光源目指す	2009年 7月8日	日経産業
FPGA 消費電力10分の1に 東北大・日立磁気素子採用 待機電力が必要	2009年 7月17日	日経産業

半導体の人工分子 量子状態を電氣的測定 産総研・東北大が新論理	2009年 7月22日	日刊工業
不揮発 LSI 実用化研究進む 待機電力ゼロ電子機器実現へ NEC・東北大 微細磁石使いデータ保持 ルーム、強誘電体素子で先行	2009年 7月22日	日経産業
次世代ネット技術開発 移動中でも常時接続 国際規格取得 実用化へ前進	2009年 7月23日	河北新報
Wireless Japan IEEE to Certify Over-Gbps Wireless Communication Standard	2009年 7月23日	Nikkei Electronics
ムサシノエンジニアリングが新装置 異素材、常温で接合 超高真空金属原子を「のり」に	2009年 7月27日	日経産業
光増幅器に産学連携賞 ネット普及の功績評価	2009年 7月28日	東京新聞
ムサシノエンジニアリング 金属薄膜でウエハー接合 東北大と装置開発 原子拡散結合を採用	2009年 7月29日	日刊工業
東北大・高校生向け特別講義 萩ホールの設計解説 「どの席でも音響均一」	2009年 8月24日	河北新報
熱や力を加えずに異種材を接合 金属薄膜の原子拡散を利用	2009年 9月号	日経ものづくり
東北大グループ成功 光通信 30 倍に高速化 省電力化 少ない波長で大容量	2009年 9月16日	河北新報
30 倍速い光伝送技術を開発	2009年 9月21日	日刊工業
光ファイバー通信 消費電力 10 分の 1 に 東北大 1 信号の情報量 30 倍	2009年 9月28日	日経新聞
成田でフィールド実験実施	2009年 10月25日	セキュリティ 産業新聞
止まっているのに動いて見える！ 「音」が視覚左右 東北大など発表 映画に応用も	2009年 12月7日	産経新聞
止まった物が動いて見える 音に誘われ目が錯覚 東北大など実験で確認	2009年 12月7日	日経新聞
「動いた」・・・音で錯覚 視野の端ほど誤認 心理学や工学脳神経学連携 視覚・聴覚の関連解明へ一歩	2009年 12月7日	河北新報
映像で点滅する光 左右から交互に音 つられて光動く？ 映画やアトラクションに活用も 東北大など「脳の錯覚」確認	2010年 1月15日	朝日新聞
60GHz ミリ波 WPAN の研究開発と最新動向	2010年1月	電波技術協会報 FORN

東北大 島津准教授に 500 万円の助成金 田中貴金属	2010 年 2 月 3 日	河北新報
東北大 産学センターあす発足 80 研究室 企業と連携	2010 年 2 月 15 日	河北新報
注目される MRAM トンネル障壁には MgO が有力 半導体分野全体の活性化 産学官の効率的な連携で	2010 年 2 月 25 日	日刊工業
世界トップ級 30 人に研究費 総合科技会議 東北大学電気通信研究所 大野教授 省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発	2010 年 3 月 10 日	日刊工業
空港やデータ拠点 対策技術競う	2010 年 3 月 10 日	日経産業
移動ネットワーク監視・管理のための基盤技術 (NEMO-MIB) も開発	2010 年 3 月 12 日	技術総合誌 OHM
微細化の限界に挑む、Si 材料と新材料の融合で新たな展望も	2010 年 3 月	EE Times Japan

付録 教員の最終学歴（大学または大学院）

最 終 学 歴	教 授	准教授	講 師	助 教	計
東北大学	1 1	7		1 1	2 9
東京大学	1	2		2	5
九州大学	2				2
北海道大学	1	1			2
名古屋大学	1				1
東京工業大学	3	1		4	8
大阪大学	2	1		3	6
大阪府立大	1				1
米国ペンシルバニア大学	1				1
九州工業大学	1				1
奈良女子大学	1				1
京都大学		1		2	3
千葉工業大学		1			1
先端北陸科学技術大学院大学		1		1	2
サルフォード大学		1			1
室蘭工業大学		1			1
早稲田大学	1	1			2
福井大学				1	1
岐阜大学				2	2
神戸大学				1	1
会津大学				1	1
合 計	2 6	1 8	0	2 8	7 2

教員の充足率

		教 授	准教授及び講師	助 教	計
2005.3.1 現在	定 員	27	24	34	85
	現 員	24	17	34	75
	充足率	88.9%	70.8%	100%	88.2%
2006.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	27	17	29	73
	充足率	103.8%	73.9%	90.6%	90.1%
2007.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	24	16	29	69
	充足率	92.3%	69.6%	90.6%	85.2%
2008.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	30	18	28	76
	充足率	115.4%	78.3%	87.5%	93.8%
2009.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	29	18	24	71
	充足率	111.5%	78.3%	75.0%	87.7%
2010.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	26	18	28	72
	充足率	100.0%	78.3%	87.5%	88.8%

構 成 員 (平成 22 年 2 月 1 日現在)

所長 (併)・教授 矢野 雅文

研究部門

情報デバイス研究部門

■ナノフォトエレクトロニクス研究分野

教授 上原 洋一
 教授 (兼) 内田 龍男
 准教授 (兼) 宮下 哲哉
 助教 片野 論

■量子光情報工学研究分野

教授 枝松 圭一
 教授 (兼) 中尾 光之
 准教授 小坂 英男
 准教授 (兼) 片山 統裕
 助教 三森 康義
 事務補佐員 阿部 真奈美

■固体電子工学研究分野

教授 末光 眞希
 准教授 (兼) 小谷 光司
 助教 吹留 博一
 技術補佐員 三浦 明美

■誘電ナノデバイス研究分野

教授 長 康雄
 教授 (兼) 梅村 晋一郎
 助教 平永 良臣
 " 金 暢大
 技術職員 (技術部) 我妻 康夫
 研究支援者 岡崎 紀明
 技術補佐員 江馬 宗子
 " 岩井 敏彦

■プラズマ電子工学研究分野

教授 (兼) 安藤 晃
 准教授 (兼) 飯塚 哲

■物性機能設計研究分野

教授 白井 正文
 教授 (兼) 田中和之
 助教 三浦 良雄
 " 阿部 和多加
 講師 (兼) 和泉 勇治

■磁性デバイス研究分野

客員教授 佐々木 雅英
 " 本田 耕一郎

ブロードバンド工学研究部門

■超高速光通信研究分野

教授 中沢 正隆
 教授 (兼) 山田 博仁
 " (兼) 松浦 祐司
 准教授 廣岡 俊彦
 准教授 (兼) 大寺 康夫
 助教 吉田 真人
 事務補佐員 篠崎 頼子

■応用量子光学研究分野

教授 八坂 洋
 教授 (兼) 横山 弘之
 准教授 四方 潤一
 准教授 (兼) 渡邊 高志
 技術職員 (技術部) 田久 長一

■先端ワイヤレス通信技術研究分野

教授 坪内 和夫
 教授 (兼) 櫛引 淳一
 助教 亀田 卓

事務補佐員 橋 浦 尚 子

■情報ストレージシステム研究分野

教 授 村 岡 裕 明
 教 授 (兼) 西 関 隆 夫
 准教授 Simon GREAVES
 准教授 (兼) 周 暁
 助 教 三 浦 健 司
 事務補佐員 粕 谷 祥 子

■超ブロードバンド信号処理研究分野

教 授 尾 辻 泰 一
 教 授 (兼) 安 達 文 幸
 准教授 末 光 哲 也
 非常勤研究員 鷹 林 将
 事務補佐員 上 野 佳 代

■ブロードバンド通信基盤技術研究分野 (客員)

客員教授 水 野 皓 司
 " 安 田 晃
 " 末 松 憲 治
 " 犬 竹 正 明
 客員准教授 廣 畑 貴 文

人間情報システム研究部門

■生体電磁情報研究分野

教 授 石 山 和 志
 教 授 (兼) 山 口 正 洋
 " (〃) 濱 島 高 太 郎
 准教授 (兼) 津 田 理
 " (〃) 遠 藤 恭
 助 教 栞 修 一 郎

■先端音情報システム研究分野

教 授 鈴 木 陽 一
 教 授 (兼) 牧 野 正 三
 " (〃) 金 井 浩
 准教授 岩 谷 幸 雄
 准教授 (兼) 伊 藤 彰 則

准教授 (兼) 長谷川 英 之
 准教授 (兼) 川 下 将 一
 助 教 坂 本 修 一
 技術職員 (技術部) 齋 藤 文 孝
 非常勤研究員 小 林 ま お り
 " 崔 正 烈
 " 寺 本 涉
 事務補佐員 小 野 寺 美 紀

■高次視覚情報システム研究分野

教 授 塩 入 諭
 教 授 (兼) 吉 澤 誠
 准教授 栗 木 一 郎
 准教授 (兼) 本 間 経 康
 助 教 松 宮 一 道
 非常勤研究員 萩 谷 光 晴
 " 松 原 和 也
 事務補佐員 今 野 亜 未

■先端情報通信領域創成分野

教 授 玉 田 薫
 技術補助員 栗 原 郁 子

■ユビキタス通信システム研究分野

教 授 加 藤 修 三
 教 授 (兼) 澤 谷 邦 男
 准教授 中 瀬 博 之
 准教授 (兼) 陳 強
 " (〃) 姜 暁 鴻
 助 教 沢 田 浩 和
 技術補佐員 庄 子 友 佳 子

■マルチモーダルコンピューティング研究分野 (客員)

客員教授 川 上 進
 " 平 原 達 也
 客員准教授 西 村 竜 一
 " デ ン シ ル ・ カ ブ レ ラ

システム・ソフトウェア研究部門

附属研究施設

■ソフトウェア構成研究分野

教授	大堀 淳
教授(兼)	小林 直樹
准教授(兼)	住井 英二郎
助教	上野 雄大

■コンピューティング情報理論研究分野

教授	外山 芳人
教授(兼)	静谷 啓樹
〃(〃)	篠原 歩
〃(〃)	大町 真一郎
准教授	青戸 等人
〃(兼)	酒井 正夫
助教	菊池 健太郎
事務補佐員	寒河江 香子

■コミュニケーションネットワーク研究分野

教授	白鳥 則郎
教授(兼)	斎藤 浩海
〃(〃)	曾根 秀昭
准教授	菅沼 拓夫
准教授(兼)	水木 敬明
客員准教授	チャクラボルティ ・デバシシュ
非常勤研究員	高橋 秀幸
事務補佐員	守屋 佳織

■情報コンテンツ研究分野

教授	沼澤 潤二
教授(兼)	加藤 寧
〃(〃)	木下 哲男
准教授	青木 輝勝
准教授(兼)	阿部 亨
事務補佐員	武藤 伸子

■情報社会構造研究分野(客員)

客員教授	松岡 浩
技術補佐員	菊池 範子

附属ナノ・スピンの実験施設

施設長(併)	大野 英男
教授	
技術職員(技術部)	土田 貞夫
〃(〃)	佐々木 龍太郎
非常勤研究員	目黒 敏靖
技術補佐員	小田切 節子
事務補佐員	佐藤 玲子

■ナノヘテロプロセス研究部

教授	室田 淳一
教授(兼)	亀山 充隆
〃(〃)	須川 成利
准教授	櫻庭 政夫
准教授(兼)	張山 昌諭
非常勤研究員	菅原 勝俊
非常勤研究員	菅原 一郎
事務補佐員	村中 裕美
〃	柳沢 幸枝

■半導体スピントロニクス研究部

教授	大野 英男
教授(兼)	高橋 研
〃(〃)	佐橋 政司
准教授	大野 裕三
〃	松倉 文礼
准教授(兼)	角田 匡清
〃(〃)	土井 正晶
〃(〃)	齊藤 伸
助教	大谷 啓太
非常勤研究員	松坂 俊一郎
非常勤研究員	Mohsen Ghali
事務補佐員	佐藤 則子

■ナノ分子デバイス研究部

教授	庭野 道夫
教授(兼)	畠山 力三

教授 (兼)	吉 信 達 夫
〃 (〃)	木 下 賢 吾
准教授 (兼)	金 子 俊 郎
〃 (〃)	平 野 愛 弓
助 教	木 村 康 男
〃	佐 藤 信 之
事務補佐員	菊 地 千 玲

■ナノスピメモリ研究部

教授 (兼)	小 柳 光 正
〃	安 藤 康 夫
〃	遠 藤 哲 郎
〃	田 中 徹
准教授	池 田 正 二
助 教 (兼)	大 兼 幹 彦
非常勤研究員	ファードン・ガン

附属ブレインウェア実験施設

施設長 (併)	中 島 康 治
教 授	

■実世界コンピューティング研究部

教授	矢 野 雅 文
特任教授	多 田 順 次
教授 (兼)	松 木 英 敏
〃 (兼)	石 黒 章 夫
准教授 (兼)	佐 藤 文 博
助 教	牧 野 悌 也
〃	坂 本 一 寛
非常勤研究員	富 田 望

■知的ナノ集積システム研究部

教授	中 島 康 治
教授 (兼)	川 又 政 征
准教授	佐 藤 茂 雄
准教授 (兼)	阿 部 正 英
助 教	小野美 武
事務補佐員	八 木 菜々子

■マイクロアーキテクチャ研究部

教授	梶 井 昇 一
事務補佐員	志 村 亜 矢

■新概念 VLSI システム研究部

教授	羽 生 貴 弘
教授 (兼)	一ノ倉 理
〃 (〃)	青 木 孝 文
准教授 (兼)	中 村 健 二
〃 (〃)	本 間 尚 文
助 教	松 本 敦
〃	夏 井 雅 典
非常勤研究員	鈴 木 大 輔
〃	鬼 沢 直 哉
〃	松 永 翔 雲

21世紀情報通信研究開発センター

センター長 (併)	坪 内 和 夫
教授	
技術職員	寒河江 克 巳

■企画開発部

客員教授	古 西 真
事務補佐員	鏡 谷 真知子

■研究開発部

▲モバイル分野

教授	高 木 直
客員教授	岩 田 誠
技術補佐員	中 山 英 太

▲ストレージ分野

教授	藤 本 和 久
客員教授	青 井 基 久
〃	中 村 慶 久
教授 (兼)	高 梨 弘 毅
〃	北 上 修
准教授	島 津 武 仁
客員准教授	山 川 清 志
准教授 (兼)	岡 本 聡

助 教 (兼)	菊 池 伸 明
技術補佐員	魚 本 幸
非常勤研究員	三 塚 要
事務補佐員	佐 藤 安由美
〃	穴 澤 知 美

安全衛生管理室

室 長 (兼)	庭 野 道 夫
教 授	
副室長 (兼)	上 原 洋 一
教 授	
助 教	佐 藤 信 之
事務補佐員	千 葉 綾 子

共通研究施設

■やわらかい情報システムセンター

センター長 (兼)	鈴 木 陽 一
教 授	
准教授	北 形 元
助 教	笹 井 一 人
非常勤研究員	長 田 俊 明
技術補佐員	鈴 木 みどり
〃	新 妻 祥 子

研究基盤技術センター

センター長 (兼)	庭 野 道 夫
教 授	
技術専門員 (兼)	我 妻 康 夫
(技術長)	

■工作部

技術専門職員	末 永 保
(グループ長)	
技術一般職員	山 下 毅
技術一般職員	佐 藤 圭 祐
技術一般職員	阿 部 健 人
再雇用職員	渡 邊 博 志
〃	菅 原 宗 朋

再雇用職員	米 澤 隆 二
-------	---------

■評価部

技術専門職員	庄 子 康 一
(グループ長)	
技術専門職員	我 妻 成 人
技術一般職員	阿 部 真 帆
再雇用職員	今 野 勇 治
〃	土 田 貞 夫

■プロセス部

技術専門員 (兼)	我 妻 康 夫
(グループ長)	
技術専門職員	寒河江 克 己
技術一般職員	佐々木 龍太郎
再雇用職員	田 久 長 一

■ソフトウェア技術部

技術専門職員	齋 藤 文 孝
(グループ長)	
技術補佐員	鈴 木 みどり
〃	新 妻 祥 子

事 務 部

事務部長	佐藤 一 永	経理課長	佐藤 巖
総務課長	石井 俊 明	経理係長	清野 彰
庶務係長	喜田 清	事務職員	白幡 陵
主 任	松川 ルミ	〃	佐々木 志保
技術専門職員	師岡 ケイ子	事務補佐員	小島 紫津子
事務補佐員	青山 美弥子	〃	杳澤 倫子
〃	寺島 弘美	〃	白鳥 千亜紀
〃	伊藤 智恵	用度係長	早坂 毅
〃	渡部 マイ	事務職員	鈴木 祐利
研究協力係長	加藤 文樹	〃	稲毛 紘明
主 任	菅原 公美子	技術職員	阿部 良勝
事務補佐員	樋渡 理枝	事務補佐員	川北 久美子
〃	丸田 嘉昭	〃	角田 郁子
〃	笠松 千秋	〃	菅澤 修
図書係長	吉植 庄栄	〃	村田 利江
事務補佐員	鈴木 香代子	技術補佐員	三島 妙
IT21センター事務室			
事務室長	新田 正人		
事務補佐員	佐藤 貞志		

東北大学電気通信研究所
研究活動報告 第16号

2010年10月発行

発行者	中 沢 正 隆
編集者	東北大学電気通信研究所総務委員会 〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1番1号
T E L	0 2 2 - 2 1 7 - 5 4 2 2
F A X	0 2 2 - 2 1 7 - 5 4 2 6
wwwアドレス	http://www.riec.tohoku.ac.jp/index-j.html
印刷所	北日本印刷株式会社 〒984-0064 仙台市若林区石垣町35番 6 TEL 022-224-7781 FAX 022-224-7783

