



Annual Report 2011

研究活動報告

第18号(2011年度)



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

目 次

【本編】

第1章 緒言	1
第2章 組織・運営	
1 項 組織図	3
2 項 運営協議会名簿	4
3 項 共同研究組織	5
4 項 教育組織	6
第3章 研究活動	
1 節 情報デバイス研究部門の目標と成果	7
1 項 ナノフォトエレクトロニクス研究室	8
2 項 量子光情報工学研究室	10
3 項 固体電子工学研究室	12
4 項 誘電ナノデバイス研究室	14
5 項 物性機能設計研究室	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 超高速光通信研究室	20
2 項 応用量子光学研究室	22
3 項 先端ワイヤレス通信技術研究室	24
4 項 情報ストレージシステム研究室	26
5 項 超ブロードバンド信号処理研究室	28
6 項 ブロードバンド通信基盤技術研究室	30
3 節 人間情報システム研究部門の目標と成果	32
1 項 生体電磁情報研究室	34
2 項 先端音情報システム研究室	36
3 項 高次視覚情報システム研究室	38
4 項 ユビキタス通信システム研究室	40
4 節 システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果	42
1 項 ソフトウェア構成研究室	44
2 項 コンピューティング情報理論研究室	46
3 項 コミュニケーションネットワーク研究室	48
4 項 情報コンテンツ研究室	50
5 項 情報社会構造研究室	52
5 節 寄附研究部門	56
1 項 環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門	57
6 節 ナノ・スピン実験施設の目標と成果	59
1 項 ナノヘテロプロセス研究室	63
2 項 半導体スピントロニクス研究室	65
3 項 ナノ分子デバイス研究室	67
4 項 ナノスピンメモリ研究室	69
7 節 ブレインウェア実験施設の目標と成果	71
1 項 実世界コンピューティング研究室	73
2 項 知的ナノ集積システム研究室	75
3 項 マイクロアーキテクチャ研究室	77
4 項 新概念 VLSI システム研究室	79
8 節 21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果	81
1 項 研究開発部 モバイル分野	83

2 項	研究開発部 ストレージ分野	85
9 節	安全衛生管理室	87
10 節	やわらかい情報システム研究センター	89
11 節	研究基盤技術センター	91

第4章 独創的研究支援プログラム

1 節	窒化物半導体によるミリ波用トランジスタの研究	93
2 節	自己身体表象を考慮した人間のマルチモーダル感覚知覚処理機能の解明とモデル化： 視覚と触覚のインタラクション	96
3 節	超高速ミリ波通信用シリコンオンチップアンテナの研究開発	99

第5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	103
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	106
H21/A05	電気磁気効果酸化薄膜のスピン트로ニク応用に関する研究	109
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	112
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	115
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	118
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	121
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	123
H22/A01	グラフェンを利用したテラヘルツ帯光電子デバイスに関する研究	126
H22/A02	ゲルマニウム系量子ドットの形成および価電子制御と ナノスケール機能メモリ応用	129
H22/A03	電気磁気および磁気弾性効果の計算機物質設計とデバイス応用	131
H22/A04	InGaAs HEMT を用いたスイッチング動作型電力増幅器高効率化の研究	134
H22/A05	電子トンネリングを利用した広帯域の光発生と検出	137
H22/A06	負のスピン分極材料を用いたスピン트로ニクスデバイスの研究	140
H22/A07	高飽和磁化純鉄ナノ粒子の化学合成とその集合体の軟磁気特性	143
H22/A08	パーソナル音響テレプレゼンスシステムの研究	146
H22/A09	人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル音声情報通信システムに関する研究	148
H22/A10	ストレス応答に対する自然音の影響	151
H22/A11	音空間のバーチャルリアリティを用いたユニバーサル音空間訓練システムの構築	154
H22/A12	周波数領域両耳聴モデルにおける指向特性制御に関する研究	157
H22/A13	ブレインウェアシステムの研究	160
H22/A14	ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究	163
H22/A16	共生コンピューティングに基づく実世界指向アプリケーションの 高度化に関する研究	166
H23/A01	プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究	169
H23/A02	カーボンナノ材料を用いた光電子デバイスの研究	174
H23/A03	原子層レベルで制御された Si 並びに Ge-MIS 構造の作製技術と その界面評価技術の開発	177
H23/A04	高度歪異種原子層配列IV族半導体構造形成とナノデバイスへの 応用に関する研究	180
H23/A05	極薄膜ヘテロエピタキシャル層の電気的特性に及ぼすヘテロ界面の 影響に関する研究	183
H23/A06	ディペンダブル・エアのためのヘテロジニアスネットワークローミング技術の 基礎研究	186
H23/A07	空間知覚と多感覚統合	189
H23/A08	再構成神経回路網の情報伝達	192
H23/A09	フレキシブル・プリンタブル製造有機ヘテロ接合太陽電池の研究	195

H23/A10	薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスの設計開発とその応用展開に関する研究	197
H23/A11	サイバー・フィジカル融合社会のための基盤システムに関する研究	200
H23/A12	モノラル入力信号に基づく2次元音源定位の研究	203
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	206
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	209
H21/B03	小電力無線通信方式	212
H21/B04	複素ニューラルネットワークの実用化	215
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	218
H21/B06	視覚科学の学際的アプローチに向けて	221
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	225
H21/B08	生物の適応的運動機序の解明と工学的応用	228
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	231
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	234
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	237
H22/B02	微粒子プラズマの応用とその基礎研究	242
H22/B04	生体情報インターフェース創生のためのフォトニクス研究	245
H22/B05	ナノスケールのゆらぎ・電子相関制御に基づく新規ナノデバイス	248
H22/B06	High-Q マイクロ波超伝導共振器を用いた大規模量子検出アレイに関する研究	251
H22/B07	ミリ波応用システム実用化のための課題と展望	254
H22/B08	生命にとっての情報・推論・計算の解明と工学的応用の検討	257
H22/B09	物体表面の視覚的質感および色の知覚に関する研究	260
H22/B10	論理学的手法に基づくプログラム検証技術	263
H22/B11	民生用合成開口レーダシステムの開発と応用	266
H23/B01	ナノ構造磁性材料を利用した次世代通信機器用 MEMS / 高周波デバイスに関する研究	269
H23/B02	ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用に関する研究	272
H23/B03	将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する研究	275
H23/B04	電磁鋼板における新たな損失低減化技術	278
H23/B05	機能性圧電材料と高度通信デバイス応用に関する研究	279
H23/B06	超高速コヒーレント光制御による極限通信・計測システムに関する研究	282
H23/B07	次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究	285
H23/B08	次世代 RFIC 用受動・能動回路技術とその応用	288
H23/B09	自己身体の運動が関与する多感覚統合	291
H23/B10	インタラクティブコンテンツのための次世代ヒューマンインタフェースに関する研究	294
H23/B11	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・クラウドシステム基盤	297
H21/S1	人間の機能を取り込んだ革新的概念による情報通信システム	300
H23/S1	スーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術開発	303
H23/S2	スピントロニクス国際連携	306
H23/S3	ナノエレクトロニクスに関する連携研究	309
H23/U01	光ファイバネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術の構築	311
H23/U02	防災広報無線の緊急拡声情報伝達システムの高度化に関する研究	314
H23/U03	準天頂衛星を用いたショートメッセージ通信実現性の基礎検討	317
H23/U04	情報喪失のない高信頼性クラウドストレージ技術の開発	320

第6章 国際会議・シンポジウム等

1 節	通研国際シンポジウム	323
1 項	第12回 国際多感覚研究フォーラム (12th International Multisensory Research Forum (IMRF 2011))	323

2 項	第8回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	324
	(8th RIEC International Workshop on Spintronics)	
3 項	第6回 国際シンポジウム メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス	325
	(6th International Symposium on Medical, Bio-and Nano-Electronics)	
4 項	第3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	326
	(3rd International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics)	
2 節	国際会議等の開催状況	327
1 項	第7回 Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議	327
2 項	第7回 ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議	328
3 項	12th International Multisensory Research Forum (IMRF)	329
4 項	第6回インタラクティブテーブルトップに関する国際会議 ITS 2011	330
5 項	International Workshop on Low-Power LSI Technologies and their Application to Mobile Systems	331
3 節	工学会	332
1 項	伝送工学会	333
2 項	音響工学会	337
3 項	仙台“プラズマフォーラム”	338
4 項	EMC 仙台ゼミナール	339
5 項	コンピュータサイエンス研究会	340
6 項	システム制御研究会	341
7 項	情報バイオトロニクス研究会	342
8 項	スピニクス研究会	343
9 項	ニューパラダイムコンピューティング研究会	344
10 項	超音波エレクトロニクス研究会	345
11 項	ブレインウェア工学会	347
12 項	情報・数物研究会	348
13 項	生体・生命工学会	349
14 項	ナノ・スピン工学会	350
15 項	先進の情報通信工学会	353
4 節	通研講演会	354
1 項	Wolfgang-Martin Boerner	
	Future perspectives of advancing multimodal fully polarimetric POLSAR technology, its rapid worldwide expansion, and its plethora of future diversified applications by implementation of ALOS-PALSAR-I&II	354
2 項	須山裕介, 武田洋一郎	
	スマートフォン急増による技術的課題およびその取り組み	354
3 項	Georg F. Meyer	
	Evidence for common processing networks for speech and body actions	355
4 項	兒玉 了祐	
	パワーレーザーによる高エネルギー密度科学の新展開	356
5 項	永田 真	
	VLSI チップの電源ノイズと EMC	357
6 項	喜田 拓也	
	データ圧縮の意外な使い方	358
7 項	井上 雄介	
	螺旋流人工心臓システムの研究と開発	359
8 項	林 初男	
	海馬・嗅内皮質の構造と機能	360
9 項	三田 誠一	
	磁気ディスク用信号処理技術の開発経過と今後の展開	361
10 項	仲村 泰明	
	HDD のための信号処理方式開発の現状	361
11 項	Wai-Tung Ng	
	Power Monitoring for Microprocessors with On-chip Sensing	362
12 項	小高 雅則	
	Eco 社会実現のための超低エネルギー LSI 技術 ～世界で勝てるノーマリ・オフ&超低電圧 LSI ～ ～ More than Moore 技術～	362
13 項	Jens E. Wilhjelm	
	The behavior of the echo signal measured from rough surfaces with clinical linear array transducers	363
14 項	木村 真一	
	宇宙のゴミ回収と自律適応技術	364

15項	高橋 知宏	CMOS イメージセンサの高速読出し技術	364
16項	久保田 繁	シナプス回路形成における NMDA 受容体のサブユニット発現の役割について	365
17項	井上 淳樹	エネルギー収支を考慮した電源制御 LSI の設計制約	365
18項	前田 新一	コントラスティブダイバージェンス学習の数理	366
19項	荒川 和晴	全細胞シミュレーションに向けたマルチオミクス解析とモデリング環境の開発	367
20項	Meziani Yahya Moubarak	Trends in terahertz plasma wave devices テラヘルツ帯プラズマ波デバイスの進展	368
21項	益田 秀樹	アノード酸化にもとづく規則ナノ構造の形成と機能的応用	369
22項	金 學萬	エージェント型マイクログリッドの研究動向	370

第7章 評価と分析

1 節	運営協議会報告	371
2 節	過去の運営協議会委員名簿	379

第8章 結言

【資料編】

第1章	予算の概要	383
1 節	競争的資金等の獲得状況	384
2 節	非常勤研究員経費	389

第2章 研究・学会活動状況

1 節	国際活動	390
2 節	発表論文数	391
3 節	学会役員一覧	392
4 節	外国の大学等との学術交流協定締結一覧	394
5 節	学振特別研究員及び研究所研究員	397
6 節	特別研究員・大学院生等受入状況	399
7 節	広報活動と情報公開	400

第3章 論文題目

1 節	修士論文題目	401
2 節	博士論文題目	405

第4章 受章・受賞

1 節	本年度の受章・受賞者	407
2 節	学会フェロー	410

第5章 トピックス

付 録	教員の最終学歴	415
	教員の充足率	416
	構成員	417

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2011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の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しています。さらに、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。

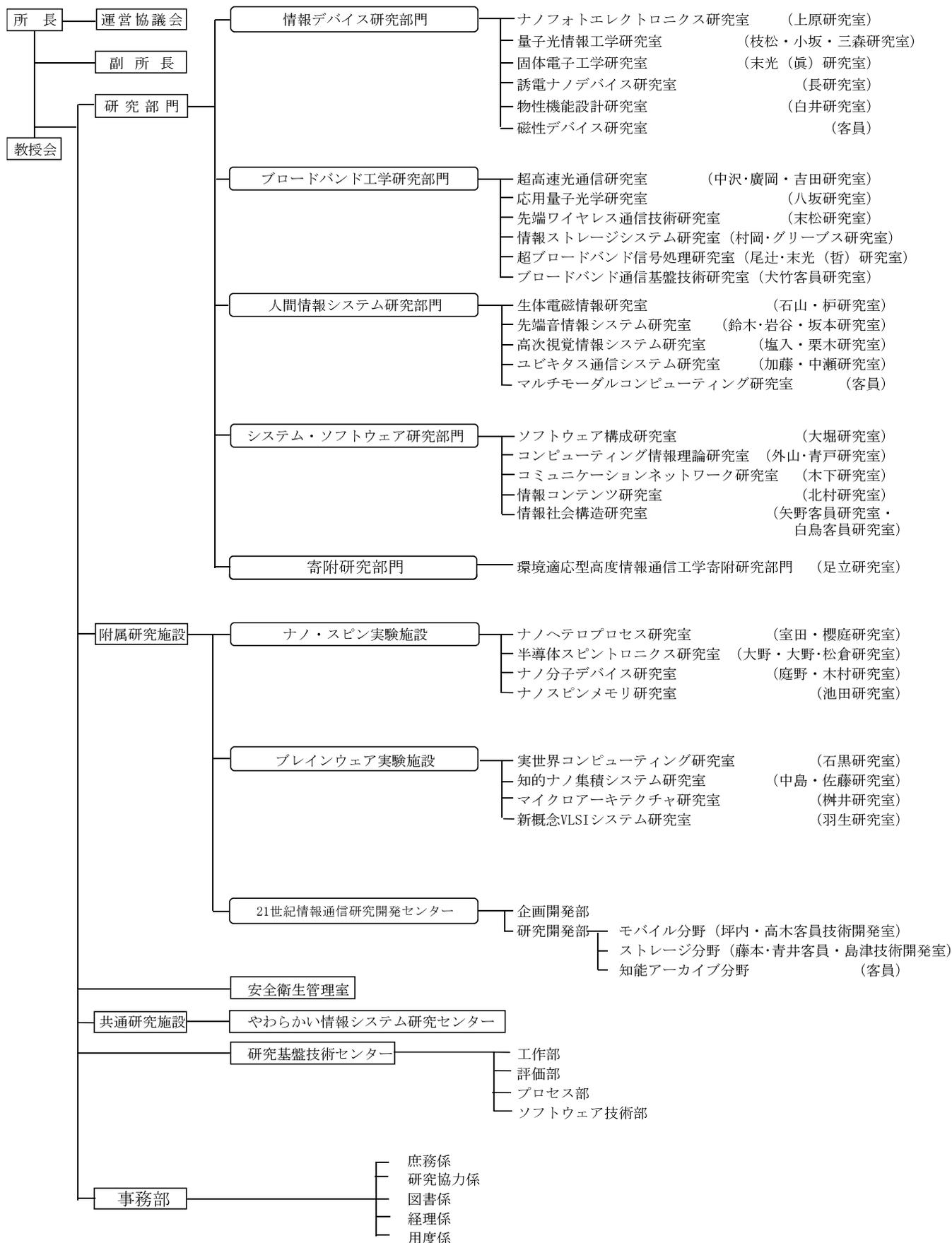
2010年4月からは、全国共同利用の研究所から共同利用・共同研究拠点へと新たな第一歩を踏み出しています。このことは大学における研究所の重要性を明確に示すチャンスであると同時に、その存在意義を問われ世の中からの評価にさらされる厳しい立場でもあります。昨年度も70以上の共同研究プロジェクトが活発に運営され、産官との技術交流・連携を加速することが出来ました。今後も人間性豊かなコミュニケーションの実現を目指して頑張っていく所存でありますので、ご指導・ご鞭撻の程宜しくお願い申し上げます。

平成24年5月17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 運営協議会委員名簿

運営協議会は、東北大学電気通信研究所長の諮問に応じ、共同利用・共同研究拠点としての活動に関する重要事項、その他研究所長が必要と認める事項について協議する組織である。

- 秋葉 重幸（委員）株式会社KDDI研究所 主席特別研究員
 荒川 泰彦（〃）東京大学 生産技術研究所 教授
 一村 信吾（〃）独立行政法人 産業技術総合研究所 理事
 上田 修功（〃）日本電信電話株式会社 コミュニケーション科学基礎研究所長
 潮田 資勝（〃）独立行政法人 物質・材料研究機構 理事長
 江村 克己（〃）日本電気株式会社 執行役員 兼 中央研究所長
 太田 賢司（委員長）シャープ株式会社 代表取締役 副社長執行役員
 技術担当兼東京支社長
 久間 和生（委員）三菱電機株式会社 執行役副社長
 半導体・デバイス事業本部長
 久保田啓一（〃）日本放送協会 放送技術研究所長
 坂内 正夫（〃）大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構
 理事・国立情報学研究所長
 富田 眞治（〃）京都大学 物質・細胞統合システム拠点 特定拠点教授
 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 大学院情報科学研究科 教授
 丹羽 邦彦（〃）独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
 上席フェロー
 吉田 博（〃）大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
 福村 裕史（〃）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
 亀山 充隆（〃）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
 河村 純一（〃）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
 畠山 力三（〃）東北大学 大学院工学研究科 教授

2. 3 共同研究組織

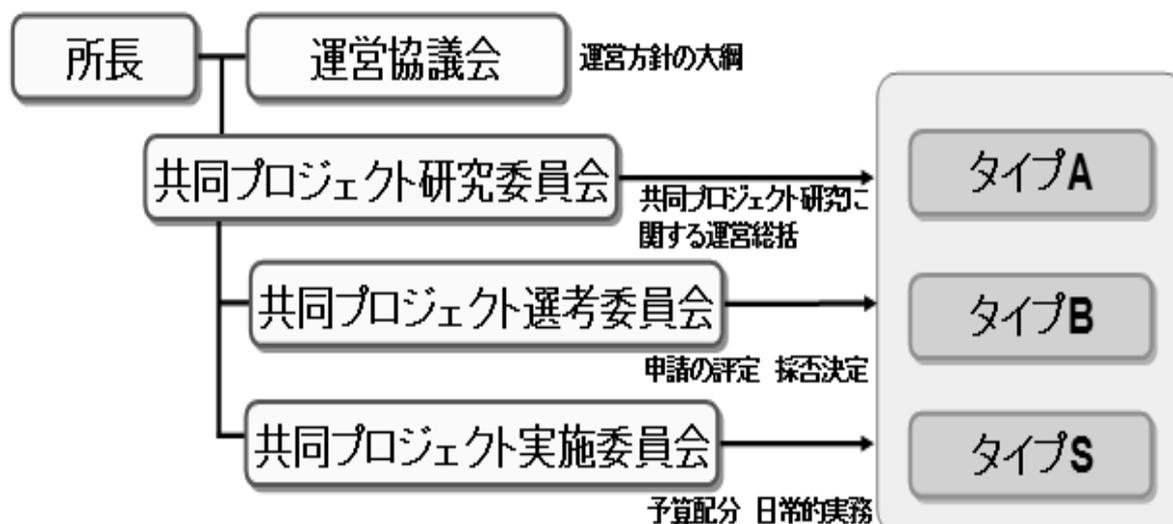
本研究所は平成6年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成16年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設」の2施設として設備を充実し発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共にそれぞれの先導的研究開発を目指すこと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

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

平成22年度以降の体制



2. 4 教育組織

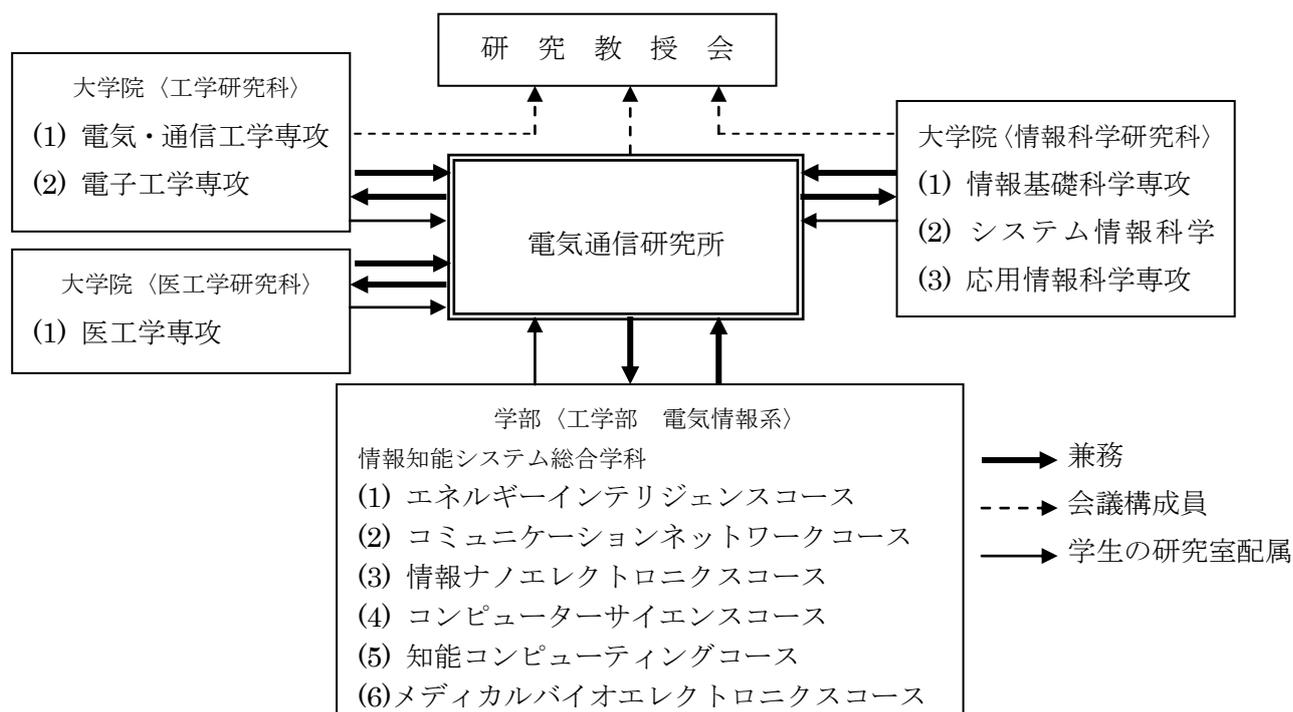
東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学科が順次設立されるとともに、これらの電気・情報系4学科との「一体運営」の協力関係が維持構築された。

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。2011年度は、通研の27研究室・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196名、一研究室当たり平均7名に達している。

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

通研と電気・情報系の運営の中核には両組織の教授で構成される研究教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。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研究室を設置し、さらにナノ・スピン実験施設の1研究室であるナノヘテロプロセス研究室（2012年度よりナノ集積デバイス・プロセス研究室と改称）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室
2. 量子光情報工学研究室
3. 固体電子工学研究室
4. 誘電ナノデバイス研究室
5. 物性機能設計研究室
6. 磁性デバイス研究室 (客員研究室)

各分野の目標ならびに2011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室の目標・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室

ナノ構造物性の探索とデバイス応用

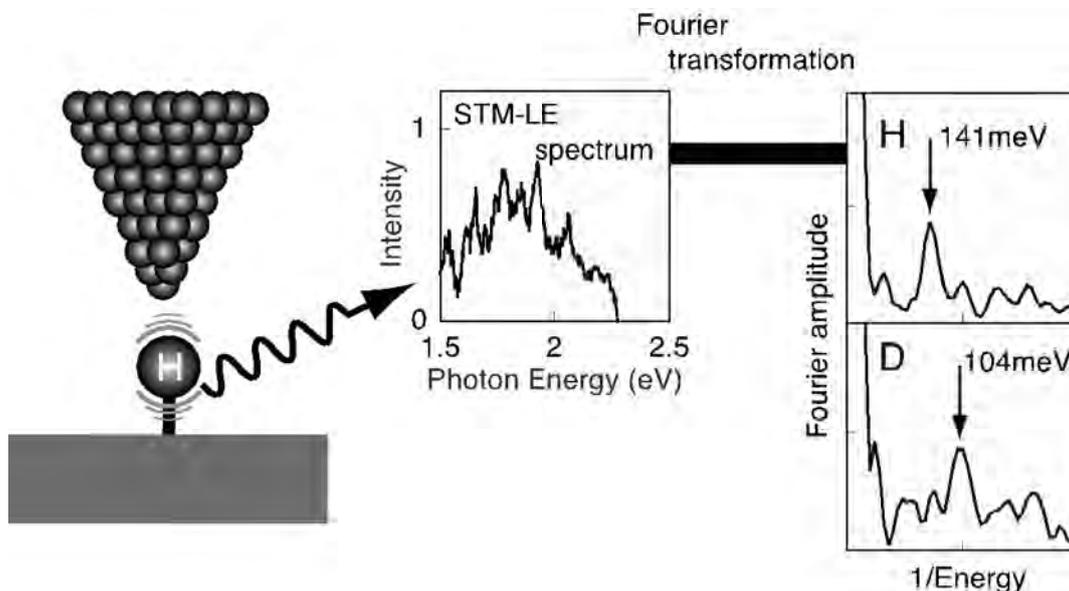


図1 STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

ナノフォトエレクトロニクス研究分野 教授 上原洋一

＜研究室の目標＞

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ック・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。走査プローブ顕微鏡を用いた局所分光（走査トンネル顕微鏡 (STM) 発光分光、走査トンネル分光、探針増強ラマン分光、原子間力顕微鏡など）、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。

＜2011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、2011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：Ni(110)-(2x1)O表面のナノサイズドメインの誘電関数の第一原理計算を終了した。

得られた結果は、2010年に STM発光分光により決定した誘電関数とよい一致を示した。このことは、この表面の誘電特性を決定している機構に関する我々の考え方が正しかったことを示す。また、STM発光分光によりナノメートルの位置分解能での局所誘電特性が計測できることを示す。STMギャップへのピコ秒レーザーの照射を組み併せたSTM発光分光法を Sb_2Te_3 に対して実施した。STM発光スペクトル中にフォノンと電子との相互作用に起因する微細構造を発見した。この結果は、STM発光分光により、ナノスケールの位置分解能とピコ秒の時間分解能でフォノン物性の研究が可能になることを示す。

機能探索: テラヘルツ領域で原子位置分解能を有する分光学的手法の開発を行っている。STM探針の存在による並進対称性の破れにより、表面フォノン・ポラリトンが発光性になる。このため、強いSTM発光がテラヘルツ領域で期待される。STM発光におけるプリズムの機能を研究した。その結果、プリズムは放射に強い指向性を与えることがわかった。この結果は集光効率の劇的な改善に寄与するものであり重要な発見である。

2. ナノ構造計測手法の開発

STM発光スペクトルから局所物性を決定するためには理論解析が有効である。しかし、従来の手法では、プリズム結合型STM発光の解析を行うことは出来なかった。電磁気現象を数値的に解析するための有限差分時間領域法がプリズム結合型STM発光に適用できることを見いだした。薄膜物性の決定にはATR (Attenuated Total Reflection) 法が有効であるが、そのスペクトル解析においては試料の表面や界面の粗さは無視されていた。表面・界面粗さを二次の摂動項まで考慮したATR理論を開発した。

<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)。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] W. Iida, J. Ahamed, S. Katano, and Y. Uehara, "Mechanism of Prism-Coupled Scanning Tunneling Microscope Light Emission", *Jpn. J. Applied Phys.* **50**, 095201 (2011).
- [2] 片野諭、上原洋一、"走査トンネル発光分光による単一原子・分子が有するナノ物性の探索" *応用物理* **80**, 960 (2011).

量子光情報工学研究室

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

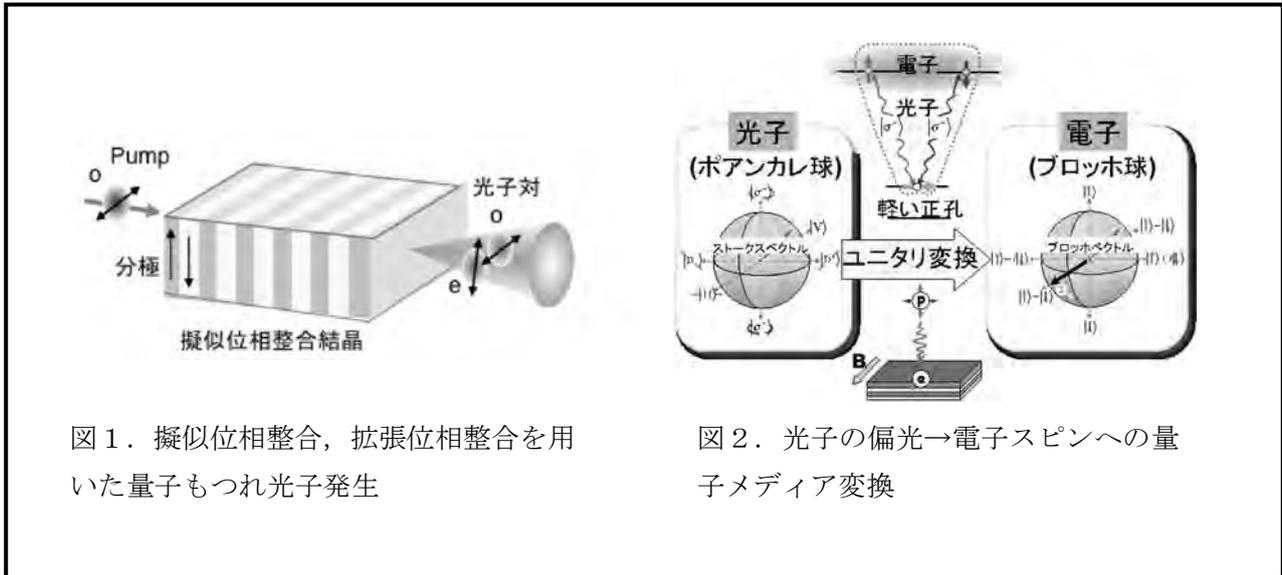


図1. 擬似位相整合, 拡張位相整合を用いた量子もつれ光子発生

図2. 光子の偏光→電子スピンへの量子メディア変換

量子光情報工学研究分野 教授 枝松 圭一
 量子物性工学研究分野 准教授 小坂 英男
 量子レーザー分光工学研究分野 准教授 三森 康義

<研究室の目標>

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。

<2011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。本研究室では、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) 2周期擬似位相整合素子を用いた高効率量子もつれ光子生成、(2) 通信波長帯における多光子量子干渉の実証、(3) 4光子間束縛量子もつれ状態の活性化の実証、等の成果を得た。

(2) 光子から電子スピンへの量子メディア変換技術の開発

量子情報通信の発展には、量子メディア間のインターフェース技術が重要となる。本研究室では、伝送を担う光子から処理を担う半導体中の電子スピンへの量子状態の転写方法について研究

している。本年度は、(1)偏光転写方式に比べ伝送耐性の高いタイムビン転写方式の実験的実証、(2)光子-電子スピン間の量子的相互作用を利用したコヒーレントカー効果による電子スピン状態トモグラフィの手法確立、(3)ダイヤモンド量子メモリーへの転写予備実験、等の成果を得た。

(3) 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単一量子状態の高感度な測定手法の開発は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顕微ポンプ-プローブ分光法を開発し、単一半導体量子ドット中の励起子状態のコヒーレント制御の測定に成功した。

<職員名>

教授 枝松圭一 (2003年より)
 准教授 小坂英男 (2003年より)
 准教授 三森康義 (2011年より)
 秘書 長岡亜紀子

<プロフィール>

枝松圭一 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

小坂英男 1989年京都大学大学院理学研究科修士課程修了、NEC 光エレクトロニクス研究所・基礎研究所主任研究員、京都大学大学院工学研究科論文博士取得、University of California Los Angeles 客員研究員、2003年7月より現職

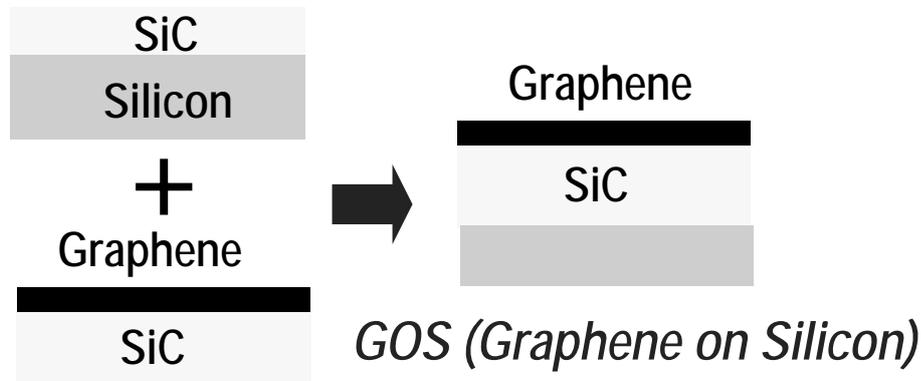
三森康義 1998年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了、日本学術振興会特別研究員、NTT 基礎研究所研究員、東京工業大学大学院非常勤講師、独立行政法人通信総合研究所専攻研究員、東北大学電気通信研究助教、2011年7月より現職

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] H. Kosaka, "Photon-to-Electron Quantum Information Transfer", J. Appl. Phys. **109**, 102414 (2011)
- [2] Y. Mitsumori, Y. Miyahara, K. Uedaira, H. Kosaka, S. Shimomura, S. Hiyamizu, and K. Edamatsu, "Micro-pump-probe spectroscopy of an exciton in a single semiconductor quantum dot using a heterodyne technique," Jpn. J. Appl. Phys. **50**, 095004/1-4 (2011)
- [3] T. Inagaki, H. Kosaka, Y. Mitsumori, and K. Edamatsu, "Electron spin state tomography with coherent Kerr effect," Appl. Phys. Lett. **99**, 173108/1-3 (2011)
- [4] H. Kosaka, H. Shigyou, T. Inagaki, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, T. Kutsuwa, M. Kuwahara, K. Ono, Y. Rikitake, N. Yokoshi, and H. Imamura, "Spin coherent read, write, manipulation of electrons with light in solids," AIP Conf. Proc. **1363**, 165-168 (2011)
- [5] R.-B. Jin, J. Zhang, R. Shimizu, N. Matsuda, Y. Mitsumori, H. Kosaka, and K. Edamatsu, "Intrinsic pure single-photon source and its nonclassical interference with weak coherent photons," AIP Conf. Proc. **1363**, 327-330 (2011)
- [6] K. Asakura, Y. Mitsumori, H. Kosaka, K. Edamatsu, K. Akahane, N. Yamamoto, M. Sasaki, and N. Ohtani, "Excitonic Rabi oscillations in semiconductor quantum dot observed by photon echo spectroscopy," AIP Conf. Proc. **1399**, 529-530 (2011)
- [7] W. Ueno, F. Kaneda, H. Suzuki, S. Nagano, A. Syouji, R. Shimizu, K. Suizu, and K. Edamatsu, "Entangled photon generation in two-period quasi-phase-matched parametric down-conversion," Optics Express **20**, 5508-5517 (2012)

固体電子工学研究室

グラフェンをシリコン・テクノロジーに



固体電子工学研究分野 教授 末光 眞希

<研究室の目標>

グラフェンは炭素原子の蜂の巣状二次元ネットワークである。シリコンの百倍という速さで電子が走る、まさに夢の材料と言える。固体電子工学研究室では、このグラフェンをシリコン基板の上に形成することに世界で初めて成功し、世界の注目を集めている。現在、このグラフェンを高周波トランジスタや光デバイスに応用する研究を進めている。

<2011 年度の主な成果>

1. MMS-GSMBE による Si 基板上 3C-SiC 薄膜形成に関する成果

吸着重水素の昇温脱離(D₂-TPD)を用いた SiC 表面化学組成評価法を開発し、モノメチルシラン・ガスソース MBE 法による Si 基板上 3C-SiC 薄膜製膜では、使用する Si 基板面方位及び SiC 成長条件によって 3C-SiC 表面の終端状態を制御可能であることを明らかにした[1,8]。

2. 3C-SiC のグラフェン化過程の理解と制御に関する成果

グラフェン積層構造および界面構造が、Si 基板面方位により制御可能であることを、断面 TEM 観察により直接明らかにし、3C-SiC(111)/Si(111)上の Gr/SiC 界面にはバッファ層が存在するのに対し、3C-SiC(100)/Si(100)上の Gr/SiC 界面にはバッファ層が存在しないことを TEM により直接確認した[2,9]。3C-SiC(111)/Si(111)上の GOS 過程を、LEED 及び XPS で調べた結果、この Si 終端 3C-SiC(111)面上のグラフェン形成過程は Si 終端 6H-SiC(0001)面上のそれと同一プロセスを辿ること、また Gr/3C-SiC(111)界面には、6H-SiC(0001)面上と同様のバッファ層が存在することを明らかにした[3]。こうしたグラフェン構造の面方位依存性はエッジの化学構造 (armchair vs. zigzag edge) にも反映され、3C-SiC(111)/Si(111)上 GOS では armchair edge が支配的であるのに対し、3C-SiC(100)/Si(100)上 GOS ではそのような選択性を持たないことをラマン散乱の詳細な解析から明らかにした[7]。

酸素を微量に添加することで、従来より 250°C 低い 1000°C でのグラフェン化に成功した[4]。

3. グラフェン FET (GFET) に関する成果

高分子ゲート絶縁膜[5]あるいは蒸着 Al のポスト酸化による Al₂O₃ ゲート絶縁膜[6]を用いた GFET を製作し、ゲートスタック形成工程がグラフェン品質に大きく影響することを明らかにした。GOS 上に GFET を作製し、電気特性のウエハサイズでの均一性を確認した[7]。最後に、Al₂O₃ ゲート FET についてセルフアラインメント・ゲート形成プロセスを開発し、ゲート長 3 μ m で電流遮断周波数 13GHz という高い高周波性能を実現し、グラフェン FET の性能律速要因として重要であるアクセス領域の寄生抵抗を大幅に低減する見通しを得た。

<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

<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 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Paper of the Year 賞受賞。2011 年度表面科学会論文賞受賞 (2011 年 12 月)。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Abe, H. Handa, R. Takahashi, K. Imaizumi, H. Fukidome, and M. Suemitsu, "Temperature-Programmed Desorption Observation of Graphene-on-silicon Process", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, No.7, pp. 070102-1-5, 2011.
- [2] H. Handa, R. Takahashi, S. Abe, et al., "Transmission Electron Microscopy and Raman-Scattering Spectroscopy Observation on the Interface Structure of Graphene Formed on Si Substrates with Various Orientations", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, No. 4, pp. 04DH02-1-4, 2011.
- [3] R. Takahashi, H. Handa, S. Abe, K. Imaizumi, H. Fukidome, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, and M. Suemitsu", "Low-Energy-Electron-Diffraction and X-ray- Phototelectron-Spectroscopy Studies of Graphitization of 3C-SiC(111) Thin Film on Si(111) Substrate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, No. 7, pp. 070103-1-6, 2011.
- [4] K. Imaizumi, H. Handa, R. Takahashi, E. Saito, H. Fukidome, Y. Enta et al., "Oxygen-Induced Reduction of the Graphitization Temperature of SiC Surface", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, No. 7, pp. 070105-1-6, 2011.
- [5] M.-H. Jung, H. Handa, R. Takahashi, H. Fukidome, T. Suemitsu et al., "Polymer Material as a Gate Dielectric for Graphene Field-Effect- Transistor Applications", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, No.7, pp. 070107-1-5, 2011.
- [6] M.-H. Jung, H. Handa, et al., "Investigation of Graphene Field Effect Transistors with Al₂O₃ Gate Dielectrics Formed by Metal Oxidation", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, No. 7, pp. 070111-1-5, 2011.
- [7] H. Fukidome, R. Takahashi, S. Abe et al., "Control of epitaxy of graphene by crystallographic orientation of a Si substrate toward device applications", J. Mater. Chem., Vol. 21, pp. 17242-17248, 2011.
- [8] H. Fukidome, S. Abe et al., "Controls over Structural and Electronic Properties of Epitaxial Graphene on Silicon using Surface Termination of 3C-SiC(111)/Si", Appl. Phys. Express, Vol. 4, pp.115104-1-3, 2011
- [9] Hiroyuki Handa et al., "Transmission-electron-microscopy observations on the growth of epitaxial graphene on 3C-SiC(110) and 3C-SiC(100) virtual substrates", Materials Science Forum Vol. 711 (2012) pp 242-245.

誘電ナノデバイス研究室

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

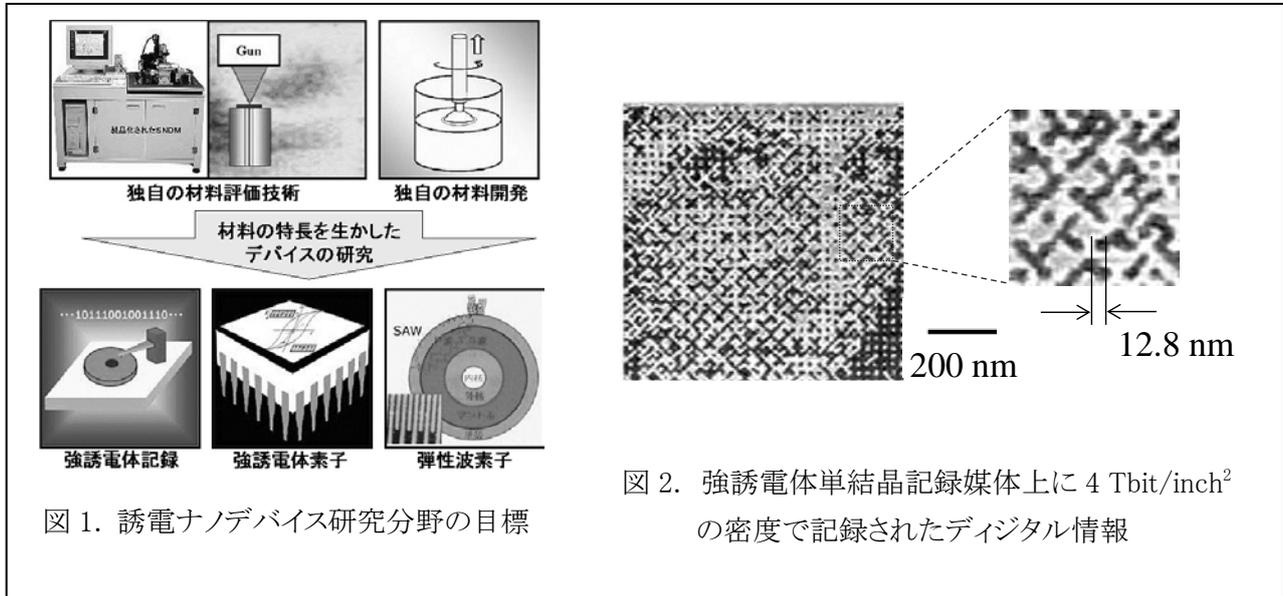


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

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

誘電ナノデバイス研究分野 教授 長 康雄

<研究室の目標>

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

<2011 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 Si(111)表面における電荷分布観察を行い、清浄表面のテラス構造における電気双極子モーメント分布を明らかにした。また、水素を吸着させた Si(111)7×7 表面の電気双極子モーメント分布も明らかにした。

2. 高次非線形誘電率計測による走査型非線形誘電率顕微鏡の高分解能化

高次非線形誘電率顕微法において 4 次高調波までの非線形誘電応答信号の測定を行い、次数が高

くなるに従って観察像の空間分解能が向上することを実験的に明らかにした。

3. 高次非線形誘電率顕微鏡による MONOS 型メモリの蓄積電荷の高分解能観察

高次非線形誘電率顕微鏡法によって MONOS 型 Flash メモリの蓄積電荷の観察を行い、ホール濃度分布を反映したコントラストが観察可能であることを明らかにした。

<職員名>

教授 長 康雄 (2001年より)

客員教授 本田 耕一郎

助教 平永 良臣 助教 山末 耕平

技術職員 我妻 康夫

<プロフィール>

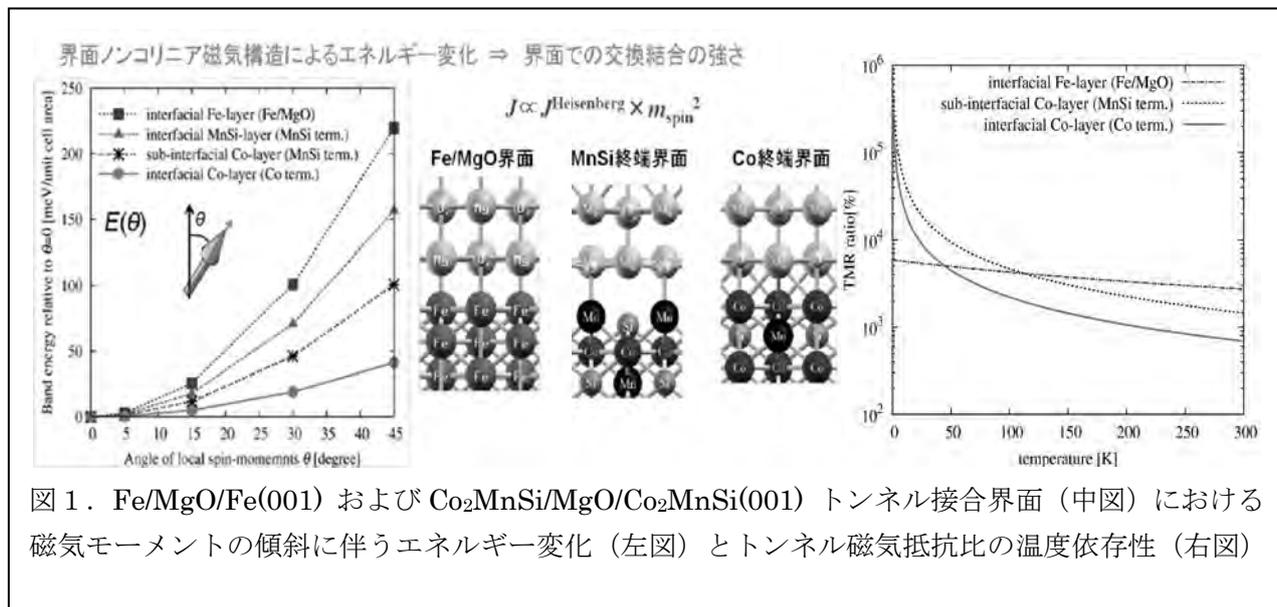
長 康雄 1980年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1986年3月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1985年4月 同大電気通信研究所助手。1990年3月 山口大学工学部助教授。1997年10月 東北大学電気通信研究所助教授 2001年7月 同教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡及び超高密度強誘電体記録の研究開発に従事。市村学術賞功績賞受賞 (2004年)、藤尾フロンティア賞受賞 (2005年)、ドコモ・モバイル・サイエンス賞 (2006年)、ISIF² 2009 OUTSTANDING ACHIEVEMENT AWARD 受賞 (2009年)。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] Yasuo Cho, "Scanning nonlinear dielectric microscopy with high resolution and its application to next generation high density ferroelectric data storage", E-MRS ICAM IUMRS 2011 Spring Meeting, VIII 1, 2011.
- [2] Nobuhiro Sawai and Yasuo Cho, "Study of TiO₂(100) Reconstructed Surfaces by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", 7th NANOSCIENCE and NANOTECHNOLOGY CONFERENCE, P3.I.17, 2011
- [3] Yasuo Cho, "Scanning nonlinear dielectric microscopy", J. Mater. Res., Vol.26, No.16, Aug 28, pp.2007-2016, 2011.
- [4] Kohei YAMASUE and Yasuo Cho, "Observation of local dipole moments on cleaned Si(111) surface with defects by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy", 14th International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy, PI-52.P.146, 2011.
- [5] Kohei Yamasue and Yasuo Cho, "Observation of Polarization Distribution on Si(111) Surface by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.50, pp.09NE12-1-09NE12-5, 2011.
- [6] Koichiro Honda, and Yasuo Cho, "Visualization of Electrons Localized in Metal-SiO₂-SiN-SiO₂-Semiconductor Flash Memory Thin Gate Films by Detecting the Higher-Order Nonlinear Dielectric Constant Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", 2011 MRS fall meeting, 2011.
- [7] N. Chinone, K. Yamasue, Y. Hiranaga, Y. Cho, "Super Higher-Order Nonlinear Dielectric Microscopy", The 19th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, S6-5.P.17, 2011.
- [8] Shin-ichiro Kobayashi and Yasuo Cho, "New evaluation of fullerene molecule on Si(111)-7×7 reconstructed structure using non-contact scanning non-linear dielectric microscopy", Surface Science, 606, pp.174-180, 2012.
- [9] Koichiro Honda and Yasuo Cho, "Visualization of Electrons Localized in Metal-Oxide-Nitride-Oxide-Semiconductor Flash Memory Thin Gate Films by Detecting High-Order Nonlinear Permittivity Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", Appl. Phys. Express, vol.5, pp.036602-1-3, 2012.

物性機能設計研究室

次世代スピンドバイス創製のための物性・機能の理論設計



物性機能設計研究分野 教授 白井 正文

<研究室の目標>

本研究室では、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や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よる超低消費電力デバイス創製を目指した理論研究にも着手している。

<2011 年度の主な成果>

1. 高スピン偏極ホイスラー合金を用いた巨大磁気抵抗素子の理論設計

次世代ハードディスクドライブの読出ヘッドとして、低抵抗かつ高磁気抵抗を示す素子の開発が望まれている。そこで、ホイスラー合金を用いた膜面垂直電流(CPP)巨大磁気抵抗(GMR)素子における室温での磁気抵抗比向上の指針を得るために、Co₂MnSi/X/Co₂MnSi (X: 非磁性金属 Au, Ag, Al, V, Cr) 三層膜のスピン依存電気伝導を第一原理計算した[3]。特にスペーサー層に用いる非磁性金属や界面構造が CPP-GMR 素子における界面スピン依存散乱に及ぼす影響に着目して研究を行った。その結果、非磁性金属 Au, Ag, Al が Co₂MnSi の MnSi 終端界面と接合を形成した場合、非磁性金属と Co₂MnSi のフェルミ面形状の整合性がよいため、より大きなスピン依存散乱ならびに磁気抵抗比が期待できることを明らかにした。この研究成果は、ホイスラー合金を用いた CPP-GMR 素子の実用化に向けた研究開発に重要な指針を提供している。

2. 高スピン偏極ホイスラー合金を用いたトンネル接合における磁気抵抗効果の温度依存性

高スピン偏極ホイスラー合金を電極に用いたトンネル磁気抵抗(TMR)素子の開発において、室温における TMR 比の劣化が大きな問題となっている。そこで、ホイスラー合金／絶縁体接合の界面における磁気モーメントの熱ゆらぎの影響に着目し、TMR 比の温度変化の起源について理論的に検討した[1]。Co₂MnSi/MgO/Co₂MnSi トンネル接合の界面近傍における磁気モーメントの傾斜に伴うエネルギー変化とトンネル伝導への影響を第一原理計算した結果、界面近傍の Co 層と隣接原子層との磁氣的結合が、バルクと比較して著しく弱まっていることを見出した。また、この Co 層の磁気モーメントの熱ゆらぎが伝導電子のスピン反転散乱をもたらし、室温における TMR 比の低下の要因であると結論した (図 1)。また、この研究成果を踏まえて、ホイスラー合金／絶縁体接合界面に磁氣的結合の比較的強い CoFe 層などを挿入することにより、室温における TMR 比の劣化を抑制できることを提案した。

<職員名>

教授 白井 正文 (2002 年より)

助教 阿部 和多加、三浦 良雄

研究支援者 辻川 雅人

<プロフィール>

1988 年 3 月 大阪大学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 大阪大学基礎工学部技官 (教育職)。同助手・助教授を経て、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。第一原理計算に基づくスピン機能材料の理論設計に関する研究に従事。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Miura, K. Abe and M. Shirai, "Effects of interfacial noncollinear magnetic structures on spin-dependent conductance in Co₂MnSi/MgO/Co₂MnSi magnetic tunnel junctions: A first-principles study," Phys. Rev. B, Vol. 83, No. 21, Article no. 214411, pp. 1-6, 2011
- [2] K. Abe and N. W. Ashcroft, "Crystalline diborane at high pressures," Phys. Rev. B, Vol. 84, No.10, Article no. 104118, pp. 1-5, 2011
- [3] M. Nobori, T. Nakano, J. Hasegawa, G. Oomi, Y. Sakuraba, K. Takanashi, Y. Miura, Y. Ohdaira and Y. Ando, "Pressure-induced half-metallic gap transformation in Co₂MnSi observed by tunneling conductance spectroscopy," Phys. Rev. B, Vol. 83, No. 10, Article no. 104410, pp. 1-6, 2011
- [4] Y. Miura, K. Futatsukawa, S. Nakajima, K. Abe and M. Shirai, "First-principles study of ballistic transport properties in Co₂MnSi/X/Co₂MnSi (001) (X = Ag, Au, Al, V, Cr) trilayers," Phys. Rev. B, Vol. 84, No. 13, Article no. 134432, pp. 1-6, 2011
- [5] 水口将輝, 小嶋隆幸, 高梨弘毅, 小嗣真人, 白井正文, "貴金属フリー高磁気異方性材料 L1₀ 型 FeNi 規則合金の作製と評価," まてりあ, Vol. 50, No. 9, pp. 389-392, 2011
- [6] 白井正文, "第一原理計算から見たホイスラー合金の電子状態," 機能材料としてのホイスラー合金, 鹿又武 編著, 内田老鶴圃, pp. 131-149, 2011
- [7] 白井正文, 佐藤和則, "スピントロニクス応用", 密度汎関数法の発展 マテリアルデザインへの応用, 赤井久純, 白井光雲 編著, シュプリンガー・ジャパン, pp. 231-252, 2011
- [8] M. Shirai, Y. Miura and K. Abe, "Non-collinear magnetic structures at Heusler alloy/MgO interfaces: A possible origin for the temperature dependence of tunneling magnetoresistance (Invited)," JSPS York-Tohoku Research Symposium on Magnetic Materials and Spintronics, York, UK, June 27-29, 2011
- [9] Y. Miura, K. Abe and M. Shirai, "Role of spin-flip scattering at interfaces of MgO-based magnetic tunnel junctions with Heusler alloys (Invited)," 5th International Workshop on Spin Currents, Sendai, Japan, July 25-28, 2011
- [10] M. Tsujikawa, Y. Miura, M. Shirai and T. Oda, "Electric-field modulation of magnetic anisotropy at surfaces and interfaces," International Focus Workshop on Quantum Simulations and Design, Dresden, Germany, September 27-29, 2011

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室

(目標) 高信頼・低消費電力な情報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、先端ワイヤレス通信技術(Advanced Wireless IT)に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで、一貫して研究開発を行っている。

(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検討を行った。高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF モジュールの開発を行った。家電ネットワークなどに用いられるミリ波近距離無線通信端末として、有機樹脂基板を用いた小形ミリ波無線通信アンテナモジュールの検討を行った。さらに、準天頂衛星を用いた所在地・ショートメッセージ通信システムならびに端末実装技術についても検討を進めている。

(2)超ブロードバンド信号処理研究室

(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) 単原子層炭素材料: グラフェンをチャネルとする FET に有効な新しい高性能ゲート絶縁膜プロセス技術の開発に成功し、超高速テラヘルツトランジスタ実現の見通しを得た。また、プラズモン共鳴を原理とする超高感度・低雑音テラヘルツ波検出デバイスの開発に成功し、室温動作では世界最高感度(1 THz 入射時に検出感度 2.2 kV/W)を極低雑音(15 pW/ $\sqrt{\text{Hz}}$)で達成した。

(3)超高速光通信研究室

(目標) 光・量子エレクトロニクスならびに伝送工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる光パルス発生・伝送技術、短パルスレーザ技術、ならびにデジタルコヒーレント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) 時間領域光フーリエ変換法により 2.56 Tbit/s/ch - 300 km の超高速長距離伝送に初めて成功した。256~512 QAM コヒーレント伝送において、デジタル信号処理の高度化により伝送速度ならびに距離の大幅な拡大を実現した。さらに、高速化と周波数利用効率の拡大を同時に実現可能な伝送方式として、光ナイキストパルスを用いた時分割多重伝送を新たに提案し、分散耐力の大幅な向上を実証した。

(4)応用量子光学研究室

(目標) 高性能・高機能な半導体光源実現へ向け、超高速動作可能な光制御型半導体光源、高機能半導体光変調器の研究を進めている。また、新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、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進めている。

(成果) 外部共振器構造を導入した光制御型パッシブフィードバック半導体レーザの構造設計を進め、外部共振器長の最適化により、3dB 帯域を 50GHz 以上に拡大できることを数値解析で明らか

にした。また、設計パラメータを基に素子を作製し、帯域拡大効果の検証実験を進めている。

(5)情報ストレージシステム研究室

(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のシステム化技術の研究を行っている。

(成果)現在の10倍の高面密度に相当する5Tbit/inch²(1平方インチ当たり5兆ビット)を実現するための記録方式を検討し、昨年まで研究を続けてきたビットパターン型垂直媒体だけでは達成困難で、できるだけ狭い範囲の記録領域を昇温する熱補助記録の併用で可能になることを記録理論とコンピュータシミュレーションから明らかにした。また、ペタバイト級の省電力ストレージシステムについて、昨年までに達成した50%の電力削減を維持しながら、ノード負荷を分散させることでデータ転送の高速化も同時に実現する方式を開発した。

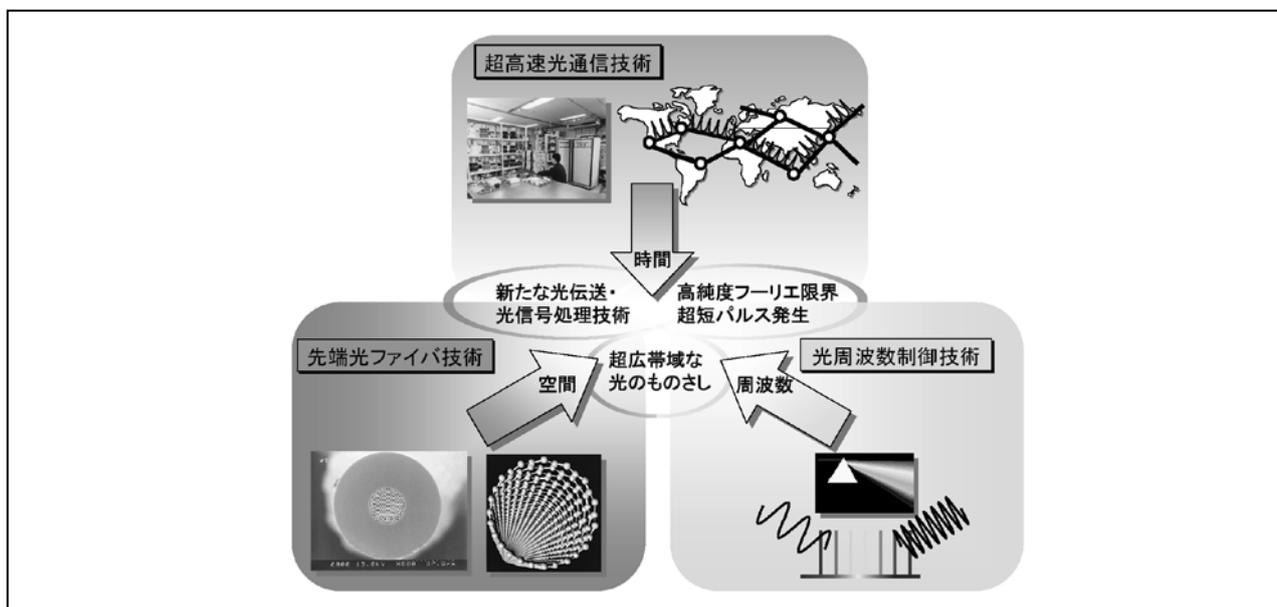
(6)ブロードバンド通信基盤技術研究分野(犬竹客員研究室)

(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)システムの開発を目標としている。

(成果)国土交通省の委託研究として、前年度までに、大規模自然災害時に威力を発揮するリアルタイム画像レーダ“Live SAR”のハードウェアが完成した。今年度は、“Live SAR”の画像生成ソフトやユーザインターフェイスなどを、他大学および企業の研究者・技術者との共同研究により、開発した。

超高速光通信研究室

次世代超高速光通信技術に関する研究



光伝送研究分野 教授 中沢 正隆

光信号処理研究分野 准教授 廣岡 俊彦 高精度光ファイバ計測研究分野 准教授 吉田 真人

＜研究室の目標＞

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、デジタルコヒーレント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。

＜2011年度の主な成果＞

1. 超高速光伝送技術に関する研究

時間領域光フーリエ変換法により 2.56 Tbit/s/ch - 300 km の超高速長距離伝送に初めて成功した。超短パルス伝送における性能劣化の主要因として、偏波分散の高次効果による伝送歪みの問題を明らかにした。これらの限界を克服するために、高速化と周波数利用効率の拡大を同時に実現可能な伝送方式として光ナイキストパルスを用いた時分割多重伝送を新たに提案し、分散耐力の大幅な向上などその優れた特徴を実証した。

2. コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

逆伝搬法ならびに周波数領域等化法によるデジタル信号処理の高度化により、256~512 QAM 伝送における速度ならびに距離の大幅な拡大を実現した。逆伝搬法を用いて分散と非線形光学効果を同時に補償し、さらにハードウェアの周波数特性に起因する波形歪みを周波数領域において高い分解能で等化することにより、伝送距離ならびに速度をいずれも 2 倍以上拡大することに成功した。

また、OTDM (Optical Time Division Multiplexing)と QAM を融合した超高速コヒーレントパルス伝送技術により、32 QAM 変調した RZ 光パルスを 800 Gbit/s へ高速化し、その 225 km 伝送に成功した。

<職員名>

教授 中沢 正隆 (2001 年より) 准教授 廣岡 俊彦 (2007 年より)
准教授 吉田 真人 (2011 年より) 学振特別研究員 葛西 恵介 秘書 篠崎 頼子

<プロフィール>

中沢 正隆 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。IEEE Daniel E. Noble Award (2002 年)、OSA R. W. Wood Prize (2005 年)、Thomson Scientific Laureate (2006 年)、産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞(2009 年)、紫綬褒章(2010 年)、IEEE Quantum Electronics Award (2010 年)など受賞。IEEE、OSA、電子情報通信学会および応用物理学会フェロー。2008 年本学 Distinguished Professor、2010 年本研究所所長。

廣岡 俊彦 2000 年 3 月大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月コロラド大学博士研究員。2002 年 4 月東北大電気通信研究所助手。2007 年 10 月同准教授、現在に至る。超高速光通信、非線形ファイバ光学の研究開発に従事。電子情報通信学会学術奨励賞、光科学技術研究振興財団研究表彰、文部科学大臣表彰若手科学者賞など受賞。

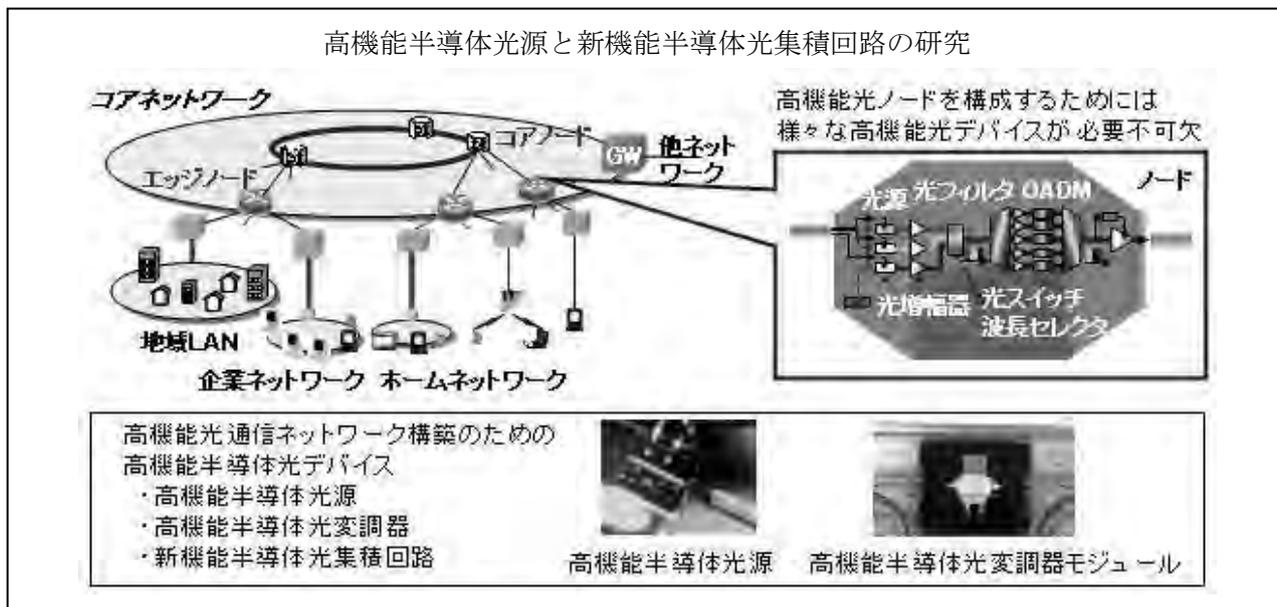
吉田 真人 2001 年 3 月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月東北大電気通信研究所助手。2011 年 7 月同准教授、現在に至る。ファイバレーザ、コヒーレント光伝送の研究に従事。電子情報通信学会学術奨励賞、ELEX Best Paper Award、富山県ひとづくり財団とやま賞など受賞。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] K. Kasai, A. Mori, and M. Nakazawa, "1.5 μm frequency-stabilized $\lambda/4$ -shifted DFB LD employing an external fiber ring cavity with a linewidth of 2.6 kHz and a RIN of -135 dB/Hz" IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 23, 1046-1048, 2011
- [2] Y. Wang, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Polarization-multiplexed, 10 Gsymbol/s, 64 QAM coherent transmission over 150 km with OPLL-based homodyne detection employing narrow linewidth LDs," IEICE Electron. Express, vol. 8, 1444-1449, 2011.
- [3] T. Hirooka, T. Hirano, P. Guan, and M. Nakazawa, "PMD-induced crosstalk in ultrahigh-speed polarization-multiplexed optical transmission in the presence of PDL," J. Lightwave Technol., vol. 29, 2963-2970, 2011.
- [4] Y. Tomiyama, K. Harako, P. Guan, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Comparison between polarization-multiplexed DPSK and single-polarization DQPSK in 640 Gbaud, 1.28 Tbit/s-500 km single-channel transmission," Opt. Fiber Technol., vol. 17, 439-444, 2011
- [5] K. Koizumi, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "A 10 GHz 1.1 ps regeneratively mode-locked Yb fiber laser in the 1.1 μm band," Opt. Express, vol. 19, 25426-25432, 2011.
- [6] P. Guan, T. Hirano, K. Harako, Y. Tomiyama, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "2.56 Tbit/s/ch polarization-multiplexed DQPSK transmission over 300 km using time-domain optical Fourier transformation," Opt. Express, vol. 19, B567-B573, 2011.
- [7] M. Nakazawa, K. Kasai, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Novel RZ-CW conversion scheme for ultra multi-level, high-speed coherent OTDM transmission," Opt. Express, vol. 19, B574-B580, 2011.
- [8] M. Nakazawa, T. Hirooka, P. Ruan, and P. Guan, "Ultrahigh-speed "orthogonal" TDM transmission with an optical Nyquist pulse train," Opt. Express vol. 20, 1129-1140, 2012.
- [9] M. Nakazawa, T. Hirooka, M. Yoshida, and K. Kasai, "Ultrafast coherent optical communication," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol. 18, 363-376, 2012.
- [10] K. Kasai, D. O. Otuya, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Single-carrier 800-Gb/s 32 RZ/QAM coherent transmission over 225 km employing a novel RZ-CW conversion technique," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 24, 416-418, 2012.

応用量子光学研究室

革新的光通信用高機能半導体デバイスの創出に関する研究



高機能フォトリクス研究分野 教授 八坂 洋

＜研究室の目標＞

高性能・高機能な半導体光源実現へ向け、超高速動作可能な光制御型半導体光源、高機能半導体光変調器の研究を進めている。また、新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、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っている。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。

＜2011 年度の主な成果＞

1. 光制御型高速半導体レーザ光源

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。半導体レーザ光源を外部信号光で制御することで、共振器内キャリア密度変動の少ない低チャープな光信号発生が可能であることを明らかにした。これは半導体レーザ直接変調時に問題であった発振光周波数のダイナミックな変動を抑圧した光信号発生が可能であることを示唆しており、光信号の伝送距離拡大に大きく貢献できる技術となると考えている。また、外部共振器構造を導入し、光子共鳴効果を導入することで応答帯域の拡大を図ったパッシブフィードバック半導体レーザの構造設計を進め、外部共振器長の最適化 (~170 μm) により、3dB 帯域を 50GHz 以上に拡大できることを数値解析で明らかにした。また、設計により得られたパラメータを用いてパッシブフィードバック半導体レーザを作製し、帯域拡大効果の検証実験を進めている。

2. 波長可変光周波数コムブロック発生光源

高機能半導体光変調器の実現へ向け研究を進めている。研究の1応用分野として、半導体光変調器の「小型・低駆動電圧」の特長を生かして光源と組み合わせることによる光マルチキャリア生成技術の研究を進めた。簡便に構成できる DWDM システムへ適用可能な多波長光源として、半導体マッハツェンダ変調器を用いた波長可変周波数コムブロック発生光源の実現を目指している。半導体レーザから出力された CW 光を入力した半導体マッハツェンダ変調器を正弦波電気信号で大振幅変調し、CW 光波長を中心に複数のサイドバンドを発生することで多波長光源を構成した。これにより、7~9本の搬送波を有する光周波数コムブロックを発生することに成功した（光強度ばらつき<10dB）。本構成の多波長光源では半導体マッハツェンダ変調器の半波長電圧(V_{π})の波長依存性が問題となるが、波長により動作バイアス点を調整することで RF 信号振幅を一定のまま 1525~1560nm の広い波長範囲で同じスペクトル形状を有する光周波数コムを発生することに成功した。また、光周波数コムの強度ばらつき低減が必要不可欠であり、研究を継続している。

<職員名>

教授 八坂 洋 (2008年より)

<プロフィール>

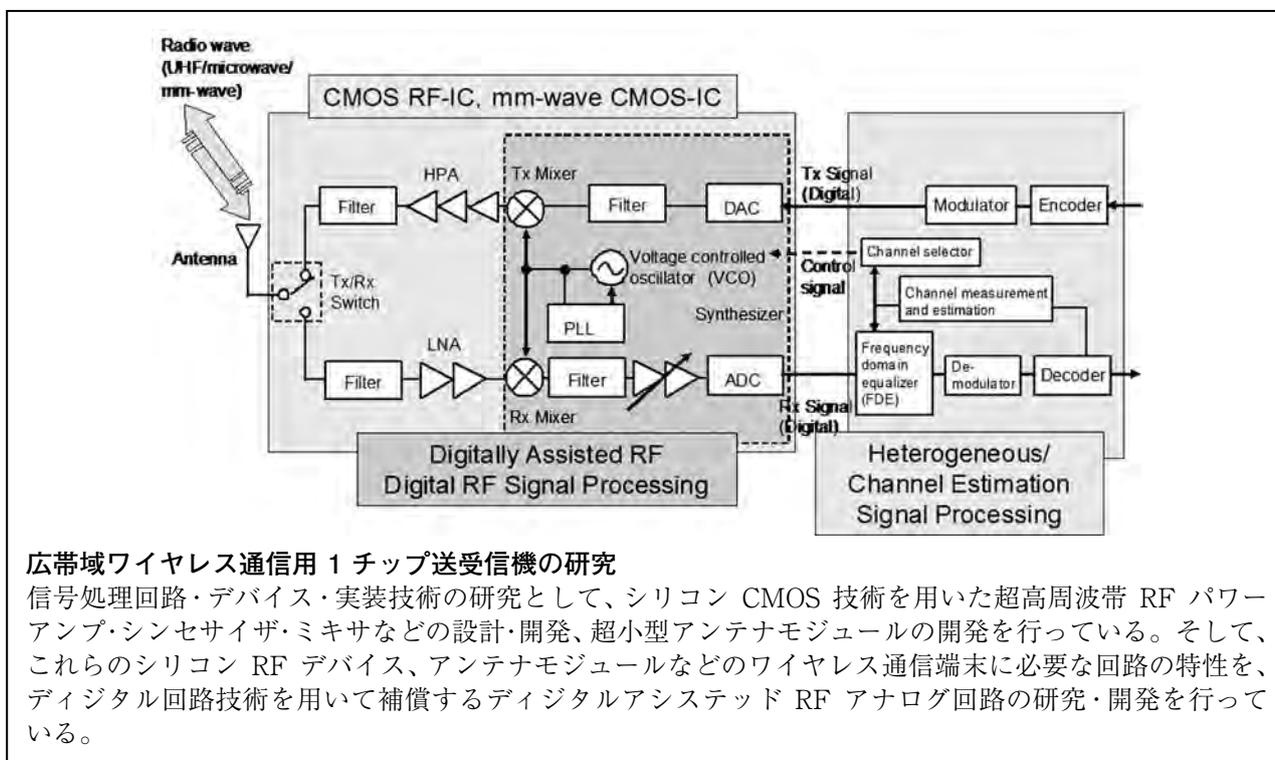
八坂 洋 1983年3月 九州大学理学部物理学科卒業。1985年3月 同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。1985年4月 日本電信電話(株)入社、NTT厚木電気通信研究所、NTT光エレクトロニクス研究所、NTT光ネットワークシステム研究所、NTTフォトニクス研究所勤務。1993年12月工学博士(北海道大学)。2008年4月 東北大電気通信研究所教授、現在に至る。光通信用高機能半導体光デバイスの研究開発に従事。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] H. Ishihara, Y. Saito, W. Kobayashi, and H. Yasaka, "Bandwidth enhanced operation of single mode semiconductor laser by intensity modulated signal light injection," to be submitted to IEICE Transactions on Electronics.

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信ネットワークの実現へ向けて



先端ワイヤレス通信技術研究分野 教授 末松 憲治

<研究室の目標>

人々の交流や情報のやりとりが世界規模に広がった昨今の高度情報化社会は、ユビキタス化・ブロードバンド化が進むネットワークの進化とともに発展してきた。このネットワークのさらなるユビキタス化・ブロードバンド化には無線通信技術がますます重要となる。無線通信技術の中でも、特に信号処理回路・デバイス・実装技術と変復調・ネットワーク技術はその実現に必要不可欠な両輪である。当研究室では高度情報ネットワークの実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術 (Advanced Wireless IT) に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで、一貫して研究・開発を行っている。

<2011 年度の主な成果>

1. 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方式の研究

主に移動通信環境において広域・高速通信を両立可能とするために、シングルキャリアとマルチキャリアの各通信方式を適応的に切り替えて通信を行うハイブリッド通信に関する研究を行った。特に今年度はマルチアンテナ技術の適用についての提案を行い、スループット特性改善効果を計算機シミュレーションにより示した。

2. 高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF モジュールの研究

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、ミリ波帯無線通信端末用シリコン CMOS VCO・送信増幅器やスケラブル A/D 変換器などの検討を 90nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った。本年度は 90nm CMOS プロセスを用いて 60GHz 帯の高耐電力 T/R スイッ

チの設計・試作を行った。実測評価の結果、60GHz帯において出力電力24.8 dBmであっても線形な結果が得られた。

3. 小形ミリ波無線通信アンテナモジュールの研究

家電ネットワークなどに用いられるミリ波近距離無線通信端末として、有機樹脂基板を用いた小形ミリ波無線通信アンテナモジュールの検討を行っている。本年度はこのモジュール上に実装可能な、ミリ波帯アンテナの設計・実装・評価を行った。

<職員名>

教授 末松 憲治

助教 亀田 卓

産学官連携研究員 谷藤 正一

<プロフィール>

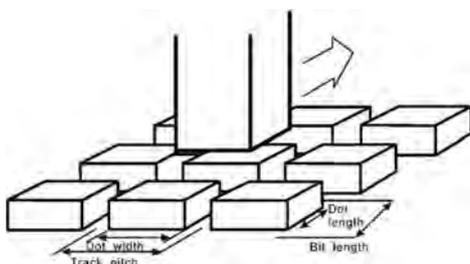
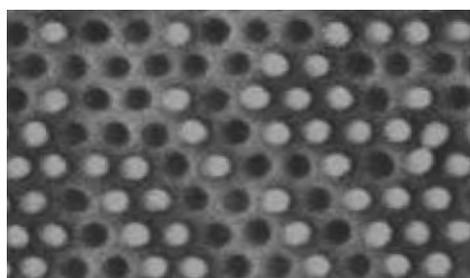
末松 憲治 1987年3月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。博士(工学)(2000年)。1987年4月三菱電機(株)入社。1992年9月～1993年9月英国リーズ大学客員研究員。2008年4月～2010年3月東北大学電気通信研究所客員教授。2010年4月教授。1997年、2006年、2009年関東地方発明表彰発明奨励賞、2002年第50回電気科学技術奨励賞(オーム技術賞)、2009年文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)受賞。応用物理学会、電気学会、電子情報通信学会、日本エレクトロニクス実装学会、IEEE各会員。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] N. Suematsu, "Si-RFIC technologies for multi-band multi-mode wireless terminals," 2011 China-Japan Microwave Conference (CJMW), pp.1-4, China, April 2011. (Invited, Keynote)
- [2] S. Kameda, H. Oguma, N. Izuka, F. Yamagata, Y. Asano, Y. Yamazaki, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Proposal of heterogeneous wireless communication network with soft handover in application layer: Feasibility study based on field trial results," 6th International ICST Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM2011), Osaka, June 2011.
- [2] S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A high-gain planar dipole antenna for 60-GHz band 3-D system-in-package modules," 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, IF246.2, Spokane, USA, July 2011.
- [3] S. Tanifuji, K. Ando, T. T. Ta, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "High sampling rate 1GS/s current mode pipeline ADC in 90nm Si-CMOS process," 2011 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Intelligent Radio for Future Personal Terminals 2011 (IMWS2011), Korea, August 2011. (Invited)
- [4] S. Kameda, H. Oguma, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, K. Komatsu, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Coverage estimation of uplink 64 QAM signal up to 20 MHz bandwidth based on field trial results: Coverage issue of broadband uplink signal," The 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2011), France, Oct. 2011.
- [5] Y. Miyake, K. Kobayashi, K. Komatsu, S. Tanifuji, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Hybrid single-carrier and multi-carrier system: Widening uplink coverage with optimally selecting SDM or joint FDE/antenna diversity," The 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2011), France, Oct. 2011.
- [6] S. Tanifuji, N. Suematsu, S. Kameda, T. Takagi and K. Tsubouchi, "24.8 dBm power handling 60 GHz transmit/receive switch using series and shunt FETs in 90 nm Si-CMOS process," The 6th European Microwave Integrated Circuits Conference 2011 (EuMIC 2011), Manchester, UK, Oct. 2011.
- [7] N. Suematsu, S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "60GHz antenna integrated transmitter module using 3-D SiP technology and organic substrates," European Microwave Conference (EuMC2011), Manchester, UK, Oct. 2011. (Invited)
- [8] S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A 60-GHz band WPAN transmitter module integrated with a planar dipole antenna using organic substrates and 3-D SiP technology," IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS2011), Hangzhou, China, Dec. 2011. (Invited)

情報ストレージシステム研究室

ビットパターン型垂直磁気記録を用いた 次世代大容量情報ストレージシステムの研究



(左) パターン媒体と垂直ヘッド記録の概念図。(右) 実験用に試作した階層型高速大容量ストレージシステム。

大規模ストレージシステム研究分野 教授 村岡 裕明

記録理論コンピューテーション研究分野 准教授 サイモン グリーブス

<研究室の目標>

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) を超えたと見られている。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。

<2011 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 のビット面積は $25.4 \text{ nm} \times 25.4 \text{ nm}$ 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では磁性粒子の体積が小さくなり過ぎるため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）によってこれを回避する高密度化に注力している。この記録方式では書込み時の誤り率が最大の課題になることを明らかにしている。今年度は、昨年度に解析的なアプローチで明らかにした 5 Tbit/inch² 以上の面記録密度の可能性について、さらにコンピュータシミュレーションによって記録過程を詳細に調べ、記録点の局所加熱径を 10nm 以下に微小化した熱補助記録（Heat assisted recording）を併用することで目標記録密度を実現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、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、高密度記録に重要な熱擾乱現象をモデル化した LLG (Landau Lifshitz Gilbert) 方程式によるコンピュータシミュレーションを用いた検討を進めている。今年度は、新たに熱補助記録の解析を正しく行うためにキュリー温度近くに昇温した磁性体の振る舞いを取り込んだシミュレーションプログラムを開発した。

3. 高速大容量ストレージシステムのシステム化の研究

インターネット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クラウドデバイスとして大規模データストレージの重要性が増している。IT21 センターにおけるストレージプロジェクトと連携してストレージシステムの消費電力を低減する研究を進めている。今年度はこの省電力型ディスクサブシステムのデータ転送性能の高速化に関する実証試験を成功裏に終えた。（図右）

<職員名>

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

<プロフィール>

村岡 裕明 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）。

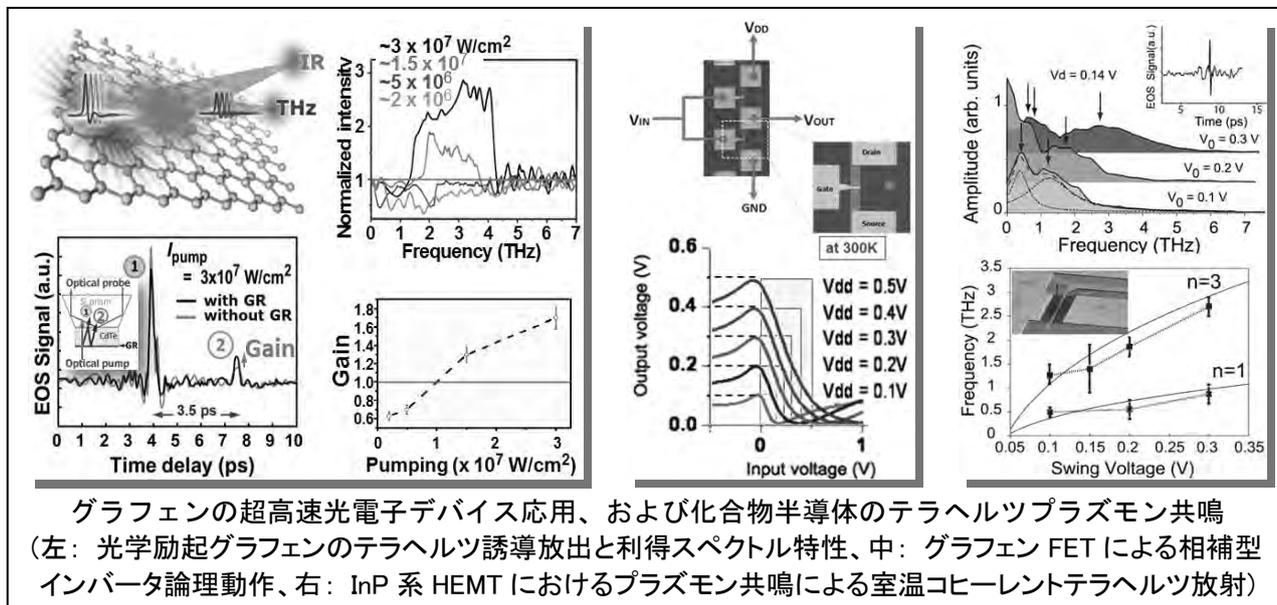
サイモン グリーブス 1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学助教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] Kenji Miura, Eiji Yamamoto, Hajime Aoi, and Hiroaki Muraoka, "Off-track error probability due to track squeeze in shingled writing," J. Appl. Phys. Vol. 109, 07B773, Apr. 2011.
- [2] Simon John Greaves, Hiroaki Muraoka, and Yasushi Kanai, "The feasibility of bit-patterned recording at 4 Tb/in² without heat-assist," J. Appl. Phys. Vol. 109, 07B702, Apr. 2011.
- [3] Simon Greaves, Yoshihiro Jinbo, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, "Split-Pole Write Head for Thermally Assisted Magnetic Recording," IEEE Trans. Magn., Vol. 47, No. 10, pp. 2375-2378, Oct 2011.
- [4] Koji Tsushima, Kenji Miura, Hiroaki Muraoka, "Estimation of Magnetization Transition Width and Shape by Inverse Reciprocity," IEEE Trans. Magn., Vol. 47, No. 10, pp. 3000-3003, Oct. 2011.

超ブロードバンド信号処理研究室

ミリ波・テラヘルツ波帯電子デバイスの創出と
その情報通信への応用に関する研究



超ブロードバンドデバイス・システム研究分野 教授 尾辻 泰一
極限高速デバイス研究分野 准教授 末光 哲也

<研究室の目標>

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。

<2011 年度の主な成果>

1. 超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、第一に、質量消失効果等の特異なキャリア輸送特性を有する新材料グラフェンを研究対象とし、SiCN および DLC (diamond-like carbon) をゲートスタック材料として導入した新構造グラフェンチャネル FET をナノ・スピン実験施設で試作し、優れたゲート変調動作を確認した。第二に、光学励起したグラフェンにおけるテラヘルツ帯反転分布・誘導放出に関する理論予測の観測・実証に成功するとともに、グラフェン品質に依存するキャリア輸送特性とテラヘルツ帯利得特性の関係を明らかにした。

2. 極限高速電子デバイス研究分野

ミリ波からサブミリ波へ、電子デバイスの動作速度の極限を追求すると共に、それらの特性を活かした集積回路応用を目指した研究を推進している。2011年度は、InGaAs系高電子移動度トランジスタ（HEMT）において、SiCNを鋳型として用いたT型ゲート作製プロセスを構築し、電極による寄生遅延成分の影響を系統的に評価することに成功した。また、GaN系HEMTの作製プロセスを立ち上げ、高速かつ高耐圧なミリ波帯トランジスタを目指して開発を進めている。

<職員名>

教授 尾辻 泰一（2005年より）

准教授 末光 哲也（2006年より）

助教 佐藤 昭（2010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

<プロフィール>

尾辻泰一 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。テラヘルツデバイス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。

末光哲也 1992年3月 早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1994年3月 同大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1994年4月 日本電信電話(株)入社。2002年1月～2003年1月 MIT 客員研究員。2006年9月 東北大学電気通信研究所助教授、2007年4月 同准教授、現在に至る。化合物半導体超高速トランジスタの研究開発に従事。第1回応用物理学会講演奨励賞受賞（1996年）、電子通信学会論文賞受賞（2003年）。ELEX Best Paper Award 受賞（2007年）。応用物理学会、日本物理学会、IEEE、APS 各会員。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] T. Otsuji, T. Watanabe, A. El Moutaouakil, H. Karasawa, T. Komori, A. Satou, T. Suemitsu, M. Suemitsu, E. Sano, W. Knap, and V. Ryzhii, "Emission of terahertz radiation from two-dimensional electron systems in semiconductor nano- and hetero-structures," J. Infrared Milli. Terhz. Waves, Vol. 32, No. 5, pp. 629-645, 2011.
- [2] H. Karasawa, T. Komori, T. Watanabe, A. Satou, H. Fukidome, M. Suemitsu, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Observation of amplified stimulated terahertz emission from optically pumped heteroepitaxial graphene-on-silicon materials," J. Infrared Milli. Terahertz. Waves, Vol. 32, No. 5, pp. 655-665, 2011.
- [3] A. El Moutaouakil, H.-C. Kang, H. Handa, F. Fukidome, T. Suemitsu, E. Sano, M. Suemitsu, and T. Otsuji, "Room temperature logic Inverter on epitaxial graphene-on-silicon device," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 50, No. 7, pp. 070113-1-4, 2011.
- [4] S. Takabayashi, S. Ogawa, Y. Takakuwa, H.-C. Kang, R. Takahashi, H. Fukidome, M. Suemitsu, T. Suemitsu, T. Otsuji, "Carbonaceous field effect transistor with graphene and diamondlike carbon," Diamond and Related Materials, Vol. 22, pp. 118-123, 2012.
- [5] T. Yoshida, K. Akagawa, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "InGaAs HEMTs with T-gate electrodes fabricated using HMDS SiN mold," Phys. Status Solidi C, Vol. 9, No. 2, pp. 354-356, 2012.

ブロードバンド通信基盤技術研究室

高分解能合成開口レーダの開発と民生応用



図1(上) Live SAR のロゴ、
(左)アンテナ/ジンバル系
(質量 10kg)



図2 Live SAR のユーザーインターフェイス

ブロードバンド通信基盤技術研究分野 客員教授 犬竹正明

<分野の目標>

本研究の目標は、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合成開口レーダ (SAR : Synthetic Aperture Radar) システムの開発である。

今年度は、国土交通省の委託研究 3 年目の目標である (1)アンテナ/ジンバルの追尾制御系の地上試験、(2)Live SAR の画像ソフトウェア、ユーザーインターフェイスの開発を、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。

<2011 年度の主な成果>

1. 平成 23 年度国土交通省委託研究の遂行 (参考文献 1-4 参照)

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 のハードおよびソフト開発が本委託研究の目標である。平成 21 年度より採択された国土交通省の委託研究「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) の 3 年目の開発項目を以下のように遂行した。

2. リアルタイム画像レーダ“Live SAR”の追尾制御試験とソフトウェア開発

H22 年度に完成したリアルタイム画像レーダ “Live SAR” (図1(左)参照)のロゴを作成した(図1(上)参照)。Live SAR はスポットライト SAR であり、GPS および IMU(慣性センサー)を用いて、マイクロ波ビームを、適宜、観測基準点に向け続ける(追尾制御)必要がある。H23 年度は Live SAR 試験用架台を製作し、車に搭載して追尾制御試験を実施した。GPS と IMU から求めた車の位置と予

め設定した観測基準点位置座標とから計算した方位角と、ジンバル回転角度の計測値と比較した。その結果、両者はよく一致し、追尾制御が首尾よくなされていることが確認できた。

また、Live SAR の画像生成、ポラーフォーマット、オートフォーカスなどのソフトウェア開発、および、図 2 に示すユーザーインターフェイスを開発した。航空機の進行方向両側の扇形領域内の任意の観測基準点を指定すると、その周辺の SAR 画像をある空間分解能(選択可能)で収集することができる。

3. 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 24 年 2 月 2 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) の協賛で開催した。(i)「国土交通省の災害対応一東日本大震災における災害ヘリの活動を中心に」の講演で、夜間時や悪天候時の SAR を利用した防災情報把握の重要性が強調された。(ii)「Pi-SAR-L を用いたタイ洪水状況の監視」の講演、(iii) 航空機機内に容易に持ち込み可能な小型軽量合成開口レーダ“AT-SAR”、(iv) 国交省河川局委託研究として開発中のリアルタイム SAR “Live SAR” およびソフトウェア“SAR tools”の開発結果、およびその他の講演があった。大学や関連企業からの参加者 50 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)

(共同研究機関：九州大学産学連携センター、福岡工業大学、東北大学東北アジア研究センター、宇宙航空研究開発機構、富士重工業(株))

<プロフィール>

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

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)。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] 犬竹、他：展示「リアルタイム画像生成合成開口レーダ」、危機管理産業展 2011，東京ビッグサイト（平成 23 年 10 月 19-21 日）。
- [2] D. Zhang and A. Mase, “Experimental Study on Radar-Based Breast Cancer Detection Using UWB Antenna without Background Subtraction”, Biomed. Eng.: Applications, Basis and Communications **23**, 5, 383-391
- [3] M. Watanabe, C. Yonezawa, J. Iisaka, and M. Sato, “ALOS/PALSAR full polarimetric observations of the Iwate/Miyagi nairiku earthquake of 2008”, Int. J. Remote Sensing **33**, 4, 1234-1245 (2012).
- [4] A. Gaber, M. Koch, H. Griesch, and M. Sato, “SAR Remote Sensing of Buried Faults: Implications for ground water exploration in the western desert of Egypt”, Sensing and Imaging (2011).

3. 3 人間情報システム研究部門の目標と成果

情報通信システムの高度化のためには、人間の情報処理過程の仕組みの解明とその応用、いつでも・どこでも通信できる環境の実現が重要である。本部門は、生体情報生成の解明、音声・視覚を中心とした人間情報処理過程の解明を進め、情報通信環境の最適化を行うことにより、人間に‘よりフレンドリー’な高度情報通信システムを実現するための要素技術とシステム技術開発を目標としている。

この目標達成のため、本部門は次の4研究分野で研究を進めている：(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を目指す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) 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目指すユビキタス通信システム研究分野。

2011年度の各分野の研究目標と成果の概要を以下に示す。

(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) 超高感度センシングシステムに関して、その感度を決定づける最も重要な要因が磁性薄膜の異方性であることを明確化するとともに、異方性の制御手法として材料の熱膨張係数の差を利用した手法を提案し、そのメカニズムに関する検討を行った。また、高周波磁界計測プローブの開発においては、空間分解能を1桁向上させ、磁気記録ヘッド周辺磁界分布の3次元可視化への道筋を開いた。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、生物模倣アクチュエータに関する検討を進めるとともに、磁気アクチュエータを利用したワイヤレスポンプが人工補助心臓ポンプに要求される仕様を満足しうることを確かめ、さらに動物実験により皮下に埋設した状態での特性を評価することでその有用性を明確化した。

(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、高次感性情報の評価指標である迫真性と臨場感の規定因を明らかにするとともに、マルチモーダル感覚情報を入力とした迫真性と臨場感の数理モデルを提案した。また、3次元音空間制御手法についても研究を進め、その鍵となる頭部伝達関数(HRTF)に関して、仰角方法の知覚手がかりを明らかにした。さらに、100ch以上の超多チャンネル高次アンビソニックス(HOA)による收音・再生システム、252chの超多チャンネル両耳聴收音システムSENZIを開発した。

(3) 高次視覚情報システム研究分野

(目標) 人間の視覚に関する脳内の情報処理機構を解明する事により, 人間に適した視環境・情報環境の設計や, 情報機器の評価などの応用的展開を目標として研究を行っている。

(成果) 平成23年度は, 視覚刺激の点滅により誘発される脳波(定常的視覚誘発電位: SSVEP)の振幅と位相同期の特性を被験者の課題成績と対比させて調べる事により, 視線とは独立に移動させられる視覚的注意の移動に関する研究を行った。その結果, 注意による神経活動の位相同期度が視覚的注意の神経基盤と深く関連している事を明らかにした, また, 左右眼における網膜像の速度差により奥行き情報を処理する機構が, 初期視覚における運動検出処理および両眼視差検出処理を基礎としていることを, 心理物理学および計算モデルを用いて明らかにした。さらに, 脳内における色と運動の情報の結合について, 機能的MRI(fMRI)によって測定した脳活動データを解析する事により調べた。その結果, 知覚と特に密接な信号は第2次/第3次視覚野にすでに存在する事が確認されたが, 高次メカニズムのフィードバックの影響について, さらに研究を進めて特定する必要がある事も明らかになった。

(4) ユビキタス通信システム

(目標) ユビキタス通信の目標は誰とでも, どこでも, 何時でも通信手段を意識することなく通信出来る通信環境を実現することである。この目標実現のために, (1) マルチGbpsの通信を屋内で自由に利用できるスーパー・ブロード・バンド通信の核となる技術を研究開発する。また, (2) ユビキタスにセンサ情報を送信できる広域(~10 km)センサネットワークの研究開発を進める。また, これを国際標準とすべくIEEEでの国際標準化に貢献する。

(成果) 本年度の主な研究成果は(i) 実用可能なレベルの60GHz帯ビームフォーミングアンテナの試作・開発に成功, (ii) 実用可能なレベルに近い60GHz電力増幅器及び移相器の試作・開発に成功, (iii) 屋内通信の不通信確率を従来の1/10以下に低減する技術を開発し, 屋内スーパー・ブロード・バンド通信の実用展開に大きく貢献, また, 平常時はユビキタスにセンサ情報を送信できる広域(~10 km)センサネットワークとして, 非常時は防災ネットワークとして使用できるISWAN(Integrated Services Wireless Wide Area Networks)を提案し, これを国際標準とすべくIEEEでの国際標準化に貢献した。

生体電磁情報研究室

生体との良好なコミュニケーションを目指して

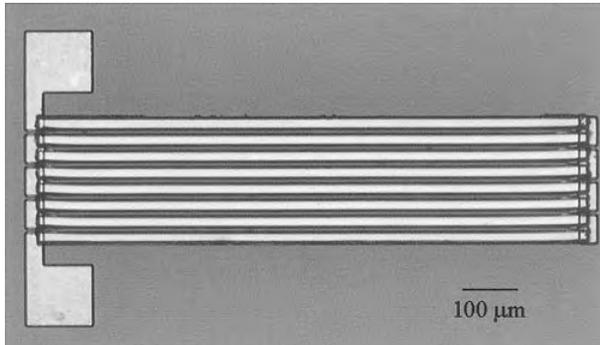


図1 高感度薄膜磁界センサ



図2 カプセル内視鏡駆動用磁気アクチュエータ

生体電磁情報研究分野 教授 石山 和志
生体電磁材料研究分野 准教授 栢 修一郎

<研究室の目標>

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。

<2011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

当分野が継続的に行っている超高感度センサ研究において、特に磁性薄膜の磁気異方性を制御するための新たな手法の提案を行い、その原理について検討した。

2. 高周波磁界計測に関する研究

磁性ガーネットを用いることで金属部品を非測定磁界近傍から排除できる新しい高周波磁界計測プローブの開発を行い、1ミクロン以下の空間分解能を達成した^{[2][7][9]}。

3. 三次元位置検出システムに関する研究

磁気マーカーの三次元位置を高速高精度で検出するシステムの開発を行い、計測精度とセンシングコイルアレイ設計の関連について新しい知見を得た^[5]。

4. 磁気アクチュエータに関する研究

生物の動きを規範とする磁気アクチュエータに関する検討を行い、単純な構造で高度な動きを实

現するアクチュエータを提案し、その動作メカニズムを検討した^{[1][4][8]}。

5. 次世代医療機器に関する研究

ワイヤレスで動作する磁気アクチュエータの特徴を生かし、生体内で動作する医療機器に関する検討を開始しており、特に補助人工心臓用ポンプに的を絞って検討している^[6]。

<職員名>

教授 石山 和志 (2007年より)

准教授 栢 修一郎 (2010年より)

<プロフィール>

石山 和志 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)。

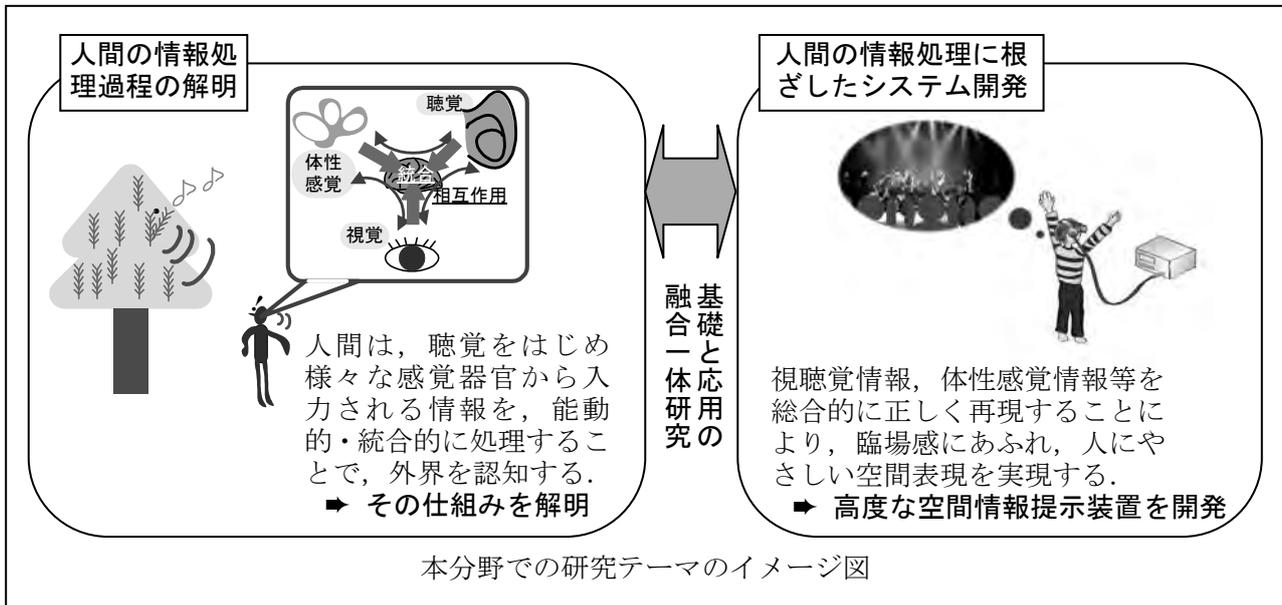
栢 修一郎 1990年3月 琉球大学工学部電気工学科卒業。1992年3月 同大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。1992年4月 本田技研工業(株)入社。1998年3月 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程修了。1998年4月 医薬品機構派遣研究員。2000年7月 岐阜大学工学部助手。2007年4月 同大工学部助教。2008年4月 東北大学電気通信研究所助教。2010年6月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。磁気計測および磁性材料に関する研究開発に従事。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] S. H. Kim, S. Hashi, and K. Ishiyama, "A basic study of a triangular magnet chain for locomotion control," *Journal of Applied Physics*, Vol. 109, Issue: 7, pp. 07E318 - 07E318-3, (2011).
- [2] N. Adachi, K. Yogo, T. Ota, M. Takahashi, and K. Ishiyama, "Magneto-optical effect and ferromagnetic resonance of Bi-Fe garnet for high frequency electromagnetic sensor," *Journal of Applied Physics*, Vol. 109, Issue: 7, pp. 07E506 - 07E506-3, (2011).
- [3] F. Yamashita, S. Nishimura, O. Kobayashi, M. Itoh, M. Nakano, H. Fukunaga, and K. Ishiyama, "Enhancement in magnetic torque of cylindrical micro rotor by usage of directly consolidated α -Fe/Pr₂Fe₁₄B-based nanocomposite thick-films," *Journal of Applied Physics*, Vol. 109, Issue: 7, pp. 07E712 - 07E712-3, (2011).
- [4] S. H. Kim, S. Hashi, and K. Ishiyama, "Magnetic Actuation Based Snake-Like Mechanism and Locomotion Driven by Rotating Magnetic Field," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47, No. 10, pp. 3244-3247, (2011).
- [5] S. Hashi, S. Yabukami, H. Kanetaka, K. Ishiyama, and K. I. Arai, "Wireless Magnetic Position-Sensing System Using Optimized Pickup Coils for Higher Accuracy," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47, No. 10, pp. 3542-3545, (2011).
- [6] S. H. Kim, S. Hashi, and K. Ishiyama, "A Method for Acquiring the Torque of a Magnetic Pump," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47, No. 10, pp. 3971-3974, (2011).
- [7] H. Nasuno, S. Hashi, and K. Ishiyama, "Stroboscopic Technique for Measuring Magnetic-Field Waveforms Utilizing Magneto-Optical Effect," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47, No. 10, pp. 4011-4013, (2011).
- [8] S. H. Kim, S. Hashi, and K. Ishiyama, "Magnetic Robotics: A Biologically Inspired Walking Robot," *Journal of Magnetic Society Japan*, Vol. 35, pp. 149-156, (2011).
- [9] H. Nasuno, S. Hashi, K. Ishiyama, and N. Adachi, "Magnetic Field Waveform Measurement Using Pulsed Laser," *Journal of Magnetic Society Japan*, Vol. 35, pp. 273-276, (2011).

先端音情報システム研究室

高次音響情報通信システムの実現を目指して



先端音情報システム研究分野 教授 鈴木 陽一

音情報コミュニケーション研究分野 准教授 岩谷 幸雄

聴覚・複合感覚情報システム研究分野 准教授 坂本 修一

<研究室の目標>

本分野の研究目標は、人間の知覚情報処理系の中で最重要な情報処理過程の一つである“聴覚”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。

<2011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で外界をより安定・正確に認識している。本分野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いる。本年度は、2009年度に発見した聴覚誘導性視運動知覚 (sound induced visual motion : SIVM, 移動する聴覚刺激によって静止している視覚点滅刺激が動いて見える現象) の生起要因を明らかにした[1]ほか、マルチモーダルコンテンツに対して知覚される迫真性、臨場感といった高次感性情報の規定因を解明し、その知覚数理モデルを構築した。

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、頭部の形状に基づく頭部伝達関数が特に音像定位に大きな役割を果たす。本年度は仰角方向の音像定位の様相を知覚実験により詳細に検討した。その結果、頭部伝達関数の大局的な形状に基づくレベル変化が手がかりとなることが明らかとなった。また、多チャンネルマイク

ロホンやスピーカを用いた音空間制御・提示手法についての研究も進めている（例えば[2~4]）。

3. 次世代ユニバーサルコミュニケーションシステムの開発

聴覚情報を適切に補償し提示するユニバーサルコミュニケーションシステムは、高齢化社会となった現在においてその重要性は極めて高い。本年度は、補聴器の両耳装用を念頭にし、人間の選択的両耳聴取能を積極的に利用した新しい音声聴取支援アルゴリズムを開発した[5]

<職員名>

教授 鈴木 陽一（1999年より）

准教授 岩谷 幸雄（2007年より）、坂本 修一（2011年より）

技術職員 齋藤 文孝

非常勤研究員 岡本 拓磨、崔 正烈、柴田 寛、本多 明生

研究支援者 千葉 順子、事務補佐員 小野寺 美紀

<プロフィール>

鈴木 陽一 1976年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1981年3月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1981年4月 同大電気通信研究所助手。1987年4月 同大大型計算機センター助教授。1989年7月 同大電気通信研究所助教授。1999年8月 同教授、現在に至る。音の大きさおよび音色、騒音の評価、3次元音空間知覚と制御、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。

岩谷 幸雄 1991年3月 東北大学工学部情報工学科卒業。1993年3月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士前期課程修了。1993年4月 秋田大学助手。1999年2月博士（情報科学）東北大学。2000年11月 同大学講師。2002年1月 東北大学電気通信研究所助教授、2007年4月から同准教授、現在に至る。音空間の知覚と提示システムの構築等に従事。船井ベストペーパー賞(2005年 FIT2005)等を受賞。内閣府上席調査員（2007年4月から2009年3月まで）。

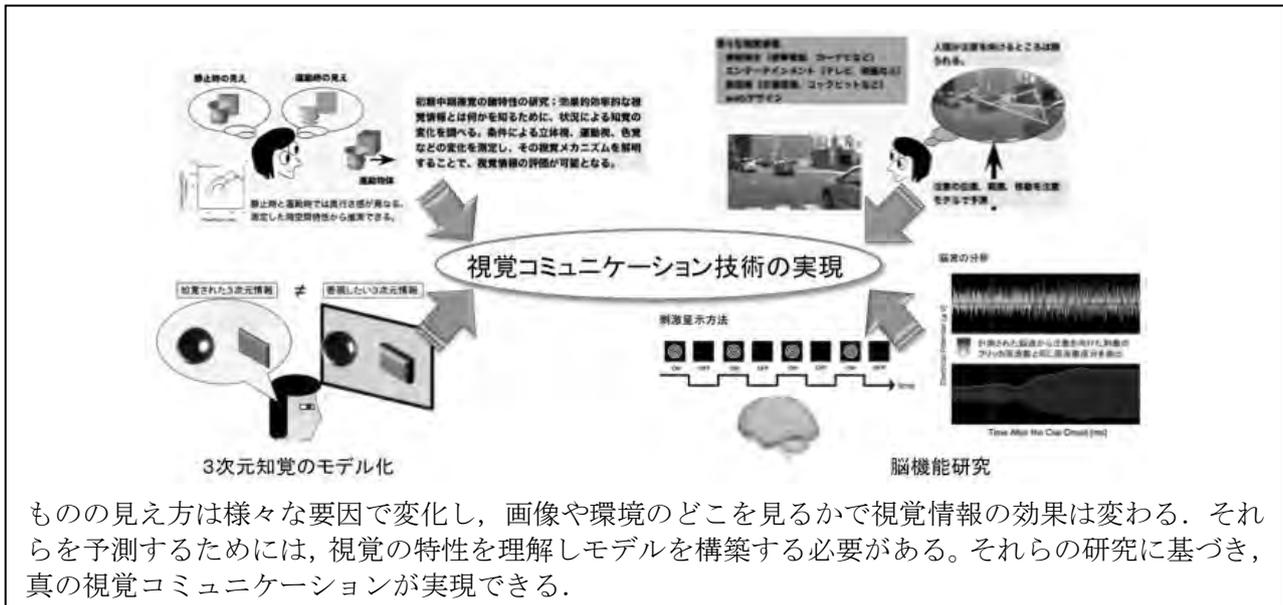
坂本 修一 1995年3月 東北大学工学部情報工学科卒業。1997年3月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士前期課程修了。2000年10月 東北大学電気通信研究所助手、2011年7月 同准教授、現在に至る。この間、2004年3月に東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士後期課程修了。2007年 McGill University 客員研究員。聴覚を含む複数感覚情報処理過程の解明、および、その工学応用に関する研究に従事。日本音響学会粟屋潔学術奨励賞（2005年）受賞。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] S. Hidaka, W. Teramoto, Y. Sugita, Y. Manaka, S. Sakamoto and Y. Suzuki, "Auditory motion information drives visual motion perception," PLoS ONE, 6(3), e17499. (2011)
- [2] T. Okamoto, Y. Iwaya and Y. Suzuki, "Wide-band dereverberation method based on multichannel linear prediction using prewhitening filter," Applied Acoustics, 73(1), 50-55 (2012)
- [3] Y. Iwaya, T. Okamoto, J. Torevino, S. Sakamoto and Y. Suzuki, "Measurement and reproduction of high-definition sound space information using numerous microphones and loudspeakers," Proc. internoise2011, SS20: Mon-4-8 (8 page manuscript) (2011).
- [4] Y. Suzuki, T. Okamoto, J. Trevino, T. Kimura, S. Sakamoto, Z. Cui, M. Katsumoto and Y. Iwaya, "Toward 3D spatial audio systems with high sense-of-presence," Proc. 5th International Universal Communication Symposium (IUCS), TS-3-1 (10 pages manuscript) (2011)
- [5] J. Li, S. Sakamoto, S. Hongo, M. Akagi and Y. Suzuki, "Two-Stage Binaural Speech Enhancement with Wiener Filter (TS-BASE/WF) for High-Quality Speech Communication," Speech Communication, 53(5), 677-689 (2011)

高次視覚情報システム研究室

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



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

高次視覚情報システム研究分野 教授 塩入 諭

知覚能機能研究分野 准教授 栗木 一郎

<研究室の目標>

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。

<2011年度の主な成果>

1. 脳波を用いた注意移動の計測

注意が移動するときの時間特性を定常的視覚誘発電位 (SSVEP, Steady state visual evoked potential) の信号の振幅と位相の2つの指標で測定できることを明らかにした。我々は注意移動の時間特性を行動指標と比較し、SSVEPの振幅増加と位相同期それぞれと定量的な比較を可能とした。その結果から、位相同期が振幅増大に先立つこと、また位相同期度の時間変化が課題遂行に対する行動指標の時間変化とも一致することを明らかにした。これは、注意の神経生理学的モデルとして、神経細胞間の活動の位相同期を支持する重要な知見である。

2. 奥行運動検出過程のモデル化

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）と両眼視差時間変化に注目し、それぞれが初期視覚における運動検出処理および両眼視差検出処理に基礎をおくことをモデル化し、実験結果を説明

することに成功した。3次元対象の運動に対する処理過程の詳細を理解する上で重要な知見である。

3. 脳内における視覚特徴の情報表現

視覚情報は脳内で色や形状、動きなどの情報に分類されるが、最終的に統合された知覚を得ている。その情報の流れや、要素情報である色情報の脳内での表現形式について、機能的MRIイメージングによるデータを分類解析する方法によって調べた。

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)、徳永 留美 (2010年より)

産学連携研究員 荻谷 光晴、松原 和也、中島 亮一、秘書 今野 亜美

<プロフィール>

塩入 諭 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。視覚情報処理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。1988.5 Fight for Sight 賞 (ARVO 1987 best poster) 受賞, 1993.3 応用物理学会光学論文賞受賞, 1999.7 照明学会論文賞受賞, 2000.5, 映像情報メディア学会丹生高柳著述賞受賞, 2010 Distinguished Contributed Paper of the 2010 Society for Information Display (SID) International Symposium.

栗木一郎 1996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、東京工業大学像情報工学研究施設助手、東京大学大学院 工学系研究科 助手、NTT コミュニケーション科学基礎研究所研究員を経て、2006年1月より東北大学電気通信研究所助教授 (2007年4月より同准教授)。知覚と脳活動の対応を用いた視覚情報処理のメカニズムの研究に従事。2010年4月から2012年3月までJST研究開発戦略センターにて、電子情報通信分野の俯瞰と研究開発戦略の立案に関与 (兼務)。1996年8月照明学会論文賞, 2001年3月応用物理学会光学論文賞を受賞。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] A nonlinear two-stage model for color discrimination, Journal of Optical Society of America A (accepted), Inamura, T., Shioiri, S., Tsujimura, S. and Yaguchi, H.
- [2] Control of subjective depth on 3-D displays by a quantified monocular depth cue. Journal of the SID 19/1, pp. 1-8, (2011). Takahashi S, Ishikawa T, Hyodo Y, Ohashi I, Shimpuku Y, Matsubara K, Matsumiya K, Shioiri S
- [3] Asymmetrical brain activity induced by voluntary spatial attention depends on the visual hemifield: A functional near-infrared spectroscopy study. Brain and Cognition, Vol. 75, pp. 292-298, (2011). Harasawa, M. and Shioiri, S.
- [4] Decoding color responses in human visual cortex, IEICE Trans. Fundamentals Vol. E94-A (2) pp. 473-479. Kuriki, I., Nakamura, S., Sun, P. Ueno, K., Matsumiya, K., Tanaka, K., Shioiri, S. and Cheng, K.
- [5] Time courses of attentional modulation in neural amplification and synchronization measured with steady-state visual evoked potentials. Journal of Cognitive Neuroscience (2012) Kashiwase Y, Matsumiya K, Kuriki I, Shioiri S
- [6] Isolation of two binocular mechanisms for motion in depth: A model and psychophysics. Japanese Psychological Research 54(1), 16-26, 2012. Shioiri S, Matsumiya K, Matsubara K

ユビキタス通信システム研究室

Super Broadband Wireless System 及び ISWAN の実現

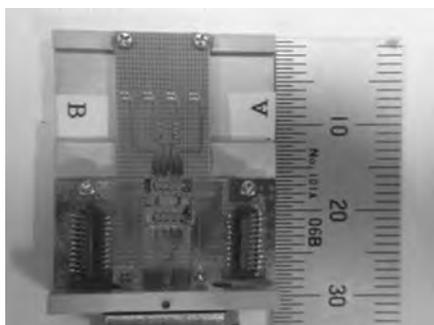


図 1 ビームフォーミング受信モジュール

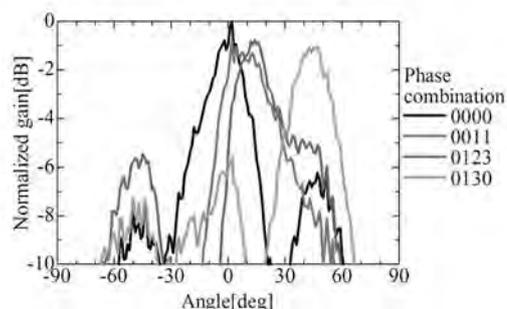


図 2 受信モジュールアンテナビームパターン

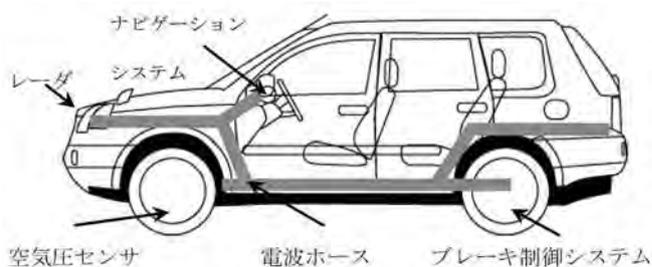


図 3 ワイヤレス・ハーネスシステム

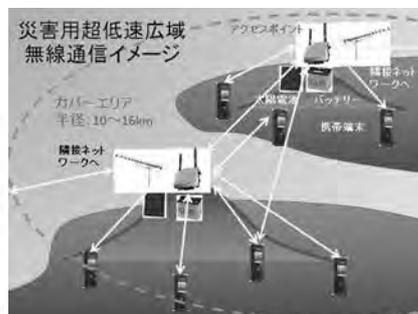


図 4 ISWAN (耐災害用超低速無線通信)

<分野の目標>

ユビキタス通信の目標は何時でも、どこでも、誰とでも通信手段を意識することなく通信出来る通信環境を実現することです。この目標実現のために、マルチ Gbps の通信を自由利用できるスーパー・ブロード・バンド通信の核となる技術を研究開発しています。これらは、伝搬特性、アンテナ、RF デバイス、変復調・誤り訂正、制御ソフトからシステムの研究開発まで、通信システム全体を研究の対象としています。また、災害時には防災通信ネットワークとしても使用できる広域センサネットワークの開発を進め、IEEE 標準化に提案するとともに、日本発技術の国際(IEEE)標準化にも大きく貢献します。

<2011 年度の主な成果>

コア技術の研究・開発を進め 60GHz 帯を使用したスーパー・ブロード・バンド通信の実用展開に大きく前進。また、900MHz, 2.4GHz 帯を使用した “耐災害用超低速無線通信 (ISWAN: Integrated Services Wide Area Wireless Networks)” を IEEE802. 15. 4K 国際標準委員会に提案。

1) 実用可能なレベルの 60GHz 帯ビームフォーミングモジュールの試作・開発に成功

研究室で開発した 3 種のキーテクノロジーである“離散的(90 度ステップ) 位相制御ダブルスロットアレイアンテナ”、“小電力 CMOS RF アンプ”、“低損失な移相器”を接続した 60GHz 帯ビームフォーミングモジュール(図 1)を試作し、ビーム走査が可能であることを明らかにしました(図 2)。

2) 屋内通信の通信断確率を従来の 1/18 以下に低減する技術を開発

意図的な反射体の設置とこれからの反射波を用いて通信する方式を提案し、種々の部屋サイズにお

ける通信断確率改善効果の一般化の研究を進め、通信断確率を反射体数:1 で 1/4 以下、反射体数:2 で 1/18 以下にできる見通しを得ました。また反射体の数、回線断確率及び部屋サイズから、必要な反射体の大きさ、改善率が一時に得られる実用的な設計チャートを完成させました。

3) 高信頼ワイヤレス・ハーネスシステムの実現

電波ホース（金属メッキされたホース）を用いたワイヤレス・ハーネスシステム(図 3)は現在の有線方式よりも軽量・高信頼で高速な自動車内通信を実現することができることを実証しました。また、通信方式としては、電波ホース用チャネルモデルを開発し、シングルキャリアに高利得な誤り訂正(FEC)を用いることにより、OFDM は勿論、等化器も不要であることを明らかにしました。

4) IEEE 標準化に貢献

IEEE802 国際標準規格化会合において、IEEE802.11ad(ミリ波無線 LAN 標準規格)、及び IEEE802.15.4K へ技術提案を行い、標準化に貢献しました(図 4)。

<職員名>

教授 加藤 修三 (2008 年より)

准教授 中瀬 博之 (2008 年より)

助教 沢田 浩和

研究員 マテルム ローレンス、吉宮 繁 技術補佐員 相澤なお美

<教授のプロフィール>

研究開発、製造、品質保証、国際標準化、製品開発、マーケティング、販売、人材の採用、経理、日本及び米国にまたがる技術開発センタ、会社の設立から経営と幅広いクロス・カルチャラルマネジメントで数多くの成功体験を有するマネージャかつ研究・技術者。

主な技術開発ハイライト: A. 二つの異なる分野の技術をボトムから世界トップレベルへ立ち上げ: (i) 衛星 TDMA 通信技術(世界初の汎用的に適用可能な ASIC の開発による巨大システムの LSI 化に成功(1986 年)), (ii) **PHS ベースバンド技術:** 6 dB 受信感度の高い PHS 用ベースバンドチップの開発、世界最小電力の ADPCM Codec の開発、また世界初の 2V 動作 CMOS SOC (実用 LSI としては世界初)による最少消費電力 ASIC の実現(1994 年時)、**B. デジタル携帯電話 (IS-136(米国第 2 世代携帯電話)), PHS 用コア ASIC の開発から携帯電話製造・販売まで** 行い、日米で自らが開発・製造した携帯電話を使用。**C. 世界で最も進んだ国内用 TDMA 衛星通信システムを 3 世代にわたり、システム設計、装置設計・開発、導入までを実現。** **D. 現在まで 39 品種の ASIC をリワーク無しで開発。** **E. 2005 年からミリ波通信方式の研究開発及び国際標準化活動のリード、** 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(工博)、発表論文 200 件以上、取得特許 90 件以上 (内 1 件は米国 DOD 標準となる(1998)), IEEE および電子情報通信学会フェロー。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] Kyoichi Iigusa, Hiroshi Harada, Shuzo Kato, Jiro Hirokawa, and Makoto Ando, "Periodically Loaded Straight Wires for Radio Wave Transmission Control", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 59, NO. 1, JANUARY 2011.
- [2] Lawrence Materum, Shuzo Kato, Hirokazu Sawada, "Channel Measurements for Short Range Beam Tracking/Switching Systems," FrE1-1, International Symposium on Antennas and Propagation 2011, Oct. 25-28, 2011, Jeju, Korea.
- [3] Yosuke Sato, Kazuya Fujita, Hirokazu Sawada, Hiroyuki Nakase, Shuzo Kato, "A Millimeter-wave 8-element Double Slot Array Antenna for High Gain Beam-forming," Global Symposium on Millimeter Waves 2011, May 23-25, 2011, Espoo, Finland.

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室、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室、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室、インタラクティブコンテンツを実現するための技術の研究を行う情報コンテンツ研究室の4基幹研究室と情報社会構造研究室（客員）から構成される。以下、基幹研究室における2010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室

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、理論と実践の両面から研究を行ってきた。基礎理論の研究では、木構造を走査する並列計算の導出のための多相型に基づく基礎理論を整備し、特に木構造間の変換について、それが効率良く並列計算できるための興味深い十分条件を得た。実践的側面では、本研究分野で推進している次世代高信頼プログラミング言語 SML#の開発を進め、関数型言語における完全な分割コンパイル方式とそのインターフェース言語を設計し、実装を行った。また、これまでの研究開発を統合し、ネイティブスレッド対応やデータベースとの統合など、ほぼ完全な機能を有する SML#0.90 版をリリースした。

(2) コンピューティング情報理論研究室

定理自動証明手法にもとづくプログラム変換の検証を目的として、変換パターンをもちいたプログラム自動変換の研究を進めた。自然帰納的定理の概念を与えることにより、高階プログラムに変換パターンを適用するための十分条件を明らかにした。近年、多くの停止性の自動検証器が提案されているが、合流性の自動検証器はほとんど知られていない。そこで、いくつかの分解統合手法にもとづいて、項書き換えシステムの合流性検証器 ACP の開発を進めた。また、永続性や減少ダイアグラム法をもちいた、合流性自動証明の新しい手法を実現した。

(3) コミュニケーションネットワーク研究室

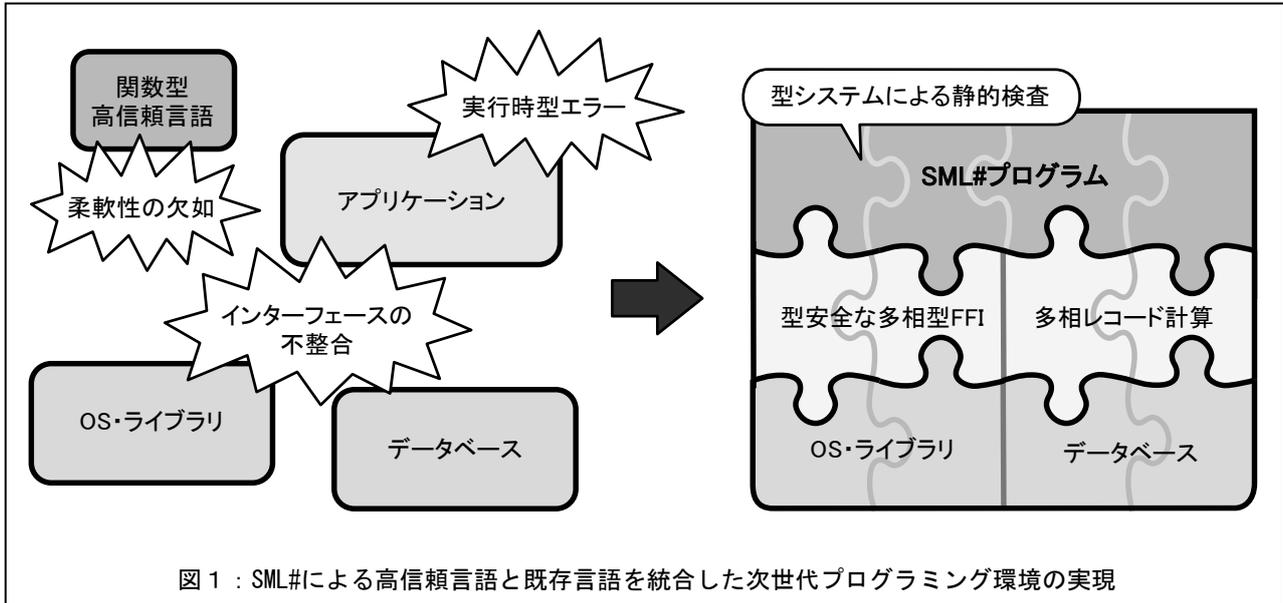
マルチエージェント組織の発展的動作制御のためのエージェント動作特性観測機能を検討し、リポジトリ型マルチエージェントフレームワークを利用した設機能検証を行った。また、エージェント指向ネットワーク管理技術の研究として、能動的情報資源を適用したネットワーク状態情報の自律分散的観測手法、エージェント指向ネットワーク管理支援システムのための実装基盤などを新たに提案した。更に、マルチエージェント応用では、スマートホームなどの基盤となるエージェント指向センサーネットワークやマルチエージェント型マイクログリッド等に関する研究を推進した。

(4) 情報コンテンツ研究室

人との相互作用によって新たな価値を創造するインタラクティブなコンテンツに関して、それらを実現するさまざまな技術に関する研究に取り組んだ。まず、3次元バーチャル物体を複数の人と共有してインタラクティブに操作するマルチタッチ方式のインタフェースを提案した。また、画面に収まりきらない大規模の情報コンテンツを効率よく利用するための新しい方式として、撓みのメタファを導入した新しいインタフェースを提案した。そして、複数ディスプレイ環境をシームレスにかつ柔軟に利用するため、モバイルプロジェクタを導入したシステムに関して検討を行った。さらに、様々な情報コンテンツの提示と人のコミュニケーションの質との間の関係を調べるため、壁面や床ディスプレイ、移動型ディスプレイ、音響スピーカー等によって構成されるメディア空間の試作を開始した。

ソフトウェア構成研究室

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装



ソフトウェア構成研究分野 教授 大堀 淳

<研究室の目標>

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。

<2011 年度の主な成果>

1. SML#コンパイラの開発

SML#は、当研究室で設計・開発を推進している高信頼プログラミング言語であり、以下の特徴を持つ。

- (1) 多相型レコード演算やランク 1 多相性等の先端機能を初めて実現
- (2) 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
- (3) Standard ML と上位互換性を持つ

これらの特長および SML#コンパイラに含まれる諸機能は、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。本年度は、(1) POSIX スレッドに対応したネイティブスレッドのサポート、(2) オブジェクトを移動しないビットマップマーキングごみ集め方式のマルチスレッド対応、(3) ML 系言語における真の分割コンパイルを実現するためのコンパイル方式およびそのインターフェイス言語などを新たに開発・実装した。また、上記を含むこれまでの研究開発成果を集成して SML#コンパイラ全体を再構成し、対話環境を除いてほぼ完全な機能を持つ SML#0.90 版をリリースした。SML#コンパイラはオープンソースソフトウェアとして公開されており、当研究室の Web サイトからダウンロードすることができる。

2. 並列計算プログラムの系統的な導出

近年、汎用の計算機も複数のコアを持つことが普通になっており、一般のプログラマが並列計算の恩恵を受けられる状況になっている。しかし、効率の良い並列計算プログラムの構築は、逐次プログラムの場合に比べ遙かに難しく、多くのプログラマの手に余る。この状況を背景に、我々は並列プログラムの系統的な構成について基礎的な研究をしてきた。

本年度には、木構造を走査する効率良い並列プログラムと木構造を格納する自己平衡木に対するボトムアップの計算との対応を多相型の理論を基に示し、またこの対応に基づいて並列プログラムが系統的に導出できることを示した。また、これに加え、配列を走査するプログラムが分割統治計算できる必要十分条件として知られていた「第三準同型定理」について、その双対および木構造への一般化が、関係を基にした定式化によって自明に得られることも示した。

<職員名>

教授 大堀 淳 (1995 年より)
 助教 上野 雄大, 森畑 明昌
 秘書 寒河江 香子

<プロフィール>

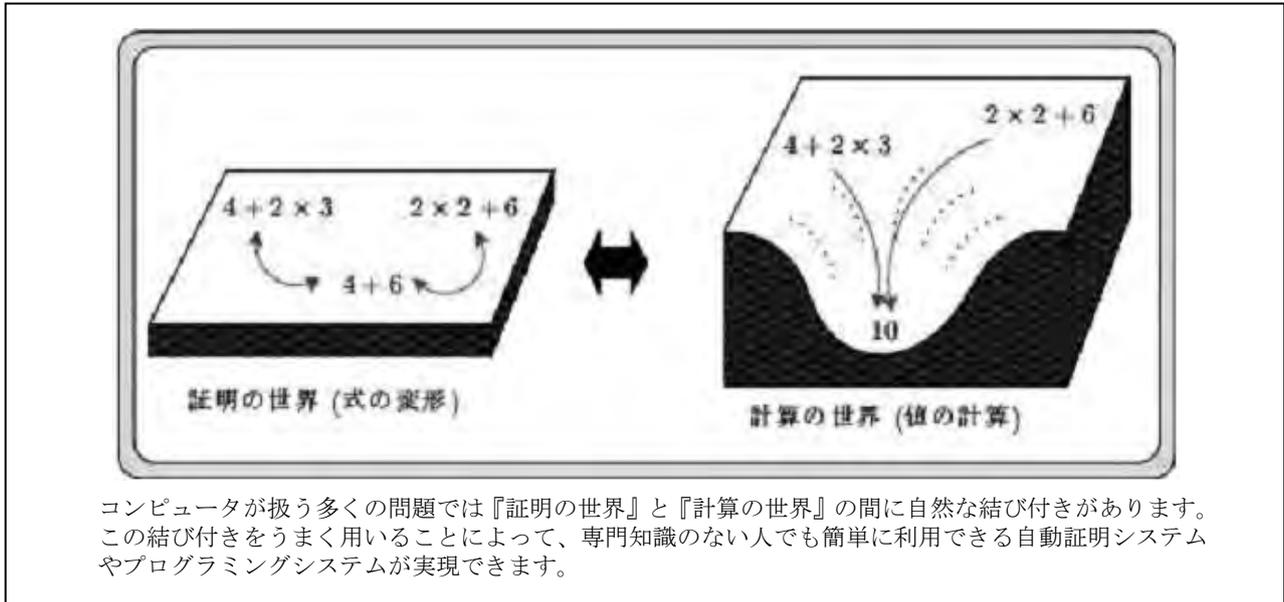
大堀 淳 1957 年生。1981 年東京大学文学部哲学科卒業。同年沖電気工業 (株) 入社。1989 年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了。Ph. D. その後、英国王立協会特別研究員 (グラスゴー大学)、沖電気工業 (株) 関西総合研究所特別研究室長、京都大学数理解析研究所助教授、北陸先端科学技術大学院大学教授を経て、2005 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。プログラミング言語およびデータベースの基礎研究に従事。1996 年第 10 回日本 IBM 科学賞受賞。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] A. Morihata and K. Matsuzaki. Balanced trees inhabiting functional parallel programming. In Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, pp.117-128, 2011.
- [2] K. Ueno, A. Ohori, and T. Otomo. An efficient non-moving garbage collector for functional languages. In Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, pp.196-208, 2011.
- [3] S.-C. Mu and A. Morihata. Generalising and dualising the third list-homomorphism theorem: functional pearl. In Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, pp.385-391, 2011.
- [4] A. Ohori and K. Ueno. Making Standard ML a practical database programming language. In Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming, pp.307-319, 2011.

コンピューティング情報理論研究室

計算と証明の融合によるソフトウェア構成原理



コンピューティング情報理論研究分野 教授 外山 芳人
 コンピューティング論理システム研究分野 准教授 青戸 等人

＜研究室の目標＞

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 |

＜2011年度の主な成果＞

1. 無限項書き換えシステムの研究

通常書き換えシステムは有限の大きさの項を対象とするが、無限の項も考えることができ、無限項を対象とした書き換えシステムの研究も多くの蓄積がある。無限項のなかでも有理項は有限の構造で表現され、計算に現われるさまざまなループ構造を表現するのに適している。有理項に着目し、

それを対象とする書き換えシステムの研究を行った。有理項における効率的な単一化手続きを見出し、それを用いて無限項書き換えシステムの性質を反証する手法を考案した。

2. 合流性自動判定法の研究

定理自動証明やプログラム自動検証の基盤技術である合流性自動判定システムの開発を進めた。現在知られている複数の合流性判定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、さまざまな分解手法を用いて合流性判定を行う合流性自動判定法の改良を行った。さらに、より強力な合流性判定を実現するために、永続性や減少ダイアグラム法に基づく新しい合流性判定法を提案した。

3. 計算体系の研究

部分直観主義論理の述語論理への拡張について、定領域モデルの意味論に対する公理系の完全性は昨年度証明していたが、拡大領域モデルの意味論とそれに対する公理系を新たに定義し、完全性の証明を与えた。

<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

<プロフィール>

外山 芳仁 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。

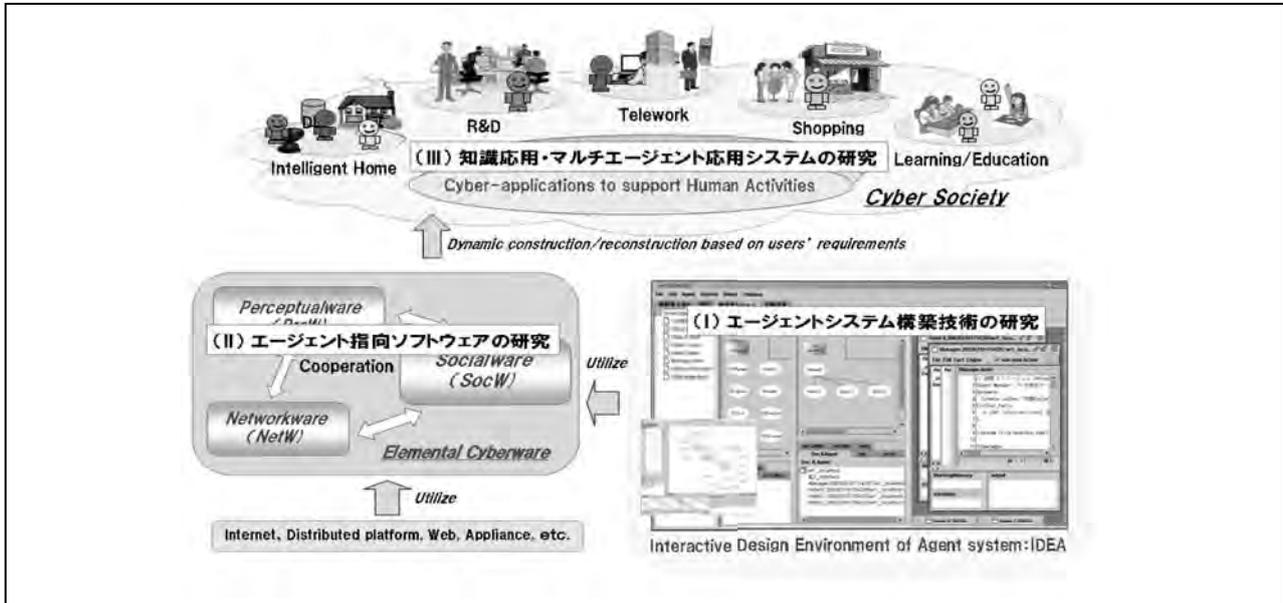
青戸 等人 1969年生。1997年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。同年、同大学情報科学研究科助手、1998年群馬大学工学部助手、2003年東北大学電気通信研究所講師。2004年同助教授。2007年より同准教授。博士（情報科学）。書き換えシステム、定理自動証明、ソフトウェア基礎の研究に従事。

<2011年度の主な発表論文等>

- (1) Takahito Aoto, Toshiyuki Yamada and Yuki Chiba, Natural inductive theorems for higher-order rewriting, In Proceedings of the 22nd International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2011), LIPIcs, Vol. 10, pp. 107-121, 2011.
- (2) Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Reduction-preserving completion for proving confluence of non-terminating term rewriting systems, In Proceedings of the 22nd International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2011), LIPIcs, Vol. 10, pp. 91-106, 2011.

コミュニケーションネットワーク研究室

人間とシステムの協働とコミュニケーションの支援



インテリジェントコミュニケーション研究分野 教授 木下 哲男

<研究室の目標>

社会の隅々まで浸透してきた様々なネットワークシステム、及び、これらをもとに構築される各種システムは、人々の日常生活や仕事を支援し、新しいライフスタイルや社会を生み出す上で重要な役割を担うシステムとして期待されている。本研究室では、人々と互いに協力・連携しながら、人々によるコミュニケーションや創造的活動を能動的に支援する知的システムの実現に向けた基礎から応用に至る研究に取り組む。

<2011 年度の主な成果>

1. 発展型エージェントシステムとその実装基盤

マルチエージェント組織の発展的動作制御のためのエージェント動作特性観測機能を検討し、リポジトリ型マルチエージェントフレームワークを利用した設計・実装と試験による機能検証を行った。

2. エージェント指向ネットワーク管理システム

能動的情報資源を適用したネットワーク状態情報の自律分散的観測手法、エージェント指向ネットワーク管理支援システムのための実装基盤などを新たに提案し、シミュレーション実験、及び、プロトタイプシステムの試作と実験により、それらの妥当性を確認した。

3. マルチエージェント応用システム

マルチエージェント型マイクログリッドの動作モードに即した知識型電力制御、分散情報資源の自律的な集積・統合支援、スマートホームなどの実装基盤となるエージェント指向センサーネットワークなどの検討を推進し、知識型分散情報環境の設計法／実装法へのフィードバックを行った。

＜職員名＞

教授 木下 哲男

助教 高橋 秀幸 (2011年より)

事務補佐員 今野 亜未

＜プロフィール＞

木下 哲男 1979年3月 東北大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。1979年4月 沖電気工業(株)入社。1996年8月 東北大学電気通信研究所助教授。2001年4月 同大情報シナジーセンター教授。2010年4月 電気通信研究所教授。現在に至る。工博(1993年3月・東北大学)。知識工学、エージェント工学、知識応用システム・エージェント応用システムなどの研究開発に従事。情報処理学会平成元年度研究賞(1989年)および平成8年度論文賞(1997年)、電子情報通信学会平成13年度業績賞(2001年)、東北総合通信局長表彰(2004年)、INTELEC2009 Outstanding Paper Award(2009年)など受賞。電子情報通信学会および情報処理学会フェロー。

＜2011年度の主な発表論文等＞

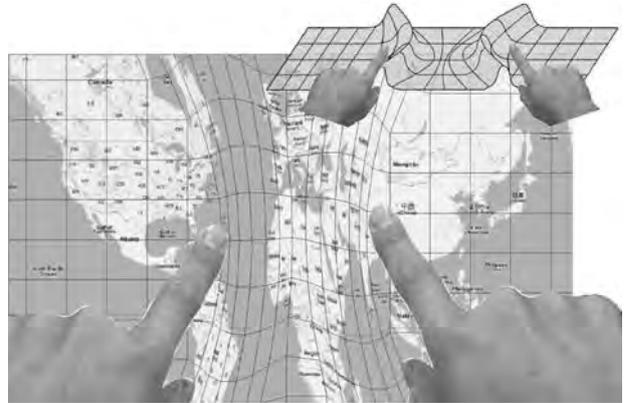
- [1] Akiko Takahashi, Tetsuo Kinoshita, "Configuration and control design model for an agent based Flexible Distributed System", International Journal of Web Intelligence and Agent Systems, Vol.9, No.2, pp.161-178, IOS Press, 2011.4.
- [2] Takahiro Uchiya, Hideki Hara, Kenj Sugawara, Tetsuo Kinoshita, "Repository-Based Multiagent Framework for Developing Agent Systems", in Y. Wang (Ed.), Transdisciplinary Advancements in Cognitive Mechanisms and Human Information Processing, Ch.4, pp.60-79, IGI Global, ISBN 9781609605537, EISBN13: 9781609605544, 2011.5.
- [3] Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Gen Kitagata and Tetsuo Kinoshita, "A Practical Design and Implementation of Active Information Resource based Network Management System", Int. J. Energy, Information and Communication, Vol.2, N.4, pp.67-86, 2011.11.
- [4] Gen Kitagata, Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Norio Shiratori and Tetsuo Kinoshita, "Agent-based Access Rights Delegation utilizing Social Relationships", Int. J. Energy, Information and Communication, Vol.2, N.4, pp.87-100, 2011.11.
- [5] Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, "A Comparative Study of Bankruptcy Rules for Load-shedding scheme in Agent-based Microgrid Operation", In T.-H. Kim, et al (Eds), Ubiquitous Computing and Multimedia Applications: Second International Conference, Ucm2011, Proceedings Part II, pp.145-152, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, UCMA2011, Daejeon, Korea, 2011.4.
- [6] Yujin Lim, Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, Tai-hoon Kim, "Traffic Rerouting Strategy against Jamming Attacks for Islanded Microgrid", In T-h Kim et al. (Eds.): AST2011, Communications in Computer and Information Science, Vol.195, pp.98-103, Springer-Verlag, 2011.6.
- [7] Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Complementary Interaction between Human-oriented Knowledge and Machine-oriented Information on AIR-NMS," Proc of the 2nd International Conference on Morphological Computation (ICMC2011), pp.111-113 2011.9.
- [8] Hideyuki Takahashi, Taishi Ito, Tetsuo Kinoshita, "The Concept of an Agent-based Middleware for Smart Home Environments," Proc of Intern. Workshop on Informatics, pp.41-47, 2011.9.
- [9] Yujin Lim, Hak-Man Kim, Jaesung Park, and Tetsuo Kinoshita, "A Load-Shedding Scheme Using Optimization for Proportional Fairness in the Islanded Microgrid", in T.-h. Kim et al. (Eds.): CA/CES3 2011, CCIS 256, pp. 235-241, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.12.
- [10] Khamisi Kalegele, Johan Sveholm, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "On-demand Numerosity Reduction for Object Learning," Proc of the Workshop on Internet of Things and Service Platforms (IoTSP 2011), pp.1-8, 2011.12.

情報コンテンツ研究室

インタラクティブコンテンツを実現する技術の研究開発



複数人共有型立体ディスプレイの利用例



撓みのメタファを導入したインタフェース利用例

インタラクティブコンテンツ研究分野 教授 北村 喜文

＜研究室の目標＞

優れたコンテンツは人の生活を豊かにする力を持っている。産業、教育、文化、医療、娯楽など多様な方面で今後ますますその力が発揮され、また、人と人とのコミュニケーションといった分野でも、その利用への期待が高まっている。当研究室では、映像、音楽、ゲームなど、従来型のコンテンツにはなかった新たな魅力を持つコンテンツとして、人との相互作用によって新たな価値を創造するインタラクティブなコンテンツに関して、それらを実現するさまざまな研究と開発に取り組んでいる。

＜2011年度の主な成果＞

1. 2次元・3次元環境における新しいマルチタッチインタフェースの提案

3次元バーチャル物体を複数の人と共有してインタラクティブに操作するマルチタッチ方式のインタフェースを提案した[10]。また、画面に収まりきれない大規模の情報コンテンツを効率よく利用するための新しい方式として、撓みのメタファを導入した新しいインタフェースを提案した[7]。さらに、光ファイバ群を利用した毛状マルチタッチインタフェースを開発した[1, 2]。

2. 複数ディスプレイをシームレスに扱うインタフェースの提案

複数ディスプレイ環境をシームレスにかつ柔軟に利用するため、ハンドヘルドプロジェクタを導入したシステムに関して検討を行った。

3. 情報コンテンツによる対人コミュニケーション誘導

様々な情報コンテンツの提示と人のコミュニケーションの質との関係を調べるため、壁面や床ディスプレイ、移動型ディスプレイ、音響スピーカー等によって構成されるメディア空間の試作を開始した。その中で、複数人会話の活性化のためのシステムを検討した[3, 4, 6, 8]。

<職員名>

教授 北村 喜文
 助教 高嶋 和毅
 研究員 横山 ひとみ
 秘書 斎藤 あづさ

<プロフィール>

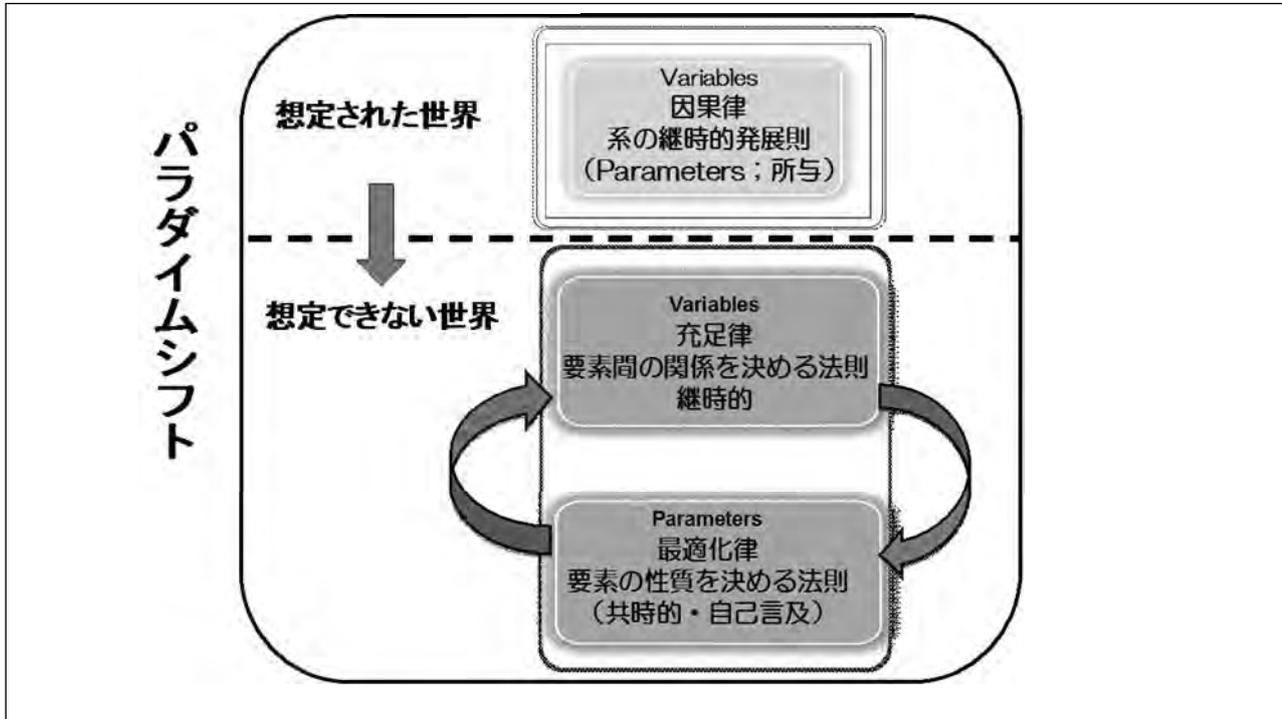
北村 喜文 1987年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年キャノン株式会社情報システム研究所，1992年ATR通信システム研究所，1997年大阪大学大学院工学研究科助教授，2002年同大学大学院情報科学研究科助教授／准教授。2010年東北大学電気通信研究所教授，現在に至る。博士（工学）。1997年電子情報通信学会論文賞，2006年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞，2007年日本バーチャルリアリティ学会論文賞，2008年情報処理学会インタラクティブ ベストペーパー賞などを受賞。3次元ユーザインタフェース，バーチャルリアリティ，エンタテインメントコンピューティング，インタラクティブコンテンツなどの研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会フェロー。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] 中島康祐, 伊藤雄一, 築谷喬之, 藤田和之, 高嶋和毅, 岸野文郎: FuSa² Touch Display: 大画面毛状マルチタッチディスプレイ, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 3, pp. 1069-1081, 2012.
- [2] Kosuke Nakajima, Yuichi Itoh, Takayuki Tsukitani, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, Fumio Kishino: FuSA2 touch display: furry and scaleble multi-touchable display, In Proc. Interactive Tabletops and Surfaces (ITS), pp. 35-44, 2011
- [3] Kazuyuki Fujita, Yuichi Itoh, Hiroyuki Ohsaki, Naoaki Ono, Keiichiro Kagawa, Kazuki Takashima, Sho Tsugawa, Kosuke Nakajima, Hayashi Yusuke, Fumio Kishino: Ambient Suite: enhancing communication among multiple participants, In Proc. Advances in Computer Entertainment Technology (ACE), pp. 25:1-25:8, 2011.
- [4] Sho Tsugawa, Hiroyuki Ohsaki, Yuichi Itoh, Naoaki Ono, Keiichiro Kagawa, Kazuki Takashima, Makoto Imase: Quasi-realttime social network construction with heterogeneous sensors in ambient environment, In Proc. Advances in Computer Entertainment Technology (ACE), pp. 75:1-75:2, 2011.
- [5] 伊藤雄一, 懸啓治, 高嶋和毅: ヨミログ: 読書ログによる個人に応じた読了時間推定システム, インタラクティブ 2012, pp. 129-136, 2012.
- [6] 津川 翔, 大崎 博之, 伊藤 雄一, 小野 直亮, 香川 景一郎, 高嶋 和毅, 今瀬真: アンビエント環境における異種センサを用いた動的ソーシャルネットワーク分析, 通信行動工学時限研専第二回研究会予稿集, pp. 17-22, 2012.
- [7] 大脇正憲, 藤田和之, 高嶋和毅, 伊藤雄一, 北村喜文: マルチタッチ入力環境における撓みスクロール・ズーム手法, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, pp. 429-424, 2011.
- [8] 藤田和之, 高嶋和毅, 伊藤雄一, 大崎博之, 小野直亮, 香川景一郎, 津川翔, 中島康祐, 林勇介, 岸野文郎: Ambient Suite: 部屋型情報空間を用いた 対人コミュニケーション支援, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集, pp. 395-400, 2011.
- [9] 林勇介, 伊藤雄一, 中島康祐, 藤田和之, 高嶋和毅, 大坊郁夫, 尾上 孝雄: カップ型デバイス Cup-le を用いた会話実験支援手法, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, pp. 405-408, 2011.
- [10] カースム オザジャル, 三枝 知史, 高嶋 和毅, 伊藤 雄一, 北村 喜文: IllusionHole におけるマルチタッチインタフェースに関する一 検討, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, 2528D, 2011.

情報社会構造研究室

大規模自律分散システム制御の研究



＜分野の目標＞

昨年3月11日の東日本大震災以降、現在の社会が抱える様々な問題が明らかになってきた。災害時には我々をとりまく環境の複雑な時空間構造の変化は予測不可能的に変化した。つまり、未来に起きることを予め規定することは原理的に不可能で、その意味では実世界は本質的に無限定である。このような変化が生じた時にも、生じた状況依存的に最適な情報環境を自律的に維持していくことが望ましい。また同様に大規模システムである電力システムも与えられた条件下で、柔軟に需給をバランスしていくことが望まれる。この分野では現在の社会における喫緊の課題を解決するために、この様な無限定環境における大規模システムにおける新しい制御の方法論を創ることが目指す。

＜2011年度の主な成果＞

生命システムが置かれた環境において、「どのように環境に適応するか」という拘束条件の生成が十分条件の一つとなる。生成した拘束条件どう達成するかという法則性がもう一つの十分条件になる。このことは拘束条件を一意的かつ最適に充足するように、システムを構成する要素の性質と要素間の関係が決定される法則性、つまり、「共時的秩序の法則」が必要であることを意味している。無限定世界における「共時的秩序の法則」は時間軸に直交する法則性なので、物質的世界で求められてきた「時間的秩序の法則」とは矛盾しない。現実世界を物質的世界から見る場合には「時間的秩序の法則」、すなわち因果律によって記述することが出来るが、生命的世界から見る場合には、因果律に加えて調和的關係を

創り出すための機能を発現する法則が必要となる。物質的世界を因果律を用いて記述する場合、物理変数 (Variables) の変化はパラメータ、境界条件、初期条件を与えた上で決定される。これに対して生命的世界では環境は予測不可能的に変化するので、システムにおける物理変数 (Variables) とパラメータは同じ時定数で変化することになる。したがって、システム自身がパラメータを自己言及的に時々刻々決定していく必要が生じる。パラメータを時々刻々自己言及的に決定する法則が「共時的秩序の法則」である。つまり、現実世界を生命的世界から見る場合は「時間的秩序の法則」に加えて「共時的秩序の法則」が必要であることを意味していて、「見なし情報」を創る法則性と合わせて生命システムが知を創発する新しいパラダイムを創ることが求められていることになる。

本年度はこの方法論を元に大規模システムに具体的に応用してその有用性を確認した。システム構成の基本的な考え方として「発電と配電 (制御) の分離」と「需要サイドへ制御の導入」の二つが重要である。これを考慮したシステム構成の条件は、1) いかなる種類の発電でもネットワークに参入可能なスケールフリーでオープンなシステムであること。2) システムが安定であるためには発電所 (発電機) は消費される場所に近いところに配置すること。3) 制御が利かない再生可能エネルギーを補うために供給側は火力、水力で需給バランスを図る。4) リアルタイムでの需給バランスのために需要側も制御対象とする。その際各消費者のみならず消費者間に対しても優先度を用意する。全体に関する情報を各発電機は周波数あるいは電圧変動で知ることにより、自己の振る舞いを決める。こうして全体需給はバランスした上で、個々の発電機の変換効率を最適化することが出来る。リアルタイムの制御のためには、需要者側を制御する必要があります。供給が追いつくまでの時間だけ需給バランスのために、時定数の早い需要者側をコントロールする。需要者側が不便を感じないように自律的に制御します。この方法でシミュレーション上は大変うまくシステムを制御できることが明らかにされた。

<職員名>

客員 教授 矢野 雅文 (2010年より)

<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4月-2010年3月東北大学電気通信研究所教授。2010年3月定年退職後同研究所客員教授。脳-身体認識や運動制御の情報原理を解明することを目標に研究を進めている。特に脳の情報処理の柔軟性は情報生成能力によるものであると考え、これまでの自他分離の情報処理方式から自他非分離の情報処理、とりわけ脳の仮設生成論理の解明を重点課題としている。工学的には生体システムのような超大自由度系の情報原理を用いて人工の超大自由度システムを柔軟に、したたかに制御する工学的方法論の開発を行っている。

<2011年度の主な発表論文等>

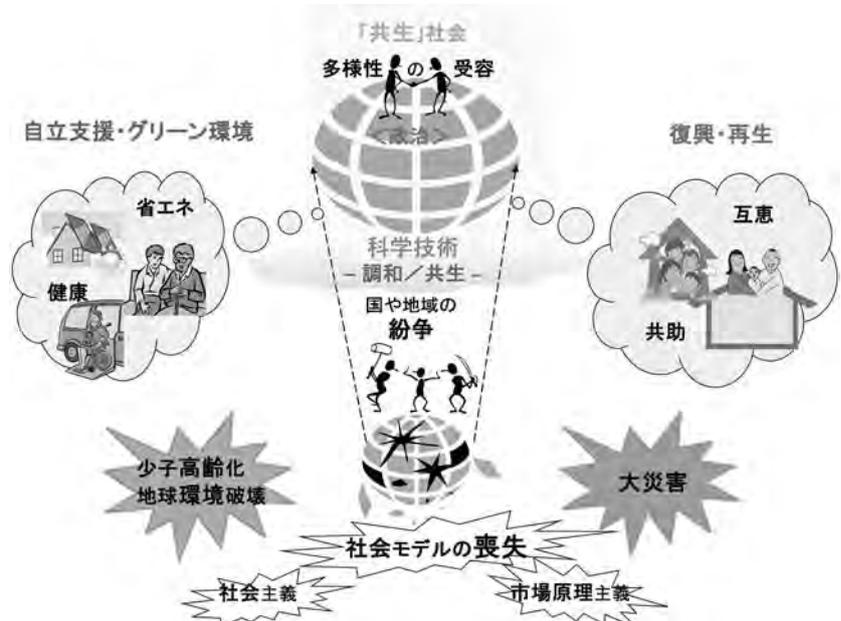
- [1] 矢野雅文(2011)「矢野雅文の非分離の科学の頁」iichiko No.111, pp104-114
- [2] Jumpei Matsumoto, Yoshinari Makino, Haruki Miura, Masafumi Yano, (2011) "A computational model of the hippocampus that represents environmental structure and goal location, and guides movement", Biol. Cybern, vol.105,pp139-152
- [3] 矢野雅文 (2012)「日本を変える。」(単行本) 文化科学高等研究院出版局

情報社会構造研究室

人と自然が共生するための災害に強いグリーン ICT

<分野の目標>

21 世紀の科学技術は「地球環境」の変化、「社会構造」の変化といかに向き合うかが問われている。本研究室では、工学的な観点からこれらの変化を吸収し止揚する考え方として「共生」の思想を提唱し、地球の危機の克服と人間/社会のあり方について考究する。具体的には、個と個の調和に価値を置く共生の考え方に基づいて、情報処理パラダイムとその応用に関する以下の研究を推進している。ここで、個とは人、コンピュータ、インターネット、エージェント（ロボット）、情報環境、自然、文化、地域、国などである。



研究テーマ

1. 共生コンピューティング：人と情報システムの共生
2. 災害に強いネットワーク・グリーンコンピューティング
3. 健康・見守り支援/スマートホーム/ネットメディア
4. 共生型情報社会モデル

<2011 年度の主な成果>総務省プロジェクト「PREDICT」：「情報システムの省電力化を実現する次世代ネットワーク管理技術」

- (1) 目的：平成 23 年 10 月開始の ICT グリーンイノベーション推進事業（PREDICT）の支援の下、ネットワークシステム全体の省電力化（グリーン化）の実現へ向けた「次世代グリーン指向ネットワーク管理技術」を世界に先駆けて研究開発する。
- (2) 推進体制：代表機関 [東北大学]、共同推進機関 [NTT 東日本、サイバー・ソリューションズ、東北工業大学]
- (3) 期間・予算：平成 23 年度～平成 25 年度（3 年間）・50,779,000 円（総務省）
- (4) 研究開発の概要：
 - (1) ネットワークの省電力化を実現する管理技術の研究
 - 1) 無駄の「見える化」技術、2) 無駄削減の「自律化」技術
 - (2) グリーン Koban の開発・実装
 - (3) 開発したグリーン Koban の中・大規模ネットワークシステムへの適用と評価
- (5) 今年度の成果：研究開始後 6 ヶ月の短期間であったが、ネットワークシステム全体の省電

力化へ向けたグリーン指向管理の機能要件の検討と「無駄の見える化」の要素技術を研究開発した。具体的には、「無駄の見える化」に関するプロトタイプシステムの第一バージョンを開発するとともに、「無駄削減の自律化」に関する理論的研究を進めた。また実験評価環境を構築し基礎実験を行い、開発技術により「従来にない見える化」機能を実現するなど、予定以上の成果と進捗状況であった。

<職員名>

客員教授：白鳥 則郎 (2010年より)

秘書：堀野碧

<教授のプロフィール>

1946年宮城県登米市生れ。1977年東北大学大学院博士課程修了。1984年東北大学助教授(電気通信研究所)。1990年東北大学教授(工学部情報工学科)。1993年東北大学教授(電気通信研究所)。1998年IEEE Fellow, 2000年情報処理学会フェロー, 2002年電子情報通信学会フェロー。1985年情報処理学会25周年記念論文賞, 平成8年度情報処理学会論文賞, 平成19年度情報処理学会功績賞, 2001年度電子情報通信学会業績賞, 同学会論文賞, 1997年IEEE ICOIN-11 Best Paper Award, 1998年IEEE ICOIN-12 Best Paper Award, 2000年IEEE ICPADS Best Paper Award, 2001年IEEE 5-th WMSCI Best Paper Award, 2007年UIC-07 Outstanding Paper Award, 1991年第6回電気通信普及財団賞, 2002年東北総合通信局長表彰, 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。2011年電子情報通信学会功績賞。現在, 「人とIT環境の調和/共生」へ向けた共生コンピューティングとその応用、および災害に強い「グリーン指向 Never-Die-Network」などに関する研究に従事。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] 橋本和夫, 北形元, 高橋秀幸, 武田敦志, チャクラボルティデバシシュ, 白鳥則郎, ``Socio-familiar Personalized Service の提案とその応用一次世代ユビキタスサービスを実現するネットワークソフトウェアへ向けて一,`` 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J94-B, No.4, pp.492-502, Apr. 2011. (招待論文)
- [2] Toshihiro Uchibayashi, Bernady O. Apduhan, and Norio Shiratori, ``Experiments and Functional Analysis in Integrating Sub-ontology Extraction and Tailoring,`` Proc. of the 2011 International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA2011), pp.143-149, June 2011.
- [3] Kazuo Hashimoto, Gen Kitagata, Hideyuki Takahashi, Atushi Takeda, Debasish Chakraborty, and Norio Shiratori, ocio-familiar Personalized Service and Its Application - Towards a New Network Software for Next Generation Ubiquitous Service -,`` Proc. of the 2011 Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2011), pp.449-455, July, 2011.
- [4] Tsutomu Inaba, Takashi Ogasawara, Hideyuki Takahashi, Naoki Nakamura, and Norio Shiratori, ``A Proposal and Evaluation of a High-Definition Television Conference Service for Heterogeneous Clients with Various Singing Control Protocol,`` Proc. of the International Workshop on Informatics, (IWIN2011), p.169-176, Sep. 2011.
- [5] Norio Shiratori, Kenji Ssugawara, Yusuke Manabe, Shigeru Fujita, Basabi Chakraborty ``Symbiotic Computing Based Approach Towards Reducing User's Barden Due to Information Explosion,`` Journal of Information Processing, Vol.20, No.1, pp.37-44, Jan. 2012. (Invited Paper)
- [6] Toshihiro Uchibayashi, Bernady O. Apduhan, and Norio Shiratori, ``Construction and Analysis of a Semantic Grid Service for Large-scale Environment,`` IAENG International Conference on Computer Science (ICCS2012), March, 2012.
- [7] Noriaki Uchida, Kazuo Takahata, Yoshitaka Shibata, and Norio Shiratori, ``A Large Scale Robust Disaster Information System based on Never-Die Network,`` Proc. of the 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2012), pp.89-96, March, 2012.

3. 5 環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門の目標と成果

人間性豊かなコミュニケーションを実現する情報通信技術 (ICT) の革新を進め、持続可能なグローバル社会において結実させるためには、ナノ・スピン研究領域や情報デバイス研究領域に関連する電子材料とデバイス技術を基盤とした、人と自然環境にやさしい ICT デバイスおよび機器の創成が必要である。

本研究部門では、これらの基盤技術の研究開発を実施すると共に、急速に変化する産業界のニーズおよび当該分野の研究開発動向について体系的な調査研究を実施することにより、基礎的学理研究を、環境負荷が少ない高度情報デバイスや、人間社会が環境に及ぼす負荷を低減するエレクトロニクス機器へと具現化することを目標としている。以下に、平成 23 年度の活動概要を報告する。

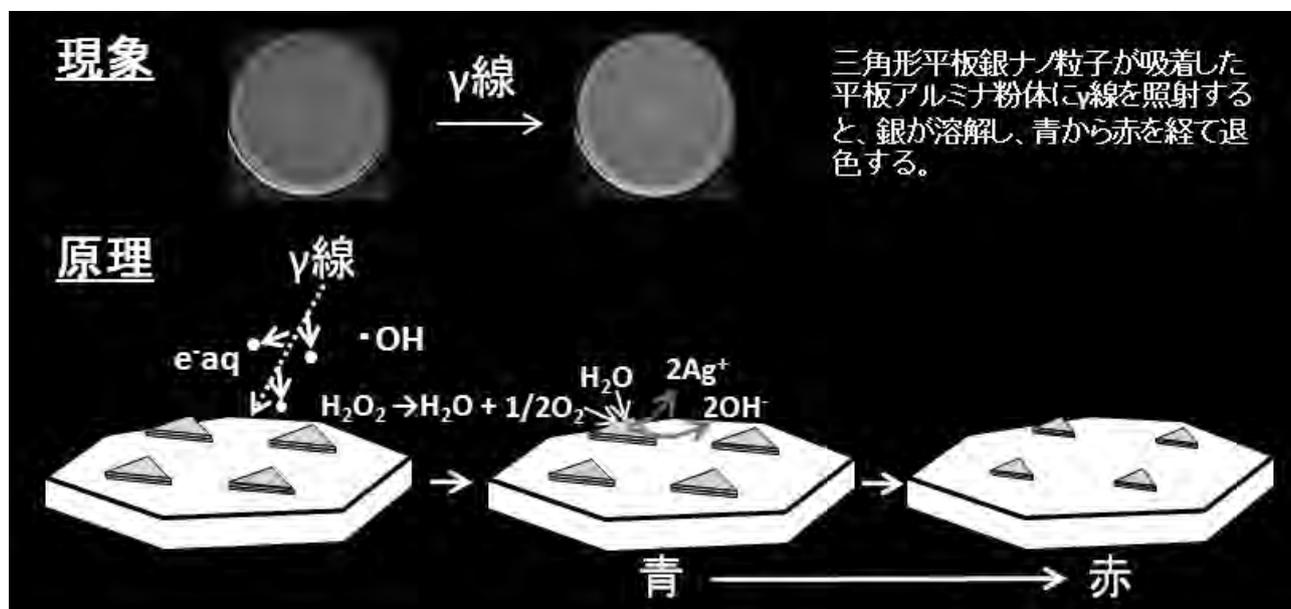
研究活動

(目標) 平成 23 年 3 月 11 日、歴史的な巨大津波により大規模な原子炉事故が発生し、放射性物質が広範囲に飛散した。この災害は、今後、10 年単位で様々な形で我々の社会に影響を及ぼすと思われる。前年度から金属ナノ材料の活性表面を利用したパッシブセンシング技術とそれらを使ったセンサーネットワークを研究しているが、これを利用し、放射能の物理的影響や社会的を除去、あるいは、軽減するために、銀ナノ粒子材料を使った電源レス高感度放射線被曝可視化センサの基礎研究を行い、非常に重たい環境負荷である放射性物質汚染に対する安価なトレーサビリティを提供する ICT 技術への応用をめざす。

(成果) 本研究室で開発した無機材料発色材 (α アルミナ粉体吸着銀ナノ粒子) を γ 線による水の放射線分解で生じるラジカル種により酸化し溶解させることで、 γ 線照射量を本発色材の変色により可視化する可能性を検討した。様々な溶液条件で、 ^{60}Co による γ 線を 3Gy - 3000Gy の間で照射し変色程度を評価・検討した溶媒条件の範囲では、現状では、この粉体の変色する下限は 30Gy 程度と推定した。30Gy は既存の実用的化学センサの下限感度と同程度である。 γ 線耐性は、アルミナ担持銀ナノ粒子の表面組成と内部電位で決まると考えられる。今後、 γ 線照射に対して更に一桁以上高感度に変色する溶媒条件を設計しつつ、ラジカル種を増幅する化学反応機構を導入し、更なる高感度化を目指す。また、放射線感応インピーダンス素子材料としての可能性を検討し、高線量環境でのディスプレイブル RF 放射線センサへの応用を目指す。本材料に関して、学会発表 3 件、特許出願 1 件を行った。

環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門

環境適応型高度情報通信工学



環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門 教授 足立 榮希

<研究室の目標>

人間性豊かなコミュニケーションを実現する情報通信技術（ICT）の革新を進め、持続可能なグローバル社会において結実させるためには、ナノ・スピン研究領域や情報デバイス研究領域に関連する電子材料とデバイス技術を基盤とした、人と自然環境にやさしいICTデバイスおよび機器の創成が必要である。本研究部門では、これらの基盤技術の研究開発を実施すると共に、急速に変化する産業界のニーズおよび当該分野の研究開発動向について体系的な調査研究を実施することにより、基礎的学理研究を、環境負荷が少ない高度情報デバイスや、人間社会が環境に及ぼす負荷を低減するエレクトロニクス機器へと具現化することを目標としている。

人間や環境に由来するエネルギー・物質情報を取得するために要する電力を可能な限り低減するため、ナノ材料の活性表面を利用したパッシブセンシング技術を開発、ならびに、それらを使ったセンサーネットワークを検討してきた。その中、平成23年3月11日、歴史的な巨大津波により大規模な原子炉事故が発生した。これによる放射性物質の広範囲への飛散は、重たい環境負荷であり、今後10年単位の様々な形で社会生活に影響を及ぼす。社会的な放射能の影響を除去、あるいは、軽減するために汚染物に対するトレーサビリティが必要になるが、それを実現するICT技術の一部として、研究中の材料を使った電源レス高感度放射線被曝可視化センサの開発する。

<2011年度の主な成果>

本研究室で開発した無機材料発色材（ α アルミナ粉体吸着銀ナノ粒子）をγ線による水の電離分解で生じるラジカル種により酸化し溶解させることで、γ線照射量を本発色材の変色により可視化する可能性を検討した。様々な溶液条件で、 ^{60}Co によるγ線を3Gy - 3000Gyの間で照射し変色程度を評価・検討

した溶媒条件の範囲では、現状では、この粉体に変色する下限は30Gy程度と推定した。30Gyは既存の実用的化学センサの下限感度と同程度である。 γ 線耐性は、アルミナ担持銀ナノ粒子の表面組成と内部電位で決まると考えられる。

今後、 γ 線照射に対して更に一桁以上高感度に変色する溶媒条件を設計しつつ、ラジカル種を増幅する化学反応機構を導入し、更なる高感度化を目指す。また、放射線感応インピーダンス素子材料としての可能性を検討し、高線量環境でのディスプレイRF放射線センサへの応用を目指す。

<職員名>

教授 足立 榮希 (2010年より)

<プロフィール>

足立 榮希 1989年3月 埼玉大学理学部物理学科卒業。1991年3月 東京工業大学理工学研究科物理学専攻修了 理学修士。1996年3月 博士(学術)(東京大学)。ERATO 研究員、岡崎国立共同研究機構生理学研究所、ロレアル筑波センター、富士電機アドバンステクノロジー(株)、富士電機ホールディングス(株)を経て、2010年5月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。ナノ材料合成、ナノ構造形成、および、それらのデバイス応用技術の研究開発に従事

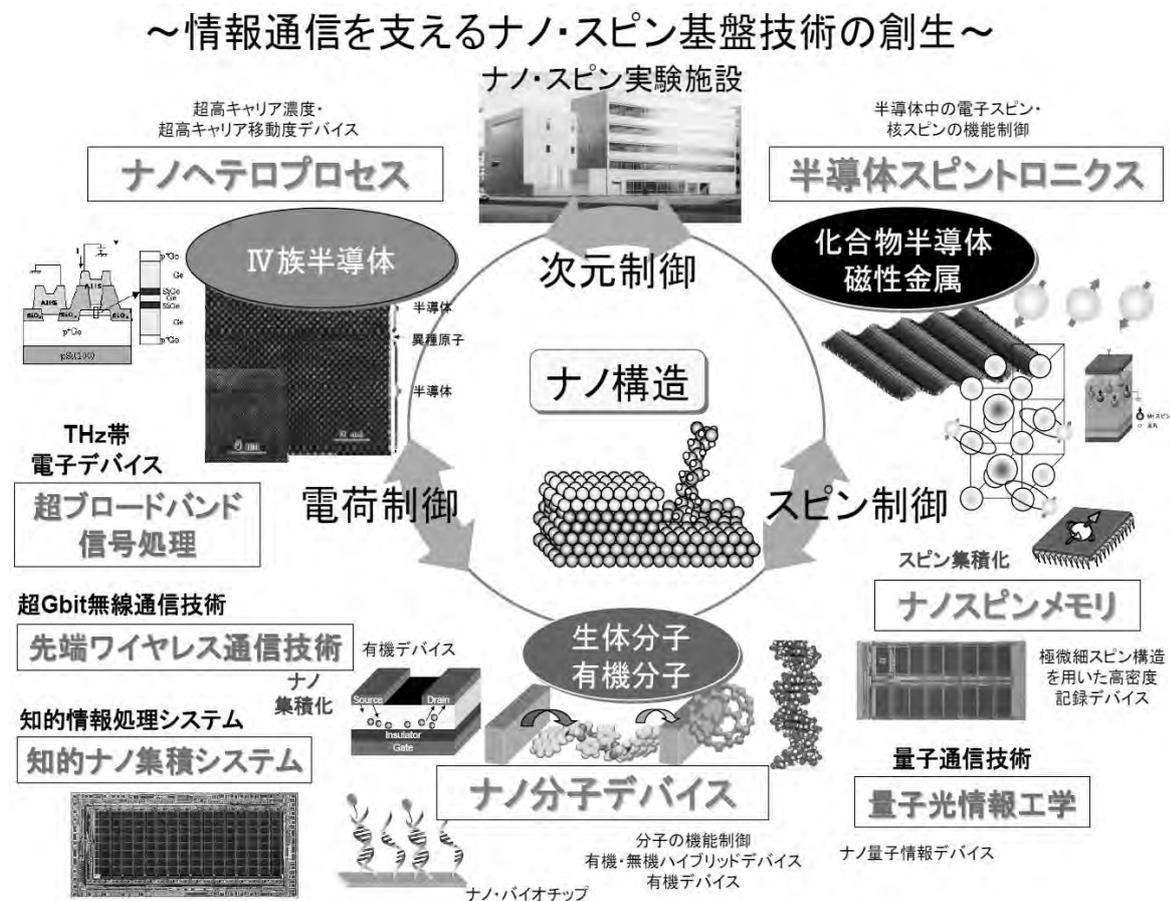
<2011年度の主な発表論文等>

なし

3. 6 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」が推進するナノヘテロプロセス、半導体スピントロニクス、ナノ分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と施設共通部、及び知的ナノ集積システム研究室、量子光情報工学研究室、超ブロードバンド信号処理研究室が入居し連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のCOEとなることを目標としている。



以下に、施設研究部と利用研究室の平成 23 年度の研究成果のハイライトを記す。

ナノヘテロプロセス基盤技術関連

● ナノヘテロプロセス（室田淳一・櫻庭政夫）

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) 熱 CVD プロセスによる歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 上の熱窒化とその上への歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ キャップ層エピタキシャル成長による N 原子層ドーピングについて研究を進めた結果、原子オーダーで熱窒化した歪 $\text{Si}_{0.3}\text{Ge}_{0.7}(100)$ を 400°C で熱処理すると、 Si_3N_4 形成が支配的であることを見いだした。(2) $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ の CVD 堆積速度や Si への B ドーピングの反応速度定数やその電氣的活性化率に 1% 程度の格子歪が大きな影響を与える一方、歪 $\text{Si}(100)$ 基板上にエピタキシャル成長させた B ドープ歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ における B の電氣的活性化率には格子歪はほとんど影響を与えないことを明らかにした。(3) 高 Ge 比率化とともにナノメートルオーダー厚のヘテロ構造が必須となる高性能 SiGe 系共鳴トンネル素子における低温から室温までの熱電子放出特性から、原子オーダーでのヘテロ界面平坦性制御とともに高障壁材料の導入が不可欠となることを示した。そして、ホール共鳴トンネルダイオードの試作に適用することにより、明瞭な室温負性コンダクタンスを得ることに成功した。

● 知的ナノ集積システム（中島康治・佐藤茂雄）

(1) 新概念の疑似粒子運動モデルを用いた神経モデル結合系の解析を用いて、アクティブ領域を持つポテンシャルで制限されたシステムが持つバースト発火現象を検討した。また、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応用問題への適用を試み、その実現可能性を示した。(2) Nb/AlOx/Nb ジョセフソン接合列のスイッチング特性を、超伝導集積回路シミュレータ JSIM を使って調べた。この結果と実験結果を比較し、実験結果の方がはるかに大きいスイッチング確率を示すことが分かった。従来理論と整合させるためには電子温度や浮遊容量の同定が不可欠であることを確認した。(3) 超伝導デジタル信号処理回路の大規模化と高バイアスマージン化を目的とし、 8×8 ビット並列乗算器の構成要素として用いられる、基本論理セルの高速評価とセル遅延評価を集積回路上で実測した。その結果、実測での詳細なセル遅延特性が得られ、大規模回路設計におけるタイミング設計の指針が得られた。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ホップフィールド形ネットワークの構成では、ニューロン素子の閾値特性の改善により N-Queen 問題の正解率が向上することを数値解析により見出した。

半導体スピントロニクス基盤技術関連

● 半導体スピントロニクス・ナノスピンメモリ（大野英男・大野裕三・松倉文礼・池田正二）

電子の電荷とスピンの自由度を利用するスピントロニクスの基盤技術の確立とその工学的応用を目指して研究を行い、以下の成果を得た。(1) 四重極相互作用が核スピンコヒーレンスを乱す原因になることを示した。また、内部電場勾配を見積もり、外部から機械的に加えた歪によって四重極相互作用を増大させると不均一拡がり

増大することを示した。さらに、局所的な核スピン操作に有望な核電気共鳴を実証した。(2) 垂直磁気異方性 MgO/CoFeB/Ta 構造において、磁区構造を解析することにより、磁壁幅、及び交換スティフネス定数を求めた。(3) MgO/CoFeB/Ta において電界効果による磁気異方性の変調を調べ、電界変調量は熱処理により変化することを見出した。(4) GaAs/AlGaAs 量子井戸をベースとするショットキーダイオードに順方向電圧をかけて微細構造分裂を制御することにより、単一の GaAs 量子ドットの微細構造分裂の減少と抑制を観測し、 0.72 ± 0.05 という高い忠実度での偏光もつれ光子の生成に成功した。(5) 垂直磁気異方性 CoFeB/MgO-MTJ において、書込み電流は接合サイズの減少とともに低減し、熱安定性は 40 nm 径以上の接合サイズでほとんど変化しないことを示した。(6) 接合サイズを大きくし磁性電極間のダイポール結合を低減することで、 400°C の熱処理においても室温で高い TMR 比が得られることが分かった。(7) CoFeB 参照層径 300nm、記録層径 100nm を有するステップ構造において、反平行状態の熱安定性定数を増大させることに成功し、10 年以上の記録保持時間を達成した。

・ 連携研究

総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラムにより、日本学術振興会を通して助成された「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」において、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) 極薄 CoFeB を FePd と MgO の間に挿入することによって 3nm の FePd の L_{10} 型規則度が改善し、垂直磁気異方性エネルギーを増加させることに成功した。(2) 高垂直磁気異方性 1×10^7 erg/cc と低ダンピング定数 0.006 とを兼備する L_{10} 型 MnAl 合金膜を得ることに成功した。(3) CoFeB/MgO 細線において電流誘起有効磁場を観測した。(3) 90 nm COMS/MTJ プロセスにおいて完全並列型 6T-2MTJ 不揮発 TCAM (ternary content-addressable memory) セル回路および FPGA (field-programmable gate array) のチップ試作を行い、基本動作を確認した。(4) MTJ/CMOS 不揮発性ラッチ回路試作し世界最高 600MHz 動作を実証した。

● 超ブロードバンド信号処理 (尾辻泰一・末光哲也)

1. 超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、第一に、質量消失効果等の特異なキャリア輸送特性を有する新材料グラフェンを研究対象とし、SiCN および DLC (diamond-like carbon) をゲートスタック材料として導入した新構造グラフェンチャネル FET をナノ・スピン実験施設で試作し、優れたゲート変調動作を確認した。第二に、光学励起したグラフェンにおけるテラヘルツ帯反転分布・誘導放出に関する理論予測の観測・実証に成功するとともに、グラフェン品質に依存するキャリア輸送特性とテラヘルツ帯利得特性の関係を明らかにした。

2. 極限高速電子デバイス研究分野

ミリ波からサブミリ波へ、電子デバイスの動作速度の極限を追求すると共に、それらの特性を活かした集積回路応用を目指した研究を推進している。平成 23 年度は、InGaAs 系高電子移動度トランジスタ (HEMT) において、SiCN を鋳型として用いた T 型ゲート作製プロセスを構築し、電極による寄生遅延成分の影響を系統的に評価することに成功した。また、GaN 系 HEMT の作製プロセスを立ち上げ、高速かつ高耐圧なミリ波帯トランジスタを目指して開発を進めている。

● 量子光情報工学（枝松圭一・小坂英男）

1. 2周期直列擬似位相整合素子による高効率量子もつれ光子対発生

2種の異なる分極反転周期を有する擬似位相整合素子を用いて量子もつれ光子対を高効率に発生する素子を開発し、偏光あるいは周波数に関する量子もつれ光子の発生を確認した（Opt. Express 誌に発表）。

2. 量子中継のための量子メディア変換デバイスの開発

量子情報通信における通信距離を増大する量子中継器の実現を目指し、光子の量子情報を電子スピンへ転写する量子メディア変換インターフェース技術の開発を進めている。本年度は、(1)従来の偏光転写方式に比べ伝送耐性の高いタイムビン転写方式の実証（Physical Review A 誌に発表）、(2)光子-電子スピン間の量子的相互作用を利用した電子スピン状態トモグラフィ法の確立（Applied Physics Letters 誌に発表）、(3)ダイヤモンド量子メモリーへの光量子状態転写の実験系構築、等の成果を得た。

3. 時間分解単一半導體量子ドット分光法の開発

量子力学的半導体デバイスを開発するために、ヘテロダインプンプ-プローブ法を開発し、半導体量子ドット中の単一量子状態の超高速制御と時間分解測定に成功した（Japanese Journal of Applied Physics 誌に発表）。

ナノ分子デバイス基盤技術関連

● ナノ分子デバイス（庭野道夫・木村康男）

1. 陽極酸化 TiO₂ ナノチューブ膜を用いた微小水素センサの動作を確認

フォトリソグラフィ技術と陽極酸化技術を組み合わせることにより、TiO₂ ナノチューブ膜を用いたチャンネル長 3 μm の微小水素ガスセンサを作製した。その結果、楕形電極構造を用いることなく、10%の水素を導入時、約 1 mA の電流が観測され、約 20 倍のコンダクタンスの変化を示した。これらは、微細加工技術と陽極酸化技術を組み合わせることにより、微小ガスセンサを作製できることを示しており、低消費電力化、集積化が期待される。

2. P3HT への F4TCNQ 分子ドーピング効果の解析

P3HT への F4TCNQ 分子ドーピング効果について変位電流評価法(DCM)及び赤外吸収分光法を用いて調べた。F4TCNQ がドーピングされた P3HT 膜の赤外吸収スペクトルから F4TCNQ のほとんどがドーパントとしてホールを生成していることがわかった。また、DCM の結果から、ドーピングされた P3HT からドーピングされていない P3HT へは、金属/有機界面で見られるような電荷注入現象が生じないことがわかった。

3. シリコン基板上人工細胞膜を用いたチャンネル電流の多チャンネル同時計測

シリコン基板上に作製した微細孔中に人工細胞膜を形成し、その中にチャンネルタンパク質を包埋したイオンチャンネルセンサを構築した。さらにこのセンサを多数個並べたイオンチャンネルアレイを構築し、多数の人工細胞膜からイオンチャンネル電流を同時に記録することに成功した。

4. テフロン被覆シリコン基板を用いた人工脂質 2 分子膜チップの作製

上述のシリコン基板に熱酸化膜とテフロンによる絶縁層被覆を行うことにより、基板由来のノイズ電流を 1-2 pA、過渡電流応答を 1 ms 以下にまで抑制することに成功した。この電気特性は、生体イオンチャンネルの電流記録に適したレベルであり、薬物スクリーニングやバイオセンサへの応用が期待される。

ナノヘテロプロセス研究室

IV 族半導体ナノ立体構造の実現と応用のための基盤技術の研究

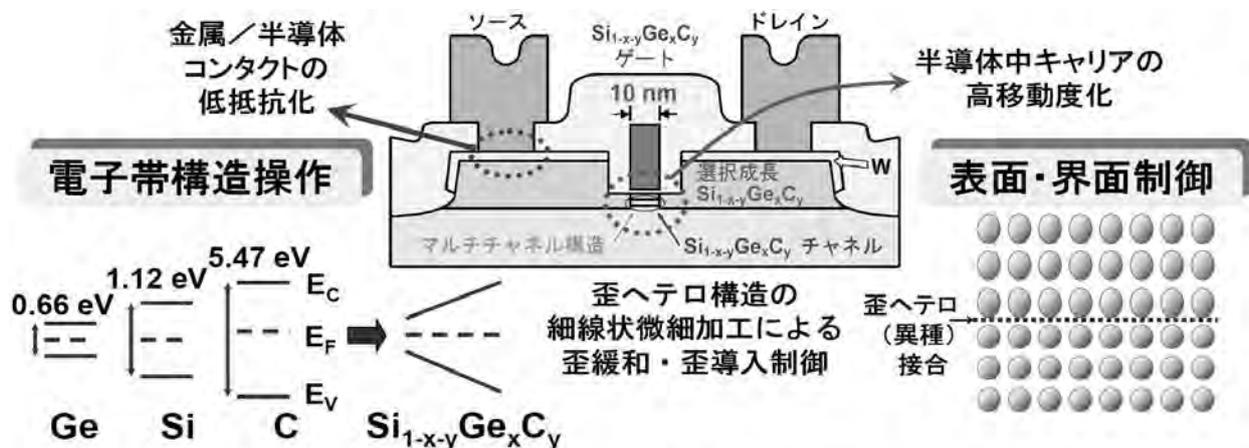


図1. ナノヘテロ人工IV族半導体の創成とナノヘテロデバイスへの応用

ナノヘテロプロセス研究部 教授 室田 淳一

量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究部 准教授 櫻庭 政夫

<研究室の目標>

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

<2011年度の主な成果>

1. 熱CVDプロセスによる歪Si_{1-x}Ge_x上の熱窒化とその上への歪Si_{1-x}Ge_xキャップ層エピタキシャル成長によるN原子層ドーピングについて研究を進めた結果、原子オーダーで熱窒化した歪Si_{0.3}Ge_{0.7}(100)を400℃で熱処理すると、Si₃N₄形成が支配的であることを見いだした。
2. Si_{1-x}Ge_xのCVD堆積速度やSiへのBドーピングの反応速度定数やその電氣的活性化率に1%程度の格子歪が大きな影響を与える一方、歪Si(100)基板上にエピタキシャル成長させたBドーピング歪Si_{1-x}Ge_xにおけるBの電氣的活性化率には格子歪はほとんど影響を与えないことを明らかにした。
3. 高Ge比率化とともにナノメートルオーダー厚のヘテロ構造が必須となる高性能SiGe系共鳴ト

ンネル素子における低温から室温までの熱電子放出特性から、原子オーダーでのヘテロ界面平坦性制御とともに高障壁材料の導入が不可欠となることを示した。

<職員名>

教授 室田 淳一 (1995年より)

准教授 櫻庭 政夫 (2002年より)

<プロフィール>

室田 淳一 1970年3月 北海道大学工学部電子工学科卒業。1972年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。1972年4月 日本電信電話公社武蔵野電気通信研究所入所。1983年4月 同公社厚木電気通信研究所を経て、1985年3月 東北大学電気通信研究所助教授、1995年2月 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。

櫻庭 政夫 1990年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1995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。1995年4月 同大電気通信研究所助手。2002年8月 同大電気通信研究所助教授。2007年4月 同准教授、現在に至る。IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスの研究に従事。固体素子材料 (SSDM) 国際会議 Young Researcher Award 受賞 (1992年)、第12回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞受賞 (2002年)。

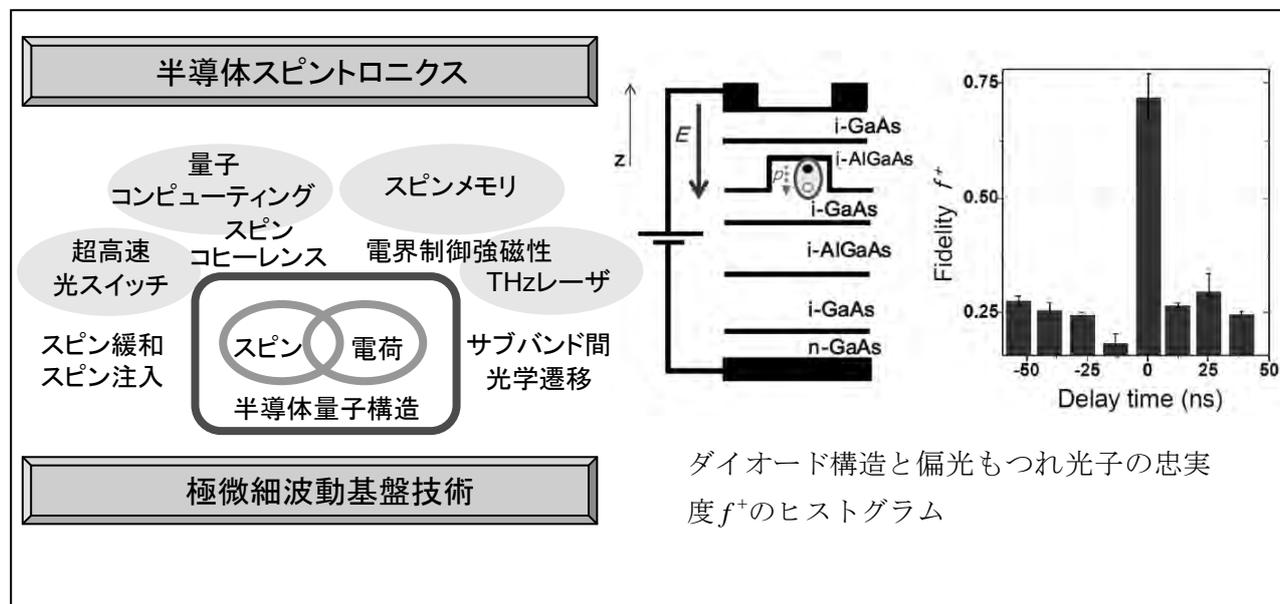
<2011年度の主な発表論文等>

- [1] T. Kawashima, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, "Behavior of N Atoms after Thermal Nitridation of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Surface", Thin Solid Films, Vol.520, pp.3392-3396 (2012).
- [2] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, "Atomically controlled CVD processing of group IV semiconductors for ultra-large-scale integrations" (**Review Paper**), Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol., Vol.3, p.023002 (4 pages), 2012.
- [3] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, "Atomically Controlled Processing in Silicon-Based CVD Epitaxial Growth", J. Nanosci. Nanotechnol., Vol.11, pp.8348-8353 (2011).
- [4] M. Sakuraba and J. Murota, "Atomically Controlled Plasma Processing for Quantum Heterointegration of Group IV Semiconductors", ECS Trans., Vol.41, No.7 (Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2011), pp.337-343 (2011).
- [5] M. Sakuraba and J. Murota, "Atomically Controlled Formation of Strained $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ Quantum Heterostructure for Room-Temperature Resonant Tunneling Diode", ECS Trans., Vol.41, No.7 (Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2011), pp.309-314 (2011).
- [6] J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, "Atomically Controlled CVD Processing for Doping in Future Si-Based Devices", ECS Trans., Vol.37, No.1 (Edited by Y. Kuo and G. Bersuker, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2011), pp.181-188 (2011).

他 学術雑誌 6 件, 国際会議発表論文 7 件

半導体スピントロニクス研究室

極微細波動基盤術：
半導体スピントロニクスからテラヘルツ発生まで



スピン機能工学研究部	教授 大野 英男
光スピン機能工学研究部	准教授 大野 裕三
スピン機能材料工学研究部	准教授 松倉 文礼

<研究室の目標>

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、分子線エピタキシー法で成長した 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。

<2011 年度の主な成果>

- ・四重極相互作用が核スピンコヒーレンスを乱す原因になることを示した。また、内部電場勾配を見積もり、外部から機械的に加えた歪によって四重極相互作用を増大させると不均一広がりが増大することを示した。さらに、局所的な核スピン操作に有望な核電気共鳴を実証した。(文献 1)
- ・磁壁移動素子、及び磁気トンネル接合への応用が期待される垂直磁気異方性 Ta/CoFeB/MgO 構造

において、交流消磁後に垂直磁化膜で典型的な迷路状磁区が形成されることを明らかにした。また、その周期を解析することにより、ニュークリエーションサイズの指標となる磁壁幅、及び熱安定性を決めるパラメータの一つである交換スティフネス定数を求めた。(文献 3)

- ・高性能磁気トンネル接合の基本構造である Ta/CoFeB/MgO において電界効果による磁気異方性の変調を調べ、電界変調量は熱処理により変化することを見出した。(文献 4)
- ・膜厚揺らぎを利用して形成した GaAs/AlGaAs 量子井戸をベースとする単一 GaAs 量子ドットにおいて、ショットキーダイオードに順方向電圧を印加することにより、量子ドットの微細構造分裂の減少と抑制を観測した。さらに、その電圧によって微細構造分裂を制御することにより 0.72 ± 0.05 という高い忠実度での偏光もつれ光子の生成に成功した。(文献 6)

＜職員名＞

教授 大野 英男 (1994 年より)
 准教授 大野 裕三 (2001 年より)、松倉 文礼 (2006 年より)
 助教 大谷 啓太
 非常勤研究員 Ghali Mohsen、三浦 勝哉

＜教授のプロフィール＞

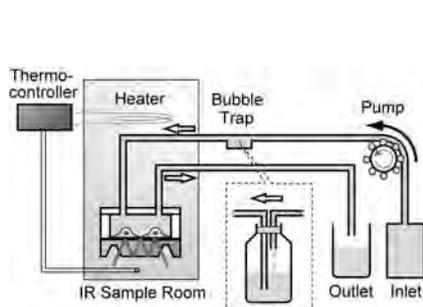
1982年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982年北海道大学講師、1983年北海道大学助教授、1988-1990年IBM T. J. Watson研究所客員研究員、1994年より東北大学教授。第12回日本IBM科学賞、2003年度The IUPAP Magnetism Prize、平成17年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize、2011年トムソン・ロイター引用栄誉賞、第12回応用物理学会業績賞(研究業績)受賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。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。

＜2011 年度の主な発表論文等＞

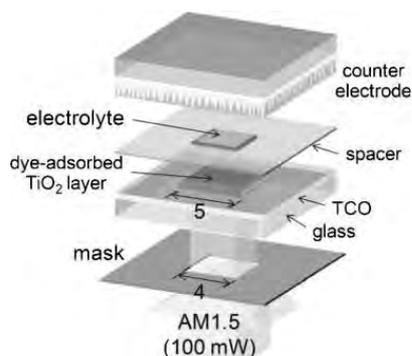
- [1] J. Ishihara, M. Ono, G. Sato, S. Matsuzaka, Y. Ohno, and H. Ohno, "Magnetic Field Dependence of Quadrupolar Splitting and Nuclear Spin Coherence Time in a Strained (110) GaAs Quantum Well," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50, 04DM03 (3 pages), April 2011.
- [2] P. Das, F. Porrati, S. Wirth, A. Bajpai, Y. Ohno, H. Ohno, M. Huth, and J. Muller, "Domain wall dynamics in a single CrO₂ grain," Journal of Physics: Conference Series, Vol. 303, 012056 (6 pages), 2011.
- [3] M. Yamanouchi, A. Jander, P. Dhagat, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Domain Structure in CoFeB Thin Films With Perpendicular Magnetic Anisotropy," IEEE Magnetics Letters, Vol. 2, 3000304 (4 pages), July 2011.
- [4] S. Kanai, M. Endo, S. Ikeda, F. Matsukura, and H. Ohno, "Magnetic Anisotropy Modulation in Ta/ CoFeB/ MgO Structure by Electric Fields," Journal of Physics: Conference Series, Vol. 266, 012092 (5 pages), 2011.
- [5] M. Hayashi, Y. Nakatani, S. Fukami, M. Yamanouchi, S. Mitani, and H. Ohno, "Domain wall dynamics driven by spin transfer torque and the spin-orbit field," J. Phys. Condens. Matter, Vol. 24 024221 (9 pages), January 2012.
- [6] M. Ghali, K. Ohtani, Y. Ohno, and H. Ohno, "Generation and control of polarization-entangled photons from GaAs island quantum dots by an electric field," Nature Communications, Vol. 3, 661 (6 pages), February 2012.
- [7] H. Honjo, S. Fukami, T. Suzuki, R. Nebashi, N. Ishiwata, S. Miura, N. Sakimura, T. Sugibayashi, N. Kasai, and H. Ohno, "Domain-wall-motion cell with perpendicular anisotropy wire and in-plane magnetic tunneling junctions," Journal of Applied Physics, 111, 07C903 (4 pages), February 2012.
- [8] H. Honjo, S. Fukami, R. Nebashi, N. Ishiwata, S. Miura, N. Sakimura, T. Sugibayashi, N. Kasai, and H. Ohno, "Magnetic tunneling junction with Fe/NiFeB free layer for magnetic logic circuits," Journal of Applied Physics, Vol. 111, 07C709 (4 pages), March 2012.

ナノ分子デバイス研究室

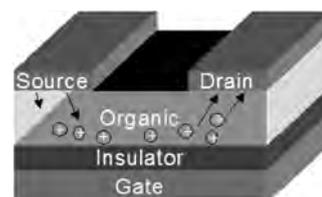
分子情報デバイスの表面・界面のナノスケール制御と 新機能デバイスの創製



多重内部反射型赤外吸収分光法
(MIR-IRAS) による細胞動態計測



陽極酸化によるナノドット形成と単
電子トランジスタ (SET) への応用



有機トランジスタ (OFET) の動
作機構解明

ナノ分子デバイス研究分野 教授 庭野 道夫

ナノ電子デバイス研究分野 准教授 木村 康男

<研究室の目標>

半導体微細加工技術を基盤技術として、ナノ構造体・機能性有機分子などの新規材料、および、生体分子を用いた、分子情報素子・分子エレクトロニクス素子などのデバイス開発に向けた基盤研究をおこなう。Si半導体とナノテクノロジー・バイオテクノロジーとの融合による新規アプローチにより、生命情報処理デバイスの創製、および、様々な高次情報処理を可能とする、分子サイズのデバイスの実現を目指す。

<2011年度の主な成果>

1. 色素増感太陽電池用多孔質チタン/アルミニウム複合対極の作製

アルミニウム膜上に緻密なチタン膜及び多孔質チタン膜を堆積した色素増加間太陽電池(DSC)用複合電極を作製した。アルミニウム膜の挿入により大幅にシート抵抗が減少した。また、この複合材料による対極を用いることによってフィルファクターが向上することを確認した。[文献 1]

2. 眼球運動の遅れに関する薬理作用のシミュレーション

TELOS モデルを基本とする基底核の脳神経回路のシミュレーションを通し、眼球運動の遅れに関する薬理作用を調べた。その結果、大脳基底核や前頭皮質のドーパミンの欠乏が眼球運動の遅れの原因となり、さらに、大脳基底核における振動現象を促進することがわかった。[文献 2]

3. テフロン被覆シリコン基板に基づく安定化人工細胞膜の開発

微細孔を作製したシリコン基板に熱酸化膜とテフロン層の絶縁層被覆を施し、この微細孔中での

人工細胞膜の形成とチャネルタンパク質の包埋を行った。絶縁層被覆によりノイズ電流と過渡電流が抑制され、グラミシジンの単一チャネル電流を明瞭に記録することに成功した。[文献 3]

<職員名>

教授 庭野 道夫 (1998 年より)

准教授 木村 康男 (2010 年より)

助教 青沼 有紀

<プロフィール>

庭野 道夫 1980 年 東北大学大学院理学研究科博士課程修了. 理学博士. 1980 年 宮城教育大学助手, 1986 年 東北大学電気通信研究所助手, 1988 年 同助教授, 1998 年 同教授, 現在に至る. これまで固体光物性, 半導体表面物性, 半導体材料工学, 表面化学の研究に従事. 最近の研究課題は, 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など. 所属学会は, 応用物理学会, 日本表面科学会, 日本物理学会, 電気情報通信学会, 電気学会.

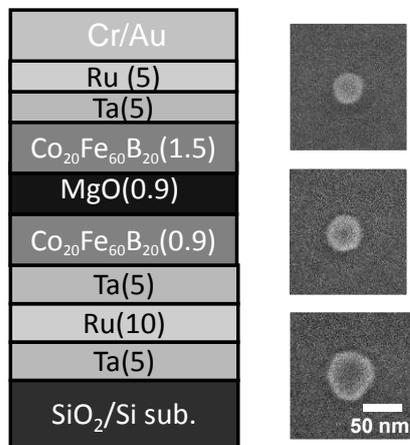
木村 康男 1994 年 東北大学工学部電気工学科卒業. 1999 年 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了. 博士 (工学). 1999 年 東北大学電気通信研究所助手, 2007 年 同助教, 2010 年 7 月 同准教授, 現在に至る. 専門は, 半導体工学, 半導体表面物性. 最近の研究課題は, ナノポーラス構造体を用いたデバイス作製とその応用など. 所属学会は, 応用物理学会, 日本表面科学会, 電子情報通信学会, 電気化学会.

<2011 年度の主な発表論文等>

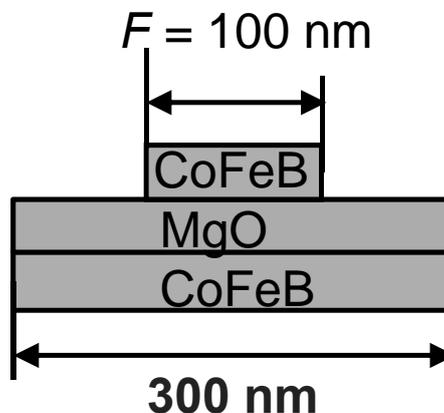
- [1] Mohammad Maksudur Rahman, Ryota Kojima, El Fassy Fihry Mehdi, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Yasuo Kimura, Michio Niwano, "Effect of Porous Counter Electrode with Highly Conductive Layer on Dye-Sensitized Solar Cells", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 50, pp.082303-1-082303-5, 2011
- [2] 桜井伊知郎、佐藤憲一、庭野道夫、“基底核の脳神経回路における薬理作用のシミュレーション (I) - 眼球運動の遅れと神経細胞活動度の振動現象-”, 日本神経回路学会誌、Vol.18, No. 4, pp.182-193, 2011
- [3] Azusa Oshima, Ayumi Hirano-Iwata, Tomohiro Nasu, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Mechanically Stable Lipid Bilayers in Teflon-Coated Silicon Chips for Single-Channel Recordings", Micro and Nanosystems, Vol.4, No.1, pp.2-7, 2012.
- [4] Keiichiro Nozawa, Azusa Oshima, Tomohiro Nasu, Atsushi Shoji, Ayumi Hirano-Iwata, Michio Niwano and Masao Sugawara, "In situ modification of lipid-loaded MCM-41 channels with bovine serum albumin at a planar lipid bilayer for biosensing", Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.160, Issue 1, pp. 139-144, 2011.
- [5] 平野愛弓、大嶋梓、木村康男、庭野道夫、“ナノ・マイクロ加工に基づく人工細胞膜センサの研究”、応用物理、Vol. 81、pp.143-146、2011
- [6] Yuuki Takanashi, Naoki Oyama, Katsuaki Momiyama, Yasuo Kimura, Michio Niwano and Fumihiko Hirose, "Alpha-sexthiophene/n - Si heterojunction diodes and solar cells investigated by I-V and C-V measurements", Synthetic Materials, Vol. 161, pp. 2792-2797, 2012
- [7] 小島領太、Mohammad Maksudur Rahman, Mehdi El Fassy Fihry, 木村康男、庭野 道夫、“陽極酸化による透明電極上への酸化チタンナノチューブ膜の形成”、電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE Technical Report)、Vol.111、63、2011

ナノスピンメモリ研究室

スピンを用いたナノサイズデバイス・メモリの研究



垂直磁気異方性 CoFeB/MgO MTJ.



高熱安定ステップ構造 CoFeB/MgO MTJ.

Appl. Phys. Lett, 99 (2011)0425019, VLSI Technology 2011.

ナノスピンメモリ研究部 准教授 池田 正二

<研究室の目標>

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。

<2011 年度の主な成果>

1. CoFeB/MgO 垂直磁気異方性磁気トンネル接合 (MTJ) の書込み電流と熱安定性

不揮発 VLSI への応用が期待される前年度に開発した垂直磁気異方性 CoFeB/MgO-MTJ において、スピン注入書込み電流と熱安定性の接合サイズ依存性を調べた。書込み電流は接合サイズの減少とともに低減でき、高集積化とともに低消費電力化が可能であることを確認した。一方、熱安定性は、80 nmφ から 40 nmφ まで接合サイズを変化させてもほとんど変化せず、ニュークリエーション型の磁化反転を仮定することで説明可能であることを示した。

2. CoFeB/MgO 垂直磁気異方性 MTJ の熱処理耐性

40 nm φ-CoFeB/MgO 垂直磁気異方性 MTJ におけるトンネル磁気抵抗比(TMR 比)が、半導体プロセスで望まれる 350-400°C の熱処理により急激に減少する要因を調べた。その結果、反平行磁化状態を不安定化させる一因であるダイポール結合を低減することで、400°C の熱処理においても室温で高い TMR 比を得られることが分かった。

3. 高熱安定 CoFeB/MgO ステップ構造 MTJ

CoFeB 参照層直径 300nm、記録層直径 100nm として設計したステップ構造を採用することによ

って、平行及び反平行状態の熱安定性定数を同程度にすることに成功し、10年以上の記録保持時間を達成した。

<職員名>

准教授 池田 正二 (2006年より)

研究員 三浦 勝哉、山本 直志

<プロフィール>

<准教授のプロフィール>

池田 正二 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。磁気工学の研究開発に従事。電気情報通信学会北海道支部 奨励賞 (1994年)、平成15年度日本応用磁気学会論文賞 (2003年)、第31回応用物理学会論文賞 (2009年)。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] T. Suzuki, S. Fukami, N. Ishiwata, M. Yamanouchi, S. Ikeda, N. Kasai, and H. Ohno, "Current-induced effective field in perpendicularly magnetized Ta/CoFeB/MgO wire," *Applied Physics Letters*, Vol. 98, 142502, April 2011.
- [2] T. Devolder, L. Bianchini, K. Miura, K. Ito, Joo-Von Kim, P. Crozat, V. Morin, A. Helmer, C. Chappert, S. Ikeda, and H. Ohno, "Spin-torque switching window, thermal stability, and material parameters of MgO tunnel junctions," *Applied Physics Letters*, Vol. 98, 162502 (3 pages), April 2011.
- [3] H. D. Gan, S. Ikeda, M. Yamanouchi, K. Miura, K. Mizunuma, J. Hayakawa, F. Matsukura, and H. Ohno, "Tunnel Magnetoresistance Properties of Double MgO-Barrier Magnetic Tunnel Junctions With Different Free-Layer Alloy Compositions and Structures," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47, 1567, June 2011.
- [4] S. Matsunaga, M. Natsui, S. Ikeda, K. Miura, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design and Fabrication of a One-Transistor/One-Resistor Nonvolatile Binary Content-Addressable Memory Using Perpendicular Magnetic Tunnel Junction Devices with a Fine-Grained Power-Gating Scheme," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 50, 063004, June 2011.
- [5] K. Miura, S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Yamamoto, K. Mizunuma, H. D. Gan, J. Hayakawa, R. Koizumi, F. Matsukura, and H. Ohno, "CoFeB/MgO based perpendicular magnetic tunnel junctions with stepped structure for symmetrizing different retention times of "0" and "1" information," *Dig. Tech. Pap. - Symp. VLSI Technol.* 2011, 214.
- [6] H. Sato, M. Yamanouchi, K. Miura, S. Ikeda, H. D. Gan, K. Mizunuma, R. Koizumi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Junction size effect on switching current and thermal stability in CoFeB/MgO perpendicular magnetic tunnel junctions," *Applied Physics Letters*, Vol. 99, 042501, July 2011.
- [7] S. Ikeda, M. Yamanouchi, H. Sato, K. Miura, K. Mizunuma, H. Yamamoto, R. Koizumi, H. D. Gan, S. Kanai, J. Hayakawa, F. Matsukura, H. Ohno, "Advanced magnetic tunnel junctions based on CoFeB/MgO interfacial perpendicular anisotropy," *SEMATECH 8th International Symposium on Advanced Gate Stack Technology*, October 2011 (invited).
- [8] K. Miura, R. Sugano, M. Ichimura, J. Hayakawa, S. Ikeda, H. Ohno, and S. Maekawa, "Reduction of intrinsic critical current density under a magnetic field along the hard axis of a free layer in a magnetic tunnel junction," *Physical Review B*, Vol. 84, 174434, November 2011.
- [9] H. D. Gan, H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, K. Miura, R. Koizumi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Origin of the collapse of tunnel magnetoresistance at high annealing temperature in CoFeB/MgO perpendicular magnetic tunnel junctions," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 99, 252507, December 2011.
- [10] M. Kodzuka, T. Ohkubo, K. Hono, S. Ikeda, H. D. Gan and H. Ohno, "Effects of boron composition on tunneling magnetoresistance ratio and microstructure of CoFeB/MgO/CoFeB pseudo-spin-valve magnetic tunnel junctions," *Journal of Applied Physics*, 111, 043913, February 2012.

ブレインウェア実験施設

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、脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術を創製することにある。本施設は、実世界コンピューティング研究部、新概念VLSIシステム研究部、知的ナノ集積システム研究部、マイクロアーキテクチャ研究部の4研究部構成に加えて、サイバーロボット研究部、先端ヒューマンインタフェ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：生物は、自身の身体に持つ膨大な自由度を巧みに操り、自己組織的に振る舞いを生成することで、非構造的かつ予測不能的に変動する実世界環境に対してリアルタイムで対処している。本研究部では、自律分散制御を中核的な概念に据え、生物のようにしなやかかつレジリエントに実世界環境に適応可能な「生き生きとしたシステム」の設計原理の理解とその知的人工物システムへの実装方策の構築を目指す。

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。

<2011 年度の主な成果>

実世界コンピューティング研究部 (石黒研究室) : 2011 年度の主たる研究成果は以下の通りである : (1) 真正粘菌変形体が示す自発的なアトラクタ遷移現象が, 原形質量保存則と局所的なセンサフィードバックによって再現できることをシミュレーションにより示した。さらにロボット実機を製作して実験的に確認した。(2) 非構造環境下でのヘビのロコモーションに内在する自律分散制御則の理論的考察を行った。その結果, 曲率微分制御と表在感覚に基づく反射の組み合わせで実際のヘビの動きを再現できることを明らかにした。(3) 共振現象を活用した 4 脚動物の歩容遷移モデルの構築した。(4) 振動性と興奮性の自発的スイッチングに基づく新規な CPG モデルを提案し, 4 脚ロボット実機を用いて実験的に検証した。(5) 2 次元シート型ロボットの自律分散制御則に関する理論的考察を行った。その結果, 曲率微分制御という自律分散制御則を導出した。(6) 柔軟な足部から生み出される表在感覚に基づく 2 脚歩行の CPG 制御を提案した。(7) ミミズの這行に内在する自律分散制御則に関する理論的考察を行い, 伸縮率微分制御という自律分散制御則を導出した。

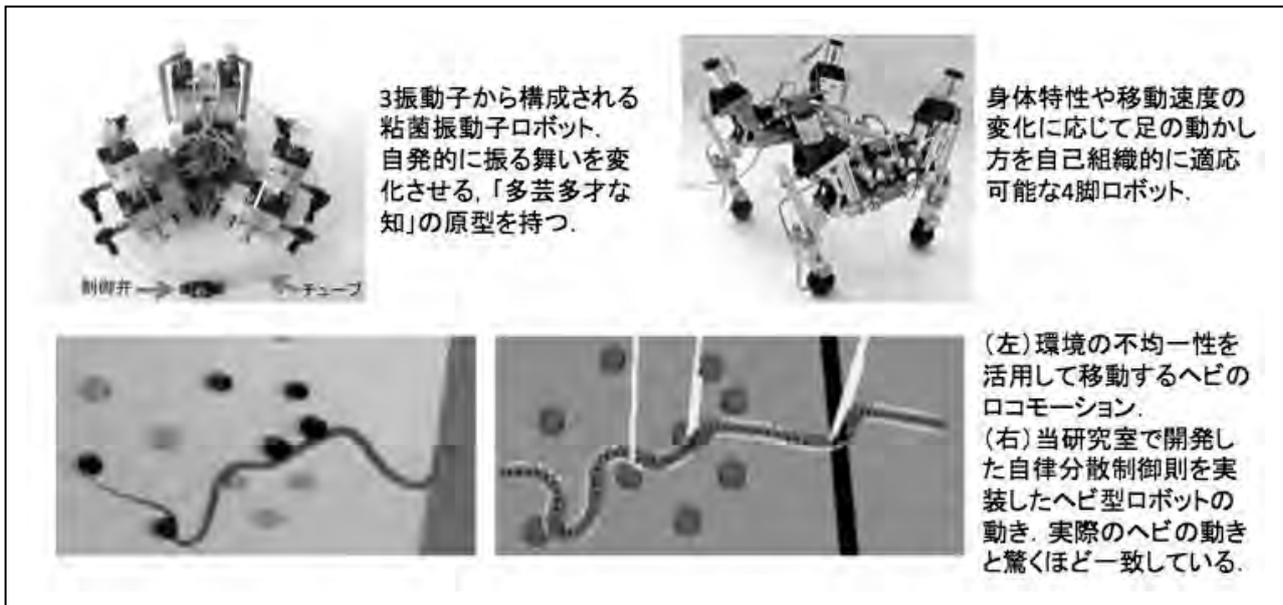
新概念 VLSI システム研究部 (羽生研究室) : 2011 年度は, 主に以下の 3 点につき研究を推進した。Ternary Content-Addressable Memory (TCAM)セル回路を, 6 個の MOS トランジスタと 2 個の Magnetic Tunnel Junction (MTJ) 素子により構成できること (6T-2MTJ), および 7 個の MOS トランジスタと 2 個の MTJ 素子により構成できること (7T-2MTJ) をそれぞれ示した。これら提案方式は, 不揮発性を達成しつつ, 従来構成と比較してコンパクト化も同時に達成できた。また, MTJ 素子を活用したさらなる応用例として, 不揮発 Field-Programmable Gate Array (FPGA) の論理演算回路ブロック LUT (Lookup Table) 回路を構成した。MTJ 素子を冗長に配置することで素子ばらつきの影響をキャンセルできることとなり, ① 4 入力化の試作に初めて成功すると共に, ② 6 入力化への拡張も可能であることを示した。非同期データ転送技術とその応用については, 非同期式制御に基づく細粒度パワーゲーティング方式を考案した。非同期制御信号を, パワースイッチ制御信号としても有効利用することで, 制御回路オーバーヘッドを大幅に低減することに成功した。

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モデルの応用問題への適用を試み, その実現可能性を示した。(2) Nb/AlO_x/Nb ジョセフソン接合列のスイッチング特性を, 超伝導集積回路シミュレータ JSIM を使って調べ, 従来理論と整合させるためには電子温度や浮遊容量の同定が不可欠であることを確認した。(3) 8 x 8 ビット超伝導並列乗算器の構成要素として用いられる, 基本論理セルの高速評価とセル遅延評価を集積回路上で実測した。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ホップフィールド形ネットワークの構成では, ニューロン素子の閾値特性の改善により N-Queen 問題の正解率が向上することを数値解析により見出した。

マイクロアーキテクチャ研究部 (梶井研究室) : センサーネットワークなどに応用可能な低消費電力トランシーバの研究に取り組んだ。315MHz/433MHz の両バンド対応 Fractional-N PLL シンセサイザにおいて, 5 μ sec の Settling 時間を実現する高精度 PLL ループ設計手法, ならびに, 15 μ sec の Start-up 時間を実現するため, 毎回実行される Tuning を省略し, 標準 CMOS テクノロジーで製造可能な不揮発メモリに Tuning データを蓄積し, 高速 Calibration を実行する手法を確立した。さらに, On-Chip インダクタンスの Quality Factor の向上によって 3.5mW の低消費電力化を実現した。これらは, いずれも発表時での世界最高値を示した。この他, Active-Gm-RC 方式を用いた, 従来の 1/7 の消費電力を実現する Bandpass Filter において, 回路トポロジの最適化を行い, パラメータ最適化と Tuning 技術の確立などを行った。

実世界コンピューティング研究室

生き物のようにレジリエントな知能システムの創成



実世界コンピューティング研究分野 教授 石黒 章夫

<研究室の目標>

実世界コンピューティング研究室では、生物のようにしなやかかつタフに実世界環境に適応可能な「生き生きとしたシステム」の設計原理の理解を目指した研究を進めている。その中核となる概念が「自律分散制御」である。自律分散制御とは、比較的単純な認知・判断・運動機能を持つ要素（自律個）が多数存在し、それらが相互作用することによって、個々の要素の単純性からは想像もできない非自明な大域的特性（機能）を自律個集団から創発させるという、「三人寄れば文殊の知恵」をまさに地でいくような制御方策である。本研究室では、ロボティクスや数理科学、生物学、物理学といったさまざまな学問領域を縦横無尽に行き来しながら、「ハードでドライ」なシステムを基盤とする既存技術では決してなし得ない、生物のような「しぶとさ」や「したたかさ」、「打たれ強さ」、「多芸多才さ」といった値を有する、「ソフトでウェット、コンティニウム」な知的人工物システムの創成を目指す。

<2011 年度の主な成果>

1. 脚式ロコモーションの CPG 制御

力覚情報に基づいて振動性と興奮子の間で自発的にスイッチングする新規な CPG モデルを提案した。2脚と4脚ロボット実機を用いて検証した結果、静止状態から歩行状態へ瞬時に遷移できること、歩容遷移が実現できること、身体の力学的特性に応じて歩容が自己組織的に変化することなどが確認された。本 CPG 制御法は、既存制御手法とは一線を画する優れた特性を示すことが明らかとなりつつある。

2. 非構造環境下で這行可能なヘビのロコモーション原理の解明

深部体性感覚に基づく曲率微分制御と、体壁にかかる環境からの表在感覚情報に基づいた反射メカニズムの組み合わせで、ヘビが示す「環境の不均一性を活用したロコモーション」が効果的に実現されることが明らかとなった。

3. 真正粘菌変形体が示す自発的なアトラクタ遷移の発現機序解明

真正粘菌変形体は多核単細胞生物でありながら、状況依存的に多様な振る舞いを発現して環境に対処している。本研究では、原形質量保存則を考慮した結合振動子系と局所的なセンサフィードバックにより、自発的なアトラクタ遷移が実際に生起されることを実験的に確認した。これは多芸多才な人工物の構築につながる重要な知見である。

<職員名>

教授 石黒 章夫 (2011年より)
 助教 大脇 大 (2011年より)
 助教 加納 剛史 (2011年より)
 助教 坂本 一寛 (1993年より)
 秘書 才田 昌子 (2011年より)

<プロフィール>

石黒 章夫 1991年3月 名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了(工学博士)。1991年4月 名古屋大学工学部助手。1997年5月 名古屋大学大学院工学研究科助教授。2006年4月 東北大学大学院工学研究科教授。2011年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。生物規範ロボティクス、数理生物システム論に関する研究に従事。IEEE/RSJ IROS Best Paper Award (2004年)、IEEE/RSJ IROS Best Paper Award Nomination Finalist (2003年, 2009年)、Ig Nobel Prize (2008年)、IEEE/RSJ NTF Award Finalist for Entertainment Robots and Systems (2011年)。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] W. Watanabe, T. Kano, S. Suzuki, and A. Ishiguro, "A decentralized control scheme for orchestrating versatile arm movements in Ophiroid omnidirectional locomotion", *Journal of Royal Society of Interface*, Vol.9, No.6, 2011 (DOI: 10.1098/rsif.2011.0317)
- [2] D. Owaki, K. Nagasawa, T. Kano, and A. Ishiguro, "A CPG-based decentralized control by exploiting spontaneous transition between oscillatory and excitatory regimes –A case study with a real quadruped robot–", *Dynamic Walking*, 2011
- [3] T. Kano, T. Sato, and A. Ishiguro, "Decentralized control of scaffold-assisted serpentine locomotion that exploits body softness", 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011
- [4] T. Sato, T. Kano, and A. Ishiguro, "A decentralized control scheme for an effective coordination of phasic and tonic control in a snake-like robot", *Bioinspiration & Biomimetics*, Vol.7, No.1, 2012 (DOI: 10.1088/1748-3182/7/1/016005)
- [5] T. Umedachi, R. Idei, T. Nakagaki, R. Kobayashi, and A. Ishiguro, "Fluid-filled Soft-bodied Amoeboid Robot Inspired by Plasmodium of True Slime Mold", *Advanced Robotics*, Vol.26, pp.693-707, 2012
- [6] T. Umedachi, R. Idei, and A. Ishiguro, "A Fluid-filled deformable robot that exhibits spontaneous switching among versatile spatiotemporal oscillatory patterns inspired by true slime mold", *The 5th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines*, pp.65-66, 2011
- [7] K. Yaegashi, K. Kano, R. Kobayashi, and A. Ishiguro, "Decentralized control of an earthworm-like robot that fully exploits mechanical interaction", *The 5th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines*, pp.67-68, 2011

知的ナノ集積システム研究室

集積化知的情報処理システムの基盤技術の研究

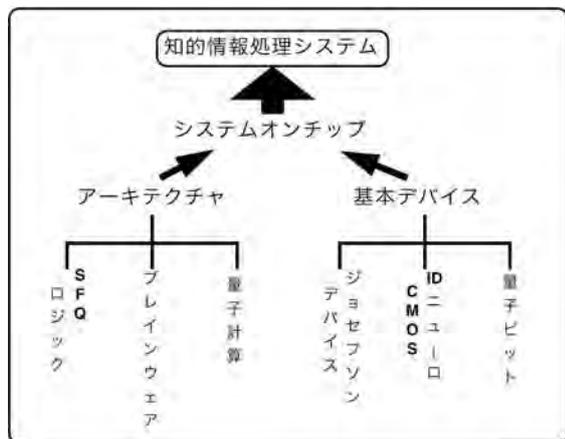


図1 知的ナノ集積システム研究部の研究目標

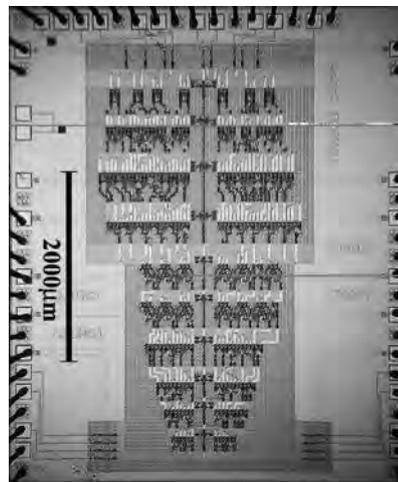


図2 磁束量子4ビット並列乗算器

知的ナノ集積システム研究部 教授 中島 康治
超伝導量子集積システム研究部 准教授 佐藤 茂雄

＜研究室の目標＞

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。

＜2011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] 新概念の疑似粒子運動モデルを用いた神経モデル結合系の解析を用いて、アクティブ領域を持つポテンシャルで制限されたシステムが持つバースト発火現象を検討した。また、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応用問題への適用を試み、その実現可能性を示した。

[量子計算デバイスとアルゴリズムの研究] Nb/AlO_x/Nbジョセフソン接合列のスイッチング特性を、超伝導集積回路シミュレータJSIMを使って調べた。この結果と実験結果を比較し、実験結果の方がはるかに大きいスイッチング確率を示すことが分かった。従来理論と整合させるためには電子

温度や浮遊容量の同定が不可欠であることを確認した。

[磁束量子データプロセッサの研究] 超伝導デジタル信号処理回路の大規模化と高バイアスマージン化を目的とし、8 x 8ビット並列乗算器の構成要素として用いられる、基本論理セルの高速評価とセル遅延評価を集積回路上で実測した。その結果、実測での詳細なセル遅延特性が得られ、大規模回路設計におけるタイミング設計の指針が得られた。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ホップフィールド形ネットワークの構成では、ニューロン素子の閾値特性の改善によりN-Queen問題の正解率が向上することを数値解析により見出した。

<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 伊藤 茉莉花

<プロフィール>

中島 康治 1972年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1978年3月 同大学院博士課程修了。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。

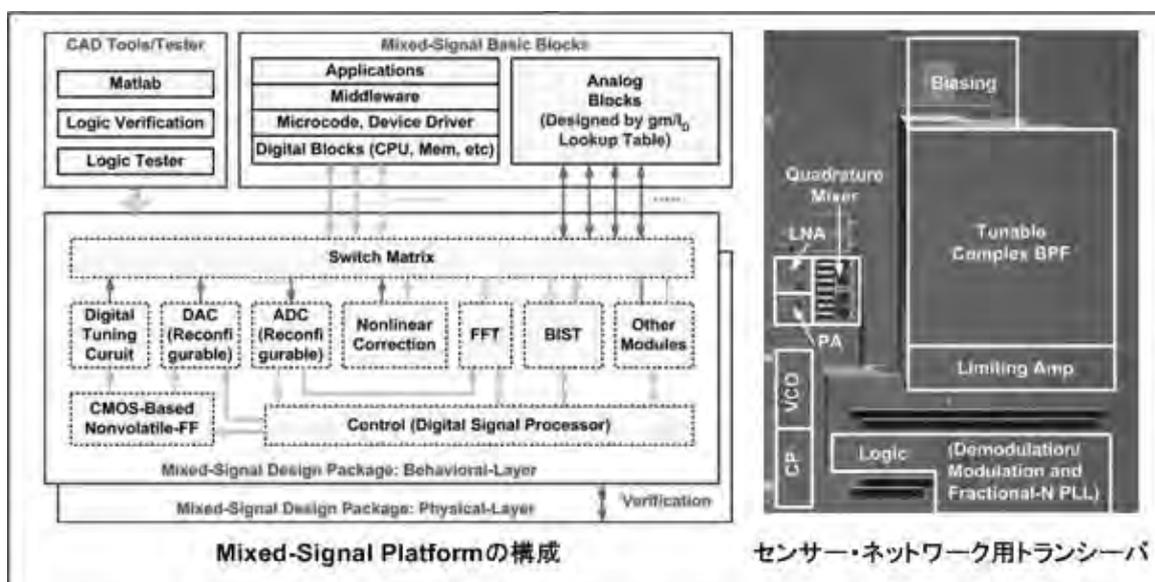
佐藤 茂雄 1989年3月 東北大学工学部電子工学科卒業。1994年12月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。1996年4月 同大電気通信研究所助手。2002年10月 同大電気通信研究所助教授。2007年4月 同准教授、現在に至る。脳型計算機や量子計算機に関する研究に従事。IEICE論文賞受賞(2000年)、石田記念財団研究奨励賞(2005年)。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, "An application of higher order connection to inverse function delayed network," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 2, no. 2, pp. 180-197, April 2011.
- [2] S. Sato, A. Ono, M. Kinjo and K. Nakajima, "Performance evaluation of adiabatic quantum computation using neuron-like interconnections," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 2, no. 4, pp. 198-204, April 2011.
- [3] T. Onomi, Y. Maenami, and K. Nakajima, "Superconducting Neural Network for Solving a Combinatorial Optimization Problem," IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.21, no.3, pp.701-704, June 2011.
- [4] R. Nakamoto, S. Sakuraba, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, "4-bit SFQ Multiplier Based on Booth Encoder," IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol.21, no.3, pp.852-855, June 2011.
- [5] K. Kurose, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, "Analysis of burst dynamics bound by potential with active areas," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 2, no. 4, pp. 417-431, Oct. 2011.
- [6] H. Katayama, R. Nakamoto, K. Inomata, T. Onomi, S. Sato, and K. Nakajima, "Collective Switching Characteristics of Josephson Junctions," Proceedings of Superconducting SFQ VLSI Workshop SSV 2011, pp.56-57, Kyoto Japan, Nov. 2011.
- [7] T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, "Method of Solving Combinatorial Optimization Problems with Stochastic Effects," 2011 International Conference on Neural Information Processing, Part III, LNCS 7064, pp.389-394, Shanghai China, Nov. 2011.
- [8] K. Nakajima, K. Kurose, S. Sato, Y. Hayakawa, "Dynamic Characteristics of Neuron Models and Active Areas in Potential Functions," IUTAM Symposium on 50 Years of Chaos: Applied and Theoretical, Book of Abstracts, pp. 30-3, Kyoto Japan, Nov. 2011.

マイクロアーキテクチャ研究室

Mixed-Signal Platform の研究



マイクロアーキテクチャ研究分野 教授 梶井 昇一

＜研究室の目標＞

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する。オープンシステムで使用される Mixed-Signal SoC では、微細化 CMOS テクノロジを利用し、目標性能を低価格・低消費電力で実現することが要求されているが、微細化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。

＜2011 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 実現に向け Fractional-N PLL シンセサイザの研究を実施した。本研究では、 $0.18\mu\text{m}$ 1.8V テクノロジを使用し、3.5mW、セトリング時間 $5\mu\text{sec}$ 、スタートアップ時間 $15\mu\text{sec}$ のデュアル・バンド (315MHz/433MHz) 周波数シンセサイザの設計・試作・評価を実施し、仕様どおりの動作を確認した。3.5mW の消費電力を実現するためには、Quality Factor を最適化した On-Chip インダクターの実現がキ

一技術となる。また、5 μ sec のセトリング時間を実現するために、4 次 PLL ループを、近似を用いずに高精度に設計する手法の確立を行った。さらに、15 μ sec のスタートアップ時間の実現と VCO 動作周波数のばらつきを補正するため、スタンダード CMOS テクノロジーによる不揮発メモリを用いたキャリブレーション方式の提案を行った。その他の独自技術として、Fractional Spurious を低減する Self-Dithering 手法を採用している。

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 ベースの設計からの乖離が生じ、設計生産性の低下が著しくなっている。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。今年度は、SPICE BSIM モデルのアナログ・パラメータ検証と最適化手法について、180nm、65nm の両テクノロジーに関して、TEG 試作・評価に基づく技術確立を行った。特に、65nm テクノロジーに関しては、Active- G_m -RC 方式 Filter 設計への応用について、簡便な Constant g_m/I_D 法を提案し、その有効性（テクノロジーによらず消費電流が一定となる）を提示した。

<職員名>

教授 梶井 昇一 (2007 年より)
客員准教授 加保 貴奈 秘書 志村 亜矢

<プロフィール>

梶井 昇一 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～1992 年 4 月 スタンフォード大学客員研究員。1999 年 4 月 富士通 入社。2001 年 9 月～11 月 トロント大学客員研究員。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。Mixed-Signal SoC の研究開発に従事。文部科学大臣表彰 (研究功績者) (2004 年)。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] Z. Xu, J. G. Lee, and S. Masui, "Self-Dithered Digital Delta-Sigma Modulators for Fractional-N PLL Synthesizers," IEICE Trans. on Electronics, vol. E94-C, no.6, pp. 1065-1068, 2011.
- [2] J.-G. Lee and S. Masui, "A 3.5mW 5 μ sec settling time dual-band fractional-N PLL synthesizer," IEICE Electronics Express, vo. 9, no. 4, pp. 307-313, 2012.
- [3] J.-G. Lee and S. Masui, "A 32-bit 16-program-cycle nonvolatile memory for analog circuit calibration in a standard 0.18 μ m CMOS," IEICE Electronics Express, vo. 9, no. 6, pp. 447-483, 2012.
- [4] J.-G. Lee and S. Masui, "Design and optimization of program and restore operations in CMOS-compatible nonvolatile latch," Extended Abstract of SSDM, pp. 156-157, 2011..
- [5] J.-G. Lee and S. Masui, "Fractional-N PLL synthesizer with 15 μ sec start-up time by on-chip nonvolatile memory," IEICE Electronics Express, vo. 9, no. 4, pp. 263-269, 2012..
- [6] T. Konishi, B. Patrick, T. Kaho and S. Masui, "SPICE MOSFET Analog Model Parameter Verification and Re-optimization Based on g_m/I_D Lookup Table Design Methodology", Extended Abstracts of the 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp. 162-163, 2011..
- [7] J. Shi, T. Konishi, and S. Masui, "Active- G_m -RC Bandpass Filter with 60MHz Center Frequency and a Combined Analog-Digital Tuning System," IEEE International Symposium on Radio Frequency Integration Technology, pp. 69-72, 2011.

新概念 VLSI システム研究室

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

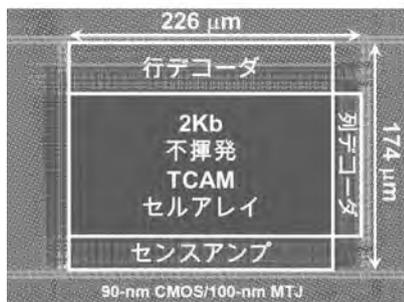


図 1. MTJ/MOS ハイブリッド不揮発 TCAM チップ。演算・記憶機能の一体化により、最少トランジスタ数で待機電力ゼロを実現。

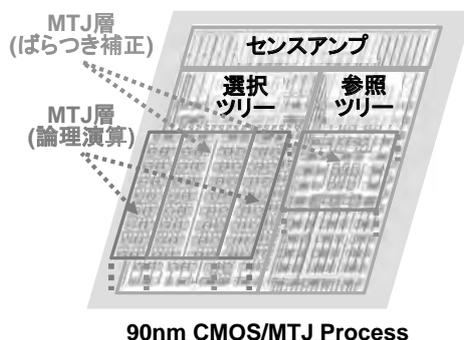


図 2. MTJ/MOS ハイブリッド 4 入力 LUT 回路: 冗長に直並列接続した MTJ 素子によってばらつきを抑制, センスアンプ数最小化によるコンパクト LUT 回路を実現

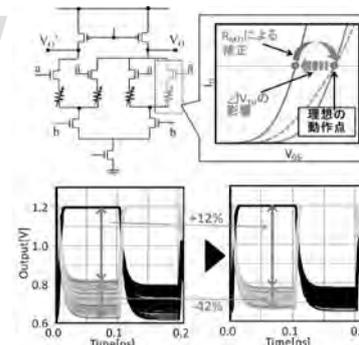


図 3. ばらつき補正機能を内蔵した差動型電流モード論理回路. MTJ 素子の抵抗値の調整により、しきい値電圧の変化によって生じる動作点の変動を抑制。

新概念 VLSI システム研究部 教授 羽生 貴弘

<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、すなわち不揮発記憶機能を有する新デバイスを演算回路に分散配置させることで高性能性・多機能性と高信頼性の両立を可能にする不揮発性ロジックインメモリ VLSI アーキテクチャ (図 1, 2), 不揮発性記憶素子を用いることによる LSI のポストプロセスばらつき補償技術 (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。

<2011 年度の主な成果>

1. 高密度・不揮発 TCAM チップの試作と動作実証 Ternary Content-Addressable Memory (TCAM) は並列パターンマッチング機能を有する高性能なハードウェア検索エンジンである。本年度は、6T-2MTJ セル構造に基づく完全並列形不揮発 TCAM のプロトタイプチップを 90nm CMOS/100nm MTJ プロセスにより試作した。提案セル回路は、最少個数のトランジスタ数で構成された、MTJ 素子ベース完全並列形不揮発 TCAM セルであり、通常の CMOS ベース揮発 TCAM セル回路と比較し、半分程度のトランジスタ数で実現されている。この結果、高密度かつ待機電力消費の無い TCAM 実現への道が拓かれた。また、本テストチップを用いて、一致検索動作、並びにインスタント・オン/オフの原理動作を実証した。

2. コンパクト多入力不揮発 LUT 回路の実現 大規模不揮発性 FPGA (Field-Programmable Gate Array) を実用化するためには、4 入力 lookup table (LUT) 回路などの多入力 LUT 回路の実現が必須である。本年度は、冗長な MTJ 素子を CMOS 回路上に直並列に配置することで回路の論理しきい値のばらつき抑制ならびに補正機能する機能を考案し、最小のセンスアンプ回路で多入力 LUT 回路を

実現した。提案6入力LUT回路では、従来の不揮発SRAMをベースとした構成と比較して38%のトランジスタ数で構成され、不揮発化とコンパクト化を同時に達成可能である。また、本提案技術に基づく4入力LUT回路を90nmCMOS/MTJプロセスにより設計・試作を行い、その基本動作を確認した。

3. ポストプロセスばらつき補償技術の提案 不揮発性記憶素子を用いることによるLSIのポストプロセスばらつき補償技術を提案した。本技術は、不揮発性記憶素子の可変抵抗としての性質を用い、試作時に生じる性能ばらつきに応じて抵抗値を変化させることで、ばらつきの影響を受けたLSIの動作点補正を実現する。本年度は、提案技術に基づく差動型電流モード論理回路の設計および回路シミュレーションを行い、提案技術を用いることでトランジスタのしきい値電圧ばらつきによって生じる出力電圧の振幅の変動を平均30%程度削減できることを示した。

<職員名>

教授 : 羽生貴弘 (2002年4月より) 助 教 : 松本 敦 (2007年4月より)
 助 教 : 夏井雅典 (2008年4月より)

<教授のプロフィール>

1984.3 東北大・工・電子卒, 1989.3 同工学研究科・電子・博士後期課程了。同年同大工学部助手, 1993.2 同助教授, 2002.4 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, 電流モード非同期NoC技術とその応用に関する研究に従事。IEEE ISMVL Best Paper Award(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), IEEE ISVLSI Best Paper Award(2010), などを受賞。IEEE Senior Member。

<2011年度の主な発表論文等>

- [1] S. Matsunaga, M. Natsui, S. Ikeda, K. Miura, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design and Fabrication of a One-Transistor/One-Resistor Nonvolatile Binary Content-Addressable Memory Using Perpendicular Magnetic Tunnel Junction Devices with a Fine-Grained Power-Gating Scheme," Japan. Journal Applied Physics. (JJAP), Vol.50, pp. 063004(1)- 063004(7), June 2011.
- [2] T. Kawano, N. Onizawa, A. Matsumoto, and T. Hanyu, "Adjacent-State Monitoring Based Fine-Grained Power-Gating Scheme for a Low-Power Asynchronous Pipelined System," ISCAS 2011, pp.2067-2070, May 2011.
- [3] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, S. Fukami, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fully Parallel 6T-2MTJ Nonvolatile TCAM with Single-Transistor-Based Self Match-Line Discharge Control," 2011 Symposium on VLSI Circuits, Digest of Technical Papers, 28-2, pp.298-299, June 2011.
- [4] N. Onizawa, F. Funazaki, A. Matsumoto, and T. Hanyu, "; Chapter 2: Accurate Asynchronous Network-on-Chip Simulation Based on a Delay-Aware Model (VLSI 2010 Annual Symposium, Selected Papers)," pp.17-30, Springer, September 2011 (ISBN:978-94-007-1487-8).
- [5] 羽生貴弘, 池田正二, 杉林直彦, 笠井直紀, 遠藤哲郎, 大野英男, “不揮発性ロジック:スピントロニクス素子を用いた待機電力ゼロのLSI技術を提案,” (“半導体ストレージ2012”第3章ストレージ・クラス・メモリ(新型不揮発メモリ)), 日経BP社出版, pp.196-205, July 2011 (ISBN:978-4-8222-6558-8).
- [6] N. Onizawa, V. C. Gaudet, and T. Hanyu, "Low-Energy Asynchronous Interleaver for Clockless Fully Parallel LDPC Decoding," IEEE Trans. on Circuits and Systems Part I, Vol.58, No.8, pp.1933-1943, August 2011.
- [7] S. Hanzawa and T. Hanyu, "Design of an 8-nsec 72-bit-Parallel-Search Content-Addressable Memory Using a Phase-Change Device," IEICE Transactions on Electronics, Vol. E94-C, No.8, pp.1302-1310, August 2011.
- [8] D. Suzuki, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Six-input lookup table circuit with 62% fewer transistors using nonvolatile logic-in-memory architecture with series/parallel-connected magnetic tunnel junctions", Journal of Applied Physics, Vol.111, Issue 7, pp.07E318(1)-07E318(3), Feb. 2012.
- [9] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a Nine-Transistor/ Two-Magnetic-Tunnel-Junction-Cell-Based Low-Energy Nonvolatile Ternary Content-Addressable Memory," Japan Journal of Applied Physics (JJAP), Vol.51, No.2, Issue 2, pp.02BM06(1)-02BM06(5), Feb. 2012.
- [10] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a 270ps-Access 7T-2MTJ Cell Circuit for a High-Speed-Search Nonvolatile Ternary Content-Addressable Memory," Journal of Applied Physics, Vol.111, Issue 7, pp.07E336(1)-07E336(3), March 2012.

3. 8 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。

<2011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23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によるミリ波帯送信器・受信器用RFICの高性能化・集積化の検討、(2) 周波数領域伝搬路推定回路を用いて伝搬路を推定することで、より最適なチャンネルを選択できるワイヤレスディペンダビリティ評価技術、(3) 小形ミリ波無線通信アンテナモジュールの設計・実装・評価などを行った。

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、既存システムの1/20以下の消費電力/記憶容量比の達成をプロジェクトの目標としている。平成23年度は、スタティックテストを用いた次世代ナノパターン媒体の記録再生特性の評価とスーパーコンピュータを用いたシミュレーションから現行の10倍の記録密度の目途をつけ、新規省電力サブシステム技術の方式実証（電力1/2に加えた高速データ転送性能化）と併せて目標の1/20を達成している。また、ストレージシステムの高速度データ転送について、特定の機器にアクセスが集中することを回避する制御アルゴリズムを実装し実際にスーパーコンピュータとの接続試験を経て開発を完了している。

<職員名>

センター長・教授 村岡 裕明

企画開発部

客員教授 古西 真

研究開発部

モバイル分野

客員教授 坪内 和夫

客員教授 高木 直

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 村岡 裕明

藤本 和久

長 康雄

末松 憲治

鈴木 陽一

外山 芳人

大野 英男

羽生 貴弘

大学院工学研究科教授

安達 文幸

川又 政征

大学院情報科学研究科教授

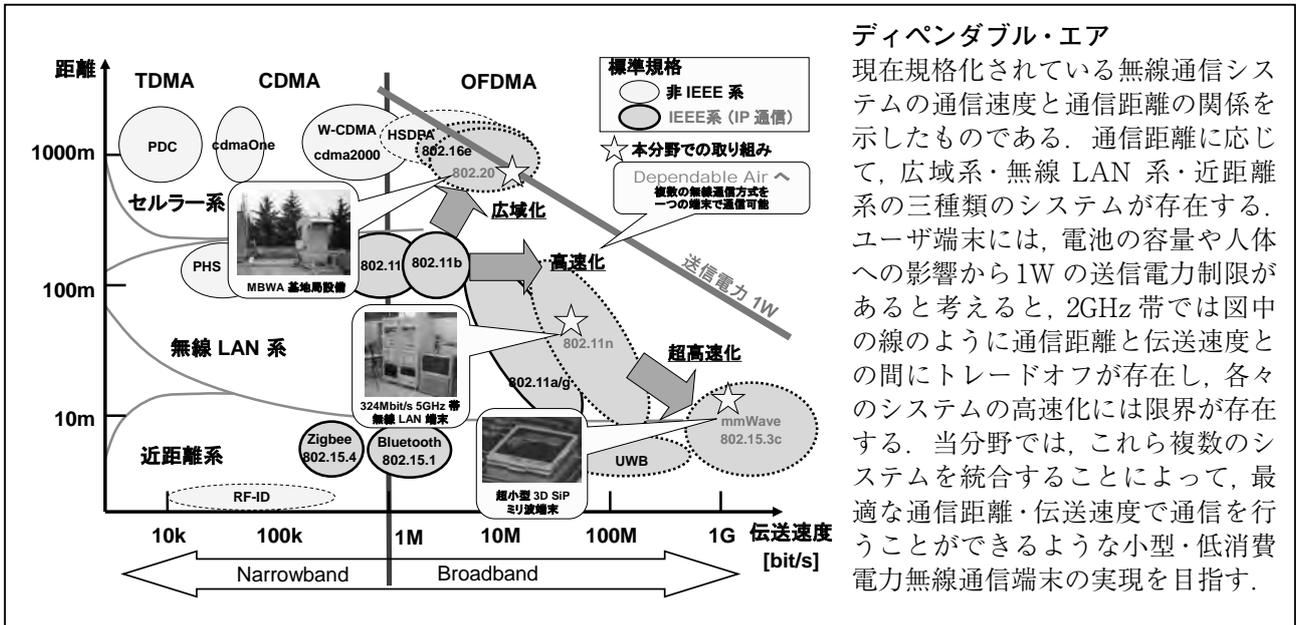
加藤 寧

本研究所事務長

佐藤 巖

IT21 センター モバイル分野

ディペンダブル・エアの実現に向けて



客員教授 坪内 和夫

客員教授 高木 直

<研究室の目標>

ユーザ端末をネットワークに接続するアクセス回線技術としてのモバイルワイヤレス通信技術は、光ファイバによる超高速バックボーンネットワークとともに、IT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界の移動通信のリーダーシップを担うわが国の移動通信技術は、日本経済を支える原動力としてますます発展する必要がある。

IT-21 センター・モバイル分野では、国内移動体通信機メーカー及び第一種通信事業者との産学連携プロジェクトにより、次世代インターネットアクセスのための超高速無線通信技術の開発と異種材料統合・三次元システムチップ構築技術による超小型端末の実用化技術開発を推進してきた。これまでに、(1) 324Mbit/s 5GHz 帯無線 LAN 端末の開発、(2) ハイビジョン非圧縮伝送超小型 3D SiP (三次元システム・イン・パッケージ) ミリ波無線端末の開発を行い、また、(3) 広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス (MBWA) 実証実験により、自動車移動中のシームレスハンドオーバ、無線 LAN と MBWA との異種ネットワーク間シームレスローミングを成功させてきた。

本年度は、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であるディペンダブル・ワイヤレス・システム (DWS) 技術の研究開発を行った。特に、本研究課題では、以下の要素技術開発を中心に行った。

1. オールシリコン CMOS による RFIC (Radio Frequency IC)
2. 周波数領域等化技術による伝搬路・デバイス特性補償回路

3. 適応スケーラブル ADC/DAC (Analog-Digital Converter/Digital-Analog Converter)

<2011 年度の主な成果>

1. 周波数領域等化回路の LSI 実装・評価

伝搬路歪やデバイスの周波数特性改善のための周波数領域等化回路を 180nm CMOS プロセスにて設計・試作を行った。さらに、周波数領域伝搬路推定回路を用いて、伝搬路を推定することで、より最適なチャネルを選択できるワイヤレスディペンダビリティ評価技術の検討を行った。

2. ミリ波帯近距離・広帯域通信のための RF 要素回路の研究

家電ネットワークなど、通信距離 10m 程度の近距離通信への応用を目指し、ミリ波帯無線通信端末用の RF 要素回路の研究を行った。今年度は特に、60GHz 帯無線通信送信器用の電力増幅器などの設計・試作を行った。

<職員名>

客員教授 坪内 和夫 (2010 年より)

客員教授 高木 直 (2010 年より)

技術補佐員 中山 英太 秘書 橋浦 尚子

<プロフィール>

坪内 和夫 1974 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。1974 年 4 月東北大学電気通信研究所助手。1982 年 4 月～10 月米国パーデュ大学客員助教授。1983 年 3 月助教授。1993 年 3 月教授、2010 年 4 月名誉教授・客員教授。1983 年服部報公賞、1994 年第 26 回市村学術賞貢献賞、1996 年第 11 回電気通信普及財団賞 (テレコムシステム技術賞)、1997 年第 22 回井上春成賞、2003 年東北総合通信局長「電波の日」表彰、2005 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞、2005 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。

高木 直 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、2010 年客員教授。広帯域無線通信システムの研究に従事。IEICE フェロー、IEEE 会員。

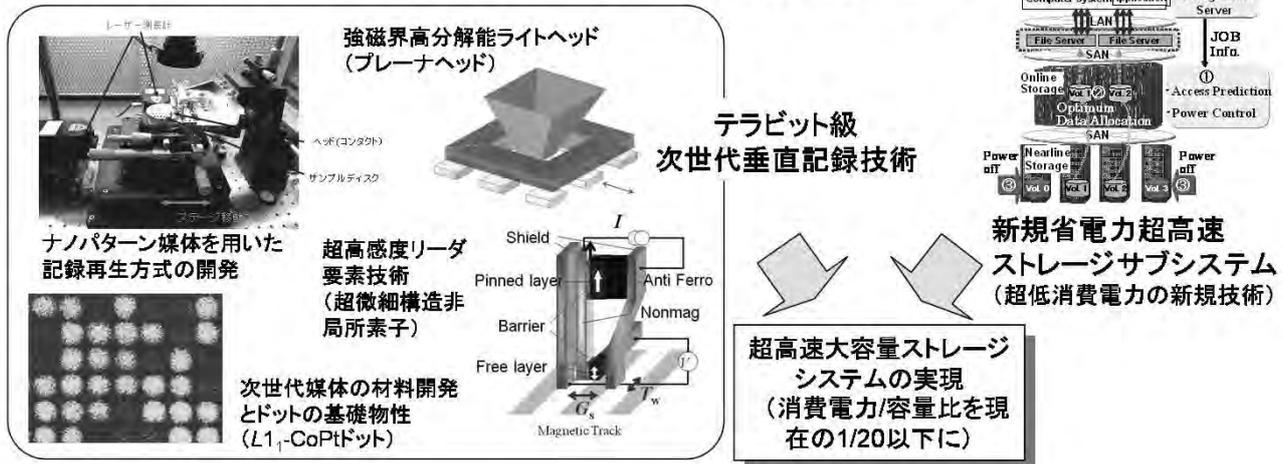
<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A low cross polarization 5 GHz-band 3-stacked meander-line antenna integrated with a meander-line shape balun," 5th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP2011), Roma, Italy, April 2011.
- [2] K. Komatsu, S. Kameda, M. Iwata, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "ASIC implementation of frequency domain equalizer for single carrier transmission," XXX URSI General Assembly and Scientific Symposium of International Union of Radio Science (URSI GASS 2011), Istanbul, Turkey, August 2011.
- [3] T. T. Ta, K. Matsuzaki, K. Ando, K. Gomyo, E. Nakayama S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A high efficiency Si-CMOS power amplifier for 60 GHz band broadband wireless communication employing optimized transistor size," European Microwave Conference (EuMC), Manchester, UK, Oct. 2011.

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



教授 藤本 和久

准教授 島津 武仁

<研究室の目標>

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」を文部科学省から産学連携で受託し、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により垂直磁気 HDD の実用化・高密度化に貢献した。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、新規省電力超高速サブシステムの開発により、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。

<2011 年度の主な成果>

「テラビット級次世代垂直記録技術」の開発による、5 Tbits/inch² (プロジェクト開始時の記録密度の 10 倍) に向けた基本要素技術と、「新規省電力超高速サブシステム」の開発による従来比 1/2 の省電力化により、1/20 の消費電力/記憶容量が達成できることを示した。

1. テラビット級次世代垂直記録の要素技術開発

各要素技術の研究開発を平成 22 年度に引き続き実施しながら、5 Tbits/inch² の基本要素技術の提案を目指した。次世代ナノパターン媒体を用いたテラビット級記録再生システムの研究開発では、磁気ハード層とソフト層を積層した記録膜を用いてドット径 20 nm の次世代ナノパターン媒体を試

作し、テラビット級の記録密度における記録マージンの解析を行った。また、このような次世代ナノパターン媒体に熱アシストを行なう記録方式の最適化をシミュレーションにより実施し、実用レベルの記録ヘッド磁界分布 (400 Oe/nm) の設定条件で熱スポット径の微細化 (最適化) を行うことで、5 Tbits/in²に相当する 8 nm のドットピッチに対して、4~5 nm の十分な記録マージンが得られることを明らかにした。一方、L₁-CoNiPt 規則合金膜を用いたテラビット級次世代ナノパターン媒体の基礎実験から、キュリー温度の低下が熱アシスト記録における反転磁界の低減に有効であり、同材料薄膜が熱アシスト記録用の薄膜材料として有効であることを実証した。

2. 新規省電力超高速サブシステム

サブシステムの基本方式については、平成 22 年度に提案した転送性能を劣化させる負荷の偏りを緩和するアルゴリズムの改善を行い、ファイルサーバ 128 台の大規模構成において従来比 27% の転送性能向上と従来比 1/2 の省電力化が実現できることを示した。

<職員名>

教 授 藤本 和久 (2007 年より)

客 員 教 授 青井 基 (2002 年より)

准 教 授 島津 武仁 (2002 年より)

客 員 准 教 授 山川 清志 (2002 年より)

産学連携研究員 小川 晋, 嵯峨 秀樹, 山田 将貴, 赤池 洋俊, 大沢 裕一, 片岡 弘康, 井上 大輔

共 同 研 究 員 工藤 幸司, 石橋 毅之, 青野 雅広, 大場 健司, 松下 浩二, 窪田 正雄

技 術 補 佐 員 魚本 幸

秘 書 佐藤 安由美, 高野 綾

<プロフィール>

藤本和久 1985 年九州大学工学部電気工学科卒業。1987 年同大学院修士課程修了。工学博士。1987 年(株)日立製作所入社, 中央研究所。2000 年同主任研究員。2002 年同システム開発研究所主任研究員。2007 年同主管研究員。2007 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。

島津武仁 1986 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒業。1988 年 3 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程前期 2 年の課程修了。博士 (工学, 東北大, 1994 年 2 月)。1988 年 4 月同大学工学部助手。1995 年 9 月オランダ・トゥエンテ大学客員研究員。1998 年 4 月東北大学電気通信研究所助手。2002 年 4 月同准教授, 現在に至る。超高真空技術を用いた高性能磁性薄膜の開発とストレージデバイスへの応用, ウエハ室温接合技術等の研究開発に従事。

<2011 年度の主な発表論文等>

- [1] H. Saga, K. Shirahata, K. Mitsuzuka, T. Shimatsu, H. Aoi, and H. Muraoka, "Impact of Multidomain Dots on Write Margin in Bit Patterned Media Recording," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, 2528-2531 (2011).
- [2] Y. Ohsawa, D. Saida, K. Yamakawa, and H. Muraoka, "Effect of Ion-Beam Gas Species on Magnetic Softness in Fe-Co Thin-Film Etching," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 47, 3411-3414 (2011).
- [3] T. Shimatsu, H. Kataoka, K. Mitsuzuka, H. Aoi, N. Kikuchi, and O. Kitakami, "Dry-etching damage to magnetic anisotropy of Co-Pt dot arrays characterized using anomalous Hall effect," *Journal of Applied Physics*, vol. 111, 07B908(1-3) (2012).
- [4] S. Okamoto, N. Kikuchi, J. Li, O. Kitakami, T. Shimatsu, and H. Aoi, "Frequency and Time Dependent Microwave Assisted Switching Behaviors of Co/Pt Nanodots," *Appl. Phys. Express*, vol. 5, 043001(1-3) (2012).

3.9 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。
- We b 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. 10 やわらかい情報システムの研究開発と 所内情報システムの管理運用

<センターの目標>

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

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

<2011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。

(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、開発中の知識型ネットワーク管理支援システムを示す。

(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。

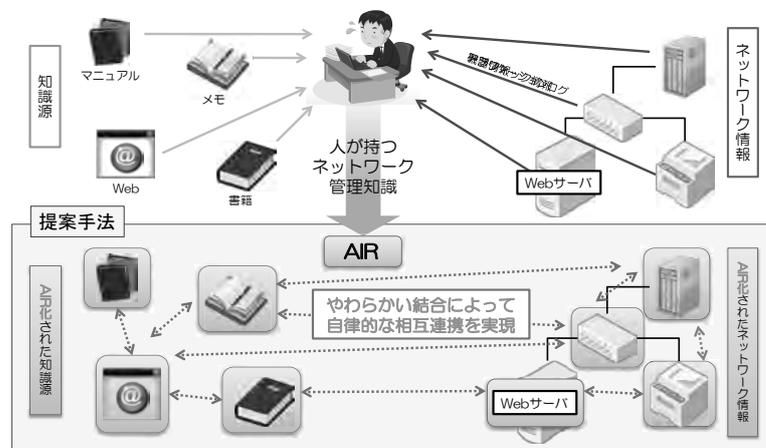


図1 知識型ネットワーク管理支援システム

<職員名>

(1) 運営委員会

教授 鈴木 陽一 (2000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) 菅沼 拓夫 (2011年より)

(2) 実施委員会

教授 外山 芳人 (2007年より) 菅沼 拓夫 (2010年より, サイバーサイエンスセンター所属)
准教授 青戸 等人 (2003年より) 岩谷 幸雄 (2010年より) 北形 元 (2007年より)
助教 吉田 真人 小野美 武 笹井 一人
技術職員 佐藤 正彦
教育研究支援者 ヨハン スベホルム
研究支援推進員 鈴木 みどり 長瀬 祥子

(3) 常勤職員

准教授 北形 元 (2007年より)
助教 笹井 一人
技術職員 佐藤 正彦
教育研究支援者 ヨハン スベホルム
研究支援推進員 鈴木 みどり 長瀬 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.

<2011年度の主な発表論文等>

1. Gen Kitagata, Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Norio Shiratori, and Tetsuo Kinoshita, "Agent-based Access Rights Delegation utilizing Social Relationships," International Journal of Energy, Information and Communications, Vol.2, No.4, pp.87-100, 2011.11.
2. Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Gen Kitagata, and Tetsuo Kinoshita, "A Practical Design and Implementation of Active Information Resource based Network Management System," International Journal of Energy, Information and Communications, Vol.2, No.4, pp.67-86, 2011.11.
3. Gen Kitagata, Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, "Network Management System Based on Activated Knowledge Resource," In Proceedings of the 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), pp.999-1004, 2012. (Invited)
4. Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Complementary Interaction between Human-oriented Knowledge and Machine-oriented Information on AIR-NMS," Proc of the 2nd International Conference on Morphological Computation (ICMC2011), pp.111-113 2011.9.
5. 笹井一人, 北形 元, 木下哲男, "能動的情報資源に基づく知識型ネットワーク管理システム," 2012年総合大会講演論文集, BT-4-2, 2012.3. (招待講演)
6. Khamisi Kalegele, Johan Sveholm, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "On-demand Numerosity Reduction for Object Learning," Proc of the Workshop on Internet of Things and Service Platforms (IoTSP 2011), 2011.12.
7. Khamisi Kalegele, Johan Sveholm, Hideyuki Takahashi, Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, "Dynamic Numerosity Reduction for Mining-Based Agent Learning," マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.51-56, 2011.10. (Student Encouragement Prize を受賞)

3. 1 1 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

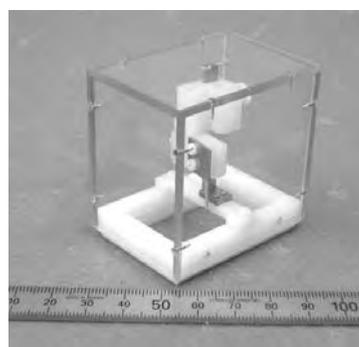
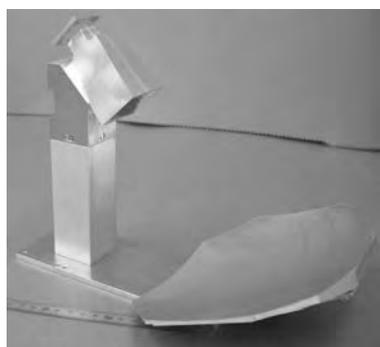


写真 工作部の主な製作品

左：Ku バンド合成開口レーダ(SAR)用偏心パラボラリフレクタとフィードホーン
右：留置式脳活動記録用電極ホルダー



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、工作、評価、プロセス、ソフトウェア技術の4部を通して、所内の様々な研究活動に対し幅広い技術的な支援を行っている。また、センターの技術レベルを維持するために、熟練した技術職員の技量を若い世代に引き継ぐことにも取り組んで来た。今年度の活動は次のようにまとめられる。

＜2011 年度の主な成果＞

1. 工作部

工作部では、過去40年以上にわたり数々の新しい工作方法を開発してきた。このような高い技術に立脚し、研究者からの個別の要求に沿う機械工作品の供給が可能である。本年度は各研究室からの製作依頼は191件であった。その内の22件は所外の研究者からの依頼であった。各研究室の製作数は以下の通りである（製作数順）。

ナノ分子デバイス研究室：47件、超高速光通信研究室：18件、ナノフォトエレクトロニクス研究室：17件、ナノ・スピン共通部：17件、固体電子工学研究室：15件、量子光情報工学研究室：13件、医工学研究科 ナノバイオ医工学研究室：13件、先端ワイヤレス通信技術研究室：8件、研究基盤技術センター：6件、超ブロードバンド信号処理研究室：4件、先端音情報システム研究室：4件、省エネルギースピントロニクス集積化システム研究センター：4件、応用量子光学研究室：3件、先端情報通信領域創成研究室：3件、ユビキタス通信システム研究室：3件、実世界コンピューティング研究室：3件、工学研究科 生体電子工学研究室：3件、ブロードバンド通信基盤技術研究室：2件、生体電磁情報研究室：2件、半導体スピントロニクス研究室：2件、工学研究科 電磁計測学研究室：2件、高次視覚情報システム研究室：1件、事務部：1件

2. 評価部

評価部では共通計測機器の提供を行っている。昨年度は16研究室の利用があり、総利用時間は2938時間であった。ガラス工作の提供と寒剤の供給も行っている。15件のガラス工作依頼があり、3787リッターの液体窒素を供給した。

3. プロセス部

プロセス部では、評価部と協力して、プロジェクト・クリーンルーム（PCR）とそこに設備されているプロセス機器の管理と運営にあたっている。昨年度は、11研究室がクリーンルームを利用した。また、可視から赤外のスペクトル範囲の個別仕様の光学フィルターの製造がプロセス部において可能である。今年度は、4研究室からの求めに応じ、26件の誘電体多層膜光学素子の製作・供給を行った。

4. ソフトウェア技術部

ソフトウェア技術部では、やわらかい情報システム研究センターと協力して、所内および附属研究施設の情報システムの運用と管理を行った。

＜職員名＞

センター長（教授）	上原 洋一
助 教	佐藤 信之
技術職員	齋藤 文孝、寒河江 克巳、庄子 康一、末永 保、佐々木 龍太郎、 阿部 真帆、佐藤 正彦、佐藤 圭祐、阿部 健人、渡邊 博志、菅原 宗朋、 今野 勇治、米澤 隆二、土田 貞夫、田久 長一、我妻 成人

第 4 章 独創的研究支援プログラム

窒化物半導体によるミリ波用トランジスタの研究

末光 哲也 (極限高速電子デバイス研究分野)

1. はじめに

情報通信の大容量化・高度化に伴い、ミリ波、更にはサブミリ波帯で動作する電子デバイスには動作周波数と共に、高耐圧への要求も大きくなっている。一般にこれらの周波数帯に応用されているインジウム燐 (InP) 系デバイスは、耐圧が低いという欠点がある。この現状を打破する手段として、高耐圧特性に優れ、かつマイクロ波帯への応用が既に進んでいる窒化物 (GaN) 系半導体を用いた高電子移動度トランジスタ (HEMT: High Electron Mobility Transistor) をミリ波等、更なる高周波帯域へ拡張することが考えられる。

GaN 系材料は電子の飽和速度が高いため、材料特性の見地から高周波特性にとって有利であることが知られている。反面、電子移動度が $1500\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 程度と GaAs に比べて低いため、効果的に電子を加速させるためのデバイス構造が他の材料系以上に求められる。これまで GaN 系 HEMT では、トランジスタの遮断周波数は約 200GHz にとどまっている。ミリ波帯の中でも今後の研究領域として重要になってくるであろう 100GHz 以上の帯域への応用を考えると、最大発振周波数で 300GHz 以上を実現することが望まれる。

以上の背景から、本研究では GaN 系 HEMT において最大発振周波数(f_{max})で 300GHz 以上を実現し、また、トランジスタのオフ状態耐圧(BV_{off})との積、 $f_{\text{max}} \cdot \text{BV}_{\text{off}}$ において InP 系 HEMT を上回る特性を実現することを目的とする。

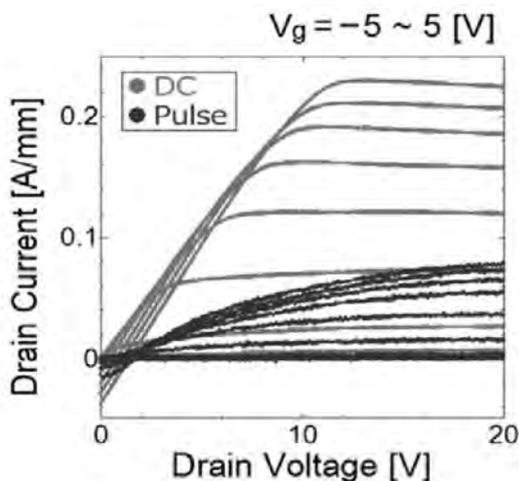


図 1. AlGaIn/GaN HEMT のドレイン電流(I_d)-ドレイン電圧(V_{ds})特性(DC I_d - V_{ds} , 及び、パルス I_d - V_{ds} 特性)

2. 実験

2.1. SiCN 絶縁膜を用いた AlGaIn/GaN MIS HEMT 構造の検討

昨年度の研究により、AlGaIn/GaN ヘテロ構造を用いた HEMT の基本プロセスは確立した。しかし同時に、トランジスタ特性において2つの大きな問題を確認した。ひとつは、ゲート電極における漏れ電流が大きいことである。これは図 1 において電流-電圧曲線が原点からずれていることで確認でき、特にゲート電圧が大きくなるほど顕著となる。これはゲート電極がショットキー接合のため、順方向電流が流れるためである。もうひとつの問題は、ゲート入力をオフからオンにした直後のドレイン電流が、静特性から予測される電流値より大幅に低下する問題 (電流コラプス) である。これは図 1 において、ゲートにパルス電圧を入力した場合の電流-電圧特性 (Pulse) を静特性 (DC) を比較することによって確認できる。電流コラプス現象は GaN 系 HEMT においてしばしば観測される問題で、半導体表面やゲート電極との界面における深い準位が関係していると言われている。

これらの問題を解決するために、ゲートに MIS (Metal Insulator Semiconductor) 構造を用いた AlGaIn/GaN HEMT (図 2) を検討した。GaN 系 HEMT における MIS ゲート用絶縁体薄膜としては、一般には SiN あるいは SiO_2 が用いられるが、半導体との良好な界面を形成するためには、 O_2 プラズマ処理や N_2O ラジカル処理などの前処理が必要であることが報告されている。

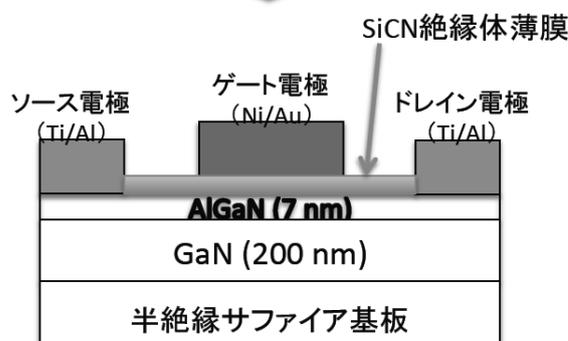


図 2. SiCN を用いた AlGaIn/GaN MIS HEMT

本研究ではゲート絶縁膜として HMDS (ヘキサメチルジシラザン) を気化導入したプラズマ CVD 法によって堆積した SiCN を用いた。この堆積法では、350°Cに加熱したステージ上に試料を設置して、水素ガスをベースとして HMDS 蒸気を添加して反応室に導入し、RF 電力を印加してプラズマを発生させ、厚さ 10nm の SiCN を AlGaIn/GaN HEMT 基板上に堆積する [5]。本手法の利点は、水素ガスによる試料表面の清浄化効果が期待されることから、他の前処理無しでも良好な MIS 界面が実現できる点である。

2.2. SiCN 鑄型を用いた T 型ゲート電極の形成

ミリ波帯等の高周波領域では、ゲート抵抗が HEMT の最大発振周波数の律速要因となる。このためゲートを微細化に伴うゲート抵抗の増加を抑える手法として T 型ゲート電極を用いることが一般に行われている。一方でゲート長の微細化に伴い、T 型電極頭部が作る寄生容量がトランジスタの遮断周波数を律速する要因となることを、我々は確認している。このため、より細やかに T 型ゲート電極の断面形状を制御することを目的として、SiCN 薄膜を鑄型として用いる新たな電極形成プロセス技術を提案した。具体的には、試料上にエッチング特性が異なる SiCN を連続的に堆積してゲート断面形状に加工した「鑄型」を作製して電極金属を流し込む (図 3)。SiCN の堆積は、水素とアンモニアの混合ガスをベースとして HMDS 蒸気を添加したガスを用いたプラズマ CVD 法により行う。この水素とアンモニアの混合比によって成膜される SiCN への炭素の含有率が変わってくるため、エッチング特性が異なる薄膜が生成できる。

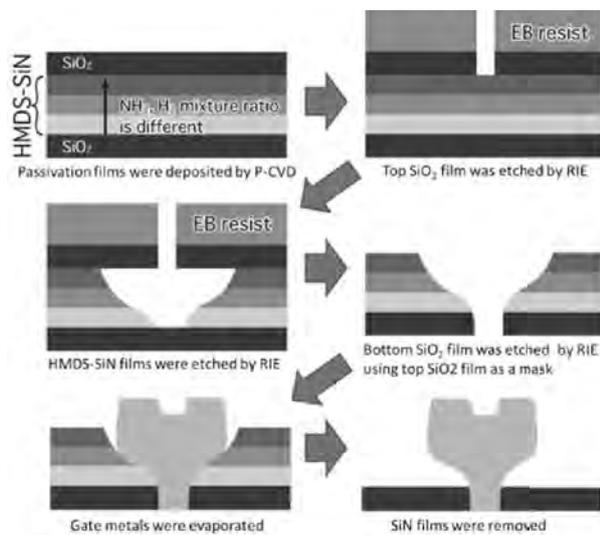


図 3. SiCN 鑄型を用いた T 型ゲート形成の流れ

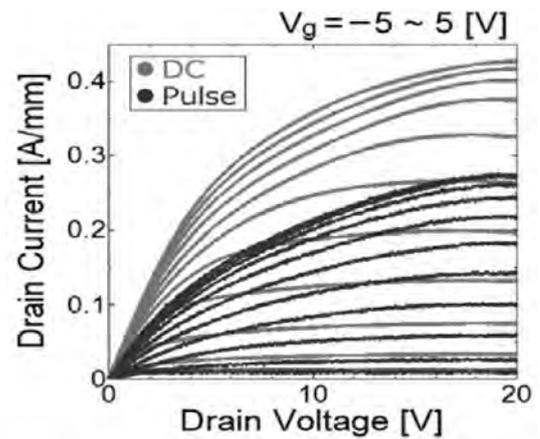


図 4. AlGaIn/GaN MIS HEMT の I_d - V_{ds} 特性

3. 結果

3.1. AlGaIn/GaN MIS HEMT の特性

図 4 に試作した AlGaIn/GaN MIS HEMT の電気特性の評価結果を示す。図 1 に示したショットキーゲート型の HEMT と比較して、電流-電圧特性の曲線が原点を通っており、ゲート漏れ電流の低減が確認できた。また、ドレイン電流密度や伝達コンダクタンスが増加しており、それらのパルス測定下における劣化も抑制されている。これらの結果は、SiCN 絶縁膜の堆積により、ショットキーゲートに比べて良好な界面が実現され、ゲート入力によるドレイン電流の制御性が向上したと考えられる。その原因としては SiCN 堆積時の水素ガスによる表面清浄化効果が考えられることから、ショットキーゲートの形成においても、水素アニール等の前処理によって同様の効果が期待できることを示唆している。

ゲート長 100nm の HEMT における電流利得の周波数特性を評価した結果を図 5 に示す。電流利得遮断周波数は 37GHz である。これは同じゲート長のショットキーゲート型 HEMT と比較して SiCN MIS 構造の導入によって約 30%向上した。この遮断周波数とゲート長から見積もられる電子速度は約 0.3×10^7 cm/s と、予想される最大電子速度より一桁小さく、今後の更なる向上が期待される。

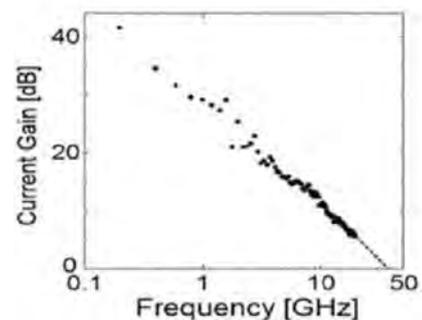
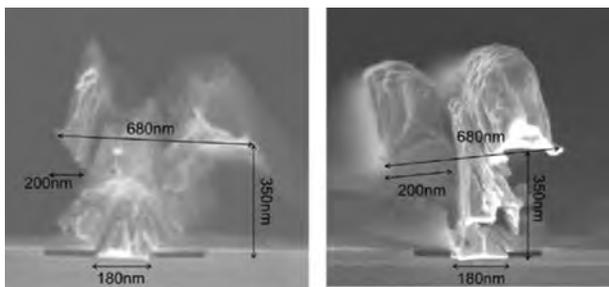
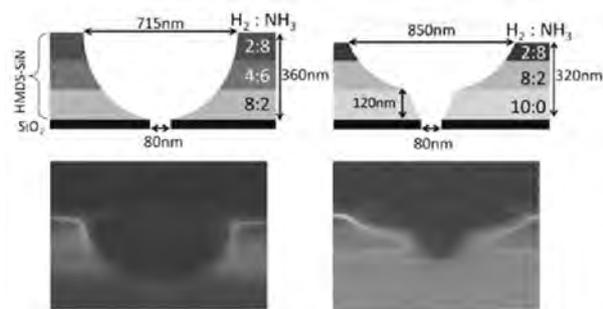


図 5. AlGaIn/GaN MIS HEMT の電流利得の周波数特性



形状1 形状2

図6. SiCN 鋳型の構成と断面形状, 及び, ゲート電極形状

3.2. SiCN 鋳型による T 型ゲート電極

平成 22 年度は, 提案した T 型ゲート電極形成手法の効果を実証すべく, 3 層の SiCN によって校正される鋳型を作製し, InP 系 HEMT に適用した。その結果, SiCN 鋳型によるゲート電極断面形状の違いと, それに伴うトランジスタ特性への効果を確認することが出来た。しかし, 完成したゲート電極の断面は, ほとんど矩形に近いものと従来の工法によって形成される形状とほぼ変わらないものであり (図 6), より緻密な鋳型の形状制御が必要であることが分かった。そこで, 鋳型となる SiCN 薄膜の堆積において, 水素・アンモニアで構成されるベースガスの混合比を 10 段階に変化させて, 組成の異なる 10 層の SiCN からなる鋳型を形成し, エッチングによる加工を行った。新たに作製した鋳型の断面 SEM 写真を図 7 に示す。昨年度の 3 層 SiCN と比較して, より理想に近いゲート断面構造を反映した鋳型が形成できることを確認した。また, 本意多賀を用いて作製したゲート電極の断面を図 8 に示す。従来の工法と比較して, よりなめらかな曲線形状を持つ電極を形成することが可能となった。

4. まとめ

窒化物半導体によるミリ波トランジスタの実現に向けて, SiCN を用いた AlGaIn/GaN MIS HEMT を検討した。その結果, 昨年度と比較してゲート漏れ電流の低減とドレイン電流密度の向上を確認することが出来た。また T 型ゲート電極の形成プロセス

については, SiCN 鋳型を用いてより緻密に電極断面構造を制御することが可能であることを確認した。

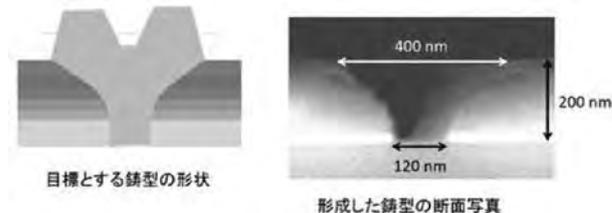


図 7. 多層 SiCN 鋳型の断面形状

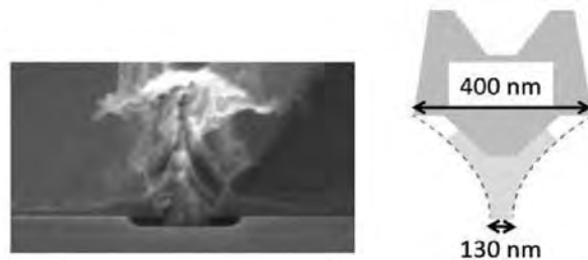


図 8. 多層 SiCN 鋳型による T 型ゲート電極の断面

謝辞

窒化物系半導体プロセス用装置を使用させて頂いた東北大学金属材料研究所の松岡隆志教授はじめ研究室の方々へ感謝する。また本研究の一部は, ナノ・スピン実験施設の設備を用いて行われた。

関連成果

査読付き学術論文 (1 件)

1. T. Yoshida, K. Akagawa, T. Otsuji, T. Suemitsu, "InGaAs HEMTs with T-gate electrodes fabricated using HMDS SiCN mold," *Phys. Status Solidi C*, **9**, pp. 354-356 (2012).

国際会議発表 (1 件)

2. T. Yoshida, K. Akagawa, T. Otsuji, and T. Suemitsu, "InGaAs HEMTs with T-gate electrodes fabricated using HMDS-SiCN mold," 38th Int. Symp. on Compound Semiconductors (ISCS), Berlin, Germany, May 22-26, pp. 473-474 (2011).

国内学会発表 (3 件)

3. 吉田智洋, 赤川啓介, 尾辻泰一, 末光哲也, "HMDS-SiCN 鋳型により作製した T 型ゲート電極 InGaAs HEMT のゲート遅延解析," 第 72 回応用物理学学会学術講演会, 山形, 31a-A-3, Aug. 30-Sep. 2, (2011).
4. 吉田智洋, 鹿野優毅, 尾辻泰一, 末光哲也, "多層 SiCN 鋳型を用いた T 型ゲート電極の断面形状制御," 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 東京, 18p-E2-3, Mar. 15-18, (2012).
5. 鹿野優毅, 小林健悟, 吉田智洋, 尾辻泰一, 片山竜二, 松岡隆志, 末光哲也, "SiCN をゲート絶縁膜として用いた AlGaIn/GaN HEMT," 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 東京, 18a-GP7-3, Mar. 15-18, (2012).

著書 (1 件)

6. T. Suemitsu, "Chapter 5.03: GaAs- and InP-based high-electron-mobility transistors," in "Comprehensive Semiconductor Science and Technology," Elsevier, pp. 84-112 (2011).

自己身体表象を考慮した人間のマルチモーダル 感覚知覚処理機構の解明とモデル化： 視覚と触覚のインタラクション

松宮 一道 (高次視覚情報システム研究分野)

[1]

研究費：物件費 500 万円，旅費 0 円

[2] 成果

(1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第一に、見ている手を自分の手であるという認識（手の所有感覚）が、物体の運動知覚に影響を与えることを明らかにした。

背景と目的 手を使って物体を操作するとき、我々は物体と自己の手の両方の動きを注意深く見る。そのような状況では、我々は、通常、見ている手は自己の手であることに気づく。この見ている手の所有感覚は物体操作を上手く実行するために必要であるように思えるが、物体操作において手の所有感覚がどのような役割を担っているのかはよくわかっていない。本研究は、手の所有感覚が、操作している物体の動きから生じる視覚運動残効を増大させるという心理物理学的証拠を報告する。

手の自己所有感覚は、視覚と体性感覚といった複数の感覚情報の統合に基づいて生成されていることが近年の研究により明らかにされている。これは、身体感覚の錯覚を用いて示された。例えば、図1に示すように、被験者に被験者自身の腕が見えないようにした状態で、被験者の目の前にゴムでできた偽物の腕を置き、被験者の腕の表面を実験者が刷毛でこすり、それと同時に、ゴムの腕の表面も刷毛でこすると、見えている偽物の腕が自分の腕のように感じる。この錯覚は、ラバーハンド錯覚と呼ばれており、自己の手の所有感覚は視覚と体性感覚の感覚情報統合により生成されることを直接的に示している。本実験では、この現象を利用して、手の自己所有感覚と物体の視知覚の関連を調べた。

実験方法 本実験では、被験者の手を見えないようにし、その見えない手と空間的に一致するように仮想的な手を呈示した(図2)。被験者自身の手で円

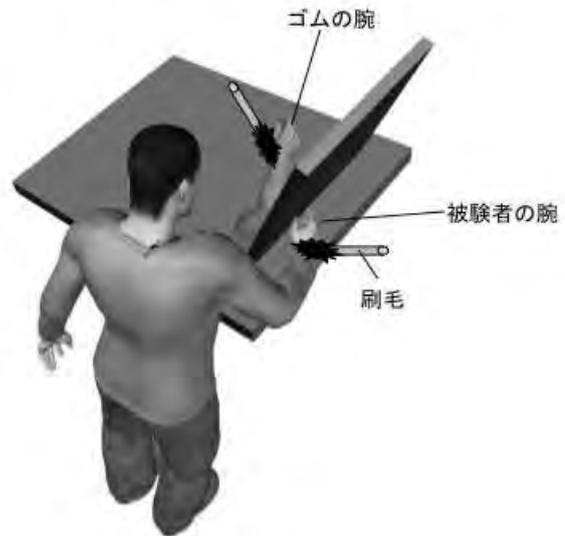


図1. 身体感覚の錯覚. 被験者に被験者自身の腕が見えないようにした状態で、被験者の目の前にゴムでできた偽物の腕を置き、被験者の腕の表面を実験者が刷毛でこすり、それと同時に、ゴムの腕の表面も刷毛でこすると、見えている偽物の腕が自分の腕のように感じる

盤状の視覚刺激を回転させると、その円盤と一緒に呈示された仮想的な手が被験者の手の動きに同期して動いた。我々は、被験者が自己の手で回転させる視覚刺激の動きの順応によって生じる視覚運動残効の強度を測定した。

結果と考察 仮想的な手を自己の手であるかのように感じたときに、視覚運動残効の強度が増大した(図3)。テスト刺激の中で、仮想的な手と被験者の手の間の方位の不一致度を増すと、視覚運動残効の強度は減少した。これは、本研究で得られた運動残効強度の増大は順応時の注意による効果では説明できないことを示している。仮想的な手が被験者の手の方位と平行でないとき、手でない仮想物体を呈示したとき、あるいは、被験者の手が受動的に動かされたときは、被験者は仮想的な手や手でない仮想物体を自己の手と感じなかった。そして、これらの条件では、視覚運動残効の強度は増大しなかった。これらの結果は、見ている手の所有感覚が操作物体か

ら生じる視覚運動信号を増強させることを示しており、身体の自己意識が物体操作時の視覚運動知覚に寄与していることを示唆する。

第二に、高次感性情報である顔の表情認知が触覚情報からでも行え、顔残効と呼ばれる順応現象が触覚のモダリティにおいても生じることを発見した。

背景と目的 ある表情を持つ顔を見た後、中立顔を見ると順応顔の反対の表情を持った顔として知覚される（顔残効）。これは、視覚に特化した現象であると考えられている。しかし、近年、触覚でも顔を認知できることが報告されている。そこで本研究では、触覚で顔残効が生じるかを調べた。

実験方法 被験者は、喜び顔か悲しみ顔のフェイスマスク（図4）を目を閉じて両手で20秒間触った後、中立顔のマスクを5秒間触り、その表情を応答した。

結果と考察 順応顔の表情に依存して、テスト顔が反対方向の表情として知覚された（図5）。これより、触覚においても顔残効が生じることが示唆される。まだ未知な部分が多く残された触覚顔処理においても顔残効をプローブとして調査できることを本研究は示している。本研究は著者が知る限り、触覚だけで顔順応が生じることを報告した最初の研究になる。

(2) 波及効果と発展性、将来展望など

身体感覚生成に関する感覚情報提示技術は、様々な応用分野での活用が期待できる。例えば、遠隔医療による診断・手術を可能にする、熟練工の技能を

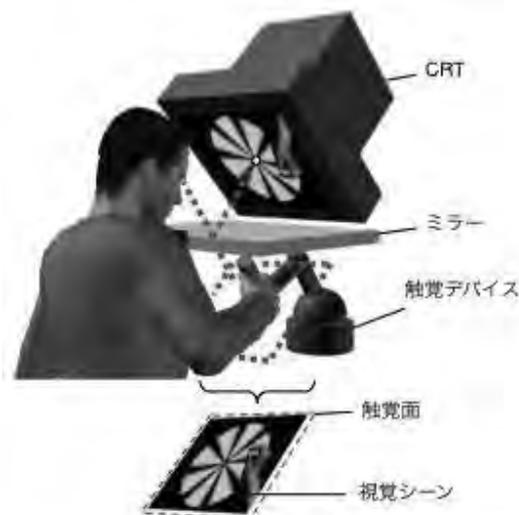


図2. 実験装置. 視覚刺激提示装置を使い、被験者の手の動きに同期して動く放射状の縞模様とコンピュータグラフィックスで作成された手の視覚刺激を用い、しばらくその動きに順応した後に、静止した視覚刺激を見ると順応した動きの方向と反対方向の動きが知覚される（運動残効）。

効率よく直観的に伝達する、想像力や感動をより高めるような教育向けの情報提示などに活用することができ社会的意義が大きい。本研究の成果は、このような応用に向けた基盤的な研究であるが、身体性自己意識といった高次感性情報を有する情報通信を可能にし、インターネットや携帯電話のような現在の通信技術と比べて今までにない新しいコミュニケーションが実現できるようになる可能性を含んでい

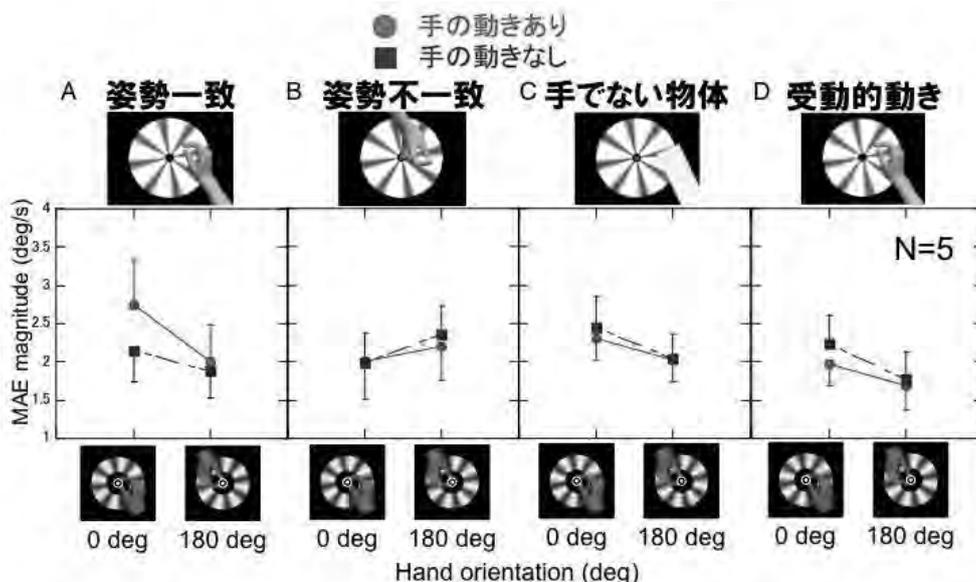


図3. 実験結果. (A) CGの手の姿勢が見えない被験者の手と一致、自己の手を能動的に動かす. (B) CGの手の姿勢が見えない被験者の手と不一致. (C) CGの矩形の方位が見えない被験者の手と一致. (D) CGの手の姿勢が見えない被験者の手と一致するが、手が触覚デバイスのアームにより受動的に動かされる.

ると考える。

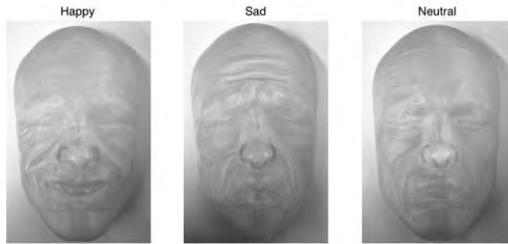


図4. 触覚顔刺激。

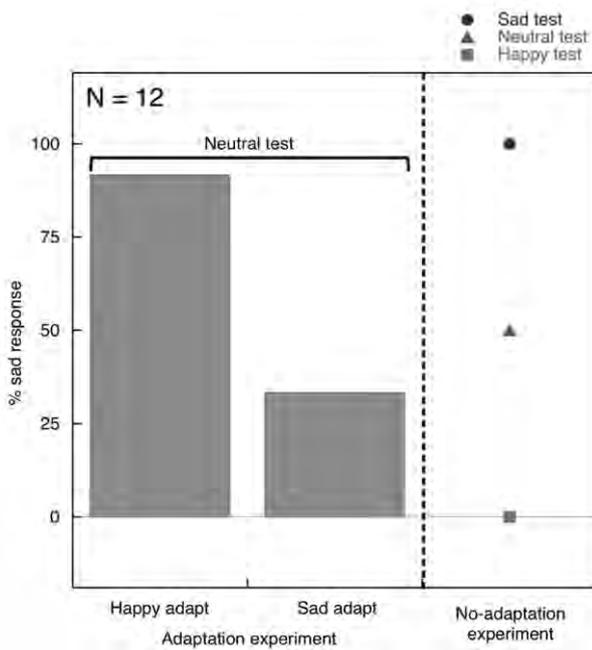


図5. 実験結果. ある表情をもつフェイスマスクを20秒間能動的に触った後, 中立顔のフェイスマスクを5秒間触り, その中立顔の表情を応答した結果を示す. 縦軸は悲しい顔と応答した割合を示す.

(3) 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

1. Matsumiya, K.: Haptic face aftereffect, *i-Perception*, 査読有, 3(2), 97-100, 2012.

[学会発表] (計5件)

1. Matsumiya, K., Shioiri, S.: “Effects of a seen hand on visuo-haptic motion processing”, Asia-Pacific Conference on Vision (APCV), Hong Kong, July 2011. (*i-Perception*, 2(4), 411, 2011)
2. Takahashi, M., Matsumiya, K., Kuriki, I., Rumi Tokunaga, R., Shioiri, S.: “Similarity and difference in symmetry between the visual and haptic motional representations”, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011. (*i-Perception*, 2(8), 854, 2011)
3. Shioiri, S., Yamazaki, T., Matsumiya, K., Kuriki, I.:

“Visual and haptic mental rotation”, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011. (*i-Perception*, 2(8), 823, 2011)

4. Matsumiya, K., Shioiri, S.: “Influence of active manipulation of an object on visual motion perception”, 12th International Multisensory Research Forum (IMRF), Fukuoka, October 17-20, 2011. (招待講演)
5. 松宮一道: “触覚顔残効”, 第三回多感覚研究会, 東京都・東京大学, 2012年1月.

超高速ミリ波通信用

シリコンオンチップアンテナの研究開発

ユビキタス通信デバイス研究分野 准教授 中瀬博之

[1]

研究費：物件費 500 万円

[2] 成果

(2-1) 研究の背景と目的

60GHz 帯を用いた無線通信システムは数 G ビット毎秒の通信速度を実現可能な唯一の周波数帯であり、国際標準化機関である IEEE802 委員会 WG15、TG3c で規格の策定が完了し、実用化開発のフェーズに入りつつある。また、シリコン CMOS を用いた RF デバイスも、微細化に伴い高周波化が進み、90nm 以下の加工寸法において 60GHz 帯デバイスの研究開発が盛んである。

60GHz 帯は波長が短い($\lambda=5\text{mm}$)ため、アンテナが本質的に小型となり、ギガビット伝送の携帯端末などへの搭載が容易である。しかしながら、伝送線路やケーブル・コネクタによる減衰が大きく、RF デバイス(特に電力増幅器)とアンテナの低損失接続は重要な開発課題である。アンテナと RF デバイスの接続を最短にする最良の方法は、RF デバイスの IC 上にアンテナを搭載することである。60GHz 用 CMOS RFIC に用いるシリコン基板は、低抵抗基板であるため、高周波信号に対して損失が大きい。そこで、RF デバイスを作成する際に最低層の金属膜を用いて、シールド層(グランド層)を形成する。このシールド層は、損失の大きなシリコン基板を伝送線路から分離する効果は大きいですが、アンテナから見ると反射板として動作する。アンテナ素子と反射板が、 $\lambda/4$ 以下に近接すると反射波による放射信号の実質レベルの低下に加え、寄生容量の増加に伴う不整合が発生し、アンテナとして動作しなくなる。

本研究では、RFIC のシリコンチップ上に 60GHz 帯アンテナ(ゲイン 5dBi 以上)を搭載しデバイスアンテナ一体型 RF チップの実現を目指し、オンチップアンテナの研究開発を行う。 $\lambda/4$ 以下の繰り返し金属パターンにより自然界に存在しない物性定数を実現可能なメタマテリアルを利用し、シールド層とアンテナ素子を電磁的に分離しシリコン基板上に 60GHz 帯のアンテナを実現する。初年度である H23 年度は、電磁界シミュレーション(FDTD 法、アジレントテクノロジー EMPPro)を用いて、60GHz 帯に最適なメタマテリアル構造を明らかにする。

(2-2) シミュレーションのモデルと結果

図 1 に、シミュレーションのモデルを示す。厚さ 200 μm の誘電体上に、18 μm の金属膜によりパターンを形成する。今回は、メタマテリアルでインピーダンス無限大の反射面を 60GHz 帯で実現することを目的として、メタマテリアルの代表格である C 型のスプリットリングを用いた。誘電体の比誘電率は、自由空間の 1、テフロン基板の 2.4、シリコン IC 層間絶縁膜の 4.2 を用いた。境界条件として、誘電体表面方向は繰り返し、法線方向は放射とした。誘電体膜に垂直に平面波を入射し、透過したエネルギーを求めることで反射特性を推定した。

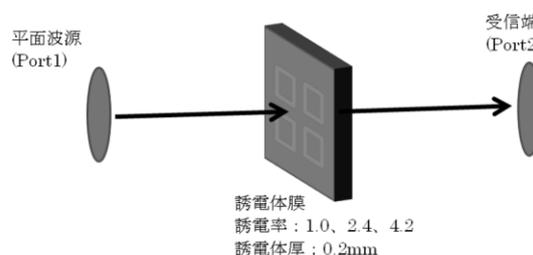


図 1 シミュレーションモデル

図 2 は、誘電体表面に配置するスプリットリングの寸法図である。スプリットリングは、金属配線がインダクタンス、配線に形成するギャップがキャパシタンスとなり、その共振周波数がメタマテリアルとして動作する周波数となる。60GHz 帯で動作する構造を得るために、スプリットリングのピッチ、縦サイズ、横サイズ、配線幅、ギャップをパラメータとしてシミュレーションを行った。

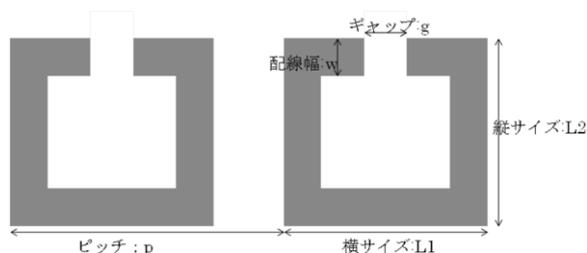


図 2 スプリットリングの構造

図3は、スプリットリングの縦横サイズと共振周波数の関係である。構造を簡単とするため、縦と横の寸法は同一とした。ピッチ、配線幅、ギャップはそれぞれ1mm、50 μ m、150 μ mとした。スプリットリングのサイズと共振周波数の関係は、係数が負の比例関係にあり、サイズが大きいほど共振周波数が低くなる。図中黒丸で示す領域が必要な共振周波数領域であり、誘電率2.4の場合、スプリットリングのサイズは500 μ m周辺が最適であることが分かる。

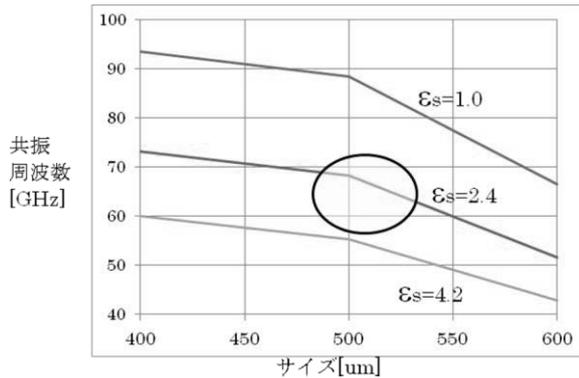


図3 スプリットリングのサイズと共振周波数

図4は、スプリットリングのギャップと共振周波数の関係である。サイズは500 μ m、ピッチと配線幅はそれぞれ1mm、50 μ mとした。ギャップが広がるとキャパシタンスが小さくなることから、ギャップと共振周波数は比例関係にある。比誘電率2.4、共振周波数60GHz近傍では、ギャップ50 μ mが最適であることが分かる。

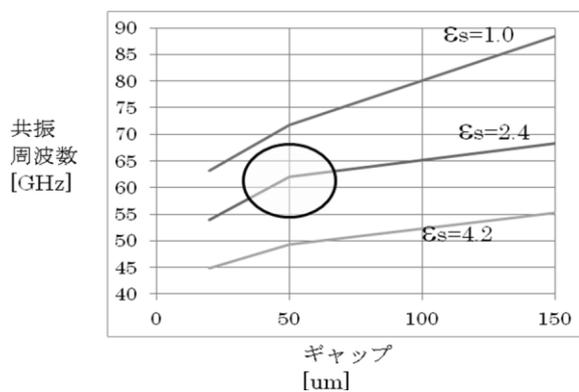


図4 ギャップと共振周波数

図5は、スプリットリングの配線幅と共振周波数の関係である。スプリットリングのサイズ、ギャップは、それぞれ500 μ m、50 μ mとした。ピッチは1mmとした。配線幅は、自己インダクタンスに影響を与えることから、配線幅が太くなると共振周波

数が向上することがわかる。また、プリント基板を用いた試作を考慮すると、最小加工寸法の50 μ mに限界があることから、比誘電率2.4において配線幅50 μ mとするのが良いことが明らかになった。

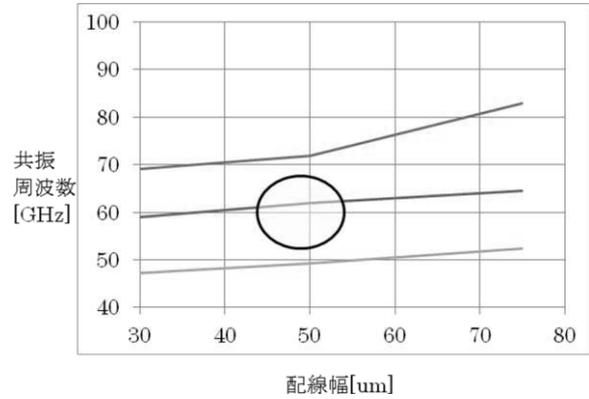


図5 配線幅と共振周波数

図6は、スプリットリングのピッチと共振周波数の関係である。スプリットリングのサイズ、配線幅、ギャップは、それぞれ500 μ m、50 μ m、50 μ mとした。これまでのシミュレーションにおいてもピッチ1mmと空間波長の1/4であることから、0.8mm~1.4mmの範囲でピッチを変化させても、他のパラメータほど顕著な共振周波数の変化は見られない。比誘電率2.4の場合、1mmピッチとすることに決定した。

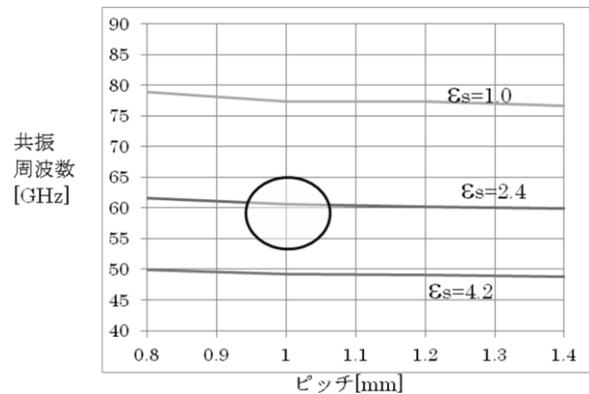


図6 ピッチと共振周波数

以上の検討から、厚さ0.2mm、比誘電率2.4のテフロン系プリント基板の場合、サイズ500 μ m、配線幅50 μ m、ギャップ50 μ m、ピッチ1mmと決定した。

図7は、決定した寸法で形成したスプリットリングの構造を示す。

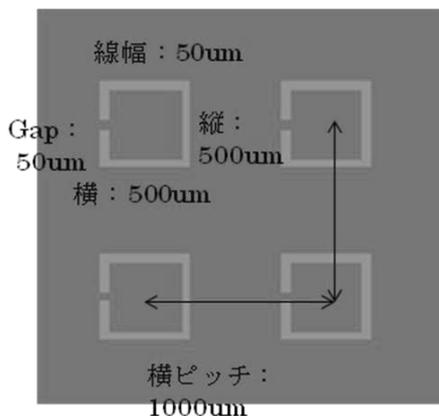


図7 決定したパラメータによるスプリットリング共振器パターン

図8は、図7のパターンを用いて行ったシミュレーション結果である。比誘電率2.4において、共振周波数60.597GHz、バンド幅1.4GHzが得られた。以上の結果より、本構造を用いることで所望の周波数帯でエネルギーを反射するメタマテリアルを実現できる見込みが立った。

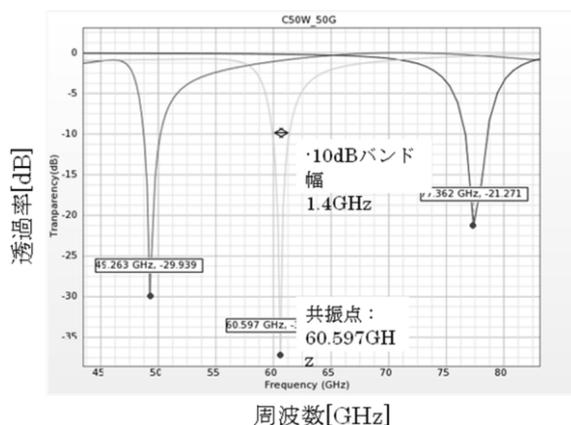


図8 スプリットリングを用いた透過特性

(2-3) 波及効果と発展性、将来展望など

(大型プロジェクトへの発展・国際会議(シンポジウム)への発展・学外研究者との交流・新研究領域の開拓・成果の他分野への応用・萌芽的研究への発展等)

シリコン基板上にアンテナを形成する研究はさまざま行われているが、現時点で0dBi以上の利得を得られている例はほとんどない。本研究で、メタマテリアルを用いることでインピーダンス無限大の反射板を形成し、利得5dBi以上のオンチップアンテナを実現することは、ミリ波によるギガビット伝送システムへのインパクトは大きい。また、アンテナ・RFデバイス一体化はミリ波トランシーバーの小型化を促進する。その結果、携帯端末への搭載が容易になることからミリ波トランシーバーの実用化普及に大きく貢献すると考える。

参考文献

- [1] C. Caloz and T. Ito, Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications, John Wiley & Sons, 2005.
- [2] T. Ishihara, メタマテリアルー最新技術と応用一, シーエムシー出版, 2007.
- [3] D. R. Smith et al., Phys. Rev. Lett. 84, 4184 (2000).
- [4] R. A. Shelby et al., Science 292, 77 (2001).
- [5] 萩行正憲、宮丸文章, 応用物理 78, 511, (2009).

第 5 章 共同プロジェクト研究

5. 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及び実施は、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。

○共同プロジェクト研究委員会

共同プロジェクト研究の運営のために、共同プロジェクト研究委員会及び共同プロジェクト実施委員会、共同プロジェクト選考委員会が設置されている。共同プロジェクト研究委員会は、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所内6名、学内3名と学外4名の合計13名の委員により構成されている。共同プロジェクト研究委員会の使命は、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、外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会が設置されている。

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共同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23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23年度共同プロジェクト研究

平成23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69件(A:34件、B:31件、S:4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、34件のうち24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、31件のうち21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、4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7件に、Bタイプの研究のうち17件に民間の研究者が参加している。

また、東日本大震災による被災の経験から、災害に強い情報通信環境の実現する研究開発を推進する目的でUタイプを設置し、4件採択した。

平成23年度共同プロジェクト研究採択一覧

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	電気磁気効果酸化物薄膜のスピン트로ニック応用に関する研究
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/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/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/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
H22/A01	グラフェンを利用したテラヘルツ帯光電子デバイスに関する研究
H22/A02	ゲルマニウム系量子ドットの形成および価電子制御とナノスケール機能メモリ応用
H22/A03	電気磁気および磁気弾性効果の計算機物質設計とデバイス応用
H22/A04	InGaAs HEMT を用いたスイッチング動作型電力増幅器高効率化の研究
H22/A05	電子トンネリングを利用した広帯域の光発生と検出
H22/A06	負のスピン分極材料を用いたスピン트로ニクスデバイスの研究
H22/A07	高飽和磁化純鉄ナノ粒子の化学合成とその集合体の軟磁気特性
H22/A08	パーソナル音響テレプレゼンスシステムの研究
H22/A09	人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル音声情報通信システムに関する研究
H22/A10	ストレス応答に対する自然音の影響
H22/A11	音空間のパーチャルリアリティを用いたユニバーサル音空間訓練システムの構築
H22/A12	周波数領域両耳聴モデルにおける指向特性制御に関する研究
H22/A13	ブレインウェアシステムの研究
H22/A14	ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究
H22/A16	共生コンピューティングに基づく実世界指向アプリケーションの高度化に関する研究
H23/A01	プラズマナノバイオトロニクスの基礎研究
H23/A02	カーボンナノ材料を用いた光電子デバイスの研究
H23/A03	原子層レベルで制御された Si 並びに Ge - MIS 構造の作製技術とその界面評価技術の開発
H23/A04	高度歪異種原子層配列IV族半導体構造形成とナノデバイスへの応用に関する研究
H23/A05	極薄膜ヘテロエピタキシャル層の電気的特性に及ぼすヘテロ界面の影響に関する研究
H23/A06	ディペンダブル・エアのためのヘテロジニアスネットワークローミング技術の基礎研究
H23/A07	空間知覚と多感覚統合
H23/A08	再構成神経回路網の情報伝達
H23/A09	フレキシブル・プリンタブル製造有機ヘテロ接合太陽電池の研究
H23/A10	薄膜素子の磁区構造転移を利用した磁気デバイスの設計開発とその応用展開に関する研究
H23/A11	サイバー・フィジカル融合社会のための基盤システムに関する研究
H23/A12	モノラル入力信号に基づく2次元音源定位の研究
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解明と工学的応用
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

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
H 2 2 / B 0 2	微粒子プラズマの応用とその基礎研究
H 2 2 / B 0 4	生体情報インターフェース創生のためのフォトニクス研究
H 2 2 / B 0 5	ナノスケールのゆらぎ・電子相関制御に基づく新規ナノデバイス
H 2 2 / B 0 6	High-Q マイクロ波超伝導共振器を用いた大規模量子検出アレイに関する研究
H 2 2 / B 0 7	ミリ波応用システム実用化のための課題と展望
H 2 2 / B 0 8	生命にとっての情報・推論・計算の解明と工学的応用の検討
H 2 2 / B 0 9	物体表面の視覚的質感および色の知覚に関する研究
H 2 2 / B 1 0	論理学的手法に基づくプログラム検証技術
H 2 2 / B 1 1	民生用合成開口レーダシステムの開発と応用
H 2 3 / B 0 1	ナノ構造磁性材料を利用した次世代通信機器用 MEMS / 高周波デバイスに関する研究
H 2 3 / B 0 2	ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用に関する研究
H 2 3 / B 0 3	将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する研究
H 2 3 / B 0 4	電磁鋼板における新たな損失低減化技術
H 2 3 / B 0 5	機能的圧電材料と高度通信デバイス応用に関する研究
H 2 3 / B 0 6	超高速コヒーレント光制御による極限通信・計測システムに関する研究
H 2 3 / B 0 7	次世代ペタバイト情報ストレージシステムの研究
H 2 3 / B 0 8	次世代 RFIC 用受動・能動回路技術とその応用
H 2 3 / B 0 9	自己身体の運動が関与する多感覚統合
H 2 3 / B 1 0	インタラクティブコンテンツのための次世代ヒューマンインタフェースに関する研究
H 2 3 / B 1 1	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・クラウドシステム基盤
H 2 1 / S 1	人間の機能を取り込んだ革新的概念による情報通信システム
H 2 3 / S 1	スーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術開発
H 2 3 / S 2	スピントロニクス国際連携
H 2 3 / S 3	ナノエレクトロニクスに関する連携研究
H 2 3 / U 0 1	光ファイバネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術の構築
H 2 3 / U 0 2	防災広報無線の緊急拡声情報伝達システムの高度化に関する研究
H 2 3 / U 0 3	準天頂衛星を用いたショートメッセージ通信実現性の基礎検討
H 2 3 / U 0 4	情報喪失のない高信頼性クラウドストレージ技術の開発

○ 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月中旬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りとなっており、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20日より3月15日までであり、研究終了後3月31日までに共同プロジェクト研究報告書を提出していただく事になっている。なお、上の「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるので、申請にあたっては本所に対応教員がいることが必要である。

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

www-URL: <http://www.riec.tohoku.ac.jp/nation-wide/index-j.shtml>

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

採択番号 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

[1] 組織

代表者：楡引 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)

唐木 智明 (富山県立大学)

研究費：物件費 16 万 5 千円，旅費 20 万 8 千円

[2] 研究経過

自動車エンジンの燃焼ルームやタービンなど高温環境下での温度・圧力センサー用材料として、水晶の数倍もの電気機械結合係数を有し、かつ融点まで相転移が生じないランガサイト系圧電単結晶が期待されている。その一つである $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$ (LTGA) は 1500°C 近い温度まで圧電性を持ち、エージング特性も水晶並みに優れている。しかし、その高温特性、特に 1000°C 付近での音響関連物理特性や材料の評価が余りなされていなく、重要な課題の一つとなっている。

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)の二つがあり、それらを用いて正確な物質の弾性・圧電・誘電特性およびそれらの温度係数を求めることである。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、室温近傍の温度に限られる。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、スプリアス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。しかし非常に高温領域までの材料定数の測定が比較的容易に行える。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。

本プロジェクトでは、本年度が第3年度であった。これまで Line-Focus-Beam Ultrasonic-Material-Characterization (LFB-UMC) システム (23°C) と共振・反共振法 (-30~80°C) を組み合わせて、室温近傍の CNGS, LTGA の音響関連物理定数(弾性定数、圧電定数、誘電率、及びそれらの温度係数)を明らかにしてきた。本年度は、前年度の成果を踏まえ、1000°C まで共振・反共振法の測定ができる高温用ジグの作製と、4194A インピーダンスアナライザーを用いて、LFB-UMC システムで測定された 23°C の諸定数をベースに、室温から 1000 °C までの LTGA 単結晶の音響関連物理定数およびその温度係数の決定を試み、LTGA の高温用センサに関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

打合せ、実験及び討論：

- (1) 平成 24 年 1 月 29 日~2 月 1 日：
准教授 唐木 智明 (富山県立大学)
- (2) 平成 24 年 3 月 4 日~3 月 8 日：
教授 安達 正利 (富山県立大学)

研究発表

- (1) Junhua Lv, Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi “Oxalate Precursor Route for Preparing $(\text{Bi},\text{Na})_{0.83}\text{Ba}_{0.17}\text{TiO}_3$ Nanopowder and Ceramics”, *Physica Status Solidi A* 208, No. 5, 1056-1060 (2011).
- (2) Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, and Masatoshi Adachi, “Preparation of Textured BaTiO_3 Thick Films by Screen Printing”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.50,(2011)09NA02-1-4(4pages).
- (3) Shan Bai, Fan Zhang, Tomoaki Karaki, and Masatoshi Adachi, “Effect of Surfactants on Morphology of Niobate Hydrate Particles in Hydrothermal Synthesis”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 50, (2011) 09ND12-1-5(5pages).
- (4) F. Chen, R. Chikazawa, S. Maruyama, T. Fujii, T. Karaki, and M. Adachi, “Improvement of Coercive Electric Field in BaTiO_3 Piezoelectric Ceramics”, 15th

US-Japan Seminar on Dielectric and Extended Abstracts of Piezoelectric Ceramics, A-P-6, pp. 40-42, November 6-9, 2011, Castle Park Hotel, Kagoshima, Japan.

- (5) Jun-ichi Kushibiki, Mototaka Arakawa, Yuji Ohashi, and Yuko Maruyama, "Ultrasonic Microspectroscopy Measurement of Fictive Temperature for Synthetic Silica Glass," Appl. Phys. Express, Vol. 4, 056601 (2011).
- (6) (Invited) Yuji Ohashi, Tomoaki Karaki, Tao Lv, Mototaka Arakawa, Masatoshi Adachi, and Jun-ichi Kushibiki, "Physical Acoustic Properties of $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$ Single Crystals, and Their High Temperature Applications for Pressure Sensors", The Third China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, A23, pp. 38-40, November 13-17, 2011, Xiangtan University, Xiangtan, Hunan, China.
- (7) (Invited) Y. Imai, Y. Kuwayama, T. Fujii, T. Karaki, M. Adachi, S. Ikeuchi, H. Horiuchi, and K. Fujimoto, "Preparation of Tungsten-Bronze Potassium Lithium Niobate Thin Films", The Third China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, B02, pp. 54-56, November 13-17, 2011, Xiangtan University, Xiangtan, Hunan, China.
- (8) 唐木 智明, 呂 涛, 安達 正利, 大橋 雄二, 荒川 元孝, 榎引 淳一, 「 $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$ 単結晶の音響関連定数の高温測定」 圧電材料・デバイスシンポジウム2012, H-1, pp. 147-148, 2012年1月30-31日, 東北大学工学部青葉記念会館

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、1000°Cまで共振・反共振法の測定ができる高温用ジグの作製を行った。第2に、4種類の X-cut 回転 Y 棒 (-30° Y, -15° Y, 0° Y, +15° Y) および、Y-cut 短冊板を準備した。いずれも 20×2×0.5 mm³程度のサイズに整形して、4194A インピーダンスアナライザにより共振反共振周波数の測定を行った。誘電率計測用には、X, Z 基板から厚さ 0.5 mm で切出した基板で 5×15 mm² 程度のものを使用した。上記試料の両面に Ir 電極をミニスパッタで付けてから電気特性の測定を行った。熱膨張係数測定用試料には 1×1×20 mm³のサイズの X 棒, Z 棒を用いた。熱機械分析装置(TMA)で室温から 600°Cまで測定し、そのデータを 1000°Cまで延長して使うことにした。共振周波数よりも十分低周波数の 8.5kHz でコン

デンサ容量から誘電率を算出した。共振・反共振周波数測定法により、LFB-UMC システムで測定された 23°Cの諸定数をベースに、室温から 1000 °Cまでの LTGA 単結晶の音響関連物理定数 (s_{ij}^E , d_{ij} , ϵ_{ij}^T) およびその温度係数を測定した。その後、(a_{ij}^E , ϵ_{ij}) マトリクスに変換した。

図1に0~1000°Cの範囲での弾性定数 a_{ij}^E の温度依存性を示す。各定数の1次温度係数は負である。図2に圧電定数 ϵ_{ij} の温度依存性を示す。誘電率 ϵ_{33}^S の温度特性を図3に示す。 ϵ_{33}^S が 700°C付近に極小値がある。本研究で得た LTGA 結晶の高温での音響関連物理定数及びその温度係数を表 I にまとめる。

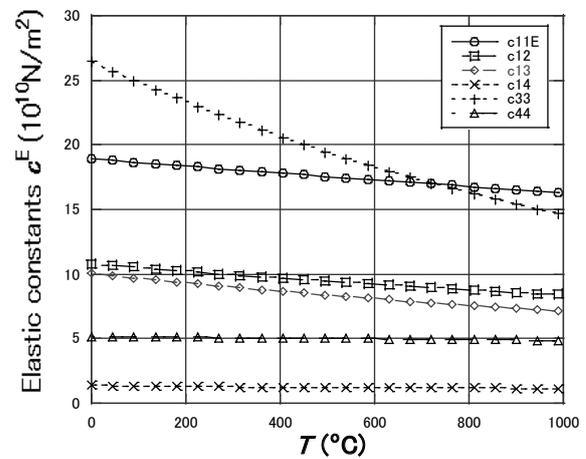


Fig. 1 Temperature dependence of elastic constants.

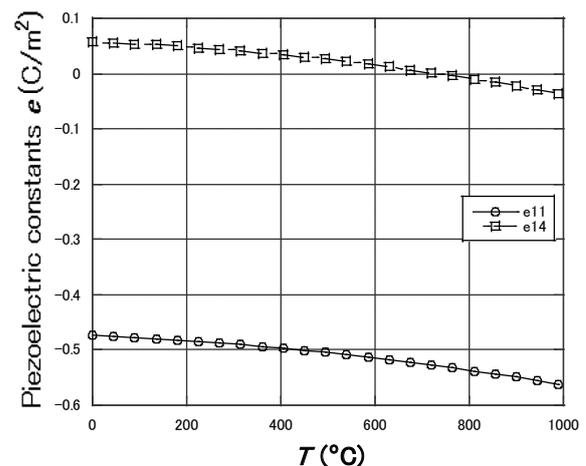


Fig. 2 Temperature dependence of piezoelectric constants.

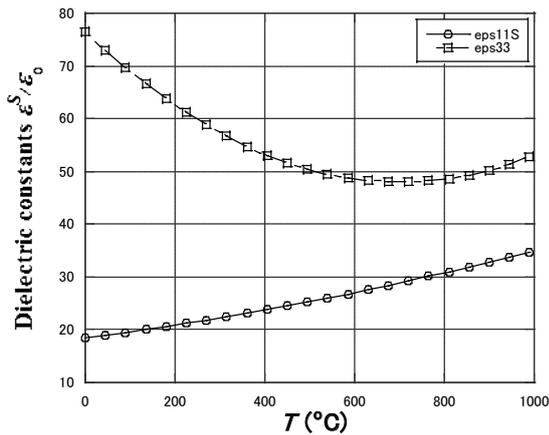


Fig. 3 Temperature dependence of dielectric constants.

(3-2) 波及効果と発展性など

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

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化合物 (Pb(Zr,Ti)O₃ 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会議の議定書を受け、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。それに伴い、自動車の内燃機関用燃焼圧測定、発電所等や電気炉内で内部または移動中の物体の測温、高温まで使える高精度な RF 温度・圧力センサ等が必要不可欠である。それにはシリンダ内の苛酷な環境にも耐え得る強靱な圧力・温度センサが必要である。

現在使用されている圧電材料には、水晶、PZT、LiTaO₃、LiNbO₃ 等があるが、500°C 以上の高温センサとしては不適当である。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 (32₁) 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。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

表1 La₃Ta_{0.5}Ga_{5.5}Al_{0.2}O₁₄ 単結晶の音響関連物理定数及びその温度係数

	Absolute values (25°C)	Normalized temperature coefficients (0-1000°C)	
		(1/x)dx/dT	(1/2x)dx/dT ²
Elastic constant	10 ¹¹ [N/m ²]	10 ⁻⁴ [°C]	10 ⁻⁹ [°C ²]
c ₁₁ ^E	18.9	-133	1.89
c ₁₂ ^E	10.7	-295	1.50
c ₁₃ ^E	9.96	-378	9.02
c ₁₄ ^E	1.36	-294	14.5
c ₃₃ ^E	26.0	-616	17.0
c ₄₄ ^E	5.13	-415	-2.80
Piezoelectric constant	10 ⁻¹² [C/N]	10 ⁻⁶ [°C]	10 ⁻¹¹ [°C ²]
e ₁₁	-0.474	82.9	11.5
e ₁₄	0.0569	-648	-107
Dielectric constant		10 ⁻⁴ [°C]	10 ⁻⁹ [°C ²]
ε ₁₁ /ε ₀	18.8	593	50.3
ε ₃₃ /ε ₀	74.6	-1055	77.9
Thermal expansion		10 ⁻⁶ [°C]	10 ⁻¹¹ [°C ²]
α ₁₁		6.56	0.182
α ₃₃		4.38	0.159
Density	[kg/m ³]		
ρ	6108.6		

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おり、将来の高温用圧電材料として期待される。一方、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気的・機械的特性に影響を与える可能性があるが、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、現在圧電性に優れ高温センサへの応用が期待されている。

このように、高温用圧力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) Jun-ichi Kushibiki, Mototaka Arakawa, Yuji Ohashi, and Yuko Maruyama, "Ultrasonic Microspectroscopy Measurement of Fictive Temperature for Synthetic Silica Glass," Appl. Phys. Express, Vol. 4, 056601 (2011).
- (2) (Invited) Yuji Ohashi, Tomoaki Karaki, Tao Lv, Mototaka Arakawa, Masatoshi Adachi, and Jun-ichi Kushibiki, "Physical Acoustic Properties of La₃Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O₁₄ Single Crystals, and Their High Temperature Applications for Pressure Sensors", The Third China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, A23, pp. 38-40, November 13-17, 2011, Xiangtan University, Xiangtan, Hunan, China.
- (3) 唐木 智明, 呂 涛, 安達 正利, 大橋 雄二, 荒川 元孝, 榎引 淳一, 「La₃Ta_{0.5}Ga_{5.3}Al_{0.2}O₁₄ 単結晶の音響関連定数の高温測定」圧電材料・デバイスシンポジウム2012, H-1, pp. 147-148, 2012年1月30-31日, 東北大学工学部青葉記念会館

H21/A05

電気磁気効果酸化物薄膜のスピン트로ニック応用に関する研究

[1] 組織

代表者：佐橋 政司

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：石山 和志

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

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 (産業技術総合研究所 理論チーム長)

研究費：物件費 17 万 1 千円，旅費 16 万 5 千円

[2] 研究経過

HDD 磁気ヘッドや MRAM, スピン RAM など、発展を続けているスピントロニクスの研究開発は、近年ますますその応用分野が広がりつつあり、その研究の中心は、これまでのスピン注入磁化反転からスピンドイナミクスや磁化の電界操作などの酸化物スピントロニクスへと変わって来ている。本プロジェクトは、電界による磁化の反転操作やスピンドイナミクスなどの基礎研究を、ストレージ・メモリ、発振器、センサなどへと新たな展開を図るための調査を行うことを目的として実施した。

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。前々度は、磁化の電界操作に関し、分担者を含めた日米研究者との議論を行い、研究の方向性を絞り込むとともに、代表者らの極薄クロム酸化物の電気磁気効果に関する研究を行い、クロム酸化物などの電気磁気効果を示す反強磁性体膜を用いた磁化の電界操作が、その操作原理(磁界と電界の向きが平行、または反平行で制御)から磁化の反転制御には有望であることを明らかにした。前々年度の成果を踏まえ、前年度は、酸化物スピントロニクスおよびスピンドイナミクスの新たな応用展開に関する研究を行い、(0001)面 Cr_2O_3 の交換結合バイアスと Cr_2O_3 膜厚との関係について調べ、50nm 厚では 170K 以下の低温でしか交換結合バイアスが得られないが、その値は 0.3erg/cm^2 と充分大きいことを明らかにすると同時に室温での交換結合バイアスには、解決すべき課題があることを明らかにした。また、前々年度に

世界で初めてオングストロームオーダーの Cr_2O_3 を用いた界面磁化の電圧操作に成功したスピンバルブ系と同一系での研究を継続し、磁気抵抗比(MR)のトレーニング効果(κ_{MR})において、スピントランスファとは異なる明瞭な電界による界面磁化の変化を観測した。したがって、本年度は、 Cr_2O_3 の電気磁気効果のストレージ/メモリデバイスへの応用展開のうえで、重要な課題になると考えられる① 室温以上の温度での交換結合バイアスの発現、② 磁化反転ダイナミクス(スピンドイナミクス)、③ マルチステートメモリへの展開研究の3点について、研究会での議論も含めて研究の展開を図った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

酸化物スピントロニクスおよびスピンドイナミクスの新たな応用展開を議論する目的で、通研共同プロジェクト主催の研究発表会として、第14回、並びに第15回「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」を下記日時にて開催し、議論を深めた。

第14回「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」
テーマ：「SPM を用いた新たなナノ磁性体研究」

日時：2011年12月6日(火) 午後1時から5時30分
場所：東北大学・大学院工学研究科・電気情報系情報新棟4階451・453会議室

共催：東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座

研究会講演の内容：

1. 挨拶と研究紹介

「磁化の電界操作も含めた SPM を用いた新たなナノ磁性体研究について」

東北大学 大学院・工学研究科 佐橋政司

2. 「交番磁気力顕微鏡の開発と磁場方向検出への応用」

秋田大学 大学院・工学資源学研究所 齊藤 準

3. 「ナノ接点磁化状態を反映したアーク状の MFM 観察パターン」

東北大学 大学院・工学研究科 三宅耕作

4. 「スピン偏極 STM による単一原子、単一分子、単一ナノ磁石の最近の研究動向～電界による鉄ナノ磁石の制御～」

千葉大学 大学院・融合科学研究科 ナノサイエンス専攻 山田豊和

5. 「ナノ狭帯磁性体における磁壁の閉じ込め条件の解明」

東北大学 大学院・工学研究科 応用物理学専攻
佐々木志剛

この回では、磁化の電界操作の「ストレージデバイス」への応用展開に必要な SPM を用いたナノ磁性体の研究およびナノ接点磁壁に関する最近の話題について議論した。ナノ磁性体の磁化挙動を理解するための MFM の研究動向、ナノ接点磁壁のダイナミクスなど、電気磁気効果を用いた電界による磁化の操作に関する計測・制御上の理解が深まった。

第 15 回「金属/酸化物スピントロニクスセミナー」

テーマ: 「酸化物スピントロニクスの最近の話題」

日時: 2011 年 12 月 27 日(火) 午後 2 時から 5 時

場所: 東北大学大学院工学研究科電気情報系 2 号館
2 階 204 会議室

共催: 東北大学大学院工学研究科電子工学専攻超微細電子工学講座

研究会講演の内容:

1. 挨拶とこのテーマを取り上げた意義についての説明

東北大学 大学院・工学研究科 佐橋政司

2. 「Cr₂O₃ 薄膜の結晶性と交換バイアス」

東北大学 大学院・工学研究科 野崎友大

3. 「Ba_xSr_{1-x}TiO₃/強磁性ハーフメタルヘテロ構造におけるエピタキシャル成長とマルチフェロイック特性」

名古屋大学 大学院・工学研究科 浅野秀文

4. 「Pt/Co/Cr₂O₃ 垂直交換バイアス薄膜の界面磁性」

大阪大学 大学院・工学研究科 白土 優

5. 研究会発足に関する討議

この回では、主に Cr₂O₃ と Co との界面に注目した界面磁性および交換バイアスと MTJ バリア層に使うマルチフェロイック材料についての最近の話題を議論した。Cr₂O₃/R 面と Co の界面ではブロッキング温度が室温に近い交換バイアスが得られること、Ba_xSr_{1-x}TiO₃/強磁性ハーフメタルヘテロ構造におけるエピタキシャル成長とマルチフェロイック特性についての話題が出され、ストレージメモリデバイスへの応用展開のうえでの課題である室温以上の温度での交換結合バイアスの発現とマルチステートメモリへの展開研究に兆しが見えて来た。したがって、このような議論をより広く行って行くために、日本磁気学会に、研究会を立ち上げることにした。

[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。

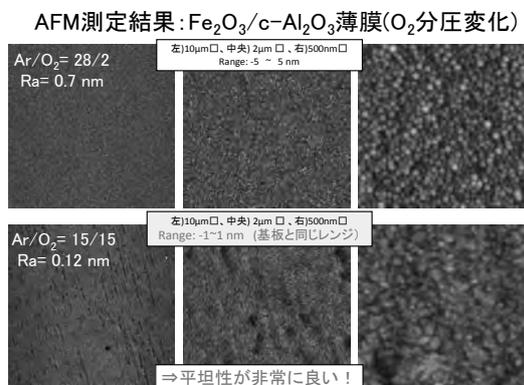
本年度は、Cr₂O₃ の電気磁気効果のストレージメモリデバイスへの応用展開のうえで、重要な課題に

なると考えられる① 室温以上の温度での交換結合バイアスの発現、② 磁化反転ダイナミクス(スピンダイナミクス)、③ マルチステートメモリへの展開研究の 3 点について、研究会での議論も含めて研究の展開を図った。

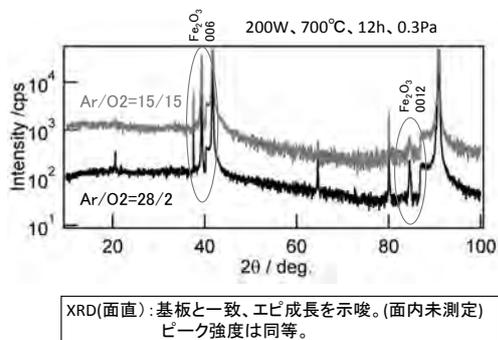
① 電気磁気効果(ME)を示す Cr₂O₃ において、室温以上の温度での交換結合バイアスの発現については、前々年度、前年度の研究で、ネール温度は 900K 以上と高いが、一方向異方性(交換結合バイアス)を示さず、ME も無い Fe₂O₃ と、ネール温度は 300K と低い(室温近傍である)が、交換結合バイアスを示し、ME もある Cr₂O₃ の積層構造の検討が有望であるとの知見を得ていた。しかし、それには C 面サファイヤ基板上に Fe₂O₃/Cr₂O₃ をヘテロエピ成長させ、平坦性の高い界面、表面を形成する必要がある。

したがって本年度は、Fe₂O₃ と Cr₂O₃ のそれぞれについて、C 面サファイヤ基板上へのヘテロエピ成長を、RF スパッタ、イオンビームデポジション(IBD)、酸素中高温熱処理を用いて検討した。その結果、Cr₂O₃ ターゲットを用い、酸素中 IBD 法で C 面サファイヤ(Al₂O₃)基板上に成膜後、700°Cにて酸素中熱処理を施すことにより、平坦性に優れた C 面配向 Cr₂O₃ 薄膜を作製可能であることが判った。これは、X 線回折の結果より、酸素中での成膜後では、Cr₂O₃ がエピ成長されるが、700°Cでの酸素中熱処理で、より安定な C 面配向の Cr₂O₃ 薄膜が格子整合性良く形成されるためである。一方、酸素なしの IBD 法で成膜した Cr₂O₃ 薄膜はアモルファスとなり、700°Cでの酸素中熱処理では、表面エネルギーが低い R 面が表面となるように、Cr₂O₃ の結晶が成長し、R 面配向的となる。後者の方法で作製した R 面配向的 Cr₂O₃ 上に Co をエピ成長させた Cr₂O₃/Co 二層膜における交換結合磁界の大きさ、およびその温度依存性は、R 面サファイヤ基板上にエピ成長させた R 面配向 Cr₂O₃ と Co との交換結合磁界、およびその温度依存性とほとんど同じである。他方、Fe₂O₃ のエピ膜作製についても、酸素分圧を変化させた実験を行い、ヘテロエピ積層膜の作製には必須となる極めて良好な平坦性を得ることに成功し、ヘテロエピ成長の可能性を示した。また、Cr₂O₃ 薄膜を用いたプローブ電界による磁気ドメインの反転を確認するために、まず室温付近まで交換バイアスを示す Cr₂O₃ 薄膜の作製を行い、いくつかの磁気ドメイン反転挙動の確認に適した試料の作製に成功、さらに動作温度を室温以上に引き上げるための方法について、Fe₂O₃/Cr₂O₃ ヘテロエピ膜によるブロッキング温度の上昇を確認するなど、本プロジェクトの当初の目標は達成できた。②および③ 分担者である産業技術総合研究所の今村裕志氏との磁化反転ダイナミクスの議論、浅野秀

文氏とのマルチステートメモリへの展開研究についての議論を通して、「ME・Multiferroics(とその磁気デバイスへの適用)研究会」の発足準備へと進むことが出来た。



XRDによる結晶構造評価: $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{c-Al}_2\text{O}_3$ 薄膜



(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、MPB (Morphotropic Phase Boundary) 研究会, ME・Multiferroics(とその磁気デバイスへの適用)研究会など、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、磁性体と誘電体との融合領域研究の発展へ繋がった。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 Cr_2O_3 の電気磁気効果を用いた磁化の反転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値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. Naoki Shimomura, Kazuya Sawada, Tomohiro Nozaki, Masaaki Doi, and Masashi Sahashi, "Demonstration of magnetoelectric effect in ultrathin $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ nano-oxide layer by training effect", Appl. Phys. Lett., 101, 012403 (2012)

2. T. Nozaki, N. Shimomura, T. Ashida, Y. Sato, and M. Sahashi, "Grain Growth Effect of Cr_2O_3 Thin Film Layer on Exchange Coupling of $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Co}$ Interface", IEEE Trans. Magn., accepted
3. Y. Shiokawa, M. Shiota, Y. Watanabe, T. Otsuka, M. Doi, and M. Sahashi, "Oxidation and Annealing Process: Morphological Change and Nanocontact MR in Spin Valves With FeCo-AIO_x NOL Spacer", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 47, 3470 (2011)
4. K. Sawada, N. Shimomura, M. Doi, and M. Sahashi, "Anomalous Temperature Dependence of Training Effect in Specular Spin Valve using Ultra-Thin Cr_2O_3 -NOL with Magnetoelectric Effect", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 107, 09D713 (2010)
5. K. Sawada, H. Endo, M. Doi, and M. Sahashi, "Interlayer Coupling Through Cu Spacer and Its Unique Temperature Dependency in Spin Valve Films With $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x/\text{Cr}$ -NOL", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 45, 4019 (2009)
6. "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, 土井正晶, 佐橋政司, 日本磁気学会誌 **32**, 205 (2008)
7. "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)
8. "Structural characterization of $\text{Co}_{100-x}\text{Fe}_x$ nano-oxide layer", Hiroaki Endo, Masaaki Doi, Naoya Hasegawa, and Masashi Sahashi, J. Appl. Phys. **99**, 08R703 (2006)
9. "Exchange coupling and NOL magnetism consideration in $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ 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
10. "Magnetism of $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$ -NOL in Specular Spin-Valves", Masaaki Doi, Masato Izumi, Hiromi Niu Fuke, Hitoshi Iwasaki, and Masashi Sahashi, IEEE Trans. Magn. **40** (2004), 2263

採択番号 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

[1] 組織

代表者：土井 正晶

(東北学院大学工学部)

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)

今村 裕志 (産業技術総合研究所)

研究費：物件費20万1千円，旅費13万円5千円

[2] 研究経過

本研究・開発の目的は、ナノ磁性体におけるスピンドダイナミクス (R) を利用した GHz 帯のマイクロ波発振に関する研究を行い、近年ますますその重要性を増している簡便で高効率(高 Q)、超小型・超低消費電力のマイクロ波発信デバイスを開発することである。このようなナノ磁性体を用いた新規なマイクロ波の発信機構は、従来の半導体集積化デバイスの一部に、自己組織化により集積化されたナノ磁性体から成る発信回路を組み込むだけで実現されるものであり、従来の半導体デバイス発振機と比較して簡便、超小型・超低消費電力の GHz 帯マイクロ波デバイスへの道を切り拓くものである。また、その原理からナノ磁性体中の磁化の方向、バイアス磁界、電流などにより発信周波数を調律可能(Tunable)なデバイスとすることも可能であり、近年特に研究が活発化しているユビキタス電子タグ、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3年度であった。

前年度までに、まず第1に、フリー層とリファレンス層の磁化方向を 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。特に発振周波数および発振強度に着目し、その外部磁場方向及び印加電流依存性を調べ、マイクロ波の発振特性を磁壁のダイナミクスから考察した。マイクロ波の測定はスペクトルアナライザ (100MHz ~ 18GHz) を用いて行った。外部磁場は膜面水平に印加し、印加方向を膜面内において回転させ、フリー層の磁化容易軸に対して所定の角度方向に磁場を印加した状態でマイクロ波を測定した。印加磁場方向はフリー層の磁化がリファレンス磁化と反平行になる方向を + 方向とし、反平行を 0° と定義した。電流方向は素子のフリー層からリファレンス層へ流れる方向を + 方向としている。電流方向 + において発振強度は 40° のとき最大を示し、最大で 10 倍以上の発振強度となり、半値幅は極小 (~ 15 MHz) を示した。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と一致しており、狭窄された磁壁に起因したコヒーレント発振であることが示唆された (1)。第2に、磁化反平行状態を 0deg. と定義して印加磁場を膜面内方向で回転させ、ネットワークアナライザを用いたナノ狭窄構造薄膜のスピントルク強磁性共鳴 (ST-FMR) による直流電圧スペクトルを測定した。本実験で用いた NCMR 素子におけるマイクロ波発振スペクトルと ST-FMR スペクトルを示す ($H=6000\text{e}$ 、 $\theta=10\text{deg.}$)。ST-FMR スペクトルと発振スペクトルはともに 9GHz 付近で共鳴および発振を示した。ST-FMR スペクトルではフリー層磁化の共鳴と考えられる周波数以外に複数の共鳴ピークを示した。一方、発振スペクトルは線幅の狭い単一のスペクトルのみである。この両者の差異を周波数の磁場変化のキツテル式を用いたフィッティング解析から強磁性ナノコンタクトに幾何学的に閉じ込められた磁壁のスピントルク振動に基づいて考察を行った。この結果からスピントルクレーバとしての応用の可能性を明示した (2)。第3に、外部からのマイクロ波 (交流) 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キングの検証を行った(3)。その結果、フェーズロッキングのための投入電流閾値および周波数閾値を明らかにした。また、フェーズロッキング周波数以外の投入周波数では本系特有の変調効果が認められた。第4に、ナノ狭帯磁壁型マイクロ波発振素子において、マイクロ波発振出力はMR比の増加に従い、増加することを確認した。高MR比(～20%)を示すナノ狭帯磁壁型マイクロ波発振素子において～ μW 級(半値幅 $\Delta f = 6.5$ MHz)の発振出力を可能とする発振を見出した(4)。実用に向けたスピントルクオシレータ開発研究への指針が示された。そこで、本年度は、前年度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。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、スピナノ構造体から成る薄膜素子におけるスピントランスファーマイクロ波の発振のさらなる高出力化および高周波数化を目的として下記2項目を目標とした実験を行った。

1. マルチピラー化によるマイクロ波発振の高出力化のための強磁性体マルチナノドットを試作する。
2. 発振周波数の高周波化のために高磁気異方性材料を用いた微細加工とその磁化過程の解析を行う。

以下に示す研究成果を得た。

高磁気異方性材料FePt薄膜試料に微細加工を施し、円形ドット試料の作製を行う。その際、磁気特性を劣化させる再付着層の付着を抑えた良好な形状のドット作製を試みる。磁気特性の評価、及び磁気力顕微鏡(MFM)における磁区構造の観察を行い、微細加工による磁化過程の変化について詳細に検討した。試料は、超高真空スパッタ装置によりMgO(100)単結晶基板上に成膜した。膜の構成はシード層としてCrを1nm、バッファー層にAuを40nm、次にFePtを300°Cにおいて10nm、中間層としてMgOを10nm、その上層にFePtを10nmを300°Cで製膜した。微細加工をする際には、スピナーを用いて6000rpmで試料表面にレジスト(TGMR 3.6cp)を塗布し、電子ビームリソグラフィ装置を用いてパターンの描画を行った。スピナーの回転速度が6000rpmの場合にレジストの厚さは0.3 μm であった。形状評価は光学顕微鏡と原子間力顕微鏡(AFM)を用い、電子ビームリソグラフィ装置で描画したものを、Arイオンエッチング装置によりステージを回転させながらエッチングを行った。エッチング条件は、イオン入射角 $0^\circ \sim 60^\circ$ 、印加電圧400V、到達真空度 9.8×10^{-5} Pa、Ar流量0.90 sccmとした。ドットの形状及び再付着層の最適化を行うために、エッチング装置のステ

ージの角度及び、エッチング時間の変化によるドット試料の形状変化についてAFMを用いて観察した。用いた試料は0.6 μm である。本実験では良好なドット試料の作製を目指し角度を $0^\circ \sim 50^\circ$ で変化させた。小面積描画(0.3 $\mu\text{m} \times 0.3\mu\text{m}$)を行った試料に対してエッチング時間を100s～150sの間で変化させた。Fig. 1に試料設計サイズが0.3～2.0 μm の円形ドット試料をイオン入射角(θ)を変化させて作製したAFMによる形状像を示す。Arイオン入射角が 30° において再付着により良好な

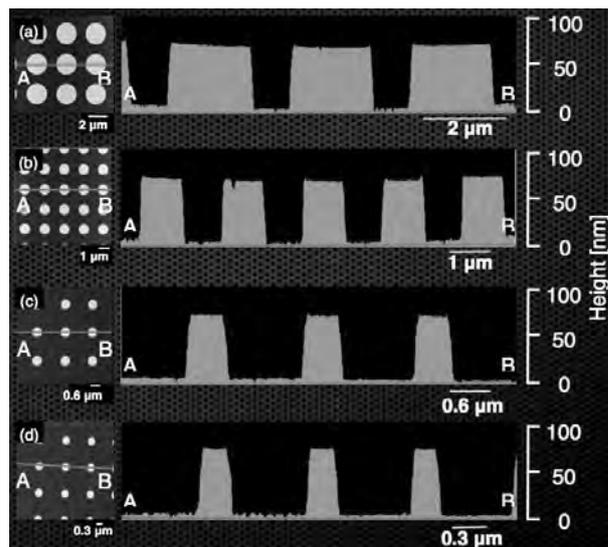


Fig. 1 Top view and cross sectional AFM images for the FePt dots. (a) 2 μm ϕ , (b) 1 μm ϕ , (c) 0.6 μm ϕ and (d) 0.3 μm ϕ .

形状が得られなかったため、イオン入射角を変化させた。イオン入射角 0° では、再付着もほとんど見られず、最も良好なドットが得られた。イオン入射角度及びエッチング時間を変化させた他の試料を観察した結果、入射角度は 0° 、エッチング時間は150s以上において良好なドット形状が得られることが確認された。良好な形状が得られた0.6 μm の試料をMFMを用いて磁区構造の観察を行った。消磁状態から+6kOeでは磁区構造が多磁区から単磁区に変化することが確認されたが、-6kOeまで磁場を印加した時に磁化反転は確認されなかった。これはドット径が小さくなる事によって保磁力が上昇したためであると考えられる。そこでドット径が2 μm の試料を作製し観察を行った。Fig. 2にMFMによるFePt/MgO/FePt多層膜の円形ドット試料2 μm の形状像及び磁気像を示す。磁気像のコントラストの明るい領域は下向きの磁化成分を有する領域、コントラストの暗い部分は上向きを示す。(a)の形状像からFePt多層膜において再付着のない良好な円形ドット試料が形成されているのが確認され

た。(b)の消磁状態は迷路状の磁区構造が確認された。(c) +3 kOe ~ (d) +6 kOe の磁場を印加したとき明るい領域が増加するのが確認され、(e)の残留磁化状態では逆磁区の生成が確認されなかった。負の方向に磁場を印加していくと-3 kOe (f)までは変化は確認できなかったが、-3.75 kOe (g)の磁場を印加したときは一つのドットは暗い領域が広がり、その他のドットは薄明るい領域が確認された。-5 kOe (h)の磁場を印加したときに一つのドットを除いて暗い領域が確認された。-6 kOe (i)の磁場を印加した場合には、すべてのドットで暗い領域が確認された。以上の MFM 像から磁場-3.75kOe ~ -5kOe の間では上層、下層の磁区が異なる振る舞いを見せるため、中間層の MgO の層厚 10 nm で FePt 層が磁氣的に分断されていると考えられる(6)。

以上、まとめると、

1. FePt/MgO/FePt 3層膜においてマルチナノドットを作製し、下層と上層との独立した磁化反転状態を確認した。
2. ドット径の減少によって保磁力が増加し、MOKE測定に見られる連続的な磁化反転は個々のドットの不均一な反転磁場によって生じていると考えられる。

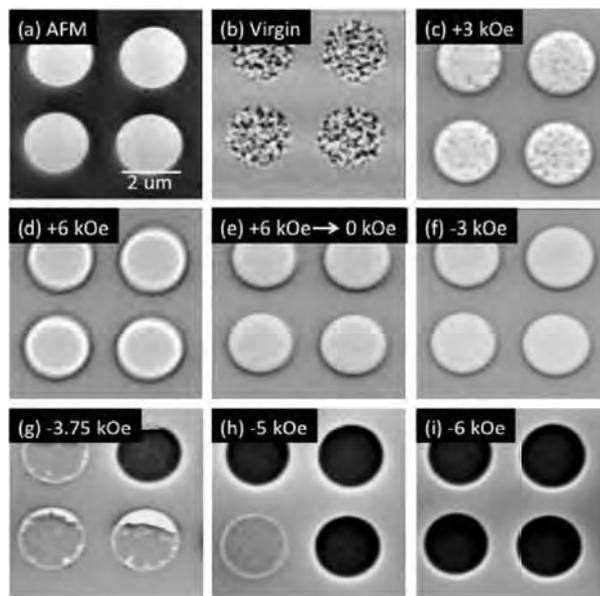


Fig. 2 AFM and MFM images of FePt (10 nm)/ MgO(10 nm)/ FePt (10 nm) circular dots with 2 μm ϕ in diameter. (a) AFM, (b) Virgin state, (c) +3 kOe, (d) +6 kOe, (e) +6 kOe ~ 0 kOe, (f) -3 kOe, (g) -3.75 kOe, (h) -5 kOe and (i) -6 kOe.

(3-2) 波及効果と発展性など

これまでに本研究成果の一部を招待講演において報告し(“Spin Torque Microwave Oscillation on Spin-valve Elements with Ferromagnetic Nano-contacts” M. Doi,

H. Suzuki, H. Endo, T. Nakamura, T. Tanaka, H. N. Fuke, S. Hashimoto, H. Iwasaki, and M. Sahashi, ISAMMA 2010, Sendai, Japan, July 15(2010)), JEMS 2010 および INTERMAG2011, “Spin-torque Microwave Oscillation on Nano-constriction Structured Spin-valve Thin Films”, M. Doi, H. Endo*, H. Suzuki*, T. Nakamura*, T. Tanaka*, Y. Okutomi*, A. M. Muftah*, M. Sahashi* (Tohoku Gakuin Univ., *Tohoku Univ.) 第35回「スピントロニクス専門研究会」、平成23年7月20日などの国際会議において報告している。本プロジェクト期間中に明らかになったナノ狭窄磁壁型(ナノコンタクト(NC))MR素子のSTTマイクロ波発振の研究成果、すなわち高密度電流注入とマルチチャネルによるアレイ化は、高出力発信ならびに、そのTunable化がマイクロ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) H. Suzuki, T. Nakamura, H. Endo, M. Doi, H. Tsukahara, H. Imamura, H. N. Fuke, S. Hashimoto, H. Iwasaki, and M. Sahashi, Appl. Phys. Lett., 99, 092507 (2011).
- (2) Y. Okutomi, K. Miyake, M. Doi, H. N. Fuke, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Appl. Phys., 109, 07C727(2011)
- (3) Muftah Al-Mahdawi, M. Doi, S. Hashimoto, H. N. Fuke, H. Iwasaki and M. Sahashi, IEEE Trans. Magn., 47, 3380 (2011).
- (4) T. Nakamura, M. Doi, S. Hashimoto, H. Iwasaki and M. Sahashi., IEEE Trans. Magn., 47, 3377 (2011).
- (5) M. Doi, H. Endo, K. Shirafuji, S. Kawasaki, M. Sahashi, H. N. Fuke, H. Iwasaki and H. Imamura, J. Phys. D, Fast Track Communication, 44 (2011) 092001.
- (6) “FePt/MgO/FePt 円形ドット試料の磁区構造観察”, 岩間弘樹、松本伸二、菅原勝也、佐藤浩太郎、土井正晶、嶋 敏之、日本金属学会 2011 年秋季講演大会, 11月7日 (2011) .

採択番号 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

[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)

潘 杰 (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)

早野 一起 (富山大学大学院理工学研究部)

呉 東坡 (富山大学大学院理工学研究部)

安藤 浩哉 (豊田高専情報工学科)

研究費：物件費 20 万 5 千円、旅費 26 万 0 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。また、この問題は位相ノイズの悪化など、信号源としての品質にも重大な影響を与えてきた。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・高安定な THz 信号源を実現することにある。

本プロジェクトは、本年度が第3年度である。前年度までに、上記目的を達するため、発振器の構成に関する具体的な検討を行うとともに、試作を行うために必要なプロセス技術の検討を行ってきた。本年度は、これまでの結果を受け、安定した THz 波を生成する2つの方法について検討を進めた。そのひとつは、RTD ペアを装荷したアクティブ伝送線路発振器であり、もうひとつは、RTD 極短パルス生成器とアンテナの集積チップによる THz 波の生成である。

アクティブ伝送線路発振器については、前年度までに、高調波を効率良く出力できる可能性を指摘し

てきた。本年度はこれについて更に検討を進め、高調波発生メカニズム、回路パラメータの設計指針を明らかにした。また、RTD 極短パルス発振器による THz 波生成に関しては、試作したデバイスを東北大学尾辻研究室において測定し、THz 波発生の可能性を実験により検討した。以下、研究活動状況の概要を記す。

1) RTD ペアを装荷したアクティブ伝送線路発振器

前年までの研究により、標記発振器において、9 次の高調波が強く生成されることが明らかになっている。このように高次の高調波が効率よく生成できれば、位相ノイズの少ない安定した THz 波の生成

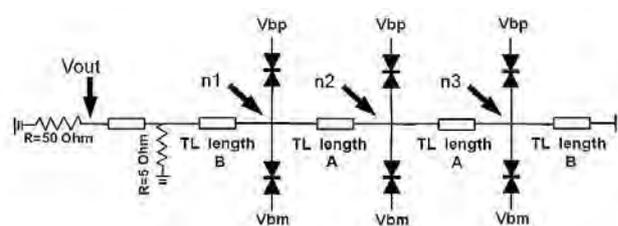


図1 共鳴トンネル素子を装荷したアクティブ伝送線路を用いた発振器の概念図

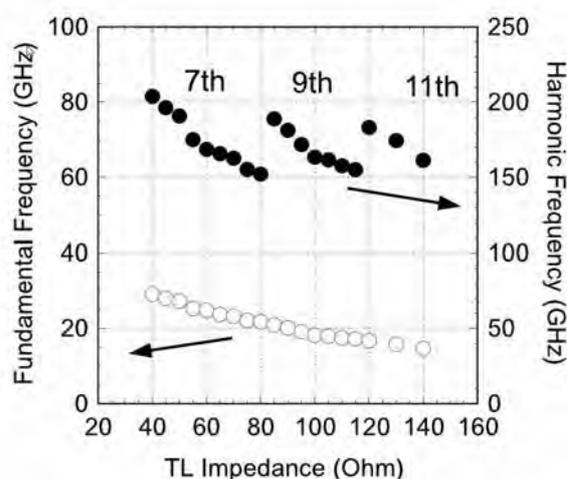


図2 基本波と最も強い高調波周波数の線路インピーダンス依存性

が容易に可能になるなど、大きな利点がある。しかし、これまで、この高次高調波生成のメカニズムが不明であった。本年度はこれを明らかにするため、様々なパラメータによるシミュレーションを行った。

図1に検討した発振器の回路構成を示す。ゲインを持つ伝送線の両端を反射端とし、一方から一部の信号を取り出す。この時、この回路はレーザーとよく似た機構により発振する。基本波は、半波長が線路長と一致する波長となる。図2は、最も強い高調波と基本波の周波数を伝送線路インピーダンスの関数としてプロットしたものである。図には最も強度の強い高調波の次数も示してある。伝送線路のインピーダンスが大きくなるに従って、基本波の発振周波数は減少していく。これは、RTD の持つ容量の影響が大きくなっていくためである。この時、最も強い高調波の次数も7次から11次まで変化していくことも分かる。この図における最も重要なポイントは、高次周波数の次数が変わっても、最も強い高調波の周波数がある周波数領域内にとどまる点である。その領域は大体150GHz から200GHz までである。これは、この周波数領域に、ある種の共鳴周波数、あるいは、パスバンドがあることを暗示している。この場合、9次という高い高調波が強く得られる原因は、このパスバンド内の周波数の基本波への周波数ロックとなる。我々は、RTD を容量で置き換えた伝送線路の伝送特性を計算し、このパスバンドの存在を確認した。なお、このパスバンドは基本波の周波数デザインと別に設計が可能である点は、これを高調波発振器に用いる際の重要な利点である。

2) 極短パルス生成器による THz 波生成

我々は RTD を用いた簡単な回路で半値幅 6ps 以下の電気的パルスが生成可能なことをすでに示してきた。このような極短パルス波は、非常に高い周波数成分を含み、これとフィルターの集積により容易に THz 信号を取り出すことができる。ここでは、RTD 極短パルス生成器と THz アンテナを集積したデバイスを作製し、東北大学尾辻研究室に設置された THz 波測定システムによる測定を試みた。

図3に作製したデバイスのパターンを、図4に測定のため、試料ホルダーに実装したチップの写真を示す。THz 波の測定は、マイケルソン干渉計とボロメータを用いたフーリエ赤外分光法 FTIR によった。図5に測定系の概観写真を示す。

図6に測定結果の例を示す。今回試作したアンテナの特性周波数は 320 GHz 付近である。図中、アンテナの特性周波数に近い周波数にピークが見られる。この周波数は測定下限に近いので、ノイズがか

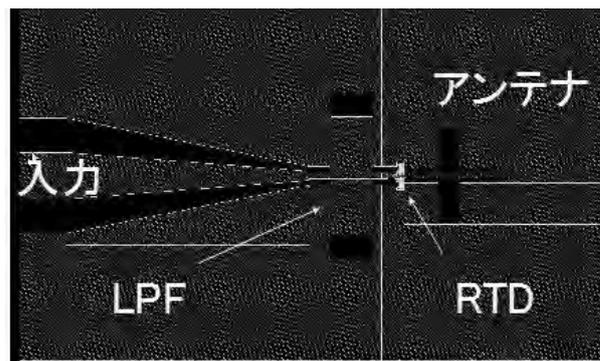


図3 作製したRTD極短パルス生成器/アンテナデバイス

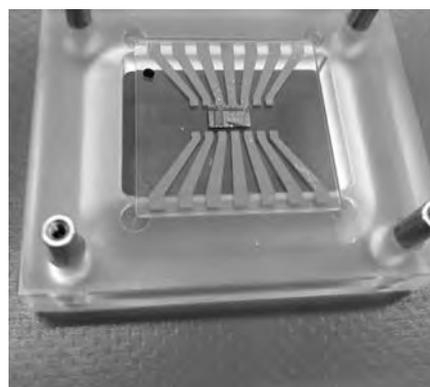


図4 試料ホルダーに実装したチップ写真



図5 THz 測定系概観写真

なり大きいですが、RTD 極短パルス発生器からの THz 波放射を示すものと思われる。

[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。

①共鳴トンネルペアを装荷したアクティブ伝送線路を用いた高調波発振器

高次高調波が生成するメカニズムを解明し、その設計指針を明らかにした。これにより、負荷インピーダンス変動に強い、高安定な THz 信号源への適用を可能とした。

②極短パルス生成器を用いた THz 信号生成

極短パルスに含まれる THz 成分を共振器/アンテナを通して取り出すタイプの THz 信号源について設計、試作を行い、その出力を実験的に調べた。その結果、予想された周波数に信号ピークを見出した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトでは、高安定・高効率な THz 信号源を実現するための、理論的、実験的検証を行ってきた。具体的には RTD ペアを装荷したアクティブ伝送線路を基盤とした高次高調波発振器の提案を行うとともに、極短パルス生成器を利用した THz 波生成の実験的検証を行った。本研究の成果は、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、今後、この研究を更に発展させると共に、RTD を用いた高感度 THz 検出器の研究も進め、THz 送受信システム、オンチップ THz スペクトロスコープシステムへの展開を図る。

[4] 成果資料

- [1] J. Pan, M. Mori, K. Maezawa, "Possibility of High Order Harmonic Oscillators Based on Active Transmission Lines Loaded with Resonant Tunneling Diode Pairs," submitted to IEICE Transactions Electronics.
- [2] J. Nakano, T. Shibata, T. Okatsu, M. Mori, K. Maezawa, "Fluidic Self-Assembly for Heterogeneous Integration of High Performance Resonant Tunneling Diodes Using Low-Melting Point Alloy Bumps," 2011 International Conference

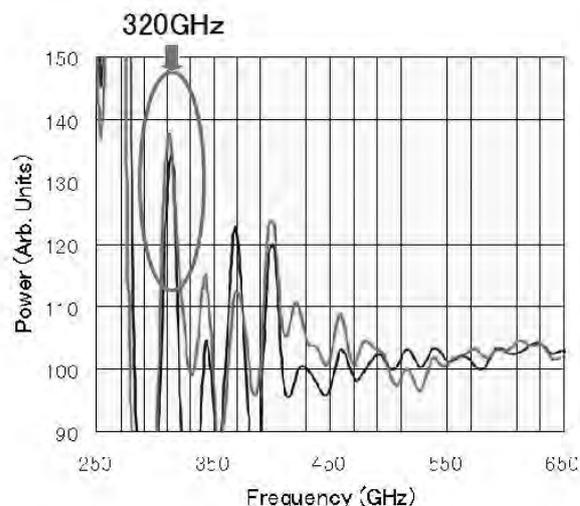


図6 測定結果 (2回の測定結果を図示してある。)

on Solid State Devices and Materials (SSDM 2011), Nagoya, Japan, Sep. 27-30 (2011).

- [3] J. Pan, M. Mori, K. Maezawa, "Possibility of High Order Harmonic Oscillators Based on Active Transmission Lines Loaded with Resonant Tunneling Diode Pairs," 9th Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM 2011), Gifu, Japan, Aug. 28-31 (2011)
- [4] 早野、森、前澤、「RTD pair 発振器の発振周波数に対する測定系の影響」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2011年9月13日
- [5] 潘 傑、早野一樹、森雅之、前澤宏一、「共鳴トンネル素子を用いた装荷したアクティブ伝送線路を用いた高次高調波発振器の可能性」、電子情報通信学会、電子デバイス研究会(ED) 報告 ED2011-147, p31-34 (2012).

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：
 三浦 正範
 (山形大学大学院理工学研究科)
 小林 洋介
 (山形大学大学院理工学研究科)

研究費：物件費19万5千円，旅費9万円

[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探る。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3年目であった。本年度は、初年度で得た頭部伝達関数、ならびにこれを用いた了解度データを元にさらに広範な条件下で了解度測定結果を用いて、具体的な応用へと繋げることを試みた。また3次元空間内で提示した音声了解度を推定する足掛かりも検討した。以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) 拡張音響現実感への応用を指向して、骨伝導ヘッドホンを用いて定位音声を提示し、スピーカーから妨害音を提示し、その了解度を測定した。骨伝導ヘッドホンは、提示音を頭蓋骨を直接振動させ知覚させるものであり、耳をふさぐことがない。そこで周囲音は耳から、仮想空間内の音声提示は骨伝導で同時に与えることができる。

(2) (1)をさらに発展させ、イヤホンの入口にマイクを設置したバイノーラルイヤホンで定位音声と周囲音を同時提示することを試みた。(1)と同様の効果が得られるが、耳をふさいでしまうため、耳入口のイヤホンから収録した周囲音を仮想音源と混合してイヤホンに入力する必要がある。

(3) 仮想空間内で提示した音声は聴取者の頭部運動に合わせて定位位置を変えないと、音像も頭部運動に不自然に追尾してしまう。このため頭部運動を検出して動的に頭部伝達関数を切り替える。頭部運動により音源との相対位置が変化し、この変化量を利用して音源位置の識別精度が向上する。これは了解度にも反映されると考えられるので、その影響を評価した。本年度は特に仮想音源と実音源が混在する環境下での頭部運動の影響を調べた。

(4) 定位音声の被験者を用いた了解度測定は音源位置や組み合わせなど条件数が多種に渡るため、評価サンプル数が極めて多く、被験者に負担が多く、また時間、コストもかかる測定となっている。そこで、あらかじめ小規模な主観評価を行って主観音声了解度と定位音声と競合音の物理量間の関係を定量化し、これを用いて未知環境の了解度を推定し、評価にかかるコストの低減を試みた。

以上の成果の一部は **Internoise** などにて発表し、国内外の専門家の意見を伺った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

主な成果のみ述べる。

(ア) 骨伝導ヘッドホンを用いた実音源による妨害音提示と仮想音声の混在環境での了解度はヘッドホンを用いた場合と同等あるいはそれ以上の了解度が得られることは、本研究の前年度に確認されている。この場合は妨害音は一方向から提示している。本年度はこれをより現実的に、残響がある環境下での使用を想定し、全方位から妨害音が等しく到来する場合の了解度を測定した。この測定例を図1に示す。その結果、同レベルの特定方向から到来する妨害音と了解度に与える影響が同程度であることが分かった。このように、より現実的な環境でのシステムの性能が明らかになった。

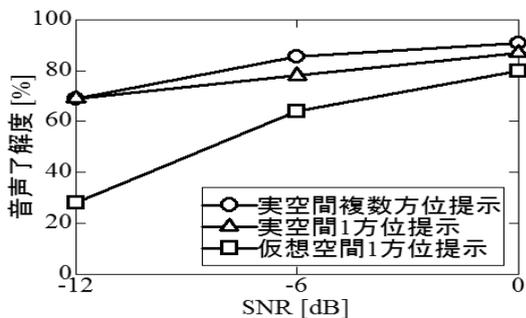


図1:SNR 対音声了解度(妨害音 0deg.) 環境音の提示方法の了解度への影響

(イ) 実音源と仮想音源が混在する環境で、頭部運動に応じた音像位置切り替えが再生音の自然性に与える影響を評価した。通常仮想音源を定位する場合、ヘッドトラッカー(HT)を用いて検出した頭部運動に合わせて伝達関数を切り替えて、被験者から見て音源が不動位置に定位するように適応処理する必要がある。特に自然に音源が不動に見える実音源と仮想音源が混在する場合はこれが顕著と思われる。図2にイヤホンの反対側(耳の入口)にマイクを設置したイヤホンマイクを用いて、マイクで拾った周囲実音源と、別部屋にいるユーザ音声を仮想音源を同時提示するテストシステムを示す。このシステムを用いて、図3に示すように、同室に実際に音声会話を行う話者と、別室に仮想空間で会話を行う話者と同時通話を行うタスクを設定し、その音環境の自然性を評価した。

オピニオン評価の結果、再生音声の自然性では HT を使用する場合と使用しない場合では、自然性のオピニオン値で前者が有意に自然性が高いと評価され、HT の効果が確認された。一方、実音源がない仮想音源のみが存在する環境下では HT の有無は必ずし

も有意差を生じないことも分かった。

システム概要



図2 ヘッドトラッカを用いたシステム構成

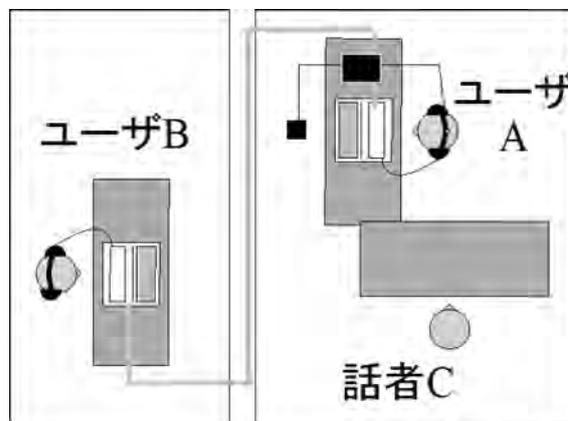


図3 実音源と仮想音源が混在する試験環境

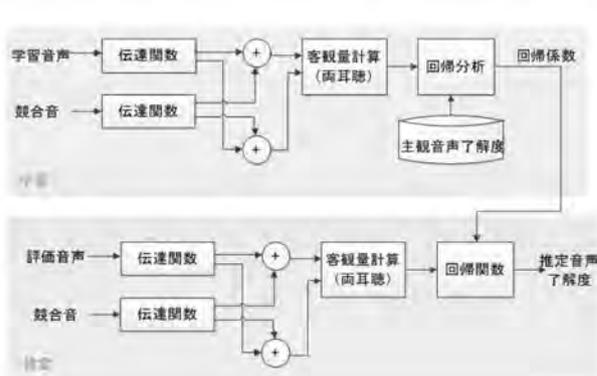


図4 定位音声了解度の推定

(ウ) 競合音と音像定位した音声の了解度を測定するためには、被験者が各音源配置や競合音種類、およびレベルを変化させて各種条件下で了解度評価を行う必要がある。しかしこの条件の組み合わせは多種に渡り、評価サンプル数は数千以上にも及ぶこともある。これは被験者に過度な負担を与え、現実的ではない。そこで競合音と定位音声の物理量を用いて了解度を推定する方法を検討した。あらかじめ既知な環境で了解度評価を行い、これに

対応する物理量を写像する関数を学習することで、未知の環境でもある程度の精度で了解度を推定することを目指す。この概要を図4に示す。

あらかじめ特定の音源位置に定位し混合した妨害音と試験音声の了解度を推定しておき、これに対応する物理量との対応を学習する。予備検討の結果、物理量としては周波数重みづけ SNR ($fwSNR_{seg}$) が主観とよく合うことが分かってきている。また定位音声は両耳聴となるため、左右耳に入力される信号よりより音声がある方の信号を選択し、これを両耳を代表する物理量とする。

この物理量とあらかじめ測定してあった主観了解度との対応を最も忠実に反映する写像関数 (sigmoid 関数) を学習しておく。この関数を用いて、未知の妨害雑音環境下での了解度を推定する。その結果、未知の雑音環境でも主観値との平均二乗誤差 10 程度、相関も 0.9 以上の精度で推定が可能であることが分かった。

また、複数の物理量と主観了解度をサポートベクトル回帰を用いて写像することも試みており、ある程度の推定精度向上が見込まれることも確認している。

(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主筆2件の国際学会発表につながっており、また彼らと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。さらにその成果は、学生によるフルペーパー主筆1件の投稿につながっている。

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、バイノーラルイヤマイクを用いても通常のヘッドホンと変わらない性能が得られる見通しを得た。また自然性の面では、仮想音源と実音源が混在する環境では、音像を頭部運動に応じて切り替えることが有効であることを確認し、今後のシステム設計の指針につながっている。

[4] 成果資料

(1) 阿部靖広、近藤和弘、「3次元音響会議システムにおけるヘッドトラッキング導入効果の評価」、平成24年東北地区若手研究者研究発表会、YS-10-A13、2012.3

(2) 小林洋介、近藤和弘、「サポートベクトル回帰を用いたバイノーラル音声了解度推定の詳細検討」、音響学会春季研究発表会、3-Q-5、2012.3.

(3) Naoya Anazawa, Yosuke Kobayashi, Hiroyuki Yagy, Takayuki Kanda and Kazuhiro Kondo, "Evaluation of localized speech intelligibility from bone-conduction headphones with competing noise for augmented audio reality," Proc. Internoise 2011, Osaka, 2011.9.

(4) Yosuke Kobayashi and Kazuhiro Kondo, "On distortion measures effective for the estimation of Japanese speech intelligibility of localized speech with competing noise in virtual acoustic space," Proc. Internoise 2011, Osaka, 2011.9.

(5) 小林洋介、近藤和弘、「バイノーラル音声の了解度推定に用いる学習条件の検討」、音響学会春季研究発表会、1-Q-25、2011.9.

(6) 小林洋介、近藤和弘、「仮想音響空間内の音声了解度推定に用いるひずみ尺度の検討」情報科学技術フォーラム FIT、E-020、2011.9.

(7) 穴沢直也、近藤和弘、「骨伝導ヘッドホンによる音声提示の妨害法による音声了解度比較」電気関係学会東北支部連合大会、2011.8.

採択番号 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

[1] 組織

代表者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

石井雅博 (富山大学)

一川 誠 (千葉大学)

宇賀貴紀 (順天堂大学)

内川恵二 (東京工業大学)

大澤五住 (大阪大学)

小川 正 (京都大学)

川上 進 (東北大学)

北岡明佳 (立命館大)

行場次郎 (東北大学)

河原純一郎 (産業技術総合研究所)

佐藤俊二 (電気通信大学)

酒井 宏 (筑波大学)

西田真也 (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)

栗木一郎 (東北大学)

松宮一道 (東北大学)

研究費：物件費 20 万 8 千円，旅費 25 万 9 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3年目であり、これまでの議論に基づき、脳内の視覚情報処理機構の共通基盤として利用できるモデル構築のあり方について

検討した。それに基づき提案された複数のプラットフォームについて議論，検討することを目的とした。

平成23年8月3日，4日

2011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，塩入および分担者金子，西田が，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24年1月19日～1月21日

2012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，塩入および分担者内川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24年3月1日，2日

研究打ち合わせ

研究分担者，一川，河原，石井，西田，佐藤，行場が来所し，また大澤はインターネットを介して，立体視と感性評価，注意資源の種類と個人差，自然画像観察時のサッカート眼球運動の分布，初期視覚の3D処理過程の受容野特性，奥行運動のモデル化，運動視のモデル化の検討，速度知覚の計算論的モデルおよび協調的視覚モデル構築システムに関して意見交換した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

昨年度開発した視覚モデル構築環境のプロトコル，**ImageFilterLab** (仮称，**OpenCV** ベースで **Python** 利用)を用いて，奥行運動知覚のモデル化を試みた。また，**Matlab** を利用した画像処理環境，**OpenRTM-aist** を利用したモデル環境の提案についても調査した。今後，それぞれのシステムに対する利用を試み，詳細な検討を進める必要があるが，本年度は予備的な検討を行った。

ImageFilterLab は，データフロープログラミンを利用したプロトコルで，各ユニットが処理をする，入出力は画像情報である。別途モデル化した運動/視差エネルギーモデルに基づく奥行運動検出器を **Imagefilter** 環境で同様の結果を得ることができるとを示した。上下が逆方向に奥行運動する刺激をランダムドットパターンで形成し，それに対する

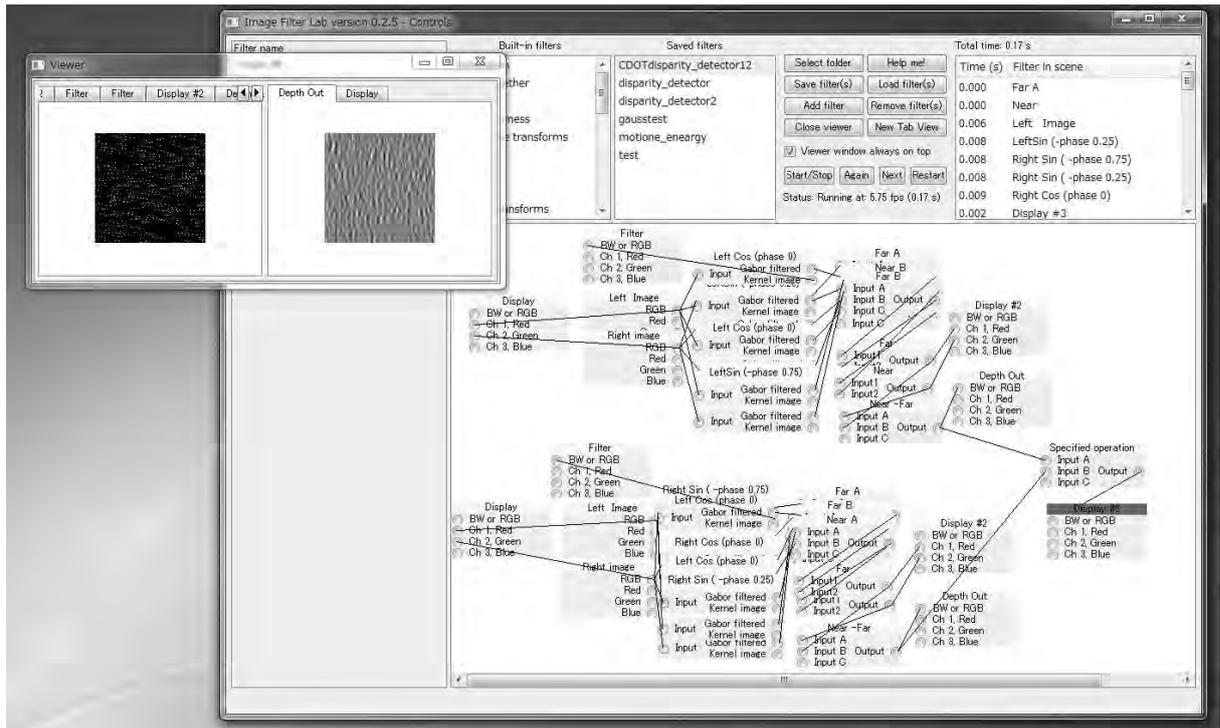


図1 視覚モデル構築環境プロトコルによる奥行運動検出器の模擬

モデル出力画像を算出した (図1)。左上が入力と出力であり、入力は左右画像を併置してあり (画面上では赤と緑で表示)、出力は手前運動が白、奥運動が黒で表現されている。このシステムの利点としては、プログラムを書くのに比べると格段に簡単である、処理の流れが見やすい、結果が即座にわかる、途中結果を表示することも簡単であるなどである。一方、欠点は、処理時間がかかり大きなデータには不向きである、常に計算しているため無駄が多い、ユニットをくくる機能がないなどである。これらの利点、欠点は、OpenRTM-aist や MatLab をベースのシステムでも基本的には同様である。しかし最後の点をはじめとして、プログラム環境の作り込みによる問題は、強力な支援環境を持つ OpenRTM-aist や MatLab をベースにすることでより快適なシステムとすることができる。一方、環境を自作するのに比べて自由度、柔軟性には制約がある。いずれも視覚モデル構築に適した設定を行う必要があるが、MatLab については酒井らが OpenRTM-aist については佐藤らが、対応可能であることを示している。

ここではすでにできあがった処理ユニットのみを利用したが、処理ユニットは自作して追加することができる。この追加機能の利用と共有が重要な問題となるが、この点についてはどのシステムも同程度の可能性を持つと思われる。今後、最適なシステムを作りあげた上で、多くの研究者の参画を求め、標準的なモデル作りに向けた取り組みをする必要があ

る。

(3-2) 波及効果と発展性など

昨年度に引き続き、共通基盤としての視覚モデル構築の具体的な検討を行い、利用の可能性、問題点の把握などを行った。これまでの確認事項として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、環境の持つ特徴として簡単でわかりやすい試行錯誤が可能であること、動的処理にも十分な対応が可能であることなどの要求があった。検討した3つのシステムはこれらの要求を満たしているが、多くの研究者が積極的に利用できる環境とするためには、実証実験を続ける必要がある。

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。それが実現すれば、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、今後多くの研究者による議論を活性化させる必要がある。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広報、システムの普及を通して、さらに検討を続けることで有効なシステムへの発展することが期待できる。

[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 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：木下哲男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

石川 博 (静岡大学情報学部)

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)

柴田 義孝 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部)

鈴木 健二 (電気通信大学電気通信学部)

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院)

水野 忠則 (静岡大学大学院創造科学技術研究部)

宮西 洋太郎 (宮城大学事業構想学部)

宗森 純 (和歌山大学システム工学部)

村山 優子 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部)

渡辺 尚 (静岡大学大学院創造科学技術研究部)

研究費：物件費 33.2 万円，旅費 67.9 万円

[2] 研究経過

近年、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スマートフォンが急速に普及しつつある。これらのセンサー情報はおもに端末内のアプリケーションで利用する目的で取得されている。一部のGPSによる位置情報などは、当該端末内での利用以外にも、親が子供を見守るときの子供の位置情報を取得する応用などで、外部からの利用を想定されているものがある。しかし、まだセンサー情報の多くは外部からの利用が十分可能ではない。その理由は、セキュリティ上の問題もあるが、多数のセンサーを統合して扱うための枠組みが不足しているためである。どのように蓄積し、どのように分析し、どのように情報を提供するか、また必要に応じてどのようにセンサーを制御するか、

といった問題は、従来の分散システムと異なる新たな課題といえる。

この研究では、様々な目的で構築された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。このような情報化社会基盤として活用できるセンサークラウドを実現するために、センサーネットワークからの効率的な情報収集プロトコル、大量に取得されるセンサー情報データの管理と検索技術、ウェアラブルセンサーなどの新しいセンサーネットワーク技術、多数のセンサーの動作を効率よく制御するためのソフトウェア開発環境を開発する。また、取得したセンサー情報を利用者へフィードバックするための新しいヒューマンインタフェース技術、センサー情報を適切に公開したりアクセス制御するための柔軟なセキュリティ技術を確立し、情報化社会を支える次世代のシステムとソフトウェアの創成のための情報技術の構築をめざす。

本年度は、このプロジェクトの三年目である。本年度の目標は、センサークラウドで構築すべきセンサー情報の処理技術とその技術を使った応用システムの構築にある。事例として、ハウス農園からセンサー情報を取得してクラウド上に蓄積し、ヒータ制御に利用するシステムの構築が行われた。また、センサー情報を利用者にフィードバックする研究として、嗅覚ディスプレイの開発と医療への応用を実施した。また、センサー情報の収集と制御のための電力線通信技術を開発した。また、無線端末の位置情報と端末間の通信状況から、災害時に緊急に必要な地図情報を生成するシステムの開発を行った。

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23年12月16日～12月17日

場所：東北大学電気通信研究所

A. 招待講演

「必要なときだけ目覚める無線通信ネットワーク技術～無駄な消費電力を削減～」小花貞夫（電通大）

B. 講演と報告

- (1) 「グローバル通信とローカル通信を用いたセンサネットワークング」塚本昌彦（神戸大）
- (2) 「ワイヤレス時代におけるデジタルコンテンツ」水野忠則（愛知工業大）
- (3) 「センサークラウドによる ITS 社会基盤の構築」東野輝夫（大阪大）
- (4) 「kHz 帯電力線通信システムの開発」佐藤文明（東邦大）
- (5) 「クラウド型遠方監視制御システムのハウス農園への適用実績」宮西洋太郎（宮城大）
- (6) 「M2M 技術交流とビジネス創生支援を目指した NPO 法人の活動」小泉寿男（電機大）
- (7) 「産学連携による高度 ICT 人材教育—九州大学の取組み—」福田 晃（九州大）
- (8) 「ICT による地域医療連携への試みと宮城県の第三次医療圏構想について」富樫 敦（宮城大）
- (9) 「香りディスプレイの医療への展開」岡田謙一（慶應大）
- (10) 「発想一貫支援システムの災害対策への適用」宗森 純（和歌山大）
- (11) 「災害コミュニケーション（ディザスターコミュニケーション）」村山優子（岩手県立大）
- (12) 「グリーン指向ネバー・ダイ・情報通信基盤」白鳥則郎（東北大）
- (13) 「DTN(Delay Tolerant Network)の応用」高橋修（はこだて未来大）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

(i) クラウド型遠方監視制御システムの開発

従来の遠方監視制御システムは、高価で設置が大変であり、センターでの監視に限定されているものがほとんどであった。本研究システムは、アドホックな監視ニーズに対応した、小型、安価、そして汎用的な監視制御システムである。世界中のいかなる場所の監視制御対象も、世界中のどこからでも監視制御できる。また、クラウド側にデータのロギングが可能であり、サーバを用意する必要が無く、信頼性も高い点が特徴である。このシステムでは、留守宅の監視、別荘監視、老人見守り監視、室温監視、農場監視などへの応用を対象としている。1つのアプリケーションで、10000 台の監視ノードを接続することができる。

このシステムを長野県青木村ハウス農園のヒータ制御に利用した。温度、湿度、電流センサーを1分毎に計測する。1ヶ月の運用実験中、システムに起

因するデータロスは一度も発生せず、高信頼性を持つことが示された。

(ii) 嗅覚ディスプレイの医療への応用

センシングした情報の提示装置の一つとして、嗅覚ディスプレイを開発し、医療分野への応用として嗅覚能力の測定方法を開発した。従来の嗅覚能力測定法は、装置の扱いが面倒で円滑に測定できなかつたり、鼻が悪いかどうかの2値化しかできなかった。

この研究では、嗅覚ディスプレイを使い、微少時間の香り提示を行って嗅覚能力を測定する新しい手法を提案した。嗅覚ディスプレイのパルス射出に対する嗅覚特性を利用して、簡単な手順と準備で測定を行うことができ、誰でも円滑に測定できること、精密な嗅覚が測定できることが特徴である。

この測定方法では、使用香料をイソアミルアセート（バナナ臭）、嗅覚能力を25段階（単位時間射出量）に分類、3点比較法と上下法によって検知閾値を算出する。69人の被験者による実験により、被験者の個人内変動よりも被験者間のバラツキのほうが大きい値として測定され、個人内での分散も小さく、検査手法としての優秀性が確認された。また、様々な年代に対しても精密な測定ができることがわかった。

(iii) 家電ノイズに強いkHz帯PLCの開発

電力線通信 (PLC : Power Line Communication) は、無線通信では通信しにくい場所の通信ができることや、有線のため物理的なセキュリティの管理がしやすいなどの性質がある。家電の消費電力や、太陽光パネルで発電されている電力を監視したり、制御するための通信方式として注目されている。

この研究では、電磁波の漏洩に関する規制がないkHz帯のPLCを開発している。数10kHzから400kHz程度の周波数帯を利用する。この帯域は、家電のノイズが非常に大きな問題となる。それに対して、従来のOFDMなどの方式では、ノイズが影響しない帯域を検出しようとするが、ノイズの状況は時々刻々と変化しており、ノイズが影響しないチャンネルを見つけることは困難である。提案方式では、ブライント等化方式によって、通信路の特性を動的に推定しながら適切な等化を実施し、時間やタイミングをずらした多重送信によって電波の通りが良い時間帯を選択して送信するアルゴリズムを開発した。

既存のOFDM方式に基づく先行メーカのkHz帯PLCシステムに比べて、信号減衰率で10dB以上低い状態でもデータ通信ができることを確認した。

(iv) 災害復旧のための無線通信システムの開発

災害復旧のための無線通信システムとして、無線端末を用いた電子トリアージシステムの開発が一昨年度から行われてきた。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．昨年度の研究成果としては，電子トリアージ用のシミュレータの開発とそれを用いた訓練の実施が行われてきた．

今年度は，無線端末を用いた災害現場の地図情報の生成技術の開発が行われた．災害現場は建物が倒壊するなどして，緊急に通行できるかどうかの地図情報が必要になることがある．この研究では，無線端末の位置情報と，端末間の無線通信の状況を基に，障害物（建物）の有無を判断して地図情報を生成するもので，短い時間で精度の良い地図を生成できることが実験により示された．

（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2009年度より設立され，白鳥，東野，岡田，水野，宗森らによる国際会議 IWIN(International Workshop on INformatics)2011 をイタリアの Ca' Foscari 大学（ベニス）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センサーネットワークやクラウド，センサー情報の提示方法やセキュリティに関する研究成果が報告された．また，この国際会議をもとにした論文誌 International Journal of Informatics Society が発刊された．

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る．また，センサー情報のようなリアルタイムで生成される情報の蓄積，管理，検索や通信に関する研究成果は，センサー以外の情報に対して応用していくことも可能である．現在，この成果を応用した，様々なデータ（コンテンツ）に対するコンピューティング技術を研究する「コンテンツ指向コンピューティング」の研究グループが形成され，特定領域研究をはじめ各種のファンドへの応募が行われる予定である．

〔4〕成果資料

- (1) 大野森太郎，原田利宣，宗森 純：“動詞”の情報量分析に基づくピクトグラムデザイン支援システム，デザイン学研究，Vol. 58, No. 2, pp. 55-64 (2011)．
- (2) S. Toyoda and F. Sato：“Energy-Effective Clustering Algorithm Based on Adjacent Nodes and Residual Electric Power in Wireless Sensor Networks”，The Eighth International Workshop on Heterogeneous Wireless Networks (HWISE 2012)．
- (3) Teruo Higashino：“eTriage: A Wireless Communication Service Platform for Advanced Rescue Operations”，Proceedings of the 2011 ACM International Workshop on Internet of Things

and Service Platforms (IoTSP 2011), pp. 1-5 (Dec. 2011). (Keynote Speech)

- (4) Sae Fujii, Akira Uchiyama, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino：“Trajectory Estimation Algorithm for Mobile Nodes using Encounter Information and Geographical Information”，Pervasive and Mobile Computing (to appear)．
- (5) 大木浩武，峰野博史，森信一郎，水野忠則：携帯端末に搭載された方位センサを用いた周辺機器選択手法の検討，情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム，Vol. 1, No. 1, pp. 22-27 (2011. 12)．
- (6) Kei Homma, Satoru Izumi, Kaoru Takahashi, Atsushi Togashi: Modeling, Verification and Testing of Web Applications Using Model Checker. IEICE Transactions 94-D(5): 989-999 (2011)
- (7) 北上真二，金子洋介，安田晃久，峯村治実，小泉寿男：複数異種サービスへの機器接続を可能とする M2M システムのプロキシ通信方式と実装，電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)，2012年3月号掲載予定
- (8) Ming Li, Shigeaki Tagashira, Yutaka Arakawa, and Akira Fukuda: A Channel Assignment Method for Positioning Systems in Wireless Mesh Network, Proc. the 2012 International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT 2012), 2012. 1.
- (9) Tomoya Enokido, Ailixier Aikebaier, and Makoto Takizawa, Process Allocation Algorithms for Saving Power Consumption in Peer-to-Peer Systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics (TIE), Vol. 58, No. 6, June 2011, pp. 2097-2105.
- (10) Noriki Uchida, Kazuo Takahata, Yoshitaka Shibata: Network Relief Activity with Cognitive Wireless Network for Large Scale Disaster, The Fourth International Workshop on Disaster and Emergency Information, Network Systems, (IWDENS2012), Mar. 2012. will be presented.
- (11) 宮西洋太郎：クラウドコンピューティングによる遠方監視制御システムの試作，FIT2011, R0-013(査読付) (2011)．
- (12) Norio SHIRATORI, Kenji SUGAWARA, Yusuke MANABE, Shigeru FUJITA, Basabi CHAKRABORTY：“Symbiotic Computing Based Approach Towards Reducing User's Barden Due to Information Explosion,” Journal of Information Processing, Vol. 20, No. 1, pp. 37-44 (2012)

採択番号 H22/A01

グラフェンを利用したテラヘルツ帯 光電子デバイスに関する研究

[1] 組織

代表者：RYZHII Victor
(会津大学コンピュータ理工学部)
対応者：尾辻 泰一
(東北大学電気通信研究所)
分担者：
RYZHII Maxim
(会津大学コンピュータ理工学部)
RYABOVA Nadezhda
(会津大学コンピュータ理工学部)

研究費：消耗品費 30 万円，旅費 35 万円

[2] 研究経過

光波と電波の融合するテラヘルツ帯は、最後の未開拓領域であり、超高速無線LANや、光通信と無線通信のシームレスなリンクなど、ICT技術の飛躍的な向上につながる大きな可能性を秘めている。そのような背景の下で、テラヘルツ帯デバイスの研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトは、未開拓テラヘルツ帯の電気通信への応用を目的として、グラフェンを利用したテラヘルツ帯電子・光電子デバイスの創出を目的として研究を行なう。具体的には、グラフェン、グラフェンナノリボン、多層エピタキシャルグラフェン、電気制御 p-i-n 接合などの構造における物理現象のモデリング、理論解析、数値解析を行ない、テラヘルツ帯で動作する新型デバイス構造の提案、そして新型素子の設計試作へと発展させる。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、グラフェンにおけるゼロバンドギャップ・線形エネルギー分散などの特異性を活用した電子・光電子デバイスに関する研究を展開した。具体的には、グラフェンナノリボンにおけるプラズモン分散の解明、電気制御型グラフェン pin 接合を利用したトンネル走行時間ダイオードの提案ならびに性能の理論的評価、スロットライン・絶縁体導波路組み込み型の多層グラフェン・テラヘルツレーザーの提

案ならびに性能の理論的評価、単層ならびに多層グラフェンを利用したバンド間遷移型テラヘルツ/赤外光検出器の提案ならびに性能の理論的評価を行なった。今年度は、前年度に構築されたモデルおよび提案された素子構造をさらに発展させ、グラフェン電子・光電子デバイスに関する研究を展開した。具体的には、多層グラフェン/グラフェンナノリボン pin 接合を利用したテラヘルツ/赤外光検出器の理論的な性能評価を行なった。また、グラフェン内の電子-ホールパドルの存在によるトンネル再結合を予測しその定量的評価を行なった。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- ・研究討論会（平成23年10月12日～13日）
RYZHII Victor, RYZHII Maxim, RYABOVA Nadezhda が通研に來所し、研究進捗状況の報告、結果についての議論、対外発表戦略についての議論を行なった。
- ・研究討論会（平成24年3月9日～10日）
RYZHII Victor, RYZHII Maxim, RYABOVA Nadezhda が通研に來所し、研究進捗状況の報告、結果についての議論、対外発表戦略についての議論を行なった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、前年度に構築されたモデルを応用し、単層グラフェンナリボン(GNR)、二層グラフェン(GBL)、多層グラフェン(MGL)を用いた p-in フォトダイオードのテラヘルツ/赤外光検出性能を解析した (図1-3)。

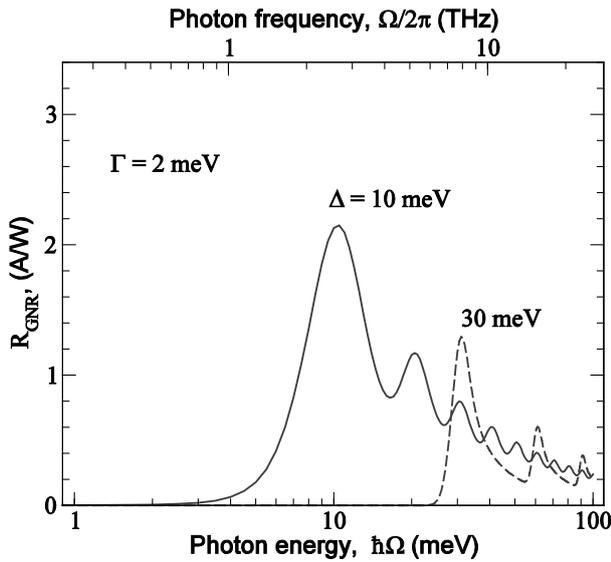


図1. GNR p-in フォトダイオードの光検出感度の周波数依存性 (Δ はバンドギャップ)。

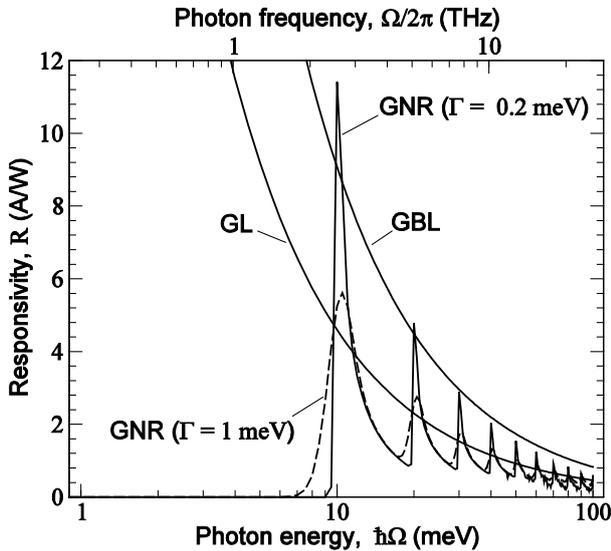


図2. 単層グラフェン(GR)、GNR、GBL p-in フォトダイオードの光検出感度の比較。

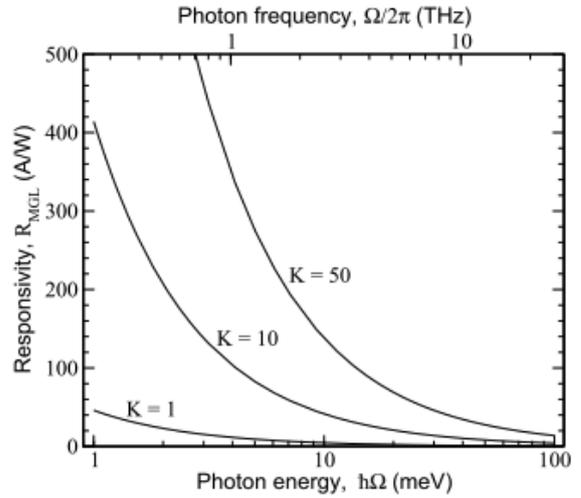


図3. MGLにおける光検出感度の周波数依存性 (Kはグラフェン層数)。

第2に、電子-ホールパドルが存在するグラフェンにおける、光励起キャリアのバンド間トンネリングによる再結合の存在を予測し、定量的な評価を行った。解析の結果、MGLにおいてはトンネル再結合が抑止され、一方でGRにおいては再結合寿命が比較的短いことを示した。また、光励起キャリア密度が大きくない場合、トンネル再結合は光学フォノンによる再結合よりも支配的になることを明らかにした (図4)。

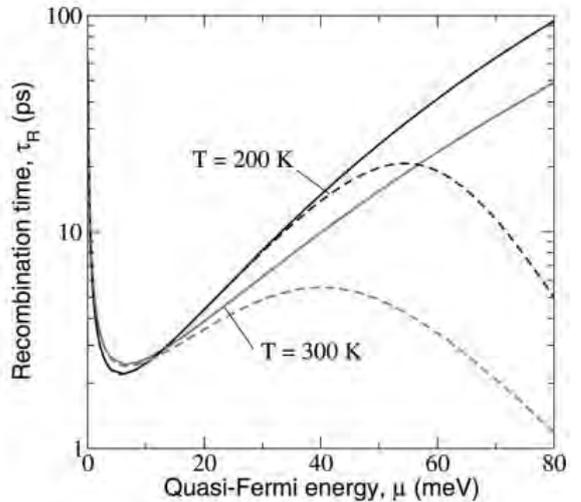


図4. GRにおける再結合寿命 (実線はトンネル再結合のみ、点線はトンネル再結合と光学フォノン再結合)。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトによる交流がもととなって提案されたグラフェン・テラヘルツレーザーの研究は、日本学術振興会特別推進研究に発展した。

[4] 成果資料

[1] V. Ryzhii, N. Ryabova, M. Ryzhii, N. V. Baryshnikov, V. E. Karasik, V. Mitin, and T. Otsuji, “Terahertz and infrared photodetectors based on multiple graphene layer and nanoribbon structures,” *Optoelectronics Review* **20**, 15-25 (2012).

[2] V. Ryzhii, N. Ryabova, M. Ryzhii, V. Mitin, and T. Otsuji, “Concepts of terahertz and infrared photodiodes and phototransistors based on graphene structures,” –submitted for publication (Ed. T. Otsuji).

[3] V. Ryzhii, M. Ryzhii, and T. Otsuji, “Tunneling recombination in optically pumped graphene with electron-hole puddles,” *Appl. Phys. Lett.* **99**, 173504 (2011).

採択番号 H22/A02

ゲルマニウム系量子ドットの形成および価電子制御と ナノスケール機能メモリ応用

[1] 組織

代表者：宮崎 誠一

(名古屋大学大学院工学研究科)

対応者：室田 淳一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

牧原 克典

(名古屋大学大学院工学研究科)

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 万円，旅費 33 万 5 千円

[2] 研究経過

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

本共同プロジェクト研究では、シリコン系 MOS デバイスの機能レベルでの進化を目的として、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、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 系高移動度チャネルに適合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 2 年度であった。前年度は、高移動度 SiGe チャネルに適合する Ge 系量子ドットの形成技術確立に注力し研究に取り組んだ。

本年度は、シリコン系 MOS デバイスの機能レベルでの進化を目的として、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、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 系高移動度チャネルに適合した電荷蓄積ポテンシャル井戸を実現し得る Ge 系量子ドットの帯電状態評価に取り組み、その有効性を検証した。

以下、研究活動の状況の概要を記す。

本共同プロジェクト研究を推進するために、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、本プロジェクト対応者の室田淳一教授が中心的に組織・運営されている 2 つの国際会議 6th Int. SiGe Technology and Device Meeting (June 4-6, Berkeley, USA) および ECS:5th SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symp. (Oct. 7-12, Honolulu, USA) に参画し、情報交換を通じて関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

[3] 成果

本年度は、極薄 Si 熱酸化膜上に形成した Ge 量子ドット(面密度： $\sim 2 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ 、平均高さ： $\sim 4.0 \text{nm}$ [図 1])への電子注入および放出を AFM/ケルビンプローブによる表面電位計測により定量評価した。

図 2 に極薄 SiO_2 上に形成した Ge 量子ドットの表面電位像を示す。電圧印加前の表面は一律な電位で

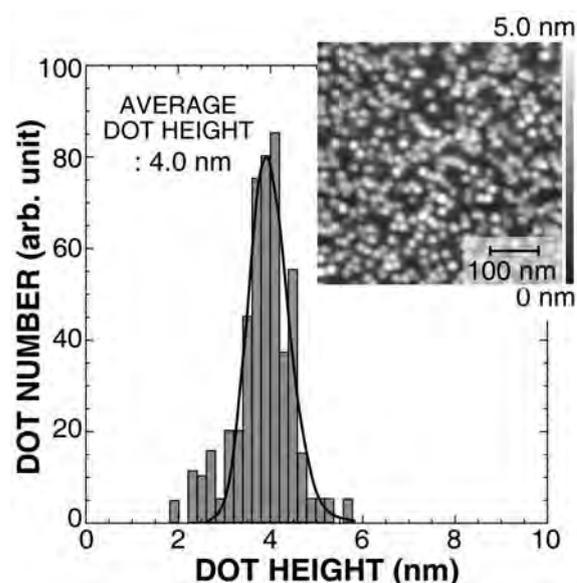


Fig. 1 AFM image of sample surfaces taken after GeH_4 -LPCVD assisted with remote H_2 plasma exposure at a VHF power of 100W and distribution of Ge-QD height obtained by AFM image. Solid line denotes log-normal function well-fitted to measured distribution.

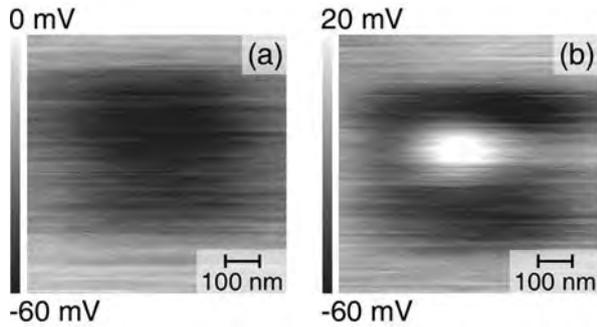


Fig. 2 Surface potential images measured by Kelvin probe mode. Surface potential images were taken just after electron charging at tip bias of -1.0 V (a), and after electron discharging at tip bias of $+1.5$ V from central part of electron pre-charged area (b). Areas of pre-charging and discharging in central part were 500×500 and 100×100 nm^2 , respectively.

あるが、 $500 \times 500 \text{nm}^2$ の領域を -1.0V 印加した導電性探針で掃引した後においては、電圧印加領域に対応した領域のみに負帯電が認められる。これは、Rh探針からGe量子ドットへ電子が注入・保持されている結果で解釈できる。その後、電子注入領域に逆バイアス $+1.5\text{V}$ 印加した結果、ドットから探針に電子が放出されたことに起因した正帯電が認められた。これらの結果は、高密度形成したGe量子ドットがメモリノードとして機能することを示している。個々のGe量子ドットにおける帯電状態を定量評価するため、電圧印加後の表面電位変化量を印加電圧の関数としてまとめた結果を図3に示す。図中には、同程度の高さのSi量子ドットの場合の結果も示している。いずれの場合も離散的なエネルギー準位を反映した多段階的な電位変化が観測され、Ge量子ドットからの1個の電子放出・保持による正帯電及び負帯電はそれぞれTip電圧 1.3V 及び 0.5V で起こるのに対して、Si量子ドットでは電子放出による正帯電は 1.8V 、電子保持による負帯電は 0.6V で観測され、Ge量子ドットではSi量子ドットに比べ、単電子注入が起こるTip電圧は 0.5V 増大する。これらの結果は、TipのポテンシャルとGeおよびSi量子ドット/ $\text{SiO}_2/\text{n-Si}(100)$ スタック構造におけるエネルギーバンド構造の関係から理解できる。すなわち、Ge量子ドットでは、価電帯端がSiに比べ浅いため、低電圧印加で価電子が引き抜かれ、正電荷が顕在化する。一方、針探からの伝導電子注入・保持では、SiとGeの伝導帯端位置が同程度であることを反映して、同程度の印加電圧において負帯電が起こると考えられる。

これらの結果から、極薄絶縁膜上に形成したGe量子ドットは、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 系高移動度チャネルに適合した次世代のフローティングゲート材料として非常

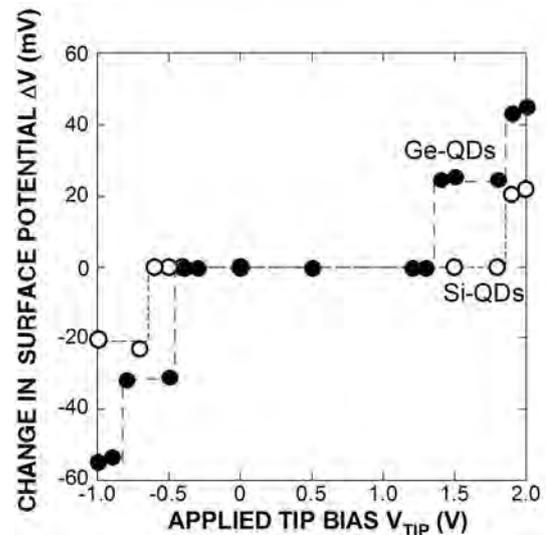


Fig. 3 Changes in surface potential caused by electron injection into and extraction from Ge-QDs and Si-QDs as a function of tip-bias voltage.

に有効であることを明らかにした。

[4] 成果資料

- (1) M. Ikeda, K. Makihara, A. Ohta and S. Miyazaki, "Formation of High Density Ge Quantum Dots and Their Electrical Properties", The 5th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (IC-PLANTS 2012), (Inuyama, Mar., 2012) P-63.
- (2) A. Ohta, K. Makihara, S. Miyazaki, M. Sakuraba and J. Murota, "X-ray Photoemission Study of $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{SiGe}$ Heterostructures on $\text{Si}(100)$ ", The 5th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (IC-PLANTS 2012), (Inuyama, Mar., 2012) P-67.

採択番号 H22/A03

電気磁気および磁気弾性効果の計算機物質設計と デバイス応用

[1] 組織

代表者：小田 竜樹

(金沢大学 理工研究域)

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)

鈴木 義茂 (大阪大学 大学院基礎工学研究科)

塩田 陽一 (大阪大学 大学院基礎工学研究科)

吉田 茂 (大阪大学 大学院基礎工学研究科)

野崎 隆行 (産業技術総合研究所
ナノスピントロニクス研究センター)

中村 浩次 (三重大学 大学院工学研究科)

今田 真 (立命館大学 理工学部)

木村 昭夫 (広島大学 大学院理学研究科)

沢田 正博 (広島大学
放射光科学研究センター)上野 哲朗 (広島大学
放射光科学研究センター)

喜多 浩之 (東京大学 大学院工学系研究科)

千葉 大地 (京都大学 化学研究所)

辻川 雅人 (東北大学 省エネルギー・
スピントロニクス集積化システムセンター)

研究費：物件費 22 万 6 千円，旅費 35 万 4 千円

[2] 研究経過

本プロジェクトでは、新規不揮発性メモリの開発に向けて、磁性体と誘電体を接合した薄膜において発現する電気磁気効果、および強磁性形状記憶合金において発現する磁気弾性効果を利用した要素技術の実現可能性を検討すると共に、性能向上に必要な材料・構造を理論設計することを目的として研究を行った。具体的には、1) 不揮発性スピンメモリにおける電界アシスト磁化反転を利用した書換え技術の確立、2) 磁場誘起マルテンサイト変態を示す新規強磁性記憶合金の開発を目標としている。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究項目 1) については、磁性薄膜表面・界面における結晶磁気異方性の電界効果に関する第一原理計

算を、三重大学、金沢大学、東北大学の各グループが行い、大阪大学および産業技術総合研究所グループが実験的に検証した。研究項目 2) については、東北学院大学グループが強磁性記憶合金の作製および基礎物性測定を行い、広島大学グループが光電子分光の測定を実施した。その結果を東北大学グループが第一原理計算により解析した。

平成 23 年 12 月 26 日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催し、各グループの研究成果について意見交換を行い、現状での問題点を明らかにすると共に今後の共同研究の方策を検討した。研究会における講演者と講演題目は以下のとおりである。

小田 竜樹 「磁性薄膜 Pd/Fe/Pd(001)の磁気異方性と電界効果の起源」

関 剛斎 (東北大学 金属材料研究所)
「FePt/MgO 接合における電圧印加保磁力変化および界面磁気異方性の検討」

鈴木 義茂 「3d 遷移金属/MgO 接合系における電界誘起磁気異方性制御の強磁性体、バッファ層依存性」

喜多 浩之 「酸化物/CoFeB スタックの磁気異方性の電界制御」

野崎 隆行 「電圧誘起磁気異方性変化を用いた磁化ダイナミック制御」

鹿又 武 「Mn₂YZ ホイスラー合金の磁気特性」

今田 真 「Ni 基ホイスラー合金の硬 X 線光電子分光」

沢田 正博 「放射光 XMCD 実験による垂直磁気異方性超薄膜の研究」

千葉 大地 「Co/Pt 超薄膜における磁性の電界制御」

松倉 文礼 (東北大学 電気通信研究所)
「キャリア誘起強磁性と電界効果」

[3] 成果

(3-1) 研究成果

次世代メモリとして有望な不揮発性スピンメモリは、微細化に伴う磁化の熱ゆらぎ耐性の向上と、磁化反転 (データ書換え) 消費電力低減という、相反する要求を満足させるための技術的課題に直面して

いる。そこで、この課題を克服する一つの方策として、電界による磁気異方性および磁化方向の制御技術の開発を目指した研究を進めており、本年度は、以下に示す研究成果を得た。

FeCo/MgO/Fe 接合に外部磁界を印加したときの抵抗の変化から、両電極の磁化の相対角度と極薄 FeCo 層の磁気異方性エネルギーを求めた。さらにそのバイアス電圧依存性から磁気異方性エネルギーの電界変調量を定量的に評価することに成功した。こうして得られた FeCo 層の電界変調量は、約 30 fJ/Vm と理論計算より小さめの値になった。今後、理論計算との詳細な比較検討が必要と思われる。

[塩田, 野崎, 鈴木: 成果資料 (1)]

また、FeCo/MgO/Fe 接合において、数百ピコ秒～数ナノ秒の短パルス電圧を印加して、磁化の一斉回転を誘起し、磁化反転の制御に成功した。逆方向のパルス電圧に対しては磁化反転は生じないので、電圧印加による界面磁気異方性の変調が重要な役目を果たしていると考えられる。磁化方向の双安定性を確保するために、素子に斜めの静磁界を加えているものの、磁化反転に要する消費電力は、従来のスピン偏極電流注入磁化反転に比べて、約 1/500 に低減される。将来の不揮発性スピンメモリのデータ書換え技術として、電圧印加磁化反転が有望であることを実証した重要な研究成果と云える。

[塩田, 野崎, 鈴木: 成果資料 (2)]

Pd/FePd/MgO 薄膜の磁気異方性とその電界効果に関する実験を行った。磁気 Kerr 効果測定により FePd 膜厚 9 原子層以上の素子において明瞭な保磁力が観察されており、FePd 膜厚の増加に伴って面内磁化から面直磁化へ移行することが確かめられた。単位面積当たりの磁気異方性エネルギーは FePd 膜厚に対して線形に増加し、FePd の磁気異方性エネルギー密度は $1.3 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ と見積もられる。一方、界面の磁気異方性は面内磁化容易型であるが、これは Pd/FePd 界面に由来するものと考えられる。Pd/FePd/MgO 薄膜の磁気異方性エネルギーは Au/Fe/MgO 薄膜と逆の電界効果を示し、電界変調率は最大で約 600 fJ/Vm に達した。

[塩田, 野崎, 鈴木: 成果資料(3)]

FePd 薄膜では FePt 薄膜に対して逆の磁気異方性電界変調が得られているが、第一原理計算においても逆の電界変調が理論的に予言されていた。理論計算において Pt/Fe/Pt 薄膜に比べ、Pd/Fe/Pd 薄膜はデバイスで印加可能な大きな電界において、面内

面直の磁気異方性転移を起こさせる可能性を有した材料であることが明らかとなりつつある。また、Pd/Fe/Pd 薄膜では数原子層の積層数等で磁気異方性を柔軟に可変可能であることを考慮すると、Pt/Fe/Pt 薄膜における大きな電界変調の特長と Pd/Fe/Pd 薄膜における柔軟性を活かした電界変調型磁性材料の開発が推進できる可能性があるものと考えられる。

[辻川, 小田]

GaAs 基板上に下地層を介してスパッタ製膜した Co 超薄膜に MgO キャップを付けて電界を印加し、異常ホール効果および磁化測定により磁気特性を観測した。その結果、Co 表面の電子密度を増大させる正のゲート電圧に対して保持力が増大することを見出した。また、アロットプロットを用いた詳細な解析により、 $\pm 10 \text{ V}$ のゲート電圧印加により強磁性転移温度は最大で 12 K 程度変化していることが分かった。この結果は Co 表面の電子密度の増減 (Co 原子当たり ± 0.012 電子) によるものと考えられる。

[千葉: 成果資料(4)]

強磁性金属/絶縁体界面における電子密度をより大きく変調させる手法として、電気二重層の利用が挙げられる。そこでイオン液体を染み込ませたポリマーフィルムを Co 薄膜試料上に張り付けて、電気二重層を形成した下で磁化測定を行った。その結果、電界効果型固体素子に比べて極めて、低い電圧で大きな強磁性転移温度の変調が得られた。

[千葉: 成果資料(5)]

磁気異方性の制御に必要な電圧を低減するために、膜厚 10 nm 程度まで薄膜化した MgO/Al₂O₃ 絶縁膜を用いて、CoFeB における磁気異方性の電界効果を、垂直磁界下の極 Kerr 測定により評価した。CoFeB を接地して、上部 Ru 電極に電圧を印加したところ、正電圧(+6 V)を印加すると飽和磁界が増大したのに対し、負電圧(-8 V)を印加することで垂直磁化への異方性の変化が実証できた。電圧に対する垂直磁気異方性の変化は理論予測と定性的に一致している。

また、高誘電率絶縁体 HfO₂ の有用性を検討するため、MgO(1 nm)/HfO₂(7 nm)/Al₂O₃(2 nm)絶縁膜を用いた。その結果、静電容量が 1.4 倍に増加したことを反映して、飽和磁界の印加電圧依存性が同じ比率で上昇した。すなわち、CoFeB と絶縁膜の界面に誘起された電荷密度の変化量が、磁気異方性エネルギー変調量を決定していると考えてよい。

[喜多]

(3-2) 波及効果と発展性

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。強磁性薄膜表面・界面における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期待されており、本プロジェクトの成果により知見が蓄積され、早期の実用化に向けた基盤が構築されつつある。一方、強磁性形状記憶合金は大変位アクチュエータとして有望な材料であり、本年度までの成果により新材料創製に向けた共同研究の基盤が整備された。

[4] 成果資料

- (1) Y. Shiota, S. Murakami, F. Bonell, T. Nozaki, T. Shinjo, and Y. Suzuki, “Quantitative evaluation of voltage-induced magnetic anisotropy change by magnetoresistance measurement,” *Appl. Phys. Express* **4**, 043005 (2011).
- (2) Y. Shiota, T. Nozaki, F. Bonell, S. Murakami, T. Shinjo, and Y. Suzuki, “Induction of coherent magnetization switching in a few atomic layers of FeCo using voltage pulses,” *Nature Mater.* **11**, 39 (2012).
- (3) F. Bonell, S. Murakami, Y. Shiota, T. Nozaki, T. Shinjo, and Y. Suzuki, “Large change in perpendicular magnetic anisotropy induced by an electric field in FePd ultrathin films,” *Appl. Phys. Lett.* **98**, 232510 (2011).
- (4) D. Chiba, S. Fukami, K. Shimamura, N. Ishiwata, K. Kobayashi, and T. Ono, “Electrical control of the ferromagnetic phase transition in cobalt at room temperature,” *Nature Mater.* **10**, 853 (2011).
- (5) K. Shimamura, D. Chiba, S. Ono, S. Fukami, N. Ishiwata, M. Kawaguchi, K. Kobayashi, and T. Ono, “Electrical control of Curie temperature in cobalt using an ionic liquid film,” *Appl. Phys. Lett.* **100**, 122402 (2012).

採択番号 H22/A04

InGaAs HEMT を用いたスイッチング動作型 電力増幅器高効率化の研究

[1] 組織

代表者：榎田 洋太郎

(東京理科大学理工学部)

対応者：末光 哲也

(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費20万3千円、旅費20万8千円
(予算)

[2] 研究経過

(1) 目的

近年、地球環境の温暖化を抑えるために、二酸化炭素排出量の低減が喫緊の課題となっている。中でも、通信は多くの電力を消費するため、その低消費電力化は等価二酸化炭素排出量の削減に大きく貢献する。その取り組みの一つとして、ワイヤレス通信のグリーン化の研究が盛んになりつつある。ワイヤレス通信の中で最も広く利用される移動体通信では、送受信機の電力の半分以上が電力増幅器で消費される。このため、電力増幅器の高電力効率化はワイヤレス通信における等価二酸化炭素排出量削減に大きく寄与する。本研究は、この電力増幅器の高電力効率化のために、チャンネル材料の移動度および飽和電子速度が高いため高速動作が可能でかつ低損失な、InGaAs 系 HEMT の利用を検討する。

一方、近年電力増幅器のトランジスタをスイッチング動作 (ON/OFF 動作) させることにより、線形増幅を行いつつ理論的に効率を 100%とすることができ電力増幅器の研究が精力的に行われている。しかし、完全なスイッチング動作をさせるためにはトランジスタを入力する方形波に完全に追従させることが必要となり、このためにトランジスタには信号周波数より一桁程度以上高い周波数で動作することが要求される。現状の電力増幅器に使用されている Si 系 MOSFET、GaAs 系 FET では基本周波数が 2~5GHz 帯の通信に多用される周波数帯に対しても電力増幅器としての 1 桁以上の速度的な余裕がないため、現状の線形増幅を要求されるスイッチング動作型電力増幅器の電力効率は 50%程度以下にとどまっている。さらに、将来、近距離大容量無線通信用に期待されている 60GHz 付近のミリ波帯では、従来のトランジスタではスイッチング動作させることさえ困難であるため、効率はさらに低下する。しかし、常温で最

も高速動作特性に優れたトランジスタである InGaAs 系 HEMT をスイッチング動作型電力増幅器に適用することにより、5GHz 以下の周波数帯では 50%を大幅に上回る電力効率が得られるものと期待される。また、ミリ波帯においてもスイッチング動作型電力増幅器を構成することが可能となるため、低い周波数帯と同様の高い電力効率が得られると期待できる。さらに、InGaAs 系 HEMT は材料の移動度が高いため抵抗が小さくなり、この点でも高効率電力増幅が期待できる。

(2) 概要

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。昨年度は、末光哲也准教授の開発した InGaAs HEMT プロセスに対し二層配線工程および抵抗・キャパシタ追加のための助言を行うとともに、集積回路設計に必要なレイアウト規則の作成を行った。また、スイッチング動作型送信機に関しては、提案する I-Q チャンネル交互出力直交アップコンバージョン型送信機を従来の包絡線パルス幅変調送信機と特性比較を行い、再現性の良いデジタル回路の利点を持つのみでなく、一部性能の低下はあるもの十分実用的な特性を持つことを示した。さらに、高電力効率特性を維持しつつスイッチング動作型送信機の課題である量子化雑音を低減できるトランスバーサルフィルタ型電力増幅器を提案し、その効果を計算機シミュレーションにより示した。一方、電力増幅器単体としては、代表的な RF 用スイッチング動作型電力増幅器である E 級増幅器の設計手法を CMOS プロセスの素子パラメータを用いて確立した。なお、InGaAs HEMT の高速性を生かすための送信機以外の回路応用の候補として、光デバイス的高速変調駆動回路、およびアナログ演算高速フーリエ変換器についても設計技術の蓄積を行った。

平成23年度は、InGaAs HEMT を用いたスイッチング動作型 (E 級) 電力増幅器の電力効率を、作製した大信号モデルを用いた回路シミュレーションにより評価し、60GHz においてドレイン効率 75%と高い結果を得た[成果資料(1)]。また、スイッチング動作型電力増幅器の構成法に関しては、高効率と線形性を両立する包絡線パルス幅変調方式にスイッチング電力増幅器を組み合わせた場合の電力効率および変調精度 (EVM) の回路シミュレーションによ

る評価を行い、良好な結果を得た[成果資料(2), (3)]。さらに、包絡線パルス幅変調送信機に比べ大きく電力効率が低下する I-Q チャンネル交互出力直交アップコンバージョン型送信機の欠点を改善するため、正負一ビット直交交互出力型送信機を提案し、包絡線パルス幅変調送信機の 82%の効率が得られることを示した[成果資料(4)]。また、トランスバーサルフィルタ型電力増幅器の特性を、電力増幅器として E 級増幅器を用いた場合について回路シミュレーションにより評価し、この増幅器は量子化雑音のみを低減することを示した [成果資料(5)]。一方、高出力電力化を実現する直列均等分圧回路の検討[成果資料(6)]、および大振幅回路の一応用としての可視光通信のための可視光 LED の高速駆動検討を行った [成果資料(7)]。これらと平行し、InGaAs HEMT の回路試作に向けた準備として、レイアウト設計環境の整備を進めた。

平成 24 年度は、これらの成果をもとに、InGaAs 系 HEMT を用いたスイッチング動作型電力増幅器の設計、試作を行う予定である。具体的には、今年度までに確立した E 級増幅器の設計法を適用して、末光准教授の下で InGaAs 系 HEMT 集積回路として試作を行うとともに、試作された回路を当研究室において評価する予定である。また、InGaAs 系 HEMT の高速性を活かすため、他の回路への適用についても検討を行う。

(4) 研究打合せの開催状況

本プロジェクト研究における平成 23 年度中の研究打合せの概要を下記に記す。

・第 1 回研究打合せ

日時：平成 23 年 8 月 5 日 (金) 13~17 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也 (東北大学准教授)、吉田智洋 (東北大学修士 2 年)、小林健悟 (東北大学学部 4 年)、榎田洋太郎 (東京理科大学教授)、岸俊樹 (東京理科大学修士 1 年)、藤岡翔太 (同左)

打合せ内容：

東京理科大学から、DC、S パラメータ測定から求めた InGaAs 系 HEMT の小信号等価回路について報告があった。また交差配線容量の回路性能への影響についての説明があった。

・第 2 回研究打合せ

日時：平成 23 年 11 月 11 日 (金) 13~17 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也 (東北大学准教授)、吉田智洋 (東北大学修士 2 年)、小林健悟 (東北大学学部 4 年)、榎田洋太郎 (東京理科大学教授)、岸俊樹 (東京理科大学修士 1 年)、藤岡翔太 (同左)、瀬川智子 (東京理科大学学部 4 年)、小山雅史 (同左)

打合せ内容：

電気通信研究所より、受動素子設計の進捗状況について説明があった。東京理科大学からは、InGaAs 系 HEMT IC 設計のための CAD 構築状況について説明が行われた。

・第 3 回研究打合せ

日時：平成 24 年 1 月 25 日 (水) 13~16 時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也 (東北大学准教授)、吉田智洋 (東北大学修士 2 年)、小林健悟 (東北大学学部 4 年)、榎田洋太郎 (東京理科大学教授)、小山雅史 (同左)

打合せ内容：

電気通信研究所より、MIM キャパシタの進捗状況について説明があった。東京理科大学からは、InGaAs 系 HEMT の小信号・大信号回路モデルの作成、およびこれらを用いて設計したスイッチング型電力増幅器の特性について報告が行われた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果が得られた。

第 1 に、InGaAs HEMT を用いたスイッチング動作型電力増幅器の電力効率を、作製した大信号モデルを用いた回路シミュレーションにより評価した[成果資料(1)]。まず、試作した InGaAs HEMT の S パラメータを測定し、これを元に小信号等価回路を作成した。さらに、I-V 特性の測定と合わせて、InGaAs HEMT の大信号等価回路を作成した。さらに、この大信号等価回路を用いてスイッチング動作型電力増幅器 (E 級増幅器) の回路シミュレーションを行った結果、60GHz においてドレイン効率 75% を得た。低い周波数ほど高効率を得ることが容易なことから、60GHz 以下では、InGaAs HEMT を用いることにより 75% 以上の高いドレイン効率が見通しである。

第 2 に、スイッチング動作型電力増幅器の構成法に関しては、高効率と線形性を両立する包絡線パルス幅変調方式に E 級増幅器を組み合わせた場合について、電力効率および変調精度 (EVM) の回路シミュレーションによる評価を行った [成果資料 (2), (3)]。その結果、E 級電力増幅器の出力信号に歪はあるものの、提案する歪補償により高い電力効率と良好な EVM が同時に得られることが示された。

第 3 に、包絡線パルス幅変調送信機に比べ大きく電力効率が低下することが判明した I-Q チャンネル交互出力直交アップコンバージョン型送信機の欠点を改善するため、正負一ビット直交交互出力型送信機を提案し、回路シミュレーションによる評価を行った。その結果、正負一ビット直交交互出力型送信機は、再現性の良いデジタル回路の利点を保持し

つつ、包絡線パルス幅変調送信機と比較し十分実用的な 82%の高効率を得られることを示した[成果資料(4)]。

第4に、中心周波数および帯域幅を広帯域に可変することが可能な特徴を持つトランスバーサルフィルタ型電力増幅器の特性を、電力増幅器として E 級増幅器を用いた場合について回路シミュレーションにより評価した。その結果、この増幅器は信号をほとんど減衰させず、量子化雑音のみを低減することを示した [成果資料(5)]。これにより、出力における量子化雑音の抑圧が不十分となり、他の通信に干渉を与えやすいスイッチング動作型電力増幅器の欠点を改善できる見通しを得た。

以上の成果に加えて、電力増幅器の電圧振幅の拡大による高出力電力化を可能とする直列均等分圧回路の基板バイアス効果補正法を提案するとともに [成果資料(6)]、大振幅回路の一応用として、可視光通信のための可視光 LED の高速駆動回路の集積回路化を行った[成果資料(7)]。これらと平行し、InGaAs HEMT の回路試作に向けた準備として、InGaAs 系 HEMT プロセスの層構成の設計用 CAD への実装等、レイアウト設計環境の整備を進めた。

(3-2) 波及効果と発展性など

波及効果については、スイッチング動作型電力増幅器を InGaAs 系 HEMT プロセスを用いて作製することにより、マイクロ波帯で電力効率が 50%を大幅に上回ることが期待される。具体的には、5GHz 帯で効率 70%以上の線形増幅の実現を目標とする。これにより、移動体通信における電力消費を大幅に低減することが期待できる。また、60GHz 付近のミリ波帯近距離大容量無線通信においても、高効率なスイッチング動作型電力増幅器を構成することにより、電力効率の大幅な向上が期待できる。これらにより、ワイヤレス通信のグリーン化に貢献するとともに、等価二酸化炭素排出量の削減に寄与する。

一方、本プロジェクト研究では InGaAs 系 HEMT の集積回路試作に必要な製造プロセスの開発、および設計 CAD システムの構築を行っており、これらの作業は、現在、東北大学電気通信研究所と東京理科大学工学部の間で行われている。これらが完成し、InGaAs 系 HEMT を用いた集積回路の試作の環境が整えば、多くの研究機関の回路設計研究者に本集積回路プロセスを用いた回路試作の希望を募り、本プロセスを用いた超高速、高効率回路の研究を大きく展開することができると考えている。さらに、本研究の当面の目標は電力増幅器の高効率化であるが、一度試作プロセスと設計用 CAD システムが完成すれば、さらに InGaAs 系 HEMT の超高速性を生かしたテラヘルツ領域で動作する電子回路の研究

を開始することができる。これにより、近い将来この方面でも本プロジェクトが多くの研究者を引き付け、これまであまり例のないテラヘルツ領域での電子回路応用という新たな研究領域を開拓できると期待している。

[4] 成果資料

(1) 小山雅史, “InGaAs HEMT を用いた高効率スイッチング動作型電力増幅器の設計,” 平成 23 年度共同プロジェクト研究発表会 (江陽グランドホテル, 宮城県仙台市), 2012 年 3 月 (ポスター発表)。

(2) 藤岡翔太, 榎田洋太郎, 田久 修, “直交振幅変調信号を包絡線パルス幅変調した時の E 級電力増幅器の歪補償,” 信学技報, vol. 111, no. 374, MW2011-149, pp. 41-46, 電子情報通信学会 マイクロ波研究会 (MW) (機械振興会館, 東京都港区), 2012 年 1 月 (謝辞の記載有り)。

(3) 藤岡翔太, 榎田洋太郎, 田久 修, “直交振幅変調信号を包絡線パルス幅変調した時の E 級電力増幅器の 3 段階歪補償,” 電子情報通信学会 2012 年総合大会 (岡山大学津島キャンパス, 岡山県岡山市), C-2-23, 2012 年 3 月 (謝辞の記載有り)。

(4) 和泉宏典, 小島通彰, 榎田洋太郎, 田久 修, “包絡線パルス幅変調送信機と正負一ビット直交交互出力型送信機の特性比較,” 信学技報, vol. 111, no. 451, RCS2011-375, pp. 353-359, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 (RCS) (横須賀リサーチパーク (YRP), 神奈川県横須賀市), 2012 年 3 月 (謝辞の記載有り)。

(5) 小島通彰, 和泉宏典, 榎田洋太郎, 田久 修, “スイッチング動作型送信機の応用へ向けたトランスバーサルフィルタ型電力増幅器の検討,” 信学技報, vol. 111, no. 451, RCS2011-374, pp. 347-352, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 (RCS), (横須賀リサーチパーク (YRP), 神奈川県横須賀市) 2012 年 3 月 (謝辞の記載有り)。

(6) 岸俊樹, 田中拓行, 榎田洋太郎, “分圧モニターを用いた直列均等分圧回路の分圧不均等の補正,” 信学技報, vol. 111, no. 242, CAS2011-55, pp. 129-134, 電子情報通信学会 回路とシステム研究会 (静岡大学工学部浜松キャンパス, 静岡県浜松市), 2011 年 10 月 (謝辞の記載有り)。

(7) 岸俊樹, 榎田洋太郎, “CMOS インバータを用いた残留キャリア引き抜きによる可視光通信用 LED 高速駆動の検討,” 信学技報, vol. 111, no. 151, ICD2011-38, pp. 137-142, 電子情報通信学会集積回路研究会 (広島工業大学, 広島県広島市), 2011 年 7 月 (謝辞の記載有り)。

採択番号 H22/A05

電子トンネリングを利用した広帯域の光発生と検出

[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 6 千円，旅費 20 万 5 千円

[2] 研究経過

本研究の目的は、電子トンネルの非弾性トンネリング励起発光と光と電子トンネリングの相互作用を利用した光検出の研究を行い、新奇なナノ情報デバイスへの展開を図ることにある。

電子トンネリングを活用した発光素子は30年以上も前の1970年代から80年代にかけて金属-酸化膜金属(M-I-M)構造を持つ平面接合で活発に研究された。この発光機構の最大の特長は発光周波数がバイアス電圧で決まる点にある。バイアス電圧値の制御により、長波からミリ波、可視、そして紫外までの任意の波長域の光を発生させることができる。この特性を活かし、例えば白色光源を目指した研究が活発になされたが、実用化には至らなかった。これは、発光効率が高くできなかったのが主たる原因である。

1980代に入り、走査型トンネル顕微鏡(STM)が發明された。STMもM-I-M構造を有するので同様に発光するが、M-I-Mと大きく異なったのは発光効率である。STMの動作電流はM-I-M接合のその約6桁小さいにも拘わらず、同程度の発光強度が得られる。すなわち、STMの構造をとることにより、発光効率が劇的に改善される(STMのアンテナ効果)。最近の研究により、効率向上の物理的要因がよく理解されるようになり、エンジニアリング的に発

光強度を向上させる最適設計も可能になったと考えている。

また、光が電子トンネリングに与える効果(たとえば、光起電力、光整流、光誘起トンネリング等)も古くから知られた現象であるが、これらの効果を検出するためには「多数の光子」が必要であった。STMの探針-試料構造は強い光増強効果をもたらすことが知られており、STM構造を有する検出素子を最適設計することにより、微弱光検出への応用も可能になると考えている。

以上の様な背景のもとに、本共同プロジェクト研究を企画した。電子トンネルにより励起される発光は周波数帯によらず一種の双極子放射と考えられている。この観点から、従来から研究されている可視域と本プロジェクト研究で対象とするテラヘルツ域での電子トンネル発光を比較すると次のようになる。電子トンネルによる双極子の励起は、バイアス電圧

を V_0 、光子エネルギーを $\hbar\omega$ とすると、 $\hbar\omega \leq eV_0$ を満たす領域でなされる(ここで、 e は素電荷)。さらに、従来の電子トンネル・ギャップの配置では、そのスペクトルは長波長(低振動数)側に向かって線形に増大するので本研究目的にとって障害とはならないが、目的とする波長域に励起が集中されることがより好ましい。一方、双極子からの電磁波の放射効率は周波数の4乗に比例する。従って、本研究プロジェクトの最も重要な点は、双極子の生成効率を劇的に向上させ、可視からテラヘルツ領域に移った際の際の双極子放射の効率低下をいかに補うかにある。平成22年度に行った電子トンネル発光の誘電関数理論による解析から、表面フォノン・ポラリトンを介した電子トンネル発光により該当周波数領域で高い(双極子の)生成効率が達成されることがわかっていった。以上から本プロジェクト研究の課題は、(1)強い表面フォノン・ポラリトン放射を示す材料の探索、(2)電磁波放射効率向上のための最適アンテナ設計、(3)目的とする周波数領域のみに双極子を励起する電子トンネリング制御と整理された。

課題(1)に関してはGaAsの表面フォノン・ポラリトンを介した発光が検出可能なレベルに到達していることが理論解析より示唆され、電気通信研究所

で実証実験を行うべくテラヘルツ光の計測系の準備を進めた。また、別の実験の結果から、カルコゲン合金も有力な材料であると期待される。一般に、表面フォノン・ポラリトンは同じ周波数の光よりも大きい波数を有する。すなわち、表面フォノン・ポラリトンとテラヘルツ光の間には波数不整合が存在し、表面フォノン・ポラリトンは平滑な表面上では非発光性である。従って、光との結合（すなわち放射）効率向上のためには、波数不整合の解消が必須であり、このために有効な手段の一つは放射源をナノ構造化することである。産業技術総合研究所で作製されたナノ・サイズのカルコゲン合金の形状や電気特性を電気通信研究所に設備されている走査プローブ顕微鏡で計測した。

課題（2）のアンテナには2つの相反する要求がある。一つは、すでに述べたように表面フォノン・ポラリトンと光の波数不整合解消にはナノ・サイズのアンテナが適切である。一方、電磁気学的な意味で有効なアンテナであるためには放射波長が基準となるサイズを有するべきである。このような相反する要求を満たすと期待されるアンテナ構造の電磁気学的特性を明らかにすることを目的として、新しい理論構築を稲岡氏と行ってきた。

課題（3）の実現のためには、電子トンネル特性に影響を与える表面電子状態密度を制御する必要がある。佐野氏は第一原理に基づく表面状態密度計算を専門としており、固体表面の電子状態の理論計算の観点から共同研究を行って来た。本年度は、従来から行って来た Ni(110)表面に吸着した O 原子が表面誘電関数に及ぼす影響についての論文の作成を行った。

[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 23 年度に得られた成果の概略を以下に記す。

課題（1）の GaAs 発光実験に関しては、桑原氏と共同でテラヘルツ光計測系の準備作業を行い、ほぼ完了した段階である。発光計測の結果はまだ得られていない。図 1 はスパッター法により作成されたカルコゲン合金のプローブ顕微鏡像である。数 nm から数 10nm に分布する微粒子が形成されていることがわかる。効率的な波数不整合解消のためには数 nm サイズのナノ粒子を選択的に作成できる必要がある。

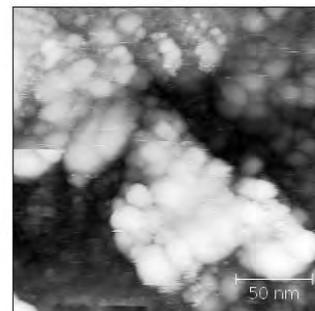


図1 スパッター法により作成されたカルコゲン合金のプローブ顕微鏡像。ナノ粒子が形成されていることが判る。

課題（2）に関しては、分子振動（あるいはフォノン）と放射光の結合に関する研究を集中的に行った。従来の共同プロジェクト研究から、STMの探針直下に置かれた分子の振動と電子トンネル発光の結合機構はわかって来ている。しかし、理論的に予測された結合強度は、実験結果から期待される値よりも極めて小さいものであった。分子と電子トンネルの様々な配置について結合強度を計算した結果、探針から分子への電子トンネルが発光を励起すると考えると、結合強度が劇的に向上することを見いだした（図2）。

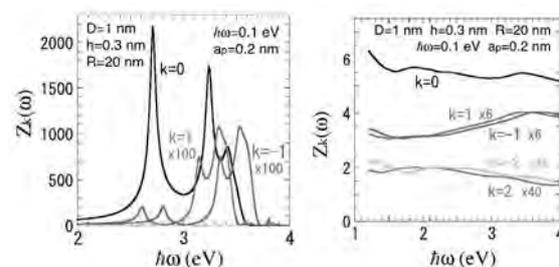


図2 黒の実線が振動と結合しない場合の発光スペクトルで、赤と青の実線がストークス側と反ストークス側に結合した発光スペクトルである。縦軸の $Z_k(\omega)$ は STM 発光スペクトルの振幅である。左図：探針から基板への電子トンネルにより発光が励起させる場合の STM 発光スペクトル（試料、探針は共に Ag）である。結合強度（黒と赤もしくは青の実線の強度比）が 1% 以下と極めて小さい。右図：探針から（探針-試料間に位置する）分子への電子トンネルにより発光が励起されると仮定した場合の結果。結合強度が 10% 以上に改善されることがわかる。

(3-2) 波及効果と発展性など

課題(1)の研究に関しては、従来よりも発光効率が改善されたテラヘルツ光源が提供される波及効果と発展性を期待している。課題(2)の成果は、光で励起された振動を可視光として検出できる可能性を示唆している。可視域では高感度・低雑音計測技術が確立されており、光を光子一つ、二つとして計測することも可能であり、テラヘルツ領域と比べて格段の高感度計測が可能である。従って、テラヘルツ光で励起された振動を可視光として検出できれば、従来要理も格段に感度の高いテラヘルツ検出器の実現が期待される。

[4] 成果資料

3編の論文が本共同プロジェクト研究関連成果として準備中であるが、平成23年度内には出版には至っていない。

採択番号 H22/A06

負のスピントロニクスデバイスを用いた スピントロニクスデバイスの研究

[1] 組織

代表者：角田 匡清
(東北大学大学院工学研究科)
 対応者：白井 正文
(東北大学電気通信研究所)
 分担者：
 佐久間昭正 (東北大学大学院工学研究科)
 浅野 秀文 (名古屋大学工学研究科)
 壬生 攻 (名古屋工業大学大学院工学研究科)
 末益 崇 (筑波大学数理物質科学研究科)
 古門 聡士 (静岡大学工学部)
 磯上 慎二 (福島工業高等専門学校)
 中村 哲也 (高輝度光科学研究センター)

研究費：物件費 22 万 6 千円，旅費 36 万 7 千円

[2] 研究経過

巨大磁気抵抗 (GMR) 効果およびトンネル磁気抵抗 (TMR) 効果を示すスピントロニクス型強磁性金属積層膜が、ハードディスク再生ヘッドならびに磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM, Spin-RAM) 等のスピントロニクスデバイス応用されている。実用化されているスピントロニクス型積層膜の強磁性材料は、通常、多数スピントロニクス電子が伝導を担う“正のスピントロニクス”を持つ。これに対して、少数スピントロニクス電子が伝導を担う“負のスピントロニクス”材料を用いることで、新奇なデバイス特性が期待される。研究代表者らは近年 γ - Fe_4N で理論予測された負のスピントロニクスを実験的に確認するとともに、その異方性磁気抵抗 (AMR) 効果に興味深い磁気的相転移現象が生じることを見出ししている。

そこで本研究では、 γ - Fe_4N の物性解明と同材料を用いたスピントロニクスデバイスの特性開発を行うこととした。具体的には、負のスピントロニクスを有する γ - Fe_4N 薄膜の高品質成膜ならびに同薄膜の磁気ならびに磁気輸送特性の評価を行った。また、高品質 γ - Fe_4N 薄膜と通常の正のスピントロニクスを有する 3d 遷移金属・合金 (Co-Fe, Ni-Fe など) 薄膜を強磁

性電極に用いたスピントロニクス型 TMR 積層膜を作製し、微細加工した同積層膜の磁気抵抗効果ならびにスピントロニクス効果による磁化反転特性について検討を行った。また、 γ - Fe_4N の類型窒化物薄膜材料の新規探索を行い、その磁気ならびに輸送特性について検討した。東北大学においてはスパッタ法による試料成膜と微細加工、ならびに窒化物材料の磁気特性の理論計算を行った。蒸着法による高品質薄膜成長 (筑波大)、分極評価 (名古屋大)、局所磁性観測 (名古屋工業大)、界面状態・電子状態評価 (SPring-8)、デバイス特性評価 (福島高専)、伝導理論研究 (静岡大) は各研究分担者の機関にて行った。さらに、研究分担者を一堂に会して下記の研究会を開催し、研究成果に関する討論を行い、これまでの研究知見・手法などの研究資源の整理と共有化を図った。

○第 2 回研究会 (非公開)

日時：平成 24 年 2 月 21 日 (火)

場所：東北大学電気通信研究所 2 号館 W214 セミナー室

プログラム：

『スパッタ法で作製した Mn_4N 薄膜の磁気特性と異方性磁気抵抗効果』

(東北大学工学研究科 角田匡清)

『MBE 法で作製した Co_4N 薄膜の磁気特性と異方性磁気抵抗効果』

(筑波大学応用理工学類 末益崇)

『 Fe_4N 薄膜の放射光メスバウアー分光』

(名古屋工業大学工学研究科 壬生攻)

『異方性磁気抵抗効果の理論的研究』

(静岡大学工学部 古門聡士)

『鉄窒化物電極トンネル磁気抵抗素子の伝導特性に関する理論計算』

(東北大学電気通信研究所 永田絵梨子)

『負のスピントロニクスを有する Fe_4N 薄膜の磁気緩和定数』

(福島工業高等専門学校 磯上慎二)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(a) Mn_4N 擬単結晶薄膜の異方性磁気抵抗効果

我々はこれまでに、 γ - Fe_4N 多結晶薄膜で負の異方性磁気抵抗 (AMR) 効果が観測されることを見出し、拡張した二流体モデルにより解析を行った結果、 Fe_4N 薄膜の負の AMR 効果は、理論予測された少数スピン伝導の証拠であることを示した。また、AMR 効果の温度依存性を測定した結果、50 K 以下の温度で Fe_4N 薄膜の AMR 変化率の大きさが急激に増大することも見出している。本年度の研究では、これまでの報告に引き続き、類型材料である Mn_4N 擬単結晶薄膜を作製し、その AMR 効果について検討を行った。スパッタ法により $MgO(100)$ 単結晶基板上に形成した 100 nm 厚の Mn_4N 擬単結晶薄膜をフォトリソグラフィーならびにイオンミリングの手法で $Mn_4N[100]$ ならびに $[110]$ 方位と平行になるようにストライプ状に加工した。室温~5K の各測定温度において、50 kOe の磁場印加下で、直流 4 端子法で電気抵抗率の磁場印加角度依存性 (以下 AMR 曲線) を測定した。

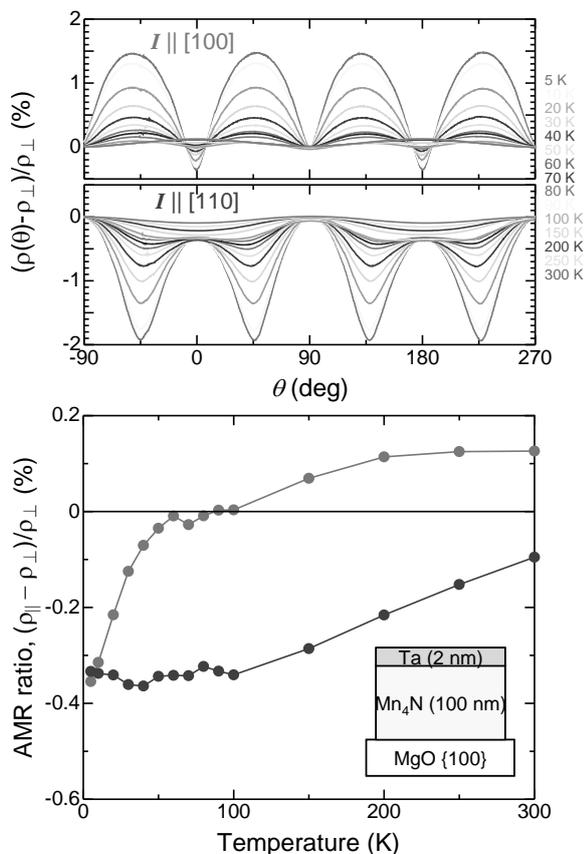


図1. 擬単結晶 Mn_4N 薄膜の異方性磁気抵抗効果抵抗の印加磁界角度依存性 (上段: 電流と磁界が平行な場合を $\theta=0$ としている) ならびに異方性磁気抵抗変化率の測定温度依存性 (下段)

図1に異方性磁気抵抗効果の測定結果を示す。低温における AMR 比は負の値を示している。 Mn_4N のバンド構造を見ると、フェルミ準位における 3d 軌道の状態密度は $D^{\uparrow}(E_F) > D^{\downarrow}(E_F)$ となっている。このことと、後述する AMR 効果の理論研究の帰結から、 Mn_4N 薄膜では、多数 (\uparrow) スピン電子が伝導を主に担っていることが示唆された。また、 Fe_4N 薄膜に比較して AMR 比の大きさは小さいが測定電流を $Mn_4N[100]$ 方向に流した場合には、50K 以下の温度で AMR 比の急激な増大が観測された。この変化は Fe_4N 薄膜の場合と同様であり、50K 以下の温度でスピン-軌道相互作用に関わる何らかの大きな変化が起きていることが示唆される。

AMR 曲線を詳しく見ると、100K 以下の温度では、電気抵抗の印加磁界角度 (θ) 依存性に、 $\cos 4\theta$ 成分が徐々に重畳してくることが判る。このような実験的知見から、低温における異方性磁気抵抗効果の変化は、結晶方位に対する磁気モーメントの向きによって Mn_4N の各 3d 軌道の占有状態が変化する結果として、フェルミ準位における各 3d 軌道の状態密度が変化し、s-d 散乱に影響を及ぼした結果であると現在考えている。

(b) 種々の強磁性体の異方性磁気抵抗効果の理論的研究

特定の強磁性体を対象として AMR 効果に関する従来の理論 (Campbell, Fert, Jaoul (CFJ 模型)、Malozemoff 模型) を拡張することで、種々の強磁性体の AMR 比の符号を説明できる理論を提案した。本理論の模型は、スピン偏極した伝導電子 (従来理論では考慮されなかった $\rho_{s\sigma}$ と $\rho_{s\sigma-d}$ を導入) と局在 d 電子から成り、d 電子はスピン軌道相互作用と交換分裂エネルギーを持つ。本理論に基づいて抵抗率と AMR 比の一般式を導出した結果、主要な s-d 散乱過程と AMR 比の正負の間の以下の関係を見出した。(以下では、 $s\sigma \rightarrow d\zeta$ は σ スピンの伝導電子が ζ スピンの d 状態内の σ スピン成分へ散乱される過程を表しており、この散乱において σ スピンは保存される。)

- 主要な s-d 散乱が $s\uparrow \rightarrow d\downarrow$ or $s\downarrow \rightarrow d\uparrow$ のとき、正の AMR 比を示す。これは $\lambda \mathbf{L} \cdot \mathbf{S}$ によって混ざった d 軌道(存在確率)の追加分(符号は+)が関係している。
- 主要な s-d 散乱が $s\uparrow \rightarrow d\uparrow$ or $s\downarrow \rightarrow d\downarrow$ のとき、負の AMR 比を示す。これは $\lambda \mathbf{L} \cdot \mathbf{S}$ によって他の d 軌道が混じり、もともとの d 軌道(存在確率)が減少したこと(符号は-)が関係している。

また、本理論を用いて、 $\rho_{s\downarrow} / \rho_{s\uparrow}$ を考慮に入れて

評価した AMR 比はそれぞれの実験結果とよく対応した。特に、ハーフメタリック強磁性体は負の AMR 比を示す傾向が見られ、また、実験で観測された Fe_3O_4 (ハーフメタリック強磁性体) の AMR 比の符号変化(負から正)を, up spin DOS($eg\uparrow$ の DOS) の増大を取り入れることで説明できることが判った。

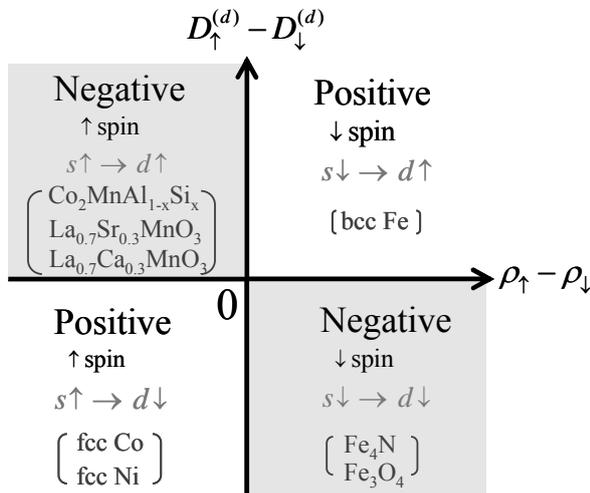


図2. AMR比の正負と s-d 散乱: シンプルモデルによる分類. 各象限内の表記は、上段から順に、AMR 比の符号、最も伝導に寄与している電子のスピンの、主要な s-d 散乱過程、物質例を表している。

(c) 鉄窒化物電極トンネル磁気抵抗素子の伝導特性に関する理論計算

Fe_4N 電極を用いた強磁性トンネル接合 (MTJ) 素子で得られる負の TMR 効果の起源ならびに同 TMR 効果の大きさを増強する為の材料学的指針を得る目的で、 $\text{Fe}_4\text{N}/(\text{MgO}, \text{Cu}_3\text{N})/\text{Fe}_4\text{N}$ -MTJ の伝導特性の理論計算を行った。

MgO をトンネル障壁層とした場合には、 Δ_1 対称性を有する少数 (\downarrow) スピン電子が主に伝導を担うため、大きな TMR 比 (1200%) が得られる。また、 $\text{Fe}_4\text{N}/\text{MgO}$ (5層)/ CoFe -MTJ の構造では、実際に負 (-78.2%) の TMR 比が得られた。一方で、 Fe_4N と MgO の格子定数差はおよそ 10% と大きく、 MgO トンネル障壁層の膜面内格子定数を Fe_4N のそれと合わせた場合に得られた大きな TMR 比 (上述) は、 Fe_4N の膜面内格子定数をバルク MgO のそれと合わせた場合には小さく (250%) なることが判った。これは、 Fe_4N の Δ_1 バンドのフェルミ準位に対する位置が面内格子定数の変化することによる。

Fe_4N と格子定数の近い Cu_3N をトンネル障壁層とした場合には、 Δ_1 対称性を有する電子 ($(k_x, k_y) = (0, 0)$) に比較して、 $(k_x, k_y) \sim (0.27, 0.49)$ 付近の電子の Cu_3N 層内での減衰が小さいため、同電子が優先的に透過

し、得られる TMR 比は小さな値 (200~300%) に留まった。しかしながら、 Cu_3N をトンネル障壁層に用いた場合には、面積抵抗 (RA) が同膜厚の MgO 障壁層の場合に比較して 5桁程度低下する利点があることも明らかとなった。

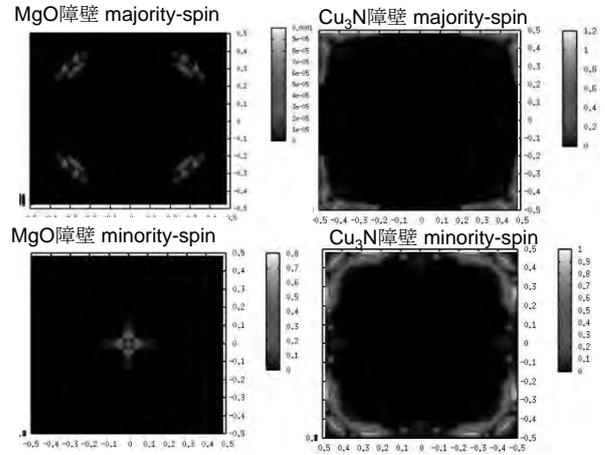


図3. Fe_4N 電極 MTJ の電子透過率の k_1 依存性.

(3-2)波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会は、材料開発、理論研究、応用研究ならびに解析技術研究の各分野から、負のスピントラック材料ならびに同材料の応用に関する国内の第一線の研究者を集めたものであり、新たな研究コミュニティを確立することも目的の一つである。本年の研究会活動によりその目的は達成され、共著での学会発表や論文執筆、さらには、共同での科学研究費補助金申請や、大型放射光研究施設における研究プロジェクト申請など精力的な活動が行われている。本研究プロジェクトの継続的推進によって、新たな共同研究や、協力体制のより一層の強化が図られる。その結果として、独創的な高性能新材料の開発など、産業利用価値の高い大きな成果が生まれてくることが大いに期待される。

【4】成果資料

(1) S. Kokado, M. Tsunoda, K. Harigaya, and A. Sakuma
 “Anisotropic Magnetoresistance Effects in Fe, Co, Ni, Fe_4N , and Half-Metallic Ferromagnet: A Systematic Analysis”,
J. Phys. Soc. Jpn., **81** 024705 (2012).

採択番号 H22/A07

高飽和磁化純鉄ナノ粒子の化学合成と その集合体の軟磁気特性

[1] 組織

代表者：高橋 研

(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：

小川 智之 (東北大学大学院工学研究科)

田中 寿郎 (愛媛大学大学院理工学研究科)

研究費：物件費20万円，旅費9万3千円

[2] 研究経過

現代の高度情報化社会を支える電子デバイス・電気機器に対して、「軽薄短小」かつ「省エネ・低環境負荷」の要望は年々強くなっている。このため、電気・電子機器産業の中核を担う小型高出力モータや高性能小型トランス等のデバイスでは、軟質および硬質の磁性材料の更なる高特性化が急務とされている。特に軟磁性材料では高透磁率化が必須とされ、これを実現するためには、強磁性体の“ナノサイズ化”と強磁性材料に真実的な磁気物性値である飽和磁化の“高飽和磁化化”が鍵を握る。現状の軟磁性バルク材料では、飽和磁化が高々2.0 テスラでありミクロン～サブミクロンスケールの磁性粒子となっていることから更なる透磁率の高特性化に限界が指摘されている。

本研究では、高飽和磁化軟磁性材料への応用を念頭に、10nm以下の粒径制御性に優れ高飽和磁化を有する単分散純鉄ナノ粒子の化学合成技術の構築、および、その集合体制御技術と透磁率特性との相関を明らかにする。特に、化学的手法で合成した純鉄ナノ粒子は界面活性剤に覆われ、これは純鉄ナノ粒子集合体の正味の飽和磁化や透磁率の低減をもたらす。よって、集合体形成技術として、界面活性剤を除去する技術が重要となる。本プロジェクトの第2年度にあたる本年度では、前年度までに見出した新規前駆体を活用して合成した純鉄ナノ粒子に対し集合体を形成し、ポストアニールによりナノ粒子間に存在

する界面活性剤の除去を試みた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

前年度までに合成できた純鉄ナノ粒子は鉄重量当たりの飽和磁化 σ_{Fe} が5Kにおいて192 emu/g_{Fe}と高飽和磁化を有している。合成直後の純鉄ナノ粒子でバルク体を作製した場合、純鉄ナノ粒子表面には界面活性剤であるオレイルアミン(OAm)が吸着している。OAmは純鉄ナノ粒子の高充填化を妨害しており、また、粒子同士が直接接触していないため、軟磁気特性の主導原理となるナノクリスタル効果を発現する直接交換相互作用は働かない。以上から、純鉄ナノ粒子を用いた軟磁性材料を得るためには界面活性剤の除去が必要となる。そこで、本研究では、化学的手法により得られた純鉄ナノ粒子に対してポストアニールを施すことで界面活性剤の除去条件を探索する。また、熱処理後に得られた純鉄ナノ粒子集合体について軟磁性材料としての可能性を評価した。

純鉄ナノ粒子は、前年度までに独自に構築した反応前駆体を熱分解することにより得た。合成した純鉄ナノ粒子を室温、減圧下($\sim 10^{-3}$ Torr)で1時間乾燥させ、乳鉢で壊砕し、粉体の純鉄ナノ粒子を得た。界面活性剤を除去するために真空中($\sim 10^{-7}$ Torr)で熱処理を施した。このとき、熱処理温度 T_a は50～500℃とし、熱処理時間を5時間とし、加熱速度は10℃/minとした。熱処理後の純鉄ナノ粒子粉末は、金型を用いて12.4 MPaで2 mm×2 mm×1 mm¹の集合体に成形した。

$T_a = 200^\circ\text{C}$ でポストアニールした純鉄ナノ粒子集合体断面の透過型電子顕微鏡像を図1(a)に示す。粒径は合成直後とほぼ一致しており、ポストアニールにより粒成長していないことが分かる。また、この結果から、集合体は純鉄ナノ粒子が自己組織化により規則的に配列していることが分かる。図1(a)に対して高速フーリエ変換(FFT)処理を施したものを図1(b)に示す。6.0 nmと9.4 nmに最大強度を示し、これらの周期を有する純鉄ナノ粒子規則配列状態が存在していることが分かる。これらの周期は、7.3 nm

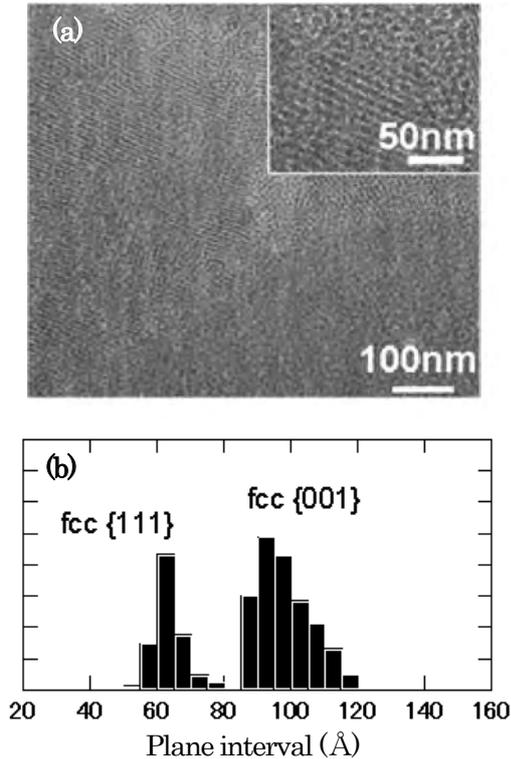


図1 (a) $T_a = 200^\circ\text{C}$ における純鉄ナノ粒子集合体の断面 TEM 像。 (b) (a)の高速フーリエ変換スペクトル。

の剛体球が fcc 最密構造で配列していると仮定したときの $\{111\}$ $\{001\}$ 面に相当する。合成直後の純鉄ナノ粒子の粒径が 6.5 nm であったことを考慮すると、7.3 nm の剛体球を仮定したとき、粒子表面間には 0.8 nm の空隙が存在することを意味している。本純鉄ナノ粒子集合体に対してフーリエ変換型赤外分光 (FT-IR) 解析を行った結果、本試料では C-H 結合、すなわち界面活性剤が存在していることが分かった。これらの結果より、FFT 解析により示された粒子表面間の空隙に界面活性剤が存在していると考えられる。この粒子表面間 0.8 nm は界面活性剤である OAm の鎖長 (1.6 nm) より短い。熱処理を施さない場合では、純鉄ナノ粒子集合体の粒子表面間の距離は約 1.7 nm と OAm の鎖長とほぼ等しいことが分かっている。したがって、図1の試料では熱処理前と比べて粒子表面間隔が狭くなっており、純鉄ナノ粒子が密に充填していると推察される。このときの純鉄ナノ粒子の充填率は 7.3 nm の周期間隔を用いて計算すると最大 49 vol.% と見積もられた。

純鉄ナノ粒子の粒径はポストアニール温度の上昇に伴って増大し、 $T_a = 500^\circ\text{C}$ において 29 ± 7.1 nm であった。これより、 T_a の上昇とともに近接したナノ粒子と融合することで粒成長していることが分かっ

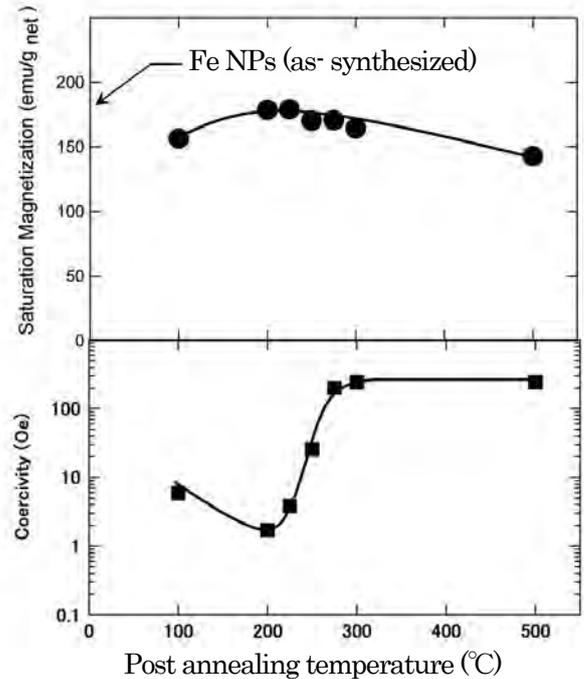


図2 正味の飽和磁化(5K)と保磁力(室温)のポストアニール温度依存性。

た。また、ナノ粒子の規則配列は $T_a = 300^\circ\text{C}$, 500°C では確認できなかった。 T_a の上昇による粒成長に伴い粒径分散も大きくなり、この大きな粒径分散が自己組織的な配列を阻害していることが考えられる。

純鉄ナノ粒子集合体の正味の飽和磁化と保磁力のポストアニール温度依存性を図2に示す。界面活性剤を含む正味の重量で規格化した飽和磁化 σ_{net} は T_a の上昇に伴い、 $T_a = 200^\circ\text{C}$ で最大 179 $\text{emu/g}_{\text{net}}$ となり、その後、減少する傾向がみられた。保磁力 (H_c) は T_a の上昇に伴い 200°C で最小の 1.7 Oe となり、その後急激な増大が見られ、 350°C 以上では約 242 Oe で飽和した。 200°C の試料に対してポストアニール後に熱重量 (TG) 測定を行った結果、3.2 wt.% の重量減少を確認した。 $T_a = 200^\circ\text{C}$ での純鉄ナノ粒子の表面に 0.4 nm 分の OAm が存在しているというモデルに対して、溶液の OAm の密度を用いて OAm の重量比を見積ると 4.0 wt.% となり、TG 測定の結果とほぼ一致している。見積もられた OAm の質量分を差し引いて 200°C の σ_{net} から、 σ_{Fe} を計算すると 185 emu/g_{Fe} となった。この値は、ポストアニール前の純鉄ナノ粒子の飽和磁化 ($\sigma_{\text{Fe}} = 183 \text{emu/g}_{\text{Fe}}$) とほぼ一致する。これらの結果から、 $T_a = 200^\circ\text{C}$ までの σ_{net} の増大傾向は熱処理により、粒子表面に吸着していた大半の界面

活性剤が取り除かれたことに起因していると考えられる。 $T_a=200\text{ }^\circ\text{C}$ での H_c の減少は、界面活性剤が残存しておりナノクリスタル効果による H_c の減少とは考え難い。したがって、ナノ粒子間が接近することによる磁気双極子相互作用が増強に起因していると考えられる。一方、 $T_a=200\text{ }^\circ\text{C}$ 以上では T_a の上昇に伴い σ_{net} が減少し、 H_c が急激に増大した。これらの傾向は界面活性剤の除去によるものとは考え難く、ナノ粒子自身の飽和磁化の減少、保磁力の増大が考えられ、ナノ粒子の純鉄とは異なる結晶相への変化が疑われる。各 T_a でのポストアニール後のナノ粒子のX線回折結果から、 $T_a=250\text{ }^\circ\text{C}$ 以下の試料では純鉄ナノ粒子は α 相であることが分かった。一方、 $T_a=300\text{ }^\circ\text{C}$ 以上では純鉄ナノ粒子は α 相から Fe_3C 相に変化していることが分かった。 $T_a=300\text{ }^\circ\text{C}$ 以上では、 Fe_3C への変化と共にナノ粒子が粒成長していることが分かっている。このことから粒子表面に残存している界面活性剤がナノ粒子の粒子成長にともない結晶内に取り込まれ、 Fe_3C 化していると推察される。 Fe_3C の飽和磁化は $\sigma=130\sim 150\text{ emu/g}$ であり、 $\alpha\text{-Fe}$ の 220 emu/g と比較して低く、結晶磁気異方性エネルギー $K=1.2\sim 3.9\times 10^6\text{ erg/cm}^3$ は、 $\alpha\text{-Fe}$ の $4.7\times 10^5\text{ erg/cm}^3$ と比較して一桁程度大きい。したがって、高温での純鉄ナノ粒子集合体の σ_{net} の減少と H_c の増大は純鉄から Fe_3C への結晶相変化に起因していると考えられる。以上の結果から、界面活性剤の脱離がナノ粒子の粒成長温度よりも高温であると考えられる。真空中熱処理では、粒成長を抑制した界面活性剤の完全な除去は困難であり、ナノクリスタル効果の発現には至らなかった。しかし、 $T_a=200\text{ }^\circ\text{C}$ の純鉄ナノ粒子集合体においては純鉄ナノ粒子の高充填化に伴う σ_{net} の増大と H_c の減少が確認された。

(3-2) 波及効果と発展性など

現状で得られた純鉄ナノ粒子集合体の体積充填率は最大49%となっており、その正味の飽和磁化は $179\text{ emu/g}_{\text{net}}$ 、保磁力は 1.7 Oe となることが分かった。更なる高飽和磁化化、低保磁力化には、主に二つの改善点が必要となる。一つは、界面活性剤に起因する炭素不純物の混入ならびに粒径粗大化を抑制しつつ界面活性剤の分解を促進し、さらなる高充填化、つまり、純鉄ナノ粒子間の金属/金属界面で働く直接交換相互作用を最大限大きくする集合体形成プロセスを構築することであり、もう一つは、界面活性剤を含まない個々の純鉄ナノ粒子の飽和磁化をバルク値(220 emu/g)近傍まで向上させることである。これらの技術課題を解決できれば、高飽和磁化、高透磁率かつ低保磁力を有する新規な磁性ナノ材料の具現化が期待される。

[4] 成果資料

- (1) “Effect of Hydrogen Plasma Treatment on Reduction Process of Iron Oxide Nanoparticles”, T. Maki, H. Kura, H. Ishida, H. Yang, T. Kaneko, R. Hatakeyama, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Physics: Conference series* **266**, 012120-1-012120-5 (2011).
- (2) “High thermal stability of the ferrimagnetic moment in exchange biased FeO (core)/spinel (shell) nanocubes”, H. T. Hai, H. Kura, M. Takahashi, and T. Ogawa, *Journal of Physics: Conference series* **266**, 012127-1-012127-5 (2011).
- (3) “Collective magnetic behavior of $\alpha\text{-Fe}$ nanoparticles with systematically controlled volume fraction”, T. Ogawa, H. Kura and M. Takahashi, *Scripta Materialia* **64**, 1067-1070 (2011).
- (4) “Effect of nucleation and growth dynamics on saturation magnetization of chemically synthesized Fe nanoparticles”, T. Ogawa, K. Seto, D. Hasegawa, H. T. Yang, H. Kura, M. Doi and M. Takahashi, *Journal of Magnetism* **16**(3), 308-311 (2011).
- (5) “Effect of nitrogen-hydrogen mixed plasma on nitridation process of iron nanoparticles”, T. Maki, H. Kura, H. Ishida, T. Kaneko, R. Hatakeyama, M. Takahashi and T. Ogawa, *Thin Solid Films* **519**, 8351-8354 (2011).
- (6) “Effect of magnetic dipole interaction on magnetic properties of Fe nanoparticle assemblies”, H. Kura, R. Tate, M. Takahashi and T. Ogawa, *Journal of the Magnetism Society of Japan* **35**, 203-210 (2011).
- (7) “Fabrication of Fe nanoparticle-based bulk material with post-annealing”, M. Kamata, H. Kura, T. Tanaka, M. Takahashi and T. Ogawa, *Journal of the Magnetism Society of Japan* **35**, 211-215 (2011).
- (8) “Spin-glasslike behavior of magnetic ordered state originating from strong interparticle magnetostatic interaction in $\alpha\text{-Fe}$ nanoparticle agglomerate”, K. Hiroi, H. Kura, T. Ogawa, M. Takahashi and T. Sato, *Appl. Phys. Lett.* **98**, 252505-1-252505-3 (2011).

採択番号 H22/A08

パーソナル音響テレプレゼンスシステムの研究

[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)

岡本 拓磨 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費20万3千円，旅費27万5千円

[2] 研究経過

本プロジェクトでは、受聴者の頭部運動を高速かつ静粛に追従するダミーヘッドであるテレヘッドをインターネット接続したパーソナルな音響テレプレゼンスシステムを構築し、そのパーソナル音響テレプレゼンスシステムとしての有効性を検証することを目的として研究を行った。

本年度は、本プロジェクトの第二年度で、ネットワークを介したテレヘッドの相互接続と、ネットワークでの時間遅延がある環境でテレヘッドを用いる場合に、どの程度の形状再現精度がダミーヘッドに必要なを明らかにすることを目標とした。研究経過の概要は以下のとおりである。

4～6月は、富山県立大で実施した、テレヘッドに搭載するバイノーラル信号收音系としてステレオマイク、単純ダミーヘッド、受聴者のそっくりダミーヘッドを用いたときの水平面と正中面の音像定位実験結果を解析するとともにそれらをまとめた。6～7月には、AACコーデックを内蔵したIPテレビ会議システムとシリアルポート対応機器をインターネット経由で接続するデータサーバー装置を用いて、東北大学電気通信研究所と富山県立大のテレヘッドをインターネット接続する実験を行った。そして、実際の伝送遅延時間を計測するとともに、インターネット接続したテレヘッドによる音像定位実験を行った。7～8月には、2チャンネルの音響情報インターネットを介して低遅延時間で送受する音声コーデック装置の調査を行い、放送局などでも利用されてい

るAstralという装置を導入した。そして、8月に東北大通研と富山県立大との間でのAstralを用いてテレヘッドを接続する通信実験を行い、基本性能を確認するとともに、問題点を洗い出した。その後、ネットワーク接続方法を改善して、3月1～4日に最終的なテレヘッド接続実験を行い、仙台から富山のテレヘッドを制御して水平面・正中面の音像定位実験を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の成果は以下のとおりである。

まず、AACコーデックを内蔵したIPテレビ会議システムを2チャンネルの音響信号伝送に、データサーバー(DS)と呼ばれる装置を頭部姿勢情報の伝送に用いることにより、テレヘッドをインターネット経由で接続できることを確認した(Fig.1)。

しかし、富山県立大と東北大通研の間でIPテレビ会議システムをインターネット接続し、音響信号をループバックさせたときの伝送遅延時間は1.267sで、片道の伝送遅延は約630msであった。pingで測ったパケット伝送時間は片道23msだったが、AACコーデックが符号化と復号化に要する時間は370msであり、音響信号のネットワーク伝送には約260msもかかることがわかった。これは、使用したテレビ会議システムが送る映像に音声同期させているために生じたと考えられる。一方、頭部姿勢情報のネットワーク伝送遅延は45msで、テレヘッドの機構的な動作遅延である約100msを加えた約140msが、受聴者とテレヘッドの頭部運動の遅延時間であった。

このように、頭部運動を反映した音響信号が受聴者の耳に届くまでに770msもの遅延時間がある状態で、水平面の音像定位実験を行った。その結果、大きな遅延時間があるにもかかわらず、頭部運動がある場合の方が、頭部運動が無い場合に比べて、音像はより正確に定位されることがわかった。

次に、低遅延コーデックのAstralをPCMモードで用いる場合、2チャンネルの音響信号の伝送遅延時間は約80msであった。このとき、頭部運動を反映した音響信号が受聴者の耳に届くまでに約220ms

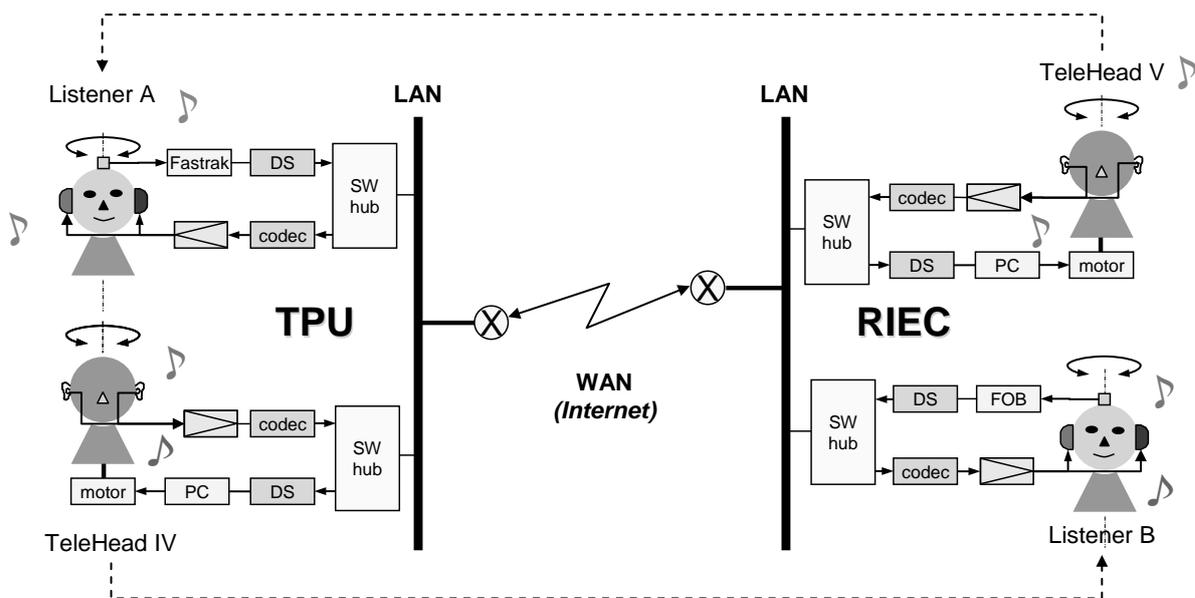


Fig.1 テレヘッドをインターネット経由で接続した聴覚テレプレゼンスシステム

かかっていた。この状態で、水平面と正中面の音像低実験を行った結果、ネットワークを経由せずにテレヘッドを用いたときと変わらない精度で音像定位できた(Fig.2)。もちろん、220 ms も遅延時間があるために、受聴者は、自らの頭部運動に対して音像が明らかに遅れて動くことはわかるが、大きな違和感ではなかった。すなわち、パーソナル音響テレプレゼンスシステムとして有効であるといえる。

最後に、ステレオマイク、単純ダミーヘッド、受聴者のそっくりダミーヘッドで収録したバイノーラル音を用いた音像定位実験の結果からは、水平面であればステレオマイクでも、正中面であれば耳介の無い単純ダミーヘッドでも、頭部運動に追従させた場合は十分に精度よく音像を定位できることがわかった。すなわち、動的バイノーラル音を利用すれば、受聴者の頭部形状を正確に再現したそっくりダミーヘッドは必ずしも必要ではない。

(3-2) 波及効果と発展性など

本年度は、低遅延音声コーデックを利用してテレヘッドのインターネット接続が可能であることと、動的バイノーラル音を利用すれば、受聴者の頭部形状を正確に再現したそっくりダミーヘッドは必ずしも必要ではないこと明らかにした。これらの成果は、テレヘッドを用いたパーソナル音響テレプレゼンスシステムの実現に結びつく。

[4] 成果資料

(1) Tatsuya Hirahara, Yuki Sawada, Daisuke Morikawa, "Impact of head movement on sound localization with band-limited noise," Proc. Inter Noise 2011, (2011. 09)

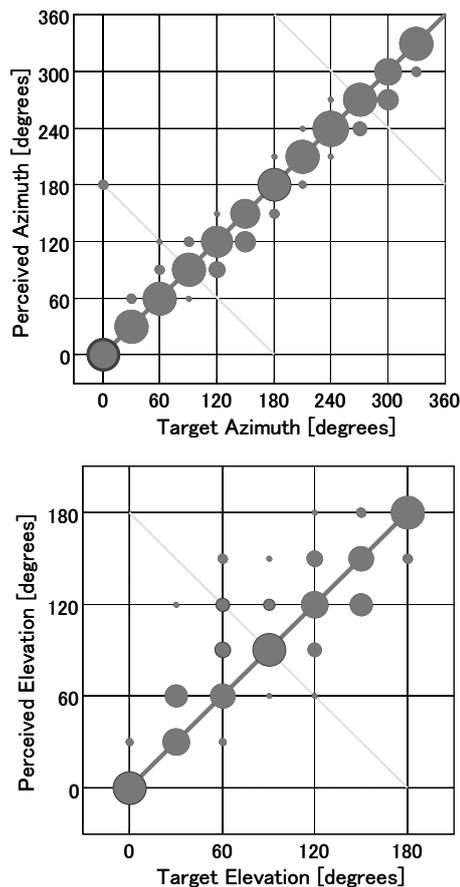


Fig.2 低遅延時間コーデックでインターネット接続したテレヘッドを用いて行った、水平面(上)と正中面(下)の音像定位実験結果

(2) 平原達也, 森川大輔, 岩谷幸雄, "インターネット接続したテレヘッドによる聴覚テレプレゼンス," 日本音響学会 2011 年秋期研究発表会 講演論文集, pp.479-480, (2011. 09)

採択番号 H22/A09

人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル 音声情報通信システムに関する研究

[1] 組織

代表者：田中 章浩

(早稲田大学高等研究所)

対応者：坂本 修一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：なし

研究費：物件費 203,000 円，旅費 174,000 円

[2] 研究経過

視覚や聴覚など複数の感覚情報を伝達するマルチモーダルな情報通信システムにおいて、情報の発信と受容の担い手は人間であり、人間のマルチモーダル知覚の特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる。例えば音声（話し言葉）の知覚において、声の情報に加えて口の動きなどの視覚情報が重要なことが知られている。

また近年は、高次臨場感通信など感性情報の伝達の重要性が非常に高まってきている。「何を言っているか」のみならず、「どのように言っているか」すなわち話し手の情動などの感性情報の伝送を実現する上では、話者の音声（聴覚情報）のみならず、表情を含む話者映像の視覚情報も併用することが必要不可欠であると考えられる。しかし、音声と映像がどのような要件を満たせば感性情報を効果的に伝送できるのかは明らかでない。

そこで本研究では、効果的かつ自然で豊かな音声情報を伝送可能なマルチモーダル音声情報通信システムを構築するための基礎的検討として、人間の視聴覚音声知覚能力を検討して、マルチモーダル音声情報通信システムが満たすべき要件を同定することを目的とする。

本プロジェクトは、平成 17～19 年度に共同プロジェクトとして採択された「人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル情報処理システムに関する研究」の延長として位置づけられる。前回の共同プロジェクトでは、1) 視聴覚ズレの検知限は音声の全体時間長によって変化し、かつ、音声の全体時間長と伸長率の比率によって表現できる、2) 高齢者は視聴覚のズレの検知限が大きく、ズレに対する感度が低

い、3) 視聴覚の時間差の検知限は「慣れ」によって変化することなどを見出した。

本プロジェクトは、前回の共同プロジェクトの成果をもとに、マルチモーダル効果の一般性を検証し、さらに自然で豊かな感性情報通信を実現すべく発展させるものであり、2 年目にあたる本年度は、これまでの成果を踏まえながら、マルチモーダル話速変換システムの一般性と自然性を中心に検討した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

第 1 回研究打ち合わせ (6 月) 今年度の方向性について議論した。また、マルチモーダル話速変換システムの一般性について得られた実験結果について議論した。

第 2 回研究打ち合わせ (9 月) 音声知覚系に固有の認知処理を誘発するために必要な顔情報の要件に関する実験経過について議論した。

第 3 回研究打ち合わせ (10 月) マルチモーダル話速変換システムの自然性について得られた実験結果について議論した。また、同時期に来所していたメンバーも交えて、これまでに得られた実験結果全体について議論した。

第 4 回研究打ち合わせ (2 月) 今年度の成果の総括と、次年度の方向性について議論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(a) マルチモーダル話速変換システムの自然性

マルチモーダル話速変換システムについて、これまでは視覚情報と聴覚情報の時間ずれに対する検知限（気づかれにくさ）を指標として検討を進めてきた。しかし、インターフェースの快適性の視点からは、たとえユーザに時間ずれの存在に気づかれようとも、とくに違和感なく自然に許容されるかどうかが重要である。そこで、マルチモーダル話速変換システムの自然性について、許容限を指標とした検討をおこなった。

実験では、短い音声（4 モーラ単語）と長い音声（7,8 モーラ単語）を用い、時間伸長音声と話者映像を同時提示した伸長条件と、通常速度の音声と映像を単純に時間的に非同期にした非同期条件について、音声と映像のずれの許容限を測定した。実験の結果、短い音声では非同期条件と伸長条件の許容限にはあまり違いが見られなかったが、長い音声では、伸長条件の許容限は非同期条件に比べて大きくなり、7,8 モーラ単語においては 600 ms 近く伸長してもずれは許容されることがわかった。

また、音声の全体時間長と伸長率の関連について分析したところ、若年者では短い音声でも長い音声でも、伸長率が音声の全体時間長の 1.5 倍程度を超えるとずれが許容されなくなるのに対し、高齢者では全体的に許容限が大きく（1.8~2.1 倍程度）、音声の時間長に依存すること、つまり時間的に長い音声ほど許容限も大きくなることがわかった。

マルチモーダル話速変換システムの主要なユーザ層である高齢者において、許容限が予想以上に大きい値を示したことは、システム設計の上で非常に有用な結果となった。

(b) マルチモーダル話速変換システムの一般性

マルチモーダル話速変換システムの効果について、これまでは単語を刺激材料として検討を進めてきた。しかし、実際の発話は単語だけから構成されているわけではなく、音声フレーズ間に「ま」（ポーズ）が存在する。映像との同期に着目すると、音声フレーズを伸長することで、映像との間にずれが拡大していく。ここで伸長した分だけポーズ区間を削減することで、次のフレーズの開始点で再度映像と音声同期する。このような手法で音声伸長とポーズ削減をおこなったとき、映像による了解度の促進効果が得られるのかどうかは明らかではない。そこで、高齢者を対象に、フレーズとポーズを含むセンテンスを刺激材料として、文章了解度を指標とした検討をおこなった。

実験の結果、全体として映像による促進効果が確

認された。とりわけ、音声伸長量 100 ms のときに映像による促進効果は最大となり、文章了解度は 15%以上向上した。マルチモーダル話速変換システムの主要なユーザ層である高齢者において、現実的な刺激材料を用いても文章了解度が向上することを確認でき、たかだか 100 ms の伸長によって大きな効果が得られたことで、システムの現実場面での有用性が示唆された。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトがきっかけとなって、東北大学および早稲田大学の2大学による共同研究体制が発足した。また、本プロジェクトをきっかけに、代表者は日本認知科学会で新たな分野に関するシンポジウム（多感覚コミュニケーション）を企画・開催し、通研対応者を講演者として招聘した。同シンポジウムには総勢 100 名に上る参加者が得られ、議論も盛況を呈した。さらに、同シンポジウムを弾みとして、『認知科学』誌で「多感覚コミュニケーション」の特集号を企画し、代表者が主任エディタを務め、2011 年 9 月に刊行された。

本プロジェクトからは先に挙げたように、マルチモーダル音声情報処理システムの構築に必要な、人間の知覚特性に関する重要な基礎的知見が得られつつある。本プロジェクトは、通研対応者と代表者がともに研究分担者として参加している科学研究費補助金特別推進研究「マルチモーダル感覚情報の時空間統合」（研究代表者・東北大学電気通信研究所・鈴木陽一教授）のサブプロジェクトの一つとして有機的に機能し、音声の視覚情報と聴覚情報の時空間統合過程の解明を進めることができた。

また、代表者は本プロジェクトをきっかけに、新たなプロジェクトとして、マルチモーダル音声情報処理の国際比較に関するプロジェクト「顔と声の組み合わせが伝える真の感情に関する認知科学的検討：文化を超えた感情翻訳技術の開発に向けて」を提案し、総務省 SCOPE の助成を得て、2010 年 9 月より研究を進めている。本プロジェクトで得られた新たな人間情報処理計測技法や、日本語話者を対象とした実験結果を活かして、国際比較研究をおこなうことで、マルチモーダル音声情報処理に言語や文化が与える影響の解明という新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される。

[4] 成果資料

学会発表

(1) Asakawa, K., Sakamoto, S., Tanaka, A., Abe, T., Iwaya, Y. & Suzuki, Y. "Speech identification with time-varying visual information extracted from the lip area", 2011 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing (NCSP'11), Tianjin, China, March 2011.

(2) Asakawa, K., Tanaka, A., Sakamoto, S. & Suzuki, Y. "Audio-visual synchrony perception of simplified speech sounds heard as speech or non-speech", 第二回多感覚研究会, 東北大学, 2010年12月.

(3) Asakawa, K., Tanaka, A., Sakamoto, S. & Suzuki, Y. "Audio-visual synchrony perception of simplified speech sounds heard as speech or non-speech", 11th International Multisensory Research Forum, Liverpool, UK, June 2010.

論文

(1) Asakawa, K., Tanaka, A., Sakamoto, S., Iwaya, Y., and Suzuki, Y. "Audio-visual synchrony perception of simplified speech sounds heard as speech and non-speech", *Acoustical Science and Technology*, Vol. 32, No. 3, pp.125-128, (2011)

(2) Tanaka, A., Asakawa, K., and Imai, H. "The change in perceptual synchrony between auditory and visual speech after exposure to asynchronous speech", *NeuroReport*, Vol. 22, No. 14, pp. 684-688, (2011)

(3) Tanaka, A., Sakamoto, S., Suzuki, Y. "Effects of pause duration and speech rate on sentence intelligibility in younger and older adult listeners." *Acoustical Science & Technology*, Vol. 32, No. 6, pp.264-267, (2011)

採択回数	1	2	3
------	---	---	---

採択番号 H22/A10

ストレス応答に対する自然音の影響

[1] 組織

代表者：福土 審

(東北大学大学院医学系研究科)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

齋藤 文孝 (東北大学電気通信研究所)

田山 淳 (長崎大学保健・医療推進センター)

山口 昌樹 (岩手大学大学院工学研究科)

服部 朋美 (仙台厚生病院)

小野 綾子 (東北大学大学院 医学系研究科

行動医学分野/岐阜大学大学院 医学系研究

科 行動医学分野/長崎大学大学院 医歯薬総

合研究科 医療科学専攻 予防医学講座 特別

研究学生)

研究費：物件費 21 万 0 千円，旅費 16 万 5 千円

[2] 研究経過

ストレス関連疾患に対する対応策の研究は近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトはストレス応答が刺激の性質と負荷順位によりどのように決定されるかを解明すること目的として研究を行った。前年度は、下記研究概要の仮説 1 が支持されることが明らかになり、本年度はその成果を踏まえながら、ストレス関連疾患である過敏性腸症候群 (IBS 群) を含めてストレス応答に関する研究を展開した。研究活動状況の概要としては、長崎大学大学院で特別研究学生となった小野が IBS 群も含めた解析を行い、岐阜大学大学院に移ってから東北大学電気通信研究所を訪れ、昨年度取得した音と心電図の解析に関する研究打ち合わせを実施した。また、電気通信研究所にて音素材のダビングや心電図の波形を見て同期のさせ方や今後の方針について検討を行った。

研究発表としては第 62 回 国際宇宙会議にて口頭発表をしたほか、電気通信研究所の共同研究発表としてポスター発表を行った。

<研究概要>

21 世紀にはストレス関連疾患が医療上の大きな比重を占めることが確実視されている。ストレス応答は、環境からの刺激 (ストレス)、刺激の脳内処理、自律神経内分泌反応、末梢臓器の機能的・器質的变化によって構成される。情動研究の進展によって、末梢臓器そのものからの感覚信号のフィードバック、ならびに、扁桃体、前帯状回、前頭前野、島、視床下部や橋・延髄からなる情動回路を構成する局所脳の機能が、ストレス応答を増幅もしくは減弱させることが判明している。加えて、刺激の性質と負荷順位が重要である。刺激は、ヒトの日常生活では、嗅覚、視覚、聴覚、味覚、体性感覚の五感を刺激する因子として自覚されることが多い。しかし、ヒトにおけるストレス応答が、刺激の性質と負荷順位により、どのように決定されるかという問題には未だ不明な点が多い。

ストレス応答が刺激の性質と負荷順位によりどのように決定されるかを解明することができれば、ストレス関連疾患を克服できるだけでなく、ストレスによる健康障害の端緒を予防できると考えられる。ストレス関連疾患としては、過敏性腸症候群 (irritable bowel syndrome: IBS) を代表とする心身症、うつ病性障害、不安障害などがある。これらは、健康状態から全く不連続に発症する疾患群ではなく、寧ろ、一過性のストレス応答から、慢性のストレス応答に移行してゆく病態であり、軽症から重症まで数多くの型が存在する連続的な疾患群である。従って、一過性のストレス応答を詳細に分析することには、医学的に大きな意味がある。

一方、刺激が持つ医学的な意味は、人体がどのような環境に置かれているかによって異なる。通常、われわれは、気温 10℃～30℃、湿度 30～70%、気圧 1013 hPa、重力 1G 内外の環境下でヒトのストレス応答を議論している。しかし、人間の活動圏は高山、深海、熱帯や極地などの地球上の環境の全てに拡大しており、国際宇宙ステーションなどの地球外環境での活動も増大している。従って、地球上の平均的環境だけでなく、きわめて特殊な環境下におけるストレス応答にも応用可能な研究が必要である。

その端的な実例として、国際宇宙ステーションが挙げられる。ここでは、宇宙飛行士が宇宙に長期滞在している。その環境は無重力であり、感覚刺激の変化に乏しい隔離閉鎖空間であって、低周波雑音と臭気があり、昼夜を区別する信号に乏しく、宇宙放射線曝露の危険がある環境である(European Space Agency)。このような環境では、志願者から厳選された宇宙飛行士でさえ、不安、恐怖、抑うつ症状や人間関係の悪化が見られることがある。このような極端な環境下においても応用可能なストレス対処方法として、音楽を用いた弛緩法が知られている。しかし、音楽の場合は、個人による嗜好性が強いいため、一般的・普遍的な知見を獲得しにくいという欠点がある。これに対して、水の音や風の音などの自然音は、大多数のヒトにおいて弛緩心象に結びつけることが可能な音刺激である。

以上の背景から、本研究では、以下の仮説を検証することを目的とする。

仮説 1：自然音の刺激によって、ストレス応答を減弱できる。

仮説 2：自然音の刺激によって、認知行動処理が改善する。

<対 象>

健常 12 例、IBS 10 例、(両者共掲示による公募)

<方法>

1) 計測準備

検査日、東北大学行動医学生理検査室でベッド上安静とし、電極とマンシエットを以下のように装着する。脳波電極：Fz、Cz、C3、C4、Pz、A1、A2、心電図：第 II 誘導、マンシエット：左上腕。

2) 刺激負荷

計測準備が終了したら、刺激として、視覚刺激 2 種類と聴覚刺激 2 種類を負荷する。

(2-1) 視覚：視覚弁別-作業ストレスサーとして、Go/Nogo 課題をコンピュータを用いて負荷する。これは、対象に左右両手にボタンを与え、画面に現れる矢印の方向のボタンを押させるものである。Go 課題では、Go 信号を読み取って素早くボタンを押さなくてはならず、その時の反応時間を測定する。一方、一定の割合で Nogo 課題を与え、Nogo 信号を読み取らせて、ボタン押しを禁ずる。課題は 100 回で終了するが、そのことは事前に対象には伝えない。Go/Nogo 課題は集中力と抑制を要求する課題であり、ストレスサーとしては、active coping 課題に属するもので、神経活動と作業成績をともに評価できる。対照刺激としては自然環境画像を呈示する。

(2-2) 聴覚：ヘッドフォンにより、弛緩心象に結び

ついた自然音を 10 分間負荷する。対照刺激としては雑音を与える。

3) 条件設定

視覚 2 通りと聴覚 2 通りの 4 条件を比較する。4 条件とは、以下の組み合わせであり、1 条件について 10 分間の持続時間、間隔 5 分間とする。

- A. 自然環境画像-雑音
- B. 自然環境画像-自然音
- C. Go/Nogo 課題-雑音
- D. Go/Nogo 課題-自然音

4) 計測

4 条件の間、開始から Go/Nogo 課題 100 回が終了するまでもしくはそれに相当する時間の脳波と心電図の記録を持続する。開始 5 分後に 1 分間閉眼させ、脳波基礎波を測定する。開始 6 分後に唾液採取用綿球 (Sorbet cotton) を口腔内に挿入し、開始 8 分後に血圧を測定する。開始 10 分後の終了時に唾液採取用綿球を口腔内から回収し、内分泌検査に供する。直後に条件による気分を Profiles of Mood Status (POMS)ならびに問診により測定する。

5) 心理行動分析

対象には信頼性と妥当性が確立されている以下の質問紙による心理行動分析を行う。施行時期は検査施行前とする。

Rome II Modular Questionnaire (RIIMQ)、Self-reported IBS Questionnaire (SIBSQ)、Gastrointestinal Symptoms Rating Scale (GSRS)、Perceived Stress Scale (PSS)、Psychological General Well Being (PGWB)、Job Content Questionnaire (JCQ)、POMS、SF-36、Toronto Alexithymia Scale、Cornell Medical Index、Self-rating Depression Scale (SDS)、State-Trait Anxiety Inventory (STAI)、ミネソタ多面的人格検査(MMPI)、Parental Bonding Instrument (PBI)。

6) 測定値

Go/Nogo 課題からは事象関連電位(event related potentials: ERP)の P1 電位と N2 電位を中心に潜時と振幅を計測する。また、脳波基礎波を FFT (Fast Fourier Transform 高速フーリエ変換) 解析し、 $\alpha \cdot \beta \cdot \delta \cdot \theta$ 波パワー値を算出する。心電図は開始 3 分間の R 波を取り出して R-R 間隔を測定し、心拍数を算出するとともに、心拍変動解析による high frequency (HF)と low frequency (LF) パワー値ならびにその比(LF/HF)を測定する。血圧は収縮期血圧値と拡張期血圧値を得る。唾液採取用綿球は専用

容器にて遠心分離し、唾液を凍結した後、解凍して s-amylase, chromogranin A, cortisol を測定する。

7) 統計解析

測定データから、同一群内の条件間変動を一元配置分散分析ならびに post-hoc test にて行う。また、群間の差異を二元配置分散分析ならびに post-hoc test にて行う。

[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に仮説1のとおり、ストレス関連疾患の IBS 群を含めても自然音の刺激によって、ストレス応答を減弱させるという結果が得られた。脳波についてはノイズ除去と時間を変えての再解析を2度行った。二元配置分散分析にて唾液アミラーゼ、POMS で測定した緊張・不安と抑鬱、脳波 α 波・ β 波・ δ 波、拡張期血圧が有意に変動した。多重比較ではストレス関連物質である唾液アミラーゼが自然環境画像-自然音の組み合わせで有意に減少し、POMS の緊張・不安が有意に改善 ($p < 0.05$)、抑鬱は Go/Nogo 課題-自然音の組み合わせでベースラインに比して有意に改善した ($p < 0.05$)。脳波 $\alpha 1$ は自然環境画像-自然音の組み合わせで健常者において Go/Nogo 課題-ノイズの組み合わせに比して有意に高く ($p < 0.05$)、IBS 群では自然環境画像-ノイズの組み合わせに比して有意に高い値であった ($p < 0.05$)。脳波 $\beta 2$ では健常者のみ Go/Nogo 課題-ノイズの組み合わせで有意に高く ($p < 0.05$)、 δ 波では自然環境画像-自然音の組み合わせでストレス関連疾患である IBS 群においてベースラインに比して有意に低い値が出ており、痛みの知覚と関係する δ 波が減少したことでストレス減弱の仮説が支持されたと考えられる。健常者においてノイズと Go/Nogo 課題の組み合わせに比してベースラインと自然環境画像-自然音の組み合わせで有意に拡張期血圧が減少した ($p < 0.05$)。

第2に仮説2の認知行動処理が改善するということについては、Go/Nogo 課題の得点での有意差は見られなかったが、IBS 群において認知行動処理の間、自然音により抑鬱を改善させる結果が得られた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、火星を模擬したアメリカ・ユタ州の砂漠の中の閉鎖環境における共同研究に発展した。被験者4名に対する心電図測定と音素材取得により、自然音を負荷した際の経時的変化を確認した。電気

通信研究所でのミーティングとディスカッションの結果、ベースラインや音でのマーカーについてアドバイスを受け、更に何人か被験者を募り追加実験したほうが良いという示唆を受けた。

本プロジェクトで明らかになったストレス応答減弱の成果は、宇宙精神医学という新しい研究領域の開拓に結びつき、宇宙長期滞在における心身の健康と音環境改善の手段として今後の発展が期待されている。また、自然音の刺激によって、ストレス応答を減弱させることが明らかとなり、認知行動処理改善の仮説を裏付けるには課題や負荷方法を変える等して更なる検証が必要であるが、ノイズの大きい宇宙長期滞在の環境において問題となる抑鬱や不安を減弱させる効果があることは明らかになった。音楽は個人の嗜好性が強いが、自然音はより嗜好性が弱く音環境の改善に利用可能と考えられる。更に自然音のバリエーション(例：海、心臓音等)を増やすことで様々な気分に対応できるだろうというメリットが想定でき、今後の発展が期待されている。

これらの効果が明らかになれば、宇宙のような極端な隔離閉鎖空間のみならず、病院や学校、オフィスやレストランなど、様々な場所での応用が考えられる。自然とはかけ離れた現代社会の環境で、意図的に作り出すヴァーチャルな自然音環境が、実際に社会で広く応用されるようになることで、人々の生活の質(QOL)が向上し、不安、恐怖、抑うつ症状や人間関係の悪化を未然に防ぐ効果も期待できる。

[4] 成果資料

(1) Ayako Ono, Jun Tayama, Yoiti Suzuki, Fumitaka Saito, Masahiro Yamaguchi, Tomomi Hattori, Shin Fukudo. The Effect of Nature Sounds on Stress-induced Secretion of Salivary Amylase and on Mood States. Oral presentation. The 62nd International Astronautical Congress. Cape Town, South Africa. IAC-11. A1.1.8, 2011. 10.3.

採択番号 (H22/A11)

音空間のバーチャルリアリティを用いた ユニバーサル音空間訓練システムの構築

[1] 組織

代表者：大内 誠

(東北福祉大学)

対応者：岩谷 幸雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

関 喜一 (産業技術総合研究所)

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 (東北大学電気通信研究所)

鈴木 雅史 (秋田大学工学資源学部)

吉村 昇 (秋田大学)

稲永 潔文 (株式会社サザン音響)

三浦 貴大 (産業技術総合研究所)

研究費：物件費 23 万 6 千円，旅費 11 万 9 千 5 百 80 円

[2] 研究経過

従来、視覚支援学校や視覚障害リハビリテーション施設等における歩行訓練は、白杖を持って実際の歩道を歩くことが基本であり、歩行技術を習得するまでに数年かかるなど、視覚障害者にとっては大きなストレスになっていた。

そこで、実際の路上訓練に出る前に、安全な音空間内で歩き回りながら歩行訓練を受けることができるような、3次元音響バーチャルリアリティ技術と仮想環境歩行訓練技術を開発した。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、加速度センサ、地磁気センサ、ジャイロセンサなどの組み合わせた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を実現するための研究を行った。

昨年度は、上記の「広範囲仮想環境歩行訓練システム(Wide-Range Auditory Orientation Training System: 以下WR-AOTS)」の開発と基礎実験、な

らびに、βバージョンの一般公開を行った。

WR-AOTSは、平成19～21年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究「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」がベースとなっている。WR-AOTSの特徴は以下の通りである。

- ①可搬型とするため1台のノート型PCで動作可能
- ②音響レンダリングのソフトウェア化により専用ハードウェアよりも低価格
- ③地磁気ジャイロセンサとGPSなどの計測デバイスで構成し低価格
- ④身体の外へ引き回される各種センサのワイヤリングが不要で安全

ところで、昨年度公開したWR-AOTSのβバージョンは、仮想空間内を移動する際にはマウスによる操作が必要であった。WR-AOTSが目指すところは、実際の歩行訓練に用いられるような街並みを再現し、その中を実際に移動しながら訓練することである。そのためには精度の高いモーションセンサを利用しなければならないが、高精度のものは高価であるため、視覚支援学校等では導入が困難である。

そこで、今年度は、市販されているいくつかの安価なモーションセンサをピックアップし、その精度を実測調査してWR-AOTSに組み込むセンサの候補を挙げると共に、モーションセンサにはつきもののドリフトを低減する方策についても検討する。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究打合せ：

平成24年3月1日 第1回 東北大通研

- ①モーションセンサの精度実測報告
- ②ドリフトを低減する拡張カルマンフィルタの開発について
- ③新規補助金の応募について
- ④東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究成果発表会について
- ⑤移動障害物回避訓練システムについて

共同プロジェクト研究発表会：

平成24年3月2日 江陽グランドホテル

[3] 成果

(3-1) 研究成果

①モーションセンサの精度実測調査

(a)調査対象モーションセンサ

調査対象としたモーションセンサは、TK9S (NEC Tokin, 生産中止), TDS01V (バイテック), iPod Touch 第4世代(4G) (Apple), Wii Remote (略称Wiimote, 任天堂)である(Fig. 1参照)。また、誤差を測定するための比較用のセンサとしてFASTRAK (Polhemus)を用いた。TK9Sは、昨年度発表したシステムで用いていたセンサである。他のセンサに関しては以下の理由から計測することにした; TDS01V: 安価であり Windows 用ドライバが付属している, iPod Touch 4G: プログラマブルであり内部センサ情報を取得可能である他, Bluetooth で通信可能である, Wii Remote: 安価であり有志による Windows 用ドライバが公開されている他, Bluetooth で通信可能である。

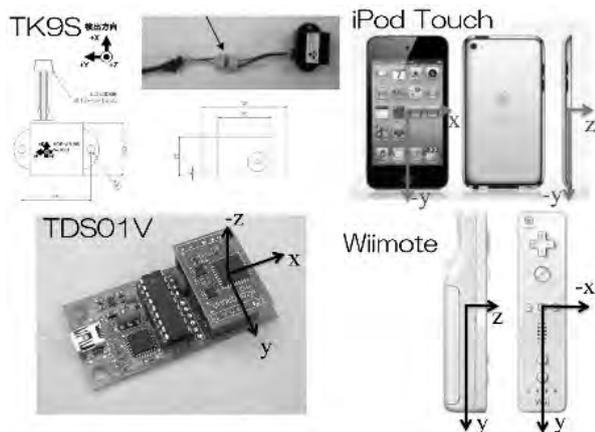


Fig. 1 実測調査したモーションセンサ

なお、比較用センサ(FASTRAK)は高精度・高サンプリングレートであるが、高価でありレシーバ部分のサイズが大きいものである。そのため、訓練現場への持ち込みが行いにくいと考えられる。

本研究においては、この比較用センサとの比較を通じて、これらセンサの精度について分析を行う。

(b)調査方法

調査方法を Fig. 2 に示す。まず PWM 制御によって一定速度で往復回転運動する装置を作成した。この装置での回転は頭の回転運動を考慮し、往復回転運動できるようになっている。この器具を製作するのに用いた機材は、モータ: タミヤ AO-8001 Geared Motor 3633K36, モータコントローラ: 共立電子 DC モータコントローラ KIT2, モータ制御: Arduino Duemilanove 328 であり、安定化電源でこ

の装置に 10V, 1A を供給して作動させた。モータの回転部には長さ 29.5 cm/幅 2.2 cm/厚さ 0.3 cm の板を固定し、この一端に比較用センサを取り付け、もう一端に調査対象センサのうちいずれかを取り付けて計測を行った。なお、センサごとにロール・ヨー・ピッチ角度を計測した(各センサにおける角度の定義は Fig. 1 を参照)。また、計測時間は約 1 分間とした。

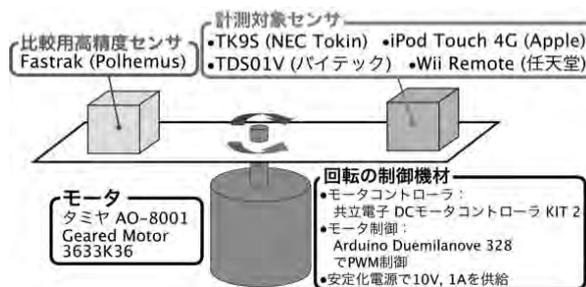


Fig. 2 センサ精度の計測方法

(c)結果と考察

Fig. 3(a~d)(横軸: 時間, 縦軸: 検出角度)に計測された各センサのロール・ピッチ・ヨー角度を示す。

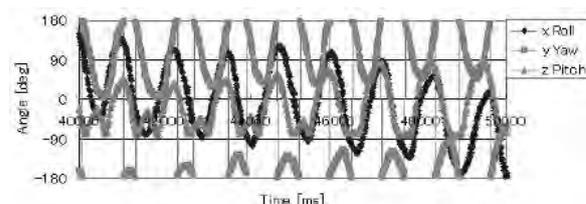


Fig. 3(a) TK9S

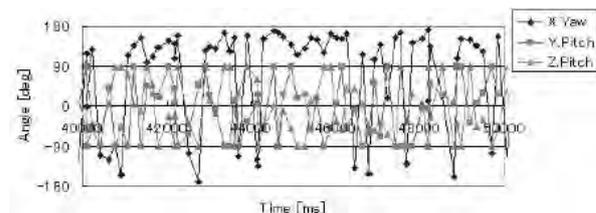


Fig. 3(b) TDS01V

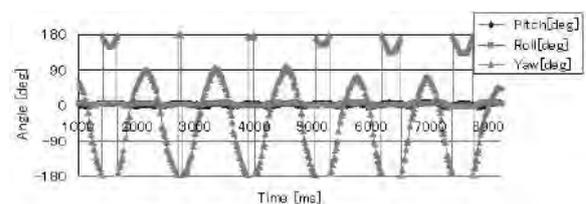


Fig. 3(c) iPod Touch 4G

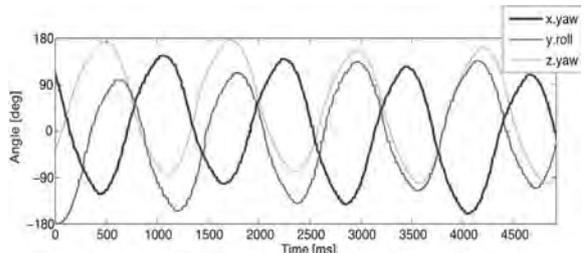


Fig. 3(d) Wii Remote

水平面方向の知覚における音源定位の弁別限は、Preibisch-Effenberger や Haustein らの結果によれば、正面方向で $\pm 3.6^\circ$ 、側方で $\pm 10^\circ$ (右)、 $\pm 9.2^\circ$ (左)、後方で $\pm 5.5^\circ$ である。よって、概ね $\pm 3.6^\circ$ 以下の誤差であれば十分である。

TK9S は比較用センサと比較すると、全ての角度において誤差は 3.6° 以下であった。しかしながら、本センサは現在生産中止という状況にある。TDS01V と比較用センサとの誤差は、全ての角度において 20° 以上であった。この精度では、頭部回転角度を検出するに当たっては利用可能ではないと言える。iPod Touch 4G ならびに Wii Remote と比較用センサとの誤差は、すべての角度において 3.6° 以下であった。このことから、両センサは頭部回転角度の検出に有効であると言え、これら4つのセンサの中ではこの2つが WR-AOTS に適していると言えよう。

②ドリフトを低減するための方策検討

モーションセンサのドリフト(時間経過と共に発生するゼロ点の自己変動)を低減するための方策として拡張カルマンフィルタを実装した。その結果、ドリフトによる誤差を大幅に低減することができた。

(3-2) 波及効果と発展性など

すでにモーションセンサはスマートホン、タブレット型 PC、カーナビゲーションシステム、ビデオゲーム機などに応用されエポックメイキングな製品が世に出されているが、いずれも機器に組み込まれているため、別の機器に応用するのは容易ではない。

一方、iPod Touch や Wii Remote は、比較的安価で手に入りやすく、Bluetooth による無線通信が可能であることに加え、センサとしての精度の高さや応用のし易さが本研究により証明された。これにより、例えば、バーチャルリアリティや拡張現実感などの技術によって仮想空間を出現させ、その空間内を自由に移動できるようにすれば、能動的参加型の、より没入感や臨場感の高い仮想環境を大がかりな機器を使わずに実現できる可能性がある。

また、モーションセンサにつきもののドリフト誤差を拡張カルマンフィルタにより大幅に低減できることが明らかとなったため、ある程度高い精度が要求されるような運動測定などにもこれらの安価なセンサが利用できる可能性が高まった。例えば、医療やリハビリテーションへの応用、さまざまな訓練や教育への応用なども考えられる。

今後は、これらの無線モーションセンサを頭部の回転運動測定に用いたり、GPS による位置情報を補間したりするために用いる予定である。

[4] 成果資料

- 1) 三浦貴大, 関喜一, 岩谷幸雄, 大内誠, 「三次元音響による聴覚空間認知訓練システムの改良のためのセンサ性能調査」, 第 20 回視覚障害リハビリテーション研究発表大会抄録集, (2011).
- 2) 三浦貴大, 関喜一, 岩谷幸雄, 大内誠, 「広範囲電子的測位による 3 次元音響を用いた視覚障害者の聴覚空間認知訓練の可能性 (第 5 報) -利用可能なセンサに関する調査」, 第 37 回感覚代行シンポジウム予稿集, (2011).
- 3) 関喜一, 「ヒトの聴覚による空間認知のメカニズム ~ 音源定位と視覚障害者の障害物知覚 ~」, 日本ロボット学会 ロボット工学セミナー第 66 回シンポジウム 動物に見る賢さと巧みさ~新しいロボットへの道標~, (2011).
- 4) 関喜一, 「障害物知覚という能力」, 白夜書房 中学・高校バスケットボール, (2012-03).
- 5) Honda, A., Shibata, H., Hidaka, S., Gyoba, J., Iwaya, Y., & Suzuki, Y. 「The Effects of Head Movement and Accurate Proprioceptive Feedback in Training of Sound Localization」 12th International Multisensory Research Forum, Fukuoka, Japan. (i-Perception, Vol 2, 865.), (2011).
- 6) Ohba, K., Iwaya, Y., Honda, A., & Suzuki, Y. 「Detection Thresholds of Sound Image Movement Deteriorate During Sound Localization」 12th International Multisensory Research Forum, Fukuoka, Japan. (i-Perception, Vol. 2, 807.), (2011).
- 7) 大場景翔・岩谷幸雄・本多明生・鈴木陽一, 「音像定位課題における頭部運動速度が音像移動検知限に及ぼす効果」日本音響学会 2011 年秋季研究発表会, 島根大学, (2011).
- 8) 大場景翔・岩谷幸雄・本多明生・鈴木陽一, 「頭部運動を伴う音像定位課題における音像移動の検知」, 信学技報 IEICE Technical Report EA2011-66(2011-8), 99-103, (2011).
- 9) 水戸部一孝, 鈴木雅史, 吉村昇, 「車道横断体験用シミュレータによる高齢歩行者交通事故の誘発要因の検討」, 生体医工学学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.108-115 (2011)
- 10) 水戸部一孝 (分担執筆), 「The Silver Market Phenomenon -Second Edition-」, Springer, pp.371-381, (2011).

採択番号 H22/A12

周波数領域両耳聴モデルにおける 指向特性制御に関する研究

[1] 組織

代表者：菅木 禎史

(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：

宇佐川 毅

(熊本大学大学院自然科学研究科)

研究費：物件費20万6千円，旅費21万5千円

[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、現在開発途中ではあるが、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。

前プロジェクトでは、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。また、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。

本課題では、次世代両耳補聴器を実現するための基礎技術の開発とそれらの融合化を目指す。

[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。

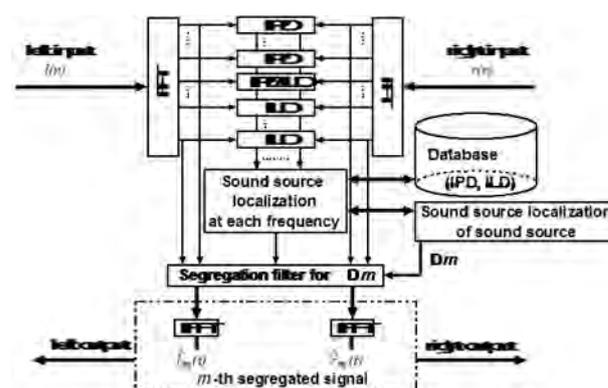


Fig.1 周波数領域両耳聴モデルのブロック図

このFDBMは、任意の方向に指向特性を形成可能である。これを両耳補聴器へ応用する場合、指向性を自動的に聞き取りたい音の方向に適応制御することが望まれる。適応制御においては、平成22年度に引き続き、先行音効果をモデル化することを試みて音源方向の安定した推定を検討した(文献6)。また、両耳信号による音源方向推定では、音源方向の前後判断が難しいため、ニューラルネットを用いた高精度でかつ高速な判別法の検討を行った(文献1, 2, 5, 7, 11)。さらには、両耳補聴器を装着した際に利用者自身の発話を抑圧する必要があるが、その自発話検出手法についても検討を始めた(文献3, 10)。このように、指向性制御の完全自動化は望まれつつあるものの、常用する補聴器への応用を考え

るとフェイルセーフも十分に考慮した高度なシステム設計が必要となる。ユーザー自身が制御する必要がある場面では、身体動作全般も重要な役割を果たすことが考えられる。人の意識的、無意識な行動は指向性制御に欠かせないものであり、その行動のひとつは頭部運動である。これは、人が音像定位をする際に首を自然と振ることや、振ることによって定位精度が向上する知見から明らかである。このように、人の行動による制御は次世代両耳補聴器に必須の技術であり、本課題の一部として、それを実現するための基礎技術の検討を行った。

【結果】

ここでは、小型6軸慣性センサを利用した頭部の運動を検出（文献 4, 8, 9）および音源方向検出における前後判断の制御方法（文献 1, 2, 5, 7, 11）について述べる。

1) 頭部運動の検出

加速度センサを用いて、頭部運動の検出に関する実験を行った。右耳介部にセンサを装着し、xyz軸での加速度値より運動検出を試みた。それぞれの軸での出力値の短時間平均値を閾値を設けて検出する方法（閾値法）と機械学習の一つであるサポートベクターマシン(SVM)を用いる方法(SVM法)の検討を行った。

閾値法においては、頭部左回転は23.3%、右回転は20.0%の検出率にとどまったが、SVM法では、出力値の加速度の移動平均、分散、FFTパワースペクトルを学習させることにより、それぞれが、70.0%、73.3%まで改善された。また、うなずき動作、頭部傾倒動作においては、それぞれ100%の検出が可能となった。

加速度を用いた方法では、十分な検出精度が得られないために、今後は角速度を有効に利用する方法を検討する。

2) 音源方向の前後判断

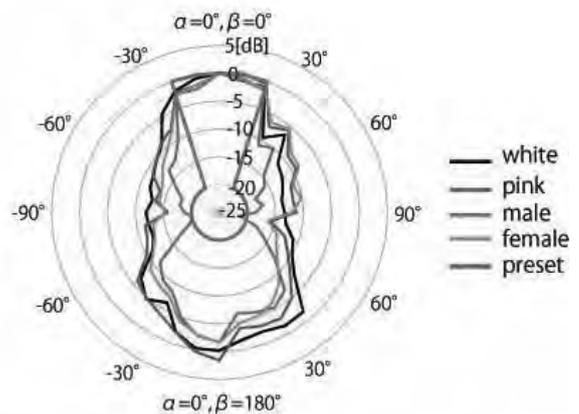
周波数領域両耳聴モデルは、両耳間時間差(IPD)、両耳間レベル差(ILD)に基づき、音源方向の推定および分離を行っている。しかし、コーン状の混同が存在し、前方に位置する音源を後方に取り違える、またその逆も生じやすい。頭部伝達関数を解析し、スペクトラルキューが存在することは、千葉工大の飯田らが明らかにしており、頭部伝達関数を用いても前後判断の精度を向上させることは可能と考えられる。そこで、機械学習のひとつである人工ニューラルネットワーク(ANN)を用いることにより、精度向上が図れるか否かを検討した。

矢状座標に基づき IPD, ILD を算出し、それらを ANN に学習させる。学習には、音源方向推定をする音源の周波数成分に依存させないために、白色雑音を用

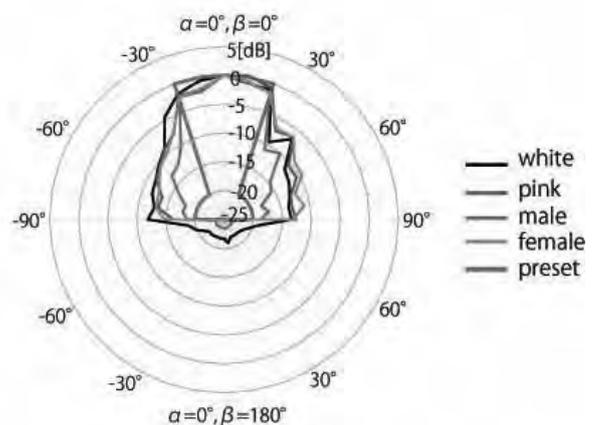
いた。空間を前後左右に4分割し、それぞれにANNを用いた。また、全周波数帯域を学習させたANNの結合加重の小さいものから間引きをし、ANNを歳学習することによるANNの総演算量の削減を行った。

シミュレーションでは、名古屋大学の西野らが提供している頭部伝達関数を学習させた。サンプリング周波数は16 kHz・16bit、フレーム長は512であり、周波数binは31.25 Hzである。音源の信号には、白色雑音、ピンク雑音、男声、女声を用いた。

Fig. 2(a)は、前後判断機能を実装していない従来の周波数領域両耳聴モデルによる指向特性である。Fig. 2(b)は、前後判断機能を実装した場合の結果である。この図は、頭頂部から見た図であり、図の上方向が顔の正面である。どの音源に対しても、基本的には前後判断ができていたことが分かる。それぞれの音源方向推定精度は、各々99.7%、99.6%、97.6%、98.3%であった。



(a) 従来の周波数領域両耳聴モデルの指向特性



(b) 前後判断機能を実装した周波数領域両耳聴モデルの指向特性

本年度も、引き続き高度な両耳聴補聴器を実現す

るために必要な基礎技術の検討を行った。人の身体動作に基づく指向性制御、そして、従来の周波数領域両耳聴モデルで生じていた前後判断の精度向上を実現した。また、自発話の検出に関する研究にも着手した。

これらの基礎技術の複合化による次世代両耳補聴器を実現できる可能性が示唆されつつある。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて、両耳補聴システムに必要な不可欠な処理を個々に開発を進めてきている。それぞれに改良の余地はあるが、演算量の少ない方法であるため既存の製品に対しても個々に適用可能である。今後は、行動と指向性制御の連携や先行音効果などによる音源方向推定との連携の検討を行うことにより、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) 宇佐川 毅, 佐保 貴哉, 菘木 禎史
周波数領域両耳聴モデルのポータブルデバイス上への実装 ～ ハウリングキャンセラと前後誤判断の制御 ～
信学技報, vol. 111, no. 27, SIP2011-16, pp. 89-94 (2011.5)
- (2) 佐保 貴哉, 菘木 禎史, 宇佐川 毅
周波数領域両耳聴モデルに基づく補聴システムにおける前後誤判断の抑制手法
電子情報通信学会技術研究報告, Vol.41, No.6, EA2011-56, pp.413-418 (2011.8)
- (3) 小野口 平, 菘木 禎史, 宇佐川 毅
周波数領域両耳聴モデルに基づく自発話の検出を目指した近傍頭部伝達関数に関する考察
電気関係学会九州支部連合大会講演論文, 05-2A-16, p.337(CD-ROM) (2011.9)
- (4) 島添 真和, 菘木 禎史, 宇佐川 毅
頭部回転動作を用いた両耳補聴システムの指向性制御
電気関係学会九州支部連合大会講演論文, 01-2P-02, p.450(CD-ROM) (2011.9)
- (5) 佐保 貴哉, 菘木 禎史, 宇佐川 毅
狭帯域信号を用いた音源方向の前後弁別手法-周波数領域両耳聴モデルに基づく補聴システムへの実装の検討-
日本音響学会 2011 年秋季研究発表会講演論文集, pp.761-764 (CD-ROM) (2011.9)
- (6) 藤澤 暁, 菘木 禎史, 宇佐川 毅
両耳信号の立ち上がり検出に基づく直接音の方向推定と強調

日本音響学会 2011 年秋季研究発表会講演論文集, pp.767-770 (CD-ROM) (2011.9)

(7) 佐保 貴哉

周波数領域両耳聴モデルにおける前後誤判断の抑制手法に関する研究

熊本大学大学院自然科学研究科情報電気電子工学専攻修士論文 (2012.2)

(8) 島添 真和

両耳補聴システムの指向性制御のための3軸加速度センサを用いたSVMによる頭部回転動作の検出に関する研究

熊本大学大学院自然科学研究科情報電気電子工学専攻修士論文 (2012.2)

(9) 田中 章悟

6軸慣性センサを用いた頭部動作の回転角度検出に関する研究

熊本大学工学部情報電気電子工学科卒業論文 (2012.3)

(10) 小野口 平, 菘木 禎史, 宇佐川 毅

周波数領域両耳聴モデルに基づく近傍頭部伝達関数を用いた自発話検出手法の検討

日本音響学会 2012 年春季研究発表会講演論文集, pp.689-692 (CDROM) (2012.3)

(11) 佐保 貴哉, 菘木 禎史, 宇佐川 毅

前方空間のみに指向性を生成可能な周波数領域両耳聴モデル -スペクトラル・キューを用いたコーン状の混同の解消-

日本音響学会 2012 年春季研究発表会講演論文集, pp.693-696 (CDROM) (2012.3)

採択番号 H22/A13

ブレインウェアシステムの研究

[1] 組織

代表者：加納 敏行（日本電気株式会社）
 対応者：多田 順次（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）
 大野 英男（東北大学電気通信研究所）
 中島 康治（東北大学電気通信研究所）
 大堀 淳（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）
 榊井 昇一（東北大学電気通信研究所）
 塩入 論（東北大学電気通信研究所）
 中尾 光之（東北大学大学院
 情報科学研究科）
 石黒 章夫（東北大学大学院工学研究
 虫明 明（東北大学大学院
 医学系研究科）
 川上 進（東北大学電気通信研究所）
 外池 光雄（千葉大学大学院工学研究科）
 中嶋 宏（オムロン(株)）
 國尾武光（日本電気(株)）
 藤澤 浩道（(株)日立製作所）
 前田 賢一（(株)東芝）
 古賀 昌史（(株)日立製作所）
 濱本 将樹（シャープ(株)）
 武 理一郎（(株)富士通研究所）
 小川 雅嗣（日本電気(株)）
 松田 雄馬（日本電気(株)）

研究費：物件費 28 万 8 千円，旅費 13 万 7 千円

[2] 研究経過

情報処理は多面的・階層的な機能であるが、現在の情報処理様式である硬い論理と逐次処理による直列集約型情報処理がハードウェア技術の驚異的な発展にも支えられて、飛躍的に発達してきた。しかしこの方法では問題自身が曖昧であったり情報が不完全であったりする場合や、不測の事態が生じた時には対応が困難である。一方、生命システムはこれらの問題に対して柔軟な情報処理を行っており、この中心を担っているのがブレインである。ここで言うブレインウェアとはこの問題を解決する新しいソラ

ダイムによる、ハードとソフトが融合した情報処理システムを意味している。

本共同プロジェクト研究では、取り扱う情報の質と量を飛躍的に向上させるために、生命システムのもつ多面的、階層的な情報原理を明らかにし、柔軟に情報処理が出来るブレインウェアのパラダイムに基づいたハードとソフトが融合した新しい情報処理システムの創成を目的としている。その目的を達成するため、生理学による知見（解析論的アプローチ）を踏まえ、ブレインウェアシステムの設計原理（設計論的アプローチ）を明らかにするため、主として以下の四つの課題について研究を展開した。

1. 認識機能；記号表現の出来る明示的な処理形式に加え、状況理解のための文脈を取り入れた意味的な処理形式の研究。特に人間の視覚情などに基づく処理の解明と計算機への埋め込み。
2. 問題解決機能；多様な文脈処理が可能になるような情報表現と新しい情報の獲得が可能になる情報処理様式の研究。特にロバストなシステムの開発。
3. 行動機能；予測不可能に変化する実環境に適応的に目的を達成する制御様式の研究。特に身体性を持つシステムにおけるブレインウェアとしての制御機能の解明。
4. 情報ベース；従来の検索エンジンと情報ベースに代わる、柔らかな推論が出来るエンジンと文脈依存的に分節化された情報ベースの研究。特に既存の処理システムとブレインウェアの連想記憶などの処理の協調による新たなベースの開拓。

これらを統合することで柔軟な情報処理の機能獲得方法を明らかにするとともに、これを実現する新しい人工物アーキテクチャの創成を目指した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究会開催実績：

- ・第1回 「真性粘菌の成長モデルを利用したアドホック経路制御技術」（日本電気 主任研究員 本吉 彦）、「高次元結合を含むニューラルネットワークを用いた最適化問題解探索システム」（東北大学大学院情報科学研究科 曾田尚宏） 2011年6月28日、出席者 21名（企業11名、大学1名）

・第2回 「マルチモーダル感覚情報の時空間統合に関して」(東北大学電気通信研究所 教授 鈴木陽一)、「自動車技術における脳研究と創発コンピュータ」(デンソー 担当部長 小野田邦宏) 2011年7月26日、出席者 23名(企業12名、大学11名)

・第3回 「単眼ヘッドアップディスプレイ実空間に情報可能なAR表示の表現」(東芝 主任研究員 佐々木 隆)、「3.11東日本大震災を振り返ってみて」《東北地方における震災・福島問題の影響》(東芝 参事 石原貴光)、「技術課題とクルマ視点の影響」(デンソー 課長補佐 光本直樹)、「ものごとの決め方について」(日立製作所 技師長 藤澤浩道)、「3.11東日本大震災を振り返り気付いたこと」(富士通研究所 山川 宏)、「東北地方における震災・福島問題の影響と対策」(東北大学電気通信研究所 教授 榊井昇一)、「3.11東日本大震災を振り返って」2(藍野大学 外池光雄) 2011年8月30日、出席者 19名(企業 9名、大学10名)

・第4回 「電力エネルギーシステムノ再構築—持続可能な完全リサイクル・エネルギーシステム—」(東北大学電気通信研究所 客員教授 矢野雅文)、「3.11東日本大震災を振り返って」《災い転じて福となす》(川上 進)、「Calamity Proof」(日本電気 主席技術主幹 加納敏行)、「3.11大震災を振り返って」(オムロン 主事 田崎 博)、「震災後のロボットについて」(シャープ 主事 濱本将樹)、「少子高齢化時代の震災復興と技術開発」(日立製作所 主任研究員 古賀昌史) 2011年9月27日、出席者 13名(企業 9名、大学4名)

・第5回 《SLM#の開発》(東北大学電気通信研究所 教授 大堀 淳)、「流体・構造練成解析を用いた羽ばたき飛行ロボットの設計と試作検証」(シャープ 主事 濱本将樹) 2011年10月25日、出席者 20名(企業10名、大学10名)

・第6回 「大脳基底核線条体における自発カルシウムリズム」とその機能のシミュレーションによる検討」(東北大学大学院医学系研究科 准教授 小山内 実)、「大脳視覚情報処理に基づく一般物体へ

の試み」(日本電気 松田雄馬) 2011年12月20日、出席者 22名(企業10名、大学12名)

・第7回 「リアルワールド応用知能システムとVLSI プラットフォーム」(東北大学大学院情報科学研究科 教授 亀山充隆)、「音声信号処理の最近の動向と今後の展望」(日立製作所 主任研究員 大淵康成) 2012年1月31日、出席者 13名(企業7名、大学6名)

・第8回 「ブレインウェアの論理—自他非分離の科学技術」(東北大学電気通信研究所 客員教授 矢野雅文)、「雲脳適盤—ブレインウェアによる耐災害社会インフラの構築—」(日本電気 主任研究員 小川政嗣) 2012年2月28日、出席者13名(企業7名、大学6名)

[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。

ブレインウェアシステム研究は、現在のノイマン型情報処理技術の延長でなく、人間の脳活動を取り入れた新しい情報産業を構築するため、基本となる基盤技術を確立することが責務である。そのため産学が一体となって、課題抽出を行っている。

本研究では人に優しい新しい情報処理技術・産業を実現するため、基本となる基盤技術・要素技術の確立を目的とし、産学が一体となって課題抽出を明確にするため、定期的な研究会を開催し検討を実施している状況である。

・本研究に参加されている研究者から具体的な成果としては、(1)情報共有技術、(2)音情報と動画情報との関連性、(3)PLL シンセサイザー、(4)匂い・嗅覚情報の入出力及び処理、(5)羽ばたきロボット、(6)インタラクティブコンテンツ技術、(7)標準ML 言語の構成、(8)CAM のデザイン、(9)ヒポキャンパスの計算論的モデル、(10)認知距離学習器モデルからみた海馬・嗅内野皮質機能の検討、(11)高次結合によるID ネットワークの応用、(12)順序動作課題と割込課題からなる二重課題を制御する神経機構、(13)時空間混合を解く複素独立生部員分析を用いたニューロン活動の弁別アルゴリズムとその評価などが報告された。

・平成23年度東北大学電気通信研究所ブレインウェア研究会報告書(平成24年3月)

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的

に活性化し、マッチングファンドによる共同研究や大規模災害においても、通信を確保する耐災害ネットワーク管理制御技術の研究開発への参加などに発展した。また、本プロジェクトで明らかになったブレインウェアの成果は、脳型情報処理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

1. W.Watanabe,T.Kano,S.Suzuki,A.Ishiguro,"A decentralized control scheme for orchestrating versatile arm movements in ophiuroid omnidirectional locomotion",Journal of The Royal Society of Interface,9-6,pp.102-109,(2011)
2. T.Sato,T.Kano,S.Suzuki,A.Ichiguro,"A decentralized control scheme for an effective coordination of phasic and tonic control in a snake-like robot",Bioinspiration & Biometrics,vol,7,No.1(2002)102-3, pp.261-269, 2010
3. T.Sota,Y.Hayakawa,S.Sato,K.Nakajima"An application of higher orderconnection to inverse functiondelayed network ",Nonlinear Theory and Its Applications,IEICE,vol.2,No.2 ,pp.180-197,Apr.,2011
4. S.Sato,A.Ono,M.Kinjo,K.Nakajima,"Performance evaluation of adiabatic quantum computation using neuron-like interconnenctionns", Nonlinear Thoery and Its Applications,IEICE,vol.2,No.4, pp.417-431,Oct., 2011
5. T.Onomi,Y.Maenami,K.Nakajima,"Superconducting neural network for solving a combinatorial optimization problem",IEEE Trans Applied Superconductivity,vol.21,No.3,pp.701-704 June, 2011
6. H.Ohno,"Spintronics meets semiconductor integrated circuits",(The Cantor Nanoscience Lectures), JSPS York-Tohoku Research Symposium on -Magnetics Materials and Spintronics- (York,UK,June 27-29,2011)
7. H.Ohno,"Nonvolatile CMOS VLSI with Spintronics", (Keynotes),International Conference on Materials for Advanced Technologies(ICMAT 2011),(Singapore,June 26-July1,2011)
8. H.Ono,"Manipulating Magnetism in Semiconductor s", (Plenary),UK Semiconductors 2011,(Sheffied, UK,July, 6-7,2011)
9. Y.Shiraishi,N.Katayama,A.Karashima,M,Nakao,"Separation of multiunit signals by independent component analysis in complex-valued time-frequency domain",Proc.33rd,Annual International IEEE EMBS Coference,pp.4410-4413,2011
10. A.Ueno,A.Karashima,M.Nakao,N.Katayama,"Parameter exploration of staircase-shape extracellular stimulation for targeted stimulation of myelinated axon" ,Proc.33rd Annual International IEEE EMB S,pp.912-915, 2011
11. 白石泰士,片山統裕,辛島彰祥,中尾光之,"時空間混合を解く複素独立成分分析を用いたニューロン活動の弁別アルゴリズムとその評価",生体医学工学,印刷中
12. K.Ueno,A.Ohori,T.Otomo,"An efficient non-moving garbage collector for functional languages", Proceedings of ACM International Conference on Functional Programming (ACM ICFP),pp.196-208, 2011
13. A.Ohori,K.Ueno, "Making standard ML a practical database programming language" ,Proceedings of ACM International Conference on Functional Programming (ACM ICFP),pp.307-319,2011
14. J.B.Shi,S.Masui, "Active-Gm-RC bandpass filter with 60MHz center frequency and a combined analog-digital tuning system",IEEE International Symposium on Radi-Frequency Integration Technology,pp.69-72,2011

採択番号 H22/A14

ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究

[1] 組織

代表者：五十嵐 隆治

(秋田大学大学院工学資源学研究所)

対応者：北形 元

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

木下 哲男 (東北大学電気通信研究所)

久米原 栄 (群馬大学総合情報メディアセンター)

上田 浩 (京都大学学術情報メディアセンター)

玉本 英夫 (秋田大学大学院工学資源学研究所)

奈須野 裕 (苫小牧工業高等専門学校)

岩谷 幸雄 (東北大学電気通信研究所)

横山 洋之 (秋田大学大学院工学資源学研究所)

高橋 秋典 (秋田大学大学院工学資源学研究所)

藤原 克哉 (秋田大学大学院工学資源学研究所)

小原 仁 (秋田大学大学院工学資源学研究所)

今野 将 (千葉工業大学工学部)

矢入 聡 (仙台高等専門学校)

打矢 隆弘 (名古屋工業大学情報基盤センター)

研究費：物件費 25 万円，旅費 41 万 6 千円

[2] 研究経過

コンピュータ，特にパソコン間で導入された LAN に比べ画期的と思われた初期のインターネット活用では全く予想もしなかった事態が近年のインターネットでは起きてしまっている。サイバー攻撃や SNS における個人情報揺曳，人権の侵害，スマートフォンなどの使用による帯域の著しい消費など，今後の我々の社会生活のみならず国家レベルでのセキュリティ確保やテロの防止などで深刻な問題を抱え込んでしまうようになって来ている。このような状況のもとで，より優れたネットワークの利活用を進めるにはどのような研究をし，またそれにより得られた知見をどのようにアピールし，且つ応用して行くのかは重要な課題である。この知見は東日本大震災のような激甚災害発生時にも有効に生かせるものであると考えられる。また安全で信頼性が高く，且つ快適なインターネット運用のためにはトラ

フィックの輻輳状況やインターネットの可用帯域のチェックのみならず，個人情報の秘匿手段ないしは措置などの提案も重要となる。以上を勘案し本プロジェクトでは，より効果的なネットワークの利活用のための知見獲得を目的とし，以下の [2] に述べるような研究活動を実施した。

研究は各分担者の所属機関の間で連携をし，インターネットの可用帯域推定や取得トラフィック特性とインターネット状況との関連，能動的情報資源 (AIR: Active Information Resource) を活用したインターネット上での効率的なトラフィックデータ取得，ならびにこの知見を用いた分散バックアップシステムの提案とモバイル端末の移動履歴取得が個人の移動履歴暴露につながる可能性の研究を展開した。またローカルなネットワークにおける問題を，e ラーニングシステムの稼働を例に探ってみた。

本年度は東日本大震災の影響で申請の採択が平成 23 年 7 月と前年度より大幅に遅れたので，研究発表ならびにディスカッションは年度末，総括としての「ネットワーク利活用のための知見獲得に関する基礎的研究」研究発表会を，平成 24 年 3 月 15 日 (木)，13:00~17:55，東北大学電気通信研究所 2 号館 2 階 W214 室において，14 名の参加により実施した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

ネットワーク状態の推定のためには実ネットワーク上でのトラフィック計測が有効である。より正確，且つ精確な推定のためには多地点でのトラフィック計測が望まれるが，インターネット上のすべてのノードからのデータを得るのは実際上不可能である。このような場合，能動的情報資源 (AIR: Active Information Resource) を活用した多地点協調型トラフィック計測法は有効と考えられ，シミュレータ ns2 により本提案の妥当性を確認してみた。本計測法では通信フローを特定する IP アドレス，ポート番号，プロトコル番号の情報からハッシュ値を算出し，各ノードが計測すべき通信フローのハッシュ値を，管理対象ネットワークの中心となるノードから

のホップ数に従い割り当てる知識を、各ノードに組み込んだ。シミュレーションにより提案手法による多地点トラフィック計測に関する分散計測の効率化、すなわち計測する通信フローの重複削減と、フロー再現性の向上が達成できることを示した。関連の成果は [4] - (1) ~ [4] - (5) である。

本プロジェクトでは移動型分散バックアップシステムの提案とプロトタイプ稼働を、名工大ー東北大における分散バックアップシステム利用実験により実施し、提案手法の有効性を確認した。本試行は多地点協調型トラフィック計測法の成果を踏まえたものである。

上述の研究を進めるに当たってはネットワークエンドーエンド間の可用帯域の推定と確保が重要である。高精度な可用帯域推定ではアクティブ測定を採用するが、この測定ではネットワークにパケットを強制的に送信するため、ユーザ帯域への影響が問題となる。本年度のプロジェクト研究においてはこの影響を最小とし、且つパケットギャップの変化より可用帯域を直接推定可能とするために2組のプローブパケットを用いる方法の提案と検証を実施した。この結果、本提案方式では10%以下の誤差で可用帯域を推定できた。以上の成果は [4] - (6) に述べられている。

ネットワークトラフィック時系列はその稼働全期間に渡り定常過程であるということはない。これは、たとえば、1週間に渡る状況を想定してみれば明白で、ユーザーの使用サイクルに応じた変化、すなわち Diurnal Variation (日変化) を呈する。統計学的にはこれは、その時系列長により季節性(周期性)ないしはトレンドとして観測されるものである。この日変化が存在するときのトラフィック状況またはネットワーク状態は、単純に輻輳状態であるかまたは自己相似過程にあるかの判別は困難で、実ネットワークにおける長期間、且つ注意深い観測が必要となる。成果 [4] - (7) ではネットワークの定常・非定常状態の把握と関連付けた研究の推進がさらに必要であるという知見を得た。

以上のようなネットワーク状態の把握は高度な、ないしは社会的な問題の検討などには非常に有益な情報を提供し得る。たとえばスマートフォンに代表されるようなモバイル端末で Wi-Fi や Bluetooth を利用することはその仕様上、重大なプライバシーリスクを抱えている。具体的には、一般にモバイル端末の移動履歴がその端末を所有するユーザの移動履歴に近似できるという性質と、通信の際に用いられる端末固有の ID が外部から容易に観測できるという性質から、この ID を位置情報とともに観測・収集することでユーザの位置に関するプライバ

シー情報が暴露される可能性があるという問題である。この問題解決のためのフィールド実験実施に関しては、本プロジェクトの上述の成果は有効に活用し得る。

トラフィック時系列は定常状態ではおおむね自己相似性を示すが、定常状態に異常トラフィックが重畳された場合には特徴的な性質を呈し、これは R/S ボックスダイアグラムにより有効に検知し得ることを本プロジェクトのメンバーが見出している。R/S 解析は元来、自己相似性の程度のパラメータであるハーストパラメータ H の推定に用いられるグラフ的な推定法である。本法は統計的な方法であり、テンプレートなどを用いる異常検知法に比べると異常の検知精度は決して高くはない。しかし、日々変化する異常トラフィックパターンの検知には統計的な方法が有効であるとされ、本プロジェクトで用いているこの方法は十分に有効であると考えている。ただし本研究での用法は通例の R/S 解析での用法とは異なり、常にトラフィックの自己相似性を評価していることにはならない。ゆえに本年度はこれとは独立な統計的な変化点検知法、具体的には CUSUM (累積和) 法および適応閾値法との比較検討を実施してみた。この結果、定常トラフィックにレベルシフト的な、および周期的な異常トラフィックが重畳されているときに、R/S ボックスダイアグラムを有効に活用し得るという知見を得た。成果の [4] - (8) ~ [4] - (10) にこれが述べられている。

以上の知見の応用としての成果は [4] - (11), (12) に述べられている。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは7機関の連携により実施しているものであるが、ネットワークトラフィックデータの収集・解析およびシミュレータを併用した研究手法に特徴がある。この成果をネットワーク管理支援システム構築や多地点トラフィック分散計測、および分散バックアップシステム構築に応用しようという観点が有効であると考えている。これらの知見ないしは結果は国内外の会議でも発表していて、技術的な見地から高く評価できるとともに、従来の技術的な検討・成果のみならず、現在鋭意検討されている、インターネット利用に伴う社会的な、特に個人情報の問題などにも知見を拡大し得ることは、本プロジェクトの成果の多様な可能性を示唆している。

[4] 成果資料

- (1) Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Gen Kitagata, and Tetsuo Kinoshita, "A Practical Design and Implementation of Active Information Resource based Network Management System," *International Journal of Energy, Information and Communications*, Vol.2, No.4, pp.67-86, 2011.
- (2) 伊豆博聡, 佐藤彰洋, 笹井一人, 北形元, 木下哲男, "ネットワーク管理のための自己相似性に基づくネットワーク状態の推定," 2011年電子情報通信学会総合大会通信講演論文集, B-6-112, p. 112, 2011.
- (3) 槻木澤光紘, 笹井一人, 北形元, 木下哲男, "AIR-Space: ネットワーク透過な AIR 間協調の場の提案," *信学技報*, vol. 111, no. 197, IN2011-78, pp. 89-92, 2011.
- (4) 笹井一人, 北形元, 木下哲男, "能動化された知識資源によるネットワーク障害解決支援システム," *マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集(DPSWS2011)*, pp. 32-37, 2011.
- (5) 丹治直幸, 槻木澤光紘, 高橋秀幸, 笹井一人, 北形元, 木下哲男, "通常管理業務におけるメタ情報の能動的な獲得方式の提案," *信学技報*, Vol. 111, No. 197, IN2011-70, pp. 45-48, 2011.
- (6) P. Selin, K. Hasegawa, and H. Obara, "Available Bandwidth Measurement Technique Using Impulsive Packet Probing for Monitoring End-to-End Service Quality on the Internet," *Proceedings of Asia Pacific Communication Conference*, Tu-8-4, Kota kinabalu, Malaysia, 2011.
- (7) 近藤大智, 阿部正弥, 奈須野裕, 高橋秋典, 五十嵐隆治: LANの対外トラヒックの解析と考察, 平成23年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会講演論文集, 2011.
- (8) 小西航, 高橋秋典, 五十嵐隆治, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, 奈須野裕: 長期的スキャン攻撃の周期性に着目した異常検知法に関する研究, 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2011 8/25-8/26, 於, 東北学院大学 多賀城キャンパス], 1C07, p83, (仙台, 8月), 2011.
- (9) 高橋宏幸, 高橋秋典, 五十嵐隆治, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, 奈須野裕: ON/OFFモデルに基づくバックグラウンドトラフィック生成法に関する研究, 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2011 8/25-8/26, 於, 東北学院大学 多賀城キャンパス], 1C09, p85, (仙台, 8月), 2011.
- (10) 鬼沢彩人, 五十嵐隆治, 高橋秋典, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, 奈須野裕: 統計的な変化点検出法によるトラフィック異常検知, 平成23年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, [2011 8/25-8/26, 於, 東北学院大学 多賀城キャンパス], 1C10, p86, (仙台, 8月), 2011.
- (11) Hiroshi UEDA: "Renovation of Campus IT Infrastructure with Fiber to the Desk Network" Alcatel-Lucent Enterprise Dynamic Tour 2011, Marina Sands Bay, Singapore, 2011.
- (12) 今井正樹, 上原哲太郎, 侯書会, 上田浩, 津田侑, 喜多一: "情報漏洩元の特定を可能とする電子文書管理システム", 2012年暗号と情報セキュリティシンポジウム(SCIS2012), 2012.

H22/A16

共生コンピューティングに基づく 実世界指向アプリケーションの高度化に関する研究

[1] 組織

代表者：藤田 茂

(千葉工業大学情報科学部)

対応者：木下 哲男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

菅原 研次 (千葉工業大学情報科学部)

菅沼 拓夫 (東北大学サイバーサイエンスセンター)

宮本 俊光 (福山市立大学教育学部)

原 英樹 (千葉工業大学情報科学部)

今野 将 (千葉工業大学工学部)

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

打矢 隆弘 (名古屋工業大学大学院工学研究科)

真部 雄介 (千葉工業大学情報科学部)

研究費：物件費22万9千円，旅費20万7千円

[2] 研究経過

本プロジェクトでは、現実世界をモデル化し、互いに相互利用可能な実世界指向アプリケーション実現への要求が高まっており、昨年度から「共生コンピューティングに基づく実世界指向アプリケーションの高度化に関する研究」プロジェクトを実施してきた。今年度、この研究プロジェクトでは、人間と情報システムを含んだ系の予測が困難であるという一般的な状況下において、実用可能な実世界指向アプリケーションの高度化を目指して、共生コンピューティング技術を研究開発した。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、(1) 研究室における人間の行動取得、(2) センサーのエージェント化、(3) パーソナライズ手法、(4) 健康支援システムを例とするセンサー利用、(5) オープンソースプロジェクト調査を行い、利用者にストレスを与えない情報獲得が可能になることを明らかにし、実世界指向アプリケーションとして健康支援システムの試作と評価を行った。

そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、(1) 人間性・社会性に考慮した個人化サービス基盤、(2) 情報システムの省電力化を実現する次世代ネットワーク管理技術、(3) Human-Aware Environment 実現、(4) マルチエージェントフレームワーク、(5) 共生コンピューティング基盤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。

- ・平成23年度研究会
- ・日時：平成24年2月1日15：00～
- ・場所：東北大学電気通信研究所
- ・参加者：
 - 木下哲男 (東北大学)
 - 菅原研次 (千葉工業大学)
 - 菅沼拓夫 (東北大学)
 - 北形元 (東北大学)
 - 高橋秀幸 (東北大学)
 - 打矢隆弘 (名古屋工業大学)
 - 藤田茂 (千葉工業大学)
 - 真部雄介 (千葉工業大学)

・研究発表内容

- ① 共生コンピューティング基盤 (千葉工大、藤田)
- ② 情報システムの省電力化を実現する次世代ネットワーク管理技術 (東北大学、菅沼)
- ③ 発展型エージェントシステムのためのマルチエージェントフレームワーク (名工大、打矢)
- ④ Human-Aware Environment 実現に向けた試み (千葉工大、真部)
- ⑤ 人間性・社会性を考慮した個人化サービス基盤

[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、誰でも・いつもの様に使える利用者の状況を考慮した情報サービスの実現を目的として研究を行った。この結果、特別な端末を携行せずに運営者が異なる複数のサービスに対して共通に使用可能なサービス個人化手法を開発することが可能になった。

第2に、ネットワークシステム全体の省電力化の実現を目的として研究を行った。この結果、既存のネットワーク管理システムをベースにした ICT 機器の消費電力量収集・分析・可視化機能の設計と実装が行われた。第3に、情報システムの進化・発展機構における監視アーキテクチャの開発を目的として研究を行った。この結果、不安定な情報システムコンポーネントの早期発見・対応方式を開発することができた。また、情報システムの進化・発展機構における異種エージェント協調機構の開発を目的とした研究を合わせて行い、多様なエージェントの相互連携・組織化方式を確立した。第4に、**Human-Aware Environment** 実現に向けた研究を、実環境における人間の行動認識、個人認識を目指して行った。この結果、ポータブル性のある **Awareness** 環境を開発することができた。第5に、共生コンピューティング基盤の開発を目的とした研究をおこなった。この結果、信号からアイコン (icon) を得るための基盤技術の設計開発が進められた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの遂行によって、国内外の研究者との交流が活性化し、**IEEE International Conference of Cognitive Informatics and Cognitive Computing 2012** を日本 (京都 2012 年 8 月 22 日~24 日) で開催することになるなど、実世界指向コンピューティングの発展と国際的な研究者ネットワーク構築に寄与した。2012 年の国際会議開催に続いて、今後の発展が期待されている。

本研究プロジェクトの本年度の研究テーマそれぞれについて、(1) 誰でも・いつもの様に使える利用者の状況を考慮した情報サービスの実現では、情報機器の偏在化が進む将来のコビキタス社会におけるパーソナライズドサービス基盤への発展が期待される。(2) ネットワークシステム全体の省電力化の実現では、ICT 機器の電力使用状況に基づく人の行動推定と、ユーザビリティを損なわない ICT 機器の ON/OFF 制御によるスマートな省電力化が期待できる。(3) 情報システムの進化・発展機構における監視アーキテクチャの開発では、利用者の状況に応じて適応的に動作する情報システム運用への応用が期待されている。また、情報システムの進化・発展機構における異種エージェント協調機構の開発では、適応的に動作する情報システムの高度化の実現が期待されている。(4) **Human-Aware Environment** 実現に向けた研究では、VDT 作業環境の **Awareness** 獲得が容易になることが期待されている。(5) 共生コンピューティング基盤では、信号からアイコン (icon) を得て知識処理システムを構築する基盤技

術が期待されている。

本研究プロジェクトでは、基礎的なモデルから、実世界指向アプリケーションの開発まで、一貫した概念 (共生コンピューティング) に基づいて研究開発が遂行され、その実現のためのマルチエージェントフレームワーク自身も同一の概念である共生コンピューティングに基づいて作成されるなど、新しいコンピューティングのモデルを提案実装評価するという他に類を見ない研究プロジェクトであった。この結果、その独自性と発展性には今後の期待が寄せられている。

この結果、本研究プロジェクトのメンバーを共著者に含む招待論文「Norio Shiratori, Kenji Sugawara, Yusuke Manabe, Shigeru Fujita, Basabi Chakraborty: Symbiotic Computing Based Approach Towards Reducing User's Burden Due to Information Explosion. JIP 20(1): 37-44 (2012)」が出版されるなど、本研究プロジェクトの研究成果は広く世界に公開され、関連する研究が盛んになる波及効果が期待される。

[4] 成果資料

- (1) Shigeru Fujita, Kenji Sugawara: Knowledge Management for a LAN design and operations using multi-agent systems. CSCWD 2011: 804-807
- (2) Kenji Sugawara, Yusuke Manabe, Shigeru Fujita, Salem Ben Yaala: Interaction Zone between an office worker. CSCWD 2011: 862-866
- (3) Susumu KONNO, Tomoya YAMADE, ''Case study on support system of watchover children using regional information'', Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC 2011), pp.268-271, Canada (2011.8)
- (4) Y. Manabe, K. Sugawara, Sitting Posture Recognition and Location Estimation for Human-Aware Environment, International Journal of Software Science and Computational Intelligence, Vol. 3, Issue 1, pp. 34-49, 2011.
- (5) Y. Manabe, R. Yuzawa, N. Kondo, K. Sugawara, Development of Perceptual Functions as Primitive Awareness for VDT Work Environment, Proceedings of IEEE 3rd International Conference on Awareness Science and Technology, pp. 272-277,

- Dalian, 2011.
- (6) Y. Manabe, S. Fujita, S. Konno, H. Hara, K. Sugawara, Low-Level Cognitive Process Model for Symbol Grounding in Context-Aware System, Proceedings of 10th IEEE International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing, pp. 247-253, Banff, 2011.
- (7) 中村直毅、菅沼拓夫、白鳥則郎、“情報システムの省電力化を実現する次世代ネットワーク管理技術”、第1回先進的情報通信工学研究会(仙台)(2011年12月16日)
- (8) 中村直毅、稲葉勉、菅沼拓夫、キニ グレン マンスフィールド、白鳥則郎、“次世代グリーン指向ネットワーク管理技術”、2012年電子情報通信学会総合大会(岡山:2012年3月)
- (9) 稲葉勉、小笠原孝志、中村直毅、菅沼拓夫、白鳥則郎、“グリーン指向ネットワーク管理に基づくセンサー連動型 ICT システムの省電力化”、2012年電子情報通信学会総合大会(岡山:2012年3月)
- (10) 小笠原孝志、稲葉勉、中村直毅、菅沼拓夫、白鳥則郎、“グリーン指向ネットワーク管理に基づく IP 電話システムの省電力化”、2012年電子情報通信学会総合大会(岡山:2012年3月)
- (11) 栗原孝太、大澤由憲、菅沼拓夫、橋本和夫、“電力の有効利用を実現するためのプランニングの検討”、第74回情報処理学会全国大会(名古屋:2012年3月)
- (12) 吉野太郎、大澤由憲、菅沼拓夫、橋本和夫、“消費電力観測値からの生活状況推定手法の提案”、第74回情報処理学会全国大会(名古屋:2012年3月)
- (13) 橋本和夫、北形元、高橋秀幸、武田敦志、チャクラボルティデバシシュ、白鳥則郎、“Socio-familiar Personalized Service の提案とその応用—次世代ユビキタスサービスを実現するネットワークソフトウェアへ向け—”、電子情報通信学会論文誌, Vol. J94-B, No. 4, pp. 492-502, 2011. (招待論文)
- (14) Gen Kitagata, Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Norio Shiratori and Tetsuo Kinoshita, “Agent-based Access Rights Delegation utilizing Social Relationships,” International Journal of Energy, Information and Communications, Vol. 2, Issue 4, November, pp. 87-100, 2011.
- (15) Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Gen Kitagata and Tetsuo Kinoshita, “A Practical Design and Implementation of Active Information Resource based Network Management System,” International Journal of Energy, Information and Communications, Vol. 2, Issue 4, November, pp. 67-86, 2011.
- (16) Kazuto Sasai, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “Complementary Interaction between Human-oriented Knowledge and Machine-oriented Information on AIR-NMS,” In Proceedings of the 2nd International Conference on Morphological Computation (ICMC2011), pp. 111-113 2011.
- (17) Hideyuki Takahashi, Taishi Ito, Tetsuo Kinoshita, “The Concept of an Agent-based Middleware for Smart Home Environments,” Proc of the International Workshop on Informatics (IWIN2011), pp. 41-47, Sep. 2011.
- (18) 和泉 諭, 高橋秀幸, 木下哲男, “健康管理支援のためのクラスタリングに基づくセンサデータの獲得手法,” FIT2011 (第10回情報科学技術フォーラム), M-053, 第4分冊, pp. 403-404, 2011. 9.
- (19) 中島悠太, 打矢隆弘, 内匠逸, 木下哲男, “エージェントリポジトリを用いた異種エージェント組織化手法”, 信学技報 NS2011-164, pp. 109-114, 2012.
- (20) Takahiro Uchiya, Yuta Nakashima, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, Hideki Hara, Kenji Sugawara, “Repository-centered Agent Organization Method among Heterogeneous Agent Platforms”, International Journal of Energy, Information and Communications, Vol. 2, Issue 4, pp. 47-66, 2011.
- (21) Kenji Sugawara, Shigeru Fujita: Non-verbal interface of a personal agent based on symbiotic computing model. IEEE ICCI*CC 2011: 336-339
- (22) Jean-Paul A. Barthès, Omar Gonzalez-Padilla, Milton Pires Ramos, Kenji Sugawara: TWA: An experimental approach for studying knowledge sharing in multicultural cooperation. CSCWD 2011: 858-861

課題番号 H23/A01

プラズマナノバイオトロニクス¹の基盤確立

[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)
 李 永峰 (東北大学大学院工学研究科)
 笠間 泰彦 (株) イデアルスター
 岡田 洋史 (株) イデアルスター
 佐藤 直幸 (茨城大学工学部)
 平田 孝道 (東京都市大学大学院工学研究科)
 阿知波 洋次 (東京都立大学理学研究科)
 寺嶋 和夫 (東京大学新領域創成科学研究科)
 一木 隆範 (東京大学大学院工学研究科)
 湯田坂 昌子 (産業技術総合研究所)
 永津 雅章 (静岡大学工学部)
 篠原 久典 (名古屋大学大学院理学研究科)
 堀 勝 (名古屋大学大学院工学研究科)
 水野 彰 (豊橋技術科学大学)
 白藤 立 (名古屋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 (京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科)
 松本 和彦 (大阪大学産業科学研究科)
 浜口 智志 (大阪大学工学研究科)
 伊藤 早苗 (九州大学応用力学研究所)
 白谷 正治 (九州大学大システム情報科学研究科)
 中嶋 直敏 (九州大学工学研究科)
 秋山 秀典 (熊本大学自然科学研究科)
 稲垣 滋 (九州大学応用力学研究所)
 兒玉 了祐 (大阪大学大学院工学研究科)
 石橋 幸治 (理化学研究所)
 藤山 寛 (長崎大学大学院工学研究科)
 高橋 憲司 (金沢大学理工研究域)
 朽久保 文嘉 (首都大学東京大学院理工学研究科)
 長崎 幸夫 (筑波大学大学院数理工学物質科学研究科)
 岡崎 俊也 (産業技術総合研究所ナノチューブ応用研究センター)

大野 雄高 (名古屋大学大学院工学研究科)

研究費：物件費 27 万 5 千円，旅費 48 万 8 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ス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、医学・生命科学者の英知を結集して3年間を目処に展開する。

本プロジェクトでは上記の目的を遂行するべく、バイオ、医療、プラズマモニクス等のプラズマ・バイオ融合科学分野から、フラーレン・ナノチューブ・グラフェンを用いたナノ科学技術について広範囲な分野を、統合的に鳥瞰・理解するための研究会を開催した。また、プラズマを活用して、機能性ナノ構造創成に関する実験研究を展開した。以下、研究活動状況の概要を記す。

(研究討論会等開催状況)

日時：平成24年2月17日，18日

場所：秋保温泉 岩沼屋

- 「トロイダルプラズマにおける乱流の長距離相関」稲垣 滋 (九州大学 応用力学研究所)
- 「パワーレーザーによる高エネルギー密度科学の新展開」兒玉 了祐 (大阪大学 大学院工学研究科)
- 「ナノチューブ・ナノワイヤを利用した量子ナノデバイスの研究」石橋 幸治 (理化学研究所 基幹研究所)
- 「低気圧マイクロプラズマの開発とその応用」藤山 寛 (長崎大学 大学院工学研究科)
- 「イオン液体中の溶媒和と電子の反応ダイナミクス」高橋 憲司 (金沢大学 理工研究域)
- 「液体電極を用いた大気圧グロー放電におけ

る気液界面での現象」 朽久保 文嘉, 白井 直機, 内田 諭 (首都大学東京 大学院理工学研究科)

7. 「プラズマとナノ界面の相互作用の制御」 白谷 正治, 古閑 一憲, 内田 儀一郎, 鎌滝 晋礼, 板垣 奈穂 (九州大学 システム情報科学研究科)
8. 「大気圧プラズマによるバイオ表面設計」 長崎 幸夫 (筑波大学 大学院数理物質科学研究科)
9. 「気液界面非平衡プラズマによる金ナノ粒子複合物質創製とバイオ・医療・エネルギー応用」 金子 俊郎, 畠山 力三 (東北大学 大学院工学研究科)
10. 「カーボンナノチューブをテンプレートとした分子ナノ構造創製とカーボンナノチューブ赤外吸収の起源」 岡崎 俊也 (産業技術総合研究所 ナノチューブ応用研究センター)
11. 「カーボンナノチューブ薄膜トランジスタおよび集積回路の作製と評価」 大野 雄高 (名古屋大学 大学院工学研究科)
12. 「プラズマCVDによるグラフェンの絶縁基板上への直接合成と構造制御」 加藤 俊顕, 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 55 名以上の参加者があり、講演は「プラズマ・ナノバイオ融合科学」を主テーマに、プラズマとその応用、ナノカーボンの合成・制御と応用、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ス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、グラフェンを創製する等のカーボンナノチューブとグラフェン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. 高品質グラフェンのシリコン基板上への直接合成

高いキャリア移動度と柔軟性を合わせ持つ炭素原子一層から構成されるグラフェンシートは、様々な分野での応用が期待されている新規炭素ナノ材料である。グラフェンシートの層数、シート面積、均一性、欠陥密度等の各構造はグラフェンの物理的・化学的諸特性に大きく影響を与えるため、グラフェンを利用した産業応用実現には、これら各構造の精密

制御が必要不可欠である。グラフェンの合成方法に関しては、グラファイトからスコッチテープにより剥離し任意の基板に転写する手法が一般的に広く知られている。この手法の場合、結晶性の高いグラフェンを基板上に形成することが可能であるが、グラフェンの大面積化や基板上の合成位置制御の面で産業応用に向けた大きな課題が残されている。これに対し近年、CVD法を用いることで大面積グラフェン合成が可能となり、さらに転写法を組み合わせることで任意の基板上にグラフェンを配置することが可能であることが報告され、グラフェン合成分野において大きな注目を集めている。しかしながら、従来のCVD法では、触媒となる金属表面でのみグラフェンが合成されるため、デバイス応用に向けて重要な絶縁基板、主にシリコン酸化膜上へのグラフェン直接合成法は確立されていない。このような背景のもとで我々は、拡散プラズマCVDを用いたシリコン酸化膜上へのグラフェン直接合成手法の開発を目的に研究を行った。

原料ガスであるメタン雰囲気のもと、石英管外部に設置したコイル状アンテナに高周波 (13.56 MHz) を印加することにより生成した、誘導結合型高周波プラズマを用いてグラフェン合成を行った。また、触媒金属としてシリコン酸化膜上に蒸着したニッケル薄膜を用いた。その結果、プラズマCVDを用いた場合に、グラフェンシートがニッケル触媒とシリコン酸化膜の界面に選択的に合成されることを見出した。これにより、プラズマCVD後に基板表面のNiをエッチングにより取り除くことで、転写法を利用せずに、グラフェンシートをシリコン酸化膜基板上に直接合成することに成功した(図1)。さらに、本技術を利用し、あらかじめシリコン酸化

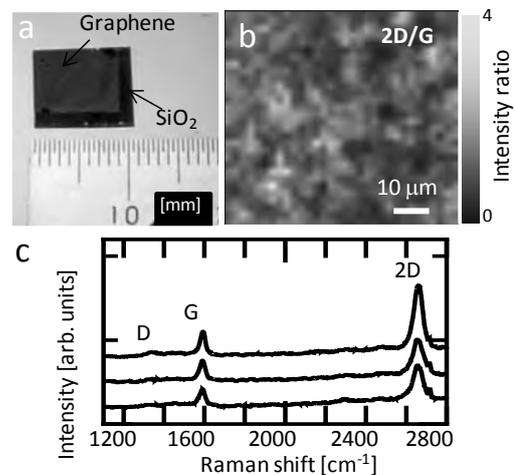


図 1. シリコン基板上に直接合成したグラフェンの (a) 光学顕微鏡写真, (b) ラマン 2D/G ピーク強度比の空間マップ像, 及び (c) 基板上任意の場所から得られた典型的なラマンスペクトル。

膜基板上にニッケル微細構造をパターンニングすることにより、任意の微細形状を有する高品質グラフェンシートの直接合成を実現した。

II. マイルドプラズマによる室温下でのグラフェンエッジ修飾

優れた電気伝導特性と柔軟な構造を合わせ持つ炭素原子一層から構成されるグラフェンシートは、様々な分野での応用が期待されている新規炭素ナノ材料である。一方で、電気伝導特性の精密な制御は未だ実現されておらず、グラフェンを利用した薄膜トランジスタ応用実現に向けた重要な課題として残されている。グラフェン面内全体への化学修飾による電気伝導特性制御に関しては、これまでいくつかの報告があるが、グラフェン面全体へドーピングを施すことで、キャリア散乱等の効果によりグラフェン本来の電気伝導特性を劣化させる要因となる可能性が示唆されている。このグラフェン面全体に対するドーピングに対して、グラフェンの端（エッジ）修飾が近年注目を集めている。グラフェンのエッジは、カーボンナノチューブやフラーレン等の他の炭素ナノ材料には無い、グラフェン固有の構造的特徴であり、反応性に富んでいることから、様々な原子・分子を修飾し、グラフェン全体の電子状態を制御可能であることが理論的研究により予測されている。しかしながら、実験に関しては、選択的にグラフェンエッジのみを修飾することは困難であり、グラフェンエッジ選択修飾と、これによるグラフェン全体の電気伝導特性の変化を同時に評価している研究は極わずかである。さらに、これまで報告されているグラフェンエッジの選択修飾は高温下での反応、あるいは化学的ウェットプロセスが主流であり、デバイス応用に向けての障壁となっていた。本研究では、マイルドプラズマ反応を利用することにより、室温下でグラフェンのエッジを選択的に修飾するドライプロセス手法を確立した。グラフェンに対して室温下でアンモニアプラズマを照射したところ、プラズマ条件の違いにより、グラフェン面内全体に欠陥が導入される場合と、グラフェンエッジにのみ選択的に反応が生じる条件が存在することが明らかと

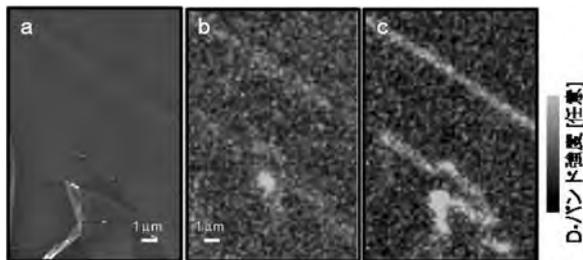


図2. (a) アンモニアプラズマトリートメント前グラフェンの原子間力顕微鏡像。 (b, c) プラズマトリートメント前(b)後(c)のラマンDバンド強度マッピング。

なった。詳細なラマンマッピング測定により、エッジ修飾後のグラフェンにおけるDバンド強度がエッジ付近でのみ照射前に比べ明らかに増大することが確認された(図2)。また、グラフェンナノリボンを用いて、エッジ修飾がグラフェン全体の電気伝導特性に与える効果を測定したところ、プラズマ照射時間を増加するに伴い、電荷中性点が負方向へ大きくシフトすることが明らかとなった。これは、グラフェンエッジに電子ドナー物質が選択的にドーピングされたことを示している。

III. プラズマ機能化 pn 接合内蔵カーボンナノチューブを用いた赤外光太陽電池

太陽光における近赤外波長領域 (800-1650 nm) の利用を目的に、プラズマ機能化した単層カーボンナノチューブ (Single-Walled Carbon Nanotube: SWNT) を用いた太陽電池を作製している。特に、内部にpn接合を内蔵したSWNTを用いる太陽電池は、電子移動度が極めて大きいSWNTの軸方向の電気特性を利用することによって、発電効率を向上させることが可能である。そこで、熱拡散法を用いてカリウム (K) を部分的に内包させた SWNT (K@SWNT) を合成し、それを利用した電界効果型トランジスタ (FET) 構造を有する太陽電池を作製した場合、pristine SWNT の FET 作製後にセシウム (Cs) プラズマイオン照射法によって SWNT 内部に pn 接合を形成した場合の二種類について実験を行った。

K@SWNT-FETにおける、1550 nm, 1650 nm の

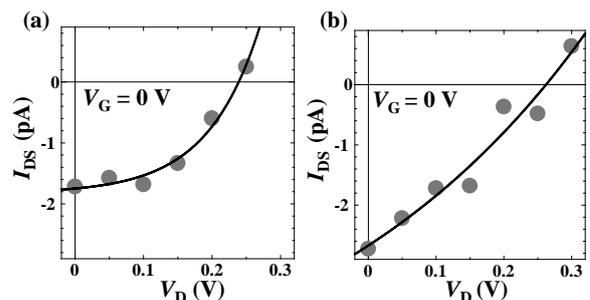


図3. 赤外光照射時におけるK@SWNT-FETのI-V特性 (a)

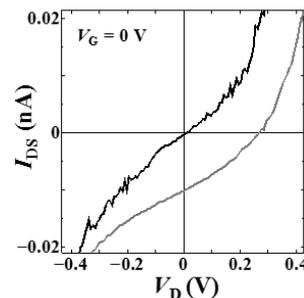


図4. プラズマイオン照射法を用いたpn接合内蔵SWNT-FETの近赤外光照射時のI-V特性。λ_{in} = 1100 nm。

赤外光照射時の電流 I - 電圧 V 特性をそれぞれ 図 3 (a), (b) に示す。本結果より, pn 接合を内蔵した SWNT における, 赤外光照射時の発電が初めて観測された。また, 1550 nm, 1650 nm の赤外光照射時における発電効率は, それぞれ $\eta = 7.6\%$, 23% であった。光起電力を示した SWNT-FET におけるバンドダイヤグラムの考察を行った結果, 光起電力を観測するためにはキャリア密度の高い n 型領域形成が重要であるということが判明した。

従って, 積極的に高ドープな n 型領域を形成するために, pristine SWNT-FET に対して Cs イオン照射を行ったところ, 図 4 に示されるように 1100 nm の近赤外光照射時において光起電力を示すデバイスの作製に成功した。この場合にも, 発電効率が $\eta = 2.3\%$ と 1% を越えており, SWNT の軸方向電気特性を利用することで, 高効率の SWNT 太陽電池が作製可能であることを明らかにした。

[4] 成果資料

1. “CNT合成へのプラズマ応用”, 畠山 力三, 加藤 俊顕, 「カーボンナノチューブ・グラフェンハンドブック」, コロナ社, pp. 28-32, 2011.
2. “Structure Control of Single-Walled Carbon Nanotubes by Plasma CVD”, R. Hatakeyama and T. Kato: 「Plasma Processing of Nanomaterials」, CRC Press, pp. 219-230, 2011.
3. “Plasma-Liquid Interactions for Fabrication of Nanobiomaterials”, T. Kaneko and R. Hatakeyama: 「Plasma Processing of Nanomaterials」, CRC Press, pp. 359-370, 2011.
4. “Room-Temperature Edge Functionalization and Doping of Graphene by Mild Plasma”, T. Kato, L. Jiao, X. Wang, H. Wang, X. Li, L. Zhang, R. Hatakeyama, and H. Dai: Small, Vol. 7, No. 5, pp. 574-577, 2011.
5. “Encapsulation of Nickel Atom inside Fullerene by Energetic Ion Irradiation”, T. Umakoshi, H. Ishida, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Plasma and Fusion Research, Vol. 6, pp. 1206015-1-2, 2011.
6. “Nano-Bio Fusion Science Opened and Created with Plasmas”, R. Hatakeyama and T. Kaneko: Plasma and Fusion Research, Vol. 6, pp. 1106011-1-12, 2011.
7. “Electrically Moving Single-Stranded DNA into and out of Double-Walled Carbon Nanotubes”, Y. F. Li, S. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Chemical Communications, Vol. 47, No. 8, pp. 2309-2311, 2011.
8. “Plasma-Synthesized Single-Walled Carbon Nanotubes and Their Applications”, R. Hatakeyama, T. Kaneko, T. Kato, and Y. F. Li: Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 44, No. 17, pp. 174004-1-21, 2011.
9. “Structural and Reactive Kinetics in Gas-Liquid Interfacial Plasmas”, T. Kaneko, Q. Chen, T. Harada, and R. Hatakeyama: Plasma Sources Science and Technology, Vol. 20, No.3, pp. 034014-1-8, 2011.
10. “Harvesting Infrared Solar Energy by Semiconducting-Single-Walled Carbon Nanotubes”, Y. F. Li, S. Kodama, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Applied Physics Express, Vol. 4, No. 6, pp. 065101-1-3, 2011.
11. “Electrical Transport Properties of $C_{59}N$ Azafullerene Encapsulated Double-Walled Carbon Nanotube”, Y. F. Li, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Open Journal of Microphysics, Vol. 1, No. 2, pp. 23-27, 2011.
12. “Origin of the n-Type Transport Behavior of Azafullerene Encapsulated Single-Walled Carbon Nanotubes”, N. T. Cuong, M. Otani, Y. Iizumi, T. Okazaki, G. Rotas, N. Tagmatarchis, Y. F. Li, T. Kaneko, R. Hatakeyama, and S. Okada: Applied Physics Letters, Vol. 99, No. 5, pp. 053105-1-3, 2011.
13. “Collisionless Drift Waves Ranging from Current-Driven, Shear-Modified, and Electron-Temperature-Gradient Modes”, R. Hatakeyama, C. Moon, S. Tamura, and T. Kaneko: Contributions to Plasma Physics, Vol. 51, No. 6, pp. 537-545, 2011.
14. “Effects of DNA on Gold Nanoparticle Synthesis Using Gas-Liquid Interfacial Pulse Discharge Plasma”, Q. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Transactions of the Materials Research Society of Japan, (2011), Vol. 36, No. 3, pp. 483-485, 2011.
15. “Characterization of Pulse-Driven Gas-Liquid Interfacial Discharge Plasmas and Application to Synthesis of Gold Nanoparticle-DNA Encapsulated Carbon Nanotubes”, Q. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: Current Applied Physics, 2011, Vol. 11, No. 5, pp. S63-S66, 2011.
16. “プラズマバイオ融合科学への新展開”, 畠山 力三, 永津雅章: Journal of Plasma and Fusion Research, Vol. 87, No. 10, pp.689-690, 2011.
17. “プラズマナノバイオロニクス研究の最新動向”, 金子俊郎, 畠山力三: Journal of Plasma and Fusion Research, Vol. 87, No. 10, pp.704-705, 2011.
18. “Effect of nitrogen-hydrogen mixed plasma on nitridation process of iron nanoparticles”, T. Maki, H. Kura, H. Ishida, T. Kaneko, R. Hatakeyama, M. Takahashi, and T. Ogawa: Thin Solid Films, Vol. 519, No. 23, pp. 8351-8354. 2011.

19. “Rapid Synthesis of Water-Soluble Gold Nanoparticles with Control of Size and Assembly Using Gas-Liquid Interfacial Discharge Plasma”, Q. Chen, T. Kaneko, and R. Hatakeyama: *Chemical Physics Letters*, Vol. 521, pp. 113–117, 2012.
20. “Highly Efficient Synthesis of Nitrogen-Atom Endohedral Fullerene by Controlling Plasma Ion Behaviors”, S. C. Cho, T. Kaneko, H. Ishida, and R. Hatakeyama: *Applied Physics Express*, Vol. 5, No. 2, pp. 026202–1–3, 2012.
21. “Synthesis of Nano-Bio Conjugates for Drug Delivery System Using Gas-Liquid Interfacial Discharge Plasmas”, T. Kaneko, Q. Chen, and R. Hatakeyama: *Journal of Korean Physical Society*, (2012), in press.

採択番号 H23/A02

カーボンナノ材料を用いた光電子デバイスの研究

[1] 組織

代表者：内野 俊
 (東北工業大学工学部知能エレクトロニクス学科)
 対応者：室田 淳一
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：櫻庭 政夫
 (東北大学電気通信研究所)
 N. I. Zheludev
 (University of Southampton)

研究費：物件費 22 万 5 千円

[2] 研究経過

太陽電池やメタマテリアルなどの光電子デバイスの赤外領域の性能向上を目的として、カーボンナノチューブやグラフェンなどカーボンナノ材料を用いたデバイス研究・開発を行っている。プロジェクトの初年度にあたる本年度は、カーボンナノチューブ/シリコン・ヘテロ接合を用いたダイオードの開発を行った。

本プロジェクトは、東北工業大学で用意したデバイスを東北大学電気通信研究所室田研究室の装置で測定することにより行われた。実験および解析を平成 23 年 8 月から平成 24 年 3 月にかけて約 2 回/月の割合で行った。

[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。

第 1 に、自己整合技術を用いて作製したカーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合の電気的特性を評価した結果、n 型シリコン基板ではダイオード特性、p 型シリコン基板ではオーミック特性を示すことがわかった。

第 2 にカーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合ダイオードにおいて電流のメカニズムは 150 K 以上で熱電子放出による電流、それ以下ではヘテロ接合界面付近のトンネル現象による電流が支配的になることがわかった。

図 1 にデバイス作製プロセスの概要を示す。デバイスは高濃度シリコン基板上に作製した。熱酸化膜(膜厚 55 nm) をシリコン基板上に成長させた後、カーボンナノチューブを鉄微粒子を触媒に用いて CVD 法で成長させた。ラマン分光を用いて、カーボンナノチューブを評価した結果、RBM と呼ばれる単層カーボンナノチューブ (SWNT) に起因したピークが観測され、チューブの直径は 1.2-2.0 nm であることがわかった。次に、リフトオフを用いて Pd 電極をカーボンナノチューブ上にランダムに形成した後、レーザー直接描画装置で Pd 電極にオーバーラップするようにフォトレジストパターンを形成し、バッファードフッ酸を用いて熱酸化膜を選択的に除去した。このプロセスにより、Pd 電極と熱酸化膜に挟まれたカーボンナノチューブの一部がシリコン基板と自己整合的に接触し、カーボンナノチューブ/シリコン・ヘテロ接合が形成された。最後に、シリコン基板の裏面に Al 電極を形成した。電流・電圧 (I-V) 特性はクライオスタットを用いて室温から 50 K の間で、Pd と Al 電極間に電圧を印加した時の電流を測定することにより行った。

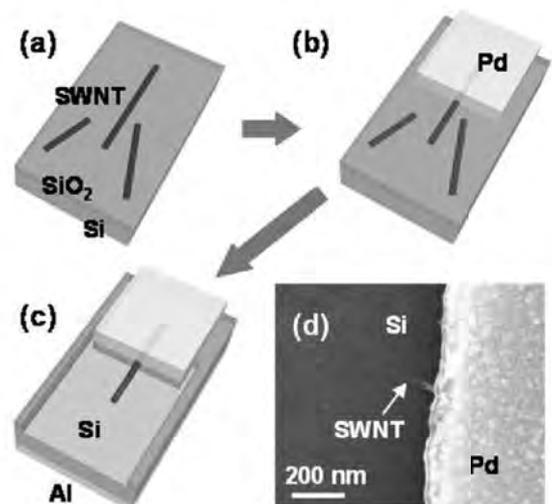


図 1 カーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合作製プロセスの概要とデバイスの SEM 像

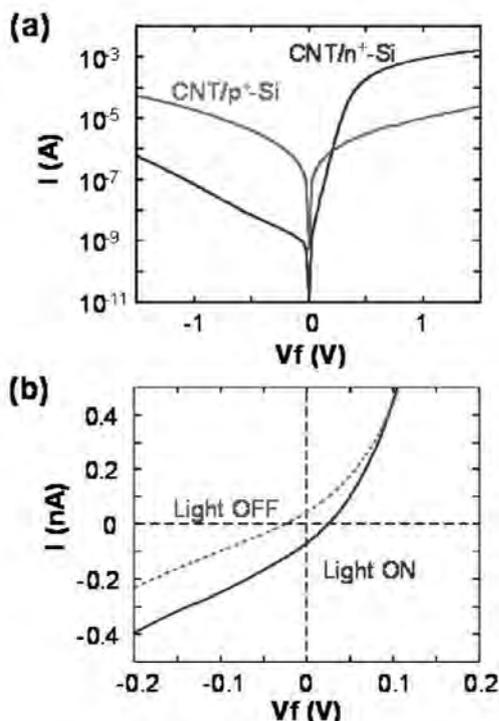


図 2 (a) カーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合の I-V 特性 (b) カーボンナノチューブ/シリコンダイオードの光照射効果。

図 2 (a) にカーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合の I-V 特性を示す。n 型シリコン基板上ではダイオード特性を示し、ダイオード因子は 1.2–1.9 だった。一方、p 型シリコン基板上ではオーミック特性を示し、その抵抗は 500 k Ω だった。解析の結果、Pd 電極/カーボンナノチューブ界面に形成されたショットキー接合が原因で電気特性に基板依存性があることがわかった。合成したカーボンナノチューブの大多数はラマン分光の測定結果から、バンドギャップ 0.6 eV の半導体である。また、Pd の仕事関数は 5.2 eV、カーボンナノチューブの電子親和力は 4.5 eV である。以上から、Pd/カーボンナノチューブ接合は、正孔に対してはオーミックになるが、電子に対してはショットキーバリアが障壁になると説明できる。

次に n 型シリコン基板上のカーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合において、光照射効果を調べた[図 2 (b)]。光源にはハロゲンランプを用いた。開放電圧は $V_{oc} = 35$ mV、曲線因子は $FF = 0.3$ だった。これらの値は先に報告されている多層カーボンナノチューブを用いたダイオードの実験結果と一致している。以上の結果から、カーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合の光電子デバイスへの応用の可能性が確かめられた。

図 3(a) にカーボンナノチューブ/シリコンヘテロ

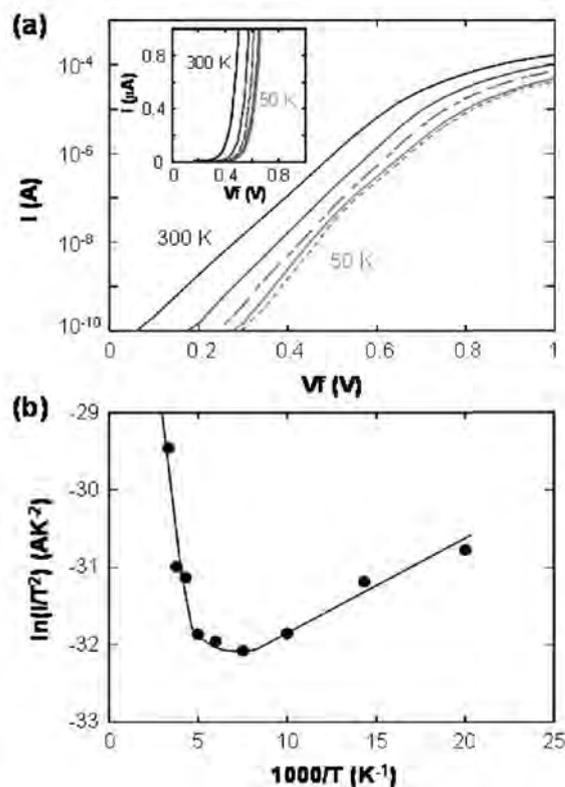


図 3 (a) カーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合ダイオードの I-V 特性の温度依存性 (b) 順方向電流のリチャードソンプロット。

ロ接合ダイオードの I-V 特性の温度依存性を示す。しきい値電圧が温度の上昇と共に減少した。図 3 (b) に順方向電流のリチャードソンプロットを示す。活性化エネルギーが 150 K 付近で正から負へ変わっていることを発見した。150 K 以上では熱電子放出による電流が支配的であるが、それ以下ではトンネル現象による電流が支配的になるためと考えられる。熱電子放出電流が温度の低下とともに減少していくのに対し、トンネル電流は温度の低下とともにトンネル確率が増えるので増加する。このトンネル電流はカーボンナノチューブ/シリコンヘテロ接合界面に形成された伝導帯エネルギーの不連続に起因する。I-V 特性の 150 K 以上の温度依存性からショットキーバリアの高さを求めたところ、0.3–0.5 eV と求まり、先に報告されている Pd/カーボンナノチューブ接合のショットキーバリア高さの値と一致した。

(3-2) 波及効果と発展性など

カーボンナノチューブデバイスにおいて、低温で熱電子放出プロセスからトンネルプロセスに遷移することは間接的に知られていたが、今回のように明らか示したのは始めてである。本プロジェクトで開発した自己整合技術は、グラフェンおよび他の半導

体基板へも応用できるので、光電子デバイスを含めた幅広い応用が期待される。

[4] 成果資料

(1) T. Uchino, G. Ayre, D. C. Smith, J. L. Hutchison, C. H. de Groot, and P. Ashburn, MRS Fall Meeting (Boston, USA, 2011).

(2) T. Uchino, G. Ayre, D. C. Smith, J. L. Hutchison, C. H. de Groot, and P. Ashburn, MRS. Proc. 1407 (2011) AA15-28.

採択番号 H23/A03

原子層レベルで制御された Si 並びに Ge-MIS 構造の 作製技術とその界面評価技術の開発

[1] 組織

代表者：岡本 浩

(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)

小野 俊郎 (弘前大学大学院理工学研究科)

豊田 宏 (広島工業大学工学部)

福田 幸夫 (諏訪東京理科大学

システム工学部)

王谷 洋平 (諏訪東京理科大学

システム工学部)

研究費：物件費 23 万 5 千円，旅費 29 万 1 千円

[2] 研究経過

Si-MOS デバイスのスケーリング則に乗った性能向上が限界に達し、次世代の超高集積・高速・低消費電力 MOS (MIS) デバイスの実現においては high-k 絶縁膜並びに高移動度チャネル層の導入が必要とされる。この際、ネイティブな酸化膜構造である従来の Si-SiO₂-MOS 構造に対し、前記構造においては界面準位の低減が課題とされている他、界面近傍の絶縁膜中におけるトラップの存在も報告されている。本プロジェクトではこれまでに研究分担者らが開発した ECR (Electron cyclotron resonance) プラズマ法による低密度界面準位 Ge-MIS 構造を対象とし、界面準位密度の高精度な評価手法、界面近傍の絶縁膜中や半導体中に存在する可能性のあるトラップの評価技術を開発するとともに、界面準位や欠陥のプロセス条件依存性を明らかにすることにより、同構造のさらなる高品質化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るが、これまでに研究分担者の小野、豊田、福田、室田、櫻庭らが実施した東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト研究 (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」、平成20～

22年度、東北大対応教員：室田淳一教授) による成果を活用している。

本プロジェクトの研究活動は種々のプロセス条件による Ge-MIS 構造の作製、Ge-MIS 界面並びに界面近傍の特性評価手法の検討、同特性のプロセス条件依存性評価を軸としたものである。メンバー間の通常の打合せは e メールによる紙上会議にて実行し、今年度の最終打合せを東北大学電気通信研究所にて実施した (H24.3.1～3.2)。

研究成果は学術論文誌や国際会議等による発表で高く評価されるとともに、本プロジェクトの目的である Ge-MIS 構造の評価手法の確立と同構造のさらなる高品質化に向けて大きな可能性を見いだした。特に今回取り組んだ窒化膜を用いた Ge-MIS 構造に関しては従来、熱酸化膜を用いた構造に比べ温湿度に対する安定性に優れるものの界面準位密度が高いという欠点が報告されていたが、適切なプロセス条件のもとに ECR プラズマプロセスを行うと、最良の熱酸化膜に迫る低い界面準位密度が得られることが明らかとなったことは大きな進歩である。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に前述の通り、窒化膜を用いた Ge-MIS 構造において低い界面準位密度を得ることができるプロセス条件を明らかにした [成果資料 6]。

試料は(100) p 型 Ge 基板上に ECR プラズマ窒化と ECR スパッタを用いて作成した SiN (7 nm) / GeN(2 nm) / Ge 構造であり、ゲート電極 (0.3 mm φ) は Al を真空蒸着して形成した。C-V, G-V, C-f, G-f 測定には LCR メータ (Agilent 4284A) を使い、測定温度は室温 (RT) と低温 (180 K) であり、界面準位密度は研究分担者らが開発した室温コンダクタンス法[参考文献 1]と低温コンダクタンス法を用いて評価した。

図1は ECR プラズマプロセスの温度と界面準位密度 (D_{it}) の関係を示すグラフであり、電極形成後に水素窒素混合ガス中 400°C でアニールを行ったもの (PMA at 400°C) とアニールを行わなかったもの

(no PMA) の2種類の試料における結果を示している。

PMA を行わない場合には ECR プラズマプロセス温度が高いほど低い D_{it} が得られるが、PMA は D_{it} の低減により有効であり、PMA を行う場合には ECR プラズマプロセス温度は低いほど D_{it} の低減効果が高いという興味深い結果が得られた。

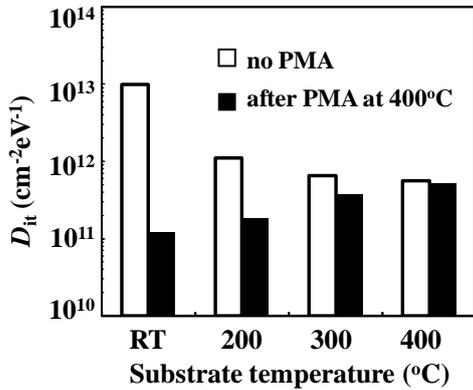


図1：ECR プラズマプロセスの温度と界面準位密度の関係

次に ECR プラズマプロセス温度を室温とし、PMA温度と D_{it} の関係を調べた。結果を図2に示す。

PMA 温度 400°C までは温度に対し D_{it} が単調に減少していることがわかる。

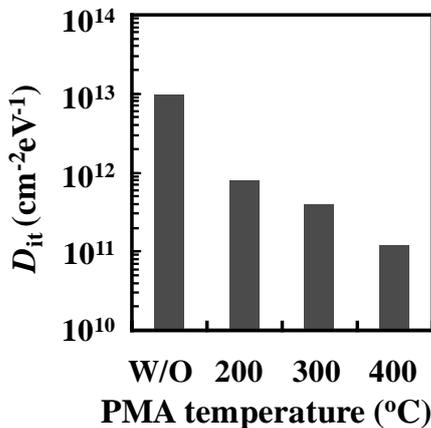


図2：PMA 温度と界面準位密度の関係

図3は上記 PMA400°C の Ge-MIS サンプルの C-V 特性であり、(a)は室温、(b)は低温 (180 K) における測定結果である。室温データ(a)においては Ge-MIS 特有の高い真性キャリア密度による低周波特性が見られる他、測定周波数 100 Hz の特性においては大変低い電圧で反転に至っていることがわかる。後者は界面準位によるフェルミ準位のピンニングがない良好な界面が得られていることを示してい

る。また、低温データ(b)においては測定周波数依存性の大変小さい C-V 特性が得られているが、このこともまた界面準位密度が低い優れた界面が形成されていることを示している。

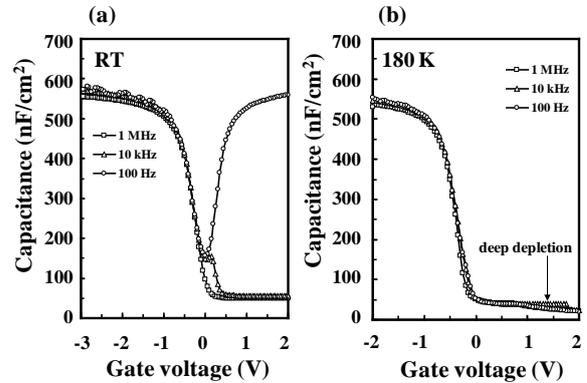


図3：Ge-MIS サンプル(PMA400°C)の C-V 特性

図3(a)の低周波特性から求めたゲート電圧と表面電位の関係を図4に示す。表面電位をフラットバンドから強反転の状態まで変化させるために必要なゲート電圧は 0.45 V という低い値であり、理論計算から得られる同ゲート電圧 0.36 V と比較した結果 80%という高い変調効率が得られていることが明らかとなった。

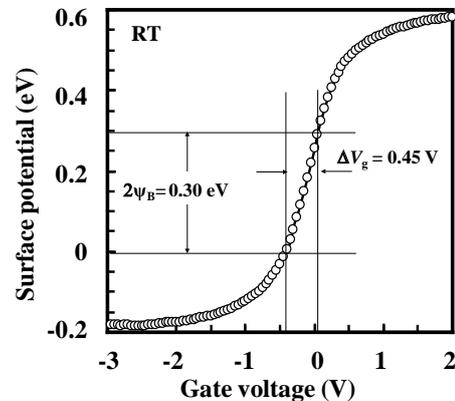


図4：Ge-MIS サンプル(PMA400°C)のゲート電圧と表面電位の関係

図5は上記 PMA400°C の Ge-MIS サンプルの低温コンダクタンス法評価によって得られた界面準位密度のエネルギー分布である。ミッドギャップ付近で界面準位密度が最低値 $1.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ となっている。この値はこれまでに熱酸化 GeO₂/Ge 界面で得られている最低値に迫るものであり、前プロジェクトから本プロジェクトにかけて開発した GeN_x/Ge-ECR プラズマプロセスは前記熱酸化 GeO₂/Ge プロセスを置き換えることができるポテンシャルを有することが明らかとなった。

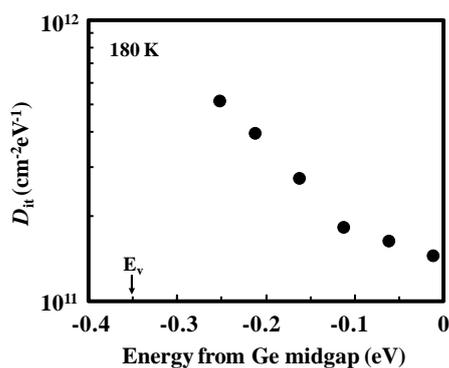


図5：低温コンダクタンス法評価による Ge-MIS サンプル(PMA400°C)の界面準位密度分布

第2の成果は同 ECR プラズマプロセスによる GeN_x/Ge 界面構造の界面準位以外の欠陥に関する評価手法を立ち上げたことである。評価手法としては Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) 法を用い、装置はキャパシタンスメータと DA/AD コンバータによるデータ収集装置を組み合わせで構築した。評価に用いたサンプルは基本的には前記と同様であり、ECR プラズマ窒化と ECR スパッタを用いて作成した SiN (5 nm) / GeN(2 nm) / Ge 構造、アニールは電極形成後に 200°C でアニールを行ったもの (PMA 200°C) と電極形成前に 400°C でアニールを行ったもの (BMA 400°C) とアニールを行わなかったもの (as Deposited) の3種類である。

図6は上記3種類のサンプルに対し、パルスバイアス電圧を蓄積状態、定常バイアス電圧を空乏状態として測定した DLTS スペクトルである。180 K から 220 K あたりに現れているメインピークの高さがアニールにより劇的に減少していることがわかる。このメインピークの根源は界面準位以外の欠陥 (Ge バルク中のトラップまたは絶縁膜中のトラップ) であることが別途行った検討により確認されているため、この結果は ECR プラズマプロセス後のアニールにより、界面準位密度以外の欠陥も低減されることを示している。詳細については今後検討を進める予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、複数大学の連携により多彩な観点からのアプローチが行えるようになった。次世代の CMOS 技術の開拓に向け、今後の発展が期待されている。

[参考文献]

1. Y. Fukuda, Y. Otani, Y. Itayama, and T. Ono, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 54, No. 11, pp.2878-2883, 2007.

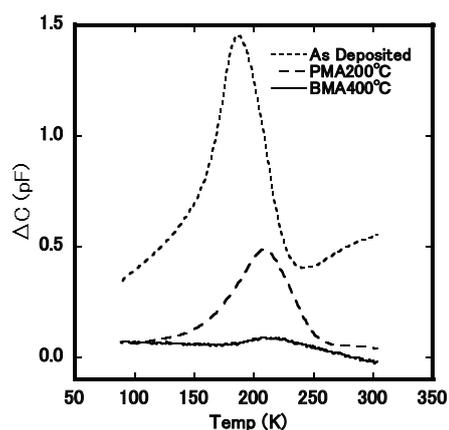


図6：Ge-MIS サンプルにおける DLTS スペクトルのアニール条件依存性

[4] 成果資料

1. Yohei Otani, Yukio Fukuda, Tetsuya Sato, Hiroshi Toyota, Hiroshi Okamoto and Toshiro Ono, "Interface properties of GeN_x /Ge fabricated by electron-cyclotron-resonance plasma nitridation", MRS Spring Meeting, April 2011, San Francisco, California.
2. 佐藤真哉, 岩崎拓郎, 鈴木聡一郎, 小野俊郎, 福田幸夫, 岡本浩; 「ECR プラズマ法による Ge-MIS 構造中絶縁膜の DLTS と C-t 測定による評価」, 平成 23 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集 2F17, p. 228, (2011 年 8 月, 東北学院大学) .
3. 岩崎拓郎, 佐藤真哉, 鈴木聡一郎, 小野俊郎, 福田幸夫, 岡本浩; 「ECR プラズマ法による Ge-MIS 構造の低温並びに室温コンダクタンス法による界面準位密度評価」, 平成 23 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集 2F18, p. 229, (2011 年 8 月, 東北学院大学) .
4. 岩崎拓郎, 佐藤真哉, 鈴木聡一郎, 小野俊郎, 福田幸夫, 岡本浩, 「低温と室温におけるコンダクタンス法の組合せによる Ge-MIS 構造の界面準位密度評価」; 電子情報通信学会技術研究報告 vol.111, no.176, CPM2011-64, pp. 43-46, (2011 年 8 月).
5. 佐藤真哉, 岩崎拓郎, 鈴木聡一郎, 小野俊郎, 福田幸夫, 岡本浩, 「ECR プラズマ法によって作製した Ge-MIS 構造の DLTS と C-t 測定による評価」; 電子情報通信学会技術研究報告 vol.111, no.176, CPM2011-65, pp. 47-50, (2011 年 8 月).
6. Y. Fukuda, H. Okamoto, T. Iwasaki, Y. Otani, and T. Ono, "Surface passivation of p-type Ge substrate with high-quality GeN_x layer formed by electron-cyclotron-resonance plasma nitridation", Appl. Phys. Lett. vol. 99, pp. 132907-1-132907-3, 2011. (published online 30 September 2011)

H 2 3 / A 0 4

高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成と ナノデバイスへの応用に関する研究

[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）

安田幸夫（東北大学学際科学国際高等
研究センター）

宇佐美徳隆（東北大学金属材料研究所）

白木靖寛（東京都市大学総合研究所）

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）

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（大阪大学大学院工学研究科）

伊藤利道（大阪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）

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）

堀口誠二（秋田大学大学院工学資源学研究科）

松本 智（慶應義塾大学理工学部）

土屋敏章（島根大学総合理工学部）

宮尾正信（九州大学大学院システム情報科学研究院）

佐道泰造（九州大学大学院システム情報科学研究院）

宮崎誠一（名古屋大学大学院工学研究科）

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）

樽茶清悟（科学技術振興機構）

石谷明彦（ベルギー・IMEC）

阿部孝夫（信越半導体（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））

水島一郎（（株）東芝セミコンダクター社）

平山 誠（米国・ニューヨーク州立大学オルバニー校）

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）

Eugene Fitzgerald（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）

Joerg Schulze（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）

Stefano Chiussi（スペイン・ビゴ大学）

研究費：物件費 33 万 2 千円，旅費 70 万 4 千円

[2] 研究経過

[目的] 高度歪異種原子層配列 IV 族半導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。研究代表者らは、大規模集積化対応の Si 系 IV 族半導体デバイスのナノ構造化に伴い誘起する歪により、半導体物性のみならず、半導体中の不純物の電気的活性度・固溶限界・表面反応定数等が大きく変化することを見いだした。本研究では、化学気相成長法（CVD）による Si-Ge 系原子層積層を駆使して、ナノ構造化と異種原子層積層で誘起される歪が IV 族半導体の表面や界面の反応、不純物原子の電気的活性化、不純物拡散等のプロセスに与える影響を系統的に明らかにする。そして、歪制御と異種原子層配列制御の両面から、デバイス性能を決定づけるキャリアの超高移動度化と超高濃度化を可能にする高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成プロセスを開発する。

[概要] 本研究代表者らは、これまで、Si 系 IV 族半導体ヘテロ CVD 技術を確立し、CVD 原子層積層を駆使して、無歪 Si(100)や無歪 Ge(100)表面での IV 族元素・不純物原料水素化物ガス分子の吸着・反応が、Langmuir 型で統一的に記述でき、表面の終端水素原

子とその脱離が主要因となること、さらにその異種原子層上への IV 族半導体積層（ここでは原子層ドーピングという。）により、IV 族半導体のキャリアの高移動度化と高濃度化が可能になることを示した。さらに、Si/圧縮歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}(100)$ ヘテロ構造を 100nm レベルで細線加工することにより、欠陥を発生させなくとも引っ張り歪 Si/圧縮歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}(100)$ が実現でき、Si 層の高移動度化が可能になることを明らかにした。しかし、現状、① N 原子層ドーピングでは、結晶の劣化を防ぐために原子層ドーピング層間に 3nm 程度の Si スペースが必要であること、② P 原子層ドーピングでは、 PH_3 吸着・反応層上の Si 成長表面に P が偏析しやすいこと、引っ張り歪により P の偏析がより顕著になり、ヘテロ界面での固溶限界も下がること、③ IV 族半導体表面の歪が CVD 表面反応速度に影響を与え、0.8%引っ張り歪でさえ、Si 中の B 原子の電気的活性度が大きく低下することを見いだした。これらの課題を解決することを念頭に置いて、本研究では、(1) IV 族半導体表面への歪導入と CVD 反応制御、並びに、(2) 原子層ドーピングや (3) 高度歪異種原子層配列制御の実験を進め、高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成プロセスを開発する。

特に、本研究においては、実用性の極めて高い CVD による専門的原子層積層実験が必要である。効率的な原子層積層の実験を、現有の高精浄原子層制御対応 Hot Wall 型及び Cold Wall 型 CVD 装置を複数台用いて並列に行う。試料を大気に曝しても、大気湿度が 10%以下で表面が水素終端してあれば、表面の酸化が原子オーダーでも生じにくくなることを確認している。したがって、原子レベルでの表面分析においても、反応炉から低湿度大気雰囲気中で試料を分析装置（現有：角度分解 XPS, XPS, RHEED, AFM, FTIR）に搬送し、実験を効率的に行う。異種原子層配列構造の原子レベル評価に関しては、すでに確立した XPS と湿式エッチングによるサブナノメートル精度での組成・不純物濃度分布測定法を用いる。さらに原子レベル精度に持ち込むよう角度分解 XPS を併用する。なお、原子層レベルでの厚み評価には現有 AFM を用いる。異種原子層配列構造の歪の評価には、現有の可視・紫外光レーザラマン散乱分光システムを用いる。SIMS や断面 TEM による評価は海外共同研究者への協力依頼や外注で対応する。その他の電気的・光学的物性評価やナノ構造デバイス製作のための研究環境は整っている。

[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 4 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、以下の 2 つの国際会議も開催した。

- ・ 第 7 回 Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議 (7th Int. Conf. on Si Epitaxy and Hetero-structures, Leuven, Belgium, 2011 年 8 月 28～9 月 1 日, 発表 143 件 (口頭発表 58 件, ポスター発表 85 件), 参加者 180 名: プロシーディング特集号: Thin Solid Films, Vol.520, 2012 を出版済)
- ・ 第 7 回 ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. E9: ULSI Process Integration 7 (220th Meeting of the Electrochem. Soc.), 2011 年 10 月 10-13 日, Boston, USA, 発表 46 件, 参加者 60 名: プロシーディング特集号 ECS Trans., Vol.41, No.7, 2011 を出版済)

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。さらに、世界規模での研究連携のきっかけとなるものと期待されることから、次年度の通研国際ワークショップを実験施設において開催する予定である。

[3] 成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、熱 CVD プロセスによる歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 上の熱窒化とその上への歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ キャップ層エピタキシャル成長による N 原子層ドーピングについて研究を進めた結果、原子オーダーで熱窒化した歪 $\text{Si}_{0.3}\text{Ge}_{0.7}(100)$ を 400°C で熱処理すると、 Si_3N_4 形成が支配的であることを見いだした。第 2 に、 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ の CVD 堆積速度や Si への B ドーピングの反応速度定数やその電気的活性化率に 1%程度の格子歪が大きな影響を与える一方、歪 Si(100)基板上にエピタキシャル成長させた B ドープ歪 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ における B の電気的活性化率には格子歪はほとんど影響を与えないことを明らかにした。第 3 に、高 Ge 比率化とともにナノメートルオーダー厚のヘテロ構造が必須とな

る高性能 SiGe 系共鳴トンネル素子における低温から室温までの熱電子放出特性から、原子オーダでのヘテロ界面平坦性制御とともに高障壁材料の導入が不可欠となることを示した。以上のように、IV 族半導体ナノ立体構造量子効果デバイスの実現に不可欠となる重要な成果を得た。

以上のように、高度歪異種原子層配列 IV 族半導体構造形成プロセスの開発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と期待できる。

[4] 成果資料

1. “Atomically controlled CVD processing of group IV semiconductors for ultra-large-scale integrations” (**Review Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, *Adv. Nat. Sci: Nanosci. Nanotechnol.*, Vol.3, p.023002 (4 pages), (2012).
2. “Atomically Controlled CVD Processing for Doping in Future Si-Based Devices” (**Invited Paper**), J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 2011 Int. Conf. on Semiconductor Technology for Ultra Large Scale Integrated Circuits and Thin Film Transistors (ULSIC vs. TFT), Hong Kong, China, Jun. 26-Jul. 1, 2011: ECS Trans., Vol.37, No.1 (Edited by Y. Kuo and G. Bersuker, The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2011), pp.181-188 (2011).
3. “Behavior of N Atoms after Thermal Nitridation of $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Surface”, T. Kawashima, M. Sakuraba, B. Tillack and J. Murota, 7th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-7), Leuven, Belgium, Aug. 28-Sep. 1, 2011, Abs.No.1171: *Thin Solid Films*, Vol.520, pp.3392-3396 (2012).
4. “Atomically Controlled Processing in Silicon-Based CVD Epitaxial Growth”, J. Murota, M. Sakuraba and B. Tillack, 18th Euro. Conf. on Chemical Vapor Deposition (EuroCVD 18), County Cork, Ireland, Sep. 4-9, 2011, No.13.2: *J. Nanosci. Nanotechnol.*, Vol.11, pp.8348-8353 (2011).
5. “Atomically Controlled Formation of Strained $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ Quantum Heterostructure for Room-Temperature Resonant Tunneling Diode”, M. Sakuraba and J. Murota, Symp. E9: ULSI Process Integration 7 (220th Meeting of the Electrochem. Soc.), Boston, USA, Oct. 9-14, 2011: ECS Trans., Vol.41, No.7 (Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2011), pp.309-314 (2011).
6. “Atomically Controlled Plasma Processing for Quantum Heterointegration of Group IV Semiconductors”, M. Sakuraba and J. Murota, Symp. E9: ULSI Process Integration 7 (220th Meeting of the Electrochem. Soc.), Boston, USA, Oct. 9-14, 2011: ECS Trans., Vol.41, No.7 (Edited by C. Claeys et al., The Electrochem. Soc., Pennington, NJ, 2011), pp.337-343 (2011).
7. “Atomically Controlled Processing for Group IV Semiconductors” (**Invited Paper**), J. Murota and M. Sakuraba, 4th French Research Organizations - Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (Frontier 2011), Sendai, Japan, Dec. 4-8, 2011, p.33.
8. “Fabrication of Room-Temperature Resonant Tunneling Diode with Atomically Controlled Strained $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ Quantum Heterostructure” (**Invited Paper**), M. Sakuraba and J. Murota, 4th French Research Organizations - Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (Frontier 2011), Sendai, Japan, Dec. 4-8, 2011, p.35.

採択番号 H23/A05

極薄膜ヘテロエピタキシャル層の電気的特性に及ぼす ヘテロ界面の影響に関する研究

[1] 組織

代表者：土屋 敏章
(島根大学総合理工学部)
対応者：室田 淳一
(東北大学電気通信研究所)
分担者：室田 淳一
櫻庭 政夫
(東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 23 万 6 千円，旅費 22 万 1 千円

[2] 研究経過

近年の超大規模集積システム用 Si デバイスはスケールリング則によりナノスケール領域にまで極微細化されている。しかし、微細化により顕在化した課題も多く、微細化のみに頼らずにデバイスを高性能化するためのポストスケールリング技術の研究開発が活発化している。その一つとして、Si MOS トランジスタに Ge や SiGe を導入したヘテロ構造の利用が注目されており、高品質で極薄膜のヘテロエピタキシャル層が必須となっている。このためには、極薄膜ヘテロエピタキシャル層の電気的特性を正確に評価する必要があり、特に、エピタキシャル膜底部に存在するヘテロ界面の影響を明確にすることが重要である。そこで本研究では、Si 上にヘテロエピタキシャル成長させた極薄膜 SiGe 層の電気的特性に及ぼす SiGe/Si ヘテロ界面特性の影響を明確化することを目的とする。

そこで、まず SiGe/Si ヘテロ界面の電気的特性の評価法の検討、および、それらの評価法を用いた界面特性の明確化が重要となる。その後、界面特性が及ぼす上層膜（極薄膜エピタキシャル SiGe 層）の電気的特性への影響と相関、さらには、SiGe エピタキシャル層を用いたデバイスの電気的特性との相関を検討できるレベルにまで到達させる必要がある。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(a) SiGe/Si ヘテロ界面トラップの評価

ナノ薄膜ヘテロ界面トラップ密度の評価法として、低温でのチャージポンピング (CP) 測定が有効である。図 1 に室温から 91 K まで温度を変えて測定した SiGe/Si ヘテロ pMOS トランジスタのチャージポンピング特性を示す。図から、低温化に伴って、ベースレベル 2.5 V から 3 V にかけてフラットな CP 電流が出現することがわかる。これは低温化により、SiGe/Si ヘテロ接合界面にキャリアが局在化するために、ヘテロ界面におけるトラップからの CP 電流が、MOS 界面におけるトラップからの CP 電流とは明確に分離されて現れたものである。したがって、このヘテロ界面からの CP 電流値から SiGe/Si ヘテロ界面トラップ密度を算出できる。一方、MOS トランジスタのドレイン電流に含まれる低周波雑音は界面トラップと密接な相関があると考えられている。そこで、MOS 界面から離れた SiGe チャネルに主にドレイン電流が流れるゲートバイアス条件で測定したドレイン電流の低周波雑音電力と、CP 測定から

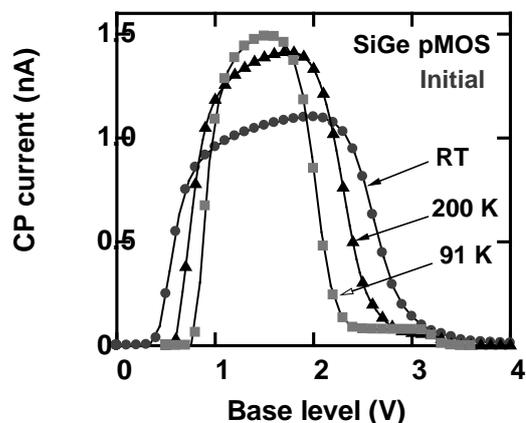


図 1 SiGe/Si ヘテロ pMOSFET のチャージポンピング特性。

求めた SiGe/Si 界面トラップ密度との関係を図 2 に示す. 図 2 から, 両者に線形関係があり強い相関のあることがわかる. このことから, CP 測定から得られたヘテロ界面トラップ密度の妥当性が検証できた.

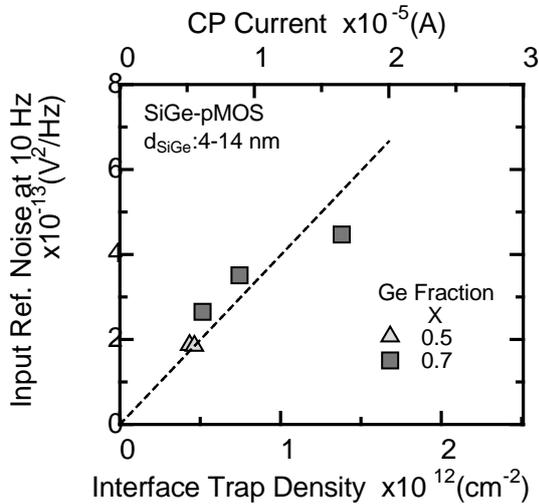


図 2 SiGe チャンネルを流れるドレイン電流の低周波雑音電力と CP 測定から得られた SiGe/Si ヘテロ界面トラップ密度との相関.

(b) SiGe/Si ヘテロ界面の劣化

(b-1) ホットキャリアによる劣化

SiGe/Si ヘテロ pMOS トランジスタにホットキャリアストレスを印加し, ストレス前後での CP 特性の変化を調べた. 室温測定と低温 (91 K) 測定の測定結果例を図 3 に示す. 図 3(a)の室温測定でははっきりしないが, 図 3(b)の低温測定ではベースレベル 2.5 V から 3 V にかけての SiGe/Si ヘテロ界面トラップからの CP 電流が, ストレス前はフラットであったのが, ストレス後には大きく増加しているのがわかる. この電流増加は, ホットキャリアストレスによって新たに発生した SiGe/Si ヘテロ界面トラップによるものであり, その増加値から発生したヘテロ界面トラップの総量を算出することができる.

ホットキャリアストレスで発生したヘテロ界面トラップは, その発生理由から, ドレイン層付近のヘテロ界面に局所的に存在している. したがって, 発生したヘテロ界面トラップが存在する領域の幅がわからなければ, 発生した局所ヘテロ界面トラップの密度を算出することができない. そこで, 図 3(b)のベースレベル 1.5V 付近における, ホットキャリア注入後のチャージポンピング電流が減少していることに着目し, その原因を解析することから, ホットキャリア注入によって劣化した領域の幅を導出する方法を考案した. その結果, ヘテロ界面準位が発生

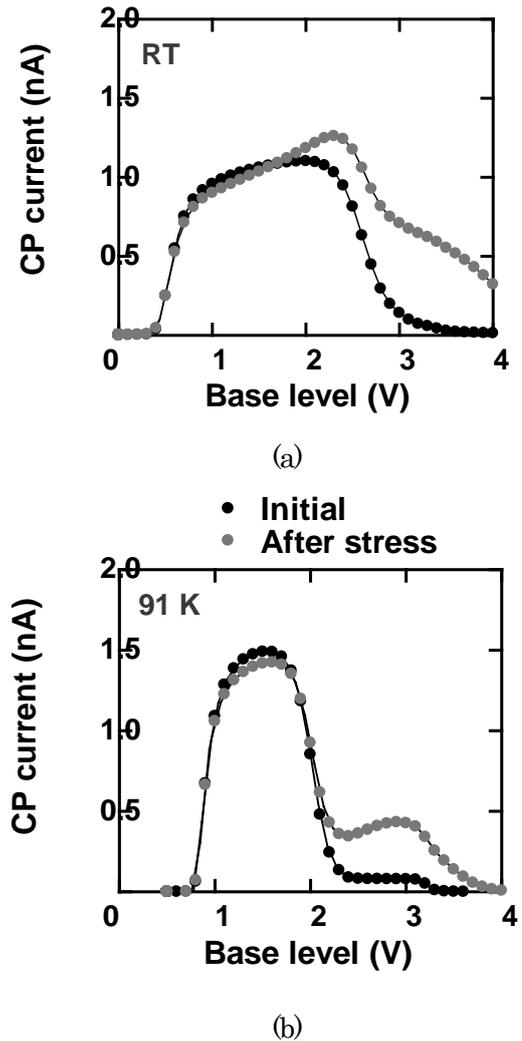


図 3 ホットキャリアストレス前後のチャージポンピング特性の変化. (a) 室温特性, (b) 低温 (91 K) 特性.

した領域の幅を評価することが可能となり, 局所発生した SiGe/Si ヘテロ界面準位密度を算出することが可能となった.

(b-2) ジュール熱による劣化

SiGe/Si ヘテロ pMOS トランジスタを通電状態にした時, 流れているドレイン電流によって発生するジュール熱が SiGe/Si ヘテロ界面にどのような影響を及ぼすかを調べた. デバイスに一定のドレイン電圧とゲート電圧を印加するストレスを加え, ストレス時間経過に伴うヘテロ界面の変化を低温 (90 K) CP 測定で評価した. 図 4 に, ヘテロ界面トラップからの CP 電流について, ドレイン電圧を一定にしてゲート電圧を変化させた場合の依存性を示す. ドレイン電圧を一定にしてゲート電圧を負方向に深

くした場合、ドレイン電界強度は低下するため、図4に見られる傾向から、発生したヘテロ界面トラップはホットキャリアに起因していることがわかる。この結果から、ストレスゲート電圧が-4Vの場合にはホットキャリアによるヘテロ界面トラップの発生はほとんどないことがわかる。

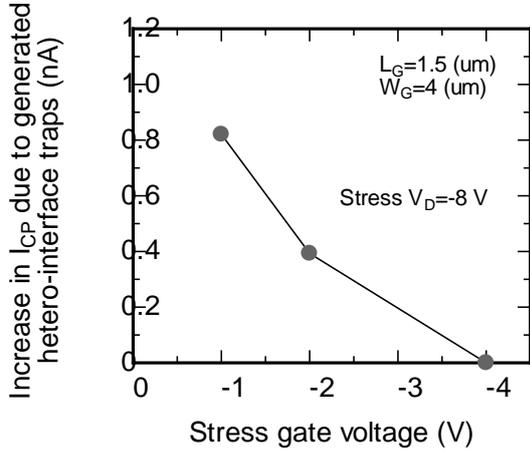


図4 バイアスストレスによる SiGe/Si ヘテロ界面トラップ増加に起因したチャージポンピング電流に対するストレスゲート電圧依存性。

そこで、ホットキャリア効果を見捨てるバイアス条件で長時間ストレスを印加した。その結果、ホットキャリア劣化とは異なる急激な特性変化が観測された。図5に90Kでの低温CP特性における急激かつ顕著な変化の一例を示す。約2,000分のストレス時間まではほとんど変化が見られなかったが、2,660分後の測定で急激な変化が見られた。しかし、SiGe/Si ヘテロ界面トラップに起因するベースレベル2.5Vから3VにかけてのCP電流の平坦部分が、2,660分のストレス後には無くなっており、あたかもSiGe/Siヘテロ界面が消失してしまったかのように見受けられる。図6に、長時間バイスストレスによるSiGe/SiヘテロpMOSトランジスタの電流電圧特性の変化を示す。図5から、ストレス時間2,660分後にはSiGe/Siヘテロ界面が消失してしまったかのようなCP特性を示しているが、決してトランジスタが破壊されたわけではなく、劣化はしているもののまともなトランジスタ特性を示している。

さらに詳細な検討を行い、ストレスドレイン電圧を一定(-8V)にして、ストレスゲート電圧を負方向に大きくしてドレイン電流を増大させると急激なヘテロ界面劣化を引き起こすまでの時間 τ が減少すること、また、ストレスゲート電圧を一定にして、ストレスドレイン電圧を-8Vから-7Vにしてドレイン電流を減少させると τ が増大することがわかった。

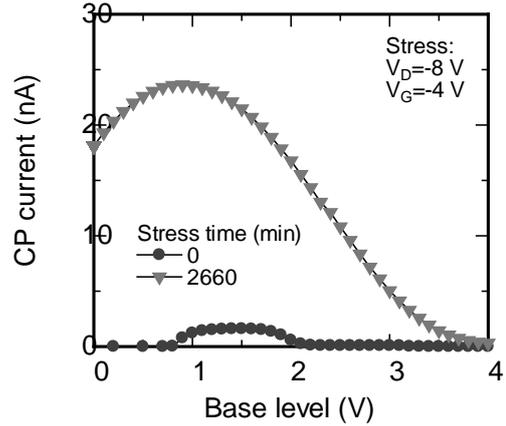


図5 長時間バイスストレス前後の低温(90K)チャージポンピング特性の変化。

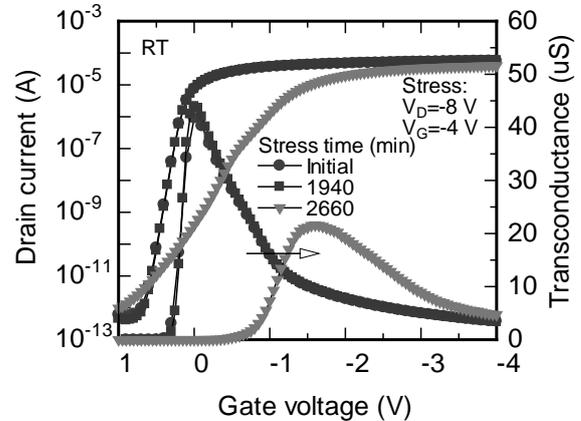


図6 長時間バイスストレスによる SiGe/Si ヘテロ pMOS トランジスタの電流電圧特性の変化。

これらの結果から、この急激な劣化はドレイン電流によるジュール熱によって生じているものであると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究によってヘテロ界面の電気的特性の定量評価が可能となり、また、ヘテロ界面特性の劣化要因や劣化の定量解析が可能となった。これらの成果により、ヘテロ界面特性とその上層エピタキシャル層の電気的特性の定量的相関の評価が可能になったと言える。

[4] 成果資料

(1) T. Tsuchiya, K. Yoshida, M. Sakuraba, and J. Murota, "Capture/Emission Processes of Carriers in Heterointerface Traps Observed in the Transient Charge-Pumping Characteristics of SiGe/Si-Hetero-Channel pMOSFETs," Key Engineering Materials, vol. 470, pp. 201-206, 2011.

採択番号：H23/A06

ディペンダブル・エアのための ヘテロジニアスネットワークローミング技術の基礎研究

[1] 組織

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

分担者：

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)
小熊 博 (富山高等専門学校)
山形文啓 (釧路工業高等専門学校)
坪内和夫 (東北大学電気通信研究所)
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)
谷藤正一 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 21 万 5 千円，旅費 63 万 9 千円

[2] 研究経過

無線通信ネットワークにおけるディペンダビリティは、種々の異種無線通信システムを効率的・適応的に活用し、いかなる状況においてもネットワークへの接続性を維持し、かつ、その品質を保証することである。つまり、通信距離、通信速度、電力を最適制御し、通信品質を確保するところにある。このような次世代の無線通信ネットワークを我々は **Dependable Air** (ディペンダブル・エア) と呼んでいる。

本研究課題では、ディペンダブル・エアの実現に不可欠である、異種無線通信システム間切り替え (ヘテロジニアスネットワークローミング) 技術に関する基礎研究を行う。既に終了した文部科学省 IT プログラム(RR2002)「次世代モバイルインターネット端末の開発」の研究成果を活用する。また、現在進行中の JST CREST タイププロジェクト研究「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」とも連携し

て、ディペンダブル・エアの構築技術の基礎的検討として、システム設計、モバイルプロトコル検討、基礎的な実証実験などを行う。本プロジェクトは、本年度が第 1 年目である。

以下、研究活動状況の概要を記す。

ディペンダブル・エアに関する研究議論を、東北大学電気通信研究所を会場に開催した。以下に開催日を列挙する。

2011 年: 6/15, 6/23, 7/8, 7/27, 9/12,
10/13, 11/7, 11/29, 12/14
2012 年: 1/24, 2/27, 3/14

[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 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 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ている。本年度は、マルチアンテナ技術を用いて SC/MC ハイブリッドシステムのさらなる高速化と広カバレッジ化を目指して検討を行った。図 1 に提案システムの概要を示す。基地局近傍での高スループットを得るために MIMO 空間多重を用いることを前提とし、セル端でのスループット補償には MIMO 空間多重と親和性の高

い Joint FDE/antenna diversity を用いる. この2つのマルチアンテナ方式を1つの演算補償回路で実現する.

図2に一例として MIMO 空間多重の場合, 送受信アンテナ本数が送信側アンテナ数 $N_t=2$, 受信側アンテナ数 $N_r=2$ で, Joint FDE/antenna diversity の場合の場合, 送受信アンテナ本数が $N_t=1, N_r=2$ の場合のシミュレーション結果を示す. 横軸は基地局から端末の距離, 縦軸はスループットを示している. 比較のために, SISO (Single Input and Single Output)の場合, 全ての領域において MIMO 空間多重を用いた場合についても合わせてシミュレーション結果を示す. 基地局近傍に着目すると, SISO の場合と比べて MIMO 空間多重を用いることで送信アンテナ本数 N_t が増加する分だけスループットが向上することがわかる. 一方, セル端に目を向けると, MIMO 空間多重のみを用いた場合は著しくスループットが劣化していることがわかる.

一方, 今回提案したマルチアンテナシステムでは, Joint FDE/antenna diversity を支配的に用いることでセル端においてスループット補償ができており, 大きくカバレッジを拡大できていることがわかる. セル端での要求スループットを 0.5 bit/s/Hz とすると, $N_r=2$ の場合ではカバレッジ拡大率が 41% となった. また, 基地局近傍での MIMO 空間多重による最大スループットも維持することができている.

(3-2) 波及効果

ディペンダブル・エアは, 家電・車・インフラなどのすべての装置に対してディペンダブル・エア・インターフェースを装備することでモビリティを獲得し, 各装置は最適なアクセス方式を選択することができることで, 安心・安全かつ, 必ずネットワークにつながることを実現する. 従来の移動通信分野だけにとどまらず, 物流, 自動車・ITS, 医療, 農林水産業など, 様々な分野への無線通信ネットワークの普及が期待できる. 極めて広い適用分野を見据えている意味で本プロジェクトの意義は非常に大きい. 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.

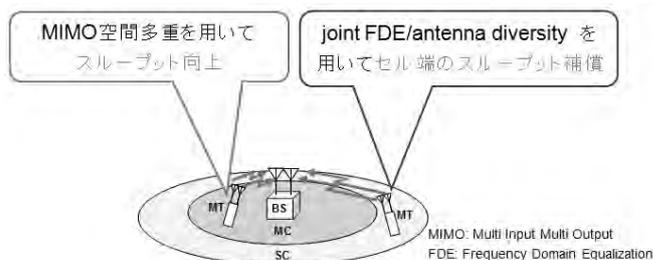


図1 シングルキャリア/マルチキャリアのハイブリッドシステムの概要

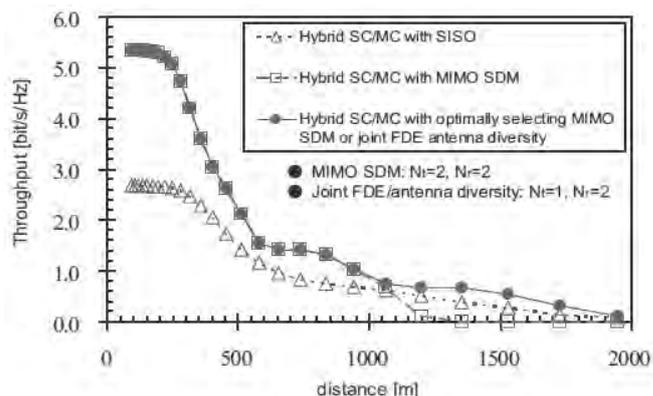


図2 OFDM の Uplink の 16QAM のカバレッジエリア推定

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] 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “災害に強いディペンダブルワイヤレスネットワーク,” 通研共同プロジェクト研究会「小電力無線通信技術の応用」(2011). (Invited)
- [2] 亀田 卓, “周波数領域等化技術を用いた広帯域無線通信システムの実装,” 電子情報通信学会・集積回路研究会 (ICD), ICD2011-35 (2011). (Invited)
- [3] S. Kameda, H. Oguma, N. Izuka, F. Yamagata, Y. Asano, Y. Yamazaki, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Proposal of Heterogeneous Wireless Communication Network with Soft Handover in Application Layer: Feasibility Study Based on Field Trial Results," "6th Int. ICST Conf. on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communication. (CROWNCOM2011), Osaka (2011).
- [4] K. Komatsu, S. Kameda, M. Iwata, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "ASIC

Implementation of Frequency Domain Equalizer for Single Carrier Transmission,” URSI General Assembly and Scientific Symp. of Int. Union of Radio Sci. (URSI GASS 2011), Istanbul, Turkey (2011).

[5] S. Kameda, H. Oguma, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, K. Komatsu, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, ”Coverage Estimation of Uplink 64 QAM Signal Up to 20 MHz Bandwidth Based on Field Trial Results: Coverage Issue of Broadband Uplink Signal,” The 14th Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Commun. (WPMC2011), France (2011).

[6] Y. Miyake, K. Kobayashi, K. Komatsu, S. Tanifuji, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Hybrid Single-Carrier and Multi-Carrier System: Widening Uplink Coverage with Optimally Selecting SDM or Joint FDE/Antenna Diversity,” The 14th Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Commun. (WPMC2011), France (2011).

[7] 三宅裕士, 柏村育郎, 小林和正, 富田俊輔, 小松和寛, 谷藤正一, 小熊博, 飯塚昇, 亀田卓, 末松憲治, 高木直, 坪内和夫, “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: 干渉局信号周波数偏差の影響を考慮したスループット特性評価,” 信学技報 SR2011-3, pp. 13-18, (2011).

[8] 小林和正, 三宅裕士, 小松和寛, 富田俊輔, 谷藤正一, 亀田卓, 末松憲治, 高木直, 坪内和夫, “MMSE 規範を用いた SC-FDE の量子化誤差の影響,” 2011 信学ソ大, B-17-6, 札幌, (2011).

[9] 小林和正, 富田俊輔, 三宅裕士, 小松和寛, 小熊博, 飯塚昇, 亀田卓, 末松憲治, 高木直, 坪内和夫, “伝達関数の落ち込みを考慮した SC 伝送のチャネル選択手法,” 信学技報 SR2011-80, pp. 17-22, (2012).

[10] 三宅裕士, 小林和正, 小松和寛, 小熊博, 飯塚昇, 亀田卓, 末松憲治, 高木直, 坪内和夫, “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: セル間干渉を考慮したスループット特性評価,” 信学技報 SR2011-81, pp. 23-28, (2012).

[11] 小熊博, 亀田卓, 飯塚昇, 浅野安良, 山崎吉晴, 末松憲治, 高木直, 坪内和夫, “OFDMA システムにおけるセル間及びセクタ間干渉,” 信学総大, A-5-3, 岡山, (2012)

[12] 小林和正, 富田俊輔, 三宅裕士, 小松和寛, 小熊博, 飯塚昇, 亀田卓, 末松憲治, 高木直, 坪内和夫, “伝達関数の落ち込みを考慮した低 BER チャネル選択手法,” 信学総大, B-5-12, 岡山, (2012)

採択回数

1

2

3

H23/A07

空間知覚と多感覚統合

[1] 組織

代表者：日高 聡太
(立教大学)

対応者：岩谷 幸雄
(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)

本多 明生
(東北大学電気通信研究所)

定藤 規弘
(自然科学研究機構)

宮内 良太
(北陸先端科学技術大学院大学)

北崎 充晃
(豊橋技術科学大学大学院工学研究科)

Brian FG Katz
(LIMSI-CNRS)

Jan Vroomen
(Tilburg University)

Carles J. Spence
(Oxford University)

研究費：物件費 241,000 円，旅費 333,340 円

[2] 研究経過

本研究は、人間が実空間をどのように知覚しているのか、そしてこのような空間知覚過程において、複数の異なる感覚受容器官で並列的に受容した多感覚情報がどのように統合されるのか、そしてこの統合された情報が空間知覚にどのような影響を及ぼすのかを多角的に検討し実証的な知見を得ることを目的としている。大量の情報のやりとりが可能となった昨今、次世代通信技術には、「量」だけでなく人間が高い臨場感・迫真性を感じることできる「質」が求められおり、次世代の高度なマルチメディアシ

ステムとして、人間にとって「質」の高い時空間提示システムの構築に対して高い関心が集まっている。本研究からは同システムを実現するに資する知見を得るため、空間知覚に関する多感覚情報処理過程を東北大学電気通信研究所で構築された世界的にも高水準の多感覚空間提示システムを活用した心理物理的実験を進め、システム構築に有益な知見を得ることを目的に掲げて研究を行った。

特に、私たちが空間をどのように知覚しているのかという空間知覚に関する研究は、従来、視覚もしくは聴覚を中心とした単一モダリティからのアプローチが中心であった。本研究では、複数の異なる感覚受容器官で並列的に受容したマルチモーダル情報が、空間知覚においてどのように統合され、そしてどのような影響を及ぼすのかを多角的に検討した。具体的には、昨今注目が高まっている、高度なマルチメディア時空間提示システムの構築において重要とされる、私たちの迫真性、臨場感、自然性という感性情報処理過程に対して心理物理学的手法を用いた検討を行うことで実証的な知見を得ることを目的として研究を行った。以上が、本プロジェクトの目的・概要である。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(2-1) 研究打ち合わせ

東北大学電気通信研究所にて2011年6月11日に研究打ち合わせを行った。本研究課題の遂行にあたる極めて有意義な討論が行われた。

(2-2) 研究打ち合わせ

リバプール大学の Georg F Meyer 氏を招き、研究打ち合わせを行った(招聘期間：2011年10月15日～10月26日)。Meyer氏は当該研究テーマに対して、これまで独創的な研究を行ってきた著名な研究者の一人である。2011年10月24日には“Evidence for common processing networks for speech and body actions”という題目にて東北大学電気通信研究所にて講演を行って頂いた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

私たちが認知する、迫真性、臨場感、自然性という感性情報処理の諸側面は、極めて主観的な感覚とみなされがちであるが、本研究ではこれらの情報処理過程に対して心理物理学的手法をもとにアプローチを試みることで、実証的で具体的な知見を得た。具体的には、本年度は、以下の研究成果を得た。

第1に、音源定位訓練における頭部運動と身体的フィードバックの効果に関する実証的な知見を得ることができた。具体的には、被験者に対して約1週間程度の音源定位訓練を行うよう求めたところ、音源定位訓練における頭部運動は主に水平角定位エラーを、身体的フィードバックは仰角定位エラーを改善することが解明された。これらの知見は、聴取者の身体運動やそれに随伴させて提示するフィードバック情報が音源定位行動のそれぞれ異なる側面を特徴づけることを示唆している。したがって、高度なマルチメディア時空間提示システムの実現・デザインにおいては、聴取者がある対象に対して能動的な行動を実行した場合に、それに随伴させた身体的フィードバックを提示することで同システムの改善が期待されることを示唆している。

第2に、聴取者の頭部運動が音空間知覚にどのような影響を及ぼすのかを詳細に検討するために、頭部運動時に提示される移動音像の検知閾を調べる実験を行った。その結果、聴取者が頭部運動を行った際に移動音像の検知閾に変動が生じることが明らかにされた。当該知見は、聴取者の頭部運動に付随して聴覚における感覚抑制が生じている可能性が高いことを示唆している。

第3に、高度なマルチメディア時空間提示システムの実現・デザインに直接関係すると考えられる、視聴覚コンテンツの臨場感・迫真性の規定因に関する実験的検討を行った。その結果、臨場感と迫真性はそれぞれ異なる感性情報であること、臨場感は視聴覚コンテンツがどの程度の視野、音圧で提示されるかといった物理的変動によって主に規定されること、一方、迫真性は映像と音の時間的整合性によって主に依存する特性があることが明らかとなった。当該知見は、高度なマルチメディア時空間提示システムの実現・デザインにおいては、視聴覚コンテンツの物理的要因のみならず時間的要因を加味する必要性が高いことを示唆している。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトを通じて、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、私たちの感性情報処理に関する新たな基礎的知見が得られるに留まらず、高度なマルチメディア時空間提示システムの実現・デザインにおいて極めて貴重かつ重要な指針が得られた。

その中でも具体的な研究成果は、多感覚研究の国際的な学術集会である **International Multisensory Research Forum** 等において発表された ([4]成果資料の(4)、(5)、(6))。

特に、本プロジェクトを通じて明らかになった、音源定位訓練における頭部運動と身体的フィードバックの効果は、リバプール大学の **Georg F Meyer** 氏等との国際的な共同研究を着手する足掛かりになるなど、今後の研究発展が期待されている。

[4] 成果資料

- (1) Honda, A., Shibata, H., Hidaka, S., Gyoba, J., Iwaya, Y., & Suzuki, Y. (2012). The Roles of Head Movement and Accurate Proprioceptive Feedback in The Process of Sound Localization Learning. 東北大学電気通信研究所情報通信研究拠点平成23年度共同プロジェクト研究発表会, 江陽グランドホテル (仙台市).
- (2) 大場景翔・岩谷幸雄・本多明生・鈴木陽一 (2011). 頭部運動を伴う音像定位課題における音像移動の検知. 信学技報 IEICE Technical Report EA2011-66 (2011-8), 99-103.
- (3) 神田敬幸・本多明生・柴田寛・浅井暢子・寺本渉・坂本修一・岩谷幸雄・行場次朗・鈴木陽一 (2011). 視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性に関する実験的研究：シンバル演奏場面における視野制限と音圧レベルの効果. 信学技報 IEICE Technical Report HIP2011-44(2011-11), 7-10.
- (4) Honda, A., Shibata, H., Hidaka, S., Gyoba, J., Iwaya, Y., & Suzuki, Y. (2011). The Effects of Head Movement and Accurate Proprioceptive Feedback in Training of Sound Localization. 12th International Multisensory Research Forum, Fukuoka, Japan. (i-Perception, Vol 2, 865.)
- (5) Kanda, T., Honda, A., Shibata, H., Asai, Y., Teramono, W., Sakamoto, S., Iwaya, Y., Gyoba, J., & Suzuki, Y. (2011). The Sense of Verisimilitude has Different Spatial-Temporal Characteristics from Those Producing The Sense of Presence in The Evaluation Process of Audiovisual Contents. 12th International Multisensory Research Forum, Fukuoka, Japan. (i-Perception, Vol. 2, 789.)
- (6) Ohba, K., Iwaya, Y., Honda, A., & Suzuki, Y. (2011). Detection Thresholds of Sound Image Movement Deteriorate During Sound Localization. 12th International Multisensory Research Forum, Fukuoka, Japan. (i-Perception, Vol. 2, 807.)
- (7) 神田敬幸・本多明生・柴田寛・浅井暢子・寺本渉・坂本修一・岩谷幸雄・行場次朗・鈴木陽一 (2011). 視聴覚コンテンツにおける臨場感・迫真性の規定因. 日本バーチャルリアリティ学会第16回大会, 公立はこだて未来大学.
- (8) 大場景翔・岩谷幸雄・本多明生・鈴木陽一 (2011). 音像定位課題における頭部運動速度が音像移動検知限に及ぼす効果. 日本音響学会 2011 年秋季研究発表会, 島根大学.

H23/A08

再構成神経回路網の情報伝達

[1] 組織

代表者：神谷 温之
(北海道大学大学院医学研究科)

対応者：庭野 道夫
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)
中村 俊
(東京農工大学大学院工学研究院)

加藤 功一
(広島大学大学院医歯薬学総合研究科)

溝口 明 (三重大学大学院医学系研究科)

重川 秀実
(筑波大学大学院数理物質科学研究科)

桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)

土居 伸二 (京都大学大学院工学研究科)

篠原 康雄 (徳島大学薬学部)

早川 吉弘 (仙台高等専門学校)

平野 愛弓
(東北大学大学院医工学研究科)

中島 康治 (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)

佐藤 茂雄 (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)

小野美 武 (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)

青沼 有紀 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費 27 万 1 千円，旅費 29 万 7 千円

[2] 研究経過

生体の脳組織で実現されている情報伝達や記憶・認知・判断などの機能は、電気・電子工学分野における情報処理の観点からも興味深い。従来、脳機能の研究に用いられている、脳スライスによる神経生理学的手法や、計算論的アプローチからの処理様式の提案手法に加えて、これらを横断するような実験モデル系が構築されれば、それぞれの研究アプローチに対する情報処理メカニズムの知見としてのみならず、神経素子の機能特性を考慮した集積回路などの設計指針に寄与できると考えられる。

本プロジェクト研究は、再構成系神経回路網の構

築とその機能解析を目的としている。研究課題としては、①培養神経細胞を用いた実際の脳に近い神経回路網の形成 ②形成した再構成神経回路網における情報伝達機構の分析的、および電気生理学的計測・解析 ③理論に基づく脳型機能創発のための神経回路の設計 の3点とし、そのための具体的な検討項目として、①再構成神経回路形成のための表面・界面修飾技術の確立 ②動態評価指標の探索・刺激応答特性などの機能分析手法の構築 ③脳型モジュール機能ユニットを模す情報処理回路の設計と実証 を挙げ、これらを統合・集積化することにより、脳型コンピュータの基礎となる並列・分散的な情報処理回路の実現や、脳神経回路の誤動作・異常と捉えられるようになりつつある精神疾患などの脳機能紹介の解明のための学術的基盤を確立することを目標とした。

初年度となる本年度は、人工回路網構築のための最重要な基盤技術となる「完全設計型」人工基板の構築が進展し、基板上に神経細胞を培養する試みを開始した。これに際し、修飾基板の作製と細胞培養による検証や、細胞間の情報伝達処理様式における空間コーディングの検討など、研究分担者間の共同研究も複数実施された。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。平成 23 年 9 月にプロジェクト研究方針に関する打ち合わせを実施したほか、平成 24 年 1 月 24 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おこなうとともに、勉強の場とした。

研究打ち合わせ

日時：平成 23 年 9 月 24 日 (土) 14:00~17:30
場所：東北大学電気通信研究所 附属ナノ・スピン
実験施設 A508 室

内容：

研究報告

久保田 繁 (山形大学大学院理工学研究科)
中島 康治 (東北大学電気通信研究所)
他 プロジェクト研究方針に関する打ち合わせ

公開研究会

情報バイオロニクス研究会・通研講演会

電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催

日時：平成 24 年 1 月 24 日 (火) 13:30~16:45

場所：東北大学電気通信研究所 附属ナノ・スピン
実験施設 4F カンファレンスルーム

「海馬・嗅内皮質の構造と機能」

林 初男 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)

「初期視覚神経回路の時空間ダイナミクス」

八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)

「シナプス光不活化法によるグルタミン酸受容体輸送の動態解析」 神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究科)

「人工神経細胞回路の構築のための表面ナノマイクロ改質技術」 山本 英明 (東京農工大学工学研究院), 谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院), 中村 俊 (東京農工大学工学研究院)

「神経細胞の構成的ネットワークのための基礎技術」 加藤 功一 (広島大学医歯薬学総合研究科)

[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。

脳神経回路における情報伝達処理様式の表現手法を検討するため、神経回路数理モデルによる随意運動の出力と、薬理作用下における出力変化の表現を試みた。

TELOS モデル (Brown et al., *Neural Networks*, 17: 471-510, 2004) は、サッケード眼球運動を説明するために提案された数理モデルであり、基底核、一部の皮質や視床、上丘における神経回路を、神経細胞と、シナプス結合に相当する可変/一定の強度を有する結合で表現する。このモデルでは、神経細胞やシナプス結合が、神経伝達物質ドーパミンの濃度の増減の影響を受けることを考慮していることから、ドーパミン濃度を制御する薬理作用下における脳神経回路の情報伝達処理を表現しうる。そこで本研究は、TELOS モデルを脳神経回路における薬理作用の表現に適用し、ドーパミン作動性細胞に作用する神経毒前駆体 1-methyl-4-phenil-1,2,3,6-tetrahydro-pyridine (MPTP) 投与下における脳神経回路内の神経細胞の活動と、サッケード眼球運動への影響を検討した。

MPTP 投与にともなうドーパミン濃度の低下を、神経細胞のドーパミン D₂ 受容体の活性を表すパラメータの変化として表現し、MPTP 作用下のサッケード眼球運動における上丘細胞の活動度の時間変化を調べた。基底核と前頭葉前部皮質、いずれに対

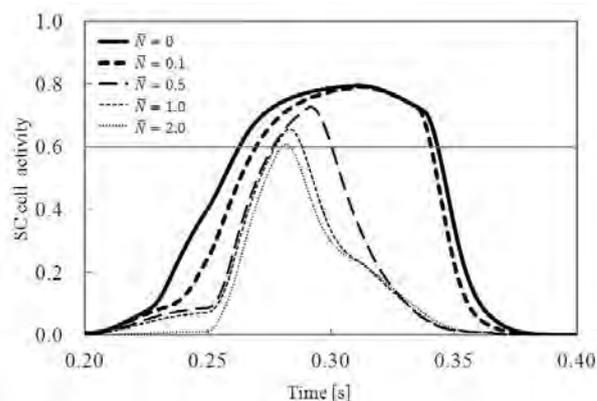


Fig. 1 MPTP 投与 (\bar{N} 値に相当) にともなう上丘細胞 (SC cell) 活動度の時間変化

する MPTP の作用においても、MPTP の作用の増強にともなう上丘細胞の活動度の減少と、サッケード眼球運動の遅れが認められた (Fig. 1)。また、基底核-視床における神経回路において、神経細胞の活動度に振動的な挙動が観測された。これは、MPTP 作用下におけるドーパミン受容体を介した回路の変化に起因すると考えられる。薬剤投与下の眼球運動の遅れや基底核神経細胞の振動的挙動は、動物実験においても確認されており、TELOS モデルを用いた脳神経回路における薬理作用と、薬剤作用下の神経細胞の挙動を表現できたと考える。

また、再構成神経回路における情報処理を解析するために、シナプス伝達を時間的・空間的に任意のパターンで制御する新たな光学的手法の開発を目指した。脳の興奮性シナプスの多くはグルタミン酸を伝達物質とし、AMPA 型グルタミン酸受容体を介してシナプス伝達を行う。本研究では新たに開発された光反応性 AMPA 受容体ブロッカーである ANQX を用いた光不活化法の開発と、マウス海馬スライス標本を用いてその有効性について検証を行った。

マウス海馬スライス標本において、CA1 野シナプスにおけるシナプス後電位 (EPSP) を記録した。シナプス部位に ANQX を急速投与し、局所的な紫外線 (UV) 照射と組み合わせると EPSP が不可逆的に抑制された。ANQX が光化学的反応により AMPA 型グルタミン酸受容体と架橋形成することでシナプス伝達を不可逆的に抑制したと考えられる。光照射により特定の入力を特定のタイミングで阻害することが可能になれば(「入力特異的シナプス光不活化法」), 再構成神経回路にとどまらず、脳内の神経回路の機能解析における有益なアプローチとなることが予想される。

さらに、近年、AMPA 型グルタミン酸受容体は細胞内の予備プールからシナプス後部に輸送されることが明らかとなったが、本研究では、ANQX による

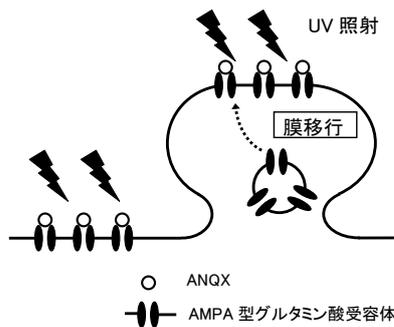


Fig. 2 光反応性ブロッカーANQXを用いた海馬
シナプスでのAMPA受容体の動態解析

シナプス不活化法を利用して、AMPA受容体のシナプス後部での動態を解析した(Fig. 2)。ANQXは細胞膜表面のAMPA受容体と不可逆的に結合し阻害する。光不活化後のEPSPが時間とともに回復するならば、その時間経過は細胞内プールからシナプスへのAMPA受容体輸送過程を反映すると考えられる。本研究では、AMPA受容体輸送は静止状態では認められず、高頻度刺激直後に生じることが明らかになった。神経活動依存的なAMPA受容体のシナプス輸送は、海馬における記憶痕跡の実体と考えられており、本研究は記憶痕跡の形成のタイミングを明らかにしたものと意味づけられる。

今後は、紫外線照射の部位とタイミングを制御することで、複雑な脳の神経回路網の特定の入力機能を明らかにすることが可能になる。本研究において構築された完全設計型人工神経回路の機能解析における有用な新規の解析法になることが期待される。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにおいて実現を目指す、ナノテクノロジーに基づく再構成神経回路網の形成と制御法、および、ナノスケール計測技術の確立により、神経生理学・神経生物学分野における従来の生化学・電気生理学的手法とは異なる新規解析手法の提供とともに、未知の神経生理メカニズムの発見が期待される。また、人工神経回路網の形成と実際の神経回路の動作原理実装は、脳型コンピュータ開発における情報処理回路の制御機構や情報の分散処理に適応しうる。このような神経回路網の基礎的知見、および、新規デバイスの創製は、電子工学や計算科学における萌芽的な学術研究分野を作り出すとともに、精神疾患の治療や脳の再生など医療面においても大きな波及効果が期待される。

[4] 成果資料

- [1] 桜井伊知郎, 佐藤憲一, 庭野道夫: 基底核の脳神経回路における薬理作用のシミュレーション (1) —眼球運動の遅れと神経細胞活動度の振動現象— 日本神経回路学会誌, Vol. 18, pp. 182-193 (2011)
- [2] Kamiya, H.: Photochemical inactivation analysis of temporal dynamics of native AMPA receptors in hippocampal slices. *Journal of Neuroscience*, in press.

課題番号 H23/A09

フレキシブル・プリンタブル製造有機ヘテロ接合太陽電池の研究

[1] 組織

代表者：廣瀬 文彦

(山形大学理工学研究科)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

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：物件費 63.0 万円，旅費 37.6 万円

[2] 研究経過

本研究では、n 型無機 Si と有機半導体とのヘテロ接合を用いた太陽電池について電荷分離機構の研究を進めた。この目的であるが、従来フレキシブル無機半導体基板としてフレキシブル Si シート知られているが、フレキシブルであるがため高温の半導体プロセスが適用できなかったものを、塗布型有機半導体と接続することで、低温でかつ低コストなフレキシブル太陽電池として実現を狙うものである。本年度は、P3HT に PCBM を混合させた膜を Si 薄膜に接合させて電池を試作し、従来の P3HT 単体膜との接合に比べ、2 倍程度の発電特性の向上を確認することができた。また、従来の有機太陽電池と比べ、広い波長範囲での量子効率を得た。また、電池性能において、界面酸化層の理想係数に与える影響を明らかにし、特性向上のための界面処理技術を獲得した。本研究成果に関する討論を行うため有機ナノエレクトロニクス分野で活躍されている研究者を招へいし、電気通信研究所ナノスピン実験施設で研究会を開催した (2012 年 2 月)。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

我々は塗布形成可能な有機半導体である P3HT と PCBM の混合膜と n 型 Si を用いて、図 1 に示される接合型太陽電池を試作した。この接合はショットキーダイオードとしての良好な整流性があり、光

照射下で発電特性を得ることができる。P3HT 膜での接合では発電効率は 0.4% 程度であったが、PCBM との混合による接合で発電効率を 0.7%、開放電圧を 0.45V まで高めることができた。

この接合は、図 3 に示されるように 300~1100nm の広い波長範囲で発電可能であることもわかった。従来のオール有機の太陽電池では、300~800nm でしか発電できないことから、この構造の上にもう 1 組の有機太陽電池を接着し、タンデム化することで、開放電圧 1V を超える 7% 級フレキシブルタンデム電池が期待できる。現在、試作研究を推進中である。

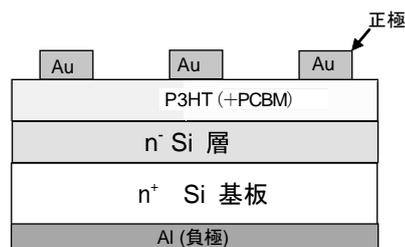


図1 P3HT/n-Si有機無機接合電池の断面構造とサンプル写真

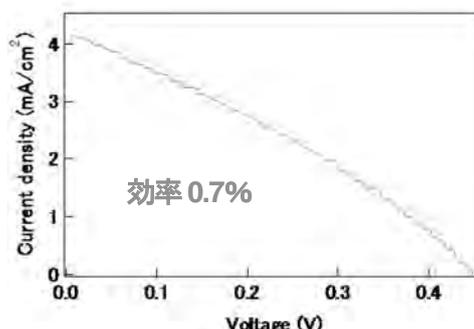


図2 P3HT +PCBM/n-Si太陽電池の発電特性

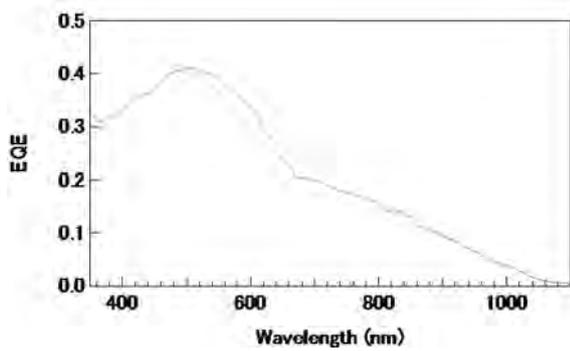


図3 P3HT +PCBM/n-Si 太陽電池の量子効率特性

当該電池の性能を決定する要因となるショットキ一接合の理想係数は、有機膜と Si 層との界面に発生する自然酸化膜が大きく影響していることを突き止めた。また、界面酸化膜を抑えるために、Si 表面にごく薄い SiC 層を形成することで、理想係数を大きく向上させる効果があることを明らかにした。図 4 に P3HT と Si の接合で作製したダイオードの順方向バイアス時の電流密度－電圧特性を示す。SiC 処理を用いることで、順方向電流が増強され、かつ傾きが急峻となることがわかる。理想係数も 3.1 から 1.5 に改善されることがわかった。以上の結果は、有機無機ヘテロ接合において、界面の自然酸化層を抑制し急峻な界面を実現することが性能向上につながることを示唆するもので、今後、電池試作に応用して性能向上を確認していく予定である。

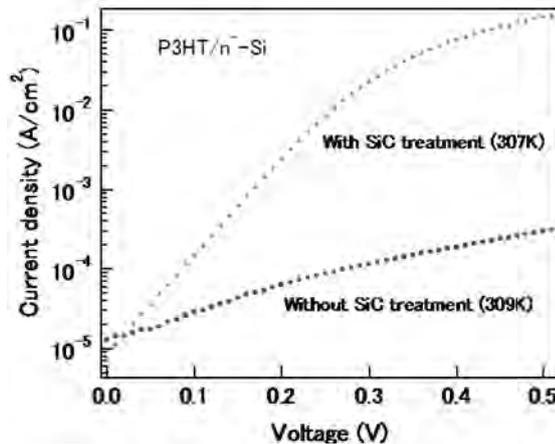


図4 P3HT/n-Si 接合ダイオードにおける SiC 処理の効果

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究で開発した有機無機ダイオードは、Si 膜に有機溶剤に溶いた P3HT、PCBM を塗布するだけで製作したもので、ほぼ室温で形成できるという低温簡易形成のメリットがある。発電性能は 1%未満ではあるが、情報端末の回路駆動には十分であり、フレキシブルエレクトロニクスへの応用が期待できる。

フレキシブル太陽電池として、現在バルクヘテロ

型の有機太陽電池が盛んに研究されているが、多くの有機太陽電池は光の吸収帯域として、緑から青の波長領域に限定される。赤から赤外領域での発電については、よい材料がみつかっておらず、タンデム方式が模索されている。今回の有機無機ヘテロダイオードは、赤外領域での発電が可能であり、バルクヘテロ型有機太陽電池をトップに、有機無機ダイオードをボトムとしてタンデム太陽電池への応用も可能と考える。今後も、有機無機界面の処理を検討して、発電性能を高めるための試験を続行する予定である。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) “Alpha-sexthiophene/n-Si heterojunction diodes and solar cells investigated by I-V and C-V measurements”, Y. Takanashi, N. Oyama, K. Momiyama, Y. Kimura, M. Niwano, F. Hirose, *Synthetic Metals*, **161** (2012) 2792–2797.
- 2) “Pentacene/n-Si heterojunction diodes investigated by I-V and C-V measurements”, N. Oyama, Y. Takanashi, S. Kaneko, K. Momiyama, F. Hirose, *Microelectronic Engineering*, **88** (2011) 2959–2963.
- 3) “Poly 3hexylthiophene/n-Si heterojunction diodes and photosensors investigated by I-V and C-V measurements”, N. Oyama, S. Kaneko, K. Momiyama, F. Hirose, *IEICE Transactions on Electronics*, **E94-C**(2011) 1838-1843.

採択番号 H23/A10

薄膜素子の磁区構造転移を利用した 磁気デバイスの設計開発とその応用展開に関する研究

[1] 組織

代表者：菊池 弘昭

(岩手大学工学部)

対応者：石山 和志

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

中居 倫夫 (宮城県産業技術総合センター)

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)

荒井 賢一 (電磁材料研究所)

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)

小澤 哲也 (東北学院大学工学部)

鎌田 康寛 (岩手大学工学部)

小林 悟 (岩手大学工学部)

研究費：物件費 24 万 8 千円，旅費 21 万 5 千円

[2] 研究経過

短冊状に微細加工した薄膜磁性体において，ストライプ状傾斜磁区構造の角度を制御することで，外部磁界の変化に伴う磁区構造のトポロジカルな転移が発生することが見出され，その発生原理解明が進められている。これまで磁区のエネルギ―安定状態の遷移という観点から実験結果を説明できることが明らかにされている。本研究においては，本現象の発生原理の理論的考察を進展させるとともに材料パラメータや素子構造による特性制御手法の実験的検討を行い，それらの結果を反映させた設計シミュレータの開発を目指す。さらに，素子応用のひとつとして高空間分解能，高感度な磁界センサへの展開を図り，非破壊検査応用のための基礎検討を行うことを目的とする。発電プラントでは通常非磁性である鋼や合金が蒸気細管等に使用されているが，高温にさらされることにより局所的に脆くなり（鋭敏化）ひび割れが発生する。この脆くなる箇所は強磁性化しており，検出のために磁界センサを適用できる。ただし，高空間分解能・高感度が必要であり，設計シミュレータに基づくセンサ素子の設計，センサプローブの作製を行い，発電プラントの蒸気細管等で使用されるステンレス鋼やインコ

ネル合金における鋭敏化の検出への適用について検討する。

本プロジェクトは，本年度が第1年度であった。以下，研究活動状況の概要を記す。

第1回研究打合せ 平成23年6月28日

薄膜磁気デバイスの応用及び本年度研究スケジュールについて議論した。

第2回研究打合せ 平成23年11月12日

研究進捗状況の確認及び素子測定系，磁区観察装置に関する議論を行った。

第3回研究打合せ 平成23年11月23日

前回に引き続き，素子測定系，磁区観察装置に関する議論を行った。また，素子形状に関する議論を行った。

第4回研究打合せ 平成24年3月6日

実験結果に基づき磁区構造シミュレーション設計関する議論を行った。

23年度共プロ研究発表会 平成24年3月2日

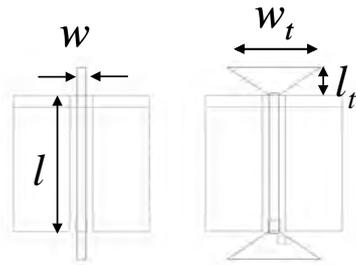
今年度の研究成果についてポスター発表を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は，以下に示す研究成果を得た。

まず第1に，素子端部にテーパー構造を有する場合，不連続インピーダンス現象の発生がより低磁界側で生じ，かつ多磁区領域範囲が狭くなることを実験的に明らかにした。素子幅 20 μm から 80 μm の寸法範囲における素子において，その端部の形状を変化させた素子を試作し（図1参照），外部磁界と素子インピーダンスの関係を網羅的に検討した。また，Kerr効果顕微鏡によるそれら素子の磁区観察を行った。図2は磁界中熱処理時の印加磁界方向を素子幅に対して 60°にした幅 20 μm 素子のインピーダンスの外部磁界依存性を示したものである。高周波電流は 100 MHz としている。

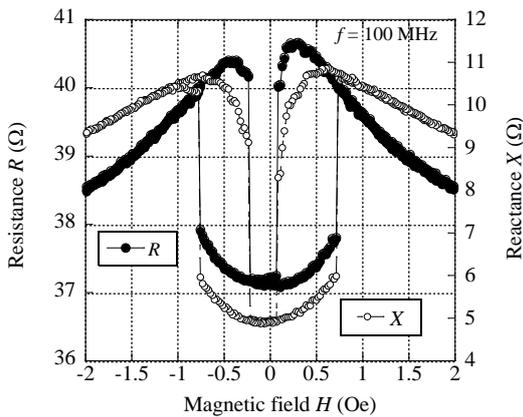


$l = 1\text{mm}$

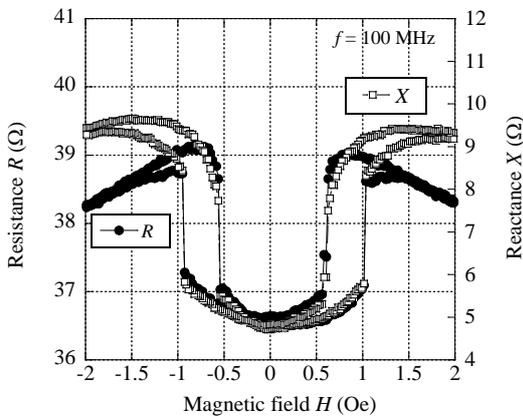
$w = 20: wt = 400, lt = 100, w = 50: wt = 380, lt = 250,$

$w = 80: wt = 860, lt = 250$

図1 素子形状・寸法



(a) テーパー構造有り



(b) テーパー構造なし

図2 MI素子のインピーダンス外部磁界依存性

(a)は端部にテーパー構造を有している素子の結果で、多磁区→単磁区の遷移に対応するインピーダンスの不連続変化は磁界強度 0.73 Oe, 単磁区→多磁区の遷移については磁界強度 -0.23 Oe でみられる。(b)のテーパーを有しない素子では、多磁区→単磁区 1.02 Oe, 単磁区→多磁区 -0.56 Oe であり、テーパー構造を有するほうがインピーダンスの飛びが見られる磁界強度が低下している。また、素子が多磁区状態にある磁界範囲はテーパー有では、0.96 Oe であるのに対し、テーパー無しの場合、1.58 Oe である。熱処理中の印加磁界方向が異なる他の素子においても同様の結果が得られた。

素子幅を変化させた場合は、素子幅の増加とともに

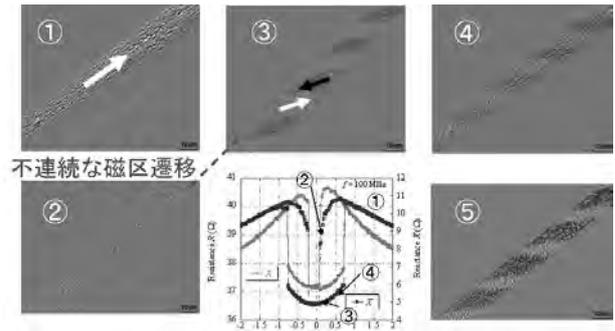


図3 インピーダンス変化と磁区構造

taper	端部		中央	
無	2.7	2.1	2.7	2.1
有	1.2	1.1	1.3	1.2

磁界強度単位 : Oe

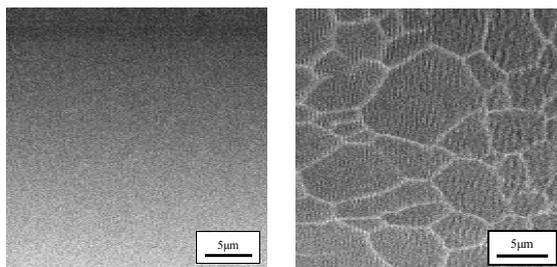
図4 素子端部及び素子中心部で磁区観察結果

インピーダンス不連続の発生磁界は増加し、多磁区領域の範囲も増加する。これらは、素子幅増加による反磁界の増加により説明できる。一方、テーパーの有無に関しては、テーパー構造を有するほうが、端部における反磁界は大きいですが、インピーダンスの振る舞いは反磁界が増加する場合と相反する結果を示しており、興味深い。この要因の解明までは本年度至らなかったため今後の課題としたい。

図3は素子幅 20 μm の素子におけるインピーダンス特性と対応する磁区構造写真を示した図である。インピーダンスの不連続変化が見られる点 (図中②→③) で、多磁区、単磁区の磁区遷移が生じていることを確認した。

図4は、素子幅 80 μm において、素子端部 (電極付近) 及び素子中心部で磁区観察を行った結果であり、素子中央部と端部 (電極付近) での磁区構造遷移に明確な磁場依存性の違いは確認できていない。一方、テーパーの有無の違いでは、単磁区・多磁区間の磁区遷移発生磁界の低下が明らかである。また、テーパー構造を有する素子では、磁性体素子端部では反磁界の影響により磁区構造の変化が生じないことを確認している。

成果の第2として、通常非磁性であるインコネル合金において熱鋭敏化による強磁性化及びその現象を磁界センサで検出可能なことを確認した。図5は熱時効前後 (時効は 600 $^{\circ}\text{C}$, 100 h) におけるインコネル合金の磁気力顕微鏡像を示したものである。時効後に粒界に沿って強磁性化していることが明らかである。図6はこの試料上を市販のホールセンサで走査した結果を示しており、強磁性化の違いを判別できている。た



(a) 0h (b) 100h

図5 インコネル合金の磁気力顕微鏡像

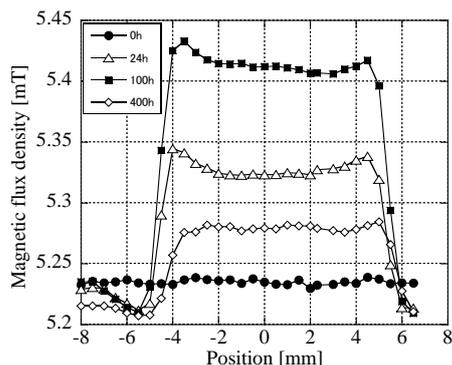


図6 熱鋭敏化したインコネル合金試料の漏れ磁束分布

ただし、粒界に沿った強磁性化分布までの計測には至っておらず、高空間分解能かつ高感度な磁界センサの開発が必要な状況にある。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトで明らかになったテーパー構造の有無でインピーダンスの不連続点が変わるという結果は、傾斜磁区を有する薄膜磁界センサの応用展開を考慮した場合、素子特性制御の観点から非常に有用である。この要因は現時点で明らかではないがそれらメカニズムを解明し、磁区構造モデルに基づくセンサ動作シミュレータが構築できると様々な用途に適した素子設計が可能になる。

材料劣化に伴う強磁性化を磁界センサで検出可能なことを明らかにした結果は、本プロジェクトで検討している磁界センサの非破壊評価応用の可能性を示したものである。高空間分解能・高感度な磁界センサの実現は、非破壊評価の高精度化・高度化に寄与し、様々な高経年化・老朽化が顕在化してくる社会基盤構造物の健全性評価において多大な貢献が期待できる。一方で、それらを構築する鋼材の信頼性の評価への適用などの波及効果も期待される。

[4] 成果資料

第1年度であった本年度は成果発表・論文投稿がなかったため、成果資料はなし。本年度得られた成果の一部は24年度の国際会議にて成果発表予定(概要は採択済)。また、論文投稿も行う。

採択番号 H23/A11

サイバー・フィジカル融合社会のための 基盤システムに関する研究

[1] 組織

代表者：重野 寛

(慶應義塾大学理工学部)

対応者：北形 元

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

安本 慶一 (奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科)

加藤 由花 (産業技術大学院大学産業技術研究科)

河口 信夫 (名古屋大学大学院工学研究科)

菅沼 拓夫 (東北大学サイバーサイエンスセンター)

塚田 晃司 (和歌山大学システム工学部)

寺西 裕一 (大阪大学大学院情報科学研究科)

原 隆浩 (大阪大学大学院情報科学研究科)

峰野 博史 (静岡大学情報学部)

山口 弘純 (大阪大学大学院情報科学研究科)

研究費：物件費24万9千円，旅費16万9千円

[2] 研究経過

個人の情報から社会や自然の情報まで、広域に遍在するセンサから収集した実世界情報をサイバー世界に集積・再構築することに加え、新たな情報価値を創造して実世界へ還元することで、人々の活動を統合的かつ高度に支援すること重要な課題である。このようにサイバー世界と実世界が親和的に融合した社会を、サイバー・フィジカル融合社会と呼ぶ。

本プロジェクトでは、サイバー・フィジカル融合社会のための基盤システムを実現する基礎的な技術の確立を目的とする。具体的には、実世界情報を効率的に収集するセンサシステムや通信システム等の基礎技術、実世界情報をサイバー世界に流通・再構築するためのオーバレイネットワークやクラウド等に関する技術、再構築した実世界情報を効果的に実世界へ還元するためのエージェント技術やサービスプラットフォーム等の情報技術の構築を目指す。

本プロジェクトでは研究開発領域を、センサネットワーク/シミュレーション、実世界情報獲得・流通プラットフォーム、サイバー・フィジカル融合型サービス基盤の3領域に分け、分担者は各領域の中で個別テーマを設定して研究を進め、シンポジウムや研究会等の機会を捉えて意見交換を行った。

本年度のまとめとして、2012年3月1日に東北

大学電気通信研究所において、共同プロジェクト研究会を開催した。個別の成果や関連する取り組みとして、サービス個人化基盤、交通への取り組みと通信技術、センサネットワーク統合システム、位置情報環境モデリング技術、観光動態情報収集とAR応用の5件の発表が行われた。同時に、問題点、課題、今後の方向性について議論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(a) 監視対象領域を最小コストでセンシングするセンサ配置法に関する研究 (安本, 奈良先端大)

ビルや家屋などの建物内にスマート環境を構築するためには、空間内の環境情報のセンシング・収集のため、無線センサネットワーク (WSN) の敷設が必須である。しかし、複雑な構造を持つ3D空間において、監視が必要な領域を十分な精度でセンシングするWSNを敷設することは、通信範囲・センシング範囲の影響や現実的な制約を考慮すると、非常に難しい問題である。本研究では、要求性能を満たす屋内WSNを効率良く設計するため、障害物のある3D空間への最適なセンサノード設置位置決定推定機能を持つ屋内WSNシミュレータを開発した。

(b) センサネットワークを用いた環境負荷モニタリングシステムの実現 (峰野, 静大)

昨今のエネルギー供給不足をはじめ、地球温暖化、化石燃料依存インフラからの脱却など、様々なテーマや問題を解決する中心的な技術として、電力設備や需要家 (消費者) 側に設置された設備を、ICTを利用して制御する技術「Green by ICT」が注目されている。本研究では、約80台の小型省電力センサノードやスマートタップノードを研究室内に設置し、環境負荷情報として温度や人感、消費電力といった実世界情報を収集し見える化するセンサネットワークシステムを開発した。

(c) サイバーフィジカルシステムの実現に向けたセンサネットワーク統合システムの構築 (原, 阪大)

本研究では、サイバーフィジカルシステムを実現するための重要な基盤となるセンサネットワーク統

合システムについて研究開発を推進した。異種センサネットワークから生成されるセンサデータを統合利用するために、モバイルエージェントに基づくP2PプラットフォームであるPIAXを用いて、センサネットワーク統合システムを構築した。このシステムでは、地理的・時間的粒度が異なるセンサデータに対して、宣言的な言語を用いて簡潔にデータ処理の問合せが記述可能である。

(d) 行動センシングとシミュレーション技術の開発 (山口, 阪大)

スマートフォンなどモバイルセンサー端末を活用した都市環境における人の行動センシング技術や、多数のセンサを用いるセンシングシステム向けの都市シミュレーションプラットフォームを開発した。人々の行動パターンの事前知識や事前解析を活用して位置行動センシング精度を向上させ、それを行動ナビゲーションにフィードバックする技術などを検討・開発した。また、人の行動モデルとセンサーモデルを融合したシミュレーションフレームワークを提案し、プロトタイプシステムを開発し、オフィスビル省電力シナリオによる評価を行っている。

(e) ロボットとインターネットサービスの融合を実現する分散処理フレームワークの提案 (加藤, 産業技術大学院大学)

近年、インターネット分野とロボット分野の融合が加速しており、クラウド環境への適用を前提としたプラットフォームの提案が行われている。本研究では、ロボットサービスのインターネット化を目指し、ロボットサービス向けプロトコル仕様であるRSNPを利用したクラウドロボティクスのためのサービスフレームワークを提案した。ロボットを含む様々なデバイスへのタスク分散を可能にするフレームワーク上に、ペットシッターサービスを実装し、サービスロボットを利用した評価実験を行うことで、その有効性を検証した。

(f) サイバーフィジカルシステムのための動的な無線通信基盤の研究 (重野, 慶大)

サイバーフィジカルシステムの実現のためには、通信トラフィックや電波資源の利用状況に柔軟に適応できる通信基盤が重要である。本研究では、無線LANのアクセスポイント(AP)を仮想化技術により実現する仮想AP(VAP)について研究を進めた。仮想APを実現するための要素技術を検討し、異なる物理APに仮想APを移動させるVAPマイグレーション、ひとつの物理APに複数の仮想APを集約するVAPアグリゲーションを実現した。プロトタ

イプシステムを実装し、評価実験から、提案システムの有効性を検証した。

(g) 災害時孤立可能性集落を想定した情報システムの提案 (塚田, 和歌山大)

日本は国土の7割近くを中山間地が占め、自然災害により外部との各種ライフラインを断たれてしまう災害時孤立可能性集落が約2万集落も存在する。そのような集落を想定し、免許等が不要な無線通信を基盤とした情報共有技術の研究開発に取り組んでいる。今年度は、可視光通信技術に着目し、地上から上空を飛行する消防・自衛隊などのヘリコプターに対する、簡便で視認性が高い通信手段として、多色LEDの発光色の変化を用いた非常時通信システムの研究開発を実施した。そして、和歌山県日高郡日高川町において、ヘリコプターを用いて上空からの視認性、通信性能等に関する検証実験を実施した。

(h) サイバー・フィジカル融合社会へ向けたサービス個人化基盤 (北形, 東北大)

本研究では、誰でも・いつもの様に使える利用者の状況を考慮した情報サービスの実現を目的とし、サイバー・フィジカル融合社会へ向けたサービス個人化基盤の中心技術となる開放型の情報サービスパーソナライズ手法を提案した。提案手法は(1)サービス利用者が所有する個人情報管理機構:U-PIMM,(2)個人情報の要求・開示プロトコル:OSPPから成る。プロトタイプシステムを用いた実験を通じ、提案手法により、これまで困難であった個人情報を携行しないこととサービス提供者と個人情報を分離することを両立できることを確認した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトにより、サイバー・フィジカル融合社会のための基盤技術という先進的かつ広範な研究領域に関わる研究者間の情報交換と交流が加速した。今後、共生社会に向けた人間調和型情報技術などの新しい研究領域への展開も期待できる。

[4] 成果資料

- (1) 橋本和夫, 北形元, 高橋秀幸, 武田敦志, チャクラボルティデバシシュ, 白鳥則郎, "Socio-familiar Personalized Service の提案とその応用 一次世代ユビキタスサービスを実現するネットワークソフトウェアへ向けて", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-B, No.4, pp.492-502, 2011. (招待論文)
- (2) Gen Kitagata, Kazuto Sasai, Johan Sveholm, Norio Shiratori and Testuo Kinoshita, "Agent-based Access Rights Delegation utilizing Social Relationships," International Journal of Energy, Information and Communications, Vol. 2, Issue 4, November, pp.87-100, 2011.

- (3) Mizumoto, T., Imazu, S., Sun, W., Shibata, N., Yasumoto, K.: Emergency Medical Support System for Visualizing Locations and Vital Signs of Patients in Mass Casualty Incident, to appear in 2nd Int'l. Workshop on Pervasive Networks for Emergency Management (PerNEM 2012), 2012.
- (4) Ahmed, A., Yasumoto, K., Yamauchi, Y., Minoru Ito: Distance and Time Based Node Selection for Probabilistic Coverage in People-Centric Sensing, Proc. of IEEE SECON 2011, pp. 134-142, 2011.
- (5) Y. Arase, T. Hara, D. Komaki, S. Nishio: Mobile Search Assistance from HCI Aspect, International Journal of Space-Based and Situated Computing (IJSSC), Vol.1, No.1, pp.18-29 (Apr. 2011).
- (6) D. Komaki, A. Oku, Y. Arase, T. Hara, T. Uemukai, G. Hattori, S. Nishio: Content Comparison Functions for Mobile Co-located Collaborative Web Search, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, Vol.3, No.3, pp.239-248 (Sept. 2011).
- (7) Sae Fujii, Akira Uchiyama, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, Trajectory Estimation Algorithm for Mobile Nodes using Encounter Information and Geographical Information, Pervasive and Mobile Computing, Elsevier. (to be published)
- (8) Kazushi Ikeda, Thilmee M. Baduge, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, "ALMware: A Middleware for Application Layer Multicast Protocols", Computer Communications. Vol. 34, No. 14, pp. 1673-1684, Elsevier, Sep. 2011
- (9) 永井隆博, 重野寛, "高密度無線 LAN 環境における仮想化技術を用いたアクセスポイント集約機構," 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.2, pp.732-740, 2012 年 2 月.
- (10) 松本愛咲, 真下洋, 安富正矩, 重野寛, "トラストを用いたハブノード強化手法"Trusted-Hub", 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.9, pp.2709-2717, 2011 年 9 月.
- (11) 丸山 博史, 福井 悠, 山田 俊輔, 池端 優二, 塚田 晃司, 情報の特性による配信優先度を考慮した災害情報共有システムの提案, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2011 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ Vol.2011, No.7, pp.15-20, 2011 年 11 月.
- (12) 福井 悠, 山田 俊輔, 丸山 博史, 池端 優二, 塚田 晃司, 孤立集落間の共助支援を目的とした災害情報システムの提案, 平成 23 年度情報処理学会関西支部大会, 2011 年 9 月.
- (13) Jun Shinomiya, Yuuichi Teranishi, Kaname Harumoto and Shojiro Nishio, "A Sensor Data Collection Method Under a System Constraint Using Hierarchical Delaunay Overlay Network," in Proceedings of International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP 2011), pp.300-305, December 2011.
- (14) 川上 朋也, 寺西 裕一, 春本 要, 竹内 亨, 西尾 章治郎, 下條 真司, "地理的オーバレイネットワークを用いた位置依存コンテンツ分散管理手法", 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.12, pp. 3289-3299, December 2011.
- (15) Nobuo Kawaguchi, Ying Yang, Tianhui Yang, Nobuhiro Ogawa, Yohei Iwasaki, Katsuhiko Kaji, Tsutomu Terada, Kazuya Murao, Sozo Inoue, Yoshihiro Kawahara, Yasuyuki Sumi, Nobuhiko Nishio, HASC2011corpus: Towards the Common Ground of Human Activity Recognition, Proceedings of the 13th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp2011), pp.571-572 (2011).
- (16) Nobuo Kawaguchi, Nobuhiro Ogawa, Yohei Iwasaki, Katsuhiko Kaji, Tsutomu Terada, Kazuya Murao, Sozo Inoue, Yoshihiro Kawahara, Yasuyuki Sumi, Nobuhiko Nishio, HASC Challenge: Gathering Large Scale Human Activity Corpus for the Real-World Activity Understandings, Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference (AH2011), Article 27, 2011.
- (17) Daisuke Kamisaka, Shigeki Muramatsu, Takeshi Iwamoto, Hiroyuki Yokoyama, "Design and Implementation of Pedestrian Dead Reckoning System on a Mobile Phone", IEICE Transactions on Information and Systems, Special Section on Emerging Technologies of Ubiquitous Computing Systems, Vol.E94-D, No.6, 2011.
- (18) Arei Kobayashi, Shigeki Muramatsu, Daisuke Kamisaka, Takafumi Watanabe, Atsunori Minamikawa, Takeshi Iwamoto, Hiroyuki Yokoyama, "Shaka: User Movement Estimation Considering Reliability, Power Saving, and Latency using Mobile Phone", IEICE Transactions on Information and Systems, Special Section on Emerging Technologies of Ubiquitous Computing Systems, Vol.E94-D, No.6, 2011.
- (19) 峰野博史, 松尾廣伸, 黒木秀和, 荻野司, 長谷川孝博, "静岡大学環境負荷モニタリングシステムの開発と導入," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-B, No.7, pp.780-792, Jul. 2011.
- (20) Nobuhiko Matsuura, Seiji Suzuki, Maki Ohata, Ken Ohta, Hiroshi Inamura, Tadanori Mizuno, Hiroshi Mineno, "An Efficient and Highly Available Distributed Data Management System," The 6th International Conference on Information Systems, Technology & Management (ICISTM2012), Mar.2012.
- (21) M. Narita, Y. Kato and C. Akiguchi, "Enhanced RSNP for applying to the Network Service Platform - Implementation of a Face Detection Function -," 4th International Conference on Human System Interactions (HSI2011), pp.311-317, 2011.
- (22) Y. Kato, T. Izui, Y. Tsuchiya, M. Narita, M. Ueki, Y. Murakawa and K. Okabayashi, "RSi-Cloud for Integrating Robot Services with Internet Services," the 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2011), pp.2164-2169, 2011.

採択番号 H23/A12

モノラル入力信号に基づく2次元音源定位の研究

[1] 組織

代表者：伊藤 仁

(東北工業大学工学部)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

畑岡 信夫 (東北工業大学工学部)

佐藤 直行 (はこだて未来大学)

研究費：物件費14万8千円，旅費14万7千円

[2] 研究経過

(2-1) 目的

人間は左右一対の耳しか持たないが、入力音の水平方位だけでなく鉛直方位も推定することができる。この鉛直方向の音源定位の手がかりは、耳介の複雑な形状により発生する直接音と反射音の干渉パターンであり、特に頭部伝達関数の5 kHz以上の周波数で観測されるピーク・ノッチ等のSpectral Cueが重要であると言われている。これまで耳介模型を用いた音響測定や数値シミュレーションにより、Spectral Cueに関係する構造は、耳甲介腔(concha cavity)と呼ばれる外耳道入口を中心とする窪みであることが示されているが、その生成メカニズムの詳細は未だ解明されていない。本研究の目的は、この耳介による音源定位機能を工学的に応用し、単一マイクロホン入力から音源の到来方向を推定する計算モデルを構築することである。

(2-2) 概要

本研究で構築する音源定位システムは、(1)マイクロホンの周囲に配置する耳介を模した反射構造物と、(2)入力信号からSpectral Cueを抽出して音源方向を推定する計算処理部で構成される。前者については、情報端末などへの応用を考慮すると、サイズが小さく形状が単純であることが望ましい。即ち、これらの要件を満たし、同時に定位に必要なSpectral Cueを保持する反射構造物を設計することが第一の研究課題となる。本プロジェクトは本年度が1年目であり、まずこの課題を解決するために、人間の耳介の形状モデルの作成・測定技術の確立を目指した。

図1は、本プロジェクトで製作した成人男性の左耳の耳介模型の写真である。この模型は、歯科用の充填剤を用いて被験者の耳介の型を取り、この型に石膏を塗布することで作成している。その中で、溶液の濃度、乾燥時間、気泡の混入の防止策など、高い精度で効率的に模型を作成するために必要なノウハウを蓄積した。



図1. 成人男性の声道模型

この耳介模型の外耳道にマイクロホンを設置し、耳介に対して鉛直方向の様々な角度にスピーカーを設置して、音響伝達関数を測定した(図2)。この伝達関数には、5~10 kHzに入射角度に応じて変化するノッチ周波数(N1)が観測された。これは先行研究の知見と概ね整合し、上述した模型の作成・測定技術の妥当性を支持する結果である。

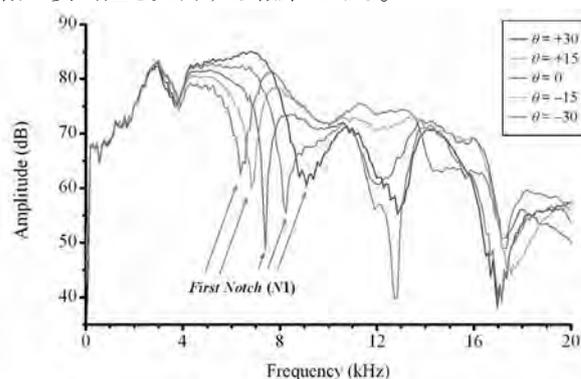


図2. 声道模型の伝達特性

また図3に成人男性5名の耳介模型と、音響測定から得られたノッチ周波数を示す。3名分の模型(A,C,E)では、入力音の到来方向に応じてノッチ周波数がほぼ線形に変化することが確認できたが、ノッチ周波数が不連続的に変化するもの(模型B)や、入力音の到来方向に依らず一定のノッチ周波数となるもの(模型E)が存在することも分かった。この結果は、耳介形状の個人差を反映するものであり、一般的な知見を導き出すには、より多数の被験者から耳介模型を作成する必要があることを意味する。

平成24年2月21日に、研究分担者である佐藤直行准教授と研究打ち合わせを行い、ノッチ周波数の生成メカニズムを調べるために、耳介の一部を切除・平滑化する変調耳介模型を用いる手法について検討した。図4は、耳介の外周である耳輪を切除した模型の例である。この様な模型と元の耳介模型との音響特性の差を比較することで、ノッチ周波数の生成に関わる本質的な部位が明らかになると考えられる。本年度の研究では、耳介模型のサンプル数と切除部位の組み合わせが少なく、ノッチ生成メカニズムについて明確な結論は導き出せていないが、今後サンプル数を増やして計測することで、定位に必要な Spectral Cue を保持しつつ、サイズの小さい反射構造物を設計できると考えられる。

なお上記の成果は、平成24年3度の東北地区若手研究者発表会において、「単一マイクロホンによる音の到来方向を推定する研究」として発表している。

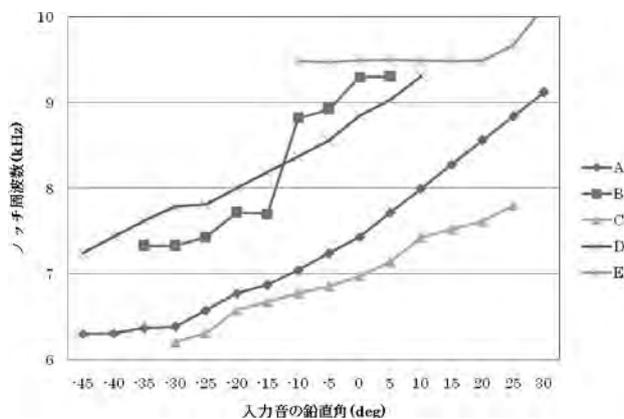


図3. 成人5名の耳介模型とノッチ周波数

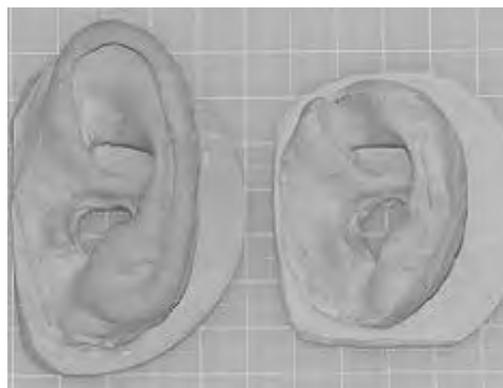


図4. 耳輪を切除した耳介模型

[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。

まず人間の耳介の形状を再現する耳介模型の製作と測定に関する基本的な技術を確認した。この技術は、被験者の耳にプローブマイクロホンを挿入して音響計測を行う既存手法と比較すると、被験者にかかる負荷が小さく、詳細な音響特性を高い再現性で計測できると期待できる。

また、この耳介模型を用いた測定により、音源入射角の情報を反映する Spectral Cue は、被験者間の個人差が大きく、多数の被験者に共通する一般的な特性を明らかにするためには、少なくとも数十名程度の被験者を用いた計測が必要であることが分かった。

さらに、耳介におけるノッチ生成のメカニズムを調べる手法として、耳輪など耳介の一部の形状を変調した模型を用いるアイデアについて検討した。このアイデアの有効性は、次年度以降の研究により明らかにしたいと考えている。

(3-2) 波及効果と発展性など

耳介の Spectral Cue は、1960年代から始まった歴史の古い研究であるが、本質的なメカニズムは未解明のままである。その原因のひとつは、耳介で発生する直接音と反射音の干渉の複雑性にあると考えられる。本プロジェクトでは、これを解決するために「実際に作って測る」アプローチをとる点に特徴があり、この分野の研究に関して新しい光を投げかけられる可能性がある。

本プロジェクトで目指す音源定位システムは、小型情報端末のフロントエンドとしての応用を想定している。マイクロホンアレイに代表される従来技術は計算能力やシステムの物理的なサイズに制限を設けていないが、本研究では限られたハードウェアで動作する簡便な技術を目指しており、実現できればこの分野の製品開発に貢献できる可能性がある。

[4] 成果資料

(1) 姉崎 貴史, 伊藤 孝泰 (2012). “単一マイクロホンによる音の到来方向を推定する研究,” 平成24年東北地区若手研究者発表会講演論文集 pp.7-8.

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：末光眞希（東北大学電気通信研究所）
 分担者：大竹正明（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（北海道大学院工学研究科）
 中島秀紀（九州大学大学院総合理工学研究院）
 篠原俊二郎（東京農工大学）
 佐藤 浩之助（九州大学総合理工学研究院）
 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）
 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 46万円

[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24年1月21日（土）

東北大学工学部電気情報系103講義室にて、小駒益弘教授（上智大）による講演会「大気圧プラズマの基礎と応用」を行い、引き続き大気圧および液中プラズマの放電特性や計測法に関して意見交換を行った。特に大気圧プラズマ研究が始まる経緯やその後の研究展開、最近の研究における大気圧プラズマを使った様々な応用研究など、放電特性や放電計測など多くの面で質問や議論があった。また、高電圧機器の開発や応用に関する情報交換を行った。

第2回

日時：平成24年2月27日（月）、28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である。

- (1) 永田正義 (兵庫県立大)
“球状トラスプラズマにおける磁気ヘリシティ入射とダイナモ現象”
- (2) 永岡賢一 (核融合科学研)
“回転乱流実験計画—実験室で太陽対流層をつくれるか?—”
- (3) 寺坂 健一郎 (九大・総理工)
“不均一磁場領域におけるプラズマの流れ構造形成と電磁場との相補性”
- (4) 吉村信次 (核融合科学研)
“ECR プラズマ中における間欠的電子流束の発生”
- (5) 高木浩一 (岩手大・工)
“高電圧を利用した農業生産性の向上”
- (6) 富樫達也, 下川龍太郎, 田中のぞみ, 安藤 晃 (東北大)
“気液混相放電を用いた水質改善と滅菌効果”
- (7) 大川耕平, 高橋直大, 渡部 博, 橋間裕子, 田中のぞみ, 安藤 晃 (東北大・工)
“各希ガス種における外部磁場重畳 MPD 推進機 の特性評価”
- (8) 横田 茂 (名古屋大・工)
“矩形型 MPD 推進機の性能評価”
- (9) Tony Schönherr (東大・工)
“Research and Development of AF-MPD Thruster at IRS”
- (10) 上杉喜彦 (金沢大・自然科学)
“非平衡プラズマを用いた炭化水素燃焼支援に関する基礎研究”
- (11) 津島 晴 (横浜国立大)
“高電子温度プラズマのプローブ測定・2次電子放出効果の補正”
- (12) 岡本 敦 (東北大・工)
“荷電交換反応によるイオン・中性粒子間運動量移送”

[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、上智大の小駒益弘氏との研究討論により、大気圧プラズマの放電特性や計測法に関して討論を行うとともに、最近の実験結果や多くの応用研究に関する研究展開について議論を行い、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。

まず兵庫県立大の永田氏より、マルチパルス同軸

ヘリシティ入射による球状トラスプラズマのダイナモ電流駆動実験についての報告があった。2次元磁気プローブアレイを用いたプラズマ内部磁場計測により、電流発生過程で閉じた磁束をもつ磁場配位が維持されていることを確認した。観測されたダイナモ電場は同軸電極から励起された低周波アルヴェン波と関係していることが予測された。

核融合科学研究所の永岡氏より、太陽対流層の模擬実験に関する報告がなされた。液晶を用いることで、温度勾配と重力を電場に置き換えて、太陽の球対称対流場の乱流を制御良く模擬する実験を準備している。基礎方程式の類似性をシミュレーションとの比較や実験的な検証で検討する報告がなされた。

つづいて九大の寺坂氏より、磁力線からのイオンディタッチメントの実験的検証と流れ構造形成機構に関する報告がなされた。直線型プラズマ発生装置 HYPER-I 中の定常プラズマ流計測から、ディタッチメント領域における流れの2次元性の出現を明らかにした。また現在開発中の HYPER-II 装置の実験計画について報告があった。

核融合科学研究所の吉村氏からは、HYPER-I 装置において、パルス状磁場揺動の自発励起が観測され、間欠的な高エネルギー電子流束の発生・消滅がこの磁気パルスを励起しているとの報告があった。ワイヤグリッドプローブ (WP) を用いた電子流束の2次元分布計測結果と可視化について報告がなされた。

岩手大の高木氏より、高電圧やプラズマを利用した農業への応用について報告があった。具体的な応用例としてキノコの子実体形成における電気刺激で発現する酵素や遺伝子や、子実体の早期発現や増収効果について報告があり、成長過程での土壌生菌数の変化や成長速度の変化について実験がなされた。

東北大の富樫氏からは、SOS ダイオードによるパルス発生回路と、気液混相放電方式の水処理リアクタを用いたプラズマの水質改善への応用について報告がなされた。気泡と放電の関係を高速度カメラで観測し、オゾン、及びOHラジカルの測定と脱色や滅菌等水処理効果への影響について報告がなされた。

東北大の大川氏からは、外部磁場重畳 MPD 推進機における外部磁場形状および推進剤に用いるガス種の最適化に関する報告があった。磁気ノズルの印加位置および磁場強度による影響について検討し、その最適位置と、推力、推進効率、比推力に対する磁場強度効果について実験報告を行った。

名古屋大の横田氏からは、矩形型の外部印加型 MPD 推進機の推力及び放電電圧の計測、および性能評価に関する報告があった。推進効率改善の指針を得るため、推進効率を理想的な電磁推力に対する

実際の推力の割合と放電電圧に対する逆起電力の割合に切り離し分析を行った結果、前者は磁場の影響で割合が低下し、後者はシース電圧の大きさが効率低下を招いていることがわかった。

東大の Tony Schönherr 氏からは、ドイツのシュツットガルト宇宙システム研究所 (IRS) で実施されている高パワー電気推進機実験について報告があった。100kW を越える外部磁場重畳型MPD実験やMHDおよびPICを用いた数値計算結果の進展について報告がなされ、現在進められている10-100kW クラスのMPD推進機実験結果の最新データについて紹介と議論がなされた。

金沢大の上杉氏からは、化学燃焼反応における着火や燃焼速度の特性向上のためにプラズマの有する高い反応性や熱流を利用するプラズマ支援燃焼に関する報告があった。自動車エンジンなどの内燃機関への応用を視野に入れた高い電子温度（電子エネルギー）と低いガス温度を有する非平衡プラズマを利用した燃焼促進に関する基礎研究の報告がなされた。

横浜国大の津島氏より、流れを伴う周辺プラズマのプロブ計測法に関する報告があった。このとき電子温度は非常に高くなる場合があり、プロブ測定には高エネルギー電子の吸収に伴う電極の2次電子放出効果を考慮する必要があること、2次電子放出係数の実効値は電極の電位によらず材質によって決まる電子温度の関数で取り扱えることが示された。さらにこのプロブ測定の補正方法について議論が行われた。

最後に東北大の岡本氏からは、直線型高周波プラズマ源 DT-ALPHA を用いた基礎実験の紹介と最新の結果について報告があった。中性粒子密度の時間変化を、イオン飽和電流と原子輝線発光強度を用いて評価する手法が提案された。荷電交換反応を介したビームから熱的中性粒子への運動量移行により中性粒子の排気速度が実効的に増加していることを示唆する結果が得られている。高エネルギーイオン粒子束と再結合プラズマとの相互作用研究へと研究を展開する報告がなされた。

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、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、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農業応用を含む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] A Ando, *et al.*, "Radio frequency ion source operated with field effect transistor based radio frequency system", *Review of Scientific Instrum.*, 81, 02B107 (2010).
- [2] K. Terasaka *et al.*, "Self-Calibrated Measurement of Ion Flow Using a Fine Multihole Directional Langmuir Probe", *J. J. Appl. Phys.* 49,036101 (2010).
- [3] K. Terasaka *et al.*, "Experimental studies on ion acceleration and stream line detachment in a diverging magnetic field", *Phys. Plasmas* 17, 072106 (2010).
- [4] K. Terasaka *et al.*, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 39, 2470 (2011).
- [5] S. Yoshimura *et al.*, "Parallel Ion Flow Velocity Measurement Using Laser Induced Fluorescence Method in an Electron Cyclotron Resonance Plasma", *Plasma Fusion Res.* 5, S2052 (2010).
- [6] K. Nagaoka *et al.*, "Heat and momentum transport of ion internal transport barrier plasmas on the Large Helical Device" *Nuclear Fusion* 51 (2011) 083022.
- [7] A. Tsushima and Y. Saitou, "Sheath-plasma criterion of fluid theory with a finite ion temperature" *J. Phys. Soc. Jpn.* 80, 045001 (2011).
- [8] A. Tsushima, *et al.*, "Flow measurement of Boundary Plasma in TRIAM-1M Tokamak", *J. J. Applied Phys.* 47, 8576 (2008).
- [9] A. Okamoto, *et al.*, "Charge Exchange Momentum Transfer due to Ion Beam Injection in Partially Ionized Plasmas", *Plasma and Fusion Research*, 6, 1201153 (2011).
- [10] A. Okamoto, *et al.*, "Steady-state recombining plasma in a radio-frequency plasma device for divertor-detachment study", to be published in *Plasma and Fusion Research*.

H21B02

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 (MS 明朝体 : 以下 1 0.5 ポイント)

代表者 : 末光 眞希

(東北大学大学院工学研究科)

対応者 : 末光 眞希

(東北大学電気通信研究所)

分担者 :

吹留 博一 (東北大学電気通信研究所)

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

遠田 義晴 (東北大学理工学研究科)

遠藤 哲郎 (東北大学電気通信研究所)

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)

文 泌景 (東北大学大学院理学研究科)

小嗣 真人 (高輝度光科学研究センター)

長汐 晃輔 (東京大学大学院工学研究科)

堀場 弘司 (東京大学大学院工学研究科)

中払 周 (東芝/FIRST)

研究費 : 物件費 5 万円, 旅費 2 3 万 5 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、本年度が第三年度であり、「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」に関する第三回共同プロジェクト研究会を、平成 23 年 2 月 23 日に開催した。この第三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演者 9 名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。

[3] 成果 (以下10.5ポイント)

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

【通研共同プロジェクト研究会】

通研共同プロジェクトを、以下のようにして、下記の講演者及び講演題目の下に行った(敬称略)：

11:00~11:05

はじめに 末光真希

11:05-11:30

「Fractal energy spectrum and quantum Hall effect in twisted bilayer graphene」(招待講演)

文泌景 (東北大学大学院理学研究科)

11:30~11:55

「第一原理計算で見た SiC(0001)上エピタキシャルグラフェン成長の初期過程」(招待講演)

影島博之 (NTT 物性科学基礎研究所)

13:10~13:35

「エピタキシャルグラフェンナノ構造の形成と物性」(招待講演)

田中悟 (九州大学大学院工学研究院)

13:35~14:00

「光電子顕微鏡を用いたナノスケール顕微分光解析」(招待講演)

小飼真人 (高輝度光科学研究センター)

14:00~14:25

「ラマン分光による複数層グラフェンの構造の決定」(招待講演)

斎藤理一郎、佐藤健太郎 (東北大学大学院理学研究科)

15:00~15:25

「金属電極直下のグラフェンは本当にグラフェンか？」(招待講演)

長汐晃輔 (東京大学大学院工学研究科)

15:25~15:50

「三次元走査型光電子顕微鏡によるグラフェンの電子状態解析」(招待講演)

堀場弘司 (東京大学大学院工学研究科)

15:50~16:15

「グラフェンのトランジスタ応用」(招待講演)

中払周 (東芝/FIRST)

16:15~16:40

「SiC 上エピタキシャルグラフェンの電気伝導特性」(招待講演)

日比野弘樹 (NTT 物性科学基礎研究所)

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト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、通研-九州大学、及び通研-東京大学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)

先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、微細加工基板上でのエピタキシャルグラフェンの構造、及びバンド分散構造に関する共同研究を、本年度も引き続いて行なっている。彼らとの共著論文を一報投稿した。

(2. SPring-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、SPring-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・2011A 期・2011B 期・2012A 期の六期連続で共同研究課題が採択された。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。また、当初使用していたビームラインは、BL23SU のみであったが、本年度から、BL23SU に加えて、BL17SU 及び BL07LSU も共同研究の一環として使用出来るようになった。今後も、この緊密な連携関係を保持していくつもりである。

(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。本年度に、日比野博士との共著論文を、一報投稿した。

(4.九州大学との共同研究)

田中悟教授との、本共同プロジェクトを介した討論を重ねることにより、田中悟教授がリーダーの一人となっている、科研費・新学術領域研究へ、通研(吹留)が、23年度に申請することとなった。

(4.東京大学との共同研究)

本共同プロジェクトを介した長汐准教授及び堀場講師との討論から、グラフェンデバイスの動作機構に関する共同研究が開始された。その成果として、本年度から、堀場講師及び尾嶋教授が仲介役となって、東京大学放射光連携機構における共同研究が開始され、来年度以降も共同研究も継続される予定である。

[4] 成果資料 (以下10.5ポイント)

- 1) H. Karasawa, T. Komori, T. Watanabe, A. Satou, H. Fukidome, M. Suemitsu, V. Ryzhii, and T. Otsuji, *J. Infrared Millimeter. Terahz. Waves* 32 (2011) 655-665.
- 2) S. Koga, I. Katayama, S. Abe, H. Fukidome, M. Suemitsu, M. Kitajima, and J. Takeda, *Appl. Phys. Exp.* 4 (2011) 045101-1-3.
- 3) A. El Moutaouakil, R. Takahashi, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji and M. Suemitsu, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50 (2011) 070113-1-4.
- 4) M.-H. Jung, H. Handa, R. Takahashi, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji and M. Suemitsu, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50 (2011) 070111-1-5.
- 5) M.-H. Jung, H. Handa, R. Takahashi, H. Fukidome, T. Suemitsu, T. Otsuji and M. Suemitsu, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50 (2011) 070107-1-5.
- 6) S. Abe, Hiroyuki Handa, R. Takahashi, K. Imaizumi, H. Fukidome, M. Suemitsu, *Special Topics in Appl. Phys.* (in Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011)) 070102-1-5.
- 7) K. Imaizumi, H. Handa, R. Takahashi, E. Saito, H. Fukidome, Y. Enta, Y. Teraoka, A. Yoshigoe and M. Suemitsu, *Special Topics in Appl. Phys.* (in Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011)) 070105-1-6.
- 8) H. Handa, R. Takahashi, S. Abe, K. Imaizumi, E. Saito, M.-H. Jung, S. Ito, H. Fukidome, and M. Suemitsu, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50 (2011) 04DH02-1-4.
- 9) R. Takahashi, H. Handa, S. Abe, K. Imaizumi, H. Fukidome, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, M. Suemitsu, *Special Topics in Appl. Phys.* (in Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011)) 070103-1-6.
- 10) T. Suemitsu, M. Kubo, H. Handa, R. Takahashi, H. Fukidome, M. Suemitsu and T. Otsuji, *ECS Trans.* 41 (2011) 249-254.
- 11) H. Fukidome, S. Abe, R. Takahashi, K. Imaizumi, S. Inomata, H. Handa, Y. Enta, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, M. Kotsugi, T. Ohkouchi, T. Kinoshita, S. Ito and M. Suemitsu, *Appl. Phys. Express.* 4 (2011) 115104-1-3.
- 12) H. Fukidome, R. Takahashi, S. Abe, K. Imaizumi, H.-C. Kang, H. Karasawa, T. Suemitsu, T. Otsuji, Y. Enta, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, M. Kotsugi, T. Ohkouchi, T. Kinoshita, and M. Suemitsu, *J. Mater. Chem.* 21 (2011) 17242-17248.

採択番号 H21/B03

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：

中田 和一(青森大学)、
吉岡 良雄(弘前大学大学院理工学研究科)、
柴田 幸司(八戸工業大学)、
本間 尚樹(岩手大学)、
佐々木 重信(新潟大学工学部)、
小澤 哲也(東北学院大学)、
塩川 孝泰(東北学院大学)、
海野啓明(仙台高専広瀬キャンパス)
園田 潤(仙台高専)、
米山 努(エムメックス)、
内海哲史(鶴岡高専)、
中橋 幸一(東京ドローイング)、
鋤野 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)、
実野邦久(テクノメトリクス)、
磯 彰男(アイソ・スペース・リサーチ)、
栗原 宏(宏動 有限会社)、
安達 文幸(東北大学大学院工学研究科)、
末松 憲治(東北大学電気通信研究所)、
佐藤源之(東北大学 東北アジア研究センター)、
澤谷 邦男(東北大学大学院工学研究科)、
坪内 和夫(東北大学電気通信研究所)、
栢 修一郎(東北大学電気通信研究所)、

研究費：物件費 ¥49,894, 旅費 ¥376,700

[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 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 10 m 程度をサービスエリアとして通常 10 dBm 程度の小電力で、前者は 300 Mbps、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 4 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。

・研究会実績等

第 1 回：5 月 19 日 テーマ「The US National Broadband Plan & Its Ongoing Spectrum Controversies, and Wireless Broadband Standardization」

特別講演

1. Dr. Michael Marcus (Director of Marcus Spectrum Solutions LLC), "The US National Broadband Plan and Its Ongoing Spectrum Controversies"
2. Dr. Tuncer Baykas (NICT UMG Researcher, Chair IEEE802.19 Task Group

1), "Cognitive Radio - IEEE802.19 Standardization"

第2回:7月4日 テーマ「GlobalにCompetitiveな学生輩出のためにI-産業界の期待」

基調講演

1. 宮武 久和(シャープ株式会社), “大学のグローバル化に向けて～産業界からの期待～”
2. 多田 順次(東北大学教授), “社会から期待される大学・学生とは”
3. 加藤 修三(東北大学教授), “産業界から大学・学生への期待 - 日米の違い: 日米での採用経験から”
4. 宮本 みち子(放送大学教授), “変化する労働の世界と教育改革,”
5. パネル討論, “大学・学生への産業界からの期待”, 司会:加藤 修三(東北大学), パネリスト:宮武 久和(シャープ株式会社), 多田 順次(東北大学), 宮本 みち子(放送大学), 名嘉 憲夫(東洋英和女学院大学, 「技術と技法が21世紀を切り開く」と題し, ミニワークショップ形式で参加)

第3回:8月29日 テーマ「小電力無線通信技術の応用」

招待講演

1. 安達 文幸(東北大学教授), “ICTを活用した災害に強い未来型都市の構築に向けて”
2. 澤谷 邦男(東北大学教授), “リフレクトアレーを用いた無線通信チャンネルの改善”
3. 佐藤 源之(東北大学教授), “超広帯域レーダーの開発と地雷検知への応用例”
4. 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫(東北大学), “災害に強いディペンダブルワイヤレスネットワーク”
5. 加藤 修三(東北大学教授), “広域低速無線通信ネットワークの提案”
6. パネル討論, “災害時に無線通信技術で何ができるか”, 司会:加藤 修三(東北大学), パネリスト:澤谷 邦男(東北大学), 佐藤 源之(東北大学), 亀田 卓(東北大学)

第4回:11月21日 テーマ「GlobalにCompetitiveな学生輩出のためにII-大学は何をすべきか」

基調講演

1. 北道 佳久(帝人海外事業企画室), “明日からボーダレスに闘えますね? ～産業界が期待する人財像～”
2. 安達 文幸(東北大学教授), “東北大学電気・情報

系グローバル COE (情報・電気・電子分野)の活動状況”

3. 笹瀬 巖(慶應義塾大学教授), “慶應義塾大学大学院理工学研究科(情報・電気・電子分野)での研究教育活動活性化への取り組み”
4. 加藤 修三(東北大学教授), “プロジェクトマネジメントをベースとした論理的R&D遂行法:論理的に思考する学生の輩出へ”
5. 羽田 貴史(東北大学教授), “大学はどこまで主体的な学生を育てるのに成功してきたか”
6. パネル討論, “大学・学生はグローバル化に向け何をすべきか”, 司会:加藤 修三(東北大学), パネリスト:北道 佳久(帝人), 安達 文幸(東北大学), 笹瀬 巖(慶應義塾大学), 羽田 貴史(東北大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

第1回セミナーでは, “The US National Broadband Plan & Its Ongoing Spectrum Controversies, and Wireless Broadband Standardization” をテーマに講演が行われ, 国際的な周波数スペクトラムの利用計画とIEEE802.19の認知無線の標準化について, 研究者間での情報共有を行うことができた。

第2回セミナーは, “GlobalにCompetitiveな学生輩出のためにI” と題し, 産業界で活躍した経験を持つ諸先輩方を迎え, 産業界の求める人材についてご講演いただいた。

第3回セミナーでは, “小電力無線通信技術の応用” と題して, 東日本大震災の被災を教訓として, 災害に対して無線通信技術がどのような貢献ができるかをご講演いただき, またパネルディスカッションでも活発な議論が行われた。

第4回セミナーでは, 第2回に続き, “GlobalにCompetitiveな学生輩出のためにII” と題し, 大学が産業界の期待に応えるために, どのような取り組みを行うべきかについて, 東北大学や他大学での実施例についてご講演いただいた。

(3-2) 波及効果と発展性など

平成21年度3月に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提案した“短距離無線通信(SRW)時限研究会”が発足3年目を迎え, 平成23年度は5回の開催で, 平均参加者数50名と着実に認知度を上げている。3月に岡山大学行われた電子情報通信学会総合大会では, SRW研からセッション提案を行い, 招待講演セッション1件とプレオーガナイズセッション3件が行われた。今後も本研究分野における日本の研究活性化を強力に推進

する一助となり、この SRW 研究会を通じて全国展開を図っていく予定である。

東北地方で開催したセミナーでは、東北地方の研究機関からの参加者に向けて情報を発信し、電気通信研究所の“拠点 CEO”としての役割に貢献した。また若手研究者の参加増により、若手研究者の啓蒙・育成に資することができた。

来年度以降は、本研究組織を母体として継承した“免許不要帯無線通信方式プロジェクト”を立ち上げて、他の機関と協働し、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していく予定である。

[4] 成果資料

【招待講演】

1. S.Kato "A Super Broadband Indoor Wireless Communications System and Core Technology Development", Inha University, October 26, 2011

【国際会議】

1. L.Materum, S.Kato, H.Sawada, "Channel Measurements for Short Range Beam Tracking/Switching Systems, "FrE1-1, ISAP2011, Oct. 25-28, 2011, Jeju, Korea
2. Y.Sato, K.Fujita, H.Sawada, H.Nakase, S.Kato, "A Millimeter-wave 8-element Double Slot Array Antenna for High Gain Beam-forming," GSM2011, May 23-25, 2011, Espoo, Finland

【国内発表】

1. 佐藤雄一, 沢田浩和, 中瀬博之, 加藤修三, “低速 PSK 変調を用いたミリ波レーダの提案,” 信学総大 2012, 3 月 23 日
2. 高橋俊也, 沢田浩和, 加藤 修三, “ミリ波通信接続性改善に用いる反射体サイズに関する検討,” 信学総大 2012, 3 月 23 日,
3. 包中尉, 佐藤雄一, 沢田浩和, 加藤修三, “ビームトラッキングシステム用ミリ波チャネルモデルの BER 特性,” 信学総大 2012, 3 月 23 日
4. M.Zakwan, H.Sawada, H.Nakase, S.Kato, “A Proposal of Propagation Measurement System Using Cross Domain Analyzer,” 信学総大 2012, 3 月
5. L.Materum, H.Sawada, S.Kato, “Millimeter-wave Channel Model for LOS Beam Tracking in an Indoor Environment,” 信学総大 2012, 3 月 23 日
6. 加藤修三, L.Materum, 沢田浩和, “ビームフォーミングアンテナとチャネルモデル,” 信学総

大 2012, 3 月 21 日

7. 大墨友也, 佐藤洋介, 沢田浩和, 中瀬博之, 加藤 修三, “90 度ステップ移相器付 5 素子ダブルスロットアンテナの指向性解析,” 信学総大 2012, 3 月 20 日
8. 井上大輔, 佐藤洋介, 沢田浩和, 加藤修三, “ステップ移相制御式 4 素子ビームフォーミングアンテナの簡易化” 信学総大 2012, 3 月 20 日
9. L.Materum, H.Sawada, S.Kato, "A 60 GHz channel model for WPAN beam switching systems," 信学技報 SRW 研, 2012 年 3 月 8 日
10. 藤田和矢, 沢田浩和, 加藤修三, “ワイヤレスハーネス通信システムの検討” 信学ソ大, B-5-112, 2011 年 9 月 14 日
11. 高橋俊也, 沢田浩和, 加藤修三, “複数の反射体を用いたミリ波室内通信の接続性改善,” 信学ソ大, B-5-111, 2011 年 9 月 14 日
12. 佐藤洋介, 藤田和矢, 沢田浩和, 中瀬博之, 加藤修三, “スリット付きミリ波 8 素子ダブルスロットアレイアンテナ,” 信学ソ大, B-1-151, 2011 年 9 月 14 日
13. 沢田浩和, 加藤修三, “金属積層板ミリ波低損失ナロービームアンテナ,” 信学ソ大, B-1-60, 2011 年 9 月 14 日
14. 井上大輔, 藤田和矢, 佐藤雄一, 包中尉, 沢田浩和, 加藤修三, “ワイヤレスハーネス通信システムの信頼性評価における一検討,” 東北連大, 2011 年 8 月 25 日
15. 包中尉, 井上大輔, 佐藤雄一, 藤田和矢, 沢田浩和, 加藤修三, “ワイヤレスハーネス通信用電波ホースとアンテナの整合性についての検討,” 東北連大, 2011 年 8 月 25 日
16. 佐藤雄一, 井上大輔, 包中尉, 藤田和矢, 沢田浩和, 加藤修三, “ワイヤレスハーネス通信におけるアンテナ半値角の影響,” 東北連大, 2011 年 8 月 25 日
17. 佐藤洋介, 沢田浩和, 加藤修三, “アンテナ素子間隔を考慮したダブルスロットアレイアンテナの小型化,” 信学技報 SRW 研, 2011 年 8 月 22 日
18. 高橋俊也, 沢田浩和, 加藤修三, “屋内ミリ波通信における反射体設置効果の統計評価,” 信学技報 SRW 研, 2011 年 8 月 22 日
19. 藤田和矢, 沢田浩和, 加藤修三, “ワイヤレスハーネス通信システムの設計,” 信学技報 SRW 研, 2011 年 8 月 22 日
20. 笹目利章, 梅比良正弘, 沢田浩和, “60GHz 帯 MIMO 伝送におけるレイトレーシングを用いたパスダイバーシティの特性評価,” 信学技報 SRW 研, 2011 年 6 月 10 日

H21/B04

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)

橘 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)

小林 正樹 (山梨大学工学部)

研究費：物件費 5 万 0 千円，旅費 42 万 2 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。

最終年度にあたる本年度は、12月26日に研究会を開催し、本研究プロジェクトと関係する各メンバーのこれまでの研究成果を報告し、かつ本研究課題の成果について総括した。以下に研究会のプログラムを示す。

1) 「フィードフォワード複素ニューラルネットワークによる関数近似の汎化特性」 廣瀬 明 (東大)

- 2) 「2次元連想記憶の直交学習」 北原 倫理, 小林 正樹 (山梨大)
- 3) 「断熱的量子計算のエミュレータについて」 金城 光永 (琉球大)
- 4) 「可換クォータニオンに基づく多値連想記憶モデル」 磯川 悌次郎 (兵庫県立大学)
- 5) 「リカレントクリフォードニューラルネットワークのモデルとダイナミクス」 黒江 康明 (京大工繊大)
- 6) 「複素数値化シナジェティックコンピューティングについて」 松井 伸之 (兵庫県立大学)
- 7) 「フーリエ変換及び CGA を用いた時系列データ解析」 Pham Minh Tuan, 鈴木 直人 (名大)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は特にイメージングに複素ニューラルネットワークを適用する際の汎化性能について研究を進めた。フィードフォワード型の層状複素ニューラルネットワークを関数近似課題に利用する場合、その汎化性能は次元の実数ニューラルネットワークと比較して、波動を表現するのに有効な特長を有することが従来から定性的に知られてきた。今回はその特長が、処理する信号のコヒーレンス度に依存してどのように変化するか、定量的な検討を行った。その結果、コヒーレンス度が高い場合、複素ニューラルネットワークは汎化誤差が6~7dB程度高いことが示された。またコヒーレンス度が低い場合においても0~3dB程度高いことが示された。また、複素ニューラルネットワークの利点とその利点の起源を具体的に広くアピールすべく、ICONIP, IEEE IJCNN 等の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を本共プロ研究者が中心となってオーガナイズし、白熱の議論を展開した。これらの実績は、IEEE Computational Intelligent Society でも高く評価されており、特に今年度は最新の成果をまとめる英文書の企画がIEEE から提案され、現在、廣瀬と本共プロメンバーがその編集を進めており、2012年度にIEEE Press/Wiley から出版される予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト遂行により以下のような成果を得た。

- ・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の検証
- ・量子波動性を導入したニューラルネットワークの

工学的応用方法の提案

- ・FPGA を用いた複素ニューラルネットワークのハードウェア設計方法の構築

[4] 成果資料

- 1) A. Hirose, Complex-Valued Neural Networks, Second Edition, Springer (2012).
- 2) A. Hirose (ed.), Complex-Valued Neural Networks: Advances and Applications, The IEEE Press Series on Computational Intelligence, IEEE Press / Wiley (2012).
- 3) A. Hirose, S. Yoshida, Generalization Characteristics of Complex-valued Feedforward Neural Networks in Relation to Signal Coherence, IEEE Trans. on Neural Netw., 23, 4 (2012) 541 – 551.
- 4) D. Radenamad, T. Aoyagi A. Hirose, High-sensitivity millimeter-wave imaging front-end using a low impedance linearly-tapered slot antenna, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 59, 12 (2011) 4868-4872.
- 5) Y. Nakano, A. Hirose, Taper-walled linearly tapered slot antenna, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 4, 4 (2011) 779-784.
- 6) S. Ozawa, S. Tan A. Hirose, Errors in Channel Prediction Based on Linear Prediction in Frequency Domain – Combination of time-domain and frequency-domain techniques –, URSI Radio Science Bulletin, 337 (2011) 25-29.
- 7) A. Hirose, Nature of complex number and complex-valued neural networks, Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 6, 1 (2011) 171-180.
- 8) R. Natsuaki, A. Hirose, SPEC method - A fine co-registration method for SAR interferogram, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 49, 1 (2011) 28-37.
- 9) Md. Fajjul Amin, Ramasamy Savithab, Muhammad Ilias Aminc, Kazuyuki Murase: Orthogonal Least Squares based Complex-valued Functional Link, Network, Neural Networks, in press, 2012.
- 10) Abdul Rahman Abdul Ghani, Md Fajjul Amin and Kazuyuki Murase: Real-Time Hand Gesture Recognition Using Complex-Valued Neural Network (CVNN), 2011 International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011), Shanghai, China, November 14-17, 2011, Bao-Liang Lu, Liqing Zhang, and James Kwok (Eds.) Neural Information Processing Part I, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Vol.7062, pp.541-549, 2011.
- 11) Md. Fajjul Amin, Muhammad Ilias Amin, Ahmed Yarub Al-Nuaimi, Kazuyuki Murase: Wirtinger Calculus Based Gradient Descent and Levenberg-Marquardt

- Learning Algorithms in Complex-Valued Neural Networks, 2011 International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011), Shanghai, China, November 14-17, 2011, Bao-Liang Lu, Liqing Zhang, and James Kwok (Eds.) Neural Information Processing Part I, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Vol.7062, pp.550-559, 2011.
- 12) Md. Faijul Amin, Ramasamy Savitha, Muhammad Ilias Amin, Kazuyuki Murase: Complex-Valued Functional Link Network Design by Orthogonal Least Squares Method for Function Approximation Problems, 2011 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2011), San Jose, California, July 31 - August 5, 2011, pp.1489-1496, 2011.
- 13) M. Kobayashi, H. Yamada, M. Kitahara: "Noise Robust Gradient Descent Learning for Complex-valued Associative Memory", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science, vol.E94-A, no.8, pp.1756-1759, 2011.
- 14) Y. Suzuki, M. Kitahara, M. Kobayashi: "Dynamic Complex-valued Associative Memory with Strong Bias Terms", International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2011), pp.509-518, 2011.
- 15) M. Kitahara, M. Kobayashi: "Complex-valued Associative Memory with Strong Thresholds", 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2011), pp.362-365, 2011.
- 16) Gouhei Tanaka, Complex-Sigmoid Function for Complex-Valued Neural Networks, RIMS Kokyuroku, Vol. 1742, pp. 145-157, 2011.
- 17) Gouhei Tanaka, Analysis of a learning algorithm for a single phasor neuron, RIMS Kokyuroku, Vol. 1762, pp. 1-12, 2011.
- 18) Eckhard Hitzer, Non-constant bounded holomorphic functions of hyperbolic numbers - Candidates for hyperbolic activation functions, in Y. Kuroe, T. Nitta (eds.), Proceedings of the First SICE Symposium on Computational Intelligence [Concentrating on Clifford Neural Computing], 30 Sep. 2011, KIT, Kyoto, Japan, catalogue no. 11PG0009, pp. 23 - 28, 2011.
- 19) Eckhard Hitzer, OPS-QFTs: A new type of quaternion Fourier transforms based on the orthogonal planes split with one or two general pure quaternions, Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2011, AIP Conf. Proc. 1389, pp. 280-283 (2011); doi: 10.1063/1.3636721.
- 20) R. Bujack, G. Scheuermann, Eckhard Hitzer, A General Geometric Fourier Transform, Proc. of The 9th Int. Conf. on Clifford Algebras and their Applications, (2011).
- 21) Eckhard Hitzer, S. J. Sangwine, The orthogonal planes split of quaternions, Proc. of The 9th Int. Conf. on Clifford Algebras and their Applications, (2011).
- 22) Eckhard Hitzer, J. Helmstetter, R. Ablamowicz, Square roots of -1 in real Clifford algebras, Proc. of The 9th Int. Conf. on Clifford Algebras and their Applications, (2011).
- 23) Eckhard Hitzer, Crystal planes and reciprocal space in Clifford geometric algebra, Math. Methods in the Applied Sciences, Article first published online: 15 Feb. 2011, (2011), DOI: 10.1002/mma.1442.
- 24) M.Kimura, T.Isokawa, H.Nishimura, and N.Matsui, "On Retrieval Performance of Associative Memory by Complex-valued Synergetic Computers," Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2011), pp.1366-1371, 2011.
- 25) T.Takata, T.Isokawa, and N.Matsui, "Performance Analysis of Quantum-Inspired Evolutionary Algorithm," Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.8, pp.1095-1102, 2011.
- 26) 松井伸之, 木村允謙, 磯川悌次郎, "複素シナジェティックコンピュータの想起性能," 計測自動制御学会論文集, vol.47, no.11, pp.563-570, 2011.
- 27) Minh Tuan Pham, Tomohiro Yoshikawa, Takeshi Furuhashi and Kanta Tachibana, Feature Extraction with Space Folding Model and its Application to Machine Learning, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics, Vol. 15, No. 6, pp. 662-670, 2011.
- 28) Minh Tuan Pham, Kanta Tachibana, Tomohiro Yoshikawa and Takeshi Furuhashi, A Clustering Method for Geometric Data based on Approximation using Conformal Geometric Algebra, 2001 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 2540 - 2545, Taipei, 2011.
- 29) T. Nitta, Ability of the 1-n-1 Complex-Valued Neural Network to Learn Transformations, In Computational Modeling and Simulation of Intellect: Current State and Future Perspectives, ed. Boris Igel'nik, Pennsylvania, Information Science Reference, pp.566-596, 2011.
- 30) 新田 徹, 高次元信号に対する広域線形推定法, 計測自動制御学会 第1回コンピュテーショナル・インテリジェンス研究会, 「クリフォードニューロコンピューティングを中心として」, pp.11-14, 2011年.
- 31) T. Nitta, Widely Linear Processing of Hypercomplex Signals, Proc. International Conference on Neural Information Processing, ICONIP2011-Shanghai, Part I (Lecture Notes in Computer Science 7062), Springer, pp.519-525, 2011.

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

[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：

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)

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

早川 美徳 (東北大学教育情報基盤センター)

早川 吉弘 (仙台高等専門学校)

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)

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)

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 哲史 (徳島大学工学部)

西尾 芳文 (徳島大学工学部)

赤羽 秀郎 (茨城大学工学部)

石田 文彦 (富山高等専門学校専攻科)

荒木 修 (東京理科大学理学部)

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)

菅原 研 (東北学院大学教養学部情報科学科)

金城 光永 (琉球大学)

水柿 義直 (電気通信大学)

研究費：物件費5万円，旅費47万4千円

[2] 研究経過

まず目的について述べ、続いて経過を説明する。

【目的】

このプロジェクトは、人間の持つ特性を重要視し

た人に優しい情報システムの構築を目指すものである。本年度は、プロジェクトメンバーの増強を行い、この情報システムを脳内情報メカニズムの原理的な側面から追求する方向を追加し、その情報処理のマクロな結果として現れる行動・振る舞いといった人間特性を理解するこれまでの研究と合わせ、そのハードウェアによる実現も視野に入れた二本柱の研究として推し進めることとした。

ハードウェアの柱については、そのシーズは生物神経系の実験的研究のモデルとして得られる脳の情報処理原理を活用したアクティブなシステムと量子計算であり、その融合をも視野に入れた。その可能性の理論的検討を行い、そこで得られた知見をハードウェア試作により実践的に検証した。ハードウェアとしては従来どおり半導体(シリコン)と超伝導体(ニオブ)ベースの集積回路を対象とし遂行した。人間特性理解の柱においては、文字およびパターン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、ゆらぎ現象の統計解析の手法などを用いた分析や数理的モデル化を行い、その人間特性の要因となる脳・身体メカニズムの推定を通じて、実現されるべき新システム像を明らかにすることを目指した。

これまで、実践的および理論的研究によって人に由来する新しい情報処理の可能性について様々な事実が蓄積されてきたが、それでも本質的には、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、人が得意とする超並列的なデータ処理のアーキテクチャーが未だに明確になっていないこと、そもそも膨大な並列データの取捨選択方法が未知であることが理由である。実験、理論、実践を通して現状のコンピューターと脳の長所・短所を明確にし、人に優しい新たな知的情報処理システムの基礎を築くとともに、その実践的応用をも目指すことを目的とする。

【経過】

研究は、(A)脳機能の研究、(B)モデルの研究、(C)超知的集積回路の試作、そして(D)人間特性理解からのシステムデザイン、に分類される。

(A)には、脳の神経生理学的研究、脳の生体情報工

学的研究が含まれる。(B)は脳の情報処理の基本要素であるニューロンとシナプスを抽象化して構成し、そしてそれらが複合したシステムを研究すると共に、そのハードウェア化へ向けた研究を進めてきた。プロジェクトメンバーは高次ダイナミクスを導入したバースト発火ニューロンモデルについて、その基本性能の向上へ向けた新しい設計手法の提案等の研究実績を蓄積しており更なる研究を進めている。(C)は(B)の知見を活かして生体方式知的集積回路や、その成果を取り入れたあらたな量子計算に繋がる回路など新しいハードウェアについての検討である。(D)では文字およびパターンの知覚と探索を中心課題と位置づけ、脳と身体の特性の詳細な分析を通じて人間と調和性の高い情報システムデザインの検討を行ってきた。本プロジェクトではシステム実現も視野に入れているため、(A)、(B)、(C)も含めた広い検討・議論を行ってきている。

本年度はプロジェクトの3年目であった。1年目は、討論会等を通して、メンバー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交換を行なった。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。それを踏まえて、2年目はテーマを絞った討論を行なった。つまり、文字探索課題における見落としエラーの考察を中心に据えた。まず、紙面(空間)に分布する特定文字の探索と見落としを、時間的に変動するターゲットの追跡の正確さと対比することにより、文字の見落としに見られる人間の特性がこの課題に固有のものなのか、人間に内在するより一般的な性質の表われなのかについて討論した。そして、このように予測と選択を伴う情報処理を物理現象と対比することで、更に広い視野での考察を目指した。3年目の本年度は、人間特性、言語統計学、集積回路の基礎と応用の幅広い分野から研究を進めた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度のプロジェクト研究では、2011年12月5日に東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟にて開催した研究討論会を中心に、個人レベルでの討論も実施した。研究討論会での話題提供者とテーマは以下の通りである。

矢内浩文(茨城大学)「文字探索課題における見落としエラー」

早川美徳・古橋 翔(東北大学)「書き言葉の統計解析」

原田知親(山形大学)「微小電力で駆動する集積回路の基礎研究」

亀田成司(大阪大学)「シリコン網膜の開発と脳刺激型視覚再建への応用」

森江 隆(九州工業大学)「自己組織化ナノ構造とCMOSを組み合わせたスパイクニューロンデバイスの基礎検討」

討論会では、話題提供者に加えてプロジェクトメンバーが一堂に会し、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と調和性の高い情報システム構築にどうつながりうるかを議論した。

なお、プロジェクトメンバーの成果一覧(抜粋)を次節に示した。

(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) Chihiro IKUTA, Yoko UWATE and Yoshifumi NISHIO, "Multi-Layer Perceptron with Glial Network for Solving Two-Spiral Problem", IEICE Transactions on Fundamentals, vol. E94-A, no. 9, pp. 1864-1867, Sep. 2011.

(2) A. Hirose, "Nature of complex number and complex-valued neural networks," Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China 6, 1 (2011) 171-180

(3) Hiroshi Wakuya, Akira Terada, Hideaki Itoh, Hisao Fukumoto, and Tatsuya Furukawa, "Multi-winner neuron style with adaptability in feedback SOM for temporal signal processing" ICIC Express Letters — An International Journal of Research and Surveys Vol. 6, No. 3, pp. 747-752, 2012. 03

(4) Y. Mizugaki, "Blocking charge oscillation in a series array of two tiny tunnel junctions with a resistive ground path from its island electrode", IEEE Transactions on Nanotechnology, vol. 11, no. 1, pp. 194-199, January, 2012.

(5) Zhenxing Pan, Rei Yamaguchi, Shinji Doi, "Bifurcation analysis and effects of changing ionic conductances on pacemaker rhythm in a

sinoatrial node cell model”, Biosystems 106, 9-18 (2011)

(6) Y. Nakayama, R. Ito and T. Saito, A Simple Class of Binary Neural Networks and Logical Synthesis, IEICE Trans. Fundamentals, E94-A, 9, pp. 1586-1589 (2011)

(7) Asai T. and Motoike I.N., “Self-organizing striped and spotted patterns on a discrete reaction-diffusion model,” Nonlinear Theory and Its Applications, vol. 2, no. 3, pp. 363-371 (2011).

(8) M. Igarashi, C.-H. Huang, T. Morie, and S. Samukawa, “Control of Electron Transport in Two-Dimensional Array of Si Nanodisks for Spiking Neuron Device”, Appl. Phys. Express, 3, 085202, 2010.

(9) Nao Tomoda, Yuta Kakimoto, Osamu Araki, “An action planning model using short-term and long-term memory information during learning of sequential procedures”, Proceedings of International Symposium on Artificial Life and Robotics, 553-556, 2012.

(10) T. Sota, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “An application of higher order connection to inverse function delayed network”, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 2, no. 2, pp. 180-197, April 2011.

(11) S. Sato, A. Ono, M. Kinjo and K. Nakajima, “Performance evaluation of adiabatic quantum computation using neuron-like interconnections”, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 2, no. 4, pp. 198-204, April 2011.

(12) T. Onomi, Y. Maenami, and K. Nakajima, “Superconducting Neural Network for Solving a Combinatorial Optimization Problem,” IEEE Trans. Applied Superconductivity, vol. 21, no. 3, pp. 701-704, June 2011.

(13) K. Kurose, Y. Hayakawa, S. Sato, and K. Nakajima, “Analysis of burst dynamics bound by potential with active areas,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 2, no. 4, pp. 417-431, Oct. 2011.

(14) H.-F. Yanai, K. Kurosawa and K. Takahashi, Subitizing-counting analogue observed in a fast multi-tapping task, in D. Harris (Ed.): Engin. Psychol. and Cog. Ergonomics, HCII 2011, LNAI 6781, pp. 120-125, 2011.

(15) 千賀大輔, 矢内浩文, 引き込み半径の制

御が可能な連想記憶モデルとその意義, FIT2011(第10回情報科学技術フォーラム)第2分冊, pp. 541-542, 2011.

(16) 久芳瑠衣子, 花岡駿介, 岡本翔, 矢内浩文, ボタン押し動作時のシルエット外接矩形を用いた本人認証, FIT2011(第10回情報科学技術フォーラム)第3分冊, pp. 185-186, 2011.

(17) 宮内竜, 矢内浩文, 文字探索課題における見落としエラーの分析, FIT2011(第10回情報科学技術フォーラム)第3分冊, pp. 589-590, 2011.

(18) 円成寺篤志, 佐藤貴史, 矢内浩文, 階段移動時の携行加速度センサ情報を利用した身長推定, FIT2011(第10回情報科学技術フォーラム)第3分冊, pp. 603-604, 2011.

採択番号 H21/B06

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)
西田真也 (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)
小川 正 (京都大学)
渡邊克己 (東京大学)
七五三木聡 (大阪大学)
栗木一郎 (東北大学)
松宮一道 (東北大学)
佐藤暢哉 (関西学院大学)
鮫島和行 (玉川大学)
石橋和也 (神戸大学)
邑本俊亮 (東北大学)
朝倉暢彦 (京都大学)

研究費：物件費 0 円，旅費 27 万円

[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。今年度は東日本大震災の経験を基に、人間の判断に関する研究に注目し、人間の視覚やその他の情報処理過程における関連研究を中心に議論した。

本研究会の特徴を活かして、心理物理学、電気生理学、計算モデルを含む分野横断型の議論から将来の研究の方向性を検討した。

本プロジェクトは本年度が 3 年目であるが、前年度までと同様に十分な議論の時間確保し、問題点を深く掘り下げ共有することができた。以下、研究活動状況の概要を記す。

平成23年12月2日 - 12月3日

研究会

代表者筒井，分担者富田，宇賀、金子、吉田、石橋、邑本、朝倉が来所し、石橋、邑本、朝倉、筒井、鮫島の講演に基づき、関連研究分野の展開について議論した。今年度は、震災時など確率的判断が求められる状況を中心とし、視覚関連の確率判断処理に関する研究顔を開催した。

各講演と議論について2時間弱の時間をとり、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。それに加えて懇親会において「視覚科学の最近の動向と将来について」のタイトルのもとに自由な討論を行った。

[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. 視覚探索における出現確率効果とその特性 石橋 和也

(神戸大学 大学院人文学研究科)

視覚探索に関するエラーが、単にヒューマンエラーによって生起するわけではなく、確率に応じた探索終了の意思決定過程の最適化を反映している可能性を示す実験結果に基づき、確率判断と視覚情報処理過程の関連について議論した。講演内容は以下の通りである。

視覚探索は、ヒトの視覚的注意の特性を調べるために盛んに用いられる課題である一方で、ヒトの生存のために最も重要な認知機能の一つでもある。多くの視覚探索研究では、標的の出現確率(標的存在試行と標的不在試行の割合)を50%よりも高確率に設定して実験を行うことが多い。しかし、実験室場面とは異なり、空港の荷物検査や乳がんの検査などといった現実場面では、標的の出現確率が極端に低い場合がある。これらの例のように、標的が低確率でしか出現しない視覚探索では50%で出現する場合と比較して、標的の見落とし率が急激に上昇することが報告されている(出現確率効果)。現実場面での標的の見落としは重大な事故の原因の一つとなり得るため、出現

確率効果の特性の解明とその防止策の提案が求められている。標的の出現確率は探索時の反応時間にも影響を与え、標的の出現確率が低確率である場合は50%で出現する場合と比較して、標的不在試行時の反応時間が短縮する。このように標的の出現確率は、標的の発見時の意思決定よりもむしろ、探索終了（あきらめ）の意思決定に強く影響を与える。われわれは、この出現確率効果が視覚探索のみならず触覚探索でも生起することを明らかにした。この結果は、感覚モダリティに依存しない探索終了の意思決定規則があることを示唆する。次にわれわれは、出現確率効果が40試行から50試行の試行履歴に基づいて生起すること、また出現確率効果が意識的な出現確率の表象だけでは生起しないことを明らかにした。この結果は、出現確率効果を防止するためには、「意識改革」だけでは不十分であり、自動的な処理過程をコントロールする必要があることを示す。現在いくつかの研究は、出現確率効果を動物の採餌行動における最適化理論から説明することを試みている。これらの研究は、出現確率効果が単にヒューマンエラーによって生起するわけではなく、確率に応じた探索終了の意思決定過程の最適化を反映している可能性を示唆する。

2. 視覚運動の知覚とイメージにおける多義性の解消

（朝倉 暢彦）

視覚処理は本質的に曖昧であるが、その曖昧性への対処は確率的な判断であるベイズ推定によると考えられている。その具体的なあり方は様々であるが、3次元運動の例を通してイメージ生成の観点から捉え方について議論した。講演内容は以下の通りである。

視覚運動の知覚においては、見えが時間の経過とともに切り替わる多義的知覚がしばしば生じる。この多義性をもたらす視覚機構を本質的に理解しようとするならば、多義的知覚を単に現象として捉えるだけでなく、多義性がなぜ生じるのか、その解消がどのような方略でなされるか、そしてその方略がなぜ適切なのかを明らかにすることが必要である。本発表では、様々な多義的運動知覚の例について、その多義性の要因および多義性を解消するための方略を考察し、それらをベイズ推定の枠組みに位置づけて説明した。さらに、この知覚レベルでの多義性解消の方略が、視覚運動のイメージ生成においても機能していることを示唆する実験結果を示した。

3. 意思決定と価値学習の神経機構－理論と実験の統合アプローチ－

（鮫島 和行）

事象の生起確率の変化にともなう行動選択を説明するために、数理モデルによる意志決定に関連する神経活動の定量的予測の可能性について議論した。講演内容は以下の通りである。

報酬と意思決定の神経生理学やヒトの脳活動計測からの知見と、行動選択の理論を概説した後、これら両方のアプローチを融合した研究についての説明する。講演者はこれまで、情報科学におけるエージェントの行動原理や学習方略を設計するための強化学習の理論を用いて、ヒトやサルなどの行動選択の説明や、報酬と行動の情報が交差する大脳基底核の単一神経活動を説明することを試みてきた。大脳基底核の線条体は、大脳皮質の広範な領域から入力を受け一方、報酬や報酬予測誤差を表現する中脳ドーパミン細胞からも投射を受ける。線条体の異常によって、パーキンソン病などの運動疾患が現れることや、薬物依存や強迫性障害などの意思決定に関わる障害が現れることから、大脳基底核が報酬に基づく行動発現や意思決定と、それらの学習に関わることを示唆されてきた。しかし、その動作原理や機構については明らかではない。一方で、強化学習理論は報酬を最大化する行動を説明する数理モデルを提供する。強化学習理論によって動物の行動選択はどの程度説明されるだろうか？また、説明可能なモデルで学習される内部変数は神経細胞活動に表現されているのだろうか？その活動は神経回路のどのような動作機構によって形成されているのだろうか？これらの疑問に答えるために、サルに行動選択の結果得られる報酬から行動選択率を学習させる課題を行わせた時の線条体から神経活動記録を行った。サルの行動選択を尤も良く説明する数理モデルを構築し、そのモデルで定量的に説明される内部変数と神経活動との相関を見ることによって、行動選択機構や学習機構についての検証・検討を行った。

カテゴリー的認知と推論の神経機構

（筒井 健一郎）

カテゴリー分類は外界情報の認識の主要な要素である。直感的には、その処理過程は対象の特徴に依存したものと思うが、実際にはむしろ機能によることも多いと考えられる。機能と分類を司る脳領域について議論した。講演内容は以下の通りである。

高等脊椎動物は、経験した刺激－結果、あるいは刺激－反応－結果の関係を、それぞれ個別に学習するのではなく、同じ結果を導く刺激をグループ化して認識している、すなわち、刺激の機能的等価性に基づいて刺激のカテゴリー化を行っていることを示唆する知見がある (Vaughan (1988) J Exp Psychol, Anim Behav Processes 14, 36-42)。

このような刺激のカテゴリー化は、情報表現の効率化に役立つだけでなく、同じカテゴリーのメンバーは同じ性質を持つという、刺激の等価性に基づく推論的思考を行う基盤になりうる。本研究では、刺激等価性に基づくカテゴリーの認識と、カテゴリーに基づく推論について、その脳内機序を明らかにしていくことを目的とする。そのため、カテゴリーを用いて推論を行わせる「カテゴリー逆転課題」をサルに行わせ、課題遂行中に前頭連合野の神経活動の細胞外記録を行った。サルの前頭連合野には、報酬を予測する手がかりとなる視覚刺激に反応するニューロンが多く見つかった。それらのニューロンは、視覚刺激に対する反応から、大きく3つのグループに分けることができた。A) 刺激と連合している結果に関係なく、常に特定の範疇に属する刺激に強い反応を示し、カテゴリーをコードしていると考えられるニューロン、B) 特定のカテゴリーに属する刺激が特定の結果と連合しているときに強い反応を示し、カテゴリーと結果の連合をコードしていると考えられるニューロン、C) どのような刺激でもそれが特定の結果に連合しているときに強い反応を示し、カテゴリーを超えて、刺激によって予期される結果をコードしていると考えられるニューロン、である。これらの結果から、前頭連合野が、他の領域から入力されたカテゴリーの情報に自らが保持しているルール情報を統合することによって、適切な行動を選択し、その情報を他の脳領域に出力していることが示唆された。「カテゴリー逆転課題」のルール逆転時には、サルが1試行の誤りで新しいルールに適応することから、サルはカテゴリーに基づく推論を行っていることが行動学的に示された。前頭連合野各領域の推論への関わりを調べるために、各領域で記録されたCタイプのニューロン(有効なルールの違いに関わらず予期される結果をコードしているニューロン)が、どの程度はやくルールの変化に適応したかを調べた。その結果、前頭連合野背外側部のニューロンは、サルの行動と同様にルール逆転後の2試行目から新しいルールにその反応様式を適応させていたが、前頭眼窩部のニューロンは、新しいルールに適応するのに時間がかかっていた。このことから、前頭連合野背外側部は、推論や見通しに基づいて行動を制御することに関わっている一方で、前頭眼窩部は、経験に基づく個別の刺激に関する連合学習に関わっていることが明らかになった。

災害と認知心理学

(邑本 俊亮)

震災で問題になったと考えられる災害時の情報認知過程について、人間の判断における様々な

バイアスとについて、確率評価の視点も含めて意見交換し、今後の人間の認知面を考慮した防災・減災対策の実践方法について議論した。講演内容は以下の通りである。

災害と認知心理学はどのようなつながりがあるだろうか。両者は一見無関係なように思われるかもしれない。だが、災害は我々人間に降りかかってくるものであり、災害発生時に何を考え、どのように判断・意思決定をするかで、命が助かるかどうかの分かれ目になることもある。また、災害に対する心の備えの大部分は、まさに認知的準備にほかならない。そのように考えれば、人間の認知特性を研究している認知心理学は、災害をターゲットにした研究の推進が可能であり、また、防災・減災のためにさまざまな提言や貢献ができるであろう。本講演では、一人の認知心理学研究者が災害・防災研究プロジェクトに関わるようになって、どのような点で認知心理学的な研究成果や知見を提供してきたのかを中心に、災害と認知心理学の関連性について論ずる。まず、災害情報を受容する際の認知特性について整理する。災害時には、我々は災害に関するさまざまな情報を受け止め、それを理解し、適切な判断を下して、行動に移さなければならない。しかしながら、人間は自分の身の回りに生じた災害状況や災害に関する種々の情報をそのまま(偏りなく)受け止めるとは限らない。さまざまな認知バイアスによって自分に都合が良いように災害情報を受け止めている。また、受け止めた情報の意味を解釈する際にも、文脈、既有知識、期待等の影響が生じるであろう。さらに、判断や意思決定を行う際にもヒューリスティクス(経験則)に基づく判断傾向が生じる可能性がある。

次に、防災・減災に関して認知心理学的な観点からどのような提言が可能であるかを考える。今後いつどこで発生するかわからない災害に対して、我々はどのような心理的対策を行うべきだろうか。第一に、災害に関する正しい知識を獲得することの必要性である。知識は理解を助ける。災害時に届く情報を正しく理解するためには知識は必要不可欠である。第二に、防災訓練の重要性である。実地で訓練を行うことは、手続き的知識の獲得につながるとともに、記憶の状況依存性という点でも重要である。第三に、上述した人間の認知特性を理解しておくことの重要性である。災害時には認知バイアスが適切な避難行動を遅延させたり阻害したりすることは明白である。自身の認知特性を知っていれば、適切な判断が可能になり、避難のための行動が早まる可能性がある。

以上のような考察をたたき台として、今後災害情報認知研究の展開の可能性と、人間の認知面を中心とする防災・減災対策の実践方法について検

討する必要がある。

(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。議論された内容は、各研究の問題意識の共有に繋がるものでありその意義は大きい。今回のテーマから、災害時の行動に直接影響を与える、感覚知覚系、認知認識系における人間の確率判断の問題点が明らかにすることができた。特に、今後情報通信技術において受け手の情報処理に合わせた形式でそのコンテンツを準備、提示する必要性が明確となった。そのためには、意志決定の情報処理機構の脳科学的な理解とそれに基づくモデルに立脚した情報通信技術の確立が必要である。当共同プロジェクト研究はそれに貢献するが、情報交換の場から研究の推進へ繋がることが期待される。

[4] 成果資料

以下に、研究会の議論に関連する研究論文を資料としてあげる。

- Ishibashi, K., Kita, S. & Wolfe, J. M. (2012) “The effect of local prevalence and explicit expectations on search termination times.” *Attention, Perception & Psychophysics*, 74, 115-123.
- Ishibashi, K., Kita, S., & Wolfe, J.M. (2011) “An optimal termination strategy for dual-target search” *Journal of Vision*, vol.11, no.11, 1306.
- Ishibashi, K., Watanabe, K., Watanabe, T., & Kita, S. (2012) “Prevalence effects on visual search and haptic search”, *Vision Sciences Society, Naples, USA*.
- Asakura, N. & Inui, T. (1999) “Computational analysis of disparity modulation sensitivity: an explanation in terms of a Bayesian Surface reconstruction” *Vision Research*, 39, 1881-1887
- Asakura, N. & Inui, T. (1999) “A Bayesian Model for Perception of Surfaces from Binocular Disparity” *System & Computers in Japan*, 30, 32-42
- Pammi, C.V.S., Miyapuram, K. P., Samejima, A. K., Bapi, R. S. & Doya, K. (2012) “Changing the structure of complex visuo-motor sequences selectively activates the fronto-parietal network” *NeuroImage* 59(2):1180-1189
- Samejima K, Ueda Y, Doya K, and Kimura M. (2005) Representation of action-specific

reward values in the striatum. *Science* 310: 1337-1340

- Fujiwara J, Tobler PN, Taira M, Iijima T, Tsutsui K. (2009) “A parametric relief signal in human ventrolateral prefrontal cortex” *Neuroimage*, 44, 1163-1170
- Fujiwara J, Tobler PN, Taira M, Iijima T, Tsutsui K. (2009) “Segregated and integrated coding of reward and punishment in the cingulate cortex” *Journal of Neurophysiology*, 101, 3284-3293
- 邑本俊亮 (2012) 災害情報リテラシー — 2010年チリ地震津波時の大津波警報に対する仙台市住民の認知と行動から— 東北大学大学院情報科学研究科情報リテラシー教育プログラム(編), 情報リテラシー研究論叢, 1, 134-152.
- 邑本俊亮 (2002) “理解過程の類型と知識利用の予行演習効果 -文章理解による学習の転移-” *心理学研究*, 72, 429-434

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

[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)

岩田 博夫 (京都大学再生医学研究所)

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)

礪田 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)

菅原 正雄 (日本大学文理学部化学科)

神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究科)

桂林秀太郎 (福岡大学薬学部)

安達 泰治 (京都大学大学院工学研究科)

吉信 達夫 (東北大学大学院工学研究科)

宮本浩一郎 (東北大学大学院工学研究科)

木村 康男 (東北大学電気通信研究所)

青沼 有紀 (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)

研究費：物件費 5 万円，旅費 39 万 6 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やナノ加工技術と、その多様な機能が次々と解明されつつある生体化学反応系とのインテリジェントな融合を図る必要がある。この融合が実現すれば、生体情

報を物理信号に変換し、また、逆に物理信号を生体系にフィードバックする高度なバイオ・インタフェースシステムが構築でき、DNA チップやプロテインチップの高度化、さらに創薬分野において需要が高い膜タンパク質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できる。しかしながら、半導体デバイスとバイオ物質との接合部の設計については解決すべき課題も多く、その展開の障害となっている。そこで本研究では、半導体工学や表面科学の研究者と、生命科学、バイオテクノロジー分野の研究者が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的とした。

ナノ・バイオデバイス構築のためには、新規な製造プロセスの開発や、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に加えて、ナノ構造をベースとした新しいバイオデバイスの分子設計が必要不可欠である。具体的には、タンパク質、ペプチド、DNA などの生体分子をその本来の機能を失うことなく半導体材料やナノ構造体表面に固定化し、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、討論することを目的としている。本年度は最終年度であり、これまで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 24 年 1 月 24 日 (火) 13:30~16:45
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

【特別講演】「海馬・嗅内皮質の構造と機能」
林 初男 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)
「初期視覚神経回路の時空間ダイナミクス」
八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)
「シナプス光不活化法によるグルタミン酸受容体輸送の動態解析」
神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究科)
「人工神経細胞回路の構築のための表面ナノ/マイクロ改質技術」
山本 英明 (東京農工大学工学研究院), 谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院), 中村 俊 (東京農工大学工学研究院)
「神経細胞の構成的ネットワークングのための基礎技術」
加藤 功一 (広島大学医歯薬学総合研究科)

第56回ナノ・スピン工学研究会
電気通信研究所共同プロジェクト研究会共催
日時平成 24 年 2 月 29 日 (水) 13:30~17:15
場所： 東北大学電気通信研究所
ナノ・スピン実験施設
4階 A401 号室
研究会テーマ： バイオ・電子デバイス応用に向けた酸化物表面

【通研講演会】「アノード酸化にもとづく規則ナノ構造の形成と機能的応用」
益田 秀樹 (首都大都市環境/KAST・教授)
「金属酸化物の光触媒への応用」
立間 徹 (東京大学生産技術研究所)
「酸化物単結晶表面の構造制御とバイオ応用」
荻野 俊郎 (横浜国立大学大学院)
「陽極酸化TiO₂ナノチューブ膜のガスセンサへの応用」
木村 康男 (東北大学電気通信研究所)
「原料ガス励起原子層堆積法を用いたゲート酸化膜の室温形成」
廣瀬 文彦 (山形大学理工学研究科)
「有機太陽電池の光伝搬解析と反射防止構造の設計」
久保田 繁、廣瀬 文彦 (山形大学理工学研究科)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクト研究では、生体高分子、特にイオンチャンネルのような膜タンパク質や人工脂質二分子膜(人工細胞膜)のような生体ナノ構造に基づく新しいバイオ電子デバイスを半導体科学との融合により実現するための基盤技術を開発することを目標にしている。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となる。また、この機能は、DNAチップやプロテインチップ、イオンチャンネルチップ、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、特に生体分子や酸化物に基づくナノ構造の構築法、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、ナノ構造に基づくバイオ電子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。現在、この技術の開発には、ポーラスアルミナナノ構造体やTiO₂ナノチューブの自発的生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。一方、生体は、脂質分子の自己組織化によって細胞膜が形成されているように、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酸化物ナノ構造体や高分子ナノ構造体の構築や、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) Azusa Oshima, Ayumi Hirano-Iwata, Tomohiro Nasu, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, “Mechanically Stable Lipid Bilayers in Teflon-Coated Silicon Chips for Single-Channel Recordings”, *Micro and Nanosystems*, 4, No.1, 2-7 (2012).

(2) 平野愛弓, 大嶋 梓, 木村康男, 庭野道夫, “ナノ・マイクロ加工に基づく人工細胞膜センサの研究”, *応用物理*, 81 (2), 143-146 (2012).

(3) Mohammad Maksudur Rahman, Ryota Kojima, Mehdi El Fassy Fihry, Daisuke Tadaki, Teng Ma, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Effect of Porous Counter Electrode with Highly Conductive Layer on Dye-Sensitized Solar Cells", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 50 082303 (2011).

(4) Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yuki Aonuma, Yuya Yoshimura, Yasuo Shinohara, Yasuo Kimura and Michio Niwano, "Real-time monitoring of mitochondrial adenosine 5'-triphosphate synthesis and hydrolysis by surface infrared spectroscopy", *Appl. Phys. Lett.*, 98, 133703 (2011).

(5) Ayumi Hirano-Iwata, Tasuku Taira, Azusa Oshima, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Improved stability of free-standing lipid bilayers based on nanoporous alumina films", *Appl. Phys. Lett.*, 96, 213706 (2010).

(6) Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Tomohiro Nasu, Tasuku Taira, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Stable Lipid Bilayers Based on Micro- and Nano-Fabrication", *Supramolecular Chemistry*, 22, 405-411 (2010).

(7) Ayumi Hirano-Iwata, Kouji Aoto, Azusa Oshima,

Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Free-Standing Lipid Bilayers in Silicon Chips — Membrane Stabilization Based on Microfabricated Apertures with a Nanometer-Scale Smoothness", *Langmuir*, 26, 1949–1952 (2010).

(8) Mohammad Maksudur Rahman, Ryota Kojima, Mehdi El Fassy Fihry, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Formation of porous titanium film and its application to a counter electrode for a dye-sensitized solar cell", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 49 122302 (2010).

(9) Ayumi Hirano-Iwata, Azusa Oshima, Kota Onodera, Kouji Aoto, Tasuku Taira, Ryo-taro Yamaguchi, Yasuo Kimura, and Michio 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, 243906-1-3 (2009).

(10) Ryo-taro Yamaguchi, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Michio Niwano, Ko-ichiro Miyamoto, Hiroko Isoda and Hitoshi Miyazaki, "*In situ* real-time monitoring of apoptosis on leukemia cells by surface infrared spectroscopy", *J. Appl. Phys.*, 105, 024701-1-7 (2009).

採択番号H21/B08

生物の適応的運動機序の解明と工学的応用

[1] 組織

代表者：細田 耕
 (大阪大学大学院情報科学研究科)

対応者：石黒 章夫
 (東北大学電気通信研究所)

分担者：

浅間 一
 (東京大学大学院工学研究科)

伊藤 宏司
 (東京工業大学総合理工学研究科)

土屋 和雄
 (同志社大学工学研究科)

神崎 亮平
 (東京大学 大学院情報理工学系)

高草木 薫
 (旭川医科大学)

荻原 直道
 (慶応義塾大学)

近藤 敏之
 (東京農業工業大学工学研究科)

大須賀公一
 (大阪大学大学院工学研究科)

川端 邦明
 (理化学研究所分散適応ロボティクス研究ユニット)

太田 順
 (東京大学人工物研究センター)

青沼 仁志
 (北海道大学電子科学研究所)

木村 浩
 (京都工芸繊維大学)

井上 康介
 (茨城大学工学部)

倉林 大輔
 (東京工業大学理工学研究科)

辻田 勝吉
 (大阪工業大学工学研究科)

田熊 隆史
 (大阪工業大学工学研究科)

稲瀬 正彦

(近畿大学医学部)

北澤 茂
 (順天堂大学医学部)

柳原 大
 (東京大学大学院総合分化研究科)

中隋 克己
 (近畿大学医学部)

森 大志
 (山口大学農学部獣医)

大武 美保子
 (東京大学人工物研究センター)

青井 伸也
 (京都大学大学院工学研究科)

船戸 徹郎
 (京都大学大学院工学研究科)

松山 清治
 (札幌医科大学)

花川 隆
 (国立精神神経センター)

佐々木 司
 (東京大学大学院教育学研究科)

出江 紳一
 (東北大学大学院医工学研究科)

清水 正宏
 (大阪大学大学院工学研究科)

富田 望
 (同志社大学工学研究科)

林 叔克
 (東京農工大学共生科学技術研究院)

佐藤 直行
 (公立はこだて未来大学)

杉本 靖博
 (大阪大学大学院工学研究科)

田村 雄介
 (東京大学大学院工学研究科)

小川 広晃
 (東京大学大学院工学研究科)

矢野史朗
 (東京大学大学院工学研究科)

成 (ソン) アンナ
 (東京大学大学院工学研究科)

研究費：物件費5万円，旅費73万円

[2] 研究経過

生物の驚くほど適応的な振る舞いは，制御系（＝脳神経系）と機構系（＝筋骨格系），そして環境との相互作用から生み出されている．このことは，脳機能を調べるだけでは適応的運動の発現機序は理解できないことを意味している．そこで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通して，適応的なシステムに関する研究を推進する．

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，そして(3)それ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．これまでの研究で，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，いか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，これを数理モデルやロボット，シミュレーションなどの構造的な手法で再現し，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ている．

今年度の研究会は，2012年2月1日9時～16時と2月2日9時～16時の二日間にわたって，東北大学電気通信研究所2号館大会議室にて行われた．以下，その内容を示す：

1. 広島大学大学院理学研究科数理分子生命理学専攻の小林亮教授による「数理科学から探る生物ロコモーションの機序理解」という講演が行われた．本講演では，真正粘菌変形体が示す原初的なアメーバ運動が内在する自律分散制御に関する興味深い事例研究が紹介された．
2. 公立はこだて未来大学の櫻沢繁准教授による「非侵襲型筋電位測定の基礎と電極設計」に関

する講演が行われた．電子回路の基礎から，安価な部品を用いた筋電位測定電極の製作の仕方がわかりやすく紹介された．さらに，実際の電極を用いたデモンストレーションも行われた．

3. 公立はこだて未来大学の中垣俊之教授による「軟体動物の這行運動」に関する講演が行われた．軟体動物の這行運動は，身体を波動状に動かすことで行われるが，本講演ではこの背後にある数理構造が紹介された．
4. 九州大学マスコアインダストリ研究所の秋山正和博士研究員によるプログラミングに関する実践的なチュートリアルが行われた．学生を含む若手研究者にとってためになるチュートリアルであったと思う．

これら講演の後，活発な討論が行われた．

[3] 成果

(3-1) 研究成果

今回開催したプロジェクト研究会では，数理モデリングを通じた構成論的アプローチに関して深い議論ができた．数理的なアプローチは，現段階ではアメーバ運動や這行運動などの原初的なロコモーション様式の考察にとどまっているが，今後はヒトを含めた生物の適応機序を解明することに大きく役立つと考えられる．

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトを通して学外研究者との交流が飛躍的に活性化し，得られた結果は，この研究グループによる新学術領域等の大型研究予算への提案に利用される予定である．また，それ以外にも多くの科研の科目に対して，本研究グループ内での共同研究が提案されている．

[4] 成果資料

- 1) An Oscillator Model That Enables Motion Stabilization and Motion Exploration by Exploiting Multi-rhythmicity
Advanced Robotics, 25, 9-10(2011), 1139-1158
Dai Owaki, Satoshi Ishida, Atsushi Tero, Kentaro Ito, Koh Nagasawa, and Akio Ishiguro
- 2) 真正粘菌変形体から着想を得た自律分散制御方策の実験的検証
計測自動制御学会論文集, 46-11(2010), 706-712
梅舘拓也, 武田光一, 中垣俊之, 小林 亮,

- 石黒章夫
- 3) A 2-D Passive-Dynamic-Running Biped with Elastic Elements
IEEE Transaction on Robotics, 27-1, pp.156-162 (2011)
Dai Owaki, Masatoshi Koyama, Shin'ichi Yamaguchi, Shota Kubo, and Akio Ishiguro
 - 4) On the applicability of the decentralized control mechanism extracted from the true slime mold: a robotic case study with a serpentine robot
Bioinspiration & Biomimetics, 6-2(2011) doi: 10.1088/1748-3182/6/2/026006
Takahide Sato, Takeshi Kano, and Akio Ishiguro
 - 5) A decentralized control scheme for orchestrating versatile arm movements in ophiuroid omnidirectional locomotion
Journal of The Royal Society of Interface, 9-6, 102-109 (2011)
doi: 10.1098/rsif.2011.0317
Wararu Watanabe, Takeshi Kano, Shota Suzuki, and Akio Ishiguro
 - 6) A Soft Deformable Amoeboid Robot Inspired by Plasmodium of True Slime Mold
International Journal of Unconventional Computing, Vol.7, No.6, pp.449-462 (2011)
 - 7) A Decentralized Control Scheme for an Effective Coordination of Phasic and Tonic Control in a Snake-like Robot
Bioinspiration & Biomimetics, Vol.7, No.1 (2012) doi:10.1088/1748-3182/7/1/016005
Takahide Sato, Takeshi Kano, and Akio Ishiguro
 - 8) Fluid-filled Soft-bodied Amoeboid Robot Inspired by Plasmodium of True Slime Mold
Advanced Robotics, Vol.26, pp.693-707 (2012) DOI:10.1163/156855312X626316
Takuya Umedachi, Ryo Idei, Toshiyuki Nakagaki, Ryo Kobayashi and Akio Ishiguro
 - 9) Motor Development of an Pneumatic Musculoskeletal Infant Robot, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.963-968 (2011)
Kenichi Narioka and Koh Hosoda
 - 10) Behavior Change of Crickets in a Robot-Mixed Society, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22, No.4, pp.526-531 (2010)
Rodrigo da Silva Guerra and Hitoshi Aonuma, Koh Hosoda, and Minoru Asada

採択番号 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

[1] 組織 (敬称略)

代表者: 松岡 浩

(理化学研究所計算科学研究機構)

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)

榎本 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(藤縄地震研究所)

峯尾 真一(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)

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)渡邊 國彦(海洋研究開発機構地球シミュ
レータセンター)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 39 万 3 千円

[2] 研究経過

超高速コンピューティングによる数値シミュレーションは、原子力、航空・宇宙、地球環境、医療など未来社会を構築するキーテクノロジーであり、その“超高速”に対するニーズは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1CPU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1CPU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3年度目の最終年度であった。前年度は、初年度の成果を踏まえながら、スーパーコンピュータを利用して実際に大規模ビット演算コンピューティングを行い、その有用性を実証した。本年度は、これまでの活動をレビューし、今後の活動体制について、以下の特別招待者を加えて議論し、新しい体制の骨格を得た。

○特別招待者： 以下、50音順。敬称略。

- 犬竹 正明 (東北大学電気通信研究所)
- 小林 広明 (東北大学サイバーサイエンスセンター)
- 高橋 桂子 (海洋研究開発機構地球シミュレーションセンター)
- 高村 守幸 (富士通株式会社)
- 中橋 和博 (東北大学大学院工学研究科)
- 西川 岳 (日本電気株式会社)
- 平野 哲 (海洋研究開発機構地球シミュレーションセンター)
- 松尾 裕一 (宇宙航空研究機構)

以下、研究活動状況の概要を記す。

本研究会は、多分野にわたる多数のメンバーから構成されているので、集中的な意見交換を行うため、平成23年度には、小グループ会合を10回程度(東京、神戸等)、大グループ会合を2回(仙台)開催した。

大グループ会合は、平成24年1月17日及び18日に開催した。そこでは、デバイス・回路技術の研究者、超高速計算の普及推進者、超高速計算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、異分野横断的な意見交換を行った。

○第1会合：1月17日 9時30分～18時

(東北大学電気通信研究所2号館401会議室)

冒頭、松岡から研究会開催の趣旨説明を行い、「(1)超並列ビット演算流体シミュレーション手法の可能性」について、続いて、日本原子力研究開発機構の村松壽晴氏から「(2)レーザー溶接/切断プロセスの熱流動現象としての側面」について、次に、理化学研究所計算科学研究機構の峯尾真一氏から“(3)設備から考えるスパコン設計”としてコンテナ型スパコンのアイデアについてプレゼンがなされた。さらに、日本アドバンステクノロジーの谷啓二氏から、「(4)実践的スパコンアプリ例と次世代システムの1提案」について説明があり、質疑応答がなされた。

午後の部に移り、(5)ベクトルクラウド等について東北大学サイバーサイエンスセンターの小林広明センター長から、(6)大気・海洋大循環スケールから都市気候に至るシミュレーション事例とそれに必要なスパコン性能について海洋研究開発機構地球シミュレーションセンターの高橋桂子様からプレゼンがあり、質疑応答がなされた。次に、(7)新概念回路技術の研究開発の現状について電気通信研究所の羽生貴弘教授にプレゼンをして頂き、質疑応答がなされた。また、これまでの6年間、共同プロジェクト研究会の通研側受入れ担当教官としてご尽力頂いたことに対し、参加者全員から拍手をもって感謝の意が伝えられた。続いて、(8)航空宇宙分野におけるスパコン利用について宇宙航空研究機構の松尾裕一氏から、(9)「日本を1位にするスパコン」について海洋研究開発機構地球シミュレーションセンターの福井義成氏から、(10)「航空機搭載リアルタイム画像レーダー“Live SAR”の開発状況」について電気通信研究所の犬竹正明教授から、(11)Building Cube Methodによる航空分野の流体解析について東北大学大学院工学研究科の中橋和博教授から、プレゼンがあり、質疑応答がなされた。最後に、富士通の高村守幸氏から、(12)「計算機研究開発協議会(仮称)」の趣意書骨子(案)の説明があり、意見交換がなされた。

○第2会合：1月18日 9時～12時30分

(東北大学電気通信研究所2号館401会議室)

冒頭、松岡から(13)「今後に向けて」と題し、共同プロジェクト研究会における過去6年間(2期)の検討経緯が説明するとともに、今後は、電気通信研究機構における活動の一環として“高信頼性コンピューティング”という切り口で展開していきたい旨の提言がなされた。次に、(14)計測融合シミュレーション研究の現状について流体科学研究所の早瀬敏幸所長にプレゼンをして頂き、質疑応答がなされた。続いて、(15)海洋研究開発分野における分野横断的な研究の事例として、日本海洋科学振興財団の折田

義彦氏から、青森県近海域海洋循環シミュレーション、沿岸海洋観測の現状等について紹介がなされた。

最後に、(16) これまでの成果を次世代超高速コンピューティングに展開していく具体的な方向性について意見交換を行った。特に、松岡より、(i)大規模スパコンの推進、(ii)高性能低消費電力サーバーの開発、(iii)計測融合コンパクトサーバーの試作、という3本柱を今後の展開の軸にしていくことを提案し、今後の活動体制については、年度内に東京でさらに会合を重ねながらまとめることになった。そして、本共同プロジェクト研究会は、その前の3年間の活動も含めて、合計6年間の活動を無事終了した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、3年目の最終年度であり、本研究会の活動がきっかけになって2・3年前に応募し採択された3つのプロジェクトが、それなりの成果をあげた。

具体的には、東北大学サイバーサイエンスセンターの研究開発公募に対して、「超SIMD演算による低消費電力流体シミュレーションコードの開発」という開発課題を平成22年度に設定していたが、平成23年度は、23年2月13日づけで継続申請書を提出し、同年3月11日づけで同課題が採用された。

また、平成23年度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の公募に対して、「計測融合オペレーション実現のための大規模計算機空気冷却風速場の実時間解析」という研究課題を設定し、共同プロジェクト研究会の関係メンバーと協力して平成23年2月9日づけで新規に課題申込書を提出し、同年3月11日づけで採択された。これにより、東北大学サイバーサイエンスセンターのSX-9に加えて、大阪大学サイバーメディアセンターのSX-9等も利用することが可能になった。なお、本研究課題は、格子ガス法3次元流体シミュレーションコードを計算機室の冷却空気の流れに適用するものである。

以上の研究開発を通じて、SX-9プロセッサによる1回のベクトル命令発行で16384個の4次元格子点に係る計算を1CPUで並列的に実行可能な格子ガス法流体シミュレーションコードの実用規模問題への適用性を昨年度に引き続き確認できた。また、格子ガス法による新しい粘性制御法である“多段2体衝突法”の効果を詳細に分析できた。この計算は、SX-9の2ノード(32CPU)で1ジョブ当たり約124時間を要したが、計算コードの性能としては、255.8以上のベクトル長と99.96%以上のベクトル化率を実現できた。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、同センターとNECの担当スタッフの方々に深く感謝いたします。

以上の成果を、実用的な流体解析問題にまで応用していくためには、さらに大規模なベクトル計算機を利用する必要がある。このため、独立行政法人海洋研究開発機構が実施している地球シミュレーター一般公募プロジェクト(先進創出分野)に対して、「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」という研究課題を平成22年度に設定していたが、平成23年度は、23年2月17日づけで継続申請書を提出し、同年3月28日づけで同課題が採択された。今回、流体粘性を小さく制御する新しい方法のひとつとして“多段2体衝突法”をコードに組み込み、128ノード(1024CPU)で約96.8%の並列化効率を達成し、格子ガス法計算モデルが超並列計算に向いていることを昨年度の記録を超えて実証できた。この点、地球シミュレーターセンターのご支援に深く感謝いたします。

(3-2) 波及効果と発展性など

原子力、航空・宇宙、地球環境、医療など、未来社会を構築するのに不可欠な分野に共通したキーテクノロジーのひとつに、“計測融合オペレーション技術”というものがある。これをコンパクトに低消費電力で実現できるシステムを自分たちの技術で試作できることが大切であり、そこに革新的な独自技術を創造して織り込みたい。具体的には、羽生貴弘教授らによる“新概念回路技術”と、早瀬敏幸教授らによる“計測融合シミュレーション技術”の融合が必要であり、これを可能にする超高速並列計算のコンパクトな実現方法として、“動的再構成可能なストリックアレイによる不揮発性データパスの実現”と“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展開”が重要であるとの認識を得た。電気通信研究機構での高度展開を期待する。

[4] 成果資料

- (1)「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」平成23年度地球シミュレーター利用報告会、松岡、渡辺、横川、峯尾、板倉、岩谷、菊池、藤縄、折田、2012年2月7日
- (2)「計測融合オペレーション実現のための大規模計算機空気冷却風速場の実時間解析」、JHPCN第3回シンポジウム講演予稿2011年1月、松岡、横川、峯尾、瀧塚、伊賀崎、渡辺、板倉、菊池、福田、小林、江川、竹村、菊池、東田、青柳、2011年7月15日
- (3)「“多段2体衝突法”による流体粘性の制御効果」、松岡、菊池、東北大学サイバーサイエンスセンター大規模科学計算システム広報SENAC, Vol. 44, No. 3, pp. 21-28, 2011年7月

課題番号 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

[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)

川村 正樹(山口大学大学院 理工学研究科)

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69万6千円

[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3年目である。

本年度は，本プロジェクトの研究メンバーが参加する電子情報通信学会『マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント(EMM)研究専門委員会』にて6回の研究会を開催した。本研究会は，本プロジェクトの研究メンバーが中心となってH23年4月に設立した電子情報通信学会の第1種研究会である。以下では，EMM研究会が単独で開催した研究会について記載する。

<<EMM 研究会 キックオフイベント[1]>>

日時：2011年5月30日，場所：国立情報学研究所 [招待講演(1)]

*サイト情報を利用する情報ハイディング，野田秀樹(九工大)

*法科学における画像解析 ～ 画像処理，画像計測，画像認証 ～，黒木健郎(科警研)

*権利保護のためのマルチメディア処理，馬場口 登(阪大)

*情報埋め込みペンによる手書き価値の向上，内田誠一(九大)

[招待講演(2)]

*映像コンテンツ制作における表現技術の追求，安生健一(OLM デジタル)

*視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性, 鈴木陽一 (東北大)

[パネルディスカッション]

EMM が目指すマルチメディア情報処理の未来, 西村明 (東京情報大)・越前 功 (NII)・西村竜一 (NICT)・新見道治 (九工大)・日置尋久 (京大)・青木直史 (北大)

<<第4回研究会[2]>>

日時: 2011年11月14日-15日, 場所: 東北大学電気通信研究所

[一般講演(1)]

*群れ制御インターフェースにおける群れ分裂制御の試作と評価, 佐藤歩夢・青木輝勝 (東北大)

*顔画像からの光源推定方式に関する一検討, 松崎康平・青木輝勝 (東北大)

*三次元曲線を飛行経路とした飛行機の姿勢推定法に関する一検討, 熊谷一生・青木輝勝 (東北大)

*コピー妨害雑音のハイディング機能をもたせた音楽電子透かし技術“ゲンコード Mark for COPY PROTECT”, 茂出木敏雄 (大日本印刷)

*セキュアな情報秘匿と簡便な復号が可能なスクリーン復号型画像, 生源寺 類 (静岡大)

*多チャンネルスピーカアレイによる加算式スポット秘話技術, 岡本拓磨・岩谷幸雄・鈴木陽一 (東北大) [招待講演]

古いフィルム映像のデジタル修復, 阿部正英 (東北大)

[一般講演(2)]

*情報ミスリーディングによるオーディオトリックアートの可能性, 青木直史 (北大)

*映像中のテロップの表示位置自動推定についての一検討, 飛澤健太・青木輝勝 (東北大)

*付加情報を用いたボイカル音声操作システムにおける伴奏情報の適用方法の検討, 佐々木勇翔 (東北大)・咸 聖俊 (NTT)・伊藤章則 (東北大)

*画像修復ありスペクトル拡散型電子透かしモデルの統計力学的評価, 川村正樹 (山口大)・上江洌達也 (奈良女子大)・岡田真人 (東大/理研)

*蝸牛遅延に基づいた可逆電子音響透かしの検討, 鶴木祐史・宮内良太 (北陸先端大)

*A Visualization Method for Helping Children Assess the Risk of Websites, Tomoko Kajiyama (Aoyama Gakuin Univ.)・Isao Echizen (NII)

*有害アニメ映像自動検出のための有効パラメータの一検討, 松本大輔・青木輝勝 (東北大)

*ユーザ参加型景観サービスに含まれる潜在的プライバシーの保護策, 嶋田 茂 (首都大東京)

*スペクトル距離相関と正中面音像定位の関係性, 西村竜一・加藤宏明・竹本浩典・Parham Mokhtari (NICT)

*鏡面反射特性を手掛かりとした視覚情報による食品知覚の一検討, 富士原正彦・青木輝勝 (東北大)

<<第6回研究会[3]>>

日時: 2012年3月16日, 場所: 大阪大学吹田キャンパス

[一般講演(1)]

*情報ハイディングと画質改善法を用いたJPEGカラー画像の圧縮効率の改善, 中野史也・山脇和美・野田秀樹・新見道治 (九工大)

*副音響信号のハイディング機能をもたせた音楽電子透かし技術 ~ ゲンコード Mark for COPY PROTECT ~, 茂出木敏雄 (大日本印刷)

*音声合成を用いた秘話通信方式, 木幡 稔 (千葉工大)

*デジタル画像取引システムにおけるプライバシー保護と著作権管理のための画像分割の一手法, 仙石祐・日置尋久 (京大)

*結託耐性を有する観察者の権限に応じたプライバシー保護映像の配信手法, 福岡直也・伊藤義道・馬場口 登 (阪大)

*可逆的情報ハイディングを利用したJPEG画像のプライバシー保護, 榎谷冬樹・新見道治・野田秀樹 (九工大)

[招待講演]

感動評価尺度による音楽コンテンツの価値評価, 大出訓史・安藤彰男 (NHK)

[一般講演(2)]

*SIFT 特徴点を用いた幾何学的攻撃に耐性のある静止画像向け電子透かしの研究, 魏 娜・山口和彦 (電通大)

*スペクトル拡散型電子透かしにおける焼きなまし法による復号の性能評価, 寺西直緒・川村正樹 (山口大)

*動画中の物体の移動量に着目したなめらかな時間短縮手法, 宇佐美 寛・濱川 礼 (中京大)

*標準化周波数の変更によるオーディオトリックアートの可能性, 青木直史 (北大)

*色時間変調を用いたアンビエントコード, 井上透・栗山 繁 (豊橋技科大)

*組み込み機器における効果的な情報ハイディング手法の検討, 中尾 慧・大澤昌弘・板屋修平・熊木武志・藤野 毅 (立命館大)

[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。

国立情報学研究所では、Web サイトの危険度を評価する情報可視化手法について検討を行った。子どもがネット社会で生きる力を育むためには、フィルタリングで有害サイトを隔離した環境を構築するのではなく、Web サイト特性を理解しながら、サイトの危険度評価を子どもが自ら行える環境を提供することが重要である。そこで、多次元属性情報に対し柔軟な検索を提供するリング状検索インタフェース「Concentric Ring View」を応用し、既存の安全サイトと疑似的な危険サイトを対象とした Web サイト可視化システムを構築した。本システムは、サイトの色や雰囲気、画像数やリンク数など、サイト特徴を操作しながら、各サイトの危険度を閲覧できる仕組みである。サイトの危険度は、登録されているポータルサイトの種類やカテゴリ名に基づき 4 段階で定義した。小学生によるユーザビリティテストでは、画像数の多いサイトへのアクセスには注意が必要であるなど、Web サイト特性を自発的に学習できることを確認した。本研究の成果を EMM 研究会[4]で発表するとともに、国際会議[5]やジャーナル論文[6]に発表した。

山口大学では、スペクトル拡散型電子透かしに対して、ベイズ最適な方法に基づいた復号アルゴリズムを提案し、解析している。非同期ダイナミクスや確率ダイナミクスを導入した場合の性能を評価した。その結果、非同期かつ確率ダイナミクスを用いた場合が一番性能が高かった。この成果は IHH-MSP[7]で発表した。この手法では温度一定であったが、温度を変化させる焼きなましを導入した場合についても評価した。この成果は EMM 研究会[8]で発表した。また、統計力学の手法を用いて、原画像が未知の場合の性能限界を厳密に理論的に求めた。理論から求まる鞍点方程式と計算機シミュレーションの結果はよく一致した。この成果を EMM 研究会[9]で発表した。

(3-2) 波及効果と発展性など

共同研究メンバーによる、これまでのプロジェクト研究会の開催、および電子情報通信学会 第 2 種研究会『マルチメディア情報ハイディング(MIH)研究会』への参画によって、国内の研究組織作りが飛躍的に進んだ。本年度は、上述の 2 種研究会『マルチメディア情報ハイディング(MIH)研究会』を発展させた電子情報通信学会 第 1 種研究会『マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント(EMM)研究専門委員会』への参画を通じて、共同研究メンバーを中心とした本分野の研究組織作りを推進した。今後は、本共同研究メンバーを中心とした大型研究プロジェクトの提案や国内外の標準化提案を推進していく予定である。

[4] 成果資料

- [1] 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 111, no. 74, 2011
- [2] 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 111, no. 287, 2011
- [3] 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 111, no. 496, 2012
- [4] 梶山朋子, 越前功. 子どもの Web サイト危険度評価を支援する情報可視化手法. 電子情報通信学会技術研究報告, EMM-2011-51, pp. 65-70, 2011
- [5] Tomoko Kajiyama and Isao Echizen. A Faceted Navigation System for Helping Children Understand Features of Risky Websites, Proc. of the International Conference on Advancements in Computing Technology 2011, 6pages, 2011
- [6] Tomoko Kajiyama and Isao Echizen. A Faceted Navigation System for Helping Children Understand Features of Risky Websites, International Journal of Information Processing and Management, 採択済み, 2012
- [7] N. Teranishi and M. Kawamura, "Asynchronous stochastic decoder for spread spectrum digital watermarking," Proc. of the Seventh International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2011), Dalian, China, 2011
- [8] 寺西直緒, 川村正樹, "スペクトル拡散型電子透かしにおける焼きなまし法による復号の性能評価," 電子情報通信学会 第 6 回 マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 大阪, Vol. 111, No. 496, pp. 49-54, 2012
- [9] 川村正樹, 上江洩達也, 岡田真人, "画像修復ありスペクトル拡散型電子透かしモデルの統計力学的評価," 電子情報通信学会 第 4 回マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会, 仙台, Vol. 111, No. 287, pp. 53-58, 2011

採択番号 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

[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 (ルネサスエレクトロニクス (株))

望月 明 (ルネサスエレクトロニクス (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・ウォータールー大)

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 22 万 9 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。

最終年度となる本プロジェクトでは、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。なお、平成 23 年度は、平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災のため、年度の途中までは関係者を招へいすること自体が困難であり、十分な研究討論の機会を設けることができなかった。しかし、年度後半には関係者を招へいできるレベルまで復旧することができた。以下、その主な取り組みについて提示する：

- 平成 23 年 12 月 21 日 高橋知宏氏 (ソニー・主任研究員) 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研究の一環として、不揮発性ロジックとそのイメージセンサとの融合に関する研究討論を行った。イメージャーでは、その開口率向上のため、イメージセンサ周辺の制御回路等をコンパクト化すると共に、低消費電力化も同時に必須な技術スペックである。これらの問題点を解決する一手法として、不揮発性ロジック回路技術があり、今後も継続して可能性を検討することとした。
- 平成 24 年 1 月 13 日 中村健太郎氏 (東京工業大学・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、センサ材料とその応用に関する講演、並びに、不揮発性ロジック利用の可能性に関して研究討論を行った。センサ材料・素子は、センシング機能を有する回路を、コンパクトかつ低消費電力性を有しながら実現する必要あり。その観点から、不揮発性ロジックの利用価値が高いと考えられ

るため、今後も研究討論を続けることを確認した。

- 平成 23 年 1 月 30 日～2 月 24 日 Wai-Tung Ng 氏 (カナダ・トロント大学・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、不揮発性素子を用いた回路と、高効率 DC-DC 変換を用いたパワーマネージメント技術の活用方法に関する研究打合せを行った。氏は、短期招へい研究者プログラム (JSPS) 経費で約一ヵ月間本学本所に滞在してもらっており、この滞在期間中に、「不揮発性ロジックを効率よくパワーゲーティングする手法」に関して詳細に打合せすることができ、極めて有意義であった。氏とは、この打合せで得られた知見を元に、継続審議すると共に、共著論文執筆することを約束するに至った。
- 平成 24 年 2 月 7 日 Wai-Tung Ng (カナダ・トロント大学・教授)、亀山充隆氏 (本学・情報科学研究科・研究科長・教授)、張山昌論氏 (本学情報科学研究科・准教授)、阿部正英氏 (本学個学研究科・准教授) を交え、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、不揮発性ロジックとそのパワーマネージメント技術に関連する研究討論を行った。
- 平成 24 年 2 月 28 日～29 日、3 月 9 日～10 日、3 月 26 日～27 日 川上進氏 (本学本所・客員教授)、亀山充隆氏 (本学情報科学研究科・研究科長・教授)、藤岡与周氏 (八戸工業大学・准教授)、矢野雅孝 (本学・名誉教授) を交え、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研究の一環として、脳の形態視モデリングとそのハードウェアシミュレータ実現に関する研究討論を行った。形態視を模擬するハードウェアシミュレータ実現においては、膨大なモジュール間配線が必須となるため、それを如何に効率的に実現するかが鍵となる。打合せでは、データ構造として「パケット通信方式」などを活用する方法を議論し、今後も定量的評価を交えながら、継続的に議論することとした。
- 平成 24 年 2 月 27 日～3 月 1 日 Vincent C. Gaudet 氏 (カナダ・ウォータールー大学・准教授) および鬼沢直哉氏 (カナダ・ウォータールー大学・ポスドク研究員) 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。特に、2/27 午後は、本学工学研究科安達文幸教授並びに同研究室所属の博士課程学生 2 名、および当研究室・松本敦助教、ポスドク研究員 2 名 (松永翔雲氏、鈴木大輔氏) を交え、低消費電力 VLSI 技術に関する国際ワークショップを開催し、回路・システム技術から情報通信応用までを見据えた広い視点から、本共プロ研究の将来展望について議論した。

- 平成 24 年 2 月 14 日～15 日、3 月 23 日 松岡浩氏 (理化学研究所)、並びに関連研究者である高村守幸氏 (富士通研究所)、西川岳氏 (日本電気)、福田正大氏 (計算科学振興財団)、福井義成氏 (海洋研究開発機構) を交え、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 (特に、高性能計算機実現の可能性) と今後の展望に関して研究打合せを行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

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連する本年度の具体的研究成果として、主な事項 2 点について以下に報告する：

(1) MTJ 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察してきた、MTJ (Magnetic Tunnel Junction) 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さらに進展させ、回路 IP となり得る規模の高機能な集積回路ブロックの設計に成功している。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する VLSI システムが実現される。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。

MTJ 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記憶・演算一体化機能を利用し、FPGA(Field Programmable Gate Array)の論理演算部(LUT)の高性能化・高機能化・高信頼化(素子ばらつきに対するロバスト性)、並びにTCAM(Ternary CAM)の完全並列化・超低消費電力化・コンパクト化を、実チップ動作で原理動作検証した。また、MTJ素子を冗長に挿入して「回路のスイッチング特性を可変に」調整できる回路構成を新たに考案。これにより、MOSトランジスタなどのデバイス特性(例えば、しきい電圧など)がばらついていても、回路動作は安定化できることとなり、集積回路のマージン設計を緩和し、集積回路性能をより向上できる回路構成&回路設計手法に関する研究も始めた。これらの不揮発性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

VLSIチップ内の配線ボトルネックを解消するアーキテクチャとして重要なネットワークオンチップ(Network-on-Chip; NoC)は、今後の高性能LSI開発において重要な役割を果たすアーキテクチャとして、その構成論が着目されている。本研究代表者らは、非同期データ転送方式を組み込んだNoCの構成方法について取り組んでいる。非同期制御では、データが届いてから転送を始めるため、無駄な電力消費を必要とせず、高速で高効率のデータ転送が実現できる可能性を有する。本研究代表者らの研究グループでは、電流モード多値信号を用いて、非同期データ転送を効率的に実現する方法を世界に先駆けて提案してきた。本年度は、電流モード多値データ転送方式をさらに改良して、オープン故障等の故障検出を極めて少ないハードウェアで実現できる回路構成方法、並びにその誤り訂正回路の構成方法等について検討し、これらの結果を、学術論文、査読付き国際会議論文にまとめた。さらに、細粒度パワーゲーティングと非同期制御の整合性の良さに着目し、制御回路オーバーヘッドを極力低減しつつ、低消費電力化を加速する回路構成についても検討した。これらの研究成果は、国際会議(iscas2011, 2011年5月開催)で発表すると共に、非同期関連では世界で最も権威のある国際会議(async2012, 2012年5月開催予定)に採択、かつ、上記内容について現在論文を執筆中である。

(3-2) 波及効果と発展性など

情報通信用の次世代高性能VLSIチップ実現技術に関する研究討論会を開催し、これに関する先端的技術の集積を行うことで、電気通信研究所が日本の情報通信関連技術の発信地となり、共同研究プロジェクトの趣旨に合致している。また、研究討論会にて議論するシステムインテグレーション技術は、次世代システムLSI技術に直結するものであり、我が国半導体産業の活性化に大きく寄与するものである。特にTMR素子に基づく不揮発性ロジック技術は、現在電気通信研究所で推進中のプロジェクトであるITプログラムにおいて中核を占める研究内容であり、極めて革新性の高い研究である。

[4] 成果資料

<著書>

- [1] 羽生, 池田, 杉林, 笠井, 遠藤, 大野, 「半導体ストレージ2012」第3章:ストレージ・クラス・メモリ(新型不揮発メモリ)「不揮発性ロジック:スピントロニクス素子を用いた待機電力ゼロのLSI技術を提案」, 日経BP社出版, pp.196~205, 2011年7月29日。
- [2] N. Onizawa, F. Funazaki, A. Matsumoto, and T. Hanyu, "VLSI 2010 Annual Symposium: Selected Papers (Lecture Notes in Electrical Engineering); Chapter 2: Accurate Asynchronous Network-on-Chip Simulation Based on a Delay-Aware Model," Springer-Verlag, September 2011. (ISBN: 9400714874)

<解説論文>

- [1] 羽生, "MTJ素子に基づく不揮発性ロジックインメモリ VLSI アーキテクチャの展望," まぐね/Magnetics Jpn. Vol.6, No.1, pp.23-28, 2011.

<学術論文>

- [1] S. Matsunaga, M. Natsui, S. Ikeda, K. Miura, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design and Fabrication of a One-Transistor/ One-Resistor Nonvolatile Binary Content-Addressable Memory Using Perpendicular Magnetic Tunnel Junction Devices with a Fine-Grained Power-Gating Scheme," Jpn. J. Appl. Phys. (JJAP), Vol.50, 063004-1 ~ 063004-7, June 2011.
- [2] N. Onizawa, V. C. Gaudet, and T. Hanyu, "Low-Energy Asynchronous Interleaver for Clockless Fully Parallel LDPC Decoding," IEEE Trans. on Circuits and Systems Part I,

- Vol.58, No.8, pp.1933-1943, August 2011.
- [3] S. Hanzawa and T. Hanyu, "Design of an 8-nsec 72-bit-Parallel-Search Content-Addressable Memory Using a Phase-Change Device," IEICE Transactions on Electronics, Vol. E94-C, No.8, pp.1302-1310, August 2011.
- [4] D. Suzuki, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Six-input lookup table circuit with 62% fewer transistors using nonvolatile logic-in-memory architecture with series/parallel-connected magnetic tunnel junctions", Journal of Applied Physics, Vol.111, Issue 7, pp.07E318-1~07E318-3, Feb. 24, 2012.
- [5] T. Ohsawa, F. Iga., S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno, and T. Endoh, "High-Density and Low-Power Nonvolatile Static Random Access Memory Using Spin-Transfer-Torque Magnetic Tunnel Junction," Jpn. J. Appl. Phys. (JJAP), Vol.51, No.2, Issue 2, pp.02BD01-1~02BD01-6, Feb. 2012.
- [6] F. Iga, Y. Yoshida, S. Ikeda, T. Hanyu, H. Ohno, and T. Endoh, "Time-Resolved Switching Characteristic in Magnetic Tunnel Junction with Spin Transfer Torque Write Scheme, " Jpn. J. Appl. Phys. (JJAP), Vol.51, No.2, Issue 2, pp.02BM02-1~02BM02-5, Feb. 2012.
- [7] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a Nine-Transistor/Two-Magnetic-Tunnel-Junction-Cell-Based Low-Energy Nonvolatile Ternary Content-Addressable Memory," Jpn. J. Appl. Phys. (JJAP), Vol.51, No.2, Issue 2, pp.02BM06-1~02BM06-5, Feb. 2012.
- [8] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a 270ps-Access 7T-2MTJ Cell Circuit for a High-Speed-Search Nonvolatile Ternary Content-Addressable Memory," Journal of Applied Physics, vol.111, issue 7, pp.07E336-1~07E336-3, March 2012.
- [9] D. Suzuki, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a Compact Nonvolatile 4-Input Logic Element Using a Magnetic-Tunnel-Junction and Metal-Oxide-Semiconductor Hybrid Structure," Jpn. J. Appl. Phys. (JJAP), 2012 (in press).
- [10] N. Onizawa, A. Matsumoto, and T. Hanyu, "Long-Range Asynchronous On-Chip Link Based on Multiple-Valued Single-Track Signaling," IEICE Transactions on Fundamentals, 2012 (in press).
- <査読付き国際会議論文>
- [1] T. Hanyu, "Instant Power-On Nonvolatile FPGA Based on MOS/MTJ-Hybrid Circuitry," GLSVLSI, May 2011 (invited).
- [2] T. Kawano, N. Onizawa, A. Matsumoto, and T. Hanyu, "Adjacent-State Monitoring Based Fine-Grained Power-Gating Scheme for a Low-Power Asynchronous Pipelined System," International Symposium on Circuits and Systems (iscas2011), pp.2067-2070, May 2011.
- [3] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui and T. Hanyu, "Design of a Low-Energy Nonvolatile Fully-Parallel Ternary CAM Using a Two-Level Segmented Match-Line Scheme," 41st IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp. 99-104, May 2011.
- [4] A. Matsumoto, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Complementary Multiple-Valued Encoding Scheme for Interconnect-Fault-Resilient Bidirectional Asynchronous Links," 41st IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp. 236-241, May 2011.
- [5] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, S. Fukami, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Fully Parallel 6T-2MTJ Nonvolatile TCAM with Single-Transistor-Based Self Match-Line Discharge Control," 2011 Symposium on VLSI Circuits, Digest of Technical Papers, 28-2, pp.298-299, June 2011.
- [6] R. Nebashi, N. Sakimura, Y. Tsuji, S. Fukami, H. Honjo, S. Saito, S. Miura, N. Ishiwata, K. Kinoshita, T. Hanyu, T. Endoh, N. Kasai, H. Ohno, and T. Sugibayashi, "A Content Addressable Memory Using Magnetic Domain Wall Motion Cells," 2011 Symposium on VLSI

- Circuits, Digest of Technical Papers, 28-3, pp.300-301, June 2011.
- [7] D. Suzuki, M. Natsui, H. Ohno and T. Hanyu, "A Compact Nonvolatile Logic Element Using an MTJ/MOS-Hybrid Structure," International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), N-8-2, pp. 1464-1465, Nagoya, September 2011.
- [8] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "High-Speed-Search Nonvolatile TCAM Using MTJ Devices," International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), P-12-12, pp. 454-455, Nagoya, September 2011.
- [9] S. Matsunaga, A. Katsumata, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Design of a 270ps-Access 7T-2MTJ-Cell Nonvolatile Ternary Content-Addressable Memory," 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), GD-04, p.479, Nov. 2011.
- [10] D. Suzuki, M. Natsui, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "50%-Transistor-Less Standby-Power-Free 6-input LUT Circuit Using Redundant MTJ-Based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture," 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), GD-07, p.480, Nov. 2011.
- [11] M. Natsui, K. Y. Kun, and T. Hanyu, "MTJ-Based Optimal V_{th} -Tuning Technique for a Process-Variation-Aware VLSI processor," 56th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM2011), GD-08, pp.480-481, Nov. 2011.
- [12] T. Hanyu, "MTJ-based Nonvolatile Logic-in-Memory Architecture and Its Application," The 11th Non-Volatile Memory Technology Symposium (NVMTS 2011), pp.81-82, November 2011 (invited).
- [13] T. Endoh, S. Togashi, F. Iga, Y. Yoshida, T. Ohsawa 1, H. Koike, S. Fukami, S. Ikeda, N. Kasai, N. Sakimura, T. Hanyu, and H. Ohno, "A 600MHz MTJ-Based Nonvolatile Latch Making Use of Incubation Time in MTJ Switching," International Electron Devices Meeting (iedm 2011), Technical Digest, pp.4.3.1-4.3.2, Dec. 2011.
- [14] S. Matsunaga, M. Natsui, S. Ikeda, K. Miura, T. Endoh, H. Ohno, and T. Hanyu, "Implementation of a Perpendicular MTJ-Based Read-Disturb-Tolerant 2T-2R Nonvolatile TCAM Based on a Reversed Current Reading Scheme," The 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2012), pp.475-476, January 2012.

採択番号 H22/B02

微粒子プラズマの応用とその基礎研究

[1] 組織

代表者：三重野 哲

(静岡大学理学部)

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)

渡辺 征夫 (九州大学)

石原 修 (横浜国立大学工学研究院)

上村 鉄雄 (名城大学理工学研究科)

白谷 正治 (九州大学システム情報科学研究院)

林 康明 (京都工芸繊維大学工芸科学研究科)

高橋 和生 (京都工芸繊維大学工芸科学研究科)

東辻 浩夫 (岡山大学自然科学研究科)

足立 聡 (宇宙航空研究開発機構)

山野内 敬 (宮城高専)

古閑 一憲 (九州大学システム情報科学研究院)

増崎 貴 (核融合科学研究所)

柴田 裕実 (京都大学工学研究科)

布村 正太 (産総研太陽光発電研究センター)

内田儀一郎 (九州大学システム情報科学研究院)

研究費：物件費 4 万 2 千円，旅費 39 万 9 千円

[2] 研究経過

微粒子プラズマの研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。プラズマ化学反応による超微細加工技術および薄膜作製技術は、現在の先端産業を支える重要な技術となっている。このプラズマプロセッシング技術の進展は、今後もナノ情報デバイス創成の基礎技術として必要である。特に、ナノテクノロジーと関連して、超薄膜、量子ドット、極超微細加工、ボトムアップ型ナノデバイス、ナノ粒子製造など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、電子および正負イオンからなるが、作製の条件によっては、大きな質量を持つクラスター、フラーレン、ナノチューブ、ナノ結晶、あるいはミクロンサイズの微粒子が存在する。プラズマ中では、これらのナノ粒

子や微粒子の表面に大量の電子が付着し、あたかも巨大な負イオンのように振舞う。こうしたプラズマは、微粒子プラズマと呼ばれている。

本プロジェクト研究会では、ナノメータからミクロンサイズまでの微粒子を含む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する。そして、その基礎的成果に基づき、炭素系ナノ機能材料、シリコン系ドット型半導体薄膜等のナノ微細構造制御、高機能化や、次世代極超微細情報デバイスの材料プロセッシングに必要な微粒子プラズマの精密制御法を目指した研究を行う。さらには相転移・臨界現象など微細材料の基礎物性に関する諸問題を解明する場とすることも目的としている。

前年度は、超臨界プラズマ反応の有効性、宇宙クーロン結晶におけるボイドとプラズマ現象、ナノチューブ合成と重力の関係、微粒子制御成膜プロセス、金属入りナノチューブ合成などの成果があった。そこで、本年度は前年度の成果をふまえながら、量子ドット太陽電池作製、ナノ水分子を用いた空気清浄、ボイドの無いクーロン結晶、極低温クーロン結晶に関する研究討論を展開した。

以下、活動状況の概要を記す。

研究会は、平成 23 年 9 月 3 日 (土) ~4 日 (日) の 1 泊 2 日で、秋保・ホテルクレセントの会議室で行われた。

初日は、7 件の講演が行われた。九州大学、内田博士による「クラスタープラズマ実験の進展」、パナソニック電工、山内研究員による「静電霧化による空気清浄」、東京工業大学、野崎博士による「ナノチューブ合成。シリコン量子ドットを用いた太陽電池作製」、京都工芸繊維大学、林教授による「グロー放電プラズマによる電位閉じ込めを利用したカーボンナノチューブの成長」であった。また、夕食後にナイトセッションとして、東北大学、佐藤名誉教授より「東北の地震と近況について」、九州大学、内田博士より「応用物理学会での論文賞受賞」の発表、京都工芸繊維大学の林教授より、「ドイツでのコンプレックスプラズマ報告」発表が有り、それぞれのテーマに対して自由な意見交換がなされた。

2日目は、朝食後、東北大学、佐藤名誉教授より「ボイドの無いクーロン結晶の実現」、横浜国大、石原教授による「極低温でのクーロンクラスター現象」、静岡大学、三重野教授による「タイタン大気におけるクラスターイオン」、宇都宮大学、齋藤博士による「微粒子プラズマ流におけるBow Shock形成」、岡山大学東辻名誉教授による「宇宙微粒子実験分析と計画」の講演がなされた。その後、全体的内容について意見交換を行った。また、これからの活動計画、重点項目、宇宙ステーション研究について討論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、プラズマプロセッシングで標準的である13.56 MHz高周波放電に倍波の27.12 MHzの高周波を重畳することにより、RFシース自己バイアスを制御し、プラズマ中微粒子をダイナミックに輸送可能であることが明らかになった。

第2に、空気中のダスト、細菌、有害分子の除去には、ラジカルを含んだ水微粒子拡散が重要であり、いかに小型装置で室内をカバーできる水微粒子を発生させるかが重要であるかが分かった。山内らは、特殊な放電技術と噴霧技術により、ナノサイズのラジカルを含んだ水クラスター拡散に成功し、室内の除菌、快適化を実現した。

第3に、従来のシリコン系太陽電池の性能を超える新しい太陽電池として、量子ドット型太陽電池が研究されているが、微粒子プラズマ法を用いて、高性能量子ドット太陽電池を合成できる方向であることが理解できた。しかしながら、世界的に高い競争が行われていることも認識した。

第4に、プラズマの3次元電位構造を利用すると、触媒微粒子を長時間プラズマ内に閉じ込めることができ、触媒が炭素原子を吸収してナノチューブを成長させる、長時間反応を実現できることが分かった。

第5に、3次元クーロン結晶を作ろうとすると、一つの大型ボイドが自発的に発生する現象に対し、球状プラズマ容器の中にて、立体的RF電極を配置することにより、ボイドの無い3次元クーロン結晶を作成することに成功したことが認識された。その抑制機構やより大型の3次元クーロン結晶作成についての討論が積極的に行われた。

第6に、液体ヘリウム温度におけるクーロン結晶の実現を、特殊低温プラズマ実験装置を用いて成功したことを理解した。液体ヘリウム界面の上方に2次元の高結合度のクーロン結晶が実現された。その低温での性質が試験されている。

第7に、重力に対し傾いた平板電極を運動する微粒子プラズマが、障害物のまわりにバウショックを形成する実験成果を理解した。微粒子と電場の相互作用が定常衝撃界面を作っており、磁気圏でのショックと比較することができる。この形状とプラズマ条件の関係の解明が期待されている。

第8に、宇宙無重量状態で作られたクーロン結晶に対し、超臨界状態を探索する研究結果が紹介された。まだ超臨界状態のデータは得られていないが、多粒子相互作用理論から導かれる微粒子集団運動が実験においても起きることが確認され、超臨界状態の実現への方向性が示された。

(3-2) 波及効果と発展性など

前節で述べたように、本プロジェクトと関連して多くの学術的成果が出つつある。一部は、プラズマ・境界部分における、「新領域研究」に発展して、全国的なグループ研究として活動している。一方、宇宙ステーション利用と関係して、ドイツ、ロシアとの共同研究は、引き続き行われており、次期計画での展開について、準備が進んでいる。

11月に金沢で行われたプラズマ2011会議においては、シンポジウム「微粒子プラズマ科学の新展開」が企画された。

<プログラム>

1. 趣旨説明、林康明（京工繊大） 5分
2. 核融合プラズマ装置で発生したダストに対する表面分析評価およびその場計測法について、芦川直子（核融合研） 15分
3. カーボンナノチューブ微粒子のプラズマ合成過程、三重野哲（静大）、古閑一憲、白谷正治（九大） 15分
4. 宇宙速度衝突による珪酸塩のプラズマ化、黒澤耕介（JAXA） 15分
5. 微粒子プラズマの計測と国際宇宙ステーション実験、高橋和生、林康明（京工繊大） 15分
6. 総合討論

一方、若手ポスドク、大学院生への教育を含んだ交流の機会も持たれている。今後、微粒子プラズマを中心とした学際的研究交流が期待され、グループ研究や国際会議でのセッション立ち上げなどが検討されている。

[4] 成果資料

- (1) "Production of Various Carbon Nanoclusters by Impact Reaction Using Light-Gas Gun as Simulation of Asteroid Collisions in Space", T. Mieno, S. Hasegawa, K. Mitsuishi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 125102.
- (2) "Effect of Gravity and Magnetic Field for Production of Single-Walled carbon Nanotubes by Arc-Discharge Method", T. Mieno & T. GuoDong, *Carbon Nanotube/Book 3*, ed. Viktorija Zgela, INTECH, Vienna, 2011, p. 61-76. (著書)
- (3) 「プラズマを用いた微粒子配列装置及び微粒子配列方法」, 高橋和生, 美山遼、特願 2011-174128, 出願日 2011/8/9.
- (4) "Measurement of electron density in complex plasmas of the PK-3 plus apparatus on the International Space Station" K. Takahashi, Y. Hayashi, S. Adachi, *J. Appl. Phys.* **110**, 1 (2011) 13307-1 - 9.
- (5) "Nano-graphite Formation Enhanced by Fluorine in Gas Phase of Carbon Sputtering Plasmas, T. Ide, K. Nishio, *K. Takahashi, *IEEE Xplore*, (2011) 158 – 163.
- (6) "Synthesis of Carbon-Nanotube Fine-Particles in a Glow-Discharge Plasma and Evaluation of Hydrogen Storage Properties", Y. Hayashi, M. Imano, Y. Kinoshita, Y. Kimura and Y. Masaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 08JF09-1-4.
- (7) "Bow shock formation in a complex plasma", Y. Saitou, Y. Nakamura, T. Kamimura, and O. Ishihara, *Physical Review Letters*, February, 2012. (in press)
- (8) "Coulomb Double Helical Structure", T. Kamimura & O. Ishihara, *Phys. Rev. E* **85**, 016406 (2012).
- (9) 小特集 「「プラズマと微粒子」研究の諸分野における進展 (はじめに)」 石原修、プラズマ核融合学会誌、O. Ishihara, Introduction, *Advances in Various Fields of "Plasma and Dust Particles"*, *J. Plasma and Fusion Research* Vol. 86, 79-81 (2011). (特集記事)
- (10) "Effect of nitridation of Si nano-particles on the performance of quantum-dot sensitized solar cells" G. Uchida, K. Yamamoto, M. Sato, Y. Kawashima, K. Nakahara, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Shiratani, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **51** (2012) pp. 01AD01-1 – 01AD01-5.
- (11) "Deposition of Cluster-free B-doped a-Si:H films using $\text{SiH}_4 + \text{B}_{10}\text{H}_{14}$ multihollow discharge plasma CVD", K. Koga, K. Nakahara, Y. Kim, T. Matsunaga, D. Yamashita, H. Matsuzaki, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, M. Shiratani, *Jpn. J. App. Phys.*, **51** (2012) pp. 01AD03-1 – 01AD02-4.
- (12) "Combinatorial deposition of Microcrystalline Silicon Films Using Multihollow Discharge Plasma Chemical Vapor Deposition", K. Koga, T. Matsunaga, Y. Kim, K. Nakahara, D. Yamashita, H. Matsuzaki, K. Kamataki, G. Uchida, N. Itagaki, M. Shiratani, *Jpn. J. App. Phys.*, **51** (2012) pp. 01AD02-1 – 01AD02-4.
- (13) "Hybrid sensitized solar cells using Si nanoparticles and ruthenium dye", G. Uchida, Y. Kawashima, K. Yamamoto, M. Sato, K. Nakahara, T. Matsunaga, D. Yamashita, H. Matsuzaki, K. Kamataki, N. Itagaki, K. Koga, M. Kondo, M. Shirani, *Physica Status Solidi C* **8**, 10 (2011) pp. 3021-3024.
- (14) "Surface nitridation of silicon nano-particles using double multi-hollow discharge plasma CVD", G. Uchida, K. Yamamoto, Y. Kawashima, M. Sato, K. Nakahara, N. Itagaki, K. Koga, M. Shirani, *Physica Status Solidi C* **8**, 10 (2011) pp. 3017-3020.
- (15) "Deposition of cluster-free P-doped a-Si:H films using $\text{SiH}_4 + \text{PH}_3$ multi-hollow discharge plasma CVD", K. Koga, K. Nakahara, Y. Kim, Y. Kawashima, T. Matsunaga, M. Sato, D. Yamashita, H. Matsuzaki, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, M. Shiratani, *Physica Status Solidi C* **8**, 10 (2011) pp. 3013-3016.
- (16) "Impacts of amplitude modulation of RF discharge voltage on the growth of nanoparticles in reactive plasmas", K. Kamataki, H. Miyata, K. Koga, G. Uchida, N. Itagaki, M. Shiratani, *Appl. Phys. Express* **4** (2011) pp. 105001-1 - 105001-3.
- (17) "Comparison between silicon thin films with and without incorporating crystalline silicon nanoparticles into the film" K. Koga, T. Matsunaga, W. M. Nakamura, K. Nakahara, Y. Kawashima, G. Uchida, K. Kamataki, N. Itagaki, M. Shiratani, *Thin Solid Films* **519** (2011) pp. 6896–6898.
- (18) "Nano-factories in plasma: present status and outlook", M. Shiratani, K. Koga, S. Iwashita, G. Uchida, N. Itagaki, K. Kamataki, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **44** (2011) pp. 174038-1 – 174038-8.
- (19) "Advanced research and development for plasma processing of polymers with combinatorial plasma-process analyzer", Y. Setsuhara, K. Cho, M. Shiratani, M. Sekine, M. Hori, *Thin Solid Films*, **518** (2011) pp. 6320-6324.
- (20) "Highly Conducting Very Thin ZnO:Al Films with ZnO Buffer Layer Fabricated by Solid Phase Crystallization from Amorphous Phase", N. Itagaki, K. Kuwahara, K. Nakahara, D. Yamashita, G. Uchida, K. Koga, M. Shiratani, *Appl. Phys. Express* (2011) 011101.
- (21) "Neutral Gas Compression in the Helical Divertor with a Baffle Structure in the LHD Heliotron", S. Masuzaki, M. Kobayashi, M. Shoji, M. Tokitani, T. Morisaki, R. Sakamoto, M. Osakabe, T. Murase, T. Kobuchi, H. Yonezu, Y. Takeiri, H. Yamada, A. Komori and LHD experiment group, *Plasma and Fusion Research*, Vol. 6, (2011), 1202007.

採択番号 H22/B04

生体情報インタフェース創生のためのフォトニクス研究

[1] 組織

代表者：坂本 一寛

(東北大学電気通信研究所)

対応者：坂本 一寛

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

石塚 徹 (東北大学大学院生命科学研究科)

小山内 実 (東北大学大学院医学研究科)

西條 芳文 (東北大学大学院医工学研究科)

佐藤 学 (山形大学大学院理工学研究科)

四方 潤一 (日本大学工学部)

芳賀 洋一 (東北大学大学院医工学研究科)

古澤 義人 (東北大学付属病院)

松浦 祐司 (東北大学大学院医工学研究科)

松尾 行雄 (東北学院大学教養学部)

虫明 元 (東北大学大学院医学研究科)

八尾 寛 (東北大学大学院生命科学研究科)

渡部 裕輝 (山形大学大学院理工学研究科)

研究費：物件費 3 万 6 千円，旅費 5 万円

[2] 研究経過

高齢化社会が加速する現在、脳卒中等脳機能疾患の診断・治療だけでなく、患者の QOL (quality of life) を向上させる新たな科学技術として、脳活動をもとに機械やコンピュータを操作するブレイン・マシン・インタフェースの研究開発が強く望まれており、そこでは脳の活動を組織レベルから細胞レベルで高速・多角的に捉える安全な計測法が不可欠である。本プロジェクトでは、フォトニクス、超音波工学、MEMS 技術等を基盤として、非接触・非破壊・ラベル・フリーに生体情報を解読・制御する革新的インタフェースの実現を目的として研究を実施した。

本プロジェクトの二年目である本年度は、各メンバーの研究内容について相互理解を一層深めるとともに、本プロジェクトの目的を達成するための方針設定を行うため、平成 23 年 12 月 13 日に電気通信研究所において研究会を開催し、5 件の発表と総合討論を行った。そこでは、混合神経伝達物質溶液のスペクトル分離のための信号処理、オプトジェネティ

クスを用いた筋肉の制御、非平面高機能プローブの可能性、超音波顕微鏡と光技術の融合、光コヒーレンストモグラフィー (OCT) による脳計測等の研究紹介が行われた。また、上記の研究紹介とともに、それぞれの立場から活発な討論が行われ、今後の共同研究の方向性や焦点となる具体的研究課題について検討がなされた。以下、研究会のプログラムを示す。

平成 23 年 12 月 10 日

場所：東北大学電気通信研究所 2 号館 W218 号室

1. ラベル・フリー脳活動計測を目指して：坂本一寛 (東北大学)
2. オプトジェネティクスを用いた培養骨格筋の光操作：浅野豪文、石塚徹、八尾寛 (東北大学)
3. 非平面フォトファブ리케이션を利用した脳機能計測デバイスの開発：芳賀 洋一 (東北大学)
4. レーザー光と高周波数超音波による生体イメージング：西條芳文 (東北大学)
5. OCT を用いた脳組織活性モニターに関する基礎検討：佐藤学 (山形大学)
6. 総合討論

[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 非線形光学の発展により、高い S/N 比のラマン分光スペクトルを得ることが可能となりつつある。そのような技術を生体信号の計測に応用する場合、スペクトルの背景ノイズやベースラインの適切な補正が必要である。本研究では、ベースラインの緩やかは変動成分および媒質のスペクトルを信号から除去する手法を考案し、高い S/N 比のスペクトルを得ることに成功した。
- ② 非侵襲な脳・神経系の計測法を開拓するため、テラヘルツ波を用いた顕微鏡システムの研究開発を進めた。回折限界を超えるテラヘルツ波イメージングのため、表面プラズモン共鳴を用いたテラヘルツ・ビーム制御デバイスについて、

微細構造の深さ・ビーム入射角について最適化設計を行うとともに、デバイスに周波数可変特性を与える構造を明らかにした。さらに常温動作のテラヘルツ波検出器を導入した小型テラヘルツイメージングシステムの構築を進めた。

- ③ ニューロンあるいはグリア細胞では、代謝型受容体などの活性化に伴い、細胞内カルシウムストアからのカルシウム放出が起こる。我々は大脳基底核線条体で、非常にゆっくりとした時間経過で細胞内カルシウムが変動する「自発カルシウムリズム」を発見した。このカルシウム濃度変化は最大 300 秒前後持続し、振幅は活動電位依存的なカルシウム濃度上昇よりも大きなものが多く存在した。薬理的な実験により、この自発カルシウムリズムは細胞内カルシウムストアからのカルシウム放出に起因していた。
- ④ 広帯域信号は狭帯域信号に比べて情報量が増えるが、その処理については改良がまだ必要である。これまでに提案してきた広帯域超音波を用いた空間情報変換方法について、本年度は実際に音響的な測定を行い、その有効性を評価した。この広帯域信号の解析方法はフォトニクス研究においても応用可能な部分があると考えられる。
- ⑤ がん組織が成長する際には、細胞が栄養や酸素を得るために自ら血管を引き込もうとする血管新生が生じる。また、がんの転移の様式である血管性転移にもがん周囲の血管は重要な役割を果たしている。さらに、血管新生は動脈硬化の進展及び破綻にも大きく寄与しており、特に動脈の外膜側に存在する Vasa vasorum からプラークへの血流が重要であることが報告されている。従来、超音波を用いた血管新生の診断法としては、超音波造影剤を利用した方法が用いられてきたが、解像度に限界がある。そこで我々は、ナノ秒パルスのレーザー光の照射により超音波が発生する光音響現象を応用することで、血管新生を特異的に検出する光音響イメージング法の開発に着手した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会の目標は、これまで脳・神経系等の生体情報計測において決定的手法が確立されていない中、初めて非侵襲・非破壊かつ高速・高精度に計測・制御の双方を実現する理想的インタフェースを実現することにある。このため、生命科学・医学・電子情報通信を融合する新しい科学技術分野・産業の創生において、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て学内外研究者間の交流が活発化され、研究者ネットワーク拡大された結果、医学・生命科学・工学・医工学の多岐にわたる分野で中核をなす研究者らによる研究会開催に至った。そこでは、多くの若手研究者の発表、一流研究者との活発な意見交換・討論を通じて、若手研究者の育成にも大いに貢献している。また、本プロジェクトを通じて、メンバーの一部は東北大学包括的脳科学研究・教育推進センターにも参画するに至っており、主催の国際シンポジウムをはじめ、今後の脳・神経科学の発展にも大きく貢献することが期待される。

本研究で得られた知見は、脳・神経活動のラベルフリー光計測の実現に向けた共同研究の開始にも発展している。今後、新たな生体情報インタフェースの創生に関する萌芽的研究への展開が期待され、さらに継続的に研究を深めていく予定である。

[4] 成果資料

1. Katori Y, Sakamoto K, Saito N, Tanji J, Mushiake H, Aihara K. 2011. Representational Switching by Dynamical Reorganization of Attractor Structure in a Network Model of the Prefrontal Cortex. *PLoS Comput. Biol.* 7, e1002266.
2. Kawaguchi N, Sakamoto K, Furusawa Y, Saito N, Tanji J, Mushiake H. 2011. Dynamic information processing in the frontal association areas of monkeys during hypothesis testing behavior. In “Advances in Cognitive Neurodynamics (III)” Springer. (in press).
3. Sakamoto K, Yamamoto K, Saito N, Aihara K, Tanji J, Mushiake H. 2011. Neuronal synchrony during the planning and execution period in the prefrontal cortex. In “Advances in Cognitive Neurodynamics (III)” Springer. (in press).
4. Mushiake H, Shima K, Sakamoto K, Katori Y, Aihara K. 2011. Dynamical neuronal representation in the prefrontal cortex. In “Advances in Cognitive Neurodynamics (III)” Springer. (in press).
5. Saijo N, Shikata J, Ishizuka T, Uezawa Y, Suemitsu M, Mushiake H, Sakamoto K. 2011. A background correction method for Raman

- spectra of mixed neurotransmitters: Toward a new label-free imaging technology of brain activity. *Neurosci. Res.* 71, Sppl e205
6. 坂本一寛 2011 「脳信号計測法新時代への黎明」電気学会誌 131(12), 822-826 (2011)
 7. 四方潤一, 野村祐蔵, 南出泰亜, 八坂洋, “表面プラズモン共鳴型テラヘルツ波結合デバイスの動作特性,” 第66回応用物理学会東北支部学術講演会, 2aB07 (2011).
 8. Osanai M, Yaguchi Y, Yamada N, Oboshi F, Yagi T. Spontaneous calcium changes in striatal cells. *Electronics and Communications in Japan.* 94(7): 43-52. 2011.
 9. Konno, A., Honjo, T., Uchida, A., Ishizuka, T., and Yawo, H. (2011). Evaluation of a Sindbis virus vector displaying an immune-globulin-binding domain: Antibody-dependent infection of neurons in living mice. *Neurosci. Res.* 71, 328–334.
 10. Asano, T., Ishizuka, T., and Yawo, H. (2012). Optically controlled contraction of photosensitive skeletal muscle cells. *Biotechnol Bioeng* 109, 199–204.
 11. Ji, Z.-G., Ito, S., Honjoh, T., Ohta, H., Ishizuka, T., Fukazawa, Y., and Yawo, H. (2012). Light-evoked Somatosensory Perception of Transgenic Rats That Express Channelrhodopsin-2 in Dorsal Root Ganglion Cells. *PLoS ONE* 7, e32699.
 12. 佐藤学, “内視鏡融合型光コヒーレンストモグラフィ”, 日本レーザー医学会誌, Vol.31, No.4 : pp.413-419, (2011).
 13. Nugroho W, Ito Y, Hrebesh MS and Sato M, “Basic characteristics of interference image using spatially phase-modulated mirror array”, *Opt. Review* , 18,247-252 (2011).
 14. Nugroho W, Hrebesh MS, and Sato M, “Simulation of Basic Characteristics of Single-Shot Full-Field Optical Coherence Tomography Using Spatially Phase-Modulated Reference Light”, *Opt. Review*, 18 343-350, (2011)
 15. Sato M, Nomura D, Kitano T, Tsunenari T, and Nishidate I,” Variations in signal intensity with periodical temperature changes in vivo in rat brain: analysis using wide-field optical coherence tomography”, *Appl. Opt.*, 51,1436-1445 (2012)
 16. Matsuo I “Evaluation of the echolocation model for range estimation of multiple closely spaced objects” *J Acoustical Society of America*, 1030-1037 (2011)
 17. Guarato F, Hallam J and Matsuo I “Reconstruction of the signal produced by a directional sound source from remote multi-microphon recordings” *J Acoustical Society of America*, 1689-1699 (2011)
 18. Ando A, Suda H, Hagiwara Y, Onoda Y, Chimoto E, Saijo Y, Itoi E. Reversibility of immobilization-induced articular cartilage degeneration after remobilization in rat knee joints. *Tohoku J Exp Med.* Vol. 224, No. 2, 77-85, 2011.
 19. Kumagai K, Koike H, Kudo Y, Nagaoka R, Kubo K, Kobayashi K, Saijo Y. Imaging of sebaceous glands of human skin by three-dimensional ultrasound microscopy and its relation to elasticity. *Conf Proc 33rd IEEE Eng Med Biol Soc.* 7199-7202, 2011.
 20. Hagiwara Y, Saijo Y, Ando A, Onoda Y, Suda H, Chimoto E, Hatori K, Itoi E. Comparison of articular cartilage images assessed by high-frequency ultrasound microscope and scanning acoustic microscope. *Int Orthop.* Vol. 6, No. 1, 185-90, 2012.
 21. Tanaka Y, Saijo Y, Fujihara Y, Yamaoka H, Nishizawa S, Nagata S, Ogasawara T, Asawa Y, Takato T, Hoshi K. Evaluation of the implant type tissue-engineered cartilage by scanning acoustic microscopy. *J Biosci Bioeng.* 2011 Dec 2. [Epub ahead of print]

採択番号 H22/B05

ナノスケールのゆらぎ・電子相関制御に基づく 新規ナノデバイス

研究費：物件費 5 万円，旅費 38 万 3 千円

[1] 組織

代表者：野村 晋太郎
(筑波大学数理物質系)

対応者：大野 英男
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

大野 隆央
(物質材料研究機構)

白石 賢二
(筑波大学数理物質系)

中山 弘
(大阪市立大学大学院工学研究科)

瀧瀬 明伯
(東京農工大学大学院工学系)

一宮 彪彦
(名古屋大学工学研究科)

伊藤 智徳
(三重大学大学院工学研究科)

押山 淳
(東京大学工学系研究科)

長谷川 修司
(東京大学理学系研究科)

宮崎 誠一
(名古屋大学大学院工学研究科)

名取 研二
(東京工業大学フロンティア研究センター)

山口 浩司
(NTT 物性科学基礎研究所量子電子物性研究部)

平山 祥郎
(東北大学大学院理学研究科)

遠藤 哲郎
(東北大学学際科学国際高等研究センター)

中山 隆史
(千葉大学大学院理学研究科)

名西 やすし
(立命館大学理工学部)

大野 英男
(東北大学電気通信研究所)

[2] 研究経過

近年の半導体デバイスの極限微細化の結果、デバイス動作を支配する電子数が劇的に減少し、少数電子系に起因するゆらぎと電子相関効果が顕著になっており、これらの制御なしに次世代の新原理ナノデバイスの創成はありえない。本プロジェクトではナノ構造の作製・評価・理論解析の専門家による討論の場を設け、新デバイス創成に資する知見の獲得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、新世代ナノデバイスの作製手法に焦点あわせて討論を行った。その結果、ナノ構造の精密な成長制御、化合物の構造多形の制御が、次世代の3次元構造のデバイスにおけるゆらぎと電子相関の制御のために、解決すべき重要な課題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、ゆらぎと電子相関に基づく新世代ナノデバイスの新機能発現に関する研究を展開した。本プロジェクトでは、半導体サイエンスからは「ナノ電子物性理論」、「時間分解光物性」、「メソスコピック物理」等、半導体テクノロジーからは、「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」、「半導体回路技術」等の国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織した。平成23年10月21日・22日に秋保の郷「ばんじ家」に於いて開催された研究会では、14名の参加者を得て、ゆらぎと電子相関をナノスケールで制御する処方箋の確立を目指した徹底的な討論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、Si(111)表面上のモノレイヤーインジウム構造においてバルクのインジウムと異なる超伝導特性を示すことが示され、ナノ構造による電子相関制御手法について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第2に、Si ナノピラミッド、InAs 量子ドット、InGaN の新規の成長機構に基づく新世代ナノデバイスの可能性について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第3に、有機触媒 CVD におけるラジカル重合による薄膜形成においてゆらぎの役割について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第4に、二次元電子系バルク-エッジ間トンネリングを対象として、ナノデバイス特有のゆらぎと電子相関に関する知見を得るための新規手法について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第5に、NMR と多重パルスの組み合わせた測定における系の固有の雑音スペクトルの測定から、ナノデバイス特有のゆらぎの測定手法開拓の道筋について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第6に、ベクトル波形整形パルス光の生成手法から、ナノデバイス評価手法への応用のための新たな手法とそのために解決すべき課題が明らかになった。

第7に、結合したマイクロマシン共振器中の振動モード制御に基づく、ナノデバイス特有のゆらぎ制御の可能性について議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第8に、抵抗変化型メモリーの動作において、酸素空孔の荷電状態の一次相転移現象とナノデバイス特有のゆらぎとの関わりについて議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第9に、コンピューティクスによる物質デザイン手法とゆらぎと電子相関の関わりが明らかにされた。

第10に、シリコンナノワイヤ MOS デバイスにおいてその電流特性の見積もり精度に対するゆらぎと電子相関の関わりについて議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第11に、トンネル磁気抵抗素子中の強磁性層の熱的安定性に対して、ゆらぎと電子相関の関わりから議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

第12に、揺らぎ、相関効果、非平衡ダイナミクスにナノデバイスデザイン手法について多面的に議論が行われ、今後の研究課題が明らかにされた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、半導体サイエンスからは「ナノ電子物性理論」、「時間分解光物性」、「メソスコピック物理」等、半導体テクノロジーからは、「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」、「半導体回路技術」等の国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織され、分野間の壁を越えたところで、ナノスケールのゆらぎと電子相関の関わる現象と具体的デバイスとの関わりを徹底的に討論する希有の機会を提供することができた。その結果、ナノスケールのゆらぎと電子相関が現行のデバイスに与えている限界、さらに、そこを越えて性能と新機能を追求する新原理デバイスのいくつかの可能性が提案された。具体的には、シリコンナノワイヤ CMOS デバイス、トンネリング磁気抵抗素子、抵抗変化型メモリー素子等の省電力化や高信頼性化に対して大きな指針が示された。また、最先端デバイスにおいてのみ見いだされる問題点の徹底討論から、サイエンスの側から解決すべき課題が明らかにされた。以上のナノサイエンス・ナノテクノロジーに関する成果は、科学技術立国日本の再生への大きな原動力となると予想される。

[4] 成果資料

- (1) Tatsuro Yuge, Susumu Sasaki, and Yoshiro Hirayama, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 170504 (2011).
- (2) Katsuya Miura, Ryoko Sugano, Masahiko Ichimura, Jun Hayakawa, Shoji Ikeda, Hideo Ohno, and Sadamichi Maekawa, *Phys. Rev. B* **84**, 174434 (2011)
- (3) H. Ito, K. Furuya, Y. Shibata, S. Kashiwaya, M. Yamaguchi, T. Akazaki, H. Tamura, Y. Ootuka, and S. Nomura, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 256803 (2011).
- (4) M. Muraguchi, Y. Sakurai, Y. Takada, J. Y. Shigeta, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki, S. Nomura, K. Shiraishi, T. Endoh, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50**, 04DD04 (2011).
- (5) Sukmin Jeong and Atsushi Oshiyama, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 065501 (2011).
- (6) Toru Hirahara, Gustav Bihlmayer, Yusuke Sakamoto, Manabu Yamada, Hidetoshi Miyazaki, Shin-ichi Kimura, Stefan Blügel, and Shuji Hasegawa, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 166801 (2011).
- (7) Nobuhiro Miyata, Hisashi Narita, Manami Ogawa, Ayumi Harasawa, Rei Hobara, Toru Hirahara, P. Moras, D. Topwal, C. Carbone, Shuji Hasegawa, and Iwao Matsuda, *Phys. Rev. B* **83**, 195305 (2011).
- (8) I. Mahboob, Q. Wilmart, K. Nishiguchi, A. Fujiwara, and H. Yamaguchi, *Phys. Rev. B* **84**, 113411 (2011).
- (9) Hajime Okamoto, Daisuke Ito, Takayuki Watanabe, Koji Onomitsu, Haruki Sanada, Hideki Gotoh, Tetsuomi Sogawa, and Hiroshi Yamaguchi, *Phys. Rev. B* **84**, 014305 (2011).
- (10) W. Izumida, Y. Hirayama, H. Okamoto, H. Yamaguchi, and K.-J. Friedland, *Phys. Rev. B* **85**, 075313 (2012).
- (11) Toru Akiyama, Kohji Nakamura, and Tomonori Ito, *Phys. Rev. B* **84**, 085428 (2011).
- (12) Abudurehman Abudukelimu, Wufuer Yasenjiang, Kuniyuki Kakushima, Parhat Ahmet, Mamtimin Geni, Kenji Natori, and Hiroshi Iwai, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 104301 (2011).
- (13) Miyuki Kouda, Kuniyuki Kakushima, Parhat Ahmet, Kazuo Tsutsui, Akira Nishiyama, Nobuyuki Sugii, Kenji Natori, Takeo Hattori, and Hiroshi Iwai, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 10PA04 (2011).
- (14) Dariush Zade, Takashi Kanda, Koji Yamashita, Kuniyuki Kakushima, Hiroshi Nohira, Parhat Ahmet, Kazuo Tsutsui, Akira Nishiyama, Nobuyuki Sugii, Kenji Natori, Takeo Hattori, and Hiroshi Iwai, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 10PD03 (2011).
- (15) Rui Masuda, Rie Togashi, Hisashi Murakami, Yoshinao Kumagai, and Akinori Koukitu, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 125503 (2011).
- (16) Jumpei Tajima, Chikashi Echizen, Rie Togashi, Hisashi Murakami, Yoshinao Kumagai, Kazuya Takada, and Akinori Koukitu, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 055501 (2011).
- (17) H. D. Gan, H. Sato, M. Yamanouchi, S. Ikeda, K. Miura, R. Koizumi, F. Matsukura, and H. Ohno, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 252507 (2011).
- (18) H. Sato, M. Yamanouchi, K. Miura, S. Ikeda, H. D. Gan, K. Mizunuma, R. Koizumi, F. Matsukura, and H. Ohno, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 042501 (2011).

H22/B06

High-Q マイクロ波超伝導共振器を用いた 大規模量子検出アレイに関する研究

[1] 組織

代表者：宮崎 利行

(理化学研究所)

対応者：佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

猪股 邦宏 (理化学研究所)

神代 暁 (産業技術総合研究所)

伊豫本 直子 (九州大学大学院)

日高 睦夫 (超電導工学研究所)

服部 誠 (東北大学大学院理学研究科)

小野美 武 (東北大学電気通信研究所)

中島 康治 (東北大学電気通信研究所)

四方 潤一 (日本大学)

研究費：物件費5万円，旅費27万7千円

[2] 研究経過

非常に高い感度を持つ超伝導の量子検出器はマイクロ波から可視・近赤外光、X線、ガンマ線に至る幅広いエネルギー領域の光子検出が可能であり、X線天文学における衛星搭載用撮像素子、蛍光X線分析用エネルギー分散測定装置、放射性同位元素の同定、量子計算機を構成するための要素など、様々な分野に利用できるものとして期待されている。しかしその性能を活用して実用的に利用するためには多数の素子を同時に読み出すことが要求される。極低温で動作する超伝導デバイスの場合は熱流入が素子数を制限するケースが多く、これまで大規模アレイを実現するのが困難だった。

最近注目されているのが超伝導共振器を利用した多素子読み出し技術で、損失が小さくて共振周波数幅の非常に狭い(Q値が非常に高い)マイクロ波の共振器を多数利用し量子検出器からの信号を狭いマイクロ波の帯域に詰め込むことで1本の読み出し線で多数の素子を同時に読み出せるようになる。この方式を利用した量子検出器は既に様々な分野で提案され、プロトタイプが作成されている。しかし日本での利用は量子ビット、宇宙背景放射の検出などの限られた分野で開発が始まった段階で海外の状況と比

較してまだ遅れていると言わざるを得ない。

そこで本プロジェクトでは国内で超伝導共振器による他素子読み出しの開発を始めているグループ、開発に興味を持っている研究者、そして潜在的なユーザーを一堂に集め、情報交換を行うことを目的として研究を行った。

前年度の研究会では超伝導遷移端を利用した Transition Edge Sensor(TES) カロリーメーターの読み出し用の SQUID 開発に関する協力について議論した。その結果として超電導工学研究所、産業技術総合研究所で素子の製作を進め、地震による遅延などはあったものの実用的な性能を持った SQUID を製作することができた。

本年度が2年目であった本プロジェクトでは、2012年2月13日に研究会を開催した。前述の SQUID の開発などを含め、7件の発表があり、討論を通じて活発な意見交換がなされた。以下、研究活動状況の概要を記す。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

昨年度の研究会での竹井氏(宇宙航空研究開発機構、JAXA)の発表をきっかけとして JAXA、超電導工学研究所(ISTEC)、産業技術総合研究所(産総研)、理化学研究所(理研)との間で TES カロリーメーター読み出し用の SQUID(超伝導量子干渉計)開発の共同研究が進んだ。今年度の成果について JAXA の酒井氏が発表した。目標は X 線天文衛星搭載の検出器への利用である。SQUID 自体は広く使われている技術ではあるものの、天文応用のためには、低発熱と低ノイズの両立が必要で、その要求は地上応用に比べて数桁厳しいため設計は容易ではなかった。今年度は ISTEC、産総研、理研で議論しながら酒井氏が中心に設計を進め、ISTEC のプロセスで SQUID を製作した。本年度製作したデバイスが要求を完全に満たされているわけではないが、要求仕様を実現するための道筋が示された。これは、本プロジェクトの大きな成果である。

JAXA からはもう一件、関谷氏から誘電体マイク

ロカロリメータの紹介があった。誘電体マイクロカロリメータは、**High-Q** マイクロ波超伝導共振器を利用した全く新しい検出器として基礎開発が進められている、誘電率の温度変化を温度計として用いる量子検出器である。この方式では一般に広く用いられている金属薄膜のコプレナー導波器による共振器とは異なり、温度依存性を持った誘電体を集中定数回路のキャパシタンスとすることで、温度変化を共振周波数の変化として読み出す。素子ごとの共振周波数をわずかずつ変えることで、高分光性能の X 線検出器のメガピクセルカメラが実現可能だと考えられている。マイクロ波共振器の応用として、今後の進展が期待される。

前回は報告のあった東京女子医科大学(昨年度は科学技術振興機構)の辻野氏より、**TES** カロリメータを用いて、コヒーレント光通信の信号受信限界である標準量子限界の突破に世界で初めて成功したという報告があった。前回の発表では上述の原理の実証の報告だったが、**TES** カロリメータの光子検出効率の改善が発展途上だったこともあり、受信機の標準量子限界を越えることはできていなかった。今回、産総研により開発された世界最高性能の **TES** カロリメータ (検出効率95%以上) を用いることで、従来方式の受信感度である標準量子限界の突破に成功した。

産総研の神代氏からは **TES** カロリメータの信号を超伝導マイクロ波共振器を利用して多重化する技術についての研究報告があった。**TES** カロリメータはミリ波からガンマ線までの幅広い波長域の優れた熱型検出器であるが、多画素化するには極低温下での **TES** 出力信号多重化技術が重要課題の一つで、これまでに幾つかの方式が提案されている。米国で提案された、信号読出用 **SQUID** で終端した超伝導マイクロ波共振器群による多重化方式はまだ実績が少なく、数百画素以上の多重化に必要な各共振器の共振周波数や **Q** 値を精度良く実現するための設計指針は不明である。産総研のグループでは、つづら折れ状マイクロ波線路の曲率等、諸パラメータが、設計値と実測値との差異に及ぼす影響を調べた。その結果、曲率の大きな線路程、直線線路からの共振周波数のずれが大きいこと、線路長にオフセット値を設定することで、共振周波数の設計値と実験値との差を $\pm 0.02\%$ 以下に抑えられる目途を得た。

理研の有吉氏からは **High-Q** マイクロ波共振器を利用したテラヘルツ検出器 **Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID)** アレイの開発についての報告があった。テラヘルツ領域における2次元分光技術はソフトマテリアルなどの物性研究や応用開拓のために有効な可能性を秘めている。理研のグル

ープは、2次元フーリエ分光システムへの適用を念頭に置き、従来の半導体ボロメータに比べて1桁以上の優れた検出感度と高速応答を併せもつ**MKID**の開発を進めている。検出器1画素の目標性能は、周波数帯域0.5~5THz以上、応答速度100 μ sec以下、雑音等価電力 10^{-14} W/Hz以下であり、この実現のために4K冷凍機動作に適した新規**MKID**材料開発をはじめ、広帯域・省スペース化を図った新型**MKID**の設計と検証を進めている。

大阪府立大の石田氏からは核反応 $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ ($Q = 2.3 \text{ MeV}$) を利用した **MgB₂** 超伝導中性子検出器の開発についての紹介があった。この開発は、中性子検出を全固体素子チップで行う可能性を持つことから興味もたれている。まず、最初は、**MgB₂** の超伝導転移端を利用した中性子検出器の開発に取り組み、中性子検出に成功している。非常に高速(ナノ秒)で動作すること、空間分解能がサブミクロンに達する可能性があることなどの特徴がある。しかしながら、動作温度範囲が極めて狭いことから、素子の不均一性が問題となっている。そこで、**MgB₂** の運動インダクタンスを利用した中性子検出器の開発に取り組みを開始し、このほど、4Kの温度で、パルスレーザーを利用した信号検出に成功した。今後は、科研費基盤研究(S) No. 23226019の支援を受けて、多素子による中性子イメージング、**MgB₂** 検出器と4Kで動作する**SFQ**技術との結合などへの研究展開を図ることが紹介された。

(3-2) 波及効果と発展性など

前節でも述べたように、昨年度の研究会を契機とした研究協力により、**TES** カロリメータに最適化された**SQUID**の開発が進んだ。今後もこの協力スキームを活用して一層の進展が期待される。また**TES** カロリメータに限らず、超伝導共振器やマイクロ波技術などの分野での技術交流や応用に向けた議論が進むことが期待される。

個別の分野では次のような発展があった。

TES カロリメータを用いたコヒーレント光通信では、現状の通信速度は40kHz程度とまだ遅く更なる高速化が必要である。これは、**TES** カロリメータのアレイ化で解決可能である。X線天文応用などからの技術移転が今後の鍵となることが期待される。

パラダイムシフトを起こすであろう量子情報通信技術の研究は、現在、超伝導技術が推進の原動力となっており、今後密接に研究を進めていくことで、更なる発展が期待される。

テラヘルツ領域の分光システムには室温動作の焦電検出器や4.2K動作の半導体ボロメータが用いら

れてきたが、これらは応答速度が遅く、また、ダイナミックレンジも狭い。これに対しMKIDを利用したテラヘルツ検出器は市販の半導体ボロメータに比べても1桁以上の高い検出感度と高速応答を有している。

MKIDを利用したテラヘルツ光検出器アレイが実現すると、計測時間の飛躍的な短縮や分厚いサンプルへの対応、スペクトル情報とイメージ情報の融合、といった産業界や研究現場からの多種多様な計測対象や目的に応えることが可能になると期待される。

[4] 成果資料

1. K. Tsujino et. al. “Quantum Receiver beyond the Standard Quantum Limit of Coherent Optical Communication”, *Physical Review Letters*, 106, 250503 (2011).
2. N. Sekiya, N. Y. Yamasaki, K. Mitsuda, S. Kawasaki, Y. Takei, H. Yoshitake, K. Sakai, K. Sato, K. Maehata and H. Takashima, “Development of Dielectric X-Ray Microcalorimeter”, *Journal of Low temperature Physics* (2012).
3. 酒井和広 「X線マイクロカロリメータ大規模アレイ実現に向けた SQUID および信号処理系の開発」
東京大学理学系研究科物理学専攻修士論文
4. 有吉 誠一郎 (理研)、中島 健介 (山形大)、齊藤 敦 (山形大)、田井野 徹 (埼玉大)、大嶋 重利 (山形大)、大谷 知行 (理研)、“テラヘルツ帯2次元フーリエ分光用力学インダクタンス検出器の開発”、2012年春季 第59回 応用物理学関係連合講演会 予稿、3月(2012).

採択番号 H22/B07

ミリ波応用システム実用化のための課題と展望

[1] 組織

代表者：石川 容平

(京大大学生存圏研究所)

対応者：末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

水野 皓司 (東北大学電気通信研究所)

伊東 健治 (金沢工業大学工学部)

伊山 義忠 (熊本高専)

大平 孝 (豊橋技術科学大学)

高木 直 (東北大学電気通信研究所)

徳満 恒雄 (住友電工)

二川 佳央 (国士舘大学理工学部)

野本 俊裕 (東北工業大学工学部)

橋本 修 (青山学院大学理工学部)

松永 誠 (三菱プレジジョン)

研究費：物件費 0 円，旅費 30 万 1 千円

[2] 研究経過

電磁波の応用は、計測、通信、エネルギーの3分野に大別できる。各分野とも従来マイクロ波領域においては、実用レベルの技術が開発され社会に貢献している。しかし、近年通信における情報量の増加、あるいは新しい計測対象の出現などによって新しいスペクトル領域の実用化が望まれている。新しいスペクトラムとして注目されているのは、ミリ波帯である。ミリ波帯の実用化はもう数10年に亘って云われてきており、その技術も年々進歩してきているが、未だ社会に入って我々が日常的に使うものにはなっていない。近年ミリ波デバイスとしては、CMOSが、また応用システムとして衝突防止用レーダや各種の超高速無線LAN等の開発が進んでいるが、真の実用化までにはいたっていない。

本研究では、ミリ波技術を真に実用化するために解決すべき課題を抽出し、系統的に整理し、課題解決のためのロードマップまで作成することを目的として研究を行っている。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であり、前年度はミリ波技術の応用分野を、計測、通信、新分

野の3分野に分け、それぞれの分野について課題抽出と整理を開始した。その結果、計測分野については、計測応用の実例について調査を行い、今後はイメージングをはじめとするセンサー技術を対象としてさらなる深堀が必要ながわかった。通信については、「性能」、「コスト」、「アプリ」の観点で課題抽出を行い、今後は「アプリ」の検討が重要なことがわかった。新分野については、エネルギー有効利用を中心にさらに詳細な検討が必要ながわかった。

本年度は前年度の結果を踏まえながら、計測分野ではセンサー技術を中心に、また、新分野では無線電力伝送技術を中心に研究・調査をさらに発展させ、議論の深堀を行った。一方、通信分野では、この度の東日本大震災の経験を踏まえてこれから必要とされる無線通信 ICT (Information and Communication Technology) のありかたについて検討した。

今年度は1回の研究討論会を実施した。以下に実施内容を示す。

<研究討論会>

日時：平成22年11月2日(水) 13:00~

場所：仙台市青葉区片平2丁目

東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン棟 A508 室

出席者(敬称略)：水野、石川、伊東、伊山、大平、末松、高木、徳満、松永

[プログラム]

13:05~13:50 計測技術「ミリ波の計測分野への応用」 水野 皓司

13:50~14:35 計測技術「フェーズドアレーレーダおよび関連デバイスの開発動向」 松永 誠

14:35~15:20 通信技術「震災と無線通信」 末松 憲治

15:30~16:15 新技術「球面電磁波のエネルギー、角運動量の保存に関する考察」 石川 容平

16:15~17:00 新技術「未来の電気自動車：重いバッテリー君さようなら」 大平 孝

20:00~ 全員による全体討論、今後の方針打合せ

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(1)計測技術「ミリ波の計測分野への応用」

・最近、ミリ波を用いたセキュリティ用のイメージング技術が注目されている。ここでは、「セキュリティ検査技術としてのミリ波イメージング」の分野について、次の3項目に分け、技術および実際の応用例などについての調査を行い、結果をまとめた。

(ア) ミリ波パッシブイメージング方式、

(イ) ミリ波アクティブイメージング方式、

(ウ) ミリ波以外の電磁波 (X線など) を用いたセキュリティ検査機器。

(2) 計測技術「フェーズドアレーレーダおよび関連デバイスの開発動向」

・センサー技術の一つとしてフェーズドアレーレーダ (PAR) がある。これまでの PAR の開発・実用化の経緯を整理するとともに、それらに用いるマイクロ波・ミリ波キーデバイスの開発動向の調査を行い、今後の開発に対して以下の知見を得た。

・1980年代に入り、GaAs MMIC の登場により、小形、高密度実装の小型 T/R モジュールが実現できアクティブ PAR を可能にした。日本は、世界初の航空機搭載アクティブ PAR を実現し、F-2 に搭載され実用された。しかし、その後は、米国を中心に開発が進められ、F-15 用 AN/APG-63(v)2 レーダ、F-22 用 AN/APG-77 レーダに搭載され世界最強の性能を確保している。

・次世代のレーダシステムのマイクロ波・ミリ波デバイスのキー技術としては、送信系アクティブ PAR の GaN 高出力アンプの高効率化、ミリ波への高周波数化などの高性能化、受信系は Si 系デバイス (SiGe/CMOS)、MEMS によるアクティブ PAR の大規模化、低価格化、チューナブル化が必要となる。

(3) 通信技術「震災と無線通信」

・東日本大震災の経験を踏まえて、これから必要とされる無線通信 ICT について検討し、以下の指針を得た。

・スマートフォンの普及とともに、急激に増大しているトラフィックへの対応として新しい無線通信技術が開発されてきたが、今後はさらに通常時における使用に加えて、災害発生時に発生する大量トラフィックへの対応にも使えることが重要であり、通常時にも災害時にも使える高信頼な無線通信ネットワークをいかに実現するかが重要な課題となる。このため、携帯電話に加えて、無線 LAN/PAN などの異種無線システムを統合した無線ネットワークが必要になると考える。これは、通常時はオフロード技術として活用可能であり、災害時には必ずつながる無線ネットワークとして活用できると期待される。

・地上インフラ喪失という想定外の事態の経験を通じて、衛星通信の必要性が明らかになった。衛星通

信単独での運用だけでなく、残された地上系無線通信との融合を図った通信インフラを提供することが必要になると考えられる。

(4) 新技術「球面電磁波のエネルギー、角運動量の保存に関する考察」

・半空間の平面電磁波を球面波で展開することによって球面波の持つ様々な電氣的物理的性格を明らかにした。球面波は放射時においても、原点近傍においては放出と吸収が起きていることを放射電力密度の計算を行うことで明らかにした。これにより、無限大に広がった平面波のエネルギーを、理論的には1点で捕まえられるという興味深い結果が得られた。無線電力伝送のためには極めて重要な知見であり、今後さらに検討を進める。

(5) 新技術「未来の電気自動車：重いバッテリー君さようなら」

・ガソリンエンジンに比べて電気モーターが圧倒的にエネルギー効率が高いにもかかわらず電気自動車は電気鉄道ほど普及していない。その理由はガソリン車に比べて、車両価格が高い、充電時間が長い、航続距離が短いなどである。これらはすべて電気自動車はそのエネルギー貯蔵源として高性能大容量バッテリーを車載する必要があることに起因する。この問題を解決する策として、主要幹線道路を「電化」することを考える。街中は電気自動車に搭載した小容量バッテリーで走行し、長距離は電化道路からエネルギーを集電しながら電車のように走行する。これを実現するためのブレークスルーとして「タイヤ誘電方式」を提案する。タイヤはゴム製であるので直流電流は伝わらないが、高周波変位電流なら伝わる可能性がある。路面下に埋設された金属板と自動車のタイヤ内のスチールベルトからなる静電容量を利用する。このために開発すべき技術は路面電化施工、高周波帯の大電力高効率なインバータ、集電回路、整流回路である。これらの実現により、小さいバッテリー重量でどこまでも走行できる電気自動車が現在の1/2の価格、1/2の重量で供給できることが期待できる。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの成果を用いて、(1)ミリ波実用化に向けた開発指針の策定、(2)無線電力伝送などを中心とする新しい応用システムの提案、学会シンポジウムでの報告などに結び付けていく。すでに、一部は学会シンポジウムで報告がされつつある。また、

(3) 今回の震災経験を踏まえ、ミリ波通信を含む異種無線システムを統合した無線通信ネットワークの重要性、地上系無線通信と衛星通信の融合を図った通信インフラの重要性が認識され、今後の大型プロジェクト形成につながることを期待される。

[4] 成果資料

- (1) 松室 堯之, 石川 容平, 篠原 真毅, “球面電磁波のエネルギー、角運動量の保存に関する一考察,” 輻射科学研究会資料 RS11-12 (2011-12).
- (2) 田誠, 間瀬淳, 水野皓司, “ミリ波放射計を用いた果実糖度の非破壊測定技術の開発,” 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J94-C, No. 9, pp. 244-251, Sep. 2011.
- (3) K. tsukashima, M. Kubota, A. Yonamine, T. Tokumitsu, and Y. hasegawa, “E-band radio link communication chipset in cost effective Wafer Level Chip Size Package (WLCSP) technology,” Proceedings of the 6th European Microwave Integrated Circuits Conference, pp. 29-32, Oct. 2011.
- (4) 花澤理宏, 大平孝, “タイヤ内スチールベルト道路埋設導体間の静電容量を用いた走行中給電,” 信学技報, MPT2011-17, pp. 61-66, 2011-10.
- (5) 石岡和也, 和田和千, 大平 孝, “PWM インバータの電力効率を向上する寄生容量中和回路,” 電気学会電子回路研究会資料, ECT-11-59, pp. 65-70, July 2011.
- (6) 河井政宏, 宮路祐一, 上原秀幸, 大平孝, “無線マルチホップネットワークにおけるスマートアンテナを用いた指向性傍受 MAC プロトコル,” 信学論 B, Vol. J94B, No. 4, pp. 555-566, Apr. 2011.
- (7) 橋本 修, 渡辺拓人: “<招待論文>広帯域エミッション評価用近傍電磁界測定システムに関する一検討,” 電子情報通信学会論文誌(C), Vol. J94-C, No. 12, pp. 480-486 (2011-12).
- (8) 高野茂倫, 安住壮紀, 橋本 修, 森内幸司, 坂田聡史, 尾崎毅志: “カーボンブラック含有発泡ポリイミドを用いたミリ波帯用二層型電波吸収体,” 電子情報通信学会論文誌 (C), Vol. J94-C, No. 12, pp. 517-519 (2011-12).
- (9) Hirokazu Kamoda, Toru Iwasaki, Jun Tsumochi, Takao Kuki, and Osamu Hashimoto: “60-GHz Electronically Reconfigurable Large Reflectarray Using Single-Bit Phase Shifters,”

IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, No. 7, pp. 2524-2531 (2011-7).

(10) 末松 憲治, 亀田 卓, 山形 文啓, 小熊 博, 高木 直, 坪内 和夫, “準天頂衛星を用いたロケーション・ショートメッセージ双方向通信システムと端末→衛星回線に関する一検討,” 信学技報 MW2011-131, pp. 33-36, 2011年12月.

(11) S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, “A High-Gain Planar Dipole Antenna for 60-GHz Band 3-D Transmitter Module,” 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, IF246.2, Spokane, USA, July 2011.

(12) S. Tanifuji, N. Suematsu, S. Kameda, T. Takagi and K. Tsubouchi, “24.8 dBm Power Handling 60 GHz Transmit/Receive Switch Using Series and Shunt FETs in 90 nm Si-CMOS Process,” The 6th European Microwave Integrated Circuits Conference 2011 (EuMIC 2011), Manchester, UK, Oct. 2011.

(13) T. T. Ta, K. Matsuzaki, K. Ando, K. Gomyo, E. Nakayama S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A High Efficiency Si-CMOS Power Amplifier for 60 GHz Band Broadband Wireless Communication Employing Optimized Transistor Size,” European Microwave Conference (EuMC), Manchester, UK (2011).

(14) N. Suematsu, S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “60GHz Antenna Integrated Transmitter Module Using 3-D SiP Technology and Organic Substrates,” Eur. Microwave Conf. (EuMC2011), Manchester, UK (2011). (Invited)

(15) 伊山, “発振回路のQファクタを適用したスパイラルインダクタの等価回路解析,” 2011年信学ソ大, no. C-2-2, Sept. 2011.

H22B08 浦上／笹井

生命にとっての情報・推論・計算の解明と 工学的応用の検討

[1] 組織

代表者：浦上 大輔
(東京工科大学コンピュータサイエンス学部)

対応者：笹井 一人
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

太田 宏之 (防衛医科大学校)
澤 宏司 (日本女子大学附属高等学校)
高橋 達二 (東京電機大学)
上浦 基 (東京電機大学)
青野 真士 (理化学研究所)
西川 麻樹 (理化学研究所)
脇坂 崇平 (理化学研究所)

研究費：物件費0円，旅費17万2千円

[2] 研究経過

人間と環境を調和させる情報システムに関する研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、生物由来の情報処理方法を解明し、その工学的応用の可能性を検討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。前年度のプロジェクト研究会では、生命における非論理的な推論の工学的な応用可能性について、意見の一致が見られた。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、「生命における非論理的な推論のモデル化」、「神経細胞および粘菌における生物学的検証」、「ロボット、ネットワーク、ユーザインターフェイスへの応用」をテーマとして、研究を展開した。

本年度の研究会の開催実績は下記のとおりである。

平成23年度共同プロジェクト研究会

場所：東北大学電気通信研究所

開催日時：2011年10月22日

発表者と発表タイトル：

白川智弘 (防衛医科大学校)
『真性粘菌変形体の探索行動におけるアロメトリー則』

浦上大輔 (東京工科大学)
『ニューラルネットワークにおける全体性と階層性』

太田宏之 (防衛医科大学校)
『神経科学と自由の問題について』

澤宏司 (日本女子大学附属高校)
『やわらかいコンピューティングを目指す』

笹井一人 (東北大学電気通信研究所)
『ソフトウェアエージェントの生命化についての検討』

高橋達二 (東京電機大学)
『推論対称性の調整機構』

上浦基 (東京電機大学)
『共創と内部観測の諸相』

平成23年度共同プロジェクト・キックオフ研究会

場所：東京工科大学八王子キャンパス

開催日時：2011年6月4日

発表者と発表タイトル：

澤宏司 (日本女子大学附属高校)
『タイプ・トークンの眼差しと3つの推論』

上浦基 (東京電機大学)
『不確実性環境下での推論と学習』

高橋達二 (東京電機大学)
『推論と判断に現れる自己言及とフレーム問題』

青野真士 (理化学研究所)
『粘菌コンピューティングとパニック回避』

太田宏之 (防衛医科大学校)
『海馬における逆行的可塑性とその意義』

笹井一人 (東北大学電気通信研究所)
『生命と情報、構成論的アプローチから』

浦上大輔 (東京工科大学)
『ロボットの運動学習に内在する記号過程』

[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、昨年度に開始した人間の直観的な判断に見られるバイアス・偏りのモデリングを行い、その妥当性についての理論的検討を重ねる一方、多様な分野への応用においてその有用性を検証した。その結果、教師付き・教師なし・強化学習のいずれの学習形式においても、人間の直観的判断が進化的に獲得した適応性を持つ事が示された。また、工学的応用の可能性を示す具体例として、ロボットの運動学習においてその効果を確認することができた。今後はベイズ統計、不確実性の記号化、そして行動経済学の一般理論の探求というかたちで研究を継続していく。(成果資料1-4)

第2に、少数の事例から仮説を形成する推論、アブダクションについて考える際、思考の対象たるオブジェクトの「やわらかさ」がその論考の切り口のひとつとなりえることが明らかにした。本年度はその「やわらかさ」に焦点をおき、粘菌に代表される細胞運動を「やわらかさ」をモチーフとしてモデル化する研究を行った。この研究は本プロジェクトのテーマの1つである粘菌コンピュータとアブダクションをつなぐ研究であると同時に、論理、細胞運動などまったく異なる現象において「やわらかさ」へ注目することの有用性、可能性を指し示す研究であるといえる。また、アブダクションの数理的構造を一般化し、人間の身体性に関わる implicit 情報の重要性に着目する共創システム概念との関連性を見出し、来年度はその実装に関する研究を進める予定である。(成果資料5-7)

第3に、線条体のリアルなニューロンモデルを用いて追加学習能力に対するシナプス前抑制の効果を確認した。また、ドーパミンが追加学習能力を増強することも示した。アブダクションのように入力側の種類自体を変える場合、情報表現の真の意味での分散性とその再構成能力が必要であり、その指標として追加学習タスクが適している。また、線条体は報酬（ドーパミン）によって、大脳皮質からの膨大な入力を分類して行動パターンを学習する部位であり、並列性の維持と情報の再構成が必須の部位である。将来的にはこの研究が大脳基底核・線条体の入力情報の再構成機能の解明に役立つものと思われる。また、この分散性の維持や再構成能力に関する議論は、人間とソフトウェアが共進化するような形のシ

ステムの設計に重要な知見をもたらすものと思われる。(成果資料8-10)

第4に、粘菌コンピュータによる巡回セールスマン問題解決の実験研究に、ひとつの区切りをつけることができた。問題サイズ(都市数)を4から8まで増大させたときに、到達した解の質(ルート長)と解到達時間がどのように変化するかを評価した実験では、解の質を落とさずに到達時間が線形に成長するという結果が得られた。これは、粘菌の振舞いに類似した物理ダイナミクス(時空間相関をもった振動ダイナミクス)を用いた平行計算デバイスの優位性を主張するための、一つの論拠となりうるものである。(成果資料11-13)

第5に、情報ネットワークおよび情報システムの大規模化・複雑化による管理負担を軽減するための、知的なネットワーク管理システムについて研究を行った。従来のネットワーク管理システムでは、ネットワーク管理に用いられる情報が煩雑であるために、求められる知的管理機能が限定的にしか与えられなかった。本研究では、膨大な管理情報を自律的に動作する能動的情報資源として構成することで、様々な観測手段や表現手段を柔軟に統合して、効率的なネットワーク管理を行うシステムの開発を行った。本年度では、自律動作する能動的情報資源を統合して管理システムを構築するための基礎的な設計法を明らかにした。(成果資料14-15)

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト分担者が主催した下記の研究会と連動して活動することにより、多様な専門分野の研究者の交流が飛躍的に活性化した。また、下記の研究会は、本プロジェクトの成果を広く公表する機会になっている。

第14回 灘連関東部会

幹事：澤宏司（本研究プロジェクト・分担者）

テーマ：「スマートグリッドと地域通貨」

場所：青山学院アスタジオ

開催日時：2011年7月2日

発表タイトル：

『スマートグリッドの動向について』

上坂真（NEDO 新エネルギー産業技術総合開発機構）

『地域通貨—思想史の概説と現状について—』

栗田健一（横須賀市都市政策研究所）

宮崎義久（北海道大学大学院経済研究科）

第15回 灘連関東部会

幹事：高橋達二（本研究プロジェクト・分担者）

テーマ：「対称性推論」

場所：青山学院アスタジオ

開催日時：2011年10月1日

発表タイトル：

『認知の対称性、創造性、精神疾患』

中野 昌宏（青山学院大学）

『篠原モデルとフレーミング効果』

大用庫智（東京電機大学）

他3件

第23回 計測自動制御学会 SI 部門共創システム部
会研究会・第6回 内部観測研究会（共同開催）

幹事：上浦基（本研究プロジェクト・分担者）

場所：神戸大学六甲台キャンパス

開催日時：2012年3月17日—18日

発表件数：23件

[4] 成果資料

(1) Takahashi, T., Gunji, Y.-P., “Symmetrizing Object and Meta Levels Organizes Thinking,” *BioSystems*, 107(2), pp. 95–105, 2012.

(2) 甲野佑, 高橋達二, “緩い対称性モデルにおける不確定情報の扱い,” 日本認知科学会第28回大会発表論文集, pp. 440-444, 2011.

(3) Uragami, D., Takahashi, T., Alsubebeen, H., Sekiguchi, A., and Matsuo, Y., “The Efficacy of Symmetric Cognitive Biases in Robotic Motion Learning,” *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation August 7–10, Beijing, China*, pp. 410–415, 2011.

(4) 浦上大輔, アルスビヒーシ・ヒシヤム, 高橋達二, 関口暁宣, 松尾芳樹, “ロボットの運動学習における認知バイアスの効果 -Loosely Symmetric モデルの Q 学習への適用-,” *Proceedings of ROBOMECH2011 (日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会)*, pp. 1A1-O02. (2011)

(5) Sawa, K., Balaz, I., Shirakawa, T., “Cell Motility Viewed as Softness,” *Proceedings of IES2011: The 15th International Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems, Yokosuka, Kanagawa, Japan, December 8-9, 2011.*

(6) 澤宏司, “トートロジーの変形としての推論,” *日本女子大学総合研究所紀要*, 14, pp. 39-46, 2011.

(7) 上浦基, “入出力先行過程と共創の数理,” 計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2011年12月23日. 優秀講演賞 受賞

(8) Ohta, H., Sato, Y., Kato, K., Uragami, D., Kemuriyama, T., Maruyama, S., Tandai-Hiruma, M., Manabe, T., Wakisaka, S. and Nishida, Y., “Protein kinase C enhances somatic voltage response in rat hippocampal CA1 pyramidal neuron,” *Journal of National Defense Medical College*, 36(2), pp. 67-75, 2011.

(9) Ohta, H., Uragami, D., Nishida, Y. and Houk, J.C., “Presynaptic Inhibition in the Striatum Fosters Incremental Learning,” *日本神経回路学会第21回全国大会 (2011).*

(10) 浦上大輔, 太田宏之, “局所的順序ニューラルネットワークにおける追加学習と汎化,” 第24回自律分散システムシンポジウム, pp. 2C2-2, 2012.

(11) Aono, M., Hirata, Y., Hara, M., Aihara, K., “Greedy versus social: Resource-competing oscillator network as a model of amoeba-based neurocomputer,” *Natural Computing* 10, pp. 1219-1244, 2011.

(12) Aono, M., Zhu, L., Kim, S.-J., Hara, M., “Performance enhancement of amoeba-based neurocomputer for 8-city traveling salesman problem,” *Proceedings of 2011 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2011)*, pp. 104-107, 2011.

(13) 青野真土, 金成主, Liping Zhu, 行田悦資, 原正彦, “粘菌コンピュータと確率探索アルゴリズム,” *システム/制御/情報学会誌* 55 巻 12 月号, pp. 526-531, 2011.

(14) Sasai, K., Kitagata, G., Kinoshita, T., “Complementary Interaction between Human-oriented Knowledge and Machine-oriented Information on AIR-NMS,” *Proc of the 2nd International Conference on Morphological Computation (ICMC2011)*, pp. 111-113, 2011.

(15) Sasai, K., Sveholm, J., Kitagata, G. and Kinoshita, T. “A Practical Design and Implementation of Active Information Resource based Network Management System,” *International Journal of Energy, Information and Communications*, 2(4), pp. 67-86, 2011.

(16) 西川アサキ, 『魂と体、脳 - 計算機とドゥルーズで考える心身問題 -』講談社メチエ, 2011.

採択番号：H22/B09

物体表面の視覚的質感および色の知覚に関する研究

[1] 代表者：岡嶋 克典

(横浜国立大学大学院環境情報研究院)

対応者：栗木 一郎

(東北大学電気通信研究所)

分担者(50音順)：

内川恵二(東京工業大学大学院総合理工学研究科)

北岡 明佳(立命館大学文学部心理学専攻)

鯉田 孝和(豊橋技術科学大学)

郷田 直一(自然科学研究機構生理学研究所)

小松 英彦(自然科学研究機構生理学研究所)

齋藤 晴美(NIT サイバースペース研)

坂田 勝亮(女子美術大学)

篠森 敬三(高知工科大学工学部)

須長 正治(九州大学芸術工学研究院)

徳永 留美(東北大学電気通信研究所)

辻村 誠一(鹿児島大学工学部)

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病院)

西田 眞也(NIT コミュニケーション科学基礎研)

本吉 勇(NIT コミュニケーション科学基礎研)

溝上 陽子(千葉大学大学院融合科学研究科)

矢口 博久(千葉大学大学院融合科学研究科)

山内 泰樹(山形大学大学院理工学研究科)

研究費：物件費0円，旅費40万5千円

[2] 研究経過

ICT 技術によりコミュニケーションが行われる際に、情報が的確に伝達される事は重要な要素技術であると考えられる。電子商取引などの場面において、質感や色の情報が的確に伝えられる事は社会的にも要請の高い重要技術である。一方、観察対象を物体として同定・認識することは人間の視覚情報処理機構の本質的な目的の一つである。質感や色は物体の同定において特に重要であり、人間はこれらの情報を視覚的に取得して物体を同定する作業を日常的に行っている。本研究では、物体表面の属性に関する様々な研究を行っている第一線の視覚研究者や、当該分野で著明な業績を上げている関連研究者などが一堂に会して研究会を行うことにより、物体表面の属性(質感・色など)を視覚的に取得する情報処理

に関する知見を結集・共有することを目的とする。

質感を伝えるのに重要な役割を果たしている視覚情報のプロファイルが明らかになれば、映像情報通信システムの仕様を確立する際に、適正な物体表面の特性(質感や色)の伝達に必要な仕様の目標設定が可能になる。さらに、質感や色の知覚において重要とされる視覚情報の特徴を明らかにする事により、脳内における視覚情報の構造が明らかとなり、視覚情報の効率的な記述方法が明らかになる事も成果として期待できる。

将来的には、本研究会を通して明らかにされた問題点をターゲットとして、人間が視覚的に物体表面の質感や色に関する情報を得るメカニズムについて調べる共同研究への実質的な発展を目指す。

初年度の研究会においては、質感や色などの物体表面の特徴に関する視覚的情報処理の研究分野におけるホットトピックを探る目的で、研究者同士の意見交換を目的とした研究会を行った。

以下の概要で研究会を開き、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23年12月16日(金)～12月17日(土)

場所：東北大学電気通信研究所

プログラム：

1. 「物体の質感が色恒常性に与える影響」
溝上陽子・矢口博久・塚野俊樹(千葉大)
2. 「乳児における光沢の知覚」
楊 嘉楽・大塚由美子・金沢 創・山口真美・本吉 勇(中央大学, 日本女子大, NIT)
3. 「物体表面の肌理が輝度エッジの解釈に及ぼす効果」
澤山正貴・木村英司(千葉大)
4. 「肌質感と画像統計量」
中内茂樹・加藤幸美(豊橋技科大)
5. 「色メカニズムおよびメラノプシン神経節細胞を選択的に刺激した場合の瞳孔反応」
辻村誠一(鹿児島大)
6. 「周辺刺激の色度輝度バランスが色の見えとモードに与える効果」
福田一帆・内川恵二(東工大)
7. 「黄斑色素濃度と色覚の個人差」
早坂孝志・山内泰樹(山形大)
8. 「Classification Image法に基づく高次色情報表現に関

する検討)

永井岳大・佐藤智治・中内茂樹(豊橋技科大)

9. 「脳内神経細胞の色選択性に関するfMRI研究」
栗木一郎・孫 沛・上野賢一・田中啓治・程 康(東
北大・理研BSI)

また、平成24年3月に部分メンバーにより第二回の研究会を開き、質感や色覚メカニズムに関する研究報告ならびに意見交換を行った。

期日：平成24年3月8日(木)～3月9日(金)

場所：東北大学電気通信研究所

プログラム：

1. 「色覚異常者の色の見えと印象について」
齋藤晴美 (NTT)
2. 「最大彩度はどのレベルで決まるのか？」
須長正治 (九州大)
3. 「両眼融合後の色順応過程」
坂田勝亮 (女子美術大)・島倉 瞳 (産総研)
4. 「鮮度感の認知特性」
岡嶋克典 (横浜国立大)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度に行った研究会の報告内容については以下の通りである。

【平成23年度 第1回研究会】

第1回の研究会は、昨年度の研究会に引き続き、各研究者の成果について報告してもらい、ホットトピックスを共有することを目的として行った。

溝上らは、画像処理により実物らしさを操作した画像を用いて、画像中の照明光が変化した場合に色の見えに生じる影響について、複数の物質の画像を用いて調べた。画像処理による見かけの質感の変化が知覚にどのように影響しているか、それが色の見え方にどう影響しているかについて結論するには、まだ多くの実験が必要であることを紹介した。

楊らは光沢感を生じさせる画像と生じさせない画像を幼児(5～8ヶ月)に呈示した際の反応により、光沢に関する知覚を有しているかを調べた。顔や球などの3次元コンピュータグラフィックス(CG)を生成し、画像等計量を一定に保ちつつ画像中のハイライトの位置を操作する事で、光沢知覚を変化させた画像を呈示した。その結果、5～8ヶ月の幼児にも光沢感の知覚があることを示した。

澤山らは、自然画像中の円形の輝度パターンのエッジをぼかすことで反射率の異なる質感が得られることに着目し、様々な条件で実験を行った。刺激画

像の選択や、実験手法に対する結果の依存性などについて議論が行われた。ただし、質感の知覚が単純に網膜像の空間周波数特性に依存しない傾向など、質感情報処理の高次メカニズムを検討する上で非常に興味深い現象である。

中内らは、顔に対する魅力度に肌の質感が影響するかについて、表面下の粒子散乱を考慮した精密な3次元CGを用いて評価実験を行った。その結果、画像の光沢要素および散乱要素に対応する画像因子が一定のバランスで混ざっていることが、魅力度の高さに貢献している事を示す結果を得た。一方、顔の3次元の起伏がハイライト(光沢要素)の混ざり具合を左右するため、単純に光沢要素の影響に限定できないのではないかという指摘もあった。

辻村らは、視細胞以外の網膜に存在する光感受性色素であるメラノプシンの知覚に対する影響について、特に明るさ感やまぶしさとの関連について、最近の研究成果を報告した。メラノプシンは輝度特性や色弁別には影響をほとんど与えないが、明るさ感に影響があるという回答があったため、瞳孔収縮を計測したところ、時定数の大きな変化には影響が見られる事を報告した。ただ、実験アーティファクトの除去が非常に難しいことが課題となった。

福田らは、各色度において反射表面として許容しうる最大輝度のエンベロープであるオプティマルカラーと、色恒常性の関係について調べた結果について報告した。被験者がオプティマルカラーのエンベロープをどのように推定しているかが直接的に調べられないことにより、結論が難しい状態にあることが示された。

早坂らは、黄斑色素の濃度と等色関数のそれぞれについて個人の値を測定し、関係性を調べた。その結果、今回測定された黄斑色素濃度と等色関数の間には直接の関係がないことが示された。討論において、実験手法やフィッティング方法などについて様々な提案がなされた。

永井らは、classification image法を用いて高次の色知覚メカニズムにおける周辺刺激の効果を心理物理学的に測定する試みについて報告した。結果には色メカニズムの個人差を反映したと思われる個人間の差が見られたが、色コントラストの判断という被験者課題が最適かという議論もあった。

栗木らは、ヒト視覚野における神経細胞の色選択性について、fMRIを用いた脳機能イメージングによる研究結果を報告した。他の研究と同様にS錐体を刺激する方位に強い信号が見られたが、その傾向を

均整化し神経細胞の色選択性を描出した試みについて報告した。

【平成23年度 第2回研究会】

第2回の研究会は、第1回に出席できなかった研究者を中心に各自の研究成果を報告してもらい、議論を行った。

齋藤は2色覚者の色の見え方について、色名応答による心理物理実験を行った。十分に手がかりが多い条件では2色覚者の色名応答は通常型の3色覚者と大きく違わないものの、色名応答に迷う時間が長く、複数の候補からの絞り込みに時間が掛かる様子が特徴的であるという報告を行った。

須長は、同時対比と順応を用いる事で、感じることのできる色味を現実の光より強める事ができるかについて調べた試行実験について報告した。一部の結果は反対色過程の順応と合致しない傾向を示し、高次の色情報処理過程の特徴を表している可能性が示唆された。

坂田らは、両眼の情報が統合された後の色情報処理過程について、片目での色順応がもう片目に呈示した刺激の色の見え方に及ぼす影響について報告した。その結果、時定数が非常に大きい現象を捉えることができたものの、非順応眼の状態の統制が非常に難しいという側面について議論があった。

岡嶋は、生鮮食品の写真を用い鮮度感に寄与する画像的要素について行った研究について報告した。画像特徴の輝度ヒストグラムを操作する事により、鮮度感がある程度操作できる事が示された。その結果、複数の画像特徴を用いる事により、鮮度を非接触判定するシステムの実現可能性を示した。

【まとめ】

2回の研究会において主に報告された研究テーマは、質感と画像特徴量の関係、高次色覚メカニズム、色覚の個人差・多様性に大別できると思われる。

質感に関する研究は画像特徴量の操作により視覚的手がかりとの関係性の解明が進んでいる。ただし、質感は触覚や語感など他の感覚モダリティとの相関もあり、視覚以外への領域の拡大による相乗効果が期待される。

高次色覚メカニズムに関する研究は、心理物理学的な研究手法における限界と、脳機能イメージングによる研究との間にまだ距離が存在し、隔靴搔痒の感がある。

色覚の個人差については、特に2色覚者がどのように視覚体験をしているかについての関心は高い。

言語的に表現する実験方法では3色覚者との差が小さい事実は、言語コミュニケーションに適応する必要性に対する進化圧力の強さを示すと同時に、高次メカニズムが志向すべき処理の方向性を示唆しているとも考えられる。ハードウェアとして特性が固定された低次メカニズムとの中間にある脳内メカニズムについて、成立機序やその意義についてはまだ研究を深める余地があると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

ICT技術により、現在人間が行っている様々な作業シーンにおける情報取得や情報処理の自動化、ICT機器による代替が進む事が予想される。さらに、ネットワーク上に存在する情報リソースを記号化して扱うマイニングは大きな価値を生む事が期待されている。これらの大量データを扱う情報処理のためには、人間と同様な感度特性を持つ(=人間が感じているのと同じような画像情報を得られる)画像処理技術や、感性的表現への変換技術に対し、今後ますます需要が高まると考えられる。

[4] 成果資料

本研究会に関する主な研究報告は以下の通りである。

- [1] Yang, J., Otsuka, Y., Kanazawa, S., Yamaguchi, M.K. & Motoyoshi, I., Perception of surface glossiness in 5- to 8- month old infants. *Perception*, (in press).
- [2] 澤山正貴・木村英司 (2011) 「肌理上の水染み現象に肌理の空間周波数成分が及ぼす影響」 *Vision*, 23, 197-200.
- [3] 加藤幸美, 中内茂樹, 画像特徴量に基づく肌質感・印象要因の分析, *Optics & Photonics Japan 2011 abstract*.
- [4] Fukuda K., Uchikawa K., & Macleod D.I.A., Influence of surrounding colors in the illuminant-color mode on color constancy. *iPerception*, 2011.
- [5] Sato T., Nagai T., & Nakauchi S., Individual differences in higher-order chromatic mechanisms measured with Classification Image technique. *International Colour Vision Society 2011 meeting*.
- [6] Kuriki I., Hue-selective mechanisms in human visual cortex *International Colour Vision Society 2011 meeting*.
- [7] 島倉 瞳, 坂田勝亮, "色順応刺激消失後における色の見えの時間推移", *VISION*, 21(2), 101-114, 2009.
- [8] Arce-Lopera, C., Masuda, T., Kimura, A., Wada, Y., Okajima, K.: Luminance Distribution Influences Vegetables Freshness Perception, 9th Pangborn Sensory Science Sympo., P1.3.01, 2011
- [9] Arce-Lopera, C. & Okajima, K.: Luminance Information Suffices to Model Vegetable Freshness Perception, VSS (Vision Science Society) annual meeting, 2012 (in press)

課題番号 H22/B10

論理学的手法に基づくプログラム検証技術

[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 25,000 円，旅費 179,060 円

[2] 研究経過

本プロジェクトの目的

論理と計算の間の密接な関係性により，論理学と計算機科学は互いに影響を及ぼしながら発展している．とくに，プログラムの安全性・信頼性を保障するための検証技法の研究においては，数理論理学において発展した型理論や項書換えの理論のアイデアが盛んに利用され，大きな役割を果たしている．

本研究では，論理的な手法を用いてプログラムの意味を明らかにし，とくにプログラム検証のための理論を構築し，それに基づいたプログラム検証手法を提案・実装す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初年度であった．上記目的達成のため，一回のプロジェクト研究会を開催し，活発な議論を通して，論理学の立場，計算論の立場，さらにこれらを統合した型理論の立場からプログラミング言語の本質を追及し，プログラム検証技術への応用について検討した．

プロジェクト研究会は，平成 23 年 12 月 7 日から 8 日に東北大学電気通信研究所において，本研究参加の研究者，通研の研究者に加えて仙台高等専門学校の岡本圭史准教授と理化学研究所の安部達也研究員を招き開催され，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．

1. この 10 年程，証明支援系において「超数学」の定理の証明を支援するシステムの研究が活発になされている．ここでの最大の課題は，変数の束縛をシステムでどう処理するかということである．本研究代表者も Pollack と共同で， λ 項を canonical に実現する方法を提案してきた．しかし，この研究を含めて，従来の研究はすべて λ 項をどう具体的に実装するかという方法論に終始してきた．今回の研究では λ 項の本質を存在論的に考察することにより，実装に依存せず， λ 項を特徴づける一階の公理系を

提案した.

2. 再帰的に与えられたプログラムと較べて反復的に与えられたプログラムにおける帰納的定理の自動証明は困難であることが多い. このため, 反復的なプログラムを等価な再帰的でプログラムへと変換する手法が知られている. 変換された再帰的なプログラムがもとの反復的なプログラムと等価であることを, 暗黙帰納法を用いて保証する枠組みを与えた. これにより個々の変換の正当性を保証する構文的な条件を満たさない場合でも, より一般的に変換の正当性を証明する手法を考案した.

3. 交換律や結合律など停止しない書き換え規則をもつ項書き換えシステムの合流性の自動証明法を与えた. 従来このような項書き換えシステムの合流性の証明は, E 停止性と E 危険対を考慮する必要があり, また E 危険対の計算には E 単一化が必要となるため実際に証明手法を適用できる E は限定的であった. 考案した合流性条件は通常危険対のみを用いており, また, E 停止性が保証されない場合でも適用可能な場合がある. また, 簡約関係を保存する完備化を考案し, 提案条件が直接保証できない場合にも完備化によって変形した項書き換えシステムの合流性を保証することによってもとのシステムの合流性を保証する手法を与えた.

4. 段階的計算 (staged computation) のための計算体系に対して, 型理論の立場からの研究を行った. 段階的計算は, 1 つの計算を複数の段階に分割し, 第 n 段階の計算により, 第 $(n+1)$ 段階のプログラムを生成するものであり, 早い段階で得られた情報に特化した効率的プログラムの生成と実行をモデル化した計算である. 段階的計算には, 計算効果 (computational effect) と多相型 (polymorphic type) が不可欠であるという観察のもと, 本年度の研究では, これらを導入した段階的計算のための新しい型付き計算体系を提案し, 計算における型の保存などの主要性質を証明した.

5. また, 段階的計算の実装につなげる理論として, Igarashi と Iwaki らが行った, 段階的計算体系のインタプリタから, プログラム変換により, コンパイラと仮想機械プログラムを系統的に導出する, という研究を発展させた. 先行研究において導出された仮想機械は, それが生成する次段階のプログラムが計算体系の項であったのに対し, 本研究で導出した仮想機械は項をコンパイルした低水準コードの生成を直接行うことができる, という特徴がある.

6. 形式手法では, 何らかの論理体系に基づき, 検証対象の記述・検証等を行う. 本研究では, 既存の命題様相 μ 計算の一階拡張である一階様相 μ 計算を用いて, 一階時相論理達の表現力比較を行った. また並行して, 論理が満たすべき様々な性質 (0-1 法則等) の成立する境界に関する研究を行った.

7. Partitioned Global Address Space (PGAS) 言語は複数の計算ノード上に分散されるデータを局所的な名前による指示でなく大域的な名前による指示を可能にする言語であり, PGAS 言語でプログラムを記述することによりプログラムの可読性を高めることができるかと期待されている. 今回, PGAS 言語 XcalableMP のプログラムに対して, プログラム中の参照と通信とに関する記述を検証するためのツールの開発を行った. 一般に PGAS でない言語で書かれたプログラムにおいては, 計算ノードに分散されたデータの参照や計算ノード間通信の記述に関する検証は困難とされているが, PGAS 言語 XcalableMP で書かれたプログラム中ではそれらの参照や通信に関する記述が従来より構造的に現れるため, これらに関していくつかの検証を行うツールの開発が可能であった. この検証ツールの開発により, プログラムの可読性向上だけでなく, 検証可能なプログラムを記述可能ということもまた PGAS 言語の利点であることを明らかにした.

8. 型無しラムダ・ミュー計算に対するモデルとして, ストリーム・モデルを提案した. ストリーム・モデルはラムダ・モデルの拡張であり, 各ラムダ・ミュー項をストリームを入力とする関数として解釈するものである. 本研究では, 型無しラムダ・ミュー計算の外延的等式体系が外延的ストリーム・モデルに対して健全であることを示した. また, ラムダ・ミュー計算と同等の組み合わせ論理として Stream Combinatory Logic (SCL) を提案し, SCL の構造をヒントとして, ストリーム・モデルの無限代数としての特徴付けを与えた.

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究では, プログラムの本質を追究することによって, より信頼性の高いプログラム開発のための検証技術を実現することを目標に, 論理的な手法, とくに証明論的な立場からプログラミング言語に関する基礎的な研究を行なっている. 証明論のように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, 実際にいくつかのシステムが

実装されている。これらの結果により、より実用的なプログラム検証システムへの応用が期待できる。

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 Yoshihito Toyama. Reduction-preserving completion for proving confluence of non-terminating term rewriting systems. In Proceedings of the 22nd International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2011), 2011, pp. 91–106, LIPIcs, Vol. 10, Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik.

[2] Takahito Aoto, Toshiyuki Yamada and Yuki Chiba. Natural inductive theorems for higher-order rewriting. In Proceedings of the 22nd International Conference on Rewriting Techniques and Applications (RTA 2011), pp. 107–121, LIPIcs, Vol. 10, Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik.

[3] 磯部耕己, 青戸等人, 外山芳人. 多項式サイズ正規形を保証する項書き換えシステムの経路順序. コンピュータソフトウェア, Vol. 29, No. 1, pp. 176–190, 2012.

[4] 岩見宗弘, 青戸等人. 無限項書き換えシステムにおける強頭部正規化可能性および一般生成性の自動反証. コンピュータソフトウェア, Vol. 29, No. 1, pp. 211–239, 2012.

[5] Yuichiro Kokaji, Yuki Yoshi Kameyama. Polymorphic Multi-Stage Language with Control Effects. Proc. Ninth Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2011), Kenting, Taiwan, pp. 105–120, Dec. 2011.

[6] Yuki Yoshi Kameyama, Oleg Kiselyov, Chung-chieh Shan. Shifting the Stage — Staging with Delimited Control. Journal of Functional Programming, 21(6), pp. 617–662, 2011.

[7] Jefferson O. Andrade, Yuki Yoshi Kameyama.

Efficient Multi-Valued Bounded Model Checking for LTL over Quasi-Boolean Algebras. Special Section on Formal Approach, IEICE Transactions on Information and Systems, to appear.

[8] 小山内 幸一, 五十嵐 淳. 低水準コード生成を行う λ - λ 仮想機械の融合変換を使った系統的導出. 日本ソフトウェア科学会第 28 回大会論文集, 2011 年 9 月.

[9] Koji Nakazawa. Combinators for streams. 日本ソフトウェア科学会第 28 回大会論文集, 2011 年 9 月.

[10] Koji Nakazawa, Makoto Tatsuta, Yuki Yoshi Kameyama, and Hiroshi Nakano. Type checking and inference in domain-free lambda calculi. Theoretical Computer Science, 412:6193–6207, 2011.

H22/B11

民生用合成開口レーダシステムの開発と応用

[1] 組織

代表者：間瀬 淳
(九州大学産学連携センター)

対応者：八坂 洋
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

大竹 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)
横田 裕也 (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)
山口 芳雄 (新潟大学工学部)
木村 宏 (岐阜大学工学部)
森山 敏文 (長崎大学工学部)
服部 邦彦 (日本工業大学)
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)
伊藤 直樹 (九州日立マクセル(株))
加茂 圭介 (富士重工業(株) 宇都宮製作所)
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))
川上 春夫 (アンテナ技研(株))
小木曾 賢 (アンテナ技研(株))
酒井 文則 (サクラテック(株))
熊谷 秀夫 (多摩川精機(株))
村手 直明 (中日本航空(株))
能美 仁 (アルウェットテクノロジー(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)
澤谷 邦男 (東北大学大学院工学研究科)
多田 順次 (東北大学電気通信研究所)
水野 皓司 (東北大学電気通信研究所)

研究費：物件費5万円，旅費28.9万円

[2] 研究経過

本研究は、民生応用を目的とした、高分解かつ小型軽量の航空機搭載合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) システムの開発・製作および性能評価を効率よく推進していくことを目的としている。特に、構成要素としてのハードウェアおよびソフトウェアの開発、さらには同技術を組み合わせた先進 SAR システムの製作とその実用化試験を実現するための検討を進めるものである。

具体的には、SAR システムの技術開発、実機適用上の課題検討に関する研究会、SAR システムの試験および運用に関する検討会を通じて、①現在製作あるいは稼働中の SAR システムに関する情報交換、②安心安全社会構築のための航空機等搭載型 SAR リモートセンシングデータの利用システム検討、および新しい民生応用分野の開拓を行っていくことである。以下、研究活動状況の概要を記す。

- 1) 東北大学電気・情報 東京フォーラム 2011：平成23年11月18日、学術総合センターにて開催、本研究グループが推進している「リアルタイム画像レーダ“Live SAR”の開発」についてパネル展示を行った。
- 2) 平成23年度危機管理産業展：平成23年11月9-11日、東京ビッグサイトにて開催、「リアルタイム画像レーダ“Live SAR”」システム本体の一部と紹介パネルを展示した。
- 3) 平成23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 Geoscience and Remote Sensing Society 協賛)：平成24年2月2日13:30-17:30、電気通信研究所1号館N棟4階講堂にて開催、参加者45名。
- 4) 次年度 SAR 設計開発検討会：平成24年2月3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。
- 5) SAR 屋内試験、屋上試験、車輻搭載試験：平成24年2月29日-3月3日、福岡工業大学、九州大学産学連携センターにて実施、参加者15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) 東北大学電気・情報 東京フォーラム 2011：本プロジェクトに関連し、大竹研究室により「リアルタイム画像レーダ“Live SAR”の開発」の題名でパネル展示がなされた。

2) 平成 23 年度危機管理産業展: 本プロジェクトで開発中の SAR システムのハードウェアの一部およびアンテナ等を展示し、犬竹等により説明がなされた。

3) 平成 23 年度東北大学電気通信研究所「共同プロジェクト研究会」: 平成 23 年度の内容は、i) 東日本大震災における対応について、ii) 航空機搭載 SAR システムの適用事例、iii) 航空機搭載高分解 SAR の開発・製作の現状、iv) 最近のトピックス、に大別することができる。それぞれの主な内容を概述する。

i) 宮川 (国土交通省) が「国土交通省の災害対応—東日本大震災における災害ヘリの活動を中心に」の題名で講演した。平成 23 年 3 月 11 日大震災発生時の国土交通省の対応についてまとめ、情報収集・伝達体制の確立、災害対応要員の確保等により態勢の強化が図られていることが述べられた。同震災は昼間での発生であったため、ヘリコプターによる可視画像が取得可能であったが、夜間時の対応についての考察の重要性が述べられた。国土交通省は、災害の拡大防止、二次災害の防止、緊急輸送ルート確保等の役割を担うとともに、所管施設・社会資本・交通に関する被害状況と復旧の見込みなどの情報の収集・提供を行っており、SAR を利用した防災情報把握に関する研究開発の重要性が強調された。

ii) 島田 (JAXA) は「Pi-SAR-L を用いたタイ洪水状況の監視」について報告した。ALOS-2/PALSAR と類似性能を有する航空機搭載 SAR (Pi-SAR) をタイに派遣し、洪水問題に直面したバンコク市や周辺の日系工業団地を含む地域 (約 50 km 四方) を 11 月 5 日～27 日にわたって観測した結果、および、これに先立ち、9 月 24 日～27 日洪水の氾濫域となっていたチャオプラヤの上流域 (ナコンサワン付近からアユタヤ) を観測した結果について報告した。

JAXA は得られたデータを解析し、抽出した浸水域データをタイ国地理情報・宇宙技術開発機構 (GISTDA) へ提出した。GISTDA ではこのデータをホームページ上 (<http://flood.gistda.or.th/>) で公開すると共に、タイ洪水対策本部 (FROC) 等にも提供、データは災害情報把握と洪水対策で使用されている。近年増加する災害の監視には高分解能と広域観測が求められているが、JAXA では、今回得ることができた都市型災害監視の知見を ALOS-2/PALSAR-2 を用いた災害監視に役立てることとしている。

iii) 若山 (三菱電機(株)) は「航空機搭載マルチチャンネル SAR・バイスタティック SAR の検証実験」について発表した。複数の受信アンテナ (および受信機) を備えた Ku バンド合成開口レーダを開発し、移動目標検出機能、マルチスタティック観測機能などを航空機フライト試験により検証している。移動目標検出機能では、受信アンテナを軌道方向に配置し、同じ

領域をわずかな時間差で複数回撮像する。得られた複数の SAR 画像の差異を抽出することにより、移動目標検出が可能となる。マルチスタティック観測機能の検証では、レーダ波の送受信を航空機から行うとともに (モノスタティック撮像)、地上にも受信アンテナを設置し、散乱波を受信した (バイスタティック撮像)。今回のバイスタティック撮像では小さな俯角で受信を行ったことから、ビルや橋脚などの影を明瞭に捉えるなど、モノスタティック撮像とは異なる特徴を持つ SAR 画像を得ることができたことを報告した。

能美 (アルウェットテクノロジー(株)) が「航空機搭載合成開口レーダ “ATSAR”」について紹介した。ATTAR は同社が開発製作した航空機等搭載 SAR システムである。リアルタイム画像生成が可能なソフト (GUI) を搭載し、小型軽量 (13 kg) で航空機等の窓越しからも観測が可能という特徴を有しているため、使用航空機の改造が不要という利点がある。現在、観測幅 10 km、距離 15 km、高度 300-6000 m で、空間分解 0.3-5 m が得られている。講演では、実際の運転試験が紹介され、雲が存在する中クリアなリアルタイム画像が紹介された。

iii) 犬竹 (東北大学)、間瀬 (九州大学)、近木 (福岡工大) が「リアルタイム画像レーダ “Live SAR” およびレーダソフト “SAR-Tools” の開発」について発表した。平成 21 年度採択された国交省河川局委託研究の開発目標は、Ku バンドのマイクロ波を用い、高分解能 (10 cm)、小型軽量 (30 kg 以下) で、機上におけるリアルタイム画像生成が可能なスポットライト合成開口レーダ (SAR) を開発することである。

有人・無人の航空機・ヘリコプターに搭載可能な、小型軽量・高分解能・高画質の “スポットライト SAR” は、リアルタイム画像や移動体の検出も可能であり、大規模水害等の自然災害時の河川・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る。この “スポットライト SAR” は、日本では実用化されたものはなかったが、国土交通省河川技術開発公募委託研究により開発が進行中である。

本講演では、平成 21 年度と 22 年度の委託研究で完成したリアルタイム画像レーダ (呼称 “Live SAR”) のハードウェアについてまとめ、平成 23 年度に開発したジンバル追尾制御ソフトの屋外車上試験結果、およびアンテナ特性の室内試験結果、さらに、ユーザーフェイスや画像生成ソフトなどの各種ソフトウェア (呼称 “SAR-tools”) の開発結果について報告された。

iv) 佐藤 (東北大学) は、「地上設置 “GB-SAR” による土砂崩れ監視」について発表した。東北大学東北アジア研究センターでは地滑りで被災した車両の捜索を行うなど、実践的な電波科学による防災・減災技術開発を行っている。宮城県・栗原市では岩手・宮城内

陸地震で生じた同市荒砥沢地域の大崩落現場の2次災害防止のための崖面モニタリングの方法を検討していたが、GB-SAR（地表設置型合成開口レーダ）がこの目的にふさわしいことが分かったことから、東北大学は栗原市と協同で東北地方初となる特定実験試験局による17GHz GB-SAR装置を設置し、地滑りをリアルタイムでモニタリングするシステムを2011年秋から開始している。

今後5年間にわたる長期モニタリングと地域住民への早期警戒情報の提供を行う事を目的としていること、崖崩れのモニタリングを実際に行いながら、防災分野でのレーダの応用と地方自治体への防災情報の提供について実践的な社会実験を通じた研究を進めることなどを話した。

4) 次年度 SAR 開発計画および地上試験・航空機搭載試験の具体化に関する検討会：本検討会では、“Live SAR”に適用する制御ソフトウェア、画像解析ソフトウェアについての討論が行なわれると共に、“Live SAR”完成後の試験方法について討論が行なわれた。

5) リアルタイム画像レーダ“Live SAR”地上試験が2月29日～3月3日にわたって、九州地域で実施された。屋内でのシステム検証試験、屋上からの地上観測試験、車輦搭載試験の順に行った。

(3-2) 波及効果と発展性など

1) 本プロジェクトにより、SAR 研究に関連し、全国的な規模でのネットワークの拡大、特に、民生用を中心とした応用分野の広がり、産学連携など新しい観点に基づいたネットワーク構築を図ることができた。

2) プロジェクト研究の主目標の一つである、スポットライト方式 SAR システムの開発では、国土交通省委託研究（代表者：犬竹）による SAR システムの開発が進められ、地上試験まで行われた。

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が進んでいる。

[4] 成果資料

(1) 小田 誠、間瀬 淳、水野皓司：「ミリ波放射計を用いた果実糖度の非破壊測定技術の開発」電子情報通信学会論文誌 **J94-C**, 9, 244-251 (2011).

(2) D. Zhang and A. Mase, “Experimental Study on Radar-Based Breast Cancer Detection Using UWB Antenna without Background Subtraction”, *Biomed. Eng.: Applications, Basis and Communications* **23**, 5, 383-391 (2011).

(3) B. Tobias, N. C. Luhmann, Jr. *et al.*, “Recent Progress on Microwave Imaging Technology and New Physics Results”, *Plasma Fusion Res.* **6**, 2106042 (2011).

(4) A. Mase, N. Ito, Y. Komada, M. Oda, D. Nagae, D. Zhang, Y. Kogi, S. Tobimatsu, T. Maruyama, Y. Nagayama,

D. Kuwahara, T. Yoshinaga, S. Yamaguchi, T. Tokuzawa, K. Kawahata, and S. Padhi, “Microwave reflectometric measurement of biological signals”, *Proc. Electromagnetic Compatibility Symp., Perth, Australia* (Nov. 2011) pp. 57-63.

(4) M. Oda, A. Mase, and K. Uchino, “Non-destructive Measurement of Sugar Content in Apples using Millimeter Wave Reflectometry and Artificial Neural Networks for Calibration”, *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf. 2011, Melbourne, Australia* (Dec. 2011) pp. 1386-1389.

(5) D. Zhang and A. Mase, “Radar-Based Breast Cancer Detection Experiment with Synthetic Breast Phantom Using Model Subtraction Method”, *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf. 2011, Melbourne, Australia* (Dec. 2011).

(6) M. Oda, A. Mase, and K. Uchino, “Nondestructive Measurement of Sugar Content in Apples by Millimeter-Wave Reflectometry”, *J. Infrared Milli. Terahz Waves* **33**, 5 (2012).

(7) A. Mase, N. Ito, M. Oda, Y. Komada, D. Nagae, D. Zhang, Y. Kogi, S. Tobimatsu, T. Maruyama, H. Shimazu, E. Sakata, F. Sakai, D. Kuwahara, T. Yshinaga, T. Tokuzawa, Y. Nagayama, K. Kawahata, S. Yamaguchi, S. Tsuji-Iio, C. W. Domier, N. C. Luhmann, Jr., H. K. Park, G. Yun, W. Lee, S. Padhi, and K. W. Kim, “Reflectometric measurement of plasma imaging and applications”, *J. Instrum. (JINST)* **7**, C01089/1-22 (2012).

(8) M. Watanabe, C. Yonezawa, J. Iisaka, and M. Sato, “ALOS/PALSAR full polarimetric observations of the Iwate/Miyagi nairiku earthquake of 2008”, *Int. J. Remote Sensing* **33**, 4, 1234-1245 (2012).

(9) A. Gaber, M. Koch, H. Griesh, and M. Sato, “SAR Remote Sensing of Buried Faults: Implications for groundwater exploration in the western desert of Egypt”, *Sensing and Imaging* (2011).

(10) 間瀬、張、伊藤、北條：「マイクロ波イメージングシステム」特開 2011-112403 (平成 23 年 6 月)。

(11) 間瀬、長江：「被験体状態解析用信号のピーク周波数測定システム」PCT/JP2011/053028 (平成 23 年 2 月)。

(12) 間瀬、伊藤、坂田、嶋津、駒田：「生体情報検出システム」特願 2011-39954 (平成 23 年 2 月)。

(13) 間瀬、伊藤：「マイクロ波イメージングシステム及びイメージング処理方法」特願 2011- 257384 (平成 23 年 11 月)。

(14) 近木、犬竹、池地、間瀬、酒井：「高精度遅延波発生回路装置」出願予定（作成中）

(15) 犬竹 他：「リアルタイム画像生成合成開口レーダ」、危機管理産業展 2011 出展、東京ビッグサイト (2011 年 10 月 19-21 日)。

(16) 犬竹 他：「Ku バンド合成開口レーダシステム」地上試験（車輦搭載試験）(2012 年 3 月)。

採択番号 H23 / B01

ナノ構造磁性材料を利用した次世代通信機器用 MEMS/高周波デバイスに関する研究

[1] 組織

代表者：曾根原 誠

(信州大学工学部)

対応者：石山 和志

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

福永 博俊 (長崎大学工学部)

中野 正基 (長崎大学工学部)

柳井 武志 (長崎大学工学部)

曾根原 誠 (信州大学工学部)

本田 崇 (九州工業大学大学院工学研究院)

竹澤 昌晃 (九州工業大学大学院工学研究院)

山本 健一 (琉球大学工学部)

宮城 大輔 (東北大学大学院工学研究科)

井上 光輝 (豊橋技術科学大学大学院)

高木 宏幸 (豊橋技術科学大学大学院)

直江 正幸 (電磁材料研究所)

佐藤 敏郎 (信州大学工学部)

研究費 : 旅 費 379,000 円

消耗品 50,000 円

[2] 研究経過

携帯電話やパソコンを始め情報通信機器の発展は著しく、次世代のそれら機器に対応するためには、材料からデバイスまで一貫した研究開発が必要不可欠である。特に、MEMS やアクチュエータ、磁気センサ、インダクタなどの磁気部品は多種多様利用されていて、これらの小型化・高性能化が急務となっている。そこで、本プロジェクトの研究目的として、①「計算機シミュレーションを利用したナノ構造磁性材料の設計に携わる研究者」・②「ナノ構造磁性材料の創製・構造観察・特性評価に携わる研究者」・③「ナノ構造磁性材料を利用し、MEMS やインダクタなど磁気デバイスへの応用を図る研究者」の3つのグループにより構成される研究者が一同に介し、開発における分野を横断した議論をもとに本分野の発展を図ることを目的とする。以下、研究活動状況の概要を記す。

(2-1) 研究会

日 時：平成23年11月22日 (火) 10:30~18:20

場 所：東北大学電気通信研究所

(〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1)

テーマ：「ナノ構造磁性材料を利用した次世代通信機器用 MEMS/高周波デバイスに関する研究」

11月22日 (火)

10:30~11:50 「強磁性/反強磁性交換結合薄膜の磁気 Kerr 効果を利用した光プローブ式電流センサの開発」 曾根原 誠, 佐藤 敏郎 (信州大学)

11:50~13:05 <昼休憩>

13:05~14:25 「ナノグラニューラ薄膜の応用」

直江 正幸 (電磁材料研究所)

14:25~15:30 「圧縮応力下における電磁鋼板の磁気特性」 宮城 大輔 (東北大学)

15:30~15:35 <小休憩>

15:35~16:25 「カプセル内視鏡に搭載するマイクロ磁気アクチュエータの開発」 本田 崇 (九州工業大学)

16:25~16:30 <小休憩>

16:30~17:40 「低環境負荷な電解めっき法による通信機器・MEMS・高周波デバイス用軟磁性薄膜の開発」 柳井 武志, 中野 正基, 福永 博俊 (長崎大学)

17:40~17:45 <小休憩>

17:45~18:20 「マグネによるグリーンデバイス創成」 佐藤 敏郎, 曾根原 誠 (信州大学)

(2-2) 平成23年度共同プロジェクト研究発表会

日 時：平成24年 3月 2日 (金) 12:00~18:00

場 所：江陽グランドホテル

(〒980-0014 仙台市青葉区本町2-3-1)

テーマ：「ナノ構造磁性材料を利用した次世代通信機器用 MEMS/高周波デバイスに関する研究」

3月2日 (金)

12:00~18:00 「ナノ構造磁性材料および磁性微粒子を利用した高周波磁気デバイスの研究」(ポスター発表) 曾根原 誠, 佐藤 敏郎 (信州大学)

[3] 成果

(3-1) 研究会の研究成果

本年度は、以下に示す研究成果について講演発表すると共に、質疑・討論を行なった。

最初に、高周波にも対応し、EVやHEVの車内で利用することを目的とした電流センサについての発表があった。外部からの電磁障害の影響を受けない光をプローブとする電流センシングの方法として、磁性体の磁気Kerr効果に着目し、これを基に光プローブ電流センサモジュールを作製し、EVのPCU内で利用されているIGBTのスイッチング電流の測定を行なった。本センサは、磁気・光変換方式のセンサであるため伝送経路が光ファイバとなりノイズの重畳を受けない利点を持つ。本センサの磁気Kerr効果用磁性体には、Fe-Si/Mn-Ir交換結合単磁区磁性膜を用いており、電流磁界による磁化過程として回転磁化のみを利用することで、磁壁移動ピンニングによるバルクハウゼンノイズをとまわず、また回転磁化の高速応答性による広帯域センシングが可能などの利点がある。本報告では、センサヘッドの大きさを $3.49 \times 4.85 \text{ cm}^2$ とした電流センサを試作し、それを用いて、60 AまでのIGBTスイッチング電流を測定した結果について述べた。この報告に対し、更なる小型化や感度向上に対する議論があった。

次に、MEMSおよび高周波デバイス・センサへの利用を図るナノ磁性材料についての報告があった。初めに超常磁性の(CoFe)-(MgF)ナノグラニューラーTMR薄膜を用いた磁気センサ素子GIGS®についての報告がされた。本センサの実用化においては、本質的な特性に加え、耐熱性などの長期信頼性に係わる性能の評価および向上が重要課題であり、近年はこの耐熱性向上に研究が傾倒している。この改善策として、(Co-Fe)-(Mg-F)系TMR膜の主成分であるMg-Fを、バリア層として絶縁保護膜との界面に配置した結果、GIGSの耐熱性がTMR膜本来の挙動に回復することを実証した。この報告に対して、各層に対する拡散侵入などに関する質疑があった。また、圧縮応力下における電磁鋼板の磁気特性について報告があったが、共同研究の制約上、ここには記載しない。

続いてカプセル内視鏡に搭載するマイクロ磁気アクチュエータに関する報告があった。本研究では、摩擦駆動型リニア電磁アクチュエータを基本構成とするカプセル内視鏡に搭載可能な細胞診ブラシ駆動機構を有するもので、本アクチュエータの移動子はNdFeB磁石($\phi 5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$)に、一方向へ傾けた4本の「脚」を取り付け、これを固定子のパイプ内に挿入して構成される。移動子にはフレキシブルジョイントを介して細胞診ブラシを取り付けた。本アクチュエータは外部からの交流磁界で直接駆動されるが、共振周波数の前後で移動方向が変化するため、ブラシの出し入れを周波数で制御することができる

特長を有する。実験の結果、アクチュエータの移動方向は200 Hz付近で切り替わり、75 Oe印加時のブラシの最大推力は約40 mNであった。ブラシと生肉との摩擦力が30 mN程度あるため、今後更なる推力の増大が必要と考察した。ただし、実際に生肉上でブラシを駆動させたところ問題無くブラシを駆動することができた。カプセルの回転実験は、乾燥したシリコーンゴムパイプ内で行なった。25 Oeで6 Hz以下の回転磁界で回転できることを確認し、ポテンシオメータを利用した手動のコントローラでの駆動も可能とした。この報告に対し、磁石の取付け位置や駆動方法について議論があった。

続いてMEMS・高周波デバイス用めっき法による何磁性材料の開発について報告があった。高周波デバイスにおけるクロストークノイズ抑制効果を図った信号線路被覆用磁気シールド膜を研究対象とし、電解めっきを用いた細線へのFeNi膜の成膜に関する基礎検討を行なった。めっき浴はNiめっきの代表的な浴であるワット浴をベースとし、Feイオンの供給源として硫酸鉄を加えた。また、近年の環境への意識の高まりを踏まえ、排水規制物質であるホウ素を含むホウ酸をクエン酸に置換し、潮解性が高く試薬管理の面で不利な塩化ニッケルを塩化ナトリウムに置換した浴を用いた。15 × 5 × 0.5 mm³のCu基板にクエン酸量を変化させ成膜した場合、クエン酸を約30 g/Lの添加で、著しく保磁力が低減し、良好な軟磁気特性を示した。この報告に対し、塩化ナトリウム量と磁気特性の関係など議論があった。

最後に磁性微粒子を平面インダクタ磁心に用いたLSIパッケージ内蔵型電源の開発について報告があった。本研究が実現すれば、LSI駆動用電源をパッケージ内に入れることで配線損失を低減することができ、電源変換効率を向上することができる。発表では、LSIパッケージ内に入れたインダクタの試作状況について述べられた。この報告に対し、定量的に変換効率ほどの程度向上するかなど議論があった。

(3-2) 共同プロジェクト研究発表会の成果

他分野の研究者の方々に本研究会の研究内容を認知して頂け、また情報交換ができ非常に有意義であった。特に東日本大震災で再認識されたエネルギーの問題に対し議論が多かった中、省エネ技術に関しても重要視している本研究会の内容は、注目して頂いた。

(3-3) 波及効果と発展性など

上記の研究内容を踏まえて、今後発展が考えられる内容を列挙する。

(1) MEMSや高周波磁気デバイス/センサ応用のナノ

構造磁性材料の開発により、低損失かつ高効率な各種デバイスや高出力かつ高精度なセンサの開発が実現できる。

(2) 本研究会で発表された EV/HEV 用電流センサが開発されることで、コンバータおよびインバータの変換効率が向上できると考えられる。

(3) 本研究会で発表されたマイクロアクチュエータが開発されることで、比較的簡便に制御でき、医療応用のみならず一般的な工学分野でも適用できる可能性がある。

(4) 2 A の直流重畳電流を流してもインダクタンス値は低下することがない大電流用インダクタを LSI パッケージに内蔵することで今よりも約 4 %も電力変換効率を向上でき、多くの装置・機器に適用されれば多大なる省エネ効果が生まれると期待される。

上述の通り、本研究会の研究テーマは、著しく社会的貢献をすると考えられる。また、材料からデバイスまでを一貫して研究することで、短期間での実現が可能であり、本研究会は有意義である。

[4] 成果資料

- (1) Hideyuki Ito, Asako Takeuchi, Shinya Okazaki, Hiroki Kobayashi, Yuichiro Sugawa, Akihiro Takeshima, Makoto Sonehara, Nobuhiro Matsushita, Toshiro Sato; "Fabrication of Planar Power Inductor for Embedded Passives in LSI Package for Hundreds Megahertz Switching DC-DC Buck Converter", *IEEE Trans. Magn.*, **47**, 10, pp. 3204-3207 (2011).
- (2) 岡崎 眞也, 竹内 有沙子, 竹島 顕大, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎, 松下 伸広; "DC-DC コンバータ LSI パッケージ内蔵用 Zn フェライト厚膜プレーナパワーインダクタの試作", *電気学会論文誌A*, **131**, 7, pp. 484-489 (2011).
- (3) 曾根原 誠, 加山 慎二, 佐藤 敏郎, 山沢 清人, 三浦 義正; "信号線路に無電解 Ni-P 合金めっき膜を被覆した低クロストーク高密度プリント回路基板の作製と特性評価", *Journal of the Magnetism Society of Japan*, **35**, 2, pp. 82-87 (2011).
- (4) K. Kawasaki, H. Fukunaga; "Computer Simulation of Enhancement of Coercivity in Nd-Fe-B/(Nd, Dy)-Fe-B Composite Magnets", *Journal of Magnetism*, **16**, 2, pp. 145-149 (2011).
- (5) H. Fukunaga, T. Kamikawatoko, M. Nakano, T. Yanai, F. Yamashita; "Effect of laser beam parameters on magnetic properties of Nd-Fe-B thick-film magnets fabricated by pulsed laser deposition", *Journal of Applied Physics*, **109**, 7, pp. 07A758-1-07A758-3 (2011).
- (6) M. Nakano, M. Sahara, T. Yanai, F. Yamashita, H. Fukunaga; "Nd-Fe-B thick film magnets with Nb additive prepared by vacuum arc deposition method", *Journal of Applied Physics*, **109**, 7, pp. 07A755-1-07A755-3 (2011).
- (7) M. Nakano, W. Oniki, T. Yanai, H. Fukunaga; "Magnetic properties of pulsed laser deposition-fabricated isotropic Fe-Pt film magnets", *Journal of Applied Physics*, **109**, 7, pp. 07A723-1-07A723-4 (2011).
- (8) F. Yamashita, S. Nishimura, O. Kobayashi, M. Itoh, M. Nakano, H. Fukunaga, K. Ishiyama; "Enhancement in magnetic torque of cylindrical micro rotor by usage of directly consolidated-Fe/Pr₂Fe₁₄B-based nanocomposite thick-films", *Journal of Applied Physics*, **109**, 7, pp. 07A712-1-07A712-3 (2011).
- (9) H. Fukunaga, Y. Sugimoto, M. Nakano, T. Yanai, S. Ohta, M. Itakura, M. Nishida; "Coercivity enhancement of Dy-coated Nd-Fe-B flakes by crystallization", *Journal of Applied Physics*, **109**, 7, pp. 07A701-1-07A701-3 (2011).
- (10) Takashi Honda, et al.; "Swimming mechanics of dragonfly nymph and the application to robotics", *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, **27**, 3, pp. 163-175 (2008).
- (11) Takashi Honda, et al.; "Cylindrical micropump driven by external magnetic fields", *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, **25**, 1-4, pp. 511-516 (2007).
- (12) 竹澤 昌晃, 他; "元素戦略プロジェクト「低希土類元素組成高性能異方性 ナノコンポジット磁石の開発」の狙いと課題", *日本金属学会誌*, **73**, 3, pp. 135-140 (2009).
- (13) Masaaki Takezawa, et al.; "Magnetic Domains and Magnetization Process of Amorphous Granular (CoFeB)-SiO₂ Thin Films", *Journal of Applied Physics*, **103**, 7, 07E723 (2008).
- (14) 曾根原 誠, 他本研究会分担者共著; "東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究会 H22/B03, H23/B01 活動報告書", (2012).

他多数

課題番号 H23/B02

ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用に関する研究

[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
(名古屋大学大学院 工学研究科)

堀口 文男
(東洋大学 工学部
コンピューショナル工学科)

内富 直隆
(長岡技術科学大学 工学部電気系)

佐竹 郁夫
(大阪大学 大学院理学研究科)

白石 賢二
(筑波大学 大学院数理物質科学研究科)

名取 研二
(東京工業大学フロンティア研究機構)

有門 経敏
(東京エレクトロン株式会社)

執行 直之
(東芝 セミコンダクター社)

鳥海 明
(東京大学大学院工学系研究科)

丹羽 正昭
(筑波大学数理物質科学研究科)

福間 雅夫
(半導体産業研究所)

生田目 俊秀
(独立行政法人物質・材料研究機構)

最上 徹
(日本電気株式会社)

研究費：物件費 5万円，旅費 46万円

[2] 研究経過

現代のエレクトロニクス社会を支えるメモリ技術の中核を担うシリコン半導体デバイスは、既に数十ナノメートルのスケールに到達しており、そのさらなる高速化・低消費電力化・高集積化・高信頼化を目指して、多くの材料・プロセス・デバイス・回路技術が提案されてきている。しかし、シリコンデバイスの微細化がナノスケールまで進むとともに、量子効果と統計的揺らぎ効果を伴う様々な新しい半導体物理現象が発現し、従来技術に従うデバイス・スケールリングによるメモリの大容量化・高性能化は非常に困難となる。実際、半導体メモリの代表格であるフラッシュメモリ（ファイルメモリ）、DRAM（メインメモリ）、SRAM（キャッシュメモリ）など産業上中核をなす全てのシリコン半導体メモリにおいて、従来の動作原理のままでは、20nm 世代以降の微細化・大容量化を実現することが困難であると予想される。

現在、ReRAM, STTRAM などのナノ材料の新しい物性及びナノ構造デバイスを活用した新しいメモリ技術の研究が盛んに行われているが、新規物性を利用したデバイスとシリコン技術の融合については十分な議論がなされていないのが現状である。この状況を打破するためには、ナノスケールにおけるデバイスの動作原理にまで立ち返り、材料の検討とデバイスの構築を行い、集積回路の基盤技術であるシリコン技術との融合を図ることが必要不可欠である。

本共同プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、将来の新概念大容量メモリのあるべき姿とそのシステム応用に対する今後の技術戦略を立案することを目的として研究を進めてきた。本プロジェクトは、本年度が初年度であった。本年度ではナノスケール半導体材料とシリコンデバイス・回路技術の両分野から、「新概念大容量メモリとそのシステム応用」の課題について学際的な検討を進め、ナノスケール時代でも安定・高速に動作可能な超大容量メモリ技術の方向性、及び、具体的な設計手法に関して、研究を進めた。

さらにこれまでの研究成果を総括し、今後の新た

な研究への発展の足がかりとすべく、昨年度の大震災により延期となった研究会を持ち越して、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24年3月3日に本研究について研究会を開催し、将来の新概念大容量メモリのあるべき姿とそのシステム応用に対する今後の技術戦略について検討を深めた。

○「NWDTF-11 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)

加えて、半導体研究の中核を担う研究者の集まる研究会 IWDTF、ゲートスタック研究会などを中心に、コアメンバーによる議論を行い、上記課題への理解を深化した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本共同プロジェクトでは、「ナノ材料の物性」と「プラットフォームであるシリコン技術」との融合を意図し、当該分野の第一線の研究者を組織し、分野横断的かつ緊密な議論を行い、得られた知見を有機的かつ効率的につなぐことで、将来の新概念大容量メモリのあるべき姿とそのシステム応用に対する今後の技術戦略が明らかになることを目標としている。

本研究会においては、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念大容量メモリとそのシステム応用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て進めるべき課題、①ナノ材料、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システム・アーキテクチャ設計、⑦CAD ツール技術の各7項目に対して、幅広く検討を行った。これらの学術分野からの切り口による個別の課題に対する討議だけでなく、そのシステム応用までを視野に入れた検討も系統的・機動的に組み合わせて、分野横断的かつ緊密な議論を行うことで、各要素技術及び将来の新概念大容量メモリのシステム応用への発展も目指して実施した。

(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通して、ナノ材料とシリコン技術の融合という観点において、ナノスケール時代でも安定で高速動作可能な新概念大容量メモリを実現するための今後の技術戦略を、新材料特性やメモリ回路構造の活用からそのシステム応用まで見据えて、新概念高性能メモリの新たな研究方向を拓くだけでなく、これまでのメモリと関連する

材料、デバイス、回路技術の理解をさらに深めて体系化することも期待できる。物性理論や数学などのサイエンス分野の研究者と、材料・製造プロセス・デバイス・回路のテクノロジー分野の研究者の英知を集めて当該技術戦略目標を策定することにより、ナノエレクトロニクス時代の情報通信産業、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・競争力の強化に貢献するものを期待される。また、本共同プロジェクトは、大学に籍を置く研究者と日本を代表する企業の研究者とコラボレーション研究会であり、将来の産学連携への発展を期待する

[4] 成果資料

- (1) Takashi Yamamoto; Singo Ogawa; Masahiro Kunisu; Junichi Tsuji; Koji Kita; Masayuki Saeki; Yudai Oku; Hiroaki Arimura; Naomu Kitano; Takuji Hosoi; Takayoshi Shimura; Heiji Watanabe, “Electronic Structure Characterization of La Incorporated Hf-Based High-k Gate Dielectrics by NEXAFS” *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11 (4) 2823, 2011
- (2) Gaku Okamoto, Katsuhiko Kutsuki, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, Heiji Watanabe, “Electrical Characteristics of Ge-Based Metal-Insulator-Semiconductor Devices with Ge₃N₄ Dielectrics Formed by Plasma Nitridation” *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11 (4) 2856, 2011
- (3) Hiroaki Arimura, Yuki Odake, Naomu Kitano, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, “Detrimental Hf penetration into TiN gate electrode and subsequent degradation in dielectric properties of HfSiO high-k film” *Appl. Phys. Lett.* 99, 142907-1-3, 2011
- (4) Masayuki Saeki, Hiroaki Arimura, Naomu Kitano, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, “La Induced Passivation of High-k Bulk and Interface Defects in Polycrystalline Silicon/TiN/HfLaSiO/SiO₂ Stacks” *Jpn. J. Appl. Phys.* 50, 10PA01, 2011.
- (5) Takashi Yamamoto, Shingo Ogawa, Hiroaki Arimura, Masayuki Saeki, Naomu Kitano, Takuji

- Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, “Impact of Thermally Induced Structural Changes on the Electrical Properties of TiN/HfLaSiO Gate Stacks” *Jpn. J. Appl. Phys.* 50, 10PA02, 2011
- (6) Shingo Ogawa, Taichi Suda, Takashi Yamamoto, Katsuhiko Kutsuki, Iori Hideshima, Takuji Hosoi, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, “Insight into unusual impurity absorbability of GeO₂ in GeO₂/Ge stacks”, *Appl. Phys. Lett.* 99 (14) 142101-1-3, 2011
- (7) Takuji Hosoi, Katsuhiko Kutsuki, Gaku Okamoto, Akitaka Yoshigoe, Yuden Teraoka, Takayoshi Shimura, and Heiji Watanabe, “Synchrotron Radiation Photoemission Study of Ge₃N₄/Ge Structures Formed by Plasma Nitridation”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50, 10PE03, 2011.
- (8) S. Ogiwara, Y. Suzuki, C. Yoshimoto, T. Hosoi, T. Shimura, H. Watanabe, “High-quality Single-crystal SiGe Layers on Insulator Formed by Rapid Melt Growth”, *International Meeting for Future of Electron Devices*, p. 70, Kansai Osaka. Japan, 2011
- (9) Heiji Watanabe, Katsuhiko Kutsuki, Iori Hideshima, Gaku Okamoto, Shoichiro Saito, Tomoya Ono, Takuji Hosoi and Takayoshi Shimura, “(Invited) Fundamental Aspects and Interface Engineering of Ge-MOS Devices”, 2011 MRS Spring Meeting Program and Exhibit Guide, p.178, 2011.
- (10) Moon-Sik Seo, Sung-Kye Park, and Tetsuo Endoh, “3-D Vertical FG NAND Flash Memory With a Novel Electrical S/D Technique Using the Extended Sidewall Control Gate” *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES*, VOL. 58, NO. 9, pp. 2966-2973, September, 2011
- (11) Masakazu Muraguchi, Yoko Sakurai, Yukihiro Takada, Yasuteru Shigeta, Mitsuhisa Ikeda, Katsunori Makihara, Seiichi Miyazaki, Shintaro Nomura, Kenji Shiraishi, and Tetsuo Endoh, “Collective Tunneling Model in Charge-Trap-Type Nonvolatile Memory Cell” *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol 50, No. 4, pp. 04DD04-1~4, April, 2011
- (12) Moon-Sik Seo and Tetsuo Endoh, “The Optimum Physical Targets of the 3-Dimensional Vertical FG NAND Flash Memory Cell Arrays with the Extended Sidewall Control Gate (ESCG) Structure” *IEICE TRANSACTIONS on Electronics*, Vol. E94-C, No. 5, pp. 686-692, May, 2011
- (13) Yuto Norihusa and Tetsuo Endoh, “Impact of Floating Body Type DRAM with the Vertical MOSFET” *IEICE TRANSACTIONS on Electronics*, Vol. E94-C, No. 5, pp. 705-711, May, 2011
- (14) Moon Sik Seo and Tetsuo Endoh, “New Design Method of the 3-Dimensional Vertical Stacked FG Type NAND Cell Arrays without the Interference Effect” 2011 International Symposium on VLSI Technology, Systems and Applications (VLSI-TSA2011), Proceedings of Technical Program pp. 152-153, Hsinchu, Taiwan, April 25-27, 2011
- (15) T. Endoh, “Restructuring of Memory Layer in Electrical System and Its Novel Evolution with Nonvolatile Logic” *ECS Transactions*, Vol. 41, Issue 7, ULSI Process Integration 7, Chapter 2, Memory Technologies, pp. 59-71, September, 2011

課題番号 H23/B03

将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料と ナノ構造デバイスに関する研究

[1] 組織

代表者：山部 紀久夫
(筑波大学 大学院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
(筑波大学 大学院数理物質科学研究科)

蓮沼 隆
(筑波大学 大学院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)

奈良 安雄
(富士通セミコンダクター)

望月 康則
(NEC中央研究所)

金田 千穂子
(富士通研究所)

佐藤 基之
(東芝デバイスプロセス開発センター)

廣瀬 和之
(JAXA-宇宙航空研究開発機構)

研究費：物件費 5万円，旅費 32.7万円

[2] 研究経過

シリコンMOS集積回路技術に基づく電子システムはエレクトロニクス社会を支える基盤である。将来の大

規模マルチメディア情報処理や超高速データ通信、知能化生活支援・管理などを実現できるユビキタス電子システムの実現に向けて、電子システムには今後もより一層の継続的な高性能化が求められており、その中核を担う集積回路の高性能化、高集積化、高速化、低消費電力化、低コスト化は必要不可欠である。一方で、集積回路を構成する基本素子であるシリコンMOSデバイスは、既に数十ナノメートルのスケールに到達している。そのため、ナノ半導体材料・ナノデバイス中では、微細化に伴う様々な量子効果と統計的揺らぎ効果を伴う新しい現象が発現し、従来の学理と技術だけではこれ以上の高性能化が困難な状況に達している。特に、将来の電子システムを構築する上で、必要不可欠な10nm以降の真のナノメータ世代にまで対応可能なナノ半導体材料およびナノ構造デバイス技術は、未だ確立されていないのが現状である。

本共同プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、将来の電子システムのためのナノ半導体材料とナノ構造デバイスのあるべき姿について、緊密に研究討論を行い、その学理と技術の構築を目指す。そして、得られた知見を基に将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料・ナノ構造デバイスの今後の技術戦略を提案することを目的として研究を進めてきた。

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、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料開発およびナノ構造デバイス構築のための指導原理と中心技術の開拓を目指すと共に、それを応用した新しい次世代ナノメータ電子システムの創生も目指している。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。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24年3月3日に本研究についての研究会を開催し、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料・ナノ構造デバイスの今後の技術戦略について検討を行った。

○ 「NWDTF-11 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)

加えて、半導体研究の中核を担う研究者の集まる研究会 IWDTF、ゲートスタック研究会などを中心に、コアメンバーによる議論を行い、上記課題への理解を深化した。

[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

将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料およびナノ構造デバイスにおいて、ナノスケールで発現する量子効果と統計的揺らぎ効果により生じる、諸半導体表面の現象の検討と応用、それを支える学理の方向性を明らかにすることを目標として研究を進めた。量子論・統計学などを学術的背景とする研究者と、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産学官の幅広い研究者を招聘し、研究会を実施し、上記課題について、検討を進めた。開催した研究会においては、Beyond CMOS時代に要求されるシステムとアーキテクチャ、Deterministic Dopingの今後のナノエレクトロニクスへの位置づけ、ナノ構造デバイス中のチャンネル伝導機構などを研究会において討論し、将来の電子システムのためのナノ半導体材料とナノ構造デバイスのあるべき姿について、緊密に研究討論を行った。

これにより、単なるナノ半導体材料とナノ構造デバイスの研究にとどまらない、より上位の電子システムまでを視野に入れた学問分野の構築のための端緒を得た。

(3-2) 波及効果と発展性など

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、産学官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 との共同で研究会を開催することができた。これにより、より深くナノ構造半導体材料とその新機能半導体デバイス技術について意見交換および技術討論を行う場を得て、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料・ナノ構造デバイスに対する今後の技術戦略の提案が期待できる。電子システムの中核を担う半導体材料・デバイスの技術分野が、日本の基幹産業のひとつであるため、今後のナノメータ時代に適合するその学理と技術を再構築することの意義は非常に大きい。また、ナノ半導体分野は、バイオテクノロジー、生態認証、磁性デバイス、MEMS など多くの異なる技術分野に対する共通プラットフォームになることが期待されているため、本研究会での成果は、半導体分野のみ

ならず、今後のナノテク分野を広くカバーするような波及効果を持つと考えられる。

また、当該研究会においては、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ており、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、本プロジェクトで検討を進めている、将来の電子システムに要求されるナノ半導体材料とナノ構造デバイスに関する研究は今後の日本の科学技術の発展に大きく貢献するものと考えられ、大きな展開が期待される。

[4] 成果資料

- (1) Yuusuke Hayashi, Ryu Hasunuma and Kikuo Yamabe, "Generation and Growth of Atomic-scale Roughness at Surface and Interface of Silicon Dioxide Thermally Grown on Atomically Flat Si Surface", Key Engineering Materials Vol. 470 pp 110-116, 2011.
- (2) R. Hasunuma, T. Fukasawa, R. Kosugi, Y. Ishida, and K. Yamabe, "Two-dimensional Roughness Growth at Surface and Interface of SiO₂ Films during Thermal Oxidation of 4H-SiC(0001)", 2011 Int. Conf. on Silicon Carbide and Related Materials We-1A-4.
- (3) S.Kudo, R.Hasunuma and K.Yamabe, "Silicon Atomistic Steps Formation in Predetermined Positions by Combination between Ultralight-Indentation and Immersion in Ultralow Dissolved-Oxygen Water", The 6th International Symposium on Surface Science.
- (4) M.Sometani, R.Hasunuma, M.Ogino, H.Kuribayashi, Y.Sugahara, A.Uedono, and K.Yamabe, "Variation of Chemical Vapor Deposited SiO₂ Density Due to Generation and Shrinkage of Open Space During Thermal Annealing", Jpn. J. Appl. Phys. 51, 21101, 2012..
- (5) Yuuki Kikuchi, Chihiro Tamura, Yuichi Murakami, Kenji Ohmori, Ryu Hasunuma, Kikuo Yamabe, "Degradation Factors in HfSiON during Electrical Stress Application", 2011 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology(IWDTF-11), The Japan Society of

- Applied Physics, p.99-100, 2011
- (6) Chihiro Tamura, Yuuki Kikuchi, Takashi Isoda, Kenji Ohmori, Ryu Hasunuma, Kikuo Yamab, “Dependence of Restoration from Electrical Damages in HfSiO_x Films on Annealing Ambient”, 2011 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology(IWDTF-11), The Japan Society of Applied Physics, pp. 97 - 98, 2011
- (7) Mitsuru Sometani, Ryu Hasunuma, Masaaki Ogino, Hitoshi Kuribayashi, Yoshiyuki Sugahara, Akira Uedono, Kikuo Yamabe, “Effects of Thermal Annealing on Modification of CVD SiO₂ Network and Removal of Residual Impurities”, 2011 International Workshop on Dielectric Thin Films for Future Electron Devices: Science and Technology(IWDTF-11), The Japan Society of Applied Physics, pp. 53 - 54, 2011.
- (8) 工藤 駿, 蓮沼 隆, 山部紀久夫, “ナノインデンテーション法を用いた Si(111)表面の原子ステップ制御”, 2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会, 30p-W-2, 山形大学, 8月29日～9月2日, 2011.
- (9) 太田雅浩, 蓮沼 隆, 山部紀久夫, “極薄シリコン熱酸化膜の膜厚均一性と表面・界面形状相関”, 2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会, 30p-W-2, 山形大学, 8月29日～9月2日, 2011.
- (10) Masakazu Muraguchi, Yoko Sakurai, Yukihiro Takada, Yasuteru Shigeta, Mitsuhsa Ikeda, Katsunori Makihara, Seiichi Miyazaki, Shintaro Nomura, Kenji Shiraishi, and Tetsuo Endoh, “Collective Electron Tunneling Model in Si-Nano Dot Floating Gate MOS Structure” Key Engineering Materials, Vol. 470, pp. 48-53, February (online), 2011
- (11) Takeshi Sasaki, Takuya Imamoto, and Tetsuo Endoh, “12 Temperature Dependency of Driving Current in High-k/Metal Gate MOSFET and Its Influence on CMOS Inverter Circuit” IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol. E94-C, No.5, pp.751-759, May, 2011
- (12) Takuya Imamoto, Takeshi Sasaki, and Tetsuo Endoh, “Evaluation of 1/f Noise Characteristics in High-k/Metal Gate and SiON/Poly-Si Gate MOSFET with 65nm CMOS Process” IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol. E94-C, No.5, pp.724-729, May, 2011
- (13) Takeshi Sasaki, Takuya Imamoto, and Tetsuo Endoh, “Temperature Dependency of Driving Current in High-k/Metal Gate MOSFET and Its Influence on CMOS Inverter Circuit” IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol. E94-C, No.5, pp.751-759, May, 2011
- (14) Masakazu Muraguchi and Tetsuo Endoh, “Study on Impurity Distribution Dependence of Electron-Dynamics in Vertical MOSFET” IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol. E94-C, No.5, pp.737-742, May, 2011
- (15) Masakazu Muraguchi, Yoko Sakurai, Yukihiro Takada, Yasuteru Shigeta, Mitsuhsa Ikeda, Katsunori Makihara, Seiichi Miyazaki, Shintaro Nomura, Kenji Shiraishi, and Tetsuo Endoh “Collective Tunneling Model in Charge-Trap-Type Nonvolatile Memory Cell”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol 50, No.4, pp.04DD04-1~4, April, 2011

H23/B04

電磁鋼板における新たな損失低減化技術

[1] 組織

代表者：石山 和志

(東北大学電気通信研究所)

対応者：石山 和志

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

山口 俊尚 (福岡工業大学)

山崎 二郎 (九州工業大学)

福永 博俊 (長崎大学)

開道 力 (北九州高専)

栢 修一郎 (東北大学)

黒崎 洋介 (新日本製鐵株式会社)

山口 広 (JFE スチール株式会社)

屋鋪 裕義 (住友金属工業株式会社)

研究費：物件費5万0千円，旅費20万3千円

[2] 研究経過

電磁鋼板は、モーターや変圧器など電磁機器における鉄心材料として使われるもので、あらゆる磁性材料の中で最も大量に生産されている材料である。電磁鋼板の特性の中で最も重要な要素のひとつが損失であり、電磁鋼板の開発の歴史はそのまま損失低減化の歴史でもあった。その中で日本は多くの磁性材料研究者が損失低減化の問題に関わり、また鉄鋼メーカーの努力もあり、特に最高級グレード製品では世界のシェアのほとんどを日本製が独占するまでになった。しかしながら、オイルショックを過ぎ原油供給が安定するとその開発は次第に省みられる事が少なくなっていった。

近年 CO₂ ガスの排出量削減を含むエネルギー使用量削減の必要性が注目され、特に総発電量の半分の電気エネルギーを消費するモーターの損失低減化が強く求められるようになってきた。モーターの損失の大部分は巻線抵抗でのジュール発熱と鉄心における磁気損失である。そのため、鉄心材料に使われる電磁鋼板の低損失化がきわめて重要な課題として再浮上してきている。しかしながら、九州大学工学部の成田・佐々木グループと東北大学電気通信研究所の津屋・荒井グループを最後に世界中の学術機関において低損失の電磁鋼板を実現するための研究開

発は行われておらず、この重要課題に対処できる研究者はわずかとなっている。

そこで、電磁鋼板の低損失化に関する研究開発を日本において再び立ち上げ、モーターの損失低減化をはじめとする化石エネルギーの使用量削減に貢献する技術を日本から世界に発信することを目的として、本共同プロジェクト研究会を開始した。

本プロジェクトは、電磁鋼板の低損失化研究を実施できる能力のある研究者を集め、これから長期的に実施する必要性の高い研究の旗揚げとなる研究会を開催することを主目的とした。そこには、実際に材料を商業ベースで生産している鉄鋼メーカーも参画し、学と産の両面から新しい損失低減化技術を検討した。メールベースによる予備会議では、磁気弾性エネルギーを活用することで材料内部の磁気モーメント配列を高度に制御でき、これにより材料内部に生じる局所的磁気損失を大幅に低減できる可能性があることが示された。実施した研究会ではこの手法も含めて次世代の低損失電磁鋼板開発のための手法提案と討論を東北大学電気通信研究所において平成24年2月29日に行った。具体的な討論会の内容は下記のとおりであった。

討論のテーマと内容

○無方向性珪素鋼板の面内渦電流損失評価

珪素鋼板の板厚を減じれば、渦電流に起因する損失が減少するはずであるにもかかわらず実験事実はその逆に十分な損失低減が得られておらず、そのメカニズムの解明を通じて損失低減手法を確立する必要がある。

○逆磁歪効果による異方性制御

逆磁歪で異方性を制御することは工業製品レベルではほとんど行われていないが、その手法を珪素鋼板に適用することにより、磁気モーメントの板厚方向成分変化を減じ、渦電流損失を低減できる可能性があり、詳細なメカニズムを定量的に検討する必要がある。

震災の影響もあり、活動は当初の予定よりも縮小されたものとなったが、このテーマの重要性が改めて浮き彫りとなり、来年度以降も継続して検討を行う必要があることを確認した。

採択番号 H23/B05

機能性圧電材料と高度通信デバイス応用に関する研究

[1] 組織

代表者：榎引 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 徳良 (PDT ラボラトリー)

梅村 晋一郎 (東北大学大学院医工学研究科)

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)

今野 和彦 (秋田大学大学院工学資源学研究科)

唐木 智明 (富山県立大学工学部)

宇野 武彦 (神奈川工科大学工学部)

垣尾 省司 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

工藤 すばる (石巻専修大学理工学部)

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)

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)

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)

宝川 幸司 (神奈川工科大学工学部)

山中 一司 (東北大学大学院工学研究科)

森田 剛 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)

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)

和佐 清孝 (京都大学大学院工学研究科)

渡部 泰明 (首都大学東京理工学研究科)

江口 治 (京セラキンセキ)

門田 道雄 (村田製作所)

木村 悟利 (日本電波工業)

佐藤 良夫 (太陽誘電)

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)

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 7 5 万 2 千円

[2] 研究経過

本研究会は、次世代情報通信システム用の圧電材料の開発からその物性と性能評価、更にはデバイスまで包括的に研究討論を行い、研究・開発を進めることを目的に行われている。本年度は平成 24 年 1 月 30 日、1 月 31 日の両日に東北大学工学部青葉記念会館を会場とし、「圧電材料・デバイスシンポジウム 2012」と題する公開シンポジウム形式で行った。プロジェクト研究メンバーのほか、一般からも講演を募り、東海大学の斎藤繁実氏による「音響非線形パラメータ B/A による生体試料の C モード画像」と東京工業大学の黒澤実氏による「水熱合成 PZT 膜とデバイスへの応用」と題する招待講演 2 件を含む計 37 件の研究発表が行われた。参加者は 107 名であり活発なシンポジウムとなった。各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである。

(A) 圧電トランスデューサ：鉛系圧電 PMN-PT 単結晶における複合電極の効果、多重モード型ランジュバン振動子とその応用、半球殻圧電セラミックと水の体積振動との共振を利用した圧電素子の開発、レーザドップラ振動計によるシングルエレメント集束超音波トランスデューサの振動解析についての発表があった。

(B) 圧電膜・基板：マグネトロンスパッタ源から生成する高速負イオンを利用した ZnO 膜の配向制御、Sc 粒スパッタによる巨大圧電性(0001)ScAlN 薄膜の作製、逆プロトン交換による縦型漏洩弾性表面波の低損失化、高密度 KNbO₃ セラミック基板の作製と再現性、PZT 系エピタキシャル薄膜のキュリー温度異常についての発表があった。

(C) SAW および板波共振子：YX-PIN-PMN-PT 基板における広帯域 SAW 共振子、ScAlN/6H-SiC 構造を用いた SHF 帯高性能 SAW 共振子、ScAlN/SiC 構造を用いた発振可能な SAW 共振器、転写法による強誘電体バラクタと SAW 共振子の集積化と可変型フィルタへの応用、(0001)配向 AlN および ScAlN 薄膜を用いた極性反転共振子、音響多層膜構造を有する板波デバイスについての発表があった。

(D) 低温度係数 SAW デバイス：SiO₂/Al/LiNbO₃ 構造を用いた零温度特性 SAW 共振器のスプリアス抑圧、LBO on LN/LT による低温度係数・高結合圧電基板、多結晶スピネルの接合による RF-SAW デバ

イスの温度特性の改善, 温度補償した SAW デバイスへの SiOF 膜の適用, 一方向性すだれ状電極のベクトル解析と高結合・零温度基板を用いた OFC 弾性表面波タグ・センサー・広帯域フィルタについての発表があった。

(E) 非線形超音波による非破壊検査: 荷重差分法を用いた閉じたき裂の高選択性映像化と実機適用のための基礎的検討, 振幅差分法による非線形超音波映像における閉口き裂の選択性向上, サブハーモニック超音波フェーズドアレイによる金属材料溶接部の閉じた応力腐食割れの評価, 疲労を受けた金属板からの 2 次高調波 Lamb 波の発生と検出についての発表があった。

(F) 圧電振動子による測定・水晶振動子:c 軸平行配向 ZnO 膜を用いた厚みすべりモード共振子による液体の粘性評価, MHz 帯すべり波振動子での液体レオロジー測定の新しい応用の基礎的検討, 水晶センサを用いた重力変化の検出実験結果, 水晶 AT 板振動子の周波数-温度特性におよぼす電極の影響についての発表があった。

(G) SAW センサー: SAW を用いた磁気センサー, SH-SAW を用いた直接メタノール燃料電池用メタノールセンサ, メタル MEMS カラムを用いた携帯型 SAW ガスクロマトグラフ, ボール SAW ガスクロマトグラフを用いた多種類のガスの連続測定についての発表があった。

(H) その他の計測・評価: $\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.3}\text{Al}_{0.2}\text{O}_{14}$ 単結晶の音響関連物理定数の高温測定, 超音波マイクロスペクトロスコーピー技術による $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ 超低膨張ガラスの評価, 超音波マイクロスペクトロスコーピー技術による SiO_2 ガラスインゴットの光学特性評価についての発表があった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

圧電トランスデューサ関連では, 圧電単結晶 PMN-PT に酸化マンガンと金の複合電極を付けることで誘電率と圧電定数 d_{33} を 40% 向上させた。また, 縦振動モードの 1 次と 3 次の共振周波数比を 1:2 とする強力超音波振動子を提案し, 波形自由度を持たせることで, 超音波アクチュエータと超音波ポンプの性能向上を実現した。

圧電膜・基板関連では, 逆プロトン交換法によりプロトン交換層を埋め込んだ LiNbO_3 基板構造を縦型漏洩弾性表面波に適用し, 挿入損失が大幅に低減, 共振特性が格段に向上する条件の存在を明らかにした。また, スパッタ法を用いて形成された PZT 系多成分ペロブスカイト単結晶薄膜の強誘電性を測定し, バルクに見られないエキゾチックな特性を見つけた。

SAW・板波共振子関連では, 音響多層膜構造を有する板波デバイスを理論と試作の両方を検討し, 良好な特性を得た。

低温度係数 SAW デバイス関連では, LiNbO_3 および LiTaO_3 基板に, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 膜を溶融・徐冷する方法で単結晶膜として形成し, 低温度係数かつ高結合圧電板の可能性を示した。

非線形超音波による非破壊検査関連では, 外部荷重負荷に伴う閉じたき裂の応答変化を利用した荷重差分法を用いて, アルミニウム合金 A7075 の閉じた疲労き裂における選択性向上を実証した。また, 疲労を受けたマグネシウム板に有限振幅の Lamb 波を送波し, 2 次高調波 Lamb 波を検出した結果, 疲労の増加に伴って 2 次高調波も増加することが確認できた。

圧電振動子による測定・水晶振動子関連では, 圧電すべり波振動子での粘弾性測定技術を不均一・分散系液体の測定に適用し, コロイド液体では分散質の影響を受けず, 分散媒の相対的な粘度が測定できることを明らかにした。

SAW センサー関連では, Ni 電極を水晶基板に埋め込んだ SH 型 SAW 共振子を作成し, その磁気感度について評価した。また, 高精細なメタル MEMS カラムを開発してボール SAW センサーと組み合わせ, 手のひらサイズの携帯型 SAW ガスクロマトグラフへの有用性を検証した。

その他の計測・評価においては, 1100°C まで共振反共振法の測定ができる高温用ジグと 4194A インピーダンスアナライザーを用いて, LFB-UMC システムで測定された 23°C の LTGA の諸定数をベースに, 室温から 1000 °C まで LTGA 単結晶の音響関連物理定数およびその温度係数を決定した。

(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。発表された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ている。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促進することで, 次世代の圧電デバイスの研究・開発の進展に貢献している。本プロジェクト研究会での成果は通信分野のみならず, 最近では医療などの様々な圧電デバイス応用への一層の発展が期待されている。

[4] 成果資料

- (1) Y. Yamashita, Y.Hosono, N. Yamamoto and K. Itsumi, "Effects of Manganese Oxides/Gold Composite Electrode on Piezoelectric Properties of Lead Magnesium Niobate Titanate Single Crystal", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 50, No. NC05 (2011).
- (2) R. Komatsu, Y. Okuma, H. Itoh, and Y. Akishige, "Growth and Characterization of Potassium Niobate Fiber Crystal from Liquid with Stoichiometric Composition by m-PD Method", *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 95, No. 2, 2012.
- (3) S.Matsuda, M.Hara, M.Miura, T.Matsuda, M.Ueda, Y.Satoh, and K.Hashimoto, "Use of Fluorine Doped Silicon Oxide for Temperature Compensation of Radio Frequency Surface Acoustic Wave Devices," *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., and Freq. Contr.*, 59, 1 (2012) pp. 135-138.
- (4) J.Chen, J.S.Liu, K.Hashimoto, T.Omori, C.J.Ahn, X.Y.Zhao, and H.S.Luo, "Ultra-Wideband Surface Acoustic Wave Resonator Employing Pb(In₁/2Nb₁/2)O₃-Pb(Mg₁/3Nb₂/3)O₃-PbTiO₃ Crystals," *Appl. Phys. Lett.*, 100,022903-1~3 (2012).
- (5) Michio Kadota, Takashi Ogami, Kansho Yamamoto, and Hikari Tochishita, "LiNbO₃ thin film for A1 mode Lamb wave resonators", *Phys. Status Solidi A* 208, No.5, 00.1068-1071 (2011) pssa.210100060.
- (6) M. Kadota, S. Ito, Y. Ito, T. Hada and K. Okaguchi, "Magnetic Sensor based on SAW Resonators", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.50, (2011)07HD07.
- (7) Michio Kadota and Takashi Ogami, "5.4 GHz Lamb Wave Resonator using LiNbO₃ Crystal Thin Plate and Application to Tunable Filter", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.50, 07HD11 (2011).
- (8) Yoji Noumura, Yuji Hiruma, Hajime Nagata and Tadashi Takenaka, "High-Power Piezoelectric Characteristics at Continuous Driving of Bi₄Ti₅O₁₂-SrBi₄Ti₄O₁₅-Based Ferroelectric Ceramics", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 50, No. 7, pp. 07HB06-1 ~ 07HB06-5 (2011).
- (9) Hajime Nagata, Shigeki Sato, Yuji Hiruma, and Tadashi Takenaka, "Fabrication of Dense KNbO₃ Ceramics Derived from KHCO₃ as a Starting Material", *Applied Physics Express*, Vol. 5, 011502, pp. 011502-1 ~ 011502-3 (2012).
- (10) K.Wasa, H.Adachi, k. Nishida, T. Yamamoto, T. Matsushima, I. Kanno, and H. Kotera, "Highly Polarized Single c-domain Single Crystal Pb(Mn,Nb)O₃-PZT Thin Films," *IEEE Trans. UFFC*, vol.59, no.1, pp.6-13 (2012).
- (11) M. Shiiba, N. Kawashima, T. Uchida, T. Kikuchi, M. Kurosawa, and S. Takeuchi, "Estimation of Cavitation Sensor with Hydrothermally Synthesized Lead Zirconate Titanate Film on Titanium Cylindrical Pipe: Spatial Distribution of Acoustic Cavitation Field and Basic Characteristics of Cavitation Sensor", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 50, no. 7, pp. 07HE02-1 -07HE02-5(2011).
- (12) Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, and Masatoshi Adachi, "Preparation of Textured BaTiO₃ Thick Films by Screen Printing", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.50, 09NA02-1-4(2011).
- (13) S. Kakio, K. Hayashi, E. Kondoh, and Y. Nakagawa, "Behavior of surface acoustic wave resonators in supercritical CO₂", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.50, no.7, pp. 07HD09-1-4 (2011)
- (14) K. Yamanaka, Y. Ohara, M. Oguma, and Y. Shintaku, "Two-Dimensional Analyses of Subharmonic Generation at Closed Cracks in Nonlinear Ultrasonics", *Applied Physics Express* 4(7), pp. 076601(2011).
- (15) M. Fukuda, K. Imano, H. Yamagishi and K. Sasaki : "Detection of the second-harmonic of Lamb waves in fatigue magnesium plates", *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol.32, No.6, pp.271-275(2011).
- (16) K. Otsu, S. Yoshizawa and S. Umemura "Breathing-Mode Ceramic Element for Therapeutic Array Transducer," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 50, no. 7, pp. 07HC02(2011).
- (17) Hideyuki Ikeda and Takeshi Morita, "High-precision positioning using a self-sensing piezoelectric actuator control with a differential detection method", *Sensors and Actuators A*, vol. 170, pp. 147-155(2011)
- (18) Takayuki Kudou, Noboru Wakatsuki, "Experimental Analysis of Transient Phenomena from Metal Melting to Electric Discharge during Breaking Operations of Electric Contacts", *IEICE IS-EMD2011 IEICE Tech.Report*, Vol.11 1, No.437, pp.77-82(2011).
- (19) Seiji Mutoh and Takehiko Uno, "Cut Angle Dependences of Resonant Characteristics of β-Phase Quartz", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.50 No.7, 07DH04(2011).

H23B06

超高速コヒーレント光制御による 極限通信・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 電子光技術研究
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)
鋤塚 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)
和田 尚也 (情報通信研究機構)
久保田 寛和 (NTT)
中島 久雄 (富士通)

研究費：物件費 5 万 0 千円，旅費 17 万 0 千円

[2] 研究経過

現在の光通信システム、ならびに光計測・標準システムは、マイクロ波領域の無線通信、計測・標準において培われた技術を手本にして、大容量化と高精度化の道を歩んできた。高いキャリア周波数を有するコヒーレントな光波のポテンシャルをさらに引き出すためには、コヒーレンスを活用するための位相制御技術と、時間領域の超高速制御を融合することが必要である。これまで個別に研究開発が進められてきた光波の位相制御技術と、超高速制御技術を合体することにより、光通信、計測・標準システムの極限性能を追求することが可能になる。本研究では、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究

所の研究者の間で、光波の極限的な制御技術と通信、計測への応用に関する研究討議を行い、将来の方向性に関する議論を行った。

本プロジェクトは、今年度が1年目に当たり、平成23年11月25日に電気通信研究所において、東北大学、産業技術総合研究所、情報通信研究機構、NTT、富士通研究所の研究者が参加して研究会を開催し、10件の発表を行った。コヒーレント光伝送、超高速光伝送、モード多重伝送、光デバイス技術、光ネットワーク技術、周波数標準等の発表に対して、活発な議論を行った。研究会のプログラムを以下に示す(○は発表者を示す)。

11月25日(金)

1. 開会挨拶 中沢正隆(東北大学)
2. 半導体レーザ型 OPLL を用いた 120Gbit/s, 64QAM-150 km コヒーレント光伝送：○王怡昕, 葛西恵介, 中沢正隆(東北大学)
3. RZ-CW 変換法を用いた 800Gbit/s, 32RZ/QAM-225km コヒーレント OTDM 伝送：○葛西恵介, David Odeke Otuya, 廣岡俊彦, 吉田真人, 中沢正隆(東北大学)
4. 周波数分割多重 64QAM-OFDM 信号(420Gb/s)の 160km 伝送：○大宮達則, 豊田和志, 葛西恵介, 吉田真人, 中沢正隆(東北大学)
5. デジタルコヒーレント受信器のためのリアルタイム信号処理回路の設計：○中島久雄, 青木泰彦, 谷村崇仁, 小田祥一郎, 小山智史, 大嶋千裕, 星田剛司, イエンスラスムセン(富士通)
6. 光パケット・光パス統合ネットワーク技術：○和田尚也, 原井洋明, 古川英昭, 宮澤高也, 淡路祥成, 品田聡(情報通信研究機構)
7. InGaAs / AlAsSb ISBT 光導波路中の四光波混合について：○鋤塚治彦(産業技術総合研究所)
8. アモルファスシリコンフォトニクス：○森雅彦(産業技術総合研究所)
9. モード多重伝送の現状とモード多重用ファイバの検討課題：○久保田寛和(NTT)
10. 絶対光周波数安定化 Cs 光原子時計：○鈴木文崇,

吉田真人, 中沢正隆(東北大学)

11. 光フィルタリングによる周回型遅延自己ヘテロダイン法の性能向上: ○土田英実(産業技術総合研究所)
12. 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 C_{60} 安定化半導体レーザを用いて、コヒーレント光伝送用の高精度光位相同期ループを開発し、偏波多重 10GSymbol/s-64QAM (120Gbit/s) 信号の 150km 伝送を実現した。
- ② RZ-CW 変換回路をコヒーレント OTDM 伝送システムに適用して、検波信号の SN 比を改善し、偏波多重 10GSymbol/s-80TDM-32RZ/QAM (800Gbit/s) 信号の 225km 伝送を実現した。
- ③ 7ch 周波数分割多重 64QAM-OFDM 信号(420 Gb/s、周波数利用効率 10.4b/s/Hz)の 160 km 伝送を実現し、逆伝搬法を用いた非線形光学効果の補償により、パワーペナルティを 3.5dB から 1.7dB に低減した。
- ④ デジタルコヒーレント受信器用信号処理回路の設計とリアルタイム処理の性能評価を行った。12.5Gb/s-DP-QPSK 受信器を試作し、レーザ位相雑音に対する安定性、偏波変動耐力、OSNR 耐力を明らかにした。
- ⑤ 高速、低遅延のサービスを提供できる光パケット・パス統合ネットワークについて、要素デバイス、ノード構成、アーキテクチャ、およびフィールド実証の結果を紹介した。
- ⑥ InGaAs/AlAsSb 量子井戸における四光波混合のメカニズムについて検討し、変換効率のデバイス長、および離調依存性を明らかにした。
- ⑦ 光ネットワークや光インタコネクションにおけるシリコンフォトニクス役割を述べ、多層光配線を可能にするアモルファスシリコン光導波路の作製プロセスと、導波損失、クロストークの評価結果を紹介した。
- ⑧ モード多重光伝送の現状を紹介し、非結合型モード多重用光ファイバについて、モード合分波法、結合効率、モード数の上限、増幅技術に関する検討を行った。
- ⑨ モード同期ファイバレーザの繰り返し周波数を Cs 共鳴線に、光周波数を C_{60} 吸収線に安定化した光原子時計を開発し、積分時間 1-100 秒において 2.0×10^{-11} の安定度を達成した。
- ⑩ 周回型遅延自己ヘテロダイン法において、不要な高次シフト光によるスペクトル歪が周回数を制限することを指摘し、光フィルタリングを用いた

歪み低減の手法を提案した。

(3-2) 波及効果と発展性など

これまで個別に扱われてきた光波の位相制御と時間領域の超高速制御を融合して利用する技術の確立を目指し、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。超高速、およびコヒーレント光伝送に関して世界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、レーザ制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所の研究者が討議を行うことにより、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。

本プロジェクトを契機として、日本学術振興会先端研究拠点事業「超高速光通信に関する拠点形成」(H23-25-国際戦略型)に採択された。

[4] 成果資料

- (1) Y. Wang, K. Kasai, and M. Nakazawa, "Polarization-multiplexed, 10 Gsymbol/s, 64 QAM coherent transmission over 150 km with OPLL-based homodyne detection employing narrow linewidth LDs," IEICE Electron. Express, vol. 8, no. 17, pp. 1444-1449 (September, 2011).
- (2) M. Nakazawa, K. Kasai, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Novel RZ-CW conversion scheme for ultra multi-level, high-speed coherent OTDM transmission," Opt. Express, vol. 19, no. 26, pp. B574-B580 (December, 2011).
- (3) M. Nakazawa, T. Hirooka, M. Yoshida, and K. Kasai, "Ultrafast coherent optical communication," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol. 18, no. 1, pp. 363-376 (January, 2012).
- (4) K. Kasai, D. O. Otuya, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Single-carrier 800-Gb/s 32 RZ/QAM coherent transmission over 225 km employing a novel RZ-CW conversion technique," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 24, no. 5, pp. 416-418 (March, 2012).
- (5) T. Omiya, K. Toyoda, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "400 Gbit/s frequency-division-multiplexed and polarization-multiplexed 256 QAM-OFDM transmission over 400 km with a spectral efficiency of 14 bit/s/Hz," Optical Fiber Communication Conference (OFC2012), OM2A.7,

- Los Angeles, (March, 2012).
- (6) H. Kuwatsuka, R. Akimoto, T. Ogasawara, S. Gozu, T. Mozume, T. Hasama, and H. Ishikawa, "Four-wave mixing in InGaAs/AlAsSb intersubband transition optical waveguides", *J. Appl. Phys.*, vol.110, 063114 (September, 2011).
- (7) H. Kuwatsuka, R. Akimoto, T. Ogasawara, S. Gozu, T. Mozume, T. Hasama, and H. Ishikawa, "Theoretical analysis of FWM by ISBT in InGaAs/AlAsSb QWs for wavelength conversion", 11th International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD2011), 5630-CT-4, Rome, Italy (September, 2011).
- (8) M. Mori, Y. Sakakibara, K. Furuya, R. Takei, E. Omoda, K. Nakanishi, M. Suzuki, M. Okano, and T. Kamei: "Three dimensional optical circuits with amorphous Silicon", 1st International Symposium on Photonics and Electronics Convergence (ISPEC2011), Tokyo, Japan (November, 2011).
- (9) H. Kubota and T. Morioka, "Few-mode optical fiber for mode-division multiplexing," *Optical Fiber Technol.*, vol. 17, no. 5, pp. 490-494 (October, 2011).
- (10) H. Kubota and T. Morioka, "Few-mode optical fiber for mode division multiplexing transmission," *Photonic West*, San Francisco, 8284-13 (January, 2012).
- (11) H. Tsuchida, "Characterization of white and flicker frequency modulation noise in narrow-linewidth laser diodes", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 23, no. 11, pp. 727-729 (June, 2011).

採択番号 H23/B07

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：助教

松岡浩：東北大学電気通信研究所・客員教授

藤林昭：日立製作所システム開発研究所：部長

島田健太郎：日立製作所システム開発研究所：シニア
アーキテクト

細谷睦：日立製作所システム開発研究所：主管研究
員

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

山本康友：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：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継続して4年目である。一貫して大容量情報ストレージ技術の研究を行っており、その高密度・大容量化と省電力化を目的にしている。

人類が取り扱うデジタル情報量は5年で10倍とも言われる加速度的な拡大を続けており、最近の統計ではすでに2010年には1800エクサバイト(10²¹バイト)を超えたとの推定もある。通常の個人のパソコンにおけるストレージ容量でも大きいものでは

数TB(10¹²バイト)程度に達するが、それに対しても全体では極めて大きな情報量になっている。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は急速な発展を続けている。特に、テキストデータよりも動画映像や長時間音楽情報など大規模データの割合が大幅に増えてネットワーク上で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。その中心的な課題は膨大な情報量をいかにして高可用性を実現しながら低コストで情報蓄積するかにかかるといえる。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記録装置を用いた情報ストレージシステムが構築され世界中からアクセスされているのは妥当なビットコストで圧倒的な大容量を実現できているからである。

一方で、増加した記録容量に応じて高速のデータ転送能力がなければ、大容量情報のアクセスにかかる時間が増加する一方であるので、巨大な情報量を現実的な時間で処理するための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、大規模なシステムではそれよりはるかに大きな数十Gbps以上の転送レートが要求されており、高速ストレージ装置を並列転送することで高速化を図っている。これらの結果、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急速な情報量の拡大を背景にペタバイト(10¹⁵バイト)級の総ストレージ容量が一般的になりつつある。しかし、データセンターではその規模の拡大に伴って巨大な消費電力コストや空調負担のため、サイト当たりの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、本共同研究プロジェクトでは、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体系的な課題を抽出しその解決のアプローチを明らかにす

る研究を行うものである。

本共同研究は、大規模ストレージサブシステムのこれまでの研究成果を受け、今年度も HDD 自体の高密度・大容量化も含めた総合的な研究に並列的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。また、ストレージシステムのデータ転送速度の向上のためのシステム的な研究も行っている。

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)

2011 年 5 月 26 日
2011 年 7 月 7 日
2011 年 9 月 15 日
2011 年 11 月 30 日
2011 年 12 月 28 日
2012 年 1 月 18 日
2012 年 3 月 1 日

○高密度磁気記録グループ (9 回)

2011 年 5 月 16 日
2011 年 6 月 22 日
2011 年 7 月 28 日
2011 年 9 月 7 日
2011 年 10 月 20 日
2011 年 11 月 29 日
2011 年 12 月 21 日
2012 年 1 月 27 日
2012 年 2 月 28 日

[3] 成果

【ストレージシステムの成果】

ストレージシステムにおける最重要な課題はストレージ機器の故障や不具合によるデータ損失を回避することである。このために、RAID と呼ばれるストレージ機器を並列化して冗長性を持たせた複数の HDD からなるストレージグループで構成して速やかに障害から回復できるようにパリティ情報を別ストレージ装置に同時に記録してデータ保全性を確保している。このようにデータ信頼性や大容量性が重視されてきたため、高速ディスク回転数の高消費電力の高速 HDD を多数用いてシステムを構成してきた。ところが、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の消費電力は温室効果ガス排出や電力コスト、さらには廃熱や騒音・設置スペースなど今後ますます深刻化する大きな環境問題とし

て注目されるに至った。

これまでの本共同プロジェクト研究会での検討課題にはストレージシステムの省電力化が目標に含まれてきた。本共同研究では平成 17 年度ころより、新たな階層構成された並列化ストレージシステムの省電力化の方式提案を行って検討を続けており、昨年度は具体的な方式設計と学内のスーパーコンピュータを用いた実証試験を通じて、消費電力の半減を達成している。アクセスのない HDD の電源を遮断することで 50%の省電力化を達成する成果をあげている。一方で、大容量データを扱うストレージ系には短時間で必要な情報を授受する能力、すなわち高速のデータ転送性能は欠かせない性能であり、これを確保した省電力化を図ることが肝要である。

一方、ストレージシステムにおいては大容量ファイルを高速転送することが必須であり、このためのデータ転送速度の向上が求められる。通常これは各ストレージ装置の並列化によって実現されることが期待されており、データ転送速度は並列数に応じて高くなると考えられている。しかし、これは必ずしも容易に実現されない。一般に並列化に応じて高いデータ転送速度が得られるためには、各ディスクへのアクセス負荷が均等であることが必要である。データアクセスがどこかのストレージ装置に偏るとそこに処理が集中する結果、ジョブの一部は待ちになりストレージ系全体の等価的な転送レートが低下することになる。これを回避するために各ノードに割り当てられるジョブの状況を時々刻々とモニタしてアクセスの集中が起らないように制御するアルゴリズムを開発した。これによってストレージシステム全体のデータ転送レートがノード数に比例するように改善された。しかしジョブ投入前の待ち行列に基づいてジョブの割り振りを行うために、直前での待ち状態の変化によって完全なジョブの均等割り振りまでには至っていない。今後の検討課題である。

【高密度磁気記録の研究】

本プロジェクトでは、磁気ディスク装置の高密度化によって個々の装置容量を大幅に向上させることで、必要な総容量を満たすために必要な所要 HDD 台数を低下させて省電力化することが大きな狙いである。たとえば、各ハードディスク装置の 10 倍の高密度化は、同一サイズの HDD の記録容量を 10 倍にできることになる。10 倍の記録密度で総ストレージ容量に対して必要な HDD 台数を 1/10 に減少させることができる。すなわち、1/10 の省電力が実現できることである。

これまでモデリング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つの要素技術の検討を続けているが、昨年度は特にマイクロマグネティクスによるコンピュータシミュレーションとスタティックテスターによる実験的検討を並行して行っている。

昨年度までの検討によってパターン媒体では2 GBit/inch²の高い記録密度が可能になったこと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なが分かっている。この成果を踏まえ、今年度は5 Tbit/inch²を目指して、記録ヘッドの改良に取り組んだ。同時に、記録点を加熱するHeat assisted recording (熱補助記録)が記録時の高い熱勾配によって記録分解能を改善できることに着目し、ビットパターン記録と熱補助記録の組み合わせによって高い面記録密度を実現できることを示した。等価的な記録磁界勾配が重要であるので、熱補助記録時の等価的な記録勾配となる熱勾配の管理が重要である。特に、記録媒体中の急峻な温度勾配を実現するには昇温スポットの微小化が重要であり、10 nm以下が必要であることがシミュレーションより示されている。

強磁界の記録ヘッドの研究については、昨年度に平面型垂直ヘッドの主磁極構造の最適化に加えて、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ている。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。一方で、実際にナノサイズの記録磁極を形成する微細加工技術も検討し、リフトオフとエッチングを併用する加工方法によってシミュレーションで導いた3段テーパー構造磁極の加工法を開発した。

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を回復できる方式の検討を続けている。高密度のビットパターン媒体では隣接ドットの間隔が狭いために誤書込みや再書込みによるライトエラーが問題となることがこれまでの検討で分かっている。この記録過程で生じる記録誤りを信号処理によって救済することを目的に、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ている。すなわち、ライトエラーを起こしたビットをその読出し時に誤り訂正を行って書込み誤りを訂正して正しい情報をデジタルデータとして再生することが目的である。この結果、ビットパターン媒体のヘッドディスク系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問題なく、さらに今年度はより悪い10⁻³程度までの記録誤り率でも正しく復号可能である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よう活動している。

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. Kenji Miura, Eiji Yamamoto, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, "Skew angle effect in shingled writing magnetic recording," *Physics Procedia*, Vol. 16, pp. 2-7, 2011.
2. Simon Greaves, Yoshihiro Jinbo, Yasushi Kanai, Hiroaki Muraoka, "Split-Pole Write Head for Thermally Assisted Magnetic Recording," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 47, No. 10, pp. 2375-2378, Oct 2011.
3. Hideki Saga, Kazuki Shirahata, Kaname Mitsuzuka, Takehiko Shimatsu, Hajime Aoi, Hiroaki Muraoka, "Impact of Multidomain Dots on Write Margin in Bit Patterned Media Recording," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 47, No. 10, pp. 2528-2531, Oct. 2011.
4. Koji Tsushima, Kenji Miura, Hitoaki Muraoka, "Estimation of Magnetization Transition Width and Shape by Inverse Reciprocity," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 47, No. 10, pp. 3000-3003, Oct. 2011.
5. Yuichi Ohsawa, Daisuke Saida, Kiyoshi Yamakawa, Hiroaki Muraoka, "Effect of Ion Beam Gas Species on Magnetic Softness in Fe-Co Thin-Film Etching," *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 47, No. 10, pp. 3411-3414, Oct. 2011.
6. S.J. Greaves, H. Muraoka, Y. Kanai, "The potential of bit patterned media in shingled recording," *J. Magn. Mater.*, Vol. 324, Issue 3, Pages 314-320, Feb. 2012. [Invited]

採択番号：H23/B08

次世代 RFIC 用受動・能動回路技術とその応用

[1] 組織

代表者：石崎 俊雄
(龍谷大学)

対応者：末松 憲治
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

伊藤信之 (岡山県立大学)
岡崎浩司 (NTT ドコモ)
亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)
河合邦浩 (NTT ドコモ)
河合 正 (兵庫県立大学)
川崎繁男 (JAXA 宇宙研)
古神義則 (宇都宮大学)
真田篤志 (山口大学)
関 智弘 (NTT 未来ねっと研究所)
檜橋祥一 (NTT ドコモ)
西川健二郎 (鹿児島大学)
西野 有 (三菱電機鎌倉製作所)
藤本竜一 (東芝セミコンダクター社)
丸橋建一 (NEC システム IP コア研究所)
檜枝護重 (三菱電機情報総研)
谷口英司 (三菱電機情報総研)

研究費：物件費 0 円，旅費 54 万 1 千円

[2] 研究経過

無線を使った超ブロードバンド通信を実現するために、小型な無線端末に用いられている高周波(RF:Radio Frequency)IC の高性能化、高機能化が求められているが、これまでの半導体プロセス微細化に頼った小型化、あるいは、単に既存のアナログ・デジタル回路を統合した高集積化だけでは、十分な高性能化、高機能化が実現できず、新しい性能、機能を付加することのできるブレークスルー技術が必要となっている。

本研究では、次世代の RFIC を実現することを目標に、RFIC チップ上に形成する受動/能動回路

の設計技術、製造プロセス/実装技術に関して、最新の技術動向を調査・研究し、そのロードマップを作成することを目的に研究を行っている。また、無線通信事業技術者などシステム側の研究者とのディスカッションを通じて、システム応用への道すじについても検討している。本プロジェクトは、本年度が第 1 年目であり、メタマテリアルなどの新たな RF 受動回路技術を取り上げ、RFIC への適用の可能性、課題について、集中的に議論した。

今年度は 1 回の研究討論会を実施した。以下に実施内容を示す。

<研究討論会>

日時：平成 23 年 11 月 13 日 (日) 20:00

～11 月 14 日 (月) 14:00

場所：仙台市青葉区片平 2 丁目

東北大学電気通信研究所 1 号館 S305 室 他

出席者 (敬称略)：石崎，岡崎，亀田，河合(正)，川崎，真田，末松，檜橋，西川，西野，藤本，谷口(代理：津留)。

なお、招待講演者として、終日、栗井郁雄 (元龍谷大学教授)，オブザーバーとして、14 日 10:00～12:00、水野 皓司 (東北大学電気通信研究所)，高木直 (東北大学電気通信研究所) が参加。

[プログラム]

11 月 13 日

20:00～20:15 研究代表者挨拶 (石崎)，通研対応教員からのプロジェクト運営説明 (末松)

20:15～23:00 RFIC に関する各自の研究紹介 (出席者全員)

11 月 14 日

10:00～11:00 招待講演「メタマテリアルの非接触給電システムへの応用」(栗井)

11:00～12:00 講演「メタマテリアル技術の最新動向」(真田)

12:00～ 全員による全体討論、今後の方針打合せ

[3] 成果

(3-1) 研究成果

主にマイクロ波帯の受動回路技術として発展してきたメタマテリアル技術をベースにして、CRLH(Composite Left-Right Handed)線路とマイクロストリップ線路の結合によるワイヤレス給電技術が研究・開発されている。

供給側に配置された右手系(PRH(Purely Right Handed))線路であるマイクロストリップ線路から、受電側に電力を伝送するためには、通常、受電側にも同じ PRH 線路であるマイクロストリップ線路を用い、方向性結合器と同じ原理の線路間結合により、電力伝送を行うことができる。しかし、結合を実現するためには、1/4 波長に相当する結合長が必要となり、小型化が困難という課題がある。

小型なワイヤレス給電部を実現するためには、結合長を短くする必要があるが、基板の誘電率を上げて、波長短縮を狙うと、結合度が下がる問題があり、実現が困難である。そこで、逆進波結合を利用する新たな結合器の実現を目指す。ここで検討する逆進波結合は、図1に示すように、PRH 線路のひとつであるマイクロストリップ線路と、CRLH 線路のブロードサイド結合によるものとした。逆進波結合を使うことで、結合長は 1/4 波長にならず、結合度の強さにほぼ反比例する。

CRLH 線路は、図2に示すように、右手系線路の特徴である、直列の L、並列の C の分布定数線路構成に、左手系線路の特徴である、直列の C、並列の L を付加し、両方の性質を持たせて構造となっている。左手系の L は Via ホールで、C はオープンスタブで実現している。

従来の PRH 方向性結合器と、CRLH 方向性結合器の周波数特性の比較を図3に示す。PRH 方向性結合器を用いることで、従来の PRH 方向性結合器よりも、低い周波数帯で、より密結合な特性を実現できることがあきらかになった。

このように、メタマテリアルの一つの応用として、ワイヤレス給電に適用可能な CRLH 方向性結合器を検討し、従来の PRH 線路を用いた結合器に比べて小型かつ密結合な特性が可能であることを示した。基本的な動作は、期待通りであったものの、更なる低周波数化、小型化、密結合化などの課題が残されている。より大きな容量の電力を扱うワイヤレス給電への適用を考えると、大電力化、低損失化、低放射化などの検討

も必要であり、まだまだ解決すべき課題は多いが、メタマテリアル技術は従来の回路にない特性を実現できる面で、将来ますます活用されて行くものと考えられる。

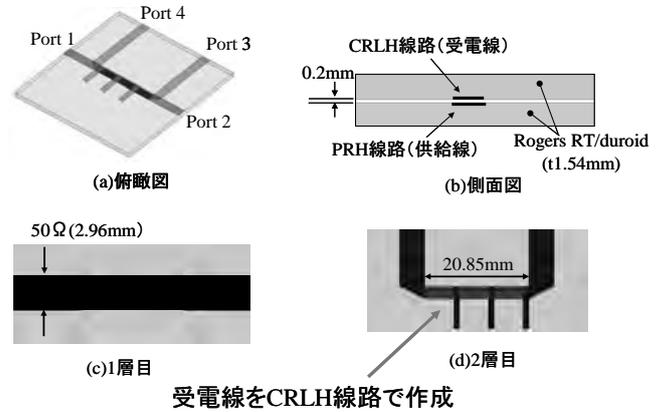


図1 CRLH 方向性結合器の構成

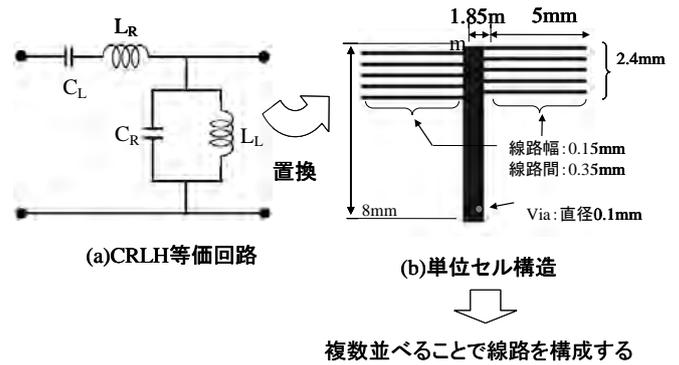


図2 CRLH 線路の詳細

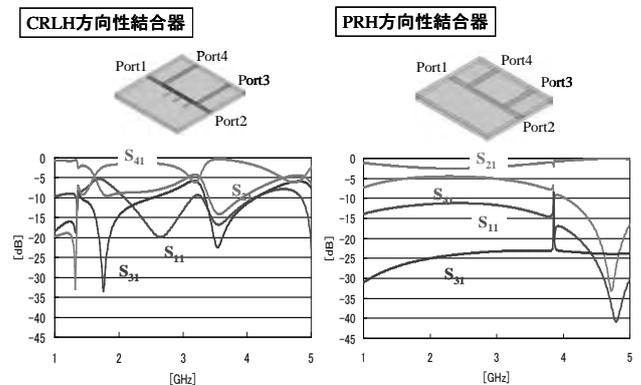


図3 CRLH/PRH 結合器の周波数特性比較

(3-2) 波及効果と発展性など

新しい RF 回路技術として注目されているメタマテリアル技術は、フィルタ、アンテナ給電回路などの受動回路への適用が始まったばかりである。現状では、主に、マイクロ波帯での適用のため、寸法が大きく、RFIC との一体化が難しい状況である。しかし、ミリ波など高い周波数帯では、メタマテリアル回路の小型化が可能となり、RFIC などの IC 上のオンチップ回路にも適用可能となり、能動回路と融合した使い方をすることになると考えられる。今年度は、主に受動回路を中心に技術調査・議論を行ったが、今後は、能動回路の最新技術動向を参考にして、メタマテリアルなどの新技術を活用した次世代 RFIC の実現性の検討、課題の抽出を行い、次世代 RFIC 実現までのロードマップ作成して行く予定である。

また、今回の講演を通じて、メタマテリアル回路技術を適用した結合線路は、ワイヤレス通信用のフィルタだけでなく、ワイヤレス電力伝送用の給電回路としても活用可能であり、注目されていることがわかった。講演終了後に行った討議では、本共同研究プロジェクトで取り扱う次世代 RFIC の用途を、計画提案時に想定していたブロードバンド通信用途に加えて、震災以降注目されている電気エネルギー伝送・制御用途も含めることにした。

次年度の計画として、2010 年 12 月まで国内および米国の NEC にて RFIC に関する研究を指導され、2011 年 1 月よりシンガポールの Agency for Science, Technology and Research (A-STAR) の Technical Director に就任されたモハマド・マディヒアン博士を招待講演者として招聘し、能動回路技術を中心した議論を行うこととした。

[4] 成果資料

- (1) N. Suematsu, "Si-RFIC Technologies for Multi-Band Multi-Mode Wireless Terminals," 2011 China-Japan Microwave Conference (CJMW), pp.1-4, 2011.
- (2) T. Nishino, S. Kawasaki, N. Suematsu, K. Nishikawa, "Microwave R&D inside Japan," 41st European Microwave Conference (EuMC), pp.1328-1331, 2011.
- (3) Suematsu, S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, "60GHz Antenna Integrated

Transmitter Module Using 3-D SiP Technology and Organic Substrates," 41st European Microwave Conference (EuMC), pp.551-554, 2011.

(4) 末松, "被災経験とディペンダブルワイヤレス CMOS デバイスの研究・開発," 電子情報通信学会マイクロ波研究会(2011 年 6 月), 2011.

(5) 末松, 吉田, 亀田, 高木, 坪内, "3 次元システム・イン・パッケージ実装を用いた 60GHz 帯アンテナ内蔵超小型 RF モジュール," エレクトロニクス実装学会システムインテグレーション実装技術公開研究会(2011 年 10 月 25 日), 2011.

採択番号 H23/B09

自己身体の運動が関与する多感覚統合

[1] 組織

代表者：櫻井 研三

(東北学院大学 教養学部)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

鈴木 陽一 (東北大学 電気通信研究所)

行場 次朗 (東北大学 文学研究科)

佐藤 雅之 (北九州市立大学国際環境工学部)

北崎 充晃 (豊橋技術科学大学 工学研究科)

一川 誠 (千葉大学 文学部)

蘆田 宏 (京都大学 文学研究科)

Philip M. Grove

(The University of Queensland)

坂本 修一 (東北大学 電気通信研究所)

松宮 一道 (東北大学 電気通信研究所)

研究費：物件費5万円，旅費38万2千円

[2] 研究経過

モバイル機器の普及により，人間が能動的に運動する状態で情報に接する際の知覚特性を知ることが求められてきている。これまでの視覚や聴覚による多くの知覚実験では，観察者は静止した状態で刺激を受け取りながら課題を遂行していたため，観察者本人の能動的な身体運動が刺激の知覚に与える影響を検討することは困難であった。しかし，現実の環境における観察者の行動は能動的であり，自己の身体を適切に制御しながら空間内を移動し，外界の対象に近づいてそれを自分の四肢で操作する場面の方が，静止状態で対象を観察する場面よりも，はるかに多い。それらの能動的行動において主要な役割を果たす自己身体の感覚情報は自己受容感覚と前庭覚であるが，これらの感覚が，視覚や聴覚とどのように統合されるのかという多感覚研究が行なわれるようになったのは，最近である。

そこで本プロジェクトでは，観察者の能動的運動が観察者自身の知覚をどのように変容させるのかに注目し，能動的観察事態における自己受容感覚と視覚の関係，あるいは前庭覚と視覚，聴覚の関係に焦

点を当てて研究を行なった。

本プロジェクトが新規採用となった今年度は，東日本大震災のために，予定していたスケジュールの大幅な変更を余儀なくされた。しかし，最初のプロジェクト研究会を2012年1月10日と11日に通研講堂において開催した。京都大学の蘆田宏とクイーンズランド大の Philip M. Grove の2名が欠席したものの，東京工業大の金子寛彦と，横浜国立大学の岡嶋克典の2名を招聘して，8件の講演を行ない，参加者全員での打ち合わせを行なった。

また，3月9日には，名古屋大学エコトピア科学研究所の古賀一男先生の講演会(題目：「身体運動を制御する実験によって得られた知見」)を東北学院サテライトステーションで開催した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の成果の第1は，身体運動が関与する多感覚統合の国内研究者の研究内容を，互いに概観できたことにある。本研究では，1)自己受容感覚が視覚に与える影響と，2)自己運動の方向知覚における前庭覚と視覚，聴覚の情報統合，という多感覚研究での重要な2つのテーマについて研究者同士が情報交換することで，自己身体の能動的な運動と，視覚と聴覚にもとづく外界の知覚との関係に潜む共通項を見出す方法を議論した。これまで別個の枠組みで研究されることが多かった，四肢の制御状態や姿勢変化，自己運動など自己身体の状態の変化をとらえる自己受容感覚および前庭覚の機能と，自己身体の外部で生じた事象をとらえる視覚と聴覚の機能との間の連携を，「自己身体の運動」というより大きな視点を設定することで，具体的に解き明かす端緒が見出せるとする点で，参加者の意見が一致した。

成果の第2は，打ち合わせの結果，次年度以降の活動継続と講演会のオープン化，およびメンバーの拡大についての素案について，合意が得られたことである。

以下に，1月に行なわれた研究会での8件の発表内容の要約を述べる。

1) 自己運動の方向知覚における多感覚統合(東

北学院大学・櫻井研三)

正立した観察者に左右か前後の往復身体運動（前庭覚）とそれに直交するオプティカルフロー（視覚）を組合せて同期呈示すると、知覚される自己運動の方向は前庭覚情報と視覚情報のそれぞれに含まれる運動方向の中間値となり、視覚刺激の強度が高くなるにつれ、視覚情報の運動方向に近づく。そこで、観察者がモーター駆動のブランコに仰臥して身体座標系の上下か左右の往復身体運動を経験しながら、ブランコと同期した直交方向に往復運動するオプティカルフローをHMDで観察する条件を調べた。その結果、上下か左右の身体運動が左右か上下のオプティカルフローと組み合わせられた場合、観察者は先行研究と同様に、前庭覚と視覚の両者の中間値を知覚し、視覚刺激の強度が高くなるにつれて視覚情報により特定される運動方向に近づいたことから、両者の重みづけ結合が示唆された。しかし、拡大縮小のオプティカルフローと組み合わせられた身体運動では、視覚のみか前庭覚のみに依存した判断を示した観察者が存在し、二者択一の処理が示唆され、身体座標系と重力座標系の不一致が、その理由のひとつと考えられた。

2) 大きな奥行き知覚における両眼視差と運動視差の相互作用（北九州市立大学・佐藤雅之）

両眼視差と運動視差は人間にとって有効な奥行き手がかりであるが、これらの手がかりが有効である視差量の範囲はあまり大きくないと考えられている。視差量が大きすぎると二重像や刺激の動きが知覚され、奥行き感が得られないことがこれまでの研究により明らかになっている。しかし、これまでの研究では、主に運動視差もしくは両眼視差のみが有効であるような状況（すなわち、頭部を左右に動かしながら単眼で刺激を観察する、もしくは、頭部を動かさずに両眼で刺激を観察する、など）で実験が行われており、2つの手がかりが同時に有効であるときにどのような奥行きが知覚されるのかについては明らかでない。ここでは、大きな奥行き知覚における2つの手がかりの相互作用についての検討が報告された。実験の結果、両眼視差単独もしくは運動視差単独では二重像や刺激の動きのみが知覚され奥行きが知覚されないような大きな視差であっても、両眼視差と運動視差を同時に与えた場合には大きな奥行きが知覚されることが明らかになった。これは、観察者が自由に動き両眼でもものを見ることができると通常の環境においては、これまで考えられてきたよりも両眼視差と運動視差が有効に働く視差量の上限が大きいことを示している。

3) 能動的観察における視覚的フラッシュラグ効果の減少とその条件（千葉大学文学部・一川誠）

観察者がコンピュータマウスを用いて能動的に刺激運動を操作した場合、運動刺激に対するフラッシュラグ効果が減少した。ただし、手の運動と刺激運動との対応関係に必然性がない場合や、刺激運動の操作に観察者が慣れていない道具を用いた場合には、能動的観察においてフラッシュラグ効果は減少しなかった。また、マウスを用いて能動的に刺激輝度を操作した場合には、手の運動と輝度変調の間に一貫した方向的対応関係がある場合に限り、輝度変調によるフラッシュラグ効果が減少した。しかしながら、手の運動と輝度変調との間に方向的一貫性がない場合、練習を繰り返しても、フラッシュラグ効果は減少しなかった。これらの結果は、手の運動方向と刺激変化との間の方向的一貫性に関する経験が能動的観察における知覚運動協応による視覚情報処理の促進を左右することを示唆している。

4) 視覚と前庭、固有感覚の統合における可塑性（豊橋技術科学大学大学院工学研究科情報・知能工学系・北崎充晃）

ヒトは眼球や頭部を運動させながら、かつ時には移動しながら世界を観察しており、網膜には常に運動成分が含まれる。しかし、多くの場合我々は網膜運動=オプティックフローにおける自己運動成分と対象運動成分を適切に分離して、安定した世界、自己の姿勢・運動、そして独自に運動する対象を知覚している。観察者の頭部運動に対して視野全体が整合的に運動するバーチャルリアリティ装置を用いて、頭部運動と網膜運動のゲインが異なる状況にヒトは順応することが可能かを検討した。ヒトは、2分間の順応によって20-40%ずれた頭部運動と網膜運動の組み合わせを安定していると知覚するように変化した。この順応は、視覚情報量、頭部運動の受動性・能動性、左右眼起源に依存せず広範囲に生じたが、左右および上下の網膜位置に関しては有意差があり、同じ視野（網膜位置）での順応がより効果的であった。このことから、皮質の空間処理がこの種の視覚・運動順応に関与していることが示唆された。

5) 視覚と前庭・体性感覚の統合による直線並進運動知覚（東京工業大学・金子寛彦）

人間は、視覚、前庭感覚、体性感覚など複数の感覚情報を統合処理して、自己の運動を知覚していると考えられる。本研究では、人間が前後の方向の並進運動を知覚する際に、それらの異なる感覚情報がどのように統合されているか明らかにすることを目的としている。実際に前後方向の並進運動している時に被験者にかかる合力の方向や大きさを呈示できるフライトシミュレータを用いて、前庭・体性感覚情報を操作し、また同時に、眼前のディスプレイ上にオプティックフローを呈示することにより、視覚

情報を操作した。そして、被験者が知覚する自己運動感覚の強度および方向を測定した。その結果、異なる感覚情報間の量的な不一致はさほど知覚には影響を及ぼさないが、時間的な一致、不一致は知覚に大きく影響することが示唆された。

6) オプティックフロー処理の新たな視点 (東北大学電気通信研究所・松宮一道)

私たちは環境の中で頻繁に身体を動かしながら外界を見ている。外界の動きによって網膜像の動きが生じたときは、私たちはその動きを知覚することができる。しかし、私たちの頭部や胴体の動きによって網膜上で像の動きが生じたとき、その網膜像の動きを知覚することはない。このような安定した視覚世界を構築するには、視覚系はこの2つのケースを区別する必要がある。視覚系は自己受容感覚などの網膜以外の情報(網膜外情報)を使って自らの動きをモニターできると考えられており、網膜外情報を使ってモニターした自己の動きと網膜上で発生した動きを相殺する仕組みを持っているという理論が古くから提唱されている。本研究では、静止観察者において3次元運動物体の方向知覚が周囲のオプティックフローに影響されることを報告し、物体運動知覚において網膜外情報がなくても網膜情報だけで自己身体の動きを補正する機構が存在することを明らかにした。もう一つのテーマとして、迂回行動時の身体制御機構について研究を行った。自己身体の障害物への衝突を回避するために、脳はオプティックフローを手がかりとして使うことができるが、障害物が身体に接近する状況では、障害物の知覚される方向も身体行動を生起するための手がかりとして使うことができる。本研究では、バーチャルリアリティ技術を利用した Warren ら(2001)の方法を使って、障害物回避において、これら2つの手がかりのどちらが使われているのかを調べた。Warren らの方法では、オプティックフローは、体性感覚情報から得られる身体の移動方向からずらして呈示された。本研究は、フローの湧き出し口が障害物と重なるときに、垂直軸周りの身体制御がフローに依存することを示す。この結果は、障害物を回避する際の身体制御において、脳がオプティックフローを利用していることを示唆する。

7) 自己運動中の聴空間知覚について (東北大学・坂本修一)

われわれが外界を正しく認識する際に用いる感覚情報として、聴覚情報は視覚情報と同様に重要な役割を果たす。特に後方や暗闇など視覚情報が使用不可能な場面では、聴覚情報の役割は大きい。言い換えると、聴覚情報は4 π 空間全体のセンシングとしての役割を果たしているといえるであろう。本研究

では、自己運動時の音空間の知覚に着目し、外界の認識における音の役割について検討した。実験結果から、自己運動中には知覚される音空間が自分自身の側に圧縮されることを示した。この結果は、前庭感覚情報と聴覚情報が相互に影響し合っていることを示すとともに、自己運動時の障害物や危機の素早い回避のために最適化された聴覚情報処理をわれわれが行っていることを示唆している。

8) 自己運動と視覚情報の非整合環境下における統合特性 (横浜国立大学・岡嶋克典)

VR システムを用いて視覚運動情報と体性運動情報が系統的に非整合な人工環境を構築し、視野安定機構の適応変化を実験的に検討した。被験者は可動型無重力ディスプレイ(Boom3C)を両手に持って両眼画像を観察しながら、3次元音像に追従して能動的に頭部を ± 60 度回転させた。刺激は格子状の球体の中にいる状態をシミュレートし、視覚運動情報と体性運動情報の速度比をゲインと定義し、その値が0.5, 1.0, 1.5の時を実験条件として設定した。各ゲインで3分間順応後、視野が最も安定するゲインの値に調整した。その結果、非整合環境に対して3分間で適応変化すること、中心視野および下視野が適応変化に強く寄与すること、順応効果は両眼転移すること、体性感覚は変化していないことを示した。また、手の動きにおける視覚・体性感覚統合の適応変化も同様なパラダイムで調べた結果、統合可能なゲインに許容範囲が存在すること、非整合環境に数分で適応対応することを明らかにした。

(3-2) 波及効果と発展性など

現在の情報機器は、従来のように人間が着座した静止状態で受動的に情報を受け取るスタイルから、歩行等の運動状態でマルチタッチ・インタフェイスのように可視化された情報そのものを能動的に操作するスタイルに移行しつつある。上述の予想される成果は、今後の情報機器のインタフェイスの改善に役立つと期待できる。

また、本プロジェクト準備段階での打ち合わせ活動は、10月に福岡で開催された国際学会 IMRF 2011 のシンポジウム「Effects of proprioceptive and vestibular processing on visual perception」へと、既に発展した。このシンポジウムの発表者5名の内4名が本プロジェクトのメンバーであり、このテーマでのシンポジウムやワークショップを関連学会で継続することが合意されている。

[4] 成果資料 (以下10.5ポイント)

特になし

採択番号 H23/B10

インタラクティブコンテンツのための 次世代ヒューマンインタフェースに関する研究

[1] 組織

代表者：北村 喜文
(東北大学 電気通信研究所)
対応者：北村 喜文
(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

大坊 郁夫 (大阪大学 大学院人間科学研究科)
大森 慈子 (仁愛大学 人間学部)
森島 繁生 (早稲田大学 理工学術院)
伊藤 雄一 (大阪大学 ウェブデザインユニット)
清川 清 (大阪大学 サイバーメディアセンター)
昆陽 雅司 (東北大学 大学院情報科学研究科)
鏡 慎吾 (東北大学 大学院情報科学研究科)
嵯峨 智 (東北大学 大学院情報科学研究科)
高嶋 和毅 (東北大学 電気通信研究所)

研究費：物件費 4 万 5 千円，旅費 26 万 5 千円

[2] 研究経過

インタラクティブコンテンツは、人びとに感動を与え、生活を豊かなものにするものとして、大きな期待を集めている。さらに、それをより効果的なものにするために、さまざまな技術が盛んに研究されている。ヒューマンインタフェースに関する技術はその最も重要なものの 1 つである。本共同プロジェクトでは、このような技術的な面に加えて、それを見て使う人がどう感じて何を思うかという心理学的な面にも注目する。そのため、最先端のインタラクティブコンテンツやヒューマンインタフェース技術の研究に携わっている研究者と、対人・社会心理学また臨床心理学の専門家など、分野を越えた研究者が一堂に集まることによって、より良いインタラクティブコンテンツのための次世代ヒューマンインタフェースを切り開くための議論を、多面的にかつ総合的に行うことを、本共同プロジェクトの目的としている。

2 月 27 日と 28 日の 2 日間に渡って開催した研究会では、ヒューマンインタフェース技術、対人社会心理学、臨床心理学、医工学の分野から、分担者を含めて 12 件のご発表と実際のデモンストレーションをいただき、議論した。

[3] 研究成果

(3-1) 研究成果

研究会での各発表の概要は次のとおりである。

(1) 「皮膚への振動刺激を用いた疑似力覚呈示とその応用」

昆陽 雅司 (東北大学 大学院情報科学研究科)
手指の運動中に皮膚に特殊な振動刺激に加えることによって、ものを動かしたときの摩擦感、慣性感、粘性感などの疑似的な力覚が呈示できる。この技術は、単純な振動子で実現可能であり、携帯情報端末上で手軽に力学的なインタクシオンを表現することが可能である。この疑似力覚呈示技術の原理と、携帯情報端末に搭載可能なポインティングスティック型インタフェースへの応用について紹介した¹⁾²⁾³⁾。

(2) 「高速ビジョン技術のヒューマンインタフェース応用」

鏡 慎吾 (東北大学 大学院情報科学研究科)
従来、リアルタイムビジョンといえばビデオレートで視覚処理を行うことを指していたが、近年の技術の進展により、より高フレームレートでの画像獲得・処理を行うことや、映像提示を行うことが可能となってきた。そのような高速ビジョン技術の応用を中心として、最近進めてきたヒューマンインタフェースに関連する研究を紹介した⁴⁾⁵⁾。

(3) 「剪断力を用いた触覚ディスプレイ」

嵯峨 智 (東北大学 大学院情報科学研究科)
研究進行中の次の内容について、次の内容を紹介した⁶⁾。①タッチパネルに必要とされる機能に答える触覚フィードバックの方式として、剪断力を利用した 2.5 次元触覚提示手法、②SPIDAR を利用した手法により設計したプロトタイプを用いて、心理物理実験を通じてヒトの剪断力に対する感覚強度を調査した結果、③これに基づいて Wavelet 変換を利用した適切な深度を提示するための手法。

(4) 「発達障害を確率的にアセスメントするエキスパートシステム — クラス・家庭環境情報を統合する包括的アセスメント」

足立 智昭 (宮城学院女子大学 発達科学研究所)
学習障害、ADHD、広汎性発達障害などの発達

障害は、それぞれ独立の障害というよりも、重複して子どもの発達的特徴に現れることが多い。加えて、それらの発達的特徴は、スペクトラムとしての性質をもつことから、そのアセスメントは容易ではない。そこで、個々の発達的特徴と発達障害との間には、一定の不確実性が存在するとの仮定にたち、Dempster-Shafer 理論に基づく発達障害のアセスメントシステムの構築例⁷⁾、さらに、文部科学省が作成した「児童生徒の理解に関するチェックリスト」の情報、およびクラス環境・家庭環境の情報を入力することにより、発達障害のアセスメント結果がどのように変化するかを検証することを目的とする研究⁸⁾を紹介した。

(5) 「顎顔面領域の癍痕・欠損に対するメディカルメーキャップの試み ―患者さんの生活の質向上へ向けた取り組み」

金高 弘恭 (東北大学 大学院歯学研究科)

顎顔面領域に癍痕や一部欠損を有する患者に対し、癍痕部カバー専用化粧品を利用して癍痕やエプテーゼなど顔面補綴物を目立たなくするメディカルメーキャップを施すことで審美的改善を行い、その際の患者の心理状態の変化について計量心理学的手法を用いた客観的評価を行うことにより、メディカルメーキャップの臨床的有用性について検討した結果について紹介した¹⁰⁾。

(6) 「場の活性化を産み出すための対人コミュニケーション」

大坊 郁夫 (大阪大学 大学院人間科学研究科)

目標に見合った相互作用「場」の活性化を向上させるためには、対人関係の成否にかかわる、最小の基本単位である2人と集団内の拮抗、連携の基本的パターンが生じやすい、少人数の対面のコミュニケーション行動を収集し、場の活性化をもたらす特徴を抽出する試みをしている。参加者の社会スキルなどの個人要因との関連で検討しつつある経過を報告した¹¹⁾¹²⁾。

(7) 「非言語行動としての瞬目と笑い」

大森 慈子 (仁愛大学 人間学部)

瞬目と笑いのコミュニケーション機能についての実験的検討をとりあげ、そこで用いてきた心理的変数の統制、測定および評価方法にふれ、今後取り組む予定の「涙」および「動物と人との関係」に関する研究の方向について紹介した。

(8) 「『攻撃性』が生み出す安全空間と創造性」

中村 有希 (PAS 心理教育研究所)

攻撃性は個人内でも、人との関係の中でも、取り扱いはくく、厄介なエネルギーとして、体験される

ことが多い。しかし攻撃性をもつエネルギーは、身体に熱を与え、心の機能を動かし、鍛え、育てるエネルギーとして、また、人との関係をより深く親密なものに展開するために大変重要なものである。震災後の心の復興にも攻撃性の取り扱いは非常に重要なテーマとなる。今回は「攻撃性」が生み出す安全空間と、攻撃性が創造性に向かう鍵となることを紹介した¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。

(9) 「CSCWに関するこれまで及び現在の研究概要」
市野 順子

(電気通信大学 大学院情報システム学研究科)

これまで、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) やグループウェアを中心に、ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究を行ってきた。その中から、①対面会議での議論への集中を促すグループウェアの開発、②発話の非言語情報を用いた会議フェーズの判別可能性の実験的検証、③グループダイナミクス情報の提示方式の違いがチーム行動に与える影響の実験的検証、の3つの研究テーマに関して紹介した。

(10) 「擬人化インタラクションとセラピー効果におけるものづくりアプローチ」

米澤 朋子 (関西大学 総合情報学部)

ロボット研究が盛んになった昨今、そのふるまいによる人間の受け取り方やその波及効果についても議論されている。本発表では、人間同士のコミュニケーションを効果的に助けるぬいぐるみの擬人化手法とその応用についての研究を紹介し、震災復興における精神ケアへのアプローチを提案した¹⁶⁾。

(11) 「コンピュータじゃないコンピュータに関する研究」

伊藤 雄一 (大阪大学 ウェブデザインユニット)

ユーザインタフェースの研究として、ユーザがコンピュータを使っていると意識することなくコンピュータを使い、コンピュータによる様々なサポートを実現するような技術の研究を行っている。そのような研究の例として、ブロックを用いたユーザインタフェースに関する研究と、環境へのユーザの状況入力、そして、デジタルではないアナログ的なデータ出力に関する研究事例について紹介した。

(12) 「Dive Into the Movie」

森島 繁生 (早稲田大学 理工学術院)

視聴者自体を映画の登場人物として瞬時に登場させる技術に関して紹介した。これは、顔写真一枚から顔の3次元立体形状を推定する技術、ビデオ映像から表情変化や歩き方の特徴を計測し、個性を合

成する技術, 肌の質感や全身のモーションをリアルタイムでCG合成する技術などによって実現されるものである。また, 最近のプロジェクトとして, 音楽情報解析からミュージックビデオを自動合成する研究についても紹介した。これは近い将来に予想されるCGMの実現に向けた新しい提案である。Webコンテンツの解析・機械学習によって音楽にシンクロした動画を, データベース中の映像の切り貼りにより合成する, いわゆるMAD作品の自動生成技術について紹介した。

(3-2) 波及効果と発展性など

視覚系のビジュアルインタフェースと触覚系のハプティックインタフェース, さらに, 利用者参加型のインタラクティブコンテンツのためのインタフェースに関する, 最新の研究成果の発表とデモンストレーションを通して, また対人社会心理学と臨床心理学の立場からの最新の知見の紹介によって, より良いインタラクティブコンテンツのための次世代ヒューマンインタフェースを切り開く活発な議論が展開された。今後, 大型プロジェクトへの展開を前提として, 具体的な打ち合わせを進める予定である。平成24年度には, 本共同プロジェクトを発展させる形で, 「災害復興エンタテインメントコンピューティング」と『場』と対人コミュニケーションの2つの共同研究プロジェクトを実施する予定である。

[4] 成果資料

研究会における議論に関連する文献をあげる。

- 1) S. Okamoto, M. Konyo, and S. Tadokoro: Vibrotactile stimuli applied to finger pads as biases for perceived inertial and viscous loads, *IEEE Trans. on Haptics*, Vol. 4, No. 4, pp.307-315, 2011.
- 2) 大竹 達也, 樋口 篤史, 櫻井 達馬, Porquis Lope Ben, 昆陽 雅司, 田所諭: 疑似力覚を用いた情報の重みの呈示: 携帯端末のための視覚に頼らない操作手法の提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム2011.
- 3) <http://www.rm.is.tohoku.ac.jp/~konyo/>
- 4) Shingo Kagami: High-speed vision systems and projectors for real-time perception of the world (invited talk), *IEEE Workshop on Embedded Computer Vision, Proc. of CVPR2010*.
- 5) <http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtssense/>
- 6) Satoshi Saga & Koichiro Deguchi: Lateral-force-based 2.5-dimensional tactile display for touch screen. In *Proc. of Haptics Symposium 2012*. (To appear)
- 7) Tomoaki Adachi, Soichiro Kawagoe, Norio Murai: The validity of a probabilistic assessment system for developmental disabilities in early childhood, *Tohoku*



研究会での議論



デモンストレーションによる議論

Psychologica Folia, Vol. 69, pp. 23-33, 2010.

- 8) Tomoaki Adachi, Shoko Kochi, Tai Yamaguchi: Characteristics of nonverbal behavior in patients with cleft lip and palate during interpersonal communication, *Cleft Palate Craniofacial Journal*, pp. 310-316, Vol. 40, No. 3, 2003.
- 9) 足立智昭: 科学するところを育てる保育1 — プロジェクト・スペクトラムの紹介を通して —, 2008年度第2回公開講演会.
- 10) 金高弘恭, 幸地省子, 小山重人, 足立智昭, 真覚 健, 阿部恒之, 鈴鴨よしみ, 青木昭子, 提橋義則, 稲川弘, 佐々木啓一: 計量心理学的手法を用いた顎顔面領域の癍痕・補綴に対するセラピーメーカーキャップの臨床的有用性評価に関する研究, *日歯医学会誌* 29:119, 2010.
- 11) 大坊郁夫: 関係場を活性化するコミュニケーションの展開, 第13回知識科学シンポジウム「メディア技術によるソーシャルリアリティ創出」講演予稿集, 21-35, 2010.
- 12) 前田奈穂, 横山ひとみ, 藤原 健, 大坊郁夫: 会話行動が関係開始スキル評価に与える影響 1) — 発話内容とハンド・ジェスチャーを用いたマルチ・チャンネル・アプローチによる検討 —, *社会言語科学*, 4, 171-187, 2011.
- 13) 小谷英文(編著): *グループセラピーの現在 現代のエスプリ*, ぎょうせい/至文堂
- 14) 小谷英文(編著): *ニューサイコセラピーグローバル社会における安全空間の創成*, 風行社
- 15) 小谷英文: *ダイナミック・コーチング*, PAS心理教育研究所出版部
- 16) <http://www.res.kutc.kansai-u.ac.jp/~yone>

採択番号 H23/B11

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・クラウドシステム基盤

[1] 組織

代表者：加藤 和彦（筑波大学システム情報系情報工
学域）

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（東京大学情報基盤センター）
阿部 洋丈（大阪大学サイバーメディアセ
ンター）

杉木 章義（筑波大学システム情報系情報
工学科）

長谷部 浩二（筑波大学システム情報系
情報工学科）

上野 雄大（東北大学電気通信研究所）
森畑 明昌（東北大学電気通信研究所）

研究費：物件費 0 円，旅費 266,920 円

[2] 研究経過

研究目的と概要：

クラウドシステムは近年急速に普及しつつあり、これを駆動するためのソフトウェア基盤の開発が必要となっている。しかし、クラウドシステム向けソフトウェアの設計と実現は未だ系統的な設計法や実装技術が確立しているとは言いがたいのが実情である。クラウドシステムには、通常のソフトウェアに比べさらに高度なセキュリティと信頼性が求められ、これは従来のアドホックな実装では達成しがたい。

以上のような現状をふまえ、本研究会では、関数型言語 ML に代表される高信頼プログラミング技術を活用し、ディペンダブルなクラウドシステム基盤を開発するための検討を行っている。

本年度は、本プロジェクトの初年度であることをふまえ、研究集会を行い互いの研究状況を確認し相互理解を深めた。加え、本プロジェクトの目的達成に向け、具体的な研究課題の設定のための意見交換が行われた。特に、加藤らが研究を進めている高信頼クラウドスクリプティング基盤である Kumoi シス

テムと、大堀らが研究開発を進めている高機能高信頼関数型言語 SML# の相補的な連携による、クラウドを用いた高性能・高信頼大規模データ処理の可能性についての具体的な検討が行われた。また、各研究グループが進めている研究テーマについても紹介がなされ、その相互連携や今後の本格的な共同研究の可能性についても意見交換を行った。

研究活動状況の概要：

本年度の主な活動として、2012 年 2 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成果や将来の展望についての紹介がなされた。

加藤グループからは、杉木による高信頼クラウドスクリプティング基盤である Kumoi システムの最新の開発状況およびそこから得られた知見についての報告がなされた。特に、ハードウェア資源だけでなくソフトウェアも言語オブジェクト化したことによるインパクトや、クラウドにとって本質的な「計算の失敗」の取り扱いなどについて、プログラミング言語技術とクラウドコンピューティングの関連性について議論が行われた。

大堀グループからは、上野による高機能・高信頼関数型言語 SML# の最新の開発状況について、最近実現された分割コンパイル機能を中心に、報告があった。分割コンパイルは、わずかに異なる多数のソフトウェアを次々にコンパイルする際に大きな力を発揮することもあり、クラウドコンピューティングに利用する際の意義が大きいと言える。また、森畑からは、Google の MapReduce 的な並列プログラムを、直截な逐次プログラムから系統的に構成する方法についての紹介がなされた。これについて、クラウド上での大規模並列計算への応用の可能性について議論が行われた。

品川グループからは、軽量高信頼仮想マシンモニタである BitVisor の紹介およびその高性能計算への応用可能性についての発表がなされた。BitVisor を用いることでユーザの目的に特化した OS へと軽量に切り替えることができるという洞察は、クラウドという汎用高性能計算環境では大きなインパクトを持ちうる。

阿部グループからは、阿部による国際会議 SuperComputing の報告と、李によるネットワークスループットの予測に関する最新の研究成果の紹介がなされた。SuperComputing は高性能計算などに関する世界最高峰・最大規模の会議のひとつであり、クラウドコンピューティングの最新動向を知る上でも重要である。また、ネットワークスループットの予測は、今後クラウドなどの分散計算基盤がさらに大規模化・分散化した際にはきわめて重要な基盤技術となりうる。

以上のように、これまでの研究成果の相互連携や今後の発展について活発な議論が行われた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトの目標は、クラウド基盤を含むディペンダブルなシステムソフトウェアの研究開発から得られた知見と、高信頼プログラミング言語の理論・実装を融合し、高信頼クラウドコンピューティングの基盤技術の発展を目指すことである。このため、本年度では、各研究グループの現状の研究成果を持ち寄り、それらの連携によってクラウドコンピューティングにどのようなインパクトの可能性があるか、またそのためにはシステムソフトウェア・プログラミング言語のそれぞれの分野でどのような課題があるかについて議論を行った。

以下その議論の内容および結論について概要を述べる。

加藤グループでは、高信頼クラウドスクリプティング基盤である Kumoi (雲居) を開発してきた。Kumoi は、クラウドに代表されるクラスタ型並列計算機環境上で、計算機環境中の資源やソフトウェアを言語オブジェクトとして抽象化することにより、ハードウェア環境とは独立した論理的な並列計算環境を作り出す。これにより、クラウド管理者はハードウェア環境の取り扱いをスクリプト等の形で自然に記述することができ、かつその結果を物理計算環境にマッピングすることにより、実際の計算も容易に行うことができる。Kumoi により、クラウド計算環境の管理やソフトウェアのパラメータチューニング等が容易に行え、その有用性が確認されている。

大堀グループでは、高性能・高信頼関数型言語 SML# を開発している。SML# は、近年並列計算との親和性から注目を集めている関数型言語であること、システムプログラミングに必須である C 言語との高度な連携を実現していること、SQL を統合しており関係データベースの取り扱いに優れることなど、大規模計算に適した様々な特徴をもつ。また、並列プログラムの系統的な構成に関する研究も行っている。

これら両グループの長所を融合することによる新たなクラウドコンピューティング基盤の可能性について議論を行った。その結果、特にビッグデータと呼ばれる巨大なデータに対する複雑な解析について、高水準・高性能な枠組みを与えうるという洞察にいたった。ビッグデータはインターネットや各企業の情報管理システム等から得られる、巨大かつ時系列に従い漸増するデータ群である。このようなデータに対する複雑な解析による知識発見には高い要求があるが、高性能な並列計算が必須となるため、多くのユーザには手を出しづらいものとなっている。そのため、解析の高水準な記述を効率良い並列プログラムコードへのコンパイルし、クラウド基盤上で自由に行うできれば望ましい。両グループの研究を融合することにより、並列プログラムへのコンパイル技法は系統的な並列プログラム構成法に基づき与えることができ、また SML# の C 言語・関係データベースとの高度な連携は実際のシステムを駆動することを可能とし、かつ Kumoi を用いることでクラウド基盤の柔軟な管理や耐障害性の確保などを自由に行うことができるようになる。

来年度以降は、この知見に基づき、さらなる詳細化や目標達成に向けた課題の整理、そして実システム設計に向けての検討等を行う予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトの波及効果や発展性については、まず、本プロジェクトでの議論を通じ、システムソフトウェアとプログラミング言語の両方の分野において、各研究メンバーが自分の専門分野と多少異なる立場からの視点を得ることができた。これにより、各研究メンバーそれぞれの研究テーマに良い相乗効果を得ることができたと確信している。

また、本プロジェクトで開催された研究集会は、特に若手研究者や大学院生にとって、他の研究グループと交流し自分の研究についての意見をもらう貴重な機会にもなっている。このような機会は、研究をさらに発展させ、また新たな研究テーマを発見するにあたり、きわめて有意義であり。この意味で、本プロジェクトは若手研究者の育成にも貢献していると言える。

本プロジェクトでは高信頼・高性能クラウドコンピューティング基盤についての議論を行っている。この議論は、直接的な成果である企業等でのデータ解析などだけでなく、堅牢な分散システム開発技法の発展、災害時の耐障害性に優れたシステム実現、グローバルな視点での省電力の達成など様々な課題への波及効果も期待できる。実際、本プロジェクトでもこれら周辺課題への適用可能性も視野に入れた議論を行っている。

[4] 成果資料

- Yushi Omote, Yosuke Chubachi, Takahiro Shinagawa, Tomohiro Kitamura, Hideki Eiraku, Katsuya Matsubara. Hypervisor-based Background Encryption. In Proceedings of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2012), Mar 2012. To appear.
- Yoshihiro Oyama, Tran Giang, Yosuke Chubachi, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. Detecting Malware Signatures in a Thin Hypervisor. In Proceedings of the 27th ACM Symposium On Applied Computing (ACM SAC 2012), Mar 2012. To appear.
- Yohei Matsushashi, Takahiro Shinagawa, Yoshiaki Ishii, Nobuyuki Hirooka, Kazuhiko Kato. Transparent VPN Failure Recovery with Virtualization. Future Generation Computer Systems, Elsevier, Vol. 28, No. 1, pp. 78-84, Jan 2012.
- 森畑明昌. 先読み付き正規表現の有限状態オートマトンへの変換, コンピュータソフトウェア 29(1), pp.147-158, 2012.
- 上野 雄大, 大堀 淳. 多相レコード計算に基づく軽量な第一級オーバーロードの設計と実装. コンピュータソフトウェア 29(1), pp.191-210, 2012.
- Akimasa Morihata. Macro Tree Transformations of Linear Size Increase Achieve Cost-Optimal Parallelism, In Proc. APLAS 2011, LNCS 7078, 2011.
- Akimasa Morihata and Kiminori Matsuzaki. Balanced trees inhabiting functional parallel programming. In Proc. ACM ICFP 2011.
- Katsuhiko Ueno, Atsushi Ohori, and Toshiaki Otomo. An efficient non-moving garbage collector for functional languages. In Proc. ACM ICFP 2011.
- Atsushi Ohori and Katsuhiko Ueno. Making standard ML a practical database programming language. In Proc. ACM ICFP 2011.
- Shin-Cheng Mu and Akimasa Morihata. Generalising and dualising the third list-homomorphism theorem: functional pearl. In Proc. ACM ICFP 2011.
- Akimasa Morihata, Kiminori Matsuzaki. A practical tree contraction algorithm for parallel skeletons on trees of unbounded degree. Procedia CS 4, 2011. 4.
- Yoshihiro Oyama, Youhei Hoshi, A Hypervisor for Injecting Scenario-Based Attack Effects, In Proceedings of the 35th Annual IEEE Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2011), pages 682-687, Munich, Germany, July 2011.
- Akiyoshi Sugiki and Kazuhiko Kato, An Extensible Cloud Platform Inspired by Operating Systems, Proc. of 4th IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC 2011), pp. 306-311, 2011.
- Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu and Kyoji Umemura: Estimating Traffic Anomalies for Throughput Prediction on Network Virtualization. The Second Workshop on High Speed Network and Computing Environments (HSNCE 2011), July 2011.
- Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu and Kyoji Umemura. Predicting Network Throughput for Grid Applications on Network Virtualization Areas. NDM2011: The 1st Workshop on Network-Aware Data Management, November 2011.
- Chunghan Lee, Hirotake Abe, Toshio Hirotsu and Kyoji Umemura: Traffic Anomaly Analysis and Characteristics on a Virtualized Network Testbed. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, Vol. E94-D, No. 12, pp. 2353-2361, 2011.
- Koji Hasebe and Ryuichiro Ishikawa. Belief Revision for Inductive Game Theory. European Workshop on Multi-Agent Systems (EUMAS'11), 15 pages, 2011.
- Takuya Masuzawa and Koji Hasebe. Iterative Information Update and Stability of Strategies. Synthese, Springer-Verlag, vol.179 (Supplement-1), pp.87-102, 2011.
- 表 祐志, 品川 高廣, 加藤 和彦. 仮想マシンモニタによる透過的ネットワークブート方式. 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, 第4巻, 第4号, 228-245頁, 2011年10月.
- 吉田哲也, 山田浩史, 佐々木広, 河野健二, 中村宏: マルチコア CPU の電力消費特性を考慮した仮想 CPU スケジューラ. 情報処理学会論文誌 ACS, vol.4(2), pp.25-39, 2011.

採択番号 H21/S1

人間の機能を取り込んだ革新的概念による情報通信システム

[1] 組織

代表者：沼尾 正行

(大阪大学産業科学研究所)

対応者：白井 正文

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

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)
 小林 光 (大阪大学産業科学研究所)
 八木 康史 (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)
 溝口理一郎 (大阪大学産業科学研究所)
 松本 和彦 (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)
 竹谷 純一 (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)
 神吉 輝夫 (大阪大学産業科学研究所)
 森山 甲一 (大阪大学産業科学研究所)
 中島 康治 (東北大学電気通信研究所)
 榊井 昇一 (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)
 大堀 淳 (東北大学電気通信研究所)
 外山 芳人 (東北大学電気通信研究所)
 室田 淳一 (東北大学電気通信研究所)
 大野 英男 (東北大学電気通信研究所)
 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)
 枝松 圭一 (東北大学電気通信研究所)
 末光 眞希 (東北大学電気通信研究所)
 長 康雄 (東北大学電気通信研究所)

研究費：旅費 323,900 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デバイスおよびシステムに取り込んだ柔軟で自在性の高い革新的情報デバイス・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、その知見を取り入れた新しい情報通信デバイス、情報処理システムをハードウェアとして実現する。世界の情報量は年々1.5~2倍で上昇しており、このままいけば、2030年には全世界の消費エネルギーの50%が、情報ネットワークのために消費されると試算されている。

本プロジェクトでは、人間の機能に学び、従来とは原理の異なる新たな情報デバイス・システムを創成し、将来的には人と環境にやさしい安全な社会システムの構築を目指す。このような情報デバイス・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、新機能デバイス創製から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。

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。これまで、東北大学電気通信研究所において講演会などを開催し、研究者間の相互理解を図るとともに、率直な意見交換を行ってきた。その中で、本プロジェクトの方向性を見いだし、ブレインウェア技術の実用化に向けた研究を進めてきた。その結果、(1) 全方位視覚センサと各種反射屈折光学系の応用、(2) 歩容映像解析とその応用、(3) 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、(4) 酸化物質薄膜・ヘテロ構造デバイスの応用、(5) 磁気トンネル接合ロジックインメモリ回路の提案、(6) 混合シグナル・プラットフォームの基礎概念に関する成果を得た。

本年度は、これまでの成果を踏まえながら、行動予測や感情にまで踏み込んだ研究を行うと共に、材料・デバイス関連の研究者間の情報交換のため、平成24年3月5日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催した。これは、平成23年3月11日に途中まで開催したものの、震災によって中断した研究会を一年後にやり直すという意味合いもあった。研究会における講演者と題目は以下のとおりである。

小口 多美夫「表面におけるラッシュバ効果の理論」
 佐藤 茂雄「超伝導量子ビットと
 巨視的量子トンネリング」
 神吉 輝夫「強相関電子系酸化物ナノ構造体における
 電子相ドメインの制御と巨大物性発現」
 竹谷 純一「高移動度の有機半導体」
 上原 洋一「プローブ顕微鏡による光局所分光」
 小林 光「新規化学的手法による
 結晶シリコン太陽電池の高効率化」
 長 康雄「非線形誘電率顕微鏡を用いた
 半導体表面と半導体デバイスの評価」
 松本 和彦「室温動作ナノカーボン量子ナノメモリ」

当日は降雪による交通機関の乱れのために開会時刻を繰り下げて研究会を開催した。悪天候の中の開催となったが、講演時間を大幅に延長して活発な討議が続けられた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、単純なセンサに基づき、人の意図や感情を抽出する研究を行った。用いたセンサは、赤外線センサ、容積脈波センサ、呼吸速度センサ、皮膚抵抗センサである。

赤外線センサを用いた研究では、トイレで用いられている赤外線人感センサを実際に研究室内に多数設置し、研究室構成員の動きを収集した。このセンサは前に物体があるかどうかを検出するだけであり、プライバシー保護の観点からも、利用しやすい。時系列データマイニングの手法を既存のもの、独自に改良を重ねたものなど、何種類か用意して、センサの位置関係と各個人の移動過程の両方を並行して収集できるかどうかを調べ、利用可能な状況について調査した。さらに、決定木を用いることで、各個人の移動を7割程度予測できることを示すと共に、予測しやすい状況としにくい状況についても、調査した。

感情抽出では、音楽により引き起こされる感情を扱った。音楽に対する我々の感情的な反応は、音楽の構造と特徴(テンポ、音階など)に依存している。音楽の特徴の変化が心理的生体反応に変化をもたらす、という報告がいくつかある。たとえば、悲しい、恐ろしい、もしくは幸せな音楽が心拍数の増加をもたらす。皮膚抵抗により、音楽に対する感情的な反応が推定できるという研究もある。本研究では22才の男性の被験者にオーディオテクニカの密閉型ヘッドフォン ATH-T400 を用いて、83曲を聞いてもらい、データを収集した。曲としては、和音が完全に記載されていることから、isophonics dataset を

用いた。容積脈波データは、米国 Thought Technology 社製の BioGraph Infiniti システムにより測定した。呼吸速度および皮膚抵抗も測定したが、今回の解析では利用していない。

このデータから、時系列データの解析手法 SAX (Symbolic Aggregate ApproXimation)を用いて、モチーフを発見した。ここで、モチーフとは、生体信号から得られるデータ部分列のうち、類似したものである。モチーフは、聴取者が関心を持った音楽の部分を示している。たとえば、聴取者が曲のその部分によりリラックスしたり、楽しんだりしたことを示す。モチーフの長さをどう決めるかは、曲の速度に依存するため、調整が必要である。ここでは4秒、6秒、8秒の三種類を試みた。

モチーフ発見アルゴリズムは、データセットから最も顕著なモチーフを一つ見つける。モチーフの長さを4秒に設定した場合、64曲中61曲(95.3%)でモチーフを発見できた。そのうち、64%では、その部分のコード進行が類似していた。このことから、同じような感情的な反応が、共通のコード進行により引き起こされていると言える。生体信号から発見されたモチーフに対応する部分の和音進行を調べた。その結果、多くの場合、和音進行が類似していることが分かった。他の特徴も類似していると考えられる。このことから、種々のモチーフと和音進行のライブラリを構築して、音楽の作曲や推薦に利用できると期待される。

今後の研究の課題としては、モチーフ発見アルゴリズムの改良が考えられる。モチーフと、曲の和音進行以外の特徴との関連付けも興味深い。より多くの被験者を使って、他の生体信号データ、すなわち、呼吸速度や皮膚抵抗も含めた実験を行うことも計画中である。

(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。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。本プロジェクトにより、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づくりが可能となる。

[4] 成果資料

- (1) D. Sodkomkham, R. Legaspi, S. Kurihara, and M. Numao: "A Study on Next Location Predictive Modeling using Mined Temporal Sequential Patterns as input to a Decision Tree", *The 26th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, 1K1-IOS-1a-1 (2012).
- (2) R. Cabredo, R. Legaspi, and M. Numao: "Identifying Emotion Segments in Music by Discovering Motifs in Physiological Data", *Proc. 12th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2011)*, pp.753-758 (2011).
- (3) J. Soeda, Y. Hirose, M. Yamagishi, A. Nakao, T. Uemura, K. Nakayama, M. Uno, Y. Nakazawa, K. Takimiya, and J. Takeya: "Solution-crystallized organic field-effect transistors with charge-acceptor layers: high-mobility and low-threshold-voltage operation in air", *Adv. Mater.*, vol. 23, pp. 3309-3314 (2011).
- (4) S. Hara, Y. Kawahara, T. Washio, P. von Bunau, T. Tokunaga, and K. Yumoto: "Separation of stationary and non-stationary sources with a generalized eigenvalue problem", *Neural Networks*, vol. 33, pp. 7-0, doi: 10.1016/j.neunet. (2012).
- (5) T. Kanki, Y. Hotta, N. Asakawa, T. Kawai, and H. Tanaka: "Noise-driven signal transmission using nonlinearity of VO₂ thin films", *Applied Physics Lett.*, vol. 96, article no. 242108, pp. 1-3 (2010).
- (6) I. Mitsugami, Y. Nagase, Y. Yagi: "Primary Analysis of Human's Gait and Gaze Direction Using Multiple Motion Sensors", *Proc. of Asian Conference on Pattern Recognition*, Beijing, China (2011).
- (7) T. Fukushima, A. Ohnaka, M. Takahashi, and H. Kobayashi: "Fabrication of low reflectivity poly-crystalline Si surfaces by structure transfer method", *Electrochem. Solid-State Lett.*, vol. 14, no. 2, pp. B13-B15 (2011).
- (8) T. Ohori, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Inoue, Y. Hayashi, and K. Matsumoto: "Quantized characteristics in carbon nanotube-based single-hole memory with a floating nanodot gate", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 98, article no. 223101, pp. 1-3 (2011).
- (9) Y. Cho: "Scanning nonlinear dielectric microscopy", *J. Mater. Res.*, vol. 26, no. 16, pp. 2007-2016 (2011).
- (10) W. Iida, J. U. Ahamed, S. Katano, and Y. Uehara: "Mechanism of prism-coupled scanning tunneling microscope light emission", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 50, article no. 095201, pp. 1-4 (2011).
- (11) S. Sato, A. Ono, M. Kinjo, and K. Nakajima: "Performance evaluation of adiabatic quantum computation using neuron-like interconnections", *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 2, pp. 198-204 (2011).
- (12) Y. Miura, K. Abe, and M. Shirai: "Effects of interfacial noncollinear magnetic structures on spin-dependent conductance in Co₂MnSi / MgO / Co₂MnSi magnetic tunnel junctions: A first-principles study", *Phys. Rev. B*, vol. 83, article no. 214411, pp. 1-6 (2011).

採択番号 H23/S1

スーパーハイビジョンのシステム化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）
 岩谷 幸雄（東北大学電気通信研究所）
 藤沢 秀一（NHK放送技術研究所）
 島本 洋（NHK放送技術研究所）
 田中 克（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）
 安藤 彰男（NHK放送技術研究所）

研究費：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、これを実現するために必要なスーパーハイビジョンの基盤となるデバイス、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、平成20年度から22年度までの3年間、研究を実施した。平成23年度よりさらに継続して研究を実施することが承認されたので、第2期となる本共同プロジェクト研究においても、それぞれの組織が有する基盤技術を活用してスーパーハイビジョンのシステム化に向けた要素技術を開発することを目的とする。

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用音空間忠実再生要素技術の研究」

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観察中の注意評価の研究」

【NHK放送技術研究所】

撮像・記録デバイス研究部：高フレームレートなスーパーハイビジョン用CMOSイメージセンサの実現に向けて、カラム並列巡回型A/D変換技術を用いた動作検証用デバイスを設計、試作するとともに、スーパーハイビジョン用ストレージの課題を明らかにし、システム案を示す。

表示・機能素子研究部：スーパーハイビジョン用ディスプレイに必要な、超高精細化に適した蛍光体の特性改善を進める。

テレビ方式研究部：スーパーハイビジョンの22.2ch音響を家庭で楽しむ一つの方法である聴覚ディスプレイの設計に必要なパラメーターを主観評価実験研究により提案する。

人間・情報科学研究部：スーパーハイビジョン映像評価法確立のために、SHV観視では周辺視野特性が重要であることに着目して、SHVの誘目度地図作成、視線移動測定を行う。

本プロジェクトは研究成果の披露、進捗状況の把握および今後の展開に向けて、以下に示すような成果報告、研究打ち合わせを行った。

1. 東北大学電気通信研究所・組織連携型共同プロジェクト研究・研究会

ースーパーハイビジョンを越えてー

日 時：2011年12月19日（月）

場 所：静岡大学浜松キャンパス
電子工学研究所会議室

出席者：静岡大学 三村, 原, 猪川, 中西
田部, 川井, 香川
東北大学 鈴木, 村岡
NHK 斉藤, 宮本

内 容：第2期では、スーパーハイビジョンのさらなる高性能化を目指し、今後必要とされる要素技術について、それらの研究の方向性や可能性を探るための研究討論を行っていく。具体的には、参画3組織における他の関連研究者や他の関連組織の研究者に参加を呼びかけ、年に一度程度、テーマを決めて研究討論会を開催していくことを目指し、その第1回として、上記の出席者・講演者の他電子工学研究所の教職員の出席の下、下記のプログラムにより研究討論会を開催した。

プログラム

- (1) 「将来の超高精細音響システムの実現に向けて」
鈴木 陽一(東北大学 電気通信研究所)
- (2) 「磁性細線を用いた超高速記録デバイス」
宮本 泰敬 (NHK放送技術研究所 撮像・記録デバイス研究部)
- (3) 「シリコンナノ構造を用いたドーパント原子デバイスとフォトン検出」
田部 道晴(静岡大学 電子工学研究所)
- (4) 「Sampling beyond the Sampling」
香川景一郎(静岡大学 電子工学研究所)
- (5) 「光増感化合物を用いたアップコンバージョン機構と光機能素子への応用」
川井 秀記(静岡大学 電子工学研究所)

2. 東北大学電気通信研究所主催：「平成23年度共同プロジェクト研究発表会」セッション4「情報社会を支えるシステムとソフトウェア」において本プロジェクトの成果の一部が発表された。

日 時：2012年3月2日（金）

場 所：江陽グラウンドホテル（仙台市）

出席者：静岡大学 川人
東北大学 鈴木, 村岡, 塩入
その他, 東北大学教職員, 一般の市民も参加した。

内 容：

- (1) 「33M画素120fpsスーパーハイビジョン撮像

素子の開発

川人 祥二（静岡大学 電子工学研究所）

- (2) 「情報喪失のない高信頼性クラウドストレージ技術の開発」

村岡 裕明（東北大学 電気通信研究所）

いずれもスーパーハイビジョンにとって中核をなす(1)撮像素子および(2)記憶素子の開発の状況ならびにこれまでの成果について発表された。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

第2期の本共同プロジェクト研究を推進するにあたり、上記[2]に示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】

スーパーハイビジョンシステムに向け、3300万画素で初めてとなる120fpsを達成した超高精細高速撮像素子を開発した。高速かつ低消費電力を実現するため、サイクリックADCを2段パイプライン動作させる方式を考案し、これを実装して0.18 μ m CIS技術により試作を行った。その結果、消費電力2.5Wと従来報告されている高精細高速撮像素子に比べて大幅な低電力化が実現された。ノイズ性能等も良好であり、消費電力とノイズの積を、読み出し周波数で割ったFigure of Meritとしても、高精細高速撮像素子としては、これまで報告されているものの中で最も優れた値を得た。今後、高量子効率化、さらなる低ノイズ化、広ダイナミックレンジ化等に向けた開発を進める。

【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23年度は、実際に撮像素子やディスプレイに使用可能な、金属のティップのスピント型でかつvolcano構造の新型ダブルゲート型実現に向けた検討を行った。

【静岡大学・原 教授-NHK・田中主研】

発光型の高精細ディスプレイに求められるサブミクロン蛍光体としてGaN系ナノ構造埋込型粒子に注目し、この開発に向けて、基本となる化学気相作製プロセスの最適化を進めた。特に、コア部の形成に関しては、ほとんどが単結晶のAlN粒子の合成を達成すると共に、粒子形状の制御も可能とした。

【静岡大学・猪川教授】

単電子カウンティング光検出器において、SOI MOSFET のゲート・ソース/ドレイン拡散層間のオフセットを取り除いても従来と同等以上の性能が得られることを確認した。この構造は製造が容易であり、特定の条件下（波長 550 nm）では従来より 1桁高い量子効率（約 4%）が得られることも分った。この新構造でも、室温動作、低ダークカウント、低電圧の特徴に変わりはない。RF 信号の反射を利用した MOSFET 単電子検出器の高速化は検討が進展し、従来の 2 倍の感度 (1.7×10^3 e/Hz) を達成した。

【東北大学・鈴木教授-NHK・渡辺主研, 安藤主研】

スーパーハイビジョン用 22.2 チャンネルスピーカアレイで音空間をさらに忠実に再現できるように、不等間隔スピーカ配列によって高次アンビソニック再生音の精度を向上するためのアルゴリズムの開発を行った。また、家庭内で手軽にスーパーハイビジョン音空間を享受できるように、2 チャンネル聴覚ディスプレイ用信号としてミックスダウンして聴取者に提示するため、仰角定位の知覚手がかりに関する研究を進めた。

【東北大学・村岡教授-NHK・林主研】

スーパーハイビジョン映像のストレージには 72Gbps 以上の超高速転送レートと単位時間当たり極めて大きな記録容量を要し解決すべき課題が多い。転送レートについて現状のストレージは 1Gbps 程度であり並列転送技術が欠かせないがストレージ機器単体の高速化も必須である。このための HDD の高線密度化、および並列型ストレージシステムの構成法を検討した。

【東北大学・塩入教授-NHK・江本主研】

広視野映像観察時の注意状況を評価するために、視聴者の頭部運動と視線を同時に計測するシステムを開発した。また注意モデルにおいて、一人称的視点の映像を用いたい場合に、自己運動成分と対象物の運動の分離の必要性を確認した。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究がスーパーハイビジョンの開発を支援することにより、NHK が 2020 年以降に実用化を目指す 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ーに広く認められる。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

- T. Watabe, K. Kitamura, T. Sawamoto, T. Kosugi, T. Akahori, T. Iida, K. Isobe, T. Watanabe, H. Shimamoto, H. Ohtake, S. Aoyama, S. Kawahito and N. Egami, "A 33Mpixel 120fps CMOS Image Sensor Using 12b Column-Parallel Pipelined Cyclic ADCs", Dig. Tech. Papers, IEEE Int. Solid-State Circuits Conf., pp. 388-389 (2012).
- A. Koike, Y. Takagi, T. Fujino, T. Aoki, Y. Neo, H. Mimura, T. Yoshida, M. Nagao, and H. Murata, "A functional tiny electron gun for a true microcolumn", 24th Int. Vacuum Nanoelectronics Conf., Wuppertal, Germany (2011).
- H. Mimura, Y. Nneo, T. Aoki, T. Yoshida, and M. Nagao "Field emitter technologies for ultra fine imaging devices", 11th Int. Meeting on Information Display, Seoul, Korea Invited (2011).
- M. Fukazawa, T. Mori, H. Kominami, Y. Nakanishi and K. Hara, "Low-Temperature Synthesis of Single-Crystal AlN Particles by Chemical Vapor Deposition for Phosphor Applications", Proc. 18th Int. Display Workshops, 783 (2011).
- W. Du, H. Inokawa, H. Satoh and A. Ono, "SOI metal-oxide-semiconductor field-effect transistor photon detector based on single-hole counting", Optics Letters, **36**[15], 2800-2802 (2011).
- W. Du, H. Inokawa and H. Satoh, "Single-Photon Detection by a Simple SOI MOSFET", 24th Int. Microprocesses and Nanotechnology Conf. (MNC 2011), 26C-6-5L (Kyoto, Japan, 2011).
- Y. Suzuki, T. Okamoto, J. Trevino, T. Kimura, S. Sakamoto, Z. L. Cui, M. Katsumoto and Y. Iwaya, "Toward 3D spatial audio systems with high sense-of-presence", Proc. 5th Int. Universal Communication Symp. (IUCS), TS-3-1 (2011).
- Y. Iwaya, T. Okamoto, J. Torevino, S. Sakamoto and Y. Suzuki, "Measurement and reproduction of high-definition sound space information using numerous microphones and loudspeakers", Proc. Internoise2011, SS20: Mon-4-8 (2011).
- S.J. Greaves, H. Muraoka and Y. Kanai, "The potential of bit patterned media in shingled recording," J. Magn. Magn. Mater., **324**[3], 314-320 (2012).
- Y. Kashiwase, K. Matsumiya, I. Kuriki and S. Shioiri, "Time courses of attentional modulation in neural amplification and synchronization measured with steady-state visual evoked potentials", J. Cognitive Neuroscience (accepted for publication).
- M. Harasawa and S. Shioiri, "Asymmetrical brain activity induced by voluntary spatial attention depends on the visual hemifield: A functional near-infrared spectroscopy study", Brain and Cognition, **75**, 292-298 (2011).

採択番号 H23/S2

スピントロニクス国際連携

〔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)
 斎木 敏治 (慶應義塾大学理工学部)
 的場 正憲 (慶應義塾大学理工学部)
 佐藤 徹哉 (慶應義塾大学理工学部)
 松本 佳宣 (慶應義塾大学理工学部)
 栄長 泰明 (慶應義塾大学理工学部)
 野崎 幸雄 (慶應義塾大学理工学部)
 山本 直樹 (慶應義塾大学理工学部)
 山口 明啓 (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)
 遊佐 剛 (東北大学理学研究科)
 安藤 康夫 (東北大学工学研究科)
 佐久間昭正 (東北大学工学研究科)
 佐橋 政司 (東北大学工学研究科)
 杉本 論 (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)
 大兼 幹彦 (東北大学工学研究科)
 好田 誠 (東北大学工学研究科)
 齊藤 伸 (東北大学工学研究科)
 土浦 宏紀 (東北大学工学研究科)
 角田 匡清 (東北大学工学研究科)
 手束 展規 (東北大学工学研究科)
 高梨 弘毅 (東北大学金属材料研究所)
 水口 将輝 (東北大学金属材料研究所)
 有馬 孝尚 (東北大学多元物質学研究所)
 北上 修 (東北大学多元物質学研究所)

岡本 聡 (東北大学多元物質学研究所)

遠藤 哲郎 (東北大学学際科学国際高等
研究センター)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)

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を利用して、エレクトロニクス・マグネティクス・フォトンクスといった電子・情報通信産業のイノベーションを創成する新しい学術分野である。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2020年以降の電子・情報通信産業の発展を支える重点技術の最有力候補としてスピントロニクスを明記している。これを受けて、総合科学技術会議が革新的技術戦略の一つとしてスピントロニクスを取り上げて技術立国日本としてのリーダーシップとプライオリティーを確保することの緊急性と重要性を強調している。

これまでの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。特に量子力学的効果を顕在化するためのナノテクノロジーが不可欠であるため、材料とナノテクノロジーに力点をおいた日本の基幹研究が世界のスピントロニクス展開をリードしてきた。また、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の大きさと巨視的な協調現象として観測できるまでの発展を遂げ、産業応用への期待が高まると同時に、古典電磁気学の基礎を問いただすノーベル物理学賞クラスの新たな研究展開も繰り広げられている。すなわ

ち、基礎科学的イノベーションと産業イノベーションが協調的に発展をとげる極めて稀な科学技術革新分野であり、世界との競争と協調を意識しながら我が国が積極的に本分野の発展を先導する必要がある。

このような観点から、平成20～22年度は、東北大通研共同プロジェクトS「スピントロニクス連携ネットワーク」を実施し、科研費特定領域やその他の競争的研究資金の枠組みを遙かに超えて、全国の研究者に門戸を開き、国公私立大学の先端的学術成果と、独立大学法人の共同利用・共同研究施設や附置研のリソースを統合する共同研究ネットワークを構築することを行った。このように国内ネットワークが整った現在、直ちに取り組むべき事項が本国内連携を世界に広げて我が国の優位性とプライオリティーを確保することである。そこで本共同プロジェクトは「スピントロ

International Workshop on Spin Currents (2011年7月25～28日、仙台国際センター)とThe 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology: Spintech6 (2011年8月1～5日、松江くにびきメッセ国際会議場)で、延べ200名以上の研究者が海外から集う催しとなった。特に後者のSpintech6は本申請の代表者:伊藤と東北大通研・大野裕三が委員長として企画・運営したもので、本プロジェクトでは初めの2日間で100名以上の大学院生と若手研究者が参加したスクール(入門講座)を主催し、国際連携という観点から若手人材の育成を行った。講師は本プロジェクトメンバーが中心となり海外からの研究者も招聘して揃えた。

また、本国際連携では従来の第一線の研究者が集まり議論をする研究集会型の共同研究事業とは異なり、最先端の知識や成果のビデオ配信・スピントロニクス入門ビデオ講義配信・一般向けスピントロニクス研究の紹介ビデオなどを英語と日本語で世界中に発信する「共有機構」を構築するもので、その「つながり」により誘発されるスキルを持った人材の流動性を重視し、その一人一人が世界のスピントロニクス研究機関を渡り歩くことにより共同研究の促進に取り組むことである。図1に示すホームページを充実させ、海外研究者への情報発信を充実させた。



図1 Spintronics Research Net のホームページ

ニクス国際連携」と題し、世界中のエキスパートに本連携への参加を促し、国際連携および科学外交という両側面から我が国がスピントロニクスの発展を支える土台を整えることを目的としている。

[3] 成果

平成23年度に開始した本事業では、既に確立された国内連携ネットワークのメンバーが中心となり二つのスピントロニクス関連国際会議を共催し、世界中から集まる研究者と学生への本国際連携を紹介して参加者を増やした。共催した国際会議はThe 5th

[4] 成果資料

(学術論文)

- (1) S. Hu, Y. Kawamura, K. C. Y. Huang, Y. Li, A. F. Marshall, K. M. Itoh, M. L. Brongersma, and P. C. McIntyre, "Thermal Stability and Surface Passivation of Ge Nanowires Coated by Epitaxial SiGe Shells," *Nano Lett.*, dx.doi.org/10.1021/nl204053w (2012).
- (2) W. Akhtar, V. Filidou, T. Sekiguchi, E. Kawakami, T. Itahashi, L. Vlasenko, J. J. L. Morton, and K. M. Itoh, "Coherent Storage of Photoexcited Triplet States Using ^{29}Si Nuclear Spins in Silicon," *Phys. Rev. Lett.* **108**, 097601 (2012).
- (3) G. C. Knee, S. Simmons, E. M. Gauger, J. J. L. Morton, H. Riemann, N. V. Abrosimov, P. Becker, H.-J. Pohl, K. M. Itoh, M. L. W. Thewalt, G. Andrew, D. Briggs, and S. C. Benjamin, "Violation of a Leggett-Garg Inequality with Ideal Non-Invasive Measurements," *Nature Communications* **3**, 606 (2012).
- (4) A. M. Tyryshkin, S. Tojo, J. J. L. Morton, H. Riemann, N. V. Abrosimov, P. Becker, H.-J. Pohl, T. Schenkel, M. L. W. Thewalt, K. M. Itoh, and S. A. Lyon, "Electron Spin Coherence Exceeding Seconds in High Purity Silicon," *Nature Materials* **11**, 143-147 (2012).
- (5) M. Tomita, M. Koike, H. Akutsu, S. Takeno, Y. Kawamura, Y. Shimizu, M. Uematsu, and K. M. Itoh, "Investigation of the Factors Determining the SIMS Depth Resolution in Silicon-Isotope Multiple Layers," *J. Vac. Sci. Technol. B* **30**, 011803 (2011).
- (6) T. Ishikawa, K. Koga, T. Itahashi, K. M. Itoh, and L. S. Vlasenko, "Optical Properties of Triplet States of Excitons Bound to Interstitial-Carbon Interstitial-Oxygen Defects in Silicon," *Phys. Rev. B* **84**, 115204 (2011).
- (7) X. Y. Wang, C. H. Huang, R. Tsukamoto, P. A. Mortemousque, K. M. Itoh, Y. Ohno, and S. Samukawa, "Damage-Free Top-Down Processes for Fabricating Two-Dimensional Arrays of 7 nm GaAs Nanodiscs Using Bio-Templates and Neutral Beam Etching," *Nanotechnology* **22**, 365301 (2011).
- (8) Y. Kawamura, M. Uematsu, Y. Hoshi, K. Sawano, M. Myronov, Y. Shiraki, E. E. Haller, and K. M. Itoh, "Self-Diffusion in Compressively Strained Ge," *J. Appl. Phys.* **110**, 034906 (2011).
- (9) A. R. Stegner, H. Tezuka, H. Riemann, N. V. Abrosimov, P. Becker, H.-J. Pohl, M. L. W. Thewalt, K. M. Itoh, and M. S. Brandt, "Correlation of residual impurity concentration and acceptor electron paramagnetic resonance linewidth in isotopically engineered Si," *Appl. Phys. Lett.* **99**, 032101 (2011).
- (10) W. Akhtar, H. Morishita, K. Sawano, Y. Shiraki, L. S. Vlasenko, and K. M. Itoh, "Electrical Detection of Cross Relaxation between Electron Spins of Phosphorus and Oxygen-Vacancy Centers in Silicon," *Phys. Rev. B* **84**, 045204 (2011).
- (11) L. J. García, Y. Kawamura, M. Uematsu, J. M. Hernández-Mangas, and K. M. Itoh, "Monte Carlo Simulation of Silicon Atomic Displacement and Amorphization Induced by Ion Implantation," *J. Appl. Phys.* **109**, 123507 (2011).
- (12) M. Steger, T. Sekiguchi, A. Yang, K. Saeedi, M. E. Hayden, M. L. W. Thewalt, K. M. Itoh, H. Riemann, N. V. Abrosimov, P. Becker, and H.-J. Pohl, "Optically-Detected NMR of Optically-Hyperpolarized ^{31}P Neutral Donors in ^{28}Si ," *J. Appl. Phys.* **109**, 102411 (2011).

(会議記録)

- (1) The 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology: Spintech6 (2011年8月1~5日、松江くにびきメッセ国際会議場)

H23/S3

ナノエレクトロニクスに関する連携研究

[1] 組織

代表者：逢坂 哲彌

(早稲田大学ナノ理工学研究機構長)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

本間 敬之 (早稲田大理工学術院先進理工学部)

堀越 佳治 (同上)

宇高 勝之 (早稲田大学理工学術院基幹理工学部)

川原田 洋 (同上)

庄子 習一 (同上)

山本 知之 (同上)

渡邊 孝信 (同上)

谷井 孝至 (同上)

品田 賢宏 (早稲田大学高等研究所)

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

上原 洋一 (同上)

枝松 圭一 (同上)

大野 英男 (同上)

尾辻 泰一 (同上)

白井 正文 (同上)

末光 眞希 (同上)

長 康雄 (同上)

中沢 正隆 (同上)

村岡 裕明 (同上)

室田 淳一 (同上)

研究費 (物件費及び旅費) : 300万円

[2] 研究経過

ナノ構造の創製技術とそれの電子デバイス等への応用技術の開発は、これからの情報通信分野の新機能デバイス創製基盤技術を確立する上で極めて重要である。早稲田大学ナノ理工学研究機構は世界に誇るナノテクノロジー関連の研究活動を統合する為の組織として発足し、ナノ理工学に関する研究活動を一つに束ねてワンストップ型の研究開発体制を築いていくことをその役割としており、これまでに電気化学的手法から微細加工技術まで、多様なナノ構造

創製技術を培ってきている。一方、東北大学電気通信研究所では、情報デバイス研究部門、ブロードバンド工学研究部門やナノ・スピン実験施設を中心として、ナノ構造を用いた電子デバイスや集積回路の創製に関して、これまで、世界的に評価されている研究成果を数多く上げている。本プロジェクト研究では、これらの二つの研究機関が融合研究を実施することにより、異分野技術の融合による新しい情報通信デバイスの実現を目指した研究を推進することを目的とした。また、両機関が、若手研究者育成に関しても緊密に連携することにより、グローバル化に対応できる研究能力の高い若手研究者の育成に努めることも目的とした。

本年度は、『ナノエレクトロニクスに関する連携研究』というテーマで、平成12年1月13日(金)、電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟4Fカンファレンスルームにおいて第1回研究会を開催した。早稲田大学からは7名、通研側からは12名の研究発表者があり、参加者は約40名であった。今回の研究会は研究紹介を目的としていたため、幅広い分野の研究者に最近の研究成果を中心に講演して頂いた。以下に講演者と講演題目を発表順に列挙する。

(前半) 司会：庭野道夫

中沢正隆 (通研所長) 「東北大通研アクティビティ紹介」

通研の紹介と通研共同プロジェクト研究の目的と実施体制等についての紹介があった。

逢坂哲彌 (早稲田大学ナノ機構長) 「早稲田大学ナノ理工学研究機構アクティビティ紹介」
機構の組織や機構の中で実施されている主な研究プロジェクト等についての紹介があった。

宇高勝之 (早稲田大学) 「光ネットワーク用低消費電力光スイッチ」

尾辻泰一 (通研) 「グラフェンテラヘルツレーザーの創出」

枝松圭一 (通研) 「光ファイバおよびシリコン細線導波路の単一光子レベル光学非線形性の測定」

川原田洋 (早稲田大学) 「ダイヤモンドトランジス

- タ」
 大野英男 (通研) 「スピントロニクスを集積回路応用」
 末光眞希 (通研) 「シリコン基板上エピタキシャル・グラフェンの形成」
 庄子習一 (早稲田大学) 「3次元マイクロナノ構造形成とその化学・生化学への応用」
 村岡裕明 (通研) 「高密度垂直磁気記録のためのナノ磁気特性の検討」
 石山和志 (通研) 「磁性薄膜の異方性制御技術」
 (後半) 司会：谷井孝至
 渡邊孝信 (早稲田大学) 「ナノデバイスにおけるキャリア輸送シミュレーション」
 白井正文 (通研) 「垂直磁気異方性を示す新材料の理論設計」
 山本知之 (早稲田大学) 「シンクロトロン放射光を用いた極微量元素の局所環境解析」
 長 康雄 (通研) 「非線形誘電率顕微鏡の高機能化及び電子デバイスへの応用」
 室田淳一 (通研) 「大規模集積化対応 IV 族半導体 CVD 原子制御プロセス」
 品田賢宏 (早稲田大学) 「Deterministic ドーピングとその応用」
 上原洋一 (通研) 「表面ナノ構造のフォノン計測」

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の研究会では、今後の研究連携の進め方を探るために双方の研究機関の研究紹介を主目的にした。そのため、テーマはかなり幅広いものになったが、双方の研究機関の研究内容をお互いを知る上で極めて貴重な機会となり、今後の連携研究を進める上で有意義であった。

今後は、研究テーマを絞った研究会を双方の研究機関を会場として交互に開催していく予定であり、今回の研究会での発表をベースとして、研究テーマを選定していく予定である。可能性のある共通テ

マとしては、例えば、「カーボン系電子材料の創製とデバイス応用」や「ナノ計測技術の進展」、「電気化学的手法を用いたナノ構造の創製とデバイス応用」などが挙げられる。

(3-2) 波及効果と発展性など

今回の研究会は、早稲田大学において平成24年7月頃に開催する予定である。研究会では研究者だけでなく、学生にも発表させる予定である。学生の発表はポスター発表を予定している。双方の研究機関の学生がお互いの研究内容を知り、また、同世代同士で研究討論を行うことは、若手研究者育成の観点から極めて有意義であると期待される。

前述の通り、早稲田大学ナノ理工学研究機構は世界に誇るナノテクノロジー関連の研究活動を統合する為の組織として発足し、ナノ理工学に関する研究活動の一つに束ねてワンストップ型の研究開発体制を築いていくことをその役割としており、東北大学電気通信研究所では、材料と情報の基礎科学から、情報を生成・認識・伝送・蓄積・処理・制御するためのデバイス、回路、アーキテクチャー、ソフトウェアまでを一体化システムとしてとらえ、これらの研究を所内外の研究者との有機的連携のもとに総合的に進め、また、研究成果の他分野への展開や異種分野の融合にも果敢に取り組むことを目標としている。両研究機関とも先導的研究を行う拠点を形成することを大きな目標に掲げており、両機関が連携することにより、研究と若手研究者育成において新しい潮流を創り出すことができると期待される。また、両機関の人的交流はナノテクノロジー、ナノエレクトロニクス分野の研究をこれまで以上に活性化すると期待される。

[4] 成果資料

本年度の研究会での発表内容を纏めた研究会報告書を作成した。

H23U01

光ファイバネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術の構築

[1] 組織

代表者：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)
葛西 恵介 (東北大学電気通信研究所)
新谷 昌人 (東京大学地震研究所)
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)
新藤 雄吾 (沖電気工業)
堀 輝人 (東京大学地震研究所)
坂田 正治 (元防災科学研究所)
増田 伸 (アドバンテスト研究所)

研究費：物件費 58 万円，旅費 12 万 4 千円

[2] 研究経過

東日本大震災を契機として、今後の激甚災害に備えるために、地震、津波、地殻変動観測の高性能化に大きな期待が寄せられている。このような防災システムの構築にあたって、広範囲に及ぶ各種計測データを迅速且つ正確に伝達するために、情報通信技術が果たす役割は極めて重要である。

我々はこれまで、通研共同プロジェクト研究「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」(H19～21)を通じて、周波数安定化レーザーとその地震・津波等の高精度計測応用に関して、地球科学分野の研究者との間で議論を重ねてきた。その成果の一つとして、東大地震研と共同で小型絶対重力計を開発し、周波数安定化レーザーを用いた干渉計測の高精度化により重力加速度の絶対値を 3.4 mgal の精度 (1 cm の高低差を検知できる精度) で計測することに成功している。

これらの実績に基づき、本年度は光伝送技術を積極的に活用することにより新たな地震・津波計測ネットワークを構築することを目的として、通研共同

プロジェクト研究Uを実施した。具体的には、光ファイバネットワークを活用して地殻歪み・重力・傾斜等の面的(2次元)な分布を観測する計測システムを構築し、多元的なデータの取得・解析により地震・津波の検出精度を向上させることを目的として、光通信分野と地震関連研究者による研究討論と技術交流を行った。

以下、研究活動状況として、本年度実施した共同プロジェクト研究会の概要を以下に記す。

日時：2012年1月30日(月) 13:30~17:00

場所：東北大学電気通信研究所 2号館 4階大会議室
プログラム：

- 「光ファイバネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術の構築」の概要と目的 中沢正隆 (東北大学)
- 「ファイバ光センサによる地震観測の現状」三ヶ田均 (京都大学)
- 「レーザー干渉計の地震・地殻変動観測への応用」新谷昌人 (東京大学)
- 「塩分測定への半導体レーザーヘテロダイナミックブルパス干渉計の応用の試み」
○浅川賢一、高橋幸男、石原靖久 (海洋研究開発機構)
- ディスカッション

[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 神岡鉱山内の地下 1000 m に設置した長さ 100 m のレーザー伸縮計と、それを用いた歪み・地殻変動の観測結果を示した。本レーザー伸縮計により地球潮汐や遠い地震に伴う地殻変動を歪み精度 10^{-13} (従来の石英管/インバー伸縮計に比べて 4 桁高精度) で測定することに成功した。図1は3月11日の地震から数日後における干渉縞の波形変化の様子を示している。本震の後、多数の余震により波形が大きく変化していることがわかる。さらに、地震により東西方向に 6×10^{-7} の伸び(Strain: $\Delta L/L$)が発生

したことも観測されている。今後は地下水圧の影響を除去することにより、プレートや断層の運動に伴う地殻の長期変動（断層モニター）や地下深部における地球自由振動など、ゆっくりした変動を精度良く観測・解析することが課題である。さらに将来的には、1 km 以上のレーザー伸縮計と重力波望遠鏡を併用することにより、天体からの重力波測定の可能性も期待される。

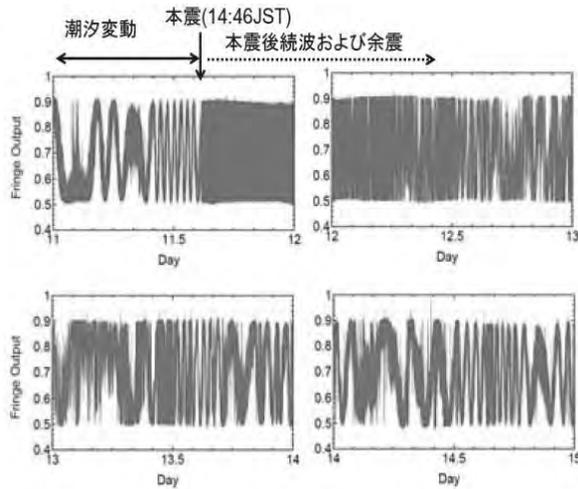


図1 3.11地震時の干渉縞波形

② 小型絶対重力計により東日本大震災前後の重力変化を観測した。本装置により重力値を9桁の精度で観測することが出来、0.4~0.9 μgal の精度で重力加速度を決定することが可能である。これにより1.2~2.8 mmの高低差を検値することが可能である。3月11日前後における重力値の観測の結果、地震後に約12 μgal 減少しその後回復傾向にあることが明らかとなった。その様子を図2に示す。この要因として、局所的には地下水の変動、広域にわたる変動要因としては地下の密度構造の変化が生じているものと考察される。

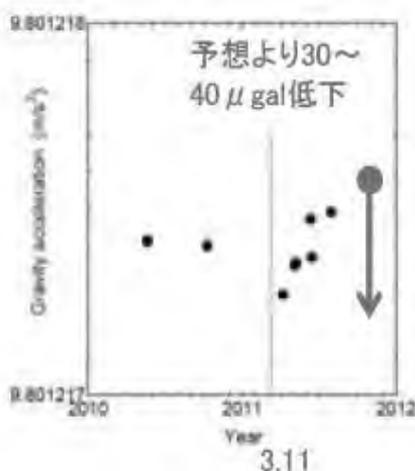


図2 3.11地震前後の重力加速度の変化

③ 光加速度センサによる多点観測ネットワークの現状と将来展望を示した。特に、3成分+ハイドロフォンを測定可能な4次元ファイバ地震計観測網の構築に向けた課題を明らかにした。従来のMEMSセンサに比べて、光センサは大幅な低消費電力化が可能という優れた特徴を有しており、特に多点観測網の構築にあたって大きな期待が寄せられる。今後はマイケルソン方式による地震ファイバセンサの課題として分解能のさらなる向上とダイナミックレンジの拡大（目標：160 dB）が挙げられる。

④ 半導体レーザを用いたヘテロダイン型マイケルソン干渉計により海水の塩分濃度測定を実現した。本方式は干渉計により海水と純水の屈折率差を測定し、Lorenz-Lorentzの関係式により塩分濃度に換算するものであり、従来の電気伝導度方式の塩分濃度センサに比べて動作の安定性に優れる点が特徴である。しかしながら、詳細な性能評価の結果、短時間では高分解能測定が可能であるが、コーナーキューブのわずかな温度変動により測定安定度が制限されてしまうことが明らかになった。そこで、ダブルパス干渉構造を導入し参照光と信号光をほぼ同じ経路で伝搬させることにより、温度変動によるコーナーキューブの変動をキャンセルする方法を提案した。その結果、位相変動を従来の1桁以上改善することに成功した。今後は、半導体レーザとAO変調器を用いた光源の導入による短周期の雑音の低減が課題である。

(3-2) 波及効果と発展性など

我々が開発してきたアセチレン周波数安定化レーザは周波数安定度 10^{-10} ~ 10^{-11} の高安定な光出力を光通信波長 1.55 μm 帯で出力できることから、この標準光を光ネットワークを介して面状に配置された多数の測定器に遠隔供給することにより1台の安定化レーザを各測定器に共通に用いることができる。さらに、地震計、津波計、歪み計、重力計、傾斜計など、陸上および海上に設置された各種光測定器を光ファイバで接続することにより、光ネットワークを介して干渉計測用の光源の供給ならびにデータの取得が可能となる。その結果、測定データを一元管理することができ、且つその周波数安定度は絶対標準に基づいて保証されていることから、干渉計測の精度を大きく向上させることが出来る。

さらに、広域に設置された測定器からの観測データを光ネットワークを介して取得することにより、地震・津波・地殻変動等の面的分布を時間の関数として一括測定することが出来る。これにより、地震・津波計測の高効率化を実現すると同時に、従来のよ

うな個別の観測では難しかった多角的な情報を得ることができ、地震・津波の検出精度の向上に貢献できるものと期待される。

光源の性能向上により光センサの高精度化は着実に進展している。低消費電力、低コスト、ならびに極限環境下での安定動作という特徴から、特に多点観測網において光センサの重要性が今後一層高まるものと思われる。その一方で、本技術においては基準光源信号の配信と観測データの取得の両面から、ファイバネットワークの長距離伝送技術が大変重要となる。今後通信事業者およびメーカーとの連携により、商用回線を利用した広域・高精度観測網の実証が期待される。

本プロジェクトを契機として、今後も光通信分野と地震関連研究者の研究討論と情報交換を通じて、小型絶対重力計に関する共同実験、ならびに極限環境における高精度光計測に関する科研費の共同提案等を実施し、光伝送技術を積極的に活用した新たな地震・津波計測ネットワークの構築を目指していく。

[4] 成果資料

(1) 岡野 豊, 三ヶ田 均, 尾西 恭亮, 後藤 忠徳, “3成分3次元反射法地震探査データにおける分散関係式を用いたP波とS波の平面波分解,” 物理探査 vol. 64, no. 2, pp. 139-152 (2011).

(2) 浅川栄一, 村上文俊, 岡本拓, 関野善広, 三ヶ田均, 武川順一, 志村拓也: パーティカルケーブル方式反射法地震探査 (VCS) の開発, 物理探査, vol. 64, no. 4, pp. 267-277 (2011).

(3) N. Imamura, T. Goto, J. Takekawa, and H. Mikada, “Application of marine controlled-source electromagnetic sounding to submarine massive sulphides explorations,” Expanded Abs. SEG, vol. 30, pp. 730-734 (2011).

(4) E. Ohkawa, H. Mikada, T. Goto, K. Onishi, J. Takekawa, K. Taniguchi, and Y. Ashida, “Suppression of insolation heating using paint admixed with silica spheres - An approach from infrared band electromagnetic scattering,” Physics and Chemistry of the Earth, vol. 36, pp. 1412-1418 (2011).

(5) A. Takamori, A. Bertolini, R. DeSalvo, A. Araya, T. Kanazawa, and M. Shinohara, “Novel compact tiltmeter for ocean bottom and other frontier observations,” Measurement Science &

Technology, vol. 22, no. 11, 115901 (2011).

(6) 新谷昌人, 長基線レーザー干渉計による地殻ひずみの精密観測, 精密工学会誌, 77, 4, 367-371, 2011.

(7) A. Araya, M. Kanazawa, T. Shinohara, T. Yamada, H. Fujimoto, K. Iizasa, and T. Ishihara, “A gravity gradiometer to search for submarine ore deposits,” in Proceedings of Symposium on Underwater Technology 2011 & Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies 2011, Tokyo, Japan, 5-8 April, 2011, IEEE, 1064, 2011.

(8) A. Araya, T. Kanazawa, H. Fujimoto, M. Shinohara, T. Yamada, K. Mochizuki, K. Iizasa, T. Ishihara, and S. Omika, “Hybrid gravity survey to search for submarine ore deposit,” American Geophysical Union, Fall meeting, San Francisco, 2011.12.5.

(9) 新谷昌人・田村良明・坪川恒也, “小型絶対重力計によるコサイスマック重力変化の観測,” 日本測地学会秋季大会, 高山, 2011.10.26.

(10) 新谷昌人・堀輝人・西川泰弘・小林直樹・白石浩章・鹿熊英昭, “極限環境での観測をめざしたレーザー干渉式広帯域地震計の開発 I I,” 日本地震学会秋季大会, 静岡, 2011.10.13.

(11) 新谷昌人・金沢敏彦・篠原雅尚・山田知朗・藤本博己・飯笹幸吉・石原丈実, “海底探査用重力偏差計システムの開発,” 地球惑星連合大会, 千葉, 2011.5.23.

(12) K. Kasai, A. Mori, and M. Nakazawa, “1.5 μm frequency-stabilized $\lambda/4$ -shifted DFB LD employing an external fiber ring cavity with a linewidth of 2.6 kHz and a RIN of -135 dB/Hz” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 23, no. 15, pp. 1046-1048, August (2011).

(13) M. Yoshida, F. Suzuki, T. Morisaki, and M. Nakazawa, “Absolutely optical-frequency-stabilized cesium optical atomic clock,” 17th Microoptics Conference (MOC'11), B-2, Oct. (2011).

(14) K. Kasai, M. Nakazawa, and H. Yamazaki, “Absolute frequency stabilization of a laser diode based on triple ring resonators to an C_2H_2 absorption line,” 17th Microoptics Conference (MOC'11), G-4, Oct. (2011).

採択番号 H23/U2

防災広報無線の緊急拡声情報伝達 システムの高度化に関する研究

[1] 組織

代表者：鈴木陽一

(東北大学電気通信研究所)

対応者：鈴木陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

森本政之 (神戸大学大学院工学研究科)

佐藤洋 (産業技術総合研究所)

佐藤逸人 (神戸大学大学院工学研究科)

岩谷幸雄 (東北大学電気通信研究所)

坂本修一 (東北大学電気通信研究所)

齋藤文孝 (東北大学電気通信研究所)

高島和博 (日東紡音響エンジニアリング)

青木雅彦 (日東紡音響エンジニアリング)

研究費：物件費 37 万 6 千円，旅費 62 万 4 千円

[2] 研究経過

(2-1) 本研究の背景

東日本大震災発生後のマスコミ報道や現地からの聞き取り調査において、多くの住人から「防災広報無線が聞こえなかった」とするコメントが寄せられていた。この原因としては、地震による無線放送機器の損壊や停電の影響もあるが、大津波警報だったために一刻を争い、全拡声装置（スピーカタワー）から同時に拡声を行ったため複数の拡声装置からの音が混ざり合って聞き取りが困難になったことも重要な要因として挙げられている。これは申請者らにとって大きな驚きで、かつ、解決の責務を感じさせるできごとであった。

たとえば今回の津波で 1000 人以上の死者が出た東松島市では、市の総面積 101 km² に対して、無線の子局(屋外拡声装置)は 99 箇所 に点在している。このため、市内では複数の子局拡声装置（スピーカタワー）からのスピーカ音が到達し、音声 が混合して情報の内容が聞き取り難い状態にあると思われた。また、現状のシステムは平常時であっても良く耳を

澄まし、神経を集中しないとその内容が理解できない状態にある地域も少なくない。

防災広報無線など高域拡声情報伝達システムの役目は、屋外にいる子供からお年寄りの全住民に対して明確で分かりやすく緊急情報を伝えることである。しかし、調べて見ると、防災無線の拡声システムには一切の技術基準あるいはそれに類するものが定められておらず、音声了解度の高い拡声を実現する努力が充分ではなかったといわざるを得ず、ここに本研究推進の背景がある。

(2-2) 本研究の目的

本研究の最終的 목적は次の 2 点にある。

(1) 拡声システムの性能高度化ための検討

デジタル信号処理とスピーカアレイの技術により、複数の拡声装置（スピーカタワー）からの音声の混合を抑制し、屋外での作業中でも高い了解度が得られるようなシステムを開発する。

(2) 拡声システムの性能評価指標の導出と技術基準の策定

屋外大規模拡声システムの高度化をにらみ、その性能を最大限発揮すると共に、従来の防災行政無線の有効活用を図るためには、屋外における音声伝達能力を評価するための指標の導出を行うことが必須となる。また、そのような指標に基づいて、拡声装置（スピーカタワー）からの出力音声の伝達性能が満たすべき基準値について考察し、技術基準化するための提言を行うことも重要かつ最終的 목적となる。

本研究は、一年間のプロジェクトであることから、上記の目的達成のため、本プロジェクトにおいては、次の 2 点について検討することとした。

(1) 世界的に見てもほとんど検討されていない、屋外における拡声音の伝達特性（伝達関数）の測定法の検討

(2) 屋外における音声聴取妨害要因として最も重要と考えられる、遅れ時間の長いエコー（ロングパスエコー）が了解度に与える影響に関する基礎的検討。

(2-3) 研究経過の概要

本プロジェクトの共同研究の目的を達成するため、最初に、神戸大学の森本政之、佐藤逸人と予備的検討を平成23年7月20日に行った。

その結果を踏まえ、熊本大学の宇佐川、菅木の両名と、産総研の佐藤、(株)日東紡音響エンジニアリングの高島、青木からなるチームが構成された。これら全ての関係者の集まった第2回目の打合せを平成23年10月7日に実施し、実際の防災広報無線を使った音響調査を東松島市において11月2日に実施することを決めた。当日は晴天に恵まれ、測定は成功した。

その後、この測定結果を用い、ロングパスエコーが存在する場合の音声了解度に関する聴取実験が行われた。



図1 測定風景（東松島市小分木）



図2 測定風景（東松島市肘曲）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

11月2日に行われた屋外遠距離音響伝達関数の測

定実験の結果は次の通りである。

複数のスピーカから放射された音声メッセージは受聴点に時間差を持って到達し、それが互いに重なり合うことでメッセージの内容が不明瞭になる。このような現象を本研究ではロングパスエコーの音声聴取障害として取り扱うことにした。本調査は東松島市の大島地区(東松島防災広報無線子局 No. 41)、小分木地区(東松島防災広報無線子局 No. 40)、肘曲地区(東松島防災広報無線子局 No. 59)を使って3つの子局からの拡声音が到達する共通の位置を設定し、その位置までの音の伝搬状況を実測調査した(図1, 2)。

実際に防災広報無線子局のスピーカからは1オクターブバンドノイズ、時間引延しパルス(チャープ信号、リニアスイープ音、ログスイープ音)、音声明瞭度 STI の指標を求める特殊な音信号を放射した。音の計測点は子局拡声スピーカから 1m, おおよそ 50m, 100m, 200m, 400m, 800m の位置に設定した。スピーカからの放射音はスピーカの指向性の影響を強く受けるので、無指向性音源を使った測定も必要と判断し、少量の火薬を有線コードにつないで爆発させる弾着音の実験も実施した。弾着音のレベルの大きさは、破裂させる火薬の量に関係するが今回の測定で使用した火薬の重さは 8g である。

測定結果の一例を図3に示す。この図は、弾着音を用いた場合の、伝達関数(インパルス応答)の総エネルギーを示したものである。スピーカから音信号を放射して求めた特性と概ね同様の結果が得られている。弾着音は高い SN 比が得られることから、有効な測定方法と判断される。

また、図4は、測定した3つの防災行政無線拡声装置の音が聞こえる地点におけるインパルス応答の合成結果である。極めて大きな遅れを伴って音が次々と到来する姿が見て取れる。測定結果から得られたこのようなインパルス応答を音声信号に畳み込み、ロングパスエコーが音声聴取に与える影響を評価するための基礎的な聴取実験を行った。その結果、エコーが単発の場合には比較的影響は軽微であることが明らかになった。それに対し、複数のエコーが存在する場合には大きな影響があることが明らかになった。

(3-2) 波及効果と発展性など

(大型プロジェクトへの発展・国際会議(シンポジウム)への発展・学外研究者との交流、共同研究による効果・研究者ネットワークの拡大・若手研究者の育成・新研究領域の開拓・成果の他分野への応用・萌芽的研究への発展等)

本プロジェクトにより、これまで世界的にみても、

ほとんど研究が行われてこなかった，屋外における広域拡声システムの音伝搬特性の一端が明らかになった。この成果も背景に，総務省の平成23年度第3次補正予算による情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発プロジェクトの一つである，多様な通信・放送手段を連携させた多層的な災害情報伝達システムの研究開発の一翼を担うべく，NTTデータ社を幹事社とするチームの一員として「音声伝達性能の向上に関する技術開発」を担当する形で

応募した。その結果，提案が採択され，今後，このプロジェクトによって，本研究の最終目標に向け，大きく発展・飛躍することが強く期待される。

[4] 成果資料

「防災広報無線の緊急拡声情報伝達システムの高度化に関する研究」東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会（2012年3月2日，仙台）

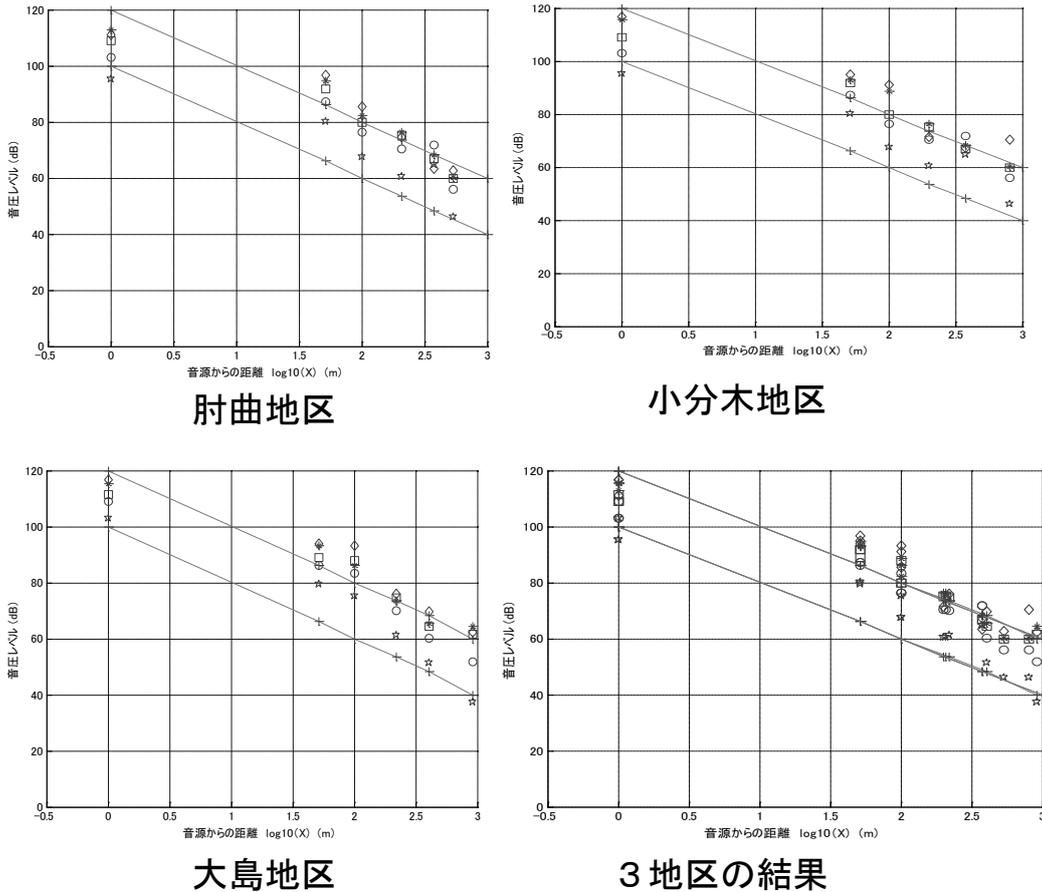


図3 弾着音の距離減衰特性

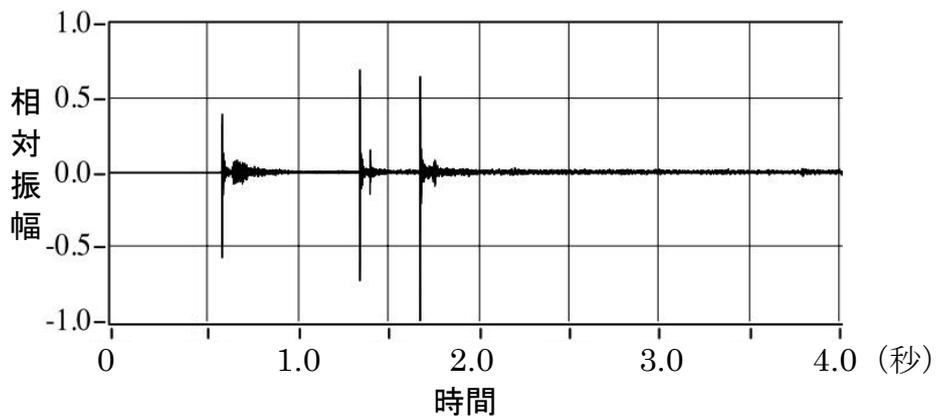


図4 3 拡声装置の音が混合する地点におけるインパルス応答例

採択番号 : H23/U3

準天頂衛星を用いた ショートメッセージ通信実現性の基礎検討

[1] 組織

代表者 : 末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

対応者 : 末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

分担者 :

深石 宗生 (NEC)

川上 憲司 (三菱電機)

小熊 博 (富山高等専門学校)

山形 文啓 (釧路工業高等専門学校)

亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

谷藤 正一 (東北大学電気通信研究所)

研究費 : 物件費 79 万 9 千円, 旅費 17 万 7 千円

[2] 研究経過

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、地上系通信インフラ網に多大な被害をもたらした。特に、沿岸部の地上系通信インフラ網が喪失したことは、被災者の安否確認が数日以上かかる、あるいは鉄道車両・車・船舶などの行方が不明となるなど、社会の安全という面で大きな脆弱性を露呈することとなった。これは、「緊急時においてもつながる通信」の重要性を改めて示したものである。

本研究プロジェクトは、地上系通信インフラ網を補完するものとして、携帯端末から人工衛星経由で通信を行うネットワークの基礎構成を確立することを目的とする。特に、準天頂衛星システムは、日本上空を含むアジア・オセアニア地域において高仰角で滞空する衛星であり、また、従来の GPS (Global Positioning System) と比較し、高精度な測位が可能とされている。災害などの緊急事態においては、高仰角であることにより通信の成立可能性が向上する点、また送信者の位置を送信することにより捜索救助活動に非常に有用である点を考慮し、本プロジェクトにおいて準天頂衛星をターゲットとした。リターンリンクのうち携帯端末から衛星への回線では、

は、バッテリー駆動の携帯端末からできるだけ低い電力でデータ送信を実施することが必要であり、スペクトラム拡散通信の適用を検討している。

これまで本研究グループではセルラネットワークをターゲットとしたスペクトラム拡散通信について、復調用デバイス・送信用パワーアンプ・データ構成など多岐にわたっての実測評価を実施し、国内外の学会で発表している。本研究プロジェクトでは、数百万台の携帯端末を収容する本衛星通信システムへのスペクトラム拡散通信の適用について議論を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

準天頂衛星の実測結果及びショートメッセージ通信システムに関する研究議論を、平成 23 年 10 月 13 日と同 11 月 7 日に東北大学電気通信研究所 1 号館 S306 ゼミ室を会場に開催した。

本年度の検討結果についての研究会を、大学・高専および小型地球局メーカーからなる研究分担者に加えて、衛星通信キャリアであるスカパー JSAT およびシンクタンクのサイバー創研にも出席頂き、平成 24 年 2 月 13 日に東北大学電気通信研究所 2 号館 4 階大会議室にて実施した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本衛星通信システムにおいては、セルラネットワークと比較し以下の 2 点が大きな問題点である。第 1 点として、準天頂衛星との距離が約 39,000km と、セルラネットワークの端末・基地局間距離が 1km 程度と比較して非常に遠い点である。しかしながら、携帯端末がバッテリー駆動である点、また、人体に対する電磁波の影響を考慮すると、携帯端末からの送信電力は最大でも 1W 程度と想定される。この値はセルラネットワークの送信電力と同程度である。第 2 点としては、数百万の端末を単一の衛星で収容する場合、リターンリンク上の端末から衛星への回線において、端末をどのように分離するかである。地上のセルラネットワークにおいては、各基

地局において対象となる端末数は数十から数百である。

これらの条件を考慮し、セルラネットワークに比べ長い拡散符号を使用し、さらに、TDMA (Time Division Multiple Access) を併用することを提案した。図 1 に提案システムの概要を示す。

ここで、以下の条件で回線設計を行った。

変調方式: BPSK (Binary Phase Shift Keying) / CDMA (Code Division Multiple Access) / TDMA

データレート : 25 bit/s

チップレート : 1 Mchip/s

拡散利得 : $G_s = 46$ [dB]

(拡散率=最大コード多重数 $C = 40000$)

変調帯域幅 : $BW = 2$ [MHz]

距離 : $d = 39,000$ [km] (遠地点高度)

周波数 : 3 GHz ($\lambda = 0.1$ [m])

端末送信電力 : $A = 30$ [dBm] (1W)

空中線利得 (送信): $B = -5$ [dBi]

(受信): $D = 35$ [dBi]

衛星受信機雑音 : $NF = 5$ [dB]

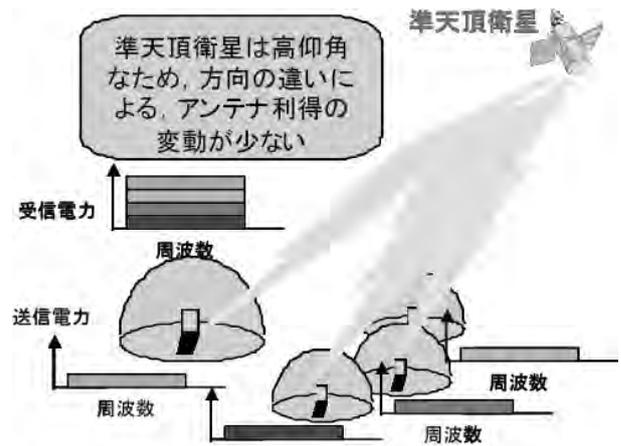


図 1 ショートメッセージ通信システムの概要

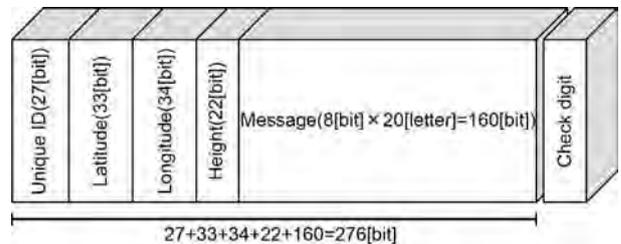


図 2 パケット構成例

以上から S/N (信号対雑音比) を求めると、18.2 dB となり、BPSK の所要 S/N (ビット誤り率 10^{-5} の所用 S/N 9.5 dB) と比較して十分成立する。このとき、端末識別用 ID、位置情報、ページャ程度の文字情報を 1 パケットとして送信することを想定すると、パケットサイズは約 300bit 程度となる。図 2 にパケット構成例を示す。1 ユーザが 300bit のパケットを 1 度送信することを想定すると、データレート 25bit/sec より、送信には 12 秒かかる。また最大コード多重数が 40,000 より、同時に 40,000 ユーザが送信可能である。これらより、1 時間当たりの最大収容ユーザ数は 1,200 万であることがわかる。これにより、数百万ユーザを 1 時間以内に収容する本衛星通信システムの実現可能性が確認された。

また、準天頂衛星の測位精度を実測によって評価した。平成 23 年 9 月 24 日に北海道釧路町に存在する電子基準点直下において 20 分実施した。図 3 に測定結果を示す。グラフは電子基準点を原点とし、受信機の測位出力データと、電子基準点の座標値の差分を表している。横軸正の方向を東、縦軸正の方向を北とし、単位は m である。グラフより、緯度経度とも原点から 5 m 以内程度の測位精度があることがわかる。また、標準偏差は南北方向 0.42 m、東西方向 0.28 m であった。この結果よりサブメータ級精度とは言えないまでも、ばらつきの小さな測位が実現できている。これにより、本衛星通信システムへの適用可能性を示した。

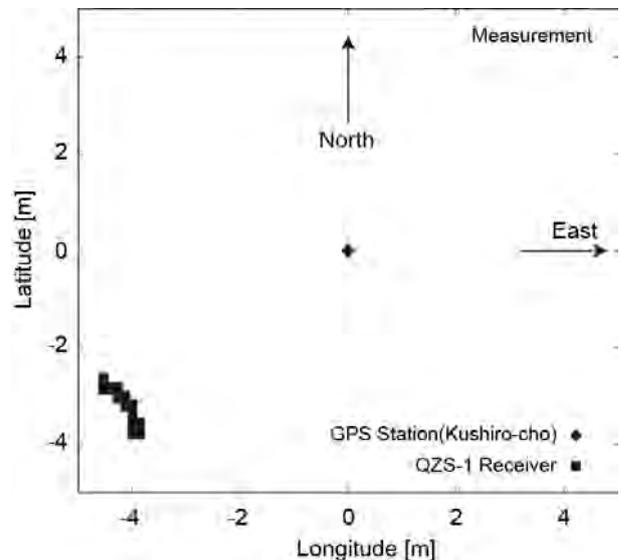


図 3 準天頂衛星を利用した測位実測結果

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、災害などの緊急事態において個人や車両などの安否確認を、人工衛星を利用して行うという例を見ないものであり、東日本大震災によって大きな被害を受けた東北の地からの、災害の経験を踏まえた試みとしてその意義は非常に大きい。技術的には、数百万というユーザを衛星回線に収容するというチャレンジであり、端末設計、回線設計

の新たな知見をもたらす。さらに、本プロジェクトの研究成果を用い、地元地域との積極的な連携によって、衛星通信技術・ビジネスの拠点化に向けた取り組みへの発展へと期待される。なお、本プロジェクトは次年度において、科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)「ディペンダブルVLSI システムの基盤技術」の研究課題「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」の一部として採用されている。

[4] 成果資料

(1) 末松 憲治 他, “準天頂衛星を用いたロケーション・ショートメッセージ双方向通信システムと端末→衛星回線に関する一検討,” 信学技報, MW2011-131, pp. 33-36, 2011年12月.

(2) 山形 文啓 他, “準天頂衛星を用いたロケーション・ショートメッセージ双方向通信システムの packets 構成及び最大収容数に関する一検討,” 信学技報, MW2011-132, pp. 37-40, 2011年12月.

採択番号 H23/U4

情報喪失のない高信頼性クラウドストレージ技術の開発

[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：
 大堀淳
 (東北大学電気通信研究所)
 菅沼拓夫
 (東北大学電気通信研究所)
 サイモン・グリーブス
 (東北大学電気通信研究所)
 三浦健司 (東北大学電気通信研究所)
 館田あゆみ
 (東北大学工学研究科 IIS 研究センター)
 加藤拓也 (NEC ソフトウェア東北)

研究費：物件費 900 千円，旅費 0 千円

[2] 研究経過

東日本大震災においてストレージされた情報の大規模な喪失が生じた。地震による装置倒壊や津波による水没によって多数の危機が損壊して情報喪失を生じた。特に、大きく被災したのは災害に脆弱な小規模情報ストレージ（モバイル機器、小型サーバ）であった。中小規模の事業所、病院、地方自治体役場、等における情報喪失は深刻であり、病院であればカルテ情報が失われ、住民基本情報の喪失は人的被害状況の把握を著しく困難にした。個人においても携帯電話等にストレージされた情報（たとえば、電話番号情報など）も多数喪失した。

これは IT 関連技術の中でも通信路途絶に並んで大きな被災を受けたものであるが、他の損害と比べて特別に重要である。すなわち、通信路切断や電源喪失などの他の損害は数日から数か月の時間は要するものの完全な機能復旧が可能であるのに対して、情報喪失は日常的に系統的なバックアップをしていない限りは大量の貴重な情報が喪失されたままで復元不能となることである。このことを考え合わせると、東日本大震災のような大規模な災害によって、

復旧不能な損失という今後の情報ストレージ技術が取り組むべき、特別な考慮を要する耐災害性面で脆弱な技術課題を露呈したと言える。

本来、磁気メモリは不揮発性を有しており電源喪失下においても蓄積された情報を失うことはない。従って、単に長時間停電などでは情報は保全されるものであるが、ストレージ情報は被災直後においてもアクセス可能でなければならないことを考えると、情報喪失がないという要求には単なる情報不揮発性だけではなく、ストレージシステムとして被災直後（あるいは理想的には被災中も）その運転を継続していることが必要である。

このような観点からは、単にストレージデバイスの技術革新ではこの耐災害性の確保は実現できず、ストレージシステム全体の革新が必要である。このような観点から、本プロジェクトでは情報喪失のないストレージシステムを実現するための研究を目的とした。

本プロジェクトにとっては本年度が初年度である。そのために研究課題とその目標設定と並んで研究計画も議論した。特に大きな研究プロジェクトに発展させることを視野に都度の研究打合せを持ち、耐災害性の高いストレージシステムについて議論した。また、ファイルサーバに分散ファイルシステムをインストールしてのストレージデバイスの転送速度などの実験を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

(A) 従来技術の整理

現状技術における主な耐災害性はディザスタリカバリ (DR) と呼ばれるデータバックアップ技術で、情報を多重化して遠隔地のデータセンターに保管しておいて情報が失われた際にストレージ機器の復旧の上でデータを転送するものである。この場合、データ復旧はもちろん可能であるが、データを管理して、情報多重化・データ転送・データセンター保管というストレージシステム管理者でなければできない専門的な作業を日常的に行うことを要する。従っ

て、現状ではこのDRによる情報保全を行うことができるのは大企業等に限られ、今回明らかになった、災害に特別に脆弱な中小ストレージシステムには今後とも適用が難しいことが懸念される。

一方で、クラウド利用によるデータストレージが急速に普及している。特に、グーグル等によく知られた画像や動画映像などのインターネット保存は顕著にユーザが増加し、昨今ではさまざまなデータをインターネット経由でサーバにストレージされている。これらのサービスはユーザにストレージデバイスを意識させないものであり、情報は多重化されて蓄積され決して失われないようにされている。ただ、当然のことながら、ユーザはデータをアップロードしないと保護される情報とはならないし、昨今の情報の大規模化からは有料ストレージとなるサービスを選択せざるを得ない。また、ユーザにとって他人に知られたくない個人情報やクラウドにアップロードするのは心理的な抵抗がある。このように考えると必ずしもすべてのデータ保護をクラウドが果たせるとは考えにくく、ユーザの手元で閉じたストレージ系にユーザが意識することなく冗長化されることが望ましい。

(B) 耐災害性に優れるレジリエントなストレージシステム

(1) 高信頼な省電力大容量デバイス（耐環境性と電池駆動整合性）と分散ストレージシステム（データ分散化保全）の両面による耐災害技術を開発し、クラウドストレージの自動バックアップと異種クラウド連携によりデータ保全を図る。(2) 長時間バッテリー駆動な省電力小型ストレージシステムを開発し長時間の停電に備える。

上記において、想定しなければならない被災状況は、まず、災害時の火災による機器焼損・津波や洪水による水没・倒壊による機器損壊などが発生して、ストレージ機器が物理的に壊れることである。同時に、交流電源が喪失してバッテリーバックアップに入っており、多数のネットワーク通信路も途絶している可能性が高い。この際に、システムが冗長性を保ち、残存リソースを自律的に再構成することで情報ストレージシステムの自律的な再構築が行われることが望ましい。この際には、残存機器数に応じた必要最小限のストレージ容量になることが避けられないが、電源容量制約が強いために機器の消費電力は最小化することが必要である。

議論の結果、情報の多重化とネットワーク通信路の複数化によって、一部の機器の情報が失われても自律的に情報を復元できるシステム構成を検討することとした。具体的には、ストレージすべき情報（ファイル）を多数のチャンクに分解して、個々の分解

情報を異なるストレージ機器に蓄積する分散ファイルシステムである。特に、複数ストレージ機器に重複して分散してストレージすることで一部が被災・損壊しても情報は喪失しないようにできる技術開発を目的とすることとした。この際に、多重度とストレージ容量規模は反比例し、多重度が高い場合にはデータの可用性は高まるが、一方、きわめて大きなストレージ容量となるので、トレードオフが必要である。従って、技術的にはいかにして適切な冗長度を持たせるストレージ技術とするかが重要で、この点を明らかにする研究を行う必要がある。

(C) 高速データ転送ストレージと速度当たり消費電力の低減

最近のストレージ容量は極めて大きく、高細精度画像や動画情報を含むマルチメディア情報や医療データは極めて大きなファイルサイズになる。このような情報を被災時に送る際に長時間のストレージ機器からの授受が発生するようではバッテリーの消耗を早める。また、平常時でも、動画映像などのように一定の転送速度を保って転送しないといけない場合もある（アイソクロナス転送）。この要求のためにも、ストレージデバイス単体の転送性能の向上を図ることが必要である。

ディスクストレージ転送速度は、ディスクの線速度と線記録密度の積に比例する。たとえば、長さ20nmのビットを20m/sの線速度で読み出せば、その転送速度は1Gbpsとかなり速い。ディスク回転数の増加は消費電力の著しい増加を招くので、今回の研究開発ではなるべく避けることが望ましく、線速度の向上とディスクからの情報読み書きの並列化による転送速度向上を研究課題としている。

(3-2) 波及効果と発展性など

大型プロジェクトへの発展を視野に、産学連携への展開が可能となるように広範な波及効果を生む波及性の高い研究課題の策定とその目標設定を議論している。また、大きな研究開発を担うことのできる研究組織を形成に注力している。

[4] 成果資料

成果論文にはまだ至っていない。

第 6 章 国際会議・シンポジウム等

6. 1 通研国際シンポジウム

第42回通研国際シンポジウム
第12回国際多感覚研究フォーラムThe 42nd RIEC International Symposium
12th International Multisensory Research Forum (IMRF2011)

開催日：2011年10月17日(月曜日)～20日(木曜日) (4日間)

開催場所：アクロス福岡

参加人数：286名

人間は自分の置かれた環境を認知する上で、単一の感覚情報ではなくあらゆる感覚器からの情報を総合的に利用していると考えられる。したがって、テレイグジステンスやテレワークなどを実現するための高次臨場感通信を実現するには、人間がそのような複数の感覚種で構成される多感覚情報をどのように知覚、認知しているかを解明することが極めて重要である。本通研国際シンポジウムは、そのような多感覚情報に関する学際的研究を議論することを目的として開催された。

本シンポジウムは2011年6月に仙台国際センターを会場に開催される予定であったが、東日本大震災のため東北地方への訪問を懸念する声が多数あったことから、10月に福岡市に延期・移転して開催された。このように異例の措置をお認め頂いた関係各位と、開催に協力と支援を頂いた皆様に心から感謝している。

国外からの15ヶ国、111名を含む280余名の参加を得ることができた。3件のキーノート講演、6つのシンポジウムセッション、27件の講演をはじめ、214件の発表が4日間にわたり行われた。キーノート講演では、VRシステムの没入感(Mel Slater 教授)、視覚障害者の視覚野の機能可塑性(定藤規弘教授)、音声の視聴覚情動判断(Beatrice de Gelder 教授)について、それぞれ長年にわたる最先端研究が紹介された。また一般講演セッションとポスターセッションでは、多感覚脳情報処理に関する最新の成果を持ち寄っての熱心な議論が連日続いた。

会場が市内中心部にあったため、会議終了後の交流も極めて活発で、仙台にも同様の会場があるとよいとの強い思いを持ったことも記しておきたい。



IMRF2011 開会式の様子

第8回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ The 8th RIEC International Workshop on Spintronics

開催日：平成24年2月2日（木曜日）～3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：128名

2012年2月2,3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、本学省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンターでの2nd CSIS International Symposium on Spintronics-based VLSIs (2月2,3日)とのジョイント開催]。参加者128名の内、国外からの参加者は19名を数えた。アメリカ、フランス、韓国、日本から19名の研究者を招待講演者として迎えた。ポスターセッションでは、中国、韓国、台湾、日本から21件の一般講演があった。さらに11名のパネリストによりパネルディスカッションが行われた。本ワークショップではスピン注入磁化反転・磁壁移動などスピントロニクス素子の基礎特性から、それらを利用した集積回路まで幅広い話題が活発に議論された。この議論を通じ、スピントロニクス集積回路の重要性と研究開発課題がより明確となり、将来の方向性を指示する有意義なワークショップとなった。また、多くの学生の参加もあり、学生の国際性を育む機会の提供という観点からも大きな成果を得ることができた。



第8回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ参加者集合写真

メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス 第6回国際シンポジウム

The Sixth International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics

開催日：平成24年3月8日（木曜日）（1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
4階カンファレンスルーム

参加人数：約60名

本シンポジウム・シリーズはもともと、平成17～21年度に実施された文部科学省大学院教育GPプログラム「生体・ナノ電子科学国際教育拠点」および「メディカルバイオエレクトロニクス教育拠点」の一部として開催されていたものである。平成22年2月に開催された第5回シンポジウムでは、22件の口頭発表と80件のポスター発表があり184名が参加した。その後、大学院教育GPプログラムの終了により中断していたが、「メディカル」「バイオ」「ナノ」分野の交流の場として、また、博士前期課程の学生が英語で発表を行う機会として復活を望む声が多かった。このたび、通研国際シンポジウムの枠組みでご援助をいただき、第6回シンポジウムを開催することができた。

今回は日程上の都合から1日のみの開催とし、「Medical Electronics」「Bio-Electronics」「Nano-Electronics」の3セッションを設けた。各セッションの企画・運営はそれぞれ、金井・長谷川研、庭野・木村研、佐橋研が担当した。4名の招待講演者：Y. Ono氏（Carleton University, Canada）、A. Sesay氏（MRC National Institute for Medical Research, UK）、Y. Kashimura氏（NTT Basic Research Laboratories, Japan）、Ch. Binek氏（University of Nebraska, USA）を含む9件の口頭発表と24件のポスター発表があり、活発な議論が行われた。

本シンポジウムの開催にご協力いただきましたみなさまに感謝いたします。



Nano-Electronics セッションの参加者



ポスターセッション

第3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

3rd International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

開催日：平成24年3月21日（水曜日）～22日（木曜日）（2日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：47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、今回で3回目となる。平成24年3月21、22日の2日間にわたり、東北大学電気通信研究所ナノ・スピン実験施設にて開催された。海外(ドイツ、韓国、アメリカ)から5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及び一部の日本人招待講演者については、50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、ダイヤモンド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評価方法、そして、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活発に議論された。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3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

6. 2 国際会議等の開催状況

国際会議名：

第7回 Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議

7th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI-7)

開催日：平成23年8月28日～9月1日（5日間）

開催場所：ルーベン（ベルギー）

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）が参加し、全参加者は約180名であった。基調講演3件と招待講演18件の他、一般口頭発表37件とポスター発表85件の計143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.520, 2012) 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、継続開催（2013年5月、日本）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。

国際会議名：
第7回 ECS ULSI プロセスインテグレーション国際会議
7th ECS Int. Symp. on ULSI Process Integration
開催日：平成23年10月10日～13日（4日間）
開催場所：ボストン（米国）

本国際会議は、ULSI プロセスインテグレーションと関連する材料・デバイス技術に関して包括的に議論することを目的として企画・開催された国際会議である。本研究所附属ナノ・スピン実験施設からは室田淳一教授（組織委員）と櫻庭政夫准教授が参加し、全参加者は約60名であった。基調講演4件と招待講演18件の他、一般口頭講演24件の計46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 **ECS Transaction (Vol.41, No.7, 2011)** 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。

会議名：12th International Multisensory Research Forum (IMRF)

開催日：平成 23 年 10 月 17-20 日

開催場所：アクロス福岡

参加人数：288 名

会議の概要：

本会議は、視覚、聴覚、触覚、体性感覚などの複数の異なる感覚受容器官で並列に受容したマルチモーダル情報処理過程の解明と研究成果の応用に関する国際的な学術集会である。マルチモーダル情報処理過程に関する研究は、高臨場感通信や遠隔医療等の高度情報化社会の実現に繋がるため、心理学、生理学、神経科学、工学、発達などの多様な学問分野の研究者が参画した、新しい学際研究領域として世界的に注目されている。我が国においても、若手研究者の発案・主催により多感覚研究会が発足・開催されるなど、その研究動向への関心が高まっている。しかしながら、同研究領域の独創性・独自性を生み出している研究者の専門分野の多様性の問題により、研究者間の知見の共有、議論と連携の促進が研究発展上の課題とされてきた。IMRF は、この課題を解決し、研究活動を活発化させることを目的とし、1999 年に英国にて第 1 回大会が開催されて以降、同会は例年欧米にて開催されてきたが、本会議は 2008 年からの招致活動によって実現した、欧米以外で初めて開催されるマルチモーダル情報処理研究の国際的な学術集会として位置付けられる。また本会議では、同研究領域の研究活動を活性化し、研究成果の応用を促進するために、35 歳以下の若手研究者に対して参加費の助成を 12 件行い、優秀研究発表者に対する渡航費用援助を 9 件行った。また、世界的に注目されている国内外の研究者を招聘し、Keynote 講演を 3 件行った。本会議での研究発表は、国際ジャーナルである *i-Perception* 誌の特集号にて研究抄録を掲載した。今回は欧米以外で初めて開催され、さらに東日本大震災の影響もあったため、参加者は例年より減少する可能性があったが、実際には参加者数は例年よりも増大しており大きな成果であったと考える。

第6回インタラクティブテーブルトップに関する国際会議 ITS 2011

ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces

開催場所： 神戸国際会館（神戸市）
開催日： 2011年11月13日(日)～16日(水)
Web： <http://its2011.jp/>

本会議は、近年特に注目が集まりつつあるテーブルトップやサーフェスにおけるインタラクティブ手法に関する国際会議として、これまで北米やヨーロッパで開催されてきたが、今回初めて日本で開催され、電気通信研究所の北村喜文教授がプログラムチェアを務めた。

19ヶ国から約150名の参加者を集めた今年のITS 2011では、口頭発表のfull paper 19件とnote 13件に加え、20件のポスター発表および9件のデモ形式での発表もあった。paperとnoteの採択数では、カナダやドイツの存在感が際立っていたが、合計投稿数96件であり、採択率は33.3%であった。その内容は、様々な方式のテーブルトップハードウェアに加え、マルチタッチ認識アルゴリズムやユーザインタフェースデザイン、テーブルトップシステムの実用化に向けた実践と評価など多岐に渡った。

Best Paperには、デンマークのIT University of CopenhagenによるThe eLabBench - An Interactive Tabletop System for the Biology Laboratoryが選ばれた。これは生物学系などの研究室における試薬・PC・ノート等が机の上に散乱する状況を改善するために開発されたUI・ハードウェアに関する提案であり、実用性の高いものであった。また、Best Noteには、ドイツのRWTH Aachen UniversityによるDynamic Portals: A Lightweight Metaphor for Fast Object Transfer on Interactive Surfacesが選ばれた。その他、Best PosterやBest Demoには、日本勢の発表が選ばれた。

Keynoteでは、MIT Media Labの石井裕教授が、テーブルトップシステムにおけるインタラクションの紹介と今後の展望について講演された。次回のITS 2012はアメリカのケンブリッジで開催され、さらに次々回のITS 2013はイギリスのセントアンドリュースで開催される予定である。世の中には、スマートフォンやタブレットなど、マルチタッチインタフェースを装備する機器が益々普及しつつあり、それらをさらに使いやすくするため、この分野の研究は、これからも発展が期待される。



会議名：International Workshop on Low-Power LSI Technologies and their Application to Mobile Systems

開催日：平成 24 年 2 月 27 日（月）

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノスピン総合実験施設

会議概要：携帯機器における低消費電力化は、機器の高機能化・高性能化の要求と相まって、益々重要になってきている。本ワークショップは、集積回路研究者と携帯機器研究者が一堂に会し、各専門分野の最新技術動向とオープンプロブレム等の紹介を通じて、低消費電力化の壁を打破する指針について議論することを目的として、平成 24 年 2 月 27 日に開催された。当日は海外からの来学者による発表 2 件を含む 7 件の研究発表があり、参加人数は 25 人以上であった。発表内容は無線通信、通信用デコーダおよび不揮発性素子を用いた回路技術に関するものであり、会議中においては発表者、聴講者を交えた発表内容に関する熱心な議論が展開され、盛況のうちに終了した。

6.3 工学研究会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学研究会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研究会名	主査	幹事
1	伝送工学研究会	澤谷邦男 教授	陳 強 准教授
2	音響工学研究会	伊藤彰則 教授	岩谷幸雄 准教授
3	仙台“プラズマフォーラム”	畠山力三 教授	安藤 晃 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	篠原 歩 教授	住井英二郎 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	村岡裕明 教授	中村健二 准教授 三宅耕作 助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	亀山充隆 教授	阿部正英 准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	金井 浩 教授	長谷川英之 准教授
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	塩入 諭 教授	大林 武 助教
14	ナノ・スピン工学研究会	室田淳一 教授	櫻庭政夫 准教授
15	先進的情報通信工学研究会	木下哲男 教授	菅沼拓夫 教授

伝送工学研究会

主査 澤谷 邦男, 幹事 陳 強

伝送工学研究会は、最も長い歴史をもつ研究会であり、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8回の研究会が開催され、招待および特別講演が2件、一般講演が34件行われた。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536回

日時： 2011年6月21日(火) 15:00-16:30

場所： 東北大学 電気・情報系103会議室

演題：

536-1. CBFMによるモーメント法の高速化

今野 佳祐, 陳 強, 澤谷 邦男(東北大学大学院工学研究科), 瀬在 俊浩(JAXA)

536-2. 塩分濃度検出のための赤外分光用中空光ファイバプローブ

田中雄樹, 木野彩子, 松浦祐司(東北大学大学院医工学研究科)

536-3. 演算量削減型最尤ブロック検出を用いるシングルキャリア伝送におけるブロック内適応ビットローディング

山本哲矢, 安達文幸(東北大学大学院医工学研究科)

参加人員： 48人

第537回

日時： 2011年7月19日(火) 15:00-16:00

場所： 東北大学 電子情報システム・応物系2号館204号室

演題：

537-1. 分散アンテナネットワークにおける動的チャネル割り当て法の検討

松川隆介, 小原辰徳, 安達文幸(東北大学大学院工学研究科)

537-2. 近傍界結合による無線電力伝送の数値解析

柴田 岳, 陳 強, 澤谷 邦男(東北大学大学院工学研究科) 参加人員： 38人

参加人員： 45人

第538回

日時： 2011年9月20日(火) 13:00-18:00

場所： 東北大学 電子情報システム・応物系103号室

538-1. シングルキャリア伝送におけるブロック間干渉を抑圧する検出区間重複演算量削減型最尤ブロック信号検出

諸我 英之, 山本 哲矢, 安達 文幸(東北大学大学院工学研究科)

538-2. Experimental Study on MIMO Performance Using Passive Repeater

Lin Wang¹, Shi-Wei Qu², Qiang Chen¹, Qiaowei Yuan³, and Kunio Sawaya¹

1 Tohoku University, 2 University of Electronic Science and Technology of China,
3 Sendai National College of Technology

538-3. 中空光ファイババンドルを用いた赤外分光イメージング

黄 晨暉, 木野 彩子 (東北大学大学院医工学研究科), 片桐 崇史 (東北大学大学院工学研究科), 松浦 祐司 (東北大学大学院医工学研究科)

【技術交流講演会 (IIS 研究センター主催, 伝送工学研究会共催)】 14:30~16:20

1. 会社概況とビジネス戦略

天岸 義忠 (アルプス電気取締役 技術・品質担当)

2. 載ネットワーク製品のご紹介

泉 英男 (アルプス電気HM&I事業本部)

3. メカトロニクスデバイス技術のご紹介

村田 眞司 (アルプス電気MMP事業本部)

4. 車載用 HMI デバイス動向とソリューション

佐藤 浩史 (アルプス電気AUTO事業本部)

5. Q&A, 展示

【伝送工学研究会特別講演会】 16:30~18:00

538-4. 【特別講演】 Future perspectives of advancing multimodal fully

polarimetric POLSAR technology, its rapid worldwide expansion, and its
plethora of future diversified applications by implementation of
ALOS-PALSAR-I&II

Wolfgang-Martin Boerner, Professor Emeritus (University of Illinois at Chicago,
Department of Electrical & Computer Engineering, Communications, Sensing &
Navigation Laboratory)

参加人員: 78 人

第 539 回

日時: 2011 年 10 月 18 日 (火) 15:00-17:30

場所: 東北大学 電子情報システム・応物系 103 号室

演題:

539-1. 上りリンク直接・協調リレー切り替え SC-FDMA 伝送における電力配分法の検討

中田雅之, 小原辰徳, 山本哲矢, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

539-2. 分散アンテナネットワークにおける MIMO 空間多重のチャンネル容量に関する検討

熊谷慎也, 松川隆介, 小原辰徳, 山本哲矢, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

539-3. 実環境におけるリフレクトアレーの電波散乱特性の数値解析

小林克也, 陳 強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

539-4. 直接ディジタルシンセサイザ(DDS)の広帯域化・高周波化に関する検討

田島賢一, 亀田 卓, 末松憲治 (東北大学電気通信研究所)

539-5. 多層膜型波長フィルターを用いたヘモグロビン向け分光イメージングカメラ

山口修平, 大寺康夫, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)

参加人員: 41 人

第540回

日時： 2011年11月15日(火) 15:00-17:30

場所： 東北大学 電子情報システム・応物系103号室

演題：

540-1. 上りリンクシングルキャリア協調DFリレーにおけるスループット最大規範に基づく変調割り当て法

木村和裕, 中田雅之, 小原辰徳, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

540-2. シングルキャリア周波数領域等化器のASIC実装

小松和寛, 富田俊輔, 亀田 卓 (東北大学電気通信研究所), 岩田 誠 (高知工科大学情報システム工学科), 末松憲治, 高木直, 坪内和夫 (東北大学電気通信研究所)

540-3. 屋内ダイバーシチアンテナによる地上デジタル放送波の受信効果

武田 優, 陳 強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科), 佐藤智之 (八木アンテナ株式会社)

540-4. 冷却管パラボラ反射鏡によるミリ波パッシブイメージングの物体検知特性の改善

栗山弘平, 佐藤弘康, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

540-5. 誘電体薄膜チューブを基盤とするテラヘルツ中空光導波路の製作の研究

佐藤俊介, 松浦祐司 (東北大学大学院医工学研究科), 片桐崇史 (東北大学大学院工学研究科)

参加人員： 37人

第541回

日時： 2011年12月20日(火) 13:00-17:30

場所： 東北大学 電子情報システム・応物系103号室

演題：

541-1. 【招待講演】スマートフォン急増による技術的課題およびその取り組み

須山裕介, 武田洋一郎 (エリクソン・ジャパン株式会社)

541-2. 上りリンクSC-FDMAにおけるナッシュ交渉解に基づく周波数割り当て法の分散アンテナネットワークへの適用効果

佐藤勇輔, 松川隆介, 小原辰徳, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

541-3. アンテナと整合回路損失を考慮した近傍界結合による無線電力伝送の数値解析

柴田 岳, 陳 強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

541-4. 回折格子による光結合器の理論的検討

峯岸俊祐, 大寺康夫, 山田博仁 (東北大学大学院工学研究科)

541-5. ラマン分光イメージング用細径中空光ファイババンドルの製作

富山達弘, 片桐崇史 (東北大学大学院工学研究科), 松浦祐司 (東北大学大学院医工学研究科)

参加人員： 46人

第542回

日時： 2012年1月24日(火) 15:00-17:00

場所： 東北大学 電子情報システム・応物系103号室

演題：

542-1. IBI cancellation and CP restoration in Multi-code DS-CDMA

Min Zheng, Wei Peng, Fumiyuki Adachi (Graduate School of Engineering,
Tohoku University)

542-2. 送信フィルタリングを用いるシングルキャリア伝送における CP 挿入を必要としない周波数領域等化

小原辰徳, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

542-3. GPU による行列演算の高速化

勝田肇, 今野佳祐 (東北大学大学院工学研究科), 横川佳, 齋藤優輝, 袁巧微 (仙台高等専門学校), 陳強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

542-4. TDNF法を用いたインコヒーレント波源推定の数値シミュレーション

小野寺亮, 陳強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

参加人員： 43 人

第 543 回

日時： 2012 年 2 月 21 日 (火) 15:00-18:00

場所： 東北大学 電子情報システム・応物系 103 号室

演題：

543-1. 送受信協調 MMSE フィルタリングを用いるシングルキャリア MIMO 空間多重

熊谷慎也, 松川隆介, 小原辰徳, 山本哲矢, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

543-2. MIMO アナログネットワーク符号化を用いたシングルキャリア双方向中継通信における送受信協調 MMSE - FDE

宮崎寛之, 中田雅之, 小原辰徳, 安達文幸 (東北大学大学院工学研究科)

543-3. 無線通信用人体装着型マルチアンテナの検討

坪井 聖, 陳 強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

543-4. 石垣島におけるリフレクトアレーの屋外実験

栗原佑介, 李 建峰, 陳 強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

543-5. アレーアンテナの素子結合を考慮した電波到来方向推定の数値シミュレーション

原 芳明, 陳 強, 澤谷邦男 (東北大学大学院工学研究科)

543-6. 光ファイバプローブを用いたレーザブレイクダウン分光法

関 竜介, 片桐崇史 (東北大学工学研究科), 松浦祐司 (東北大学医工学研究科)

参加人員： 39 人

音響工学研究会

主査 伊藤彰則, 幹事 岩谷幸雄

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。2011年度は、主査伊藤彰則教授、幹事岩谷幸雄准教授のもとで、研究会2回（第358回、第359回）と通研講演会1回が開催された。会場は、第358回が電気通信研究所2号館大会議室、第359回は東北大学工学部電子情報システム・応物系講義棟451・453会議室で行われた。なお、第358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、日本光学会視覚研究グループ、日本心理学会「注意と認知」研究会との共催で、第359回は超音波エレクトロニクス研究会と合同で開催された。第358回は、2011年11月10日（木）、11日（金）に開催され、研究発表18件、参加者は延べ86名であった。第359回は2011年12月15日（木）に開催され、研究発表3件、参加者は44名であった。通研講演会は、2011年10月24日（月）にDr. Georg F. Meyer（University of Liverpool）による「Evidence for common processing networks for speech and body actions」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 島山カ三, 幹事 安藤 晃

本研究会は、放電、核融合などのプラズマ現象の基礎と新規物質創製や材料表面の改質、電気推進機などの応用とそれに関連する最新の研究成果に関して、特別講演及び特別企画を開催するとともに、活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

平成23年度の活動として、学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎およびプラズマ応用、計測に関する「研究討論会」を3回開催。大学院生によるフラーレンの効率的イオン化、カーボンナノチューブの成長制御、メタンの分解と機能化、水素負イオン生成、ハイブリッドナノカーボンの合成、太陽電池開発、気液混相プラズマ生成、プラズマ推進機の性能評価などの研究発表会を2回開催。国内、国外研究者による非平衡プラズマ中の不安定性、プラズマ医療応用、大気圧・液中プラズマ生成と応用、バイオ・ナノシステム、イオン液体電解質プラズマ、フラーレン・グラフェン・カーボンナノチューブ、プラズマ閉じ込めと核融合、宇宙プラズマ、プラズマ流の基礎と応用に関する「研究発表」を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にいかに関与すべきかを調査し、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23年度は、第189回（7月26日）にIEEE EMC Symposiumへ参加する学生による4件の研究発表、第190回（10月5日）は創設者であった佐藤利三郎名誉教授のメモリアルコロキウムとして池田哲夫先生の招待メモリアル講演と東北地区のEMC研究グループからの研究状況と計画の意見交換、第191回（12月15日）は学生による8件研究発表と永田真先生（神戸大学）の講演があった。

コンピュータサイエンス研究会

主査 篠原 歩, 幹事 住井 英二郎

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。2011年度は第161回講演会から第162回講演会まで2回の講演会を開催した。

喜田拓也氏（北海道大学大学院情報科学研究科）はデータ圧縮について、単にデータのサイズを小さくするというだけでなく、データ処理の高速化やパターン認識などの「意外」な応用について講演した。井上純氏(Department of Computer Science, Rice University)は、「プログラムを生成するプログラム」であるマルチステージ・プログラムの正当性を検証するための理論について講演した。

本研究会は、以上のように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

システム制御研究会

主査 吉澤 誠, 幹事 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 イアン ヒルドリカ氏 (演題: Renewable energy in Europe: Wind and solar energy, alternative fuels and future research in combustion technologies)

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, adaptive methodology, and multi-scale analysis: challenges for biomedical engineering applications)

2) (通研講演会) 東京大学大学院医学系研究科 特別研究員 井上 雄介氏 (演題: 螺旋流人工心臓システムの研究と開発)

情報バイオトロニクス研究会

主査 庭野 道夫、幹事 吉信 達夫

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の一つであるが、その技術革新のためには、電子工学技術と多様な機能をもつ生命科学反応系との融合が必要不可欠である。しかしながら、半導体デバイスとバイオ物質との接合部の設計については解決すべき課題も多く、その展開の障害となっている。本研究会では、電子工学や半導体工学の研究者と、表面科学、生命科学、生理学、バイオマテリアル工学、医工学の様々なバックグラウンドをもつ研究者達が協力して、ナノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論することを目的としている。本年度は、情報バイオトロニクス研究会を1回開催し、九州工業大学の林 初男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。

情報バイオトロニクス研究会 平成24年1月24日（火）開催

- 【通研講演会】「海馬・嗅内皮質の構造と機能」講師：林 初男（九州工業大学）、
「初期視覚神経回路の時空間ダイナミクス」八木哲也（大阪大学）
「シナプス光不活化法によるグルタミン酸受容体輸送の動態解析」
神谷温之（北海道大学）
「人工神経細胞回路の構築のための表面ナノ/マイクロ改質技術」
山本英明（東京農工大学）、谷井孝至（早稲田大学）、中村 俊（東京農工大
学）
「神経細胞の構成的ネットワークングのための基礎技術」加藤功一（広島大学）

スピニクス研究会

主査 村岡裕明、 幹事 中村健二、三宅耕作

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目指し、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。本会では例年、最新の話題に関する依頼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特別研究会を企画している。本年度は主催・共催研究会計9回を開催した。以下、IEEE Magnetics Society Sendai Chapter および IEEE Sendai Section と共催した、主催研究会について概要を記す。

平成23年8月12日には、東北大学に於いて、東北大学野崎友大博士、東北大学渡邊洋氏による講演会を開催した。野崎氏は鉄酸化物を利用した熱電材料について、渡辺氏は新しい金属薄帯磁性材料について講演を行った。10月17,18日には震災復興の意味を込めて郡山地区日本大学工学部にて特別研究会を開催した。日本大学上坂保太郎教授、鈴木良夫教授のマイクロマグネティックスシミュレーションと磁気記録応用に関連した内容の特別講演を含め全22件の講演がなされ、東北地区の磁気研究者を中心とした参加者のべ34名により活発な討論が行われた。10月25日には英国ヨーク大学 Roy Chantrell 教授を招き講演会を開催した。最新の高密度磁気記録技術である熱アシスト磁気記録に関する講演がなされた。12月20日には東北大学に於いて、通研講演会との共催として豊田工業大学三田誠一教授、愛媛大学仲村泰明博士の両者を招き、HDD信号処理技術について講演がなされた。

本年度は、主査：村岡裕明教授（通研）、幹事：中村健二准教授（電通）、三宅耕作助教（電子）、企画幹事：斉藤伸准教授（電子）、佐藤文博准教授（電通）、遠藤恭准教授（電通）、栢修一郎准教授（通研）、菊池伸明助教（多元）で運営した。

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23年度は以下の5回を開催した。

第74回 平成23年7月30日(土) 会津大学
研究発表 7件

第75回 平成23年9月17日(土) 東京・TKP 大手町カンファレンスセンター
研究発表 3件

第76回 平成23年11月19日(土) 東京・TKP 新橋ビジネスセンター
研究発表 2件

第77回 平成24年2月7日(火) 情報知能システム総合学科 通研講演会
演題: 「Power Monitoring for Microprocessors with On-chip Sensing」
講演者: Wai-Tung Ng (University of Toronto)

第78回 平成24年3月13日(火) 情報知能システム総合学科 通研講演会
演題: 「Eco 社会実現のための超低エネルギー LSI 技術」
講演者: 小高雅則 (日立製作所)

超音波エレクトロニクス研究会

主査 金井 浩, 幹事 長谷川英之

目的：超音波計測、音波物性、超音波デバイスとその応用、医用超音波に関する研究発表・討論を行う

第 68 回

日時：平成 23 年 11 月 17 日（木） 13:00～17:50

会場：東北大学 工学部 電子情報システム・応用物理系南講義棟 103 会議室

演題：

1. “心筋収縮弛緩特性の評価のための心筋からの超音波後方散乱特性の時間変化計測”
志田 光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)
2. “心筋収縮弛緩特性の心臓生理学的解明を目指した心筋内の厚み変化の三次元可視化に関する基礎実験による検討”
渡辺博文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. “頸動脈壁微小振動速度波形の周波数解析による脈波伝播の可視化”
本江和恵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)
4. “計測範囲を拡張した頸動脈壁内膜表面粗さの高精度超音波計測”
北村浩典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)
5. “光学的手法による非対称音場の定量的測定に関する研究”
島崎悠太¹, 針金奏一朗¹, 吉澤 晋¹, 梅村晋一郎^{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)
6. “高瞬時強度超音波とワイドフォーカス超音波による効率的焼灼領域拡大に関する研究”
岩崎永子¹, 浅井 歩¹, 森山達也¹, 吉澤 晋¹, 梅村晋一郎^{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)
7. “内皮機能評価のための橈骨動脈壁粘弾性特性の血流依存性血管弛緩反応による変化の超音波計測”
池下和樹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)
8. “超音波による局所心筋収縮弛緩特性計測のための最適な 2 次元相関窓幅を用いた心臓壁 2 次元運動計測の高精度化”
本庄泰徳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)

第 69 回

日時：平成 23 年 12 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・応用物理系 451・453 会議室

演題：

1. “治療用超音波のための電圧可変階段波駆動回路に関する研究”

高田啓介¹, 中村高太郎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. “非対称スピーカ配置による頭部位置回転に頑健な聴覚ディスプレイの実現”

韓 チョルス^{1,2}, 岡本拓磨^{1,3}, 岩谷幸雄^{1,2}, 鈴木陽一^{1,2}

(¹ 東北大学電気通信研究所, ² 東北大学大学院情報科学研究科, ³ 東北大学大学院工学研究科)

3. “Near-field corrections to reproduce Ambisonics using an irregular loudspeaker array”

Jorge TREVINO^{1,2}, Takuma OKAMOTO^{1,3}, Yukio IWAYA^{1,2}, Yôiti SUZUKI^{1,2}

(¹ Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, ² Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, ³ Graduate School of Engineering, Tohoku University)

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 23 年 7 月 8 日、第二回を平成 23 年 10 月 19 日、第三回を平成 23 年 12 月 21 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：「環境を活用して推進する連続体へビ型ロボットの自律分散制御」加納剛史（東北大）、「高次結合ニューラルネットワークによる最適化問題解探索システム—実用的システムの構築に向けて—」曾田尚宏（東北大）、「符号情報の効率的利用に基づく高速・高信頼非同期ネットワークオンチップの構成」松本敦（東北大）、「細胞や分子を操るマイクロ流体デバイス技術」竹内昌治（東大）、第二回：（紙面の都合上省略）、第三回：「宇宙のゴミ回収と自律適応技術」木村真一（東京理科大）、「シナプス回路形成における NMDA 受容体のサブユニット発現の役割について」久保田繁（山形大）、「CMOS イメージセンサの高速読出し技術」高橋知宏（ソニー）、「エネルギー収支を考慮した電源制御 LSI の設計制約」井上淳樹（富士通研究所）。以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査 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5回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：福泉麗佳氏（東北大学大学院情報科学研究科）“Nonlinear Schrodinger equations”，長谷川雄央氏（東北大学大学院情報科学研究科）“複雑ネットワーク上のパーコレーションの相転移現象”，Martin Lukac 氏（東北大学大学院情報科学研究科）“Adaptive Algorithm Selection for Machine Vision Based on Machine Learning”，岩村雅一氏（大阪府立大学大学院工学研究科）“カメラを用いた文字認識・文書解析の現状と課題”，石垣司氏（東北大学大学院経済学研究科）“サービス科学におけるビッグデータ活用と顧客理解の深化”。

生体・生命工学研究会

主査 塩入 諭, 幹事 大林 武

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23年度の活動概要を示す。

第25回は平成23年10月26日(水)に14:00から17:00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、慶應義塾大学政策・メディア研究科・特任講師の荒川和晴先生の「全細胞シミュレーションに向けたマルチオミクス解析とモデリング環境の開発」と題する特別講演が行われた。引き続き5件の一般講演があった。参加者は20名であった。第26回は平成24年2月23日(木)に15:00から16:30まで東北大学大学院情報科学研究科大講義室にて開催され、理化学研究所脳科学研究センター・行動神経生理学研究チーム・チームリーダーの村山正宜先生の「局所・広域神経回路内での樹状突起活動の速効性・遅効性抑制」と題する特別講演が行われた。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 室田淳一, 幹事 櫻庭政夫

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23年度は、以下の講演会を実施した。

第52回 平成23年5月30日 13:00 - 14:00

「LSIの耐放射線強化技術（ソフトエラーとハードエラー）
－SOI-SoCの開発事例－」

廣瀬和之准教授（宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所）

第53回 平成23年8月2日 13:30 - 14:30

「21世紀とシリコン結晶」

阿部孝夫（信越半導体）

第54回 平成23年11月30日 14:00 - 17:00

「Trends in terahertz plasma wave devices」

Assoc. Prof. Yahya Moubarak Meziani (Dept. Fisica Aplicada, Salamanca University, Spain)

第55回 平成23年12月14日

13:00 - 13:40

[招待講演] 「InGaAs MOSFETの高電流密度化」

○宮本恭幸、米内義晴、金澤徹（東工大）

13:40 - 14:05

「InGaAs/InAs/InGaAs コンポジットチャネル HEMT に関するモンテカルロ計算 ～ 歪み InAs のバンド構造と2次元電子ガスのセルフコンシステント解析の導入 ～」

○遠藤聡（NICT/富士通研）、渡邊一世（NICT）、三村高志（富士通研/NICT）

14:05 - 14:30

「薄層 AlGa_N 障壁層を有する AlGa_N/Ga_N ヘテロ構造電界効果トランジスタの小信号および30 GHz パワー特性 ～ AlGa_N 障壁層薄層化の影響 ～」

○東脇正高（NICT/JST）、Yi Pei、Rongming Chu、Umesh K. Mishra（カリフォルニア大サンタ・バーバラ校）

14:30 - 14:55

「ミリ波センサ用低雑音増幅器および検波器」

○佐藤優、高橋剛、鈴木俊秀、中舎安宏、原直紀（富士通研）

15:10 - 15:50

[招待講演] 「RoF 技術による W 帯超高速無線伝送」

- 菅野敦史、久利敏明、寶迫巖、川西哲也 (NICT)、吉田悠来、康村吉広、北山研一 (阪大)

15:50 - 16:15

「140GHz 帯パッシブイメージング用受信 IC とアンテナ一体型サブアッセンブリ ～ 小型パッシブイメージングシステムへ向けて～」

- 小杉敏彦、杉山弘樹、松崎秀昭、村田浩一 (NTT)

16:15 - 16:40

「広帯域アンテナ集積一体型三重障壁共鳴トンネルダイオードを用いたゼロバイアス検波特性の非線形解析」

- 高萩智、斉藤光史、須原理彦 (首都大東京)

16:40 - 17:05

「アンテナ集積一体型共鳴トンネルダイオードの超高速変調動作の時間領域解析」

- 板垣陽介、斉藤光史、須原理彦 (首都大東京)

平成 23 年 12 月 15 日

09:00 - 09:40

[招待講演] 「テラヘルツ撮像センサと可搬型カメラの開発」

- 佐々木得人 (NEC)

09:40 - 10:05

「位相シフト干渉法を用いたテラヘルツ 3 次元イメージング」

- 佐々木芳彰 (理研)、須賀真之、湯浅哲也 (山形大)、春日博、大森整、大谷知行 (理研)

10:05 - 10:30

「非対称二重回折格子状ゲート電極を有する InAlAs/InGaAs/InP HEMT を用いた超高感度プラズモニクテラヘルツ波検出器」

- 谷本雄大、Stephane Boubanga-Tombet、渡辺隆之 (東北大)、Yuye Wang、南出泰亜、伊藤弘昌 (理研)、Denis Fateev、Vyacheslav Popov (露科学アカデミー)、Dominique Coquillat、Wojciech Knap (モンペリエ第 2 大)、尾辻泰一 (東北大)

10:45 - 11:10

「テラヘルツ及び赤外-紫外分光を用いた有機導電性高分子 PEDOT:PSS のキャリア輸送特性評価」

- 山下将嗣、大谷知行 (理研)、奥崎秀典 (山梨大)

11:10 - 11:35

「グラフェンリボン格子における二次元プラズモンモードの観測」

- 福嶋哲也 (東北大)、シルビア チャン (ペンシルバニア大)、ステファン ボウバンガ トンベット (東北大)、ビクトール リズィー (会津大)、ヴィチェスラフ ポポフ (ロシア科学アカデミー)、尾辻泰一 (東北大)

13:00 - 13:40

[招待講演] 「テラヘルツ量子カスケードレーザの進展と今後の展望」

- 平山秀樹、寺嶋亘、林宗澤 (理研)

13:40 - 14:05

「光学励起グラフェンのテラヘルツ誘導増幅放出」

- 渡辺隆之、ステファン ボウバンガ トムベット、福嶋哲也、佐藤昭、尾辻泰一 (東北大)、ヴィクトール リズィー (会津大)

14:05 - 14:30

「高強度サブ 10fs パルスによる 200THz におよぶ超ブロードバンド赤外光発生」

○松原英一、永井正也、芦田昌明（阪大）

14:30 - 14:55

「注入同期 KTP-OPG 励起光源を用いた広帯域波長可変テラヘルツ波光源」

○縄田耕二、野竹孝志、川俣大志、松川健、チー フェン、南出泰亜（理研）

15:10 - 15:50

〔招待講演〕「テラヘルツ波帯無線システムの動向と将来像について」

○矢板信、ソン ホジン、味戸克裕、久々津直哉、相原公久（NTT）

15:50 - 16:15

「IEEE 802.15 Terahertz Interest Group (IGthz)におけるテラヘルツ波通信機器の標準化動向について」

○味戸克裕、ソン ホジン、矢板信、久々津直哉（NTT）、笠松章史、寶迫巖（NICT）

第 56 回 平成 24 年 2 月 29 日

13:35 - 14:25

【通研講演会】「アノード酸化にもとづく規則ナノ構造の形成と機能的応用」

○益田秀樹教授（首都大学東京都市環境学部/KAST）

14:25 - 15:15

「金属酸化物の光触媒への応用」

○立間 徹教授（東京大学生産技術研究所）

15:15 - 15:40

「酸化物単結晶表面の構造制御とバイオ応用」

○荻野俊郎教授（横浜国立大学電子情報工学科）

16:00 - 16:25

「陽極酸化 TiO₂ ナノチューブ膜のガスセンサへの応用」

○木村康男准教授（東北大学電気通信研究所）

16:25 - 16:50

「原料ガス励起原子層堆積法を用いたゲート酸化膜の室温形成」

○廣瀬文彦教授（山形大学大学院理学研究科）

16:50 - 17:15

「有機太陽電池の光伝搬解析と反射防止構造の設計」

○久保田繁、廣瀬文彦（山形大学大学院理学研究科）

先進的情報通信工学研究会

主査 木下 哲男、 幹事 菅沼 拓夫

先進的情報通信工学研究会は、先進的なネットワーク技術およびコンピューティング技術に関する研究交流を通じ、情報通信技術の高度化に資することを目的とし、関連する研究者間の情報交換と議論の場として 23 年度に発足した。本年度は、以下の 2 回の研究会を、日本学術振興会インターネット技術第 163 委員会情報流通基盤分科会のセミナーとの共催として開催した。

- ・ 第 1 回先進的情報通信工学研究会

日時：平成 23 年 12 月 16 日(金) 13:30-16:10

場所：東北大学電気通信研究所 1 号館 N 棟 3 階 N308 (講義室)

共催：日本学術振興会インターネット技術第 163 委員会情報流通基盤分科会
(ITRC/INI)「ITRC セミナー/INI 仙台 2011 秋」

講演数：6 件

- ・ 第 2 回先進的情報通信工学研究会

日時：平成 24 年 2 月 27 日(月) 13:30-16:40

場所：東北大学サイバーサイエンスセンター・本館 5 階・講義室

共催：日本学術振興会インターネット技術第 163 委員会情報流通基盤分科会
(ITRC/INI)「ITRC セミナー/INI 仙台 2012 冬」

講演数：7 件

6. 4 通研講演会

Future perspectives of advancing multimodal fully polarimetric POLoSAR technology, its rapid worldwide expansion, and its plethora of future diversified applications by implementation of ALOS-PALSAR-I&II

Wolfgang-Martin Boerner
Professor Emeritus
University of Illinois at Chicago

開催日：2011年9月20日（火） 16:00-18:00
開催場所：東北大学 電子情報システム・応物系 103 号室
参加人数：78 名

本講演会では、イリノイ大学名誉教授Wolfgang-Martin Boerner 先生が、多偏波合成開口レーダに関する世界の最新技術動向について紹介した。また、陸域観測技術衛星（Advanced Land Observing Satellite, ALOS）に搭載される合成開口レーダPALSARの高分解能観測モードによる観測画像を紹介した。地球センシング技術に関する興味深い講演であり、講演後はさまざまな議論が展開された。

スマートフォン急増による技術的課題および その取り組み

須山裕介, 武田洋一郎
エリクソン・ジャパン株式会社

開催日：2011年12月20日（火） 13:00-14:00
開催場所：東北大学 電子情報システム・応物系 103 号室
参加人数：46 名

本講演会では、エリクソン・ジャパン株式会社の須山裕介さんが、エリクソン・ジャパン社で行われている移動通信に関する最新の技術動向について紹介した。また、次世代移動通信の展望や、スマートフォンの急増による技術的課題とその対策について講演した。講演後は活発な議論が展開された。

Evidence for common processing networks for speech and body actions

University of Liverpool

Dr. Georg F. Meyer

開催日：平成23年10月24日（月）

開催場所：電気通信研究所2号館4階大会議室

人間の多感覚情報統合処理のメカニズムの解明は、次世代マルチメディアコミュニケーションシステムを構築する上の基盤となる重要な研究テーマである。このようなメカニズムを解明する際には、矛盾する視聴覚刺激を同時に提示し、それによって得られる神経科学的、および、心理学的反応を分析するという手法が比較的多く用いられている。しかし、このような実験において、より初期の段階で矛盾した刺激を統合し、その結果に基づいて高次の処理、判断を行っているのか、それとも、各感覚情報処理レベルではそれぞれ独立に処理を行い、その結果を統合して判断しているのかは未だ解決されていない大きな課題である。

ご講演では、講演者は、この課題に対して「音声発話」、「身体運動」、「未知運動パターン」の三種に対し、視覚刺激と聴覚刺激が一致している状態と矛盾している状態で組み合わせて作成した刺激を用いて、それぞれの処理を脳機能計測を用いて明らかにした研究内容を発表していただいた。特に「音声発話」、「身体運動」に関しては、両者に共通する処理過程（ミラーニューロンに関連する処理）の存在を示唆する結果であった。講演会では、この内容に関して、聴覚を始めとする人間の感覚情報統合処理過程と工学応用に関する議論を行った。

パワーレーザーによる高エネルギー密度科学の新展開

大阪大学 大学院工学研究科 教授 兒玉 了祐

開催日：平成24年2月17日（金曜日）13：40～14：40

開催場所：秋保温泉 岩沼屋

参加人数：30名

パワーレーザー技術の進展に伴い、高エネルギー密度科学に関する研究が進展している。本講演では、このパワーレーザー技術を利用して、高エネルギープラズマフォトンクスという新しい概念のもと高強度光や高エネルギー密度荷電粒子を直接制御する極限プラズマデバイスを実現し、真空中で非線形光学現象が現れる新たな極限状態を可能にする試みが示された。一方、パワーレーザーと独自技術により1000万気圧以上の超高压状態を制御し、高エネルギー密度固体新物質探索が現実的となってきたことが報告され、独自技術により高エネルギー密度科学に関する新たな展開が紹介された。以上のような最新の研究成果についての講演後に活発な議論が展開された。

VLSI チップの電源ノイズと EMC

神戸大学 大学院 システム情報学研究科 教授 永田 真

開催日：平成23年12月15日17:00～18:00

開催場所：東北大学大学院工学研究科電子情報システム・応物系 103 会議室

参加人数：30名

大規模集積回路(VLSI)チップにおける電源ノイズに関して、とくにサブ 100 nm CMOS 技術によるテストチップに実装したデジタル回路におけるノイズの発生・伝搬・干渉について、オンチップ電圧モニタやオフチップ磁界プローブによる評価データを交えて体系的に解説された。まずシフトレジスタアレイ、および講演者の提案による時分割寄生容量列(TSDPC)ノイズ源回路が紹介され、これらが電源系ノイズおよび基板ノイズの生成とメカニズム解明に有用であること、ならびに電源品質(PI)および基板ノイズ解析など、EMCの観点から重要であることが示された。次いで、チップレベル基板ノイズの解析にオンチップ電圧モニタが有用であることが紹介され、時間軸波形、強度マップなどによって基板ノイズのメカニズム解明が可能となった。最後に今後の展開と課題が指摘された。講演に続いて、参加者と活発な議論が展開された。

データ圧縮の意外な使い方

北海道大学大学院情報科学研究科 准教授 喜田 拓也

開催日：平成23年11月1日（火）16:00～17:30

開催場所：東北大学情報科学研究科棟2階大講義室

参加人数：約40名

講演要旨：

データ圧縮とは、データに含まれている冗長な表現をより簡潔な表現に置き換えたり、無用な部分を削ったりすることで、そのデータをより短いビット数で記述するための技術である。主に、データを保持するコストの削減や、ネットワーク上でのデータ通信コストの低減を目的として用いられている。

近年、このデータ圧縮の技術が、上述の目的以外でも活用されるようになった。例えば、データ処理の高速化やパターン認識を目的とした用途などが提案されている。

本講演では、まずデータ圧縮について大まかな理解が得られるように情報理論の初歩的な解説から始め、その後、データ圧縮の「意外な使い方」についての例を紹介する。後半では、パターン照合とデータ圧縮の結びつきについてこれまでの研究の歴史を振り返り、「データアクセスの簡便さ」という基準を重視したデータ圧縮法について解説を行う。

螺旋流人工心臓システムの研究と開発

東京大学大学院医学系研究科
特別研究員 井上雄介

開催日：平成24年3月30日（金）14:00～15:30

開催場所：東北大学加齢医学研究所 スマートエイジング棟 大会議室

参加人数：20名

東京大学大学院医学系研究科生体物理医学専攻医用生体工学講座で開発中の螺旋流人工心臓システムの動作原理・構造・制御系について、背景や世界の研究動向とともに講演した。特に、脱血カニューレと循環動態の関係について述べるとともに、実用化と今後の応用について解説され、活発な議論が展開された。

海馬・嗅内皮質の構造と機能

九州工業大学・教授・林 初男

開催日：平成24年1月24日（火）13:35～14:25

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

参加人数：32名

講演者の研究室では、脳型情報処理機械の開発の基礎となる神経回路についてげっ歯類脳の神経活動計測に基づいて調べてきた。本講演会では、記憶や空間認知と深く関わる海馬と嗅内皮質を対象に、これらの部位のダイナミカルな振る舞いと記憶や認識機構との関係について、海馬の神経回路の確率共鳴の観点から評価した演者らのアプローチについて分かりやすく講演していただいた。確率共鳴とは、雑音を利用して雑音に埋もれるような微弱な信号を検出できる非線形現象のことである。この確率共鳴に基づいて演者らが提案した記憶想起モデルについても丁寧な解説がなされた。脳型情報処理機械の開発を目指す電子工学、医工学、材料科学等の多様な分野の研究者から多くの意見が交換され、活発な討論が展開された。

磁気ディスク用信号処理技術の開発経過と今後の展開

豊田工業大学大学院 教授 三田 誠一

開催日：平成 23 年 12 月 20 日（火）15：00～16：00

開催場所：東北大学 電気通信研究所 2 号館 4 階 中会議室

参加人数：21 名

磁気ディスク装置の記録密度向上をもたらした技術要因の一つである信号処理技術の概要と発展の経緯、現在の先端的な検討状況など、幅広い視点からの講演がなされた。磁気ディスクにデジタルデータを高速に、しかも高密度に記録しかつ再生するには、磁気ヘッドにより検知された微弱な再生信号から、記録された情報を高い信頼度で抽出するための波形処理技術や、再生データ中に含まれる誤りを訂正するための符号化・復号化技術が重要である。講演では、磁気ディスクから再生された信号のエネルギーを効果的に用いて、元の記録データを正確に復元することができる革新的な信号処理技術である、PRML (Partial Response Maximum Likelihood) 方式を中心に、信号処理全般について、その開発経過や信号処理方式としての特長について解説がなされ、活発な議論が展開された。

HDD のための信号処理方式開発の現状

愛媛大学大学院理工学研究科 講師 仲村 泰明

開催日：平成 23 年 12 月 20 日（火）16：00～16：45

開催場所：東北大学 電気通信研究所 2 号館 4 階 中会議室

参加人数：21 名

ハードディスクドライブ (HDD : hard disk drive) は、大容量・安価な情報ストレージ装置として年率 40% 増で記録密度を高めている。講演では、シングル（瓦）磁気記録 (SMR : shingled magnetic recording) や、ビットパターン媒体 (BPM : bit-patterned medium) を用いた記録方式の紹介がなされるとともに、低密度パリティ検査 (LDPC : low-density parity-check) 符号化・繰り返し復号化方式の復号性能について説明がなされた。また、複数の情報ビットをガロア体上で一つのシンボルとして繰り返し復号を行う Non-binary LDPC 符号についても概説がなされ、活発な議論が展開された。

Power Monitoring for Microprocessors with On-chip Sensing

University of Toronto ・ 教授 ・ Wai-Tung Ng

開催日：平成24年2月7日（火）17：00～18：30

開催場所：東北大学工学部情報知能システム総合学科2号館515号室

参加人数：25名

CMOS 技術の進展に伴い最新の VLSI のゲート数や密度は急速に増加している。このような状況で高性能 VLSI チップにおける電源の取り扱いでは、熱の問題が重要となっており、温度と熱の管理が必要となっている。本講演では、チップ上に実現する電圧・温度センサーの最新の研究・実装について紹介があった。さらに、これらの自動補正機能についても実装結果の説明があった。また、多相 DC-DC 変換器における温度管理を例として、上記の結果を利用して、不均一な空気の流れのある中で、電流を制御し、ボード上の温度を管理する実装結果が紹介された。

Eco 社会実現のための超低エネルギー LSI 技術 ～世界で勝てるノーマリ・オフ&超低電圧 LSI～ ～More than Moore 技術～

日立製作所中央研究所・技術顧問・小高雅則

開催日：平成24年3月13日（火）17：00～18：30

開催場所：東北大学工学部情報知能システム総合学科2号館505号室

参加人数：15名

本講演の講師は、エネルギーを Smart に作り、Smart に使う節電社会実現のための技術開発を推進してきた。とくに、インフラとしての IT 機器の低エネルギー化には、それらを構成する LSI の超低エネルギー化技術開発が必須になっている。すなわち、微細化技術の進展に伴い CMOS トランジスタの特性ばらつきが増大したことで、LSI 自身の動作時のパワー増大と待機時のリーク電力増大という二つの問題が顕在化して、その対策としていろいろな提案がなされている。本講演では、この二つの問題に対する本質的解として SOTB トランジスタについて提案され、その特徴について紹介された。

The behavior of the echo signal measured from rough surfaces with clinical linear array transducers

Technical University of Denmark · 教授 · Jens E. Wilhjelm

開催日：平成 23 年 10 月 13 日（木曜日）15:00～17:00

開催場所：東北大学 工学部 電子情報システム・応物系 103 会議室

参加人数：42 名

対象物表面からの超音波散乱を解析することにより，表面の粗さを非接触で評価できることが明らかとなった．対象物表面が平坦な場合，超音波も光の鏡面反射と同じように反射波は非常に強い指向性を示す．しかし，表面が粗い場合は超音波反射に加え超音波散乱が生じ，超音波散乱は反射に比べ指向性が低いため，対象物からのエコー強度は指向性が弱くなる．Wilhjelm 教授からはこのような超音波散乱の指向性を利用した対象物表面粗さ計測法についてご講演頂いた．表面粗さの異なる数種類の対象物に関する計測結果から，ミリメートルオーダーの表面粗さを非接触で評価できることが示された．使用した超音波周波数は 5 MHz～10 MHz 程度であり，医療診断用超音波に近いことから，動脈硬化症により生じる動脈壁表面の粗さの非侵襲計測などへの応用について議論がなされた．また，本計測法は医療用だけでなく産業応用でも有用であると考えられ，その今後の応用について活発な議論が展開された．

宇宙のゴミ回収と自律適応技術

東京理科大学 教授 木村 真一

開催日：平成23年12月21日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの実験施設カンファレンスルーム

通信放送衛星や気象衛星、カーナビなどで活用されている衛星測位システムや災害監視など今や人工衛星は日々の生活に欠かせないものになっている。宇宙ステーションや宇宙旅行と言った本格的な有人宇宙時代を迎え、近年使用済みの衛星やロケット等から放出される宇宙ゴミが深刻な問題となっている。このような宇宙ゴミはすでに自己増殖フェーズに入り、ロボット衛星を用いた積極的な除去が国際的に検討されている。これに対し、宇宙システムを構成する機器は高い信頼性が要求されるため、実績が過剰に重視される傾向にあり、一般に非常に高価で、能力が低い。こうした軌道上での保全を実現するためには、非常に高い自律性をコスト的な制約の下で実現する必要がある、「故障しないシステム」から「故障を許容しつつ機能を実現するシステム」パラダイムシフトが必要である。講演者らは、民生部品を積極的に活用し、ソフトウェア的な故障適応技術を導入することで、低コストで高機能な搭載機器の開発を進めてきた。その成果が2010年に打ち上げられた小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSの監視カメラに活用されるなど一定の実績を上げており、本講演ではその概要について紹介して頂いた。

CMOS イメージセンサの高速読出し技術

ソニー 研究員 高橋 知宏

開催日：平成23年12月21日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの実験施設カンファレンスルーム

固体撮像素子において高速読出しはカメラの連射性能の向上や、高フレームレートによる滑らかな映像を実現する重要な特徴のひとつである。ソニーではセンサ内で列並列に積分型A/D変換器を搭載したカラムA/D技術により、低ノイズかつ高速な読出しを実現してきた。本講演では更なる高速化技術として、ハイブリッドカウンタ技術を活用した高周波数で動作可能なA/D変換技術と、位相差クロックを用いて周波数を上げずに時間分解能をあげるカラムTDC(Time-to-Digital Converter)技術と2つのアプローチについてご紹介頂いた。

シナプス回路形成における NMDA 受容体の サブユニット発現の役割について

山形大学 准教授 久保田 繁

開催日：平成 23 年 12 月 21 日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの実験施設カンファレンスルーム

NMDA受容体は、NR1とNR2(NR2A-D)サブユニットから構成される4量体タンパク質であり、NR2サブユニットの構成比によって、受容体を通過するシナプス電流の機能的特性（減衰時間や膜電位依存性等）が変化することが知られている。さらに、異なるサブユニットの発現パターンが、発達段階、神経活動レベル、細胞種によって著しく変化することは、遺伝子発現を通じて、NMDA受容体チャンネルの特性が時空間的に制御されていることを示唆している。本研究では、このサブユニット発現が、皮質回路の組織化に及ぼす影響について検討するため、既存の実験データに基づいて、NMDA受容体がシナプス可塑性(STDP)に及ぼす影響をモデル化し、シナプス集団のダイナミクスを解析した。その結果、NMDA受容体発現が、シナプス発達速度、LTP/LTDバランス、入力相関に依存したシナプス競合といった、神経回路の持ついくつかの重要な特性を制御し得ることを明らかにした。

エネルギー収支を考慮した電源制御 LSI の設計制約

富士通研究所 所長代理 井上 淳樹

開催日：平成 23 年 12 月 21 日

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピンの実験施設カンファレンスルーム

電源電圧制御技術を使った低消費電力 LSI が設計環境の整備によって汎用プロセッサだけでなく、ASIC にも応用の広がりを見せている。電源制御の制御粒度を空間もしくは時間方向に細かくすることにより、より低電力化できるのではないか？という期待がある。しかしながら、時間方向の細粒度制御においては、エネルギー収支による制約が存在する。本講演では、電源制御の代表的な方式である Power Gating と DVFS 技術において、このエネルギー収支に注目したときに、時間方向細粒度制御の設計上の制約について簡単なモデルによる理論的考察結果をご紹介頂いた。

コントラストティブダイバージェンス学習の数理

京都大学大学院情報科学研究科 助教 前田新一氏

開催日：平成23年10月24日（月）午後4：20－5：50

開催場所：東北大学大学院情報科学研究科棟2階中講義室

参加者数：14名

平成23年10月24日に標記講演会を開催した。講演では、コントラストティブダイバージェンス法による統計的機械学習についての最新の研究成果が紹介された。高次元の離散変数の確率分布の学習は、知能情報処理の分野において重要な役割を果たす。近年、大規模データからの確率分布の学習のリアルタイムでの実現を可能とするコントラストティブ・ダイバージェンス法が提案され、特にボルツマン分布の学習への適用を通して文字認識や文書のトピック解析などの応用で有効性が明らかになるとともに注目を集めつつある。講演では、なぜ離散変数の分布学習が困難であるかがわかりやすく解説された上で、コントラストティブ・ダイバージェンス法がどのような学習則であるか、とその理論背景について学部学生にもわかるような平易な説明が行われた。前田氏は、これまで統計的機械学習理論における統計科学、データマイニングの手法を応用した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。関連する研究分野の若手教員、大学院生を交えての多くの活発な質疑応答がなされた。

全細胞シミュレーションに向けたマルチオミクス解析とモデリング環境の開発

慶應義塾大学 政策・メディア研究科 特任講師 荒川 和晴

開催日：平成23年10月26日（水）14：00～17：00

開催場所：東北大学電子情報システム・応物系 1号館 103号室

参加人数：20名

細胞全体のシミュレーションに向けて、E-Cell プロジェクトではシミュレーションソフトウェアの開発や、メタボロミクスやプロテオミクスによる細胞内代謝物質などの定量測定など、バイオインフォマティクスと分子・細胞生物学を駆使して研究を進めている。本講演では、特にシミュレーションの要となる定量データを取得するための微生物におけるマルチオミクス解析、ゲノム情報を用いた大規模代謝モデリング支援環境の開発、さらに、シミュレーション結果の三次元可視化の試みなどについて紹介された。また本講演会では、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、活発な議論がなされた。

Trends in terahertz plasma wave devices

テラヘルツ帯プラズマ波デバイスの進展

サラマンカ大学(スペイン)・応用物理学専攻
准教授 MEZIANI Yahya Moubarak

開催日：平成23年11月30日(水曜日) 14:00~17:00

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン総合研究棟5階 A508
セミナー室

参加人数：20名

マイクロ波と赤外線の中に位置するテラヘルツ電磁波は、多くの物質の指紋スペクトルを有し、かつ電波の透過性と光波の直進性を併せ持つことから、近年、安心・安全のための非破壊・非侵襲な隠匿物同定や生体・植物の医学的・生理学的・農学的診断をはじめ超高速無線通信など、幅広い分野で産業応用が期待されている。かかるテラヘルツ電磁波の信号発生・検出等に有効な新しい動作原理として二次元電子プラズマ波を応用したテラヘルツ帯プラズマ波デバイスの研究開発が近年注目されている。本講演会では、当該分野で優れた研究業績を有する講師によって、プラズマ波デバイスの基礎理論・デバイス動作・評価法に関するチュートリアル講義と最前線の研究開発動向の紹介がなされ、活発な議論が展開された。

アノード酸化にもとづく規則ナノ構造の形成と 機能的応用

首都大都市環境／KAST・教授・益田 秀樹

開催日：平成24年2月29日（水）13：35～14：25

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

参加人数：28名

講演者の研究室では、陽極酸化プロセスを用いてポーラスアルミナナノ構造体を作製し、その基礎物性の評価やデバイスへの応用を行っている。本講演会では、電気化学プロセスに基づく機能性陽極酸化ポーラスアルミナの作製や、これに基づく高密度記録媒体や電池・コンデンサ、光機能材料、バイオデバイス等への応用を目指す演者のアプローチについて分かりやすく講演していただいた。さらに、これらのデバイス応用のためのプラットフォームとなる高規則性ポーラスアルミナの精密かつ高効率な形成についても解説がなされた。電子工学，医工学，化学等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。

エージェント型マイクログリッドの研究動向

University of Incheon, Professor Hak-Man Kim

(仁川大学 教授 金學萬)

開催日：平成24年1月10日（火曜日）13:30～15:00

開催場所：東北大学電気通信研究所 2号館 2階 W214セミナー室

参加人数：25名

次世代の電力システムとしてスマートグリッドが注目されつつある。本講演では、特に、スマートグリッドの一種として捉えられるマイクログリッド、すなわち、特定の地域や小規模組織を対象とした電力システムに焦点をあてて、エージェント技術を適用したマイクログリッドの概要とその設計手法に関する講演があった。最近の研究開発の成果の紹介などもあり、今後の研究の方向性についても活発な議論が行われた。

第 7 章 評価と分析

7. 1 運営協議会報告

第27回東北大学電気通信研究所運営協議会議事録

日時：平成23年12月9日（金）午後1時30分～午後5時25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：

秋葉重幸（株式会社KDDI研究所 主席特別研究員）

一村信吾（独立行政法人 産業技術総合研究所 理事）

上田修功（日本電信電話株式会社 コミュニケーション科学基礎研究所長）

江村克己（日本電気株式会社 執行役員 兼 中央研究所長）

太田賢司（シャープ株式会社代表取締役

副社長執行役員 技術担当兼東京支社長）

久保田啓一（日本放送協会 放送技術研究所長）

富田眞治（京都大学 物質－細胞統合システム拠点 特定拠点教授）

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 大学院情報科学研究科 教授）

丹羽邦彦（独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー）

吉田 博（大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授）

福村裕史（東北大学 大学院理学研究科長）

亀山充隆（東北大学 大学院情報科学研究科長）

河村純一（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）

通研出席者：中沢正隆（教授）所長

庭野道夫（教授）副所長

塩入 諭（教授）副所長

枝松圭一（教授）所長補佐

室田淳一、中島康治、大野英男、外山芳人、村岡裕明、長 康雄、白井正文、大堀 淳、上原洋一、石山和志、榊井昇一、末光眞希、木下哲男、北村喜文の各教授、多田順次特任教授

議 事

所長から、次のことについて説明があった。

(1) 研究所の平成23年活動報告概要説明

(2) 電気通信研究機構の設立とその役割

(3) 片平南キャンパスの再整備計画について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- 東北大を中心に震災復興に向けて新しい最先端テクノロジーを研究することは、大変すばらしいことです。将来は被災地に新たな産業を創出するという発想でしょうか。
- 国で考えているのは、被災地の大学や地元のベンチャー企業が連携し東北地域に産業を根づかせることを考えています。
- 5年フェーズで、創造的復興プロジェクトを完成させ、さらに最先端研究プロジェクトへ発展させていくということで、非常に頑張っておられる様子が伺えます。これだけのプロジェクトを成功させるためには、コントロールタワーの役割が重要になってくると思われませんが、どのような体制にしているのでしょうか。
- 機構の運営のため研究戦略企画室を設置しています。そこには、2名の特任教授をコーディネーターとして配置して、将来展望も含めて全体のプロジェクトを管理統括し、革新的研究につながるように配慮しています。
- 電気通信研究機構ですが、メンバーが電気情報系というチームに限られています。防災的に考えて幅を広げたほうが、よりクリエイティブになると思いますが、いかがでしょうか。
- 電気情報系の先生が中心になりますが、医学関係をはじめ、他分野の教員もほかのプロジェクトに参画していますのでそれらとの連携も重要だと考えています。
- 電気通信研究機構の組織に興味があります。大学は従来の研究科・研究所ではない研究の組織を考える必要があります。学生に参加してもらいサイエンスとテクノロジーだけではなく、ソーシャル的に意味のある災害に関するイノベーションを起こしていただきたい。そういう意味でもう少し社会科学関係の方々も参画していただくとより実効的になると思います。
- このプログラムには、多くの学生が参加しています。ソーシャル的な視点を入れていくことに関しては今後考えていきたいと思っています。
- 電気通信研究機構は、透明なフレームという言葉が使われていましたが、大変興味のある仕組みで感心いたしました。シーズ例の資料を見ますと震災がなくても研究としてやっていくものがあつたと思います。それら震災があつたということで意味合いが違って来たのでしょうか。
- 確かに災害がなくてもこういったテーマはやっていく必要性があると思います。これらは震災があつたなかで、先生方から緊急かつ重要な課題として提起されたプロジェクトです。もし震災がなければもっと時間をかけてやっていくテーマであつたかもしれません。
- 電気通信研究機構を立ち上げ、知識を結集されつつあるというのは非常にいい試みだと思います。最終的には社会にいかにかつ実を結んでいくかがポイントですから、先生方の総合力を発揮していただくとともに、産業界と国・県等の公共機関と連携して災害に関するオープンな研究を推進し社会に貢献していただきたい。
- 外国人の研究者の状況はどうなっていますか。また、日本語の資料だけで、国際版がないようですが、いかがでしょうか。また、国際化に関しては事務機構が非常に重要な役割を果たすと思いますが、それらの取り組みはどうなっていますか。
- 国際化については、議題（9）にあります。ここで説明させていただきます。
残念ながら外国人の教員は現在1名です。24年度は、短期ですが外国人教員を採用することを検討しています。それから、外国人の客員教員（非常勤）は現在3名で、これは、震災の影響がでています。24年度は、9名程度採用したいと考えています。また、組織の整備は大事なことと認識しており、「国際化推進室」を設置し真剣に取り組んでいるところです。
- 国際共同研究に関する資料を見ますと、欧米の研究所や大学との共同研究が多いようですが、中国、韓国等との共同研究の状況は、どうなっていますか。
- 通研要覧の66ページに国際学術交流協定校を掲載していますが、中国科学院半導体研究所、台湾

の国立清華大学等とも共同で研究を行っています。

引き続き、次のことについて説明があった。

(4) 通研の新たな施策

- ・ RIEC News 創刊について
- ・ RIEC Award 創設について

(5) 若手育成

- ・ 独創的研究支援プログラム
- ・ 研究交流会

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- 優秀な若手研究者を育成するという「RIEC Award」の取り組みは、素晴らしい制度だと思います。失礼ですが、財源等はどのようになっているのでしょうか。
- 副賞という形で20万円を支給しています。
- 電気通信工学振興会に寄附があり、5年間の運営費があります。
- 若手研究者が科研費の「若手研究」などで採択されることは大変評価されると思います。独創的研究支援プログラムは、そのスタートアップ経費等であれば理解できますが、それらとの関連で何か特徴的な判断基準というものがあるのでしょうか。
- 先ほど説明した理念に実質が追いついていない部分もありますが、科研費には申請できないテーマでも積極的に応募していただくことにしています。予算の使い方も自由度が高い利点があります。
- 通研の審査委員がこれはおもしろいということに対して懸けてみようという思いがあります。そして、将来電気通信研究所の研究の柱になれるようなものがでてきてほしいと考えています。現在3件研究が行われており、その成果がでた時点で、科研費のアクティビティと何が違うのかを議論していく時期があると思います。
- 我々の大学でも通研の独創的研究支援プログラムと似た制度があります。将来新たな分野を開拓していくというストラテジックな意味も込められていると考えています。これらは、国等の大型予算が投入される課題解決型のものとは違う、ボトムアップで研究所がやるべきものを設定するという判断基準があっていいと思います。我々の経験では、審査委員の名前をオープンにし、世界の一線級で活躍している研究者が認めたということを公表することが、若手には大きなインセンティブになっていたことを紹介しておきたいと思います。

引き続き次のことについて説明があった。

(6) グローバル化

- ・ グローバル COE プログラム
- ・ 東北大学重点戦略支援プログラム(MIT 電子工学研究所
一東北大学電気通信研究所間の国際研究連携について)
- ・ SUNY 連携

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は平成23年度で終了し、学生のRA等支援がなくなるのは、支障がでてくると思いますが、今後どのようにしていくのかお考えはありますか。
- 今年度に「博士課程教育リーディングプログラム」が立ち上がっており、さらに来年度は複合領域

型の一つとして情報の領域が入ることとなり、情報科学研究科、工学研究科と電気通信研究所が協力して応募することを検討しています。また、電気通信研究機構の研究においても学生に参加してもらい研究教育を機動的に進めていきたいと考えています。

●グローバルCOEで、RAの学会発表等が非常に盛んですが、海外での研修数がそれに比べると随分少ないようですが、これは予算的な制約など原因があるのでしょうか。

●残念ながら学生が参加しようとならないのが現実です。博士後期課程の中で、長期インターンシップで海外に行くと博士論文作成に支障がでるのではないかという不安があり、我々もずいぶん努力しましたが、研修件数が伸びなかったというのが現状です。

引き続き、次のことについて説明があった。

(7)産学連携の推進

- ・産学連携マッチングファンド
- ・共プロU、共同研究成果発表会

(8)各種報告会シンポジウムについて

- ・通研シンポジウム
- ・東京フォーラム
- ・国立大学附置研究所・センター長会議臨時総会報告

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

●共同プロジェクト研究は予算が少ないようですが、電気通信研究所が、電気通信分野のコミュニティからどれだけ期待され支援されるかが重要であり、また、それと同時にコミュニティとして電気通信分野を今後どういう方向に持っていくのかまで議論をしていただきたいと思います。

●この共同プロジェクト研究を機会に研究者が集まれるということが、コミュニティからの評価も得られていると思います。方向性を決めるということについても、今後考えてみたいと思います。

●産学連携研究マッチングファンド制度ですが、民間側が東北大学に資金を渡し、東北大学で一元的に管理されたプロジェクトになるのかということがひとつ、一方でこれに参画している教員にマッチングファンド限定で、目的をかなり絞った形で使われるのか、それとももう少し幅広く使えるようになっているのかを伺いたい。

●それぞれ同額負担で、企業から東北大学に振り込んでいただき、大学で管理しています。研究テーマは自由で、企業と担当教員が合意したテーマに対してファンドをつけています。

●そうすると、どうしても企業側が出す資金に関しての制約が強くなり過ぎて自由度がなくなり、マッチングからインセンティブという形に変わってしまいます。我々が行っている制度は、企業側から参加する研究者は、共同研究を意識しながらももう少し周辺まで踏み出すように、変えてきつつありますのでご参考にいただければと思います。

●多くの予算を投じて、大学と連携して行うということに企業はあまり積極的ではありません。アメリカの大学が強いのは莫大な寄付があり、また、電気関係のサムソンが圧倒しているのは、技術力ではなく国が力を注いでいるからです。要するに、国のやり方だと思うのですが、単なる共同研究に終わることのないよう通研には期待しています。

●通研は大学で税金が投入されているため、やはり学理の研究、基礎研究を進め、その成果を国民にフィードバックすることが求められています。学理研究も行いながら実用化研究も進めていくことが研究所のミッションではないかなと思います。予算は少ないのですが、一つの導火線として大型の研究にシフトしていくことを考えています。

- マッチングファンドの運営方針では、「東北大学の知的財産権取扱いに関する規程」に準拠するとなっていますが、具体的にはどういふことでしょうか。
- 「東北大学の知的財産権取扱いに関する規程」は、少し杓子定規なので、臨機応変に企業の意向に沿った形で対応していきたいと考えています。
- 発明が発生した場合にはケース・バイ・ケースで対応するというのでしょうか。
- そのとおりです。

引き続き、次のことについて説明があった。

(9) 通研人事制度の新たな施策

- ・特別昇任准教授制度
- ・女性教員の増加
- ・国際化(外国人教員、外国人ポスドクの雇用)

(10) 課題

- ・科研費申請率の向上
- ・若手研究者の活性化
- ・震災復興への取り組み

●学内においては、申請率について指摘があり、それを改善するため講習会等いろいろ開催し、申請率をあげたところ今度は採択率が下がってしまいました。共同研究、受託研究が増えてきますと、研究者にとってその研究に専念したいというのが率直な意見であり、科研費という共通項目は比較しやすいのですが、無理やり大学の基準に合わせて科研費の申請率を上げるということは必ずしも実績があがっているとはいえない面もあります。

●女子学生が減っているそうですが、これは大学全体で減っていますか、それとも電気情報系だけが減っているのでしょうか。

●正確な数字は把握していませんが、たまたま電気情報系だけが減っていると思われます。情報通信分野は女性には比較的取り組みやすい分野だと思います。対策としては、女性教員が高校へ出向く出前授業、オープンキャンパスでの女子学生への広報等地道な活動を行い、裾野を広げて行きたいと考えています。

●情報科学研究科は女子学生が多いのではないかというお話がありますが、ほとんど変わっておらず、ソフトウェアが有利だということはないと思います。我々もいろいろな対策を行っていますが、効果があがっていないのが現状です。

●情報系学生の就職が非常に困難で、また仕事もきついということで、保護者から女子学生を情報系には進学させたくないという話もありますが、企業の方からご意見をいただければと思います。

●女性の数を増やす傾向です。当社では最近外国人女性を積極的に採用するということになってきましたが、女性の人数を増やすことが目的になってはいけません。優秀な女性の雇用機会を増やすというのが本来の趣旨です。どの分野も同じように女性を増やそうということではなく、優秀な女性が活躍できるような分野を作り出すことが大事で、そういう分野と情報が融合して新しい分野を切り開いていくことが女性の人材育成、雇用増大にもつながります。

●研究開発から離れますが、当法人の技術職は非常に幅広く、女性が体力を使う仕事に就いている例がいくつもあります。女性にとって体力が必要、仕事がかついということで敬遠するということではないようです。むしろ、情報系の仕事に魅力を感じなくなってきているのではないかと危惧しています。

●当社の場合は、女性の比率はすこし上がっていると思います。確かに電気系は学生の人数そのものが少ないため、電気系出身という人は少ないのですが、他の分野から多く入社しています。我々の研究所も女性は多く、男性とは視点や考え方が違うので新しい発想の研究につながっていると思います。通研でも電気系の学部からそのまま進学、採用ということだけではなく工夫してみたいかでしょうか。

●私もコメントさせていただきますが、現在の厚生労働大臣は女性就労に非常に熱意を持っておられ、私どもの会社は男性の産休取得率が非常に高いということでお褒めをいただいたことがありました。そして今は昔に比べ、労働条件が非常によくなっています。女性教員に対する大学での様々な制度、取り組み等幅広く広報すれば、人材は集まると思います。

それから、最近環境あるいはエネルギーなどのテーマがもてはやされていますが、やはりそこにベースとなるのは情報・通信の技術あるいはそれに関連する材料だということです。それらの基本をしっかりと身に付けた技術者をぜひ育成していただきたいと思います。

●新しい分野、異分野というのは非常にいい切り口ではないかと思います。通研でも2人、女性教員がおり、バイオ系の出身です。エレクトロニクスとほかの分野を結びつけることによって、新しい分野へ発展させるなどこれからどうしたらいいか検討していきたいと思います。

全体を通じての意見交換

●新領域の創成あるいは他の分野へのIT、情報通信の活用等災害復興新生研究機構というのは総合研究の場としてすばらしい取り組みだと思います。ITの活用はどの分野にも関連があるので、情報通信再構築プロジェクトだけではなく他のプロジェクトとも連携して成果を収められるよう期待しています。

●通研を組織的に見たとき教授、准教授、助教の構成比率は昔からほとんど変わっていないと思いますが、現在活躍されている教授の先生方が若手のときと現在の環境のどこが違っているのか、意識的に若手を育成しなければならないのか、若手育成のための独創的研究支援プログラムあるいは研究交流会がなぜ必要なのか、問題設定をどのように置いているのかお聞かせいただきたいと思います。

●昔は、研究室の構成は1・1・2と助教が多かったのですが、今は教授が多く1・1・1になり、さらに、1・0・1という形にもなってきました。研究室の若手が少ない状況で、横の連絡が大事だと考え交流会などを開催しています。

●昔は1・1・2という関係で教授、助教授が助教を育ててきたが、現在はそういう機会が少なくなっているということですか。

●昔も今も若手の育成というのは非常に大事なことで、そういう意味では変わりはないのですが、環境がどんどん変わっています。

●私どもは大学から人材を送り込んでいただいておりますが、この頃熱意あるいはポテンシャルが低くなっているように感じます。大学院生院の数がどんどん増えており、こうした状況で大学院生の質的底上げを図ることが若手育成の根本であるとするれば、もう少し違う問題設定があってもいいのかなと思いますがいかがでしょうか。

●最近は電気情報系の人気は機械系に比べて低いというのが現状です。第一希望で電気情報系に来たわけではない学生も少なからずおり、そういう中から助教に採用される人もいるわけですが、その人たちにいかにインセンティブを上げて育てていくかが問題です。また、海外に行く学生も少なくなり、自分がどれくらい高いレベルの研究者として生きていくかを考えているのか甚だ疑問なところがあります。若手の研究者自体がそういった形で活性化すべきだと考えています。

●若手の活性化については、私たちも同じ悩みがあります。結局、本人が何をやるかということがは

っきり持っているかが大事だと思います。やはり「What」の議論をもっとしなきゃいけないというのが私の思いです。次の10年後、20年後にはどうすべきかなどを他の分野・業種の人たちと積極的に議論し、将来のことを語ってみることが必要ではないかと思っています。

●通研は情報通信の伝統のある研究所ですが、少し分野が狭くなっている気がします。異分野の学際研究を積極的にやられたほうが良いという感じがします。私どものところには170人ほどのポスドク研究者がいますが、外国人は31%、女性研究者が26%で、バイオ系が多いと思いますが、材料関係あたりからおいでいただくと女子学生にとっても魅力的な研究者になれると思います。

●若手の活性化に関しては、私は「ときめき感」が大事だと思っています。研究がおもしろくてたまらないという「ときめき」もありますが、素晴らしい研究あるいは素晴らしい発表を聞いて、ああいう人になりたい、そういう研究をしてみたいということも若い研究者にインセンティブを与えたいと思います。通研には素晴らしい研究者が多くおられるので、それをわかりやすく説明する機会を持つことも大事だと思います。

ポストの問題では、法人化の際の総人件費率1%減が撤廃されるということですから、若手の人件費、ポストをしっかりと確保し、安心して研究を続けられるような環境を整えることもしっかりとやっていく必要があります。

●若い人たちは放映されたテレビドラマの職業に憧れをもつようで、その影響はかなり大きいようです。電気情報分野でもあのようなドラマをつくることなども考えてもいいのかもしれない。

●かつて、「プロジェクトX」という番組を見て私はこの仕事をしたいという若い人が多くいました。一方では物を作るということに興味が失われてきたのかなということも感じます。

●スティーブ・ジョブズには、多くの若者が憧れているようです。先ほど若者の元気がないという話もありますが、必ずしも若者だけの責任ではなくて、管理者あるいは中堅層がはたして、世界で戦っているのかということもあります。日本は縦社会で、いろいろなデータを共用しようとしても、例えば医学のレセプトデータを情報で使いたいといっても厚生労働省は出さない。こういう法的障壁に対し、大学の有識者の方々が強く言ってやらないと融合研究というのはなかなか生まれません。また、分野間の異動が卒業学部により制約され融通がきかなかったりするなど社会の在り方も、政界・産業界等の上層部が総合的な視点で解決していかなければならない問題です。

●電気通信研究機構の件ですが、文系がほとんど入っていません。将来の新産業を考えると、文系、理系は車の両輪で文理融合が必要です。これは、東北大学全体で考えることでしょうが、場合によっては、経済、文学、社会学系の人たちを客員教授として通研に採用し、文理融合の研究を推進していただきたいと思います。

それから、質問ですが、以前から通研と青葉山の電気情報系は一体運営ということで、いろいろな面で協力しているようですが、人事交流で支障などはでていないのでしょうか。

●今まで通研に文系の先生を採用した例はなかったようですが、それにより新しい分野なり融合領域が生まれるというターゲットがよく見えるのであれば、客員教員としてなっていただくことは難しいことではありません。我々の研究の広がりをもっと大きくすることができると思います。

それから、人事交流ですが、青葉山の電気情報系との人事交流はバランス良く交流されており、支障はでておりません。

●災害時のハードとして、情報通信路を確保したときに、そのコンテンツはどういうものを流せば被災地の人が安心感を持てるのかという、認知あるいは心理など、人文社会系の学問まで踏み込んでいかないと、新たな産業、サービスは生まれません。今後通研としてそういうインタラクションを認識していくのが大事だと思います。

●人文社会系の専門家にお願いしていただくことを積極的に考えたいと思います。

●震災時のいろいろな議論の中で、各論の部分が多すぎて、もう一回全体のネットワークはどうあるべきかというグランドデザインを根本から考える必要があります。

それから、有事と平時の議論のなかで、普段使用しているものが有事のときにどう変わるかということ、さきほど話題になっていた制度の問題も重要です。有事には即座にネットワークが相互乗り入れできる体制をとらなければいけません。これらのことを電気通信研究機構で総合的に議論していくことが重要です。

●電気通信研究機構で扱うネットワークの構成には、無線、光、衛星などいろいろ絡んできます。災害がなければその分野が孤立してやっていたのかもしれませんが、今回、機構の中でいろいろな先生と一緒に研究することになりますから十分検討していきたいと思います。

●災害時に放送で情報を流し、通信をコントロールするという研究は行っていましたが、さきほどの法の制限のことなど、どういう災害のときにどのように対応するかシミュレーションを行うなど訓練の必要性を感じています。

7. 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	2007～2009
秋葉重幸	2010～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	2010～現在
伊藤龍男	2000～2001
今井秀孝	2001
上田修功	2010～現在
植之原道行	1994～1999
潮田資勝	2010～現在
宇理須恆雄	1994～1995
榎並和雅	2004～2005
江村克己	2010～現在
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
久間和生	2008～現在
國尾武光	2008～2009
久保田啓一	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

委員名	任期(年度)
榑裕之	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
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	2008～2009
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 8 章 結 言

結 言

最近大学の特色を出すことが重要であるとの話しをよく耳にします。その特色の出し方には色々なやり方があると思いますが、研究所のアクティビティは大学の伝統と文化に根ざして長年に亘り形成されてきたものですから、大学の特色を語る時その存在には大きいものがあると思います。そして、大学特有の深い知識に根ざした技術開発によって次世代の産業基盤を作ることが研究所にとって大変重要だと思います。

東北大学電気通信研究所は弱電から始まったデバイス色の強い研究所でしたが、今ではそれにソフトウェア部門を加え、材料物性から情報サービスまで幅広い研究活動を展開しています。更に最近では情報通信という切り口で、人工心臓や生物の動きまでも研究対象にして、最先端の研究開発を行っています。また、新たな連携研究を進めるために約30近い研究室の「研究交流会」を進めています。これは4大研究部門や施設・センターの壁を越え、新たな連携や融合を目指して研究開発を行うことを目指したものでありますが、この年次報告でもその様な芽が生まれ始めていると思います。更に「独創的研究支援プログラム」の成果も本報告書に掲載しておりますのでご高覧頂ければ幸いです。

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、宜しくお願い申し上げます。

資 料 編

第1章 予算の概要

本研究所の予算の概要

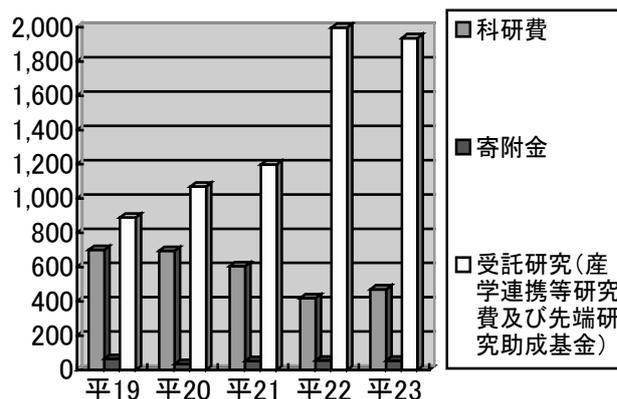
単位：千円

	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度
人 件 費	970,961	879,481	1,026,511	777,776	835,898
物 件 費	813,724	953,000	1,562,318	735,496	1,174,027
寄 附 金	64,818	34,265	51,954	55,085	54,167
共同利用研究 施設運営費	35,833	34,722	34,675	38,520	37,727
施設整備費	0	185,000	760,000	0	0
災害復旧費	-	-	-	-	432,607
その他物件費	713,073	699,013	715,689	641,891	649,526
産学連携等研究費	888,833	1,069,832	798,053	962,712	1,122,944
先端研究助成基金	0	0	400,440	1,034,827	813,777
計	2,673,518	2,902,313	3,787,322	3,510,811	3,946,646
科学研究費補助金	700,615	694,883	605,100	418,680	469,840
合 計	(1,654,266) 3,374,133	(1,798,980) 3,597,196	(1,855,547) 4,392,422	(2,471,304) 3,929,491	(2,460,728) 4,416,486

※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23年度について大まかに分析すると、その他物件費約6.5億円の中の2.1億円がナノ・スピンの実験施設の維持運営費、1.0億円がIT21センターの維持運営費、1.2億円が光熱水道料及び事務経費を含む共通経費、1.1億円が営繕費・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1.1億円であった。各研究分野に配分された研究費（1.1億円）に、科学研究費補助金4.7億円、寄附金0.5億円、産学連携等研究費11.2億円、及び先端研究助成基金8.1億円を加えた総額25.6億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4.3%である。平成22年度の直接研究費総額は25.8億円で、平成23年度は前年度とほぼ同額となっている。これは、情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発（総務省）や最先端研究開発支援プログラムをはじめとする多くのプロジェクト研究の受け入れによるものである。受託研究、科学研究費補助金、寄附金等による外部資金の導入は、本研究所の研究活動を一層充実させるために不可欠であるとともに、研究所の活性度を反映する指標でもあると考えられる。右に示した過去5年間のグラフに見るように、これら3種の予算は年度により若干の増減があるものの高い水準を維持している。特に受託研究については、提案型受託研究及びプロジェクト型研究の増加によるところが大きく、本研究所の全国共同利用・共同研究拠点としての活性度、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 競争的資金等の獲得状況

1. 科学研究費補助金 文部科学省・日本学術振興会

研究代表者

単位：千円

研究種目	氏名	2011年度 交付金額	補助金総額	研究課題名	採択年度
特別推進研究	鈴木 陽一	56,810	344,500	マルチモーダル感覚情報の時空間統合	2007
	尾辻 泰一	137,670	355,400	グラフェンテラヘルツレーザーの創出	2011
新学術領域研究	坂本 一寛	5,460	8,300	行動指令の動的生成機構としての前頭葉興奮性・抑制性神経細胞の機能分化と相互作用	2010
	小坂 英男	3,380	5,200	光励起による電子スピン量子相関	2011
	松宮 一道	3,510	3,800	顔の表情認知における異種感覚統合	2011
基盤研究(S)	中沢 正隆	30,810	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ーの実現とその応用	2009
	長 康雄	75,790	161,800	非線形誘導率顕微鏡の高機能化及び電子デバイスへの応用	2011
基盤研究(A)	坪内 和夫	13,260	35,800	超高速無線通信制御用DSPの開発	2008
	小坂 英男	9,750	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
	枝松 圭一	7,670	36,600	光子・固体間の単一光子レベル非線形相互作用を介した量子演算素子の開発	2010
	大野 裕三	22,230	33,300	半導体・磁性体ハイブリッド構造におけるスピン制御とスピンドYNAMIKSの光検出	2011
基盤研究(B)	木村 康男	3,250	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

単位：千円

研究種目	氏名	2011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)	栗木 一郎	2,860	14,400	視覚情報の脳内での分離・統合に関する研究	2009
	末光 眞希	1,040	15,100	Si (110) 表面ステップ挙動の解明と Si 上グラフェンナリボンの自己組織的形成	2009
	吉田 真人	2,340	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
	塩入 諭	2,730	15,100	並列運動視処理の機能と役割	2010
	上原 洋一	3,250	14,900	個々の表面半導体ナノ構造のフォノン寿命時間計測	2010
	白井 正文	6,240	13,900	磁性体／誘導体ハイブリッド不揮発性メモリの理論設計	2010
	羽生 貴弘	5,330	14,000	不揮発性素子を用いた PVT バラつきフリー VLSI システムの基盤研究	2010
	岩谷 幸雄	8,450	14,500	音空間のアクティブリスニングに関する研究	2011
	栢 修一郎	5,200	15,400	非接触型ワイヤレス3Dトラックパッドの開発	2011
	北村 喜文	9,360	15,700	情報コンテンツの提示により変化する「場」の状態推定と制御に関する研究	2011
	三森 康義	10,790	15,200	半導体ドット中の励起子の光誘起縦電場効果	2011
	松倉 文礼	10,290	16,100	p型非磁性半導体におけるスピン流の生成と検出	2011
	櫻庭 政夫	5,980	15,700	IV 族半導体高度歪量子ヘテロ共鳴トンネル素子の高性能化プロセス	2011
基盤研究(C)	沢田 浩和	650	3,600	ミリ波 Vehicle Area Network (VAN) 伝送技術の研究	2009

研究種目	氏名	2011年度 交付金額	補助金総額	研究課題名	採択年度
基盤研究(C)	外山 芳人	1,300	2,800	書き換えシステムの合流性自動判定法の研究	2010
	大堀 淳	1,430	2,900	証明論に基づくコンパイラの系統的な構築法の研究	2010
	木下 哲男	1,820	3,200	エージェント組織の状態推測型動作制御機構に関する研究	2010
	坂本 一寛	1,300	3,100	ゲーム遂行における行動の階層的脳内表現と臨床応用	2010
	青戸 等人	1,430	3,900	定理自動証明における補題発見法に関する研究	2011
	松宮 一道	4,550	4,500	異種感覚情報の統合による手の自己所有感覚生成機構の解明とモデル化	2011
	坂本 修一	2,990	4,000	高度感性情報の抽出・提示を実現する視聴覚音声コミュニケーションシステムの構築	2011
	吹留 博一	3,640	4,200	基板微細加工を援用した選択的結晶成長によるグラフェンのナノ物性制御	2011
	池田 正二	3,640	4,200	極微細スピントロニクスデバイス形成技術の開発	2011
挑戦的萌芽研究	庭野 道夫	910	3,200	自立型脂質二分子膜に基づくシグナルチャンネル操作法の開発	2010
	上原 洋一	4,160	3,700	原子位置分解能を有するテラヘルツ光分光	2011
	石黒 章夫	1,820	2,800	ダイナミックテンセグリティから探る個体発生的時間スケールの構造適応様式	2011
若手研究(B)	本多 明生	1,040	2,800	日常生活における防犯心理：犯罪被害回避方略尺度の開発と防犯教育効果の実証的研究	2008
	夏井 雅典	1,170	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

単位：千円

研究種目	氏名	2011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)	平永 良臣	1,560	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
	北形 元	1,040	3,200	多様なセキュリティレベルを包括するユーザー・サイト認証法に関する基礎的研究	2010
	徳永 留美	910	3,100	背景色と証明色の変化に伴う液体の色知覚変化についての包括的測定とモデル化	2010
	三浦 良雄	2,080	3,200	強磁性体／半導体界面における結晶磁気異方性電界効果に関する理論研究	2010
	加納 剛史	2,470	3,100	這行様ロコモーションに内在する位相・筋緊張が連関した自律分散制御則の解明	2010
	高橋 秀幸	3,510	3,400	グリーン・ユビキタス環境において高齢者を支援するデータ統合制御技術の基礎的研究	2011
	高嶋 和毅	2,600	3,400	対人コミュニケーションにおける自走式椅子・机を用いた空間行動の誘導と対話支援	2011
	片野 諭	2,340	3,600	カーボンナノチューブのナノ構造制御と局所発光物性	2011
	佐藤 昭	1,430	3,300	グラフェン内テラヘルツプラズモンの理論解析とそのテラヘルツ波素子への応用	2011
	大脇 大	2,340	3,400	柔軟な足裏の変形から生み出される感覚運動協調に基づく動歩行制御	2011
研究活動スタート支援	青沼 有紀	1,105	1,950	赤外分光を用いた骨系細胞の力学応答現象計測	2010

※基金分については2011年度請求金額を記載

2. その他の外部資金

金額単位：千円

項目	件数	金額
民間との共同研究	48	115,889
受託研究	37	683,243
奨学寄付金	22	51,418

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	38,319	受入人数 8名

第2章 研究・学会活動状況

2. 1 国際活動

区 分		2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	合 計
海外派遣状況 (人数)		1 5 7	1 3 4	1 7 0	2 1 9	2 8 7	9 6 7
国際的研究集会・学会等での招待講演者数 (人数)		7 4	7 6	1 1 2	9 7	7 9	4 3 8
国際共同研究の実施状況 (件数)		3 3	4 1	3 9	3 6	3 1	1 8 0
外国人研究者の来訪状況 (人数)	1か月以上滞在	3	4	3	0	5	1 5
	1週間以上	5	8	7	6	2 3	4 9
	1か月未満						
外国人客員研究員の受入状況 (人数)		3	1	2	0	0	6
外国人教員の受入状況 [客員教授・客員准教授] (人数)		2	5	1 0	7	5	2 9

2. 2 発表論文数

区 分	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度	2011 年度	合 計
掲載された論文数 学 会 誌	1 6 3	1 8 9	1 9 2	1 9 0	1 7 2	9 0 6
国際会議議事録等	2 6 6	2 5 6	2 3 9	2 3 6	2 0 5	1, 2 0 2

2. 3 学会役員一覧 (2007～2011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	1	—	中村 慶久
日本磁気学会	名誉会員	1	2006.5～現在	中村 慶久
日本音響学会	会長	2	2005.5～2007.5	鈴木 陽一
日本視覚学会	会長	2	2007～2012	塩入 諭
情報処理学会	会長	2	2009～2011	白鳥 則郎
日本神経回路学会	理事	3	2011～現在	庭野 道夫
エレクトロニクス実装学会	理事	3	2010～2011	末松 憲治
応用物理学会	常任理事	4	2011～	末光 眞希
日本音響学会	理事	4	2001～現在	鈴木 陽一
日本騒音制御工学会	理事	4	2000.5～2008.5	鈴木 陽一
電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ	副会長 (編集出版担当)	3	2012～2013	八坂 洋
日本騒音制御工学会	評議員	6	2010.5～現在	鈴木 陽一
日本表面科学会	理事	4	2006～2009	玉田 薫
日本表面科学会	理事	3	2010～2011	庭野 道夫
日本神経回路学会	理事	4	2009～現在	中島 康治
電気学会	理事	4	2010～現在	中島 康治
日本磁気学会	理事	4	2009～現在	村岡 裕明
電子情報通信学会	理事	4	2009～2010	中沢 正隆
エレクトロニクス実装学会	理事	4	2010～現在	末松 憲治
日本バーチャルリアリティ学会	理事	4	2008～現在	北村 喜文
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	5	2010～2011	玉田 薫
レーザー学会	評議員	6	2003.6～現在	伊藤 弘昌
応用物理学会	評議員	6	1999～2007	伊藤 弘昌
応用物理学会	評議員	6	2008～現在	庭野 道夫
日本表面科学会	評議員	6	2001～現在	庭野 道夫
日本表面科学会	評議員	6	2010～現在	庭野 道夫
日本磁気学会	評議員	6	2007～現在	石山 和志
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	6	2006.4～現在	鈴木 陽一
日本騒音制御工学会	評議員	6	2010.5～現在	鈴木 陽一
日本物理学会	評議員	6	2009～現在	庭野 道夫
日本ソフトウェア科学会	評議員	6	2004～現在	大堀 淳
プラズマ核融合学会	評議員	6	2006～2008	犬竹 正明
日本音響学会	評議員	6	2008～現在	岩谷 幸雄
日本音響学会	評議員	6	2011～現在	坂本 修一
ヒューマンインターフェース学会	評議員	6	2007～現在	北村 喜文
映像情報メディア学会	評議員	6	2005.4～2007.6	沼澤 潤二
映像情報メディア学会	諮問評議委員	7	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	1999.6～現在	羽生 貴弘
IEEE Magnetic Society	Distinguis hed 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
IEEE Sendai Section	Chair	2010～2011	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
IEEE Magnetic Society	Administra tion Committee	2011～現在	村岡 裕明

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 員 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	ハルピン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構 築に関する研究		○		○	○	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 ェストフィールドカ レッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の 測定に関する研究		○		○	○	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 マルセイユナノサイ エンス学際センター	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)	2009.12.9	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
教授 室田淳一	スペイン	ビゴ大学	2011.2.25	電気通信研究所附属ナ ノ・スピン実験施設を ナノエレクトロニクス 国際共同拠点としてい く	○	○		○	○		継続
教授 室田淳一	アメリカ	ニューヨーク州立大 学	2011.9.30	電気通信研究所附属ナ ノ・スピン実験施設を ナノエレクトロニクス 国際共同拠点としてい く	○	○					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	コンピエンヌ工科大 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

研究・学会活動状況

教授 大野英男	アメリカ	ハーバード大学	2010.7.22	共同研究を推進し、教職員の交流を積極的に行う	○	○				継続
教授 大野英男	ドイツ	カイザースラウテルン工科大学	2012.2.1	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				継続
教授 大野英男	ドイツ	ヨハネスグーテンベルグ大学	2012.2.6	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				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
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～H24.9.30	半導体における核スピニコヒーレンスの制御に関する研究
稲垣 卓弘	H22.4.1～H24.3.31	磁気光学効果による半導体量子井戸中の電子スピン状態トモグラフィ測定
藪野 正裕	H22.4.1～H24.3.31	超伝導転移端センサを用いた光子数識別器の開発とシュレーディンガーの猫状態の生成
金 性勲	H22.4.1～H24.3.31	機能性医療用マイクロロボットシステムの開発
関 鵬宇	H22.4.1～H24.3.31	超高速光通信技術に関する研究
柏瀬 啓起	H22.4.1～H24.3.31	定常的視覚誘発電位による視覚的注意の時空間特性の検討
水沼 広太郎	H23.4.1～H26.3.31	垂直磁気異方性電極を用いた磁気トンネル接合に関する研究
渡辺 隆之	H23.4.1～H26.3.31	グラフェンの非平衡キャリアダイナミクスを利用した新原理テラヘルツレーザの研究

教育研究支援者

氏名	任用期間	研究内容
犬竹 正明	H23. 4. 1～H24. 3. 31	「リアルタイム画像処理合成開口レーダーの実用化に関する技術開発」に関する研究
多田 順次	H23. 4. 1～H24. 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
目黒 敏靖	H23. 4. 1～H24. 3. 31	電子ビーム露光によるレジスト等有機材料の高精度・極微細パターン形成
千葉 洋平	H23. 4. 1～H23. 11. 30	ナノヘテロプロセスに関する研究
坪内 和夫	H23. 4. 1～H24. 3. 31	JST CREST「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」プログラムに関する研究統括
Johan Leif Arne SVEHOLM	H23. 4. 1～H24. 3. 31	やわらかい情報処理の概念に基づくネットワークシステムの高度な保守・管理・運用に関する研究開発
HAAPOLA JUSSI PEKKA	H23. 4. 1～H24. 5. 31	「ミリ波センサシステムの開発」に関する研究補助
RAHMAN MOHAMMAD MAKSUDUR	H23. 4. 1～H24. 3. 31	有機系太陽電池に関する研究
西村 容太郎	H23. 4. 1～H24. 3. 31	震災復興のためナノスピンの実験施設復興プロジェクト
BOUBANGA TOMBET STEPHANE ALBON	H23. 5. 1～H23. 9. 30	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所-MIT 電子工学研究所国際共同プログラム (RIEC-RLE Project)」に関する研究補助

外国人研究員

氏名	任用期間	研究内容
SUBRAMANIAN SRIRAM	H23. 6. 15～H23. 7. 31	スピントロニクス素子とその応用に関する研究
FILIMONOV SERGEY	H23. 10. 3～H23. 11. 30	超低圧CVDによるSi上SiC成長の理論的研究
DAS INDRANIL	H23. 10. 27～H23. 12. 26	スピントロニクスデバイスの電氣的制御に関する研究
CABRERA DENSIL ANDREW	H24. 1. 1～H24. 2. 5	高次アンビソニック法を用いた音声の室内音響レンダリングシミュレーションに関する研究
SHKLYAEV ALEXANDER ANDREEVITCH	H24. 1. 4～H24. 2. 29	IV族半導体原子制御プロセスに関する研究

2. 6 特別研究員・大学院生等受入状況

単位：人

		2007年度		2008年度		2009年度		2010年度		2011年度		合 計	
特別研究員		5		7		11		11		9		43	
大学院生	博士課程 後期	46	(9)	47	(12)	52	(17)	41	(17)	45	(17)	231	(72)
	博士課程 前期	121	(10)	127	(8)	133	(6)	146	(17)	151	(24)	678	(65)
研究所等研究生		3	(1)	8	(7)	17	(15)	17	(15)	10	(7)	55	(45)
特別訪問研修生 (2010. 10. 5～)		-	(-)	-	(-)	-	(-)	0	(0)	2	(2)	2	(2)

() の数は留学生で内数

2. 7 広報活動と情報公開

開催行事

1. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第12回国際多感覚研究フォーラム」 12 th International Multisensory Research Forum (IMRF2011)	2011年10月17日(月)～20日(木)
2. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第8回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ」 The 8th RIEC International Workshop on Spintronics	2012年2月2日(木)～3日(金)
3. 電気通信研究所国際シンポジウム 「メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス第6回国際シンポジウム」 The Sixth International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics	2012年3月8日(木)
4. 電気通信研究所国際シンポジウム 「第3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」 3 rd International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	2012年3月21日(水)～22日(木)
5. 電気通信研究所工学研究会	随時
6. 電気通信研究所産学官フォーラム	2011年11月18日(金)
7. 電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会	2012年3月2日(金)

出版物

1. 電気通信研究所要覧(和文・英文)	年1回発行
2. 電気通信研究所研究活動報告(和文・英文)	年1回発行
3. 東北大学電通談話会記録	年2回発行
4. ナノ・スピン実験施設研究報告書	年1回発行
5. 電気通信研究所ニュースレター(RIEC NEWS)	年3回発行

その他

1. 電気通信研究所ホームページ	公開中
2. 電気通信研究所総覧 Web 公開	公開中
3. 電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中

第3章 論文題目

3. 1 修士論文題目

電気・通信工学専攻

題 目	著者	指導教員
MTJ素子を用いた完全並列形高密度不揮発TCAMの構成に関する研究	勝俣 翠	羽生 貴弘
制御情報共有化に基づく非同期細粒度パワーゲーティング技術とその応用に関する研究	河野 宇朗	羽生 貴弘
「反射体を用いたミリ波屋内通信接続性改善に関する研究」	高橋 俊也	加藤 修三
脚式ロコモーションにおける脚内協調を実現する自律分散制御則に関する研究	糸澤 祐太	石黒 章夫
足部の変形から生み出される表在感覚情報を活用した適応的二脚歩行制御に関する研究	久保 翔達	石黒 章夫
身体の力学的特性を活用した脚間協調に基づく四脚ロボットの歩容遷移	長澤 昂	石黒 章夫
流体力学的相互作用を活用した群ロボットの自己組織的群れ形成に関する研究	藤原 亮	石黒 章夫
ミミズの這行様ロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究	八重樫 和之	石黒 章夫
光入力による生体由来筋細胞の駆動制御に関する研究	八幡 慎太郎	石黒 章夫
Anisotropy Control Methods Based on Inverse-Magnetostriction (逆磁歪効果を利用した異方性制御手法)	SHIN JAE WON	石山 和志
Wireless pressure sensing using magnetic data transmission (磁気伝送によるワイヤレス圧力計測)	ZHANG FANG YONG	石山 和志
狭トラック垂直記録におけるトラック端記録分解能の研究	小熊 実	村岡 裕明
ストレージシステムのファイルアクセス高速化に関する研究	黒川 大樹	村岡 裕明
ビットパターン媒体の記録再生特性の測定法に関する研究	白幡 一樹	村岡 裕明
垂直磁気記録における記録磁化転移幅に関する研究	津嶋 宏志	村岡 裕明
Research on Nyquist Optical Pulse Transmission (光ナイキストパルス伝送に関する研究)	阮 蓬	中沢 正隆
超多値QAMコヒーレント光伝送に関する研究	小泉 雄貴	中沢 正隆
C ₂ H ₂ 周波数安定化Cs光原子時計に関する研究	鈴木 文崇	中沢 正隆
フェムト秒光パルスを用いた超高速光伝送に関する研究	富山 祐太郎	中沢 正隆
コヒーレント光伝送におけるデジタル信号処理の高度化に関する研究	豊田 和志	中沢 正隆
CNT可飽和吸収体によるフェムト秒ファイバレーザに関する研究	堀 雄一郎	中沢 正隆

論文題目

題 目	著者	指導教員
窒化物半導体によるミリ波用高電子移動度トランジスタの高性能化に関する研究	鹿野 優毅	尾辻 泰一
プラズモン共鳴を利用したテラヘルツ電磁波発生・検出とそのイメージング応用に関する研究	谷本 雄大	尾辻 泰一
InGaAs チャネル高電子移動度トランジスタ高速化のためのプロセス技術に関する研究	吉田 智洋	尾辻 泰一
Broadband Low Noise Amplifier Design in Scaled CMOS Technology (微細 CMOS テクノロジーによる広帯域低雑音増幅器の設計)	ベン・パトリック	榊井 昇一
微細 CMOS テクノロジーにおけるアナログ回路設計の研究	楊 穎	榊井 昇一
ディペンダブル無線通信端末用ミリ波 Si-CMOS 受信フロントエンドの研究	五明 克規	末松 憲治
広域無線通信用シングルキャリア/マルチキャリアハイブリッドシステムの研究	三宅 裕士	末松 憲治

電子工学専攻

題 目	著者	指導教員
デジタルミラーデバイスを用いた化学イメージングシステムの開発	嶋原 教子	吉信 達夫
化学イメージセンサを用いた微小流路内のイオン濃度プロファイル測定	市村 裕貴	吉信 達夫
LAPS-微小流路システムにおける反応制御に関する研究	平山 裕介	吉信 達夫
スタンドアロン型化学イメージングシステムの開発とその応用	松尾 顕	吉信 達夫
シリコン細線マイクロリング共振器を用いた光子対発生	加藤 拓己	枝松 圭一
高密度半導体量子ドットにおける単一励起子状態の観測および制御	関 圭介	枝松 圭一
Cavity Design for One-Dimensional Interaction between Photons and a Solid-State Electronic System (光子と固体電子系との一次元相互作用のための共振器の設計)	陳 浩	枝松 圭一
高度歪IV族半導体ヘテロ量子構造デバイスに関する研究	金澤 隼人	室田 淳一
CVD 原子層成長による高度歪IV族半導体の形成に関する研究	菊地 登茂平	室田 淳一
プラズマによる高度歪IV族半導体ヘテロ構造の形成に関する研究	田丸 直樹	室田 淳一
有限差分時間領域法による走査トンネル顕微鏡発光の解析	飯田 航	上原 洋一
CoFeB/MgO 積層構造の磁気異方性に関する研究	小泉 遼平	大野 英男
InAs/AlSb 量子カスケードレーザにおける磁場中の発振特性に関する研究	佐藤 啓貴	大野 英男
強磁性半導体中の磁壁運動による起電力生成に関する研究	鈴木 淳士	大野 英男
金・銀ナノ粒子混合 2次元膜の局在表面プラズモン共鳴波長チューニング	今津 圭介	庭野 道夫
水クラスターイオンの表面吸着・脱離過程に関する研究	岡田 健太	庭野 道夫

題 目	著者	指導教員
酸化チタンナノチューブを用いたガスセンサに関する研究	木村 昭太	庭野 道夫
鉄窒化物電極トンネル磁気抵抗素子の伝導特性に関する理論研究	永田 絵梨子	白井 正文
垂直磁気トンネル接合における界面磁気異方性に関する理論研究	森 大樹	白井 正文
外部信号光注入による半導体レーザ光源高速制御の研究	石原 啓樹	八坂 洋
半導体マッハツェンダ変調器を用いた波長可変周波数コムブロック発生光源の研究	人見 晃太郎	八坂 洋
有機シランによる立方晶 SiC 薄膜成長とエピタキシャルグラフェン形成に関する研究	今泉 京	末光 眞希
パルス電界大気圧プラズマ CVD の Si 薄膜トップゲート型 TFT 応用に関する研究	植澤 裕史	末光 眞希
グラフェン FET のゲート絶縁膜に関する研究	全 春日	末光 眞希
シリコンウエハ上エピタキシャルグラフェン成膜に関する研究	陳 飛	末光 眞希

情報基礎科学専攻

題 目	著者	指導教員
名目書き換えに基づく高階定理自動証明	鈴木 聖耶	外山 芳人
永続性に基づく合流性判定法	鈴木 翼	外山 芳人
減少ダイアグラム法に基づく可換性判定法	的場 正樹	外山 芳人
能動的情報資源の協調による多地点トラフィック計測に関する研究	佐野 一樹	木下 哲男
能動的情報資源のためのメタ情報獲得に関する研究	丹治 直幸	木下 哲男
能動的情報資源に基づくネットワーク管理システムの保守性向上に関する研究	槻木澤 光紘	木下 哲男
人間性・社会性を考慮した情報サービス構築に関する研究	半井 明大	木下 哲男

システム情報科学専攻

題 目	著者	指導教員
物体配置表象の座標系に関する研究	土合 大河	塩入 諭
視覚系の色と形の結合における局所特徴処理と大域特徴処理の比較	繆 仁軍	塩入 諭
頭部運動に基づく視線位置推定に関する研究	方 昱	塩入 諭
両眼間抑制を用いた色恒常性メカニズムに関する研究	堀内 孝治	塩入 諭
単独・集団複合移動アニメーションにおける個体間の同期に関する研究	熊谷 一生	北村 喜文
群衆シミュレーションのための手書きによるパラメータ入力手法に関する研究	佐藤 歩夢	北村 喜文
映像先読みによる視線予測モデルに関する研究	飛澤 健太	北村 喜文
食品写真を対象としたコンテンツ知覚特性の評価とその応用	富士原 正彦	北村 喜文
人物被写体を対象とした光源推定技術に関する研究	松崎 康平	北村 喜文

論文題目

題 目	著者	指導教員
有害コンテンツ自動判定のための画像解析手法に関する研究	松本 大輔	北村 喜文
帯域間の相対レベルに基づいた正中面定位モデルに関する研究	曲谷地 哲	鈴木 陽一
視聴覚コンテンツの臨場感と迫真性の規定因に関する研究	神田 敬幸	鈴木 陽一
視聴覚統合下における音の大きさの恒常性	佐藤 裕介	鈴木 陽一
音響格子ガスオートマトン法による音場解析に関する研究	竹内 智晴	鈴木 陽一
球状アレイを用いた実時間高精度3次元收音・提示システムの実現	松永 純平	鈴木 陽一
シェルスクリプトと型付き関数型言語の連携に関する研究	菊池 大志	大堀 淳

応用情報科学専攻

題 目	著者	指導教員
量子ビット応用に向けたジョセフソン接合列の集団的力学特性に関する研究	片山 秀瑛	中島 康治

3. 2 博士論文題目

電気・通信工学専攻

題 目	著 者	指導教員
クモヒトデのロコモーションに内在する腕運動の自己組織的機能分化メカニズムに関する研究	渡邊 航	石黒 章夫
Magneto-Mechatronics: Magnetic Wireless Actuators and Applications (磁気メカトロニクス: ワイヤレス磁気アクチュエータとその応用)	KIM SUNG HOON	石山 和志
周波数領域等化を用いたディペンダブルワイヤレスシステム受信機の研究	小松 和寛	末松 憲治
小型無線端末用 60GHz 帯 3次元ビームフォーミングアレーアンテナの研究	吉田 賢史	末松 憲治
デジタル制御による周波数シンセサイザの高性能化・高機能化に関する研究	田島 賢一	末松 憲治
時間領域光フーリエ変換法による超高速光伝送技術に関する研究	関 鵬宇	中沢 正隆
Design of Low-Energy Fractional-N PLL Frequency Synthesizer (低消費エネルギー分数型 PLL 周波数シンセサイザの設計)	李 竣圭	梶井 昇一
ミリ波超高速通信システム用離散移相制御ビームフォーミングアンテナ技術に関する研究	佐藤 洋介	加藤 修三
電子制御自動車用ワイヤレスハーネス通信方式に関する研究	藤田 和矢	加藤 修三
Study on InP- and GaAs-Based Plasma-Wave Transistors for Emission and Detection of Terahertz Radiation (InP 系および GaAs 系プラズマ波トランジスタのテラヘルツ電磁波放射・検出に関する研究)	EL MOUTAOUAKIL AMINE	尾辻 泰一

電子工学専攻

題 目	著 者	指導教員
二周期直列擬似位相整合素子を用いた通信波長帯量子もつれ光子対発生	上野 若菜	枝松 圭一
半導体量子構造における電子スピンコヒーレンスの光学的生成および測定の研究	稲垣 卓弘	枝松 圭一
多光子束縛量子もつれの発生とその活性化の研究	金田 文寛	枝松 圭一
通信波長帯における周波数無相関光子対発生と多光子量子干渉の研究	藪野 正裕	枝松 圭一
Studies on Graphene Field Effect Transistors: Process and Design for High Performance Applications (グラフェン電界効果トランジスタに関する研究—高性能化に向けてのプロセスと設計—)	鄭 明鎬	末光 眞希

論文題目

題 目	著 者	指導教員
シリコン基板上立方晶炭化ケイ素薄膜の低温・高速エピタキシャル成長に関する研究	齋藤 英司	末光 眞希
半導体量子構造における電子・核スピンドYNAMIKSの制御と光検出	石原 淳	大野 英男
強磁性金属における磁気特性の電界効果に関する研究	金井 駿	大野 英男
Studies on 3C-SiC/Si Epitaxial Growth Using Monomethylsilane and Its Applications (モノメチルシランを用いた Si 基板上 3C-SiC 薄膜のエピタキシャル成長とその応用に関する研究)	Rolando Bantaculo ROLANDO BANTACULO	末光 眞希
Development of Pure Single Photon Source and Its Application in Quantum Optics (純粋単一光子源の開発とその量子光学への応用)	金 鋭博	枝松 圭一
半導体における核スピニコヒーレンスの制御に関する研究	小野 真証	大野 英男
Studies on In-situ Formation of Silicon Quantum Dots in Dielectric Matrix (誘電体マトリックス中シリコン量子ドットの「その場」形成に関する研究)	金 泰燁	末光 眞希

情報基礎科学専攻

題 目	著 者	指導教員
利用者指向情報通信システムにおける領域オントロジの表現と利用に関する研究	和泉 諭	木下 哲男

システム情報科学専攻

題 目	著 者	指導教員
Temporal Dynamics of Visual Attention Shifts: Psychophysical and Electrophysiological Investigation (視覚的注意移動の時間的ダイナミクス: 心理物理学的・電気生理学的検討)	柏瀬 啓起	塩入 諭
音声知覚における視聴覚統合に関する研究	浅川 香	鈴木 陽一

応用情報科学専攻

題 目	著 者	指導教員
高次結合化逆関数遅延神経回路による汎用組合せ最適化問題の解探索システムに関する研究	曾田 尚宏	中島 康治

第4章 受章・受賞

4. 1 本年度の受章・受賞者

賞名	氏名	所属分野・部・センター	業績
日本音響学会第3回学生優秀発表賞	古根 史雅	先端音情報システム研究	日本音響学会2011年春季研究発表会において発表した論文「直線・等加速度自己運動による音空間の歪み」に対する表彰
Global Symposium on Millimeter Waves 2011 Student Paper Award	佐藤 洋介	ユビキタス通信システム研究	博士課程前期における優れた研究業績に関して
第1回VDEC デザインワード 奨励賞	徐 祖乐	マイクロアーキテクチャ研究	Fractional-N PLLシンセサイザ用Self-Dithering方式の開発に関して
情報ストレージ研究推進機構 論文論 2010	青井 基 島津 武仁	研究開発部ストレージ分野 IT21センター	Microwave assisted magnetization switching in Co/Pt multilayer J. Appl. Phys., Vol. 109, 07B748 (2011) S. Okamoto, N. Kikuchi, O. Kitakami, T. Shimatsu, and H. Aoi
日本ソフトウェア科学会 基礎研究賞	大堀 淳	ソフトウェア構成研究	「型システムを用いたプログラミング言語実現に関する研究」は、ソフトウェアの基礎分野における顕著な業績と認められる
平成22年度 日本素材物性学会・ 山崎賞	岩谷 幸雄 木下 哲男	先端音情報システム研究 コミュニケーション ネットワーク研究	International Journal of the Society of Materials Engineering for Resourceに掲載された” Network Anomaly Detection Based on R/S Pox Diagram” に対して
Siエピタキシ&ヘテロ構造に関する国際会議 (Leuven, Belgium, Aug. 28-Sep. 1, 2011)・ Best Poster Award	川島 知之	ナノヘテロプロセス研究	Siエピタキシ&ヘテロ構造に関する国際会議における優れたポスター発表 「Behavior of N Atoms after Thermal Nitridation of Si1-xGex Surface」
平成23年度 日本表面科学会論文賞	末光 眞希 吹留 博一 他9名	固体電子工学研究	Raman-Scattering Spectroscopy of Epitaxial Graphene Formed on SiC Film on Si Substrate
電子情報通信学会・ フェロー	高木 直	研究開発部モバイル分野 IT21センター	小型・高効率マイクロ波半導体回路の研究・実用化
電子情報通信学会・ フェロー	鈴木 陽一	先端音情報システム研究	「聴覚知覚過程の理解深化と音通信システムの高度化」に関して顕著な貢献が認められ、同学会に大きく貢献した
トムソン・ロイター社・ トムソン・ロイター引用 栄誉賞（ノーベル賞有力 候補者）	大野 英男	半導体スピントロニクス 研究	「希薄磁性半導体における強磁性の特性と制御に関する研究」
日本バーチャリアリ ティ学会・第16回論文賞	寺本 渉 鈴木 陽一	元科研費研究員, 現室蘭工大助教 先端音情報システム研究	論文誌第15巻(2010)第1号に掲載された「臨場感の素朴な理解」がバーチャリアリティ研究の発展に貢献する、優れた論文として選出された
日本磁気学会・平成23年 度学術奨励賞（内山賞）	白幡 一樹	情報ストレージシステム 研究	論文「スタティックテストによるパターン媒体の記録マージンの測定」に対して「平成23年度学術奨励賞」を受賞
NTF Award Finalist for Entertainment Robots and Systems (IROS2011)	佐藤 貴英 加納 剛史 石黒 章夫	実世界コンピューティング 研究	エンターテインメント・ロボットの基盤技術創成への貢献に関して

受賞・受章

賞名	氏名	所属分野・部・センター	業績
日本音響学会 聴覚研究会研究奨励賞	曲谷地 哲	先端音情報システム研究	「4～8kHz帯域のレベル変化が広帯域音の正中面音像定位に与える影響」曲谷地哲, 岩谷幸雄, 大谷真, 鈴木陽一の発表に対して
第19回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2011) ・学生奨励賞	Khamisi Kalegele	コミュニケーションネットワーク研究	発表論文「Dynamic Numerosity Reduction for Mining-Based Agent Learning」に対して
European Microwave Association・4th European Microwave Week Student Challenge 1st Prize	タ トアン タン	先端ワイヤレス通信技術研究	RF/Radar Based Safe Mobility Aid for the Age-defying Population
1st International Symposium on Terahertz Nanoscience (TeraNano 2011) ・ Young Researcher Award	佐藤 昭	超ブロードバンド信号処理研究	ポスター発表 タイトル: "Population Inversion in Optically Pumped Graphene: Effect of Carrier-Carrier Scattering" 著者: A. Satou, T. Otsuji, V. Ryzhii, and F. T. Vasko
1st International Symposium on Terahertz Nanoscience (TeraNano 2011) ・ Young Researcher Award	福嶋 哲也	超ブロードバンド信号処理研究	ポスター発表 タイトル: "Observation of Stimulated Emission from Optically Pumped Graphene by Using Terahertz Photon Echoes" 著者: T. Fukushima, T. Watanabe, Y. Tanimoto, S. Boubanga Tombet, A. Satou, T. Otsuji
IEEE Sendai Section Student Award 2011 「The Encouragement Prize」	小林 玲仁	学際科学国際高等研究センター 遠藤哲郎研究室	平成23年度電気関係学会東北支部連合大会における「IEEE Student Section」での発表の中から、優れた内容の発表者を表彰するもの
IEEE Sendai Section Student Awards 2011 "The Best Paper Prize"	王 怡昕	超高速光通信研究	A precise OPLL circuit employing narrow linewidth LDs and its application to coherent optical QAM transmission
日本NIアプリケーションコンテスト2011学生部門優秀賞	松永 純平	先端音システム情報研究	「252ch球状マイクロホンアレイを用いた高精度收音システム」の構築に対して
平成23年度電気関係学会東北支部連合大会 IEEE Sendai Section Student Award 2011 「The Best Paper Prize」	福嶋 哲也	超ブロードバンド信号処理研究	口頭発表 タイトル: "Observation of Stimulated Emission from Optically Pumped Graphene by Using Terahertz Photon Echoes" 著者: T. Fukushima, T. Watanabe, Y. Tanimoto, S. Boubanga Tombet, A. Satou, T. Otsuji
(社)発明協会・平成23年度関東地方発明表彰発明奨励賞	末松憲治	先端ワイヤレス通信技術研究	変調器 (特許第4413747号)
(財)石田 (實) 記念財団平成23年度研究奨励賞	小坂 英男	量子光情報工学研究	「ハイブリッド量子通信システムの構築へ向けた光子-電子スピン量子メディア変換の研究」に対して
電子情報通信学会2011年光通信システム研究会奨励賞	大宮 達則	超高速光通信研究	周波数分割多重64 QAM-OFDM信号 (420 Gb/s) の160 km伝送
計測自動制御学会東北支部優秀発表奨励賞	長澤 昂	実世界コンピューティング研究	計測自動制御学会東北支部第269回研究集会における優秀な講演に対して
計測自動制御学会システムインテグレーション部門賞 若手奨励賞	佐藤 貴英	実世界コンピューティング研究	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門 (SI2010)における若手の優秀な講演に対して

賞名	氏名	所属分野・部・センター	業績
第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2011)優秀講演賞	石黒 章夫 加納 剛史 鈴木 翔太 渡邊 航	実世界コンピューティング研究	腕運動の自発的役割分担生成を可能とするクモヒトデ型ロボットの自律分散制御
日本視覚学会・鵜飼論文賞	塩入 諭 栗木 一郎 松宮 一道 山崎 隆紀	高次視覚情報システム研究	学術誌VISIONに掲載された原著論文の中で優れた論文に関して
電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ電子デバイス研究専門委員会論文発表奨励賞	谷本 雄大	超ブロードバンド信号処理研究	当該委員会主催の電子デバイス研究会において発表された論文の中から優秀なものを表彰する。発表論文題目「非対称二重回折格子状ゲート電極を有するInAlAs/InGaAs/InP HEMTを用いた超高感度プラズモニックテラヘルツ波検出器」
第14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 PPL2012論文賞	外山 芳人 青戸 等人 鈴木 翼	コンピューティング情報理論研究	論文「永続性にもとづく項書き換えシステムの合流性証明」に対して
団体名：IEEE 賞名：Certificate of Appreciation (感謝状)	加藤 修三	ユビキタス通信システム研究	IEEE Standard 802.15.6(Wireless Body Area Networks)における優れた標準化活動への貢献
第12回応用物理学会業績賞(研究業績)	大野 英男	半導体スピントロニクス研究	「半導体スピントロニクスにおける先駆的研究」によるもの
平成23年度東北大学大学院工学研究科長賞	小野 真証	半導体スピントロニクス研究	博士論文「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」
電子情報通信学会・エレクトロニクスソサイエティ活動功労表彰	末光 哲也	超ブロードバンド信号研究	電子情報通信学会論文誌編集幹事としての貢献
平成23年度東北大学総長賞	柏瀬 啓起	高次視覚情報システム研究	博士課程における優れた研究業績に関して
平成23年度東北大学大学院情報科学研究科長賞	柏瀬 啓起	高次視覚情報システム研究	博士課程における優れた研究業績に関して
平成23年度東北大学総長賞	関 鵬宇	超高速光通信	時間領域光フーリエ変換法による超高速光伝送技術に関する研究
平成23年度東北大学大学院工学研究科電気・情報系優秀賞	金井 駿	半導体スピントロニクス研究	修士論文「強磁性金属における磁気特性の電界効果に関する研究」

4. 2 学会フェロー

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
電子情報通信学会	鈴木 陽一
電子情報通信学会	高木 直
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
日本ソフトウェア学会	大堀 淳
日本バーチャルリアリティ学会	鈴木 陽一
日本バーチャルリアリティ学会	北村 喜文

第5章 トピックス

記事名	掲載年月日	出典
東北大 先端研究施設に打撃	2011年 5月10日	朝日新聞
Broader 4G Wireless Access Will Accelerate Economic Development and Improve Quality of Life in Rural and Developing Regions of the World, Say IEEE Wireless Experts	2011年 5月16日	IEEE ニュース リリース Web 版 http://www.ieee.org/about/news/2011/16may_2_2011.html
University of York シンポジウム	2011年 6月	JSPS London Newsletter
待機電力ゼロに 半導体で新技術	2011年 6月14日	Fuji Sankei Business i.
待機電力ゼロ可能	2011年 6月14日	河北新報
画期的な省エネ・節電新技術	2011年 6月14日	電波新聞
待機電力ゼロ LSI 開発	2011年 6月14日	読売新聞
待機電力不要の電子回路	2011年 6月14日	日刊工業新聞
家電、待機電力ゼロに	2011年 6月14日	日経産業新聞
待機電力ゼロの集積回路	2011年 6月15日	日刊工業新聞
IEEE 802.15.3c: The First IEEE Wireless Standard for Data Rates over 1 Gb/s	2011年 7月	IEEE Communications Magazine
視覚処理で3次元認識	2011年 7月6日	河北新報
無線 LAN 新たな挑戦 -テレビ、白物、スマートグリッドを射程に-	2011年 9月5日	日経 エレクトロニクス
Y el Nobel va a ser para...	2011年 9月22日	El Pais 新聞 (スペイン)

東北大教授 ノーベル賞「有力」	2011年 9月22日	サンケイ エクスプレス
有力24人を発表	2011年 9月22日	スポーツニッポン
ノーベル賞候補	2011年 9月22日	スポーツ報知
ノーベル物理学賞 東北大・大野教授が有力	2011年 9月22日	河北新報
ノーベル賞に「大野氏有力」と予想	2011年 9月22日	産経新聞
ノーベル賞 大野・東北大教授「有力」	2011年 9月22日	朝日新聞
大野氏ら有力候補	2011年 9月22日	東京新聞
大野教授 ノーベル賞「有力」	2011年 9月22日	読売新聞
ノーベル賞に大野教授有力	2011年 9月22日	日刊スポーツ新聞
大野氏を予想 ノーベル賞有力候補	2011年 9月22日	日刊工業新聞
ノーベル物理学賞候補 東北大・大野教授を予測	2011年 9月22日	日経産業新聞
大野氏ノーベル賞有力か	2011年 9月22日	日本経済新聞
大野・東北大教授 「ノーベル賞有力」	2011年 9月22日	毎日新聞
技術で創る未来 社会を変える日本の研究	2011年 9月27日	日経産業新聞
「ノーベル賞候補」の東北大学 大野氏が招待講演	2011年 9月28日	Tech on!-日経エレクトロニクス
大野先生取材記事	2011年 9月29日	週刊新潮
東北大学、STT-MTJを使った不揮発性MRAMを開発	2011年 9月30日	Tech on!-日経エレクトロニクス
東北大学、MTJベースの不揮発性ロジック・エレメント開発	2011年 9月30日	Tech on!-日経エレクトロニクス
ノーベル賞 科学力測る“バロメーター”	2011年 9月30日	日刊工業新聞

東北大学、MTJ ベースの不揮発性ロジック・エレメント開発、電池駆動の超低電力 FPGA などに道	2011 年 9 月 30 日	Tech-On! (http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20110930/198815/)
先端人 「新産業の軸に」 思い強く	2011 年 10 月 13 日	日経産業新聞
へび型ロボット・クモヒトデ型ロボットの紹介	2011 年 10 月 26 日	大! 天才テレビくん (テレビ出演)
東北大学、高速・小面積の不揮発性 TCAM を開発、MTJ 技術でセル面積を縮小	2011 年 11 月 4 日	Tech-On! (http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/2011104/200476/)
待機電力ゼロの不揮発性 FPGA に向け、MTJ ベースの 6 入力 LUT を発表	2011 年 11 月 4 日	Tech-On! (http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/2011104/200477/)
プロセス・ばらつき対策にも有効なスピントロニクス技術、MTJ でしきい値を最適化	2011 年 11 月 4 日	Tech-On! (http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/2011104/200478/)
グラフェンで作り分け	2011 年 11 月 16 日	日刊工業新聞
グラフェンで電子素子	2011 年 11 月 16 日	日経産業新聞
次世代メモリー開発へ	2011 年 12 月 6 日	河北新報
待機電力ゼロ LSI、動作速度 1.5 倍に	2011 年 12 月 6 日	日刊工業新聞
共同で次世代メモリー	2011 年 12 月 6 日	日経産業新聞
東京エレクトロンと東北大、次世代メモリー共同開発	2011 年 12 月 6 日	日経速報ニュース
次世代メモリー共同開発	2011 年 12 月 6 日	日本経済新聞

省電力、速度 1.5 倍	2011 年 12 月 8 日	日経産業新聞
垂直 MTJ で DRAM 代替へ、ロジックは回路技術で補う	2011 年 12 月 12 日	日経 エレクトロニクス
日本に新たなノーベル賞候補	2011 年 12 月 12 日	日経 エレクトロニクス
主記憶と論路 LSI を不揮発に、パラダイム・シフトを起こせるか	2011 年 12 月 12 日	日経 エレクトロニクス
日本に新たなノーベル賞候補	2011 年 12 月 12 日	日経 エレクトロニクス
世界の設計者が集う拠点を日本につくりたい	2011 年 12 月 12 日	日経 エレクトロニクス
半導体における強磁性の研究	2011 年 12 月 23 日	H23 科研費 NEWS
第 29 回日本ロボット学会学術講演会開催レポート	2012 年 1 月号	ロボコンマガジン
東北大 読み書き高速 MRAM 微細化、線幅 40 根の実現	2012 年 1 月 12 日	日経産業新聞
半導体の復権 東北から	2012 年 1 月 19 日	日本経済新聞
大野英男さんに聞く : 科学ってそもそも何だろう?	2012 年 2 月 16 日	宮城の新聞
HD 容量、7 倍以上に 東北大など 規則的に磁性粒子配置	2012 年 2 月 24 日	日経産業新聞
災害時にも対応できる高信頼無線 ICT 技術	2012 年 3 月 10 日	電波技術協会報 2012 年 3 月号 No. 285

付録 教員の最終学歴（大学または大学院）

最終学歴	教授	准教授	講師	助教	計
東北大学	13	7		8	28
東京大学	1	2		2	5
九州大学	1				1
名古屋大学	1				1
東京工業大学	3	2		3	8
大阪大学	2	2		4	8
大阪府立大	1				1
米国ペンシルバニア大学	1				1
九州工業大学	1				1
京都大学				2	2
北陸先端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				1	1
神戸大学				1	1
会津大学				1	1
立命館大学				1	1
合 計	25	17	0	25	67

教員の充足率

		教 授	准教授及び講師	助 教	計
2006.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	27	17	29	73
	充足率	103.80%	73.90%	90.60%	90.10%
2007.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	24	16	29	69
	充足率	92.30%	69.60%	90.60%	85.20%
2008.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	30	18	28	76
	充足率	115.40%	78.30%	87.50%	93.80%
2009.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	29	18	24	71
	充足率	111.50%	78.30%	75.00%	87.70%
2010.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	26	18	28	72
	充足率	100.00%	78.30%	87.50%	88.80%
2011.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	27	17	30	74
	充足率	103.80%	73.90%	93.80%	91.40%
2012.4.1 現在	定 員	26	23	32	81
	現 員	25	17	25	67
	充足率	96.20%	73.90%	78.10%	82.70%

構 成 員

(平成 24 年 3 月 1 日現在)

所長 (併)・教授 中 沢 正 隆

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室

教 授	上 原 洋 一
助 教	片 野 諭

■量子光情報工学研究室

教 授	枝 松 圭 一
教 授 (兼)	中 尾 光 之
准教授	小 坂 英 男
”	三 森 康 義
准教授 (兼)	片 山 統 裕
事務補佐員	長 岡 亜紀子

■固体電子工学研究室

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室

教 授	長 康 雄
教 授 (兼)	梅 村 晋一郎
助 教	平 永 良 臣
”	山 末 耕 平
非常勤研究員 (客員教授)	本 田 耕一郎
技術職員 (技術部)	我 妻 康 夫
技術補佐員	岩 井 敏 彦
”	江 馬 宗 子

■プラズマ電子工学研究室

教 授 (兼)	安 藤 晃
准教授 (兼)	飯 塚 哲

■物性機能設計研究室

教 授	白 井 正 文
教 授 (兼)	田 中 和 之
講 師 (兼)	和 泉 勇 治
助 教	三 浦 良 雄
”	阿 部 和多加

■磁性デバイス研究室 (客員)

客員教授	佐々木 雅 英
”	影 島 博 之
客員准教授	福 田 大 治

ブロードバンド工学研究部門

■超高速光通信研究室

教 授	中 沢 正 隆
特任教授	多 田 順 次
教 授 (兼)	山 田 博 仁
” (兼)	松 浦 祐 司
准教授	廣 岡 俊 彦
”	吉 田 真 人
准教授 (兼)	大 寺 康 夫
非常勤研究員	葛 西 恵 介
事務補佐員	篠 崎 頼 子

■応用量子光学研究室

教 授	八 坂 洋
准教授 (兼)	渡 邊 高 志

■先端ワイヤレス通信技術研究室

教 授	末 松 憲 治
-----	---------

教授(兼) 櫛引 淳 一
 助教 亀田 卓
 非常勤研究員 谷藤 正 一

■情報ストレージシステム研究室

教授 村岡 裕 明
 教授(兼) 周 暁
 准教授 サイモン グリーブス
 助教 三浦 健 司
 事務補佐員 渡邊 智 絵

■超ブロードバンド信号処理研究室

教授 尾辻 泰 一
 教授(兼) 安達 文 幸
 准教授 末光 哲 也
 助教 佐藤 昭
 非常勤研究員 鷹林 将
 技術補佐員 上野 佳 代

■ブロードバンド通信基盤技術研究室(客員)

客員教授 犬竹 正 明
 " 飯塚 昇
 客員准教授 廣畑 貴 文

人間情報システム研究部門

■生体電磁情報研究室

教授 石山 和 志
 教授(兼) 山口 正 洋
 " (") 濱島 高太郎
 准教授 栢 修一郎
 准教授(兼) 遠藤 恭
 " (") 津田 理

■先端音情報システム研究室

教授 鈴木 陽 一
 教授(兼) 金井 浩
 " (") 伊藤 彰 則
 准教授 岩谷 幸 雄

准教授 坂本 修 一
 准教授(兼) 長谷川 英 之
 " (") 川下 将 一
 技術職員(技術部) 齋藤 文 孝
 非常勤研究員 岡本 拓 磨
 非常勤研究員 崔 正 烈
 非常勤研究員 本多 明 生
 非常勤研究員 柴田 寛
 事務補佐員 小野寺 美 紀

■高次視覚情報システム研究室

教授 塩入 論
 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
 " 徳永 留 美
 非常勤研究員 萩谷 光 晴
 " 松原 和 也
 " 中島 亮 一
 事務補佐員 今野 亜 未

■ユビキタス通信システム研究室

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
 助教 沢田 浩 和
 技術補佐員 庄子 友佳子
 " 高橋 俊 也
 " 相澤 なお実
 " 佐藤 雄 一
 " 井上 大 輔
 " 包 中 尉
 " 大墨 友 也
 " 柳 沼 薫
 非常勤研究員 マトラム ローレンス
 ヤッセイ

■マルチモーダルコンピューティング研究室

(客員)

客員教授	越 田 信 義
客員教授	三 好 正 人
客員准教授	西 村 竜 一

システム・ソフトウェア研究部門

■ソフトウェア構成研究室

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
〃	森 畑 明 昌

■コンピューティング情報理論研究室

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
准教授 (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室

教 授	木 下 哲 男
教 授 (兼)	斎 藤 浩 海
〃 (〃)	曾 根 秀 昭
〃 (〃)	乾 健太郎
准教授 (兼)	水 木 敬 明
助 教	高 橋 秀 幸

■情報コンテンツ研究室

教 授	北 村 喜 文
教 授 (兼)	加 藤 寧
〃 (〃)	菅 沼 拓 夫
准教授 (兼)	青 木 輝 勝
〃 (兼)	阿 部 亨

助 教	高 嶋 和 毅
非常勤研究員	リウ グンダイ
技術補佐員	齋 藤 あづさ

■情報社会構造研究室 (客員)

客員教授	松 岡 浩
〃	矢 野 雅 文
客員教授	白 鳥 則 郎
客員准教授	加 保 貴 奈
技術補佐員	堀 野 碧
〃	小野寺 裕 也

寄附研究部門

■環境適応型高度情報通信工学寄附研究部門

教 授	足 立 榮 希
-----	---------

附属研究施設

附属ナノ・スピン実験施設

施設長 (併)	室 田 淳 一
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
〃	西 村 容太郎
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室

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
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室

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
准教授(兼)	土井正晶
助教	大谷啓太

■ナノ分子デバイス研究室

教授	庭野道夫
教授(兼)	畠山力三
”(”)	吉信達夫
”(”)	木下賢吾
准教授	木村康男
准教授(兼)	金子俊郎
”(”)	平野愛弓
助教	佐藤信之
”	青沼有紀
非常勤研究員	ラフマン モハマト
	マクスドウル
事務補佐員	守屋佳織

■ナノスピンメモリ研究室

教授(兼)	遠藤哲郎
”	安藤康夫
”	田中徹
准教授	池田正二
准教授(兼)	大兼幹彦

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室

教授	石黒章夫
教授(兼)	松木英敏
准教授(兼)	佐藤文博

助教	坂本一寛
”	大脇大史
”	加納剛史
非常勤研究員	佐藤貴英
”	渡邊航
事務補佐員	才田昌子

■知的ナノ集積システム研究室

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	伊藤茉莉花

■マイクロアーキテクチャ研究室

教授	榎井昇一
事務補佐員	志村亜矢

■新概念 VLSI システム研究室

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
”	松永翔雲
事務補佐員	平塚愛

21世紀情報通信研究開発センター

センター長(併)	村岡裕明
教授	
事務補佐員	新田正人
”	佐藤貞志

■企画開発部

客員教授	古西真
------	-----

■研究開発部

▲モバイル分野

客員教授	坪内和夫
客員教授	高木直
技術補佐員	中山英太
事務補佐員	橋浦尚子

▲ストレージ分野

教授	藤本和久
客員教授	青井基
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
事務補佐員	佐藤安由美
〃	高野綾

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	スベホルムヨハン レイフアーネ
技術補佐員	鈴木みどり
〃	長瀬祥子

研究基盤技術センター

センター長(兼)	上原洋一
教授	
技術専門員(兼)	齋藤文孝
(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	佐藤圭祐
〃	阿部健人
技術補佐員	渡邊博志
〃	菅原宗朋

■評価部

技術専門職員	庄子康一
(グループ長)	
技術一般職員	阿部真帆
再雇用職員	土田貞夫
〃	我妻成人

■プロセス部

技術専門職員	寒河江克己
(グループ長)	
技術一般職員	佐々木龍太郎
再雇用職員	田久長一
〃	我妻康夫

■ソフトウェア技術部

技術専門職員	齋藤文孝
(グループ長)	
技術一般職員	佐藤正彦

事 務 部

事務長	佐藤 巖	経理係長	永山 博章
事務長補佐	山木 幸一	主任	秩父 啓輔
庶務係長	高橋 雄志	事務一般職員	荒井 絢子
主任	佐藤 佳	事務補佐員	小島 紫津子
事務一般職員	菅原 沙織	〃	沓澤 倫子
再雇用職員	師岡 ケイ子	〃	白鳥 千亜紀
事務補佐員	青山 美弥子	用度係長	松谷 昭広
〃	寺島 弘美	主任	鈴木 祐利
〃	渡部 マイ	事務一般職員	稲毛 紘明
〃	阿部 真奈美	再雇用職員	阿部 良勝
〃	島貫 由佳	事務補佐員	川北 久美子
研究協力係長	小出 正嗣	〃	角田 郁子
主任	山崎 宏美	〃	三島 妙
事務補佐員	木村 理枝	〃	湊 ひろみ
〃	丸田 嘉昭	〃	齋藤 由華
〃	笠松 千秋	〃	足立 遥香
図書係長	吉植 庄栄		
事務補佐員	鈴木 香代子		

I T 2 1 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18号

2012年9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
TEL	0 2 2 - 2 1 7 - 5 4 2 2
FAX	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	今野印刷株式会社 〒984-0011 仙台市若林区六丁の目西町2番10号 TEL 022-288-6123 FAX 022-288-0138

