

戦略的創造研究推進事業

—個人型研究(さきがけ)—

研究領域「ナノと物性」

研究領域事後評価用資料

平成 19 年 3 月 31 日

目次

1. 研究領域	.....	3
2. 研究総括	.....	3
3. 採択課題・研究費	.....	3
4. 研究総括のねらい	.....	5
5. 選考方針		
5－1. 選考基準	.....	5
5－2 選考方法	.....	6
6. アドバイザー	.....	6
7. 研究領域の運営		
7－1 研究総括の方針	.....	7
7－2 方針の具体化例	.....	8
8. 個別研究の成果		
8－1 研究課題	.....	9
8－2 特筆すべき研究結果・経過等	.....	12
9. 総合所見		
9－1 領域を設けたことによる効果と意義	.....	13
9－2 外部発表・特許出願	.....	13
9－3 今後の運営	.....	13

1. 研究領域「ナノと物性」（平成13年度発足）

研究領域の概要： この研究領域は、原子・分子レベルで制御された物質、それらの集合体、異種材料の複合、さらに組成や構造をナノメートルレベルで制御・加工した材料、すなわち「ナノ材料」に関する研究を対象とする。具体的には、機能材として従来のバルク材にない特異な能力を発揮することが期待される究極の人工物質であるナノ材料が、今後情報、医療、エネルギー等、あらゆる産業分野を支える技術となる状況を踏まえ、新規ないし高度な機能発現を目指した材料設計、合成・形成の方法、またナノ物性評価やデバイス試作に関する研究等が含まれる。

2. 研究総括 神谷 武志（独立行政法人 大学評価・学位授与機構 客員教授）

3. 採択課題・研究費

採 択 年 度	研究者	所属 上段：平成19年3月現在 中段：終了時 下段：応募時	研究課題名	研究費 (百万円)
平 成 1 3 年 度	市田 正夫	甲南大学・理工学部 助教授 同上 講師 甲南大学・理工学部 講師	カーボンナノチューブの非線形および磁気光学特性の研究	47
	王 正明	(独)産業技術総合研究所つくば西事業所エネルギー技術研究部門 研究員 同上 環境管理技術研究部門 研究員 同上 海洋資源環境部門 研究員	ナノプロセッシング技術による高性能ガス吸蔵体の創製	36
	古賀 貴亮	北海道大学・大学院 助教授 同上 NTT 物性科学基礎研究所 リサーチアソシエイト	半導体ナノ構造体中に現れる新スピン物性の制御と応用	45
	菅原 聡	東京工業大学・大学院総合理工学研究科 助教授 東京大学・大学院工学系研究科 助手 日本学術振興会 リサーチアソシエイト	エピタキシャル強磁性トンネル接合を用いた強磁性体／半導体融合デバイス	42
	竹内 淳	早稲田大学・理工学部 教授 同上 同上 助教授	量子ドット中のキャリアスピン操作	39
	田中 秀和	大阪大学・産業科学研究所 助教授 同上 同上 助手	ナノスケール機能調和人工格子による強相関電子デバイスの創製	35
	戸田 泰則	北海道大学・大学院工学研究科 助教授 同上 同上	時空間制御光を用いた単一量子ドットの量子状態制御	46
	古菌 勉	厚生労働省国立循環器病センター研究所 室長 同上 同上	無機ナノ粒子・有機・細胞三元複合体による生体活性材料の開発	37
	水野 清義	九州大学・大学院総合理工学府 助教授 同上 同上	ナノ新材料開発のための表面微小構造解析法による原子位置決定	41
	渡辺 正裕	東京工業大学・大学院総合理工学研究科 助教授 同上 同上	超ヘテロ・ナノ結晶の創製と光・電子新機能	41

採 択 年 度	研究者	所属 上段:平成19年3月現在 中段:終了時 下段:応募時	研究課題名	研究費 (百万円)
平 成 1 4 年 度	Wilfred Gerard van der Wiel	Twente University, Institute for NanoTechnology Research Program Director 同上 東京大学 大学院工学系研究科 客員研究員	半導体人工原子・分子にお ける高周波電子スピン操作	35
	岩井 伸一郎	東北大学 大学院理学研究科 助教授 同上 (独)産業技術総合研究所 強相関電子技術 研究センター 主任研究員	強相関ナノ電子構造におけ る光誘起協同現象による超 高速スイッチング	63
	大岩 顕	東京大学 大学院工学系研究科 講師 同上 東京工業大学 像情報工学研究施設 講師	ナノ強磁性半導体における スピン注入磁化反転の研究	46
	尾上 順	東京工業大学 原子炉工学研究所 助教授 同上 同上	新しい多面体ナノ炭素物質 の創製と機能発現	49
	近藤 高志	東京大学 大学院工学系研究科 助教授 同上 同上	副格子交換ヘテロ構造半 導体の高度制御	39
	須田 淳	京都大学 大学院工学研究科 講師 同上 同上 助手	界面ナノ構造制御によるワ イドギャップ半導体の機能 融合とパワーデバイスへの 展開	43
	田中 健太郎	東京大学 大学院理学系研究科 助教授 同上 同上	錯体型人工 DNA を用いた 金属イオン配列制御と機能 発現	44
	町田 友樹	東京大学生産技術研究所 助教授 同上 科学技術振興事業団 基礎的研究発展推進事業 研究員	量子ホール系における核磁 気共鳴を利用した固体量子 ビット素子の開発	59
	松田 一成	京都大学 化学研究所 助教授 同上 財団法人 神奈川科学技術アカデミー 研究員	極限光ナノプローブによる 半導体ナノ構造の波動関数 イメージング・操作	49
	山本 雅哉	京都大学 再生医科学研究所 助手 同上 同上	ナノ複合体を用いた遺伝子 治療による内科的再生医療	38
	湯浅 新治	(独)産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究 部門 スピントロニクスグループ長 同上 同上 主任研究員	超Gbit-MRAMのための 単結晶TMR素子の開発	38

採 択 年 度	研究者	所属 上段:平成19年3月現在 中段:終了時 下段:応募時	研究課題名	研究費 (百万円)
平成 15 年度	磯部 寛之	東京大学大学院理学系研究科 助教授 同上 同上 助手	自己組織化ナノ有機分子による機能性集合体の構築	42
	大谷 啓太	東北大学電気通信研究所 助手 同上 同上	光・電波境界領域における高機能・低消費電力量子カスケードレーザーの開発	33
	大友 明	東北大学金属材料研究所 助手 同上 同上	酸化物量子井戸構造を用いた発光素子及び光非線形性素子の開発	38
	大野 雄高	名古屋大学大学院工学研究科 助手 同上 同上	ピーポッドヘテロ接合量子効果デバイスの創製	31
	高村 禅	北陸先端科学技術大学院大学'材料科学研究科 助教授 同上 同上	生体・溶液系ナノデバイス研究の為に微小流体チップ開発	41
	塚越 一仁	(独)理化学研究所和光研究所中央研究所 前任 研究員 同上 同上 研究員	1nm サイズ分子素子伝導物性およびその制御	41
	舟窪 浩	東京工業大学'大学院総合理工学研究科 助教授 同上 同上	2次元ナノレイヤー積層による新規誘電特性の発現 - サイズ効果フリー高誘電体の創製 -	46
	合計			1184

4. 研究総括のねらい

ナノメーターレベルで制御・加工した新材料、すなわち「ナノ材料」を主軸にした新たな産業分野が 21 世紀の日本を支える分野として発展すると期待されていることを踏まえて、本研究領域の基本方針としては物理、化学、生物などの既存の科学分野の枠にとらわれず、パイオニア性の高い研究提案を優先して採択する方針を採った。表面科学や原子分子科学の優れた提案も寄せられたが、既存の学問領域を超えたインパクトという観点を重視した。

社会経済へのインパクトの考え方として、単に製造産業への貢献のみならず人類社会の共通した課題である環境問題や医療・福祉への効果が期待されるものについても重視した。

パイオニア性を重視するため即効性のある応用研究のみに偏ることなく、今後ナノサイエンス、ナノテクノロジーで重要性が増すと思われる課題領域の基礎研究も重視した。28 件の研究課題を俯瞰すると、産業技術的な成果を挙げたもの 6 件、環境・医療に貢献するもの 5 件、ナノテクノロジー基礎として成果が得られたもの 17 件(スピン制御、極限計測、物性評価、機能材料開発)、であった。

5. 選考方針

5-1. 選考基準

選考に当たっては募集要項に公表した選考基準に沿って行い、特に以下の点に留意した。

テーマ選択に関しては、

- (1) 本領域は非常に広い分野をカバーしており、それぞれの分野できらりと光る、すなわち強いインパクトを与えるものであれば分野を問わず、分野間のバランスも考慮しない。
- (2) ナノサイエンスを原子分子の科学と捉えると既に研究の蓄積がある。その基礎に立脚しさらに一步新領域を開拓するという意欲が見えるものを優先する。

また、研究者個人に関しては、

- (1) 独立して、自分の考えで研究を進められること。
- (2) 自ら手を下し、研究に専念できること。

以上の観点で第1期応募者数 125 名中 10 名、第2期応募者数 125 名中 11 名、第3期応募者数 276 名中 7 名の計 28 名を選定した。(総計では応募総数 526 名中 28 名)。

5-2 選考方法

- (1) 選考は研究総括及び「ナノと物性」研究領域のアドバイザー(9 名)で行った。
- (2) 選考方法は、書類選考、面接選考を行った上で、総合判断を加味した。
書類選考では、研究者1名に対して2名のアドバイザーがあらかじめ応募書類を精読して評価を行った。評価に当たっては、採択したい課題(A)として10%程度[うち特に優れたと思うもの(特A)を各アドバイザーあたり1名選ぶ]、採択してもよいという課題(B)として10%程度、その他を採択したくない課題(C)とした。事前評価結果でA・Aと評価された提案を面接対象とするほか、さらに(特A・B)、(A・B)、(特A・C)の中から選び、最終的に面接候補者を採択予定数の2倍程度に絞りこんだ。(パイオニア性が高く意見が分かれる提案にもチャンスを与える方針)。
- (3) 面接選考においては、総括及びアドバイザーが研究課題の新規性・独創性、将来性、主体性、計画の妥当性の項目を考慮し、総合評価として全面接対象者をA評価 20%、B評価 30%、C評価 50%程度の割合で選んだ。最終評価ではこれらの評語をA:4 点、B:2 点、C:0 点として評点をつけ、得点数の高い順から採択を決定した。この際ボーダーラインで点数が同一の場合は、再度全員で議論を行い最終的に研究総括が決定した。
- (4) 選考結果
年度別選考件数、採択数等の内訳は添付資料 p.2 項目1. (年度別採択者数)の通りである。

6. アドバイザー

アドバイザーの人選にあたってはナノサイエンス・ナノテクノロジー分野の研究者として実績豊かで、かつ所属組織や学会等で研究管理、評価の経験も持っている方から大学、企業、公的研究所のバランス、物理系、化学系のバランス、理論系、実験系のバランスを考慮した。生命科学系を增强するために途中から東京大学の片岡教授に参画いただいた。後述するようにアドバイザーには提案の審査時点のみならず研究の進行中にも熱心に協力いただいた。

アドバイザー名	所属(平成19年3月現在)	現役職	任期
青柳 克信	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	教授	平成13年4月～平成19年3月
荒川 泰彦	東京大学 先端科学技術研究センター	教授	同上
小倉 睦郎	独立行政法人 産業技術総合研究所 光技術研究部門	グループリーダー	同上
片岡 一則	東京大学 大学院 工学系研究科	教授	平成15年7月～平成19年3月
川畑 有郷	学習院大学 理学部物理学科	教授	平成13年4月～平成19年3月
神原 秀記	株式会社 日立製作所 中央研究所	フェロー	同上
曾根 純一	日本電気株式会社 基礎・環境研究所	所長	同上
樽茶 清悟	東京大学 大学院工学系研究科	教授	同上
横山 浩	独立行政法人 産業技術総合研究所 ナノテクノロジー研究部門	研究部門長	同上

7. 研究領域の運営

7-1 研究総括の方針

(1)研究課題、研究者：

研究課題の選考方針については 5-1(選考基準)の節で述べたが、研究の先駆性を優先的に評価した。また、研究者が自ら考え、自ら主体的に実施することが明確なことを採択の際に確認し、研究者が大研究室に所属する場合には研究室テーマの部分を単に切取ったものに終始することのないように配慮した。

(2)研究領域：

本領域が開始した平成 13 年度は JST がナノテクノロジー分野に複数の重点領域を設定する前の年度にあたり、ナノテクノロジーの極めて広い分野からの応募があった。分野を限定せず研究課題を選んだ結果、物理学、化学、工学の背景を持つ若手・中堅研究者が集うコミュニティが形成された。このことは「ナノテクノロジー」の理念である分野を横断した科学技術の革新に沿ったものであり、運営にあたって研究者間の相互理解と協力が進むよう配慮した。

(3)研究報告会：

研究の進捗を促進するため、年 2 回ずつ領域研究者全員とアドバイザーが参加する 1 泊 2 日の非公開領域研究会を催すほか、各期の最終年度に公開の研究報告会を行った。以下に述べるようにナノテクノロジー分野におけるさきがけプロジェクトの研究成果を良く理解してもらうため及び参加者の便宜を考えてナノテクノロジー関連 4 領域の合同報告会として開催した。

(4)特許出願：

将来の我国の産業構造にインパクトを与える研究を目指すからには研究者は獲得した新知見を知的財産として定着することが重要であると考え、研究論文発表以外に特許出願に関する研究者の理解促進と必要な支援を「ナノと物性」領域の重要ポリシーの一つとして位置づけた。

(5)研究予算配分：

研究者が当初に提出した予算案の妥当性を検討して JST 本部に報告し、各年度の配分に反映してもらった。領域に配分される研究調整費は各研究者の研究進捗状況を勘案して大きな成果が期待できる場合や、計画遂行に生じた困難を解決するために追加配分する。後者の例としては、研究期間中の研究者の所属期間移動にともなう研究設備の移転の問題などがある。

(6)研究進捗状況の把握と実験場の安全確認：

研究の進捗状況の把握に資する領域レベルの活動として、次のことを行った：(ア)期間中の研究総括、技術参事による訪問調査；(イ)研究設備購入状況確認のための技術参事による訪問調査；(ウ)研究遂行の際に生じた困難の解決のための技術参事による助言・訪問；(エ)特許申請に関わる助言・指導のための技術参事の訪問；(オ)すべての主要な対外発表(論文、学会発表など)についての事前報告と確認回答(照会后 3 日以内)。これらによって各研究者の研究状況を理解し、安全性の確保も含め、必要な助言を行える態勢を保持した。

(7)研究成果の対外発信：

さきがけ研究の成果を広く発信する努力は JST 本部で近年加速され、上記の公開報告会のほか、展示会形式の「さきがけライブ」、衛星放送スカイパーフェクトのサイエンスチャンネル番組での研究成果ビデオ放送などが進められている。これらに全面的に協力するほか、領域レベルでのホームページの充実、各期の最終報告書の関係方面への配布、マスコミ発表の支援、などを行った。各研究者の研究成果発表状況は添付資料 p.2-p.15 項目2.(主要業績)に示す。シンポジウムなどの開催状況は添付資料 p.15-16 項目3.(シンポジウムなど)に示す。

7-2 方針の具体化例

- (1) 研究計画に沿った研究が適切に実施されることをあきらかにするために、既存の研究設備と新規購入の設備を組み合わせた実験システムのブロック図を提出してもらい、実施計画と予算計画の整合性を確認した。
- (2) さきがけの他領域との公開合同研究発表会を3回開催した。添付資料p.15 項目3-1(研究報告会)に開催状況を示す。第1回は4領域(「秩序と物性」「組織化と機能」「光と制御」「ナノと物性」)、第2回は3領域、第3回は2領域合同(終了領域を除いた領域の合同)でおこなった。いずれも外部参加者が内部参加者を大幅に上回り、研究成果の情報発信の場として良く機能した。発表会場の一部でポスターセッションを実施し、研究者と参加者の個人的な接触を図った。
- (3) 年に2回ずつ領域研究者全員とアドバイザーが参加する非公開の領域会議を開催し、研究の進捗状況と今後の計画についての発表・討論をおこなった。領域会議の状況を添付資料 p.15 項目3-2(領域会議開催実績)に示す。
第1期、第2期終了後も全員参加を原則とし、終了後の展開についての発表も受付けた。研究者の発表に加えて、毎回領域アドバイザーないし研究総括が特別講演を行い、ナノテクノロジーに関する考え方、各分野における発展の流れについて解説した。経験豊かなアドバイザーの発表は聴衆が広い分野にわたっている場合に分かりやすく説明する優れた実例を提供した。研究発表・討論は外国人研究者も参加しているため、日本語以外に英語でも行われた。
- (4) 領域に配分された研究調整費は各研究者が研究実施の中で遭遇する困難の解決のために研究総括の判断で随時支出した。
- (5) 特許出願の支援は領域の重点項目として取組んだ。JST が行う技術開発の知的財産所有権の帰属は日本版バйдール法の考え方にに基づき、研究者および所属する大学等が所有を希望すれば認めることとされたが、研究者により、また、所属機関により特許申請に対する理解や体制の整備にばらつきが大きいのが現状である。特に、新規性の高い知見が研究中に得られた場合でもどのようなクレームが特許になり得るのか、また、権利主張がしやすいのかの適切な判断は相当程度の特許および専門領域についての理解がなければ難しい。幸い「ナノと物性」領域の技術参事が民間会社で研究およびその事業化の経験者であり、知的所有権獲得についての知識が豊富であったため、領域の各研究者に特許申請の考え方を一般的に説明するばかりでなく、新規な知見の特許化の可能性についての相談、専門性の合致した弁理士事務所の紹介を積極的に行い、また優れた案件については PCT 特許申請への JST 支援のための説明にも協力を行った。このため、添付資料 p.2 項目2-1にみられるようにほとんどの研究者が特許申請に積極的であり、総計 65 件に達した。
- (6) 研究進捗状況把握のため、研究総括、技術参事、はすべての研究者の研究場所を訪問した。研究場所・設備の状況を視察して研究計画に沿った研究が実施されていることを確認するほか、研究者上司等に面会し、研究者の主体的な研究実施へのご理解・ご協力を依頼した。また、その際研究実施における安全性チェック、経理処理の適切性等について注意を喚起した。また、購入設備の納入状況把握のため、事務参事はすべての研究場所を訪問した。
- (7) 研究成果の周知のため、領域のホームページの充実を図った。受賞記事や国際会議招待講演記事などを掲載するほか、研究者個人ページには研究者プロフィール、研究業績リストを掲載した。第1期、第2期終了時に作製した最終報告書を電子ファイルとし、研究者個人ページからリンクするようにした。「ナノと物性」領域ウェブページは JST ウェブページからアクセスできる。領域終了後は内容を整理し、JST ウェブページ内に収容していただくことを希望している。
各期の研究報告書を読みやすくするために、毎回アドバイザー有志による座談会記事を掲載した。座談会ではナノテクノロジー研究の考え方、アドバイザーの辿ったナノテク研究の紹介、および各期研究者の研究成果で印象に残った点が話し合われ、今後の展開への期待が述べられた。

8. 個別研究の成果

8-1 研究課題

研究課題を性格別に以下の表のように分類する。主要な手法を物理学的、化学的、工学的としたが、複合的な手法を用いている研究者も少なくない。

大項目	中項目	研究者名	キーワード(1)	キーワード(2)	手法
ナノテクノロジーへの貢献	固体スピン制御	古賀	スピン依存電子波干渉	InGaAs 系量子閉じ込め構造	物理的
		竹内	光学的スピン反転操作	InAs 量子ドット構造	物理的
		町田	半導体核スピン操作	量子ホール効果素子	物理的
		ファンデアウイール	量子ドット状態とフォノンの結合の強さ評価	GaAs 系半導体結合量子ドット状態	物理的
		大岩	光スピン注入磁化回転	強磁性半導体(Ga,Mn)As	物理的
	極限計測法	水野	表面微小構造解析	微小電子放射体、低速電子線回折	物理的
		松田	近接場光学顕微鏡	半導体エキシトン波動関数直接観察	物理的
	物性評価	市田	非線形光学定数評価	カーボンナノチューブ	物理的
		戸田	コヒーレントフォノン制御	半導体量子ドット、電子密度波	物理的
		岩井	光学的金属絶縁体相転移	ハロゲン架橋ニッケル錯体	物理的
	機能材料技術開発	田中秀	金属絶縁体相転移	ペロブスカイト Mn 酸化物 FET	物理的
		田中健	金属イオン配列制御	錯体型人工 DNA 合成	化学的
		尾上	高分子導電体の電子分光	ピーナッツ型フラーレンポリマー発見	化学的
		大友	高品質酸化物量子閉じ込め構造	LaAlO ₃ /SrTiO ₃ 、ZnO/MgxZn _{1-x} O	工学的
		須田	新組成ワイドギャップ半導体パワートランジスタ材料	AlN/SiC MISFET	工学的
		渡辺	量子カスケード発光	フッ化カルシウム/フッ化カドミウム	工学的
		大野	カーボンナノチューブ FET	フラーレン内包カーボンナノチューブ	工学的
産業技術基礎への貢献	集積回路素子	湯浅	トンネル磁気抵抗素子	MgO 単結晶膜及びスパッタ膜による巨大効果実現	物理的
		塚越	極微有機分子素子および有機トランジスタ集積化	フラーレントンネル素子、ペンタセン FET	物理的
		菅原	新構造スピン MOSFET	Mn ドープ Ge 磁性半導体	工学的
		舟窪	超薄膜誘電体のサイズ効果フリー化	ビスマス層状ペロブスカイト誘電体	工学的
	光素子	大谷	中赤外域量子カスケードレーザ	InAs/AlGaSb 超格子構造	工学的
		近藤	MBE による周期反転構造成長最適化	周期副交換反転構造非線形光学素子	工学的
環境・医療への貢献	医療基礎技術	古藺	生体活性経皮デバイス	ナノ無機-有機コンポジット	工学的
		高村	生体分子トラップおよびセンシング	テーパ流路トラップ、集積化微小ポンプ	工学的
		山本	ナノ複合体を用いたドラッグデリバリー	プルラン誘導体と遺伝子との複合体	化学的
		磯部	両親媒性分子を用いた遺伝子導入	両親媒性構造アミノ化フラーレン	化学的
	エネルギー貯蔵	王	ガス吸蔵体	ポーラスカーボン	化学的

以下に分類毎の主要な成果を要約する。研究者の主要論文の要旨は添付資料 p.3-15 項目 2-2(研究者別代表的な論文とその概要)に掲げてある。

(A) ナノテクノロジー基礎分野への貢献

(A-1)固体中のスピン制御に関わる研究は 5 件であった。

古賀はInGaAs系量子閉じ込め構造半導体に微細リング構造を設け、右回りと左回りの電子波動関数の干渉で起きる極低温での振動的な磁気抵抗効果の観測からRashbaスピン軌道相互作用の大きさを初めて見積もることに成功した。

竹内は半導体中の近接した量子ドットに付随するスピン偏極電子状態間の光学遷移を円偏光パルス光によって誘起し、光学的にスピンを操作できる可能性を示した(JJAP論文賞受賞)。

大岩は強磁性半導体($\text{Ga}_x\text{Mn}_{1-x}$)Asへの円偏光パルスによって時定数数十ピコ秒で緩和する強い光カー効果が生じることを発見した。1 個の正孔あたり 100 個以上Mnスピン状態が変化する強い効果である。

町田は半導体中の核スピンを制御する方法として量子ホール効果素子の端電子状態間の電子遷移を利用することを提案し、パルス磁場の時間幅変化による反転核スピン量の振動的変化(Rabi振動)から位相緩和時間が $160 \mu\text{s}$ であることを明らかにし、量子ビットの処理に適用する可能性について検討した。

Van der Wielは半導体量子ドット中の電子スピンを電子スピン共鳴を用いて制御する新しい方法として傾斜磁場の利用を提案し、理論予測をするとともに、表面超音波を用いて電子フォノン結合の強さを推定する実験を行った。電子スピンの量子ビットを担わせるための基礎研究として重要である。

(A-2)極限計測法に関する研究は 2 件であった。

水野は電子線回折と走査電子顕微鏡を融合して微細構造を持つ表面の原子配列を調べる手段を確立することを目指し、装置の設計、製作と調整を行った。単結晶タンゲステン探針からの電界放出電子線により、電子レンズを用いずにCu清浄表面からの低速電子回折パターンを得ることに成功した。

松田は近接場光学の原理によって波長より短い分解能を持つ顕微鏡の性能を格段に向上(分解能 20nm)させ、半導体中のエキシトン波動関数に対応するイメージを得た(さががけライブで実態展示)。

(A-3)物性評価を主とした研究は 3 件であった。

市田はカーボンナノチューブの高速な光学応答をフェムト秒ポンププローブ分光によって調べた。金属性チューブではキャリア・キャリア散乱による初期の非平衡分布形成と、キャリア・フォノン散乱による電子系の冷却によって緩和し、半導性チューブでは構造欠陥による無輻射緩和が支配的であることがわかった。

岩井は遷移金属錯体(ハロゲン架橋ニッケル錯体)への光パルス照射による光モット転移を観測した。また、中性一イオン性転移系電荷移動錯体において、生ずる光誘起常誘電一強誘電性転移の初期過程を明らかにした。

戸田は電子密度波物質 1T-TaS_2 の時間分解反射応答における振動成分の周波数が温度上昇とともに低くなり、電荷密度波の臨界温度で飛躍することから、コヒーレントフォノンが励起されていると結論づけた。あわせてGaAs系単一量子ドットの時間分解分光から興味深い知見を得ている。

(A-4)機能材料開発に関する研究は 7 件であった。

田中(健)は水素結合による塩基対形成を金属錯体に置き換えた人工DNAを構築し、デザインした数の金属イオンを定量的に集積化する場として有効に働くこと、金属イオン上のスピンを精密に集積化できることを見出した。

尾上はフラーレン薄膜に電子線照射することにより、室温・大気下で金属的導電性を示すピーナツ型フラーレンポリマーを発見した。電子分光によりスペクトルがフェルミ端を横切る金属的バンド構造をもつことを確認した。

田中(秀)は $(\text{La,Ba})\text{MnO}_3/\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ 強磁性酸化物電界効果トランジスタ構造を作成し、ゲート電圧による金属-半導体転移温度の制御を達成した。ペロブスカイトMn酸化物の金属-絶縁体転移は強磁性転移を伴うため、室温での強磁性の電界スイッチングに世界で始めて成功したといえる。

大友はパルスレーザー堆積法による高品質 $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$ ヘテロ構造結晶の作製と界面構造に依存した電気・光学物性の評価を行い、また、 $\text{ZnO}/\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ ヘテロ界面の量子ホール効果観測に成

功するなど、ワイドギャップ材料における量子効果デバイスへの可能性を示した。

大野はカーボンナノチューブの内部にフラーレン分子を内包させた構造(ピーポッド)をチャネルとするFETを試作し、電極材料の仕事関数を利用したFET特性制御とピーポッド物性の解明を行った。**須田**はMBE法を用い界面を制御したn-GaN/p-SiCヘテロ構造バイポーラトランジスタを作製し動作を確認した。また世界で初めてSiC上へのAlNのレイヤーバイレイヤー成長を達成し、高品質AlN/SiCの基礎を確立した。

渡辺は深い障壁を持つCdF₂/CaF₂共鳴トンネルダイオードについてローカルエピタキシー法を開発して高いオンオフ比と良好な均一性を持つ特性を実現した。また、同一材料の量子カスケード構造を試作して、高効率のインターサブバンド発光特性を確認した(SORST研究として継続中)。これらは次世代の産業応用の芽として有望な基礎研究である。

(B) 産業技術基礎への貢献

(B-1) 集積エレクトロニクスに関する研究は4件であった。

湯浅はトンネル磁気抵抗素子の新しい作成法を考案し、世界最高のオンオフ比(400%)を実現した。従来との根本的な違いはトンネル障壁層として単結晶MgOをエピタキシャル成長させたことで、トンネリング効率の飛躍的向上となった。さらに大面積加工に適するスパッタリング法でも良好な結果を出した。数多くの受賞、国際会議での招待講演はパイオニア性認知の証しである。

塚越は極微の単分子スイッチ素子とフレキシブルエレクトロニクスの基本素子である有機トランジスタに共通の課題は金属電極と有機分子の間の電子注入制御である、との認識に基づいて新しい製法を探索した。特性改善されたペンタセン微小トランジスタと有機発光素子を組み合わせたフレキシブル表示素子を試作し、またナノギャップ間にガドリニウム内包フラーレンを挿入して超伝導S/N/Sプロキシミティ効果を観測した。

菅原はハーフメタル強磁性体をソースとドレインに用いたMOSFET型のスピントランジスタ(スピンMOSFET)を提案した。理論解析の結果、スピンMOSFETがスピン依存伝達特性と高性能特性を有することを明らかにした。本提案のスピンMOSFETは半導体の将来展望で権威ある米国ITRSのロードマップに掲載され、またNEDO産官学共同のプロジェクト(ナノテク先端部材実用化研究開発)が発足した。

舟窪は高密度集積エレクトロニクス用コンデンサー材料として有望なペロブスカイト構造酸化物が持つ困難(膜厚を薄くした場合に誘電率が低下する現象)を詳細に調べ、サイズ効果フリー高誘電体として酸化ビスマスを含むペロブスカイト結晶の存在を見出すとともに、その物性的起源を明らかにした。

(B-2) 光エレクトロニクスの基礎となる研究が2件行われた。

大谷は中赤外ないし遠赤外領域での小型コヒーレント光源として有望な量子カスケードレーザーにつき、新材料系InAs/AlGaSbの技術開発とバンド構造理論に基づく詳細設計を行い、中赤外域で高効率、高温動作性、出力の総合特性が優れたレーザを実現した。複数の表彰、多くの招待講演の対象となっている。

近藤は半導体非線形光学素子(GaAs/AlGaAs系)の高効率化に必要な周期構造の作成のために副格子交換エピタキシー法を提案し、最適化をはかることによって単位長あたりの変換効率の記録を達成した。のこる課題である導波路損失の低減化についても再成長の際の平坦化条件を見出した。

(C) 環境・医療基礎への貢献

(C-1) 医療基礎技術に関する研究は4件であった。

古藺は体内に貫通する経皮デバイスの細菌感

染予防具としてセラミックスの安定性と人体への親和性を兼ね備えた複合材料の開発に取り組んだ。100nmレベルの焼結ヒドロキシアパタイト(HAp)粒子を、絹繊維上にグラフト重合した中間材を介して固定し、ナノ無機-有機コンポジットを形成した。これを用いて作成した三次元経皮デバイスは良好な細胞接着性を示した。日本人工臓器学会論文賞の対象となった。

高村は生体分子を選択的に捕獲、分離する微小流体チップの開発を目標に、テーパー流路を用いた生体分子のトラップ(テーパー状流路を流れるDNA等に圧力勾配と逆向きの電場勾配を設け、釣り合い条件下でトラップ)および微小化ポンプの開発を行なった。トラップ、ポンプ、バルブを組み合わせDNA抽出チップを試作し、有望な実験結果を得ている。データの再現性、設計の確実性に課題

が残されている。

山本は遺伝子-高分子キャリア複合体の物理化学的性質がin vivoでの遺伝子発現に与える影響について検討した。肝臓親和性をもつ多糖であるプルランヘスペルミンを導入し、プルラン誘導体と遺伝子との複合体を用いて、マウス肝臓への遺伝子導入を行い有望な結果を得た。

磯部は疎水性のフラーレンおよびカーボンナノチューブと関連物質に親水性の置換基を導入して両親媒性とし、さらに機能性分子をつけること機能性物質を実現することを試みた。両親媒性フラーレンの高効率合成、遺伝子導入の試み、毒性評価などで成果を挙げた。日本化学会進歩賞受賞のほか多数の招待講演をおこなっている。

(C-2)エネルギー貯蔵に関する研究として、

王はメタンなどエネルギー源物質吸蔵用に多孔質カーボン構造作製技術を開発した。メカノケミカルな手法を使用し、グラファイト酸化物層間への有機シリカ源のインタカレンションを誘発させ、シリカ架橋体を炭素の層間に挿入した。この方法によりシリカを架橋体とする規則炭素層状構造を作ることができ、経常的に表面積が $1000\text{m}^2/\text{g}$ 以上の複合体を合成できた。

8-2 特筆すべき研究結果・経過等

集積エレクトロニクス産業に大きな影響を及ぼした研究として**湯浅**が開発したトンネル磁気抵抗素子がある。研究開発直前にオンオフ比が 70 程度であったが本研究により最高 400 まで到達し、また大面積化にも成功したため、次世代のハードディスクや高速不揮発メモリー(MRAM)候補として注目され、NEDOの支援による大型の「スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト」(6 年間)へ発展している。同氏の所属する産業総合技術研究所、および東北大学、米国のIBMが世界のトップグループを形成している。

医療分野での影響力の強い研究成果は**古藺**が成し遂げたナノ無機-有機コンポジット材料開発とそれを用いた細胞感染抑制機能を持つ経皮デバイスの開発である。基本性能の実証の後、工業生産技術の開発をJST成果活用プラザ大阪の支援による「育成研究」で実施するかたわら安全性試験、標準化にも取り組んでいる。腹膜透析などの治療に用いられているカテーテルなどの体内留置型機器では従来、生体とのなじみが悪いために細菌の感染経路が形成され、生存率制限の大きな要因となっていたが、この問題を解決する有力な方法が見出された、といえる。

ナノテクノロジーの極限を広げた研究成果として**松田**による光近接場顕微鏡の大幅な分解能向上(30nm以下)がある。空間分解能は走査トンネル顕微鏡に及ばないが、分光情報から電子のエネルギーに関する情報が得られる特色があり、半導体以外にも生体物質への適用への展開が図られている。**塚越**が行なったタングステン針で 2nmギャップを作り、ガドリニウム内包フラーレンをはさむことで超伝導トンネル接合素子を作成し、現時点で分子デバイスのひとつの到達点を示した。これを発展させるべく 2006 年後半から同氏が代表となるCRESTテーマ「ナノ界面・電子状態制御による高速動作有機トランジスタ」が開始されている。

複数の研究者が取り上げ、研究討論の相乗効果が出たものとしてフラーレン、カーボンナノチューブと関連物質がある。化学的手法によるもの(尾上、磯部)、物理的手法によるもの(市田、塚越)、工学的手法によるもの(大野、高村)の広がりがあった。これらは既に産業界で有望視されている応用とは異なるパイオニア性の高い種まきであり、今後が期待される。

固体スピン系の研究も多彩であった(古賀、竹内、町田、ファンデアウィール、大岩、湯浅、菅原)。大別すると情報処理機能を持つ将来の不揮発メモリーの基礎となる研究群と量子情報処理・伝送の分野での状態保持機能を考えた研究群がある。後者はスピン量子系が外界との相互作用が弱いことによる緩和時間の長さが特色であるが、量子状態を制御するには一定の相互作用が必要であり、核スピン、電子スピン、電子軌道運動、フォトン、フォノンの相互作用がすべて検討の対象となった。

本領域の研究成果がいかに対外的に注目されているかを示す指標として、添付資料 p.16-17 項目4.(受賞)、同 p.17-21 項目5.(取材など)、同 p.21 項目6.(ビデオ放送)にまとめた。1,2 期の研究者全員は研究をストップさせることなく、活発に研究を展開している。詳細は添付資料 p.21-24 項目7.(研究期間終了後の研究の展開)を参照いただきたい。

9. 総合所見

9-1 領域を設けたことによる効果と意義

最先端の科学技術の多くは専門分化が進み数多くの学会が林立し、その中もさらに細かく専門部会で仕切られているため、学問の垣根を越えた発想や協力への障害となっている。さきがけプロジェクトで特定の学問分野名を敢えて避けた領域名が選ばれているのは広がりのある見識を育てるという目的意識に基づいていると理解する。「ナノテクノロジー」の理念もまた、既存の物理、化学、工学の枠をはずし、ナノメートルという共通概念での結ばれたプラットフォームで新たな学際性ある革新の発生を期待するものであった。

実際に「ナノと物性」領域を運営してみたところ、平均 10 倍を超える多数の応募は物理、化学、生物、工学にまたがり、多彩なものとなった。研究総括、アドバイザーの分布が物理系、工学系に偏りがあったため途中から化学と生命科学に造詣の深い片岡教授に参画願った。半年毎の領域研究会を通じて横断的な討論は活発となり、通常の学会討論とは異なる面白さがある、と多くの研究者が言うようになった。実際に期間終了までに共同研究のパートナーを見つけた場合も少なくない、と聞いている。

研究現役の 30 才前半前後では研究の幅よりも深さを追求することが優先されるのは当然であり、それに加えて広い視野を獲得してもらうにはなんらかのインセンティブを与えることが必要であろう。ポストドク制度、有期研究員は研究者の流動性を増す制度的な仕組みであるが、狭い専門分野のまま研究場所のみ変わる場合も少なくない。さきがけの制度では研究者間の交流に加えて経験豊かなアドバイザーとのパーソナルな交流が仕組まれており、アドバイザーが身を持って示すパイオニア性、深さ、広さは極めて良い参考になったと思われる。アドバイザーの研究会への出席率が高かったこと、1 時間程度の特別講演を 1 回ずつしていただいたこと、各期生の研究報告書に掲載した座談会で研究成果の印象を述べていただいたことなど、アドバイザー各位には十分な役を果たしていただいた。本領域が成功したとすればアドバイザーの積極的な協力に依るところが大きい。

9-2 外部発表・特許出願

外部発表は添付資料 p.2 項目 2-1(主要論文・特許出願数)で示したように全体として極めて活発である。この分野の特色としてオリジナル論文はほとんど外国語論文であり、研究成果の発信が世界に向けられている。ただし、3 年間の研究期間は必ずしも十分とは言えず、初年度に作り上げた実験システムからのアウトプットが論文として公表されるのに時間がかかるため終了時点での原著論文数にはばらつきがある。その後の展開を見ると終了後 1-2 年でかなりの部分が論文にまとめられている。

研究者の中には大研究室に所属していて研究室の長である教授が大きな研究プロジェクトの責任者であり、その分担研究者となっている場合も多かった。自らが代表者であるさきがけ研究とそのような大型のプロジェクトとの一定程度の切り分けは意識するように指導した。

特許出願状況も p.1 項目 2-1(研究者別外部発表件数)にまとめた。ほとんどの研究者が特許申請の実績を持つ。既に 7-1,7-2 で述べたように「ナノと物性」領域では特許申請の支援を重要な活動項目と位置づけ、領域研究会の場を通じての啓蒙に加えて技術参事が個別の相談に応じるほか専門領域毎に適切と思われる特許事務所を紹介するなどの活動を続けた。当初意識が低かった研究者も知的財産の確保の意味を理解し、積極的に申請するようになったことは収穫である。期間中に日本版バイドール法にしたがい、特許申請の重心は所属する大学に移るように変化したが、さきがけ研究関係者が特許に関して無関心となるのではなく、特許に結びつく知見の特許化に関しては JST 側が引き続き助言することが望ましい。

9-3 今後の運営

全体として「さきがけ研究」は研究者にとって歓迎されている制度であり、積極的に活用しようとする姿勢が見られた。それは競争率が高くて採択されたときのプレスティジが高い; 科学研究費基盤研究と比べて研究費総額が大型である; 経理、契約の事務の大部分を事務参事および JST 事務局が引き受けてくれている; 領域会議ほかの機会に研究総括、技術参事、アドバイザーとの交流があり、研究活動自体

を注目視する人がいる;などの要素が絡まりあった結果であるように思われる。諸外国でも研究支援機関の活動の重要部分として公正な審査、予算の配分に加えてプログラムオフィサーと研究者の双方向のコミュニケーションが位置づけられているが、さきがけ研究で重視してきた双方向のコミュニケーションを今後とも続けるよう希望する。

研究成果をわかりやすく示すために研究期間途中から研究発表、啓蒙に関する取り組みが JST 本部で練られ、新しい試みが追加された。情報発信への努力も継続して行なっていただくことを希望する。

9-4 反省点

研究者との双方向のコミュニケーションは半年毎の泊りがけの領域研究会に加えて、領域事務所の技術参事、事務参事とのほぼ毎月の研究連絡(進捗状況報告、経費関係、特許出願相談など)や、対外発表の際のメールによる発表許可申請へのレスポンスなど、密度高くおこなわれた。研究総括が行う研究場所への訪問調査は期間中1回であったが、概ね進捗状況は把握できたと考える。

ただし、これらのコミュニケーションは研究者本人の自発性に任せている面が強く、進捗中に困難が生じた場合には解決に向けて相談に乗るように努めたが、事後に知る場合もあった。領域事務所が持つ支援機能のうち相談窓口的な役割についてもさらに周知を図るべきであったと思う。

研究成果の対外発表状況は全体として極めて順調であり、若手研究者に与えられる学術賞の受賞の多さからみてそれぞれの分野で注目される研究を行っている研究者が多いことが分かった。ただ、国内外での口頭発表が多いわりに原著論文の形にまとめるのに時間がかかっている場合もあり、研究者によっては落ち着いて研究結果をまとめる時間が取り難い状況があるのではないかと想像される。領域事務所からの頻繁な連絡が研究者の多忙さに輪をかける作用を及ぼしていると解釈すべきか、個々の研究者のスタイルの問題と考えるべきか、迷うところである。研究の評価は短期的な数値指標のみで図られるものではなく、質の良い成果をしっかりとまとめることである、という説明を領域研究会等で発言したつもりではあったが、研究者との双方向コミュニケーションの努力が「単にあおるだけ」、と受け止められないような周到さが求められると反省する。