

**(独) 科学技術振興機構  
戦略的創造研究推進事業  
個人型研究(さきがけ)  
追跡調査報告書**

**研究領域「秩序と物性」  
(2000-2005)  
研究総括 曾我 直弘**

**2010.3.26**

## <目次>

概要 .....	1
第1章 追跡調査について .....	2
1.1 調査の目的.....	2
1.2 調査の対象.....	2
1.3 研究領域の概要.....	2
第2章 全研究課題（研究者）の発展状況 .....	5
2.1 参加研究者全員に対するアンケート調査 .....	5
2.2 参加研究者全体の動向.....	6
2.2.1 研究者の職位の推移.....	6
2.2.2 論文、総説・解説の発表件数の推移 .....	7
2.2.3 著書件数の推移 .....	8
2.2.4 特許出願件数の推移 .....	9
2.2.5 招待講演件数の推移.....	10
2.2.6 研究者の受賞.....	12
2.2.7 研究者の研究助成金獲得状況.....	18
2.2.8 参加研究者の研究成果と発展状況.....	21
2.2.9 さきがけ研究の意義.....	37
2.3 第2章のまとめ .....	39
第3章 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果 .....	40
3.1 詳細調査の内容.....	40
3.2 代表事例の発展状況 .....	40
3.2.1 有機-無機ハイブリッド型水素吸蔵ポリマーの創製（北川宏 第1期） .....	40
3.2.2 ゴルーゲル系における階層的な多相秩序構造と担体機能 （中西 和樹 第1期） .....	44
3.2.3 単一次元鎖磁石の構造秩序性と磁性制御（宮坂等 第2期） .....	48
3.2.4 磁気・電気分極が共存する複合分極金属錯体の創製と新機能 （大越慎一 第3期） .....	51
3.3 第3章のまとめ .....	56

## 概要

本資料は、戦略的創造研究推進事業の個人型研究（さきがけタイプ）（以下、さきがけ）の研究領域「秩序と物性」（2000-2006 年）において、研究終了後一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況等を明らかにし、独立行政法人科学技術振興機構（JST）事業及び事業運営の改善等に資するために調査した結果をまとめたものである。

「秩序と物性」は、色々な手法を用いて固体の構造を低次元化、非晶質化、あるいはハイブリッド化することで、原子からナノ・ミクロ・マクロに至る構造や組織上の秩序性の変化によりもたらされる物性や特性を調べ、構造秩序性と物性の関連を原理的に明らかにすることを通じて、高性能や新機能を示す金属・無機・有機・複合材料創出のきっかけを切り開くことを目標としている。その第 3 期の研究者が研究を終了してから 4 年を経過した時点で、参加研究者全員 28 名を対象として調査を行った。

まず、参加研究者全員に対して、論文、特許、研究助成金、招待講演、受賞などに関するアンケート調査を実施し、28 名中 26 名の回答を得た。アンケート調査結果および補足的な調査結果を基に、研究総括と相談の上、代表事例を抽出し、選定された研究者 4 名に対して、詳細インタビュー調査を実施した。

アンケート結果から、さきがけ期間中、及びさきがけ終了後から追跡調査時点までの、職位、論文数、特許出願件数、研究助成金獲得額などを比較し、さきがけ期間中に比して、さきがけ終了後に研究活動が向上していることを確認した。職位については、追跡調査時点で教授であった研究者は 9 名おり、それぞれの分野でリーダー的存在として活躍している。研究成果の発表では、さきがけ期間中、年平均 5 報以上論文を発表している研究者は 17 名であったが、さきがけ終了後には 25 名に増加した。研究助成金に関しては、さきがけ期間中・終了後合わせて 2 億円以上の大型の研究助成金を獲得した研究者が 5 名みられた。また、さきがけ研究の意義に対する意見は、回答のあった 23 名全員が、自身の研究に役立ったと考えており、何らかの制度・運営に関する改善等の意見を持つのは 6 名という結果になった。具体的には、若手研究者に対して非常に大きな自由度と責任を与えてその後の研究の足がかりとなる基礎研究を行うことを可能としたこと、異分野融合への進展、他の研究者との交流は非常に有意義であったこと等の利点についての意見があった。一方で、さきがけ研究の課題としては予算の運営形態、採択基準の改善、期間の短さなどの意見が寄せられた。

詳細インタビュー調査は、研究総括へのヒアリングを通じて、詳細調査対象となる研究者を 4 名選定した。詳細調査対象となる各研究者は、さきがけ研究をより発展させ、新たな材料の創製につながる可能性のある研究を進めていた。さきがけ事業中の研究者同士での交流による刺激が後にも良い影響をもたらしていた。

## 第1章 追跡調査について

### 1.1 調査の目的

戦略的創造研究推進事業の個人型研究さきがけにおいて、研究終了後一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況を明らかにし、JST 事業及び事業運営の改善等に資するために追跡調査を行う。

### 1.2 調査の対象

本追跡評価はさきがけ研究領域「秩序と物性」（2000-2006年）の研究課題全てを対象とする。表 1-1 に調査対象と調査対象期間を示す。

表 1-1 調査対象と調査対象期間

	さきがけ期間	さきがけ終了後調査対象期間	研究課題数
第1期	2000年10月－2003年9月	2003年10月－2009年3月	10
第2期	2001年12月－2005年3月	2005年4月－2009年3月	10
第3期	2002年11月－2006年3月	2006年4月－2009年3月	8

### 1.3 研究領域の概要

「秩序と物性」の研究総括は曾我 直弘（滋賀県立大学 学長）であり、研究領域の概要は以下のとおりである。

「秩序と物性」は、色々な手法を用いて固体の構造を低次元化、非晶質化、あるいはハイブリッド化することで、原子からナノ・マイクロ・マクロに至る構造や組織上の秩序性の変化によりもたらされる物性や特性を調べ、構造秩序性と物性の関連を原理的に明らかにすることを通じて、高性能や新機能を示す金属・無機・有機・複合材料創出のきっかけを切り開くことを目標としている。例えば、秩序・無秩序の制御と物性評価、種々の物性と秩序性との相関の定量的評価、構造・組織 秩序性と外場応答性、電子・原子・分子の相互作用と機能発現などに関する研究、およびこれらの応用研究を含んでいる。

この領域の概要に沿って研究を行うため、10人の領域アドバイザーを定め、研究者の指導にあたった。表 1-2 に領域アドバイザーを示す。

表 1-2 領域アドバイザー

領域アドバイザー	さがし終了時の所属・役職
相澤 龍彦	トロント大学 教授
安藤 健	GE 東芝 (株) 技術研究所長 (2000 年 4 月～2002 年 3 月)
伊藤 節郎	旭硝子 (株) 中央研究所 特別研究員
遠藤 忠	昭栄マテリアル (株) 常務取締役
奥居 徳昌	東京工業大学大学院 理工学研究科 教授
河本 邦仁	名古屋大学大学院 工学研究科 教授
春田 正毅	首都大学東京 環境調和技術研究部門 教授
板東 義雄	(独) 物質・材料研究機構 フェロー (2002 年 6 月～2006 年 3 月)
松重 和美	京都大学 副学長
三友 護	(独) 物質・材料研究機構 名誉研究員 (2000 年 4 月～2002 年 5 月)

研究課題 (研究者) の公募は、2000 年度から 2002 年度までの間に 3 度行い、総計 28 件の研究課題を採択した。表 1-3 に各期の研究課題名、研究者ならびに所属と役職を示す。

さがし期間中の成果には世界的に傑出したものが多く、領域事後評価報告書では、特筆すべき成果として下記を挙げる。

- ✓ 幾原 雄一は、透過型電子顕微鏡の高度な観察技術で著名であるが、さがし研究ではモノづくりの分野へと幅を広げ、アルミナ単結晶の断片を、結晶方位角度を制御しつつ加圧成形することにより、直線状の転移欠陥を高密度に発生・成長させることに成功した。
- ✓ 任 暁兵は、独自の点欠陥対称性原理を強誘電体に適用し、巨大電歪効果を示す材料を開発への一端を開いた。
- ✓ 岩村 栄治は、非結晶質カーボンの電子線照射による改質に取り組み、当領域では最多の特許出願を達成した。
- ✓ 下山 淳一は、酸化物の酸素量精密制御について、酸素の含有量と物性変化を構造変化の観点から追及した。最近、酸化物超伝導体の許容電流密度を大幅に増加させるには、組成の酸素制御が極めて重要であることがわかった。
- ✓ 大越 慎一は、錯体のキラリティおよび元素置換法により、湿度で磁性が変化する物質を世界で初めて合成した。

表 1-3 研究課題と研究者（第1期、第2期、第3期）

期（採択年度）	研究課題名	研究者	さがし採択時の所属・役職	さがし終了時の所属・役職	追跡調査時の所属・役職
第1期(2000年度)	セラミックスの超微細秩序構造と機能発現	幾原 雄一	東京大学 工学部附属総合試験所 助教授	東京大学 工学部総合研究機構 教授	東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構 教授
	強誘電性有機低分子のナノレベル秩序制御と電子物性	石田 謙司	京都大学大学院 工学研究科 助手	京都大学大学院 工学研究科 講師	神戸大学 工学研究科 准教授
	二元金属集積体の異成分挿入による磁気光学特性の制御	大場 正昭	九州大学大学院 理学研究院 助手	九州大学大学院 理学研究院 助手	京都大学大学院 工学研究科 准教授
	有機-無機ハイブリッド型水素吸蔵ポリマーの創製	北川 宏	筑波大学 化学系無機物理化学分野 助教授	九州大学大学院 理学研究院 教授	京都大学大学院 理学研究科 教授
	秩序-無秩序人工格子による新規誘電性の発現	田畑 仁	大阪大学 産業科学研究所 助教授	大阪大学 産業科学研究所 教授	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	低次元固体の電子秩序ダイナミクスとシートプラズモン	長尾 忠昭	東京大学大学院 理学系研究科 助手	東北大学 金属材料研究所 助教授	(独)物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 独立研究者
	ゾル-ゲル系における階層的多相秩序構造と担体機能	中西 和樹	京都大学大学院 工学研究科 助教授	京都大学大学院 工学研究科 助教授	京都大学大学院 理学研究科 准教授
	光波アンテナによる輻射場の制御と発光特性	宮崎 英樹	科学技術振興事業団 さがし研究者	(独)物質・材料研究機構 材料研究所 主任研究員	(独)物質・材料研究機構 量子ドットセンター グループリーダー
分子配列制御した低次元秩序構造による有機発光素子の高機能化	柳 久雄	神戸大学 工学部 助手	神戸大学 工学部 助手	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 教授	
制御されたナノ粒子の秩序配列と磁気特性	米澤 徹	九州大学大学院 工学研究院 助手	東京大学大学院 理学系研究科 助教授	北海道大学大学院 工学研究科 教授	
第2期(2001年度)	電子線リソグラフィによる炭素系ハイブリッド構造膜の創製と高機能化	岩村 栄治	科学技術振興事業団 さがし研究者	(独)科学技術振興機構 さがし研究者	荒川化学工業(株) 研究所 新事業企画開発部 主任研究員
	非晶質ポーラスシリカの微細構造制御と光機能発現	内野 隆司	京都大学 化学研究所 助教授	神戸大学 理学部 助教授	神戸大学大学院 理学研究科 准教授
	光による強相関電子系の秩序制御と高次物性応答	長田 実	科学技術振興事業団 さがし研究者	(独)物質・材料研究機構 物質研究所 主任研究員	(独)物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 研究者
	強相関電子系の非線形光学特性の解明と新光機能材料の探索	岸田 英夫	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 助手	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 助手	名古屋大学大学院 工学研究科 准教授
	層状酸化物の選択的組成制御と新機能の開拓	下山 淳一	東京大学 工学部附属総合試験所 助教授	東京大学 工学部総合研究機構 助教授	東京大学大学院 工学系研究科 准教授
	点欠陥秩序の対称性と特異なマルチスケール現象	任 暁兵	(独)物質・材料研究機構 物性解析研究グループ 主任研究員	(独)物質・材料研究機構材料研究所 主幹研究員	(独)物質・材料研究機構 センサ材料センター グループリーダー
	イオン伝導体のナノ配列制御と新規機能の発現	前川 英己	東北大学大学院 工学研究科 助手	東北大学大学院 工学研究科 助手	東北大学大学院 工学研究科 准教授
	単一次元鎖磁石の構造秩序性と磁性制御	宮坂 等	東京都立大学大学院 理学研究科 助手	東京都立大学大学院 理学研究科 助手	東北大学大学院 理学研究科 准教授
ホウ素系ネットワーク物質における物性制御	森 孝雄	(独)物質・材料研究機構 物質研究所 ホウ化物グループ 研究員	(独)物質・材料研究機構 物質研究所 主任研究員	(独)物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 研究者	
セラミックス薄膜構造のナノオーダー秩序制御と光電気化学物性	森口 勇	長崎大学 工学部 助教授	長崎大学 工学部 助教授	長崎大学 工学部 教授	
第3期(2002年度)	磁気・電気分極が共存する複合分極金属錯体の創製と新機能	大越 慎一	東京大学 先端科学技術研究センター 講師	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	東京大学大学院 理学系研究科 教授
	高分子発光材料の高次構造と光特性	梶 弘典	京都大学 化学研究所 助手	京都大学 化学研究所 助教授	京都大学 化学研究所 教授
	ゼオライトを用いた高集積秩序構造体の創製と電子物性制御	小平 哲也	(独)産業技術総合研究所 界面ナノアーキテクトニクス研究センター 主任研究員	(独)産業技術総合研究所 ナノアーキテクトニクス研究センター 主任研究員	(独)産業技術総合研究所 コンパクト化学プロセス研究センター 主任研究員
	有機-無機複合ピラー構造の周期配列制御と機能発現	瀬川 浩代	大分大学 工学部応用化学科 助手	東京工業大学大学院 理工学研究科物質科学専攻 助手	(独)物質・材料研究機構 ナノスケール物質萌芽ラボ 主任研究員
	半導体超格子構造の創出と光機能発現	竹岡 裕子	上智大学 理工学部化学科 助手	上智大学 理工学部 助手	上智大学 理工学部 講師
	酸化還元活性金属錯体液晶における動的構造と物性制御	張 浩徹	京都大学大学院 工学研究科 合成・生物化学専攻 助手	京都大学大学院 工学研究科 助手	北海道大学大学院 理学研究院化学部門 准教授
	欠陥エンジニアリングによる新規強誘電機能の発現	野口 祐二	東京大学 生産技術研究所 助手	東京大学 先端科学技術研究センター 講師	東京大学 先端科学技術研究センター 准教授
$\pi$ 共役系高分子の完全配向制御と光・電子デバイスへの展開	村田 英幸	北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 助教授	北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 助教授	北陸先端科学技術大学院大学 マテリアルサイエンス研究科 教授	

## 第2章 全研究課題（研究者）の発展状況

### 2.1 参加研究者全員に対するアンケート調査

参加研究者全員に対して、さきがけ期間中と終了後の研究実績について問い合わせる調査票を送付し、全 28 名中 26 名の回答を得た。回答率は 92.9%である。研究課題名及びさきがけ採択時、終了時ならびに追跡調査時の所属は表 1-3 に示した通りである。調査票の質問事項は表 2-1 に示す。

表 2-1 調査票の質問事項

問 1	回答者の情報（氏名、所属、連絡先等）
問 2	さきがけ期間中および終了後の研究で、国際的に高い評価を受けている代表的な研究テーマと成果（5 件以内）
問 3	さきがけ期間中と終了後に公表された原著論文、総説・解説
問 4	さきがけ期間中と終了後に公表された著書
問 5	さきがけ期間中と終了後に出願された特許出願
問 6	さきがけ期間中と終了後に発表された招待講演
問 7	さきがけ期間中と終了後に獲得・継続した研究助成金
問 8	さきがけ期間中と終了後に受賞された賞
問 9	さきがけの成果に関しての応用・実用化や社会的価値の創出につながる取り組み
問 10	その他、アピールしたいこと
問 11	さきがけ研究の意義（良かった点、問題点、その他）
問 12	さきがけ制度、あるいは JST の事業についての意見

なお、以降の調査結果は、基本的にアンケートへの回答結果を基に作成しているが、アンケート未回収者については各研究者のホームページの閲覧及び各種公開データベースの検索によりデータを補った。また、アンケート回答に明らかな間違いがある場合は、調査のうえ訂正及び削除を行っている。さらに必要に応じて、アンケート回答に基づいて各研究者のホームページや各種データベースでの調査を行った。

## 2.2 参加研究者全体の動向

### 2.2.1 研究者の職位の推移

職位は、研究成果の蓄積が社会から認められたことを確認する一つの指標であると考えられるため、研究者全員のさきがけ採択時、終了時および追跡調査時の職位の推移を図 2-1 に示した。

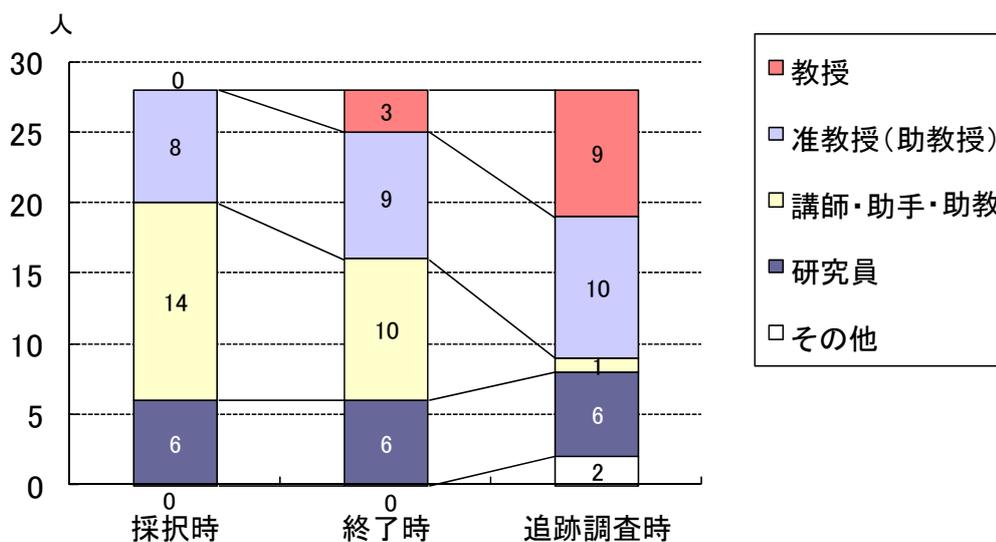


図 2-1 研究者のさきがけ採択時、終了時および追跡調査時の職位の推移

さきがけ採択時には、教授は 0 名、助教授 8 名であったが、さきがけ終了時には助教授から教授に昇格した者が 3 名いた（幾原、北川、田畑）。さらに、追跡調査時点では合わせて 9 名が教授となっている（柳、米澤、森口、大越、梶、村田が昇格）ほか、研究員においてもグループリーダーになった者が 2 名いる。昇格しているかどうかについてみると、23 名の者は採択時から追跡調査時に昇格している。

追跡調査時に教授になっていた者のうち、4 名（柳、米澤、大越、梶）は、採択時には講師または助手であった者であり、比較的短い期間で昇格したことになる。

以上より、本研究領域の参加研究者は、大学や研究機関において中核的な役割を担うようになっていると考えられる。

## 2.2.2 論文、総説・解説の発表件数の推移

論文発表件数の推移は研究者の研究活動を示す一つの指標であると考えられるため、さきがけ期間中と終了後の論文、総説・解説数（発表件数）の個人別推移（年平均）を図 2-2 に示した。

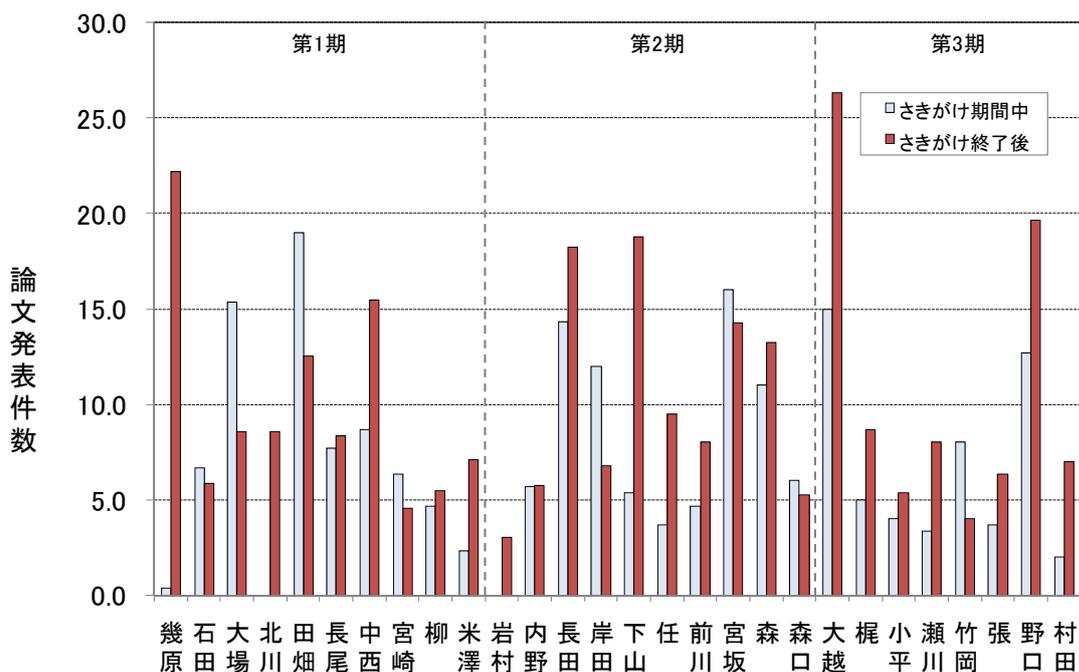


図 2-2 研究者の論文（論文、総説・解説）発表件数（年平均）

さきがけ期間中に比べて、ほとんどの研究者（20名）において、さきがけ終了後の論文発表件数（年平均）が増えている。特に、幾原、中西、長田、下山、大越、野口の6名は論文発表件数（年平均）が15件を超えている。さきがけ期間中の研究成果が効果的に研究につながっていることが窺える。

### 2.2.3 著書件数の推移

さきがけ期間中と終了後の著書件数（年平均）を図 2-3 に示した。

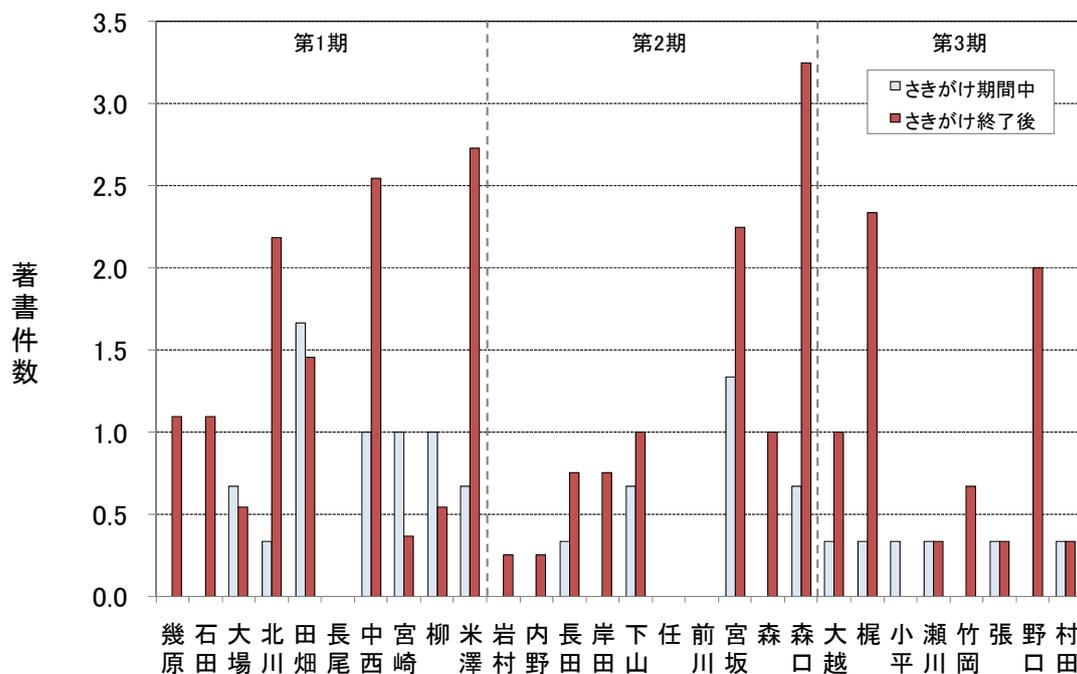


図 2-3 研究者の著書件数（年平均）

さきがけ期間中に比べて、多くの研究者（17名）においてさきがけ終了後の著書件数（年平均）が増えている。特に、森口、米澤、中西、梶、宮坂、北川、野口の7名は著書件数（年平均）が2件以上あり、研究成果の社会的発信に熱心取り組んでいる傾向が窺われる。

## 2.2.4 特許出願件数の推移

特許出願件数は基礎研究から産業への貢献を分析する一つの指標であると考えられるため、さきがけ期間中と終了後の特許出願件数（年平均）の個人別推移を図 2-4 に示した。

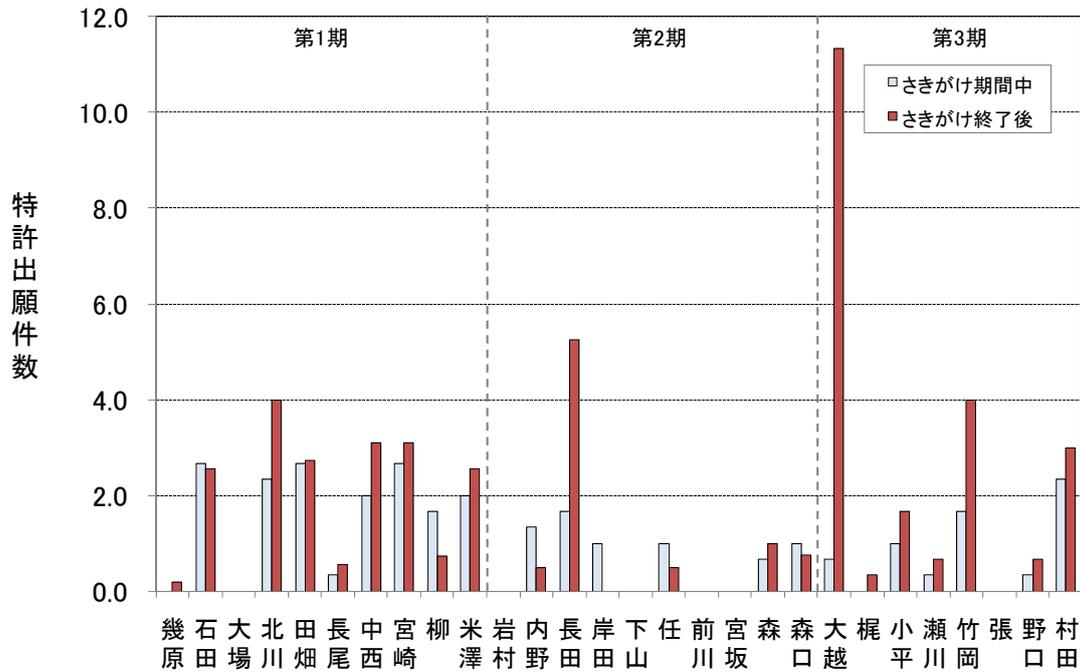


図 2-4 研究者の特許出願件数（年平均）

さきがけ期間中に、特許出願をしていた研究者は 20 名であったが、終了後には 21 名に増えた。研究者 28 名中 16 名の特許出願件数（年平均）がさきがけ期間中に比べて増えている。特に、さきがけ終了後に大越は、電波吸収性磁性結晶および電波吸収体などの特許を出願しており、特許出願件数（年平均）が飛躍的に増加していることが分かる。

### 2.2.5 招待講演件数の推移

招待講演件数は学界での認知の高さを分析する一つの指標であると考えられるため、さきがけ期間中と終了後の招待講演件数（年平均）の個人別推移を図 2-5 に示した。さらに、図 2-5 のうち数として、さきがけ期間中と終了後の国際会議での招待講演件数（年平均）を図 2-6 に示した。

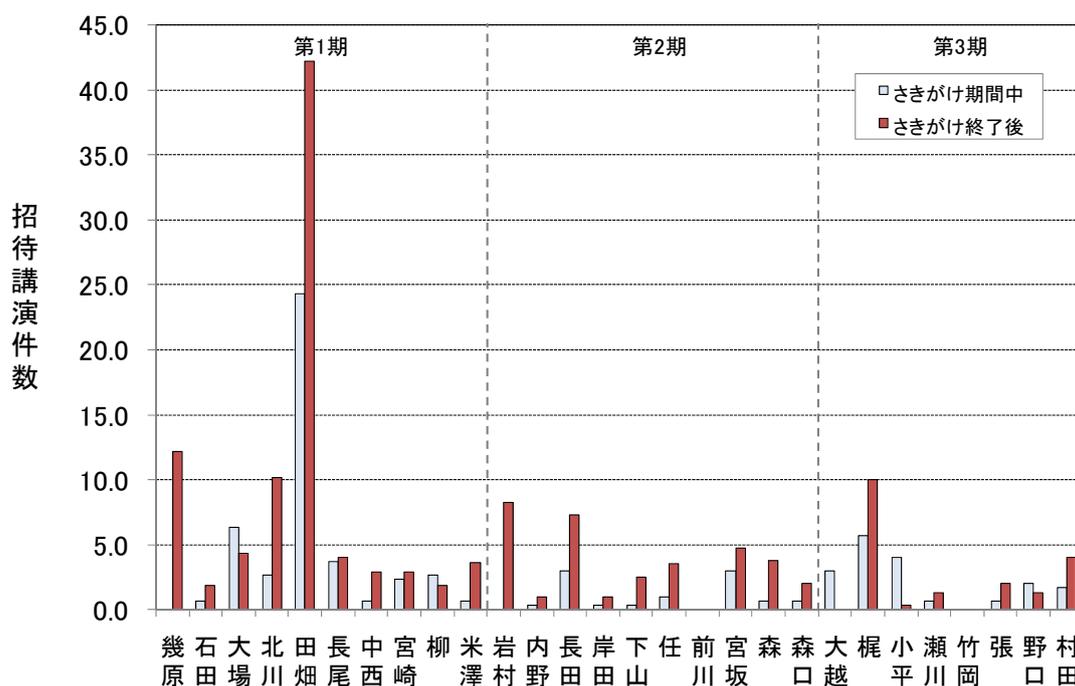


図 2-5 研究者の招待講演件数（年平均）

招待講演件数（年平均）は、さきがけ期間中には、5件を超えていた者は3名であったが、終了後は6名にまで増加した。また、21名において招待講演件数（年平均）が期間中よりも終了後において増えている。なお、回答者によって「招待講演」の認識にやや違いがある模様であり、留意が必要である。

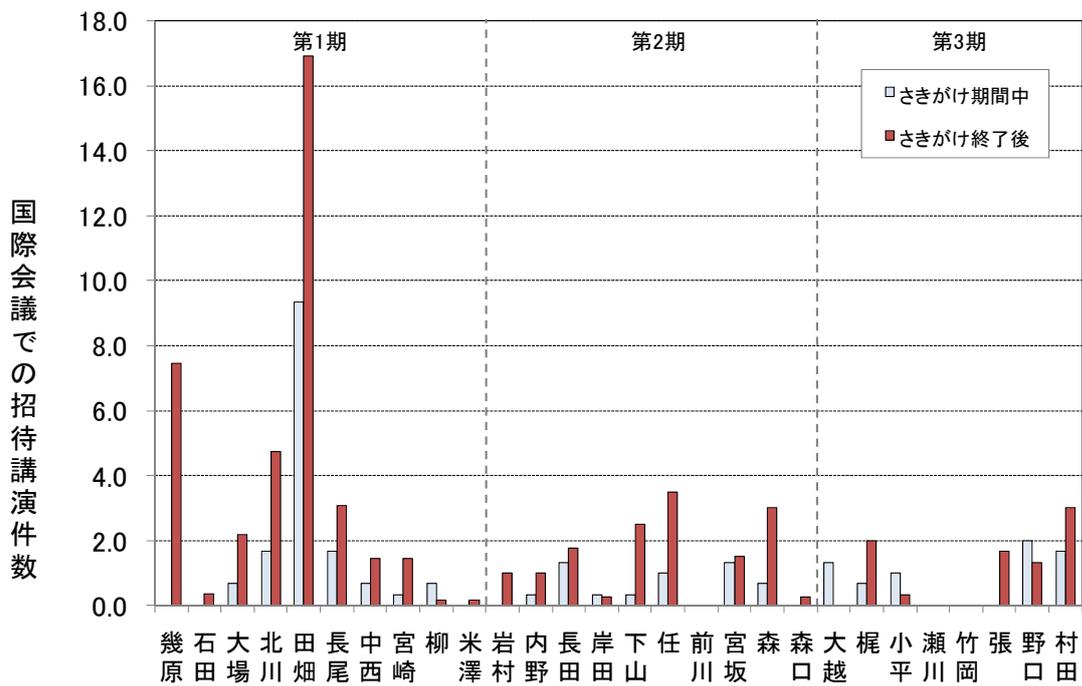


図 2-6 研究者の国際会議での招待講演件数（年平均）

国際会議での招待講演件数（年平均）は、さきがけ期間中には、2 件以上の者は 2 名であったが、終了後は 10 名にまで増加した。また、20 名において国際会議での招待講演件数（年平均）が期間中よりも終了後において増えている。

## 2.2.6 研究者の受賞

各種機関からの受賞は、さきがけ研究者が外部からどの程度評価されているかの一つの証左であるため、さきがけ期間中と終了後の受賞について、表 2-2(a)と表 2-2(b)にそれぞれ示した。

さきがけ期間中には計 22 件であったが、さきがけ終了後には、計 37 件の受賞が確認されている。

さきがけ期間中から複数の受賞をしているのは、大場（全て期間中に 3 件）、田畑（期間中 3 件、終了後 1 件）、宮崎（期間中 3 件、終了後 1 件）、長田（期間中 3 件、終了後 2 件）、野口（期間中 2 件、終了後 3 件）の 5 名である。終了後に複数の受賞をしているのは、幾原（6 件）、北川（2 件）、長尾（2 件）、中西（4 件）、岸田（2 件）、任（3 件）、森（2 件）、大越（3 件）である。なかでも、幾原は、終了後の 2006 年から 2008 年の短期間に国内外で受賞している点が注目される。

45 歳未満で学術上、特に優れた成果を上げたと認められる者に与えられる「日本学術振興会賞」については、2007 年度に田畑、大越の 2 名が受賞している。この年度に理工系で受賞した者は 10 名であり、そのうち 2 名が本領域の採択者であったことになる。

表 2-2 研究者の受賞状況

(a) さきがけ期間中

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
大場 正昭	九州大学総長奨励賞 「[Mn(en)] <sub>3</sub> [Cr(CN) <sub>6</sub> ] <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O:A Three-Dimensional Dimetallic Ferrimagnet(TC=69K) with a Defective Cubane Unit」	九州大学	2001
大場 正昭	欧文誌論文賞 (BCSJ 賞) 「A Bimetallic Magnetic System Exhibiting Reversible Ferromagnetism/Metamagnetism Modulation」	日本化学会	2002
大場 正昭	進歩賞 「分子性透明磁性体の合成と磁気および磁気光学特性の研究」	日本化学会	2003
田畑 仁	優秀ポスター賞	第 10 回国際超伝導エレクトロニクスカンファレンス (ISEC' 01)	2001

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
田畑 仁	丸文研究奨励賞 「レーザ MBE 法による強誘電体/強磁性体機能調和人工格子の創成」	(財)丸文研究交流財団	2001
田畑 仁	第 3 回 JJAP 編集貢献賞	応用物理学会	2003
宮崎 英樹	インテリジェント材料フォーラム高木賞 「粒子アセンブルによるフォトニック結晶の作製」	(社)未踏科学技術協会 バイオ・ナノテクフォーラム	2002
F. Garcia-Santamaria, H. T. Miyazaki (宮崎 英樹), A. Urquia, M. Ibisate, M. Belmonte, N. Shinya, F. Meseguer, and C. Lopez	Cover of the Year 2002	Advanced Materials 誌	2002
宮崎 英樹	論文賞 「表面凝着力を考慮した力学に基づく電子顕微鏡下における微小物体操作法分析」	日本ロボット学会	2003
米澤 徹	コロイドおよび界面化学部会 科学奨励賞	日本化学会	2002
長田 実	学術シンポジウム奨励賞 「低次元ナノ構造体のデザインと特性」	(社)日本 MRS	2002
長田 実	第 23 回研究討論会研究奨励賞	日本セラミックス協会	2003
長田 実	進歩賞 「電子セラミックスの分光学的評価と新規光機能に関する研究」	日本セラミックス協会	2004
下山 淳一	優良発表賞 「RE123 バルクの臨界電流特性の制御」	低温工学会	2004
前川 英己	Outstanding Poster Award 「Size Dependent Ionic Conductivity Observed for Ordered-Mesoporous-Alumina-Ionic Conductor Composites」	9th Asian Conference on Solid State Ionics (韓国)	2004

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
宮坂 等	進歩賞 「金属錯体集積によるナノワイヤー分子量子磁石の開発と展開」	日本化学会	2003
森口 勇	奨励賞（三菱化学カルゴン賞） 「自己集合構造を利用した多孔体合成と応用に関する研究」	日本吸着学会	2004
大越 慎一	文部科学大臣表彰 若手科学者賞 「固体化学分野における新規磁気機能性金属錯体の研究」	文部科学省	2005
瀬川 浩代	矢崎学術賞（奨励賞） 「ゾル-ゲル法を用いたフォトニック結晶の作製」	矢崎科学技術振興記念財団	2005
竹岡 裕子	奨励賞	女性科学者に明るい未来をの会	2005
野口 祐二	学術写真賞優秀賞 「強誘電マイクロドメイン」	日本セラミックス協会	2003
野口 祐二	進歩賞 「ビスマス層状構造強誘電体の構造と強誘電物性に関する研究」	日本セラミックス協会	2003

(b) さきがけ終了後

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
幾原 雄一	優秀論文賞 「Localized Strain and Atomic Structures of Symmetrical Tilt Grain Boundaries in Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Bicrystals」	日本セラミックス協会	2006
幾原 雄一	論文賞（まてりあ論文）	日本金属学会	2006
幾原 雄一	学術功労賞	日本金属学会	2006
幾原 雄一	Cosslett Award 「Observing Impurity Doping in Oxide Grain Boundaries Using STEM」	Microbeam Analysis Society	2007
幾原 雄一	瀬藤賞 「粒界構造解析の高度化と定量化に関する研究」	日本顕微鏡学会	2007
幾原 雄一	Ross Coffin Purdy Award 「Atomic Structures and Electrical Properties of ZnO Grain Boundaries」	American Ceramics Society	2008
北川 宏	研究・産学官連携活動表彰	九州大学	2007
北川 宏	研究・産学官連携活動表彰	九州大学	2008

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
田畑 仁	第4回日本学術振興会賞 「酸化物人工格子およびナノバイオ融合エレクトロニクス研究」	日本学術振興会	2008
長尾 忠昭	ハイテク・ビデオ・コンクール グランプリ 「ナノエレクトロニクスの世界を拓くために」	科学技術振興機構、(株)イメージサイエンス	2005
長尾 忠昭	注目論文賞 「Electronic Structure of Ultrathin Bismuth Films with A7 and Black-Phosphorus-like Structures」	Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) 誌	2007
金森 主祥、米澤 秀行、中西 和樹、平尾 一之、陣内 浩司	Best Poster Paper Award First Prize 「制限空間中での相分離したメチルシロキサン高分子モノリスの構造制御」	HPLC2004	2004
中西 和樹	学術賞 「相分離を伴うゾル-ゲル法による機能性多孔材料の開発」	日本セラミックス協会	2005
鈴木 禎崇、金森 主祥、中西 和樹、平尾 一之、山道 淳太	Best Poster Paper Award Third Prize 「制限空間中で作製された異方性のシロキサン系モノリス」	HPLC2005	2005
藤田 晃司、小西 順子、中西 和樹、森 里恵、宮崎 将太、大平 真義	Kyoto Best Poster Paper Award Third Prize 「マクロメソ多孔性チタニアモノリスのゾル-ゲル合成と含リン酸化化合物の HPLC 分離媒体としての応用」	HPLC2009	2008
宮崎 英樹	第14回つくば奨励賞（若手研究者部門） 「電顕下マイクロ組立法によるフォトリソグラフィ結晶の研究」	茨城県科学技術振興財団	2004
米澤 徹	高分子学会 関西支部ヤングサイエンティスト講演賞	高分子学会	2005
長田 実	第19回つくば賞 「無機ナノシートの創製とその集積化による機能性材料の開発」	茨城県科学技術振興財団	2008

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
長田 実	文部科学大臣表彰 若手科学者賞 「金属酸化物におけるナノ構造制御 と新規機能創製の研究」	文部科学省	2009
岸田 英夫	第1回若手奨励賞 「低次元強相関遷 移金属化合物の非線形光学応答」	日本物理学会	2007
岸田 英夫	文部科学大臣表彰 若手科学者賞 「低次元強相関絶縁体における非線 形光学応答の研究」	文部科学省	2007
任 暁兵	第15回つくば奨励賞（若手研究者部 門） 「新しい原理による巨大電歪効 果の発見」	茨城県科学技術振 興財団	2005
任 暁兵	Most cited author in 2005-2008	Progress in Materials Science 誌	2009
任 暁兵	Top 10 referee	Scripta Materialia 誌	2009
前川 英己	科学計測振興会賞	科学計測振興会	2008
宮坂 等	文部科学大臣表彰 若手科学者賞 「固体磁性分野における単一次元鎖 磁石の創出と磁気挙動の研究」	文部科学省	2006
森 孝雄	物質研究所研究奨励賞	(独) 物質・材料 研究機構	2006
森 孝雄	理事長賞研究奨励賞 「新たな高温熱 電材料の開発 原子ネットワーク物 質の制御」	(独) 物質・材料 研究機構	2008
大越 慎一	第4回学術奨励賞 「磁気化学を基盤 とした新規磁気物性の創出に関する 研究」	日本学士院	2008
大越 慎一	第4回日本学術振興会賞 「磁気化学 を基盤とした新規磁気物性の創出に 関する研究」	日本学術振興会	2008
大越 慎一	第23回日本 IBM 科学賞 「磁気化学 を基盤とした新奇な磁性体の創出」	日本 IBM (株)	2009

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
瀬川 浩代	第 61 回進歩賞 「有機・無機複合材料による周期構造の作製と構造制御に関する研究」	日本セラミックス協会	2005
瀬川 浩代	第 31 回学術写真賞 最優秀賞	日本セラミックス協会	2006
竹岡 裕子	奨励賞 「 $\pi$ 共役系高分子の有機無機超格子化と薄膜化」	高分子学会	2009
Yuji Noguchi (野口 祐二), Takanori Matsumoto, Masaru Miyayama	2005 年池田賞 論文賞 「Impact of Defect Control on the Polarization Properties in Bi <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>12</sub> Ferroelectric Single Crystals」	池田記念会	2006
野口 祐二	著作賞 「無鉛圧電セラミックス・デバイス」	日本 AEM 学会	2008
野口 祐二	Award of the Outstanding Papers Published in the JCSJ in 2008 「High-quality single crystal growth of Bi-based perovskite ferroelectrics based on defect chemistry」	Journal of the Ceramic Society of Japan	2009

## 2.2.7 研究者の研究助成金獲得状況

研究者の研究助成金獲得状況について、図 2-8 の下部に示した制度を対象として集計を行った。

さきがけ期間中と終了後の研究費獲得金額合計の分布を図 2-7 に、合計が 5000 万円以上の研究者の研究助成金獲得状況を図 2-8 に示した。

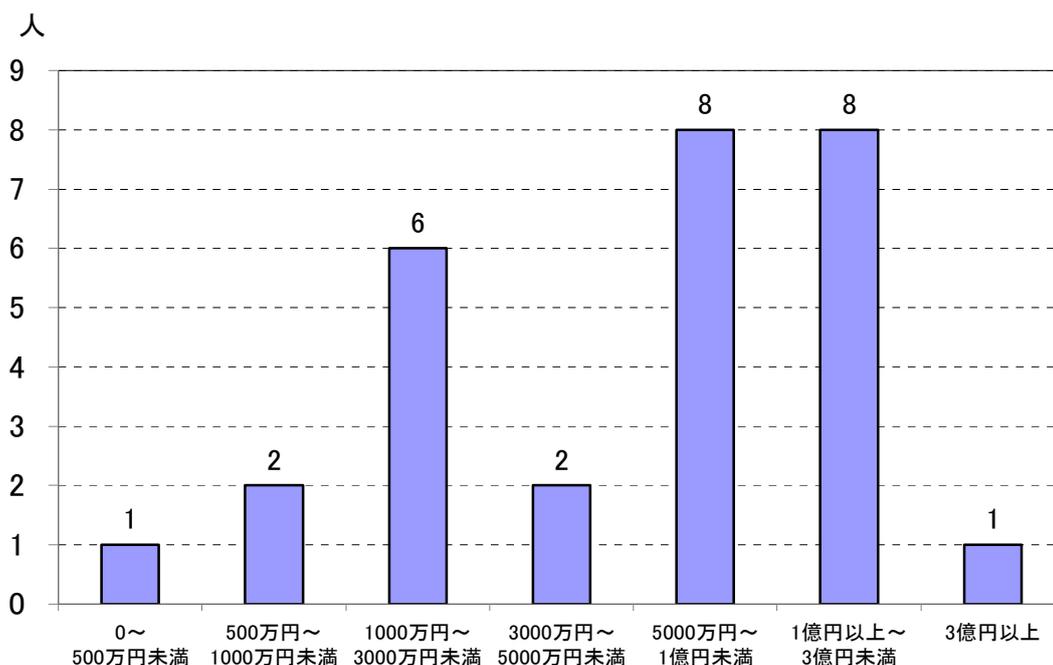


図 2-7 研究者の研究助成金獲得状況（さきがけ期間中・終了後合計）

金額の幅はあるものの、さきがけ期間中と終了後合わせた研究助成金獲得金額が 1 億円を超える者が 28 名中 9 名おり、コンスタントに研究助成金を獲得していることが分かる。特に、北川、幾原、田畑、長尾、森口は総額が 2 億円を超えている。

幾原は、2007 年度から科研費・特定領域研究「機能元素のナノ材料科学」の領域代表者となっている。北川は、2006 年度より CREST（ナノ界面技術の基盤構築）で「錯体プロトニクスの創成と集積機能ナノ界面システムの開発」が採択されている。

研究者	研究費	研究テーマ名	年度											合計 (百万円)	
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		2011
1 幾原 雄一	科研費 基盤(B) 科研費 基盤(B) 科研費 基盤(A) 科研費 基盤(A) 科研費 特定領域 科研費 特定領域	「マルチブルクリスタルによるセラミックスの粒界設計と粒界塑性」 「セラミックス界面機能その場計測TEMシステムの開発」 「粒界性格・量子構造制御によるセラミックスの設計」 「転位構造・配列制御新セラミックスデバイスの創出」 「機能元素超構造解析」 「機能元素のナノ材料科学」	第1期											223	
			6	13	52				47	92	13				
2 石田 謙司	科研費 若手(B) 科研費 若手(A) JST 地域イノベーション創出総合支援事業※ 科研費 基盤(B) 文部科学省 知的クラスター創成事業(第II期)※ JST 独自のシーズ展開事業・大学発ベンチャー創出推進※	「配列単層化したπ/σ共役系分子膜のナノスケール電気特性」 「有機強誘電体をゲート絶縁層に用いた不揮発性トランジスタに関する研究」 「有機強誘電体を用いたフレキシブル不揮発性メモリの開発」 「有機強誘電体超薄膜を用いたローラブル超高度赤外イメージセンサの開発」 「環境センサの開発」 「高品質な有機強誘電性薄膜製における標準化技術の研究開発」	第1期											117	
			3			30	(2)	17		(31)	(34)				
3 北川 宏	科研費 特定領域 科研費 特定領域 科研費 基盤(B) 科研費 基盤(B) 科研費 特定領域 JST CREST 科研費 基盤(B) 科研費 基盤(B)	「動的スピン・電荷・格子結合に基づくゆらぎの創製」 「スピン・電荷・格子結合を有する金属ダイマー系の創製と磁場による軌道秩序形成」 「動的なスピン・電荷・格子結合を有する金属錯体の創製と磁場による軌道秩序形成」 「金属錯体を用いた超プロトン伝導体の創製」 「水素機能を有するエネルギー操作ナノ空間の創製」 「錯体プロトニクスの創成と集積機能ナノ界面システムの開発」 「金属錯体における固体プロトニクスの創製」 「表面集積ナノ細孔金属錯体の創製」	第1期											575	
			3	2	13		16			(450)	17	15			
4 田畑 仁	科研費 特定領域 科研費 特定領域 科研費 特定領域 科研費 基盤(B) 科研費 特定領域 (独)情報通信研究機構 高度通信・放送研究開発に係る委託研究※ (独)農産・食品産業技術総合研究機構 委託事業※ 科研費 基盤(A)	「レーザーMBE法と基板方位制御による低次元量子スピン系人工格子の創製」 「完全界面制御プロセスによる機能調和素子創成」 「極限界面・結晶成長制御による室温スピントロニクスデバイスの研究」 「対称性が破れた強誘電体リラクサー人工格子形成と脳型メモリ創成」 「自己整合3次元構造化とマルチフェロイックデバイス」 「ICTによる安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術の研究開発」 「食品素材のナノスケール加工及び評価技術の開発」 「極限構造制御によるマルチフェロ融合スピントロニクス」	第1期											229	
			3	42		5	15		92	(39)	(10)	25			
5 長尾 忠昭	科研費 基盤(B) 文部科学省 科学技術振興調整費 科研費 基盤(A) JST 原子カシスシステム研究開発事業(革新的原子伊技術)※ 科研費 基盤(B) JST 戦略的国際科学技術協力推進事業(日独研究交流)※ 科研費 若手(S)	「運動量-エネルギー空間における原子層レベルのキャリアダイナミクスと物性制御」 「低次元電荷・光ダイナミクスのナノ空間制御」 「高分解ソフトプローブによる有機分子性結晶-半導体ヘテロ層の原子レベル評価」 「耐腐食性薄膜材料の技術開発」 「金属低次元構造の原子スケール制御と赤外応答制御」 「原子スケールプラズモニクスとナノ電磁場制御」 「低次元金属ナノ材料のアーキテクトニクスと赤外プラズモン」	第1期											260	
			15	(60)	49		(19)	17	(18)	82					
6 中西 和樹	科研費 基盤(B) 科研費 基盤(A) NEDO 大学発事業創出実用化研究開発事業※ 科研費 基盤(B)	「制限空間における無機ゾル-ゲル系の秩序形成」 「階層的多孔構造によるナノ反応担体の開発」 「モノリス型多孔担体によるポストゲム分析・合成デバイスの開発」 「新規ハイブリッドゲルによる透光性断熱材料の開発」	第1期											139	
			12		49				(60)	17					
7 内野 隆司	科研費 基盤(B) 科研費 基盤(A)	「電子励起過程を利用した非晶質ポーラスシリカの構造及び光機能制御」 「ナノサイズシリカ微粒子を利用した新規シリカベース可視発光材料の創製」	第2期											54	
			13				40								
8 長田 実	科研費 特定領域 科研費 若手(B) 科研費 若手(B) NEDO 産業技術研究助成事業※	「銅系高温超伝導体の外場応答と共鳴ラマン散乱をプローブとする電子・格子ダイナミクス」 「酸化物超誘電体におけるナノスケールでの分極制御と新規光物性」 「ナノスケール光相制御技術を用いた高温超伝導体ナノ素子の開発」 「強磁性半導体ナノ材料を用いた短波長光通信用磁気光学素子の開発」	第2期											73	
			1			4		4	(65)						
9 岸田 英夫	科研費 若手(B) 科研費 特定領域 科研費 若手(A)	「低次元強相関電子系における非線形光学効果」 「次世代共役ポリマーにおける巨大非線形光学応答と超高速スイッチング現象の開拓」 「赤外領域で動作する低次元非線形光学材料の電子状態の解明」	第2期											60	
			2				28		30						
10 下山 淳一	科研費 基盤(B) 科研費 基盤(B) JST 超伝導研究特別プロジェクト※	「化学的希薄ドーピングによる高機能層状超伝導体の創出」 「固体化学的手法による実用超伝導体の臨界温度上限の探究」 「固体化学と磁気科学手法による新高温超伝導材料物質の創製」	第2期											91	
							15		21	(55)					
11 宮坂 等	科研費 若手(B) 科研費 若手(B) 科研費 特定領域 科研費 若手(A) 科研費 特定領域 科研費 基盤(B)※	「量子ナノワイヤー“単一次元鎖磁石”の証明と合理的設計法の開拓」 「単一次元鎖磁石と単層磁石を目標とした分子自己集積による磁気次元制御」 「磁気秩序の点・線・空間制御:磁気空間のビックバン観察」 「単一次元鎖磁石におけるGlauberダイナミクスの磁気相関制御と理論解明」 「配位空間制御による点・線・空間の磁気相関発達の系統的研究」 「電荷移動系ナノコンポジットの電子精密制御による導電性分子磁石の開発」	第2期											58	
			3	4	2		30	4	(15)						
12 森口 勇	科研費 基盤(B) NEDO ナノテク・先端部材実用化研究開発事業※ 科研費 基盤(B) NEDO 次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発事業※ JST 地域イノベーション創出総合支援事業※ 科研費 基盤(B)※	「バイコンティニウアスメゾポーラス酸化物材料の創製」 「低抵抗・高イオン拡散性ナノポーラス電極による高出力型2次電池の研究開発」 「イオン・電子移動ナノ経路構造制御による高速インターカレーション電極の開発」 「活性炭・カーボンナノ複合構造制御による高出力・大容量Liイオン二次電池の研究開発」 「メソポーラスシリカの常圧・低温・迅速合成法の開発」 「ナノ細孔内イオン移動ダイナミクスの解明と高速充放電機能材料の創製」	第2期											213	
							12	(47)	17	(120)	(2)	(15)			
13 大越 慎一	科研費 若手(A) 科研費 基盤(B) 科研費 特定領域 科研費 若手(S)	「分子磁性体における新規な光磁性現象と磁気光学効果」 「磁気および電氣的双安定状態を備えた金属錯体の合理的設計と外場制御」 「化学的刺激応答型ナノポーラス錯体の創製」 「多次元的相転移物質における次世代光スピン科学現象の創成」	第3期											105	
			30				17	4	54						
14 梶 弘典	科研費 基盤(A) 科研費 特定領域 JST 地域イノベーション創出総合支援事業※ 科研費 基盤(A)※	「有機非晶質材料の科学と機能 -静的・動的精密構造解析からのアプローチ-」 「量子化学計算と核磁気共鳴による有機光電変換系の電子状態解析」 「新規有機EL材料の合成とデバイスへの応用」 「共有結合性界面を有した高性能高分子系有機EL素子の創製」	第3期											96	
							49	2	(2)	(44)					
15 張 浩徹	科研費 若手(B) 科研費 若手(B) 科研費 若手(A) 若手研究活動経費 北海道大学グローバルCOEプログラム※ 科研費 新学術領域	「混合原子価金属錯体を用いた単一分子素子とそのナノ集合体の機能創製」 「酸化還元活性金属錯体の薄膜構造精密制御とバイポーラトランジスタへの応用」 「マクロ相及びミクロ分子物性の非熱同期制御を指向した革新的プラットフォームの構築」 「光誘起電子移動による集積型分子の光融解及び光結晶化」 「レドックス活性錯体クラスターによる双安定性結晶・液晶・液体場の創成」	第3期											58	
			4		3		30		(1)	20					

研究者	研究費	研究テーマ名	年度											追跡調査・追跡評価	合計 (百万円)		
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010			2011	2012
16 野口 祐二	科研費 若手(A) JST SORST※ NEDO 産業技術研究助成事業※ 科研費 基盤(A)※	「欠陥エンジニアリングによる非鉛強誘電・圧電材料の創製」 「欠陥誘起ナドメインによる新規リラクサー強誘電体の開発」 「層状強誘電体の自然超格子制御による高温用圧電インジェクタ材料の開発」 「欠陥誘起強誘電性による新規非鉛圧電セラミックスの開発」	第3期											134			
			26														
										(33)							
										(46)							
17 村田 英幸	科研費 基盤(B) 科研費 特定領域 科研費 基盤(A)※ 科研費 新学術領域	「 $\pi$ 電子系ナノロッドの創製と単一分子発光ダイオードへの展開」 「シリコン表面に化学結合した共役系分子の電気伝導」 「酸化物半導体表面に構築した共役系分子膜の電気物性計測と単一分子発光素子への展開」 「高次 $\pi$ 空間形成を利用した高性能有機デバイスの構築」	第3期											85			

※一部未確認

研究助成金は、下記のみを対象とした。

科研費	特別推進			
	特定領域*			
	新学術領域			
	基盤(S)	基盤(A)	基盤(B)	
JST	若手(S)	若手(A)	若手(B)	
	さきがけ			
	CREST			
	SORST			
その他	NEDOなど国の競争的資金制度に採択されたもの			

\*特定領域とつづものすべてが対象（特定領域（A）、特定領域（B）、特定領域（C））

【凡例】	
■	科研費
■	JST
■	その他

(注) 各々の研究助成金の合計金額は四捨五入して百万円単位で表示しているため、個々の数値の和と合計が一致しない場合がある。

図 2-8 研究者の研究助成金獲得状況（合計 5000 万円以上の研究者）

## 2.2.8 参加研究者の研究成果と発展状況

図 2-9 に、参加研究者の発展状況についての回答分布図を示す。さきがけ研究の進展、新規領域への展開、共同研究の実施、応用可能性の高まり、応用・実用化に向けた取組の 5 項目について分類した。なお、1つの研究が複数の項目に該当する場合もある。

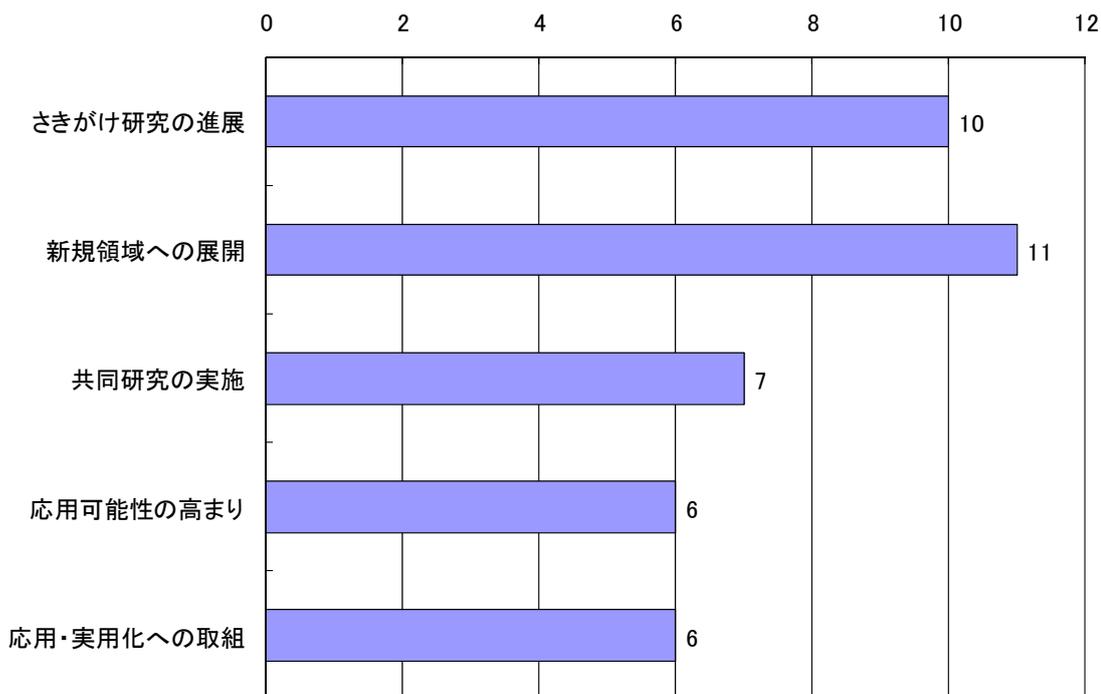


図 2-9 研究成果の発展状況（単位：人）

本領域においては、新規領域への展開をした者が 11 名と最も多く、次いで、さきがけ研究を進展させた者が 10 名と次いでいる。

以下に、参加研究者のさきがけ期間中の研究成果とその発展状況を個別に示す。

### I-1 幾原 雄一

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

新しい高機能セラミックス材料を設計することを目的に、ジルコニア系、アルミナ系セラミックスを試料として、粒界性格制御、転位配列制御とイオン伝導特性、転位配列制御と高密度量子細線の形成に係わる基本的な技術を確立した。例えば、サファイヤを高温で変形することにより一次元に配列した高密度転位を導入することに成功した。

さらに、一次元配向高密度転位を導入したセラミックス素子を設計し、開発し、これら

は転位工学あるいは粒界工学といった新しい分野を切り開いていく先駆けとなった。

(ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後、さきがけ研究で取り組んだナノ細線デバイスの研究を核として、界面・粒界制御型高機能デバイス開発の研究へと展開している。機能元素のナノ材料科学やナノ細線デバイス、界面デバイスの設計・創出を進めている。

科研費 基盤 (A) 「転位構造・配列制御新セラミックスデバイスの創出」(2006～2008年度)では、転位構造、配列を制御したナノ細線セラミックスデバイスの設計指針を提案した。2007年度には科研費 特定領域「機能元素ナノの材料科学」(2007～)の領域代表者となっている。この領域では、①機能元素の原子構造・電子状態解析、②機能元素理論解析、③機能元素制御に基づく材料創成の3項目を研究することとしており、①については、幾原自身が研究代表者として「機能元素超構造解析」を担当している。

I-2 石田 謙司

(i) さきがけ期間中の研究成果

有機分子の発現する強誘電特性に注目し、その効率的な機能発現を促す“秩序場”の開発と有機強誘電特性の微視的メカニズムの解明を行った。

低分子系高結晶性のオリゴマーの特性を生かして秩序制御を行うことで10万回以上の疲労特性を示すサンプルを得ており、メモリー応用の可能性を示唆した。VDF(ビニリデンフルオライド)低分子の有用性・応用展開の可能性を示し、分子レベルで分極を制御する技術の糸口をつかんだ。

(ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ研究では、有機強誘電性低分子薄膜において、強誘電ヒステリシスの測定に成功し、フレキシブル有機メモリ・センサデバイスとしての基礎駆動を実証できた。その後、有機デバイスの実現に向けて、①分子配列制御膜の創成、②異方性有機薄膜デバイスの創成、③有機分子による新規薄膜メモリ・センサー技術の創成に取り組んでいる。

さきがけ終了後、2004年度には、科研費 若手 (A) 「有機強誘電体をゲート絶縁層に用いた不揮発性トランジスターに関する研究」(2004～2005年度)を実施、2005年度にはJST地域イノベーション創出総合支援事業「有機強誘電体を用いたフレキシブル不揮発性メモリの開発」を実施した。さらに、2008年度には、JST 独創的シーズ展開事業・大学発ベンチャー創出推進「高品質な有機強誘電性薄膜における標準化技術の研究開発」(2008～2010年度)にも採択され、実用化を目指した研究開発に取り組んでいる。

### I-3 大場 正昭

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

構造秩序を持つ有色透明磁性体に反磁性成分を挿入して磁気秩序状態から磁氣的無秩序状態を作り上げ、マクロの構造秩序を保持したままでバルクの磁気特性及び磁気光学特性の制御を行う研究を行った。

目標とする高機能性磁気光学材料開発にはまだ残された課題はあるが、組成と磁性の相関を検証し、磁気相転移現象を定性的に理解して、構成成分の多元化や外場摂動によって磁気及び磁気光学特性の制御に成功した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後、さきがけでの研究成果を踏まえて、多孔性配位高分子の機能化など、複合機能を有する化合物の研究を始めた。さきがけで研究した化合物を基盤にして、室温で化学的刺激により電子状態が変化する多孔性材料の合成に成功した。現在、水中や空気中の微量汚染物質の検出・分離、水や空気の浄化などへの応用を検討している。

現在は、機能性磁性体、機能性多孔体、キラル磁性体の研究に取り組んでいる。2006年度には科研費 若手(B)「金属錯体を基とするマルチフェロイクスの開発」(2006～2007年度)、2008年度には科研費 基盤(B)「極性錯体磁性系の合理的構築と多重物性発現」(2008～2009年度)を獲得している。

### I-4 北川 宏

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

従来、水素吸蔵材料についてはバルク合金一辺倒の研究が行われており、金属錯体などの有機-無機ハイブリッド系に着目した研究例は少なかった。本研究では、極めて高いプロトン伝導性を示す有機-無機ハイブリッドポリマーを開発した。

さらに、当初は想像しなかったナフィオンに匹敵するプロトン伝導性が発現することを途中で見出し、伝導機構を明らかにしたことは極めて新規性があり、ナフィオン膜を凌駕する超プロトン伝導体の開発に新たな展開を与えた。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、他に研究例がない独創的な研究として固体プロトニクスの研究に取り組んでいる。また、新しい水素吸蔵体として水素機能性ナノ粒子について研究している。さらに、低次元金属ダイマー系のスピン・電荷・格子結合による新しい電子相の発見、表面集積ナノ細孔金属錯体の研究による世界初の結晶性ナノ薄膜の作製、ヨウ化銀ナノ粒子の研究による室温超イオン伝導体の発見などに取り組んでいる。

主な競争的資金として、科研費では、2004年度に基盤(B)「金属錯体を用いた超プロトン伝導体の創製」(2004～2005年度)と、特定領域「水素機能を有するエネルギー操作ナ

ノ空間の創製」(2004～2007年度)を獲得した。2006年度には、基盤(B)「金属錯体における固体プロトニクス」の創製」(2006～2007年度)、2008年度には、基盤(B)「表面集積ナノ細孔金属錯体の創製」(2008～2009年度)を獲得した。

科研費以外では、2006年度にJST CREST(ナノ界面技術の基盤構築)において「錯体プロトニクスの創成と集積機能ナノ界面システムの開発」(2006～2010年度)を獲得した。2009年度には、NEDO グリーン・サステイナブルケミカルプロセス基盤技術開発事業において「副生ガス高効率分離・精製プロセス基盤技術開発」(2009～2013年度)を獲得した。

#### I-5 田畑 仁

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

人工格子の手法を用いて秩序-無秩序性と双極子ガラスというべきリラクサー現象との相関を初めて明らかにした。また、従来の交互積層に代表される人工格子研究に、非対称という概念を導入した強誘電体人工格子を作製した。これにより、誘電率と強誘電性という2つの物性を独立して制御することが可能となり、誘電率が大きくかつ残留分極の小さな新規強誘電体の合成に成功し、実用化への端緒を拓いた。これまで不明であった、リラクサーの本質がBサイトイオンの秩序-無秩序性であることを明らかにすることができたのは世界的な成果である。

##### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後はワイドギャップ酸化物半導体の作成と室温での強磁性半導体合成、分子線エピタキシー薄膜形成技術を駆使した人工格子による実験的な検証、室温においてもガラス状態が保持される新磁性材料合成などに取り組んでいる。

さきがけ終了後、翌年度には、科研費 特定領域「極限界面・結晶成長制御による室温スピントロニクスデバイスの研究」(2004～2005年度)等。2006年度には、科研費 特定領域「自己整合3次元構造化とマルチフェロイックデバイス」(2006～2008年度)を獲得した。また、2006年度に(独)情報通信研究機構 高度通信・放送研究開発に係る委託研究「ICTによる安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術の研究開発」(2006～2010年度)、2007年度に(独)農業・食品産業技術総合研究機構 委託事業「食品素材のナノスケール加工及び評価技術の開発」(2007～2009年度)を獲得した。

#### I-6 長尾 忠昭

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

シリコン表面上に形成される表面電子バンド中の高密度2次元電子系中のプラズモンのエネルギー及び寿命分散の観測に初めて成功した。そして、寿命分散は電子ガスモデルからは予見できない異常な振る舞いをする事を明らかにした。また、新しいBiの2次元同素

体が形成されることを、高波数分解低速電子回折と走査トンネル顕微鏡により見出した。この同素体はバルクでは表面のダングリングボンドを飽和させることで、Pのみが取りうる珍しい **puckered layer** 構造（黒燐構造）を実現し安定化していることを明らかにした。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後、原子スケール赤外プラズモンの研究、ナノ薄膜の **Rashba** 効果、プラズモン増強による化学・バイオセンサー、単結晶有機半導体の単分子層成長とその電子物性などの研究に取り組んでいる。物質・材料研究機構内において、環境浄化クラスターに参画し、地球環境の汚染観測やプラズモン増強光触媒材料の開発に着手している。

主な競争的資金として、科研費 基盤 (B) 「金属低次元構造の原子スケール制御と赤外応答制御」(2006-2007年度)、JST 戦略的国際科学技術協力推進事業 (日独研究交流) 「原子スケールプラズモニクスとナノ電磁場制御」(2007-2011)、科研費 若手 (S) 「低次元金属ナノ材料のアーキテクトニクスと赤外プラズモン」(2008-2009年度)等を獲得した。

### I-7 中西 和樹

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

ゾルーゲル系で作製される多孔材料の階層的多相秩序構造の特徴を最大限に発揮させる研究を行った。初期段階において、新たな機能を持つ材料の開発に必要な材料構造的・表面化学的条件を明らかにすることを目標とした。その後の研究の進展により、微小空間での構造形成状況の把握が重要という認識を持ち、レーザー共焦点顕微鏡 (LSCM)、電子顕微鏡、X線回折などによる多孔構造の3次元観察を中心に研究を進め、階層的な多層秩序構造の形成について多くの知見を得た。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、液相法による階層的な多孔材料の構造制御、粒子充填によらない HPLC (高速液体クロマトグラフィー) カラムの開発と性能向上、高い可視光透過率をもつ有機無機ハイブリッドナノ多孔体の作製に取り組んでいる。

主な競争的資金として、NEDO 大学発事業創出実用化研究開発事業「モノリス型多孔担体によるポストゲノム分析・合成デバイスの開発」(2006-2008年度)と、科研費 基盤 (B) 「新規ハイブリッドゲルによる透光性断熱材料の開発」(2008-2009年度)を獲得している。

### I-8 宮崎 英樹

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

電波と光のアナロジーをもとに、銀、金などの微小な散乱体を配列した光波アンテナを

作製し、粒子の材質・サイズ・相互配置と発光特性の関係を測定と理論計算から追求するという革新的な研究を行った。その結果、電波のアンテナと同様の機能を持つ構造物を光波領域でも作ることができること、金属微小球のプラズモン共鳴やそれを用いた表面増強ラマン散乱現象がアンテナによる効果であることを示すことができた。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ研究で目指した光のアンテナの開発に成功した。また、さきがけ研究期間中に出願（その後成立）した特許について、企業からの打診があり共同研究へ進展している。

さきがけ終了後は、科研費 基盤(B)「単一分子ラマン検出を目指したナノシートプラズモンチップの開発」、科研費 基盤(B)「ナノ絶縁膜に基づくプラズモン共鳴表面設計製造技術の確立と赤外トンネル発光への展開」を獲得している。

### I-9 柳 久雄

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

$\pi$ 共役系オリゴマーを用いてマイクロメートルスケールの 0 次元ドット、1次元ロッド、2次元レイヤー構造を作製する技術を確立した。これらの構造中に光ポンピング下で発光を閉じ込め、微小共振器効果や自己導波路効果に基づく発光増幅を得ることができた。また、一次元ロッド状結晶を用いて有機 FET 素子を作製し、非常に高い正孔注入・輸送特性を得ることができた。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

誘導共鳴ラマン散乱による有機レーザー作用、有機単結晶の分子協同発光現象の研究を行っている。現在主流の自然増強蛍光を共振器導入により増幅・発振させるタイプと異なり、共鳴ラマン散乱光を有機固体中に閉じ込めて誘導放出により増幅するもので、無共振器下でチューナブルなレーザー作用が得られる。また「有機単結晶の分子協同発光現象」についても研究を進め、 $\pi$ 共役オリゴマーの単結晶をナノ秒パルス励起においては、分子振動フォノンの生成によるコヒーレントラマン散乱を観測した。

現在、科研費 基盤(B)「自己組織化低次元結晶を用いた有機半導体 FET/LD の開発」、科研費 特定領域「構造制御した $\pi$ 共役ポリマー薄膜の誘導共鳴ラマン散乱によるレーザー作用」、JST シーズ発掘「カーボンナノファイバ複合体エミッタを用いた薄型照明デバイスの開発」を獲得している。

### I-10 米澤 徹

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

保護剤を利用して、制御された純粋な金属ナノ粒子粉末を作製し、特定構造を持つ格子状に 2 次元配列させることで磁気特性などの新規物性を求めることを目標とした研究を行

った。白金族や軽遷移金属などの各種金属の単分散ナノ粒子の新しい調製法を確立した。ナノ粒子からの細線や積層構造を形成と、シリコン上にナノ粒子を固定化できることを見出した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけで展開したナノ粒子の制御された製造技術を使って、銅微粒子の大量製造に取り組んでいる。セラミックスコンデンサの内部電極（現在はニッケルを使用）への応用、セラミックス基板への展開を考えている。通常、元素代替は、無機元素の交換によって同等以上の性能を出そうとする研究が主だが、有機分子である高分子を用いる点で、これまでにない発想の研究である。

主な競争的資金としては、JST 兵庫県地域結集共同研究事業「ナノ粒子コンポジットの開発」等を獲得している。

### II-1 岩村 栄治

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

アモルファス炭素薄膜に低エネルギー電子線照射を行うことで、ナノグラファイト、カーボンオニオン、CNT などの構造を持つハイブリッド/ナノコンポジット薄膜材料を作成した。構造制御に適したアモルファス膜を比較的低温で容易に形成できる方法を確立するとともに、適切な構造改質プロセスを見出し、金属イオン注入および金属マスクによるリソグラフィと組み合わせることで、アモルファスマトリックスにナノグラファイト状構造の領域を任意のパターンで転写できることを実証した。また、構成ユニットの物性差や構造異方性を利用して、マクロには軟質でありながら超高耐摩耗性という優れた機械的特性を発現させ、高機能化への端緒をつかんだ。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

企業の研究員として活動を行っており、近年の社外活動としては、2008 年度には「薄膜の密着性改善」について発表（日本材料学会主催）を行った。また、2009 年度には、「日本材料学会 第 155 回 X 線材料強度部門委員会」について発表している。同じく、2009 年度に、日本トライボロジー学会・トライボロジー先端講座において、カーボンナノコンポジット薄膜の最前線について発表した。

### II-2 内野 隆司

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

ナノサイズシリカ微粒子およびその固相焼結体中に誘起される様々な構造欠陥の電子構造を理論的、実験的に調べることで新光学機能材料の創製につなげようという実用性も視野に入れた研究を行った。この結果、従来報告されていないような低温で透明なバルク体

が得られること、可視域ほぼ全域にわたって肉眼でも容易に認知できる程に強く白色発光することを見出した。発光は短寿命成分と長寿命成分とからなり、アモルファス物質の発光過程との比較で紫外線励起により生成した電子、正孔対の再結合による発光であることが明らかになり、実用化のための指針を得た。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

シリカベース新規光機能材料の創製を進め、気相法によって合成されたアモルファスシリカナノ微粒子の発光挙動を解析し、シリカベースの有機 - 無機複合体による自己組織化構造を形成すると、その発光量子効率を 30%程度にまで高められることを見出した。

また、不定比イオン性結晶の新規合成手法の開拓とその光学特性制御を行った。2005 年度には、科研費 基盤 (A) 「ナノサイズシリカ微粒子を利用した新規シリカベース可視発光材料の創製」(2005~2008 年度) を獲得した。

一方、金属マグネシウムと一酸化ケイ素 (SiO) の固相反応過程で MgO が選択的に昇華して得られる MgO は、紫外~可視の幅広い波長域に発光を示すカラーセンターを多く含む不定比酸化物微結晶であることを見出した。さらに、その微結晶を用いて粒子間の多重散乱によるエネルギーフィードバックに起因するレーザー発振、いわゆるランダムレーザー現象を世界で初めて報告した。

### II-3 長田 実

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

Y 系高温超伝導体 (酸素欠損  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  ( $0.7 < d < 0.2$ )) に対し、光励起・その場ラマン観察手法により秩序構造の評価を行い、可視光-近赤外光励起により可逆的光誘起構造変化が生じ、超伝導特性の光相制御が可能となることを確認した。

また、 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12-d}$  強誘電体に対し、可視光励起によりペロフスカイトブロックの光誘起構造の変化が生じ、これに伴い長寿命の光伝導と強誘電特性の光制御が実現することを明らかにした。さらに、Y 系高温超伝導体を例にラマン分光法による超伝導体内の電荷分布の評価を行った。絶縁体-金属転移に伴うキャリア量および超伝導転移温度の変化は、 $\text{CuO}_2$  面が関与するラマンモードの強度変化からプローブできることを実証し、超伝導特性を非破壊かつ光学的に評価する新しい手法を開発した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ研究で開始した「光によるピン留め導入」の技術により、高温超伝導体線材の高機能化を行っている。また、さきがけ研究で利用した顕微ラマン分光による欠陥構造評価技術をもとに高温超伝導体線材の磁束密度の改善を実現した。

主な競争的資金としては、科研費 若手 (B) 「ナノスケール光相制御技術を用いた高温超伝導体ナノ素子の開発」、NEDO 産業技術研究助成事業「強磁性半導体ナノ材料を用い

た短波長光通信用磁気光学素子の開発」を獲得している。

## II-4 岸田 英夫

### (i) さきがけ期間中の研究成果

光による光の制御を実現するために、さまざまな強相関電子系の電子状態と非線形光学応答の関係を調べ、次元性による違いを明らかにしようという先端的な研究を行った。その結果、スピン電荷分離が非線形光学応答においても重要な役割を果たしていることや、二次元銅酸化物における励起状態の解明から、強相関電子系が非線形光学材料として重要な物質群であることなどを示した。また、強相関電子系において線形光学応答にはほとんど影響せず非線形光学応答だけを増大させる効果を与える“電荷移動励起”の役割を明らかにし、理想的な非線形光学材料を得るための基盤を築いた。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後、低次元強相関電子系の非線形光学応答に関する研究、共役系高分子の非線形光学応答に関する研究、カーボンナノチューブの非線形光学応答の研究、低次元強相関電子系の非線形伝導現象の研究を行っている。

主な競争的資金としては、科研費 特定領域「次世代共役ポリマーにおける巨大非線形光学応答と超高速光スイッチング現象の開拓」、科研費 若手 (A)「赤外領域で動作する低次元非線形光学材料の電子状態の解明」を獲得している。

## II-5 下山 淳一

### (i) さきがけ期間中の研究成果

機能性層状酸化物の開発において、酸素量制御と目的金属サイトの元素置換手法を定着させる目的で、精密な熱重量測定による様々な層状酸化物の酸素量に関する平衡状態図を確定した。これに基づき、新機能の発現や従来機能の改善を目指す中で、層状コバルト酸化物の狙ったサイトに高価数金属を導入することで酸素不定比性を著しく抑制することに成功し、熱電特性を大きく改善できることが判明した。また、層状マンガン酸化物の特定金属サイトにおける元素占有率の制御や過剰酸素の導入によって、機能を改善できることを明らかにした。さらに、層状銅酸化物における不定比金属組成制御の重要性を示し、臨界電流特性改善に有効な元素置換法を確立した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

高温超伝導体における化学ピンの導入の研究を行っている。これは、さきがけ研究で実施した選択的金属サイトへのドーピング技術を応用し、超伝導体内に局所的に超伝導秩序パラメーターが落ち込んだ部分を、不純物希薄ドーブによって作り、磁界中での超伝導臨界電流密度の劇的な改善が普遍的に起こることを示した。

その他には Bi 系超伝導体の臨界温度の上昇、実用 Bi 系超伝導線材の臨界電流密度の倍増、2 ホウ化マグネシウム超伝導体の臨界電流特性改善指針の提案、ニクタイト系新規超伝導体の開発を行っている。

競争的資金としては、科研費 基盤 (B)「固体化学的手法による実用超伝導体の臨界温度上限の探究」を獲得している。

## II-6 任 暁兵

### (i) さきがけ期間中の研究成果

マルテンサイト形状記憶合金で見出した特異なマルチスケール現象が、点欠陥の秩序と結晶対称性の相互作用によって生じる普遍的な点欠陥対称性原理にもとづくことを実験的、理論的に証明し、金属や無機材料で新しい物性を探索する研究を行った。Au-Cd 合金の時効によるドメイン記憶効果や二方向形状記憶効果発現のように金属材料のみならず、無機材料系の強誘電体でも時効による巨大電歪効果が生じることなどを見出し、この原理の普遍性と有用性を検証した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

可逆ドメイン変換という新しい原理を提唱し、強誘電体に巨大電歪効果の存在することを予言した。強誘電体の巨大非線形電歪効果（従来の電歪効果の 40 倍）を見出したこの発見は産業界も大きな関心を示した。これについては、科研費 基盤 (B)「点欠陥のナノ秩序による巨大電歪効果」を獲得した。

その他、新しい物質の状態「strain glass」およびそれによる新規形状記憶効果の発見を行った。世界最高圧電効果を有する非鉛圧電材料を開発した、点欠陥の相安定性への影響を積極的に制御し、PZT を凌駕する非鉛圧電材料を開発した。

## II-7 前川 英己

### (i) さきがけ期間中の研究成果

ナノサイズで構造制御された界面を作製し、イオン伝導体と複合化することで、界面で起こる現象を積極的に制御し、新しいイオン機能の開拓を目指す挑戦的な研究を行った。自己組織化を用いたゾルーゲルプロセスによりサイズ制御したメソ孔アルミナが得られることがわかり、限られた系でナノチャンネル構造の品質、方向制御、イオン伝導体との複合化を実現した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

リチウムイオン電池や燃料電池に用いられるイオン伝導体などの機能性材料を研究対象にし、その原子レベルでの構造を NMR 等の先端的分光分析法により解析し、材料特性の基礎的解明を継続している。

主な競争的資金として、科研費 特定領域「金属ガラスへの高温高分解能 NMR によるアプローチ」、科研費 基盤(B) 「超軽量全固体リチウム電池実現のためのイオン機能材料の創製」を獲得している。

## II-8 宮坂 等

### (i) さきがけ期間中の研究成果

近未来のコンピューターデバイス、メモリーの材料として「単分子磁石 (Single-Molecule Magnet)」や「単次元鎖磁石 (Single-Chain Magnet)」と言われるナノスケール化合物(分子)が期待されている。本研究では、強磁性単次元鎖磁石の磁化緩和現象を理論的に解釈する方法論を提案し、それを3年間で見出した6種50化合物を超える実際の化合物群を用いて検証することに成功した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけの主要テーマであった研究については、①単次元鎖磁石の創製と磁化緩和挙動の解明として発展させている。最近では単次元鎖磁石間の相互作用が新たな磁石形態を作り出す可能性があることを示した。また、②新しい単分子磁石の創製と新規物質への展開、③金属-金属結合錯体の集積化とその電子状態研究、④固体状態におけるマルチレドックスシステムの開発、⑤スピントロニクス材を目指したソフトマテリアル強磁性導電体の開発を進めた。

主な競争的資金としては、科研費 特定領域「磁気秩序の点・線・空間制御:磁気空間のビクバーン観察」、科研費 特定領域「配位空間制御による点・線・空間の磁気相関発達の系統的研究」などを獲得している。

## II-9 森 孝雄

### (i) さきがけ期間中の研究成果

炭素系に比べ、ネットワーク物質としてまだ構造や物性があまり研究されていぬホウ素系に着目し、秩序構造中に金属原子を組み込み、磁気的および光学的特性を持つ新規なクラスター化合物の合成と物性を調べ新規機能性材料の開発を目指した。これまでに発見したB12 ホウ素正二十面体クラスターを含む化合物にドーピングを行い、様々な磁性を見出し、それらの発現機構を解明した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

①共有結合性のネットワーク物質に内在する有利性に着目して、有望な新規高温熱電材料群、例えば、20年来世界で探し求められていたボロンカーバイドのn型カウンターパートを見出した。②機能性材料開発の新しい指針の発見として、金属原子の挿入や母元素の置換などによる機能の開発に加え、従来は“入れ物”としてだけ捉えがちなネットワーク

自身に新機能を発見した。③ “タイリング” 模様を持つ新規な層状化合物の創製と物性として、金属原子の操作により、“タイリング” 模様を制御できることを示し、新規化合物の創製をした。

## II-10 森口 勇

### (i) さきがけ期間中の研究成果

化学的手法の多様性を活かして、超薄膜や多孔構造、複合構造を構築し、物性との関連を調べることで高効率な光・電気化学デバイス開発を目指した。光デバイス系では、二次元ゾルーゲル法を用いてアナターゼ  $\text{TiO}_2$  単結晶を基準とするナノレベル薄膜の作成に成功し、超薄膜では空間電荷層やホール拡散長領域での光誘起電荷分離により量子収率が向上することを明らかにした。このように、多孔構造制御によって薄膜化に伴う光電流の減少を解決できることを示し、高効率光電変換デバイス開発の基礎を拓いた。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

現在、実用化へ向けた研究開発を展開している。例えば、NEDO ナノテク・先端部材実用化研究開発事業「低抵抗・高イオン拡散性ナノポーラス電極による高出力型 2 次電池の研究開発」を実施したほか、NEDO 次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発事業「活物質・カーボンナノ複合構造制御による高出力・大容量 Li イオン二次電池の研究開発」(プロジェクトリーダー) などを行っている。

## III-1 大越 慎一

### (i) さきがけ期間中の研究成果

金属錯体に常磁性金属イオンを組み込み、結晶構造の非反転対称性を制御することで、新規な強磁性・強誘電特性をもつと共に、磁場・電場・電磁波などの外場に対して特異な非線形応答を示す物質を得ようという研究である。集積型金属錯体の誘電率変化を分光エリプソメトリーによって初めて観測し、磁化誘起現象ではプルシアンブルー類縁体にアルカリ金属イオンを導入して第二高調波を、また、イットリウム鉄ガーネット薄膜で第三高調波を発生させることに成功した。また、世界初の湿度応答型磁性体や金属酸化物として最大の保磁力を示す酸化鉄ナノ微粒子の作成、自発分極を持つ結晶の合成など、世界をリードする数々の成果を挙げた。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ期間中の研究成果をもとに、強磁性体を中心に、新規物質創製、新規な磁気分光学の探索、テクノロジーへの応用を柱とした研究へと発展させている。

新規物質創製については、金属錯体に着目し、分子設計に基づく新規磁気物性創出の研究を進めている。具体的には、シアノ架橋型金属錯体を用いて、ゼロ次元ハイスピンクラ

スターから一次元、二次元、三次元構造をした磁性体を合理的に合成している。

また、光により常磁性と強磁性が可逆的にスイッチングする光誘起磁化現象、光により磁極が反転する光誘起磁極反転現象などの新規現象を見出している。

さらに、酸化物磁性体の合成法として化学的手法を用いることで、新規な磁性材料および磁性現象を目指しており、ゾル-ゲル法と逆ミセル法を組み合わせることで酸化鉄ナノ微粒子を合成することで、 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> という非常に稀な相を初めて単相として合成することに成功し、磁気記録材料および電波吸収材料などへの応用研究をも推進している。

主な競争的資金として、科研費 基盤 (B) 「磁気および電氣的双安定状態を備えた金属錯体の合理的設計と外場制御」(2006~2008 年度)、科研費 若手 (S) 「多次元的相転移物質における次世代光スピン科学現象の創成」(2008~2009 年度) を獲得している。

### III-2 梶 弘典

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

固体 NMR 法を世界に先駆けて構造解析に取り入れ、分子レベルの微視的詳細と巨視的特性の相関をもとにして、新規な高分子系有機 EL 素子を目指す研究を行った。発光・電子輸送材料と正孔輸送材料の構造およびダイナミクスを詳細に検討することで、固体 NMR 法が有機 EL 材料の基礎的知見を得るために極めて有用であることを国内外に示すことができた。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

現在は、さきがけでの研究成果を展開して、新たな有機 EL 素子の開発に取り組んでいる。最近では、科研費 基盤 (A) 「有機非晶質材料の科学と機能 - 静的・動的精密構造解析からのアプローチ」(2005~2007 年度)、基盤 (A) 「共有結合性界面を有した高性能高分子系有機 EL 素子の創製」(2009~2012 年度) を獲得している。

### III-3 小平 哲也

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

ゼオライトの周期的骨格構造の空洞内に包含された原子や分子クラスター間の相互作用を利用した新規な電子物性の発現に関する研究を行った。金属クラスターについては、配列状態やクラスター間相互作用を制御する方法を見出したが、期待した超伝導現象や Mott 絶縁体-金属相転移の発現を確認することはできなかった。

また、ゼオライトの一次元細孔を利用した分子クラスターでは、AFI 結晶とアントラセン分子を用いた有機系一次元ナノ構造体の創製に成功し、光学特性および電気伝導度とその温度依存性に特異な現象を見出した。一次元細孔の分子配向制御への寄与を確かめることができたが、構造決定までには至らなかった。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

産業技術総合研究所において、ゼオライト関連物質の創製及びその電子物性・機能の解明について研究している。ナノ物質内包ゼオライトの電子物性・機能探索、ゼオライト単結晶の合成と電子材料への応用、新規骨格構造を有するゼオライトの探索である。

主な競争的資金として、科研費 基盤 (B) 「高集積ナノワイヤーの創製とその特異的・異方的電子状態の顕微分光法による観測」を獲得している。

### III-4 瀬川 浩代

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

多孔束レーザー干渉法を使って光感应性ゾルゲル膜からフォトニック結晶を作製する過程で発現したピラーの倒れ現象による錐形周期構造生成のメカニズムを解明した。それをもとに中・長距離的な周期性を有する構造体を作成し、新規フォトニック材料の創製につなげようという研究を行った。ピラーの形状やピラー間の距離、溶媒の種類を変える実験から、倒れ現象を引き起こす原動力が溶媒乾燥時にピラー間に働く毛管力であることを明らかにして、 $2 \times 2$  や  $3 \times 3$  にピラーが配列した錐形構造体の形成に成功した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

現在は、有機-無機複合材料による周期構造体の作製と構造制御に取り組んでいる。周期構造体の構造を制御することは重要であり、毛管力をコントロールすることによって自己組織化を起し、種々の形状を作製する研究をしている。特に、光学応用への観点から粒子のモールドなども積極的に進めている。

主な競争的資金として、科研費 若手 (B) 「毛細管現象を用いた酸化亜鉛量子ドットアレイの創製」、科研費 特定領域「局在プラズモン共鳴による有機-無機ハイブリッド材料のナノパターンニング」を獲得している。

### III-5 竹岡 裕子

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

有機-無機半導体超格子構造における無機物質と有機物質の電子励起状態を結合させて、それぞれ単独では得られない状態を作り、新しい光学材料の創製につなげることを目指した。超格子への $\pi$ 共役系の導入では、有機・無機ペロブスカイト型化合物の有機層に種々の機能性分子を導入することを試み、有機-無機層間のエネルギー移動を制御できることを明らかにした。無機半導体層の次元性の制御では、有機層に用いるアミンの形状を変化させ、水熱法を用いると低次元系量子閉じ込め構造が構築できることを見出した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

現在は、①生分解性高分子を用いた有機無機ハイブリッドの作製とバイオマテリアルと

しての応用、②高分子電解質膜を用いた固体高分子電解質型燃料電池の開発に取り組んでいる。2006年度に倉田記念日立科学技術財団・研究助成、2009年度に資生堂女性研究者サイエンスグラントを獲得している。

### Ⅲ－6 張 浩徹

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

新規な特性を示す液晶の創製をめざして、レドックス活性金属錯体液晶を合成し、その構造や物性の動的変化を明らかにする研究を行った。この中で、化学的に誘起される外圏電子移動能、あるいは熱・光・圧力による金属―配位子間の内圏電子移動能を有する40を超える新分子を創出した。実験的に得られたレドックス活性金属錯体液晶は、空气中で安定であり、液晶発現温度が300℃を超える優れた液晶特性が注目されている。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

酸化還元活性錯体液晶の創成と直接的レドックス誘起に関する研究は、*Journal of Material Chemistry* 誌の表紙に採択されるなど、関係分野において液晶分子の新しい電子機能を開拓した。2006年度には、科研費 若手(A)「マクロ相及びマイクロ分子物性の非熱的同期制御を指向した革新的プラットホームの構築」(2006～2008年度)を獲得している。

### Ⅲ－7 野口 祐二

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

格子欠陥を積極的に導入して制御することで、新規な強誘電機能の発現と強誘電性の飛躍的な向上を目指した研究を行った。チタン酸ビスマスの特性向上には熱処理時のBi空孔制御が重要であることを明らかにし、次世代の強誘電体メモリーの要求を満たすような陽イオン欠陥を多量に含む単結晶を世界で始めて育成し、欠陥導入による強誘電性格子歪みの増強効果を実証した。また、ビスマス層状構造強誘電体結晶に積層欠陥を導入して、非鉛ペロブスカイト結晶では世界最高の残留分極を達成し、層状欠陥による巨大分極の発現を確認した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

欠陥誘起分極反転による巨大強誘電性の発現に取り組み、世界最高の残留分極を示す鉄酸ビスマス単結晶の開発に成功した。さらに、発見以来60年の間、分極反転が不可能とされてきたPbTiO<sub>3</sub>結晶の分極反転に成功した。また、高酸素圧結晶作製による高品質ビスマス系強誘電体単結晶の開発に取り組み、強誘電体に、電荷不均質性と構造不均質性を併せ持つ欠陥複合体を導入するという従来にない材料設計「欠陥誘起分極反転」を提案し、強誘電・圧電特性の飛躍的な向上に成功した。

2006年度から、JST 戦略的創造研究事業 発展研究、「欠陥誘起ナノドメインによる新

規リラクサー強誘電体の開発」(2006～2008年度)とNEDO・産業技術研究助成事業、「層状強誘電体の自然超格子制御による高温用圧電インジェクタ材料の開発」(2006～2008年度)を開始している。2009年度からは、科研費 基盤(A)「欠陥誘起強誘電性による新規非鉛圧電セラミックスの開発」(2009～2011年度)に取り組んでいる。

### Ⅲ-8 村田 英幸

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

$\pi$ 共役連鎖が十分に伸びた共役系高分子材料を作成する新しい薄膜法を開発し、それを有機 EL 素子の創製に展開させることを目指した。原子レベルで平坦なシリコン表面を化学修飾し有機分子を直接化学的に結合させることで有機分子を配向した状態で固定化することに成功し、それを起点として気相重合法で共役長の長いオリゴマー分子を成長できることを示した。これは、有機 EL 素子以外にも機能性有機材料や生体分子とシリコンを複合させるデバイスの作成にも活用できる。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

有機 EL 素子のデバイス物理、新規な有機電子デバイスのデバイス設計と物性評価、秩序構造を制御した共役系高分子薄膜の気相成長について研究を行っている。

2008年度には、科研費 基盤(A)「酸化物半導体表面に構築した共役系単分子膜の電気物性計測と単一分子発光素子への展開」(2008～2011年度)を獲得するとともに、新学術領域研究(高次 $\pi$ 空間の創発と機能開発)「高次 $\pi$ 空間形成を利用した高性能有機デバイスの構築」(2008～2012年度)を獲得している。

## 2.2.9 さきがけ研究の意義

### (1) アンケート回答のまとめ

アンケート回答から、本研究領域の参加研究者にとって、さきがけ研究がどのように意義があったのか意見をまとめ、図 2-10 に示した。アンケートを回収できた研究者 26 名のうち、さきがけ制度に対して肯定的意見のみを有する研究者は 17 名、肯定的意見と改善要望の両論を併記していた研究者が 6 名、否定的意見のみを有する研究者は見られなかった。何らかの評価をしている回答者 23 名全員が自身の研究に役に立ったと考えていることが窺える。

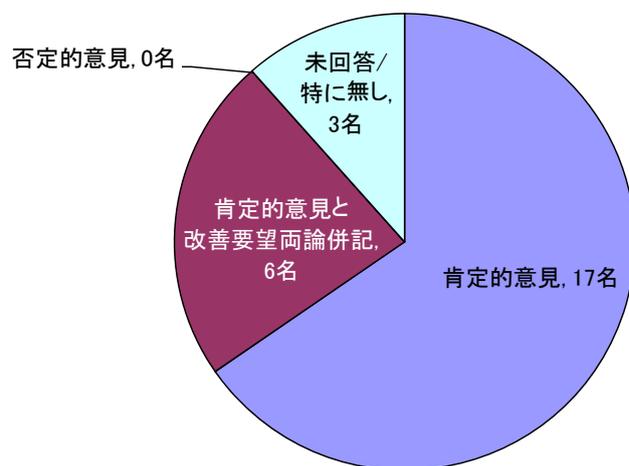


図 2-10 さきがけ研究の意義に対する意見

### (2) さきがけ研究の意義に関する肯定的意見の内容

さきがけ研究の意義に関する肯定的意見の内容を図 2-11 に示した。回答者 23 名中 22 名が研究基盤の確立を挙げている。ここでは、当該研究室にその後の研究に役立つ基礎的な実験機器等を揃えられた効果、研究者自身のオリジナリティー、計画性、実効性といった自立心を育成できた効果などの指摘があった。

次に多いのが、研究者間の人的ネットワークの形成である。この背景には、さきがけ事業期間中に定期的に行われる報告会等を通じて、研究者同士、研究総括や領域アドバイザーとの議論が活発に行われ、研究面での大きな刺激となったことがある。

研究者同士の切磋琢磨については、領域アドバイザーは評価も兼ねているため、個人研究ならではの厳しさがあるといった意見や、専門が異なる研究者とのディスカッションによって、意外な視点からの意見を取り入れることができるといった指摘があった。

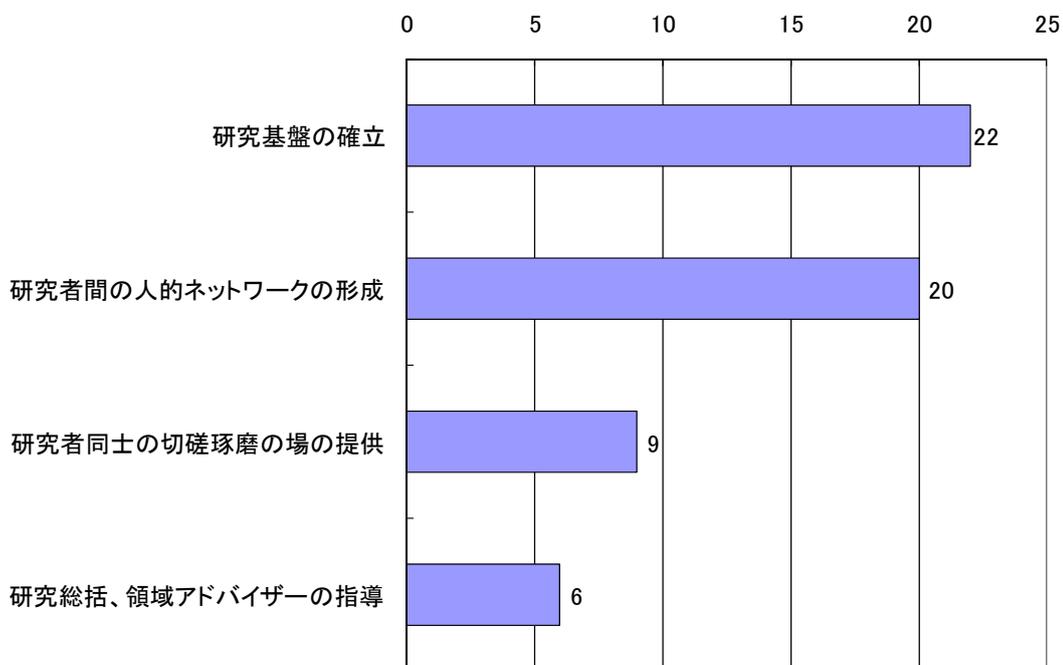


図 2-11 さきがけ研究の意義に対する肯定的意見（単位：人）

### (3) さきがけ研究に対する改善要望の内容

さきがけ研究に対する改善要望の内容をみると、研究期間に関する要望がやや目立つ。より期間を長期化すべきとの意見が2件あったとともに、3年間のさきがけ期間終了後に、研究評価をした上で優れた研究については継続できる制度を期待する意見が1件あった。また、さきがけの採択者数をあまり増やさず、質の高い集団を形成すべきとの意見があった。

### 2.3 第2章のまとめ

さきがけ期間中、及び終了後から追跡調査時点までの、職位、論文発表件数、特許出願件数、研究助成金獲得金額などを比較し、さきがけ期間中に比して、さきがけ終了後に研究活動が向上していることが確認された。

職位については、追跡調査時点で教授であった研究者は9名いるほか、28名中少なくとも23名は上位の職に就いている。論文発表件数では、さきがけ期間中の平均7.3報/人・年から、さきがけ終了後には平均10.2報/人・年と1.4倍に増加しており、招待講演件数でも、さきがけ期間中の平均2.5回/人・年からさきがけ終了後には年平均5.0回/人・年と2.0倍に増加するなど、さきがけ終了後の発展の状況を見て取ることができる。

研究助成金に関しては、さきがけ期間中・終了後合わせて1億円以上の研究助成金を獲得した研究者が9名（うち2億円以上が5名）みられた。

また、さきがけ研究の意義に対する意見は、回答のあった23名中全員の23名が自身の研究に役立ったと考えており、6名が何らかの制度・運営に関する改善等の意見を持つという結果になった。具体的には、さきがけの研究費によりその後の自身の発展に役立つ研究機器を揃えられたこと、領域のメンバー間で切磋琢磨し合う環境があり研究面で大いに刺激が得られたこと、研究総括や領域アドバイザーの助言が役立ったこと等の利点についての意見があった。一方で、さきがけ研究の課題としては、3年の期間が終了した後に継続できる仕組みが望まれること、あまり領域数や採択者を拡大しないほうがよいといった意見が寄せられた。

## 第3章 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果

### 3.1 詳細調査の内容

アンケート調査結果及び研究総括のご意見を参考にして、詳細調査対象となる代表的事例の研究者4名を抽出した。2010年1月～2月にかけて、それら4名に対して、インタビューによる詳細調査を実施した。インタビューでは主として以下の項目について把握した。

- ① 研究成果の発展状況や活動状況に関して
- ② 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果
- ③ その他

### 3.2 代表事例の発展状況

#### 3.2.1 有機-無機ハイブリッド型水素吸蔵ポリマーの創製（北川宏 第1期）

##### (1) 研究成果の発展状況や活動状況に関して

さきがけ期間中は、極めて高いプロトン伝導性を示す有機-無機ハイブリッドポリマーを開発した。従来、水素吸蔵材料についてはバルク合金一辺倒の研究が行われており、金属錯体などの有機-無機ハイブリッド系に着目したのは画期的であった。さらに、当初は想像しなかったナフィオンに匹敵するプロトン伝導性が発現することを途中で見出し、伝導機構を明らかにしたことは極めて新規性があり、ナフィオン膜を凌駕する超プロトン伝導体の開発に新たな展開を与えた。

さきがけ終了後は、他に研究例がない独創的な研究として固体プロトニクスの研究に取り組んでいる。また、新しい水素吸蔵体として水素機能性ナノ粒子について研究している。さらに、低次元金属ダイマー系のスピン・電荷・格子結合による新しい電子相の発見、表面集積ナノ細孔金属錯体の研究による世界初の結晶性ナノ薄膜の作製、ヨウ化銀ナノ粒子の研究による室温超イオン伝導体の発見などの成果を上げている。

2006年度には「錯体プロトニクスの創成と集積機能ナノ界面システムの開発」がCRESTに採択された。

2009年度からは、NEDO事業において「多孔性金属錯体(PCP)を利用した副生ガスの高効率分離・精製プロセスの基盤技術開発」が採択された。この研究では、化学産業等から大量に発生するCO<sub>2</sub>を既存吸着剤に比べて7倍以上(重量当たり)、低コストに回収できる高性能なCO<sub>2</sub>吸着剤を開発し、回収したCO<sub>2</sub>を有用な化学品に転換できるクリーンな製造プロセス技術の開発を目指している。具体的には、CO<sub>2</sub>を含む副生ガスから有用成分と微量成分を高効率に分離できる多孔性金属錯体(PCP: Porous Coordination Polymer)を開発するとともに、CO<sub>2</sub>及びその他有用成分を連続的に回収精製する分離プロセスを開発し、触媒能を付与したPCP複合触媒を開発してCO<sub>2</sub>からシュウ酸を合成する反応を検討するも

のである。これらの開発により、PCP による副生ガスの高効率分離・精製プロセスに関する基盤技術を確立することを目指している。この事業では、オープンイノベーションを意図して、大学内に複数企業の研究者とアカデミアの助教・ポスドクからなる集中研究所をつくった。

個別企業との共同研究にも取り組んでおり、旭化成（株）と燃料電池材料やモバイル電子機器用非白金系電極材料の研究、旭化成ケミカルズ（株）と触媒材料に関する開発、トヨタ自動車（株）とルベアン酸 Cu 系化合物を利用した新規燃料電池に関する研究などを行っている（WEB 掲載情報による）。

## (2) 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果

さきがけにおける研究においては、ルベアン酸及びその誘導体を用いて水素吸蔵特性、水素ドーピングによる連続的な物性制御を探求することで、電子・プロトン伝導性などの新奇な現象、機能性を見出した。また、当初は想像しなかったナフィオンに匹敵するプロトン伝導性が発現することを途中で見出し、伝導機構を明らかにした。これは、ナフィオン膜を凌駕する超プロトン伝導体の開発に新たな展開を与えるものと期待された。

この研究から展開し、北川は、金属イオンを有機配位子で架橋した金属錯体を基盤材料として、水素分離、水素吸着・乖離、水素酸化、プロトン伝導などが関わる新しい学術分野「錯体プロトニクス」の創成を目指している。「錯体プロトニクス」から得られる指導原理・理論を元に、水素ガス輸送、超高速電子・プロトン輸送、超効率物質変換などの各素機能を薄層集積化した界面システムの開発を推進しており、全錯体型燃料電池や白金フリーな電極触媒、プロトン電池デバイスなどに発展するものと期待している。

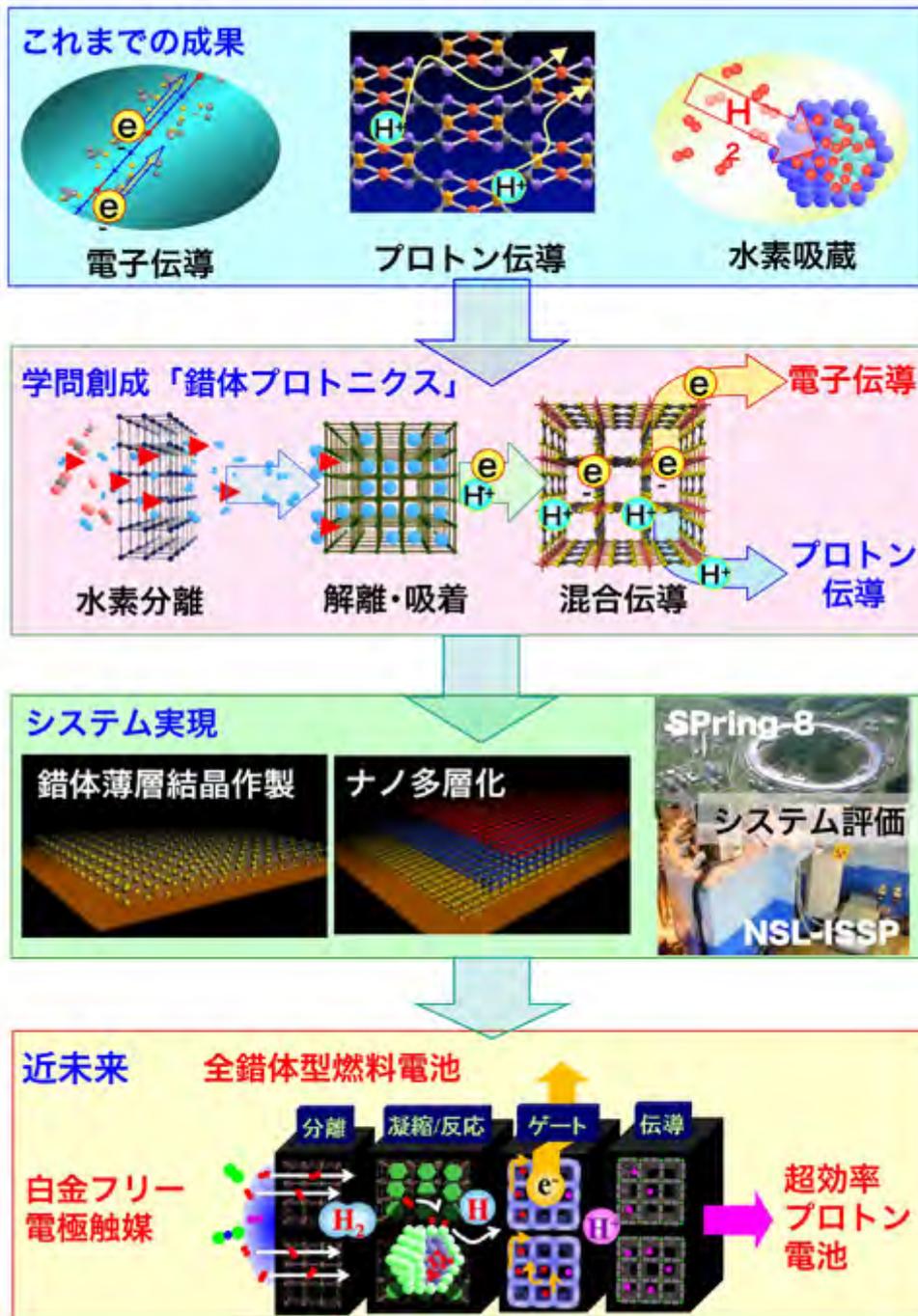


図 3-1 新しい学術分野「錯体プロトニクス」の創成  
(JST CREST「ナノ界面技術の基盤構築」WEB サイト)

北川の論文被引用件数（web of Science を用いて調査）を図 3-2 に示す。北川の論文被引用件数は、年々増加しており、2009 年には年 100 件を超えている。

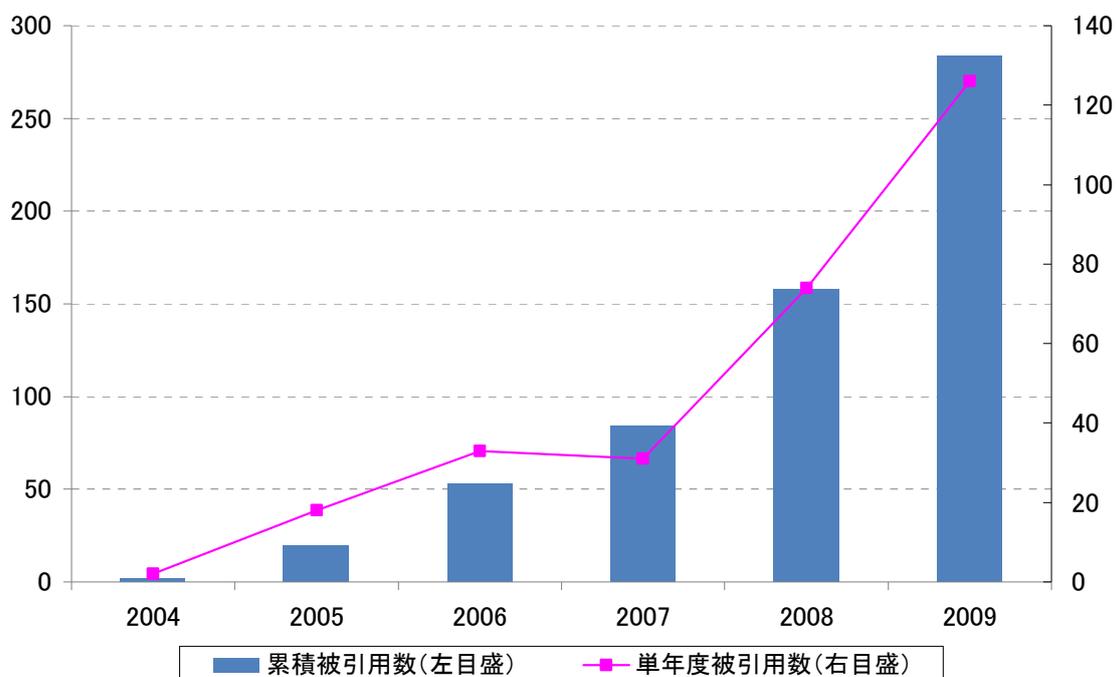


図 3-2 北川の論文被引用数推移

### (3) その他

ヒアリングにおいて、研究者からは以下のようなコメントがあった。

- ・アドバイザー会議で定期的な助言をもらえるので、さきがけ事業はとても良い制度である。一方、科研費ではそのような機会がない。
- ・さきがけ事業では、採択時のヒアリングのほか年 2 回の会議があり、研究費の使い方は事務参事、特許の出し方は領域参事がサポートしてくれる。アドバイザーの先生方も率直に意見をくれるのが良かった。
- ・さきがけ事業の公募では、アンダーグラウンドで暖めていた内容を、エビデンス（ポリマーがナフィンのように水素を吸収する実験データ）がない段階ではあったが、強く提案したので採択されたようである。
- ・研究総括の曾我先生は優秀な研究者を多く育てており、そういう人が研究総括を担当すべきと考える。

### 3.2.2 ゼルーゲル系における階層的な多相秩序構造と担体機能 (中西 和樹 第1期)

#### (1) 研究成果の発展状況や活動状況に関して

さきがけ期間中は、ゼルーゲル法を用いて様々な形態および次元における多相秩序構造を発現させる物性研究を行った。具体的には、構造発展と構造凍結との競争的な過程を制御することによって、広い化学組成および構造スケールにわたって、高度に制御された内部界面を有する多孔性物質を作り上げることに成功した。

さきがけ終了後は、相分離を伴うゼルーゲル法によって、一般的な金属アルコキシドに限定されない、非常に広範なゼルーゲル反応系において、マイクロメートル領域の連続多孔構造を制御するとともに、階層的に形成されるメソ孔も制御して、クロマトグラフィー分離媒体や触媒担体などに適する一体型多孔質構造を研究している。そして、階層的な多孔構造を有するシリカ、チタニア等の金属酸化物一体型多孔質ゲルを用いて、従来の粒子状固定相が充填された分離カラムを凌駕する高性能高速分離技術を実現した。また、有機無機ハイブリッドナノ多孔体の研究として、炭素に直接結合した有機基を含むアルコキシシランを出発物質として、三次元網目形成反応を界面活性剤の添加によって制御することにより、メソ孔のみをもつ気孔率の高い多孔材料も研究している。作製プロセスの最適条件下においては可視光透過率が90%にもおよび、かつ真空断熱に迫る高い断熱性能を示すことが明らかになった。さらに、圧縮変形に対する強度は、従来のシリカエアロゲルの1桁以上向上した。

#### (2) 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果

ゼルーゲル法を無機化学、高分子化学および有機化学が融合した視点で研究を深め、安定した製造方法と特性再現性を確立し、新しい三次元網目構造（高次構造の階層性）を有する材料物性の大きな可能性を引き出したことは、科学技術上の大きな成果である。例えば、結晶やガラスの特性は局所部分の集合特性と見なせるが、この新規材料の場合、部分の結合、すなわちネットワーク構造が最終特性を決める。したがって、設計理論の構築は容易ではないが、物性制御の自由度はきわめて大である。ゼルーゲル法の学問的基礎の確立は20年以上前に遡るが、その後の発展で、メソポーラス、界面活性剤、有機・無機ハイブリッドの新分野を開拓した。

以下に示す最近の代表的論文の被引用件数はそれぞれ、11件、24件、24件、62件である。(Web of Science を用いて調査)

1. K. Nakanishi, T. Amatani, S. Yano and T. Kodaira, "Multiscale Templating of Siloxane Gels via Polymerization-Induced Phase Separation", *Chem. Mater.*, 2008, **20**, 1108-1115.

2. K. Nakanishi and N. Tanaka, "Sol-Gel with Phase Separation. Hierarchically Porous Materials Optimized for High-Performance Liquid Chromatography Separations", *Acc. Chem. Res.*, 2007, **40**, 863-873.
3. K. Nakanishi and K. Kanamori, "Organic-inorganic hybrid polysilsesquioxane monoliths with controlled macro- and mesopores", *J. Mater. Chem.*, 2005, **15**, 3776-3786.
4. K. Nakanishi, R. Takahashi, T. Nagakane, K. Kitayama, N. Koheiya, H. Shikata and N. Soga, "Formation of Hierarchical Pore Structure in Silica Gel", *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, 2000, **17**, 191-210.

また、中西のさきがけ期間以降（2001 年以降）に発表した論文の被引用件数（web of Science を用いて調査）を図 3-3 に示す。このような調査により、研究成果が大きなインパクトをこの分野に与えていることが理解できる。

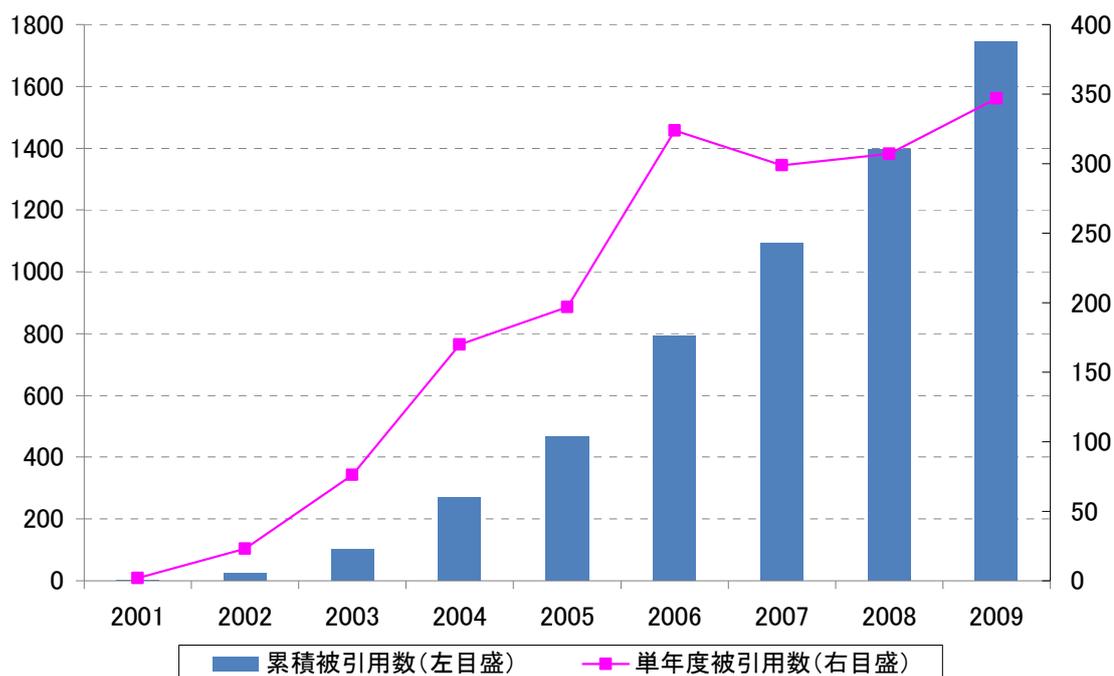


図 3-3 中西の論文被引用数推移

前述のように、階層的多孔構造を有するシリカ、チタニア等の金属酸化物一体型多孔質ゲルを用いて、従来の粒子状固定相が金属管に充填された分離カラムとは異なる、高性能高速分離を実現した。この粒子充填によらない一体型 HPLC（高性能液体クロマトグラフィー）カラムは、京都大学 曾我直弘教授（当時）と中西和樹の特許に基づき、ベンチャ

一企業の京都モノテック（2001年1月設立 主な事業内容：液体クロマトグラフィー用カラムの開発・製造、DNA精製キットの開発・製造、各種分離媒体の開発・製造）やドイツのメルク社において、2000年以降、ラインナップを増やしながら市販が続けられている。そして世界規模でHPLCカラム全体の2%程度のシェアを獲得している。

さきがけ期間中すでに京都モノテックはクロマトグラ用の新材料（微粒子でなく立体網目構造）を採用していたが、さきがけでの研究成果により第二世代の材料開発（HPLC用）に貢献し、2010年になり、ようやくその成果が世に出ようとしている。これは、京都モノテックに加えて、興味を示す国内外の複数のメーカーからである。この材料の特徴は、その細い骨格により分離能が高く、低圧での送液が可能であると同時に、カラムの管径を細くしても性能が維持できることである。（図3-4に特性例を示す）

新規多孔質シリカのHPLC以外の応用展開としては、分析用の捕集材料（立体網目構造の中に、目的物質を閉じ込め高濃度にしてから分析する）や、バイオリクター用（例えば、たんぱく質分解酵素を多孔質材料に含ませると、たんぱく質が多数のペプチドに迅速に分解する）材料としても機能する。その他、断熱性、音響遮断、耐圧力が優れた新規材料への応用展開が期待されている。

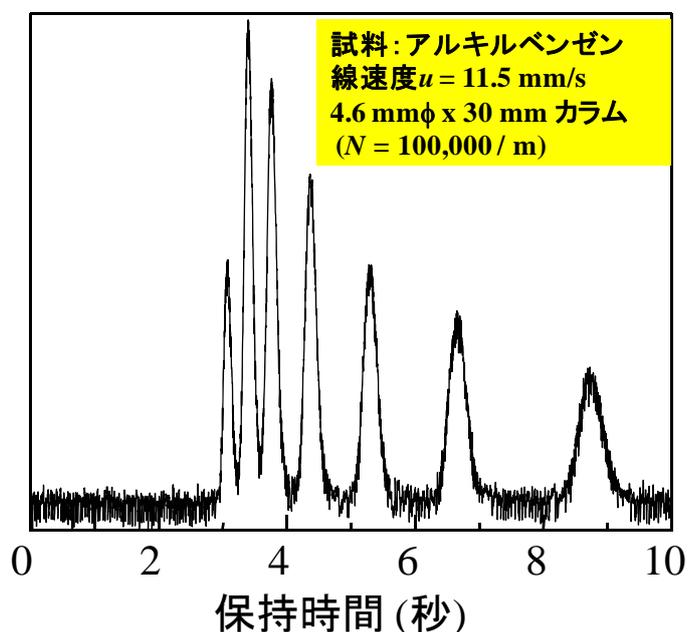


図 3-4 モノリス型カラムによる高速分析の一例。炭素数1～6のアルキル基をもつ置換ベンゼン混合物を、10秒で分離することが出来る。（中西提供）

(3) その他（研究者からのさきがけの意義等についてのコメント）

若い研究者にとって、さきがけ制度の意義は大きい。これをきっかけにして大きな飛躍

の可能性が広がる。また、学会では得られない異分野研究者とのネットワークなどが形成され、現在でも視野の拡大に役立っている。

### 3.2.3 単次元鎖磁石の構造秩序性と磁性制御 (宮坂等 第2期)

#### (1) 研究成果の発展状況や活動状況に関して

近未来のコンピューターデバイス、メモリーの材料として「単分子磁石 (Single-Molecule Magnet)」や「単次元鎖磁石 (Single-Chain Magnet)」と言われるナノスケール化合物(分子)が期待されている。

宮坂は、強磁性鎖で遅い磁化緩和を示す化合物を世界で初めて発見し、この種の化合物に対し、“Single-Chain Magnet (日本名：単次元鎖磁石)”と命名した。さきがけ期間中に、その強磁性単次元鎖磁石の磁化緩和現象を理論的に解釈する方法論を提案し、それを3年間で見出した6種50化合物を超える実際の化合物群を用いて検証することに成功した。また、単分子磁石を骨格にもつ数種の二次元・三次元系を検討し、単分子磁石の持つ固有の磁気異方性と分子間相互作用により超常磁性から長距離秩序磁性体への変換を実現した。単分子磁石を強磁性的に一次元に連結することで単次元鎖磁石が合理的に設計できることを実験と理論の両面で示し、物質固有の性質と協同効果による性質の制御ができることを明らかにした。

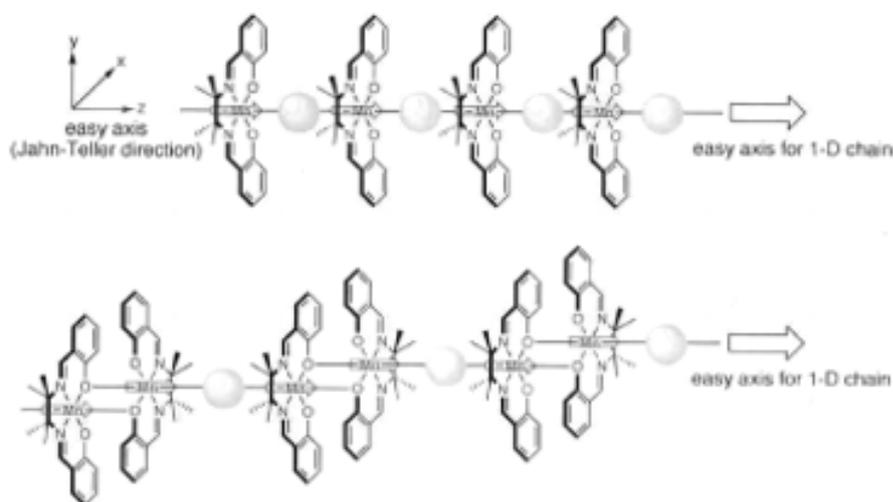


Figure 1. Schemes of one-dimensional arrangements of MnIII saltmen units (monomer and out-of-dimer forms) with linkers (green ball; organic linkers or coordination-donor metal complexes). The Jahn-Teller axis of MnIII ion is directed along the chain direction, producing an easy-axis for 1-D chain (Ising-type axis).

#### 図 3-5 単次元鎖磁石の構造 (J-STORE WEB サイト)

さきがけ終了後、さきがけの主要テーマであった研究については、①単次元鎖磁石の創製と磁化緩和挙動の解明として発展させている。最近では単次元鎖磁石間の相互作用が新たな磁石形態を作り出す可能性があることを示した。

また、②新しい単分子磁石の創製と新規物質への展開、③ 金属-金属結合錯体の集積化と

その電子状態研究、④固体状態におけるマルチドックシステムの開発、⑤スピントロニクス材を目指したソフトマテリアル強磁性導電体の開発を進めた。

主な競争的資金としては、科研費 特定領域「磁気秩序の点・線・空間制御:磁気空間のビクバーン観察」、科研費 特定領域「配位空間制御による点・線・空間の磁気相関発達の研究」などを獲得している。

## (2) 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果

本研究の背景として、一次元磁性鎖は古典的解釈では磁性にならないため全く新しい発想で磁石を作る必要があった。さきがけ期間中に宮坂は、一軸磁気異方性をもつ Mn サレン化合物を配位受容体分子素子として、配位供与分子素子と交互に連結する合理的な分子設計法を見出し、この設計思想に基づいて 6 種 50 化合物もの単一次元鎖磁石の合成に成功した。また磁化緩和現象から、従来の Ising 鎖に対する理論を一般化した式を提唱し、多くの化合物群の磁気特性を説明した。

本研究を契機として、分子化学だけでなく固体物理学を含めて一次元磁性機構の解明を目指した新しい研究分野ができつつある。また応用面として、従来的にはコンピュータデバイスメモリー・センサー材料として期待される。

以下に示す最近の代表的論文の被引用件数はそれぞれ、111 件、58 件、44 件、77 件であり、影響を与えていることがわかる。(Web of Science を用いて調査)

1. Hitoshi Miyasaka, Rodolphe Clérac, Kaori Mizushima, Ken-ichi Sugiura, Masahiro Yamas “ $[Mn_2(\text{saltmen})_2Ni(\text{pao})_2(L)_2](A)_2$  with  $L = \text{pyridine}, 4\text{-picoline}, 4\text{-t-butylpyridine}, N\text{-methylimidazole}$  and  $A = ClO_4^-, BF_4^-, PF_6^-, ReO_4^-$ : A Family of Single-Chain Magnet”, *INORGANIC CHEMISTRY* (2003)
2. Hitoshi Miyasaka, Kazuya Nakata, Ken-ichi Sugiura, Masahiro Yamashita, and Rodolphe Cléra, “A Three-Dimensional Ferrimagnet Composed of Mixed-Valence  $Mn^{4+}$  Clusters Linked by an  $\{Mn[N(CN)_2]_6\}^{4-}$  Unit”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2004, 43, 707-711. *ANGEWANDTE CHEMIE-INTERNATIONAL EDITION* (2004)
3. Hitoshi Miyasaka, Hitomi Takahashi, Tomokura Madanbashi, Ken-ichi Sugiura, Rodolphe Clérac, Hiroyuki Nojiri, “Cyano-bridged  $Mn^{III} 3M^{III}$  ( $M^{III} = Fe, Cr$ ) Complexes: Synthesis, Structure, and Magnetic Properties”, *Inorg. Chem.*, 2005, 44, 5969-5971.,(2005)
4. Hitoshi Miyasaka, Kazuya Nakata, Lollita Lecren, Claude Coulon, Yasuhiro Nakazawa, Tatsuya Fujisaki, Ken-ichi Sugiura, “Two-Dimensional Networks

Based on Mn<sub>4</sub> Complex Linked by Dicyanamide Anion: From Single-Molecule Magnet to Classical Magnet Behavior “, JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY (2006)

宮坂の発表した論文の被引用件数 (web of Science を用いて調査) を図 3-6 に示す (1999 年以降)。論文被引用数は、年々増加し、2009 年度には累計で 3,000 件を超えている。研究成果が大きなインパクトをこの分野に与えていることが理解できる。

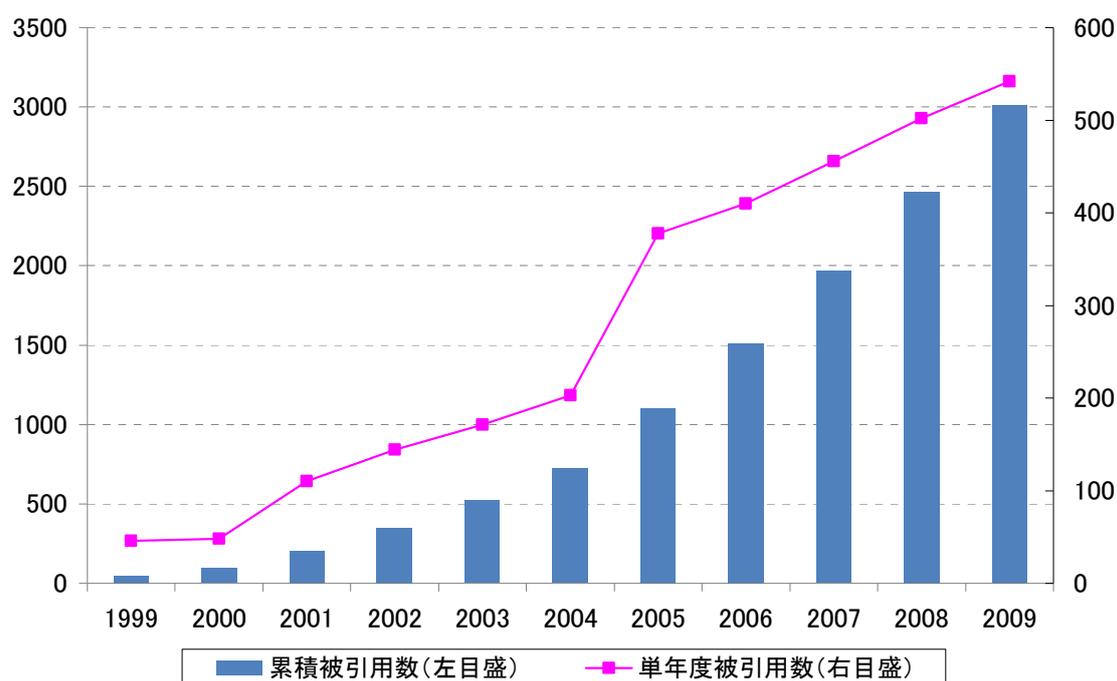


図 3-6 宮坂の論文被引用数推移

### (3) その他

さきがけ事業に参加したことで、非常に大きな影響を受けた。

「さきがけ研究」を行った後、新たな研究テーマを立ち上げ、CREST よりも集中的に一つのグループで実行できる「さきがけ」への再応募を検討した。しかし、「さきがけ」の後には CREST という一般的な流れがあると聞き断念した。このような障壁があるとすれば、今後は J S T の基礎研究制度の柔軟な運用を期待したい。

例えば、旭硝子財団の奨励研究では、若者を対象に 1 年間ないしは 2 年間のもの。この期間が終わった後に、ステップアップとあって継続的に研究ができるシステムがある。

### 3.2.4 磁気・電気分極が共存する複合分極金属錯体の創製と新機能（大越慎一 第3期）

#### (1) 研究成果の発展状況や活動状況に関して

さきがけ期間中は、結晶構造や次元性を自由に設計できる優れた特性を有する金属錯体をベースに、磁気モーメントと電気モーメントの相互作用から発現する新たな物性を探索することを目的に研究を行った。磁気分極には常磁性金属イオンを用い、電気分極は結晶構造の非反転対称性を制御することにより導入を試みた。複合分極金属錯体では、新規な磁気特性や誘電特性に加えて、磁場、電場などに対して特異な応答を示す可能性があるため、物理的・化学的外場効果の検討を行なった。材料として、多種のシアノ架橋型金属錯体磁性体を合成し、その磁気物性、電気物性および光学物性に関して研究を行った。また、得られた知見をベースに金属酸化物などにも展開し、新規な機能性物質の創製を行った。

さきがけ終了後は、新しい物性化学の学術的フィールドを開拓することを目的とし、強磁性体を中心に、新規物質創製、新規な磁気分光学の探索、テクノロジーへの応用を柱として研究を行っている。

新規物質創製については、金属錯体に着目し、分子設計に基づく新規磁気物性創出の研究を進めている。金属錯体は、スピン間の相互作用を考慮して、スピン源である金属イオンや配位子を選択することが可能であり、設計性に優れている。シアノ架橋型金属錯体を用いて、ゼロ次元ハイスピンクラスターから一次元、二次元、三次元構造をした磁性体を合理的に合成している。

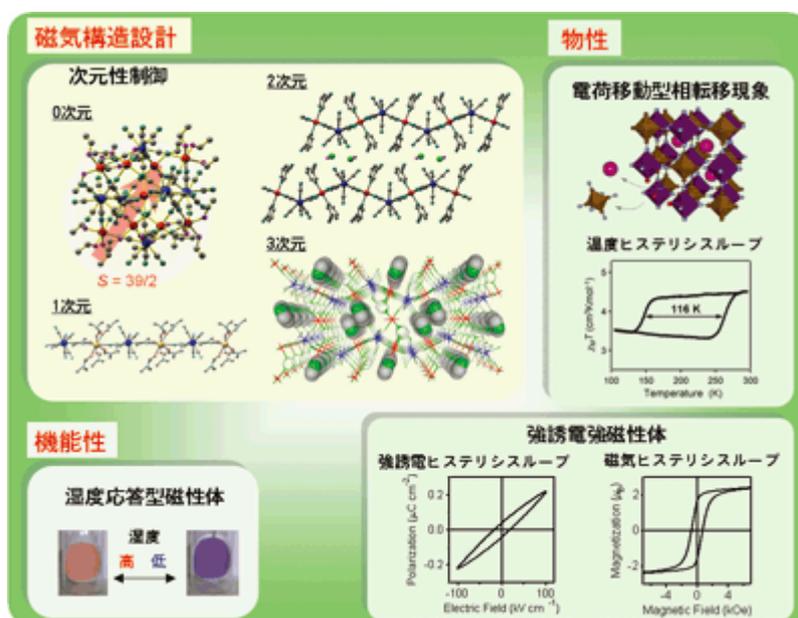


図 3-7 分子設計に基づく構造設計、機能性創出（東京大学物性化学研究室 WEB サイト）

また、光と磁気の相関現象という観点からは、光磁性および非線形磁気光学に関して研

究を推進しており、光により常磁性と強磁性が可逆的にスイッチングする光誘起磁化現象、光により磁極が反転する光誘起磁極反転現象などの新規現象を見出している。磁性体により光を制御することも可能である。バルク強磁性体で二例目の磁化誘起第二高調波発生を報告し、さらに強磁性体の磁化誘起第三高調波発生初の観測に成功している。

さらに、高機能酸化物磁性体の創出として、ゾル-ゲル法と逆ミセル法を組み合わせ、酸化鉄ナノ微粒子を合成することで、 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> という非常に稀な相を初めて単相として合成することに成功した。これは、室温で保磁力が 20 キロエルステッド(kOe)であり、酸化物磁性体の中で最大の保磁力を示すとともに、磁気分極と電気分極が共存する焦電性強磁性体である。 $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ナノ磁性体の磁気記録材料および電波吸収材料などへの応用研究を推進している。

## (2) 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な波及効果

本研究から生み出された研究成果としては、以下のものがある。

①高性能ミリ波吸収磁性材料：30 GHz（ギガヘルツ）から 180 GHz 帯域におよぶ高周波数ミリ波を吸収する磁性材料、イプシロン( $\epsilon$ )型酸化鉄 M<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub> ナノ微粒子(M= Al, Ga)の開発に成功した。

②巨大保磁力を示す金属酸化物ナノ微粒子の創製：逆ミセル法とゾル-ゲル法との組み合わせにより、室温で 20 kOe という、金属酸化物で最大の保磁力を示す酸化鉄ナノ微粒子の合成に成功した（それまでの最高値は 6 kOe）。

③光で ON-OFF する磁石の開発：ヘキサシアノ金属錯体 RbMn[Fe(CN)<sub>6</sub>](1)、オクタシアノ金属錯体 Cu<sub>2</sub>[Mo(CN)<sub>8</sub>]·8H<sub>2</sub>O(2)、Co<sub>3</sub>[W(CN)<sub>8</sub>]<sub>2</sub>(ピリミジン)<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O(3)において、2つの異なる波長の可視光を交互に照射し、磁石と非磁石の間を光で ON-OFF することに成功した。

④化学的刺激（湿度およびアルコール蒸気）に応答する磁性体：湿度に応答して磁気相転移温度、磁化、磁極が変化する磁性体（モイスチャーセンシティブ磁石）(CoxMn<sub>1-x</sub>)[Cr(CN)<sub>6</sub>]<sub>2/3</sub>·5H<sub>2</sub>O の開発に成功した。

⑤金属錯体を用いた強誘電-強磁性に関する研究：ヘキサシアノ金属錯体 Rb<sub>0.82</sub>Mn[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>0.94</sub>·H<sub>2</sub>O(1)において、強誘電性と強磁性が共存する強誘電-強磁性体であることを見出した。

大越によれば、錯体における強磁性体の研究分野で大越研究室の影響力は世界の中で極めて大きい。研究室において物質の創製まで行っているため、サンプル提供により共同研究のネットワークが広がっている。世界的なコミュニケーションが生まれている。

以下に示す最近の代表的論文の被引用件数はそれぞれ、105 件、103 件、71 件、60 件であり、影響を与えていることがわかる。(Web of Science を用いて調査)

1. Y. Arimoto, S. Ohkoshi, Z. J. Zhong, H. Seino, Y. Mizobe, K. Hashimoto, "Photoinduced magnetization in a two-dimensional cobalt octacyanotungstate", *J. Am. Chem. Soc.*, 125, 9240 (2003).
2. S. Ohkoshi, K. Arai, Y. Sato, K. Hashimoto, "Humidity-induced magnetization and magnetic pole inversion in a cyano-bridged metal assembly" *Nature Materials*, 3, 857 (2004).
3. H. Tokoro, S. Ohkoshi, K. Hashimoto, "One-shot-laser-pulse-induced demagnetization in rubidium manganese hexacyanoferrate", *Appl. Phys. Lett.*, 82, 1245 (2003).
4. T. Kashiwagi, S. Ohkoshi, H. Seino, Y. Mizobe, K. Hashimoto, "Manganese(II) octacyanotungstate(V)-based magnet containing a noncoordinated aromatic molecule", *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 5024 (2004).

大越のさがけ期間以降（2002年以降）に発表した論文の被引用件数（web of Scienceを用いて調査）を図 3-8 に示す。論文被引用数は、年々増加し、2009年度には累計で1,400件を超えている。研究成果が大きなインパクトをこの分野に与えていることが理解できる。

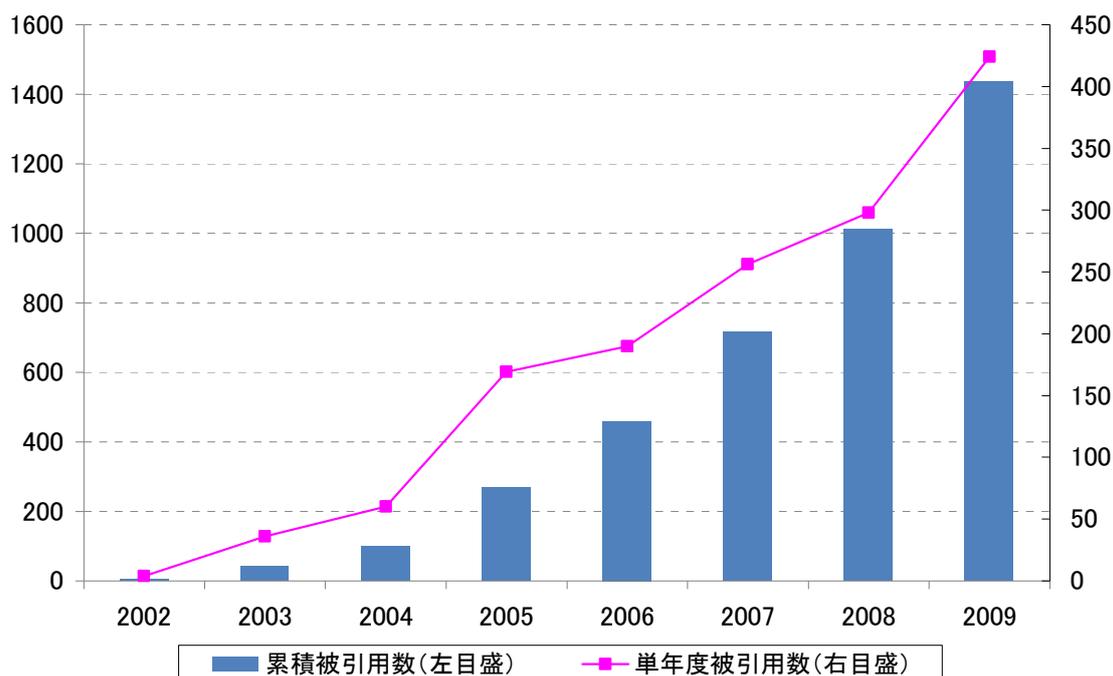


図 3-8 大越の論文被引用数推移

大越の開発した、30 GHz から 180 GHz 帯域におよぶ高い周波数のミリ波を吸収する磁性材料は、電磁波吸収材料として画期的な性能であり、今後の応用が期待されている。

現在、画像情報をはじめとする大容量データ情報を伝送するための次世代方式として、ミリ波（30～300 GHz）を用いた高速無線通信法が大変注目を集めている。また、76 GHz のミリ波は車間レーダー用途として大手自動車メーカーにより現在研究が行われている。

しかし、現在、80 GHz 以上のミリ波を周波数選択的に吸収する材料はほとんどなく、この帯域での電磁波干渉の危険性が危惧されている。大越は、シロン型 - ガリウム酸化鉄（ $\epsilon$ - $\text{Ga}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_3$  ;  $0.10 < x < 0.67$ ）ナノ微粒子（粒径が 30nm 程度）を化学的に合成し、ガリウム置換量に応じて 30 GHz から 180 GHz までの高い周波数領域でミリ波を有効かつ周波数選択的に吸収することを見出した。また、理論計算によりこの系列の材料では、ガリウム置換量により吸収可能な最大周波数は 200 GHz までに達することが示された。イプシロン型 - ガリウム酸化鉄は、金属酸化物であるため長期間に渡って安定する。電磁波干渉抑制材料として、オフィスや医療室の壁への塗布のほか、車、電車、飛行機の胴体への塗布、また、その選択的な共鳴周波数を用いてミリ波発信機を安定化させるサーキュレーターやアイソレーターなどの新規ミリ波用電子デバイスへの応用も期待される。

### (3) その他

ヒアリングにおいて、研究者からは以下のようなコメントがあった。

- ・ さきがけ事業のシステムはすばらしい。一番頑張っている若手研究者たちが切磋琢磨

していく雰囲気作りが出来て良かった。学会とはまた全然違う雰囲気で、最先端をいく研究者達が議論している。

- 「秩序と物性」領域では、英語で発表し合っていたが、英語の方がロジカルで曖昧な発言がしにくくなるので良かった。
- 若い世代にとってはかなり貴重な研究費であり、ありがたかった。継続してほしい事業である。
- 現在は、30代の若者が実質上主な対象となっているが、40代にも焦点を当ててもらえると良いと思う。

### 3.3 第3章のまとめ

研究総括へのヒアリング及び4名の研究者に対する詳細調査を通じて、さきがけ終了後の発展状況を把握した。代表事例の各研究者は、CREST等の資金も得て、さきがけ研究を展開しており、いずれの事例の研究領域も大きく発展していた。

北川は、さきがけ終了後にCREST事業に採択されており、「錯体プロトニクス」という新たな学術分野の創成を目指している。また、NEDO事業にも採択されており、多孔性金属錯体を利用したCO<sub>2</sub>の吸着剤の開発を進めている。

中西は、ゾルーゲル法を無機化学、高分子化学および有機化学が融合した視点で研究を進めた。

宮坂は、さきがけ事業の成果である単次元鎖磁石の創成と磁化緩和挙動の解明として発展させている。

大越は、金属錯網に着目し、新規磁性物性創出の研究を進展させている。

いずれの研究者もさきがけの有意義さ、研究総括及び領域アドバイザーのアドバイスの有用性を述べており、自身のキャリアアップ、研究成果の導出に当たって、さきがけが大きく寄与したとのことであった。