

**(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「変換と制御」  
(2000-2005)  
研究総括 合志陽一**

**2011.3.26**

## <目次>

概要.....	2
第1章 追跡調査・追跡評価について.....	3
1.1 調査／評価の目的.....	3
1.2 調査／評価の対象.....	3
1.3 研究領域の概要.....	3
第2章 全研究課題（研究者）の発展状況.....	6
2.1 参加研究者全員に対するアンケート調査.....	6
2.2 参加研究者全体の動向.....	7
2.2.1 研究者の職位の推移.....	7
2.2.2 論文、総説・解説の発表件数の推移.....	8
2.2.3 著書件数の推移.....	9
2.2.4 特許出願件数の推移.....	10
2.2.5 招待講演件数の推移.....	11
2.2.6 研究者の受賞.....	13
2.2.7 研究者の研究助成金獲得状況.....	20
2.2.8 参加研究者の研究成果と発展状況.....	23
2.2.9 さきがけ研究の意義.....	40
2.3 第2章のまとめ.....	42
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.....	43
3.1 詳細調査の内容.....	43
3.2 代表事例の発展状況.....	43
3.2.1 ポリウレタン分解酵素の修飾と機能改変（中島（神戸） 敏明 第1期） ....	43
3.2.2 ナノ構造体を用いた光合成型エネルギー変換系の構築（今堀 博 第2期）	47
3.2.3 微生物によるリン酸ポリマー蓄積機構の解明と利用（黒田 章夫 第2期）	51
3.2.4 無公害な電気-カー光の多元エネルギー変換素子（徐 超男 第2期） .....	55
3.3 第3章のまとめ.....	59

## 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「変換と制御」（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追跡評価のために調査した結果をまとめたものである。

「変換と制御」は、省資源、省エネルギー、さらには環境調和型の物質変換プロセスを目指すため、新規化学反応やエネルギーの創出、それらの利用効率の向上や制御などの研究を行うものであり、その中には、錯体や反応触媒、エネルギー変換、サイクルの実現を目指した廃棄物の資源化などに関する研究が含まれる。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30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、30名中29名から回答を得た。

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、さきがけ終了後に教授となった研究者は15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10報以上論文を発表している研究者は6名であったが、さきがけ終了後には9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1億円以上の大型の研究助成金を獲得した研究者が13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26名全員が自身の研究に役立ったと考えていた。また、12名からは制度・運営に関する改善等の意見が寄せられた。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もらったおかげでその後の研究基盤ができた、研究室のスタートアップをスムーズに行うことができた、異分野間で活発な議論ができ、研究総括やアドバイザーからも適切かつ研究の方向性を縛らないアドバイスが頂けたなどの意見があった。一方で、さきがけ研究の課題としては近年の領域設定の狭さや年齢制限などに改善してほしいという意見が寄せられた。

また、アンケート調査結果及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。代表事例の各研究者は、SORSTやCREST等へ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。また、ベンチャー企業の実立や企業との共同研究により実用化を果たしている事例も存在した。

## 第1章 追跡調査・追跡評価について

### 1.1 調査／評価の目的

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／評価の対象

本追跡評価はさきがけ研究領域「変換と制御」（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	14
第2期	2001年12月 - 2005年3月	2005年4月 - 2009年3月	9
第3期	2002年11月 - 2006年3月	2006年4月 - 2009年3月	7

### 1.3 研究領域の概要

「変換と制御」の研究総括は合志 陽一（筑波大学 監事）であり、研究領域の概要は以下のとおりである。

「変換と制御」は、省資源、省エネルギー、さらには環境調和型の物質変換プロセスを目指すため、新規化学反応やエネルギーの創出、それらの利用効率の向上や制御などの研究を行うものである。例えば、錯体や反応触媒、反応プロセスや生成分子のデザイン、エネルギー変換、無害化の促進、計測制御技術の開発及びリサイクルの実現を目指した廃棄物の資源化などに関する研究を含む。

この領域の概要に沿って研究を行うため、11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	さきがけ終了時の所属・役職
稲葉 道彦	(株)東芝 技術企画室グループ長 (2002年5月～2006年3月)
河田 聡	大阪大学大学院 工学研究科 教授
小泉 英明	(株)日立製作所中央研究所 主管研究長 (2000年4月～2002年4月)
小宮山 宏	東京大学 総長
寺前 紀夫	東北大学大学院 理学研究科 教授
古屋 富明	(株)東芝 研究開発センター グループ長 (2000年4月～2002年4月)
前田 瑞夫	(独)理化学研究所 主任研究員
御園生 誠	(独)製品評価技術基盤機構 理事長
宮村 一夫	東京理科大学 理学部 教授
矢木 修身	東京大学大学院 工学系研究科 教授
安原 昭夫	東京理科大学 環境保全室 化学物質管理部門長

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30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。

さきがけ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が挙げられている。

- ✓ 赤井 智子による水を変換プロセスに利用した廃ガラスの再資源化。
- ✓ 新藤 充による機能性炭素反応種を用いた合成反応。
- ✓ 中島（神戸） 敏明のポリウレタン分解酵素の修飾と機能改変。
- ✓ 黒田 章夫の微生物によるリン酸ポリマー蓄積機構の解明と利用。
- ✓ 丸山 厚の核酸によるシャペロン機能を持つ高分子設計とDNA解析への展開。
- ✓ 藤原 徹のホウ素の輸送を利用した生物制御と環境浄化。
- ✓ 宮田 隆志の情報変換・機能制御性を持つ分子刺激応答性ゲル。

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	さがけ採択時の所属・役職	さがけ終了時の所属・役職	追跡調査時の所属・役職
第 1 期(2000 年度)	水を変換プロセスに利用した廃ガラスの再資源化	赤井 智子	工業技術院 大阪工業技術研究所 主任研究官	(独)産業技術総合研究所 関西センター 環境化学技術研究部門 主任研究員	(独)産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 グループ長
	光電池を目指したエネルギー変換素子	池田 篤志	九州大学大学院 工学研究院 助手	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 助教授	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 准教授
	環状DNAを用いた人工光合成系の構築	居城 邦治	北海道大学 電子科学研究所 助教授	北海道大学 電子科学研究所 助教授	北海道大学 電子科学研究所 教授
	超分子相互作用を用いた環境調和型物質変換プロセス	小西 克明	東京大学大学院 工学系研究科 助手	北海道大学大学院 地球環境科学研究科 助教授	北海道大学大学院 地球環境科学研究科 教授
	機能性炭素反応種を用いた合成反応	新藤 充	徳島大学 薬学部 助教授	徳島大学 薬学部 助教授	九州大学 先導物質化学研究所 准教授
	プロテインメモリーを利用した低温高機能酵素のデザイン	田村 厚夫	神戸大学大学院 自然科学研究科 講師	神戸大学大学院 自然科学研究科 講師	神戸大学大学院 理学研究科 准教授
	廃熱から電気を作る環境にやさしいセラミックス	寺崎 一郎	早稲田大学 理工学部 助教授	早稲田大学 理工学部 教授	早稲田大学 先進理工学部 応用物理学科 教授
	ポリウレタン分解酵素の修飾と機能改変	中島(神戸) 敏明	筑波大学 応用生物化学系 講師	筑波大学 応用生物化学系 講師	筑波大学大学院 生命環境科学研究科 准教授
	層状ニオブ・チタン酸塩の層間修飾と光活性を利用する機能化	中戸 晃之	東京農工大学 農学部 助教授	東京農工大学大学院 生物システム応用科学研究科 助教授	東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 准教授
	光と相互作用するエネルギー変換高分子系の構築	中野 環	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 助教授	奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科 助教授	北海道大学大学院 工学研究科 教授
	C1資源を活用する不斉触媒反応	野崎(玉尾) 京子	京都大学大学院 工学研究科 助教授	東京大学大学院 工学系研究科 教授	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	蛋白質フラスコを用いた高効率酵素型触媒	林 高史	九州大学大学院 工学研究院 助教授	九州大学大学院 工学研究院 助教授	大阪大学大学院 工学研究科 教授
	高分子結晶工学を基盤とする有機材料設計	松本 章一	大阪市立大学 工学部 助教授	大阪市立大学大学院 工学研究科 助教授	大阪市立大学大学院 工学研究科 教授
	生体膜表面に吸着する環境ホルモンの計測システム	叶 深	北海道大学大学院 理学研究科 助手	北海道大学 触媒化学研究センター 助教授	北海道大学 触媒化学研究センター 准教授
第 2 期(2001 年度)	異相界面微粒子触媒による合成反応	池田 茂	北海道大学 触媒化学研究センター 助手	大阪大学 太陽エネルギー化学研究センター 助教授	大阪大学 太陽エネルギー化学研究センター 准教授
	ナノ構造体を用いた光合成型エネルギー変換系の構築	今堀 博	大阪大学大学院 工学研究科 助教授	京都大学大学院 工学研究科 分子工学専攻 教授	京都大学 物質・細胞統合システム拠点 教授
	pH制御による水中物質変換反応	小江 誠司	名古屋大学 物質科学国際センター 助手	大阪大学大学院 工学研究科 助教授	九州大学大学院 工学研究院 教授
	超臨界二酸化炭素による高効率カルボニル化反応	榎木 啓人	科学技術振興事業団 さがけ研究者	(独)科学技術振興機構 さがけ研究者	東京工業大学大学院 理工学研究科 科学研究費教育研究支援員
	微生物によるリン酸ポリマー蓄積機構の解明と利用	黒田 章夫	広島大学大学院 先端物質科学研究科 助教授	広島大学大学院 先端物質科学研究科 助教授	広島大学大学院 先端物質科学研究科 教授
	非水系でのナノ集合体と生体分子の融合による機能変換と制御	後藤 雅宏	九州大学大学院 工学研究院 助教授	九州大学大学院 工学研究院 教授	九州大学大学院 工学研究院 教授
	無公害な電気-カー光の多元エネルギー変換素子	徐 超男	(独)産業技術総合研究所 九州センター 主任研究員	(独)産業技術総合研究所 九州センター 実環境計測・診断ラボ 主任研究員	(独)産業技術総合研究所 九州センター 生産計測技術計算センター 研究チーム長
第 3 期(2002 年度)	核酸シャペロン機能を持つ高分子設計と DNA 解析への展開	丸山 厚	東京工業大学大学院 生命理工学研究科 助教授	九州大学 先導物質化学研究所 融合材料部門 教授	九州大学 先導物質化学研究所 教授
	電子・分子・イオンの流れを制御する金属ナノ構造	村越 敬	大阪大学大学院 基礎工学研究科 助教授	北海道大学大学院 理学研究科 教授	北海道大学大学院 理学研究院 教授
	環境調和型ハイブリッド光エネルギー変換材料	伊原 学	東北大学 多元物質科学研究所 助手	東京工業大学 炭素循環エネルギー研究センター 助教授	東京工業大学 炭素循環エネルギー研究センター 准教授
	高効率バイオリサイクル共生システムの解明	大熊 盛也	理化学研究所 生物基盤研究部 微生物生態系機能解析室 副主任研究員	(独)理化学研究所 中央研究所工藤環境分子生物学研究室 副主任研究員	(独)理化学研究所 バイオリソースセンター微生物材料開発室 室長
	表面に形状選択的活性点を持つ固体触媒	片田 直伸	鳥取大学 工学部 物質工学科 助教授	鳥取大学 工学部 物質工学科 助教授	鳥取大学大学院 工学研究科 准教授
	界面を反応場とした触媒的脱水縮合反応	国嶋 崇隆	神戸学院大学 薬学部 講師	神戸学院大学 薬学部 助教授	金沢大学 医薬保健研究域 薬学系 教授
ホウ素の輸送を利用した生物制御と環境浄化	藤原 徹	東京大学大学院 農学生命科学研究科 助手	東京大学 生物生産工学研究センター 助教授	東京大学 生物生産工学研究センター 准教授	
情報変換・機能制御性を持つ分子刺激応答性ゲル	宮田 隆志	関西大学 工学部 助教授	関西大学 工学部 助教授	関西大学 化学生命工学部 教授	
バンド構造制御による水素製造用高効率光触媒	葉 金花	(独)物質・材料研究機構 エコマテリアル研究センター 主幹研究員	(独)物質・材料研究機構 エコマテリアル研究センター アソシエートディレクター	(独)物質・材料研究機構 光触媒材料センター センター長	

## 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 30 名中 29 名の回答を得た。回答率は 96.7%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、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、アンケート未回答者については、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、終了時及び追跡調査時の職位の推移を図 2-1 に示した。

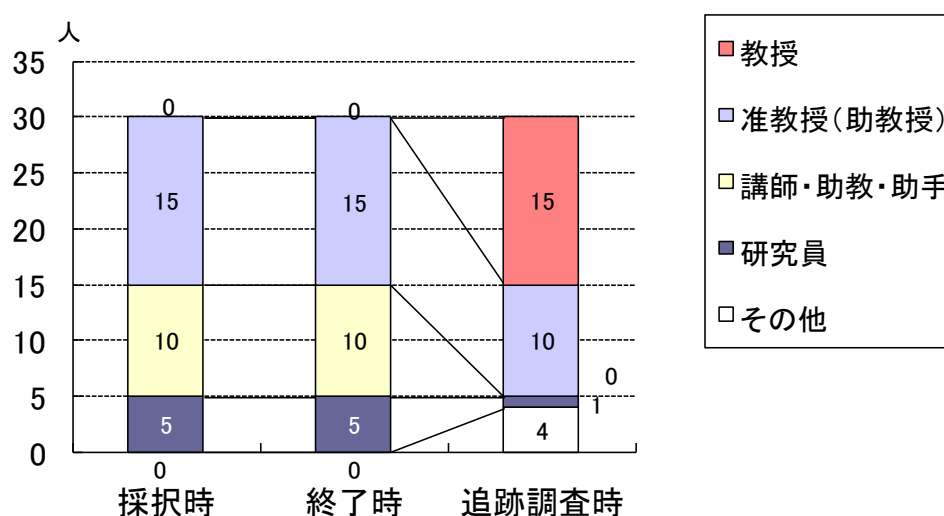


図 2-1 研究者のさきがけ採択時、終了時及び追跡調査時の職位の推移

大部分の研究者がさきがけ採択時から終了時、追跡調査時になるにつれて、より上位の職位についている。特に、採択時に 0 名であった大学教授職が、追跡調査時では 15 名となり大幅に増加している。赤井や徐、葉の様に公的研究機関のマネージャー職に就いている女性研究者が多いことが特徴的である。

上記の結果から、当該領域においては昇進をしている研究者が多く、研究成果が社会から認められていることが分かる。



## 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。

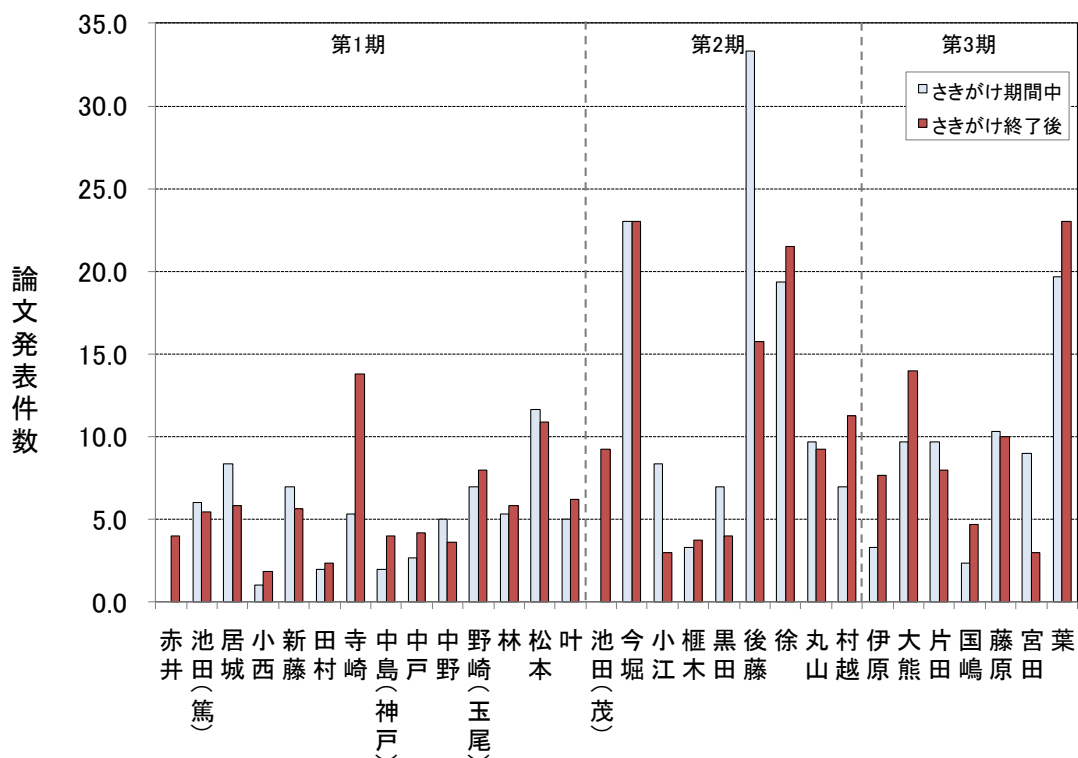


図 2-2 研究者の論文（論文、総説・解説）発表件数（年平均）

さきがけ期間中に比べて、さきがけ終了後の論文発表件数（年平均）が増えている研究者は 17 名であった。また、さきがけ期間中では年平均 10 報以上論文を発表している研究者は 6 名であったが、さきがけ終了後には 9 名に増加している。

上記の結果により、さきがけ終了後も各研究者が研究活動を活発に継続していることが分かる。

### 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。

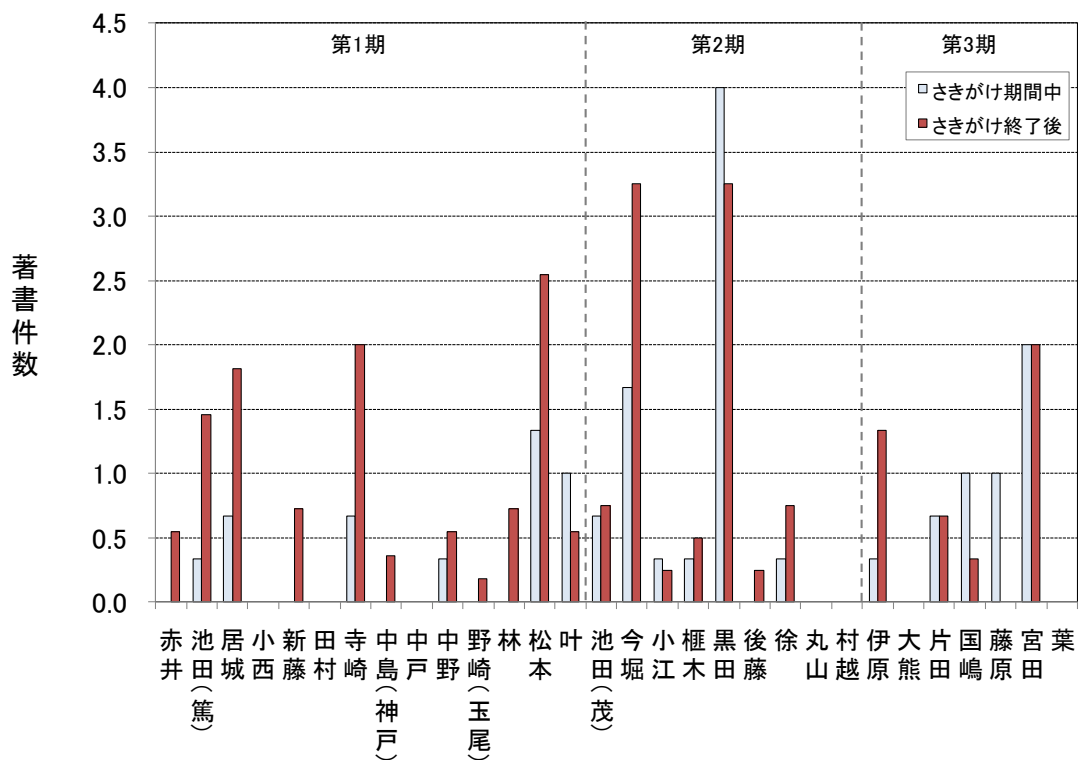


図 2-3 研究者の著書件数（年平均）

黒田はさきがけ期間中の研究成果である「微生物のポリリン酸蓄積機構の解明」に関して、多数の著書を期間中に記している。また、さきがけ終了後も微生物を利用したアスベスト検出に関する著書を出版している。今堀は、有機薄膜太陽電池に関する著書を特にさきがけ終了後に多数出版している。

アスベスト除去や太陽電池など社会的なニーズの高い研究を行っている研究者は論文だけでなく、著書も数多く記していることが分かる。

## 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。

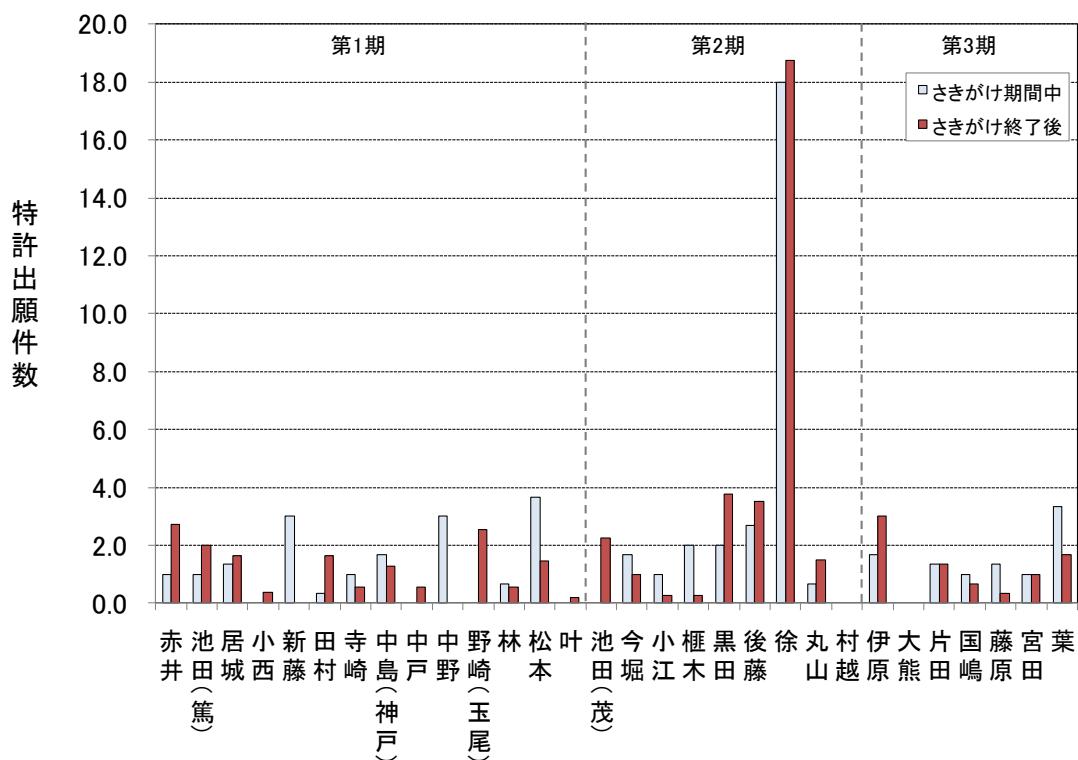


図 2-4 研究者の特許出願件数（年平均）

30 名中 14 名がさきがけ終了後における特許出願件数（年平均）がさきがけ期間中に比べて増えていることが分かる。特に、徐はさきがけ期間中・終了後共に特許申請数が多い。これは、さきがけ期間中に無公害変換素子の開発に取り組み、終了後その成果である応力発光体の開発・応用を行っているためと考えられる。海外出願件数も多く、グローバルに産業化を目指している。

その他の研究者も特許出願をしている研究者が多いため、基礎研究だけでなく産業貢献も志向して研究活動を進め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。

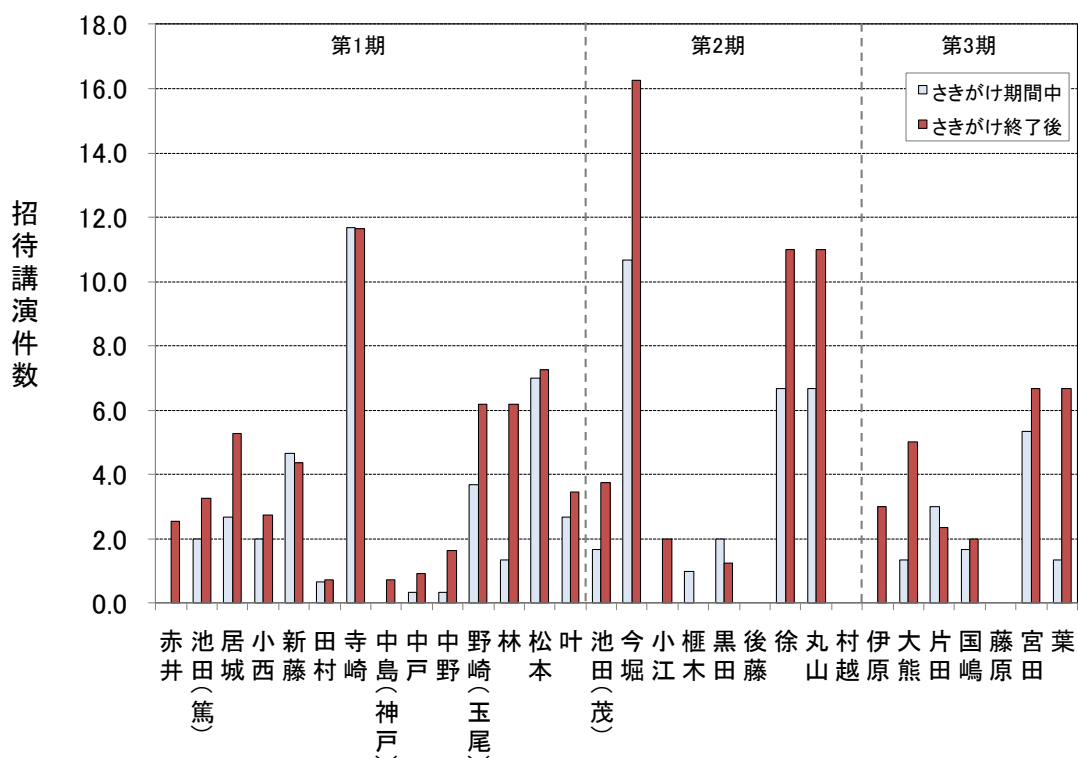


図 2-5 研究者の招待講演件数（年平均）

30 名中 22 名が、さきがけ期間中に比べて終了後における招待講演件数（年平均）が増えている。特に、今堀はさきがけ期間中ポルフィリンとフラレンを組み込んだ人工光合成で注目を浴びたため、招待講演件数（年平均）が他の研究者に比べて多い。また、終了後も人工光合成に関する研究を引き続き行い、さらに有機太陽電池に関する研究も進めているため招待講演件数はさらに多くなっている。

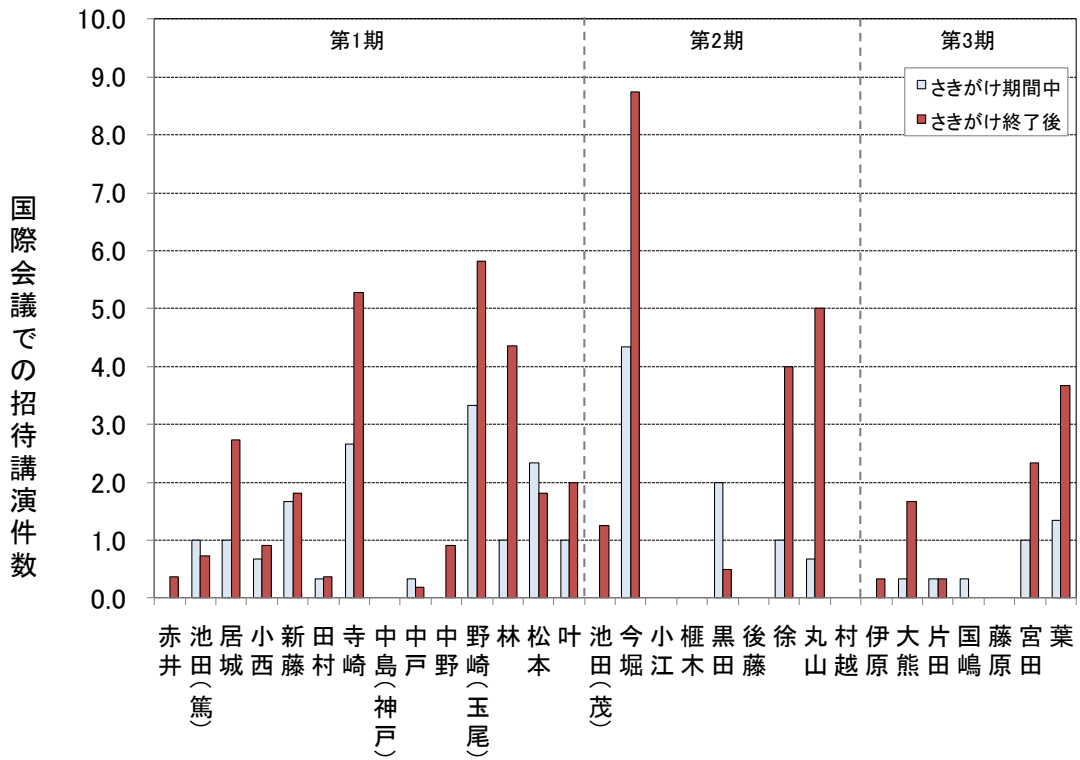


図 2-6 研究者の国際会議での招待講演件数（年平均）

## 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。

18 名が複数の賞を受賞しており、野崎（玉尾）、徐がいずれも 9 個で最も多く、その他受賞数の多い順に、大熊（8）、今堀（7）が続いている。

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
新藤 充	奨励賞「イノラートアニオンの新規合成法の開発と機能開拓」	日本薬学会	2000
寺崎 一郎	第 4 回サー・マーティン・ウッド賞 「遷移金属酸化物における新物性・新機能の開発」	サー・マーティン・ウッド賞選考委員会	2002
寺崎 一郎	最優秀論文賞	熱電変換国際会議 (ICT2003)	2003
中島（神戸） 敏明	「発酵と代謝」研究奨励金	(財) バイオインダストリー協会	2000
野崎（玉尾） 京子	有機合成指向有機金属化学国際シンポジウム賞	有機合成指向有機金属化学国際シンポジウム (OMCOS)	2003
野崎（玉尾） 京子	ポリマージャーナル論文賞	日本高分子学会	2003
林 高史	生体機能関連化学部会講演賞	日本化学会	2001
林 高史	九州大学総長賞	九州大学	2001
松本 章一	Wiley 賞「結晶工学を基盤とする高分子構造制御および材料設計に関する研究能」	高分子学会	2002
舘 幸次、木谷佳子、池田 茂、松村 道雄、大谷文章	触媒討論会優秀ポスター賞	触媒学会	2005

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
今堀 博	Young Investigator Award	SPP (The Society of Porphyrins and Phthalocyanines ) JPP (The Journal of Porphyrins and Phthalocyanines )	2002
今堀 博	光化学協会賞「ポルフィリンとフラレンを用いた人光合成に関する研究」	光化学協会	2004
黒田 章夫	発酵と代謝研究奨励賞「バクテリアにおけるリボソーム維持管理に関わるポリリン酸の生命機能解明」	日本バイオインダストリー協会	2001
黒田 章夫	斉藤賞「微生物におけるポリリン酸代謝制御機構の解明」	日本生物工学会	2002
黒田 章夫	奨励賞「微生物のポリリン酸研究の新展開」	日本農芸化学会	2004
後藤 雅宏	論文賞	日本生物工学会	2004
後藤 雅宏	研究賞	化学工学会	2005
徐 超男	文部科学大臣賞 研究功績者 「新規な高輝度応力発光体・デバイスに関する研究」	文部科学省	2004
佐藤、藤塚、沢田、 徐 超男	ベストポスター賞 「応力発光粉分散接着剤を用いた接着剤層内応力分布の可視化」	日本接着学会	2004
丸山 厚	学会賞（学術）	日本バイオマテリアル学会	2005
大熊 盛也	農芸化学奨励賞「シロアリー微生物共生系の分子生態学的研究」	日本農芸化学会	2003
野田 悟子、工藤俊章、 大熊 盛也	ポスター賞 「シロアリ腸内原生生物とその共生 CFB グループ細菌の系統・進化」	日本微生物生態学会	2004

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
Hongoh, Y., M. <u>Ohkuma (大熊 盛也)</u> , S. Trakulnaleamsai, P. Deevong, T. Inoue, C. Vongkhaluang, N. Noparatnaraporn, T. Kudo	Best Poster Award	The 10th International Congress for Culture Collections (ICCC-10)	2004
Hattori, S., M. <u>Ohkuma (大熊盛也)</u> , H. Yuzawa, T. Kudo	Best Poster Award	10th International Symposium on Microbial Ecology (ISME-10)	2004
片田 直伸	奨励賞	触媒学会	2003
片田 直伸	奨励賞	石油学会	2004
国嶋 崇隆	第6回シクロデキストリン奨励賞 「シクロデキストリンを活用したカルボン酸の基質特異的アミド化反応」	シクロデキストリン学会	2002
藤原 徹	奨励賞	日本植物生理学会	2004
宮田 隆志	進歩賞 「機能材料設計のための多成分系高分子の表面および内部構造に関する研究」	日本接着学会	2003

(b) さきがけ終了後

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
池田 篤志	第18回若い世代の特別講演賞	日本化学会	2004
池田 篤志	Tetrahedron Most Cited Paper 2005-2008 Award	エルゼビア社 (BV社)	2008
居城 邦治	Outstanding Research Award	The 2006 Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology	2006



受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
居城 邦治	第2回モノづくり連携大賞	日刊工業新聞社主催、NEDO 共催、 中小企業基盤整備 機構特別協力	2007
寺崎 一郎	Leverhulme Visiting Professorship in University of Bristol, UK	University of Bristol, UK	2004
寺崎 一郎	文部科学大臣表彰 科学技術賞 「酸化物熱電変換材料の研究」	文部科学省	2009
中島 (神戸) 敏明	論文賞	日本微生物生態学 会	2004
中野 環	高分子学会賞 「 $\pi$ -スタッフ型高分子の合成、構造および機能」	高分子学会	2008
野崎 (玉尾) 京子	Wiley 賞「金属錯体触媒を用いる光学 活性高分子の不斉合成」	日本高分子学会	2004
野崎 (玉尾) 京子	日本 IBM 科学賞	日本 IBM (株)	2006
野崎 (玉尾) 京子	アジア研究教育拠点事業講演賞 (台湾)	中国科学院上海有 機化学研究所	2008
野崎 (玉尾) 京子	アジア研究教育拠点事業講演賞 (中国)	中国科学院上海有 機化学研究所	2008
野崎 (玉尾) 京子	Mukaiyama Award	有機合成化学協会	2008
野崎 (玉尾) 京子	第28回猿橋賞	女性科学者に明る い未来をの会	2008
野崎 (玉尾) 京子	三井化学触媒科学賞 「極性モノマー の配位共重合のための新しい触媒の 開発」	三井化学 (株)	2009
林 高史	研究奨励賞	酵素応用シンポジ ウム	2006
林 高史	大阪大学教育功労賞	大阪大学	2007
林 高史	BCSJ 賞 (Article Award)	The Bulletin of the Chemical Society of Japan (BCSJ)	2008
叶 深	第2回北海道支部奨励賞 「固液界面 の原子・分子レベルでの構造解析と機 能制御」	日本化学会	2005

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
叶 深	北海道分析化学賞「SFG 分光を用いた表・界面の解析」	日本分析化学会	2009
池田 茂	平成 18 年度 国立大学法人大阪大学教育・研究功績賞	大阪大学	2007
原田 隆史、杉田智彦、 <u>池田 茂</u> 、松村 道雄	平成 19 年度 VBL 部門ならびに共同研究部門公開成果発表会成果発表グランプリ最優秀賞	大阪大学先端科学イノベーションセンターVBL 部門	2008
橋本 史広、原田隆史、鳥本 司、 <u>池田 茂</u> 、松村 道雄	第 102 回触媒討論会優秀ポスター発表賞	触媒学会	2008
小林 秀行、 <u>池田 茂</u> 、原田 隆史、大谷 文章、鳥本 司、松村 道雄	第 103 回触媒討論会優秀ポスター発表賞	触媒学会	2009
今堀 博	第 2 回日本学術振興会賞 「カーボンナノ構造体を用いた人工光合成系の構築」	日本学術振興会	2006
今堀 博	学術賞 「フラーレンを用いた人工光合成系の構築」	日本化学会	2006
今堀 博	ゴールド・メダル賞 「フラーレンを用いた新規な人工光合成分子の合成」	テクノ・フォーラム 21	2007
今堀 博	大阪科学賞 「フラーレンを用いた光エネルギー変換に関する研究」	大阪府、大阪市、(財)大阪科学技術センター	2007
今堀 博	ナイスステップ研究者	文部科学省科学技術政策研究所	2007
小江 誠司	第 5 回日本学術振興会賞 「水溶性金属アクア錯体を用いた水中・常温・常圧での水素分子の活性化」	日本学術振興会	2009
榎木 啓人	BCSJ 賞	The Bulletin of the Chemical Society of Japan (BCSJ)	2008

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
榎木 啓人	手島記念研究論文賞	(財) 手島工業教育資金団	2009
後藤 雅宏	論文賞	日本生物工学会	2006
後藤 雅宏	論文賞	日本食品科学工学会	2009
寺崎 正、徐 超男、今井 祐介、山田 浩志	講演奨励賞 「応力発光体からの発光による光触媒の駆動」	(社) 日本化学会	2006
C.S. Li, C.N. Xu (徐 超男), L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai	研究奨励賞 「Dynamic visualization of stress distribution by mechanoluminescence image」	エレクトロセラミックス研究討論会	2007
古賀 淑哲、坂井一文、前原 祥子、寺崎 正、今井 祐介、徐 超男	Best Poster Paper Award 「Measurement of mechanically induced luminescence from microparticles」	Smart Materials, Nano and Micro-Smart Systems(SPIE)	2007
寺崎 正、坂井一文、古賀 淑哲、李承周、今井 祐介、山田 浩志、安達芳雄、西久保 桂子、徐 超男	若手講演優秀賞 「AFM を用いた単一応力発光ナノ粒子の発光評価」	(社) ナノ学会	2007
徐 超男	学術賞 「微細構造制御による新規な応力発光セラミックスの開発」	日本セラミックス協会	2008
松尾 孟、池田 賢一、波多 聡、中島英治、山田 浩志、徐 超男	金属組織写真奨励賞 「応力発光材料 SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> :Eu <sup>2+</sup> における双晶界面の高分解能電子顕微鏡観察」	日本金属学会	2009
松尾 孟、池田 賢一、波多 聡、中島英治、山田 浩志、徐 超男	第 34 回学術写真賞 優秀賞 「SrAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 系応力発光材に導入された面欠陥の透過型電子顕微鏡観察」	日本セラミックス協会	2009

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
Inoue, J. -I., K. Saita, T. Kudo, S. Ui, and <u>M. Ohkuma (大熊 盛也)</u>	The six best ASM journal articles for the month 「Hydrogen production by termite-gut protists: characterization of iron hydrogenases of parabasalian symbionts of the termite」	The American society for microbiology	2007
佐藤 朋之、本郷裕一、宇井 定春、 <u>大熊 盛也</u>	優秀ポスター賞 「シロアリ腸内原生生物に細胞内共生する Alphaproteobacteria 新属細菌の検出と分子系統解析」	日本微生物生態学会	2008
井上 潤一、野田悟子、宇井 定春、 <u>大熊 盛也</u>	関東支部若手奨励賞	日本農芸化学会	2008
Hongoh, Y., V. K. Sharma, T. Prakash, A. Toyoda, M. Hattori, and <u>M. Ohkuma (大熊 盛也)</u>	The excellent poster award 「Complete genome of an uncultured bacterial symbiont in the termite gut」	The 7th International Workshop on Advanced Genomics	2007
片田 直伸	科学研究業績表彰	鳥取大学	2009
国嶋 崇隆	学術振興賞	日本薬学会	2007
藤原 徹	第 4 回日本学術振興会賞 「植物におけるホウ素輸送体の発見」	日本学術振興会	2008
藤原 徹	学術奨励賞	日本学士院	2008
藤原 徹	日本土壌肥料学会賞 「植物の必須微量元素輸送体の同定と機能解析」	日本土壌肥料学会	2009
宮田 隆志	Wiley 賞 「分子複合体を利用したスマートソフトマテリアルの創成」	高分子学会	2008

## 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助成金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。

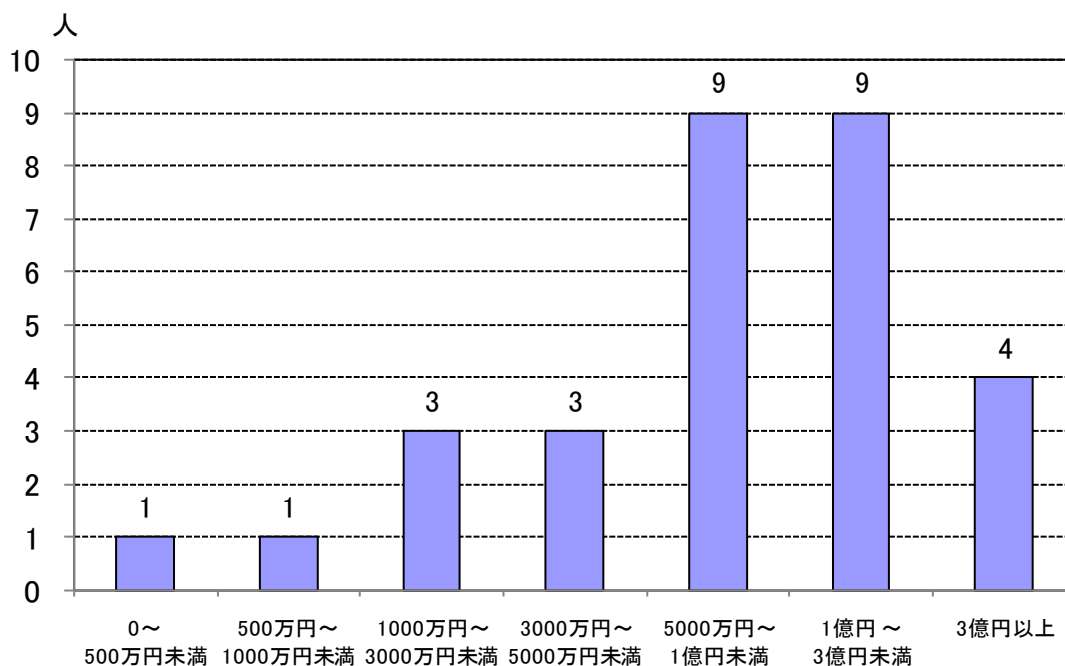


図 2-7 研究者の研究助成金獲得状況（さきがけ期間中・終了後合計）

アンケートの結果からさきがけ期間中・終了後合わせた研究助成金獲得総額が 1 億円以上の研究者は 13 名、1 億円未満の研究者は 17 名であった。特に、小江、徐、丸山、藤原は研究助成金獲得総額が 3 億円を超えている。

SORST を獲得しているのは、中島（神戸）、黒田、藤原の 3 名で、CREST を獲得しているのは、小江、徐の 2 名である。

いずれの研究者も継続して競争的研究資金を獲得しており、積極的な研究活動が続いている様子が分かる。

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	2013												
1 赤井 智子	環境省 公害防止試験研究※ NEDO 希少金属代替材料開発プロジェクト※	「公害防止試験研究」 「希少金属代替材料開発プロジェクト」		第1期											(10)	(80)	90													
2 居城 邦治	科研費 基盤(B) 科研費 基盤(B) 科研費 基盤(B) 科研費 特定領域 科研費 基盤(B)	「光誘起電子移動反応を利用した遺伝子の無標識高感度分析法の開発」 「DNAを鋳型とした半導体ナノ粒子の自己組織化によるナノデバイスの作製」 「伸長固定したDNAを足場とした階層型DNAナノアレイの作製」 「メニスカスにおけるDNAの伸長ダイナミクスの解明」 「DNAコンジュゲート導電性高分子による単一分子エレクトロニクス素子の作製」		第1期	13		14		16		4					18	66													
3 小西 克明	科研費 特定領域 科研費 基盤(B) 科研費 特定領域 科研費 基盤(B) JST 地域イノベーション創出総合支援事業※ 科研費 基盤(B) 科研費 新学術領域	「ポルフィリン集積超分子ワイヤの分子設計と動的スイッチング」 「結晶相重合による構造規制された有機高分子/金属酸化物クラスター複合体の創製」 「有機物と金属酸化物クラスターから構築されたサブナノ/細孔空間の認識・触媒機能」 「表面へのπ機能団の導入を機軸とする半導体ナノ粒子の発光制御とセンシングへの応用」 「発光性半導体ナノ粒子を用いた重金属イオンセンサーの開発」 「ゲストに誘起される半導体ナノクラスターの自己集積を利用する発光センシング」 「無機クラスター高次ネットワーク構造の構築と機能創発」		第1期	1			11		6		15		(2)		19	(60)	113												
4 新藤 充	科研費 特定領域 科研費 基盤(B) 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(B) JST 地域イノベーション創出総合支援事業※	「イノラートを用いる活性多元素環状中間体の創製と反応」 「イノラートによる高度オレフィン化反応」 「イノラートによる多置換複素環状化合物のワンポット合成」 「ミトコンドリアを標的とするアポトーシス阻害剤の開発研究」 「回転選択的オレフィン化反応を起点とする高度置換有機分子の短工程精密構築」 「アデニンヌクレオチド透過担体に作用するアポトーシス阻害剤の開発」		第1期	10				15		7			(2)		19	(2)	55												
5 寺崎 一郎	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) JST 日本フィンランド二国間共同研究※	「Bi系高温超伝導母物質の良質単結晶作製と電荷ダイナミクスの測定」 「異常磁気伝導を示す量子物質の開発」 「有機半導体θ型BEDT-TTF塩における電荷秩序の競合と巨大非線形伝導」 「電荷クラスター相の創製とその機能の制御」 「新規熱電変換酸化物の設計と合成」		第1期		1			68		17					(14)	(15)	115												
6 中島(神戸) 敏明	JST SORST※ 科研費 基盤(B) 日本学術振興会 二国間交流事業共同研究/セミナー※	「酵素によるプラスチックの化学的再資源化」 「メタゲノムからの生分解性プラスチック分解遺伝子の探索とモノマーリサイクルへの応用」 「カビ由来リパーゼの分子機能強化とプラスチック分解への利用」		第1期													(2)	53												
7 中野 環	近畿地方発明センター 研究開発助成金※ JST 研究成果最速転移事業 成果育成プログラム※ JST 研究成果活用プラザ北海道 可能性試験※ JST 地域イノベーション創出総合支援事業※	「分子エレクトロニクス・フォトンクスのためのπ-スタック型高分子の研究」 「キラル医薬品分離材料の開発」 「高分子の高次構造制御による電子機能発現の研究」 「光応答スイッチング機能を有する新規高分子の開発」		第1期							(1)						(60)	(2)	(2)	65										
8 野崎(玉尾) 京子	科研費 特定領域 科研費 特定領域 科研費 特定領域 科研費 新学術領域 科研費 基盤(A) NEDO※ NEDO※ NEDO※	「キラル遷移錯体を用いた触媒的不斉カルボニル化反応の設計と制御」 「キラル遷移金属錯体を用いる触媒的不斉重合法の開発」 「二酸化炭素をモノマーとする高度立体規則性ポリマーの合成」 「ヘリセンを基盤とする高次π空間の創製」 「隣接基関与に基づくカルボニル化ならびにカルボキシル化触媒の開発」 「低品質炭石からのフッ化水素製造技術開発」 「CO2を利用した高機能脂肪族ポリカーボネート樹脂の開発」		第1期		2		2		83								(27)	(33)	(21)	(17)	188								
9 林 高史	科研費 基盤(B) 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 地域イノベーション創出総合支援事業※ 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 科研費 特定領域 科研費 新学術領域	「ヘムタンパク質の新しい機能変換に対する化学的アプローチ」 「ヘムタンパク質の高機能変換をめざしたミオグロビン表面への精密分子認識部位の導入」 「人工的疎水場を有するミオグロビンの外部部分との非共有結合相互作用と動的機能発現」 「ヘム分子骨格への直接的化学変換を加えたヘムタンパク質の超高機能化」 「ヘムタンパク質を素材とする高性能人工生体触媒の開発」 「ヘムタンパク質のヘムポケットを配位空間に利用した新しい機能性触媒の開拓」 「ヘムタンパク質を基盤とするバイオ超高度感度センサーの開発」 「ニトゲナーゼ機能モデルをめざしたメタロチオネイン多金属錯体の合成と触媒活性評価」 「金属ポルフィノイド-14族元素間の結合形成と反応性を支配する配位子効果の評価」 「自己集積型ヘムタンパク質超分子構造構築への新しい取り組み」 「タンパク質マトリクスを利用した新規生体金属触媒の創製と小分子の活性化」 「金属ポルフィノイド-典型元素間の結合形成と反応性を支配する配位子効果」 「ヘムプロピオン酸創縁が関与するヘムタンパク質の高次構造形成と機能発現機序の解明」 「ヘムタンパク質をバイオモチーフとする巨大超分子ポリマーの形成評価と機能化」		第1期	8	2	2	14		16		4			(2)		2	2	15		(4)	4	6	4	86					
10 松本 章一	科研費 基盤(B) JST 大阪府地域研究開発促進拠点支援事業※ 文部科学省 都市エリア産業連携促進事業※ JST 重点地域研究開発促進事業※ 文部科学省 都市エリア産業連携促進事業※ 科研費 特定領域 科研費 基盤(B) JST 地域イノベーション創出総合支援事業※ 科研費 特定領域 科研費 基盤(B) JST 地域イノベーション創出総合支援事業※ JST 地域イノベーション創出総合支援事業※	「固相重合法による多次元構造制御高分子の合成」 「有機インターカレーションを利用したナノ積層構造体の創製」 「新規モノマーを含むメタクリル樹脂の開発」 「ポリベロキシルドを用いた新規分解性高分子材料の設計」 「エレクトロニクス用新規有機材料の開発」 「有機結晶の固相重合反応による極微細構造制御」 「ナノ構造制御したハイブリッド型高分子結晶の合成と機能評価」 「メタクリル系新規耐熱性透明樹脂の開発」 「固相重合による可溶性ポリジアセチレンの合成と構造ダイナミクス」 「ラジカル連鎖分解型の環境対応高分子材料の開発」 「がん放射線療法増感剤としてのポリベロキシルドの開発」 「デジタル複合機用ロールの高機能化」		第1期		7										(2)	(1)		(7)	25	12		(2)	2	19	(2)	(5)	85		
11 叶 深	科研費 特定領域 JST さきがけ※ 科研費 基盤(B)	「超親水性及び超撥水性酸化チタン表面における分子構造の研究」 「細胞膜の界面分子構造と機能性の解明」 「金属単結晶電極におけるジメチルエーテルの電気化学的酸化反応機構の解明」		第1期						5								(40)	20								65			
12 今堀 博	科研費 基盤(B) 科研費 基盤(B) 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 科研費 特定領域 科研費 基盤(B)	「フラレンをアクセプターに用いた連続系光起電子移動」 「分子間相互作用を利用したナノ分子集合体構築と光機能発現」 「機能性分子修飾ナノ粒子の合成と光物性」 「ポルフィリン共役オリゴマーとナノカーボンを用いた光電変換デバイス」 「化学修飾ナノチューブの電子構造と光物性」 「ドナー・アクセプター界面構造の制御と光機能化」 「複合ナノロッドを用いた光電変換デバイス」 「化学修飾ナノチューブの電子構造と光物性」 「合理的な分子設計に基づいた高効率色素増感太陽電池の創製」		第2期					15		5																	62		
13 小江 誠司	科研費 基盤(B) 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 科研費 特定領域 科研費 基盤(A) JST CREST※	「遷移金属アキア錯体触媒を用いたpH連続制御による人工アミノ酸合成法の開発」 「遷移金属ヒドリド錯体触媒を用いたpH制御による水中ポリマー合成反応の開発」 「ポリベロキシルドとヒドリドクラスターがつくる不斉反応場における光学活性アミノ酸合成」 「水中で水素発生と窒素還元を共役させる水溶性ジドリド硫化物クラスター触媒の開発」 「生体機能を範とする水中物質変換反応の開発」 「ポリベロキシルドとヒドリドクラスターがつくる不斉反応場における光学活性アミノ酸合成」 「水溶性ニッケル-ルテニウム複核錯体を触媒とする水中窒素固定法の開発」 「水素活性化アキア錯体界面による常温・常圧エネルギー変換」		第2期					16		2				1		15								66		4	46	(240)	389
14 黒田 章夫	科研費 特定領域 科研費 特定領域 NEDO 産業技術研究助成事業※ NEDO 産業技術研究助成事業※ JST SORST※ JST 産研機構 異分野融合研究支援事業※ 科研費 基盤(B) JST 先端計測分析技術・機器開発事業※	「リボソーム品質管理機構に関わる大腸菌Lonプロテアーゼの活性調節機構」 「ポリリン酸による大腸菌Lonプロテアーゼの多量体化と活性調節機構」 「超高速抗菌性試験の開発と感染症治療への応用」 「ナノテクノロジーによる機能的・構造的な生体代替デバイスの開発」 「バイオリン酸石生産の基盤技術開発」 「ポリリン酸を活用するバイオ技術の開発」(生研機構異分野融合研究支援事業) 「構造変化から見る生命エネルギー変換の進化メカニズムとそれを利用した応用生物学」 「バイオ技術による迅速・高感度 簡易アスベスト検出キット開発」		第2期		3		4																						200





## 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。

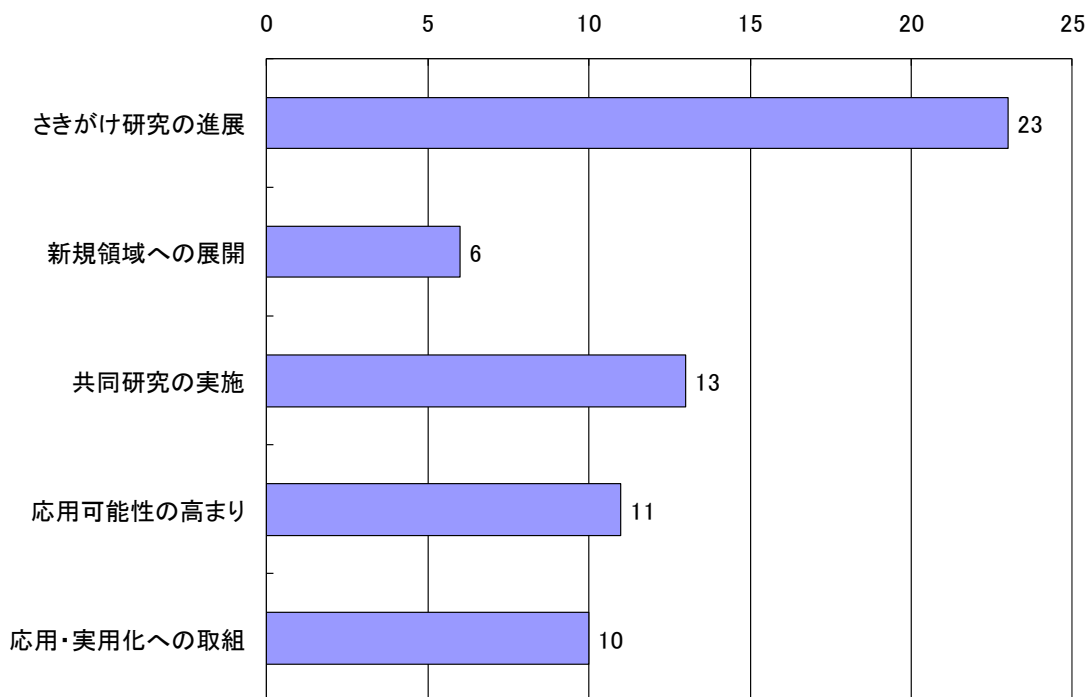


図 2-9 研究成果の発展状況（単位：人）

多くの研究者は、現在でもさきがけにおける研究を進展させている。また、半数弱の研究者は、他の研究機関や企業、病院との共同研究に至っている。その中でも 10 名は企業とともに実用化研究をすすめており、大学発ベンチャーを設立した研究者も存在する。

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 赤井 智子

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

ガラスの相分離、水との反応という今まで負の側面としてとらえられてきた現象を利用して着色廃ガラスからアルカリ・金属を脱離しカルシウムシリケートやシリカへの再資源化を試みた。その結果、高純度シリカ、ポーラスシリカ、蛍光体などへも変換することができた。また、顕微ラマン・固体 NMR・ESR を利用して、これらのプロセスにおける構造変化・反応を解析した。そこから得られた知見を元にして、高い紫外透過率を示すガラ



スなど、新規材料の作製にも成功した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

環境省「公害防止試験研究」や NEDO「希少金属代替材料開発プロジェクト」を通じて、応用研究に軸足を移している。具体的には、環境負荷となる元素を含まない低環境負荷型のガラスの開発、ガラスからの重金属脱離技術の開発を行っている。また、主に多孔質ガラスにイオンや有機分子を付与して高機能化した、高輝度蛍光ガラスなどを開発している。さらに、これらのガラス材料の開発に必要なガラスの基礎物性解析、構造解析なども行っている。

### I-2 池田 篤志

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

極性溶媒に対する溶解性の低さ、光二量化などの副反応の存在、というフラーレン類の問題点を解決するため、ホスト-ゲスト包接錯体を形成させ未修飾 C60 の水溶化を行った。次に、この包接錯体を電極上に並べることにより、光電変換素子として機能することを明らかとした。さらに、交互積層法を用いた多元系への展開による量子収率の向上、及び包接錯体の形成による色素の孤立化に基づく量子収率の向上を見出した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

ドラッグ (C60 や C70 などのフラーレン) を包接させ水溶化させた後、外部刺激によりリポソームなどのドラッグキャリアー (リポソーム) 内にはほぼ 100% 移動させることに成功した。また、その C60 含有リポソームを用いて光細胞毒性を検討したところ、高い細胞致死率で癌細胞を死滅させることが確認された。

その他、超分子錯体を可溶化剤としたり、高速振動粉碎法を用いたりしてカーボンナノチューブの可溶化にも取り組んでおり、成果を上げている。

### I-3 居城 邦治

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

DNA の分子認識を利用することで、色素分子を環状に配置した分子集合体の構築を目指した。DNA の二重らせん構造を形作っている核酸塩基間の特異的な水素結合に着目して、一本鎖 DNA と色素分子の分子集合体を作製した。その結果、一本鎖 DNA が鋳型となり、DNA の塩基配列に応じて色素分子を気水界面で配列できることがわかった。具体的には、「環状 DNA を鋳型としたアゾベンゼンの環状配列」、「オリゴヌクレオチドを鋳型にしたアゾベンゼンの精密配列」、「DNA の伸長固定化」に成功した。

(ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ研究終了後、2004年度から2005年度の科研費 基盤 (B)「伸長固定した DNA を足場とした階層型 DNA ナノアレイの作製」や2005年度から2006年度の科研費 特定領域「メニスカスにおける DNA の伸長ダイナミクスの解明」等で研究を進展させている。

具体的には、自己組織化によるボトムアップ型微細加工技術の開発として、DNA の高い分子認識性や構造の多様性を利用して選択的無電解メッキすることで、塩基配列に選択的な金属ナノワイヤーを作製することに成功した。これにより、低コストでかつ数 nm の精度での異種金属の加工が可能になった。

I-4 小西 克明

(i) さきがけ期間中の研究成果

分子間に働く微弱な超分子型の相互作用を利用して、触媒モジュールとなる金属クラスター種と、反応場を形成する有機化合物を分子レベルで組織化した複合体の設計を行った。その結果、「Au クラスターを非結合的に内部空間に内包したかご状ポルフィリン構造体」、「周辺部に機能性有機ゲストが特異的に集積した半導体性 CdS ナノクラスター複合体」、「マイクロポーラス構造等、多様な固体高次構造をとるヘテロポリ酸/カリックスアレーン複合体」、などの作製に成功した。将来的に触媒、材料への展開が期待される。

(ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ研究期間中から実施している、科研費 基盤 (B)「結晶相重合による構造規制された有機高分子/金属酸化物クラスター複合体の創製」や2005年度から2006年度の科研費 基盤 (B)「表面への  $\pi$  機能団の導入を機軸とする半導体ナノ粒子の発光制御とセンシングへの応用」等で研究を進展させている。

具体的には、半導体クラスター表面での物質間相互作用に駆動される発光変化を利用した化学センサ系の開発に成功し、近傍に配したソフト界面の分子設計を通じて基質選択的な化学センサを合目的に設計するための方法論を提供した。また、有機修飾金ナノクラスターの無機表面での物質相互作用と助触媒としての特異な反応性を見いだすことに初めて成功した。さらに、有機ホストによるカチオン包接を駆動力とする多孔性の有機/ヘテロポリ酸複合結晶の合成にも初めて成功し、そのナノ細孔がサイズ・官能基選択的にゲストを取り込むことを見いだした。

また、2008年度からは、科研費新学術領域「無機クラスター高次ネットワーク構造の構築と機能創発」において、クラスター性金属種を水素結合や配位結合などを利用して組織化させることで、特徴的な高次構造をもつ「無機ネットワーク構造」を創発することを目的に研究を進めている。

## I-5 新藤 充

### (i) さきがけ期間中の研究成果

未開拓炭素反応種であるイノラートアニオンの新規簡便合成法の開発及び、高機能性の開拓を進めた。その結果、タンデム型  $[n + 1]$  環化反応による多置換環状化合物のワンポット合成、軌道相互作用に基づく高幾何異性選択的多置換オレフィン化反応、逆電子要請型アニオン性  $[3 + 2]$  双極子環化付加反応など多くの新規極性転換型連続反応の開発に成功し、有用有機化合物の短工程高効率合成を可能とした。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

2005年度から2006年度の科研費 基盤 (B) 「イノラートによる高度オレフィン化反応」では、イノラートのトルク選択的オレフィン化反応において、四置換オレフィンの立体選択的合成に初めて成功し、理論計算によりその制御機構を明らかにした。また、上記反応で見出された  $Z$ - $\beta$ -シリルアクリル酸誘導体が超原子価ケイ素であることを見出し、これを利用したカップリング反応などを見出した。さらに、JST 地域イノベーション創出総合支援事業「ミトコンドリアを標的とするアポトーシス阻害剤の開発研究」においては、アポトーシス阻害剤であるボンクレキン酸の新規合成法を開発し、量的供給の目処をつけた。現在も同事業において、更なる活性の向上と機構解析のために類縁体の合成とその評価を進めている。

## I-6 田村 厚夫

### (i) さきがけ期間中の研究成果

プロテインメモリー現象の利用、試験管内高速進化法（進化工学）、タンパク質の立体構造形成シミュレーション、新規固定化法（タンパク質分解酵素を自然に存在するタンパク質から合成した固体高分子に固定化）を用いて、タンパク質分解酵素の低温（0°C程度）での高機能化を行った。その結果、酵素の活性、効率、安定性を向上させること、タンパク質の基本構造単位を新しい方法論でデザインすること、タンパク質の集合形態の制御に成功した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

生物進化のバイアスを受けない、純粋な構造体としてのタンパク質及びその集合体を人工的にデザインしている。また、デザインしたタンパク質を機能化するためのステップとして、「構造転移を起こすもの」、「他分子との結合機能をもったもの」などを設計し、構造解析を行うことで、構造機能相関を明らかにしてきている。その結果、多型コンフォメーション分子や金属結合能を持ったペプチドナノチューブ、さらに医薬品開発へと発展しつつある。

## I-7 寺崎 一郎

### (i) さきがけ期間中の研究成果

酸化物は高温大気中で安定であり、排熱からの電力回収に適しているが、熱電変換材料としては性能が低いというのが常識であったが、豊富で無害な元素のみからなる酸化物セラミックスを用いた、熱電変換素子の試作に取り組み、層状コバルト酸化物の熱電パラメータを完全決定するとともに、新しい N 型酸化物を設計・合成に成功した。さらに、新測定法「走査型 ZT メータ」の開発、酸化物発電素子の試作にも取り組んだ。十分な性能の素子の実現には至らなかったが、新しいタイプの N 型材料を発見するなど重要な成果を得た。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ期間中に成果が発展し、酸化物は熱電変換分野の確固とした一分野に成長した。

さきがけ終了後は、2004 年度から 2008 年度の科研費 特定領域「異常磁気伝導を示す量子物質の開発」や 2005 年度から 2008 年度の科研費 基盤(B)「有機伝導体  $\theta$  型 BEDT-TTF 塩における電荷秩序の競合と巨大非線形伝導」等で研究を進展させている。

具体的には、有機伝導体  $\theta$ -(BEDT-TTF) $2\text{CsM}(\text{SCN})_4$  (M=Co, Zn) の抵抗率が印加電流とともに 1000 倍以上低下する現象を発見した。その電流-電圧特性はサイリスタ素子と同じであり、適当な条件で直流電圧を加えると交流発振を引き起こすことを発見した。これは本質的非平衡現象として基礎物理学上で重要であるばかりでなく、有機エレクトロニクスの新しい形を提案している。

## I-8 中島 (神戸) 敏明

### (i) さきがけ期間中の研究成果

酵素を用いたポリウレタン (PUR) のバイオケミカルリサイクルを目標として、エステル系の固体 PUR 分解菌、*Comamonas acidovorans* TB-35 株由来の PUR 分解酵素の機能強化及び、新たな分解酵素の検索を行った。

その結果、本酵素の活性中心は Ser199、Glu324 及び His433 の 3 つのアミノ酸残基であり、これまで真核生物でしか見つかっていない Ser-Glu-His 型エステラーゼの一種であることが明らかとなった。また、自然界から取得したポリ乳酸分解菌、*Paenibacillus amylolyticus* TB-13 株由来のポリ乳酸分解酵素に、高い固体 PUR 分解活性が認められた。さらに、TB-35 株由来の PUR 分解酵素の C 末側に TB-13 由来の PUR 分解酵素を融合した場合に融合タンパクの発現が認められた。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ期間中の成果を発展させるため、2003 年度から 2005 年度にかけて SORST「酵素によるプラスチックの化学的再資源化」に取り組んだ。SORST では、さきがけで開発した酵素融合技術を用いて、新規ポリエステル系プラスチック分解酵素の創製と、選択的モ

ノマー化に適した酵素を自然界から選出することにより、プラスチック混合物の中から高純度のモノマーを効率よく取り出し、再資源化することを目指した。その結果、数多くの新規プラスチック分解酵素が得られた。しかし、機能ドメインの推定やそれを利用したタンパク工学が困難であったため、モノマーリサイクルの実用化には至らなかった。

その後は、2005年度から2008年度の科研費 基盤 (B)「メタゲノムからの生分解性プラスチック分解遺伝子の探索とモノマーリサイクルへの応用」等で研究を進展させている。

#### I-9 中戸 晃之

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

層状ニオブ・チタン酸塩の層間にかさ高い有機基を挿入した場合、有機汚染物質に対し吸着能を示し、有機汚染物質の光分解活性を有することがわかった。また、増感色素を挿入し、さらに層間にレドックス活性な分子を共存させると、酸化物層とレドックス活性分子との間に可視光誘起電子移動を生じることを見出した。この混合分散系は特異な相挙動を示すため、新しい機能性材料につながる可能性がある。

##### (ii) さきがけ終了後の発展状況

無機層状結晶を剝離させた超薄層の分散体を用いて液晶のような柔構造をもつ材料系を創出する研究を行っており、その結果、剛直な固体としてのみ取り扱われてきた無機固体物質の材料化学に新しい視点を提供した。

また、無機層状結晶を剝離させたナノシートの分散体を、光エネルギー変換系へ応用する研究で、高効率かつ長寿命の光誘起電荷分離（人工光合成の基幹反応）を実現した。

#### I-10 中野 環

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

ジベンゾフルベン (DBF) 及びその誘導体が効率よくビニル重合し、側鎖の芳香環が積層した $\pi$ スタック型高分子の合成に成功した。また、光励起エネルギー及び電荷が、スタックした複数の $\pi$ 電子系間に非局在化することを見出した。さらに、キラル触媒を用いた $\pi$ スタック型らせん状光学活性高分子の合成、超分子 $\pi$ スタック構造の形成、及びDBFの固相重合による酸素との共重合体の合成を行った。

##### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、JST 研究成果最適移転事業 成果育成プログラムプログラム A 権利化試験 「キラル医薬品分離材料の開発」(2003年～2005年)等により、さきがけ研究の成果を発展・実用化させる研究に取り組んだ。

現在、ビニルポリマーを用いた有機電子材料、電子デバイスの実用化に関して民間企業と共同で開発を行っており、従来の主鎖共役型高分子を凌駕する物性・機能を有する有機

電子材料の開発まであと少しの段階まで研究は進展している。

#### I-11 野崎（玉尾）京子

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

C1化合物を広範な光学活性化合物合成に利用する高効率物質変換プロセス開発に取り組んだ。その結果、触媒的不斉ヒドロホルミル化では、光学活性アルデヒドをこれまでにない高い効率で生成するプロセスを確立した。また、オレフィン／一酸化炭素及びエポキシド／二酸化炭素の不斉交互重合では、主鎖に不斉中心を構築しながら光学活性高分子を合成する新たな方法論を提唱した。

##### (ii) さきがけ終了後の発展状況

2005年度から2008年度の科研費 特定領域「二酸化炭素をモノマーとする高度立体規則性ポリマーの合成」等では、一酸化炭素及び二酸化炭素をモノマーとするポリマーの不斉合成に取り組み、精密有機合成の触媒技術を高分子合成に応用した結果、高分子の触媒的不斉合成という分野を拓いた。さらに、極性モノマーの配位重合触媒の開発にも取り組み、官能基の配位性の強さから、従来配位重合が困難とされてきた極性モノマーとエチレンの共重合触媒の開発に成功した。

また、NEDO プロジェクト「エポキシドと二酸化炭素との立体選択的交互共重合」ではリーダーを務めており、エポキシドと二酸化炭素の交互共重合のための高効率触媒の開発を進めている。

#### I-12 林 高史

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

蛋白質内の天然のヘムを非天然の機能化ヘムに置換することにより、新しい機能の発現、機能の向上に取り組んだ。具体的には、ミオグロビンに基質結合部位を導入し、酸化触媒（酵素）としての機能を付与し、天然ミオグロビンの300倍以上の活性を示す新しい生体触媒を得た。また、ミオグロビンにおける分子状酸素の還元的活性化を達成した。さらに、ヘムそのものの骨格をポルフィセン鉄錯体に変換することにより、ミオグロビンの酸素分子結合能が天然の2600倍である超酸素親和性ミオグロビンを創製した。

##### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2005年度から2007年度の科研費 基盤(B)「ヘムタンパク質を素材とする高性能人工生体触媒の開発」や2008年度から2010年度の科研費 基盤(B)「自己集積型ヘムタンパク質超分子構造体構築への新しい取り組み」等により研究を進展させている。

具体的には、生体材料をめざしたタンパク質超分子自己組織化集合体の構築や、天然を

超える触媒活性を有するヘム酵素の創製、酸素高親和性を有するミオグロビンの創製、シトクロム P450cam 触媒反応の初期過程反応機構の解明を行っている。

#### I-13 松本 章一

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

結晶構造をデザインして有機固体の構造・物性・反応・機能を設計する結晶工学の手法と、固相反応であるトポケミカル反応を用いた新しい高分子材料設計に取り組み、反応溶媒を用いずに固相で高分子合成できる新しい重合法を提案し、固相有機合成への応用を試みた。具体的には、トポケミカル重合により立体規則性のジエンポリマーの合成や、ポリマーの層間へのインターカレーションにより機能化を図ったほか、分解性ポリマーの合成に成功した。

##### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2004 年度から 2006 年度の科研費 特定領域「有機結晶の固相重合反応による極微構造制御」や科研費 基盤(B)「メタクリル系新規耐熱性透明樹脂の開発」、2007 年度から 2009 年度の「ラジカル連鎖分解型の環境対応高分子材料の開発」で研究を進展させた。

具体的には、固相重合（トポケミカル重合）による高分子構造制御や、環境調和型の新規分解性高分子（ポリペルオキシド）の開発、 $\pi$ 共役系ポリジアセチレンの合成と革新機能開拓、ラジカル交互共重合による高分子材料設計などに取り組んだ。その中で、新しいタイプの環境調和型分解性ポリマー材料や、耐熱性が自在に制御できる新規な透明高分子材料の合成にも成功している。

#### I-14 叶 深

##### (i) さきがけ期間中の研究成果

環境ホルモンをその場で高感度に計測する方法の開発や、環境ホルモン分子の吸着・侵入に伴う生体膜構造の変化を分子レベルで解明することを目指した。その結果、機能性高分子薄膜で修飾された水晶振動子マイクロバランス電極を用い、ビスフェノール A の高感度計測に成功した。また、極めて高い界面感度をもつブロードバンド和周波発生システムを新たに構築し、生体高分子薄膜等の界面構造の分子レベルでの計測に成功した。

##### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2005 年度から 2006 年度の科研費 特定領域「超親水性及び超撥水性酸化チタン表面における分子構造の研究」や 2007 年度から 2009 年度の科研費 基盤(B)「金属単結晶電極におけるジメチルエーテルの電気化学的酸化反応機構の解明」において研究を進展させた。

また、2006年度から2009年度では再びJST さきがけ「界面の構造と制御」領域で「細胞膜の界面分子構造と機能性の解明」を行っており、高い感度と界面選択性を持つ和周波発生（SFG）振動分光法を用いて、細胞膜の界面分子構造と機能性発現の関係解明などを目指している。

## II-1 池田 茂

### (i) さきがけ期間中の研究成果

水と有機溶媒など、2相の界面で働く固体触媒の開発に取り組んだ。具体的には、一つの粒子に親水性と疎水性の両方の表面をもたせることにより界面において疎水性オレフィンなどの酸化反応に活性な固体触媒を見いだした。また、規則的なナノ細孔を有する炭素系の担体にパラジウムナノ粒子を高分散担持させた材料を合成し、これが酸化反応に極めて活性の高い固体触媒となることを見いだした。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ研究で特性を見出した異方性粒子を利用して、多孔性の球状ポリマーの合成方法を開発した。また、その派生技術で、多孔性カプセルに光触媒粒子を閉じ込めた新構造の光触媒を開発した。さらに、通常は安定化剤による表面修飾が必要な金属ナノ粒子を、裸のまま安定化させ、かつ固体触媒として利用しうる構造を構築した。

## II-2 今堀 博

### (i) さきがけ期間中の研究成果

光合成の仕組みをまねて、エネルギー変換を目指すことに取り組んだ。具体的には、ポルフィリンとフラーレンを組み合わせると光合成類似の光電子移動を起こすことを見だし、これにより光合成反応中心の光機能を人工的に再現できること、さらに自己組織化を用いて電極上に光電変換系をボトムアップ式に組み立てることにより、光電変換特性を大幅に向上できることを明らかにした。新しい光電変換系を構築することに成功し、提案された系では50倍におよぶ効率を実現し画期的な成果をもたらした。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2004年度から2005年度の科研費 基盤 (B) 「分子間相互作用を利用したナノ分子集合体構築と光機能発現」や2007年度から2008年度の科研費 基盤 (B) 「ドナー・アクセプター界面構造の制御と光機能化」、2009年度の科研費基盤 (B) 「合理的な分子設計に基づいた高効率色素増感太陽電池の創製」等により研究を進展させている。

具体的には、人工光合成分子の電荷分離状態の寿命については天然の光合成反応中心の寿命に匹敵するような秒レベルの超長寿命を世界で初めて実現した。また、天然の光合成反応中心の寿命、効率ともに匹敵する人工光合成分子も合成に成功した。応用例としては



光捕集分子を組み込んだ人工光合成型高効率光電変換系（世界最高の内部量子収率 50%）を構築した。さらに、ポルフィリン修飾金クラスターとフラーレンを半導体電極上に逐次自己組織化し、エネルギー変換効率が 1~2%に達する新規な有機太陽電池を作製している。

## II-3 小江 誠司

### (i) さきがけ期間中の研究成果

pH で反応を制御する新規水中物質・エネルギー変換反応の開発を目的として、具体的には、「水中での水素の活性化」、「水中での酸素の活性化」、「水中窒素固定」、「水中炭酸固定」、「水中での炭素-炭素結合生成反応」、「水中ポリマー合成」の 6 テーマの研究を行った。その中で、特に水中炭酸固定では、これまでその使用が問題であった塩基を使用せず、水中酸性条件下で遷移金属アqua錯体触媒を用いる二酸化炭素の触媒的還元成功した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2006 年度から 2009 年度までの科研費 特定領域「生体機能を範とする水中物質変換反応の開発」や 2007 年度から 2008 年度の科研費 基盤 (A)「水溶性ニッケル-ルテニウム複核錯体を触媒とする水中窒素固定法の開発」で研究を発展した。

また、2008 年度からは JST CREST「水素活性化アqua触媒界面による常温・常圧エネルギー変換」において、水素活性化アqua触媒の界面で水素から抽出した電子を利用して、常温・常圧燃料電池の開発、水素から光へのエネルギー変換の開発、環境調和型の水中・常温・常圧での酸化還元反応の開発を目指している。

## II-4 榎木 啓人

### (i) さきがけ期間中の研究成果

二酸化炭素の有効利用を目的として超臨界二酸化炭素の変換反応に取り組んだ。まず、超臨界条件下での核磁気共鳴 (NMR) スペクトル測定法を確立し、これにより得られた知見を反応設計の指針として、ウレタン、カーボネート、ギ酸誘導体などのカルボニル化合物を効率よく合成した。さらに、超臨界二酸化炭素とアジリジン (三員環アミン) 類の共重合反応により温度応答性を示す新規な機能性高分子を合成した。この研究では、独自に開発した超臨界流体核磁気共鳴装置により反応状況を測定しつつ進行させることに成功しており、ウレタン合成、ポリウレタン合成で新しい分野を開拓した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

ホスファイト (亜リン酸エステル) が配位した遷移金属錯体が超臨界二酸化炭素に対する高い溶解性を示すこと、超臨界反応場における有効な触媒として機能することを実証した。また、通常、求電子的性質を持つ二酸化炭素を分子性有機化合物によって活性化し、求核剤として固定化反応に利用することが可能であることを明らかにした。

さらに、ケトン、イミンなどの極性官能基の水素化や水素移動還元反応の機構を錯体化学的に明らかにするとともに、新たな不斉水素化触媒系を開発した。特に、水素移動還元反応の機構研究に関連する論文は高い評価を受けている。

## II-5 黒田 章夫

### (i) さきがけ期間中の研究成果

富栄養化の原因物質である一方、枯渇性の資源でもあるリンに着目して研究に取り組んだ。ポリリン酸を蓄積する微生物の蓄積機構を分子レベルで解明し、変異育種によって微生物の菌体内ポリリン酸含量を増加させる方法を明らかにし、また、ポリリン酸を利用する技術の開発に成功した。リンの回収技術を提案し、さらにその利用技術まで発展させており、画期的な成果といえる。そのみならずポリリン酸の生化学反応も発見し、新しい微生物検査技術も提案した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

微生物のポリリン酸蓄積機構の解明に関する研究は SORST「バイオリン鉱石生産の基盤技術開発」において継続して実施し、2001年に Science 誌に研究成果を発表した。

その他、2004年度から2006年度の NEDO 産業技術研究助成事業「ナノテクノロジーによる機能的・構造的生体代替デバイスの開発」等では、シリコンデバイスの特定の場所に活性を保ったままタンパク質を固定化する技術を開発し、新たなバイオセンサや超分子構造体への展開を図っている。また、アスベスト結合タンパク質を発見し、蛍光顕微鏡で超微細アスベストを検出するキットを開発し、実用化した。当該研究は2007年度に開始した、JST 先端計測分析技術・機器開発事業「バイオ技術による迅速・高感度簡易アスベスト検出キット開発」において、さらなる発展を目指している。

## II-6 後藤 雅宏

### (i) さきがけ期間中の研究成果

非水系のナノ集合体と生体分子の融合による新機能創製に取り組んだ。界面活性剤で形成させたナノ集合体を利用し、非水溶媒における複合酵素系の電荷リレー反応をはじめて達成した。また、ナノ集合体の閉ざされた空間がタンパク質の自己再生を促進することを明らかにするとともに、ナノ集合体中における DNA の特異現象を利用した遺伝子診断法を開発することにも成功した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は2007年度から2008年度の科研費 基盤 (B)「抽出操作における分子集合素子という新しい概念の創出」等で研究を進展させるとともに、2007年度から2009年度の環境省科研費「環境調和型溶媒イオン液体を用いた廃家電品からのレアメタル再資

源化技術の開発」などにより、応用研究も進めている。

それらの中で、世界で初めてタンパク質の経皮吸収に成功した。具体的には、インスリンの経皮吸収剤の調製に成功した。また、応用面ではバイオコーティング技術を利用した DDS 製剤を開発し、ベンチャー企業 ASPION 社を神戸に設立した。すでに、ASPION CE などの化粧品を実用化している。

## II-7 徐 超男

### (i) さきがけ期間中の研究成果

無公害の元素のみからなる酸化物セラミックスを用いて、高効率の電気・力・光の多元変換素子を開発することを目的として、「放射光を用いた精密構造解析によるエネルギー変換機構の解明」、「粒子形状を制御した高効率応力発光微粒子の製造プロセスの開発」、「斬新で高効率な無公害変換素子の開発」を実施した。その結果、応力発光機能と電歪機能を同時に発現させることに成功し、今までにない斬新な電気・力・光の変換素子を作成することができた。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクト「高分解能粉末 X 線解析による新機能性発光体名の粒子の精密構造解析」や経済産業省中小企業支援型研究開発制度「高輝度応力発光体の開発」において、発光体の開発と高機能化、応力発光体の機構解明、応力発光体超微粒子とナノセンサの開発など、さきがけ研究の発展、応用を図った。

また、2007 年より開始した CREST「応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステム」では、トンネルやプラントなどの構造物全体の応力履歴・異常を独自の応力発光デバイスによって包括的に監視し、重大事故につながる破壊や劣化を早期に予知・検出する新安全管理ネットワークシステムを創出することを目的として研究を進めている。

## II-8 丸山 厚

### (i) さきがけ期間中の研究成果

遺伝子診断で不可欠な核酸の正確なハイブリッド形成を介助する核酸シャペロンに着目し、研究に取り組んだ。核酸シャペロン機能を有するタンパク質の代わりに安価で取り扱いの容易な合成高分子材料でその機能を再現し、遺伝子解析に応用すること取り組んだ結果、天然核酸シャペロンを凌駕する人工核酸シャペロン材料を実現し、このシャペロン活性を利用した迅速・簡便な新しい遺伝子解析手法を提案した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2004 年度から 2009 年度の JST CREST「分子シャペロン工学に基

づく遺伝子解析」や 2004 年度から 2007 年度の科研費 基盤 (A)「材料科学の融合による新しい核酸バイオナノテクノロジー」、2008 年度から 2010 年度の科研費 基盤 (A)「ガン治療を目指した核酸ナノマシンの創出」などで研究を進展させている。

それらの研究を通じて、シャペロン工学という新たな学問領域を提案するとともに、さきがけで提案した遺伝子解析手法を応用させ、遺伝子タイピング法や DNA 分子マシンへの展開をしている。

## II-9 村越 敬

### (i) さきがけ期間中の研究成果

金属の微小構造を積極的に制御することにより、その単一構造もしくはそれらの高次配列構造が電子や分子の流れを制御する機能発現の場として利用可能となることが示された。

これらの構造制御により系の電子のエネルギーが規定され、単一分子レベルの情報を得ることが可能となった。また、分子集合膜の機械的な密度変調により分子分別能を発現させることに成功した。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2004 年度から 2007 年度の科研費 基盤 (A)「エネルギー変換能を有する金属微小構造の創成」や 2007 年度から 2009 年度の科研費 特定領域「金属ナノギャップにおける少数分子の光応答その場追跡」で研究を進展させた。

物理化学をベースに、メソスコピック領域にある無機・有機材料の合成ならびに構造制御を行い、物質系そのものに新しい機能を賦与・発現させる研究を行っており、具体的には、「導電体構造のナノサイズレベルまでの微小化」、「溶液内の固体表面に脂質 2 分子膜を形成し、その平面方向の拡散挙動を制御する試み」、「極微量分子の超高感度認識」などを進めている。

## III-1 伊原 学

### (i) さきがけ期間中の研究成果

新しい環境調和型ハイブリッド光エネルギー変換材料の開発に取り組んだ。その結果、Si 薄膜の ZMC 法による結晶配向メカニズムの解明と Si 単結晶薄膜の作製、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> 半導体薄膜の ZMC 法による作製、金属ナノ粒子の局所電場増強効果による色素増感太陽電池における光電流の増大などの成果をあげた。

### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2006 年度から 2009 年度の科研費 基盤 (A)「表面制御金属ナノ粒子による局所的電場増強を利用した色素増感太陽電池の開発」や 2005 年度から 2009 年度の NEDO 産業技術研究助成「燃料極反応機構をベースにしたドライ炭化水素を直接燃料と

する固体酸化燃料電池の開発」、NEDO「革新的太陽発電技術開発制度「表面プラズモンを利用した半導体太陽電池の開発」」などにより、燃料電池及び太陽電池の研究開発を進展させた。

その中で、具体的には、金属ナノ粒子の局在表面プラズモンを用いた色素増感太陽電池の概念提案と効率向上、固体炭素を燃料とするリチャージャブル・ダイレクトカーボン燃料電池の発明、リチャージャブル・ダイレクトカーボン燃料電池の燃料極内反応機構の検討による高出力化の指針提案、局在表面プラズモン利用色素増感太陽電池における金属ナノ粒子表面修飾物による距離制御などの成果を上げている。

### III-2 大熊 盛也

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

シロアリ腸内のセルロース分解性の様々な原生生物について、その細胞内・細胞表層で共生する細菌を、培養を介さない分子生物学的な方法で同定した。これらの細胞共生細菌のなかには、セルロースの分解によって生じる水素と二酸化炭素から還元的に酢酸を生成し、原生生物の分解を促進する一方で、宿主シロアリにエネルギー源をより多く提供する働きがあることがわかった。また、細胞共生細菌による還元的酢酸生成、窒素固定の他、培養を介さない網羅的な解析により原生生物のセルロース分解、水素生成などの機能に関連した遺伝子群を多数得ることができた。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後もシロアリ腸内原生生物の研究を続け、2種の細胞内共生細菌の完全ゲノム解読に成功した。共生細菌を培養を介さずに、少量の細胞から完全ゲノムを解読した成果は、いわゆるメタゲノム解析では達成できない難培養の微生物のゲノムを解明した点で特筆に値する。その他、細胞内共生細菌の窒素固定やシロアリ腸内原生生物の水素生成能についての研究も展開している。

### III-3 片田 直伸

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

アルデヒド分子を鋳型とする CVD（化学蒸着）法によって酸化スズ表面をシリカ層で覆い、鋳型を除去して分子ふるい特性を持つ細孔を構築し、酸化スズ表面に選択的に化学吸着する物質の吸着量によってその形状を評価した。ベンズアルデヒドを鋳型としてシリカ1層を構築すると2-クロロベンズアルデヒドが全く吸着せず、シリカ層を2層にすると3-クロロベンズアルデヒドが全く吸着しなくなるなど、原子1個の有無とその位置を識別する形状選択性が発現し、その選択率は100%に近かった。また、半導体化学センサとして用いたところ、形状選択的センサ機能も発現することがわかった。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

固体酸触媒及び表面設計に関する研究を継続し、固体酸性質測定のためのアンモニア昇温脱離 (TPD) の解析理論を導出した。また IRMS (赤外/質量分光) -TPD 法を開発し、固体の Brønsted・Lewis 酸点それぞれの数と強度が測定できるようになった。これらを重要な固体酸触媒に適用し、酸発現の原理を解明した。さらに、ゼオライトの骨格内 Al による酸発現の原則を明らかにした。

### III-4 国嶋 崇隆

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

アルコールやカルボン酸などがミセルなどの界面に集積しやすいことに着目して、ミセル界面での脱水縮合に関する研究を展開している。液々界面による分子選択的アミド化反応、固相表面での液々界面脱水反応、ポリマー型脱水縮合剤による固液界面反応、ミセル界面での触媒的脱水縮合反応などの成果があがっており、ミセル界面の効果について重要な知見を得ている。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

アミドやエステルの最も一般的な合成法である脱水縮合反応を中心に置いた新しい反応システムの開発や応用研究を行っており、水中で利用できる脱水縮合剤 DMT-MM の開発と用途展開、ミセル界面でのアシル基転移反応 (界面を脱水縮合反応場として使用し大幅な反応加速を実証した初めての例)、膜界面での脱水縮合反応を基盤とする膜融合などで成果を上げている。

### III-5 藤原 徹

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

ホウ素トランスポーターの研究を通じて、生物におけるホウ素輸送を制御することを目指した。その結果、ホウ素栄養条件によってホウ素輸送体の蓄積が制御されていることを明らかにし、ホウ素輸送に関与する新たな輸送体を複数同定するとともに、ホウ素欠乏条件での植物の生育の改善に成功した。また、真核生物ではじめてのモリブデン輸送体の同定に成功した。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ期間中から農林水産省グリーンテクノプロジェクト「ミネラルの吸収や利用をつかさどる遺伝子の単離と応用」(2003年度から2007年度)や、科研費 特定領域「植物のモリブデン輸送の分子生理学的解析と応用」(2005年度から2008年度)で、さきがけ研究の発展・応用を行った。さきがけ終了後は JST SORST「ホウ素耐性生物の育成と利用」に発展し、継続的に研究を行っている。

SORST では、有用作物のホウ素栄養特性の改善と、ホウ素要求性微生物からのホウ素結合物の同定について研究を行った。ホウ素耐性の分子機構や結合物を同定することによって、結合物を利用したホウ素の汚染水等からの除去に道を開くことができる。

### III-6 宮田 隆志

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

ゲルの可逆的架橋点として分子複合体を利用することによって、特定の分子を認識して膨潤収縮する分子刺激応答性ゲルの合成を試みた。グルコース応答性ゲル、抗原応答性ゲル、内分泌攪乱化学物質応答性ゲル、肝癌マーカー応答性ゲルなどの合成に成功し、さらに、分子刺激応答性ゲルの体積変化を蛍光強度変化として情報変換できることを明らかにした。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2006年度から2008年度のJST「核酸応答性ゲルを用いた新規な診断システム」や2006年度から2010年度のJST さきがけ「分子応答性材料を用いたインテリジェントインターフェースの創製」で研究を進展させている。

具体的には、生体分子に応答する刺激応答性ゲルの創成とその応用として、世界で初めて生体分子に応答するゲル（生体分子応答性ゲル）の合成に成功した。また、生体分子インプリント法による分子応答性ゲルの合成とその応用、環境関連分子に応答する刺激応答性ゲルの創成とその応用、エタノール水溶液分離濃縮のための高分子膜の開発、揮発性有機化合物分離除去のための高分子膜の開発などの研究を実施している。

### III-7 葉 金花

#### (i) さきがけ期間中の研究成果

光触媒のバンド構造制御による新規材料開発、表面ナノ構造制御による活性向上、及び水分解素過程の制御因子の解明に取り組んだ。その結果、可視光に応答可能な光触媒材料を新たに開発したほか、溶液法合成による微粒子化及びナノスケールでの金属酸化物の複合化により、従来に無いタイプの水分解光触媒材料を見いだした。本研究では、新規の光触媒の開発を系統的に行っており、バンド構造の変化と光触媒能の関連を実証的に検討した。また、固相反応とゾルゲル法の比較、異種材料のナノスケール複合化の効果などで大変有用な知見を得ている。

#### (ii) さきがけ終了後の発展状況

さきがけ終了後は、2006年度から2008年度の環境省 地球環境保全等試験研究費「有害物質除去用高機能ナノ光触媒技術に関する研究」や2007年度から2009年度のJST MOST 戦略的国際科学技術協力推進事業「環境低負荷型浄化技術及び太陽光利用水素製造

技術に関わる高機能光触媒材料の研究」でさきがけの成果の応用・実用化研究を進展させている。

具体的には、新規光触媒  $\text{CaBi}_2\text{O}_4$  による可視光照射下におけるアセトアルデヒドの分解除去やバンドチューニングによる高活性可視光応答型固溶体光触媒の開発、層状ニオブウム固体酸新規光触媒材料の開発、ナノ多階層中空構造の構築による  $\text{WO}_3$  光触媒の高機能化などに取り組んでおり、大幅な機能向上などの成果を出している。



## 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 29 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、14 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 12 名、否定的意見のみを有する研究者は 0 名であり、何らかの評価をしている回答者 26 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。

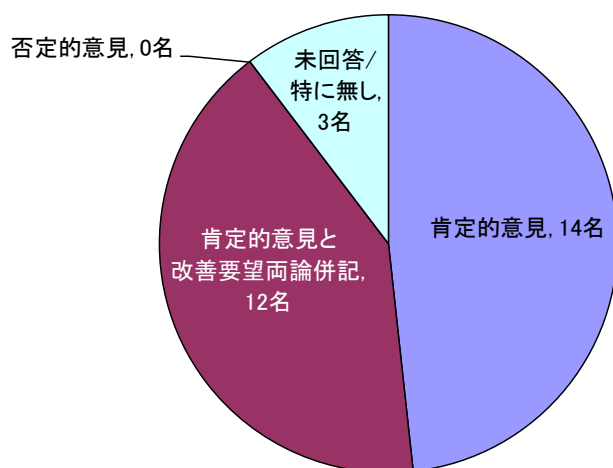


図 2-10 さきがけ研究の意義に対する意見

### (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 26 名中 19 名が「研究者間の人的ネットワークの形成」を上げており、さきがけ期間中の学際的な議論が有意義であったという意見や、さきがけ終了後も共同研究を行っているなどの事例が挙げられた。

次に多く挙げられていたのが、「研究基盤の確立」であり、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もらったおかげでその後の研究基盤ができた、研究室のスター

トアップをスムーズに行うことができたというような意見が13名から挙げられた。

さらに、研究総括や領域アドバイザーの指導や年2回の領域会議等での研究者同士の切磋琢磨の場の提供が有意義であったとする意見も数多くみられた。

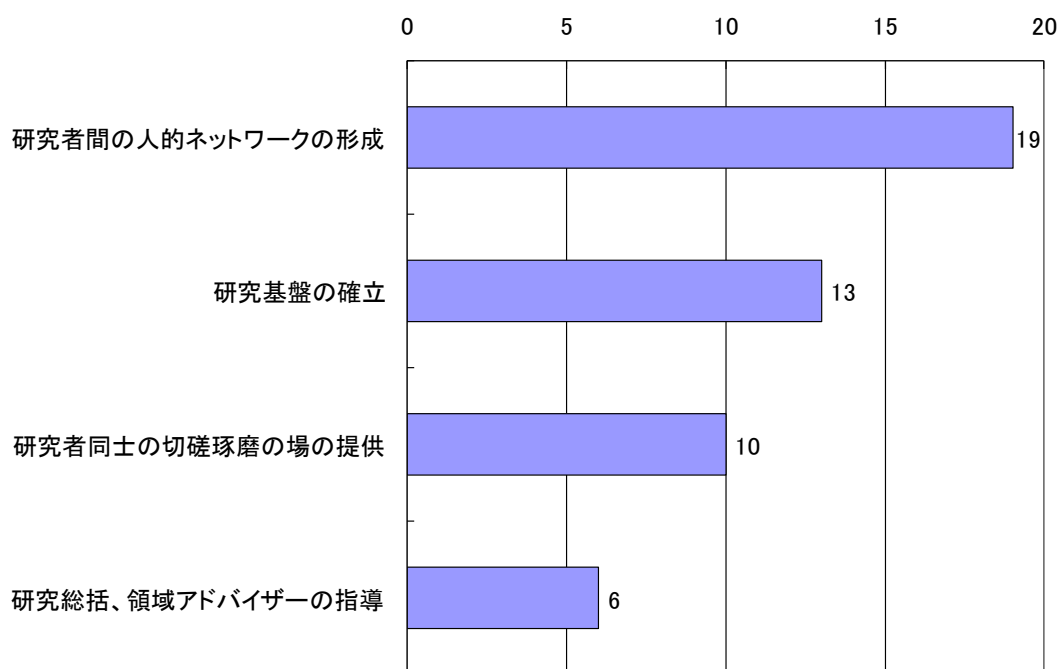


図 2-11 さきがけ研究の意義に対する肯定的意見（単位：人）

### (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、研究期間が3年では短いという意見が6件あった。その中には1年目と3年目はフルに活用できないため実質2年程度になってしまふという意見もあった。また、もっと基礎研究を重視してほしい、領域設定が当時と比較して狭くなっているという意見が3件、さきがけとCRESTの中間に位置づけられるプロジェクトが欲しいという意見も同様に3件あった。

その他では、年齢の近いポストクの確保・活用に苦労した、若手だけでなく他の年齢層にもチャンスを与えるべきといった意見も見受けられた。

### 2.3 第2章のまとめ

さきがけの期間中と終了後についてみると、さきがけ終了後に職位が上位となるケースが多くみられた。著作物についてはさきがけ終了後も期間中と同レベル以上の論文、書籍、特許が出されており、研究活動が継続的に行われている様子を示している。その中では、寺崎の論文数の伸びや、松本、今堀、黒田らの著書件数の多さ、徐の特許出願件数の多さなどが特筆すべきである。また、招待講演は寺崎、今堀、徐、丸山などの数が多く、中でも今堀、は国際会議での招待講演件数が多く、国際的にも関心を集めることで、当該研究分野におけるプレゼンスを高めたものと考えられる。受賞に関しては、寺崎や野崎が著名な表彰を受けており、社会的に成果を認められている。さきがけの意義としては、人的ネットワークの形成や異分野研究者との交流効果が大きく評価されており、その後の研究活動の拡張、高度化において有効に機能している点が窺える。

## 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およ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 ポリウレタン分解酵素の修飾と機能改変（中島（神戸） 敏明 第1期）

##### (1) 研究成果の発展状況や活動状況に関して

中島は微生物に関する研究に取り組んでおり、さきがけ以前から、ポリウレタン（PUR）を分解する微生物の探索を行ってきた。

微生物から抽出した酵素を用いたポリウレタンのバイオケミカルリサイクルを最終目標として、さきがけでは、エステル系の固体PUR分解菌として知られていた、*Comamonas acidovorans* TB-35株由来のPUR分解酵素の機能強化を行った。酵素の立体構造モデリングにより、活性中心付近の構造を解析し、中心部分のアミノ酸の置換（活性中心の一部であるGlu324というアミノ酸をAspへ置換）を行った結果、1.7倍の活性化に成功した。

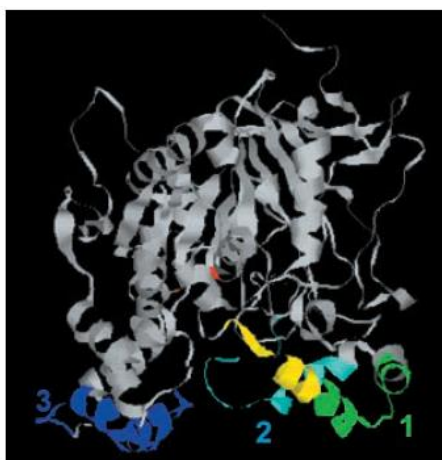


図 3-1 TB-35 株由来ポリウレタン分解酵素の推定立体構造  
（「変換と制御」研究成果要旨）

また、新たな分解酵素の検索を行い、自然界から取得したポリ乳酸分解菌、*Paenibacillus amylolyticus* TB-13 株由来のポリ乳酸分解酵素に、高い固体 PUR 分解活性が認められることを発見した。その他、PUR 原料として用いられるポリエステルや、ウレタン結合を分解・切断する新規な微生物・分解酵素遺伝子を複数得ることに成功している。

酵素が固体基質を分解するためには、触媒として結合を分解する能力と、固体表面に効率的に「取りつく」能力が必要となる。そこで、分解能力だけを持つ微生物（上述の TB-13 由来の酵素）と TB-35 株由来の PUR 分解酵素の固体表面付着部位の融合を試みた。結果として、タンパクの発現は認められたが、発現量は低いものであった。

さきがけ期間以降は、JST の発展研究である SORST「酵素によるプラスチックの化学的再資源化」（2003 年～2006 年）で、分解酵素の大量発現及び、特定のプラスチックを特定のモノマーに分解する酵素の取得を行った。その結果、PBSA（ポリブチレンサクシネート-co-アジペート）、ポリエチレンサクシネート（PES）、ポリカプラクトン（PCL）を選択的に分解する微生物（酵素）を取得することに成功した（TB-71 株由来の酵素）。また、自然界の微生物の 99% は培養不可能であるため、土壌から直接抽出した微生物（分解酵素）の DNA を大腸菌に組み込んで培養するというメタゲノムスクリーニングという手法を試み、大量発現に成功した(PlaM4 等)。

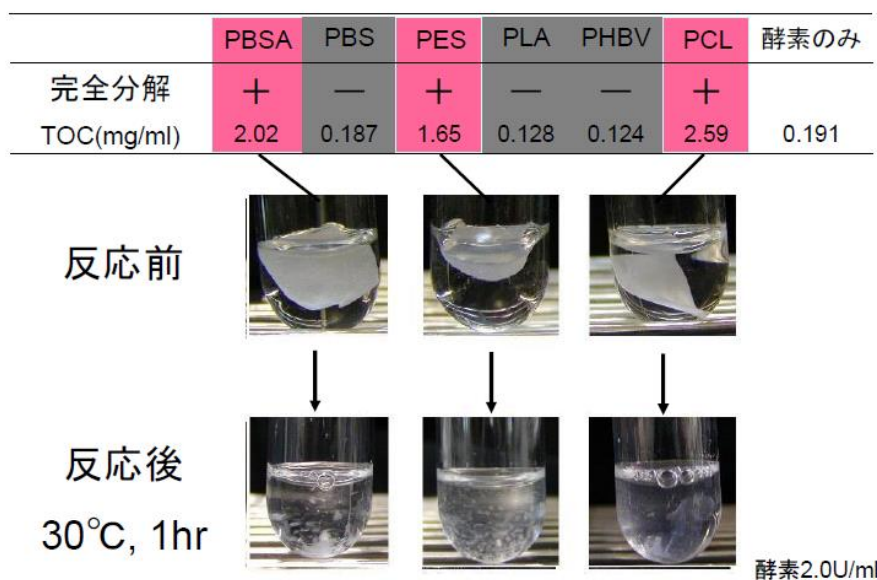


図 3-2 TB-71 株由来 PBSA 分解酵素による各種プラスチックの分解 (SORST「酵素によるプラスチックの化学的再資源化」終了報告書)

今後は酵素発現について、実験室レベルから実用化レベルへのスケールアップが必要となる。その場合、酵素のリサイクルが必要となる。また、分解されたモノマーの改修につ

いても大きな課題が残されている。

## (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

さきがけ採択当時、微生物によるプラスチックリサイクルの研究をしている研究者は数名しかいなかったが、社会的な環境意識の高まり等から認知されるようになっており、シンポジウムでの招待講演なども増えている。微生物の研究者が取り組んでいる場合が多く、日本の競争力が高い分野となっている。

中島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。被引用件数は伸びており、中島による研究成果が着実にインパクトをもたらしているとともに、関連研究が進展していることが窺える。

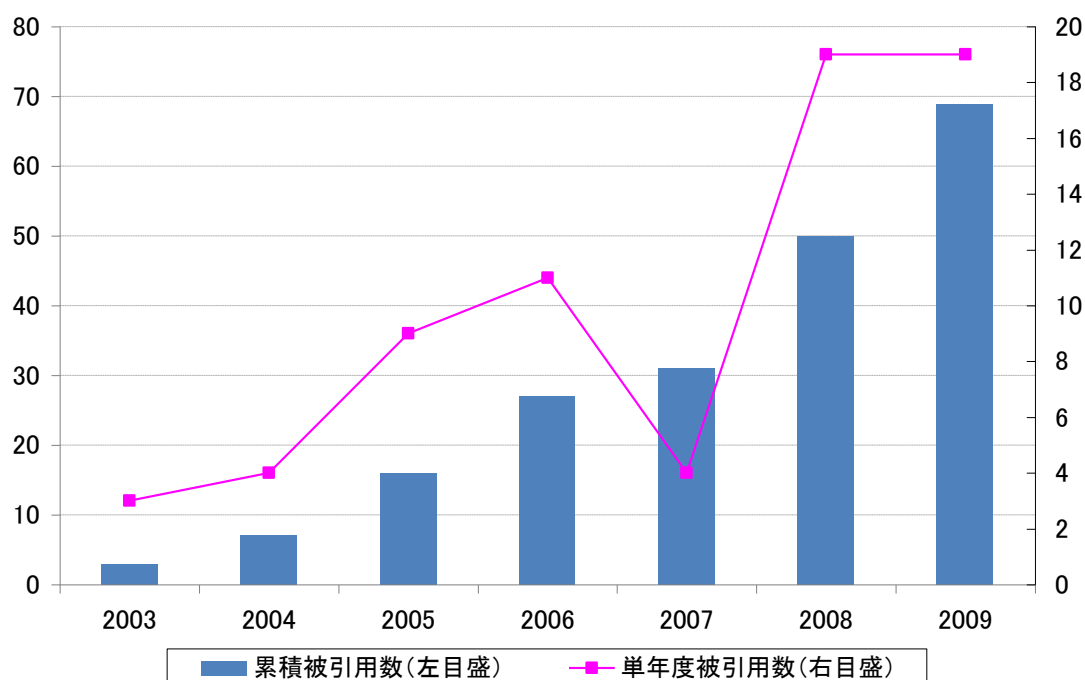


図 3-3 中島（神戸）の論文被引用数推移

プラスチックの廃棄物は、複数種類の混合物であるため、酸やアルカリなどの一般的な化学分解では、分解後のモノマーも混合物で得られてしまい、これを精製するには非常に多くのプロセスとエネルギーが必要になってしまう。中島らの研究を応用して、ある種のプラスチックだけ選択的に酵素分解することを繰り返せば、段階的に単一のモノマーが得られることとなり、従来の問題を一気に解決することができる。

さらに、生分解性プラスチックが土壌中でどのように分解されるかの研究も行っており、解明されれば、より分解されやすい生分解性プラスチックの開発が可能になる。その他、酵素製剤としての他分野への利用も可能である。

## 酵素の基質特異性を利用

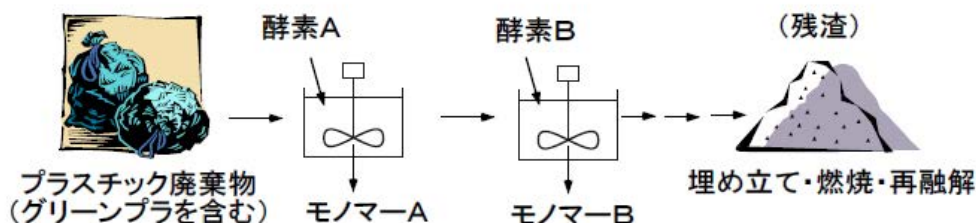


図 3-4 酵素を用いたバイオケミカルリサイクル  
(SORST「酵素によるプラスチックの化学的再資源化」終了報告書)

### (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)

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。

- さきがけは他分野の人と刺激的な議論ができ、非常に面白かった。他分野の考え方アイデアを聞くことにより、自分の研究を新たな視点からみることができ、その後の研究活動に極めて大きな効果があった。
- 研究総括や領域アドバイザーからの視野の広いアドバイスは、参考になった。企業の方が何を考えていてどのような研究をしているかなどを教えていただいた。
- ポスドクの扱い方についても学ぶことができた。ただし、自分も若くそれほどのネットワークなどがなかったため、さきがけ終了後にポスドクの進路を見つけるのは非常に大変であった。JST にそこをサポートして欲しかった。
- 研究費の管理が JST から大学に途中で移行し、研究費の執行における自由度が下がった (JST では認められても大学では認められないケースが多々あった)。金額的には十分であった。
- さきがけはまだ実績のない若手研究者やまだ広く認知されていない潜在的価値の高い研究を行っているものがその実力をいかんなく発揮し、今後につなげるという意味で非常に効果的である。しかし、最近では JST 側が成果を求めるあまり、既に Science や Nature などに論文を掲載している著名な研究者の採択が目立つ (CREST の個人研究タイプとなってしまっている)。このような採択をするのであれば、極端な話有識者による審査は必要ない。
- 「さきがけ」となる研究を生み出すには JST、採択する専門家をもっとリスクを取るべきである。個人的には半分が成果を出す程度で十分と思われる。







活が起こらない ITO 電極上への高密度充填を図った。結果として、高密度充填することは可能であり、内部量子収率に関する理論的な知見は得られたが、金電極を上回るような内部量子収率が得られず、期待するようなエネルギー変換効率を得ることはできなかった。

一方、電極上での充填密度や光捕集効率を向上させる材料として、ポルフィリンが 3 次的に金属微粒子上に自己組織化したポルフィリン修飾金微粒子 ( $\text{Au-S(CH}_2\text{)}_{11}\text{CONHH}_2\text{P}$ ) を初めて合成した。その結果、金属表面による励起状態の失活を抑制し、大きな表面積を持つことから、単分子膜系と比較して、充填密度、光捕集効率ともに向上することがわかった。そこで、ポルフィリン修飾金微粒子とフラーレンを半導体電極上へ逐次組織化することにより、新規な有機太陽電池を構築した (図 3-6 Route A)。また、その展開として、ポルフィリン修飾金微粒子上に交換反応により電子受容体を取り込む空間を導入することで、変換効率を向上させることを試みた (図 3-6 Route B)。Route A は 2 次元の系と比較して、45 倍の変換効率を示し、Route B は Route A と比較し、さらに 1.5 倍の光電変換効率となることが分かった。

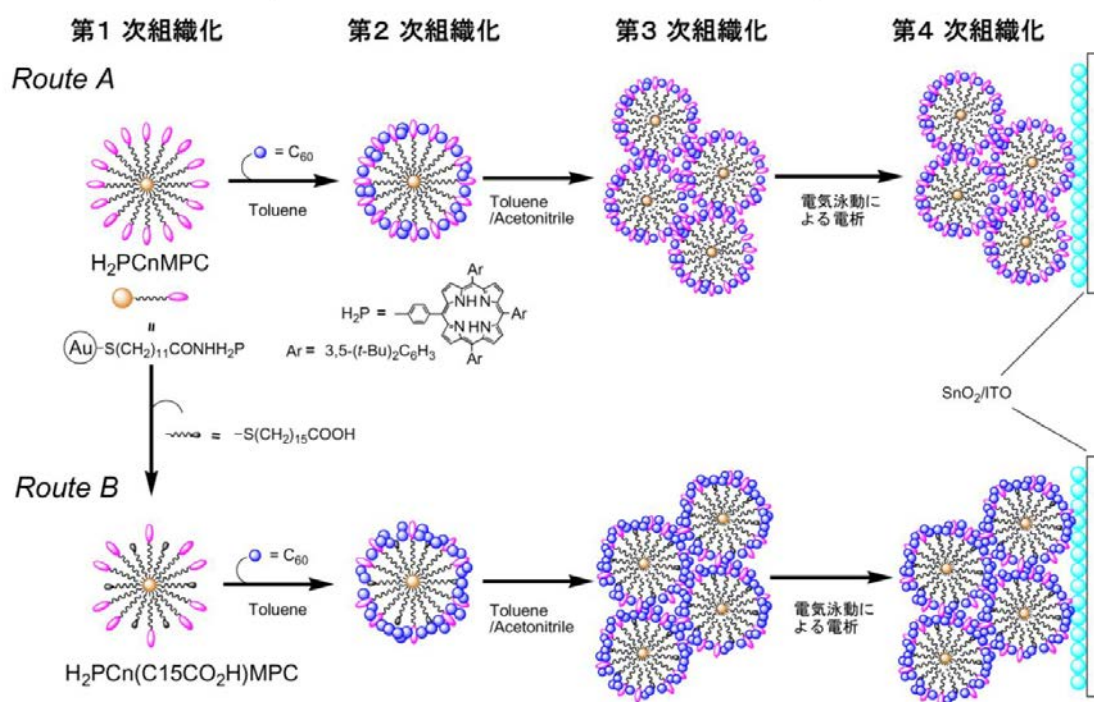


図 3-6 逐次的自己組織化を利用した光電変換系 (「変換と制御」研究成果要旨)

さきがけ期間以降は、科研費を中心として、色素増感太陽電池のさらなる効率化に取り組み、ポルフィリン色素増感太陽電池では世界最高レベルの変換効率を達成している。また、フラーレンの代わりにカーボンナノチューブを利用した系の開発等にも注力している。

## (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

今堀らにより提唱された人工光合成系はボトムアップのナノテクノロジーとして、国内外で極めて高い評価を得ており、多くの研究者がフラーレンを用いた人工光合成系の研究に参入するきっかけとなった。学会等からの評価も高く、光化学協会賞（2004年）、日本学術振興会賞（2006年）、日本化学会学術賞（2006年）、ナイスステップ研究者（2007年）等の表彰を受けている。

今堀の1999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3-7に示す。Porphyrin Monolayer-Modified Gold Clusters as Photoactive Materials (Adv. Mater.(Research News), 13, 1197-1199, 2001)等、被引用数が100本を超える論文を12報出しており、総被引用数は8,000を超えている。それにより、日本人の被引用数シェア8割という「有機物質による人工光合成の研究」を先導している(文部科学省科学技術政策研究所サイエンスマップ2006より)。

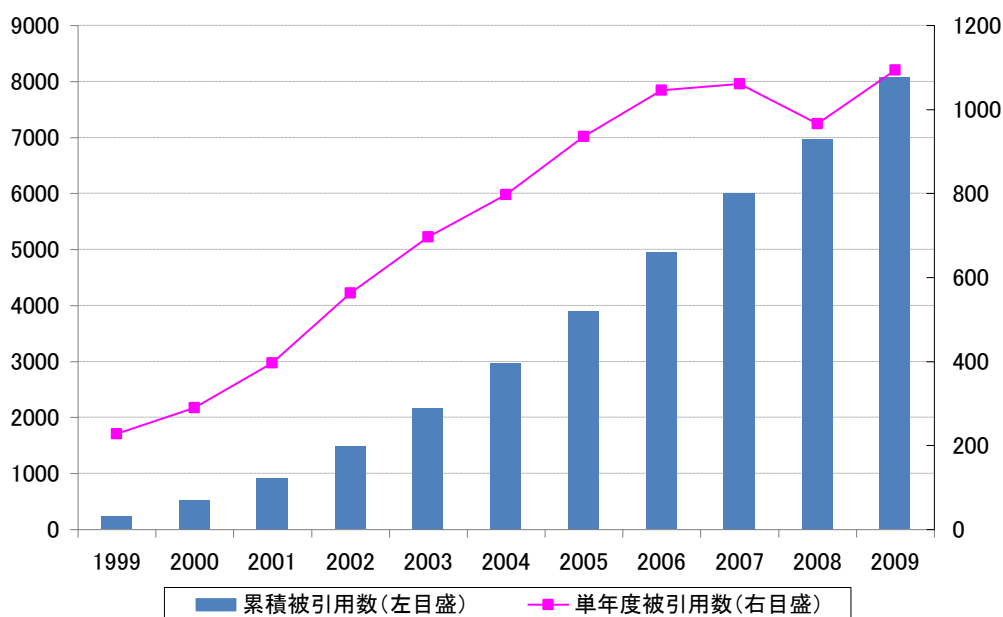


図 3-7 今堀の論文被引用数推移

また実用化面では、独立行政法人 産業技術総合研究所、スイスのグレッツェル教授が高い変換効率を実現しており、有機太陽電池としては最もエネルギー変換効率の高いフラーレンプラスチック有機太陽電池(3-7%)にも今堀らによる原理が適用されている。

その他にも、本研究における人工光合成における光エネルギー移動や電子移動を制御する因子の解明を進めることにより、分子光デバイス・センサ、ドラッグデリバリーシステム(DDS)、光触媒など、光機能性材料・光有機エレクトロニクスの開発実用化が期待されている。

(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）

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。

- さきがけ当時は他分野への関心・興味が広くなく、研究分野の近いアドバイザーもいなかったため、直接研究に役立つアドバイスは少なかった。一方、十分な研究費の元で、詳細に立ち入らずに研究をさせてくれるというのは非常に良い制度であった。
- さきがけで雇用していたポストクの一人は、電気化学と有機化学を融合することで成果を出し、現在は群馬大学の助教としてポストを得ている。
- さきがけは京都大学での研究室立ち上げ時期に獲得した資金であり、立ち上げ時の機器の購入等の資金として非常に役立った。
- 人脈形成という側面でも得たものは多かった。類似分野を研究していた北海道大学の叶准教授や村越教授とは現在でも共同研究を進めている。

### 3.2.3 微生物によるリン酸ポリマー蓄積機構の解明と利用（黒田 章夫 第2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、富栄養化の原因物質である一方、枯渇性の資源でもあるリンに着目して研究に取り組んだ。その結果、微生物の細胞内におけるポリリン酸蓄積機構を関連する酵素（ポリリン酸合成酵素等）がどう機能し、リン酸分子がどのような変換されるかというレベルで解明し、変異育種によって微生物の菌体内ポリリン酸含量を増加させる方法を明らかにした。また、ポリリン酸キナーゼとアデニル酸キナーゼという物質から融合タンパク質を開発し、ホタルなどにおける生物発光と同様の化学発光により ATP 検出感度を約 10,000 倍上昇させることに成功した。この研究成果は 2001 年に *Science* 誌に発表されている。

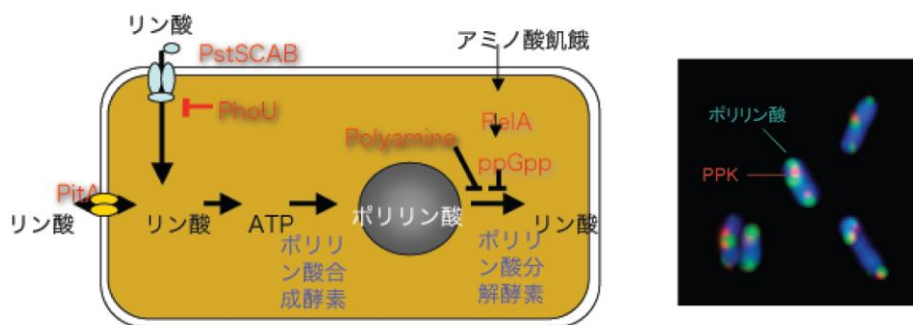


図 3-8 ポリリン酸蓄積機構（左）と開発したポリリン酸蓄積微生物（右）  
（広島大学大学院先端物質科学研究科黒田研究室 HP）

さきがけ期間以降は、JST における発展研究である SORST において、微生物のポリリン酸蓄積機構の解明に関する研究を継続して実施し、当該研究領域に関する注目度は大きく高まった。期間以降その後は、リンのリサイクルのための実用化研究として発展させ、技術的には概ね確立している。

ATP 増幅酵素については、広島の知的クラスター創成事業のテーマとして採択され、微生物検出キットの開発など、企業と実用化に向けた研究を進めた。

ATP を光らせるルシフェラーゼについても改良し、世界最高レベルの輝度を誇るルシフェラーゼの開発に成功した。

また、タンパク質と無機物質の結合に関する研究を進める中で、アスベスト結合タンパク質を発見した。アスベスト結合タンパク質をアルカリ性環境でリン酸化合物を分解する酵素であるアルカリホスファターゼと融合させれば、アスベストを発色させることができ、蛍光化学物質でラベルすれば、アスベストを蛍光検出できる。この手法を用いると細かい織

維も光って見えるため、光学顕微鏡の限界を超えて、数十ナノメートルの細い繊維が検出できる。また、蛍光なのでコントラストが向上し、コンピュータによる自動画像解析も可能である。当該技術については、JST 先端計測分析技術・機器開発事業で研究を続けており、迅速・高感度・簡易なアスベスト検出キットの開発を行っている。

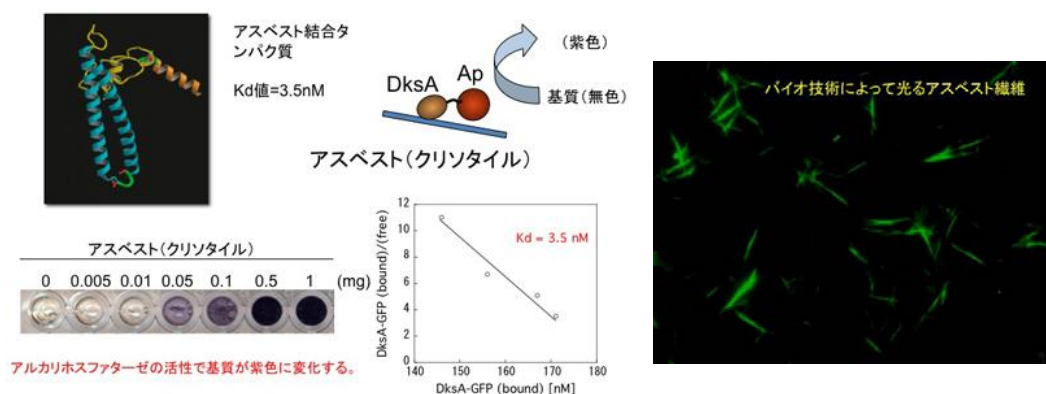


図 3-9 アスベスト検出原理：酵素法（左）とアスベスト検出原理：蛍光法（右）  
（広島大学大学院先端物質科学研究科黒田研究室 HP）

## (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

### 1) 研究成果から生み出された科学技術の進歩に関して

本研究は、微生物によるリン酸ポリマーの蓄積機構の解明という命題に答えるとともに、より基礎的な主題である「タンパク質と無機物質の結合」の研究を推進し、微生物の微量検出やアスベストの検出など、複数の方向に研究を発展させた。タンパク質と有機物質の結合に関しては数多くの研究がなされてきたが、タンパク質と無機物質の結合を制御して新たな機能を発現させるという本研究は、新しい科学技術の流れをつくったと捉えることができる。

微生物はリン酸のポリマーであるポリリン酸を蓄積する能力があり、微生物にいかにも多くのポリリン酸を蓄積させるかが、排水から効率よくリンを除去するポイントであることは知られていたが、あまり研究は進んでいなかった。このような中、黒田はポリリン酸の分子生物学的な解析を行い、微生物によるポリリン酸の蓄積機構を明らかにするとともに、野生株の1000倍もの蓄積機能を持つ変異株を見つけ出したことは科学技術上の大きな成果と言える。

タンパク質と無機物質の結合の制御に基づく応用生物学とも呼ぶべき当該分野に関しては、研究者の数は世界的にも多くないが、国内外で関連プロジェクトが展開されている。黒田らの研究はその中でも世界に先駆けたものであり、今後の発展が期待される。

また、タンパク質と無機物質の結合技術に関しては、シリコンの表面は二酸化珪素で覆われていることを利用して、シリコンデバイスの特定の場所に活性を保ったままタンパク

質を固定化する技術を開発し、新たなバイオセンサや超分子構造体への展開が図られている。当該研究に関してはSORSTで雇用していたポストクが独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の産業技術研究助成を受けて、研究開発を進めている。さらに、科学技術振興調整費先端融合領域イノベーション創出拠点の形成「半導体・バイオ融合集積化技術の構築」（2006～2009年度）にも繋がっている。当該事業では、バイオセンサに関して、医療分野への応用や、シリコンナノワイヤーを用いたデバイス開発がなされている。

黒田のさがけ期間以降（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3-10に示す。被引用件数は伸びており、黒田による研究成果が着実にインパクトをもたらしているとともに、関連研究が進展していることが窺える。2010年には、関連分野について、Science誌からインタビュー（SCIENCE VOL 327 19 MARCH 2010）も受けている。2001年にScience誌に掲載された「Role of inorganic polyphosphate promoting ribosomal protein degradation by the Lon protease in E. coli」は数多く引用されており、2009年までの累積被引用数が117件となっている。

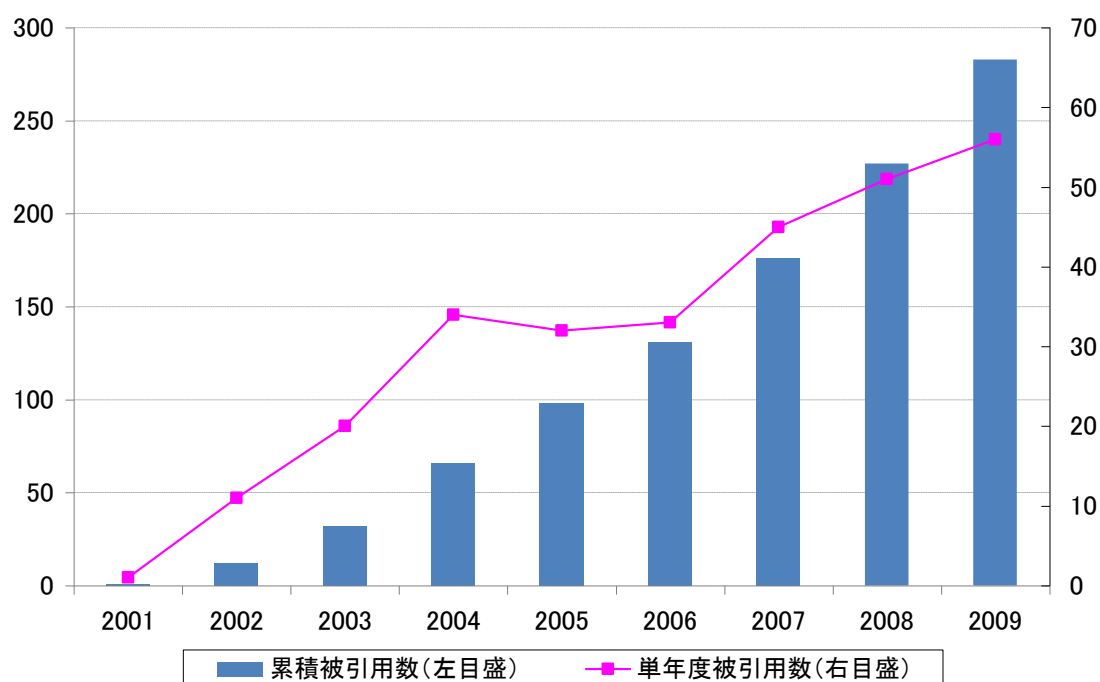


図 3-10 黒田の論文被引用数推移

## 2)研究成果から生み出された社会・経済的な効果・効用

リンはあらゆる生命にとって必須な元素で、食料生産の際の肥料としてなくてはならない貴重な資源である。また、今後数十年で枯渇する恐れも指摘されている一方、レアメタルのように、代替の技術が開発されることもない。そのような貴重なリン資源を有効利用するには、いったん利用したリンを回収することが必要でその多くは、下水に含まれてい



る。黒田によって開発されたポリリン酸蓄積微生物を活用すれば、リン資源のリサイクルと富栄養化防止が可能になるため、広く普及すれば、経済的にも社会的にも大きなインパクトが期待される。ただし、現時点では回収できるリンと天然リン鉱石の市場価格との間に大きな差（10 倍程度）があるため、普及には至っていない。今後リン資源がひっ迫し、価格が高騰した場合には非常に有用な技術のひとつになると考えられている。

ATP 増幅酵素については、ATP の増幅により、微量の微生物を検出することが可能になり、まずは食品分野における微生物検出への応用が図られている。黒田らはさきがけの成果を知的クラスター創成事業でさらに発展させ、ベンチャー企業（株式会社バイオエネックス）を設立して事業化を実現している。将来的には、バイオテロや院内感染といった新しいタイプの微生物の感染予防への応用が期待できる。

黒田らが開発したアスベスト検出技術は、従来の位相差顕微鏡を用いた検査では検出できなかった微細なアスベストを簡易に検出できる。微細なアスベストの方が人間への悪影響が大きいと考えられているため、当該技術の社会的な価値は非常に高い。このような優れた技術の世界標準技術にすべく、環境省等への働きかけを行っている。また、当該技術はバイオコンペ JAPAN2008 最優秀賞を受賞し、大学発ベンチャー（シリコンバイオ）を起業し、事業活動も営んでいる。

### (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）

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。

- ・ さきがけ研究は、若手育成にとって、非常に大きな意義を持つ。約 10 倍の競争率で選ばれた研究者で構成する領域会議での長時間発表、議論はかなりの刺激であった。大学研究者は狭い研究室や学会に閉じこもりマンネリ化する傾向もあるが、他の研究者と切磋琢磨する環境にさらされることによって、成長することができる。
- ・ 「変換と制御」は、非常に広範な分野の研究者が含まれており、異分野の研究者と交流することに慣れ、異分野連携や産学連携を通じたその後の研究の発展につながった。黒田の所属する広島大学先端物質科学研究所は、本来、融合分野の研究を推進することを目的に設置されたが、他の類似の大学研究機関の例と同様、必ずしも研究者が自分の元々の研究分野の壁を越えて新しい分野へ研究を展開することは十分に行われていなかった。黒田自身も、さきがけ研究の経験がなければ、現在のように融合分野の研究・実用化に展開することはできず、全く異なった研究キャリアになっていたと思われる。
- ・ 高額な独立した予算を、どうすれば、有効に使えるのか等のマネジメントについても学ぶことができた。
- ・ さきがけは、まさに次の日本の科学技術を生み出すための養成所となっていると考えられる。今後も、短期間の成果を求めるのではなく、集められた研究者間、異分野の交流をさらに刺激して、長期間での育成を目的にしてほしい。」

### 3.2.4 無公害な電気-力-光の多元エネルギー変換素子（徐 超男 第2期）

#### (1) 研究成果の発展状況や活動状況に関して

徐は九州工業技術試験所（現 産業技術総合研究所九州センター）の特別研究員として NEDO「シナジーセラミックスの研究開発」に携わり、圧電センサの研究を行っていた。圧電センサは圧力を掛けると電気信号が出るセンサだが、電気信号の取り出しは点でしか行うことができず、信号のマッピングができなかった。また、複数の信号を取り出す場合、計測点分の計測器が必要で、コスト的にも高くなってしまふ。そこで、圧力の面的な状態を計測するために、圧力をかけると発光する（応力発光）材料の探索・開発に着手した。

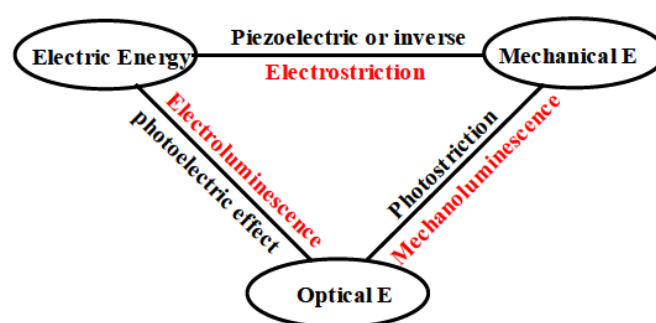


図 3-11 電気-力-光の関係図（「変換と制御」研究成果要旨）

応力発光は、固体が破壊されるときに光る破壊発光が知られていたが、破壊に至らない変形時に材料が発光するという現象は知られておらず、そのような材料の探索もほとんど行われていなかった。徐はポスドクとしての圧電センサの研究と並行して、様々な材料について試行錯誤を繰り返し、欠陥制御型のアルミン酸ストロンチウム ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4\cdot\text{Eu}^{2+}$ ) 等、数種類の応力発光材料の開発に成功した。

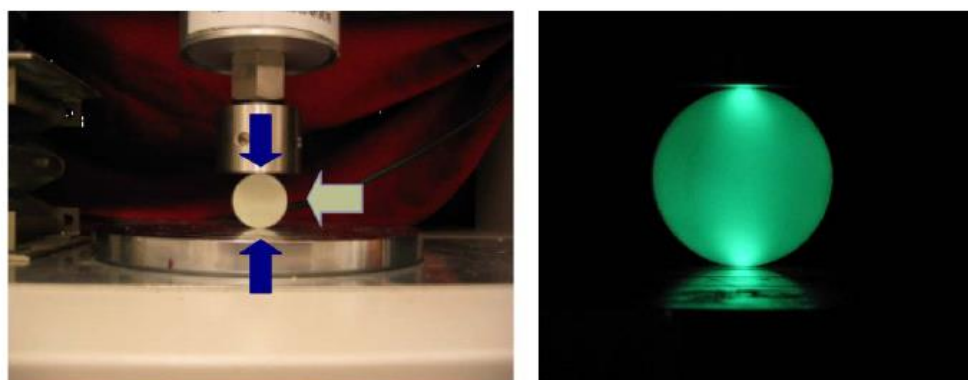


図 3-12 応力発光による応力分布の直接可視化（「変換と制御」研究成果要旨）



さきがけでは、「放射光を用いた精密構造解析によるエネルギー変換機構の解明」、「粒子形状を制御した高効率応力発光微粒子の製造プロセスの開発」、「斬新で高効率な無公害変換素子の開発」の3点に取り組んだ。その結果、結晶構造を制御することにより、同時に応力発光機能と電歪機能を発現させることに成功し、今までにない斬新な電気・力・光の変換素子を作成することができた。また、素子の高輝度化に向けた理論的な解明も大きく進展した。

さきがけ期間以降は、JST CREST「応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出」(2006年～2011年)で、さきがけで開発した素子のシステム化に向けた研究を進めている。これまでに、膜状のセンサ開発、記録システムの開発、ネットワークシステムの構築などを行い、実構造物での実証実験により、橋梁や建物で目に見えないコンクリートのひずみ状態などを可視化することに成功している。

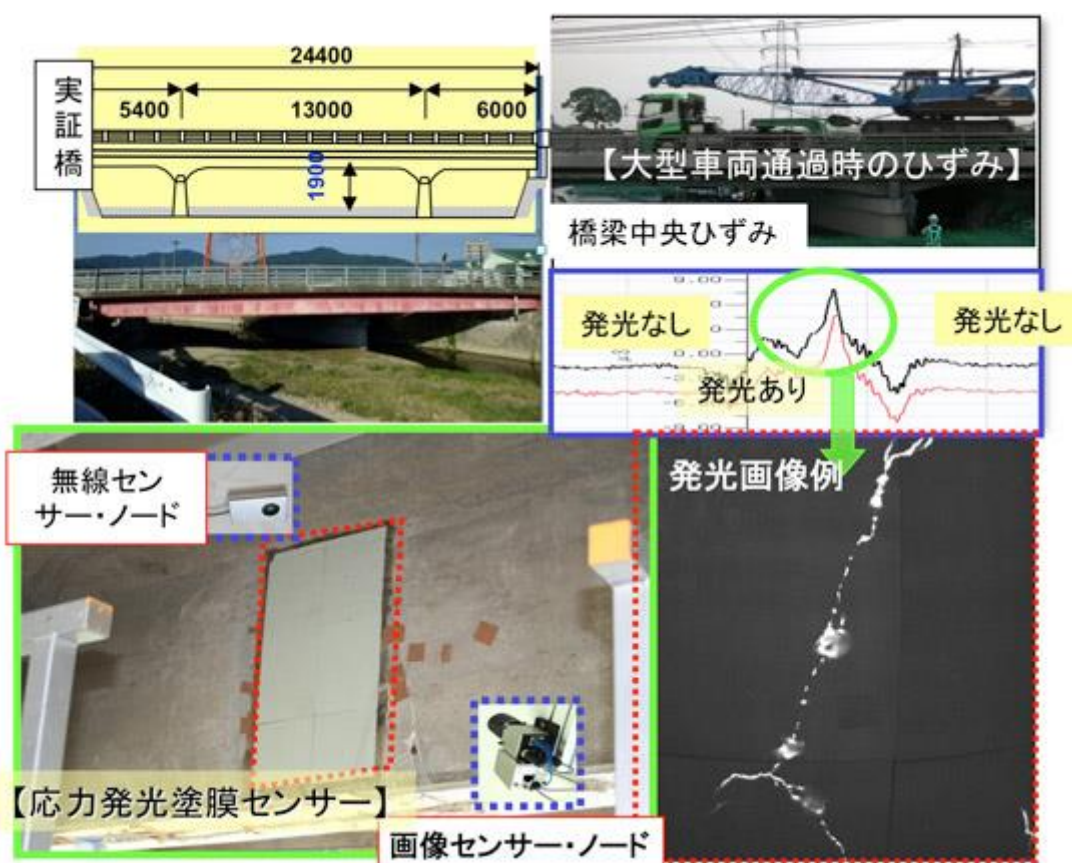


図 3-13 橋梁のモニタリング例

((独) 産業技術総合研究所 2009年11月9日プレスリリース)

今後は、さらに実証試験を行うとともに、各要素技術の高度化・最適化を行う中で、圧力と発光の関係に関するデータ蓄積と画像による異常診断ソフトウェアのアップグレード、異常亀裂(開口変位)の遠隔モニタリングの実現、各種強度検証・破壊予知・劣化検査・

寿命診断への適用を進め、応力発光現象の学問的な体系化、応力発光による計測技術の規格化・標準化・普及を目指している。

## (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

徐らは、変形時に材料が発光するという現象を世界で初めて発見し、応力発光という新しい学問分野、新しい物質・材料分野、デバイス分野を切り拓いた。さきがけの研究成果は、更に CREST へと発展し、多くの研究者・企業を巻き込んで、構造強度・破壊予知の新しいシステムが開発・実用化されようとしている。

徐のさきがけ期間以降（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 3-14 に示す。被引用件数は大きく伸びており、徐による研究成果が着実にインパクトをもたらしているとともに、関連研究が進展していることが窺える。

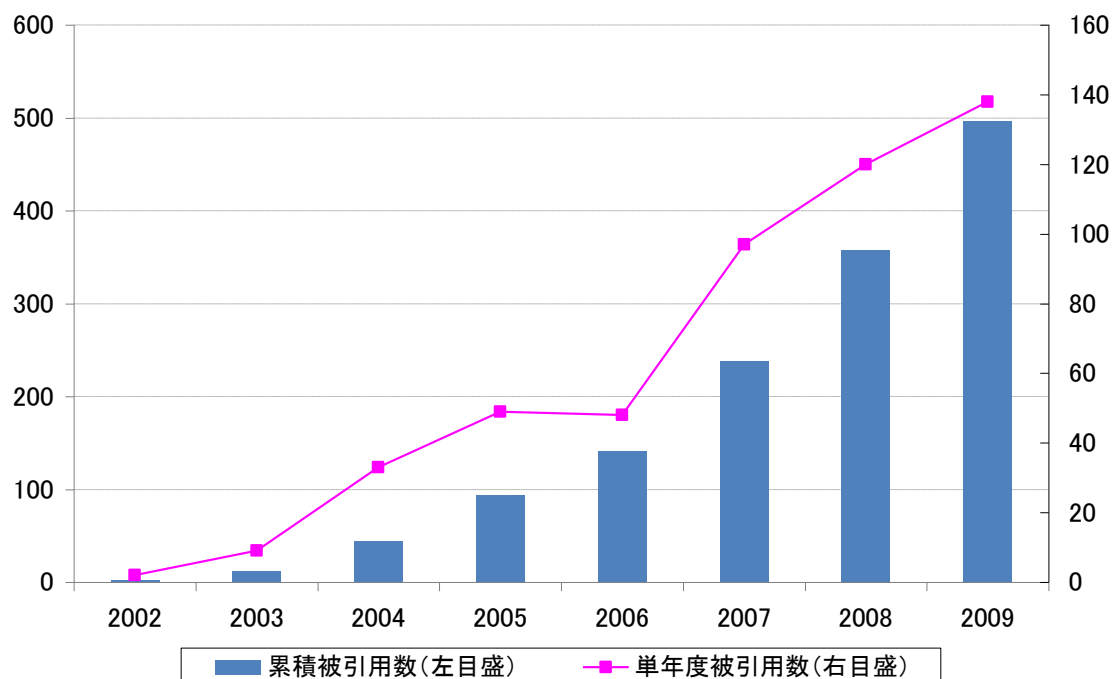


図 3-14 徐の論文被引用数推移

応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムでは、視認が困難なマイクロレベルのひび割れや構造物内部のひずみを検出することができ、蓄積したデータベースとの比較分析を行えば、橋梁などひび割れの発生や劣化の進展度合いの予測が可能になる。ひずみゲージや光ファイバーを用いた従来の計測・モニタリング方法は、点や線での計測であったが、面上のセンサを用いることにより、構造物全体の状況を計測することができる点が、大きな利点であり、構造物の保守点検・維持管理への応用が期待される。使用する材料が無害の酸化物セラミックスであり、環境面・コスト面の懸念も少ない。

その他、エンジン等の製品開発における強度解析や、近赤外線発光を応用した医療・診断機器への応用も検討されている。

(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）

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。

- ・ 共同研究には発展していないが、さきがけで構築した人的ネットワークは様々な面で役立っている。研究中に、壁にぶつかったときなど、研究総括や領域アドバイザーの先生の助言を思い出す。また、同じ領域のさきがけ研究者とは、互い研究室訪問して交流するなど情報交換や相談し、刺激を受けている。当時は女性が結婚して子供を産んだ後も研究を続けることが普通という環境ではなく、自分と同じような境遇の女性研究者と知り合うことができ、非常に元気付けられた。このような無形な影響は非常に大きいと考えており、将来の芽になる可能性を感じている。
- ・ 研究総括のアドバイスは非常に良かった。素直に実験結果を受け止め、当初の目標に拘り過ぎずに、発展の方向を見極めることを強調して頂いた点は、非常に役立った。
- ・ リスクの高い自分の研究を採択していただいたさきがけには非常に感謝している。さきがけ後、統合センシング技術（CREST）の開発に繋がっており、現在の研究の発展をもたらすことができた。
- ・ ポスドク型のさきがけでは、さきがけ研究者の成長と共に、当時のポスドクも皆成長している点大きい。3人が産総研でパーマネントポスト（主任研究員）を得ており、中国で大学と科学院の教授となり、大きなグラントを取っている人もいる。
- ・ 若いときに成果を上げられなかった人が年を重ねてから急に成果を出すことは考えにくいですが、年をとっても研究が好きで、研究の力と感性を磨いている人はいるため、若手だけでなく、他の年齢層の人にもチャンスを与えていただきたい。
- ・ 現在さきがけ「物質と光作用」（研究総括：筒井 哲夫九州大学名誉教授）の領域アドバイザーを務めている。自分を育てていただいた、さきがけ及び JST 事業が発展し、研究支援が充実することを願っており、力になりたいと考えている。

### 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、さきがけ期間以降の発展状況を把握した。代表事例の各研究者は、SORSTやCREST等へ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。また、ベンチャー企業の設立や企業との共同研究により実用化を果たしている事例も存在した。

中島（神戸）は、SORSTで研究を進展させており、ポリウレタンのバイオケミカルリサイクルの実現に向け、有用な微生物のスクリーニングと分解酵素の大量生産を進めている。

今堀は、人工光合成の分野でフラーレン-ポルフィリン系という画期的な概念を提唱し、1999年の総被引用数が8000件を超えるという科学技術面での大きな成果を生み出している。色素増感太陽電池としての実用化も期待され、世界各国で研究が進められている。

黒田も、SORSTへと研究を進展させており、科学技術的な成果を生み出すとともに、自らベンチャー企業を2社立ちあげ、ATP増幅酵素とアスベストの検出技術に関して実用化・事業化を果たしている。

徐は、CRESTへと研究を進展させており、応力発光材料の実用化を目指して安全管理ネットワークシステムの開発を進めている。橋梁などひび割れ発生や劣化の進展度合いの予測・早期発見が可能なるため、CREST参画企業等から大きな期待が寄せられている。

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。