

**(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)
追跡評価資料**

**研究領域「組織化と機能」
(1999-2004)
研究総括 国武豊喜**

2010.3.24

目 次

目 次	1
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. 全研究課題の発展状況や活用状況.....	7
2. 1. 参加研究者全員に対するアンケート調査.....	7
2. 2. 参加研究者全体の動向.....	8
2. 2. 1 研究者の職位の推移.....	8
2. 2. 2 原著論文発表件数の推移.....	8
2. 2. 3 研究終了後の総説・解説と著書発表件数の推移.....	9
2. 2. 4 特許出願件数の推移.....	11
2. 2. 5 招待講演件数の推移.....	12
2. 2. 6 研究者の受賞.....	12
2. 2. 7 さきがけ研究終了後の研究助成金獲得状況.....	15
2. 2. 8 研究者の研究成果の発展状況.....	17
2. 2. 9 さきがけ研究の意義.....	22
2. 3 第 2 章のまとめ.....	23
第 3 章 代表的な研究課題の発展状況.....	25
3. 1 詳細調査の内容.....	25
3. 2 代表事例の詳細調査結果.....	25
3. 2. 1 細胞情報と化学情報を相互変換する分子の創製と機能.....	25
3. 2. 2 金属ナノ粒子超格子の創製とナノ電子デバイスへの応用 (寺西利治)	29
3. 2. 3 生体膜で働くプロトン駆動のナノマシン.....	33
3. 2. 4 ナノ力学理論の開発と力学的制御による表面機能発現.....	37
3. 3 第 3 章のまとめ.....	41

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「組織化と機能」(1999-2004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纏めたものである。研究領域「組織化と機能」は、ナノメートルサイズの極微単位が組織化され、単純な構造から複雑な組織体へと転換する過程におけるマイクロからマクロに至るサイズの組織構造とその機能を解明し、これらの応用を含む研究を行った領域である。第1期から第3期の研究者を採択後、第3期の研究を終了したときから5年を経過した時点で、参加研究者全員31名を対象として調査を行った。

まず、参加研究者全員に関して、原著論文、特許、研究助成金、招待講演、受賞を含む研究実績データの概略調査を行い、その結果をもとに詳細調査として代表事例の研究課題(研究者)を選定した。選定された研究者に対して、詳細なインタビューを行い、研究成果から生み出された科学的、社会的及び経済的な波及効果についても調査した。

概略調査からは、さきがけ期間中とさきがけ終了後から調査時点までの、職位、原著論文数、特許出願数、研究助成金獲得額の比較から、さきがけ期間中に比して、さきがけ終了後に研究活動が活発化していることが確認された。なかでも、さきがけ終了後に教授となった研究者が14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。さきがけ期間中、1年に平均3報以上原著論文を公表している研究者は7名であったが、さきがけ終了後には19名に増加した。研究助成金に関しては、さきがけ終了後に研究代表者として50百万円以上の大型の研究資金を獲得した研究者が8名みられた。このように、計量でできる具体的なデータから、「組織化と機能」研究領域のさきがけ研究者が、領域終了後も研究者として成長し、研究活動を活発化させている様子がわかる。

領域全体を代表しうる4名の研究者(片山佳樹、寺西利治、野地博行、佐々木成朗)のインタビューからは、これらの研究者はさきがけ終了後に、JSTのCREST、科研費・の特定領域研究などの大型研究助成金を獲得して、さきがけ期間中に得られた研究成果を着実に展開させ、社会的に貢献していることが明らかになった。

第1章. 追跡調査・追跡評価について

1.1. 調査/評価の目的

追跡評価はさきがけの研究終了後、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の事業および事業運営の改善に資するために行うもので、その評価に必要な資料を得るために、さきがけ研究終了後の研究課題の発展状況等を追跡調査した。

1.2. 調査/評価の対象

本追跡評価はさきがけ研究領域「組織化と機能(1997年-2003年)」の31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。なお、さきがけは個人型研究であるため、各研究者がそれぞれに1研究課題を設定し、研究を展開しているため、参加研究者全員を調査した。

表 1-1 研究領域「組織化と機能」調査対象と調査対象期間

	「組織化と機能」研究期間	課題終了後調査対象期間	研究課題数
第1期	1999年10月-2002年9月	2002年10月-2009年3月	10
第2期	2000年10月-2003年9月	2003年10月-2009年3月	11
第3期	2001年12月-2005年3月	2005年4月-2009年3月	10

1.3. 研究領域の概要

「組織化と機能」の研究総括は国武豊喜（北九州産業技術機構 副理事長）であり、研究領域の概要は以下のとおりである。

ナノメートルサイズの極微単位が組織化され、単純な構造から複雑な組織体へと転換する過程においては、マイクロからマクロに至るいずれのサイズでも、組織構造を保つ境界として界面が重要である。このような観点に基づき、組織化と界面がもたらす機能について研究する。例えば、分子膜の関与するさまざまな働き、単一構造の観察と機能化、組織化の基礎として分子認識、構造のヒエラルキー、組織化・構造のダイナミクス、ナノ構造体（材料）組織や機能、及びこれらの応用研究を含む。

このように、本領域はマイクロからマクロに至る広範囲の組織構造に着目し、その構造から機能への展開と研究を進めている。この領域の概要に沿って研究を行うため、9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 研究領域「組織化と機能」領域アドバイザー

領域アドバイザー	領域終了時の所属・役職
板谷 謹悟	東北大学 大学院工学研究科 教授
岩本 正和	東京工業大学 資源化学研究所 教授
生越 久靖	福井工業高等専門学校 校長 (H11から参画)
梶山 千里	九州大学 総長
雀部 博之	千歳科学技術大学 学長
南後 守	名古屋工業大学 応用化学科 教授 (H12から参画)
名藤平 正道	東京工業大学 生命理工学部 教授
村田 朋美	北九州市立大学国際環境工学部 教授
村山 徹郎	三菱化学 有機エレクトロニクス研究所 チーフサイエンティスト

研究課題（研究者）の公募は平成 11 年度から 3 年間にわたり、3 度行い、総計 31 件の研究課題を採択した。表 1-3 に各期の研究課題と研究者ならびに所属機関と役職を示す。表 1-3 に示されるように、採択課題は「組織化と機能」を中心軸として貫きながらも、研究対象や研究手法は多岐多様にわたっていることが分かる。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を挙げている。

基礎的研究面での優れた成果として、筋肉のナノマシンの研究（龔 劍萍）、生体分子モーターの基礎研究（野地博行）、細胞内シグナルに応答して化学情報へと変換するシステムの構築（片山佳樹）、ブルー層の安定発現技術と高速応答液晶（菊池裕嗣）、フラーレンの単層膜の摩擦のないシステムの研究（佐々木成朗）、高密度磁性材料の開発（寺西利治）、バイオインターフェイスでの組織化された水分子機能の研究（田中 賢）、単一電子の挙動評価技術の研究（真島 豊）、リン酸化タンパク質センサーの研究（浜地 格）などが挙げられる。

また、理論解析からの予測として、水中の気体の拡散機構の解析から気象変動の精密予測（深澤倫子）や巨大磁気抵抗効果を示す材料の解析（森 茂生）などで優れた成果を得ており、次世代の学問を構築する重要研究領域が開拓されつつあることに頼もしさを感じる。

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	研究者	採択時の所属・役職	課題終了時の所属・役職	調査時の所属・役職
第 1 期 (平成 11 年度)	動的高分子ナノ組織体による生体高分子の認識・応答・機能制御	秋吉 一成	京都大学大学院工学研究科助教授	東京医科歯科大学生体材料工学研究所教授	東京医科歯科大学生体材料工学研究所教授
	個々の原子・分子追跡と 2 次元組織化膜成長ダイナミクス	犬飼 潤治	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講師	山梨大学燃料電池ナノ材料研究センター特任教授
	ナノ電極/有機分子組織体による次世代電子素子の創出	小川 琢治	愛媛大学理学部助教授	愛媛大学理学部助教授	大阪大学大学院理学研究科教授
	細胞情報と化学情報を相互変換する分子の創製と機能	片山 佳樹	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	九州大学大学院工学研究院教授
	電極表面上での分子集合組織変化—動的機構の解明と機能発現—	相樂 隆正	長崎大学大学院生産科学研究科助教授	長崎大学大学院生産科学研究科助教授	長崎大学工学部教授
	蛋白質の折れ畳み過程の実時間測定とその応用	高橋 聡	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助手	東北大学多元物質工学研究所教授
	金属原子による低次元微細構造の形成と発現する物性の制御	南任 真史	理化学研究所研究員	理化学研究所研究員	(独) 理化学研究所基幹研究所川合表面化学研究室専任研究員
	マイクロ安定化半導体スーパーヘテロ界面の高度光機能化	深津 晋*	東京大学大学院総合文化研究科助教授	東京大学大学院総合文化研究科助教授	東京大学大学院総合文化研究科准教授
	N-混乱ポルフィリンを基盤とする回転リレー式輸送素子の創成と組織化	古田 弘幸	京都大学助教授	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
	コヒーレンス場における dendritic 組織体のマクロな光電子機能	横山 士吉	通信総合研究所関西センター研究官	(独) 通信総合研究所関西センター主任研究官	九州大学先端物質化学研究所教授
第 2 期 (平成 12 年度)	分子的に精密設計した色素集合体の二次元配列と光学的応用	カートハウス オラフ	千歳科学技術大学光科学部助教授	千歳科学技術大学光科学部助教授	千歳科学技術大学光科学部教授
	液晶秩序のナノ組織化による高速電気光学効果の発現	菊池 裕嗣	九州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助教授	九州大学先端物質化学研究所教授
	強磁場を用いた超微細組織化による耐熱合金の強靱化	木村 好里	東京工業大学大学院総合理工学研究科助手	東京工業大学大学院総合理工学研究科助手	東京工業大学大学院総合理工学研究科准教授
	核酸・多糖複合体における分子認識メカニズムと遺伝子工学への応用	櫻井 和朗	科学技術振興事業団さきがけ研究者	北九州市立大学国際環境工学部教授	北九州市立大学国際環境工学部教授
	金属ナノ粒子超格子の創製とナノ電子デバイスへの応用	寺西 利治	北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科助手	北陸先端科学技術大学院大学材料科学研究科助教授	筑波大学大学院数理物質科学研究科教授
	DNA 二重らせんを電子機能・構造単位とする単一分子素子	中野 幸二	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	九州大学大学院工学研究院准教授
	生体膜で働くプロトン駆動のナノマシン	野地 博行	科学技術振興事業団さきがけ研究者	東京大学生産技術研究所助教授	大阪大学産業科学研究所教授
	タンパク質表面構造を対象とする認識・変換素子の創製	浜地 格	九州大学大学院工学研究院助教授	九州大学有機化学基礎研究センター教授	京都大学大学院工学研究科教授
	クーロンブロッケードによる階段状変位電流の測定とその応用	真島 豊	東京工業大学大学院理工学研究科助教授	東京工業大学大学院理工学研究科助教授	東京工業大学大学院理工学研究科准教授
	遷移金属酸化物の動的構造の実時間測定	森 茂生	東京工業大学大学院理工学研究科助手	大阪府立大学総合科学部助教授	大阪府立大学大学院工学研究科教授
	複数のサブユニットから成るテラーメイド人工酵素の創製	森井 孝	京都大学エネルギー理工学研究所助手	京都大学エネルギー理工学研究所講師	京都大学エネルギー理工学研究所教授
第 3 期 (平成 13 年度)	分子ピラミッドによる機能性ナノ組織体の創出	青井 啓悟*	名古屋大学大学院生命農学研究科助教授	名古屋大学大学院生命農学研究科助教授	名古屋大学大学院生命農学研究科教授
	両親媒性ディスク状化合物の自己組織化とナノデバイスへの応用	木村 睦	信州大学繊維学部助手	信州大学繊維学部助教授	信州大学繊維学部准教授
	スフィンゴ脂質の自己組織化と細胞機能	清川 悦子	理化学研究所フロンティア研究システム研究員	(独) 科学技術振興機構さきがけ研究者	京都大学大学院医学研究科講師
	筋肉タンパク自己組織化ゲルによるソフトナノマシンの創製	龔 劍萍	北海道大学大学院理学研究科助教授	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
	ナノ力学理論の開発と力学的制御による表面機能発現	佐々木 成朗	科学技術振興事業団さきがけ研究者	成蹊大学工学部助教授	成蹊大学理工学部教授
	バイオインターフェイスにおいて組織化された水分子の機能	田中 賢	北海道大学電子科学研究所助手	北海道大学創成科学研究機構助教授	東北大学多元物質工学研究所准教授
	脂質—膜タンパク質ドメインの制御によるナノプラントの構築	出羽 毅久	名古屋工業大学応用化学科助手	名古屋工業大学大学院工学研究科講師	名古屋工業大学大学院工学研究科准教授
	自己組織化単分子膜を用いた DNA センサーの構築	中村 史夫	理化学研究所フロンティア研究員	東レ (株) 先端研究所研究員	東レ (株) 先端融合研究所主任研究員
	氷内部および界面に存在する気体分子の拡散と組織化	深澤 倫子	科学技術振興事業団さきがけ研究者	(独) 科学技術振興機構さきがけ研究者	明治大学理工学部准教授

	無電解めっきのサイズ依存性とナノ光デバイスへの応用	物部 秀二	神奈川科学技術アカデミー副研究室長	神奈川科学技術アカデミー光科学重点研究室副研究室長	東洋大学工学部機械工学科准教授
--	---------------------------	-------	-------------------	---------------------------	-----------------

*未回答者

第2章. 全研究課題の発展状況や活用状況

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、研究期間中と終了後の業績について問い合わせる調査票を送付し、全 31 人中から 29 人の回答を得た。回答率は 93.5%である。対象研究者とその採択時、終了時と調査時の所属は、表 1-3 に、調査票の質問事項は表 2-1 に示す。

研究成果の発展状況を示す指標として研究者の職位、論文発表件数、著書発表件数、特許出願、招待講演件数、受賞について、研究期間中（あるいは終了時）と研究終了後（調査時）を比較した。また、研究課題終了後の研究助成金の獲得状況を調査した。

さらに、さきがけ研究領域「組織化と機能」での研究が研究者自身の活動にとってどのような意義をもったかについて質問した。これらの調査を纏めるに当たり、未回答の 2 名については公開されているデータを使って補充した。

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	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、高い評価を受けていると判断する理由
問 3	さきがけ期間中に公表されたさきがけ関連原著論文、総説・解説
問 4	さきがけ期間中に公表されたさきがけ関連著書
問 5	さきがけ期間中に出版されたさきがけ関連特許出願
問 6	さきがけ期間中に発表されたさきがけ関連招待講演
問 7	さきがけ期間中に受賞されたさきがけ関連の賞
問 8	さきがけ終了後に公表された原著論文、総説・解説
問 9	さきがけ終了後に公表された著書
問 10	さきがけ終了後に出版された特許出願
問 11	さきがけ終了後に発表された招待講演
問 12	さきがけ終了後に獲得・継続した研究助成金
問 13	さきがけ終了後に受賞した賞
問 14	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 15	上記にご回答いただいたほか、アピールしたいこと
問 16	さきがけ研究の意義
問 17	さきがけ制度、あるいは JST の事業についての意見

アンケート調査で得られた回答の誤記は分かる範囲で修正した。また、論文と著書の発表については、回答者によって原著論文の定義が異なっていたため、原著論文は「定期的に刊行される学術論文誌に掲載された研究者自身の研究」とし、学会発表の予稿集、

proceedings 等は除くことで統一した。これに従って、提出された回答の一部を修正・削除した。

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、研究者全員の研究課題採択時、終了時および調査時の職位の推移を図 2-1 に示した。

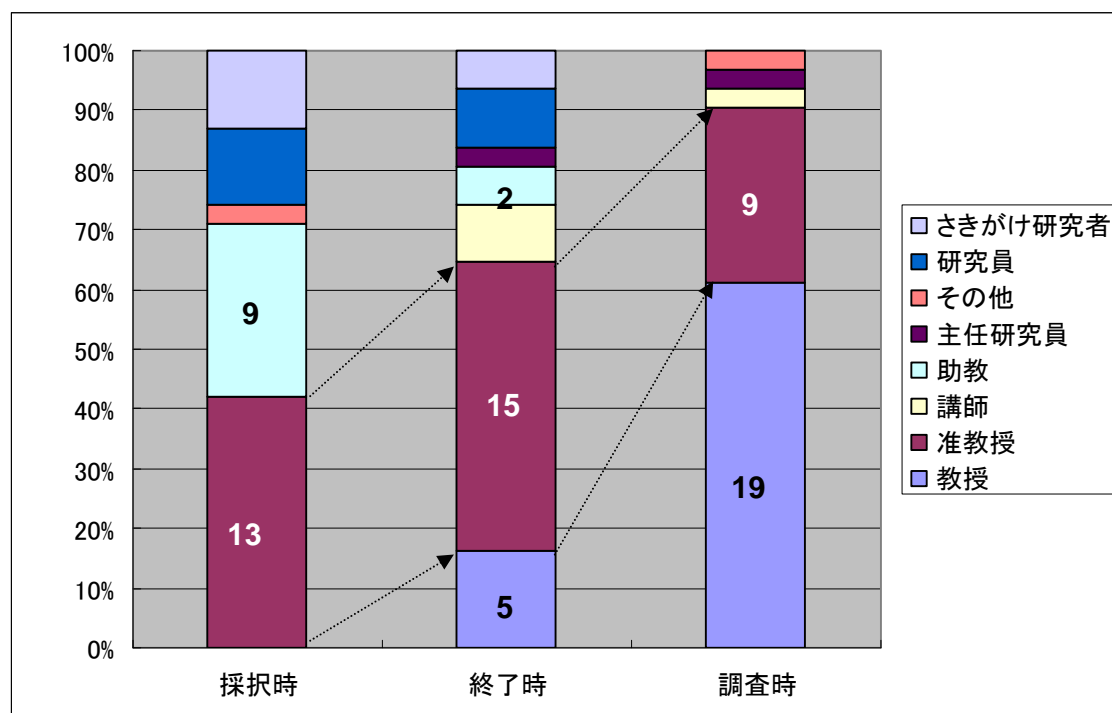


図 2-1 研究者の採択時、終了時および調査時の職位の推移

さがけ採択時には当時の助教授と助手が 7 割を占めており、その他はさがけ研究者を含めた研究員であった。さがけ終了時には、5 名が教授に昇進している。終了後に新たに 14 名が教授に就任し、6 割が教授職で、准教授と講師を含めると 9 割以上が大学で研究者として活躍していることが窺える。このことは、さがけ研究が研究者のキャリア形成に大きな役割を果たしたということを示唆するものである。

2.2.2 原著論文発表件数の推移

原著論文の発表数は、研究者の研究活動を示す指標である。発表件数が増加する要因は、研究者個人の研究活動が活発化する場合と、大学で研究室を主宰するなどして、当該の研

究者のまわりに共同研究者が集まる場合がある。前者の場合は研究者個人の活性化、後者の場合は研究者が後身を育成や共同研究者を引き寄せることを通じた活性化である。本分析では両者を区別しないが、いずれの場合であっても研究者の研究活動を示す指標として取り扱うことは適切である。

図 2-2 に「組織化と機能」研究者の原著論文発表数（1年あたり平均）の変化を示す。

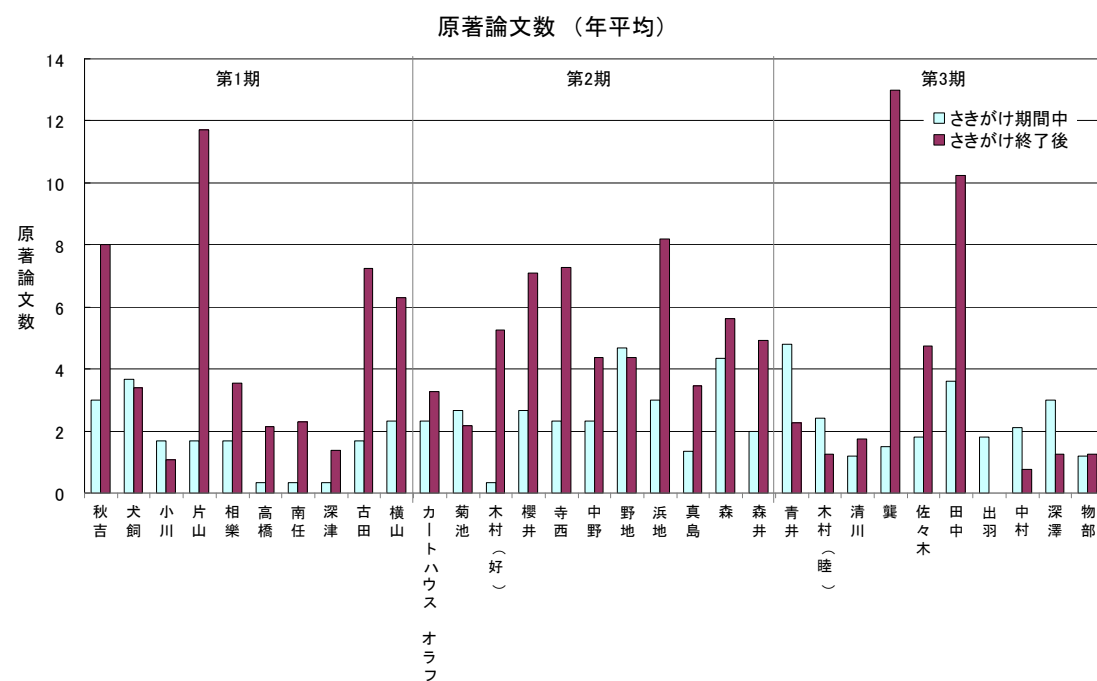


図 2-2 「組織化と機能」研究者の原著論文数（年平均）

図 2-2 に示すさきがけ終了後の発表論文数の増加傾向は、全体として研究活動が研究終了後に活発化していることを示唆している。特に発表論文数が顕著に増加している研究者として、第 1 期では秋吉一成、片山佳樹、古田弘幸、横山士吉、第 2 期では櫻井和朗、寺西利治、浜地 格、第 3 期では龔 劍萍、田中 賢が挙げられる。

これらの研究者はさきがけ期間中の論文発表件数がそれぞれ 2-3 報あったものが終了後に 6-12 報となっており、年平均論文数は 2 倍から数倍に伸びていることが分かる。

2.2.3 研究終了後の総説・解説と著書発表件数の推移

原著論文と同様に総説・解説と著書についても調査を行った。

図 2-3 (a)にさきがけ期間中および終了後の総説・解説の発表数、図 2-3 (b)に著書数（いずれも年平均）を示す。

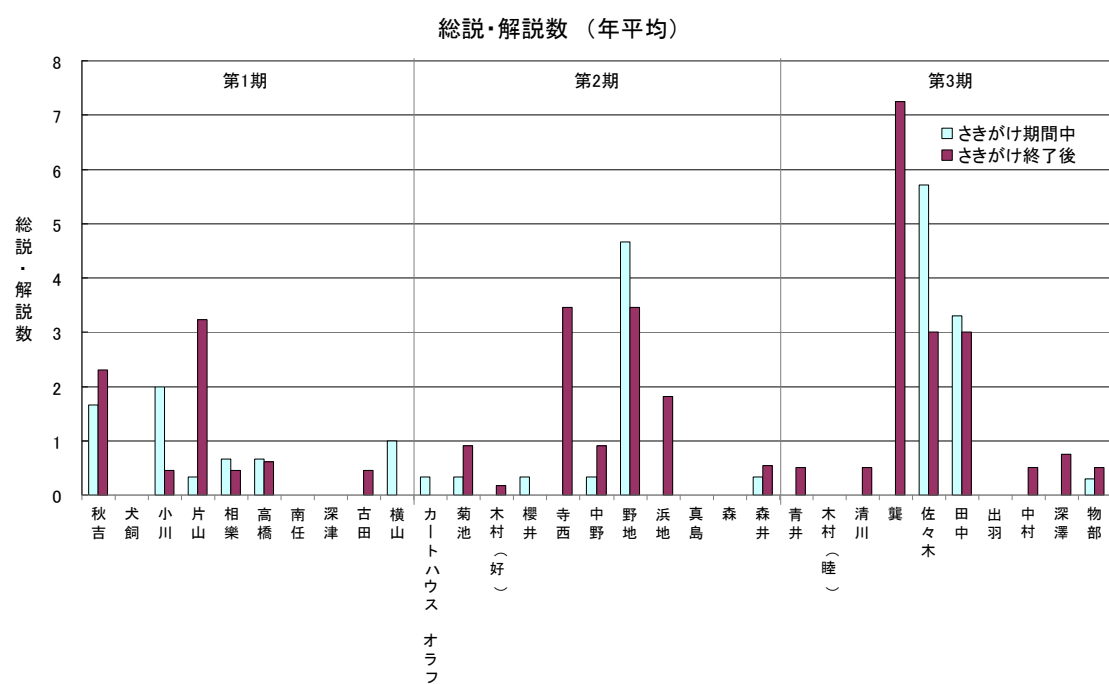


図 2-3 (a) 「組織化と機能」研究者の総説・解説数（年平均）

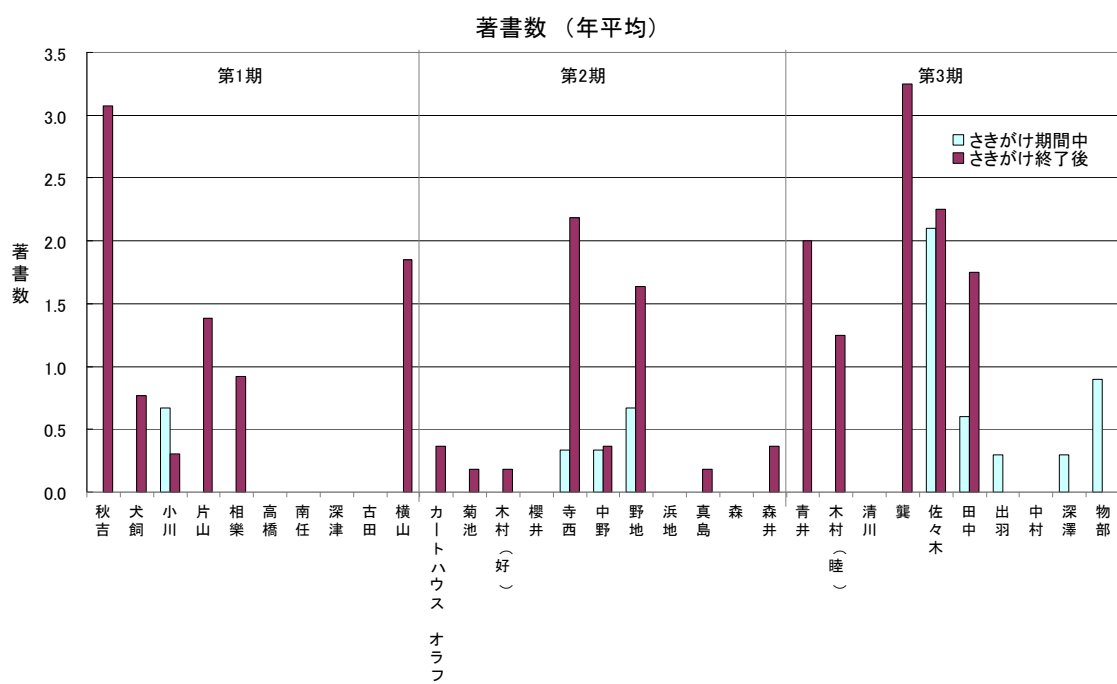


図 2-3 (b) 「組織化と機能」研究者の著書数（年平均）

図 2-3(a)および図 2-3(b)に示すように、総説・解説と著書を発表している研究者はほぼ同じで、全体として研究終了後に増加する傾向がみられ、これも研究活動の活発化を示している。なかでも、第 1 期では秋吉一成、片山佳樹、横山士吉、第 2 期では寺西利治、野地博行、第 3 期では青井啓悟、龔 劍萍、佐々木成朗、田中 賢が顕著である。

2.2.4 特許出願件数の推移

さがけ「組織化と機能」から生まれた特許は、科学的な成果の知的財産への転化を示し、基礎研究が産業に貢献する顕著な事例である。そこで、「組織化と機能」研究および終了後の特許出願数を調査した。実際に出願が権利化されるのは、それが審査を受け、特許として登録された後である。しかし、特許は出願から登録まで数年を要することがあり、また案件によって登録までの期間もまちまちである。このような点を考慮して、本調査ではタイムラグの影響を排して件数の比較が可能となるように、権利化の前段階である特許出願を指標として用いた。図 2-4 に「組織化と機能」研究者の特許出願数（年平均）の変化を示す。

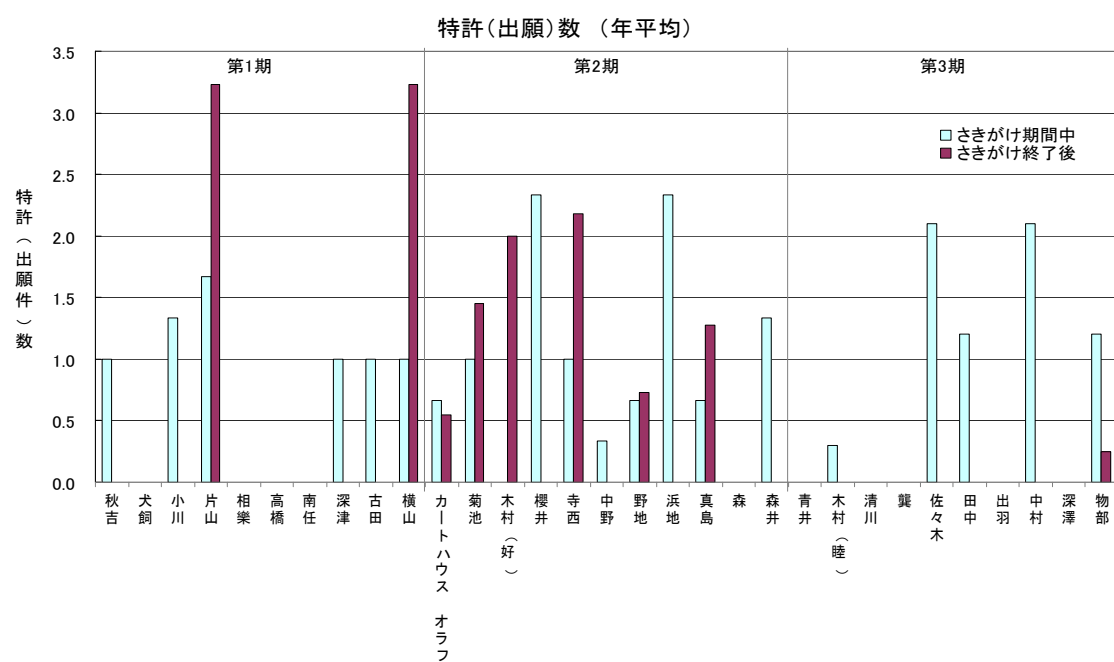


図 2-4 「組織化と機能」研究者の特許出願数（年平均）

図 2-4 に示すように、特許出願を行っている研究者は全体の 3 分の 2 ほどで、出願数は年平均 1-2 報となっており、期間中、終了後を通じて登録されたものは 19 件である。

第 1 期の片山佳樹や横山士吉、第 2 期の菊池裕嗣や寺西利治は期間中にも特許出願を行い、終了後も出願数を増大させている。一方、研究課題によっては、特許にはなりにく

い研究成果もあることも考慮する必要がある。

2.2.5 招待講演件数の推移

論文発表が自らの研究活動の指標であるのに対し、招待講演は学会からの研究の認知・評価を示す。学会からの認知の高さの指標として招待講演を選んだ。図 2-5 に「組織化と機能」研究者の招待講演数（1年あたり平均）の変化を示す。

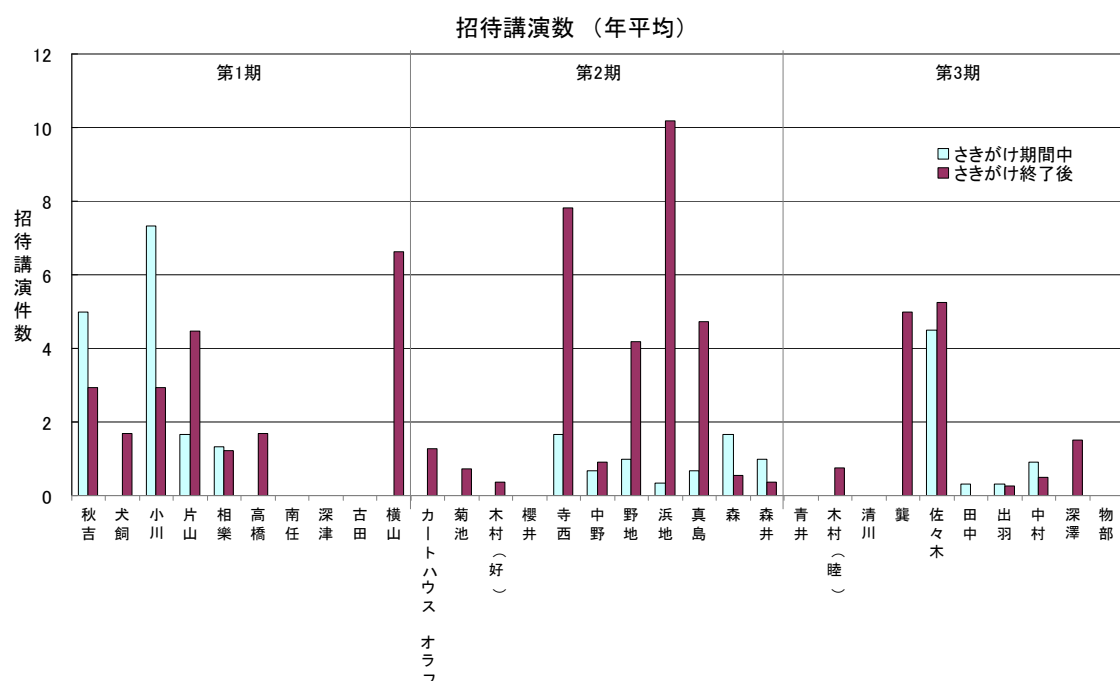


図 2-5 「組織化と機能」研究者の招待講演数（年平均）

招待講演が学会からの認知を示すとすれば、図 2-5 に示すように、全体として研究終了後のほうが、認知度は向上しているといえる。第 1 期の秋吉一成、小川琢治、片山佳樹、第 3 期の佐々木成朗は研究期間中・終了後を通じて招待講演を行っている。研究終了後の招待講演を活発に行っている研究者としては、第 1 期では横山士吉、第 2 期では寺西利治、野地博行、浜地格、真島豊、第 3 期では龔劍萍が挙げられる。

2.2.6 研究者の受賞

招待講演と同様に、受賞は研究成果に対する外部からの評価指標と成り得る。表 2-1 に「組織化と機能」研究者のさきがけ期間中ならびに終了後の受賞を示す。

表 2-1 「組織化と機能」研究者の受賞リスト

(a) さきがけ研究期間中

受賞者名	賞の名称、	授与機関	受賞年
秋吉一成	2001 Barre Lecturer Awards, ナノゲルの機能化と医療応用について優れた業績を挙げた	the University of Montreal, Canada	2001
片山 佳樹	第 3 回国際分析化学会議 Best Poster Award	国際分析化学会	2000
片山 佳樹	武田 Enterprenaryship Award	武田先端知財団	2002
菊池 裕嗣	日本液晶学会論文賞	日本液晶学会	2003
寺西 利治	2003 年度貴金属に関する研究助成金制度 ゴールド賞	田中貴金属グループ	2003
真島豊	東工大挑戦的研究賞	東工大	2002
森 茂生	風戸研究奨励賞(ローレンツ電子顕微鏡を用いた磁気的微細構造に関する研究)	風戸研究奨励会	2003
田中 賢、高山あい子、下村政嗣	第3回日本再生医療学会総会 優秀演題 「自己組織化による血管系組織再生用スキヤフォールドの作製」	日本再生医療学会	2004
田中 賢、竹林 允史、下村政嗣	春季第 47 回応用物理学会 第 12 回応用物理学会 講演奨励賞 「規則的な孔径を有する自己組織化多孔性膜を用いたバイオインターフェイス」	応用物理学会	2002
中村史夫	日本化学会第 83 春季年会 講演奨励賞「DNA 単分子膜を用いた新規 DNA センサーの構築」	日本化学会	2003
深澤 倫子	守田科学研究奨励賞	大学婦人協会	2004
齋藤裕一、物部秀二、大津元一、本間英夫	第 24 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム ポスター奨励賞	応用物理学会	2003
齋藤裕一、物部秀二、渡邊新吾、三浦修平、本間英夫、大津元一	第 17 回エレクトロニクス実装学会 研究奨励賞受賞	エレクトロニクス実装学会	2003

(b) さきがけ研究終了後

受賞者名	賞の名称	授与機関	受賞年
犬飼 潤治	日本表面科学会・会誌賞	日本表面科学会	2004
犬飼 潤治	表面技術協会・優秀講演賞	表面技術協会	2004

横山 士吉	平成 17 年度文部科学大臣表彰若手科学者賞	文部科学省	2005
菊池 裕嗣	SID Special Recognition Award	SOCIETY FOR INFORMATION DISPLAY	2009
木村好里	日本金属学会功績賞、3元系金属間化合物に対して 進展させてきた耐熱構造用と機能性(熱電発電)の 垣根を越えた材料設計開発に関する系統的な研究 が評価された	日本金属学会	2009
櫻井 和朗	平成20年度高分子学会三菱化学賞	高分子学会	
寺西 利治	Gold Conference 2006 Best Presentation Award	Gold Conference	2006
寺西 利治	日本化学会コロイドおよび界面化学部会平成 16 年 度科学奨励賞	日本化学会コロイ ドおよび界面化学 部会	2004
中野 幸二	フローインジェクション分析論文賞	日本分析化学会	2006
野地 博行	第 2 回日本学術振興会賞	日本学術振興会	2006
浜地 格	日本化学会第 86 会春季年会 学術賞	日本化学会	
龔 劍萍	高分子学会賞(科学)	高分子学会	2006
K. Oshima, S. Kawai, N. Itamura, H. Kawakatsu, <u>N. Sasaki</u>	Excellent Poster Award – ICSF2007 「Simulation of Amplitude Dependence of Dynamic Lateral Mode Atomic Force Microscopy Images」	ICSF 組織委員会	2007
H. Saitoh, K. Terada, N. Itamura, K. Miura, <u>N. Sasaki</u>	Excellent Poster Award – ICSF2007 「Mechanism of Fomation of Flake Tip in Friction Force Microscopy」	ICSF 組織委員会	2007
M. Kawata, R. Hasegawa, N. Itamura, K. Miura, <u>N. Sasaki</u>	Excellent Poster Award – ICSF2007 「Analysis of Rotation of C60 in Graphite/C60/Graphite Interface」	ICSF 組織委員会	2007
K. Miura, D. Tsuda, <u>N. Sasaki</u>	2006 年度 日本トライボロジー学会論文賞	日本トライボロジー 学会	2007
K. Miura, D. Tsuda, <u>N. Sasaki</u>	平成 18 年度 日本表面科学会論文賞	日本表面科学会	2006
K. Miura, D. Tsuda, <u>N. Sasaki</u>	2005 年 eJSSNT Paper of The Year 2005 (Gold Medal)	日本表面科学会	2006

佐々木成朗	平成 17 年度 科学技術分野における文部科学大臣表彰 若手科学者賞「計算・物性分野における表面ナノ構造の力学・摩擦理論の研究」	文部科学省	2005
M. Harada, M. Tsukada, N. Sasaki	2008 年 eJSSNT Paper of The Year 2008 (Gold Medal)	日本表面科学会	2009
田中 賢	2005 年 高分子研究奨励賞	高分子学会	2005
Akiko Tanabe, Shigeaki Morita, Masaru Tanaka, Yukihiko Ozaki,	IUMRS-ICA2008 and MRS-J Encouraging Prize	IUMRS	2008
薙野邦久、中村史夫、野村修、瀧井有樹、市川真紀子、信正均	第 19 回独創性を拓く先端技術大賞 優秀賞 産経新聞社賞超高感度 DNA チップの開発について	フジサンケイグループ	2005
薙野邦久、中村史夫、瀧井有樹	第 11 回 日本化学会技術進歩賞「柱状構造を有する高感度 DNA チップの開発」	日本化学会	2006

賞そのものは、それぞれに趣旨や受賞者数が異なるため、種類の異なる賞を一括りにして件数を比較するのは好ましくないかも知れないが、表に示すように、全体として受賞件数はさきがけ研究終了後に増加しており、招待講演と併せて「組織化と機能」領域の外部からも評価されていることを示唆している。

2.2.7 さきがけ研究終了後の研究助成金獲得状況

研究助成金は、研究活動を継続する上での重要な資金であるとともに、採択され課題は有意義な研究であることを示す指標といえる。研究に必要な資金は研究内容によって大きく異なるため、研究課題間、研究者間の比較に意味があるとはいえないが、継続して研究助成金を受け取っている研究者は、継続して何らかの意味で有意義な研究を行っている判断される。図 2-6 に研究 特定領域、新学術領域研究、基盤研究(A)、若手研究(A)、JST の戦略創造事業 CREST、SORST や地域イノベーション創出支援事業、NEDO 等の事業に採択され合計で 50 百万円以上の研究助成金を獲得した研究者について年表を示した。これは「組織化と機能」の研究者が研究終了後も幅広く活躍していることを示している。

		「組織化と機能」研究助成金獲得実績(合計5千万円以上の研究者)													2009. 6. 15				
研究者	研究費	研究テーマ名	年 度													合計 (百万円)			
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		2012		
1 野地 博行			第2期													553			
	科研費 若手(A)	磁気ピンセットを用いた1分子操作による回転分子モーターの研究				29													
	三菱財団自然科学研究助成	ナノ加工技術を用いた生体分子モーターのメカニズム解明				10													
	農研機構 新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業	ナノ加工技術を利用した膜タンパク質のナノバイオロジー				193													
	厚労省 萌芽的先端医療技術推進研究事業	1分子PCRデバイスの開発						15											
	科研費 特定領域	FoF1-ATP合成酵素の回転動作機構の解明										191							
	科研費 基盤(A)	超微小溶液チャンバーを用いた生体分子1分子計測技術の開発										52							
	科研費 特定領域	膜超分子モーターの革新的ナノサイエンス総括班										51							
	JST地域イノベーション創出支援事業	オンサイトDNA検診を目指した超高感度マイクロデバイスの開発										2							
2 真島 豊			第2期													440			
	JST SORST	ナノメカニカル単一電子素子の創製				48													
	科研費 基盤(A)	磁場印加走査型ローレンツ力顕微鏡の研究										41							
	科研費 特定領域	ナノリンク分子による二重トンネル接合素子の電気伝導の解明										5							
	JST CREST	高精度にサイズ制御した単電子デバイスの開発													330				
	科研費 新学術領域	走査型プローブ顕微鏡による異次元空間系分子の構造電子物性計測と電子機能の発現													11				
	科研費 特定領域	ナノリンク分子による界面制御有機半導体の電気伝導評価													3				
	科研費 特定領域	ナノギャップ電極を用いた分子スイッチ素子の構築													2				
3 片山 佳樹			第1期													838			
	科研費 特定領域	遺伝子・タンパク機能評価のための新しいセンシング概念の創製				36													
	NEDO基盤技術研究促進事業	ゲノム研究成果産業利用のための細胞内シグナル網羅的解析法					360												
	JST CREST	科研費 特定領域						425											
	JST産学共同シーズイノベーション化事業	キナーゼペプチドアレイの創製および診断への応用検討															9		
	科研費 特定領域	金ナノ粒子を用いたキナーゼアッセイシステムによるがん診断、創薬支援ツールの開発															8		
4 寺西 利治			第2期													150			
	科研費 若手(A)	金属ナノ粒子低次元超格子を用いたナノ電子・磁気デバイスの創製						26											
	NEDO産業技術研究助成事業	溶媒フリー合成法によるナノデバイス用無機ナノ粒子の構造制御と大量合成							36										
	科研費 特定領域	多座チオール配位子空間に閉じ込められた微細金ナノ粒子の特異電子・光物性								5									
	科研費 特定領域	ナノ粒子超格子に基づく光電場増強場の創出とその新奇化学反応への展開											48						
	科研費 基盤(A)	平行・垂直π共役系で連結された微細金ナノ粒子超格子の電子輸送特性の解明											35						
5 小川 琢治			第1期													124			
	科研費 基盤(A)	ナノ環境を利用した有機分子高次組織体の構築とその電子物性の研究						45											
	科研費 新学術領域	ボトムアップ/トップダウンプロセスの融合による電子・光機能創発														79			
6 高橋 聡			第1期													121			
	JST CREST	蛋白質の折り畳み運動解明を目指した一分子観測法の確立										101							
	科研費 特定領域	新しい一分子計測法による蛋白質の折り畳みダイナミクス										12							
	科研費 特定領域	一分子計測法による蛋白質の折り畳み運動の観測											8						
7 横山 士吉			第1期													102			
	科研費 若手(S)	高分子フォトリソグラフィによるアクティブ光機能デバイスの研究															100		
	JST地域イノベーション創出支援事業	高電気光学特性を有するモレキュラーガラス材料の開発																2	
8 佐々木成朗			第3期													79.7			
	先端計測分析技術・機器開発事業 要素	汎用走査プローブ顕微鏡シミュレータ																	
	私立大学学術研究高度化推進事業「ハイテクリサーチセンター整備事業」(文部科学省)	分子ベアリングによる超潤滑ナノマシン										31.5							
	科研費 基盤(B)	分子ベアリングによる超潤滑ナノマシン											20						
	科研費 基盤(B)	摩擦ゼロの炭素系超潤滑物質の解明											10						
	科研費 基盤(B)	グラファイト・フラーレンハイブリッド薄膜材料の超潤滑特性の理論研究																3.7	
	私立大学戦略的研究拠点形成支援事業	人と環境に優しい統合化された社会システム 研究基盤整備																	4.5

図 2-6 「組織化と機能」研究者の研究助成金獲得状況

2.2.8 研究者の研究成果の発展状況

国際的位置づけの根拠となった各人のアンケートの回答から研究成果の発展状況を研究者ごとに記載した。回答の得られなかった研究者については公開情報からまとめた。

第1期

(1) 秋吉 一成

さきがけ研究で開発したシャペロン機能を有する疎水化多糖ナノゲルは、癌免疫タンパクワクチンのナノキャリアとして臨床実験でも優れていることが実証され注目されている。また、機能解明の遅れている膜タンパク質のフォールディングや集積を助けるリポソームシャペロンを開発し、無細胞タンパク質合成系に、膜タンパク質を簡便に高効率で組み込む手法も生み出した。

(2) 犬飼 潤治

さきがけ研究では、金属の単結晶表面上に吸着した代表的な原子・分子の構造と反応性を水溶液中と超高真空中で明らかにした。その後、COの電気化学的酸化過程等、燃料電池触媒上の反応過程を、原子・分子レベルで明らかにしている。

(3) 小川 琢治

さきがけの継続研究として、有機分子エレクトロニクス少数分子の電気特性を調べるための、分子設計、装置開発を行い実際の測定を行い、様々な非線形的な電気特性を見出した。

(4) 片山 佳樹

さきがけの継続研究として、疾患細胞で特異的に更新している細胞内酵素活性（シグナル）に応答して遺伝子を活性化できるシステムを確立した。また、細胞内のプロテインキナーゼ活性を網羅的にプロファイリングできるペプチドアレイを開発し、細胞機能を詳細に検出できる新しい指標として、創薬、診断の応用に向け、複数の企業と共同研究を実施している。さらに、細胞内のプロテインキナーゼに対する特異基質を種々開発し、新規基質として、阻害ペプチドの開発にも成功している。

(5) 相樂 隆正

さきがけ研究の延長上で、電極電位によってナノ駆動したダイナミクスを巨視的応答に結びつけるための研究、例えばメゾスコピック領域の超薄液膜の挙動などを展開している。また、紫外・可視領域の分光電気化学的手法の開発も手がけている。

(6) 高橋 聡

さきがけの継続研究として、蛋白質の折り畳み過程の時分割赤外吸収観測を実施するとともに、蛋白質の一分子観察法の開発も進めている。

(7) 南任 真史

さきがけ研究の延長上で、Au(788)面上で、二次元性の強い表面準位の自由電子が、平行かつ等間隔にならぶステップによって閉じ込められ、一次元電子系を形成している様子を直接観察し、この効果の強さが、ステップを異種原子で修飾することで制御することを実験的に示した。また、Feの単原子鎖の電子構造と磁性についても研究を進めている。

(8) 深津 晋

さきがけ研究を展開させ、光学非線形性を利用した光子対発生・単一光子検出、新原理にもとづくシリコンレーザー・光増幅器、近赤外有機物レーザーほか、これらのための先端計測法の開発など、シリコンフォトリソグラフィのための光制御に関する研究を進めている。

(9) 古田 弘幸

さきがけ研究を展開させ、N-混乱ポルフィリンのアニオン認識において、水素結合1点によるアニオン捕捉機構を解明した。また、1000nmを超える近赤外領域で高い発光を示す分子（混乱型拡張ポルフィリン）の創製を成功させた。さらに、N-混乱ポルフィリン亜鉛錯体を用いて、芳香環3量体相互作用の定量的な評価を可能としている。

(10) 横山 士吉

さきがけの継続研究として、 dendritic dendrimer を用いた高発光性材料を合成し、溶液、固体レーザーとして優れた特性を有することを示した。また、光機能性 dendrimer を用いたナノ加工技術によって、高分子固体レーザーを中心とした光デバイスの作製を試みている。

第2期

(11) Karthaus Olaf (カートハウス オラフ)

さきがけ研究期間中の成果である有機 EL 材料のマイクロパターンニングによって、発光するマイクロドームの作成から、有機トランジスターへと展開した。その中で、有機半導体のペンタゼンなどを利用し、マイクロファイバー結晶を作成し、Bottom contact 型トランジスターのホール移動度は $0.6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ まで上げることに成功した。

(12) 菊池 裕嗣

さきがけ研究期間中には、液晶相のひとつである高分子安定化ブルー相を実用材料として応用する突破口を開き、その後、ブルー相を含むナノ秩序化液晶の高速の電気光学 Kerr 効果を見出し、高速・配向処理フリーの表示材料としての大きなポテンシャルを示した。

(13) 木村 好里

さきがけ研究の成果として挙げられている合金設計に指針に大きな方向性を与えたことや新たな金属系機能材料の製造技術への展開は「熱発電材料をめざす金属間化合物相のフォノン散乱による熱伝導率低減と性能向上」などの研究に引き継がれている。

(14) 櫻井 和朗

さきがけ研究の成果を、CREST 研究領域「ナノ界面技術の基盤構築」の中で、研究課題「DDS粒子のナノ界面と鳥インフルエンザワクチン等への応用」で展開し、次世代の薬物運搬システム（DDS）技術の開発を試みている。

(15) 寺西 利治

さきがけ研究期間中に成功した粒径 2-10nm の金ナノ粒子の精密合成法の確立と様々な対称性を有する超格子への規則化配列をさらに発展させ、粒径 2nm 以下の金ナノ粒子の精密合成と単粒子膜の大面积化に成功させると同時に、微細金ナノ粒子の電子物性の解明にも成功している（東工大真島准教授との共同研究）。

(16) 中野 幸二

さきがけ研究期間中に実施した DNA 二重らせんを構造・機能ユニットとする分子素子の研究は DNA の電気伝導性およびその制御が可能性を示したが、その後、DNA が形成する特異な超分子構造は、原子間力顕微鏡によりイメージングすることができることを示し、1分子レベルでの検出を可能とするバイオアッセイ法を実現した。また、DNA の化学修飾による電極表面への固定化法を開発し、DNA 結合性薬物に対するバイオセンサーを世界に先駆けて開発した。

(17) 野地 博行

さきがけ研究期間中は 1 分子操作による F1-ATPase モーターの化学—力学反応共役メカニズムを解明したが、その後はこのモーターを 1 分子計測のためのマイクロデバイスの構築の手段に使用すべく研究の展開を試みている。

(18) 浜地 格

さきがけ研究期間中に生物学的に重要なリン酸化タンパク質を認識して蛍光センシングできる人工小分子の開発に世界で初めて成功した。その後、タンパク質表面での位置およびタンパク質選択的な有機化学反応を開発し、細胞などの夾雑系での特異的ラベル化に成功している。

(19) 真島 豊

さきがけの継続研究として、高精度にサイズ制御した単電子デバイスの開発を試み、無電解メッキを用いたナノギャップ電極作製手法の確立し、常温で金ナノ粒子のクーロンブロッケード現象を観察した。さらに、一つの金属内包フラーレンが分子スイッチとして機能することを明らかにした。

(20) 森 茂生

さきがけの継続研究として、自己組織化を利用しナノスケールで制御できる新たな磁性体酸化物やフラストレーション格子上での電荷秩序形成に伴う強誘電性の発現から、電子相関に起因する新しい強誘電性発現機構を提案した。また、マンガン酸化物およびBi系酸化物において磁性と誘電性が共存する物質について、磁性、誘電性および微細構造を明らかにした。

(21) 森井 孝

さきがけの継続研究として、リボヌクレオペプチドを用いて、種々の生理活性分子・体内シグナル分子に対するリセプター、そして蛍光センサーを作製する方法を開発し、イノシトール三リン酸に対する蛍光センサーを用いて、外部刺激に伴う細胞内イノシトール三リン酸動態の可視化に成功した。

第3期

(22) 青井 啓悟

さきがけ研究期間中は、両親媒性ピラミッド分子の合成を研究し、現在は球状糖鎖高分子の創成とその三次元構造と分子認識能の相関の解明や バイオマスの有効利用を目的としたキチン、キトサンなどの化学修飾による新規生物機能材料の合成について研究を展開している。

(23) 木村 睦

さきがけの継続研究として、さきがけ期間に得られた材料を発展させ、様々なガス状物質を選択的に捕捉できるセンシング材料を得た。さきがけ期間に出願した特許をもとに、インクジェット法に対応できる塗布型蛍光材料を創成した。また、両親媒性および液晶性自己組織化材料を合成し、カーボンナノチューブとの複合化による自発的ナノ構造形成を

見いだした。

(24) 清川 悦子

さきがけ研究期間のスフィンゴ脂質の研究に関連して、その後はイノシトールリン酸群の定量解析や低分子 G 蛋白質・イノシトールリン脂質などの信号伝達分子の生きた状態での観察に展開している。

(25) 龔 劍萍

さきがけの継続研究として、アクチンの自己組織化のメカニズムが異方的な結晶成長モデルで記述することに成功した。このモデルをベースに、さらに、アクチンバンドルの極性形成のメカニズムを明らかにした。また、関連した研究では高強度 DN ゲルの創成とそのメカニズム解明や低摩擦ゲルの創成およびゲルの低摩擦原理の解明に取り組んでいる。

(26) 佐々木 成朗

さきがけの継続研究として、フラーレン分子ベアリングによる超潤滑システムの研究を進め、pN オーダーの超潤滑制御のメカニズムをシミュレーションで説明する事に成功している。また、カーボンナノチューブの引き剥がしに伴う変形特性を、シミュレーションと TEM-AFM 観察の両面から明らかにしている。さらに、Si 表面の水平モード動的原子間力顕微鏡観察のシミュレーション及び実験結果の再現に成功している。

(27) 田中 賢

さきがけ研究では界面（バイオインターフェイス）の水の構造と生体適合性との関係を明らかにした。現在はその関連研究で、生きた細胞と材料との界面で組織化された生体分子（高分子鎖-水分子-タンパク質ポリペプチド鎖-細胞膜表面糖鎖）の多元構造の解明を目指し、新規医療用材料の分子設計指針の創出を試みている。

(28) 出羽 毅久

さきがけ研究で開発した手法を用い、全反射型蛍光顕微鏡および原子間力顕微鏡により光合成膜タンパク質の分子像を得ることに成功した。また、核酸医薬を目的とし極めて簡便な手法で生体由来のポリアミンと脂質を結合させることにより、高い遺伝子送達効率を有する核酸キャリアーの開発に成功している。

(29) 中村 史夫

さきがけ研究期間中は、単分子膜を用いた DNA センサーを構築していたが、現在は高感度 DNA チップの開発を試み、凹凸構造を有した樹脂性 DNA チップを創製し、感度最大 100 倍を達成している。

(30) 深澤 倫子

さきがけ期間中に分子動力学計算により、氷中の分子拡散メカニズムに着目し、氷結晶に特有の拡散メカニズム（結合切断機構）の存在を見出し、その成果を応用することで、南極氷床中の空気分子の拡散過程を説明することに成功した。その後、氷表面の構造と物性の研究を進め、氷表面層に存在するダングリングボンドの運動が、表面融解の要因となることを明らかにした。さらに、分子動力学法とラマン分光法により、クラスレートハイドレートにおける空ケージの構造を明らかにした。この結果を基に、ハイドレートのマクロ物性が、少数の空ケージの構造に依存することを初めて提案した。

(31) 物部 秀二

さきがけ期間中はナノサイズ無電解めっきの研究において、サイズ依存性を主として鉛イオン添加や超音波照射により誘起していたが、その後、塩素イオン添加めっきや密閉容器内でのめっきを試み、従来問題であった先端部付近の陥没構造の抑制などに成功した。

2.2.9 さきがけ研究の意義

「組織化と機能」研究者にとってこの領域でのさきがけ研究がどのような意義があったのかを知ることは追跡調査として興味深いことである。さきがけ研究に参加したことが自らの研究に与えた意義についての回答の分布を図 2-7 に示す。

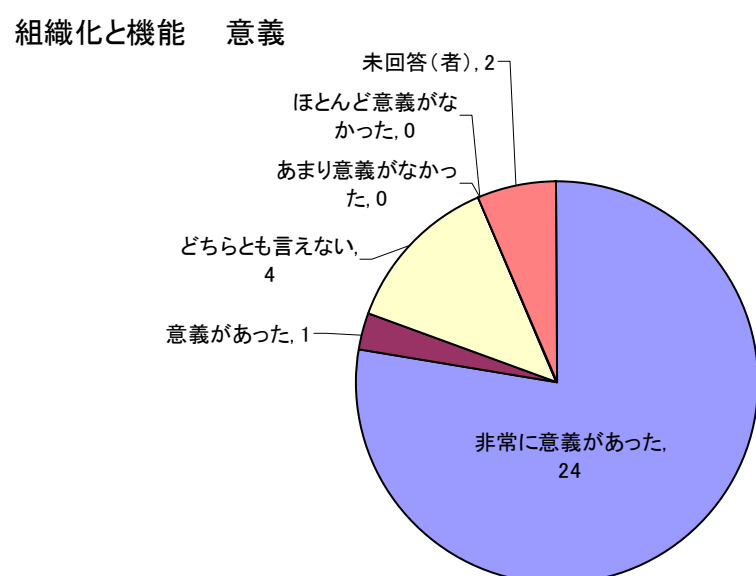


図 2-7 さきがけ研究の意義についての回答の分布

図 2-7 に示すように、多くの研究者は、さきがけでの研究を意義深いものと捉えている。その理由は、さまざま挙げられているが、主な理由は（１）さきがけ制度の利点として、比較的使途の制限が少ない研究費による自由な研究活動、（２）領域アドバイザーや異分野の研究者交流による視野の拡大、（３）さきがけ以後の研究活動の原点となる基盤の確立に集約される。回答者からの意見を下記にまとめた。

（１） さきがけ制度の利点

- ・ アイディア段階の研究にまとまった予算が付き、研究が大きく展開した。
- ・ 研究室のマネジメントや予算取りについて、学ぶことが出来た。
- ・ 研究総括やアドバイザーの寛容さにより、当初の目的とは違った方向に展開したが、結果的には大きな成果に繋がった。
- ・ 規模の小さい個人研究に光が当たる点で、効果的な制度である。

（２） 領域アドバイザーや異分野の研究者との交流

- ・ アドバイザーや研究者との交流により、幅広い知識と新規なアイディアが生まれ、研究の展開に大きな影響があった。
- ・ 研究者のネットワークが形成され、現在でも無形の財産となっている。
- ・ 異分野の研究者と交流することで、研究に対する考え方や取り組み方、文化の違いを学び、自己変革に繋がった。
- ・ さきがけ終了後も個人的に関係を継続し、シンポジウムや研究会の開催を実施している。
- ・ 定期的に行われる領域会議において、他のさきがけ研究者およびアドバイザーと密度の濃い討論を行うことから刺激を受け、有意義であった。

（３） さきがけ以後の研究活動の原点となる基盤の確立

- ・ 所属研究室からの独立時に、予算的に十分な支援を受けたことで、自立でき、独自の研究を確立できた。
- ・ 自由に研究が出来たため、その後の発展に繋がった。

2.3 第 2 章のまとめ

上述の、本領域の研究課題は、研究期間終了後に論文数、特許出願数が伸びるという基礎・応用の両面で大きな発展、展開を遂げていることがわかる。受賞数の伸びや職位の推移からは、さきがけ研究中に力を付けた研究者が、研究終了後にその力を発揮し有力な研究者として外部からも認知されるようになったことを示している。このような研究者の成

長は、国際的評価の高い研究者としての自負に繋がっており、さらに大きな成果を生み出す原動力となるものと思われる。いっぽうで、多様性の高い集団による異分野融合の効果は、異なる研究分野の考え方や手法を自然と学びとることで、知らず知らずのうちに研究者を刺激し、成長を促したことが窺える。

次章には、このような研究領域の特色を代表する課題について詳細調査を行った結果を示し、アンケートによる概略調査の定量的な分析では、把握出来ない研究成果の波及効果等を記述する。

第3章 代表的な研究課題の発展状況

3.1 詳細調査の内容

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について、詳しく知るために、第2章の調査結果で得られた、原著論文、総説及び解説、特許、招待講演および受賞等のデータを基に、研究総括と討議して、本領域の代表事例について、研究課題を4件選定した。選定した課題は以下4件である。

研究課題	研究者
細胞情報と化学情報を相互変換する分子の創製と機能	片山 佳樹
金属ナノ粒子超格子の創製とナノ電子デバイスへの応用	寺西 利治
生体膜で働くプロトン駆動のナノマシン	野地 博行
ナノ力学理論の開発と力学的制御による表面機能発現	佐々木 成朗

選定された代表的事例の4名の研究者に対して、①から⑦の事項について、事前に調査した後、インタビューによる詳細な調査を実施した。

① 研究期間中の達成度

発想の独創性はどこにあり、研究のねらいはさきがけ終了後どこまで達成されたか。

② 研究期間終了後の展開

さきがけ終了後、新たに展開した研究成果も含めて、調査時点ではどの様に展開しているか。

③ 科学・技術の進歩に貢献する成果

関連論文の被引用件数の推移、受賞等についての確認

④ 応用に向けて発展状況

⑤ 人材育成の面からの参加研究者の活動状況

研究者としてのキャリアアップ、同期生との連携、及びネットワーク形成、知的刺激による相互効果など。

⑥ 社会的な効果・効用

⑦ 経済的な効果・効用

3.2 代表事例の詳細調査結果

3.2.1 細胞情報と化学情報を相互変換する分子の創製と機能

(1) 研究成果の発展状況や活動状況

さきがけでは、従来の細胞表面の受容体を標的とした創薬ではなく、薬物を細胞内に送り込み、細胞内シグナル分子を標的とした創薬を試みるという新しい概念を提唱し、疾病に関与する標的細胞内シグナルに応答する薬物カプセルや遺伝子発現制御系の構築に成功し、遺伝子治療の可能性を示唆した。2001年度からの科研費・特定領域研究「遺伝子・タ

ンパク機能評価のための新しいセンシング概念の創製」では細胞シグナル伝達に關与するリン酸化酵素の基質ペプチドを固定したバイオチップ上で、酵素の活性変化の測定を可能とした。

2002年度からはNEDO基盤技術研究促進事業の「ゲノム研究成果産業利用のための細胞内シグナル網羅的解析法」において、上記の成果をさらに発展させ、2000種類の基質ペプチドを固定したアレイを開発し、細胞内シグナルの網羅的解析のプロファイリングから、生命状態をパターン解析できる方法を新たに構築した。

2003年度から2008年度はCRESTナノバーチャルラボの研究領域「医療に向けた化学・生物系分子を利用したバイオ素子・システムの創製」(細胞対話型分子システムを用いる革新的遺伝子送達概念創成)において、細胞シグナル応答型薬物送達システム(D-RECS: drug delivery responding cellular signal DDS)という新しい概念を提唱し、標的細胞での遺伝子発現に成功した。すなわち、細胞内シグナルに反応するペプチドを多数ぶら下げた高分子の鎖分子を遺伝子キャリアーとして設計し、標的の細胞内ではシグナル(各種プロテインキナーゼやプロテアーゼシグナル)に反応して、遺伝子が発現する仕組みで、標的細胞選択的な遺伝子投与、発現を可能とするものである。

さらに、2008年度からはJST産学共同シーズイノベーション化事業において、「キナーゼペプチドアレイの創薬および診断への応用検討」や科研費・基盤研究(B)「細胞内シグナル応答型遺伝子制御分子システムによるがんイメージング法の開発」を実施し、診断および副作用のない治療が同時に適応できる次世代型医療への展開を計っている。

(2) 研究成果から生み出された科学技術の進歩

① さきがけで提唱した細胞内シグナル分子のリン酸化に着目した遺伝子発現制御を疾患細胞で実証し、細胞のプロファイリングやペプチドアレイ等の新技術開発により、阻害剤のスクリーニングや疾患の診断や治療への道を拓いた点で、基礎研究からイノベーションへの道を着実に歩んでいる。

② 細胞内シグナル分子に着目し、標的細胞における酵素活性を利用した導入遺伝子とそのキャリアー高分子設計の概念は斬新で、片山以外には世界では誰もが行っていない独創的な手法である。細胞表面から受容体を介して薬物を投与する従来の創薬設計の考え方を根底から覆すパラダイムシフトを起こすものといえる。図3-1はその概念を模式的に示したものである。

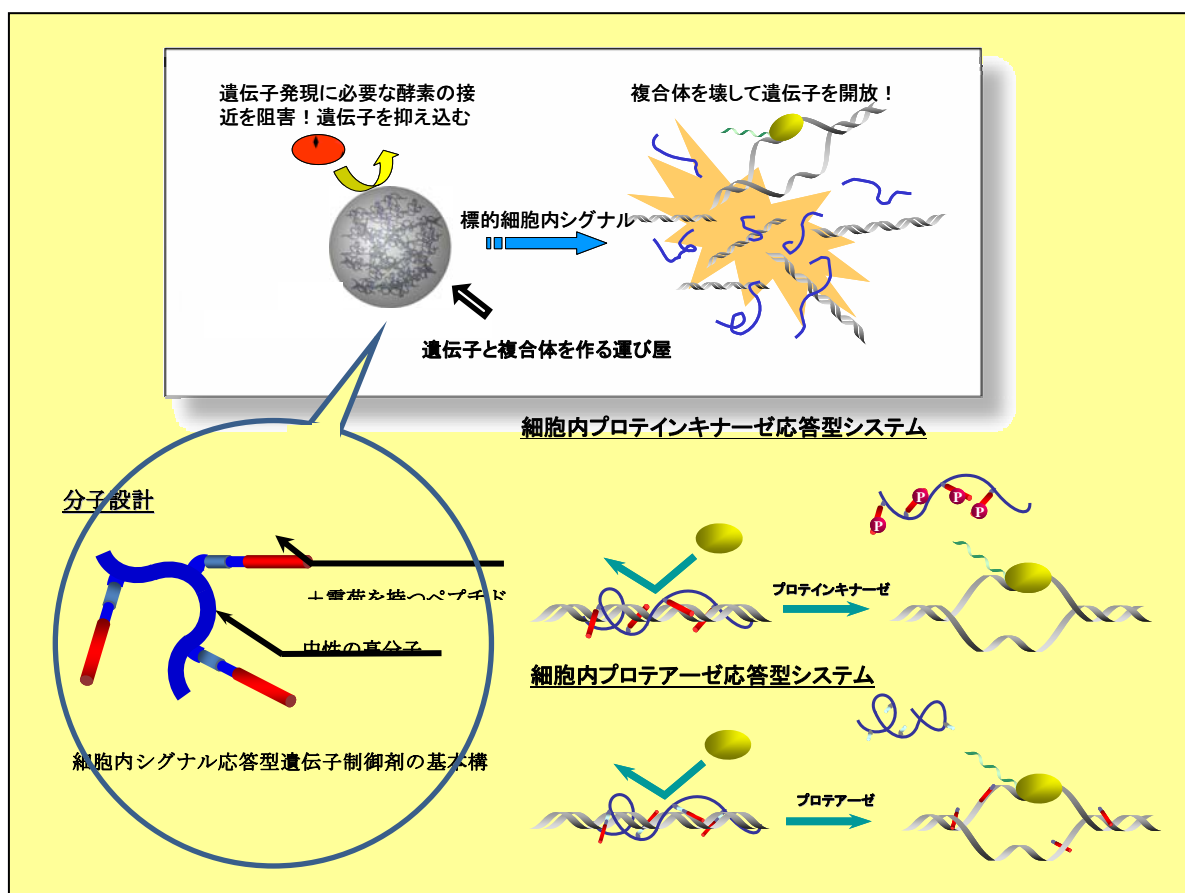
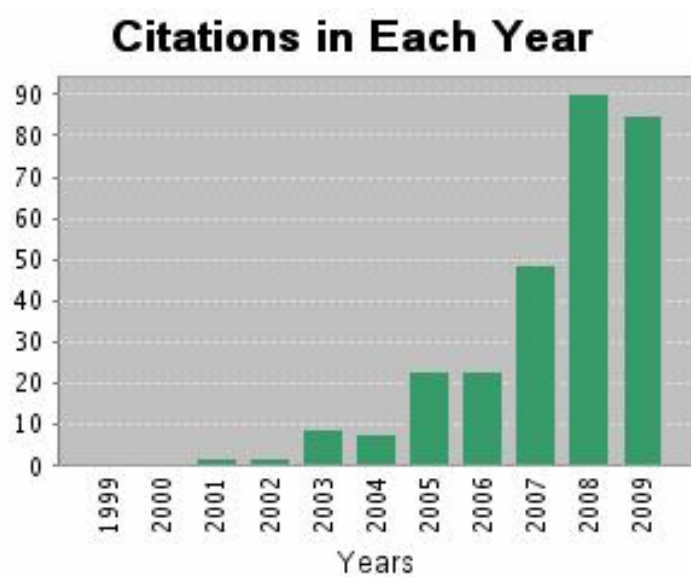


図 3-1 細胞内シグナル応答型の遺伝子発現制御剤の基本構造と制御の仕組み

②[gene & Katayama Y]をキーワードとして、Web of Science を検索した被引用論文件数の推移は図 3-2 に示すように 2005 年に以降急速に伸びている。このことは本研究が新しいものであり、他の研究者も注目していることを示唆している。



2009. 9. 1 現在

図 3-2 被引用論文件数の推移

(3) 研究成果から生み出された社会・経済的な効果・効用

① 応用に向けての取り組み

「細胞シグナル応答型遺伝子転写制御系」に関する基本特許はさきがけ期間中の 2001 年 7 月に出願され、2003 年 3 月に公開された。その後審査を経て、2009 年 4 月に登録 (P4290352) され、カナダや米国でも特許が成立している。本特許に記載されている遺伝子発現が人工分子で制御出来ることを実証した基礎研究成果は、遺伝子治療への新しい道を拓いた。また、中空ナノカプセル等遺伝子/キャリア複合体の封入の検討とともに、安定に大量合成するシステムの開発も進んでいる。

さらに、導入遺伝子にレポーター遺伝子として蛍光蛋白質などを用いることにより、多くの癌で特異的に亢進しているプロテインキナーゼ C α の酵素活性を追跡出来ることで、動物実験では癌の組織のイメージングが可能となり、診断に応用できる可能性が示唆されている。

将来的には臨床の現場にも登場するものと思われる。

② 企業との共同研究から実用化

ペプチドアレイを用いた疾患細胞のプロファイリングシステムならびにイメージング技術は、創薬研究開発の新しいツールとして有用な手段となる。実際には富士レビオ・住友ベークライト社とともに、細胞内キナーゼ解析ペプチドアレイを開発し、癌に特化した商品化を行っている。今後、癌の診断に有望な商品として期待され

ている。

(4)特筆すべき事項

- ① 片山の斬新な遺伝子治療とイメージングの研究成果は海外から着目され、2009年4月には「International Advanced Drug Delivery Symposium」に、9月には「11st Conference on methods and Application for Fluorescence」11月「3rd Asia-Pacific International Peptide Symposium」および「The sixth International forum on Chemistry of Functional Organic Chemicals」で招待講演を行っている。講演を聴講した海外の大手製薬企業の幹部からは共同研究を申し込まれ、実用化に向けての着実な一歩が進みつつあり、実用面における今後の展開が期待されている。
- ② 最新の Journal of Controlled Release で、HIV プロテアーゼ応答型を、カバーニュースでハイライトされている。
- ③ 片山は大学で合成化学を学び、化学企業で研究開発に10年従事した経験があるため、大学で研究を実施するに際にも、常に、基礎研究とその出口を意識し、研究の展開を計っている。さきがけ研究をきっかけに細胞シグナルを創薬の標的にするという独創的なアイデアを実証し、その成果が、CREST では新しい遺伝子治療という観点から医療への貢献を目指して、さらなる展開を遂げ現在に至っている。ご本人は、研究総括の才覚と度量の大きさに深く感謝しておられる。

3.2.2 金属ナノ粒子超格子の創製とナノ電子デバイスへの応用（寺西利治）

(1)研究成果の発展状況や活動状況

さきがけ研究「金属ナノ粒子超格子の創製とナノ電子デバイスへの応用」では、室温でのクーロンブロッケードを利用した微細金ナノ粒子超格子の単電子トランジスタへの応用を最終目的に、Au ナノ粒子の精密粒径制御、粒子間距離制御および超格子対称性制御法の確立を目指して、超格子における電子輸送特性を系統的に検討し、2次元パターンニングを行う方法を確立した。具体的には、弱い配位子間相互作用を誘起する有機配位子を保護剤として調製した粒径1.5~1.9nmのAuナノ粒子が、配位子間相互作用により二次元超格子を形成することを見出した。超格子の粒子間距離は、配位子の長さにより1.3~2.6nmの範囲で制御可能であった。

事後評価にて、このAuナノ粒子の合成法およびパターンニング手法は他の金属への応用が期待でき、また、均一に配列された金属ナノ粒子は光学材料、記録材料など多くの用途への展開が期待され、まずは物性測定の進展を期待する、旨の評価を得た。

さきがけ研究後の研究成果の発展を、以下に示す。

- 1)2003年度~2005年度には、科研費・若手研究(A)「金属ナノ粒子低次元超格子を用いた

ナノ電子・磁気デバイスの創製」において、Au ナノ粒子二次元超格子の対称性制御を目的に、塩基性配位子である bis-4,4'-(4,4'-dithiobutylbenzyl)-N,N,N',N'-tetraethyl amine を合成し、Au ナノ粒子の保護配位子として用いたところ、 2.4 ± 0.2 nm の超単分散 Au ナノ粒子が得られた。この塩基性 Au ナノ粒子を中和後、親水性基板に水溶液として展開することにより、三回対称疑似ハニカムあるいは四回対称正方晶二次元超格子を形成させることに成功した。さらに、強磁性 FePt ナノ粒子の液相合成法を確立するとともに、自己組織化で得られた FePt ナノ粒子超格子の熱処理による fcc から $L1_0$ への結晶構造変化や磁気特性変化を確認した。また、鎖状高分子保護 1.9 nm Au ナノ粒子の強磁性スピン偏極の直接観察にも成功した。

2)2004 年度～2006 年度には、NEDO 産業技術研究助成事業「溶媒フリー合成法によるナノデバイス用無機ナノ粒子の構造制御と大量合成」を推進し、将来の超低消費電力、超高性能ナノデバイスの構成要素となる無機ナノ粒子の一次構造（粒径、形状、組成、相構造）制御ならびに大量合成を、環境に配慮した溶媒フリー合成法を用い統括的に行い、Au、Ag ナノ粒子、 Au_{25} クラスタ、FePt ナノ粒子の大量合成、ならびに、種々の異種界面接合ヘテロ構造ナノ粒子（ PdS_x/Co_9S_8 ナノどんぐり、 $PdS_x/Co_9S_8/PdS_x$ ナノピーナッツ）の合成に成功した。

3)2005 年度～2007 年度には、科研費・特定領域研究「配位空間の化学」における「多座チオール配位子空間に閉じ込められた微細金ナノ粒子の特異電子・光物性」において、ナノ粒子に方向性と安定性を付与する平面配位型多座チオール配位子（ポルフィリン誘導体）を合成し、配位子が作り出す配位子空間を利用し微細 Au ナノ粒子を合成し、配位子-ナノ粒子間の電子的相互作用を評価することを目的とし、テトラフェニルポルフィリンのフェニル基に種々のチオアセチルアルキル基を導入したポルフィリン誘導体の合成に成功し、Au ナノ粒子表面へ配位させるとポルフィリン環-Au ナノ粒子間距離およびナノ粒子サイズに依存した電子的相互作用が発現し、ポルフィリン部位の $\pi-\pi^*$ 遷移が大きく変化することを見出した。

4) 2007～2009 年度には、科研費・基盤研究(A)「平行・垂直 π 共役系で連結された微細金ナノ粒子超格子の電子輸送特性の解明」において、短い π 共役系多座配位子で保護された化学的に安定な微細 Au ナノ粒子を合成し、Au ナノ粒子二次元超格子への π 共役系の導入と粒子間距離短縮を同時に行い、微細 Au ナノ粒子の電子量子化輸送機能により発現する超格子の電子輸送特性を明らかにする研究を進めており、Au ナノ粒子表面へ多座配位させるポルフィリンおよびフタロシアニン誘導体の合成、ならびに、微細 Au ナノ粒子の調製に成功した。

5) 2007～2010 年度には、科研費・特定領域研究「光-分子強結合反応場の創成」における「ナノ粒子超格子に基づく光電場増強場の創出とその新奇化学反応への展開」において、可視領域に明瞭な表面プラズモン共鳴吸収を示す Au、Ag ナノ粒子超格子の一次（粒径、相分離構造）・二次構造（粒子間距離、配列様式）をナノスケールで精密制御することにより、可視-近赤外領域（420～900 nm）での波長可変光電場増強空間を創出し、種々の有機分子の禁制遷移の直接励起を検討している。次にプラズモン-半導体ヘテロ構造ナノ粒子を合成・配列し、プラズモン誘起光電場増強による金属から半導体への電子移動を実現することで、半導体ナノ粒子表面における高効率可視光反応の開拓を検討している。

6) 2008 年度からは CREST 研究領域「ナノ科学を基盤とした革新的製造技術の創成」において、研究課題「高精度にサイズ制御した単電子デバイスの開発」における共同研究者として、Au クラスタへの配位性元素 S が同方向を向いた金属ポルフィリン誘導体の合成を研究し、アセチルチオ基-フェニル基間を種々のメチレン基数（ $n=0\sim 2$ ）で連結した 3 種類のポルフィリン誘導体配位子の合成に成功し、これを用いて粒径 1.3 ± 0.3 nm の微細かつ単分散な Au ナノ粒子の生成に成功した。

図 3-3 は本研究から得られた金ナノ粒子を示したものである。

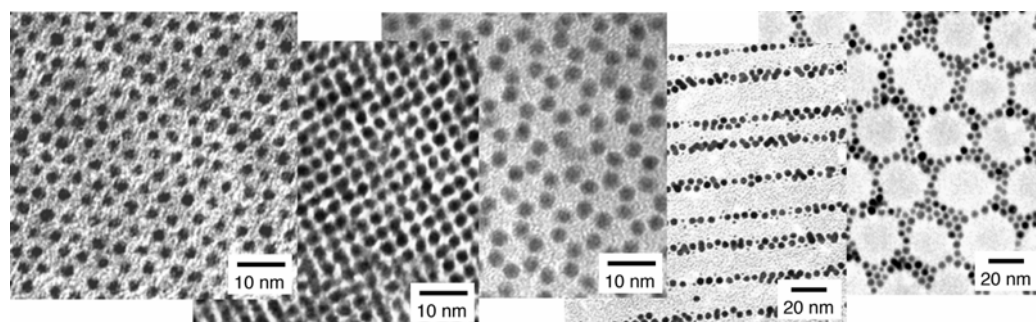


図3-3 金ナノ粒子の自己組織化による2次元超格子の電子顕微鏡写真

(2) 研究成果から生み出された科学技術の進歩

① 研究のねらいと研究成果の世界的位置づけ

寺西は、次世代電子デバイスとしての単電子トンネル素子への応用を目指して、さきがけ研究及びその後の研究を進展させた。まず、2nm 以下の粒径に精度よく制御して金属ナノ粒子を合成する技術を開発し、次に金属ナノ粒子を安定化するための適切な保護配位子を合成して、その弱い相互作用を利用してナノ粒子の自己組織化による二次元超格子の形成に成功した。本研究で開発されたナノ粒子合成技術と自己組織化技術は、ナノサイエンス・ナノテクノロジーの分野で世界の最先端を拓く重要な研究開発として位置づけられる。

このような研究開発の成功により、単電子トンネル素子を形成させるための第一歩とな

る技術的基礎が構築された。単電子トンネル素子そのものの成功のためには、乗り越えるべき多くの技術的課題が更に待ち受けているが、将来の次世代デバイスの実現に向かって重要な一歩を記すことが出来たと言うことができよう。

②[nano* & Teranishi T]をキーワードとして、Web of Science を検索したところ、被引用論文数の推移は図 3-4 に示すように、さきがけ終了時の 2003 年から急速に伸びており、2006 年以降は年当たり、250 件を超えており、研究成果が他の研究者に与える影響が大きいことが示唆された。

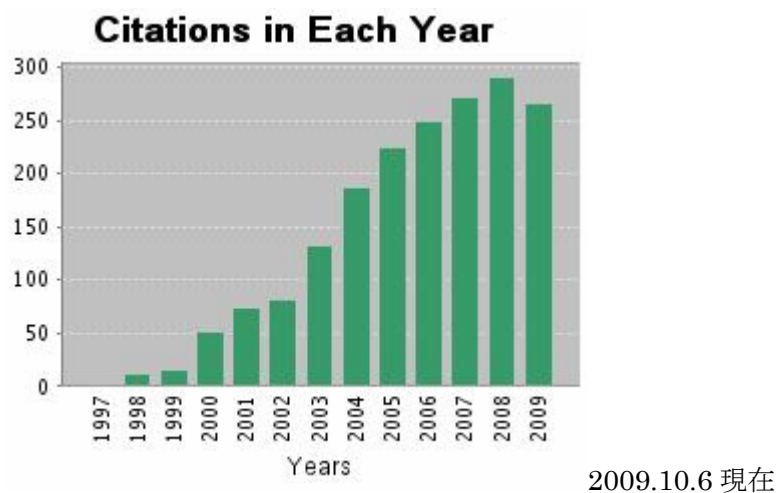


図 3-4 被引用論文数の推移

(3)社会・経済的な効果・効用を目指した応用への取り組み

本研究で開発されたナノ粒子合成技術は、単電子トンネル素子への応用に止まらず、他の種々の応用への適用が期待できる。本研究の発展として、強磁性 FePt ナノ粒子の粒径制御と配列制御に成功しており、これは、超高密度垂直磁気記録媒体への応用を拓く研究となっている。

FePt ナノ粒子には水素吸貯蔵特性が見いだされ、この特性を活かした応用も期待される。

有機カルコゲニド分子をカルコゲン源として用いることにより、精密に構造を成業した金属カルコゲン半導体ナノ粒子の合成に成功し、特に CdS ナノ粒子においては、発光量子収率が 60%に達する高品質ナノ粒子を合成することができた。本研究は発光素子としての応用を期待させる。

本研究の手法を適用することにより、 γ -Fe₂O₃ 単分散ナノ粒子の合成や、FePd/Fe ヘテロ構造ナノ粒子の合成に成功した。この成果は、現状の NdFeB 磁石の特性を上回るナノコンポジット磁石の創製に繋がると期待される。本研究は自動車会社との共同研究に発展している。

(4)特筆すべき事項

金などのナノ粒子とその超格子構造の創製に関する本研究は世界的に注目され、PacifiChem 2005 (2005 年 12 月)、「International Symposium on Organized Nanomaterials and Nanostructures Related to Photoscience」(2007 年 3 月)、「12th IUPAC International Symposium on Macromolecular Complexes (2007.08)」、「The 10th International Symposium on Biotechnology, Metal Complexes and Catalysis」(2008 年 5 月)などの国際的会議において寺西は招待講演を行った。

また、2006 年 9 月には「Gold Conference 2006 Best Presentation Award」を受賞するなど、本研究は高い評価を受けている。

3.2.3 生体膜で働くプロトン駆動のナノマシン

(1) 研究成果の発展状況や活動状況

野地氏は①磁気ピンセットによる分子操作 ②Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) による 1 分子計測の実現、③膜たんぱく質の構造機能観察という 3 つの課題を掲げて、ATP 合成酵素の研究に取り組んでいる。図 3-5 は①および②の研究課題を模式的に示したものである。

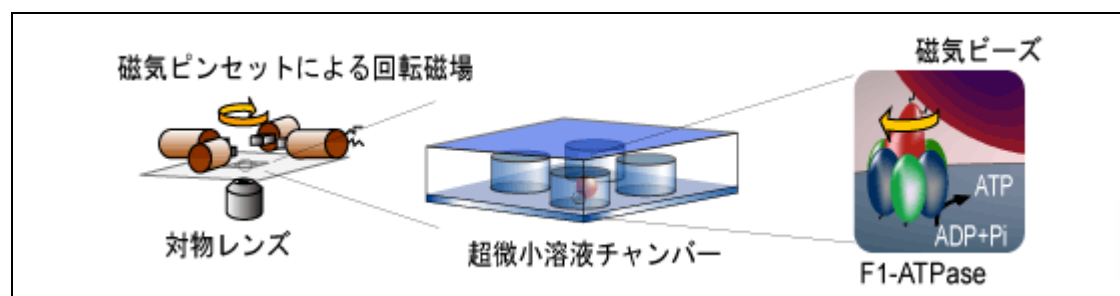


図 3-5 超微小空間における F1-ATPase の回転実験

詳しくは野地研究室ホームページ参照

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/smbio/sanken/index.html>

さきがけ研究期間中の 2001 年に東大の生産技術研究所に移ったことで、その研究環境が手伝って、②の課題であるマイクロデバイスの成果が顕著となり、2002 年度からの三菱財団自然科学研究助成の「ナノ加工技術を用いた生体分子モーターのメカニズム解明」や農研機構 新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業の「ナノ加工技術を利用した膜タンパク質のナノバイオロジー」へと展開している。さらに、2006 年

度からは科研費・基盤研究(A)「超微小溶液チャンバーを用いた生体分子1分子計測技術の開発」ではマイクロチャンバーを作製し、F1ATPaseの反応速度は回転方向に向かって上昇するモデルを実験的に証明した。この技術は化学反応そのものを検出する系として、斬新で有用である。

①の課題はさきがけの後半から、科研費・若手研究(A)「磁気ピンセットを用いた1分子操作による回転分子モーターの研究」で進め、2006年度からの科研費・特定領域研究「FoF1-ATPaseの回転動作機構の解明」で、独自に開発した磁気ピンセットを用いて、ATPaseの逆回転によりATPが合成されることも実証した。また、低温計測を導入して、F1-ATPaseの新しい反応中間体を発見するに至っている。

③の課題については、上記の2002年度から農研機構から進展し、膜たんぱく質の電位から構造観察をする新規研究手法を確立し、生体とナノ開発技術を統合した新技術の応用へと展開している。さらに、2006年度からの特定領域の「膜超分子モーターの革新的ナノサイエンス:総括班」では、学会やシンポジウムばかりでなく、未来館の実験工房で、小中学生や高校生にF1モーターを磁石で回転させる体験実習を通じて、若者の科学に対する興味をそそると言う点で、社会へ貢献している。また、回転分子モーターの1分子操作と画像解析を統合したプログラミングも開発し、生体分子の動きを視覚に訴えるという成果を挙げている。

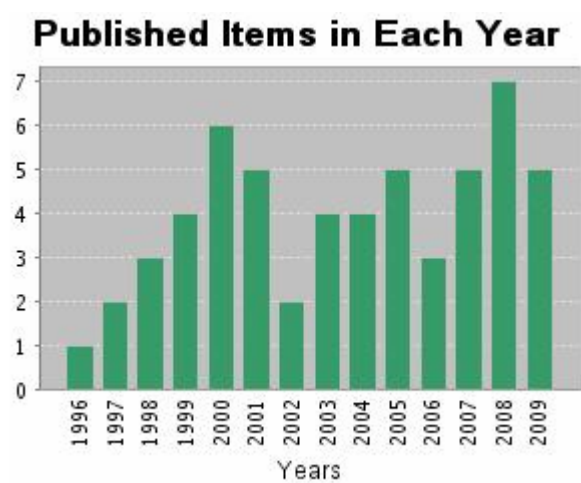
(2) 研究成果から生み出された科学技術への貢献

① さきがけ研究の成果はF型ATPaseのサブユニットであるF1-ATPaseを用いて、たんぱく質の回転と反応の側面から、磁気ピンセットによる操作技術と一分子観測を一体化して、酵素の触媒関係を高精度に解析し、「たんぱく質の形と機能を結びつける」という新しい潮流を生み出した。

② さらに1分子単位の反応を検出するために、フェムトリットル(fL)サイズのデバイスを開発し、酵素一分子単位で、化学反応を計測することを可能とした。この成果は海外のマイクロタスの学会で、基調講演に招待されるなど注目されており、世界のトップを走っている。このことは2005年にNature Biotechnology「Microfabricated arrays of femtoliter chambers allow single molecule enzymology」に掲載されている。

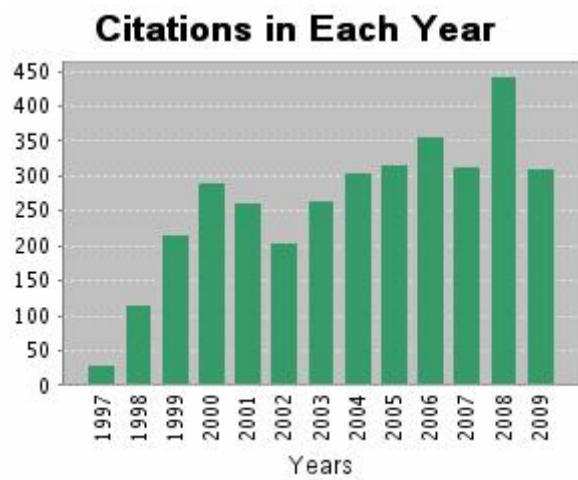
③ 2009年9月には大阪大学、北海道大学およびJSTで、「生きた細胞内ATP濃度をリアルタイムに可視化する技術開発」を共同発表し、一つ一つの生きた細胞内部のATP濃度を直接調べる方法を確立したことで、時間的・空間的にATPの挙動を追跡できる可能性を示唆した。

④ [H.Noji]をキーワードとして、Web of Science を検索した論文数ならびに被引用論文数の推移を図 3-6 および図 3-7 に示した。発表論文数は東大へ移動した直後と大阪大学へ移動した直後に減少しているが、研究は順調に伸びている様子が窺える。また被引用件数は年間平均 300 件を超え、2008 年は 450 件と増大しており、本研究が他の研究者に大きな影響を与えていることが分かる。



2009. 10. 5 現在

図 3-6 発表論文件数の推移



2009. 10. 5 現在

図 3-7 被引用論文件数の推移

⑤国際会議への参加

Gordon Research Conference (GRC) は 1931 に初回が開催されて以来、生物、化学、物理及び関連する技術の分野で最先端の研究をリードする研究者が討論する世界的フォーラムで、現在では年間 200 ものシンポジウムが開催されている。野地氏は 2006 年に、「The Molecular & Cellular Bioenergetics」の分野で招待講演" Single-molecule studies on the mechanism of ATP synthesis by F1-ATPase"を行っている。このことは本研究が世界的に高い評価を受けていることを物語っている。

また、2009 年には 4th IEEE-NEMS09 においては" Femtoliter chamber for single-molecule and single-cell analysis"を講演するなど、毎年、海外での招待講演や基調講演を実施している。

⑥人材育成の面からの参加研究者の活動状況

さきがけの同期生である浜地氏と共同研究を進め、化学的にナノサイズの分子空間を創出することにより、F1ATPase の回転のオン・オフ制御を一分子レベルで解明出来ることを、Chemistry 誌などに論文 4 報を発表している。これはさきがけの研究領域において、野地氏は化学に対しての抵抗感がなかったため、化学により 1 分子モーターを創ることが可能であると当時より考えていたことと、さきがけ終了後も、生物物理学と化学の専門家が分野を超えた研究のアイデアを結実させたための成果といえる。

(3) 研究成果から生み出された社会・経済的な効果・効用

① 教育への貢献 (教科書への掲載)

最先端の分子生物学の研究成果を新たな視点で捉えた 2009 年発刊の新規教科書「**Molecular Biology of Assemblies and Machines**」: Edited by Baumeister W, Johnson L, Perham R, and Steven A. 2009 Garland (England). に第 14 章 ATP synthase - Structure and dynamics of the smallest rotary motor proteins (Noji H and Iino R) を記載し、世界中の大学生や若手の研究者へ生物機械の構造と機能のおもしろさを提示している。

② 応用へ向けての取り組み

さきがけ終了時の 2003 年に出願した特許「一分子酵素活性検出に用いられるマイクロチャンバ」(特許第 3727026 号) は 2005 年 10 月に登録されている。本発明のマイクロチャンバは fL オーダーの一定な複数の液滴の調製が可能で、慣用の光学顕微鏡、生化学試薬等と組み合わせることにより、1 個の酵素分子の酵素活性が比較的簡単に検出できるため、産業界での応用展開が期待されている。

さきがけ終了後の 2005 年に出願した特許「膜たんぱく質分析平面脂質二重膜の形成方法とその装置」(特許第 4213160 号) は 2008 年 11 月に登録されている。本発明はバイオテクノロジー、バイオチップ、膜タンパク質分析、創薬スクリーニング、バイオセンサーに適

しており、超高感度膜たんぱく質分析装置、超高感度・多チャンネル創薬スクリーニング装置、超高感度イオンセンサーに適用可能であるため、大阪大学では食品検査におけるバクテリアのフェムトリットル計測キットとして、応用展開が進められている。

また、2006年に出願した特許「細胞検体の異物排出活性検出方法、及びその利用」は2008年に5月に公開されている（特開 2008-109883）。本特許は異物として、細胞検体内の酵素との反応する蛍光標識化合物を用い、排出される蛍光標識化合物の蛍光を観察することで、直接的な細胞検体の異物排出活性検出できるシステムについてのもの、特に病院等の臨床現場における多剤耐性菌の検出や、ヒトガン細胞の抗ガン剤耐性細胞の検出や創薬の研究開発における薬剤のスクリーニングに微量で迅速であることから画期的なツールとして利用価値が高いものとされている。

(4) 特筆すべき事項

① ATP合成酵素の研究は歴史が古く1982年にボイヤー博士により「ATP合成酵素は回転する」という仮説が提唱されたが、それから14年後の1996年にふたりの日本人研究者（野地氏と安田涼平氏）が実証した。このことは2006年7月10日の読売新聞の[SCIENCE WALK]欄で、1997年のノーベル化学賞「ATP合成酵素の回転説とNa⁺, K⁺-ATPase」の回転仮説を世界で初めて観測した記事で紹介されている。ここに野地氏の研究の原点があった。

② 2006年には第2回日本学術振興会賞を「ATP合成酵素の新しい1分子生化学の展開」と題して受賞している。野地氏は、上述の1分子計測のための顕微鏡システムと生化学的手法を駆使して、F1-ATPaseがATPの加水分解エネルギーにより回転する様子を直接観測することに世界で初めて成功したこと、同酵素がATP濃度に依存したステップモーターであることなど多くの新しい知見をもたらすことで評価されたものである。また、fLレベルの超微量溶液チャンバーやマイクロヒーターなどの独創的な1分子検出・操作技術を開発して1分子酵素アッセイ法を確立するなど、将来的にも新しいナノバイオ分野への大きな発展が期待される。

3.2.4 ナノ力学理論の開発と力学的制御による表面機能発現

(1) 研究成果の発展状況や活動状況

さきがけ研究では研究課題「ナノ力学理論の開発と力学的制御による表面機能発現」の下に、ナノテクノロジーの基礎となるナノサイズの力学の理論構築の研究を進めた。まず、ナノサイズの加工の理論的評価に向けて、非接触原子間力顕微鏡（NC-AFM）というナノメートルオーダーの探針-物質表面間相互作用とマイクロメートルオーダーのレバー振動の共存する系を第一原理的に精度高く計算するシミュレータを開発し、NC-AFM実験を再現するだけでなく予測することに成功した。同時に開発したナノ力学シミュレータを用いて、グラファイトの層間にフラーレン C₆₀を挿入させた系の超潤滑のシナリオとして、フ

ラーレン分子上の六員環とグラファイトの六員環とがナノギアを形成し、フラーレン分子の不連続的（ステップ）回転を起こしているというモデルを提示した。図 3-8 はその模式図である。

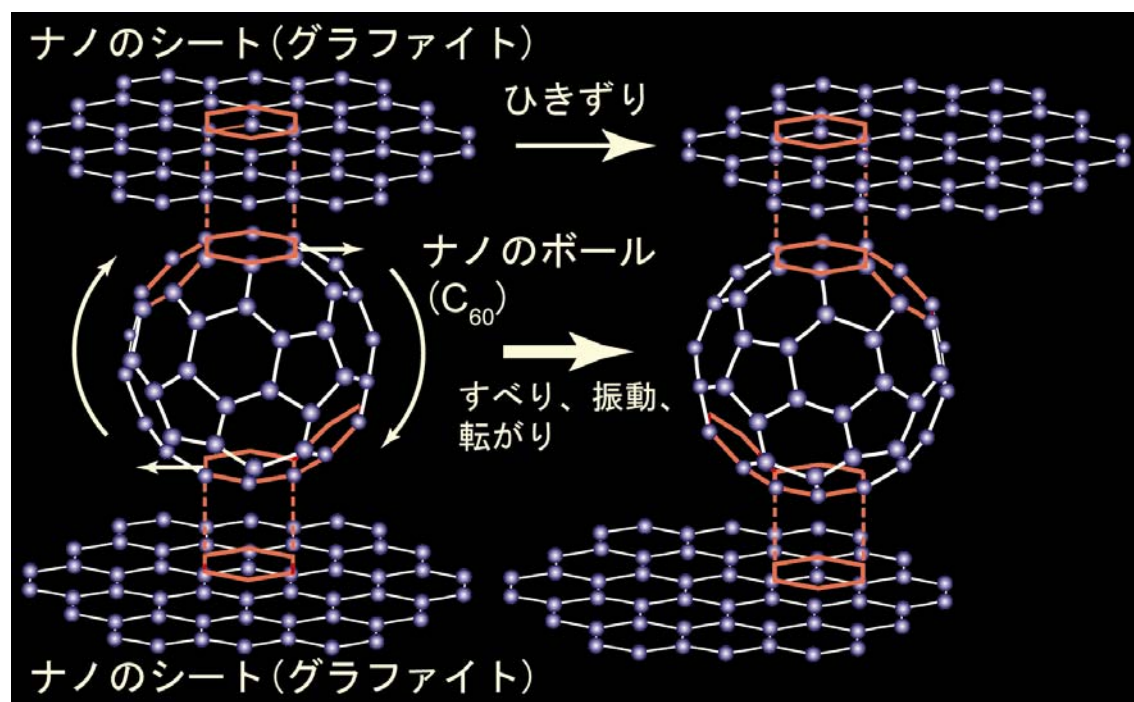


図 3-8 フラーレン分子ベアリングのコンセプト

さきがけが終了する直前の 2004 年 10 月からは JST の先端計測分析技術・機器開発事業 要素技術プログラムにおいて、研究課題「汎用走査プローブ顕微鏡シミュレータ」に参画し、顕微鏡などの計測を支援するために、実験室の PC クラスタで計測データを解析するための汎用走査プローブ顕微鏡シミュレータを開発した。

2005～2006 年度には科研費・若手研究(B)にて研究課題「グラファイト－フラーレンハイブリッド薄膜材料の超潤滑特性の理論研究」を代表者として推進、更に 2008～2009 年度には科研費・基盤研究(B)にて研究課題「フラーレン－黒鉛ハイブリッド超潤滑材料表面解析用摩擦力顕微鏡シミュレータの開発」を代表者として推進し、さきがけ研究を進展させた。

また、2004～2008 年度の文部科学省の私立大学学術研究高度化推進事業（ハイテクリサーチセンター整備事業）「人にやさしい次世代無機材料の開発と評価－プロジェクト1 ナノ材料表面の評価」、2006～2007 年度の科研費・基盤研究(B)「分子ベアリングによる超潤滑ナノマシン」及び同「摩擦ゼロの炭素系超潤滑物質の解明」には、理論面を担当する共同研究者として参加し、グラファイト－フラーレンハイブリッド系の超潤滑特性を

理論・実験両面から明らかにした。

更に、2009年度からは科研費・特別推進研究「MEMSと実時間TEM顕微観察によるナノメカニカル特性評価と応用展開」の分担者として、シリコンナノ接合、ナノ物体や極微量分子を対象に応力による変形、表面や固相内の拡散、電界による原子輸送、量子的な電気や熱の伝導などを総合的かつ実時間で測定することを目指して、研究展開を計っている。

(2) 研究成果から生み出された科学技術の進歩への貢献

①ボトムアップのナノテクノロジーの定量化と機械工学分野への適用

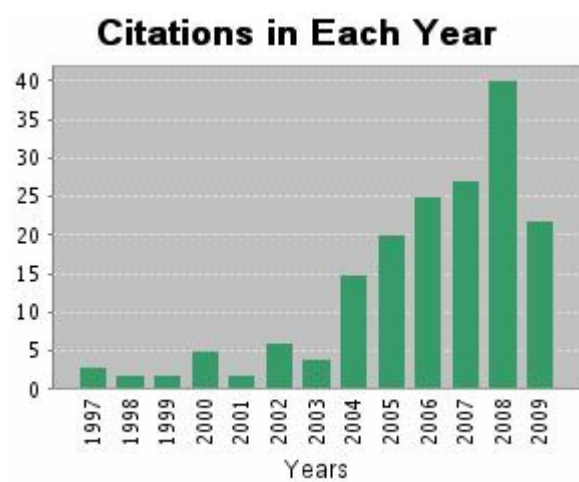
ナノサイエンス・ナノテクノロジーは、21世紀において幾多の大きなイノベーションを生み出す重要な基礎的科学・技術として期待され、我が国における重点4分野の1つとして重要視されている。特に、原子・分子の積み上げからナノサイズの構造を精度高く制御しつつ構築していくボトムアップのナノテクノロジーは、従来の技術の延長上にあるトップダウンのナノテクノロジーの限界を超えることを可能にするものとして期待が大きい。しかしながら、ボトムアップのナノテクノロジーの現状は、定量性、再現性、汎用性などに乏しく、情報通信デバイスなどに実用化されるには未だ多くの課題が残されていると言わざるを得ない。

本研究は、そのようなボトムアップのナノテクノロジーの問題点の解決を図ることを目指す1つのアプローチであり、NC-AFMにおけるナノメートルオーダーの探針-物質表面間相互作用と、それによって起きるナノメートルオーダーの物質（ナノ物質）の構造変化を定量的に明らかにすることに成功し、「ナノ加工」を現実のものに近づける成果を上げた。

また、ナノサイエンス・ナノテクノロジーにおける多くの研究が、ナノ物質の電子的特性・光学的特性、あるいは化学的特性の発現に関するものであるのに対して、本研究は、潤滑性という機械的特性の発現に関するものである点で大いに注目される。ナノテクノロジー重点化の風潮の中で、かつては大学の基礎研究の中で大きな比重を占めていた機械工学や機械的特性に関する研究が明らかに衰退している中で、本研究は新たな方向を示す研究であり、「ナノマシン」という概念の基礎をなす研究の1つとしても注目される。

②発表論文の被引用数にみる研究の位置づけ

[bearing & Sasaki N]をキーワードとして、Web of Scienceを検索したところ、被引用論文数の推移は図 3-9 に示すように、さきがけ終了後の2004年以降伸びている。これは、さきがけをきっかけに得られた研究成果が、着実に発展していることを示している。



(2009. 10.6 現在)

図 3-9 被引用論文件数の推移

(3) 研究成果から生み出された社会・経済的な効果・効用

本研究の重要な成果であるグラファイトーフラレンハイブリッド系の超潤滑性は、企業との共同研究に発展している。JST イノベーションプラザ東海は、大学等の研究成果を社会還元するための JST の活動拠点として、地域の独創的な研究成果を活用して「産学官の交流」及び「産学官による研究成果の育成」を推進している。研究課題「グラファイトとフラレンによる超潤滑システムの実用化研究」では、佐々木の共同研究者である愛知教育大学三浦浩治教授を中心に、サハシ特殊鋼株式会社、セイコーインスツル株式会社、中京化成工業株式会社、日産金属株式会社および中央発條株式会社が参加した産学共同研究が進められており、摩擦ゼロフィルムを機械・機器に適用するための技術の開発、及び摩擦ゼロフィルムをワックスやオイルに混入した新しい超潤滑性固体潤滑材の開発が進められている。

(4) 特筆すべき事項

本研究は、平成 17 年度科学技術分野における文部科学大臣表彰若手科学者賞（「計算・物性分野における表面ナノ構造の力学・摩擦理論の研究」）など多くの賞を受賞している。また、本研究の成果は世界的に注目を集め、複数の国際会議 World Tribology Congress(2009)、International Tribology Forum(2008)、International Conference on Science of Friction(ICSF:2007)で基調講演、招待講演が行われている。特に 2007 年 ICSF においては、佐々木研究室の 3 名の若手（大学院生）がそれぞれ個別にポスター部門優秀賞を獲得している。

また、2005 年には日経サイエンス 10 月号で「超潤滑」ひらめきの瞬間 21 世紀の担い手たち、ACCJ Journal (米国商工会議所の雑誌)12 月号 "In Case You Missed It" 欄に、

2007年2月18日には日本経済新聞のサイエンス欄に、2009年にはアエラ12月7日号の現代を読み解く欄「炭素の超微細ボールが拓く摩擦ゼロの新世界」などで紹介されている。

優れた研究成果を挙げる若手研究者の多くが、その分野で既に大きな実績と研究インフラを持つ主要研究室から生まれている実態の中で、本事例では、JST雇用のさきがけ専任研究者として研究が着手された。その研究成果により成蹊大学に職位を得、その後は、研究予算や研究インフラなどの面で主要国立大学と比較して必ずしも恵まれない私立大学の研究環境の中で、独自の研究フィロソフィーを貫き、優れた研究を発展させ続けていることは注目に値する。次世代の独創的研究を育成するというさきがけ研究の意義を示す重要な事例といえるであろう。

3.3 第3章のまとめ

(1) 研究成果の発展状況や活動状況

さきがけ研究採択時にはさきがけ研究者であった野地や佐々木は、終了時には助教授の職を得ている。さきがけ終了時には4名とも助教授であったが、本調査時点では全員教授の職を得て、独立して研究室を構えている。研究費として、科研費・特定領域研究、NEDOの基盤技術促進事業等の競争的資金を獲得して、基礎研究を持続すると同時に、応用研究にも展開し、大学人として後身の指導をするなど活躍している様子が窺えた。

(2) 研究成果から生み出された科学技術の進歩

野地は「たんぱく質の形と機能を結びつける」という新しい潮流を生み出した。国際会議での招待講演を実施することにより、世界的に高い評価を得ている。

片山は細胞内シグナル分子着目し、標的細胞における酵素活性を利用した導入遺伝子とそのキャリアー高分子設計の斬新で独創的な概念を創出し、従来の創薬設計の考え方を根底から覆すパラダイムシフトを起こしつつある。

寺西は、次世代電子デバイスとしての単電子トンネル素子への応用を目指して、ナノ粒子合成技術と自己組織化技術を開発し、その研究はナノサイエンス・ナノテクノロジーの分野で世界の最先端を拓く重要な研究開発として注目されている。

佐々木はナノサイエンス・ナノテクノロジーにおける多くの研究が、ナノ物質の電子的特性・光学的特性、あるいは化学的特性の発現に関するものであるのに対しては、潤滑性という機械的特性の発現に関する研究を進め、「ナノマシン」という概念の基礎をなす研究の1つとしても注目される。

(3) 研究成果から生み出された社会・経済的な効果・効用

野地はATP合成酵素の解明を通して、従来の生物学とは異なった視点で、最新の教科書を記載し、「たんぱく質の形と機能を結びつける」という新しい潮流を若手研究者へアピールすることにより、社会に貢献している。

片山の斬新な遺伝子治療とイメージングの研究成果は海外から着目され、海外の大手製企業の幹部からは共同研究を申し込まれ、実用化に向けての着実な一歩が進みつつあり、実用面における今後の展開が期待されている。

寺西は、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 単分散ナノ粒子の合成や、 FePd/Fe ヘテロ構造ナノ粒子の合成に成功した。この成果は、現状の NdFeB 磁石の特性を上回るナノコンポジット磁石の創製に繋がると期待され、自動車会社との共同研究に発展している。

佐々木の研究成果であるグラファイト - フラーレン ハイブリッド系の超潤滑性は、企業との共同研究に発展している。JST イノベーションプラザ東海において、共同研究者が、摩擦ゼロフィルムを機械・機器に適用するための技術の開発、及び摩擦ゼロフィルムをワックスやオイルに混入した新しい超潤滑性固体潤滑材の開発を進めている。

上述のように、4名の研究者を対象とした代表事例は、いずれもさがけに参加することにより、新たな研究分野を開拓し、独自の研究を展開させて、世界のトップをまさに走り続けているものであり、いずれも、独創的研究を育成するというさがけ研究の意義を示す重要な事例といえるであろう。