

戦略的創造研究推進事業

－CRESTタイプ－

研究領域「環境保全のためのナノ構造制御触媒 及び新材料の創製」

研究領域 事後評価用 資料

平成 20 年 2 月 7 日

1. 戦略目標

「環境負荷を最大限に低減する環境保全・エネルギー高度利用の実現のためのナノ材料・システムの創成」

2. 研究領域

「環境保全のためのナノ構造制御触媒と新材料の創成」(平成14年度発足)

【領域の概要】

本研究領域は、ナノオーダーで構造・組織等を制御することにより、これまでになく高効率・高選択的にかつ環境負荷を低く化学物質等を合成あるいは処理することが可能な新触媒・新材料・システム、環境負荷の低い新材料等を創製し、環境改善・環境保全に資する研究を対象とする。要するに、環境改善に顕著に貢献する「化学材料」、「化学プロセス」を創出するための「新規なナノ構造創造」あるいは「ナノ構造の新規な制御法開発」に関する基礎から応用にわたる研究を推進する。

具体的には、環境負荷の高い合成プロセスをナノ構造制御触媒により低環境負荷型に代替する技術に係わる研究、高効率分離・吸着機能・立体選択性等の高機能・新機能を有するナノ構造材料等の創製に係わる研究、すなわちグリーンナノケミストリーに加え、排ガス・排水等の環境中に存在する有害化学物質等を効率的・高選択的に分離・除去、分解、無害化するナノ構造制御触媒の開発に係わる研究、さらに、これらを組み込んだシステムの創製に係わる研究等が含まれる。

3. 研究総括

氏名 御園生 誠

(所属：製品評価技術基盤機構、 役職：理事長)
(東京大学 名誉教授)

4. 採択課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	所属・役職	研究課題	(採択 - 2008/3) 研究費累計(推)
平成 14 年度	魚住 泰広	分子科学研究所 教授	水中での精密分子変換を実現するナノ遷移金属触媒創成	444.7
	奥原 敏夫	北海道大学 教授	グリーン化学合成のための酸化物クラスタ高機能触媒の開拓	602.1
	黒田 一幸	早稲田大学 教授	高度に制御されたナノ空間材料の創製	521.5
	辰巳 敬	東京工業大学 教授	有機無機複合相の自在変換によるグリーン触媒の創製	323.7
	田 旺帝	国際基督教大学 上席准教授	高機能規整酸化物表面創生	253.5
	辻 康之	京都大学 教授	ナノ制御空間を有する均一系分子触媒の創製	307.6
	寺岡 剛靖	九州大学 教授	ナノ構造制御ペロブスカイト触媒システムの構築	291.3
	持田 勲	九州大学 産学連携センター 特任教授	表面最適化炭素ナノ繊維の新規環境触媒機能	481.1
	八嶋 建明	宮崎大学 特任客員研究員	ナノ制御置換型金属酸化物触媒による選択酸化反応の制御と応用	286.5
平成 15 年度	山元 公寿	慶応大学 教授	精密自在制御型ナノ触媒の創製	239.1
平成 16 年度	中村振一郎	(株)三菱化学科学 技術研究センター	分子の特性を最大に引き出すナノサイズ構造体がつくる場の研究	210.9
			総 研 究 費 (H14-18)	3,962.0

5. 研究総括のねらい

【領域の中で実現をねらった事項や研究成果について。科学技術・国民生活・社会経済等に対するインパクトなど、特に留意した事項。】

環境を維持改善する技術は、時代の喫緊の要請であり、その重要性はいうまでもない。中でも、環境負荷の小さい製造・製品技術や環境汚染物質を除去する技術など化学技術に寄せられる期待は非常に大きい。

本領域では、ナノサイエンス、ナノテクノロジーを基礎として、環境保全・改善に顕著に貢献する「化学プロセス」「化学材料」のための、基礎及び応用の研究を推進する。ここで、『ナノ』とは、新規なナノ構造あるいは新規なナノ構造制御法を意味する。また、『環境への貢献』とは、(1) ナノ構造制御触媒による高効率、高選択的反応を実現し、環境負荷を大幅に低減すること〈グリーンケミストリー〉、(2) ナノ構造制御により有害化学物質を効率的に除去・分解する触媒を実現すること〈環境触媒〉、(3) その他の環境改善に寄与するナノ化学機能材料〈新規ナノ構造材料〉の開発である。

本領域は、各研究者に対し、研究者の自発的研究を尊重しつつも、上記目標に向けての各研究の位置づけを明確に自覚するよう求めた。この条件で目的基礎から応用、実用にわたる幅広い研究を推進した。また、予算執行にあたっては弾力的機動的に対応するよう務め、予算配分を公開することとした。また、領域内外の共同研究を推奨した。

6. 選考方針

条件として、まず、

(ア) 上記5. に述べたねらいに合致する研究計画であり、

(イ) 研究代表者がこのねらいをよく理解していること、

(ウ) 計画を遂行するに必要な十分なポテンシャルと実績を持っていること

をあげた。ただし、ここでいう実績とは、当該研究計画に直接関わることでなくても良いが、研究者が伸び盛りで意欲の高いことを求めた。次に、基礎と応用のバランスについて、領域全体でバランスが取れていればよいこととし、基礎主体の研究から、応用への志向性の強いものまで幅広いスペクトルとなるように配慮した。ただし、基礎にあっては、応用あるいは工学研究において鍵となるものを目指すよう期待した。他方、応用志向の研究にあっても、ナノ構造を基礎として、機能を理解し設計するよう求めた。また、領域全体としては、ナノテクノロジーの進歩と環境改善技術のバランスがよくはかれるように配慮した。

採択された課題を全体としてみると、基礎から応用、物質・材料合成から機能設計、グリーン合成から環境保全技術のバランスがとれており、また、代表者をはじめメンバーの意欲はいずれも高く、これらの分野の進展に貢献する大きな成果が期待される

ものとなった。なお、進捗を加速することが望ましいと判断したものについては有力な研究者を新規に投入するなどして強化を図った。

7. 領域アドバイザー

アドバイザー名	所属	役職	任期
小野 嘉夫	東京工業大学	名誉教授	平成 14 年 8 月 - 現在
堂免 一成	東京大学 大学院工学系研究科	教授	
川合 真紀	東京大学 新領域創成科学研究科	教授	
小倉 克之	千葉大学 工学部 共生応用化学科	教授	
瀬戸山 亨	(株) 三菱化学科学技術研 究センター	ポーラスマテリアル研 究所長	
鯉江 泰行	(株) 東ソー/ (財) 相模中 央化学研究所	企画室長/事務局長・ 研究企画部長	
指宿 堯嗣	(社) 産業環境管理協会	常務理事	
志賀 昭信	ルモックス技研	化学コンサルタント	平成 16 年 8 月 - 現在
村橋 俊一	岡山理科大学/大阪大学	客員教授/名誉教授	

人選・依頼にあたっての考え方

(1) 上記ねらいをよく理解し、その分野で一級の実績があり、かつ、公正な方であること、

(2) アドバイザー全体として、触媒（均一、不均一系）、材料合成、環境化学技術分野のバランスがとれていること、

(3) 産業界の現役リーダーおよびベテランをできるだけ多く依頼し、実用の可能性、実用のためのポイント等のアドバイスを早い段階で得られること、を考慮して選考依頼した。

アドバイザーは、助言、評価を通して、研究推進に多大な貢献をした。加えて、多くのアドバイザーは、途中で実施した実用化可能性、環境貢献度の調査に際して、企画、実施、解析について実務も担当した。産業界からのアドバイザーは応用可能性の示唆、産学共同研究の発掘に大いにプラスであった。

8. 研究領域の運営

前記 5. に述べた基本的なねらいに加えて、サイエンスあるいはテクノロジーとして質の高い研究であることが重要であることを、領域全体のシンポジウム、ワークショップの全てに出席し、また、研究チームミーティング等にもできるだけ参加して説明し理解を求めた。これらのシンポジウム、ミーティング及び研究者グループとの面談をとおしての討論の回数は計 31 回となった。

当初は、基礎、応用等の多様性を容認したうえでも、研究の方向性に不統一感があったが、最初の 1 年で総括の考え方 (2. と 5. 参照) が浸透し、その後は、ほぼすべての領域が良い方向に向けて質量ともに高い水準の成果をあげはじめたので、それらについては、とくに問題もなく自由に研究を進めて貰うことができた。その他、本ナノ領域の運営で特に工夫した点は以下の通りである。

- ・ 予算配分については領域内ですべてオープンにした。このことに異論は無く、メンバーから好感を持たれたと考えている。
- ・ 発展性のある研究については、本人の申請を尊重しつつ、総括、アドバイザーの判断で機動的に予算を配分した。このことは非常に有効であった。

研究成果の外部への発表では、JST 主催で「公開シンポジウム」を 4 回開催した(内 1 回は PACIFICHEM2005 のシンポジウムを組織)。特に企業関係者へ参加を呼びかけた結果、いずれの会でも全参加者約 300 人のうち、その半数以上が企業の方々であった。日本化学会、触媒学会等では比較的少ない企業との接触の機会を、これら公開シンポジウムで多く得ることが出来たのは研究者にはよい刺激になった。

9. 研究を実施した結果と所見

・ 研究総括のねらいに対する研究成果の達成度

新規なナノ構造およびナノ構造の新規制御法を活かした化学材料を基礎に、環境負荷の低減に顕著に貢献する化学技術の創出を大目標として、基盤研究から応用研究に至る幅広い研究課題に取り組んだ。化学材料とは、触媒、電極、エネルギー変換材料、吸着剤などである。当初、方向性が不揃いと懸念もあったが、2 年目からは幅広いテーマながら共通の目的意識を持って全員が研究に精進するようになり大きな成果があがった。基礎研究で内外に注目された研究成果も多い。また、応用研究においても、将来に発展が大いに期待されるもの、応用研究の段階まで進み実用化直前の研究まで多数あり、研究領域の達成度は非常に大きく総括として満足している。

・ 領域全体として見た場合の特筆すべき研究成果

今後が期待できる研究は多いが、若干の例をあげると、

基礎研究：新表面分析法—触媒設計の基盤 (田、大西、寺崎)、新型 dendrimer 錯体—多元金属の配列制御が可能 (山元、辻)、新規ナノポーラス材料—多彩な機能材料へ

の展開可能（黒田）、両親媒性ポリマー担持金属触媒による水中有機反応（魚住）。計算化学も短期間であったが成果をあげた（中村）。

応用研究：階層制御による白金代替ペロブスカイト電極触媒―「元素戦略」上重要（寺岡）、新規ナノ制御法による高活性高選択性ゼオライト触媒―グリーン触媒（辰巳）、新規酸化物ナノクラスター触媒による有機合成（奥原、水野）、セルロースの効率的利用を可能にする高機能触媒（黒田、福岡）、ナノ構造の異なる多様なカーボンナノファイバーの製造と応用展開（持田）などがある。

・今後の研究発展への期待・課題、科学技術、国民生活・社会・経済への寄与の展望、等

科学技術で新分野を拓く基礎研究では多くの顕著な成果が得られた。特に多重金属集積 dendrimer（山元）、両親媒性ポリマー担持触媒による水中有機変換反応（魚住）、新規メソポーラス材料の合成（黒田）が今後の発展が期待される。国民・社会への寄与が早期に期待される成果では特に、カーボンナノファイバーの応用（持田）、白金代替を可能にするペロブスカイト触媒（寺岡）、メソポーラスチタノシリケート触媒（辰巳）があげられる。

今後の課題としては、将来性ある基礎及び応用の研究をいかに継続発展して次世代のナノテクに結び付けるかが最大のポイントとしてあげられる。特に基礎、基盤の研究について今後が懸念される。応用可能性のある研究については、JSTの他のしくみ、NEDOへの展開、更には既に始まっている産学協同の研究の進展を期待したい。

10. 総合所見

・研究課題、領域運営、研究成果に関する所見

いうまでもなく、環境の維持改善は時代の要請であり、環境負荷が小さく安全な製造・製品技術や環境汚染物質を効率的に除去・無害化する技術など、環境化学技術に寄せられる期待は大きい。本領域は、ナノサイエンス、ナノテクノロジーを基礎として、環境保全・改善に顕著に貢献する「化学プロセス」「化学材料」を実現するための、基礎及び応用の研究を推進するもので、時代の要請にマッチした研究領域である。

5（研究総括の狙い）に述べたねらいのもとに選考された一線級の研究者らは、基礎と応用のバランスがよく取れており、いずれも研究意欲が高く、ほぼすべての領域において優れた成果を質量ともにあげただけでなく、領域全体としてのコヒーレントな進展を見せ、領域目標にふさわしい基礎から応用にわたる成果が上がった。例えば、国外論文発表は、Nature, Science 7 報を含め 881 報に、特許出願は 132 件にのぼる。2005 年末に開催した国際シンポジウム（PACIFICHEM2005、ハワイ）、およびポーラス材料・環境触媒とバイオ燃料のシンポジウム（札幌、2006、2007 の 2 回）等は、多くの参加者を得て活発な討論があり、本領域のレベルの高さを示すこととなった。

研究成果は、独創的なナノ細孔材料、斬新なマクロ配位子錯体、新規な固体表面のナノ構造測定のような**ナノサイエンス**から、高機能を有するナノ触媒・環境材料、ナノカーボン材料などの広い**ナノテクの応用分野**にわたっている。基礎にあつては、科学としてインパクトがあるだけでなく、応用のための基盤として期待されるものであり、応用にあつては、実用化に近い成果を含んでいる。以上、本領域の研究は全体としては質量ともに大きな成果をあげることができた。

運営面で特記したいことは、第2年度から、共同研究の推奨、研究資源の機動的投入、新規研究者の参加、アドバイザーを含む外部からの適切な助言により各研究を積極的に支援したが、このことにより研究の加速が実現できたと思う。これらは研究資金の配分額を含め思い切つてすべて公開したが、好結果をもたらしたと考えている。また、中間評価を受けて、各研究課題の環境改善技術としてのポテンシャルの調査をアドバイザー、研究者の助けを得て実施した（結果は時間がかかったがニュースレターNo.2で公表した）。当然、応用、実用までの距離は研究課題によって非常に異なるが、この調査の実施は領域全体の意識を揃える点（例えば、本領域における環境の概念、応用の位置づけ）で大いに効果があり、その後は、研究者も総括も安心して各研究の自由な展開に委ねることができた。なお、中間評価においてやや問題があるのではないかと感じた点は、応用、実用に対するCRESTの理念（本音と建前）が評価者、研究者、JST担当者間で事前に十分に共有されていなかったことである。

・感想など（ニュースレターNo.3から）

5年余りにわたったCREST研究「環境保全のためのナノ構造制御触媒と新材料の創成」（環境ナノ触媒）プロジェクトが平成20年3月で完了する。参加された研究者の皆様の真摯な努力が、多くの見事な成果を生み、そして、それぞれが次のステップに向けて発展しつつあることを喜んでいる。参加された多くの研究者、継続的な助言を惜しまれなかったアドバイザーの先生方、厄介な事務的・技術的な支援を続けてくれた研究事務所のメンバー、資金援助にとどまらず親身な応援を頂いたJST本部の担当の方々、等々関係された皆様全員に対して深甚な感謝の意を表したい。

研究総括としても、大変勉強になった5年間であった。何といたっても一番の感慨は、研究者個人・グループの継続的な研究に対する熱意と努力が次第に大きな果実へと結びついていく様子を目のあたりにしたことである。このような経験をする機会が与えられたことを非常に感謝している。

本領域は、斬新なナノ構造および新規なナノ構造制御法を開発して、それをベースに環境改善に顕著に貢献する化学材料、化学プロセスを開発する、あるいはその可能性の高い要素技術、材料、コンセプト、萌芽的研究を創出することを大目標とした。当初、大目標に対する認識にばらつきがあつたが、次第に研究の多様性を互いに受け入れつつも、大目標が共通の認識となつていき、全体としての大きな推進力を実感で

きるようになった。その結果、5年間で十分に満足いく成果が得られたと考えている。しかし、個々の研究も、大目標への道も、終わりがあるわけではなく、継続発展させるべきものである。近い将来に、さらに素晴らしい成果が生まれてこそ本プロジェクトの意義が再確認されることになる。

いま、持続可能な21世紀を支える健全な科学技術が求められている。研究者各位が、本ナノテクプロジェクトの経験と成果を踏まえて、上記科学技術の不可欠な要素となりうるような化学技術を、次世代の新ナノサイエンス、ナノテクノロジーを通じて創出されることを期待する。また、JSTはじめとする研究資金機関がこのような流れをさらに加速するよう支援されることを強く望みたい。