

## CREST 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製」 追跡評価報告書

### 総合所見

本研究領域は、環境負荷の低減や環境改善に資するため、原子・分子レベルで構造を制御したナノ触媒材料・触媒プロセスの創出を目標に、2002年から2007年にわたって、ナノ構造の精密制御と解析、環境にやさしいナノ触媒の合成、基礎的な解析から応用、理論まで、11の研究課題が幅広く進められ、事後評価において、領域のねらいは高いレベルで達成されたと評価されている。

研究領域終了から5年が経過したが、その間の研究代表者の研究助成金獲得状況、論文・特許等の発表状況、一部代表者のインタビューなどの追跡調査結果等から、いずれの研究課題も着実な発展を遂げており、CREST研究の成果が十分に活用されていると判断される。

まず、論文発表と特許出願の状況は、研究領域終了後も期間中の高いレベルを維持している。また、ほとんどの研究代表者がナノ構造体の研究で多数の科学研究費補助金(基盤研究S、1件を含む)やCRESTを含むJST事業に採択され、より高いレベルで研究を発展的に継続している。さらに、文部科学省のプロジェクトやNEDOのプロジェクトなど、より川下の事業に採択されて研究が継続されており、社会的・経済的ニーズの実現に向けて、インパクトの大きいイノベーションを創出するというCRESTプログラムの目標が達成されつつある。企業でパイロット試験が行われている例を含め、産業応用を目指しての開発研究も着実に進んでおり、将来的にはさらに大きな社会的・経済的波及効果が期待できる。

期間中の成果が元になった評価として、各種受賞件数にも目を見張るものがある。辰巳のAlwin Mittasch Prize2012は、特筆に値する。また、新聞報道や学術雑誌におけるトップペーパーとしての評価も多い。これらは、期間中の成果がさらに発展した結果でもあり、事後5年間においても高い環境保全思想に支えられた科学技術として、高い評価を与えるべきである。最後に、期間中に研究に携わった多くの若い研究者が、それぞれの分野の課題をかかえ新規な大学、研究所などのスタッフとして次々に独立しており、人材育成の観点からも本領域研究を高く評価できる。

### 1. 研究成果の発展状況や活用状況

研究領域終了後5年間の研究代表者の研究助成金獲得状況、論文・特許等の発表状況、一部代表者のインタビューなどの追跡調査結果等から、いずれの研究課題も着実な発展を遂げており、CREST研究の成果が十分に活用されていると判断される。

研究助成金獲得状況に関しては、科学研究費補助金(1千万円以上)が14件、CRESTを含むJST事業が5件、NEDO事業が3件、その他3件が採択されている。中でも、水野の最先端研究開発支援プログラム(FIRST)及び黒田の元素戦略プロジェクト<産学官連携型>は、国家戦略への中心的な関与を示しており、魚住、辰巳、持田がNEDOプロジェクトで研究開

発を継続している点も、研究領域の成果が産業応用研究に発展していることを示している。

論文の発表状況を見ると、研究領域期間中の研究代表者の論文数が 387 件であるのに対して、終了後には 435 件の論文が発表されており、その内の 316 件が責任論文(代表者が 1st Author か Last Author の論文)であり、研究領域終了後も研究者によってばらつきはあるものの活発な研究活動が継続されていると言える。

特許に関しては、研究領域期間中の出願数は国内 87 件、海外 31 件であり、そのうち、それぞれ、31 件と 15 件が成立している。特に、持田の成立件数(国内 12 件、海外 1 件)が突出している。終了後は出願数が国内 40 件、海外 13 件と減少はしているが、期間中の持田の出願数が突出している点を差し引けば、それほど差はなく、成果の特許化の傾向は維持されている。

成果の活用状況に関しては、国家戦略的な活用や産業応用を目指した活用が目立つ。(故)奥原、水野らの酸化物クラスター触媒に関する研究は、その後、より複雑な酸化物クラスターの合成が可能になり、上述のように、水野は 2009 年度から FIRST プログラムを主宰するに至っており(2013 年度終了)、国家戦略として国益に結び付く方向で有効に活用されている。また、空間を制御した材料創製を目指した課題は特に顕著な発展を見せ、さまざまな組成を有する、規則的かつ大孔径・高表面積のマテリアルが合成できるようになってきている。この分野の広がりには、黒田らの元素戦略プロジェクト<産学官連携型>をはじめ、ナノ空間材料の利用に JST、NEDO などの資金の集中からも明らかである。

産業応用に関しては、辰巳の新規ゼオライト触媒 Ti-MWW がドイツ BASF 社においてパイロットプラントで試験中であることを筆頭として、企業との共同研究に発展し、特許も企業と共願している例も多い。さらに、上述のように、NEDO プロジェクトとして継続している例も含めれば、相当の成果が活用を目指した方向に発展している。

また、共同研究に発展した事例として、山元・田らの新学術領域でのナノサイズの白金触媒における共著論文、寺岡のインドとの二国間共同研究での触媒開発、持田・尹らの韓国でのカーボンナノファイバー触媒の展開、中村の理化学研究所での分子レベル計算科学への展開が、顕著な発展的活動として挙げられる。

## 2. 研究成果の科学技術的および社会・経済的な波及効果

### 2.1 科学技術の進歩への貢献

本領域は、環境負荷の低減、環境改善及び環境保全に資する化学材料・化学プロセスの創出をナノ材料・ナノシステムをもって実現することを目的としたものであるが、新規なナノ構造体の創造・ナノ構造の新規な制御法開発および環境に貢献する化学材料および化学プロセスの創出の両面において、その後の科学の発展に顕著な影響を与えた。

黒田、辰巳らは、いずれも現在のメソ構造体研究の分野で中心的な役割を果たし、世界をけん引する立場に立っている。産業的な利用には、まだ克服すべき課題が残っているが、触媒科学、材料科学に革命を起こす可能性をもつ分野であり、その確立に本領域が果たし

た役割は大きい。黒田の開発した新規メソ多孔体では、ブロックコポリマーとの複合系から大孔径のメソポーラス白金や金の合成に成功し、新たな電極材料や触媒としての利用が期待される構造体として技術基盤の確立と進歩が注目され、新聞報道等がなされた。辰巳の期間中の成果である新型ゼオライト Ti-MWW 触媒は、新規触媒への展開が図られ実用化が前進している。また、らせんのキラルメソポーラスシリカの合成、ゼオライト酸化触媒への展開が注目できる。

有機化学の視点からは高分子と錯体触媒の接点で波及効果の大きな研究が達成されたことがわかる。魚住らの錯体触媒の両親媒性高分子への担持、辻らの活性中心近傍の立体保護、山元らの dendrimer の関与による金属クラスターの精密合成などは、いずれもオリジナリティーの高い新しい概念を当該科学分野に提唱したものであり、その科学技術の進歩に果たした役割は重要である。魚住の金属錯体触媒系 NEDO「高機能不均一触媒の開発と環境調和型化学プロセスの研究開発」では水中かつ不均一系にて芳香族アミン類(有機 EL 用ホール輸送材)の合成に成功、鈴木-宮浦反応、ならびに高分子-パラジウム複合体の「分子もつれ」なる新方法のように、実用性のある新規ナノ化学、材料開発として大きく進展している。また、マイクロ反応デバイスや両親媒性レジン触媒が新しく展開している。辻は dendrimer に配位基を結合させパラジウム析出を抑制した。この考えをナノサイズ半球ホスフィンへと進め非金属との組み合わせで発展を図っている。銅、ニッケルから新規な安息香酸合成まで広く展開している。山元の精密自在制御型ナノ触媒の創製では、フェニルアゾメチン dendrimer を基盤とした金属集積法、クラスター合成、多電子移動触媒等への展開がなされ、ドデシルカチオン種を用いた新規方法に展開し新規クラスター合成へと触媒調製技術として前進させ、触媒の応用範囲を拡大させた。また、田と山元の共同研究は、CREST 研究が目指すバーチャルネットワーク型研究所というコンセプトが実現し、発展した好例である。

## 2.2 社会・経済的な波及効果

本領域の成果は、(故)奥原の薄層担持ヘテロポリ酸が研究領域期間中に工業的グリーン合成に適用されたのに続いて、終了後も産業的利用に向け顕著な発展を遂げている例が多く、将来的にはさらに大きな社会的・経済的波及効果が期待できる。知的財産形成の点から見ても、期間中、終了後を通じて、総じて積極的な特許出願が行われている。特に、持田らの炭素ナノ繊維の製造と、環境浄化材料としての研究において、この視点からの貢献が多大である。

産業的利用に向けた発展の代表的な例は、辰巳の新規な Ti-MWW 型ゼオライト触媒の合成法の確立である。ドイツ BASF 社は Ti-MWW 触媒による酸化プロピレン製造のパイロットプラント試験中であるが、これが実現すれば、環境に優しいプロセスとして大きな社会経済への波及効果が予想される。なお、辰巳は、この貢献が評価されてドイツ化学技術・バイオテクノロジー協会の Alwin Mittasch 賞を受賞した。その他、ナフサ熱分解の高効率触媒

プロセスへの転換の基礎技術となるゼオライト触媒のナノサイズ微細化など、一貫して、環境にやさしいプロセス開発の筋をつらぬいており社会への波及効果は大きい。

魚住の期間中の両親媒性共重合レジジン水中不均一金属錯体触媒もクリーン合成の思想のもと NEDO プロジェクトに発展し、有用有機合成に利用されているだけでなく、有機電子材料への合成的応用にまで広げている。電子デバイス洗浄剤の製造や水中酸化反応でカルボン酸合成も、現状の化学プロセスに代替する技術として発展する可能性を示している。

黒田のメソ多孔体の合成と構造解析は、金属にナノ構造を付与し、光学物性や触媒活性の機能を発現させることができ、有用な素材として活用が期待される。ナノ構造の付与は、希少金属の使用量を軽減する技術として元素戦略的に貴重である。企業と共同で市販品としても量産され、乾燥剤、消臭剤にも利用され、光学材料、熱電材料、医療材料への応用も検討されている。

その他、水野の「新方式の電池ー酸素ロッキング電池」、辻の「二酸化炭素から安息香酸の合成」、持田の「カーボンナノファイバー技術」なども産業応用による社会・経済的な波及効果が期待される。

### 3. その他特記すべき事項

本研究領域は、環境負荷低減、環境保全・改善を目標に、材料・化学にしばって、またナノ構造体かつ固体触媒に焦点をしばり一丸となったが故に非常に効果的に成果をあげることができたものと推察される。触媒は化学工業の新たなプロセス開発を切り開く決め手であるが、世界の基礎化学品製造分野において、天然ガス、石炭、バイオマスなどを幅広く活用する技術が生まれつつある。ただし工業的には米国や中国が先行していると言わざるを得ない状況にあるので、本領域において新たなナノ構造体が開発され、触媒反応さらにプロセスへの展開がなされたことは特筆すべき成果である。今後も化学工業の発展に必須であるこのような課題を集中的に研究するチャンスを JST は設けてほしい。

以 上