

ERATO「中嶋ナノクラスター集積制御」プロジェクト 追跡評価報告書

1. 研究成果の発展状況や活用状況

本プロジェクトはナノサイズのクラスター物質の機能解明を行いながら、精密に構造と集合形態を制御することによって、クラスター物質を核とするナノ集積物質科学を確立し、ナノデバイス創成の新しい道筋を提示することを目的として研究が行われた。

研究終了後も研究総括の中嶋ら本プロジェクトの主要メンバーは科研費等の競争的研究資金を継続的に獲得し、本プロジェクトでの研究成果を深化させ、提案内容を検証してきた。例えば、本プロジェクトにおいて開発したナノクラスター源 nanojima®は企業との共同開発により製品化された。さらに、この装置を用い、気相法により生成したナノクラスターを直接液体中に打ち込むという斬新な手法により、従来の 10 万倍以上の効率でナノクラスターを大量合成することに成功した。精密にサイズ制御されたナノクラスターが大量に得られるようになったことで、ナノクラスターの多面的な分析が可能となり、その構造や反応性の理解が大きく前進した。また、ナノクラスターとの複合化が期待される有機分子薄膜における電子ダイナミクス解明に大きな進展が見られるとともに、本プロジェクトで導入した評価装置を活用して開発された 2 光子光電子顕微鏡を用いて、有機分子薄膜に埋もれた界面でのプラズモン伝播の可視化などの顕著な成果が生み出された。ナノクラスターの有望な機能の一つとしては触媒への利用があり、nanojima®により精密合成された白金ナノクラスターの触媒活性に関する研究成果が注目されている。一方で、貴金属ナノクラスターや合金ナノクラスターの合成・特性評価は世界中で精力的に研究されており、研究総括が初めて実験的に合成し、nanojima®による大量合成も可能となっている金属内包シリコンケージクラスター研究の追究が、より特長を出せるのではないだろうか。また、今後は、やや遅れているナノクラスターの集積やデバイス展開への取り組み強化にも期待する。

本プロジェクト期間中の成果論文は 51 報、プロジェクト終了後の発展論文は 22 報であった。その中には、世界的に著名な論文誌での掲載も多数含まれる。特許出願はプロジェクト期間中に 6 件、プロジェクト終了後は 3 件であった。プロジェクト終了後に研究総括は独フンボルト賞、分子科学会学会賞などを受賞し、その業績は国内外から高く評価されている。本プロジェクトのメンバーは研究期間中に国内外で 38 件、プロジェクト終了後に 24 件の国際会議での招待講演を行っており、成果論文の被引用数も堅調に伸びているが、今後その勢いを加速させるためには、専門誌に加えて、読者数の多い一般誌へ論文を掲載し、異分野の研究者にも広く研究成果を周知する努力も望まれる。

2. 研究成果から生み出された科学的・技術的および社会的・経済的な波及効果

(1) 研究成果の科学的・技術的観点からの貢献

本プロジェクトの研究成果の科学的・技術的観点からの貢献として、①気相法に基づくナ

ノクラスターの選択的大量合成法の開発、②精密合成されたノクラスターの反応性・触媒効果の解明、③2光子光電子分光法による有機分子薄膜の電子ダイナミクスの解明と2光子光電子顕微鏡法の開発などが挙げられる。これらの研究成果により、ノクラスターに関する様々な物性評価が可能になるなど、ノクラスター分野の研究の更なる深化や、応用技術の開発によるノクラスターの用途拡大などの波及効果が期待される。特に、金属内包シリコンケージクラスターや典型元素内包アルミニウムケージクラスターの研究には科学的観点から高いオリジナリティーが認められ、これをさらに推進することで、貴金属ノクラスターにはない日本発の未踏物性・機能の発現を今後期待したい。

また、金属内包シリコンケージクラスターは、欧米においても同様のプロジェクトが実施されるなど、新しい学問分野を形成しつつある。その中で、研究総括らは、アメリカ化学会のレビュー論文誌にこのテーマで論文を発表し、ノクラスター分野の主要国際会議で継続的に招待講演を行うなど、その研究が世界的にも認められている。

(2) 研究成果の社会的・経済的観点からの貢献

ノクラスターの研究分野では、理学的な基礎研究を行っている研究者が多い中で、本プロジェクトでは、社会実装を意識した研究に果敢にチャレンジし、成果を挙げている点は評価できる。本プロジェクトの研究成果の社会的・経済的観点からの貢献としては、①気相ノクラスター源 nanojima®の製品化とクラスターの大量合成技術の開発、②精密合成された白金ノクラスターの触媒効果の解明などが挙げられる。①のノクラスター源については株式会社アヤボとの共同開発により、既に数台の納入実績がある。また、大量合成技術については、気相法に加え、より実用的な液相法での合成技術にも着手した点は評価できる。高分子保護合金ノクラスターの合成については、他の研究者も追従しており、拡がりを見せている。②に関しては、サイズ特異性による触媒の高効率化により、燃料電池の電極触媒に用いられる希少貴金属の使用量を低減する技術として注目されている。この研究成果に関連する特許がトヨタ紡織株式会社と共同で出願され、連名でのプレスリリースもなされている。本プロジェクトに関連したプレスリリースは、研究期間中と研究終了後を合わせて、本件を含め9件に及び、研究成果が適切に社会へ発信されている。

本プロジェクトの戦略目標「異分野融合による自然光エネルギー変換材料および利用基盤技術の創出」の達成に向けては、有機分子薄膜の光電変換過程における電荷分離に関する知見や2光子光電子顕微鏡法による表面プラズモンポラリトンの可視化など、有機太陽電池等の光電変換デバイス開発のための基盤技術となる成果が得られていることがあげられる。ノクラスターの大量合成も可能になってきており、実際の自然光エネルギー変換材料の創製と利用基盤技術の創出を推し進める段階にきているものと考えられる。

(3) その他の特記すべき波及効果

本プロジェクトに参加した多くの若手の研究者が准教授などにキャリアアップし、ナノ

クラスターやその関連分野の研究で成果をあげており、人材育成に貢献した。それぞれが継続的に科研費の研究代表者を務めており、今後もこの分野の担い手としての活躍が期待できる。また、研究総括は2019年にクラスター物質科学に関する国際ワークショップを主催し、当該分野での研究コミュニティの醸成にも貢献した。

以上により研究成果の発展や活用が認められ、科学的・技術的あるいは社会的・経済的な波及効果が生み出されている。

以上