

プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成26年1月7日

評価委員：（敬称略、五十音順）

秋吉一成 京都大学大学院工学研究科 教授
 加藤隆史 東京大学大学院工学系研究科 教授
 河本邦仁 名古屋大学大学院工学研究科 教授

確定年月日：平成26年2月25日

プロジェクト名	有機分子ネットワークによる材料創製技術
研究責任者の氏名・所属・役職	一ノ瀬 泉 高分子材料ユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>優れた分子機能をもつ巨大分子（導電性高分子、配位高分子、超分子ポリマー、機能性色素、フラレン誘導体、無機ファイバー等）を合成し、精密なネットワーク構造を設計することで、材料としての革新的性能の実現を目指す。分子ネットワークとしては、多官能性モノマーからのソフトマターの創製、巨大分子の架橋化による多孔性シートの構築、相分離や超分子相互作用による直鎖状高分子のネットワーク化、ネットワーク錯体による多孔性物質の設計などを含む。本プロジェクトでは、ナノメートルからサブナノメートルスケールでの網目状の分子集積構造を設計することで、固液相変化による力学特性制御、分子やイオンの高選択透過、高速電気化学スイッチング、高性能のガス吸着特性などを実証する。また、構造解析と物性理論ならびに物質移動論に立脚した「分子ネットワークの材料科学としての学理」を構築し、情報通信、環境・エネルギー、医療などへの応用が可能な革新的な材料を提供することを目的とする。</p> <p>本プロジェクトでは、高性能の材料・デバイスを創出するための物質設計の基軸となる概念として「精密分子ネットワーク」を捉え、電子・イオン移動の高速化、吸着や物質透過の制御、エネルギー変換の効率化などを合目的的に実現することで、世界的なデファクトスタンダードになりうる有機・高分子材料を創製する。これにより、我が国の国際競争力を強化し、同時に、21世紀の環境・エネルギー問題の解決と新産業の創出に貢献することができる。</p>
研究内容	<p>本プロジェクトは、3つのサブテーマにより実施する。サブテーマ1では、精密分子ネットワークの設計により革新的な分離機能材料を探求する。分離対象としては、水や二酸化炭素などの環境・エネルギー分野における基幹物質に着目し、エネルギー効率に優れたガス分離材料、液体の高速透過を可能にするナノ分離膜の開発を行う。サブテーマ2では、有機合成や超分子化学の手法により、既存の材料を凌駕する光・電子機能を開拓することを目指す。サブテーマ3では、電気伝導性やイオン、分子の透過性に優れた高機能材料を薄膜状に集積し、有機トランジスタや電子ペーパー、スマートウィンドウ、高速駆動アクチュエーターとしてのデバイス機能を実証する。また、多電子光化学反応の高効率化の検討も行う。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>サブテーマ1では、$200\text{m}^2/\text{g}$以上の比表面積をもつ高分子ナノファイバーを大量に製造する技術を確立し、石油随伴水の高効率浄化技術としての評価を行う。また、高強度NF（ナノ濾過）（またはRO（逆浸透））膜を開発し、企業における社会実装をサポートする。サブテーマ2では、従来材料の性能を遥かに凌ぐπ電子系高分子や発光性分子を開発し、有機デバイスとしての基本物性を解明する。また、相溶性に優れた液状有機色素を開発し、発光材料としての実証実験を行う。サブテーマ3では、高移動度有機FET（電界効果トランジスタ）を開発し、高性能有機電子デバイスを開発する。</p>

	<p>タ)の構築と集積化、デバイス機能の実証を行う。また、酸化還元反応に伴う発色性や、アクチュエーターとしての力学的特性の変化を評価する。</p>
<p>平成23年度～平成25年度中間評価時までの主な研究成果(アウトプット)及び研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</p>	<p>1) 主な研究成果(アウトプット)： 物質創製の観点からは、電導性が著しく大きな有機材料、加工性に優れた発光性の有機材料が開発されており、それらの薄膜化やデバイス特性の評価が進んでいる。特に、マルチカラーの発光材料は、2013年にNature姉妹誌に掲載され、印刷中の論文もあることから、NIMSの強みになりつつある。重要な物質には、国際特許が出願されており、関連する応用特許も出願件数が増えている。特に、エレクトロクロミズムを利用するスマートウインドウの研究では、材料としての耐久性、プロセスの信頼性の研究が進められており、企業レベルでの性能・コストの評価が進んでいる。一方、分離機能材料の研究では、有機溶媒耐性のナノ濾過膜(Science 2012)、限外濾過膜の研究が進められており、企業とともに、大面積化に向けたプロセス技術が検討されている。また、メソ多孔性の高分子吸着材(Nature Communications 2013)では、石油随伴水の浄化に向けた実証研究が進んでいる。表示デバイスであれ、吸着材料であれ、材料として使われるためには、長期的に性能を維持することが不可欠となる。これには、様々な切り口が考えられるが、汎用の高分子材料との複合化は、今後の重要な課題になろう。本プロジェクトでは、3年目までに実用化が見込める材料を見出すことを目的としていたが、ガス吸着材料、水処理膜、スマートウインドウでは、その目標が達成されていると考えられる。有機材料では、やや出遅れ感があったが、マルチカラーの発光材料のラインナップが揃いつつあり、具体的な用途が定まりつつある。</p> <p>2) 研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)： 優れた有機・高分子材料を開発し、事業化していくことは容易でない。しかしながら、本プロジェクトでは、当初から達成目標を明確にして、目的に応じた材料性能の向上を目指してきた。その結果、高比表面積のネットワーク状高分子ナノファイバー、有機溶媒耐性のNF(またはR0)膜、酸化還元型の表示材料では、初期の段階から実証研究が進行しており、要求性能を向上させるための材料設計へのフィードバックが実現している。これにより、量産化、大面積化、スイッチング性能の向上が実現し、出口イメージがより明確になってきた。特に、分離機能材料では、高性能の吸着材とナノ分離膜を同時に研究することで、海外の資源開発に関連する巨大資本との連携も深まっており、COI STREAM(文部科学省 革新的イノベーション創出プログラム)などの研究拠点の採択にも結びついている。</p>
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>中間評価時の進捗状況： 当初の計画を超えて進展している。</p> <p>自己点検・評価： 本プロジェクトでは、真に競争力のある有機・高分子材料を各サブテーマから少なくとも1件以上開発することを目指しているが、<u>プロジェクトの3年目にして、当初のミッションの多くを達成し、実用化に向けた実証研究が進んでいる。</u>また、国内外の企業との連携も活発に行われている。特に、環境・エネルギーや表示デバイスに関連する材料では、オリジナリティーの高い材料が開発されている。さらに、これらの材料開発の学術的基盤となる基礎研究は、国内外でも高く評価され、多額の外部資金の獲得に繋がっており、ScienceやNature姉妹誌に多くの論文が掲載されている。このため、当初の計画を超えて進展しているものと考えられる。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 (研究開発の方向性・目的・目標の見直し、計画・ロードマップの問題点、実施体制・マネジメントの改善、連携のあり方、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・優れた分子機能を持つ巨大分子を合成し、精密なネットワーク構造の構築法の確立と情報通信、環境・エネルギー、医療など様々な分野で実用化可能な革新的機能材料を創製するという研究の目的は、明確かつ的確であり、その計画も独創的で実用化に向けたロードマップも着実に遂行されている。 ・有機分子ネットワークというキーワードで膜材料、電子材料、光機能性材料などの開発が行われている。方向性としては、応用・実用化を意識したものであり、機能材料の展開としては意義ある方向にあると考えられる。 ・内外連携も含め実施体制もしっかりとなされている。 ・マネジメントは基本的には適切であると考えられる。 ・ユニット長のリーダーシップで、3つのサブテーマにおいて当初計画以上の成果が挙げられている。このまま期間後半の研究を深化させても良いが、さらにサブテーマ間の連携を再編して新たなターゲットを設定して展開していくことを期待する。
<p>②研究開発の進捗状況及び進め方 (進捗状況の把握、研究責任者の自己点検・評価の妥当性、進め方の見直し(継続・変更・中止等)、研究資源(資金・人材)の再配分、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・どのサブテーマも、当初の計画を超えて進展していると高く評価される。 ・研究の進捗状況も客観的、的確に把握し、世界的にも競争の激しいマテリアルサイエンスの国内外での他の研究の現状と当該研究の優位性も検討しており、今後の研究展開、研究連携を図る姿勢は、高く評価される。 ・研究の方向性としてはこのまま進めても良いと考える。膜・電子・光機能材料などについて成果が挙げられている。 ・今後は実用化を目指せば目指すほどハードルがより高くなるが、産業界側と有用なコラボレーションに進むようなマネジメントにも期待したい。 ・研究の進展に伴って、研究員の入れ替え等の人材確保が必要になった際は、予算再配分にも配慮する必要がある。
<p>③論文・特許等の直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト) (研究成果の質は世界レベルか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか/期待されるか、研究タイプを考慮した費用対効果はどうか、セレンディピティー、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・特に新規分離機能材料や表示デバイスの成果は、学術的にも国際的に高く評価されており、さらに実用化に向けての取り組みも含め、特筆に値する。 ・膜の研究などは、膜の技術の分野に新しい展開を示すものとなっている。 ・Science誌やNature姉妹誌への論文発表もあり、全体的に質・量ともに世界最高レベルの基礎科学的成果が得られている。 ・質の高い論文が、国際的なジャーナルに報告されており、成果は総合的には世界レベルといえる。抜群の被引用回数というわけではないが、波及効果は十分大きいと考えられる。 ・一部実用化につなげるための応用研究も始めており、他への波及効果も大いに期待される。
<p>④総合評価 (研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③に含まれない、その他の評価ポイント、問題点等があれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・膜の研究、光機能材料の研究など順調に推移しており、研究レベルも高い。応用・実用化も目指している今後の発展に大いに期待したい。 ・有機分子ネットワーク機能性材料研究の拠点として、今後も世界的にその優位性を保持しつつ、実用化にむけての今後の展開を大いに期待したい。 ・無機材料が中心だった旧無機材質研究所・旧金属材料技術研究所の流れに加えて始められた有機材料研究が随分進展してきて、新しい研究成果を世界に発信し先導する役割を担えるところまで来たと思う。マテリアルサイエンスのCOE (center of excellence) の一翼を担って、さらに世界の研究を先導してゆくことを期待している。

各委員の総合評価点 (10点満点)		9、10、9 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		9.3 (小数第二位四捨五入)
評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れている。 計画を変更することなく継続すべきである。
9		
8	A	総合的に優れている。 一部計画を見直し継続すればS評価になる可能性がある
7		
6		
5	B	平均的なプロジェクトである。 継続は認めるが、継続する時に、一部計画を見直した方が良い点がある。
4		
3		
2		
1	C	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要である。 大きな問題があり、継続を中止すべきである。