

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成24年2月3日

評価委員：（敬称略、五十音順）

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

宮山 勝 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

確定年月日：平成24年3月8日

プロジェクト名	ナノ有機モジュールの創製
研究責任者の所属・役職 ・氏名	先端的共通技術部門 高分子材料ユニット長 （元ナノ有機センター長） 一ノ瀬 泉
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	<p>今日の情報化社会や先端医療、環境やエネルギー技術等は、20世紀型の材料で支えられている。しかしながら、バイオテクノロジーやナノテクノロジーの出現は、新しい科学の潮流を生みつつあり、革新的な機能を持つナノ材料への要求を強めている。本研究では、特定の形や機能を有する新しい物質群として、「ナノ有機モジュール」を採り上げる。複数の分子が会合することで形成される超分子、金属錯体などの巨大分子、トポロジカルな分子性ネットワークなどは、合成化学的手法により多彩な構造設計が可能であり、かつ小分子では不可能な「機能ユニット」となり得る。これらの機能ユニットは、タンパク質とDNAから増殖機能を持つウイルスが形成されるように、組織化により高次機能を発現する。</p> <p>巨大分子では、分子認識や光エネルギーの捕捉などの特性を幅広くデザインすることができ、その配向・配列を高度に制御すると、エネルギー変換や高選択的な物質移動を実現するための優れたシステムを構築できる。さらに、最新のナノテクノロジーを活用すると、多様なセンサーやデバイスの設計が可能となり、生命分子との情報伝達を可能にするインターフェースとしても重要な役割を果たすであろう。ナノ有機モジュールの機能の階層化は、今日の科学技術の最前線で強く求められており、ナノ計測や有機デバイスの重要な研究対象となるだけでなく、環境や医療との関連においても、新たな産業の芽となることが期待される。本プロジェクトは、巨大分子の材料としての新たな世界を切り拓くために、中期的な目標を設定し、ナノ有機モジュールの創製に戦略的に取り組む。</p>
研究内容	<p>本研究は、 dendリマーや超分子、人工的にデザインしたタンパク質、あるいは無機クラスターなど「独立した機能」を有するナノ物質（ナノ有機モジュール）を合成し、これらの機能ユニットを表面や界面で組織化するための新手法を開発することで、従来にない高度な分子機能を発現するナノ材料を創製する。さらに、ナノ有機モジュールに特有な高次の自己組織性を利用しつつ、最新のナノテクノロジーを活用することで、ナノメートルからマイクロメートルの領域で目的に応じたアーキテクチャーを設計し、機能ユニットが統合されたナノ有機システム、新しい分子機能を有するナノ有機デバイス、生命分子と連携して機能するナノ有機組織体の構築を目指す。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p><u>分子認識特性の解明</u>： ナノプローブ技術などを用いて、特定の形状をもつ巨大分子（タンパク質等）の複雑な分子認識特性を解明する。</p> <p><u>分離材料・センシング材料</u>： 比表面積が大きなナノファイバー等に分子認識部位を固定することで、極低濃度の溶液からの物質分離や有機分子の高感度センシングを実現する。</p> <p><u>ナノ分離膜の開発</u>： 数nmから数10nmの薄さの自己支持性膜を設計することで、次世代のグリーンケミストリーを支える膜分離技術を開発する。</p> <p><u>インテリジェント分子・システムの創製</u>： 化学情報を変換する分子、集合特性を</p>

	<p>プログラムされた分子、光エネルギーを変換する分子を開発し、物理・化学・生物学的メディエーターとして活用する。</p>
<p>平成18年度～平成22年度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）： 有機／金属ハイブリッドポリマーの研究では、架橋配位子として多様な複素環式化合物が合成され、薄膜デバイスの設計により、電圧変化に応じて多段階に色が変わるマルチカラーエレクトロクロミック特性が実現された。このデバイスでは、10万回を超える On-off 試験における安定性が確認されている。一方、ペプチド固相合成法を利用して、複数の金属原子を任意に配列させる技術が開発され、導電性高分子にレドックス部位を連結させた超分子ポリマー、力学的刺激により蛍光特性が変化する高分子なども創出された。セルロースのナノ繊維上にタンパク質を固定することで、超高感度の生体分子認識が達成されており、蛍光部位を有する有機ナノファイバーでは、気相中のトリニトロトルエンなどを高感度に検出できることが明らかになった。 本プロジェクトで開発された一連の金属水酸化物のナノストランドは、濾過法によりナノ薄膜を製造するための犠牲層として応用された。これにより、タンパク質、共役高分子、架橋ゲルやナノ粒子などの数10nmの薄さの多孔性自立膜が製造され、高性能の限外濾過膜やナノ濾過膜が開発された。一方、シャボン膜を利用して数nmの薄さの有機／無機自立膜を製造する手法が開発され、膜の構造と力学特性との相関が明らかにされた。また、高分子薄膜を利用して導電性基板上に有機発光体を高度に配向させる技術を開発し、著しく大きな偏光特性を有する高分子電界発光素子を実現させた。さらに、基板上でのナノ粒子の周期配列によりプラズモン特性を制御することに成功し、可視光から赤外領域までの近接場光源として利用できることを実証した。</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）： 本プロジェクトで開発された有機材料は、スイッチング機能をもつデバイス、電子ペーパー、有機FET（電界効果トランジスタ）への応用が期待されており、特に、偏光高分子EL（エレクトロルミネッセンス）素子では企業との連携研究が見込まれている。一方、酸化還元特性を示すポリマーは、高速収縮性ゲルとしてNEMS（ナノ電気機械システム）への応用が見込まれており、架橋性のフラーレン化合物は、超撥水コーティングへの利用が検討されている。水処理膜や有機溶媒用の濾過膜では、市販の膜と比較して濾過性能が3桁向上しており、環境・エネルギー分野での実用化が期待されている。さらに、凍結相分離によるナノファイバーの製造法は、高分子材料の基盤的なナノ加工技術として幅広い波及効果が期待でき、ガスの吸着・分離材料や液体の高透過性フィルムとして、企業への技術移転が見込まれている。</p>
<p>プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価</p>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い： 目標を十分に上回った。</p> <p>自己点検・評価： 巨大分子の材料化の観点から、エレクトロクロミズム特性を示す高分子や液状フラーレン、導電性高分子などの新しい化合物が合成され、その基礎物性を明らかにした。また、タンパク質、DNA、ナノ粒子、ナノストランドなどの相互作用を解明し、これらを高秩序に薄膜化することに成功した。その結果、ナノ分離膜や表示デバイスとしての性能を格段に向上することができた。特に、タンパク質からなる多孔性ナノシートは、高速水処理膜としての実用化が検討されている。さらに、大きな比表面積を有するナノファイバーや金ナノ粒子のプラズモン特性を利用することで、有機分子の高感度検出が達成された。これらの成果は、トップレベルの学術誌に数多く報告されており、プロジェクトの目標を十分に上回っている。</p>

【評価項目】	コメント
<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 (計画はきめ細かかったか、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネージメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか、どこが問題なのか、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・幅広い材料・機能を対象にしつつも、センサー、分離膜、MEMS（マイクロ電気機械システム）に重点を置いて実施した計画は適切である。 ・実施体制、マネージメントは大変しっかり行われており、外部との連携も上手くやって成果を挙げている。 ・多彩な研究者が高分子や超分子の分野において個々に成果を挙げている。統一的にミッションを持っているわけではないが、有機・高分子材料の新分野を開拓するというミッションはある程度成功していると考えられる。 ・プロジェクトチーム内での連携が若干薄いように見受けられるが、個々の実力が高いので結果的に筋の通った成果につながっている。 ・グループ間の連携としては、あまり進んでいるようには見られないが、それぞれの基礎は築かれているので、今後に期待できる。 ・研究者の人数は限られていたが、外部資金の獲得や海外も含む他組織との連携を積極的に進め、成果を得ている。 ・国際ジョイントラボをつくって共同研究を推進しているのは、研究だけでなく人材育成にも効果を上げている。
<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 (研究責任者の自己点検・評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されたか、目標は具体的であったか、世界レベルで見て目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・新しい高分子・超分子材料の合成と特性・機能の研究では、目標を上回る多くの貴重な成果が得られている。 ・当初予定よりもはるかに研究が進んで、多くの成果が挙げられている。目標は必ずしもすべて明確ではないが、レベル的には問題なかったと思う。 ・機能性高分子・有機材料においても、世界的に一定の水準の成果が生まれている。 ・機能性膜は、新しい膜形成手法により従来にない優れたものが得られている。 ・サブテーマ2のモジュールの機能階層化では、要素材料・機能の研究が十分に進められた。その統合・階層化は今後の進展が予想される課題であるが、その基盤は確立されたと思われる。 ・今後はセンシング、分離等の機能だけでなく、有機材料でしか発現できない機能の創成を目指す材料研究へと展開して行って欲しい。 ・他材料（無機、生物）との複合・ハイブリッド・融合材料への展開を目指して欲しい。
<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） (世界レベルの質の成果が出たか、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、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・一流国際ジャーナルに多くの論文を発表している。 ・論文は、いくつかの優れたものが見られる。まだ、グループごとに質・量等にムラが見られるが、研究のスタート時期や内容による面があるので今後に期待できる。全体としては、成果が出ていると考えられる。 ・多様な対象について、質量ともに高い水準の成果が得られている。 ・基礎材料科学的な波及効果は高いと思われる。 ・若手の人たちが頑張っており、数々受賞している。 ・特許出願も着実に進んでいて、目的基礎研究としての十分な成果が挙げられている。 ・世の中の役に立つという意味での実用化へ向けた努力もなされており、今後の展開が楽しみである。 ・機能膜などは、企業との連携に進んでいる。
<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があれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・新しいコンセプトの材料の提案を進め、柔軟な研究体制で研究を実施することにより、将来著しい発展が期待できる成果が生まれている。 ・全体的に見て、無機・金属系の研究が中心であるNIMSの中で、有機系の研究を進めるユニークなプロジェクトであるが、NIMSの材料研究の幅を広げレベルを押し上げるのに大いに貢献しており、国際的研究機関としての知名度を上げるために十分役割を果たしたといえる。 ・全体としては、個々に優れた研究者が参画しており、成果は挙げられている。きめ細かい計画が立てられているわけではないが、これは材料の特質によるものであろう。

		<ul style="list-style-type: none"> ・機能膜やフラレン誘導体などにおいて優れた成果が得られている。 ・今後、他の無機・金属グループとの連携、有機グループ内での連携により、さらにユニークな研究を進めてゆけると考えられる。 ・今後は機関統合に際して、進むべき方向の再編、人的配置の再編が行われることになろうが、良い方向へ進むことを期待している。
各委員の総合評価点 (10点満点)		9、9、8 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		8.7 (小数第二位以下四捨五入)
総合評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れていた。
9		多くの点において非常に優れていた。
8	A	総合的に優れていた。
7		優れたプロジェクトであった。
6		平均的なプロジェクトであった。
5	B	一部の計画の見直しが必要であった。
4		期待されたほどではなかった。
3		計画を見直しして継続すべきであった。
2	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った。
1		大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。