

1. 研究領域名：分子スピン：ナノ磁石から生体スピン系まで

2. 研究期間：平成15年度～平成18年度

3. 領域代表者：阿波賀 邦夫（名古屋大学・物質科学国際研究センター・教授）

4. 領域代表者からの報告

(1) 研究領域の目的及び意義

有機半導体や電荷移動錯体などの研究を礎とする我が国における分子物性科学は、国際的に極めて高い水準にある。この分野の一角を占めるのが分子磁性研究で、多重項カルベンや合成高スピンカルベンなどの研究を経て、1991年に世界初の有機強磁性体が発見された。これ以降も次々と新しい研究フロンティアが構築され、この間、有機ラジカルなどの開殻化学種の合成技術、電子状態やスピン構造の理解や計測手法、分子内および分子間の磁気的相互作用の定量的理解や設計法など、極めて重厚な学術的蓄積が達成された。一方、ナノサイエンスおよびテクノロジーの隆盛は言うまでもなく、これらはスピン偏極電流やナノ磁性といった、分子磁性研究が目指す物性を共有している。また、これと対極にあるようなバイオスピン研究だが、生命現象に現れるラジカル化学種の解明が鍵となっており、ここでは有機ラジカルがスピンラベルあるいはプローブ剤として古くから用いられている。このような背景のもと、ナノ磁性体から生体スピン系までを対象として、分子スピンに関する総合的な研究領域を構築する必然性が自発的に芽生え、特定領域研究「分子スピン：ナノ磁石から生体スピン系まで」が実施された。これまでの分子磁性研究では、新奇な磁気的性質の追求に重きが置かれていたのに対して、特定領域「分子スピン」では発想を大きく切り替え、電子スピンを起点として発現する開殻化学種の特異な物性や反応性が総合的に追及され、「開殻電子物性」とでも呼ぶべき特性が次々と明らかにされた。また、分子スピン状態の時間変化が直接的な機能に直結する現象や、逆に、生体系において系全体の状態変化がラジカル化学種の生成や特性変化を引き起こす現象が明らかにされ、「スピン情報化学」とでも呼ぶべき研究潮流が生み出された。

(2) 研究成果の概要

特定領域研究「分子スピン」では、A01班「スピンと分子機能」、A02班「スピンとナノ機能」、A03班「スピンと生命機能」の3班が組織され、分野横断的な研究が展開された。

分子磁性の深化という立場から成果を挙げると、環状チアジラジカルにおいて転移温度7 Kの有機強磁性体が開発され、高圧印加によって転移温度が10 K以上に引き上げられた。また、X線照射によって生じたマロニルラジカルにおいて、電子スピンと核スピンがつくる量子もつれ状態が確認され、状態変換が実行され、分子スピンの量子計算の舞台に登場することになった。さらに、前述のチアジラジカルがつくる電荷秩序状態や非線形伝導、金ナノ粒子と有機ラジカルの複合系におけるコトンネリング電気伝導や大きな負の磁気抵抗などが発見された。そのほか、有機ラジカル電池や単分子磁石を用いた分子クラスター電池の発展など、有機・分子エレクトロニクスへ資する成果が得られた。

本特定領域研究では、分子磁性とバイオスピン研究の融合による学術的な成果も得られている。有機高分子にラジカル部位を組み込んだ分子スピンMRI造影剤が開発され、市販品を凌駕する特性が得られた。さらに、NO分子のシグナル活性について新しい伝達経路が発見されるなど、バイオスピン研究の本流をいく成果も生まれた。

本特定領域研究では、装置開発にも力が注がれ、新しい表面磁化の観測手段として紫外光を用いた磁気円二色性光電子顕微鏡が開発され、超高速時空間分解観測への道を切り開いた。また、オーバーハウザー効果とMRIを組み合わせたフリーラジカル画像化装置が開発され、細胞内外のレドックス動態の同時分離画像取得に成功した。

このように、異分野の研究者が集結し、緊密な連携のもとに展開した本特定研究の特色を活かし、分子スピンに関して、物質合成から装置開発、物理・化学から生物、基礎から応用にいたる広範な成果を得ることができた。

5. 審査部会における所見

A（期待どおり研究が進展した）

開殻電子構造を持つ分子種や集合体が示す特異な物性を基に、物質科学から生命科学までを統合した新科学分野の創成を目指して、領域全体で活発な研究が行われた。巨大負性磁気抵抗を示す有機化合物の創製、安定有機ラジカル分子による分子スピンMRI造影剤の開発等の成果が特筆される。領域代表者が強いリーダーシップを発揮して「分子スピンに関する統合研究」を独自に推進し、将来の発展のための礎を築いた。班員の協力的体制、研究成果の公表、人材育成にも特段の配慮がなされ、領域内から将来を担う若手研究者も輩出した。分子スピンの標語の下、分子磁性研究の新たな展開を図るという所期の目的は十分達成されたと判断した。