

領域番号	2403	領域略称名	分子ロボティクス
研究領域名	感覚と知能を備えた分子ロボットの創成		
研究期間	平成24年度～平成28年度		
領域代表者名 (所属等)	萩谷 昌己(東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授)		
領域代表者 からの報告	<p>(1) 研究領域の目的及び意義</p> <p>本新学術領域の目的は、分子レベルの要素で構成されるロボット、つまり「分子ロボット」の構築のための方法論を開拓することである。ここでいう「ロボット」とは、広い意味で、センサーにより外部環境から情報を獲得し、その情報を処理し、その結果に応じて環境に対して働きかける「自律的システム」と定義できる。システムを環境から区別し、これらの構成要素を一体化するためのボディ（構造体）も必要である。そこで本新学術領域では、そのために必要な、センサー、プロセッサ（コンピュータ）、アクチュエータ、および筐体をなす各種の分子や分子集合体の設計・製作およびそれらの統合・制御にかかわる技術を開発する。具体的には、アメーバ型分子ロボットのプロトタイプおよびスライム型分子ロボットに必要となる基盤技術の研究開発に取り組む。分子レベルでナノ構造を構築し、さらにそれにダイナミズムを与えることによって自律的なロボットを構築しようとする分子ロボティクスの研究は、学術の発展の中で、極めて自然なステップととらえることができる。この研究の中核となるボトムアップ手法による人工物構築の手法は、ものづくりの方法論の根幹にかかわり、ものづくり全体を大きく転換させるインパクトを持つと考えられる。こうした技術はいずれ産業や社会へ深く広く波及していくことになる。</p>		
	<p>(2) 研究成果の概要</p> <p>人工膜の容器であるリポソームを分子ロボットの筐体（シャーシ）とし、分子センサー・分子アクチュエータ・分子コンピュータをこの中に封入したアメーバ型プロトタイプを開発した。このロボットは光シグナルの入力により DNA クラッチと呼ぶ機構が作動して微小管・キネシンのすべり運動がリポソームの変形運動（アメーバ運動）に変換される。アメーバ型プロトタイプの作製のために、リポソームに多種類の分子デバイスを高密度に封入する技術や、様々な分子デバイスを同時に駆動可能な溶液プロトコルなどが開発された。このほか、様々な生体分子が混在する強いノイズの下で機能する RNA ナノ構造体デバイスを開発し、がん細胞等の運命を制御することに成功した。また、合成 DNA および人工核酸を組み合わせるさまざまな演算回路を構成する技術の開発に取り組み、反応の高速化、増幅、直交反応系などの開発に成功した。分子ロボットのためのアクチュエータとして、光応答性 DNA により制御される微小管集合体や、ゲル・ゾル相転移を DNA で制御できるゲルなどが開発された。分子ロボットの計算モデルとしても、個々がオートマトンとして振る舞うカプセルやビーズが格子状に多数集合した分散計算モデル「ゲルオートマトン」を提案し、その理論的な解析を行った。こうした中核となる学理の探求を通して、多様な専門分野の研究者から成る分子ロボティクス・コミュニティを立ち上げ、多数の若手研究者を育成することができた。</p>		

<p>科学研究費補助金審査部会における所見</p>	<p>A+ (研究領域の設定目的に照らして、期待以上の成果があった)</p>
	<p>本研究領域は、研究開始当初、最終的にどのようなアウトプットを目指しているのか、やや不明瞭な点もあったが、中間評価を経て各研究者の方向性が明確となり本研究領域が目指す「分子ロボティクス」の創成という目標に向かって研究領域全体の意識が集中し大きな成果が得られた。設定した5つの研究項目において、計画どおりもしくは計画以上に達成され、本研究領域を通して分子ロボットの可能性が示されたことは大いに評価できる。</p> <p>プロトタイプの開発、基盤技術開発および各要素技術の基礎研究を進めることによって、「分子ロボティクス」という新しい学術領域の立ち上げに成功している。特に、中核となる学理の探求、多用な専門分野の研究者からなる分子ロボティクスコミュニティの形成、若手研究者の育成が達成されたと評価できる。</p> <p>本研究領域では、感覚班、知能班、アメーバ班、スライム班に分割して研究を進め、それぞれのチームが優れた成果を上げており、共同研究においても人工アクチュエーター、人工核酸、ゾルゲル空間の離散化などにおいて当初の計画を上回る進展があり、最終的にはアメーバ型ロボットの構築に至っている。</p> <p>今後は、本研究領域で確立した新規技術や概念を提供することで、化学や生物学、生物物理学、医学、システム情報学などの基礎学問、医療や環境、エネルギー、デバイスなどの産業応用へ幅広い波及効果が期待できる。</p>