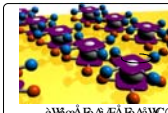


ディビジョン番号	6
ディビジョン名	有機化学

大項目	13. 有機化学の構造と物性
中項目	13-2. 分子認識・超分子化学
小項目	13-2-3. 分子機械

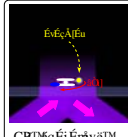
概要（200字以内）

構造変化、回転運動、すべり運動など、現実の機械様の動きを示す分子機械は、溶液中の評価とともに界面における動的挙動の評価、運動特性の連係・連動・協調、ナノスケール運動特性の増幅、1分子観測による詳細な評価、外的環境に対する自律能の付与、などの機能を付与することにより、分子コンピューティング、有機 NEMS の創製、生体ナノマシンとの融合、など分子テクノロジー創出の中心となる分野となることが期待されている。

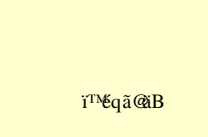


ẽWœÁB.A.EÁB.AiVÇ@ÇÇ-àÝD-i Ç.óÖvâúio

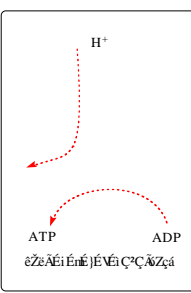
NEMS Ç²Ç.ǎZçá



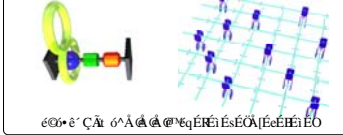
ÈvÈÁÈu
ÇH¹Èq Èi Èñvè™



ÿ™Èqã@B



H⁺
ATP
èZe.ÁÈi Èné)ÈVÈi Ç²Ç.ǎZçá
ADP



èG•è Ç.Á. ó^Á @ @ @Èq ÈÈÈ ÈsÈÖÀ)ÈeÈÈÈÈÖ

現状と最前線

ATPase における回転運動、ミオシン・アクチンにおける滑り運動など生体内には、機械のような動きをするタンパク質が存在し、これらは化学情報を力学応答に変換している。分子内に可動な部位を持つ合成人工分子においても、光や酸化還元あるいは化学結合形成による外部刺激に応答する、分子シャトル、分子スイッチ、分子モーター（ローター）など種々の概念の提案とそれに対応する分子が報告されてきた。これらは分子を基盤とする次世代の分子テクノロジーに使用することを目的として、その外的刺激（主に熱ゆらぎ、光、電子）による制御と仕事としてのアウトプットが探索されている。

1999 年に 1 方向に回転する分子モーター（ローター）が初めて報告され、その後、カテナン構造を利用した輪分子の 1 方向回転も報告された。最近になり、「異方的な力学応答」あるいは「運動の連係」を強く意識した研究が報告されるようになった。金属の酸化還元反応により分子長が変化するダブルロタキサン構造を持つ化合物（伸縮変化比が筋肉の滑り運動変化比とほぼ同等）、エレベーター様の動作原理を有する化合物（移動距離 0.7 nm, 200pN の仕事量）が報告されている。しかしながら、評価はそれぞれの分子が均一に溶解した溶液中で行われており、全体としては等方的である。人工分子機械による、「より異方的な仕事」「動的特性の集積」を指向した研究は、界面の利用が大きな鍵となっている。ロタキサン構造を利用した分子コンピューティング、分子リフト、シャトルリングによる表面張力変化を利用した液滴移動、

Nano Car の評価、など界面を利用した研究がこの数年で報告されている。また溶液中の評価ではあるがフェロセン回転ユニットを巧みに利用し、捕捉した遠位のゲスト分子を光駆動でねじることのできる分子（分子の回転を遠位のねじり運動へ変換）が異種運動と遠位への力学応答を達成するなど、「界面における観察・評価」、「動的特性の集積とマクロな力学応答への増幅」、「異種運動の連係と遠位への伝達・協調」が現時点のターゲットであると考えられる。

しかしながら、1980年代に世界で初めてアゾベンゼンの異性化を利用した金属イオン輸送能を有する合成分子機械が報告されて以来、溶液中の評価であること、仕事（アウトプット）の質、構造変化量（ 10^0 -nm スケール）、外的刺激（熱、光、電子）、運動の連係の複雑さに大きなブレークスルーはない。これは、分子のような複雑な情報を力学応答、運動性へ変換するシステムが萌芽時期であること、サイズの熱揺らぎの影響を受けること、運動特性の集積と異種運動の連係・協調を達成する手法が確立されていないこと、集合体での挙動（collective motion）が評価されていないこと、NEMS（Nano Electro Mechanical Systems）あるいはそれに近いシステムの確立が遅れていることが理由として挙げられる。

生体のナノマシンであるモータータンパク質に対する日本の「1分子ナノ計測」分野が世界に対して圧倒的なアドバンテージを誇るのは、言葉通り「1分子観察・操作技術」が可能な点にある。電気・電子、物理、生物分野などの研究者との共同研究を進め、サイズの異なる人工分子機械の評価法としても、プローブ顕微鏡のみならず1分子計測手法を確立し、分子機械1分子の振る舞いと生体ナノマシンとの相違性、相似性も同時に明らかにしていく必要がある。また collective motion の評価法としての可能性が大きい分光分野との共同研究が望まれる。

将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

（1）分子機械ユニット分子の連動・連係・協調、（2）ナノレベル変化のマクロレベルへの増幅、（3）分子機械の界面における1分子計測、（4）階層集積手法の開発と評価方法の確立

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

（1）エネルギー源の多様化（分子情報の利用）、（2）触媒機能など異なる機能との融合、（3）利用場の拡大（wet, semi-wet, dry）、（4）外部情報を判断できる自律性や知性の付与

キーワード

動的特性の集積・力学応答・organic-NEMS・1分子ナノ計測・自律性

（執筆者：竹内正之・新海征治）