

ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	2. 化学反応ダイナミクス
中項目	2-1. 励起分子素過程と光電子移動ダイナミクス
小項目	2-1-8. 人工光合成系

概要（200字以内）

人工光合成関連研究のうち、電子移動やエネルギー移動などの光化学反応ダイナミクスに関連するものは膨大な数に上る。その殆どは、単純なドナーアクセプター系から複雑な多量体へ推移し、より長寿命の電荷分離状態実現を指向してきた。しかしながら、これらは天然の光合成システムの一部を模倣したに過ぎない。色素増感太陽電池をはじめとする光合成型太陽電池は比較的実用化に近いが、光水素発生等のエネルギー変換を指向したものは、依然として基礎研究の段階にある。

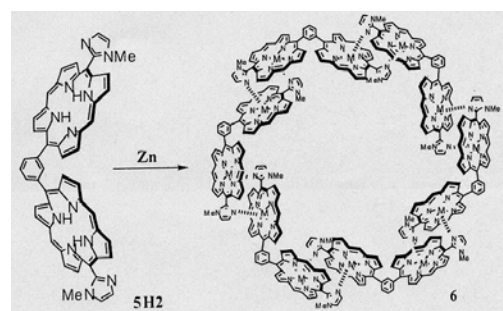


図 光合成モデル分子系の一例（奈良先端大：小夫家芳明ら）

現状と最前線

化石燃料に替わる再生可能エネルギーの獲得が、今世紀の重要課題となっている。再生可能エネルギーの中でも太陽エネルギーは、地球上に不偏かつ無尽蔵に存在し、環境に負担をかけない点でも未来のエネルギーとして最も有力な候補である。植物が行っている光合成は最もクリーンなエネルギー変換システムであり、この原理を解明し応用を目指した人工光合成の研究は以前から活発に研究されてきた。我が国では、又賀、大須賀、坂田、福住、今堀、伊藤、小夫家ほか非常に多くの研究者が人工光合成分野を牽引してきた。特に天然の光合成初期過程を模倣した励起エネルギー移動や多段階電子移動20世紀後半にかなりの進歩があった。単純なドナーアクセプター分子系による電子移動理論の検証(又賀、大須賀ら)にはじまり、ポルフィリン・フラレン連結分子系では今堀らによって秒のオーダーに達する電荷分離も実現している。その電子移動特性は、坂田、福住、今堀、伊藤らによってレーザー分光法を駆使して調べられ、この特異な電子移動特性が電子移動の重要な制御因子である再配向エネルギーに関係することが実験的に証明されている。一方、超分子組織化法を用いて、生体の根幹機能を発現するシステムを人工的に構築することを目指し、光合成アンテナ、光電荷分離中心と電子伝達鎖の各ユニットを構築し、最終的に光合成機能発現系を完成させる試みが小夫家らによってなされている。これら電子、励起エネルギーを効率よく伝達する仕組みは、分子エレクトロニクスの基礎としての展開も期待できる。天然の光合成において、光エネルギーはアンテナ捕集系

を通して光合成反応中心に入り、スペシャルペアで光電荷分離を起こす。こうした観点での構造的な類似性を追求する研究は数多く報告されている。ある種の光合成バクテリアの光合成アンテナ捕集体 B850 (LH2) は、クロロフィル二量体が整然と並んだリング構造を有している。小夫家らはこの構造を手本にアンテナ組織体の構築を目指し、イミダゾリルポルフィリンを 120° の角度で連結したビス (イミダゾリルポルフィリン) 5H2 を合成し、これに亜鉛を導入すると、大環状ポルフィリン組織体 6 を与えた (図参照)。

以上のような分子組織体を用いた光合成型の太陽電池も広く研究されている。太陽電池は、光エネルギーを直接電力に変換するので、自然エネルギーを利用するツールの中では最も使いやすい。しかしながら、既存の太陽電池の原料は高純度シリコンをベースにしており、低価格化が要求されるエネルギー生産の方法としてはコスト的に見みあわない。この問題を解決できるものとして、色素増感太陽電池が注目を集めている。その基本的な原理は本多、藤嶋、坪村、松村らによって 1960 年代から研究されてきた湿式太陽電池が原型で、ワイドバンドギャップ半導体表面に色素を吸着させ可視光増感作用を利用したものが、色素増感太陽電池である。ただし、初期の色素増感太陽電池は大量の電解液を使用しており、「太陽電池」というよりは「光電気化学セル」と言ったほうが正しく、実用的太陽電池の形はとっていなかった。ところが、1990 年代に入りスイスのグレッツェルが 7% を優に超える光エネルギー変換効率をもつ実用的太陽電池としての「色素増感太陽電池」を発表して状況は一変した。その後も改良が進められ、現在では 10% を超える高い効率が報告されている。これらの研究の波及効果は大きく、我が国では、柳田、荒川、宮坂、早瀬、箕浦、昆野、内田らによってエネルギー変換効率向上と耐久性向上、全固体型や電解液をゲル化させたタイプなど、応用面を重視した研究が数多くなされている。一方、太陽電池は一般に光強度に依存して出力が変動するため、外部二次電池と組み合わせ用いられることが多い。ところが、色素増感太陽電池をはじめとする湿式太陽電池は、既存の p n 接合太陽電池とは異なり、光エネルギーをいったん化学エネルギーに変換した後に電気エネルギーに変換する独特な反応機構のため、工夫すれば二次電池との一体化が可能になる。瀬川らはこの点に着目し、太陽電池そのものに蓄電できる「エネルギー貯蔵型色素増感太陽電池」を開発した。

この他、有機分子を用いて光水素発生等のエネルギー変換を指向したものが報告されているが、依然として基礎研究の段階にある。この研究は、光触媒 (別項目) と関連する。

#### 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  
光合成型太陽電池としての色素増感太陽電池が実用化。ソーラー水素の基礎研究発展。
- ・ 10 年後までに解決・実現が望まれる課題  
ソーラー水素の応用研究が開始される。関連研究として分子フォトンクスが発展。

#### キーワード

人工光合成、電子移動、エネルギー移動、色素増感太陽電池、ソーラー水素

(執筆者: 瀬川 浩司 )