

ディビジョン番号	8
ディビジョン名	生体機能関連化学・バイオテクノロジー

大項目	1. 生体機能関連化学
中項目	1-13. 生体機能分子
小項目	1-13-1. 電子移動

概要（200字以内）

我々の生命活動を支える非常に重要な過程として光合成（図1）と呼吸がある。この光合成と呼吸では水と酸素との相互変換によりクリーンエネルギーを得ている。いずれの場合も電子移動金属酵素により精密制御することによりクリーンなエネルギー変換が可能となっている。この電子移動過程の制御を人工的に行う研究が活発に進められている。今後、地球環境エネルギー問題の解決に向けてその重要性が一層増すと考えられる。

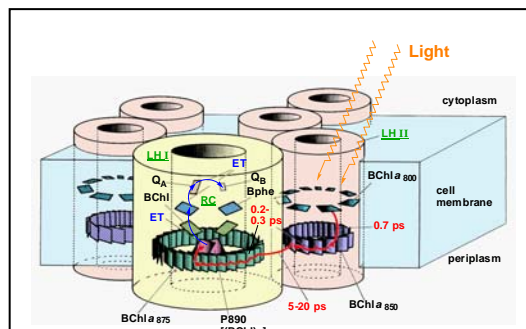


図1. 紅色光合成細菌の光合成反応中心の模式図。

現状と最前線

近年特に深刻化を増す地球環境エネルギー問題を解決するためには、人類が使用するエネルギーは従来の化石燃料に頼るのではなく、自ら生み出した分だけ使用するエネルギー変換システムを創製することが緊急の課題となっている。一方、我々の生命活動を支える非常に重要な過程として光合成と呼吸がある。この光合成と呼吸では水と酸素との相互変換によりクリーンエネルギーを得ている。いずれの場合も電子移動金属酵素により精密制御することによりクリーンなエネルギー変換が可能となっている。従って、地球環境およびエネルギー問題の危機の根本的解決をはかるには、自然界で行われている光合成および呼吸の仕組みを分子レベルで解明して応用することが必要となる。

光合成では太陽エネルギーを利用して多段階のエネルギー移動および光誘起電子移動過程により高エネルギーの電荷分離状態を得て、エネルギー変換を行なっている。そこでは反応中心および電子伝達体がタンパク中に巧妙に配置され、全体として巨大なナノマシンとして機能している。この多段階電子移動過程を人工的な分子を適切に連結して配置することにより再現しようとする試みが活発に行われてきた。その結果、すでに天然の光合成反応中心の機能を分子レベルで再現することができるようになった。しかし、このような天然の光合成反応中心を模倣したシステムでは、多段階電子移動を経て長寿命電荷分離状態を得るためにエネルギー損失が大きい。しかも多数の分子を共有結合で連結する必要があるため合成が困難でありコス

トが高いのが実際に応用を考える際に大きな問題となる。多段階ではなく一段階の光誘起電子移動過程で長寿命かつ高エネルギーの電荷分離状態を得ることのできれば、応用が飛躍的に広がることを期待される。実際、現在では天然の光合成反応中心のエネルギーおよび寿命を凌駕する電荷分離状態を有するドナー・アクセプター分子が開発されている。この人工光合成電荷分離分子を光触媒として用いた応用研究が進展している。

一方、光合成の初期過程は細胞膜を貫通する形で埋め込まれた2つの集光系複合体（アンテナ系, LH I, LH II）と反応中心複合体（光電荷分離系）の2つのタンパク質複合体が共役した形で行われる（図1）。天然のアンテナ系を分子レベルで再現しようとする試みも活発に行われ、優れた人工アンテナ色素分子が合成されている。その結果、非共有結合を利用して光捕集系と電荷分離系を融合した超分子錯体も得られるようになり、超分子錯体を用いた有機太陽電池も開発された。このような有機太陽電池はシリコンに代わる低コスト型太陽電池として今後の発展が期待される。

光合成の逆反応過程である呼吸では、チトクロムc オキシダーゼの働きにより酸素の4電子還元が効率良く行われている。この機能モデルとしては、適当な複核ポルフィリン錯体を用いることにより酸素の4電子還元を均一系で触媒的に行うことが可能になり、その反応機構が明らかになっている。今後白金を使わない燃料電池開発への応用が期待される。

光合成において、水の酸化は酸素発生中心の複核マンガン錯体を触媒として行われ、酸素が発生する。現在、この水の酸化触媒の開発が残された最大の課題となっている。今後、光捕集系、電荷分離系、水素発生触媒系、酸素発生触媒系を組み合わせ、太陽エネルギーを利用して水から水素を製造できるプロセスを開発することが望まれる。いったん水素が水からできれば、CO₂固定により人造石油を製造することも可能となる。

(1) 福住俊一「自然に学び、自然を超える分子ナノテクノロジー」先端化学シリーズ VI, 丸善 (2004) pp. 146-155.

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. 光合成における酸素発生系の構造および機能解明・ 2. 水の高効率酸化触媒の開発・ 3. 人工光合成型高効率光触媒の開発・ 4. ヒドロゲナーゼ型水素発生触媒の開発

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

1. 太陽エネルギーを利用する水からの高効率水素製造法の開発・ 2. 水と二酸化炭素からの石油製造・ 3. 人工光合成型高効率太陽電池開発・ 4. ニトロゲナーゼ型窒素固定法の開発

キーワード

人工光合成・電子移動・水素・エネルギー変換・光触媒

(執筆者： 福住俊一)