

光合成微生物による環境調和型水素生産技術の研究

三宅 淳

工技院・生命工学工業技術研究所

〒305 つくば市東1-1

1. 緒言

地球環境の保全から、遠からず水素が次世代の燃料として登場するものと思われる。その時代には地域地域に合ったエネルギーシステムが求められよう。再生可能な資源を用い、簡易な装置で小規模から中規模の水素生産を行うシステムの需要は大きいものと考えられる。我々は光合成微生物を中心として、太陽エネルギーとバイオマスから水素などを生産する技術の基礎的検討を10年余にわたって続けてきた。以下研究の概要を紹介したい。

現在我々の研究場所は、工業技術院・生命工学工業技術研究所エネルギー変換研究室および産業技術融合領域研究所バイオニックデザイングループの分子構築グループの2つの研究室にまたがってできている。全体の研究内容は微生物学からバイオミメティクスまでかなりの幅があるが、研究者は2つの建物と研究領域を行き来して仕事を進めている。水素の研究はもっぱら生命研において行われている。

2. 生命研の概要

生命研全体の研究分野は、生体を作っている蛋白質などの分子の構造と機能、それら分子が集合した分子集合体、さらにその集合体である細胞、細胞が集まってできる生体組織、人間の生理、行動などである。微生物について言えば、遺伝子レベルの研究により、微生物の性質を変えて有用な菌を作り出す遺伝育種の研究、酵素を固定化して化学プラントの様に大量・高速の処理を目指したバイオリクターの開発、蛋白質分子を人工的に配列配向し、バイオ素子などより高次の機能を創り出す分子集合体の研究が行われている。高等動物の細胞について、細胞の増殖・分化、老化のメカニズムの解明、神経細胞の情報伝達機能の研究が、また、思考、判断、学習、記憶などの高度な心理的機能を情報処理の観点から解明し、人間と機械のインターフェースの開発に役立て、人間の機能を模倣した制御システム系の開発も行われている。環境を守ることも生物の機能に期待される重要な分野である。環境に優しい材料として生分解性プラスチックの開発、地球温室効果を防ぐための二酸化炭素の生物的固定化、工場・生活排水などの処理技術が研究されている。また、無限の太陽光のエネルギーを利用して、環境に優しい燃料である水素ガスを作る研究が行われている。

3. 微生物を用いた水素生産の研究

水素生産の研究は生命研・生体分子工学部・エネルギー変換研究室において行われている。この研究室はかつてはPCBの分解、水銀の分解などを行って来たが、より積極的に地球環境に対する最大の問題であるエネルギーを化石燃料に依存することなく、持続的に供給する技術の開発に注力している。

太陽エネルギーは無限に得られる究極のエネルギー源であり、化石燃料の枯渇だけでなく、CO₂を排出しない理想的なものである。しかし、光エネルギーそのものを利用できないので電気に変換するか、さらにその電気で水分解して水素にして蓄積することが試みられている。微生物の中には、光エネルギーを浴びると水素ガスを吐き出すものがある。簡単な透明な箱さえ用意すれば、微生物が勝手に太陽エネルギーから水素を作り出すのから実に簡単である。

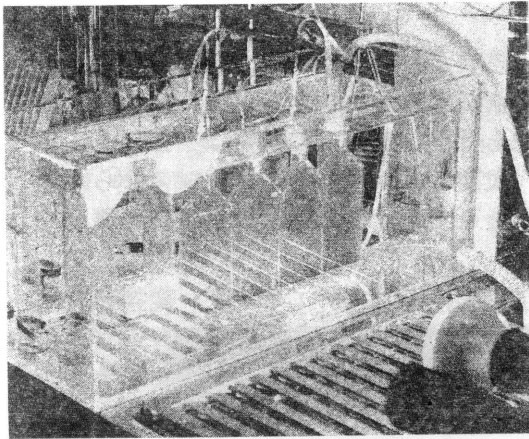


写真1. 実験室での水素発生
200 ml ビン

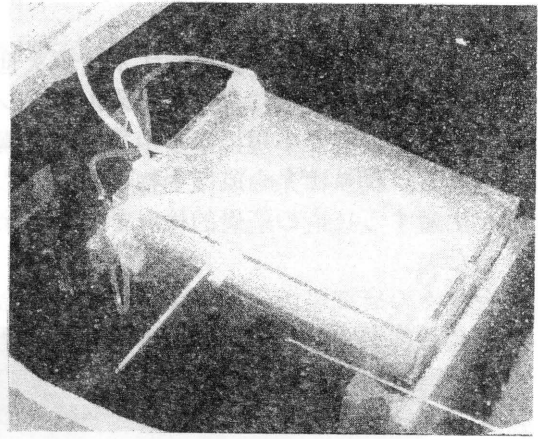


写真2. 屋外リアクター
8リットルアクリル容器

微生物が何故水素を発生するのは完全に解明されたわけではないが、おおよそ細胞内の酸化還元バランスをとるためと考えられている。元々光合成細菌などは沼の底に近い、光の余り当たらないところに生息しているものである。そこでは嫌気性細菌と共生していて、沼の底にたまった落ち葉などを他の細菌が分解するときに生成した有機酸を基質として生育している。光合成細菌は元々弱い光を集めるために多くの光合成色素を有しているために、単離して実験室で強い光を当てると光合成反応が早すぎて、細胞内に還元力が蓄積しすぎる。細胞にとっては危険な状態になるので、還元力すなわち電子を放出するために水中のプロトンと結合させて水素分子にすると考えられる。

エネルギー変換研究室では、光合成細菌を用いた光リアクターの能力改良を目指して、光の分布と水素発生効率との関連、光合成細菌の光吸収スペクトルと照射光のスペクトルとの関連を解明することを試みている。さらに、これら結果を基に、能力をさらに向上させるために、遺伝子工学の手法を用いて改良を試みている。光エネルギーが水素に変換されるまでには実に多くの反応が関わっているが、その最初と最後—即ち光合成反応の効率向上と水素を最後に作る酵素の機能を向上させようとしている。

これまでに、光合成細菌では、水素発生能力が世界で最も高い光合成細菌を見つけだした。ソーラーシミュレーターを用いた実験ではエネルギー変換効率は7%に上っている。ただし、屋外ベンチ培養では効率がかなり低下する。光を深い水槽内部にまんべんなく当てる技術、温度制御など、スケールアップするための技術の開発が今後必要である。

この効率をさらに上げるべく、光合成遺伝子の発現のコントロール技術を遺伝育種の

手法を用いて開発しつつある。この種の遺伝子操作技術のポイントは、特定の酵素機能を強化すると言うより、細胞内のエネルギーの流れをスムーズにすることにある。また、ラン藻（霞ヶ浦の悪臭の原因にもなっている微生物の仲間）の遺伝子操作も進めている。ラン藻では水素生産の最終段階であるヒドロゲナーゼの機能が小さく、水素生産の律速段階になっている。そこで、遺伝子工学的技術を用いて、嫌気性細菌であるクロストリディウム（Clostridium）のヒドロゲナーゼの遺伝子をラン藻に導入することを試みている。

生命研ではRITEの環境調和型水素製造技術プロジェクトに参加している企業—現在のところ、（株）クボタ、富士電機総研（株）および東京ガス（株）—から研究員を受け入れて光合成微生物の探索・遺伝育種に関する集中的に研究を行っている。外国人スタッフも3名（ロシア、ポーランド、中国）参加しており、また海外との共同研究も行われている。近隣の大学の学生も卒業研究などで受け入れており、光合成細菌、ラン藻合わせて約10名の研究スタッフで進めている。

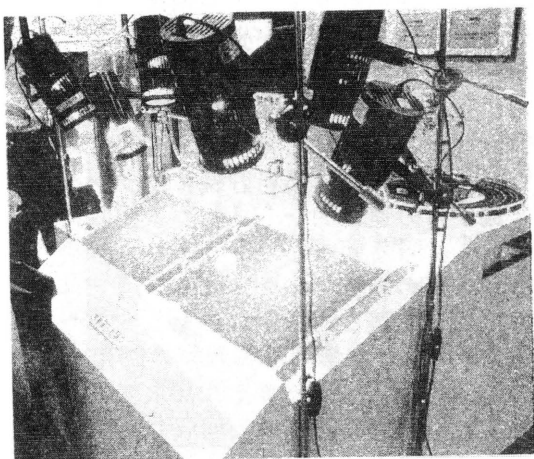


写真3. モデルリアクター
於バイオジャパン1992横浜
RITEと共同

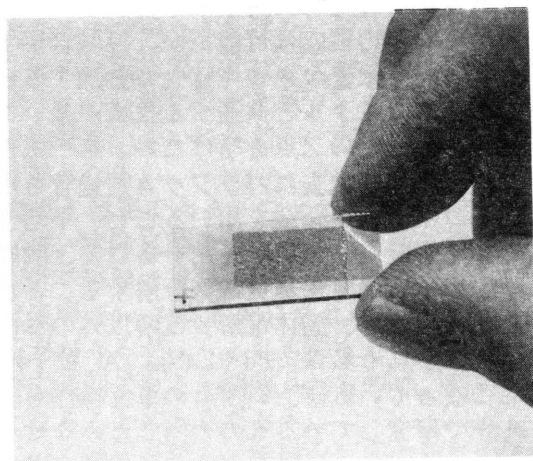


写真4. 光合成蛋白質を用いた
光電変換素子

4. 関連研究

我々は生命研だけでなく、産業技術融合領域研究所においても研究グループを有している。バイオニックデザイングループの中に分子構築グループ（サブグループ）があり、我々はここでも光合成関連の研究を行っている。生命研での研究が光合成微生物そのものを用いたものであったのに対して、こちらはよりミメティックの傾向が強い。光合成細菌の光合成反応中心蛋白質をラングミュア=プロジェクト法によって配向配列し、光電変換素子などの分子材料を作り出すことを試みている。光合成蛋白質を模して、ペプチドを合成し、人工的な光合成分子システムを構築することも研究している。