

## 研究室紹介

# 大阪大学大学院 基礎工学研究科 機能創成専攻

## 三宅研究室

三宅 淳

〒560-8531 豊中市待兼山町1-3 基礎工学部 J棟 414号室

TEL: 06-6850-6515 FAX: 06-6850-6557

E-mail : jun\_miyake@bpe.es.osaka-u.ac.jp

URL <http://miyake.bpe.es.osaka-u.ac.jp/>

### 1. 概要

当研究室は2009年4月に発足したものである。研究テーマは多岐にわたる。阪大基礎工の伝統と、これまでの研究を重ねて、新しい研究方向を見いだすべく検討を続けている。

三宅のグループはこれまでバイオエネルギー、再生医療、ヒト細胞のインフォマティクスなどに関わってきたが、阪大に於いてはより物理的な視点からの研究を進めることになった。

研究項目としては、エネルギー工学、細胞工学・再生医療、Brain-Machine-Interface、構造生物学に渡っている。2011年4月時点のメンバーは教授1名、助教4名、博士1名、修士13名、学部7名である。

### 2. 光合成・バイオマスエネルギーの利用

バイオ水素生産について当グループは光合成細菌を用いた水素生産技術の研究を長らく進めてきた。また、嫌気性細菌による有機性廃棄物の処理と水素生産の組み合わせ、屋外リアクターの評価なども行ってきた。

新たに開始した研究では、若干立場を変えて、バイオエネルギーが、電力系統など社会全体にかかわる大規模なエネルギーシステムの一部として機能するにはどうすればよいか、を検討している。

福島の子原子力発電事故を受けて、分散エネルギーの必要性が強く認識される時代となった。しかし、分散あるいは再生可能エネルギーの利用には困難な問題が存在する。問題は二つあり、一つは、総量としてそれだけの量を確保できるか、もう一つは、現在のエネルギーシステム（系統電力、石油）にどのように組み込むか、であ

る。

我々のグループのバイオエネルギーの研究としては、これまでは前者が主であったが、大阪大学においては、電力グリッドの専門家から文化系の地域研究の専門家が揃っていることから、総合的なエネルギーシステムの研究を開始している。研究組織としては大阪大学グローバルコラボレーションセンター（GLOCOL）に集結している研究者と連携を組んでいる。

また、産業技術総合研究所のナノチューブ応用研究センター、セルエンジニアリング研究部門、東京農工大学と共同研究を行い、カーボンナノチューブを用いてタンパク質と電極の電子移動効率を大きく向上させることに成功している。中国の復旦大学の研究などとの共同研究でナノテクノロジーを応用した電極表面の物性研究も進めている。

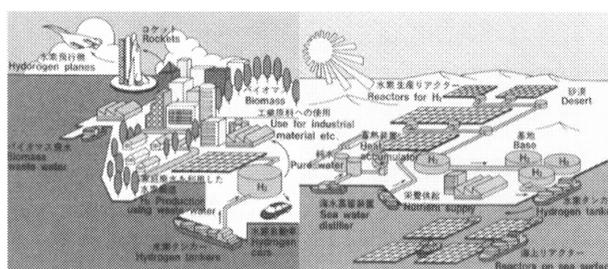


図1. バイオ水素を用いたエネルギー循環システム概念図

#### 2.1. 光合成細菌の光水素変換能力の精密な検証

光合成細菌による水素発生では、リアクター内部において、入射光の強度とスペクトルが大幅に変化する。どのように光が使われているか、効率の改良が可能か、これまで研究してきた。

現在は上記研究をさらに発展させ、量子収率が、光強度および波長にどのように依存するかについての精密

な検討を進めている。光エネルギー変換の律速要因の解明と応用に繋がると考えている。

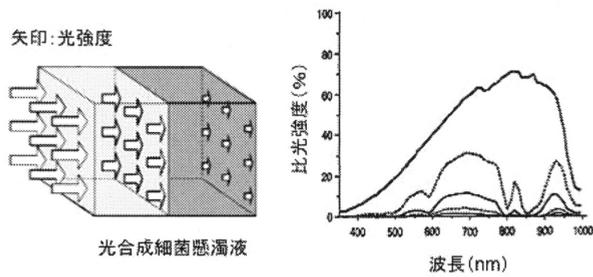


図2. 光合成細菌リアクターにおける照射光の減衰と波長の変化 (W-ランプを光源とした場合)

### 2.2. カーボンナノチューブ(CNT)を用いたヒドロゲナーゼ電極の開発

太陽光を効率的に電力および水素に変換する光エネルギー変換デバイスを開発する。光合成タンパク質やヒドロゲナーゼなどのタンパク質分子は生体中で極めて高効率にエネルギー変換を行う。他方、CNTなどの高導電性材料を利用した新しい電極デバイスの開発も進んでいる。エネルギー変換生体分子と高導電性材料を分子レベルで最適に複合化する方法を確立できれば、これまでにない新しいハイブリッド型光エネルギー変換デバイスを創成することが期待される。そこで、1分子・1電子計測を利用してタンパク質とCNT等の分子を操作してモデル複合構造を形成し、エネルギー変換生体分子と導電性材料分子間の電子移動の最適化の理論的・実験的実現を行ない、こうしたモデル複合構造からビルディングアップさせることで、高効率なハイブリッド型光エネルギー変換デバイスを創成する。

これまで、光合成細菌から抽出したタンパク質であるヒドロゲナーゼを金属上に薄膜化し、電圧印加によって水素を発生する電極を作成し、人工材料-生体分子間の電子移動の研究を行ってきた。さらに、溶液中の光化学系タンパク質複合体の安定化と共に、電極との電子授受の研究を進めてきた。

最近、フォーレスト状に作成したカーボンナノチューブ(以下CNT-F)の中に電子伝達タンパク質であるヒドロゲナーゼを埋め込むことで、これまで必須と考えられてきた電子伝達キャリアーを用いることなく、最大70%余の効率で電子からの水素発生が可能となった。これは、CNT-F中においてヒドロゲナーゼがCNTと相互作用することで構造的に安定化し、さらにCNTが電極とヒ

ドロゲナーゼ間における直接的な電子伝達デバイスとして働くことに起因すると考えられる。CNTの高次構造体を利用することで、これまで生体分子とのハイブリッドデバイスの問題点であった、安定性と電子伝達効率の両方を同時に克服できる可能性が示されている。

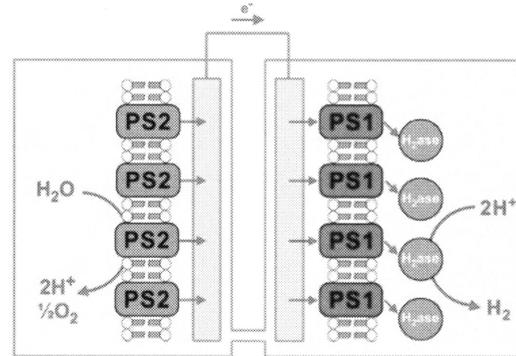


図3. 光合成タンパク質とヒドロゲナーゼを用いた水素発生光電極の概念図

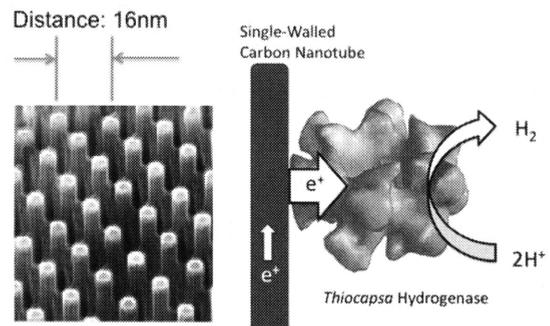


図4. カーボンナノチューブフォーレストと固定化したヒドロゲナーゼ間の電子移動模式図

### 2.3. 電力システムへの組み込み研究

生物による水素生産の実現に至るには、(1)エネルギーの総量、(2)薄く分散したものを集約するというエントロピー的な障害の克服、について考える必要がある。太陽光、風力、バイオなどの再生可能・分散エネルギーは世界中のどの地域にもあまねく存在するが、薄く広く分散して存在するものであり、まとまった量を確保することは容易ではない。例えば、稲わらなどのバイオマスは日本中に存在するが、相当量を集めようとする、エネルギー収支上容易ではない。下水処理場などにおいては多くのバイオマス資源が集約されているが、地域のエネルギーをカバーする程大きなエネルギー回収ができることは希である。

バイオマスを想定した場合、エネルギー密度は熱帯の

方が高いことは間違いなく、日本で技術を開発した上で、熱帯地域で実施することを想定する。

発展途上国の僻遠の地においても、生活の変化から高品位の電力が必要となりつつある。そこで、単純な電力供給だけではなく、停電の主原因であるピーク時の負荷を減じることを目指すことを想定している。再生可能エネルギーの中でも安定な供給が可能なバイオマスを用い、簡易にガス化・集積することで、需要の変動に備える。

発展途上国の中でも遠隔地の社会構造の研究が欠かせないところであるが、大学内の国際公共政策、地域間協力、言語などの人文社会学系研究者の協力を得て、導入エリアにおける真の需要、技術導入後の社会、経済、文化的影響、および導入された技術の持続的なマネジメントのため、ローカル・アダプテーションに関する調査研究を検討している。

### 3. 細胞工学と再生医療への応用

失った体の機能の再生は人類の古くからの希望である。20世紀の末に幹細胞を用いる「再生医療」が出現し、ES細胞やiPS細胞など、幹細胞に関する研究の大きな進歩によって全く新たな医療の方法が作られた。当研究室では、再生医療のさらなる発展を目指し、遺伝子操作を含めた幹細胞の創成、得られた幹細胞の物理的な特性評価や検出技術の開発、さらに、幹細胞を医療に用いる上で、細胞の生育や組織への生着、間葉系幹細胞を用いた細胞特性の研究・骨形成機構の解明の研究を進めている。

しかしながら、再生医療にも限界はある。細胞技術では腕や脚のような複雑な構造を創り出すことは未だ困難である。再生医療だけで直せない身体機能をどうやって回復させるか、生命と機械を融合した新たなシステム：機械・電子技術と細胞技術を融合した新規技術、ロボット技術で作られた腕や脚を人体の一部として自在に使う技術の研究が進んでいる

(Brain-Machine-Interface : BMI)。脳から神経細胞を介して筋肉を動かす仕組みと、エレクトロニクスを用いたロボットの制御の仕組みを組み合わせることができると、研究を開始している。

方法の一つは神経細胞の応用である。当研究室では、神経細胞への遺伝子導入技術の研究を進め、培養の容易な神経細胞、特性の改変の容易な細胞の創出などを目標

としている。また、機械・電子技術とのインターフェースはどのようなものになるか、人工的なアクチュエーターと最適な接続をするための方法を探索したいと考えている。もう一つの研究方向は非接触の物理センサー等を用いて本人の意図を推測する技術である。筋電位に加え角速度センサーを用いた制御方式の開発を試みている。

また、細胞のより総合的な理解を求めて、細胞の内部の解析技術を開発している。細胞内部の特定位置にナノサイズの探針を直接挿入することで、細胞内環境における分子反応の詳細な解析を可能とするような「極微小探針」の創製を行うと共に、この「極微小探針」を用いて直接細胞内の特定部位に低侵襲で分子・プローブを正確に導入する手法の確立を目指している。

さらに、X線を用いた構造生物学も基礎工・生物工学の大きな課題であり、筋肉の運動のメカニズム、特にタンパク質の構造変化の影響、さらに鉄原子のキャリアであるフェリチンタンパク質の構造についても解析を進めている。

### 関連発表論文

1. T. Kihara, X.Y. Liu, C. Nakamura, K.M. Park, S.W. Han, D.J. Qian, K. Kawasaki, N.A. Zorin, S. Yasuda, K. Hata, T. Wakayama, J. Miyake, Direct electron transfer to hydrogenase for catalytic hydrogen production using a single-walled carbon nanotube forest, *Int. J. Hydrogen Energy*, in press (2011)
2. A. Dudkowiak, M. Czapski, M. Kotkowiak, J. Miyake, The in situ characterization of bacteriochlorophyll c in Langmuir monolayers using polarized UV-Vis spectroscopy, *Dyes and Pigments*, 86, 227-232 (2010)
3. Q. Sun, N.A. Zorin, D. Chen, M. Chen, T.X. Liu, J. Miyake, D.J. Qian, Langmuir-Blodgett films of pyridyldithio-modified multiwalled carbon nanotubes as a support to immobilize hydrogenase, *Langmuir*; 26, 10259-10265 (2010)
4. Liu, AR., Wakayama, T., Nakamura, C., Miyake, J., Zorin, NA., Qian, DJ., Electrochemical properties of carbon nanotubes-hydrogenase conjugates Langmuir-Blodgett films, *Electrochimica A* 52, 3222-3228 (2007).
5. Kondo, T., Wakayama, T., Miyake, J., Efficient hydrogen

- production using a multi-layered photobioreactor and a photosynthetic bacterium mutant with reduced pigment, *Int. J. Hydrogen Energy* 31, 1522-1526 (2006).
6. Ai-Rong Liu, Dong-Jin Qian, Meng Chen, Tatsuki Wakayama, Chikashi Nakamura, Nikolay A. Zorin, Jun Miyake, Electrochemical Properties of Hydrogenase on Glass Carbon Electrodes Modified with Carbon Nanotubes, *NanoBiotechnology* 2, 135-142 (2006).
  7. Toshihiko Kondo, Masayasu Arakawa, Tatsuki Wakayama, Jun Miyake, Hydrogen production by combining two types of photosynthetic bacteria with different characteristics, *Int. J. Hydrogen Energy* 27, 1303-1308 (2002).
  8. Toshihiko Kondo, Masayasu Arakawa, Toshiro Hirai, Tatsuki Wakayama, Masayuki Hara, Jun Miyake, Enhancement of hydrogen production by a photosynthetic bacterium mutant with reduced pigment, *J. Biosci. Bioeng.* 93, 145-150 (2002).
  9. Stephan-Olav Wenk, Dong-Jin Qian, Tatsuki Wakayama, Chikashi Nakamura, Nikolay Zorin, Matthias Rogner, Jun Miyake, Biomolecular device for photoinduced hydrogen production, *Int. J. Hydrogen Energy* 27, 1489-1493 (2002).
  10. Dong-Jin Qian, Chikashi Nakamura, Kazuyuki Noda, Nickolai A. Zorin, Jun Miyake, Fabrication of an electrode biogen hydrogenase heterogeneous system and the electrochemical hydrogen evolution, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 84/86, 409-418 (2000).