

# “機能が調和した”新しい材料の創成

—大阪大学・機能調和材料原子・分子プロセス研究拠点(COE)が目指すもの—



川合 知二\*

## Atom Scale Processing for the Creation of Highly Harmonized Functional Materials

—COE: Osaka University・Highly harmonized functional materials research unit—

**Key Words:** atom scale processing, harmonized functional materials, new materials

—神が万物を創造した?—

今、私達の材料開発能力は、どの程度まで発達してきているのでしょうか? 確かに、昔に比べれば進歩しています。石器、鉄器から始まって高分子、ファインセラミックス、半導体と最新機能材料にはことかきません。たいしたものです。それでは、ここで植物の光合成系を見てみましょう。光合成とは御存知だと思いますが、植物が太陽の恵みをうけて、水を分解し、酸素をつくり、又、炭酸ガスを還元して炭水化物を作る働きのことです。植物の光合成は図1に示

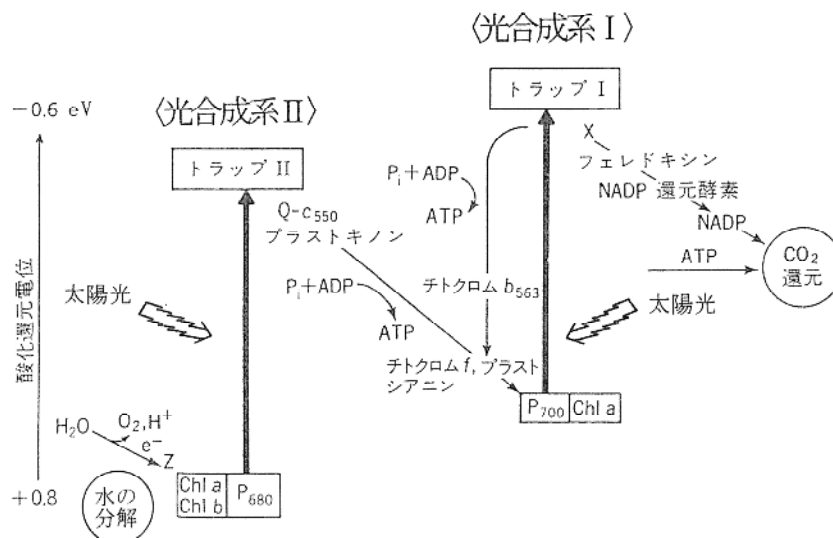


図1 植物の光合成スキーム。光合成システムでは、光吸収、電荷分離、電子移動、水の酸化、CO<sub>2</sub>の還元などの機能が各分子に分担され調和し、効率的な光エネルギー変換材料をつくりあげている。種々の分子が整然と並べられ各機能を調和よく受け持っている。

\* Tomoji KAWAI  
 1946年6月22日生  
 1974年(昭和49)東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程修了  
 現在、大阪大学産業科学研究所高次制御材料科学研究部門極微プロセス研究分野、教授、工学博士、人工格子材料、表面科学、高温超伝導  
 TEL 06-879-8445  
 FAX 06-875-2440  
 E-Mail kawai@sanken.osaka-u.ac.jp



すように、まず光合成系IIにおいて、光を吸収し、光によって生じた電子の抜け殻(正孔)をマンガン化合物(Zと表している)にためて、水を分解して酸素を発生します。一方、光で高いエネルギーレベルに持ち上げられた電子は、電子伝達系を通して光合成系Iへ移動します。この時、電子伝達系では、酸化還元電位の低くなる順に、様々な分子が並べられています。光合成系Iに移った電子は、再び光によって高いエネルギー準位に持ち上げられ、NADPを還元し、

さらに炭酸ガスを還元し、炭水化物を生成します。こうして、植物は太陽のめぐみのもと、私達が生きていくのに必要な酸素と炭水化物を作り出す“高機能光エネルギー変換材料”としてその役割を演じているのです。そこで、湧き起こってくる疑問は、一体だれがどの様にしてこんなに素晴らしい材料を作ったのかということです。これだけ多種の分子を常温常圧で間違いなく合成して、しかも、それを順序よく並べて、そして、それが全く目的に合致していて、無駄のない構成になるような仕組みを誰がどうやって作ったのかということです。人々は、そこで考えたあげく、生体というこれ程の材料・デバイスを創り上げた存在、材料設計にたけた存在を“神が万物を創造した”と表現しているのでしょう。

私達が目指す材料設計の目標とはとても高いところにあることがわかります。今、植物の光合成の例を上げましたが、生体を機能材料という観点から見ると、どれを取り上げてもそのすごさがわかります。人間の皮膚にしても、しなやかさとともに、発汗作用など、ミクロにみていくと光合成系と同じように原子分子スケールで機能が集積してすばらしい材料を作り上げていることがわかります。図2に示すように、目や耳などの五感も感度の良いセンサーとしてだけでなく、その信号の伝達とメモリー機能を調和良く組み合わせていますし、脳にいたっては、理解が進めば進む程どうやってこれを造り出したのかとただただ驚くばかりです。

私達は、人間の手で材料設計して原子分子を

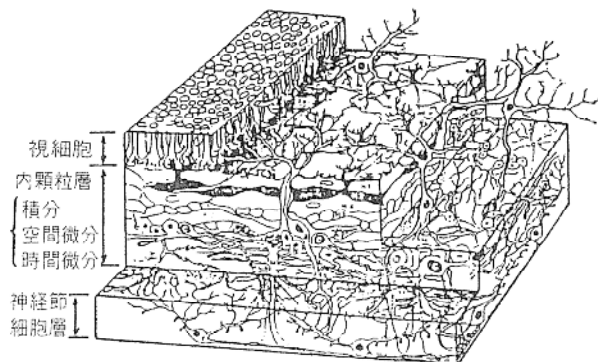


図2 動物の網膜のスキーム。受光材料や信号伝達材料などがミクロなスケールで機能分担しながら融合し、機能調和材料を形づくっている。

並びあげて、これらの生体組織を造ることができるのでしょうか？ まず、無理だろうと思います。又、その必要があるかどうかも疑問です。生体に特有の物質構成がありますから。例えば、太陽エネルギー変換の材料は人工系では、シリコン太陽電池で一部おきかえられますし、又、ある種の人工材料の性能は、生体よりも勝っているかも知れません。むしろ、生体のすぐれているのは、各機能の組み合わせ方、機能発現の仕方であり、これを学ぶべきなのでしょう。実際、多機能、環境への調和、フレキシビリティ、高感度、有機/無機/金属の融合と多彩であり、特に強調したいのは“多機能の見事なまでの調和”です。こういう特性を持ち、かつ、ある特質では生体を越える新しい材料の創成へのチャレンジは、夢として持つ価値があるでしょう。

ここで、言いたかったことは“原子・分子配列制御”という科学技術、又、多くの機能がたくみに組み合わせられ自然に調和した“機能調和材料”として、生体材料はとても良い見本かつ目標となるということです。自然は、有機物、無機物、金属を区別しません。我々は、たまたまいる研究分野の中で、有機や無機などの専門をつくっているのではないのでしょうか。生体ではこれらを思うままに原子分子レベルで組み合わせ、環境に調和し、自然に合った素晴らしい材料を創り上げているのです。

人は、万物を創造した神に近づけるか？

—人と環境に優しい機能調和材料—

この様に、有機/無機/金属のワク組を越えて、多機能が集積した“しなやかな高機能材料”を創成することを目指したプロジェクトが学術審議会でも認められ、今年度(1997年度)からスタートしました。文部省 COE “高次機能調和材料創成の原子・分子プロセッシング”です。研究拠点は、大阪大学・機能調和材料原子・分子プロセス研究拠点で、研究グループは、大阪大学産業科学研究所の川合をリーダーとした産業科学研究所の14人です。“有機/無機/金属の枠をこえて機能調和した新材料の創成とそれを実現するための最先端の原子・分子プロセッシングの確立”を目指します。そのプロジェク

トの内容を簡単に紹介しましょう。

『人類の歴史は材料の発展と深くかかわってきました。そして、現代の高機能材料はもっぱら単一機能の高感度化・高速化などを追求し開発されてきましたが、同時に、環境との不調和や歪みも生じ始めています。一方、生体機能は環境に調和すべく、様々な機能が見事に組み合わせられ、極めて繊細な応答を示すことができます。ここでは、有機/無機物質が構造・機能において原子・分子レベルで組み合わせられ、高度な機能調和材料が形成されています。この様に様々な機能が融合し、人と環境に調和した材料の創成は、本来、機能材料が目指す究極的な目標となっています。一方、大阪大学産業科学研究所は、材料・生体・情報の各部門が有機的に結びつき研究活動を行っている極めてユニークな研究所であり、今までに、有機、無機、金属材料の個別の分野において原子・分子・ナノレベルで制御した新しい機能材料を創成する成果をあげてきました。

本COEでは、このような成果にのっとり、研究リーダー(川合)を中心として生体・情報・材料の先端的研究者を選びすぐり研究拠点を形

成し、有機/無機/金属の枠を越えた材料を組み合わせ、生体の高機能・多機能を併せもつ人と環境に優しい機能調和材料の設計・合成すること、又、その実現のための原子・分子プロセスを系統的に確立することを目的としています(図3)。

本研究では“人と環境に優しい機能調和材料”として、以下に示す具体的な材料開発とそれを実現するためのプロセッシングおよび材料設計を行います。

1. 生体指向高感度センサ・メモリ材料開発

生体の持つ五感(味覚・触覚・視覚・聴覚など)は、外界の刺激に应答する機能とそれを電気信号などに変換する機能、さらに、それをメモリする機能などの調和によってできあがっています。生体指向高感度センサ・メモリ材料開発では、これら生体の五感にせまる感度を持ち、かつ、多機能でフレキシブルなセンサ・メモリーの開発を1つの目標としています。生体指向センサや超五感物理センサなど、圧電体、誘電体、半導体、超伝導体の組み合わせにより新しい機能調和人工格子を創成し、高感度多機能センサと新しいメモリーを造り出します。図4の左上を参照して下さい。

2. エネルギー・環境調和材料開発

光合成材料は前節で述べたように、光吸収、電子伝達、酸化還元反応などの機能が組み合わせられ、調和することによって生まれた見事な“人と環境に優しい高次機能調和材料”です。エネルギー・環境調和材料開発では、新規な電荷移動連結化合物を設計・合成し、それらを金属表面に単分子膜化させて光合成類似機能をもたせ、また、イオン輸送タンパク質などと合成有機分子の融合プロセスの開発を行い、高効率および多機能なシステムの開発をめざします。図4の右上をご覧下さい。

3. 医療・高齢化用ナノ材料開発

医療・高齢化用ナノ材料開発では、生体適合性のある機能調和材料として、有機、無機、金属をナノコンポジット化した人工骨、関節材料の形成など、ナノスケールで機械的特性と化学的機能を調和させた材料の創製を行います(図4の下)。

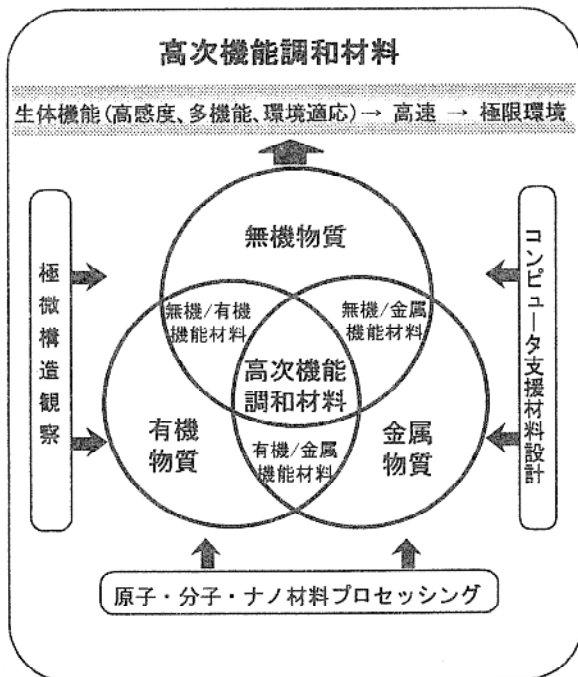


図3 有機/無機/金属の枠を越えた高次機能調和材料研究のスキーム。

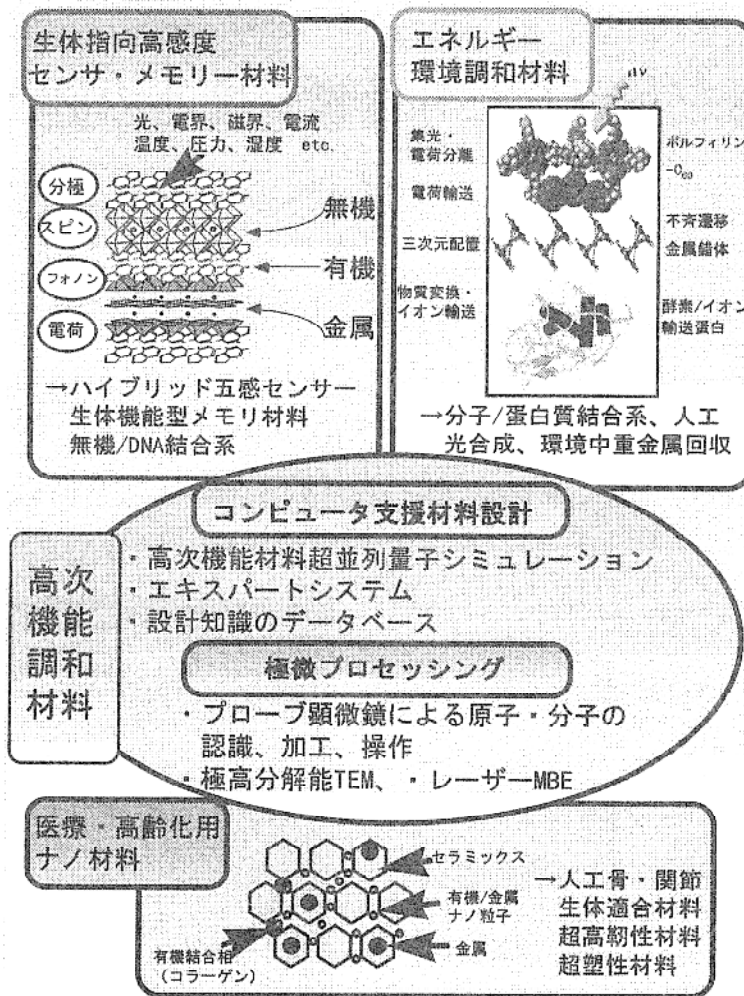


図4 「大阪大学COE：高次機能調和材料創成の原子・分子プロセッシング」の研究目標と具体的テーマ。

#### 4. 原子・分子プロセッシング

高次に機能が調和した材料の創成には、原子・分子スケールでの材料設計、物質操作と反応制御が必要です。原子・分子プロセッシングでは、コンピュータ支援材料設計に立脚した高次機能調和材料のデザイン、レーザー分子線エピタキシーなどの手法を用いた極微構造形成プロセッシング、極度に絞った電子線や走査プローブ顕微鏡を用いた極微構造の観察などの最先端の原子分子プロセスを開発します(図4の中程です)。

これらを総合的に推進し、既存の枠組みをこ

えた新しい材料科学の体系化と高次に機能調和した新材料の創成およびそれを実現するための原子分子プロセッシングを確立することが本COE研究の目標です。』

さて、この5年間のプロジェクトで“夢はバラ色”となるでしょうか？ そのためには、プロジェクトの各メンバーが“機能調和”して目標に向けて研究を推進すること、そして、大阪大学、他大学や国公立研究機関及び産業界の方々と協力して、研究を進めていくことが大切だと考えています。

