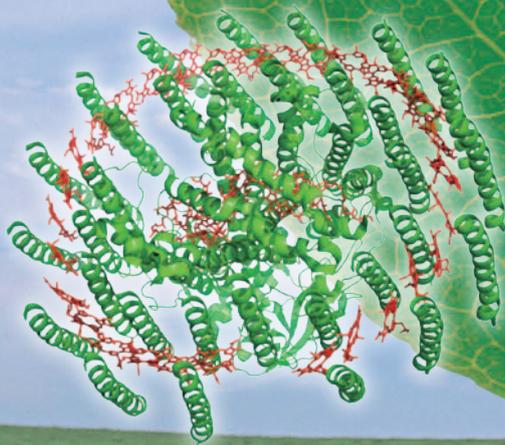
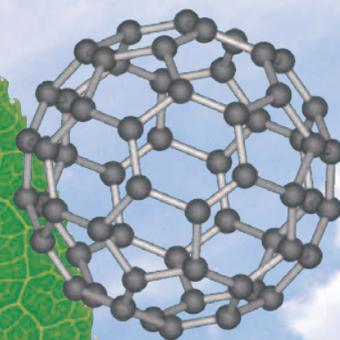
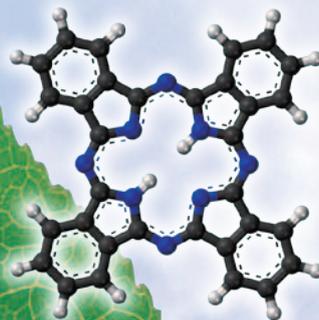
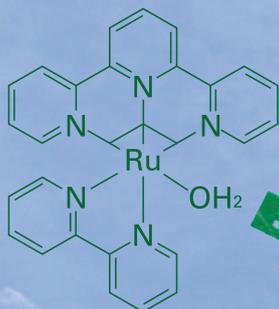


<http://www.nins.jp/>

第14回  
自然科学研究機構シンポジウム

# 分子が拓く グリーン未来



**NINS**  
National Institutes of Natural Sciences

[東京会場]  
**学術総合センター(一橋講堂)**  
東京都千代田区一ツ橋2-1-2  
[愛知中継会場]  
**岡崎コンファレンスセンター**  
愛知県岡崎市明大寺町字伝馬8-1

平成25年3月20日[水・祝] 10:00-17:35  
開場 9:30 閉場 18:00



## 導 入

10:00～10:05 開会挨拶  
佐藤勝彦 自然科学研究機構・機構長

10:05～10:20 趣旨説明  
大峯 巖 分子科学研究所長

## 講 演

10:20～11:10 Keynote Lecture「人工光合成の現状と展望」  
福住俊一 大阪大学

11:10～11:40 「植物のデザインに学ぶ人工光合成—金属錯体による酸素発生反応—」  
正岡重行 分子科学研究所

11:40～12:10 「規則性ナノ空間で拓く未来材料」  
植村卓史 京都大学

12:10～13:30 昼休み

13:30～14:00 「有機薄膜太陽電池の現状と将来」  
平本昌宏 分子科学研究所

14:00～14:30 「ハーバー・ボッシュ法を超えるアンモニア合成法は誕生するのか？」  
西林仁昭 東京大学

14:30～15:00 「グリーンイノベーションと革新電池とのつながり」  
射場英紀 トヨタ自動車株式会社

15:00～15:30 休 憩

15:30～16:00 「グリーン化学合成研究の最先端」  
魚住泰広 分子科学研究所

16:00～16:50 Keynote Lecture「夢を持ち続けよう！  
—d-block遷移金属触媒が21世紀を救う」  
根岸英一 科学技術振興機構、米国パデュー大学

16:50～17:00 休 憩

## 特別対談

17:00～17:30 根岸英一・立花 隆

## 閉 会

17:30～17:35 閉会挨拶

※講演題目は全て仮題であり、講演者が変更する場合があります。

# 開会挨拶



さとう かつひこ  
佐藤 勝彦

自然科学研究機構 機構長

1974年京都大学大学院理学研究科博士課程修了。73年日本学術振興会奨励研究員（京都大学研修員）、76年京都大学理学部助手、79年デンマーク Nordita（北欧理論物理学研究所）客員教授（～80年）、82年東京大学理学部助教授、88年東京大学大学院理学研究科教授、97年理学系研究科ビッグバン宇宙国際研究センター長（～99年、2001～05年）、99年大学院理学研究科長・理学部長、2009年明星大学理工学部物理学科客員教授を経て、2010年より現職。

専門は宇宙物理学、宇宙論。

# 趣旨説明



おおみね いわお  
大峯 巖

自然科学研究機構副機構長、分子科学研究所長

1976年米国ハーバード大学大学院博士課程（化学物理）修了後、MIT博士研究員、81年慶應義塾大学助手、82年分子科学研究所助教授、94年名古屋大学大学院理学研究科教授、2003年同大学理学研究科長、06年理事・副総長、09年京都大学福井謙一記念研究センターリサーチリーダーを経て2010年より現職。

専門は理論化学、ミクロレベルの水のダイナミクス、生体高分子の反応、励起状態の分子のダイナミクス、ゲルの相転移などの研究。

# 特別対談



ね ぎ し え い い ち  
根 岸 英 一

科学技術振興機構、米国パデュー大学、化学者

1935年中国旧満州生まれ。

1958年東京大学工学部応用化学科卒業。同年帝人へ入社。

1960年帝人を休職してフルブライト奨学生としてペンシルベニア大学大学院に留学。

1963年同大学大学院博士課程修了。Ph.D.理学博士。

1966年帝人を退職。パデュー大学ポスドクトラル研究員 (H.C. ブラウン教授)。

1968年パデュー大学助手。

1972年シラキュース大学助教授、1976年同大学准教授を経て、1979年パデュー大学

へ移籍し教授に就任。1999年同大学化学科H.C. ブラウン特別教授、2012年パデュー大学名誉博士。

2011年より独立行政法人科学技術振興機構にて総括研究主監。



た ち ば な た か し  
立 花 隆

ジャーナリスト

1964年東京大学仏文科卒業。同年文藝春秋社に入社。66年文藝春秋社退社。67年東

京大学哲学科に入学、フリーライターとして活動を開始する。95～98年東京大学先

端科学技術センター客員教授。96～98年東京大学教養学部非常勤講師として、第一

次立花ゼミ「調べて書く」ゼミを開講。2005年東京大学大学院総合文化研究科特任教

授就任を機に、第二次立花ゼミを開講。07年～10年立教大学21世紀社会デザイン研

究科特任教授、08年～11年立教セカンドステージ大学特任教授、11年～12年同大学

客員教授。07年より東京大学大学院情報学環特任教授に就任し、第三次立花ゼミを開

講 (ゼミ指導は10年まで)。ジャーナリスト・評論家として多くの著作をもつ。

# 人工光合成の現状と展望

大阪大学大学院工学研究科

ふくずみ しゅんいち  
福住 俊一

現在我々が使用している化石資源は数十億年にわたる光合成の産物であり、これは太陽エネルギーの貯金とも言える。人類がこの貯金を一気に取り崩しているのが現状である。その結果、固定した二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) が急激に放出されて、地球温暖化だけでなく、化石資源の枯渇が深刻に懸念される事態となっている。従って、資源環境エネルギー問題の根本的解決をはかるためには、自然界が行っている光合成よりもっと効率よく、しかもより単純な人工光合成システムを構築することが不可欠となる。

光合成は、光捕集、電荷分離、水の酸化、NADP<sup>+</sup>という補酵素の還元、CO<sub>2</sub>固定(還元)という複数のプロセスから成り立っている。実際に太陽エネルギーが必要になるのは光捕集及び電荷分離のプロセスである。人工光合成では、光合成のようにCO<sub>2</sub>を固定する必要はなく、電荷分離で得られた電子で水を還元して水素にすれば良い。また、酸素を還元して過酸化水素にしても良い。一方、電荷分離で得られたホールで水を酸化して酸素にする。得られた水素および過酸化水素は燃料電池の燃料として使用できるので電気エネルギーに変換できる。

これまでの研究で、すでに水の酸化還元が可能な電荷分離エネルギーと寿命を有する人工光合成分子が開発されている。水の酸化還元触媒および二酸化炭素還元触媒の研究開発も活発に行われており、近年急速に発展している。気体である水素に比べると過酸化水素は水溶性の液体であるので貯蔵・運搬がはるかに容易である。太陽エネルギーを利用して水と酸素から過酸化水素を生成し、過酸化水素燃料電池の燃料として使えば、オンサイトで再生可能エネルギーが得られることになり、再生可能エネルギーとして将来の実用化が期待される。このような人工光合成の現状と実用化を視野に入れた将来展望について最近の研究成果を中心に紹介する。

## Keywords

**光捕集**：光合成では太陽光を捕集するアンテナ部位が反応中心周囲に配置されており、クロロフィル分子などから構成されている。クロロフィル分子間の効率的なエネルギー移動を経て、反応中心部位のスペシャルペアと呼ばれるクロロフィル二量体の励起状態が生成し、光合成がスタートする。

**電荷分離**：電子を与えるドナー分子から電子を受け取るアクセプター分子へ光誘起電子移動が起こり、ラジカルカチオンとラジカルアニオンが生成してプラスとマイナス電荷が分離する過程のこと。光合成の初期過程であり、太陽電池の初期過程でもある。

**NADP<sup>+</sup>**：ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸 (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) の略名であり、光合成経路あるいは解糖系経路などで用いられている電子伝達体である。

**過酸化水素燃料電池**：空気中に豊富に存在する酸素を2電子還元することで得られる過酸化水素は、常温・常圧で液体であるため貯蔵・運搬が容易で、長期保存も可能な高エネルギー物質である。過酸化水素は酸化剤としても還元剤としても働くので選択的に酸化あるいは還元を行う電極触媒を用いることで、水素燃料電池のような隔膜が不要で構造が簡単な一室型燃料電池を構築できる。理論的な起電力は1.1Vである。

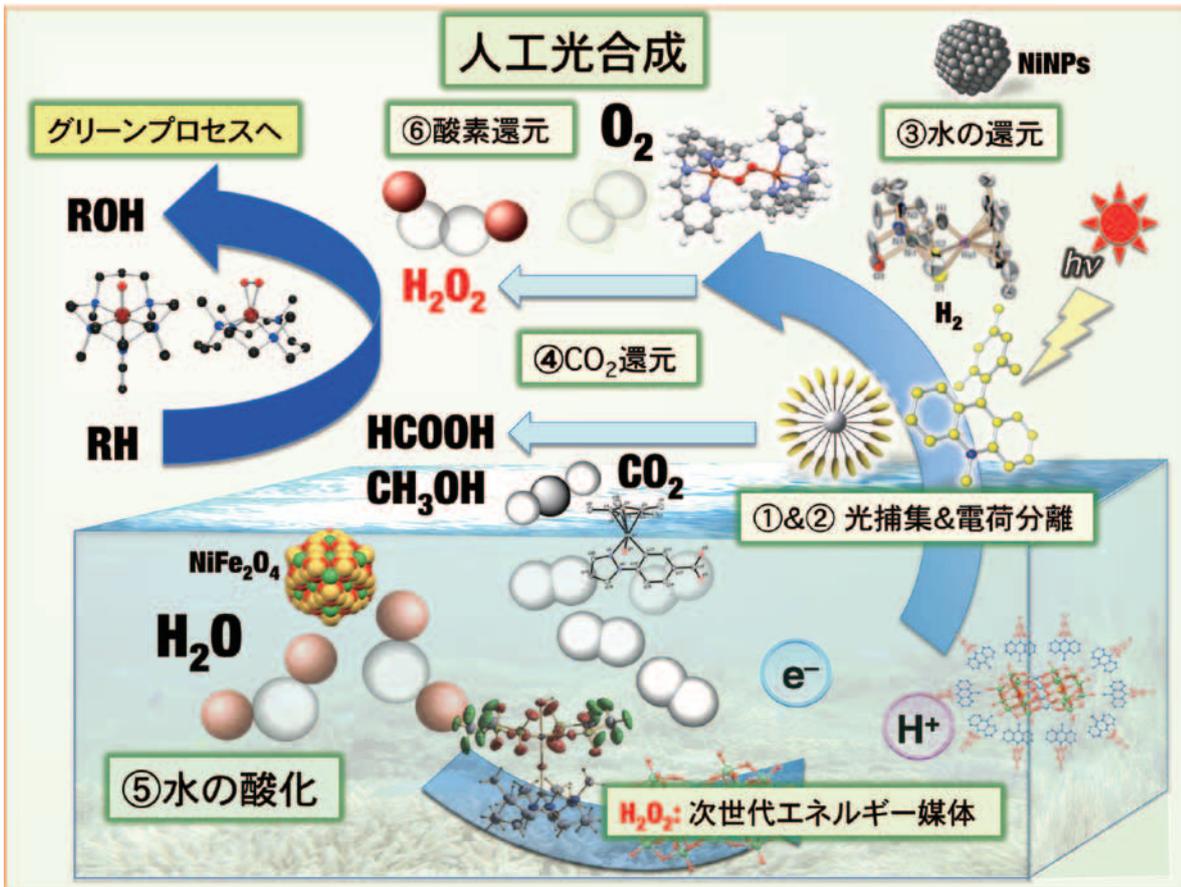


図1



大阪大学大学院工学研究科教授。工学博士

1973年東京工業大学理工学部化学工学科卒業。

1978年東京工業大学大学院博士課程修了。

1992年大阪大学工学部助教授、1994年大阪大学工学部教授を経て、1995年より現職。

専門は電子移動化学。特に人工光合成。

2005年日本化学会賞受賞。2011年文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）。2012年紫綬褒章受章など。著書に『生命環境化学入門』（朝倉出版、2011）など。

# 植物のデザインに学ぶ人工光合成 ～金属錯体による酸素発生反応～

分子科学研究所 まさおか しげゆき  
正岡 重行

太陽光エネルギーを用いて、水素やメタノールなどの化学エネルギー物質を作り出す。人工光合成と呼ばれるこの反応系の構築は、実用化に成功すれば世界のエネルギー問題が一挙に解決可能なほど、極めて挑戦的でインパクトの大きな研究課題であると考えられます。現在用いられている水素やメタノールは主に化石燃料から合成されていることから、人工光合成技術の開発は強く求められているといえます。

人工光合成反応の研究は、半導体などの無機物質を用いた不均一系光触媒による研究と、金属錯体や有機分子を用いた均一系光触媒による研究の二つに大別されます。特に、天然の光合成に匹敵する機能を発現させるためには、生体機能の中枢を担い、且つ、触媒活性点の反応性を分子レベルで制御することが可能である金属錯体が、極めて重要な研究対象であると私は考えています。

しかし、植物は容易に光合成の中で水から電子を取り出し、糖というエネルギーを作り出している一方で、人類は未だに天然の光合成よりもはるかに単純な人工光合成を実用化できていません。人工光合成の足かせの一つとして多くの研究者を悩ませてきたのが、水を酸化して電子を取り出す酸素発生反応です ( $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ )。酸素発生は、水から四つもの電子を同時に奪う反応なので、人工的に再現するのが難しいといわれています。自然界の光合成では、この難しい反応を光合成タンパク質の中に位置するマンガングラスタールと呼ばれる金属錯体を用いることで進行させています。私たちは最近、酸素発生反応の触媒開発において、植物が行っている触媒デザインをまねることにより面白い成果を得ることができました。本講演では、その一部をご紹介します。

## Keywords

**人工光合成**：植物が行う光合成を模倣し、人為的に水や二酸化炭素、そして太陽光エネルギーから化学エネルギー（水素やメタノールなど）を生み出す技術。実用化に向け、半導体や金属錯体を用いた光触媒系の利用が期待されている。

**金属錯体**：金属原子の周囲に、有機物が結合した構造を持つ化合物。金属原子と有機物との適した組み合わせにより、有機物でも無機物でも達成できない驚くべき機能を発揮することができる。生体機能発現においても、多くの中心的な役割を果たしている。

**マンガングラスタール**：天然の光合成において、酸素発生反応を担う金属クラスタール中心。4つのマンガニオンと1つのカルシウムイオンを含む。

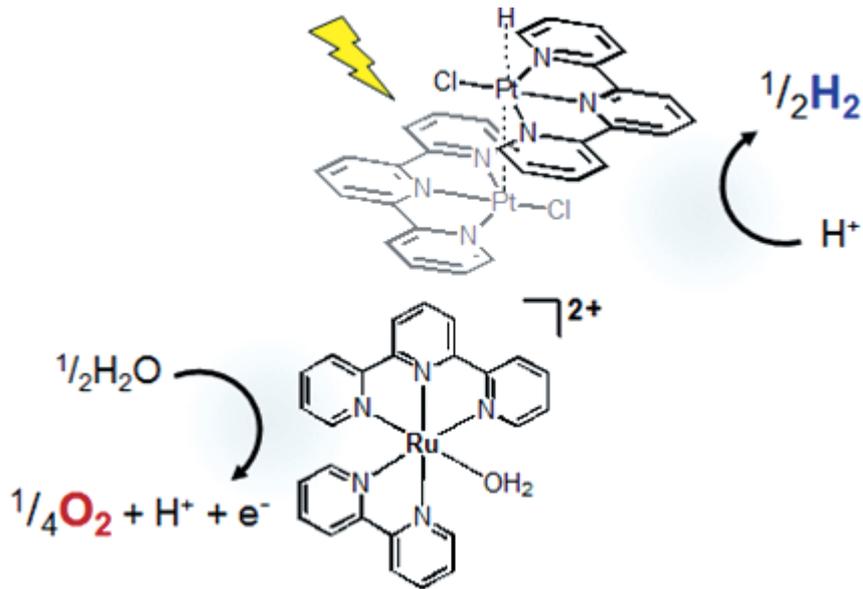


図1 金属錯体の構造と機能

上は、可視光を吸収して水から水素を発生させる白金錯体。下は、水を高効率に酸化して酸素を発生させるルテニウム錯体。



図2 水の酸化による酸素発生

水から酸素が発生しているところをとらえた写真。気泡は、水の四電子酸化によって生成した酸素である。金属錯体が水溶液中に溶け込んでおり、酸素発生触媒として機能している。



分子科学研究所 生命・錯体分子科学研究領域 准教授。博士(工学)

1999年同志社大学工学部機能分子工学科卒業。2004年京都大学大学院工学研究科博士課程修了。リバプール大学博士研究員、九州大学大学院理学研究院助手、同助教を経て2011年2月より現職。2009年10月より科学技術振興機構さきがけ「光エネルギーと物質変換」研究員を併任。2011年3月日本化学会 第25回若い世代の特別講演会講演賞受賞。専門は錯体化学。

# 規則性ナノ空間で拓く未来材料

京都大学大学院工学研究科

うえむら たかし  
植村 卓史

高分子は我々の生活を支える基盤材料として非常に重要で、現代はプラスチックの時代と言われるほどです。しかし、高分子材料を合成する際には、化学工場では反応釜、実験室ではフラスコといった高分子の鎖一本と比べるとかなり大きな反応容器を用いるので、得られる高分子鎖は必然的に絡み合ってしまう、その構造を制御するのはとても難しい状況です。もし、ナノメートルレベルで制限された空間をフラスコとして用いることができれば、フラスコの壁が高分子鎖に大きな影響を与えるので、従来の手法では得ることができない新しい高分子材料の開発が可能になるはずです。

最近、ゼオライトや活性炭に代わる新たな多孔性材料として、有機配位子と金属イオンとのボトムアップ法により組み上がる多孔性金属錯体 (Metal Organic Framework : MOF) が注目を集めています。MOFが有する規則性ナノ空間は、配位子と金属イオンとの様々な組み合わせにより、そのサイズや形状などを合理的に設計することができます。つまり、ナノサイズのフラスコを自分の手で精密かつ高効率に構築できることを示しています。

MOFのナノ空間は高分子の鎖が一本から数本で包接される程度の大きさですので、高分子合成用のフラスコとして利用すれば、得られる高分子の構造を思いのまま制御することができます。また、ナノフラスコ内に高分子を閉じ込めることで、鎖の本数や配列が厳密に規制された究極のナノ集積

化も達成できます。このようにナノサイズのフラスコを自ら設計することで、従来法では不可能な構造を持つ高分子材料の開発や特異な機能を示す未来型材料の創製につながると期待されます。

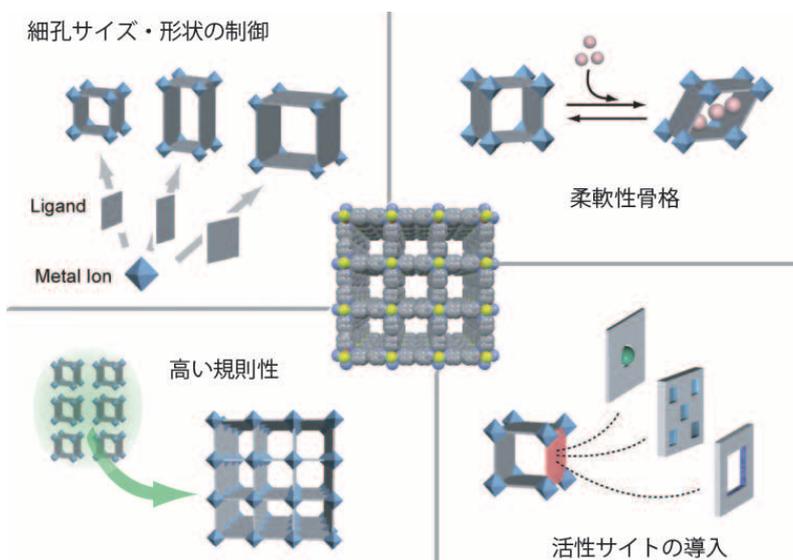


図1 MOFの特徴。金属イオンと架橋配位子の組み合わせを変えることで、分子レベルでナノ細孔の設計が可能。

Keywords

**高分子**：分子量が非常に大きい分子（通常1万以上）。合成高分子にはプラスチックやナイロンなど、天然（生体）高分子にはタンパク質や脂質などが含まれる。

**多孔性材料**：多数の微細な孔をもつ物質。吸着剤や触媒などに利用される。ガスや水などの選択的吸蔵や分離などに広く用いられている。

**金属錯体**：金属と非金属の原子が配位結合により結合した構造を持つ化合物。

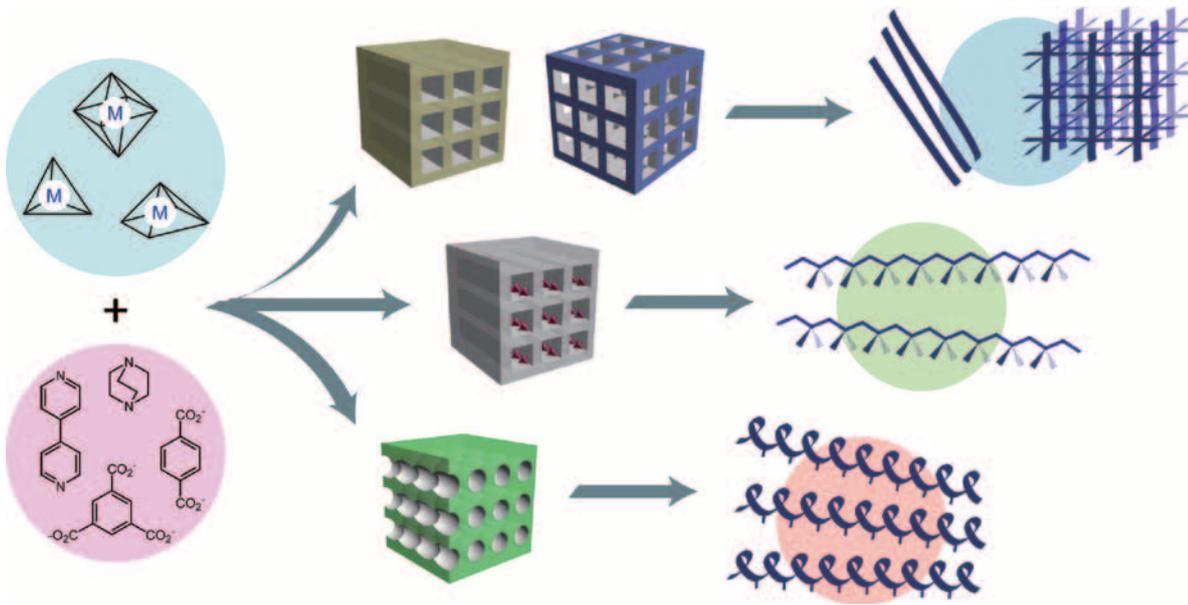


図2 MOFのナノ空間を用いた高分子合成。ナノサイズのフラスコを利用することで、生成する高分子の構造を自在に制御

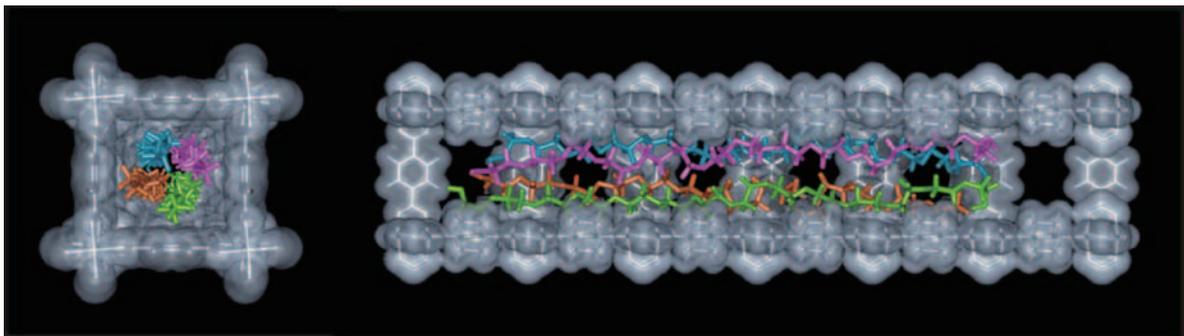


図3 MOFの空間に拘束された高分子鎖集合体。0.75×0.75 nmの空間にはポリエチレングリコールがたった4本のみで孤立して集積。



京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻 准教授。博士(工学)

1997年京都大学工学部工業化学科卒業。2002年京都大学大学院工学研究科高分子化学専攻博士課程修了。同年同大学院合成・生物化学専攻助手、2006年科学技術振興機構さきがけ研究員(～2010年、兼任)を経て、2010年より現職。

専門は高分子化学、錯体化学、ナノ空間化学。

2010年日本化学会進歩賞受賞。

著書に『超分子サイエンス&テクノロジー』(共著、NTS、2009)、『ナノ空間材料の創製と応用』(共著、フロンティア出版、2009)などがある。

# 有機薄膜太陽電池の現状と将来

分子科学研究所

ひらもと まさひろ  
平本 昌宏

エネルギー問題の解決は科学者の責務です。特に、我が国において、エネルギー資源がない状況は、明治維新から現在に至るまで全く変わっておらず、先の大戦、2年前の原子力災害のような、悲劇的で大きな歴史の転換は、常にエネルギーをめぐる起こっています。太陽電池は我が国のエネルギー自給の切り札となります。また、「エネルギーを制するものは世界を制する」との言葉にあるように、石油に代わって、21世紀の世界の基幹産業になる可能性があります。

以上の考えに基づき、平本グループでは、次世代太陽電池の有力候補である、有機薄膜太陽電池の研究を行っています。

分子の集まりを取り扱う有機半導体エレクトロニクスでは、有機ELテレビ(図1)が実用化され携帯にも搭載されています。次のターゲットとなるのが、有機太陽電池です。有機薄膜太陽電池は、軽量のフレキシブルシートの形で、印刷によって新聞のように大量安価に作れ、屋根、壁、窓に貼り付けたり、自動車にペンキのように塗って使うなど、これまでの無機系太陽電池とはちがった全く新しい使い方になります(図2)。

平本は、1991年に、有機混合接合(有機版p-i-n接合、バルクヘテロ接合同もよばれる)(図3)のコンセプトを世界に先がけて提案し、現在の有機薄膜太陽電池はこの構造をつかっています。

有機薄膜太陽電池の分野でブレイクスルーを起こすには、有機半導体の物性物理学、すなわち、超高純度化、ドーピングによるpn制御、半導体パラメータ精密評価、等を、シリコン無機半導体のレベルまで引き上げる必要があります。これらの有機半導体基礎研究とデバイス応用をリンクさせ、実用化に十分な効率15%の有機太陽電池を実現することを目指しています。

## Keywords

**有機半導体**：20世紀中頃に花開いた、シリコンなどの無機半導体は、今日、コンピュータのCPU、メモリー等として、現代社会に不可欠なデバイスとなっています。それに対して、有機材料は最初絶縁体としての側面が強かったのですが、21世紀に入り、半導体として大きく発展し、有機ELテレビのような有機半導体エレクトロニクスの大きな分野が形成されつつあります。

**有機ELディスプレイと有機太陽電池**：有機ELは、有機半導体に電極から電気を注入し、光として取り出すデバイスです。ディスプレイとして実用化されており、スマホに搭載され、非常に薄い大画面テレビが開発されています。有機太陽電池は、有機ELとは逆に、太陽の光を当てることで、電気を取り出すデバイスです。数年内に売り出されると予想されています。

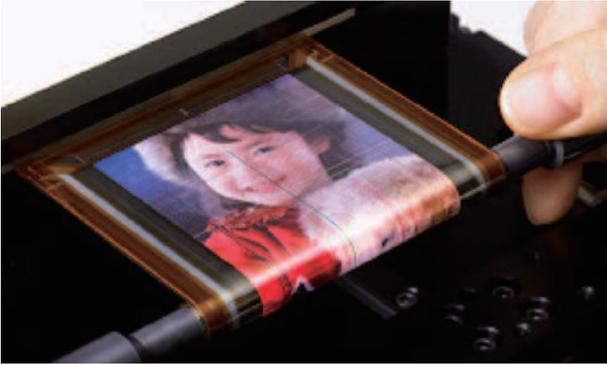


図1 巻物のような有機ELテレビ

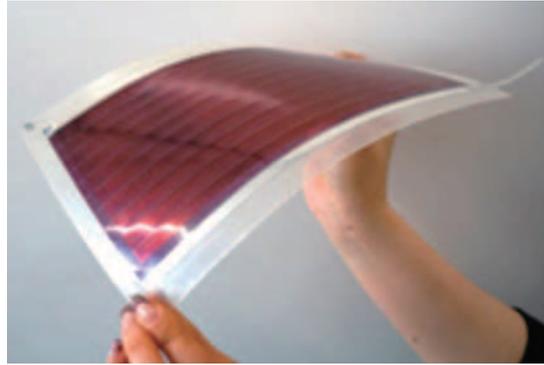


図2 フレキシブルな有機薄膜太陽電池

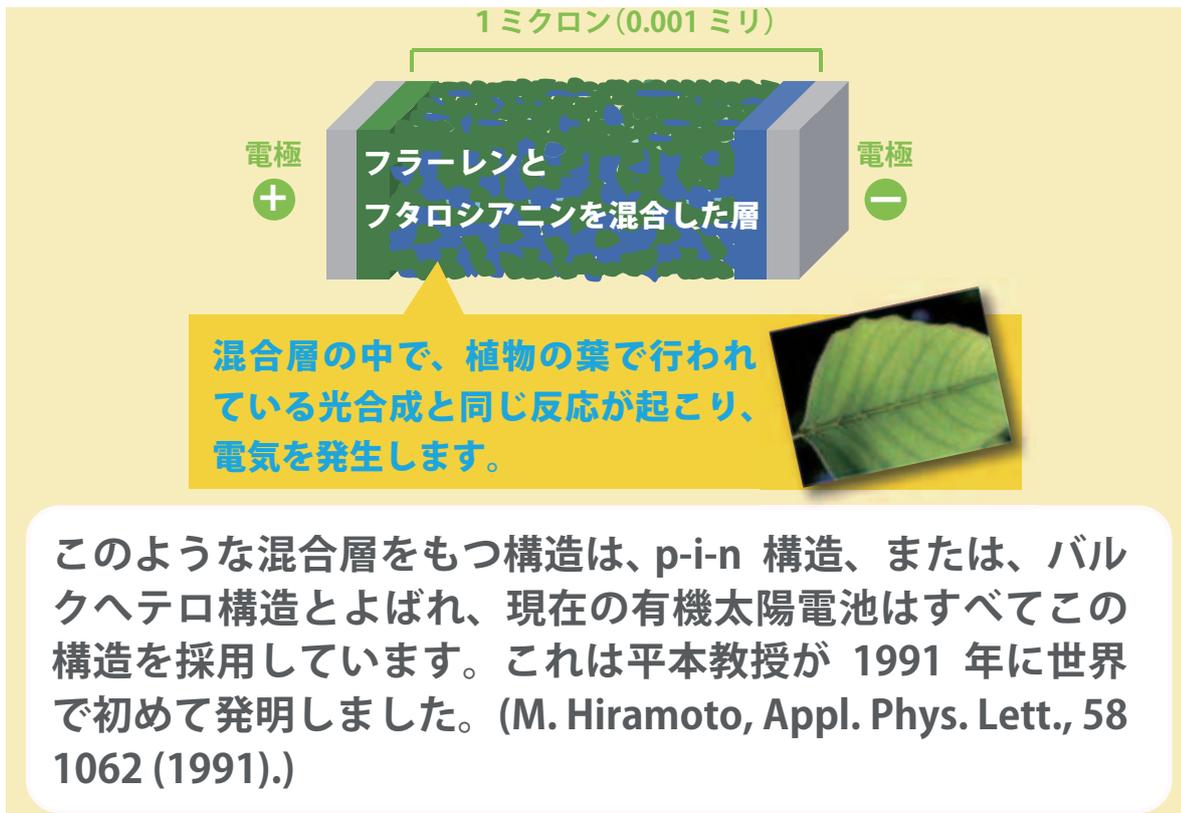


図3 有機太陽電池の構造と発電の仕組み



分子科学研究所分子スケールナノサイエンスセンター教授。工学博士

1984年大阪大学大学院基礎工学研究科化学系博士課程中退。84年分子科学研究所文部技官、88年大阪大学工学部助手、97年大阪大学大学院工学研究科准教授を経て、2008年より現職。

専門は有機半導体の光電物性と太陽電池、デバイス応用。

現在は、特に、有機薄膜太陽電池に関心を持つ。2006年、応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会論文賞受賞。

# ハーバー・ボッシュ法を超える アンモニア合成法は誕生するのか？

東京大学大学院工学系研究科

にしばやし よしあき  
西林 仁昭

現代の爆発的な人口急増に伴う食糧不足を解決した、20世紀最大の発明の一つである「ハーバー・ボッシュ法」。これを超えるアンモニア合成法を開発することはできるのか？ いや、人類のさらなる発展のためにも、是非とも開発しなければならない！

窒素は、生命活動維持に必須な元素であるとともに、近代文明生活を営むために必要不可欠な元素の一つである。現代社会において、この窒素の大部分は鉄系触媒存在下で窒素ガスと水素ガスとから高温高压（400～600℃、200～400気圧）の非常に過酷な反応条件が必要なエネルギー多消費型のプロセスによって合成されるアンモニアにより供給されている。この方法によって供給されるアンモニアを窒素肥料の原料とすることで、人類に必要な食料生産を実現してきた。しかし、化石燃料から合成する水素ガスの製造も含めると、全人類の消費エネルギー数パーセント以上がこのアンモニア合成に使用されているとの指摘もある。それ故、より温和な反応条件下で、化学的に不活性な窒素分子をアンモニアへと変換する反応の開発は、化学者が達成すべき最重要検討課題の一つであると言っても過言ではない。

この解決すべき研究課題に対して、講演者らが最近開発に成功した「常温常圧の極めて温和な反応条件下で進行するモリブデン窒素錯体を用いたアンモニア合成法」について紹介する。触媒量のモリブデン窒素錯体存在下、還元剤とプロトン源（水素源）とを常温常圧の窒素ガスと反応させると触媒当たり最高53当量のアンモニアが生成した。触媒活性はまだ十分とは言えないが、本研究成果は次世代型窒素固定反応開発に繋がる可能性を切り開いたものであると考えている。

アンモニアは炭素を含まないことから、次世代エネルギーとしても最近注目されている。このアンモニアをエネルギー源として利用する「アンモニア社会」の展望についても紹介する。

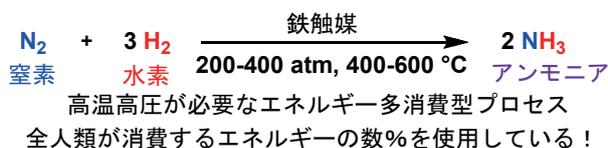


図1 ハーバー・ボッシュ法  
工業的なアンモニア合成法。高温高压の反応条件下、鉄系触媒を用いて窒素ガスと水素ガスとからアンモニアを合成する方法。

1898年 Sir William Crookesが人口増大とチリ硝石涸渇による食糧危機を指摘  
1909年 発見（特許取得）  
1913年 工業化（BASF社：アンモニア生産）  
現在 年間1.5億トンのアンモニア生産（半導体・液晶向け窒素源としての需要）

## Keywords

**ハーバー・ボッシュ法**：ちょうど100年前に工業化されたアンモニア合成法。世界中で年間約1億5,000万トンのアンモニアが本法によって合成され、そのほとんどが肥料として利用されている。「空からパンをつくる方法」と呼ばれる。

**窒素**：人間の生命維持活動に必要な不可欠な核酸、アミノ酸、蛋白質等の重要な構成元素の一つであると共に、近代文明生活に必要な衣服や医薬品等にも含まれる元素。

**アンモニア社会**：石油、石炭、天然ガス等の化石燃料の代わりにアンモニアをエネルギー源として利用する社会のこと。アンモニアスタンドやアンモニア自動車などの利用が考えられる。



現時点で最も効率的な反応

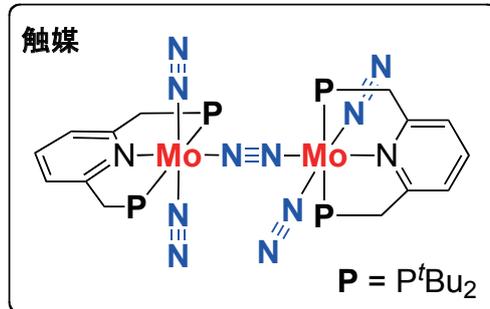


図2 モリブデン触媒を用いた常温常圧下でのアンモニア合成法。  
常温常圧の反応条件下、モリブデン窒素錯体を用いて窒素ガスからアンモニアを合成する方法。

**アンモニア社会・・・アンモニアをエネルギー媒体として用いる社会  
C1 (炭素) 化学からN1 (窒素) 化学への展開**

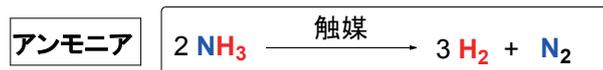
**従来のエネルギー媒体の問題点**

化石燃料の利用・・・二酸化炭素の排出  
水素の利用・・・環境的には理想 貯蔵運搬方法等に問題



**アンモニアの利点**

水素貯蔵体として有用・・・高密度で液化可 貯蔵運搬容易  
(アンモニアから窒素と水素ガスへの分解反応でエネルギーを取り出す)  
二酸化炭素無排出の循環系構築・・・持続型社会の実現



**アンモニア社会実現への課題**

化石燃料を用いるエネルギー多消費型プロセスである  
ハーバー・ボッシュ法(窒素ガスと水素ガスからのアンモニア合成)に  
代わる次世代型窒素固定法の開発が必要

図3 アンモニア社会の実現に向けて。  
アンモニアをエネルギー媒体として用いる社会(アンモニア社会)の提案  
と実現への課題。



東京大学 大学院工学系研究科 総合研究機構 准教授。京都大学博士(工学)

1991年京都大学工学部石油化学科卒業。

1995年京都大学大学院工学研究科物質エネルギー化学博士後期課程修了。

1995年東京大学大学院工学系研究科助手、2000年京都大学大学院工学研究科助手を経て、2005年より現職。

専門は、有機合成化学、有機金属化学、触媒化学。

2000年日本化学会進歩賞、2005年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2012年日本学術振興会賞及びグリーンサステイナブルケミストリー奨励賞受賞。

# グリーンイノベーションと 革新電池とのつながり

トヨタ自動車株式会社電池研究部

いば ひでき  
射場 英紀

持続可能な社会を実現するためには、化石燃料の消費が少なく二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出の少ない自動車が必要である。そのために車両の小型・軽量化やエンジンの低燃費化など、多くの取り組みが行われてきた。

ハイブリッド車は低燃費と走行性能の両立という観点から、1997年のプリウスの発売以降、車種と台数を増やしてきている。プラグインハイブリッド車は、住宅などの電源から車両に搭載された蓄電池に充電することにより、従来のガソリンのみを給油するハイブリッド車に比べて一次エネルギーの多様化に対応できるとともに、CO<sub>2</sub>の排出やエネルギーコストの低減も期待できる。プラグインハイブリッド車においては、蓄電池の容量が大きければ大きいほど電池による走行距離が増え、CO<sub>2</sub>の排出量やエネルギーコストが小さくできる。

電気自動車は、古くからフォークリフトやゴルフカートなどで実用例があるがいずれも一充電での走行距離が短く、普通乗用車に大量普及させるためには蓄電池の性能向上による航続距離の延長が最大の課題である。以上のように、ハイブリッド車や電気自動車において蓄電池はいうまでもなくコア技術であり、電池の革新がそのまま自動車の革新につながるといっても過言ではない。

現状のニッケル水素（Ni-MH）電池や、リチウム（Li）イオン電池に比べ、画期的に高容量が期待できる電池として全固体電池や金属空気電池などが研究開発されているが、実現のためには課題も多く長期の研究によるブレークスルーが必要である。

このようなブレークスルーのためには、サイエンスに基づく創造的・萌芽的な研究が不可欠と考える。このような研究は内容の学術レベルが高いだけでなく、長期の研究期間が必要でかつ成功確率も小さいため民間企業が単独で行うことは難しく、大学や公的研究機関での研究と産学連携によるその成果の受け渡しに対する期待が大きい。

## Keywords

**全固体電池**：通常、電池は、正極、負極の活物質と電解液という基本構成だが、電解液を固体に置き換えることにより、電池の内部の材料はすべて固体となることから全固体電池と呼ばれる。全固体電池は、従来の電解液を用いる電池に比べ電池の高電圧化や部材の削減が可能であり、安全性も高いため、これらを総合して、高容量化が可能といわれている。

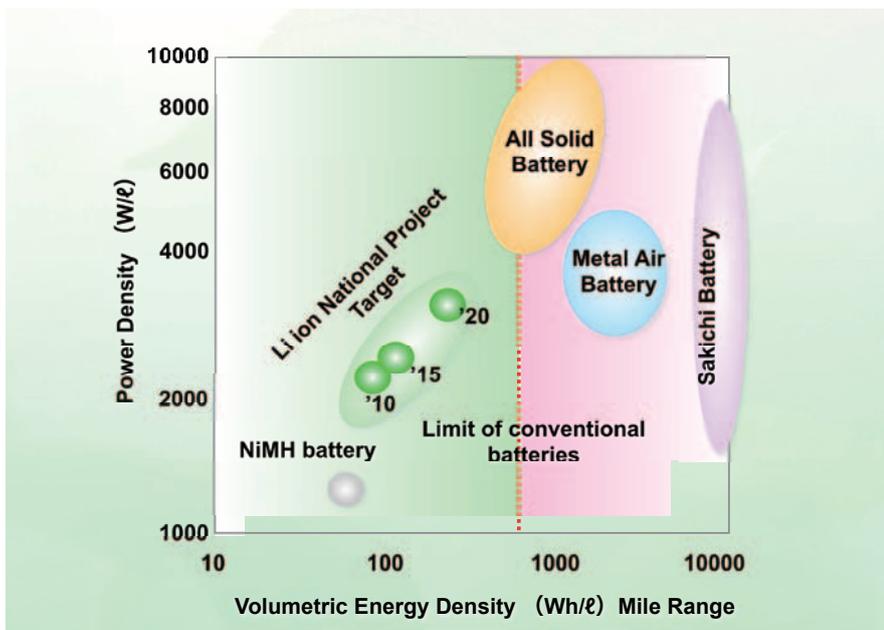
**金属空気電池**：負極では金属が溶出、正極では溶出した金属と酸素が反応することによって起電力を生じる電池。亜鉛空気電池はすでに実用化されているが、最近、二次電池として充放電できるタイプの金属空気電池が見いだされ、盛んに研究されている。



TODAY for TOMORROW

TOYOTA

図1



TODAY for TOMORROW

TOYOTA

図2



トヨタ自動車株式会社 電池研究部 部長

1987年トヨタ自動車入社。自動車用軽金属部品の研究開発に従事。  
 93～96年物質工学研（現：産業技術総合研究所）に派遣、水素貯蔵合金を研究。  
 97年東北大学大学院工学研究科博士取得。  
 2000年トヨタ自動車技術統括部で先端研究の企画統括と産学連携推進を担当、  
 2008年電池研究部設立、部長として現在に至る。  
 専門は材料工学、ナノテクノロジー、新型電池の研究開発とマネジメント。

# グリーン化学合成研究の最先端

分子科学研究所

うおずみ やすひろ  
魚住 泰広

私たちの身の回りには多くの化学製品があります。なかでもプラスチック製品、化学繊維、医薬品、液晶材料など有機化合物は今日の人類の健康や文化を支えています。一般にこれら有機化合物の合成には油（有機溶媒）が用いられます。これに対して生物は、有機溶剤を用いることなく、体内の水の中で有機反応を行い、有機分子を作っています。しかも、温和な条件の下で極めて複雑な立体構造を持つ有機分子を作っています。有機溶剤の多くは枯渇性化石資源由来であり、爆発性や毒性が高いことが知られています。生物と同じような水中での有機化学反応を実現できれば、安全で環境にやさしい理想的な次世代型化学プロセスが誕生します。

私たちの研究グループでは両親媒性高分子担体（「水」にも「油（＝有機物質）」にも馴染む性質の高分子）に遷移金属錯体触媒、遷移金属ナノ粒子触媒を組み入れることで、有機化学合成プロセスを「水中」で「不均一」で達成しました。

達成された一連の触媒反応は「水中でこそ、不均一系でこそ達成される」高効率反分子変換です。すなわち水中に溶解できない有機基質は本反応システムにおいては自発的に高分子内に濃縮します（雨宿り効果）。高分子内に触媒活性点を予め組み入れておくことで、自発濃縮した有機基質は速やかに触媒反応に供されます。この反応システムでは触媒が高分子に固定化されているため濾過操作によって簡便に触媒が回収再利用され、同時に反応生成物には用いた触媒由来の不純物（遷移金属など）の混入が顕著に抑えられます。水を用いることでの高い安全性に加え、希少な触媒金属種（レアメタルなど）の簡便な回収再利用を実現しており、高度な環境調和性（グリーン化学反応）を実現しています。

本講演では、この水中不均一触媒反応で実現された化学工程の中から、電子材料や医薬品合成に繋がる幾つかの実施例を紹介します。

## Keywords

**両親媒性高分子**：「水」にも「油（＝有機物質）」にも馴染む性質の高分子。代表的なものにポリスチレン-ポリエチレングリコール共重合高分子、アクリルアミド高分子などがある。

**グリーン化学**：日本ではグリーンサステナブルケミストリー（Green Sustainable Chemistry）として推進されつつある、生態系に与える影響を考慮し持続成長可能な化学工業のあり方を提言する環境運動。1998年 Anastas、Warner によって上梓された成書「グリーン・ケミストリー」における「グリーンケミストリー 12原則」の提案が指針として有名。

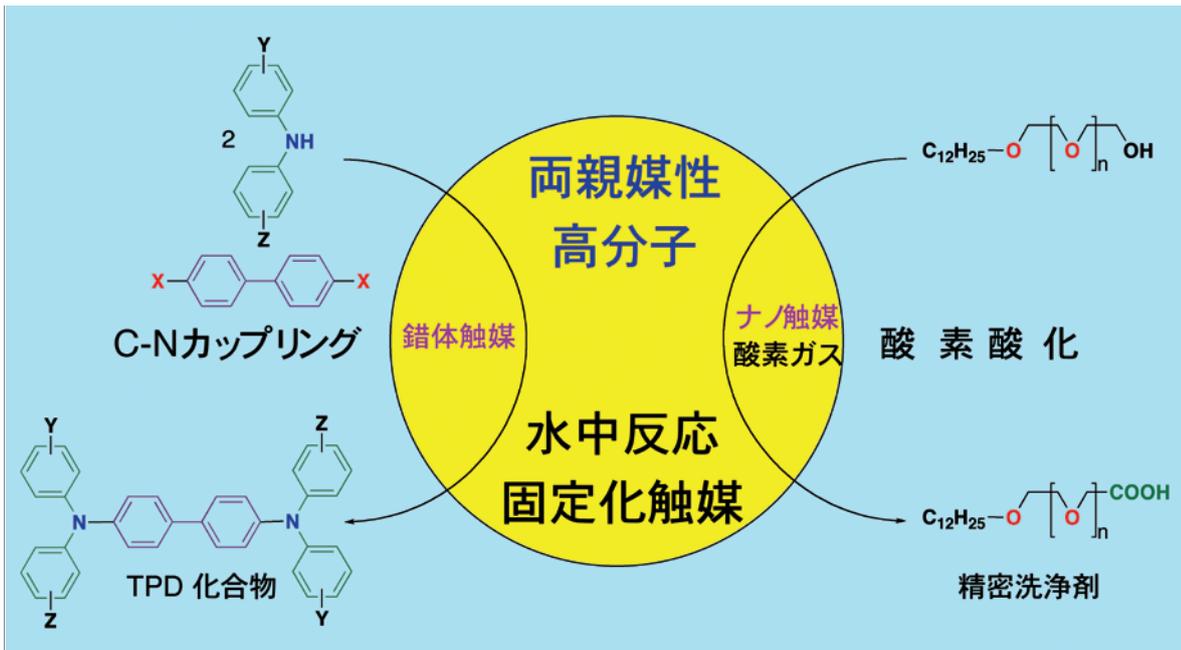


図1



分子科学研究所

1964年 札幌生まれ。  
 1984年 北海道大学薬学部卒業  
 1990年 薬学博士  
 1990年 触媒化学研究センター助手  
 1994年 米国コロンビア大学研究員  
 1995年 京都大学理学部講師  
 1997年 名古屋市立大学教授  
 2000年から現職  
 2000年～総合研究大学院大学教授 (併任)  
 2007年～理化学研究所研究チームリーダー

2007年 グリーン・サステイナブルケミストリー賞・文部科学大臣賞  
 2007年 日本化学会学術賞  
 2010年 井上学術賞

専門は有機合成化学、有機金属化学

# 夢を持ち続けよう！— d-block 遷移金属触媒が21世紀を救う

科学技術振興機構、米国パデュー大学

ね ぎ し え い い ち  
根 岸 英 一

先進国では少子化問題が深刻化する一方、全世界的には人口増加がかなりの速度で進んでいる。つまり、より多くの食糧、衣料、燃料などが必要となる。これらは農林、水産、鉱業の発展に伴い、自然資源から得てきたが、将来的には深刻な問題になることは明白で、抜本的な解決策が必要とされる。現時点で十分に満足な解決策はまだないと思うが、原理的に考えて十分に実現可能なものであると考える。

我々の生活に欠かせない食糧、衣料、燃料はほとんど、有機化合物である。筆者は地球温暖化の元凶とされているCO<sub>2</sub>、これとH<sub>2</sub>Oを科学的かつ実用的にリサイクルして活用することが必要であり、これを経済的かつ安全に達成することこそ、今日の化学者に課せられた今世紀最大の課題の一つと考える。

近年、金属を使わない有機合成が「グリーン」であると重視されているきらいがあるが、全体像を捉えてないまま言われていることが多く、しばしば誤解を招いている。安価な金属を含む塩類や酸化物を還元して得られるさまざまな金属が、幅広く産業の基礎となっていることはよく知られている。こうした金属はリサイクルを前提とし、触媒のほか量論試薬としても広く使われている。むしろ、金属を使わなくても総合的によりよい結果が得られるのであれば、そのほうがより「グリーン」であると言えるのは言うまでもない。

筆者はこれからのグリーンな有機合成法開発の鍵は、これまでと同様でTcを除いた23のd-Block遷移金属を高度に触媒的に用いた、「高収率」(high Yield)、「高能率」(high Efficiency)、「高選択的」(high Selectivity)、「経済的」(high Economy) かつ「高安全性」(high Safety)、つまりY (ES)<sub>2</sub>に象徴される有機合成法をより多く発見することであり、それが将来を拓くと強く感じている。

## Keywords

**Ligand (s)** : 配位子 (リガンド)。金属元素に配位し (くっついて)、その性質や機能をいろいろと変化させる置換基

**Radioactive element (s)** : 放射性のある元素

**Organic element (s)** : 有機物を構成する元素

**d-block transition metal (s)** : dブロック遷移金属

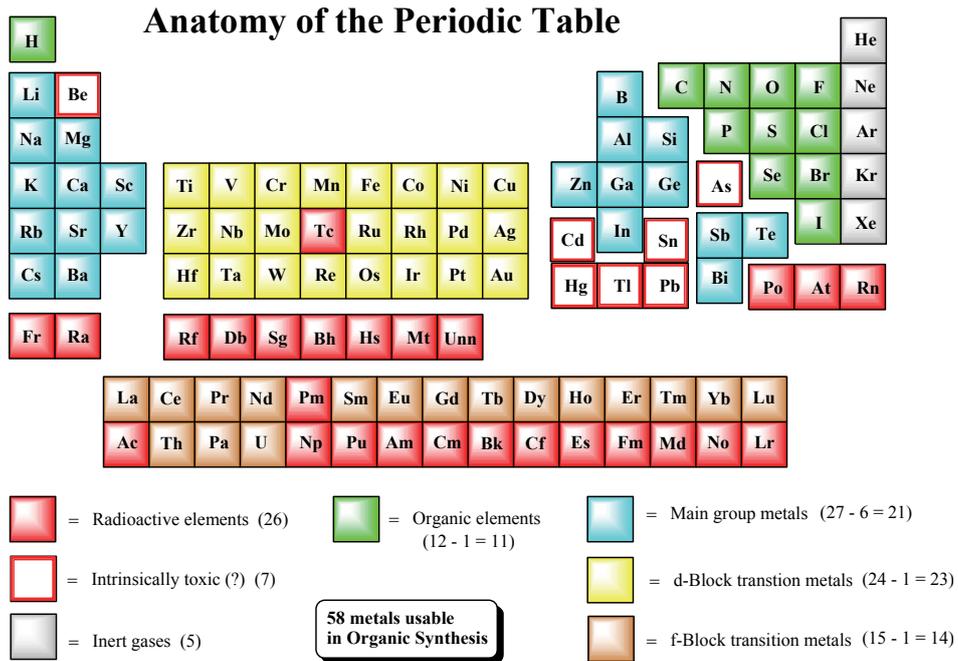


図1 周期律表

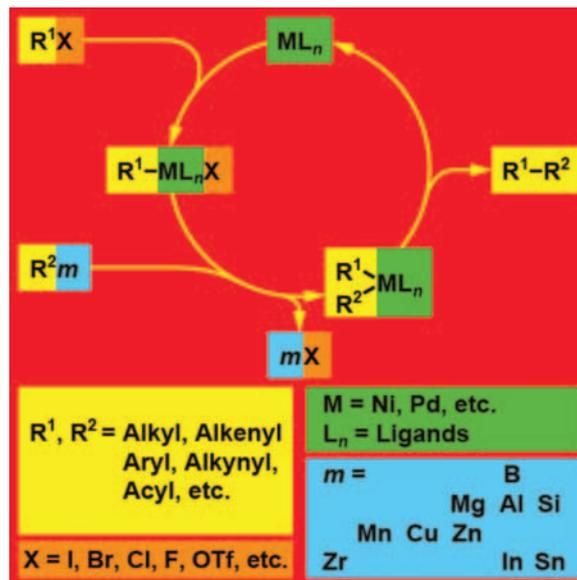


図2 パラジウム触媒によるクロスカップリングのメカニズム



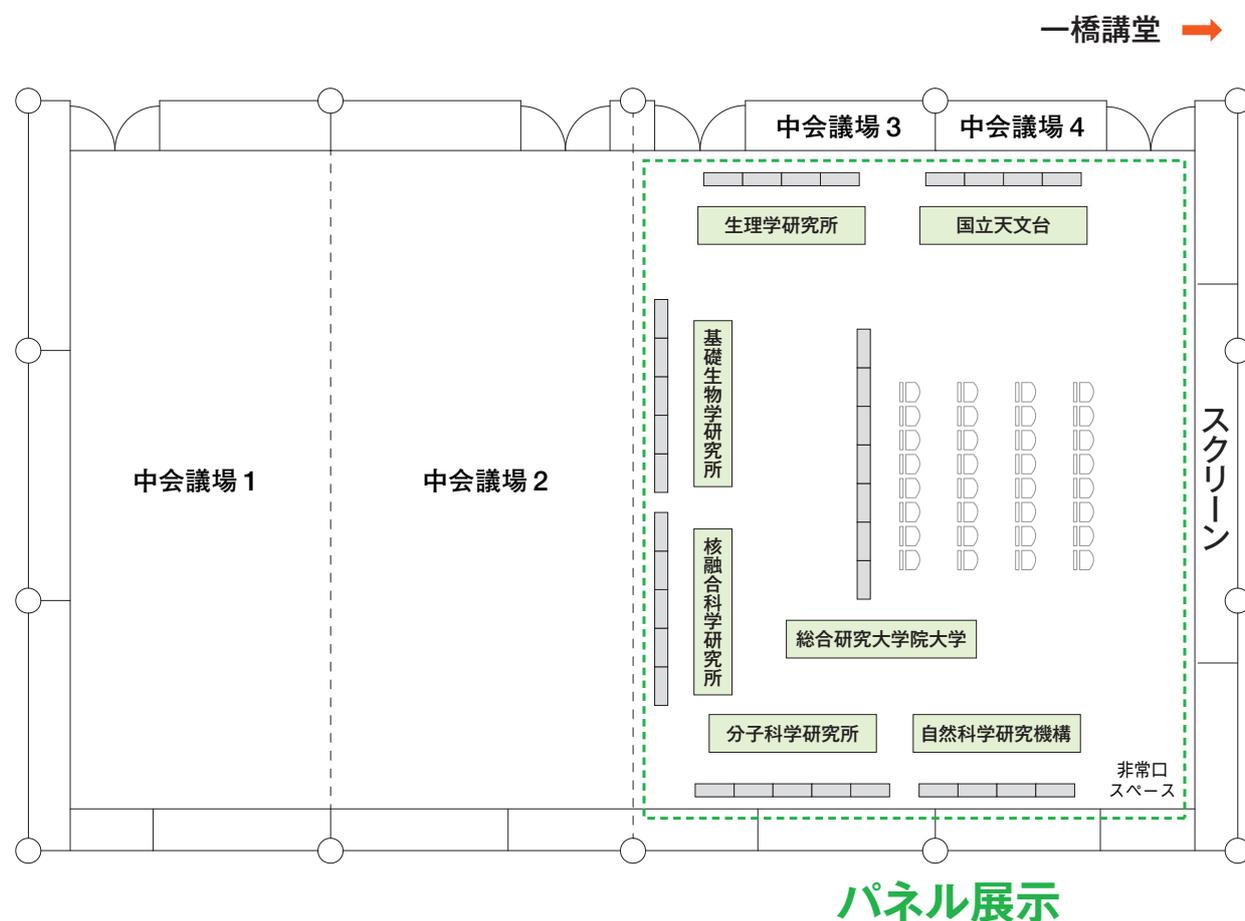
科学技術振興機構、米国パデュー大学、化学者

1935年中国旧満州生まれ。  
 1958年東京大学工学部応用化学科卒業。同年帝人へ入社。  
 1960年帝人を休職してフルブライト奨学生としてペンシルベニア大学大学院に留学。  
 1963年同大学大学院博士課程修了。Ph.D. 理学博士。  
 1966年帝人を退職。パデュー大学ポストドクトラル研究員 (H.C. ブラウン教授)。  
 1968年パデュー大学助手。  
 1972年シラキュース大学助教授、1976年同大学准教授を経て、1979年パデュー大学へ移籍し教授に就任。1999年同大学化学科H.C. ブラウン特別教授、2012年パデュー大学名誉博士。  
 2011年より独立行政法人科学技術振興機構にて総括研究主監。





## ■ 展示場案内



### 写真等の撮影について

当イベントで撮影した写真・映像・音声等は当機構のホームページ上又はプレス発表、広報誌等に公表する場合がありますので、予めご了承下さい。

大学共同利用機関法人自然科学研究機構のホームページはこちら

<http://www.nins.jp/>