

産総研

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

TODAY

10

2006 October

Vol.6 No.10

特集

02 ナノテクノロジー 産業変革と持続発展可能な社会に向けて

トピックス

20 有機ナノチューブ大量合成法の開発

徐放性医薬、健康食品など産業応用への道を開く

リサーチ・ホットライン

- 24 マイクロ波によるポリエステル合成
- 26 らせん構造を形成する液晶性半導体
- 28 発電する熱交換器用パイプ型モジュール

パテント・インフォ

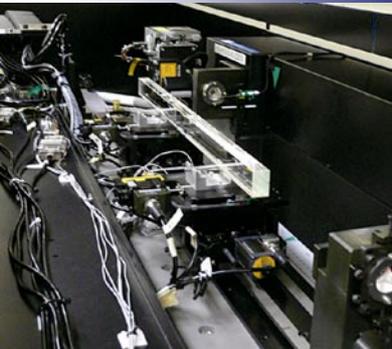
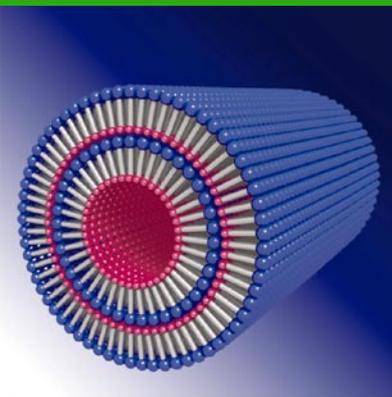
- 30 有機汚染物質の抽出方法 水蒸気を用いる PCB・農薬の簡便な回収法
- 31 β -アミロイドタンパク質会合阻害剤 アルツハイマー病の発症を阻害する物質の開発を目指して

テクノ・インフラ

- 32 天然における核種移行とコロイド粒子 高レベル放射性廃棄物地層処分の観点から
- 34 標準尺標準・デジタルスケール標準 測定器の高分解能化にともない新たな標準を開発

ニュース

- 36 オルガテクノ大賞 2006 - 材料・素材部門賞を受賞
つくば奨励賞を受賞



ナノテクノロジー

産業変革と持続発展可能な社会に向けて

産総研のナノテクノロジー

ナノテクノロジー研究の新たな展開

ナノテクノロジー研究の世界的な展開として、ナノテクノロジーの社会受容や標準化が加わり、それらを含めた大きな流れができています。日本においてもこの流れを踏まえた第3期科学技術基本計画が今年度からスタートし、ナノテクノロジー・材料分野も重点推進分野の1つとして明確に位置づけられるなど産業技術への貢献に一層期待が高まっています。

研究戦略とナノテクノロジー

産総研は、第2期中期計画を推進するにあたり、限られた研究資源で社会からの多様な期待に応えるために研究戦略を策定し、研究の方向性を明らかにしました。産総研におけるナノテクノロジー研究は、主にナノテクノロジー・材料・製造分野の中で実施されていますが、この分野の研究戦略の中核コンセプトは、「ミニマルマニュファクチャリング」です。これは、「最小

の資源を用い、最小のエネルギー（生産コスト・環境負荷）投入で最大機能を発現し、かつ廃棄物も最小に抑える技術体系、循環システム」を構築しようとするものであり、先端技術としてのナノテクノロジーが重要な役割を演じています。産総研のナノテクノロジー研究は、上記の研究分野に限らず、ライフサイエンス、情報通信・エレクトロニクス、環境・エネルギー分野においても重要な基盤技術として寄与しています。

世界を先導する産総研の取り組み

産総研は、世界に先駆けて取り組んだアトムテクノロジープロジェクトの成果を受け継ぎ、経済産業省・ナノテクノロジープログラム等を先導してきました。現在、このプログラム中の多くのプロジェクトが終了段階に入っていますが、2005年に発足したナノテク・先端部材実用化研究開発プロジェクトにおいても中核研究機関として多くの

取り組みに参画しています。

いうまでもなくナノテクノロジーは、新たな科学技術を拓くとともに既存の産業技術の多くに関わりそれらの技術の幅を広げ、深みを増す基盤技術であり、現在の社会の様々な問題の解決に役立つと期待されています。一方で、これまで踏み込んだことのないサイズ領域のナノマテリアル等が研究対象となり、予期しない負の結果がもたらされる可能性も指摘されています。産総研では、ナノテクノロジーの健全な発展を図るためにリスクの面からの研究にも積極的に取り組んでいます。ナノ粒子の安全試験方法の研究が将来の国際標準化を目標に2005年度からスタートしました。

最後に、この特集をご覧ください。ことで、ナノテクノロジーに関連する産総研の取り組みの一端をご理解いただければ幸いです。

研究コーディネータ
(ナノテクノロジー・材料・製造担当)

五十嵐 一男



図 工業技術院のアトムテクノロジー研究から産総研のナノテクノロジー研究へ

ナノテクノロジーの世界事情

技術情報部門

関谷 瑞木・高橋 淳子・宮本 耕一・関根 重幸

世界中で行われているナノテクノロジー研究について、日本とはほぼ同等の研究予算を支出している米国、欧州、アジアの状況を紹介します。

米国

米国は包括的なナノテクノロジー（NT）の研究開発フレームである国家NTイニシアティブ（NNI）のもとで、戦略的にNTの研究開発を進めています。米国の関連特許数は急増しており、また投資額も世界全体の約4分の1を占めるなど、NTの分野で世界のリーダーとしての地位を維持しています。一方で、日欧との厳しい研究開発競争や韓国・中国等の追い上げに対して、危機感をもっているようです。2004年に発表された2006年～2010年のNNI戦略計画において、自国の競争力維持のためにNTの研究開発、人材育成そして産業化のより一層の強化・進展をはかる方針が打ち出されています。

このような状況を背景にNNIの総予算は、ブッシュ政権の緊縮財政政策にもかかわらず、NNI開始時の2倍強の12億7500万ドル（2007年度要求）となっています。

NNI投資の課題として、NTの実用化のための研究開発と環境や健康への影響の研究とのバランスをいかにとるかに関心が集まっています。ナノ材料の安全性への懸念の高まりを反映し、環境・健康影響研究の予算区分に入らないプログラムにおいても安全性等の研究を行う例が存在します。

この点で米国環境保護庁が中心となって進めているGreen Nano Initiativeは、NTを用いた低環境・健康負荷技術の研究開発として注目を集め始めています。

ヨーロッパ

2004年5月にEUは「欧州のNT戦略に向けて」を発表し、NTで世界をリードするための課題をあげ、中でも研究開発成果の産業化による社会への還元が重要であるとしました。これを受け2005年6月には「NTに関する欧州行動計画2005-2009」が出され、欧州がナノサイエンス・NTの研究開発およびイノベーションにおいて、世界をリードする行動計画を示しました。

2006年3月24日のEU首脳会議で経済成長と雇用創出を目指す「新リスボン戦略」を採択し、現在、対GDP比1.9%の研究開発投資（公的資金+企業支出分）を、2010年までにEU全体で3%に引き上げることを目標としました。また、EU横断的な

NT環境技術などの最先端技術の開発推進をになう欧州工科大学（EIT）の創設が合意されました。

EUの第6次フレームワーク計画（FP6、2002～2006）の中で、2006年1月に2015年までのナノサイエンス・NTロードマップが発表され、FP7（2007～2013、7年間で505億ユーロ）では「知識こそが欧州最大の資源である」としています。FP7のNT関連テーマは、「ナノサイエンス、NT、材料、新生産技術」（34億ユーロ）と「情報通信技術」（91億ユーロ）の基幹技術としてナノエレクトロニクス、統合マイクロシステム・ナノシステム-小型化統合があげられています。

EUとは一線を画している英国では、貿易産業省が2004年に科学とイノベーションの将来ビジョン2004-2014を発表しました。それに従った予算計画（2005～2007）では、NTは他分野を支える基盤技術とされています。

アジア

アジアでは地域ごとに特徴のあるNT分野の研究開発、産業育成を行っており、日本の協力が期待されています。産総研はNT分野の標準化、社会的影響、人材育成などについて関係者が議論する場としてアジアNTフォーラムを主催し、ネットワークの構築、国際会議の開催などを行っています。

中国では、中国科学院、北京大学などに研究拠点を設け、多額の国家資金を投入しています。また、NTのスピンオフ、起業、技術移転を奨励するため、北京、上海等にNT拠点を作りました。

韓国ではNT推進のため2001年に10ヵ年計画を策定し多額の研究開発投資を行っています。NT分野の特許及び起業は急成長していますが、基礎研究及びバイオの分野はまだ弱体であると考えています。

台湾では、2003年に6ヵ年計画を開始し、研究開発、産業育成のほか、NT人材の育成、NTの社会的影響の問題にも熱心に取組んでいます。

インドでは、2001年にNTイニシアチブを立ち上げ、研究開発の優先的支援、インフラの強化、人材育成、産学連携を進めています。

シンガポールでは、既存産業に役に立つエレクトロニクス、科学、バイオ、医療に注力した研究開発を進めています。

オーストラリアでは、オーストラリア連邦科学産業研究機構（CISRO）がNTの中の材料とバイオに注力しています。

ボトムアップ型ナノテクノロジー

ボトムアップ型ナノテクノロジーの持つ可能性

トップダウン型製品加工の限界？

インテルの創業者の一人、ゴードン・ムーアが1965年に提唱した、半導体チップの微細化トレンドに関するムーアの法則「チップに集積されるトランジスタの数は2年毎に2倍になる」は、その後40年にわたる半導体微細加工技術の進展を見事に特徴づけてきました。現在、量産レベルでトランジスタのサイズは50nm付近にまで達し、既にナノテクノロジーの領域に突入していますが、ムーアの法則はまだしばらくは健在だろうと言われています。

素材を加工して微細な目的物を作るトップダウン型技術はこの先、どこまで進歩していくのでしょうか。今後10年で加工精度は20nmに達すると予測されているものの、技術的にも経済的にも、その実用化には超えるべき高い

壁があると見られています。高度な半導体生産ラインの新設コストが数千億円にもなり、企業の投資体力を極端に消耗するという経済の壁は、半導体だけではなく、液晶ディスプレイなど、先端技術産業に共通する厳しい構造問題になっています。

ボトムアップ型ナノテクノロジーの持つ可能性

ナノテクノロジーは、ここまでのどって来たトップダウン型技術の道を、究極まで突き進む先鋭化の方向性と、それが内包する問題を根本的に解決するもう1つの道、すなわちボトムアップ型技術への指向性を兼ね備えています。原子や分子が本来持つ化学結合や分子間力に基づいて、加工という人工的な操作によらずに、半導体チッ

プに匹敵する複雑な構造体を自発的に組み上げていく技術、これがボトムアップ型ナノテクノロジーです。

生物が、DNAからタンパクや脂質分子を合成し、自律的に細胞や器官を作り上げていくように、必要な材料を混ぜておくだけで、トランジスタであれパソコンであれ、目的の物が自然にでき上がるのが、ボトムアップ技術の理想の姿です。大きな工場も必要とせず、必要な所に、必要な物を、必要なときに積み上げていく、しかも、誰かが設計図を見ながらではなく、物質自身が色々な所で平行して、自律的にこれを実行する究極のオンデマンドテクノロジーです。

これはまだ遠い夢にしても、自然界は、生物をはじめとして、このようなボトムアップの営みに満ち溢れています。自然の創世原理を理解し、模倣したボトムアップ型ナノテクノロジーは、微細化と高機能性を追究しつつ、極限的な省資源・省エネルギーを実現し、トップダウン型技術の経済の壁をも迂回する、持続可能な社会の主役となることが期待されています。

産総研のナノテクノロジーが目指すミニマルマニュファクチャリングはその一つの具現化に他なりません。

ナノテクノロジー研究部門
横山 浩

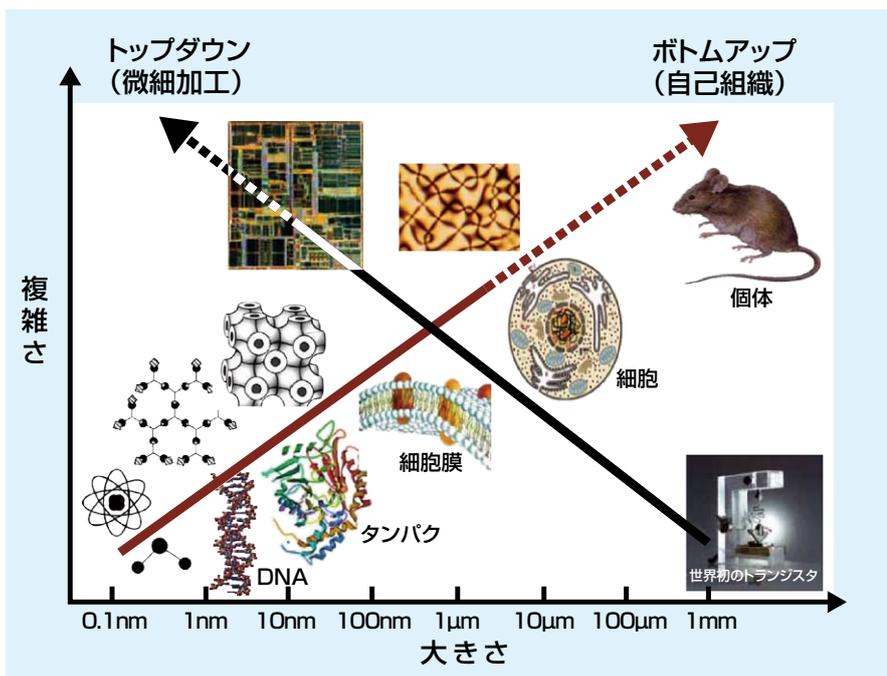


図 トップダウン型製品加工の限界とボトムアップ型ナノテクノロジーの持つ可能性

オーガニックナノチューブの合成とナノバイオ応用

マイクロチップからナノチップへ

半導体微細加工技術の進歩により、コンピュータチップの集積度は年を経るごとに増加の一途をたどっています。

同様に、化学物質などの分離分析に欠かせない中空シリンダー構造をもつ分離装置やデバイスも微小化が進んでいます。最近では、約100 μm 径のチャンネル構造をもつマイクロチップを用いて、フェムトモルレベルの高感度分析(分子数で換算すると $10^8 \sim 10^{10}$ 個レベル)が可能になっています(図左)。

しかし、超微量分析用にたった1個の分子を内部に閉じ込めることが可能な空間を作製することは非常に困難です。分析デバイスの微小化と集積化のためには全く違った観点からの技術革新が必要です。

分子の組織化を利用

私たちは、1つの分子中に水に溶けやすい部分と油に溶けやすい部分を併せ持つ両親媒性分子が水中で自発的に集合する現象(分子組織化)を利用した中空シリンダー構造(オーガニックナノチューブ)の開発を推進しています。

最近、分子組織化に必要な溶媒量を従来の1,000分の1以下に抑えたオーガニックナノチューブの量産化に成功しました。また、大きさが異なる2つの親水部をもつ“くさび形脂質分子”を新たに設計し、合成しました(図右上)。水中での分子組織化によって、約20nm径と約80nm径の2種類のナノチューブを創り分けることができます。

このナノチューブを詳細に構造解析した結果、外表面は水酸基、内表面は

アミノ基で覆われた非対称な内外表面をもつオーガニックナノチャンネルであることがわかりました。

さらに水溶液中でオーガニックナノチューブのアミノ基に部分的に正電荷を持たせ、負電荷をもつ球状タンパク質(直径12nm)や高分子ナノ粒子(直径20nm)をその中空シリンダー内に包接できることを世界で初めて実証しました(図右下)。

このように私たちは、分子のボトムアップ技術を利用して10~100nm径の中空シリンダー構造を使った分析デバイスの微小化と集積化、あるいは包接・分離・徐放・センシング機能を利用したナノバイオ応用の研究を推進しています。

界面ナノアーキテクトニクス研究センター
清水 敏美

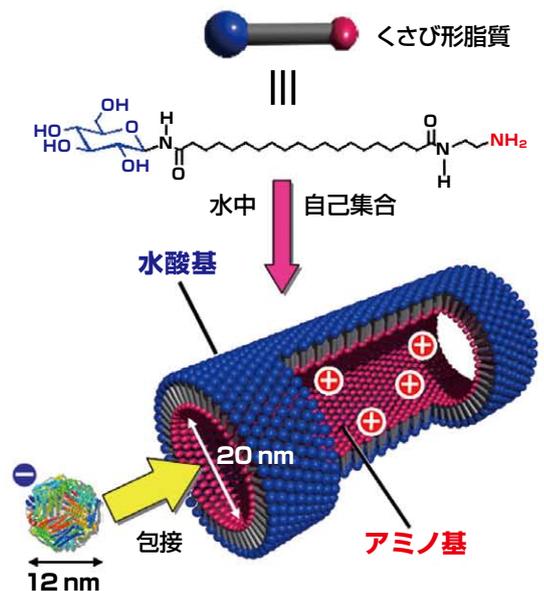
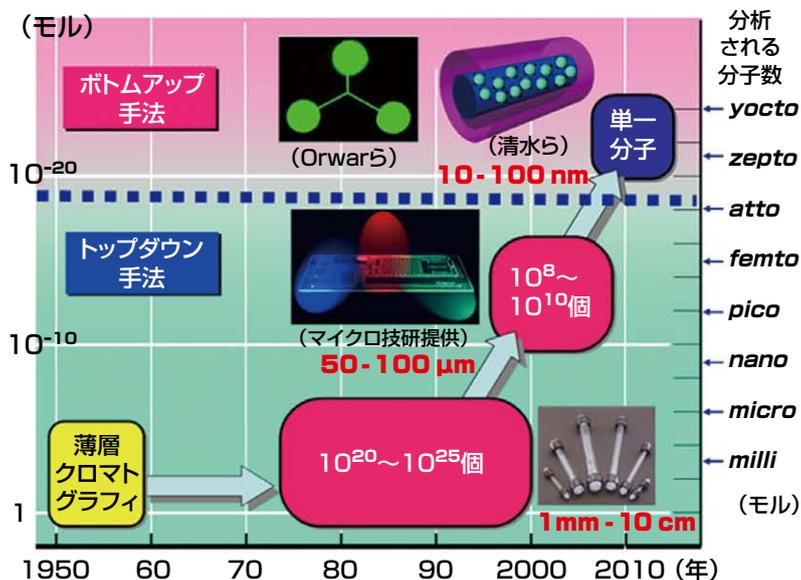


図 中空シリンダー空間の微細化年代推移と分子からなるオーガニックナノチャンネル

カーボンナノチューブ

カーボンナノチューブ合成技術の新たな展開

産総研では、ナノカーボン研究センターを中心として、カーボンナノチューブの産業応用を目指した、合成技術の開発を行っています。

直噴熱分解合成法

従来の量産技術で供給される単層カーボンナノチューブ(SWNT)は、品質面で工業材料としての要件を満たしていなかったため、ユーザー側で精製・改質等の後処理が必要でした。

私たちは、SWNTの合成手法である直噴熱分解合成法(DIPS法)において、反応条件の精密制御により、生成物の純度及び結晶性(グラファイト化度)を大幅に改善し、従来の量産技術と比較して不純物濃度と構造欠陥を10分の1以下に低減し、約100倍の触媒利用効率の合成技術を開発しました。

この高品質SWNTを用いて表面改質やバインダーなしで高強度繊維SWNTワイヤーの紡糸、細胞培養用途のメツ

シュ状SWNTシートの作製(写真1)が可能です。さらに、品質(純度、グラファイト化度)を大幅に改善しただけでなく、SWNTの直径を0.1nm単位で精密に制御することも可能になりました。

スーパーグロース技術

通常のカーボンナノチューブ合成雰囲気(極微量の水分を添加することによって発現する、まったく新しい成長モード(スーパーグロースと呼んでいます)を発見しました。このスーパーグロース技術は、時間効率で約1,500倍の超高効率合成技術であるばかりでなく、得られたSWNTは未精製の状態で99.98%の超高純度なものとなり、合成上の大きなブレークスルーを達成しました。

このスーパーグロース技術を用いて、パターン化された単層カーボンナノチューブの垂直配列構造体の作製に



写真1 高品質SWNTシートで作製した折り鶴

初めて成功しています(写真2)。工業的な価値は計り知れず、また、単層ナノチューブの応用開発においても、バイオ、エレクトロニクスの分野において新たな飛躍をもたらし、明日の日本の産業を幅広く支えるものと期待されます。

ナノカーボン研究センター
湯村 守雄

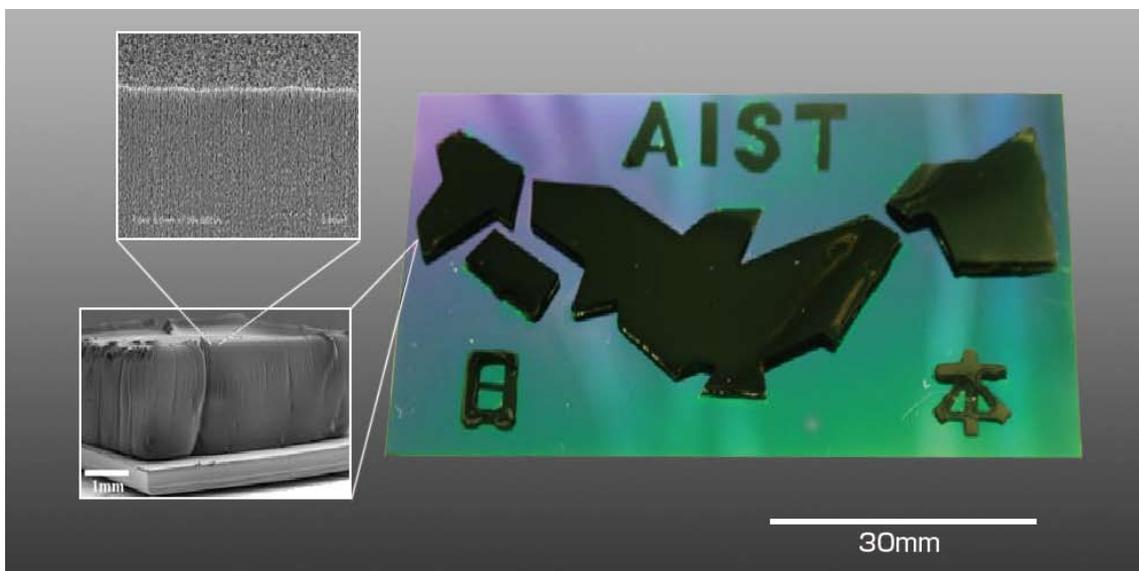


写真2 日本を支えるカーボンナノチューブ(垂直配列したSWNTで作製した日本地図)

ナノカーボン構造評価技術の確立と応用

ナノカーボン材料の特徴は、多様な構造と多彩な物性にあります。反面、個々のナノカーボン材料を原子レベルで確実に構造決定しなければ、その特性を正確に予測することはできないということでもあり、ナノカーボン材料の真の産業化には、原子レベルでの品質管理を可能にする精緻な構造解析技術の確立が不可欠です。

私たちは、特にカーボンナノチューブの性質を左右する構造的因子をあますことなく決定する評価技術の開発を目指しました。

光学異性体の決定

カイラル指数(らせんのねじれ方)はナノチューブの電気的性質を決定する最も重要な要素です。しかし、カイラル指数の解析だけでは多層ナノチューブの層間関係を決定するのに十分ではありません。なぜなら、カイラル指数が決定されても、それらの光学異性体の存在から、図1に示すような二層カーボンナノチューブ(DWNT)

において、4つの構造を持つ可能性が混在するからです。したがって、DWNTの構造を完全に決定するためには、カイラル指数に加えてグラフェン(黒鉛構造における1枚の炭素層)の巻き方の方向も判別する技術の開発が必要になります。私たちは図2のような測定原理で、電子顕微鏡内で試料を注意深く傾けることによって、これらの4つの異性体から、ただひとつの構造を決定する方法を開発しました。

パイロリジンにより修飾されたフラーレン分子(C₆₀-C₃NH₇)の直視

フラーレンの化学修飾は物理や化学分野で非常に注目されています。しかし、分子レベルでの単体の修飾フラーレンの直視は今まで成功に至っていませんでした。私たちは高分解能電子顕微鏡法(HR-TEM)を使って、単層カーボンナノチューブ(SWNT)の中に挿入されたC₆₀-C₃NH₇分子を直視することに成功しました(図3)。

また、電子エネルギー損失分光法

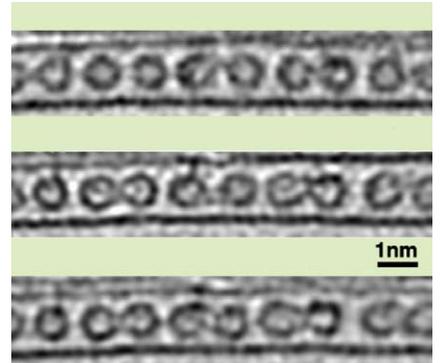


図3 2秒間隔で連続的に撮影したSWNT中の(C₆₀-C₃NH₇)のHR-TEM像

(EELS)を用いて、官能基に含まれる窒素元素の状態分析をした結果、フラーレンの官能基とSWNTが強い相互作用を持つことがわかりました。

私たちは、超高感度電子顕微鏡装置開発を通じて、これまで困難であった新炭素系物質における原子レベルでの構造解析法の実現に挑戦しています。ナノカーボン材料の原子レベル構造は物性を決定する最大要因であるため、それらの精密な構造決定を可能にする前述の成果は、ナノカーボン応用製品の市場創造に大きく貢献することが期待されています。

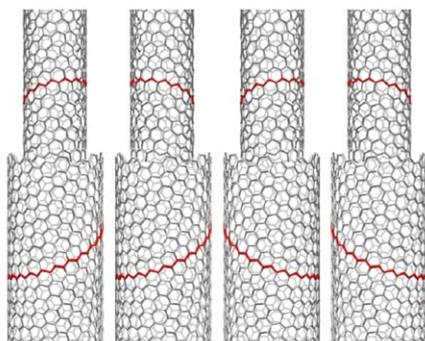
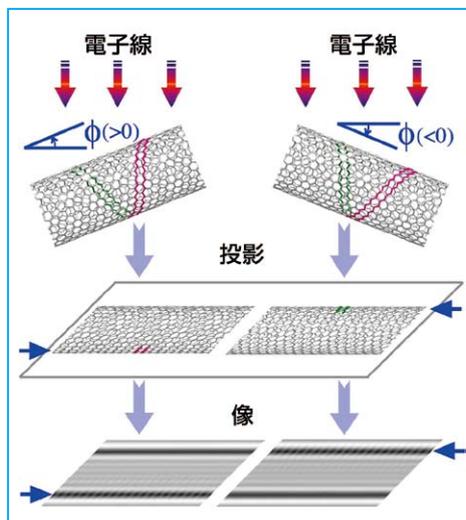


図1 DWNTの光学異性体

図2 試料傾斜法によるカーボンナノチューブの左右巻ききの判別



ナノカーボン研究センター

劉 崢
末永 和知

ナノエレクトロニクス

シリコンテクノロジーの向こうにあるもの

「フラッシュメモリを磁気ハードディスクの代わりに搭載したノート型のパソコンが販売される」というニュースが、2006年春に相次いでプレスリリースされました。サーバー用超大容量情報記録媒体としての磁気ハードディスクの用途が無くなることは今のところ考えられませんが、少なくとも、パソコンにおける「情報処理は半導体素子」「情報記録は磁気デバイス」という役割分担は、シリコンテクノロジーの進展によって過去のものとなりつつあります。それ以外にも、携帯電話やデジタルカメラにおける記録媒体など、私たちの身の回りのありとあらゆるところにフラッシュメモリが見られるようになりました。

ご存知のように、大容量かつ安いビットコスト、そして最近では高速化をも視野に入れたこのメモリは、ナノメートルサイズでその構造を制御するシリコンテクノロジーの最先端技術によって開発されてきたものであり、そ

の意味では、何をいまさら「ナノエレクトロニクス？」とも言えます。

一方、いくらシリコンテクノロジーが超極微細化技術によってその性能を向上させたとしても、いつかは必ず限界が来ます。前述のフラッシュメモリに関しては、このまま微細化が進んだ場合2010年頃に不可避的な動作限界を迎えることが指摘されるようになりました。

産総研では、そのときになって慌てることのないように、いまからシリコンテクノロジーの更に向こうにあるナノエレクトロニクスに関する研究開発を進めています。それを大雑把に分類してしまえば、「シリコン素子を超える特性を示すもの」「シリコン素子とは動作原理が異なるもの」の研究開発です。前者の代表例としては、熱伝導率が高くパワーを必要とする用途における性能がシリコンを凌駕する炭化シリコンやダイヤモンド半導体の材料と素子の開発が挙げられますが、ここで

は後者に的を絞ってその典型例を紹介します(前者については本誌10～11ページに紹介されています)。

機能性酸化物を用いた ナノエレクトロニクス

シリコンテクノロジーが大きな成功を収めた一つの理由は、酸化シリコン(SiO_2)という絶縁特性が高い酸化物を原子レベルで平坦に形成する技術が開発できたからということが出来ます。しかし、ナノメートルも1桁の領域となれば、この優れた絶縁体をもってしても、電子の漏れを食い止められなくなってしまいます。高い誘電率を持つ新しい酸化物を用いたゲート絶縁膜の研究が盛んに行われているのはそのような理由からです。

一方、酸化物には、例えば電界を印加することによって、電気伝導度を大きく変えるようなものもあります。産総研ナノテクノロジー研究部門では、強相関電子技術研究センターなどと共同で、このような機能性酸化物の特性評価からメモリ応用を目指した研究を行っています。

図1は、皆さんの足元にある砂鉄とほぼ同様な組成を持つ鉄酸化物を用いて、抵抗変化メモリ動作の実証を行った素子の写真です。電力を供給しなくてもデータを記録し続ける不揮発性メモリの次世代候補として研究開発が進められているものの中で、このような抵抗変化メモリは、特に、シリコンテクノロジーとの相性の良さや信号変化の大きさなどの観点から非常に有望であると考えられています。

さて、シリコンテクノロジーが成功を収めたもう一つの大きな理由は、極微細加工技術、特に様々なエッチング技術の開発ができたことにあります。

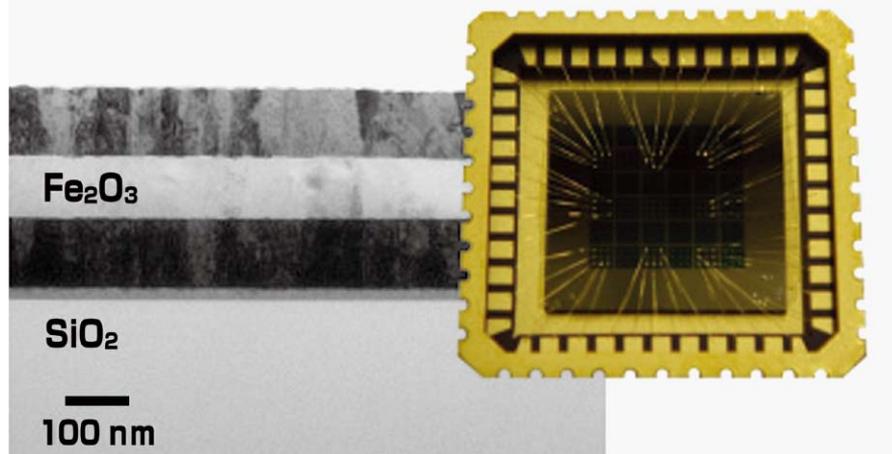


図1 酸化鉄からなる抵抗変化メモリ構造の断面透過型電子顕微鏡イメージ(左)と、そのプロトタイプメモリ素子(右)

例えば、SiO₂に対してSiのみを選択的に削る(これをエッチングといいます)ということも、適当な反応性ガスを用いた気相エッチングによって実現されます。次節では、このエッチングプロセスの開発について紹介します。

ナノスピネレクトロニクス

既存のエレクトロニクスでは電子の流れやその量を制御することによって素子が動作しますが、電子の持つもう1つの自由度であるスピン自由度を用いて新しい原理に基づくデバイスを開発しようという研究がはじまっています。スピンは、電子の自転運動にたとえられることがあります。その右回りと左回りをスピン上向きと下向きのように定義します。身近なイメージとしては、永久磁石があります。大雑把

な言い方をしまえば、スピンのどちらか一方に揃うと磁化が発生し、その磁化が揮発であったり、スピンの反転が超高速であったりする特性を用いて新しい素子を作ることができます。

すでに私たちの身の回りの素子に使われているスピネレクトロニクス素子の代表例にはハードディスクのデータ読み取りヘッドがあり、また近い未来には、強磁性金属と絶縁体の積層膜からなる磁気ランダムアクセスメモリも実用化されるでしょう。では、それらの実用化のために、シリコンテクノロジーを成功に導いたような極微細加工プロセスの開発は行われているのでしょうか？

答えは、否です。プロセス開発は、ノウハウの塊であると同時に、学術的

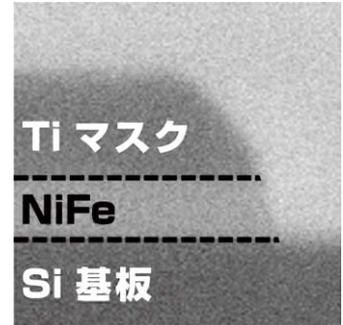


図2 Ti(チタン)をマスクとして、NiFe(パーマロイ)を反応性イオンエッチングによって加工した構造の断面走査型電子顕微鏡イメージ(黒破線は、各材料の境界を示すために書き加えたもの)

に扱われてこなかったという経緯から、系統立てた研究開発手法が存在しません。

産総研ナノテクノロジー研究部門では、きたるべきスピネレクトロニクス素子の極微細化に備えて、反応性イオンエッチング・プロセスの開発を行っています。また、計算機シミュレーションを援用し、その研究開発を速やかに進めるための手法開発も行っています。

図2は、NiFeと呼ばれる強磁性体合金を、メタン系ガスを主成分とした混合ガスのプラズマを用いてエッチングした構造の断面を走査型電子顕微鏡で観察したものです。Tiメタルマスクとの選択比をほぼ無限大にまで高めることができました。今後、強磁性体金属の極微細加工技術として活用されることが期待されています。

ナノテクノロジー研究部門

秋永 広幸

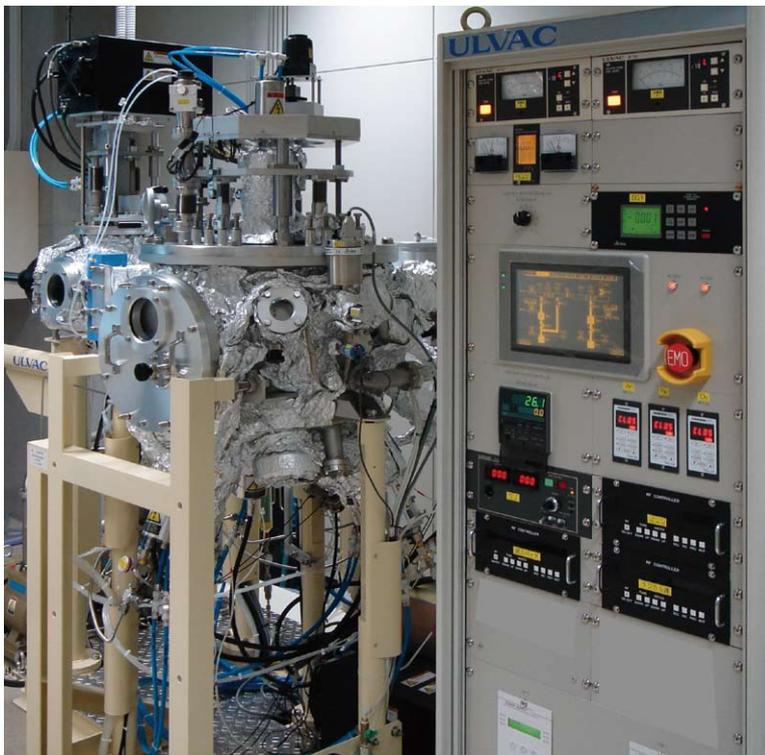


写真 遷移金属酸化物薄膜を成膜するためのラジカル酸化源を備えた真空蒸着装置(遷移金属酸化物では酸化状態に依存してその機能が大きく変わり、成膜ノウハウを確立することはメモリ開発上必須である)

強相関電子材料とエレクトロニクス応用

強相関電子材料とは

現在の家電製品から情報通信機器までを支えているのは、シリコンテクノロジーを中心とした半導体エレクトロニクスといえるでしょう。10nmサイズのレベルまで微細化するナノテクノロジーによって、半導体はますます高密度化大容量化が進んでいます。しかし、このサイズになると別の物理現象が現れ、もはや素子として動作しなくなるとの指摘もあります。この限界を打ち破る可能性がある電子材料として、強相関電子材料があげられます。

極端に言えば、半導体素子は、少ない電子(少数キャリア)1個1個を制御してデバイス機能を持たせたものと言うことができ、一方、強相関材料では、非常に多くの電子がお互いに強く作用しあって電子相をつくっていると言えるでしょう。

ある環境下では、電子が動けず絶縁体として振る舞いますが、外部からの小さな刺激によって電子が自由に動け

る金属相に相転移します。この電子相の変化は非常に速く、かつ巨大な応答になります。この原理をエレクトロニクスに応用しようとするのが、強相関電子技術です。

ペロブスカイト構造をもつ遷移金属酸化物が強相関電子材料の例としてあげられます。この中には、高温超伝導体である銅酸化物や超巨大な磁気抵抗効果を示すマンガン酸化物などがあります。また、有機物電荷移動型錯体結晶も強相関材料です。ここでは、将来の強相関エレクトロニクスへと発展が期待される例をいくつか紹介します。

強相関エレクトロニクスへ

強相関マンガン酸化物薄膜の両面に金属電極をつけ、パルス電圧を加えると高抵抗から低抵抗に高速にスイッチするという現象が見つかっています。この低抵抗状態は次に逆バイアスの電圧パルスを加えるまで記憶されることから、将来の大規模高速不揮発性メモ

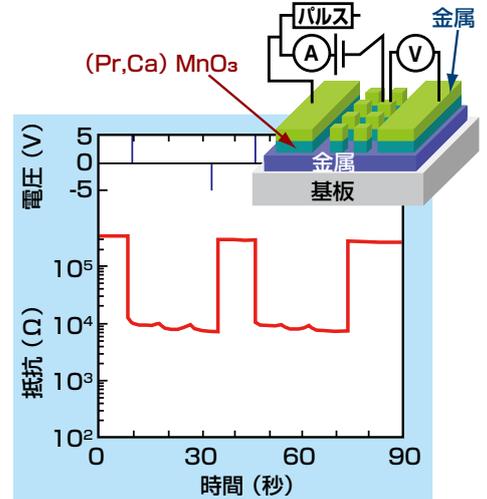


図1 強相関マンガン酸化物の電界誘起抵抗変化メモリ効果

リへの応用が期待されています(図1)。

強誘電体は極性反転を利用した不揮発性メモリや圧電素子などに应用可能ですが、室温でも巨大な誘電率を持つ有機強誘電体物質の開発に成功しました(図2)。これは将来の有機エレクトロニクスに重要な部材として期待されています。

その他、強相関コバルト酸化物やマンガン酸化物にレーザー光を照射すると、極めて高速(サブピコ秒)に絶縁体から金属に相転移することも見つかっています。光照射による高速スイッチング素子や磁性スイッチング素子として期待されています。

強相関電子技術研究センター
赤穂 博司

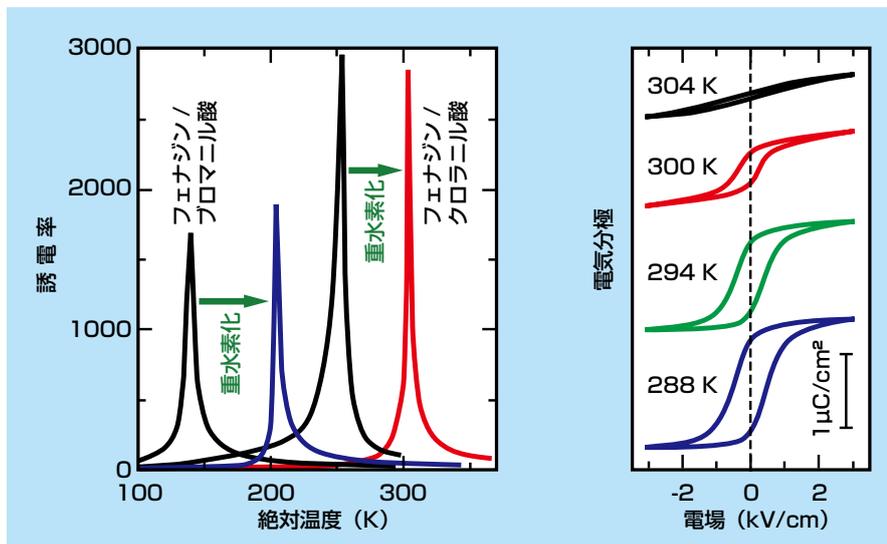


図2 2種類のπ電子系有機分子を水素結合させた新しい強相関有機強誘電体物質の誘電特性

ダイヤモンドデバイスの実現に向けて

ダイヤモンドは宝石として身近な存在ですが、物質中最高値の物性を複数持つ、極めて特異な物質です。人工合成技術の1つである気相合成技術の進展で、粒状ばかりでなく板や薄膜のダイヤモンドが手に入るようになり、利用の形態が大幅に拡大しています。そしてエレクトロニクス材料としてデバイス化への研究開発が進められています。

ダイヤモンドをデバイスにする？

ダイヤモンドは、高硬度以外に高熱伝導率、光透過特性、半導体特性等の様々な優れた物性を有することから、広い応用展開が期待されています。近年、ダイヤモンドをナノレベルまで加工する技術が完成したことで、想定できるデバイスの範囲が広がっています。また、表面の原子レベルの制御が、表面物性を大きく変化させ、このこと

でセンサー等へ適用できることも判明しています。当センターで現在力を入れて取り組んでいるデバイス開発について紹介します。

半導体デバイス：ダイヤモンドの物性は究極の半導体材料と位置づけられ、ポストシリコン材料と位置づけられています。高温動作や高耐圧といった特性から、パワー応用に最も適した材料と考えられます。しかし先行する炭化シリコン(SiC)や窒化ガリウム(GaN)等との競合に勝って行くには、結晶制御、ドーピング、界面制御等の基本的な課題がまだまだたくさんあります。

電子放出デバイス：ダイヤモンドは特定の表面状態では負性電子親和力であり、電子を放出することが容易な材料です。これを利用して低電圧、大電流、低温動作の電子源として利用できる可能性が示されています。2次電子

放出を利用した応用への適用も可能性があります。

バイオセンサー：ダイヤモンドは、電気化学ポテンシャル窓が広く、表面修飾によってDNA等の生体物質を安定に固定できる材料です。この特性を利用して各種のバイオセンサー等に利用できることが期待されていますが、生体適合性などの特性から体内での利用も夢ではありません。

産総研の研究展開

私たちは、前述の応用を目指した研究開発を行っています。例えばショットキー接合の高耐圧化、低電圧電子放出を可能とする表面構造の研究、DNA固定技術等に取り組んでいます。特に、単結晶ダイヤモンドを使ったイオン感応性電界効果トランジスタ型(ISFET型)pHセンサーを試作し(図1)、高い感度を得ることに成功しています(図2)。さらにデバイスそのものの開発と共に、半導体としての物性や表面特性等を対象とする基盤研究も行っています。また、応用展開に欠かせない大型単結晶の製造技術にも取り組んでいます。既に気相合成技術によって約10mmにまで単結晶を成長させ、将来はインチサイズの単結晶への発展を目指しています。

この様に総合的にダイヤモンドのデバイス化の研究開発を推し進め、産業界への技術移転を目指しています。

ダイヤモンド研究センター
藤森 直治

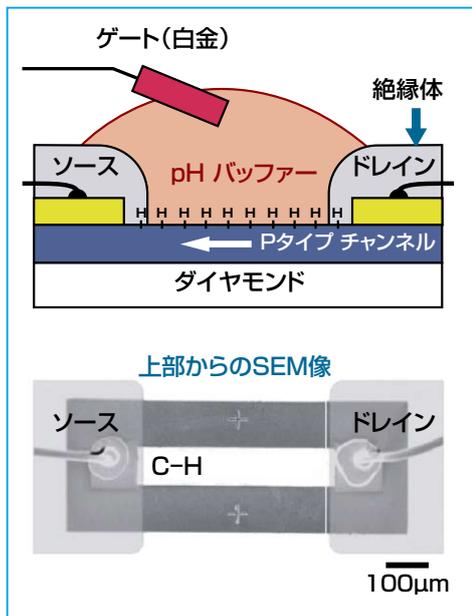


図1 ダイヤモンドpHセンサーの模式図とSEM像

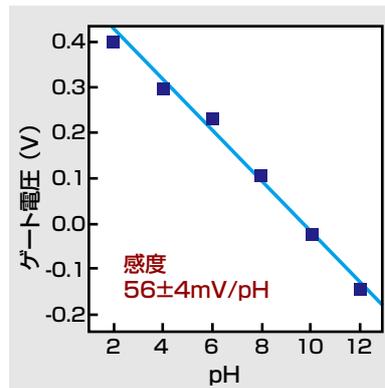


図2 ダイヤモンドpHセンサーの感度特性

ナノバイオ技術から医学応用へ

生物分野とナノテクノロジーの融合領域であるナノバイオテクノロジーが最近注目をあつめ、急速に進歩しています。

産総研では、ナノテクノロジー研究部門を中心にして、その技術を用いた医学への応用について積極的に研究を進めています。ここではその中から代表的なものを紹介します。

標的指向ドラッグデリバリーシステム

癌の克服は、21世紀の医療の最大の課題の1つです。その切り札として、患部にだけ選択的に抗癌剤を集中的に送り届けることができるドラッグデリバリーシステム(薬剤送達システム: DDS)に注目が集まっています。

私たちは、糖鎖のもつ細胞認識機能に着目して、癌細胞をミサイル攻撃するDDSの開発を進めています。

これまで知られていたDDSは、小胞に閉じ込められた薬剤の徐放性だけに頼っていて、患部の認識作用をほとん

ど持たない受動的なものでしたが、産総研の糖鎖型ドラッグデリバリーシステムは、最近の動物実験の結果からも、高い患部選択性を示すことが明らかになってきています。

ナノピラーシートを用いた細胞培養ディッシュの開発

ナノインプリント技術を用いて基板の樹脂にナノスケールの微細構造を作ることができ、それをナノピラーシートと呼んでいます。ナノテクノロジー研究部門では企業との共同研究により、ナノピラーシートが新しいタイプの細胞培養ディッシュとして用いることができることを見出しました。

図1のように、円柱形のナノピラーを等間隔に並べたナノピラーシートは、その上で生きた細胞を培養することができ、細胞はナノピラーの頭に接して、その上に乗るようにしながら分裂を起こして増殖します。

通常の細胞培養ディッシュでは、培

養した細胞の植え継ぎ(継代)は、細胞がディッシュに強く接着しているので、酵素処理などを施して細胞を剥がしますが、ナノピラーシートでは、ピペッティングするだけで細胞を回収できたり、細胞塊(スフェロイド)を形成しやすいなどの特性があります。したがって、再生医療などの分野に応用可能な特性を持った新しいタイプの細胞培養ディッシュとして注目されています。

生体組織を再構築するための技術開発

失った生体組織を再構築する手段として、生体材料を疾患部分に移植する方法や、材料と幹細胞(あらゆる細胞の種になる細胞)を生体外で培養してから疾患箇所に移植し再生させる方法(再生医療: ティッシュエンジニアリング)があります。また、材料に増殖因子を吸着させ、生体内で徐放させることにより、組織の再生を誘導する方法もあります。

私たちは、このような手法をベースにして、主に硬組織(骨や軟骨、そして歯など)の再生を目指した研究を行っています。

まず、頭の前から。脳神経外科の頭蓋骨形成術に用いるためのアパタイト医療材料では、完全な頭蓋骨再生ができないことがあります。それを改善するため、FGFと呼ばれる骨形成促進作用のある増殖因子を医療材料に吸着させ、患部に移植後、FGFの徐放により周囲の細胞を活性化させ骨形成を促進することにより完全な頭蓋骨が再生することを狙って研究を進めています。

次に、年齢をとれば誰もががかる歯周病。歯を支えている歯槽骨が歯周病菌に溶かされて歯がぐらぐらになっていく病気です。私たちは大学との共

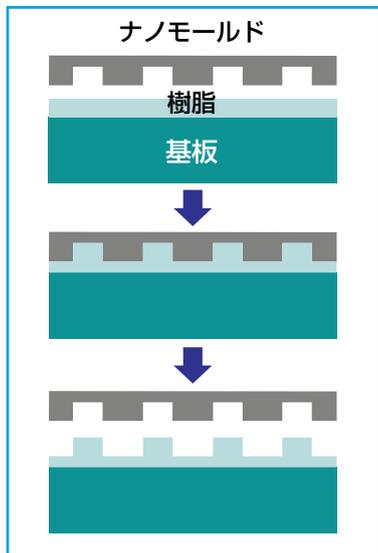


図1 ナノインプリント技術によるナノピラーシートの作製法(左)とナノピラー(径0.5 μm)上で培養したHeLa細胞の電子顕微鏡写真(右)

同研究によって、歯に含まれるフォスフォフォリンと呼ばれるたんぱく質がコラーゲンと結合して、ナノアパタイトを形成し、骨を再生する能力を持つことを明らかにしました(写真)。現在、この材料を用いて、歯周病などの治療用材料の開発を進めています。

膝や股関節の軟骨疾患である変形性関節症は患者数も多く高齢化社会の深刻な問題です。軟骨は生体材料で置換することが難しく、自己細胞を用いた再生医療が必要となります。軟骨の細胞培養は難しく、私たちは、円筒型ベッセルの回転によって微小重力空間(宇宙環境)にいるかのように細胞組織がふわふわと浮いた状態で培養できるRWVバイオリアクターを使って、幹細胞を多く含む骨髄細胞から移植可能な大型の軟骨組織を構築することにすでに成功し、臨床応用を目指した研究を進めています。

骨の主成分であるハイドロキシアパタイトは、体内で骨と結合する性質や、多くの生体分子を吸着する性質を有することから、人工骨の材料としてだけ

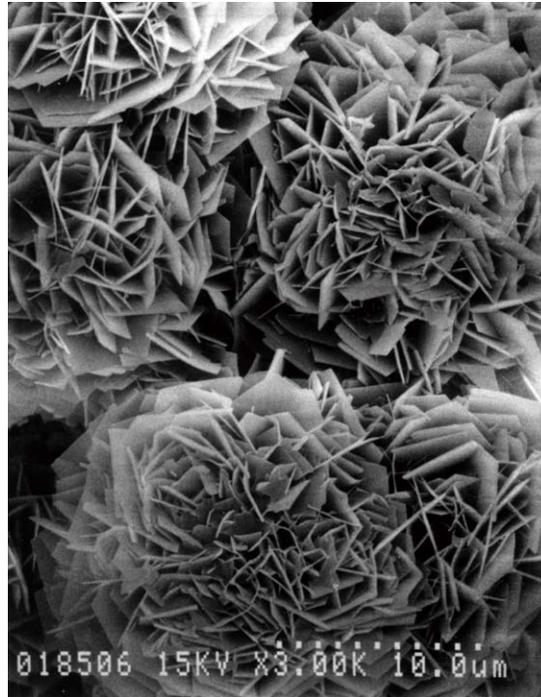


写真 アガロースビーズ上に塗布したフォスフォリンによる石灰化の電子顕微鏡像(旺盛なアパタイト結晶の成長が観察された)

でなく、広い応用が考えられます。私たちは、高分子材料の表面に種々の組成と構造を有するアパタイト層を形成させることにより、人工骨、組織再生用スキャホールド(細胞足場材料)、経

皮デバイス等の生体材料の開発を行っています。従来の経皮デバイスでは、デバイスと上皮組織の接触面で、上皮との密着不良により細菌が侵入し、感染が起りやすいという問題がありました。そこで、上皮と密着させるための接着因子や細菌を殺すための抗菌剤などのシグナル物質、アパタイト、高分子材料の複合化を行うことによって抗感染性の経皮デバイスを開発することに取り組んでいます(図2)。

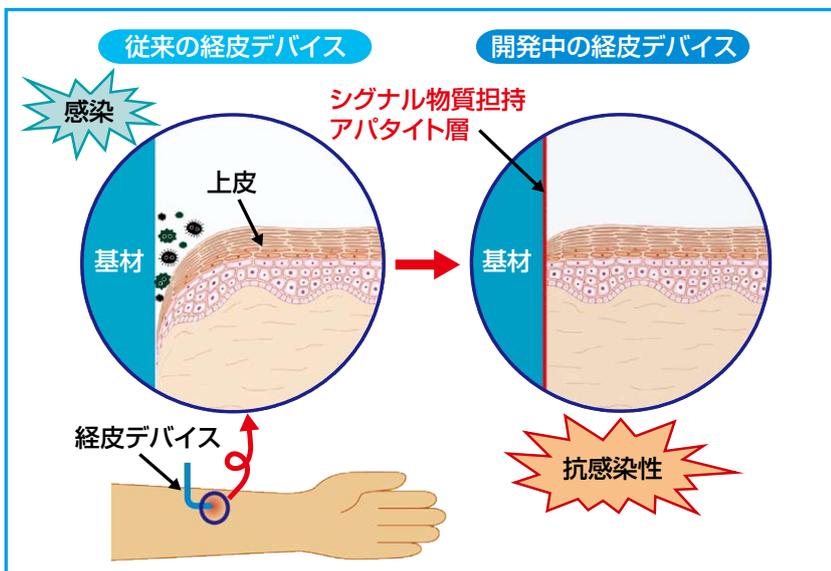


図2 シグナル物質担持アパタイトによる抗感染性経皮デバイスの開発

ナノテクノロジー研究部門
植村 壽公

有機無機ナノハイブリッドを用いたVOCセンサー

新しいコンセプト

揮発性有機化合物(VOC)はシックハウス症候群の原因物質です。これらの化学物質を適切に管理するために、その場で空気中のVOCの種類と濃度が計測できる小型軽量のセンサーが求められています。私たちは有機無機ナノハイブリッド化によるアプローチでこの課題に取り組んでいます。

有機物と無機物がナノレベルでハイブリッド化した材料は、単に両者の足し合わせの性質ではなく、全く新しい性質を示すことが期待されます。私たちは有機無機ナノハイブリッドをVOCセンサーへ応用するための新しいコンセプトを提案しました(図左)。

ガスセンサー材料に必須な分子認識機能と信号変換機能を有機化合物と無機化合物に分担させることで材料自身のポテンシャルを高めようというものです。従来の代表的な材料である金属酸化物半導体に比べて、VOCに対して高い選択性が期待できます。

VOC ガス選択性

前述のコンセプトを実現するために、層状構造を持つ酸化モリブデン(MoO_3)の層間に有機物が挿入した、インターカレーション型のナノハイブリッドに着目しました。結晶格子レベルで無機層と有機層が交互積層し、それぞれが明確な役割を持つ材料です。酸化モリブデン層間にポリアニリン(PANI)が挿入した $(\text{PANI})_x\text{MoO}_3$ 薄膜素子は、ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドに対しては抵抗値が可逆的に変化することで応答しますが、トルエン、キシレン等には応答しないという優れた選択性を示すことがわかりました。

さらに興味ある点は、有機物と酸化モリブデンの組合せの多様性であり、この組み合わせを変えることで、ガス選択性を制御できる可能性があります。そこで、ポリアニリン誘導体であるポリオルトアニシジン(PoANIS)を挿入した $(\text{PoANIS})_x\text{MoO}_3$ 薄膜素子を作製

し、センサー特性を $(\text{PANI})_x\text{MoO}_3$ と比較しました(図右)。 $(\text{PANI})_x\text{MoO}_3$ ではアセトアルデヒドよりもホルムアルデヒドの応答感度(抵抗変化率)が高いのに対して、 $(\text{PoANIS})_x\text{MoO}_3$ では逆にアセトアルデヒドに対する感度が高くなります。PANIに比べPoANISの方がアセトアルデヒドに対する溶解度が高く、このことが $(\text{PoANIS})_x\text{MoO}_3$ のアセトアルデヒドに対する高い感度の原因と考えられます。確かに有機物が分子認識の役割を果たしています。この結果は実用的にも重要です。2種類の素子からのシグナルを演算処理することで、ホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの個別計測が可能であることを示しており、現在デバイス化研究を進めています。

先進製造プロセス研究部門
松原 一郎

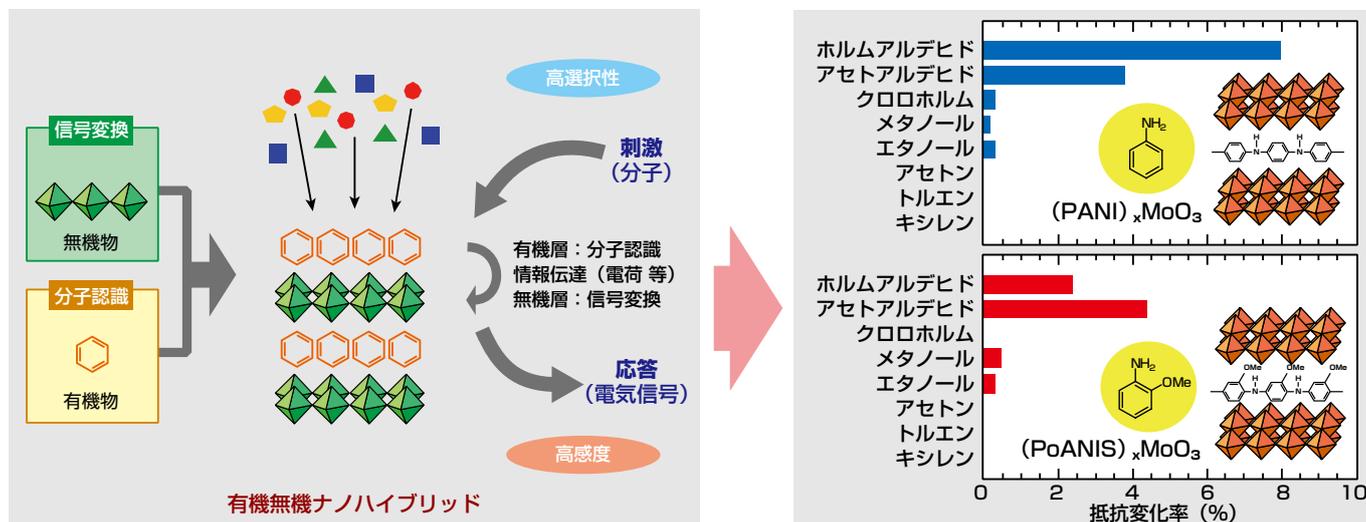


図 有機無機ナノハイブリッドセンサーのコンセプトおよび作製した有機/酸化モリブデン薄膜素子のVOCに対する応答感度

ナノ技術を活用した光触媒開発

無意識のナノ技術

空気・水の浄化、汚れ防止(セルフクリーニング)、抗菌といった光触媒機能を持つ酸化チタン(TiO_2)は、以前から顔料として白いものすべてに使われています。酸化チタンは紫外線を強く吸収するので、化粧品などにも使われています。

1990年代に光触媒としての実用化が始まって、20nm以下の酸化チタン粒子が高活性であることがわかりました。微粒子化による表面積の拡大や、光吸収で生じた電子や正孔の表面への移動距離が短縮することなどがその原因と考えられます。光触媒は、身近で使われる最初のナノ粒子かもしれません。

ナノ技術を活用した高性能化

吸着性向上: 光触媒の効果は、照射下で表面にできるOHラジカルなどの活性酸素種による作用と考えられて

います。環境負荷物質を除去するには、まず光触媒表面に接触しなければなりません。そこで吸着能力がポイントになります。夜間、光の当たらない光触媒は機能しませんが、吸着力で汚染物質を引き留めれば、夜明けを待って処理できます。

高分子を鋳型として作るマイクロメソ孔シリカ多孔体は揮発性有機化合物(VOC)を大量に吸着します。吸着も速いので、これに光触媒を担持する(乗せる)研究を進めています(図A)。

選択性向上: OHラジカルなどは酸化力が大きいために、近くの有機物を無差別に攻撃します。目的のものだけ壊せると処理効率は上がるので、微細構造、酸・塩基性、親水・疎水性などを制御することで、特定の物質への選択性を得ようとしています。炭素層の付加やアルキルシラン修飾によって疎水性とした表面(図B)は、VOCの分

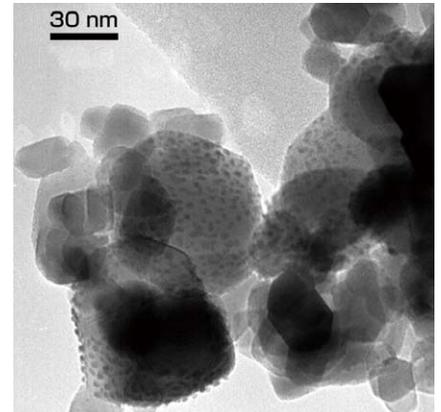


写真 光電着法で調製したパラジウム担持酸化チタン

解効率を高めることを確認しました。更にナノポッドと呼ぶ特定の構造を作ることを検討しています(図C)。

光触媒であることを利用した光電着法を用いると、ナノサイズの金属粒子を高分散で担持することができます。パラジウム担持酸化チタン(写真)で塩化ビニルの完全酸化が可能になり、銀(Ag)担持では安定な亜酸化窒素を分解できるようになりました。この配置を逆にすることで、新たな機能も期待されます(図D)。

光利用効率向上: 金属担持でも電子-正孔の電荷分離が向上し、光利用効率も向上しますが、室内でも酸化チタンを有効に機能させるには可視光応答化が必須です。現在、最も有効な窒素ドープは、酸化チタンのアンモニア気流中処理で得ていました。産総研では窒素を含むチタン錯体を焼成することで、光触媒中の窒素濃度を均一に高め、より高活性とすることに成功しました。

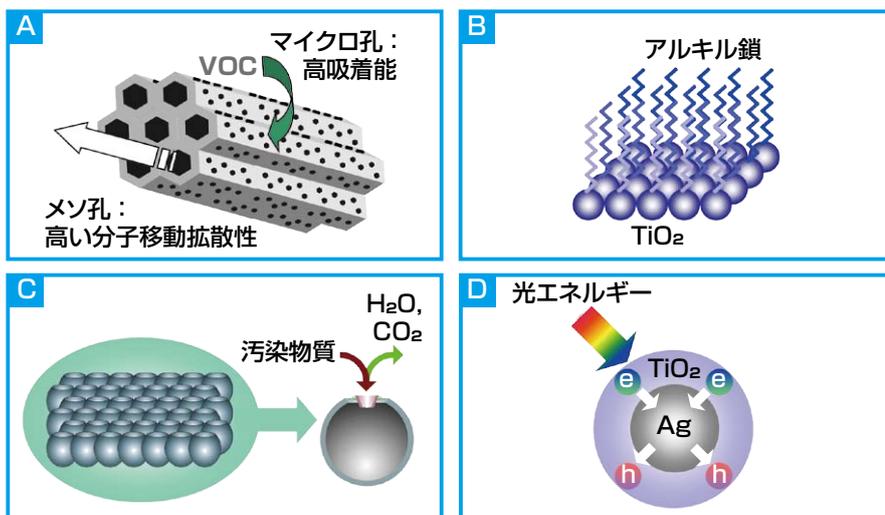


図 三次元構造制御による光触媒の高性能化

A: マイクロ-メソ孔シリカ多孔体吸着剤の利用

B: 表面改質による選択性向上(ここでは疎水化によるVOC分解活性改善)

C: 分子認識機能を持つナノポッド(TiO_2 中空粒子の集合体)

D: コアシェル構造光触媒(金属担持の逆で、活性酸素生成効率向上や電子貯蔵を狙う)

環境管理技術研究部門

竹内 浩士

ナノエネルギー材料

単層カーボンナノチューブを用いた高性能キャパシタ

電気二重層キャパシタ

電気二重層キャパシタは、ハイパワー（高出力）、メンテナンスフリー（高サイクル寿命）、安全性に優れています。急速な放電が可能なることから、急速予熱のための電源として、現在、新規マーケットが開拓されており、待機電源が不要になることから、各種機器の省エネルギー化が可能になります。

キャパシタは、リチウムイオン2次電池に比べ、急速な充放電が可能です。蓄えられるエネルギーが少ない欠点があります。キャパシタ開発の最大の課題は、蓄えるエネルギーを増やす、すなわち高エネルギー密度化ですが、現状の活性炭電極では既に限界に達しています。そこで、カーボンナノチューブ(CNT)を電極に用いたキャパシタの開発が期待されています。

CNT 電極の可能性

高エネルギー密度を達成するには電極表面積が大きいことが必須です。

CNTの革新的な成長技術である「スーパーストック技術」(詳細については、本誌6ページに紹介されています。)を用いると、高密度で垂直配列した長尺の単層ナノチューブ(図1)が作製可能です。私たちは、これをCNTフォレストと名付けました。CNTフォレストは、これまでのCNTでは類を見ない大きな表面積を持ちます。これをキャパシタ電極として用いることにより、飛躍的なエネルギー密度の向上が可能になります。さらに、粉体成型によって作製される活性炭電極のような接触抵抗が無いため、電極材料に起因するセルの内部抵抗を最小限にすることができます(図2)。これは蓄電デバイスとして良好な充放電特性をもち、高いパワー密度を達成可能であることを示しています。

プロジェクトと期待される経済波及効果

産総研が中心となり、平成18年度より「カーボンナノチューブキャパシタ

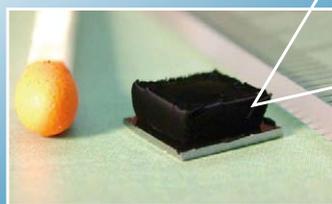
開発プロジェクト」が開始されました。CNTキャパシタは高性能を示すと期待されますが、実用化のためには、CNTの製造コストを大幅に下げる必要があります。このためには、CNTの大量合成技術の開発が必要不可欠です。本プロジェクトでは、CNTフォレストの大量合成技術を開発するとともに、CNTフォレストを用いて高エネルギー密度のキャパシタを開発します。

高エネルギー密度の電気二重層キャパシタは、携帯機器等用の小型のものから、コピー機、プリンターの予熱電源用の中型のもの、幅広い分野での省エネルギー化用途で使われることが期待されています。さらに、自動車・鉄道等の大型のものでは、回生電源としての用途の他、ハイパワーの蓄電デバイスを必要とするハイブリッド自動車用電源として、極めて大きな市場が見込まれ、省エネルギーに大きく貢献することが期待されています。

ナノカーボン研究センター
湯村 守雄

世界記録 高密度高純度配列制御成長

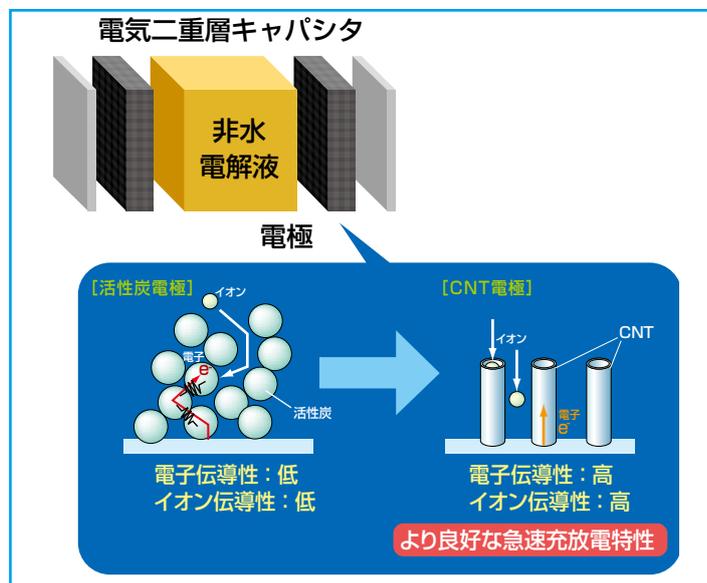
基板上で従来(2~3 ミクロン)の1000倍(2500 ミクロン)の高さに達する超高密度成長に成功



(拡大写真)

図1 CNTフォレスト
(畠賢治 他、Science 306 (2004) pp.1362)

図2
活性炭電極とCNT
電極との比較



ナノ構造を利用したリチウムイオン2次電池

電気自動車や携帯電話などモバイル電気製品の進化にともない、リチウムイオン2次電池の大容量化とハイパワー化が求められています。それらに応えるために、私たちはナノ構造を有する活物質をリチウムイオン2次電池の電極に応用することを試みてきました。

高表面積による大容量化とハイパワー化

物質のサイズがナノオーダーまで小さくなると、バルクとは異なる物性が現れます。リチウムイオン2次電池用電極材料についても同様でした。例えば、アナターゼ型二酸化チタン(TiO_2)へのリチウムイオン挿入・脱離は可能ですが、ルチル型 TiO_2 へのリチウムイオン挿入・脱離は不可能であることが知られていました。ところが、ルチル型 TiO_2 でもサイズが15nmまで小さくなると、リチウムイオンの挿入・脱離が可能となり、かつ放電容量は365mAh/gにまで達します。さらに、アナターゼ型 TiO_2 についても、バ

ルクの理論容量は約167mAh/gですが、6nmのナノ粒子では、放電容量が360mAh/gに増加します。この様に、従来の活物質でもナノサイズまで小さくなると放電容量が著しく増加します。これは表面積の増加による効果です。

表面積の増加による性能向上は、出力特性にも現れます。6nmのアナターゼ型 TiO_2 ナノ粒子では、10A/gの高レート(レート=充放電の速さ)でも240mAh/gと高い放電容量が得られます。さらに、このナノ粒子と同じ高比表面積を有するナノポーラス結晶性 TiO_2 では、放電容量の増加と出力特性の向上(0.1A/gの低レートで約380mAh/g、10A/gの高レートで約260mAh/g)が観察されています。出力特性の向上は、ナノ細孔内へのリチウムイオンと電解液の移動が容易にできたことによるものです(図1)。ナノ粒子の場合もこれと同様に粒子間にナノオーダーの細孔があります。

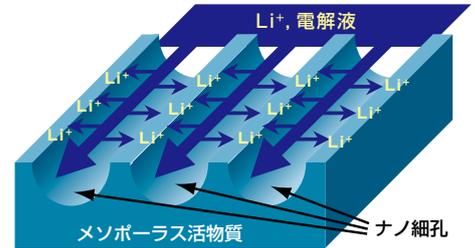


図1 メソポーラス活物質のナノ細孔によるリチウムイオン(Li^+)の拡散経路イメージ

導電パスの構築による更なるハイパワー化

リチウムイオン2次電池に限らず、2次電池の充放電には、イオンと電子による酸化・還元が関わっています。ハイパワー(短時間で充放電)を実現するためには、効率的な活物質へのリチウムイオンの拡散パスと、電子の伝導パスの確立が必要となります。そこで、ナノポーラス構造を持つ活物質を導電性金属ワイヤーの上に数百ナノ程度の厚みでコーティングした複合体を構築しました。金属ワイヤーが電子の伝導パスとして、ナノ細孔がリチウムイオンの拡散パスとして、それぞれの役割を果たします(図2)。

既に、NiO/Ni系では、10A/gの高レートにおいても活物質に対して約800mAh/gの放電容量が得られています。現在は、導電性ナノワイヤーやナノチューブの表面にナノポーラス構造を有する活物質をコーティングすることで、リチウムイオン電池の大容量化とハイパワー化への試みを行っています。

エネルギー技術研究部門
周 豪慎

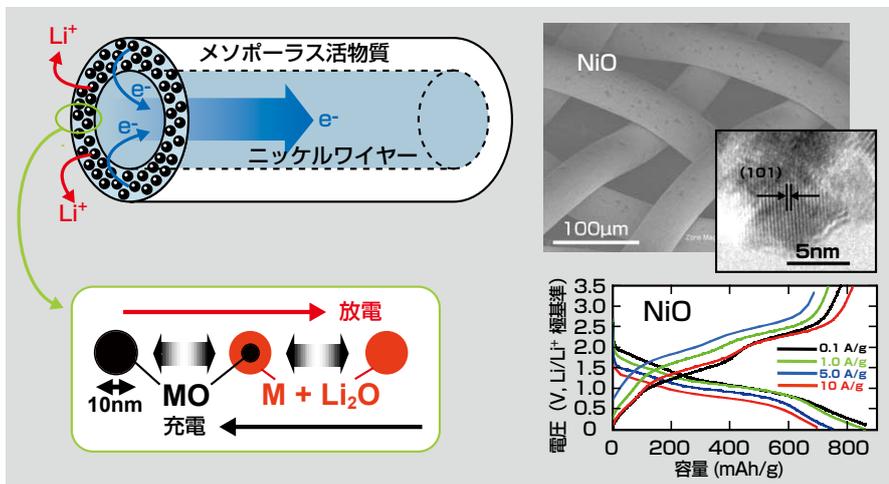


図2 金属ワイヤーにナノポーラス活物質を構築することにより電子伝導パスとイオン拡散パスを両立

ナノテクノロジーの社会受容

責任あるナノテクノロジーの研究開発から イノベーションへ

新しい技術開発手法へのチャレンジ

どのように素晴らしい技術であっても、新しい技術が社会に受容される過程には様々な障害や困難が伴います。大きな可能性が期待されているナノテクノロジーも例外ではなく、実際その社会受容は遅々として進んでいません。

私たちはこれまでの科学技術の研究開発とその社会受容の歴史からどのような教訓を学び、それをナノテクノロジーの研究開発にどのように活かしていかなければならないのでしょうか。研究開発段階からその社会的影響や社会受容を考える新しい技術開発手法へのチャレンジが、ナノテクノロジーで今が始まろうとしています。

ナノテクノロジーの社会的影響研究動向

アメリカ政府は社会的影響に関する最初のワークショップを2000年9月に開催、以降ナノテクノロジー予算の10%程度を社会的影響に関する研究に配分してきました。このなかにはリスク関連の研究のみならず、その社会受容が容易ではないコア技術の開発テーマが多く含まれていることが特徴で、遺伝子組み換え食品の教訓から研究開発投資の還元を重視している政策がうかがえます。この基本姿勢は新興技術の社会受容を研究するためのセンター機能の組織化や、そのセンターが主導する「グリーン・イニシアティブ」のようなプログラムに反映されています。

ヨーロッパ連合もナノ粒子のリスク評価をはじめとして社会的影響に係る包括的取り組みを展開しています。注

目されるのは独自の社会受容の取り組みを進めている英国の試みです。英国王立協会と王立工学アカデミーが2004年7月にまとめた報告書を受けて、翌年2月に英国政府は省庁連携の社会的影響に関する研究と政策策定の体制を組織しました。同時に、ここに市民の意見を反映させるための対話や討論の枠組みを作り、このような活動を資金面からも支援しています。

日本ではこのような社会的課題に対する取り組みはなかなか進展しませんでした。リスク＝危険との誤訳による否定的な潜在意識がリスクベースの議論の展開を妨げていたり、推進派对規制派といった縦割り政策の弊害が残るなど、様々な原因がありました。このような日本の状況が大きく変わりはじめたのは2004年になってからです。

公開討論会からプロジェクトへ

この課題に関する日本における情報共有の場をつくることとネットワーク化を目的に、私たちは2004年8月5日から公開討論会を開催し、リスクとベネフィットの両方を客観的に正しく取り上げることを基本姿勢としてすすめてきました。2005年2月1日には、経団連ホールで、(独)産総研、(独)物質・材料研究機構、(独)国立環境研究所、厚生労働省国立医薬品食品衛生研究所の主催、関係省庁の後援により、日本で初めてのナノテクノロジーの社会的影響に関する包括的シンポジウムを開催しました。

この4公的研究機関の連携の枠組みは、2005年度文部科学省科学技術

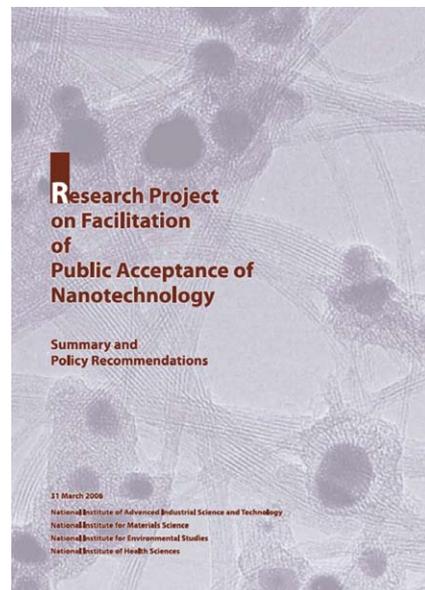


写真1 科学技術振興調整費プロジェクトがまとめた政策提言の英語版

振興調整費プロジェクト「ナノテクノロジーの社会受容促進に関する調査研究」に引き継がれ、70名の参加者が、リスク管理、環境影響、健康影響、倫理・社会的課題等について政策提言を目的として調査を進めました。2006年2月1日には国際シンポジウム“Exploring the small world: Role of public research institute”を開催し、プロジェクトによる調査研究の成果を報告しました。

プロジェクトがまとめたナノテクノロジーの責任ある研究開発に関する政策提言は、総合科学技術会議による2006～2010年の日本の第3期科学技術基本計画、ナノテクノロジー・材料分野戦略の中に反映されました。具体的にはナノテクノロジー標準化、リスク管理策、アウトリーチ活動、リテラシー向上、教育・人材育成などが各省庁が取り組むべき課題として明記されています。その具体化の一例として、産総研化学物質リスク管理研究センターの中西センター長をリーダーとす

るNEDO支援による新規研究開発プロジェクト「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」も活動を開始しています。

社会的課題をイノベーション創造の原動力に

私たちが前述のプロジェクトを始めた2005年、産総研ではナノ粒子のリスク管理やナノテクノロジーの標準化のプロジェクトも発足しました。以降産総研が民間企業や政府からの期待に応えるために打ち出した迅速な対応は大きく展開し、すでにナノテクノロジーの社会受容に関して世界をリードする存在となっています。

リスク管理や標準化を含めた社会的影響や社会受容の課題を研究開発段階から位置づける試みは、コア技術からのイノベーション創造に向けた産総研のオリジナルな研究開発戦略と言えます。同時に、本格的なナノテクノロジーの展開に先駆けて必要な、様々な関連法律の整備や工業標準化、リスクガバナンス等の社会基盤の整備が産総研の大きなアウトカムとして期待されます。コア技術の開発の過程で標準化やリスク管理の課題を考えることは、まさに産総研のイノベーション創出の原動力と言えます。

責任ある研究開発と社会受容

2006年6月26～28日、私たちは学会館において、第2回ナノテクノロジーの責任ある研究開発に関する国際対話を開催し、21ヶ国、台湾、EUから約90名の参加者が集まり、環境・健康影響、倫理・法・社会的影響、教育・人材育成、途上国支援、標準化の5テーマについて議論を行いました。

基調講演で産総研の吉川理事長は、排除ではなく技術と社会の両方の成熟が調和することが大事ではないかと提起しました。この調和の基本は私たち研究者が単にその技術の持つベネフィットを示すだけではなく、リスクとベネフィットの中立的評価に基づき、避けられず受容できるリスクはどの程度であるのかについて社会的合意を形成することである、との考えです。私たち研究者の責任はこの評価を科学的に進めることであり、それをコア技術の研究開発とリンクさせることが責任ある研究開発を行うことです。そうすることでコア技術を押し付けではなく調和あるイノベーションの創造へと結びつけることができるのだと思います。そのことを「Responsible Innovation」と表現した参加者がいました。

ナノテクノロジーが拓く未来社会

ナノテクノロジーは現在の技術を飛躍的に発展させることで私たちの生活をよりよいものにしていくだけではなく、現在の社会が抱えるエネルギーや食料などの様々な問題の解決にも役に立つ新しい科学技術です。しかしながら現実には眼を向けると、世界銀行の統計では地球の人口65億人の半分がきれいな水にアクセスできず、先の見えない貧困にあえいでいます。日本においても経済効果のみを優先する技術開発が進む中で、社会格差が広がりそのひずみが社会不安に結びつきつつあります。

私たちの共通の夢である科学技術の便益に満ちた持続可能な未来社会の実現のために、社会受容という視点を盛り込んだ新しいナノテクノロジーの研究開発の方法論とその責任ある遂行、研究者の意識の改革が求められています。

技術情報部門
阿多 誠文



写真2 第2回責任あるナノテクノロジーの研究開発に関する国際対話全体会議

有機ナノチューブ大量合成法の開発

徐放性医薬、健康食品など産業応用への道を開く

水に溶けやすい部分と油に溶けやすい部分を併せ持つ両親媒性分子を新たに設計・合成し、有機溶媒中で自己集合させることで、内径が40～200nm、外径が70～500nm、長さが数～数百 μm の種々の有機ナノチューブを合成する技術を開発した。従来法と比較して溶媒の使用量が1,000分の1以下と少なく、有機ナノチューブを大量に製造できる(図1)。有機ナノチューブは、カーボンナノチューブとは異なって、水中への分散性が優れており、また、タンパク質や核酸などの10nm以上の大きさのゲスト物質を内部に取り込むことができることから、医療、健康、ナノバイオ分野など幅広い応用が期待される。

We have newly designed and synthesized amphiphilic molecules, and have developed a technique for the synthesis of various organic nanotubes of 40 – 200 nm in inner diameter, 70 – 500 nm in outer diameter, and several to hundreds μm in length by self-assembling them in organic solvents. This method needs less than one thousandth of the solvent used by conventional methods, enabling mass-production of organic nanotubes (Figure 1). Since they have excellent dispersibility in water, unlike carbon nanotubes, and can encapsulate guest substances of over 10 nm in size, such as proteins and nucleic acids, they are expected to be applied in various fields such as medical, health, and nanobio technologies.

有機ナノチューブ

近年めざましい発展を遂げてきたナノテクノロジーの研究では、トップダウン型手法とボトムアップ型手法が知られている。前者は、バルク材料から出発してそのサイズを微細化していく手法であり、これまで半導体技術を支えてきた超微細加工技術がこれにあたる。後者は、原子や分子を構成単位として、階層的に大きなサイズへと組み上げていく手法であり、超微細加工技術の最小限界を超える技術として期待されている。

このボトムアップ型手法を支える重要な考え方の1つとして超分子化学がある。超分子化学とは、分子を構成単位として、その分子間相互作用に基づく集合体の機能を研究する学問であり、この分野での研究によって分子設計・合成・集合体構築などそれぞれの技術が理解され、応用されるようになってきた。ここでは、このような研究の中でわれわれが開発した、分子が自発的に集まること(自己集合と呼ぶ)によって形成する内径40～200nmの中空の繊維状構造体(有機ナノチューブ)を効率的に大量合成する技術について紹介する。



図1 (左) 有機ナノチューブ(平均外径=80nm、平均内径=60nm)で構成される白色固体粉末(重量は約100グラム)と(右)その走査電子顕微鏡写真

背景と従来法の問題点

炭素原子で構成されるカーボンナノチューブが、その用途開発、実用化、量産化の観点から精力的に研究されている。一方、有機ナノチューブは、石鹸分子のように1個の分子中に水に溶けやすい部分(親水部)と油に溶けやすい部分(疎水部)を併せ持った両親媒性分子が水中での自己集合により、多層カーボンナノチューブと同程度のサイズのナノチューブ構造を形成している。リン脂質、糖脂質、ペプチド脂質など、限られた両親媒性分子だけがナノチューブ形態に自己集合することが知られている。有機ナノチューブのサイズは用いる分子によってサイズが異なるが、一般的には内径が10～200nm、外径が40～1,000nm、長さが数～数百 μm である。分子はその親水部を外側に向けた二分子膜構造を形成し、円筒層状に重なった膜構造をしている(図2)。数百万個以上もの分子が化学結合ではなく、分子間力だけで寄り集まって整然と配列し、安定なチューブ状構造をしているのが大きな特徴である。

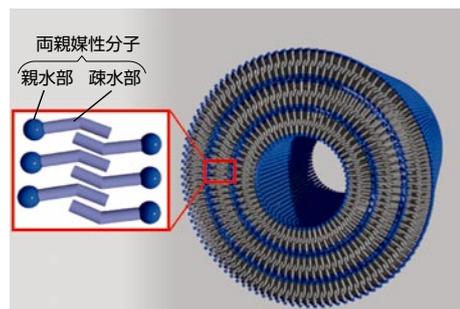


図2 有機ナノチューブの代表的な分子充填模式図。オタマジャクシ型をした両親媒性分子の頭部が親水部、尾部が疎水部を示す。

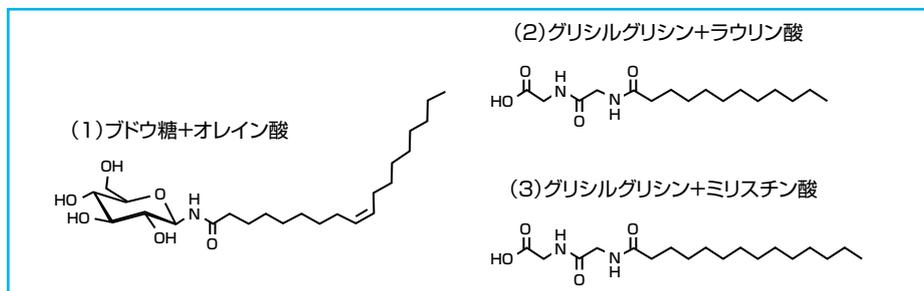


図3 有機ナノチューブ形成用糖脂質(1)とペプチド脂質(2),(3)の分子構造式

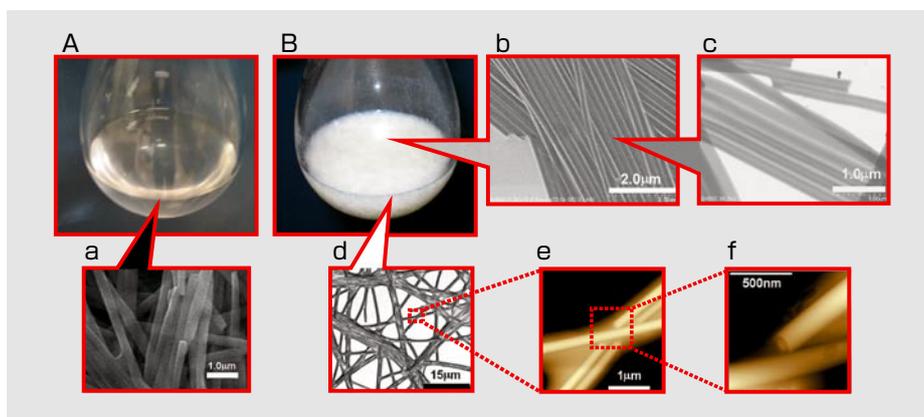


図4 従来の方法で合成した有機ナノチューブ分散溶液(A)とその走査電子顕微鏡像(a)、大量合成法により得られる有機ナノチューブ分散溶液(B)とその電界放出型走査電子顕微鏡像(b)、走査型透過電子顕微鏡像(c)、共焦点レーザー走査顕微鏡像(d)、原子間力顕微鏡像(e,f)

有機ナノチューブの合成技術としては、水中での自己集合法があったが、これは重量にしてナノチューブの1,000倍から10,000倍もの大量の水を必要とする欠点があった。さらに、分子を最終的にチューブ状の集合体へ変化させるには多くのステップと長時間が必要である。このため、実験室レベルではナノチューブ1グラム以上の大量合成は困難とされてきた。

有機ナノチューブの合成

今回、ナノチューブ形成用に、天然の糖やペプチド、脂肪酸といった低コストで安全な原材料を親水部と疎水部に用いて両親媒性分子を設計し、合成した。具体的には、果実や蜂蜜から豊富に取れるブドウ糖とオリーブオイルの主成分として知られるオレイン酸をアミド結合で連結した糖脂質(1)と、ココナツオイルやヤシ油に含まれるラウリン酸、ヤシ油やパーム油に含まれるミリスチン酸とタンパク質を構成する最小のペプチドであるグリシルグリシンをアミド結合で連結したペプチド脂質(2, 3)の3種類の分子を設計し、合成した(図3)。

従来法で糖脂質(1)から2mgの有機ナノチューブを合成するには、重量で7,500倍の蒸留水(15mL)と95度での加熱操作、さらには3日間の形態変化のための時間を必要とし

た(図4A)。われわれが開発した有機溶媒を利用する方法では、まず糖脂質(1)を少量のアルコール系溶媒に溶解し、その溶液に貧溶媒(溶解度に限界がある溶媒)を加えて数時間室温放置することで、同じ容量の溶媒(15mL)と糖脂質(1)から100mgの有機ナノチューブを得ることに成功した(図4B)。透過電子顕微鏡、走査電子顕微鏡、原子間力顕微鏡により、得られた白色固体は内径が40~200nm、外径が70~500nm、長さが数μm以上の有機ナノチューブであることを確認した(図4)。有機ナノチューブを各種顕微鏡で観察することを考慮して、従来法の50倍濃厚な有機ナノチューブ分散溶液を得る合成例を示したが、より濃厚な条件でも同様に合成することを確認している。

今回開発した合成法では、溶媒を室温で放置あるいは濃縮するという簡便な操作で、しかも、ナノチューブの材料をよく溶かす有機溶媒を使用したために、例えば、ペプチド脂質(2)を使用した場合には、従来の1,000分の1という少ない溶媒使用量で有機ナノチューブの固体粉末が大量(実験室レベルで100グラム以上、図1)に製造できた。これは、分子が水中でのナノチューブ形成のような多段階のステップを経ずに、1段階でナノチューブ構造に自己集合したことにより、非常に短時間でしかも大量に得られたと考えられる(図5)。

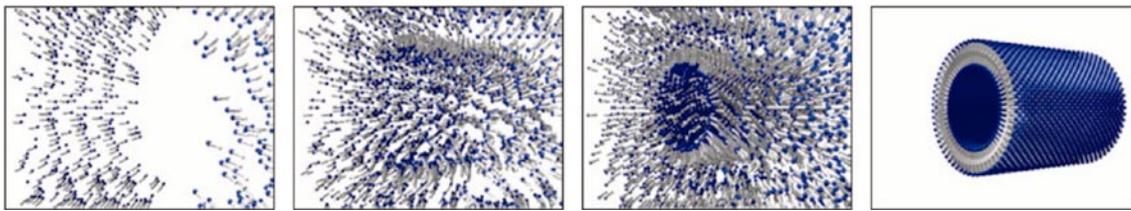


図5 有機溶媒中での両親媒性分子自己集合メカニズムを示した推定図 (Copyright© Nanotechnology Research Institute, AIST)

金属配位型有機ナノチューブの合成

前項では糖脂質とペプチド脂質から有機溶媒を使用して有機ナノチューブを効率的に合成する方法を述べたが、それとは別にペプチド脂質を用いた有機ナノチューブの合成法として、遷移金属との配位結合を利用する方法を開発した。ペプチド脂質は、末端にカルボキシル基をもっているため、水酸化ナトリウム水溶液にナトリウム塩として溶解する。この水溶液に鉄、コバルト、ニッケル、銅の各種遷移金属イオンを加えると、遷移金属イオンとナトリウムイオンが溶液中で交換し、ペプチド脂質と遷移金属イオンの錯体が生成する。この錯体は水への溶解性が低いため、生成と同時に析出してくる。析出物を透過電子顕微鏡と走査電子顕微鏡で観察したところ、チューブ構造体（金属配位型有機ナノチューブ）であることが確かめられた（図6A, B）。

具体的には、ペプチド脂質 (3) 350mgを水酸化ナトリウム水溶液 (50mL) に溶解し、この水溶液に酢酸銅水溶液を加えることによって、銅配位型有機ナノチューブを析出物として得ることができる。

その他の遷移金属（鉄、コバルト、ニッケル）に関しても同様に、金属配位型有機ナノチューブを合成することができる。金属配位型有機ナノチューブの特徴は、金属に特徴的な発色が観察できることである。鉄は茶色、コバルトは紫色、ニッケルは緑色、銅は青色である（図6C）。その他の金属に依存した金属配位型有機ナノチューブの性質に関し

ては、現在検討中である。金属による性質の違いが明らかになれば、それぞれの特性を利用した用途開発の幅が広がるものと期待される。また、ここで報告した4種類の遷移金属以外にも金属配位型有機ナノチューブを形成する可能性があり、今後さらに研究を進めていく。

機能性物質の包接

この有機溶媒を使用する技術により、100グラム以上の有機ナノチューブを1リットル程度の有機溶媒で作成できるようになり（従来法では水が2,000リットル必要）、さらには、機能性物質を取り込む（包接する）ことができるナノチューブを製造するために、必要であった数日間以上もかかる真空乾燥が、有機溶媒から合成することで、数時間で完了するようになった。

ブドウ糖分子が環状に6～8個つながっているシクロデキストリンと呼ばれる環状分子は、その中空内孔に様々な有機低分子を取り込む（包接する）ことで、不安定な物質を安定化させたり、医薬や香料をゆっくりと放出したり（徐放性）、水に溶けにくい物質を溶解させたりする機能をもっている。そのため、食品分野、メディカル応用、家庭用品など様々な分野で広く利用されている。一方、糖脂質が自己集合して形成する有機ナノチューブは水中によく分散するが、このナノチューブ内部に、シクロデキストリンでは取り込むことができない大きな物質、例えば、タンパク質、核酸、ウイルス、金属ナノ粒子などを内部に取り込ませて、

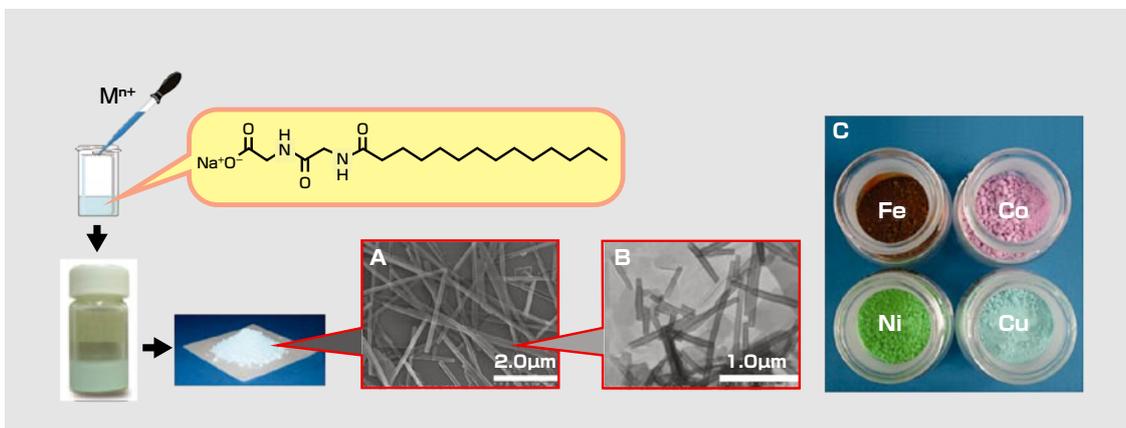


図6 金属配位型有機ナノチューブの合成と電解放出型走査電子顕微鏡観察像 (A)、走査型透過電子顕微鏡観察像 (B)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu) 各種イオンを添加することによって得られる各種金属配位型有機ナノチューブ固体粉末 (C)

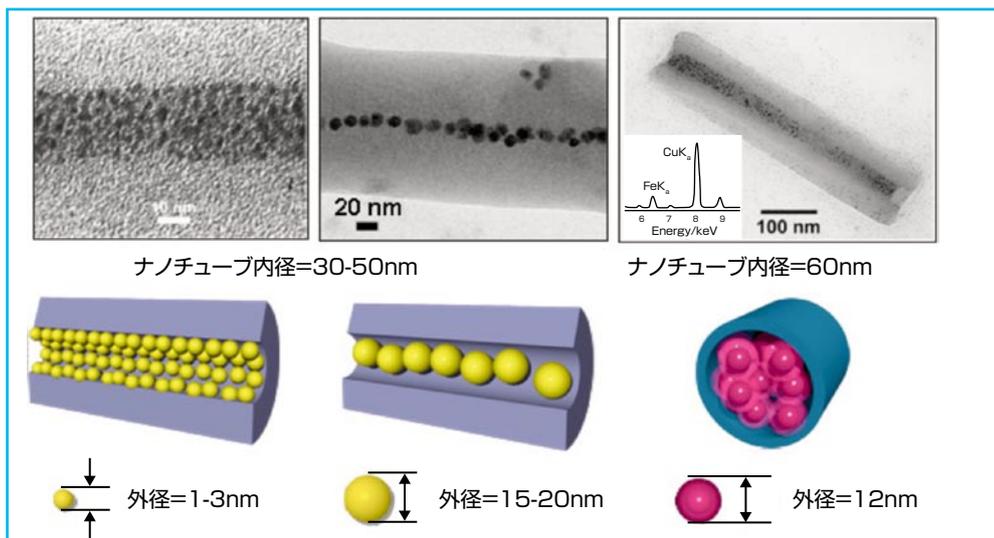


図7 (左、中) 内径が30～50nmの有機ナノチューブの内部に2種類の大きさが異なる金ナノ粒子を取り込んだ様子、(右) 内径が60nmの有機ナノチューブに外径が12nmのフェリチンが取り込まれた状況を示す電子顕微鏡写真

水中に分散させることが可能である。例えば、内径が30～60nmの有機ナノチューブを用いて、1～20 nm程度の金ナノ粒子や直径12nmの球状タンパク質（フェリチン）を内部に取り込ませることも成功している(図7)。

現在、包接機能を応用したシクロデキストリン包接品は、すでに事業化されているものも多いが、今回、開発した有機ナノチューブは、大量合成が可能であり、また、大きな分子の取り込みが可能なることから、新しい包接機能をもつ物質としての産業応用が期待される。

今後の展開と応用

ここまで述べてきたように、自己集合するように設計された分子は、その分子構造に刻み込まれたプログラムに従って、自発的に目的とする構造体へと組み上がっていく。そのプロセスは、エネルギー的に有利であり、その構造は必要とする時期が過ぎれば、少ないエネルギーでまた分子1個1個に分解してくれるので、環境にも優しい。有機ナノチューブ用に設計された分子はこれまでもいくつか報告されているが、今回われわれが開発したように天然の原料で構成されたシンプルな構造をもち、有機ナノチューブの原料として比較的安価に量産できる分子は、非常にまれである。また、その分子が自己集合することによって、容易に大量合成できる有機ナノチューブの報告は、今回が初めてであり、その材料としての用途開発が進み商品化されればその波及効果は非常に大きい。

この有機ナノチューブは、カーボンナノチューブとは特性も機能も異なるナノチューブ構造体であり、今後の応用、開発研究、実用化の研究が日本発の研究としていっそう加速するものと考えられる。そこで現在、「オーガニックナノチューブ AIST」と命名し、登録商標を申請中である。

今後は、吸着、包接、徐放効果のある新しい有機ナノ

チューブコンテナや有機ナノチューブキャリヤとして、(1) 農業用(プリオン除去、徐放性肥料など)、(2) 食品(脂肪排出、機能性ファイバーなど)、(3) 健康(脱毛予防、アレルギーフィルターなど)、(4) 医療(標的ドラッグデリバリーシステム、血液浄化、ウイルス捕捉、インシュリン投与、噴霧など)、(5) 環境(金属微粒子除去など)、(6) その他、女性、高齢者用の健康食品添加用材料、といった各分野への応用を視野に入れて、有機ナノチューブの用途開発を進めて行く。

また、用途開発と並行して、有機ナノチューブの事業化を目指すために、各分野で関連商品を開発している企業へのサンプル提供、さらには関連企業との共同研究を行う体制を整えたいと考えている。

関連情報

- 1) T. Shimizu, M. Masuda, H. Minamikawa, Chem. Rev., 105, 1401 (2005).
- 2) M. Kogiso, Y. Zhou, T. Shimizu, Adv. Mater., in press (2006).
- 3) 清水敏美, “有機ナノチューブ”、[環状・筒状超分子新素材の応用技術]、シーエムシー出版, pp.43-64 (2006).

●この研究成果は独立行政法人 科学技術振興機構（以下「JST」という）と産総研の共同研究【戦略的創造研究推進事業（CREST）プロジェクト、平成12～17年度】およびJSTの委託研究【戦略的創造研究推進事業発展研究（SORST）プロジェクト、平成17～19年度】により得られたものである。

●プレス発表 2006年7月20日：「白い有機ナノチューブの大量合成に成功」

● 問い合わせ先

独立行政法人 産業技術総合研究所

界面ナノアーキテクトニクス研究センター 高軸比ナノ構造組織化チーム

主任研究員 浅川 真澄

E-mail: masumi-asakawa@aist.go.jp

〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第5

マイクロ波によるポリエステル合成

重縮合の常識を覆す超高速重合を実現

高速で均一な加熱源として知られるマイクロ波をエネルギー源とすることにより、脂肪族ポリエステルの省エネ・高効率の製造法の確立を目指している。バイオベースプラスチックの代表例であるポリコハク酸ブチルとポリ乳酸の合成にこの方法を適用したところ、従来法の10倍以上の加速効果が見いだされた。

Rapid synthesis of aliphatic polyesters by direct polycondensation, which does not generate any wastes, is an ideal method for producing polyesters. We report a rapid, environmentally-benign, solvent-free method for synthesis of poly(butylene succinate) (PBS) and poly(lactic acid) (PLA) through microwave irradiation in the presence of tin catalyst. The microwave irradiation accelerated the polymerization rate more than 10 times compared with the conventional heating method. The PBS with average molecular weight (M_w) of 29000 and PLA with 16000 were obtained within 30 minutes.

研究の背景

最近、「グリーン購入」、いわゆる環境物品などを進んで調達するという考え方が広がりを見せている。企業、自治体、一般消費者にとっては、「グリーンプロダクツ」を購入することが、環境保全に貢献するインセンティブになる。なかでも、「バイオマス」(再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの)を原料とした樹脂は、「バイオベースプラスチック」と呼ばれ、身近でも話題に上るようになってきた。

順調に知名度の上がりつつあるバイオベースプラスチックだが、低価格での供給が難しくその普及を阻んでいる。「バイオマス・ニッポン総合戦略(平成18年3月31日閣議決定)」では、現時点で実用化されているバイオマス由来のプラスチックの価格を、2010年までに現在の400円/kg程度から200円/kg程度にしたいとしている。それでもなお価格が汎用樹脂の2倍もするものを、環境に優しいからといって消費者が購入し、急速に普及するかどうかは議論の余地があるが、大幅に製造コストを下げることが緊急の課題であることは間違いない。

化学合成系のバイオベースプラスチックは、今のところ全てポリエステル樹脂である。原料の全てまたは一部に石油を用いないことからグリーンプロダクツの代表格に取り扱われるが、ポリエステルの製造には、石油系、バイオマス系を問わず、多段階・高温・長時間の反応が必要なため、石油に依存したプロセスエネルギーを多量に使用しており、ハロゲン化原料や溶媒を使用することも多い。2000年代になって、いくつかの新しい触媒系による高効率の製造法が報告されているが、その工程には依然10時間以上の長時間を要しており、シンプルで、経済的で、環境にやさしく、かつ迅速な製造法の開発が産業界から望まれていた。

マイクロ波を駆動源とする重縮合

マイクロ波は、従来のヒーターやスチームとは異なり、物体を伝熱によら

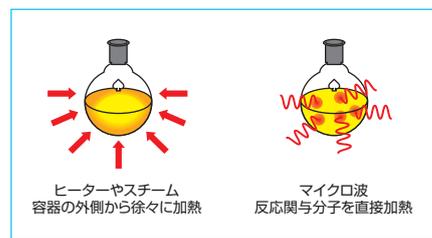


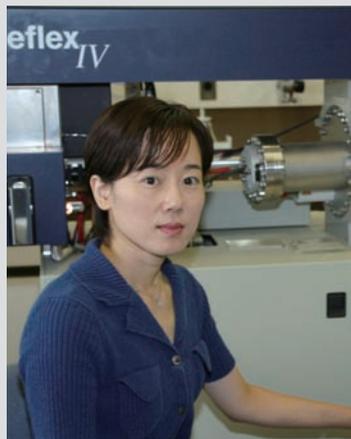
図1 従来の加熱法 vs マイクロ波加熱法

長畑 律子 ながはたりつこ

nagahata-ritsuko@aist.go.jp

環境化学技術研究部門 循環型高分子グループ 研究員(つくばセンター)

これまで、エンジニアリングプラスチックの合成に関する基礎研究、マイクロ波重合、質量分析による高分子材料評価に携わってきた。今後もこれらの経験を活かして、実用化を目指した材料技術の開発を続けていきたい。当面は、バイオマスから製造可能なプラスチックの普及を目指し、低コストかつ低環境負荷な縮合系高分子の新しい製造技術を開発して行く予定である。将来は、マイクロ波などの新しい反応場技術を実用化し、環境調和型化学プロセスを実現することを目標としている。



ず内部から高速かつ均一に加熱できる(図1)。そこでマイクロ波は、電子レンジをはじめ、食品の加熱・乾燥、セラミックスの乾燥・焼結、最近では化学合成にも用いられている(図2)。

われわれは、ポリエステル合成の基本反応である重縮合には、おもにマイクロ波をよく吸収する基質と脱離成分が関与していることに着目、脂肪族ポリエステル合成の加熱にマイクロ波を用いれば時間とプロセスエネルギーを大幅に削減でき、無溶媒化もできるのではないかと考えた。

ポリコハク酸ブチル(現在は石油系原料が主体だが、バイオマス原料からの製造も行われている)の合成では、原料のコハク酸と1,4-ブタンジオールにスズ系触媒を加え、耐熱ガラス製試験管に入れてシングルモードのマイクロ波(2.45GHz)を照射して、設定温度(>200℃)が一定になるように制御した。マイクロ波は最大出力を200Wとするよう設定するが、実際にはごく短時間に温度が上がるため、反応中は約50Wの低出力でON/OFFが繰り返される。溶媒を用いずに熔融状態で反応させると、20分後には平均分子量2万(M_w)以上のポリマーが生成した。この際、排気設備は必須ではないが、高分子量を得るために適度な減圧条件を組み合わせてもよい。一方、通常加熱法(オイルバスを使用)では、同じ温度・時間条件の場合、分子量数千の重合物



図2 電子レンジで化学合成

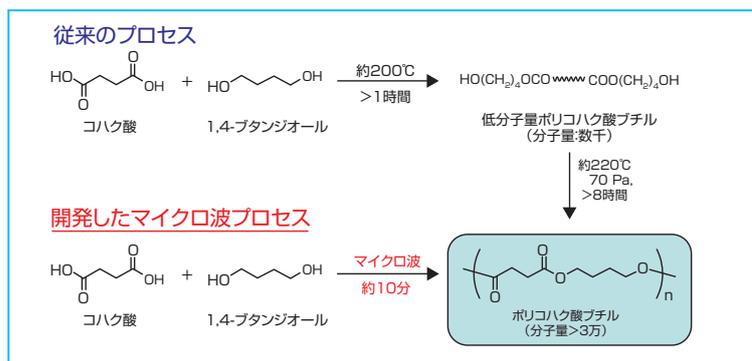


図3 ポリコハク酸ブチルの合成

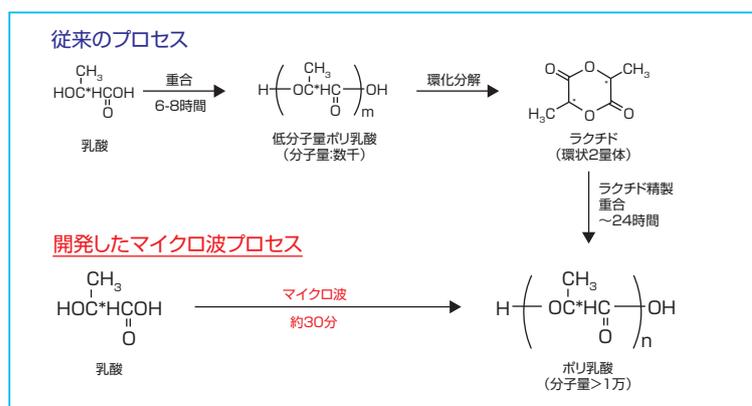


図4 ポリ乳酸の合成

しか得られないので、この反応は明らかにマイクロ波により加速されたと言える(図3)。

次に、ポリ乳酸に適用した結果を紹介する。ポリ乳酸は、工業的には、低分子量ポリ乳酸からの解重合により環状2量体であるラクチドをいったん合成・精製し、その開環重合により高分子量体を得る工程数の多い方法によって製造されている。この多工程が低コスト化を阻んでいると言われている。われわれは、乳酸(バイオマス原料)から溶媒を使わず直接重縮合をマイクロ波で行い、1段階で分子量を2万以上まで上げる手法を開発した。この技術の

開発により、従来の直接重縮合では分子量1万以上のポリマーを得るのに30時間以上を要していた工程を、わずか30分で行うことが可能になった(図4)。

今後の展開

今後は、乳酸やコハク酸系ポリマーなどの脂肪族ポリエステル類の省エネ・高効率の合成法、直接共重合によるこれら脂肪族ポリエステル共重合体の高効率の合成法の開発を進め、これらの合成法の実用化を目指した実験室規模での製造プロセスの基盤データの取得を行う予定である。

関連情報：

- 特願 2004-364611「脂肪族ポリエステルの製造方法」、特願 2005-313730「ポリ乳酸の製造方法」など
- 共同研究者：ベルマチシバン・竹内和彦
- マイクロ波を駆動源とするバイオベースポリマーの高効率製造法技術開発は、現在、NEDO「産業技術研究助成」により進めている。

らせん構造を形成する液晶性半導体

コレステリック相での電子伝導と円偏光発光

液晶の中でコレステリック液晶と呼ばれるものは、光の波長程度の周期のらせん構造をもち、円偏光を反射したり、閉じ込めたりする性質がある。そこで、この性質を利用する光励起による円偏光発光やレーザー発振が期待されている。しかし、電気励起によって駆動できるデバイスを実現するには、電気を流せるコレステリック液晶が必要である。われわれは、コレステリック相状態で電子伝導性を示す液晶性物質を新たに合成した。また、二量体構造をもつコレステリック液晶性物質を合成し、それが光励起により円偏光発光することを見出した。

Cholesteric liquid crystals have been drawing much attention because of their helical structure, which can be applied to circularly polarized emission and optically pumped laser. However, conventional cholesteric liquid crystals are insulators and cannot be applied to electrically pumped devices. We synthesized cholesteric liquid crystals exhibiting semiconductive carrier transport properties. A dimeric cholesteric semiconductor was also synthesized and circularly polarized luminescence was observed.

研究の背景

液晶性半導体は、分子性結晶に匹敵する電荷移動度をもつだけでなく有機溶媒に溶けやすいので、溶液プロセスによる薄膜化・デバイス作製が可能である。また、液晶相が示す多様な超構造は従来の半導体にはない高次の機能を発現する場となりうる。液晶相のうち、コレステリック相はらせん構造をもっており、円偏光発光や光の閉じ込めなどのユニークな性質を示す。この研究では、このコレステリック相に着目し、電子伝導性を示すコレステリック液晶の開発を検討した。

液晶中での電気伝導

近年、結晶類似の層状構造をもつ液晶が $10^{-1} \text{cm}^2/\text{Vs}$ 程度の電荷移動度をもつことが報告され、有機薄膜トランジスターへの応用が考えられている^[1,5,6]。これまで半導体としての電子伝導性を示す液晶は、結晶類似の構

造をもつ結晶相に限られていた。ネマティック相やコレステリック相は、結晶類似の構造を持たないため、液體的な流動性をもつネマティック相やコレステリック相では電子伝導は観測されず、不純物によるイオン伝導だけが見られた。光の波長程度の周期構造をもつコレステリック液晶相が電子伝導性をもてば、電気励起による円偏光発光素子や有機半導体レーザーの実現の可能性がでてくる。また、流動性のあるコレステリック相では、電場などの外場によって周期構造をコントロールすることができるため、波長可変な発光デバイスへの応用も考えられる。

コレステリック液晶半導体の分子設計

コレステリック相はネマティック相がねじれた構造をもつので、ネマティック相を示す液晶分子に光学活性をもたせれば、コレステリック相を示すことになる。また、有機半導体での

舟橋 正浩 ふなはしまさひろ

masahiro-funahashi@aist.go.jp

ナノテクノロジー研究部門 分子スマートシステムグループ 研究員（つくばセンター）

この10年間、液晶性半導体の分子設計、物性評価、デバイス作製・評価に取り組んできた。バルクの基本的な電荷輸送機構がほぼ解明され、分子設計の指針もほぼ確立できたと自負している。現在、次のステップとして、(1) 薄膜トランジスターなどの電子デバイスへの応用、(2) 有機半導体への高次機能の発現の場となる超構造の導入、(3) センシング機能を持った‘感じる’ソフトマテリアル、の3つのテーマに取り組んでいる。ここで紹介した研究内容は2番目のテーマに該当し、キラリティーを利用したらせん構造に基づく超構造を有機半導体に導入したものである。

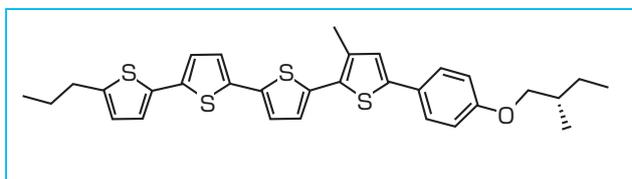


図1 この研究で用いたコレステリック液晶半導体

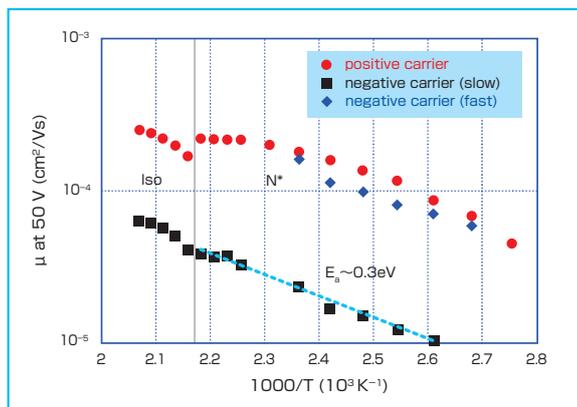


図2 キャリア移動度の温度依存性

電荷移動度は π 軌道の重なりに依存するので、長い共役系を持つオリゴチオフェン誘導体に着目し、図1に示すような長い π 共役系と光学活性なアルキル側鎖を持つ液晶性物質を新たに合成した。この物質は、冷却過程において182℃から83℃の範囲でコレステリック相を示した。

キャリア移動度の温度依存性と伝導機構

この物質の電荷輸送特性を測定したところ、コレステリック相では、正電荷の移動度が $2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に達し、通常の低分子のコレステリック相の電荷移動度よりも1桁から2桁高い値を示した。また、図2に示すように、正電荷の移動度は温度上昇に伴って飽和しており、粘性の温度変化とは異なることから、正電荷の輸送が粘性に支配されたイオン伝導ではなく、電子伝導であることが明らかになった(図3)。

負電荷に関しては、2種の電荷が存在し、一方の電荷の移動度は正電荷と同じく $2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ であったが、もう一方の電荷の移動度は $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と遅く、負電荷の遅い方の移動度は温度上昇に対して単調増加し、活性化エネルギーは粘性の活性化エネルギーに一致していたことから、イオン伝導によるものと結論された^[2,3]。

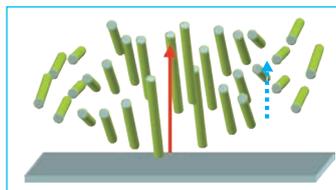


図3 コレステリック相での電子伝導のイメージ図

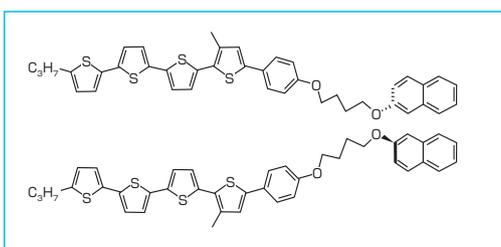


図4 二量体型コレステリック液晶の分子構造

室温で可視域に選択反射バンドを示すコレステリック半導体

前述の物質は室温では結晶化してしまい、コレステリック相を保持できない。また、らせん周期が可視光の波長よりも長いため、可視光領域では選択反射を示さない。そこで、光学活性部分としてビナフチル基を導入した、二量体型コレステリック液晶を合成した(図4)。この化合物は室温でコレステリック相を示し、また、可視光領域に選択反射バンドをもつため、室温で干渉色を示す。この性質から、蛍光スペクトルと選択反射バンドが重なっている波長領域では、紫外光で励起することで円偏光蛍光が観測できた。図5に円偏光蛍光スペクトルを示す。円偏光二色性パラメーターは1.4に達した^[4]。

今後の予定

室温での電荷移動度をさらに向上させ、円偏光発光が可能な電界発光素子を溶液プロセスによって作製することを目指す。また、光励起によるレーザー発振を検討し、将来的には電気励起による有機半導体レーザーを実現したいと考えている。

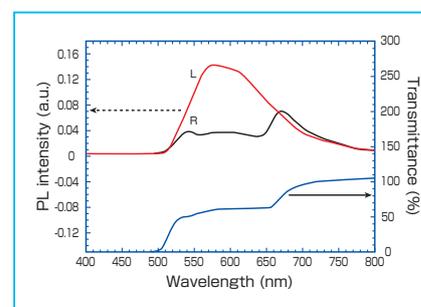


図5 二量体型コレステリック液晶の円偏光蛍光スペクトル

関連情報 (参考文献) :

1. M. Funahashi and J. Hanna, "High carrier mobility up to $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ at ambient temperatures in thiophene-based smectic liquid crystals", *Adv. Mater.*, 17, 594 (2005).
2. Masahiro Funahashi and Nobuyuki Tamaoki, "Electronic conduction in the chiral nematic phase of the oligothiophene derivative", *ChemPhysChem*, 7, 1193 (2006).
3. 舟橋正浩「新有機半導体を目指した液晶性半導体の開発」 Semiconductor FPD World (株)プレスジャーナル、2006年6月号
4. 舟橋正浩「液晶相での電子伝導 - スメクティック相からコレステリック相まで」 液晶、2006年10月号

関連情報 (特許情報) :

1. 舟橋正浩、玉置信之：コレステリック液晶化合物、(特願 2006-035958)
2. 舟橋正浩、玉置信之：コレステリック液晶化合物、(特願 2006-138743)

発電する熱交換器用パイプ型モジュール

熱電モジュールで過熱蒸気と電気を同時発生

高温の空気中でも安定なセラミックス熱電材料を用いた、過熱蒸気と電気を同時に発生する熱交換器用パイプ型熱電発電モジュールを開発した。このモジュールでは、ステンレス鋼管を介して熱交換を行うが、鋼管がセラミックス材料で被覆されているため、ガスの燃焼火炎内でも安定して過熱蒸気を生成することができる。また、セラミックス材料が熱電発電機能をもっているため電力も同時に取り出せる。

We have developed a pipe-type thermoelectric module for use in heat exchangers that can simultaneously generate steam superheated above 100°C and electricity from the combustion heaters and cooking stoves. Thermoelectric ceramics, which are stable even in extremely hot air, are used to cover stainless steel tubes in electricity generating modules. This cover prevents the contact between flame and the stainless steel tube that acts as a heat exchanger, protecting the metal tube and extending the useful life of the heat exchanger. Control of the flame temperature will suppress the formation of nitrogen oxides (NO_x) or carbon monoxide (CO), which are products of incomplete combustion.

研究の背景

最近、過熱蒸気（100°Cより高温の水蒸気）の一般家庭での利用が広がりつつある。しかし、ガス燃焼で直接熱交換を行う方法では、部品の熱劣化や火炎温度の低下による一酸化炭素(CO)の発生が問題となる。そこで、これらの問題のない安全・安心なガス燃焼による過熱蒸気発生装置が望まれていた。

産総研は、廃熱回収によるエネルギー・環境問題の解決に向けて期待されているセラミックス（金属酸化物）熱電発電の研究を行っており、これまでにガス燃焼により発電可能なセラミックス熱電材料とそれを用いた発電モジュールを独自に開発してきた。1998年の研究開始以降、これまでに、動作温度差が500°C以上で変換効率が10%に

も達するp型層状コバルト系熱電酸化物の発見や、1日に2,000種類の熱電試料を合成して評価する技術、熱電セラミックスを用いた板状発電モジュールの製造技術などを確立してきた。2005年、これらの技術の実用化に向けて、燃焼・伝熱に関して高い技術力を持つ大阪ガス株式会社・エネルギー技術研究所と協力して、セラミックス熱電材料を使うことでガス燃焼蒸気発生装置の問題解決を目指すモジュールを開発した。

研究の内容

天然ガスの燃焼火炎で、温度差をつくり出すための冷却水を過熱蒸気にする熱電モジュールの開発を目標として研究を進めた。これを実現するには、

舟橋 良次 ふなはしりょうじ

funahashi-r@aist.go.jp

ナノテクノロジー研究部門 ナノ機能合成グループ 主任研究員（関西センター）

新しい機能、面白い機能をもつ酸化物材料の開発が専門。優れた熱電特性をもつコバルト系酸化物の発見後、素子化プロセス、電極形成、モジュール製造技術の開発に取り組んできました。現在は開発したセラミックス熱電モジュールの2010年までの実用化を目指し「営業活動」に奔走中。熱電発電による安全で豊かで、省エネもできる社会作りを夢見てチーム一丸となって格闘しています。

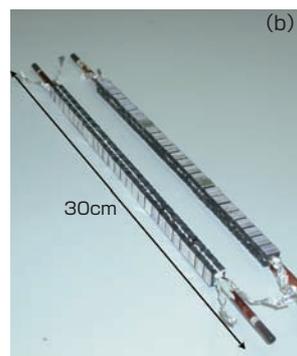
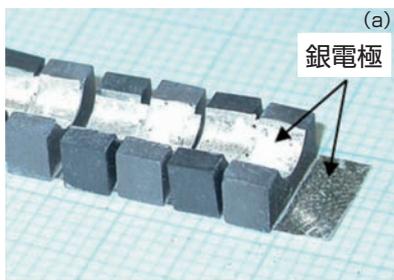
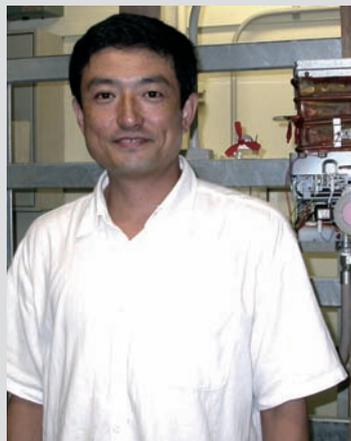


図1 加工後のセラミックス熱電材料に銀電極形成を行った素子(a)とパイプ型モジュール(b)

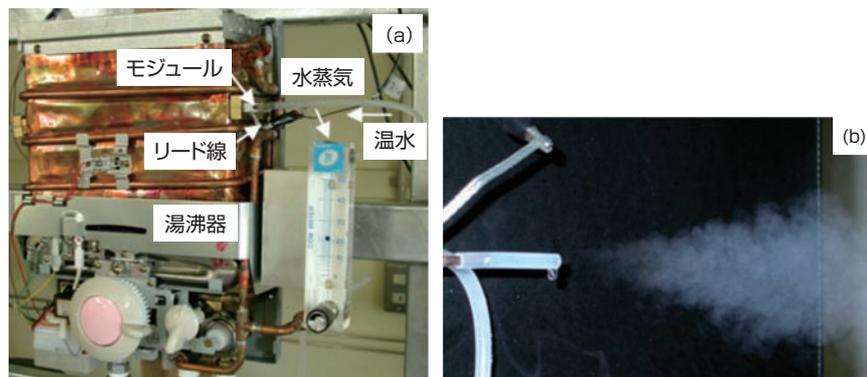


図2 パイプ型熱電モジュールを装着した元止め式湯沸かし器 (a) と水蒸気発生 (b)

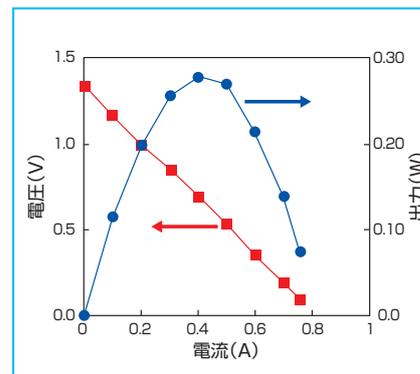


図3 1本のパイプ型モジュールの発電特性

優れた発電特性だけでなく、火炎に対しての高い耐久性と熱交換特性を満たす素子材料とモジュール構造が必要である。そこで、熱交換が可能なパイプ型モジュールの作製に取り組んだ。

板状モジュールの開発で培った技術を用いて、セラミックス素子の製造加工、曲面への電極形成 (図1(a))、ステンレス鋼管と熱電素子間の電気絶縁と高い熱交換特性の確保など、新たな課題を解決し、パイプ型モジュールを開発した。このモジュールは全長30cm (素子部21cm)、断面8mm角の半割形状で、54のp-n素子対で構成されている (図1(b))。

パイプ型モジュールを元止め式湯沸かし器に取り付け (図2 (a))、給湯を行った。モジュールの表面は天然ガスの燃焼火炎にさらされており、パイプ中には湯沸かし器から得られた温水の一部を流している。モジュール表面付近の温度は1,000～1,200℃になっており、パイプの終端からは過熱蒸気が得られた (図2 (b))。また、この熱交換により1本のパイプ型モジュールから1.3～1.5V、0.28Wの電力を得ることができた (図3)。

今後モジュールの改良により発電量を増加できれば、商用電源が必要のない完全自立型の蒸気発生器を実現することができる。また、セラミックス素子による鋼管表面の保護効果により、

熱交換器の寿命を延ばすこともできる。さらに、モジュール表面の温度を鋼管に流れる水量などで制御すれば、人体に有害なCOやNO_x発生を抑制することもできる。このように、今回開発したモジュールは、ガス機器の安全性、利便性を高め、われわれの日常生活をより快適にするだけでなく、これまで使われていなかった高温エネルギーの有効利用により省エネルギーにも貢献するものと考えている (図4)。

今後の予定

今後、産総研は素子メーカーとの共同研究やNEDO産業技術研究助成事業などによりパイプ型モジュールの信頼性、発電性能、熱交換性能の向上、さらには低コスト化技術の開発、具体的な熱交換器の製造を試み、ガス機器以外の熱機関への応用も含めて、熱電変換によるエネルギー、環境問題の解決に貢献することを目指していく。

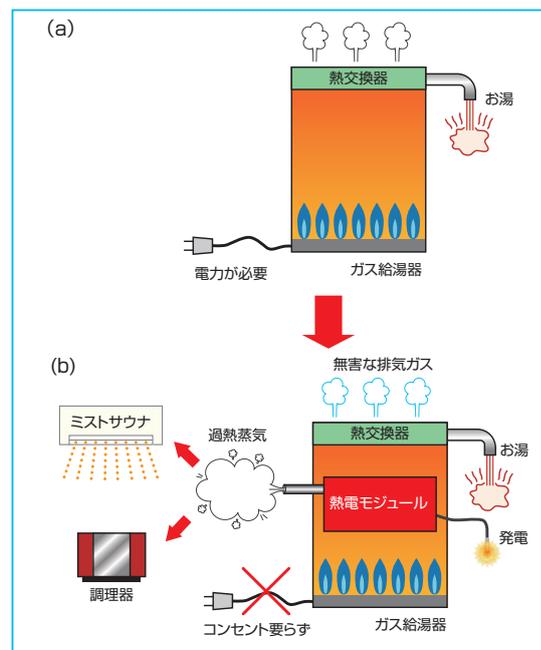


図4 高温熱利用による省エネ、安全、快適生活の例。これまでの給湯器 (a) と熱電モジュールを搭載した給湯器 (b)

関連情報：

- R. Funahashi: AIST Today Vol. 5, No. 8, p. 14-17 (2005).
- <http://staff.aist.go.jp/funahashi-r/>
- プレス発表 2006年6月22日：「発電する熱交換器用パイプ型モジュールの開発」

有機汚染物質の抽出方法 水蒸気を用いる PCB・農薬の簡便な回収法

特許 第3740532号 (出願2002. 8)

目的と効果

環境汚染への対処を適切に行うためには正確な分析技術が欠かせませんが、一般に分析試料の前処理(目的物質の抽出および定量を妨害する物質の除去)には、有害な有機溶媒などを使った時間と手間のかかる作業が必要とされています。この特許技術は、土壌などの試料からポリクロロビフェニル(PCB)・有機塩素系農薬など主に疎水性の有機化合物を簡易に回収するための分析前処理に関するもので、高感度・高精度な分析に対応可能です。

[適用分野]

- 固体試料からの分析対象物質の高効率な抽出・回収

技術の概要、特徴

マイクロ波加熱-水蒸気蒸留法の原理を図1に示します。底部がガラスフィルターからなるガラス円筒に分析試料・水・非極性有機溶媒を入れ、耐圧容器内でマイクロ波を照射すると、有機溶媒を透過したマイクロ波により試料が加熱され、水蒸気とともに気化したPCBなどは、容器の内壁で凝結する有機溶媒中に溶けこんで回収されます。この際、系を高温にすることで気化が促進され、凝結した水が再度試料に浸透することで抽出が繰り返されます。有機溶媒と試料との直接接触がないために妨害物質の溶出は起こりにくく、抽出後の固液分離も不要であるため、得られた抽出液は、直接、ガスクロマトグラフ-質量分析計で分析可能です。この技術を使うことで、従来の方法に比べて分析に要する時間と溶媒の量とを大幅に低減することができます(図1)。海底質試料中のPCB・農薬等をこの方法で抽出して定量したところ、得られた分析値は他の抽出法によるものと一致しました(図2)。

発明者からのメッセージ

環境への負荷や分析作業者に対する危険性の低いこの抽出法が、環境・食品等の安全性確保のために利用されるよう、広く実用化に向けた取り組みを進めていただけることを希望しています。

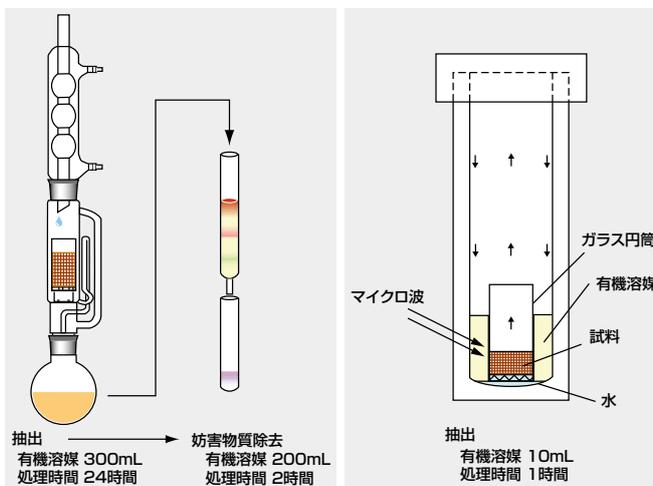


図1 既存の抽出法(左)とマイクロ波加熱-水蒸気蒸留法(右)との比較

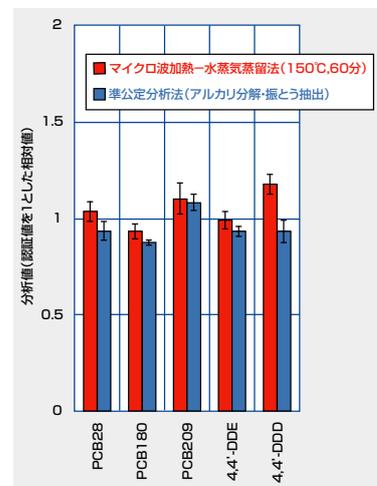


図2 底質認証標準物質(NIST SRM1944)の分析結果

* 準公定分析法: 環境庁「外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル」(1998)に準拠

IDEA

産総研が所有する特許のデータベース

<http://www.aist.go.jp/aist-idea/>

β-アミロイドタンパク質会合阻害剤

アルツハイマー病の発症を阻害する物質の開発を目指して

特許 第3735705号 (出願2001.3)

● 関連特許 (出願中: 国内1件)

目的と効果

高齢化とともにわが国でも問題となっている「アルツハイマー病」の発症原因と考えられているのは、β-アミロイドタンパク質という40から42残基のタンパク質です。これが多数会合することによって神経細胞に毒性を発揮すると考えられており、その会合を阻害できればアルツハイマー病の発症が阻止できる可能性があります。そこでβ-アミロイドタンパク質会合阻害剤を新規に設計・開発し、会合阻害活性及び神経芽細胞腫に対する毒性抑制効果を見出しました。

[適用分野]

- アルツハイマー病発症予防

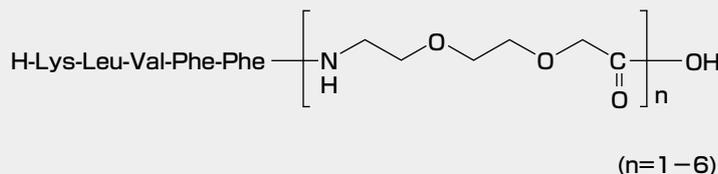
技術の概要、特徴

アルツハイマー病の発症原因と考えられるβ-アミロイドタンパク質は、その内部にKLVFF (Lys-Leu-Val-Phe-Phe) という特徴的なアミノ酸配列を持っており、この部分がβ-アミロイドタンパク質間の自己会合の際の重要部分であると考えられてきました。そして、この会合体形成がアルツハイマー病を発症させるという仮説が提唱されてきました(アミロイド仮説)。

私たちは、このKLVFFという配列のC末端側に、エーテル結合を含む親水性のアミノカルボン酸を複数個(1~6個)結合した分子を合成しました。このアミノカルボン酸の重合体は、ポリエチレングリコールの構造に類似しているため、親水性と生体適合性を併せ持つと考えられます。アミノカルボン酸の数をさまざまに変えたのは、親水性の度合いによって会合阻害効果に違いが現れるかどうかを調べるためです。結果としては、親水性部分が高いほど、会合体形成阻害活性及び細胞毒性阻害効果が高いことが判明しました。

発明者からのメッセージ

顕著に高齢化が進む日本社会で、アルツハイマー病の発症は今後ますます大きな問題となっていくと考えられます。私たちの合成したβ-アミロイドタンパク質会合阻害剤が基盤となり、アルツハイマー病の発症を抑える新薬が開発されることを願っています。



β-アミロイドタンパク質会合阻害剤の構造

産総研イノベーションズ
(経済産業省認定 TLO)

〒305-8568
つくば市梅園 1-1-1
産業技術総合研究所
つくば中央第2

TEL : 029-862-6158
FAX : 029-862-6159
E-mail : aist-innovations
@m.aist.go.jp

天然における核種移行とコロイド粒子

高レベル放射性廃棄物地層処分からの観点から

地層処分におけるコロイドの重要性

高レベル放射性廃棄物地層処分の安全性を評価する上で、地下水による核種の移行は考慮すべき最も重要なプロセスである。天然水中には、酸化物・水酸化物、有機酸、鉱物粒子等からなる種々のコロイド粒子が存在する。多くの場合、コロイド表面は様々な官能基に起因する電荷を帯びており、金属イオン等を吸着する。

地質媒体中の核種の移行は、亀裂や空隙中に存在する地下水の移流とその中の拡散等によって生じるが、環境

中における核種の移動特性は、コロイドに吸着した場合、元素単独のイオンの場合と大きく異なる。コロイド粒子が鉱物表面へ吸着・固定(フィルトレーション)することで移行が遅くなることも考えられるが、逆に、サイズ排斥・イオン排斥等のメカニズムによって、コロイド粒子がより大きな亀裂や流速の大きい経路を選択的に通ることから、移行が促進される可能性もある。

例えば、米国ネバダ州の核実験サイトでは、地下水中の溶解度が低く極めて移動しにくいと考えられていたプ

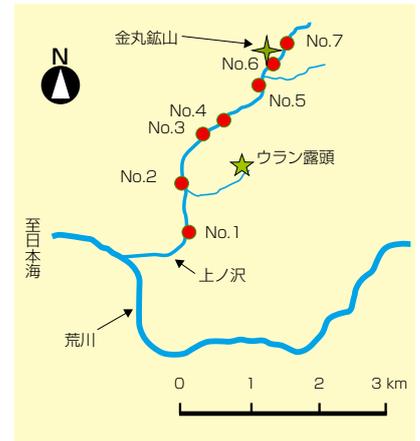


図1 金丸地区・上ノ沢における試料採取点

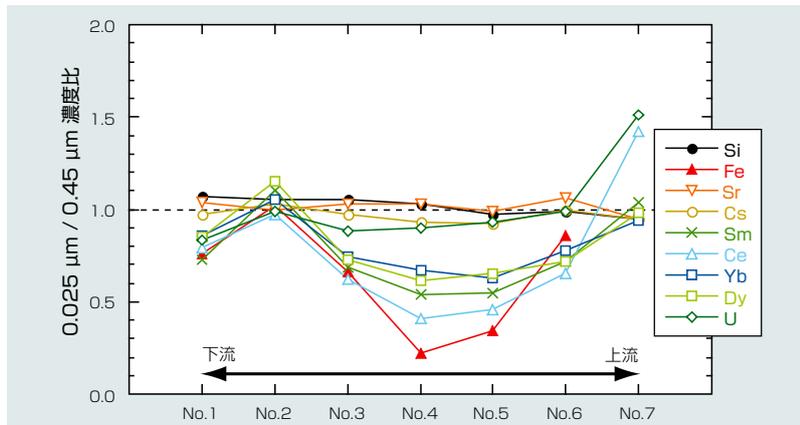


図2 上ノ沢における主な元素の地点(上流～下流)ごとの濃度の比較(2種の孔径のフィルターろ液中の元素濃度比)

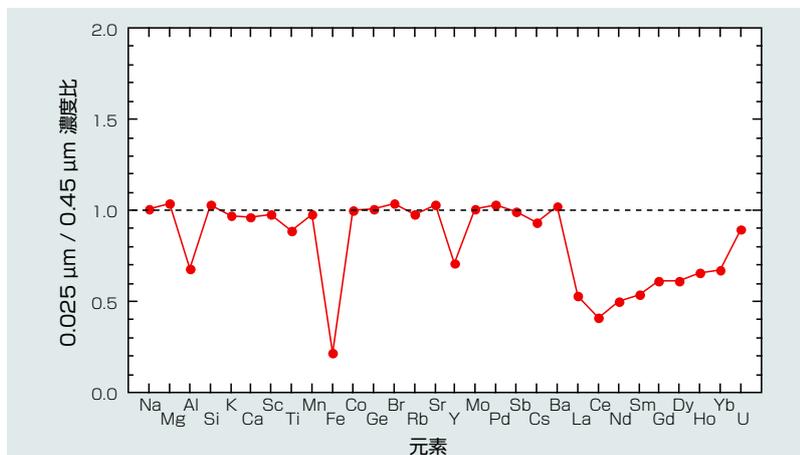


図3 上ノ沢中流域(No.4地点)における元素ごとの濃度の比較(2種の孔径のフィルターろ液中の元素濃度比)

トニウムがコロイドと結びつくことで移行が促進され、サイトから1km以上離れた地点で検出された例がある^[1]。

河川水中で観測されたコロイド粒子

新潟県北西部(一部山形県)に位置する金丸地区は、基盤の白亜紀後期花崗岩(岩船花崗岩)上の新第三紀アルコーズ質砂岩(釜杭層)中にウラン濃集帯が存在することで知られ、自然環境下でのウラン等の挙動を研究するのに適した地域である。この地域を流れる上ノ沢(荒川の支流)には、その上流に花崗岩ペグマタイトの金丸鉱山(長石を採鉱)が存在し、また下流域の支流にはウラン濃集帯へ向かう水系がある。花崗岩ペグマタイトは、一般にウランや希土類元素を濃集する鉱物を多く含むため、上ノ沢の水もそれらの元素濃度が比較的高いと予想される。希土類元素は核分裂生成物として高レベル放射性廃棄物中に含まれるほか、同じく高レベル放射性廃棄物中に多く含まれるキュリウムやアメリカシウムなどの超ウラン元素と化学的性質が類似することから、それらのナチュラルアナログと

しても有用である。

この研究では、環境中における元素移動へのコロイド粒子の関与を調べるため、上ノ沢において、約4 kmの範囲の7箇所(図1)で、0.45 μmおよび0.025 μmの2種の孔径のフィルターを通した水試料を採取し、ICP質量分析法による化学分析を行った。試料は2004年8月下旬に採取したが、この時期は渇水期であり、流水の大部分は地下水として伏流していた水が地表に流出したものと考えられる。

コロイド粒子が0.45 μmのフィルターはすり抜け、0.025 μmのフィルターには捕捉される大きさだと考えると、それぞれのフィルターでろ過した濃度を比にすることで、その元素がコロイドに結びつくものかどうかがわかる。コロイドに結びつく元素では、この比の値が低くなる。ケイ素、ストロンチウム、ウラン等は比が1に近く、0.025 μm以上の粒径のコロイドによる移動はほぼ無いものと思われる。これ

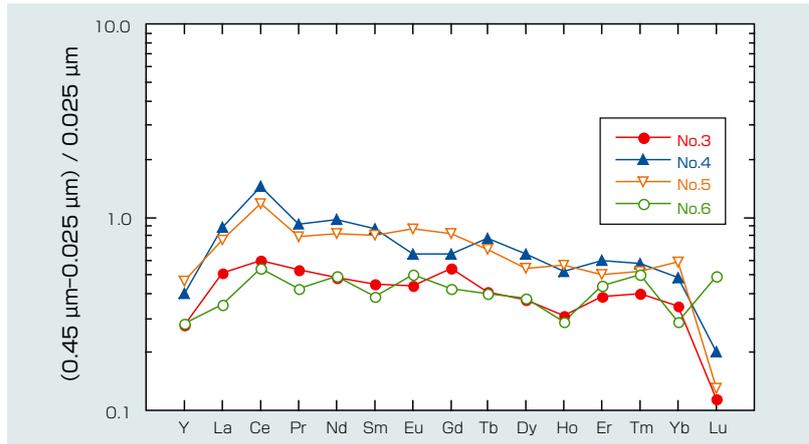


図4 上ノ沢の各地点における希土類元素のコロイド態/溶存態重量比

に対し、鉄および希土類元素は比が顕著に低い試料があり、それらの一部がコロイド粒子に結びついていると考えられる(図2)。鉄の比が最も低い試料につき、分析したすべての元素の比をみると、鉄、アルミニウム、希土類元素が顕著に低いことがわかる(図3)。このことから、鉄およびアルミニウムを多く含むコロイド(水酸化物または有機物コロイドなど)が形成され、それに希土類元素の一部が吸着しているものと推定される。

また、希土類元素を元素ごとに見てみると、軽希土の方が重希土よりもコロイドへ吸着される割合が大きいといえる。希土類元素のそれぞれについて、コロイド態/溶存態重量比を求めると、

軽希土では50～60%が、重希土では20～30%がコロイド態であるとわかる(図4)。特にセリウムがコロイド態の割合が多いのは、水溶液中でセリウムのみが3価から難溶性の4価へと酸化され得るためと考えられる。

今後の展開

天然に存在するコロイドは一般に濃度が低く、またpH、酸化還元電位、イオン強度等の化学的条件の変化にもなってその安定性や特性も変化してしまう。今後は、現場の化学的条件を乱さない試料採取法やろ過法、各種特性の測定方法の開発等、必要な技術的課題に取り組み、自然環境下でのコロイドの生成条件、組成、サイズ、濃度、元素吸着などの特性を明らかにし、「水-固相(鉱物表面等)-コロイド」を考慮した核種移行モデルの構築に役立ちたい。

用語説明

核種：原子の種類を示す用語で、原子番号と質量数で決まる。放射能を持つものは、放射性核種という。

コロイド：水などの媒質中に微細な粒子が散らばり漂っている状態。またはその粒子。

参考文献

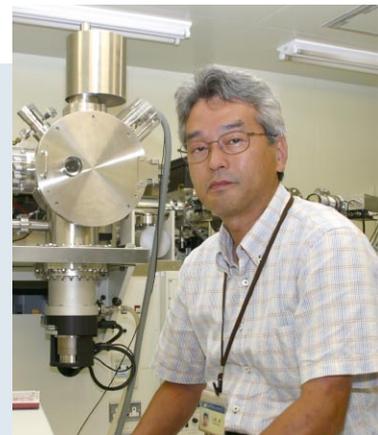
[1] A.B.Kersting, D.W.Efurd, D.L.Finnegan, D.J.Rokop, D.K.Smith and J.L.Thompson : Nature, Vol.397, p.56-p.59 (1999)

深部地質環境研究センター (つくばセンター)

上岡 晃

E-mail : h-kamioka@aist.go.jp

工業技術院地質調査所に入所以来、希土類元素やストロンチウムの同位体地球化学の研究、地球化学図による元素のバックグラウンドと人為汚染の評価技術の研究、中性子放射化分析法や表面電離型質量分析計を用いた微量元素分析および同位体分析技術の研究などを行ってきた。産総研発足後は、高レベル放射性廃棄物地層処分安全性評価の観点から、希土類元素を中心としたナチュラルアナログ研究に従事している。今後は各種微量元素分析技術とそれらを利用した希土類元素の地球化学的研究を基盤として、さまざまな課題に取り組んでいきたい。



標準尺標準・デジタルスケール標準

測定器の高分解能化にともない新たな標準を開発

標準尺とは、簡単に言えば、「非常に精密なものさし」である。主にガラス製で、直方体の側面に等間隔の目盛りがつけてある形状をしており、この目盛りの間隔を測定することにより長さを測定する（写真1）。精密測定器や精密工作機械において測長する際に用いるスケールの基準として、これらのスケールを校正するために用いられてきた。また、測定器や工作機械に組み込まれて使用される場合もある。

現在では、製造の現場で標準尺が使用されることは少なくなってきて、代わってデジタルスケールと呼ばれる測長器が活躍している。これは、磁氣的

または光学的方法などで目盛りをつけたスケールと、それを読み取る読み出し部分、読み出した信号を電気信号化

するインターフェース部分とが一体になった測長器である。標準尺の目盛り間隔が1 mmや0.5 mm程度なのに対し、デジタルスケールはおおむね数 μm から数 nmの分解能のものが多く使われている。



写真1 標準尺

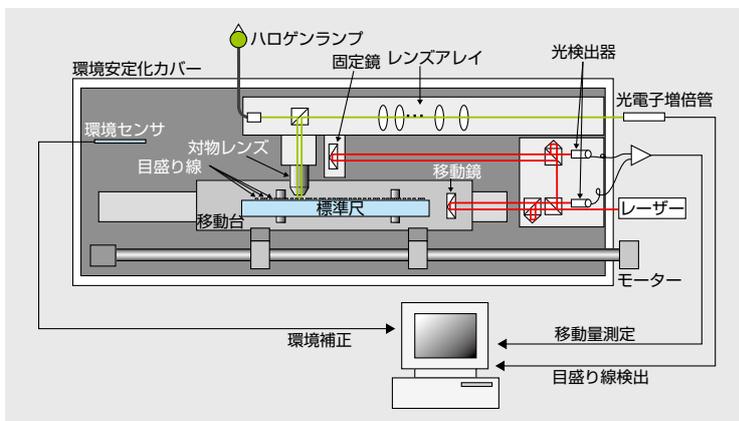


図1 標準尺校正装置の概略

標準尺校正装置とその高度化

産総研（当時の工業技術院計量研究所）では、1969年に標準尺校正装置を設置し、標準供給を開始した。その後いくつかの改良や高度化を経て、現在に至っている。

当所の標準尺校正装置は、レーザー干渉計を用いた絶対測長装置である（写真2）。装置は、レーザー干渉計と、光学軸と移動軸が一致するようアッペの原理を満たした移動台とで構成されている（図1）。校正器物は、ベッセル点（2点支持で全長のたわみが最小になる点）で支持され、移動台上に置かれた標準尺の目盛り線位置を、光電顕微鏡で検出する。一方、同じ移動台上に設置した移動鏡の移動量をレーザー干渉計で測定し、目盛り線間隔の絶対測長を行う。移動台は空気浮上ステージになっており、1 mの長さまでの標準

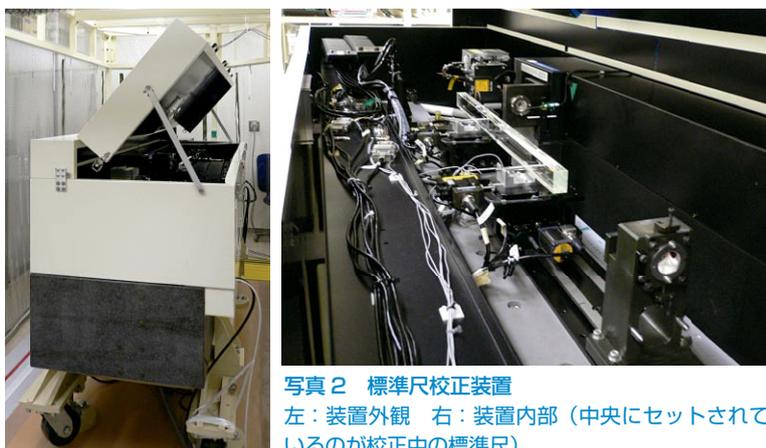


写真2 標準尺校正装置

左：装置外観 右：装置内部（中央にセットされているのが校正中の標準尺）



写真3 デジタルスケール校正装置

尺を測定することができる。国家標準にトレーサブルな安定化He-Neレーザーを用いることにより、トレーサビリティを確保している。600 mmまでの標準尺を200 nm、1 mまでを300 nmの拡張不確かさで校正可能である。

標準尺校正装置は大型であるため、装置内の気温の安定化と測定が難しい、などの問題点があり現在も随時、装置の高度化を行っている。最近では、新しい調整方式の導入や、環境安定化ブースの増設、温度測定点の増設等を行った。そして、2004年6月には、国際比較 (CCL / Sup. Nano3 : Line Scale) に参加し、下記不確かさを達成し、他の参加国と比較しても遜色ない結果を得ることができた。

不確かさ $U = \sqrt{53^2 + (9.1 \times 10^{-8} L)^2}$
(nm)* ($k=2$) (L : 測定長 [mm])

(*300 mmの標準尺の場合、60 mmの不確かさ)

デジタルスケールの標準供給

最近では、半導体製造、光ディスク露光、精密加工などの分野で、位置決

めの高精度化がどんどん進んでおり、高精度位置決めに不可欠な測長器に対する高分解能・高精度化への要求も高い。現在市販されているデジタルスケールの最高分解能は100 pm (ピコメートル: 10^{-12} m) を切っている。しかし、世界的に見てもデジタルスケールの国家標準は今まで存在しなかったため、国際競争力の強化の面からも、国際的な国家標準へのトレーサビリティを求める声が高まってきていた。

その声に応えて、われわれはレーザー干渉計によりデジタルスケールの表示値を校正する装置を新たに開発し、2005年3月に標準供給を開始した(写真3)。この装置を使用した校正の拡張不確かさは、(校正器物によるが)概ね0.1 μ mより小さく、精度1 μ m程度のデジタルスケールの校正が可能な性能を実現している。

今後の展開

分解能が100 pmを超えるような超高分解能デジタルスケールの分野では、日本が世界の最先端を走っている。われわれは、このような超高分解能スケールのトレーサビリティを世界に先駆けて確立することにより、その国際競争力を高めることに寄与していく。メートルの定義に基づき、簡便でシンプルな装置にすることを目指し、光コムと呼ばれる新しい光技術を利用したレーザー干渉計を基本とする校正システムを開発中である。高分解能デジタルスケールの標準供給は、2007年度に開始する予定である。

関連情報

I. Fujima, et al. : Proceedings of SPIE, Vol.5190, p.103-110 (2003)

計測標準研究部門 (つくばセンター)

鍛島 麻理子

E-mail : m.kajima@aist.go.jp

標準尺校正装置の高度化に携わるとともに、デジタルスケールの標準に関する研究を行い、標準尺とデジタルスケールの校正サービスを担当している。

現在は、超高分解能デジタルスケールの標準供給を目指して、光コム光源を用いたスーパーヘテロダイン干渉技術を開発中である。



オルガテクノ大賞 2006 – 材料・素材部門賞を受賞

7月25～26日に、パシフィコ横浜で開催された「オルガテクノ2006」有機テクノロジー展示会&国際会議(主催:有機テクノロジー実行委員会)において、界面ナノアーキテククス研究センター(清水敏美センター長、浅川真澄主任研究員、小木曾真樹研究員)が展示出品した「オーガニックナノチューブAIST」がオルガテクノ大賞2006-材料・素材部門賞を受賞しました。この表彰は、従来のテクノロジーを根底から覆す可能性を秘めた先端材料、先端応用技術に対して授与されるものであり、今回、オーガニックナノチューブの新規大量合成法の開発がその榮譽に値すると認められたものです。実際に展示ブースまで来られたノーベル化学賞受賞者である野依良治博士を選考委員長とする選考委員メンバー10名により決定されました。

当有機テクノロジー展は、有機系材料分野に関係する各種学会や研究会、そして関連業界を横断的に組織した世界的にも初めての展示会として昨年創設されたものです。



オルガテクノ大賞各部門の受賞者(前列)と選考委員会メンバー(後列)



開発者である、(左から)小木曾研究員、清水センター長、浅川主任研究員

つくば奨励賞を受賞

9月28日につくば国際会議場にて、第16回つくば奨励賞の表彰が行なわれました。

この表彰は、研究者の創造的な研究活動を奨励することを趣旨として、財団法人茨城県科学技術振興財団が主催しているもので、今回、若手研究者部門においてエレクトロニクス研究部門の齋藤秀和研究員が受賞しました。受賞の対象となったテーマは「新規強磁性半導体を用いたデバイス応用に関する研究」です。これは、将来の究極の電子デバイスと考えられている不揮発性トランジスタ(スピントランジスタ)の開発を目的とした研究です。具体的には、(i) 全半導体トンネル磁気抵抗素子、(ii) 世界最高性能の強磁性半導体の開発にそれぞれ成功しました。今回の受賞は、以上の成果により、これまで開発上の行き詰まりを見せていたスピントランジスタの実現に道を拓いた点が評価されたものです。



受賞記念講演をする齋藤研究員



江崎玲於奈氏と若手研究者部門受賞者。右が齋藤研究員

タイ王国シリントーン王女殿下産総研ご来訪及び タイ科学技術フェア2006への出展

8月22日、タイ王国のマハ・チャクリ・シリントーン王女殿下が産総研つくばセンターを訪問されました。シリントーン王女は、科学技術に造詣が深く、「技術の王女」あるいは「情報技術の王女」とも称され、タイ国王の知的後継者として国民の敬愛を受けていることで知られています。今回は、クン・シリキッティヤー・ジェンセン様（シリントーン王女の姪御様にあたります）をはじめ、在京タイ大使夫妻、タイ本国及び大使館関係者、タイ国立科学技術開発庁（NSTDA：National Science and Technology Development Agency）傘下の国立金属材料技術センター（MTEC：National Metal and Materials Technology Center）パリタッド所長等ご一行総勢30名でのご訪問となりました。

産総研では、2001年6月にタイ国立計量研究所（NIMT：National Institute of Metrology Thailand）と個別協定を、2004年11月には、NSTDA及びタイ科学技術研究院（TISTR：Thailand Institute of Scientific and Technological Research）と包括協定を締結し、ワークショップ開催を含め戦略的に共同研究開発等相互補完関係の連携を強化しています。また、昨年はバンコクでタイ政府・研究機関とともに第2回バイオマスアジア国際会議を共催し、昨年・今年とタイの科学技術フェアに産総研から数多くの共同研究成果を含め出展参加してきたところです。このような連携強化の流れを背景として、シリントーン王女が今回、国連大学とユネスコ主催の国際会議に招待され来日される機会に、産総研つくばセンターへの来訪が実現いたしました。

冒頭、所幹部をはじめ、産総研に滞在中のタイの研究者の歓迎を受けた後、「サイエンス・スクエアつくば」にて計測標準、重度視覚障害者用触覚ディスプレイ、TMR素子・単結晶育成装置、



ヒューマノイドロボットを見学されるシリントーン王女殿下

筋電インターフェイス、インテリジェント車椅子、さらにOSL棟にて太陽光発電システム、探査型ヒューマノイドロボットをご見学いただきました。いずれの場所でも、自らメモをとりながら研究者に質問され、写真を撮られるなど、大変興味を持って御覧になっておられた様子が印象深く、シリントーン王女がご多忙の日程の中で産総研をご訪問いただいたことに感謝すると共に、今回の訪問が今後の産総研とタイとの一層の研究協力発展につながることを期待されます。

これに先立ち、8月11日から22日までの12日間、バンコクでタイ科学技術フェア2006が開催され、昨年に引き続き、別表のように7つのテーマを出展しました。この科学技術フェアは、科学技術の振興と教育に熱心なタイ政府が毎年行っているもので、今年はバンコク国際見本市会場（BITEC）で開催され、数多くの小中学生の参加を含め期間中100万人を超える来場者がありました。開会初日にはシリントーン王女も会場にお見えになり、NSTDA/TISTR



来場者を乗せて走る BDF 福祉ミニバス

との共同研究の成果である100%のバイオディーゼル燃料（BDF）で走行する福祉ミニバスや、昨年王女に贈呈したアザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」のプロジェクトの展開を含め、産総研の展示ブースも訪れになり、興味をもってご覧になりました。産総研からの7件のテーマは、NSTDA、TISTRの研究成果とともに、タイ語に翻訳したパネル、映像、及び実際の展示物を使って紹介されました。説明にはNSTDA等の研究機関や大学から応援をいただき、そのお陰で出展したいずれのブースにも連日多くの人たちが見学に訪れて好評でした。特にBDF福祉ミニバスは、日本から現地まで搬送したもので、毎日来場者を乗せて会場内を試走しました。

現地ではタイ側の研究機関関係者と共同研究の進捗状況・今後の展開等について実務的な会合も行われ、本年11月14日の日タイ（産総研とNSTDA/TISTR）ワークショップにおいて、さらに具体的展開を図ることとなりました。

産総研の出展テーマと担当研究ユニット

出展テーマ	担当研究ユニット
バイオディーゼル燃料（BDF）の改質と標準化、及びBDF福祉ミニバス	エネルギー技術研究部門
アザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」	知能システム研究部門
光触媒	環境管理技術研究部門 サステナブルマテリアル研究部門
糖センサー	先進製造プロセス研究部門
ジオグリッド	グリッド研究センター 地質調査情報センター
太陽光発電	太陽光発電研究センター
発根促進剤	中部産学官連携センター植物成長剤開発応用連携研究体

The 3rd International Workshop on Biochips and Environmental Monitoring

8月17日～18日、産総研関西センターの基礎融合材料実験棟を会場として「The 3rd International Workshop on Biochips and Environmental Monitoring」が開催されました。

この国際ワークショップは2年おきに実施されており、今年はヒューマンストレスシグナル研究センターが主催し、「環境ストレス解析におけるOMICS（ゲノミクス・プロテオミクス・メタボロミクス）技術の利用と将来展開」を主テーマに開かれました。参加人数は、米国、ドイツ、イギリス、韓国からの参加者を含めて76名にのびりました。

初日は、オーガナイザーである岩橋副センター長および二木センター長の挨拶で開会し、ジェノミクスとプロテオミクスを中心に、動物・植物・微生物など幅広い生物種を対象にした11件

の講演が行われました。既に事業化され、今後に期待を有する革新的な技術に関する講演も含まれ、会場では白熱した質疑討論が交わされました。また、日本や韓国などの若手研究者を中心とした19件のポスター発表が行われ、ここでも熱心な討論が行われました。

2日目は、今後の展開が大いに期待されるメタボロミクス技術に焦点を当て、メタボロミクス研究をリードする研究者を招いて5件の講演が行われました。メタボロミクスに用いる分析手法には核磁気共鳴スペクトル法（NMR）、ガスクロマトグラフ-質量分析法（GC-MS）、キャピラリー電気泳動-質量分析法（CE-MS）などがあり、最先端で凌ぎを削っている段階です。

今回のワークショップでは、NMRメタボロミクス解析の第一人者Dr. Jules L. Griffin（University of Cambridge）の



門下生であるDr. Oliver Jones、CE-MSメタボロミクス解析の第一人者である曾我朋義教授（慶應義塾大学）ならびにGC-MSメタボロミクス解析を精力的に展開しているDr. Wolfram Weckwerth（Max Planck Institute of Molecular Plant Physiology）の講演を一度に聴く機会があり、今後の当該技術を占う上で重要な議論ができました。

今回は、Prof. Man Bock Gu（Korea University）がオーガナイザーとなり、2008年に韓国で開催されるというアナウンスで締めくくられました。

産学官技術交流フェアと北陸技術交流テクノフェアに出展します

お知らせ

「2006産学官技術交流フェア」は、10月11日～13日、東京ビッグサイトにて、「北陸技術交流テクノフェア2006」は、その翌週の10月19日～20日に福井県産業会館で開催されます。いずれのフェアも技術シーズの紹介を中心として、産総研ブースにおける展示とワークショップ講演での展示技術の紹介を行います。これらの展示紹介をつうじて、新技術導入や新製品開発を目指している企業の方々との積極的な交流・情報交換活動を行い、新規な共同研究や技術移転などの成果へ繋げていきたいと考えています。今回の産学官技術交流フェアでの主な出展技術には、「オーガニックナノチューブAIST～中空シリンダー構造を繊維状構造体のコア部としてもつ有機ナノチューブ構造体」、「高気孔率ポーラス金属～一方向気孔ポーラス金属、傾斜構造多孔質材などの作

成手法の作成技術とその利用^(*)、「新規導電性マシナブルセラミックスおよびその高純度合成技術^(*)」、「金ナノ粒子触媒により、空気中の一酸化炭素を室温以下の温度で酸化する、常温作動型CO除去触媒^(*)」、「ナノサイズチューブの粘土鉱物・イモゴライト^(*)」、「マイクロバブルから作る均質で密封性の高い中空マイクロカプセル」などがあります（*印は、北陸技術交流テクノフェアでも展示）。

写真は、昨年の産学官技術交流フェアでの展示様子です。多くの皆様のご来場を期待しています。会場アクセスその他詳細情報は、主催者HPをご参照下さい。



昨年の産学官技術交流フェア

産学官技術交流フェア <http://www.nikkan.co.jp/eve/O6sangakukan/>
北陸技術交流テクノフェア <http://www.technofair.jp/>

台北国際技術博覧会 2006 開催

報告

8月31日～9月3日の4日間、台湾・台北世界貿易センターで台北国際技術博覧会2006が開催されました。この催しに産総研が参加したことは無かったのですが、昨年9月に台湾・工業技術研究院（略称ITRI）と産総研との間で協力協定が締結され、本年3月に許友耕・ITRI協理（副理事長）らが産総研を訪問されたことを受けた形で、知的財産部門、産学官連携推進部門、産総研イノベーションズ、国際部門で連

携をとり、光触媒について、新たな試みとしてブース出展だけでなく、技術移転経験座談会・日台光触媒技術シンポジウム・中正記念堂浄化検討・ITRIとの共同研究打ち合わせを計画し、有機的な活動を行いました。

この技術博覧会は、今年で4回目を迎える、まだ若い催しですが、台湾企業及び政府の上昇志向は非常に強く、開会式では陳水扁総統が開会宣言を行い、期間中の入場者数は4万人強を見

込む、まさしく勢いのある様が強く感じられる博覧会でした。



産総研東北センター 科学未来展のご案内

お知らせ

開催日時：10月28日・29日 10時00分～16時00分（入場受付終了：15時30分）
 開催場所：仙台市科学館 2階特別展示室 〒981-0903 仙台市青葉区台原森林公園4-1
 問い合わせ：東北産学官連携センター TEL：022-237-5218
 開催内容：

● 特別講演

「イーハトーヴの賢治の石
 -宮沢賢治生誕110年を記念して-」
 加藤 碩一(産総研理事)

● 出前講座

「キミの目で『省エネ』と『新エネ』を確かめてみよう」
 安藤 尚功(セルエンジニアリング研究部門)

● 特別展示

・熱をムダなく電気にかえる 熱発電モジュール
 ・世界一の「いやし系」ロボット「バロ」
 ・移動地質標本館「美しい砂の世界」
 ・国際標準化100周年記念特別企画

● 体験コーナー

・コンピューターで見えない流れをみる
 ・ペットボトルリサイクル
 ・粘土と砂の不思議
 ・光タンパク質を観てみよう ～生物の不思議～

● 展示コーナー

・高温高圧マイクロリアクター
 ・二酸化炭素って何？
 ・空気浄化技術の最先端
 ・膜でつくる、ビールからウォッカ
 ・有害物質検出や資源リサイクルを簡単に

*内容等は変更される場合があります。

9月10日現在

http://www.aist.go.jp/aist_j/event/event_main.html

EVENT Calendar

2006年10月

●は、産総研内の事務局です。

期間	件名	開催地	問い合わせ先
10 October			
2日	産総研レアメタルシンポジウム	東京	052-736-7091 ●
4日	にいがた産学技術交流フェア	新潟	03-6212-9181 ●
9～13日	システムバイオロジー国際会議	横浜	03-5468-1677
9～13日	再生可能エネルギー 2006国際会議	千葉	029-862-6033 ●
11～13日	2006産学官技術交流フェア	東京	03-5644-7221
11日	計測フロンティア研究部門公開セミナー「先端質量分析装置開発とライフサイエンス」	つくば	029-861-5300 ●
11日	GEO Grid Symposium 2006	東京	029-862-6600 ●
12日	半導体計測・評価技術ネットワーク ワークショップ	つくば	029-849-1530 ●
18～20日	北九州学術研究都市産学連携フェア	北九州	092-524-9047 ●
19～20日	北陸技術交流テクノフェア 2006	福井	0776-33-8284
19～21日	諏訪圏工業メッセ 2006	長野	03-9212-9181 ●
20～21日	一般公開（中国センター）	広島	0823-72-1944 ●
21日	一般公開（四国センター）	香川	087-869-3530 ●
28～29日	産総研東北センター 科学未来展	仙台	022-237-5218 ●
30～11月1日	システム検証の科学技術シンポジウム	大阪	06-4863-5037 ●

“新しい” ナノ材料：有機ナノチューブの大量製造法の開発

界面ナノアーキテクニクス研究センター 高軸比ナノ構造組織化チーム 小木曾 真樹さん

有機ナノチューブの大量製造

現在、ナノテクノロジー産業としての発展が期待されているカーボンナノチューブは1991年に飯島ナノカーボン研究センター長によって発見されましたが、それより以前の1984年に日米の3研究グループがそれぞれ独自に、合成脂質の自己集合により有機ナノチューブ（脂質ナノチューブとも呼ばれる）が形成することを報告しています。それにもかかわらず、現在まで有機ナノチューブの応用展開がほとんど進んでいない一番の大きな理由は大量生産に向かなかったためでした。

小木曾さんたちは、これまでの有機ナノチューブが主に水溶媒中で合成されてきたという常識からいったん脱却し、メタノール・エタノールなどのアルコール系溶媒に合成脂質を溶解した後、ただ溶媒を蒸発させるだけで有機ナノチューブが100%製造できる方法を開発しました。この方法を用いれば、これまで1リットルの水から数週間もの時間をかけてたった0.1gの有機ナノチューブを合成していたのを、1リットルのアルコール系溶媒からたった数時間で100gもの有機ナノチューブを製造できるようになります。この有機ナノチューブはもっとも簡単なペプチドであるグリシルグリシンと、植物由来の脂肪酸であるミリスチン酸などを結合したペプチド脂質からできており、生体親和性が高いと考えられることから、主に食品・医療分野などでの応用が期待されています。この有機ナノチューブはオルガテクノ2006においてオルガテクノ大賞「材料・素材部門賞」を受賞しました。



小木曾さんからひとこと

生物は水素結合などの“弱い相互作用”を用いて、ペプチド、核酸塩基、糖、脂質などを基本とする生体物質を自発的に組織化することにより、ナノからマイクロスケールの生体組織を構築しています。入所以来、これら生体の機能を学ぶことにより、生体物質から合成したペプチド脂質を主に水中で自己組織化することで、一次元構造をもつナノ材料を作る研究を行ってきました。これまでは主に実験室レベルでの基礎研究に力を注いできましたが、有機ナノチューブの大量製造法の開発により、研究成果を社会に還元するための本格研究にも携わることができそうになってきました。基礎と応用をつなぐ新たな研究展開に心を躍らせているところです。

関連記事が本誌 20～23 ページおよび 36 ページに掲載されています。

産総研
TODAY

2006 October Vol.6 No.10

(通巻 69号)

平成 18年 10月 1日発行



独立行政法人
産業技術総合研究所

編集・発行
問い合わせ

独立行政法人産業技術総合研究所
広報部出版室

〒305-8568 つくば市梅園1-1-1 中央第2

Tel : 029-862-6217 Fax : 029-862-6212

E-mail : prpub@m.aist.go.jp

ホームページ

<http://www.aist.go.jp/>

● 本誌掲載記事の無断転載を禁じます。 ● 所外からの寄稿や発言内容は、必ずしも当所の見解を表明しているわけではありません。

