

産総研

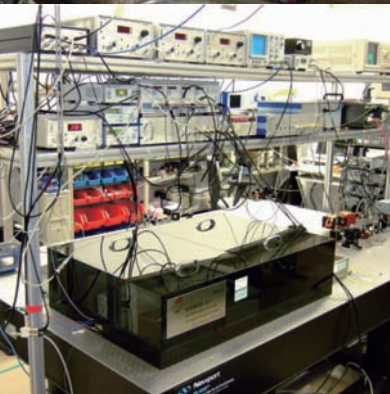
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

TODAY

11

2009
November

Vol.9 No.11



メッセージ

02 産総研の地域センターを巡って

特集

04 本格研究 理念から実践へ

座談会：本格研究こそ、産総研のアイデンティティー

省エネルギー型膜分離プロセスのための高機能カーボン膜の開発
 省電力型銅リサイクルプロセスの開発
 有機薄膜太陽電池でモジュールは作れるのか？

リサーチ・ホットライン

- 20 ダイエット食による早起き効果を発見
炭水化物を減らすケトン体ダイエットがマウスの体内時計に影響
- 21 半導体中電子の量子状態の測定方法
半導体人工分子の量子情報処理への応用に期待
- 22 自由電子レーザーで単色赤外線と準単色X線の同時発生
赤外線とX線のエネルギー可変2色ビーム光源を開発
- 23 光ファイバーリンクによる高精度周波数計測
ストロンチウム光格子時計の遠隔絶対周波数測定

パテント・インフォ

- 24 糖ヌクレオチド合成活性を持つ耐熱性酵素
糖鎖合成用基質を効率的に供給できる安定性の高い酵素の発見
- 25 静電気で駆動する3次元マイクロステージ
アイデア次第で新しいデバイスにも応用可能

テクノ・インフラ

- 26 金属系生体材料の耐久性に関するJIS制定
インプラント産業の活性化を目指した標準基盤研究の実施
- 27 東北地方を襲った平安時代の巨大津波
千年以上前の津波の実態を多分野の研究者との連携により解明
- 28 「長さの国家標準」が新方式に
光周波数コム装置を利用し「波長」を高精度化
- 29 分散型熱物性データベース
約3600種類の物質、約10000件の熱物性データを提供中

産総研の地域センターを巡って



独立行政法人
産業技術総合研究所

理事長
の ま くち たもつ
野 間 口 有

1. はじめに

産総研は、およそ7割がつくば地区に集結し、残り3割が地域センターとして、北海道（札幌市）、東北（仙台市）、臨海副都心（江東区）、中部（名古屋市）、関西（池田市）、中国（現在、呉市。東広島市へ2010年3月に移転予定）、四国（高松市）、九州（鳥栖市）と全国8拠点に展開しています。新理事長としてすべての拠点を訪問し終えて、あらためて産総研地域センターの存在意義、役割について感ずるところがありましたので、今回はそのことについて述べたいと思います。

2. 忘れてはならない地域の期待

各地域センターは、2001年の産総研発足時に産総研に組み入れられましたが、それまでは工業技術院のそれぞれ独立した地域の工業技術研究所でした。（1993年までは、工業技術試験所と呼ばれていました。）今回の訪問時に、できるだけ地域の大学や企業も訪問しましたが、年配の方々の話には、名工試（名古屋工業技術試験所、中部センターの前身）、大工研（大阪工業技術研究所、関西センターの前身）などと

昔の略称が盛んに出てきました。地場の企業や大学などと良い関係を築いてきたことがよくわかりました。日本が近代化する過程で、さらには戦後の高度成長の期間に、産業基盤技術確立へ向けての産総研諸先輩の貢献は歴史的にも大いに評価されることでしょう。私も電機メーカーの関西の研究所にいた若いころ、いま一つ測定に自信がなかったり、判断に迷ったりした時、大工試（1993年以後は大工研）の最新の装置を借りに行こうとか、研究者の意見を聞いてみようとか、何かと頼りにしたことを思い出しました。

産総研になって少し遠い存在になったような気がする、という声もありました。最近では大企業、中小企業を問わず世界規模の競争にさらされています。製品のコストパフォーマンスを世界で戦えるものにならなければなりません。環境への対応でも手を抜くわけにはいきません。知財面での備えもなければ足をすくわれます。中小企業との付き合いの多い産総研がサポートすべき課題はますます多様化しています。このような時代の動きをよく認識して地域の期待に応える努力をする必要を強く感じています。

2001年の産総研発足とともに各地域センターは、多くの関係者の議論の結果、研究拠点と連携拠点の二つの機能を持つという狙いを持って新しくスタートしました。イノベーション力の大小が国の国際競争力を左右する時代にあって、地域センターがいかに機能しているのかについて以下に述べます。

3. 研究拠点として

研究拠点として、各地域センターはいずれも世界に通用する研究開発を推進していますが、取り上げているテーマは地域産業の特性や産業政策の方向性を考慮したものが多くというのが特徴です。全国に広く展開し、そこで世界レベルの研究開発を行うことは、地域間の格差を解消し、わが国全体の発展に貢献できるものと思っています。今後とも力を入れていく予定です。

産総研には現在48の研究ユニットがありますが、そのうち17の研究ユニットは地域センターに本拠を置いています。研究ユニットのうち研究部門と名乗っているものは長期的視点で研究を行いますが、研究センターと名乗っているものは、具体的課題に集中し最長でも7年と期間を決めて取り組みます。各ユニットは、基礎研究からその成果を社会に有用な製品、システムや規格（標準）などにするための応用研究までをカバーした「本格研究」を推進しています。学術出版、論文、特許、有用データベースなどの創出においても、つくば地区に劣らぬ成果をあげています。なお、各ユニットの研究内容について関心のある方は、産総研のホームページを参照願います。

地域センターにはそこに本拠をもつユニットに属さない研究者も少なからずいます。つくば地区など他地域のユニットに属しながらも地域産業の特性に対応した研究を行っており、後述する産学官連携の有力な推進役としても力を発揮しています。

4. 連携拠点として

地域センターのもう一つのミッションは連携拠点です。地域センター所長、研究ユニット長、連携コーディネータが力を合わせ、地域での産学官連携を推

進し、イノベーション力の向上に協力します。地域で対応しきれないような案件は、産総研全体で協力して解決できるように努めます。地域センター所長は、その地域における産総研を代表する顔として重要な存在です。一口に産学官連携といってもその活動形態は多種多様で、主なものを私なりにまとめると次のようになります。

• 共同研究／技術相談／知財相談

主として企業ですが、時に大学や高専の場合もあります。共同で国プロに提案する機会も多くあります。直接地域センターに話が来ることありますが、地元の公設研、公設試を経由するケースがあります。中小企業に頼りにされている公設研などとの連携は特に重要で、共同の技術研究会はもちろん人材育成、交流にも力を入れています。

• 地域のイノベーション推進機構への参加

地域の大学や公設研、企業群のネットワークに積極的に参加し、中核メンバーとして活動しています。交通の便の良いところにサテライトオフィスを設け、相談や連携協議の利便性の向上を図っている地域センターもあります。

• 連携大学院

8地域で合計37校の大学（産総研全体では65校）と連携大学院の協定を結び、教授の派遣、大学院生の教育・実習の場を提供しています。主だった大学とは包括連携協定を結び研究面での協力関係も築いています。

• 一般公開

年1回、地域センターのアクティビティーを地域の皆さんに見学してもらう機会もつくっています。小中学生から企業の方々まで、毎年多数の来訪者があります。今年からは、これまで所内で行っていた本格研究ワークショップを、地域の関係者にも公開する予定です。

まだまだあるように思いますが、産総研と社会との建設的リンクを構築する上で必要と思われる項目を挙げました。オープンイノベーションのハブとしてこれからも地域センターは重要だと考えています。産総研ホームページ：<http://www.aist.go.jp/>

座談会：

本格研究こそ、産総研のアイデンティティ



野間口 有

理事長

吉宗 美紀
大石 哲雄
當摩 哲也

環境化学技術研究部門
環境管理技術研究部門
太陽光発電研究センター

小野 晃
瀬戸 政宏
石井 武政
藤田 茂

副理事長
理事・広報部長（司会）
広報部 審議役
広報部 出版室長

瀬戸 野間口理事長のもとでの最初の本格研究座談会を始めさせていただきます。今回は、パーマネント職の審査を通られたばかりのフレッシュな皆さんにお越しいただきました。ではまず、環境化学技術研究部門の吉宗 美紀さんから、省エネルギー型膜分離プロセスのための高機能カーボン膜の開発について、ご紹介をお願いします。

カーボン系分離膜でモジュール化まで達成

吉宗 まず当部門は、持続可能な化学プロセス、すなわちグリーン・サステナブル・ケミストリーの実現を目標に研究しております。化学プロセスには、反応プロセスに加えて分離プロセスというのがあって、こちらの省エネルギー化も大きな課題となっています。私たちのグループはその中で「省エネルギー型膜分離プロセス」の研究開発を進めています。膜分離については近年、活発に研究が重ねられていて、家庭用浄水器のように市場の規模も徐々に大きくなっている技術分野です。

私が入所する前に、グループでは高機能分離膜の1つであるカーボン系分離膜の開発を進めていました。カーボン膜はまだ実用化されていない分離膜で、既存の分離膜に比べて耐熱性、耐

薬品性という特長と、優れた気体分離性能を持つため、大きな期待がかけられています。産総研の研究戦略の中でも、空気から酸素を分離できる膜として、重点課題として取り上げています。

この中で第1種基礎研究として、作製手法の確立や分離機構の解明が進められてきました。そして実用化を考えたときに挙がってきたのが、膜の製造コスト、それからカーボンの脆さの克服という大きな課題でした。

入所後、この課題をどうクリアするかが私自身のテーマとなりました。それに対して、まず製造コストについて原料ポリマーの検討を行い、産総研オリジナルとなるカーボン膜の開発に成功しました。コストはまだ市販の高分子膜より少し高いですが、従来法のカーボン膜に比べると大きく削減することができます。もちろん、気体分離性能も市販の高分子膜より高く、製造方法についても、なるべく溶剤を使わない環境負荷の小さい方法を見いだしています。

私にとってブレイクスルーとなった成果として、折れにくいカーボン膜を開発したことが挙げられます。カーボンは基本的に脆いという性質がありますが、材料をうまく設計することによって、柔軟性に優れたものを作ることができたのです。ここから研究が大きく

発展しました。膜というのは膜モジュールという集合体で使用しますが、その膜モジュールが作製できるようになりました。それによって、ある膜メーカーとの共同研究に発展し、製品化を目指して開発を進めているところです。

また、初期の研究では、空気から酸素を分離する用途をターゲットとしていたのですが、そうではなくて、カーボン膜の特長を活かした別の用途展開を図る試みも進めてきました。既存の分離膜というのは基本的に有機物からできているため、有機物系の分離には溶解あるいは膨張してしまっただけで使えません。そこにカーボン膜を適用できないかということで、NEDOプロジェクトなどで研究を行ってきました。

例えば、ガソリンスタンドで排出されるガソリンを回収する装置の開発において、ガソリン蒸気中の水蒸気を選択的に取り除くためにカーボン膜を利用する研究を行っています。ほかの無機系分離膜なども試しましたが、カーボン膜はとても優れた成果を挙げていて、現在も継続して実証研究を進めています。

今後の展開については、カーボン膜は水素を選択的に分離することもできますし、バイオエタノールの分離精製、あるいはバイオガスの分離精製にも使えるので、新エネルギー分野への適用

新しい研究と開発の定義

第2種基礎研究を軸に本格研究へ

産総研では、
経済・社会ニーズへ対応するために異なる分野の知識を幅広く選択、融合、適用する研究(第2種基礎研究)を軸に、「第1種基礎研究」から「製品化研究」にいたる連続的な研究を「本格研究」として推進することを組織運営理念の中核に捉えています。

を考えています。また、化学プロセスでは、現在蒸留法で行われている溶剤などの分離精製プロセスにかなりのエネルギーが消費されているので、カーボン膜を用いた膜分離法による代替プロセスを提案しようとしているところです。このように、膜の高性能化を図りつつ、用途を広げていくことで、カーボン膜を実用化していきたいと考えています。

企業が注目するレベルまで来た

瀬戸 ありがとうございます。それでは、少し意見交換をさせていただきたいと思います。

小野 単純な質問ですが、カーボン膜というのは、どういうメカニズムで分離するのですか。

吉宗 原理はろ過とほぼ同じです。ろ過という操作は、ろ紙の穴(空孔)より小さな物質は重力の力でろ紙を通過させて、穴より大きな物質はろ紙を通過できないことを利用する分離方法です。カーボン膜の分離メカニズムは「ナノレベルのろ過」と考えることができ、1 nm以下の分子を分離対象としています。カーボン膜の空孔はだいたい0.4 nmくらいで、それより小さな分子は膜を透過しやすく、それより大きな分子は通さないという原理です。ターゲットに合わせてカーボン膜の孔径を制御

することもできます。

瀬戸 吉宗さんが研究を始めたころの技術レベルと比較して、5年経った現在、どのくらいレベルアップしましたか。

吉宗 私が入る前はいわゆる論文レベルで、膜面積といってもせいぜい10 cm²、中空糸膜でいうと10本くらいでした。しかし、今では500本、1000本の膜モジュールを作れるようになっていました。もう1桁上げられると、製品という形で世に出せるくらいになると思います。

瀬戸 それが次のターゲットですか。

吉宗 分離対象によって必要な膜面積は異なりますが、1万本くらいの膜モジュールをきちんと作れる量産化体制を整えることが、次の大きなステップになると思います。

小野 第1種基礎研究の分離膜の研究では、どのようなことが解明されたのですか。

吉宗 主に、膜の作製条件がカーボン膜の構造や分離性能に与える影響が明らかにされました。カーボン膜は、分子ふるいと呼ばれるメカニズムで分離するため、空孔の大きさや孔径分布が分離性能に大きく影響します。

カーボン系分離膜の研究で世界のトップを走っており、製品化のための課題解決とともに、独自の適用分野を開拓していきたい。

吉宗 美紀
よしむね みき



| | 定義 | 活動 | 成果物 |
|-----------|---|-------|-------------------------------|
| 「第1種基礎研究」 | 未知現象を観察、実験、理論計算により分析して、普遍的な法則や定理を構築するための研究をいう。 | 発見・解明 | 学術論文 |
| 「第2種基礎研究」 | 複数の領域の知識を統合して社会的価値を実現する研究をいう。また、その一般性のある方法論を導き出す研究も含む。 | 融合・適用 | 手法論文 特許 実験報告書 データベース |
| 「製品化研究」 | 第1種基礎研究、第2種基礎研究および実際の経験から得た成果と知識を利用し、新しい技術の社会での利用を具体化するための研究。 | 実用 | 事業価値 |

小野 脆さの改良では、どこにポイントがあったのですか。

吉宗 1つは、原料ポリマーの化学組成が重要であることがわかっています。もう1つは、中空糸膜の径を細くしたことです。太い針金は硬いですが、細くすれば柔軟性が出るのと同じことです。ただし、これはかなり技術的に難しく、職人技の領域かもしれません。1 mmより細い中空糸膜を連続的に製造するには、製膜条件のバランスがとても大事で、私自身、その技術を取得するのに3年くらいかかりました。

野間口理事長 分離の方法だけをいうなら、世の中にたくさん技術がありますね。それらの技術マップを描いて、このアプローチが可能性として高いといった見通しが研究部門の成果として過去にあり、それを吉宗さんが引き継いでいったということですか。

吉宗 はい、そのとおりです。

野間口理事長 分離機能を上げるための、指標みたいなものはないのですか。例えばポーラス材料で、それが関係する各要素を追いかけていったとき、それぞれがどのあたりまでいけばどんな性能になるとか、そういった科学的なアプローチがあると説得力が出てくると思います。

吉宗 分離性能の評価には透過速度という単位があって、それを使えば材料が違って同じ基準で評価できます。したがって、透過速度とターゲット分子の選択性の2つを指標として研究を行っています。それに加えて、分離ターゲットに合わせて、どのように膜を使えばより効率的かというシミュレーションによる評価を並行して行うことで、膜の性能を最大限に引き出す膜分離プロセスを提案することにも重点を

置いています。

野間口理事長 なるほど、そういう形の評価指標をもっているのですね。それが技術蓄積をするときの考える尺度になって、特許も生まれ、論文も生まれる。膜メーカーが関心を持ってきたということは、かなりのレベルまでいっている証拠だと思います。

吉宗 膜モジュールができることを学会で発表してから、問い合わせが増えてきたように感じています。ただ、カーボン膜というのはまだ世に出ていないものなので、最初は認知度がかなり低かったのです。最近では膜関連の企業からもアプローチを受けるようになり、だいぶ認識されてきたと思います。

膜分離の展開が楽しみ

小野 これからは穴の大きさをいろいろコントロールすることによって、いろいろな用途が開けると思ってよろしいですか。

吉宗 はい。特に有機物系などには、これまで膜分離を適用した例がほとんどありません。現在市場に出ている分離膜のほとんどは高分子膜で、有機物を供給すると溶けたり膨張したりして、使用することができませんでした。無機膜を使えば耐薬品性はあるのですが、高性能の無機膜はまだ存在していません。カーボン膜の性能が高いことがわかれば、かなりのインパクトがあるはずで、そこで使えることが実証できれば、現在は蒸留でやっているプロセスが膜分離に置き換わりますので、展開が楽しみになると思います。

小野 省エネルギー型を目指すのか、それとも膜分離を目指すのか、どちらですか。

吉宗 膜分離法そのものが、高い省エネルギー性をもつのです。膜分離の適用用途を広げて、現在の分離方法から置き換えていくこと自体が省エネルギーになるわけです。

野間口理事長 これは純粋なカーボンですか、それともバインダーが入っているのですか？

吉宗 バインダーは入れていません。ただ、純粋なカーボン（活性炭）にするためには通常2000℃～3000℃で炭化しますが、開発したカーボン膜は500～600℃くらいでしか焼いていないので、酸素や水素を少量含むアモルファスカーボンで形成されています。

野間口理事長 とすると、有機物に強いかどうかは確認の必要がありますね。

吉宗 そのとおりです。例えば、アルコールや酢酸に対して十分な耐性があることは確認しています。

瀬戸 これまでの任期付きの期間、論文も書かないといけないし、特許も出さないといけないし、プレッシャーの中で新しいことに取り組んでこられたわけですが、どんな苦勞がありましたか。

吉宗 研究の苦勞は当然あるものと思っていましたが、任期付きのプレッシャーは常に感じていました。逆にそのおかげで、若手や同期と互いに助け合ってやってこられた部分もありますし、研究グループ長など周りの方の協力も得られて早く成果を挙げることもできたこともあり、決してマイナスではなかったと思います。

小野 もう少し基礎研究をさせてもらえると論文を書きやすいのだけど、とかいうことはありませんでしたか。

吉宗 確かに、論文を書くための研究と実用化の研究は全く別で、両方をこなしていくのは大変ですが、私はもともと実用化に近いところで仕事をしたいという希望があったので、そういう意味ではとても良いポジションにいると思っています。

廃棄物から銅を回収する

瀬戸 次に環境管理技術研究部門の大石 哲雄さんに、省電力型銅リサイクルプロセスの開発について研究の紹介をお願いします。

大石 社会的ニーズとして、廃棄物からの銅回収というテーマがあります。プリント配線基板などは銅を大量に含んでいますが、プラスチックとかガラスとか雑多な金属類も入っていて、銅だけを回収するのがなかなか難しいという問題があります。

銅に注目したのは、今レアメタルなどに世間の関心が高まっていますが、意外と知られていないのが銅、鉛、亜鉛などです。大量に使われている割にこういった金属は実は資源的にそれほど多くなくて、枯渇のリスクが高いといわれています。また、大量に使われているものは代替が難しいという問題もありますので、リサイクルの優先度は高いと考えています。

廃棄物から銅を回収するプロセスとして、現在一部で実用化されているのが乾式法です。銅の製錬所では鉱石の処理をしています。このプロセスの途中に廃棄物を一部投入して銅を回収する、というものです。乾式の特徴は、反応速度がとても速く大量処理に向いていることで、既存の施設を使えるなど、いろいろなメリットがあります。その反面、少量ではなかなか効率的に動かせないというデメリットがあります。

乾式と対比されるものに湿式プロセスがあって、これは残念ながら現時点

では実用化されていません。ただ、少量の処理でも比較的効率的に動かせるとか、組成変化に強いといった乾式にはない特長があって、両者をうまく使えばリサイクル率を上げられるはずなのです。

この湿式プロセスの問題の一つは、消費電力がとても大きいことです。湿式の場合、まず溶液に銅を溶かして、それから電解によって銅を回収するわけですが、そのときにかなりの電力を消費します。それから、先ほど申しましたように、鉄やアルミニウムをはじめとするさまざまな不純物が含まれていますので、そこから銅をきれいに分離するのがなかなか難しいのです。

こうした背景から、私たちのグループでは、アンモニア・アルカリ性の水溶液を使った新しい銅の湿式リサイクルプロセスを提案しました。

これにはまず、浸出工程があって、銅を2価の銅イオンによって溶出します。廃棄物中の銅は金属の状態ですので、これに2価の銅イオンを作用させて酸化させ、2価のイオン自身は還元されていずれも1価の銅イオンとして溶解します。この1価の銅イオンは通常は不安定ですが、アンモニアと錯体を作ることで、安定化させることができます。

この時、不純物も一部溶けてしまいますので、これを次に浄液工程で除去し、それによって得られたきれいな1価銅イオンの水溶液を電解します。

電解では、1価銅イオンを還元して金属の銅を得るとともに、プラス極側に残りの1価銅イオンを送って、1価から2価への酸化を行います。そうすると、この溶液は2価の銅イオンを大量に含むことになるので、これを最初の浸出液に再利用できます。こういった循環型のプロセスを考えているわけです。

このプロセスの特長は大きく2点あって、一つは省電力化が見込める点です。電解採取の工程ですが、銅の電解というと通常は2価の銅イオンから銅を還元します。しかし私たちの方法では1価の銅イオンから還元するので、反応電子数を半分に抑えることができます。また、電解する時には電圧をかけないといけないわけですが、それも従来法よりはるかに低い値でできます。つまり、省電力化に関してとても高いポテンシャルを持っています。

もう1点は分離性です。これには最初の浸出工程の条件が重要で、ここではpHを10付近に保っています。このpH 10というのはほとんどの金属が溶けにくい条件で、したがって、アンモニアと錯体をつくるような一部の金属を選択的に溶かすことができます。さらに、浄液の工程で一部溶け出した不純物も除去することができますから、高純度の銅を直接回収できる見込みがあります。この2点を大きな特長としています。

私は吉宗さんと同期ですが、このプロセスの提案があった後に入所して、

リサイクルの分野は
人材不足であり、
少人数ながら産総研にかかる
期待も大きい。
世界のトップレベルにある
日本の製錬技術の発展にも
貢献していきたい。

大石 哲雄
おおいしてつお



それ以降の開発は私が中心になって進めてきました。まず、プロセスの開発です。プロセスのパフォーマンスを確認するとか、あるいはそれを向上させることに取り組みました。

画期的なプロセス

1点目は消費電力の削減です。銅の電解採取には、通常は硫酸銅と硫酸からなる水溶液を使いますが、そのときに必要な電力は2000 kWh/tonくらいの値になります。それに対して私どものプロセスでは、1価銅イオンを使うことで、2004年の時点ですでに1000 kWh/tonという値を達成しました。さらに浴組成を最適化するとか、平滑性を向上させたり、電極と電解槽の性能を向上させるなど基礎的な研究を積み重ねることにより、現時点では従来法の1/4という低消費電力を達成しています。今後、電解条件を最適化していくことで、さらに低く、おそらく1/8程度まで低減できると見込んでいます。

次に不純物の除去については、2つ目の浄液の工程で溶媒抽出という技術を使っています。ただ、通常の溶媒抽出は特定の成分だけを取り出すのが一般的ですが、この場合は、特定の成分である1価銅を残してほかの成分をすべて取るということで、若干難しい適用になります。これは私が中心になって行ったものではありませんが、こういった条件を探索して何とか1価の銅イオンを残した状態で不純物を除去することに成功しました。

こういった条件を詰めていって、今度では実際の廃棄物を使って、はたしてもくろみどおりに行くかどうかを確認しました。プリント配線基板を破碎したのを使って実際に銅を回収してみたところ、期待以上の値が出たのです。回収された銅中の不純物を分析すると、ほとんど不純物は含まれておらず、5N、つまり99.999%程度の銅が得られたの

です。通常、精製した市販の銅、電気銅とも呼ばれる銅というのは4N、つまり99.99%のものですが、もう少し高い値を達成できる見通しが得られました。

この実験でもう1つ、とてもおもしろい結果が出てきました。比較のために2つ目の浄液工程を省略し、浸出液を直接電解する実験をしてみたのですが、そこで得られた銅中の不純物を分析すると、鉛の含有量は増えてしまいましたが、ほかの元素はほとんど含まれていなかったのです。つまり、鉛だけを何とか除去できれば、2つ目の浄液工程を省略してもある程度の品質の銅が得られるだろうということです。そこでこの鉛についてももう少し詳細に検討し、結果的に、リン酸塩を加えることによって溶け出した鉛を除去できることがわかり、簡便なプロセスでかなりの純度の銅が得られる可能性が見えてきました。

3点目はプロセスの実用性の向上です。通常こういった実験は、ピーカーレベルでわりときれいな状態で基礎研究を進めるわけですが、実用性を考えたときには、だいぶ条件が違ってきます。そこで、より実用性の高い条件として、溶液を流しながら電解をすることか、あるいはもう少し大きめの電解装置を作って、これまでと同等の性能が得られることを確認しました。

こういった基礎的な研究が一段落し、現在プロセス評価の研究を進めています。ここでは2つのポイントがあって、1つは実廃棄物を使った連続試験です。このプロセスでは溶液を循環して使うことができます。当然、循環して使えば使うほど廃液も少なくなり、コストも下がりますが、一方で不純物が溶液中に蓄積するというデメリットもあり、それをどこまで許容できるか、回収される銅中の不純物がどうなっていくかということを把握する実験を進めています。

もう1つの柱が、環境負荷および経

済性の評価です。これは私の専門ではないので安全科学研究部門の研究者と共同で進めているのですが、このプロセスが果たしてどの程度、従来法に比べて環境負荷の点で有利か不利か、あるいは経済的にどうかといったことを検討しています。

一方で、こうした研究成果をもう少し別の方向に活かさないかという面も模索しています。第1は電解精製で、これも通常は硫酸系の水溶液で行っていますが、高い速度で電解処理しようとする、通常は電力がかさんでしまったり、純度が低下したりしてしまう。つまり生産性は上げたいけれども、デメリットが多くてなかなか上げられない、ということがあるのです。それに対応するものとして、この水溶液系が使えるのではないかと期待しています。

第2はプリント基板の製造工程です。この場合も、不要部分の銅を溶かして、それを回収するという工程がありますので、それに使えるのではないかと考えています。

第3に廃棄物からの脱銅です。これは鉄系の廃棄物でよくいわれることで、銅があると、鉄を再生しても性能が劣化して使い物にならないというのです。したがって、この分野にも応用できるのではないかと考えています。

リサイクルを想定して技術を蓄積

瀬戸 ありがとうございます。消費電力削減のときに、浴組成の最適化などいろいろされていますが、これはいわば力仕事ですね。地道に研究を繰り返してやっ、最適条件を詰めていったということですか。

大石 地道な研究を繰り返す一方で、「一応こうすればよくなるだろう」という面からも詰めていきました。例えば消費電力の中身を詳細に調べ、この系の場合は浴の抵抗による電力損失がだ

いぶ大きいことがわかり、それなら電気伝導率を重視してみようという具合で、単なる力仕事ではなかったと思います。

小野 基礎的な研究成果はかなり蓄積されていると感じますが、実用化に向けた悩みか思いはいかがですか。

大石 そこはとても頭の痛いところで、リサイクルという場合には、コストの話、経済性のお話を避けて通れません。残念ながら、この点では、課題があると思います。経済性だけを考えると、結局、金が取ればよいとなってしまいます。金を取るとなると乾式製錬か、あるいは強力な酸で全部の金属を溶かしてしまうこととなります。しかし、湿式プロセスですとエネルギー的にも環境負荷的にもよくないプロセスになってしまう。そこをどう折り合いをつけていくかが難しいところですよ。

金・銀・銅以外の資源の話で、小型家電からのレアメタルの回収というのがホットなトピックになっています。ホットではありますが、そこでもやはり経済性のお話が出てきて、金が取れないと話にならないとなってしまいがちです。しかし、資源セキュリティなどの視点もありますので、それらを含めた上で経済性もあまり損なわない、できれば経済的にも成り立つような、そんな合理的なプロセスを考えていくと、いろいろ取り組んでいます。

野間口理事長 「浸出→浄液→電解採取」というプロセスは、産総研のオリジナルなのですか？

大石 アンモニアと1価銅イオンを使ったプロセスは、オリジナルです。

野間口理事長 組成の最適化とかいろいろ苦労があり、こういうものができる

たと理解したらよいわけですね。アーバンマイニングという言葉は魅力的でとてもおもしろいと思うけれど、それが世の中に受け入れられるかどうかは別ですね。

大石 そうですね。銅の回収に限定すればもう一歩のところまで来ていると思っ

野間口理事長 一見そう見えるのですが、プリント基板などから取る場合、経済効果は、努力の割になかなか報われないでしょう。必要性は叫ばれていても、何しろ夾雑物きょうざつぶつがいっぱいあるところから、銅だけ、あるいは有価物だけ取り出そうというわけですからね。注目したいのは、その中でできた技術が、既存のプロセスや技術に対してもインパクトを与えようなどころでしょうか。

大石 特に電解精製については、今後実験的に検討していきたいと考えています。

野間口理事長 銅が絡んだような鉄の廃棄物というのは、具体的には何なのですか。

大石 例えばモーター屑などは銅がなかなか取れないといわれています。

野間口理事長 銅線を巻いているだけだから、鉄とは合金化していないと思いますが。

大石 もちろん手作業で1個1個取ればよいわけですが、日本ではなかなかできません。

野間口理事長 モーターとかコンプレッサーなどの廃棄物は、回収しやすいものは日本国内でやるけれど、やりにくいものは人件費の安い国に持って

いってやっている。何とかしようという動きはあるわけですか。

大石 行った先できちんと処理されていれば、それはそれで、アジア圏でのリサイクルということでよいとは思いますが、しかし、なかなか適正に処理されるという状態にはなっていないようです。

野間口理事長 いつまでも今のビジネスモデルが成り立つとは限らない。国内で対処する方法があったら一番よいですね。

大石 そうですね。資源を確保するという意味でも、リサイクルはとても重要だと思います。

野間口理事長 アーバンマイニングを考えると、日本が世界最大の金資源国であるという話がありますが、ほかの貴金属やレアメタルはどうですか。

大石 そういった統計はありまして、ポテンシャル的にはそれなりの資源国であるというのは事実かと思えます。ただ、あくまでもポテンシャルの話です。

野間口理事長 こうした基礎技術を蓄積しておくことは、近い将来、とても大事になるような気がしますね。すぐに物にしてくれというには、ちょっと時代が早すぎるかもしれないけれど、将来につながる可能性があるのはよいですね。

有機薄膜で太陽電池を

瀬戸 次に太陽光発電研究センターの當摩 哲也さんに、有機薄膜太陽電池の研究開発についてお願いします。

當摩 まず、第1種基礎研究としての高性能化への取り組みを紹介します。

有機薄膜太陽電池は、シリコン太陽電池と同じものを有機の半導体材料で作ったもの、と考えていただければ結構です。まだ性能が低くて、今のところ最高性能でエネルギー変換効率5%程度です。実用化には10%必要ですので、高性能化が有機薄膜太陽電池のキーワードになっています。

そのために行った実験として、新規高性能デバイスの開発があります。これはどういうものかという、断面TEMを見ていただくとわかるのですが、有機半導体をヘテロで交互積層し、接触界面を増やして電流を高めた新しいタイプのデバイスです。

また、タンデム技術による高性能化の道もあります。タンデム技術というのは、乾電池を直列につなぐと電圧が高くなるのと一緒で、太陽電池を2つ3つと重ねていくものです。私たちはルブレンという有機半導体とフラーレンを使ったデバイスを3層重ねる実験をしましたが、横軸にタンデム積層数、縦軸に得られた電圧をとってみると、単セルの3倍の電圧が出ることを確認しています。

いろいろな研究を進めていますが、均一膜のバルクヘテロ構造とか、先ほど紹介した交互積層構造、それからタンデム化などの高電流・高電圧化などの研究を通して、高性能化の課題に取り組んできました。

次に、有機薄膜太陽電池の「死の谷」、つまりある一抹の不安についてお話し

たいと思います。有機薄膜太陽電池の研究開発では、せいぜい1cm角というとても小さいものを作って評価しています。しかし実際に太陽電池として販売する時には、屋根の上に乗せるなど、大面積にしなければいけません。しかし、それを作ったことがない、作った人もいない、という状況です。もちろんシリコンでは大きなものができていますが、有機薄膜太陽電池で大きなモジュールが作れるのか、という不安がありました。

2005年以降、真空装置メーカーから「一緒にやってみないか」という話をいただきました。有機ELテレビが発売されましたが、その有機ELテレビを作るための真空装置のメーカーです。ELというのは逆デバイスで、電圧をかけると発光する。一方、有機薄膜太陽電池は、逆に光が当たると電流が発生するわけです。

この装置メーカーは有機薄膜太陽電池の経験はありませんが、ELの実績があるので共同開発をしました。最初に作ったのは20cm角のモジュールです。通常はガラス基板の上に太陽電池を作っていくのですが、ちょっと進化したバージョンとして、プラスチック基板上に太陽電池を作り込んでみました。

こうして、大きな太陽電池ができることがわかりました。次に、実物を見ていただくとわかるのですが、有機薄膜の太陽電池というのは、色素材料な

どを使っていて、大変に色が鮮やかなのです。その特長を活かした製品化研究を進め、2008年にプレスリリースをしました。

それが葉っぱ型の太陽電池です。これはプラスチック基板上に有機薄膜太陽電池を作り込んだもので、直列に8個並んでいて、大きさは60cm²です。フレキシブルで、この葉っぱを組み合わせると人工の観葉植物になり、インテリアになる。この緑色太陽電池では低分子系の材料を使いましたが、高分子半導体を使って赤い花びら模型も作ってみました。しかも、光が当たると真ん中にある風車が回るようにして、展示会で紹介しました。これは遊びではなく、用途開発はどんなところにあるのかを探るための研究です。

実際、観葉植物はインテリアとして社長室に置きたいとか、花のほうは子供が寄ってきて大騒ぎになるなど、たいへん注目度が高いと感じました。こうして、有機分子の特長を活かした意匠性の高い太陽電池を世界で初めて作製しました。

このように一応はできましたが、まだまだ問題はあります。まず、有機の半導体は水や酸素に弱いので、耐久性が低い。また、これらは試作品なので、コスト的に高くなってしまいます。バッチで作っていますので、ロール・トゥ・ロールのような大量生産技術が必要だという問題です。

ビニールハウスに太陽電池

私が描いている有機薄膜太陽電池の将来像があります。1つは、身近な電子機器のバッテリー源です。これはどういうイメージかというと、アモルファスシリコン太陽電池も20年前までは、家庭用電卓のバッテリー源として使われました。有機薄膜太陽電池はどこからスタートするかということで、製品化研究を行ってきましたが、意匠性が

有機薄膜太陽電池の
技術革新を目指し、
効率向上という
正攻法とともに、その特長を
最大限に活かす応用例を
具体化していきたい。

當摩 哲也
たいまつや



高いことを利用して、カラフルなデザイン性が要求される装置とかインテリアなどに使っていただければいいと考えています。

そして、最終的には発電に使いたい。発電時にどういう特長が活かせるのかについて、私は夢としてビニールハウスのようなものに使えないかと考えています。有機薄膜太陽電池に色が付いているということは、特定の波長の光しか吸収しないということです。逆にいえば、植物の成長・光合成には短波長と長波長側の光だけでよいので、植物が使わない波長域の光を吸収して発電する。こうすれば、農業と電力供給がともにできるビニールハウスができるはずですよ。

瀬戸 ありがとうございます。ペンタセンの上に交互積層を作っているようですが、もう一度、発電の原理を説明していただけますか。

當摩 これは真空中で低分子半導体を蒸着するという技術ですが、有機薄膜太陽電池が爆発的に研究開発された背景には、バルクヘテロ構造というものがあります。これはp型半導体とn型半導体を一緒に飛ばして作成する。そうすると、pとnが混ざった状態になり、pとnの接触面積が増えて、光が当たったときによく発電することが90年代に発見されて、それでどんどん開発が進みました。

私たちがやったのは、ペンタセンという材料を使って交互に積層することでした。そうすることで、バルクヘテロのようにpとnの接触面積が増える。それからもう1つ、ペンタセンという材料は、すぐ凝集してしまうのです。結晶性が高くてきれいな膜を作ることができなかった。ところが、交互積層させることにより、凝集する前に膜ができてしまうので、とてもきれいな膜が作れて、デバイスがよく動くようになりました。これがこの技術の特長になります。

瀬戸 ペンタセンは絶対に使わなければいけないのですか？

當摩 そうとは限りません。有機の半導体にはいろいろあって、一例としてペンタセンを使っただけです。よい材料はまだ決まっていませんし、将来合成される可能性もあります。それによって効率も上がっていくはずですよ。

瀬戸 1 cm角のサンプルから、緑色の20 cmモジュールまで試作されていますが、ここまで行くときには、何がブレークスルーだったのですか。

當摩 私たちは高性能化の技術はもっていたのですが、大面積にする技術、ノウハウがありませんでした。一方、真空装置メーカーは、有機薄膜太陽電池を作る技術はないのですが、大面積

の有機ELを作る技術がありました。そこで、お互いに技術を出し合って意見を闘わせながら、このようなモジュールを作ったということです。

瀬戸 けっこう反響があったでしょう？

當摩 そうですね。太陽電池のイメージを覆したので、マスコミ受けはとてもよかったです。あと、若い学生の方からも反応がありました。美術大学の学生などからデザイン性をチェックされたり、他分野の方から意見を求められたりと、とてもおもしろかったです。

瀬戸 現状は5%の効率ということですが、當摩さんが研究を始めたころは何%くらいだったのですか。

當摩 私自身が2002年に入所したころは0.1%の世界でした。そこでまず、きれいな膜を作る方法、材料を精製する方法など、どんどん技術を蓄積して、現在のところは4%弱まで性能を上げています。世界のレベルが5%程度なので、もう少し基礎的な技術を蓄積しないとイケません。

小野 シリコンの太陽電池に置き換わるためには、あとはどのような性能が必要なのですか。

當摩 やはり耐久性です。有機の特長として、さまざまな構造を持った分子を合成することができます。まだ太陽電池に適した分子が現れていない可能性が高いのです。私が担当しているデバイス構造にしても、交互積層技術のほかに、もっと優れたものがあるかもしれないですね。

野間口理事長 超格子構造とか、有機デバイスとしては新しい試みがされていると思います。有機物は一時、半導体素材としても注目を集めた時期があ



研究課題に対して科学的で明確な評価指標を持つことによって、技術の蓄積がなされ、特許が生まれ、論文も生まれると思う。

野間口 有
のまぐちたもつ

と思います。シリコンの太陽電池などの場合、理論効率はこれこれであって、それに対して今どういう状況にある、といった言い方をしますね。つまり理論値と現実との間のギャップがどんな現象で起こるのかをよく議論しますが、有機薄膜の場合、そういう理論効率のようなものはあるのですか。

當摩 近いものがあります。分子内のエネルギー準位であるとか、吸収の量とか電圧を算出することができますので、理想的な状態だったらどうなるか、理論的に求めることができます。将来開発される材料を想定すると15%、大きいと20%くらいいくはずだという試算があります。ただ、そこには化学合成の技術が必要になってきます。

野間口理事長 指針や考える方向性はあるわけですね。では、なぜ今は数%しか出ないのでしょうか。おそらく内部インピーダンスとか、素材の要因があるわけでしょう。それを抑えるにはどうしたらよいか。開放端電圧を出しているけれど、最大パワーの条件はどうだと見れば、どこをどう改善しなければいけないかというのは見えそうな気がするのですが。そういうものを元にして、新しい材料とか構造とかを考えていく必要があるのではないですか。

當摩 合成からのアプローチとおっしゃるとおり、デバイスのにもまだまだ問題がありますので、そこをどう解決していくかという攻め方があります。

野間口理事長 シリコンなどに比べて構造などはフレキシビリティがありそうだから、効率をより高くするという正攻法と、このようなおもしろ系のアプリケーションがあるよと提案する両方があるような気がします。

當摩 はい。私は両方に同じくらい力

を入れようと思っています。

野間口理事長 太陽光発電を期待するユーザーの方は、単位面積当たりの出力などを期待するでしょうから、現状ではちょっと不利ですね。

當摩 そのためにはやはり基礎的な研究が必要です。

野間口理事長 クリーンルームがなくてもできそうですね。正攻法も必要かと思いますが、このようなおもしろ系のアイデアも大事ですよ。どんなマーケティングをやっても、ヒット商品なんて予測できません。iPodでもウォークマンでも、半年、1年やっているうちに「これは何とかなる」というように変わっていったのです。市場の反応を見てヒット商品が育っていく面があるので、おもしろ系を否定する必要はないと思いますよ。

當摩 話題になる成果を発表すると注目されますし、その分野に活力が出るのですね。同じ分野の先生方も喜んでくれて、「もっとがんばろう」と研究のモチベーションが高まって楽しいです。

石井 将来の夢としてビニールハウスを想定されていますが、どこがメリットですか。

當摩 使わない領域の光を吸って発電するところです。ビニールハウスというのは日当たりのよいところに設置しますので、そういう意味でも発電向きかなと思っています。屋根に普通の太陽電池を置いてしまうと、真っ暗になってしまうでしょう。

野間口理事長 全国のビニールハウスの屋根面積はすごく広いですね。成田空港に降りる時に見たらわかる。ただ、耐久性能が要りますね。

當摩 正確にはわからないのですが、ビニールハウスは数年で替えているみたいです。

藤田 モジュールを作られたとき、たぶん何か製品化のようなものをイメージしながらやってこられたと思うのですが、協力企業は、将来的には自分のほうではこういうものに取り組みたいとか、そういうことは何か言っていましたか。

當摩 真空装置メーカーですので、将来、有機薄膜太陽電池が市販化されるときに、そこで装置を売ることを想定しています。そのためのノウハウを蓄積しておきたいというわけです。

世界のトップをゆく本格研究を

野間口理事長 3つのテーマは、産総研だけでなく、同じような研究が国内でも世界でもたくさん進められています。そうした中で、今どういう位置にあるのか、どういうところでリーダーシップ、存在感を発揮しているのか、そのあたりはいかがですか。R&Dでブレイクスルーをしようと思ったら、突破すべき課題をクリアするための方向性があると思いますが、それも聞かせてください。

吉宗 カーボン膜というのは、世界でもまだほとんど認知されていないのが現状です。膜モジュールのレベルまで進んでいるという意味では、私たちは世界のトップを走っています。製品としてカーボン膜を世に送り出すためには、そのための量産化体制をきちんと整える必要があります。それと、カーボン膜がどこに使えるか、どこにオリジナリティを出せるかを見い出すのも、私たちの課題だと思っています。

野間口理事長 分離膜としてクリアし

なければいけないレベルがある。既存の膜がいっぱいあるので、それらの性能と比較してということですね。

吉宗 カーボン繊維が発見されてから、今日までに重要な材料として発展してきたのと一緒に、私はカーボン膜が分離膜として重要な役割を果たすときが来ると確信しています。

野間口理事長 カーボン繊維は産総研の輝かしい成果だし、次はカーボン膜だという意気込みですね。

大石 リサイクル分野は研究者が多くなく、残念ながら対抗馬はあまりいません。関連の深い製錬技術については各国で長い歴史がありますが、廃棄物に適用できるプロセスの研究を積極的に進めているところは、世界でもそう多くありません。少なくともこういった難しい廃棄物からの湿式による銅回収という点においては、私たちはトップレベルを走っています。製錬技術としても、世界における日本のレベルは高い位置にありますので、それを維持しつつ向上させていくのが産総研の1つの使命と思っています。

當摩 有機薄膜太陽電池の技術は、どちらかというと欧米が引っ張ってきました。ベンチャーが大量に資金を集めて、何とかポリマー系でモジュール化しようとしています。ただ国内では、公然とモジュール化を研究しますと宣言してやっているのは私たちだけではないでしょうか。しかも私たちは低分子のほうもやっていて、どちらが行けるのかを見定めながらがんばっています。

瀬戸 これからの夢を一言ずつ語っていただければと思います。

吉宗 パーマネント審査を通るために必死に走ってきて、あまり長期的に

モノを考えられていない面があると思います。今の仕事をやり遂げることに集中しながら、その中で自分のバックグラウンドを深め、これまであまりできなかった他分野の人とのコラボレーションを通じて、新しい仕事に向かっていきたいと思っています。例えばバイオの方たちと一緒にできないかと思っています。

大石 私はリサイクルにこだわっていきたくと思っています。技術だけでなく、広く社会に散らばっているものをどうやって集めるかという問題もありますし、そこからどんな元素をどれだけ回収するかという問題もあります。そうしたことを考えていく上でも、自分1人で全部できるはずがない。産総研はいろいろなところと連携しやすく、内部にもいろいろな分野の人^a。安全科学の人もあるし、地質の人、モノをつくる側に近い人もいます。そうした人たちとうまく連携していけば、資源を有効にリサイクルするという大きな課題にも、答えを出せると思います。広い視点で考え、本当に必要なシステムを作っていきたいと思っています。

當摩 まず、高性能化のためには新しい材料が必要なので、合成化学者、材料メーカーと一緒に研究を進めたい。それから、製品化を考えて、多くの問題解決のためにいろいろなところと協働して研究していきたい。太陽光発電研究センターには、企業・大学との連携をやってくれという要請が来ています。そこから進めていこうと思います。それが製品化への近道だと思うからです。

野間口理事長 製品化していくための執念みたいなものを皆さんから感じました。こだわりというか、執着心。それは本当に大事なことですね。また、その過程でできる技術を自分の財産と

して蓄積していくことが、とても重要だと思います。これは企業のエンジニアでもそうだし、大学の先生でもそうだし、産総研の研究者にも言えることです。両方を持つことがとても大事だと思いますね。

研究の評価というのは、3年単位で考えるか5年単位で考えるか、10年、20年単位で考えるかで、がらりと変わるものではないかと思うのです。3年くらいの単位で考えたら、「そんなものはやめておけ」と言いたくなるようなものでも、10年、20年というスパンで考えたら、大きく実るものがあるのですよ。これは私の経験です。だから、軽々に判断して諦めたりする必要はないと思います。とても注意深く評価しなければいけないと思うのです。

基礎的な技術であれば、具体的な姿が見えなくても、焦らずにじっくりやる姿勢を保っておくことが大事だと思います。そして、併せて産総研トータルで本格研究を進めていく。本格研究という取り組みは、本当によいと思います。企業の皆さんと一緒に取り組みながら、ダメだったら基礎にまでさかのぼってきちんと考えて、また新しい突破口にチャレンジする。そういうことをどんどんすべきである、という明確なメッセージだと思います。

本格研究の実例がたくさん出てくれば、それが産総研らしい、産総研の特徴になっていくのではないのでしょうか。研究ユニットとしてのロードマップもあるけれど、研究者の皆さんには個人としてのロードマップもある。それがわかってたいへん勉強になりましたし、大いに期待もしています。

瀬戸 今日は長時間ありがとうございました。

次世代分離プロセスの実現を目指す本格研究

省エネルギー型膜分離プロセスのための 高機能カーボン膜の開発

膜分離への期待

持続発展可能な社会を実現するためには、化学産業においてもプロセス全般の効率化、低環境負荷型プロセスへの移行が急務となっています。現行の化学プロセスでは、特に分離プロセスにおける大量のエネルギー消費が問題となっており、省エネルギー型分離技術の開発が望まれています。「膜分離」法は、分離技術の一つであり、主に圧力差を駆動力として物質を分離するため、蒸留法などと比較して省エネルギーで、操作が簡便であるという特徴があり、次世代分離プロセスとして期待されています。しかし、これまでの分離膜は、高分子を素材としているために耐熱性・耐薬品性が低く、高い分離性能が得られないといった問題がありました。私たちはこの問題を解決し、膜分離法を社会に普及させるため、耐熱性・耐薬品性に優れた高性能な無機膜の開発に取り組んでいます。

カーボン膜の実用化への課題

カーボン膜（炭素膜）は、アモルファスカーボンにより形成される分離膜であり、0.3 - 0.5 nmの「分子サイズ」に制御された微細孔を利用した分子ふるい効果によって、水素や二酸化炭素のようなとても小さな気体分子に対し

て、高分子膜よりも優れた分離性能を示すことが知られています。カーボン膜は、主に管状カーボン膜と中空糸カーボン膜とに大別され、管状カーボン膜はアルミナなどのセラミックス基材の表面に前駆体高分子をコーティングした後で炭化させた膜、中空糸カーボン膜は外径2 mm以下の中空状（ストロー状）に成形して炭化させた自立型の膜をいいます。それぞれ実験室レベルでは優れた分離性能が報告されていますが、コスト面や製造技術に課題があり、いまだに実用化には至っていないのが現状です。

実用型カーボン膜の開発

以上のような現状を踏まえて、まず膜の低コスト化の検討から研究を開始しました。カーボン膜の形状については、管状膜は基材のコストが高い（ >10 万円/ m^2 ）という理由から自立型の中空糸膜を選定しました。中空糸膜は、作製にノウハウが必要ですが、耐圧性に優れ、かつ平膜や管状膜に比べて単位容積あたりに占める膜面積が大きいと、安価・軽量かつコンパクトな膜モジュールの設計が可能な実用型の膜形状といえます。そして、中空糸カーボン膜の前駆体となる高分子については、材

料探索を行った結果、文献などで多く報告されていたポリイミド [~1万円/kg*] よりも安価なポリフェニレンオキシド (PPO) [350 - 410円/kg*] を用いて中空糸カーボン膜が作製できることを初めて見いだしました。しかし、分離性能の向上や環境負荷の少ない製造法の開発に取り組み、より高性能で実用型の中空糸カーボン膜に発展させたところで大きな落とし穴が待っていました。分離膜を実用化するには、膜を集積化したモジュールを組み立てる必要があるのですが、このモジュール化の作業中に何度トライしてもカーボン膜がポキポキと折れてしまい、「カーボンの脆さ」すなわち機械強度に問題があることがわかりました。結局、一からやり直すことになりましたが、前駆体の構造や製膜法を工夫することで、写真のような最終的に柔軟で折れにくいPPO系中空糸カーボン膜を新たに開発し、分離性能を維持したまま膜モジュール化を成功させることができました。

[*ポリマー価格:「15107の化学商品」(2006.10現在)より引用]

カーボン膜の用途展開

膜モジュールという製品に近い形で作り上げた研究グループはほかにはなく、徐々に企業から問い合わせをいただくようになりました。当初、カーボン膜の用途は、優れた分離性能を活かした水素や二酸化炭素の回収、空気から酸素の濃縮といった用途しか想定していませんでしたが、企業側のニーズを伺っていくと、カーボンの持つ耐薬品性に注目すべきではないかということがわかってきました。その大きなきっかけとなったのが、NEDOプロジェクト（有害化学物質リスク削減研



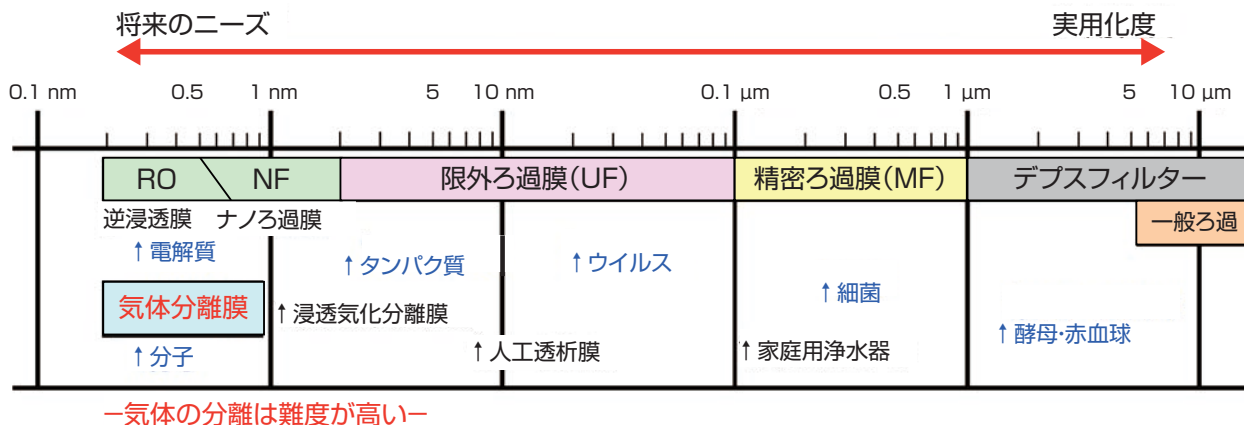
2004年産業技術総合研究所入所。以来カーボン膜を中心に、高機能分離膜の開発に携わってきました。大学時代の研究とは異なる分野の研究に最初は戸惑いもありましたが、今では培った経験はどんな分野にも活かすことができ、視点の違いが新たな発見につながると実感しています。このほかに、社団法人化学工学会の男女共同参画委員会の委員としての活動も行っています。

吉宗 美紀 (よしむね みき)

m-yoshimune@aist.go.jp

環境化学技術研究部門

膜分離プロセスグループ (つくばセンター)



分離対象・孔径による膜の分類

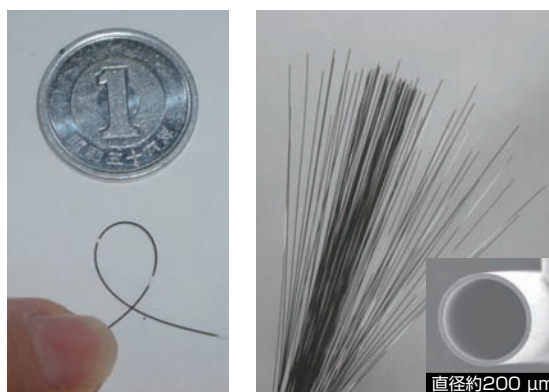
究開発)におけるガソリン蒸気脱水膜としての用途開発です。このプロジェクトでは、ガソリンスタンドで給油時に発生するガソリン蒸気を回収することを目的としており、回収蒸気に混入する水蒸気をカーボン膜で脱水するというのが狙いです。ガソリン蒸気は炭化水素の混合蒸気であり、高分子膜は炭化水素で膨張して使用できないため、カーボン膜の特長をうまく活かすことができます。このプロジェクトで高性能なカーボン膜モジュールを開発して、実ガスでのプロトタイプ試験まで進めた結果、カーボン膜の有用性を実証することができました。その後、耐薬品性を活かした分離系への応を進め、最近ではカーボン膜の認知度が高まってきたことを実感しています。現在は、膜メーカーと共同で製品化研究を進め、カーボン膜の世界初の実用化に向けて取り組んでいるところです。

今後の展望

淡水製造用の逆浸透膜などで活躍している高分子膜やアルコール脱水膜として台頭してきたゼオライト膜など、日本の膜技術は世界のトップレベルにあると思います。この中に、既存の分

離膜とは異なる特長を有するカーボン膜が加われば、膜技術が世の中に広く普及し、省エネルギー性に優れた次世代分離プロセスが実現できるのではな

いかと考えています。そのために、今後もメーカー企業とユーザー企業の両者と協力して技術開発に取り組んでいきたいと思っています。



↑ 柔軟な中空糸カーボン膜の外観と断面写真



↑ 試作カーボン膜モジュール

開発した実用型カーボン膜と膜モジュール

金属リサイクル技術における本格研究 省電力型銅リサイクルプロセスの開発

新しい銅リサイクルプロセス

銅は鉄、アルミニウムに次いで大量に使われている金属であるため、あまり知られていませんが、資源的にはそれほど豊富な金属ではありません。また、使用量が膨大であることから代替も難しく、効率的なりサイクルシステムの確立が最も必要とされる金属の一つです。

銅の最大の用途は電線ですが、それ以外にも自動車、家電や電子機器などに広く使われています。このうち、電線は構造が単純でリサイクルシステムもほぼ確立しているといわれていますが、それ以外の製品に使われる銅は不純物となる雑多な金属、プラスチック、ガラスなどと混在している場合が多く、構造も複雑であることからリサイクルは比較的困難です。そのため、一部は乾式法で回収されていますが、残念ながら埋め立て処分やスクラップ輸出などへ回る分も大量にあるのが現状です。

そこで、このリサイクル率を向上させるために、私たちは図1に示すような湿式銅リサイクルプロセスの研究を行っています。まず、銅廃棄物をアンモニアと二価の銅イオンを含む溶液に浸漬^{しんせき}します。すると、溶液中の二価銅イオンが銅を酸化し、いずれも一価の銅イオンとして溶解します。銅とともに

に溶解した不純物は溶媒抽出などの技術で溶液中から除去し、高純度の一価銅イオンの溶液にします。この溶液を電解すると、陰極では一価銅イオンが還元されて金属銅が得られます。一方、陽極では一価銅イオンが二価銅イオンに酸化され、二価銅イオンを大量に含む溶液が得られますので、これを最初の浸出工程に循環再利用します。このプロセスの特長の一つは電解の消費電力が少ないことで、これは通常二価銅イオンから回収するところを一価の銅イオンから銅を還元するので必要な電流量が半分で済む上、電圧も下げられるためです。また、溶液のpHを約10にしてあるので、最初の浸出工程においてアルミニウムや鉄、スズなどの大部分の不純物が溶解せず、銅に対して高い選択性があること、後段の浄液工程で不純物を十分に除去することにより、高純度の銅回収が見込めることなども重要な点です。

プロセスの開発

このプロセスの開発を進めるにあたり、まず消費電力の削減に取り組みました。この場合、消費電力は電流効率と電解電圧によって決まり、電解電圧は、浴抵抗および電極の内部抵抗に関する分、理論分解電圧と各電極における過電圧に

大きく分けられます。その中でも特に過電圧と浴抵抗が重要であることがわかりました。一方、あまりに消費電力削減を優先させると生産性や回収される銅の平滑性が低下することなどもわかってきましたので、これらに与える浴組成や電流密度などの影響を系統的に調べ、ある程度の生産性や品質を保持しながら従来法の1/4程度まで省電力化できる条件を絞り込みました。

次に、このプロセスの二つ目の特長である不純物の分離にかかわる研究を行いました。熱力学データから、例えばプリント配線基板に含まれる金属のうち、最初の浸出工程で銅以外に溶解するのは亜鉛やマンガン、ニッケルなどに限られ、さらに、亜鉛やマンガンは電解採取の段階では析出しないため、析出電位が銅と比較的近いニッケルのみ注意が必要であろうというのが当初の予想でした。しかし、実際に廃プリント配線基板の破砕品を用いてこのプロセスによる銅回収を試みたところ、大筋では予想どおりでしたが、ニッケルはほとんど溶解せず、代わりに鉛が異常に溶解することがわかりました。ただし、これは浄液工程で除去することができ、回収された銅中の不純物濃度は電気銅と呼ばれる市販の銅の基準値以下になることがわかりました(図2赤)。これは廃棄物から高純度の銅を直接回収できる可能性を示しています。

もう一つ興味深い結果が、図1の浸出工程で得た溶液を電解採取に直接用いた実験から得られました。浄液工程を経ないため、図2に青で示したように回収した銅には鉛が大量に含まれていましたが、それ以外の不純物濃度は依然として電気銅の基準値以下でした。この結果は、鉛に特化した除去技術があれば毎回溶媒抽出を行わなくても比較的高純度の銅を回収できることを示唆しています。そこで、鉛の挙動に着目してさらに研究



独立行政法人 物質・材料研究機構のポスドクを経て、2004年に入所。入所以来、電気化学を基礎としたリサイクルおよび製錬プロセスの開発を行っています。対象は銅を始めとしてシリコン、タングステン、希土類などで、溶媒も水溶液(室温)から溶融塩(1000℃)までさまざまですが、地道な研究を積み重ねつつ所内外の連携を進め、技術を育てていきたいと考えています。

大石 哲雄 (おおいし てつお)

tetsuo.oishi@aist.go.jp

環境管理技術研究部門

金属リサイクル研究グループ (つくばセンター)

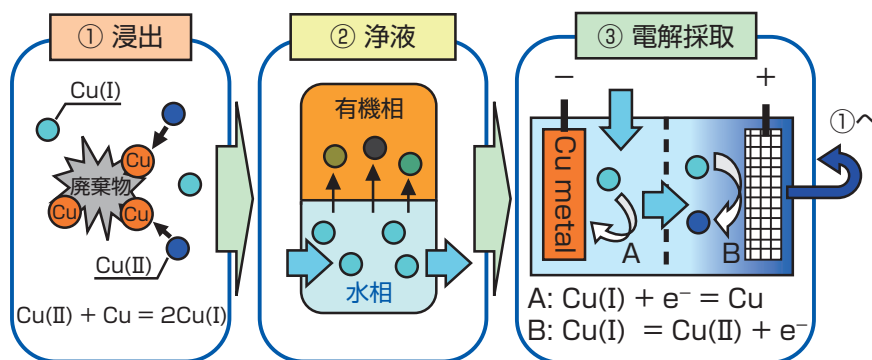


図1 銅リサイクルプロセスの模式図

を進めました。先述のように、このプロセスで用いる溶液のpHは約10で、これは鉛の溶解度が極小となる条件であり、最も安定的な二価の鉛イオンでも 10^{-6} M程度の溶解度といわれています。実際にアンモニアを含まないpH 10付近の溶液で測定しても同程度の値を示しましたが、pHを保ちつつアンモニア濃度を増加させると鉛の溶解度が $10^{-3} \sim 10^{-4}$ M程度まで上昇することがわかりました。確証を得るには至っていませんが、おそらくアンモニアと錯体を形成しているものと考えています。この場合、浸出工程で鉛の溶解を抑制するにはアンモニア濃度を下げることが有効ですが、肝心の銅の溶解度も下がってしまうので、平衡関係にあるもう一つのイオンであるフリーの鉛イオン濃度を下げる方法を考えました。すなわち、鉛と難溶性の塩を形成するイオンとしてリン酸塩を導入することで鉛の溶解をある程度抑制でき、それが最終的に高純度な銅を得るのに十分なレベルであることを確認し、プロセスのさらなる簡略化と低コスト化が見込めるようになりました。

ところで、ここまでの研究はバッチ式でかつピーカーレベルの試験であり、実際のプラントで同等の数値が得られる確証はありませんでした。そこで次のステップとして、より実用性の高いフロー

タイプのセルを試作し、さらに、それを大型化しても期待どおりの電流効率や省電力性が得られることを実証しました。電極サイズは10 cm角で、実機の100 cm角程度とはまだ開きがありますが、ある程度実用が見えるところまで到達できたと考えています。

今後の展開

基礎的な研究も引き続き行っていますが、現在はプロセスの評価に重点を置いて研究を進めています。湿式法では排水処理が一つの課題ですが、このプロセスでは電解液を繰り返し利用することが可能です。しかし、長く使う

ほど不純物の蓄積や組成の変化が起り、何らかの対策が必要となります。そこで、実際に廃棄物を用いて浸出、浄液、電解採取のサイクルを繰り返す行い、その際の銅および不純物の挙動、溶液組成の変化などを調べています。また、銅のように大量に使われている金属のリサイクルに関しては特に環境負荷の評価が重要ですし、実用化を目指す上で経済性の評価も不可欠です。これについては安全科学研究部門の研究者の協力を得て研究を進めています。これら一連の研究を通じて、このプロセスの実用化を目指しています。

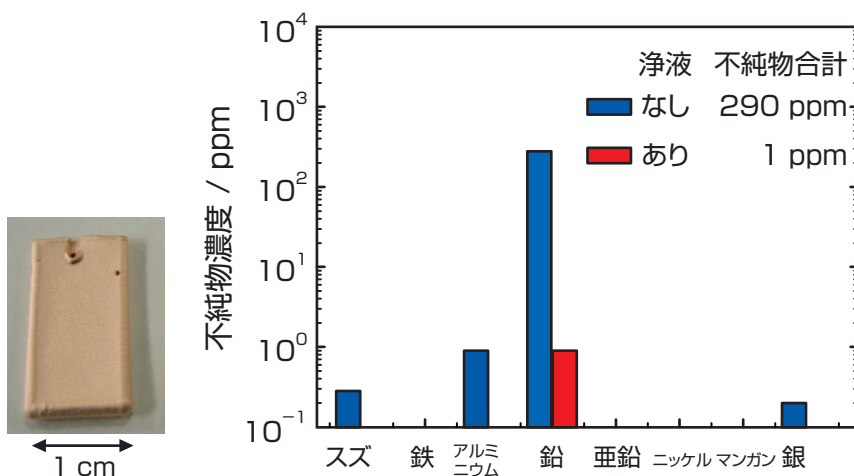


図2 このプロセスにより回収した銅と不純物の分析例

有機薄膜太陽電池の本格研究

有機薄膜太陽電池でモジュールは作れるのか？

太陽電池の現状

太陽電池はいろいろな材料で作ることができ、さまざまな特長をもった太陽電池が世の中に広がり始めています。有機薄膜太陽電池は、有機材料を半導体として用いた次々世代の太陽電池として研究開発が進められています。

有機薄膜太陽電池の基礎研究

有機薄膜太陽電池の研究の歴史はたいへん長く、1970年代には研究が始まっています。しかし当時は、光を当てるとわずかな電気を発生させる性能の低い太陽電池しかできませんでした。性能を大幅に向上させたのは、バルクヘテロ接合構造の登場です。図1に示すように、バルクヘテロ接合構造はp型半導体分子とn型半導体分子が混合した構造です。両者が混ざり合うことでp-n接触面積が増大して電流値が大幅に増大しました。この“混ぜる”という手法は有機系独特の技術です。有機溶媒に溶けるポリマー半導体の場合は、n型半導体と一緒に溶かして塗布することで形成することができます。低分子半導体の場合は、それぞれの材料を真空中で同時に蒸着する共蒸着法により形成することができます。

図2に研究の一例を紹介します。p型半導体としてペンタセンを、n型半導体としてフラレン (C60) を用いた

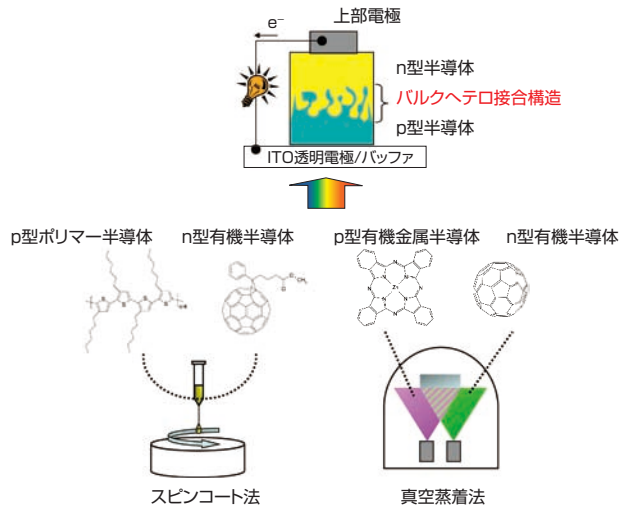


図1 バルクヘテロ接合構造の概念図（デバイス構造）と代表的な有機半導体材料と作製法

有機薄膜太陽電池です。共蒸着を行いました。ほとんど発電しませんでした。電子顕微鏡で確認したところ、大きく凝集していることがわかり、不完全で荒れた膜になってしまっているために性能が出ないことがわかりました。バルクヘテロ接合構造は単純に“混ぜる”手法であり、自己組織性や結晶性をネットワークをもった構造をとることを期待しているため、人為的にコントロールすることはできませんでした。そこで、私たちは交互積層技術の開発を行いました。これは、数nmの薄い有機半導体膜を交互に積層する手法で、膜厚をコントロールすることで凝集しない膜を形成することができます。図

2右の電子顕微鏡写真（断面TEM）を見ると、交互積層膜が形成され、その膜は凝集していないことがわかります。この技術で太陽電池性能を上げることになりました。私たちはいろいろな材料を試したり、新しいデバイス構造を開発したり、発電や劣化のメカニズムを解明することで、高性能有機薄膜太陽電池の開発を行っています。

有機薄膜太陽電池は製品になるのか？

現在、太陽電池はモジュールとして製品化されています。モジュールはいわゆる“屋根に載っているメートル級パネル板”です。有機薄膜太陽電池も世の中に製品として出て行くときはモジュールとして売り出さなければなりません。私たちの実験室で試作している太陽電池の大きさは小さいものは2mm角で、大きくても12mm角です。つまり、小さいものは米粒よりちょっと大きいくらいで、一番大きくても切手ほどの大きさしかありません。小さな有機薄膜太陽電池を作る技術とモジュールを作る技術はまったく異なります。実験室で小さくて性能がよい有機薄膜太陽電池ができて、それを製



最初に有機薄膜太陽電池の研究に取り組んだ時は、まさに歴史のごとく光を当ててもほとんど発電しない太陽電池しかできませんでした。日々少しずつ性能が伸び、現在では変換効率で約4%の太陽電池を作ることができるようになりました。しかし、まだまだ実用化のレベル（変換効率で10%程度）には達しておらず、さらなる創意工夫が必要です。これからも実験室でこつこつと目標に向かって実験をしなければと痛感しています。

當摩 哲也（たいま てつや）
tetsuya-taima@aist.go.jp
太陽光発電研究センター
有機新材料チーム（つくばセンター）

品化する際に必要となるモジュール化技術ができないかもしれないという不安がありました。

有機薄膜太陽電池モジュールの開発

2005年頃、有機エレクトロルミネッセンス（有機EL）ディスプレイ製造装置のメーカーである「真空装置メーカー」と、有機薄膜太陽電池作製技術の開発を共同で行うことになりました。有機ELは電気を入れて光を放つ素子で、有機薄膜太陽電池はその逆なので、共通する部分がたくさんあります。しかも、有機ELはディスプレイのサイズまですでに作製可能であり、この技術を応用すれば“有機薄膜太陽電池モジュール”が作製できるはずだと考えたわけです。装置メーカーはディスプレイを作る技術を出し、私たちは太陽電池の作製技術を出し、膝を突き合わせて“どうやってモジュールを作るのか？”を考え、作製にとりかかりました。20 cm角のプラスチックの上に有機薄膜太陽電池を真空蒸着で製膜し、図3左のような短冊状の太陽電池を直列に並べたモジュールを作りました。使っている材料はフタロシアニンと呼ばれる色素とC60です。そのため、色素の色がきれいに発色し緑色の光沢をもつものです。

“色がきれいでカラフル”という特長を活かすことで“ほかの太陽電池ができない有機ならではの用途”があるはずだと検討を始めました。2008年頃、用途開発のプロである商社も加わり、新しい形の有機薄膜太陽電池の開発にとりかかりました。ここでも、産総研、装置メーカー、商社の3者が膝を突き合わせて“どのような用途があるのか？”について議論を重ねモジュールを作製しました。そこで作られたのが葉っぱ型有機薄膜太陽電池モジュール

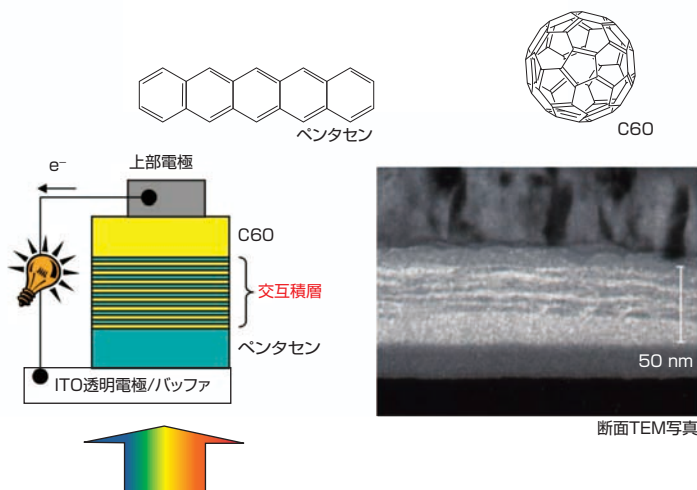


図2 交互積層法の概念図（デバイス構造）と作製した太陽電池の電子顕微鏡写真

ルです。本物の葉っぱかと思えるような精巧な太陽電池で、これを複数で組み上げると観葉植物型のインテリアになります。この葉っぱ型有機薄膜太陽電池モジュールと、ポリマー半導体で構成された花びら型有機薄膜太陽電池モジュールを組み合わせることで、図3右下のようなおもちゃにもなります。有機材料の特長を活かした意匠性の高い太陽電池モジュールの作製に世界で初めて成功したといえます。

有機薄膜太陽電池の本格研究の意義

有機薄膜太陽電池は21世紀に入って研究開発が活発化した太陽電池で、まだまだよちよち歩きの赤ちゃんです。

モジュールを作る試みは、まさに20年後に大人になった姿を想像して、その育て方とどんな人物になってほしいかを決めるのと一緒です。ですから、今回のモジュール作製法とは異なる“思いがけない製法”が開発されるかもしれません。それでも、いろいろな分野の人々が膝を突き合わせて将来像と製法を考えて、それをモジュールとして形にしたことは、有機薄膜太陽電池に携わる人々に目標と製品イメージを与える良いきっかけになったのではないかと考えています。今後、さらにいろいろな分野の意見を取り入れて“これぞ有機ならではの！”というモジュールを作りたいと考えています。

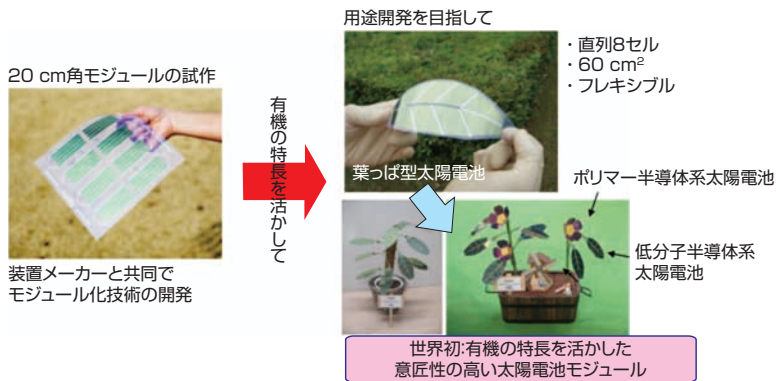


図3 20 cm角の有機薄膜太陽電池モジュール、葉っぱ型有機薄膜太陽電池モジュールの写真とその応用例

ダイエット食による早起き効果を発見

炭水化物を減らすケトン体ダイエットがマウスの体内時計に影響



大石 勝隆

おおいし かつたか
k-ooishi@aist.go.jp

生物機能工学研究部門
生物時計研究グループ
研究グループ長
(つくばセンター)

哺乳類における体内時計の分子機構について研究しています。体内時計の調節には、光と食事が重要な役割を担っていることが知られています。食事のタイミングのみならず、食事の内容（特定の栄養素）による体内時計の調節や睡眠障害の改善が可能であると考えています。時間栄養学を中心とした、健康医療分野への貢献を目指して研究を行っています。

関連情報:

- 共同研究者

堀江 修一 (女子栄養大学)

- 参考文献

K.Oishi et al.: *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 29, 1571-1577 (2009).

S.Chikahisa et al.: *Endocrinology* 149, 5262-5271 (2008).

K.Oishi et al.: *Neuroreport* 19, 487-489 (2008).

K.Oishi et al.: *FEBS Lett.* 582, 3639-3642 (2008).

大石 勝隆 他: *産総研 TODAY*, 7 (7), 12 (2007).

H.Shirai et al.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 357, 679-682 (2007).

- プレス発表

2009年7月24日「ダイエット食による早起き効果をマウス実験で発見」

睡眠障害治療法の現状

概日リズム(サーカディアンリズム)睡眠障害と呼ばれる一連の睡眠障害の発症には、時計遺伝子によって制御される体内時計が関係しているものと考えられていますが、その詳細なメカニズムは明らかではありません。睡眠障害の治療法としては、高照度光療法や、ビタミンB12やメラトニンの投与などが行われていますが、その作用メカニズムは不明な部分もあり、効果に関しても大きな個人差があります。これまでの治療法と作用メカニズムの異なる新規な睡眠障害治療法の開発が望まれています。

ケトン体ダイエットと時計遺伝子の働き

時計遺伝子は体内時計のリズム発振に重要な役割を担っており、体内時計の時刻を知るための指標となっています。ヒトを含む哺乳類では、脳だけではなく、心臓や肝臓、腎臓などほぼすべての臓器で時計遺伝子の働きが認められます。今回マウスを用いた動物実験によって、ケトン体ダイエットが時計遺伝子の働きに作用し、体内時計を早める効果があることを発見しました。

マウスの餌には、通常50%程度の炭水化物が含まれており、これを0.73%に減らしたケトン体ダイエットを調製し、14日間与えて時計遺伝子ペリオド2の働きを調べました。その結果ペリオド2の最もよく働く時刻が、4時間から8時間程度早くなっていることが確認されました(図)。

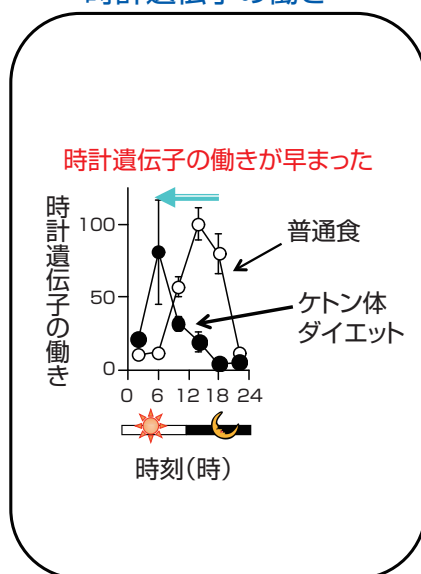
行動リズムを制御する体内時計の変化を調べるためにマウスを恒暗条件に置き、普通食を継続した場合と比べて、ケトン体ダイエットでの飼育によってマウスの活動時間帯が早まり、早起きになることがわかりました。

今後の展開

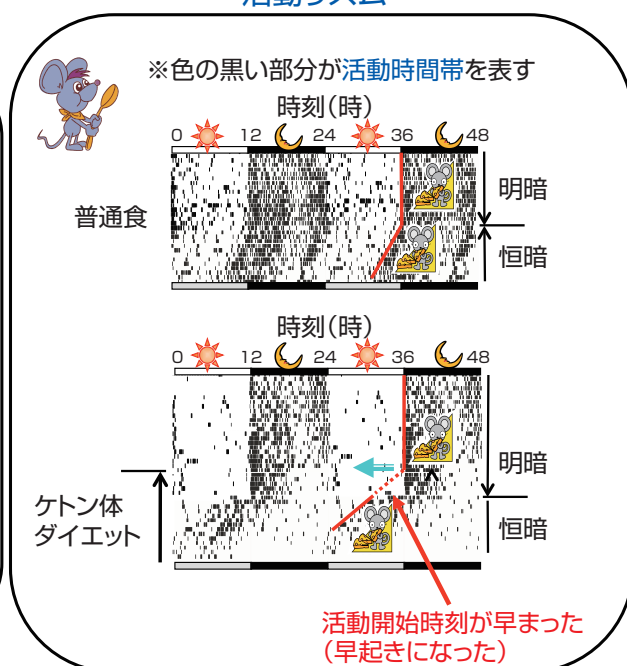
ケトン体ダイエットによる体内時計制御のメカニズムについては、その作用部位も含めて不明な点も多く、今後は、個体レベルでの分子メカニズムの解明を目指します。

なお、ケトン体ダイエットは、長期的な安全性についてもまだ議論されている段階であり、ヒトへの応用には、安全性を十分考慮した上で、その効果を慎重に検討する必要があります。

時計遺伝子の働き



活動リズム



ケトン体ダイエットにより時計遺伝子の働きが早まる

半導体中電子の量子状態の測定方法

半導体人工分子の量子情報処理への応用に期待



今村 裕志

いまむら ひろし

h-imamura@aist.go.jp

ナノテクノロジー研究部門
ナノ構造物性理論グループ
主任研究員
(つくばセンター)

量子中継器、超高密度磁気記録、不揮発性磁気メモリ(MRAM)など半導体や金属ナノ構造中の電子スピンを用いた情報処理デバイスの理論開発を行っています。コンピュータシミュレーションや解析的な理論手法を駆使してナノ構造中の電子スピンの振る舞いを明らかにし、新しい動作原理に基づくナノスピントロニクスデバイスを世の中に送り出すことを目指しています。

関連情報：

- 共同研究者

余越 伸彦（科学技術振興機構）、小坂 英男（東北大学電気通信研究所）

- 参考文献

N. Yokoshi *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* 103, 046806 (2009).

- プレス発表

2009年7月21日「半導体人工分子の量子状態を電気的に測定する方法を開発」

電子スピン量子ビットの実用化

現在の通信デバイスやコンピューターの主要部を占める半導体中の電子を量子情報として活用することは、将来的な汎用性・集積性を考えると自然な流れであると思われます。特に、二つの電子スピン間の相関を量子情報の最小単位である量子ビットとするアイデアは集積性や演算効率の面から有用とされ、広く研究されています。この電子スピン量子ビットの実用化は将来の高度情報化社会に向けて急務と思われます。

量子状態の全体像の推定が可能に

この研究では、左右の量子ドット上（図1のLとR）と量子ドット間（図1のB）に配置されたゲート電極の電圧を断熱的に調整した後、左右の量子ドットに滞在する電子数を測定するという方法を提案しました。ここでゲートLとRの操作は二つの量子ドット内の静電エネルギーを、ゲートBの操作は電子の量子トンネル確率をそれぞれ変化させることに相当します。私たちは、半導体中電子のスピン-軌道相互作用を考慮した量子トンネル過程を取り入れ、

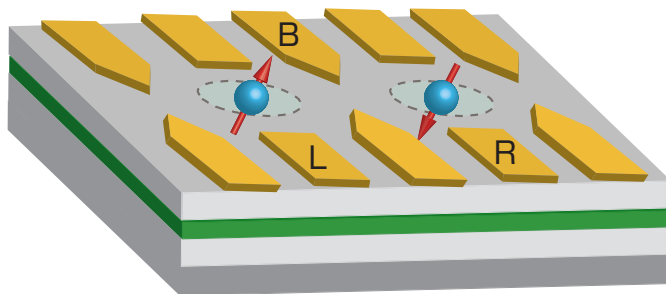
理論的な解析を行いました。

二つの量子ドットに滞在する電子数をそれぞれ測定し、電子の集団として処理するアンサンブル平均を取ると、左右の電子数差は重ね合わせ状態における一重項と三重項の相対位相の関数として振動することを発見しました。これによりスピン一重項・三重項が現れる確率と2状態間の相対位相を同時に測定することができます。

これまでの方法で得られる情報は一重項と三重項の相対振幅のみでしたが、この方法では相対位相も特定できることから量子状態の全体像を推定することが可能です。

今後の展開

電子スピンを利用した量子ビットの実用化には、GaAsなど材料のさらなる高品質化に加え新たな量子機能の付加・強化のための理論的提案も不可欠です。固体素子による量子インターフェースの実現に向けて新たな量子デバイスの設計を行い、将来の量子情報社会の基盤技術を確立したいと考えています。



二重量子ドットの模式図

青い球が1個の電子を、赤い矢印がスピンの向きを、点線は電子が存在し得る範囲（量子ドット）を表す。表面の黄色い部分はゲート電極である。

自由電子レーザーで単色赤外線と準単色X線の同時発生

赤外線とX線のエネルギー可変2色ビーム光源を開発



清 紀弘

せい のりひろ

sei.n@aist.go.jp

計測フロンティア研究部門
光・量子イメージング技術研
究グループ
主任研究員
(つくばセンター)

ミリ波からX線領域まで、電子加速器を利用した光源開発に従事しています。自由電子レーザーが誘起する短波長単色光は以前から研究が進められておりましたが、最近はさらに幅広い波長域で強い放射を行っていることが明らかになってきました。自由電子レーザー起源の光源を開発し、自由電子レーザーとのコラボを目指しています。

関連情報:

● 共同研究者

山田 家和勝、小川 博嗣 (産総研)

● 参考文献

N. Sei *et al.*: *Infrared Phys. Technol.* 51, 375 (2008).

N. Sei *et al.*: *J. Phys. Soc. Jpn.*, 77, 074501 (2008).

N. Sei *et al.*: *Opt. Lett.*, 34, 1843 (2009).

● プレス発表

2009年8月3日「小型自由電子レーザー装置を用いて赤外線-X線の同時発生に成功」

赤外域で蓄積リング自由電子レーザーの発振

自由電子レーザー専用の電子蓄積リングNIJI-IVに、赤外線専用の挿入光源である光クライストロンETLOK-IIIと振幅が0.5 μm以下の高安定光共振器を加え、波長域0.84 ~ 1.58 μmにて自由電子レーザーの発振に成功しました。線幅は赤外自由電子レーザーとしては最も狭い0.5 nm以下で、高精度の分光測定に利用可能です。光共振器から取り出せる最大出力は1.6 mWですが、光共振器内には最大で約5 Wのレーザー光を蓄積できます。最大輝度は約 10^{15} Photons/s/mm²/mrad²/0.1 %b.w. で、赤外域の蓄積リング光源としては世界最高輝度を達成しました。今後の波長域の拡大によって、赤外多光子分解を利用した高精度の同位体効果測定に応用でき、医学分野などから切望されている同位体分離・濃縮法の開発に寄与できると期待しています。

逆コンプトン散乱による準単色X線の発生

自由電子レーザーの発振のためには電子蓄積リング内に一つの電子バンチがあれば良いのですが、複数の電子バンチを用いて自由電子レーザー発振を行う技術を開発しました。上記赤外自由電子レーザー光と電子バンチとを用いた逆コンプトン散乱によって、準単色のX線ビーム

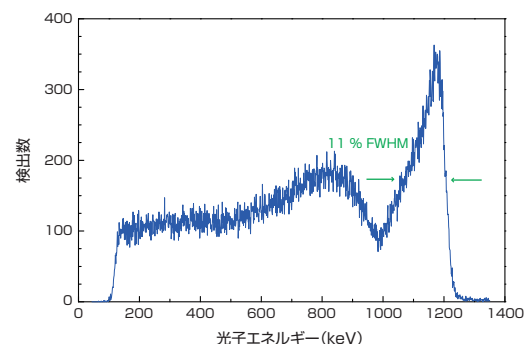
の発生にも成功しました。電子バンチの間隔を任意に選択できますので、磁場のない領域で逆コンプトン散乱を生じさせることが可能になり、発生するX線ビームの単色度を良くすることができます。X線ビームのエネルギーは自由電子レーザーの波長によって可変で1.2 ~ 2.1 MeV、最大収量は 10^6 Photons/sでした。エネルギーが0.3 MeV以上の単色X線ビームは大型放射光施設でも発生が困難です。赤外自由電子レーザーと準単色X線ビームは完全に同期して射出されるため、赤外線とX線を複合させて材料開発分野で新たな研究領域の開拓を目指しています。

今後の展開

私たちは複数の自由電子レーザーパルスと電子バンチとを挿入光源外で逆コンプトン散乱させる技術を新たに開発しました。この技術を先端加速器へ応用すると、 10^{12} Photons/sにも達する収量の準単色X線ビームが得られると予想されます。このようなX線ビームは、電子運動量密度分布の定量的測定のような巨大磁気抵抗効果などの電子状態研究の光源に適していると考えられます。準単色X線ビームの高収量化へ向けてさらなる研究を進めていきます。



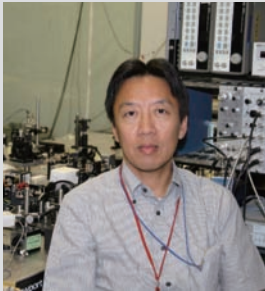
自由電子レーザー専用の電子蓄積リングNIJI-IVの写真



自由電子レーザー逆コンプトン散乱X線のエネルギースペクトルの一例

光ファイバーリンクによる高精度周波数計測

ストロンチウム光格子時計の遠隔絶対周波数測定



洪鋒雷 Feng-Lei Hong
こうほうらい
f.hong@aist.go.jp

計測標準研究部門
時間周波数科 波長標準研究室
室長
(つくばセンター)

専門は量子エレクトロニクス。レーザーの周波数安定化、レーザー分光、光周波数コムおよび光周波数標準の研究・開発に従事しています。この研究においては、光ファイバーの調達は大変でしたが、異なる研究機関の数多くの研究者と一緒に仕事できたことが非常に有意義でした。

関連情報：

● 共同研究者

稲場 肇、柳町 真也、高見澤 昭文、渡部 謙一、池上 健、今江 理人、藤井 靖久、雨宮 正樹（産総研）、武者 満、中川 賢一、植田 憲一（電気通信大学）、香取 秀俊、高本 将男（東京大学）

● 参考文献

F.-L. Hong *et al.*: *Opt. Lett.*, 34, 692 - 694 (2009).

● この研究の一部は、独立行政法人 科学技術振興機構の「CREST」の支援を得て行われました。

背景

時間・周波数標準は、その精度が15桁で、あらゆる計測量の中で最も正確に計測でき、長さや電圧などほかの基本単位の精度をも支えています。一方、新しい時間・周波数標準として提案されている光格子時計は現在すでに16桁の精度を実現し、原理的には17桁を超える精度が実現できます。また、現状の時間・周波数標準の比較に用いられているGPS衛星の方法では、比較精度として約15桁で、光格子時計の周波数値をこれまでの定義であるセシウム原子時計を基に決めるのに長い測定時間を必要とし、さらに光格子時計同士を比較するにも精度が不十分です。産総研と電気通信大学および東京大学の共同研究チームが、非常に短い測定時間で光格子時計の周波数値を決めたり、光格子時計同士を比較したりする技術を開発しました。つくばから東京までの実際に敷設されている長さ120 kmの光ファイバーを用いて、世界で初めて100 km超えの光キャリア伝送を行い、つくばの周波数標準を基に東京大学のストロンチウム光格子時計の精密周波数測定を行いました。

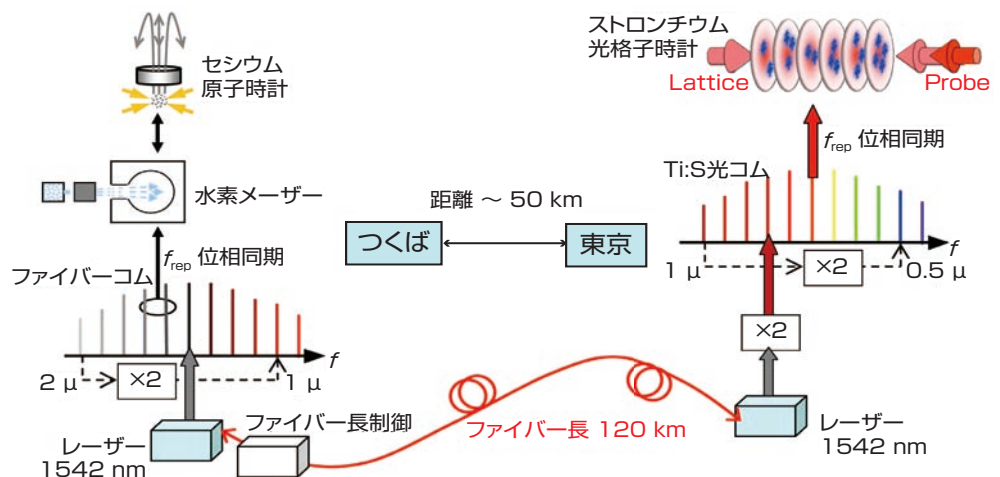
て、ストロンチウム光格子時計の遠隔周波数計測システムを構築しました。つくばでは、1.5 μmのレーザーが光周波数コムを経由して、水素レーザーに位相同期され、その光が東京に送られました。東京には、別の1.5 μmのレーザーを置き、その周波数をつくばから伝送された光周波数に位相同期しました。このレーザー光の一部は、つくばに返送され、元の光との位相比較によるファイバー長の変動の検出および制御に使われました。ファイバー長制御で位相雑音を減らした結果、1秒の平均時間における周波数伝送安定度は、 8×10^{-16} に達しました。このシステムを利用して、わずか3時間の測定で 5.6×10^{-15} の不確かさで東京大学のストロンチウム光格子時計の絶対周波数を決定することができました。決定されたストロンチウム光格子時計の周波数429 228 004 229 874.1 (2.4) Hzは、国際度量衡委員会で採択され、秒の再定義の候補である「秒の二次表現」の周波数値更新のために貢献しました。

今後の展開

光ファイバーによる高精度周波数リンクの実用性が示されました。今後は、その高い周波数安定度を利用し、遠隔の光格子時計同士の比較などにも取り組んでいく予定です。

120 km光ファイバー伝送による絶対周波数測定

水素レーザー、原子泉方式のセシウム原子時計、光周波数コムおよび光ファイバー長制御装置など高精度周波数計測のツールを総動員し



つくば-東京間の光ファイバーリンクを用いた光周波数伝送および絶対周波数測定

糖ヌクレオチド合成活性を持つ耐熱性酵素

糖鎖合成用基質を効率的に供給できる安定性の高い酵素の発見

特許 第4224581号
(出願2003.6)

研究ユニット:

セルエンジニアリング研究部門

適用分野:

- 糖鎖関連分野
- 創薬分野
- 化学工業分野

目的と効果

糖鎖の合成時には単体の糖ではなくヌクレオチドと結合した糖ヌクレオチドが基質として用いられます。この糖ヌクレオチドを合成できる安定な酵素は、効率的な糖ヌクレオチドの供給のために必要です。超好熱古細菌ゲノム情報を利用した探索の結果、糖ヌクレオチドを合成できる熱に安定な酵素を発見しました。この酵素を用いると効率的に糖ヌクレオチドを生産できるので、タンパク質医薬品への特徴的な糖鎖の付加の際の基質供給が可能になります。また熱に安定なので固定化することでリサイクルが可能となり、糖ヌクレオチドの安価な供給にも貢献できます。

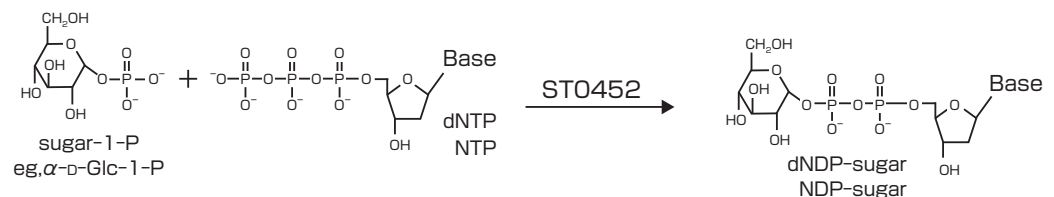
技術の概要、特徴

超好熱古細菌のゲノム情報中から発見された、糖ヌクレオチド合成活性を持つと推定される酵素を大腸菌で生産させました。その酵素の特徴・機能・活性を解明したところ、80℃で3時間加温しても半分の活性が残り、熱に対してとても安定なことが明らかとなりました。活性については、グルコース1リン酸をはじめさまざまな糖リン酸とさまざまなヌクレオチド

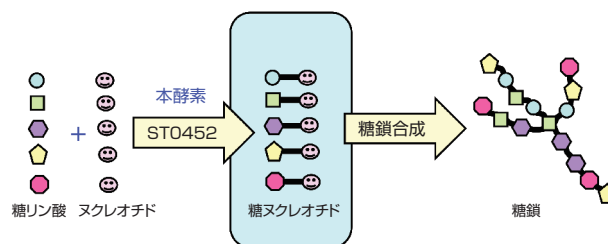
3リン酸分子を結合させて、糖ヌクレオチドを合成できることがわかりました。確認された活性は、アミノ酸配列の類似性から予測されていた以外の活性も含んでいました。これは、超好熱古細菌がもつ酵素・タンパク質には、既知の酵素との単なる類似性からは予測もできない多くの可能性を秘めていることを示しています。

発明者からのメッセージ

超好熱古細菌が持っている全ての酵素・タンパク質は熱にとっても安定だという特徴を持っています。そのほかにも、複数の活性を併せ持っているとか、これまでに発見されていない組み合わせの基質を用いるなどさまざまな新規機能・活性を示すものもあります。さらに、ヒトや大腸菌の酵素では毒性を示すような金属イオンを有効に利用できます。熱に強いだけでなく、普通の酵素・タンパク質には毒性を示す有機溶媒を含む反応液中でも機能を示します。これらの特性から超好熱古細菌は、化学工業で利用されている条件でも利用可能な新規酵素・活性を発見する可能性が高いことを示しています。今後さらなる活性の探索により、有用な酵素が多数発見される可能性があります。



本酵素(ST0452)がつかさどる糖ヌクレオチド合成反応: 糖とヌクレオチド結合反応のスキーム



さまざまな糖リン酸とヌクレオチドとの結合反応により合成された糖ヌクレオチドは、タンパク質表面等での糖鎖合成の基質としての応用が可能

知的財産権公開システム (IDEA) は、皆様に産総研が開発した研究成果をご利用いただくことを目的に、産総研が保有する特許等の知的財産権を広く公開するものです。

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/>

静電気で駆動する3次元マイクロステージ

アイデア次第で新しいデバイスにも応用可能

特許 第4143729号
(出願2004.3)

●関連特許

登録済み：国内1件
海外4件
出願中：国内1件

研究ユニット：

先進製造プロセス研究部門

適用分野：

- 走査プローブ顕微鏡
- マイクロコンピュータ
- 光スキャナー

Patent Information のページでは、産総研所有の特許で技術移転可能な案件をもとに紹介しています。産総研の保有する特許等のなかにご興味のある技術がありましたら、知的財産部門、産総研イノベーションズまでご遠慮なくご相談下さい。

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：029-861-9232

FAX：029-862-6159

E-mail：aist-innovations

@m.aist.go.jp

目的と効果

微動機構で使用されるピエゾアクチュエーターは、サイズに比較して変位量が小さいという欠点があり、またヒステリシスがあるために正確な位置決めを困難にしていました。そこで、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術によって、数mm角のシリコンチップ上に、ヒステリシスのない櫛歯型静電アクチュエーターで駆動する3次元マイクロステージを実現しました。開発したステージは、AFM (原子間力顕微鏡) の走査機構としても利用でき、計測技術の高度化を通じ、科学技術の発展に寄与します。また、3次元の動きを生み出す仕組みは家電や情報機器にも利用でき、それらの性能を向上させることも期待できます。

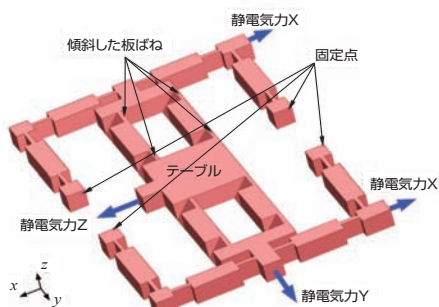
技術の概要、特徴

基板に対して平行な櫛歯型静電アクチュエーターの変位から、垂直方向の運動成分を得るために、テーブルを支えるサスペンションに基板に対して斜めに傾いた板ばねを組み込み、その弾性変形を利用することで、運動方向を変換で

きるようにしました。さらに、各アクチュエーターを拘束する補助サスペンションを追加して3組の静電アクチュエーターの干渉を防ぐことで、水平方向に最大約7 μm、垂直方向に最大約3 μmの変位を実現し、AFMの駆動機構として3次元マイクロステージを用いて形状像の取得に成功しています。ピエゾスキャナーと比較したときのほかの特長として、高温環境への対応、高い固有振動数も挙げられます。

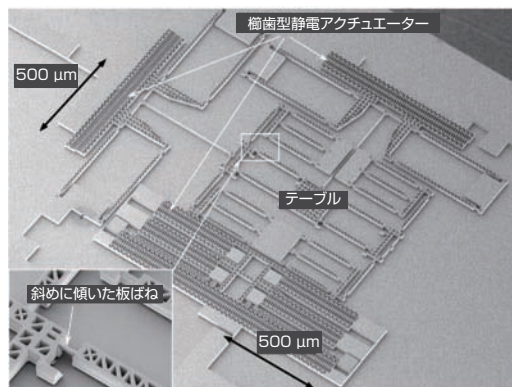
発明者からのメッセージ

3次元マイクロステージは、基本特許にあたる「静電アクチュエーターの運動方向変換機構」(特許4143729号)を利用して実現されました。この基本特許は、MEMS技術との相性が良く、その結果、簡単なプロセスで3次元マイクロステージを作製し、動作させることができました。斜めに傾いた板ばねの向きを調整することで、並進運動に代えて回転運動をさせることもできます。例えば、テーブルにレーザー光を照射し、光スキャナーとして利用することも可能です。



3次元マイクロステージの原理

基板に対して平行な3つの力(静電気力X、Y、Z)から基板に対して垂直の動きを実現するところに特長がある。その鍵を握るのがテーブルを支えるサスペンションに組み込まれた傾斜した板ばねである。



3次元マイクロステージの電子顕微鏡像

ステージ部全体のサイズは1.2 mm×1.4 mm、厚さは0.02 mm。MEMS製造技術を利用して作製しているので、大量生産も可能。

金属系生体材料の耐久性に関するJIS制定

インプラント産業の活性化を目指した標準基盤研究の実施



岡崎 義光

おかざき よしみつ

y-okazaki@aist.go.jp

人間福祉医工学研究部門
高機能生体材料グループ
主任研究員
(つくばセンター)

高生体親和性チタン材料の製造、高機能インプラントの製品開発、インプラント産業の活性化を目指した標準基盤研究を「くらしとJISセンター」において実施し、整形インプラント分野を中心に数多くのJISの制定および開発ガイドラインの策定に向け積極的に貢献しています。日本臨床バイオメカニクス学会、日本人工関節学会、日本整形外科学会などを中心に臨床の先生と密接に連携しつつ、優れた技術の早期実用化を目指して活動しています。

関連情報：

[1] 1. 適応範囲、2. 引用規格、3. 用語及び定義、4. 試験装置、5. 試験片、6. 疲労試験手順、7. 試験結果の表し方、8. 試験結果の比較、9. 試験結果の報告

[2] 1. 適応範囲、2. 引用規格、3. 用語及び定義、4. 試験装置、5. 切欠き試験片、6. 疲労き裂進展試験、7. 試験結果の報告、附属書A、附属書B、附属書C

今回紹介するJIS

前号の10月号では、骨接合用品の力学的試験方法に関して制定されたJIS 3件の紹介をしました。今回は金属系生体材料の耐久性に関して制定されたJIS 2件を紹介します。

JIS T 0309：2009

金属系生体材料の疲労試験方法

JIS T 0310：2009

金属系生体材料の切欠き効果及び疲労き裂進展特性の試験方法

このJISによって、国内のインプラント(生体内埋め込み材料)の利用に必要な製造承認の迅速化が期待されるとともに、わが国の医療産業の活性化が見込まれます。

これらは、独立行政法人 製品評価技術基盤機構と共同で、2001～2006年度まで標準基盤研究を実施し、2009年8月25日に、金属系生体材料の耐久性に関して制定されたものです。

金属材料は、骨接合用品、人工関節などの素材として非常に多く用いられ、力学的信頼性のより優れた製品を開発するためには、室温強度および延性に加えて疲労特性の把握が重要となります。制定されたJISの内容を以下に概観します。

1. 金属系生体材料の疲労試験方法

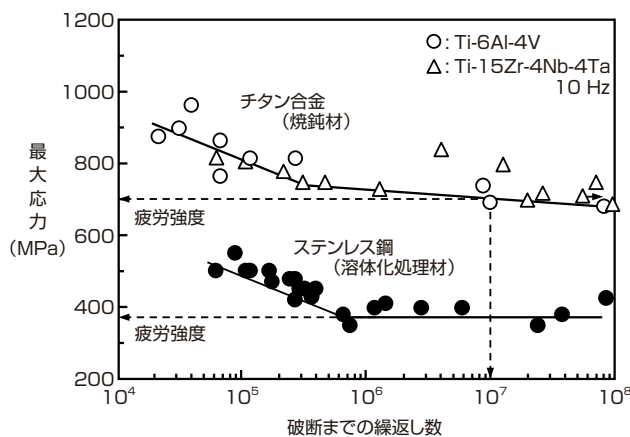
ステンレス鋼、コバルトクロム合金、チタン材料などの金属材料の化学組成、金属組織、製造工程、表面性状、表面処理などが疲労特性に及ぼす影響について試験を実施し、力学的信頼性の向上を目的とした項目^[1]が規定されています。

疲労強度は、 1×10^7 回以上までS-N曲線(縦軸に最大応力、横軸に破断までの繰返し数を対数目盛りで表示)を測定することで評価でき、サイン波、応力比(最小応力/最大応力) = 0.1で測定した例を図に示します。

2. 金属系生体材料の切欠き効果及び疲労き裂進展特性の試験方法

インプラント製品では、切欠きまたは応力集中箇所が存在することが多く、き裂をもつ素材の疲労破壊試験を行うことで製品の力学的信頼性を向上できます。材料の金属組織、強度、疲労特性などに及ぼす切欠き効果および疲労き裂進展特性の試験を実施し、力学的信頼性の向上を目的とした項目^[2]が規定されています。

以上、2回にわたり研究成果を紹介してきましたが、当グループではこうした標準化研究を進めることによって、インプラント産業の活性化に資する活動を実施しています。



S-N 曲線の測定例

東北地方を襲った平安時代の巨大津波

千年以上前の津波の実態を多分野の研究者との連携により解明



澤井 祐紀

さわい ゆうき

yuki.sawai@aist.go.jp

活断層・地震研究センター
海溝型地震履歴研究チーム
研究員
(つくばセンター)

小さな化石の記録から過去の環境変動を調べたことが、私の研究の始まりです。現在はその経験を活かし、海溝型巨大地震による津波や地殻変動の痕跡を堆積物と化石を使って解読しようとしています。主な調査地域は、北海道、東北地方、チリ、アメリカ、タイです。これらの地域で得られた結果を基に、巨大地震の発生サイクルの解明に貢献したいと考えています。

関連情報：

●共同研究者

岡村 行信、宍倉 正展、行谷 佑一（産総研）、佐竹 健治（東京大学）

●参考文献

[1] 阿部 壽 他：地震2 報，43, 513-525 (1990)。

[2] K.Minoura, S.Nakaya: *Journal of Geology*, 99, 265-287 (1991)。

[3] 佐竹 健治 他：活断層・古地震研究報告，8, 71-89 (2008)。

●関連情報

この研究は、文部科学省「宮城県沖地震重点調査観測」（代表機関：東北大学）の一環として行われたものです。

歴史記録に残された仙台平野の巨大津波

平安時代に編さんされた日本三代実録には、貞観十一年五月二十六日（西暦869年7月9日）に以下のような記録があります－陸奥國地大震動。流光如晝隱映。（中略）去海數十百里。浩々不辨其涯俟矣。原野道路。忽爲滄溟。乗船不遑。登山難及。溺死者千許。資産苗稼。殆無孑遺焉－。これは、陸奥の国において大きな地面の揺れが発生し、その後の津波によっておよそ1000名の溺死者がでたことを示しています。当時の陸奥国の国府は、現在の岩沼市もしくは多賀城市にあったとする説がありますが、いずれにしても仙台平野周辺が大きな揺れや津波の被害を受けたことは間違いありません。この津波は、発生したときの元号から「貞観津波」と呼ばれてきましたが、当時の浸水域や、津波の波源などは具体的にはわかっていませんでした。

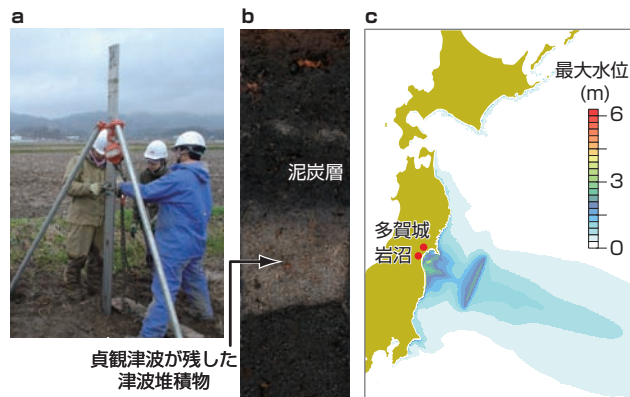
貞観津波の痕跡－平野に残された津波堆積物^{たいせき}－

巨大な津波が沿岸部を襲った場合、その大きなエネルギーによって海底や海岸の一部が削り取られ、それらが別の場所に運搬され再堆積します。これを「津波堆積物」と呼び、その分布や年代を調べることで過去に襲来した巨大地震の浸水域や再来間隔を知ることができます。貞観津波の津波堆積物は東北大学などによって既に発見されていましたが^[1, 2]、私たちはさらに研究を進め、仙台平野と石巻平野に分布する砂質の津波堆積物から貞観津波の浸水域を精度良く復元することにしました。また、地形的な

特徴と年代測定から、津波が来た当時の海岸線の位置を復元することにも取り組みました。現在水田になっている場所で堆積物を細かく調べた結果、貞観津波が来た当時の海岸線は現在より1 kmくらい陸側にあり、津波はそこからさらに1～3 kmほど内陸まで浸入していたことがわかりました。さらに、年代測定の結果から、似たような大きさの津波は500-1300年間隔で仙台・石巻平野を襲っていたこともわかりました。復元された貞観津波の浸水域をコンピューターシミュレーションによって再現したところ、現在想定されている宮城県沖地震よりもはるかに大きい断層が津波波源として推定され、貞観津波は未知の海溝型地震であったことがわかりました。

これからの展開

2004年スマトラ沖地震以降、低頻度で発生する海溝型巨大地震に注目が集まっています。津波堆積物の研究は、巨大地震の長期予測や津波の規模予測に役立てることができそうです。私の所属するチームでは、地形学、堆積学、古生物学、地球物理学の研究者が集まり、津波堆積物から過去の津波の情報を取り出そうとしています。今回紹介した貞観津波については2004年度から調査を始め、その実態が徐々に明らかになってきました。今後は、貞観津波についてさらに広い地域を調査し、得られた成果を津波浸水履歴図として出版していく予定です。



a. 仙台平野における堆積物の掘削調査風景。b. この調査で観察された貞観津波による津波堆積物。c. コンピューターシミュレーションによる貞観津波の最大水位分布。佐竹ほか^[3]を改編（行谷 佑一 提供）。

「長さの国家標準」が新方式に 光周波数コム装置を利用し「波長」を高精度化



稲場 肇

いなばはじめ

h.inaba@aist.go.jp

計測標準研究部門
時間周波数科
波長標準研究室
主任研究員
(つくばセンター)

光周波数コムの高精度化・実用化のため、レーザーの設計・製作からそれを利用した計測まで行っています。長さ標準の実現のほか、次世代原子時計のための光周波数コムの開発、企業との共同研究による実用機開発、そして光周波数コムの応用範囲を広げるための研究開発に取り組んでいます。

関連情報：

● 共同研究者

洪 鋒雷、美濃島 薫、保坂 一元、安田 正美、赤松 大輔、大苗 敦（産総研）

背景と経緯

日本の計量法では、産業界・社会で適正な計量を実施できるような「計量トレーサビリティ制度」が定められています。そこでは、国家標準が指定され、国家標準を用いて校正された装置により、事業者がさらに校正していくというように、市販の測定器などの基準が間接的に国家標準で校正されている確実な校正サービスを提供する仕組みとなっています。

これまでは、産総研がもつ「よう素安定化ヘリウムネオンレーザー」という赤いレーザーが国家標準でしたが、産総研では最新のパルスレーザー技術を利用した光周波数コムをさらに発展させ、信頼性の高い「モード同期ファイバレーザー」を利用した光周波数コム「ファイバコム」を採用した装置を開発しました。

新方式の装置の開発を受け、計量行政審議会での審議、経済産業省によるパブリックコメント制度による意見募集を経て、計量法第134条に基づき、2009年7月16日、経済産業大臣により「光周波数コム装置」が新しい長さの国家標準（特定標準器）として指定されました。

新しい国家標準の優れた点と今後の期待

この装置は、従来の「よう素安定化ヘリウムネオンレーザー」に比べ三つの優位性をもっています。

(1) 精度向上（不確かさ低減）

長さの国家標準として発生する「波長（真空中）」が従来に比べ300倍高精度となりました。

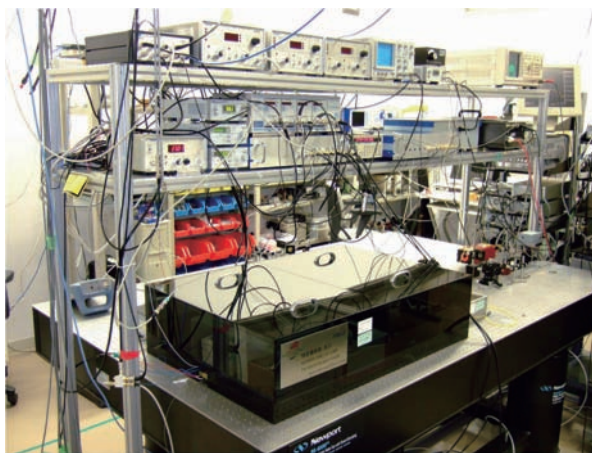
(2) 複数の波長に対応

これまでは、波長633 nmのレーザーの校正しか行えませんでした。光通信帯である波長1.5 μm帯および波長532 nmのレーザーの校正も可能となりました。

(3) 堅ろう性

装置の寿命や動作の信頼性などについても、従来のレーザーをしのいでいる部分があり、これまでよりもさらに確実な標準供給ができるようになりました。

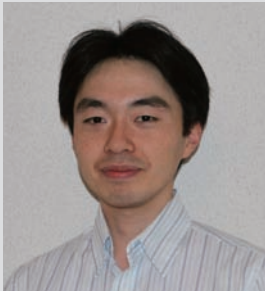
今回、「協定世界時に同期した光周波数コム装置」が国家標準となり、これによる校正サービスが開始されたことにより、新たに校正サービスの対象となった波長安定化レーザーの信頼性が向上し、その結果、新しい光通信技術や安価な精密測長機などが現れると期待されます。



新しい国家標準（特定標準器）である「光周波数コム装置」
アクリルの箱の中にパルスレーザーの本体などがあり、棚の上に制御装置類が設置されている。

分散型熱物性データベース

約3600種類の物質、約10000件の熱物性データを提供中



山下 雄一郎

やました ゆういちろう

yuichiro-yamashita@aist.go.jp

計測標準研究部門
物性統計科 熱物性標準研究室
研究員
(つくばセンター)

2007年4月に産総研入所。以来、分散型熱物性データベースの開発に取り組んでいます。日本熱物性学会の熱物性値サービス委員会メンバーとして、同学会の熱物性データベースの運営にも参加しています。

関連情報：

● 参考情報

閲覧ソフトウェア InetDBGV
<http://riodb.ibase.aist.go.jp/TPDB/DBGVsupport/>

Web ブラウザ版閲覧システム
TPDS-web/full
<http://riodb.ibase.aist.go.jp/TPDB/AJAX/>

● 共同研究者

馬場 哲也 (産総研)

● 参考文献

T. Baba et al.: *J. Chem. Eng. Data*, 54, 2745 (2009).

山下 雄一郎: 計量標準報告, 7, 155 (2009).

分散型熱物性データベース概要

産総研では、熱物性分野の学会、多数の大学・研究機関と協力し、分散型熱物性データベースを1997年より開発してきました。2003年からは、産総研研究情報公開データベース (RIO-DB) の一環として、インターネット上に無償で公開しています。

分散型熱物性データベースでは、固体・流体の熱膨張率、比熱容量、熱伝導率などに加えて、粘度や表面張力などの流体のみにかかわる熱物性値も多数収録しています。収録物質・材料は、純金属や水などの基本的な物質をはじめとして、広範な製品に利用されているステンレス鋼などの実用材料から、透明導電薄膜や熱電変換材料などの先端材料にわたっています。現在、約3600種類の物質に対して約10000件の熱物性データ (1件はグラフ1つに対応) を公開しています (表)。中でも、有機物流体の蒸気圧や表面張力、金属やセラミックスの熱伝導率や比熱容量に関するデータの整備が進んでいます。

データベースの閲覧

データベースの閲覧には、産総研開発の閲覧ソフトウェア InetDBGV (図)、または Web ブラウザ版閲覧システム (TPDS-web/full) を使

用します。InetDBGVでは、基本的な閲覧機能に加えて、複数材料の熱物性データを同一グラフ上に描画でき、材料特性の比較が容易に行えます。大量データを収録したデータベースの閲覧ソフトウェアに材料特性の比較機能を組み込むことで、豊富な候補材料の中から最適な材料の選択が可能となっています。一方、TPDS-web/fullはOSやブラウザの環境に依存しない技術を基に開発しており、一般的なWebブラウザを利用して、誰でもデータベースを閲覧できるシステムとして公開しています。

今後の予定

分散型熱物性データベースが提供する熱物性データは材料開発に寄与するとともに、熱設計や熱対策のための基礎データとして重要な役割を担っています。熱設計の高度化には信頼性の担保されたデータを用いた伝熱シミュレーションを行うことが必要です。その要請に応えるために、データの不確かさに関する情報を充実させるとともに、国内外の研究機関、企業などのデータユーザーとの連携協力をさらに深め、研究開発力の向上に寄与するデータベースへの発展を目指しています。

表 材料別の物性データ収録数

| 物性名 | 収録データ数 | |
|-----------|-------------|-------------|
| | 固体と高温融体 | 流体 |
| 表面張力 | 31 | 3688 |
| 蒸気圧 | 2 | 2112 |
| 熱伝導率 | 507 | 114 |
| 定圧比熱容量 | 371 | 146 |
| 密度 | 47 | 443 |
| 熱拡散率 | 287 | 20 |
| 分光放射率 | 232 | 0 |
| 粘性係数 | 13 | 131 |
| 線膨張係数 | 34 | 0 |
| 合計 | 2417 | 7507 |

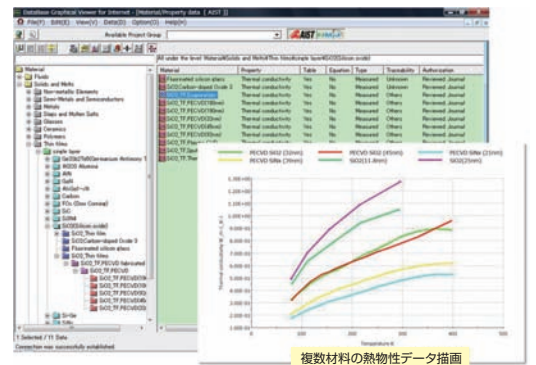


図 InetDBGV 構成画面と複数材料の熱物性データ描画

つくば6研究機関男女共同参画合同シンポジウム 「好奇心が開くつくば発共同参画文化の扉」開催報告

文部科学省 科学技術振興調整費「女性研究者支援モデル育成」事業を実施し、つくば市に拠点を置く6研究教育機関（物質・材料研究機構、森林総合研究所、産業技術総合研究所、筑波大学、農業・食品産業技術総合研究機構、農業環境技術研究所）が、科学技術分野における男女共同参画社会の実現へ向けた連携の推進を目的として、9月8日（火）、つくば国際会議場において合同シンポジウムを開催しました。

岡島 敦子・内閣府男女共同参画局長、福地 伸・茨城県理事兼科学技術振興監、市原 健一・つくば市長、川端 和明・文部科学省基盤政策課長による来賓あいさつの後、神田 紅氏（講師）と小川 美奈氏（宇宙航空研究開発機構）による特別講演が行われました。女流講師の草分けとして入門

した際の苦労話や講談、月探査衛星「かぐや」打ち上げの際の24時間勤務体制におけるメンバー間のサポート意識など、たいへん参考になる内容でした。

28機関が参加したポスターセッションをはさみ、6機関の長によるパネルディスカッションを行いました。男女共同参画に関する問題意識、各機関における理念や具体的な取り組み方針などについて、理事長や学長が自ら



パネルディスカッション

の言葉で述べ、また質問にも熱心に回答しました。パネルディスカッションの最後に、共同宣言「6研究教育機関による男女共同参画宣言」を、野間口理事長が発表しました。

自治体、機関の男女共同参画の関係者、一般の方々など約300名の参加者があり、報道機関による取材も入るなど、この問題に対する関心の高さがうかがえました。



共同宣言を読み上げる野間口理事長

野間口理事長の南アフリカ共和国訪問（4研究機関でワークショップ開催）

産総研は、2007年11月の甘利経済産業大臣（当時）の南アフリカ共和国訪問の際、石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）と南ア地質調査所（CGS: Council for Geoscience）との3者間で研究協力覚書を締結し、レアメタル資源評価の共同研究を実施しています（産総研 Today、2008年1月号）。

本年9月中旬、野間口理事長の国際標準化機構（ISO）総会出席（ケープタウン）にあわせ、9名の研究者などが同行して同国プレトリアを訪問し、理事長が科学技術省次官および三つの公的研究機関（CGS, Council for Science and Industrial Research (CSIR), Mintek）のトップと個別会談を行うとともに、4機関で合同ワークショップを開催しました。

CSIRは、南ア版産総研ともいえるべき研究所で、環境・エネルギー、材料・製造技術、ICT、ライフサイエンスな

どの分野で、国家プロジェクトを中心に、主として“第2種基礎研究”を推進しています。一方、Mintekは、冶金、金属材料分野を中心に、積極的な産業応用の研究を行っています。今回のワークショップでは、研究協力実施中の地質分野に加え、環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料の3分野での今後の研究協力について協議しました。

初日に野間口理事長の冒頭あいさつに続き、4機関がそれぞれ概要紹介を行い、各機関について理解を深めました。2日目は3分野の分科会を行い、参加研究者の研究紹介により相互理解を深めるとともに、研究協力の可能性について議論しました。最後に、全員が集合して分科会での議論を報告し、全体として今後の協力のあり方について討議しました。また、産総研研究者が3機関の研究施設を訪問し、研究機器や研究環境に

ついて理解を深めました。

今回の南ア訪問にあたり、駐日南アフリカ大使館には3機関との調整にご尽力いただき、また、現地では小澤大使をはじめ駐南ア日本大使館に全面的バックアップをいただきました。両国政府関係者の産総研の研究協力に対する期待は高く、この訪問を契機に南アとの研究協力を一層推進させていきます。



野間口理事長とCSIR理事長（後列右から二人目）との会談後の記念写真

直嶋経済産業大臣つくばセンター来所

報告

直嶋 正行 経済産業大臣をはじめ、増子 経済産業副大臣、近藤 経済産業大臣政務官が2009年9月28日に産総研つくばセンターを来訪されました。野間口理事長による産総研の概要説明に続き、午前中は「カーボンナノチューブ大量合成技術の実用化」、「高効率・長寿命太陽光発電の開発」の研究現場を訪れ、大量合成装置や大規模実証試験装置などを視察されました。

昼食後は「ロボットの安全研究拠点」に関する研究開発、およびヒューマノイドロボット、癒やし系メンタルコミットロボット「パロ」やインテリジェント車いすのデモンストレーショ

ンをご覧になり、研究者と質疑を交わされました。その後、つくば西事業所のスーパークリーンルームに移動し、同施設内の装置を直接ご覧いただくとともに、「世界最高水準のナノエレクト



メンタルコミットロボット「パロ」を手にとる直嶋大臣（右）と増子副大臣（左）

ロニクス研究開発拠点の確立」に関する取り組みを視察されました。産総研が行っている研究開発や今後の展開について、一層の理解を深めていただく機会とすることができました。



太陽光発電の説明を受ける直嶋大臣

産総研顧問 石原舜三氏がSGA-ニューモント-ゴールドメダルを受賞

報告

2009年8月19日（水）にオーストラリアのタウンズビルで開催された第10回鉱床地質学会（The Society for Geology Applied to Mineral Deposits（SGA））大会において、石原 舜三 産総研顧問がSGA-ニューモント-ゴールドメダルを受賞しました。この受賞は、この学会が1990年に発足して以来2人目の栄誉あるものです。

受賞理由は、「花崗岩における金属鉱床の成因に関する科学的貢献」で

す。石原顧問は、花崗岩マグマが固まる際の酸素含有量によって異なった金属鉱床ができることを発見し、その理論が普遍的で応用範囲が広いことからこの表彰となったものです。

石原顧問は、日本海側と太平洋側の花崗岩周辺の金属鉱物の濃集分布が異なることから、この理論を見いだしました。プレート運動によって太平洋の海底深く沈んだ堆積岩中の炭素が、

花崗岩質マグマから酸素を奪うことで花崗岩が還元的になり、スズやタンゲステンを濃集します。そのようなことのない日本海側では、花崗岩は酸化的なままで磁鉄鉱を含み、モリブデンや銅、鉛、亜鉛などの鉱物鉱床が発達することになります。

この理論によって鉱床を探索することが容易になり、世界の資源開発に貢献しています。

EVENT-Calendar

イベントの詳細と最新情報は、産総研のウェブサイト（イベント・講演会情報）に掲載しています
<http://www.aist.go.jp/>

2009年11月 → 2009年12月

10月10日現在

| 期間 | 件名 | 開催地 | 問い合わせ先 |
|--------------------|--------------------------------|-----|----------------|
| 11 November | | | |
| 7日 | 産総研一般公開(北海道センター) | 札幌 | 011-857-8428 ● |
| 11日～14日 | 中部地域公設研テクノフェア2009 | 名古屋 | 052-736-7063 ● |
| 13日 | 産総研安全科学研究部門講演会～安全を基軸にした価値観の創造～ | 東京 | 029-861-8868 ● |
| 18日～20日 | バイオマス・アジアワークショップ | 広島 | 029-861-9158 ● |
| 24日～26日 | 日韓国際セラミックスセミナー | つくば | 03-3503-4681 |
| 25日～27日 | 産学官ビジネスフェア2009 | 東京 | 03-5644-7221 |
| 25日～28日 | 2009国際ロボット展 | 東京 | 03-5298-4715 ● |
| 30日 | 「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」シンポジウム | 東京 | 029-861-5599 ● |
| 12 December | | | |
| 2日～4日 | セミコン・ジャパン2009 | 千葉 | 03-5298-4715 ● |
| 11日 | 分散型エネルギーシンポジウム～分散型電源に求められる技術～ | 東京 | 029-861-8942 ● |

●は、産総研内の事務局です。

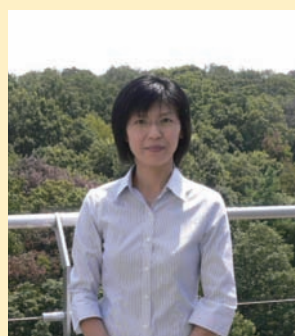
環境浄化およびクリーンエネルギー開発分野におけるレアメタル対策

サステナブルマテリアル研究部門 物質変換材料研究グループ 富田 表子 (とみた あつこ) (中部センター)

近年、希少金属（レアメタル）の世界的な需要増大に伴い、資源に乏しいわが国における産業の持続的発展のため、レアメタルの需給逼迫の改善に向けた研究開発が、その重要性を増しています。物質変換材料研究グループは2009年1月に発足し、環境浄化やクリーンエネルギー開発分野におけるレアメタルの代替や省使用化を目標として、触媒や電極触媒材料の高性能化や高機能化を目指しています。これらを実現するために、金属・酸化物ナノ粒子やナノ多孔質材料およびイオン導電性材料を利用しています。富田さんは、これまでの燃料電池やセンサーに関する研究経験を活かし、現在、イオン導電体を利用した触媒や電極触媒の反応選択性や活性の向上を目指した研究に取り組んでいます。



実験室にて



富田さんからひとこと

燃料電池やセンサーのような電気化学セルでは、電極上での触媒反応が電気化学反応に大きく影響します。例えば、電極触媒上での反応を制御することで特定のガスに対する選択性を持たせることができれば、電気化学セルによるガス検知が可能となります。逆に電気化学反応が触媒反応に影響を与えることもあり、これを利用したのがイオン導電体を担体とした環境浄化触媒です。私は、電気化学反応と触媒反応の相乗効果を利用して、環境浄化やクリーンエネルギー開発分野で用いられるレアメタル低減に貢献したいと考えています。

表紙

上：自由電子レーザー専用の電子蓄積リングNIJ-IVの写真 (p. 22)

下：新しい国家標準（特定標準器）である「光周波数コム装置」(p. 28)

産 総 研
TODAY

2009 November Vol.9 No.11

(通巻 106号)
平成21年11月1日発行編集・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。