

# 産総研

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

# TODAY

06

2006  
June

Vol.6 No.6

特集

## 02 省エネルギー技術の最前線 温暖化防止とエネルギー安定供給に大きな貢献

### リサーチ・ホットライン

- 20 安定動作を実現した CNT トランジスタ
- 22 オーバレイ構築ツールキット Overlay Weaver
- 24 ナノメートルサイズの微細加工技術と装置の開発
- 26 量子ドットを用いた微量タンパク質検出法
- 28 亜臨界水で有機フッ素化合物を無害化
- 30 カーボンナノチューブをポリイミドに均一に分散
- 32 高導電性カーボンナノチューブ

### パテント・インフォ

- 34 簡便で高感度な環境汚染物質測定法 現場使用を考慮した高性能ガスセンサ
- 35 特殊構造を有するポリアミド4 分岐構造の導入による力学特性の改質

### テクノ・インフラ

- 36 火山噴煙観測の新手法 火山ガス組成からマグマ活動を理解するために
- 38 ニーズに応えた低温域の温度計校正サービス 酸素の三重点温度(-218.7916℃)までの校正開始

### ニュース

- 40 文部科学大臣表彰受賞
- 41 産総研のキャッチフレーズをつくりました

# 省エネルギー技術の最前線

## 温暖化防止とエネルギー安定供給に大きな貢献

企画本部 佐山 和弘  
エネルギー技術研究部門 角口 勝彦  
研究コーディネータ（環境・エネルギー担当） 神本 正行

新しいエネルギー源として再生可能エネルギーが注目を集めていますが、省エネルギーは地味ながら温暖化防止やエネルギー安定供給に極めて大きな効果があります。「2030年のエネルギー需給展望」<sup>[1]</sup>では、省エネルギーは新エネルギーに比べてかなり大きな貢献が期待されています（右ページ 図1）し、再生可能エネルギーを大量導入する長期エネルギーシナリオ<sup>[2]</sup>でも、省エネルギーの進展が大前提になっています。

### わが国のエネルギー消費の現状

まず、わが国における2004年度のエネルギー消費の状況<sup>[3]</sup>を眺めてみることにします。産業分野のエネルギー消費（全体の46.3%）が依然として多いものの、民生部門（同27.5%）と運輸部門（同24.7%）での消費の伸びは著しいものがあります。各部門別に見ると、(1) 民生部門では電気機器の動力や照明の他に、給湯、暖房に多くのエネルギーを消費しています。(2) 運輸部門では自家用および貨物自動車のエネルギー消費が圧倒的に多く、また走行時のエネルギー消費が80%以上を占めます。(3) 産業部門では化学工業と鉄鋼業がエネルギー多消費産業です（図2）。

### エネルギー消費の多い部分の削減が鍵

エネルギー消費を削減するには、エネルギー節約の取り組み（電気をこまめに消す等）や価値観（ライフスタイル）の変更、さらには省エネ性能の大幅な改善を促すトップランナー方式のような政策的手段が有効とされています。途上国においては省エネルギーの余地が大いにあります。途上国との温暖化ガス削減事業により排出権を得るクリーン開発メカニズム（CDM）や、先進国との削減事業で得る共同実施（JI）により、わが国の進んだ省エネルギー技術を広めることも重要です。より高度な省エネルギー技術の開発も求められています。特に上記のようなエネルギー消費の多い部分に関わる革新的技術開発が重要です。

### 産総研の取り組み

本特集では、最初に分散型エネルギーネットワークによる省エネルギーを取り上げました。ここでは要素機器の性能向上はむろんのこと、それに加えITやシステム技術による省エネルギー化が重要です。それに続き民生部門、運輸部門、産業部門ごとに、産総研で行っている研究開発について紹介します。

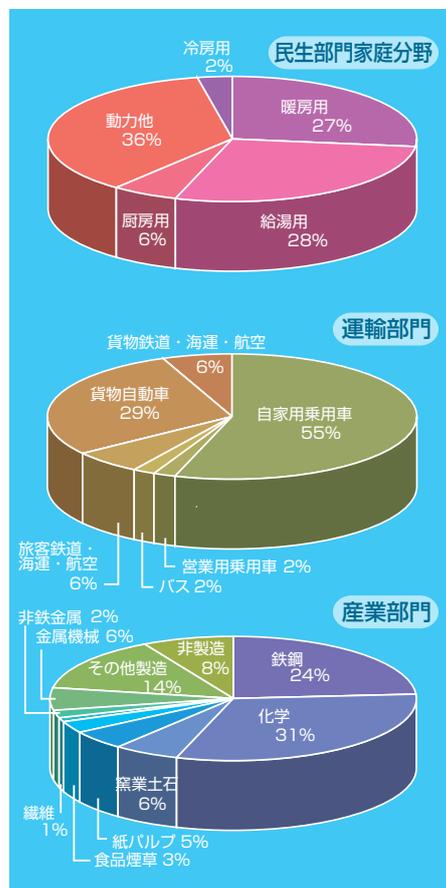


図2 わが国におけるエネルギー消費の現状 (2004年度)

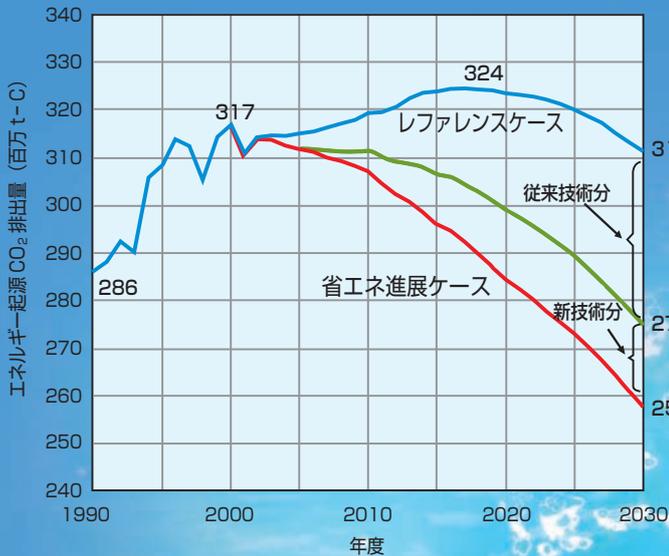


図1 総合資源エネルギー調査会需給部会「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005.3)  
従来技術分にはヒートポンプの効果を、新技術分には燃料電池&分散型の効果をそれぞれ含む(レファレンスで反映している分の効果は除く)。

民生部門ではユーザーが意識することなく省エネルギー効果の出る技術が求められています。産業部門でとりあげた化学産業における革新的環境調和技术では、

省エネルギーだけでなく、あらゆる環境負荷低減を同時に達成することが求められます。パワーエレクトロニクスや電力貯蔵、熱技術等は波及効果の大きい横断

技術です。産総研では、これらの省エネ技術の飛躍的性能向上とコスト低減を目指し、研究開発を進めています。

文献

- [1] 総合資源エネルギー調査会需給部会「2030年のエネルギー需給展望(答申)」(2005.3) <http://www.meti.go.jp/report/data/g50328bj.html>
- [2] 例えば、
  - 産業構造審議会産業技術分科会研究開発小委員会(第13回)配布資料、技術戦略マップ ～超長期エネルギービジョン～ (2005.10) <http://www.meti.go.jp/committee/materials/g51013aj.html>
  - World in Transition: Turning Energy Systems Towards Sustainability, German Advisory Council on Global Change (2003.3) [http://www.wbgu.de/wbgu\\_jg2003\\_kurz\\_engl.html](http://www.wbgu.de/wbgu_jg2003_kurz_engl.html)
- [3] 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編、エネルギー・経済統計要覧(2006.2)

## 分散型エネルギー供給システム実証プラント導入のための高度化改修事業による省エネ効果

産総研つくば中央・東地区は、敷地面積1,135,412m<sup>2</sup>の中に、主要な建物数で134棟、延床総面積では約40万m<sup>2</sup>(平成16年1月末現在)になる大小多数の建物群から構成されています。

これらのうち延床面積比で約7割の建物が、これまで中央地区にあるエネルギーセンター(昭和53年3月完成)から空調用冷熱または温熱の供給を受けてきました。このシステムが老朽化したため、この改修事業(平成14～16年度)により熱源機器の大規模な改修が実施されました。

表1 熱供給地点別の単位敷地、単位延床、単位導管長あたりの熱量比較

No.	名称	竣工	単位敷地あたりの販売熱量	単位延床あたりの販売熱量	単位導管長あたりの販売熱量
	産総研つくば中央・東	S53.3	169.8	657.7	9.1
1	横浜駅西口	H10.8	4,634.4	742.0	364.7
2	大崎1丁目	H11.1	2,613.7	402.1	85.4
3	さいたま新都心西	H12.4	971.3	385.4	38.6
4	渋谷道玄坂	H12.4	2,364.3	670.2	73.0
5	晴海アイランド	H13.4	2,069.3	304.2	113.9
6	東品川4丁目	H14.10	778.6	466.5	177.4
7	汐留北	H14.11	4,494.0	586.7	391.9
8	品川駅東口	H15.4	2,137.5	395.2	79.6
9	六本木ヒルズ	H15.5	4,269.0	745.8	138.7
	<9地点の平均>		2,703.6	522.0	162.6

データ出典：熱供給事業便覧(H16年度版)より算出。産総研の実績はH13年度。

表2 本改修事業による省エネルギー効果

	平成13年度(改修前)	平成17年度(改修後)
電力	1161.4	1125.3
都市ガス	73.7	183.0
灯油	322.9	0
合計	1568.0	1308.3

一次エネルギー換算値 単位：TJ

改修前の調査によって、①供給熱量に対し、過大な容量の熱源が設置されておりそれらも老朽化している、②供給導管が非常に長く搬送動力ロスが大きい(表1)、等の問題が判明したため、この改修では、エネルギーセンターを廃止し、各建物に省エネ性の高い空冷ヒートポンプをはじめとする分散型高効率エネルギーシステムを大規模に導入することで、大幅な省エネ、炭酸ガスの排出削減を目指しました。また、これらの改修により冷温水配管メンテナンス費用の大幅削減、研究内容に柔軟に対応できる空調システムの実現も図りました。対象建物群のエネルギー消費量について平成13年度と平成17年度を比較して、この改修事業(平成16年度末完了)の効果を確認したところ表2のようになり、16.5%の省エネルギーが達成されたことが判明しました。また、炭酸ガスについては約1万8千t(28%)、燃料費・電気料金等については3億円(16%)以上を削減することができました。

エネルギー技術研究部門  
嘉藤 徹

# 分散エネルギーシステムの平準化基盤技術の開発 —電力システムとの協調を目指して—

エネルギーの安定供給確保および地球環境問題への対応を促進するため、再生可能エネルギーの大量導入やコジェネレーションを活用した分散型エネルギーシステムの高度化に対する社会的ニーズが高まっています。

この技術開発では、図1に示す3つの技術を中心に研究を行い、分散型エネルギーシステム導入を促進し、そのアウトカムとして新しいエネルギー産業創出を考えています。

## 電力平準化システム

自然エネルギーを利用する太陽光・風力発電あるいはコジェネレーションなどの分散型電源を積極的に取り入れることは、配電システム内の電圧変動抑制と、システム全体での需給バランス維持の制約のため、火力や原子力発電に大きく依存している現在の電力システムでは大変難しい問題が生じます。

そこで分散型電源を大量導入した配電システムにおいて、系統構成に応じたブロック化・階層化を導入し、ブロック内での協調制御を行いつつブロック間の協調も

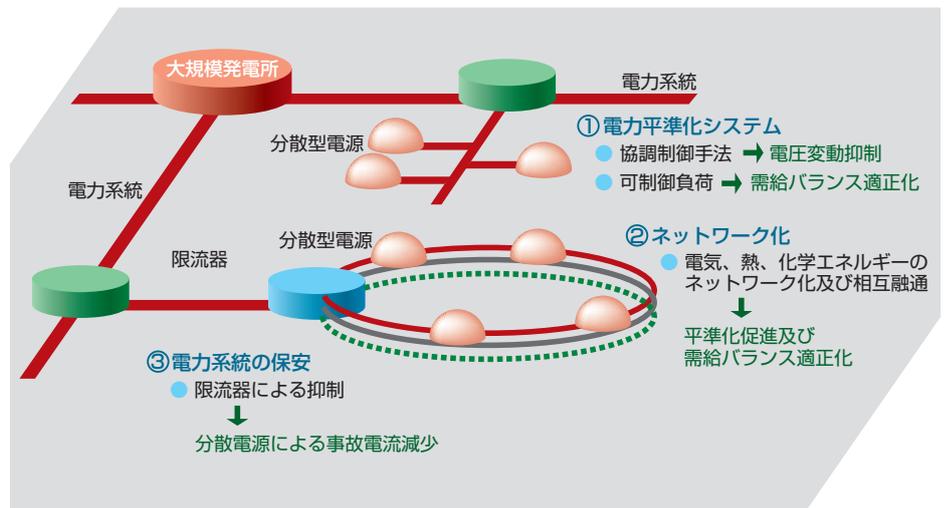


図1 分散エネルギーシステムの平準化基盤技術開発の概念

可能な新規制御手法を提案し、アナログ配電システムシミュレータを用いてこの方式が実際に用いられている配電システムにおいても有効であることを検証しています。

さらに、需給バランス維持のために空調機や電気温水器といった熱負荷の消費電力を制御する手法を検討しています。

## 分散型システム内でのネットワーク化

図2に示すような、エネルギーの需要

家の近くに置かれる複数のコジェネレーション設備を電力、熱および水素のネットワークで結び、それぞれの家庭のエネルギー需要を満たしながらエネルギー相互融通と貯蔵機能を最適制御し、全体として負荷平準化が達成できるネットワーク技術と制御手法の開発を行っています。

需要のパターン、需要量などのデータの集積、システムの形態と制御・運用方法について解析すると同時に、4台の燃

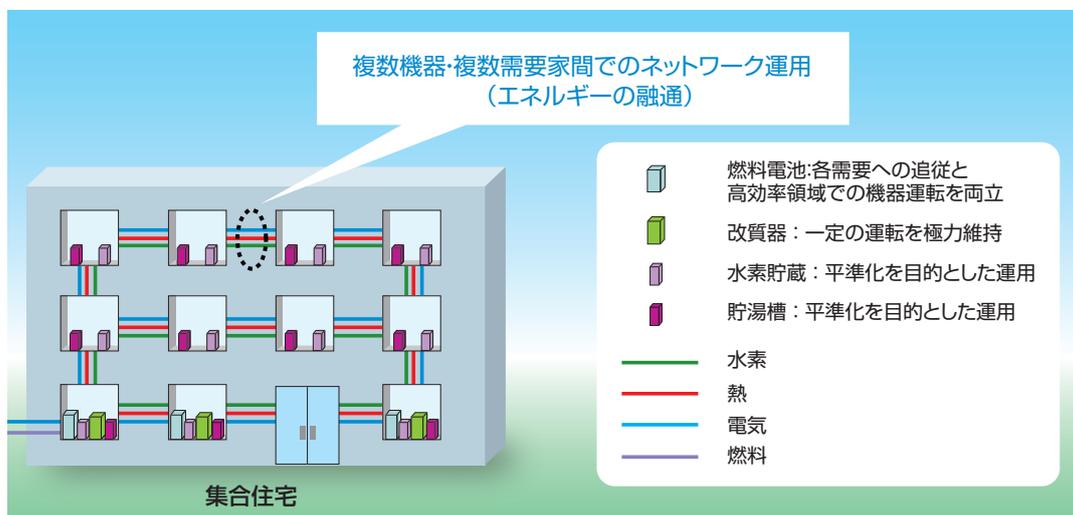


図2 エネルギー融通を導入した燃料電池コジェネシステムの例

## コジェネレーションの実証研究

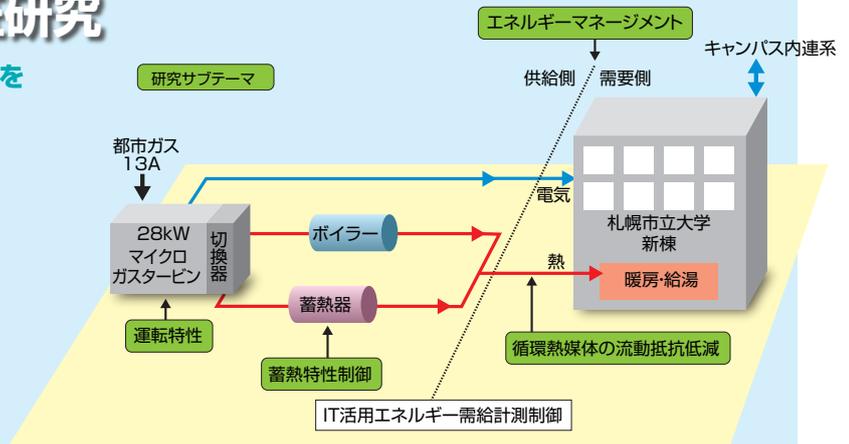
### 分散型エネルギーシステムに不可欠の熱有効利用を可能にする技術の確立

2004年12月に、札幌市と産総研はエネルギーの有効利用を共通の目標として基本協定を結びました。札幌市が技術実証の場所を産総研が技術を提供し、実証研究で協力して地域における先進的で安定した社会生活の実現を目指すという内容です。

今回実証研究を実施する場所は、本年4月に開学した札幌市立大学芸術の森キャンパスの新棟で、新エネ機械室に設置した28kWのマイクロガスタービンで発電を行い、同時に発生する約50kWの熱を暖房・給湯に用いるシステムです。

タービンからの廃熱で固体から液体に相変化する物質を利用した新しい独自の蓄熱方式を採用しています。毎日の蓄熱だけではなく、休日などをはさんだ数日間の蓄熱も効率的に行えることも特徴のひとつです。さらに、過去2年間このキャンパスの校舎で計測したエネルギー需要データを活かし、エネルギーの需給バランスに配慮したシステム運転を行います。また、蓄熱槽と暖房器のループにはポンプを介して温水を循環させていますが、このポンプ動力の低減もシステム全体の効率化を図る上で大きな課題です。そこで、産総研に研究蓄積のある流動抵抗低減技術の導入を、約60kWのポンプを使用している施設を対象にして進めています。

エネルギー技術研究部門  
武内 洋



料電池をネットワーク化した実験装置を用い、実際の家庭で通年計測した熱および電気の需要パターンを組み込み、種々の

運転パターンで実験を行い平準化の評価を行っています。

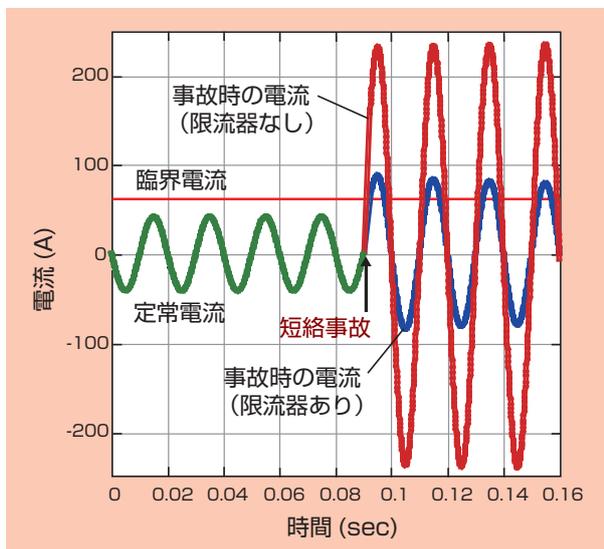


図3 限流器の効果

### 電力系統の保安

分散電源を連系する際に短絡事故電流の増大が問題になります。その対策として、図3のように通常時は低インピーダンス、短絡時に高インピーダンスとなり事故電流を抑制する限流器の導入があげられます。大面積超電導薄膜を用いる限流器が、信頼性、高速性、復帰性能、常時損失の大きさ等の点から優れているため、低コストで実用化する技術開発を行っています。

続くページでは、システム化の際に有用なネットワーク運用の考え方、さらにシステムの中の要素技術として、熱輸送、水スラリーおよびインバータ素子技術について最新の研究成果を紹介します。

エネルギー技術研究部門  
武内 洋

# 熱・電気統合型 ネットワーク技術開発

コージェネレーション利用の高効率化へ

## 熱電併給設備の必要性

発電時に発生する廃熱をも、エネルギーとして有効利用しようとする観点から、熱と電気の両方のエネルギーを同時供給する熱電併給（コージェネレーション）設備の導入が進められています（図1）。しかし、この熱電併給設備は、熱と電気の出力を自由に調整できるわけではないので、熱と電気のエネルギー需要の両方を同時に満足させることができません。

電気エネルギーは種々の利用が可能である汎用性と、電力系統を介した広域運用性という特長を持つ反面、貯蔵が困難であるという欠点を持っています。これに対して、熱エネルギーは汎用性に乏しく広域運用が困難ですが、貯蔵は比較的容易であるという長所を持っています。

このような事情から、熱電併給設備は需要地近傍に設置され、熱需要にあわせて運転せざるを得ません。そして、熱電併給設備の電気エネルギー出力では需要家の需要との間で過不足が生じるので、

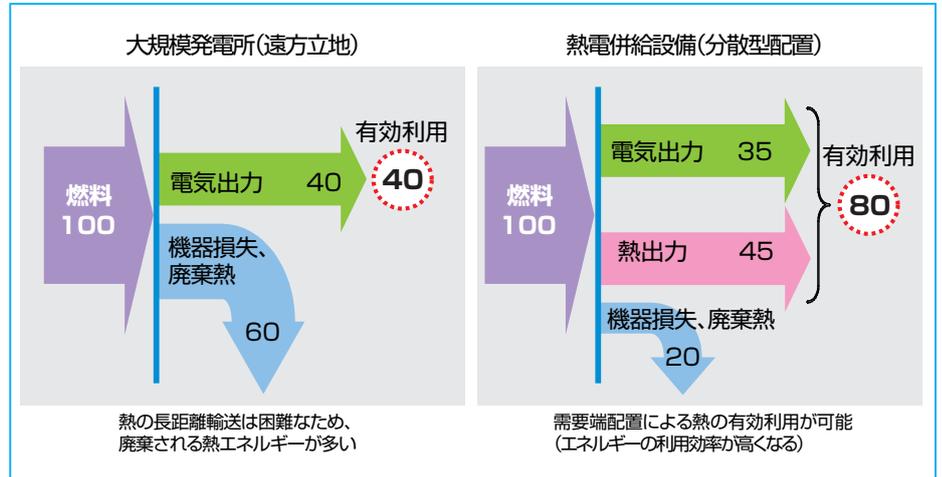


図1 熱電併給設備のエネルギー利用効率改善効果

電力系統に連系することで過不足を補って運用されています。

## ネットワーク運用の効果

前述のように、熱電併給設備は熱輸送の制約から需要家の近傍に設置せざるを得ません。個々の需要家のエネルギー需要は時間的な変化が激しいので、各需要家が自身の需要を満たすように熱電併給

設備を設置・運用することは、設備稼働率の低下や頻繁な出力調整によるエネルギー利用効率の悪化を招くこととなります。

そこで、複数の需要家で設備を共有し、設備稼働率の向上や出力調整の抑制を図るネットワーク運用が効果的であると考えられました。

図2は、住宅地域を対象にした燃料電池（熱電併給設備）ネットワーク運用システムの例です。この例では、貯蔵設備との連携運用によって出力応答性の悪い水素製造装置の運転を平準化するとともに、設備を近隣需要家間で共有することで、必要設備容量の削減（導入初期コストも削減）と稼働率向上を図っています。

このような例の場合、現用システムに比べて、一次エネルギー利用効率で15%程度の改善が期待できます。

エネルギー技術研究部門  
山口 浩

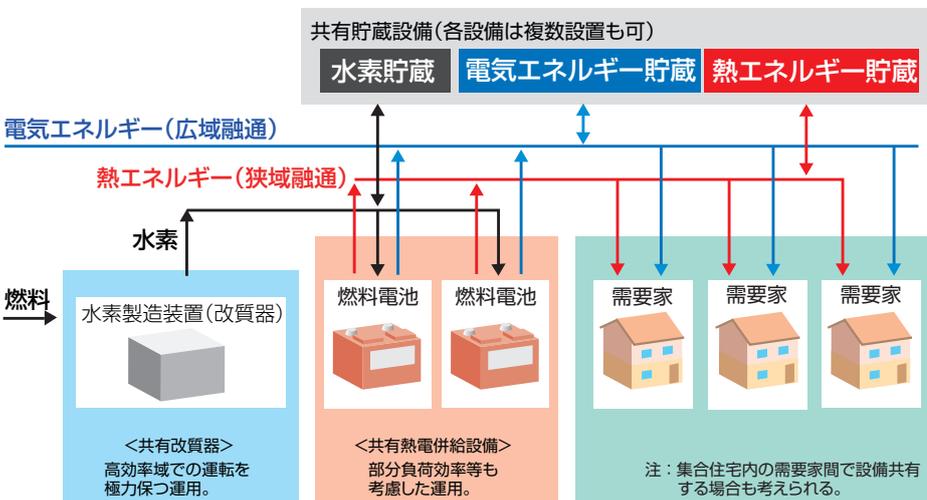


図2 ネットワーク運用システムの例

# 省動力熱輸送技術

## 蓄積・排出の反復による低質熱の利用

### 動力を使わない輸送

マイクロガスタービン、固体高分子形燃料電池 (PEFC) などの分散型電源から発生する 100℃ 前後の排熱の回収と利用は、熱環境の改善と省エネルギーの推進上重要です。ここでは排熱や太陽熱を回収し、動力を使わずに、その熱を数 m ～ 十数 m 移動させる省動力熱輸送技術 (図1) を紹介します。

電磁弁が閉じた状態で排熱により加熱された蒸発器では、内部の熱媒液が蒸発し、蒸気が蓄積します。蒸気圧が既定値に達した時、電磁弁の開放と共に蒸気は低圧管路に流出し、凝縮器に入ります。凝縮器内部には潜熱蓄熱材があり、蒸気は蓄熱材に熱を奪われて一部凝縮します。この凝縮液は残った蒸気により戻り管に運ばれ気液二相流となり、気液分離器を介して蒸発器 (低圧) に戻ります。この過程の反復により、僅かな電磁弁駆動電力だけで間欠的に排熱を蓄熱材まで運ぶことが可能です。熱伝導に置き換えた場合の熱輸送性能は 20 ～ 60 kW/mK で、熱を良く伝える銅 (熱伝導率 0.38 kW/mK) の 50 倍以上になります。また

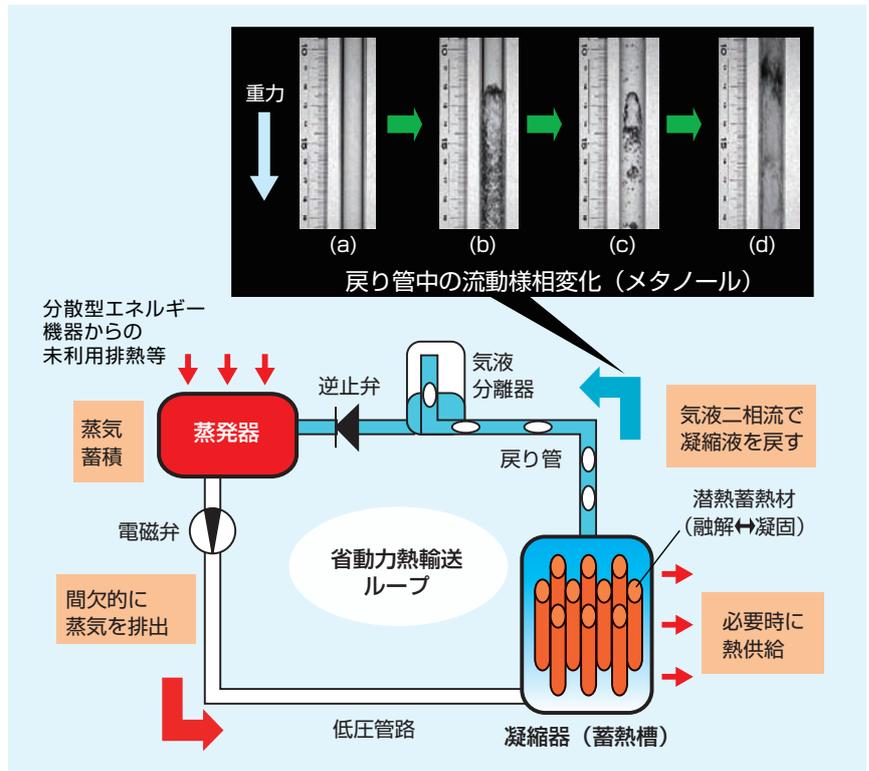


図1 省動力熱輸送ループ概要と熱媒体還流の様子

類似の熱輸送デバイスであるヒートパイプと比べて輸送距離が長くできる、輸送方向が重力の制限を受けにくい等の利点があります。

### 課題と展望

技術的に最も難しいのは、凝縮液を蒸発器に戻すところです。図2はこの時の戻り管内における蒸気と凝縮液の速度の時間的変化を示しています。(T<sub>h</sub>は加熱温度) ここで体積流束とは液または蒸気が単独で管を流れたと仮定した時の速度です。戻り管では液は薄い膜状になって管に付着して流れていますので、蒸気の体積流束のみがほぼ実際の速度になります。蒸気は一時的に 40 ～ 70 m/s にも達しており、高々 100℃ 前後の熱からでも高速の蒸気流が得られることが分かります。このような特徴を用いて、様々な発熱機器の熱回収・冷却等への応用も考えられています。

エネルギー技術研究部門  
角口 勝彦

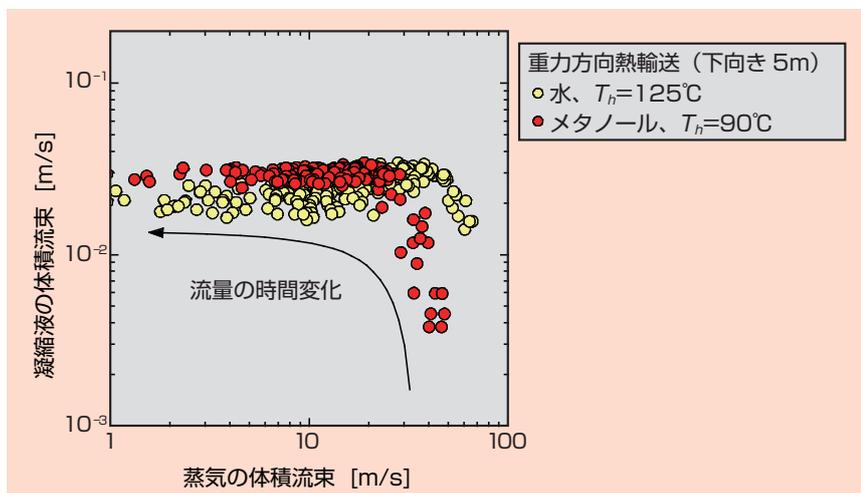


図2 蒸気-凝縮液二相還流の流量変化

# 流れる氷による 冷熱の貯蔵・輸送

大容量の氷スラリー輸送の実用化を目指す

## 氷による冷熱の貯蔵・輸送

分散型エネルギーシステムの導入に際して、冷房などの冷熱利用の効率化は重要な課題です。特に需要と供給の時間的、空間的なミスマッチ解消のために、冷熱の貯蔵や輸送に適した媒体が求められています。冷熱貯蔵技術としては、安全性、経済性、蓄熱密度の観点から、水を媒体とした氷蓄熱が普及してきました。さらに最近では、細かい氷粒子と水を混ぜて流動性の機能を付加した「流れる氷」（氷スラリー）が注目されています。ところが氷粒子は水中で凝集する傾向を持っており、凝集した氷粒子が氷スラリーの貯蔵や輸送を妨げることが問題となっています。

## 流れる氷を作るには —生物機能の応用—

氷スラリーの凝集を防ぐ方法として、寒冷地の生物に特有な凍結抑制タンパク

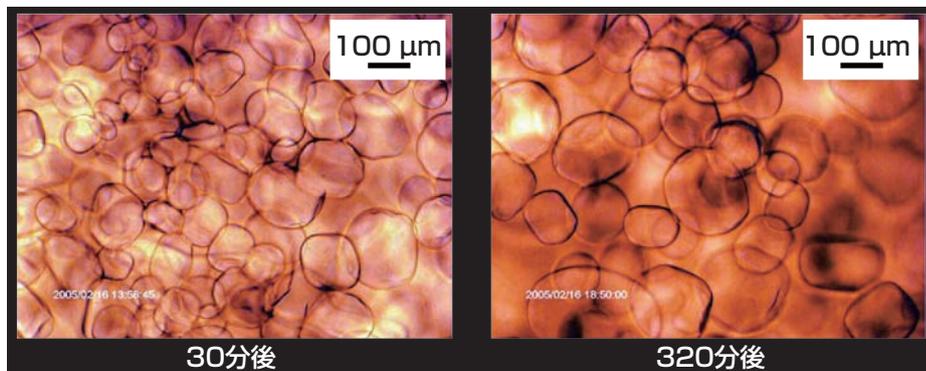


図1 PVA (4.4 mg/ml) を添加して 0°C で保存した氷スラリーの様子

質 (Antifreeze Protein : AFP) の添加が提案されています。AFP を含んだ水の中では、融解点以下の温度でも氷が成長できない温度域が存在します。氷が成長開始する温度と融解点との温度差は、サーマルヒステリシスと呼ばれています。氷スラリーに AFP を少量添加すると、サーマルヒステリシスの効果で氷粒子の凝集が抑制され、氷スラリーの輸送が可能と

なるのです。しかし AFP は現状では高価であり、大容積の氷スラリーへの応用は少し先の話になりそうです。

## 新しい氷粒子の凝集抑制方法 —氷に作用する高分子—

そこで私たちは、AFP と同じ機能を持つ合成高分子を探索し、工業的に広く使われているポリビニルアルコール (PVA) がサーマルヒステリシスを示すことを確認しました。この PVA を氷スラリーに少量添加すると、氷粒子の形状を長時間ほぼ一定に保つことができます (図1)。氷スラリーの保存実験 (0°C、10 時間) では、PVA を添加すると氷粒子の大きさがほとんど変化しないこともわかりました (図2)。現在は流れる氷の実現に向けて、さらに高機能な物質の研究を継続しています。

エネルギー技術研究部門  
稲田 孝明

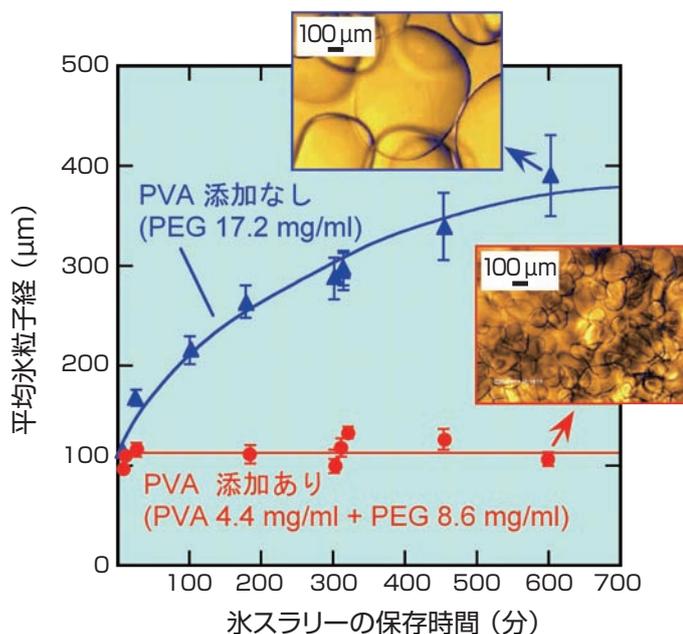


図2 氷粒子径の時間変化に対する添加物の影響 (PEG はポリエチレングリコール)

### 参考文献

- 1) T. Inada and S.-S. Lu, Cryst. Growth Des., 3 (2003), 747-752.
- 2) T. Inada and S.-S. Lu, Chem. Phys. Lett., 394 (2004), 361-365.
- 3) T. Inada and P.R. Modak, Chem. Eng. Sci., 61 (2006), 3149-3158.

# インバータ用の 省エネ SiC パワー素子

## エネルギーネットワークの未来に向けて

### エネルギーネットワークを支える省エネ

SiC 半導体材料を用いたパワー素子の研究開発が近年とみに活発化しています。SiC パワー素子はエネルギーネットワークの中のキーコンポーネントである低損失スイッチング素子として有望視されているもので、産総研ではSiCの単結晶成長から素子開発、インバータ応用技術開発まで、強力に進めています。ここでは私たちが開発したSiCスイッチング素子の成果を紹介します。

### 省エネSiCスイッチング素子の開発

MOSゲート素子は電圧制御型なので使い易く、現在Si素子でもIGBTやMOSFETの形で、数多く実用化されていますが問題点も残されています。SiC-MOSFETが抱える問題点は、MOS界面の界面単位密度が大きく、チャネル移動度が小さいことです。そこで私たちは、独自の新構造素子IEMOSFET(図1)を考案し、構造パラメータの最適化を図るとともに、産総研が開発した界面単位低減策(2種のウェハ結晶面の内のカー

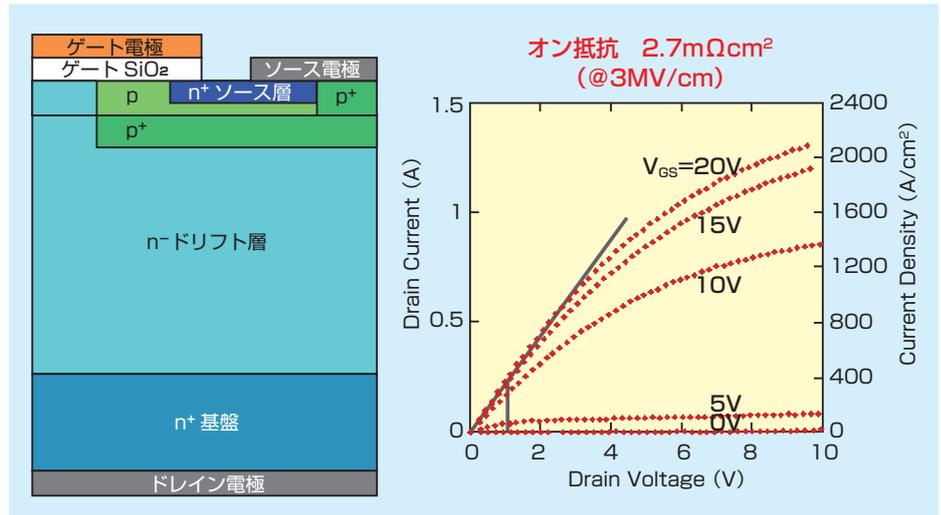


図1 試作したSiC-IEMOSFETの素子構造(左)と出力特性(右)

ボン面の利用、独自のゲート酸化・後処理技術)を適用しました。その結果、耐圧700Vでオン抵抗 $2.7\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ 、チャネル移動度 $72\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ を得ることができました。このオン抵抗値はSi-IGBTの約1/5で、SiC-MOSFETとしては世界最小です。さらに0.8mm角チップで数Aの電流を高速でスイッチできることも確認しています。

SiC-MOSFETのもうひとつの問題は、ゲート酸化膜の信頼性が確定していないことです。それに対して、静電誘導トランジスタSITは、pn接合型ゲート構造のFETであるために酸化膜信頼性の問題がなく、またチャネル移動度はSiC結晶本来の高い電子移動度そのものであることから、低オン抵抗が期待されます。

図2は私たちの研究センターで試作した独自の埋込ゲートSiC-SITです。微細な埋込ゲート構造の製作技術がポイントです。ノーマリーオンではありますが、耐圧700V( $V_g = -12\text{ V}$ )で $1.01\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ とIEMOSFETよりさらに小さい世界最小のオン抵抗を実現できました。

私たちが試作したこれらのSiCスイッチング素子の性能は、いずれもSi-IGBTをはるかに凌駕しており、今後インバータの一層の低損失化に寄与するものと考えられます。

パワーエレクトロニクス研究センター  
奥村 元

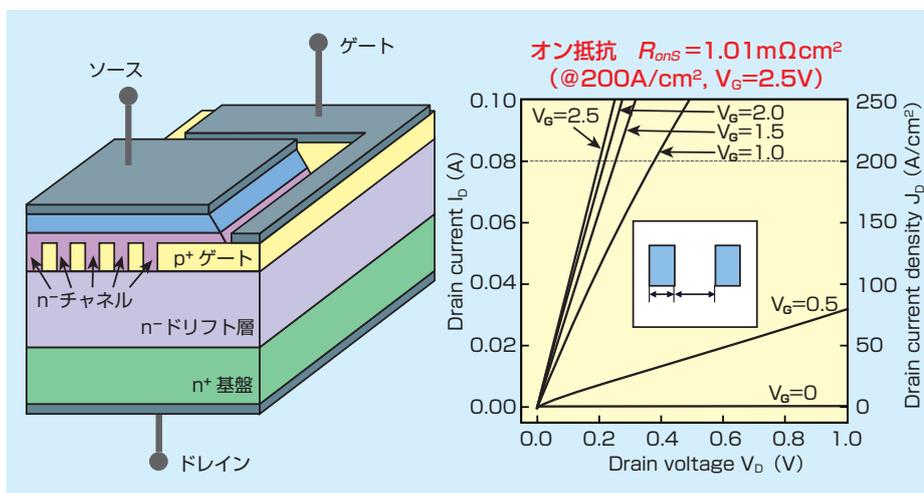


図2 試作したSiC-SITの素子構造(左)と出力特性(右)

# 4端子駆動ダブルゲート MOS デバイス

省エネルギー性と高速性を両立

## 半導体集積回路の微細化が抱える課題

情報技術 (IT) 社会をハードウェア面で支える半導体 (シリコン) 集積回路 (Si VLSI) のこれまでの驚異的な発展は、VLSI を構成する MOSFET の微細化によると言っても過言ではありません。現在、半導体技術世代 (テクノロジーノード) は、すでに 90 ナノメートル世代に入っています。

一方、更なる微細化を進めるにともない、短チャネル効果によるデバイス性能の劣化と、リーク電流の激増による消費電力の増大が危惧されてきました。特に、消費電力の問題は、より深刻になってきています。

## MOSFET の進化

通常バルク MOSFET (図1 (a)) の微細化限界に対して、図1 (b) に示すダブルゲート MOSFET (DGFET) 構造 (この場合はフィン型) にすると、2つのゲートによって強固にドレイン電界をシールドでき、微細化によるドレインとソースの干渉によって引き起こされる短チャネル効果を最小限にできます。このこと

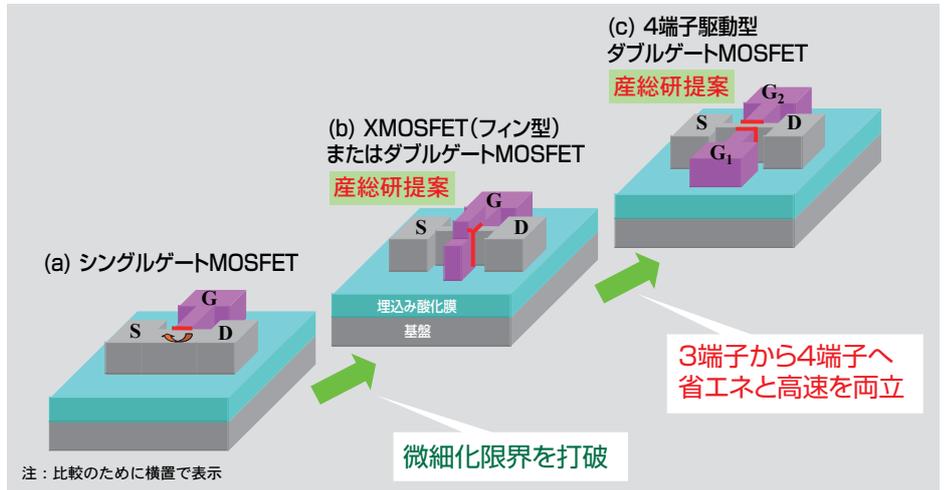


図1 MOSFET の進化

(a) 通常のプレーナー型バルク MOSFET (比較のため横置きで表現)、(b) ダブルゲート MOSFET (DGFET) (フィン型)。電総研提案当初 X-MOSFET と命名、(c) 4端子駆動型ダブルゲート MOSFET (4T-DGFET)。

から、DGFET は最も微細化に適したデバイス構造として世界で注目されています。これは、1984年に旧電総研から世界最初に提案されたもので、当初は X-MOSFET と命名されたものです。

## 産総研の提案する極微細省エネデバイス

この DGFET のさらに進化したデバイスとして、図1 (c) に示した、独立した2つのゲートを持つ4端子駆動型ダブル

ゲート MOSFET (4T-DGFET) を産総研は提案しています。一方のゲート電圧によって、他方のゲートで行うスイッチ動作のしきい値電圧  $V_{th}$  を自在に制御することが可能となり (図2参照)、待機時には  $V_{th}$  を上げてオフ電流を大きく下げ、動作時には  $V_{th}$  を下げオン電流を上げて高速性を保つことができます。極微細化に対処でき、ダイナミックパワー管理により超低消費電力化も可能にする、この 4T-DGFET が、将来の VLSI デバイスの本命になると考えています。

エレクトロニクス研究部門  
鈴木 英一

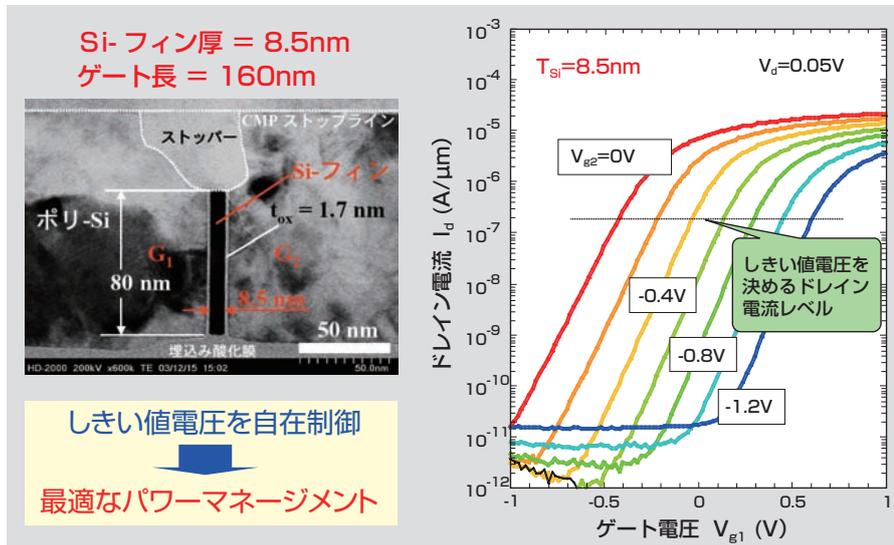


図2 試作した4端子駆動型ダブルゲート MOSFET (4T-DGFET) のしきい値電圧制御特性  
自在なしきい値電圧制御により、きわめて低いオフ電流 (低消費電力性) と高いオン電流 (高速性) の両立可能。

# 太陽熱自動制御の 省エネルギー窓ガラス

季節に調和する夢の窓ガラスの実用化へ

## 窓ガラスと省エネ

住宅や業務用ビルの冷暖房負荷低減には窓ガラスが重要な役割を持っています。例えば、夏の熱侵入や冬の熱流出のうち、それぞれ71%と48%が窓を通して起きると試算されています。

夏季に日射遮蔽性、冬季に断熱性を、窓に持たせられれば、大きな省エネルギー効果が期待でき、さらに窓を通過する光と熱の流れを季節や人間の需要に応じて制御することができれば、快適さを犠牲とせず膨大な量のエネルギー節約が可能になります。

## 産総研が提案する省エネシステム

ここで紹介するのは、省エネルギーと快適さに関わる光と熱の流れを必要に応じて光の波長別に制御または利用することが可能となる、画期的な省エネルギー快適ガラスです。

波長別制御の詳細を図1に示します。健康に有害で室内物品の劣化を促進する紫外線(300～380nm)をほぼ全的に遮断します。同時に、太陽光がもつ紫外線のエネルギーを光触媒薄膜により吸収さ

せ、ガラスのセルフクリーニングや環境浄化機能などに積極的に利用します。可視光領域(380～760nm)の光は常に透過させ、窓本来の役割である透明性を保ちます。人間が暑さや暖かさをもっとも感じる赤外線領域(0.8～2.5μm、1.5μm付近をピークにして人体がもっとも敏感といわれています)の太陽熱については、気温の変化に応じて自動的にその透過量

の制御を行います。つまり、太陽熱が夏には室内に入りやすく、冬には入りやすくし、その切り替えが環境温度によって自動的に行われ、快適な居住環境と省エネルギーを両立させるものです。さらに、遠赤外線領域では常に高い反射率を持たせて断熱性を高め、夏には外からの熱放射の侵入を防ぎ、冬には室内の暖房熱の流出を防ぎます。産総研が作製したガラスサンプルとその光学特性の一例を図2に示しました。

## 夢のガラスの実用化を目指して

省エネルギーと快適さに関わる波長の光の全てを一つの構造により制御または利用できるガラスはまさに「夢の窓ガラス」です。最近、産業界との連携でその「夢のガラス」の実用化への一歩を踏み出しています。

サステナブルマテリアル研究部門  
金平 田澤 真人

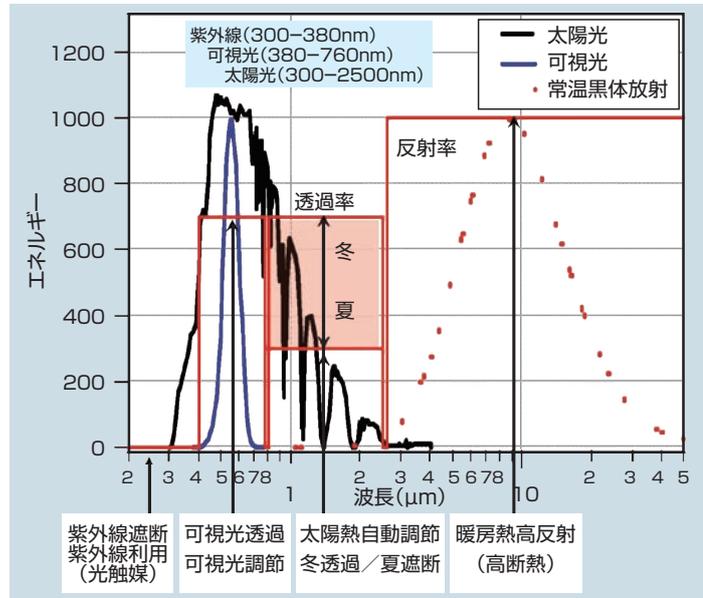


図1 光と熱の流れを波長別に制御または利用

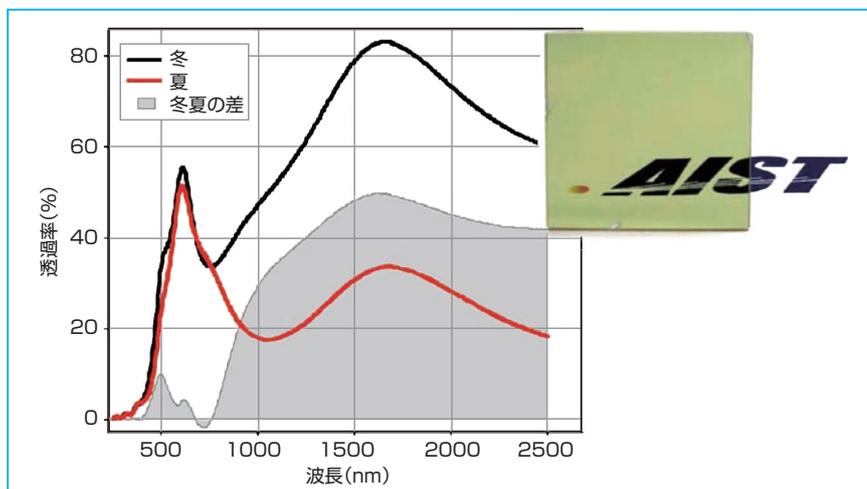


図2 ガラスサンプル実測分光透過率スペクトル及び外観

# 家庭の省エネルギーをめざす技術

消費の実態を知りシステムの高度化を

## 家庭の省エネルギーの難しさ

家庭のエネルギー消費は日本全体の約13%を占め増加傾向にあり、機器の高性能化や、省エネルギー意識向上などの対策が求められています。家庭のエネルギー消費は、熱需要が大きく、コジェネレーションによる省エネルギー化の可能性があります。近年、燃料電池、ガスエンジンなど家庭規模コジェネレーションに対応できる技術が向上しています。しかし、家庭の需要の変動（例えば電子レンジやドライヤーなど家庭規模では大きな電気を消費する短時間の需要は予測不可能、1日の最大/最小電力需要比も時には10以上にもなる。）、家ごとのばらつきが大きいなどの原因で対応する装置類の運用・設計はきわめて難しく、稼働率が低くなり、また、耐久性などによるコスト的問題もあり普及の障害になっています。さらには、家庭用エネルギー機器開発は、電力・ガス・石油などのエネルギー供給会社のシェア競争の舞台でもあり、本当に省エ

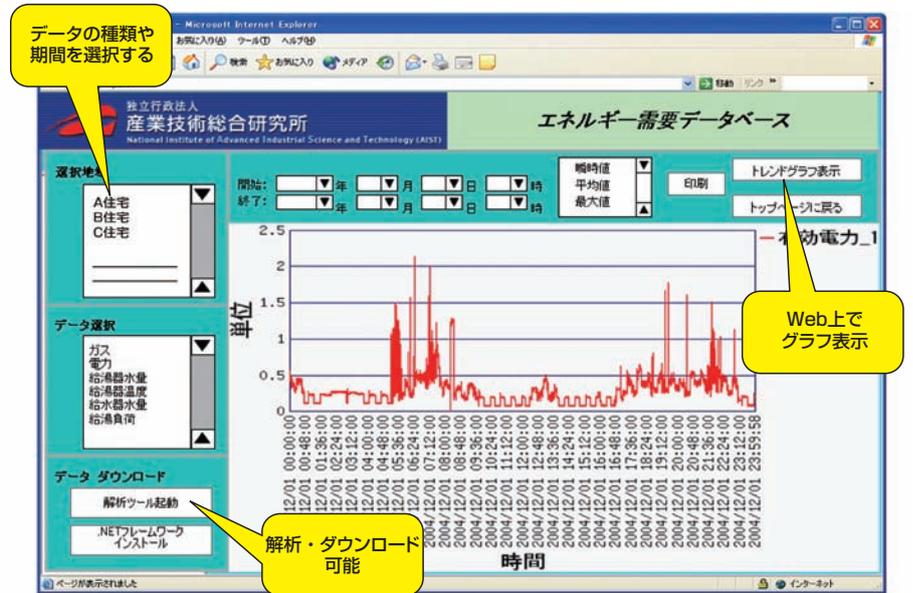


図1 産総研で構築した家庭のエネルギー需要データベース

ネルギーにつながるかという疑問もあります。

## 家庭の需要を知り、適応させる

家庭の省エネルギーを実践するには、公平な目で得た高い精度のエネルギー需要と機器性能情報を用いた研究が不可欠

であり、個人情報の問題などもありほとんど公開されていません。私たちは、戸建・集合住宅のエネルギー需要の計測を行い、データベース構築(図1)を行っています。そのデータベースを用いて、家庭用コジェネレーションシステムなどの研究開発に役立てています。例えば、1軒の需要は予測不可能でも、10軒程度まとめるとパターン化され(図2)、無駄のないシステムの運転方法が可能になります。

## 今後の家庭のエネルギー需要

これまでの家庭用エネルギー機器の検討のほとんどは、自由に使われる需要に対して、装置の構成・運転方法を検討し、コスト減や省エネルギー化させていますが、今後は、利便性を損なわずに、より省エネルギーになるような、需要のコントロールが課題であると考えています。

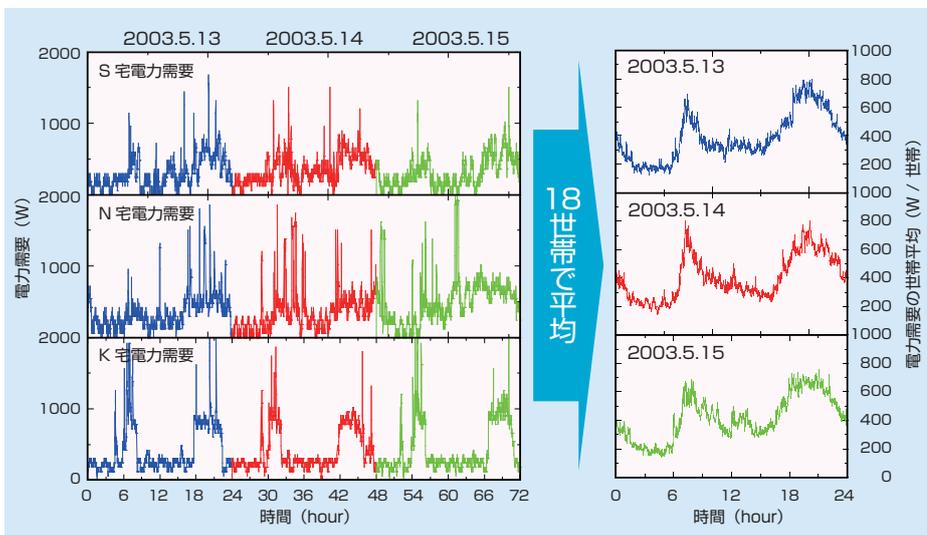


図2 需要の平滑化効果(ある3軒の3日間需要→その3軒を含む18軒分の需要平均)

エネルギー技術研究部門  
前田 哲彦

# 省エネルギー デシカント空調システム

快適生活と省エネの両立を目指す技術

## 空調システムの省エネ

環境負荷が小さく省エネルギー性の高い空調システムとして、多孔質材料への水蒸気の吸脱着現象を利用した、デシカント空調・調湿システムが注目を集めています。近年盛んに研究が行われている規則性メソ多孔体(MCM-41やFSM-16などは、その特有の細孔構造(均一なサイズのナノ細孔が規則的に配列している)に起因する水蒸気吸着特性(図1)から、吸脱着を利用したシステムに最適な吸着剤であると考えられています。

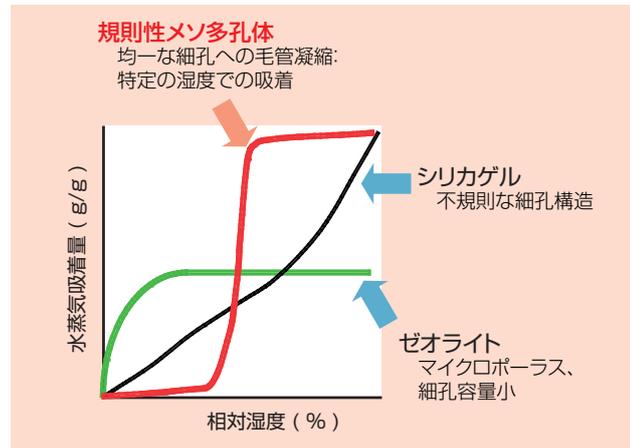


図1 規則性メソ多孔体の水蒸気吸着特性

## 高規則性メソ多孔体の合成法

高規則性メソ多孔体は、溶液中で形成される界面活性剤の自己集積構造をテンプレートとして合成されます。主な合成法としては、高温高压のオートクレーブ中でのケイ酸の縮重合による水熱合成法と、ゾル-ゲル法の一つである溶媒揮発法があります。私たちは、低温で連続合

成が可能であり量産に適した溶媒揮発法に注目し、合成される規則性メソ多孔体の水蒸気耐久性向上と量産化について検討を行ってきました。

溶媒揮発法においては、「溶液中でのシリカ源の縮重合反応」と「溶媒の揮発による濃縮・界面活性剤の自己集積プロセス」が同時に進行します。これらの速度

のバランスがとれていることが高規則構造を形成するためには重要です。私たちの開発した技術では、溶媒の揮発速度とゾル-ゲル反応を制御することにより、耐久性に優れた試料を短時間で大量に合成することが可能となりました。

## 省エネ効果の高い製品の实用化へ

また、応用技術として、民間企業との資金提供型共同研究を通じて实用化に向けた技術開発を行っています。私たちの開発した高規則性メソ多孔体を担持した除湿ローター(図2)は、水蒸気に対して十分な耐久性を持ち、従来材料(ゼオライトやシリカゲル)と比較して、単位重さ当たりの吸着量が多く、かつ従来困難であった50℃程度の低温の再生でも十分な除湿を行うことを可能とするものです。したがって、従来必要であった再生用ヒーターも不要となり、低温再生用吸着剤を用いた極めて省エネルギー性の高い除湿・調湿システムとしての早期実用化が期待されています。

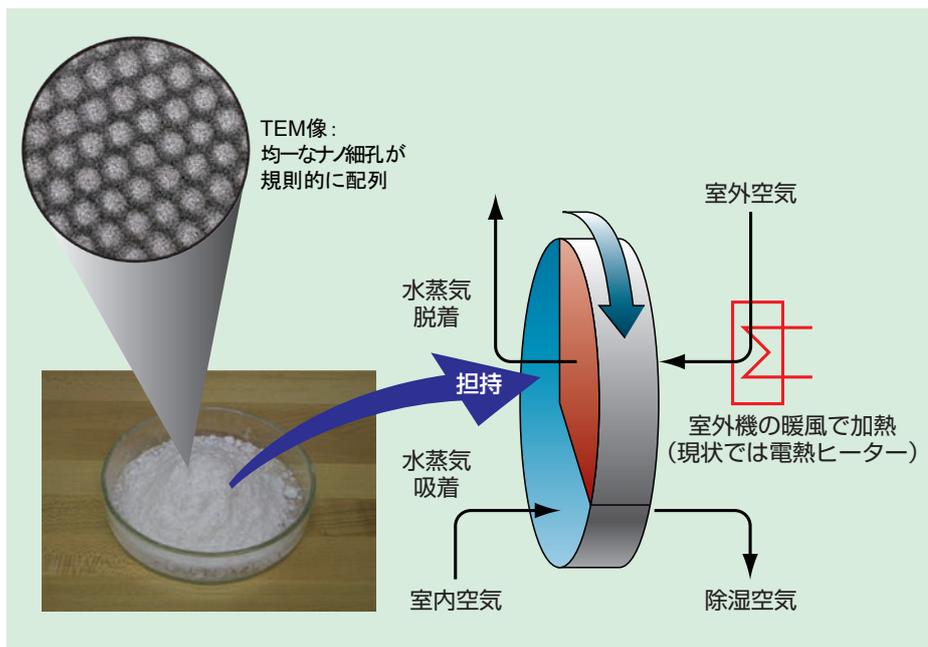


図2 規則性メソ多孔体を担持したデシカントローター

環境化学技術研究部門  
遠藤 明

# 廃熱発電を利用した 省エネルギー排ガス処理

## 電気化学リアクターで NO<sub>x</sub> を直接分解

### 自動車排気ガス浄化と省エネ化の両立

京都議定書で決められたCO<sub>2</sub>排出量削減目標を達成するために、特に運輸部門での省エネ化推進は緊急の課題です。例えばヨーロッパでは日本以上に、ディーゼル車の燃費の良さへの期待が高く、今後さらに厳しくなる排出ガス規制をクリアするため、エンジン燃焼制御や浄化処理技術の研究が精力的に進められています。環境保全と省エネ化の両立を可能とするための技術として、高効率の排ガス浄化技術開発は重要課題といえます。

現在使われている排ガス浄化触媒では燃費の悪化が避けられませんが、「電気化学リアクター」による窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)の還元浄化方式を用いれば、NO<sub>x</sub>を直接分解することによって還元剤が不要となり、燃費悪化を伴わない、理想的な排ガス浄化が可能となります。しかし、これまで、ディーゼル排ガス等に大量に含まれる酸素の妨害によって本来はNO<sub>x</sub>浄化反応に無関係の膨大な電力消費を伴うことから、その実用化は不可能とされてきました。

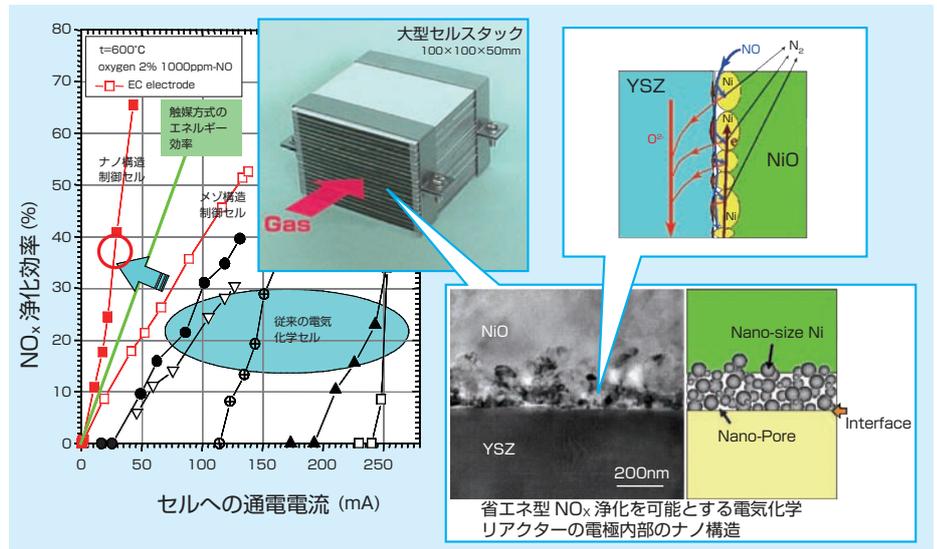


図1 ナノスケールで構造制御された電気化学リアクター

私たちは、リアクターをナノスケールで構造制御することによって、電極内部でNO<sub>x</sub>分子に対する選択的な分解浄化反応を起こすことに成功しました。数100倍もの酸素分子の共存下においても、現行方式に比べて実に2倍以上もの省エネ化が可能な高効率NO<sub>x</sub>浄化を実現したものです(図1)。

### 自立連続的な省エネ浄化技術への展開

さらに、電気化学セルの両側の電極で同時に生じる「酸化/還元」反応を有効利用して、カソード側でのNO<sub>x</sub>還元浄化に加えて、アノード側ではラジカル状態の酸素による強酸化作用が発揮するように電極を工夫した結果、排ガス中のパーティキュレートマター (PM: すず状物質) の分解浄化が可能となりました。現在実用化されているDPF(フィルター)と異なり、エンジン運転条件に無関係な、オンデマンド作動の省エネ型NO<sub>x</sub>/PM同時浄化技術として期待されます(図2右上)。

加えて、この技術には排ガスの持つ廃熱エネルギーの有効利用による大きな省エネ効果も期待されます。廃熱を電気エネルギーに変える熱電変換セラミックスのモジュールを一体化することでNO<sub>x</sub>浄化リアクターを動作させ(図2右下)、外部エネルギーの供給なしにNO<sub>x</sub>連続浄化できることを世界で初めて実証しました。

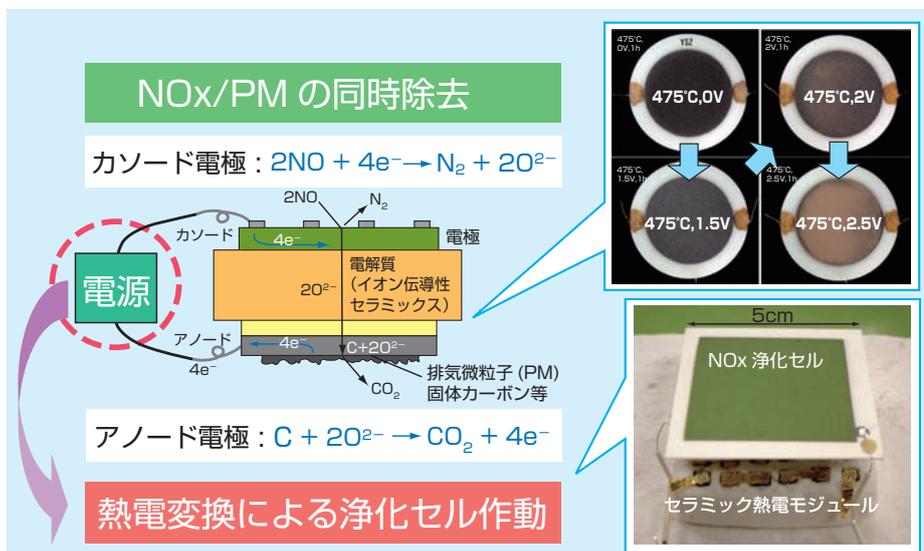


図2 NO<sub>x</sub>/PM同時除去や廃熱利用の熱電発電による自立連続的な省エネ浄化技術

先進製造プロセス研究部門  
淡野 正信

# ハイブリッド車用の リチウム二次電池

普及を推進する新材料と評価技術の開発

わが国の最終エネルギー消費の約2割は自動車によって占められます。現行の乗用車の車両効率はおよそ16%程度、省エネ改善の余地が大きい分野といえます。二次電池とモーターを組み合わせたハイブリッド技術は車両効率を2倍以上に高められることから、日本だけでなく海外でも普及が始まっています。

産総研では、リチウム二次電池のコスト低減と安全性向上に貢献する基盤的な研究開発を行っています。平成14年度からは燃料電池車やハイブリッド車用リチウム二次電池をターゲットとするNEDOプロジェクト<sup>1)</sup>に参画し、新規電池材料及び電池評価技術に関する研究開発に取り組んでいます。

## 新規電池材料の開発

電池材料開発では、ブレークスルーを目指し、新規材料の開発を進めています。

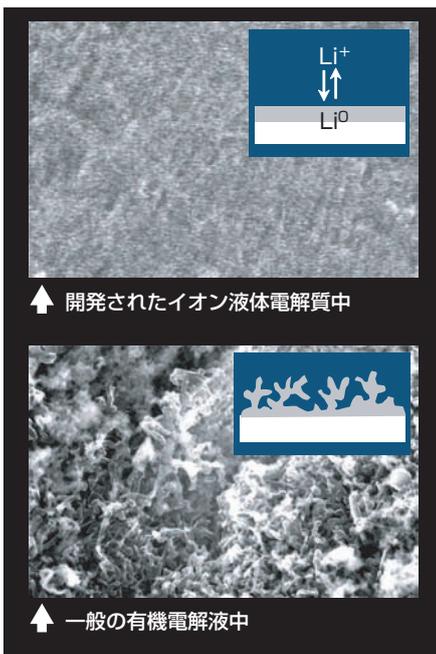


図2 新規イオン液体電解質中(上)<sup>4)</sup>および一般の有機電解液中(下)でのリチウム金属負極の充電後の表面形態

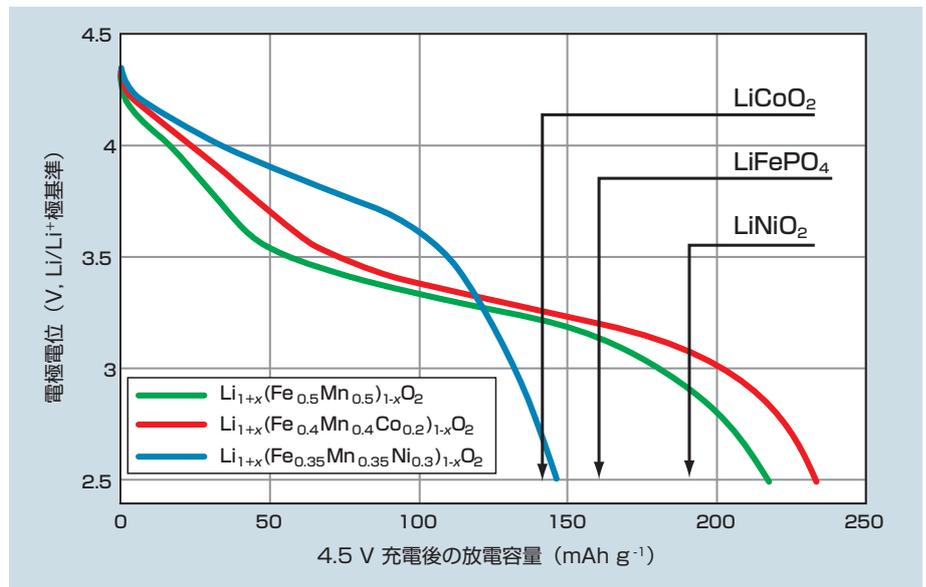


図1 開発された高容量  $\text{Li}_{1+x}(\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_{1-x}\text{O}_2$  正極の放電曲線と Co, Ni の添加効果 代表的な正極材料( $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$  及び  $\text{LiNiO}_2$ ) の放電容量を図中に示す。

コスト低減のキーである正極材料では、低コスト元素による新規化合物として  $\text{Li}_{0.44+x}\text{MnO}_2$ <sup>2)</sup> 及び鉄含有  $\text{Li}_2\text{MnO}_3$ <sup>3)</sup> に注目し、前者では低コスト正極として実用化されているスピネル構造マンガン酸化物の約17倍にあたる  $170 \text{ mAh g}^{-1}$  の放電容量を持つ  $\text{Li}_{0.63}\text{MnO}_2$  の、後者では3V級ながら既存正極材料を超える  $233 \text{ mAh g}^{-1}$  の放電容量(図1)を持つ  $\text{Li}_{1+x}(\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.4}\text{Co}_{0.2})_{1-x}\text{O}_2$  の開発に成功し、さらなる高容量化に取り組んでいます。

安全性向上のキーとなる電解質については、飽和蒸気圧が非常に小さいイオン液体による難燃性電解質の開発に取り組む、リチウム金属によっても還元分解されない環状四級アンモニウム系イオン液

体電解質を開発するとともに、本電解質中ではリチウム金属負極の課題であった充電時のデンドライト析出が抑制されることを見出しています<sup>4)</sup>(図2)。

電池材料の研究開発では、これらの基礎的な成果を基に、実用化に向けた課題の解決にも取り組んでいます。

## 電池評価技術に関する取り組み

現在、私たちはリチウム二次電池の劣化機構の解明に関する研究に取り組んでいます。特にハイブリッド車用途で問題となる出力劣化については、各種回折法や分光法を適用し、正極材料の表面近傍の化学変化が影響を与えることを明らかにしつつあります。

コビキタスエネルギー研究部門  
辰巳 国昭

### 参考文献

- 1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発」
- 2) J. Akimoto *et al.*, *Electrochem. Solid-State Lett.*, 8, A554-557 (2005).
- 3) M. Tabuchi *et al.*, *Chem. Mater.*, 17, 4668-4677, (2005).
- 4) H. Sakaebe, H. Matsumoto, *Electrochem. Commun.*, 5, 594-598 (2003).

# 内部熱交換による 省エネルギー蒸留技術

## 商用運転を目指す次世代プロセス蒸留塔

### 熱電供給設備の必要性

近年の大規模化学コンビナートで目にするタワー群のほとんどは連続蒸留塔です。その基本技術は20世紀初頭にほぼ確立されました。それ以来、比較的シンプルな装置でありながら高精度な分離と大型化・大量処理が可能であるという特長から、基本構造をほとんど変えることなく現在まで使われ続けてきました。

蒸留は典型的なエネルギー多消費プロセスで、その熱使用量は、実に化学産業全体の約40%にあたります。そして化学産業は産業分野の全エネルギーの31%を使用しており、鉄鋼業、製紙業、セメント業と並ぶエネルギー多消費産業なのです。化学産業における省エネルギーの達成度合いは、わが国が京都議定書の目標

を達成できるかどうかの成否に大きな影響を与えるものです。

### 省エネルギー型蒸留塔の開発

内部熱交換型蒸留塔（Heat Integrated Distillation Column、略称HIDiC：ハイディック）は、蒸留プロセスをターゲットとして自己熱再生利用による大幅な省エネルギー化を目的として開発されている新技術です。通常の蒸留プロセスは外部の熱源を用いて塔頂、塔底で相変化のための冷却と加熱を同時に行っています。

HIDiCでは蒸留塔を原料供給部分より上部と下部に分割し、上部の圧力を下部より高く操作します。これによって、ヒートポンプの原理から図1に示すように上

部の冷却と下部の加熱を、外部熱源をほとんど用いることなく行う技術です。

2002～2005年度実施のNEDOプロジェクトでは実際の工業製品を対象とし産総研の特許を実施したパイロットプラント（写真1）が、1000時間の安定した連続運転を達成しました。省エネルギー性については、従来蒸留塔との比較で、圧縮動力を考慮しても約60%のCO<sub>2</sub>排出量削減が実験的に確認されています。

この結果を受けて三菱化学(株)など民間企業5社による資金提供型共同研究が今年度より開始され、2008年度中の商用運転を目指しています。

環境化学技術研究部門  
中岩 勝

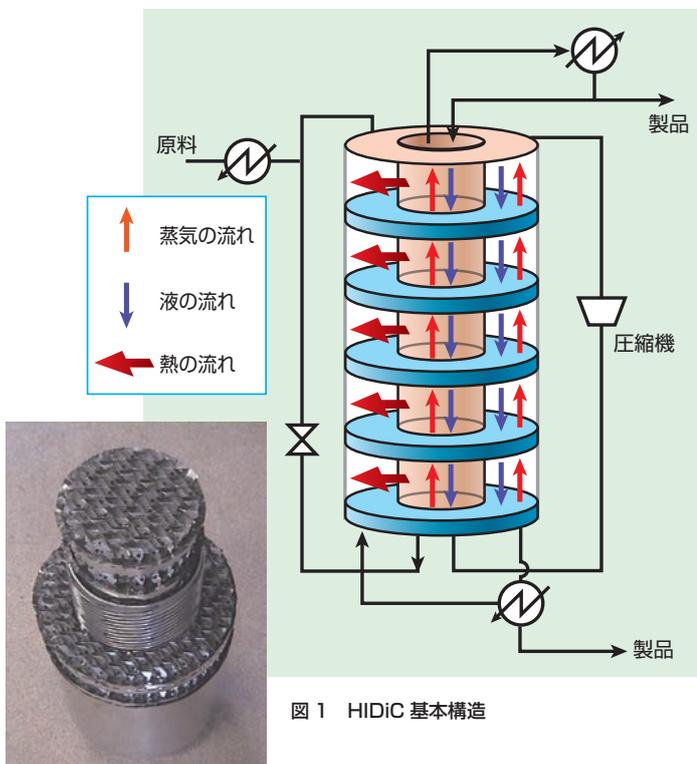


写真1 パイロットプラント（図1のユニットを7本内蔵）  
丸善石油化学(株)千葉工場 2005.11

# 省エネルギー型 廃水処理技術開発

## オゾンによる生物分解性向上機能の活用

### 染色排水の脱色

染色産業によって生じる排水は、環境基準を満たして放流される場合でも、放流水の色が濃いため、脱色技術の確立が強く求められています。また、排水に含まれる染料は、一般に難分解性であることから、放流先の環境中での残留や蓄積が懸念されています。

### オゾンを利用した染料の分解

オゾンは非常に強い酸化力を持っていて、有機物に対しては酸化・安定化、有毒・有害物の無機化、難分解性有機物の生物分解性向上などの機能が知られています。オゾンのこれらの機能を、生物処理や凝集処理後の染色排水中に残留する色素の除去処理に利用することが検討されていました。

私たちは、オゾンの持つ生物分解性向上機能を活用することで既存の生物処理機能を高めることが可能であることに着目しました。私たちはNEDOプロジェクト「省エネルギー型廃水処理技術開発」の一環として、染色排水からの難分解性有害物質の高度除去を目的とした、オゾン処理と生物処理の併用によるシステム化技術(図1)を開発しました。

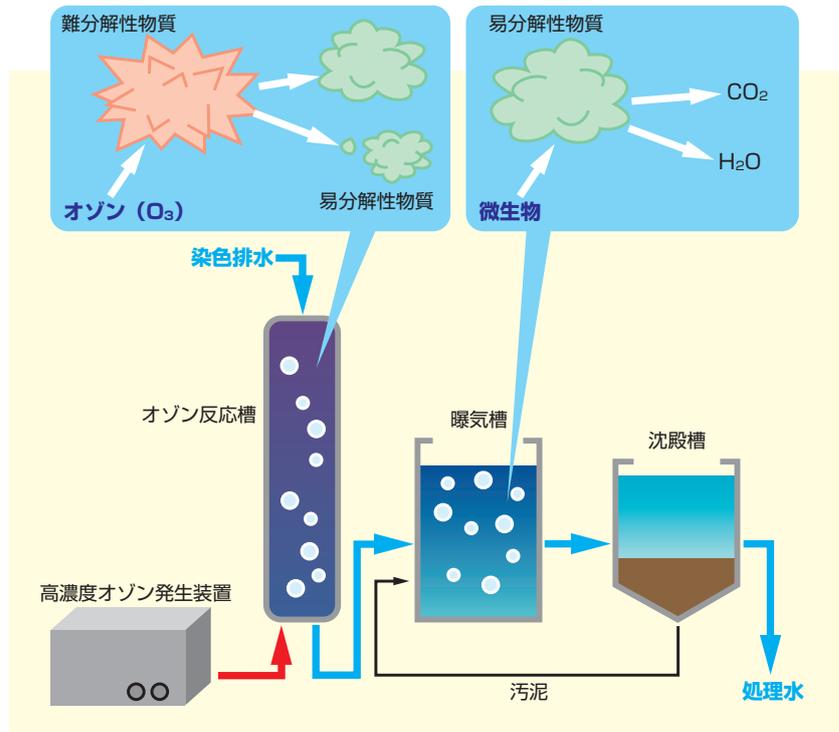


図1 オゾン処理と生物処理の併用の概念

### 新技術の物質除去効果と省エネルギー効果

染色排水中の主要な難分解性有害物質である染料の分解を例にして、この技術を適用したときの効果を図2に示します。生物処理のみによる溶存態有機炭素(DOC)除去は、主に菌体への付着による効果しか期待できませんでしたが、前段

にオゾン処理を行う新技術では、有機炭素の除去量が顕著に増加することが確認できました。

さらに、埼玉県産業技術総合センターと石川島播磨重工業(株)との共同で、この技術を5m<sup>3</sup>/day規模の実証試験装置で染色排水に適用して効果を検証したところ、通年の水質変動にもかかわらず、難分解性有害物質の除去率が90%以上であることが確認できました。

また、この技術で得られる処理水と同等の水質を得るための従来技術(生物処理と活性炭吸着技術の併用)とのエネルギー消費量を原油消費量と比較したところ、40%以上の削減が可能であることが明らかになりました。

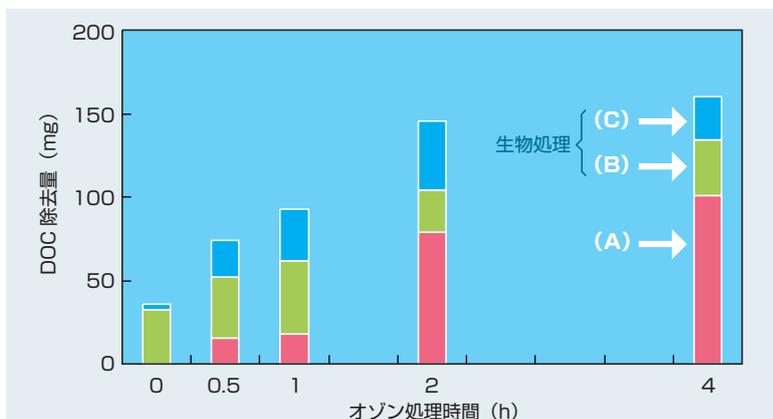


図2 オゾン処理と生物処理による染料 C.I. Reactive Yellow 3 溶液からの DOC 除去量  
除去分画：(A) オゾン処理、(B) 初期吸着、(C) 生物分解

環境管理技術研究部門  
高橋 信行

# 省エネルギー型 グリーンプロセス研究開発

## 新コンセプトによるメンブレン反応器

私たちが日常生活で恩恵を受けている様々な化学製品を作り出す化学プロセスは、反応や分離・精製など多くの複雑な工程からなっています。産総研では、この化学プロセスを地球環境に優しいプロセスへと転換するために、「原料の無害化」とともに、「新しい材料」、「新しいコンセプト」の導入によって、省エネルギー型のグリーンプロセスを開発するための基盤研究を展開しています。

### 原料の無害化

原料の無害化技術の例として、二酸化炭素を原料とするポリカーボネート合成の研究を行っています。ポリカーボネートは、汎用エンブラ中最大量が生産されている上、引き続き需要の成長が見込まれています。現行プロセスでは図1に示すように塩素と一酸化炭素から得られる

猛毒のホスゲンを用い、塩化メチレンを反応溶媒として製造されています。ここで、ホスゲンを二酸化炭素で代替することができれば、①塩化メチレン不要、②塩素製造の電気エネルギー不要、③副生する塩酸の処理工程不要、④二酸化炭素の固定等、さまざまなメリットが得られることになります。現在、大型化技術への発展を目指して触媒やプロセスの改良を進めているところです。

### 新しい材料

新しい材料としては高性能吸着材料や分離膜材料を研究しています。これまで、高い性能を示す水素選択透過膜材料としてパラジウム (Pd) が知られていましたが、私たちは米国エネルギー省が目標に掲げる水素透過性能と同等のPd複合膜を開発しました。また、低コスト化

を目的として非貴金属のアモルファス合金膜やシリカ膜の開発に取り組み、Pd膜に匹敵する分離性能の膜を開発しました。これらの無機材料を用いる分離膜技術は、半導体製造、燃料電池をはじめとする水素製造用のみならず、以下に示すようにメンブレン反応器への応用も期待されています。

### 新しいコンセプト

酸化反応プロセスでは新しいコンセプトの導入を試みています。私たちはこれまでに過酸化水素や酸素を用いることによって、水以外の副生物が生成しないクリーンな選択酸化反応のための触媒開発を行ってきました。その結果、水素と酸素の共存下、気相一段反応によって高い選択率でプロピレンオキシド (PO：ポリウレタンフォームの原料) を合成する金ナノ粒子触媒系を見出しました。

この触媒系の利用形態として、図2に示すような新たなコンセプトに基づくメンブレン反応器の研究を進めています。水素を、水素透過膜を介して触媒に供給する新しいメンブレン反応器の利用によって、さまざまな反応条件下でも爆発の危険を伴わずに高い収率でPOの製造が可能になることが予想されます。これまでに、触媒単独使用時よりも高い収率でPOが得られており、今後のさらなる改良が期待されます。メンブレン反応器はPO合成だけでなく、化学プロセスのコンパクト化（産総研 TODAY 2005 6月号）にも大きな役割が期待され、省エネルギー型グリーンプロセスのための重要技術と考えています。

環境化学技術研究部門  
島田 広道

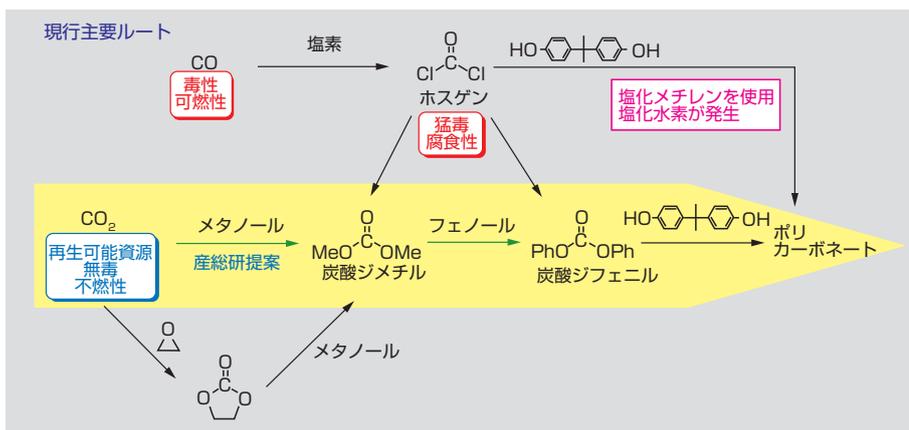


図1 新たなポリカーボネート製造ルート

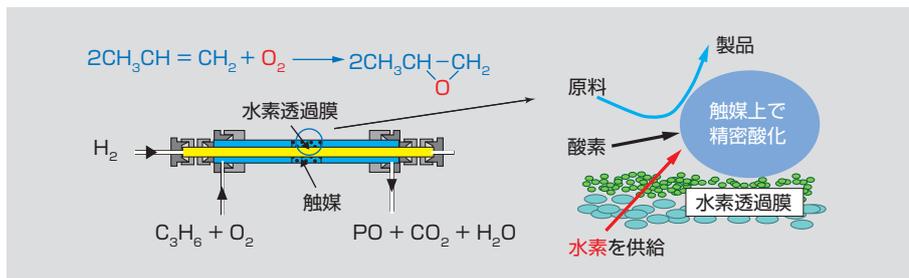


図2 メンブレン反応器によるプロピレンオキシド合成プロセスの概念図

# 100kW 小型貫流ボイラ 発電システム

小型蒸気タービンがもたらす高効率発電

## 普及が進む小型貫流ボイラ

小型貫流ボイラは使用圧力が1MPa以下で伝熱面積が10m<sup>2</sup>以下の貫流ボイラで、熱効率が95%以上と高く、ボイラ技士免許が不要であるなどの便利性から、毎年1.5万台のペースで食品、製紙、化学、繊維、ガラス業界などの中小工場を中心に導入されています。大工場においても、これまでの大容量のボイラの代替として多管設置する利用法が見られ、現在では国内におけるボイラの総蒸発トン数の8割以上を占めています。

この小型貫流ボイラの発生した蒸気の利用条件は、流量が2t/h～20t/h、圧力が1MPaまでの範囲で、低圧の蒸気を利用するケースも多くあります。

## 新提案ボイラ発電システム

100kW 小型貫流ボイラ発電システムの例を図に示します。小型貫流ボイラを熱源として使用しているのが現状であり、左側はその例を示しています。この例ではボイラ2台から合計3t/h、0.25MPaの蒸気をプロセスに利用しています。ボイラ熱効率が95%とするとボイラ出力2194kWに対して2309kWのボイラへの燃料投入が必要となります。

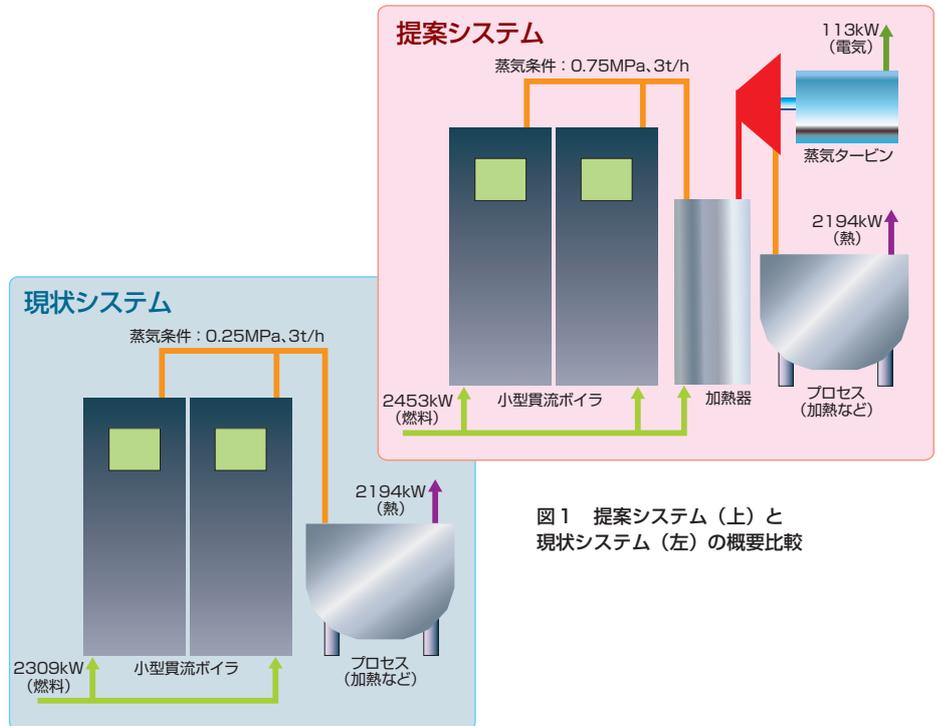


図1 提案システム (上) と現状システム (左) の概要比較

ここで紹介するシステムでは、発生した蒸気を使って小型の蒸気タービンで発電してから、熱利用しています(図右側)。蒸気加熱器の熱効率が95%であった場合、開発中の蒸気タービン(断熱効率77%)を追加することで、2194kWの熱出力と共に113kWの発電出力を得ることができます。

現状と比較してボイラと加熱器の入力が144kW増えますが、113kWの発電出力を得ることができます。追加した燃料(入力)と発電(出力)の比を見ると、この効率は78%になり、通常の火力発電所の2倍に近い効率が期待されます。

## 開発の現状

この研究開発は、2004年度からNEDOと(株)神戸製鋼所の実用化共同研究として実施されています。産総研は再委託の立場で、その実現の鍵となる蒸気再生技術について研究を行っています。現在、神戸製鋼所神戸総合技術研究所内発電所として、発電出力100kW級のラジアル式蒸気タービンシステムを建設し、試験運転を行う段階にきています(写真)。



写真  
小型貫流ボイラ発電システム  
画像提供：(株)神戸製鋼所

エネルギー技術研究部門  
古谷 博秀

# 安定動作を実現したCNTトランジスタ

## 高感度バイオセンサーへの応用も視野に

従来のカーボンナノチューブ・トランジスタは、時間や電圧に対して特性が大きく変動する大きな欠点があり、これが実用化の大きな障害となっていた。われわれは、これらの不安定性が、カーボンナノチューブ表面に付着した水や酸素だけではなくレジストの残渣も原因であることを突き止め、この残渣が付着しない新しい作製プロセスの開発に成功した。これにより、時間に対する特性の変動やヒステリシス（履歴現象）がほとんどなくなり、実用化が可能な安定動作を実現することができた。

Carbon nanotube transistors, so far reported, had large problems such as a large time fluctuation of drain current and a large hysteresis characteristic. A cause of these fluctuations was found to be a photo-resist adhered to the surface of carbon nanotubes, as well as oxygen and water. New fabrication process for a carbon nanotube transistor was established in which the residue of the photo-resist as well as the water and oxygen never adhere to the carbon nanotubes. The new carbon nanotube transistor shows almost no fluctuation of the current and no hysteresis characteristic.

### カーボンナノチューブ・トランジスタの問題点

カーボンナノチューブは、エレクトロニクス素子への応用が期待され、さまざまな応用法が研究されてきた。特にカーボンナノチューブをチャンネルに用いた電界効果トランジスタは、従来のシリコンの電界効果トランジスタに比べて、10～100倍高い増幅率をもつため、次世代のトランジスタとして世界中で活発に研究開発が行われてきた。ところが、このように優れた特性をもつカーボンナノチューブ電界効果トランジスタには、トランジスタ特性が安定しない致命的な欠陥があった。電流が時間の経過とともに大きく変動したり、電圧を往復印加すると大きなヒス

テリシスを示したりする。このような不安定性があると、カーボンナノチューブ・トランジスタを安心して使用することができない。そのため、カーボンナノチューブ電界効果トランジスタを実用化するには、安定性の向上が不可欠であった。

### カーボンナノチューブ・トランジスタの構造

図1 (A)は、われわれが作製したカーボンナノチューブ電界効果トランジスタの構造図である。シリコン基板の上の酸化シリコン薄膜の上にカーボンナノチューブが形成され、チューブの両端には電流を取り出すソース・ドレイン電極(金属)が形成されている。重要な

松本 和彦 まつもと かずひこ  
k.matsumoto@aist.go.jp

ナノテクノロジー研究部門 総括研究員  
(つくばセンター)

大阪大学産業科学研究所教授、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業チームリーダー。

化合物半導体電子デバイス、走査プローブ顕微鏡を用いた微細加工と室温動作単一電子デバイス、カーボンナノチューブフィールドエミッタ、カーボンナノチューブ電子デバイスとバイオセンサー応用などの研究開発に従事。

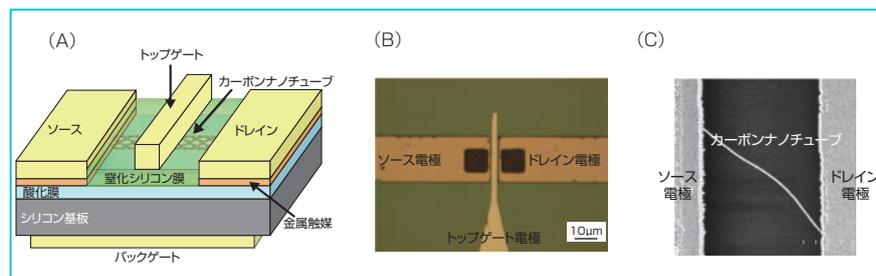


図1 カーボンナノチューブトランジスタ

(A) カーボンナノチューブ・トランジスタの構造図、(B) われわれが作製した素子の光学顕微鏡写真、(C) ゲート電極形成前のカーボンナノチューブの電子顕微鏡写真。

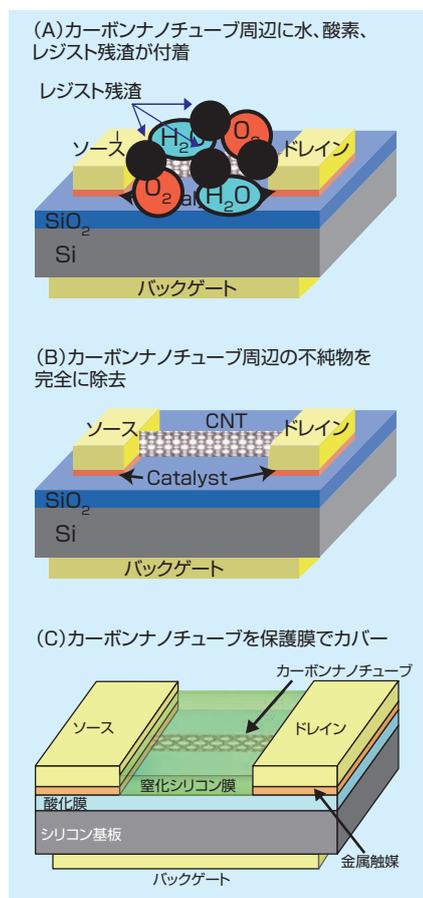


図2 不安定性の要因

カーボンナノチューブ・トランジスタの不安定性の要因は、カーボンナノチューブの表面に付着した水、酸素、レジストの残渣である。これらを完全に除去した後、保護膜として窒化シリコン薄膜を形成する。

ことは、カーボンナノチューブが窒化シリコン薄膜で覆われており、表面に露出していないことである。さらに、この窒化シリコン薄膜の上には、カーボンナノチューブを流れる電流を制御するトップゲート電極が、またシリコン基板の裏側にはバックゲートが形成されている。図1 (B)は作製したトランジスタの顕微鏡写真である。ゲート電極形成前に電子顕微鏡でカーボンナノチューブを観察したものが図1 (C)で、電極間にカーボンナノチューブがあることがわかる。

従来、カーボンナノチューブ素子を作製すると、図2 (A)に示すようにカー

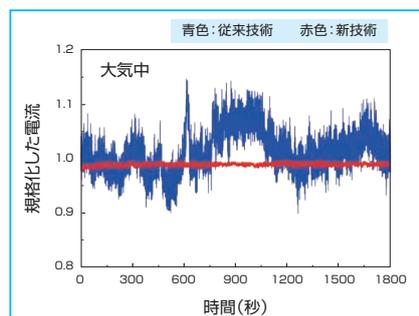


図3 電流安定性の比較

従来の作製方法で形成したトランジスタは、電流が時間に対して20%も変動する。これに対して新プロセスで作製したものは、ほとんど電流の変動が生じないことが分かる。

ボンナノチューブの表面には大気中の水、酸素のほかに、レジストの残渣が多く付着している。これらの不純物が電子を奪ったり、与えたりするため、動作が安定しなかったのである。これまで、この水と酸素は除去されていたが、フォトリソを完全に除去することはできなかった。われわれは、図2 (B)に示すように、水、酸素、レジストの残渣などのすべてがカーボンナノチューブ表面に付着しない作製プロセスを開発した。さらに図2 (C)に示すように、カーボンナノチューブ表面

を保護膜で覆って汚染から完全に保護した。

### 新しいトランジスタの特性

図3は、このようにして作製したカーボンナノチューブ電界効果トランジスタを流れる電流の時間変動を示したものである。従来のカーボンナノチューブ電界効果トランジスタの電流の時間変動は20%にも達していた。これに対して、新しく開発したものは電流がほとんど変動していないことがわかる。電圧に対する変動を図4に示す。従来のものは電圧を-5Vから+5Vまで往復印加すると、2~3Vという大きなヒステリシス特性を示す。ところが新技術で作製したトランジスタは、ヒステリシス特性を全く示さなかった。

以上のように、安定して作動するカーボンナノチューブ・トランジスタの作製に初めて成功した。これにより、カーボンナノチューブ・トランジスタの信頼性が大きく向上し、将来、さまざまなナノエレクトロニクスデバイスに应用されていくものと期待される。

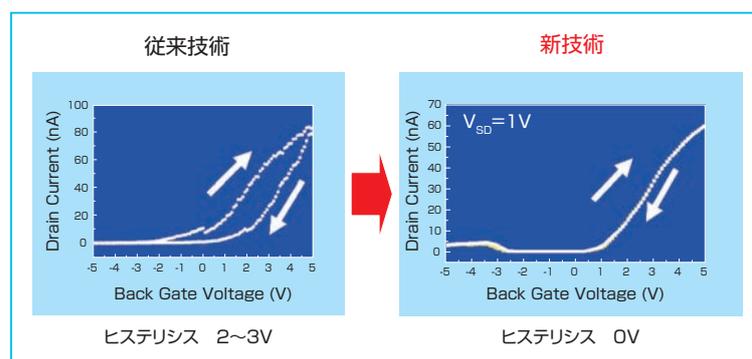


図4 ヒステリシス特性の比較

従来の作製方法で形成したトランジスタは、ヒステリシスが数ボルトも生じてしまうが、新プロセスで作製したものは、ヒステリシスが全く生じない。

#### 関連情報：

- 1) A. Kojima, M. Shimizu, C. K. Hyon, T. Kanimura, M. Maeda and K. Matsumoto, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 10 (2005) pp. L 328
- 2) D. Kaminishi, H. Ozaki, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Inoue, and K. Matsumoto, Applied Physics Letters 86, 113-115 (2005). Applied Physics Letters 86, 113-115 (2005).

# オーバーレイ構築ツールキット Overlay Weaver

## オーバーレイ研究と応用ソフトをつなぐ

オーバーレイネットワークの研究基盤として Overlay Weaver を開発・配布している。これを用いると、計算機 1 台上で繰り返し動作試験を行いながら、少ないコード量で structured オーバーレイのアルゴリズムを実装できる。また、アルゴリズムの差し替えや計算機 1 台上での数千ノード規模のエミュレーションが可能であり、アルゴリズム間の公正な比較を行うことができる。また、実装されたアルゴリズムはそのまま実ネットワーク上で動作するため、研究成果が直接アプリケーションに結び付く。

We have been developing an overlay construction toolkit called "Overlay Weaver". Algorithm designers can implement structured overlay algorithms in just hundreds of lines of code with the toolkit and improve them rapidly by iterative testis on a single computer. The toolkit enables designers to make fair and large-scale comparisons between new and existing algorithms. Furthermore, the implemented algorithms can work on a real network in addition to the emulator. The toolkit enables algorithms developed through research to be used in applications directly.

### オーバーレイネットワーク

現在すでに、インターネット上の 300 万台を越えるコンピュータからなる分散システム(例: eDonkey2k)が出現している。今後も、人類が扱う情報の量やネットワークにつながる機器の数は爆発的に増加していくため、数百万台からなる超大規模システムを構築、管理する技術が重要となる。

数万、数百万という台数となっても性能と耐故障性を保つためには、自律的・非集中的にネットワークを構成することが不可欠である。このようなアプリケーションレベルのネットワークはオーバーレイネットワークと呼ばれ、検索やマルチキャストなどの機能を提供する。

**首藤 一幸** しゅどう かずゆき  
shudo@utagoe.com  
ウタゴエ (株)  
取締役・最高技術責任者

スレッド移送、Java JIT コンパイラ、P2P グリッド等の基盤ソフトウェア、特に分散処理ソフトウェアに取り組む。2006 年 3 月まで、産総研グリッド研究センター研究員。2006 年 4 月から、現職。

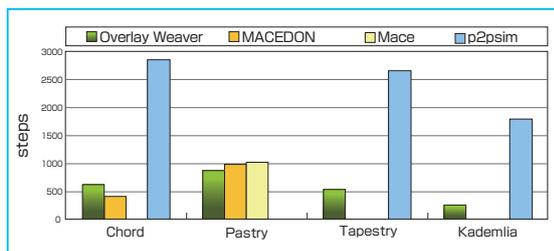
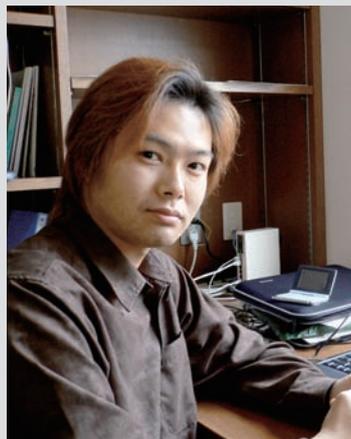


図 1 各アルゴリズムのコード量よく知られた各種の structured オーバーレイアルゴリズムの実装に要したステップ数(コメントや空行は除いた行数)。

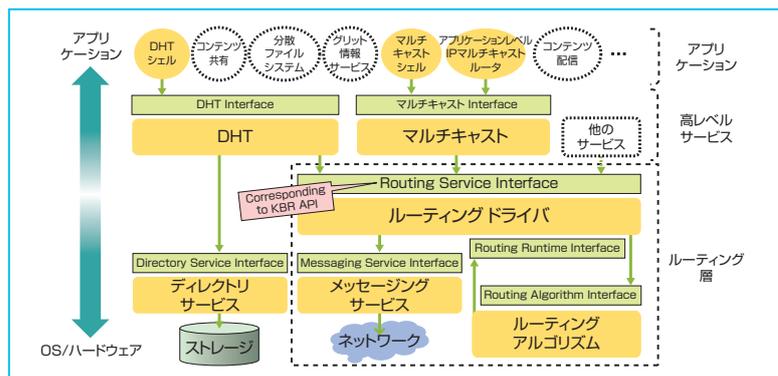


図 2 コンポーネント構成

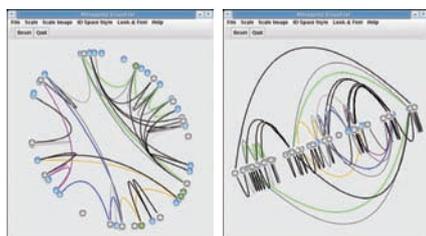


図3 メッセージング可視化ツール  
ノードと通信、また、マルチキャストのための  
配送木が描かれている。

### 研究と応用の距離

オーバーレイの動作アルゴリズムを設計・評価するには、多数のノードを想定した実験が欠かせない。大規模な実験環境、例えば1000台のPCの用意は難しいため、アルゴリズムの動作と有用性の確認はシミュレーションで行われる。その後、インターネット上の実環境で動作させるためには、実環境向けのソフトウェアを、別途開発する必要がある。われわれが開発したオーバーレイ構築ツールキット Overlay Weaver は、この、アルゴリズム研究から応用までの距離を短縮する。このツールキットによりアルゴリズムの実環境での動作と、計算機1台上での大規模エミュレーションの双方が可能となる。そのため、エミュレータを使って大規模な動作試験を繰り返し行いながらアルゴリズムを設計・実装して品質を向上させ、そのまま実環境で動作させることができる。

### ルーティングアルゴリズムの実装が容易に

structured オーバレイは、ID (例えば160ビットの数値)に対応するノードへのルーティングを基本として、その上で、分散ハッシュ表(DHT)やマルチキャスト等の機能を提供する。Overlay Weaver は、ルーティングアルゴリズム固有の処理を、多くのアルゴリズムに共通する処理から分離することに成功した。共通処理の実装はツールキット

が提供するため、アルゴリズムの新規実装が容易になり、Chord、Kademlia、Koorde、Pastry、Tapestry、といったアルゴリズムをそれぞれ数百ステップで実装できた(図1)。同時に、共通処理側の切り替えも可能となり、性質の異なる複数のルーティング手法(iterative/recurisive ルーティング)から应用到適切なものを選択できるようになった。

### ツールキットの構成

Overlay Weaver は、図2中の各コンポーネントと次の各ツールからなる。

- ・分散環境エミュレータ
- ・エミュレーションシナリオ生成器
- ・メッセージカウンタ
- ・メッセージング可視化ツール(図3)

高レベルサービスとしてDHTに加えて、マルチキャスト機能を提供している。サンプルアプリケーションとしては、DHT シェルとマルチキャストシェルを提供している。これらシェルをエミュレータと組み合わせることで、

アルゴリズムの動作試験や比較を行うことができる。

### エミュレーションと実環境での動作

4000 ノードがオーバーレイを構築し、DHT への put、get を行うというシナリオを生成して、PC1 台でエミュレートした。数千ノード規模のエミュレーション、および、アルゴリズムを差し替えての比較が可能であることを確認できた(図4)。また、実機約200台に同様の動作をさせ、実環境での動作も確認した(図5)。

### 今後の展開

今後は、Gnutella に代表される unstructured オーバレイの実装を容易にする方法や、エミュレーションに加えてシミュレーションも可能となるようなアルゴリズム記述方法を検討する。また、Overlay Weaver を用いたテストベッドの構築やアプリケーション開発の支援も進めていく。

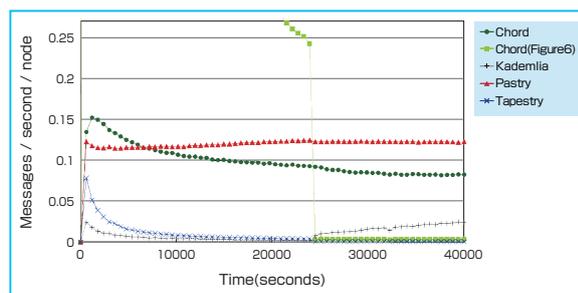


図4 4000 ノードエミュレーション時のメッセージ数

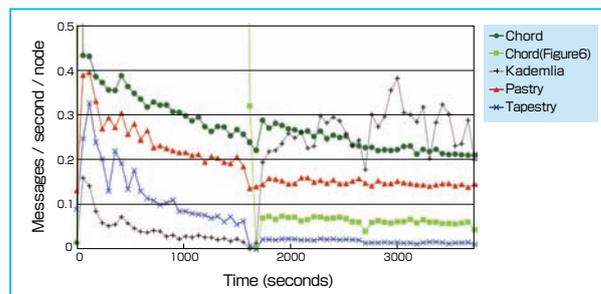


図5 実機約200台でのメッセージ数

#### 関連情報：

- Overlay Weaver の Web サイト：<http://overlayweaver.sf.net/>
- 首藤一幸、田中良夫、関口智嗣：先進的計算基盤システムシンポジウム (SACIS2006, 最優秀論文賞)

# ナノメートルサイズの微細加工技術と装置の開発

## 高速・低コストで大面積に50nmの微細加工を実現

半導体レーザーを用いた可視光レーザーリソグラフィー法と熱非線形材料である酸化白金を組み合わせた熱リソグラフィー技術を開発し、実際の装置を作製した。この熱リソグラフィー技術は、大面積に50nmの微細加工を6m/sの高速で実現できるので、フォトニック結晶や光反射防止構造などの微細構造を用いた光学デバイスの低価格化や、ナノテクノロジー技術への応用に弾みがつくものと期待される。

We have developed a new thermal lithography technique that utilizes the thermal decomposition of platinum oxide. This technique enables lithography of high resolution, high speed and wide writing area (96 cm<sup>2</sup>). The smallest reproduced feature was 50 nm in diameter, using an optical system consisting of a 405 nm laser and an objective lens with numerical aperture (NA) of 0.65. Size of this feature is one eighth of size achievable by conventional photolithographic techniques. High-speed writing of over 6 m/s was achieved, with 3 million nano-dots fabricated per second. With the technique, nano-scale devices will be produced at low-cost.

### 開発の背景

近年、ナノメートルスケールの微細構造物に特有な現象を利用する、新しいデバイスの開発が盛んに行われている。光の反射を低減する光反射防止ナノ構造や人工的に光の進行方向を制御するフォトニック結晶、他の光学部品の表面に作り込める1/4波長板など、さまざまな応用が検討されている。これらは、光の波長より小さいナノメートルサイズの構造物を配置することで実現できる。特に、光反射防止構造では、広角度・広波長域で反射率を低減できるため、太陽電池の高効率化や、ディスプレイの高輝度化などへの応用が期待されている。

このような微細構造デバイスの作製

には、リソグラフィーという微細パターンを描画する技術が必要であり、現在、真空紫外光などの短波長の光(光リソグラフィー法)や電子線(電子線リソグラフィー法)などが使われている。しかし、光リソグラフィー法では、光源の短波長化が年々難しくなり、周辺技術を含めて開発費用が膨大になっている。一方、電子線リソグラフィー法は、10nm程度の微細な描画ができるが、真空の環境が必要であり、描画速度がきわめて遅いため大面積の描画には時間がかかってしまい実用的ではない。また、これらの手法は、いずれも装置が大型で非常に高価になるため、加工品はコスト高になる。そのため、安価、簡便、かつ誰もが取り扱える実用的なナノ

栗原 一真 くりはら かずま  
k.kurihara@aist.go.jp

近接場光応用工学研究センター  
スーパーレンズテクノロジー研究チーム  
(つくばセンター)

スーパーレンズ技術を用いた次世代高密度光ディスクに関する研究に従事している。現在はスーパーレンズディスクを一日でも早く実用化するために、高特化とさらなる大記録容量化に関する研究を行っている。また、光ディスクテクノロジーを用いた、新規産業の創出にも積極的に取り組んでいる。

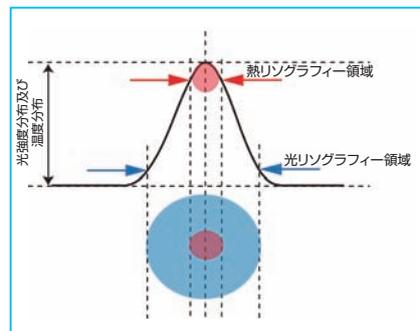


図1 熱リソグラフィーの概念図

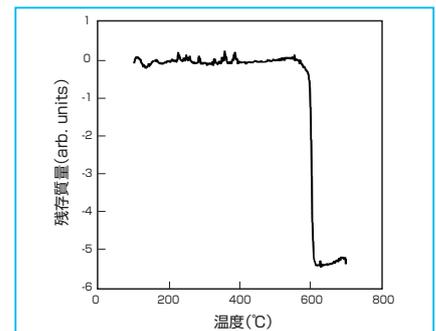


図2 酸化白金の温度による分解特性

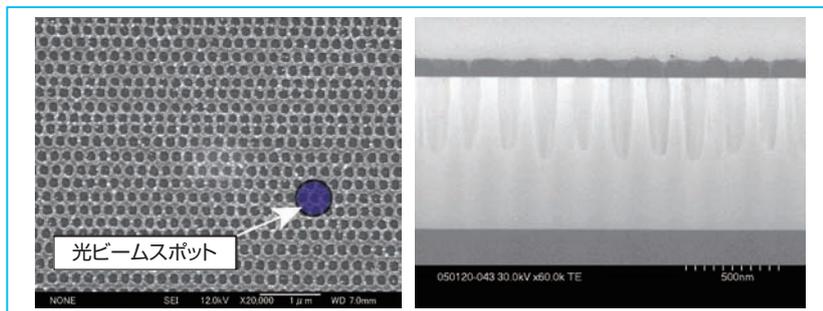


図3 左：ナノドットパターンを作製した例、右：高アスペクト比構造の作製例

メートルサイズの描画技術が求められていた。

### レーザー熱リソグラフィー法

われわれは、高速で大面積のナノメートルサイズの描画を実現するため、可視光レーザーリソグラフィー法と熱非線形材料を組み合わせたレーザー熱リソグラフィー法の開発を進めてきた。レーザー熱リソグラフィー法は、光の集光スポット内に生じる温度分布を利用する。光を物体に照射した場合、その物体が光を吸収すると、光のエネルギーは熱に変換される。レンズによって集光された光はガウス分布と呼ばれる光強度分布を示し、物体が光を吸収した発熱で生じる温度分布も同様になる(図1)。従って、温度が上昇すると急激に変化する熱非線形材料を用いると、光の集光スポットの径以下の微細な描画が可能になる。

この開発では、熱非線形材料として酸化白金を用いた。酸化白金は、図2のように、強い熱非線形性を示し、550℃以上になるとナノ爆発が発生してその領域が除去される。そこで、光スポットの径以下の微細な領域だけが550℃以上に加熱されるように光の強度を制御すれば、ナノメートルサイズの微細加工ができることになる。

### 作製例と開発した装置

図3に、作製したナノドットパ

ターンを示す。速さ6m/s(2600～3600rpm)で回転させながら青色のパルスレーザー光(30MHz)を照射して描画したもので、光ビームスポットの4分の1以下の100nmのドットパターンを毎秒300万ドットで作製した例である。通常の電子線描画装置などの描画速度は0.2m/s程度なので、これは30倍の高速でナノメートルサイズの微細構造を作製できることになる。また、この手法と半導体プロセスで利用されるドライエッチング技術を組み合わせると、直径100nm、深さ500nm以上のナノホール(図3右)を光ディスクサイズ(直径12cm)の基板全面に作製することができる。これは、ナノインプリント用鋳型の低コストでの作製に応用できるであろう。

図4は、直径12cmの石英基板に光反射防止機能をもつナノ微細構造を作製し、光の反射率を低減させた例である。石英の平面基板では蛍光灯が強く反射して白く見えているが、光反射防止微細加工をした部分では、光の反射を抑えることができ、背景の文字がコントラスト良く見えている。このように、

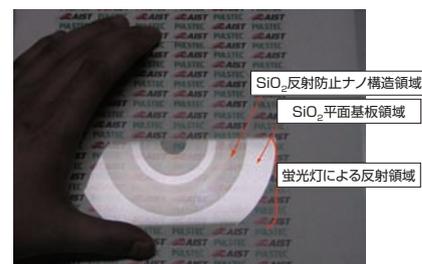


図4 12cm 石英基板に光反射防止機能をもつナノ微細構造を作製した例

この手法を用いれば、大型ディスプレイや、デジタルカメラの非球面レンズなどに光反射防止特性を安価に付加することができ、国際的な競争が激しいこの分野の製品開発にも貢献できると考えている。

また、この技術を産業に役立てるため、パルステック工業株式会社と共同で、図5に示すような卓上型加工装置を開発した。この装置により、大面積のナノメートルサイズの微細パターンを高速に安価に、誰でも、どこでも、作製することが可能になるので、ナノテクノロジーの発展に大きく貢献できると考えている。



図5 共同開発した卓上型ナノ加工装置

#### 関連情報：

- 共同研究者：中野隆志（近接場光応用工学研究センター）、木下達夫（パルステック工業株式会社）
- 日経産業新聞、日刊工業新聞：2006年3月6日
- 第53回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 22a-D-9
- プレス発表 平成18年3月6日：「ナノメートルサイズの微細加工を可能とする卓上型装置を開発」
- 特願 2006-019716 「高密度光記録のためのパターン形成技術」

# 量子ドットを用いた微量タンパク質検出法

## 量子ドットの集積で抗体によるタンパク質の検出感度を飛躍的に向上

これまでにない優れた特性をもつ蛍光性量子ドットを新たに合成し、この量子ドットを用いてタンパク質やDNA/RNA計測用のナノバイオハイブリッド材料の開発に成功した。さらに、この新材料を抗体を用いた微量タンパク質検出法（イムノブロット法）に応用したところ、検出感度が大幅に向上した。

We have succeeded in the synthesis of unique high quality fluorescent quantum dots, and nano-biohybrid materials for protein and DNA/RNA measurements are developed using the quantum dots. The nano-hybrid materials can be applied for detection of trace amounts of proteins using antibodies (immunoblotting). The sensitivity of the method was drastically improved.

### イムノブロット法の現状

抗体を用いて狙ったタンパク質を検出するイムノブロット法は、開発されてすでに20年以上になるが、現在でも分子生物学や医学の分野において、細胞や組織中のタンパク質を検出する主要な方法である。特にゲノムの機能解析や全タンパク質（プロテオミクス）解析におけるマイクロアレイ技術の基本となる方法の1つである。イムノブロット法は幅広く長い間利用されているにもかかわらず、技術的に大きな改善はなされておらず、次のような問題

点がある。①定量性に欠ける、②操作工程が煩雑で長時間かかる、③再現性に乏しい、④微量のタンパク質を検出するには感度が低すぎる、⑤細胞溶解液から直接に検出できない、⑥タンパク質の沈殿・濃縮などの前処理を必要とする、などである。

### 新規量子ドットの開発

量子ドットは、無機半導体材料でできた数nm（ナノメートル）の粒子で、紫外線を照射すると強い蛍光を出すことから、バイオイメージング、バイオ計測、光増感剤などの光学材料として注目を集め、熾烈な研究開発競争が展開されている。その中でわれわれは、高い発光性、有効なサイズ分布、優れた光化学的安定性、非凝集性、非点滅

**大庭 英樹** おおば ひでき  
h.ooba@aist.go.jp  
実環境計測・診断研究ラボ  
主任研究員  
(九州センター)

現在、蛍光性量子ドットの新規合成法の開発と応用に関する研究に従事している。すでに実用化に結びつく可能性のある技術の開発に成功しているが、今後さらに国内外の研究者と共同で、ライフサイエンス、医療や産業の分野で本当に役立つ蛍光性量子ドットを用いたバイオイメージングやバイオセンシング技術の開発に貢献していきたい。また、量子ドット研究では世界をリードする研究グループを目指す。

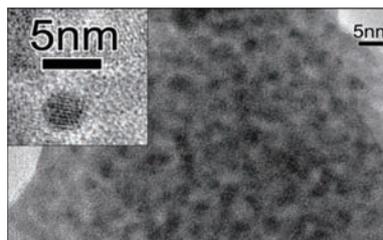


図1 合成した量子ドットの高分解透過型電子顕微鏡写真  
今回合成した量子ドットのうち、サイズが3nmのものを示す。



図2 量子ドットが発する蛍光  
サイズが小さい(2nm)と青色の蛍光を発生し、3nmでは緑色、4nmでは黄色、サイズが大きい(5nm)と赤色の蛍光を発生する。励起波長は365nm。

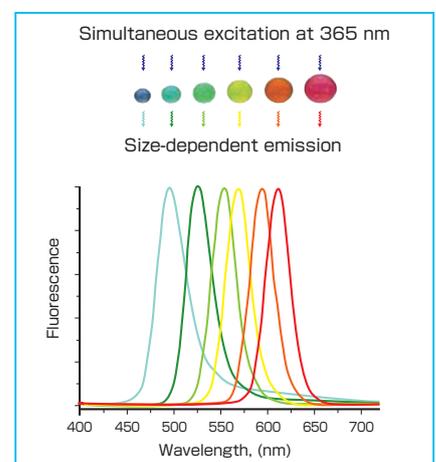


図3 量子ドットの蛍光スペクトルのサイズ依存性

現象などの特性を併せ持つ優れた量子ドットの調製に成功した。

### 量子ドットのイムノプロットへの応用

合成した量子ドットは、セレン化カドミウム(CdSe)という材料で、直径はわずか3～6nmである(図1)。これに紫外線を照射すると、それぞれのサイズに応じて鮮やかな青色から赤色の蛍光を発する(図2)。そして蛍光スペクトル(図3)も非常にシャープである。

われわれは、まず量子ドットにさまざまな生体分子を結合させる技術を開発し、これを利用してタンパク質アビジンや生体分子ビオチンと量子ドットを結合した材料を合成した(図4)。次に、この材料をビオチンで標識した抗体と組み合わせて、イムノプロット法に応用した。

この方法により、細胞分裂にかかわるTelomeric Binding Factor (TRF1、56kDa)とTRF1-interacting nuclear Protein 2 (Tin2、40kDa)の2種類のタンパク質の検出を行なった。これらは慢性骨髄性白血病細胞に90%以上の割合で発現しているが、ごくわずかにしか存在しないタンパク質である。比較のため、従来の化学発光を用いたイムノプロット法も行なった。

その結果、従来のイムノプロット法では検出できなかった(図5A2)微量タンパク質を、量子ドットを使用したイムノプロット法では高感度に検出できることがわかった(図5B2)。

さらに、量子ドットの蛍光は、市販の蛍光測定装置で連続測定した場合でも約40分間は安定であり、解析や検出データの取得にも適していることが分かった。また、4℃で遮光しておけば、蛍光シグナルに大きな変化は見られず、数週間は安定であった。

これらの結果は、量子ドットを用いた“サンドイッチタイプ”イムノプロット

法が微量タンパク質を検出する技術として、従来のイムノプロット法よりも優れていることを示している。

### 今後の展開

名古屋大学応用化学科(馬場嘉信教授)との共同研究で、この量子ドットイムノプロット法を、マイクロチップ電気泳動による天然タンパク質の検出と同定を行なうためのチップの開発に応用する予定である。また、醸造・発酵を含めた食品製造プロセスで生成したり侵入したりする望ましくない菌類や異物を特異的に標識する量子ドット

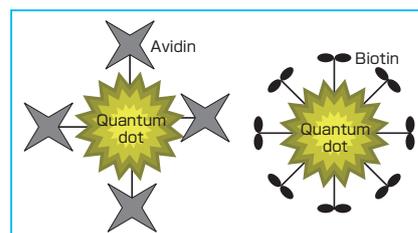


図4 アビジンおよびビオチンを結合した量子ドットの模式図

左：量子ドット-アビジン

右：量子ドット-ビオチン

の表面処理技術を開発し、最適なプロセス管理を行なうための評価技術にも応用する予定である。

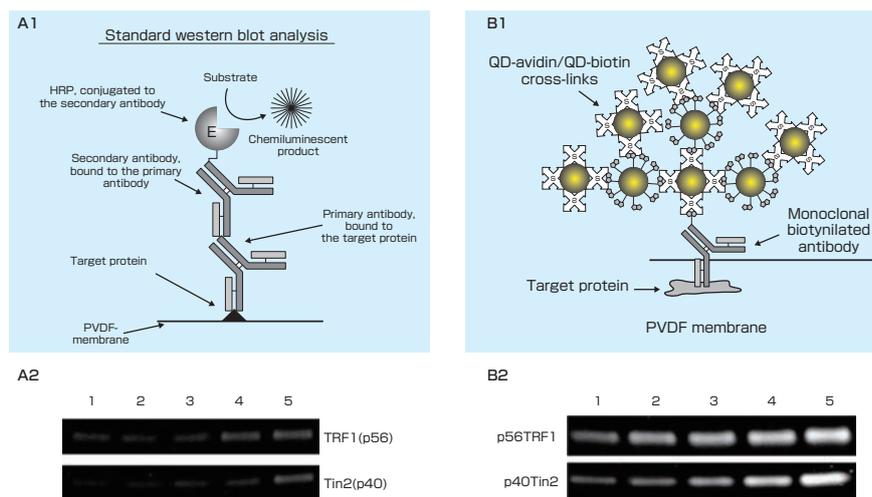


図5 細胞中に存在する微量タンパク質 (TRF 1、Tin 2) の検出

左：従来のイムノプロット法 A1；スキーム、A2；TRF1 および Tin2 のバンド

右：量子ドット使用イムノプロット法 B1；スキーム、B2；TRF1 および Tin2 のバンド

番号は各タンパク質量に相当する量の白血病細胞株 K562 細胞溶菌液

1：10 μg、2：20 μg、3：30 μg、4：40 μg、5：50 μg。

#### 関連情報：

- 共同研究者 Zhivko Zhelev、Rumiana Bakalova、馬場嘉信 (名古屋大学)
- 産総研プレス発表：2006年2月16日 「蛍光性ナノ粒子で微量タンパク質の高感度検出を可能に」
- Z. Zhelev, R. Bakalova, H. Ohba, R. Jose, Y. Imai, Y. Baba, Anal. Chem., 2006, 78(1): 321-330.
- R. Bakalova, Z. Zhelev, H. Ohba, Y. Baba, J. Am. Chem. Soc., 2005, 127(32): 11328-11335.
- 「白色/黄色蛍光量子ドットの産業分野、ライフサイエンス分野への応用」 ナノテク2006 (平成18年2月21日～2月23日、東京ビッグサイト)
- 特願 2005-348157 「免疫化学的検出方法、及びその検出用試薬キット」

# 亜臨界水で有機フッ素化合物を無害化

## 環境残留性のパーフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)を分解

近年、表面処理剤や乳化剤などに用いられてきた一部の有機フッ素化合物が、環境水や生物中に残存していることが報告されている。PFOSはその典型で、生体での蓄積性が高く、継続的に摂取した場合の毒性の発現が懸念されている。われわれはPFOSおよびその関連物質の水溶液に鉄粉を入れて亜臨界水にすると、フッ化物イオンまで効果的に分解・無害化できることを発見した。今後は、この方法を排水処理や、フッ素資源のリサイクルなどに応用していきたい。

Perfluorooctanesulfonate (PFOS) and related chemicals have been widely used as surface treatment agents, emulsifying agents and so on. Their high stability consequently results in environmental persistence and bioaccumulation. Techniques to decompose them to harmless species at stationary sources are desired. The method should involve cleavage of the C-F bonds to form F<sup>-</sup> ions, because a waste-treatment process for F<sup>-</sup> was already established. PFOS and other related chemicals can be efficiently decomposed to F<sup>-</sup> ions using iron and subcritical water. This method was also effective to PFOS contained in a coating agent used in a real manufacturing process.

堀 久男 ほり ひさお

h-hori@aist.go.jp

環境管理技術研究部門  
未規制物質研究グループ グループ長  
(つくばセンター)

1993年工業技術院資源環境技術総合研究所入所。1997-98年マックスプランク研究所客員研究員、2001年独法化により産総研環境管理研究部門主任研究員。2004年5月から現職。環境負荷物質を低エネルギー的な手法(たとえば光触媒)で分解することや、付加価値の高い物質に変換することに取り組んできた。現在はPFOS/PFOA(パーフルオロオクタンスルホン酸)等のリスクが顕在化してきた有機フッ素化合物を光触媒、亜臨界水その他の方法で分解・無害化することや、環境動態把握のための反応性の解明、グリセリン廃棄物からの水素生成などに取り組んでいる。



### 有機フッ素化合物「PFOS」

炭素原子とフッ素原子で構成される有機フッ素化合物は、耐熱性や耐薬品性に優れ、有機溶媒中でも発泡できることや、光をほとんど吸収しないといった他の物質では実現できない特異的な性質を持つため多くの産業で使われてきた。これらの化合物は大量に使用されているわけではないが、化学的にも熱的にもきわめて安定なため環境中に残留することが多い。

PFOS (Perfluorooctanesulfonate の略称)は、日本語ではパーフルオロオクタンスルホン酸と呼ばれるが、厳密にはパーフルオロオクタンスルホン酸(C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub>H)の陰イオン(C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>3</sub><sup>-</sup>)で

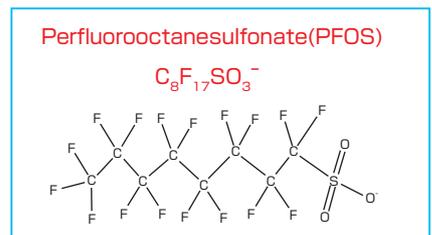


図1 PFOSの化学構造

ある(図1)。PFOSとその関連物質は、撥水剤、表面処理剤、防汚剤、消火剤、コーティング剤などに用いられてきたが、地球規模での環境残留性と生体蓄積性が明らかになったため、2002年4月に米国環境保護局(EPA)が用途を限定する規制を行い、同年11月に経済協力開発機構(OECD)がリスクアセスメントの結果を公表した。同年12月には、わが国でも「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)」の指定物質(現在の第二種監視化学物質)になった。2005年6月には、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(POPs条約)締約国会議において対象物質に加えるように提案され、国際的にも本格的な規制が検討される段階になっている。

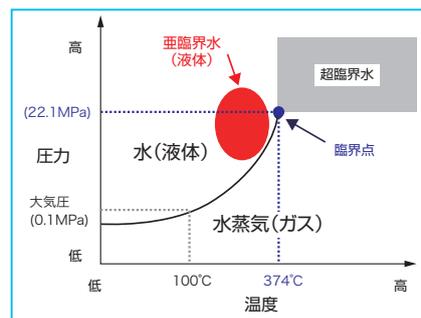


図2 水の状態図

有害化学物質の環境や生物への悪影響を防止するためには、環境に漏洩しないように適切に使用し、発生する廃棄物を無害化する必要がある。ところがPFOSは非常に安定(炭素-フッ素結合は炭素が形成する共有結合で最強)で、焼却するには膨大なエネルギーを必要とするだけでなく、生成するフッ化水素ガスが焼却炉の壁材を傷めるなどの問題もある。そこで、これを低コストで効果的に分解・無害化する方法の開発が望まれていた。

PFOSと関連物質の廃棄物は、その用途から水中(排水中)に存在するケースが多い。もしこれをフッ化物イオン(F<sup>-</sup>)まで分解できれば、既存の排水処理法によって環境に無害なフッ化カルシウム(CaF<sub>2</sub>、蛍石)に変換することができる。フッ化カルシウムは、酸処理で重要な工業原料であるフッ化水素酸にできるため、再資源化も可能になる。

### 亜臨界水の特性

われわれは、PFOSを含む水に鉄粉を入れて亜臨界水の状態にすると、フッ化物イオンにまで分解できることを発見した。周知のように、室温で大気圧(0.1 MPa)下にある水を加熱すると100℃で沸騰して気体(水蒸気)になる(図2)。より高圧の下で加熱すると沸騰温度は高くなる。圧力22.1 MPaで水を加熱すると374℃で沸騰するが、さらに高圧にして水を加熱すると沸騰現象は見られなくなる。



図3 PFOS分解用耐圧容器

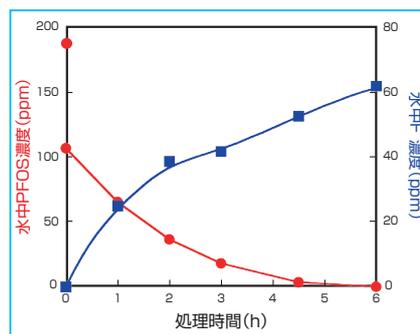


図4 処理によるPFOS濃度の変化

沸騰が起こる最後の圧力(22.1 MPa)と、その場合の沸騰温度(374℃)を臨界点と言い、臨界点を超える温度・圧力の状態にある水を超臨界水、臨界点よりもやや低い領域にある高温、高圧の水(液体)を亜臨界水と言う。亜臨界水や超臨界水は、無極性の有機化合物を溶解したり、有機化合物を加水分解するなど、普通の水にはない性質を持っている。

### PFOSの分解法

今回開発した分解法の概略は以下の通りである。まず、ステンレス製の耐圧容器(内容積 34.3 mL) (図3)にアルゴンガス雰囲気中でPFOSの溶けた水(10 mL、PFOS濃度 46 ~ 186 ppm)と鉄粉(0.54 g)もしくは他の金属粉を入れ、250 ~ 350℃の亜臨界水の状態にした。一定時間の経過後、室温に戻し、成分分析を行った。比較のため金属粉を入れない場合についても実験を行ったが、水中のPFOS濃度はわずかしこ減少しなかった(表)。

結果は、鉄粉を入れた場合にPFOSは最も迅速に分解した。例えば、PFOSの初期濃度が186 ppm、反応温度350℃、圧力23.3 MPaの場合、PFOS

金属の種類	反応後の水中のPFOS残存率(%)
なし	90.3
銅	84.7
亜鉛	23.1
鉄	0

反応条件: PFOS初期濃度186 ppm、金属量9.60 mmol、350℃、6時間

表 PFOS分解に対する金属の効果

は6時間で水中から消失し、同時に水中にはフッ化物イオンが高効率で生成した(図4)。PFOSの分解は鉄の表面で起こると考えられる。なお、6時間では鉄の表面にまだPFOSまたはその反応中間体である有機フッ素化合物が検出されたが、処理時間を延長すると鉄の表面のPFOSもフッ化物イオンまで完全に分解した。この方法によれば、電子工業で実際に使用されている表面処理剤中のPFOSや、炭素数2~6の関連物質(パーフルオロアルキルスルホン酸類)の分解も可能であった。

### 今後の展開

この研究によって、これまで適当な分解処理方法がなかったPFOSと関連物質について、フッ化物イオンまで効果的に分解できる反応システムを開発した。今後はこのシステムを実用化するとともに、その対象を、これから使用の増加が見込まれる新しい有機フッ素材料にも拡大する。そして、有機フッ素化合物の環境リスクを低減するだけでなく、世界的に需要が増加して貴重になりつつあるフッ素資源のリサイクルにも貢献していきたい。

#### 関連情報:

- H. Hori et al., Environmental Science & Technology 40, 1049-1054 (2006).
- 特願 2005-127715 「フッ素系有機化合物の熱水分解法」(堀 久男)
- H. Hori et al., Environmental Science & Technology 39, 2383-2388 (2005).

# カーボンナノチューブをポリイミドに均一に分散 光デバイスに有望な非線形光学材料

カーボンナノチューブをポリイミド中にナノメートルレベルの均質さで分散する技術を開発し、透明性・耐熱性・堅牢性・加工性に優れた新しい非線形光学材料をつくることに成功した。この材料を用いて試作したファイバーレーザーは、時間幅 165 フェムト秒という非常に短いパルス光を発生させることができた。また、高度な微細加工技術により、この材料をコア部とする光導波路の試作にも成功し、非線形光学デバイスとして機能することを実証した。

We developed a new method for dispersing carbon nanotubes in polyimide with nano-meter-scale uniformity. This material is a new promising nonlinear optical material with transparency, thermal durability, robustness and processibility. A fiber laser using this material generated a very short light pulse with 165 femto second width. With a fine microfabrication technology, a waveguide device was fabricated using this material.

## カーボンナノチューブ非線形光学材料の利点と問題点

2001年に、カーボンナノチューブが可飽和吸収効果という非線形光学効果を光通信波長帯で示すことが、産総研などで見出された。その後、この効果を利用した薄膜デバイスが、超短パルスを発振するレーザーに有望であることが明らかにされた。さらに、この効果は光スイッチをはじめとした光通信デバイスへの応用が期待されている。

これらの光デバイスで、すぐれた性能・再現性・耐久性・量産性を実現するには、高品質の材料で高度なデバイス構造を構築することが求められる。ところが、通常のナノチューブ素材は凝集性の強い粉末であるため光学的品

質がきわめて悪く、また任意の形に加工することができず、光デバイス開発の大きな障害になっていた。

## ナノチューブ分散ポリイミド材料の開発

この障害に対する有力な解決策は、ナノチューブを透明なポリマー中にナノメートルレベルの均質さで分散させナノコンジット材料の開発である。このような材料は、光学的均質性と透明性を備えており、いろいろな形に加工できる(図1)。ポリマー材料にはさまざまな種類があるが、光デバイスへの応用では、透明性・耐熱性・堅牢性・加工性などの条件を同時に満たすことが要求される。ポリイミドはこれらをクリアする非常に有望な材料であり、われわれはナノチューブとポリイミド

神原 陽一 さかきばら よういち  
yo-sakakibara@aist.go.jp  
光技術研究部門  
ハイブリッドフォトンクスグループ  
主任研究員  
(つくばセンター)

2001年にカーボンナノチューブが可飽和吸収効果を示すことを見出して以来、この効果を利用した本格的なデバイス構築できる材料を求めて、ナノチューブをポリマーに均質に分散する技術の開発を進めてきた。幸いすぐれた材料を得ることができたので、現在はその材料を用いた新しい非線形光デバイスの開発に取り組んでいる。産総研内部のいろいろな部署に所属する研究者との共同研究を中心に、横断的な研究展開を進めている。今後は外部研究機関との共同研究も本格化する予定である。

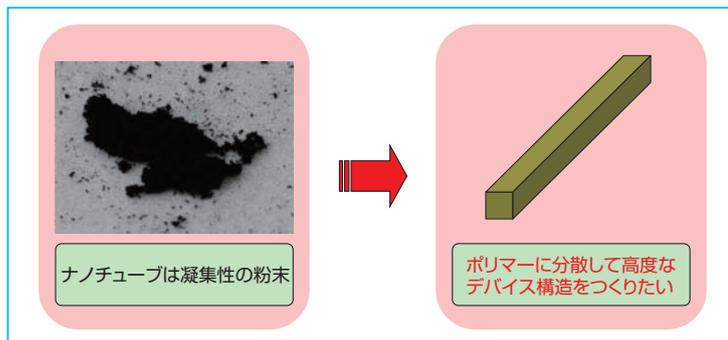


図1 カーボンナノチューブ分散ポリマー材料の必要性



図2 定規の上に置いた透明なナノチューブ分散ポリイミドフィルム

によるナノコンポジット材料の開発に取り組んだ。

しかし、一般に良質のナノコンポジット材料を製造することは容易ではない。分散素材がナノメートルサイズになると表面積が急激に増大するため、媒質との間の界面エネルギーが大きくなり、分散素材どうしが凝集して媒質から遊離してしまうことが多いためである。われわれは、超音波を用いてナノチューブを有機溶媒中にナノメートルレベルのサイズで分散する技術を開発し、さらにブロック共重合ポリイミドという特殊なポリイミドがナノチューブとよく混合することを見出した。この混合体から溶媒を蒸発させて光学的な均質性に優れた良質で透明なナノコンポジット材料を得ることができた(図2)。

### 非線形光学デバイスへの応用

こうして、すぐれた材料が得られたので、非線形光学デバイスへの応用を試みた。

この材料で形成したフィルムデバイスを用いて、エルビウムイオン添加ファイバーレーザーでパルス幅165フェムト秒(フェムトは千兆分の一)という非常に短いパルス光を発生させることができた。これは、このタイプのレーザーで達成可能な限界に近い長さである。デバイスの光学的品質が高く光の散乱による損失が少ないことが、

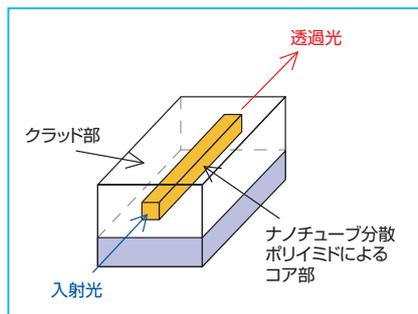


図3 光導波路構造の概念図

このような非常に短いパルス光を発生できた理由のひとつと考えられる。また、このタイプのレーザーでは、吸収された光のエネルギーが熱エネルギーに転換するためにデバイスの温度上昇が避けられないが、ポリイミドという耐熱性樹脂を用いているので、安定した動作を継続することができた。さらにこの材料を用いたデバイスは、再現性と量産性にもすぐれているので、実用的に非常に有望である。

また、この材料を用いて、ナノチューブをコア部に含有する光導波路の試作にはじめて成功した。光導波路とは、図3に示すようにコア部と呼ばれる屈折率の高い細長い領域を、クラッド部

と呼ばれる屈折率の低い領域で覆うことにより、コア部に光を閉じ込めて長い距離を伝播させるデバイスである。閉じ込めによって光強度を高くすることができるので、高い光強度が要求される非線形光学デバイスに適している。今回開発に成功した材料は、高度な微細加工技術を適用できるので、実際に図4に示すような光導波路構造を試作することができた。非線形光学デバイスとして機能することも確認しており、この材料が非線形光導波路デバイス用の材料としても有望なことが実証できた。

### 今後の展望

今回開発した材料は、フィルムや導波路にとどまらず、半導体光デバイスとのハイブリッド化など、多様な展開が期待できる。また、非線形光学材料以外にも、ナノチューブの分散濃度を高くすれば帯電防止材料としての応用が期待できるので、とくにポリイミドの耐熱性と機械的強靱性を生かした用途の探索を進めていきたい。

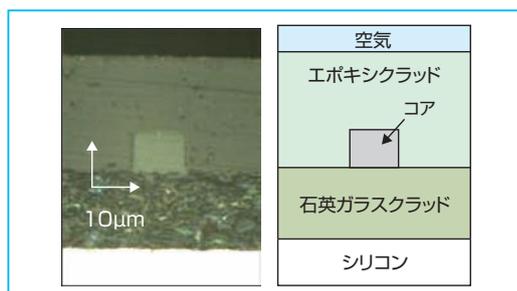


図4 試作した光導波路構造の断面

#### 関連情報：

- 共同研究者 片浦弘道 (ナノテクノロジー研究部門)、徳本圓 (ナノテクノロジー研究部門)、板谷太郎 (計測フロンティア研究部門)、金高健二、並木周、松崎瞬 (東京理科大学連携大学院)、石田興太郎 (東京理科大)、糸賀恵美子、板谷博 (ピーアイ技術研究所)、ウィンモーター (ピーアイ技術研究所)
- 産総研プレス発表：2006年2月14日「カーボンナノチューブをポリイミド樹脂中に均一に分散させることに成功-透明性・耐久性にすぐれた非線形光学デバイスに大きく前進」
- Y. Sakakibara, K. Kintaka, T. Itatani, S. Matsuzaki, T. R. Schibli, K. Minoshima, S. Namiki, E. Itoga, M. Tokumoto, K. Ishida and H. Kataura, Proceedings of Optical Fiber Communication Conference 2006 OThQ1.

# 高導電性カーボンナノチューブ

## 金属カーボンナノチューブを簡単に80%まで濃縮

単層カーボンナノチューブを過酸化水素水の中で加熱するだけで、半導体ナノチューブを優先して燃焼して除去し、金属ナノチューブを濃縮することに成功した。この反応は、過酸化水素による電子移動で半導体ナノチューブの化学反応性が高められたためと考えられる。この技術により、今後ナノチューブの電極材料への応用が加速されるものと期待される。

Enrichment of metallic single-wall carbon nanotubes (SWCNTs) has been achieved by selective oxidation of semiconducting SWCNTs simply by heating in hydrogen peroxide. This reaction is probably caused by a higher chemical reactivity of semiconducting SWCNTs induced by a charge transfer to hydrogen peroxide. This reaction could be applied to more precise selection that is crucial to transparent electrodes and other electronic devices in near future.

### 金属カーボンナノチューブと半導体カーボンナノチューブの分離精製

カーボンナノチューブ(carbon nanotube: CNT)は、構造(炭素6員環ネットワークの巻き方)によってその性質が金属になるか、半導体になるか変化するという非常に面白い特性を持つ。それらの構造の違いはわずかであるため、実際に合成されるCNTは、金属CNTと半導体CNTの混合物になっており、そのうち金属CNTの含有率は約33%となっている(図1)。

科学的には面白いのだが、応用上は、これは深刻な問題となる。例えば、金属CNTのもつ高い導電性を利用する場合、67%近く含まれる導電性の低い半導体CNTの存在は全体の導電性を著しく低下させてしまう。逆に、半導体CNTをトランジスタとして利用する際には、金属CNTはon/off比を大きく劣化させる原因となる。そのため、CNT本来の優れた特性を引き出すには、金属CNTと半導体CNTとの分離は不可欠であり、現在、重要な研究課

片浦 弘道 かたうら ひろみち  
h-kataura@aist.go.jp  
ナノテクノロジー研究部門  
自己組織エレクトロニクスグループ  
研究グループ長  
(つくばセンター)

カルコゲナイド系非晶質半導体、近藤合金、高温超伝導体、フラーレンの合成と物性研究を経て、1996年からレーザー蒸発法による単層カーボンナノチューブの合成をスタート。ナノチューブの直径制御、分子内包、生成機構の解明、一次元系物性物理の研究を行ってきた。2004年に産総研に入所。ナノチューブの金属・半導体分離精製、層数制御、集合状態制御の研究を行っており、非線形光学素子や透明導電性薄膜への応用を目指している。今後、ナノチューブ回路の自己集積化に取り組む。

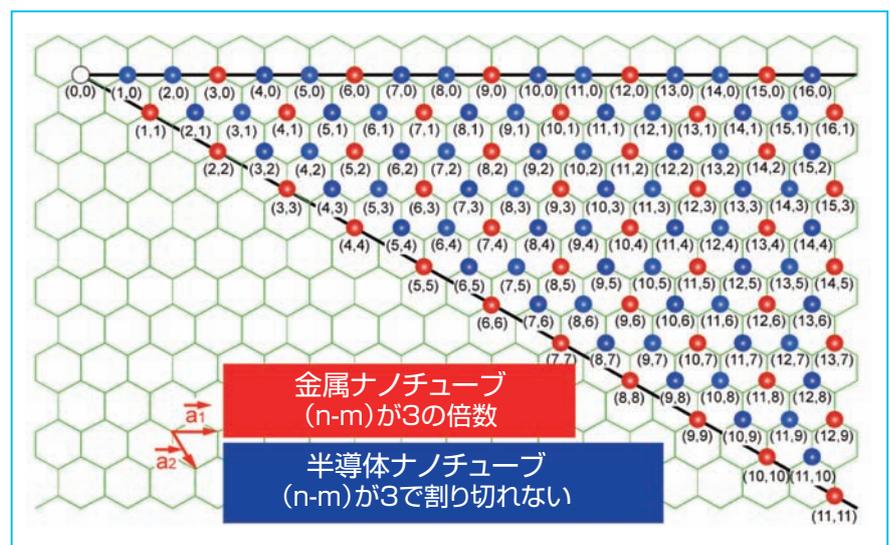


図1 単層カーボンナノチューブ (SWCNT) の構造による金属、半導体の変化  
図中 (n,m) は構造の指標を表す。白丸と赤丸が重なるようにシートを丸めると金属 SWCNT、白丸と青丸が重なるようにシートを丸めると半導体 SWCNT となる。合成直後の SWCNT 試料は、金属 SWCNT と半導体 SWCNT の混合物であり、全体の 1/3 が金属となる。

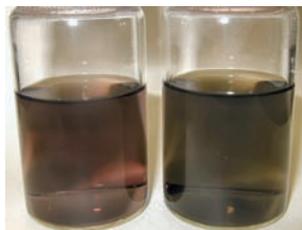


図2 水中に分散したSWCNTの写真  
右：処理前のSWCNT。  
左：金属SWCNTを50%程度まで濃縮した試料。金属SWCNT固有の赤色が観測される。

題の一つとなっている。

金属CNTと半導体CNTの間で、構造や磁性にはほとんど差がないため、他の物性の違いを利用して分離する必要がある。一般に、自由電子を持つ金属の方が半導体に比べ化学反応性が高い。これまでは、この性質の違いを利用して、金属CNT・半導体CNTの分離が行われてきた。しかし、1次元金属である金属CNTの電子状態密度は低いため、反応性の違いもわずかであり、有意な分離するには複雑な行程の化学処理が必要であった。

### 簡単な処理で高い金属濃縮を実現

今回われわれが開発した手法は、過酸化水素水の中で90℃程度まで加熱するだけという、きわめて簡便な手法である。原料物質としては、HiPcoという市販の高純度単層カーボンナノチューブ（single-wall carbon nanotube：SWCNT）を用いた。試料に含まれる鉄触媒の微粒子を重量比で4%程度まで除去した後、濃度30%の過酸化水素水中に分散し、90℃で47分間保持した。残った試料の光吸収スペクトルから金属SWCNTと半導

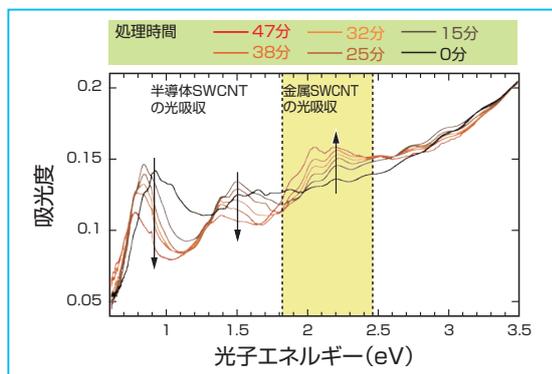


図3 過酸化水素水での処理時間によるSWCNT薄膜の吸収スペクトルの変化  
処理が進むにしたがって、半導体SWCNTに対し金属SWCNTの比率が増すのがわかる。

体SWCNTの比率の変化を調べたところ、開始時には33%程度であった金属の成分が処理後には80%程度まで濃縮されていることが明らかになった（図3）。

反応時間を変えて測定を行った結果、半導体SWCNTは酸化により毎分10%減少しているのに対し、金属SWCNTは毎分7%しか減少していないことがわかった。この酸化速度の差が、結果的に金属SWCNTの濃縮を引き起こしている（図4）。また、金属SWCNTを60%まで濃縮した薄膜を作り、導電性を調べたところ、未処理SWCNTの薄膜に比べて電気抵抗が半分以下になっており、金属SWCNTの濃縮による導電性の向上が確認された。

### 反応原理解明と今後の展開

一般に金属CNTの方が半導体CNTよりも反応性が高いのに対し、今回の結果はそれと逆の傾向を示している。この反応性の逆転は、過酸化水素がSWCNTの電子構造を変化させたことによる。つまり、SWCNTから過酸

化水素への電子の移動により、半導体SWCNTが金属CNTより状態密度の高い金属に変化し、その結果、反応性が高まったと考えられる。ここで観測された反応性の劇的な変化はきわめて重要で、化学ドーピングによって電子状態を変えるとSWCNTの化学反応性を制御できることを示唆している。今後、この反応原理を応用すれば、さらに効率よく高度な分離精製が可能になり、導電性薄膜や電子デバイスへの応用が加速するものと期待される。

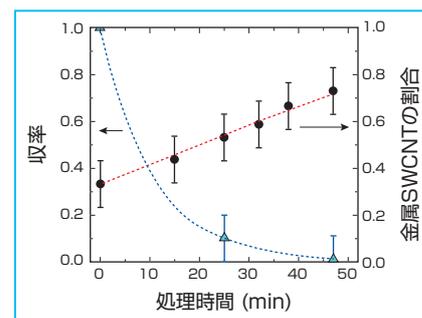


図4 処理時間に依存する収率と金属SWCNTの混合比  
●：金属SWCNTの割合  
△：収率

#### 関連情報：

- 共同研究者：宮田耕充（首都大学東京：技術研修員）
- 本研究は NEDO 技術開発機構の産業技術研究助成事業の補助金を受けて行われた。
- 投稿論文：Y. Miyata, Y. Maniwa, H. Kataura: J. Phys. Chem. B. vol. 110, p.25-29. (2006)

## 簡便で高感度な環境汚染物質測定法 現場使用を考慮した高性能ガスセンサ

特許 第3148984号 (出願 1999.4)

第3682474号 (出願 2002.9)\*

\* (株)ガステック他との共願

● 関連特許 (登録済み : 国内 1 件 国外 2 件 出願中 : 国外 1 件)

### 目的と効果

揮発性有機化合物 (VOC) による汚染が社会問題化する中で、揮発性有機塩素化合物 (トリクロロエチレン (TCE) 等) による土壌や地下水の汚染は特に深刻視され、環境測定現場では簡便で高性能な環境測定用ガスセンサが求められています。

そこで、水晶振動子と分解薬剤を利用したハイブリッドタイプの検出手法 (ハイブリッド型 QCM 測定手法) を用いた新しいセンサを開発しました。この検出法によって、ppb レベルの環境基準の測定が可能になりました。

### [適用分野]

● 揮発性有機塩素化合物 (代表例トリクロロエチレン) 等によって汚染された土壌や地下水の濃度測定ならびに汚染場所の特定調査

### 技術の概要、特徴

一般的に水晶振動子を利用した測定法 (QCM) では、VOC ガスを水晶振動子の表面で捉え、VOC ガスによる水晶振動子の重量変化を発振周波数変化に変換して検知しますが、その場合、測定対象物質に有効な「検知膜」を使用します。しかし、ppb レベルの環境基準の場合、温度や特に湿度の影響を受けることが多く、現場環境で実用的に測定するためには、それらの対策を施す必要性があります。

そこで私たちは、新たに測定対象物質に対して有効な分解薬剤を利用し、その反応生成物を水晶振動子の電極と直接反応させて検知する、「ハイブリッド型 QCM 測定手法」の開発を行いました。この手法は、湿度などの影響を受けにくく、かつ分解薬剤と反応しないガス (酸素や窒素等) の影響を受けないこと、誰にでも簡便に測定可能であるという特長を持っています。

この成果により、例えばトリクロロエチレンについては、大気環境基準 (約 37ppb 程度) レベルの低濃度を測定可能としました。

### 発明者からのメッセージ

この測定方法は、揮発性有機塩素化合物 (TCE 等) ばかりではなく、分解薬剤を変えることによって揮発性芳香族化合物 (トルエン等) も測定可能です。今後は、さらに他の VOC ガスや重金属類に対しても有効な手法の研究開発を行っていきます。

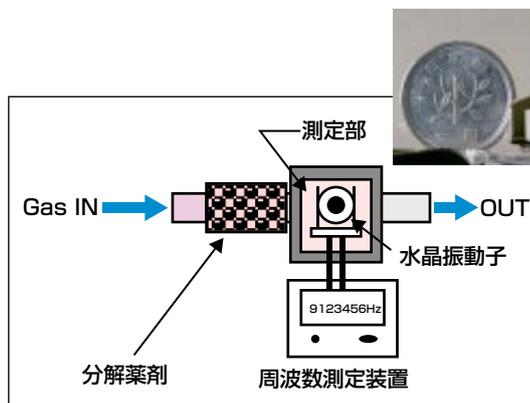


図1 基本的な検知原理図(左)と水晶振動子の外観(右上)

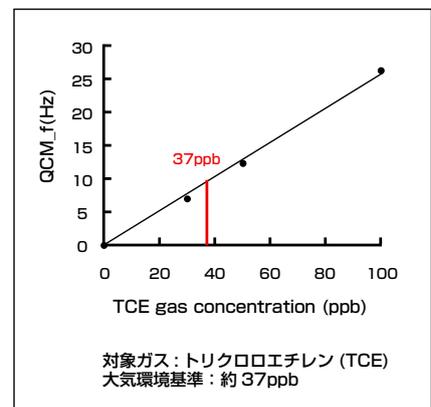


図2 ハイブリッド型QCMによる測定例(TCEの場合)

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/>

# 特殊構造を有するポリアミド4

## 分岐構造の導入による力学特性の改質

特許 第3453600号 (出願2001.3)  
 第3699995号 (出願2002.2)

● 関連特許 (登録済み: 国内1件 出願中: 国内1件)

### 目的と効果

ポリアミド4は、2-ピロリドンを開環重合することにより合成される生分解性高分子材料です。これまで直鎖型ポリアミド4を汎用材料として開発するという観点から研究が行われてきました。私達は従来の直鎖型ポリアミド4とは異なる展開を目指して物性の改質や機能性の付与をすることを目的に、高分子鎖中に様々な特殊構造の導入を試みてきています。それら一連の研究の中で、高分子鎖中に分岐構造を導入することによって分岐型ポリアミド4を開発し、力学特性の1つである引張強度を直鎖型ポリアミド4よりも大きくすることに成功しました。

### [適用分野]

- 環境関連材料 (包装資材、自動車部品、電気電子部品、機械部品)

### 技術の概要、特徴

ポリアミド4は、①物性的側面からは、融点が高く (265℃)、引張強度もポリアミド6 (80MPa) に匹敵するほどの大きさを持つこと、②環境的側面からは、生分解性があり、発酵法により原料が得られること、③合成的側面からは、室温以下でも重合可能であり、開始剤が高分子鎖内に分解されることなく取り込まれるため様々な特殊構造 (反応性官能基、生理活性物質、etc.) を導入できること、等の特徴があります。本技術では合成的側面に着目し、2-ピロリドンの開環重合において、多塩基酸塩化物を開始剤として使用することにより分岐構造を導入しました (図1)。分岐構造の導入によって、直鎖型ポリアミド4と比較して、同程度の分子量範囲では引張強度を大きくすることができました (図2)。この分岐型ポリアミド4は開始剤濃度により、分子量の調節が可能であり、標準活性汚泥により直鎖型ポリアミド4と同様に生分解されます (図3)。

### 発明者からのメッセージ

この分岐型ポリアミド4は高融点・高強度ですので、エンジニアリングプラスチック分野に加えて、従来のポリエステル系生分解性高分子材料 (ポリ乳酸、ポリブチレンサクシネート等) とは異なる分野での応用が可能であると考えています。実用化を目指して企業の方との共同研究を希望しています。

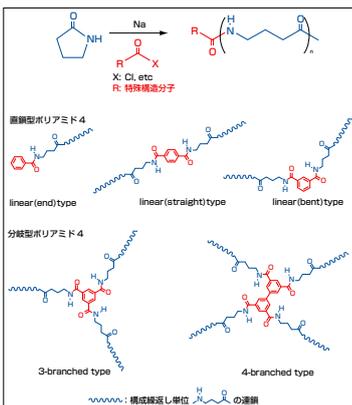


図1 特殊構造として高分子鎖中に分岐構造を有するポリアミド4

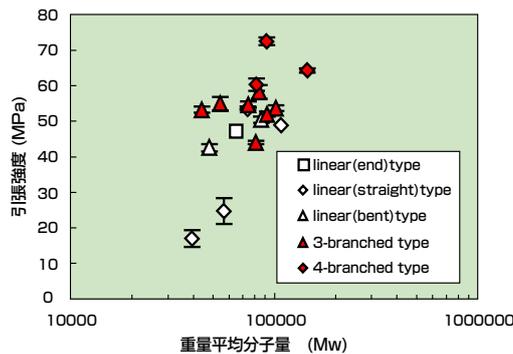


図2 直鎖型および分岐型ポリアミド4の引張強度と分子量の関係

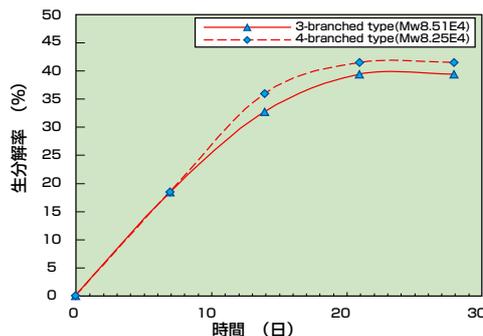


図3 標準活性汚泥中での分岐型ポリアミド4の生分解率の経時変化

# 火山噴煙観測の新手法

## 火山ガス組成からマグマ活動を理解するために

### 火山ガス観測

火山から立ち上る噴煙（火山ガス）は、火山直下でのマグマ活動の証である。火山ガスは、地下深部でマグマに溶存していたガス成分が、マグマの上昇により減圧・放出されたものである。火山ガスの主成分は $H_2O$ で、 $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $H_2S$ 、 $H_2$ などが1%前後含まれている。これらの成分比は、マグマの組成やマグマから火山ガスが放出された条件により変動するため、地下でのマグマの動きの指標となり、火山活動の評価を行う際の重要な情報である。

従来は、火山ガスの化学組成を測定するために、噴気孔から直接採取した試料の化学分析を行っていた。しかし、活動期の火山の噴気孔から直接試料を採取するには相当の危険が伴うため、活動期の火山ガス組成のデータはこれまで非常に乏しかった。

火山噴煙は火山ガスと大気混合物であるため、噴煙中の火山ガス成分の濃度から大気の寄与を除去できれば、元の火山ガスの組成を推定することが可能である。噴煙中の火山ガ

ス濃度の変化は、大気による希釈の程度の違いにより変動するが、その相関に注目することで大気の寄与を除去することが可能である。産総研では、この原理を利用して、活動的火山の火山ガス組成観測を行うために、噴煙中の火山ガス成分濃度測定用の携帯型センサーシステムを開発した。

### 携帯型マルチセンサーシステム

火山噴煙中の火山ガス成分の濃度変化を精度良く測定するためには、噴煙が比較的濃厚である山頂付近で観測を行うことが望ましい。そのため、測定装置は小型軽量で蓄電池駆動である必要がある。また、噴煙中の濃度変動を測定するために、ガス測定器は応答時間が短い必要がある。大気中の各種ガス成分濃度の測定器には様々な物があるが、その中から携帯性・応答時間などを考慮して、赤外吸収 $H_2O-CO_2$ 濃度測定器、定電位電解式 $SO_2$ および $H_2S$ 化学センサーと半導体 $H_2$ センサーを利用し、噴煙観測用携帯型マルチセンサーシステムを作成した（写真1）。

システムはバッテリー、データロガーなどを含めても5kg程度であり、人間が運搬して火山山頂での観測を行うことも可能である。

この装置を噴煙の流れてくる場所に設置し、大気を吸引して火山ガス成分の濃度変動を測定する。噴煙中では大気による希釈の程度の変化に応じ各成分が平行に変動している。各成分のピーク面積を算出し、その比を求めることによって元の火山ガス中の成分濃度比を推定することができる（図1）。この手法では、火口から離れた場所での観測により火山ガスの組成が推定できるため、活発な噴煙活動や噴火活動を行っている火山にも適用可能である。今までに、三宅島、浅間山、諏訪之瀬島などの日本の火山だけでなく、イタリアのEtna火山やチリのVillarrica火山（写真2）などの活動的火山で、この手法により火山ガス組成を測定してきた。いずれも活発なマグマの活動により火山ガスが放出されている火山であり、現在、これらの火山の火山ガス放出過程や噴火過程の解析を進めている。

### 今後の展開

この手法は火山ガス組成の自動観測手法でもあるため、様々な応用が可能である。地震や地殻変動など各種地球物理学的手法による活火山観測は自動連続で行われている。これらの連続データとの比較を行い、火山ガス組成に基づく火山活動解析を可能とするためには、火山ガス組成観測も自動連続で行うことが望ましい。現在、この装置を基にして定点設置型の連続観測システムの構築を進めている。また、こ

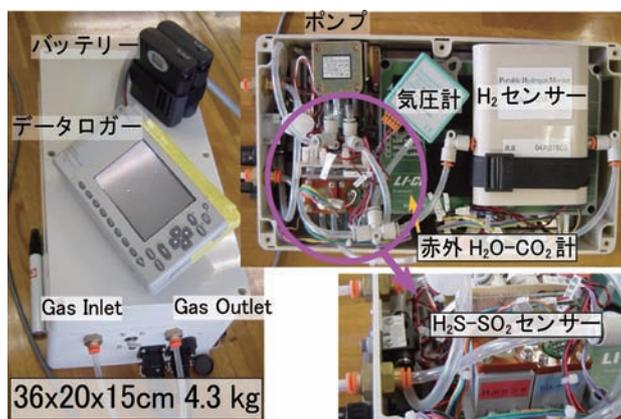


写真1 携帯型センサーシステム

外観（左）と内部（右）。外気をポンプで吸引し、火山ガス成分濃度を各センサーで測定し、その変化をデータロガーに記録する。

の装置を無人小型飛行機に搭載すれば、人間が直接近づけない場所や状況下での噴煙の観測を行うことも可能になる。

この手法により求められたガス組成の精度は、各センサーのガス濃度の測定精度に依存している。特に、噴煙中の各成分の濃度変動間の相関を用いるため、各センサーの応答が速いことが求められる。また、連続観測を行うためには長期安定性も必要になる。この装置で用いている化学センサーや半導



写真2 チリ、Villarrica 火山 (標高 2847m)

遠景 (左) に見える噴煙は、山頂火口の底でマグマが沸き立ち、火山ガスとして放出されているもの (上)。火口の直径は約 20m。

体センサーは、省電力・小型軽量であるため、遠隔地での火山観測に適しているが、応答速度や安定性では未だ改良の余地が大きい。今後は、様々な

センサーを比較・改良していくことによって、観測条件に適したセンサーを使用し、より高精度で安定した観測が可能なシステムに改良していきたい。

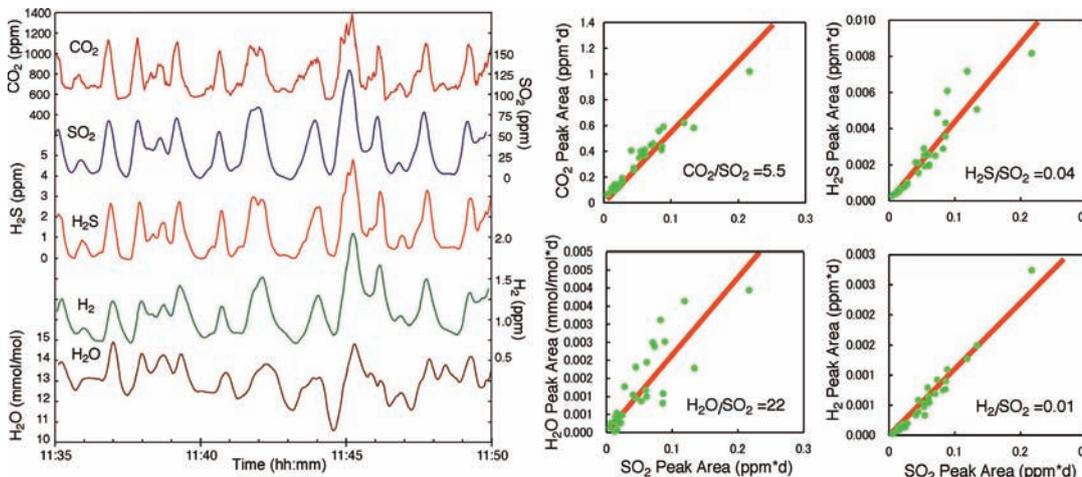


図1 イタリア、Etna 火山での観測結果  
各成分の濃度変化 (左)、各成分の濃度ピークの面積の比較 (右)。ピーク面積の比は元の火山ガス中の組成比に等しい。H<sub>2</sub>Oは大気中の濃度変動が大きいので、ピーク面積の相関がやや劣っている。

参考文献

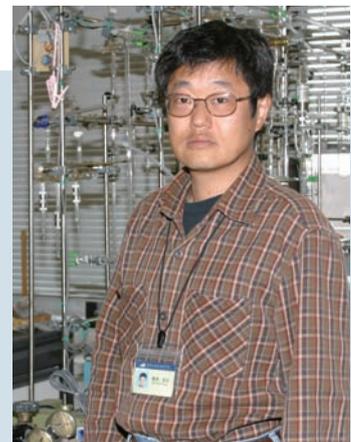
- H. Shinohara: A New Technique to Estimate Volcanic Gas Composition: Plume Measurements with a Portable Multi-Sensor System. J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol.143, p.319-p.333 (2005)
- H. Shinohara and J.B. Witter : Volcanic gases emitted during mild-Strombolian activity of Villarrica volcano, Chile. Geophys. Res. Lett., Vol.32, L20308, doi:10.1029/2005GL024131 (2005)

地質情報研究部門 (つくばセンター)

篠原 宏志

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

火山ガスやマグマから放出される熱水を対象として、現地観測・高温高圧実験・理論モデル計算などを行い、火山ガス放出過程や熱水性金属鉱床の形成過程などを研究してきた。現在は、噴火予知・火山活動推移予測の向上を目指し、火山ガスの挙動に注目した噴火過程・マグマ供給過程の研究を行っている。観測データの個別解釈を越えた、地下でのマグマ・火山ガスの挙動の実体的な理解のために、地球化学・地球物理学・地質学・岩石学など多分野の視点・手法の比較・検証を心がけている。



# ニーズに応えた低温域の温度計校正サービス

## 酸素の三重点温度(-218.7916 °C)までの校正開始

### 低温域の国際温度目盛

0.01 °C (273.16 K) 以下の低温域は、食品産業、医療医薬品産業、液化天然ガスプラント、宇宙開発など数多くの産業で利用されている。これらの産業で用いられている温度計が示す温度値は、現在の温度標準である1990年国際温度目盛 (ITS-90) [1] へのトレーサビリティが確保されることで国際整合性が保証される。産総研の役割はそのITS-90を実現し、校正サービスを行うことによって、各種産業で利用されている温度計がトレーサビリティを確保できるルートを提供することにある(図1)。

図2に0.01°C以下の低温域のITS-90を模式的に描いたものを示した。低温域ではITS-90は上から白金抵抗温度計、<sup>4</sup>Heまたは<sup>3</sup>Heの気体温度計、<sup>4</sup>Heおよび<sup>3</sup>Heの蒸気圧温度目盛により定義され、最低温度-272.5 °C (0.65 K) まで規定されている(さらに近年、超低温度域においても0.9 mKから1 Kまでの暫定低温目盛 (PLTS-2000) が国際的に合意採択されている [2, 3])。

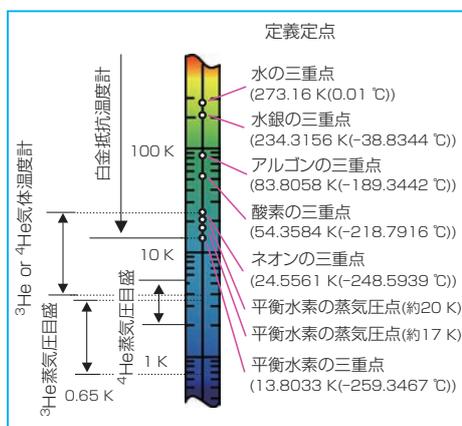


図2 1990年国際温度目盛の低温域の模式図  
温度目盛は対数で表示している。



図1 低温領域での温度目盛のトレーサビリティの模式図  
図中では低温を利用している産業の例を示している。

産総研ではITS-90の下限温度まで(将来的にはPLTS-2000まで)実現するシステムを開発するとともに、産業界で特に利用が多い温度域から先行して校正サービスを開始している。

### 白金抵抗温度計の校正サービス

白金抵抗温度計の形状には、5 cm

程度の白金センサーが小さな金属製のカプセルの中に封入されているカプセル型と、同様の白金センサーが40 cmを超える長い鞘の先端内部に装着されているロングステム型の主に2種類がある(図3)。低温域でのITS-90の実現には、室温からの熱流入の影響を抑制出来る利点からカプセル型白金抵抗温度計がよく用いられている。



図3 白金抵抗温度計の模式図

白金抵抗温度計によりITS-90を実現するには、まず、ITS-90で規定された水の三重点などの定義定点(図2)を実現し、その温度での抵抗値を求める校正作業を行う。そして、定義定点の温度とそこでの校正値の関係を基に、ITS-90の規定に従って定義定点温度の間を結ぶ補間式を作ることでその温度計の温度目盛が決定される。

産総研ではカプセル型白金抵抗温度計に対して低温域での定義定点を実現するためのシステムを独自に開発してきた [4]。しかし、水の三重点以外

の定義定点の実現はその操作が複雑であり、1つの定点実現に1か月以上の長時間を要するため、低温度域の校正サービスを定点実現により行うのは非効率的であるという問題点があった。この問題を解消するために産総研で採用した方法は、ITS-90に従って温度目盛の値付けを行った温度計を基準温度計とし、それと校正対象の温度計を定義定点温度で比較することで校正サービスを行うものである。

図4にその校正サービスを行う装置の断面図を示した。低温の生成には機械式冷凍機を用いており、温度計を装置に設置した後はコンピュータによる操作のみで校正が行え、効率性が非常に高いものになっている。さらに、性能面では基準温度計と校正対象の温度計を設置している銅ブロックの温度が、目的の温度に設定すると12時間以

上にわたり温度変動幅0.1 mK未満で安定にコントロールできる（このような機械式冷凍機を用いた校正装置を開発したのは産総研（旧計量研）が世界初であり<sup>[1]</sup>、現在用いている装置はさらに性能を向上させたものである）。この装置により産業界での利用が特に多い酸素の三重点温度（-218.7916℃）までの校正サービスを既に開始している。この装置を用いた校正の合成標準不確かさは0.1 mK程度で、この不確かさの小ささは世界トップレベルである。

ところで、図3で示したもう一方の、ロングステム型白金抵抗温度計に対しても、近年、産業界ではアルゴンの三重点温度（-189.3442℃）までの校正のニーズが高くなってきていた。それに対応するべく、産総研では昨年より校正サービスを開始し、より一層社会ニーズに応えることを目指している。

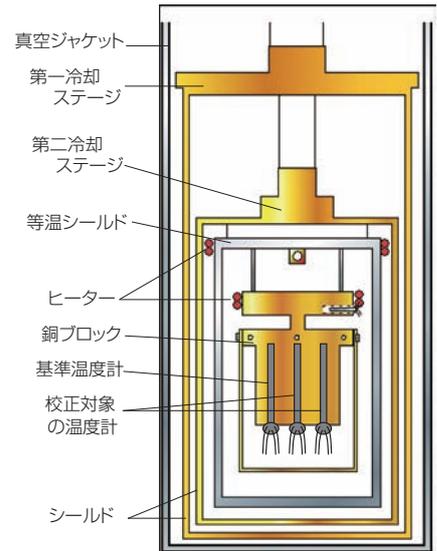


図4 カプセル型白金抵抗温度計の校正装置の断面図

## 今後の展開

産総研では今後、校正温度範囲をより低い温度域に拡張し、ITS-90の下限温度0.65 Kまでの校正サービスを2008年に開始することを予定している。さらにITS-90よりも低い0.9 mKまで規定されているPLTS-2000の実現、およびそれに基づいた、校正サービスと次世代の国際温度目盛の改訂に寄与することを目指し研究開発を開始している<sup>[3]</sup>。

## 参考文献

- [1] 「1990年国際温度目盛 [日本語訳]」, 計量研究所報告 Vol. 40 (1991) 308-317
- [2] 「低温度標準における最近の動向 - 暫定低温度目盛 PLTS-2000 について -」, 島崎毅, 計測と制御, Vol. 42 (2003) 894-899
- [3] 「超低温目盛の実現に向けて」, 中川久司, 産総研計量標準報告 Vol.4, No.2 (2005) 99-115
- [4] 「新世代密封セルによる平衡水素三重点の実現」, 中野享, AIST Today, Vol. 3, No. 8 (2003) 34
- [5] "Cryogenic thermometer calibration apparatus using a GM type closed cycle helium refrigerator", H. Sakurai and O. Tamura, Tempmeko Vol. 90 (1990) 112-117

計測標準研究部門（つくばセンター）

**中野 享**

E-mail : tohru-nakano@aist.go.jp

現在の温度標準である1990年国際温度目盛 (ITS-90) の低温度域を実現するために新世代の要素技術を開発し<sup>[1]</sup>、世界トップレベルでの温度標準の設定を可能にしている。また、ITS-90の問題点とその解決方法を共同研究者とともに明らかにし、国際温度目盛の向上に貢献している。今後、温度標準のさらなる向上を目指すとともに、校正サービスを通してこれまでに開発してきた温度標準を産業界に利用して頂ける体制を整備し、社会に貢献して行きたい。

共同研究者：田村 収、櫻井 弘久



# 文部科学大臣表彰受賞

## ● 平成 18 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰

科学技術分野において顕著な功績をあげた方々を対象とした科学技術賞、高度な研究開発能力を有する若手研究者を対象とした若手科学者賞、優れた創意工夫により職域における技術の改善向上に貢献した方々を対象とした創意工夫功労者賞等の各表彰が4月18日に行われました。産総研からは5名が受賞しました。受賞者のコメントを添えて紹介いたします。

### 《科学技術賞》 開発部門

- 高津 章子 (計測標準研究部門 有機分析科 バイオメディカル標準研究室長)  
「生体成分の高精度分析法の確立と標準物質の開発」

このたびは、現在私たちが取り組んでいる標準物質の開発についての研究を高く評価していただき、大変名誉な賞を頂きましたことをとてもうれしく思っております。標準物質は、化学分析における整合性・信頼性確保の必要性から整備が強く求められているものですが、その開発のためには、信頼性の高い分析法を確立し、決して知ることのできないはずの「正しい値」を追求しなければならないという、分析化学の根源的な課題に正面から向き合っていく必要があります。今回は、開発賞ということで、標準物質の開発から供給に至っていることを高く評価していただいたわけですが、そのためには、候補品の規格作成から、種々の分析、評価、確認、あるいは頒布まで、関係者が協力して対応していくことが不可欠であり、開発・供給に関わったメンバー全員の成果に対する受賞だと誇りに思っております。



### 《若手科学者賞》

- 大崎 人士 (システム検証研究センター 自動検証研究チーム長)  
「総合領域分野におけるシステム自動検証技術の研究」  
(等式付ツリーオートマトンとシステム自動検証技術の研究)

総合領域分野での受賞というのは、私の研究スタイルを評価して頂いたようでとても有り難く思います。情報システムの安全性の自動検証技術の開発を出発点とした本研究は、等式付ツリーオートマトン理論という木構造言語理論の新たな一研究分野を築くことに貢献しました。理論的には従来ほとんど未開拓だった木構造言語の豊かな階層化という他の追随を許さない新規性をもつと同時に、等式付ツリーオートマトン理論に根ざした自動検証ツールの実装とアルゴリズム開発を通じ、現代情報システムの安全性検証技法の発展に貢献すると考えられるようになりました。

提唱する理論は世界的にも広がりを見せており、すでに暗号プロトコルや仕様記述などの自動検証で成果を挙げています。このように、自動検証技術の研究開発に端を発した学術的業績が等式付ツリーオートマトンという概念として定着し、新たな研究分野へと発展していくことに皆様から期待を頂いたことは、何よりも喜びです。今後も特定の理論や成果のみにとらわれることなく、広い視野で研究を進めていきたいと思っております。



### 《若手科学者賞》

- 加賀美 聡 (デジタルヒューマン研究センター ヒューマノイドインタラクションチーム長)  
「ロボット分野におけるヒューマノイドの知的行動の研究」

デジタルヒューマン研究センターでは、人間の機能の計算論的なモデリングをテーマにデジタルヒューマンと名付けた研究分野を提案し、2001年度から研究活動を行っています。具体的には人間の機能を、a)生理・解剖学的、b)機械・運動学的、c)認知・心理的、の三つに分類し、それぞれを計測技術、モデルおよびデータ、提示技術の3つの観点から一貫して研究することで、さまざまな産業分野に應用を広げることが研究スキームです。私はロボット研究者として、人の身近で活動するロボットは人間のモデルを持つことが不可欠であるとの思いで、活動に参加しています。この度は「文部科学大臣表彰若手科学者賞」を受賞することができて身に余る光栄です。これも産総研の素晴らしい研究環境のおかげと感謝しております。今後も知的なロボットの実現を目指して一層研究を進める所存です。



## 《若手科学者賞》

■ 齋藤 秀和 (エレクトロニクス研究部門 スピントロニクスグループ)  
「情報通信分野における強磁性半導体物質の研究」

将来の高度IT社会を支える技術として、電子の電荷とスピン両方の性質を取り入れて新機能素子の実現を図るスピントロニクス技術が大きく注目されています。「強磁性半導体」物質は同分野成功の鍵となる材料ですが、従来材料では強磁性を示す温度が極低温(約-100℃)であることが実用化の大きな障害となっていました。そこで、新しい材料系である(Zn,Cr)Teという物質系に着目し、試料の高品位化を追求した結果、室温(+27℃)での強磁性発現に世界で初めて成功しました。

本研究成果である(Zn,Cr)Teを用いれば、既存のSiテクノロジーでは実現できない不揮発性トランジスタが実現できる可能性があります。これが実現できればコンピュータ等のエレクトロニクス製品の高密度化および省エネルギー化に大きく貢献するものと期待されます。このような栄えある賞を頂くことができ大変光栄に存じます。この賞の名を汚すことのないよう、より一層研究に邁進する所存です。



## 《創意工夫功労者賞》

■ 菅原 義明 (技術情報部門 図書業務室長代理、元地質調査情報センター)  
「地質文献データベース作成及び公開提供での改良」

産総研地質調査情報センター地質資料管理室は、地球科学に係わる情報収集・整理、データベースの作成および情報を発信し、社会へ貢献してきました。今回の受賞は地質文献データベース開発・機能向上に係る業務に対して、ユーザの要請や情報技術の発展等を敏感かつ着実に受入れ、同データベースに反映させるべく柔軟な発想で創意工夫の提案・実行を重ねてきた成果を認められたものです。思いがけない今回の受賞に驚いており、また光栄に存じています。地道な業務が、今回の賞およびアクセス数の増加(現在約90万超/年)という目に見える形で評価されることは嬉しいことです。ただこの業務は個人の力だけではなく、文献の収集担当者、文献選択担当の研究者及びデータ入力スタッフの方々との地道な協力でなっており、それでごそ現在そして未来の地質文献データベースがあると考えています。この業務を支えてくれている皆様に、また旧地質調査所時代からの諸先輩方に深く感謝いたします。未登録資料、改良・機能付加の余地もまだまだあります。現在私は直接的な業務に携わる部署にはおりませんが、今後も情報発信の業務の一環として貢献することができればと考えております。



## 産総研のキャッチフレーズをつくりました

産総研ではこれまで、「社会の中で、社会のために」をキーワードにして全ての役職員を対象とした憲章を制定し、また第2期中期の大きな目標である「イノベーションハブ機能」の確立を推進しています。

憲章の精神や中期目標の内容を産総研自らが広く社会に発信し、また関係者に理解を深めていただくために、産総研の明快なキャッチフレーズを作りました。

「産総研TODAY」の表紙にも、今月号からデザインされているのにお気づきでしょうか? 今後、このキャッチフレーズはさまざまな機会を通じて使われます。

## 技術を社会へ

### Integration for Innovation

#### 技術を社会へ

産業技術の研究は社会の営みのなかの一部です。社会から切り離されて行うものではありません。産総研が社会に対して行う寄与・貢献とともに、産総研職員の自覚を促す言葉でもあります。「憲章」の精神を語り、産総研の目的と方向性を表現しています。

#### Integration for Innovation

技術、情報、人材の融合が、新たな経済価値を生み出すためには重要です。産総研は「本格研究」の理念を基本として、イノベーションハブ機能を発揮していきます。この言葉はその方法を表現しています。

## 新研究ユニット紹介

2006年4月1日に発足した3つの新研究ユニットについて紹介します。

### デジタルものづくり研究センター Digital Manufacturing Research Center

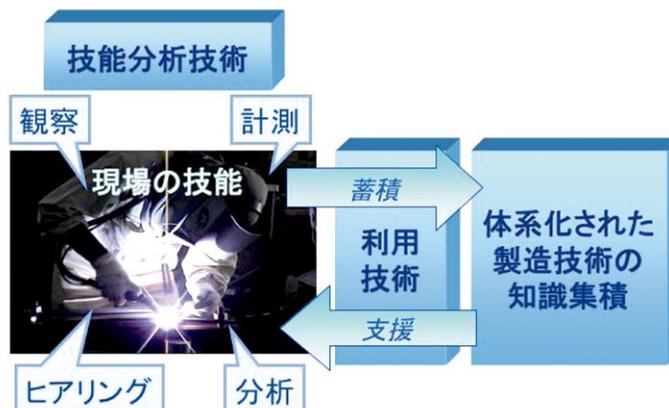
研究センター長 松木 則夫

わが国の高度な製造技術は、優秀な現場の作業者に支えられてきました。しかし近年、少子高齢化により将来の人材不足が懸念されています。優秀な人材が製造業に來なければ、この現場の力が弱体化してしまう恐れがあります。また、近隣諸国の発展は目覚しく、日本の製造業の優位性を維持してゆくことは簡単ではありません。

現場の強みとは何でしょうか？企業には、名人と呼ばれる人がいて、他の人には真似のできない高度な作業を行っています。しかし、名人の知恵や経験は、後継者に上手く伝わっていません。

名人の持つ、なぜだか分からないけれども上手くできてしまう技術を支えるものを「暗黙的な知識」と呼ぶとき、この暗黙的な知識を後継者にうまく伝えることができていることが問題の核心のようです。

当センターでは、高度だが未解明の



暗黙的な知識を明らかにする技術と、形式的ではあるが偏在していたり、原理が理解されていない知識を活用する技術の双方を、製造現場で使える形で提供することで作業者を支援し、高度な製造技術の維持・発展が可能となる技術の研究開発を目指しています。

このため、企業現場において、製造技術の計測、分析、ヒアリング、観察などを実施し、製造現象の解明とともに、作業者の持つ暗黙的な知識と形式的な知識の構造の解明に取り組みま

す。さらに、解明された知識の体系化と集積化を試み、その有効性を企業における利用(実験)により検証する、という手順を繰り返すことで製造技術の本質に迫りたいと考えています。これが当センターの「ものづくりの科学」の方法です。

また、それらを製造現場で生かすためには簡便性、効率性と安全性を兼ね備えた、高度な利用技術(デジタル化)が不可欠です。このための情報技術の研究開発も並行して実施します。

### 器官発生工学研究ラボ Organ Development Research Laboratory

研究ラボ長 浅島 誠

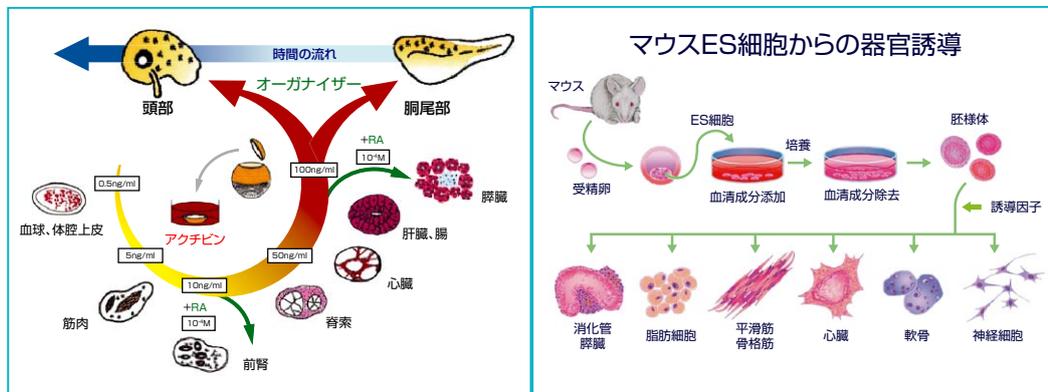
「私たちの体はどのように形づくられるのか？」発生生物学は、たった一つの細胞である「卵」がなぜ複雑な仕組みを持つ形に変わることができるのか、また様々な組織や器官を持つようになるのか、その仕組みを解明する学問です。では、その仕組みを明らかにした成果はどのようにすれば社会に還元できるのでしょうか？そのためには、ただ単に生命現象を解き明かすだけでなく、その応用を常に視野に入れながら具体的な方法論を確立することが必要です。本研究ラボは、オーガノミクス及びケミカルオーガノミクスとい

う革新的研究手法を駆使して臓器形成を制御するメカニズムを体系化することによって、新しい発生学の研究領域を開拓し基本的な生命現象を明らかにします。さらに、組織・器官の誘導系を確立しそのメカニズムを解明することによって医療・創薬への応用を図り、癌や生活習慣病の治療といった新しい医療応用技術を創成することを目指しています。

私たちはこれまでに、カエルの未分化細胞(アニマルキャップ)やマウスES細胞をアクチビンやレチノイン酸などの分化誘導因子で処理することに

よって、心臓、脾臓、腎臓、眼などを始めとする多くの組織・器官を試験管内で誘導することに成功してきました(次ページ図)。こうして可能になった試験管内組織・器官誘導系を最大限活用し、マイクロアレイやプロテオミクスを駆使して器官分化関連遺伝子を系統的に同定・検証することで、臓器別ロードマップを構築したいと考えています。また、ロードマップ上の遺伝子がどのような特定臓器疾患と関連するかを、ゲノム情報をコンピュータ上で検索し、それらが臓器特異的疾患マーカーとして利用可能かを探索すると共

に、遺伝子が果たす機能についても解析を行いたいと考えています。こうした解析を通じて、発生分化のメカニズム解明と医療や創薬などへの応用、これらを相乗的に理解できることを私たちは期待しています。



ツメガエルアニマルキャップ (左図) とマウス ES 細胞 (右図)  
アクチビンなどの誘導因子によって試験管内で誘導可能な器官・組織

## 創薬シーズ探索研究ラボ Drug-Seeds Discovery Research Laboratory

研究ラボ長 西村 紳一郎

生命科学分野における基礎研究の成果が広く国民に理解され認知されるためには、疾患に対する予防薬・診断薬・治療薬等の医薬品開発を中心とする具体的な出口との関係や、それらによって誘導される大きな経済的・社会的波及効果等を見据えた「基礎から応用・実用化までの一体型本格研究」の実現が不可欠です。

私たちの研究ラボでは創薬研究を支援・加速する資源としての独創的な化合物ライブラリの合成技術と革新的な医薬品候補分子探索技術を二本の重要な柱として、「化学とバイオ両分野の第1種基礎研究・第2種基礎研究の異なるポテンシャルを融合した本格研究」により医薬品製造業界からの大きなニーズに応えられる基盤技術を確立し提供することを第一の目的としています。さらに、この本格研究の実現のために研究成果を製薬会社等との共同研究開発や導出・技術移転に進展させることを第二の目的としています。獲得した医薬品候補化合物等に関する知的財産権・技術ノウハウ等を活用して、

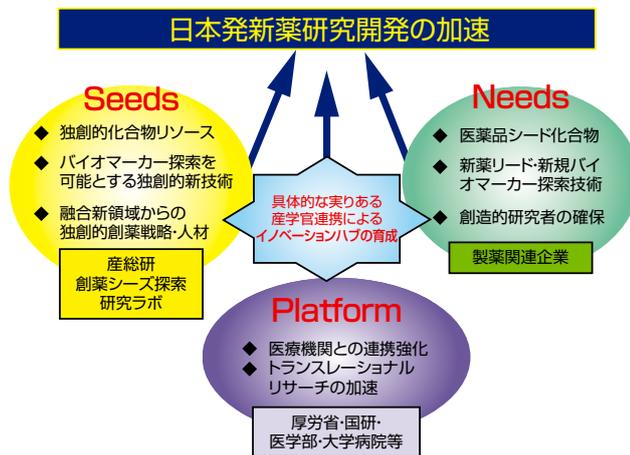
製薬・化学関連企業との戦略的・包括的な連携を強化してわが国発の新薬開発研究を支援します。これを実現することで産総研発の創薬支援ビジネスモデルを提案したいと考えます。

世界に先駆けて開発した糖鎖自動合成技術および電磁波利用合成技術などを統合したコンビナートリアルケミカルバイオテクノロジーを活用して、これまでに作製した癌抗原決定基に関連するフォーカスド化合物ライブラリやユニークな薬理作用機序が期待される低分子阻害剤群などを核とした新しい

診断技術・予防薬・治療薬開発に有効な創薬シーズ化合物群を系統的に創出します。

また、磁性体微粒子プローブ等を利用する機能性分子探索技術を応用して新規な疾患バイオマーカー分子を獲得して創薬ターゲットの分子設計に活用します。

産総研の化学分野とバイオ分野の異分野ポテンシャルの融合により創薬基盤技術研究の新しいイノベーションハブへの展開を目指します。



## ハノーバーメッセ2006開催

4月24日～28日の5日間、ドイツ・ハノーバー国際見本市会場でハノーバーメッセ2006が開催されました。このイベントは様々な産業分野が一堂に会する世界最大規模の産業専門見本市であり、毎年4月にドイツのハノーバー市で開催されており、今回が60回目とその歴史を誇っています。今回は世界66カ国より5175社が出展、来場者数155,000人以上を記録しました。とりわけ今年ドイツの文化、経済、科学などを幅広く紹介する「日本におけるドイツ年2005/2006」に当たり、両国関係者の肝いりを受け、日本から800人以上が来場し、我々産総研も過去最大の注力を果たしました。

このイベントで10分野の専門見本市が開催される中、産総研は「研究開発及びテクノロジー」の分野に出展し、熱電発電モジュール、粘土膜 (ClaiSt)、イオン性液体、エアロゾルデポジション (AD) 法、標的指向ドラッグデリバリーシステム (DDS)、超音波エコープロブ、Si/SiCフィルタの7つの技術を出

展しました。今年はデバイスや試作品を展示したこともあり、多くの企業や大学・研究機関の方々が産総研ブースを訪れる結果となりました。

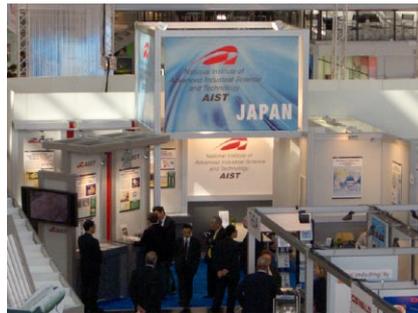
今年は産総研ブースでの出展のほかにも、ドイツ・フラウンホーファーとのジョイントセミナーをこのイベント3日目(4月26日)に開催し、産総研から4名の研究者が講演者として参加、産総研の技術の紹介を行うとともに、フラウンホーファーとの意見交換を行うことができました。

また、日本貿易振興機構(ジェトロ)及びニーダーザクセン州の二者主催による「日独経済フォーラム」がこのイベ

ント4日目(4月27日)に開催され、日独の政財界の関係者が多数参加する中、産総研からは小玉副理事長が本格研究に関する基調講演を行いました。

これら盛沢山のプログラムに加え、メッセ最終日(4月28日)には、高野駐ドイツ日本国大使が産総研ブースを訪問され、出展7技術について熱心な討議が持たれました。

今回の出展は、今後の技術移転の促進はもとより、ハイレベルに及ぶ人脈の形成及び国際連携に繋がる意義の大きいものとなりました。



## 地質調査総合センター代表がCCOP管理理事会議長に就任

CCOP (Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia ; 東・東南アジア地球科学計画調整委員会) は、加盟国11カ国を対象に、地球科学の情報や技術を普及するとともに、各種プロジェクトを仲介、調整、実施する国際機関です。CCOPに対するわが国の代表は在タイ日本大使館公使、常駐副代表は同参事官、そして常任副代表が産総研地質調査総合センター代表となっています。

さて、2005年9月に北京で開催された第46回管理理事会で、日本が次期議長国として推薦されました。産総研は、アジアにおける地球科学の研究及び成果の普及を重要なミッションと考えて

います。そこで議長国就任を受諾し、議長の人選について外務省と協議を行いました。その結果、地質調査総合センター代表の佃 栄吉氏が議長に就任することとなりました。任期は2006年1月1日から2年間です。

佃氏が議長を務める最初の会合は、2006年3月29日～31日にタイのクラブで開催された第47回管理理事会となりました。会議にはわが国のほか、カンボジア、中国、インドネシア、韓国、マレーシア、フィリピン、タイの各加盟国代表とCCOP事務局員、そして顧問団議長として米国が参加し、地球科学を利用して、社会にいかんCCOPが貢献できるか、その体制、活動、将来

の計画、財政などについて、熱心な討議が行われました。次回の管理理事会は11月4～5日に韓国の大田で開催されます。



佃代表(左)と前議長であるタイのポティサット氏(右)

## 日仏産業革新ラウンドテーブル開催

2006年4月26日、フランス・パリのホテルムーリスにおいて、「日仏産業革新ラウンドテーブル」が70名ほどの関係者を集めて開催されました。その中で、小玉副理事長が産総研の活動紹介をもとに、我が国における産学官連携によるイノベーション創出、および21世紀の日本にとって科学技術基本計画を踏まえ、民間企業における製品実現化に向け、独法としての橋渡しの重要性などについて講演を行いました。仏政府は、昨年より競争力拠点（産業クラスター）、首相府に産業技術革新庁

を設置する等、産業技術の革新による競争力強化を図っており、当該ラウンドテーブルも、日本貿易振興機構（ジェトロ）、仏首相府産業技術革新庁、仏経済財政産業省による共催でした。仏側は、ベッファー産業技術革新庁監視委員会議長（サンゴバングループ会長）、ルソー仏経済財政産業省企業総局長他、日本側は、小玉副理事長、塚本ジェトロ副理事長、中西経済産業省大学連携推進課長他が参加して、両国の産学官における技術開発の経験・知見を共有し、活発な意見交換を行いました。

また同日、小玉副理事長は、産総研と包括研究協力協定を締結しているフランス国立科学研究センター（CNRS）本部を訪問し、プレチナック新総裁、ミギュス新理事長他と、産総研・CNRSの今後の両機関連携に関して意見交換を行い、イノベーションBest Management Practiceに関するセミナー開催、Humanoid Roboticsジョイントラボ推進、環境触媒技術分野における連携について合意するとともに、名古屋・リモージュの環境調和型セラミックス分野の連携なども進めることになりました。

今回の小玉副理事長の仏訪問により、CNRSはじめ、両国の研究機関の連携強化が一層推進し、今後のさらなる進展が約束されたことは、大いに意義のある成果となりました。



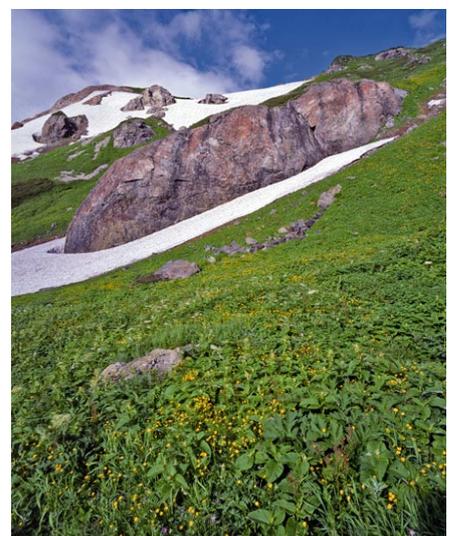
## 地質標本館で普及講演会を開催

地質標本館では一般の方々に地質分野のことを知っていただくために普及講演会を開催しています。今回は科学技術週間に合わせて4月22日に2つの講演：「日本列島の骨格をなす付加体（地質標本館 酒井 彰）」・「デジカメで撮る地学写真（写真家 白尾元理）」が行われました。「日本列島の骨格をなす付加体」では1960年代までよく分からなかった不規則に乱れた地層は、その後の微化石（放散虫など）の研究により、プレートが海溝で沈み込む時に海洋のプレート（及びその上にある石灰岩、チャートなど）の一部がはぎとられ、海溝に堆積していた砂・泥とともに陸側に押し付けられたもの（付加体）であることが解説されました。

「デジカメで撮る地学写真」では最近急速に普及したデジタルカメラの特徴を生かした魅力的な地学写真の撮り

方が解説されました。具体的には従来のもに比べ感度が高いことを利用して三脚なしでもかなり絞り込んで撮影できること、数枚撮ったものを後で画像処理して1枚につなげるなどのテクニックが紹介されました。

現在地質標本館では演者の一人である白尾氏の写真展「日本列島の20億年」が7月17日まで開催されており、迫力ある地学写真の例を見ることができます。



## 平成18年度春の叙勲

瑞宝重光章	柏木 寛	元工業技術院長
瑞宝双光章	厚地 有二	元工業技術院総務部筑波研究支援総合事務所次長
瑞宝小綬章	伊牟田和敏	元工業技術院公害資源研究所石炭部長
瑞宝双光章	大久保啓治	元工業技術院東北工業技術試験所総務課長
瑞宝小綬章	大塩 弘毅	元工業技術院総務部会計課長
瑞宝小綬章	鹿田 則光	元工業技術院資源環境技術総合研究所九州石炭鉱山技術試験センター所長
瑞宝中綬章	鈴木 智	元工業技術院北海道工業開発試験所長
瑞宝小綬章	仙波 良二	元工業技術院総務部筑波管理事務所長
瑞宝中綬章	高多 明	元工業技術院公害資源研究所長
瑞宝双光章	測 一博	元工業技術院電子技術総合研究所パターン情報部長

## サマー・サイエンスキャンプ2006 参加者募集

サイエンスキャンプは、先進的な研究施設や実験装置等を有する日本各地の大学・公的研究機関・民間企業（33会場）で、夏休みの3～4日間高校生等を受け入れて行われるイベントです。ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、エネルギー、社会基盤、製造技術、（宇宙・海洋等の）フロンティア、農学、防災、地球科学等の分野において、第一線で活躍する研究者・技術者等から直接講義や実習指導が受けられる科学技術体験合宿プログラムです。募集要項はウェブサイトから入手することができます。

なお、次に掲げるテーマについては、産総研を会場として行われます。詳しくは、下記事務局までお問い合わせ下さい。

◆ 「産業技術の先端に触れる～エネルギー、ナノテクノロジー、ライフサイエンス～」：「A：模型スターリングエンジンを作ってみよう」、「B：ナノテクノロジーに触れてみよう（自然のナノ構造）」、「C：ナノテクノロジーに触れてみよう（先端デバイスのナノ構造）」、「D：タンパク質のアミロイド形成性を研究しよう」の4コースから実際の研究現場で体験学習する。（産総研 つくばセンター：8/23～8/25・18名）

◆ 「北海道の大地で地球上の営みを体感しよう」：バイオテクノロジーやメタンガスハイドレートなどの先端研究について実物や模型に触れ理解を深め、有珠火山や支笏湖周辺で大地のエネルギーを体感しながら、野外の地質調査方法を実習する。（産総研 北海道センター：7/26～7/28・10名）

◆ 「調光ガラス～色が変わるガラス～」：環境問題の解決に役立つ「調光ガラス」は、室内に入る太陽光量を自在にコントロールでき、省エネルギー効果を発現する不思議なガラスである。このガラスを実際に真空下で作製し、表面観察・調光特性などを調べる。（産総研 中部センター：8/8～8/10・9名）



写真は昨年度の模様

開催日 : 2006年7月25日～8月25日の夏休み期間中の2泊3日もしくは3泊4日  
 参加費 : 10,000円  
 応募締切 : 6月27日(火) <必着>  
 主催 : 独立行政法人科学技術振興機構  
 事務局 : 財団法人日本科学技術振興財団内 サイエンスキャンプ事務局  
 TEL : 03-3212-2454  
 FAX : 03-3212-0014  
 URL : <http://ppd.jsf.or.jp/camp/>

## 産総研TVシリーズ 「つくば発しなやかな産業革命」

◆サイエンスチャンネル(スカイパーフェク TV!、110度CS放送、のほか多くのケーブルテレビ局)で放映されています。放送日時等は放送局によって異なります。また、下記のサイエンスチャンネルのホームページからご覧いただけます。  
<http://sc-smn.jst.go.jp/>

### ◆ 6月の放送プログラム

#### #6 ダイヤモンドの世界

炭素のかたまりであるダイヤモンドがすぐれた半導体になる

6月7日 (16:00~16:30)

ダイヤモンドは宝石の王様、そして、最も硬い鉱物。他にも、熱伝導率の高さなど、様々な特性を持っており、その利用は広範囲になると考えられている材料なのです。かつては天然の環境と同じく超高温・超高圧の下で人工ダイヤモンドが造られていました。その後、特殊なガスを使う方法が開発され、産総研でも研究開発が行われてきました。今後はその特性を生かす高度な応用が進むと考えられています。高耐久性を持つダイヤモンド炭素(DLC)など、新しい技術についても紹介します。



#### #7 次世代の情報産業を創出する

あらゆるコンピュータを結びつけるグリッド技術が新たな情報社会をつくる

6月14日 (17:00~17:30)

6月21日 (16:00~16:30)

グリッドは、従来の Web に代表されるインターネットの延長線上にある技術です。あちこちに分散して存在する多数の計算機やセンサーなどネットワークに接続された様々なIT資源を連携させることができます。これにより、柔軟で制約のない情報サービスを提供します。プラグをコンセントに差し込むだけで電気が使えるように、計算機やデータの所在場所、ネットワークの環境、といったものを意識することなく、いつでもどこでも必要なときに必要なだけサービスを受けられるのを可能にするグリッド技術について紹介します。



#### #8 地球丸ごとデータ化

地球に関する情報を的確にとらえ整理することは極めて重要

6月28日 (17:00~17:30)

地球のことを良く知るためにも、あらゆる地球上の現象をモデル化し、地球を丸ごと情報化することが必要です。そのひとつとして、地質情報を整備して体系的なデータベースを構築することとその公開・共有が望まれています。地質図は国土の開発、地下資源の発見、防災にとっても役立ちます。地下の情報を様々な方法で調査し、目的に合った地質図を作成する過程を紹介します。



## お詫びと訂正

2006年5月号の特集ページ中に誤りがありました。下記の通り訂正してお詫びいたします。

Vol.6 No.5 P.9 『産総研の平成18年度計画』

(誤) デジタルものづくり先端技術研究センター

(正) デジタルものづくり研究センター

## EVENT Calendar

5月10日現在  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/event/event\\_main.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/event/event_main.html)

2006年6月 → 2006年8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
<b>6 June</b>			
6日	ヒューマンストレス産業技術研究会講演会「酸化ストレスマーカーの開発と応用」	池田	072-751-9991●
10~11日	産学官連携推進会議	京都	03-5216-5620
21日	新技術動向セミナー	名古屋	052-223-8603
<b>7 July</b>			
4~5日	バイオウィーク in Sapporo 2006 -特殊環境微生物の最新研究動向と産業応用-	札幌	090-7655-0344●
12~13日	環境工学総合シンポジウム 2006	東京	03-5360-3505
21日	産総研一般公開 (関西センター 尼崎)	尼崎	06-6494-7854●
22日	産総研一般公開 (つくばセンター)	つくば	029-862-6214●
29日	産総研一般公開 (九州センター)	鳥栖	0942-81-3606●
29日	産総研一般公開 (中部センター)	名古屋	052-736-7063●
<b>8 August</b>			
4日	産総研一般公開 (関西センター 池田)	池田	072-751-9606●
5日	産総研一般公開 (北海道センター)	札幌	011-857-8428●
24~25日	粒子・流体プロセス技術コース2006(流動層技術コース)	つくば	029-861-8223●

## ナノの世界の「ものさし」：世界最小目盛の実現に向けて

計測標準研究部門 長さ計測科 幾何標準研究室 三隅 伊知子さん

### ナノの世界のものさし

最近「ナノテク」という言葉をいろいろな場所で耳にします。ナノテクとは、ナノメートル（1ナノメートルは1メートルの10億分の1の長さ）オーダーの小さな世界でしか見られないさまざまな現象を利用して新しい材料や計測技術、ゲノム創薬や情報技術などに応用することを指す言葉です。ナノテクを使って、ほしい機能を持った微小構造物をつくらうとすると、その大きさを正しく測ること、そして測る「ものさし」が正しいことがとても重要です。さらにその「ものさし」は（必要とされるレベルに合わせて）きちんと社会の中で揃っていることが大切です。

三隅さんたちの仕事は、ナノテク用の高精度な「ものさし」をつくり、それが社会に行き渡るようにすることです。具体的には、ナノテクで欠かせない走査型プローブ顕微鏡（微細な探針を走査して像を得る新しいタイプの顕微鏡）の代表格である原子間力顕微鏡に高分解能レーザー干渉計をXYZ軸に搭載した測長原子間力顕微鏡を開発し、ナノテク用の「ものさし」を校正するサービスを行っています。

またナノテク用のものさしが海外でも利用できるようにするために、同様にものさしを開発している海外の国家計量標準機関（産総研と同じように国の「ものさし」を開発している組織）と校正能力を比較し合い、校正能力の維持・向上に取り組んでいます。



クリーンルームで測長原子間力顕微鏡を調整する三隅さん



### 三隅さんからひとこと

走査型プローブ顕微鏡やカーボンナノチューブなどが世の中に出てきたナノテク初期のころ、微小構造物の観察や作製が主な研究開発の対象でした。しかし、ナノテクが世の中に広まるにつれて「微小構造物を作製しそれが設計どおりにできて所望の機能を発現するかどうか確認のためにサイズを測ってみたが、どうも装置によって値が異なり何を基準に測ったらよいかよく分からない」という問題が発生してきました。私達はナノテク用の高精度なものさしを開発し社会に提供するために、レーザー干渉計を搭載した原子間力顕微鏡を開発し校正サービスを行ってきました。また世界最小目盛（25ナノメートル）のものさしの開発にも取り組んでいます。「ナノテク」という進展の早い最先端技術と「計量標準」という世界最高レベルの校正能力を安定的に発揮する技術とを融合し社会に提供するという仕事にとってもやりがいを感じています。これからも産業界・大学・研究所他関係者の皆様方と協力して、研究開発・校正業務の推進に貢献していきたいと考えています。

産総研  
TODAY

2006 June Vol.6 No.6

(通巻65号)

平成18年6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。

