

# AIST Today

研究、成果、  
そして  
未来へのシナリオ

10  
October  
2004  
Vol.4 No.10

## 社会に活力をもたらす本格研究を

### トピックス

- 世界初、生ごみから水素とメタンを高速回収できる新システム  
水素・メタン二段発酵実験プラント運転開始



特集

## 社会を支える計量標準

National Institute of  
Advanced Industrial  
Science and Technology

メッセージ

- 03** 文明国家としての  
我が国の基盤を強化しよう  
東京理科大学 理工学部 工業化学科 教授  
二瓶 好正



自動車メーカーにおける完成検査(写真提供:日産自動車)ほか  
本誌 4ページ「社会を支える計量標準」より

特集

- 04** 社会を支える計量標準

トピックス

- 16** 世界初、生ごみから水素とメタン  
を高速回収できる新システム  
水素・メタン二段発酵実験プラント運転開始

リサーチ ホットライン

- 19** 兵隊アブラムシの攻撃毒プロテアーゼ  
**20** 植物の遺伝子機能を解明する  
新技術の開発  
**21** モデルパラメータの  
高精度自動合わせ込み  
**22** Ethernet上で実時間通信を実現  
**23** ロボット塗装シミュレーション  
システムの開発  
**24** 世界最高感度の元素分析装置を開発  
**25** マイクロ空間での高効率な酵素反応  
**26** マイクロリアクターによる  
分析手法の開発  
**27** 極紫外顕微ラマン散乱分光  
システムの開発  
**28** 熱拡散率標準物質の開発  
**29** 高感度可視-近赤外  
過渡吸収分光計の開発

テクノインフラ

- 30** 高周波減衰量標準  
**31** 臨界ノズルを用いた気体流量測定  
の規格  
**32** ファインセラミックス用炭化けい素  
( $\alpha$ 形、 $\beta$ 形)微粉末標準物質の開発  
**33** 日本周辺の  
地温勾配・地殻熱流量データ

技術移転いたします!

- 34** CONSORTS  
ユビキタス情報環境において人間・社会を支援する多様な  
情報サービスの連携を可能にするソフトウェア  
**35** JBIG2-AMD2  
高解像度画像データ圧縮プログラム

AIST Network

- 36** 茂木科学技術担当大臣  
つくばセンター来訪 ほか



水素・メタン二段発酵  
実験プラントの外観  
本誌 16ページ トピックス  
「世界初、生ごみから水素とメタン  
を高速回収できる新システム」  
より

## MESSAGE

# 文明国家としての 我が国の基盤を強化しよう

二瓶 好正  
東京理科大学 理工学部  
工業化学科 教授



人類の歴史から観て、およそ国家を形成するためには、文字の統一、貨幣の統一、度量衡の統一が必須であることは明らかである。秦の始皇帝が中国統一を成し遂げ、ローマが巨大な世界帝国を築き上げた時などに、その政策実施例を観ることができる。現在、グローバル化の潮流の中で実現しつつある地球規模での経済社会連合体においても同様に、古代の世界帝国が必要とした文字、貨幣、度量衡の統一が必要とされるのは、言わば自明の理である。

しかしながら、人類の生存の場としての一つの地球、経済社会連合体としての統一世界が、如何に強く認識されようとも、現実の世界は依然として191の国々（国連加盟国）が主権国家として存在し、国益を重視して振る舞っている。すなわち、それぞれが、国家の存亡をかけて基本的な国策を実行し、自国の経済の安定化を図り、産業を育成・強化するために多大な努力を払っている。

世界の主要国は、それぞれの国家・国際標準を、質量共により高度で充実したものとするための研究開発を行っている。このためには、計測分析技術を極限にまで高度化するための方法論と先端機器を創ることが必要になるが、場合によって全く新しい原理の探求と装置化研究が必要となる。このような研究は必然的に、科学技術の進歩を促し、産業の発展に貢献する成果を生み出すと共に、国際競争力の強化に結びつく。一方欧米では、伝統的にこのような基礎的、基盤的な科学技術への貢献に対する尊敬心が強い。言わば、一国の国力の評価の基礎となる学問的・技術的権威を高めることに繋がる。

度量衡の確立と先導的計測分析技術開発への貢献は世界の主要国における最重要政策の一つであり、一国の文化的な水準を計るバロメーターとなっている。したがって、我が国が世界の主要な先進国の一員として、人類への貢献を重視していることを世界に示すよい機会と成る。我が国を、誇るにたる国家として次世代に継承するために、努力を惜しんではならない。

# 社会を支える計量標準

研究コーディネータ 社会基盤(標準)担当 小野 晃

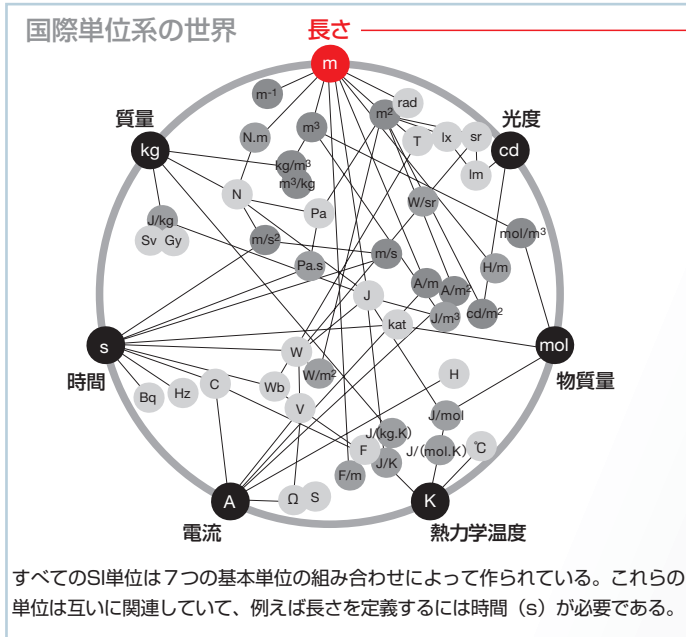
商取引やモノのやりとりをするとき、私たちは実に多くの単位を利用しています。

それぞれの単位には標準となる目盛り「計量標準」が定められています。

これが整備されているおかげで、お互いに信頼のできる安心・安全な生活を営むことができます。

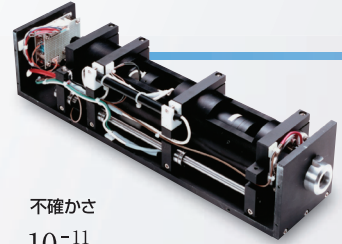
一方、ナノテクやバイオなど先端産業技術の開発には高精度な計量標準が求められており、その重要性が増えています。

それでは計量標準はどのように定義され、整備・普及がはかられているのでしょうか。



## 長さの国家標準：

よう素安定化He-Neレーザー波長633 nm\*の非常に安定した光源をもって、光波を干渉させることによって、波長の2分の1を目盛りとする正確なスケールが実現する。特定二次標準器にもこの「よう素安定化He-Neレーザー」が利用されている。



不確かさ

$10^{-11}$

(1万 kmを測ったときの精度が0.1 mm)

## 実用標準器：

ブロックゲージが約80%を占める。ブロックゲージは直方体の両端面間の寸法(長さ)がそのまま標準に利用されるもので、寸法の異なるものが100個以上用意されている。その形状は高精度に研磨され、絶対長さを0.05  $\mu\text{m}$ より正確にすることができる。

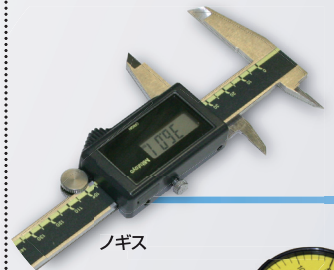


$10^{-7}$

(1万 kmを測ったときの精度が1 m)

## ユーザが使う汎用測定器：

ノギス、マイクロメータ、ダイヤルゲージなど、モノづくりに使われる各種測定器がこの階層に位置づけられる。



ノギス

$10^{-5}$

(1万 kmを測ったときの精度が100 m)



ダイヤルゲージ

\*nm (ナノメートル、1 nmは10億分の1 m)

## 計量標準の役割と整備のしくみ

計測標準研究部門 副研究部門長 松本 弘一

### 単位とモノサシ

私たちの日常生活では、モノのやりとりは欠かせません。しかし、モノの量・種類が多くなってくると、現物を直接やり取りすることはむずかしくなり、現物についての情報によるやり取りが必要になります。この情報には多くの単位が使われています。

これらの単位を利用するためには、多くの人々に通用する共通のモノサシ(あるいはハカリ)が生活の場に行き渡っていないとなりません。モノサシの目盛りが、もしも情報を発する側と受ける側で異なっていたり、信頼できなかつたりすると、安心してモノのやり取りができなくなってしまいます。このように、モノサシは私たちの社会を支える基盤となっているのです。

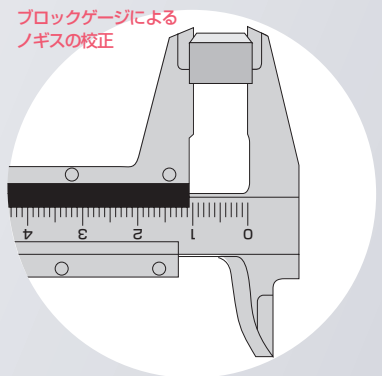
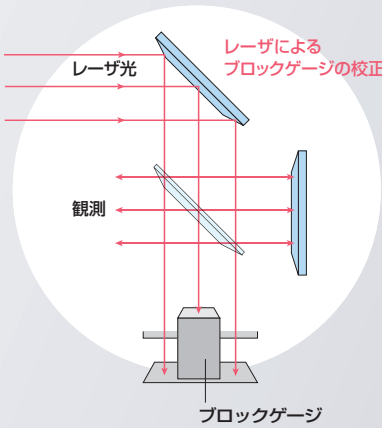
## 安心・安全のための計量標準

### 臨床検査の値を世界で通用するものに

臨床検査では、採血や検尿によってコレステロール、 $\gamma$ -GTP、尿タンパクなどを測り、その値が正常かどうかを調べます。これらの数値が、世界中どここの病院でも、ある範囲で同じでないと困ります。ところが、コレステロール一つをとっても計量標準が確立されていません。産総研では、コレステロールなど重要な成分の計量標準を開発しています。







### 国際相互承認

各国が互いにその国の国家標準の同等性を認め合うことによって、ユーザ間でやりとりする検査結果の信頼性が確保され、円滑な貿易が実現する。

日本

国家標準＝特定標準器  
(産総研が設定)

特定二次標準器  
(産総研による校正)

実用標準器  
(認定事業者による校正)

ユーザが使う汎用測定器  
(メーカーによる製造)

## トレーサビリティ

### 計量標準の供給体制

国家標準が次々と下位の階層に伝えられ、供給される数が増えていくしくみになっている。逆に、下位の測定器から上位へと次々とトレースしていくと、頂点の国家標準にたどることができる。

計量標準管理センター 計量標準計画室長 井原 俊英

### 原子炉に不可欠な給水流量の測定

発電用の原子炉では、核分裂によって発生した蒸気をタービンに送り発電機を回します。タービンを通じた蒸気は冷却して水に戻し、再び原子炉に送ります。この給水流量に基づいて炉内で発生する熱量を制御しているので、給水流量を正確に知ることは安全性と発電効率の上からも重要です。産総研では、原子炉の給水流量の高精度測定技術を開発しています。



### 電磁環境を監視する

病院や電車の中では携帯電話の使用が禁止されています。これは、放射電波がペースメーカーなどの医用機器に影響を与える可能性を回避するためです。パソコンなどの電子機器では、不要放射電波の国際規格が決められています。わが国ではこの規制に沿った生産が行われており、安全性を保証しています。産総研では、このための高周波の計量標準を整備しています。



## 計量標準のトレーサビリティ

いろいろな単位ごとに基準となる目盛りを正しく定めるのが「計量標準」です。日本の計量標準の元締めとなる「国家標準」は、産総研・計量標準総合センター（NMIJ）で決められます。NMIJでは、日本だけでなく外国の社会にも受け入れられる信頼できる標準の開発・供給を行っています。

国家標準を社会全体に行き渡らせるため、「トレーサビリティ」と呼ばれる体制が確立されています。ここでは、基本単位の一つである「長さ」を例にして、トレーサビリティのしくみを見ていきましょう。かつて、トレーサビリティの頂点となる長さの基準は「メートル原器」という精巧に作られた1mのモノサシでした。メートル原器は70年にわたって国家標準の役目を果たしてきましたが、このような人工物だと壊れたら大変です。そこで、科学的に定義する方法を開発する研究が続けられ、1960年、光の波長を目盛りに利用して「1mはクリプトン原子が放射する光の波長の165万763.73倍」と定義されました。

その結果、長さを非接触で測定できるようになるとともに、測定値の不確かさ（真の値を含む信頼できる範囲。精度）は2桁も上がり、産業の技術的な基盤も大幅に向上しました。さらに1983年には、「1mは1秒の2億9979万2458分の1の時間に光が真空中を伝わる行程の長さ」と、光の速度で定義されるようになりました。そして、実際には、安定した波長が得られる「よう素安定化He-Neレーザの波長」が国家標準となったのです。

私たちが日常使う測定器は、国家標準と直接比べて作られているわけではありません。まず特定標準器を国家標準とし、その目盛りを特定二次標準器に移します。このとき、特定二次標準器の目盛りを特定標準器の目盛りと比較して精度を調べる「校正」が行われます。これは、いわば商品チェックで、認定された機関「認定事業者」でないと行えません。レーザ波長による校正では、光波干渉という技術を使うと、多くの種類の標準器の目盛りを正確に校正することができます。そこで、特定二次標準器にもよう素安定化He-Neレーザの波長を利用し、民間の

\* \* \*メートル条約：単位の確立と国際的な普及を目的として1875年に締結された。日本は1886（明治19）年に加盟。

技術力のある校正機関が実用標準器（ユーザが実際に使う測定器の基準となるブロックゲージなど）を校正できるようにしています。次の段階では、実用標準器の目盛りが、ユーザが使うノギスやマイクロメータなどに伝えられます。この段階でも認定事業者による校正が行われています。

日本の民間校正機関の技術はきわめて高く、特定二次標準器等をもつ認定事業者は35者を超えています。この上位認定事業者がそれぞれ何十万もの実用標準器を校正し、次の段階ではそれぞれの実用標準器の目盛りが何千万種もの汎用測定器に伝えられるというように、階層を下るごとにその数は増えていきます。このようにトレーサビリティはピラミッド状の体制になっていて、そのおかげで校正のコストが下がり、国家標準からユーザまで不確かさの小さな校正が実施されているのです。

## 国際相互承認

産業技術・経済のグローバル化が進む中で、外国との取引も多くなってきました。それに伴って、取引に使われる各国の計量標準の信頼性、同等性が問題となっています。このため、それぞれの国における計量標準の同等性を国際的に確保し、お互いに認め合える計量標準を社会に供給することで、お互いの国における検査・試験データの互換性を保てるしくみを構築することが議論されています。これが計量標準の「国際相互承認」と言われるもので、メートル条約\*\*に基づく組織の国際度量衡局を中心に57カ国が署名しています。

国際相互承認の締結国には、品質マニュアルの整備、透明性の高い国際比較、さらに外国の専門家によるピアレビューが求められ、この手続きに合格した標準が国際度量衡局のデータベースに登録されます。この制度が2004年から正式に運用されるようになり、近いうちに他国の測ったさまざまなデータを自国でもそのまま受け入れることができるようになります。それによって、貿易が円滑に行われ、経済の発展に貢献することが期待されます。

## 光の周波数を測る最先端技術「光コム」

計測標準研究部門 時間周波数科 波長標準研究室 稲場 肇

最初に説明したように、長さの単位「メートル」は、よう素安定化He-Neレーザ(①)の波長をモノサシとして定義されています。レーザ光の波長というのはどのくらいの長さなのでしょう。

光は波の性質をもっていて、波の山から山までの長さを「波長」と言います。光の波長は、その速さと周波数から計算されます(②)。よう素安定化He-Neレーザの周波数はおよそ474 THz（T=テラ10<sup>12</sup>）。光の速さは秒

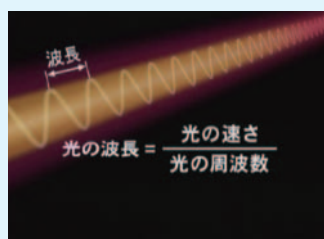
速29万9792.458 kmと定義されていますから、よう素安定化He-Neレーザの波長は約633 nmであることがわかります。

では、そもそも光の周波数はどのようにして測っているのでしょうか。光の周波数は、現在の周波数「ヘルツ」の標準であるセシウム原子時計が発生する、およそ10 GHzのマイクロ波を基準にして測らなければなりません。ところが、よう素安定化He-Neレーザの周波数は、マイクロ波の数万倍にも相当する474 THzというまったくかけ離れた帯域にあります(③)。

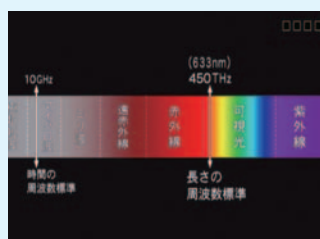
そのため、光の周波数をセシウム原子の周波数を基準にして測ることは大



①よう素安定化 He-Ne レーザ発信器



②光の波長と周波数の関係



③周波数標準とレーザとの帯域の違い



④フォトニック結晶ファイバ

## 人々の生活を守る法定計量

計量標準管理センター 計量標準計画室  
伊藤 武

取引や証明に使用される計量器や、一般消費者の生活にとって特に重要な計量器は、法律にのっとって検定に合格したものしか使用できないなどの規制を受けています。このような計量器を「特定計量器」と呼んでいます。

特定計量器は現在25種あります。日々の生活に欠かせない水道、ガス、電気の使用量を計る計量器をはじめとして、一步外に出てみると、スーパーマーケットや小売店に設置されている食材を計量するハカリ、お酒のアルコール濃度を測る酒精度浮ひょう、ガソリンスタンドにあるガソリンメーター、タクシーに設置されているタクシーメーターなど、私たちの身近でそっとお役に立っています。家庭で健康管理等に使用される血圧計や体温計なども、検定に合格した特定計量器が使用されています。

環境の計測では、騒音を測る騒音計、振動計があります。近年、社会問題化しているダイオキシンによる土壌汚染の計測、排ガス汚染、排水汚染などの極微量物質の計測にも、検定に合格した特定計量器が使用されています。

これらの特定計量器の検定は一度合格したら永久に継続するものではなく、定期的に検査を受け、その精度を確認するようになっています。

最近の特定計量器は、メカ式からメカトロク式に、さらにCPUを搭載した電子式のタイプに変化してきました。それに伴って、LAN・インターネットを活用した集中検診シ

ステムや、計量結果の一元管理によるエネルギーの供給管理や配送システムなどへの活用、さらにICチップによる電子マネーの普及がもたらした携帯電話等のモバイルとの相互利用を可能にする計量器等の出現と、商慣行や物流システムが飛躍的に変化しようとしています。このように、特定計量器は、生活の中の身近なところで広く使用され、さらに最先端技術との融合により、その重要性がますます増えています。

一方で、問題もあります。従来は、主にハードウェアに対して正確な計量ができるように規制をしていればよかったのですが、IT技術を利用して不正に計量器に進入したり、計量器を誤作動させる、誤計量を行わせる、といった被害を受ける危険性が増大しており、搭載されるソフトウェアについても規制をすることが必要となってきました。このニーズに対応するため、産総研ではソフトウェアの規制についても研究が進められています。



タクシーメーター



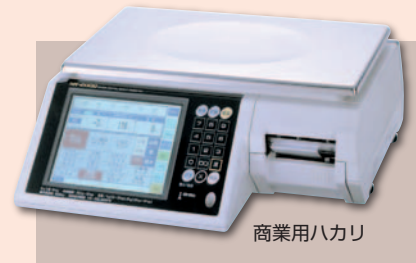
騒音計



ガスメーター



水道メーター

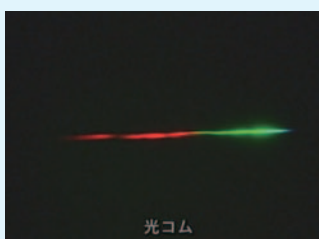


商業用ハカリ

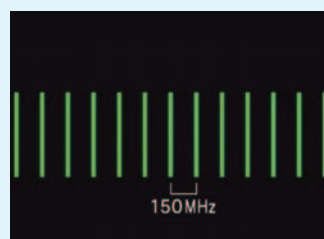
変わずかしく、いつでも実現できる状況にはありませんでした。

産総研では、光の周波数を測る研究を進めてきた結果、最先端の技術によって新しい手法を開発しました。それは「光コム」という特殊な光で、モードロックレーザと特殊なファイバによって、発生させることができます(④)。

光コムは、⑤の写真を見るとわかるように、赤から青までのいろいろな光の成分を含んだ七色の虹のようです。ところが、拡大してみると、太陽光などの自然の光のように連続しているわけではなく、非常にシャープな櫛状に並んでいます(⑥)。



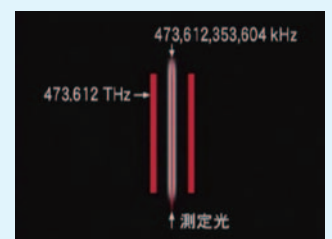
⑤光コムの光



⑥光コムを拡大したところ



⑦周波数カウンタ



⑧光コムと他の光を干渉させ波長を測る

「コム」というのは櫛という意味です。光コムの櫛の歯は等間隔で、その基準に原子時計を使うと、櫛の歯一つ一つがロックされ、周波数を正確に決めることができます(⑦)。これは、あたかも数百万台の安定化レーザが等しい周波数間隔で並んでいるのと同じことが実現しているのです(⑧)。

この光コムを光のモノサシとして使うことにより、あらゆる光の周波数を従来の1000倍以上の正確さで、いつでも測れるようになりました。

さらに、あらゆるレーザの波長を正確に求めることができるようになり、半導体の加工精度の向上などが期待されています。



# 生産の場での計量標準 — 自動車

日産自動車株式会社  
計測技術部 計量計測グループ 主导  
望月 知弘

## 車の検査に欠かせない計量標準

自動車メーカーは、お客様に渡す車の品質を保持(保証)する、品質管理面で不良品を減らしてコストを削減する、この2点について計量標準、計量管理が重要であると認識しています。

自動車の製造工程においては、まず部品レベルで検査があり、「走る、曲がる、止まる」という基本動作については国の制度で厳格な保証が求められています。とくに重要保安部品と呼ばれるブレーキや足回りは厳しくチェックします。

そして最終的に車が出来上がって販売店に行く前の段階で、車の諸元、性能を確認する完成検査があります。この検査の項目は多岐にわたりますが、全数について、メーカーが陸運局と同様の検査を代行しています。検査は、車が検査ラインに入ると順番に各項目が検査・調整されていきます。

こうした生産工程で使われる計量標準は、国家標準に繋がっており、全社共通

で精度管理している社内標準器が93点あります。各事業所には社内標準器で校正された二次標準器(約400点)があります。各工場では作っているものが車体とかエンジンとかそれぞれ異なるので、その検査に用いる計測器の管理に必要な二次標準を50~60点ずつ持っています。

## 重要性を増すトレーサビリティ

すでに述べたように、完成車の検査は多岐にわたりますが、ブレーキ機器、ホイールアラインメント、スピードメーター、排気ガスなど基本的には全項目についてトレーサビリティを保証しなければなりません。別の工場で同じエンジンを作ったり、国内工場と海外工場と同じ車種を作ったりするので、そこにバラツキが出ては困るからです。

さらに部品や機器のサプライヤーも従来のような系列取引ではなく、世界中のさまざまなサプライヤーが参入可能となってきているので、これらの部品や

機器の品質を管理するために、計測のトレーサビリティの重要性は増えています。日産とルノーのサプライヤーに対する共通の品質要求は、自動車業界向け品質システム要求であるISO/TS 16949を含んでおり、サプライヤーには本要求への適合をお願いしています。

こうした状況の中で、高精度の計量標準を社内に持ちながら校正担当者を継続的に育成し、高度な技能を修得してもらいたいと思っています。そこで、計量法校正事業者認定制度(JCSS)をはじめとするISO/IEC 17025の認定を積極的に受けるようにしており、長さ(端度器)と電気(直流電圧)の2種類について、認定をすでに取得しています。

近年、経済のグローバル化によって車の輸出入もますます盛んになっています。輸出先の国ごとに法律面からの要求がありますが、計測のトレーサビリティについては、多くの場合、日本よりも厳格な要請があります。

この法律的な要求に対して、共通の基準を満たせば世界各国がそれを受け入れるいわゆる「ワンストップ・テストング」の体制には現状はまだなっていないので、たいへん苦労しています。各国の法律的な要求に合わせて、それぞれの国に対する試験レポートを作らなければならないのです。その基準は、欧州を中心に関発されたものと、米国で開発されたものに大きく分類されますが、欧米以外の国々は、欧州型あるいは米国型を選択する場合がほとんどです。

## 進歩する技術への対応に努力

現在、自動車はどんどん進化しており、そのスピードはますます加速していくでしょう。それに合わせて必要な計量標準の数や種類が急激に変わりつつありま



写真1 生産ラインの溶接行程  
たくさんのロボットによる正確な作業が進められる。(写真提供:日産自動車)





写真2 エンジンユニットの搭載行程  
人の技術と計量標準が安心と安全の確保に役立てられている。  
(写真提供：日産自動車)



写真3 生産ラインをでた製品の完成検査  
各種の計測器が使用される。(写真提供：日産自動車)

す。例えば、燃料電池を扱うようになると、大電力、水素、化学反応といったものについての標準が必要になります。そういう新しいニーズが1年くらいでポン

と出てきても、すぐに対応するのは容易なことではありません。

お客様に提供する技術の進歩が加速していくなか、それに対応して新しい標

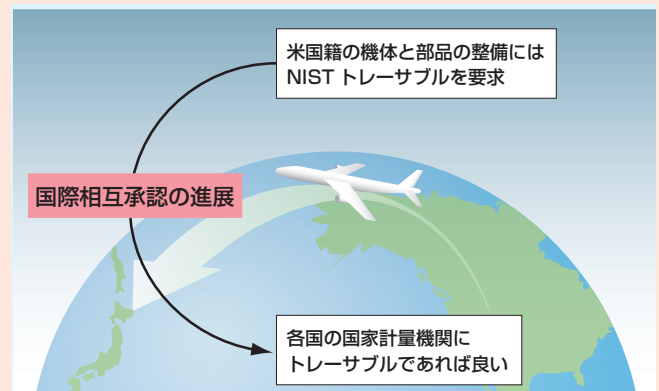
準で校正していかなければならないわけで、これは今後とも私たちにとっての大きな課題だと思っています。

## 航空機整備における計量標準

日本航空株式会社  
整備本部 品質保証部 計量管理グループ長  
伊藤 敏郎

航空会社にとって、航空機の整備は乗客の安全を確保する上で決定的に重要です。米国連邦航空局 (FAA) は、1996年の航空機墜落事故を契機に、1998年以降、米国籍機の整備作業を行う場合、日本の整備会社であっても整備に使う計測器はすべてNIST (米国国立標準技術研究所) トレーサブルを求めるようになりました。

航空機の整備には、マイクロメータ、ノギス、トルクレンチ、温度計、熱電対、電圧・電流計など多数の計測器を使用しているため、全てをNISTトレーサブルにすることは大変な手間と経費の増大を強いられました。この問題は、業界では対応できないため、当時の通産省工業技術院に相談を持ちこむことになりました。その結果、1999年に工業技術院とNISTとの間で計量標準分野での協力について取り決め (arrangement) を締結し、さらに個別の計量標準に関してNISTとの国際比較の結果から、FAAに対して計量標準の同等性を提示することになりました。



これにより、FAAより免責措置を受けることが可能となり、わが国の国家標準にトレーサブルな計測器を、米国の航空機や部品の整備に使用できるようになりました。ほぼ同時期の1999年に、計量標準の分野においてグローバルMRAが締結され、この協定 (枠組み) により、世界的規模で網羅的な国際比較、相互承認が進められています。

このような背景のもとで、FAAの検査運用通達に相当する Advisory Circularの基準が2003年7月に変更され、NISTあるいは各国の国家計量機関にトレーサブルであれば良いことが明確にされました。

# 遺伝子の量を測る

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  
川原崎 守

遺伝子 (DNA) は4種類の塩基が互いに決まった相手の塩基と向き合い、いわゆる「2重らせん」の構造をとっています (図1)。DNAの中の4種類の塩基の並び方により生き物の設計図が書かれています。

## 遺伝子を増やして測定する

それでは、遺伝子の量はどのように測定されるか皆さんご存知でしょうか。現在、特定の配列を持った遺伝子を最も正確かつ迅速に測定できる方法は「定量的PCR」法です。「定量的PCR」法とは、PCR法と蛍光物質による遺伝子測定を組み合わせた方法です。PCR法とは遺伝子増幅法の一つで、一つの反応ごとに特定の遺伝子のみを選択的に倍を増やすことができる技術です。この反応を連続して行うことにより、理論的には1個の遺伝子を無限に増やすことが可能となります (実際には反応物質がなくなったり、酵素が熱で活性を失うことによりある一

定の濃度で反応は止まります)。これで、もともとは測定できないような少量の遺伝子でも測定可能なレベルまで増やすことができるわけです。

増えてきた遺伝子を測定するためには、いろいろな蛍光色素が用いられます。普通はPCR 反応で遺伝子が増幅される過程で、ある一定の蛍光量に到達するまでにかかった時間を測定します。もともとの遺伝子量が少ないと長い時間がかかり、遺伝子量がたくさんあると短い時間ですみます。

量があらかじめ分かっている遺伝子と、増幅にかかる時間のグラフを作っておき、量の分からない試料が一定の蛍光値になる時間を測定することで、試料の遺伝子量が分かることになります (図2)。定量的PCR を行うための専用の装置が市販されています (写真)。

この測定技術は、遺伝子組み換え作物 (大豆やとうもろこし等) の食品への混入率を測定するために用いられています



写真 各種定量的PCR装置  
左の黒い装置はRoche社のライトサイクラー (LightCycler)、右の四角い大きな装置はApplied Biosystems社のプリズム 7900HT (PRISM-7900 HT)。

し、エイズ発症時期の予測といったような医療分野への応用も期待されています。現在、PCR法による遺伝子測定の信頼性を確保するため、国際度量衡局を中心に国際的なプロトコル作成に向けての取り組みが行われており、産総研も参加しています。

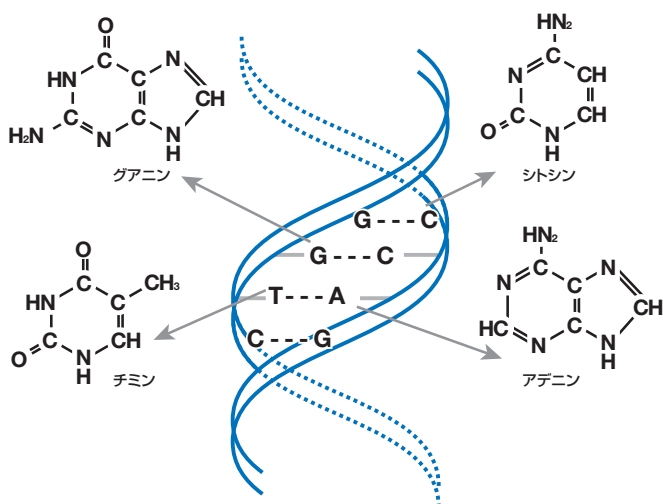


図1 遺伝子の構造  
アデニン、チミン、シトシン、グアニンの4つの塩基の配列により遺伝情報が書かれている。

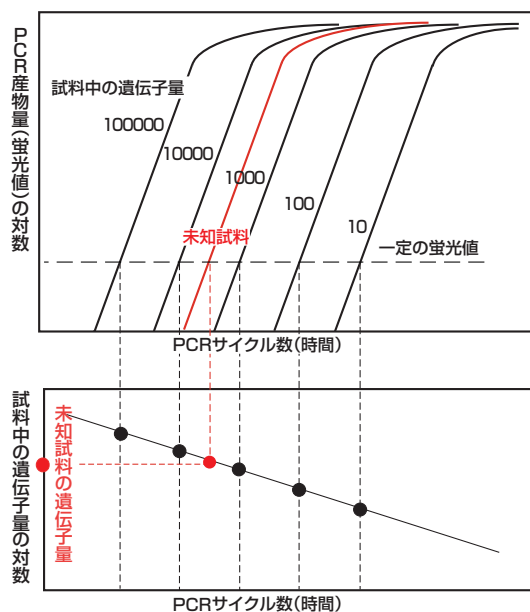


図2 定量的PCR法の原理  
遺伝子量が分かっている試料を用いて一定の蛍光値になるまでの時間を計り、グラフを作っておく。そのグラフを用いて遺伝子量が分からない試料の遺伝子量を測る。



# ナノテクノロジーの発展・普及と計量標準

計測標準研究部門 先端材料科 材料評価研究室  
藤本 俊幸

近年盛んに研究開発が進められているナノテクノロジーですが、人類との関わりは古く紀元前までさかのぼります。メソポタミア文明では、さまざまな色ガラスを製造し装飾等に用いていたことが知られています。その後、西暦500年頃にビザンチン帝国で開発された色ガラスはステンドグラスとして普及しました。

## 計測技術の高度化で開花したナノテク

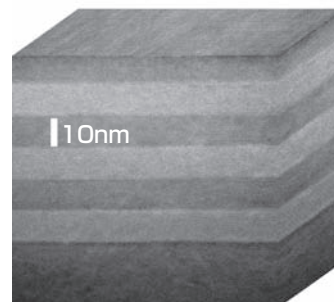
近年、計測技術の発展によって、色ガラスの発色と内部に含まれる金属イオンや酸化物の微小な粒子との関係の解明により発色の設計が可能となったように、太古から経験的に利用されてきたナノテクノロジーは計測技術の高度化により開花したと言えます。さらに、最近では内部に含まれる金属等の粒子サイズをナノメートルレベルで制御して、新しい機能性材料の開発も行われており、分解能と定量性のより高い計測技術が必要とされています。

ナノテクノロジーは、微細な個別構造

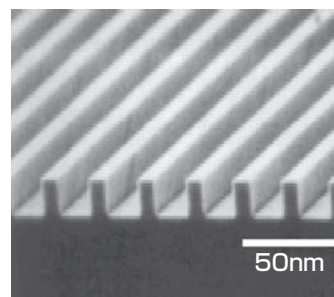
やその全体配列によって発現する特異な機能を利用していることから、分野を超えた応用が可能といった特徴をもちます。この特徴を最大限に活用するためには、微細な個別構造やそれが発現する機能を普遍的な値として評価することが必要であり、分野を超えた普遍性をもつ計量標準の導入が最も有効な方法です。さらに産総研・計量標準総合センター(NMIJ)では国家計量標準の国際的な同等性を証明する活動を行っていることから、知的財産権の保護にも計量標準の導入はきわめて有効です。

現在、NMIJではナノテクノロジーの基本である微細な3次元構造を評価するためのモノサシとなるスケール校正用標準物質、ナノ粒子・ナノ空孔のサイズ評価法と校正用標準物質、近年需要が急増している光記憶メディアの設計・評価に欠かせない微小領域・界面の熱物性評価法と校正用標準物質、極薄膜の密度や硬さ評価法の開発など数多くの計量標準の開発を行っています。これらの計量標準

開発中の世界最小目盛りのモノサシ (ナノスケール)



深さ方向ナノスケール

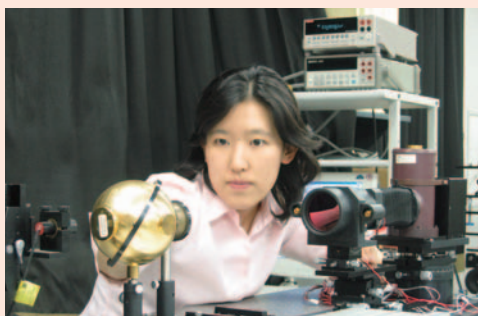


面内方向ナノスケール

は、特定分野での利用にとどまらず、ナノテクノロジーの分野融合性や総合性を最大限に引き出す礎として期待されています。

## 若手研究者に聞く

計測標準研究部門 温度湿度科  
放射温度標準研究室  
清水 祐公子



—どんな研究をされているのですか？

物体の熱放射を測定する装置(放射温度計)を製作し、日本ではまだ着手されていない中温域(100~500℃)における放射温度標準を確立する研究をしています。放射温度計は非接触で測定できるため、例えば微小な物体の温度を迅速に決定できるという特徴があります。すでにわれわれは、応用研究として高速応答で微小領域を測定できる赤外放射温度計を開発し、厚さ10μmの金属薄膜の温度や熱伝導率を300ナノ秒の時定数で測定することに成功しています。これは、現在すすめている次世代計量標準(ナノ温度標準)の開発につながる技術でもあります。

—研究にかける思い、面白さは？

中温域放射温度標準を世界の国家計量機関と競争しつつ、独自の方法でより高精度に作り上げていくという面白さがあります。ナノ領域での温度標準の研究は、必然的に先端的測定技術の新たな開発を伴うものでもあり、その結果は科学・産業界に大きなインパクトを与えるものと信じています。

—今後の抱負を聞かせてください。

放射温度計の原理はプランクの輻射式、半導体検出器といった量子力学の原理に基づいていますが、それを実現するときには黒体炉の設計製作、光学的測定法の開発など古典物理学が使われています。そこで、マイクロオプティクス技術や量子光学的方法などを駆使し、簡便かつ迅速、高精度な放射温度標準を新たに開発したいという希望をもちます。具体的には、プランクの式の波長依存性を高分解能で測定することや、分子スペクトルを使って温度測定することも一方法だと考えています。

# アボガドロ定数を質量の新基準とするために

計測標準研究部門 物性統計科 流体標準研究室長  
藤井 賢一

化学を学んだことのある人なら、教科書に登場するイタリアの物理学者・化学者アメデオ・アボガドロ(1776-1856)の風変わった肖像をきつと記憶のどこかに留めていることでしょう。そのアボガドロが提唱した仮説、すなわち「同温・同圧のもとで同体積の気体は同数の分子を含む」は「アボガドロの法則」として、今日、物理化学の最も基本的な法則となっています。

## アボガトロ定数の精度の向上

それでは気体1モルにいったい何個の分子が含まれるのか、その具体的な数については、アボガドロ自身は何も示しませんでした。原子や分子の实在がまだ証明されていなかった当時、根拠になる理論も証明する実験手段もなかったからです。アボガドロ定数として国際的に認められている最新の数値は、 $6.022\ 1415 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  (2002年、科学技術データ委員会=CODATA 推奨値)。「0.012キログラムの $^{12}\text{C}$ のなかに存在する原子数」と定義されています。

アボガドロ定数、すなわち1モルの物質中に含まれる原子あるいは分子の数に

ついては、その正確な値を求めて20世紀のはじめ以来多くの科学者が実験や測定をおこなってきました。X線回折を応用するようになった1920年代から精度は次第に向上し、特にここ10年の精度向上は著しいものがあります。X線結晶密度法の採用とシリコン単結晶の成長技術が進んだことがおもな理由です。

アボガドロ定数は基礎的な物理定数ですから、その精度がよくなることは基礎科学にとってきわめて重要ではありますが、実は私たちの日常にもかかわるさらに広い影響が考えられます。それは質量単位「キログラム」の再定義です。

## 質量単位「キログラム」の再定義へ

度量衡の基礎となる国際単位系のうち、質量単位だけが今もキログラム原器という人工物を基準としています。時間の単位「秒」はセシウム原子の放射の周期に基づいて、また長さの単位「メートル」は一定時間に光が進む距離として、すでに再定義済みです。

質量については、パリ郊外の国際度量衡局が保管している国際キログラム原器のコピーが各国で保管され、これを30年

ごとにフランスに送って校正しなおす作業が繰り返されてきました。原器そのものも表面に吸着するガスの影響で質量が増加したり、洗浄によって軽くなったりと、人工物を計量の基準とすることは安定性の点でさまざまな問題があります。

そこで、できる限り正確なアボガドロ定数を得ることによって、原子の数を基本として質量単位の再定義を実現させようというのが国際的な合意事項となりました。

## 原子質量標準の実現を目指す

産総研・計量標準総合センターでは、真球に近く超精密研磨された質量1キログラムの単結晶シリコン球から高精度でアボガドロ定数を決定することに取り組んでいます。まず、高純度シリコン球の直径をレーザー干渉計によって測定し、体積を精密に求めます。真空中で球の密度を測定し、また結晶の格子定数(原子間距離)とモル質量(3種存在する安定同位体を考慮した平均原子量)を決めます。

これらのデータから、2002年、7桁という高い測定精度でアボガドロ定数を決定することに成功しました。それが最初に示した最新の数値を決めるのに貢献しています。

われわれの測定値に基づいて、CODATAはおよそ200にのぼる基礎物理定数の全面的な改訂をおこないました。

今後、同位体不純物をさらに少なくし、計測技術を向上させることによって、測定精度を8桁まで高めることができれば、アボガドロ定数に基づいた原子質量標準が実現すると考えられています。国際的な共同研究によって、おそらく10~20年後には現在のキログラム原器と縁を切り、より確実性の高い質量標準が実現するでしょう。

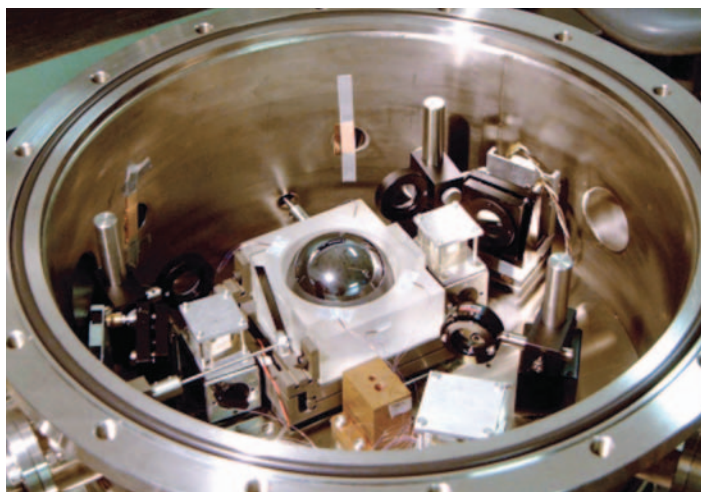


写真 シリコン球の直径を測るレーザー干渉計



# 次世代の高温度標準

計測標準研究部門 温度湿度科 放射温度標準研究室  
山田 善郎

## 新しい高温度定点のアイデア

「温度」という捉え難い物理量の標準には、物質の相転移がおきる温度の再現性が活用されています。古くは水の沸点と氷点でセンチグレード目盛が定義され、現在では熱力学温度の単位「ケルビン」が水の三重点で定義されています。これ以外でも、純金属の凝固点など多くの「温度定点」が目盛の設定から標準供給まで広く用いられています。

しかし、物質が激しく反応する1000℃を超える高温では、温度定点を作ることは困難で、現在、約1085℃の高純度銅の凝固点の使用可能な温度定点としては一番高温です。これより融点の高い金属を用いようとしても、金属を溶かすつばの黒鉛と金属が反応してしまっ使用できないからです。

産総研・計量標準総合センターでは、純金属の代わりに金属と炭素の合金を用いることで、黒鉛と金属の反応を抑制する方式を考案しました。共晶と呼ばれる合金の組成で予め金属に炭素を含ませて

おけば、それ以上には金属と黒鉛の反応は進みません。そのため、温度再現性の良い融解・凝固が得られます。様々な金属と炭素の共晶を用いることで、1153℃から2474℃までの間に9つの温度定点が得られます。さらに、金属炭化物と炭素の共晶を用いれば、3000℃を超える温度域まで温度定点が実現できる可能性を示しました。

## 日本発の技術が世界の標準に

わが国発のこの標準技術が世界の標準として確立されるためには、その温度再現性の実証や温度値の精密決定がなされなければなりません。しかし、これはわが国が単独で行ったのではだめで、世界中の誰がやっても同じ温度が再現されることが実証され、世界の主だった研究機関で測った温度値をもとに世界の合意が得られなければなりません。

現在、各国の国家計量機関がこぞってこの高温定点の開発に名乗りをあげています。そこで、彼らとの開発競争ではリ-

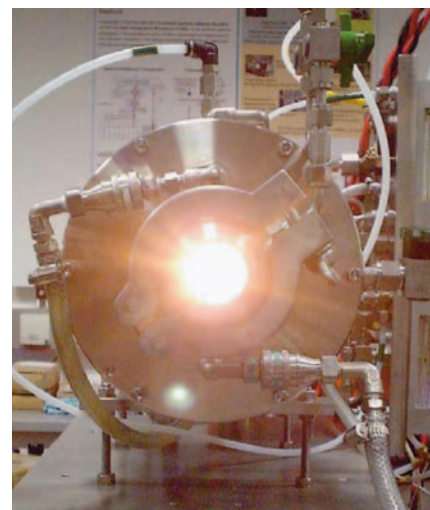


写真 放射温度計校正用の高温定点炉(Ru-C共晶点)

ドを保ちつつ、活発に技術提供をし、研究交流や共同実験を進めています。

国際協約に基づく温度目盛「国際温度目盛」の約20年ごとの見直しのタイミングが数年後に迫っています。次期の国際温度目盛の定義が、素材・エネルギー産業などのために精度向上が欠かせない高温域で、現在とはガラリと変わることが期待されています。

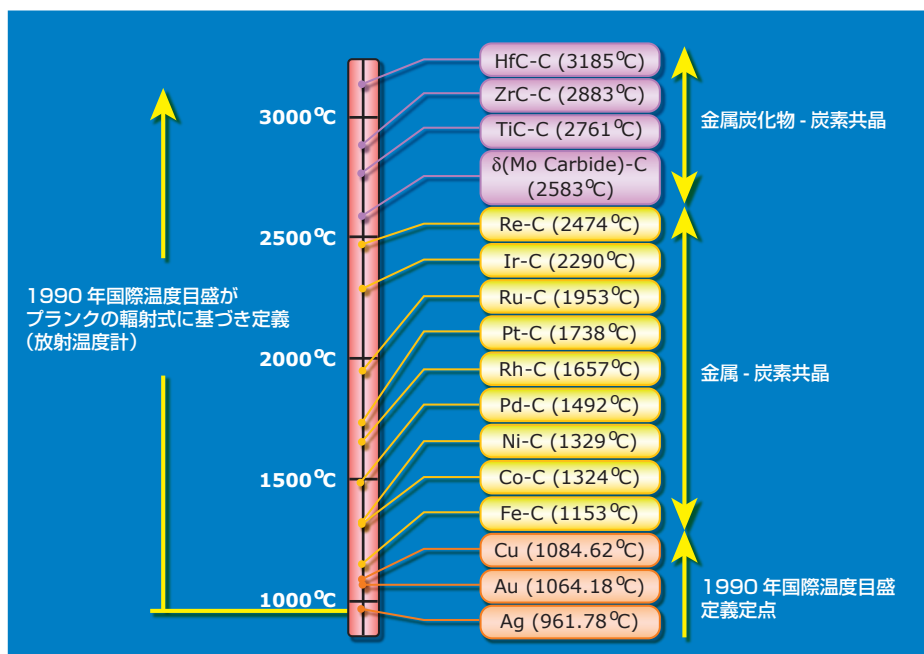


図 金属(炭化物)-炭素共晶による高温度定点

# 国際相互承認の現状と今後の取り組み

計測標準研究部門長  
田中 充

## 生活と計量標準・その開発と整備

計量標準は社会の進化とともにその種類と利用目的が拡大し、技術開発のための精密な計量標準、製造の品質管理のための使いやすい計量標準、環境規制のための多様な標準物質など多くのものが現代社会では必要とされています。

こうした計量標準の信頼性は国が保証する必要があり、産総研・計量標準総合センター（NMIJ）は「国家標準を作って維持し、それから導かれる計量標準を供給する」ことを通して、測定の結果を用いるさまざまな人々をその信頼性保証の立場から支援しています。この計量標準を受け取った人々はそれを用いて次のレベルの計量標準を供給し、またその次へ……というようにして、計量標準は社会の隅々で利用されることになります。

しかし、その供給作業はどれも信頼性が保証されねばなりません。この信頼性で結びつけられた計量標準のつながりをトレーサビリティと呼びます。従って、NMIJはあらゆる計量標準の国家標準へのトレーサビリティを保証するための仕組みを構築しています。

## 国際相互承認の展開と日本の対応

社会、経済のグローバル化により頻繁に外国と商品が売買され技術が交流しますが、その際の、物差しつまり計量標準の相互のトレーサビリティが保証されていなければ、商品や技術内容の正しい評価ができません。売買や交流のたびに保証することは無駄ですから、予めそれぞれの計量標準の信頼性を保証し合うことにより、相互のトレーサビリティを随時

保証しようというアイデアが生まれました。これが計量標準の「国際相互承認」です。

この国際相互承認の責任を担っているのもNMIJで、国家標準の間の国際比較と標準専門家の相互査察を継続的に行うことがその内容です。メートル条約の下で1999年に相互承認協定が各国の国家計量機関の間で合意され、その準備が進められて、2004年から有効とされるに至りました。NMIJもこれに積極的に参加、多くの国際比較において優秀な成果を示し、国際的に高い評価を得てきました。

その中でアジア・太平洋諸国はわが国の経済や技術開発と密接な関係を保っていることから、その計量標準技術の向上に当たっては指導的な役割を果たすこと、また、欧米市場でのわが国の製品・技術の競争力を支えるための計量標準の量・質の確保を目指すことが重要な課題となっています。

## 次の5年間の目標と課題

NMIJは、第1期（2001～2004）当初から10年間で約500種の国家標準を作り供給するという米国並みを目指したロードマップ（図1）に従って、基本的な部分の整備は300種類を超え、その計画を着実に実施しつつあります。2005年度からの第2期に当たっては、基本部分の充実に加えて、わが国の産業技術の世界的な位置づけをもとに戦略的な分野の計量標準の確立と充実も図ることにしています。

特に、欧米先進国の国家計量機関と比べると、産総研には、計量標準総合センターの他にバイオ、環境・エネルギー、電子情報の各分野が存在し、その活発な交流が図れるという特徴があります。

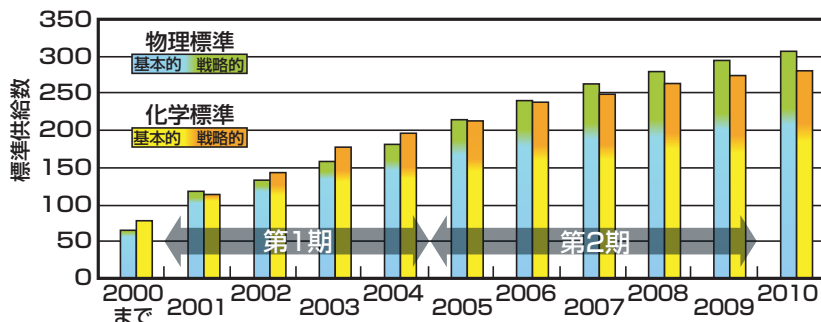


図1 NMIJにおける計量標準の整備計画

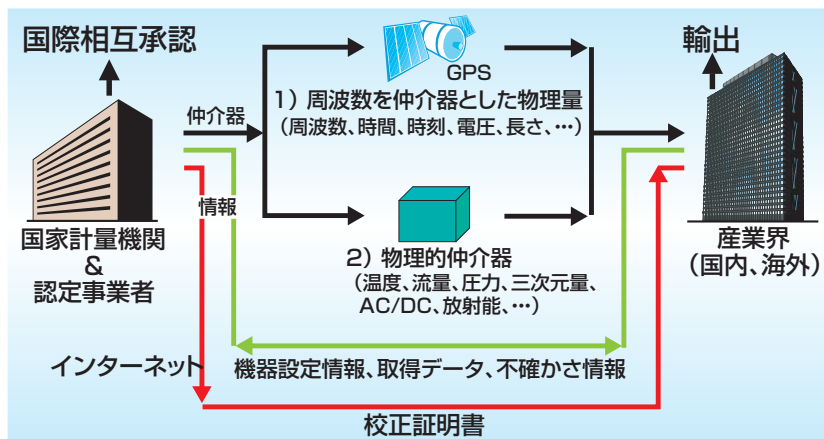


図2 標準供給の新しい方式(遠隔校正：e-trace)

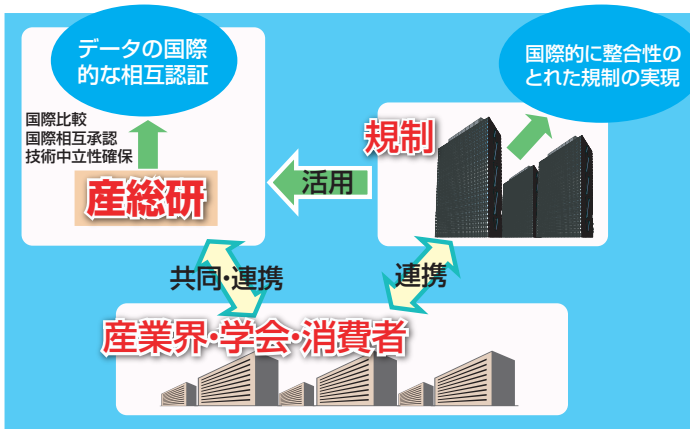


図3 測定の信頼性・国際性を実現するためのシステム



図4 三極化構造における我が国の対応

従って、バイオ標準物質、臨床医薬標準物質、環境標準物質、ナノテク標準物質、計量器内蔵ソフトウェアの信頼性評価といった技術においては世界をリードする国家標準を作り出すことが期待されています。

また、計量標準の供給は、受け取るまでの時間、受け取るコストに応じて利用者が信頼性を選べるようにすることが必要です。従って、供給形態を技術的な側面から最適化することにも取り組むこととなります。電子通信と情報技術を利用して遠隔地のユーザへ信頼性の高い計量標準を届けるための「遠隔校正技術開発」(図2)では、時間標準・電圧標準供給の迅速化、放射能標準・温度標準供給の新しい方式の研究が進められています。

さらに、国家標準や国際標準の信頼性を高めるための研究開発は重要な課題で

あり、例えばキログラム原器という人工物によらない高精度次世代質量標準の開発としてアボガドロ定数の決定という国際的な共同研究、合金を利用した超高温標準の開発において世界をリードする役割を果たしつつあります。

### 計量標準活動へのこれからのニーズ

計量標準の利用分野を広げ、わが国で行われるあらゆる測定の信頼性を国際標準へトレーサブルなものとするのは、わが国の経済活動および技術開発を永続的に支える技術基盤を考える上で重要な視点です。そこでは、物や技術を評価するための試験規格で用いられる測定のトレーサビリティ、社会に適用される公的な規制で用いられる測定のトレーサビリティを確保するために国家標準を作り、それを供給する国全体のシステムを設計

することが求められ、従来の物理標準、化学標準を超えた専門性を導入するために産業界・学会、規制省庁との連携が是非とも必要となります(図3)。

また国際的活動の将来に目を向けると、計量標準については強力な自国標準を主張する米国、経済ブロック化のための計量標準統合を進める欧州、大市場と世界の工場となるアジア・太平洋地域と三極化が進んでいます(図4)。その中で、わが国がアジア・太平洋地域のリーダーとしての役割を果たすことが国内的にも国際的にも期待されています。途上国から先進工業国までが混在しているこの地域において、その計量標準のあり方について一定の提言をするとともに、世界の舞台でわが国計量標準のプレゼンスを示すことがこれらのニーズに応える目標といえるでしょう。



# 世界初、生ごみから水素とメタンを 高速回収できる新システム

## 水素・メタン二段醗酵実験プラント運転開始

エネルギー技術研究部門は企業等と共同で、嫌気性微生物により生ごみ・紙ごみ・食品系廃棄物を分解処理し、水素ガスとメタンガスを回収する高効率水素・メタン二段醗酵実験プラントを、本年7月に産総研つくばセンター・つくば西事業所内に完成させ運転を開始した。世界で初めての二段醗酵法により、生ごみ・紙ごみ・食品系廃棄物から水素ガスとメタンガスを分離して回収することができるプラント（写真）である。本二段醗酵では、全体の処理時間が25日から15日に短縮、エネルギー回収率も40～46%程度から55%以上に大幅に向上する。本実験プラントは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託研究「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発」の成果である。

### バイオエネルギー

バイオマス（生物資源）は、再生可能な有機物で、環境浄化／温暖化軽減機能を有しており、環境調和型のエネルギー資源として大量導入が提唱されている。バイオマスのエネルギー利用を、バイオエネルギーと呼ぶ。平成14年12月の閣議決定では、「バイオマス・ニッポン総合戦略」が定められ、地球温暖化ガス排出削減・循環型社会形成という観点から、開発・導入への達成すべき具体的な目標値も設定されるなど、その最大限の利活用を図ることが求められている。

メタン醗酵は、微生物を利用し畜産廃棄物、有機性汚泥などの廃棄物系バイオマスからバイオガスを生産する技術として知られているが、分解率が低く反応が遅いことから適用例が限られ、年間1億トン強の有機性廃棄物が有効に再資源化されないまま焼却や埋立てなどに処理されている。このため、これら含水率の高い有機性廃棄物の有効な利用対策として、メタン醗酵における分解速度の向上、エネルギー回収率の向上や処理可能廃棄物種の拡大、残渣の低減化が課題となっていた。

### 水素・メタン二段醗酵

これらの問題を解決し、廃棄物処理量の低減はもとより、新たなエネルギーの創出（化石燃料の削減効果）、CO<sub>2</sub>排出量の削減、新市場の創出などに寄与することを目的として、エネルギー技術研究部門バイオマスグ

ループは、（株）西原環境テクノロジー、（株）荏原製作所、鹿島建設（株）、（財）バイオインダストリー協会と共同で、NEDOの委託研究「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発／有機性廃棄物の高効率水素・メタン醗酵を中心とした二段醗酵技術研究開発（平成13～17年度）」において、嫌気性微生物により生ごみ・紙ごみ・食品系廃棄物を分解処理し、水素ガスとメタンガスを回収する高効率水素・メタン醗酵技術開発を進めてきた。

増殖速度が速く、有機物分解速度の速い水素生成菌群を用いた水素醗酵を、メタン醗酵の前処理として導入し、有機物の低分子化を促進しながら水素を回収し、さらに後段のメタン醗酵で高速・高効率にメタン



写真1 実験プラントの外観



ガスを分離回収するところに特長がある。具体的には、従来型メタン醱酵のみの場合と比較し、この新しい水素醱酵をメタン醱酵の前段に付加することにより、有機物のガス化率が現状 60～65% から 80% に向上し、全体の処理時間も現状 25 日から 15 日に短縮され、その結果、加温や運転に必要な投入エネルギーが削減できるので、システム全体のエネルギー回収率は熱量換算で現状 40～46% 程度から 55% 以上（実規模）に改善されることが見込まれている（図）。したがって、最終的に実規模でエネルギー回収率 55% 以上の高効率水素・メタン醱酵プラントの実用化を目指す。

## マイクロフローで水素醱酵

従来の水素醱酵の研究は、エタノール醱酵のように単一の微生物菌株で行う例が多かった。本研究開発の対象となるのは生ごみや食品廃棄物で、糖類、タンパク質、脂質など多様な有機物から構成されており、多様な微生物が原料中に生息している。単一の水素生成菌を生ごみに添加しても、すでに生息している微生物との競合に負けてしまう。生ごみを加熱殺菌したのち水素醱酵を行う方法は、エネルギー収支の面から不利である。本研究開発では、近年研究の進展してきたマイクロフロー（複雑系微生物群）を利用した水素醱酵を、メタン醱酵の前処理として導入することに意味が

ある。メタン醱酵が、非殺菌系で生ごみをメタンに分解できるのは、多様な微生物が分解に係わるマイクロフローであるからで、水素醱酵も同様なマイクロフロー系で行うことにより実用化に近づく。

## 水素・メタン二段醱酵実験プラント完成

この二段醱酵プロセス実現に向けて、本 NEDO プロジェクトでは、産総研を含む各機関において「嫌氣的可溶化プロセスの研究開発」、「食品系廃棄物の水素・メタン醱酵プロセス」、「難分解性物質の水素・メタン醱酵プロセス」、「メタン醱酵の効率化及びバイオエンジニアリング」、「複合水熱技術」の各研究開発を実施し、これまでに、メタン醱酵微生物群の解析・制御技術、可溶化技術、水素・メタン醱酵技術等の各要素技術を研究してきた。これらの成果を基に、実験プラントの設計・施工・運転・評価を中心とした「トータルシステムの開発と実証」の研究開発に共同で取り組み、本実験プラントが完成した。

今回完成した実験プラントは、実規模の 10～100 分の 1 スケールであり、生ごみの水素・メタン二段醱酵による準実証規模のプラント建設は世界で初めてである。これまで培ってきた各要素技術を統合し、水素・メタン二段醱酵システムとして実用化に向けての有効

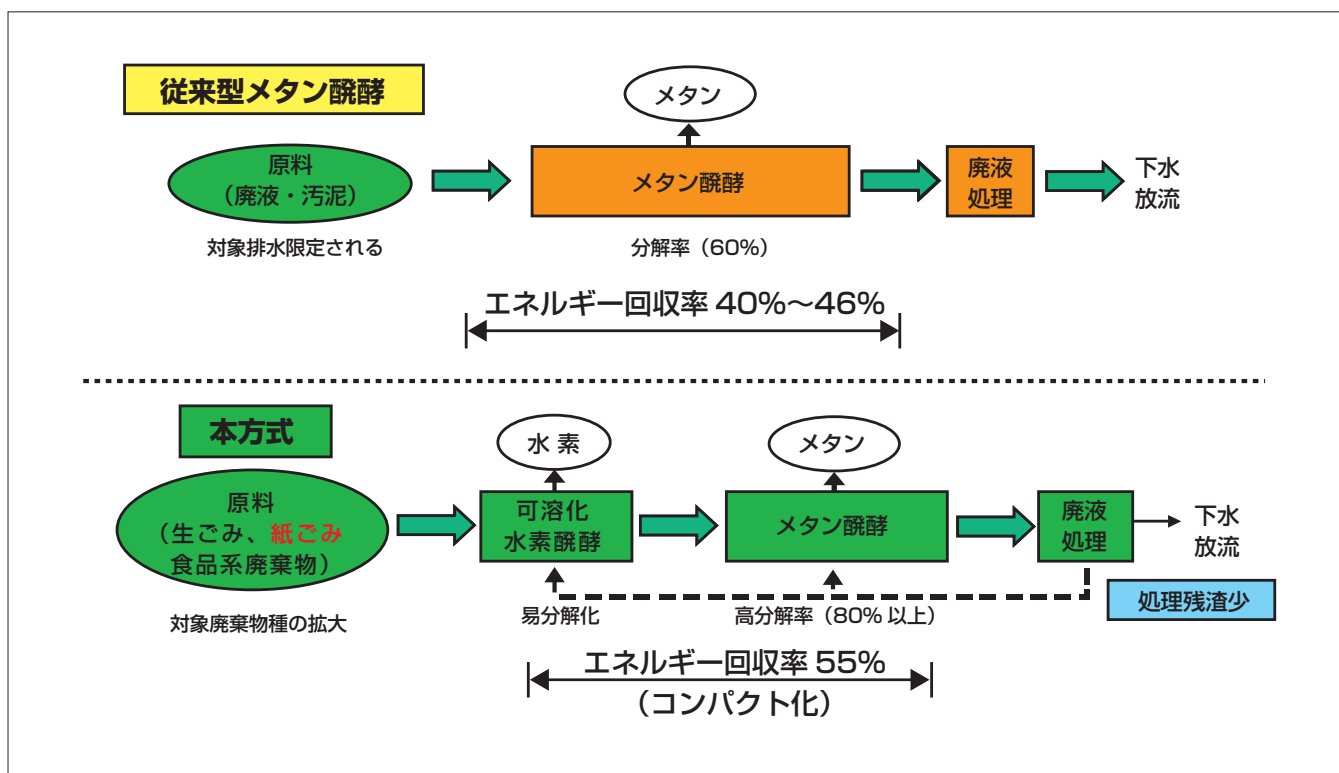


図 二段醱酵方式の特徴

表 高効率水素・メタン醱酵実験プラントの概要

項目	摘要
構成	実験棟：縦 10 m × 横 18 m × 高さ 5 m 研究棟：縦 5 m × 横 5 m × 2 階建て 可溶化・水素醱酵槽：容量 1 m <sup>3</sup> メタン醱酵槽：容量 0.4 m <sup>3</sup>
1 日あたりの処理能力	産総研食堂残飯：50kg+ 紙ごみ 3 ~ 5kg 食品系廃棄物：10kg
1 日あたりのガス発生量	水素醱酵ガス：0.5 ~ 1 m <sup>3</sup> メタン醱酵ガス：5 ~ 10 m <sup>3</sup>
エネルギー回収率の目標（実規模）	55% 以上
技術の特徴	可溶化・水素醱酵とメタン醱酵の二段醱酵で、有機物を水素とメタンに高速・高効率でガス化



写真 2 可溶化・水素醱酵槽（右側）

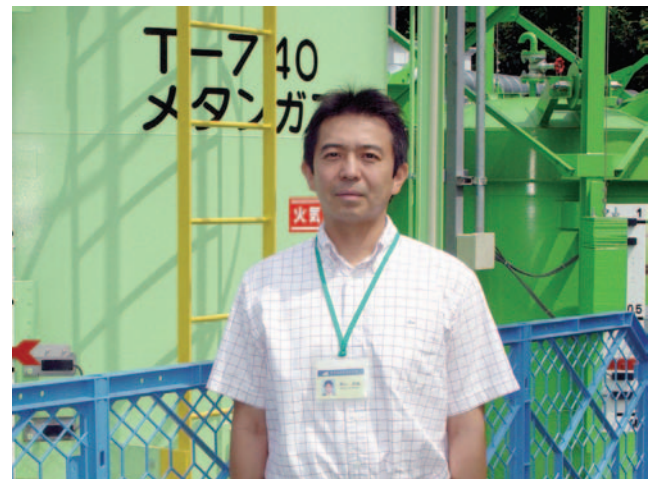
性を検証することを狙いとしている。生ごみと紙ごみ系、食品廃棄物系の2つの水素醱酵槽を備えている(写真2)。

7月から試運転を開始し、産総研食堂から排出される残飯(50kg/日)やシュレッダーで処理された紙ごみなどを原料として用い、すでに水素ガス及びメタンガスの生成を確認している。定格運転時には、1日あたり水素醱酵ガス0.5~1m<sup>3</sup>、メタン醱酵ガス5~10m<sup>3</sup>を回収できる見込みである(表)。なお、水素・メタン二段醱酵技術により生成されたガスは、ガスエンジン、ボイラーはもとより、燃料電池などの燃料として使用することが可能であり、広い範囲での事業化展開を期待できる。

## 今後の予定

今後、更に本実験プラントのガス化効率やエネル

ギー回収率等の実験データの蓄積と検証評価を進め、それらの成果をふまえ、複合ビル(レストラン、ホテル、事務所、店舗など)における生ごみとリサイクル不適紙類を対象としたケース、及び食品工場・製糖工場などでの菓子・パン類の廃棄物、果実加工残渣等を対象としたケース、それぞれについて想定した実証試験に展開していく予定である。



エネルギー技術研究部門 バイオマスグループ  
澤山茂樹 主任研究員

●問い合わせ  
独立行政法人 産業技術総合研究所  
エネルギー技術研究部門  
バイオマスグループ 主任研究員 澤山 茂樹

E-mail : s.sawayama@aist.go.jp  
〒 305-8569  
茨城県つくば市小野川 16-1 つくば西

未探索のユニークな生物由来の生理活性物質

## 兵隊アブラムシの攻撃毒プロテアーゼ

社会性昆虫というとすぐにアリやハチが思い浮かぶが、植物の害虫として悪名高い「アブラムシ」に社会性の種類がいることはあまり知られていないのではなかろうか。社会性アブラムシでは、女王のような虫は存在しないが、子虫を産むことができる普通の虫と、子虫を産むことなく自分の仲間を守るために外敵昆虫と戦う「兵隊」幼虫という2種類の階級が家族(コロニー)中に存在する。我々は、この兵隊アブラムシを特徴づける分子を調べた結果、攻撃毒として働く新規生理活性を有するプロテアーゼを発見した。

兵隊と普通個体は、同一の母虫から単為生殖(雄との交配なしに子虫を産む無性生殖)により生まれ、まったく同一のゲノムを持つ。にもかかわらず、両者は形態、行動、生殖能力などが大きく異なる。この違いを生み出している遺伝子発現パターン(同じ遺伝子セットのうちどの遺伝子が働いているか)の差を検出することができれば、兵隊がなぜ普通個体とは異なる表現型(形態、行動、繁殖能力)を示すのかという、兵隊の階級分化や生物学的機能の分子レベルでの解明や、生物社会の成立、維持機構の理解につながるものと期待される。そこで、社会性のハクウンボクハナフシアブラムシについて、兵隊特異的に発現す

る遺伝子群をcDNAサブトラクション法により単離したところ、カテプシンBプロテアーゼという、どの動物でも持っているタンパク質分解酵素が、兵隊において特に大量に生産されていることがわかった。普通個体ではほとんど作られていないことから、このカテプシンBは何らかの兵隊特有な機能に関わっているものと推測された。

兵隊は、普段は植物の汁を吸うのに使っている口針で、外敵昆虫を刺して攻撃する。攻撃された敵は麻痺して死ぬため、何らかの毒液が注入されているものと思われたが、その実体は未知であった。我々は様々な実験を行い、カテプシンBが兵隊の口針から敵体内に注入されること、そしてカテプシンB自体に確かに虫を殺す活性があることを明らかにした。これらの結果から、我々はこの兵隊特異的に発現するカテプシンBプロテアーゼが、兵隊の攻撃毒の主要成分であると結論づけた。

このプロテアーゼは、これまでにまったく未探索のユニークな生物から得られた生理活性物質である。カテプシンBというプロテアーゼが生物毒として働くという知見はこれまでに得られていない。今後は、どのような作用メカニズムにより攻撃毒として機能しているのかを解明することが焦点になるであろう。



図1 天敵のヒメカゲロウ幼虫を攻撃する兵隊

図2 (左) ハチミツガ幼虫を攻撃する兵隊。(右) 攻撃されたガ幼虫からの兵隊プロテアーゼの検出

1. 兵隊の全タンパク質。兵隊プロテアーゼを検出。
2. 攻撃後のガ幼虫の全タンパク質。注入された兵隊プロテアーゼが検出される。
3. 普通幼虫と共存させたガ幼虫の全タンパク質。攻撃されないガ幼虫から兵隊プロテアーゼは検出されない。



くつけまやこ  
杵掛磨也子  
m-kutsukake@aist.go.jp  
生物機能工学研究部門

### 関連情報

- プレス発表, 平成 16 年 7 月 27 日 [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2004/pr20040727/pr20040727.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20040727/pr20040727.html)
- M. Kutsukake, H. Shibao, N. Nikoh, M. Morioka, T. Tamura, T. Hoshino, S. Ohgiya, & T. Fukatsu: Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. Vol. 101, No. 31, 11338-11343 (2004).



# 植物の遺伝子機能を解明する新技術の開発

シロイヌナズナ、イネの全ゲノムが明らかにされ、ポストゲノムにおける植物科学の課題は、個々の遺伝子の機能解明の段階にある。しかし植物ゲノムには、機能重複した遺伝子が数多く存在しており、特定の遺伝子を破壊したり補完的なRNAを使って遺伝子機能を止める従来の方法では、機能解析が困難であることがわかり、従来の手法に代わる新しい解析法が求められてきた。

我々は、これら重複遺伝子の機能解析の困難さを克服する有効な方法として、新しい機能性ペプチドを用いて転写因子を強力な転写抑制因子に機能変換し、これを用いて標的遺伝子の発現を抑制する新規な遺伝子サイレンシング技術(CRES-T法)の開発に成功した(図1)。これは、転写抑制因子に機能変換した転写因子を植物体内で発現させ、標的遺伝子の発現抑制によって誘導される表現型を解析することにより、転写因子が制御する形質と遺伝子を推察する方法である。

NACファミリー転写因子であるCUC1およびCUC2転写因子は、相互に機能重複した遺伝子であり、CUC1あるいはCUC2のどちらかを単独に破壊しても野生型と同様に見える。ところが、転写抑制因子に変換したCUC1を植物体で発現させたところ、*cuc1*および*cuc2*の二重変異株と同様な子葉の分離不全を示した(図2)。つまり、抑制因子に機能変換した転

写因子は、機能重複する転写因子に優先して標的遺伝子の発現を抑制し、ドミナントネガティブ<sup>1)</sup>型の表現型をもたらすことが実証された。その他に、植物ホルモンとして働くエチレンの応答を制御するEIN3転写因子、分化や発生に関与するMYBやMADS転写因子においても、CRES-T法による形質転換体は変異株と同様の表現型、または過剰発現体と逆の形態変化を示したことから本技術の有効性が検証された。

CRES-T法は、手法の簡便性に加え高効率で作用する。またイネにおいても機能することから、双子葉植物ばかりでなく単子葉植物にも適用できる等の多くの利点がある。さらに、二次代謝系で働く転写因子に適用し、代謝産物を効率的に抑制したことから、二次代謝産物の制御に本手法が有効であることも示された(図2)。

今後、CRES-T法を活用することで、遺伝子の重複性の点から今まで不明であった植物転写因子の機能解析や有用遺伝子の同定が飛躍的に進むことが予想される。また、リグニン含量を抑制したパルプ原料、あるいは、アレルギーを抑制した米などの機能性植物の創生など、より実践的な研究成果も期待され、産業的、農学的应用分野においても貢献できる技術と考えられる。

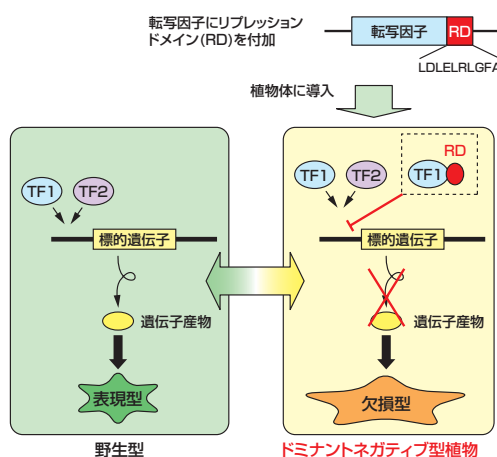


図1 標的遺伝子の発現をドミナントに抑制するジーンサイレンシング<sup>2)</sup>法(CRES-T)

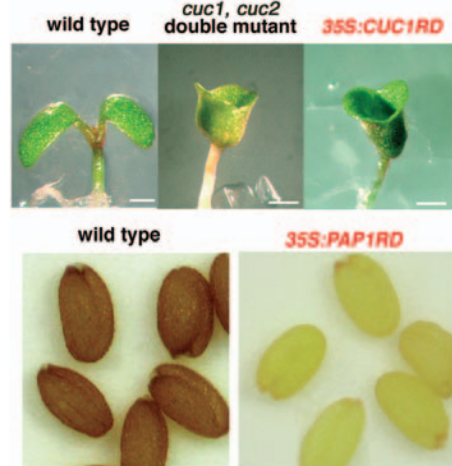


図2 CRES-T法による表現型の変化  
カップ状子葉形成(上) 種子タンニン含量減少(下)



たかぎ まさる  
高木 優  
m-takagi@aist.go.jp  
ジーンファンクション研究センター

## 関連情報

- M. Ohta, K. Matsui, K. Hiratsu, H. Shinshi, M. Ohme-Takagi: Plant Cell, Vol. 13, 1959-1968 (2001).
- K. Hiratsu, K. Matsui, T. Koyama, M. Ohme-Takagi: Plant J., Vol. 34, 733-739 (2003).
- 特許出願 PCT/JP02/13443
- ホームページ <http://unit.aist.go.jp/gfrc/pgrt>
- 1) ドミナントネガティブ: 発現すると変異型の表現型になること。
- 2) ジーンサイレンシング: 遺伝子の機能を抑制すること。



半導体プロセス開発コストを遺伝的アルゴリズム応用により削減

# モデルパラメータの高精度自動合わせ込み

当研究センターでは、半導体設計で用いられるTCAD（テクノロジー・CAD）の効率的な利用を阻む原因の一つであった、シミュレーションモデルのパラメータ合わせ込みの問題を、人工知能の探索手法「遺伝的アルゴリズム」を応用することによって、根本的に解決できる技術を開発した。

我々が開発したパラメータ合わせ込み技術は、人手によるパラメータ群の分割作業を行わずに、遺伝的アルゴリズムを応用し、すべてのパラメータを一括して自動的に合わせ込む方法である（図1）。遺伝的アルゴリズムには、最適解を求める探索の過程において探索が局所最適解に陥りにくいという特徴があり、多数のパラメータを効率良く最適化できる。この手法では、従来は一週間程度かかっていた合わせ込み工程を大幅に効率化し、状況に応じてタイムリーなシミュレーションが可能となる。また新たなシミュレーションモデルが提案された場合においても、従来はパラメータ合わせ込みのノウハウ蓄積に多大な試行錯誤を必要としたが、そのステップも不要となる。また、モデルパラメータの合わせ込みを行える熟練者は自社で確保するのが難しい場合もあり、専門の業者に外注する場合も多かつ

た。今回の手法は、巨大な超並列計算機を必要とせず、一般的なPCや、低コストのPCクラス上で実装可能である。そのため合わせ込みに要する費用を大幅に削減することが可能である。

我々はこの技術を使い、プロセスシミュレータにおけるイオン打ち込みモデルの自動合わせ込みに成功した（図2）。従来は人手で一週間程度かかっていた不純物分布関数のパラメータ群（144個）の合わせ込みを、8台のPCを並列に使用することで、数分で完了した。144個ものパラメータを同時に求めることは、局所最適解の増大により従来手法では不可能だが、探索性能に優れた遺伝的アルゴリズムを利用することではじめて合わせ込みが可能となった。この技術は、産総研認定ベンチャー企業である（株）進化システム総合研究所においてソフトウェア化され、（株）半導体先端テクノロジーズの3次元TCADシステムに搭載され実用化されている。現在は、MOSFETモデルでのパラメータ合わせ込みに本技術を適用する研究開発を行っている。今後プロセスの微細化に対応してシミュレーションモデルが複雑化するにつれ、従来の合わせ込みのノウハウが通用しなくなる可能性を考えると、本技術の有用性はますます高まるものと考えられる。

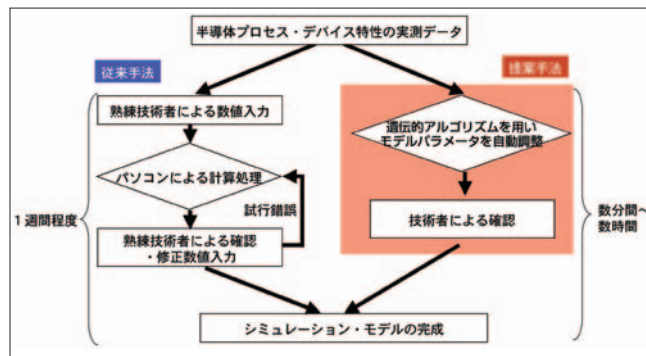


図1 従来の合わせ込み手法と遺伝的アルゴリズムを使用した提案手法の比較  
提案手法により、TCADを用いたシミュレーション工数とそれに要する費用を従来手法と比較して大幅に削減可能である。

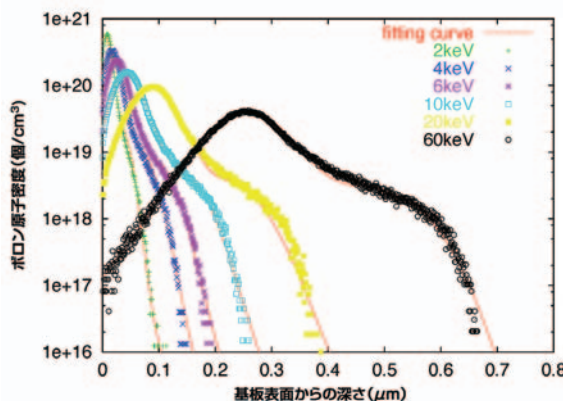


図2 提案手法によるイオン打ち込みモデルの合わせ込み結果  
実験では、16種類の異なる打ち込みエネルギー（2keV～1000keV）に対してデュアルピアン分布とよばれるモデルのパラメータを合わせ込んだ。エネルギー毎に9個あるパラメータをそれぞれ独立に合わせこむのではなく、パラメータ間の連続性を確保するために一括して全てのパラメータ（ $9 \times 16 = 144$ 個）を合わせこんだ。



むらかわまさひろ  
村川正宏  
m.murakawa@aist.go.jp  
次世代半導体研究センター

関連情報

- 共著者：樋口 哲也（次世代半導体研究センター）
- 新聞記事：日刊工業新聞 平成 15 年 5 月 21 日、電波新聞 平成 15 年 5 月 21 日、日経産業新聞 平成 15 年 6 月 2 日。
- 特許：特許 3404532 号 PCT/JP02/07429
- 本研究は（株）半導体先端テクノロジーズとの共同研究である。
- 本研究の一部は、半導体 MIRAI プロジェクトの一部として NEDO からの委託により実施している。

実時間通信を必要とする組込機器のコストを下げ、開発効率を向上させるためには、世界標準で安価なEthernetの利用、オープンソースOSであるLinuxの利用、ミドルウェア\*の採用によるモジュール性の向上が求められる。当研究部門は(株)ムービングアイと共同で実時間OSのART-Linuxを用いてEthernet上で実時間通信を実現するライブラリを開発し、これを用いて標準的分散オブジェクト技術仕様であるCORBAの通信プロトコルGIOPを実装した。開発したソフトウェアは今後、ロボット、情報家電、自動車等の組込機器の分野で、広く利用することが可能である。

Ethernetで実時間通信機能を実現するのが困難であると考えられてきた理由には、1. CSMA/CD方式によりフレーム衝突時に再送までの時間が予測できない。2. TCP/IPの packets 再送信やバッファリングによりプロトコルの処理時間が予測できない。3. フレーム送出時刻を制御する機能が無い。の3点が上げられてきた。これらの問題に対し以下の方法でEthernetによる実時間通信を実現した。1. のフレーム衝突は、ツイストペアケーブルや光ケーブルで、2台のホストをポイントツウポイント接続した場合や、スイッチでスター結合した場合には発生しない。2. の処理時間は、TCP/IPを用いずにアプリケーションのデータをEthernetフレームのペイロードで直接送受

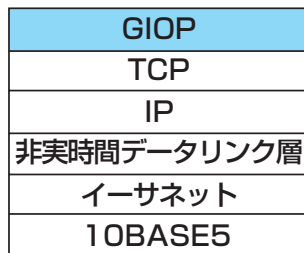
信することで予測可能となる。3. の送出時刻は、実時間OSを利用してアプリケーションがシステムコールの実行時刻を制御することにより制御可能である。

更に、今回開発した実時間通信プロトコル上にCORBAのアプリケーション層プロトコルGIOPを実装した。これにより、ユーザはアプリケーションプログラムを大きく変更することなく、実時間通信機能を持ったCORBAを利用することが可能となった。CORBAの実装としては、日本アイオナテクノロジー株式会社製のOrbix/Eを利用している。以上開発したソフトウェアの構成を図1に示す。

これらのソフトウェアを利用して、ロボット体内の情報系を分散化するためのハードウェアとして小型のCPUボード、I/Oボードを開発した。開発した3種類のボードを図2に示す。左からSH4を搭載したCPUボード、最大5軸のモータを制御可能なリンクボード、アナログ出力のセンサを接続可能なセンサボードである。リンクボード、センサボードはCPUボードとボード左上のコネクタを介して接続し、電源もここから供給されて動作する。

今後は、当部門と川田工業が開発中のヒューマノイドロボットの次期モデル、NEDO総合開発機構の委託を受けて推進中のRTミドルウェアプロジェクト等において、開発したソフトウェアを利用していく計画である。

従来のイーサネット上の CORBA



実時間上イーサネット上の CORBA

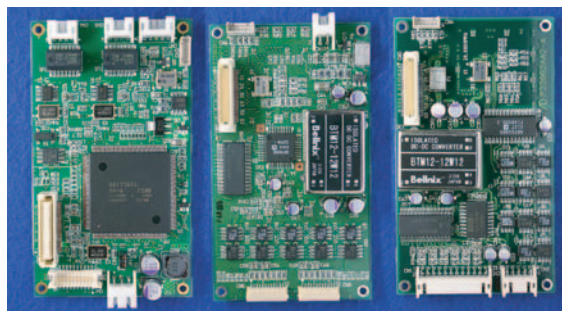
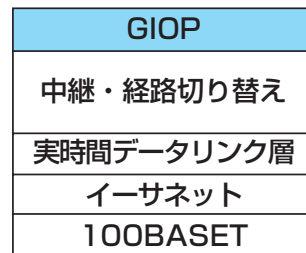


図1(上) 開発したソフトウェアの構成  
図2(左) 組み込み用CPUボードとI/Oボード



かねひろ ふみお  
金広文男  
f-kanehiro@aist.go.jp  
知能システム研究部門

関連情報

● ※ ミドルウェア: OS とアプリケーション-ソフトウェアの間に位置するソフトウェアの総称。

コンポーネント化によりカスタマイズ容易なシステムを実現

## ロボット塗装シミュレーションシステムの開発

現在広く使用されているロボットによる塗装のシミュレーションシステムは、ユーザーの仕様に応じた機能設定が難しく、運動の計算に必要な条件を十分に取り込めない、といった問題がある。そのため、個々のロボットの特性に合わせてシミュレーションシステムを設定しなければならず、十分に使いこなすことが難しい。加えて、ロボット製造メーカー各社が提供している高価な専用システムをロボットごとに購入する必要があるため、特に中小企業にとっては導入・維持・管理に要する負担が大きい。

当研究部門では、ロボットの塗装シミュレーションに必要な主要な計算プログラムをコンポーネントと呼ばれるソフトウェア部品として開発することにより、ロボットユーザーによる機能追加・変更といったカスタマイズを容易に実行できるシミュレーションシステムを開発した。この環境の実現には、当研究センターで開発を進めているMZ Platformを利用した。すなわちMZ Platformは、システムの利用者自身がコンポーネントを組み合わせることでアプリケーションを開発できる機能を有している。

ロボットによる塗装のシミュレーションには、主に、指定された教示点を滑らかに通過

するスプレーガンの運動の計算(運動補間)、その運動を実現するロボットの運動の計算(逆運動学)、被塗装物の塗装色の計算が必要であり、本研究では、これら3つのコンポーネントを開発し、MZ Platform上でコンポーネント間を接続し、システムを構築している。異なる計算手法、追加機能等が必要な場合には、そのコンポーネントのみを作成し、MZ Platform上でコンポーネントを入れ替え、追加することが可能であるため、高いカスタマイズ性を実現している。各コンポーネントについては、様々な条件を入れられるように工夫するとともに、リー代数(Lie algebra)を用いた新たな計算手法を提案している。この手法では、リー代数を用いることにより、スプレーガンとロボット(先端及び関節)の運動の計算を、ロボット先端の局所座標系における問題として統一的に取り扱うことを可能としており、スプレーガンの滑らかな運動とその運動を実現するロボットの運動の計算を容易にしている。図1にアプリケーションの作成画面を示す。開発したシミュレーションシステムの実行の様子を図2に示す。

今後、設計システム、工程管理システム等、他システムとの連携技術にまで研究を進めて行く予定である。

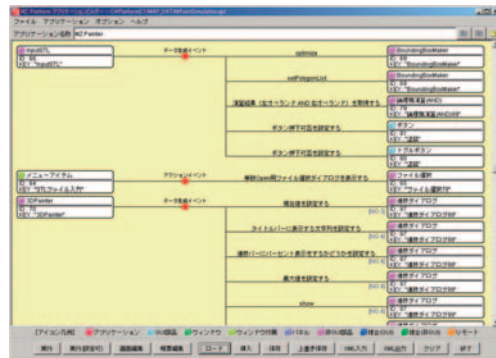


図1 MZ Platformのアプリケーション作成画面

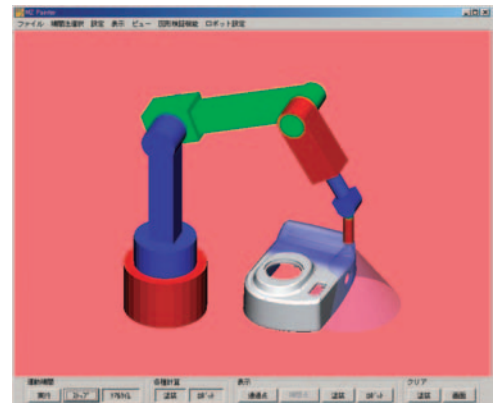


図2 開発したロボット塗装シミュレーションシステム



とくながひとし  
徳永仁史

tokunaga.h@aist.go.jp  
ものづくり先端技術研究センター

### 関連情報

- 共同研究者：岡野豊明，松木則夫（ものづくり先端技術研究センター），田中文基，岸浪建史（北海道大学）。
- 徳永仁史，岡野豊明，松木則夫：2003年度精密工学会秋季大会学術講演会(2003)。
- 澤田浩之：AIST Today Vol.4, No.4, 23 (2004)。



# 世界最高感度の元素分析装置を開発

究極の構造解析とは、物質を構成する原子ひとつひとつを観察し、その元素種を分析することである。カーボンナノチューブをはじめとするナノ材料では、たとえ1個の異種原子が混入しているだけでも、そのデバイス特性が著しく変化することが頻繁に起こる。また生体分子においては、例えばタンパク質中のアミノ酸配列を直接読みとろうとすると、単原子レベルで分析する感度をもつ検出技術は必要不可欠である。そのため、ナノ材料・生体分子中の構成元素を単原子レベルで分析することは、ナノ・バイオテクノロジー全般に関わる必須の基盤技術として求められていた。ところが単原子レベルでの元素分析は、世界にもこれまで汎用型の元素分析装置で成功した例はなかった。そこで当研究部門では、ナノテクノロジーの基盤技術として幅広く使われるような超高感度元素分析装置の研究開発を行った。

今回開発した超高感度元素分析装置(図1)は、走査型透過電子顕微鏡と電子線エネルギー損失分光器を組み合わせたもので、従来の元素分析装置より一桁以上高い検出感度を実現し、試料中に存在する「元素の種類の特定」、「存在位置」の特定、さらに「量(原子の数)」までも高い精度で分析することを可能にした。本装置の高精度

化は、(1)新しく設計された高性能な磁界レンズの搭載によって、より小さい径の電子線によりビーム電流密度を格段に向上でき、多くのプローブ電流を流すことができるようになったこと、(2)新しく採用された検出器とそのカップリング法により、従来型の元素分析装置に比べ一桁以上高い感度を得られたことによって実現された。

この装置を使用し、東京大学の中村栄一教授らによって開発された新材料“カーボンナノチューブの特定箇所”に、金属原子(ここではガドリニウム)を一個から数個の精度で付着させた試料の金属原子ひとつひとつの分析に成功した(図2)。単原子検出におけるSN比は、従来の「3」から本実験では「10」にまで向上した。このことは、ほぼ百パーセントの信頼度をもって単原子の元素分析が可能になったことを示している。今回得られた検出信号はこの超高感度元素分析装置が世界最高の感度をもつことを証明した。

本装置による単原子レベルの元素分析の成功により、「厳密に不純物量やドーパント量を制御しなければならないナノデバイス材料の開発」や、「生体分子の着目部分を特定の元素で置き換える分子ラベリングの解析」に新しい道を拓くことができると期待される。



図1 世界最高感度の元素分析装置

(独)産業技術総合研究所と(株)日立ハイテクノロジーが共同で開発した世界最高感度を持つ元素分析装置の概観写真。この装置は走査型透過電子顕微鏡と電子線エネルギー損失分光器を組み合わせたもので、従来の高感度元素分析装置より一桁高い検出感度を実現した。半導体材料中の極微量不純物の検出や、生体分子の着目部分を特定の元素で置き換える分子ラベリングの解析に貢献できることが期待される。

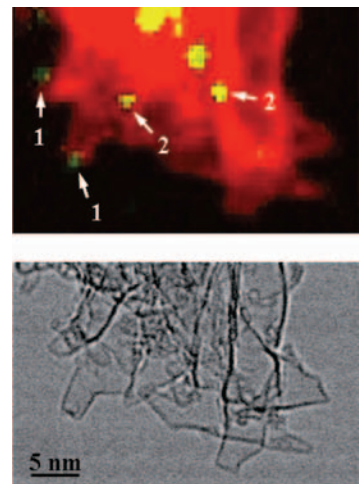


図2 究極の単原子分析の例

金属原子(ここではガドリニウム)の1個から数個を特定箇所に堆積成長させたカーボンナノチューブの元素マッピング像(上)と通常の電子顕微鏡像(下)を示した。上図の元素マッピング像では、カーボンナノチューブ(赤)の先端に存在するガドリニウム原子(黄)1個も鮮明に捕らえられている(上図中の数字はガドリニウム原子の数を示している)。



すえながかずとも  
末永和知  
suenaga-kazu@aist.go.jp  
ナノカーボン研究センター

## 関連情報

- A. Hashimoto, H. Yorimitsu, K. Ajima, K. Suenaga, H. Isobe, J. Miyawaki, M. Yudasaka, S. Iijima, E. Nakamura: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 101, pp.8527-8530 (2004).
- K. Suenaga, M. Tencé, C. Mory, C. Colliex, H. Kato, T. Okazaki, H. Shinohara, K. Hirahara, S. Bandow, S. Iijima: Science, Vol. 290, pp.2280-2282 (2000).

高効率バイオリアクターの開発を目指して

# マイクロ空間での高効率な酵素反応

流路が数～数百  $\mu\text{m}$  ( $\mu=10^{-6}$ 、マイクロ) 程度の大きさの微小反応器であるマイクロリアクターは、ビーカー・フラスコでの反応に比べ(1)加熱、冷却速度が速い、(2)流れが層流である、(3)単位体積当たりの表面積が大きい、(4)物質の拡散長が短いので反応が迅速に進行する、等の特徴を持っている。このため高速かつ高選択性の反応を実現する反応デバイスとして期待されている。

当研究ラボでは、このマイクロリアクターを、微生物や細胞の培養器、酵素反応器、生物反応器(バイオリアクター)として実用化するために、研究を推進し、すでに酵素反応をマイクロリアクター内で行うことにより反応効率が向上する事を見いだしている。この現象の実用を可能にするために、まず流路壁面へ酵素を担持したマイクロリアクターを開発した(図1)。このリアクターは従来のバッチ式反応に比較して飛躍的に反応効率が増大し、生化学反应用リアクターとして有望であることが分かった。さらにこの技術を用いることにより、生体内の効率的な多段階酵素反応を模倣する事にも成功している。また、酵

素の固定化で致命的な問題である、酵素分子の変性による失活を解決するため、可逆的に酵素を固定化する方法も開発した。これにより失活後の酵素の交換が極めて容易に行え、長時間の連続した反応にも対応できるようになっている。

また、当研究ラボではマイクロチャネルの表面を部分的に化学修飾することにより疎水処理を行ったマイクロリアクターを用い、効率的に水溶液と有機溶媒を分離する技術を開発した(図2)。この技術を応用し、酵素反応と溶媒抽出という異なる機能を集積化した光学活性化合物を効率的に分割するマイクロリアクターの開発にも成功している。

生体内では細胞表面や毛細血管などにおいて、ミリ秒のオーダーで酵素反応により物質変換が効率よく行われている。マイクロ空間は、このような生体内の微小な酵素反応場を模倣する事が可能である。今後このマイクロ空間を利用して、さらに高効率の酵素反応デバイスの開発とその分析・診断技術や生化学合成技術への展開を進めていく。

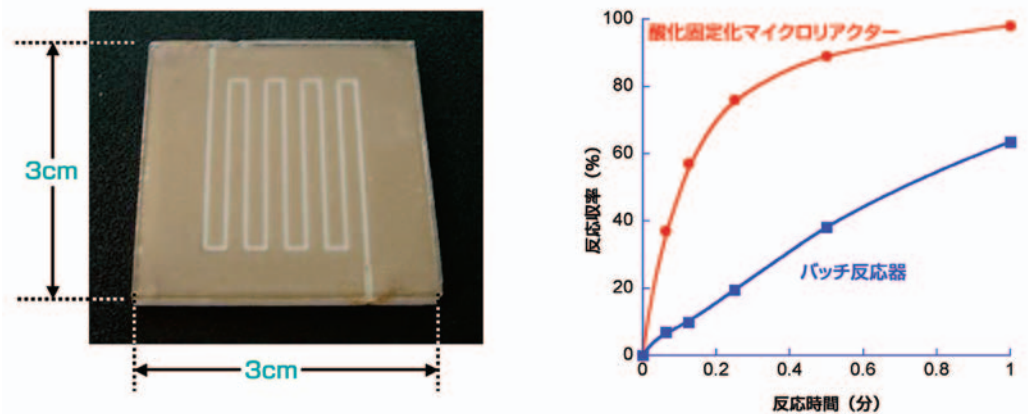


図1 酵素固定化マイクロリアクター(左)とその反応(右)

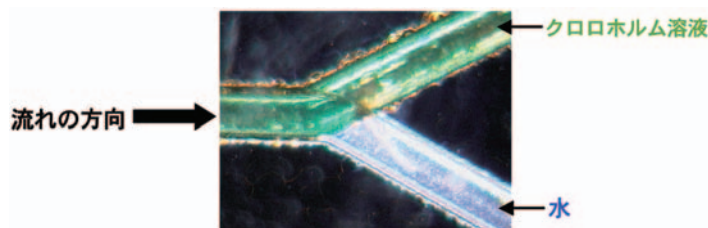


図2 マイクロリアクターによる水と有機溶媒(緑に着色)の分割



みやざき まさひこ  
宮崎真佐也  
m.miyazaki@aist.go.jp  
マイクロ空間化学研究ラボ

関連情報

- 前田英明, 宮崎真佐也; ケミカル・エンジニアリング, 47(11), 27-31 (2002).
- 宮崎真佐也; 日経先端技術, No. 54, 9-10 (2004).
- 特願 2002-067023 (宮崎真佐也, 中村浩之, 前田英明), 特願 2003-208499 (山口佳子, 宮崎真佐也, 中村浩之, 山下健一, 清水肇, 前田英明), 特願 2003-302158 (宮崎真佐也, 前田英明, 中村浩之, 山口佳子, 山下健一, 清水肇).
- 共同研究者: 山口佳子 (マイクロ空間化学研究ラボ).



# マイクロリアクターによる分析手法の開発

DNAを対象とした分析には、煩雑な操作が要求され、分析結果にもばらつきができる。例えば、試料を検出試薬(プローブ)に作用させる事で試料を同定するハイブリダイゼーション操作では、厳密な温度管理や多段の洗浄操作などが必要である。また、DNAチップのような固相単体上にプローブ分子を固定化する分析方法では、その固定化を均一に行う技術の難しさのために、定量性や再現性に問題が生じることがあるとともに、その保存をどうするかという問題もある。

マイクロ流体システム(マイクロリアクター)は、太さ数百マイクロメートル程度の極細の流路を基板上に刻設したものである。このような極細の流路の中では、流れる溶液は層流という状態になる。例えば、互いに可溶性液体どうしても、混ざり合うことなく併走するように流れていく。また、その流れの中で起こるすべての現象は、流れの速さ・流路の形状・流れる液体などの条件が一定である限り極めて高度な再現性を持つ。このようなマイクロ流体システムの特性に着目し、全くの初心者でも最低限の操作で確実に正確な分析をすることができる手法の開発を行った。

今回開発した分析手法の概要を図1に示す。

操作者が行う操作は、送液のためのポンプのスタートボタンを押すだけである。プローブDNAと試料DNAの溶液はそれぞれ別々に、図1に示したようにマイクロ流路へ送液される。その2液の界面では、プローブDNAと試料DNAの間に相補性があれば2本鎖が形成され、そうでなければ1本鎖のままである。本分析方法では、マイクロ流路のカーブで起こる二次流れ(流路進行方向に直行する方向の流れ)を利用し、形成された2本鎖を偏在化できる。例えば、蛍光性のプローブDNAを用いた場合であれば、その偏在化された部分の蛍光強度を測ることにより、プローブと相補的な配列を持った対象の有無や量を知ることができる。

この方法では、その形態の都合上、DNAチップのような長大なハイスルーブットには限度がある。しかしながら、その操作の簡単さから、必要に応じてその場で分析するというオンサイト・オンデマンドニーズ、すなわち臨床現場でのニーズには最適であろうと考えている。今後は、変異種類の分類化により、あらゆる種類の変異に対応できる「ユニバーサルデザインチップ」の開発やDNA以外の対象への応用などを通して、実用化を図っていく予定である。

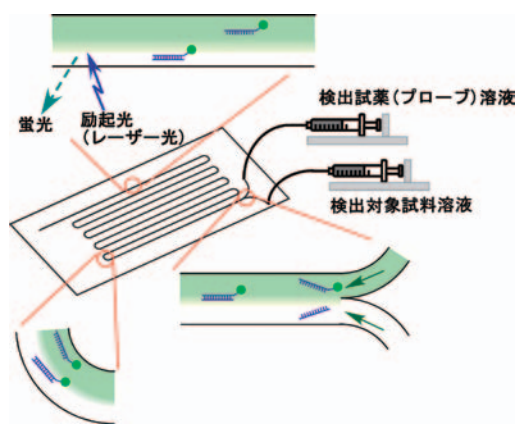
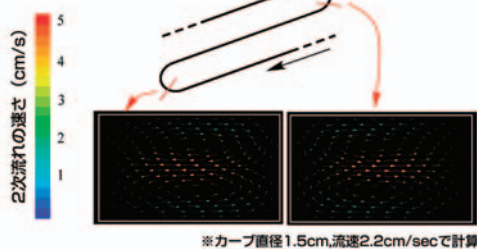


図1(上) 本手法の手順と構成の概略図

マイクロ流路のカーブで起こる二次流れ



カーブでの2本鎖分離

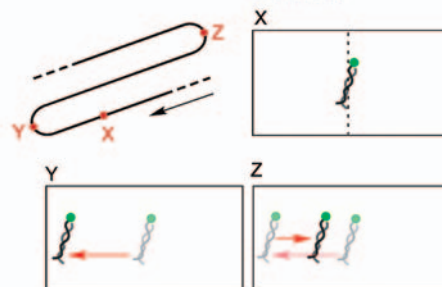


図2(右) カーブにおけるマイクロ流体の動きと分離への応用



やましたけんいち  
山下健一  
yamashita-kenichi@aist.go.jp  
マイクロ空間化学研究ラボ

## 関連情報

- K. Yamashita, Y. Yamaguchi, M. Miyazaki, H. Nakamura, H. Shimizu, H. Maeda: Lab on a Chip, Vol. 4, 1-3 (2004).
- 特開2004-053417「マイクロ流路利用分子分析法」(山下健一, 前田英明, 清水肇, 宮崎真佐也, 中村浩之, 山口佳子).
- 国際特許出願 WO2004/010140 (国際公開番号)「マイクロ流路を利用することによる分子分析法」(山下健一, 前田英明, 清水肇, 宮崎真佐也, 中村浩之, 山口佳子).



## 半導体のナノ薄膜とナノスケール表面層評価が可能に

## 極紫外顕微ラマン散乱分光システムの開発

次世代半導体として注目されているシリコンカーバイド(SiC)や窒化ガリウム(GaN)などのワイドギャップ半導体は可視のレーザー光に対して透明で、光は試料内部深くまで侵入する。従って、可視レーザー光を励起光源とするラマン散乱や蛍光測定では、表層からの信号が試料内部で生じる強い信号に隠れてしまい、表面層を定量評価・解析することが難しかった。

当研究センターではワイドギャップ半導体の表層を非破壊で調べることを目指して、これらの半導体に対して、侵入長が非常に短い極紫外(DUV:Deep Ultra Violet)光を励起光として用いた顕微ラマン分光システムを最近構築した。

このシステムは488nmのアルゴンレーザー連続光の2通倍波(244nm)を光源として使用しており、光の反射損失を極限まで減らした明るい分光システムである。顕微鏡部は反射型カセグレン鏡を対物鏡として使用しており、色収差を無くすると共に紫外光照射による光学部品の劣化を防いでいる。焦点距離が1.5mの主分散分光器の前にフィルター分光器を設置したので、非常に低波数領域のラマンバンドが測定でき、ワイドギャップ半導体のみならずほとんど全ての半導体の表面層測定が可能になった。

このDUV顕微ラマン分光システムの最大の特徴はナノレベルの半導体表面層が評価できることにある。このシステムを用いて200nm厚の

SiC エピタキシャル膜の結晶性や結晶多形の評価、200nm深さのイオン注入層の損傷の度合いを判定し、さらに熱処理による損傷層の結晶性の回復を調べることができた。また、機械研磨によるSiCの損傷を定量的に評価することも可能になった。一般的に半導体基板の表面仕上げは、エピタキシャル成長やデバイス作製に重要な影響を及ぼすので、ウエーハー表面の研磨仕上げの非破壊検査は大切な技術である。本検査技術により、わずか0.25ミクロン径の砥粒を用いた機械研磨の場合でも、表面の電気的特性に影響を及ぼす欠陥が残存していることを検知できた。イオン注入層の欠陥は注入後の熱処理で減少するが、この残留欠陥の検出、また注入イオンの電気活性化率の推定などをラマンスペクトルの解析から行うことができた。この結果はイオン注入条件、熱処理条件の最適化の指針を与えるものと期待される。

最近高速デバイス材料として話題となっている歪みシリコン薄膜の評価にもDUVラマン分光法が有効であることが分かってきた。極紫外光はSiに対して2~5nmしか侵入しないので、数ナノメートル厚のSi膜の歪みが計測できた。さらに数ナノメートルのHEMTデバイス作製に重要なGaN超薄膜のラマン計測が可能になった。将来半導体表面層評価手法としての極紫外ラマン分光法に対する期待は大きい。

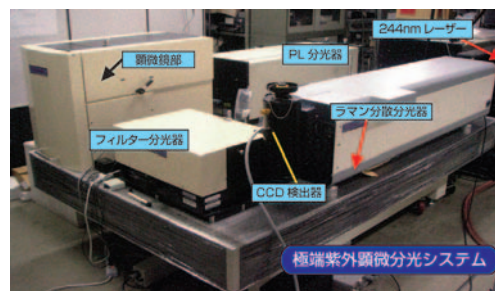


図1(上) 開発した極紫外(DUV)ラマン顕微分光装置の写真

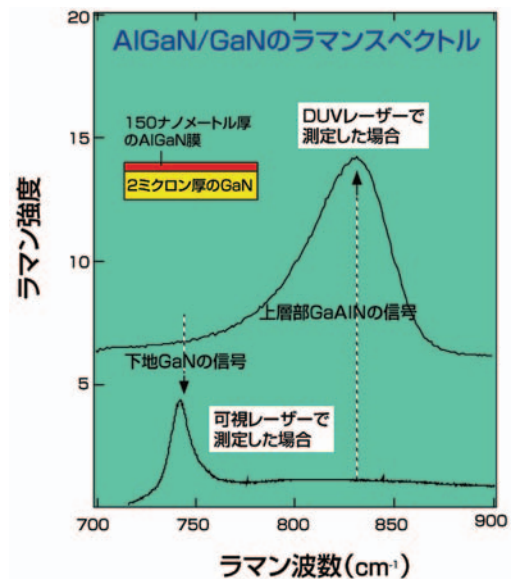


図2(右) 極紫外レーザーと可視レーザーを用いて測定したAlGaIn/GaNのラマンスペクトルの比較

可視レーザーに対して、AlGaInからの信号は全く見えない。



なかしましんいち  
中島信一

nakashima-s@aist.go.jp  
パワーエレクトロニクス研究センター

## 関連情報

● 共同研究者: 奥村元, 三谷武志 (パワーエレクトロニクス研究センター)

● S. Nakashima, H. Okumura, T. Yamamoto, R. Shimidzu: Applied Spectroscopy, Vol. 58, 224 (2004).

● 本研究における装置開発は平成13年度経産省地域新生コンソーシアム研究開発事業の一環として行われた。

# 熱拡散率標準物質の開発

室温以上の温度領域における固体材料の熱伝導率は、レーザフラッシュ法で測定した熱拡散率と他の手法で測定した比熱容量の積として求められる場合が多い。フラッシュ法は、平板試料の表面を均一に光でパルス加熱し、試料の厚み方向への熱の拡散を試料裏面温度の時間変化として観測する手法である。近年の測定装置は、レーザを用いてパルス加熱を行い、試料裏面の温度変化を赤外放射計により測定しているため、非接触で測定できる便利さから広く普及している。また、表面で赤外光を反射・透過しないで吸収する固体試料（直感的には黒い試料、表面を塗料などで黒化した試料も含む）であれば、測定することができる。理想条件下では、断熱保持された均質な試料の表面から裏面への1次元熱拡散現象であるが、実際の測定では、熱損失の効果、表面加熱の不均一性による1次元性の乱れ、放射测温の感度や応答速度、材料によっては必要な黒色塗料の塗布などの不確かさ要因があるので、測定結果の解釈や信頼性には注意が必要である。そこで、測定装置の健全性を検証し、校正するための標準物質が必要になるが、世界的にも認証された標準物質はほとんどないのが現状である。そのような現状を踏まえ、我々は、レーザフラッシュ測定

装置を総合的に評価するために最適な標準物質の開発を進めている。

本研究には、レーザフラッシュ法による熱拡散率計測技術と標準物質候補材料の2つの開発要素がある。計測技術の高度化に加えて、これまで曖昧にされてきた不確かさ評価やトレーサビリティ体系の構築にスポットを当てて取り組んでいる。また、標準物質は、均質性や安定性が良好であることが前提であるが、(1)黒化を必要としない材料、(2)同一材料から切り出した数種類の厚さの異なる円板状試験片のセットを提供すること、の2点を条件に探索・評価を行ってきた。(2)は、我々のオリジナルな提案である。レーザフラッシュ法では、厚さやパルス加熱などの測定条件が測定結果に大きな影響を及ぼすので、同一材料で厚さの異なる試験片を測定し、熱拡散率の一致の程度を確認することによって、測定装置を総合的に評価・校正することができる。現在は、炭素系の候補材料について試験片セット単位での評価が進み、その特性も明らかになったことから、試験片と温度領域を特定して、レーザフラッシュ法による熱拡散率の依頼測定を開始している。今後は、この研究成果をもとに、標準物質の頒布を予定している。

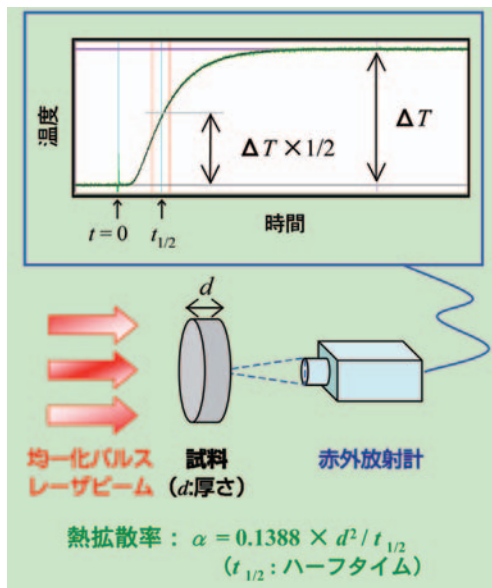


図1 レーザフラッシュ法の原理

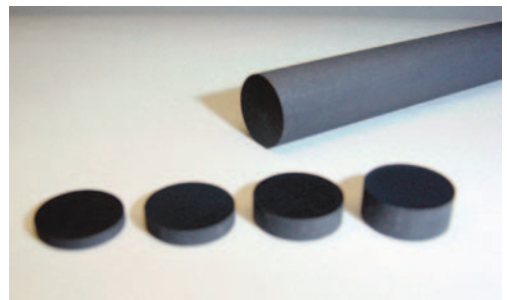


図2 レーザフラッシュ熱拡散率依頼試験用試験片



あこしま  
阿子島めぐみ  
m-akoshima@aist.go.jp  
計測標準研究部門

関連情報

- 共著者: 馬場哲也 (計測標準研究部門 物性統計科)
- M. Akoshima, T. Baba: Int. J. Thermophys. (in press).
- <http://staff.aist.go.jp/m-akoshima/>

## 高感度可視—近赤外過渡吸収分光計の開発

過渡吸収分光法は、反応中間体を計測するために開発された手法である(図1)。パルスレーザーで試料を瞬間的に光照射することで、種々の短寿命活性種を瞬間的に生成させ、それらによる光吸収を測定する。そこから活性種が時間とともに消滅する速度や、他の分子と反応する速度を決定することができる。このように過渡吸収分光は、反応機構を研究するための最もすぐれた手法のひとつであるが、測定感度が低いため汎用の計測手法として使われていない。そこで我々は簡便に使える過渡吸収分光計を開発した。

我々が開発した装置では、検出器からの光電流を交流回路を持つ低ノイズ増幅器で過渡的な変化のみを増幅することによって高い計測感度を実現している。本装置の性能は、時間分解能:50 ns、測定波長範囲:400-3000 nm、測定感度(光強度の変化量): $10^{-5}$ 以下である。高い感度を有すること、近赤外波長領域(>1000 nm)の測定ができることが特徴であり、感度については、多くの研究室で用いられている装置に比べて100倍以上高くなっている。さらに本装置は、いままで測定が困難であった近赤外波長領域にも高い感度を有する。そのため以下に述べるように、半導体中の伝導電子の挙動を簡単に計測することが可能と

なった。

近年、光照射によって様々な機能を発現する光化学デバイスが注目されており、次世代の太陽電池として注目を集めている色素増感太陽電池や有機薄膜太陽電池、酸化チタンをはじめとする光触媒等について、実用化に向けた研究開発がすすめられている。これらの研究開発において、機能発現の機構を解明することは、高性能化を実現する上で重要である。我々は、開発した高感度可視-近赤外過渡吸収分光計を用いて、デバイス中の伝導電子の観測に成功した。

色素増感太陽電池の初期過程は、光励起によって半導体表面に吸着した色素から半導体へ電子が注入される過程である。過渡吸収により電子を失った色素カチオンと半導体中の伝導電子による吸収スペクトルを計測することが可能となった(図2)。このような測定から電子注入の効率を決定することができ、太陽電池の動作機構に関する多くの知見が得られる。

また、本装置は反応性の評価のみならず、その高い感度を生かした定量分析装置としても使うことも可能であり、汎用の光吸収分光計による定量分析よりも高い計測感度を実現している。

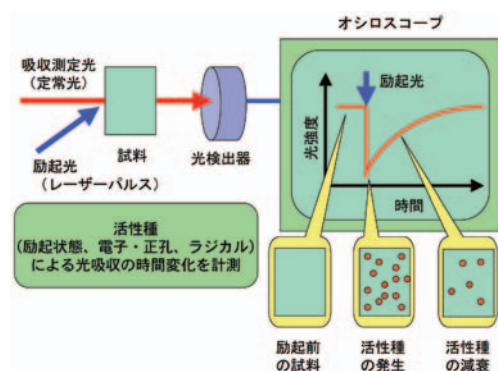


図1 過渡吸収分光法の原理

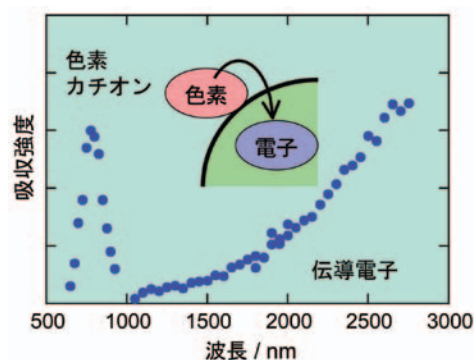
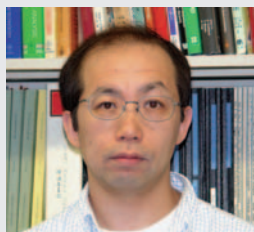


図2 色素増感太陽電池における伝導電子



かとうりゅうじ  
加藤隆二  
r-katoh@aist.go.jp  
計測フロンティア研究部門

## 関連情報

- R. Katoh, et al: J. Phys. Chem. B 106, 12957-12964 (2002).
- T. Yoshihara, et al: J. Phys. Chem. B 108, 3817-3823 (2004).
- 加藤隆二, 古部昭広: 表面科学 25, 272-278 (2004).
- T. Yoshihara, et al: Chem. Phys. Lett. 394, 161-164 (2004).



## 高周波減衰量標準

計測標準研究部門 Widarta Anton

### 高周波減衰量

高周波、マイクロ波等の電磁波は情報通信システム、レーダをはじめ、医療技術や加熱装置等の生活に関連する分野まで使われてきている。低い周波数領域の電磁波回路では、電圧、電流等が基本量として使われている。しかし、高い周波数領域では、電磁波の波長は測定対象物の寸法に同程度か、それより短いので、波動伝搬的な取り扱いが必要となり、伝搬に伴い生じる高周波減衰量が基本量の1つとして重要である。

高周波減衰量は、測定対象物(DUT)の入出力信号の電力の比により定義する。図1のように反射波のない理想的状態の回路を用いて、負荷(LOAD)に吸収される電力を測定してDUTの有無により減衰量を評価する。数値表現の簡便さで、通常dB(デシベル)で表され、電力の比が百分の一、百万分の一の場合それぞれ20 dB、60 dBになる。

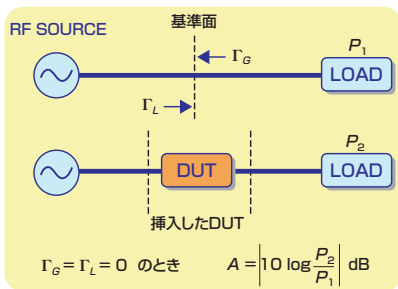


図1 高周波減衰量の定義

### 高周波減衰量標準の開発

計量標準総合センター(NMIJ)では、国家計量機関(NMI)として高周波減衰量の一次標準器を決定し、10 MHz ~ 110 GHzの高周波減衰量標準の開発を行った。

- 一次標準器：1 kHzで動作する誘導分圧器(IVD)を採用している。IVDは、低周波標準へのトレーサビリティが確保されており、高精度測定に適し、温度の依存性が少なく安定しているため採用した。

- 測定システム：下記のとおり2種類の減衰量測定装置を使用している。

周波数範囲40 GHz以下では、IVDを標準器とする中間周波置換法(図2左)を開発した。DUTを通った高周波信号をヘテロダイン検波により1 kHzの信号に置き換え、高周波減衰量を1 kHzのIVDの電圧比に置換測定する。この測定システムは、デュアルチャンネルで構成され、一種のブリッジ回路になり高精度な測定システムが実現できる。要点はチャンネル間の高いアイソレーションであり、本システムの開発において10 MHz ~ 1 GHzの部分的周波数ではあるが、EO変換器-光ファイバによる高性能のアイソレーション回路を実現した<sup>1)</sup>。さらに40 GHzまでの範囲の拡張を目標に研究を行っている。

40 GHz以上の周波数領域では、ピストン減衰器(WBCO)を標準器として切り替えて測定するスイッチング型中間周波置換法(図2右)を採用している。DUTを通った高周波信号を30 MHzの信号に変換し、ピストン減衰器を通った30 MHz信号の減衰量と比較測定する。このシステムの間周波が30 MHzと高く設定できるため、要求される高周波信号のスペクトル純度条件が緩く、110 GHzまでの周波数範囲ばかりでなく300 GHz帯やTHz帯等における減衰量測定システムとしても期待されている。

### 高周波減衰量標準の供給と国際比較

平成16年4月から30 MHzのピストン減衰器、10 MHz ~ 18 GHzの同軸可変減衰器についてJCSS(計量法校正事業者認定制度)等による供給を開始した。校正範囲は10 MHz ~ 12 GHzで100 dB、18 GHzでは60 dBまでであり、平成18年度に40 GHzまでの供給を目指している。40 GHz以上の周波数範囲については、計量標準のニーズによって優先順位を付けて開発を行っている。2003年6月には、高周波減衰量の国際比較(CCEM-RF-K19.CL)に参加した。この国際比較では、今後幹事機関の集計により参加機関の同等性が国際度量衡局のホームページに公表されることになる。

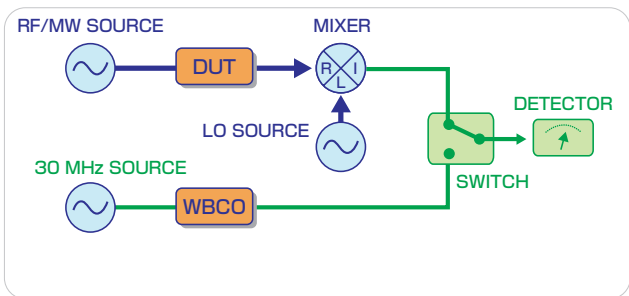
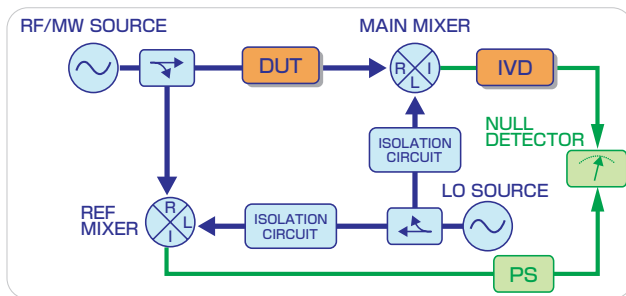


図2 高周波減衰量測定システム

左：IVDを用いたデュアルチャンネル中間周波置換法(10 MHz~40 GHz)

右：ピストン減衰器を用いたスイッチング型中間周波置換法(40 GHz以上)

1) Widarta, Kawakami, "Attenuation measurements system in the frequency range of 10 to 100 MHz", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol.52, Apr. 2002, 302-305.

# 臨界ノズルを用いた気体流量測定規格 ISO 9300:1990 の改訂とこれに等価な JIS の作成

計測標準研究部門 石橋 雅裕

## 臨界ノズルによる流量測定

臨界ノズルは気体流量の高精度測定に用いられるが、その構造は、流速が音速以下に限られる一般的な亜音速ノズルと基本的に変わることはない。たとえば、ベンチュリ型では、図1のように、管路断面積が滑らかに減少し、再び滑らかに増加する。しかし、これに大きな差圧を与えると、スロート(断面積の最も小さい位置)直下に超音速流れが発生し、下流側情報がスロートに伝わることを防ぐため、流量が下流側状態に依存しなくなり非常に安定する。

臨界ノズルのスロートは、その上流側が亜音速流れ、下流側が超音速流れとなり、亜音速流れと超音速流れの分岐点となって流速が音速に固定される。したがって、その流量(kg/s)は、流れが断面積にわたって一様であれば、(スロート面積)×(スロートでの音速)×(スロートでの密度)で与えられるはずであるが、実際は、壁面付近に急激に流速がゼロに落ちる境界層が発生し、また、境界層以外の領域でも、断面積上でわずかな流速の増減があるため、上の式は1%程度の誤差を持つ。そのため、正しい流量を得るためには、この式に補正係数(流出係数)を掛ける。

## 国際規格の改定作業

臨界ノズルに関する国際規格 ISO

9300:1990 “Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles (CFVN) (臨界ベンチュリノズルを用いた気体流量の測定)” は、1990年に出版され、 $1 \times 10^5 \sim 2 \times 10^7$  のレイノルズ数範囲で、天然ガスを含めた様々な気体が行われる臨界ベンチュリノズルの流出係数を、不確かさ0.5%で与えるものである。この規格は、現在、次の2点を主眼として、改訂作業が行われている。

(1) 現規格の不確かさは、その他の一般流量計に比べて小さいとは言えない。また、レイノルズ数範囲の下限で大きな偏差を持つことが明らかになった。これは、本来、この規格が、レイノルズ数の大きい天然ガス流量を乱流域で測定するために作られたものであり、そのレイノルズ数範囲の下限では、境界層が層流となり、ノズル特性が大きく変わるためである。この部分の修正には、産総研で測定した層流境界層領域における精密ノズル(HPN/ High-Precision Nozzle)の流出係数が採用された(図2)。HPNは超精密旋盤で製作されたもので理想的な形状を持つため、その流出係数は一般ノズルの基準となる。改訂版では、全体のレイノルズ数範囲( $2.1 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^7$ )をカバーする1本のカーブ(不確かさ0.3%)と共に、低レイ

ノルズ数範囲( $2.1 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^6$ )でのみ有効なHPNのカーブ(不確かさ0.2%)が導入される。後者は、ほぼ産総研の測定結果そのままであり、前者はユニバーサルカーブと呼ばれ、現規格のカーブを作ったアンペルク氏と産総研の共同作成である。

(2) スロートにおける音速と密度を求めるためには気体の物性値が必要となるが、現規格では、その計算方法として、高度な繰り返し計算を紹介する文献(AGA 8)を参照するのみであった。これに対し、英国NELが、各種気体に関してAGA 8に従って計算した結果に曲線を適合した。改訂版には、その係数が掲載され、気体の種類が決まれば、簡単にスロートにおける音速と密度が計算できるようになる。

## 将来方向

以上の改訂により、ISO 9300は非常に使いやすくなるはずである。現時点では、規格草案ISO/DIS 9300が完成し、その投票で賛成多数が得られたところである。2004年10月中に最終草案ISO/FDIS 9300となり、最終投票の後に、そのまま規格として出版される見込みである。我が国では、これと等価なJISを作成すべく、草案作成作業が同時進行している。

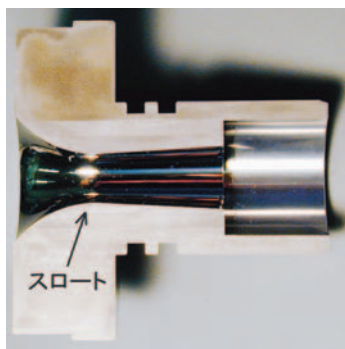


図1 ベンチュリ型HPNのカットモデル

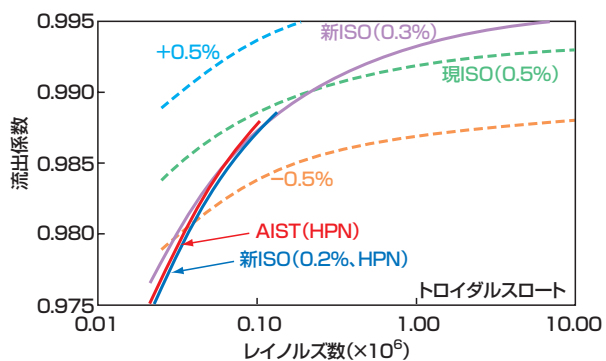


図2 新旧ISOカーブと産総研カーブの比較



# ファインセラミックス用炭化けい素( $\alpha$ 形、 $\beta$ 形) 微粉末標準物質の開発

計測フロンティア研究部門 上 蓑 義則、柘植 明、森川 久 計測標準研究部門 日置 昭治、野々瀬菜穂子

## 開発の経緯

ファインセラミックス(FC)はいわゆる新素材として期待され、世界各国がその開発にしのぎを削っている。FC材料の種類は多いが、その中でも炭化けい素は熱伝導性、硬度、耐熱性、耐食性、耐熱衝撃性において優れた特性を有し、非酸化物系FCを代表する材料の一つとして広く用いられている。

炭化けい素中に存在する成分は材料の機能や性能を大きく左右するために、その化学分析は特性評価において重要な項目である。しかし化学的に極めて安定な炭化けい素の化学分析は試料の前処理が非常に難しく、高い技量と長い時間を要する場合が多い。そのため蛍光X線分析法やガス分析法等の機器分析法により、試料前処理なしで短時間に成分分析が行えることが望まれている。

しかしながら、その際に不可欠であるSIトレーサブルな標準物質が存在せず、その整備が囑望されてきた。また、化学分析用の標準物質の整備は、分析値の信頼性向上にとっても非常に有用である。そこで産総研では、炭化けい素標準物質2種類の開発を行った。

## 標準物質の調製と均質性

市販のFC用炭化けい素微粉末から、アゼソン法( $\alpha$ 形)と直接炭化法( $\beta$ 形)による製品各1種類を選んで購入し、それぞれ約50 gずつ小分けしてガラス瓶に詰め、標準物質候補試料を約600本ずつ作製した(写真)。両候補試料からおよそ50本ごとにそれぞれ12検体を抜き出し、加圧酸分解/誘導結合プラズマ発光分析法(ICP-AES)により微量金属16成分を定量して均質性評価を行った。しかし、現行のJIS<sup>1)</sup>に規定された手法では両候補試料ともに完全には分解できず、酸量や加熱温度等について検討し、炭化けい素微粉末の最適分解手法を確立した。この手法は現在作成中の同JIS改正原案に盛り込まれる予定である。均質性評価の結果、アルカリ金属並びにアルカリ土類金属成分以外のほとんどの成分は相対標準偏差10%以内に収まり、両試料とも均質性に問題ないことが確認できた。

## 定量法の概要

主成分の全けい素並びに全炭素は、それぞれともに一次標準測定法である凝集重量ICP-AES併用法と乾式燃焼重量法で定量した。微量金属成分は試料を上述の加圧酸分解法にて分解し、一次標準測定法に位置づけられる同位体希釈誘導結合プラズマ質量分析法と、参照分析法である誘導結合プラズマ質量分析法とICP-



AESの計3法による測定を行い定量した。さらに原理の異なる分解法である炭酸ナトリウムを用いるアルカリ融解法にて試料を分解し、ICP-AESによる定量も行った。微量非金属成分である遊離炭素は部分燃焼-質量補正法で、酸素は不活性ガス融解/赤外線吸収法で、ハロゲン(ふっ素、塩素)並びに硫黄については、熱加水分解/イオンクロマトグラフ法により定量した。

## 認証値と不確かさ並びに参考値

上記の分析法による定量結果から認証値を決定した。また、各分析法の不確かさや試料の均質性を評価して、認証値の不確かさを算出した。両標準物質の認証値を表1、表2に示す。認証書には幾つかの参考値も併せて記載した。微量金属成分で、加圧酸分解法とアルカリ融解法の双方の分解法による結果が得られなかったものはすべて参考値とした。微量非金属成分の定量値も参照分析法のみによるため、いずれも参考値としたが、先述のJIS<sup>1)</sup>改正を目的に同時並行的に行った研究成果も取り入れ、最新の手法を用いて値付けを行ったものである。

本標準物質は2004年3月に認証を得て、既に有償で頒布されている。ファインセラミックスの分析をされている方々の、日常の装置校正や分析精度の管理にぜひ役立てていただきたい。

表1 NMIJ CRM 8001-a( $\alpha$ 形)の認証値

[質量分率 (%)]	
全けい素:	68.31 ± 0.58
全炭素:	29.80 ± 0.15
[質量分率 (mg/kg)]	
Al:	83.2 ± 7.2
Fe:	46.7 ± 7.8
Ti:	6.37 ± 0.68
Y:	0.31 ± 0.066

(±に続く数値は拡張不確かさ(k=2)です)

表2 NMIJ CRM 8002-a( $\beta$ 形)の認証値

[質量分率 (%)]	
全けい素:	68.01 ± 0.46
全炭素:	29.93 ± 0.24
[質量分率 (mg/kg)]	
Al:	189 ± 19
Cr:	61.9 ± 9.4
Cu:	11.5 ± 2.6
Fe:	130 ± 7.4
Mn:	1.60 ± 0.34
Mo:	109 ± 14
Ti:	47.7 ± 3.0
Y:	0.58 ± 0.070

(±に続く数値は拡張不確かさ(k=2)です)

1) JIS R 1616 ファインセラミックス用炭化けい素微粉末の化学分析方法(1994).



# 日本周辺の地温勾配・地殻熱流量データ

地質情報研究部門 田中 明子

地球はそれ自体が巨大な熱機関としてふるまい、プレートを動かし、地震・火山噴火を起こしている。熱機関としての地球のあり方をとらえるためには、地球の熱源とその放出機構や地球内部の温度分布などを明らかにする必要がある。このためのほとんど唯一の直接的・基本的な観測量が、今回出版された「数値地質図 (CD-ROM) “DGM P-5” 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース (<http://www.gsj.jp/Map/JP/dgm.htm>)」におさめられている。この CD-ROM にはデータだけではなく、地形陰影図の上にデータを重ねた図をおさめ、地形情報との関連やおおよその位置がわかるようにした。

## 地面の下の温度分布とその測定法

地表の温度は主に気温に支配されており、深さ 20-30 m までは、気温の日変化・季節変化などの影響を受け変動する。さらに深い場所では、これらの影響がほとんどなくなり、地下深くなるにしたがって温度は増加する。地中の温度が深さとともに増加する割合を“地温勾配”という。地温勾配値を得るためには、地表付近の各種の擾乱を避けるために数百 m 程度の坑井が必要とされている。資源探査・防災などの調査・研

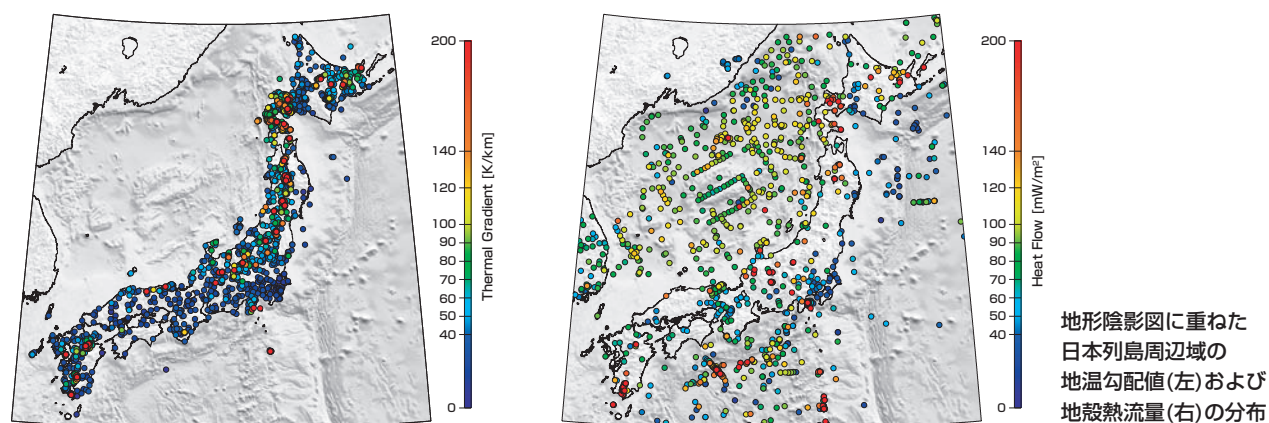
究を目的にしたボーリングだけではなく、近年地熱・温泉開発などにもない、日本付近において数多く深部ボーリングが行われ、地下の温度情報が蓄積されている。1937 カ所における 300m 以深の坑井の温度データは、1999 年に当時の地質調査所が編集し、「300万分の1 日本列島地温勾配図」として出版されている。この CD-ROM は、そのデータをもとにしている作成された。地球内部の温度構造を知るためには、地球内部から地表に向かう熱エネルギーの流れである“地殻熱流量”の方が重要である。この値は、温度勾配とその場の物質の熱伝導率の積として得られる。海底においては温度環境が安定しているため、海底面から数 m 以内の深さで地殻熱流量を求めることができる。他の目的で掘削された坑井を利用する陸域の地殻熱流量測定よりは、海域における測定の方が容易な部分もあり、実際に日本列島周辺においても海域のデータが圧倒的に多い。

## 分布の特徴とデータの利用法

日本列島付近では、プレートの沈み込みや火山・地熱活動などにより、地温勾配・地殻熱流量の値は場所によって大きく変化する。CD-ROM 中の図を見ると、火山フロント付近

を境界とし、海溝側の平均値の方が背弧側の平均値よりも小さい傾向を示すこと、瀬戸内海周辺は低い値を持つことがわかる(下図)。陸上では、地温勾配値は地殻熱流量に比べて数多く分布し、空間分解能が高い。しかし地温勾配値は隣接したデータの間で大きな違いがあることもあり、ばらつきの大きな図になる。一方、地殻熱流量のデータの誤差は、一般には 10~20% であると考えられている。特に水深が浅い海域におけるデータは、水温変動の影響を受けている可能性がある。いずれのデータも、1点におけるデータのみから地下温度構造を推定することは困難であり、周辺地域での測定値との整合性を確かめることが必要である。

地殻・マントルなどを構成している岩石の物性値は温度に依存しているので、地下で起きる現象の多くが温度構造と密接に関係している。たとえば、地殻内地震の下限、地震波速度やその減衰、電気伝導度分布、マグマの発生などは、その場の温度に関係している。つまり今回出版したデータは、単に地下の温度分布が推定できるだけではなく、地下の現象を理解するためにも欠かせない基礎的な情報である。



## プログラム

ユビキタス情報環境において人間・社会を支援する  
 多様な情報サービスの連携を可能にするソフトウェア

# CONSORTS

### 1. 目的と効果

現在、多種多様な情報サービスが無数に並列分散して存在しています。それらのサービスを誰もが自在に利用できるような社会になることが期待されています。そのような分散型情報環境において様々なサービスを提供する基本システムとして、マルチエージェントアーキテクチャ「CONSORTS」を提供します(図1)。これにより、ユーザに負担をかけることの少ない次世代型サービスを実現できます。

[適用分野]

- 展示会場・美術館・街角での情報提供・案内(図2)
- 道路利用高効率システム、オントロジー (共通辞書) 等

### 2. 技術の概要、特徴

CONSORTS は、センサーネットから取得された環境情報とユーザの属性・嗜好に応じた情報提示や道案内を、ユビキタス情報環境で提供するエージェントソフトウェアです。

URL <http://www.consorts.org/>

### 3. 発明者からのメッセージ

市場のニーズに合わせた具体的なサービスシステムの構築に向けた共同研究や受託研究が可能です。

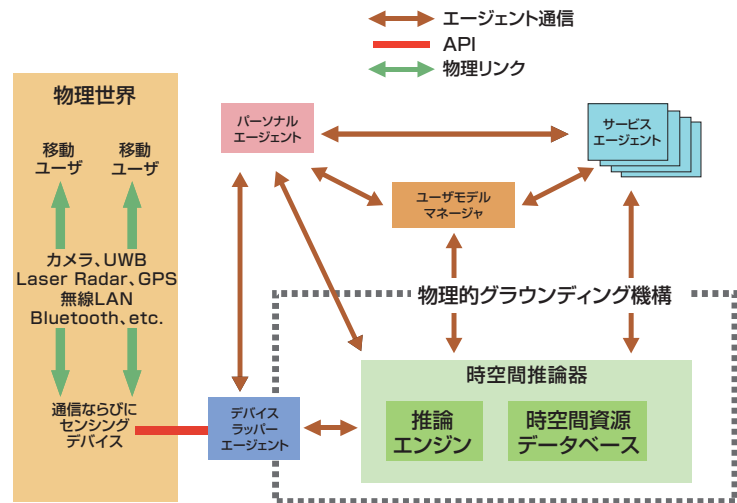


図1 CONSORTS アーキテクチャ Ver.1 構成図



図2 美術館での道案内・情報提供サービス 画面例

# プログラム

## 高解像度画像データ圧縮プログラム

# JBIG2-AMD2

### 1. 目的と効果

2値画像を可逆方式で圧縮するソフトウェアおよび開発用ライブラリを提供します。このライブラリを使用することで、既存の画像処理システムへの機能追加なども、簡単に実現することができます。

[適用分野]

- プリンタ、ファクス、コピー、スキャナなどのデジタルイメージング機器
- 大容量の画像データ通信機器
- 印刷・出版や医用画像処理など、高精細画像データの可逆圧縮を必要とするシステム

### 2. 技術の概要、特徴

本ソフトウェアは、ライブラリ(圧縮エンジン)とサンプルコードから構成されます。サンプルコードを参考にしながら、下記に示すライブラリの機能を利用したソフトウェアを開発することができます。

ライブラリは、コーデックとパラメータ最適化器の2つの機能を提供します(図)。コーデック部は、産総研の提案を元に標準化された国際規格ISO/IEC 14492/Amd2 (JBIG2-AMD2)に準拠し、2値画像の可逆圧縮効率に関して、現時点で世界最高クラスの性能です。現時点では正式対応していませんが、グレースケールやカラー画像へも拡張可能です。

パラメータ最適化器は、人工知能技術(遺伝的アルゴリズム)等を用いて、圧縮対象データに応じてコーデックのパラメータを素早く調整するので、常に高い圧縮率を得ることができます。利用形態に応じて、たとえば製品出荷前にあらかじめプリセットしておく、調整結果を記録しておき再利用する事などにより、さらに高速化することも可能です。

動作環境: Windows 2000/XP (Microsoft Visual C++ 6.0), Linux (RedHat ver. 7.2 / 9)

開発言語: CおよびC++

### 3. 発明者からのメッセージ

現在、印刷画像データ交換フォーマットに関する国際規格ISO 12639 (TIFF/IT) への機能拡張としての採用を目的としたISO提案を行うなど、本技術を利用してもらいやすい環境作りを進めています。また、搭載システムや運用形態に応じたパラメータ最適化器のカスタマイズ等のユーザーサポートは、産総研認定ベンチャーである(株)進化システム総合研究所を通じてお受けします。

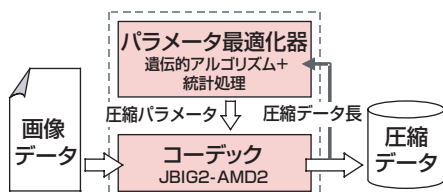


図 JBIG2-AMD2 ライブラリの概略図

表 圧縮率の比較例 (数値が大きいほど高い性能)

データ	G4 (MMR)	TIFF (ZIP)	JBIG2-AMD2
p.3	62.55	52.31	735.37
p.7	31.56	38.72	772.99
p.22-23	4.80	8.79	59.86
p.29	7.07	12.15	68.56
p.33	43.38	42.89	724.71

AIST Today (vol.3, no.10) の RIP 画像データを使用  
圧縮率 = [元のデータサイズ] ÷ [圧縮後のデータサイズ]

— 次世代半導体研究センター —

PROGRAM

#### ●連絡先

産総研イノベーションズ

(経済産業省認定 TLO)

紹介案件担当者 山上

〒305-8568

つくば市梅園 1-1-1

産業技術総合研究所

つくば中央第2

TEL 029-862-6158

FAX 029-862-6159

E-mail:

aist-innovations@m.aist.go.jp



## 茂木科学技術担当大臣つくばセンター来訪

2004年8月30日、茂木科学技術政策担当大臣がつくばを訪問されました。産総研他3カ所の研究機関の視察や各機関の長、筑波研究学園都市交流協議会関係者らとつくばの研究所の現状と今後の科学技術政策への期待などについて意見交換をされました。

産総研視察では、理事長による歓迎の挨拶後、吉海理事により産総研の概要紹介が行われました。

その後、研究現場を見学され、「スーパーインクジェット」では、画期的な技術であり超微細加工の中心となる



技術であるとの感想を述べられました。また、「糖鎖エンジニアリングプロジェクト」では糖鎖の機能解析に興味を持ってご覧になりました。

## 千葉大学大学院医学研究院との産学官連携共同研究発足式

2004年7月28日、産業技術総合研究所(産総研)と千葉大学大学院医学研究院(千葉大)との産学官連携共同研究発足式が千葉大学医学部附属病院にて開催されました。

産総研は千葉大との合意により、新しい医療ニーズと分子デザイン技術との組み合わせによる創薬を目指し、ベンチャー開発戦略研究センター(センター)の創薬プロジェクトチームを同大学に設置しました。



千葉大学大学院医学研究院 福田康一郎院長

本発足式は、千葉大の先生方に当センターにおけるプロジェクトの現状および、産総研の使命に対する理解の促進とその前途への期待を込めて開催されました。千葉大からは福田康一郎院長に開

会のご挨拶をまた、関直彦助教授にご講演をいただきました。

産総研からは、産学官連携部門 杉山佳延次長と守谷哲郎産学官連携コーディネータ、センター 小林利克スタート

アップ・アドバイザー、生物機能工学研究部門 田村裕招聘研究員よりそれぞれ講演があり、最後にセンター 渡辺孝次長 兼 戦略研究ディレクターの挨拶にて閉会となりました。

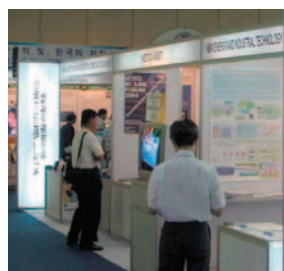
この取組みは、今後、有益な産学官連携共同研究を本格的に始動させていく上で、大変大きな意味を持っており、発足式はその幕開けの会にふさわしく、非常に盛況なものとなりました。



千葉大学大学院医学研究院 関直彦助教授

## 韓国・ソウル市で開催された Nano Korea 2004 に出展

2004年8月24日～27日の4日間、韓国ソウル市の中央に流れる漢江川の南部新興地域(江南)に位置し、若い人に人気のあるCOEXモール内の展示場でNano Korea 2004が開催されました。Nano Korea 2004は韓国科学技術省、通商産業エネルギー省が主催するナノテクノロジー(ナノ材料、ナノデバイス、その応用製品等)分野のシンポジウム及び展示会でした。



このシンポジウムにおいては、韓国の講演者により、

「Nano Particular Materials Technology in Japan」と題して主に産総研のナノテクノロジーに関する研究成果が紹介されました。

展示会場では日本を始め韓国、アメリカ、ドイツ、オランダ、スウェーデン、エストニア等の国が出展し、4日間通じて約6200名の方が訪れました。産総研はNEDOブースの一角に、光触媒による環境浄化技術(光触媒フィルター)を展示し、多くの来訪者の注目を集めました。また、過去に産総研に在籍していた韓国の方も訪れ、産総研の技術に再度触れて感慨深げでした。

**産総研・一般公開のお知らせ**

**四国  
センター**

日時：平成 16 年 10 月 30 日（土）  
9 時 30 分から 16 時まで  
場所：〒761-0395 高松市林町 2217-14  
問い合わせ先：四国産学官連携センター  
TEL 087-869-3530

**公開内容**

●科学実験ショー

- ・ストローでガーネットを作ろう
- ・無重力を体験しよう

●公開実験コーナー

- ・ミクロな世界を探索してみよう
- ・体内で熱を発生する細胞の顕微鏡観察

●出展コーナー

- ・植物の元気葉で地球に緑を！  
～パネルと展示品で説明。

- ・ギネスが認定！世界一の癒し系アザラシ型ロボット「パロ」の展示デモ

●サイエンスツアー

- ・研究室や試験工場の研究機器の公開など  
午前 1 回、午後 2 回

●来場記念品

- ・先着 300 名様に「光触媒のたまご」1 個プレゼント

**中国  
センター**

日時：平成 16 年 11 月 12 日（金）  
9 時 30 分から 16 時まで  
場所：〒737-0197 呉市広末広 2-2-2  
問い合わせ先：中国産学官連携センター  
TEL 0823-72-1944

**公開内容**

- ・ギネスが認定！世界一の癒しロボット「パロ」と遊ぼう！

見学コーナー

- ・瀬戸内海（大型水理模型）を 30 分で散策しよう！
- ・木から水素をつくる巨大装置を見てみよう！

展示コーナー

- ・植物の元気葉で地球に緑を！

イベントコーナー

- ・市民科学技術セミナー  
おもしろサイエンスショー  
第 1 回 10:00～ 第 2 回 14:00～

- ・体験型実験室  
無重力を体感しよう！

第 1 回 11:00～11:50  
第 2 回 13:00～13:50  
★各回先着 50 名（要予約）

研究紹介コーナー

- ・各研究部門・ラボの研究概要紹介と実演

●来場記念品

- ・アンケートにご協力下さった先着 450 名様に「光触媒のたまご」をプレゼント！

★ 10 名以上の団体で見学される場合には、事前申込みをお願いします。

**産総研・一般公開 報告**

**北海道センター**

2004 年 8 月 7 日、北海道センターでは、「科学を体験しちゃおう」をテーマに研究成果を分かり易く紹介した一般公開が行われました。朝から猛暑の中、家族連れなど 611 人の来場者でにぎわいました。

研究紹介コーナー 鳴き砂の体験



「わくわくサイエンス実験ショー」や「おもしろ体験コーナー」では、子供から大人まで、研究者の指導を直接受けながら、お湯から電気をつくったり、生き物や植物が必ず持っている DNA の働きについて考え実際に取り出したりする実験や、自分で持ち込んだ岩石の鑑定を受けたり、モーターを作ったりする実験を親子で楽しく挑戦し、科学を身近に体験していただきました。

家族で訪れた小学生の参加者は、「お母さんと一緒に実験ができて楽しかった。」「うまく実験ができて、科学が楽しくなった。」などと話していました。



おもしろ体験コーナー  
「モーターを作る!」



わくわくサイエンス実験ショー  
「DNA ってどんなもの?」

**東北センター**

2004 年 8 月 21 日、東北センターで一般公開が行われました。真新しい OSL 新棟をメイン開場にして、夏休みも残り少なくなった子供たちに向けた楽しいプログラム



Dr.産総研のおもしろ科学講座  
たっぷりのイベントでした。

夏を惜しむように晴れ渡った東北の空に、楽しそうな家族連れの姿が目立ちました。超能力のトリックを科学で解き明かす講演や、自分で作ったスライムで電気を起こす実験、ペットボトルのいろんな秘密、粘土でつくる化石模型など、科学への好奇心に子供たちが目を輝かす場面がいっぱいの日でした。

東北センターの一般公開はこれまで平日の開催でしたが、今年はいじめて土曜日に開催し、昨年度を上回る来場者を迎えました。子供たちとともに楽しむ家族の笑顔に、地域密着型の公開イベントのひとつのあり方を考える良い機会となりました。



特別ゲスト 「Mr.マサック」超能力マジックの実験



サイエンス実験ショー  
「化学の不思議 紙の上にも銅メッキ」



## サイエンスキャンプ 2004 開催

サイエンスキャンプは、全国の高校生を対象にして、先進的なテーマに取り組む公的試験研究機関を会場として行われる科学技術体験合宿プログラムです。今年、産総研が行った5つのプログラムについて報告します。



北海道センター・地質調査総合センターでは、7月26～28日の3日間の日程で行われました。北海道センターの最先端の研究であるバイオテクノロジー、メタンハイドレートなどの室内見学につづき、野外プログラムが行われました。有珠山・昭和新山での実習では、未だ白煙を上げる2000年の噴火口近くで現地調査し、自然現象がもたらした災害の凄まじさの一端を体験、学習しました。また、室蘭市白鳥大橋に隣接している風力発電施設を見学しました。

実際の研究現場での体験学習から、バイオ・環境にやさしいエネルギー・生きている地球・生命の歴史など生徒は皆それぞれに様々な興味を抱いたようです。

つくばセンターでは、8月24～26日の3日間の行程で3つのコースを開催しました。

「模型スターリングエンジンを作ってみよう」では、高温と低温の二つの温度(温度差)を与えると動く模型スターリングエンジンを組み立て、熱が動力に変わる仕組みなどを学びました。

「超伝導体を作ってみよう」では、作成した銅酸化物の高温超伝導体が本当に超伝導になるかを確認、さらに最新の結晶成長装置を使ってその超伝導体の単結晶が成長する様子を観察し、金属材料や超伝導現象への理解を深めました。

「タンパク質の不思議を学ぼう」では、タンパク質の精密な組成などを理解してもらうため、実際にオリジナルなミニサイズのタンパク質の設計合成、機器での分析などを行い、その不思議さを体験しました。



中部センターでは、8月24～26日の3日間の日程で、近い将来、省エネルギーに大いに貢献することになる「調光ガラス」に関する研究について学びました。参加者は、実際に「調光ガラス」を真空下で作製して、電子顕微鏡を操作して観察することにより、最新テクノロジーの研究の一端に触れました。

その他、光電子分光装置、質量分析装置の見学や、「調光ガラスの着色と光学測定」、「調光ガラス表面の電子顕微鏡観察と組成分析」の講義など、興味深く耳を傾ける様子が印象的でした。



## 産総研展示館「サイエンス・スクエア つくば」 いよいよ オープン

2004年10月1日(金)、産総研の最新の研究成果を一般の方々にいち早くご紹介するためのショールームともいえる「サイエンス・スクエア つくば」がオープンいたしました。

この施設では大きく3つに分けられたゾーンで、安全・安心で快適な社会をつくるために活かされる産総研の技術を見て・触れて・体験していただけます。つくばを訪れる機会がございましたら、ぜひお立ち寄りください。

### ● エントランスゾーン

展示施設への導入映像空間として、産総研の研究テーマと最新のトピックス情報などを大型映像で紹介します。



### ● プレゼンテーションゾーン

研究開発における記録映像や成果などを通して、産総研の研究分野や理念、過去の実績やミッションなどについて、プレゼンテーションをおこないます。

### ● 研究紹介展示ゾーン

開発技術、データなどの成果全般を、実際に見る、触れるなど、五感をとおして体験いただけます。

現在公開中のテーマは次のようなものです。

- 卓上単結晶育成装置
- マイクロファクトリー
- 合体変形ロボット
- Viz View
- CoBit
- 透明太陽電池 他



◆ 開館日：月曜日～金曜日(土曜日・日曜日・祝祭日・年末年始は休館です)

◆ 開館時間：午前9時30分～午後5時

◆ お問い合わせ：産総研 広報部 展示業務室

TEL：029-862-6215 FAX：029-862-6212 Email：pr-info@m.aist.go.jp

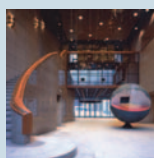
● 従来からの展示施設「地質標本館」「JISパビリオン」にも、どうぞいらしてください。

#### 地質標本館

日本で唯一の地学専門の総合博物館です。4つに分けられたブースでは、地質標本だけでなく、地学全般と地球の歴史・メカニズム、人間との関わりについて、わかりやすく展示を行っています。

お問い合わせ：産総研 地質標本館

TEL：029-861-3750



#### JIS パビリオン

社会生活をより快適に過ごすために必要な、工業標準化の意義や概要をわかりやすくご覧いただくために、「見て、聴いて、触れて、体験していただくコーナー」をご用意しています。

お問い合わせ：産総研 産学官連携部門 工業標準部

TEL：029-862-6221



期間	件名	開催地	問い合わせ先
<b>10 October</b>			
4~5日	INTERNATIONAL LECTURE: NUTRIENTS AND EUTROPHICATION IN MARINE WATERS	つくば	029-861-8353●
6~8日	北九州学術研究都市第4回産学連携フェア	北九州	092-852-5757
7日	第4回東北産業技術研究交流会－研究資源の活用と産業活性化－	八戸	022-237-5218●
8日	東京工科大学・産総研リサーチ・フォーラム「産学官連携によるバイオ・情報メディア研究」	東京	0426-37-5987●
13日	知能システム研究部門 研究成果展示会－オープンハウス2004－	つくば	029-861-5201●
13~15日	第31回国際福祉機器展(HCR2004)	東京	03-3580-3052
14~15日	北陸技術交流テクノフェア2004	福井	0776-33-8284
14~15日	第42回全国繊維技術交流プラザ	福井	03-3909-2151
15日	「ライフサイクルアセスメントと環境対策」セミナー	津	029-861-8360●
19~24日	ITS世界会議 愛知・名古屋2004	名古屋	029-861-7127●
20~22日	びわ湖環境ビジネスメッセ2004	長浜	077-528-4876
20~22日	FPD International 2004	横浜	03-5288-6868●
21~22日	第6回リング・チューブ超分子研究会シンポジウム	つくば	029-861-4473●
21~22日	第3回持続可能な消費ワークショップ	東京	029-861-8105●
22日	第2回サイトミクス研究会国際シンポジウム	東京	029-861-6152●
26~27日	第4回AIST Workshop on LCA for APEC Member Economies	つくば	029-861-8105●
27~29日	バイオマス・ニッポン in 九州	北九州	093-511-6848
27~29日	機能性材料展	北九州	092-531-6655
27~29日	中小企業総合展2004 in Kansai	大阪	072-751-9606●
30日	一般公開（四国センター）	高松	087-869-3530●
<b>11 November</b>			
2日	産総研テクノショップ in 九州	福岡	092-524-9047●
5日	第3回サイバーアシストコンソーシアム国際シンポジウム	横浜	03-3599-8212●
9~12日	TECHNO-OCEAN '04	神戸	078-303-7516
11~12日	ビジネスEXPO「第18回 北海道 技術・ビジネス交流会」	札幌	011-716-9150
12日	一般公開（中国センター）	呉	0823-72-1944●
15日	産業技術総合研究所中部センター研究講演会	名古屋	052-736-7064●
<b>12 December</b>			
1日	ベンチャー開発戦略研究センター 第3回シンポジウム	東京	03-5288-6868●
6日	材料産業技術フォーラム2004	名古屋	052-736-7064●
8~10日	計測展2004 OSAKA	大阪	06-6316-1741
9~11日	International Workshop on Massively Multiagent Systems	京都	03-3599-8212●
13~14日	第30回(2004年)感覚代行シンポジウム	東京	029-861-6716●

**AIST Today**  
**2004.10 Vol.4 No.10**  
 (通巻45号)  
 平成16年10月1日発行

編集・発行 独立行政法人産業技術総合研究所  
 問い合わせ先 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

●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。

産総研ホームページ <http://www.aist.go.jp/>