

# AIST Today

研究、成果、  
そして  
未来へのシナリオ

02

February  
2004  
Vol.4 No.2

社会に活力をもたらす本格研究を

トピックス

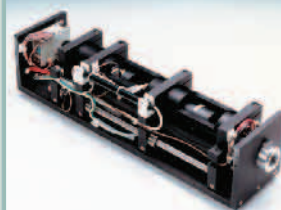
- 4端子駆動型ダブルゲートMOSFETの開発に成功



特集

## 計量標準の国際相互承認

グローバル化した社会にふさわしい  
新たな制度を実現する



National Institute of  
Advanced Industrial  
Science and Technology



メッセージ

- 03 知的基盤の形成  
慶應義塾大学理工学部  
システムデザイン工学科教授  
長島 昭

AIST Today

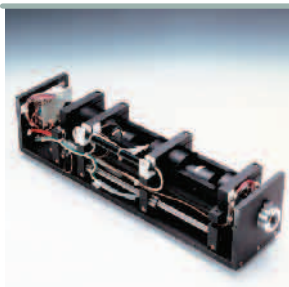
National Institute of  
Advanced Industrial  
Science and Technology  
Vol.4 No.2

トピックス

- 04 4端子駆動型ダブルゲート  
MOSFETの開発に成功

特集

- 20 計量標準の国際相互承認  
グローバル化した社会にふさわしい  
新たな制度を実現する



よう素安定化He-Neレーザ

リサーチ ホットライン

- 07 視覚障害者のための  
障害物知覚訓練システム
- 08 ネットワークテストベッドGNET-1
- 09 超低損失シリコンカーバイドパワー  
MOSFETの開発
- 10 ZnMgO系ワイドギャップ  
透明導電膜
- 11 原子泉方式の  
高精度原子周波数標準器の開発
- 12 超電導体の臨界電流密度非破壊  
測定法の研究開発
- 13 半導体製造コストを大幅に削減
- 14 電子顕微鏡画像のタンパク質の認識
- 15 ヒトゲノムの核小体低分子  
RNA部位予測手法の開発
- 16 ヒ素濃度の簡易測定法を開発
- 17 二酸化チタン光触媒を利用した  
義歯洗浄剤

ベンチャー

- 33 (株)トップテクノ

産学官連携

- 34 地域で進めるコーディネータの相互連携

技術移転いたします!

- 36 光テコ方式AFM変位センサーの  
高感度化
- 37 宇宙用伝熱装置

テクノインフラ

- 38 OPEN LASER・標準器開発の一つの試み
- 39 ポリスチレン分子量標準物質
- 40 鉍物資源情報整備の経緯と現状
- 41 多拠点遠隔協働システム・アクセスグリッド

第2種基礎研究

- 19 研究経営ワークショップ開催報告

AIST Network

- 42 EUビュスカン委員つくばセンター  
来訪 ほか

# 知的基盤の形成

## 長島 昭

慶應義塾大学工学部  
システムデザイン工学科教授



人間の文化は数値化できるものとできないものから成っているという。思想や芸術など、数値化できないものに文化の本質があり、価値があるというのが、多くの人の信条であって、筆者も反対ではない。しかし、特にこの百年ばかりは、数値化できる部分の進歩が貢献して、現代社会ができあがってきた。

数値化できる部分は、時代と共に付加・形成されてきたために、重複や欠如や関係不明があって、これからの発展に無駄や障害や不足を生じている。今あらためて整理し、欠けている部分を重点的に充実させていく必要がある。これが、データベースやネット情報だけでなく、広い意味の知的基盤を整備していく第一の意義である。

最近、知的財産の重要性が強調されている。私たちの頭脳で考えた成果を大切にし、その利用を制限して経済効果と結びつけていこうということである。少し下がって考えると、もうひとつの側面に思い至る。人類の頭脳の成果は、人類共通の財産であって、できるだけ平等に、できるだけ早く公開・普及しなくてはならない。学術的成果は、万人に利用できることで、次の世代の成果が生まれる。これが知的基盤のもうひとつの役割である。「財産」と「基盤」は知的成果の尊重であっても、この点では相反する側面もある。

数値化できる文化とできない文化、あるいは知的財産と知的基盤、これらは両方重要ではあっても、いつも同じということではない。時代の移り変わりに従ってウエイトの置き方が違ってよい。常に両方に目が届いていることが重要なのである。

数値化できる文化を支えるもの、そして知的基盤の中核を成すひとつが計量標準である。産業、科学技術、社会を支える知的基盤には、国際性は欠くことが出来ない。

# 4端子駆動型ダブルゲートMOSFETの開発に成功

## 4端子駆動で省エネ化と高速化を両立

産総研エレクトロニクス研究部門は、独立した二つのゲートをもち4端子駆動するデバイス技術を、次世代トランジスタとして期待されるダブルゲート型MOSFETで実現することに成功した。自在にしきい値電圧を制御するなどの独自の4端子駆動機能を、極薄チャネル厚 13nm の微細デバイスで系統的に実証した。

この技術開発は、旧電総研が提案したダブルゲートMOSFETをさらに進化させたもので、最適なパワー制御や動作速度制御などをフレキシブルにかつダイナミックに行う革新的LSI実現に先鞭をつけるものと期待される。

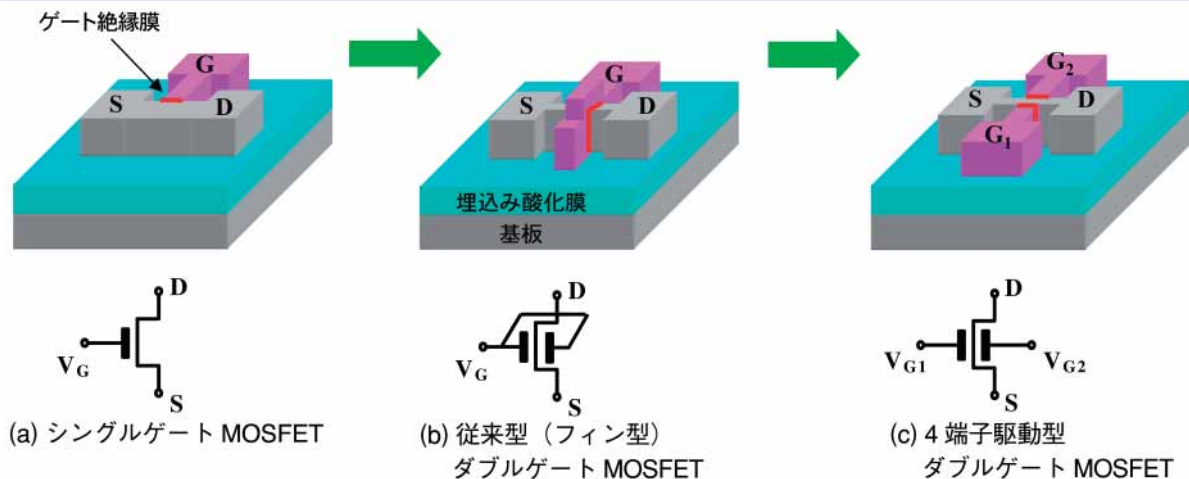
### 究極のMOSFETに新たな機能をインストール

IT社会をハードウェア面で支える半導体集積回路(VLSI)の驚異的な発展は、そこに用いられるMOSFET(MOS電界効果トランジスタ: これまではシングルゲート)の微細化によってなされてきた。しかしながら、これまで通り素子寸法を微細化して高機能・高集積化を続けていくことにはきわめて大きな障害(Red Brick Wall)が立ちはだかっている。すなわち、素子寸法がますます小さくなると、リーク電流による消費電力が増え、短チャネル効果により素子の性能が悪くなるからである。これに対して、図1(b)に示す、ダブルゲートMOSFET(1984年電総研提案、当初XMOSと命名)は、二つのゲートによってドレインの影響を断ち切ることができるので、シングルゲートMOSFETの微細化限界を打破できる究極のトランジスタとして期待されている。しかし、

最も開発が進んでいる従来のフィン型ダブルゲートMOSFET(図1(b)参照)では二つのゲートはつながっているのと同じ電圧にしかならず、3端子駆動しかできなかった。これに対して今回、図1(c)に示すように二つのゲートを分離独立して4端子駆動できるダブルゲートMOSFETの開発に成功した。4端子化によって新たに獲得できた大きな機能は、二つのゲートのうち、一方のゲートでトランジスタのしきい値電圧 $V_{th}$ を自在に制御できることである\*注。この新たな機能は、オン電流、オフ電流を自由に制御できることを意味し、動作速度を犠牲にせず最適にパワー制御された超低消費電力VLSIを実現する道を拓いた成果と言える。さらには、一つの素子で独立に二つの入力が行える回路機能もあるため、集積回路素子数を大幅に削減できる可能性もある。

この新デバイス作製のために開発した、起立した極薄チャネル形成のための結晶面異方性ウエットエッチ技

図1 素子構造と等価回路からみたMOSFETの進化(上段が構造、下段が等価回路)  
従来のシングルゲートMOSFETはゲートが上にある平面型であるが、比較のために横型に表現してある。

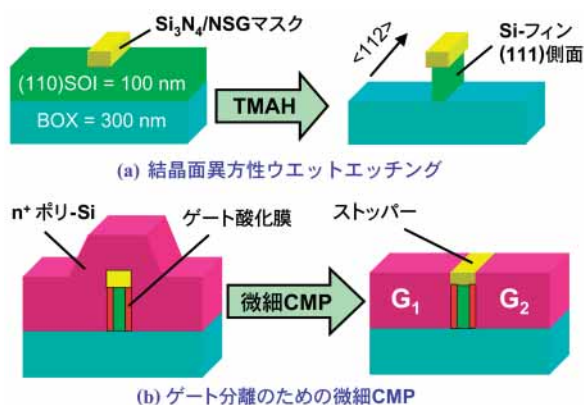


術、ゲート分離のための微細CMP技術は、現状の半導体技術とコンパクトな技術であり、実用化が容易であると考えられる。試作したチャンネル幅13nmの4端子駆動型ダブルゲートMOSFETにおいて、一方のゲート電圧によって、トランジスタのしきい値電圧 $V_{th}$ を自由に変えることが出来ることを実証した。この機能は、高い $V_{th}$ での低消費電力化と低い $V_{th}$ での高速化を両立することができる画期的成果である。この成果は、昨年12月、世界最大の電子デバイスに関する国際会議である、2003 IEDM (2003 IEEE International Electron Devices Meeting) で発表され、大きな注目を集めている。

## 理想的な極薄矩形断面チャンネルを持つ4端子駆動型ダブルゲートMOSFET技術を開発

今回試作に成功した4端子駆動型ダブルゲートMOSFET(図1(c))は、独立した二つのゲートを持ち、別々に駆動する4端子動作が可能となる。このデバイス作製のための特徴あるキーププロセスを図2に示す。起立した極薄フィン型チャンネルの作製には、産総研が開発した結晶面異方性ウエットエッチを用いた。シリコン(Si)結晶のアルカリ系エッチ溶液(238% TMAH (tetramethylammonium hydroxide))に対するエッチ速度は強い結晶面方位依存性を持ち、(100)、(110)、(111)面の順に遅くなる。このことを利用して、(110) SOIウエハ(Si支持基板上に埋め込み酸化膜層を介して結晶Si層を持つ次世代ウエハ)に、 $\langle 112 \rangle$ 方向に位置合わせされた窒化膜/酸化膜( $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{NSG}$ )マスクによって、Si-フィンを作製した。Si-フィンの側壁は、エッチ速度の極端に遅い(111)面となるので、精度よく微細なフィン型チャンネルを作ることができる。通常用いられるドライエッチではどうしても断面がだれてしまったベル型

図2 4端子駆動型ダブルゲートMOSFET作製のために開発した特徴あるキーププロセス  
理想的な矩形断面チャンネル、原子サイズでフラットなチャンネル表面、ウエットプロセスによるダメージフリーを実現している。



になり、しきい値電圧 $V_{th}$ のばらつきの原因となるが、この技術は、理想的な矩形断面チャンネルを作製する方法として、世界的に注目されている(2003 デバイスリサーチコンファレンス(DRC)など多数の国際会議で発表)。その後、 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{NSG}$ マスクをストッパーとして、微細CMP(化学的機械的研磨)技術によってゲート分離を行った。図3は、試作したSi-フィン厚13nmの4端子駆動型ダブルゲートMOSFET断面の透過型電子顕微鏡(TEM)写真と平面の走査型電子顕微鏡(SEM)写真を示す。ナノメートルサイズで、完璧な分離ダブルゲート作製に成功したのは世界で初めてである。

## 4端子駆動型ダブルゲートMOSFETの独自の機能を実証

図4(a)は、極薄Si-フィン厚13nm、ゲート長160nmのnチャンネル4端子駆動型ダブルゲートMOSFETの、制御ゲート電圧 $V_{g2}$ を固定した場合のしきい値電圧 $V_{th}$ 制御特性を示している。 $V_{g2}$ に負の電圧を増やして行くと、 $V_{g1}$ に対する $V_{th}$ は正方向に制御され、元々 $V_{th}$ が負の値であったこのデバイスが、 $V_{g2} = -0.6\text{V}$ ですでに正の値となって動作していることがわかる。この $V_{th}$ 制御性は、短チャンネル効果抑止特性と同様にSi-フィン厚が薄いほど優れていることも系統的に明らかにした。 $V_{th}$ を変化させる技術には、基板バイアスや2種類のゲートを使うデュアルゲートなどこれまでもあるが、前者では全面での $V_{th}$ 変化しかできず、後者では取りうる値が2つだけに制限されるなど、大きな制約があった。 $V_{g2}$ 固定モードでの $V_{th}$ 制御の場合、ドレイン電流立ち上がり特性は、従来型ダブルゲートMOSFETよりもSi-フィン厚が薄いほど若干犠牲になる。しかし、図4(b)に示すように、 $V_{g2}$ にオフセットをかけて、 $V_{g1}$ 、 $V_{g2}$ を追従モー

図3 試作した4端子駆動型ダブルゲートMOSFETの、(a) 極薄13nm厚Si-フィンチャンネル断面TEM写真、(b) 平面SEM写真  
理想的な矩形断面、完璧に分離された二つのゲート、正確なアライメントを実現している。

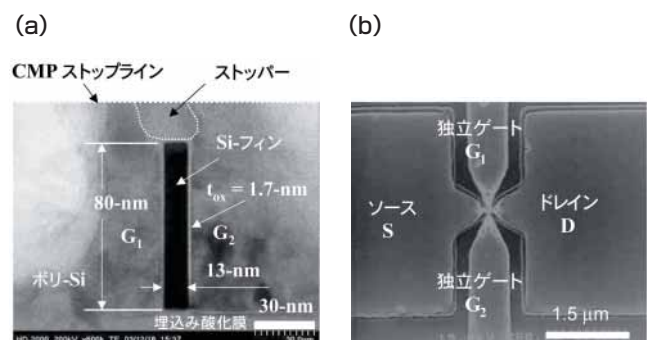
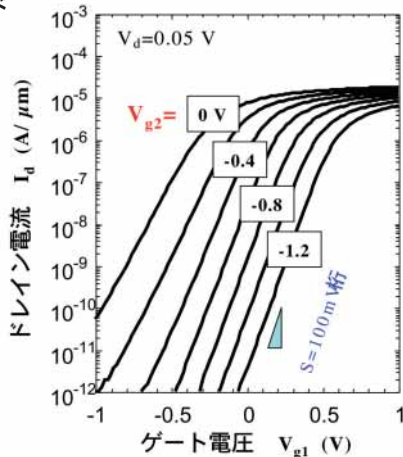
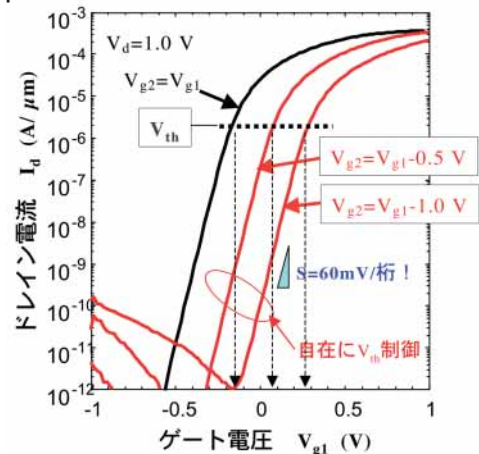


図4 4端子駆動型ダブルゲートMOSFET (Si-フィンチャネル厚=13nm) のしきい値電圧制御特性  
 (a)  $V_{g2}$  固定モード、(b)  $V_{g2}$  追従モード。制御ゲート電圧  $V_{g2}$  により、自在にしきい値電圧  $V_{th}$  が制御できることを示している。

(a)  $V_{g2}$  固定モード



(b)  $V_{g2}$  追従モード



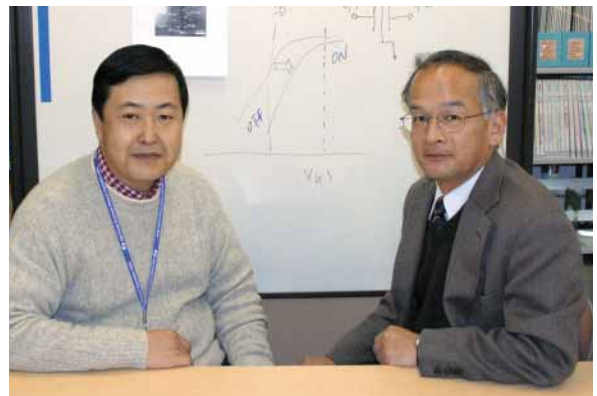
ドで動作させる4端子型ならではのモードでは、 $V_{th}$  を自在に制御（この場合は、-1Vのオフセット電圧で0.43Vの正シフト）しつつ、電流立ち上がり特性は理論限界値である60mV/電流一桁を実現している。すなわち、 $V_{g2}$  追従モードでは、自在な  $V_{th}$  の設定をしつつ、鋭い電流立ち上がりを同時に満足させる優れた動作ができることになる。4端子駆動型ダブルゲートMOSFETでは、ここに示したしきい値制御によるパワーと速度の最適制御だけでなく、素子自身がスイッチ機能以上の多機能を発揮できる、より進化した集積回路実現にも道を開くものである。

MICRODEVICES, No.223 pp.58-63 (2004.1) ) などの新たな発展軸を導入し、革新的な4端子駆動型ダブルゲートMOS集積回路技術の創出に取り組む予定である。

注 しきい値電圧  $V_{th}$  は、トランジスタのスイッチ動作において、オフ状態からオン状態になる境目のゲート電圧であり、集積回路では重要なパラメータである。ただし、ドレイン電流立ち上がりはゲート電圧に対して指数関数ではあるが連続的であるので、オフ時（ゲート電圧ゼロ）でも完全に電流ゼロにはならない。 $V_{th}$  が低いと、オンゲート電圧との差が大きくなりオン電流は高く高速動作が可能となるが、オフ時のゲート電圧ゼロとの差は小さくなり、オフ電流は増えて待機時の消費電力は増えてしまう。逆に、 $V_{th}$  が高いと、オン電流は減るが、オフ電流は減少して待機時の省エネ化が可能となる。

## 今後の展開 VLSIの新たな発展軸を目指して

本成果によって、次世代のトランジスタとして期待されているダブルゲートMOSFETの4端子化を実現し、更なる機能の拡大が可能になった。きわめて近い将来に我々は、極微細化によって、トランジスタ特性の劣化と消費電力の増加とにより、VLSI技術に対する重大な障害に直面する。前者に対しては産総研が提案した従来型ダブルゲート構造の導入で克服できそうである。一方、VLSIの消費電力の問題は、MPUチップの消費電力がすでに100Wを越えるレベルにまで達する深刻な状況になってきており、何らかの解決策が見いだされない限り、実際にはこれ以上発熱の問題から集積化できないという状況になってしまう。今回開発した4端子駆動型ダブルゲートMOSFET技術は、シリコンVLSI技術が直面する上記の障害を何れもブレイクスルーする画期的な成果であり、最適なパワー・動作速度制御や新機能などをフレキシブルに持たせる未来型集積回路実現に先鞭をつけたと言える。今後は、この進化したMOSデバイスをもっと活用して、例えば“柔らかいLSI” (NIKKEI



エレクトロニクス研究部門副研究部門長 鈴木 英一 (右)  
 同研究部門 柳 永勳 (左)

### ● 問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所  
 エレクトロニクス研究部門  
 先端シリコンデバイスグループ 柳 永勳

E-mail : yx-liu@aist.go.jp

エレクトロニクス研究部門  
 副研究部門長 鈴木 英一

E-mail : e.suzuki@aist.go.jp

〒305-8568

茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2

音で非発音物体を再現する仮想現実技術

## 視覚障害者のための障害物知覚訓練システム

「障害物知覚」とは、環境音などの反射や遮音を手がかりに、音を発していない物体(例えば壁など)の存在を聴覚によって知る能力のことで、視覚障害者の重要な環境認知能力の1つである。視覚障害者の社会参加・社会復帰を目指した視覚障害教育・リハビリテーションにおいても、障害物知覚の訓練は重要な項目となっている。しかしながら、従来はその音響学的メカニズムが十分に解明されておらず、訓練の現場では経験的に体得する訓練に頼っているのが現状であった。

このような背景を踏まえ、本研究では、障害物知覚の音響学的メカニズムの解明に積極的に取り組み、これに基づき世界に先駆けて音響技術を駆使した訓練方法を開発し、科学的訓練を可能にした。

最初に開発した「障害物知覚訓練システム」は、障害物が存在する音場をコンピュータで計算し、障害物知覚の初心者が学習しやすいような仮想障害を音により人工的に再現することができる(図1)。障害物が存在する場合、聴取者には、音源から直接届く「直接音」と、その音が障害壁に反射して届く「反射音」の両方が到来する。それぞれの音の到来方向と、反射音の遅延時間をコンピュータで計算して、各方向に配置した

スピーカでそれぞれの方向の音を再現すると、実際にはそこに障壁がないのに、あたかも障壁が存在するような音場を作ることができる(図2)。この技術では、障壁の方向、大きさ、距離などを変化させることができる。また、周囲の環境音を付け加えたり削除したり、反射音を強調したりなど、実環境ではありえないような状態を再現することも可能である。これにより、障害物知覚の初心者が学習しやすいような仮想障壁を自由に再現できる。

しかし、開発した「障害物知覚訓練システム」は高価・大型であり、そのままでは視覚障害教育・リハビリテーションの現場での導入が困難である。そこで現在は、既存の家庭用オーディオ機器を利用して訓練ができるように、仮想障壁を再現する音響データをオーディオCDに収録した「障害物知覚訓練用音響CD」を開発して現場に提供している(図3)。

現在、「障害物知覚訓練システム」は、その簡易版が国立身体障害者リハビリテーションセンターにおける視覚障害生活訓練専門職員養成のための教材として使用されている。また「障害物知覚訓練用音響CD」は、現行版Ver. 1.0が視覚障害関係者に無償で配布されており、現在までに国内外へ約200枚を配布している。

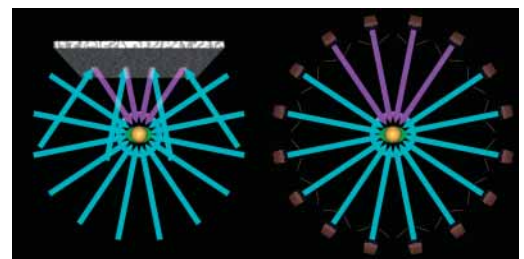
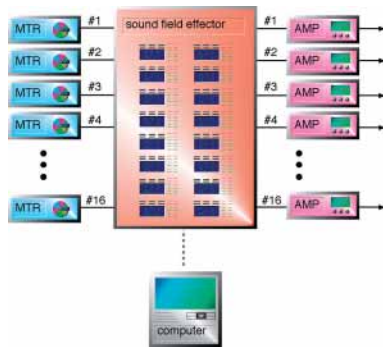


図2 あたかも壁があるような音場を作る  
壁が存在する場合の音場(左)、スピーカアレイを用いて人工的に再現する。(右)。

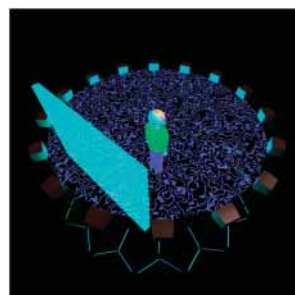


図1 障害物知覚訓練システム  
初心者が学習しやすいような仮想障壁を再現。

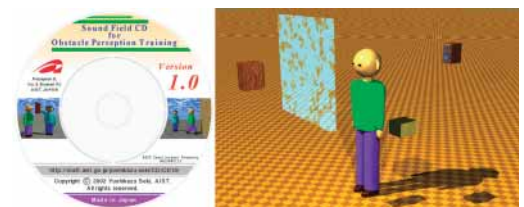


図3 障害物知覚訓練用音響CD  
家庭用オーディオ機器で訓練が可能。



せき よしかず  
関 喜一  
yoshiyuki-seki@aist.go.jp  
人間福祉医工学研究部門

関連情報

- <http://staff.aist.go.jp/yoshiyuki-seki/CD/>
- Y. Seki, K. Ito: IEEE Trans. Speech & Audi. P., Vol. 11 Issue 6, 817-825 (2003).
- Y. Seki, N. Nakamura: Trans. Virtl. Real. Soc. J., Vol. 5, No. 3, 989-996 (2000).
- Y. Seki: IEEE Trans. Rehab. Eng., Vol. 5, No. 4, 403-405 (1997).

# ネットワークテストベッド GNET-1

最近では広域ネットワーク間でも1Gbpsの速度で計算機を接続できるようになってきている。しかし、太平洋を横断するような1万キロ以上も離れたネットワークでは通信遅延は100ミリ秒を越え、通常の通信方式では性能が出ない。当研究センターでは、遅延を考慮して高速に動作するグリッド通信ライブラリGridMPIの開発を行っているが、そのようなソフトウェアの開発を実際のネットワーク上で行うことは困難である。それは、開発中のソフトウェアにより、インターネットに障害を与えてしまう危険性があるためである。また、インターネットの状態は動的に変化しており、開発中にはより安定した状態のネットワークを利用することが望ましい。

このような場合に有効な、ネットワークの遅延などのパラメータを自由に設定できるネットワークテストベッドGNET-1<sup>1)</sup>を開発した。開発に際し、ネットワークのワイヤレートでの転送を損なうことなく、多様な機能を実現できることを目標とした。これを実現するため、図1に示すような4ポートのギガビットイーサネットポート、および4ポートの高速メモリを大規模FPGA(内部回路をプログラムできるLSI)で接続するシンプルな構成をとった。この他に、FPGAにはホスト計算機との通信のためのUSB、内部信号を計測するため

のロジックアナライザ、高精度な時刻を得るためのGPS、FPGAの回路情報をPROMおよびFPGAにダウンロードするためのJTAG等、全てのインターフェースが接続されている。本実装では、FPGA内の回路を変更することにより、容易に機能の追加/変更が可能である。また、各機能をハードウェアパイプラインにより実現しており、任意の packets 長に対してワイヤレートの通信を保証している。

GNET-1は、当研究センターで開発しているグリッド通信ライブラリGridMPI<sup>2)</sup>やグリッドファイルシステムGfarm<sup>3)</sup>の開発および最適化のために、ネットワークエミュレータとして利用している。その他、ネットワーク遅延や流量をミリ秒以下で計測するツールや、新たなPC クラスタ向きプロトコルの開発等に利用している。また、ネットワークを高性能かつ安定化させる装置としての利用についても実証実験を行っている。

GNET-1は現在、市販化の準備を行っている。また、FPGAの回路情報については、当研究センターWebページ<sup>1)</sup>で機能を追加した最新版を順次公開していく予定である。さらに、10ギガビットイーサネットに対応した新たな装置の開発を進めている。

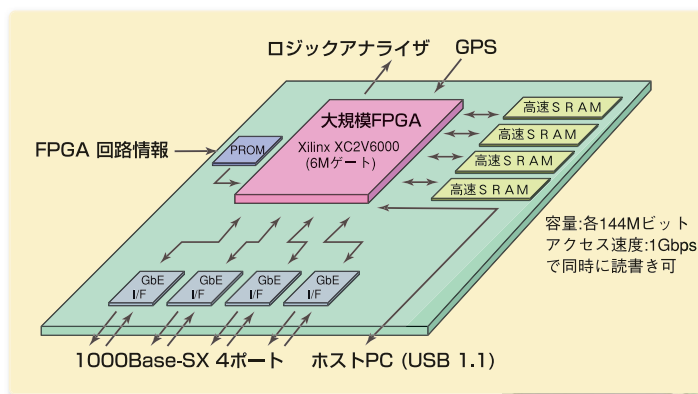


図1(上) GNET-1の内部構成

図2(右) GNET-1の外観および基板



こだまゆうえつ  
児玉祐悦  
y-kodama@aist.go.jp  
グリッド研究センター

## 関連情報

- 1) <http://www.gtrc.aist.go.jp/gnet/>
- 2) <http://www.gridmpi.org/>
- 3) <http://datafarm.apgrid.org/>
- 本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構基盤技術研究促進事業(民間基盤技術研究支援制度)の一環として委託を受け実施している「大規模・高信頼サーバの研究」の成果である。



二重エピタキシャル構造で世界最小オン抵抗を達成

# 開発 超低損失シリコンカーバイドパワーMOSFETs

電力エネルギーを有効利用することは、環境保全、資源の節約の両面からますます重要となっている。この中で、電力変換時に発生する損失を極力低減することは重要な課題の一つである。電力変換にはパワー半導体デバイスが広く用いられているが、既存のシリコン(Si)パワーデバイスは物性値からくる性能限界に近づきつつあり、これ以上の損失低減は期待できない。これに対して、ワイドギャップ半導体であるシリコンカーバイド(4H-SiC)はSiに比べバンドギャップが約3倍、絶縁破壊電界強度が7倍、熱伝導率が3倍と大きく、理論的には通電時の損失(オン抵抗)をSiパワーデバイスの1/200までに低減できるとされている。

縦型パワーMOSFETの半導体基板を従来のSiから4H-SiCに変更すれば、超低損失パワスイッチングデバイスが実現できると考えられている。しかしながら、現在までに試作されている4H-SiC縦型MOSFETは、Siの理論限界を超えるものはいくつか存在するものの、SiCの特性が十分に発揮されるに至っていない。これはMOSゲートを形成するSiO<sub>2</sub>/SiC界面におけるチャンネル移動度が理想値に比べはるかに低いことが原因となっている。この問題の一部は不純物のドーピング過程に起因している。即ち、SiCへの不純物ドーピングは熱拡散が困難であるためイオン注入法を用いているが、この場合チャンネルとなるアクセプタ不純物領域(Pウェル)を活性化するためには1700℃以上の熱処理が必要となる。したがっ

て表面の結晶性が劣化しやすく、高い移動度が得られないという欠点が生じていた。

我々はこの問題に対して、Pウェルを結晶品質に優れたエピタキシャル成長膜によって形成する4H-SiC縦型MOSFETの構造および作製プロセスを開発した。この構造の特徴はPウェルが濃度の異なる二重のエピタキシャル成長膜によって構成されていることから、二重エピタキシャル縦型MOSFET(Double-Epitaxial MOSFET)と名付けた。図1にその断面構造を示す。Pウェルの下層はソース・ドリフト層間のパンチスルーを抑制するために高濃度膜となっており、上層は高いチャンネル移動度を得るために低濃度膜となっている。また、Pウェル領域間のドナー不純物領域は低電圧でピンチオフできるように低濃度のイオン注入によって形成されている。以上のような構造をとることによって高い耐電圧と低いオン抵抗の両立が可能となった。図2は本研究で開発したDE-MOSFETとこれまでに報告されたMOSFETの耐電圧とオン抵抗の関係を示している。600Vの耐電圧を持つDE-MOSFETのオン抵抗は8.5mΩcm<sup>2</sup>を示し、同じ耐電圧を持つSi-MOSFETに比べて10分の1以下に低減されている。この結果は、汎用性の高い600V級パワーMOSFETにおける壁であったオン抵抗10mΩcm<sup>2</sup>以下を世界で初めて達成したことになり、4H-SiCパワーデバイス実用化に向けての大きな一歩になったといえる。

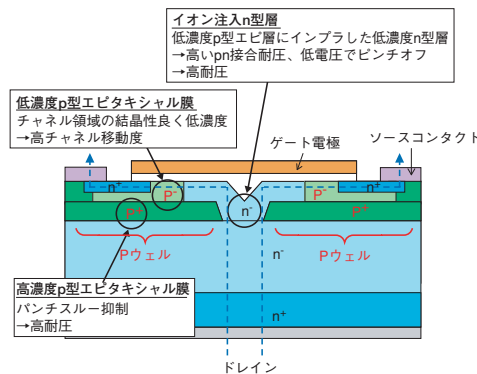


図1 二重エピタキシャル縦型MOSFET (DE-MOSFET)の断面構造

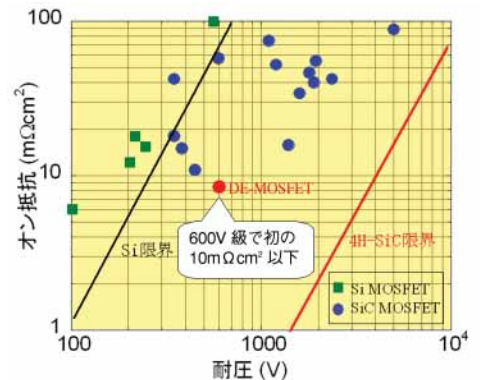


図2 開発したDE-MOSFETとこれまでに報告されたMOSFETの耐電圧とオン抵抗の関係



はらだしんすけ  
原田信介  
s-harada@aist.go.jp  
パワーエレクトロニクス研究センター

関連情報

- 1) S. Harada, M. Okamoto, T. Yatsuo, K. Adachi, K. Suzuki, S. Suzuki, K. Fukuda, K. Arai: 10th International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (2003).
- 2) 原田信介, 岡本光央, 八尾勉, 安達和広, 福田憲司, 荒井和雄: SiC及び関連ワイドギャップ半導体研究会第12回講演会 (2003).

# ZnMgO系ワイドギャップ透明導電膜

電気を良く通す導体でありながら透明な透明導電膜は、フラットパネルディスプレイや太陽電池など、さまざまなところで我々の生活を支えている。ZnOは、現在最も多く用いられているITOに代わる透明導電膜材料として注目されている。一方、ZnOとMgOの混晶系(ここでは $Zn_{1-x}Mg_xO$ と呼ぶ)では、Mg濃度の増加によってバンドギャップが増大することが知られている。我々は、バンドギャップ制御可能なII-VI族透明半導体材料である $Zn_{1-x}Mg_xO$ に、III族元素であるAlをドーピングすることにより導電性を付与した透明導電膜を作製した。従来の透明導電膜材料ではバンドギャップが一定であったが、 $Zn_{1-x}Mg_xO$ 系の材料を用いることで、バンドギャップを制御した透明導電膜が、同一材料系で実現可能となる。バンドギャップを制御した透明導電膜は、透明な電極として紫外発光デバイスの効率を向上させることや太陽電池のバンドダイアグラムの制御による高効率化への寄与が期待できる。

Alドーピング $Zn_{1-x}Mg_xO$ 薄膜はパルスレーザー堆積法で作製した。大まかに言うと、抵抗率はAl濃度によって、バンドギャップはMg濃度によって制御される。今回Al濃度は過去のAlドーピングZnOの実験で最小抵抗率を得られた

2.3at%とし、Mg濃度の異なる薄膜をガラス基板上に作製した。薄膜の電気特性を図1に示す。図中横軸はMgの割合 $x$ で、縦軸は抵抗率、キャリアの移動度、キャリア電子密度である。比較的Mg濃度の低い領域で低い抵抗率が得られている。Mg量が増加すると、キャリアの散乱や有効質量が増加して抵抗率が上昇するものと考えられる。 $x \leq 0.17$ で透明導電膜として利用できる値の目安とされる抵抗率 $1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 以下が得られた。図2は、膜の吸収係数と光子エネルギーの関係を示したものである。 $x=0.17$ のとき、バンドギャップ3.97eVが得られた。過去のAlドーピングZnOの実験ではAl濃度1at%程度で、抵抗率 $1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 、バンドギャップ3.5eVが得られている。これらより、AlとMgの濃度を選ぶことにより $1 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$ 以下の抵抗率を有しながら、バンドギャップを約3.5eVから4eVまで変化させることができた。

本研究の材料のように同一材料系で透明導電膜としての特性を満たしつつ任意のバンドギャップを選べることは、太陽電池や受発光デバイスなどの半導体デバイスのバンドダイアグラムの設計の自由度を向上させ、それらのデバイスの効率向上に大きく寄与するものと期待される。

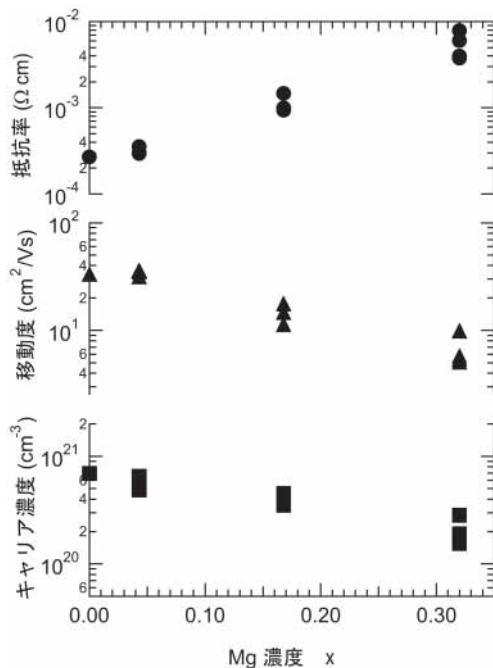


図1 Alドーピング $Zn_{1-x}Mg_xO$ の電気特性

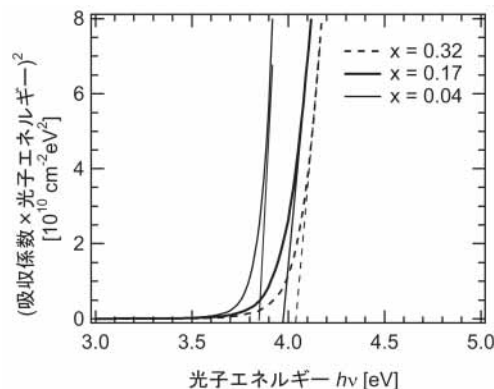


図2 Alドーピング $Zn_{1-x}Mg_xO$ の吸収係数の光子エネルギー依存性



まつばら こうじ  
松原浩司  
koji.matsubara@aist.go.jp  
光技術研究部門  
(併) 電力エネルギー研究部門

関連情報

- K. Matsubara, P. Fons, K. Iwata, A. Yamada, and S. Niki: Thin Solid Films, Vol. 422, 176-179 (2002).

2000万年に1秒の誤差を実現

## 原子泉方式の高精度原子周波数標準器の開発

セシウム原子は周波数が9 192 631 770ヘルツのマイクロ波と相互作用すると、違うエネルギー状態へ遷移を起こす。この共鳴現象を利用した安定な周波数の発生により、正確な時を刻む装置が原子時計である。その中でも特に、秒の定義を実現できる正確さを持つものは1次周波数標準器として使われる。原子は通常、毎秒数百メートルという高速度で不規則に飛び回っているため、その共鳴周波数は正確に知ることができない。近年、光の圧力を用いて原子の運動を制御するレーザー冷却技術が開発され、この問題が克服できるようになった。当研究部門ではレーザー冷却を原子時計に応用し、正確さを従来方式より約20倍向上させることに成功した。新しい装置は、原子が噴水の様に吹き上げられる様子から原子泉周波数標準器と呼ばれている。

原子泉周波数標準器で共鳴信号の観測に使われる真空装置の構成を図1に示す。中央のトラップ領域はセシウム原子の蒸気で満たされており、中心で6本のレーザー光が交差する。ここで絶対温度100万分の1度という極低温原子が生成され、真上に打ち上げられる。原子

は相互作用領域でマイクロ波共振器を上昇・下降時の2度通過した後、最下部で状態別に検出される。遷移を起こした原子の割合からマイクロ波の共鳴周波数からのズレを判別し、マイクロ波周波数にフィードバック制御が施される。原子の冷却、打ち上げ、検出はすべて、周波数や強度を巧みに調整されたレーザー光によってなされている。

現在、原子泉周波数標準器の安定度は、平均時間を $\tau$ として水素メーザと同程度の $\sigma(\tau) = 4.7 \times 10^{-13} \times \tau^{-1/2}$ が得られている(図2)。また、原子泉方式では原子の速度が遅くなったため、様々な要因によって生じる周波数シフトの大きさが従来方式より格段に小さくなった。1次周波数標準器では、あらゆる要因に対して周波数シフトの大きさの見積もりが行われ、それを基に総合的な不確かさが決定される。産総研では約3年前からこの確度評価と呼ばれる作業を進めており、現時点で原子泉周波数標準器の不確かさは $1.4 \times 10^{-15}$ と見積もられている。今後、詳細な研究を積み重ねて不確かさの低減を図ると共に、国際原子時(TAI)の校正に寄与していく予定である。

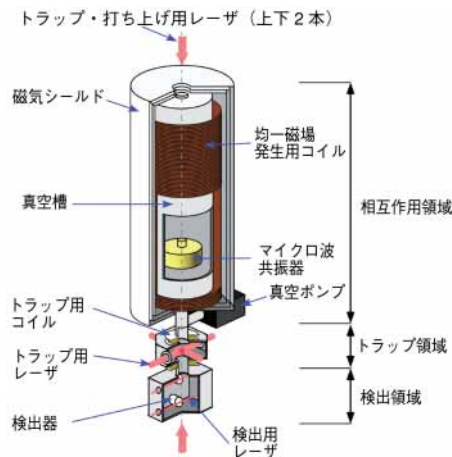


図1 原子泉周波数標準器の構成

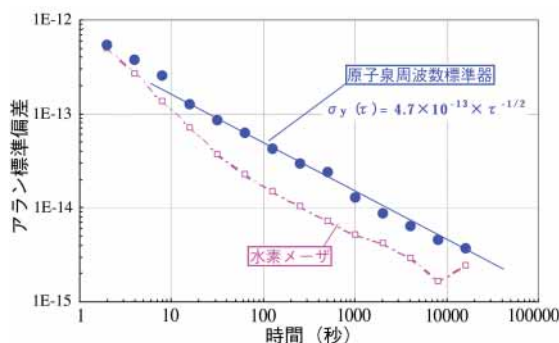


図2 原子泉周波数標準器の安定度

くろすたかゆき  
黒須隆行t.kurosu@aist.go.jp  
計測標準研究部門

## 関連情報

- 黒須隆行, 小野晃: ニュートン, 10月号, 76-83 (2003).
- 福山康弘: AIST Today, Vol. 2, No. 8, 7 (2002).

# 超電導体の臨界電流密度非破壊測定法の研究開発

超電導電力機器などに利用される大型の超電導体(薄膜・厚膜・バルク体)の臨界電流密度(抵抗ゼロの状態で流し得る電流密度の最大値) $J_c$ を非破壊的に測定することは実用上極めて重要である。超電導薄膜の $J_c$ の非破壊の測定法としては、通常、膜の直上に置いた小コイルによって交流磁界を印加し、それによって誘起される電圧の第3高調波成分から測定する方法が一般的である。当研究部門では、この薄膜 $J_c$ 測定法の基本原理を明確にし<sup>1)</sup>、現状の測定の問題点を指摘してその改善方法を提案するとともに、その拡張による新たな測定法の開発を行なっている。まず、コイル励磁電流の周波数を変えて複数回の測定を行い、試料の不均一性の指標である電流電圧特性(超電導体に流れる電流と電圧の関係)を測定できることを明らかにした<sup>2)</sup>。次に、理論計算に基づく測定法の提案を実験で実証することにより、磁気軸受けなどに利用される超電導バルク体や、超電導限流器への応用が検討されているビスマス系超電導酸化物厚膜の $J_c$ の非破壊測定も可能となった<sup>3)</sup>。

この方法では、超電導厚膜(バルク)試料の直上に直径が数ミリメートル径の小コイルを試料面に垂直に置き、交流電流 $I_0 \cos \omega t$ を流して交流磁界を印加する(図1)。コイル両端には、コイル電流自身による交流電圧以外に、超電導体に流れる誘導シールド電流によって交流電圧が誘起される。この時、超電導体の

非線形応答のため、基本波の他に第3高調波電圧 $V_3 \cos 3\omega t$ も現れる。理論計算から、振幅 $V_3$ は $I_0$ の2乗に比例し、 $J_c$ に反比例することが分かった(比例定数はコイルの形状と巻数、配置から計算される)<sup>3)</sup>。図2に、ビスマス系酸化物厚膜試料(膜厚 $d=0.36\text{mm}$ )での測定例を示す。コイル電流が小さい範囲で $V_3$ は $I_0$ の2乗に比例し、その比例係数から $J_c$ を求めることができた。なお、この $V_3$ は超電導体中への交流磁界の侵入により生じ(第1の機構)、表面から磁界侵入距離 $\Lambda_0 \approx 0.1\text{mm}$ までの部分の $J_c$ を測定できる。コイル電流 $I_0$ をさらに増加させると、ある閾値電流 $I_{th}$ において突然 $V_3$ の増加率が減少し、プラトーを経た後また増加に転じる。これは、 $I_{th}$ において交流磁界が厚膜の裏面を突き抜けたためであり、臨界電流密度と膜厚の積 $J_c d$ が $I_{th}$ にほぼ比例する(比例定数はコイルの形状と巻数、配置から計算される)。この第2の機構によっても $J_c$ を評価できるが、この $J_c$ は厚膜試料の厚さ全体での平均値となる。さらに、 $I_{th}$ の周波数依存性を測定すると、電流電圧特性を評価することもできる(図2挿入図)。

今回開発した方法により、超電導薄膜のみならずバルク・厚膜でも、大きな超電導体の局所的な臨界電流密度と電流電圧特性を非破壊で簡単に測定でき、コイルを走査すれば、これらの特性の分布を評価することも可能である。今後、製品化を図り、普及を目指したい。

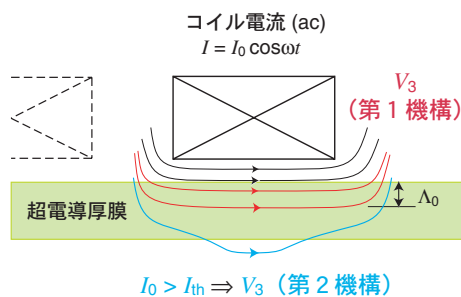


図1 第3高調波誘導電圧を用いる臨界電流密度 $J_c$ 測定法の概念図

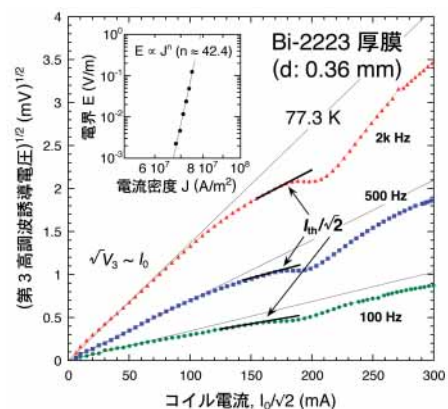


図2 ビスマス系超電導酸化物厚膜において、液体窒素中で第3高調波誘導電圧を測定した実験例



やまさきひろふみ  
山崎裕文  
h.yamasaki@aist.go.jp  
電力エネルギー研究部門

## 関連情報

- 共同研究者: 馬渡康徳 (電力エネルギー研究部門) .
- 1) Y. Mawatari, H. Yamasaki, Y. Nakagawa: Appl. Phys. Lett. Vol.81, 2424 (2002).
- 2) H. Yamasaki, Y. Mawatari, Y. Nakagawa: Appl. Phys. Lett. Vol.82, 3275 (2003).
- 3) Y. Mawatari, H. Yamasaki, Y. Nakagawa: Appl. Phys. Lett. Vol.83, 3972 (2003).
- 特願 2002-068563 「超電導体の臨界電流密度の測定方法および測定装置」(馬渡康徳、山崎裕文) .
- 特願 2003-111662 「超電導体の電流・電圧特性測定方法及び装置」(山崎裕文、馬渡康徳) .
- 特願 2003-365619 「超電導厚膜の臨界電流密度及び電流・電圧特性の測定方法、及び装置」(山崎裕文、馬渡康徳) .

高速シミュレーションにより仕掛在庫量を実時間で最適化

# 半導体製造コストを大幅に削減

半導体や液晶、ハイテクデバイスなどの生産において、製造工程内の在庫量(仕掛在庫量と呼ばれる)を最適化することは、製造コストを削減しながら、機械故障など生産条件の変動に対する頑健性を確保する上で、最も重要かつ困難な課題の一つといえる。即ち、過度に仕掛在庫を減らせば、製造時間が短縮する反面、生産プロセスが非常に不安定な半導体製造などで、機械故障が発生した場合に大幅な納期遅れを出してしまう可能性が大きくなる。一方、仕掛在庫を持ち過ぎると、機械故障などに際しても安定した生産は期待できるが、多くの在庫を処理するために製造時間が長くなるため、結果的に納期遅れが発生する可能性が高くなる上、製品寿命の短い半導体などでは生産した製品自体が売れ残ってしまう。

本研究では、超高速生産シミュレーション技術(CONSTIN)の開発により、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いたリアルタイムな最適化計算を実現した。一般に半導体やハイテクデバイスなどの大規模複雑な製造工程では、生産変動に対応するために必要な最適在庫量をリアルタイムに求めるのは不可能であったため、工程内の在庫に対する管理が困難であり、そのことが製造コストの増大を招いていた。

このような背景において、本研究では、従来の事象ベースシミュレーション手法よりも計算速度が20~100倍以上も高速な時間ベースシミュレーション技術を開発し、更にクラスタコンピュータを用いた並列計算技術を併用することにより、工程内の最適仕掛在庫量を20分以下で計算することが可能になった。

CONSTINによって得られた最適仕掛在庫量に基づいて、工程毎に最適在庫を維持するよう分散的な生産制御を行うことにより、各工程が自律的に最適在庫量を維持し、生産設備の故障や需要の変化などの生産変動が起きても、安定した生産を継続的に実施することが可能となった。その結果、半導体製造データを用いた実験では仕掛在庫量を十数%から五十%も削減することに成功した。

今後我が国が注力していくシステムLSIなどの分野では、頻繁な設計変更や先端的製造プロセスの適用に円滑に対応するため、国内に製造拠点を持つ必要性が改めて認識されている。我々の開発した生産手法によって、半導体やハイテクデバイス製造工程内の在庫量を大幅に削減することが可能になるため、それらの製品の製造コストが大幅に削減され、国内半導体・ハイテクデバイス産業の国際競争力を格段に高めることができると期待される。



図1 階層的分散型生産制御システムの構成

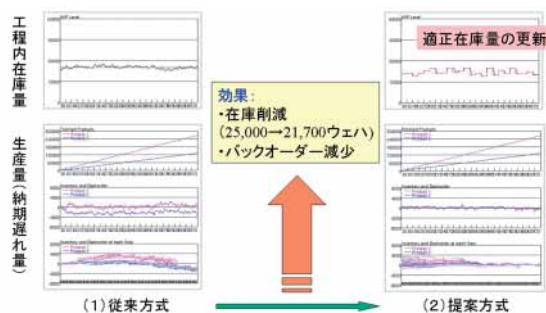
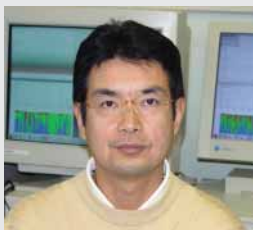


図2 シミュレーション結果

従来手法に比べ、本手法では適正在庫を定期的に更新することにより、仕掛在庫を10%以上削減しながら、同時に納期遅れをなくす事にも成功していることがわかる。



みやしたかずお  
宮下和雄  
k.miyashita@aist.go.jp  
知能システム研究部門

関連情報

- 共同研究者: 岡崎 司 ((株) 日立東日本ソリューションズ)、松尾博文 (筑波大学)
- K. Miyashita, H. Ozaki, K. Senoh, H. Matsuo: Proc. IEEE ETFA, 364-371 (2003).
- K. Miyashita, K. Senoh, H. Ozaki, H. Matsuo: Proc. WSC, 1329-1337 (2003).

# 電子顕微鏡画像のタンパク質の認識

これまで、タンパク質の構造解析には、結晶化されたタンパク質に対するX線構造解析が主に行われてきた。しかし、タンパク質の結晶サンプルを得ることが難しく、まだ解析されていない多くのタンパク質が特に膜タンパク質に存在する。

近年、単粒子電子顕微鏡画像からタンパク質分子の構造を決定する方法が開発され、その重要性が増している。この方法では、電子顕微鏡画像より切り出した数千から数万の単粒子画像の位置や角度を推定し、それぞれに適合した角度や位置で加算平均を掛けることで、バックノイズを減少させる。この生成データをもとに三次元構造を再構築する。そのため、タンパク質の結晶サンプルが不要なく、精製されたタンパク質さえあれば構造を決定することが可能である。こうした手法は、非対称でペプチド部分が200kDaを切るような小さなタンパク質分子についても適用が進められている<sup>1)</sup>。しかしながら、小さな分子は、バックグラウンドノイズが相対的に高いことや非対称分子では角度により分子形状が変化することなどから、分解能を向上させるためには10万枚以上の画像が要求される。

このように単粒子画像の切り出し枚数は、

人間が容易に処理しうる範囲を超えているため、コンピュータによる高精度な自動位置検出方法の開発が必要とされている。こうした中で我々は、三層階層型ニューラルネットワーク(NN)を用いた粒子認識方法の開発を行った(図1)。階層型NNは、入力層から出力層方向へと結合重みを介して情報を伝達させることで情報処理を行う。このNNに、あらかじめ切り出した200枚の粒子画像とランダムノイズ画像をBack-propagationアルゴリズムにより学習させた。これにより、粒子画像入力時には1が、ノイズ画像では0が出力されるようになる。実際の極低温電顕画像を用いて精度の検証を行ったところ、極低温ヘリウムステージ顕微鏡の極めてノイズの高い画像内の粒子を高精度に拾い上げることができた<sup>2)</sup>(図2)。さらに我々は、NNの結合重みの初期値を学習画像の主成分画像に設定することによって、大幅な認識精度の向上と学習時間の短縮が可能であることを見出した<sup>3)</sup>。

NNを用いた本手法により、小型の非対称粒子を事実上初めて拾い上げることが可能となり、単粒子構造解析の解析速度と分解能の飛躍的な向上をもたらすものと期待される。

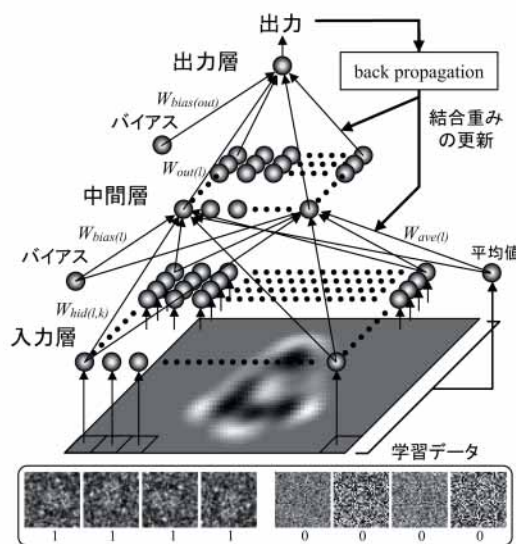


図1 ニューラルネットワークによるタンパク質粒子の認識システム

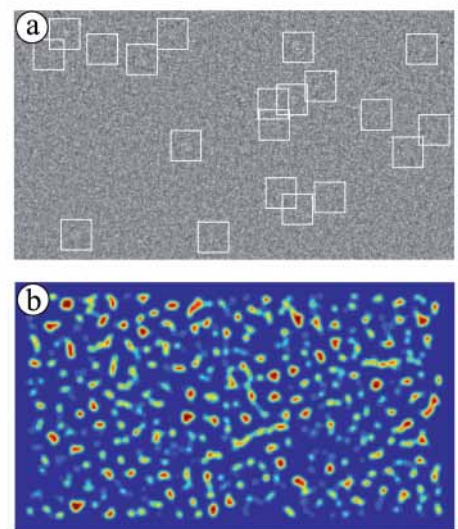


図2 (a)ナトリウムチャンネルの極低温電顕画像とNN法による粒子位置の認識 (b)NNによる電顕画像の出力マップ



おくらとしひこ  
小椋俊彦  
t-ogura@aist.go.jp  
脳神経情報研究部門

関連情報

- 共同研究者: 佐藤主税 (脳神経情報研究部門)
- 1) C. Sato, Y. Ueno, K. Asai, K. Takahashi, M. Sato, A. Engel, Y. Fujiyoshi: Nature, Vol. 409, 1047-1051 (2001).
- 2) T. Ogura, C. Sato: J. Struct. Biol., Vol. 136, 227-238 (2001).
- 3) T. Ogura, C. Sato: J. Struct. Biol., Vol. 145, 63-75 (2004).

SOKOSを用いたヒトゲノム中の機能性RNA部位を予測

# 開発 ヒトゲノムの核小体低分子RNA部位予測手法の

近年の実験機器・技術の向上により、これまでに検出が困難であった細胞内の小さな分子(低分子)の存在やその構造・機能が明らかにされてきている。これらの低分子は機能性RNA (fRNA: functional RNA)と呼ばれ、 mRNA や rRNA の成熟に関与しており、その機能や発現時期、部位、また遺伝子を特定することはポストゲノム研究の一つとして注目されている。

その一つである核小体低分子RNA (snoRNA: small nucleolar RNA)は、rRNA の成熟に関与する低分子RNAであり、リボースのメチル化(box C/D 型)やウリジン残基の擬ウリジル化(box H/ACA 型)を手助けする役割を果たしている(図1)。また、酵母を除く真核生物の snoRNA の遺伝子は他の遺伝子(宿主遺伝子)のイントロンに内在し、また酵母では独立に存在することから、生物の進化を考える上でも非常に興味のある物質でもある。snoRNA は塩基数が数十~数百塩基と非常に短く、また保存されているモチーフも非常に少ないため、従来のBLASTなど配列の類似性を用いた手法では検出が困難である。

また、酵母を除く真核生物においては、ゲノム中のイントロン(介入配列)に内在しており、従来の遺伝子予測手法で見つけることも困難である。

そこで我々は、GeneDecoder により予測されたヒトゲノムのイントロン配列と、確率文脈自由文法(SCFG: Stochastic Context Free Grammars)を用いた手法(SOKOS: a software for kernel computation over scfg)により snoRNA 部位の予測を行っている。SOKOS は、与えられた配列から予測できるあらゆる高次構造を考慮しながら各配列の類似度を比較する手法である。この手法は snoRNA のような二次構造の保存性は高いが、共通モチーフが少ないというような配列を分類することに適しており、従来の配列の類似性を用いた手法では検出が困難であった配列を検出することができると思われる(図2)。現在、我々は予測されたヒトゲノムのイントロン配列から snoRNA と予測される候補配列を抽出しており、今後、このようなタイプの fRNA 部位の予測を行うことができると期待される。

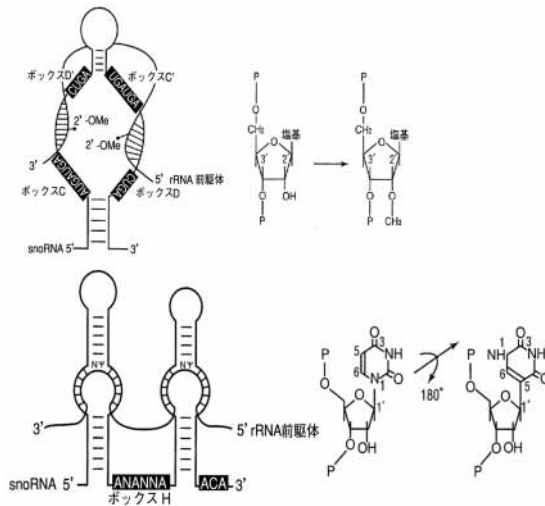


図1 (上) Box C/D型 snoRNA (下) Box H/ACA型 snoRNAの二次構造

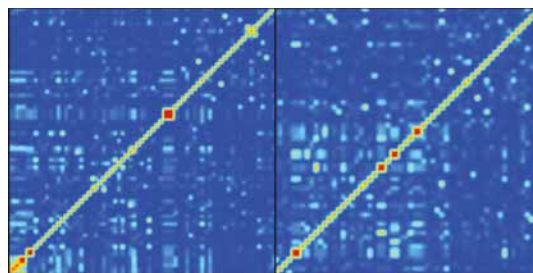


図2 SOKOSを用いたBox C/D型 snoRNAの分類テスト

左: Box C/D 型 snoRNA の配列 39 本によるトレーニングデータを用いた分類。右: Box C/D 型 snoRNA の配列 50 本によるトレーニングデータを用いた分類。トレーニングデータの本数を増やすことにより判定の精度が向上する。



さがらじゅんいち  
相良純一  
jun@neptune.kanazawa-it.ac.jp  
生命情報科学研究センター\*

関連情報

- 共同研究者: 中村周吾(東京大学), 剣持直哉(宮崎大学)。
- J. Sagara, S. Nakamura, N. Kenmochi, K. Asai: RNA, Vol. 1, 2003, 165 (2003).
- T. Kin, K. Tsuda, K. Asai: Genome Informatics, Vol. 13, 112-122 (2002).
- ※ (現) 金沢工業大学ゲノム生物学工学研究所

# ヒ素濃度の簡易測定法を開発

物質の濃度を目で見えた色の濃さの違いで判定する比色法は、極めて古くからある基本的な分析法のひとつである。20世紀に入り、波長ごとの光の強度を測定できる分光光度計が出現して、比色を原理とする測定は、ほとんどの場合機器分析にゆだねられることになった。しかし、検知材料と人間の目だけで目的物質の存在や量を確認できることに極めて大きいメリットがあることは、例えば様々な病理診断キットがこのような機能を持つように開発されていることから明白である。

酵素やたんぱく質の判定に限らず、無機イオン類の検出定量用にもいわゆる試験紙タイプの検出材料が提案されているが、ヒ素イオン濃度の計測に利用できるものはこれまでなかった。そこで、ヒ素(V)イオンが水溶液中で生成するヘテロポリ酸と呼ばれる化合物を、水溶液中ではなく固体表面上で効率よく生成させる方法に取り組み、この知見を元にヒ素(V)イオン目視検出用固体材料を初めて開発することができた。開発した材料はアミノアルコール基を適切な配置で側鎖に持つ高分子樹脂で、モリブデン酸イオンを縮合させずに保持することができ、かつヒ素(V)イオンによるヘテロポリ酸をも保持できることが特徴である。この材料が水溶液中の微量ヒ素(V)イオン濃度に応じて樹脂本来の淡黄色から濃緑青色に連続的に変化するため、この変

色の程度を人間の目で判定することで試料水溶液中のヒ素イオンを極めて簡易に検出することができる。標準試料の変色と比較することで、おおよその濃度の判定も十分可能である(写真1、2)。

この材料を用いる標準的な判定では、75 ppb(75  $\mu$ g/L)程度のヒ素(V)イオン濃度を30分以内で簡易に検出することができる。また、既に開発済みの別のヒ素イオン濃縮用樹脂を組み合わせる使用することによって、ほぼ同程度の時間で少なくとも4 ppbまでのヒ素(V)イオン濃度を検出することができる。

この方法の目視による検出限界はヒ素の排水基準値(100 ppb)及び環境基準値(10 ppb)を下回ることから、産業排水のほか、河川水や温泉水などに含まれるヒ素(V)イオン濃度の“現場測定”に利用が見込まれる。試みに、仙台市郊外の秋保温泉源泉中のヒ素(V)イオン濃度を本材料で測定し、JIS公定法である誘導結合プラズマ発光分析法(ICP-AES法、装置コストに数千万円を要する)による測定値とほぼ一致する値が得られることを確認した。

本法は、熟練した操作を必要とせず、高分子樹脂と一般的な試薬を組み合わせる安価な方法であり、検水中のヒ素(V)イオン濃度の一次判定法として日常的に利用できる方法になるものと期待している。



写真1 ブランク水溶液(右)と7.5 ppmのヒ素(V)イオン水溶液(左)中の材料の色

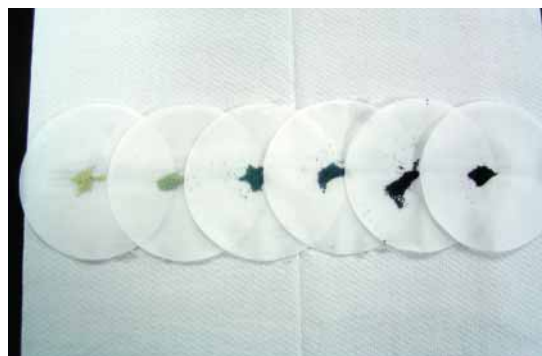
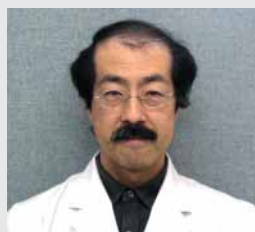


写真2 ヒ素(V)イオン濃度の違いによる材料の変色の様子  
ヒ素濃度(左から順に)  
0 ppb, 75 ppb, 750 ppb, 1.5 ppm, 7.5 ppm, 15 ppm



まつながひでゆき  
松永英之  
hide.matsunaga@aist.go.jp  
メンブレン化学研究ラボ

#### 関連情報

● 特願 2003-330641「ヒ素イオン(V)の定量法」(松永英之, 鈴木敏重)。



## 歯石やヤニなどの汚れやにおいに効果

# 一酸化チタン光触媒を利用した義歯洗浄剤

毎日義歯を使用することにより、義歯の汚れは強固なものとなっていく。特にヤニや歯石はいったん付着すると、市販の義歯洗浄剤では簡単に除去できないという問題があり不満も多い。

一方、二酸化チタン光触媒を応用する研究は多方面において行われており、歯科分野においても、歯牙の漂白や義歯に付着した歯石やヤニの除去に有効であることが報告されている。今回、我々は光触媒を利用して簡単かつ安全に義歯を痛めることなく、義歯の汚れを除去する洗浄剤を開発した。

通常の一酸化チタンでは洗浄能力が十分でなくさらに紫外線を照射しないと作用しないなど義歯洗浄剤として利用するには問題があった。そこで、我々は従来の二酸化チタン光触媒に表面処理を加えることで、可視光でしかも蛍光灯などの弱い光でも反応する光触媒を開発した。また、酸などを加えることにより光が当たらなくても市販の義歯洗浄剤と同等の洗浄能力を有する洗浄剤を開発した。洗浄剤に、実際に使用されて歯石やタバコのヤニで汚れた義歯を入れて、日中6時間明るい窓際に放置し(磨りガラスを通して太陽光が当たる程度)、歯石やヤニ、においの除去の様子を観察した。タバコヤニの付着した義歯の例を図1に示す。市販の義歯洗浄剤と比較して洗浄能力は高く、ほぼ完全に清

掃することができた。さらに歯石が原因と思われる汚れが付着した義歯でも、市販の洗浄剤に比べて顕著な洗浄効果の差が認められた。

ここで紹介した例では太陽光を照射しているが、ブラックライト等の照射器を用いればもっと短時間でも同様の効果が得られる。さらに義歯の金属部分や樹脂部分に変色等の変化は全くなかった。このように使用中の義歯を浸漬した結果では、歯石、ヤニいずれもほぼ完全に除去することができた。

義歯洗浄剤は、歯科医師向け(プロユース)2種類と患者向けの合計3種類が用意されている。(図2)プロユースでは義歯の汚れを大きく無機系と有機系の2つに分け、それぞれを効率良く除去することを特徴としている。

光触媒は義歯洗浄剤としてだけでなくさまざまな歯科医療分野で応用が期待されている。たとえば現在開発が進んでいるのが歯の漂白である。光触媒は色素を分解する能力もあるため、歯に付着した色素も分解して漂白することができる。二酸化チタンを利用すれば有害な薬剤を利用することなく、光を照射するだけで歯を安全かつ簡単に短時間で漂白することができる。

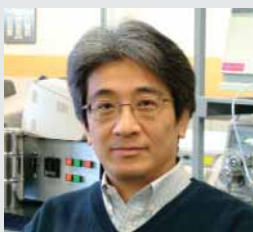
他にも入れ歯のレジンやマウスピース、安定剤に練り込めば匂いや汚れが付着しにくくなると考えられ、現在研究を進めている。



図1 義歯洗浄剤で義歯に付着したタバコのヤニを除去することが出来る



図2 株式会社ニッシン製 義歯洗浄剤「フィジオクリーンシリーズ」



のなみ とおる  
野浪 亨  
toru-nonami@aist.go.jp  
セラミックス研究部門

### 関連情報

- 野浪 亨: 歯科技工 第31巻, 11号, 1316-1326 (2003).
- 特願2001-194776「光触媒を有した歯科用組成物及び当該歯科用組成物による歯科材料の洗浄方法並びに義歯洗浄剤」(野浪, 大八木, 後藤, 菱本).
- 株式会社ニッシン HP <http://www.nissin-dental.co.jp/>

# 研究経営ワークショップ開催報告

## 事例から学ぶ研究開発方法論

成果普及部門 広報出版部 出版室

平成15年12月2日東京国際交流館において「研究経営ワークショップ」が(財)武田計測先端知財団、(株)日経BP社と共同で開催されました。

このワークショップは、産総研が行ってきた討論会、いわゆる「第2種基礎研究ワークショップ」(12回開催)から「本格研究シンポジウム」、「製品ワークショップ」(11回開催)、「情報の学ワークショップ」での議論を経て、産総研が提案する「第2種基礎研究」について総合的議論を産業界とともに行う目的で開催されました。副題に「事例から学ぶ研究開発方法論」とあるように、これまでの研究開発の歴史から産総研が取り組んでいる新しい試みについて産業界関係者とともに検証したものです。産総研では、研究経営ワークショップのスタートとして、企業と一緒に考えるところからはじめました。

シンポジウムへの参加者は約300名で、ほとんどが産業界からの参加であったことが今回の討論会の特徴でした。

### 吉川理事長から話題提供

産総研は、「研究開発の成果が社会的にどのような貢献をするのか」という課題に対し、公的機関がどのような役割を持つべきか」という事を模索して来ました。こうした中で第2種基礎研究を軸に第1種基礎研究から製品化研究まで連続的に行う「本格研究」を推進することを提唱しています。そして、産業科学技術研究を産総研で遂行していることの意味を理事長は、『公的資金を使つての研究は、社会の意図というものを十分に踏まえた上でなされなければならない。そして、世界の状況に目を向けてみると、「持続可能な開

発」すなわち、生活水準を向上させながら地球環境を維持するという非常に難しい問題があり、これが人類共通の課題であるという認識が高まって来た。これは国連という国際社会が、科学者コミュニティに対して出したメッセージでもあった。これに対し科学者コミュニティは、ワールド・コンファレンス・オン・サイエンス(世界科学会議)で「科学は有用でなければならない」という宣言を出した。これが、社会からの要請に対する回答となった。そして公的な研究機関である産業技術総合研究所がその中の一つの重要な役割を担っている。研究費というのは、研

究者にとっては、社会からの要請というメッセージが載っているお金なんだと考えなくてはいけない研究資金を使ったということは、何らかの形でこれを返さなければいけないということである……』と紹介しました。

### ケーススタディ報告と総合討論

産総研、(財)武田計測先端知財団、(株)日経BP社の三者は、これまで多様なステージにある研究開発事例について、(1)研究開発におけるパターン、(2)科学技術知識の流れ、(3)研究参加者(企業等)と目標の変遷、(4)組織体制や理念における位置づけ等という観点からケーススタディ調査を行ってきました。この調査結果について報告があり、その報告を踏まえて、総合討論が行われました。

左表のどのケースも「悪夢の時代」が10年以上続いている、それは一瞬だけではなく何度も、繰り返してやってくる。「悪夢の時代」を過ぎて「現実の時代」というのもまた、「常に多様な製品アプリケーションで研究開発をつなぎながら、結果的に小さなイノベーションをいくつも積み上げ、最終的に大きなイノベーションにつながっている」ということが討論から明確になりました。

### ● 5件のケーススタディ報告

ケーススタディ	報告者	製品の現状
DNAチップ	(財)武田計測先端知財団 大戸 範雄	夢の時代にDNAチップは、遺伝子解析の研究手段として確立され、市場も拡大しつつある(2002年で約1000億円)。その意味では、一つの死の谷を越えたと考えられるが、次の市場である臨床応用を考えると、規制への対応、臨床試験、他の診断方法に優る特徴が出せるか否か等、課題は多い。
薄膜SOI技術 (Silicon on Insulator)	(財)武田計測先端知財団 相崎 尚昭	ほぼ「悪夢の時代」を脱出した。薄膜SOI基板を採用した時計用LSIなどの低消費電力用LSIも商品化されている。高周波特性向上や低消費電力特性を生かした様々なデバイスへの応用が検討されていて、広範囲な応用分野において薄膜SOI基板の採用が広がっていくものと考えられる。
GPS/カーナビの開発	(株)日経BPコンサルティング 西本 一郎	ほぼ「悪夢の時代」を突破した。第1世代(ロケーター機能中心)から第4世代(情報通信カーナビ)に入っている。
CCDの発明と実用化	(株)日経BPコンサルティング 高千穂 彰	成熟し始めた。2000年以降、デジタルカメラの大爆発時代が到来。CCDに限って言えば、100%近いシェアを日本が持っている。
液晶ディスプレイの開発	(財)武田計測先端知財団 禿 節史	イノベーションとして成熟し始めた。これからの液晶事業は、投資金額も大きく、しかも企業戦略に直接関係するため、企業トップの意見決定が今後の展開を大きく左右する。

## ●総合討論から—研究開発の分野を超えた共通パターン—

総合討論は、5つのケーススタディをベースに「研究開発の普遍的なパターンとして、そもそも最適な方法論というはあるのか」、「すべての研究開発には、最初のシーズの探索型研究があるがこれをどういうふう位置付けていったらいいのか」、「公的研究機関やベンチャー機関の役割というのとは何か」に焦点を当て討論がされました。ケーススタディ報告にもあった、そもそも10年以上に及ぶ「悪夢の時代」の研究というのはどのようなものか。論文の書ける「夢の時代」の研究開発というのはいいかもしれない。ただし、「悪夢の時代」を突破しない限りは「現実の時代」はやってこない。このときの研究開発というのを組織としてはどのようにサポートしていったらいいのか論点となりました。議論の中からその一部を紹介します。

- 1) 「悪夢の時代」と呼ばれる、非常に不遇で大変な時代が、社会からの力で加速されしまった例もある。この時期のメディアの関わりによっては、さらに状況が悪化するという状況もある。
- 2) 研究経営について、研究自身をどう取り扱っていくかについて、その具体的方法論を体系立てて確立していくためのノウハウを、なんらかの形でシェアしていきたい。
- 3) 産総研の提案する第2種基礎研究が産業界と強く結びつけられると良いと考える。基礎研究の重要性は、「行き着く先に人々にどう喜んでもらえるか」というところにあると考える。
- 4) 悪夢の時代に止めない論理は何か。研究の最終目的としての明確なコンセプトを持つということが大切ではないか（「敵は〇〇にあり」ということ）。
- 5) 悪夢の時代こそ、経営トップの経営指南が必要。一方で、小さなことをきちんと積み上げていく



ボトムアップが重要で、成功の鍵は、トップダウンとボトムアップのリンクがしっかりできているかどうかである。

等の多くの有用な意見が出されましたが、産総研は、この議論をWeb上でも公開し、議論も継続して行うこと報告をしました。

### 吉川理事長挨拶と総括 —第2種基礎研究の共有化

最後に吉川理事長から、「企業サイドの話が多く討論できたことは大変良かったと思う」というコメントと共に、「現象的に見えてきた背後にあるものはなにかを明らかにするためにも、この議論は続けていかなければいけないと思う」との話がありました。また、『社会と技術の関係は、複雑な要素をはらんでいる。例えば自動織機が出たときには、社会的にもすごい抵抗を受け、潰されてしまう。しかし、運動をもともせず技術が進んで、産業革命が起こってきた。そういうことは現代にもある。社会には受け入れられないが、科学の必然性を信じた人間がそれをやり通して行くというケースはある。悪夢の時代というのは、社会的抵抗で生まれるというケースも沢山あるということ、大いに考えるべき事と考える。

また第2種基礎研究について、「第2種基礎研究というのは、企業の中

では、たくさん行われていた。これを公的研究機関が追って行けるだろうかという点を問題提起したかった」と述べ、公的研究機関で第1種基礎研究をやるというのは、社会的に成立しているといつて良い。そこに8割の無駄があったとしても、それは本当の無駄ではない。第2種基礎研究に於いても同じことをやらなくてはいけない。第2種基礎研究をする方法が抽出されて、それが次世代に受け継がれていく。即ち、社会的意味での第2種基礎研究のやり方についての進化が起こる。これは、人類が生き延びる唯一の方法である。第2種基礎研究は産業の中だけに閉じ込められていては、社会の中に流れてはいかない。一つの研究の上に、また何か新しいものを建てる事が出来る基礎を提供する。この第2種基礎研究を遂行する公的機関が産総研である。産総研は、企業のノウハウを抽出しながら、独自の論点をもって社会的にオープンにしていくような歴史的過程を作っていくとしている。』と総括があり、『この研究会を今後も是非続けて行くことを期待している。』とこのシンポジウムを締めくくりました。また、このシンポジウムは、ホームページ([http://unit.aist.go.jp/techinfo/CI/honkaku/symposium/keiei\\_w/](http://unit.aist.go.jp/techinfo/CI/honkaku/symposium/keiei_w/))で詳細を報告しています。参考して下さい。

# 計量標準の 国際相互承認



計量の標準は通商や産業の発展とともに受け継がれ社会に定着してきましたが、今なぜ計量標準の整備が日本だけでなく世界中で叫ばれているのでしょうか。計量標準の国際相互承認とは何なのか、関係者はどのような社会を実現しようとしているのか、それによって人々はどのような恩恵を受けるのか。本特集は産総研における計量標準の国際活動を紹介し、そのような疑問にお答えします。

# グローバル化する計量標準

研究コーディネータ  
計測標準研究部門長

小野 晃

**メートル条約の締結から100年余の歳月を経た今、グローバル化した社会にふさわしい新たな制度づくりが始まっています**

1875年にメートル条約が締結されてまず行われた事業は、国家間に存在した標準の不統一を解消し、世界共通の計測の単位と標準を設定することでした。当時の先進国すべての加盟を得て、計量標準の統一が世界的な規模で行き渡りました。一方、それぞれの国の中の標準供給体系は各国の責任に任されたまま、互いに干渉せずに最近にまで至ったといえます。

ところが、1990年代から経済が急速にグローバル化し、部品、製品、サービスがあらゆる国から流れ込みあらゆる国へ出ていく時代になると、それらの安全性や信頼性が国境を越えて問われるようになりました。心臓に病気がある人は、自分のペースメーカーがどこの国で製造されたとしても、自国で規定されている電磁環境のもとで安全に動作することを確認したいものです。母親は、赤ん坊に飲ませる粉ミルクがどこの国の原料を使っているようにも、ひ素の含有量が確実に自国の規制値以下であることを確認したいものです。電磁適合性にしても、ひ素の含有量にしても、輸出国で行われた試験分析の結果ははたして信頼に足るものなのでしょうか。この問題はEUとして経済統合を進めてきたヨーロッパ域内においてまず顕在化し、その後1990年代の経済のグローバル化とともに全世界に一気に波及したことで、各国が互いに不干渉していることが許されなくなりました。

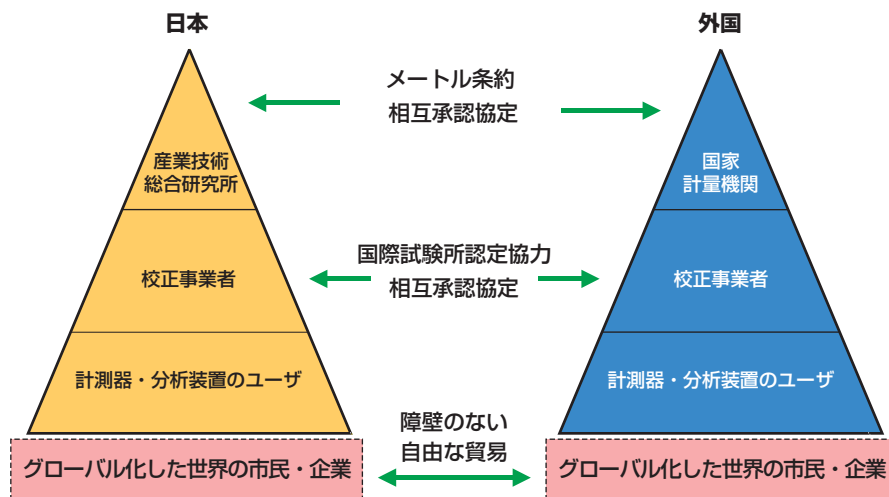
この種の問題はアメリカと日本の間においても先鋭化しました。ある時期航空機事故が多発したため、アメリカ連邦航空局は米国市民の安全を確保する目的で、米国籍の航空機を整備するときには、たとえそれが外国の整備会社であっても、整備に使う計測器はすべて米国標準技術研究所(NIST)の国家標準のもとで校正されている(すなわちNISTトレーサブルである)ことを連邦航空法で規定しました。これによって航空機整備の質を一定のレベル以上に引き上げようとしたのです。成田空港では我が国の航空機整備会社がアメリカを始

め多くの国の航空機の整備をビジネスにしていますが、日本の国家標準にトレーサブルな計測器を使っていた国内の航空機整備会社が困難に直面したことは言うまでもありません。

**国際相互承認の意図するものとは  
—ワンストップテストの実現に向けて—**

このような通商における技術的問題を包括的に多国間で解決するために「計量標準の国際相互承認」という仕組みが提案されました。それは下図に示すように各国のトレーサビリティ体系の各段階で互いの計量標準に関する信頼を醸成し、他国の校正・試験データを自国でもそのまま受け入れることを可能にしようというものです。その効果は一口に「ワンストップテスト」と言われています。世界のどこで校正・試験を受けても、その結果をもって世界中のどこでも通用するようにしようという、まさにグローバル化した社会にふさわしい世界的な制度づくりです。この背景には世界貿易機構(WTO)のもとで自由貿易を促進させるために、現状で各国にさまざまな形で存在する異なった技術基準を調和させ、貿易のための技術的障壁を低減させようという国際的な合意があります。経済統合された地域の市民や世界展開する企業は、各国の個別のトレーサビリティ体系だけでなく、世界システムとして統合されたトレーサビリティ体系全体の信頼性にも関心を払うようになりました。

ところで、どのような技術的根拠をもって他国の試験分析データを信頼してよいと言えるのでしょうか、また不用意に他国への信頼を表明して自国民にリスクを与える恐れはないのでしょうか。そこで計量標準の国際社会は、各国の国家計量機関(NMI)の間で相互に計量の技術能力の審査にまで踏み込み、他国のトレーサビリティ体系を承認する・しないを明示的に表明することに合意しました。我が国も種々の問題を考慮し、慎重に対処しつつ各国との間で国際相互承認に至る作業を進めています。



●図 計量標準における国際相互承認の仕組み

# 計量標準における国際相互

計測標準研究部門

アジア太平洋計量計画事務局長 白田 孝

## ●校正証明書を世界に通じるパスポートに

経済のグローバル化に伴い、製品、サービス、情報、あらゆるものが国境を容易に越える時代、それでも国境を越えるときには様々な手続き（税関や検閲）が必要とされ、時には同様のテストを何度も要求されることがあります。もちろん製品の品質や安全性をチェックするために、あるいは防疫等の観点から必要不可欠なものもありますが、もし初めに検査された結果の信頼性が担保され、それをそれぞれの国で受け入れるなら（ワンストップテスト）、経済効率はより高まるのが容易に想像できます。この時、検査証明書はちょうどパスポートにあたります。包括的な取り決めを結んだ国同士では、パスポートによりその発行国の国民とみなされ、必要な庇護、権利あるいは制約が与えられるように、計量標準の世界では、まさに校正証明書を世界に通じるパスポートとしてお互い受け入れよう、という動きが進行しています。

1999年10月、メートル条約の最高の議決機関である第21回国際度量衡総会(CGPM)において、日本を含む38カ国

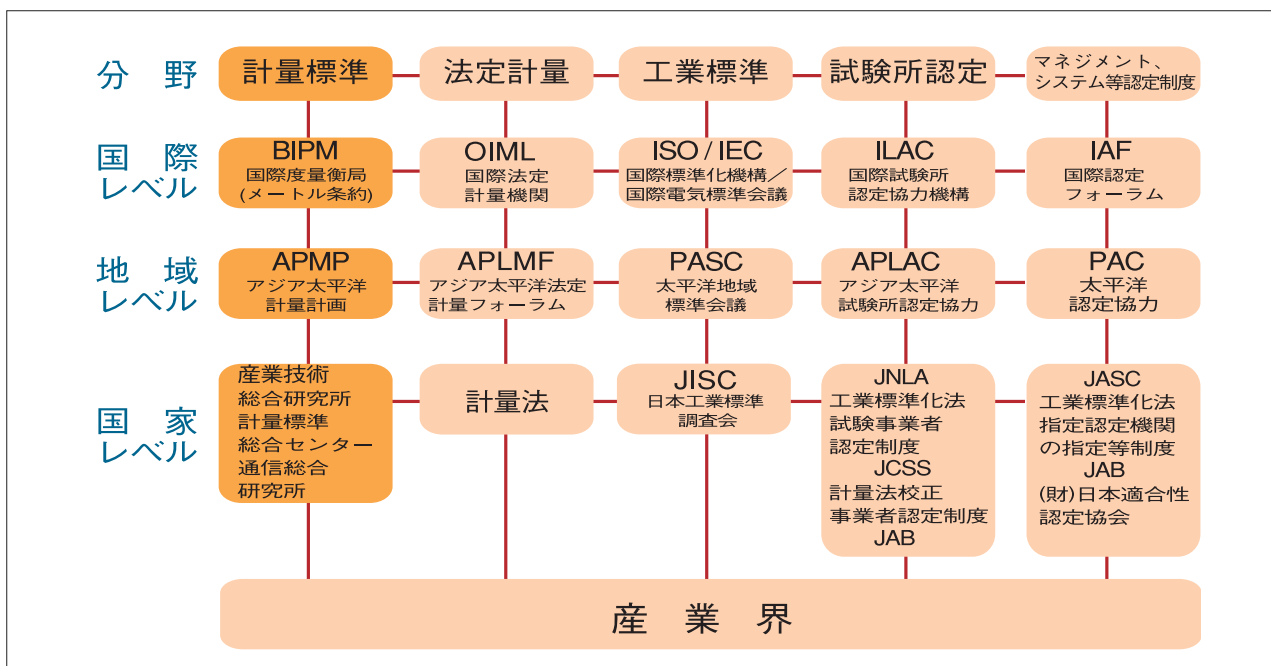
及び2国際機関が「メートル条約のもとでの国際相互承認協定」に署名しました。この協定は、通常国際度量衡委員会の頭文字と Mutual Recognition Arrangementの頭文字をとってCIPM-MRAと称しています。署名国はその後増加し、2003年末現在57カ国にのぼっています。CIPM-MRAは署名国の国家計量機関(NMI)が発行する校正証明書を、2003年12月までの準備期間を経て2004年から相互に認めよう、と取り決めています。

## ●専門機関による認証と地域機関による相互チェック

CIPM-MRAは政府間協定ではなく、NMIによる自主協定です。ですから強制力もなければ違反したときの罰則もありません。しかし信頼に足る協定として各方面で活用されるよう、様々な細則が定められています。まず、発行された校正証明書の信頼性はどうか担保するのでしょうか。3つの大きな柱が国際比較と品質システムおよびピアレビューです。国際比較とは、同一の校正対象を複数のNMIで持ち回り、その校正結果を比較することです。いわばオリンピックや国

際大会で同一条件で競争することに相当します。結果は何より雄弁です。しかし、国際比較の時だけたまたま良い結果(悪い結果)が出ることも懸念されます。恒常的な校正能力を担保するためには、文書規定や技術管理に基づいた品質システムが欠かせません。そこでCIPM-MRAでは協定への登録条件として、国際比較への参加とISO/IEC 17025(校正機関及び試験所の能力に関する一般要求事項)相当の品質システム確立を求めています。また品質システムの認定に際しては、専門家による監査が行われています(一般の試験所等においても専門家による技術審査は行われますが、CIPM-MRAではより厳しく、国外の同等なNMIの専門家による監査を導入しています)これをピアレビューと呼びます。

では国際比較の結果や品質システムの判定には誰がお墨付きを与えるのでしょうか。ここで登場するのが専門機関による認証と地域機関による相互チェックという考え方です。図は基準認証5分野(計量標準、法定計量、工業標準、試験所認定、認定制度)における専門組織と機関を示しています。国際比較結果を提示するNMIは、「試験所認定機関が認定する」「その認定制度はマネジメントシステム



●図 基準認証5分野の専門組織

# 承認の現状

等文書規格作成団体が定める」といった水平的な関係があります。さらに各専門機関は、国家、地域、国際の各レベルで機関を組織し、お互いが信頼性や整合性をチェックしています。ピアレビューを行う人材についても、地域機関同士でその専門能力を定めています。アジア太平洋計量計画（APMP）はアジア太平洋地域における地域計量機関（RMO）であり、21の経済圏が加盟し、地域内における国際比較の調整等にあたるとともに、ヨーロッパ、東欧・ロシア、南北アメリカ、アフリカなどの同様のRMOおよび国際度量衡局（BIPM）と連携し、各地域機関同士の整合性確立や利害調整のための諸活動にあたっています。このような水平的かつ重層的な関係の元で、透明性と専門性を両立させています。専門機関による認証と地域機関による相互チェックは、誰にも絶対的権限を与えず、相互に支え（かつ監視し）、どちらが欠けても立ち行かない寄せ木細工といえるでしょう。

## ●公表される各NMIの実力

CIPM-MRAに基づき、世界のNMIとRMOは膨大な数の国際比較や品質シ

テムチェックを行い、協定のもとで相互の校正能力をどの程度認め合うかのリスト（校正測定能力：Calibration & Measurement Capability、通常CMCと称しています）を構築してきました。それが準備期間として位置付けられた2003年までの4年間の成果です。現在このリストはデータベース化され、BIPMのホームページで誰でも閲覧することが出来ます。登録品目は15,830（2003年9月時点、その後随時更新。また、日本は表に示す61の量目を登録済み）に上ります。また、そのリストの根拠となる国際比較の結果も閲覧することができます。

校正機関の校正証明書を相互に受け入れることを目的に進められてきたリストですが、できあがりつつあるリストは各NMIの実力を如実に示す資料となりました。そしてその結果は世界の誰もがホームページを通して知ることが出来るのです。従来国際比較に参加する当事者か、結果が公表される学術文献に身近に接する研究者、あるいは規制当局関係者以外容易に知ることが出来なかった国際比較結果や、それを元に品質システムも加味した経常的なCMCを、誰でも知ることが出来ます。

これはCIPM-MRAがもたらした大きな成果と言えます。

2004年から、CIPM-MRAを謳った校正証明書を目にすることになるでしょう。これは国際比較の参加結果や品質システムから一定の信頼性があると承認されたことを示します。途上国で発行された校正証明書であれ、先進国のものであれ、（不確かさの大小はありますが）、校正証明書が付与された製品が広く流通し、経済を活性化させることが予想されます。これは当初は計測機器等のごく一部に限られるでしょうが、浸透するにつれ様々な製品、分野に波及していくと思われれます。

一方、校正証明書を発行するNMIにとっては、国家の枠組みを越えた競争社会に突入することを意味します。いわば計量標準版ビッグバンです。技術力に劣るNMIの淘汰をもたらすかもしれません。校正料金の一層の競争力も求められるでしょう。NMIにとっては厳しい時代です。しかし1875年のメートル条約締結以来、先人が目指してきたのはまさに国家を越えた世界共通の標準の確立だったのです。CIPM-MRAがもたらす流れに逆行することは許されません。

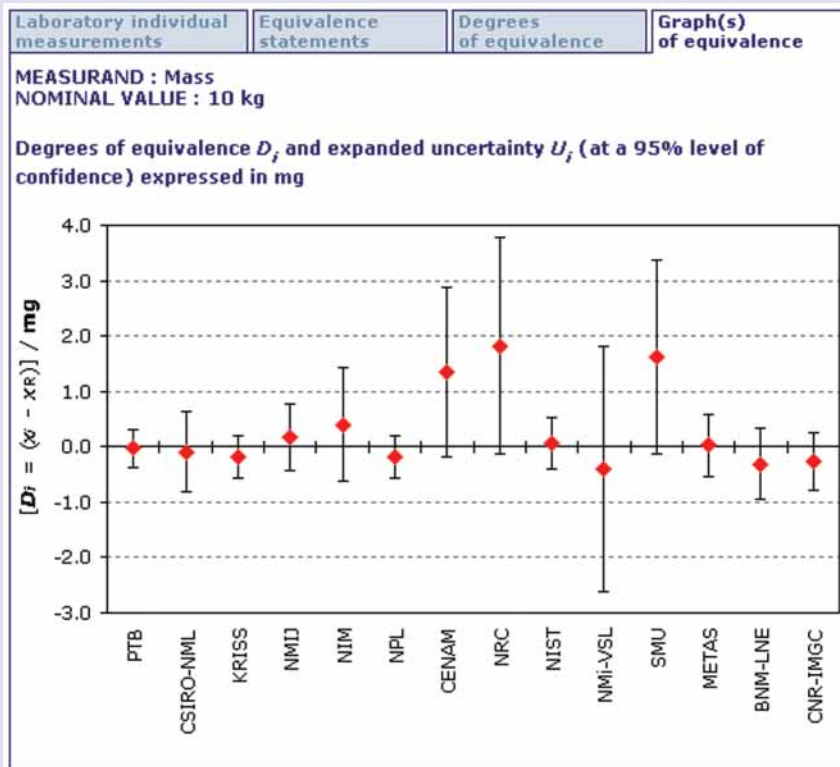
分野	略称	内容の例	日本が登録済みの量目数*1
音響超音波振動	AUV	マイクロフォン、加速度ピックアップ等	8
電磁気	EM	電圧、抵抗、静電容量等	8
長さ	L	レーザ波長、標準尺等	3
質量関連	M	分銅、力、圧力等	12
測光・放射測定	PR	光度、レーザパワー等	7
物質量	QM	各種標準物質等	23
放射線	RI	放射線、X線等	0
測温	T	温度計、湿度計等	0
時間周波数	TF	時間標準、周波数カウンタ等	0

\*1：2003年9月現在 随時更新中

●表 CIPM-MRAにおける日本の登録リストの一覧

# メートル条約の国際相互承認に関する情報

BIPM <http://www.bipm.org/>  
 APMP <http://www.nmij.jp/apmp/>



## ● 国際比較結果の一例

(10 kg 分銅、参加機関は PTB (独)、CSIRO (豪)、KRIS (韓)、NMIJ (日)、NIM (中)、NPL (英)、NIIST (米) 等、BIPM のホームページより抜粋。縦軸の 0 は基準となる参照値を、菱形のプロット及び上下のバーは該当機関の測定値と不確かさ (ばらつきの程度) を示す。参照値の決定法については加重平均等、様々な方法が量目によりとられている)

## Calibration and Measurement Capabilities Mass and related quantities

### Result of the search

→ **Your selection** : Mass and related quantities, Mass, mass standards, Mass, Mass standard

### Japan, NMIJ (National Metrology Institute of Japan)

Complete CMCs in Mass and related quantities for Japan (.PDF file)

Mass. Mass standard, **1 kg**  
 Absolute expanded uncertainty ( $k = 2$ , level of confidence 95%) in  $\mu\text{g}$ : **50**  
 Comparisons in air  
 Internal NMI service identifier: NMIJ/1

Mass. Mass standard, **0.001 g to 20000 g**  
 Absolute expanded uncertainty ( $k = 2$ , level of confidence 95%) in  $\mu\text{g}$ : **(2 + 0.1m), m mass standard in g**  
 Comparisons in air  
 Internal NMI service identifier: NMIJ/2

Mass. Mass standard, **50 kg to 5000 kg**  
 Relative expanded uncertainty ( $k = 2$ , level of confidence 95%): **5E-06**  
 Comparisons in air  
 Mass standard,  $m$ : 50 kg, 100 kg, 200 kg, 500 kg, 1000 kg, 2000 kg and 5000 kg  
 Internal NMI service identifier: NMIJ/3

## ● CIPM-MRAに基づく CMC のリストの一例

(日本の質量標準に関するもの、BIPM ホームページから抜粋。例えば 1 kg の分銅を不確かさ 50  $\mu\text{g}$  で校正できることを示す)

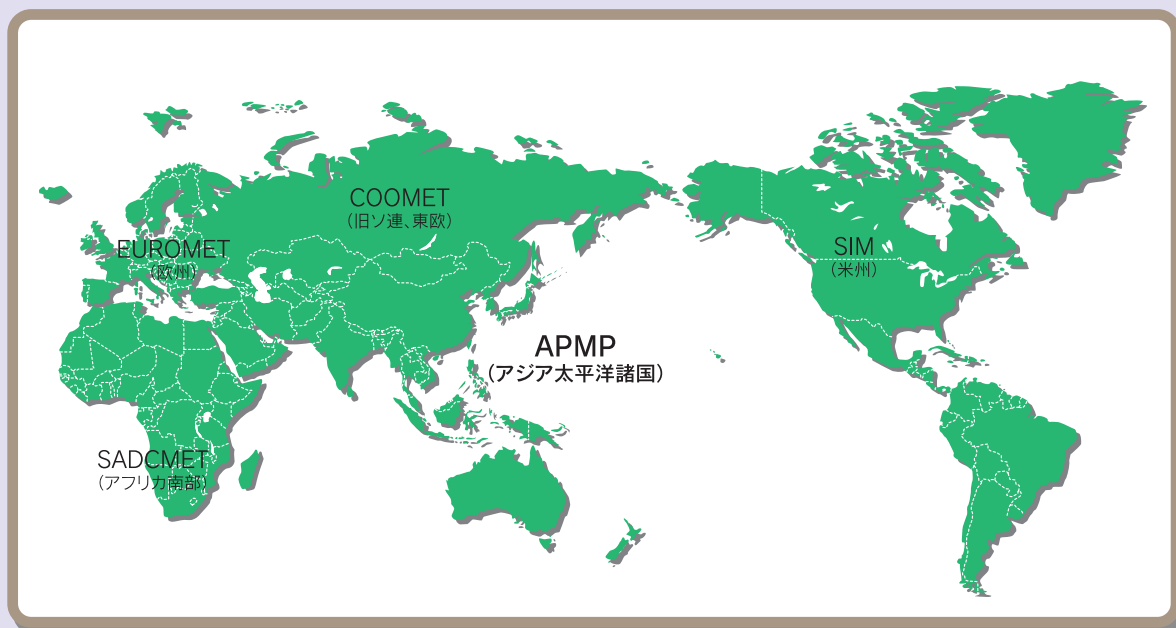
## CIPM-MRA に登録されていることを示すロゴの案

CIPM-MRA の CMC のリストに登録された量目に限って、各 NMI は 2004 年から自分の発行する校正証明書にその旨記載できるようになっています。具体的には、CIPM-MRA で承認されていることが一目でわかるロゴを制定しよう、という議論が行われています。CIPM-MRA を、BIPM (建物のロゴ) と各地域計量機関 (APMP: アジア太平洋地域、EUROMET: ヨーロッパ地域、COOMET: 東欧・ロシア、SADCMET: アフリカ、SIM: 南北アメリカ) が協力して支え合う理念を示しています。





## ● CIPM-MRA に署名した国（一部、経済圏）のリスト



## ● APMP

オーストラリア  
中国  
台湾  
香港  
インド  
日本  
韓国  
マレーシア  
ニュージーランド  
フィリピン  
シンガポール  
タイ  
エジプト\*  
カナダ\*  
南アフリカ\*  
ロシア\*

## ● COOMET

キューバ

ベラルーシ  
リトアニア\*  
ルーマニア\*  
ロシア\*  
スロバキア\*  
ウクライナ\*  
ブルガリア\*  
ドイツ\*

## ● EUROMET

オーストリア  
ベルギー  
ブルガリア\*  
チェコ  
デンマーク  
フィンランド  
フランス  
ドイツ\*  
ギリシア  
ハンガリー

アイルランド  
イタリア  
ラトビア  
オランダ  
ノルウェイ  
ポーランド  
ポルトガル  
スロベニア  
スペイン  
スウェーデン  
スイス  
トルコ  
イギリス  
マルタ  
セルビア・モンテネグロ  
ルーマニア\*  
リトアニア\*  
スロバキア\*  
南アフリカ\*

ウクライナ\*  
ロシア\*

## ● SADC MET

南アフリカ\*  
ケニア  
エジプト\*

## ● SIM

カナダ\*  
アメリカ  
メキシコ  
パナマ  
エクアドル  
ブラジル  
ウルグアイ  
チリ  
アルゼンチン  
ドイツ\*

## ● その他

イスラエル

\*印は重複加盟国  
(2003年未現在)

## ● 計量標準における国際相互承認でよく使用する略語

APLAC	アジア太平洋試験所認定協力	Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation
APLMF	アジア太平洋法定計量フォーラム	Asia Pacific Legal Metrology Forum
APMP	アジア太平洋計量計画	Asia Pacific Metrology Programme
BIPM	国際度量衡局	Bureau International des Poids et Mesures
CC	諮問委員会	Consultative Committee
CGPM	国際度量衡総会	Conférence Générale des Poids et Mesures
CIPM	国際度量衡委員会	Comité International des Poids et Mesures
CMC	校正測定能力	Calibration and Measurement Capability
CRM	認証標準物質	Certified Reference Materials
EUROMET	欧州計量協力機構	European Metrology Collaboration
ILAC	国際試験所認定協力	International Laboratory Accreditation Cooperation
ISO/IEC	国際標準化機構/国際電気標準会議	International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission
JAB	(財)日本適合性認定協会	The Japan Accreditation Board for Conformity Assessment
JCRB	地域計量機関・国際度量衡局合同会議	Joint Committee of the Regional Metrology Organization and the BIPM
JNLA	工業標準化法に基づく試験所認定制度	Japan National Laboratory Accreditation System
MRA	国際相互承認協定	Mutual Recognition Arrangement
NIST	米国標準技術研究所	National Institute of Standards and Technology
NMI	国家計量機関もしくは国立計量研究所	National Metrology Institute
OIML	国際法定計量機関	Organisation Internationale de Metrologie Legale
RMO	地域計量機関	Regional Metrology Organization
SI	国際単位系	The International System of Units
TC	技術委員会	Technical Committee

## ●放射能標準の国際的整合性と相互承認の動向

一般に放射線や放射能の測定対象は、体に感じない領域の高感度が売りですから、さぞかし標準の精度も良いのだろうと思われるかもしれませんが、現実には、未だにパーセント(%)で議論されるレベルです。これは、たとえば環境ホルモンなどの化学物質が、ppbやpptの極微量な値で測定されますが、その値の不確かさは案外大きいのに似ています。一方、放射能の標準は先端的研究や医療の分野で用いられてきたため、その重要性は初期の段階から認識され、ラジウムの発見からまもなく国際標準放射能線源の作成などが行われてきました。現在でもγ線放出核種については、国際度量衡局(BIPM)の電離箱を仲介した国際比較が、定常的に行われています。ここでは、このような放射能標準の歴史的な展開を含めて、放射能標準の国際相互承認に関する動向を紹介します。

### 高価な金属ラジウム

ラジウムは1920年代に最も高価な金属となりました。ピーク時には1グラムが何と125,000米ドルに達したとのことです。(当時は金本位制で、金1.5グラム=1米ドル。現在の価値に換算すると、ラジウム1グラムが約3億円!) 実際、第一次大戦後M. Curieが研究用にラジウム線源を購入する費用が無く、困っているとのニュースに、米国の婦人団体が10万ドルの寄付を集め、この寄付金で購入した約1グラムのラジウムを、時の米国大統領ハーディング(Harding)がホワイトハウスで直接贈呈したとの記録があり、いかに貴重なものであったかが分かります。ちなみに、この線源には米国標準局(NBS、現在のNIST)の校正証明書が付けられており、“標準ラジウム線源”との比較測定により0.7%(標準偏差)以内の不確かさと記されていました。この不確かさは現在とほぼ同じレベルで、当時の測定に傾注された努力が偲ばれます。

## ●放射能の国際標準線源

マリーキュリー(Marie Curie)による1898年のラジウム発見に引き続き、1902年に彼女が8トンのピッチブレンドから0.1グラムのラジウムを抽出し、それが極めて強い放射能を持っていること、子宮癌治療など、医学面での有効性が実証されました。その後、米国や当時ベルギー領のコンゴでラジウム含有量の多い鉱石が次々と発見され、X線とともに医療に広く用いられるようになりました。この頃の放射能の単位はCi(キュリー)で、1グラムのラジウム(Ra-226)から発生するラドン(Rn-222)の量に等しい崩壊数と定義されていました。この量を具現化するため、国際放射線学会の依頼により、オーストリアのヘニシュミット(Hönigschmid)が、10mg~20mgの塩化ラジウムを、精密に校正された天秤で秤量し、ガラス管に封じた線源を1912年に7個(内1個が日本に送付されたとありますが、現在行方不明)、1934年に20個それぞれ作成し、放射能の国際標準線源として世界の標準研究機関に配布しました。その後、同様の線源が数多く製造され、金箔の検電計を用いてオリジナルの“標準線源”とγ線の線量比較校正を行い、“ヘニシュミット線源”として販売されました。産総研にも、マリーキュリーが校正した、由緒あるヘニシュミット線源があり、その写真が写真1です。

## ●国際相互承認の項目は核種毎

第二次大戦後、原子炉や加速器を用いて様々な放射性同位元素が作り出されました。また、直接に放射能を測定出来る技術が開発されたことから、放射能の単位は壊変毎秒を表すBq(ベクレル)へと変更されました。ところが、困ったことに、放射能の標準をそれぞれの核種ごとに具現化する必要が生じてきました。例えば、年代測定に用いられるC-14は、半減期が5730年でβ線のみを放出します。一方、肺や心臓の検査に用いられるTc-99mは半減期わずか6時間で、γ線のみを放出します。従って、求める単位は同じBqでも、その測

定法や装置は全く異なっています。このため、放射能の標準は、それぞれの核種ごとに独立した手法で値付けが行われています。BIPMで隔年に開催される電離放射線諮問委員会第二部会(CCRI(II))では、国際相互承認を行うための校正測定能力(CMC)のリストの項目を核種毎に細分することで合意されました。このため、産総研からも200項目近くのリストを作成し、登録申請中です。この様な膨大な数のCMCを維持するのは大変ですが、幸い放射能では、核種の崩壊の仕方と測定法に応じたグルーピング化の作業が進められており、全ての核種で国際比較を行う必要は無くなりそうです。これまで産総研では、主に4πβ-γ同時測定という手法で放射能の絶対測定を行い、既に23核種の国際比較の結果がBIPMのホームページから公開されています。グルーピング作業が順調に行けば、現在の段階で、CMCの主要な項目は大体カバーできそうですが、今後定期的(年2核種以上)にこれらの国際比較を行う必要があります。写真2に、産総研が用いている絶対測定用の4πβ検出器と、写真3にγ線測定用のGe検出器を組み合わせた4πβ-γ同時測定装置全体を示します。このような装置で、多くの放射性核種の絶対測定を行っています。

## ●医療用の新しい需要と今後の展開

放射能の分野で、最近国際的な整合性が問題となる事例が何件か出てきました。特に重要なのは、放射能線源を直接体内に入れる治療が増加してきたことです。以前から、甲状腺癌には、I-125やI-123が用いられてきましたが、近年米国を先駆けとして、癌の疼痛緩和にY-90などの高エネルギーのβ線源が大量に使われ出しています。また、前立腺癌にI-125の密封小線源刺入治療が、ようやく我が国でも2003年7月に認可され、治療面での大きな伸びが見られています。これまで、医療用放射性核種は、代謝機能チェックや癌の部位確定などの診断利用が主であったため、注入量はそれほど厳しく管理されていませんでした。ところが、治療に使用する



### ●写真1 産総研の所有する標準線源（ヘニシュミット線源）

もとは塩化ラジウムの粉末をボヘミアガラスの細管に詰め、真ちゅう容器（中央茶色の部分）に入れたもの。後になってラドンガスのリークを防ぐため、さらに外側をガラス管（上下に綿が詰められている）で厳重に密封してある

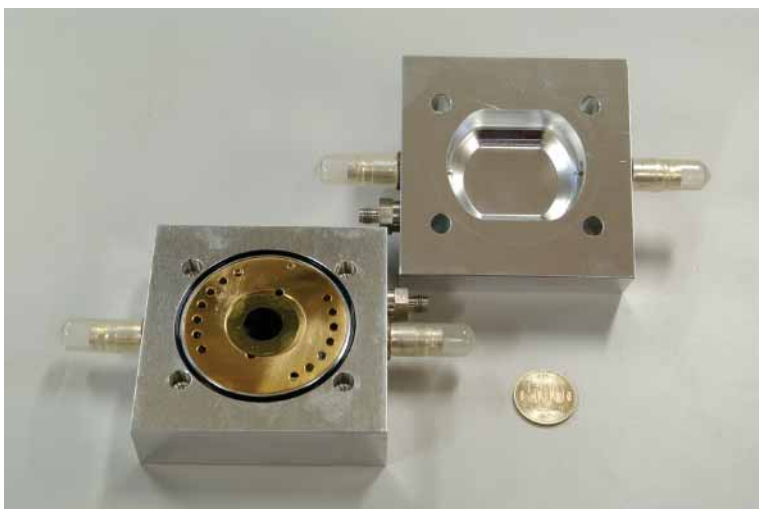
線とチタンカプセルでの自己吸収効果によるばらつきが大きいいため、Bqよりはむしろ線量での値付けと管理が必要です。この観点から、線源の“放射能”（Bq）と、線源から出る放射線の影響を表す“吸収線量”（ $Gy = J/kg$ ）の相互関係を精密に測定する必要があります。この研究に関しては、I-125密封小線源刺入治療が我が国では2003年に治療認可が下りたのに対し、米国では既に30余年の歴史があるため、NISTの体制に比べて大きく遅れています。しかし、重要性が増した今がちょうど旬のテーマともいえます。このような線源は、子宮癌治療のIr-192など、他にも数核種が実用化されています。

放射能標準はいまだに%のレベルの不確かさですが、それだからこそ、きちんとした相互比較と国際相互承認が必要な分野であると言えます。医療用標準には、かなりの強度の線源が必要ですが、測定機器の感度を高めることにより、できるだけ少ない量で、安全に配慮しつつ、標準供給に必要な研究を進めて行きたいと考えています。

には、その症例を比較する必要があります。どこに、どれだけの量を注入した結果、どれだけの効果が得られたか？日本人と外国人では体重差以外に効き目が違うことがあるのか？など比較するには、きちんとした定量的な管理と相互比較が必要です。医療用線源は一般に半減期が短いため、相互比較があまり行われてきませんでした。2003年10月に、半減期64時間のY-90を用いた、第1回の医療用線源の国際比較が行われました。我が国もこれに参加し、日本アイソトープ協会や千代田テクノルといった国内関係各社にも協力頂き、無事終了しました。一方、前立腺癌治療に用いられるI-125の密封小線源は、銀

### 用語の説明

- ・ **加圧型電離箱**: 円筒状の金属容器内に、窒素やアルゴン等のガスを1 MPa~2 MPa程度に加圧して封入したもので、その中心部に放射性物質が挿入し、加圧したガスが放射線により電離された電流を測定することにより、放射能を求める装置。
- ・ **密封小線源刺入治療**: 小さな線源を用いた癌治療。前立腺癌用のI-125の場合は、細い銀線の表面にI-125を化合させ、直径1 mm弱、長さ40 mmくらいのチタンカプセルに封入した線源でこれを数本患部に刺入し、I-125からのX線で癌細胞を死滅させる。
- ・  **$4\pi\beta-\gamma$ 同時測定**: 放射性核種は、崩壊において $\alpha$ 線あるいは $\beta$ 線などの荷電粒子と、電磁波である $\gamma$ 線を同時に出す性質のものが多く、その性質を利用して、直接に放射能を求める手法。産総研はこの手法により放射能の一次標準を値付けているが、測定が煩雑でしかも範囲が限られているため、国際比較や加圧型電離箱などの安定な二次測定装置の校正に適用される。
- ・ **吸収線量**: 放射線がある一定の質量の物質に与えた全エネルギー。単位はGy(グレイ、1 Gy=1 J/kg (ジュール/キログラム)) で表される。



### ●写真2 産総研の $4\pi\beta$ 検出器

装置の中央に、非常に薄い（約 $20\ \mu g/cm^2$ ）膜の上に少量の放射能溶液を滴下乾燥させた線源を置き、上下 $4\pi$ 方向に出る荷電粒子を測定する



### ●写真3 $4\pi\beta-\gamma$ 同時測定装置全体図

$4\pi\beta$ 検出器の直ぐ下にあるのが、超高純度のGe半導体検出器

## ●古い歴史を持つ長さ標準

長さ標準は、メートル原器に見られるように、高いなどの基準として古くから取り入れられて来ました。さらに、産業の発展とともに、ものづくりのための基準として脚光を浴び、長さ標準の高精度化が着実に図られて来ました。1990年中頃から、科学技術、産業技術のテクノインフラとして重要性が再認識されると共に、通商を円滑に進める方法として、標準の重要性が再び議論されるようになりました。

さらに、国際相互承認協定(MRA)においては、国際規格ISO/IEC 17025に基づいた品質システムの作成や国際比較、ピアレビューなどの、従来に無い多くの業務が発生しています。

## ●最高レベルの標準器による標準供給

国際比較に参加するためには、小さな不確かさの標準器を開発し、標準供給を行っていることが必要条件です。このために産総研では、1997年頃から、表に示すように長さ標準分野の技術開発に取り組んでおります。長さ標準分野は我が国の民間の技術レベルが高いことと、今後技術が急速に発展する可能性があること

を考え、特定標準器(国家標準)は、「よう素安定化He-Neレーザ」だけです(写真1)。一方、特定二次標準器(認定事業者の最上位の標準)も同様の「よう素安定化He-Neレーザ」だけとなっていますので、非常に簡単な体系になっています。この結果、特定二次標準器があれば、民間においても不確かさの小さな標準器を「いつでも」、「どこでも」作成できることになります。従って、産総研は技能試験(参照値の供給)を行い、トレーサビリティの確保をします。この意味は大きく、実力があれば、民間においても国家標準に近い不確かさを得ることが可能であるということです。図はブロックゲージの標準供給体系を示した例ですが、階層化が順調に進み認定事業者が22者に達しています。この標準供給体系によって、長さ標準分野の計測機器の80%近くが国家標準にトレーサブルになり、低コストの本体は我が国の産業を支えています。さらにMRAによって、我が国の標準供給が外国においても認められつつあり、実際に米国の航空会社もこの体系を受け入れています。

また、写真2は、よう素安定化He-Neレーザによって校正される、三次元座標測定機(CMM)です。このCMMに関して、我が国の生産は世界のシェアの半数近くを占めています。生産台数

は年間で約2千台であり、世界の保有総台数は数万に達すると推定されます。

## ●品質システムとピアレビュー

長さ標準分野のピアレビューは表に示す外国の国家計量機関(NMI)の研究者によって行われました。この場合、APMPから1名、APMP以外から1名以上という方針のもとに進められてきました。延べ8名の研究者からレビューを受けましたが、幸い指摘事項が無く合格しました。これによって、我が国の標準のレベルが高いことが実証されただけでなく、世界を先導している階層性も容認されたことになります。

## ●国際比較による技術能力の評価

長さ標準分野の国際比較は、表に示すように、メートル条約の長さ諮問委員会(CCL)が企画する国際比較と地域計量機関(APMP、EUROMETなど)が企画する国際比較とがあります。これらの国際比較に参加し、宣言した不確かさが妥当であることの評価を受けることが重要です。今までのところ一部で問題がありましたが、産総研は相対的に良い結果が得られています。

●表 長さ標準における国際相互承認の状況

	標準器または測定対象	国際比較	品質システム	ピアレビュー実施	CMC登録状況
1	ブロックゲージ(短尺)	CCL, APMP	完成	2002年3月 (PTB, NML)	済
2	ブロックゲージ(長尺)	CCL, APMP	完成	2003年2月 (NML, NRC, IMGC)	審査中
3	標準尺	CCL	完成	2002年3月 (PTB, NML)	済
4	巻尺	なし	完成	2002年3月 (PTB, NML)	済
5	距離計	2国間	完成	2003年2月 (NML, NRC, IMGC)	審査中
6	CMM (ステップゲージ)	CCL	完成	2002年3月 (PTB, NML)	審査中
7	CMM (ボールバー)	CCL	完成	2002年3月 (PTB, NML)	審査中
8	CMM (ボールプレート)	CCL	完成	2003年2月 (NML, NRC, IMGC)	審査中
9	CMM (ホールプレート)	CCL	完成	2003年2月 (NML, NRC, IMGC)	審査中
10	1次元グレーティング	CCL	完成	2003年2月 (NML, NRC, IMGC)	審査中
11	段差(触針式)	APMP	完成	2003年12月 (NML, PTB, KRIS)	審査中
12	段差(干渉式)	CCL	完成	2003年12月 (NML, PTB, KRIS)	審査中
13	表面粗さ(スタイラス)	APMP	完成	2003年12月 (NML, PTB, KRIS)	審査中
14	ロータリエンコーダー	2国間	完成	2003年12月 (NML, PTB, KRIS)	審査中
15	オートコロメーター	CCL	完成	2003年12月 (NML, PTB, KRIS)	審査中
16	内外径	予定	完成	2003年12月 (NML, PTB, KRIS)	審査中

・PTB (ドイツ)、NML (オーストラリア)、NRC (カナダ)、IMGC (イタリア)、KRIS (韓国)



●写真1 長さ標準における国家標準

産総研において計量法トレーサビリティ制度における特定標準器（国家標準）として用いられている波長633 nmのよう素安定化He-Neレーザ



●写真2 産業を支える三次元座標測定機

国際比較全てに参加するためには、莫大なコスト（資源）を要します。このため、国際比較を7年周期で行うこととして、次回からは、CCLとAPMPとを混合した方法（各地域の国際比較に他地域のNMIの一部が参加する）で行うことが、第11回CCLにおいて議決されました。このための測定対象として、①ブロックゲージ、②標準尺、③内外径、④ステップゲージ、⑤表面粗さ、及び⑥角度を取り上げることが決められました。

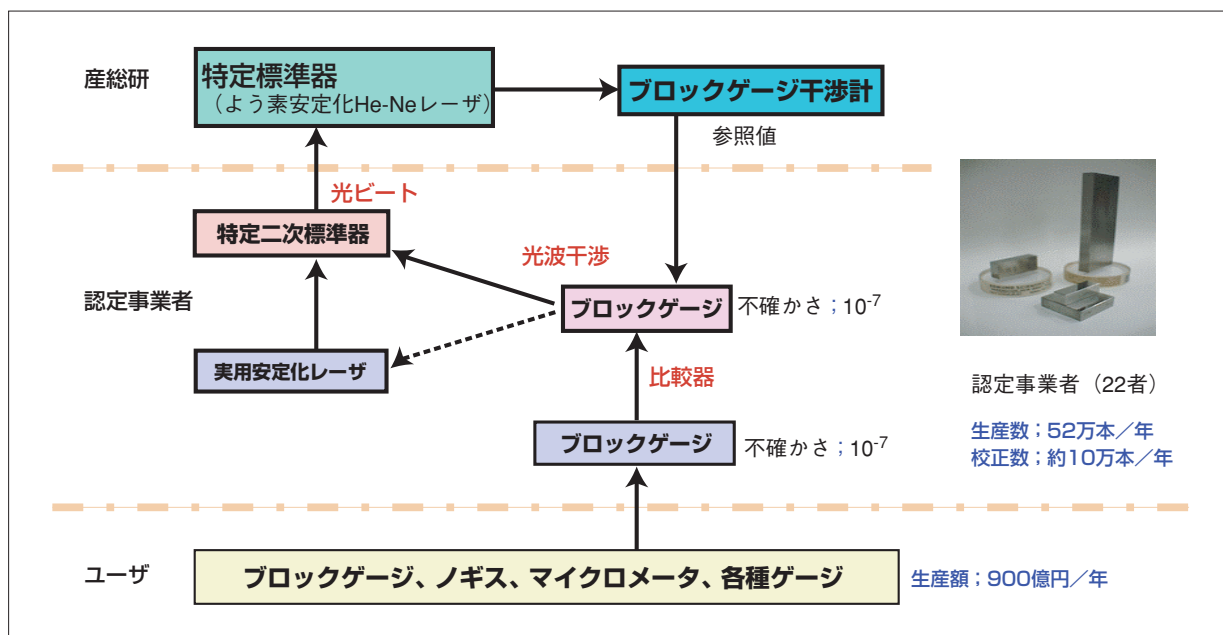
以上のような一連の作業が完了すると、校正測定能力（CMC）の登録が可能になります。現在、表に示す標準が申請されており、APMP内のレビューによって登録の妥当性が確認されつつあります。この作業が2004年3月まで続けられ、CMC登録が完成する予定です。

### ●国家プロジェクトとして推進中の新たな長さ標準

今後は、このCMCへの登録数を増やすことは言うまでもありませんが、世界に誇れる標準器とその供給システムを開発していくことが重要です。長さ標準分野における大きな技術革新は、単一周波数による波長標準レーザから、フェムト秒光コムと呼ばれる規則正しく一定周波数間隔の光が並んだ（広帯域スペクトル）のレーザによる長さ標準への移行ですが、世界のNMIを先導する、より効率的で高精度な長さ標準の研究開発が国家プロジェクトとして進められています。この結果、より効率的で精密な標準供給体系（遠隔校正など）が構築されようとしています。

#### 用語の説明

- ・ **ブロックゲージ**: 直方体の2端面が精密に研磨されており、この両端面間の寸法が標準に利用されています。我が国が世界の50-60%のシェアを占めていて、実用長さ標準器の中では80%近くのシェアになっています。
- ・ **標準尺**: 金属平面に幅4マイクロメートル程度の刻線が目盛られてもので、その目盛線の間隔が標準に使用されています。最近ガラスなどに金属蒸着した目盛線を利用すること多くなっています。
- ・ **認定事業者**: ユーザーなどに校正サービスを行うことが認定された機関。
- ・ **三次元座標測定機**: 変位センサーを三次元空間で自由に移動できる機構を備えており、任意の物体の形状を測定できる機械であり、現在の日本の産業の自動化の要となっています。
- ・ **フェムト秒光コム**: フェムト秒（10のマイナス12乗）の超短パルスレーザは無数の周波数が等間隔に光周波数群として並んでいることが最近発見されました。



●図 ブロックゲージの標準供給体系

# 安心できる生活を支える 標準物質

計測標準研究部門 高津 章子

## ●環境分析と標準物質

環境中のカドミウムやダイオキシンが身近な話題となる今日、私たちが安心して生活していくためには、環境中の微量の汚染物質濃度を正しく測定し、適切な対策をとることが必要です。環境問題は国境のない世界規模の問題であり、同じ試料はどこで分析しても同じ結果が得られるはずのようですが、実際の化学分析ではさまざまな原因により違った答えを出してしまうことがしばしば起こります。このような違いをできるだけ少なくし、分析結果を相互に比較できるようにするのに役立つのが標準物質ですが、標準物質に与えられた値(認証値)も実際には種々の分析によって決められる(値付けされる)ため、世界のどこでも同じ分析結果を得るためには、標準物質の値について国際的に同等性を確認し、相互承認することが必要となります。

## ●どのような標準物質が国際相互承認されるのか？

標準物質の国際相互承認についてのデータベースは、各国の測定の実力を示す校正測定能力(CMC)と実際に供給している標準物質の値(Certified Values in Reference Materials)の2つのデータが記載されるのが特徴です。各国の国家計量機関(NMI)が国際比較に参加して測定の実力を示し、その

能力によって「生み出された(値付けされた)」標準物質(の認証値)を登録して国際的に相互承認するという考え方は、標準物質の値付け方法には、一般には共同分析による方法などいくつかの方法がありますが、国際相互承認の対象となるのは、標準物質の生産者であるNMI自身が高い技術を有し、生産のすべてのプロセスに責任を負うことのできる、トレーサビリティの明確な限られた標準物質のみです。

## ●国際的な同等性を確認する方法 - CCQM 国際比較 -

化学分析に関する高いレベルのNMI間の国際比較は、国際度量衡委員会(CIPM)の下に設けられた物質質量諮問委員会(CCQM)で行われています。国際比較の対象は、対象成分(例えばカドミウム、ダイオキシン)と試料の種類(例えば底質、河川水)のかけ算という無数の組み合わせの中からCCQMの中の専門分野ごとのワーキンググループで議論され、決定されます。多くの国際比較では測定方法について指定されませんが、国際単位系(SI)に直結した一次標準測定法(primary method of measurement)を用いることができる場合には、各国のNMIはそれを選択する機会がほとんどです。これはNMIから供給される標準物質は、計量学的に最も優れた(正確さが高く、不確かさが小さい)一次標準測定法により値付け

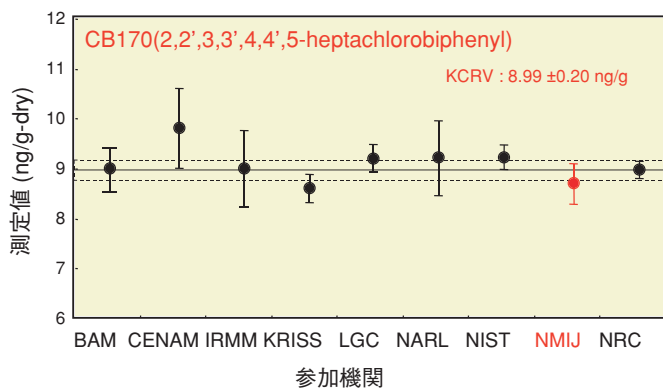
されることが理想であるからといえます。CCQM国際比較は、通常、第一段階のパイロットスタディと第二段階の基幹比較(key comparison)の順に行われ、基幹比較では通常NMIのみが参加し、提出した分析結果は、基幹比較参照値(KCRV)を決定した後、NMI名と共にBIPMのホームページで公表されます。環境分析関連では、底質中カドミウム・鉛(CCQM-K13)、底質中トリブチルスズ(CCQM-K28)、底質中ポリクロロビフェニル(PCB)(CCQM-K25)などの基幹比較がすでに終了しており、産総研も参加しました。各国の測定結果は濃度レベルなどから考えて、よい一致をみており、CCQM-K25(図参照)についての結果は、すでにBIPMのホームページ上で公開されており、誰でもアクセスすることができます。

## ●産総研における環境分析用組成標準物質の開発

産総研では、写真に示すような環境分析用組成標準物質(底質など実際の環境試料と似た試料中の成分濃度が値付けされた標準物質)の開発・供給を行っています。開発においては、上記の一次標準測定法の一つである同位体希釈質量分析法(IDMS)に大きな比重をおいており、鉛やカドミウムといった有害金属元素の全量分析から、金属の化学形態分析(ブチルスズ化合物等)、有機汚染化合物(PCB等)とさまざまな成分の値付けに応用しています。ただし、一次標準測定法といえども、十分な分析技術と詳細な条件検討があって初めて正しい分析値を得ることができるものであり、スズを安定同位体標識して用いるブチルスズの高精度IDMSの開発や、異なる抽出法を採用した複数のIDMSによる底質中PCBの値付けなど、より信頼性の高い測定法による標準物質の開発を目指しています。また、CCQM国際比較にも値付けに用いた方法により参加しています。

## ●国際相互承認の現状

産総研は、2002年10月に標準物質の生産に関して、ピアレビュー(技術審



●図 CCQM国際比較「底質中PCB」(CCQM-K25)の結果の一部  
図中 NMIJとあるのが産総研計量標準総合センター



### ●写真 産総研の供給する環境分析用標準物質

環境分析で得られる濃度値などは、世界中のどこで誰が測定しても共通の尺度に基づいていなければなりません。その基になるのが環境分析用標準物質です。

査)と製品評価技術基盤機構(NITE)による品質システム審査(ISO/IEC 17025とISO Guide 34(標準物質生産者の能力に関する一般要求事項)に基づくもの)を受けました。このうち、ピアレビューは外国NMIの専門家5名を迎え、標準物質の値付け方法、安定性・均質性などの評価方法など標準物質の生産全般にわたる方法や測定装置、手順書等について、担当者からの説明およびディスカッションを行いました。その結果、2003年10月に標準物質生産者としての認定を取得しました。

これらの結果を踏まえ、2004年1月現在、国際相互承認についてのデータベースには表に示すとおり、底質試料についてはカドミウムなどの7元素とトリブチルスズについてのCMCが日本として登録されています。化学分野では、最初に述べたとおり標準物質(認証値)も国際相互承認の対象となるため、さらに、対象成分を増やすと共に、供給を開始した標準物質を国際相互承認の対象とするために、登録を進めているところです。

### ●産総研の今後の計画

国際相互承認のデータベースでは、利用しやすい自国の標準物質の国際整合性を確認できると同時に、外国の標準物質についての情報も得ることができます。このことは、利用者は同種の標準物質の間での選択が可能となることを意味しており、産総研としてはより質の高い標準物質を開発していく必要があるといえます。

産総研では、今後も少しずつではありますが、種類を増やしながら標準物質の供給を進めていく計画です。分析・検査機関などにおいてこれらの標準物質を用いることにより、各分析結果についての国際的な整合性の確保が可能になると考えられます。こうした積み重ねにより、世界レベルで環境汚染物質の濃度を的確に知ることができ、汚染物質の適正な管理が行われ、安心して快適な生活につながることを期待されます。

### 用語解説

- ・ **認証値**: 標準物質の特性についてトレーサビリティが確立された手順によって与えられた最も正確な値をいう。
- ・ **一次標準測定法**: SI単位にトレーサブルな結果を与える測定方法で、重量分析法、滴定法、電量分析法、同位体希釈質量分析法、凝固点降下法が該当する。
- ・ **基幹比較参照値**: 基幹比較ごとに個々に決められる参照値。その値を基準として、参加機関の測定結果が評価される。
- ・ **同位体希釈質量分析法**: 目的成分の濃縮安定同位体(化合物)をスパイクとして試料に添加し、完全に混合した後に、変化した同位体「比」を質量分析により測定して定量分析を行うもので、試料の回収率等が結果に影響しない信頼性の高い方法。
- ・ **安定同位体**: 原子番号が等しく(すなわち同じ元素で)、質量数の異なる安定な核種を互いに安定同位体という。
- ・ **トリブチルスズ(化合物)**: 船底塗料、漁網の防汚剤などとして用いられていたが、毒性により使用が禁止された。内分泌攪乱作用が指摘されている。
- ・ **ポリクロロビフェニル**: カネミ油症事件の原因となった毒性の強い有機塩素化合物で、耐熱、耐薬品性、絶縁性にすぐれているため、絶縁体、熱媒体など広範囲に使用されていた。製造を中止したが、分解されにくく、廃棄処理が困難で、環境汚染源の一つとなっている。

●表 環境分析用組成標準物質における国際相互承認の状況

標準物質	認証項目	開発状況	関連する国際比較	国際相互承認の状況	
				校正測定能力(CMC)	標準物質(CRM)
NMIJ CRM 7301-a 海底質(ブチルスズ分析用)	3種類のブチルスズ化合物	開発済み (2002年3月)	CCQM-K28 (底質中トリブチルスズ)	トリブチルスズは登録済み ジブチルスズ、モノブチルスズは審査中(底質)	審査中
NMIJ CRM 7302-a 海底質(有害金属分析用)	14元素	開発済み (2002年3月)	CCQM-K13 (底質中Cd, Pb)	7元素(Sb, Cd, Cu, Pb, Ni, Ag, Zn)は登録済み	審査中
NMIJ CRM 7303-a 湖底質(有害金属分析用)	14元素	開発済み (2003年3月)		4元素は審査中 3元素は提出済み(底質)	提出済み
NMIJ CRM 7304-a 海底質(PCB・塩素系農薬類分析用 —高濃度—)	14PCB同族体および 塩素系農薬類4種類	開発済み (2003年11月)	CCQM-K25 (底質中PCB)	5PCB同族体は審査中 その他は提出済み(底質)	提出済み
NMIJ CRM 7201-a 河川水(有害金属分析用—無添加—)	17元素(予定)	開発中 (2004年3月 認証予定)	CCQM-K2 (天然水中Cd, Pb)	2元素(Pb, Cd)について 登録済み(河川水)	未定
NMIJ CRM 7202-a 河川水(有害金属分析用—添加—)	19元素(予定)	開発中 (2004年3月 認証予定)			

# 国際相互承認のあと 世界はどう変わるか

研究コーディネータ  
計測標準研究部門長 小野 晃

## 計量標準の国際相互承認は、 メートル条約の新たな大事業 —合理化されるトレーサビリティ体系—

国際相互承認の枠組みが完成した暁には、すべての国家標準を自前で設定し、どこの国からも校正を受けないし、どこの国の標準も校正しないという孤高の選択は意味のないものになります。実際問題として国家標準をSI単位の定義にもとづいて自ら実現している国は世界的に見てもそう多くありません。分野にもよりますがおよそ10ヶ国、あるいはそれ以下というものもあります。ほとんどの国は自国の一次標準器の校正を他国の国家計量機関（NMI）で受けることにより、SI単位へのトレーサビリティを確保しているのが世界の実態です。しかしながら現実にはこれまで国家標準の国際的なトレーサビリティ関係は複雑かつ不透明でした。ある国の国家標準がどの国にトレーサブルになっているかは、他国からは知る手段がありませんでした。また国家標準の校正に関して国家間で確固とした契約ができていないケースはまれでしょう。その時々事情によりトレーサビリティ先が一定しないことの方が多いかもしれません。

国際相互承認協定（MRA）のポイントの一つは、審査の過程において各国のNMIが国家標準のトレーサビリティの源を明示しなければならなくなったことです。つまり自国の一次標準器を国際単位系（SI）の定義に基づいて自分で実現し設定したのか、あるいは他のどの国のNMIで校正を受けたのかを明示した上で技術能力の審査を受けることになりました。その結果、世界のトレーサビリティ体系が関係者に明確に見えるようになりました。その波及効果は決して小さくないといえるでしょう。

まず信頼性が高い校正サービスを他国に対して定常的に行っている国がどこかということが明瞭に見えて来ます。次に、信頼性の高い校正が契約を行うことで確実に受けられるような国際環境があることが分かれば、国家標準を自国で設定することのコストパフォーマンスを改めて見直す国が出てくるでしょう。国際相互承認が進むにつれて、国家標準を自己充足する必然性はむしろ弱まり、国家間の相互依存と国際トレーサビリティ体系の合理化が進むと考えられます。校正をする立場と、校正を受ける立場の両方から、各国が合理的な選択をするような国際環境が遠からずできあがるでしょう。

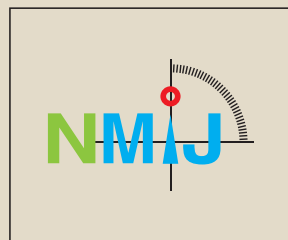
## 国際的なトレーサビリティ体系の構築によって 実現される社会 —日本の歩むべき方向—

計量標準の国際同等性は外国から要求されるばかりではありません。同等性はそもそも双方向・対等の性格をもっており、

こちらが要求されるものは、すなわちこちらが要求するものでもあります。信頼性を保証された計測器を使うことが外国の顧客や規制当局から求められたとき、日本で校正を受けた計測器が効力を発揮すると同時に、日本の市民や企業、規制当局が外国に対して日本と同等の計測器の信頼性を要求してもよいのは当然でしょう。

我が国の製造業が広くアジアに出て行くことは経済合理性の上から止むを得ないことですが、進出した日本企業がそのブランド力を落とさないように、製品の品質を国内産のものと同じレベルに維持することは非常に重要で、多くの企業が死活問題として捉えています。そのとき計測器の精度管理は一つのキーになるものです。途上国のNMIから十分な校正サービスを受けられることは重要なポイントです。国際相互承認が受けられるよう、開発途上国のNMIを支援していくことは意義があり、現在タイのNMIの立ち上げに産総研は全面的に協力しています。

ヨーロッパでは、ISO 9000 シリーズを始めとした品質管理システム規格の中に、計測器の国家計量標準へのトレーサビリティ要求を盛り込み、産業政策として製造業復活の一翼を担わせてきました。我が国も、アジア太平洋地域の中で相互に標準を提供しあって、合理的なトレーサビリティ体系を構築することが構想されてよい段階に至っています。我が国で産総研が中心となって国際整合性が保証され、世界に引けをとらない水準のトレーサビリティ体系ができつつありますので、これをツールとして活用し、我が国の産業と通商を積極的に支援する政策が期待されます。



●産業技術総合研究所  
計量標準総合センターの  
ロゴマーク



# (株)トップテクノ

## 「電解砥粒研磨」が拓く新たな鏡面の世界

### 会社設立の背景

(株)トップテクノは、平成15年6月設立され、同年9月AISTベンチャー企業として認定を受けた会社である。

当社は、世界的に注目されている産総研の電解砥粒研磨をベース技術として、炭素鋼、ステンレス、チタン、アルミニウム、銅、ハステロイなどあらゆる金属の表面を、従来の機械研磨や電解研磨を大幅に上回る能率で高い鏡面に研磨する技術を実現し、事業化している。

この技術は、半導体分野から、バイオ、医療、自動車、あるいは建材用の意匠材料まで、様々な表面研磨のニーズに対応する。

このような技術的背景と今後の市場動向を鑑みて、長年、大手鉄鋼会社で設備エンジニアリングを行って来た原田 典氏が代表取締役となり、産総研OBで電解砥粒研磨研究を

行ってきた清宮 紘一氏と、大学で研磨理論と精密研磨の研究と指導を行って来た河西 敏雄氏が取締役となって、(株)トップテクノ設立の運びとなった。

### 電解砥粒研磨とは

従来からの電解研磨は、電解液中に浸した電極と工作物間に直流の電圧を加えると陽極側の工作物が研磨されるものである。これは工作物表面に粘液層が形成され、この働きによってミクロ的な凸部が凹部より加工速度が大きくなって粗さが次第に改善される(図1)。

これに対して、電解砥粒研磨は、砥粒で研磨しながら、電流密度0.1A/cm<sup>2</sup>程度の直流電流を付加する加工法である。電流密度が低いため、加工表面に厚い不働態皮膜が形成されて金属の溶出が殆ど起こらず加工は進まない。しかし、ここで砥粒擦過によ

りその皮膜が除去されるとその部分では金属の溶出が盛んに起こる。

このようにして、マイクロ凸部を選択的に砥粒が通過するとその部分の電解溶出量が急増するため表面粗さは急速に改善される(図2)。

平面、円筒内外面、自由曲面など、種々の形状に応じた研磨方法があるが、切削加工による平均粗さ1μm程度の表面を数分間で0.01μm以下の、従来の電解研磨では達し得ない鏡面に仕上げることが出来る。研磨条件を整えば平均粗さ0.001μm(1nm)の超鏡面の達成も可能である。

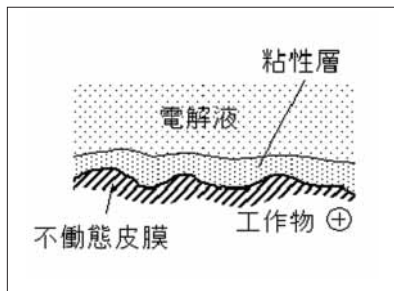


図1 電解研磨の原理

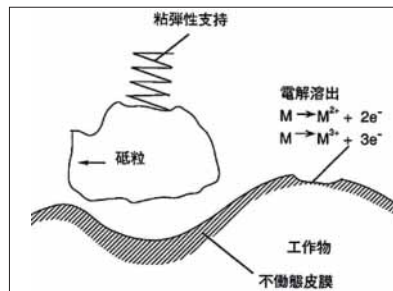


図2 電解砥粒研磨の原理

### 有望な研磨適用例

#### ●半導体・電子部品関連

高純度流体配管継手内面、露光機部品、電子回路用高精細金型等

#### ●バイオ・医療関連

高純度薬液タンク内面、歯科用エタービン、チタンなどの生体材料等

#### ●その他

ナノレベルの鏡面を目標とするステンレス、チタンなどの金属ウエハー

ステンレス薄板・形鋼の表面欠陥除去や機械研磨代替のための高速連続研磨

#### ●非金属用途

非電解法で石英、ガラス、各種セラミックス等

### ●会社概要

企業名 : 株式会社トップテクノ  
 会社設立 : 平成15年6月10日  
 本社 : 茨城県鹿嶋市高原1-4-6  
 つくば事業所 : 茨城県つくば市並木1-2-1  
                   産業技術総合研究所 つくば東事業所内  
 資本金 : 300万円  
 代表取締役 : 原田 典  
 連絡先 : TEL&FAX 029-858-5240  
           電子メール harada@top techno.co.jp  
           URL http://www.top techno.co.jp

### ●主な事業内容

- ①研磨に関わるコンサルティング  
当社と産総研の共同研究による電解砥粒研磨技術を踏まえた研磨技術全般に関わるコンサルティング
- ②研磨設備のエンジニアリング  
研磨設備の計画、設計、製作、工事、試運転、引渡しまでの一連のエンジニアリング業務
- ③研磨加工  
当社とタイアップしてノウハウを熟知したメーカーを起用した研磨加工

## 地域で進めるコーディネータの相互連携

### 経済局と一体となつてのネットワークづくり

産学官連携コーディネータ（九州センター） 安田 誠二

九州センターでは、九州産学官連携センターの拠点を福岡市（福岡サイト）に構え、九州経済産業局と一体となり、大学や企業、産業技術支援機関と協力して産学官連携活動を進めています。ここでは九州経済産業局と連携して産学官連携コーディネータが中心となって進めている「産学官連携活動のネットワークづくり」の一端を紹介します。

#### 福岡サイトを中心とした連携活動

九州地域における産学官連携気運の高まりの中、九州経済産業局の指導の下、実効性・継続性のある産学官連携の実現と、九州全域を網羅した広域連携組織の活動拠点として、2002年4月、福岡市に「九州地域産学官交流センター」が設立されました。ここでの交流イメージを図1に示します。交流センターでは福岡サイトと九州経済産業局産学官連携推進室が一体となって相互に連携を取りながら、次のような3つの主要事業を展開しています。①九州地域の大学や自治体、産業技術支援機関の産学官連携の総合力を発揮する為の総合戦略策定、②シーズ紹介、技術移転、資金調達まで含めた総合的ワンストップサービス及び広域コーディネート、③多様な交流の場の提供。

#### ●九州地域新産業・産学官連携コーディネーター等一覧

九州地域の中小企業からの事業化の目利き人材の相談に対応するた

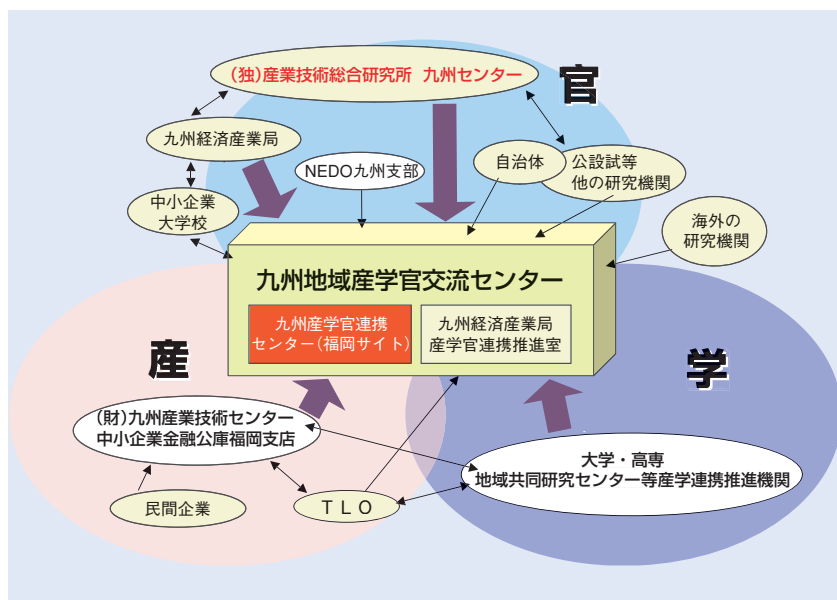


図1 九州地域産学官交流センターでの交流

め、交流センターでは九州の各機関で活動中の250名を超えるコーディネータを紹介する「九州地域新産業・産学官連携コーディネーター等一覧」(図2)を作成し目利き人材探しに利用されます。

この一覧を利用したコーディネータからの相談で九州センターでは対応できず、産総研の他の研究ユニットに取り次いだものに、「光触媒」、「爆発実証テスト」、「噴気地質図」、「製品寿命の計測」、「新規粘土鉱物」などがあります。また、九州センターの研究成果の技術移転について、コーディネータが企業を同伴して共同研究の相談に来訪されたり、提案公募型プロジェクトへの応募のマッチングを図った事例などがあります。このようにコーディネータ間の相互連携によるマッチング成功事例も出て来つつあります。

#### ●ニーズ対応型産学官連携事業

最近の交流センターの新たな試みとして、産学官連携のニーズ把握の段階で金融機関と連携した「ニーズ対応型産学官連携事業」があります。この事業は中小企業金融公庫が取引先の中小企業のニーズを定期的に調査・把握して交流センターに持

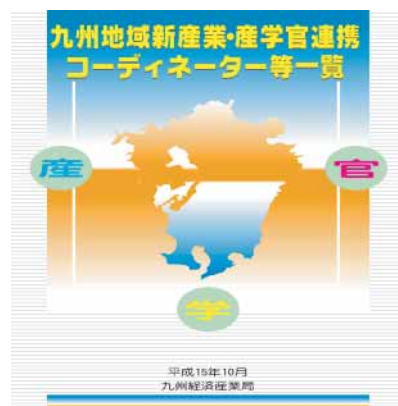


図2 九州地域新産業・産学官連携コーディネーター等一覧の表紙

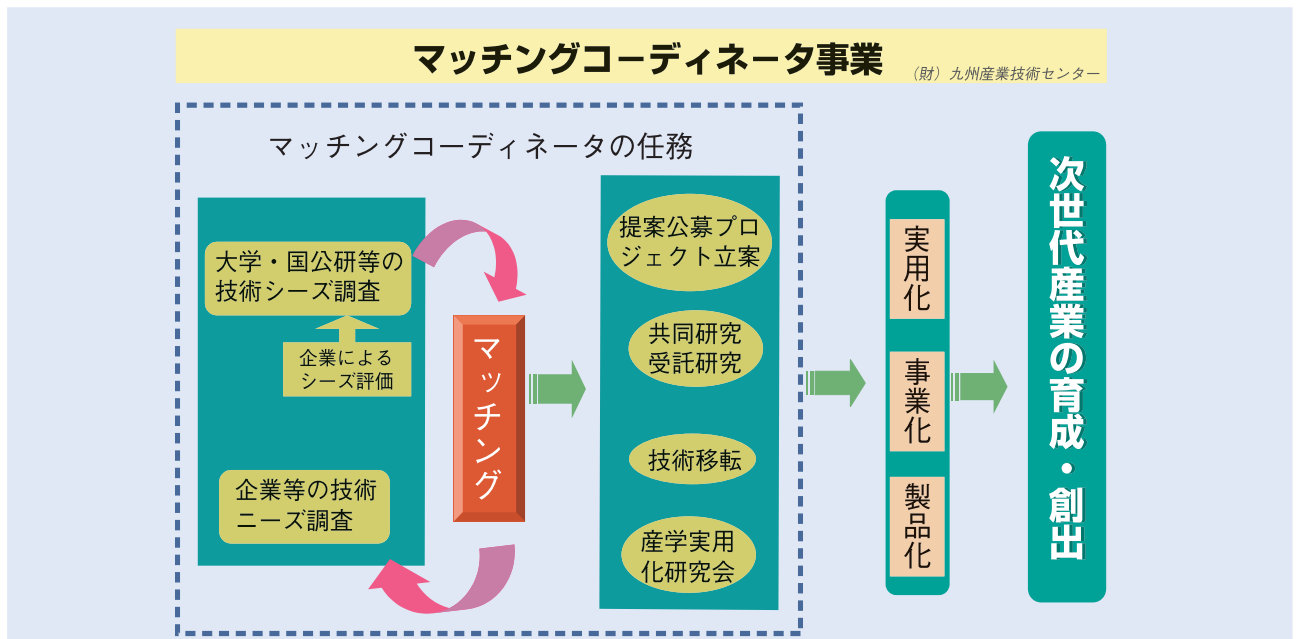


図3 マッチングコーディネータ事業の概要

ち込み、大学や産総研研究者とともに企業を訪問して問題を解決するものです。これまで金融機関は企業に対して販売などの出口で支援してきましたが、この事業は産学官連携の入口から支援するもので、新たな融資に向けた環境が整備されるものと期待されています。福岡サイトも本事業に積極的に関わってヒアリングなどに同行し、中小企業が求める技術課題を調査しております。また、企業秘密とされている中小企業のニーズを的確に把握するためNEDO事業の紹介やつくばの研究ユニットに取り次ぐなどの取り組みを行っています。現在は福岡支店の取引先を中心に進めていますが、これを九州各県の中小企業金融公庫支店に拡大した「九州モデル」の構築を目指しています。

#### ●産学官交流研究会

多様な交流の場を提供する目的で、交流センターの設立当初から毎月第2金曜日に各界の著名な講師を招いて研究シーズや技術移転の成功事例などを紹介する「産学官交流研究会(二金会)」を開催しています。最近では、広範囲の分野から毎回50名を超える参加者があり、その約8

割が民間企業からの参加者で、人的ネットワークの構築に非常に役立っています。九州センターの産学官連携コーディネータが主宰を務めています。

#### ●マッチングコーディネータ活動

九州センターや九州経済産業局が相互に協力して支援している(財)九州産業技術センターの「マッチングコーディネータ事業」について紹介します(図3)。この事業は1997年度から始まったもので、現在は九州全域の大学の産学官連携部門、民間企業、自治体の産業技術支援機関、公的研究機関などの出身者及び現役から18名のマッチングコーディネータが任命され、技術シーズの発掘、企業ニーズ調査、産業実用化研究会の立ち上げ、プロジェクト立案などのマッチング活動を行っています。これまでに584件の技術シーズを発掘・評価し、154件のマッチングに成功し、提案公募型プロジェクトへの応募・採択、共同研究、製品化・事業化に発展しています。

九州センターの成果の最近のマッチング成功事例として、地域新生コ

ンソーシアム事業での「医療・環境分析用マイクロフローチップの開発」(15年度)や「マイクロ化学プラントを用いた焼酎蒸留残さの有効利用技術開発」(14年度)などの採択があり、共同研究(15年度)では「半金属の新規分離材の開発と応用に関する研究」(K社)や「窒化アルミニウム圧電薄膜材料に関する研究」(D社)などがあります。

このように地域センター単独ではコーディネート活動の範囲が限られますが、地域経済局と一体となって、地域の他の機関とのネットワークをうまく活用することによって、技術移転の可能性が大きく広がるものと期待しています。

#### お問い合わせ

九州産学官連携センター福岡サイト  
〒810-0022  
福岡市中央区薬院 4-4-20  
● TEL : 092-524-9047  
● FAX : 092-524-9010

産学官連携コーディネータ 安田  
〒841-0052  
鳥栖市宿町 807-1  
産業技術総合研究所  
九州センター  
● TEL : 0942-81-3618  
● FAX : 0942-81-3690  
● E-mail seiji-yasuda@aist.go.jp

## 特許

特許第 3044225 号 (出願 1998.11)

# 光テコ方式AFM変位センサーの高感度化

●関連特許 (登録済み: 国内 1 件、国外 1 件、出願中: 国内 5 件)

### 1. 目的と効果

AFM (原子間力顕微鏡) において、ピンホールの取り付けのみで、光テコ方式AFM変位センサーが高感度化出来ます。また関連特許の技術を組み合わせれば、センサーをマイクロスケールにまで小型化出来ます。さらに、凹面鏡をマイクロカンチレバーに搭載することが出来れば、更なる高感度化が可能で、pm (ピコメートル:  $10^{-12}$ m) 分解能を達成出来ます。この変位センサーは試料の角度変化を検出していますので、角度センサーとしても使用出来ます。角度決め装置の正確な動作にも貢献します。

[適用分野]

- 原子間力顕微鏡 (AFM)
- 走査型プローブ顕微鏡 (SPM)
- 精密角度決め装置 (望遠鏡のステージなど)

### 2. 技術の概要、特徴

反射光を用いて反射面の角度変化を検出する方式の光学的な高感度化技術です (図 1)。反射光の発散角の制御により、反射光の位置検出器である 2 分割フォトダイオード上の反射光の大きさを制御します。単位角度変化当たりの 2 分割フォトダイオード差分出力すなわち角度検出感度及びダイナミックレンジは反射光の大きさにそれぞれ比例及び反比例していることから、反射光の発散角の制御により感度とダイナミックレンジが制御できます。光反射方式角度検出計において 2 分割フォトダイオードの代わりに 4 分割フォトダイオードを用いれば 2 方向の角度変化が検出できますが、本発明は 2 方向ともに適応されます。反射光の発散角を制御する方法として、入射光の収束角と反射光の発散角は同じであることを利用して、入射光にピンホールを入れて入射光の収束角を制御することにより実現しています。また、反射面に凹面鏡を設置して反射光を集光して、その曲率を制御することにより発散角を制御しても実現されます (図 2)。

### 3. 発明者からのメッセージ

最近広く普及してきた AFM (原子間力顕微鏡) において、非常に簡便な部品取り付けのみで、光テコ方式AFM変位センサーが高感度化出来ます。マイクロカンチレバーへの凹面鏡取り付け (作り込み) 技術が確立されれば、更なる高感度化が可能となりますので、一緒に開発出来る方を同時に広く募集したいと思います。

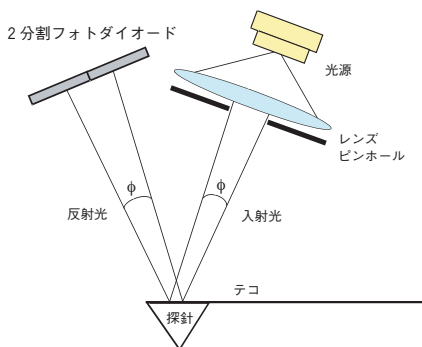


図1 ピンホールを使用した高感度化の原理図

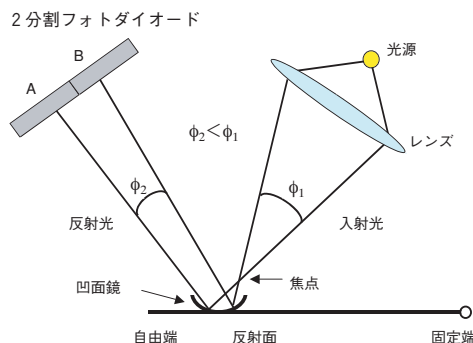


図2 凹面鏡を使用した高感度化の原理図

# 特許

特許第 3416731 号 (出願 2000.5)

## 宇宙用伝熱装置

### 1. 目的と効果

本発明は、特異な性質を有する水溶液を作動媒体として用いた軽量、高性能なヒートパイプ型伝熱装置です。当該流体を用いることにより、宇宙（無重力）環境下では従来のヒートパイプで使用されていたウィックが不要となり、さらに容器壁面の親水性処理により、性能向上も可能となります。通常の溝状ウィックを有するヒートパイプに比べて、本発明のヒートパイプは最大で60%程度軽量化でき、構造も簡単で製造コストを低減できます。一方、地上の応用においても、通常のヒートパイプ構造で、従来の水を用いたヒートパイプに比べて熱輸送量の増大を図ることができます。

[適用分野]

●宇宙用熱制御機器

●地上用冷却デバイス

### 2. 技術の概要、特徴

本発明では、作動媒体として炭素数が4を超える高級アルコールの希薄水溶液を用いることを特徴としています。これらの水溶液では、表面張力が温度の上昇と共に増大する特異な性質を有し、またアルコール成分が選択的に蒸発するため、温度差マランゴニ効果と濃度差マランゴニ効果が相乗的に作用する結果、特に無重力環境下では、凝縮部から蒸発部への液の自発的循環が著しく促進されます。さらに、蒸発部壁面を親水性に、凝縮部壁面を疎水性に処理することによって、液の循環を更に促進することも可能になります。本発明により、除熱能力に優れ、軽量の宇宙用冷却システムを構成することが可能となります。また、本発明のポイントである相乗的なマランゴニ効果は、無重力環境ばかりでなく、地上の応用においても、ヒートパイプの除熱能力の向上に有効に作用するため、現在電子機器等の冷却技術に使用されている水を用いたヒートパイプにとってかわる可能性も期待されます。

### 3. 発明者からのメッセージ

本技術はすでに、無重力環境での基礎実験を経て実証段階にあり、また地上技術としての応用テストも進めております。実際の組み込み機器がわかれば共同研究により製品化まで協力させていただきます。製品化についての支援制度もございますので、お問い合わせください。

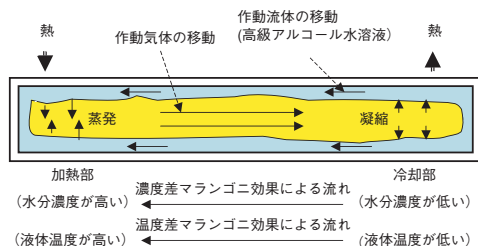


図1 本発明のウィックレス・ヒートパイプの概念図

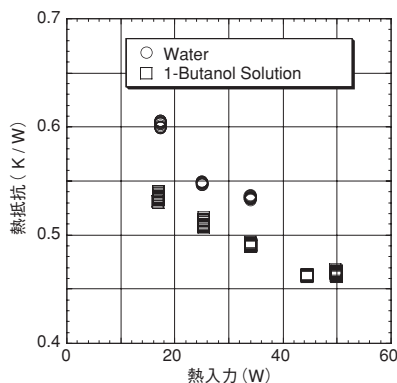


図2 通常ヒートパイプにおける熱除去特性の比較の例 (水および1-ブタノール水溶液: 水に比べて除熱限界が増大し、熱抵抗が低下している)

— 電力エネルギー研究部門 —

PATENT

●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 029-861-5210  
FAX 029-861-5087  
E-mail:  
aist-innovations@m.aist.go.jp

## OPEN LASER・標準器開発の一つの試み

計測標準研究部門 石川 純

### OPEN LASERの開発

ヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザの波長の不確かさは、 $2 \times 10^{-11}$ である。これは現在の、そしておそらくは将来にわたる産業界の要求を完全に満足するものである。さらに、ヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザは実用面で最も優れているので、現在長さ標準として用いられている唯一の分子吸収線波長安定化レーザである。ヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザの直面する最も大きな問題は、最上位の標準であるが故の需要の少なさである。これまで、内外のいくつかの企業でヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザが製品化されたが、需要の少なさから製造技術の維持、修理・メンテナンスの実施は困難に直面している。需要の極めて限られたヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザの安定した運用・維持を実現するための一つの試みが、今回紹介する「OPEN LASER」である。

OPEN LASERの名称は、すべての技術情報を公開すること、手を入れやすい開かれた構造であることに由来する。設計にあたって課した条件は、

1. 標準器として必要とされる性能

(絶対波長、不確かさ、安定度)を持つこと

2. 修理・調整が容易であり、若干のトレーニングでユーザー自らが行えること

3. 使用する部品はできるだけ入手が容易なものを採用する

の3点である。

写真1は、OPEN LASER本体である。本体の大部分はアルミ材が用いられており、形状も単純で加工は容易である。レーザの共振器長は温度の影響を受けないことが求められるので、この長さを決定する部分にのみインバー（低熱膨張金属）を用いている。レーザ本体の形状は、機械的安定性と分解・組立・調整の簡便さに配慮して決定した。写真2は制御装置である。ヨウ素分子吸収線の探索、波長安定化という必要な機能にとどめた。回路のテストポイントに、容易にプローブを当てるために、基板は重ならないように配慮した。使用した電子部品類はすべて汎用品であり、入手は容易である。なお、OPEN LASERの技術情報は、産総研計量標準モノグラフ<sup>1)</sup>で公開した。

### 開発の経緯と今後の予定

OPEN LASERの開発は、2000年の

秋、タイ王国標準研究所の Anusorn 氏が研修のために滞在したことにさかのぼる。当初、研修の目的はヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザを用いたレーザ波長校正技術の習得であり、ヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザの内部理解については想定していなかった。しかし Anusorn 氏は、ヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザをブラックボックスとして扱うのではなく、内部を理解することを強く希望した。その要望をきっかけとして開発したのが OPEN LASER である。OPEN LASER の一号機は、タイ王国標準研究所に導入された。

当初は研修のために開発した OPEN LASER であるが、ユーザー自身が分解・組立・調整を行えるということは、長年の懸案であった維持管理の問題解決が期待され、新しい標準器としてさらに改良を進めている。また OPEN LASER を、産業技術総合研究所成果物として、研修と併せて普及させることを計画している。

1) 石川純、「CIPM 勧告準拠 633nm ヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザの設計と製作」、産総研計量標準モノグラフ第2号(2003年3月)

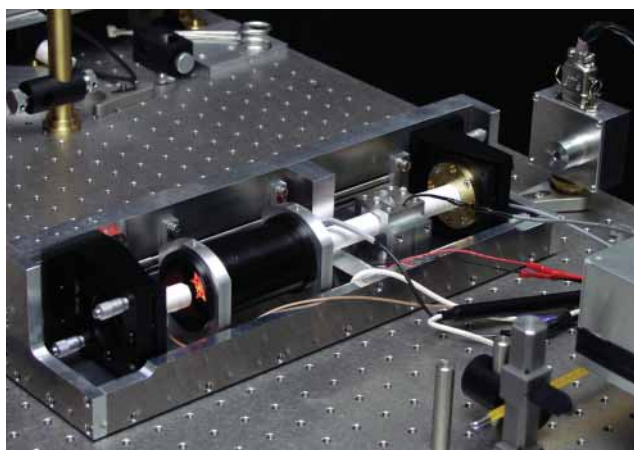


写真1 製作・組立・調整が容易であるレーザヘッド



写真2 回路の理解、調整に配慮した制御装置

# ポリスチレン分子量標準物質

計測標準研究部門 衣笠 晋一

## 標準物質の開発にあたって

計測標準研究部門において新たに高分子分子量標準物質「NMIJ CRM 5001-a Polystyrene 2400 (ポリスチレン2400)」及び「NMIJ CRM 5002-a Polystyrene 500 (ポリスチレン500)」(写真)が開発され、供給される運びとなった。これらの標準物質は、①標準物質生産に求められる品質システム下で生産された認証標準物質であること、②特性値が極めて正確に値付けされていること、③平均分子量だけでなく分子量分布も認証されていること、などの特長をもっている。

プラスチックなどに代表される合成高分子は、モノマーといわれる繰返し化学構造が何百と鎖状につながって出来上がっている巨大分子である。その諸性質は、どれだけ大きな分子(どれくらいの分子量)であるか、あるいは、どれくらいの割合で大小の分子が混ざっている(どんな分子量分布をもっている)かによって左右される。もし高分子物質の諸性質をコントロールするには、合成された物質の分子量分布を正確に知り、コントロールする必要がある。

分子量分布を知るためにはサイズ

排除クロマトグラフィー (SEC、GPC) や光散乱などの測定を行えばよいが、これらの測定装置が正しく動作しているのか、操作する人の測定技量は適切なのかをあらかじめよく知っておくことが大切である。その目的のために以前から非常に多くの高分子の分子量標準物質が国内外で市販されてきている。しかし、優れた標準物質がある一方で、多くの市販標準物質には公称値の信頼性がほとんど保証されていないという問題点がある。標準物質を購入し実際に測定してみると公称値が随分ずれていたり、逆に使う人もそれを承知で使っている場合がある。これでは真の意味での「標準」物質とはいえない。このたびの標準物質はこのような背景があって開発に着手されたものである。

## 標準物質の特長

ここで紹介するポリスチレン2400、あるいは500の最大の特長は、分子量分布が認証されていること、つまり含まれている各重合度成分の含有率が正確に決定されていることである(図)。分子量の分布が分かっているため平均分子量も正確に決定される。多く含まれている成分の含

有率については数%の相対不確かさで決定されている。これらの含有率は超臨界流体クロマトグラフィーにより各重合度成分を分離することで決定されたものである。しかし、クロマトグラムの面積比率から単純に含有率を決定したのではなく、検出器の応答がどのように分子量に依存するかをあらかじめ実験的に決めておき、それをもとに補正を行っている。

## 標準物質の応用

分子量分布と平均分子量が正確に決定されているので、MALDI-TOFMS (マトリックス支援レーザー脱離飛行時間型質量分析) など分子量分布計測法の精度の高い性能評価や技能試験にこれらの標準物質を利用することができる。また、その他、従来のSEC法の校正に用いることはもちろん、光散乱検出などの新しい検出法に対して詳細な性能評価が行える。

当部門ではこれらの標準物質に続き、今後もニーズに合った特長ある高分子標準物質を開発していく予定である。そのためには分析現場からの声を反映することが大切であり、各方面からの意見を期待している。



写真 高分子分子量標準物質

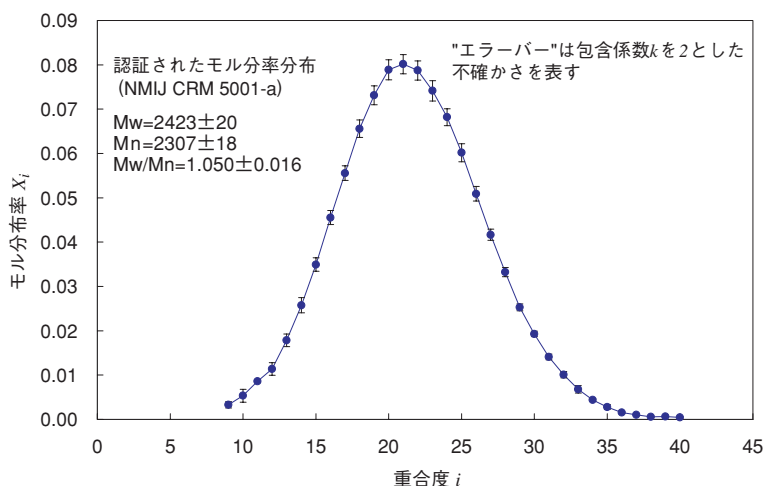


図 認証標準物質 PS2400 の分子量分布

# 鉱物資源情報整備の経緯と現状-アナログからデジタルへ

地図資源環境研究部門 須藤 定久

## 鉱物資源とは

鉱物資源とは、私達が利用する資源のうちで鉱物質のものの総称である。地下資源と呼ばれるものの多くは鉱物資源で、金属(金・銅など)、非金属(石灰石や粘土など)、エネルギー(石炭・石油・ガス)、骨材(砂利や碎石)資源などがある。今回は金属・非金属資源について紹介する。

明治以降、日本近代化の原動力となったのが銅の輸出であり、戦後復興の牽引車の一つは陶磁器(粘土)の輸出であった。このように鉱物資源は近代日本を支えた20世紀の主人公であった(図1)。

## 情報の取得と整備の流れ

戦後、旧地質調査所が中心となり金属・非金属の広域調査が数多く行われ、多くの情報が集積された。1960年代には金属鉱物の基礎探査事業は金属鉱業事業団へと引き継がれた。その後旧地質調査所の研究は、探査の先端を担う学術研究と情報の整備・解析へと特化した。

戦後の調査による資源情報を整理し、新たな探査や学術研究の基礎にしようという試みが1994年に「50万分の1鉱物資源図の刊行・データベース化」のプロジェクトとしてスタートし、1995年北から始まった資源図の刊行も本年度で九州まで進み(図2)、残すは南西諸島のみとなった。

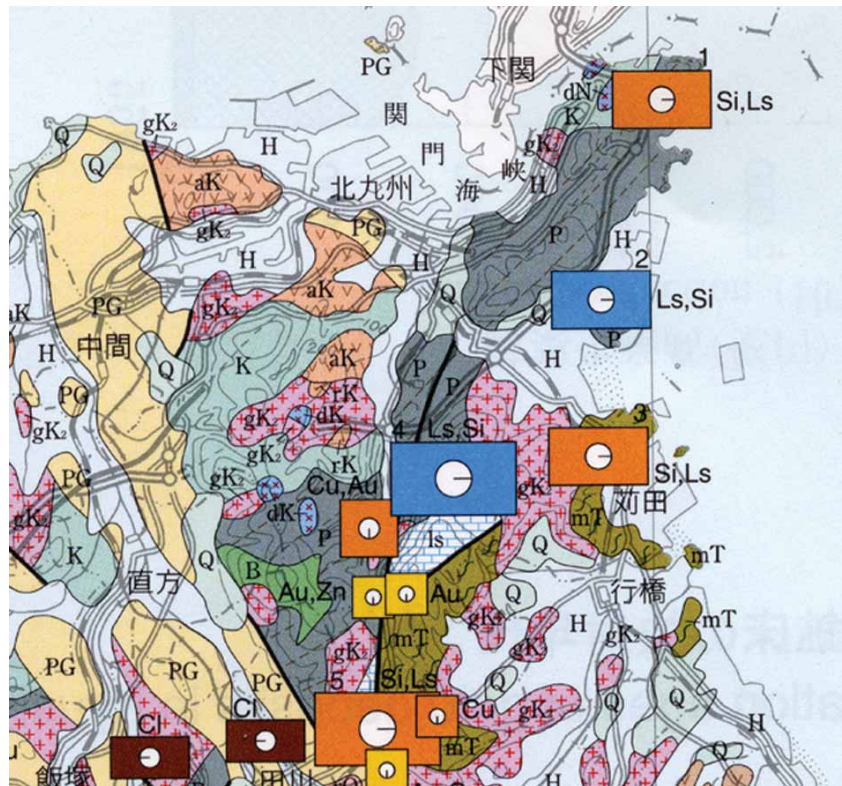


図2 鉱物資源図「九州」の一部。北九州は巨大な鉱業地帯でもある。

## 変わる社会的要請

鉱物資源図の発行は足かけ10年もの年月を要することとなった。この間、経済環境の変化に伴い、鉱物資源の多くは輸入資源となり、国内探鉱の意欲は失われつつあり、アナログからデジタルへと移行を目指す鉱物資源情報への社会的要請も大きく変わってきた。

資源探査のための要請は減少、その一方で国土の保全や国土開発と環

境保全の調和をはかるための基礎資料としての期待が寄せられるようになってきている。例えば、「○○地区でトンネルが建設される。資源図を見ると、昔鉱山があったらしい。詳しい情報は？掘削すると重金属汚染が起こらないか？」といった問い合わせが多くなった。

## 新たな期待に応えて

紙によるアナログ出版からデジタル情報の発信へと進む鉱物資源情報の今後の整備にあたり、社会的要請を踏まえ、①鉱物資源情報の国民への還元(ネットで開発と環境保全の基礎資料を地域や教育現場へわかりやすい情報として配信)、②国際協力への貢献(国際協力によるGIS対応データベースの構築を北東アジアから東南アジアへと広げる)、③詳細情報の整備・活用(鉱物資源情報を基礎に、国土・環境保全にも役立つ情報として整備)を目指す。

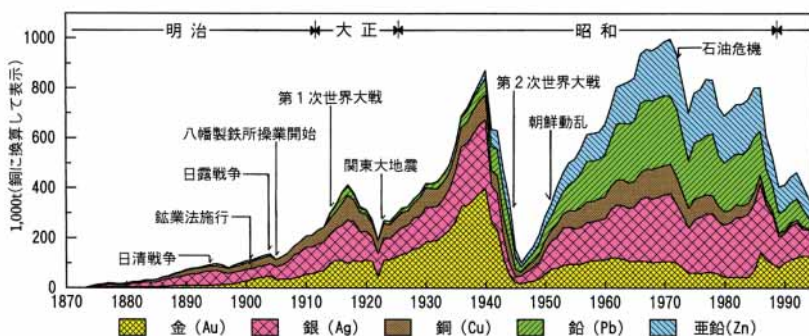


図1 日本の重金属の生産推移。日本の20世紀を象徴的に示している。



# 多拠点遠隔協働システム・アクセスグリッド

グリッド研究センター 首藤 一幸

## アクセスグリッドとソフトウェア

アクセスグリッド(図1)は、高速ネットワーク越しに、多拠点にまたがる大規模な協働空間を作り出そうという、世界中から多数の研究者が参加しているプロジェクトである。研究プラットフォームであるアクセスグリッドノード(図2)は一般的なPC1台から3、4台とアクセスグリッド基本ソフトウェア、ビデオカメラなどから構成され、これが数十以上の多拠点でのビデオ会議機能を提供する。2003年12月時点で、200を超える組織がノードを有し、仮想の「ロビー」に入ると、常時40前後のノードからの映像を見ることができ

る。一対一接続を基本とする通常のビデオ会議機器では、MCU(多拠点接続装置)を経由して接続できる拠点数はせいぜい20前後であり、しかも全拠点からの動画像が一画面に収められてしまう。それに対してアクセスグリッドでは、全拠点が他の拠点のすべての動画像を完全な品質で受信し、複数の画面上に自由に配置で



図1 アクセスグリッド

きる。また、一般的なPCとLinuxやWindowsという組み合わせでノードを構成するため、出力画面数などの拡張や、ソフトウェアの改良、新規開発が可能であり、研究のプラットフォームに適している。例えば、多拠点で同一のスライドを閲覧するDPPT、RPPTといったソフトウェアがアクセスグリッド用に開発されてきた。

## ネットワーク上での協調作業

研究コミュニティの活動が活発であることも、通常のビデオ会議機器とは大きく異なる点である。日常的に、アクセスグリッドを用いた遠隔会議や講演会が開催されている他、科学計算の可視化結果をネットワーク越しに共有、操作しての協調作業などが試みられている。

また、演技の共演、宴会など、人間のインフォーマルかつインタラクティブな活動への適用も試みられている。このように、10年前は夢や構想でしかなかった遠隔地、多拠点間での協働が、アクセスグリッドプロジェクトによって、今や様々な形で現実のものとなってきた。

当研究センターでは、早くからプロジェクトに参加し、特にアジア太

平洋地域のイニシアチブをとってきた。また、ポータブルで、かつ完全な機能を備えたノードDelivery Grid(図2)を開発した。このノードは、産総研ベンチャー企業の認定を受けた(株)グリッド総合研究所が我々のノウハウを利用して、製造、販売を行っている。

## グリッド上の国際会議 SC Global

高性能計算と高性能ネットワークの国際会議SCの一部として、アクセスグリッドを用いた分散国際会議SC Globalが過去2回開催されてきた。昨年11月のSC Global 2003において、我々はアクセスグリッドのエンターテインメント応用の例として分散カラオケセッションを開催した。米国の主催場の他に、(株)エクシングの運営する埼玉県蕨市のカラオケボックスと早稲田大学にアクセスグリッドノードを用意し、太平洋をまたいで多国籍カラオケ合唱を実施した。欧米、オーストラリア、タイなど5ヶ国から20数サイトの参加、歌唱があり、セッションは大成功であった。

今後も日常生活を支える新たな技術として、グリッドのあらゆる面に対して研究開発を進めてゆく。

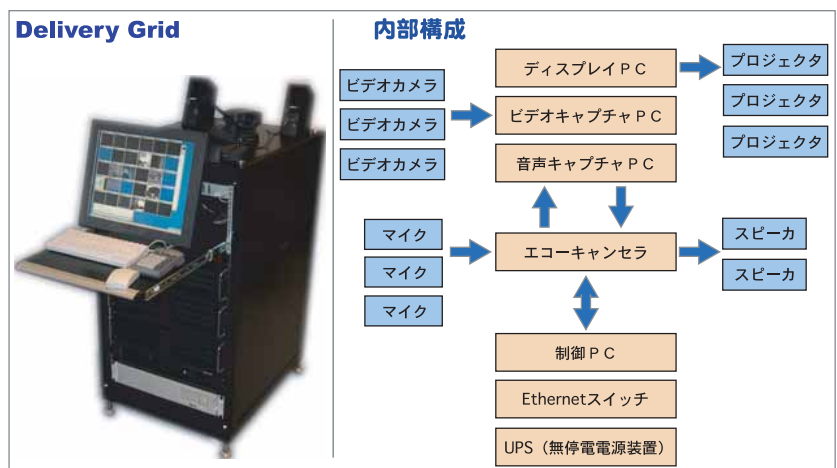


図2 ポータブルかつ高機能なアクセスグリッドノード

## EUビュスカン委員つくばセンター来訪

2003年12月5日、フィリップ・ビュスカン欧州委員会委員（科学・研究開発、共同研究センター担当）が、つくばセンターに来訪されました。

小玉副理事長から産総研の概要説明を行い、続いて地神糖鎖工学研究センター長から糖鎖工学研究、ナノテクノロジー研究部門 山崎主任研究員からDrug Delivery研究をそれぞれ紹介しました。その後、知能システム研究部門の研究室を訪問し、フランス語で挨拶をして歩行するヒューマノイドロボットのデモンストレーションを視察されました。最後にEU側から、「全ての説明について、どれもとても印象深い内容であり、大変感謝している。今後ヨーロッパの研究機関との協力を積極的に進めて欲しい。」とのコメントを頂きました。



## 産総研・水素エネルギーシンポジウム開催

2003年11月28日、機械振興会館ホールにおいて、産総研における水素エネルギーに係わる研究成果を広く一般の方々に紹介するため産業技術総合研究所・水素エネルギーシンポジウムを開催し、企業を中心に約200名の参加者がありました。



経済産業省及びNEDOからの挨拶、産総研の研究開発の概要紹介、横浜国立大学 太田教授およびトヨタ自動車株式会社 河合氏の招待講演の後、産総研の研究者から水素の製造、貯蔵、安全およびシステムに関する研究開発状況について報告しました。また休憩時間には、研究者と参加者が直接コミュニケーションする機会がもてるように、ポスターによる研究紹介も行いました。水素エネルギーに関してほぼ全ての分野について、精力的に研究開発を進めている我が国唯一の機関である産総研の特徴を紹介する事ができたと思います。参加者からは「来年も続けて開催することを期待する」との要望を頂戴し、感謝の念とともに責任の重さを痛感しました。

## 四国センター一般公開

2003年12月6日、四国センターでは一般公開を行いました。

本年度の公開は隣接する香川最大のイベント会場のサンメッセ香川で開催された「かがわ県産品フェスタ2003」に合わせ開催したため、家族と共に楽しめる見学型公開実験を中心としたプログラムを用意しました。また、産総研が開発し、ギネスが癒し効果世界一と認定したアザラシ型ロボット“パロ”の展示デモを行い、“パロ”との記念写真をオリジナルうちにプリントして差し上げました。“パロ”の効果は絶大で、そばから離れない小学校低学年の女の子や、柔和な笑顔のお年寄りの姿が印象的で、癒し効果を垣間見た感がしました。



今回の公開の目的は地域住民に四国センターの存在を再認識してもらうことでしたが、300人余りの来場者があり、その目的が十分に達せられた意義ある公開となりました。

## 第2回「持続可能な消費」国際ワークショップ開催

2003年12月12日～13日、東京国際展示場国際会議室において（社）未踏科学技術協会、産総研ライフサイクルアセスメント研究センターが主催する第



2回「持続可能な消費」国際ワークショップが開催されました。エコプロダクツ2003展の関連行事という位置づけで、共催として、国連環境計画（UNEP）、グリーン購入と持続可能な消費国際フォーラム実行委員会、日本経済新聞社などが名前を連ねました。

「持続可能な消費に向けた指標開発とその活用に関する研究」プロジェクトの中で、「持続可能な消費」の具体例を収集し、研究の枠組みを考えるために、2003年3月に東京で第1回国際ワークショップを開催しましたが、今回は、その後のプロジェクトの進捗状況を報告するとともに、「持続可能な消費」の実践に向けてどのように取り組むべきかを議論し、275名の参加者による積極的なディスカッションが行われました。特にアジアからはフィリピン、インドの現状報告と課題が報告され、アジアでの持続可能な消費の難しさが浮き彫りにされました。



## 産総研一般公開のお知らせ

### ■東北センター

日時：2004年2月19日(木) 10:00～16:00  
場所：〒983-8551

仙台市宮城野区苦竹4-2-1

問い合わせ先：

東北産学官連携センター

TEL 022-237-5218

E-mail t-koho@m.aist.go.jp

### ●研究紹介・展示コーナー

#### ■メンブレン化学研究ラボ

パラジウムと水素が拓く新たな合成反応  
ビールを入れるとウォッカがでてくる…不思議な膜  
有害イオンを目で測ろう！

200万枚の結晶を重ねた厚み0.03mmの膜

#### ■超臨界流体研究センター

二酸化炭素からプラスチック原料を創る

水でナノ粒子

ポンプなしで流体を循環させる

#### ■基礎素材研究部門

原子レベルで平坦化！金属材料の長寿命化と環境負荷低減  
光触媒用3次元Si/SiCフィルター

#### ■セラミックス研究部門

光触媒を使って色水を透明にしよう！

ナノメートルサイズの細孔を利用した調湿建材(セラミックス)

### ●移動地質標本館

東北地方の鉱石・化石

宮城県を活構造と地震

### ●「東北産学官連携研究棟(とうほくOSL)」

#### ■紹介

#### ■環境にやさしい「とうほくOSL」

「とうほくOSL」は、自然エネルギーを利用する管理  
設備を備えた環境と経済性に配慮した建物です。本施設  
の特徴を模型と展示パネルでご紹介します。

同時開催

### 「東北産学官連携研究棟(とうほくOSL)」

#### ■オープン記念式典

14:00-14:50 記念式典

15:00-16:00 記念講演「科学技術創造立国への課題」

阿部 博之氏

(総合科学技術会議議員/東北大学名誉教授)



## 新刊のご案内

産総研シリーズ

# エコテクノロジー

— 化学物質のリスク削減技術 —

有害化学物質の排出低減技術、浄化・修復技術および計測技術について、環境管理研究部門で現在進めている研究を紹介。また有害化学物質を取り巻く背景や一般的な対策技術について解説しています。



- 独立行政法人産業技術総合研究所 環境管理研究部門編
- 丸善株式会社 発行
- 本体価格 1,500円+税
- 2004年3月上旬発売予定

#### 目次

- 第1章 我々を取り巻く環境問題と化学物質のリスクと管理
  - 1.1 環境問題の変遷
  - 1.2 有害化学物質とは
  - 1.3 化学物質によるリスクの削減
- 第2章 公害問題とその対策技術
  - 2.1 従来型公害問題
  - 2.2 有害化学物質対策の現状
  - 2.3 環境計測技術の現状
  - 2.4 環境評価・対策の新展開に向けて
- 第3章 最新の化学物質リスク削減技術
  - 3.1 太陽光や電灯の光でできる空気の浄化
  - 3.2 稲妻を利用した有害大気汚染物質の浄化技術
  - 3.3 電子レンジを利用したガスの回収
  - 3.4 ディーゼル排ガスをきれいにする
  - 3.5 微生物の働きで窒素と有害化学物質を同時に処理する
  - 3.6 オゾン利用による快適水環境の創造
  - 3.7 資源として重金属を回収できる排水処理
  - 3.8 環境を浄化する植物
  - 3.9 マイクロバブルの不思議な力
  - 3.10 有害化学物質を手軽に測る
  - 3.11 環境診断——名医のツール

既刊 産総研シリーズ 〈本体価格 1,500円+税〉

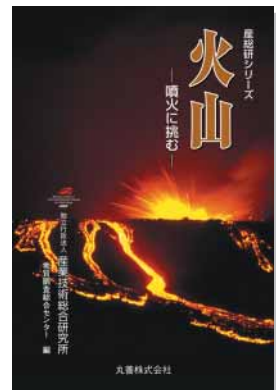
- デジタル・サイバー・リアル — 人間中心の情報技術 —
- 光 — 未来への新たな挑戦 —
- ポストゲノム — ライフサイエンス最前線 —
- 知能システム技術 — コンセプト志向の発想 —
- エネルギーエレクトロニクス — 新しい電力供給システムを創る —

## 火山

— 噴火に挑む —

#### 目次

- 第1章 活動的火山の研究とは
- 第2章 有珠火山
  - 規則正しい噴火活動とそのメカニズム —
- 第3章 三宅島火山
- 第4章 進化する富士山
- 第5章 雲仙科学掘削：活火山の解剖



全国の書店でお買い求めください

期間	件名	開催地	問い合わせ先
<b>2 February</b>			
～7月23日	TEPIA 第16回展示「ロボットと近未来ホーム ～日本を元気にする新技術～」	東京	03-5474-6128
4～6日	システム検証の科学技術シンポジウム	大阪	06-6494-7868●
5～6日	第8回「震災対策技術展2004」	横浜	03-5775-2855
6日	平成15年度産業技術総合研究所九州センター研究講演会 「マイクロ・ナノテクノロジー&実環境フロンティア計測」	福岡	0942-81-3606●
6日	産総研・光反応制御研究センター 第3回研究発表講演会 －21世紀を拓く光反応制御技術－	つくば	029-861-4688●
6日	バイオマス講演会	広島	0823-72-1903●
6日	中部の技術シーズ普及講演会 ー産総研中部センター技術普及講演会ー	四日市	052-736-7063●
9日	東海ものづくりクラスターフォーラム2004	名古屋	052-951-0519
16日	第6回「新・省エネルギーシンポジウムinかんさい2004」 ～環境時代における地域エネルギー～	大阪	06-6945-4575
19日	一般公開（東北センター）	仙台	022-237-5218●
19日	「東北産学官連携研究棟（とうほくOSL）」オープン記念式典	仙台	022-231-7421●
23日	第2回環境バイOWERキングセッション	熊本	092-482-5442
26日	AIST・「産学官」交流フォーラム 第9回ものづくり先端技術/ナノスケール加工	東京	06-6763-3242
<b>3 March</b>			
3日	第3回界面ナノアーキテクトニクスワークショップ	つくば	029-861-4460●
9～10日	「第4回人間行動適合型生活環境創出システム技術プロジェクト」シンポジウム	東京	06-6221-1668
15～16日	First International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology	東京	029-861-9354●
17日	平成15年度産業技術総合研究所東北センター研究講演会 －無機膜を利用したグリーンプロセスの開発－	仙台	022-237-5218●
26～29日	9th International Conference on New Diamond Science and Technology(ICNDST-9)	東京	03-3508-1222
<b>4 April</b>			
27～28日	グリッド協議会2004年度総会及び記念シンポジウム	東京	029-861-5881●
<b>5 May</b>			
20～21日	第2回人工筋肉コンファレンス「バイオメテックシステムエンジニアリングへの展開」	池田	072-751-9180●

**AIST Today**  
**2004.2 Vol.4 No.2**  
 (通巻37号)  
 平成16年2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 成果普及部門広報出版部出版室  
 〒305-8563 つくば市梅園1-1-1 中央第3  
 Tel 029-861-4128 Fax 029-861-4129 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/>