ISSN 1880-0041

産総研 TODAY

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

09
2006 September
Vol.6 No.9

特集

02 次世代医用計測　人に優しい医療技術をめざして

18 一般公開報告
特別講演 / 中村 修二 教授

トピックス

26 単層カーボンナノチューブで高強度繊維の紡糸に成功
後処理なしで工業材料として高品位な単層ナノチューブ製造技術を確立

リサーチ・ホットライン

28 水だけを使った PET のケミカルリサイクル技術
30 熱設計に必要な全ての熱物性を 1 秒以内に測定
32 原子力発電所用大口径流量計の高精度校正設備

パテント・インフォ

34 PVA から炭素材料を製造する新方法　低環境負荷高分子材料の実用化に貢献
35 新領域の利用を拓く小型 X 線発生装置　放射光並みの X 線光源をテーブルトップで実現

テクノ・インフラ

36 臭素系難燃剤含有ポリスチレン標準物質　RoHS 指令に対応した認証標準物質の頒布を開始
38 ヒ素化合物分析用タラ魚肉粉末標準物質　精確なヒ素化合物形態分析のための標準物質

National Institute of
Advanced Industrial Science
and Technology
AIST

技術を社会へ
Integration for Innovation

次世代医用計測
人に優しい医療技術をめざして

守谷 哲郎・池田 喜一
産学官連携推進部門

社会と医用計測

わが国の総人口は1億3千万人に近づき、世界第9位(2000年の統計)になっています[1]。その内容で見ると、特に65歳以上の高齢者の割合が高く、高齢化率は、現在（2004.10.1)、19.5％となり世界第1位です。そのような中で、身体機能の低下が著しく罹患率も高い75歳を超える後期高齢者の増加は、医療費の増大を招くことから国費が圧迫される事態を招いています。

さらに、主要死因別にみた死亡率の年次推移（図1）によると、悪性新生物（がん)、心疾患、脳血管疾患の三大成人病が上位を占めているのがわかります。それらは食事の欧米化や運動の不足によるものと考えられ、その予防策の第一に、病巣の早期発見、早期診断があげられています。

産総研が第2期研究戦略に、総力を挙げて取り組むべきアウトカムを想定した研究開発として、ライフサイエンス関連では「健康長寿で質の高い生活の実現」を挙げているのは、このような背景を十分踏まえたものです。さらに、医療福祉関連技術を生活の質（QOL）の向上の視点からみる（図2参照）と[2]、その基盤に生命支援技術（代替技術、治療技術、診断技術)、続いて生活支援技術（自立支援技術、介護支援技術)、そして最も高いところに社会参加支援技術（就労支援技術、娯楽支援技術）が示されています。この特集で紹介する医用計測はその基盤に位置付けられる技術です。

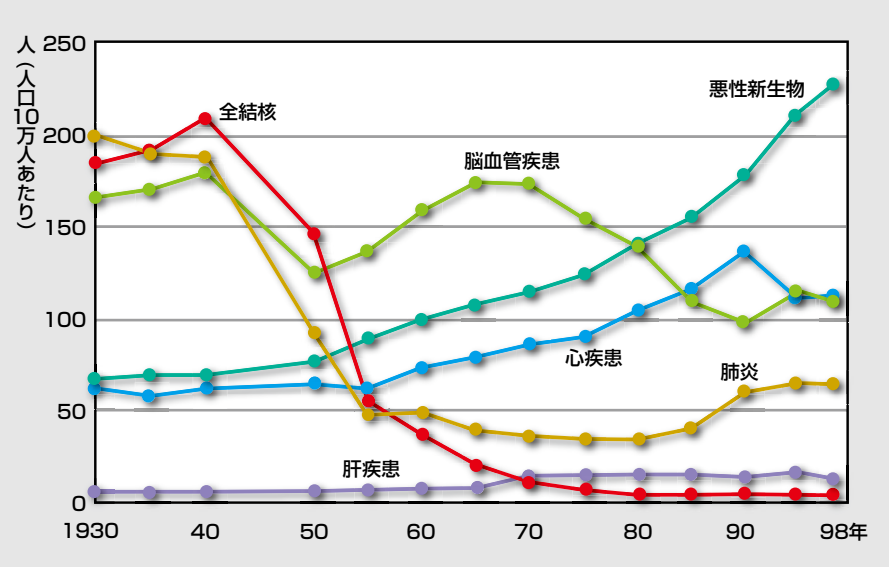


図１　主要死因別にみた死亡率の年次推移（総務省の公表データから作成）

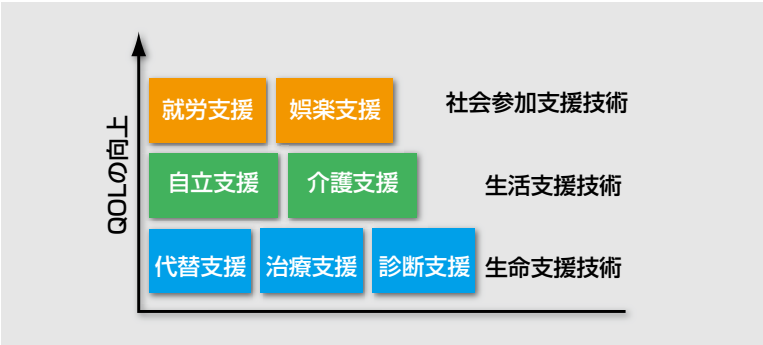


図２　ＱＯＬの向上からみる医療福祉関連技術（技術研究組合医療福祉機器研究所研究報告から）

研究開発の戦略性

欧米に対する製品の競争力が強く、技術革新力が強いと分析されているわが国の技術として、内視鏡、Ｘ線CT、PET、超音波診断装置、人工呼吸器などがあげられます。これらの技術力は、民間企業の努力に負うところが大きいのですが、産総研としても先進技術へ向けた革新力を身に付け、企業を先導することが望まれます。そのためには、研究者の高い自覚や、技術を世に出して行く意欲が必要です。基礎技術を伸ばすために学術論文を作成することは重要ですが、世の中の動きを敏感に感じ取って新たな研究を生み出して行く精神もあわせ持っていかなければなりません。

産学官連携の仕事に従事するものとしては、産総研の研究者全員に、学術コミュニティに向けての主張だけでなく、広く外部社会との協業を基本にし

たスタンスを持ってほしいと考えています。具体的には、論文と同じ程度に、特許等の知的財産を研究の進展と並行して取得していくこと。また、内外の資金的制度の有効な利用や民間企業との資金提供型共同研究などを行い、独自の研究開発展開力を高めていくこと。多くの研究者がこの両面の力を備えていけば、人材、資金、資材が自然と集中し、価値の高い研究機関になっていくものと考えます。

医用計測の最前線

この特集では、まず中心テーマである「医用画像」の研究についての産総研内部及び外部からの意見を紹介し、つづいて個別のテーマを掘り下げて紹介します。核磁気共鳴イメージング（MRI）については、局所循環や代謝変化に伴う分子拡散のイメージング、高速イメージング、他の計測モダリティと融合した新しい医用計測技術などを、近赤外光イメージングについては、生体に近赤外光を照射しその透過及び乱反射の減衰率から血液中の酸素濃度を調べ、その画像再構成や手術中計測技術を、超音波イメージングについては、生体へ超音波を照射し密度変化に伴う反射波の時間計測から組織や血管壁の硬さを求める技術などの臨床画像診断技術を、超伝導量子干渉（SQUID）法による脳磁図の利用については、脳磁界・脳波計測を統合して人の五感に関連した脳機能を計測する手法を、最後に、X線CTイメージングについては、マイクロX線CT技術をそれぞれ順に紹介していきます。

参考文献

[1] 平成18年版　高齢社会白書、内閣府

[2] 平成5年度福祉機器ニーズ・シーズ適合調査研究報告書、技術研究組合医療福祉機器研究所

私の一言

赤松　幹之

人間福祉医工学研究部門長

19世紀末にレントゲン博士がX線を発見したとき、早速X線が何を通すか様々なものを試したと思われます。今でも残っているのが博士の夫人の手のX線画像ですが、手の中の骨が見えたことにさぞ興奮したことでしょう。これが医用画像計測の起こりです。それまで、身体の内部を見ることは、手術によって身体を開くことでのみ可能でした。解剖等の経験がある人は分かるでしょうが、開いてしまうと元の状態はなかなか分からないものです。身体を開くことなくそのままで体内がみえることは、通常の状態における身体内部が分かることであり、疾患の状態が正しく把握できるのです。この医用計測技術によって医療は大きく変わりました。しかし、現在ではまだ病院という場で検査器に向かった状態で計測しています。これが、病院ではなく自分の日常生活での状態が計測できるようになれば、本当の意味での身体の状態が分かり、より的確な診断が可能になるでしょう。検査器具としての計測技術の向上だけではなく、日常生活における身体状態把握のための技術も目指していかなければなりません。

医用計測技術の現状と今後の展望

菊地　眞
防衛医科大学校教授

はじめに

21世紀は“ヒト”の世紀と言われています。その背景として先進諸国に共通する少子・高齢社会の深刻化があり、今世紀半ばには中国、インドのような大人口を抱える国々でもいよいよ高齢化が始まることから、医療・健康・福祉にまつわる技術の開発が極めて重要視されています。世界経済上のニーズに起因して医療技術開発に課せられる期待の他にも、生命科学の進歩とその実用化の流れから新たな医療技術が創生される期待感も大きくなっています。平成18年4月に策定された産総研第2期研究戦略においても、ヒトを中心にした科学技術開発が今後の主流になることが明確に示されています（図1）。また、ライフサイエンス分野の研究戦略の中では、健康分野における戦略目標の設定がなされています。

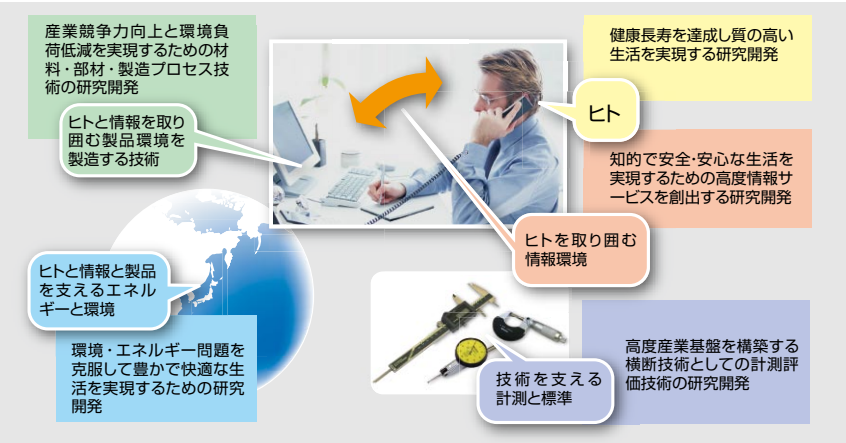


図1　持続的発展可能な社会を実現するための研究開発（産総研「第２期研究戦略」から）

昨年始めにAIMBE（American Institute for Medical and Biological Engineering：米国医学生物工学会：筆者もフェロー）が、1950年代以降の半世紀にわたる医療機器・技術が臨床医学にもたらした役割を評価する目的でアンケートを実施し、20世紀の臨床医学・医療に最も貢献した医療機器を10年毎に選出しました（図2）。ここには誰もが納得する機器・技術が挙げられ、医療機器が先端医療の発展をいかに支えてきたかをよく理解できます。医用計測技術に関しては、生体から発信される物理・化学情報や信号を低（或いは無）侵襲的に連続計測できる技術が開発されたことにより、臨床医学の中に患者モニタリングの概念が根付き、“医療の質の向上”に大いに貢献しました。加えて、一次元計測から医用画像技術のような二次元計測、さらには三次元計測へ発展して高速化され、今や医用画像技術は四次元計測に入ったと言っても過言ではないでしょう。一方、治療技術も侵襲性の高い外科手術から内視鏡手術のような低侵襲手術へと進化しました。20世紀末には、それらの集大成とも言うべき画像支援下コンピュータ外科手術やロボット手術が始まり、臨床応用されています。今後は、外科医（ヒト）の技量では到達し得ない緻密で高精度な微細手術が、新たな手術支援システムと術者の技量が相まって可能になるでしょう。このように医療技術の発達は、同時に医学そのものの発展を促すこととなり、例えば覚醒手術（アウェーク・サージェリー）に必要な麻酔学の進歩や、新たな医学的知見が随伴して次々に登場しています。20世紀の医用工学の進歩が、医療のコンセプトそのものを大きく変容させたことで、“古典的医療の型”から“計測・画像支援下の先端医療の型”へと大きく変貌しつつあり、さらに高齢社会における“医療・健康・福祉の高い質の向上と維持”への社会的要求を背景に、今後この分野のさらなる発展が期待されます。

米国は、1980年代に日本に医用画像診断機器で後塵を拝した苦い経験に基づいて、医療技術の中心が診断技術から治療技術へ推移すること、分子生物学の発展が診断技術の中に遺伝子工学をもたらすこと、治療技術については内視鏡下低侵襲治療技術の究極としてマイクロ・ナノ治療技術が開発されること、さらに究極の治療法である再生医療が組織工学（Tissue Engineering）により近い将来可能になることなどを見通して、1992年2月にNSF（National Science Foundation）などの支援のもとに前述したAIMBEを創設しました（発会式には日本から筆者が代表としてただ一人参加）。そこでは21世紀の新たな医療技術の研究・開発に関わる多くの関連学会が大同団結して事にあたってきました。その後BECON（Bioengineering

Consortium：米国生物工学コンソーシアム）を基盤にして、2001年にはNIH（National Institutes of Health：米国国立保健研究所）の中にNIBIB（National Institute for Bioimaging and Bioengineering：米国国立医用画像工学研究所）が創設されました。

図3は、NIBIB初代所長のDr. Roderic I. Pettigrewが示した目標研究課題を示すものですが、21世紀の医療技術の動向は、ナノメディシン、再生医療、遺伝子医療が基盤であることがはっきりと伺い知れます。

ヒトゲノム解析がほぼ終了したことにより、今後は数10nmの分子、遺伝子レベルから組織・器官・臓器、さらには個体レベルのバーチャルヒューマン科学まで様々な学際領域の科学技術が複合的に組み合わされた医療技術へと進化していきます。細胞組織工学利用医療技術を臨床技術に成熟させるには、細胞の大量培養技術の他に、生産した細胞や組織の品質を保証するためのバリデーション技術が必須要素であり、再生医学のための無侵襲計測技術の開発が望まれます。遺伝子治療技術に関連して分子画像技術が注目されています。分子イメージングは遺伝子治療における遺伝子の機能発現を直接的に観察できる可能性を秘めており、その他にも特異的機能イメージングとして種々の分子画像が期待されます。臨床医学にとっては遺伝子情報そのものよりむしろそれにより産生される蛋白質の構造と機能がより直接的に疾患と結びつくことが多いといえます。ポストゲノムとしてプロテオームが注目され、ゲノムと異なる解析方法が求められるのです。最近では新たな手法として、プロテインチップも開発されています。

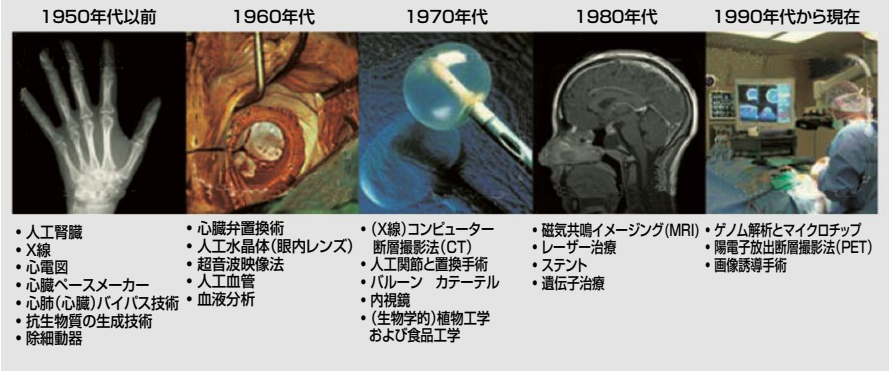


図２　AIMBEが選出した過去半世紀にわたる臨床医学に最も貢献した医療機器（Great Achivements in Medical and Biological Engineering（AIMBE）から）

“医療の質の向上”を支える医用計測技術と医療機器産業

低侵襲計測技術の代表として内視鏡技術が挙げられます。1950年にわが国において世界に先駆けて胃カメラが開発され、さらに1957年にはファイバースコープ内視鏡により体外で観察して画像を撮る今日の内視鏡の原型が完成しました。その後、内視鏡先端にCCDカメラを装着した電子スコープも開発されました。さらに21世紀に入るとカプセル内視鏡が開発され、イスラエルのGIVEN社製wireless capsule endoscopyが2001年5月にヨーロッパで、8月に米国FDAで承認されました。小腸は胃や大腸と異なり体腔内で殆ど固定されていない全長7～8mもある消化管であるので、消化器病学にとっては“最後の暗黒大陸”と称されていましたが、これにより内視鏡技術がようやく消化管全域の観察に威力を発揮する時代になりました。一方、内視鏡システムは病変診断だけでなく、1965年以降のファイバースコープ直視下生検から始まった胃ポリープ絞断法、その後のレーザー止血法、胃粘膜切除術など治療においても多いに威力を発揮しています。このように内視鏡技術はその歴史から見て日本が世界をリードする領域ですが、同時に図4に示すように技術革新力、市場創造力、並びに欧米に対する製品開発競争力の両面からわが国の医療機器産業として大いに期待できる医療技術分野とも言えます。

なお診断用内視鏡の今後としては、挿入・観察時の苦痛削減（カプセル内視鏡やバーチャルエンドスコピーなど）と、診断能力の向上（超拡大内視鏡、共焦点レーザー顕微内視鏡や、MEMSによる超小型分光器を先端に取り付けた内視鏡による生検標本を採取しないその場での「仮想生検」「仮想病理」可能なオプトバイオプシーなど）が期待される他、治療用内視鏡については、新たに内視鏡胎児手術や内視鏡脳手術などのように内視鏡下低侵襲外科治療の適用拡大と、それを安全に実施するためのナビゲーション技術や手術支援システムとの連携が期待されています。

加えて従来の物理的エネルギーを

New Horizon in Biomedical Engineering　by Prof. Roderic I. Pettigrew (Director of NIBIB, NIH)

“The 21st Era of Personalized Medicine” 4 Major Topics

New Technology ... Biosensors Cellular / Molecular imaging
Regenerative Medicine
Bioinformatics & Robotics ... Multi-modality data Complex systems modeling
Image Guided Intervention ... Merger of diagnosis and therapy Guided genomics

図３　NIBIBが目指す21世紀の医療機器研究・開発の方向

中心にした内視鏡治療技術から、薬剤溶出ステントと同様にDrug delivery systemとの融合化や、後述する細胞・遺伝子治療技術との融合化内視鏡システムへの発展が期待されています。

先端医療を支える医用計測技術と医用画像技術

今から約30年前にX線CTが実用化されてヒト脳の断層像ができ、神経疾患の診断に革命をもたらしました。またおよそ20年前にはMRIが臨床応用されるようになり、その後の技術的進歩により全身の画像診断が革命的に進展してきました。現代医学に多大な革新をもたらした技術・学問分野としては、画像診断学と分子生物学が挙げられますが、今日ではそれらが更に進化した分子イメージングとして注目されています。形態診断法としてのX線CTやMRIは既に機能診断法としても役立っており、SPECTやPETは機能診断法から代謝診断法へと変貌を遂げています。Functional MRIやPETの展開は高次脳機能の解明や分子機能画像を可能にしましたが、その延長として分子イメージングが近い将来の遺伝子治療の評価法や創薬のための基盤技術として期待されます。

分子イメージングの目的としては、種々の画像化法を駆使して、分子レベルで生体活動を経時的に可視化し、生命科学における分子機構の意義を解明することにあります。得られる情報は、単に分子機構の解明のみならず、診断のための基礎データとなりうるもので、薬剤の開発、ドラッグデリバリー手法への応用など、今後の新しい医学の発展に寄与するシーズとなる知見をもたらす可能性を持つものです。分子画像を具現化する対象としては分子画像を「特異的機能イメージング」として捉え、神経伝達・受容体イメージング、抗体／ペプチドイメージング、さらには遺伝子イメージングとしてのアンチセンスやレポーター遺伝子（画像化可能な蛋白質や受容体などの遺伝子を治療用の遺伝子の近くに埋め込むことによって、実際に予定された部位に遺伝子が入っているかどうかを確認するための遺伝子）を用いた手法が試みられています。

「分子イメージング」には、① 生体中の特定分子を標的とした可視化 ② 細胞程度のミクロスケールでの可視化の2つの方向があり、各々について今後技術開発と研究を進めていく必要があります。加えて、「分子動態イメージング」としての経時的動態可視化も重要な要素になります。

前述①については、従来の核医学装置（特にPET）が得意とする分野であり、今後の課題は撮像技術よりはむしろトレーサーなどの薬剤開発が支配的になるでしょう。②に関しては、画像技術そのものの技術開発が必要です。従来のMRIに変わり、新たなMRSI（Magnetic Resonance Spectroscopic Imaging）などが期待されています。この他、分子イメージングは今後医学的に重大な発展を遂げる再生医療や細胞治療のバリデーションのためのイメージング技術としても極めて重要になります。

分子イメージングの当面の課題としては、以下のような事が挙げられるでしょう。

① 癌が最も大きなターゲットになっており、分子イメージングは様々な面で重要です。現在、ヒトにも使われている^{18}F標識デオキシグルコース（FDG）は癌診断のゴールデンスタンダードになりつつありますが、それ以外にも様々な手法が考えられています。今後は細胞生物学で得られた知識を全身のイメージング技術に広める必要性があり、さらに新しい造影剤などを開発することが重要です。癌細胞の転移に関係して、細胞間の結合は*in vivo*では良く分かっていません。それを画像化することで、癌の転移や進展のメカニズムが解明されるものと考えられます。

② 分子治療、遺伝子治療に分子イメージングは重要となります。レポーター遺伝子を使いこなすことが必要です。遺伝子発現を用いた分子イメージングとしては、アンチセンス法とレポーター遺伝子を用いる2つの手法があります。

③ 遺伝子や新しい受容体の研究とイメージング技術を合体し、種々のイメージング方法を融合させれば、生体のダイナミックスプロセスを画像化することが可能になります。そこへ遺伝子などの情報をうまく使えば、様々な病気の診断や評価に使える可能性が高まり、また治療に使用した薬剤分布を見ることも容易になると推測されます。

④ 光技術、特に近赤外線利用技術は最近著しく進歩しています。これらの技術を応用して、体内にある物質の光による画像が断層像で撮像できるようになると、レポーター遺伝子として様々なものが応用できるようになります。さらにPETでは被曝があるので実際的ではありませんが、光技術ならば持続的変化を継続して観察することが可能になります。

以上のように、分子イメージングは分子生物学の知見のみならず各種の工学技術との接点が極めて重要であり、昨今謳われている医・工・産連携に加えて、薬（薬学）・生（生物学）との連携も必要です。産総研のような総合的な研究機関は内部の関連部署を横串でつないで、これら次世代を担う医療技術の研究・開発により積極的に取り組む必要があるでしょう。

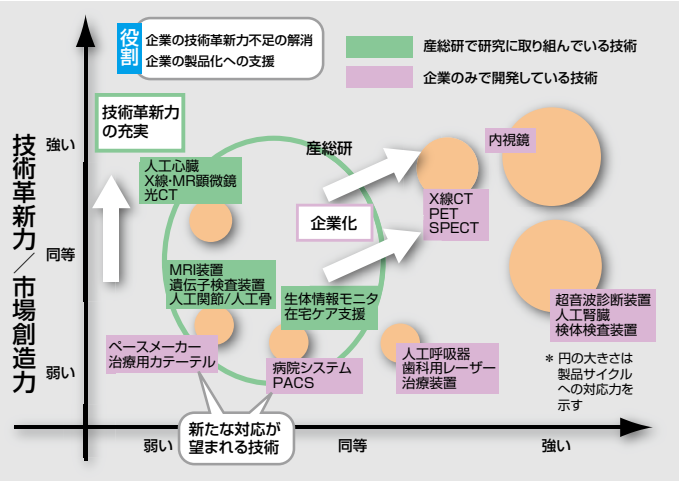


図４　わが国の医療機器産業の競争力と産総研の役割
（産総研「第２期研究戦略」から）

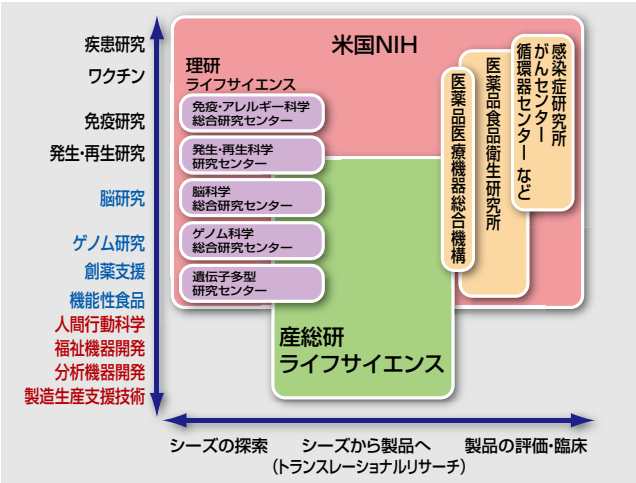


図５　ゲノム・医療・健康領域において各機関がカバーしている範囲
（産総研「第２期研究戦略から）

医療技術の発展に産総研が果たす今後の役割

ここまでに述べたように21世紀に入って、医療技術は大きく変容しつつあります。従来からの技術に加えて、バイオ技術やナノ技術が実用性を伴って医療技術に融合され始めています。日々国民が恩恵に与っている高度医療は、最新の医学知見と医療機器・技術の上に成り立っています。医療機器は過去においてほぼ10年毎に段階的に進歩してきました。60年代の生体現象計測・監視装置の電子・システム化、70年代の各種医用画像技術の誕生、80年代の内視的低侵襲診断・治療技術の登場、90年代のロボット手術の実現などです。きわめて興味深いことは、これと同期して日本の医療システムが大きく様変わりした事です。60年代は医療施設増設など「医療の量の拡大」、70年代は「医療の質の向上」、80年代は「医療のコストの問題」、さらに90年代は「医療のコストと質のバランス」というように、わが国の医療のあり方が実は医療機器・技術の進歩とその供給に直接影響されたことを示しています。これは、技術開発と社会システム連携の典型例であり、医療技術開発がたんなる科学研究に留まらないことを意味するものです。

高度医療の安定供給はまさに国民的・社会的ニーズであり、今後はバイオ、ナノ技術などの「第1種基礎研究」を合成して新知識を追加した「第2種基礎研究」を早急に組み上げ、さらにその成果を実際に医療現場に供給できる製品化研究までを行う必要があります。図5は、ゲノム・医療・健康領域において世界を代表する研究機関である米国NIHとわが国の理化学研究所、厚生労働省管轄各研究機関や行政機関がカバーしている守備範囲の概略を示したものです。産総研ライフサイエンス関連研究ユニットは、それらのいずれもがカバーしていない“シーズ探索からより積極的に製品に結び付けていく段階と製品機能の科学的評価”という産業視点からの基礎研究に取り組むことが必要であり、わが国の医療機器産業振興にとって不可欠な機能といえます。

そのような視点に立って現在産総研で手掛けている研究開発課題を改めて概観すると、前述した米国NIBIBのような戦略的視点に基づいた目標課題が設定され、更にそれらを推進する研究チームが効率よく構築・編成されているとは、残念ながらいえません。産総研の研究人材と知的ポテンシャルを散漫に活用するのではなく、わが国発の画期的医用計測技術を生み出すべく、大きな目標を掲げた上で研究者全員がそれに向かっていく強い研究方針・体制を強く望んでいます。

用語解説

バーチャルエンドスコピー：Virtual Endoscopy（仮想内視鏡）

Functional MRI：機能的MRI、MRIによる組織機能の撮影法

18F標識デオキシグルコース：デオキシグルコース（FDG）と陽電子を放出するフッ素（18F）を標識した放射性薬剤。ＰＥＴ検査において糖代謝を観察するために活用する。

in vivo：生体内において起こる過程、現象、反応など

アンチセンス法：遺伝子情報の流れを人工的に合成したDNAで遮断（阻害）する方法。標的遺伝子のmRNAに相補的なオリゴヌクレオチドを細胞へ投与し、標的遺伝子の発現のみを特異的に抑制する。

レポーター遺伝子（レポータージーン）：特定の基質と反応して発光、発色する遺伝子。これらの変化を測定することで組換え遺伝子の発現を観察する。

PET：Positron Emission Tomography、陽電子放出断層撮影法。陽電子を出す物質を静注して代謝が盛んな組織に取り込ませることにより、陰電子と結合して消滅する。その際に、放出されるガンマ線を検出して断層像を再構成する方法。

生体機能を解明する核磁気共鳴イメージング（MRI）

本間 一弘（人間福祉医工学研究部門 医用計測技術グループ）
服部 峰之（光技術研究部門 デバイス機能化技術グループ）
仁木 和久（脳神経情報研究部門 認知行動科学研究グループ）

MRI 技術の開発

NMR（核磁気共鳴）を原理とするMRI（核磁気共鳴イメージング、Magnetic Resonance Imaging）は、1970年代後半以降、さまざまな新技術が開発されてきました。MRIは核磁気共鳴する元素の元素密度、化学的な結合状態、血流や灌流、分子拡散などの時空間的な変化を捉える技術であり、組織の化学的な構造を測定することから、組織機能の画像化技術と定義できるものです。組織の化学構造とその変化を無侵襲的に捉えて組織機能の計測に結びつけることが最終目標と想定されます。二次元断面を得るに要する時間は、研究当初数分かかっていたものが、現在では数10ミリ秒にまで短縮され、三次元組織構造の時間変化の撮像も可能となっています。

産総研では旧工業技術院時代から継続的に技術開発を推進し、種々の新技術を開発してきました。現在、MRI撮像法の開発は人間福祉医工学研究部門医用計測技術グループ、高感度化を目的とした超偏極MRI/MRS技術を光技術研究部門デバイス機能化技術グループ、身体機能の解析は人間福祉医工学研究部門身体適応支援工学グループ・マルチモダリティ研究グループ・認知行動システム研究グループ、脳機能の解明は脳神経情報研究部門認知行動科学研究グループ・システム脳科学研究グループ、MRI装置内治療支援技術の開発を人間福祉医工学研究部門治療支援技術グループが実施し、相互に情報交換および外部の研究機関との共同研究（医工・産学官連携）を実施しています。

医用計測技術グループで実施する研究の一例を図1に示しました。高速撮像法は、現在、33ミリ秒で連続的に撮像する技術の実用化を目標にしており、組織の動的特性の解明、動作特性の差異に起因する機能診断、治療中の組織変化の撮像などへの応用を目指しています。また、局所的な灌流や分子拡散の状態を三次元的に撮像するために開発した撮像法は、既に実用段階にあり、大脳、内臓器、運動器官などにおける代謝機能の解明と機能診断への応用を目標としています。

その一方で、フュージョンイメージングの概念のもとで、MRI、超音波、近赤外光を活用した複合計測法の開発を推進しています。これは、各撮像法の特長を活かして欠点を補うことが特徴です。この概念は、生体内の変化を異なる原理に基づいて同時計測して結果を統合することによって、組織機能を評価する際の精度の向上、迅速・的確な診断の確立を目的としています。

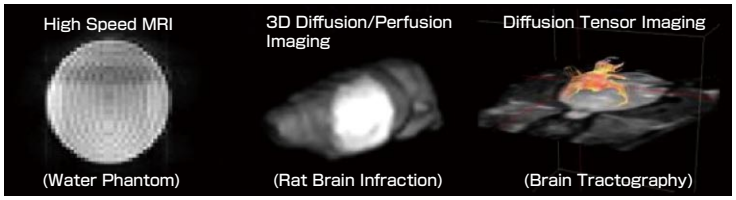


図1 医用計測技術グループで実施する研究の一例

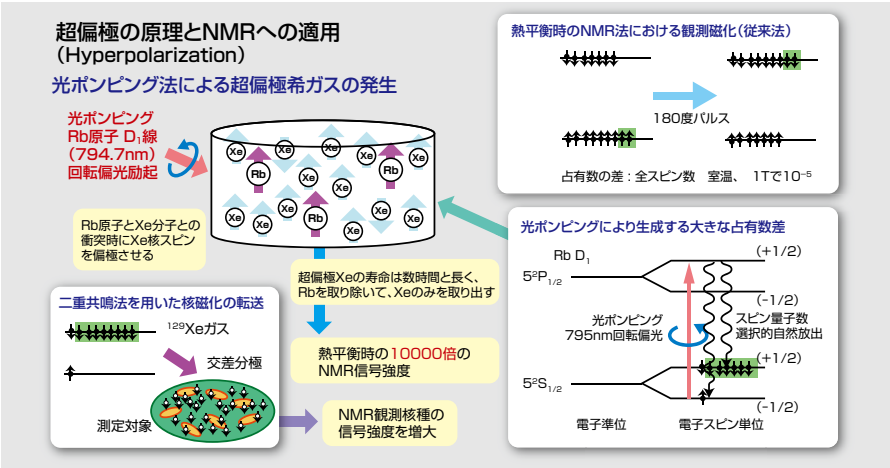


図2　超偏極の原理とNMRへの適用

超偏極による新型 MR 造影剤と MR 計測技術開発

希ガスの^{3}Heと^{129}Xe（スピン量子数1/2）を、円偏光により電子スピン系を励起したルビジウムと共存すると、同体積の水と比べても100倍以上強いMR信号を与える超偏極状態が得られます（図2）。これまでに、東横化学（株）との共同研究を通じて、偏極率2～3%の超偏極キセノンガスをバッチ式で連続供給することを可能とした実用機を完成させました。超偏極^{3}Heガスからの信号検出による空洞部分の画像化による肺機能診断や、超偏極^{129}Xeガ

スを用いた局所脳血流量（rCBF）測定など組織中での動態解析が課題となっています。

横型2テスラMRI装置を使用して、超偏極磁化に最適化した高速な撮像法の開発を行っています。超偏極磁化は、磁場勾配やラジオ波の印加により消滅してしまうので、測定条件を事前に良く検討しておく必要があります。シム調整（磁場均一化）を厳密に行った場合には、超偏極Xeガスからの信号は、横緩和時間が約30ミリ秒でした。これは、測定時間（エコー時間）を短くとらなくてはならないことを意味するもので、数100ミリ秒で高速撮像可能なEPI（Echo Planar Imaging）法などの単一スキャンの高速画像収集においては、水などの^{1}H信号の場合の実験よりも難しくなります。今回、EPI法の最適化によって、撮像時間の間隔は、従来法が1分程度であったものが、500ミリ秒程度まで短縮できる見通しを得ています。

MRIでヒト記憶・知能をみる

MRIで健常な被験者の脳活動を安全に高精度に測定し、ヒト脳機能を様々な側面から評価できる[1]ようになったインパクトは計り知れません。ここでは、平成18年科学技術白書で紹介された私たちの研究[2]（「知的学習の成立と評価」に関する社会技術研究）を例として、産総研として今後取り組むに相応しい研究分野であることを示したいと思います。

脳は意欲や情動（感情）を持ち、これらが記憶や学習との様々な相互作用を持っています。このような状況は、主体的に問題を解こうと思っても既存の知識ではそれがかえって邪魔になり、逆に解けないような問題を解決できた時に典型的にあらわれるものです。既存の知識を再構成し、「ああ、そうか」という閃（ひらめ）きとともに上記の学習が成立し、その記憶は長く、強く残ります（図3）。

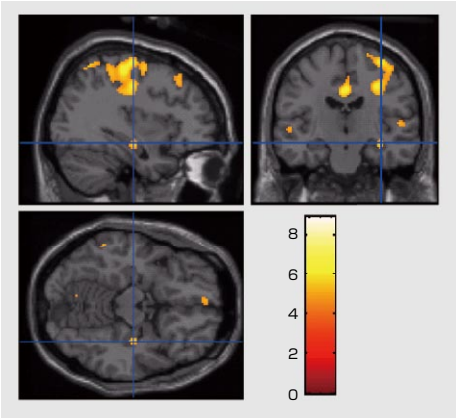


図3 「あっ！」「エー」と感動しながらひらめいた時の脳（海馬）の活動を世界ではじめて記録した脳イメージ画像[3]

この典型的現象が、創造力・洞察力でみられます。この現象は、実はヒトの日常でも行なわれているもので、他人の感情や発言の文脈を理解・共感し、思いやりの心を適切な行動で表わすことができるなど、人間の社会生活を成立させている重要な脳の働きの一環でもあります。

MRIで脳活動をみられるようになったことで、社会の中での主体的行動にともなうこのような学習[3][4]の深い研究が可能になりました。脳の活動データを実験的に得ることが可能になると、今まで行動データだけで論じられていた記憶心理研究の多くの未解決問題への解を提示することが可能になります。

実際私たちは、

- 記憶の変容が海馬で起こる
- 意味記憶の想起に海馬が寄与する
- 洞察（インサイト）時に海馬が働く
- 時間的離散的事象の連合へのヒト海馬の関与

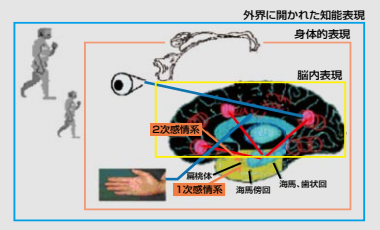


図4 構成的知能の脳認知モデル[4]

等の、世界で最初の一連の発見を報告しています。さらに、社会に開かれた知能の特性を現在探求中で、私たちのデータと多くの脳科学的知見を元に、記憶や知能の社会や外界に開かれた形成を論じる脳認知モデル「構成的知能」（図4）を提案しています。これによって、「外界に開かれ、早く、多様で柔軟なヒト知能」の形成とその発揮特性を論ずることが可能になります。

MRI研究対象領域も、基礎研究では日常認知の記憶や認知現象が対象となり、さらに医療診断への適用、BMI（Brain Machine Interface）、Neuro Marketing、Neuro Economicsなど、実世界でのヒトの複雑な行動の理解やその支援技術への適用が始まろうとしています。ニューロインフォマティクス[5]による研究資産の世界的共有に基づく研究推進も模索されています。これらは、社会やヒトへの根本的なインパクトを含む技術開発であり、あらゆる科学技術のコアとなりうる学際的研究展開が不可欠な課題として、産総研が推し進めるべき研究テーマのひとつです。

参考文献

[1] 平成18年版 科学技術白書、文部科学省（脳科学的研究からの取り組み、p.17-18）.

[2] 仁木和久 2004 fMRI計測でヒト知能をみる、電子情報通信学会誌, 87, p.285-291.

[3] Luo, J. & Niki, K. 2003. Function of hippocampus in 'insight' of problem solving. Hippocampus, 13, p. 316-323.

[4] 仁木和久 2005 ヒト知能の再設計 －脳イメージング研究からヒト構成的知能論へ、日本認知科学会編、認知科学の探究、共立出版 p. 60-89.

[5] 臼井史郎 2006 脳のシステム的理解をめざすニューロインフォマティクス、バイオニクス 5月号、p.36-38.

酸素濃度をモニタリングする近赤外光イメージング（NIRI）

谷川 ゆかり
人間福祉医工学研究部門 医用計測技術グループ

近赤外光の医療利用

波長700～900nm程度の近赤外光（NIR：Near Infrared light）は、エネルギーが低く、生体に対し比較的高い透過性を持つため、無侵襲で安全かつ簡便に生体計測ができるという利点を持っています。この近赤外光を用い、酸素が豊富な動脈血（鮮紅色）と酸素が少ない静脈血（暗赤色）の色の違いを計測することにより、生体組織の酸素化状態の情報を得るのが近赤外分光法（NIRS：Near Infrared Spectroscopy）の原理です。近赤外光イメージング（NIRI：Near Infrared Imaging）は、この原理に基づいて生体情報を無侵襲で安全かつ簡便に画像として計測する技術です。

このNIRI技術の一つとして、光トポグラフィやマルチチャンネル酸素モニタなどのマッピング装置が開発・製品化され、術中および術後経過の観察や、運動時の筋組織における酸素状態のモニタリング、さらには大脳皮質での高次脳機能マッピングなどにその効力を発揮し、医療機関や大学・研究機関などに急速に普及してきています。これらの装置は、連続光（レーザ光）を光源とし、多数の送受光ファイバを通して生体表面において多点照射・多点検出を行なって、酸素化状態の変化を0.1秒程度の高い時間分解能で画像化（マッピング）できるという大きな利点を有しています。しかし、一方で、定量性や深さ方向の情報に欠けるという課題があります。

写真1　拡散光トモグラフィ装置

“時間分解”の付加

近赤外光は生体透過性が比較的高いのですが、生体組織によって強く散乱されます。したがって生体に照射された光は生体内をまっすぐ透過せず拡散的に伝播し、照射－検出間距離よりもはるかに長い経路を進み、検出器に到達します。連続光を光源とするマッピング装置では、この実効光路長を計測する手段を持たないために、定量計測ができません。また、深さ方向の情報も得ることができません。

一方、ピコ秒程度のパルス光源と高速検出器から構成される「時間分解計測法」を用いれば、この実効光路長が計測可能となるだけでなく、光路長計測に依存せず、また、深さ方向の情報も含む断層画像（トモグラフィ画像）を得ることが可能となります。我々の研究グループでは、この「時間分解計測法」による「拡散光トモグラフィ」装置（写真1）を用いて酸素状態の断層画像を得るために、画像再構成アルゴリズムの開発、アルゴリズム検証ならびに装置校正・性能検査のためのファントム開発、医工連携による臨床試験などを行っています。

画像再構成アルゴリズムは基本的に逆問題解析法という数学的手法を用います。連続光を用いる場合に比べ、時間分解計測法では非常に多くの計測データを得ることができるため、高品質な断層画像を得ることができますが、逆問題解析も複雑になり、計算負荷も大きくなるなどの課題があります。私たちのグループでは、修正GPST（modified generalized pulse spectrum technique）法を用いたアルゴリズムを開発し、計算効率の大幅な向上や各種課題を解決してこれまでに

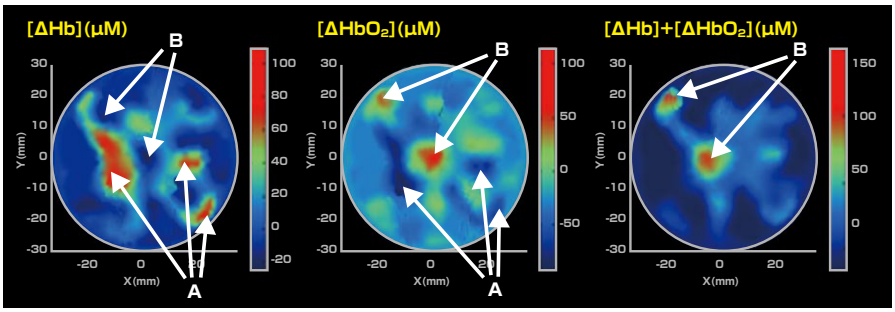


図1　手のグリップ運動前後の手首における拡散光トモグラフィ画像

ない高品質な画像を得ることができました。図1は、ヒトの手首の周囲に光ファイバを放射状に設置した透過型計測において、手のグリップ運動前後の計測データから再構成した拡散光トモグラフィ画像です。手首内部の筋肉部におけるデオキシヘモグロビン（[Hb]）の増加、太い血管におけるオキシヘモグロビン（[HbO_2]）および血液量（[Hb] + [HbO_2]）の増加など、運動前後の酸素状態の変化が明瞭に断層画像として得られています。直径が10cmよりも大きな組織に対応するため、透過型計測のみならず、光ファイバを面状に設置する反射型計測に対応したアルゴリズムの開発も行なっています。

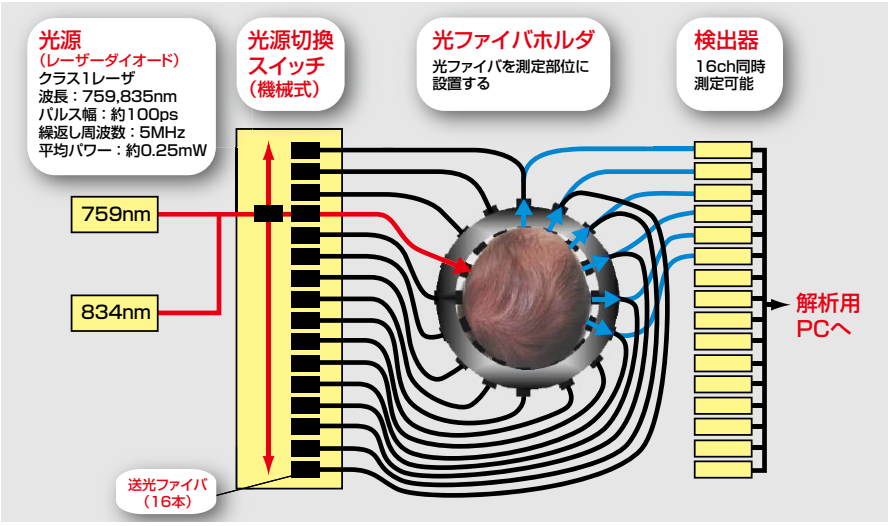


図2　新生児・未熟児計測（概念図）

医療実用化をめざして

近年、新生児・未熟児医療においては、従来の救命重視の治療から、後遺症を残さない救命を目指した治療へと変わり、脳を中心とした治療が重要視されてきており、X線CT、MRI、PET、超音波技術などにより、胎児や新生児を対象とした脳診断技術に関する研究が進められています。しかし、これらの技術では、装置が大規模であったり、頭部を長時間固定する必要がある等の問題から、新生児期から乳児期にかけての計測、特に病的新生児の計測は困難でした。一方、拡散光トモグラフィ装置では、安全かつ簡便にベッドサイドで酸素状態の断層画像化が可能です。私たちのグループでは、香川大学医学部、電気通信大学と共同で拡散光トモグラフィ装置を用いた新生児・未熟児を対象とした脳の計測に取り組んでいます。図2は、新生児・未熟児計測の概念図です。新生児・未熟児は頭部が小さく、光が透過しやすい点を生かし、ファイバを透過型（放射状）に設置し、生体に対し安全性の高い近赤外の2波長の光を安全な出力範囲（クラス1）で用い、計測を行っています。今後、これらのデータから断層画像を再構成し、各種の検討を行っていく予定です。

成人の頭部は新生児・未熟児と比較して光学的に厚く、脳深部まで到達した光は極微弱であり、検出するのは非常に困難です。そこで、私たちのグループでは、東京都精神医学総合研究所、日本大学医学部、電気通信大学と共同で、光ファイバを頭表に面状（反射型）に設置して、時間分解計測を行っています。写真2は頭部計測のため光ファイバを頭部に設置した状況の写真です。この計測結果から、反射型データに対応したアルゴリズムを用いて画像化し、研究を進める予定です。

写真2　成人頭部計測

関連情報

共同研究者：日下隆、磯部健一、西田智子、難波正則、安田真之、大久保賢介（香川大学）、趙会娟、高峰（天津大学）、佐藤知絵、星詳子（東京都精神医学総合研究所）、酒谷薫（日本大学）、上野雅範、福沢遼、大川晋平、山田幸生（電気通信大学）

本実験は産総研医工学実験倫理委員会、香川大学倫理委員会および産総研つくばセンター東事業所人間工学実験委員会の承認を得て行われました。

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究（B）（研究代表者：日下隆、「近赤外光断層イメージングを用いた新生児脳血液量や酸素化状態の測定に関する研究」および研究代表者：山田幸生、「反射型拡散光トモグラフィによる生体内酸素輸送解明」）によって行われました。

実時間計測ができる超音波イメージング

新田 尚隆
人間福祉医工学研究部門 医用計測技術グループ

超音波エラストグラフィは、体表にプローブ等で圧迫変形を加え、または、拍動による圧迫変形により組織内部で発生した歪み分布を超音波波形のシフトから検出し、組織内の力学的特性を可視化する技術です。乳腺・甲状腺などの体表組織、前立腺、腹部臓器（肝臓）、頸動脈・冠動脈などの血管組織を対象とした幅広い研究が進められており、一部臨床機での実用化が達成されています。

ここでは、私たちが現在進めている、エラストグラフィを応用した血管壁評価法の開発、またHemodynamic force imaging（血行動態力イメージング）の開発について紹介します。

エラストグラフィに基づく血管壁評価法の開発

例えば再生血管においては、必要な強度が維持されなければならないため、移植前後において、その力学特性を計測することが重要です。これまでのエラストグラフィは、組織内に発生した歪み分布可視化の技術的完成度は高いのですが、その先の弾性率など力学特性値を定量的に計測する観点からは未だ完成度は低いと言えるものでした。私たちの研究では、圧力センサと超音波センサとを併用した血管壁の力学特性評価法を検討しています。超音波センサの信号から歪みを求め、それと圧力とを組み合わせて弾性率を算出するのです。

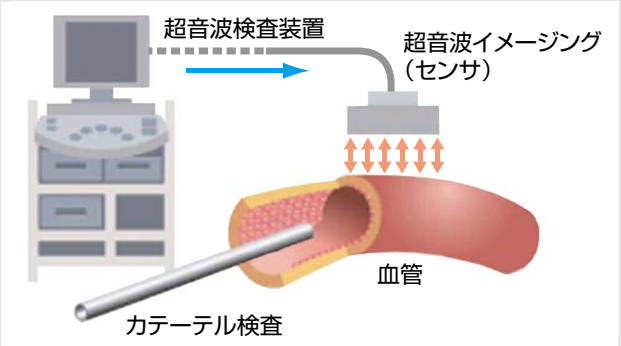
図1左はその概念図で、超音波センサとしては、超音波診断装置や超音波カテーテルなどを用い、計測には圧力センサカテーテルなどを用います。また図1右には、2本のカテーテルを血管内に同時挿入させた例を示しています。図2はゴム状のテスト材料に対して超音波カテーテルを挿入し、水圧をかけて弾性率計測を行った結果です。圧力－歪み曲線に基づき、硬・軟のテスト材料の弾性率が少ないばらつきで計測されています。

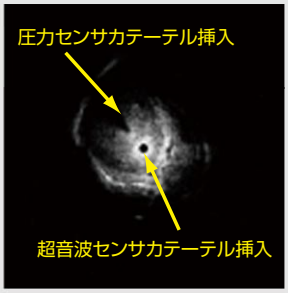
最終的にはこのような無侵襲的計測技法によっても、組織を切り出した引っ張り試験などに準ずる精度での計測を可能とし、再生血管評価などに応用することを目指しています。

Hemodynamic force imaging（血行動態力イメージング）の開発

血管壁に常に負荷を与えている血行動態力は、おおまかにせん断応力と圧力または圧力差（圧較差）などに分類され、わが国の主要な死因である心・脳血管系疾患において、動脈硬化プラークの発症・進展・破綻、または内皮細胞の活性化に影響を与えているものです。これらの血行動態力を無侵襲に計測または可視化できれば、血管系疾患の予防に有用な診断ツールとなることが期待できます。

この研究では、血行動態力として、せん断応力分布と血管内の圧較差分布を同時に求め、総合的な血流力学情報を提供するためのHemodynamic force imaging（血行動態力イメージング）の開発を進めています。これは、超音波血流計測に基づき、ナビエ－ストークス方程式に従ってまず血液粘性を推定し、次に、同じくナビエ－ストークス方程式及びニュートン粘性法則に従って血流速度分布を差分処理し、最後に粘性値と結合して、各分布のイメージングを行うものです。





イヌ血管像

図1
エラストグラフィに基づく血管壁評価法の開発

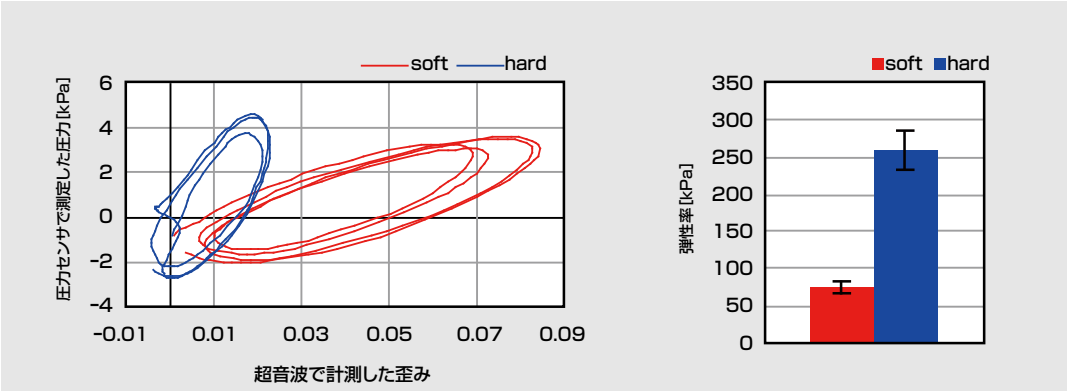


図2　圧力ー歪み曲線（左）と計測した弾性率（右）

図3は、管内流れにおける粘性推定結果とそれに基づき、せん断応力分布と圧較差分布を画像化した結果です。この検証では、実血の粘性に近いが、互いに粘性が異なる2種類の流体（A：水のみで低粘性流体、B：水にポリビニルアルコールを混ぜた高粘性流体）を、動脈硬化プラークを模擬した瘤を持つ管内に一定流量で流し、管内で発生するせん断応力分布と圧較差分布とを比較しています。粘性推定結果からは、粘性の異なる2種類の流体を識別することが可能であり、別の粘度計での計測結果とよく一致しています。また画像からは、一定流量下では高粘性の方が高い血行動態力を発生する様子が示されています。壁付近でせん断応力が最も大きくなったり、狭窄部付近の圧較差が大きくなる、よく知られた傾向が妥当に捉えられているといえるでしょう。

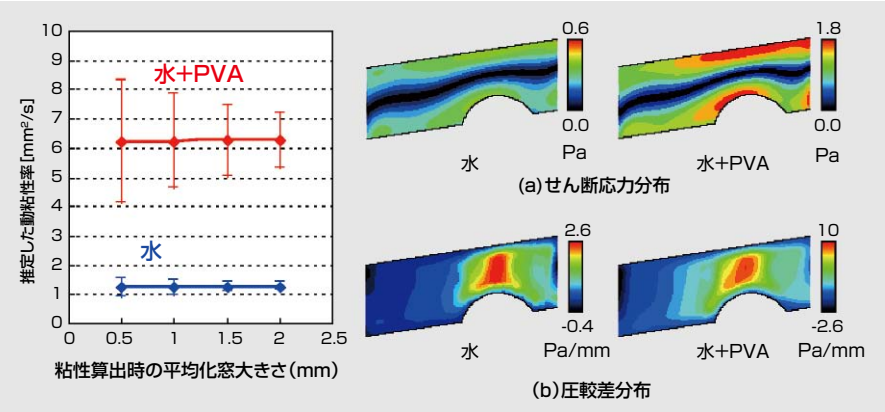


図3　管内流れにおける粘性推定とHemodynamic force imaging

図4は、ヒト頸動脈に適用した結果であり、超音波画像（Bモード）上に血行動態力を色づけして表示しています。図3のように、画像中央の矢印の位置での血管径が、画像右の流入口径よりも小さくなった例です。せん断応力分布では、前壁（体表に近い方の頸動脈壁）付近での推定は困難でしたが、後壁（体表から遠い方の頸動脈壁）付近でのせん断応力が大きく、さらに画像中央の狭内腔部ではせん断応力がより高くなっています。また圧較差分布でも、狭内腔部では圧較差がより大きく得られました。これらの傾向は図3とほぼ一致した妥当なものであると考えられます。

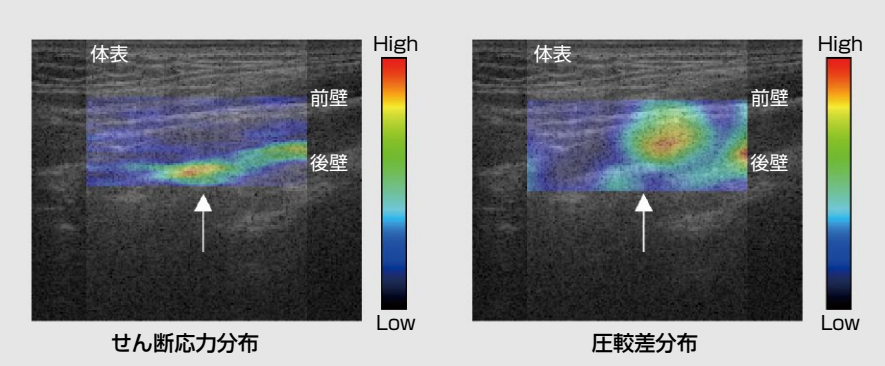


図4　頸動脈流におけるHemodynamic force imaging

実用化への展望

今回は血管壁評価、及び血流評価について別々に紹介しましたが、これらは融合化が可能な技術です。融合化して同時計測を行えば、血管系疾患の予防及び診断にとってもさらに有用な技術となり得るでしょう。

脳磁界・脳波による脳活動イメージング

岩木　直
人間福祉医工学研究部門 くらし情報工学グループ

脳磁界（MEG）研究

脳内の神経ネットワークで行われる情報処理にともなう小さな電流は、電位分布とともに微小な磁界を生成します。頭の周囲に発生するこの微小な脳磁界の計測（MEG：magnetoencephalography）は、脳波計測（EEG：electroencephalography）とともに、脳内の神経活動が生成する電気的信号を直接計測するもので、1ミリ秒オーダーの時間分解能をもつとともに、完全な無侵襲計測であるという特徴をもっており、近い将来、脳機能障害に対する感覚器代行技術の開発や適切なリハビリテーションの実行などのための基盤技術として、医療応用および人間の高次脳機能研究の分野でもますます重要になることが期待されています。

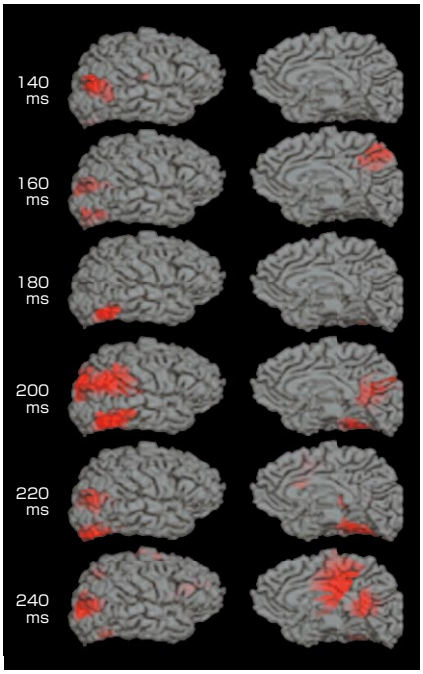


図2　MEG計測を用いて可視化された、二次元平面上の点の動きから三次元物体を知覚するときの脳活動

脳磁界計測を用いた脳機能の可視化

私たちは、MEG・EEG計測から脳内の神経活動の時空間分布を可視化する技術の研究を進めており、とくに従来の極度に単純化した脳活動モデルや実験者の主観にできるだけ依存しない解析手法の開発を行ってきました[1][4]。二次元平面上の多くの点の動きから三次元物体を知覚する（図1）ときの脳活動をMEGで計測・可視化した例を図2に示します。ヒトの視覚情報処理システムには、後頭部の視覚野から側頭葉下部に向かう腹側視覚経路と、頭頂葉へ向かう背側視覚経路があり、それぞれ視覚的に与えられた刺激の形状等の性質の認知と、運動などの空間的な認知を担うことが知られています。図1のように、二次元平面上の多くの点の動きから三次元物体を知覚する場合には、この両方の視覚情報処理経路が関与することが予想されますが、これらの2つの視覚経路のダイナミックな相互作用を可視化するのは困難でした。図2に示す例では、腹側・背側両視覚経路上の神経活動を高い時間分解能で明らかにすることに成功しています[2]。

統合無侵襲脳機能計測・解析技術

とくに、認知症や発達性言語障害などに代表される認知・言語等の高次機能を対象とした診断・回復の支援を行う場合、脳内の広範な部位に分布した脳内活動の時間・空間的特性をより高い解像度で可視化する技術の開発が必要となります。これに対し、現在利用可能な無侵襲脳機能計測手法は、原理的な制約から、単独では脳内神経のダイナミックな活動を高い時間・空間分解能で計測・解析することができません。例えば、近年の機能的MRI（functional MRI：fMRI）撮像技術の進歩は、視覚野のカラム構造が可視化できるほど高い空間分解能（数百μm程度）で脳活動を可視化することを可能にしていますが、計測対象が脳神経活動にともなう血流力学的（hemodynamic）な変化という二次的な信号であるため、その時間分解能（数百ミリ秒のオーダー）を向上させるのは大変困難です。一方で、神経（シナプス）の電気的な活動を直接計測するEEGやMEGは、十分な時間分解能（ミ

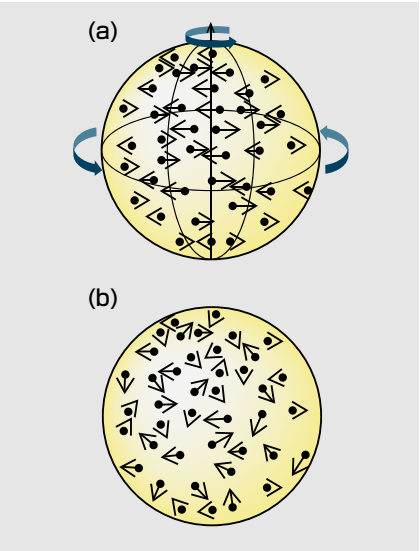


図1　二次元平面上の点の動きから三次元物体を知覚
(a) 回転する球が知覚される場合
(b) ランダムな運動

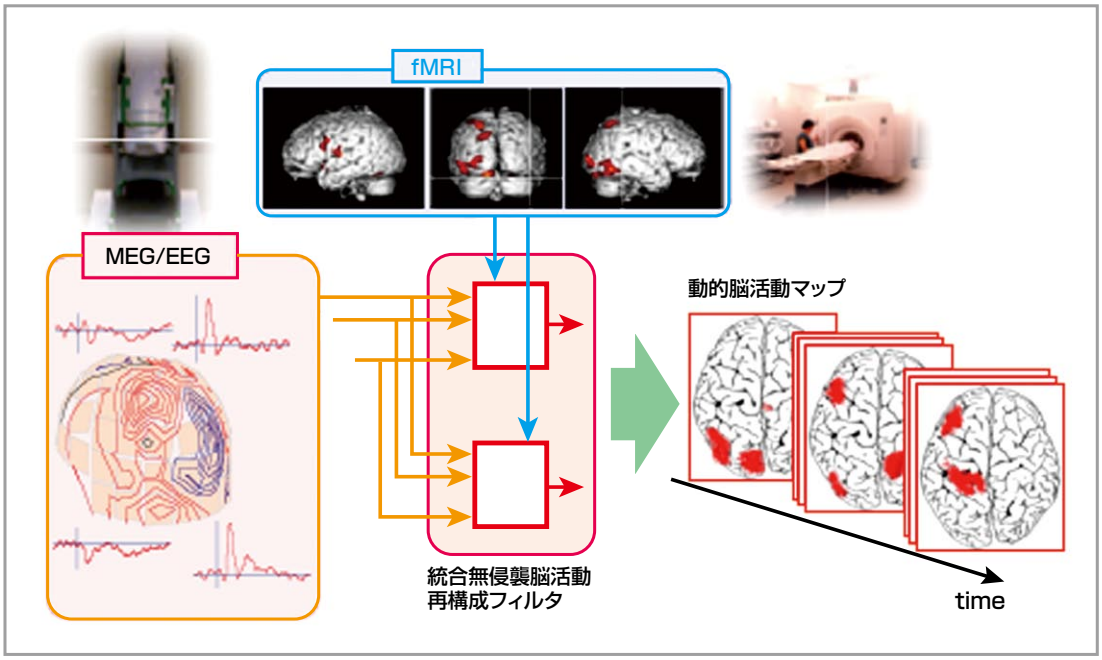


図3　計測原理の異なる複数の脳機能計測手法の統合による、高時間・空間分解能脳機能可視化システムの開発

リ秒オーダー）を持ちますが、頭表面で計測されるこれらのデータから脳内の神経活動分布を再構成すること（いわゆる生体電気・磁気的逆問題）は、ある制約条件の下でのみ解を求めることができるため、その空間分解能の不確かさが問題となります。

私たちは、計測原理の異なるMEGやfMRIなどの複数の計測技術を用いて得られる膨大なデータの統合的な解析を可能にするシステム（図3）の開発を行い、MEG・EEGの高い時間分解能とfMRIの高い空間分解能の双方をあわせもつ、次世代の無侵襲脳機能イメージング技術の研究を行っています。開発途上の統合的無侵襲脳機能可視化技術は，実際の脳機能計測データに適用して、その有効性を検証しています[3]。図2に示すようなMEGのみを用いた脳活動分布を可視化した結果は、本技術を用いてfMRIデータとの統合解析を行うことにより、時間的な分解能を低下させることなく空間的な精度をさらに向上させることができます（図4）。

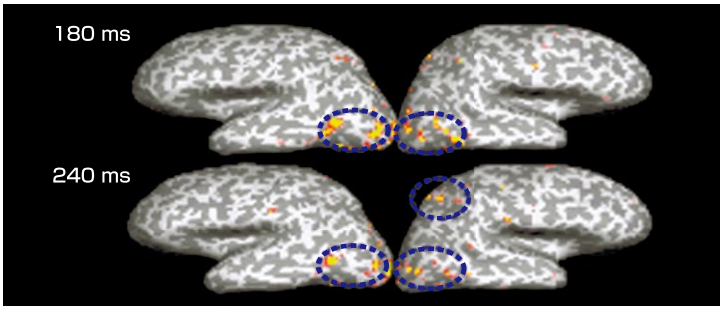


図4　MEGとfMRI両データを用いて空間的精度を向上させた、三次元物体を知覚するときの脳活動可視化結果

今後の取り組み

人間に特有な高次の脳活動では、さまざまな脳内活動領域間の相互作用が重要な役割を果たしており、このような機能の脳内表現を解明し臨床的に応用するためには、「脳のどこが（Where）いつ（When）活動しているのか」だけでなく、「どのように（How）相互作用しているのか」を明らかにすることが非常に重要です。私たちは、前述の統合無侵襲脳機能計測・解析手法を基盤に、医学・脳科学分野の研究者と共同で、このような技術のさらなる発展と、医療分野への実用的な応用をめざした研究を進めています。

関連情報

[1] S. Iwaki et al., IEICE Trans. Inf. & Syst., vol. E85-D, pp.175-183, 2002.
[2] S. Iwaki et al., Complex Medical Engineering, Springer-Verlag, In Press.
[3] S. Iwaki et al., Frontiers in Human Brain Topography, Elsevier, In Press.
[4] 特願2006-021820「脳活動解析方法および装置」（岩木）

生体の微小構造を見る マイクロX線CTイメージング

三澤 雅樹
人間福祉医工学研究部門 医用計測技術グループ

高分解能マイクロX線CTの概要

X線CT（コンピュータ・トモグラフィ）は、医療現場での形態学的な診断機器として広く普及し、わが国の国民100万人あたりの設置台数は70台以上と世界トップで、国内市場規模も500億円を超える状況となっています[1]。このような流れと並行して、可視光では見ることのできない人工物や天然物内部を顕微鏡的に検査するためのマイクロX線CTの開発が1980年代後半から進められてきました。「マイクロ」はX線発生部の焦点サイズがマイクロメートル（μm）オーダーで、医療用の1/100以下であることに由来するものです。産業用のマイクロX線CT装置では、測定対象や要求される仕様が医療診断用とは大きく異なり、μmオーダーの空間分解能が求められることが多く、濃度分解能の精度や放射線被曝に関係するスキャン時間に対する制限はさほど厳しくはありません。このような違いは、X線発生装置の焦点サイズ、管電圧、管電流、スペクトルなどのほか、X線検出器、駆動機構、拡大率、撮影方法の違いとして反映されます。

ここでは、図1に示すような高分解能のマイクロX線CTをラット脛骨や生体材料に対して使った例をもとに、断層像からの特徴量抽出や流体・構造計算へのプロセスを概説し、生体サンプル撮影に求められる要件を紹介します。

骨および生体材料の可視化

マイクロX線CT計測の特徴の一つは、μmオーダーの空間分解能で三次元的な情報を得られる点にあります。その一例として、生育条件を変えたラット脛骨関節部の海綿骨を三次元断層撮影し、骨構造と生育条件の関連を調べた例を示します（図2）。この例では、X線の焦点サイズが定格で7μm、画素ピッチ50μmの検出器を用いて撮影しました。X線焦点からサンプルの回転中心までの距離と検出面までの距離の比が幾何学的な拡大率となりますが、これを5.2としています。サンプルの外径は8mm程度なので、医療用のようにX線源や検出器を回転させるより、サンプルを回転させるほうが容易に撮影できるため、1度ステップで360度回転させて撮影しました。断面をみると、運動させたラットの海綿骨は緻密に発達しているのに比べ、運動を抑制したラットのそれは、かなりまばらに発達していることがわかります。

骨再生の移植用人工部材として用いられる多孔質ハイドロキシアパタイトにも、海綿骨と同様の微細構造があります。これに間葉系幹細胞を播種し、増殖分化因子を加えて培養し、生体内に埋め込む試みが行われていますが、骨形成過程を評価するには、無侵襲のマイクロX線CT計測が適しています。図3は、このような多孔体構造を可視化した例です。三次元構造から気孔率、孔連結性などのパラメータを求めることで、製品の機能を事前に評価するなどの利用法が考えられます。

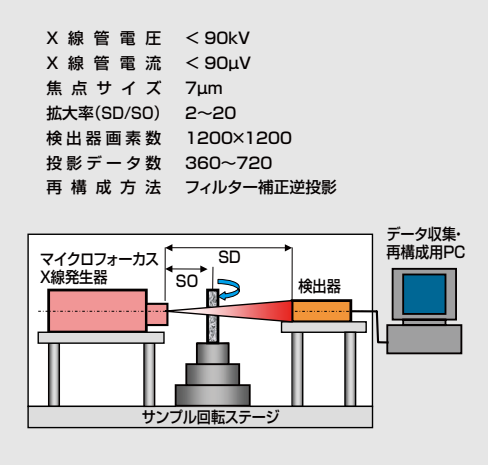


図1　マイクロフォーカスX線CT装置

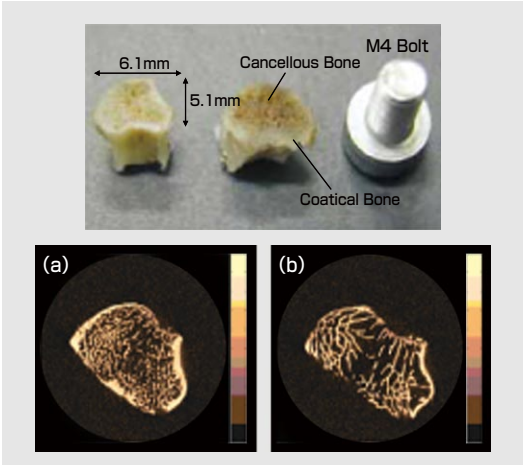


図2　生育条件の異なるラット脛骨内部の海綿骨断層像
（a）63～84週水泳1時間　（b）コントロール

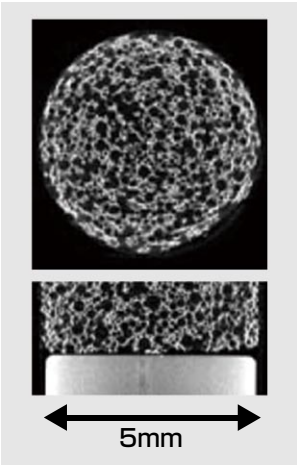


図3　ハイドロキシアパタイト足場材料の三次元X線CT

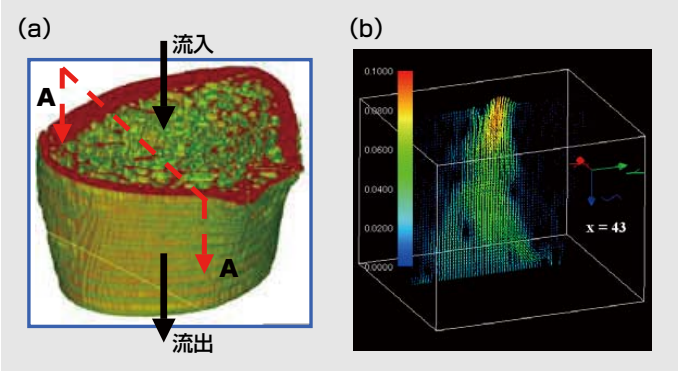


図4　格子ボルツマン法によるラット脛骨の海綿骨内仮想流れ
（a）断層撮影モデル　（b）A–A断面内の流速分布
（先進製造プロセス研究部門 高田尚樹氏との共同研究）

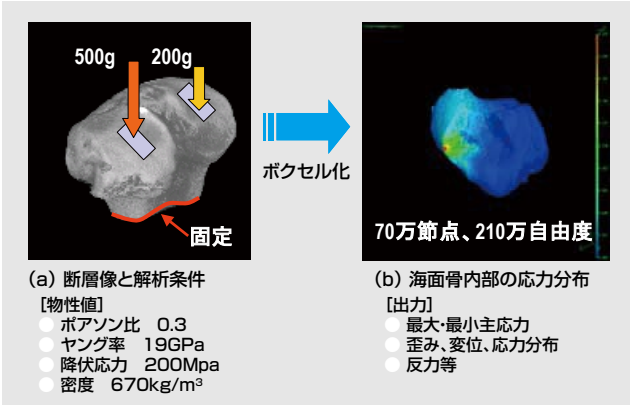


図5　X線CT断層像から構造計算への展開
（（株）くいんと、VOXELCON使用）

ポストCT処理

X線CTで非破壊的に得られた三次元形態情報は、それ自体、欠陥検査や品質管理に役立ちますが、さらに踏み込んだ使い方として、流体や構造の数値計算に利用する“ポストCT処理”があります。例えば、先に示したラット脛骨の海綿骨のある特定の領域内部に生じる流れや圧力場をシミュレーションで求めることができます[2]。流体計算法として複雑流路に適した格子ボルツマン法（Lattice Bolzmann Method）を用い、骨上端に水が流入したときの速度分布を、図4に示します。本来、多孔質内部の局所的な物性は実験的に計測することが困難なので、このようなシミュレーションはマクロ計測を補完する意味で、生体材料の設計や評価に有益です。骨内は通常、粘性の高い骨髄液で満たされていますが、骨髄炎などの治療では水に近い粘性の薬剤を注入することもあるため、効率的な患部への注入条件を明らかにするなど、臨床的な価値も高いと考えられます。

三次元形態情報のもう1つの使い方は、適切な物性値を与えて構造解析に利用する方法です。これまで骨の粘弾性力学試験は数多く行われてきましたが、内部構造との関連づけが困難でした[3]。マイクロX線CTで撮影した海綿骨構造と構造シミュレーション解析を組み合わせることによって、より精密な実験データの分析が可能になります。図5は、ラット脛骨の海綿骨断層像に力学物性を与えて、応力歪み解析を行った例です（（株）くいんと、VOXELCON使用）。応力分布以外に最大・最小主応力、歪み、変位、反力等が計算できます。このような解析を発展させることで、高齢化社会で進行しつつある骨粗しょう症の診断や再生医療の現場にも役立てることができます。

今後の方向性について

ここでは、骨計測を例にとってマイクロX線CTを説明してきましたが、これ以外の生体組織への活用例もすでに数多く報告されています[4][5]。今回の例では、孔径や隔壁の厚みが識別できる10μm程度の空間分解能で十分でしたが、細胞組織や細胞内部の可視化に対してはサブミクロンの分解能が求められています。また、組織や生体材料は、軽い元素で構成される軟組織と、骨などの硬い組織が混在しているため、わずかな吸収係数の差を識別する高い濃度分解能が要求されます。このような機器開発と並行して、評価方法の標準化や生体組織の透過データベース構築等を進めていく必要もあります。

参考文献
［1］経済産業省平成15年医療機器産業懇談会報告書
http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0004034/2/030516iryo-sanko.pdf
［2］高田尚樹，日本機械学会第15回計算力学講演会講演論文集，551-552（2002）
［3］白崎芳夫他，日本レオロジー学会誌，Vol.30, No.4, pp.173-178（2002）
［4］中屋良宏他，日本放射線技術学会雑誌，第58巻，第7号，pp.885-892（2002）
［5］S. C. Mayo et al. , OPTICS EXPRESS Vol. 11, No. 19, pp.2289-2302（2003）

つくばセンター 一般公開

「来て！ 未来の技術がいっぱい」を統一テーマに、今年も全国各地の産総研研究センターで恒例の「一般公開」を開催しています。「つくばセンター」の一般公開は、7月22日(土)でした。つくばエクスプレスが開通してから初めての一般公開でしたが、予想通り大勢の皆様においでいただきました。とくに恐竜型ロボットの実演や、もうひとつのノーベル賞といわれる「ミレニアム賞」を受賞されたカリフォルニア大学中村修二教授の特別講演は大盛況でした。そのほか、さまざまな講演やチャレンジコーナーなど、わかりやすい展示と説明で、小学生から一般の大人の方々まで、産総研で行っている最新の研究成果や科学の基礎を楽しく見学していただきました。

産総研では「社会の中で、社会のために」という「憲章」を定めています。つくば市内を走る自家用バスの車体にも大きく「技術を社会に－Integration for Innovation」のメッセージを書いて、研究所の姿勢を示しています。産総研の研究活動は究極のところ、次世代のより質の高い生活、新しい産業や社会の実現、とくに環境に配慮した持続可能な発展を目標としたものです。実際にその恩恵を受ける一般の方々、特に未来を担う若い人たちと直接触れあって研究についての夢を語り合う場として、この「一般公開」は大変重要な行事となっています。

ひとりでも多くの方に科学技術がもたらす未来に明るい夢を抱いていただけるよう、また、子供たちが次の時代の研究者を目指してくれるよう願って、産総研の「一般公開」は開催されています。

産総研 副理事長　**小玉 喜三郎**

夏休み最初の土曜日、心配された雨もあがり、この季節としては涼しい気候に恵まれ、大勢の来場者の皆さんと楽しい時間をともにすることができました。
中村修二カリフォルニア大学教授の特別講演をはじめ、さまざまな体験コーナーや講演会、公開実験、施設見学など、ご来場いただいた方々には、いろいろな角度から産総研の研究の様子を感じていただけたのではないでしょうか？
約5800人の皆さんにご来場いただきました。
どうもありがとうございました。

- 中村教授の話を聞いて「成功した人にはつらい時期があったんだな。自分も社会に出たらつらいことがあってもがんばらなきゃ。」と思った。
- 最初「何のための研究？」と首をかしげたテーマでも、話を聞いてみると、社会や産業への結びつきがある立派な基礎研究だったりする。
- 産総研の一般公開は初めて。自分はコンピュータ系なので少し物足りない。KEKの公開なんかは、かなり本格的なので、産総研もがんばって欲しい。
- 中村教授には親しみを覚えた。特に自分の信じた道を貫こうとするところ。自分もマスターとったらドクターはアメリカかな。
- 中村先生の話から感じたことは、アタマ使うよりまずカラダ使えってことかな。バイタリティのある方だと感じた。
- 世界と比べれば、弱い部分のある日本の産業のためにも、10年あるいはもっと先をみた研究を、産総研の技術で進めていって欲しい。

特別講演 / 中村 修二 教授：

青色発光ダイオードへの挑戦

「中村、生きているか！」

私が入社した1979年当時、日亜化学の従業員は180名くらい。前年にレイオフがあって潰れかけた会社でした。私の所属は開発課で、昔からある赤色発光ダイオードの結晶成長を始めました。ガリウムリンという材料です。

それにはまず電気炉が要りますが、そのお金が出ない。どうしようかと思ったのですが、造る材料が会社の中にころがっていました。会社の主力製品は、カラーテレビや蛍光灯に使う蛍光体なので、粉を焼成する大きなトンネルがありました。その横にゴミ捨て場があって、要らなくなった耐火レンガやヒーターが捨ててあったのです。私は、それらを集め、鉄板なども拾ってきて、自分で電気炉を造ったのです。

苦労したのは石英溶接でした。製品段階に近くなると、太い石英ガラスを溶接しなければなりません。これが大変で月に1回くらい大爆発を起こしました。ガリウムとリンを真空封入した後、電気炉で1000℃くらいに上げるのですが、溶接が悪いとクラックから空気が入って、ドーンと爆発するんです。

最初の時はすごかったですよ。トタンで囲った私の“掘っ建て小屋の研究室”は、駐車場から100～200メートルくらいの場所にありました。そこから地響きとともに白煙が上がったので、駐車場にいた社員が集まってきて、「中村、生きているか！」です。私は白煙の中で消火活動をしていました。

そんな信じられないような日々でしたが、入社して10年間で、3つの製品を作り上げました。半導体の結晶からLEDまで、すべてを独自に作ったのです。技術導入すれば簡単だけれど、私はそれをしなかった。しかし、会社は売上利益がなければ潰れます。だから、「まだいたのか。とっとと辞めろ。わしらが稼いだ金をどぶに捨てた責任を取れ」と言われました。

他人の真似をしない

入社10年目、やけくそで青色発光ダイオードをやろうと決意しました。小さい会社のよいところは、創業者に直接話が言えるところです。でも、正直に言いますと「おまえはクビだ」と言われると思いました。ところが、簡単に「いいよ」です。小川信雄社長は70歳を過ぎていましたから、ボケているのかなとも思ったのです。5億円出してほしいと言うと「いいよ」、ついでにフロリダ大学に勉強に行かせてくれと言ったら、それも「いいよ」です。数分のやり取りです。びっくりしました。1988年です。それまで海外には一度も行ったことがありませんでした。飛行機に乗ったこともなかった。35歳の時です。

帰ってきて青色発光ダイオードの研究を始めたのですが、材料の候補は2つありました。セレン化亜鉛と窒化ガリウムです。当時、世界の大半の人がセレン化亜鉛で青色発光を研究していました。窒化ガリウム派はほんのわずかでした。

フロリダ大学で、博士号を持たない研究者は小間使いとしてしか扱われないという酷い体験をしましたので、私の目的は「博士号を取って連中を見返してやる」になっていました。目的は論文を書くことです。セレン化亜鉛にはいっぱい論文がある。そんな分野に入っても、同じような論文しか書けない。しかし、窒化ガリウムの研究はなきに等しいから、論文が書きやすいと思って選んだのです。それだけです。

実はこの時、もう一つ考えたことがありました。過去10年間、特許や論文を一生懸命に読んで仕事をしてきたのですが、それだと、無意識のうちに真似をしてしまうんですね。だから、今度は特許や論文は読まないようにして、自分で実験をやって、結果を自分にフィードバックするようにしたのです。

下積みの苦闘が生んだ世界一

最初は市販のMOCVD（有機金属化学成長法）の装置を買いました。窒化ガリウムの結晶を成長させるために、どうしても必要な装置です。2億円でした。

わかりやすく言うと、これは茶碗を焼く窯です。よい茶碗を焼くには、よい窯が要る。その窯がMOCVDで、中で焼く茶碗が窒化ガリウムなのです。でも、市販のMOCVD装置では、うまくできないんです。できてもボロボロ。本当は透明な膜が必要なんです

が真っ黒なものしかできない。

うまくいかないので、数カ月くらいしてから装置を改造しようと決めました。この改造を始めたら、すごく自信が湧いてきました。というのは、改造するのは主に透明石英やヒーターで、そこでは、爆発事故を起こしながらコツコツ積み上げてきた石英溶接などの技術を、十分に生かすことができるからです。

午前中に装置を改造して、午後から反応させるという作業を、1年半、毎日毎日続けました。全部自分でできましたから。ですから皆さんに言いたいのは、100%の保証はしませんが「下積みというのは役に立つことがありますよ」ということです。

1年半後、有名な「2フローMOCVD」ができました。1990年10月です。これは非常によい窯でした。これで窒化ガリウムを焼いたら、世界一の膜ができた。世界一の茶碗ができたわけです。人生の中で、初めて世界一のものができたのです。ただその時に思ったのは「これで論文が書ける！」でした。

さて、実際に青色発光ダイオードをつくるには、N型窒化ガリウムとかP型窒化ガリウム、インジウムガリウム窒素とか、アルミガリウム窒素とか、いろいろな膜を生成しないとダメなのですが、2フローMOCVDはとてもよい窯なので、どんな膜をつくっても世界一になりました。窯がよいから、焼ける茶碗はいつも世界一。これが裁判になった404特許です。

頭脳を生かす社会へ

2000年からアメリカに行きましたが、大学教授がプール付きの豪邸に住んでいてびっくりしました。平均収入はむしろ日本のほうが多いくらいですが、向こうの大学教授の半分は、自分のベンチャー会社を持っている。工学部の先生の場合です。さらに企業のコンサルティングもやって稼いでいるから、豪邸に住めるのです。

一番わかりやすいのは、白川英樹先生とアラン・ヒーガーの比較です。白川先生とヒーガーともう一人が、導電性プラスチックで同時にノーベル賞を受賞しました。ヒーガーは私と同じ大学にいます。

ヒーガーは、ノーベル賞の前から導電性プラスチックのベンチャー会社を持っていました。受賞の数年前にその会社をデュポンに売り、たぶん何10億円という大金を手に入れました。だからノーベル賞の賞金も、彼にとってはたいした額ではないんです。いまもその会社の顧問をやっていて、さらにベンチャー会社を3つ持っている。

白川先生とヒーガーは同年齢です。白川先生はノーベル賞をもらう直前、大学の定年が来て、家庭菜園でもやってのんびり余生を送ろうと思っていたそうです。そこにいきなりノーベル賞が来て、現在はいくつかの組織の役員をされているようです。

私が言いたいのは二人の違いです。ともにノーベル賞を受賞され、頭脳は世界で最高レベルです。なのに、白川先生は現在は名誉職だけ。どちらの才能が社会のために有効に使われているかといえば、アラン・ヒーガーのほうでしょう。自分の頭脳をフル回転させて、ベンチャー会社で従業員を雇って、大学では現役で学生を教育している。

日本では、どんなにすごい研究者であっても、名誉職で終わるのです。それでもよいのですが、もっともっと社会に貢献していただくべきだと思いませんか。いまなお現役バリバリのヒーガーを見ると、日米の大きな差を痛感するのです。

中村 修二
なかむら しゅうじ

カリフォルニア大学サンタバーバラ校
材料物性工学部教授

高輝度青色発光ダイオード（LED）、青色半導体レーザー（LD）の発明発見で世界的に知られる。
1954年愛媛県生まれ。79年に徳島大学大学院修士課程を修了し日亜化学工業（株）に入社。93年に青色LED、99年に青色LDを実現。2000年より現職。仁科記念賞（96年）、大河内記念賞（97年）、ジャック・モートン賞（98年）、本田賞（00年）、朝日賞（01年）、ミレニアム技術賞（06年）などを受賞。

「発光ダイオード（LED）は、光を出す半導体です。昔、明るく光るのは赤色だけでした。いろいろな色を表現しようと思ったら、色の３原色（赤、青、緑）が必要です。でも、青と緑で非常に光るものはなかなかできなかったのです。しかし、以前いた会社で、私が青と緑で非常に明るく光るものを作り、３原色が実現されました。
いま一番応用が広いのは白色のLEDで、照明の分野でどんどん使われだしています。効率が蛍光灯の３倍、電球の10倍以上も高いので、これからすべてLEDに変わっていくでしょう。白色LEDのもう一つの長所は、動作電圧が低いことです。３ボルトくらいの乾電池でも光ります。“太陽電池＋バッテリー＋白色LED”で、地球上でまだ電気の恩恵に浴していない人々にも、夜の光が供給できます。
もうひとつ私が発明した青色半導体レーザーは、DVDの読み取りや書き込み用の光源です。現在のDVDは赤色半導体レーザーを使っていますが、青色半導体レーザーを使うと映画が10本くらい入るようになります。」

インタビュー / 中村 修二 教授：
サイエンスが好きな米国、嫌いな日本

インタビュアー：餌取 章男（産総研 広報アドバイザー）

なぜ科学が嫌いになるのか

餌取　ミレニアム技術賞の受賞、おめでとうございます。

中村　外国では日本よりはるかに大きな反響を呼んでいます。

餌取　フィンランドの賞で先生が二人目。第１回の受賞者はWWWの創始者でした。ノーベル賞に匹敵ないしはそれ以上の賞ではないかと思います。こういう賞こそ、日本がつくるべきなのです。日本国際賞、京都賞、国際生物学賞、本田賞、ブループラネット賞、コスモス国際賞など、賞金額が1000万円以上の賞が日本には結構あるのですが……。

中村　でも、国際的に知られていない。

餌取　日本国内でさえ有名にならない。ノーベル賞を受賞するとマスコミは大騒ぎします。ところが日本国際賞は小さな囲み記事でしかない。

中村　なぜでしょうね。今度の賞はまだ取材が続いています。インタビューで「なぜ日本ではそんなに扱いが小さいのか」と逆に聞かれました。基本的に、外国の人はサイエンスが好きで、日本人はサイエンスが嫌いなのかもしれませんね。

餌取　でも、日本の小学生は理科や科学が好きなんです。

中村　そうです、日米とも小学生は理科が好き。ところが中学、高校に進むにつれて差が出てくる。アメリカ人は小学生の好奇心を持ったまま大人になれるのに、日本人は大学受験で理科が嫌いになってしまう。アメリカの大学入試は内申書が７割か８割で、残りの２～３割が簡単な資格試験です。サイエンスの好きな子が一生懸命やれば、内申書の点が高くなる。だからそのまま大人になれるんです。そういう社会だから、サイエンス関係の賞と言えば、一般のアメリカ人も非常に喜んでくれる。

2001年にアラスカの研究会で、料理を出してくれる現地の若い男性が「ドクター中村でしょう」と話しかけてきたんです。「なんで知っているの」「『ポピュラーサイエンス』を読みましたから」と。アルバイトの人が科学雑誌を読んでいる。

「ロボット大量養成教育」と私は言っているのですが、日本では５教科なら５教科、全員が同じことをさせられる。サイエンスに限らず、これでは美術や音楽が好きな子は育たない。

餌取　受験で出る問題も、科学の本質とあまり関係ないですね。

中村　むりやり化学記号を覚えさせられたら、誰でも化学が嫌いになりますよ。サイエンスは覚えることではないのです。

大学教授は経営者

餌取　アメリカの大学の教授は中小企業の経営者と同じだ、と書かれています。

中村　週に１回講義する代わりに給料を出すが、あとは勝手に何でもせいというのがアメリカの大学です。研究がしたかったら、自分で金を集めてきて、学生を雇って研究しなさい、です。スペースも、金を持ってこないとくれません。

今、学生を10人くらい雇っていて、保険代なども全部含めて１人600～700万くらいかかる。10人で6000～7000万円。あとは実験の維持費などで、全部で１億円ちょっと。これが毎年です。それが集められなくなったら倒産。アメリカには定年制はなく、お金を集められる限り、永遠に仕事を続けることができるんです。

餌取　出してくれる相手は企業ですか。

中村　政府と企業、両方です。

餌取　企業の場合、何か制約を受けることはないのですか。

中村　いろいろな契約がありますが、私がやっているところは特許実施権を独占的に与えるとか、そういうことで対応しています。カリフォルニア大学では、基本的に特許権は大学が所有します。ただ、実施権を企業に与えて、ライセンス料を必ず大学が取るのです。大学が半分取って、発明者には半分行きます。

広報は日常的なサービス活動

餌取　大学の広報活動はどうですか。

中村　よくやっていますよ。1年365日、広報部門は常に動いています。土日は、小中学生が見学に来ます。スケジュールが常に組んであるのです。

とくに夏休みは大変です。サマースクールとか語学研修などで世界中から学生がやって来ます。研究教育スタッフは休みますが、大学そのものは休みなく動いていて、日本の大学とはえらい違いです。

餌取　研究室の見学ツアーもあるでしょう。

中村　ありますよ。「見学させてくれ」とEメールが来たら、誰か学生を出させる。私たち教授が一方的に命令しますが、誰も拒否しません。

餌取　研究者としての意識の違いがあるようですね。

中村　みんな喜んで研究の説明をする。教育の一環だと思っているのです。アメリカでは、小学校から皆の前でプレゼンテーションさせる。だから、好きだし得意なのです。

餌取　ミレニアム技術賞の受賞は、大学にとって絶好のPRチャンスですね。

中村　学長が「私は中村君の小間使いだから」と言ってくれて、先日のパーティーも全部仕切ってくれましたし、ワシントンでのフィンランド大使のパーティーにも出席してくれました。

餌取　政府に対しても素晴らしいプレゼンテーションになる。

中村　そう。パーティの招待客には政府の偉い人と金持ちを呼ぶ。そして暗に「うちにはこんなすごい研究者がいるから、寄付してくださいよ」と主張する。

肝心なことをまず教育しよう

餌取　とくに気になる日米の違いはありますか。

中村　日本では、一番大事なことを教えていないと思います。向こうではまず、どうやって自立して、金儲けするかを教える。金がないと生活できないでしょう。でも日本では、教育現場に金の話を持ってくるのは絶対にダメ。つまり一番大事なことを教えていない。

また、理系教育で一番大事なのは特許を書くことですが、これも日本の学校では教えない。特許はお金になるから教えないのです。私自身、特許を初めて知ったのは会社に入ってからでした。ところがアメリカでは、誰でも知っています。そういう一番大事なことを教えないで、日本ではわけのわからないウルトラ受験クイズをやっている。

もう一つ、新しい教授を選ぶとき、この7年ちょっとの間、不採用のケースを一度も見かけません。教授会には20～30人くらいが参加し、もちろん議論はします。でも、投票にかけたら皆が○。もし×を付けたら、必ず皆の前で×の理由を言わなければいけないからです。決定的な理由がない限りは、教授会で落とすことはない。権威者が幅を利かす日本と違うでしょう。だから、日本は「ノー」と言う文化で、向こうは「イエス」という文化だと言っているのです。

餌取　誰かの話と逆ですね。本日はお忙しい中、興味深いお話を誠にありがとうございました。

産総研一般公開：
各地域センターでも続々開催

関西センター

関西センターでは、7月21日に尼崎サイト、8月4日に池田サイトで一般公開を開催しました。尼崎では朝からどしゃ降りの大雨、池田では気温36度にも達する炎天下でしたが、尼崎会場350名、池田会場969名、計1,319名の来場者を迎えました。整理券を求めて大声の飛びかう例年と比べ、両会場ともゆったりとした中での一般公開となり、あまり混み合うこともなくご来場された方々にはご満足いただけたように思います。

今年の一般公開では関西センターの10研究ユニット全てが出展参加し、他地域センターからも科学教室の「化学の不思議、電気の不思議」、展示・実演・体験は「バイオマスの技術」「燃える氷メタンハイドレートで何をする？」「国際標準化100周年記念事業」「移動地質標本館」と協力を仰ぎ、尼崎では14、池田では30の多彩なコンテンツが揃いました。

実演、体験するコーナーが数多く設けられ、子供から大人まで実物に触れて科学技術の面白さを体験していただき、地域の皆様にも産総研についてより深くご理解いただけたと思います。回収したアンケート結果や後日届いたメールでは「来年もやって欲しい」「とても勉強になり面白かったです」といった意見が多数見られました。

九州センター

九州センターでは、研究成果の普及とともに、子供たちにもっと科学技術に親しんでもらおうという目的をもって、7月29日に一般公開を行いました。

当日は長い梅雨が明けたばかりの暑い一日でしたが、たくさんの家族連れで賑わいました。（来場者数420名）

「化学の不思議・電気の不思議」と「もっと光を」の2テーマの体験型サイエンス実験ショーでは、子供たちが興味深く実験に取り組み、科学の不思議や面白さを実感していました。

「移動地質標本館コーナー」では、珍しい化石や鉱物をご覧いただきました。

「つくば出展コーナー」では、世界一の癒し効果があるとされるアザラシ型ロボット「パロ」のかわいい声や動きに注目が集まり、モジュール型ロボットM-TRANⅡの自由に形を変えながら移動する動きに驚きの声があがっていました。

九州センターが独自に設けた7つの公開テーマでは、わかりやすい実験・展示を行いました。

普段は静かな研究室に終日見学者の声が響き、賑やかな一般公開となりました。

来年は、更に充実した一般公開ができるよう努力していきたいと思っています。

今後の一般公開予定

10月20・21日	中国センター	0823-72-1944
10月21日	四国センター	087-869-3530
10月28・29日	東北センター	022-237-5218

中部センター

7月29日、中部センター志段味サイトで一般公開が開催されました。例年の厳しい暑さにくらべると凌ぎやすい天候ではあったものの、一時、小雨が降るなど不安定な天気にもかかわらず昨年を上回る1,158名の来場者を迎え、大盛況となりました。

“立体万華鏡を作ってみよう”の工作教室、“隠れたエネルギーを活用しよう－熱電変換技術－”などの科学教室、“金属の鏡を作ってみよう”や“サーモカメラでの測温”また“シャボン玉の中から外を見ると”などの体験コーナー、“においを嗅ぎ分けるセンサ”や“ノコギリで切れるセラミックス”などの展示コーナーと子供から一般までを対象とした様々なコーナーを設け地域の皆さんに産総研を知っていただき、つながりを深める機会とすることができました。

この産総研一般公開は、なごやサイエンスパークの施設公開や科学イベントによって、市民の科学技術に対する理解と関心を深めることを目的として催される「なごや・サイエンス・ひろば」の一環にもなっています。

北海道センター

8月5日、北海道センターの一般公開が開催されました。

当日は、北海道センターにほど近いグリーンドームにおいて産総研も後援する「こども未来博」で、米村 でんじろう先生のサイエンスショーが開催されていたこともあってか、厳しい暑さにもかかわらず427名の来場者を迎えることができました。

地質学者で宮沢賢治学会会員でもある加藤理事が「イーハトーヴの賢治の石」というテーマで特別講演を行ない、「宮沢賢治は岩石の知識が豊富で、文学作品には空の青さや花の色などを表現するのに鉱物や化石の名前が使われているものが多い」などの話題に、こどもから大人まで大変好評でした。また、移動地質標本館では、賢治ゆかりの石も今回特別に展示されました。

“無重力を体感する”実験教室、ホタルのひかりを作って遊ぶ“わくわくサイエンス実験ショー”、筋肉自慢が行列を作った“ユビキタスエコー”、毎年人気の“はんこ名人”“スライム”など、さまざまな体験コーナーで、科学のおもしろさを体感していただきました。

当日は、8月2日にプレス発表したばかりの寒冷地用最適コジェネ・システム“スターリングエンジン”をはじめとするさまざまな研究紹介もあり、業界関係者や専門学校生にも多数来場していただきました。

単層カーボンナノチューブで高強度繊維の紡糸に成功

後処理なしで工業材料として高品位な単層ナノチューブ製造技術を確立

ナノテクノロジーの中核になる素材として期待される単層カーボンナノチューブ（SWNT：single-walled carbon nanotube）の画期的な合成法を開発した。これは直噴熱分解合成法（DIPS法）というSWNTの合成法を改良したもので、反応条件などを精密に制御して、生成物の純度と結晶性（グラファイト化度）を飛躍的に改善したのである。従来の技術と比較して、純度が50%から97.5%以上に向上し、構造欠陥は10分の1以下に低減した。この高品質SWNTを用いて、合成後の精製工程、表面改質やバインダーの添加なしで、高強度繊維（SWNTワイヤー）の紡糸やSWNTシートの作製などにも成功した。

We have developed a novel synthesis method for SWNTs (single-walled carbon nanotubes) which are expected to be the core material for nanotechnologies. This method modified from the DIPS (direct injection pyrolytic synthesis) method has dramatically achieved high purity and a high degree of graphitization by controlling the reaction conditions accurately. The purity of the nanotubes increased from 50% to 97.5% and the structural defects in the nanotubes were reduced to one tenth of the previous level. Without purification processes, surface treatments or use of binder, these high quality SWNTs can be used directly to make high-strength threads (SWNT wire) and SWNT mesh sheets.

研究の背景

カーボンナノチューブは炭素原子だけからなる、グラファイト、ダイヤモンドなどと同じ炭素の同素体である。直径が0.4～50nm程度、長さがおよそ1～数十μm程度の1次元性のナノ構造をしており、グラファイト1層（グラフェンシート）を丸めてつなぎ合わせたチューブが何層にも入れ子状に重なってできている。その中で、層の数が1層だけのものを単層カーボンナノチューブ（SWNT）と呼び、グラフェンシートの丸め方（らせん度）に依存してその電子構造が金属的になったり半導体的になったりするのをはじめ、さまざまな面で興味深い特性を示すことから、ナノテクノロジーの中核素材として期待されている。

このSWNTの量産に関して、従来の技術では生成物中の不純物がきわめて多いなど品質面で工業材料としての要件を満たしていなかった。例えば、従来の技術で生成したSWNTは、鉱石をそのまま販売しているようなもので、SWNTの優れた特性を引き出すためにはユーザー側での精製・改質といった後処理が必要であった。これは、ユーザー側に多大の手間・費用・時間の負担をかけるだけでなく、精製などの過程で、SWNTの品質の劣化、バラつきが起こるなど品質管理上の問題が生じ、産業への応用を図る上で大きな障害であった。

直噴熱分解合成（DIPS）法

われわれはこれまで、SWNTの直噴熱分解合成（DIPS：Direct Injection Pyrolytic Synthesis）法による量産技術の開発に精力的に取り組んできた。この過程で、DIPS合成における反応場を精密に制御する重要なポイントを発見し、それに基づいて従来のDIPS法を改良して、生成するSWNTの品質と触媒利用効率を大幅に改善することに成功した。

このDIPS法は化学気相成長法（CVD法）の一種で、触媒（あるいは触媒前駆体）と反応促進剤を含む含炭素原料をスプレーなどで霧状にして高温の加熱炉に導入し、流動する気相中でSWNTを合成する方法である。このことから気相流動法とも呼ばれるDIPS法は、ほかのSWNT合成法と比較してスケールアップが容易であることと連続運転が可能なことが大きな特徴であり、現在SWNTの量産技術として期待されている。

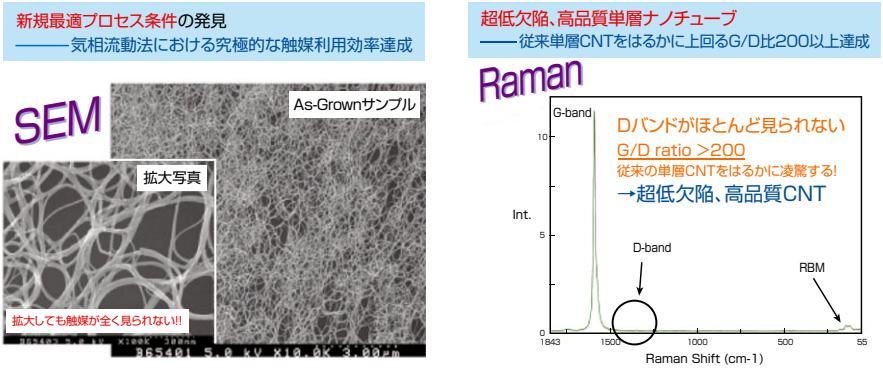


図1　高品質SWNTの特性データ

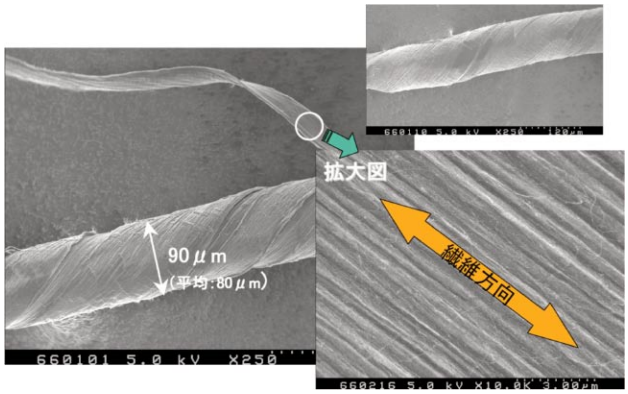


図２　表面改質なしで作製した高強度 SWNT ワイヤー

超高品質SWNTの合成

われわれは、DIPS法によるSWNT合成技術の研究で、炭素源となる原料の分解温度などに関するパラメータの精密制御によって反応場をSWNTの合成に最適な状態にコントロールできることに着目し、従来のDIPS法を改良した結果、純度97.5％以上で、構造欠陥量が従来の10分の1に低減された「超高品質SWNT」の合成技術の開発に成功した（図1）。これは、従来の量産SWNTの品質（純度約50％）を大きく上回るものである。

さらに、この合成技術によって量産性についても飛躍的に向上させることができ、触媒利用効率で従来法の約100倍を達成した。このことは、この合成技術が生成物の品質と量産の両面できわめて優れていることを示している。

また、この合成技術はSWNTの平均直径を0.1nm単位で精密に制御できるのも大きな特徴である。SWNTはその直径によって物性が大きく異なり、適用される分野も違ってくると考えられることから、SWNTの産業応用の面で直径制御はたいへん重要である。さらに近年、ナノマテリアルの標準化が盛んに検討されているなかで、今回開発した合成技術によって直径を精密に制御して合成されたSWNTは、ナノマテリアルの中核をなすSWNTの標準物質としての利用も期待できる。

SWNT構造体の作製

DIPS法で得られる超高品質SWNTは、ナノサイズの均一な構造をもつきわめて軽量なスポンジ状の形態をしている。われわれは、このスポンジ状構造の超高品質SWNTを加工することによって、従来SWNTの構造材料への応用で必須と考えられてきた表面改質やバインダーの使用を行うことなく、未精製のままで1次元構造体である高強度繊維（SWNTワイヤー）の紡糸（図2）や、2次元構造体であるSWNTシートの作製（図3）に成功した。

図３　未精製高品質SWNTシート（シートの厚さ約９マイクロメートル）で作製した折り鶴

このような優れた加工性がこの合成技術で得られた超高品質SWNTの大きな特徴のひとつである。これらのSWNT構造体は、例えば超軽量でかつ超高強度の航空機用部材などの高強度材料として有望であろうし、またSWNTシートに関しては細胞培養のためのメッシュや再生医療用の生体材料としても応用できるのではないかと考えている。

今後の研究の展望

この高品質SWNTの量産技術は、単にSWNTの品質向上を達成しただけでなく、上述のように加工プロセスにおいてもこれまでにない画期的な利点をもつことから、今後のSWNTの産業応用において大きなブレークスルーになると期待している。

例えば、この合成技術によってつくられた高品質SWNTは、医療、生物、化学、複合材料などの幅広い分野での産業応用が考えられており、特にナノテクノロジーを応用した複合材料などバルク材料開発において著しい研究の進展が見込まれる。

関連情報

- プレス発表 2006年５月11日：「単層カーボンナノチューブで高強度繊維の紡糸に成功」
- 本研究は、NEDOの委託事業、ナノテクノロジープログラム「ナノカーボン応用製品創製技術プロジェクト（平成14～17年度）」の支援を得て実施された。

● 問い合わせ先
独立行政法人 産業技術総合研究所
ナノカーボン研究センター　ナノカーボン研究チーム
研究員　斎藤　毅
E-mail: takeshi.saito@aist.go.jp
〒305-8565　茨城県つくば市東 1-1-1　中央第５

水だけを使ったPETのケミカルリサイクル技術

高温水による環境に優しい分散型プロセス

高温の水で処理することによりペットボトルなどのPETを高効率で原料モノマーに分解する技術を開発した。この技術は、有機溶媒や触媒を使わないため環境負荷がきわめて小さく、地方自治体で実施されているペットボトル回収システムと組み合わせれば、循環型社会へ向けたコンパクトな分散型プロセスとして実用化が期待できる。

We have developed a new technique of chemical recycling for polyethylene terephthalate (PET), which can depolymerize PET to terephmatic acid and ethylen glycol using water at high temperature. This method without using any hazardous material is a promising environmentally-friendly chemical recycling process, and expected to be an economical compact process in combination with the present collection system for used PET bottles.

佐藤　修 さとう　おさむ
o.satou@aist.go.jp
コンパクト化学プロセス研究センター
触媒反応チーム（東北センター）

これまで亜臨界と超臨界状態の二酸化炭素や水を利用した有機反応に関する研究に従事し、環境に配慮した新規プロセス反応の探索に携わってきた。今回、この探索にプロセスシミュレーターによるエネルギー計算を導入することで、経済性の評価だけでなく、必要な追加検討事項を把握できるなど、シミュレーションの有用性を認識することができた。今後も積極的に他分野の研究者との協力関係を築くことで、研究が実用化に向けて発展するよう考えていきたい。

ペットボトルのケミカルリサイクルの現状

21世紀の持続可能な社会のために、限られた資源の有効利用を図る物質循環型社会システムの構築が急務である。そこでは、プラスチック廃棄物についても、分別回収し省エネルギープロセスによって再資源化することが重要となる。

飲料水用ボトルとして利用が増加しているペットボトルは、①その強度と透明度から、高純度のポリエチレンテレフタレート（PET）で作られている、②PETはテレフタル酸（TPA）とエチレングリコール（EG）がエステル結合で重合した高分子であることから、原理的には解重合反応によって原料モノマーに分解できる（図1）、③容器包装リサイクル法による分別回収システムの整備と同リサイクル法の国民への定着により、現在30万トンあまりの使用済みペットボトルが各市町村などの集積所に集められている。これらのことから、ペットボトルはケミカルリサイクルに適合したプラスチック製品と考えられる。

最近、使用済みペットボトルを再びペットボトルに戻すための、ケミカルリサイクルプロセスの実用化が検討され、EG中で解重合させるグリコリシス法、あるいはこれにエステル交換法を組み合わせたプラントが事業化されている。これらのプラントは、年間数万トンを処理する大規模な化学プロセスなので、全国から大量の使用済みペットボトルを安定的に確保することが大きな課題となっている。

そこでわれわれは、各市町村の集積所に集められたペットボトルを、その場でケミカルリサイクルする分散型プロセスを考えた。各地で分散処理するため、プロセスとしては簡素化された構造で、厳重な管理が必要な有機溶媒や触媒を使用しない反応系が望ましい。そこで、水でPETを加水分解し、生成するモノマーを回収するプロセスを提案した。

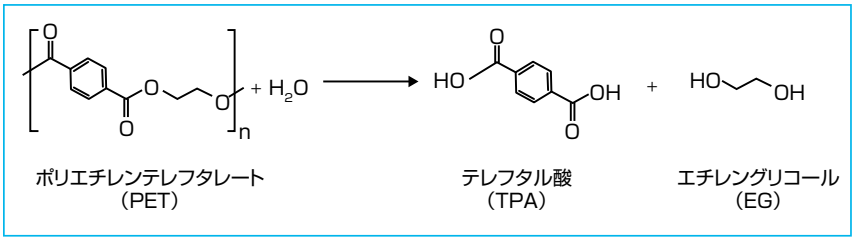


図1　ポリエチレンテレフタレート（PET）の加水分解

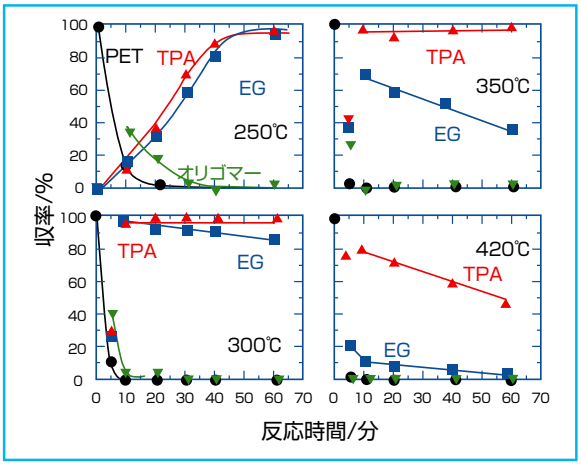


図２　PETの加水分解反応の温度依存性

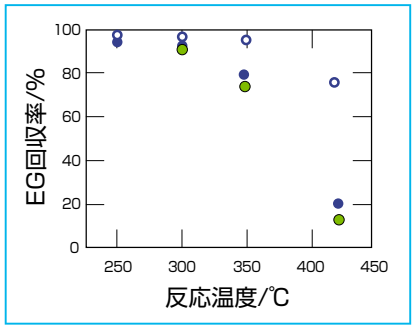


図３　高温水からのEGの回収率
（● PET 0.53g，○ EG 0.17g，● EG 0.17g＋TPA 0.46g）
350℃以上ではTPAによるEGの脱水反応が進行するが、300℃の条件ではほとんど進行しないことが確認された。

ＰＥＴの加水分解反応

これまでもPETを水で処理してモノマーに分解することができることは知られていたが、低温では十分な反応速度が得られず、酸やアルカリの添加が不可欠であった。また、超臨界水（臨界温度374℃，臨界圧力22.1MPa）を用いる加水分解も提案されていたが、生成物であるEGの脱水縮合が起こるために十分な収率が得られないという問題があった。

そこでわれわれは、高温水によるPETの加水分解とモノマー回収について、温度、時間などの影響を検討（図2、3）し、TPA、EGがともに高収率で得られる条件（反応温度300℃、処理時間10分）を見出した。

プロセスシミュレーターによる経済性

実験で得られた知見を基に、ペットボトルのケミカルリサイクル用の流通式プロセスモデルをプロセスシミュレーター上に構築し、稼動に必要なエネルギーを算出した（図4）。さらに算出したエネルギーを基にランニングコストを求め、分散型プロセスとして経済性が成立する可能性について検討した。処理すべきPETの量を（現在のペットボトル分別回収量と地方自治体の数から）1日約1トンとすると、エネルギー使用量は2,198kWhとなり、このケミカルリサイクルによるモノマーの製造価格を算出すると、現行のバージン価格より十分安くなる。また、このプロセスは自治体のごみ焼却場の熱エネルギーを利用できる規模なので、新たに使用する化石燃料を極力抑制することもできると考えている。

今後の展開

このケミカルリサイクル技術は、PETだけでなく他のポリエステル系樹脂にも応用できる。軽量、透明、高強度のPETよりもさらに高い耐熱性をもつ素材として注目されているポリエチレンナフタレン-2,6-ジカルボネート（PEN）製品などへの応用も可能である。

いっそうの省エネルギー化を目指して、生成物であるTPAの添加効果などをさらに検討するとともに、固体であるPETの連続供給システムやモノマーの分離精製工程といったエンジニアリングの課題についてもコンパクトプロセス研究センター内の研究者の協力を得て、実用化に向けた研究を進めていきたいと考えている。

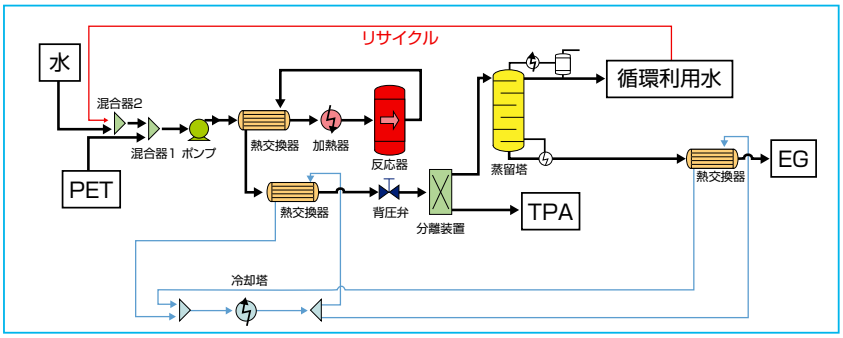


図４　分散型プロセスによるPET分解シミュレーションモデル

関連情報：

- 共同研究者：白井誠之，長田光正，峯英一，日吉範人，鹿内良将，鈴木明，新井邦夫
- 日経産業新聞：2006年５月２日
- 毎日新聞：2006年５月５日
- 特願2006-137077「ポリエステルの高温水による分解法」（佐藤修，新井邦夫，長田光正，峯英一，日吉範人，鹿内良将，鈴木明，白井誠之）
- O.Sato, K.Arai, and M. Shirai; Catalysis Today, 111, 297-301, (2006).
- O.Sato, K.Arai, and M. Shirai; Liquid Phase Equilibria, 228-229, 523-525 (2005).

熱設計に必要な全ての熱物性を１秒以内に測定

光通電ハイブリッド・パルス加熱法による高速多重熱物性測定

導電性物質の高温における４種類の熱物性を瞬時に測定する方法を開発した。この方法では、試料に大電流パルスを流して瞬時に試料温度を室温から目標温度（1000℃以上）へ到達させた後、その試料表面に短いレーザ・パルスを照射する。このような２段階のパルス加熱に対する試料の温度応答を解析して、熱伝導率、比熱容量、全放射率、電気抵抗率を導き出す。この方法の最大の利点は、高温物質の熱物性測定において深刻な問題となる試料の汚染を回避できることである。

We have developed a method for simultaneously measuring four kinds of thermophysical properties of electrically conductive materials at high temperatures. In this method, a plate-like sample is rapidly heated up to a high temperature by passing an electrical current pulse through it. After that, a surface of the sample is irradiated by a laser pulse. Thermal conductivity, specific heat, total emissivity, and electrical resistivity are derived from the temperature response of the sample due to the electrical-optical hybrid pulse heating. The main advantage of this method is the short exposure of the sample to high temperature, which can minimize the contamination of the sample.

渡辺　博道 わたなべ　ひろみち
hiromichi-watanabe@aist.go.jp
計測標準研究部門 物性統計科
熱物性標準研究室（つくばセンター）

大学院では溶融金属や半導体の熱放射特性に関する研究を行い、99 年の入所後は固体の熱膨張率に関する高精度計測技術開発に従事してきた。熱膨張率計測技術開発と並行して 03 年から光通電ハイブリッド・パルス加熱法の開発に取り組んでいる。今後も熱物性の計測技術開発を通じて、持続的発展可能な社会を構築する上で不可欠な高効率エネルギー利用技術の研究・開発に貢献していきたい。

高温熱物性値のニーズと従来の測定法の問題点

ジェット・エンジンのタービン・ブレードのような高温環境で使用される部品を開発する際には、有限要素法のような数値シミュレーションを用いた伝熱解析を用いて熱設計を効率的に行う必要がある。伝熱解析を行うには、対象部材の熱伝導率、比熱容量、全放射率、電気抵抗率（ジュール熱が発生する場合）の値とそれらの温度係数が必要であり、それらのデータの正確さが伝熱解析の信頼性を大きく左右する。

一般に、これらの熱物性は別々の方法（表1）で測定されており、新しく開発された材料の熱物性を実験的に決定するには多大なコストと時間を要する。さらに、高温における金属や合金の熱物性を従来の方法で測定する場合、加熱中に試料の汚染や装置の劣化が発生して測定値の信頼性が著しく低下することがある。特に、2000℃を超える金属や合金の熱伝導率を従来のレーザ・フラッシュ法（LF法）で精度良く測定することは困難である。LF法は、薄い板状の試料の片面にレーザ・パルスを照射して瞬間的に加えられた熱が1次元的に拡散して生じる試料裏面の温度変化を解析して、熱伝導率（直接的には熱拡散率）を導き出す方法である。したがって、金属試料の表面に酸化膜のような汚染物質が生じた場合、表面温度の変化から導き出される熱伝導率が本来の値と大きく異なってしまう。

表１　伝熱解析に必要な熱物性の一般的な測定方法

熱物性	一般的な測定法
比熱容量	示差走査熱量法、投下熱量法
熱伝導率	レーザ・フラッシュ法
全放射率	黒体比較法、熱量法
電気抵抗率	4端子法

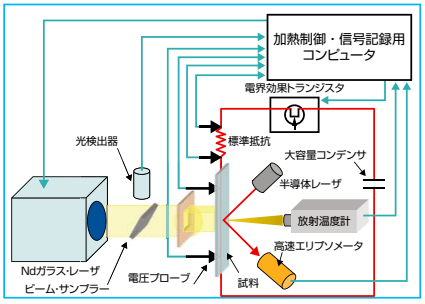


図１　光通電ハイブリッド・パルス加熱を用いた多重熱物性計測システム

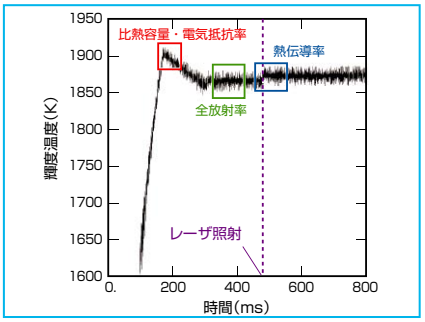


図２　光通電ハイブリッド・パルス加熱によるモリブデン試料の輝度温度時間変化

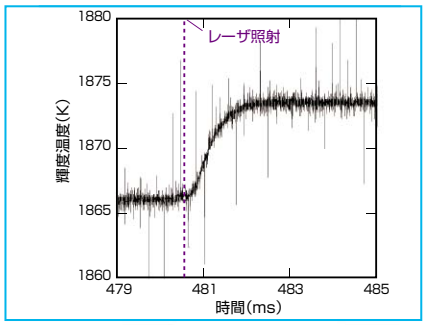


図３　レーザ・パルス加熱前後のモリブデン試料の輝度温度変化

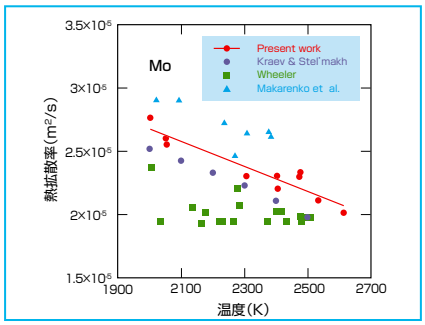


図４　モリブデンの熱拡散率の測定結果

光通電ハイブリッド・パルス加熱法による高速多重熱物性測定

われわれは、金属や合金の高温での熱物性測定における試料の汚染やコストの問題を解消するため、光通電ハイブリッド・パルス加熱技術を用いた高速多重熱物性測定法を開発した[1)]。開発した測定装置の概要を図1に示す。測定では、最初に大容量コンデンサから1000A以上の大電流を薄板状の試料（80×5×0.3 mm）に流して、0.2秒以内に試料温度を1000℃以上の目標値まで上げる。次に、加熱回路の電界効果トランジスタのゲート電圧を高速フィードバック制御して試料の温度を約0.5秒間一定に保持する。そして、この瞬間的な定常状態にある試料の片面にNdガラス・レーザにより時間幅が約0.4 msの光パルスを照射する。この光パルスによる加熱で試料裏面に生じる温度変化が終了した後、通電加熱を停止して試料温度を迅速に室温に戻す。この2段階のパルス加熱中の試料温度、試料を流れる電流、試料の電気抵抗を連続測定する。試料温度は放射温度計と高速エリプソメータを組み合わせて非接触で測定する。測定した3つの物理量の時間変化から、熱伝導率[1)]、比熱容量[2)]、全放射率[3)]、電気抵抗率[2)]を導き出す。この方法の最大の利点は、測定温度が2000℃以上の場合でも、試料が高温にさらされる時間を1秒以下に抑えられるため、測定に悪影響を及ぼす試料汚染や装置自体の劣化が生じないことである。さらに、1回の測定で伝熱解析に必要な熱物性を瞬時に全て測定できるため、従来の方法に比べて測定の手間やコストを大幅に削減できる。

測定結果例（モリブデン）

図2には、放射温度計で測定した1回の光通電ハイブリッド・パルス加熱時のモリブデン試料の輝度温度の時間変化を示す。時間tの原点は加熱開始時を表しており、加熱開始から約180 ms後に試料温度は最高値に達している。そして、赤枠で囲んだ最高温度近辺でのデータから比熱容量と電気抵抗率が決定される。その後、t = 300 ～ 500 msの時間域において試料温度はゲート電圧のフィードバック制御により一定に保持される。この時、試料中で発生するジュール熱は試料表面からの放射熱損失とほぼ釣り合うため、緑枠で囲んだ定常温度におけるデータから全放射率を決定できる。その後、t = 480 msの時点で試料に光パルスを照射する。青枠で囲んだレーザ加熱前後の温度変化の拡大図を図3に示す。レーザ照射範囲（7×5 mm）に比べて放射温度計の測定範囲（ϕ0.7 mm）と試料の厚さ（0.3 mm）は十分に小さいため、光パルスの熱は試料の厚み方向へ1次元的に拡散するとみなせる。そのため、図3に示すレーザ照射後の温度変化からLF法の原理により熱拡散率を導き出せる。こうして得た熱拡散率と比熱容量の値から熱伝導率も算出できる。図4に、この方法で測定したモリブデンの熱拡散率の値（赤丸）を文献値とともに示す。モリブデンの2600 K以上における熱拡散率については、これまで測定例はなく、われわれが世界で初めて測定することができた値である[1)]。

今後の展開

今後、様々な金属・炭素材料について測定を行い、高温熱物性に関するデータベースの作成や標準物質の選定および認証値決定を目指すとともに、民間への技術移転を通じて開発した測定法を一般に普及させることを目指す。

関連情報：

- 共同研究者：馬場哲也、松本毅
- 1) H. Watanabe and T. Baba: Appl. Phys. Lett., Vol. 88, 241901 (2006).
- 2) H. Watanabe: Rev. Sci. Instrum., Vol. 77, 036110 (2006).
- 3) H. Watanabe and T. Matsumoto: Rev. Sci. Instrum., Vol. 76, 043904 (2005).
- 特願 2004-056747「熱物性測定方法及び装置」渡辺博道、馬場哲也
- 特願 2005-249642「比熱容量測定方法及び装置」渡辺博道

原子力発電所用大口径流量計の高精度校正設備

エネルギー問題と環境問題の一体的解決をめざして

原子力発電所の熱出力を計測するために使用される大口径給水流量計を高精度で校正するための技術を開発する。この技術開発により、原子力発電所の効率を向上させることができ、結果的に火力発電からの温暖化ガス排出量を抑えることができる。さらに、原子力分野におけるもっとも重要な計測器にトレーサビリティが導入されることにより、原子力発電の安全性や信頼性が格段に改善される。

We are developing ultra-large water flow rate standard up to Reynolds Number of 16 million. The facility can achieve real traceability for feed water flowmeters used at nuclear power plants, and the plants will be able to get uprated by reducing uncertainty of the flowmeter. This technology will contribute to the reduction of CO_2 emission from hydrocarbon fired power plants.

高本　正樹 たかもと　まさき
m-takamoto@aist.go.jp
計測標準研究部門 流量計測科長
（つくばセンター）

産総研の我々流量グループは、国内では唯一の公的な流量に関する専門家集団である。エネルギー分野を初め、宇宙・航空から半導体・ナノテク分野まで広い範囲で流れの計測や標準化技術が求められており、グループ内で手分けして様々な分野からの研究要請に応えている。高本は CIPM/CCM/WGFF 議長として、世界の流量標準研究グループのとりまとめを行い、国際比較実験による標準の整合性確保に努めている。この他、国際シンポジウムなどにおいて最新の流量計測標準技術などについて毎年招待講演を行っている。

はじめに

経済発展を続けるアジアを中心にエネルギー需要が急激に増加しており、石油価格は90年代に比べて3.5倍以上に高騰している。一方、二酸化炭素などの温室効果ガス排出の削減を目的とした気候変動枠組み条約に基づく京都議定書が1997年に採択され、2005年に発効した。わが国に課せられた目標は、1990年の排出レベルから2008～2012年に6％削減することであり、この目標達成には国家レベルでの相当の努力が必要である。

このような状況下で、本年5月に経済産業省が発表した「新・国家エネルギー戦略」は、エネルギー問題と環境問題を一体として解決する重要な施策を掲げている。この中では、エネルギーの石油依存比率の低減推進策が強調されている。

当面の現実策としては、省エネルギーを進め、原子力への依存比率を高めることが先進国の主流になりつつある。原子力は温室効果ガスをほとんど排出しないことから、欧米でも原子力発電所の新設が計画されるようになっている。全世界では400基を超える原子力発電所が稼働しており、近い将来500基を超える見込みである。

わが国では現在55基の原子力発電所が稼働しているが、今後、この数をさらに増やすことは立地場所の選定等の理由で困難が予想される。しかし、新設が困難な場合でも、既設の原子力発電所の発電効率を上げられれば、原子力による電力供給量を増加させることができ、石油依存比率を低減することは可能である。

そこで、われわれは原子力発電所で使用されている計測器に着目し、計測器の精度を上げることにより、発電効率を改善することを目的とする研究プロジェクトを開始した。

原子力発電所での流量計の役割

原子力発電所において流量計がどのような役割をしているかを説明する。図1に沸騰水型の原子炉の例を示す。炉心内の制御された原子核反応による熱を利用して発生させた蒸気を発電

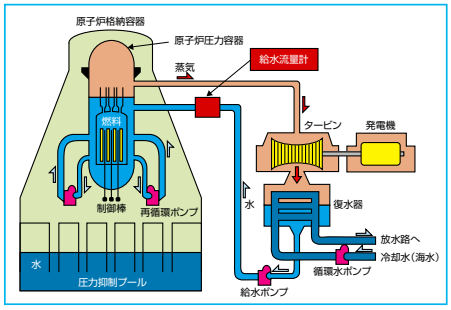


図１　沸騰水型の原子炉（例）

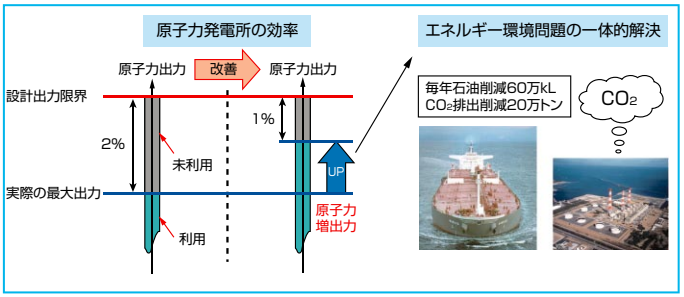


図２　原子力発電所の効率とエネルギー環境問題

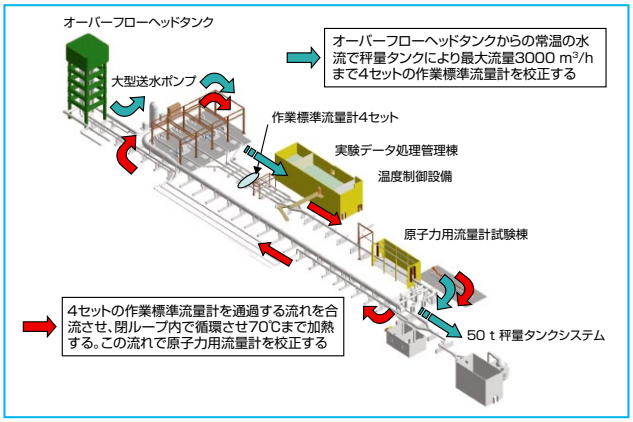


図３　給水流量計を高精度で校正する技術

タービンに導いて電力を得るメカニズムは、基本的にはどの原子力発電方式でも同じである。発電に利用された後の蒸気は冷却されて水になり、原子炉に再び戻される。このときの水の循環流量と水温を正確に測定することにより、原子炉の発熱量が求められている。ここで使用される流量計は給水流量計と呼ばれており、原子炉のメルトダウンのような重大事故を防ぐためにはきわめて重要な計測器である。

現在のところ、原子力発電所における発熱量の計測の不確かさは2%で、そのうち流量計の不確かさが約9割を占めている。そこで、図2に示すように、原子力発電所では安全のために設備の最大能力から2%下げた値が、実際の最大運転能力として使用されている。

プロジェクトの概要

今回のプロジェクトは、流量計の不確かさを格段に改善し、既存原子力発電所での未利用部分である2%を半分以下にすることを目標としている。平成16年から4年間でほぼ30億円を投入し、実際の原子力発電所と同じ規模の流れを発生できる設備を建造し、図3に示す方法で超音波流量計などの給水流量計を高精度で校正する技術を開発する計画である。現時点では、図4に示すような大型試験設備の建設がほぼ終了し、すでに大流量で世界最高精度の設備となっている。今後は測定の不確かさの評価、国際比較実験、給水流量計の信頼試験などを実施して、給水流量計の不確かさを改善するための標準化を行う予定である。

プロジェクトのもたらす効果

開発の費用対効果の計算は単純ではないが、以下の計算からもきわめて効果の高いプロジェクトであることが分かる。原子力発電所の建設費は1基当たり3000 ～ 4000億円と言われており、この他に多額の関連費用も必要になる。また、原子力発電所の寿命も30年から2倍の60年程度まで延命されつつある。1%の効率アップにより日本全体では、火力発電所の年間石油消費量約1600万キロリットルのうち、約60万キロリットルを節約できる。また、CO_2の排出量も年間20万トンを削減できる。

あとがき

原子力発電に関するトラブルや不祥事があり、国民の原子力の安全性への信頼が揺らいでいるが、エネルギー問題・環境問題への対応が急務であることに変わりはない。このような状況の中で、原子力分野において、高い精度で計測器の校正を行い、トレーサビリティの普及を図ることは、原子力発電事業の透明性、信頼性を確保するのためにも重要である。効率化だけでなく、最近このような観点からも海外から本プロジェクトに対する関心が高まっている。国内では、すでに電力業界との共同研究を実施し、原子力学会からの支援も得ている。さらに、資源エネルギー庁や原子力安全保安院からも適宜指導や助言を得ながら研究を進めている。本プロジェクトは、産総研でしかできない本格研究であると考えており、産総研の総合力を生かした成果を効果的に出せるよう努力していきたい。

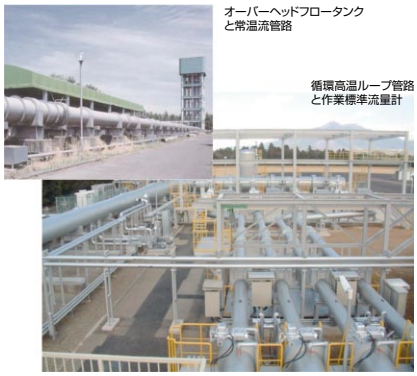


図４　大流量で世界最高精度の試験設備

関連情報：

● H. Sato, N. Furuichi, Y. Terao, and M. Takamoto : Proceedings of FEDSM2006, FL　FEDSM2006-98500 (2006)

Patent Info

PVAから炭素材料を製造する新方法

低環境負荷高分子材料の実用化に貢献

特許 **第3723844号**（出願2001.10）

目的と効果

水溶性高分子であるポリビニルアルコール（PVA）は、溶液成型によって生じる廃液の処理に煩雑な工程を必要としないことから、環境負荷の小さい高分子材料と言えます。私たちは、PVAから望む形態を持った炭素材料を高収率で製造する簡便な方法の開発に成功しました。

この方法では、PVAを比較的低温のヨウ素蒸気中において短時間熱処理した後、高温の不活性雰囲気において熱処理することによって、理論炭素化収率（54.5重量％）に匹敵する高い収率で炭素を製造できます。

［適用分野］

- 炭素繊維、炭素フィルムなどの各種炭素材料の製造

技術の概要、特徴

PVAから炭素を製造する方法はこれまでにいくつか提案されていますが、いずれも長い工程を必要とすることや、炭素化収率が低いなどの問題をもっていました。今回開発した方法は、まずPVAを100℃程度のヨウ素蒸気中で熱処理し、つづいて高温の不活性雰囲気での熱処理を行うことによって炭素に転換します。ヨウ素蒸気中における熱処理によってPVAは耐熱性の高い化学構造に変化するため、炭素化過程において溶融することがありません。その結果、PVAの段階で賦与した形態を保持した炭素を得ることができます。

ヨウ素蒸気中における熱処理が数時間程度と短くても、理論炭素化収率（54.5重量％）に匹敵する高い収率で炭素を得ることができます。毒性の低いヨウ素を用いる点も従来法に比べて有利です。

また、この方法では、ヨウ素を収着させたPVAからなる偏光フィルムの製造装置を利用することができますが、この装置はすでに工業的規模で生産されているものであることから、実用化にも容易に対応できるという利点をもっています。

発明者からのメッセージ

PVAからは繊維やフィルムだけでなく、単結晶や多孔性のゲルを得ることもできます。これらの材料にこの方法を適用することによって、高結晶性炭素や多孔性炭素を製造することを現在試みています。

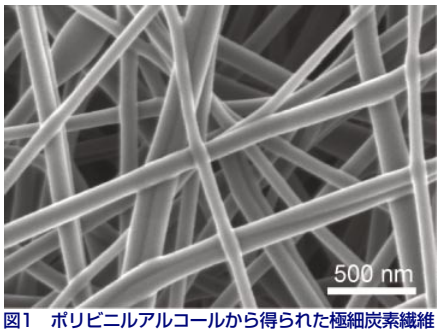
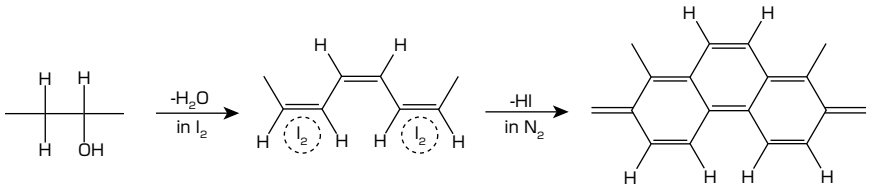


図1　ポリビニルアルコールから得られた極細炭素繊維織布の走査型電子顕微鏡写真



ヨウ素蒸気中における熱処理（不融化処理）　不活性雰囲気における熱処理（炭素化処理）

図2　ポリビニルアルコールの不融化および炭素化機構

IDEA
産総研が所有する特許のデータベース
http://www.aist.go.jp/aist-idea/

エネルギー技術研究部門

新領域の利用を拓く小型X線発生装置

放射光並みのX線光源をテーブルトップで実現

特許 **第3677548号**（出願2002.10）

● 関連特許（出願中：国内4件）

目的と効果

光子エネルギーが数十eVから数keVの極端紫外およびX線光源を用いることにより、下記適用分野に示したような、さまざまな分析技術が開発されつつあります。これまではその多くが、SPring-8や高エネルギー加速器研究機構のフォトンファクトリーのような大型の放射光施設を必要としていました。レーザープラズマX線光源はこれを分析機器に組み込めるような小型サイズで実現します。さらには極短パルスX線源による超高速現象の解明など、放射光でもできなかった新しい計測手段を可能にします。

［適用分野］

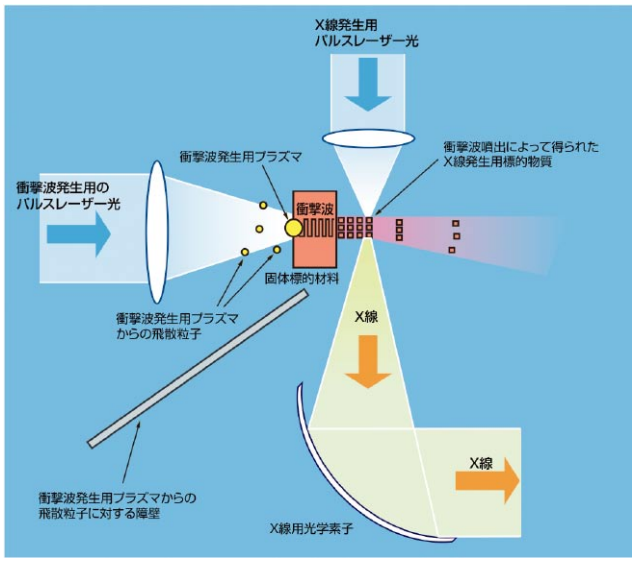
● 光電子分光による表面微細分析　● EUV リソグラフィー　● X線による表面改質・微細加工
● X 線顕微鏡　● X 線回折装置　● 微量元素検出　● X線多層膜反射率計
● 非破壊三次元計測　● X 線 CT　● 生体イメージング

技術の概要、特徴

強力な短パルスレーザー光を微小領域に集光照射することにより、物質は超高温、高密度なプラズマ状態となり、強力なX線を放射します。条件により、放射光を超える時間平均パワーも可能です。光源サイズは数ミクロンにも小さくできるので、高空間分解計測が可能です。X線が放射される時間はナノ秒からピコ秒という短時間であるため、高速現象を解明できます。この特許ではプラズマとなる物質を、前段のレーザープラズマ衝撃波を利用して、必用な量だけ適切な密度でX線発生用の主プラズマ発生部へ供給する手段を提供しています。このほかにもさまざまな特許、ノウハウを蓄積しており、小型で高性能の使いやすいレーザープラズマX線光源の開発を進めています。励起源としてのマルチkHzフェムト秒レーザーの開発も進んでいます。レーザープラズマ光源を用いた産総研考案の極端紫外光電子分光装置EUPSは、既にX線光電子分光法XPSではできない高度表面分析ができることが実証されており、製品化を目指しています。

発明者からのメッセージ

産総研ではレーザープラズマX線光源の事業化を目指しています。X線光源の製品化に必用な製造工程を分担していただける協力会社、X線源を組み込んだ分析・評価装置の製造を検討しているメーカー、あるいはX線光源の応用に関心のあるユーザーの方からのご連絡をお待ちしております。



本発明のX線発生装置の概略構成図

産総研イノベーションズ
（経済産業省認定 TLO）

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

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

光技術研究部門

臭素系難燃剤含有ポリスチレン標準物質

RoHS指令に対応した認証標準物質の頒布を開始

開発の背景

2006年7月よりEUにおいて「電気電子機器中の特定有害物質の使用禁止令（Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronics equipment）：RoHS指令」が発効された。RoHS指令の目的は、電気電子機器に含まれている有害物質の使用制限においてＥＵ各国の法規制間の格差をなくすこと、人の健康の保護と廃棄された電気電子機器の環境に配慮した健全な再生、処理を実現することである。環境問題に対する関心が高まっていることから、同様の規制が中国をはじめ世界各国・各地域で既に発効されたり、発効準備されている。

RoHS指令では電気電子機器中に含まれる鉛（Pb）、水銀（Hg）、カドミウム（Cd）、六価クロム（Cr（VI））、ポリ臭化ビフェニル（PBB）、ポリ臭化ジフェニルエーテル（PBDE）の含有率が規制されている。ただしPBDEのうちデカ臭化ジフェニルエーテル（DBDE）は今回の規制からは除外されている。規制の上限値はCdが100 mg/kg、他の物質が1000 mg/kgとなっている。

規制物質のうちPBBとPBDEは臭素系難燃剤の一種であり、おもにプラスチックの添加剤として用いられてきた。現在、日本国内ではPBBとPBDEを意図的に混入したプラスチック製品はほとんど作られていない。しかし、過去に生産されたプラスチックでは規制物質が使用されたこともあったため、リサイクルの過程で混入する可能性があり、また海外からの輸入品にも規制物質が含まれている可能性がある。製品中に規制物質が含まれていないことを確認するためにもプラスチック中の臭素系難燃剤の分析は今後ますます重要になってくると考えられる。RoHS指令に対応した標準物質のうち臭素を含んだものもいくつかあるが、多くはEUのIRMM（標準物質計測研究所）が認証したERM－EC680、ERM－EC681のように難燃剤以外の臭素化合物（無機臭素など）を添加して作製されている。産総研では臭素系難燃剤であるDBDEをポリスチレン中に含む認証標準物質（NMIJ CRM 8108－a）を供給開始した。

表　NMIJ CRM 8108－a（臭素系難燃剤含有ポリスチレン）の認証値

成分	CAS 番号	認証値 濃度（mg/kg）	拡張不確かさ（mg/kg）
デカ臭化ジフェニルエーテル	1163-19-5	317	14

写真１　臭素系難燃剤含有ポリスチレン（NMIJ CRM 8108－a）

本標準物質の使用方法および特徴

プラスチック中に含まれる臭素系難燃剤の分析法として、蛍光Ｘ線分析（XRF）法で臭素の含有率を測定し、基準値を超えたものに対して湿式分析を行って含有率を決定するという方法が考えられている。XRF法では標準物質の測定から作成される検量線を用いて含有率を決定する。湿式分析においてはプラスチック中からPBBやPBDEを抽出し、抽出溶液をガスクロマトグラフィー－質量分析装置（GC－MS）などで測定して含有率を決定する。本認証標準物質の開発過程においてDBDEが熱や光によって分解し規制対象物質のPBDEになることが確認された。湿式分析において、抽出過程では熱と光、GC－MS測定では熱に試料がさらされる可能性がある。このような条件で分析が行われた場合には正しい結果を得ることは困難であり、標準物質等を用いて測定の妥当性を確認する必要がある。本標準物質は、分析における精度

写真２　値づけに用いたガスクロマトグラフ−質量分析装置

写真３　値づけに用いた高速液体クロマトグラフ装置

管理や分析方法の妥当性を確認するために用いることができる。

本標準物質の認証値を表に示す。認証値は同位体希釈質量分析法を含む複数の方法を用いて産総研計量標準総合センター（NMIJ）で値付けされたものである。認証値の不確かさは約95 %の信頼度を示す拡張不確かさである。本標準物質は直径3 cm、厚さ2 mmの円盤状であり、5枚1組になっている。また、付属試料として、臭素系難燃剤を添加せず本標準物質と同様に作製したポリスチレンが添付されている。

RoHS指令対応の標準物質

今後、臭素系難燃剤含有の標準物質として、ポリ塩化ビニル中に含まれるDBDEの含有率を示す標準物質を開発する予定である。またRoHS指令で規制されている重金属のための認証標準物質[1]として、産総研では既に重金属分析用ABS樹脂（NMIJ CRM 8102－a、8103－a、8105－a、8106－a、8113－a）を供給しており、さらにこれと同様に、ポリ塩化ビニル樹脂やポリプロピレン樹脂の重金属含有率分析用の認証標準物質も開発する予定である。

なお、本標準物質は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業、「環境配慮設計推進に係わる基盤整備のための調査研究」（平成17年度実施）により行った研究開発の成果をもとにしている。

関連情報

[1] 重金属分析用認証標準物質の開発は計測標準研究部門無機分析科無機標準研究室が担当している。

計測標準研究部門（つくばセンター）
松山 重倫
E-mail：s.matsuyama@aist.go.jp

高分子のキャラクタリゼーション、特に分子量の決定や液体クロマトグラフィーを用いた分析などを中心に研究を行ってきた。最近は高分子中に含まれる添加剤などの低分子化合物の分析も行い、その定量方法の研究も行っている。今後も高分子の基礎物性の研究を行うとともに、高分子の分子量標準物質、添加剤含有高分子標準物質の開発、供給などを通じて社会への貢献を行っていきたい。

ヒ素化合物分析用タラ魚肉粉末標準物質

精確なヒ素化合物形態分析のための標準物質

ヒ素化合物分析用生物標準物質の必要性

ヒ素（As）は環境中で様々な化学形態として存在し、毒性や代謝がその化学形態に大きく依存している。本誌8月号でも紹介したように、われわれは、環境試料中ヒ素の分析値の信頼性確保に用いることのできる標準物質の開発に取り組んでおり、既にアルセノベタイン水溶液標準物質（NMIJ CRM 7901-a）を開発した。

しかし、実際の環境分析では複雑な組成の試料を取り扱うことが多く、前処理操作や測定時の干渉の問題が起こりうるので、標準溶液だけではなく、実試料と類似した組成の標準物質を分析することで、精度管理や分析手法の妥当性確認を行う必要がある。

海産生物中には多種のヒ素化合物が含まれており、海外では海産生物中のヒ素が問題視され、摂取に対して警告を出した国もある。

魚類中のヒ素は主に無毒のアルセノベタインとして存在する。しかし、今のところ日本の法令等では「ヒ素およびその化合物」としてヒ素の規制が定められており、形態の区別はなされていない。

また、形態に依存する分析感度差により精確な定量ができない危険性があるため、より精確な精度管理が求められている。しかし、現在ヒ素化合物濃度が認証されている組成型認証標準物質は世界的にも十分に整備されていない。

そこで今回、生物試料中ヒ素の分析値の信頼性確保に利用できるタラ魚肉粉末標準物質を開発した。本標準物質の開発にあたっては、微量元素およびメチル水銀の分析においても利用できることも目的とした。

候補標準物質の調製

日本海沖で捕獲されたタラの筋肉部分のみを原料物質とし、凍結乾燥・凍結粉砕・ふるい分け（<250 μm）・混合均質化を行い、褐色ガラスビンに10 gずつ小分けした。さらにガンマ線滅菌処理し、候補標準物質とした。

アルセノベタイン濃度認証のための精確な分析法

標準物質の認証値の決定は、SI（国際単位系）へのトレーサビリティを確保しうる一次標準測定法である同位体希釈質量分析法（ID-MS）によって行うことが望ましい。しかし、ヒ素は安定同位体が1つであるため通常ID-MSの適用はできない。そこでアルセノベタインの3つのメチル基の炭素を^{13}Cに置換したラベル化合物を合成し（図1）、化合物としての同位体希釈-液体クロマトグラフィー-質量分析法（ID-LC-MS）を確立した。

特性値の決定においては、信頼性向上のため、上記ID-LC-MSのほか、当研究室にて妥当性を確認した高速液

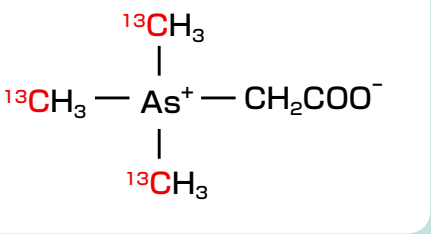


図1　^{13}C ラベル化アルセノベタイン

表1　アルセノベタインの認証値

認証項目	認証値*（mg/kg）
アルセノベタイン（Asとして）	33.1 ± 1.5

＊特性値±拡張不確かさ：包含係数 k=2

表2　アルセノベタイン以外の元素およびメチル水銀の認証値

認証項目	認証値*
Cr	0.72 ± 0.09（mg/kg）
Mn	0.41 ± 0.03（mg/kg）
Fe	11.2 ± 0.9（mg/kg）
Ni	0.38 ± 0.05（mg/kg）
Cu	1.25 ± 0.07（mg/kg）
Zn	21.3 ± 1.5（mg/kg）
As	36.7 ± 1.8（mg/kg）
Se	1.8 ± 0.2（mg/kg）
Hg	0.61 ± 0.02（mg/kg）
Na	3.6 ± 0.2（g/kg）
Mg	1.34 ± 0.03（g/kg）
K	22.3 ± 1.0（g/kg）
Ca	0.52 ± 0.05（g/kg）
メチル水銀（Hgとして）	0.58 ± 0.02（mg/kg）

＊特性値±拡張不確かさ：包含係数 k=2

体クロマトグラフィー－誘導結合プラズマ質量分析法（HPLC－ICP－MS）による分離条件の異なる2種の手法も用いた。

アルセノベタインの認証値および不確かさの決定

一般的に生物試料からのヒ素化合物の抽出には水とメタノールの混合溶液を用い、超音波やマイクロ波を利用した抽出が主に行われているが、メタノールを用いた場合、脱溶媒や濃縮操作が不可欠となり、操作が煩雑になる場合が多い。今回複数の手法で抽出率の比較を行い、候補標準物質からのヒ素化合物の抽出には、水だけを用いた超音波抽出により行うこととした。

特性値は、前述の3種の測定方法によって得られた各定量値から、重み付け平均によって求めた（表1）。また、その不確かさは、定量に用いた標準液の不確かさ、測定に関する不確かさ、抽出に関する不確かさ、および試料の均質性に起因する不確かさを合成し、約95％の信頼性を示す拡張不確かさ（k=2）として求めた。なお、測定では先に開発したアルセノベタイン水溶液標準物質を用いて濃度決定しており、認証値はSIトレーサブルである。

図２　タラ魚肉粉末標準物質 NMIJ CRM 7402－a
（微量元素・アルセノベタイン・メチル水銀分析用）

その他の認証値および参考値

本標準物質はアルセノベタイン濃度以外に13元素およびメチル水銀の濃度も認証している（表2）。ID－MSを中心に複数の分析手法によって認証値および不確かさの決定を行った。すべての認証値はSIトレーサブルである。また、参考値として8元素の濃度を認証書に記載し、参考情報としてアルセノベタイン以外のヒ素化合物の存在比を添えた。

本標準物質利用への期待

本標準物質NMIJ CRM 7402－a（図2）は2006年3月に認証を終え、一般への頒布が開始されている。先に認証されたアルセノベタイン水溶液標準物質（NMIJ CRM 7901－a）と共に本標準物質が活用されることにより、ヒ素およびヒ素化合物分析の信頼性が向上し、形態の違いによる適切なリスク評価や規制が可能となることを期待している。

計測標準研究部門（つくばセンター）
黒岩 貴芳
E-mail：t-kuroiwa@aist.go.jp

ヒ素とはすでに15年以上の付き合いで、環境試料中のヒ素分析を行ってきた。産総研発足時からは環境分析用の組成型標準物質の開発、およびより精確な分析手法の開発に取り組んでいる。今後も特に化学形態をより精確に分析できる分析技術および標準物質の開発に取り組み、様々な環境問題をより精確な分析、標準物質開発を通して軽減できればと考えている。

新研究ユニット紹介

2006年7月1日に発足した2つの新研究ユニットについて紹介します。

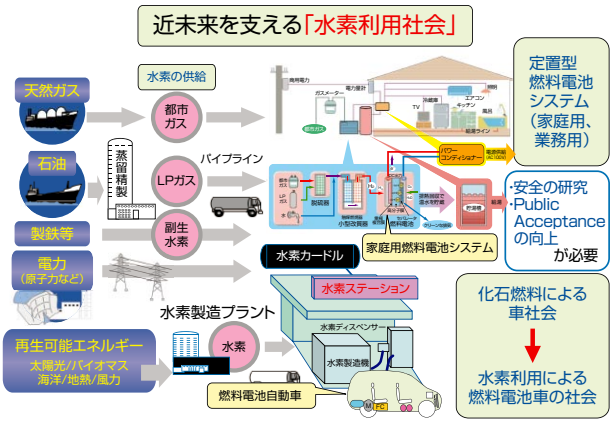
水素材料先端科学研究センター　Research Center for Hydrogen Industrial Use and Storage

研究センター長　村上 敬宜

地球温暖化を防止すると同時に、持続可能なエネルギー供給を実現すると期待されている燃料電池は、新エネルギー技術開発プログラムのキーテクノロジーです。しかしながら、その燃料である水素を高圧化または液化した状態で輸送・貯蔵する場合の水素や、その水素と接触している材料の物性については、いまだ国際的にも知見の集積が乏しい状況です。なかでも、高圧水素または液化水素と接触する金属材料の水素脆化（水素が材料中に侵入することによって金属材料が脆くなる現象）やトライボロジー（摩擦・摩耗・潤滑現象）の諸問題のメカニズムは、水素を長期間、安全に利用するために早急に解明しなければなりません。

当センターは、これらの課題を解決し、水素を安全・簡便に利用するための指針を産業界に提供することにより、水素社会到来に向けた基盤整備を行うことをミッションとして設立されました。九州大学との連携のもと、福岡市西区の九州大学伊都キャンパスに4研究チームを設置するとともに、つくば西事業所に1研究チームを置き、産総研第2期研究戦略における戦略課題「水素エネルギー基盤技術と化石燃料のクリーン化技術の開発」の実現を目指します。同時に、産総研の他ユニットとも協力しつつ産業界との連携を推進し、水素利用技術の世界的なイノベーションハブとしての機能を果たします。

九州大学伊都キャンパス

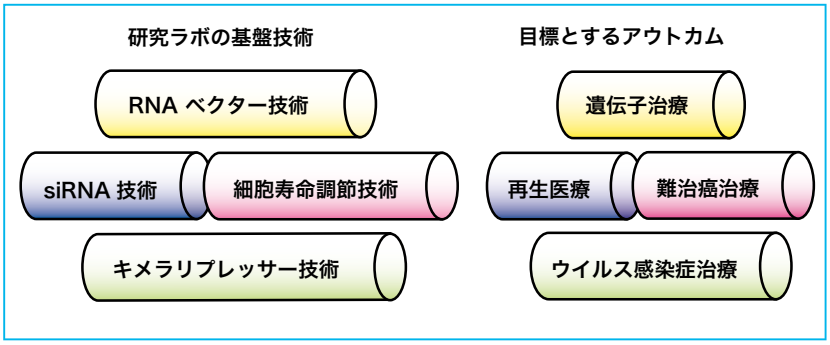


バイオセラピューティック研究ラボ　Biotherapeutic Research Laboratory

研究ラボ長　中西 真人

Biotherapeutic（バイオセラピューティック）とは生物由来の医療用材料を指す言葉で、古典的なワクチン・血液製剤はもちろんのこと、組換えタンパク質医薬・抗癌モノクローナル抗体・核酸医薬・遺伝子治療薬・再生医療用細胞など、分子生物学・細胞生物学の最新の成果を基に医療用に開発された生物材料が含まれています。これらの新しいバイオセラピューティックは、まだ治療法がない難病に対する革新的医療を実現するための技術基盤として大きな注目を集めており、2010年には新薬の売り上げの30%を占めるという予想もあります。一方、国内製薬企業の研究開発動向は、未だに従来型の低分子化合物に基づく医薬品に偏っており、バイオセラピューティックの開発は非常に遅れています。

私たちの研究ラボは、ジーンファンクション研究センターにおける研究成果に基づいて独創的なバイオセラピューティックのシーズを開発し、将来の実用化への道筋をつけることで人類の健康と国内産業の発展に貢献することをミッションとして設立されました。具体的な研究内容としては、「画期的な遺伝子治療用ベクターの開発」、「ヒト細胞の寿命を人為的に調節する技術の開発」、「治療用siRNA技術やキメラリプレッサー技術の開発」を中心に、「遺伝子治療」、「再生医療」、「難治癌治療」「ウイルス感染症治療」という現在の医療における4つの重要課題の解決に貢献することを目指しています。



ミニマル・マニュファクチャリング シンポジウム

報　告

7月11日、国際連合大学ウ・タント国際会議場において、産総研主催のミニマル・マニュファクチャリングシンポジウムを開催しました。

地球環境との調和を図りつつ、日本の製造産業が高い国際競争力を持ち続けるためには、「最小の資源・エネルギー・廃棄物」で「最大限の機能・特性」を発揮する製品を「高効率・低コスト」でつくる生産プロセス（＝ミニマル・マニュファクチャリング）の確立が不可欠です。今回のシンポジウムは、このコンセプトの確立を支えるための技術、および進展度合いを測る新しい指標について、産業界をはじめとする広範な意見に耳を傾け、「ミニマル・マニュファクチャリング」を発展させることを目的として開催されました。

吉川理事長による基調講演では、「Minimal manufacturing and maximal servicing」と題して、持続性のパラダイムはミニマル・マニュファクチャリングとマキシマル・サービスによる価値の増大であり、この二つは最小限の資源とエネルギーの消費と最小限の廃棄物で達成するという点で共通のものであるとの指摘を行ないました。次に、五十嵐研究コーディネータから、ミニマル・マニュファクチャリングWGにおいて検討されたミニマル・マニュファクチャリングのコンセプト、および進展度合いを測る新しい指標についての紹介がありました。さらに、東京大学 上田完次教授をはじめとし、産業界からの2名を含む6名の講演者によるショートプレゼンテーションの中では、ミニマル・マニュファクチャリングの研究事例が紹介されました。183名の方々に参加をいただき、盛況なシンポジウムとなりました。ミニマル・マニュファクチャリングの取り組みを今後も継続的に行うために、検討内容に関する情報の配信、および活動の支援を目的としたメーリング・リストへの登録を参加者の方々にお願いしてシンポジウムの幕を閉じました。

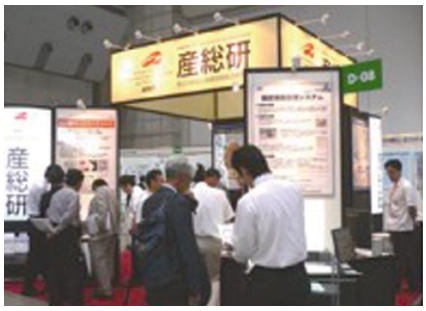
いばらき産業大県フェアに出展

報　告

7月13日・14日の両日、東京ビッグサイトで茨城県主催による「いばらき産業大県フェア2006」が開催され、2日間で約14,400名を超える来場者で熱気に包まれました。

このフェアは、産業大県を目指す茨城県がものづくり産業の実力を広くPRする目的で今年初めて開催したもので、産総研からは特設「ロボットゾーン」に、ヒューマノイド型ロボット「HRP-2」を出展し、15分のデモンストレーションを3回行ったほか、メンタルコミットロボット「パロ」、インテリジェント車椅子「タオアイクル」を展示し、来場者の注目を集めました。

また、産総研ブースにおいては、ベンチャー企業や中小企業との共同研究による成果である「超小型無線ネットワークノード」「スピニング加工方法及び装置」「熱物性顕微鏡」「情報セキュリティシステム」「静電気除去器」「大容量マルチメディア検索システム」などを展示し、企業の方々から熱心な質問をいただきました。



産総研出展ブースの様子

HRP-2 のデモンストレーションの様子

インド首相・科学技術諮問委員会議長、C. N. R. Rao教授が産総研を訪問

報　告

7月24日、C. N. R. Rao教授が産総研つくばセンターを訪問され、関係者との懇談、サイエンス・スクエアやAISTナノプロセシング施設（AIST-NPF）の視察を行いました。Rao教授は、インド首相・科学技術諮問委員会議長をはじめ、ジャワハルラル・ネルー高等科学研究センター（JNCASR）名誉会長、ライナス・ポーリング 教授兼名誉所長、ユネスコ科学諮問会議委員、プリンストン大学科学研究所諮問会議委員、インド科学技術局ナノ科学技術委員会委員長等多くの要職を務めるインド科学界の代表でもあり、先般、国際部門長のインド訪問の際の意見交換を踏まえ、今後の産総研とインドとの連携を議論する目的で産総研を訪問されました（物質・材料研究機構のサマースクール講師として来日）。Rao教授が名誉会長を務めるJNCASRと産総研エレクトロニクス研究部門 超伝導材料研究グループは2004年8月にMOUを締結し、多層型高温超伝導体薄膜やマルチフェロイック材料の開発を協力して進めています。また、Rao教授はインドのナノテクノロジーにも注力しており、JNCASRではナノテクノロジーセンターを新規に立ち上げることが決まっています。今回の産総研来訪では、冒頭に、小玉副理事長、山崎理事、松尾国際部門長から産総研の概要説明を受けた後、田中フェローをはじめ、ナノテクロジー研究部門、エレクトロニクス研究部門の研究者を交えて、産総研の研究紹介及びこれらの分野について今後のJNCASRとの研究協力について懇談を行いました。Rao教授とは、若手研究者の人材交流・ネットワーク強化とともに（アジア人材ハブ化の一環）、（Rao教授の提案もあり）将来の相互補完的連携分野を議論するために合同シンポジウム開催を調整することとなりました。Rao教授の来所に引き続き7月26日には、インド科学技術省のバイオテクノロジー担当のBhan次官が産総研を訪れ、国際部門長や秋山生命情報科学研究センター長と意見交換を行いました。今後、産総研とインド研究機関との若手人材のネットワーク強化を含め良好な研究協力の契機になることが期待されます。（なお、インドの科学産業技術・イノベーション体制やインドとの国際的展開については、7月13日に、国際部門で国際戦略BBLセミナーを開催したところです。）

Rao教授と小玉副理事長

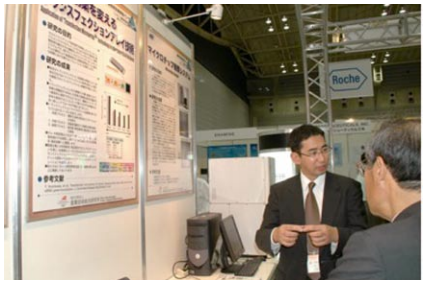
バイオジャパン2006に出展します

お知らせ

9月13日～15日の3日間、大阪国際会議場（グランキューブ大阪）で「バイオジャパン2006」が開催されます。昨年もほぼ同じ時期（9月7日～9日）にバイオジャパン2005がパシフィコ横浜で開催され、参加者は延べ2万人を越える盛況でした。産総研は8小間を確保して、バイオテクノロジー関連の研究成果を展示しました（写真）。

今年も昨年と同様に、つくばセンター、関西センター、北海道センター等からの出展を計画しており、10件のパネル・機器展示を行うとともに、ワークショップにおける4件の講演を予定しています。パネル・機器展示では、光を使ったオンデマンド細胞操作、タンパク質検出用の高感度蛍光プローブ、唾液中の生体ストレス応答物質を測定するラボチップシステム、医薬品などを生産する遺伝子組み換え植物を栽培・製剤化する植物工場のモデル、植物転写因子を転写抑制因子に転換する技術を用いた機能性植物、超耐熱性システイン合成酵素、耐熱性酵素の産業利用、細胞観察機能搭載自動搬送インキュベータ、睡眠リズム障害モデルマウスなどに関するテーマで出展する予定です。また、ワークショップでは、「アーキア由来の新規耐熱性システイン合成酵素」、「最先端チップ分析技術を用いた唾液ストレス計測システムの開発」、「光を使ったオンデマンド細胞操作技術」、「高機能タンパク質蛍光分子プローブ」と題する講演を計画しています。

それぞれの出展ブースで趣向を凝らした展示を行い、来場する民間企業や大学等の方々との積極的な情報交換活動を通して、共同研究や技術移転等の具体的な成果へ繋げていきたいと考えています。



イノベーションジャパン2006のご案内

お知らせ

9月13日～15日の3日間、東京・有楽町の国際フォーラムにて、「イノベーション・ジャパン2006－大学見本市」が開催されます。独立行政法人科学技術振興機構、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の主催で開催されるこのイベントは、大学等研究機関の技術シーズと産業界のニーズとをマッチングさせる目的で今年が第3回目の開催となりますが、昨年の全体実績としては、100件以上の共同研究や特許実施の契約がこのイベントを介して締結されたことがあげられます。

今年は、産総研からは産学官連携活動についてパネルで紹介するほか、文部科学省都市エリア事業「安全・安心な都市生活のためのユビキタス映像情報サーベイランス」（産総研、筑波大学、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構が連携実施）から事業全体と産総研成果（立体高次局所自己相関法による不審動作の自動検出システム、ステレオビジョンシステム、セキュアド・データ圧縮通信システム等）を、また、産総研技術移転ベンチャーの中からAfje（株）（長時間メンテナンスフリー針無しマイクロプラズマ除電器）および（株）グライコジーン（糖転移酵素を用いた糖鎖合成・構造解析）等を、パネル、ディスプレイ、製品展示等によって紹介します。

ぜひこの機会においでいただき、産総研発技術の将来性を確かめてみてください。

EVENT Calendar

8月10日現在
http://www.aist.go.jp/aist_j/event/event_main.html

2006年9月 ⟶ 2006年11月

●は、産総研内の事務局です。

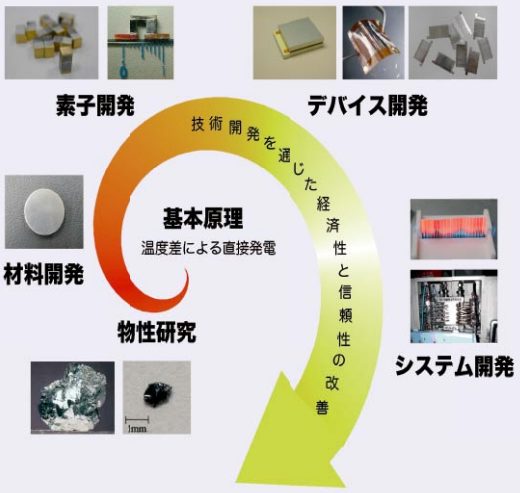
期間	件名	開催地	問い合わせ先
9 September			
5日	サイエンス・フロンティアつくば	つくば	029-861-1206
12日	経営革新セミナー＆個別相談	広島	0823-72-1902 ●
12日	産総研　省エネルギー・シンポジウム2006	つくば	029-862-6041 ●
13日	技術戦略マップ2006講演会	さいたま	029-862-6040 ●
13～15日	バイオジャパン2006	大阪	biojapan@nikkeibp.co.jp
15～17日	地質情報展2006 こうち	高知	029-861-3754 ●
19日	産業技術研究開発戦略セミナー（技術戦略と研究戦略）	福岡	029-862-6040 ●
20～21日	機能性酸化物ワークショップ ～強相関電子系材料の不揮発性メモリ応用～	東京	029-861-2438 ●
21日	産業技術研究開発戦略セミナー（技術戦略と研究戦略）	熊本	029-862-6040 ●
25日	シンポジウム「二酸化炭素海洋隔離：適切な環境影響評価のあり方について」	名古屋	029-861-8367 ●
25～29日	高圧力バイオサイエンスとバイオテクノロジーに関する国際会議	つくば	029-861-6529 ●
27～29日	国際福祉機器展H.C.R.2006	東京	03-3580-3052
29日	生命情報科学技術者養成コース シンポジウム	東京	03-3599-8045 ●
10 October			
9～13日	システムバイオロジー国際会議	横浜	03-5468-1677
9～13日	再生可能エネルギー 2006国際会議	千葉	029-862-6033 ●
11～13日	2006産学官技術交流フェア	東京	03-5644-7221
18～20日	北九州学術研究都市産学連携フェア	福岡	092-524-9047 ●
19～20日	北陸技術交流テクノフェア 2006	福井	0776-33-8284
20～21日	一般公開（中国センター）	広島	0823-72-1944 ●
21日	一般公開（四国センター）	香川	087-869-3530 ●
28～29日	一般公開（東北センター）	仙台	0823-72-1944 ●
30～11月1日	システム検証の科学技術シンポジウム	大阪	06-4863-5037 ●
11 November			
6～7日	酸化反応討論会	つくば	029-861-4852 ●

熱を電気に変える：高効率熱電発電技術の実現を目指して

エネルギー技術研究部門 熱電変換グループ　山本 淳さん

21世紀は熱エネルギーの有効活用が重要

持続可能社会を実現するには、限りある化石資源を有効利用し、地球温暖化を防止する知恵と技術が不可欠です。わが国の省エネルギー技術は他の先進国に比べて進んでいるといわれていますが、それでも最新のハイブリッド自動車のガソリン利用効率は37%、最先端のガス火力発電所の発電効率は約50%といったところです。それ以外の部分、つまり消費した化石燃料の持つエネルギーの半分以上は、利用されないまま「排熱」となって環境中に放出されているのです。今後、さらなる省エネルギーの推進をおこなうためには、捨てている熱エネルギーの有効活用が１つのキーテクノロジーとなると考えられています。



・自動車排熱、家庭排熱、工場排熱
・自然に存在する熱エネルギー
・マイクロコジェネレーション
} への適用

エネルギーの有効利用・省エネルギー技術としての確立

古くて新しい技術：熱電変換

熱電発電技術というのは、半導体や金属に温度差を与えたときに熱起電力が発生する原理を利用して、その温度差から発電する、エネルギーの直接変換技術です。この発電原理は19世紀に発見され、その後、実用発電技術として何度か開花しましたが、主に経済性の観点から本格的な実用化が遅れていました。ところが1990年代以降、発電能力の高い新材料が相次いで発見されたことから、実用化の機運が次第に高まってきています。身の回りにある未利用熱エネルギーの有効利用を進める切り札として、さらに進化した熱電発電技術が待ち望まれています。

山本さんの所属する熱電変換グループでは、より高い発電能力をもつ半導体材料の開発や、材料をデバイス化する研究、さらには開発した材料や発電デバイスの性能を正確に値付けする評価技術の研究等、熱電発電を実用化するためには避けて通れない課題を対象に、産学と連携して幅広い研究開発を進めています。

山本さんからひとこと

リサイクルでよく言われる「ゴミと思えばゴミ、資源と思えば資源」。これはエネルギーにも当てはまります。最終的なエネルギーの「ゴミ」である排熱、特に50℃、100℃といった温度の低い排熱は、「お湯」として利用する「温熱利用」以外に使い道はありませんでしたが、この熱電発電技術が普及すれば、私たちにとって大変便利な「電気」を取り出すとこができます。

実用化の鍵は、高性能材料の開発と熱交換技術。新材料探索研究はリスクの高い開発フェーズであり、まだまだ多くの基礎的な試みが必要とされる部分です。私は現在、材料開発のコストと時間を圧縮するために、コンビナトリアル合成・評価を用いた、材料探索の自動化の手法の開発に取り組んでいます。これまで１ヶ月かかっていた一連の材料の合成・評価が数時間で終わるような装置が完成すれば、短時間で材料探索や組成最適化が可能になり、基礎研究と応用研究のスムーズな橋渡しができるものと考えています。

使いにくくて捨てていたエネルギーを使いやすくして再度利用する、「エネルギーのリサイクル技術」とも言える熱電発電技術は、省エネルギーの要請が益々強くなる時代において再び脚光を浴びることになるでしょう。同じような視点をもつ方は決して少なくなく、現在、大学や企業の方々との共同研究、米国エネルギー省の研究所との共同研究等を並行して進めています。大変やりがいのあるテーマであると思うと同時に、産総研で行なうべき重要な課題として使命を感じながら、日々の研究を進めています。

産総研 TODAY
2006 September Vol.6 No.9
（通巻68号）
平成18年9月1日発行

独立行政法人
産業技術総合研究所

編集・発行　独立行政法人産業技術総合研究所
問い合わせ　広報部出版室
〒305-8568　つくば市梅園1-1-1　中央第2
Tel：029-862-6217　Fax：029-862-6212　E-mail：prpub@m.aist.go.jp
ホームページ　http://www.aist.go.jp/

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

R100 古紙配合率100%の再生紙を使用しています。
PRINTED WITH SOY INK