

産総研

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

TODAY

04

2006 April

Vol.6 No.4

メッセージ

02 研究ユニットの自治と産総研の使命

特集

10 第4回産総研運営諮問会議を開催

トピックス

16 空中に浮かび上がる3次元(3D)映像

レーザープラズマを用いた“リアルの3次元(3D)映像”の空間描画

リサーチ・ホットライン

- 20 ホタルの発光をバイオツールへ
- 22 水で太陽電池の性能アップ
- 24 唾液で手軽に測れるストレス計測ツール
- 26 印刷法によるフレキシブルメモリ素子の作製
- 28 超微細構造の起立型ダブルゲート・トランジスタ

パテント・インフォ

- 30 測定環境による誤差の心配をへらす 環境によって生じる誤差を見積もる光干渉計
- 31 動くものの内部も撮れる X線 CT 高速撮影が可能にした移動体・変形体の内部スキャン

レポート

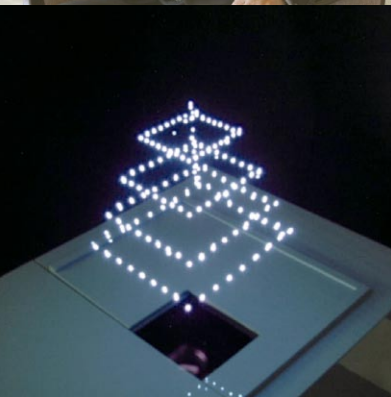
- 32 nano tech 2006 に参加して

テクノ・インフラ

- 34 交流抵抗標準 高い精度と国際的な信頼性を兼ね備えた電気標準
- 36 ホーンアンテナ標準の校正サービス 1 GHz から 40 GHz までのアンテナ利得標準の供給
- 38 誰にでも使いやすい地質図をめざして 20 万分の 1 日本シームレス地質図データベース

ニュース

- 40 新潟県上越市沖の日本海海底で、海底に露出するメタンハイドレートの確認・採取に成功



研究ユニットの自治と 産総研の使命

独立行政法人 産業技術総合研究所

理事長 吉川 弘之

1. まえがき

運営諮問会議（第4回）が2月6日、7日に行われた。相澤益男議長を始め、国内委員7名、国外委員6名で、二日間にわたり、研究現場の視察も含め、熱心な調査と討論を経て、貴重な指摘をいただいた。その印象を一口で言えば、産業技術総合研究所（産総研）における研究と研究経営が、国内のみならず国外でも広く知られるようになったということである。そして多くの意見があったが、それらは励ましの言葉であったと思う。しかし、理解が深まっただけに、不十分な点を指摘する確かな意見も多かった。それらの多くは産総研の本質に関わることであって私たち自身も未完成であることを知ってはいるが実行されていない。これらについて諮問委員からさらに努力を払うべきことが述べられたことを受けて、私たちは研究や研究経営の戦略における現行の路線のよりいっそうの具体化を推進すべきだと考える。

相澤議長が的確に述べられた、研究ユニットのオートノミーと産総研全体のミッション（使命）との関係は、産総研の基本理念に関わる問題である。それを私たちは概念的に理解し、それを共有していると思っているのだが、それはまだ十分に説明可能な形に整理された考え方だとはいえない。相澤議長が指摘するように、その考え方の精緻化と、実際の研究および研究経営の、日々の行動における具体化が緊急の課題である。

運営諮問委員の指摘は、今後時間をかけて解決していくべきものであるが、ここでは運営諮問会議を終えたという時点で、とても指摘事項のすべてに言及することはできないけれども、それらの指摘を念頭に置きながら、これからの産総研を考えることにしよう。

2. 産総研の研究経営10ヵ条

運営諮問会議で説明したことの一つに「産総研の研究経営10ヵ条」と言うものがある。実はこれは、昨年4月1日つくばでの年度始めの挨拶で述べたものであるが、改めて述べれば以下のようなになる。

- 1) ふたを取る
- 2) 人がいて組織が
- 3) 研究ユニットのオートノミー
- 4) 本格研究
- 5) 科学の言葉で書かれた研究戦略
- 6) 三権分立
- 7) 組織のフラクタル
- 8) 人と組織の時定数
- 9) 卓越した機関のネットワーク・イノベーションハブ
- 10) 共通の目標：持続可能な産業への重心移動を起こす
科学技術

これらはたまたま思いついた物ではなく、それぞれは産総研が2001年に発足して以来提起され、さまざまな機会に産総研全体で議論してきたものである。たとえば「ふたを取る」は、産総研発足の日（それは私の就任の日でもあった）に私が述べた言葉であるが、多くの研究機関で重い管理構造の下に研究者がおかれている状況があるのに対して、産総研は管理構造が取り除かれ、研究者が、重しなしにそのままの顔が外から見える状況になったことの印象を述べたのである。それは研究の自治と責任とを明確化するための必要条件ということでもあった。それ以降は、上記の1条から10条までの順序で、大体時系列で提起した概念であり、いずれも本格研究ワークショップで議論したり、「産総研 TODAY」で紹介した

りしたものなので、ここでは詳述しないが、この10カ条のそれぞれがどのように実現されているか、あるいは相互に矛盾のないものなのかなどについて、いくつかの課題について考察することにする。

3. 本格研究

本格研究が他に例のない研究経営であることについて、特に海外の諮問委員からの関心が高かったと思う。たとえば、本格研究によって始めてイノベーションハブが可能になることを理解したうえで、一つのユニットの中でどのようにして異種の研究者が共存できるのか、あるいはイノベーションハブを強調したときに、第1種基礎研究者および製品化研究者の仕事がそれぞれ3分の1もあるのは多すぎるのではないかという疑問が出されたが、これらは本格研究によってイノベーションハブを作ろうとしているわれわれにとっても大きな関心事である。異種の研究者の共存は、科学研究の非常に本質的な問題で、確かに伝統的な考え方によれば難しいやり方である。なぜなら、大学を見れば、国別を問わず、第1種基礎研究を目的とする理学と、どちらかという第2種あるいは製品化研究を主眼とする工学とが、組織上截然

と分かれているのを見れば容易に理解されるように、両者は組織的に分かれたほうが運営しやすい理由も持っている。しかも理学部と工学部とは、相互に決して友好的ではなかった。しかし異種の研究者の共存が本質的だというのは、本格研究は、それによって基礎的科学知識をできるだけ早く産業に役立たせようと言う現実的目標だけでなく、実は理学と工学の分離、さらにはそれぞれの分野での細分化が、現代の困難な問題を引き起こしていると言う現実があり、それを研究遂行の現場から修正しようと言う意図を持っているからである。前者は産総研の当面の目標であるが、後者は、細分化から解放された研究者が育つ事も含めて、産総研の学問的存在意義なのである。運営諮問会議においても、このような議論を通じて第1種と製品化がそれぞれ3分の1含まれることにも意義があることが理解され、さらに第2種だけでよいのではないかという疑問も解けたのであった。

産業との接点についても多くの議論があった。私たちは、本格研究がさらに産業へと入ってゆくために、いろいろな方策を考案してきた。企業との個別共同研究、包括的協定、そしてそれらを前提とした特許戦略がある。より明確な輪郭を持つものとしては、産総研産業変革研究イニシアティブ、人材育成型産学共同研究、ハイテク



ものづくり、IPインテグレーションがある。そして勿論、ハイテクスタートアップス（ベンチャー）も重要な方策である。これらは有効なものであると考えられ、着々と進行中であるが、まだ外部の人々に「これだ」と言って提示できる大型の成果、すなわちアウトカムはほとんどない。

基礎研究の成果が現実に産業で目に見える形で活かされるのは、決して容易なことではなくまた時間もかかる。このことは、産総研のような研究所の成果はアウトプットでなくアウトカムで評価すべきであるとする場合、さまざまな問題を提起する。アウトカムは10年後でなければわからないと言って評価するのを10年待ってもらうわけにはいかない以上、他の方法で、アウトカムを間接的にでも推定評価するしかない。その意味では上述のさまざまな方策についての試み、それに多くの研究者が本気で取り組んでいる状況そのものが未来のアウトカムの投影だ、と私は考えているのであるが、諮問委員たちも同様に感じたのではないかと考えている。その意味で、これらの方策は単なる一部の関係者による試みではなく、本格研究を志向するすべての研究者が自らの問題として考えるべきことだと言ってよいであろう。

4. 研究ユニットのオートノミーと研究所のミッション

運営諮問会議の期間中に何回か表明された疑問は、研究ユニットがオートノミーを持ちながら、一方で研究所には全体として達成すべきはっきりしたミッションが記述されていることに対して、それらは両立するかと言うものである。これは3条と10条との両立可能性という問題である。

ここで改めて両者の関係を考えてみよう。まず研究ユニットの設置を考える。その設置理由は、研究所全体の目標を実現するために必要なものとして位置付けられることが第一の条件である。そして勿論、その研究遂行のために必要な研究者をはじめとし、研究資源の獲得の見通しのあることが次の条件となる。そして、これらの条件を満たす研究ユニットの設計を誰が行い、そして誰が評価して設置に至るかと言う実態的な問題がより重要である。

まず、最初の非公式の予備的提案であるが、これは産

総研において自ら研究ユニットを組織したいと考える人は誰がしてもよい。すなわち予備的提案は産総研職員（常勤）であれば誰でもできるし、産総研外部の人でも産総研で研究したいのであれば、賛同する産総研職員（常勤）を通じ、その職員の責任において行うことができる。

その予備的提案は、当該分野の研究コーディネータをはじめ、研究者の間でその学問的意義、国際的優位性、将来の可能性を中心に検討される。そのときすでに、産総研における提案の位置付けや、他の研究ユニットとの関連などが十分に考慮される。この予備的検討を経て、正式に提案が作られるのであるが、その過程を支えるのは企画本部である。企画本部の出向研究者のうち、関連する分野の者（総括企画主幹）が担当して、予備的提案者とともに案を作成する。そこでは、その提案が産総研の研究ユニットとして継続可能かどうか、すなわち本格研究構成の可能性、他ユニットとの協力可能性、産業あるいはより広く社会への貢献、予算獲得見通し、国の科学技術政策、産業政策などとの関連など、現実的存立可能性が検討される。その結果可能性がなければ再検討あるいは提案不成立になる事も勿論ありうる。作成された提案は、対象とする研究領域に高い識見を有する役職員を委員長とする設置委員会に正式に提案され、審議される。その過程を経て、幹部会（理事会）に提案が上程されるのである。幹部会での検討は、その研究ユニットが産総研の目標実現のために有意義であることの確認が中心となる。

このような設置過程をやや詳しく述べたのは、それが10カ条の第2条の、「人がいて組織が」の現実的実現過程だからである。基本的にまず研究したい人がいて、その発案で出発する。その後、存立条件についての外形的審査が管理の視点で行われるが、基本は研究者の視点で進められる。しかし最終的には幹部会の判断が、産総研の研究経営という視点で下されるのであって、設置の責任は経営側にある。ここでは詳しく述べないが、研究ユニット廃止についても同様な手続きがある。このことから理解されるように、研究者の側からの提案と経営者の決定とが、いわば緊張関係のもとで行われるのが研究ユニット設置・廃止なのである。研究者は、その分野の専門家として最も深い判断力と見通しを持っていて、それに基づいて提案する。一方、経営者は産業あるいはより広く

社会全般の科学技術の状況を俯瞰的な目で洞察しつつ決定を下す。この両者は常に一致するとは限らない。従って緊張感は、両者の間の差異性によって固有に現象する。ここで指摘しておくべきことは、この差異性は対立を生むものなのではなく、産総研にとって積極的な意味を持っていることである。すなわちそれは、専門性の目と俯瞰的な目とが協力して、これから進む道を見定めるために必要なより高い視点を産総研が獲得するということである。この様な状況が現実にも可能となるために、産総研の役職員全員が産総研の目標を共有すると言う、第10条が大切になるのであるが、それについては後述する。この過程では、外部者の助言を取り入れる事も配慮されていて、視点の向上の努力が払われている。

以上の設置過程から理解されるように、研究したいという研究者固有の意図に基づいて提案され、以下に述べるような研究の自由を獲得しつつ設置された研究ユニットは、それが設置されたときすでに、社会および産業全般を俯瞰する産総研経営者によって表明された産総研のミッションを十分に内蔵しているのである。

このようにして設置された研究ユニットに研究のオートノミーが与えられる。これは、本格研究を推進するという条件のもとで、ユニット内の研究組織の構成、研究管理、契約職員の雇用、研究課題の創出選定、研究方法の採用、研究費の使途、研究成果の発表、特許の取得などの、研究実施に関するオートノミーである。更に他研究機関との協力、企業を対象とした産学連携も、ユニットの判断で可能である。これらの過程で、管理関連部門の協力助言が必要に応じて行われることになる。勿論これらがユニットの判断で行われるとは言っても、産総研の常勤定員には制限があるし、予算も独立行政法人における予算削減義務も含めて厳しいものがあり、勝手に決めてよいと言うものではない。しかしそれはここで考えているオートノミーとは別次元の問題であると取りあえず考えておこう。

設置のときにすでに産総研のミッションが内蔵されているとはいえ、このようなオートノミーが与えられて研究を遂行する研究ユニットが、産総研ミッションの遂行にそれ以後も常に有効であることはどのようにして保証されるのであろうか。今回の運営諮問会議で出されたこの点についての疑問に対して、私たちはこれから答えて

いくことが要請されている。ここでは答えの方向を探ることを試みよう。

産総研のミッションは、一口で言えば「持続型社会の実現に貢献する持続型産業へと現在の産業が重心移動するために有効な産業技術を創出すること」でありこれが第10条におかれている。持続型産業とは、既存の産業では対応できない、未来の持続型社会での競争市場において競争力を持つ産業である。一方産総研の現場で進行する研究は、オートノミーを持つとしてもミッションを理解した研究者による研究であり、個々の研究を見ればそれぞれ持続可能性を志向しているから、その成果は必ず有効であると考えるのであるが、それだけでは抽象的で、社会に対する説明になっていないし、私たち産総研の中でも現実の研究戦略を考える上で抽象的過ぎる。実は、産総研の抽象的ではあるが明解な使命を、多様で自律的な研究者が現実的に果たして行く仕組みを明らかにすることは、産総研にとって最重要の課題であり、これに今までどのように取り組んできたかを概観しながら今後の課題を明らかにすることにしよう。

5. ミッションから研究現場へ

産総研のミッションから始めよう。持続可能性とは何か。これは今人類にとってもっとも緊急な課題として世界で議論されていることであり新しい定義を与えるものではない。すなわち、地球環境を維持するという条件のもとで、地球上すべての人類が満足できる生活を享受することの実現である。それでは持続型産業への重心移動とは何か。これはまだどこでも本格的に議論されたことのない産総研発の概念である。

産総研では、若手研究者を中心に、「持続性に向けた産業科学技術委員会」を設置して、持続型産業の科学技術的定義を明らかにする検討を始めたのである⁽¹⁾。これはすべての産業が持つ産業技術を、科学技術の観点から明らかにし、その上で環境に対する負荷を科学技術的に評価する。その全産業についての総和が全産業の負荷である。それは恐らく多次元空間の点であるが、それは各産業の負荷の重心であるという事もできる。そこで技術開発によって従来の技術が代替されたとき、その重心がどのように移動するのかを明らかにしようとするのであ

る。たとえば製造業であれば製品に固有の物質的なプロセスがあり、それは地球環境に対して固有の負荷を与える。材料の種類、製造技術、流通販売、製品使用におけるエネルギー技術、保全修理、廃棄方法などさまざまな要素が負荷を決める。これらを求める作業はライフサイクル評価と共通のものとなろう。しかしここでは評価にとどまらず、技術の変更がどのような効果をその評価値に与えるのかを知りたいのである。

恐らくこのような重心を定量的に求めることは膨大な作業を必要とするだろう。しかもそれは、個々の産業の産業技術のもつ科学技術的な特性の単純な総和を求めればよいと言う問題ではない。それらの和を求める過程で、それによって作られた商品がどれだけ流通し、どのように消費されるのかが問題となる。個々には未来社会の商品群の予測と言う問題があり、それは経済のみならず、文化的な要素も考えなければならない超複合領域的課題である。

現時点でかなりはっきりいえることは、このような試みによってどんな技術開発をすればよいかの解が疑問の余地なく与えられるようなことにはならないと言うことである。それは期待のし過ぎである。しかし、だからと言って、このような努力を否定する事も間違いなのである。なぜなら、産総研の研究は、重心を持続性が正の方向に向かって動かすことを目標にしているからである。この一見奇妙な言い回しは、やや解説を必要とする。

重心について、現時点での科学がそれを正確に定義できるかどうか、さらに測定できるかどうかに関わりなく存在するとするのは次の理由による。人間の産業活動が、人類そして生態系に、何らかの影響を与えていることを認めたとすれば、論理的にはその存在を前提としていることになる。わたしたちは、未来の産業を、よい影響を与えるものにすることを目標にしているのであるから、存在すると言う立場に立っているのである。このように全産業の持続性という観点から見た重心は確かに存在するが、その定量的表現をまとめて一度に行うことは現在の学問的状况から言って難しすぎる。したがって私たちの仕事は、今産総研で進行中の、それ自身単独では間違いなく持続性向上に寄与し（定量的評価可能）、そして研究者が自分で、恐らく重心移動に貢献すると直観的に信じている研究について、全産業という視点から逆に

評価を行うしかないであろう。この評価を誰が行うのか。一人一人の研究者が自分の研究についてそれを行うことは現実的でない。それは鋭い問題意識を持つ委員によって構成された「持続性に向けた産業科学技術委員会」に期待することにしよう。大変難しいことを期待されている委員会であるが、実はその検討は、産総研の研究所としてのミッションの抽象性を打破し、具体性を与えつつ現実の研究者の研究の現場に接近してくる作業なのである。言い換えれば、オートノミーを持って研究を続ける研究者たちが、自らの研究領域の問題としてそのミッションを理解する可能性を与えるものなのである。それではもう一方の研究者たちはどのようにしてこの接近に呼応しつつ、自ら産総研のミッションに接近するのだろうか。

6. 現代における研究者

前節に述べた研究のオートノミーとは何かを考えることから始めよう。オートノミーは自治と翻訳されるが、かつて大学の自治とは大学が外界と縁を切ることでであると誤った解釈を与えられたことがあったように、誤解を与えやすい翻訳である。研究のオートノミーというときは、外界と縁を切るのではなく、外界と明確に定められた関係を保持することによってある範囲の自由を得ると言う解釈をするべきである。これは、自由に生きる、すなわちオートノマスな生物が、外界と縁を切ったとき死ぬことと同じである。生物は外界と複雑で厳密な関係を保つことによって始めて自由に生きることができるのである。

それでは、一般的な科学研究を考えると、研究のオートノミーというとき、外界、すなわち社会とどんな関係を定めた場合にそれが与えられるのであろうか。原則的なことを考えるなら、このことを恐らく直観的にはあるがもっとも深く考えたジャン・ジャック・ルソーに行き着くことになろう。ルソーは、人が市民的自由と所有権を持つのは「社会契約」によってであると言う。すなわち「社会契約によって人間が失うもの、それは彼の自然的自由と、彼の気を引き、しかも彼が手に入れることのできる一切についての無制限の権利であり、人間が獲得するもの、それは市民的自由と、彼の持っているも

の一切についての所有権である」⁽²⁾ と言う。ルソーはこのようにして人間の社会が成立する根本的な原則を「社会契約」においたのであった。私たちが考えている研究のオートノミーとは、この文脈で言えば研究することの自由と、それによって得られる成果に関する権利である。社会契約がそうであるように、ここでも可視的な契約書が存在しているわけではない。しかし確かに科学者には自由と権利が与えられている。とすれば、科学者は何を失う代償としてそれを与えられたのであろうか。

現代の人が持っている自由や権利は、ルソーの言うように自然的自由を放棄することによって得たものであると言うことができる。自分の私有空間を他人に邪魔されず、また公的空間を自由に行動できるのは、他人の所有空間に入る権利を放棄したからである。ここには可視的な契約すなわち法律がある。一方、小説家がどんなことでも書くことのできる自由は、それを他人に読ませる権利を放棄したからである。読むのは読者の自由であって、小説家は介入できない。そして書く自由が、読者に読まれることで現実的に保証される、すなわち本が売れて生活が保障され、その結果執筆活動が続けられると言う社会的関係は、可視的ではない社会契約だと考えてよいかもれない。

研究の自由とその成果に関する権利は、現実的な取り決めについての規則や法律はあるが、その本質が法律によって決められているわけではない。従ってここで、獲得した権利と放棄した権利とを対置させてはっきりしておく必要がある。研究者が獲得したもの、それは研究の自由である。それでは研究者は何を放棄したのであろうか。

それは、研究者自身あまりに日常的なことなので意識していないことが多いが、彼らが従うきわめて厳格な行動規範によって排除された「科学者には許されぬ行動」なのである。行動を発言（研究発表）に限定すればそれは以下のように要約される。

- (1) 論理性：各発言は論理矛盾を含んではならない。
- (2) 実証性：発言は実証されているか実証（反証）可能性を持たなければならない。
- (3) 論理一貫性：過去を含め、すべての発言は相互に論理的矛盾を含んではならない。
- (4) 永久責任：一度発言したことは永久に責任を持たな

なければならない。

- (5) 所属責任：発言の根拠が自らの考察によるか他人によるかを明示せねばならない。

これらの禁止条項によって許されなくなった発言は、科学者が放棄したものである。例えば論理矛盾を含んだり、実証（反証）可能性のない主張を含んだりする研究論文を発表したら、たとえそれが興味深いものであっても科学者として失格である。あるいは「ダイヤモンドはシリコンに置き換わることはない」と発言したら、科学者ではない。（置き換わるはずはない。そんなことが起きたら頭を丸めるといふ信念の表明なら許されるが、それは科学者の自由を捨てた発言で、科学者には課せられない新しい責任を負うことになる）。このような実証可能性のない発言や不確実なことについての断言は、普通にはあることである。しかし科学者の、科学者としての発言にはない。すなわち彼らはそれを行う権利を放棄した。このことと最近問題となる研究不正（ミスコンダクト）とは深い関係があるが、それについては別の報告で述べることにしよう。

彼らはそれによって、研究の自由を獲得したのである。社会はこのような権利を放棄したものを科学者として特別に認知して彼らの自由を認めた。そして彼らの研究の成果を無条件に、例えば小説の読者がするような読者の権利を行使して選択するような事もなく、受け入れる。このようにして、自由の中で、真実を知ることを目的として、何者によっても妨害されることない自らの好奇心に基づいて行動することを許された者が、選ばれた科学者なのである。それは伝統的な科学者であり、さまざまな時代を通じて護られてきた研究のオートノミーである。

ところで最近になり、ICSU（国際科学会議）の前会長のジェーン・ルブチェンコが、「新しい社会契約」と呼んで、現代の科学者の持つ自由を、同様の原理によって理解しようとしている。彼女の場合、関心は研究課題の選択の自由に関してであり、どのようにして地球環境問題についての研究を盛んにするかを論じようとしたのである⁽³⁾。現代の科学者は、公的機関で研究をすることが一般的となった。いいかえれば、研究者は自分の研究成果を売ることを強制されることはなくなった。人々は税金を通じて研究者に研究費を届ける。いわば研究費に期待

を乗せて送り込む。その結果、科学研究者が獲得したものの、それは公的な機関で生活を保障されながら、そして公的な研究費を与えられながら、「自由に」研究でき、成果についての権利を持つというものである。ルプチェンコの言う新しい社会契約がここにある。すなわち、公的研究費を使って研究するものは、期待する人々と、可視的ではないが契約を交わしている。科学者はここで、自らの好奇心のうち社会の期待と合わない部分を放棄することが必要となり、新しい禁止条項がつけ加わる。

(6) 好奇心の変化：研究を駆動する好奇心が社会の期待と相反してはならない。

このようにして現代の科学者の研究における自由と権利が明らかにされる。

7. 研究者から経営へ

科学技術研究者の権利と自由とが与えられる根拠を明らかにした上で、その根拠がどのようにして実体化し保証されるのかを次に考える。基本は研究者自身がその根拠を自らの存立条件として理解することである。そしてその上で、それを現実の研究において有効に作動するものとして実体化する。それは研究の対象あるいは分野によって異なるものとなる。素粒子研究、物性研究、生命研究などを考えればそれは直ちに理解される。ここで、私たちの関心は、産業技術研究である。

産総研においては、主として公的研究費による産業技術研究が行われている。この公的研究費には、現代の人々および未来の人々が、産業がよきものであるようにとの期待が込められている。産業は広義に解釈すれば、きわめて多様な内容を持つ人間の主要な行動であり、豊かさをもたらす中心的な働きを持つものである。したがってそれへの人々からの期待は多様であり、それが産総研の研究課題の多様さの原因である。研究課題の多様さは、研究方法の多様さにもつながってくるが、いったいそのような多様性を持つ産総研が、一つの機関として、統一的な行動をとりうるのだろうか。

私たちは、そのような多様な研究があることを認めた上で、その多様性を超えた一つの共通の行動原則に合意している。それが本格研究であり、産業技術研究の基本的な形がそこに示されている。それは、発見や発明によっ

て得られた科学技術の基礎的知識を使って、社会に新しい富を創出するための学術経営、あるいは研究経営における基本形であって、研究課題の内容によらず成立するものである。そしてそれは、3. 節に述べたような産業変革研究イニシアティブを始めとするさまざまな方策によって、現実には産業に有効な技術となって行く。

ここで検討すべきことは、この行動原則によって、研究ユニットが産総研の研究所としてのミッションに corres pond することになっているかという点である。容易に理解されるように、産業の振興という意味では応えるであろうが、産総研のミッションである、産業全体として持続型産業への重心移動に応えるかどうかについては何もいえないであろう。言い換えれば、本格研究は必要条件であって、それだけでは充分でない。比喩的に言えば、本格研究とイノベーションハブとは、ミッション遂行のために必要な研究の‘入れ物’を準備したのであり、その中に入れる研究内容、すなわち内容物（コンテンツ）によって充分条件を満たさなければならないのである。

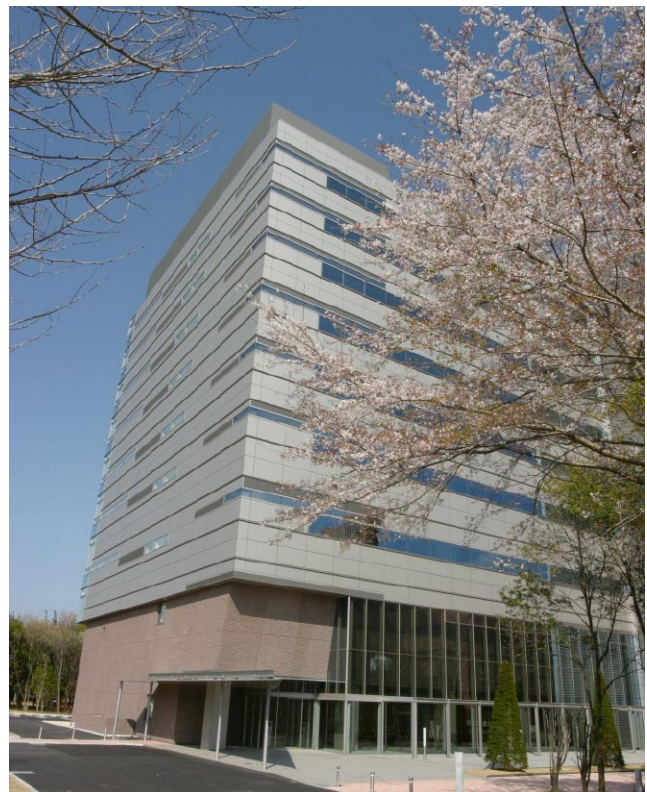
今産総研で、進行中の研究のそれぞれについて、その内容が持続型産業への重心移動を加速するかどうかを判定する方法への模索が始まった。それは企画本部を中心に昨年発行した「第2期研究戦略」の、平成18年度改訂版作成作業中で行われている。詳細は何れ公表されることであり、ここでは触れることはできないが、それは各研究課題の成果がいずれアウトカムとして社会に効果を与えるとき、それが産業競争力の高い持続型産業となり、かつ全産業の重心移動に貢献するものであることを示す‘指標’を定めることを通じて判定しようとするものである。この指標は科学の言葉で書かれているのであって、この指標によって自らの研究を評価しつつ行われる研究は、第5条の「科学の言葉で書かれた研究戦略」をもつとすることができる。そしてその意義は、研究の計画やロードマップを正確に記述できると言うことだけでなく、一つ一つの研究の、社会や所属する機関の包括的ではあるが抽象的な目標やミッションに対する調和を判定することを可能にするものである。

このようにして、研究ユニットの研究者は、産総研のミッションとの調和の可能性を判断しながら、研究を続けることができる。そして研究者は、産総研のミッションへと接近してゆく。

8. あとがき—産業技術とは何か

産業技術総合研究所が独立行政法人として発足してから5年が経過した。この時期に改めて産業技術とは何かを問うことは奇異な感じを与えるかもしれない。それどころか、それを知らずに5年も研究を続けてきたことを非難されるかも知れない。しかしこのことには新しい意義がある。それは、私たちはそれぞれの専門を通じて産業技術とは何かを‘外延的’に知っているが、ここでは産業技術を記述する‘内包的’表現を求めようとするからである。内包的表現で指示される概念は、前節までに述べてきたような、未来の産業およびそれを支える産業技術を産総研の目標として定め、その目標を産総研の研究者がどのようにして達成して行くかを考えるときに不可欠な、先鋭的概念なのである。その概念の素材は現実に産総研で行われている研究としてすでに存在する。そしてその素材は、第2期研究戦略として、外延的に書かれている。しかしこの戦略を読めばわかるように、それらすべてを含む内包的定義を、抽象的に過ぎることなく表現することは決して容易なことではない。それは科学分野のほとんどを包含し、基礎から応用に亘り、しかも社会との関係を考慮するための多くの要因を含む。運営諮問会議の委員の発言も、この点についての難しさを常に底流としていたように思う。恐らく今後、産総研の目標をより明確に社会に対して表明し、また私たちの間でより深い議論を進めるために、産業技術についての定義ないし内包的表現が重要になってくる。ここではそれが今後の重要な課題であることを指摘するとともに、今、私が、その検討に関係すると考えていることだけに触れて本稿を終えることにしよう。

それは‘ものづくり’である。これはわが国の産業を特徴付ける能力であるとされ、かつての高度経済成長を支えただけでなく、わが国のこれからにとっても貴重な、温存された能力であると考えられている。しかしその定義がうまくできないと言う点では、産業技術に引けをとらない。高度な技能者がその主役だからその不足こそ問



題だと言われたり、統合生産管理(TQC)の重要性が言われたりする。また日本の文化や伝統が引き合いに出されたりする。優秀な技術者が現場にいることの重要性が指摘される事もある。これらはみな正しいが、何か本質を言い当てておらず、その結果ものづくり政策はなかなか魅力的なものとして描くことができない。今私が考えているのは、ものづくりを明確にすることを通じて産業技術の定義をしようという方策である。間違いなく言えることは、ものづくりとは、もっとも高度な科学技術の知見の集積をもっとも巧みに利用しようとする人たちがいて、しかもその人たちはその知見の独特な進歩を、それを担う者に常に要請している。利用する人たちとは技能者、技術者、経営者、などであり、担う者とは科学技術研究者である。ものづくりとは、人と知識の境界でそれに携わる者、すなわち使う者と担う者の、独創的な知的作業なのである。私は産業技術とは何かを言おうとするなら、それはものづくりの本質を明らかにすることを通じてすることが必要なのではないかと考えている。この点については別の機会に述べることにしよう。

文献

- (1) 持続性に向けた産業科学技術研究会、産業技術総合研究所技術情報部門、2005.9 (増田幸治主査)
- (2) ジャン・ジャック・ルソー、社会契約論、桑原・前田訳、岩波書店、1954、p.36
- (3) Jane Lubchenco, Entering the Century of Environment : A New Social Contract for Science, Science, 23 January 1998, Vol.279, p.491

第4回産総研運営諮問会議を開催

産総研運営諮問会議は、国内外各界の指導的有識者をメンバーとし、研究所の研究活動全般、資源配分方式・評価システム等の運営および将来の研究所の向かうべき方向などについて、外部の視点から総合的に検討を行い、産総研に対して助言を与えることを目的としています。第1期は、4年間で3回の会議を開催しました。第2期においては、1、3、5年目での隔年開催を計画しております。第2期スタートの年に当たる今年度は、第4回目となる会議を、2006年2月6日～7日の二日間、つくば本部を会場として開催しました。

今回の会議は、「イノベーションエンジンとしての産総研の第2期戦略について」をテーマに設定し、理事長の「第2期をスタートして」および吉海企画本部長の「イノベーションハブの確立に向けて」の発表を軸にして、委員および当所役員によるイノベーションハブ戦略に関する討議等に活発な議論が交わされました。また、3グループにわかれての研究現場見学を行い、研究者との直接の意見交換も行われました。以下に、会議の概要と各委員からの主なコメントを報告します。

表2 プログラム

1日目：2006年2月6日(月)

開会(理事長挨拶)
委員および産総研出席者の紹介
吉川理事長説明(第2期をスタートして)
理事長との意見交換
昼食
研究現場：視察と研究者との意見交換
吉海企画本部長説明
(イノベーションハブの確立に向けて)
イノベーションハブ戦略に関する討議
全体会議
バンケット

2日目：2006年2月7日(火)

産総研幹部との討議
(前日の討議を踏まえて)
全体会議
閉会、昼食

表1 運営諮問会議委員

相澤 益男(議長)	東京工業大学 学長
麻生 渡	福岡県知事
伊佐山建志	日産自動車株式会社 副会長
歌田 勝弘	味の素株式会社 特別顧問
内ヶ崎 功	日立化成工業株式会社 取締役会長
小宮山 宏	東京大学 総長
中西 友子	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
野中ともよ	三洋電機株式会社 代表取締役会長
Lord Broers	President, Royal Academy of Engineering, UK
Hans-Jörg Bullinger	President, Fraunhofer-Gesellschaft, Germany
Geoff Garrett	Chief Executive, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia
Binglin Gu	President, Tsinghua University, China
Richard K. Lester	Professor, Nuclear Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology (MIT) and Founding Director, MIT Industrial Performance Center, USA
Sakarindr Bhumiratana	President, National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand
Hratch G. Semerjian	Deputy Director, National Institute of Standards and Technology (NIST), USA

表3 吉川理事長説明「第2期をスタートして」目次

産総研のさらなる一歩

第2期に入った産総研
産総研の基本理念
産総研のミッション
産総研の目指す将来像 ～アウトカムの実現～
目標に沿った研究分野構成
研究所経営の視点
経営の基本構造
第1期：国研から独法へ
第1期から第2期へ
産総研研究戦略 ～イノベーションへの方向付け～

産総研におけるイノベーション設計

持続可能な社会へ向けて
新たな産業構造とその重心
産総研の目指すイノベーション
研究成果：アウトプットとアウトカム
研究成果と研究者・チーム・組織
イノベーション創出のメカニズム ～アウトプットからアウトカムへ～
本格研究
産総研における研究ユニット
産総研における第2種基礎研究の戦略
本格研究事例
イノベーション創出のための制度

研究課題の重点化

産総研の目指すイノベーション ～アウトカムの実現～
健康長寿で質の高い生活の実現
知的で安全・安心な生活を実現するための高度情報サービスの創出
産業競争力向上と環境負荷低減を実現するための材料・製造技術の創出
環境・エネルギー問題を克服した豊かで快適な生活の実現
産業基盤を構築する横断技術としての計測・評価技術の創出
地球の理解に基づいた知的基盤整備(地質の調査)
知的基盤整備への対応(計量の標準)
研究ユニット評価によるフィードバック

本格研究とその外部展開の方策

本格研究とその外部展開を支援する制度等
産学官連携
知的財産
ベンチャー創出
産総研の人材育成
イノベーションハブ



運営諮問会議の構成

今回の運営諮問会議は、第2期に入って最初の会議であり、委員の大きな入れ替えを行いました。委員の構成は、国内の大学、企業、地方自治体から8名、外国の大学、公的研究機関から7名の計15名(表1)です。会議は、表2のプログラムに従い1日半の日程で行いました。会議初日の午前、吉川理事長から「第2期をスタートして」と題して、産総研の概要、特に第2期における研究活動のあり

方について発表を行い(表3)、これを受けて各委員との質疑応答を行いました。午後は、企業との共同研究、人材育成、ベンチャー創出など「イノベーションハブ戦略」の実現を実践している研究現場の視察を行った後、吉海企画本部長から「イノベーションハブの確立に向けて」と題して産総研が第2期に目指すべきイノベーションハブ戦略を発表(表4)した上で活発な議論を行いました。会議2日目

には委員と産総研役員との間で、研究マネジメント、企業との連携、知的財産、人材育成、安全管理、セキュリティー管理、広報活動など研究所運営に関する活発な議論を行い、最後にこれらを踏まえて各委員一人ずつから産総研の研究活動・運営に関するコメント・助言を頂きました。

3つのグループで行った現場視察

イノベーションハブとしての産総研は、研究成果の外部移転の仕組みとして様々な制度を有しています。委員には、SiC半導体の研究を軸としたパワーエレクトロニクス研究センターと企業との共同研究事例、米国の医療機関との共同研究例である人間福祉医工学部門の手術支援ロボット、IPインテグレーションによる先進製造プロセス研究部門のセラミックス薄膜常温形成技術の研究、産総研コンソーシアムとして推進している計測フロンティア研究部門の陽電子ビームを用いた材料評価、ナノテクノロジー研究部門のナノテク人材育成プログラム、エレクトロニクス研究部門からのハイテクスタートアップスである(株)アイカンタムを視察していただき、研究者との議論の場を設けました。



第2期産総研に対するコメント・助言

野中 ともよ 委員

「イノベーションおよびアウトカムの方向性は妥当なものか?」という問いかけが素晴らしいと思



う。「Science for Society」をさらに進めてサステナビリティに貢献するというところで、明確に改革の軸の一つに合わせて、産総研としてやっていこうということを包括するビジョンとして、これほどの確かなものはないと思う。

これまでの内部だけでのアウトプットの評価軸を、マーケットがあってプライベートでも勝負できるアウトカムを出していこう。その方向へと研究者の意識を変えるためにユニット制をひかれた。オートノマスな考え方と同時に、「市場でも通用するという自分を見なければ、飯は食えないぞ」という警鐘を鳴らされたのだと思う。経済・社会にどう貢献すべきか。未来の方法論の具体策をプログラム化することが重要だと思う。

ネットワーク・オブ・エクセレンス、産業界との情報共有、人材交流、研究テ

マの共有が、21世紀の知財立国の1つの柱にもなってくると思う。

日本は、知的財産の方法論が確立されていない。産総研として、情報力、分析力をもってこれにチャレンジして欲しい。知財マネジメントにファイナンシャル・マネジメント、つまりファイナンシャル・リテラシーを持った人材を入れて、公的資金の公開の原則と民間資金の守秘義務など、明確な仕分けをして欲しい。これまで日本になかった新たな知的財産マネジメントのノウハウを是非確立して欲しい。

麻生 渡 委員

7つの地域センターは、産総研全体の世界的な高レベルの研究の一翼を担っており、地域にとっては大変重要な存在である。地域センターの長い歴史の中で、技術指導、委託研究および共同研究、勉強会などを通じて、地域産業への研究開発を指導するという立場で非常に大きな役割を果たしている。

産総研地域センターは非常に技術レベルが高く、研究目標、研究の仕方など本

部と一体となって進めており、地域の研究所、大学に大きな刺激を与えており、今後とも産総研の活動の非常に重要な一翼としてぜひ育てて欲しい。また、それぞれの地域の産業クラスターづくりの支援の中心となって欲しい。

産総研本部でどのような研究開発活動をなされているか、例えばナノの人材育成のプログラムなど人材育成、研究開発プロジェクト、中小企業支援などを、もっと我々が知る努力をしなくてはいけない

し、産総研にも配慮をして欲しい。

地域の研究機関は、人間によって研究テーマが制約されるという現実があるが、日本全体がまだ研究人材の流動化が進んでいない。研究人材の流動化が不可欠であり、地方の研究者なども一体となって進めて欲しい。



小宮山 宏 委員

「産総研の規模の適正さをどのように判断するか」という諮問を考える上で、運営費交付金の15%/年



削減と高齢者雇用は重要な視点である。大学を含め、現場研究者に対する管理運営部門の比率が現状では大きい。高齢化した研究者をどうやってキャリアパスさ

せるかという話があったが、どうやって現役の研究者をたくさん作っていくかが非常に重要だと思う。

一方、2500人の研究者の仕事が外部からどのように見えるか社会連携が重要であるが、そのためには連携効果を高める触媒の役割をする人材が必要である。そうすると資金の確保、使い方が重要になり、調達効率化を推進し、外部資金や寄付を増やす必要がある。

産総研の規模の適正がどれくらいかということではなく、どれくらい産総研に実力があるかということだと思う。大学も研究機関も研究者を減らすのが良いというのなら、極論すればやらないのが一番良いということになってしまう。人の数は組織のアクティビティに比例する面があるわけで、増やせるところまで増やすというのが基本だと思う。

歌田 勝弘 委員

産総研は大規模かつ組織が複雑で、外部から見て内部が良く分からない。バイオテクノロジー関連の研究ユニットだけでも10を超えるように、組織が細分化されている。産学連携の点で、地域密着型クラスターが新産業育成に必要で、地域センターの存在が重要である。

研究組織としても自律が必要だ。個人

と組織との調和が大きな課題だと思う。その中で個々の研究は尊重しながら、全体のリーダーシップが問われる。企業では、コーポレートガバナンスと情報発信、透明性という外部との双方向での情報交流が大事と言われるが、産総研でも同様である。また、「選択と集中」を、マネジメントでどうやっていくかが問われていると思う。

法令順守、個人情報の問題、さらには不正行為など反社会的問題にどう対応するかも問われる。理事長の言う「ユニット



長は哲学的で思索家でなければならない」というのは大変崇高な理念だと思う。実現することは困難だがぜひやって欲しい。

表4 吉海企画本部長説明「イノベーションハブの確立に向けて」目次

イノベーション実現の3段階

基本的認識

- グローバル化に伴う構造変化
- グローバル化社会の研究機関
- 研究開発投資と利益の相関
- 我が国固有の構造問題

産総研をイノベーションハブとして位置づける理由

- ①多様性
- ②産業技術
- ③研究と政策の協調

研究機関としてイノベーションメカニズムの内部化

- 個人と組織の調和
- 契約関係
- 組織設計
- 研究課題の設定と体系化
- 研究分野と研究コーディネータ
- 研究予算
- 研究の発展と支援措置
- 知的財産価値の向上
- 研究者間のコミュニケーションの促進
- 外部人材の登用
- 研究ユニット評価によるフィードバック

外部機関及び企業とのインターアクションによるイノベーションの創出

- 民間企業との共同研究・受託研究
- 大学との連携
- 産業変革研究イニシアティブ
- 技術移転の促進
 - ライセンス活動
 - 中小企業との技術シーズ実用化研究
 - ベンチャー起業の推奨
 - 技術相談
- 外部招聘した役員

社会構造変革を通じたイノベーションの実現

- 産総研の理念・活動の普及
- 社会構造改革に向けた研究課題の設定
- 政策当局への意見具申など
- パイロット研究推進事業

人的資源と人材育成

- 職員を対象とした人材育成と交流促進
- 外来者を対象とした人材育成
- 人的資源の流動性

研究活動の国際展開

- 外国機関との協定及び研究協力
- 海外との人的交流
- 国際的交流ネットワークの主体的形成

Hratch G. Semerjian 委員

産総研の強みは産業界、企業との交流に重みを置いてきたことであり、この交流をより効率的にすべきである。日本の産業・社会における産総研の仕事の重要性を産業界に代弁してもらうことは、社会における産総研の重要性理解の一助に

なる。

自律的な研究は、戦略的企画に沿ってのことであるが、実際の最先端研究は学際領域、例えばナノテクとバイオの境界領域などで進行するものである。したがって、それぞれ異なる目的を掲げた54の内部組織が境界領域でいかにうまくやって

いくか、産総研全体で更なる努力と協調をして欲しい。



Geoff Garrett 委員

本格研究で産総研を他機関から差別化するためには、日本のイノベーションシステムの中での位置付け、すなわち他機関と比べた優位性を明確にする必要がある。差別化は鍵であり産総研のユニークさであり、どこに貢献できるかである。



次に、イノベーション・技術移転・流動性のリンクを強調したい。このリンクは論文や講演がもつ通常の機能を超え

た重要性があり、個人の役割も重大である。

3つ目は透過性であり、人材育成、特にナノやバイオなど幾つかの科学技術の境界を横断できるリーダーの育成が重要である。科学技術がますます融合する中で、組織内の境界や組織外との境界を越えて移動できる世代の育成が重要である。

4つ目は成果をどのように測定するのか。そのコミュニケーションを組織内で徹底する必要がある。

また、非意図的な結果の扱い方は重要で、例えば、安全衛生は評価可能かもし

れないが、評価の仕方でも違った方向に進むかもしれない。どうやってパフォーマンスを評価し、どのように広報、発表するかが重要となる。

Lookoutという言葉には2つの意味がある。1つは「危険だ、気をつけろ」という意味で、公的資金を得ている研究所が置かれている状況を監視する必要がある。もう1つは、外があるから自分たちが存在すること。時として内部にばかり目が行ってこだわることが、社会に貢献するという視点を持たねばならない。

Lord Broers 委員



適正な尺度を持つことは重要である。過去20～30年間の世界的なハイテクの発展を見ると顕著な変化がある。1960

～1980年代に純粋な科学や基礎研究により多くのコア技術を生んだ大企業の研究室は、すでにこのような研究開発を止めてしまった。テクノロジーが幅広く相互関係が強くなったため、一企業だけで研究するには大きくなり過ぎたからであり、基礎研究は独自ではやらず大学に依存す

る傾向が出てきた。産総研のような研究機関はこれまでは好まれたルートではなかったが、上述の傾向を見ると長所と短所があるが、もう判断は出ている。

透過性の問題として、平均年齢が毎年1歳ずつ増えるということがあげられる。入ってくる人も、前よりも年を取った人が入ってくる。それは問題だと思う。

それから、コミュニケーションの問題がある。自分の立場を大学と企業の間で置くとは前は1つであったインターフェイスが2つになる。場合によっては3つにもなり得る。したがって、また違うコミュニケーションが必要になる。

財務モデルについてもっと具体的な方針を持って欲しい。間接経費をどうするのか、企業の共同研究者とどのような協定を結ぶのか、誰が知財を保有するのか、知財に対して対価を払うのかどうか、知財に対する個人の権利はどうか、ということ。

創造性の世界では評価されることが難しい。創造的な仕事をしている人で、学会でなかなか認められないと感じることがよくあったが、状況がかなり変わってきた。我々が見せていただいた研究は素晴らしく突出したものばかりで、この素晴らしい仕事を続けて欲しい。

内ヶ崎 功 委員

産総研は産業界に対してもっと「情報、技術をサービスする」という意識を高揚すると共に大学と産業界との間に位置付け、研究分野をライフサイエンスから標準化や測定法まで広範囲に亘って、一層深耕させて欲しい。

今時テクノロジー・プラットフォームを

広く深く持つことは大変重要である。個別最適化は専門大学や専門研究所でもできるが、全体最適化はテクノロジープラットフォームを多角化しておかないとできない。そこに現在の産総研の存在価値があると考えている。

具体的には多岐に亘る研究知識を結集し、テーマの選択と集中を図り、短期に

成果を市場に提案し、評価を受けて欲しい。また、グローバルな個別あるいは総合発表会に積極的に参画し、産総研の知名度向上を図って欲しい。



伊佐山 建志 委員

産総研が、日本の他の研究機関、大学と比較したユニークさの1つは多様性ではないか。女性や外国人の活用など、間



違はなく多様性は進んでいる。役員の中に一定数外部出身理事がいるのは素晴らしい。研究センター長の13名が外部出身の人で、社会的に通用するような方々が

入っている。このような例は他にはなかなかない。

いい意味での伝統の強さをもっと認識し、もっと前面に出す必要がある。特に、計量に限らず他の分野でも標準化を進めることが重要である。計量の分野では世界標準を作ることが重要である。

我々企業の研究と比べると、補完性がある。それをもっと前面に出して欲しい。研究については、とがった人こそ欲しい。その人の持っているノウハウと知識を活

用したい。そういう人を前面に出して、スターを意識的に作ることは組織にとってもすごく効果があると実感している。

運営諮問会議に代表されるようなネットワークのベースがあることは、他に比べた優位性ではないか。

ビジュアルライゼーションが大変重要である。外部から見た成果の可視化が当たり前のように行われたら、いちいちPRしなくてもわかる。それを戦略性を持ってやれば良い。

Richard K. Lester 委員

非常に強いリーダーシップのもとに、様々の環境の変化と共に進化をしている研究所と理解する。



イノベーションとは「より広範で人類の利益に適う新たな知識の実現」であり、ますます学際的・業

際的・国際的・組織間的になってきている。産総研の課題は、複雑化する中で自分の位置を見つけることである。

将来を見据えて本格研究という概念を本格イノベーションにつなげることが有用だ。本格研究の概念が産総研に貢献したことは、産総研の研究者が自らが従事していない研究をも考える助けになったことである。

目を、研究を越えたイノベーションの側面、教育の側面、人材の側面、産業界の能力の側面にも広げていく必要がある。産総研の研究者は必ずしもこのような活動に関わっていないが、知識を持つことは重要であり、組織として関わるのがさらに効果的なイノベーションを進める上で必要である。

Sakarindr Bhumiratana 委員

民間部門との連携に関しては、さらなるイノベーションが必要かも知れない。

流動性に関して、産総研には多数の訪問研究者がいて人材の流入の観点ではうまくいっているようだが、転出が少ないと思う。活力のある研究成果を出すために研究所はどのような人事管理を行って

いるか？大学から来る若いスタッフが多くの成果を出すためにどのような体制を敷いているのか？

産総研は、アジア地域の発展途上国における科学技術育成のためのリーダーシップを継続し、新たなグローバル化の中で、さらに多くの働きをして欲しい。そして小さな発展途上国の生き

残りを助けて欲しい。そうすれば、発展途上国の人々を育成において再度革新的な方法を見いだすだろう。特に、中国とインドという巨人が出現しつつある中では、このことがさらに必要だと思う。



Binglin Gu 委員

イノベーション戦略を将来に向けた鍵に据えることはとても良い選択である。



産総研から創出されている知識の質と産業および経済への持続的な貢献は重要である。産総研の進める本格研究はよい選

択であり、SiCや陽電子分光法など産業界に有益な研究を進めている。

提案をいくつかしたい。中国や日本の学生がアメリカに留学するのは、アメリカには留学生が滞在しやすい環境が整備されているからである。日中ともこの問題を考えて国際化を推進し、よりオープンにすべきだと思う。

本格研究の選択は良いが、各科学者、

研究者によって、第1種基礎、第2種基礎、製品化とそれぞれの重さが違ってくる。産総研全体としては全部ができるが、より集中できるところがあるかも知れない。研究所全体としては、この3つの部分に同じ努力を注ぐよりも、もしかしたら主要な部分を選ぶべきかも知れない。

中西 友子 委員

産総研の戦略は、国家戦略、社会戦略などトップダウン的なものであるが、ボトムアップ的なもの



もバランスを取っていくことが必要だろう。優れた研究者がプロジェクトを進めるのだけれど、その

人の才能がプロジェクト遂行のために死んでしまい、他に目がいなくなるかも知れない。先端技術は融合領域なので、他のところで個人の能力、独創性が発揮できるようなことも気をつけて欲しい。

国の研究所なので、10年後とか20年後にはどんな社会構造になり、どんな技術が求められるかを見据えて、提示して欲しい。いい意味での研究を先導する

ことは産総研しかできないと思う。

全体が2次産業ばかりターゲットのような気がするが、人が生存する上でエネルギーと食糧が重要であり、エネルギー研究をもっと進めて欲しい。農業には生産プロセスのイノベーションが欠けている。農業の現場に産総研の技術革新の力が入っていくことを非常に期待している。

相澤 益男 議長

第2期に向かって挑戦的な戦略が展開されたこと、特に、運営費交付金、総人件費の削減等、国からの構造改革の圧力に対し、非常な尽力により拡大的に展開してきていることは大変評価される。

第1期には、大規模化のスケールメリットが活かしきれず、研究ユニットの細分化で百貨店的になっているのではないかと「産総研のあるべき姿」が大きな問題として取り上げられたが、今回、経営のポリシーという形でまとめられたものが提示されたことは高く評価したい。

産総研が果たす産業技術への貢献とは具体的には何かということも第1期の議論であったが、イノベーションハブ、産業変革イニシアティブという形での展開が

提示され、高く評価される。産総研の強みは何かを、産総研の単なる広報ではなく、戦略としてユニークセールスポイントを明示する必要がある。

今回「アウトカムの実現」を前面に出され高く評価されるが、研究戦略が変わっていないように見える。アウトカムの実現を前面に出すならば、研究戦略が再構築されるべきではないか。理事長説明で、研究ユニットのオートノミー、「三権分立」とあるが、アウトカム実現を目標にするならばいささか問題ではないか。研究ユニットのオートノミーが余り強調されると、どうしてもdiscipline orientedな研究にならざるを得ないと思う。アウトプットに目標を定めている時はいいが、アウトカムとなると研究ユニットを狭い視野

で設定すること自体が問題である。アウトカム実現のためには、discipline だけに向かっていっても実現できない。「三権分立」の三権の中に、研究推進していくところと企画という話があったが、企画は研究推進の自律性を尊重するという程度にしないと、全体的な研究戦略としては機能しないのではないかと危惧する。

今回いろいろ提示された経営ポリシーを実際に推進していく主体については、十分に新しい構築をしなければいけないと感じた。



空中に浮かび上がる3次元(3D)映像

レーザープラズマを用いた“リアルの3次元(3D)映像”の空間描画

これまでに報告されている多くの3次元(3D)ディスプレイは、人間の両眼視差を利用して2次元平面上に擬似的な3次元(3D)描画を行うものであり、視野制限や虚像の誤認識による生理的不快感などの問題があった。

今回開発した描画装置はレーザー焦点近傍でのプラズマ発光現象を利用したものであり、レーザー光の焦点位置をX, Y, Z軸で制御することで、空中(3次元空間)に実像としてのドットアレイからなる3次元(3D)映像の描画を実現した。

Most of the 3D displays reported until now draw pseudo-3D images on 2D planes by utilizing the human binocular disparity. However, many problems occur, e.g., the limitation of the visual field, and the physiological displeasure due to the misidentification of virtual images.

We have developed a 3D display, which utilizes the plasma emission phenomenon near a focal point of focused laser light. By controlling positions of the focal points in three directions of X-, Y-, and Z-axes, real 3D-images constructed by dot arrays were displayed in the air (3D-space).

3次元(3D)表示の現状

我々が生活の場としているのは3次元空間であり、そこに存在するものすべても3次元の物体である。インターネット上には必然的に膨大な量の3次元画像情報が氾濫しているが、こういった電子情報を基に再生された“リアルの3次元(3D)映像”を我々が目にすることはほとんどない。その理由は、“リアルの3次元(3D)映像”を描画できる電子的なディスプレイの存在がほとんど皆無だからである。

3次元画像を表示するディスプレイは、その開発が切に

望まれているが、その際に避けて通ることのできない問題が、図1に示す人間の立体認識のメカニズムである。人間が3次元物体を認識するためには、主として(A)両眼視差、(B)両眼のふくそう角、(C)焦点調節(水晶体の調節)、(D)単眼の運動視差、の4つの生理的要因を満たす必要があると考えられている。

(A) 両眼視差

右目と左目の網膜に写った像の違いを脳内で処理して奥行きを知覚すると考えられている。近距離において奥行き

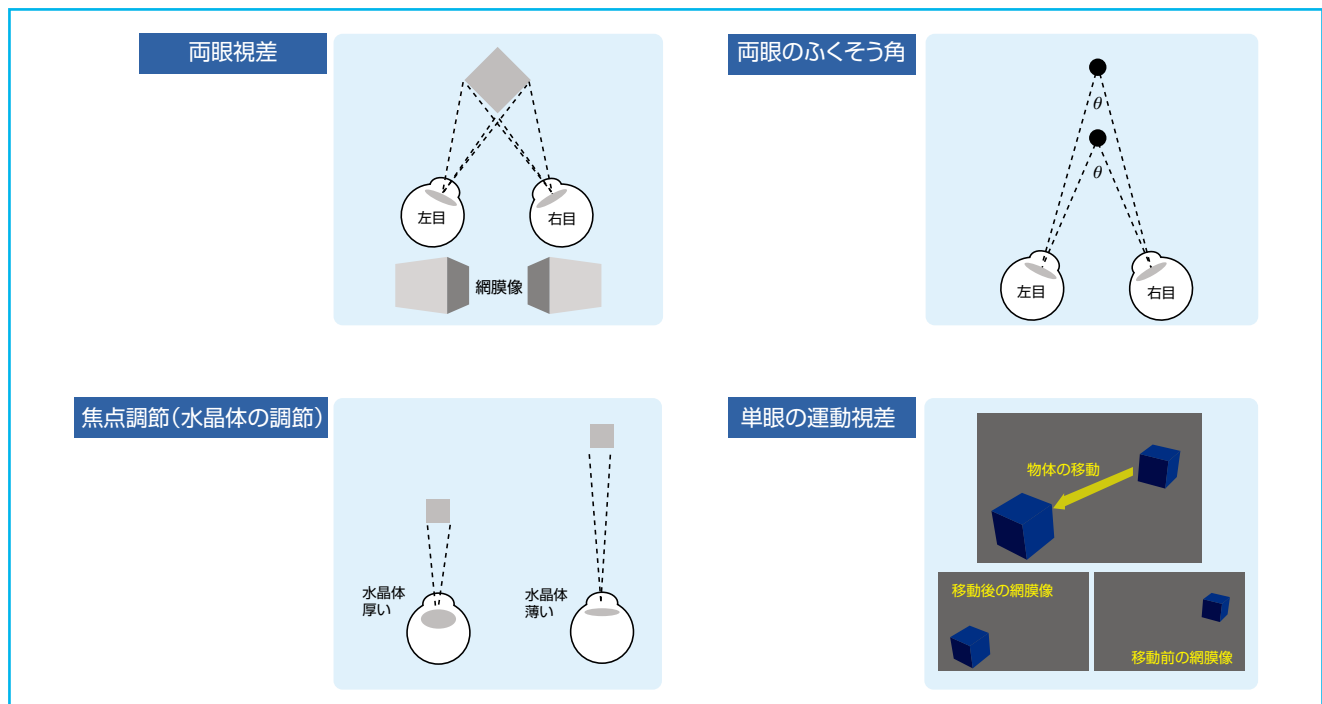


図1 立体認識の生理的要因

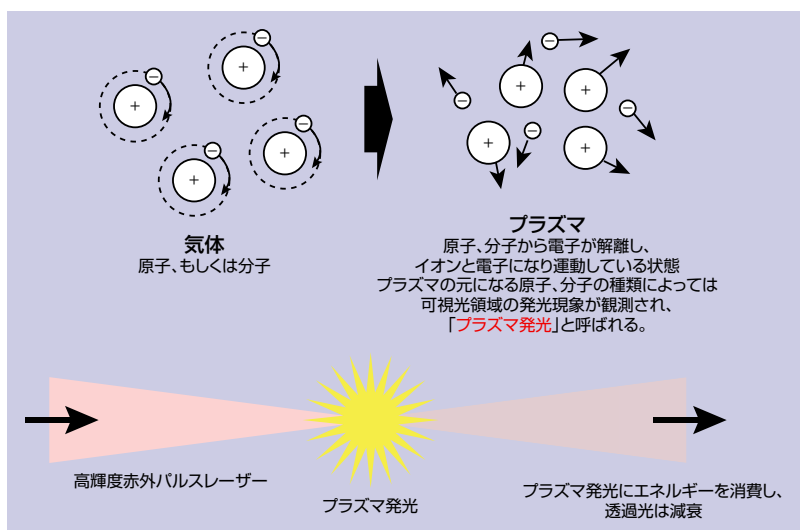


図2 レーザー誘起プラズマ発光のメカニズム

知覚の最も重要な要因となる。

(B) 両眼のふくそう角

物を見つめるときは、像が網膜の中央に来るように眼球を回転させる。この角度（輻輳角）は物体までの距離によって変化するので、眼球の回転角から奥行きを知覚できる。

(C) 焦点調節(水晶体の調節)

眼球のレンズである水晶体の厚みを変えることで焦点を合わせる。水晶体の厚みを変える筋肉（毛様体筋）の弛緩から奥行きを知覚する。

(D) 単眼の運動視差

物体と観察者の相対運動により網膜像の大きさや形状が変化する。これにより奥行きを知覚する。

もし、これら4つの要因の間に実際の3次元空間ではあり得ないような不整合が生じると、正確な3次元空間の把握ができなればかりか、「3次元酔い」と呼ばれる副作用を引き起こすことになる。

これまでも3Dオブジェクトを扱う多くの3次元ディスプレイが報告されているが、こういったディスプレイのほとんどは人間の視差のみを利用した擬似的な描画技術を使っており、人間の立体認識のすべての要因を満たしていない。そのため、どうしても視野制限、虚像の誤認識による生理的不快感などの問題が生じ、長時間の鑑賞には適していなかった。4つの生理的要因を満たすには、3次元空間に3次元の実像を描画するディスプレイが理想的であり、未来社会を象徴する夢のデバイスとしてSF映画や小説の中では数多く取り上げられてきたにもかかわらず、多くのディスプレイ研究者から「実現は極めて困難である」と考えられてきた。この理由は、ブラウン管、液晶ディスプレイ、プラ

ズマディスプレイ、有機ELディスプレイといった2次元平面ディスプレイを成立させた基本的な物理現象や長年開発で培われた技術が、実像を描画する3次元ディスプレイの開発に際してはほとんど適用できないためであると考えられる。その実現のためには、これまで使われたことのない物理現象を用いた駆動原理と、それに基づく新たな技術体系の構築が必要であると考えられる。

大空間に描かれた3次元映像を、同時に多くの人が映画のように鑑賞することは果たして可能なのであろうか？このささやかな疑問が研究を開始するきっかけであった。

今回の研究の経緯

空気中で非常に強い光源（例えば短パルスレーザーなど）を強く集光するとその焦点近傍で白色光が発光する現象が観測される。この現象自体はレーザー研究者の間では古くから知られていたが、(株)バートンはこの現象を利用すれ

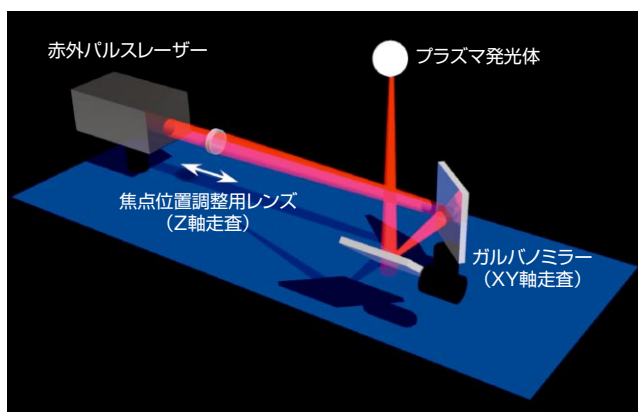


図3 3次元空間描画装置の概念図

ば、スクリーン無しに空气中に画像を直接描画できるのではないかと考え、「空中広告」という概念を着想するに至った。その実現には多くの困難が伴ったが、試行錯誤の後、慶應義塾大学と共同で「川崎市産学共同研究開発プロジェクト助成事業」の支援の下、ドットアレイからなる2次元映像をスクリーン無しに空气中に描画するという実証実験に世界で初めて成功した。

産総研、(株) パートンおよび慶應義塾大学は、更にこの技術を発展させ3次元映像を描画できる空間描画装置の実現を目指し共同研究を開始した。

これまでの空气中の2次元映像描画技術は、レーザー光源とガルバノミラーを組み合わせることで実現しているが、3次元映像を描画するには焦点の位置も3次的に精確に制御しなければならず、レーザーの品質および焦点の可変方法などが解決すべき大きな研究要素であった。

レーザーによるプラズマ発光

空气中にレーザー光を強く集光すると、焦点近傍に非常に大きなエネルギーが集中する。すると、空気を構成する窒素や酸素の分子・原子は、イオンと電子に解離した「プラズマ」と呼ばれる状態になる。プラズマはいわば大きなエネルギーが閉じこめられている状態であり、そこからエ

ネルギーが放出されるのに伴って、焦点の近傍で白い発光が観測される(図2)。この現象の特徴は、焦点近傍のみに発光が観測され、光路中は一見何も存在しないように(不可視のレーザーを用いればより顕著に)見える点である。

3次元映像描画装置

これまでの2次元描画装置では、ガルバノミラーを用いて、2次元平面上(X軸,Y軸)でプラズマ生成の位置制御を行ってきた。具体的には、ガルバノミラー1つが1軸方向の焦点の移動を担うため、2枚1組のミラーを用いてそれぞれの鏡の向きを独立に制御することにより、2次元平面上でのレーザー焦点の移動を行った。その結果、空气中にスクリーンなしでプラズマ発光による2次元画像の描画を実現することはできたが、画像はあくまで2次元に限られていた。

今回、Z軸(垂直)方向でもレーザーの焦点、すなわちプラズマが生成、発光する点の位置制御を実現するために、レーザー焦点位置調整用レンズを新たに導入した。レンズは高速かつ精確に位置を制御する必要があることから、精密な制御を行うことができるリニアモーター上にこのレンズを設置したシステムを新たに開発し、描画装置内に組み込んだ。(図3) レンズの位置をレーザーから遠ざけるとブ

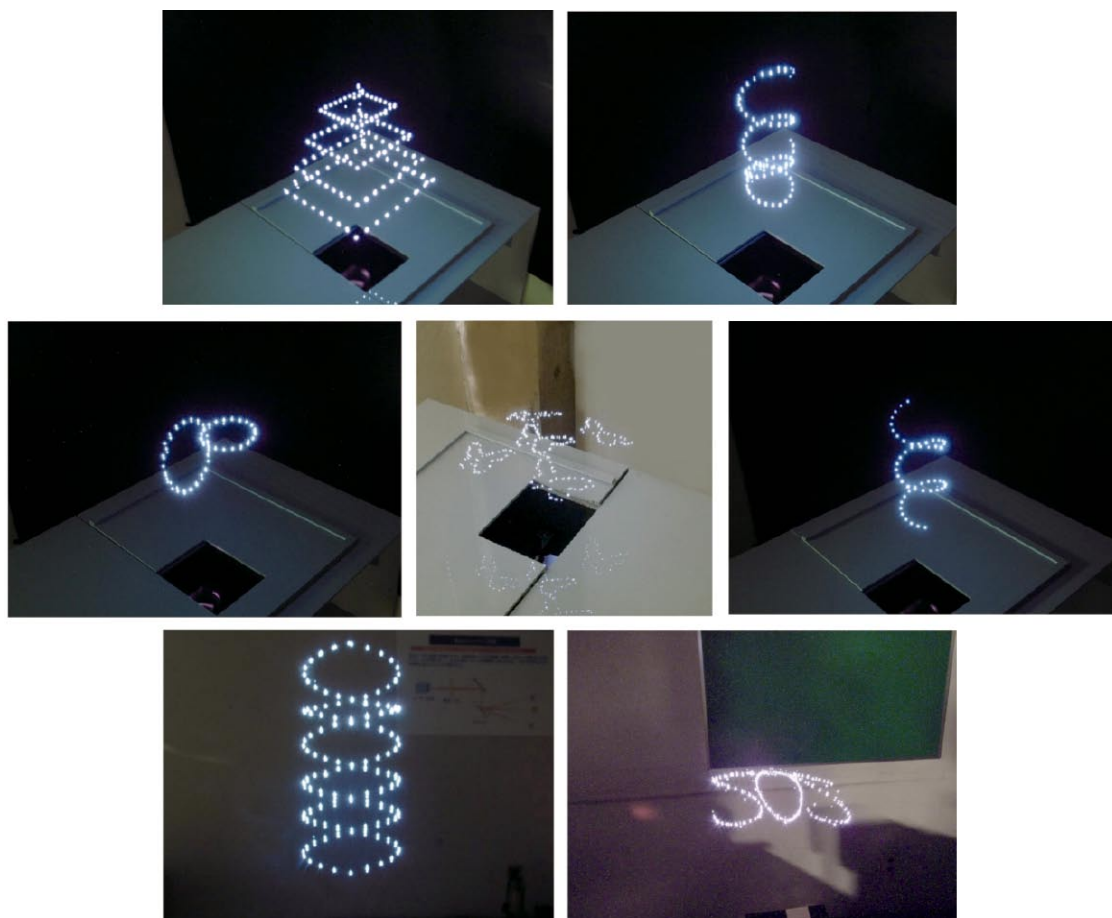
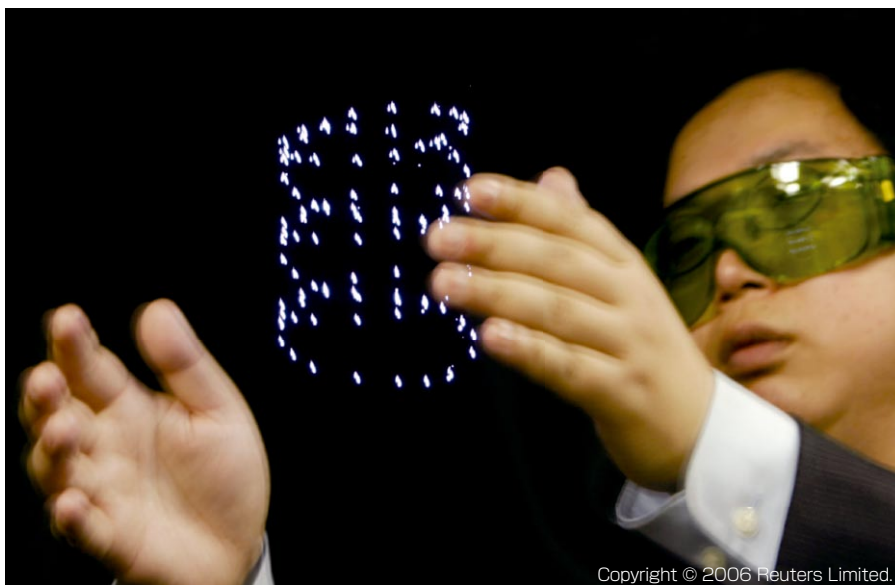


図4 3次元空間描画装置で描画した2D、3Dオブジェクト



Copyright © 2006 Reuters Limited.

図5 3次元空間描画装置による描画の様子

プラズマ発光点は上に、近づけると下に移動する。ガルバノミラーの角度とレンズ位置とを同時にかつ精確に制御することで、3次元映像の描画に必要なプラズマ生成のX,Y,Z軸(3次元空間)における位置制御を実現した。結果として、空気中の任意の点にプラズマ発光を生じさせることが可能になった。

また、3次元画像を描画するには、装置から画像までの距離も十分伸ばす必要があった。この問題を解決するため、レーザー光源として、従来よりも高品質・高輝度の赤外パルスレーザー(パルス繰り返し周波数～100Hz、パルス発光時間はナノ秒(10億分の1秒)オーダー)を用いることとした。プラズマの生成する状態をより柔軟に制御できるようになり、描画装置から描画像までの距離を数メートルまで伸ばすことに成功した。

さらに、ソフトウェア的に1光点あたりのパルス数を制御することも可能であることから、今回はより高輝度・高コントラストな描画を行うために、ソフトウェア的な改良も行った。具体的には、1ドットにつき2つのレーザーパルスを用いて人間の目に強く残像を残すという方法を採用することにより、今まで以上の鮮明な画像描画が実現した。

本装置で実際に空間に描画した種々の2D、3Dオブジェクトの写真を図4に示す。ピラミッド状、らせん、SOSの文字などが立体的に描画されている。図5は、描画した3Dオブジェクトの大きさが分かるように人物を同一フレーム内に収めた写真である。何もない空気中に描画が行われていることが分かる。

今後の展開

本成果のプレスリリース後、ホームページには、日本語版、英語版合わせて20日間あまりで17万件を越えるアクセスをいただいた(産総研e広報室調べ)。また、各国のマ

スコミ、インターネットサイトでも取り上げていただいている。「3次元ディスプレイ」に対する社会的な関心の高さは、開発を進めている者にとっては少しばかりの戸惑いとともに強く勇気を与えられる有り難いものであった。

今回開発した装置は次世代広告媒体として業界からも多くの問い合わせがあり、できるだけ早期の製品化を行いたいと考えている。また、室内での使用を前提とした精細化や、フルカラー化を目標に研究をすすめ、「フルカラー3次元ディスプレイ」の実現を目指している。

●本研究は、株式会社パートン(神奈川県川崎市、代表取締役 木村秀尉、開発担当 浅野明)、慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科 内山太郎研究室と共同で行ったものである。

関連情報

- 特願 2003 - 233339 「空中可視像形成装置」
- 特願 2006 - 028005 「プラズマ発光体の生成法」
- プレス発表 2006年2月7日:「空中に浮かび上がる3次元(3D)映像」
- 時事通信:2006年2月7日、朝日新聞、毎日新聞、東京新聞、日本経済新聞、日経産業新聞、フジサンケイビジネスアイ、化学工業日報:2006年2月8日、北海道新聞:2006年2月9日、神奈川新聞:2006年2月10日、常陽新聞:2006年2月14日、茨城新聞:2006年2月15日、日刊自動車新聞:2006年2月16日、ロイター通信(UK):2006年2月16日、Reuters Television News(UK):2006年2月19日

● 問い合わせ先

独立行政法人 産業技術総合研究所
光技術研究部門

主任研究員 島田 悟

研究員 木村 龍実

主任研究員 欠端 雅之

主任研究員 佐々木 史雄

E-mail: satoru-shimada@aist.go.jp

〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第5

ホタルの発光をバイオツールへ

3色の生物発光により細胞内の複数情報を知る

ヒトを含めた生き物の生命現象は、細胞内の多くの分子とその複雑な化学反応のネットワークによって制御されている。そこで生命現象を知るために、このネットワークを解析する技術の開発が望まれている。われわれは、発光色の異なるホタル（甲虫）の発光タンパク質（ルシフェラーゼ）に着目し、3色のルシフェラーゼを用いて細胞内の複数の遺伝子発現を同時に検出する技術を開発した。

We developed a revolutionary tricolor reporter *in vitro* assay system, in which three gene expressions are monitored simultaneously using green-, orange- and red-emitting beetle luciferases. The technique was used to analyze biological clock mechanisms, which is generated by complicated transcription-translation feedback loops of clock genes, and two clock gene transcriptions were monitored simultaneously. This technique, furthermore, could be utilized for fine analysis in new field of transcriptome and promoterome, as well as pharmacological or toxicological technologies.

はじめに

生命科学の分野では、90年代に始まったゲノミクス解析やプロテオミクス解析という網羅的な手法によって、細胞内にある生体分子群のライブラリーが完成しつつある。そして今、このライブラリーの個々の分子の挙動をイメージング(可視化)する動きが加速している。イメージングする対象の一つとして、個々のタンパク質の遺伝子レベルでの発現解析がある。細胞では、外的な刺激に対して速やかに、あるいはゆっくりと応答して、複数の遺伝子発現が調節され、個々のタンパク質が作られるのである。

これまででも、一定時間における特定遺伝子の発現量を検出する手段として、ホタルの発光タンパク質(ルシフェラーゼ)を用いた分析法があった。しかし、これは発光の量に着目する技術で、情

報数は一つに限定されていた。われわれは、発光色の異なる甲虫(ホタルは甲虫の一種)のルシフェラーゼを自由に扱うことに成功し、発光色の異なるルシフェラーゼを利用して、複数の遺伝子発現を解析する「マルチ遺伝子発現解析システム」を開発した。さらに東洋ビーネット株式会社、東洋紡績株式会社と共同でその製品化を進め、平成16年4月から市場に出した。われわれが開発したシステムによって、複数の特定遺伝子の発現が同時に解析できるようになり、この技術は創薬開発や細胞毒性評価などの現場で活かされている。

マルチ遺伝子発現解析システムの開発

この技術の原点となる甲虫は鉄道虫と呼ばれている。鉄道虫は、南米ブラジルのサンパウロから内陸部にかけて棲息する発光甲虫で、その光る姿が列車のように見えることから鉄道虫と呼ばれている(図1)。われわれは1998年に、鉄道虫の赤色と緑色のルシフェラーゼのクローニング、さらに橙色のルシフェラーゼ変異体の作製に成功し、実用化を進めた。大きな問題は、鉄道虫のルシフェラーゼは大腸菌では発現するが、哺乳類での発現は安定しない点であった。しかし遺伝子のコドンの改変など

近江谷 克裕 おおみや よしひろ
y-ohmiya@aist.go.jp

セルエンジニアリング研究部門
セルダイナミクス研究グループ
グループ長
(関西センター)

生物発光に関する生物学から細胞工学まで、つまりホタル採集から発光マウスの作製までを研究する。例えば、中国科学院昆明動物研究所のLiang博士とともに雲南省の発光甲虫を採取、ホタルのルーツの探索を行っている。また、北海道大学医学研究科の本間研一教授とともに発光マウスの体内時計解析を行っている。90年群馬大学大学院医学研究科内分泌学専攻修了。(財)大阪バイオサイエンス研究所特別研究員、新技術事業団独自の個人研究事業「さきがけ研究21光と物質」研究員、静岡大学教育学部助教授を経て2001年より現職。

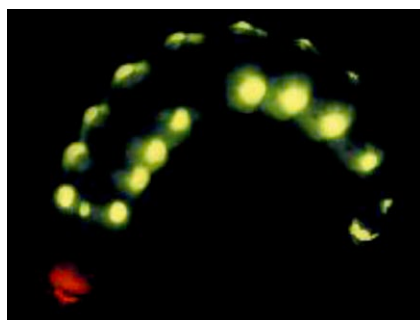


図1 南米産鉄道虫の発光

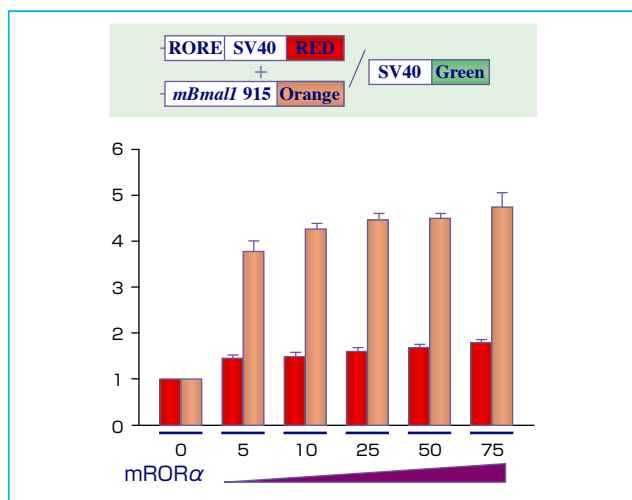


図2 mROR α による *Bmal1* プロモーターおよび RORE の転写活性化の同時測定

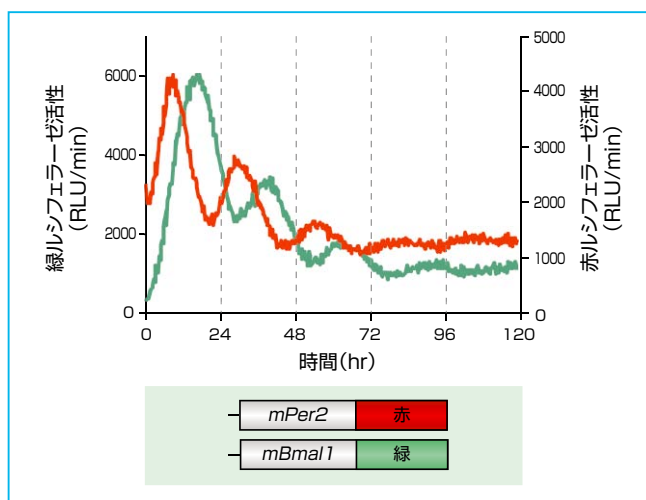


図3 赤、緑色ルシフェラーゼを用いたリアルタイム時計遺伝子転写活性の測定
Rat-1 細胞における *Per2* (赤色) *Bmal1* (緑色) 遺伝子発現リアルタイム解析の一例。

を行い、哺乳類細胞での安定な発現に成功した。

一方、われわれはアトー株式会社の、赤、橙、緑3色の発光を分割して定量するルミノメーター（発光計測装置）の製品化を支援、3色の発光タンパク質によるマルチ遺伝子発現解析法を確立した。この方法の概略は、測定対象である3つのタンパク質の遺伝子上にあるプロモーター領域（遺伝子発現を制御する配列）を3色のルシフェラーゼ遺伝子上流に挿入、ターゲットとなる遺伝子の発現状況に応じて3色のルシフェラーゼが合成されるので、それぞれの発光量を測定することによって、3つの遺伝子の発現量を同時に定量するものである。

マルチ遺伝子発現解析システムの検証

このマルチ遺伝子発現解析法を、体内時計の解析によって検証した。哺乳類細胞では、*Per*、*Bmal1*、*Clock*などの複数の時計遺伝子の発現とそのタンパク質産物によるフィードバックループが体内時計を制御しているので、それら複数の遺伝子産物の動きを同時に定量的に解析する必要がある。赤色ルシフェラーゼの上流に *Bmal1* プロモーター内の転写活性因子結合部位の RORE 配

列を、また橙色ルシフェラーゼの上流にはオリジナル配列である *Bmal1* プロモーター領域を挿入した。一方、定常的な遺伝子発現を誘導する SV40 プロモーター配列を挿入した緑色ルシフェラーゼを内部標準とした。*Bmal1* の転写活性を促進する因子である ROR α 4 タンパク質を共発現させた場合、ROR α 4 量に依存して *Bmal1* の発現が促進されるのに対して、RORE 配列のみでは十分に発現が促進されないなど、遺伝子配列の違いによって遺伝子の発現する情報が変化することを同時に測定、直接比較できる(図2)。

また、マルチ遺伝子発現解析は生きた細胞内での遺伝子発現を観察する手段としても有用である。図3は *Per2* プロモーター配列を赤色ルシフェラーゼの上流に、また *Bmal1* プロモーター領域を緑色ルシフェラーゼの上流に挿入

したベクターを Rat-1 細胞に一過的に導入し、細胞をデキサメタゾンという薬剤(個々の細胞の時計遺伝子を同調させる)で処理した後、2つの転写活性を120時間にわたって、アトー株式会社製のクロノス(体内時計連続測定用ルミノメーター)で測定した例である。24時間周期で転写活性が変化し、*Per*、*Bmal1* 遺伝子間に約12時間の位相のずれがあることがわかる。

このように、マルチ遺伝子発現解析システムによって、従来、煩雑な操作で得ていた細胞内の遺伝子発現の情報を、単純な操作で、しかも生きた細胞でも同時に複数得ることができるようになった。その応用範囲は、われわれが検証した体内時計の解析だけに限らず、細胞生物学、薬理学、分子生理学など広範な分野に広がっていくものと思われる。

関連情報：

- 本研究成果は NEDO 細胞内ダイナミズム解析プロジェクトの一環で行う。セルエンジニアリング研究部門中島芳浩研究員等と共同で研究開発を行った。
- 近江谷 克裕：生化学，76：5-15，2004
- 中島 芳浩他：バイオテクノロジージャーナル，7-8：453-455，2005
- Y. Nakajima, T. Kimura, K. Sugata, T. Enomoto T. Asakawa, H. Kubota, M. Ikeda and Y. Ohmiya, Biotechniques 38, 891-894, 2005
- 特願 2005-506020 (H16/04/30)「マルチ遺伝子転写活性測定システム」近江谷克裕、中島芳浩

水で太陽電池の性能アップ

ワイドギャップCIS系太陽電池の高効率化

水蒸気を利用して高品質のCu(In,Ga)Se₂ (CIGSe)の薄膜を作製する新しい手法を開発した。この手法では、欠陥の生成が抑制されるため開放電圧と短絡電流密度が共に向上した。太陽電池の理想的禁制帯幅に近い1.3 eVのワイドギャップCIGSe薄膜を光吸収層とした太陽電池において、変換効率18.1%、開放電圧0.744 V、短絡電流密度32.4 mA/cm²、曲線因子0.752を達成できた。この新手法によって、今後CIS系太陽電池のいっそうの高性能化も期待できる。

A novel technique to improve CIGSe solar cell performance was developed. Introduction of water vapor to a vacuum-deposition chamber reduces defects in CIGSe thin films. Open circuit voltage (V_{oc}) and short circuit current density (J_{sc}) of the films increased as a result. A solar cell with a wide-gap (1.3 eV) CIGSe film gave 18.1% efficiency, V_{oc} of 0.744V, J_{sc} of 32.4 mA/cm² and fill factor of 0.752. The novel technique would lead to development of practical large area and/or flexible CIGSe solar cells.

石塚 尚吾 いしづか しょうご
Shogo-ishizuka@aist.go.jp
太陽光発電研究センター
化合物薄膜チーム 研究員
(つくばセンター)

基礎研究から環境・エネルギー問題、産業化までの幅広い視野で太陽電池研究に取り組んでいる。応用物理、薄膜、半導体工学などを専門とし、これまで太陽電池利用を見据えた酸化物半導体薄膜の研究や、多元化合物薄膜の作製と物性制御、デバイス化技術の研究に携わってきた。現在カルコパイライトCIS系太陽電池の研究に従事。特にワイドギャップCIS系材料による最高効率の実現と、産業化を見据えた高効率大面積CIS系太陽電池の研究が柱となっている。



期待されるCIS系太陽電池

Cu(In,Ga)Se₂ (CIGSe)に代表されるCIS系太陽電池は、薄膜系太陽電池では最も変換効率が高く、大面積化やフレキシブル化にも適しており、また経年劣化耐性にも優れているため、多様な用途が期待されている。現在、国内外の研究機関や企業において、高効率化、デバイス製造プロセス技術など、その実用普及に向けた研究が進められており、すでに製品化も始まっている。国内においても、2007年には年間20MW以上という、商業生産ベースでは世界最大規模のCIS系太陽電池工場の建設がいくつか予定されており、本格的な普及が期待される。

CIS系太陽電池の課題と取り組み

CIGSeはCuInSe₂とCuGaSe₂との混晶カルコパイライト系と呼ばれる半導体であり、InとGaの組成比を変えることで、禁制帯幅を1.00 eVから1.68 eVの範囲で制御できる。しかし、これまでCIS系太陽電池の最高効率は、太陽電池の理想的な禁制帯幅1.4 eV前後よりも小さい1.15 eVで達成されている。これは、Gaを増加させ、1.15 eV以上の禁制帯幅にした場合、欠陥の増加などにより理論通りに開放電圧が増加せず、逆に変換効率が低下してしまうためである。このため、CIS系材料における欠陥制御は重要な課題である。

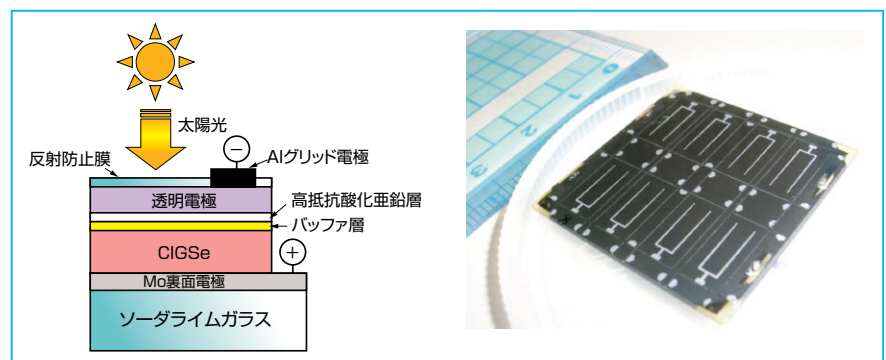


図1 CIS系太陽電池の基本構造と小面積セルの例

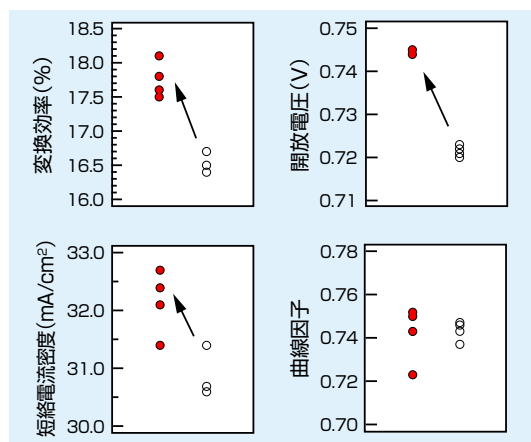


図2 新手法(●)と従来手法(○)で作製した1.3 eV-CIGSe太陽電池の性能比較

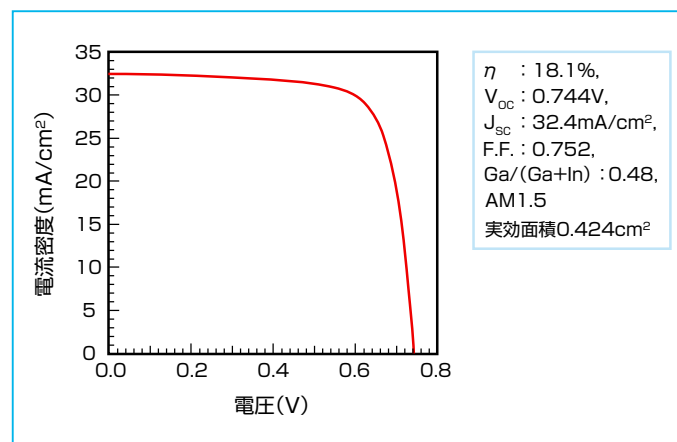


図3 今回達成した変換効率18.1%太陽電池の電流-電圧曲線

また、近年 In 原料の価格が高騰しており、In 使用量の低減も求められている。そのため、25%以上とも言われる理論効率を目指して、さらなる高効率化・コスト低減を実現するためには、Ga 組成比を増加した(In 使用量を減らした)広禁制帯幅(ワイドギャップ) CIS 系材料について、欠陥制御技術を含めた薄膜作製技術とデバイス作製技術の開発、最適化を行う必要がある。

われわれは、ワイドギャップ CIGSe 太陽電池の高効率化を図るため、光吸収層である CIGSe 薄膜の高品質化技術の開発、太陽電池デバイス作製プロセス技術全体の検討を行ってきた。ガラス基板、Mo 裏面電極、CIGSe 薄膜、バッファ層、表面透明電極層、そしてこれらの界面などが、デバイス特性に与える影響を検討してきた。その成果をもとに、われわれ独自の効率化に向けたガイドラインを明確にし、高効率化技術の研究開発に取り組んでいる。

ワイドギャップ CIGSe 太陽電池の高効率化

CIGSe 薄膜は、分子線エピタキシー装置を用いた多元蒸着によって作製している。基板にはソーダライムガラスを用い、裏面電極には Mo 金属膜を、表面透明電極には酸化亜鉛膜を用いて

いる(図1)。

今回開発した手法では、CIGSe 薄膜を作製する際に製膜室に水蒸気を導入する。これにより、CIGSe 薄膜中に水由来する O または OH などが取り込まれると考えられ、その結果、Se 空孔などのドナー性欠陥の減少による有効正孔キャリア密度の増加、p 型伝導性の向上などが期待できる。実際にこの新手法により作製した CIGSe 薄膜では、従来のものと比べて正孔キャリアの高密度化、抵抗率の低下が確認できた。

水蒸気を導入する新手法と従来手法で作製した 1.3 eV-CIGSe 太陽電池の特性を比較すると、新手法では開放電圧、短絡電流密度が増加し変換効率が向上している(図2)。これは、CIGSe 薄膜中のドナー性欠陥の抑制の効果などにより、薄膜の品質が改善され、結

果として太陽電池の高効率化が達成できたと考えられる。現在、CIGSe 太陽電池の最高効率は 19% を上回る値が報告されているが、その開放電圧は 0.7 V 以下である。今回、1.3 eV のワイドギャップ CIGSe 太陽電池により 0.744 V の大きな開放電圧と 18.1% の変換効率を達成できたことで(図3)、今後この手法によりワイドギャップ CIS 系太陽電池のさらなる大開放電圧化、高効率化も期待できる。

今後の展開

今後は、この新手法による欠陥抑制メカニズムを詳しく解析して、高効率化の要因を明確にしていく。また、この技術をさらに改良、発展させ、より広い禁制帯幅の CIGSe や他の CIS 系材料への応用、そして大面積セルの高効率化などを目指す。

関連情報:

- S. Ishizuka, K. Sakurai, A. Yamada, H. Shibata, K. Matsubara, M. Yonemura, S. Nakamura, H. Nakanishi, T. Kojima and S. Niki: Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 44, L679-682 (2005)
- S. Ishizuka, K. Sakurai, A. Yamada, K. Matsubara, M. Yonemura, S. Kuwamori, S. Nakamura, Y. Kimura, H. Nakanishi, T. Kojima and S. Niki: "Progress in the Efficiency of Wide-Gap $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$ Solar Cells Using CIGS Thin Films Grown in Water Vapor" Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain (2005) pp. 1740
- この研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の支援のもとで行われた。

唾液で手軽に測れるストレス計測ツール

マイクロ電気泳動チップで唾液中ストレス関連物質を分離測定

マイクロ電気泳動チップを用いたストレス計測ツールの開発を行った。測定対象物質は、唾液中のストレス関連物質であるコルチゾールおよび分泌型免疫グロブリンA (s-IgA) である。レーザー励起蛍光型測定装置の高感度化に加え、高感度測定に適したチップデザイン設計、新しい試料導入法の開発、ならびに高度な分離分析法を組み合わせることで、実際の唾液の測定を実現した。マイクロチップでは複数の工程や分析を一つのチップに集積でき、将来的には、一枚のチップで多項目のストレス指標物質を一斉分析できる製品の提供を目指している。

A rapid and easy-to-use tool for stress measurement based on microchip technology and electrophoretic separation technique was developed. Cortisol and secretory immunoglobulin A (s-IgA) in saliva were measured as stress-related compounds. Advantages of microchip system over conventional immunoassay methods include fast analysis times, high separation efficiency, reduced cost and disposability. The detection sensitivity was improved by the development of laser-induced fluorescence detection system, microchip devices and optimal analytical conditions. We expect our research will provide self-care products for stress diagnosis in future.

ストレス社会の現状と社会的ニーズ

現代社会は「ストレス社会」とも言われ、多くの人が仕事や勉強、学校や職場での人間関係、家庭の問題などから過度なストレスを感じている。うつ病などストレスが原因の「心の病」は社会問題化している。成人人口の約6.7%がうつ病に悩まされているとの報告もあり、日本の潜在的うつ病患者数は650万人にもものぼることになる。早い段階でストレス状態を客観的に判定できれば、適切な対処で「予防」にもつながることから、誰もが簡単かつ安価にストレス判定できるツールの開発が

望まれている。われわれは簡単に採取できる唾液に着目して、ストレス計測ツールの研究開発を続けてきた。

現在、ストレス評価法として問診や心理テスト等による主観評価が一般的であるが、血圧・心拍などを解析する方法や血液・尿などに含まれるストレス関連物質の量を測る方法などが研究されている。このうちストレス関連物質を測定する場合、血液測定では採血自体がストレスとなってしまう、正しく評価・診断できない、妨害物質の影響で測定誤差が生じる、測定時間が長いなどの問題点も多い。そのため、ス

田中 喜秀 たなか よしひで
yoshihide-tanaka@aist.go.jp

ヒューマンストレスシグナル研究センター
ストレス計測評価研究チーム 主任研究員
(関西センター)

マイクロ電気泳動チップ技術を用いた唾液ストレス計測チップおよび疾病（生活習慣病）診断チップに関する研究開発に従事している。現在の研究プロジェクトを成功させ、社会に役立つ製品を提供したい。また、キャピラリー電気泳動/質量分析法によるメタボロミクス解析研究も実施しており、各種ストレス応答に対する代謝物の変化量を調査することで、ストレス応答機能の解明にも貢献したい。



(1) 鋳型の作製 (2) プラスチックチップの作製

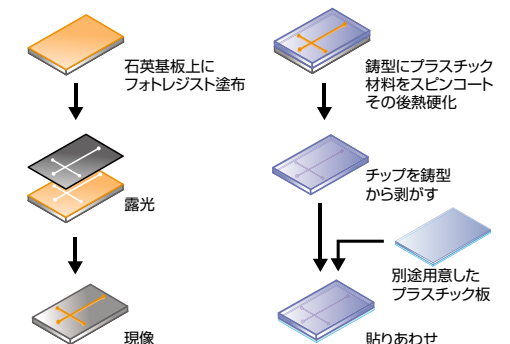


図1 チップの作製手順と実際のマイクロ電気泳動チップ

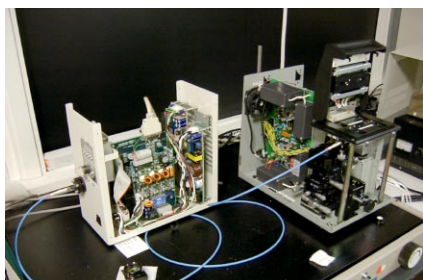
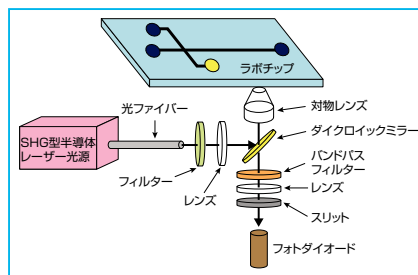


図2 レーザー励起蛍光型マイクロ電気泳動チップ測定装置と試料検出部の構造



ストレスを生じることなく簡単に測定できる唾液を用いた計測法へのニーズが高くなってきている。

マイクロ電気泳動チップとは

分析化学分野では、ガラスやプラスチック基板に溝を微細加工した分析ツール(マイクロチップ)が脚光をあびている。微細加工した溝(チャンネル)に200～300V/cmの高電圧を印加して、対象物質を夾雑物から電気泳動分離するものがマイクロ電気泳動チップである。今回作製したマイクロチップおよび作製手順を図1に示す。本法は高分離性能・短時間・微量分析という優れた特長を持ち、現場でのストレス計測に有利である。ストレス診断に限らず、次世代のポイントオブケア製品として期待が高まっている。

体内ではストレス応答に対して自律神経系、内分泌系および免疫系の調節機能が働くことから、まずは副腎皮質ホルモンであるコルチゾールと分泌型免疫グロブリンA (s-IgA)を測定対象とした。また、高感度測定に適したチップデザインの設計、試料導入法の開発、ならびに高度な分離分析法を組み合わせ

せることで、唾液での測定を実現した。

今後の展望

本研究の目標は、「いつでも簡単かつ正確にストレス計測できるツール」を社会に提供することである。しかし、生体のストレス応答は複雑であり、多くのストレス指標物質を同時測定して総合的に判定することが必要だと考えている。マイクロチップは、複数の工程や分析を一つのチップに集積できるといふ際立った特長を有しており、まずは試料前処理などの工程を統合し、唾液採取から10分以内に測れる製品を目指す。将来的には、一枚のチップで多項目のストレス指標物質を一斉分析できる製品を提供できると考えている。

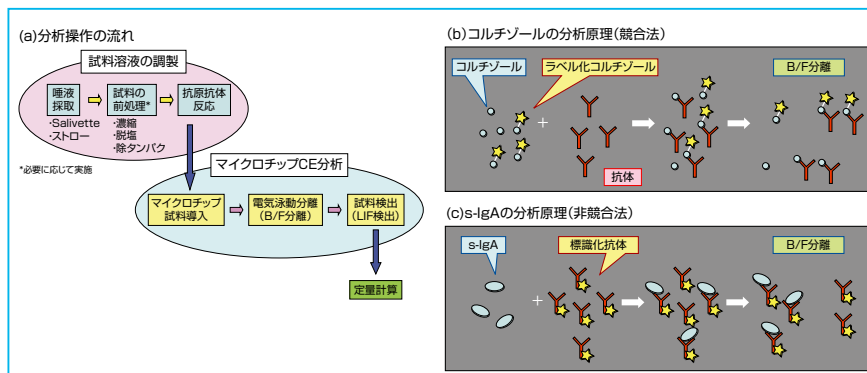


図3 マイクロ電気泳動チップ法における分析操作の流れと分離原理

高感度ストレス計測システムの設計・開発と唾液中ストレス関連物質の測定

唾液中に含まれるストレス関連物質は微量のものが多く、これらを測定するには装置の高感度化が必須であった。図2は設計・改良したレーザー励起蛍光型測定装置である。検出部はレーザー光が照射されており、蛍光標識をもつ測定対象物質が通過するとその量に応じて蛍光を発し、分離・検出できる。図3は分析操作の流れと測定原理を示す。図4は実際の唾液分析例を示す。試料前処理などに必要な時間は別として、分離・検出は3分以内である。生

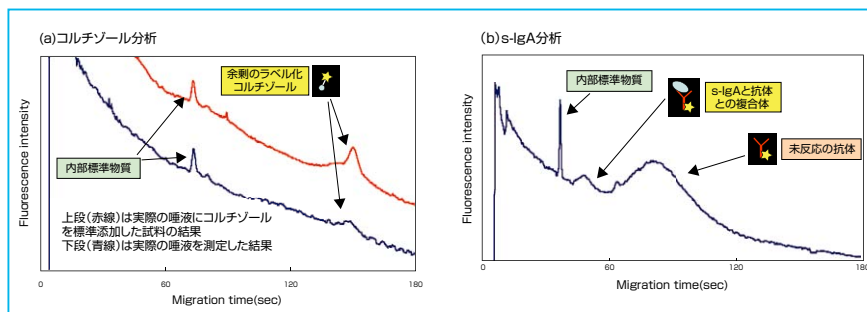


図4 マイクロ電気泳動チップによる唾液分析の実例

関連情報：

- 共同研究者：永井秀典、松原正幸、鳴石奈穂子、吉川晴美、脇田慎一（ヒューマンストレスシグナル研究センター）、SCIVAX 株式会社
- プレス発表 2005年11月2日：「唾液でストレスを手軽に測るラボチップの開発に成功ー心の病や自殺を予防する社会の実現と、癒し効果や快適性評価による商品開発に」

印刷法によるフレキシブルメモリ素子の作製

全印刷フレキシブル表示デバイスの実現に向けて

らせん構造のポリペプチドや DNA といった生体高分子材料を用いて、印刷法により強誘電性電界効果トランジスタ型のメモリ素子を作製する技術を開発した。これは、生体高分子間の相互作用を制御することによって実現した。この技術で全印刷によるフレキシブルディスプレイをはじめ、さまざまなユビキタス情報端末の開発が加速するものと期待できる。

We have developed novel ferroelectric materials with helical biopolymers, such as polypeptides and DNA. Using the materials, a memory device of ferroelectric field-effect transistor was fabricated with a printing method. This technology will accelerate the development of all-printed fabrication of ubiquitous information terminal such as a flexible display.

メモリ素子のフレキシブル化の問題点

次世代の携帯情報端末機器の開発では、携帯の利便性向上などの点から、フレキシブルデバイスに対する期待が高まっている。フレキシブルデバイスの作製には、高温加工が使えないことや、大量生産性が要求されることから、印刷法による生産が期待されている。特にフレキシブルディスプレイについては、これまでに印刷法による表示部や薄膜トランジスタ (TFT) 回路部などの研究が進められてきた。最近、これらの素子にメモリ機能を持たせることで消費電力が低下し、携帯情報端末としての普及が進むと期待されている。こうした背景から、印刷によるメ

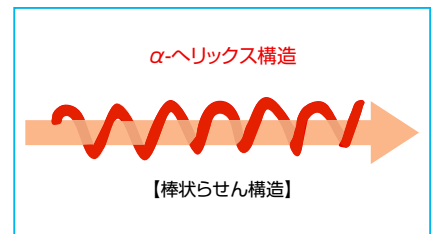


図1 ポリペプチドのヘリックス (らせん) 構造

モリの作製技術が盛んに研究されるようになってきた。これまで、印刷可能な素子として、溶媒に溶ける強誘電性高分子材料を用いた強誘電体 TFT 型のメモリ素子などが研究されているが、均一な膜の製造や素子間の特性のばらつきの抑制が困難、作製プロセスが複雑、駆動電圧が著しく高いといっ

植村 聖 うえむら せい
sei-uemura@aist.go.jp

光技術研究部門
有機半導体デバイスグループ
(つくばセンター)

入所以来、有機半導体を用いた受光素子や電界効果トランジスタの研究開発に従事してきた。近年は特に印刷法によって作製した FET で液晶ディスプレイを駆動させることを目的に、印刷保護膜や絶縁膜の開発に重点を置いている。そして、フレキシブル電子デバイスの印刷法による作製技術を、実用化のレベルに押し上げることを目標として努力している。

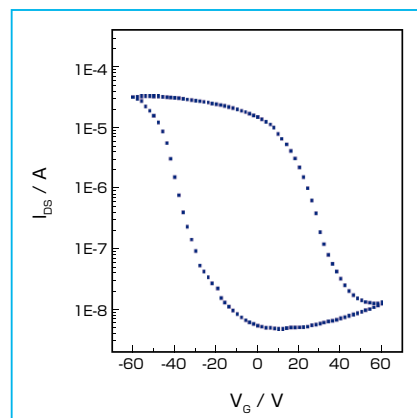


図2 伝達特性で観察されるヒステリシス挙動
ゲート絶縁膜をポリペプチド、活性層を有機半導体とした場合のドレイン電流 vs. ゲート電圧特性

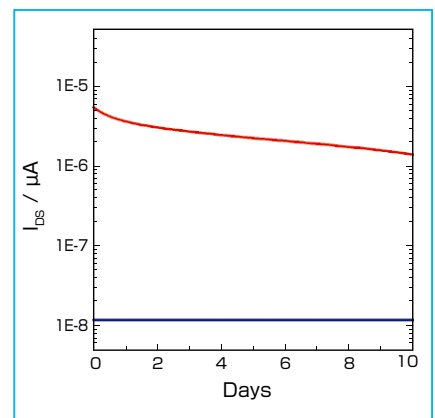


図3 メモリ保持特性

た理由から、実用化できる素子を開発する目処がついていなかった。

生体高分子材料の利用

われわれは、溶液プロセスが容易な有機材料の特性を生かして、迅速かつ大量供給が可能な印刷による各種電子デバイスの開発を目指している。そのなかで、有機メモリ素子の実現を目標に、強誘電性有機材料の研究をしてきた。高分子材料は溶媒に溶けるものが多く、インク化して印刷法を適用することができる。図1のような棒状のらせん構造をとっているポリペプチドやDNAといった生体高分子材料は、その棒状構造のため単純な塗布工程でも分子軸が基板面に平行に配列した均質性の高い薄膜を作製することができる。このような生体高分子膜は、強誘電性を示すので、半導体層に有機半導体を用いた有機 TFT 型のメモリ素子を作製した。その素子のドレイン電流-ゲート電圧特性は大きなヒステリシスを示し、メモリ性があることを示した(図2)。さらに、ドレイン電流のオン/オフ比は、ゲート電圧が0Vの時に3桁以上あり、実用レベルに近いスイッチング特性を示した。

分子間相互作用の制御と膜の均質化

しかし全ての棒状構造のポリペプチドやDNAが強誘電性を示すわけではなく、その特性は分子の1次構造や分子量などに大きく影響される。そこでわれわれは、分子間相互作用の強さが大きな要因であることを見出し、その相互作用を最適の状態に制御することで、強誘電性を持つ薄膜の作製に成功した。さらにポリペプチドやDNAなどに、それらと分子の1次構造が似通った非晶性の合成高分子を混合した高分子ブレンドを用いると、動作電圧が低く、素子間のバラツキの少ない優

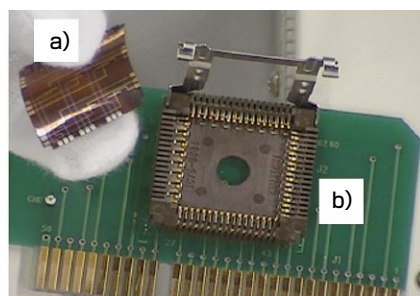


図4 a) フレキシブル基板上に作製した3×3個のメモリ素子と、b) 測定用ソケット。

れたメモリ性を示す素子ができた。一般的に、結晶性が高い高分子材料は、密度が疎な部分と密な部分に分かれることが多く、それが素子特性のバラツキを引き起こす原因になっていた。そこに、非晶性高分子を混合すると、生体高分子間の分子間距離が長くなり、分子間の相互作用が小さくなって結晶性が低下して、より均質な膜が作製できるようになったのである。

印刷メモリ素子の保持特性と動作検証

誘電体層にポリペプチド膜、半導体層に有機半導体を用いたメモリ素子を試作し、メモリ保持特性を測定した。その結果、この素子は、ゲート電圧がオフの状態でも記録状態を安定に保持することができ、10日以上経っても2桁のドレイン電流のオン/オフ比を保持できることが確認できた(図3)。今

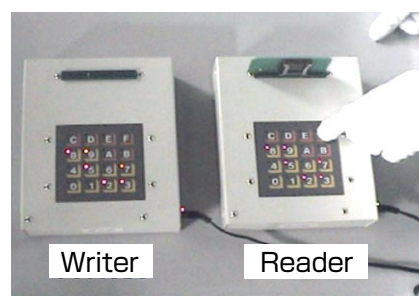


図5 メモリ検証実験

各番号のLEDはメモリ素子1つ1つに対応している。Writer(書き込み器)はデータを書き込んだ場所のLEDが点灯。Reader(読出し器)は読み出された箇所のLEDのみ点灯。

回開発した強誘電性生体高分子薄膜を用いて、プラスチックフィルム上への塗布ならびにスクリーン印刷法により3×3のメモリアレイを試作した(図4)。その結果、バラツキの少ない特性が得られ、その書き込みと読み出しの検証を行ったところ、メモリとしての動作が確認できた。

今後の展開

今回の試作では、3×3という小さなアレイでの動作確認であったが、今後は集積化技術の開発に取り組み、より大容量のメモリ素子を作る技術の開発に取り組んでいく。また、この成果は、表示デバイスにメモリ性を付与し消費電力の削減を実現する技術としても期待できることから、表示デバイスへの組み込み技術の開発にも取り組んでいきたい。

関連情報：

- 共同研究者：鎌田俊英（光技術研究部門）
- 本研究開発成果の一部は、NEDO 技術開発機構の委託事業「高効率有機デバイスの開発（平成14～18年度）」で得られたものである。
- 特願2005-083732「情報記録素子」植村 聖、鎌田 俊英
- 産総研プレス発表：2005年12月19日「印刷によりプラスチック基板上にメモリ素子を作製—全印刷フレキシブル電子デバイスの実現に向けて—」
- 投稿論文：S. Uemura, A. Komukai, R. Sakaida, T. Kawai, M. Yoshida, S. Hoshino, T. Kodzasa, T. Kamata, Synth. Met., vol.153, pp.405-408 (2005)

超微細構造の起立型ダブルゲート・トランジスタ

ソフトな中性粒子ビームを使って回路配線幅32ナノメートルも可能に

シリコン基板に損傷を与えないソフトな中性粒子ビーム技術を用いて、高精度の微細エッチング技術を確立した。われわれは、この超微細加工技術を使って起立型のダブルゲート・トランジスタの試作に成功、従来のシリコントランジスタの性能を向上できることを確認した。これにより、将来の技術と考えられていた回路線幅 32 ナノメートルの極微細加工技術も見通せるようになってきた。

We have developed a damage-free neutral-beam etching technology for the fabrication of Si-MOSFETs. A double-gate MOSFET with an upstanding Si-fin was fabricated using the technology. The MOSFET showed improved performance. We expect that this technology will be widely used in the 32nm technology node.

起立型ダブルゲート・トランジスタ

32ナノメートルノードの集積回路は、国際半導体ロードマップ (ITRS) では2013年以降に実用化されることが期待されている。このような集積回路を構成する要素デバイスとしては、通常のプレーナー型MOSトランジスタは微細化の限界に達している。そこで最も微細化に適したデバイスとして、複数の制御ゲートを持つマルチゲートMOS電界効果トランジスタが注目されており、特に起立したチャンネルを持つダブルゲートMOSトランジスタの開発が世界中で行われている。産総研エレクトロニクス研究部門では、超高集積に適したXMOSと呼ばれるダブルゲートMOSトランジスタを世界に

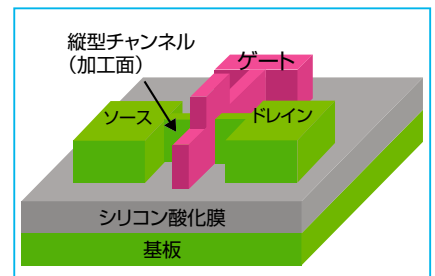


図1 起立型ダブルゲートMOSトランジスタの模式図
このタイプはフィン型とも呼ばれている。

先駆けて提案(1979年)して以来、その原理の実証を行ってきた。さらに、最近では作製が比較的容易なフィン型と呼ばれる3次元構造の起立型ダブルゲートMOSトランジスタ(図1)の開発を進めている。

遠藤 和彦 えんどう かずひこ
endo.k@aist.go.jp
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
(つくばセンター)

国内LSIメーカーで、シリコンULSIの高性能化に関する研究に10年ほど従事。同社を退職し、2004年に産業技術総合研究所入所。現在、先端シリコンデバイスグループで、マルチゲート・トランジスタ技術の開発、また極低酸素分圧を用いた新規ULSIプロセス技術の開発などに従事している。かつて産業界にいた経験を生かして、開発した技術を実用化していきたい。

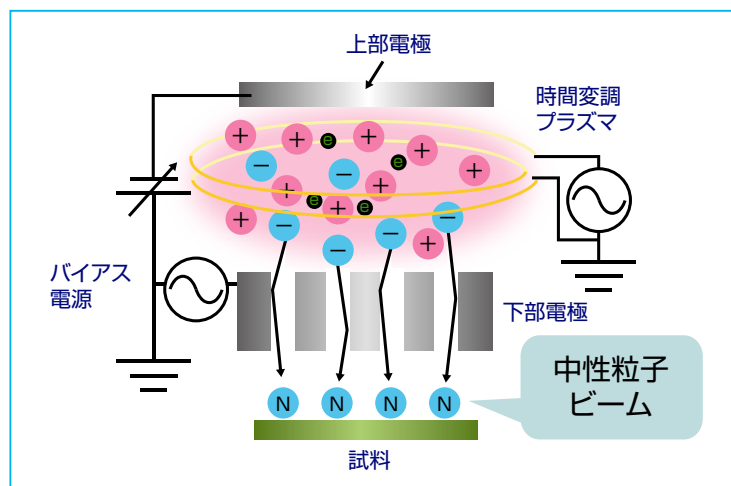


図2 中性粒子ビーム発生装置

時間変調プラズマにより負イオンを生成し、下部電極にて効率的に中性化して試料に照射する。

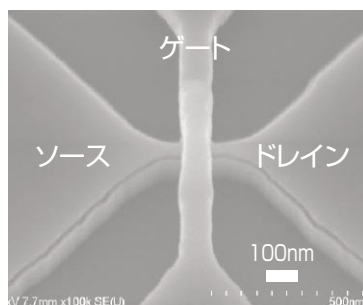


図3 作成した起立型ダブルゲートMOSトランジスタのSEM写真

中性粒子ビーム技術

ダブルゲートMOSトランジスタの起立チャンネルは、主にプラズマ中の反応性エッチングプロセスで作製されているため、プラズマによるダメージが避けられなかった。特に加工時の電荷蓄積や放射光によって、素材へのダメージや加工形状の異常を受けやすく、極微細化するには加工面が荒れるなどの大きな障害を抱えていた。そこでわれわれは、起立型極微細マルチゲートMOSトランジスタの作製に中性粒子ビーム技術を初めて適用することにした。

東北大学が中心となって開発した中性粒子ビーム技術は、時間変調塩素プラズマにより塩素の負イオンを効率よく発生させ、加速した負イオンを下部電極で効率よく中性化して照射する。バイアス電圧を変えれば、粒子の運動エネルギーも自在に制御できる(図2)。この技術は高効率・低エネルギー・高密度の中性粒子ビームが生成できることが特徴である。そして、この中性粒子ビーム技術により欠陥がない微細なフィン型チャンネルを加工することができ、エッチング表面の凹凸は原子レベルに抑えられる。

理想的なエッチングによる性能の向上

今回、中性粒子ビーム技術により、理想的な矩形断面を持つ微細チャンネルを形成することに成功した。プラズ

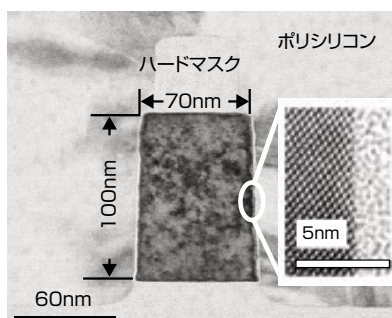


図4 チャンネル断面のTEM写真

マからの紫外線や荷電粒子の照射を完全に抑制できるため、シリコンの(被)エッチング面に欠陥を作らず、表面の平坦性を1nm以下と格段に向上させた。

図3は実際に試作した起立型ダブルゲートMOSトランジスタの走査電子顕微鏡写真である。また、図4は試作したトランジスタのチャンネル部分の断面の透過電子顕微鏡写真である。拡大写真にあるように、電子が通るチャンネルが原子レベル(黒い丸がシリコン原子)で平坦になっており、シリコン基板をほとんど傷つけずに加工できたことが分かる。このように、チャンネル表

面はナノスケールで平坦であるため、電子の表面散乱を有効に防止でき、従来よりも高い電子移動度を得ることに成功した。図5に試作したトランジスタのチャンネル内電子移動度を示す。チャンネル内での電子の動きやすさを表す電子移動度は、トランジスタの性能を表す大切な指標であり、この値が大きければ、性能を落とさずに低電圧でトランジスタを動作できる。今回試作したトランジスタでは、電子移動度がほぼ理想値に近い値を達成できた。

まとめと展望

この技術によって、32ナノメートルノード以降の集積回路製造において必要不可欠な原子層レベルの表面平坦性を実現でき、しかも実用的な加工特性を実現できる見通しが得られた。われわれと東北大学はこの技術を用いて、高性能・超微細マルチゲートMOSデバイスの研究を世界に先駆けて進めていく予定である。

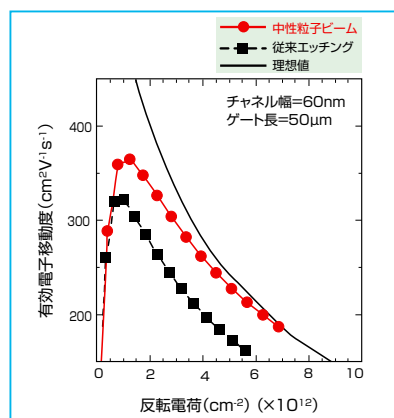


図5 中性粒子ビームエッチングによる今回のトランジスタと、プラズマエッチングによる従来のトランジスタの反転電荷の関数としての電子移動度の比較

中性粒子ビームを用いることにより移動度向上が見られ、理想値に近い値が得られている。

関連情報：

- 共同研究者 野田周一(東北大)、昌原明植、尾崎卓哉(東北大)、久保田智宏(東北大)、寒川誠二(東北大)、柳永勲、石井賢一、石川由紀、杉俣悦郎、松川貴、高嶋秀則、山内洋美、鈴木英一
- 産総研プレス発表：2005年12月8日「超高集積を可能とする起立型ダブルゲートMOSトランジスタの作製に成功」
- S. Samukawa, K. Sakamoto, and K. Ichiki, J. Vac. Sci. Technol., vol. A20, 1566 (2002)
- K. Endo, S. Noda, M. Masahara, T. Kubota, T. Ozaki, S. Samukawa, Y. Liu, K. Ishii, Y. Ishikawa, E. Sugimata, T. Matsukawa, H. Takashima, H. Yamauchi, and E. Suzuki, IEDM Tech. Digest, 859 (2005)

測定環境による誤差の心配をへらす 環境によって生じる誤差を見積もる光干渉計

特許 第3621994号 (出願2000.5)

目的と効果

光干渉計は高精度な測定装置でさまざまな用途で使用されています。しかし光路中の空気の温度、湿度の変化や、光学部品の振動などに敏感に反応して誤差を生じやすく、測定環境に気を使わなければなりません。私たちは、不慣れな人が測定を行う場合や、加工現場のような測定環境の悪い場所で測定を行う場合でも、信頼できる測定結果が得られる光干渉計を開発しました。

[適用分野]

- 高精度計測
- 環境計測

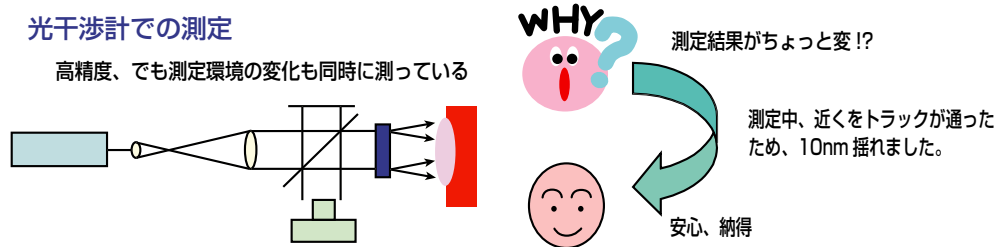
技術の概要、特徴

光干渉計を用いた測定の際に生じる誤差には、毎回一定量生じている僅かな系統誤差と、測定毎に大きさの異なるランダム誤差があります。ランダム誤差は、多数回の測定を行うとその平均値が0となり、そのばらつきは統計的な性質を持ちます。この技術では、高速で周期的な位相変調によって高速な測定を可能とし、多数回のサンプリングを行うことで、測定環境の変動により測定中に生じたランダム誤差量を見積もることができます。

この技術には、2つの利用形態が考えられます。1つは、環境測定装置として単独に利用する形態です。新たに光干渉計を導入しようとする時、その設置場所の検討に用いることもできます。もう1つは、既存の光干渉計に組み込む形態です。各測定時に、測定環境の変動によって生じた誤差の有無がわかります。

発明者からのメッセージ

市販の高精度な装置を用いて測定を行ったとき、本当にカタログ上の精度で測定が行われているか疑問に感じたことはないでしょうか？カタログ上の精度は、理想的な測定環境の下で測定を行ったときに達成される値です。図のように、今一步信頼できない測定結果が得られたとき、その原因が分かれば納得できます。



測定誤差の心配がなくなる概念図

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/>

動くものの内部も撮れるX線CT

高速撮影が可能にした移動体・変形体の内部スキャン

特許 第3612553号 (出願2000.5)

● 関連特許 (登録済み: 国内1件・国外2件)

目的と効果

X線CTは人体臓器や構造物など静止している物体の吸収係数分布を測定する装置ですが、撮像中に被写体が動いたり変形したりすると、再構成された画像には偽像 (アーティファクト) が現れてしまいます。私たちは、流体などの移動体や変形体の内部構造を可視化するための高速スキャンX線CT (スキャン時間を従来の2桁以上短縮) によって画像の高精度化を実現する方法を開発しました。

[適用分野]

- 気液混相流や不透明液体の分布計測
- プラント配管内流れの分布計測
- 流動層装置
- 工業用非破壊検査

技術の概要、特徴

移動または変形する被写体の速度が断層撮影のスキャン速度より大きいと、再構成された断層像にはアーティファクト (偽像) が現れ、画質の劣化につながります。CT装置のスキャン時間を被写体の動く時間に比べて十分短くすることができれば、被写体の内部をあたかも止まっているかのように断層撮影することができます。この装置は、複数のX線源と固定配置した検出器が備わっており、X線のパルス照射を電気的に制御するので、稼働部分が全くないため、約4ミリ秒で1断面をスキャンすることができます。しかし、それでも移動速度が大きくなると、一種のブレが生じてきます。これは、被写体が軸方向に移動する間に、最初の何回かのX線照射は対象物のある側面だけを照射し、最後の何回かのX線照射は移動した対象物の別の側面を照射するためです。そこで、高速時でもX線照射が均等になるような照射パターンを考案することによって、高速で移動する被写体に対する測定精度の大幅な向上を実現しました。

発明者からのメッセージ

空間分解能や濃度分解能の高いX線CT装置に対し、高速スキャンX線CTは時間分解能を高めた装置に相当します。動きを見るCT装置は、他にあまり例がなく、気液が混じって流れる混相流や粉体を使った流動層の3次元的構造を可視化し、装置開発の最適化に貢献できます。

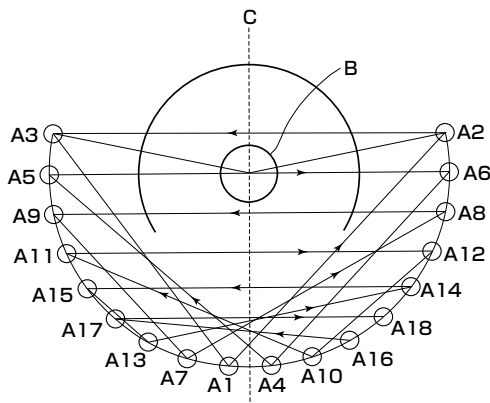
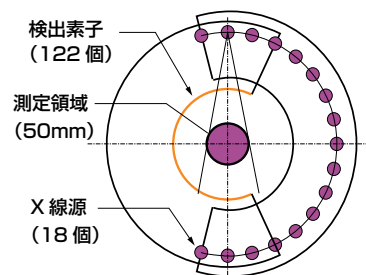
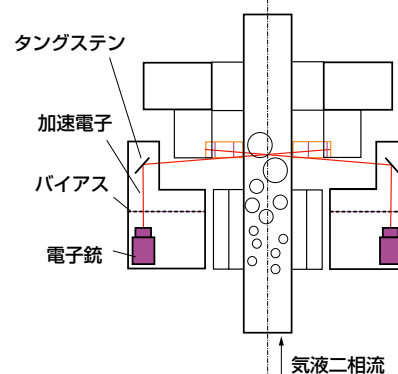


図 高速スキャンX線CT装置の構成とパルスX線照射方法



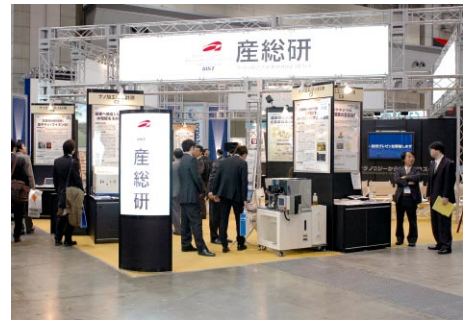
産総研イノベーションズ
(経済産業省認定 TLO)

紹介案件担当者 山上

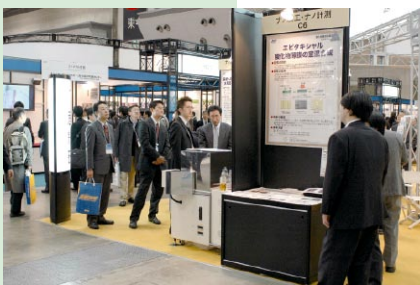
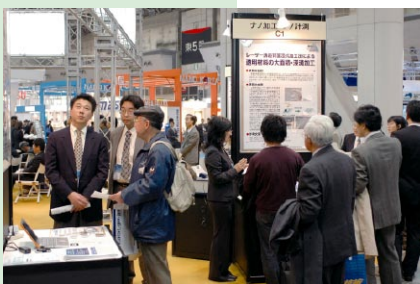
〒305-8568
つくば市梅園 1-1-1
産業技術総合研究所
つくば中央第2

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

nano tech 2006 に 参加して



ナノテクノロジーは、物質・材料の機能を飛躍的に向上させる製造技術であり、情報通信、エネルギー・環境、バイオなど様々な技術の基盤となるものです。わが国の第3期科学技術基本計画でも、第2期に続いて、ナノテクノロジー・材料が重点分野の一つに挙げられる予定です。また、国際的関心も極めて高く、産業化への展開を見据えつつ各国が積極的に取り組んでいます。



ナノテクノロジーをメインテーマとした「nano tech 2006国際ナノテクノロジー総合展・技術会議」（主催：nano tech実行委員会、後援：産総研他）が、2006年2月21日から23日の3日間にわたり、東京ビッグサイトで開催されました。この展示会・技術会議は2002年より毎年開催されているものですが、ナノテクノロジーへの社会、特に産業界の期待が高まる中、年々その規模を拡大し、いまやナノテクノロジーに関する世界最大の先端技術・製品の商談の場となっています。また、展示会と平行して多数の技術会議が開催され、最新の研究開発成果が展示・発表されます。さらに、ナノテクノロジーに関心を持つ多くの関係者が共同

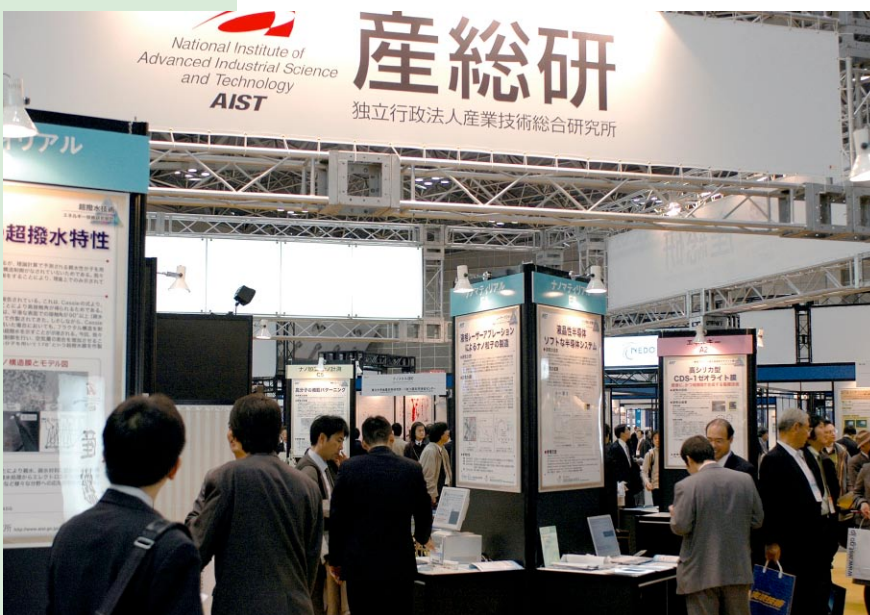
研究や事業提携による産業促進を図る場、ベンチャー企業のビジネス・チャンス創出の場であり、国際的にも情報交換、協力・交流促進などを図る出会いの場ともなっています。これまでも増して盛況だった今回のnano tech 2006の入場者数は3日間で45,868名（主催者発表）にのびりました。

今回のnano tech 2006で産総研は、ナノテクノロジー・材料・製造分野に属する研究ユニットを中心として様々な分野の研究ユニットの研究成果の一部を紹介しました。産総研展示ブースはもちろん、NEDOブースや併設シンポジウムでもさまざまな成果を紹介しましたので、簡単に報告します。

産総研ブース

今回は産総研は展示ブースを設け、産総研が進めている研究成果の一部を出展することにしました。エネルギー関連で3件、ナノオプティクス関連は1件、ナノ加工・ナノ計測に関連して8件、ナノバイオ関連では2件、そしてナノ材料に関連して9件と、社会的に注目されている分野を中心に、合計23件の成果を発表・展示しました。今回は、特にビジネス・チャンスにつなげることを意識して、今まで以上にプロトタイプ化した形での展示をこころがけました。

これらの成果発表に加えて、今回の展示会ではベンチャー企業に関連する



参加者が多いことから、産総研のベンチャー開発戦略についても紹介しました。また、今後のナノテクノロジー産業にとって重要な問題となっていくであろう「ナノテクノロジーと社会との関わり」についての研究成果の一端も展示しました。

研究成果の展示に加えて、産総研ブース内にスクリーンと20席程度の座席を設置し会期中の午後に小規模ながら技術プレゼンテーションも行いました。毎日7~8件、合計で23件のプレゼンテーションを行いました。来場者の方々から熱心な質問をいただくなど、時間が足りなくなる場面もあり、残念であると同時にうれしくもありました。

産総研ブースはnano tech 2006のメインシアターのすぐそばに位置していたこともあり、たいへん多くの方々のご来場をいただくことができました。産総研のナノテクノロジー研究のこれまでの成果、そして今後の動向をご覧いただけたのではないのでしょうか。また、その中で共同研究への発展や知的財産権の実施に結びつくような問い合わせを企業の方々から多数いただき、非常に有意義であったと考えています。

なお、産総研ブースでの成果発表の要旨集（英語訳つき）を5000部用意していましたが、最終日の午後にはなくなってしまい、来場いただいた方々にご迷惑をおかけしたことをお詫び申し上げます。同要旨集は下記のウェブページで、日本語版、英語版ともにご覧いただけるようにしていますので、ぜひ、ご利用ください。

http://www.aist.go.jp/aist_j/event/ev2006/ev20060221/list.html



NEDOブース

産総研では、経済産業省や文部科学省が推進するナノテクノロジー関連の国家プロジェクトに積極的に参画し、その進捗を図っています。経済産業省が進めるプロジェクトの成果はNEDOブースにて紹介されていますが、産総研もナノテクノロジー研究部門、計測標準研究部門、先進製造研究部門をはじめとして17件の研究成果を発表しました。

NEDOブースにて発表した産総研関係の成果の要旨は、下記のウェブページでご覧いただけます。

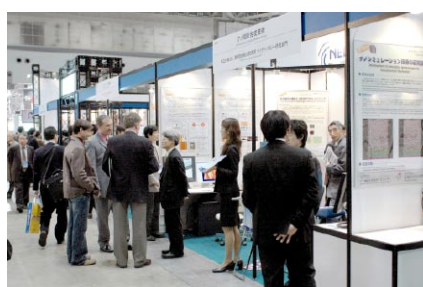
http://www.aist.go.jp/aist_j/event/ev2006/ev20060221/nedo.html

nano week 2006

2月20日~23日は nano week 2006 と銘うって、16のシンポジウム、ワークショップなどが国際ナノテクノロジー総合展と平行して、同じく東京ビッグサイトで開催されました。

21日には、産総研とナノテクノロジー標準化国内審議委員会の主催で「ナノテクノロジー国際標準化ワークショップ」が開催されました。ナノテクノロジーの産業化と適切にリスク評価をめざして、規格作成作業が急速に展開していくと予想されるなか、ナノテク標準化の関係者から国際標準化の動向の紹介や、わが国とアジア諸国におけるナノテク標準化の取り組みの紹介があり、今後の方向性が示されました。

22日には、産総研主催で「産総研シンポジウム：成功を目指せナノテクベンチャー」を開催しました。ナノテクノロジーの産業化においては、これまでと次元の異なる価値観と行動モデルが必要であろうとの認識から、日本



のナノテクベンチャーの可能性とその課題を明らかにするため、ナノテクベンチャーに様々な角度から関わり、ベンチャー育成においてリーダーシップを発揮されている第一線の識者による講演とパネル討論が行われました。

また、23日に開かれたナノテクビジネスフォーラム2006におけるビジネスプランコンテストで村瀬至生 産業技術企画調査員（光技術研究部門より経産省研究開発課に出向中）の「ガラス被覆半導体ナノ粒子を用いたバイオマーカー及び発光素子の作製、販売」が特別賞「アントレプレナー賞」を受賞しました。

http://www.ics-inc.co.jp/nanotech/nanoweek2006/nanoweek_06bj.html



交流抵抗標準

高い精度と国際的な信頼性を兼ね備えた電気標準

交流抵抗標準

交流抵抗標準は交流における電気抵抗の標準で、LCRメーターなどのインピーダンス測定器の校正に用いられている。インピーダンス測定器は交流回路素子等のインピーダンスを測定するための測定器であり、産業界において、あらゆる生産現場で製品の品質管理に広く用いられている。製品の品質を確保するにはインピーダンス測定器を校正することが必須であり、それには交流抵抗標準が必要不可欠である。

標準の確立

交流抵抗標準はこれまで校正事業者により10 ppmの不確かさで標準供給されていた。しかし、最近の計測機器の性能向上に伴い、産業界での計測機器ユーザーのニーズが校正事業者による供給精度を超えつつあり、より高精



写真1 交流抵抗測定装置
交流抵抗標準の起点となる装置であり、計量法における特定標準器に指定されている。基準交流抵抗器の値付けに用いる。

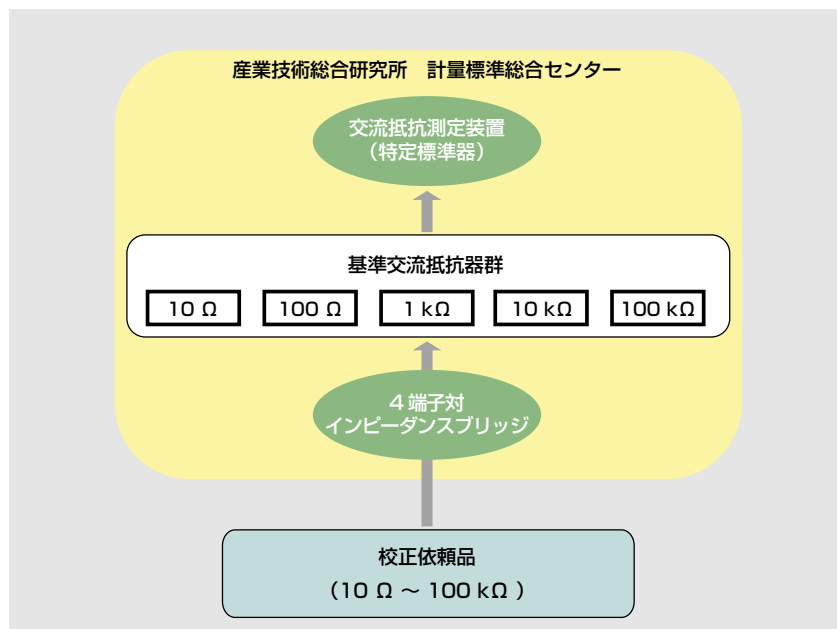


図1 交流抵抗標準のトレーサビリティ体系

校正依頼品の校正値は交流抵抗測定装置（特定標準器）にトレーサブルである。産業界で広く使われているインピーダンス測定器は校正依頼品の校正値を基準に校正される。

度な校正サービスを望む声が高まってきた。

産総研計量標準総合センター (NMIJ) ではこのような産業界からの要望に応えるため、現行の不確かさを大幅に小さくするための研究・開発に取り組み、現在までに不確かさが0.1 ppm台の交流抵抗標準の確立に成功し、標準供給を開始した。図1に交流抵抗標準のトレーサビリティ体系を示す。交流抵抗標準の起点は交流抵抗測定装置（写真1）であり、この装置は2005年4月1日付けで計量法における特定標準器に指定されている。校正依頼品は、交流抵抗測定装置により値付けされた基準交流抵抗器（写真2）を基準に、4端子対インピーダンスブリッジ（写真3）を用いて校正される。現在、NMIJでは1 kΩ～100 kΩの交流抵抗器の校正サービスを提供しており、2006年度には10

Ω～100 Ωの校正サービスも開始する予定である。

校正方法

NMIJでは交流抵抗標準を同軸型4端子対交流ブリッジの原理に基づいて確立した。この原理を忠実に実現すれば、漂遊容量、誘導結合、さらに測定ケーブルのインピーダンスの影響を受けないようにすることが可能になるため、特に高い精度での校正が期待できる。

この原理を忠実に実現する以外にも、不確かさを大幅に小さくするために様々な工夫をこらした。例えば基準交流抵抗器においては、NMIJで新たに設計・製作した、位相角の大きさをゼロに調整できる特殊な抵抗器を用いることで、抵抗器の位相角に起因する不確かさを小さくすることができた。また、交流抵抗測定装置と4端子対イ

写真2 基準交流抵抗器

NMIJで設計・製作した交流抵抗器。4端子対構造で、位相角を調整することができる。校正依頼品の校正時に基準として用いる。



インピーダンスブリッジを構築する上で誘導分圧器は欠かすことのできない重要な計測器であるが、NMIJに蓄積されている誘導分圧器製作ならびに分圧比校正に関する技術(参考文献[1])を活用することで、誘導分圧器に関連する不確かさを大幅に小さくすることができた。このような工夫を積み重ねることにより、交流抵抗標準の不確かさを0.1 ppm台にまで抑え込むことに成功した。

また、我々の研究により、交直差計算可能抵抗器を用いれば交流抵抗器の位相角を精度よく校正できることが明らかになっている(参考文献[2])。この研究成果を交流抵抗標準に応用することで、交流抵抗だけでなく位相角についても校正値の提供を可能にした。

国際的な信頼性の確保

近年、標準の国際的な信頼性を確保

することが重要な課題となっている。NMIJでも、交流抵抗標準の客観的信頼性を確保するため、ISO/IEC 17025に適合する品質システムの下で校正業務を実施している。また、2005年10月、(独)製品評価技術基盤機構認定センターによる品質システムの審査、ならびに海外の専門家による技術審査(ピアレ

ビュー)をうけた。これらの審査は「メートル条約のもとでの国際相互承認協定」(CIPM-MRA)の締結国に求められる手続きの一つであり、手続きに合格した標準が国際度量衡局のデータベースに登録される。交流抵抗標準の品質システム審査ならびに技術審査はどちらも問題なく終了しており、データベースへの登録がなされる見込みである。国際度量衡局のデータベースに登録されることにより、国際的にも信頼性・同等性の確認された交流抵抗標準として、校正依頼者への標準供給が可能となる。

写真3 4端子対インピーダンスブリッジ

校正依頼品の校正に使用する測定装置。校正の精度だけでなく、装置の小型化と扱いやすさも追求して設計・製作した。



関連情報

校正責任者：中村安宏(計測標準研究部門 電磁気計測科 電気標準第1研究室室長)

校正担当者：米永暁彦、堂前篤志(計測標準研究部門 電磁気計測科 電気標準第1研究室)

参考文献

[1] 中村安宏：誘導分圧器の分圧比標準の高精度化, AIST Today, pp28, Vol.3, No.12

[2] Yasuhiro Nakamura, Hiroyuki Fujiki: An analysis on the uncertainty of calculating the time constant of the quadrifilar reversed resistor, 産総研計量標準報告, pp341-348, Vol.3, No.3, October, 2004

計測標準研究部門(つくばセンター)

堂前 篤志

E-mail: domae-atsushi@aist.go.jp

インピーダンス標準、特に交流抵抗標準とキャパシタンス標準の開発・維持・供給に従事している。

産業界からは、インピーダンスの高周波における校正への要求が強く、また、校正可能な範囲の拡張への期待も強い。今後、品質システムに基づき既存の標準の維持・管理を適切に行いつつ、これらの要望に応えることができるよう研究・開発を進めたい。



ホーンアンテナ標準の校正サービス

1 GHz から 40 GHz までのアンテナ利得標準の供給

マイクロ波帯域の利得標準

携帯電話、無線LANなど電波を利用する無線端末の普及や電波を使用する新しいシステムの開発によって、我々の生活が急速に便利になっている。電波技術の発展に伴い、さらに利用が進む高い周波数帯域で、技術開発基盤として電波の標準が必要となっている。その一方で、電波を使用している機器間での干渉やパソコンなどから放射される雑音性の電波による電子機器への干渉などを防ぐ目的で、電子機器が発生する電波の強度または電子機器の各種電波に対する耐性については電気用品安全法などで規制対象となっている。これらの規制の試験基準としても電波の強度に関する計量標準は不可欠である。

無線通信や放送などで利用される電波を空間に放射する装置がアンテナである。一般にアンテナの特性として利得、偏波分離度、指向性パターンなどがあるが、アンテナの最も基本的な性能を表す量は利得である。アンテナ利得は電波の強度測定の不確かさに大きく寄与するために、精度の高い測定が要求される。一般的に1 GHz以上の周波数帯では標準器としてホーンアンテナが使用されている。

これまで計量法のもとでは、ホーンアンテナなどの標準器やトレーサビリティが確保された校正事業が整備されていなかった。このため、民間の校正事業者が標準器として使用するホーンアンテナに対して産総研からトレーサビリティを保証できるような校正サービスを供給するため、ホーンアンテナの標準研究と開発を進めてきた。このたび1 GHzから40 GHzまでの範囲に

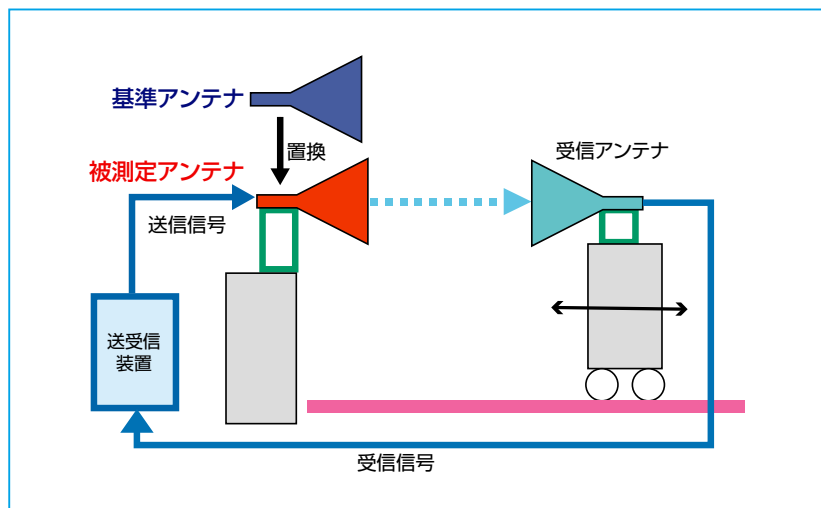


図1 置換法によるホーンアンテナの利得測定の原理と装置

おいて21周波数点でのアンテナ利得の標準供給が可能となった。

測定法

産総研では校正方法として標準アンテナとの置換測定法を採用している。国際的に同等性が確保された供給を行うべく、この方法ではすでに認められた海外NMI（国家計量機関）の一つである英国NPL（National Physical Laboratory）による校正で利得が既知の標準ホーンアンテナを基準アンテナとし、比較により被測定対象のホーンアンテナの利得を決定する。NPLによる基準アンテナの校正は、導波管バンドごとに3点の計21周波数であるため、産総研が供給する校正サービスもこの21周波数に限定される。

図1は測定の原理と装置を表す概念図であり、図2は実際の装置の写真である。基準アンテナおよび被測定アンテナはいずれかを送信アンテナとして、これと受信アンテナ間の伝送特性を送受信解析装置であるネットワーク

アナライザを用いて測定し、アンテナの反射係数による補正を加えて被測定アンテナの利得を導出する。校正装置の測定距離が約3 mと短いことによりアンテナ間多重反射の影響もある。この対策として、測定距離を数波長（3 GHzの場合、30 cm程度変化させる）にわたり変化させて測定を行い、多重反射の影響を除去している。本来、アンテナ利得は無限大のアンテナ間距離の値で定義されるのに対して測定距離が短い、基準である標準アンテナとの比較により測定されるので大きさと形状が同程度であれば影響は小さい。しかし、基準アンテナと被測定アンテナの寸法が異なるなど開口面電磁界分布が異なる場合に校正精度を維持するには、電磁界分布の差異に起因する利得補正が重要である。平面構成のピラミッドホーンアンテナでは補正量の解析式が既知であるが、任意形状のホーンアンテナではアンテナ全体を数値解析して開口面電磁界分布を求めることになる。波長に比べて大きいホーンア

アンテナでは数値モデルが巨大になりすぎ、解析自体が困難となるため補正は現実的には不可能である。このため校正するアンテナは基準アンテナと同程度の仕様のアンテナに限定される。

ホーンアンテナの軸上の利得を測定する手法のなかで、最も不確かさが小さく種々の形状のアンテナに対応できる測定法として外捜法があげられる。その方法は3アンテナ測定法と組み合わせ独自にアンテナ校正が可能である。1 GHz以上の周波数での測定では、アンテナをレール移動させる装置（距離6 m以上に渡って0.2 mm以内の直線性を維持）と、装置全体を収納する電波暗室が必要となる。また別の測定法としてあげられる近傍界測定法はアンテナの指向性を近距離空間測定のみにより測定できる方法であり、いずれも今後のアンテナ標準に使用する計画である。

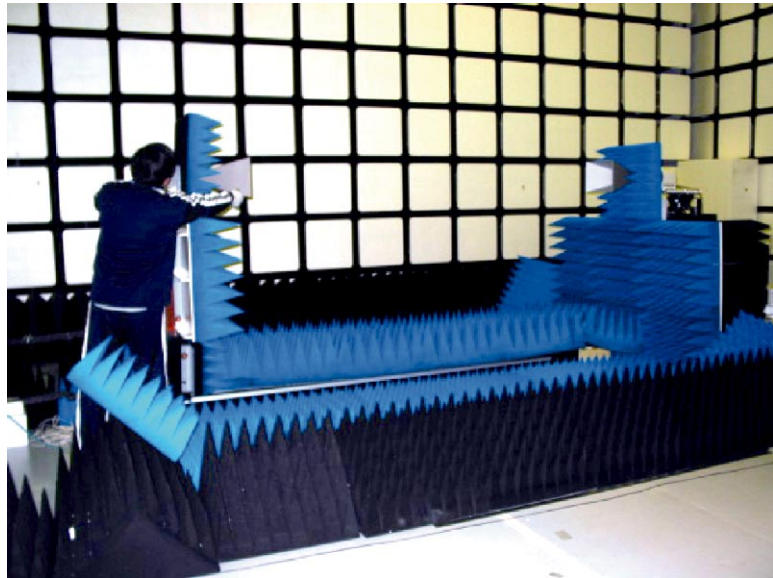


図2 電波暗室に設置された測定装置によるアンテナ測定

今後の供給拡張予定

現状ではアンテナ形式や周波数が限定されているが、近い将来、1 GHzから40 GHzまでの任意周波数で任意形状のアンテナに関する利得を供給できるように測定装置と測定手法を改良する予定である。さらに、周波数帯域では40 GHz以上110 GHzまでの拡張も実施中である。加えて、アンテナ特性

の偏波分離度やアンテナ指向性パターンについての供給も計画している。これらの校正方法として、外捜法や近傍界測定法の利用を検討しており、今後数年以内にその導入を実現したいと考えている。

用語説明

利得：ある方向に対するアンテナの利得とは、アンテナに入力される電力が等方的放射された場合の電力密度に対する実際の電力密度の比を表し、その方向にどれだけ強く電波が出るかを示す量である。つまり、アンテナへの入力電力があらゆる方向に同じ強さの電波を出すかと仮定した場合の電波の強さに対する、アンテナからの電波の強さの比である。

関連情報

標準ホーンアンテナの依頼試験による校正の依頼については、下記まで。

産業技術総合研究所 つくばセンター

計測標準管理センター 標準供給保証室

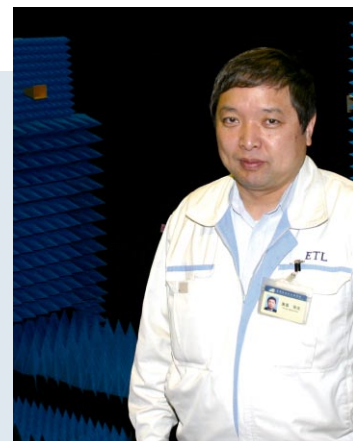
電話：029-861-4026

計測標準研究部門（つくばセンター）

廣瀬 雅信

E-mail : masa-hirose@aist.go.jp

民間企業で地中探査レーダ、電波方向探知機、携帯端末等のアンテナ設計・解析手法と信号処理法の研究開発を行ってきた後、2000年電子技術総合研究所に入所後、標準ホーンアンテナの標準供給の研究に従事している。アンテナ標準・電磁界標準では、電磁界数値解析手法が中核技術になると考えており、数学的に収束性が保証された計算手法や波長に比べて大きな物体を解析する大規模問題計算法を研究予定である。さらに現在研究中の光マイクロ波技術はアンテナ標準・電磁界標準関連の計測技術を革新すると考えている。



誰にでも使いやすい地質図をめざして

20万分の1日本シームレス地質図データベース

高まる地質図へのニーズに応じて

地質図とは、地盤を構成する地層や岩石の分布を、その種類と形成年代によって分類した凡例によって示した地図のことであり、これは国土の開発・防災・環境保全などには欠かせない公共性の高い情報である。産総研地質調査総合センターは、国土の基盤情報を明らかにするため、5万分の1、20万分の1などいろいろな縮尺の地質図幅を発行している。その国土基盤情報をさらに利用しやすいものにするため、新しい地質図「20万分の1日本シームレス地質図データベース（以下、シームレス地質図）」を完成させた。

地質図幅は区画ごとに作成され、地

質情報の表現には、区画ごとに適した色・地紋・記号が使われる。そのため、区画を跨いだ地域について複数の地質図を参照すると、区画の境界で、同じ地層や岩体なのに地質情報の表し方が異なっていたり、地質境界線がずれていたたりする。これは作成年代や作成者の違いにより、地質情報の精度や解釈が異なったためである。

このような背景から、複数の区画に跨る地質図を理解することは時として難解な作業となり、もっと分かりやすい地質情報の公開が求められていた。

シームレス地質図は、デジタル化した20万分の1縮尺の地質図を全国統一凡例により再編集し、日本全域を一

続きにした国土基盤情報データベースで、前述の問題を解決するものである（図1）。作成は平成13年度に始まり、平成17年度に画像版（ラスターデータ版）の完成を迎えた。

シームレス化のプロセス

シームレス地質図の作成にあたっては、地質調査総合センター発行20万分の1地質図幅を基にし、必要に応じて土木地質図や自治体発行の地質図を使用した。シームレス地質図を作成する際用いた全国統一凡例は、100万分の1日本地質図第3版（地質調査総合センター、2003）に基本的には準拠しているが、100万分の1から20万分の1へ精度が高くなった分、新たな凡例も付け加えられた（図1）。

地質図のシームレス化は次の3つのプロセスを経て行われた（図2）。

1. 20万分の1地質図を数値化する。
2. 地質図毎の凡例を全国統一凡例に対比する。
3. 隣接する地質図同士で地層および岩体の境界を連続させる。

使用する地質図が古い場合は、最近

20万分の1日本シームレス地質図TM

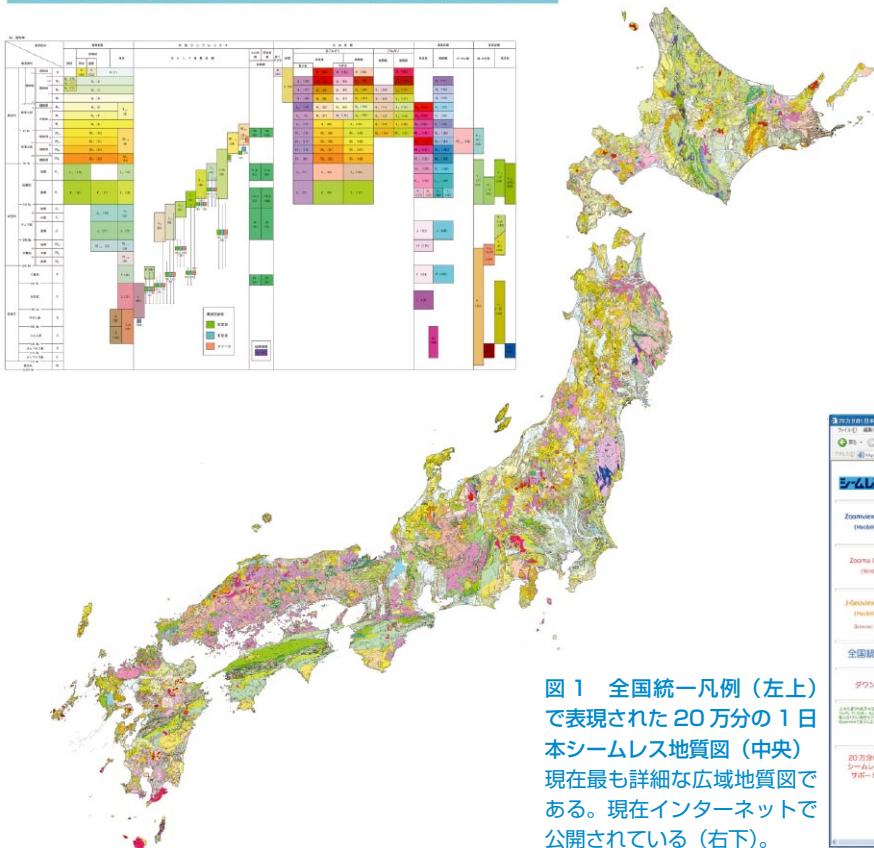
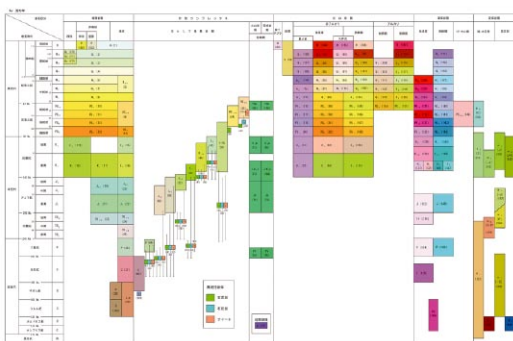


図1 全国統一凡例（左上）で表現された20万分の1日本シームレス地質図（中央）現在最も詳細な広域地質図である。現在インターネットで公開されている（右下）。



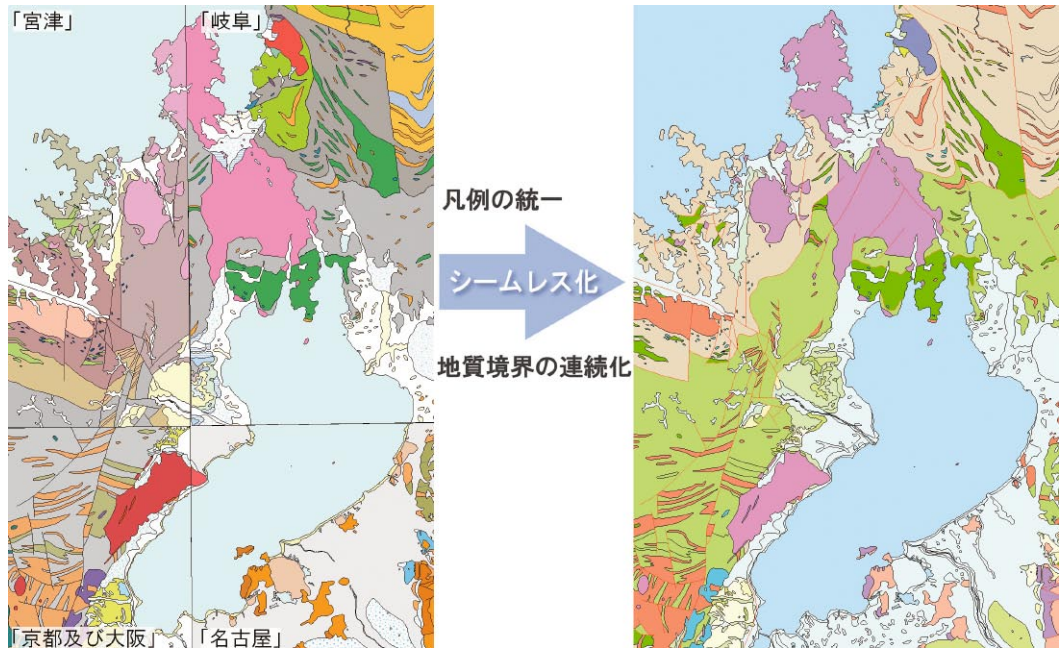


図2 琵琶湖周辺の20万分の1地質図幅の一部(左)とシームレス地質図(右) 琵琶湖の北西域、「宮津」および「岐阜」図幅の境界を含む地域には、最新の地質情報に基づいた新たな地質境界線が引かれている。

の研究成果に基づいて、再解釈や新たな地質情報の付加が施される。このように作成されるシームレス地質図は、最新の地質情報が反映されており、地域によっては既出版の地質図よりも正確で詳細な地質情報を含む場合がある。

シームレス地質図の活用

シームレス地質図は研究情報公開データベース(RIO-DB)を通じてウェブ公開(<http://www.aist.go.jp/RIODB/db084/>)しており、ネット環

境が整っていればいつでも誰でも地質情報の閲覧および画像のダウンロードができる。ウェブ上ではシームレス地質図を連続ズームで閲覧できる(図1(右下))。

シームレス地質図は、基盤情報を分かりやすく発信した社会的価値の高いものである。その他、基盤情報と災害・防災情報や地球物理・地球化学情報などをリンクさせる基本図として、幅広い応用が期待される。

シームレス地質図のこれから

シームレス地質図は今後もデータの改訂・更新を随時行っていき、20万分の1縮尺で提供可能な最高水準の情報を迅速に発信していく。現在はラスタ形式(画像)データのみを公表しているが、地質情報をより自在に扱えるベクタ形式データも公表に向けて準備中である。インターネットなどを通じて、シームレス地質図が多くのの人々に利用されることを願っている。

参考文献

地質調査総合センター(編)(2003):数値地質図G-1、地質調査総合センター

地質情報研究部門(つくばセンター)

井川 敏恵

E-mail: toshi-igawa@aist.go.jp

専門は堆積学で、古生代の炭酸塩岩に関して地層がどのように形成されたかを野外調査や室内実験に基づいて研究している。地質図は我々の生活に密接に関わるものではあるが、その認知度はまだ低いといえよう。地質図がもっと一般に普及するように、また地質情報が人々にとってもっと使いやすいものになるように、願いを込めてシームレス地質図の作成に取り組んでいる。



新潟県上越市沖の日本海海底で、海底に露出するメタンハイドレートの確認・採取に成功

産総研地圏資源環境研究部門は、東京大学、海洋研究開発機構などとの共同研究で、新潟県上越市沖の日本海海底で巨大メタンブルームと海底面に露出する熱分解起源メタンハイドレートの確認・採取に成功し、このメタンハイドレートが海底下で柱状に分布していることを発見しました。

日本海の「燃える氷」

メタンハイドレートはメタン分子が水分子のかご構造に取り込まれた化合物で、海底下数100mの堆積物中に広く分布していることがわかっています。メタンハイドレートは大量のメタンを含み、その外観がシャーベット状であることから「燃える氷」とも呼ばれ、石油や天然ガスなどの在来型エネルギー資源に変わる新しいエネルギー資源として注目されています。メタンハイドレートは温室効果ガスであるメタンを大量に周囲に放出するため、長期的な地球環境の変動要因としての可能性も指摘されていますが、そのメカニズムや規模は明らかにされていません。

新潟県上越市沖日本海の、水深900～1,000mの海底(図1)には、比高数10mのマウンド(小さな地形的高まり)やポックマークと呼ばれる巨大な窪地が発達していることから、海底からのガスの噴出が考えられます。ここでは、海底直下浅部にメタンハイドレートが分布していることがわかっていましたが、メタンハイドレートが海底にどの程度広く分布しているのか、また海底より下ではどの様に分布しているか、さらには海水中にメタンが放出されているのかはわかっていませんでした。これらの問題の解明のため、東京大学および海洋研究開発機構が中心となって、2004年の夏以来「海鷹丸」(東京海洋大学)、「なつしま」「かいよう」(海

洋研究開発機構)などの調査船を使用した一連の調査航海が実施され、産総研からも海底メタンハイドレートの専門家が参加しました。

今回の調査の成果

《巨大メタンブルームの映像化に成功》

エコーサウンダー(計量魚探)による海水中の気泡の可視化を行った結果、海底から放出された大量のメタンによるガスの柱(メタンブルーム)の映像化に成功しました。この海域ではこのような巨大メタンブルームが多数認められるので、海底下から海底面に向かって大量のメタンが供給されていることが推定されます。

《海底のカメラ観察による変色域の発見》

海洋研究開発機構所有の無人探査機「ハイパードルフィン」および深海曳航調査システム「ディープ・トウ」を用いて、水深約800～1,000mの海底をカメラ観察した結果、マウンド(地形的な高まり)周辺の海底に非常に局所的ながら白っぽい変色域や急崖を発見しました。カメラ映像からは、この変色域は細菌、炭酸塩およびメタンハイドレートであると推定されました。

《メタンハイドレートの採取に成功》

カメラ観察の結果に基づいて、変色域とその周辺においてピストンコアリング採泥を行い、メタンハイドレートの採取に成功しました。採取されたコアのうち5本でメタンハイドレートが確認され、メタンハイドレート層の採取長は最長で約2.6mでしたが、さらに深部に向かって連続して存在すると思われました。また、コア中には砂などを含まないメタンハイドレートの塊も多数含まれていました(写真)。これによって、カメラ観察で確認された変色域ではメタンハイドレートが海底に露出していることが確認されました。海底に露出するメタンハイドレートを発見し回収に成功したのは、日本近海のみならず東アジア周辺の海域では初めてのことです。

《ハイドレート中のメタンガスの起源の解明》

回収されたメタンハイドレート中のメタンガスの炭素同位体分析を行った結果、これらが海底下数kmの深部で形成された熱分解起源ガスであることがわかり、メタンハイド

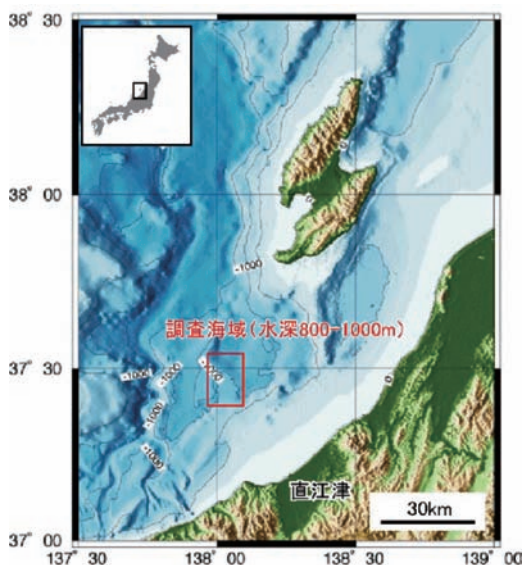


図1 調査海域

レート中のメタンガスは海底下深部で形成された後、上方に移動して海底面に達したものであることが推定されました。現在、資源エネルギー庁のプロジェクトで調査が進められている東海沖の南海トラフ海域など、海洋のメタンハイドレートの多くは海底下数100 mに分布していて、本海域のように海底にまで露出する例は極めて珍しいものです。また、海洋のメタンハイドレートは微生物起源の浅所メタンからなる例が一般的で、今回確認したような熱分解起源のメタンハイドレートは世界的にも限られています。熱分解起源ガスは地球深部に大量に貯蔵していると予想されていますから、今回の熱分解メタンハイドレートの発見によって日本海のメタンハイドレートの資源ポテンシャル評価が高まったといえます。

《海底電気探査による海底下のメタンハイドレート分布の解明》

メタンハイドレートの海底下での分布を調査するために、前述の調査を実施した海域で、海中に微弱な電流を流して電気の流れやすさを調査したところ、通常の堆積物と比べて非常に高い電気抵抗を示す物質が海底下100m程度まで柱状に分布していることが分かりました(図2)。これは海底電気探査と呼ばれる手法で、陸上では一般的に用いられている手法ですが深海での曳航式探査は世界初です。メタンハイドレートが採取された地域(図2の青矢印部分)で最も高い電気抵抗値が認められていることおよびメタンハイドレートは電気抵抗の高い物質として知られていることから、この柱状の高抵抗物質はメタンハイドレートであると考えられます。このことから、本海域の海底下ではメタンハイドレートは地層のように水平方向に分布しているのではなく、「氷の柱」として局所的に存在していることが推定され、本



写真 ピストンコアラーから取りだしたメタンハイドレート
常温では盛んに気泡(メタンガス)を出して溶けていく、まさしく「氷」である。

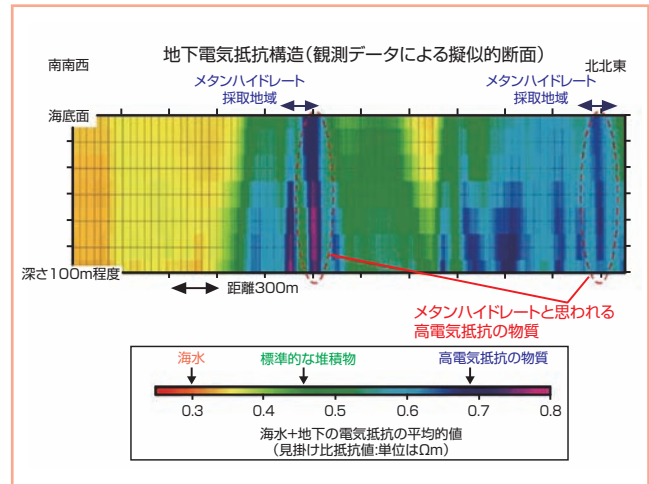


図2 海底電気探査によって得られた海底下の電気抵抗断面図
海洋研究開発機構による。

海域でのメタンハイドレートの形成プロセスを考える上で重要なデータといえます。この推定は、メタンハイドレート中のガスが深部からもたらされたものであるという炭素同位体分析の結果とも整合するものです。

成功要因と今後の展望

以上のように、種々の地質学的・地球物理学的調査を総合的・集中的に実施したことにより、本海域でのメタンハイドレートの海底および海底下での分布の様子が明らかになってきました。これは参加各機関から地質学、地球化学、地球物理学、生物学等の専門家がチームを組んで参加したことにより可能となったことです。産総研にはこの海域の海底地質データが豊富に蓄積されており、今回の調査の際にもこれらの知見が活用されました。

ピストンコアリングにより採取された堆積物の対比およびメタンハイドレートの産状についての研究は、産総研と海洋研究開発機構が中心になって実施しています。今後は採取されたコアの分析を進めて、本海域におけるメタンハイドレートの生成過程や環境に与える影響に関する研究をさらに進めていく予定です。

◆ 問い合わせ先

地図資源環境研究部門 佐藤 幹夫 mikio-satoh@aist.go.jp
奥田 義久 okuda.gsj@aist.go.jp

◆ 関連サイト

東京大学大学院理学系研究科プレスリリース
<http://www.s.u.tokyo.ac.jp/info/methane.html>
海洋研究開発機構プレスリリース
<http://www.jamstec.go.jp/jamstec-jr/0602/0220/index.html>

クロアチア共和国科学・教育・スポーツ省次官補来所

3月9日、クロアチア共和国科学・教育・スポーツ省のラドバン・フックス次官補 (Radovan Fuchs, Ph.D.) が、つくばセンターを訪問されました。始めに、小玉副理事長らと挨拶を交わされ、産総研の概要について説明を受けられました。工業技術院から独立行政法人への移行、第一期から第二期に至る過程での様々な変革について質問され、予定時間を大幅に上回る概要説明とな

りました。特に、本格研究の考え方、研究ユニットのオートノミーと研究マネージメントのあり方、研究者へのインセンティブの賦与など、同国の研究組織の改革と関連付けて、率直な意見交換がなされました。

その後のサイエンス・スクエアの見学は、駆け足となりましたが、それぞれの研究開発と本格研究における位置付け等を中心に、ディスカッションを

行いながらの視察となり、これも予定時間を超えることとなりました。

次官補は、「産総研の改革、研究成果に大きな感銘を受けた。我が国の研究者は、数学等基礎的な研究に高いポテンシャルを有しており、是非とも産総研に派遣し、共同で研究を行う機会を作って欲しい。」と仰って、産総研後にされました。

フィンランド技術研究センター (VTT) と研究協力協定を調印

産総研とフィンランド技術研究センター (VTT) は、2月15日、包括的な研究協力協定に調印しました。VTTは、職員数3000人を超える北欧最大の公的研究機関であり、幅広い分野での研究開発を行っています。産総研と共通の研究課題も少なくなく、歴史的にも、オウル市に在るVTT Electronicsとの工業技術院電総研時代からの連携など、研究ユニットベースの研究交流が続いていました。今後、更に、複数の研究ユニットが協力協定や共同研究契約を締結するものと考えられることから、VTT本部と協議を行い、知的財

産権の取り扱いのガイドラインや紛争解決の方法の条項を含む、包括的な協力協定の締結を行う事に両機関が合意しました。

今回の協力協定の調印に際し、VTT

の理事長Dr. Leppävuoriが来日され、産総研つくばセンターで小玉副理事長らとの会談や研究室を視察された後、東京本部に移動され、吉川理事長との会談および協定書への署名を行いました。



Geo-Gridに関する日本-ベトナムワークショップの開催 (Vietnam-Japan Scientific Cooperation Workshop on Geo-Grid)

グリッドテクノロジーと地質情報分野の融合を図るためのワークショップが、3月6日から2日間に渡ってベトナム・ハノイにて開催されました。産総研と包括協定締結機関であるベトナム科学技術院 (VAST) との間では、既に2回のWSを開催し、相互補完的連携を進めているところですが、今回は、分野融合的プロジェクトであるGeoGridに焦点をあてて、将来のユーザーに広く声をかけ、両機関の研究者の他、ベトナム資源環境省や農業省、ホーチミン工科大学、日本の森林総合研究所、名古屋大、東北大、資源・環境観測解析センター (ERSDAC) からもIT、地球科学、農業、森林等の分野の研究者

が集まりました。VASTのSon副院長、産総研中島理事、ベトナム資源環境省副大臣、東・東南アジア地球科学計画調整委員会 (CCOP) 代表からの挨拶のあと、人工衛星を活用したリモートセンシングによる東南アジアへの展開を

意識した地質データの地球観測・環境への活用、防災技術、資源探査、バイオマス分布、環境保全CO₂フラックスなどについて議論が行われ、今後の地球科学-IT分野の連携、日本-ベトナムの連携について話し合われました。



オープニングセレモニー風景
壇上が産総研中島理事。



ワークショップ初日
約80人が参加しました。

産総研技術フェアin北海道を開催

2月28日、札幌全日空ホテルにおいて、「産総研技術フェアin北海道」を開催しました。このフェアは、北海道内の製造業をはじめとする地域産業界に、産総研の技術・成果を広く紹介し、地域経済の発展に寄与することを目的とした催しです。

今年につくばをはじめ、全地域センターの協力により、「粘土で出来た薄膜材料 クレースト」や「ハイパースペクトルカメラ」などの30を越える開発製品の展示と「微生物を利用した水産廃棄物処理」や「デスクトップナノファクトリー（超小型ナノ製造システム）」

など8件のプレゼンテーションにより、研究成果を大いにアピールすることができました。

当日は予想を上回る約300名の入場者を迎え、活発な意見交換もあり大変盛況のうちに終了しました。



産総研 サイエンス・スクエアつくば科学体験教室を開催

穏やかな春の日差しの中、3月11日、サイエンススクエアつくば初の試みとして、ミニイベント「産総研 サイエンス・スクエアつくば科学体験教室」を開催しました。

来場者228名と一般公開に比しては少ない参加者ではありましたが、職

員と来場者である子供たちがふれあいながら科学体験を行うには、このような規模のイベント開催も重要であると考えています。広報部では、今後ともこのようなミニイベントの開催を予定し、国民の皆様楽しく科学に触れていただければと考えています。是非、

次回のイベントへのご来場をお待ちしています。

現在、サイエンススクエアつくばは、4月1日よりのリニューアルオープンに向けて、新規展示物の調整を行っています。最新の研究展示にご期待ください。



3月10日現在

http://www.aist.go.jp/aist_j/event/event_main.html

EVENT Calendar

2006年4月 → 2006年6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
4 April			
6日	国際計量標準シンポジウム -産業界の海外活動を支える計量標準-	東京	029-861-4149●
7日	NMIJセミナー 計量標準「質量力および流量分野の研究開発紹介」	東京	029-861-4120●
7日	NMIJセミナー 法定計量「国際的な動向」	東京	029-861-4120●
17~19日	Computational Science Workshop2006 (CSW2006)	つくば	029-861-3182●
19~21日	最新科学機器展/計量計測総合展	名古屋	03-3273-6177
5 May			
30~31日	人工筋肉コンファレンス ナノテクとバイオの融合研究 -人工筋肉開発の展望-	東京	072-751-9180●
31~6月2日	DSCアジア/パシフィック2006 -ドライブング・シミュレータ国際会議2006-	つくば	029-861-6630●

「ナノテクノロジーで変える電子部品製造技術」

先進製造プロセス研究部門 集積加工研究グループ 明渡 純さん

セラミックス膜を常温形成

ナノテクノロジーの進歩は、材料や製造技術の世界を大きく変えつつあります。セラミックスの材料はさまざまですが、化学的に安定で融点が高く、機械的な強度や硬度が高く、電気絶縁抵抗が高い、さらにはセンサ、アクチュエータとして使えるような高度な電子機能を備えることから、機械構造材への応用だけでなく、電子部品等への利用が進んでいます。しかし、一般にセラミックスを焼き固めるには1000℃以上の高温が必要なため、これまでの製造工程では、プラスチックや金属など熱に弱い材料と一体化し高機能な電子部品を実現するのは多くの困難を伴いました。

明渡さんたちは、セラミックス粉末が衝突するだけで常温で固まる現象を発見し、「エアゾールデポジション法」というコーティング手法に発展させました。窯業プロセスで広く用いられる α -アルミナという原料粉末を基板材料に吹き付け、従来必要とされていた1000℃以上の焼結行程を必要とせず、高温焼結したものと同等の硬さや電気特性、ナノレベルの緻密性・平滑性を得ることができます。この画期的なセラミックス膜形成技術は、例えば、一般に普及しているプリント基板はエポキシ系の樹脂材料で作られているため、耐熱温度はセラミックスを作る温度より遙かに低い300℃ほどです。この様な熱に弱い回路基板内部に、コーティングによりセラミックスコンデンサを直接形成・内蔵することで、電子回路の大幅な集積化や高周波への対応を実現することが可能になりました。



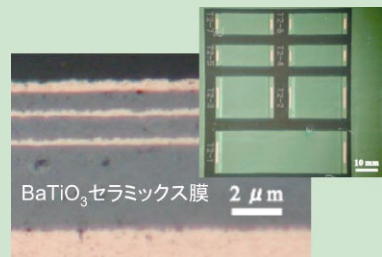
明渡さんからひとこと

このセラミックスが常温で固まる現象は、元々、予測され研究上狙ってできたモノでなく、装置に付着する汚れとして見つけたモノです。また、学会発表当初は、高性能な電子部品を作る手法として、「微粒子を吹き付ける」という発想は、あまりにも非常識で、荒っぽい方法のため、とうてい使い物にならないモノと印象を持った方も多かったようです。ただ、その気になって特性をいろいろ評価して見たところ、結構使い物になりそうな感触を得て、メカニズムやそれに基づく制御要因を明らかにし、実用レベルまで持っていくことができました。こうなってみると、従来に比べ数十倍以上の高速成膜が可能なことや常温で緻密化するこのプロセスの特徴が、多くの人の興味を引くようになりました。上述されたコンデンサーへの応用だけでなく様々な分野への広がりを見せてきています。もちろん専門分野の常識や見識は重要です。でも、どんなところに宝が転がっているかわからない、これも研究の醍醐味だと思います。

常温形成された透明セラミックス厚膜



FR4基板上に常温積層形成した薄膜コンデンサ



(富士通(株)と共同研究成果)

産総研
TODAY
2006 April Vol.6 No.4
(通巻63号)
平成18年4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。