

AIST Today

研究、成果、
そして
未来へのシナリオ

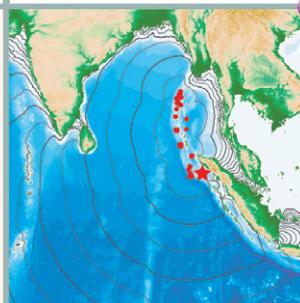
02

February
2005
Vol.5 No.2

社会に活力をもたらす本格研究を

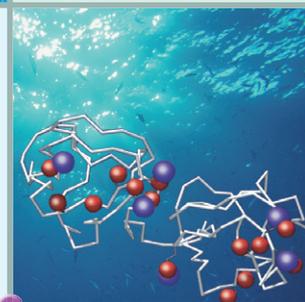
トピックス

- ナノテクノロジーで拓く
新たながん治療
- インド洋で発生した大津波と
産総研の対応



特集

生物の力によるモノ作り研究
北の地に生まれたゲノムファクトリー



National Institute of
Advanced Industrial
Science and Technology

メッセージ

- 03** 産総研バイオ研究への期待
東北大学大学院工学研究科教授
熊谷 泉

特集

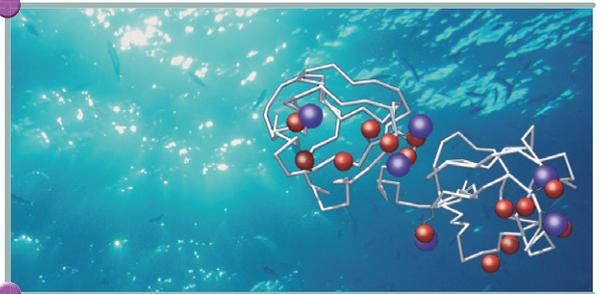
- 04** 生物の力によるモノ作り研究
北の地に生まれたゲノムファクトリー

トピックス

- 14** ナノテクノロジーで拓く
新たながん治療
18 インド洋で発生した大津波と
産総研の対応

リサーチ ホットライン

- 20** 超高感度二光子吸収材料の開発
21 塗布法によるn型有機薄膜トランジスタ
22 リン酸カルシウムナノ粒子の合成
23 導電性ダイヤモンドライクカーボン
(DLC)膜の開発
24 高品質な窒化物半導体薄膜成長法
25 シリコンカーバイド
横型 RESURF MOSFET
26 老朽化化学兵器の処理技術開発
27 リチウム電池に新しい正極材料
28 光触媒で環境残留性有機フッ素
化合物を分解
29 木材から水素を生産する新技術
30 高精度ゴニオフォトメータによる
全光束絶対校正
31 固体NMRを用いた
プロトン伝導メカニズムの解明



NMR法によって明らかにされた魚類由来不凍タンパク質
の3次元分子構造モデル
本誌 4ページ
「生物の力によるモノ作り研究」
より

- 32** シリーズ：
産総研におけるアウトカム事例調査(4)
ライフサイクルアセスメント(LCA)

技術移転いたします！

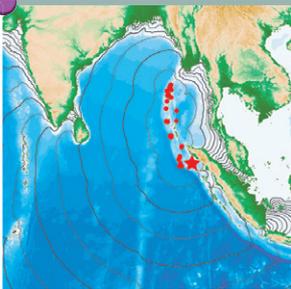
- 34** 箔状フレキシブル圧電センサ
35 携帯電話を用いた簡易型聴力測定器
“モバイルオージオメータ”

テクノインフラ

- 36** 0.05 m/s ~ 40 m/s をカバーする
気体流速標準
37 メタンハイドレート存在量推定の
地化学的指標
38 分光応答度標準とその供給

AIST Network

- 39** 産総研と東京大学が協力協定を締結
ほか



スマトラ沖地震の震源と
津波の到達状況
本誌 18ページ
「インド洋で発生した大津波と
産総研の対応」
より

産総研バイオ研究への期待

熊谷 泉

東北大学大学院工学研究科教授



二十世紀以来のバイオ研究の特徴は極めて学際的色彩を有する点であろう。学生時代に、生命現象を解析・理解するための生物学固有の手法は多くないと聞いたのが、今でも強く印象に残っている。分子生物学の黎明期に多くの物理学者が活躍したのは良く知られていることである。現在では、DNA組換え技術を基盤とし、物理・化学、さらには情報処理技術の支援により、多くの生物種の全ゲノム解析が達成されている。

ポストゲノムシーケンス時代と言われる。ゲノム情報の解析に基づいた生命現象の統合的理解への期待も大きい。一方、ゲノム情報を利用するという観点では、細胞をナノマシンから構成される工場と捉え、ゲノム産物、二次産物を高効率・特異的に生産するシステム構築へ展開していくことも現実的になってきた。得てして、バイオ分野での生産・モノ作りは縁の下の力持ち的存在と見られがちであるが、ゲノム産物の適正な作製は生命現象を解析する上でももはや必要不可欠な課題である。ゲノム情報は膨大であり、多くの可能性を秘めていることは疑う余地もないものの、固有の問題には十分な配慮が求められる。バイオ分子の利用にあたっては、安全性・倫理性などの観点から、行政的・社会的制約がある。産業界では当然のことであるが、官・学のバイオ研究においても、基礎研究を効率的に応用研究に「橋渡し」するには、もはや生産工程から「出口の質」を意識した研究開発が必要な時代を迎えているのかもしれない。その意味で、ダウンストリーム研究も含め、学際的観点からのバイオ分子生産システムの基盤整備も、あらためて視野にいれるべきであろう。

法人化後、組織の組換え・連携が機動的になりつつある産総研が、一世紀以上にわたり蓄積してきた広範な科学技術の伝統を生かして、バイオ研究の新たな地平を目指した嚆矢となることを期待している。

産総研が挑む、生体物質生産へ向けた研究開発

研究コーディネータ（ライフサイエンス担当） 栗山 博

バイオテクノロジーへの期待

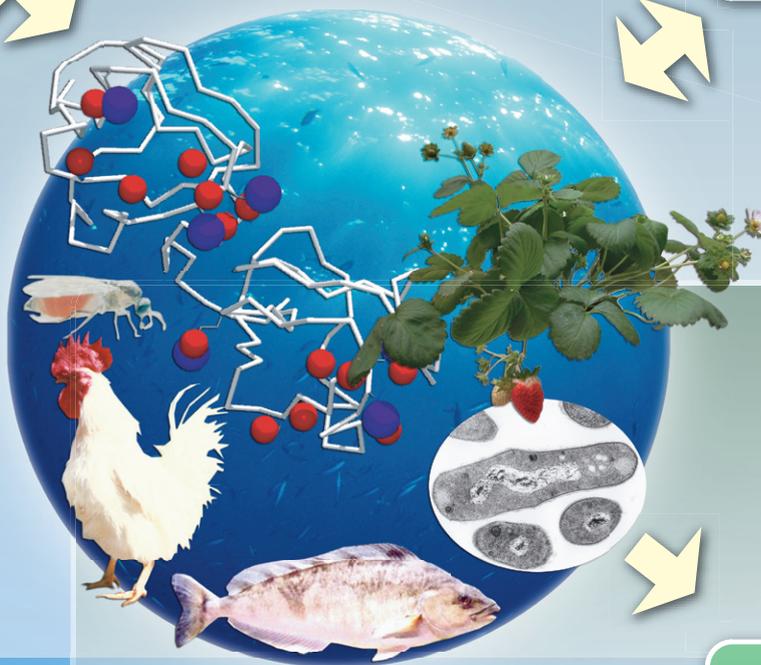
微生物など生き物の働きを利用した生産技術とその製品としては、古くは酵母や乳酸菌などの微生物を用いたビールやワイン、日本酒といった酒類や、醤油、酢、ヨーグルトなどの発酵食品をはじめ、ペニシリン、ストレプトマイシンなどの抗生物質、調味料やサプリメントに使われるアミノ酸、洗剤や医薬品に使われている各種の酵素類などが知られています。発酵食品の生産では、微生物そのものが生きていく上で必要なエネルギーを獲得する機能（代謝機能）の結果として生成するエタノールや乳酸、酢酸などが主な生産物です。抗生物質や酵素といった複雑な構造の生体物質は、生物が生きていくために必要な機能をもつ物質として生産するものです。

こうした生物そのものの機能や生物が生産する生体物質の機能を改良したり、より効率的に生成物を作らせる技術の開発がここ数十年間にわたって進められてきました。20世紀後半に始まって著しく発展してきた生命科学の基礎技術も、こうした生産技術の高度化に大いに貢献してきました。特に遺伝子組換え技術は、生物の機能を大きく変化させることができるため、より優れた機能を持つ生体物質やより優れた生産機能を持つ生物などを生み出す育種改良に利用されてきました。現在、こうした試みは、世界中の研究機関や企業でますます盛んに行われつつあり、激しい競争になっています。これからは、特に医薬品、診断薬、また動物医薬などとして使える、新規かつ安全な生体物質の生産技術の開発が求められています。

生物機能の
研究と理解

生体物質生産
のメカニズム
の解明

“ものづくり”
技術への応用



産総研のバイオテクノロジー研究

バイオテクノロジー、さらにはその基盤になるライフサイエンスにとって期待される新技術の開発は、農業、畜産、水産、環境対策、食品、医薬品、診断薬、診断手法の開発など幅広い産業分野にわたっています。産総研では、新しい産業技術の基盤となる研究開発を全国に配置された研究拠点で展開しています。

バイオテクノロジーにかかわる研究としては、つくばの研究センターや東京の臨海副都心センター、関西センターにおいて、新しい機能を持った微生物や酵素の探索、得られた微生物や酵素の機能改良、さらには新しい医薬品や診断薬の開発の基盤となるヒトの遺伝子やタンパク質の機能や構造の解析を進めています。

産総研内の各研究拠点、研究ユニットの特徴を活かし、バイオテクノロジーの幅広いニーズに応えていくことが重要と考えられます。特に生物を利用した生産技術を、ゲノム解析の結果など新しい生命科学の成果を活かして発展させる研究に取り組むことが、バイオテクノロジーの産業への応用促進にとって欠かせないことであると考えられました。

ゲノムファクトリー研究部門の設立

こうした生産技術としてのバイオテクノロジーを集中的に研究する拠点として、産総研は2004年4月、札幌の産総研北海道センターに「ゲノムファクトリー研究部門」を設立しました。

北海道センターでは、旧工業技術院北海道工業技術研究所以来、ここ10数年にわたって若手の優れた人材を採用し独自の研究開発に取り組んできました。その結果、独創的で将来の発展が期待できるバイオの新技術が徐々に花開きつつあり、微生物による異種タンパクの大量発現技術、組換え植物による動物ワクチン生産技術をはじめ、産業界への技術移転、企業との共同研究も増加しつつあります。

新研究部門では、さらに陣容と施設を整え、ゲノム解析の結果に代表される先端的な生物学研究から得られる生命に関する情報を活かし、従来は生産が困難であった生体物質の効率的な生産手法の開発、DNAチップ、タンパク機能解析など生体物質の高付加価値化のための技術開発を進めていきます。2003年の夏に完成した床面積約7,000平方メートルのバイオテクノロジー研究棟や、組換え植物による高機能タンパク生産研究のための温室の拡張など、研究施設の拡充も順調に進んでいます。

こうした研究活動を通して、北海道の産業振興戦略、特にバイオ産業クラスター施策に貢献することも重要な役割と考え、積極的に地域の産業界との交流を進めていきます。この特集では、新たに出発したゲノムファクトリー研究部門で行なわれている代表的な研究のいくつかを紹介합니다。



医薬品・診断薬の生産

食料品他の品質保持

タンパク質の生産

産業界への
技術提供

植物が作るワクチン

ゲノムファクトリー研究部門 植物分子工学研究グループ長
松村 健

遺伝子組換え植物の現状

現在、世界の遺伝子組換え植物の栽培面積は、約6,770万ヘクタールに上り(2003年実績)、日本の全国土面積(約3,700万ヘクタール)の約1.8倍強の面積で栽培されていることになります。しかも、年々その栽培面積は右肩上がりに増加しています。一方、栽培されている組換え植物のほとんどが除草剤耐性・害虫耐性のダイズ、トウモロコシ、ワタ、採油用のカノーラであり、このことから一般に「組換え植物 = GMO食品」というイメージができあがっていると思われます。

しかし、植物の遺伝子組換え技術の利用は、上記のGMO食品以外にも多岐にわたっていることはあまり知られていません。

植物の能力を利用した製薬技術

植物の遺伝子組換え技術は、農産物生産の省力化、生産量増加などの新品種開発という育種利用以外にも、幅広く利用できる技術です。その中でも、現在、世界的に注目されているのが、従来は植物が生産できない哺乳類の医療用タンパク質を組換え植物で生産させる技術の開発です。すなわち、「食べるワクチン」、「抗ガン剤」や「抗体」などです。

これらの医療用タンパク質は、従来、哺乳類の細胞培養や遺伝子組換え微生物で生産されてきました。それをなぜ「植物」で生産させようとするのでしょうか？

それにはいくつかの理由があります。それが、代表的なものとして、

- 1) 植物は、哺乳類の病原体に感染しない。すなわち、昨今のBSE問題に代表されるような製造過程における使用試薬などからの病原体混入リスクが、植物の場合きわめて低い。
 - 2) 培養による生産系と異なり、大規模な培養施設(タンク)が不要。特に近年、世界的に培養タンクの供給が需要に追いつかないことが問題になっている。
 - 3) 生産コストが低い。学術誌では抗体生産を例に取り上げているが、植物での抗体生産は、従来の哺乳類細胞による生産方法と比較して約1/3000のコストですむと試算されている。
 - 4) 可食作物を利用すれば、「食べる」利用方法が可能。その結果、注射等の苦痛から解放される。加えて、注射器・注射針等の医療用廃棄物の減少も見込める。
- といった理由が挙げられます。

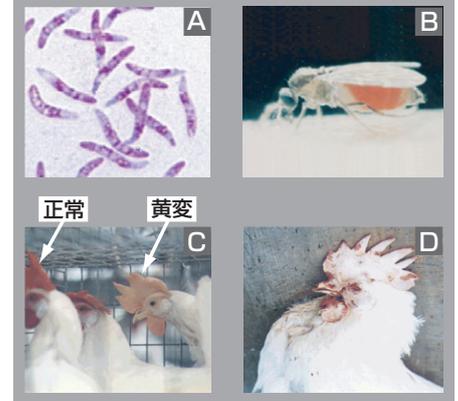


図1 鶏の原虫病
A: ロイコチトゾーン原虫
B: 媒介虫 ヌカ蚊
C: 感染18日目 貧血(鶏冠黄変)
D: 感染13日目 吐血・死亡

鶏原虫病用の食べるワクチン開発

遺伝子組換え植物を利用した医療用タンパク質生産技術開発の一例として、私たちのグループが動物製薬企業等と共同開発したものに、鶏の原虫病ワクチン成分遺伝子を導入した組換え植物があります。原虫病とは、マラリアに代表される感染症の一種で、これに鶏が罹患すると貧血や緑便・下痢の症状を引き起こし、死亡する重篤な病害です(図1)。

現在、この対策に日本国内だけでも年間40~50億円分のサルファ剤等が使用されています。また、注射ワクチンだと一軒の農家で飼育している数万から数十万羽の鶏への注射が必要ですが、作業上困難であること、注射された鶏が苦痛のために産卵低下を引き起こし(図2)、生産量に影響があるといった問題から、無痛で投与の簡便な「食べるワクチン」の開発が望まれていました。

私たちは、すでにワクチンとして市販されている成分の遺伝子を植物で発現できるように設計し、これをジャガイモへ導入しました。そして、できたワクチン遺伝子発現の組換えジャガイモの葉をそのまま凍結乾燥し(図3)、飼料と混合して、自由採餌で投与しました。その結果、

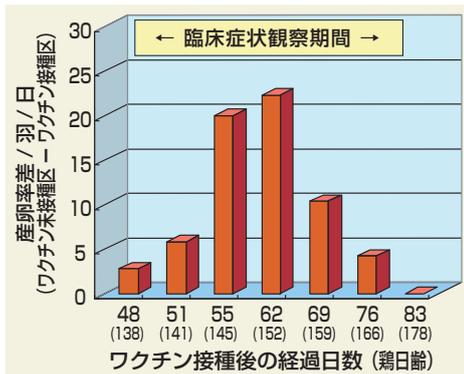


図2 注射ワクチンによる産卵率の低下



図3 鶏用ワクチン飼料
A: 養鶏用飼料
B: 組換えジャガイモ凍結乾燥葉
C: 養鶏用飼料と組換えジャガイモ凍結乾燥葉の混合飼料



血清中の抗体価の再上昇を促すこと、つまり、防御期間を持続的に延長できることを明らかにしました(図4)。このことは、植物の遺伝子組換え技術を利用することによって、無痛で、抽出や精製操作の不要な、そして簡便に投与できるワクチン素材を作り出すことができることを示唆しています。

この組換えジャガイモは、通常のジャガイモと異なりスーパーの店頭に並ぶような「食品」ではなく、栽培、収穫、凍結乾燥まで一貫して動物薬原材料の製造用として利用されることになります。

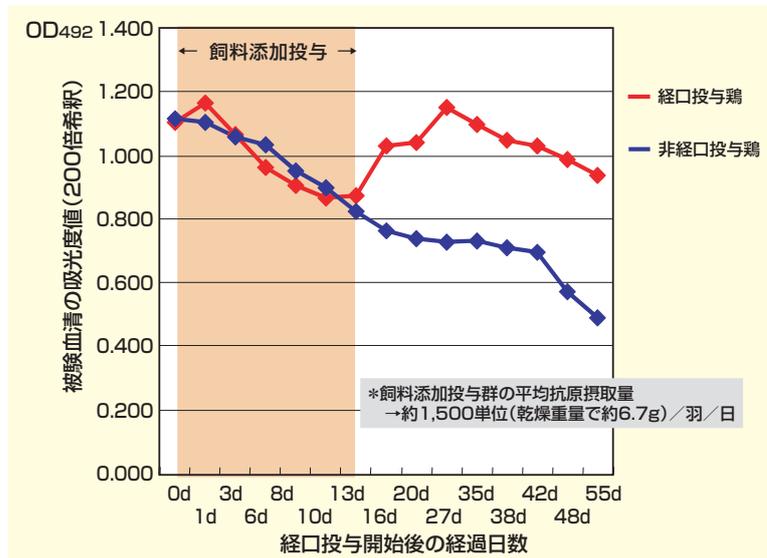


図4 組換えジャガイモ経口投与後の鶏血清中の抗体価の推移

今後の展開

このように私たちの研究は、植物を本来の農産物として利用するだけでなく、種々の生物の遺伝子情報を基にした

有用物質生産の一手段として利用することを目的としています。今後、組換え植物で医薬品を製造する技術は、「植物」の

利点を生かして、新規の利用方法や市場展開、新しい産業分野を形成し得るものと考えています。

植物バイオテクノロジーへの期待

株式会社 北海道グリーンバイオ研究所 副所長
谷田 昌稔

生産者や消費者に有益な新しい植物(作物)を従来の交配育種によらずに作る技術として、植物のバイオテクノロジーが期待されています。植物バイオ技術と一言でいっても、その内容は様々です。例えば、組織を培養することで望む変異を起こさせたり、病害ウイルスを除いたり、さらには遺伝子を組換えて有用な植物を作ったりすることも可能になってきています。その中でも遺伝子組換えは、これまでの交配技術では到底望むことができなかった画期的な植物(作物)の作出を可能にする技術として、多くの研究者が基礎から応用までの幅広い研究を展開しています。

その中の一つに、植物が本来は作るできない有用な物質を、植物に生産させる研究があります。除草剤に負けない大豆は、栽培しても大豆としてしか売れませんが、新しい機能性物質を作ることができる植物は全く新しい作物としての付加価値を持つことになります。例えば、人や動物の免疫力を高めたり、病気を予防するワクチンとして



働く物質などを作る作物です。これらの作物から目的物質を抽出して用いるほかに、物質によってはそのまま食べても効果が現れることがあります。すなわち「食べるワクチン」としても作物を利用できることになります。

分子農業とも呼ばれるこのような新しい作物の栽培利用は、消費者に直接的なメリットを与えるとともに、農産物を利用した新たな産業を興すことも可能とします。北海道は1次産業の生産物を2次加工して付加価値を増やすことが苦手と一部と言われてきましたが、作物に様々な有用物質を作らせることができれば、その数だけの新たな製品を生み出すことが可能になります。北海道の農業と工業はより密接な関係を持つことになるでしょう。

農の視点と工の視点を融合できる産総研との共同研究と、産総研の先導的研究に大いに期待しながら、私たちは実用的成果へと努力しているところです。

北の海で泳ぐ魚の「不凍タンパク質」

ゲノムファクトリー研究部門 機能性蛋白質研究グループ長
 北海道大学大学院理学研究科生物科学専攻 客員教授（併任）
 津田 栄

生物の持つ特殊な能力をヒトに役立てる

人間が生きられないような極限環境に生息する生物の多くは、例えば座礁したタンカーから流出する重油を効率的に分解する、人間が処理できないような猛毒物質を無毒にするなどといったきわめて有用な機能をもっています。私たちの研究グループでは、そうした有用機能をタンパク質のレベルで解明し、その成果を生活と産業に役立てたいと願っています。

極寒の海に棲む生物の能力 AFP

不凍タンパク質（Antifreeze Protein: AFP）は、水が凍ってしまう氷点下の温度域において細胞内に生成する氷結晶の表面に吸着してその成長を食い止め、細胞の凍結を妨げる働きをもつ生体防御物質です。このAFPの氷結晶成長抑制能は、水を含んでいるあらゆる物質（含水物）、すなわち肉、野菜、加工食品、血液、細胞、

組織、臓器などの内部構造を0℃付近で強力に保護し、これらの時間の経過（保存）に伴っておきる品質や風味あるいは生命活動の低下を妨げると考えられています。このことから、AFPの実用化は従来の冷凍保存技術や冷凍設備運転にかかる費用を大幅に軽減するものと期待されているのです。

しかし、発見から30年以上が経過したにも関わらずAFP技術は未だに実用化されていません。その最大の原因は、北極・南極の魚の鮮血からしか精製できない（と信じられてきた）AFPの希少性にあり、医学分野、食品分野での実用化に必要なAFPの量、すなわちグラム単位からキログラム単位の量を生産する技術がないことでした。この「量のカベ」と呼ばれる生産技術の限界は、研究成果の実用化をめざす現代の多くのバイオ研究者の前に立ちどかる大問題の一つと言えます。

そんな中（必然的に）私たちは、札幌市内を流れる石狩川に厳冬期に生息する小魚にAFPがあるかないかを調べようと思いい立ちました。採血ができない体長数cm以下の小魚はすり身にして調べました。その結果、イシカリワカサギなど身近な魚にAFPが豊富に含まれていることを発見し、それ以降は食品スーパーや北海道内の沿岸部に出掛けて160種類を超える魚体を研究室に持ち帰り、AFP活性の測定を繰り返しました。その結果、思いもよらず北極海や南極海に漁船を出さなくても捕獲することができる膨大な食用魚種の筋肉のすり身液から、鮮度を必要とせず非限定的な量のAFPを精製する技術を完成することができました。

AFPの産業への利用

「自分達が見つけたAFPが食品や医療の分野に使われるかも知れない」と言うと、誰もが「本当に無害ですか?」と尋ねます。安全性（毒性）試験をはじめ、安定性、再利用性、品質保持期間、共存物質との反応性、二次用途など、AFPを実用化する前にはまだまだ研究すべき課題が山積しています。さらに留意すべき点のひとつは、AFPには魚種によって組成・立体構造が全く異なる3タイプがあり、各タイプには膨大な種類のアミノ酸置換体（アイソフォーム）が存在するということです。どの種類のAFPがどんな用途に最適なのかを含めて、施設構築（GMP準拠）、品質管理、濃度決定、マッピング（抗体染色）などのために（面倒でも）個々のAFPの機能を詳細に解明する必要があるのです。もともとこの研究グループは、NMR法・X線法を用いた低温関連タンパク質の構造と機能の解明を得意にしています。実用化の研究を進めた結果、機能解明にたどり着いたことを感慨深く思います。

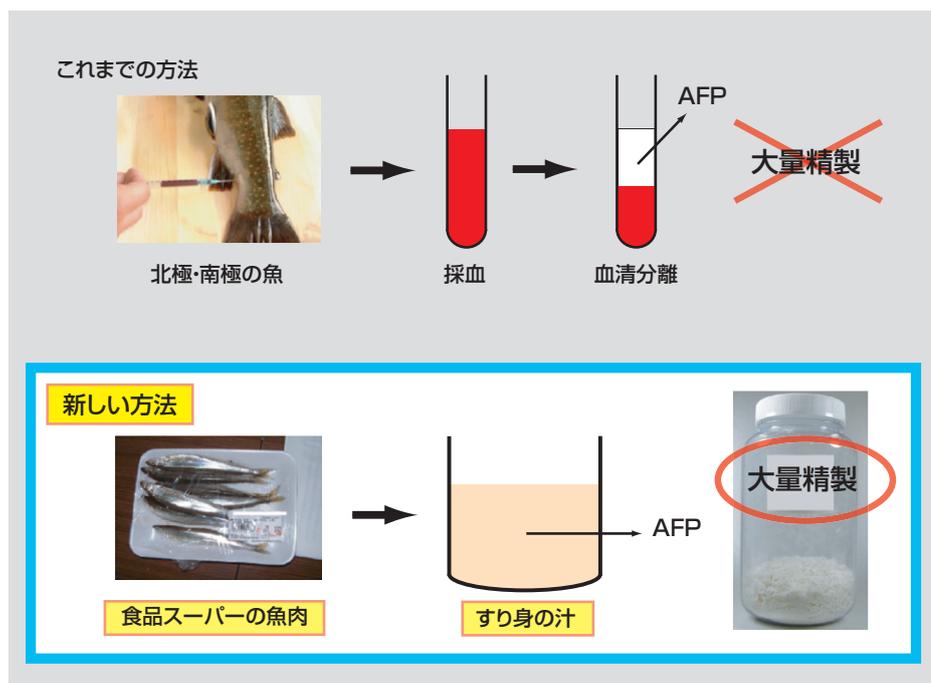


図1 AFP精製法の新旧比較

これまでの方法では、北極や南極の魚を捕獲後ただちに血液を採取し、その血清成分から不凍タンパク質を精製していた。新たに開発された方法では、日本近海（国内）に生息する食用雑魚の筋肉から不凍タンパク質を大量に精製することができる。

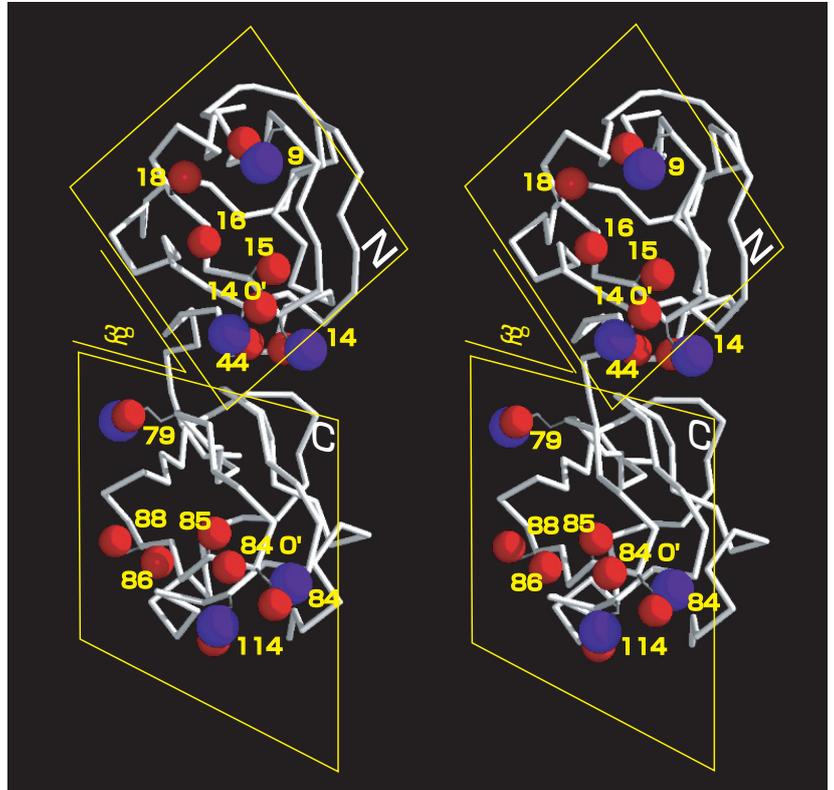


解き明かすべきAFPの秘密

「いつどうしてAFPは生まれたのだろうか？ 氷河期以降か？ いったい地球上のどのくらいの生物がAFPを持っているのだろうか？」そういう純粋な疑問を共同研究者に投げかけたら「それはAFPの“資源確保”にも関する研究であり、早急に調査を始める必要があると思います。」とのコメントをもらいました。どのような疑問も産業に直結するというわけです。

この地球上には魚類だけでも2万種以上が生息しており、疑問が解決されるのがいつになるのか、現在のところ見当が付きません。

図2 異種核多次元核磁気共鳴(NMR)法を用いて明らかにした魚類由来不凍タンパク質(2量体型)の3次元分子構造のステレオ表示図。NドメインとCドメインの各々の分子表面には氷結晶の特定の酸素原子が構成する面(四角で表示)に結合するように、複数の極性アミノ酸残基が配置していることが明らかになった。



タンパク研究への期待

北海道大学 大学院理学研究科 教授
田中 勲

ヒトゲノムの全容が明らかになり、ゲノムにコードされた2万強の遺伝子がどのように働いているのかを解明する段階に入ってきています。今後の生物科学は、遺伝子産物であるタンパク質を中心に研究が展開されると思われます。特にヒトタンパク質の解析は、創薬等にも関連しているために、今後ますます競争が激化していくと考えられています。

すでに現在、世界各国でタンパク質研究の国家プロジェクトが開始されており、わが国の文部科学省も平成14年度からタンパク3000プロジェクトを推進しています。北海道大学も、北キャンパスの次世代ポストゲノム研究棟にタンパク3000プロジェクトの2つの拠点を持ち、個別的解析プログラム「転写・翻訳」、「シグナル伝達」を担当しています。

こうしたプロジェクトが実施された場合の最も重要な効果は、その分野の基盤技術が大幅に進歩することで、事実、タンパク質の生産技術、解析技術は日進月歩で発展してい

ます。いまやタンパク研究の基盤技術の普及においては、日米欧にそれほど大きな差はないでしょう。しかし、研究の先導性や基盤技術開発能力においては、彼我にはまだまだ大きな差があります。外国で開発された技術や研究の模倣、追従ではなく、まったく新しい芽を育てるような土壤が大切です。

法人化を機に、大学の研究もこれまでとは変わってくるものと思います。特にライフサイエンス分野に携わる研究者は、これまで以上にアウトプットを強く意識することになるでしょう。大学での研究は、教育という側面を持っており、産総研の目指すものとは必ずしも一致しないと思いますが、両者の特徴を生かした共同研究を進めることで世界にさきがけた成果をあげることができればと思います。タンパク質の研究を通して、北海道にさまざまな花が咲くことを期待しています。

低温環境を生かしたタンパク質の生産技術

ゲノムファクトリー研究部門 分子発現制御研究グループ

扇谷 悟
佐原 健彦

ポストゲノム時代における発現系

2003年にヒトのゲノム配列の完全解読が宣言され、ポストゲノム時代が到来しました。日本は大規模なヒト完全長cDNAライブラリーを貴重な遺伝子資源としてっており、個々のcDNAがコードしている未知のタンパク質の機能を解析し、創薬などの産業に活用することが今後の重要な課題となっています。また、現在、数多くのタンパク質の立体構造を決定する大型プロジェクトも推進されています。

これらの研究における最初の難関が、タンパク質を遺伝子組み換えで生産する技術、すなわち発現系です。これまでに、大腸菌、酵母、昆虫、植物細胞、動物細胞などをホストとしたさまざまな発現系が開発されていますが、それぞれ発現量、生産コスト、発現系構築の容易さなどにおいて一長一短があります。最も普及しているのが大腸菌の発現系ですが、一方で、生産されたタンパク質が不溶化するケースが多いという問題点が知られてい

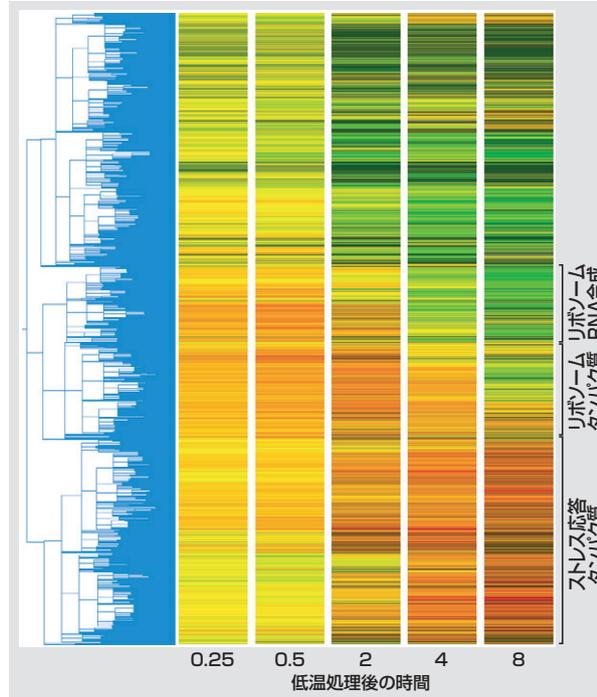
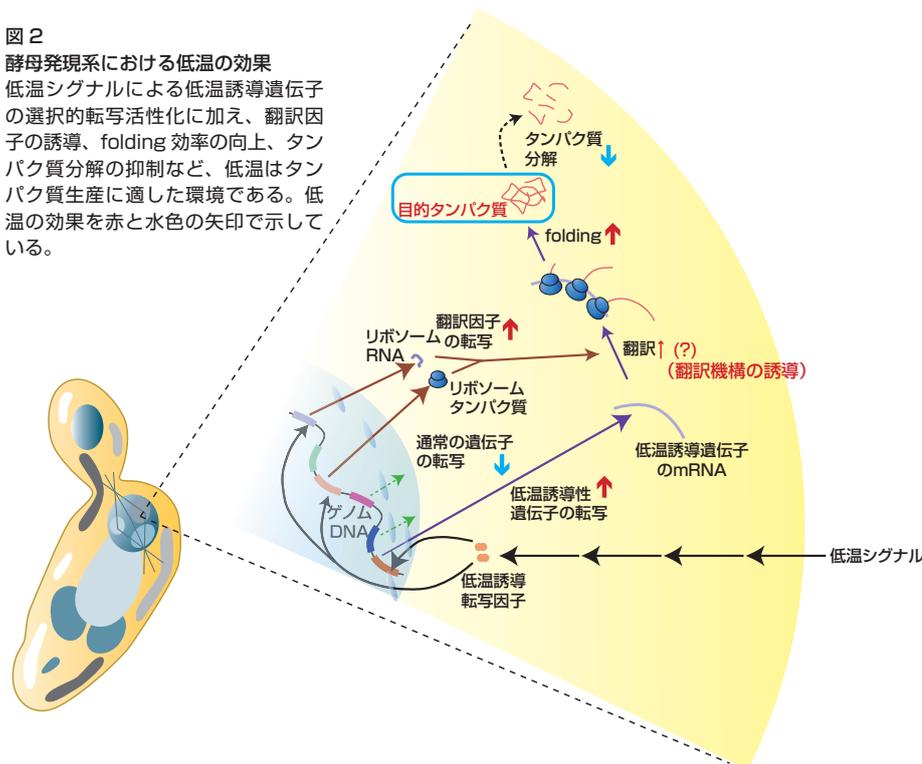


図1 DNA マイクロアレイを用いた酵母の低温ストレス応答のクラスター解析
初期および中期に翻訳関連因子が誘導され、次いでストレス応答タンパク質が誘導される。

図2 酵母発現系における低温の効果
低温シグナルによる低温誘導遺伝子の選択的転写活性化に加え、翻訳因子の誘導、folding 効率の向上、タンパク質分解の抑制など、低温はタンパク質生産に適した環境である。低温の効果を赤と水色の矢印で示している。



ます。ポストゲノム時代には、さまざまなタンパク質を高い成功率で可溶性として生産することができ、さらには量的な要求にも応えることができる発現系が望まれています。

酵母で生産する、低温を利用する

出芽酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) は真核生物なので、大腸菌と比較してヒトのcDNAを発現させやすいという特長があります。また、大量培養も容易です。しかし、従来発現量が少なく、実用的ではないと考えられてきました。一方、酵母は現在ゲノムデータが最も整理されている生物であるという利点があります。もう一つ、私たちが着目したのは低温です。低温はこれまで大腸菌の発現系で目的タンパク質が不溶化した場合にしばしば用いられてきました。酵母は低温に強く、大腸菌の生育下限温度がおよそ15℃であるのに対し、10℃あるいは4℃でも生育します。そこで私たちは、酵母のゲノム情報を利用し、さらに低温を積極的に活用することにより、従来の酵母の問題点を克服した優れた酵母発現系をデザインできると考えました。

そこで、まず酵母のDNA マイクロアレイを用いた実験により、低温で強く誘

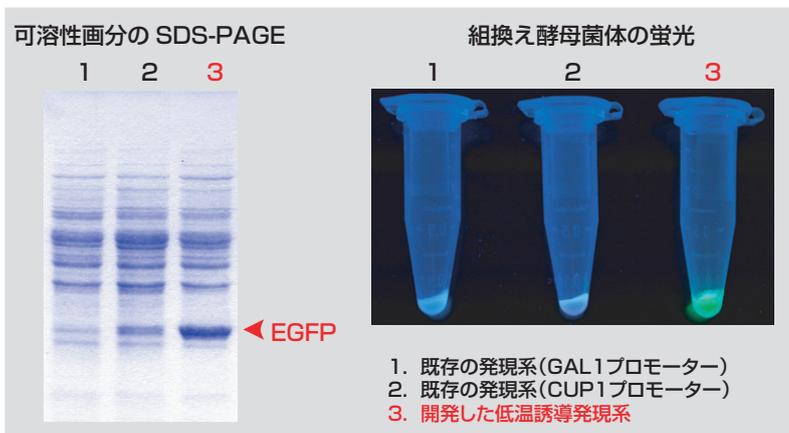


図3 蛍光タンパク質 (EGFP) の生産における既存の発現系と低温誘導発現系の比較

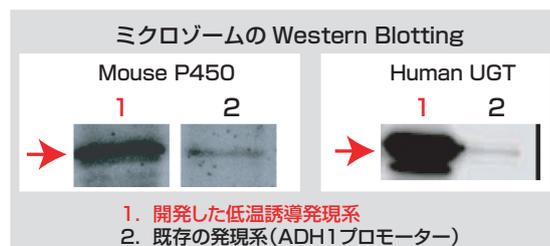


図4 小胞体に局在する薬物代謝酵素の生産における既存の発現系と低温誘導発現系の比較

導される遺伝子（低温で誘導されるプロモーターをもつ）を特定すると共に、翻訳に関わる因子が低温によって誘導されることを見いだしました（図1）。この解析により、低温誘導プロモーターを利用した酵母の低温誘導発現系は、タンパク質合成のいろいろなステップにおいて常温の発現系よりも有利であり、タンパク質の大量生産に適していると考えられました（図2）。

酵母低温誘導発現系の開発とその利用

私たちが開発した酵母の低温誘導発現系は、Enhanced green fluorescent protein (EGFP) をモデルタンパク質として用いた実験において市販の酵母の発現系を凌駕しました（図3）。SDS-PAGE上のバンドの分布を解析した結果、EGFPが可溶性タンパク質の最大50%を占めました。同様な高い発現効率も、マウスチトクローム P450 (P450) やヒトUDP-グルクロン酸転移酵素 (UGT) の場合にも確認されました（図4）。これらの小胞体に局在する薬物代謝酵素は、小胞体をもたない大腸菌ではN末端アミノ酸配列を改変することが必須です。しかし、この発現系ではcDNAの塩基配列を改変することなく発現させることが可能です。

この発現系の特長の一つは、誘導剤が不要なことです。発現誘導は培養温度を低下させることのみによって行いますので、低温誘導発現を自動化することができます（図5）。

酵母の発現系の展開

この低温誘導発現系は、大腸菌で不溶化してしまうタンパク質や従来の酵母の発現系では十分な量が得られないタンパク質に適した発現系であると言えます。これまでにヒトタンパク質を中心に40種類ほどのタンパク質を生産させ、高い確率で可溶性画分にタンパク質を見いだしています。大腸菌で発現させた際に不溶化するタンパク質の多くは、この低温誘導発現系では可溶性画分に発現できました。また、一部はタンパク質の結晶化にも成功しています。この技術は企業にライセンスされ、発現受託事業として現在サービスが開始されています。

私たちは現在、より大量に、より多くの種類のタンパク質を生産できるように、さまざまなアプローチによってこの低温誘導発現系の改良を続けています。私たちはこの低温誘導発現系を、大腸菌や酵母など従来の発現系においては発現できなかったタンパク質を手に入れるための有力な手段として、創薬における未知タンパク質の機能解析や現在推進されている構造生物学の研究に加え、さまざまな産業の発展に寄与できる技術にしたいと考えています。

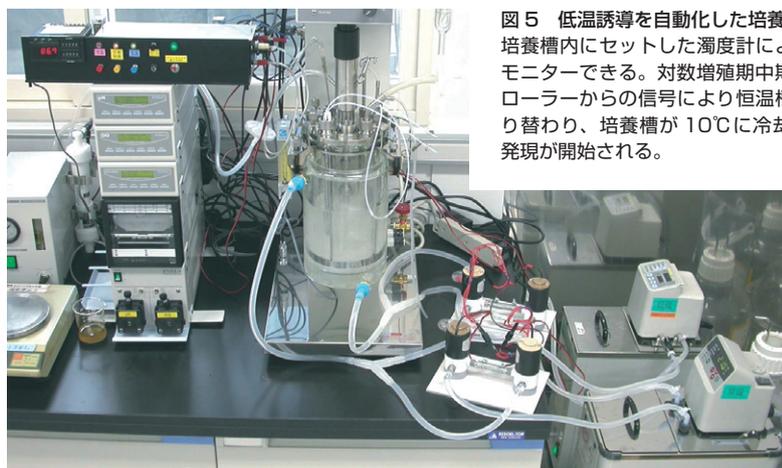


図5 低温誘導を自動化した培養装置
培養槽内にセットした濁度計により酵母の増殖をモニターできる。対数増殖期中期になるとコントローラーからの信号により恒温槽からの流路が切り替わり、培養槽が10℃に冷却されて低温誘導発現が開始される。

放線菌に有用タンパク質を作らせる

ゲノムファクトリー研究部門 遺伝子発現工学研究グループ長
田村 具博

新しいタンパク質発現系の開発

各種生物のゲノム情報の集積にともない、組換えタンパク質の生産技術は今後ますます重要になると考えられます。しかし、現在、組換えタンパク質の生産は、大腸菌や酵母をはじめ昆虫や植物を宿主としたさまざまな系が開発されていますが、全てのタンパク質を生産できる環境は整っておらず、生産系の多様化が必要とされています。

私たちは、既存の発現系における生産温度域や宿主ゲノムのGC含量がある一定の範囲内に集約されていることから、この範囲外の放線菌を使用することを考え、その中のロドコッカス・エリスロポリス細胞（高GC含量のゲノム、4℃から35℃前後で増殖可能）を宿主として選択しました。ロドコッカス属細菌は、有機溶媒に耐性を持ち、脂肪族、芳香族および複素環式化合物などを変換する生体触媒活性が強いこともあって、次世代宿主候補として宿主ベクター系の開発が進んでいる菌でもあります。この細胞を宿主とすることで、既存の発現系とは異なる生産環境を提供し、これまで生産が困難だっ

たタンパク質群の生産が可能な新規タンパク質発現系の開発を目指しました。

細胞増殖阻害効果を示すタンパク質の生産

組換えタンパク質の生産温度は、宿主の増殖・生育温度によって決まります。既存の発現系では、タンパク質の生産温度を10℃以下に下げることが容易ではないので、宿主細胞に対して細胞の増殖阻害効果を示す機能タンパク質は、機能活性を高い状態に維持しながら生産することになります。

従って、細胞の増殖阻害効果を軽減するためには、タンパク質の機能活性を低下させた状態で生産することが望ましいと思われれます。

そこで、開発した発現系を用いてタンパク質を冷蔵庫で保管するような環境下（4℃）で生産する系を構築することにより、DNase Iをはじめとする過去には生産が難しかったタンパク質群の生産を確認することができるようになりました。

低温でのタンパク質生産は、タンパク質の機能（酵素）活性を抑制するだけでな

く、タンパク質の不溶化（封入体形成）を防ぐ別の効果を示すことがあります。

タンパク質の不溶化はその種類に関係なく起こりますが、次のような要因が予想されます。

- 1) タンパク質の生産速度が速すぎ、局所的にタンパク質濃度が高まったため
- 2) 細胞内の還元状態の違いによって
- 3) 翻訳後に修飾系が存在しないことによって
- 4) シャペロンやフォルダーゼなどの不適切な相互作用によって
- 5) 非特異的なジスルフィド結合などによって

低温での発現は、タンパク質の合成速度を下げることになるので、要因1を抑制するものと考えられます。また、ロドコッカス属細菌でのコドン利用頻度や細胞内の環境は、タンパク質の合成速度を変化させるとともに、大腸菌とは異なる細胞内の還元状態にあると推定されるため、要因1と2に大きく影響を及ぼすと推定されます。したがって、これらのことが、この発現系が既存の系とは異なるタンパク質生産能を示す理由なのかもしれません。

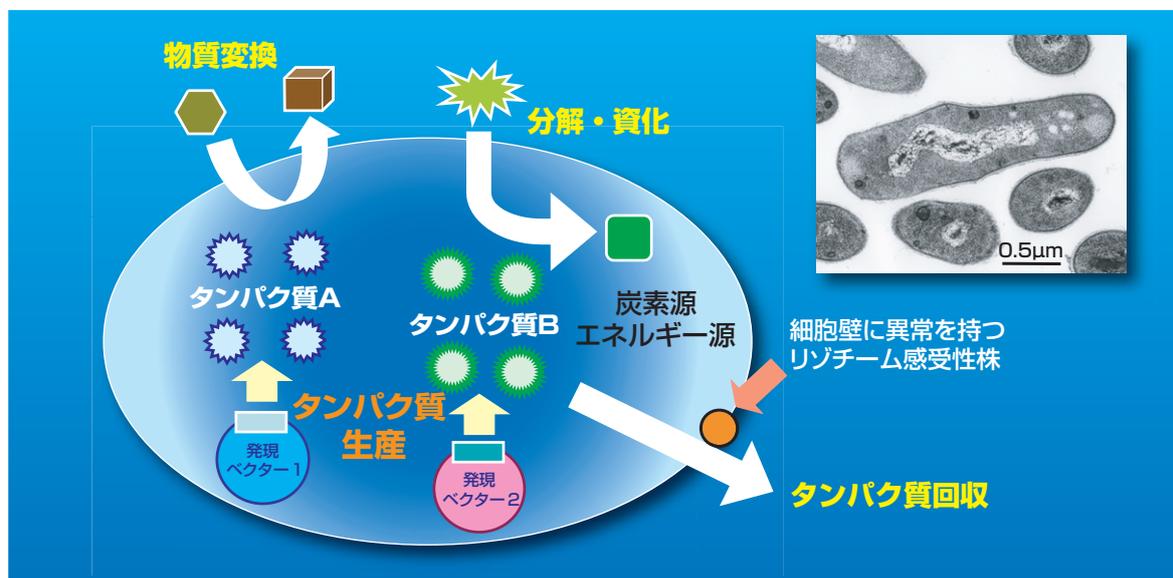


図 放線菌を宿主とした生物工場の開発



夢に向かって一緒に願います！ 北海道バイオは急速に発展中です

経済産業省北海道経済産業局バイオ産業課長
寒川 卓知

「日経バイオビジネス」(平成16年12月号)の特集で、当地が全国36クラスターの中で、総合ランキング第2位という非常に高い評価をいただきました。これで政府の「BT戦略大綱」による3つのバイオクラスター形成促進地域の1つとされ、これまでバイオに集中的に取り組んできた甲斐がありました。3年前に無から始まったことを思うと感慨深いものがあります。

当局では、一人負けの経済状況を打破し、成長が確保できる分野、世界に挑戦できる分野として、冷涼低湿の気候、札幌農学校以来の優れたシーズ、そして国内最大の農水産資源を活用できる分野としてバイオ振興に集中して参りました。

北海道のバイオは顔の見える関係を保ちながら、プレーヤー、サポーターが一体となって取り組んでいます。その成果が、相次ぐ国内外のビジネス表彰や30社近い大学発バイオベンチャーの急増となり、5年連続で10%超の成長等を実現し、大型の商談、増資、商品などの具体的ビジネスを産みだしています。まだまだ成長していく予定です。

サポーターの代表格「C7北海道」は、当局の提案で関係9機関による集中支援、リレー支援を積極的な連携により行っています。この中で、すっかり北海道でも馴染みとなった「産



総研(北海道センター)」さんは、今では北海道バイオの支援者として、またプレーヤーとして欠かせない大きな存在です。

この北の大地では、頼られる「産総研さん」の支援を受けて多くのベンチャーが羽ばたく時を狙っていますし、北海道の特色を存分に活かした「ゲノムファクトリー研究部門」の世界に誇るシーズは北海道の大きな財産として、事業化を目指して各種の共同研究も進められています。

北の大地に根付きはじめたバイオの芽が、産総研さん全体の熱い支援を受けた北海道センター、ゲノムファクトリー研究部門に支えられ、より強く輝きを増して世界に貢献できる北海道バイオとなるように、今後とも皆様の一層のご理解とご支援を賜り、共に夢に向かって歩みを重ねていけますようお願い申し上げます。

ロドコッカス属細菌を用いた 生物工場としての利用

ロドコッカス属細菌を宿主とした組換えタンパク質の生産は、各種の発現ベクターの構築や宿主細胞の機能改変(リゾチーム感受性変異株)を進めることにより、タンパク質の生産と回収効率を著しく高めることに成功しています。しかし、この技術は、ロドコッカス属細菌に新しい機能を付与した高機能型細胞の構築が可能であることも付け加えておきたいと

思います。

ここでは詳細を省きますが、この発現系は大腸菌には増殖困難な有機溶媒の存在下でタンパク質を生産できることを確認しています。また、難分解性芳香族化合物の分解機能を強化した細胞の構築にも成功しています。このことからこの系は、生物の発酵技術を基盤としたバイオプロセスへの応用・利用ができるものと考えられます。

放線菌の中には抗生物質を生産する菌

が多数存在しますが、抗生剤の生合成系の遺伝子群をこの発現系に導入することで、抗生剤の高生産型細胞の構築が可能になるかもしれません。

さらに発現するタンパク質によっては、医薬中間体をはじめとするさまざまな化合物の生産も可能であると考えられるので、ロドコッカス属細菌を利用した生物工場の創製が近い将来に実現されるものと期待されます。

ゲノムのGC含量：ゲノムにコードされている遺伝子情報は、4種の塩基(A:dATP C:dCTP G:dGTP T:dTTP)から構成されていて、塩基の組成は生物種により異なります。そして、塩基組成の特異性はタンパク質をコードする遺伝子のコドン使用頻度に反映されます。従って、高GC含量のゲノムを持つ生物に、高AT含量の遺伝子由来タンパク質を発現させるとその生産効率は著しく低くなる可能性があります。

ナノテクノロジーで拓く 新たながん治療

量子ドットのフォトダイナミック療法の可能性を 世界で初めて示す

産総研 単一分子生体ナノ計測研究ラボでは、量子ドットを簡便に合成する手法と、量子ドットとがん細胞を識別できる抗体やレクチンを融合させた材料を合成する手法を新たに開発し、簡便に正常細胞とがん細胞を識別できる技術を開発した。さらに、量子ドットが選択的に結合したがん細胞に紫外線を照射するだけで、がん細胞が死滅することを発見し、量子ドットが分子の可視化だけでなく、がんの治療にも応用可能であることを世界で初めて明らかにした。

研究の背景と経緯

量子ドットは半導体の無機材料でできた数nmの粒子状の物質であり、1)サイズに依存して蛍光の色が変化する(図1)、2)これまで生化学の分野で多用されてきた有機系の蛍光色素に比べて蛍光スペクトルの幅が小さく蛍光の色を区別することが容易であると同時に光退色しにくいので、次世代の蛍光プローブとして注目されている。当研究ラボではこの量子ドットを安全な反応試薬を用いて比較的低い反応温度(100℃以下)で製造する方法を新たに開発し、この方法によって水溶液中で高い発光効率(> 0.8)を有する量子ドットを調製することに成功した。

一方、がん治療では、いかに小さな段階でがん細胞を検出し選択的に取り除けるかが、治療成績を向上

させる上で重要であるため、ポジトロンCT (PET) や線力学的療法(PDT)等の、新しい診断技術や治療法が注目されている。PETは、ポジトロンを放出するアイソトープで標識された薬剤を注射し、その体内分布を特殊なカメラで映像化する新しい診断法で、がんの性質(悪性度)診断や転移・再発巣の診断として有用性が高い検査である。また、PDTは、光感受性薬剤とレーザー光によって引き起こされる光化学反応を利用した治療法で、腫瘍組織中に活性酸素を生成させ、その力によって腫瘍組織を死滅させるものである。具体的にはあらかじめ患者に薬剤を静脈注射し、腫瘍組織と正常組織における薬剤の濃度の差が最大となる48~72時間後に薬剤の励起波長と一致する波長の低出力レーザー光を照射する。この際、使用するレーザーはレーザーメスの約1/100と低出力な上、薬

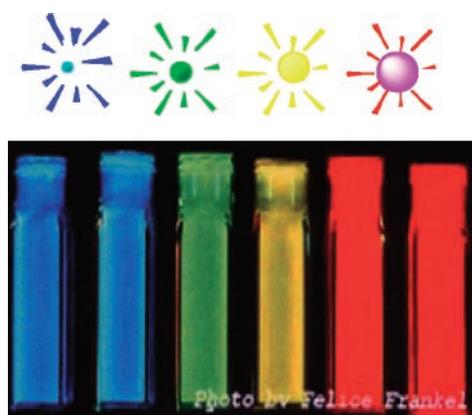


図1 量子ドットが発する蛍光

量子ドットに紫外線をあてると、サイズが小さい(2ナノメートル)と青色の蛍光を発し、3ナノメートルでは緑色、4ナノメートルでは黄色、5ナノメートルでは赤色の蛍光を発する。

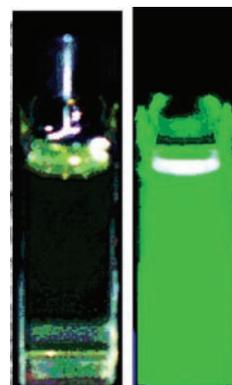
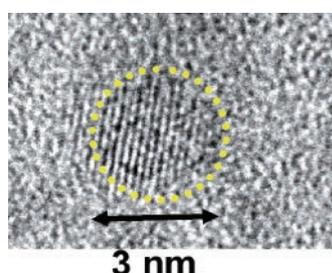


図2 合成した量子ドットの電子顕微鏡写真(左)と量子ドットが発する蛍光(右)

今回は3ナノメートルの量子ドットを合成した。右図の左側は紫外線照射前の量子ドット溶液、右側は紫外線照射時。

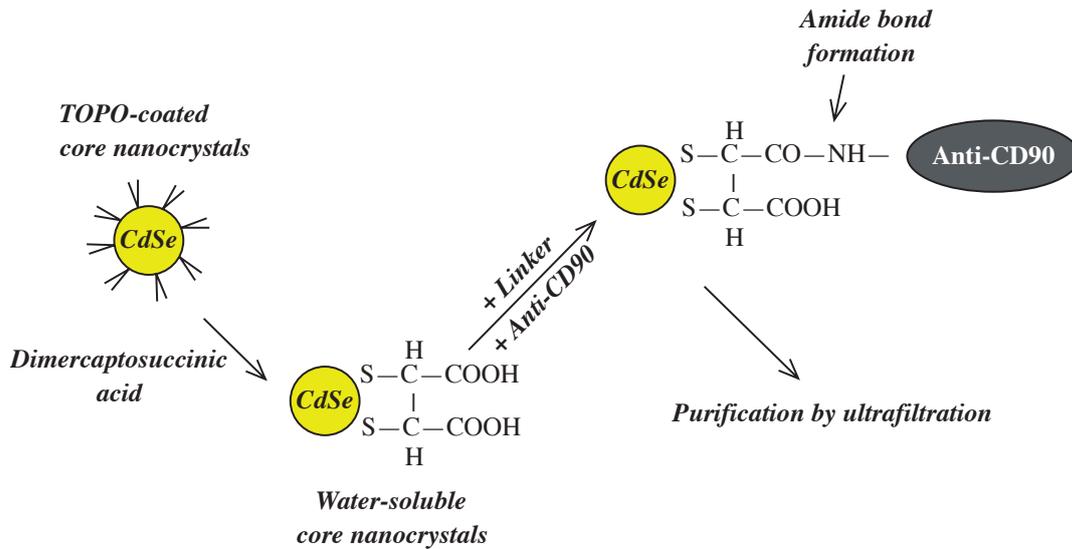


図3 量子ドットとレクチンを融合して新規材料を作成する方法

剤は、腫瘍組織に多く集積するため正常組織への障害を最小限に抑え、がん病巣のみを選択的に治療することができる。Trifluoperazine (TFPZ) や Sulfonated Aluminum Phtalocyanine (SALPC) など光感受性薬剤として知られているが、現在のところ PDT 用に市販・使用されている光感受性薬剤は、ポリフィマナトリウム (商品名フォトフリン) のみで、これらに代わる、新規な光感受性薬剤の開発が望まれている。

我々は量子ドットをこのようながん組織の可視化や治療に応用できないかと考え、無機材料である量子ドットとがん細胞を識別できる抗体やレクチンを融合させた材料を合成する手法を新たに開発し、正常細胞とがん細胞を識別することに成功した。さらに、量子ドットの結合したがん細胞に紫外線を照射し続けると

がん細胞が死滅することを見出した。

研究内容

我々が合成した量子ドットは、セレン化カドミウム (CdSe) という材料で、直径は、わずか3 ナノメートル (10億分の1メートル) しかなく (図2左)、紫外線を照射すると、非常に鮮やかな緑色 (図2右) の蛍光を発する。量子ドットは、優れた材料であるが、タンパク質などの生体分子とは適合性が悪い材料であり、これまでバイオテクノロジーへの応用は限られていた。本研究においては、量子ドットにタンパク質を融合させる新規技術を開発し、がん細胞の表面にあるがん抗原を特異的に認識する抗体と量子ドットを融合した材料

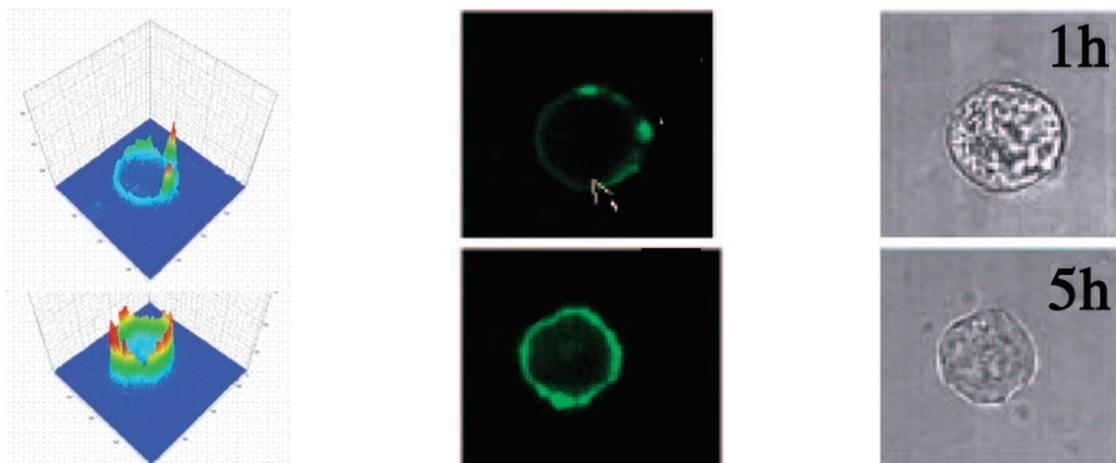


図4 量子ドットとレクチンの融合材料が病態細胞内に取り込まれる経過の観察結果
上段:1 時間後の蛍光画像(左)と透過観察像(右) 下段:5 時間後の蛍光画像(左)と透過観察像(右)
融合材料は細胞表面に集まるとともに、一部細胞内にも入っている。



図5 量子ドットとレクチンの融合材料によるがん細胞(左)と正常細胞(右)の識別
がん細胞のみ選択的に蛍光を発している。

を開発することに成功した(図3)。この材料を白血球細胞のがんである白血病細胞に与えて、紫外線を照射すると、がん細胞の表面や内部に量子ドットが結合して鮮やかな緑色の蛍光を発する(図4、5)。これに対して、この材料を正常な白血球細胞に与えても、作用しないために、全く蛍光を発しない(図5)。この技術は、このように、がん細胞と正常細胞を簡便・正確に識別することに利用できる。

さらに、これらの細胞に一定の強度の紫外線を照射し続けると、10分後には、白血病細胞だけが死滅し始めることが分かった。さらに、紫外線照射後60分で、白血病細胞全体の10～15%が死滅してしまうことが明らかとなった。同様な実験を正常な白血球細胞で行っても、細胞は全く死滅しなかった。様々な実験を行った結果、この作用機構は次のように推定された。すなわち、量子ドットと抗体が融合した材料では、抗体が細胞表面に結合することで、白血病細胞表面のみ量子ドットが存在する。そこに、紫外線が照射されると量子ドットは紫外線のエネルギーを吸収して蛍光

を発する。しかし、吸収されたエネルギーの一部は、量子ドット付近に存在する酸素と反応して、活性酸素や1重項酸素などの生体にとって有毒な酸素種を発生させる。これらが、白血病細胞にアポトーシス(自発的な細胞死)を誘導し、死滅させてしまうと考えられる(図6)。

これらの実験結果は、細胞レベルの実験であり、今後、動物実験や臨床試験を積み重ねていくことが重要であり、実際の臨床応用には、まだ課題が多いが、量子ドットのようなナノ材料が、がん治療にも応用可能であることを、世界で初めて示した意義は大きい。

今後の展開

CdSe以外の量子ドットについても同様に検討する。さらに、融合させる抗体や生体材料の種類を変えることにより、白血病などの血球細胞のがんから固形がんなど、幅広いがんに対応できる検出技術や光感受性薬剤の開発を目指す。

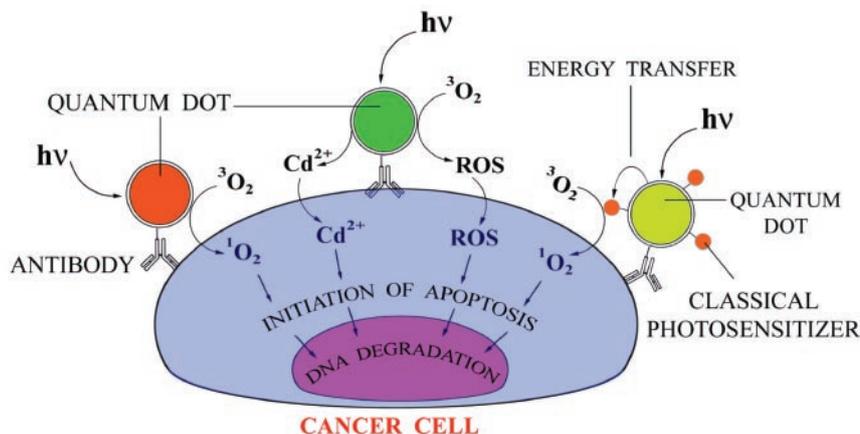


図6 ナノ材料ががん細胞にアポトーシス(細胞死)を起こすメカニズム
量子ドットとレクチンの融合材料ががん細胞表面に結合し、紫外線を照射すると活性酸素が発生し、細胞死を誘発する。

■ 用語説明 ■

1)レクチン

特定の糖鎖の構造を認識して結合するタンパク質を総称して、レクチンと呼ぶ。レクチンはがん細胞特異的細胞凝集活性やリンパ球の幼若化による細胞分裂の誘起、細胞毒性などの作用を持つことが知られているが、これらのレクチンの細胞活性もレクチンが細胞膜表面の糖鎖と結合することによって引き起こされることが分かっている。

2)量子ドット

半導体を構成する原子が数百個から数千個集まった直径数ナノメートル以下の粒子状の小さな塊のこと。この塊の中では、電子は数ナノメートル以下の微小な空間に閉じ込められるので、そのサイズに特有な光吸収・発光特性を示すことが知られている。

3)糖鎖

グルコースやガラクトースなどの糖が鎖状に連なった物質で、細胞の表面に存在して機能や相互作用を調節するなど、細胞同士の情報伝達で重要な役割を果たすため、「細胞の顔」とも呼ばれている。

4)活性酸素

酸素はあらゆる元素の中で最もエネルギー効率の高い元素であり、この酸素を利用して摂取した栄養分を分解し、エネルギーを生成することによって、生命活動を維持しているが、酸素の中でも特に「酸化力が強い酸素」のことを活性酸素と呼ぶ。例えば、次項で説明する1重項酸素の他、スーパーオキシド $[O_2 \cdot -]$ 、ヒドロキシラジカル $OH \cdot$ が知られている。

5) 1重項酸素

活性酸素の1種。狭義の活性酸素。1重項酸素から派生した活性酸素種もしばしば活性酸素と呼ばれる。酸素分子は最もエネルギーの低い基底状態では、対電子を2個持った3重項状態である。外部から光エネルギー等を受け取ると、よりエネルギー状態の高い1重項状態(1重項酸素)に転換する。1重項酸素には対電子を持たない場合と、対電子を2つ持つ場合がある。後者の方が、前者より高いエネルギー状態にある。いずれにせよ、基底状態の3重項酸素に比べ、1重項酸素はエネルギーが高く、酸化力が強いので、例えば他の物質を酸化して、それ自身が1個の対電子を持ったスーパーオキシドに転換する場合もある。しかもその発生したスーパーオキシドもまた酸化活性は極めて高い。

6)アポトーシス

細胞死の一種で、自発的な細胞の自殺のこと。これに対し、血行不良、外傷などによって起こる細胞死は、ネクローシスまたは壊死と呼ばれ、これと区別される。生体内では、がん化した細胞のほとんどは、

アポトーシスによって取り除かれ続けており、これにより、ほとんどの腫瘍の成長は未然に防がれていることが知られている。オタマジャクシからカエルに変態する際に尻尾がなくなるのはアポトーシスによる。

7)ポジトロン

プラスの電気を帯びた電子のことで、マイナスの電気を帯びた電子に出会うと結合して消滅し、 γ 線(ガンマ線)と呼ばれる放射線に変化する。この γ 線はエネルギーや放射方向が一定などの特徴があり、画像化するのに非常に適している。PETではこの γ 線を体外から観測して薬剤の体内分布を映像化する。

8)アイソトープ

原子番号は同じで質量数だけが異なった元素のことで、物理化学的な性質はほとんど同じである。ある化合物の元素を同位元素に置きかえてもその性質は全く変化しないため、ブドウ糖やアミノ酸・ホルモンなど人体の生理活性物質を調べるのに非常に適している。放射能を出す同位元素を特に放射性同位元素(ラジオアイソトープ)と呼び、これを利用した医療用検査を核医学検査と呼んでいる。

◆ 参考文献

- ・ R. Bakalova, H. Ohba, Z. Zhelev, M. Ishikawa, and Y. Baba. Quantum dots as photosensitizers?, *Nature Biotechnology*, 22 (11), 1360-1361 (2004).
- ・ R. Bakalova, H. Ohba, Z. Zhelev, T. Nagase, R. Jose, M. Ishikawa, and Y. Baba, Quantum Dot anti-CD Conjugates: Are They Potential Photosensitizers or Potentiators of Classical Photosensitizing Agents in Photodynamic Therapy of Cancer?, *NANO LETTERS*, 4 (9), 1567-1573 (2004).
- ・ 新規感受性薬剤及びその製造方法(特願 2004-326539)。
- ・ 新規生体試料標識用蛍光プローブとその調整法(特願 2004-96070)。

● 問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所 九州センター
単一分子生体ナノ計測研究ラボ
主任研究員 大庭 英樹

E-mail : h.ooba@aist.go.jp
〒 841-0052
佐賀県鳥栖市宿町 807-1

インド洋で発生した大津波と産総研の対応

地震・津波のメカニズム解明と被害の軽減をめざして

2004年12月26日インドネシアのスマトラ島沖で発生した地震によって、インド洋で津波が発生し、インドネシア・スリランカ・インド・タイなどに死者15万人を超える大きな被害をもたらした。この地震は、マグニチュード(M)9と世界最大級のもので、インド洋プレートが東側へ向かって沈み込むことに伴うプレート間地震であった。震源はスマトラ島沖であったが、余震はインド領のニコバル・アンダマン諸島へ向かって、約1000kmもの範囲で発生しており(図1)、津波の波源域は少なくとも数百kmに及んでいる。この地震によって生じた津波は、約2時間後にタイのプーケットやスリランカに到達、さらに8~12時間後にはアフリカ東海岸に到達し、アフリカでも死者を出した。

大地震発生に即応した産総研

産総研では、地震の発生直後から情報を収集し、津波のシミュレーションを行なった。この地域のプレートの形状や余震の情報から、海底で起きた地殻変動を推定すると、震源域の真上では海底が隆起し、その東側では沈降したと予想された。

さらに、これに基づいてインド洋を伝わる津波のシミュレーション(図2)を行なうと、波源域の東側にあるタイのプーケットなどでは引き潮から始まるのに対して、波源域の西側に位置するスリランカ方面ではいきなり津波が襲ってくることで、また、波源の東西方向で津波が大きくなることが予想された。

このシミュレーションの結果は、各地でビデオカメ

ラなどに収められた実際の津波の挙動と一致している。シミュレーションに基づく津波のアニメーションは、産総研のウェブサイトに掲載され、地震発生の翌日(12月27日)だけで世界中から6万件を超えるアクセスがあった。

甚大な被害の原因

史上最悪の津波災害ともいわれる今回の被害はなぜ生じたのか? 今回の地震がM9クラスと大きかったこと、そのような地震や津波がインド洋では想定されておらず、従って津波の警報システムも存在しなかったことが原因と考えられる。

M9クラスの地震は20世紀に4回あったが、全て太

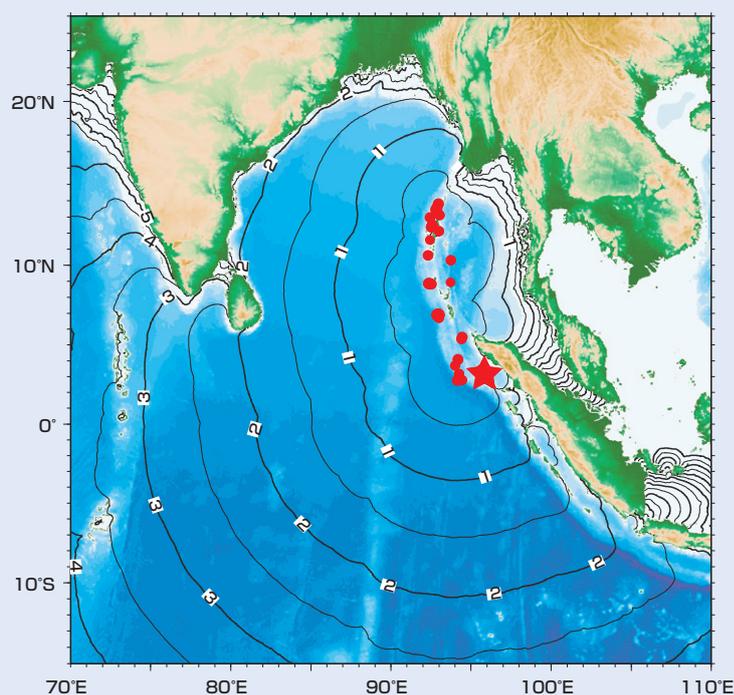


図1
スマトラ沖地震の震源(★)と余震(●)の分布(米国地質調査所のデータによる)と、津波の到達時間(曲線は30分毎の津波の到達位置)

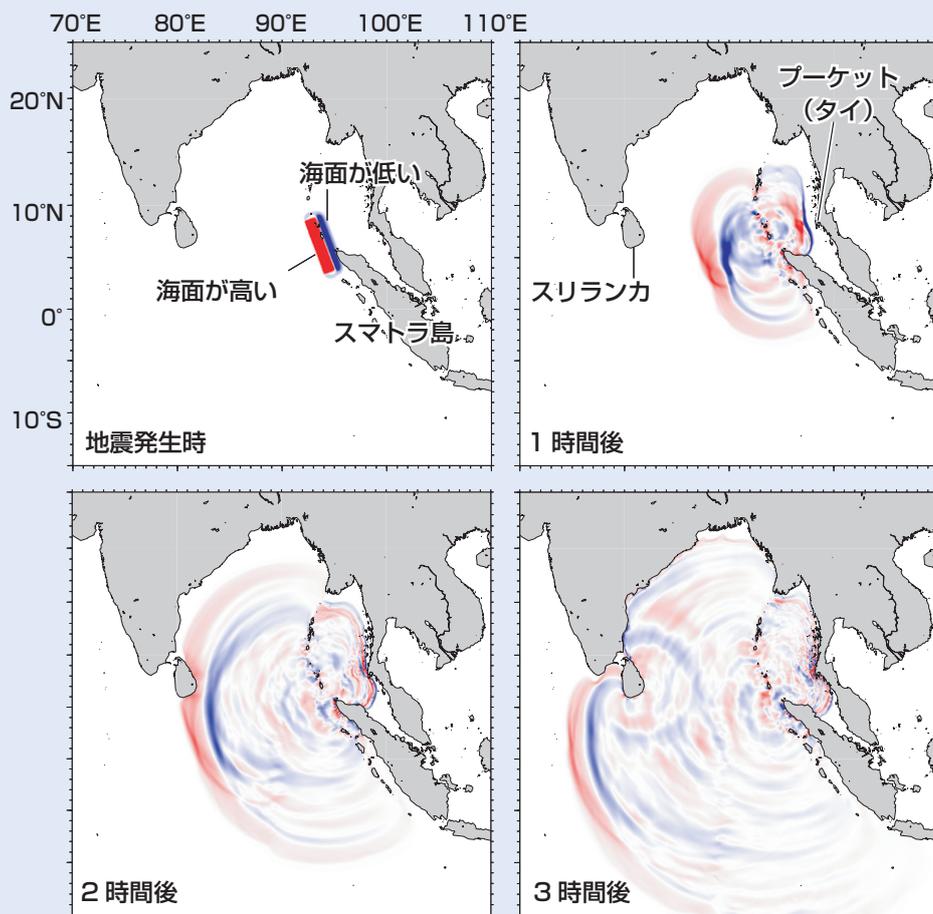


図2 コンピューターシミュレーションによる津波の伝わる様子
赤は海面が通常より高く、青は低いことを示す。また、色が濃いほど波高が大きいことを示す。

平洋で発生している。1960年チリ地震(M9.5)の際は、津波が約1日かかって太平洋を横断し、日本の太平洋岸で100名以上の死者を出した。これらの経験に基づき、現在、太平洋では、国際的な協力による津波警報システムが機能している。今回の地震についても、地震発生後の16分後には、ハワイの津波警報センターからの情報がインターネットを通じて産総研にも届いていた。また、環太平洋の北米北西部や北海道では、歴史記録に残っていないM9クラスの地震やそれに伴う津波が過去に発生したことが、産総研などによる海岸の地層の調査から明らかになり、その対策も取られ始めている。

今後の津波被害軽減への対策

今後、このような悲劇を繰り返さないためには、インド洋における津波警報システムの構築、海岸の住民への情報伝達、地震や津波の知識の啓蒙が重要である。

震源に近いところ(今回の場合、インドネシア)では、「地震を感じたら、海岸にいる人はすぐに高いところへ

逃げる」という知識を普及させる以外に方法はない。

一方、タイやスリランカなど、地震を感じなかった地域では、地震の発生から津波が到達する前に数時間程度の時間的な余裕があった。この間に、地震の情報に基づいてシミュレーションに基づく津波の予測を行ない、その情報を海岸にいる人たちに迅速に伝えるシステムが必要である。

国や自治体のみでなく、世界中で普及しているインターネットや携帯電話を使った災害情報の伝達システムも考えられる。このようなシステムがあれば、今回犠牲となった尊い人命のうちの半数近くは救えたはずだ。

また、歴史記録に残っていない地震や津波の記録を地質学的手法で調べることによって、世界中で発生の可能性が考えられる地震とその規模についての推定を進めることも重要である。

●問い合わせ

独立行政法人 産業技術総合研究所
活断層研究センター 佐竹健治
E-mail : kenji.satake@aist.go.jp
<http://unit.aist.go.jp/actfault/>

2個の光子を効率良く吸収する材料を求めて

超高感度二光子吸収材料の開発

物質が光を吸収する場合、通常は1個の光子の消滅に対応して、光子の持つエネルギーに相当する高いエネルギーの準位に物質中の1個の電子が励起される。そしてこの吸収は光強度に比例する(一光子吸収過程)。しかし、光子の密度が高い場合(すなわち光強度が高い場合)、2個の光子が同時に消滅して、そのエネルギーの和に相当する高い準位に1個の電子を励起する「二光子吸収過程」が起こることがある。

二光子吸収過程が起ると、その際の吸収は光強度の2乗に比例するようになり、(一光子)吸収の起きない波長を使って、物質内部のある特定の微小空間だけで選択的に光励起を起こさせることが可能となる。この特性を利用することにより、細胞等の3次元画像が得られる顕微鏡光像イメージングや、マイクロマシン用部品等の微小光造形、3次元光導波路、3次元光メモリー、さらには光線力学療法によるガン治療にまで幅広い応用が期待されている。

特に1990年代末から従来の数十～数百倍の感度で二光子吸収が生じる有機化合物が発見

されており、より低い光強度で高効率に二光子吸収を示す分子の設計と開発が盛んになってきている。これまでに開発された分子は、中心骨格に、二重結合や芳香族環を組み合わせた「固い」 π 電子共役系を持つ化合物群であったが、我々は新しい「固い π 共役電子系」としてジアセチレン基を中心骨格とした化合物が優れた二光子吸収を示すことを発見した(図1)。

この化合物は近赤外波長域において、従来の色素の数十倍から100倍程度の感度を持っている(図2)。さらには、可視光領域(570～650 nm)ではその二光子吸収感度が著しく増大することを発見し、この増大が、共鳴増強というメカニズムによって生じている一般的な現象であることを他に先駆けて明らかにした。有機材料が高い二光子吸収感度を示すためにはどのような分子構造を持つ必要があるのかについてはまだ確立されていない問題であり、これらの成果はその進展に貢献し、強度の小さなレーザーパルスでもより効率的に二光子吸収を示す化合物の開発とそれを用いた種々の応用への進展が期待される。

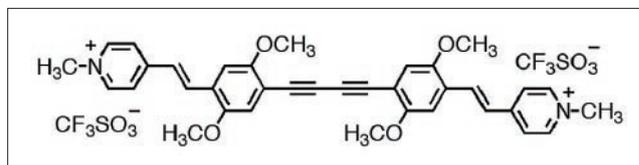


図1 高い二光子吸収感度を示すジアセチレン化合物とその構造式

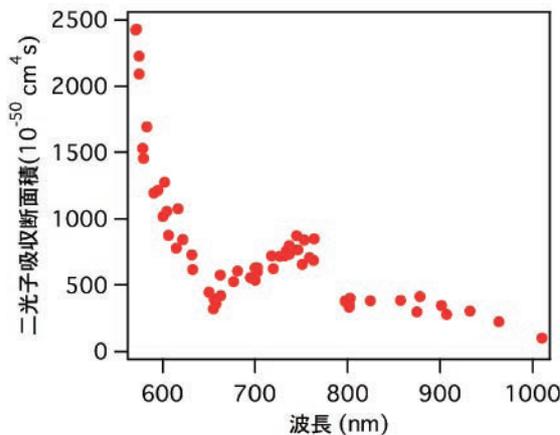


図2 ジアセチレン化合物の二光子吸収スペクトル



かまだけんじ
鎌田賢司
k.kamada@aist.go.jp
光技術研究部門

関連情報

- K. Kamada, K. Ohta, Y. Iwase, and K. Kondo : Chem. Phys. Lett. Vol. 372, 386 (2003) .
- Y. Iwase, K. Kondo, K. Kamada, and K. Ohta : J. Mater. Chem. Vol. 13, 1575 (2003) .
- 特願 2002-262312 「二光子吸収材料」

塗布法による n 型有機薄膜トランジスタ

有機薄膜トランジスタ(TFT)、有機電界発光素子(有機EL素子)、太陽電池などで実用化が期待されているのが有機半導体材料である。p型半導体では、正孔移動度に優れたペンタセンや導電性高分子など多数の有機半導体材料が知られている。しかし、優れた電子移動度を示すn型半導体は、全フッ素化フタロシアニンやフラーレンなどの一部の有機化合物に限られ、研究開発が遅れている。さらに、電子移動度の高い有機TFTの作製には超高真空装置などの大型設備が必要であった。

サッカーボール型構造で知られるフラーレン(C60)は、有機半導体材料の中で優れたn型半導体特性を示すことが知られており、超高真空中での製膜により、アモルファスシリコン並みの電子移動度を達成していた(図1)。しかし、これらの作製法では大面積化が困難であるばかりでなく、製造プロセスの費用が高額になることが問題であり、生産コストの低減や大面積化への対応が可能な塗布法による作製法の開発が求められていた。

今回、当研究部門では、フラーレン(C60)にアルキル鎖を導入することで、有機溶媒に

可溶性フラーレン誘導体C60MC12 (C60-fused pyrrolidine-meta-C12 phenyl)を新たに合成し、スピコート(塗布)するだけで、フラーレン頭部が自己凝集によって層構造を形成し、良好な結晶性薄膜が作製できることを見出した(図2)。

有機半導体層に新たに合成したフラーレン誘導体C60MC12を用いて有機TFTを作製し、性能を評価したところ、その電子移動度は、 $0.067\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成し、塗布法により作製されたn型有機半導体としては最高の値を示した。

この研究開発の成果は、塗布法によるp型半導体(ポリチオフェン)と同程度の電子移動度を達成できたことで、有機半導体において、p型とn型が揃ったことになる。これにより、回路設計においても自由度が向上するとともに、プラスチックなどのフレキシブルな基板への印刷法による有機デバイスの実用化を加速することが期待される。一方、高い電子移動度を示す有機半導体は、太陽電池やメモリなどへの応用においても大きな波及効果が期待できる。

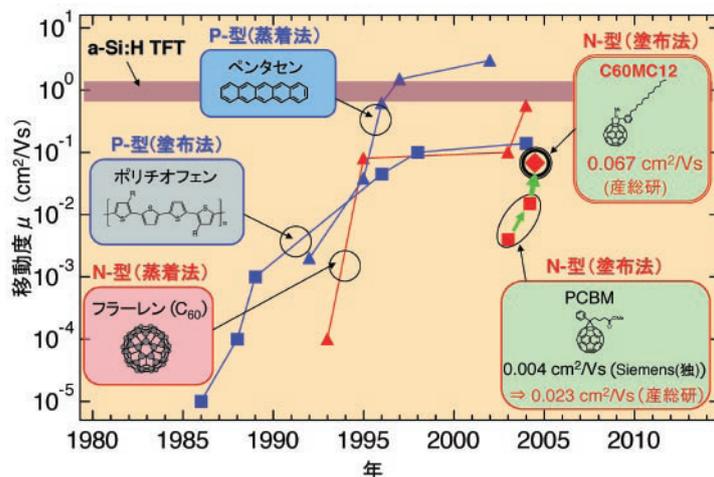


図1 各種有機半導体の移動度 (p型: 正孔, n型: 電子)

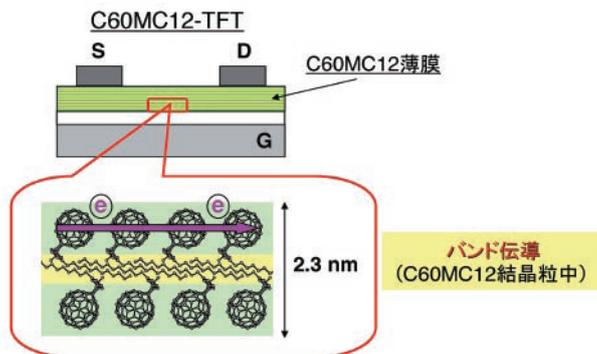


図2 C60MC12-TFT 中の分子配列



ちかまつまさゆき
近松真之
m-chikamatsu@aist.go.jp
光技術研究部門

関連情報

- 共同研究者: 吉田郵司, 八瀬清志(光技術研究部門)。
- 日経産業新聞, 日刊工業新聞: 2004年11月9日

リン酸カルシウムナノ粒子の合成

生物の体内では、熱的エネルギーを全く用いることなく、さまざまな有機物や無機物が製造され、生命活動の維持に利用されている。いわば、生体内部はきわめてエネルギー効率のいい物質工場であると見なすことができる。我々は、このメカニズムを解明し、それを工学的に利用できる物質製造プロセスに展開することを目指して研究を行ってきた。ここでは、生体内部での無機結晶の形成過程に倣ったリン酸カルシウムナノ粒子の合成について紹介する。

生体内では、生体高分子などの有機マトリックスが無機結晶の核形成・結晶成長の場を提供する。有機マトリックスの表面で核形成が生じ、それにつづいて結晶成長が進行する。有機マトリックス内部での物質拡散速度により、無機結晶のサイズと形状が制御される。我々は、有機マトリックス内部に分散させた1ミクロンあるいはそれ以上のサイズの水系溶媒をリン酸カルシウムの結晶成長の場とし、有機マトリックス上の官能基を結晶核の形成サイトとして利用することによって、水系溶媒内部で複数のナノ粒子を合成することを試みた。その結果、従来のナノ粒子の合成技術に比べて「多くのナノ粒子を合成できる」

「粒子サイズのバリエーションが大きい」「粒子の凝集状態を制御できる」などの利点が生じた。

得られたリン酸カルシウムナノ粒子の透過型電子顕微鏡像を図1に示す。有機マトリックスの中に、結晶核形成サイトとなる有機官能基を多く導入し、結晶成長に必要な反応物質の供給を穏やかにすると、図1(a)のような100 nm以下の矩形粒子が単分散の状態で作られた。一方、有機官能基の導入を減らし、反応物質の供給速度を高めると、図1(b)のように100~500 nmの板状ナノ結晶がカードハウス構造になっているものが得られた。粒子サイズの制御メカニズムを、図2に示す。

この技術を用いれば、無機結晶ナノ粒子を常温で多量に合成することができる。アプリケーションとして、マイクロX線CTスキャンで骨密度を定量する際に用いるナノアパタイトファントム^{*}への応用が検討されている。骨内部のリン酸カルシウムと近いサイズ・結晶性のナノ粒子が合成できるので、この目的に好適であると考えられている。また、生体材料、クロマトグラフィーの充填剤、DDS（薬剤デリバリーシステム）の薬剤担体などへの応用も考えられる。

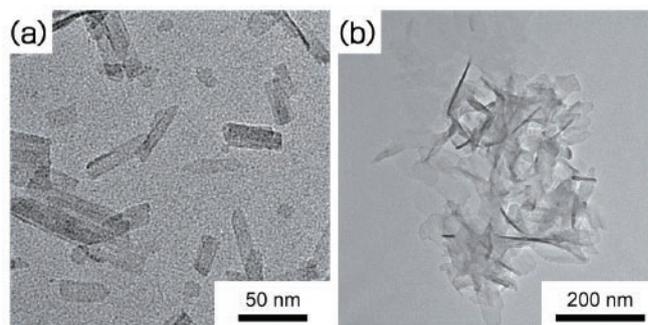


図1 リン酸カルシウムナノ粒子の透過型電顕像

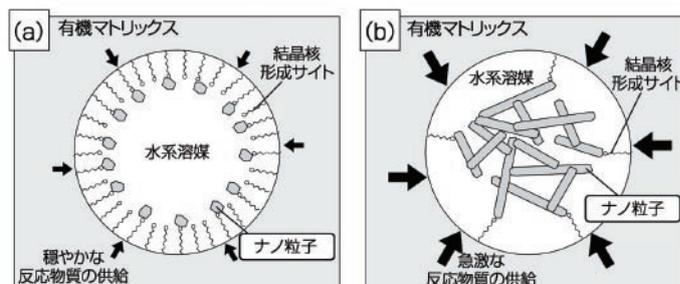


図2 ナノ粒子の形成メカニズム



さとうきみやす
佐藤公泰
sato.kimiyasu@aist.go.jp
先進製造プロセス研究部門

関連情報

- 特願2004-184425 「リン酸カルシウムナノ粒子及びその製造方法」(佐藤公泰, 堀田裕司, 長岡孝明, 糸正市, 渡利広司).
- * 特願2004-097410 「濃度制御されたナノアパタイトファントムによる骨密度定量方法」(寺岡啓, 佐藤公泰).

燃料電池用金属セパレータの実用化に道を拓く

導電性ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜の開発

固体高分子燃料電池の主要な構成部品であるセパレータには、導電性、耐食性、水素ガス不透過性などの特性が要求される。現在、主にグラファイトにフェノール樹脂を含浸させた材料を加工したものが用いられているが、実用化のためには、更なる薄型化、低コスト化などが必須とされている。これらの課題を克服するため、加工性、耐久性、薄型化に優れた安価な耐食性金属セパレータの研究開発が活発に繰り返されている。

水素を含むアモルファスなカーボンからなるDLC膜は、高硬度、高耐摩耗性、高耐食性などの特性を持つため機械部品などへのコーティング膜として、主にトライボロジー分野で実用化が進められており、電気的には高絶縁性膜として知られている。一方、同じ炭素材料のグラファイトは、導電性、耐食性に優れているものの、機械的強度、基材への密着性などが劣るためコーティング材料としては適していない。DLC膜の機械的、化学的特性にさらに導電性の機能を付与することが可能になれば、安価な金属薄板へのコーティングにより、金属セパレータの実用化などさまざまな応用分野が拓ける。

我々は、これまでに炭化水素ガス中で三次元被加工物に直接正パルス電圧を印可し、グロー放電プラズマをこの周辺に生成して、その直後に負パルス電圧を印可することによって全方向から効率よくイオン注入し、コーティングする

新たなプラズマイオン注入法を開発してきた。この手法によれば、負パルスによるイオン照射とともに、正パルスによる電子照射を成膜プロセスに利用することができる。

今回、成膜時の負パルスの増加、すなわちイオンエネルギーの増加による炭素/水素結合の解離、正パルスによる電子照射下での水素の拡散および、表面からの離脱などによって、膜中のグラファイト成分が増加することを見出し、これにより電気導電性を増加させることに成功した。成膜時のイオンエネルギーの増加と共にDLC膜の電気抵抗率が減少し、20kVの印加電圧で $1\text{m}\Omega\text{cm}$ の値を示した。これは、従来のカーボン樹脂成形品の数分の一である。この膜について電子顕微鏡で観察すると、入り組んだグラファイトクラスターから成っていることが分かった。またその硬度は、グラファイト成分の増加と共に減少するが、ステンレス基板の約3倍の値である。

その他に、このDLCコーティング技術の特長としては、ミキシング層の形成によってステンレス基板への密着性が優れていること、三次元の複雑形状物へのコーティングが可能など、装置が単純で生産コストの点でも優れていることなどがあげられる。この技術により、近年、クリーンなエネルギー源として注目を集めている燃料電池のための、金属セパレータの実用化に道を拓くことが可能になった。

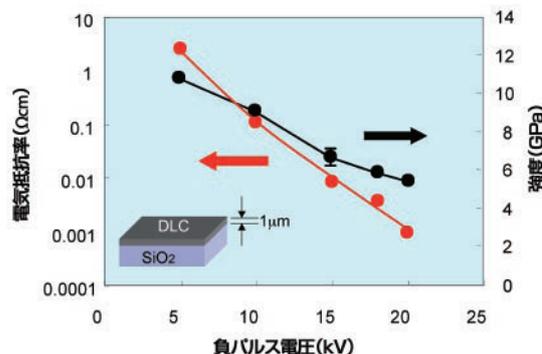


図1 SiO₂ ガラス板上にコーティングしたDLC膜の電気抵抗率、および硬度の負パルス電圧依存性

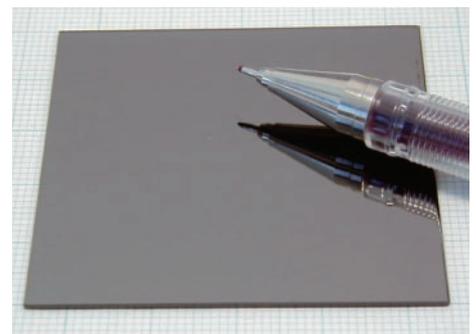


図2 ステンレス板に導電性DLC膜をコーティングした例(膜厚さ:1 μm)



みやがわ けんじ
宮川 健児

s.miyagawa@aist.go.jp
サステナブルマテリアル研究部門

関連情報

- 特許3517749号「表面改質装置」(宮川健児, 宮川佳子, 斎藤和雄, 西村芳実, 堀部博志, 柴田雅明)。
- 特開 2003-5283 「炭素薄膜及びその製造方法」(宮川健児 宮川佳子)。
- 特開 2003-5299 「非晶質窒化炭素膜及びその製造方法」(宮川健児 宮川佳子)。
- S. Miyagawa, Y. Miyagawa : Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 647 (2001) O11. 7. 1.
- S. Miyagawa, S. Nakao, J. Choi, M. Ikeyama, Y. Miyagawa : Nucl. Instrum. Meth. in print.

高品質な窒化物半導体薄膜成長法

窒化物半導体はワイドギャップ半導体であり、材料の有望性から世界的に注目されている。既に青色レーザーダイオードなど光デバイスが商品化されており、更に、HEMTなどの電子デバイス応用への期待も高まっている。しかし、現状では窒化物半導体薄膜成長に適切な基板がなく、格子ミスマッチの大きい基板(サファイア、SiC、Si基板など)が使用されている。その結果、デバイスの性能と信頼性に悪影響を与える転位が高密度で($10^9\sim 10^{10}/\text{cm}^2$)薄膜中に存在しており、薄膜の表面平坦性も劣化し、デバイスプロセスに悪影響を及ぼしている。これらの問題を解決するために、表面平坦性の改善と転位低減法の開発が必要になる。

我々は、窒化物半導体電子デバイスの実用化のため、高品質なエピタキシャル成長膜(平坦な表面形態、低転位密度)作製技術の確立を軸にした研究開発を行っている。薄膜結晶の成長には窒素プラズマソース分子線エピタキシャル(rf-MBE)装置を使っている。この装置の特徴として、超高真空環境での優れた急峻な界面制御性および不純物フリーなどの利点がある。

今回、新たに開発した結晶成長法のキープポイントは微傾斜基板の選択である。これまでの窒化物半導体薄膜の成長ではサファイア(0001)ジャスト基板の使用が主流であったが、このような基板上に窒化物半導体薄膜を成長させると、得られる薄膜表面はスパイラル形状が支配的になる(図1の挿入図)。我々はサ

ファイア(0001)基板のc軸が特定な方向に微小角度($0.2\sim 2.0^\circ$ 程度)で傾斜する基板(いわゆる微傾斜基板)を使うことで、極めて平坦な窒化物半導体薄膜を実現した。図1に 0.5° 傾斜した基板上に成長したAlN表面を示す。図から分かるように直線的な単原子層ステップが表面を均一に覆い、極めて平坦な表面が得られることが分かった。

さらに 2.0° 傾斜した基板上に成長した薄膜表面ではステップバンチングが起り、マクロステップが観察される。このマクロステップの形成によって、薄膜中の転位密度が大幅に低減でき、ジャスト基板上の薄膜と比べて転位密度が一桁以上($10^8/\text{cm}^2$ 前半)低減することが分かった。

図2には、 2.0° 傾斜した基板上に成長したGaIn薄膜の断面透過電子顕微鏡のイメージを示す。図から分かるように成長中にマクロステップの横方向移動に起因した斜転位線が成長方向(まっすぐ上方向)に沿った転位線と転位線ループを作り、上部での転位密度の低減に寄与している。この転位密度低減原理に基づき、さらに低転位密度($10^7/\text{cm}^2$ 台)の薄膜が期待できる。

このように基板面方位の傾斜角度を精密に制御することにより、今まで非常に困難であった表面平坦性の改善と転位密度の低減の難題を同時に簡便に解決できた。この技術が高性能な窒化物半導体光および電子デバイスの実現に貢献できるものと期待される。

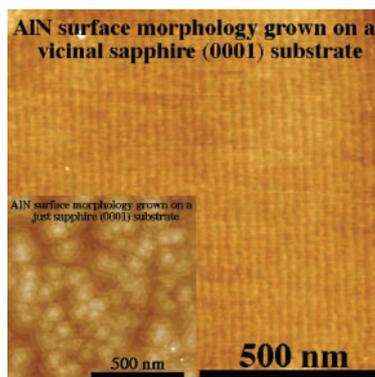


図1 0.5° 微傾斜サファイア(0001)基板上に成長したAlN表面の原子間力顕微鏡(AFM)像
直線的な単原子層ステップが表面に均一に配列していることが分かる。挿入図がジャストサファイア(0001)基板上に同条件で成長したAlNのAFM像であり、スパイラル形状がはっきり分かる。

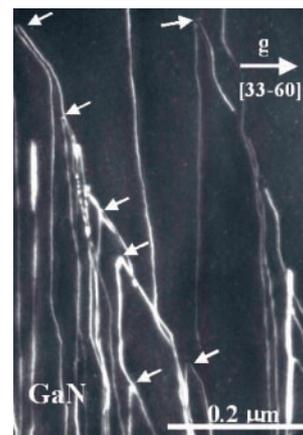
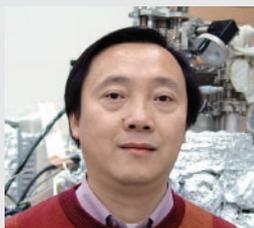


図2 2.0° 微傾斜基板上に成長したGaIn薄膜の断面透過電子顕微鏡の暗視野像
白い線が転位線であり、矢印は転位線ループを形成する場所を示す。

関連情報

- 共同研究者：奥村 元(パワーエレクトロニクス研究センター)、松畑 洋文(エレクトロニクス研究部門)。
- X.Q. Shen, M. Shimizu and H. Okumura : Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42, L1293-L1295 (2003), (Express Letter) .
- X.Q. Shen, H. Matsuhata and H. Okumura : Appl. Phys. Lett., Vol. 86, 021912 (2005) .
- 特願 2003-127842 「微傾斜基板を用いた窒化物半導体薄膜素子及びその素子の製造方法」(沈旭強,奥村 元) .
- 特願2004-243242 「窒化物半導体デバイス及び窒化物半導体結晶成長方法」(沈旭強,奥村 元) .



しん きょくきょう
沈 旭強
xq-shen@aist.go.jp
パワーエレクトロニクス研究センター

4H-SiCカーボン面の使用でオン抵抗の低減を達成

シリコンカーバイド横型RESURF MOSFET

将来、エネルギーを電力に頼る割合はさらに増大すると考えられることから、電力システムのさまざまな場所で用いられているパワーデバイスの性能向上もますます重要な課題となってくるであろう。しかし、シリコン(Si)半導体を用いた従来のパワーデバイスは理論限界に達しつつあり、これ以上の性能向上は困難となってきている。そこで、Siよりも高い理論限界(二桁以上大きなパワーデバイス性能指数)を持ち、さらに高温動作が可能であるなどの利点を有している新規半導体「シリコンカーバイド(SiC)」が注目されてきた。

今回我々はSiCパワー ICを視野に入れ、図1に示すような横型Reduced-Surface-Field MOSFET (RESURF MOSFET) の開発を行った。個別素子として優れた性能を持った縦型SiC MOSFETについての報告はすでに当グループからも行っている¹⁾。しかし、近年のパワーデバイスは高密度・高機能・高汎用性を併せ持ったパワー IC化が要求されている。高温動作が可能なSiCの利点を生かしたSiCパワー ICを実現するためには、ドライバ回路もSiCで作製される必要がある。ドラ

イバ回路で必要となる高耐圧な横型FETとしては、横型RESURF MOSFETは最適であると考えられる。

ところで、SiC MOSFETの電界効果チャネル移動度は極めて低く、オン抵抗が高く損失の大きなデバイスしか得られないという深刻な問題があった。これに対し、我々のグループは近年、4H-SiC (000 $\bar{1}$) カーボン面を用いることにより、高いチャネル移動度が得られることを見出しており、この技術を横型RESURF MOSFETの作製に適用した。図2に作製した4H-SiCシリコン面とカーボン面のRESURF MOSFETの電流 - 電圧特性を示す。カーボン面を用いることによりチャネル部の抵抗が減少し、オン抵抗をシリコン面の30分の1に低減させることに成功した。逆耐圧はシリコン面、カーボン面ともに450V程度であった。4H-SiCカーボン面RESURF MOSFETによって得られた特性オン抵抗は49m Ω cm²であり、現在のところSiC横型MOSFETのなかでは世界最小である。素子構造やプロセスの改善により、さらなる特性の向上が期待できる。

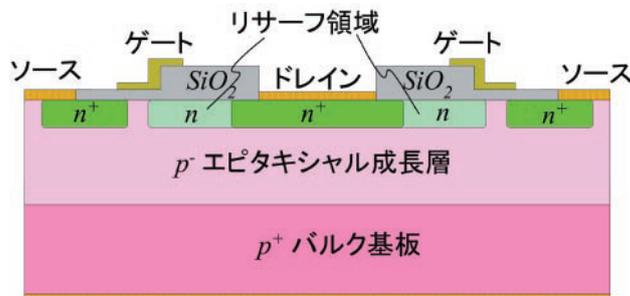


図1 SiC 横型 RESURF MOSFET の構造模式図

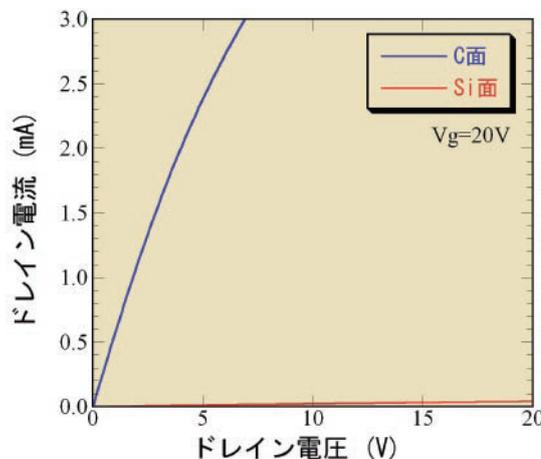


図2 シリコン面、カーボン面それぞれの横型 RESURF MOSFET の電流 - 電圧特性



おかもとみつお
岡本光央
mitsuo-okamoto@aist.go.jp
パワーエレクトロニクス研究センター

関連情報

- 1) 原田信介: AIST Today, Vol. 4, No. 2, 2 (2004) .
- M. Okamoto et al : IEEE Electron Device Lett. Vol. 25, No. 6, 405-407 (2004) .
- M. Okamoto et al : presented in 5th European Conference on Silicon Carbide and Related Materials, (2004) Bologna.

老朽化化学兵器の処理技術開発

爆薬の爆発は3000℃、30万気圧という極限場を容易に作り出すことができる。このような環境下ではいかなる有機物も分解する。我々は平成8年度からの環境省地球環境保全等試験研究において、爆発環境に曝されたPCB等の有害廃棄物が高い分解率で迅速に無害化できることを明らかにした。また、ゴミ化した化学物質の発火・爆発の危険を検知する方法やそれを安全に処理するための技術開発を行っている。この研究を通して、我々は毒物や爆発物といった有害化学物質を爆薬の爆発で無害化するという世界でも例のない新しい技術を開発した。この技術を用いれば、例えば、PCB入りコンデンサの「前処理なしの丸ごと処理」ができるはずである。

近年、この爆発処理技術に適していると考えられる廃棄物が話題になっている。国内外で発見されている旧日本軍の化学兵器である。これらの中には有機ヒ素化合物等の毒ガス成分と爆発物が入っており、長期間放置されているため劣化の激しいものもある。2000年秋、本技術は北海道屈斜路湖で発見された毒ガス弾26発の弾頭部分の処理に初めて適用された。

2004年秋、本技術はさらに発展した処理法で2000年に福岡県刈田港で見つかった毒ガス弾の処理に適用された。屈斜路湖の場合は淡

水で発見された毒ガス弾だったため、損傷が少なく、解体が可能であったが、今回は写真に示すように海底に沈んでいたために損傷・劣化が激しく、解体することが困難であった。このため、周囲を成型した爆薬で包み、内側の毒ガス弾に爆発の作用を効率よく作用させる(専門用語で爆縮(implosion)という)ことで「前処理なしの丸ごと処理」を行った(特許出願済。現在、産総研イノベーションズの特許実用化研究実施中)。実際の処理を行ったのは、共同研究相手先の(株)神戸製鋼所である。処理を行った毒ガス弾は、びらん性物質を含有する「きい弾」40発およびくしゃみ誘発剤を含有する「あか弾」17発の合計57発である。約1ヶ月間の処理作業は無事に完了し、周囲の環境に影響は出ていない。

刈田港周囲の海底ではさらに500発を超える毒ガス弾ではないかと思われる金属物体が検知されており、その処理が検討されている。国内ではなお相当量の毒ガス弾の存在が知られている。また中国では約70万発もの処理が計画されている。すべてをこの技術だけで処理できるわけではないが、今後もこうした「負の遺産」の迅速な解決のための開発研究を行っていきたい。



15kgあか弾



50kgきい弾

写真1 刈田港で発見された毒ガス弾



写真2 処理に用いた密閉型爆発処理装置



まつながたけひろ
松永猛裕
t.matsunaga@aist.go.jp
爆発安全研究センター

関連情報

- 共同研究「密閉爆発容器における爆発生成物のクリーン化技術の開発」, 相手先: (株) 神戸製鋼所, 平成13年12月から実施.
- 共同研究者: 岡田賢, 秋吉美也子, 藤原修三.
- 特願 2004-102763 「化学弾薬の爆破処理方法」, 出願日: H16/03/31.

優れた高温充放電特性から実用化に期待

リチウム電池に新しい正極材料

リチウムイオン二次電池は、他の二次電池系に比べて高いエネルギー密度を有することから、ノートPC・携帯電話などのモバイル機器に必須であり、最近では車載用などの大型電池への応用も検討されている。リチウムイオン二次電池の構成材料の中で電池性能を決定づける重要な材料が正極材料であり、 LiCoO_2 、 LiNiO_2 、 LiMn_2O_4 などのリチウム遷移金属複合酸化物が検討されている。

遷移金属元素の中で最も安価で資源的に豊富な鉄である。その金属材料価格はコバルトの約1/100で、埋蔵量はコバルトの約2000倍ある。今まで開発されてきた LiFeO_2 などの鉄系酸化物正極材料は平均放電電圧が2V以下と低く、上記のような既存正極の代替材料として採用されるには至っていない。

今回、化学組成および作製条件を精密に制御することによって組成式 $\text{Li}_{1+x}(\text{Fe}_{0.5-y}\text{Mn}_{0.5-y}\text{Ni}_{2y})_{1-x}\text{O}_2$ ($0 < x < 1/3$, $y = 0$ or 0.1)を有する新規正極材料を見いだした。この材料は共沈-水熱焼成の3工程を通じて作製される。得られた粉末は100nm以下の一次粒子径を有する微粉末の凝集体である。 $\text{Li}_{1.2}(\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_{0.8}\text{O}_2$ 試料を

正極とし、炭素負極を用いた際の高温(60°C)における充放電特性は、既存の正極(LiMn_2O_4)に比べて高容量(150mAh/g)であり、10サイクル程度までは容量低下を起こさない(図1)。 LiMn_2O_4 はこの充放電試験の条件下では3価のマンガンの電解液中への溶出により顕著に劣化するが、 $\text{Li}_{1.2}(\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_{0.8}\text{O}_2$ はマンガンを含んでいるものの、そのような特性劣化は起こさない。

ニッケルを含む $\text{Li}_{1.2}(\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{0.4}\text{Ni}_{0.2})_{0.8}\text{O}_2$ 試料の上記の充放電条件での10サイクル後の放電曲線は、 $\text{Li}_{1.2}(\text{Fe}_{0.5}\text{Mn}_{0.5})_{0.8}\text{O}_2$ に比べて平均放電電圧が0.07V程度上昇し、化学組成制御によってさらに充放電特性の向上が見込める。また活物質あたりのエネルギー密度の観点から見ても既存正極(LiMn_2O_4 : 400-480mWh/g、 LiFePO_4 :490mWh/g)並であることから、本材料は安価で環境に優しいリチウムイオン二次電池用正極材料として有望と考えられる。

今後も充放電特性の改善をさらに進め、塗布型電極の試作・評価による実用化可能性の検証を通じて本材料の車載用電池などへの適用の可能性について検討する。

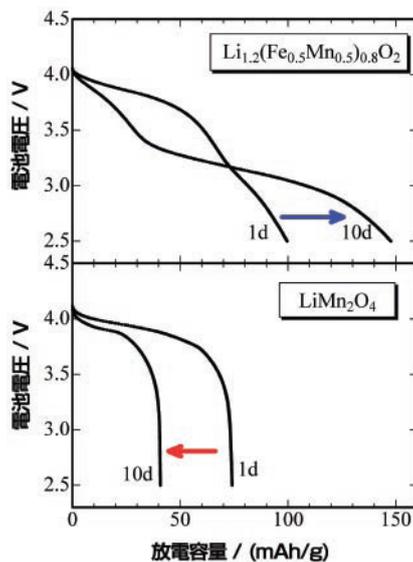


図1 開発した鉄系正極材料と既存 LiMn_2O_4 正極材料との炭素負極を用い、60°Cにおける4.3V充電後の初期(1d)及び10サイクル後(10d)の放電曲線の比較
矢印は10サイクル経過後の放電容量の変化を示す。

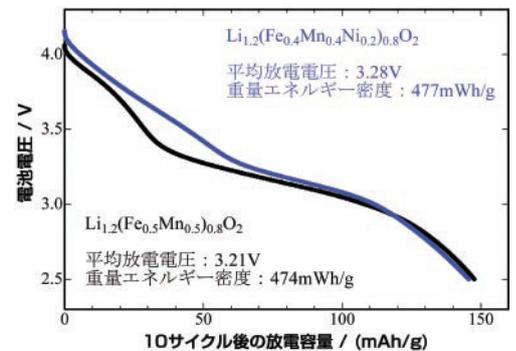


図2 開発した2種の正極材料の炭素負極材料を用いた、4.3V充電後の60°Cにおける10サイクル後の放電曲線
括弧内は平均放電電圧および活物質あたりの重量エネルギー密度を示す。



たぶちみつる
田渕光春
m-tabuchi@aist.go.jp
ユビキタスエネルギー研究部門

関連情報

- M. Tabuchi et al., : Journal of Power Sources, 97-98, 415-419 (2001) .
- M. Tabuchi et al., : Journal of the Electrochemical Society, 149, A509-A524 (2002) .
- 田渕光春ら：特許第 3500424 号 .
- プレス発表,平成 16 年 10 月 21 日 : http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20041021_2/pr20041021_2.html
- 本研究は平成14年度より経済産業省、平成15年度以降はNEDO技術開発機構の委託事業、研究題目「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発－高性能リチウム電池要素技術開発－ベースメタル元素を活用した新規酸化物正極材料開発」を実施することにより得られた成果である。

光触媒で環境残留性有機フッ素化合物を分解

有機フッ素化合物は耐熱性、耐薬品性、高い光透過性といった優れた性質を持つことから、界面活性剤、乳化剤、コーティング剤などさまざまな用途に用いられてきた。ところが数年前から一部の化合物が環境水や生物中に存在していることが明らかになり、生態系への影響が懸念されている。その典型がパーフルオロオクタン酸(PFOA)に代表されるパーフルオロカルボン酸類である。

こうした有機フッ素化合物の優れた機能性は、その構造自体(炭素・フッ素結合)に由来するため他の物質での代替が困難である。従って、これらのメリットを享受しつつ環境リスクを低減させるためには、発生源からの発散を防止するとともに廃棄物を無害化する必要がある。ところがこれらは非常に安定で、熱分解させるためには約1000℃以上の高温を必要とする。また、その廃棄物は水中に存在することが多いが、微生物や酸化チタン光触媒といった従来法での分解はきわめて困難である。

もしこれらをフッ化物イオンまで分解できれば、既存のカルシウム処理法によって環境に無害なフッ化カルシウムに変換できる。フッ化カルシウムは酸処理で有機フッ素化合物の原料であるフッ化水素酸になるため、再原料化も可能となる。最近フッ化カルシウムの需給が逼迫しているため、廃棄物からの再生が事業として検討される日が来るかもしれない。

我々は、このように安定なフッ素化合物の分解を行うために、光触媒としては一般に知られていなかったヘテロポリ酸に注目した。これは高い酸化力を有し、強酸性下でも安定なためパーフルオロカルボン酸類の分解に適している。

図1は我々が使用した反応装置である。ここにPFOAとヘテロポリ酸触媒の水溶液を入れ、酸素ガスを充満させて紫外・可視光を照射したところ、PFOAは二酸化炭素とフッ化物イオンまで分解した¹⁾。この方法によりPFOA以外のパーフルオロカルボン酸類(炭素数27)も分解した^{1,3)}。フッ素化合物を高エネルギー的な手法(例えば電子線照射)で無理に分解させるとテトラフルオロメタンのような環境に有害な温暖化物質が生成する可能性があるが、本法ではそのような有害物質は生成しなかった。

現在、さまざまな新しい有機フッ素化合物の開発が進んでいるが、その中には優れた機能を持ちながらも、処理法がなく環境へ放出された場合の影響も不明なために普及に至らない例もある(例えばファインケミカル合成用のフルオラス溶媒)。今後は、この分解法の対象範囲を広げ、分解特性に関する情報を新規物質の開発にも反映させて、より多くのフッ素化合物の環境リスク低減に寄与していきたいと考えている。



図1 光化学反応器

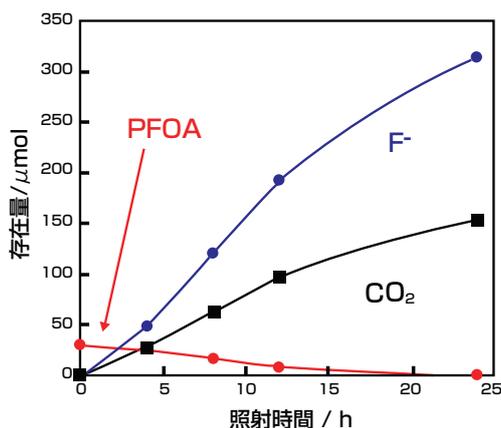
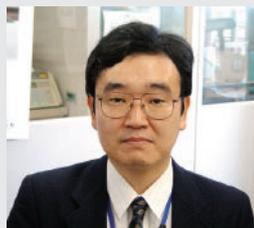


図2 PFOA 分解反応の光照射時間依存性
PFOA 初期濃度は 1.35 mM; 550 ppm¹⁾

関連情報

- 1) H. Hori, E. Hayakawa, H. Einaga, S. Kutsuna, K. Koike, T. Ibusuki, H. Kitagawa, R. Arakawa : Environ. Sci. Technol., Vol. 38, 6118-6124 (2004) .
- 2) H. Hori, E. Hayakawa, K. Koike, H. Einaga, T. Ibusuki, J. Mol. Catal. A : Chem., Vol. 211, 35-41 (2004) .
- 3) H. Hori, Y. Takano, K. Koike, S. Kutsuna, H. Einaga, T. Ibusuki : Appl. Catal., B, Vol 46, 333-340 (2003) .
- 特開 2003-040805 「フッ素系有機化合物の光分解法」(堀久男、永長久寛) .
- <http://unit.aist.go.jp/emtech-ri/12ppg/>



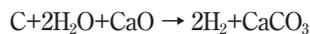
ほり ひさお
堀 久男
h-hori@aist.go.jp
環境管理技術研究部門

日量10kgの規模連続装置でCO₂吸収ガス化を実証

木材から水素を生産する新技術

すでに本誌*で紹介したように、我々は二酸化炭素吸収ガス化によるバイオマスからの水素の直接生産技術の研究開発を行っている。バイオマスは再生可能な資源であり、再生時に大気中の二酸化炭素を吸収し、大気中の二酸化炭素濃度に影響を与えない性質(カーボンニュートラル)を持つことから、地球温暖化対策に寄与できる資源として期待されている。一方、水素はその使用時に水しか生成しないことから、将来のエネルギーキャリアとして期待されている。すなわち、バイオマスから水素を製造することは持続可能社会の構築に重要な課題の一つである。

バイオマスから水素を製造する方法の一つとして二酸化炭素吸収ガス化がある。これは、炭素資源(石炭、石油やバイオマスなど)を水蒸気を用いてガス化する反応場に、二酸化炭素吸収剤(カルシウム)を添加し、発生する二酸化炭素を吸収させることで、水素を主成分とするクリーンガスを直接生産する手法である。理論式は下記ようになる。



この原理は(財)石炭利用総合センターと産総研の共同研究で見い出された日本独自の技術である。

当研究ラボでは、経済産業省の補助金により、(財)石炭利用総合センター、中国電力株式会社、広島大学と共同で、バイオマスに特化した二酸化炭素吸収ガス化の研究開発を2002年度

から行っている。これまでに実験室規模での基礎試験を行い、他の炭化水素資源(石炭、重質油等)と反応性が大きく異なることや理論量に近いクリーンガス(水素とメタン)が得られることが分かっている。一方、実用化のためにはこの反応を連続的に行わせることが必要不可欠である。プロジェクトの中で基礎検討と並行して、日量10kgの木材を処理する連続装置を作製した(写真)。本装置は加圧容器内部に反応器を設置するシェル方式を採用しており、反応器(内径9cm、長さ1m)は真中の加圧容器内に設置してある。加圧容器は7MPa耐圧で、反応器最高温度は750℃である。1日分の木粉原料(10kg)とカルシウム粉末を左右のホッパに予め入れておき、スクリーフィーダーで連続的に供給する(1~2kg-木粉/時)。本装置により、CO₂を含まないクリーンガス(水素濃度83%、メタン15%)の連続生産(木粉処理量1kg/時、生成ガス量0.5Nm³/時)に成功し、本技術の連続処理に目処をつけることができた。海外(ドイツなど)でも同様な手法が開発されているが、CO₂を完全に吸収できないため、水素濃度は70~80%以下に留まっていた。

プロセス試算によれば、吸収剤の再生プロセス(CaCO₃ → CaO+CO₂)に必要なエネルギーも含めて、1tonの木材から約1,000立方メートルのクリーンガスが得られると計算されている。今後はさらに、最適化による収率向上、安定運転、長時間運転などに取り組む予定である。



写真 ベンチ試験装置

加圧容器内部に反応器を設置するシェル方式を採用。反応器は真中の加圧容器内、木粉原料ホッパとカルシウムホッパは左右の加圧容器内にそれぞれ設置。



みのわともあき
美濃輪 智朗
minowa.tom@aist.go.jp
循環バイオマス研究ラボ

関連情報

- 林石英, 鈴木善三, 幡野博之, 原田道昭: 化学工学論文集 25 (3), 498-500 (1999).
- CCT Journal 第4号 2002.11.
- プレス発表、平成14年10月14日: http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2004/pr20041014/pr20041014.html
- 特願 2003-202626 「バイオマスによる水素製造法」.
- 共同研究者: 花岡寿明, 藤本真司.
- ※美濃輪 智朗: AIST Today, Vol. 3, No. 08, 30 (2003).

高精度ゴニオフォトメータによる全光束絶対校正

近年、次世代照明光源、ディスプレイ、表示素子などの用途への期待から、さまざまな発光ダイオード(LED)、有機発光ダイオード(OLED、又は有機EL)の研究開発が世界的に行われている。そこでは、省エネルギー化の観点から高効率光源の開発が熾烈な開発競争の中で進められ、光源効率が性能評価の重要な指標となり、光源効率測定に極めて高い信頼性が求められる。光源効率は「消費電力に対する放出される光束(人間の眼の感度で重み付けした光放射パワー)の比」で表される量であり、光源効率を求めるためには、その光源の全光束を正確に計ることが必要不可欠である。

これまで産総研では、光度標準とゴニオフォトメータによって全光束標準を確立し、国際比較によって標準値の国際整合性を確保しながら、JCSS(計量法校正事業者認定制度)に基づく標準供給体制を維持してきた。近年、より高精度な全光束標準が強く求められるようになる中、従来型のゴニオフォトメータでは、装置構造や校正方式などの諸問題から、更なる高精度化が困難な状況であった。そこで、全光束標準の高精度化を目指して、新しい構造・校正方式に基づくゴニオフォトメータ(写真)を開発するとともに、測定制御系を

一新し、新たに全光束絶対校正装置(図)として整備した。

今回開発したゴニオフォトメータは、回転アーム(全長約3.0 m)の一端に全光束標準電球、もう一方に測光用受光器を設置する。回転機構はアームの中心を軸とした鉛直回転、光源の水平回転、および光源部の補正回転で構成され、補正回転により光源を鉛直回転角度に依存せず常に鉛直下向きに保持しながら、2.7mの測光距離で全空間の配光測定が可能である。この機構により、従来型とほぼ同じ設置スペースで約1.8倍の測光距離(2.7 m)を実現し、測光距離・電球位置・回転角度などの不確かさ要因を大きく改善している。さらに受光器の校正方式を、ゴニオフォトメータ上で光度標準電球により直接校正を行う光度方式から、測光距離に依存しない照度応答度の校正値に基づく照度方式に変更する事によって、電球設置の不確かさ等を大幅に低減している。

現在、ゴニオフォトメータを含む全光束絶対校正装置全体の不確かさ評価を進めており、今後、標準値の国際整合性を再確認するとともに、高精度化が達成された新しい全光束標準の供給体制を維持していく予定である。

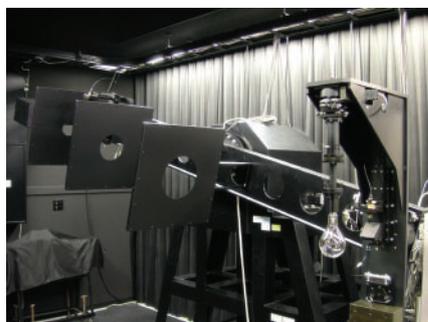


写真 高精度ゴニオフォトメータ

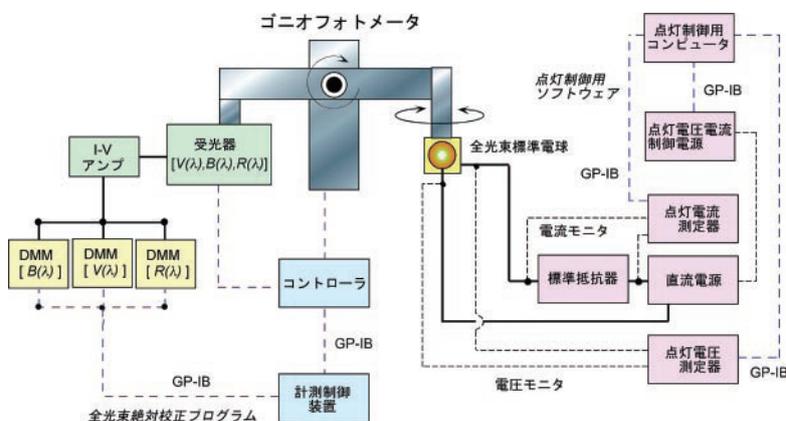


図 全光束絶対校正装置の概要

関連情報

- 共同研究者：齊藤 一郎(計測標準研究部門)
- 蔀 洋司, 齊藤 一郎：光アライアンス, Vol.15, No.3, 1-7 (2004) .
- <http://www.nmij.jp/opt-rad/standard/photometry.htm>



しとみ ひろし
蔀 洋司

h-shitomi@aist.go.jp
計測標準研究部門

加湿不要な燃料電池材料のプロトン伝導度の測定

固体NMRを用いたプロトン伝導メカニズムの解明

次世代のクリーンなエネルギー源として、燃料電池に大きな期待が寄せられている。その中で固体高分子型燃料電池(PEFC)は自動車・携帯型機器・家庭などでの利用が考えられている。PEFCでは、電解質膜としてスルホ基(-SO₃H)を持つ高分子膜が主に用いられている。この膜内ではプロトン(水素陽イオン)が水分子に乗って移動するため水がなくなるとプロトンは移動しない。このため加湿システムが必須であり100℃以下でしか使えないという制約を受ける。加湿不要の高速プロトン伝導材料はこの問題点を克服するものである。

我々は、AO₄型四面体イオンの水素結合ネットワークを持つ無機固体酸塩に着目した。その中で最も基本的なCsHSO₄を取り上げ、固体NMR法によってプロトン拡散のメカニズムを明らかにするとともにその速度を測定した。固体NMR法は、原子核の持つ性質を利用して原子の置かれている環境を観察する、原子レベルのミクロな測定手法であり、プロトンの運動を調べる有力な方法である。

CsHSO₄のII相は室温で安定な相であり、SO₄四面体が水素結合によって一次元鎖を形成している(図1A)。プロトン移動を図1Bに模式的に表した。ステップ1でSO₄四面体が

回転し、ステップ2で水素結合に沿ってプロトンが2つのSO₄四面体間を移動する。ステップ1と2の両方が起きて初めてプロトン移動が起きる。II相は150℃付近で「超プロトン伝導相」と呼ばれるI相に相転移する。

固体NMRにより、I相、II相ともにプロトン移動が起きていて、ステップ1が遅く、ステップ2は速いことがわかった。すなわち、SO₄四面体の回転運動がプロトン移動の律速過程であった。これは従来言われてきたメカニズムとは全く逆の結果であり、今後の材料探索に影響を与えるものと考えている。

また、固体NMRの結果から、プロトンがあるサイトにとどまっている時間(平均滞在時間)を決定した。この時間から見積もったプロトン伝導度(図2)はイオン伝導度測定の文献値とよく一致し、原子レベルで観察したプロトンの拡散がマクロなプロトン伝導を決めていることがわかった。

现阶段では、プロトン拡散のメカニズムとその速度を決定し、高速プロトン伝導を実現するための条件を探索している。プロトン移動は生物をはじめとした自然界においても重要な現象であり、広範な分野に関係しているものと考えている。

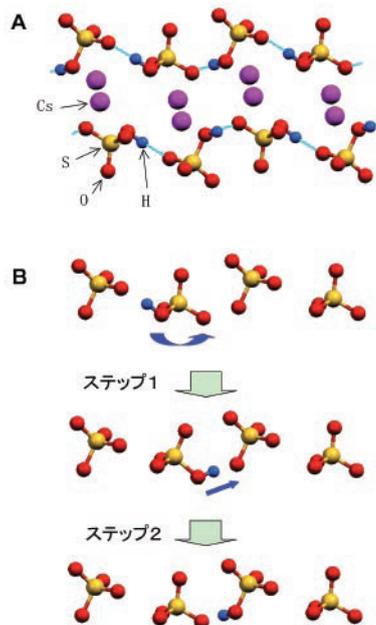


図1 CsHSO₄のII相の結晶構造(A)とプロトン移動のメカニズム(B)

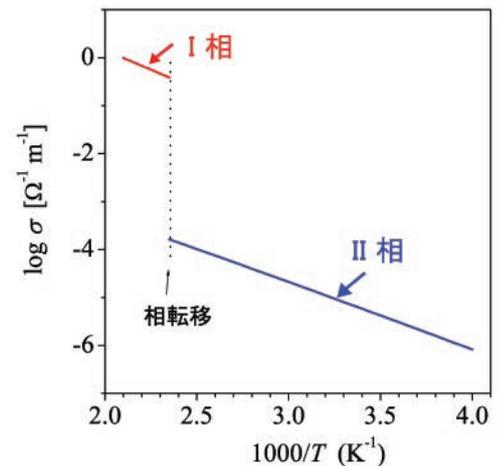


図2 NMRの結果から見積もったCsHSO₄のプロトン伝導度



はやし しげのぶ
林 繁信
hayashi.s@aist.go.jp
計測フロンティア研究部門

関連情報

- M. Mizuno, S. Hayashi : Solid State Ionics, Vol. 167, No. 3-4, 317-323 (2004) .
- S. Hayashi, M. Mizuno : Solid State Ionics, Vol. 171, No. 3-4, 289-293 (2004) .

表 アウトプットとアウトカムの分類

アウトプットの整理	アウトカムの整理			
	種類 貢献分野	直接アウトカム	間接アウトカム	期待アウトカム
		直接的	波及効果のイメージ	将来への期待
1. 技術開発 ・インベントリデータベースの構築 ・LCA ソフトウェア ・LCA の環境影響評価手法 ・環境調和型製品設計手法 ・温暖化対策技術の評価ツール 2. 技術基盤 ・ISO 標準化支援 3. 技術移転 ・自治体、企業における LCA 研究の指導 ・共同研究・技術指導 ・学生・院生の受け入れと指導 ・各種組織の委員就任、国際会議の開催 ・実績 (2003.10～2004.9) 委員委嘱：75 件 技術相談：144 件 共同研究：6 件 技術研修：33 件 非常勤講師就任：8 件	研究開発力向上 (学術貢献)	・大学における LCA 手法の確立と波及 ・わが国の LCA 研究のスタンダード	・LCA に関する新たな研究分野の開拓（農林水産業、自治体運営、サービス分野） ・LCA 研究の中核人材の育成	
	技術波及 (産業・経済貢献)	・企業における LCA 研究の活発化	・製品 LCA の導入 ・環境低負荷型製品の設計支援	・統合化された環境経営の実現
	経済効果 (産業・経済貢献)	・LCA ソフトウェアの製品化と販売	・LCA コンサルティング事業の拡大 ・製品の生涯リスク削減とコスト低減 ・企業イメージ向上による販売向上	
	国民生活・社会レベルの向上 (社会貢献)		・自治体を通じた LCA 意識の向上 ・地球レベルでの環境意識の向上	・環境負荷の少ないライフスタイル ・持続可能な社会の実現
	政策へのフィードバック (国・自治体への貢献)	・ISO 認定を受けた環境ラベル（エコリーフ）制度の制定支援	・LCA 手法の地域施策（産業誘致・産業政策）への活用	
	特に国際的な波及 (国際貢献)	・ISO14040 シリーズの策定への貢献 ・国際的な LCA 研究の推進を主導（ILCP 副委員長）		

ILCP : Inetrnational Life Cycle Panel

る。ILCP の副委員長を歴任するなど、国際的な LCA 活動で指導的な役割を果たしている。また、アジア LCA 会議を主催するなど、アジア地域の環境影響評価研究のネットワーク作りを主導している。

関係者への面談調査では、LCA

研究のメッカとして、研究だけでなく教育、調査、情報発信、行政委員会活動などで、これからも指導的な役割を發揮してほしいとの期待が寄せられている。様々な利害の絡む複雑な環境問題に対し、公的な立場から関係者が共有できる正確なデー

タ、情報の提供や提言を行う研究拠点としての役割を果たしている。

4. アウトカムに至るプロセスと有効要因

アウトカムに至るプロセスは模式的に図2のように表される。アウトカム創出に有効な要因として、産業・社会動向、アウトプットの特徴、AIST 内部マネジメント、という観点から4つの要因を抽出できた(図2)。

注1) インベントリ分析:生産から廃棄までの全ての段階で物質とエネルギーの流れ(インプットとアウトプット)を定量的に評価すること。それらを積算することで全体の取支を計算できる。
 注2) エコリーフ制度:定量的な環境負荷(LCA)データに基づく環境ラベル制度。

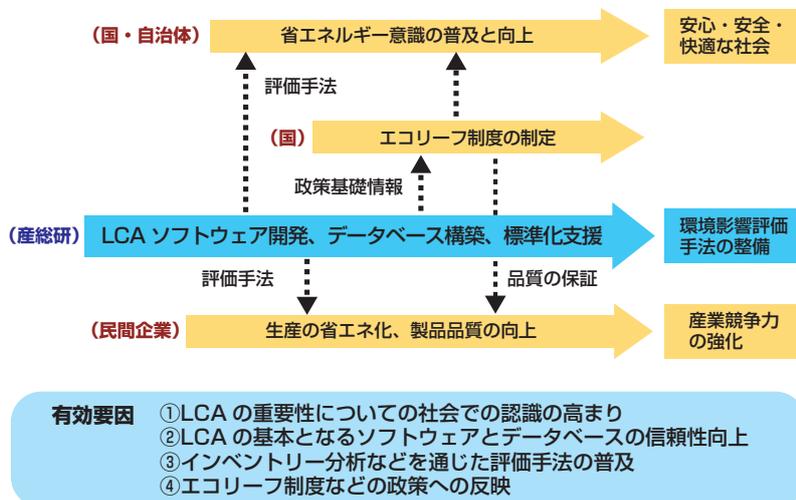


図2 モデル化と有効要因

お問い合わせ

技術情報部門

- E-mail : tid-geneaff@m.aist.go.jp
- URL : <http://unit.aist.go.jp/techinfo/>

特許

米国登録第 6608427 号 (出願 2002.9)

箔状フレキシブル圧電センサ

●関連特許(出願中: 国内2件、国外1件)

1. 目的と効果

薄くかつ柔らかなシート状の圧電センサは、機械的振動や生体情報の検出など、その応用範囲が大きく広がっています。しかし多くの適用分野において要求される耐熱性について、従来のポリフッ化ビニリデンのような高分子圧電材料では解決できませんでした。本技術は、金属箔のような柔らかな基板上に形成した高耐熱性圧電体薄膜を用いた箔状フレキシブル圧電センサによって、様々な環境における振動や圧力変動の計測を可能とします。

[適用分野]

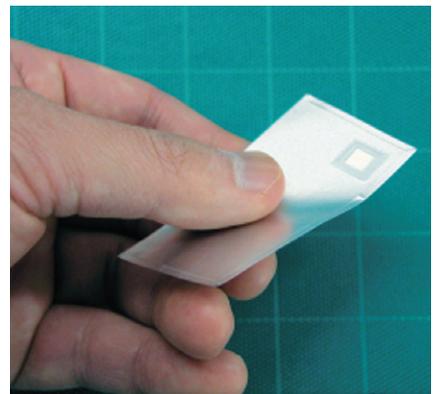
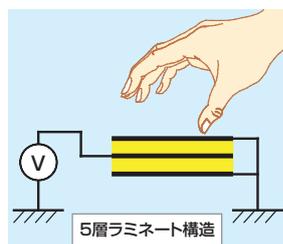
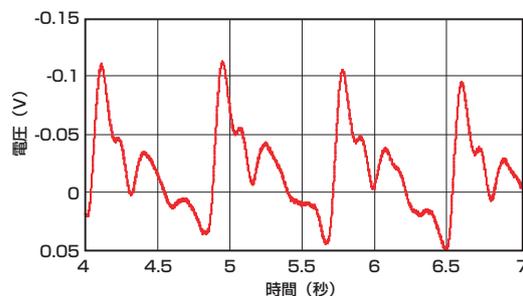
- 医療福祉
- 輸送機械
- 半導体製造装置
- 保守診断など

2. 技術の概要、特徴

1200℃以上でも圧電性を保持する窒化アルミニウムの薄膜を、高度にC軸配向させて金属箔上に形成し、これを用いてシート状の圧電センサを作製しました。センサに圧力が作用すると窒化アルミニウム薄膜の圧電性により、その両面に形成された電極に電荷が誘起されます。このセンサは、3枚の電極と2層の窒化アルミニウム薄膜層が交互に積層したラミネート構造を採用しており、内側の1枚の内部電極は外側の2枚の外部電極によって外部環境から完全に遮蔽されます。このため、発生電荷の外部へのリーク防止と誘導電荷の抑制に効果があり、人体のような導体と直接接触しても正確な発生電荷の検出が可能です。さらに、電極および基板となる金属箔と窒化アルミニウム薄膜は非常に強く密着し、基板の変形による膜のはがれ、破損が発生しません。開発されたセンサは薄く、かつ柔軟で曲面や生体表面への適用も可能です。

3. 発明者からのメッセージ

日常生活から工場などのあらゆるシーンで、微小な圧力変動から大きな振動まで、一つの素子で対応可能です。製品としてブラッシュアップするパートナーを求めています。



箔状フレキシブル圧電センサの構造と脈波計測例

— 実環境計測・診断研究ラボ —

特許

第 3527946 号 (出願 2000.12.27)

携帯電話を用いた簡易型聴力測定器 “モバイルオージオメータ”

● 関連特許(登録済み：国内1件、出願中：国内1件、国外1件)

1. 目的と効果

高齢になり身体・感覚器官の機能が低下することは誰もが直面する問題です。一般に40歳を過ぎた頃から聴力は衰え始めます。聴力が低下し補聴器を装用しても、聞こえ方は健聴時と異なるため音の再学習が必要になりますが、軽度の段階ほど高い学習効果が得られます。また、症例によっては早期治療で回復するケースも多いため、加齢による聴覚障害の早期発見は重要な課題です。今回開発した“モバイルオージオメータ”はケータイ・アプリをダウンロードすることで携帯電話がバーチャルな聴力測定器となり、聴覚障害の早期発見に役立ちます。

[適用分野]

● 医療・福祉 ● 補聴器 ● 情報家電 ● パソコン ● 情報端末

2. 技術の概要、特徴

本研究では、体温計のように気軽に測定できる聴力計を目指しています。検査音の再生としては、音声通話を用いるのではなく着信メロディ用の音源を用いることにより低ノイズで安定した検査音を実現しています。また、モバイル性に優れた携帯電話を用いることで、検査環境として比較的低騒音な日常生活の場を利用します。測定結果はインターネットを経由してサーバーに保管され、継続的に蓄積・データベース化することで難聴アセスメントも可能です。

最近、携帯電話の医療・福祉への応用が提案されていますが、基本的には携帯電話を通信モデムとして利用したものであり、測定のためには専用のセンサを購入・接続しなければなりません。これに対して、本モバイルオージオメータは何も足さずに普段使っている携帯電話が測定器に変身するというユビキタス性を秘めています。

以上、聴力を測定する手段・機会が増えることにより、難聴者の早期発見、補聴器の早期装用が促進されると期待されます。

3. 発明者からのメッセージ

本モバイルオージオメータの実用化を目指し、共同研究先・技術移転先を求めています。また、応用として、携帯電話をキオスク端末にかざし認証することでガイドンス音声ユーザ個人の聴力特性で補償するユビキタス機器の開発についての共同研究を行うこともできます。



QRコードによる
アプリのダウンロード



Flashによる
操作方法の説明



聴力測定の様子



測定結果

— 人間福祉医工学研究部門 —

PATENT

● 連絡先

産総研イノベーションズ

(経済産業省認定 TLO)

紹介案件担当者 山上

〒 305-8568

つくば市梅園 1-1-1

産業技術総合研究所

つくば中央第2

TEL 029-862-6158

FAX 029-862-6159

E-mail:

aist-innovations@maist.go.jp

0.05 m/s ~ 40 m/s をカバーする気体流速標準

計測標準研究部門 栗原 昇

流速計の校正法と国家標準

気体流速(風速)の測定は、気象観測、送風機など流体機械の性能評価や研究開発、クリーンルームの開発と運転管理、室内環境の評価、空調設備の運転管理などいろいろな分野で重要とされる。流速計にはピトー静圧管、超音波流速計、熱式流速計、翼車式流速計などいろいろな原理のものがあるが、一般にその校正は校正対象の流速計と、基準となる流速計を風洞の中に並べ、互いの測定値を比較するという方法で行われる。その基準の流速計においても、さらにその基準で同様の比較校正が行われ、連鎖が国家標準に到達したところで、絶対的な流速値が与えられる。産総研 計量標準総合センター(NMIJ)では流速の国家標準を中流速と微風速の二種類の流速域に分け、それぞれ別の手段で校正を実施している。

1.3 m/s ~ 40 m/s の中流速域

この領域の校正では、風洞内を流れる空気の流速と機械的に運動する物体の速度を両方とも測定可能なレーザ流速計が適している。一定速度で回転する円盤の外周に取り付けたワイヤにより、風洞内における流速と同じ速度を発生させ、レーザ流速計を校正する(写真1)。円盤の周速度は容易に長さと時間に分解されるので、



写真2 一般の流速計を校正するための風洞

高い精度でトレーサビリティが確保される。ただし、レーザ流速計は高価であり高精度測定に熟練を要するため、ユーザの経済的負担が大きい。そこで、NMIJにおいては風洞を校正済みのレーザ流速計で校正し、一般の流速計を校正できる体制を整えている(写真2)。本設備の校正範囲は1.3~40 m/s、最高測定能力は0.29%~0.67% ($k=2$)の不確かさである。

0.05 m/s ~ 1.5 m/s の微風速域

この領域においては、一般的な風洞では流れが不安定になり、校正が難しくなる。そこで、微風速域での校正には計測器自体を静止気体中で運動させる走行台車が用いられる(写真3)。この方式では、流速計の周りに安定な低流速流れを実現するために、静止した空気と流速計との相対速度を基準として校正を行う。自然対流の影響を避けるために装置は地下トンネル内(地上からの深さ8 m、年間の温度変化は20°Cを中心に ± 2 °C以内)に設置され、十分な測定時間を得るために台車が走行するレール長は45 m確保されている。流速計を載せた台車はレール端からワイヤロープで牽引され、その移動速度は干渉計で正確に測定される。本装置による校正範囲は0.05 m/s ~ 1.5 m/s、最高測定能力は6.9 mm/s ~ 8.7 mm/s ($k=2$)の不確かさである。



写真3 微風速域の校正に用いる走行台車

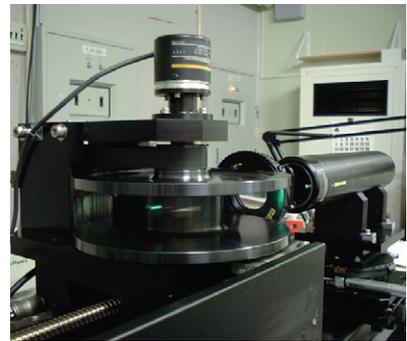


写真1 レーザ流速計の校正

NMIJの技術的水準と今後の展望

中流速域においては、風洞で校正された複数の翼車式流速計を用いて欧州計量会議(EUROMET)が実施した国際比較に参加し、校正方法の妥当性を確認している。また、微風速域においては走行台車で値付けされた風速計を用いて米国標準技術研究所との間で国際比較を行い、校正方法の妥当性を確認している。

気体流速の標準は国際的に見て高い水準にあり、2003年に品質システムを整備し、国際度量衡局のデータベース(Appendix C)に登録したことで、最高測定能力が諸外国と同等であることが認められた。また、現在、NMIJを幹事機関とする国際比較の準備が大詰めを迎えており、2005年春にも開始される見通しとなっている。

NMIJでは、より信頼性のある高精度校正手法の研究を今後も進めるとともに、計量法校正事業者認定制度(JCSS)に基づいた標準供給によって、市販の流速計の精度向上を図っていく。また将来的には、地球温暖化の進行と共に深刻化する台風による災害の規模を高い精度で診断するために、40 m/s以上の領域における校正手段も整備していく必要があると考えている。

メタンハイドレート存在量推定の地化学的指標

メタンハイドレートの水の同位体組成

地圏資源環境研究部門 前川 竜男

注目される資源 メタンハイドレート

近年、次世代の天然ガス資源として、深海底下の堆積物中のメタンハイドレートが注目されている。メタンハイドレートは、メタンと水の固体化合物で、低温・高圧の条件で安定に存在する。天然では、高緯度地方の永久凍土や、大陸縁辺海域の深海底堆積物中に存在する。天然のメタンハイドレートに含まれるメタン量は、既存の化石燃料鉱床よりも多いと推定されている。日本周辺海域では、静岡県沖南海トラフ等でメタンハイドレートが見つかっており、新しい天然ガス資源としての生産開発が検討されている。

メタンハイドレート存在量の評価方法

資源としての利用を考えた場合、天然の深海堆積物中にどのくらいの量のメタンハイドレートが存在しているかを評価することは重要である。その評価方法の一つとして、堆積物間隙水の同位体組成を利用する方法が検討されている。海洋堆積物をボーリング掘削すると掘削試料中に白いメタンハイドレートを含む地

層が観察されることがある。メタンハイドレートを含む堆積物の間隙水は、周囲の間隙水組成と比較して、塩化物イオン濃度(Cl⁻濃度)が低く、酸素同位体組成($\delta^{18}\text{O}$ 組成)が高い。これは、メタンハイドレートの水は低い塩化物イオン濃度と重い酸素同位体組成をもっており、それが周囲の間隙水に付加したのが原因であると考えられている。メタンハイドレートの存在量が多いほど、塩化物イオン濃度の低下量および酸素同位体組成の増加量が多くなることから、堆積物間隙水の組成を調査することによりメタンハイドレート存在量を推定することが可能となる。しかし、これまでメタンハイドレートの生成量と同位体組成の変化を観察して、メタンハイドレートへの同位体の分別濃集を推定した。その結果、メタンハイドレートの酸素同位体濃集の程度は、水の生成時と

ほぼ同じであった(酸素同位体分別係数で1.003)。また、水素同位体濃集に関しても同様の結果であった(水素同位体分別係数で1.02)。この分別係数を利用すると、実際に観察される堆積物間隙水の酸素同位体および水素同位体組成の増加量より、メタンハイドレートの存在量を推定することができる。

今後の展開

今回紹介した地化学的調査によるメタンハイドレート存在量評価方法の他、誘電率等を用いる物理探査による評価方法もあり、両者の比較・検討を行う必要がある。本評価方法も含め、精度の高いメタンハイドレート存在量評価方法が開発され、それが、今後のメタンハイドレート資源開発に資することを期待している。

図 メタンハイドレート堆積層の地化学的特徴

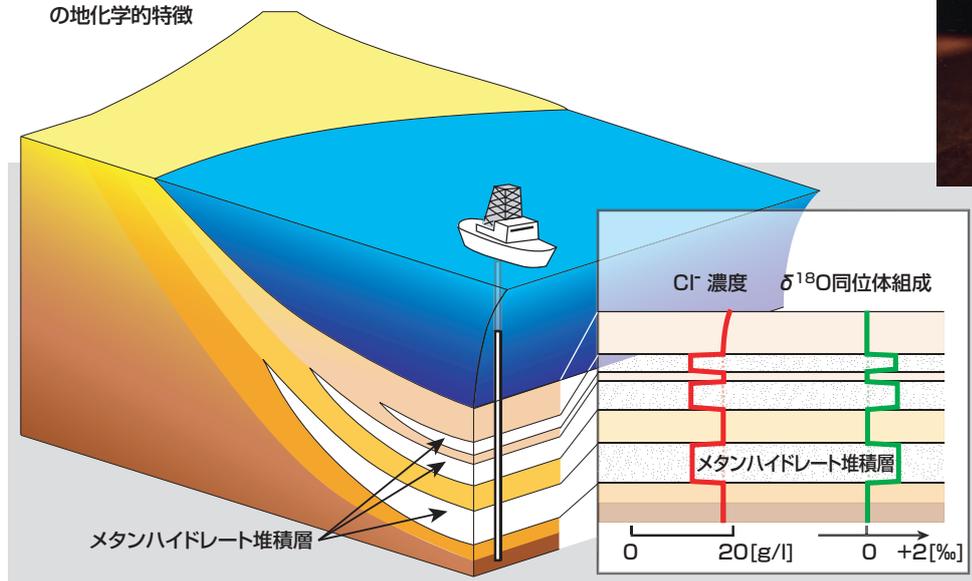


写真 メタンハイドレートの燃焼

分光応答度標準とその供給

計測標準研究部門 齋藤 輝文

光の定量的測定の背景

異なった場所、異なった時刻に行われる測定を定量的に比較するためには、普遍的でかつ不変の標準が必要である。光の測定においても、定量性を求めるニーズが、広範な分野で高まっている。

例えば発光ダイオード等の光源、あるいは太陽電池等の光電変換素子の電力-光パワーの変換効率、蛍光物質等の蛍光効率、光化学反応効率、殺菌等の効果の効率などを求めるためには、光パワーの絶対測定が不可欠である。そのために光源あるいは検出器のいずれかの標準が必要となる。光源の校正には標準光源を、検出器の校正には標準検出器を、それぞれ用いる方式が、一般に直接的なため不確かさの点で有利である。しかし近年の極低温放射計を筆頭とする検出器側標準の高精度化により、検出器だけでなく光源の校正の場合も、標準検出器を用いる方がより高精度化を図れる場合も生まれ、分光応答度標準の応用分野が拡大している。

検出器感度の定義

光検出器のいわゆる感度を表わす定義には、次の2種類がある。一つは光検出器へ入射する単位光パワー当たりの光検出器の出力(通常、電流の単位)として定義される分光応答度(分光感度とも言う) s である。もう一つは、光検出器へ入射する1個の光子当たりの光検出器の出力電荷(対)の数で定義される分光量子効率 η である。

s の単位が $[A/W]$ である時、入射光の波長を λ [nm] とすると両者の関係は以下ようになる。

$$s = \frac{e\lambda\eta}{hc} \approx \frac{\lambda\eta}{1240}$$

ここで、 e は電子の素電荷、 h はプランク定数、 c は光速である。

このとき、分母を、入射する光パワーまたは光子数の代わりに、検出器が吸収する光パワーまたは光子数とする定義では、内部分光応答度または内部分光量子効率という。

熱型の検出器は、内部分光応答度が波長によらず一定となる。これに

して、シリコン・フォトダイオードのような量子型の理想的な光検出器では、ある波長範囲で内部分光量子効率は波長によらず1となる(内部分光応答度は、波長に比例して大きくなる)。

分光応答度標準の供給

産総研では、250 nm～1150 nmの波長範囲(紫外・可視・近赤外)において、従来から極低温放射計を一次標準検出器として分光応答度標準を確立し、依頼試験制度の下で供給を行ってきた。今年度から来年度にかけて、認定事業者を介した計量法校正事業者認定制度(JCSS)の下での供給に切り替わる見込みである(ただし可視域相対分光応答度の校正に関してのみ、従来通り、産総研による依頼試験校正を継続する)。

レーザー波長において極低温放射計を基準にして定められた分光応答度目盛を、ランプを光源とする分光装置を用いて、波長依存性のない別種の熱型検出器により波長範囲を250 nm～1150 nmに拡張し、校正を実施している。各種フォトダイオードの分光応答度の測定例を図に示した。

分光応答度の不確かさ要因には、以下のようなものがあり、これらを十分に検証しておくことが重要である。1) 安定性、2) 直線性、3) 均一性、4) 温度特性、5) 偏光依存性^{i) ii)}、6) 入射ビーム発散角依存性ⁱⁱⁱ⁾。

本標準供給により、冒頭に述べたような各種発光デバイス、蛍光物質、光検出器のより精密な効率比較等が可能となり、これらの開発・性能向上に資することが期待される。

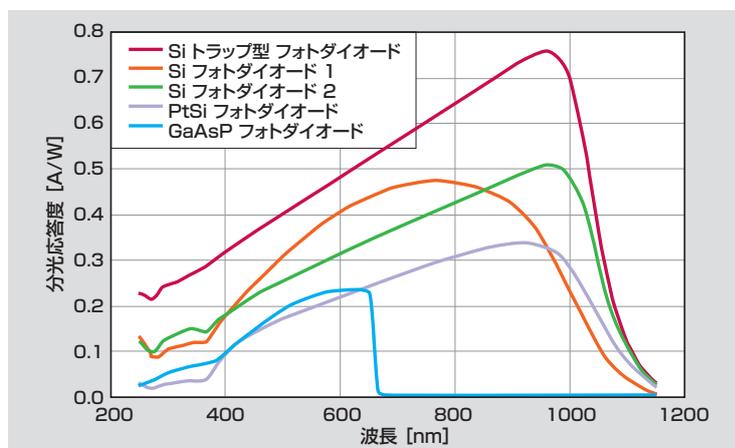


図 各種フォトダイオードの分光応答度測定例

関連情報

- i) T. Saito and H. Onuki: "Polarization characteristics of semiconductor photodiodes," *Metrologia*, 32 (1995/96) 485-489.
- ii) T. Saito, L. R. Hughey, J. E. Proctor, and T. R. O'Brian: "Polarization characteristics of silicon photodiodes and their dependence on oxide thickness," *Rev. Sci. Instrum.* (special issue in CD-ROM), 67 No. 9 (1996)
- iii) T. Saito and H. Onuki: "Difference in silicon photodiode response between collimated and divergent beams," *Metrologia*, 37 (2000) 493-496.

産総研と東京大学が協力協定を締結

2004年12月22日に、産総研と国立大学法人 東京大学が、両機関の連携・協力を促進し、相互の研究開発能力および人材等を活かして総合力を発揮することを目的に、協力協定を締結しました。

本協定に基づき共同研究や人事交流など多角的な連携協力事業の展開を予定していますが、特に、学術研究と教育を担う東京大学と産業技術の研究開発をミッションとする産総研が、それぞれの機能と持ち味そして資源を活かして相互補完的にまた相乗的に作用し合うことによって、人類社会に顕在化する様々な問題の解決や新しい産業創出により大きく貢献することを目指しています。

両機関の協力形態は、我が国唯一の産業技術研究機関である産総研と大学法人との今後の協力関係のモデルとなるものであり、それぞれの機関が持っている固有のポテンシャルを他機関の機能と組み合わせることによって相互に発展を図ることを可能とするモデルとして、今後全国に波及することが予想されます。

今回の協定により、両機関においてすでに行われて

いる研究協力の組織的・体系的な加速と、新規の共同研究課題の発掘に取り組むこととなりますが、従来の協力関係に見られなかった新しいチャレンジを行う予定です。



産総研、ベトナム科学技術院との研究協力を本格化

産総研はこの度、ベトナム科学技術院と包括研究協力協定を締結し、調印式および合同ワークショップを2004年12月15～18日にハノイで開催しました。

産総研は、アジアの研究機関のハブとなることを目指し、そのリーダーシップを確保すると共に日本企業の海外展開の環境整備に資するため、アジア主要国の代表的研究機関とのネットワーク構築を戦略的に進めています。今回、ベトナム最大の国立研究機関であるベトナム科学技術院と連携を本格化させるために包括研究協力協定を締結すると同時に、研究協力の中身を充実させるための合同ワークショップを開催しました。

同ワークショップは経済産業省、NEDO、JETRO、

JICAの後援で行われ、約100名が参加しました。今回は、Textile産業からの廃水処理、重金属を含むメッキ廃水処理、エビ養殖場の水域汚染防止などの環境技術を初めとし、自然言語処理やグリッドテクノロジーを利用した地質情報処理などの情報技術、および南シナ海の海洋地質図の作成、衛星による洪水予測など海洋地質の3分野を今回の重点分野として開催しました。

調印式典では、小玉副理事長と Dr. Nguyen Khoa Son 副院長による調印の後、Dr. Dang Vu Minh 院長が挨拶され、小此木経産省副大臣、Dr. Le Dinh Tien 科学技術省次官、服部在ベトナム全権大使、および藤村東京商工会議所工業部会長による来賓挨拶が行われました。



調印式の様子



小此木経産副大臣祝辞

期間	件名	開催地	問い合わせ先
2 February			
~20日	工業デザイン企画展「ジャパニーズ・モダン - 剣持勇とその世界 -」	松戸	047-366-7463
3日~4日	第9回 震災対策技術展 (横浜会場)	横浜	03-5775-2855
4日	平成16年度 産総研九州センター研究講演会	福岡	0942-81-3606●
15日	第53回 新技術動向セミナー	名古屋	052-223-8603
18日	平成16年度 産総研 環境・エネルギーシンポジウムシリーズ2	東京	029-861-4456●
23日	産総研中部センター研究講演会	名古屋	052-736-7064●
23~25日	nano tech 2005 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議	東京	03-3219-3567
28日	平成16年度 産総研 環境・エネルギーシンポジウムシリーズ3	東京	029-861-7077●
3 March			
3日	デジタルヒューマン・ワークショップ2005	東京	03-3599-8356●
3~4日	第4回 界面ナノアーキテクトニクスワークショップ	つくば	029-861-3021●
4日	プロテイン・クロストークサロン'05	つくば	029-861-6176●
16~17日	分子スマートシステム国際シンポジウム	つくば	029-861-4671●
22~23日	Computational Science Workshop 2005 (CSW2005)	つくば	029-861-2287●
4 April			
11日	パワーエレクトロニクスのニューウェーブ国際ワークショップ	東京	029-861-5815●

AIST Today
2005.2 Vol.5 No.2

(通巻49号)
平成17年2月1日発行

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

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

産総研ホームページ <http://www.aist.go.jp/>