

# 産 総 研

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

# TODAY

# 6

2007  
June

Vol.7 No.6

## 特集

### 02 イノベーション創出に向けた産総研の取り組み

### 15 本格研究 理念から実践へ

座談会：「本格研究」は研究者をどう動かすのか

スーパーグロース：画期的な単層CNT<sup>カーボンナノチューブ</sup>合成技術

遷移金属酸化物の電子相制御

新たな生命システムの発見を創薬加速につなげる

創る喜びで人と人をつなぐソフトウェア

## リサーチ・ホットライン

- 32 MRIを高感度化するキセノンガス高効率発生装置  
超偏極キセノンガスの連続生成により診断現場への応用近づく
- 33 大規模ネットワークの防御システムを実現  
侵入検知ルールの変更に素早く対応、100ギガbpsにも拡張可能
- 34 大型単結晶ダイヤモンド・ウェハ製造技術を開発  
ダイヤモンドのエレクトロニクス応用に向けて
- 35 超小型・高出力密度のマイクロ燃料電池  
角砂糖大の大きさにて2Wを超える出力性能を600℃以下で実現
- 36 一般家庭への分散型エネルギーネットワーク導入を目指して  
燃料電池と電気・熱・水素のネットワークの実用化に向けて
- 37 超低エネルギーでのイオン注入でシリコンを低抵抗化  
極浅接合によりシリコン半導体デバイスの高集積化

## パテント・インフォ

- 38 遠隔環境ガイド装置  
不慣れな場所で働く人に離れた場所から指示

## テクノ・インフラ

- 39 高出力レーザーパワー標準と国際比較  
国際的に信頼性のあるレーザー製品・技術の普及を目指して



# イノベーション創出 に向けた 産総研の取り組み

イノベーション推進担当理事  
山崎 正和 ・ 一村 信吾 ・ 伊藤 順司

産総研は、「産業技術研究」に総合的に取り組む最大の公的研究機関です。研究スペクトルの広さと規模の大きさ、そして産業技術研究というミッションから、世界的に見てもユニークな組織です。2001年4月に発足して以来これまで、産総研は所全体で「何をなすべきか」について不断に自問自答し、果敢にアクション（実践）につなげてきました。

最初のアクションは、「基礎研究」と「市場（社会）」との間に横たわる「悪夢（死の谷）」を乗り越え、研究成果を迅速に市場へと展開させる、「本格研究」という概念の提唱と、それに基づいた研究者のマインドと研究スタイルの根本的な変革でした。

本格研究の概念を実現するため、研究シーズを可視化する「ハイテクものづくり」制度、明瞭な産業イメージを想定して知的財産を強化する「IPインテグレーション」制度、市場との真摯な「対話」に基づいた研究展開を促進する「マッチングファンド型企業連携」制度などを設計し、実践してきました。また、研究者自らが起業して市場化を実践するための「ハイテクスタートアップ制度」を確立し、ベンチャー創出に大きな実績をあげています。

2005年4月から産総研は新たな中期目標期間に入りましたが、これを期に総力をあげて「研究戦略」を策定し、所内外に公開しました。そこでは、組織理念、技術動向と将来ビジョン（未来シナリオ）、長期的に目指すアウトカム、その実現のための研究テーマの設定と実施方策、などを体系的、具体的に記述するとともに、産総研が担うべきミッションの1つに「イノベーション」を明記し、その方策として「イノベーションハブ戦略」を

打ち出しました。

研究テーマの設定では、行政ニーズや経済産業省が策定する産業技術ロードマップなどを勘案しつつ、ポートフォリオ分析を初めて導入し、自らの強みと市場ニーズをマッチングさせる方法を採用しました。これによって、研究と市場の「双方向」の視点で研究テーマが設定されたこととなります。

イノベーションハブ戦略は、3つのプレーヤー（産業界・大学・行政）の有機的な連携を促進するための結節点として産総研を機能させるものです。そのために、「産業変革研究イニシアティブ」と「産業技術人材育成」という2つの施策を新たに設計し、実践に移しました。前者は、産業創出シナリオ共有型の産学官連携制度で、思い切った資源投入を行うことで大きな成果を上げることを目指しています。後者は、ポストドク人材を企業に流動させる仕組みで、企業との共同プロジェクトにポストドクを採用・従事させて企業と一緒に人材育成を行います。

産総研の理念は「持続的発展可能な社会のための産業技術研究」です。地球環境という視点はシュンペーターの時代には無かったことであり、持続性に対する価値の生産は現代における創造的破壊の必須条件です。この認識に立ち、産総研は2006年12月に「産業技術アーキテクト」職と新体制（イノベーション推進室、担当理事）を発足させました。これら、新しい人材、体制、多様なインキュベーション制度の「新結合」によって、持続的社会の基礎となるイノベーション創出の実践に取り組みます。



# イノベーション推進の背景

産総研は産業技術の研究開発をミッションとする国内最大の公的研究機関であり、政府・産業界から向けられたイノベーション創出に対する大きな期待を担っています。このため、第2期中期目標期間の開始にあたり、産総研は基礎研究セクター、産業セクターおよび行政セクターの結節点として機能する「イノベーションハブ構想」を掲げ推進してきました。

行政においても第3期科学技術基本計画ではイノベーションが新たな柱となり、イノベーション創出総合戦略がまとめられました。また、2006年6月に策定された経済成長戦略大綱において、大学、公的研究機関、産業界、政府が連携し、「研究から市場へ」、「市場から研究へ」と双方向で鋭い軸が通るような仕組み（イノベーション・スーパーハイウェイ構想）が打ち出されました。さらに、イノベーションによる経済成長が重要政策に掲げられ、2007年5月に「イノベーション25」が策定されました。このように政府においても、経済成長に向けたイノベーションの重要性を強調しています。

## ◆「本格研究」の提唱

産総研は、第1期中期目標期間において、「本格研究」という概念の提唱とそれに基づいた研究者のマインドおよび研究スタイルの根本的な変革を行いました。本格研究とは、「基礎研究」と「市場（社会）」との間に横たわる「悪夢（死の谷）」を乗り越え、研究成果を迅速に市場へと展開させることです（図1、P4表1）。

研究の悪夢の時代では、多くの科学的知識や周辺技術を合成する第2種基礎研究を中心に、この第2種基礎研究の推進を通じて見えてくる科学的知識の不足を解消しようと、さらなる科学的知識の解明を目指す第1種基礎研究も駆動し、そして第1種基礎研究と第2種基礎研究が相互に

刺激し合いながら、社会との接点を確立するために研究の製品を形作る製品化研究も同時並行的に行われています。

つまり、悪夢の時代の研究開発の生産性を上げ、迅速に研究成果を市場に展開するためには、第2種基礎研究を軸に第1種基礎研究から製品化研究を連続的(coherent: コヒーレント)かつ同時的(concurrent: コンカレント)に実施する必要があることを示しています。この方法論で進められる研究を産総研では「本格研究」と定義しています。

産総研は本格研究を通じて技術を社会へ橋渡しするだけでなく、本格研究の方法論とともに、その成果を継承できるような研究のシステムを確立することも目指しています。

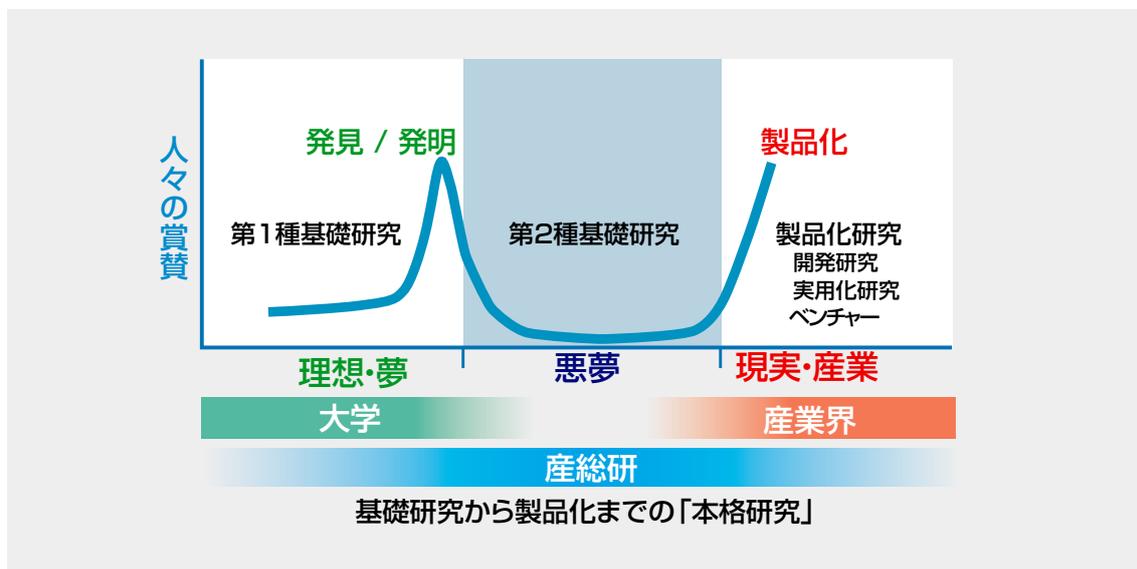


図1 「本格研究」のコンセプト

表1 研究方法論の定義

	定義
第1種基礎研究	未知現象を観察、実験、理論計算により普遍的な理論（法則、原理、定理など）を発見、解明、形成するための研究をいう。
第2種基礎研究	特定の経済的社会的な必要性（ニーズ）のために、既に確立された複数の理論（法則、原理、定理など）を組み合わせ、観察、実験、理論計算を繰り返し、その手法と結果に規則性や普遍性のある知見および目的を実現する具体的道筋を導き出す研究をいう。
製品化研究	第1種基礎研究、第2種基礎研究及び実際の経験から得た成果と知識を利用し、発明された新しい材料、装置、製品、システム、工程、サービスの事業化可能性を工学的かつ社会経済学的アプローチで具体的に検討する。

◆「産業の重心移動」による「持続的発展可能な社会の実現」

産総研の基本的な活動理念は、「わが国のたゆみ無い産業技術革新を先導することにより、持続的発展可能な地球社会の実現に資する」ことです。したがって、産総研が目

指すイノベーションは、「本格研究」の実施を通じて技術革新を実現し、その成果によってトレードオフの関係にある経済成長と環境保全を両立できるよう産業界などと連携しつつ「産業の重心移動」（図2）を達成し、産業構造変革に繋げるプロセスです。

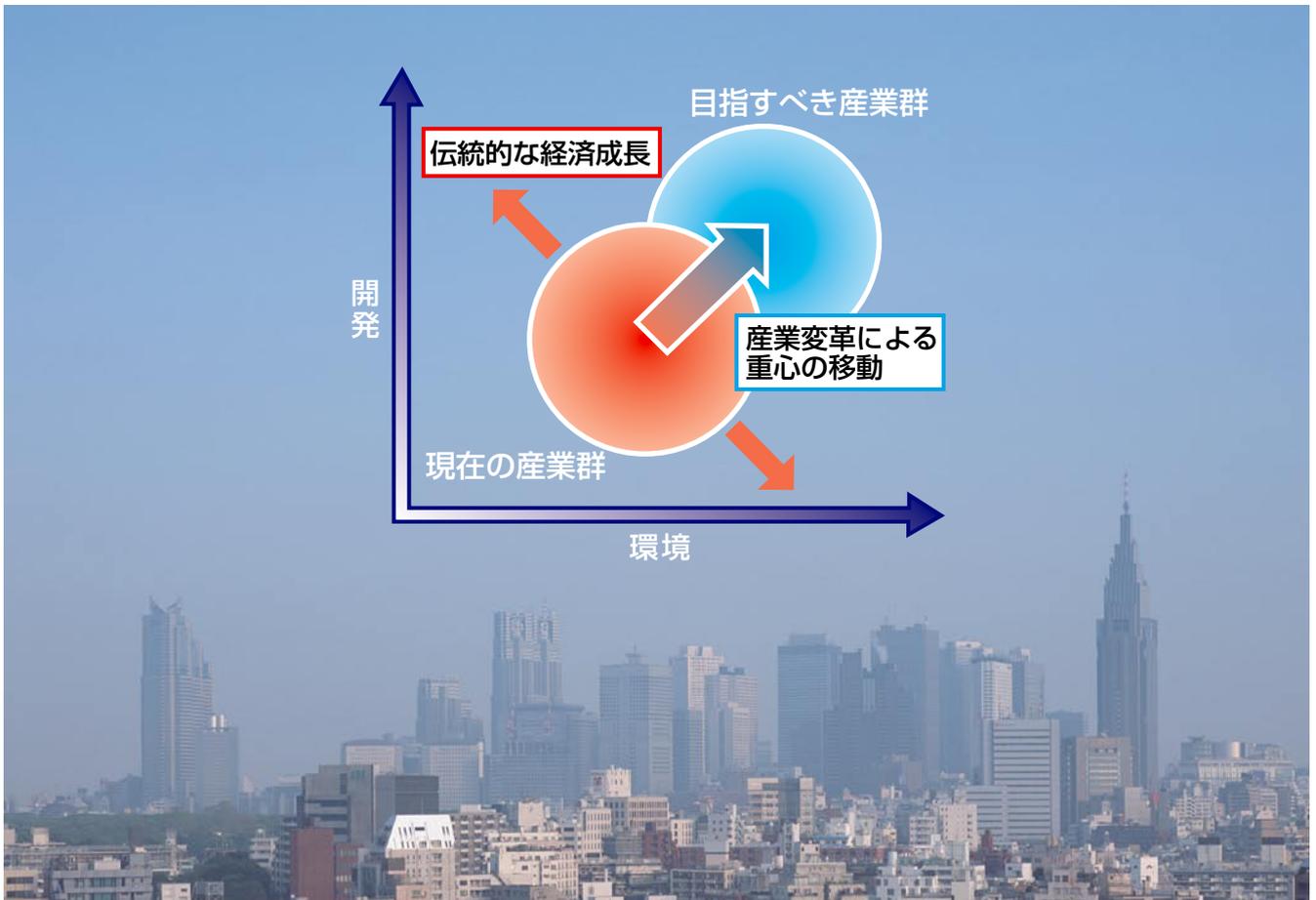


図2 産業の重心移動



# イノベーション推進のために必要な機能強化

産総研が目指すイノベーションの推進には、次の4つの機能の発揮が必要となります。

## ◆ イノベーションの潮流の形成

産総研は経済産業省をはじめとする政府の研究開発プロジェクトを通して技術革新をリードしてきました。今後はさらに総合科学技術会議などの政府機関や大学、研究独法、産業界への働きかけを強め、産業の重心移動に向けたイノベーションの潮流を形成していく必要があります。このため、これらの外部機関などの幹部レベルと産総研の経営層との日常的対話を通じ、産総研の目指すイノベーションに関する認識を共有し、産学官連携によるイノベーションを産業の重心移動として結実させる仕組みを構築する必要があります。

## ◆ 本格研究の成果の統合的な発信

産総研では、第1期中期目標期間中に「本格研究」の理念の共有化を図り、その結果、第1種基礎研究、第2種基礎研究そして製品化研究が一体となった組織的な研究成果を数多く生み出してきました。第2期中期目標期間においては、これらの多様な研究成果を統合し、複数の技術を組み合わせることによってイノベーションを創出する機能の強化が必要です。

また、研究開始にあたり、社会や産業界のニーズを踏まえた産業化シナリオを描き、市場化を見据えた研究開発プロジェクトを構築する機能を強化する必要があります。

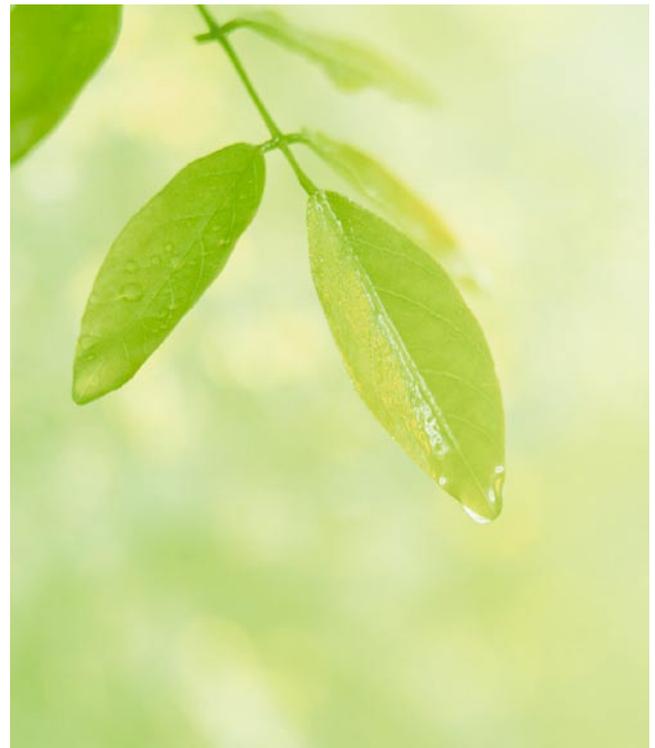
## ◆ 社会のニーズの的確な受信

産総研の研究成果をより複雑かつ多様化する社会のニーズに合致する技術的ソリューションとして提案していくためには、研究成果の統合的な発信機能に加え、政府機関、大学、産業界などへの多様なアプローチからニーズを積極的かつ的確に受け取り、産業変革へのシナリオを描くことができる仕組みや体制が必要です。

## ◆ 本格研究の推進の視点からの研究資源活用と研究支援

イノベーションによる経済成長を達成するためには、研究開発が重要であることが指摘される一方、研究独法に対しても効率的で効果的な研究資源の活用が厳しく求められています。産総研に与えられた研究資源を最大限に活用してイノベーションを展開していくためには、研究ユニットの改廃、設立や研究課題の重点化を図る必要がありますが、そのためには、効率的な研究所経営を行う視点からだけでなく、効果的に研究推進を行う視点から研究資源活用を行うことが重要です。

また、本格研究の実施に際して研究現場では解決が困難な問題に対し、的確かつ迅速に対処できる横断的視点に立った研究支援の仕組みを構築することにより効率的な研究推進を図る必要があります。



# イノベーション推進のために必要な体制強化

産総研では、前述の4つの機能を充分発揮するために、以下の組織・体制の強化を行い、経営陣主導のイノベーション推進体制を構築しました(図3)。

## ◆ 体制強化の方向性

イノベーション推進コアという3名の担当理事を中核として、経営陣主導のイノベーション創出のためのアクションを実施します。また、産業技術アーキテクトの主導により、産業界と連携した産業化シナリオのデザインとその実現に向けた実践を推進します。

イノベーション推進室は、イノベーション推進コア、産業技術アーキテクトを支えるとともに、産総研で生まれる

研究成果の骨太化と産業界への橋渡しを推進します。また、所内の研究開発に関連する諸制度をイノベーション推進の視点から再構築するとともに、全所的な共通インフラなどの必要な整備を進めます。

平成18年12月1日に、イノベーション推進体制強化のため組織改革を行いました。今後も引き続き、イノベーション推進に一層適した組織に向けて自己変革の努力を続けます。

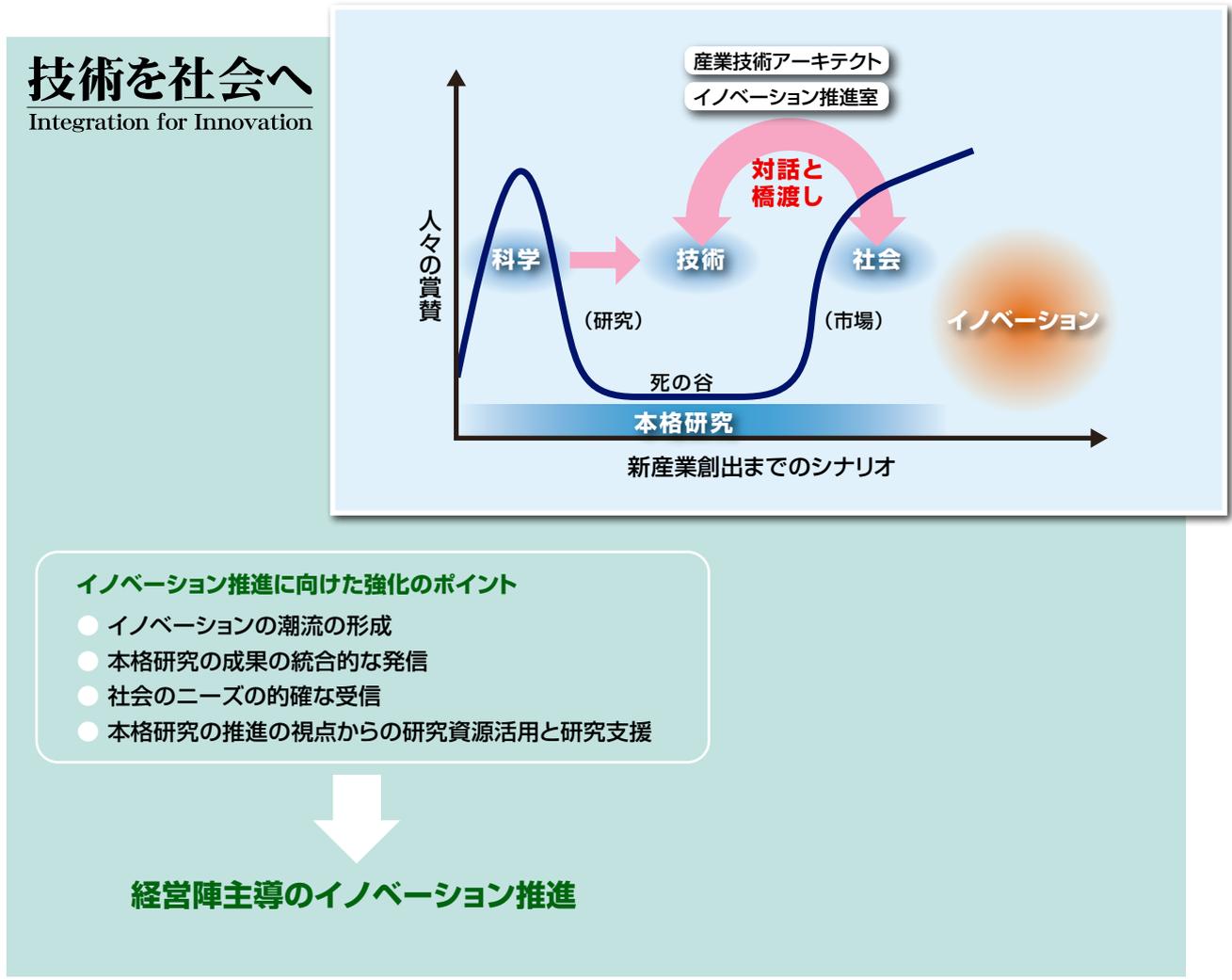


図3 イノベーション推進に向けた取り組みの要点



## ◆ 産業技術アーキテクトの役割

産業技術アーキテクトは産総研内外、特に産業界の有識者と積極的に意見交換し、将来の社会ビジョン（社会的な環境変化や要請に対応した社会設計）の展望などを的確に

捉えた上で、幅広くさまざまな分野にわたる産総研の研究成果をもとに外部の研究成果も取り入れて、産業化シナリオを明確に描き、産業の重心移動を実現するための戦略的連携やプロジェクトなどを立案・推進します。

## 建築家とのアナロジー

（引用：産総研TODAY Vol.7(2007)No.1 吉川理事長「イノベーションの行動理論」）

〔(前文略) 建築では、建築技術として建築用材料、部品、内装品などの要素、そして強度計算などのサービスを提供するものが出て、それを基に建築主は家を作る。しかし建築技術提供者と建築主とは直接対話せずその間に建築家が出て、建築技術を熟知し、同時にその家に住む建築主の期待する住み方を理解したうえで、独自の家を設計する。建築技術が建築主に十分に理解される可能性は少ない。一方個々の建築主の期待する生活を提供者側が理解することは難しい。そこに建築家が出て、両者の間の通訳の役割を果たすが、通訳である以上に、建築家は独自の芸術性のある構成の才能を持っていて、家の美観を整え建築様式を作り出して町並みを決め、同時に技術提供者にも建築主の真の需要を伝える。建築家はこのように主体性を持って建築の進歩を主導する重要な人である。

（中略）

今私たちが問題にしている産総研と産業界との連携ではどうであろうか。それは研究所の先端的研究によって得られた知識を使用して産業界が製品を作ることであり、ここには建築と同じ構造がある。先端的研究の結果得られた科学技術知識は、日進月歩する建築技術知識に相当し、科学技術知識を使用して製品を仕上げる産業界は、建築技術を使用して家を作る建築主に相当する。科学的知識を使用する産業界は、建築主よりは深い知識を持っているかもしれないが、持続可能な社会の実現のためにその責任の一端を担いつつ競争力を維持しなければならない現代の産業界は、それが属する分野の知識以外の広範な知識を相手にしなければならないのであって、建築主と同じ状況におかれていると考えるべきであろう。しかも、より重要な点は、産業界が自ら持つ真の需要を満たしうる知識を生み出す基礎研究の実施の要請を、研究所に対して行う手段もまた不十分という点である。従って、研究所と産業界の間にアーキテクトが必要である。〕

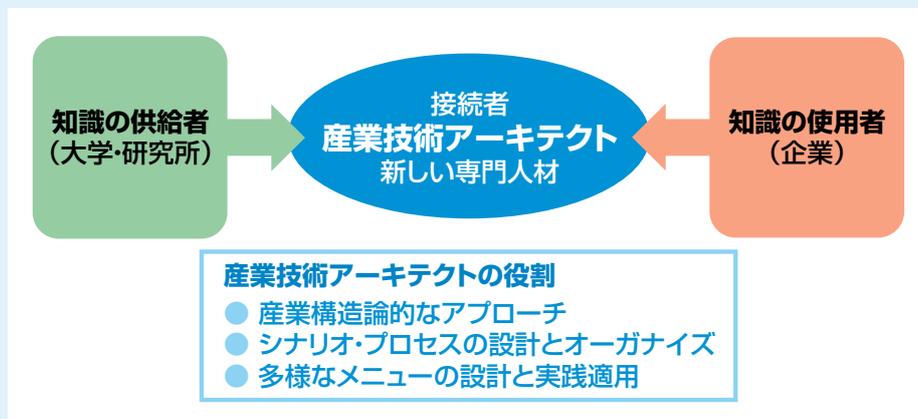


図4 産業技術アーキテクトの役割  
科学技術知識の供給者と使用者をつなぐ。

# イノベーション推進に向けた具体的な戦略

産総研は、強化したイノベーション推進体制のもとで、表2にかかげたアクションプランを遂行していきます。

## ◆ イノベーション潮流の形成

### 産総研成果のモデル化と発信 (産総研のイノベーションモデル)

産総研の研究開発の事例をもとに、イノベーション創出の産総研モデルを構築し、発信します。

### R&Dの社会貢献に関する評価指標の提案

産総研の研究成果がイノベーション創出にどのように貢献しているかを定量的に評価するためのイノベーション指標を考案し、その普及を行います。

### 研究と経営を結ぶ場の創出

(技術戦略セミナー、インテレクチュアルカフェ、など)

企業経営幹部や行政幹部などを招き、技術戦略セミナーを開催します。そこでは、将来の社会イメージ、新産業分野とその実現のためのシナリオ、産業界が抱える共通課題などを忌憚なく議論し、産業界と連携してイノベーション創出のためのシナリオを描きます。また、異分野の研究者が出会う場をつくり、異分野融合の促進を図ります。

表2 イノベーション推進のためのアクションプラン

課題	方策
1. イノベーション潮流の形成	(1) 産総研成果のモデル化(産総研のイノベーションモデル) (2) R&Dの社会貢献に関する評価指標の提案 (3) 研究と経営を結ぶ場の創出 (技術戦略セミナー、インテレクチュアルカフェ、など) (4) イノベーション推進人材の育成
2. 研究から市場へのプロモーション	(1) 研究ユニットで生まれるシーズの掘り起こし (2) 多様な政策的予算制度を活用した成果のインキュベーション (3) 大型連携プロジェクトの推進(産業変革研究イニシアティブなど) (4) 企業シーズのインキュベーション(カーブアウト事業など)
3. 市場から研究へのフィードバック	(1) 産業界との組織的対話 (2) 産業創出シナリオ作り (3) 大型連携プロジェクトの推進(産業変革研究イニシアティブなど) (4) 研究戦略のブラッシュアップへの反映
4. 本格研究の推進と成果の統合的発信	(1) 研究戦略の実践 (2) 成果最大化のための研究資源活用原案作成 (3) 実践的視点から組織・制度設計、運用へのコミット (4) 総合的な成果発信



## イノベーション推進人材の育成

融合的最先端技術を持った研究人材の育成により、わが国の国際的な産業競争力強化に貢献するため、3つのタイプのスキームを実施しています。

大学で博士号を取得したばかりの人材を企業の即戦力とすることは困難です。そこで産総研においてポストドクを企業との共同研究に従事させ、分野融合能力・事業化能力を身につけた即戦力として企業に輩出します(図5:タイプA)。

一方、企業からの派遣研究者・技術者を最先端の研究開発に従事させ、より高度な研究開発能力を身につけた研究者・技術者として企業へUターンさせる技術研修制度を設けます(タイプB)。

また、中小企業の技術者などの産業技術人材や、多様化する中小企業のニーズ対応を行う公設研研究者の能力をより高めるための人材育成プログラムを企画、立案します(タイプC)。

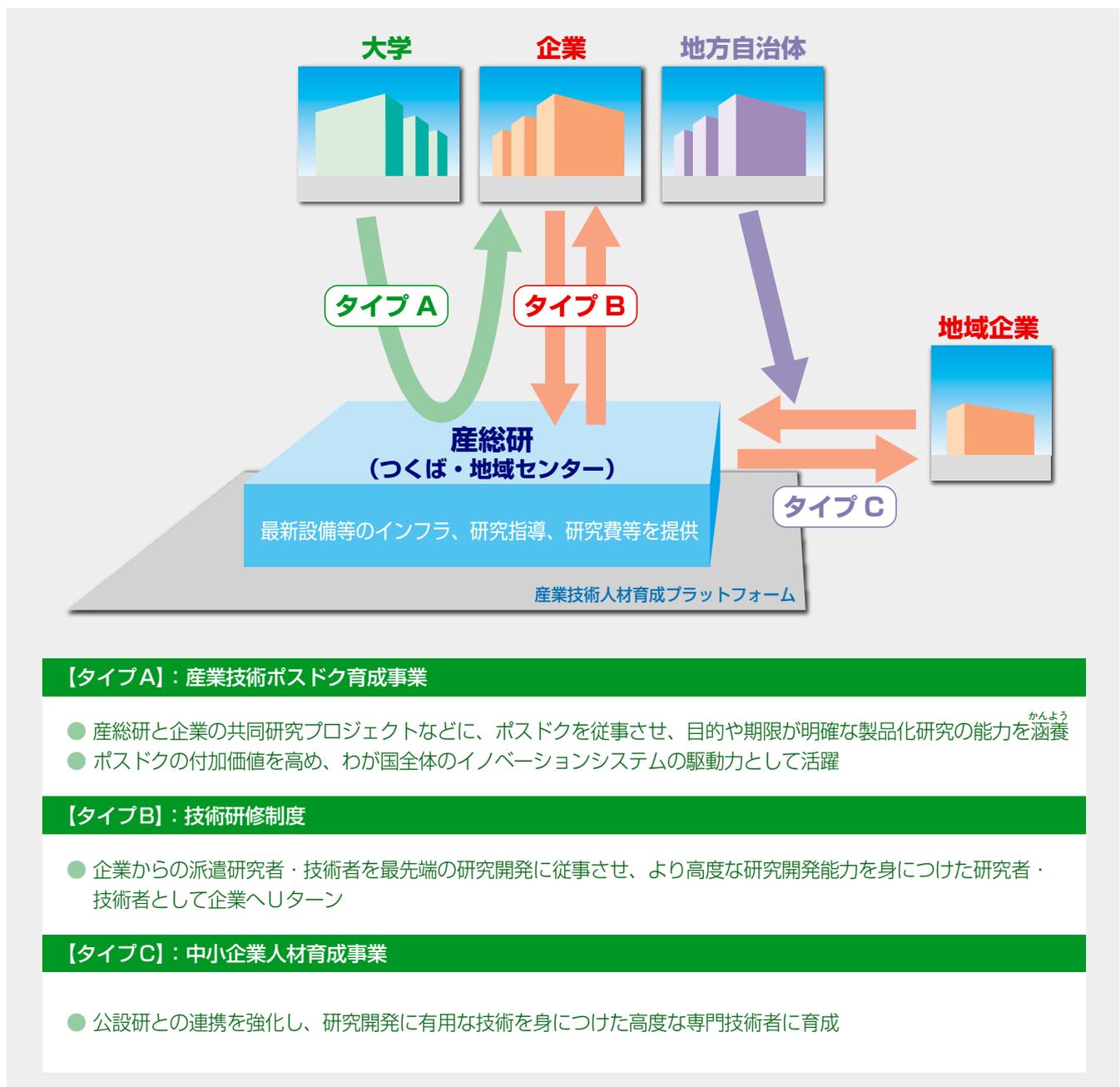


図5 イノベーション創出のための人材育成スキーム

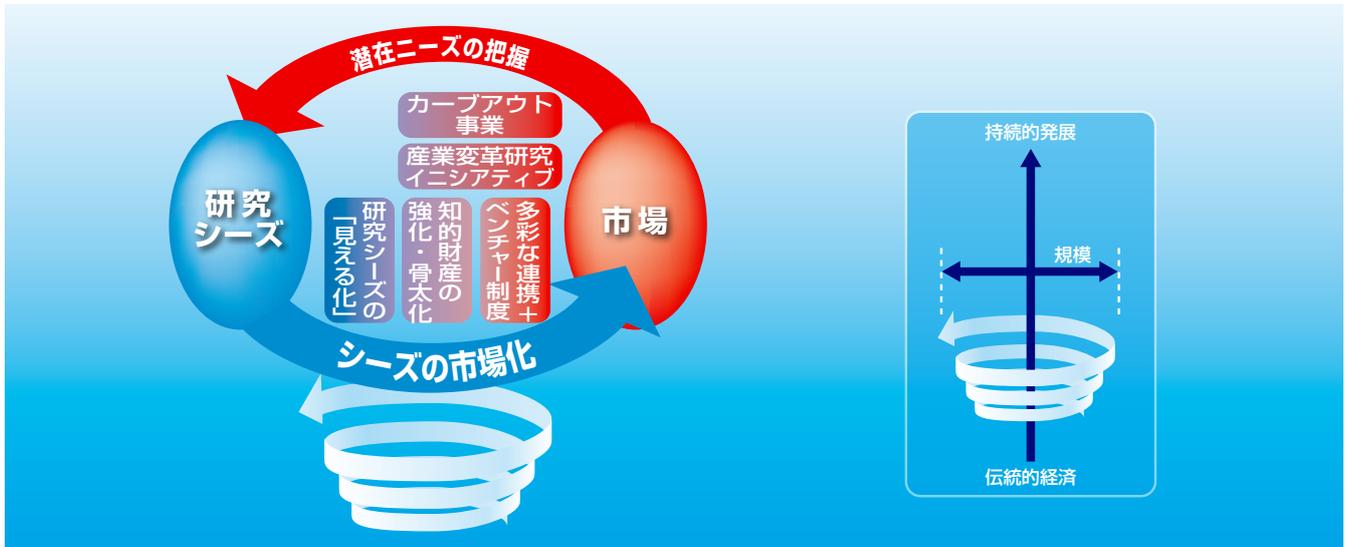


図6 持続的発展に向けたイノベーション創造スパイラル

### ◆ 研究から市場へのプロモーション

多様な研究成果を統合し、複数の技術を組み合わせることによってイノベーションを創出します。

#### 研究ユニットで生まれるシーズの掘り起こし

分野研究推進会議と称する研究ユニット長、理事、産業技術アーキテクト、研究コーディネータおよびイノベーション推進室の5者からなる新たな意見交換の場を常設化します。研究シーズの探索とそれらのイノベーションに向けた育成方法など研究推進に関連した課題について、研究の機微に触れた議論を含め深掘りの議論を行います。この会議を通じて、研究展開、研究資源、人材育成などの研究推進の実態を相互に把握し、さまざまなイノベーションに関する政策に反映させます。

#### 多様な政策的予算制度を活用した成果のインキュベーション

本格研究をさらに推進し、研究成果を産業へ結びつけるために、多様な政策的予算制度を設立し、① 研究シーズの「見える化」、② 知的財産の強化・骨太化、③ 多様な連携やベンチャー化、で研究シーズのインキュベーションを行っています(図6)。同時に、社会・市場のニーズを把握し、技術の市場化のシナリオ作りと実践に役立てています。具体的には、④ 新産業創成のシナリオ作成とその実践を目

指す産学官の大型連携プロジェクト(「産業変革研究イニシアティブ」)、⑤ 企業内シーズと人材の一体的な育成(「カープアウト事業」)を推進し、技術の迅速な産業化を促進しています。さらに、これらの政策的予算制度を有機的に連携させ、制度全体がイノベーション創出プロセスとしての機能を発揮するように適宜見直しを行います。

#### 大型連携プロジェクトの推進 (産業変革研究イニシアティブなど)

プロジェクト主導の産学官連携活動を一層強化し、国家プロジェクトの提案・推進に加え、機動的なプロジェクトフォーメーションを行うため、「産業変革研究イニシアティブ」を設け、産総研のイノベーションハブ機能強化を図ります(図7)。産業変革研究イニシアティブは、イノベーションハブ戦略を実現することを目的に、技術の「悪夢」を乗り越えて新産業の創成を実現する新しい産学官連携の仕組みであり、下記の役割を果たします。

- 新産業創成への現状の課題とそれを克服するための明確なシナリオを共有
- 複数の異分野・異業種企業との産学官連携プロジェクト
- 大型予算(数億円/年)の投入による短期間(2~3年間)でのプロトタイプ開発を通し、目に見える成果の発信を目指す

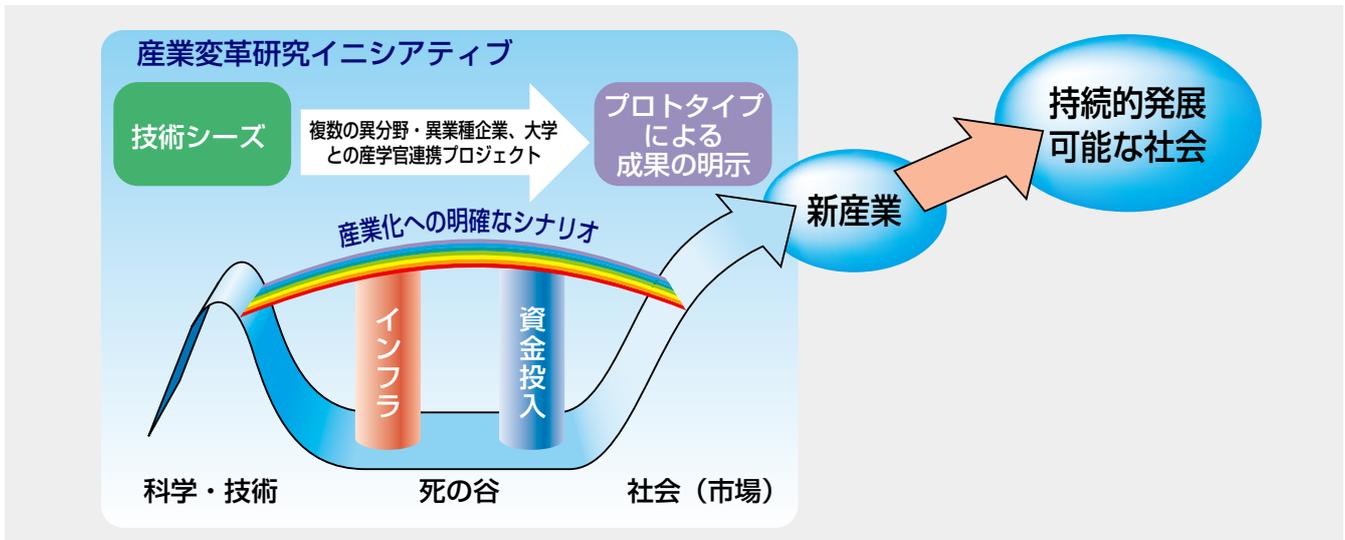


図7 産業変革研究イニシアティブのコンセプト

産業変革研究イニシアティブの実施課題は以下の3件です。

- 「医薬製剤原料生産のための密閉型組換え植物工場の開発」（平成17年度～平成19年度上期）
- 「知識循環型サービス主導アーキテクチャ (AIST SOA) の開発」（平成17年度～平成19年度）
- 「ユーザ指向ロボットオープンアーキテクチャの開発」（平成18年度～平成20年度）

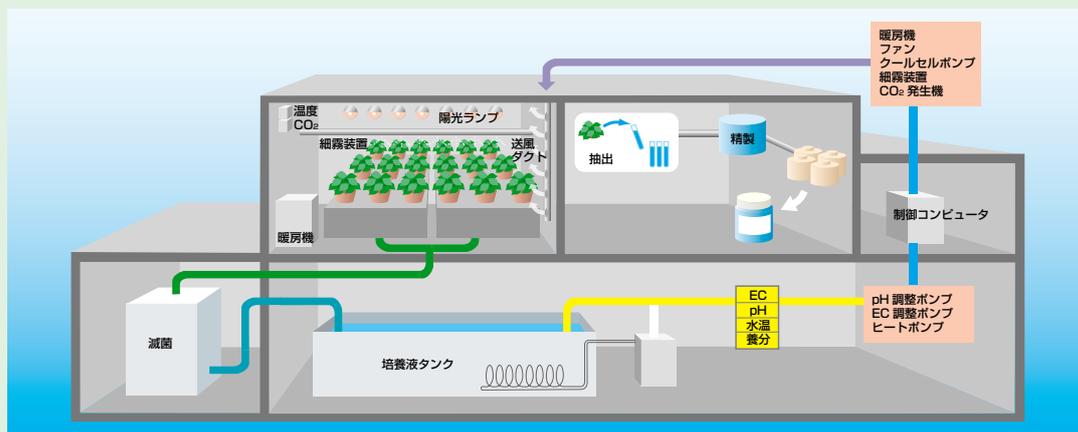
産業変革研究イニシアティブ：実例1

「医薬製剤原料生産のための密閉型組換え植物工場の開発」（平成17年度～平成19年度上期）

インターフェロンなどのタンパク質の医薬製剤原料は、これまで微生物や動物細胞を用いて生産されてきましたが、植物の遺伝子組換え技術を応用することによって多大なメリットが期待できます。例えば「安全性が高い」「培養タンクを必要としない」「保存・輸送が簡便」などがあげられ、結果として「コストが著しく低くなる」ことになります。

この技術を本格的な産業に発展させるため（特に医療用原材料の生産）には、外界と隔離したクリーンな環境で、経済性のある方法で組換え植物を育成する技術を開発しなければなりません。

このプロジェクトでは、組換え遺伝子拡散防止措置および医薬生産用GMP基準に対応した「完全密閉型植物工場システム」を開発し、遺伝子組換え植物(GMO)を利用した医薬製剤原料などの実証生産を行います。生産システムの安全性と経済性を実証することにより、植物機能を活用した新たなものづくり産業の創出につなげていきます。

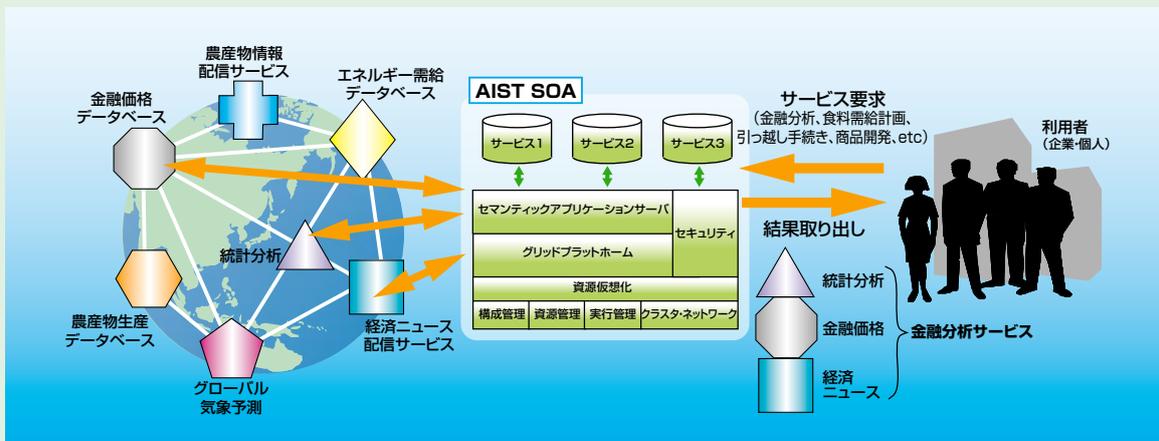


### 「知識循環型サービス主導アーキテクチャ (AIST SOA) の開発」 (平成17年度～平成19年度)

ネットワーク上に存在する無数のサービスや知識を統合するフレームワークを構築し、利用者の多様なニーズに応じた最適なサービスを提供することを可能とする情報インフラ技術を開発します。

具体的には、「グリッド技術の拡張に基づくミドルウェア」と、「意味レベルでWebサービスを記述し運用するミドルウェア」の開発を行うこととなります。

開発にあたっては国際標準に準拠し、必要な機能を厳選することで軽快な動作を保証しながら、導入と運用の低コスト化を実現します。低コスト化によって普及を図ることで、知識の市場化を促進し、新しい知識サービス産業の創成を誘起します。また、サービスを稼働させる情報インフラの提供事業への参入障壁が低くなることが期待されます。



### 「ユーザ指向ロボットオープンアーキテクチャの開発」 (平成18年度～平成20年度)

これまでのロボットはメーカーごとに独自の仕様で開発されてきましたが、ハンド、センサ、二足歩行制御などのロボット要素機能が標準化・規格化され、取替え可能な機能モジュールとして十分に用意されていれば、それらを自由に組み合わせて、ユーザの多様なニーズに応える様々なロボットを容易に開発できるようになります。

このプロジェクトでは、ユーザの多様なニーズに応えるロボットを、モジュールを組み合わせて簡単に低コストで効率良く開発できる「ユーザ指向ロボットオープンアーキテクチャ」(UCROA: User Centered Robot Open Architecture)を開発します。製品レベルに近い次世代ロボットの開発を通じてその有効性を社会に示すことによって、あらゆる企業が参入できる新たなロボット産業の創成を目指します。

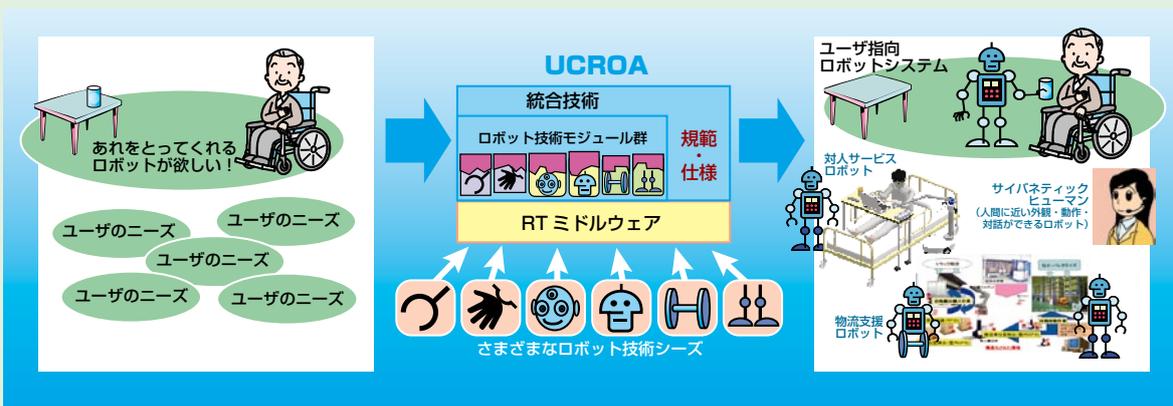




図8 カープアウト事業の概念図

### 企業内シーズのインキュベーション (カープアウト事業など)

企業の研究開発投資効率が低下し、新しい技術の“芽”の育成が滞っているため、R&D成果をわが国全体で流動させ、事業化する仕組みが必要です。そこで新たな可能性を持つ企業内シーズのインキュベーションのため、企業内R&Dシーズを人材と一体で産総研に受け入れ、産総研の技術との融合により競争力を高め、産業化を目指します。

また、これとは逆に産総研の研究チームを単位として企業に異動させ、産総研発の技術の産業化を実現するための事業を発足させます。これによって技術流出、人材流出の抑止、企業内ベンチャーの加速が期待されます(図8)。

### ◆ 市場から研究へのフィードバック

政府機関、大学、産業界などの多様なアプローチとニーズを積極的かつ的確に受け取り、産業変革へのシナリオを描きます。

### 産業界との組織的対話

イノベーション推進コア、産業技術アーキテクト、イノベーション推進室が連携をとって、企業経営層との対話を積極的に進めます。これらの組織的な対話を通して市場ニーズに対する理解を深めます。

### 産業創出シナリオ作り

産業界の有識者との積極的な意見交換から、産業技術

アーキテクトが中心となって産業創出シナリオを明確に描き、産業の重心移動を実現するための戦略的連携やプロジェクトなどを立案・推進します。産業創出シナリオ作りの際、必要に応じてワーキング・グループを作り、産総研と企業とのシナリオ共有による連携プロジェクトの一層の推進を図ります。

### 大型連携プロジェクトの推進 (産業変革研究イニシアティブなど)

すでに紹介した「産業変革研究イニシアティブ」は、市場ニーズに基づく新しい技術シーズを発掘し、大型連携プロジェクト提案・推進へと発展させ、大型予算の投入による短期間でのプロトタイプ開発を通し、目に見える成果の発信を目指す役割も果たします。

### 研究戦略のブラッシュアップへの反映

近年、顕在化してきた世界的な産業競争の激化と、企業による技術開発リスクの増大は、国家的な研究開発施策の重要性を高めています。特に新産業が興隆する過程の未成熟な段階では公的研究機関の果たすべき役割は大きくなります。これら社会のイノベーションの動きを反映させて、産総研は有限の資源を以って成果を最大化するために技術ポートフォリオ、研究ロードマップ、並びに技術指標を明示した研究戦略を策定し、市場の動きに合わせて適宜、ブラッシュアップします。



### ◆ 本格研究の推進と成果の統合的発信

効果的に研究推進を行う視点から研究資源活用を行います。また、研究現場では解決が困難な問題に対し、的確かつ迅速に対処できる横断的視点に立った研究支援の仕組みを構築することにより効率的な研究推進を図ります。

#### 研究戦略の実践

産総研は産業界のニーズや社会のイノベーションの動きと研究ユニットのポテンシャルという双方向の視点を反映させて策定した研究戦略に沿って、戦略的に研究開発を推進します。その際、研究戦略をスムーズに実践できるように研究ユニットの人的・予算的資源を調整します。

#### 成果最大化のための研究資源活用原案作成

イノベーション推進室は産総研に与えられた研究資源を最大限に活用してイノベーションを推進していくため、機動的な研究ユニットの設立・再編や研究課題の重点化を図り、効果的・効率的に研究を推進し支援するという経営視点から研究資源活用原案の作成を行います。

### 実践的視点から組織・制度設計、運用へのコミット

イノベーション推進室を中心として、企業との共同研究や事業化などを通して把握できた制度上の諸問題について、その解決方法を提案し、さらに関連部署と連携して積極的に制度の改善に取り組みます。産総研が社会を改革する力を発揮できるよう、社会のイノベーションの動きを産総研の組織・業務改革にいち早く取り入れるための検討を進めます。また、研究現場では解決が困難な問題に対し、的確かつ迅速に対処できる横断的視点に立った研究支援の仕組みを構築して、効率的な研究推進を図ります。

#### 統合的な成果発信

産総研は各研究ユニットの研究成果を把握し、統合的に成果発信を行います。その際、本格的な研究推進の観点から利用者が活用しやすい形で情報を提供します。

## イノベーション推進戦略の実践

産総研のイノベーション推進は、経営陣、研究現場そして研究を支える部署が「産業の重心移動」という大きなミッションを共有し、産総研の総合力を最大限に発揮することによって前進します。イノベーション推進戦略はそのための方法論であり、今後も産総研内外の状況の変化に応じて柔軟に内容のブラッシュアップを行い、その実践に努めていきます。

#### 参考文献

- (1) 吉川 弘之・内藤 耕編著 2003年『第2種基礎研究：実用化につながる研究開発の新しい考え方』（日経BP社）
- (2) 吉川 弘之・内藤 耕 2005年『「産業科学技術」の哲学』（東京大学出版会）
- (3) 2005年 独立行政法人 産業技術総合研究所 第2期研究戦略
- (4) 2006年 独立行政法人 産業技術総合研究所 第2期研究戦略 平成18年度版
- (5) 2006年「第2種基礎研究を軸とした本格研究の展開[第1集]」（産総研）

座談会：

# 「本格研究」は研究者をどう動かすのか



吉川 弘之 理事長

畠 賢治 ナノカーボン研究センター  
富岡 泰秀 強相関電子技術研究センター  
夏目 徹 生物情報解析研究センター  
江渡浩一郎 情報技術研究部門

小野 晃 広報担当理事（司会）  
内藤 耕 イノベーション推進室

**小野** 今回は、産総研の研究環境をそれぞれに活かして本格研究に取り組んでいる4人の方々から、本格研究の事例を紹介していただき、議論したいと思います。

畠さんは、カーボンナノチューブの産業化に向けた大量合成技術を開発されていますね。ここまでの経緯というのは？

## カーボンナノチューブの大量合成

**畠** 産総研に来る前は、米国の大学で基礎研究をしていました。その武者修行時代はかなり厳しい状況でしたが、飯島先生に声をかけていただき、帰国して産総研に入所しました。

渡米の理由は、基礎科学の研究で「ネイチャー」や「サイエンス」に論文を載せたいというものでしたが、結果としては、それがかなったのは帰国後です。もともと世の中の役に立つ研究をやりたいと考えていたので、産総研の研究に対するスタイルにマッチして、非常に充実した日々を送っています。

単層カーボンナノチューブは、1層だけのシートになっているもので、ナノテクの代表的な素材として非常に注目されています。カーボンナノチューブは大きな期待を集めているものの、まだ産業にはなっていません。合成効率が非常に悪くて大量につくれず、グ

ラム当たり数万円と非常に高価になってしまうからです。

私はいろいろな研究から、ごく微量の水分を合成粉中に添加すると触媒の活性と寿命が大幅に改善されることを発見しました。これは戦略的なアプローチと偶然の結果です。成長効率が非常に高いので、非常に不純物が少ない材料がつくれ、不純物の割合は従来の2000分の1になりました。私はこの方法に「スーパングロス」と名づけました。

この発見が2004年です。産総研に来て1年足らずでした。その半年後にナノチューブの学会で発表し、論文も「サイエンス」に掲載されて、それ以降忙しい毎日を送るようになりました。

**小野** 畠さんの研究が成功したポイントはどこにあったのでしょうか。

**畠** 触媒を使って、タネであるナノ微粒子からカーボンナノチューブを成長させていくのですが、通常は副次反応として触媒がカーボンで被われてしまうという現象が起きて、触媒活性が低下してしまうのです。ところがごく微量の水分を添加することによって、触媒を被っているカーボンを選択的に取り除くことができ、カーボンナノチューブが成長する条件を常に保つことができるとわかったのです。これに

よって、数%だった触媒の活性が、ほぼ100%まで伸びました。触媒の寿命も1分足らずだったのが大幅に伸び、最近では数時間もたせることができるようになりました。問題になっていた成長効率の悪さを、根本的な原理に立ち返り、非常に簡単な革新的方法で解決したと考えています。

では、このプレイクスルーで何をやるかと考えたときに、私はこの技術を世の中に還元する道を選びました。かつてない規模で、しかも安くカーボンナノチューブをつくれそうだということがわかってきたからです。目標は、単層カーボンナノチューブを工業的に大量生産することです。具体的には製造コストを1000分の1まで下げたいと考えています。価格を下げなければ、世の中に広く出回らせることはできませんから。

実験室ではシリコンウエハーの上で成長させたのですが、その方法では量産が望めません。しかし、ある合金の上でまったく同等なものが成長することがわかり、「大面積化」つまりベルトコンベアで転がして作っていく量産システムが見えてきました。また、大面積の「均一合成」については、シミュレーション等を駆使して昨年、A4サイズの均一な合成に成功しました。今年はいよいよ最後の関門である「連続合成」に取りかかります。これが克服

できれば、目標としている価格・量でつくるのが可能になります。

しかし、実はカーボンナノチューブを大量に造るだけではダメなのです。カーボンナノチューブは最終製品ではないので、それを使ってどういう最終製品にするかを同時に考え、開発しないといけないのです。そこで、スーパーキャパシター、アクチュエーター、熱交換器、電子デバイスなど、いろいろな会社の方と一緒に研究開発を進めています。出口開発と大量生産というのは、いわばコインの裏表で、その両方を結び付けることによって初めて、最終目的であるカーボンナノチューブ産業の創成が実現すると考えています。

### 「はみ出し」を成功に導いた強い思い

**理事長** きっかけについていろいろお話いただいたのですが、触媒活性に有効なのは水以外にはないのですか。

**畠** 水以外にもあると思います。カーボンナノチューブの合成という世界はものすごくネタが多いのです。世界中の研究者はこれまでそれをひとつひとつ手作業でやっているのですが、私自身は早くから工業化を見据えていたので、2年間かけて全自動合成ロボットをつくって効率的に行いました。私たちは「エクスプローラー」と呼んでいますが、パラメータ空間の中をあたかも惑星探査機が惑星を探すようなものです。そういう装置を使って、いろい

ろなガスの組み合わせ、成長条件、触媒の温度とかを試みて、いまのスーパードロースの上に行くようなものめざしています。

**理事長** それはシミュレーターではなくて、実際につくるわけですね。パラメータを変えながら。そのパラメータは、いくつくらいあるのですか？

**畠** 触媒と基板を炉の中に入れて、ガスを流して合成しますので、たぶん通常考えるのは、20個くらいだと思います。私は、一見簡単そうに見えるものを、どれだけ細かくできるかというのがプロフェッショナルだと思っています。私自身は100以上のパラメータをあげることができると思います。「こんなことも意味があるのか」というパラメータがたくさんあり、それらがまさしく私たちの世界最高レベルのカーボンナノチューブ合成技術を支えている「知」になっています。

**理事長** そこには、カーボン学という学問分野以外の話がたくさん入ってくるのですか？たとえば風を入れる方向だとか幾何学的な条件になると、従来の枠をはみ出すと思いますが。

**畠** 正直、私はこの業界に来て日が浅く、モノづくりの経験もまったくないので、従来がどうだったかということ意識していません。模索して、どこまでそのことを深く掘っていけるかと

いうやり方です。

**理事長** 畠さんはこれまでどういう勉強をしてこられたのですか？

**畠** 私は、ひとつの分野を深く掘り下げるには、どうやるべきかを考えてきました。いろいろな分野を幅広く日本で勉強しました。米国では違う分野を浅く広く渡り歩くという勉強でした。

**理事長** いわゆる学問領域というものがあって、ある領域に入った人はそのことをやるわけですが、畠さんは、そうではない仕事をされたような気がします。目標は「材料の成長」で、そのために何が影響するかを探していくというのは、従来の科学の領域からどんどんはみ出していくことになります。そういうことがどうしてできたのでしょうか。やっぱり「成長」をやったかったということでしょうか。

**畠** “そのことをずっと考えてきた”からでしょうか。

**理事長** 自分の固有のパラメータ空間が頭の中にできたということでしょうね。空間の中で探索しているような感じの。これはまさに領域をはみ出していく典型ですよ。しかも、そこからこういう成果が出たのだから、これはすごい話ですよ。

**小野** 通常の第1種基礎研究者なら、水で効果を発見したら、その効果そのものに目を向けて、大量合成にはなかなか出て行かない。

ところが畠さんは、大量合成の方に向かって行った。そこが研究者としての大きな別れ道のような気がするのですが。

**畠** それはモチベーションでしょうね、技術を社会に還元するのだという。



技術が社会に出るためには、  
量産技術が開発されなければ  
ならない。  
私はそこで  
その道を選ぶ決意をした。

**畠 賢治**

技術が社会に出るためには、量産技術が開発されないとダメで、そうしないと単なる基礎研究で終わってしまう。量産の技術が開発されて初めて、世の中に還元できるのだとしたら、そこに力を入れなければいけない。そこには、論文とかそのインパクトファクターなどは出てこないのですが、私はその道を選択する決意をしました。

**小野** 論文が出てこないと言われた、まさにその部分を書いてもらうためのジャーナルを、実はいま作ろうとしています。

**理事長** 第1種基礎研究の成果は「サイエンス」、「ネイチャー」に出せばよい。そうではなくて、現実的な量産技術を開発するという動機を持ってしまうと、第1種基礎研究の論文になるような話以外のことをたくさんやりますよね。それがまた非常に大事なのだと思う。畠さんに限らず、皆が同じパターンをとるのだとすれば、「ネイチャー」、「サイエンス」を離れて世の中に役立つたせようと思って考えたことが、何か別の形の論文になるべきではないかと考えているのです。

ですから、それがはたして論文なのか、小説なのか、よくわからないけれど、何かやってきたわけですから、そのやった行為というものを第三者に知ってもらおうという仕事が、あるような気がするのです。そのうちに、産総研からジャーナルを出そうと思っています。全然違うジャンルの、しかし社会と科学の関係を考えたときにはすごく大事なジャーナルになると思います。

## 巨大磁気抵抗効果の解明

**小野** 富岡さんは、固体物理学の研究をされていますが、そのきっかけは？

**富岡** 私が産総研に入ったのは、1994年、当時の工業技術院ですが、ポストドクという形でした。産学官連携のATOMテクノロジープロジェクトの十倉研究グループで研究しました。

扱っている材料は遷移金属酸化物です。研究内容はまさに第1種基礎研究で、第2種基礎研究には進んでいません。この分野では、銅酸化物系の高温超伝導体が1986年に見出されて以来、研究が活発化しましたが、私が研究しているのはペロブスカイト型マンガン酸化物という一群の物質です。

機能的な面からこれらの物質を考えると、従来の半導体のつくり方というのは、電荷の自由度だけを精密に制御していくという方向で進んできました。しかし、マンガンのような遷移金属酸化物を使う場合、スピンと電荷が結合した物性が数多く出てきました。マンガン酸化物系の場合は、磁気抵抗効果というのが非常に激しく出てきます。抵抗率の温度依存性が磁場の強さによって変化するのです。

それだけでなく、今は強磁性に転移するとともに、電気伝導性が何桁も変わるようなドラマティックな現象も見つかっています。これは、磁性が常磁性から強磁性に変わるとともに、電気伝導性も、絶縁体的な振る舞いから、急に金属的な状態に変わるという現象です。

そういう新しい現象ですから、従来の磁気抵抗効果と区別するために、私たちは巨大磁気抵抗効果（CMR）と呼んでいます。1994年から始めて、これまで10年あまり研究を続けてきました。

**小野** 研究はどのようにすすめられてきたのですか？

**富岡** どういう形でこうした現象や物質を探索していったのかというと、多重臨界性を持った物質、つまりA相とB相といった競合する2つの相が共存して

いるような物質系に注目して、そういうところで、たとえば材料の組成などに乱雑性（ランダムネス）という結晶構造のひずみを導入してやります。そうすると臨界温度が急激に下がるような現象があって、結果的に、A相とB相が互いに競合するために、ほんの少し磁場をかけるだけで電気抵抗率が非常に大きく変わることがわかりました。

こうしたことが、ここ10年間で経験的にわかってきたことです。今後は、こういう基盤となるような材料の開発を続けながら、相制御の原型のようなことに迫っていきたいと考えています。マンガン系では、磁場を加えると電気伝導性が大きく変わるというのが特徴ですが、これをたとえば電場によって制御することもできます。バルクの単結晶試料では数百ボルトといったオーダーになりますが、これを薄膜にすれば、より小さい電場でこうした駆動ができるようになるはずで、そうした形に展開していくことも可能ではないかと考えています。

いま、私たちの研究が死の谷というようなところまで差しかかっているのかどうか、そのへんはよくわからないのですが、遷移金属酸化物でも良質単結晶試料などを作製すれば、それに内包されている本質的な電子相のゆらぎなどを利用して、デバイスの原型につなげていくことができるのではないかと考えています。

## 追求すべき第1種基礎研究の価値

**理事長** 富岡さんの話は、前の畠さんの視点で考えると、将来はどういうふうになりますか。研究がまだその段階でないのはわかりますし、応用まで距離があっても、それは構わないのですが、こういう素子というのは、たとえばシリコンに取って代わるとか、そこまで考えられますか？



もしも第1種基礎研究のみを続ける選択が許されても、それでも、第1種基礎研究、第2種基礎研究、という道を選びたい。

富岡 泰秀

**富岡** カギは磁性です。シリコン系半導体のすばらしい進歩を目の当たりにすると、別の素子など代わりようがないと思ってしまうのですが、シリコン系では磁性という性質はまったく使われていません。そういうところで新しいデバイスのヒントが得られればと思っています。

メカニズムはまだはっきりわかってはいないのですが、レジスタンス ランダムアクセスメモリー (R-RAM) ということが言われています。パルス電場を当てていくと、抵抗の値が連続的に変化していったら、メモリー効果があるというのです。2年半くらいで製品化できるかもしれないとも言われているようですが、まずはきちんとメカニズムを解明するのが大切だと思います。

**理事長** でも、富岡さんの研究の本命というのは、簡単に言えば電子の結晶状態のようなものですね。そちらの話では、境界の電気伝導、本来は絶縁体なわけですね。絶縁体同士のある境界が電子の結晶化によって良導体になるという話ですか？

**富岡** もともと絶縁体になっている状態が異常な状態と考えています。本来なら金属になってよいはずなのに、電子同士の反発が強いために、自由電子になっているべき電子が、結晶の中で格子をつくってしまっている。マンガン系は、磁場と電荷の結合が強いので、強磁性のようにスピンを揃えてやる

と、結晶の状態がすごく不安定になってしまう。そこで、電気が急に流れるようになるわけです。

**理事長** 電子が拘束されて結晶状態みたいになってしまうという話は、超伝導の研究の中から出てきた話ですか？

**富岡** いわばポスト高温超伝導です。超伝導の研究がピークを過ぎて、その次に酸化物材料系で何か新しい材料に注目したいという流れが起きてきて、十倉先生はペロブスカイト酸化物では深い研究の蓄積があり、どの遷移金属酸化物がよい機能を示すかというの、だいたい見当がついていたのです。

**理事長** そうしたメカニズムを解明していくだけでも、十分な研究でしょう。それは電子の物理ですね。

今のような新発見が出た時には、ものすごくオリジナルな、他にない論文を書けるわけでしょう。産総研といえどもその可能性は捨ててはいけなと思う。第1種基礎研究で本当の物理学における新発見だったら、それでよいのではないですか。時系列的な意味では本格研究に必ずつながるのだから、今は第1種基礎研究であることを認めたいと思います。

「理論研究だけでも続けてよいのではないか」と、もしそう言われたら、富岡さんはどうしますか？

**富岡** 私は、第1種基礎研究、第2種

基礎研究という形でやっていきたいと思っています。とにかく実用になる材料をまだ見出していませんので。

**理事長** むしろ評価の面で問題があるのでしょうかね。応用がないから評価が低くなるというところが、今の産総研にはありますね。

第1種基礎研究が非常に深くて大きいために、かかりきりになっているというのは、応用ができずに研究グループの評価が低くなる場合と、区別されなければいけないのです。ですから、富岡さんは安心して研究してください。

## 細胞中でおこるタンパク質の協働

**小野** 夏目さんが研究されているタンパク質のネットワークというのはどのようなものですか？

**夏目** 細胞の中には10万種類以上のタンパク質が同時に働いていて、それが細胞社会をつくっていると考えられています。その10万種類がどのように働いているかという、これはたんでんばらばらに働いているのではなく、グループや組織をつくり、ネットワークを形成して働いています。私たちはそれを解析するための研究をずっとやってきました。

ネットワークを解析するということは、結局、どのタンパク質がどのグループないしはどのタンパク質と相互作用し、どういう組織、グループをつくってネットワークを形成しているかという地図をつくるようなものです。

私たちは今、質量分析計を飛躍的に高感度化し、効率を高めることによって、大規模に非常に精度高く、このような地図を得ることができるようになりました。

高感度化するには環境からのノイズを除去する必要があります。そうしないと、微量なタンパク質が検出できな

いからです。そこでクリーンルームの技術、半導体の製造現場の技術とか、微量のタンパク質を質量分析計に導入する精密金属加工技術とか、環境を整備してきました。それから、無発塵でノイズを出さずにサンプルを質量分析計の中に持ち込むため、産業用ロボットなどを活用した技術を確立して、だいたい2200個くらいの遺伝子がどのような細胞社会の中で、どのようなグループ、どのような組織、どのような社会に属して働いているかの地図づくりをしてきました。

**小野** この研究は、この先どのように発展するのでしょうか？

**夏目** 私たちは病気に関わる遺伝子やタンパク質のネットワークをフィージビリティスタディとして数多く解析してみました。

その結果、生活習慣病、本態性高血圧、アルツハイマーなどに代表されるような認知障害に関わる遺伝子、それから、癌、リウマチ、廃用性筋萎縮（寝たきり）、ダウン症、色素性乾皮症、ベッチェット病に関わるような遺伝子の機能解析に成功しました。要するに、いろいろなタンパク質がどういう組織の中で働いているかがわかったのです。これがわかると、機能もわかります。この遺伝子が壊れていると、それがどんな病気を発症させるのか、その辺がかなりクリアにわかりました。これらの成果は、論文として発表しました。たぶんこのあたりまでの研究は第1種基礎研究つまり「発見」に当たると思っています。

発見すると、生物学者は次は制御したくなる。それも新しい方法で制御したい。これは化合物、できれば低分子化合物を探し出すことです。ネットワークを制御するような化合物。私たちはいま、この第2種基礎研究を展開しています。

具体的には、いろいろなゲノムのモデル動物や変異体などを使って、相互作用の可視化などを行っています。こうした考え方は産業界から非常に多くの支持を受け、企業の協力でさまざまな化合物や、そうした天然物化合物を生み出すようなカビや微生物の菌株を産総研に集結することに成功しました。それらを使った私たちの研究から、性質や効率が非常によい化合物を取ることができれば、当然、臨床薬になるわけです。つまり創薬にも直接つながっていきます。

薬にならない場合も、そうした化合物は、生体を制御するためのすばらしい分子ツールになるわけです。このようなツールを、取りそろえることができるという意味で、これはアカデミアにとっても直接的に非常に有益であると考えています。

質量分析計を使って、ネットワークの地図づくりを行い、次に、それをもとにいろいろなモデル動物、あるいは蛍光イメージング技術などを使って、化合物をスクリーニングします。さらに産総研が誇る巨大高速コンピューターを使ったスクリーニングや、日本独自のコンビナトリーケミストリーの展開などを進めていくことでこの分野の本格研究が加速されると思います。

### 科学者の技が日本の優位性

**理事長** 夏目さんの研究ユニットは、大勢いるのですね。

チームの全員が  
サイエンティストであり、  
全工程を知っている。  
そこを極めた先に  
世界最高レベルの技術がある。

夏目 徹

**夏目** 今は50人くらいです。そのうちネットワーク解析のコアの部分は15人くらいです。

**理事長** 企業の人も入っているのですか？

**夏目** 一部入っていますが機器開発メーカーの方です。製薬会社の方は、発表や特許の考え方がだいぶ異なるので、混乱を避けるために入っていません。ここでも第2種基礎研究のモノづくりのところをやっている人間にとっては、どうやって業績評価するか、本当に悩ましいところですよ。それで優秀な人材を失っている面もあります。

**理事長** 論文にならないからですか？

**夏目** 本当によいものを私たちが出してしまうと困ったことになるのです。ネットワークチーム自体は、新しい相互作用を発見すれば論文が出せるし、基礎科学に貢献はできるのですが、それを元にして、本当に役に立つプロップをつくるとなると、問題が起きてきます。

それが良いものであるほど、「なるべく隠してほしい、目立たないようにしてほしい」という外部からの要請が強くなり、構造式の開示なども一切できなくなってしまいます。

**理事長** “それが研究成果なのに”ですね。





現実的な価値のほうに  
自ら出ていこうと  
する人たちが  
たくさんいるというのは、  
感動的でさえある。

小野 晃

**夏目** はい。評価していただくとした時に、論文はなくても特許はあるでしょうと言われても、「それは見せられません」ということになってしまうのです。今はせっかく多くの方に賛同をいただいて研究グループがつくれたのですが、数年後にどういう形で評価されていくのかが問題だと思っています。

**理事長** 研究グループとしての評価もあるけれど、ひとりひとりの研究者が社会的にどう評価されるかという問題も大きいですね。

**夏目** それから、私たちの研究スタイルには、欧米がまねできない部分があって、それは、ひとつひとつの作業を完全に専門化して特化していることなのです。分析のオペレーションをやっている人間は、そのプロなのです。タンパク質をとりだしたり細胞をかき出したりとか、非常に地道な作業があります。質量分析計の高感度化はスペックで語られるのが普通ですが、言葉で語れないところに本当のノウハウと匠の世界があるのです。

欧米では数値化できないものには興味を持たないので、私たちのようにはいきません。こういう人たちをどういうふうに評価していくのか、それが非常に難しいのです。

**理事長** 2つの問題があるような気がします。チームでやっていることと、

その一人ひとりが他に代えがたいような独特の能力を持っていること。このようなチームで初めて、高度な研究活動ができるわけでしょう。ひとりひとりではだめですね。

**夏目** そうなのです。まったく意味がないのです。

**理事長** そうだとすると、チームの中で何をやっているかは、他の人からはわからないけれど、あたかもチームをひとりの人格のようにして評価されるという、そういう評価の仕方がありますね。もうひとつは、そのチームがなぜ組んでいるのかで、そこに私は非常に興味がある。そういう問題というのは、きっと他にもあると思うのです。現実に、特に産業の役に立とうとする第2種基礎研究の部分では、縁の下の力持ちでもないけれど、いわゆるチームの中で役に立つ人。

**夏目** 少し話がずれるかもしれませんが、私たちは実は成功のひな型、モデルを持っていると思います。それはトヨタの生産方式です。脱規模とか、徹底的なコストダウンのために無駄を省く。そのためにカンバン方式とか、ジャストインタイムというのが生まれていると思うのです。私たちのところでも、今まで見えないものが見えるようにするために、高感度化とは何か、徹底的に突き詰めて見直してきました。そして、それを実際に可能にするために、

クリーンルームのシステムをどう組むかとか、その人にしかできない代えがたい作業をきっちりやってもらうために、誰でもやれるところは全部ロボット化するとか、実行してきました。そういうところは、分野や目的こそ違い、私たち自身の中で読み替えてやってきました。

いろいろな批判もあるのかもしれませんが、やはり日本のモノづくりの基本が、実は日本のサイエンスのやり方としてアピールできるのではないかと思うのです。そういう成功の仕方ができれば、そのように組織して、マネージメントして、そこで働いている人間も評価できる。そういうものがつくれたらすばらしいと思っています。

**理事長** それ自体が論文になりますね。

**小野** ドイツなどに行くと、研究所の職員の3分の1はサイエンティストで、3分の1はエンジニアで、3分の1はテクニシャンですね。さっきおっしゃった作業にしても、ドイツではテクニシャンがやるわけですが、作業をテクニシャンだけに任せるのはダメなのですね。

**夏目** おっしゃるとおりです。マニュアルだけではダメなのです。

**小野** そうではなくて、全部の工程を知っている人がそれをやるのが重要で、それが非常にインテリジェンスを必要とする、ということだと思います。

**夏目** そうなのです。そこが日本の非常に深くて優れた点だと思います。全員がサイエンティストであり、全工程を知っている。そこを極めていくと、今まで見えなかったものが見えてくる。質量分析という手法が初めて活かせるのです。そういうことをやるのが、いかにも日本的だと思います。

欧米の会議などに出ると、「なぜこ

んなことができるのか」と言われます。言っていることは非常によくわかるし、そういうことをやらせたら日本人にかなわないし、欧米にはまねできないという。欧米でできないのは、サイエンスは個人主義が唯一許される分野だから、と彼らは言うのです。

**小野** ぜひ評価したいですね。

**理事長** 日本の自動車メーカーの例で言えば、一所懸命にそういうことをやったけれど、自分たちではその意味や価値を表現できなかったわけですね。外国の研究者や経営者が来て、入り込んで分析して、結局、米国で新しいエンジニアリングのスタイルとして一般化されたのです。そこもまた日本のひとつの特徴で、実行できるのに、それを客観的に表現できないところがある。

サイエンスというのはまさに個人の仕事であって、個人の業績しか認めないと言っているのだけれど、集団独創のようなものがありうるというのは、問題提起だけでも非常に大きな話であって、それは産総研が出すしかないですね。

**江渡** 夏目さんのところほど深刻ではないのですが、私のところでも同じような問題はあります。チームで行う第2種基礎研究というのは、評価やマネジメントの難しが多いので、産総研の中に、そのためのサポートを充実させていただきたいです。

**理事長** それは反省しなければいけませんね。評価する側がまだ理解していないことが、今日のお話でかなりわかりました。勉強させてもらいました。今度、産総研の本格研究ワークショップでそういう議論をやってみましょう。第2種基礎研究が論文にならないというのはよく聞く話だけれど、それ

以外に、どうやって支援していくのかというリアルな検討をする時期に来たということですね。

### コンピュータ上で仮想ロボットを作る

**小野** 江渡さんは、コンピュータ上で仮想ロボットの制作を通じて人の創造性を育む新しい試みをされていますね。

**江渡** 前の3人の皆さんの研究と並べると、私の研究はサイエンスの中でもユーザーインターフェイス寄りのものです。

私たちがインターネットに公開している「モジュロブ」という名前のソフトウェアは、コンピュータ上で三次元モデルを簡単につくれるものです。モジュールを付け加えたり、形を変形させたりして、自由に形を作り出すことができます。たとえば生き物のような形を組み立てて、画面の中で動かして見るすることができます。

私たちはこれを説明する時によく「動く玩具ブロック」という説明をします。たくさんの小さなブロックを自由に組み立てて子どもが遊ぶように、画面の中で、形を自由に作ることができて、しかも動きを加えることができます。つまり、生き物のように動く三次元モデルをコンピュータ上に簡単に作ることができます。

形を作るために用意されたパーツをモジュールと呼んでいます。シャフトモジュールとリンクモジュールがあり、シャフトモジュールをつなげて

いって骨格を作り、そこに関節としてのリンクを加えることで、生き物のように動く形になります。制作されたモデルは多種多様になります。いろいろなアイデアでいろいろな形を作ることができます。

計算が遅くなるという問題を解決するために、バネモデルだけを使って計算するエンジンを開発しました。1秒間に4800回の計算を繰り返すことによって、バネモデルであるにもかかわらず、剛体のような見たいを実現することができました。衝突判定においても、異なった2つの仕組みを併用することによって、見た目の安定度を図って、挙動が不安定にならないような工夫をしました。

もう1点の特徴としては、軸リンク構造と違って、自由につながるリンクではなくて、ある一定方向の軸にしか曲がらないリンクをバネモデルだけの計算によって実現することができました。たとえば“ちょうつがい”とか“ねじ”のようなかたちのものです。

このソフトウェアは2005年8月にインターネット上に公開したのですが、その時に同時に「モデル共有サイト」と称して、ユーザーが作ったモデルを投稿してもらおうためのウェブサイトもつくりました。公開直後から、いろいろな人が作ったさまざまなモデルが投稿されてきました。このサイトは、モデルにコメントを付けるといったコミュニティサイト的な機能も持っています。

モデルを介した  
コミュニケーション空間、  
創造性を支援する  
ようなネットワーク環境、  
そういうものを実現したい。

江渡 浩一郎



**小野** 江渡さんがこのソフトウェアの公開と共有サイトから期待しているのはどのような効果ですか？

**江渡** モデル共有サイトには、モデルをアップロードする際に同意してもらう要件を設けています。そこには、アップロードしたモデルは自由に使ってよいという条件が記されています。誰かが、自分の作ったモデルを改造したり、機能を付け加えたりして、それをまたアップロードしてもよいというものです。これに同意した上で、ユーザーはモデルをアップロードしています。

そうすると何が起るかというと、誰かが作ったモデルを元にして、「これはおもしろい」と思った人が「ここにはこういうアイデアが」というのを付け加えて、新しいものに作り替えるのです。その投稿された新しいモデルから、また別の人が別のモデルを作る。そういうモデルを介した創造性の連鎖のようなものが生まれます。この連鎖を、モデル共有サイトで支援したいと考えたのです。そこで、元となったモデルから新しいモデルができたときに、サイトが自動的に親子関係を検出するという仕組みもつくりました。

創造性を支援するような環境が、何らかの形で実現できるのではないかと考えて、プロジェクトを進めてきました。モデルを介してコミュニケーション空間が実現するとか、創造性を支援するようなネットワーク環境を実現したいと思っています。

## 人間の創造性を触発する

**理事長** 江渡さんの研究も非常におもしろいテーマですね。このソフトには、たとえば数学的な原理などは必要ないのですか。

**江渡** このソフトの動作は、シミュレーションを目的としたものではなく、人

間にとって見た目を優先しているので、厳密な原理にはこだわっていません。

**理事長** 人間にとって何が「有効な図」なのか、本来は非常に難しいわけでしょう。新しいメカニズムで何かを考えようとする人間にとって、何を見せればそういうことが促進されるのか、本当のところはわかっていないですよ。発想過程などはわからないから。

私はいったい知識の形がどうなっているかということに興味があります。どういう分野の知識をどういう形にまですれば、それをひとつのアイデアとして結集できるかということですよ。それは、パラメータということなのかもしれないけれど、そういう問題は全然わかっていないのです。この研究はそうしたことに対するひとつの支援の仕組みですね。

作ったもののうちどれが良いかというのは、どうやって決めるのですか。これがうまくいったとか、いかないとかの基準ですが。

**江渡** それはもちろん一番難しいところだと思うのですが、作ったモデルを見てははっきりわかることは、あるモデルは非常に創造性豊かなモデルだけれど、あるモデルはそうじゃないということです。たとえばモデルの複雑さという概念を導入して、複雑なモデルなら創造性があり、そうでないモデルはそうではないというふうに割り切れるかということ、まったくそうではないのです。

非常に単純な形であるにもかかわらず、見ていて飽きないような表現をつくり出す人もいて、これはすごい。逆に、非常にリアルな、彫刻のような形を作って、とてもリアルなものを作る人もいますが、それもまたすごい。どちらも創造性豊かだというふうに評価するメカニズムがあるのかどうか、ある意味で私が最も興味を持ったとこ

ろですが、当然のように、それはないので。

ひとつありうるとしたら、そのモデルが人に影響を与えたかどうかという観点で測れるかもしれないということです。あるモデルが公開されると、それに触発されたさまざまなモデルが子供として生み出されていく。そうすると、ある流派というか、ある流れができたとしたら、その親となったモデルはきっと創造性豊かなものに違いないと言えるかもしれない。

しかし逆に、そうでない事例もやはり見つかっているのです。それは、あまりにも創造性豊かだと誰もまねできないということ。

その辺の意味でも、私はやっけていて非常におもしろいと思っています。

**理事長** パーツは何種類くらい、用意されているのですか？

**江渡** モジュールの種類としては、シャフトとリンクの2種類だけです。リンクに関しては3種類です。リンクに関しては、動きの1サイクルを1秒間から12秒間まで変えられます。

**理事長** 動きもデザインするわけですね。変なふうリンクを作ると、動かなくなってしまうでしょう。それも、やってみたらわかる。「自由度」などという難しい概念がなくても、やっているうちに自然にわかるわけですね。

**江渡** はい。前に進むものを作るだけでも、結構手間がかかりますが。

**理事長** 基本的には、2種類のモジュールと、そしてリンクが持つ3種類の機能を知れば、何かできますね。あとは時間の制御ですね。それで、だんだんものができてくるわけです。こんな単純なことで三次元モデルができるなんて、すごいことですね。

こういう問題は、ある意味では人間の能力の非常に基本的なところに関係している。これは、考えさせられるプロジェクトですね。これがどういう意味を持つてくるのか。もちろん、子供たちの一種の教材になったりということは非常におもしろいけれど、もっと他にいろいろな意味を持つてでしょうね。

社会的な問題とも非常に関係が深いかもしれませんね。今、子どもたちはゲームに熱中しているでしょう。ああいうものについては大きな議論があるわけですが、同じコンピューター・エンターテインメントでもこういうものであれば、非常に大きなメッセージになりますね。

## 本格研究を記述し表現する

**理事長** 今日の4人の方の研究は、それぞれ非常にすばらしい成果ですね。江渡さんの研究も、「ネイチャー」、「サイエンス」的ではないにしても、非常に基礎的なものを持っている。畠さんや夏目さんのように応用を考えている場合もあり、富岡さんの場合はいわゆる本道の基礎研究ですね。

ところで産総研の新しいジャーナルですが、これらの研究とどういう関係になるか教えてください。

**小野** はい。いわゆる第1種基礎研究では、これまで100年、200年の研究の歴史があって、論文の書き方も確立しているのですが、第2種基礎研究は、論文としてどのように記述するのか表現方法もなかったし、トータルとしては成果を社会が評価してくれても、実施した研究者個人のレベルまでは的確に評価していないという問題がありました。

そのために、産総研発の新しいジャーナルを出してみようということを考えています。発明・発見だけでは

従来の科学は  
非常に大事な知識を  
眠らせているのかもしれない。  
産総研はそこを突き破って  
いこうとしている。

吉川 弘之



なくて、社会性のある目標に向かって一種の夢を追求していく時、その夢に対してどうアプローチしているかということ、科学技術の言葉で語っていきないうかかと考えています。夢に至るアプローチがあって、仮説である夢を検証するために論理を積み重ねる、あるいは、決心してそこに突っ込んでいくような、そういうプロセスを科学技術の言葉をもって皆が共有できないかと思っているのです。

**理事長** 分野が違って対話ができる、そういうものでないといけませんね。わかったところはもうよいわけですね。わからないところが問題なのです。

たとえば、言葉で言うことはできるけれど、その背後にいったい何があるのかということ、まだサイエンティフィックには語れない、とすれば、「今はこの表現までしかできない」という表現限界というようなものがあるでしょう。たぶんこれから私たちが作ろうとしている新しいジャーナルというのは、表現限界で満ち満ちたような言語表現になるのだと思います。「ここまでは書けたけれど、ここから先は書けない」という表現限界が入っているのではないかと思います。

科学の進歩というのは、それまでは暗黙知だったものを顕在的な見える知識に移していつているわけでしょう。昔は全部、暗黙知だった。そういう境界にいるというのが、第2種基礎研究

のジャーナルというか、そういうものになるのかなという気がするのです。まだよくはわからないのですが。

そして「どう評価するか」とか「どのようにキャリアにしていこうか」という現実問題もあります。

**小野** 今回は基礎研究で非常に成果を取めた方々にお集まりいただきましたが、第1種基礎研究を続けていっても研究者としては十分成立するのに、そこでとどまるよりは、むしろ「産総研だからできる」第2種基礎研究の方向を選ぼうとしている。現実的な価値のほうに自ら出ていこうとする人たちがたくさんいるというのは、感動的です。

大量合成とか、スクリーニングとか、ウェブ公開と言ったものは、ひと昔前は研究者にとって魅力あるテーマと思われなかったのですが、いまや産総研からそこに進んで出て行こうとしている。

**理事長** 産総研が存在しうる必要条件です。そういうことをやる人は、かつては少なかったですね。1つできれば、それで論文を1つ書いて終わりというのが非常に多かった。そういう意味では、非常に大事な知識を眠らせているのかもしれない。そこを産総研は突き破っていこうとしているのです。

**小野** 今日は面白いお話をありがとうございました。

# スーパーグロース：画期的な単層CNT合成技術

## スーパーグロース法による驚異的なブレイクスルー

スーパーグロース法とは産総研で2004年に開発された、単層カーボンナノチューブの画期的な合成技術です。通常のカーボンナノチューブ合成雰囲気（ppmオーダー）の水分を添加することで、通常は数秒の触媒寿命が数十分にもなり、極微量の触媒から、大量の単層カーボンナノチューブを合成することができます。非常に高い触媒活性により、単層カーボンナノチューブは超高密度で成長し、基板から垂直に配向したフォレストと呼ばれる構造体に組織化されます（図1）。これは自己組織化の一例です。2004年に、10分間で高さ2.5ミリというフォレスト成長を達成しました。これは従来に比較して、高さで500倍、時間効率では、なんと3000倍の改善でした。

スーパーグロース法の触媒効率（生成物/触媒重量比）で50000%にも達し、これは従来のカーボンナノチューブ合成法（図1：表）と比較して数百倍の改善です。触媒使用量の大幅な低減は、この成長手法による、将来の大幅な製造コストダウンの可能性を示しています。また、スーパーグロース法で得られた単層ナノチューブは、未精製の状態で不純物（触媒金属）濃度が0.013%以下というもので、これ



図1 スーパーグロース法によって合成した単層カーボンナノチューブ垂直配向構造体“フォレスト”  
成長時間10分で、高さ数ミリの長さまで単層カーボンナノチューブを効率よく成長させることができます。

は、いままでに知られている中で最も純度が高い単層カーボンナノチューブ材料がその場で製造できるということです。

## 大量生産の道を選択し第2種基礎研究にシフトする

このスーパーグロース法を発見し、発表した後に、目の前に無限の可能性を持つ新しい学問領域が広がっているのを感じました。どこに研究の軸足を置くのかについては非常に悩みました。スーパーグロース法は私にとっ

て、いわば子供のようなものです。子供に立派に成長してほしいと親が願うように、私も、スーパーグロース法が、一時のブームで終わるのではなく10年、20年後まで生き残り、ますます花開くことができる道を考えました。たどり着いた結論は、単層カーボンナノチューブのかつてない規模での工業的産量を目指すというものでした。知的財産部門関係者との度重なる議論も大いに参考になりました。

基板の上で大量に単層カーボンナノチューブを成長させようという発想はおそらく世界で誰も考えたことがないことです。カーボンナノチューブの量産は、気相流動、もしくは担持触媒を用いたロータリーキルンなどで行うというのが業界の常識でした。しかし私の見積もりによれば、スーパーグロース法でいくつかの課題を克服できれば、かつてない低コストで単層カーボンナノチューブを量産できるという見込みがあったのです。量産を決意した時、研究が第1種基礎研究から第2種



1996年東京大学工学博士。筑波大学で半導体表面構造を研究したのち、「世の中にもっと役に立つ研究」を目指し、ハーバード大学でナノテクを修行しました。革新的サイエンスが次々と生まれる現場を目の当たりにし衝撃を受け、世界に通用するスピード感覚、プロフェッショナルリズムを磨きました。2003年帰国し、産総研に入所、カーボンナノチューブの合成と応用に、忙しい日々を送っています。

畠 賢治 (はた けんじ)  
ナノカーボン研究センター  
ナノカーボンチーム

基礎研究となり、本格研究になったのだと思います。

**産業化に向けて“死の谷”を駆け渡る**

最初に苦労したのが、量産のパートナー企業探しです。何社にも話を持ちかけますが、正直いって反応は良くありませんでした。特に従来からカーボンナノチューブに取り組んでいた会社は、これまでの製造法を捨ててスーパーグロース法に転替えることに躊躇ちゅうちよしました。その中でまったくカーボンナノチューブの経験がないものの、熱い情熱と事業化への真剣さが感じられた日本ゼオンを最終的にパートナーとして選定しました。その後も、国家プロジェクトを立ち上げる苦労、アスベストの問題の煽りなど、絶体絶命の死線を何度も乗り越えてここまで来ました。

2006年から走り出した 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「カーボンナノチュー

ブキャパシタープロジェクト」で、スーパーグロース法は、「かつてない規模・価格での単層カーボンナノチューブの工業的量产と、キャパシターへの応用」を目指しています。これが一気に死の谷を越える起爆剤となることを期待しています (図2)。

スーパーグロース法によって合成される単層カーボンナノチューブはかつてない高比表面積を持ち、次世代スーパーキャパシターの電極材料としても有望です。高価なシリコン基板に代替できるニッケル合金基板の開発、大面積CVD合成技術、湿潤式触媒の開発など、研究は順調に推移しており (図2：中)、2007年度に取り組む連続CVD合成技術に成功すれば、スーパーグロース法による単層カーボンナノチューブの工業的量产はいよいよ実現性を帯びてきます。

2008年度に、開発項目を統合してトータル生産システムを構築し、その後量産機を実現し、工業的生産を

開始する予定です。スーパーキャパシター以外にも、透明導電性フィルム、熱交換器など様々な用途展開が考えられます (図2：右)。単層カーボンナノチューブがあちこちで使われ、“Carbon Nanotube Here, There, and Everywhere”となるのが私の夢です。

最近痛感するのは、このような本格研究は1人の力ではとても実現できないということです。多くの同僚の支援、チーム全員の尽力、様々な方のアドバイスやサポート、産総研、NEDO・経済産業省などの組織からの援助、上司の理解など、多くの力を結集してはじめて、社会への還元という大きな扉が開かれるのだと感じています。それができる環境があることが産総研の強みであり、存在意義なのだと思います。今までスーパーグロース法に支援をいただいた多くの方々にお礼申し上げます。スーパーグロース法によって日本に単層カーボンナノチューブの産業が立ち上がることを望みます。



図2 カーボンナノチューブ合成における本格研究  
工業的量产を実現し、一気に死の谷を渡りきり、さまざまな用途での単層カーボンナノチューブの産業創出を目指します。

# 強相関電子材料開発における本格研究 遷移金属酸化物の電子相制御

## 強相関電子材料の特徴

1986年の銅系酸化物における高温超伝導の発見を契機として、遷移金属を含有する酸化物・遷移金属酸化物についての研究が、精力的に行われるようになりました。遷移金属酸化物では、結晶中の電子の間に、半導体の場合と比べて強いクーロン反発力が働いていることが大きな特徴です。このため遷移金属酸化物をはじめとする強相関電子材料では、注入された電子またはホールが、本来、結晶中を自由に動いて金属状態となるはずなのに、電子間の強い反発力のため、それぞれ局在して絶縁体状態となってしまう例が数多くあります。

## マンガン系酸化物における第1種基礎研究の経緯

マンガン系酸化物でも上記のような絶縁体がしばしば形成されますが、磁性と電気伝導性の密接な繋がりから、数テスラ程度の磁場をかけると、この絶縁体状態を壊して、強磁性金属状態に変化させることができます。この磁場による絶縁体金属転移では、温度50 K以下のような低温の場合、電気抵抗率が、 $10^7$  [ $\Omega$  cm] から  $10^{-3}$  [ $\Omega$  cm] にまで変化します(図4:左)。当時(1994年)、アトムテクノロジー研究体、十倉研究グループのポスドクだった私が、

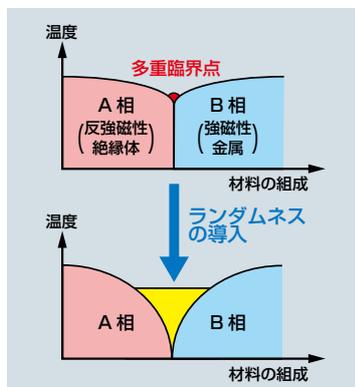


図1 巨大応答現象 / 物質設計の模式図  
巨大揺らぎの起こる領域(黄色の部分)で発見する巨大応答現象(Colossal MR; CMR)を探索します。

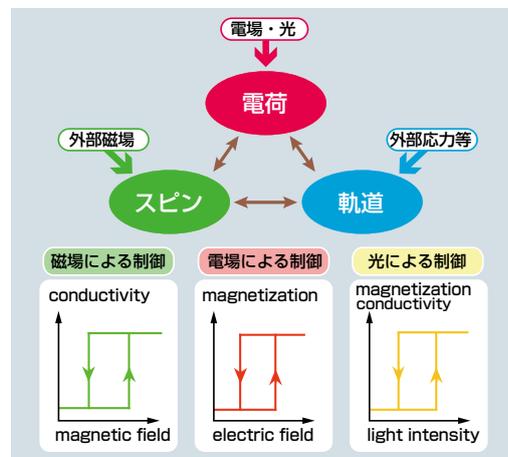


図2 電子相制御の模式図  
強相関電子材料に特徴的なスピン—電荷—軌道の繋がりを利用すると、例えば、外部磁場をかけることにより、電荷(電気伝導性)の変化(出力)を引き起こすことができます。

朝光 敦 氏(現東京大学低温センター教授)、守友 浩 氏(現筑波大学大学院数理物質科学研究科教授)とともに見いだした現象で、その後、このようなマンガン系酸化物の示す磁気抵抗効果(CMR: colossal magnetoresistance)についての研究は、さらに活発になりました。

そもそもマンガン系酸化物に注目したのは、当時、グループリーダーの十倉氏(現産総研強相関電子技術研究センター長、東京大学工学部教授)の研究室における、一連のペロブスカイト型3d遷移金属酸化物についての研究によります。また、マンガン系酸化物の材質はセラミックスなので、固相反

応法による多結晶を用いるのが一般的ですが、多結晶では、結晶粒間の影響で材料本来の電子物性が、十分に現れてこない場合があるため、高温超伝導の発見以来発展してきた浮遊溶融法によって単結晶を作製して研究してきました。

## 第2種の基礎研究にむけて

マンガン系酸化物では、CMR以外に、電場(図4右)<sup>\*1</sup>やレーザー光の照射によっても絶縁体金属転移が引き起こされます(図3)。これに関係して、IEDM2002<sup>\*2</sup>でSharp LaboratoriesとUniversity of Houstonから、電場をかけることによる抵抗の変化を利用したマンガン系酸化物の不揮発メモリ素子(R-RAM: Resistance RAM)が発表されました。

マンガン系酸化物では、磁場による相転移の駆動が中心的な現象だったので意外な感がありましたが、現在では研究が進み、他の酸化物でも同様の抵抗変化が見いだされ、実は、冒頭に述べたような強相関電子材料に特徴的な電子の状態とはあまり関係がないことがわかってきています。



1994年、東京大学大学院工学系研究科博士課程卒、工業技術院産業技術融合領域研究所に、アトムテクノロジー研究体(JRCAT)研究員として入所、1998年、同主任研究員。  
酸化物単結晶の作製については、大学では経験したことがなく、入所してから携わるようになりました。毎日、昼休みにグラウンドに出てサッカーをしています。

富岡 泰秀 (とみおか やすひで)  
強相関電子技術研究センター  
強相関相制御チーム

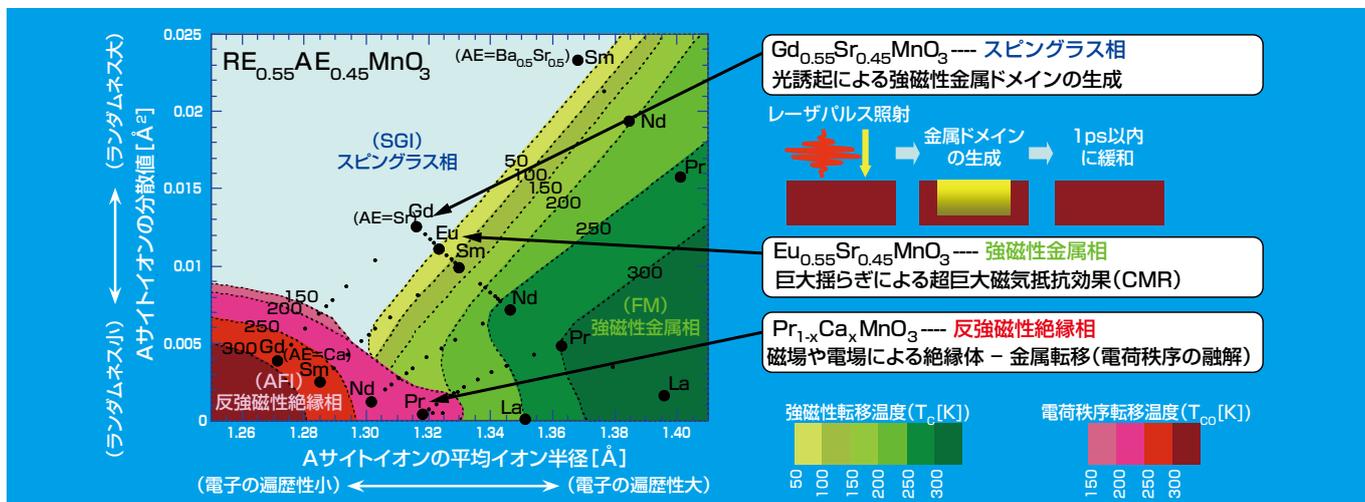


図3 ペロブスカイト型マンガン酸化物の電子相図とレーザーパルス照射による強磁性金属ドメイン生成の模式図  
電子の遍歴性（横軸）とランダムネス（縦軸）を用いて整理したペロブスカイト型マンガン酸化物の電子相図（左）と、レーザーパルス照射による強磁性金属ドメイン生成などの電子相制御の例（右）。（磁場や電場による電子相制御（絶縁体金属転移）の例は図4、図5に示されています。）

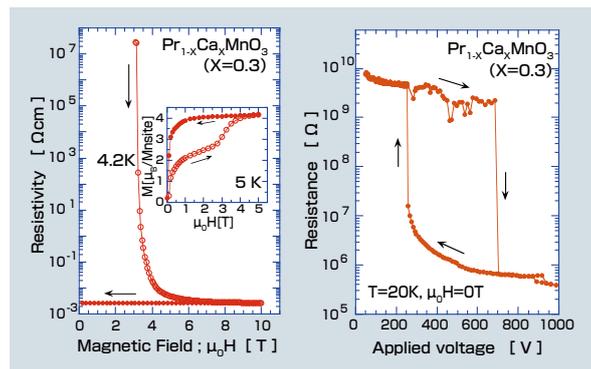


図4 ペロブスカイト型マンガン酸化物の、磁場による絶縁体金属転移（左）と、電場による絶縁体金属転移（右）  
磁場をかけるとともに抵抗率が測定限界値以上から  $10^3$  [Ωcm] にまで減少し絶縁体から金属への変化が起きます。電場によっても同様のスイッチングが起きます。

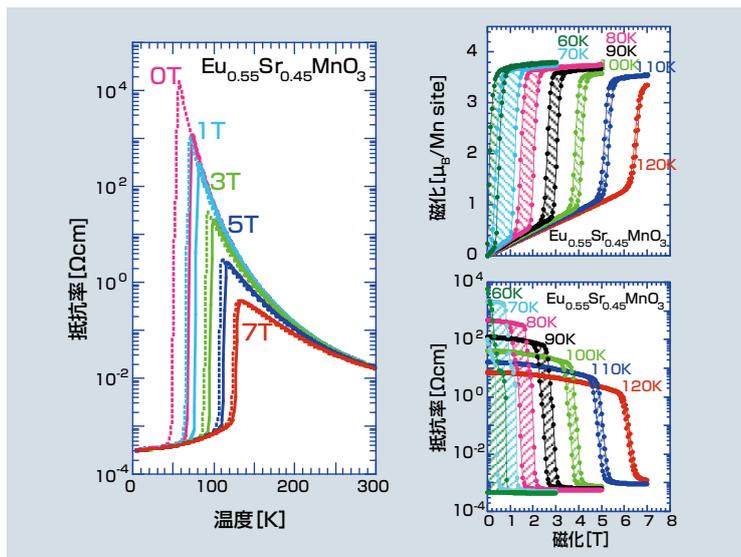


図5 ペロブスカイト型マンガン酸化物における超巨大磁気抵抗効果の一例（CMR）  
磁場をかけることによって絶縁体-金属のスイッチングを引き起こします。

しかしながら、マンガン系酸化物に関する研究の流れのなかで、第2種基礎研究への糸口が現れてきたと言えます。

最後に、湯川秀樹博士著「創造的人間」（筑摩書房）の中に、研究することを、科学者と自然との間の囲碁対

局に喩えて、科学者が自然という相手に予想外の手を打たせることができたなら、それ自体が成功である、と書かれている部分があるのですが、このようなニュアンスを抱きながら、今後とも、新しいデバイス開発のシーズとして、強相関電子材料の特徴を生かした革新

的な機能をもった電子材料の構築を目指して、良質単結晶試料の作製による基盤材料の開発を中心に手がけていきたいと思っています。

\* 1 A. Asamitsu, Y. Tomioka, H. Kuwahara and Y. Tokura, Nature 388, 50 (1997).

\* 2 2002 IEEE International Electron Devices Meeting

# 大規模タンパク質ネットワーク解析における本格研究 新たな生命システムの発見を創薬加速につなげる

## 本当の高感度化

この10年間のタンパク質科学の技術革新には目を見張るものがあります。質量分析技術が飛躍的に進歩し、これまで一晩かかっていたタンパク質の同定が、数秒でできるようになったのです。その感度は“月面から地球上のホコリを検出する”と例えられるほどです。当時（私も含めて）、保守的で疑い深くかつ頑固なタンパク質科学者も、“これなら細胞中に10数万種あるというタンパク質を一網打尽・網羅的に解析し尽くせるかもしれない”と、「錯覚」したのです。

しかし、実際の分析現場で、そのような高感度・高効率な解析が行われるようにはなりません。タンパク質のひとつひとつが、千差万別の形状と大きさを持ち、化学的な性質もさまざままで不安定だからです。微量なタンパク質は、わずかな時間、容器に保持するだけで、分解あるいは変性し、容器の壁に吸着して解析不可能となってしまいます。質量分析計という「検出器」がどんなに優れていても、この消失問題を分析感度とスループットの限界点を決めてしまうのです。

そこで、私が10年前から取り組んできたことは、サンプル導入システムの徹底的な極小化でした。まるで幼稚園児のように、私たちの予想を超えて奔

放で、すぐ迷子になってしまうタンパク質を、極小のスペースに閉じこめて逃げられないようにする「ナノLC」という技術の開発です。私たちは、日本の町工場の手で、ついに世界最小のナノLCの開発に成功しました。

このオリジナルなナノLCを質量分析計にオンライン化し、これまで見たこともない分解能とシグナル強度を示すチャートを手にしたときの興奮は今も“苦い”思い出として新鮮に蘇ります。私は興奮のあまり、「この技術を活用して、タンパク質相互作用のネットワークを大規模に解析する」という、きわめて無謀なプロジェクトを提案し、それが幸か不幸か認められてしまったのです。それがちょっとした生き地獄の始まりでした。だいたい論文用のチャンピオンデータを取るために製作したプロトタイプで数千解析を繰り返すルーチンオペレーションなどできるわけがないのです。町工場製のこのナノLCは、過酷な解析の繰り返しに、あっという間に壊れ、ありとあらゆるところに不具合が生じました。

そのときにした私たちの決断は、「このプロトタイプの完成度を高めるといふ“技術開発”は全くしない」というものです。製造メーカーでさえ、プロトタイプからプロダクトモデルへと完成させるには数年の歳月を要すること

が珍しくないのが分析機器の世界です。そんなことをしていたら年限付きのプロジェクトで何も結果を残せません。私たちが選んだ道は、「壊れないようにする」のではなく、「壊れたら直ぐ直す」でした。これは、ネジ1本から自分たちの手で作り、測定現場にパーツを常時ストックできる、私たちならではの選択でした。とはいうものの、それ以後、あまり生きた心地のしない日々が続いたのはいうまでもありません。

## 相互作用解析を極める

迂闊にも始めてしまったこのプロジェクトですが、当時、私が立てた計画は、未知の分子・タンパク質、未開拓なもの狙わないというものでした。そして、徹底的に研究され尽くした分子・分野を集中的に解析しました。自分たちが開発したシステムが、本当に高感度で、高効率であるならば、とことん研究し尽くされたところにも、きっと発見があるはず。そしてその発見の値打ちはずぐに判断できます。もし、発見がないなら、開発したシステムが高感度でもハイスループットでもなかったということです。新たな発見が達成されないなら、苦しい作業の継続を自分自身に納得させることも、メンバーに強いることもできません。

幸いにも、続々と新しい発見は続き、そのうちの幾つかは英国の商業週刊誌に掲載されたほどでした。結果として苦しい作業を止められなかったという点では、ある意味不幸といえるかもしれませんが。

## 創薬加速

私がタンパク質の相互作用ネットワーク解析というテーマをライフワークとして長年携わってきた理由は次のようなものです。生体を構成するひと



4 大学・1 企業・2 国研、合計 12 の研究室を渡り歩いた、流しのタンパク質科学者です。2001 年より現職につきました。2004 年より東京大学 分子細胞生物学研究所分子情報・制御部門 客員教授、九州大学 生体防御医学研究所 客員教授、首都大学東京 理学系大学院 客員教授も務めています。2006 年からは、NEDO ケミカルバイオロジープロジェクトのプロジェクトリーダーにもなっています。

夏目 徹（なつめ とおる）  
生物情報解析研究センター  
蛋白質ネットワーク解析チーム

**ヒト Gateway 化 cDNA クローン (60,000 個：保有数世界最大)**  
大規模タンパク質相互作用ネットワーク解析

**創薬の加速化**  
ロボット合成技術  
A1-A10, B1-B10, C1-C10  
骨格を組合せ一歩に高速合成 10×10×10 = 10,000

**超高感度。高スループット ナノ LC-MS/MS システム (世界最高感度)**  
疾患関連遺伝子の機能解析  
疾患発症メカニズムの解明  
創薬ターゲットの発見

**HT スクリーニング**  
● 相互作用を指標  
● モデル動物

**In silico ドッキング**  
バーチャルスクリーニング

**Blue Gene**

**産学官、日本の総力を結集して合成・天然化合物を集結 (製薬企業 21 社が参画)**

**2,200cDNA の解析を終了**  
タンパク質化学につきものの非特異的吸着の問題を解決。ノイズの少ない高精度なデータを取得。

**モデル動物表現型スクリーニング**

**蛍光イメージング技術**

**NITE 生物遺伝資源 (開発) 部門**

図 ケミカルバイオロジー・プロジェクト  
タンパク質ネットワーク解析と次世代天然物化学から展開する化合物スクリーニング

ひとつの細胞は10数万種類のタンパク質によって成り立っています。そして、それらは単独ではありません。人間社会と同様に、グループ・組織を形成しネットワークとして機能しているのです。ですからタンパク質の相互作用（交友関係）を知ることがタンパク質の機能（人となり）を知るために最も重要だと考えてきました。すべての遺伝子がゲノムのレベルで網羅的にリストアップされた今、その機能実体であるタンパク質の働き方をネットワークとして俯瞰し、個々のタンパク質がどのように働いているのかを知ることが非常に重要なのです。

実際に私たちは、このプロジェクトでヒト細胞中の約4,000の相互作用を検出しました。これらのうちの新規相互作用ネットワークから、ゲノム情報からは予想できなかった新たな生命システムの発見とともに、癌、生活習慣病、本態性高血圧、色素性乾皮症、ダウン

症候群などの原因・関連遺伝子の機能と、疾患の発症メカニズムを分子レベルで解明することに貢献しました。そしてメカニズムが理解できれば、おのずと疾患の新規治療法・創薬加速という第2種基礎研究につながっていききました。最終的には国内製薬大手・中堅の21社が参画するプロジェクトへと展開し、「製品化研究」へと突入しました。同時に、産業界からの要請を受け、私たちの技術を高めるべく新たな基礎研究もスタートしました。基礎から応用を目指した私たちの研究は、応用が新たな基礎研究の必要性を生み出す、という「本格研究」の正の循環をつくったわけです。

#### 新しい研究価値観の創出

この7年をふりかえるとき、限られた人員・リソースで期限内に大規模な解析を行うことは、やはり容易なことではありませんでした。このような

研究は個人のスタンドプレーや、1人や2人の優秀な人間で何とかするものではないからです。プロ集団が個々の役割を理解し、チームプレーに徹することによって初めて可能な仕事です。これまでの評価手法では、チームプレーにおける個々の研究者が正當に評価されないため、このようなチーム研究を困難にさせています。しかし、大学関係者からは「大学研究では決してできないことだ」と憧憬とため息のこもったコメントを常にいただいています。これは「産業技術」とうたった公的研究機関での、ある意味真骨頂と言えるものかもしれません。産総研が提唱する第2種基礎研究から本格研究への展開において、チーム研究に携わるメンバーが正當に評価される新たな研究価値観の創出が産総研の使命であり、「産総研」の求心力と原動力ともなるのではないのでしょうか。

# 創造性を支援するインターネット環境構築に向けた本格研究 創る喜びで人と人をつなぐソフトウェア

## 仮想生物の共有から生まれるコミュニティ

モジュロブ (Modulobe) は、コンピュータの画面上で動く仮想生物を簡単に作れるソフトウェアです。子ども向けのブロック玩具のように自由に部品を組み合わせて形を作り、そこに動きを加え、生き物のように動くモデル (仮想生物) を簡単に作ることができます。そのようにして作ったモデルをインターネットのサイトに投稿し、他人と共有することで、モデルを介したコミュニケーションを行えます。このサイトには現在3,500体以上のモデルが登録されています。

## 独自の物理シミュレーションエンジン

モジュロブでは、作ったモデルを物理法則に従ってリアルに動かすことができます。モデルは、骨格となるシャフトと関節となるリンクという2つのモジュールから作られますが、それぞれのモジュールにかかる重力や摩擦力、リンクを伝達する力などの物理法則を計算して、リアルな動きを再現します。そのような物理シミュレーションを実現するライブラリにはすでにいろいろありますが、私たちは独自の物理シミュレーションエンジンを用いることにしました。多数の物体がリンクで接続され、生き物のように動くモデルを表現するという目的に合うものが

無かったからです。

手法としては最も古典的なバネモデルとペナルティ法を組み合わせ、高速な動作を実現しました。また、通常一軸のみに曲るリンク (図1) は解析法で計算しますが、コストがかかるため、角度に対するバネを複数組み合わせることで、同等の計算を高速で行うことができるようになりました。

## 創造性の秘密を探る

モジュロブが目的としていたのは「創造性とは何か」について考えることです。一概に創造性といっても対象は幅広く、定義も曖昧です。そこでまず、できるだけ要素を絞り、単純なモジュールの組み合わせによるモデルを対象にし、そのようなモデルでも創造性は発揮できるのか、発揮するとすればどのように、またそれを支援することは可能なのかなど、一連の流れを調べようと考えました。投稿されたモデルを見ると、非常に高い創造性を感じさせるモデルもあるし、そうでないモデルもあります。その違いはどこにあるのでしょうか。

最初、例えばモデルの複雑さなど、客観的な指標で識別できないかと考えました。しかし、非常にシンプルながらも面白い表現をしているモデルもあるし、その逆もあります。結局、客観

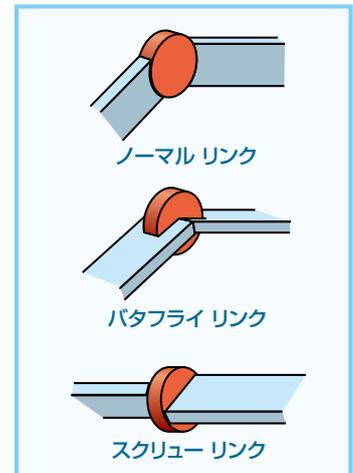


図1 回転方向が一軸だけに制約されたリンク構造

的な指標を見出すことはできませんでした。

次に、モデルが人に与えた影響で計ることを考えました。モデルをサイトに投稿する際に、他の人がモデルを自由に再利用できることに同意してもらっています。あるモデルを元にして新しい要素を加えたモデルを再投稿することができるのです。あるモデルに影響を受けて新しいモデルが生まれ出されたのであれば、そのモデルはきっと人に影響を与えるような高い創造性を持っているに違いありません。モデル共有サイトでは、そのようなモデルの再利用を可視化するために、改変されたモデルが投稿された場合に、元となるモデルを自動的に判別して継承関係を表示する機能をつけています (図2)。これによってどのモデルがどのモデルに影響を与えたのか、一目でわかります。

しかし、再利用だけが創造性の条件というわけではないようです。あまりにも独創性の高いモデルは、逆に真似されることが少ないという現象も見つかっています。



グループ・コミュニケーションを支援するシステムとして、Wikiに注目しています。2003年、メーリングリストと統合したWikiシステム「qwikWeb」を開発し、運用実験を続けています。Wikiの出発点は、ソフトウェア開発における「利用者がシステム設計に参加する」という発想にあり、そのようなWikiの特性を他分野に応用し、利用者と開発者の垣根を超えたシステムのあり方を模索したいと考えています。

江渡 浩一郎 (えと こういちろう)  
情報技術研究部門  
情報流デザイングループ

## モデル制作者に最適化する

もともと、物理シミュレーション技術に強い渡辺訓章氏の参加からこのプロジェクトは始まりました。インターネット上で仮想生物を共有するというコンセプトを元に、物理シミュレーション部分から制作を始め、半年程度で、モデルを作って動かすところまでできるプロトタイプが完成しました。

最初はこの段階での公開を検討しましたが、結局延期しました。システムを公開しても、使ってもらえなければ意味がありません。このプロジェクトで一番重要なのは、モデル制作者です。公開したソフトに一番最初に飛びつくのは、そのソフトに最も興味のあるユーザーです。そのような最初に触ったユーザーがスムーズにモデル制作を行えなければ、二度と使ってもらえないかもしれません。スムーズにモデル制作を行えるよう、4ヶ月かけてインタフェースを全面的に見直しました。その甲斐あって、公開直後からさまざまなモデルが投稿されるようになりました。

## 小中学校でのワークショップ

山口県に山口情報芸術センター(YCAM)というメディア・アートを

専門とするミュージアムがあります。ここはメディア・アートの普及のために、地域での教育活動に力をいれています。ソフト公開後、YCAMとの共同研究として、地域の小中学校でのワークショップを行うことになりました。2006年6月から10月にかけて、県内22校、合計1000人以上の小中学生を対象にした大規模なものとなりました。

現在、小中学校ではパソコンが次々と導入されていますが、パソコンを使った授業をどのように進めるかは現場の教師に任されています。しかし、教えるための教材は限られていて、現場では教える内容に苦心しています。そのような中、モジュロープを使ったワークショップは、パソコンを使って物を作ることを、それをネットワークで公開し、共有すること、公開された中身が他人によって再利用される可能性があることなど、インターネット時代における新しい創造性のありかたについて教えることができる教材として歓迎されました。

小中学校でのワークショップは、私にとっても大きな驚きをとまなうものでした。モジュロープを使ったモデルの作り方の授業という側面よりも、天才小学生発掘プロジェクトという意味

合いを大きく感じました。自分で物を作り、発表できる環境を与えると、一部の生徒は授業の後も自らモデル制作をして発表するようになりました。これまでのモデルを凌駕するような独創性に溢れたモデルを次々と作り上げる小学生もいました。そのような、創造性の発露を発見することができたのは、大きな喜びでした。

## 創造性を支援するネットワーク環境を構築する

私がこの研究で最終的に目標としているのは、創造性を支援するようなネットワーク環境を構築することです。私はモジュロープの他にWikiの研究も行っています。Wikiはその事例であるWikipediaに見られるように、ユーザーの参加によって大規模なコンテンツが作り上げられています。私は、どのようにすればそのような創造性を生み出すような環境を構築できるのかを知りたいと思っていました。

少しづつわかってきたことは、創造性は人に属するものであり、人と人とのつながりを強化することによって創造性を支援することができるということです。そのときのシステムの役割は、そのようなコミュニケーションを行いたいという人の気持ちを支援することであり、自発的な参加を促すことです。そのためにインタフェースの改良や継承関係の可視化など、さまざまな工夫をこらしてきました。

創造性を支援する環境作りは非常に大きな目標ですが、これからもこのテーマに取り組み、情報を消費するだけでなく、情報を生産することに積極的に参加するようなインターネット上の運動へとつなげていきたいと考えています。

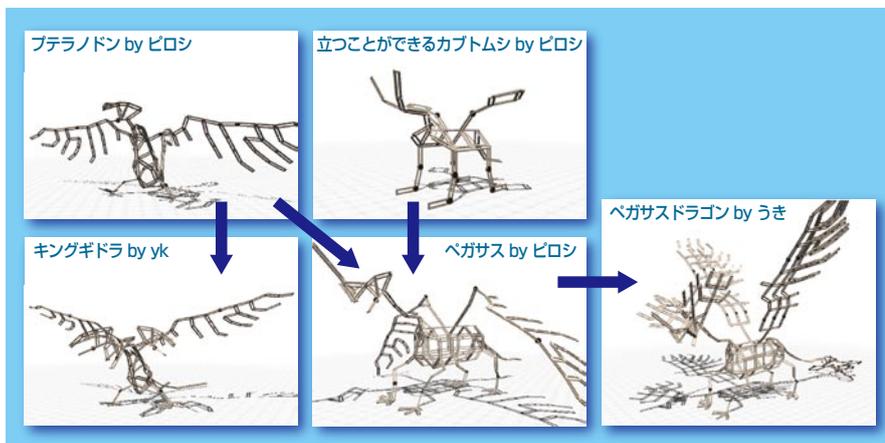


図2 モデルの再利用による継承関係の可視化

# MRIを高感度化するキセノンガス高効率発生装置

## 超偏極キセノンガスの連続生成により診断現場への応用近づく



### 服部 峰之

はっとり みねゆき

mineyuki.hattori@aist.go.jp

光技術研究部門  
デバイス機能化技術グループ  
主任研究員（つくばセンター）

1991年に電子技術総合研究所入所。<sup>13</sup>C 磁気共鳴スペクトロスコピー（MRS）による脳内代謝計測装置の研究開発PJなどを担当しました。1997年頃から、核磁気共鳴（NMR）法を高磁場化を利用して、光の量子的な性質を利用して高感度化させる、光ポンピング法による超偏極技術の研究と超偏極キセノンガスの生成装置の開発を行っています。今後も、NMRの高感度化に挑戦し、時間・空間分解能の向上を目指します。

### 関連情報：

#### ● 参考文献

1) 「新しい核磁気共鳴の高感度化技術」、服部峰之、化学工業、57-5、pp.49-52、2006年5月

2) 「超偏極による高感度計測」、服部峰之、画像情報メディカル、39-4、pp.386-390、2007年4月

#### ● 関連特許

特許第3516010号「偏極希ガスの製造装置を有する磁気共鳴イメージング装置」

特開2003-245263「核スピン偏極希ガスの製造装置とこれを用いた偏極希ガスの製造方法」

#### ● 共同研究者

大竹紀夫、村山守男（東横化学、平賀隆、山本典孝（産総研）

#### ● プレス発表

2006年11月28日「MRIを高感度化するキセノンガスの高効率発生装置を開発」

● この研究は、産総研の実施している「地域中小企業支援型研究開発事業」および独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「平成16年度産業技術研究助成事業」により実施されました。

### 核磁気共鳴(NMR)の光による高感度化

核磁気共鳴画像診断装置（MRI）は、測定対象を傷つけずに内部構造を調べる方法として、医療現場や産業現場で実用化されています。医療用に最もよく用いられているMRIは水素原子核（プロトン、<sup>1</sup>H）を見るもので、主に生体組織中の水分や脂質の水素原子の密度を画像化しています。しかし、肺のような水素原子の密度の低い臓器については、ほとんど利用例がありませんでした。

最近、超偏極と呼ばれる状態の希ガスの利用が注目されています。希ガスはヘリウム、ネオン、アルゴン、キセノンなど、最も化学反応をおこしにくい安定した元素で、生体に対する毒性も少なく安全です。例えば、<sup>3</sup>Heと<sup>129</sup>Xeは、そのままでは感度が悪くて実用的には核磁気共鳴シグナルは利用できませんが、光ポンピング法によって非常に大きな核磁気共鳴を示すように変化させることができます（超偏極：Hyperpolarization）。

この原理は磁場中で、磁場に平行な特殊なレーザー光（円偏光）を低沸点金属であるルビジウムの蒸気に照射すると、ルビジウム原子が円偏光を吸収して磁気的な性質が変化（偏極）します。<sup>3</sup>Heや<sup>129</sup>Xeが共存しているとルビジウムの偏極が伝わって、これらの希ガスが超偏極状態になります。光ポンピングによって、<sup>3</sup>Heや<sup>129</sup>Xeを超偏極状態にするとNMR信号強度を数万倍に増強できるので、密度が低く従来は磁気共鳴の対象になっていなかった希ガスが、同体積の水と比べても100倍以上強い磁気共鳴信号が得られます。

### 連続フロー方式の超偏極キセノンガス生成装置

私たちは、かつて工業技術院時代に、大阪大学医学部、産業医科大学と協力してわが国で初めて超偏極キセノンガスによるMRI画像の取得に成功し、医療技術研究の現場でこのガスを生成できることを実証しました。その後も東横化学との共同研究を通じて、偏極率2～3%の超偏極キセノンガスをバッチ式で連続供給する実用機を完成させました。

産総研では、フローセルを用いてガスを流し

ながら連続的に偏極希ガスを製造し、後方に核磁気共鳴装置を配置することで、偏極率を減少させずに短時間でNMR・MRI測定を行える偏極装置を開発しています。

以前から使われている、円筒状の全ガラス製容器を採用した偏極装置では、レーザー光の強度は入射面からの距離に対して指数関数的に減少するので効率がよくありませんでした。しかし、新しく開発した発生装置は金属製フランジと石英製窓を利用した、連続フロータイプのセルなので次のような長所があります。

1. いままでのガラスセルに比べて、セル内をより高压にできるので、偏極率と超偏極希ガスの製造量をともに増大できる。
2. 長いキャピラリーを取り付けて超偏極したガスを直接NMR装置へ導入できる。
3. 別に用意した真空マニホールドでルビジウム金属を蒸着して、セル部分だけを交換する構成なので、NMR装置に真空機器を近づけなくてよい。また、セルの再利用がいままでのガラスセルに比べて容易である。

### 今後の予定

今後は、動物用のMRI装置などを使用して、超偏極状態に最も適した高速の撮像法を開発して行きます。また超偏極キセノンガスからの信号検出による空洞部分の画像化をもとにした肺機能診断や、NMRスペクトルの経時変化からの局所脳血流量測定など、生体組織中での動態解析を想定した計測技術の研究を進める予定です。

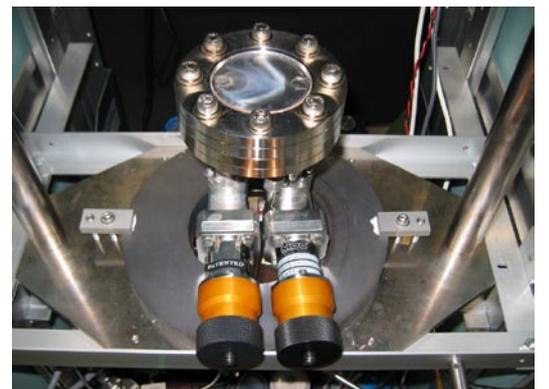
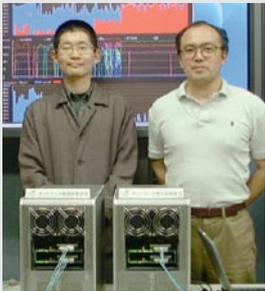


図 新型の連続フロー型超偏極キセノンガス生成装置

# 大規模ネットワークの防御システムを実現

## 侵入検知ルールの変更に素早く対応、100ギガbpsにも拡張可能



戸田 賢二

とだ けんじ (右)

k-toda@aist.go.jp

情報技術研究部門  
兼 男女共同参画室 室長代理  
(つくばセンター)

産総研入所以来、並列計算機やネットワークのアーキテクチャ研究に従事しています。現在は、高性能実時間組込システムの研究開発を中心テーマとしており、ハードウェアによるセキュリティシステム、高性能画像処理装置などの応用研究を展開中です。

片下 敏宏

かたした としひろ (左)

t-katashita@aist.go.jp

情報技術研究部門 特別研究員  
(つくばセンター)

2006年筑波大学大学院システム情報工学研究科卒業、博士(工学)。ネットワークセキュリティシステムを中心に、アプリケーション重視の組み込み機器応用を研究テーマとしています。主としてシステム設計、回路設計、FPGAデバイスに関する研究に従事しています。

### 関連情報：

● 情報技術研究部門実時間組込システム研究班

[http://unit.aist.go.jp/itri/attacker\\_brief/rtes-index.html](http://unit.aist.go.jp/itri/attacker_brief/rtes-index.html)

● 共同研究者

山口喜教、前田敦司 (筑波大学)

● プレス発表

2007年2月20日「サイバー攻撃から大規模ネットワークを防御するシステムの実現」

● 模擬試験装置は、経済産業省の地域新生コンソーシアム研究開発事業による研究「パターンマッチング回路の超高速化とフィルタリング装置への応用」(H16～H17年度)の研究成果を発展させたものです。

### サイバー攻撃への対処

プロバイダをはじめ企業や学校などの組織ネットワークへのサイバー攻撃は、サービス不能やホームページの改ざん、情報漏洩など甚大な被害をもたらします。その被害を抑えることが、組織の信用を高めるだけでなく、利用者を被害から守るという点からも重要です。

サイバー攻撃を検知するシステムとしては、シグネチャ方式の「Snort」と呼ばれるシステムが知られています。しかし、Snortで、組織の基幹ネットワークに利用される10ギガビットイーサネットの通信データを漏れなく検査することは困難でした。

### ネットワーク侵入防御装置の開発

シグネチャ方式では、既知の侵入・攻撃のデータベース(検知ルール)中の文字列と通信データをひとつひとつ照合するパターンマッチング処理で検査を行います。私たちは、この照合を高速化するハードウェアを開発しました。すなわち、非決定性オートマンによって複数の照合を並行して行わせて高速化し、回路の共有で大幅にコンパクト化したのです。このことにより、1225種類の侵入・攻撃に対応して、10ギガビットイーサネットの通信データを漏れなく検査する侵入防御装置の開発に成功しました。

この装置には、FPGAという論理回路が書き換え可能なLSIを用い、さらにルールをもとに回路を生成するプログラムも開発しました。この出力をFPGAに書き込むことで、検知ルールの変更や追加にもすばやく対応できます。また、検出した侵入・

攻撃やネットワーク速度の情報をリアルタイムに通知するほか、明らかな侵入や攻撃である通信データは除去することもできます(図1)。

### ネットワーク模擬攻撃装置も開発

開発した防御装置は、10ギガbpsという非常に高い処理性能を持つため、これを試験する装置がなく、デバッグや詳細な性能評価が困難でした。そこで、10ギガビットイーサネットの回線速度で攻撃用の通信データを生成・送出するネットワーク模擬攻撃装置を開発しました。

この装置は、通信データの送与と同時に試験対象からの出力を監視して、通信データの中から攻撃データだけが検出・除去され、通常のデータは通過していることを検証する機能をもっています。

10ギガbpsの速度を実現するため、ネットワーク物理層チップをハードウェアで直接制御する機能をもたせ、独自に開発したハッシュテーブル方式による通信データの検証機能を搭載しました。ハッシュテーブルを用いることで、ハードウェアの削減と通信データ記録の高速化を達成しています。

模擬攻撃装置を用いて10ギガビットイーサネットの回線速度で実験した結果、防御装置はすべての攻撃を正しく遮断し、無害な通信データだけを通過させました。これによって私たちが開発した検知ハードウェアの処理速度と機能を実証できました(図2)。このシステムは100ギガbpsの処理速度にも拡張が可能です。

### 今後の予定

これらの装置は、小型で低消費電力(50W程度)ですので、大規模ネットワークのセキュリティを向上させ、安心安全なIT社会の実現に大きく寄与することが期待できます。

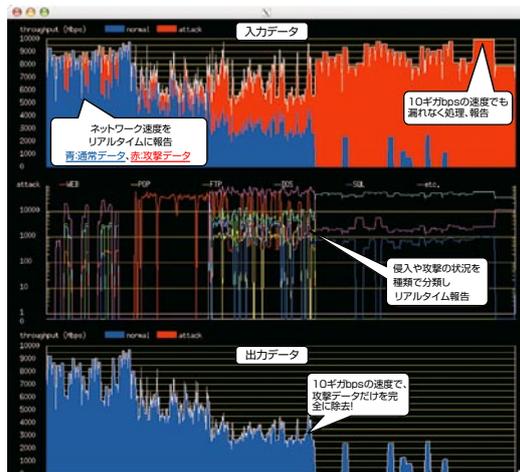


図1 侵入防御装置で検出されたサイバー攻撃の通知画面

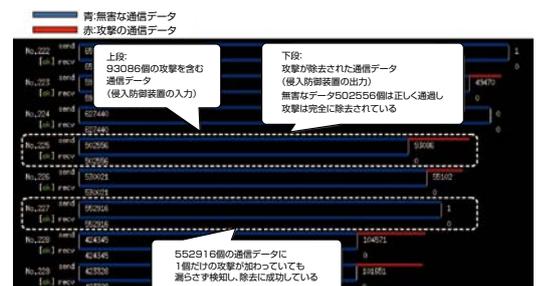


図2 模擬攻撃装置による侵入防御装置のテスト結果

# 大型単結晶ダイヤモンド・ウェハ製造技術を開発

## ダイヤモンドのエレクトロニクス応用に向けて



空野 由明

もくのよしあき

mokuno-y@aist.go.jp

ダイヤモンド研究センター  
単結晶基板開発チーム  
主任研究員  
(関西センター)

1990年産総研(大阪工業技術試験所)に入所以来、高エネルギーイオンマイクロビームを用いた材料分析・改質技術の研究、プラズマイオン注入法による表面処理技術の研究などに従事してきました。2003年のダイヤモンド研究センター発足を契機に、気相合成法によるダイヤモンドの結晶成長の研究を開始し、より大きなダイヤモンドの合成に取り組んでいます。

### 関連情報:

- 共同研究者

茶谷原昭義、山田英明(産総研)

- プレス発表

[1] 2004年3月23日「気相合成法による大型ダイヤモンド単結晶合成技術を開発」

[2] 2007年3月20日「大型単結晶ダイヤモンド・ウェハ製造技術を開発」

### ダイヤモンドの応用

ダイヤモンドは、高硬度、熱伝導率の大きさ、光透過波長帯の広さ、誘電率の小ささ、化学的安定性など有用な物性をもっているため、さまざまなデバイスへの応用が期待されています。特に半導体としての応用には大きな期待がもたれていますが、その実現にはダイヤモンドの優れた特性を活かせる単結晶ダイヤモンドウェハが必要となります。これまで、ウェハ状のダイヤモンドを製造するには大型のダイヤモンド単結晶を薄切りにしていましたが、加工ロスが多く、複雑なプロセスも必要のため、電子デバイスへの応用が考えられる段階ではありませんでした。

### 大型単結晶ダイヤモンド

ダイヤモンドは、炭素を高温高压環境の特殊炉で製造する方法と、プラズマCVD(化学気相成長法)で作製する方法があります。産総研では、2003年からマイクロ波プラズマCVD法による大型単結晶ダイヤモンド合成の研究を進め、これまでに1カラットの単結晶ダイヤモンドの高速合成に成功しています<sup>[1]</sup>。

産総研で開発した製造法は、(100)面を成長面として成長を継続できる特徴があります。そこで、さらに大型のダイヤモンドをつくるため、最初に(100)面を持った種結晶を棒状に成長させ、次に側面のたとえば(010)面を研磨してこの面上に成長させ、さらに(100)面上に成長させることで、しだいに結晶を大型化することにも成功し、最大で厚さ10mm、重さ66カラットのダイヤモンドを合成しています。

### ダイレクトウェハ化技術

今回、結晶表面の処理とエッチングによって、種結晶とその上に成長したダイヤモンドを加工ロスなしに分離する「ダイレクトウェハ化技術」を開発しました<sup>[2]</sup>。これは、結晶成長に先立って、種となる単結晶ダイヤモンドにあらかじめイオンを注入して、表面直下に欠陥層をつくっておきます。気相成長後、欠陥層がグラファイト構造になるので、電気化学的エッチングなどによってこのグラファイト部分を除去します。

この方法では、ごく一部の種結晶が切断時になくなりますが、その消耗は1 $\mu$ m以下に抑えることができます。したがって、種結晶を何度も繰り返して利用することができ、切り離したウェハを種結晶として使用することもできます(図)。

これまでも、このような分離手法はいくつか研究されてきましたが、いずれも小さい形状に限られ、最大形状でも3~4mm角が限界でした。産総研では、エッチング方法を改善して、10mm角(面積では10倍)の大型ウェハを実現することに成功しました(写真)。

### 今後の予定

今後、さらに種結晶の面積を進めるとともに、これに対応した均一で大面積なウェハ作製技術の開発を続けていきます。同時に結晶品質の向上も進め、ダイヤモンドのエレクトロニクス分野への応用を切り拓いていきたいと考えています。

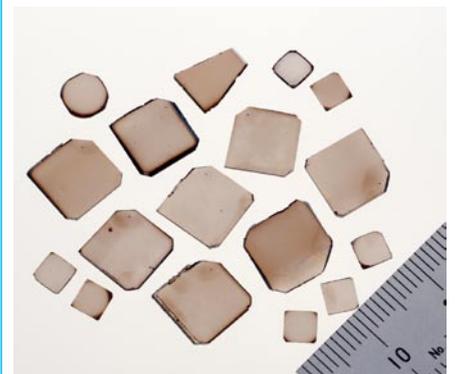
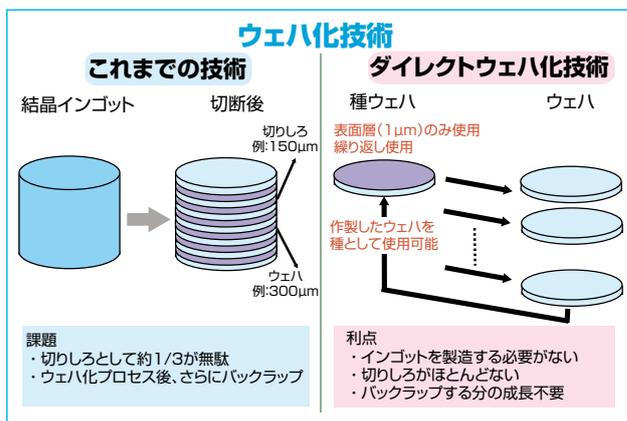


写真 ダイレクトウェハ化技術で作製した大型単結晶ダイヤモンド・ウェハ

# 超小型・高出力密度のマイクロ燃料電池

## 角砂糖大の大きさにて2Wを超える出力性能を600℃以下で実現



鈴木 俊男

すずき としお

toshio.suzuki@aist.go.jp

先進製造プロセス研究部門  
機能モジュール化研究グループ  
研究員  
(中部センター)

2005年よりNEDOプロジェクト「セラミックリアクター開発」にて小型高出力のSOFCの開発に取り組み、他研究機関・企業との共同研究体制で早期の実用化を目指しています。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

舟橋佳宏 (FCRA・日本特殊陶業)、藤代芳伸、淡野正信 (産総研)

#### ● プレス発表

2007年3月29日「超小型・高出力密度のマイクロ燃料電池の開発」

● この研究開発は産総研とファインセラミックス技術研究組合 (FCRA・日本特殊陶業) が、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) プロジェクト「セラミックリアクター開発」における革新的セラミック製の電気化学リアクターの開発を進めたものです。

### 固体酸化物型燃料電池

燃料電池は燃料(水素)と空気(酸素)の化学反応から直接電気を取り出すことができ、小型でも高い効率を実現できます。地球温暖化の原因の1つと言われるCO<sub>2</sub>の発生の大幅な削減につながることから、種々の方式の電池が開発されています。その中で最も効率が高い燃料電池は、セラミックス技術を利用する固体酸化物型燃料電池(SOFC)です。

SOFCは他の燃料電池に比べて、高い温度領域で動作するので電池の排熱を燃料改質や貯湯に利用でき、システム全体の効率を大幅に向上できます。また、セラミック材料だけで燃料電池を作製できるので、高い長期安定性をもつのが特徴です。しかし、これまでのSOFCは800～1000℃という高温での運転が必要なため、熱サイクルや負荷変動の少ない発電設備への応用などに限られていました。

### マイクロSOFCキューブ

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) プロジェクト「セラミックリアクター開発」では、13の研究機関、国内外の大学や企業が参加して、動作温度が650℃以下、高出力で急速運転ができる小型高性能SOFCの開発研究を行ってきており、これまでに高性能チューブ型マイクロセルの開発に成功しています。

小型高性能SOFCの実用化のためには、これらのチューブ型マイクロセルを高度集積して、スタック・モジュールにする必要があります。そのためには高い空気供給機能(多孔質体)と集電機能(低電気抵抗)の両方を満たす集積用構造体の開発が必要です。通常、導電性セラミックスは多孔化すると電気抵抗が増加するため、相反する2つの機能を両立させた構造体の作製は難しいのです。

産総研とファインセラミックス技術研究組合 (FCRA)・日本特殊陶業は、市販のセラミック材料を利用しながら、セラミック電極構造制御技術やマイクロ集積モジュール作製に必要なセル接合技術などを検討して、その集積方法や集

積用構造体の新しい製造方法を見だし、これらの問題を解決しました。

今回、SOFCの空気側電極材料として使われているランタンコバルト系セラミックスを集積用構造体にも用いて、その微細構造制御を最適化することにより、600℃以下の低温動作でも1cm<sup>3</sup>あたり2W以上の出力をもつ超小型キューブ型SOFCユニットの製造技術を確認しました。この技術は、基本的なセラミック成型方法を利用しているので量産にも適しています。

作製したマイクロSOFCキューブは、角砂糖大の体積1cm<sup>3</sup>の内部に、直径が0.8～2mmのチューブ型マイクロセルが集積された構造になっています(写真)。

東邦ガスが運転温度550℃において2mm径のチューブ型マイクロセルを内蔵するSOFCキューブで性能試験を行ったところ、2W以上の電力が得られることが実証されました。この結果は、600℃以下で運転した燃料電池としては単位体積あたりの特性が世界最高レベルであり、このユニットが燃料・空気の通路をもつ本格的な世界最小のマイクロキューブであることを示しています。

このマイクロSOFCキューブの方式を使えば、マイクロSOFCのスタック・モジュール化が容易になり、小型移動機器用電源の数10Wクラス(体積：数10cm<sup>3</sup>)から、自動車用補助電源、家庭用電源などに適用可能な数kWクラス(体積：数1000cm<sup>3</sup>)まで広く展開ができるようになり、SOFCの実用化を加速するものと考えています。

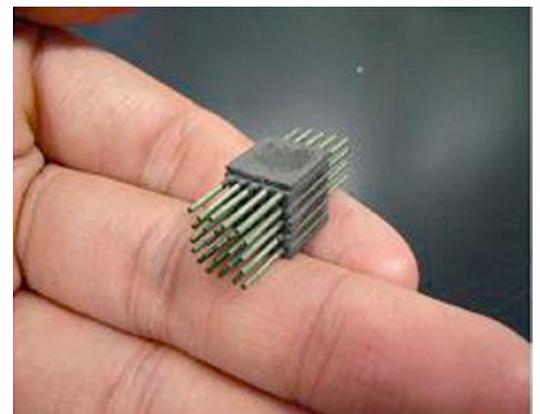


写真 開発した角砂糖大のマイクロSOFCキューブ

# 一般家庭への分散型エネルギーネットワーク導入を目指して

## 燃料電池と電気・熱・水素のネットワークの実用化に向けて



安芸 裕久 あき ひろひさ

h-aki@aist.go.jp

エネルギー技術研究部門  
エネルギーネットワークグループ  
研究員  
(つくばセンター)

入所以来、分散型エネルギーネットワークの研究、主にシステム統合化と分析に関する研究に従事してきました。個々の省エネルギー技術は優れていても、上手に組み合わせないと逆効果になることもしばしばです。都市や街といった地域全体で考え、省エネルギーで環境にやさしいエネルギーシステムの実現を目指します。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

谷口伸行、前田哲彦、近藤潤次、村田晃伸、山口浩（産総研）、石川芳朗、山本重夫、杉本一郎（株式会社KR1）、田村至、毛笠明志（大阪ガス株式会社）

#### ● 参考文献

[1]「エネルギーネットワークの将来像を探る」AIST TODAY 2004年1月号、p.19

[2]“Fuel cells and energy networks of electricity, heat, and hydrogen in residential areas” International Journal of Hydrogen Energy Vol.31, No.8, pp.967-980, 2006年

[3]「住宅地における分散型エネルギーネットワーク 第1期研究成果報告書」2007年

### はじめに

産総研エネルギー技術研究部門で進めている分散型エネルギーネットワーク研究の一例として、燃料電池の住宅への導入とエネルギー融通に関する研究を紹介します。

住宅向けには、固体高分子形燃料電池(PEFC)を用いた家庭用燃料電池が実用化されており、今後の普及が期待されています。しかし、燃料電池の燃料となる水素を都市ガスや灯油から作るための改質器は起動・停止や部分負荷運転が不得意なこと、住宅では瞬間的に大きな電力が要求されることがあることなど、燃料電池を住宅に導入するには課題があります。これらの課題は、機器単体の性能向上だけでは解決できないものです。

### 燃料電池と電気・熱・水素のネットワーク

そこで、私たちは、燃料電池と改質器とを分離して共有し、エネルギーネットワークで電気・熱(温水)・水素を通すことを提案してきました<sup>[1]</sup>。それにより、改質器は効率の良い定格運転ができ、燃料電池は負荷に追従するなど柔軟な運用が可能になります。その結果、システム効率が向上して省エネルギーと環境負荷の低減ができますし、機器の稼働率向上により設備容量が低減できて経済性も向上します。

また、面的な広がりを持った住宅地全体を考えて、その一画にある戸建住宅のグループと集合住宅について検討してきました。これまで所内の実験設備とコンピュータによる数値計算

を中心に研究を進め、戸建住宅のグループと集合住宅の両方について具体的なシステムを設計し、その最適な運用方法も明らかにしました。

戸建住宅のグループ(図1)については、半分程度の住宅に燃料電池や改質器を設置すれば十分な効果が得られ、二酸化炭素排出量も6~8%削減できることを示しました。初期投資も燃料電池を各住宅に導入する場合の半分ですみ、小さな規模から始めて徐々にシステムを拡張していくことも容易なので、経済的にも導入がしやすくなります<sup>[2, 3]</sup>。

集合住宅向けシステム(図2)では、エンジンや複数の種類の燃料電池など、異なる種類の分散形電源を組み合わせることによって、供給できる電気と熱の割合(熱電比)を各住戸での消費に合わせて調整できるという利点があります。PEFCは、排熱回収した湯を貯める貯湯槽と一緒にまとめて各階に設置すれば、各住戸での機器設置が不要となります。

### 実証試験と今後の予定

設計したシステムの実用化に向けて、実際の住宅を用いた実証試験に着手しました。実証試験は、大阪ガス株式会社の保有する実験住宅NEXT21において2007年4月より実施しています。6戸の住宅に対してPEFC(700kW)を3台設置し、燃料電池からの電気と熱(湯)を6戸で融通、利用します。今後は実証試験を通じてノウハウの蓄積を図り、研究成果の実用化に向けた取り組みを加速していきます。

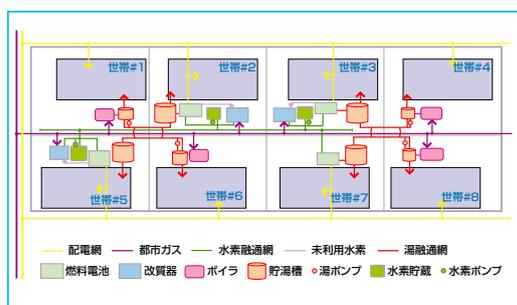


図1 戸建住宅のグループ(街区レベル)向けシステム  
住宅地の一画を想定、機器を各住宅に分散配置する。

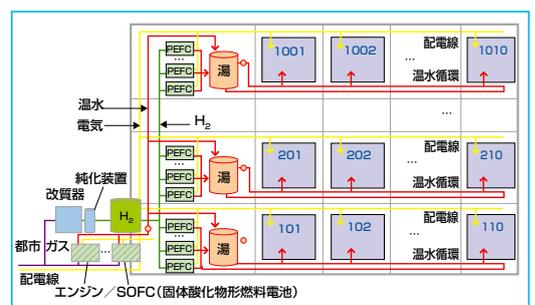


図2 集合住宅向けシステム  
原動機またはSOFCと水素製造装置を共用部に設置し、PEFCを各階に設置する。

# 超低エネルギーでのイオン注入でシリコンを低抵抗化

## 極浅接合によりシリコン半導体デバイスの高集積化



**山本 和弘** やまもと かずひろ  
k-yamamoto@aist.go.jp  
計測フロンティア研究部門  
活性種計測技術研究グループ  
主任研究員  
(つくばセンター)

この装置は薄膜堆積装置として開発したもので、当初は炭素薄膜の化学結合制御の研究を行っていましたが、超低エネルギーイオン注入がシリコン半導体の将来技術になると考えて研究を開始しました。半導体産業に用いられる実用装置を考えた場合、プロセスのスループットが重要ですが、この技術は大電流密度が得られますので、今後産業界との連携を推進して実用化研究を進めたいと考えています。

### 関連情報：

● 共同研究者  
井藤浩志（産総研）

● プレス発表

2007年3月5日「シリコン半導体デバイスの高集積化を可能にするイオン注入技術」

● この研究開発は、科学研究費補助金基盤研究の支援を得て行ったものです。

●  $\Omega/\square$ （オーム・パー・スクウェア）

シート抵抗（シートレジスティビティ、面抵抗率）を表します。

### イオン注入の問題点

シリコン半導体デバイスについて、将来的に解決しなければならない技術課題が「国際半導体技術ロードマップ」としてまとめられています。ここでは、素子の微細化にともなって、電気伝導制御のためのドーパント（半導体に加えられる不純物）を高濃度にし、より浅いソース／ドレイン接合を形成することが必要とされています。

これまでの数MeV～数十keVのイオンエネルギーを用いたイオン注入法（図1）では、シリコン結晶中に多量の格子欠陥および格子間原子がなだれ現象的に形成されるので、結晶性の回復と導入したドーパントの活性化のために、熱処理が必要になります。イオン注入エネルギーを数keVに下げても、熱処理によってドーパントの拡散がみられるので、ドーピング層が10nm以下の極浅領域を形成するためには、熱処理を行わない工程が必要です。特にp型ドーパントであるボロンは、結晶格子間距離に対して原子半径が小さくシリコン結晶格子中を拡散しやすいのです。そのため、急峻にボロンドープされた極浅接合の形成が重要な課題となっています。

### 超低エネルギーイオン注入

産総研では、質量分離したイオンを1000eV以下の低エネルギーに制御し、イオン照射する際の高速中性粒子による損傷の抑制ができる超低エネルギーイオン照射装置を開発し、さまざまな応用を検討してきました。

今回、電極を形成したシリコン単結晶ウェハ（100）面に、表面保護膜として1nmの厚さの酸化膜を形成し、質量分離したボロンイオン（原子質量11）を照射しました。イオンが残留ガスとの衝突により高速中性粒子になることを抑制するため

に、チャンバーの真空度を到達値で $1.3 \times 10^{-8}$ Pa、イオン照射中でも $6.0 \times 10^{-7}$ Paとしました。低エネルギーイオン照射によって、シリコン結晶の多量の格子欠陥および格子間原子の形成が抑制されます。それでも、少量の格子間原子が形成されますが、これはイオン照射中にシリコンを加熱してひずみを緩和することによって抑制されます。

加熱温度はボロンの拡散が生じない800℃以下として、イオン照射後のシート抵抗を調べたところ、温度が高いほど抵抗は低下しました。これは高温でイオン照射した方がシリコン結晶中の欠陥を低減し、ボロンの活性化が高くなるためです。シリコン結晶を800℃に加熱して、イオン照射エネルギー依存性を調べたところ、イオンエネルギーが300eVの時に最も低い抵抗を示し、その値は $2.8 \text{ k}\Omega/\square$ であり、移動度は87を示しました。イオンエネルギー500eVでイオン照射したシリコン試料のシート抵抗は $3.0 \text{ k}\Omega/\square$ であり、2次イオン質量分析による深さ方向分析から、ボロン10は表面から1nmの領域のみに存在しています。

一方、ボロン11はそれより1000倍の濃度で表面から深くまで侵入していますが、これは汚染ではなく、イオン注入により導入されたボロン11であることがわかります。ボロン注入量が最大値の10%になる深さをボロンの注入深さと規定すると、ボロン11の注入深さは8nmでした。500eV以下の超低エネルギーイオン注入によって、表面から10nm以下の領域にボロンを導入して、抵抗の低下を実現しました（図2）。

### 今後の予定

今後、半導体製造装置メーカーとの連携を求めて、技術の最適化により実用技術として製造装置の形にしていくことを目指しています。

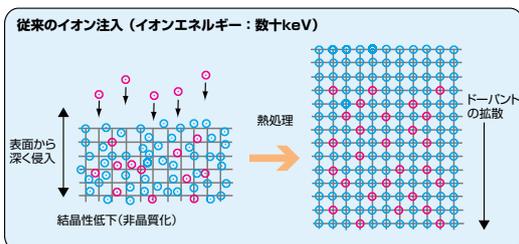


図1 従来のイオン注入（●ボロン、●シリコン）

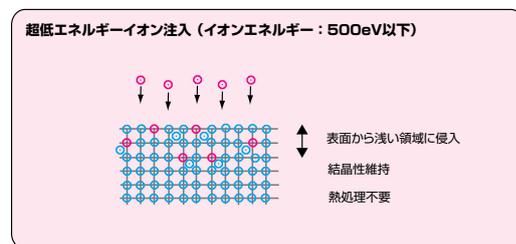


図2 超低エネルギーイオン注入（●ボロン、●シリコン）

## 遠隔環境ガイド装置

### 不慣れな場所で働く人に離れた場所から指示

特許 第3735708号 (出願2002.1)

● 関連特許 (登録済み : 国内1件)

#### 目的と効果

離れた場所にあるオフィスや倉庫での作業を、自分の都合がつかず別の人に依頼することがあります。その人にとって、そこが初めての場所だとしたら、離れた場所から簡単に指示できる方法があればとても便利です。私たちが開発したのはそのようなシステムです。指示する人は、環境を監視するカメラの画像を見て、作業してほしい場所や物を特定し、カメラとセットになったビデオプロジェクタを通して、その対象のポイントに指示のためのマーカーを投影します。作業する人はそのマーカーを見て、不慣れな環境でどこに必要な物があるかを直感的に理解できます。

#### [適用分野]

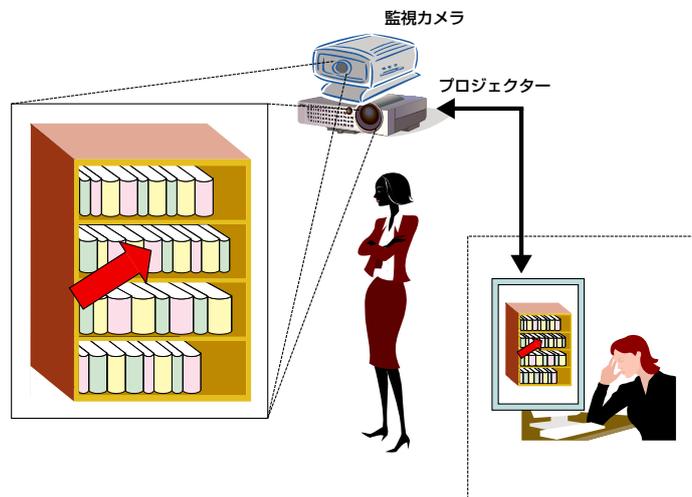
- 監視や修理などの環境や作業に不慣れな人への作業の教示

#### 技術の概要、特徴

複数の道具が収納された倉庫や作業室、防護服などが必要な危険な作業環境や、クリーンルームなどで、作業や環境に不慣れな人や作業の訓練を受ける人が、機械装置の操作や危険物の取り扱い、収納設備の操作や組み立て、メンテナンスなどをするときに、遠隔地からその環境や作業に熟達した監視者からの的確な指示を受けるために、作業環境でじかに指示情報を受け取るシステムを提供します。システムは、作業環境の監視カメラとビデオプロジェクタで構成され、監視者は作業環境のモニタ映像から作業に必要なポイントを特定し、そのポイントを作業する人にプロジェクタからマーカーを投影して指示します。コンピュータ上でマウスポインタ以外に輝度の低い背景画像を生成し、監視カメラとセットになったプロジェクタでマーカーを投影するので、そのマーカーを自分で確認しながら指示することができます。特にキャリブレーションの必要がなく簡単にシステムが構成できます。

#### 発明者からのメッセージ

この技術は、人と共存するロボットから人への情報提示のための技術から派生したシステム化技術です。現在、人とロボットの情報共有に関してさまざまな研究開発を行っています。



遠隔環境ガイド装置の概念図

#### 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/](http://www.aist.go.jp/aist-idea/)

産総研イノベーションズ  
(経済産業省認定 TLO)

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

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

# 高出力レーザーパワー標準と国際比較

## 国際的に信頼性のあるレーザー製品・技術の普及を目指して

### 高出力レーザーパワー標準への社会ニーズ

レーザー産業では、1 W以上の出力でパワー安定度の高い製品が開発され、普及しています。自動車関連部品の加工、SiウェハやICパッケージのマーキング、液晶ディスプレイのリペアなど電子部品への利用のほか、ものづくり技術の高度化・多様化に適応しやすい道具として幅広く活用されています。さらに、レーザーメスに代表される医療・生体への応用では、安心・安全の充実を図るためにも、出力の絶対値を精密に計測することが強く求められて、基準となるパワー標準の早期確立が切望されてきました。

産総研計量標準総合センター(NMIJ)では、レーザーパワーの絶対値を正確に測定する手法として、カロリメータ方式を採用した精密計測の研究に取り組んできました。この方法は、レーザーパワーによる受光部の温度上昇を観測し熱量測定を行うもので、受光部に埋め込んだヒータにより、絶対値を直流電力との比較から直接導出できる利点があります。社会のニーズに対応した1 kWまでのパワー計測を視野に入れ、国際的に信頼性のあるレーザー

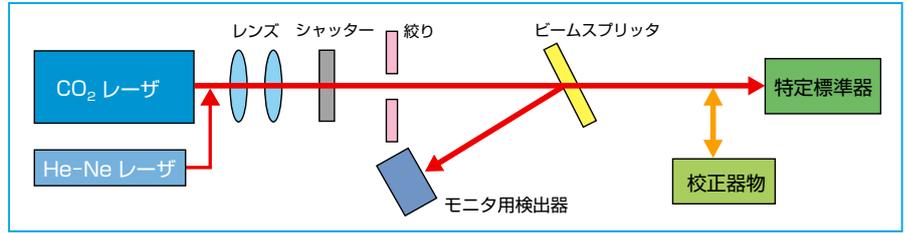


図 校正器物の比較校正の概要

不可視の波長域では小型の可視レーザーを重畳してビーム位置を確認する。レンズ、絞りはビーム径を特定するために用いる。ビームスプリッタは、レーザー光の一部を分割して、モニタ用の検出器に導く。

製品・技術の普及を目指して、可視から中赤外の波長域で1~10 Wを対象としたレーザーパワー測定装置を国家標準(特定標準器)として開発し、レーザーパワーメータの校正による産業界への標準供給体制を整えました。

校正は、単純で簡便な取替え比較法により行います(図参照)。まず、レーザー光を「特定標準器」に入射してパワーの絶対値を決定します。次に、その直前に設置された移動台上のレーザーパワーメータ「校正器物」と置換し、その表示パワーを記録します。モニタ用のパワー検出器で、測定中に光源パワーが変動した場合の補正を行います。校正器物の表示値に対する特定標準器で決定したパワーの比を校正値として報告します。

国際度量衡委員会のもとで実施される国際比較に参加しています。今回は欧州圏が主催する比較(EUROMET)ですが、ヨーロッパ地域からドイツ、英国などの6機関、その他の地域からもNMIJをはじめ、米国、オーストラリア、南アフリカなどの6機関が参加しています。これらの参加機関は、それぞれ独自に開発・改良した方法で装置を評価することにより標準値を設定し、その信頼性の推定を行っています。今回の比較では堅牢な市販のパワーメータヘッドを伸介器として参加機関に順次移送し、その伸介器に各機関が校正値をつけることで値を比較します。

最終結果は後日、国際度量衡局によって公開され、参加機関の標準の国際同等性を示す技術資料として広く利用されることが期待されています。

波長別のレーザーパワー標準の供給範囲、信頼度95%の拡張不確かさ(k=2)で示される校正能力、対応する実施中の国際比較については、表のとおりです。

表 1~10 Wレーザーパワー標準の供給範囲と実施中のEUROMET国際比較

波長 (μm)	標準の供給範囲		国際比較
	レベル (W)	拡張不確かさ, k=2 (%)	
0.515	1	1.1	1
1.06	1~10	1.1	1, 10
10.6	1~10	1.3	1, 5

### 国際的な整合性

各国が維持している国家標準の同等性を直接的に調べる方法が国際比較です。NMIJは、レーザーパワー標準の国際的な整合性を確保・維持するため、

### 関連情報:

M. Endo: AIST Today Vol.4-1, p17 (2004)

M. Endo, T. Inoue: IEEE IM, Vol.54, p688-691 (2005)



遠藤 道幸 えんどう みちゆき

m.endo@aist.go.jp

計測標準研究部門(つくばセンター)

国内外の光産業が激変する中で、国民生活の向上に大きな責任を負うことを自負しながら、今後もレーザー基本量標準の開発・供給などを通じて、関連分野の技術革新に貢献できるように引き続き努力したいと考えています。

## 新研究ユニット紹介

2007年4月1日に発足した2つの新研究ユニットを紹介します。

### 新燃料自動車技術研究センター **Research Center for New Fuels and Vehicle Technology**

研究センター長 後藤 新一

新燃料自動車技術研究センターでは、地球温暖化と原油の供給不安の問題に対して、軽油やガソリンを主体とする現行の自動車燃料の多様化を目指し、新燃料（バイオマス等を起源とする非石油系燃料、及び石油や化石資源を起源とするクリーン化改質燃料）の開発とその普及のための技術開発を行います。

具体的には、自動車用の新燃料の製造技術と新燃料を使用する自動車の革新的技術開発を行うとともに、その普及に不可欠な新燃料の規格化・標準化を関連業界と連携して推進します。また、燃料品質の安定性を確保するため、新燃料や排出ガスを総合的に評価する技術的支援を行います。

自動車の燃費向上と排出ガスをク

リーン化する技術に関しては、産学官のイノベーションハブとしての役割を果たしつつ、エンジン燃焼方式や高性能排出ガス浄化技術等の革新的な自動車技術の開発を自動車業界と連携しながら進め、2009年の自動車のポスト新

長期規制、2015年の自動車の燃費規制の達成を目指します。さらに開発する新燃料とその関連技術を海外に普及するため、国際共同研究や多数の国外研究者の受け入れや派遣を行い、人材育成ネットワークを構築します。

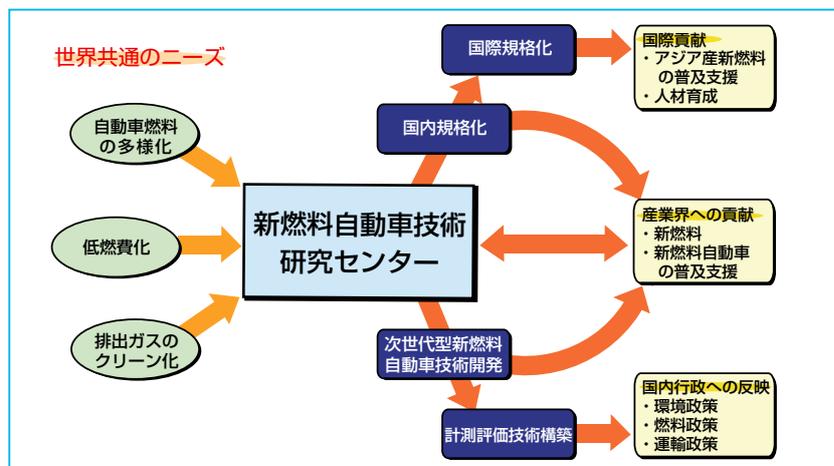


図 新燃料自動車技術研究センターのイノベーション

### 生命情報工学研究センター **Computational Biology Research Center**

研究センター長 浅井 潔

生命情報工学研究センターでは、バイオインフォマティクス分野で産総研が蓄積してきた基盤的な要素技術を継承・発展させ、統合化された実用技術を開発することを目指し、生体分子複合体の構造・機能の予測、遺伝子発現制御機構の解明、細胞内生体反応ネットワークの動態予測などに取り組んでいます。その一環として、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「細胞アレイ等による遺伝子機能の解析技術開発」、「化合物等を活用した生物システム制御基盤技術開発」および「機能性RNA プロジェクト」などの外部プロジェクトにも参加しています。

さらに、センター内外のソフトウェア・データベースを最新の情報処理技

術を用いて統合し、創薬支援などの産業技術への貢献を目指したバイオインフォマティクス情報基盤統合を推進します。このため、文部科学省平成19年度委託事業「ライフサイエンス分野の統合データベース整備事業」に参加します。

また、産学官連携を重視したバイオインフォマティクスの拠点として、企業・大学との共同研究と人材養成に積極的に取り組み、実用技術の開発と産業に役立つ人材の養成でわが国の産業競争力強化に貢献します。

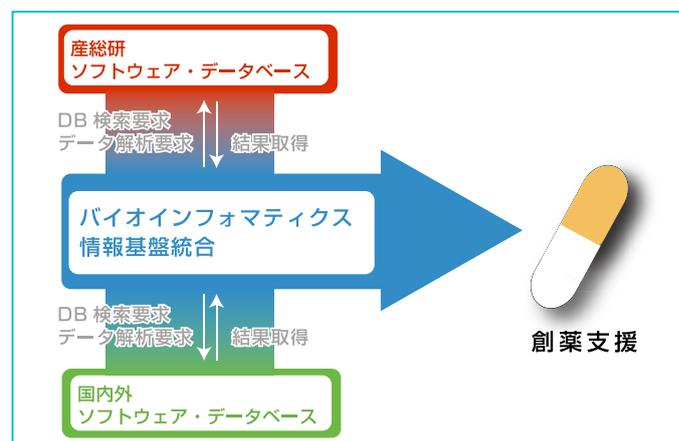


図 生命情報工学研究センターが推進するバイオインフォマティクス情報基盤統合

## 研究コア紹介

研究コアは、政策的要請や、研究ユニット間に求められる強い連携の必要性などに基づいて、特定のテーマに関連する研究ユニットなどを1つの組織として示すことを目的として設立されました。2007年4月1日に発足した3つの研究コアを紹介します。

## アジア・バイオマスエネルギー研究コア Research Core for Asian Biomass Energy

研究コア代表 坂西 欣也

アジア・バイオマスエネルギー研究コアは、バイオマス燃料の製造技術と規格に関する共同研究の実施体として、バイオマス研究センターならびに新燃料自動車技術研究センターから構成され、わが国のエネルギー協力イニシアティブ構想を基本とした、バイオマスエネルギーの製造技術開発、規格制定等の促進をミッションとして、その達成のために、関係する技術開発と

ともに必要な国際協力・研究人材育成を実施します。

具体的な活動としては、図に示したように、2005年12月に発足したバイオマスアジアプロジェクトチーム(BAPT)と密接に連携して、アジアのバイオマスエネルギー、特にバイオ燃料の製造と品質評価・標準化を中心的なプロジェクト研究として推進する予定です。

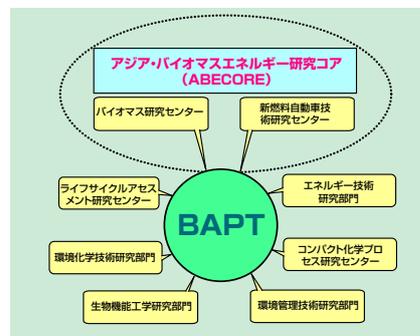


図 アジア・バイオマスエネルギー研究コア(ABECORE)とバイオマスアジアプロジェクトチーム(BAPT)の連携

## 爆発安全研究コア Research Core for Explosion Safety

研究コア代表 飯田 光明

爆発安全研究コアは、爆発現象の安全な利用と爆発災害の防止技術、法令に基づく各種技術基準の策定、標準化作業の実施、外部からの評価依頼への対応について、高い中立性と信頼性をもつ対応を行うために設立されました。

公共社会の安全確保や産業保安技術向上に貢献し、安心・安全で質の高い生活の実現に資するため、世界トップレベルの爆発安全研究の中心として活

動し、燃焼・爆発安全に係わる社会ニーズ、行政ニーズ、国際的ニーズなどに、迅速かつ継続的に応えます。

このため、爆発現象及び関連する現象全般(自然発火、反応暴走、圧力解放、高速燃焼、衝撃破壊、高温・高圧等の高密度エネルギー状態、爆発による環境影響など)について、安全に係わる基礎から応用に至るまでの総合的な研究を行っていきます。



写真 TNT 爆薬を用いた爆発実験の様子

## 深部地質環境研究コア Research Core for Deep Geological Environments

研究コア代表 渡部 芳夫

深部地質環境研究コアは、放射性廃棄物地層処分に対する安全規制の技術的支援研究、処分事業の安全評価への技術支援に加え、放射性廃棄物の地層処分に関する政策当局や関連機関との調整・協力において、政策的に重要であることから設立されました。

地質調査情報センターに置かれた代表者の下、地質分野の3研究ユニットと地質調査情報センターから構成します。

昨年度で終了した深部地質環境研究センターをはじめ、産総研地質分野が実施してきた地層処分の安全規制支援研究を継承し、「概要調査ガイドライン」など、地層処分の安全基準を策定していくために必要となる調査研究を実施するとともに、長期的な課題設定とそれに従った人材育成を戦略的に行っていきます。

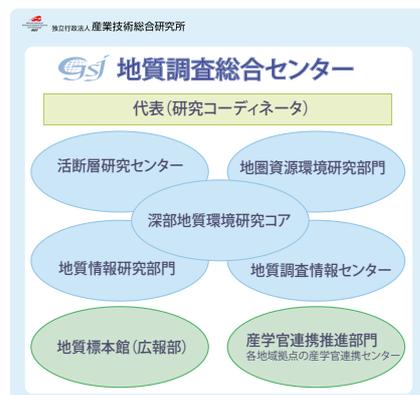


図 深部地質環境研究コアの連携

## ベトナム計画投資省副大臣つくばセンター来訪

4月23日にベトナム計画投資省副大臣、Truong Von Doan氏が同省中小企業庁関係者とともに産総研つくばセンターを訪問されました。

Doan副大臣はJICAとベトナムの共同事業である中小企業支援センターのベトナム側責任者であり、このJICA事業は、ベトナムの中小企業を育成するための指導者養成を目的として平成18年度から2年計画で開始したものです。

曾良副理事長の歓迎挨拶の後、山崎理事から産総研の概要説明とベトナム科学技術院との連携の経緯を紹介し、濱産学官連携推進部門長から産総研における産学官連携制度を紹介しました。

Doan副大臣から産総研とベトナムの連携強化やベトナム中小企業支援センターに対する協力への謝辞が述べられ、特許の帰属や中小企業支援などについて活発に質疑応答も行われました。



Truong Von Doan 副大臣（中央）一行と曾良副理事長ら産総研幹部

## 日仏(産総研・CNRS)ロボット工学ラボの運営・評価委員会

4月16日、産総研知能システム研究部門とフランス国立科学研究センター(CNRS：包括MOU提携)情報・エンジニアリング科学部門が協同運営している日仏ロボット工学共同研究ラボトリー(JRL)の運営会議ならびに研究評価委員会が、フランス側研究拠点(JRL-France)が置かれているツールーズのCNRS解析・システムアーキ

テクチャ研究所(LAAS)にて開催されました。昨年日本からツールーズの研究所に導入された人間型ロボットHRP-2を用いたデモンストレーションも行われ、日仏両国をはじめドイツ、米国の研究者が加わった研究評価委員会から高い評価が得られました。JRLの活動の進展により、知能システム研究部門とフランスはもとより、EUの



人間型ロボットHRP-2のデモンストレーション

ロボット研究機関との研究連携が一段と強化されることが期待されます。

## ハノーバー・メッセ 2007に出展

4月16日～20日の5日間、ドイツのハノーバー国際見本市会場にて、さまざまな産業分野が一堂に会する世界産業見本市「ハノーバー・メッセ2007」が開催され、産総研は5回目の出展を行いました。今回のハノーバー・メッセには、世界62カ国から6400社が出展し、来場者数は23万人(うちドイツ国外からは30%)に上り、まさに世界市場へのゲートウェイといえる場でした。



産総研展示ブース

ハノーバー・メッセにおいて、11分野の専門見本市が開催される中、産総研は「研究開発及びテクノロジー」分野に、日本貿易振興機構(JETRO)が日本法人の出展を取りまとめて設けた約200㎡の合同ジャパンプースにて、JETRO、中小企業基盤整備機構、仙台市とともに出展を行い、イモゴライト、スピニング加工、電気化学リアクター、難燃マグネシウム合金、熱発電モジュール、粘土膜、アザラシ型ロボット「パロ」、有機ナノチューブ、ラビリンチュラ海洋微生物を紹介しました。

産総研のブースには、世界各国からの企業や大学・研究機関の関係者が訪れ、活発に技術に関する議論や商談が行われました。さらに、今年は青少年育成のための特別展が開催されたた

め、最先端の技術に触れようと多くの学生が会場に訪れており、産総研の存在をさまざまな世代に強くアピールする機会となりました。

また、最終日には、渡辺博道経済産業副大臣出席のもと、ハノーバー・メッセ2008(4月21日～25日に開催)のパートナー国が日本になることが発表されました。パートナー国となる来年は、日本から数多くの企業が出展し、日本の技術を世界にアピールすることになります。過去4回および今年の出展経験を活かし、産総研は、ハノーバー・メッセ2008を技術移転、ハイレベルに及ぶ人脈形成および国際連携につなげる場として、最大限に活用したいと考えています。

## 清水敏美研究センター長、日本化学会学術賞受賞

報告

化学の基礎または応用のそれぞれの分野（物理化学系、有機化学系、複合領域など6分野）において先導的・開拓的な研究業績を挙げた研究者に贈られる平成18年度日本化学会学術賞（日本化学会は1878年創立、会員約4万名を擁するわが国最大の化学の学会）が、3月26日に関西大学千里山キャンパスにおいて、界面ナノアーキテクニクス研究センター長である清水敏美氏に授与されました。

今回の受賞は「材料化学・高分子化学系」分野において、清水氏がこの

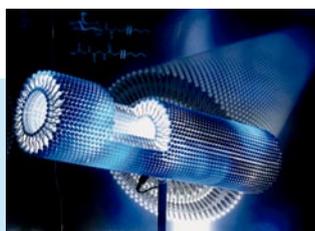
10年間精力的に取り組んできたナノチューブ状一次元構造体への分子組織化と機能開拓に関する優れた研究業績に対して贈られたものです。

清水センター長は分子が自発的に組織化して形成する多種多様な構造・形態制御された有機ナノチューブを独創的に創製し、分子パッキングの詳細を明らかにしてきました。さらに、それらナノチューブがタンパク質や核酸などのこれまで取り込み不可能であったゲスト物質をその中空シリンダー内部に包接できることを世界に先駆けて実証しました。これら一連の研究業績は、産業界からも大きな注目を集めると



藤嶋 昭 日本化学会会長（左）から清水センター長（右）へ授与

もに、国際的にも高く評価されています。ナノテクノロジーなどの学際分野などが担う新技術の開発や未開拓の課題解決にとって非常に重要な知見と示唆を与える業績として、今後の活躍が大きく期待されています。



有機ナノチューブの展示用模型

### 清水センター長のコメント

肉眼ではただの白色粉末ですが、その内部に秘められたナノチューブ構造の魅力にこの10年間とりつかれてきました。幸い、世界に競争相手がいなかったこと、大型外部研究資金が時期よく獲得できたこと、多くの優れた共同研究者に恵まれたことが大きな研究推進につながったと、運の強さに驚いています。今後は、カーボンナノチューブに追いつき追い越せで、産業や社会への還元を念頭に入れた「オーガニックナノチューブ AIST®（登録商標）」の国際的普及に努めていく覚悟です。

## 平成19年度春の叙勲

報告

瑞宝中綬章	小野 修一郎	元工業技術院物質工学工業技術研究所長
瑞宝小綬章	島田 潤一	元工業技術院電子技術総合研究所光技術部長
瑞宝小綬章	名取 博夫	元工業技術院地質調査所首席研究官
瑞宝小綬章	福田 健三	元工業技術院物質工学工業技術研究所無機材料部長
瑞宝小綬章	藤井 敬三	元工業技術院地質調査所国際協力室長 元静岡大学教授
瑞宝双光章	坂東 仁	元工業技術院北海道工業技術研究所総務部長

## EVENT Calendar

5月10日現在 [http://www.aist.go.jp/aist\\_j/event/event\\_main.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/event/event_main.html)

2007年6月 → 2007年7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
<b>6 June</b>			
11日	地質調査総合センターシンポジウム「地質学から地震の予測を目指す」	東京	029-861-3549●
11～12日	国際ナノ熱電シンポジウム	大阪	072-751-9541●
16～17日	産学官連携推進会議	京都	03-5204-1726
22日	産総研サイエンスカフェ「糖鎖」	つくば	029-862-6211●
<b>7 July</b>			
21日	産総研一般公開（つくばセンター）	つくば	029-862-6214●
24～25日	日本ゾルゲル学会討論会	京都	052-736-7233
27日	産総研一般公開（関西センター 尼崎）	兵庫	06-6494-7854●

## ヒトの知覚メカニズムを調べ、福祉・医療機器へ応用

人間福祉医工学研究部門 暮らし情報工学グループ 中川 誠司さん

## ヒトの知覚メカニズムの解明と機器・環境への応用

人間福祉医工学研究部門暮らし情報工学グループでは、ヒトの五感機能や認知機能の解明とモデル化を進めています。さらに、得られた知見を利用し、ヒトとの適合性の高い福祉・医療機器や生活空間を創りだす技術開発を推進しています。

## 骨導超音波知覚の解明と新型補聴器への応用

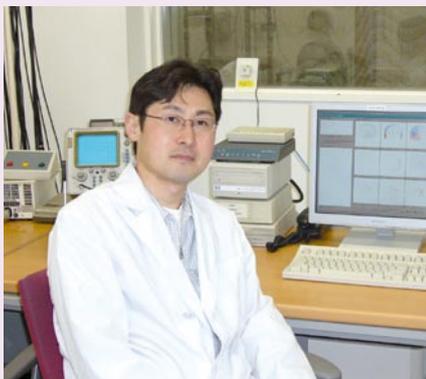
中川さんはヒトの感覚の中でも、“骨導超音波知覚”に着目し、その解明と応用に関する研究を進めています。以前から、骨導（骨伝導）ならば超音波（周波数20kHz以上の高周波音）であっても知覚されること、さらに、聴覚健常者よりもより重度感音性難聴者にも知覚されるという報告がありました。しかし、知覚メカニズムの大部分が未解明であったこともあり、その知覚現象の存在自体に否定的な意見も出ていました。

中川さんの研究グループでは、脳磁界計測を用いて、骨導超音波知覚の存在を証明したうえで、知覚特性や知覚メカニズムの解明を進めています。これまでの研究によって、骨導超音波も通常の聴覚器官（内耳や聴覚神経路）によって知覚されていますが、それらの器官での処理のされ方が通常の音とは少し異なっている可能性があることがわかってきました。

さらに、中川さんはこれら成果を生かして、重度難聴者用の骨導超音波補聴器の開発に取り組んでいます。これまでに、開発した補聴器を用いて、重度感音性難聴者の半数強が何らかの音声を知覚でき、約3割が簡単な単語を聞き取ることができるという画期的な成果をあげています。中川さんはこの研究に対して2003年度ドコモ・モバイル・サイエンス賞、2004年度バイオビジネスコンペ優秀賞、2006年度市村学術賞、2006年度Nature-medicine Anger MG Biomedical Award などを受賞しています。



脳磁界計測の様子



## 中川さんからひとこと

“超音波”の周波数範囲は生物の種によって異なりますし、聴覚の末梢メカニズムには頭部のサイズそのものが大きく影響します。そのため、骨導超音波知覚においてはヒトを対象とした研究がとりわけ重要となります。ヒトを対象とした計測では非侵襲性（計測によって対象を傷つけないこと）が不可欠ですが、そのような制約の中で末梢受容器から中枢神経系にいたるまでの感覚機構の全体像を明らかにするには、さまざまアプローチが必要となります。私たちは脳磁界・脳波計測などの神経生理計測や心理計測、物理計測、さらにはコンピュータ・シミュレーションなど、さまざま手法を駆使してヒト感覚機能の推定に取り組んでいます。骨導超音波知覚については先行研究もほとんどありませんから、自分たちができる技術を駆使して手探りで進めてきたという感じです。苦労も多い反面、常にパイオニアでいられるという喜びも大きいテーマですね。

産 総 研  
TODAY

2007 June Vol.7 No.6

(通巻77号)

平成19年6月1日発行

独立行政法人  
産業技術総合研究所編集・発行  
問い合わせ独立行政法人産業技術総合研究所  
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。

