

多品種少量向け 超小型装置
「ミニマルファブ」

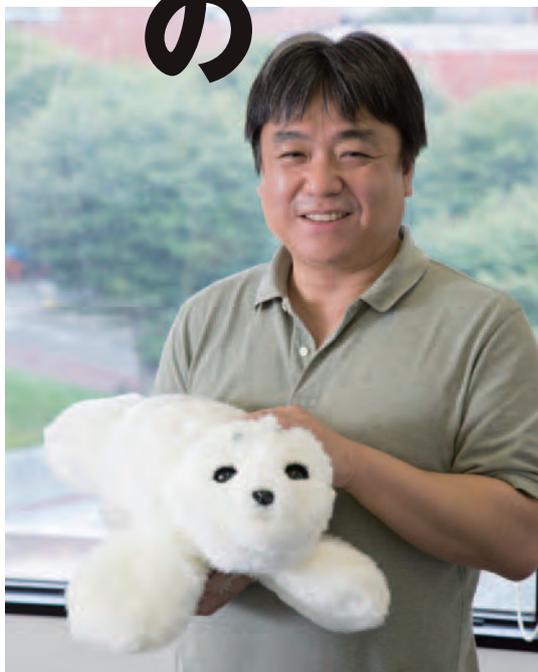
オンリーワンの
モノづくりで
半導体産業の復活へ



地層が示していた
1100年前の東北の津波被害

巨大地震・津波のリスクが震災前に明らかに

世界で唯一の
メンタル・コミット・ロボット
アザラシ型ロボット
「パロ」が医療・福祉の
現場で活躍する



次世代エネルギーの有力候補「薄膜シリコン太陽電池」
発電効率で世界ナンバーワン！
再生可能エネルギーの
未来を拓く太陽電池

ここにもあった 産総研

生活・社会を支える 変える 未来を創る

こんなところに産総研!

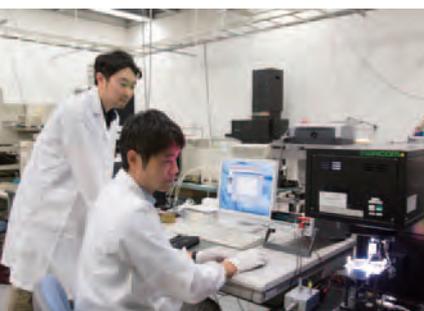


世界で唯一のメンタル・コミット・ロボット アザラシ型ロボット「パロ」が 医療・福祉の現場で活躍する

2

柴田崇徳

ペットを抱っこし、話しかけると、心が安らぐ。
そんな効果を与えるロボットが、国内外の医療機関で注目を集める。



次世代エネルギーの有力候補「薄膜シリコン太陽電池」 発電効率で世界ナンバーワン! 再生可能エネルギーの未来を拓く太陽電池

8

齋均 / 松井卓矢

逆転の発想から生まれた光閉じ込め構造で、発電効率がアップ。
太陽エネルギーを活用する社会への、大きな一歩に。

未来のために産総研!

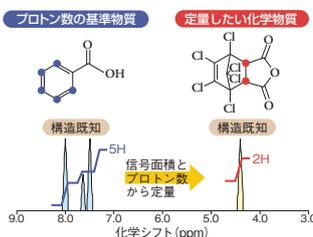


“細胞の顔”糖鎖を読み解く技術

糖鎖マーカーで 肝炎の検査・診断が簡便に

14

肝炎の進行度が血液検査だけで明らかに。
未来の検査・診断技術への貢献、産総研のバイオテクノロジー。



有機化合物の量を正しく測る「定量NMR法」

物質量(モル)を、迅速かつ 正確に測る革新的な計量技術

16

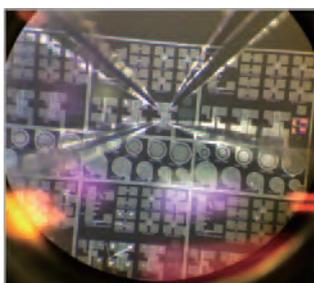
化学物質を計量するための共通の尺度が、世界で初めて誕生。
極みの計測技術で安全・安心な社会に。

多品種少量向け 超小型装置「ミニマルファブ」

オンリーワンのモノづくりで 半導体産業の復活へ

18

幅30cm、クリーンルームも不要のデバイス製造装置で、
モノづくりをもっと自由に、チャレンジングに。



発刊にあたって

「産総研（サンソーケン）ってなに？」 そんな方もいらっしゃるかもしれませんが。聞いたことはあるけど、何をやっているかはよくわからない、という方も多いのでは？

『ここにもあった産総研』は、そんな皆さまの疑問にお答えしようとしてきました。

身近な暮らしの中にも、産総研の開発した技術が実際に活かされている、ということをお伝えします。そして、これからも皆さまの暮らしを支えつつ、よりよい未来を創るために、産総研の研究者が奮闘している姿をお伝えします。



今の暮らしに産総研！

巨大地震・津波のリスクが震災前に明らかに 地層が示していた 1100年前の東北の津波被害

20

地層が記録している遠い過去の災害。
産総研が読み解き、将来の災害への備えとして活用。



福島における放射性物質のリスク管理研究 除染の効果や費用、 被ばく線量を科学的に示す

22

個人被ばくの正しい理解と、不安の解消につなげるために。
客観的で正確な情報を示し、復興支援に貢献。



くらしを支える産総研！

省エネルギー型過給式下水汚泥流動焼却炉 消費電力量40%削減を実現した 次世代の焼却システム

24

日本でも世界でも、燃焼技術で省エネに貢献。
燃焼速度を速め、装置の小型化も実現した汚泥処理システム。



高齢者や障害者の感覚特性に基づくデザイン技術 誰にでも見やすく、 わかりやすい表示を目指して

26

みんなの安全・安心につながる見やすい表示。
3000人のデータから導き出されたアクセシブルデザインが、社会に広がる。



これも産総研の成果なんです！

世界をリードした研究組織と研究成果 工業技術院の挑戦 —産業技術融合領域研究所—

28

1990年代の伝説の組織「融合研」。
ここから生まれた数々の成果は、アメリカのナノテクノロジー政策にも影響を与えた。

こんなところに 産総研!

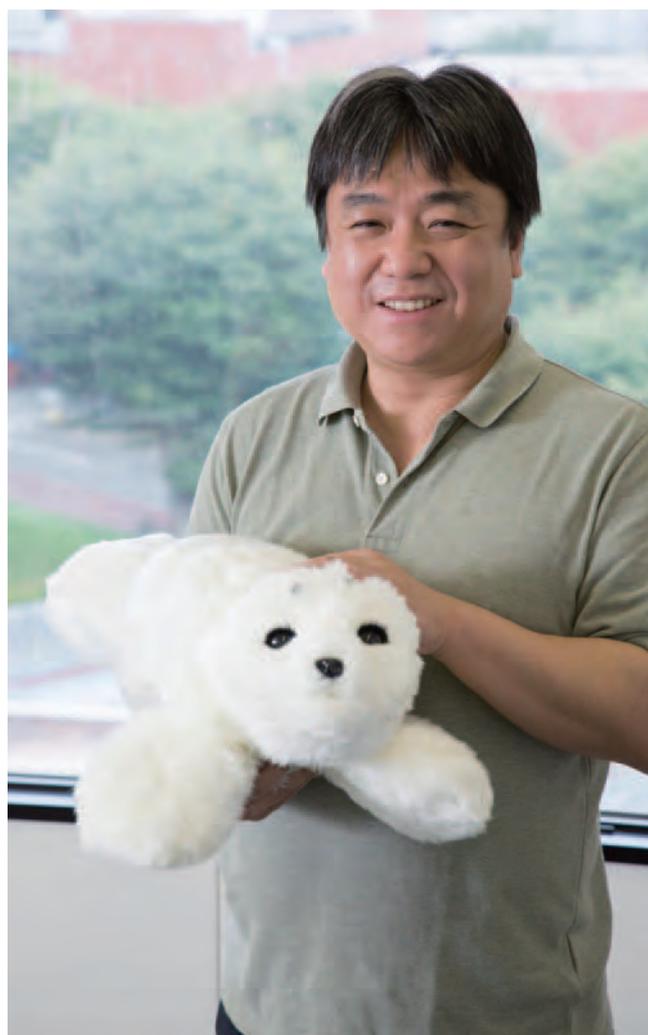
世界で唯一のメンタル・コミット・ロボット アザラシ型ロボット「パロ」が 医療・福祉の現場で活躍する

効果を認め、保険を適用する自治体も

（私たちの生活・社会が
こう変わる!）



人と相互にコミュニケーションができる動物型ロボット「パロ」。長年の臨床実験から、パロと触れ合うことで、うつや不安などを抑制し、認知症患者の徘徊・暴力・暴言などの周辺症状の改善や、言語機能の回復につながることで、すなわちパロには人の心を癒す効果があることが示され、国内外で医療福祉機器としての導入が進んでいる。これにより看護・介護者の負担や、抗精神病薬の投与量の低減ができれば、長期的には医療福祉コストの削減につながると期待される。



ヒューマンライフテクノロジー研究部門
上級主任研究員

柴田崇徳 TAKANORI SHIBATA

人間とコミュニケーションする 愛らしいロボット

白い柔らかな毛皮に、黒いつぶらな瞳のアザラシの赤ちゃん。抱き上げると、しっかりとした重みを感じる。なでるとまばたきをし、足をバタつかせ、キュ〜と鳴き声をあげた。

これは産総研が開発したアザラシ型メンタル・コミット・ロボットの「パロ」だ。正確には、初代から数えて9世代目のパロだ。タテゴトアザラシの赤ちゃんを模したこのロボットは、約57cm、2.5kgの身体に人工知能を搭載するほか、ユビキタス面触覚センサ*¹や光センサ、姿勢センサ、温度センサなどや、まぶたや首、脚などを動かす7個の静音型アクチュエータを備える。ヒゲも触覚センサになっている。これらはすべて、日本企業80社以上と連携し、最先端技術を用いて独自に開発されたものだ。

人工知能が入っているので、名前を繰り返し呼ぶことで、それが自分の名前であることを覚える。行動学習機能もあり、触れ合っているうちに飼い主が喜びそうな行



目で見える用語解説

メンタル・コミット・ロボット「パロ」

第9世代のパロは、体長57cm、体重2.5kg。感覚器として、光センサ（視覚）、音声認識センサ（聴覚）、ユビキタス面触覚センサ（触覚）などを搭載。優しくなでられているか、叩かれているのかなどを認識する。第8世代までは実際の生き物のように朝・昼・夜のリズムを与えていたが、セラピー用の第9世代では、ユーザーの利便性を高め、夜でも眠らないようにしている。体色はホワイトのほか、ゴールド、サクラ、チャコール・グレー。

触覚

ユビキタス面触覚センサ

アクチュエータ

首、前足、後ろ足、まぶたを動かす

温度

温度センサ

姿勢

3軸加速度センサで制御

体表

制菌の人工毛皮

知能

32bitCPU

聴覚

マイクロフォン（3カ所）

視覚

ステレオ視覚センサ（鼻に搭載）

充電装置

おしゃぶり型

発声

スピーカー



動を覚え、飼い主好みのペットとなる。実際のペットのように、コミュニケーションしていくうちに愛着がわいてくるようになっていくのだ。2002年には、パロは「世界で最もセラピー効果があるロボット」として認定され、ギネスブックにも掲載された。

「世界一といっても、メンタル・コミット・ロボットは世界にこれしかありませんから」と笑うのは、パロの開発者であるヒューマンライフテクノロジー研究部門上級主任研究員の柴田崇徳だ。柴田は1993年から約20年間、一貫してパロの研究開発を行い、世界各国で医療・福祉施設での実証・臨床実験や、導入にあたっての研修などにも携わってきた。近年は実地検証が進み、パロの“癒し効果”のエビデンス（証拠）がより明確になりつつある。導入された国は、すでに約30カ国、3000体に及んでいるという。

心に働きかけるロボットをつくりたい

ロボットといえば、まず産業用が思い浮かぶが、パロを開発しようと考えたのはどうしてなのだろうか。

「当時、ロボット研究として大きく2つの方向を考えました。産業用ロボットをより知的にしていくことと、ロボットの新しい応用を考えることです。そして私は新しい応用の一つとして、人々の生活の中に入って、人のために働くパーソナル・ロボットを考えました。人のために働くといっても、掃除や食器洗いなどをして欲しいの

であれば、掃除ロボットや食洗機のように、その機能に特化した専用機器をつくるほうが効果的かつ効率的です。それなら、あえて“仕事をしないロボット”をつくってはどうか考えたのです」

普通、ロボットはなんらかの仕事をさせるためにつくられる。仕事をしないロボットに可能性はあるのか。柴田は、仕事をしないが人間の生活に入り込み、人によっては欠かせない存在となっているものとして、ペットという存在を考えた。ペットは飼いたい、身体的な事情や住宅事情によって飼えない人もいるだろう。ペットと人間のかかわりの大きさは、市場規模からもうかがえた。1990年代初頭、ペット市場はアメリカで4兆円、日本でも1兆円ほどもあったのだ。その市場を1%増やすと考えると、数百億円になる。市場性もあると考えた。

「ペットの代わりにするロボットはどうだろうか？調査をしているうちに、欧米では動物との触れ合いを通して、高齢者や子ども、入院患者などを癒す“アニマル・セラピー”がよく知られていることがわかりました」

人は、ペットをなでることで心を落ち着かせたり、ペットに話しかけ、反応が返ってくると、さらにコミュニケーションをとりたい気持ちになったりする。アニマル・セラピーとは、このようなペットと触れ合うことによる心

*1 ユビキタス面触覚センサ：パロのために開発された、触り心地がよく、かつ性能のよい触覚センサ。フィルム状の電極の間にスポンジを入れ、電位差から触感の強弱を測定し、なでられているのか、叩かれているのかなどを識別する。



▲充電器はおしゃぶり型。専用バッテリーの搭載で省電力化ができ、1回の充電で5～8時間動くようになった。

理的効果や、ストレスを低減する生理的効果、コミュニケーションを活性化させるなどの社会的効果をもたらすことを目的とするものだ。

日本をはじめ、先進諸国では少子高齢化が進行中で、介護の問題は社会全体の大きなテーマとなっている。介護の現場では衣食住を満たすだけでなく、介護される人たちに安心感や満足感をもたらすことが大切だ。そのようなときにアニマル・セラピーは有効だと考えられている。もちろん高齢者だけではなく、子どもや精神疾患の患者、入院中の患者などにもセラピーは行われる。

「しかし、実際は、衛生、安全、管理などの理由から、介護施設や医療施設で実際に動物を飼うことは難しいのです。このアニマル・セラピーのような方法なら、ロボットを役立てることができるかもしれない。そこから、人間の心に働きかけ、心を癒すロボットの研究を始めました」

人の生活にとけ込む ペット・ロボットができた

医療・福祉施設や、在宅介護を行う家庭でペット代わりにしてもらい、楽しい時間を過ごしてもらおう。それによって介護をされる人の心に安らぎをもたらす、QOL（生活の質）^{*2}を高めると同時に、介護をする人の負担の軽減や、社会的コストの削減にもつなげることができる。そのようなセラピー・ロボットの開発が、柴田の目標となった。

しかし、工場で何かを製造するロボットなら、安く、

速く、正確に製造できるものが“よいもの”だとわかる。これに対して、心に働きかけるものの場合、美しい、楽しい、心地よいなど、評価基準は主観的なものになるを得ない。使う人にとって、どのようなセラピー・ロボットが“よいもの”なのだろうか。形状は、どんなものがよいのだろうか。すべてが手探りでスタートだった。

1995年から、柴田はアメリカのMIT（マサチューセッツ工科大学）の人工知能研究所の研究員を兼任し、アメリカの高齢者施設で介護現場の状況や、アニマル・セラピーの導入状況について調査。また、心理実験や各種の動物型ロボットのプロトタイプを試作しながら、98年までの滞米期間中に、「パロ」のプロトタイプ（第1世代）が完成した。

「動物といっても、身近な動物と、身近ではない動物がいます。でも、最初に頭に浮かんだのはアザラシの赤ちゃんでした。人がテレビを見たり、他の人と話をしたりしながら、ペットを抱っこしたり膝の上においてなでたりすることをイメージしたときに、アザラシの形態がとても馴染みやすいと思いました。しかし、ペットといえば、イヌやネコが一般的です。そこで、イヌ型、ネコ型、アザラシ型をつくりました。たとえば、試作したネコ型は、誰もがよく知っている動物なのでとっつきやすいのですが、実際に触れ合うと評価が下がる結果になりました。よく知っているがゆえに、しばらく接していると、身体の動きやしっぽの振り方が不自然だ、本物と違

^{*2} QOL（生活の質）：Quality Of Life。人々の生活の質の向上についての評価基準。物質的な豊かさだけでなく、認知的・感情的・行動的な要因などを含め、総合的に評価された生活の質のこと。



▲福祉施設でパロと触れ合う高齢者たち。

う、と違和感が出てきてしまったのです。一方、アザラシ型は、あまり身近ではないため、本物と比較されることなく、反応を楽しみながら触れ合ううちに評価が高まりました」

このような試行錯誤から、タテゴトアザラシの赤ちゃんをモデルにすることになった。しかし、身近ではないといつつも、本物のかわいらしさや動き方を取り入れるため、カナダ北東部の島まで出かけ、タテゴトアザラシの生態調査も行った。

認知症の高齢者は パロで癒されるのか？

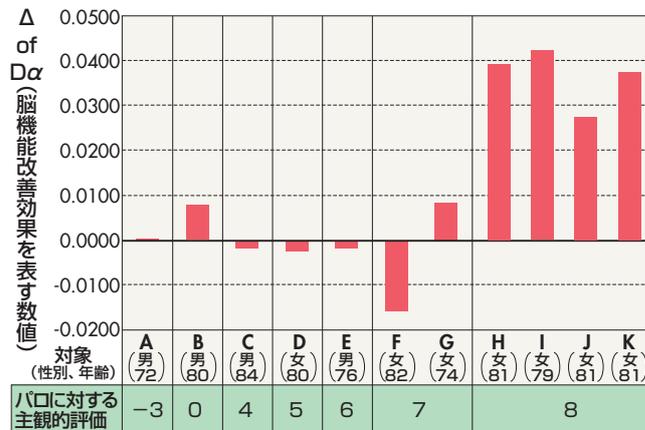
パロは実際に癒し効果を与えることができるのだろうか。それについての客観的な評価を行うため、第1世代の誕生以来、柴田は国内外のさまざまな臨床現場の協力を得て、多くの実証実験・臨床実験を行ってきた。

たとえば、認知症患者の心を落ち着かせる効果について。認知症の症状としては一般的に、中核症状として記憶障害や理解力・判断力の低下などが知られているが、環境や周囲との関係の変化によって、うつやイライラ、それに伴う暴言や暴力、徘徊などの周辺症状が出ることも多い。この周辺症状により介護者の負担が大きくなるため、パロが周辺症状を抑制したり緩和したりできれば、患者さんだけでなく、介護者にとっても大きなメリットがあると予想された。

また、パロが介護者や他の入居者との共通の話題となることで、コミュニケーションの糸口となったり、お互いの理解が深まるきっかけとなったりする可能性もある。これらについての有効性が試験された。

「結論からいえば、パロの使用により、患者さんのストレスの軽減やうつ症状の改善、不安や苦痛の低減のほか、認知症の周辺症状の緩和・抑制、会話機能の改善・回復などに有意差が見られました。パロにはセラピー効果があると、データとしてエビデンスが示されたということです」

パロに対する主観評価結果と、DIMENSIONによって分析した脳機能の改善効果との関係



出典：産総研プレスリリース (http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2005/pr20050916/pr20050916.html)

▲縦軸は、 α 波の頭皮上電位分布の場所的な滑らかさ $D\alpha$ に関するパロとのふれあいの前後での差分値で、プラス値ほど認知症の改善効果大きい。横軸は、パロに対する主観評価値。それぞれの評価で有効な11名の被験者のデータの分析。パロに対する主観評価が高いほど、認知症の改善効果が高いことが示されている。



▲スウェーデンのカロリンスカ大学病院で、入院中の少女を癒す。

たとえば、2006年から08年にかけて行われたデンマークの高齢者居宅介護促進プロジェクト。12体のパロを使った7カ月の実証実験が行われ、評価は在宅認知症高齢者のケアのための機器や技術を実証・臨床評価する手法に則って実施された。そこでは具体的に、次のような事例が報告されている。

- アルツハイマーで異なる言語を混合させて話すために、周囲の人々とコミュニケーションをとることが難しかった高齢の女性が、パロを愛撫し、相互作用を楽しんだ後、自発的に、言語の混在していない理解しやすい言葉を話し始めた。
- 攻撃的な反応などの問題行動を抑えるために鎮静剤を大量投与されていた女性は、パロの世話をすることによりポジティブでバランスのとれた状態になり、薬の投与が不要になった。
- 自宅の犬を気にかけて、深夜に徘徊することがあった

開発ヒストリー

1993年 ペット・ロボットの開発をスタート

1995～98年 MITの人工知能研究所で心理実験やパロのプロトタイプを開発

1998年 機械技術研究所（現・産総研）で、外観、機能を向上させた第2世代を作成

1999年 アクチュエータを2つから7つに増やした第3世代が、紅白歌合戦に“出演”
医療福祉の現場で短期的な試験を実施



2000年 音声認識機能を備えた第4世代を開発
小児病院の隔離病棟において、倫理審査をクリアした第5世代を用いた長期的な実証実験を行う

2001年 第6世代に独自開発のアクチュエータやセンサを搭載。信頼性・耐久性を向上

2002年 「世界で最もセラピー効果があるロボット」としてギネス世界記録に認定される

2003年 商品化を視野に、第7世代ではモジュール構造を採用
国内外の医療・福祉施設で臨床研究を開始

2004年 第8世代から産総研開発のベンチャー企業「知能システム」にパロの知的財産権をライセンス

2005年 「愛・地球博（愛知万博）」の政府館のVIPルーム、産総研ブースなどに出演



◀愛知万博NEDOブースにて

2006年 デンマークでの実証実験が始まる。その様子はドキュメンタリー映画にもなった。その後、デンマークではパロが本格導入される

2009年 アメリカで医療機器承認、販売開始

同年～2010年 内閣府に出向、介護ロボット関連を担当

2011年 東日本大震災にかかわる避難所や仮設住宅などで、パロによる心のケアを実施・継続

2013年 セラピー用に特化した第9世代完成
神奈川県が福祉施設向けに半額補助制度と介護職向け研修制度を開始

2014年 岡山市が、要介護者の在宅介護で、パロに介護保険を適用
パロがアメリカのホワイトハウスに招待される
天皇・皇后両陛下がパロと触れ合われた

認知症の男性に対し、寝るときにパロを横に置くようにしたところ、ずっとベッドで寝ていられるようになった。

実験では、パロは、寂しがっている人や、もっと外部からの反応を得たい人、世話をしてあげることに飢えている人などの心を刺激し、活性化させ、会話によって幸せを感じさせたりすることができ、パロと一定時間触れ合うことでうつやイライラが減る人がいる、と結論づけられた。

「パロがそのような効果を上げる理由は、脳の血流、なかでも感情・気分を司る前頭前野と、言語を司る側頭部の血流をよくするためだと考えています」

この結果を受け、デンマークでは70%以上の地方自治体が高齢者向け施設などに300体のパロを公的に導入し、パロを効果的に使用するための教育・研修制度も実施されるようになった。

日本でも、攻撃性の高い高齢者に笑顔が戻ってきた、自発的に話をするようになった、夕方の徘徊がおさまった、日中に眠りがちだったのがパロと遊ぶことで起きていられるようになり、睡眠の質がよくなったなど、さまざまな症状の改善例が報告されている。

センサもアクチュエータもすべて独自に開発

パロはハード面でも進化を続けてきた。初代以降、搭載するセンサの種類やアクチュエータの数を増減させて機能を向上し、より“生き物”らしくした。商品化を見据えた第7世代では、組み立てやすさやメンテナンスのしやすさに配慮したモジュール構造を採用した。

2013年9月に登場した現在のパロは、ペット用とセラピー用を分離したものとなった。体長は57cm、重さは臨床現場からの声を受けて2.5kgへと軽量化した。行動パターンも、よりセラピー効果が上がりやすいものへと変更。これまでは乱暴に扱くとネガティブな反応を返していたが、“寛容な性格”となり、叩いても怒ったり不機嫌になったりしないようになった。

毛皮は、ついた菌を増やさない抗菌素材から、ついた菌を減らす制菌素材に変更して衛生面での安全性を高めた。音声認識ソフトはさまざまな言語を用意し、注文された国の言語に対応できるようになっている。

そして、なにより丈夫である。なにしろパロは“ペット”なので、10年以上はともに過ごしてもらうことが想

定されている。過去にはイベントで約100万人と触れ合っ
て壊れた経験もあるが、現在は弱点を克服し、落として
も、何年も遊んでも壊れない耐久性を備えている。

“医療機器”として アメリカで認められた

現在、パロを医療福祉機器として導入する動きが国内
外で広がり続けている。ドイツでは在宅ケアでパロを訪
問セラピーに使用するとき健康保険がきくようになったし、オランダではパロを医療・福祉の現場でどう使い
こなすかの研究が進められている。

「アメリカでも厳しい検査を経て医療機器として認め
られ、複数の州で退役軍人省の病院や民間の施設に導入
が始まりました。現在はパロを適切に使用するための人
材育成研修も継続的に行われています。また、オースト
ラリアでは3年で1億円を投入した治験を実施し、公的
医療福祉制度への導入が検討されている段階です」

いずれの国も、パロの導入によって介護者の負担や薬
の投与量を減らすことができれば、国が負担する社会的
コストを低減できると考えている。その事情は日本でも
同じだ。

日本でも2010年から神奈川県がパロの臨床評価を行い、
研修制度と合わせて、施設向けにパロの半額補助制度を
2013年度から開始している。また、地域包括医療ケア
のモデル地区である富山県の南砺市でも、要介護者の在
宅ケアを行っている家庭を対象にモニター調査を実施。
半数以上で睡眠薬の投与量が減らせたなどの効果が見ら
れたほか、家族が高齢者の相手をあまりできない忙しい
時間帯にパロと触れ合ってもらふことなどで、介護者の
負担も減らすことができた事例などが報告されている。
岡山県では2014年2月からパロに介護保険を適用し、要
介護者の在宅介護でのパロの運用について実証実験を実
施している。今後はさらに広く使われるようになってい
くだろう。

約20年にわたるパロの研究開発の中で、パロは国内外
で、社会制度に組み入れられる存在にまで成長した。最
先端の技術を詰め込んだロボットが、人々の生活にとけ
込み、社会にも認められて、より広く使われるようにな
る。これは「技術を社会に」という標語を掲げる産総研
の技術の理想的な姿ということもできる。ぶれないビジョ
ンを掲げ、時間はかかっても、一つひとつなすべきこと
をクリアしてきた結果がここにある。



▲アメリカ退役軍人省病院では、認知症やPTSDの患者のよい
状態を維持するためにパロを活用。

「パロ」の 将来像

高齢化社会がより深刻になる今後は、さらに多くの国や
地域でパロが求められるようになるでしょう。社会制度や
文化、安全基準などはそれぞれの国によって異なります。
それぞれの国に合わせるかたちで、ニーズを現場の専門家
から聞き取りながらパロを改良していきます。その機会を
広げていくためにも、セラピー効果に関するエビデンスを
さらに明確に示していく予定です。

また、認知症だけではなく、子ども向き、精神疾患向き
など、用途に合わせたパロの開発も進めていきます。

パロの効果的な導入のために、「パロハンドラー」という
人材の養成も行いながら、パロをより多くの人に喜んでい
ただくことで、社会に貢献していきたいと考えています。



次世代エネルギーの有力候補「薄膜シリコン太陽電池」

発電効率で世界ナンバーワン!

再生可能エネルギーの未来を拓く太陽電池

省資源化・低コスト化で普及へ弾み

（私たちの生活・社会が
こう変わる!）



太陽光のエネルギーを電力に変換する太陽電池。次世代のエネルギーとして期待され、50年以上の研究開発の歴史があるが、設備コストや発電効率の問題もあり、普及には時間がかかっている。産総研の開発している薄膜シリコン太陽電池の発電効率がさらに向上し、省資源・低コストな太陽電池として実用化されれば、太陽電池の普及に弾みがつき、エネルギー問題の解決に大きな貢献ができると期待される。



太陽光発電工学研究センター
先端産業プロセス・
低コスト化チーム
主任研究員

齋 均

HITOSHI SAI

発電効率が課題だった 薄膜シリコン太陽電池

太陽から地球上へ降り注ぐ光のエネルギーは非常に大きく、わずか1時間分のエネルギーが、人類が1年間に消費する量に相当するという。太陽光エネルギーは無尽蔵であるだけでなく、電気に変換するときにCO₂などの温室効果ガスを排出しない、発電設備の生産などに要したエネルギーよりずっと多い電力を生み出せる、といった特徴もっている。この無限のエネルギーを効率よく利用できれば、日本のみならず、世界の抱えているエネルギー問題は解決するといっても過言ではないくらいだ。

しかし、現在、ほとんどの太陽光エネルギーは地面や建物に当たって吸収され、熱に変わって大気中に逃げていっている。つまり、ほとんど使われていないのだ。その未利用エネルギーを電力に変えて使えるようにするのが太陽電池である。

日本では、東日本大震災後に再生可能エネルギーへの注目が高まったが、実は太陽電池研究の歴史は古く、1950年代には最初の装置が人工衛星搭載用に実用化さ



同チーム 主任研究員

松井卓矢

TAKUYA MATSUI



- 住
- 安全安心
- エコ



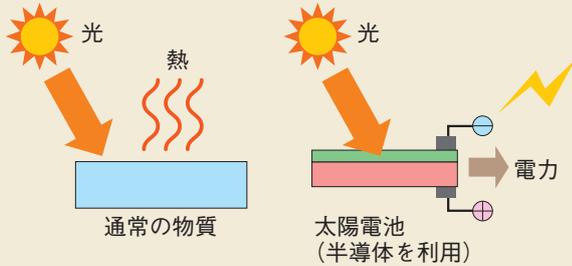
- 環境・資源・エネルギー
- エレクトロニクス
- 素材・材料

目で見てわかる 用語解説

太陽電池

● 太陽電池の原理

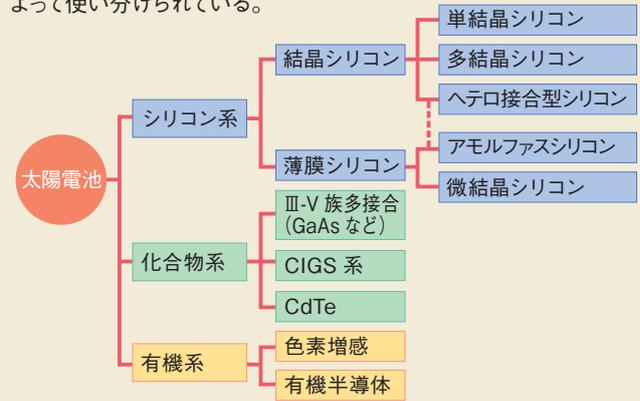
通常は太陽光のエネルギーは熱に変わる(左)。真夏のアスファルトが熱くなるのはそのためである。一方、太陽電池は、太陽光エネルギーを吸収し、半導体を利用して電力に変える(右)。電池といっても蓄電機能はなく、光が当たっているときだけ発電するものだ。



出典:「太陽光発電工学研究センター」ホームページより

● 太陽電池の分類

材料で分けると、大きくシリコン系、化合物系、有機系の3種に分類できる。細かく分類すると、数十種類にもなり、用途やコストによって使い分けられている。



れている。1970年代には第一次石油危機により原油価格が高騰したため、世界的に太陽光発電の技術に注目が集まり、日本でも1974年に、次世代エネルギーの開発を推進する「サンシャイン計画」*1がスタートしている。

産総研でも、前身機関(工業技術院電子技術総合研究所)において1970年代から太陽電池(アモルファスシリコン太陽電池)の研究開発が行われてきた。現在も経済と環境を両立する「グリーン・イノベーション」に重点を置く産総研では、さまざまなタイプの太陽電池の研究開発が進められている。どのタイプにも一長一短がある。現在、最も広く用いられている結晶シリコン太陽電池*2は、変換効率はよいが、生産コストが高いという難点があり、そのコストの高さが太陽電池の普及を阻害する最も大きな要因といえる。

地球上に大量に存在し、安全なシリコンを用いて、低コストの太陽電池をつくりたい。その要求を満たすものとして期待されているのが、厚みが1 μm (マイクロメートル、 μ は 10^{-6})程度、あるいはそれ以下の薄さのシリコン膜を用いる「薄膜シリコン太陽電池」である。

「薄膜シリコン太陽電池は、大きなガラスや樹脂の基板上に、発電層となるシリコン膜を製膜することで製造します。大きな面積のものを連続的につくれ、量産には向いているのですが、発電効率の低さが長く課題となっていました。産総研はその解決に挑戦するため、2010年にコンソーシアム研究*3に参加。そして2014年2月、薄膜微結晶シリコン太陽電池*4で、世界最高の11%とい

う発電効率を達成したのです」

開発を担当したのは、太陽光発電工学研究センター主任研究員の齋均である。

薄くすれば省資源化できる

太陽電池にとって重要なのは、なんといっても発電効率がよいことだ。少ない面積でより多くの太陽光のエネルギーを吸収し、より多くの電力を生み出せるほど、付加価値は上がり、コストは下がる。現在の主流である結晶シリコン太陽電池は、発電効率は他のタイプの太陽電池より高く(約26%。モジュール化されたものでは15~20%)、高品質であるが、シリコン層の厚みは200 μm ほどある。シリコンを多量に必要とする構造のために省資源化しにくく、コストを下げるにも限りがあった。しかし、シリコンを薄膜化すれば、省資源化も低コスト化も可能となる。さらにフレキシブルにもでき、応用範囲が

*1 「サンシャイン計画」: 1974年7月に発足した、日本の新エネルギー技術研究開発についての長期的な国家プロジェクト。

*2 結晶シリコン太陽電池: 結晶シリコンを材料として用いた太陽電池で、最も古くから使われ、一般的に普及している太陽電池の9割近くを占める。

*3 コンソーシアム研究: NEDOが2010年に開始した「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の一環として実施している、薄膜シリコン太陽電池に関するコンソーシアム型の研究開発。2014年9月時点で、太陽光発電技術研究組合、産総研、民間企業5社、国内3大学が参加している。太陽光発電技術研究組合は1990年に国内の太陽電池にかかわる23社で設立され、現在は60社の民間企業が参画する技術組合。

*4 薄膜微結晶シリコン太陽電池: 薄膜微結晶シリコンは、主としてシリコンと水素原子から構成され、非常に微細なシリコンの結晶子がアモルファス(非晶質)シリコン層に囲まれた複合的な構造をもつ太陽電池材料。可視域~近赤外域で発電でき、光劣化はほとんどない。

太陽電池の種類とおおまかな特徴

| | 変換効率 | 省資源性 | フレキシブル化 | 価格低下余地 |
|---------|------|------|---------|--------|
| 単結晶シリコン | ◎ | △ | × | △ |
| 多結晶シリコン | ○ | △~○ | × | ○ |
| 薄膜シリコン | △ | ◎ | ◎ | ◎ |
| ヘテロ接合 | ◎ | ○ | × | ○ |
| CIGS系 | ○ | ◎ | ◎ | ◎ |
| CdTe | △ | ◎ | ○ | ◎ |
| 色素増感 | △ | ◎ | △ | ◎ |
| 有機半導体 | △ | ◎ | ◎ | ◎ |
| Ⅲ-V族多接合 | ◎◎ | △ | △ | △ |

出典：「太陽光発電工学研究センター」ホームページより

広がると考えられた。そこで国と企業が連携して「薄膜シリコン太陽電池」の研究開発プロジェクトが進められてきたのだ。

薄膜シリコン太陽電池には、アモルファスシリコン太陽電池^{*5}と微結晶シリコン太陽電池があり、それぞれに異なる特性をもっている。アモルファスシリコン太陽電池は発電層に非晶質（結晶化していない）シリコンを用いるもので、結晶シリコンに比べると光の吸収係数が大きく、目で見える比較的波長の短い光（可視光）だけを吸収するなどの特徴がある。微結晶シリコン太陽電池は、1μm以下という非常に微細なシリコン結晶の粒が集まった材料を用いるもので、可視域～近赤外域で発電できる。

「実は、シリコン自体はあまり光の吸収が得意ではありません。薄くすると、なおさら効率は下がります。薄くし、なおかつ吸収量を向上させるには、薄いシリコン膜の中にいかに光を閉じ込めるかが最重要ポイントとなります。薄膜シリコン太陽電池は、基板、シリコン膜（発電層）、電極が層になった構造をしていますが、シリコン膜が薄くなればなるほど、太陽光はすぐにシリコン膜を透過してしまいます。だから、吸収量を上げるためには基板表面に凹凸をつけて光を反射させ、できるだけ長時間、光がシリコン膜の中に留まっているようにするわけです」（齋）

効果的に光を閉じ込めるには？

2002年の入所以来、薄膜シリコン太陽電池、なかでもアモルファスシリコン太陽電池の研究に携わる同センター主任研究員の松井卓矢もいう。

「それまで基板表面のテクスチャ構造は、不規則な凹凸をつけるのが一般的でした。太陽光にはさまざまな波長の光が混ざっているので、さまざまな大きさや角度をもつ凹凸があったほうが、トータルでは効率がよいたろ

うと思われたからです」

実際、その方法でこれまで性能は向上し続けてきた。しかし、ここ数年、それが頭打ちになってきたという。

「従来の延長線上のやり方では、これ以上の性能向上は無理だ。そこで私たちは、基礎に立ち返って考えることにしました。そして、テクスチャ構造に規則性をもたせようと考えたのです」（齋）

規則性がある構造のほうが効率が上がりやすいことを示す論文は、いくつも存在していた。それに、テクスチャ構造が不規則だと、何かを変更して結果が変わっても因果関係がわかりにくいのが、規則性のある構造であれば、穴の大きさや深さを変えたときに、何が結果につながったか把握しやすくなる。そこで2010年、規則性のある構造を試すことにした。

「太陽電池の研究開発においてはコスト意識がとても重要です。そのため私たちはいつも、単なる“きれいにしてくれる方法”ではなく、“安く、きれいにしてくれる方法”を探すことになります。安くきれいにしてくれる方法として最初に試みたのが、アルミ基板を薬液の中で酸化させる方法でした」（松井）

それはアルマイト加工と似たような手法で、条件が合うとききれいな周期構造がしてくれる。電圧を変えれば、凹凸の穴の大きさも変化させることができる。この方法で規則性のあるテクスチャ構造をつくり、性能を測っていくと、穴を大きくすれば光の吸収量が上がることがわかってきた。

齋たちは、これはいけると意気込んだ。が、問題が起こった。さらなる吸収量を求め、穴のサイズを1μmより大きくしようとしたところ、できなかつたのだという。この方法ではつくれるサイズに限界があったのだ。

「悩んだ末、フォトリソグラフィ^{*6}という別の手法に切り替えることにしました。フォトリソグラフィを用いれば自在に構造がつけられることは知っていたのですが、コストがかかることから、選択肢から除いていたのです。しかし、今回はコストよりも自在につくれることを重視し、フォトリソグラフィに変更することにしました。結果が出ればコストは後からついてくるだろう、まずは性能アップに注力すべきだ、と考えたのです」

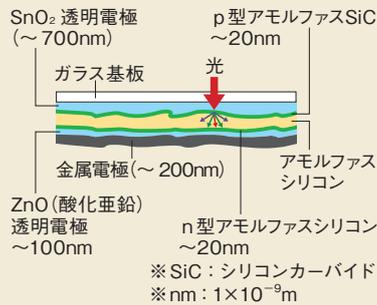
*5 **アモルファスシリコン太陽電池**：アモルファスシリコンは主としてシリコンと水素原子から構成され、結晶シリコンとは異なり完全な秩序構造をもたない材料である。紫～赤色までの範囲の可視光を吸収。光照射によって性能が劣化する。

*6 **フォトリソグラフィ**：基板の表面に感光性の物質を塗布し、パターン露光することにより、光の当たった部分と当たっていない部分とでパターンを形成する技術。プリント基板、半導体などの製造プロセスに用いられる。

薄膜シリコン太陽電池

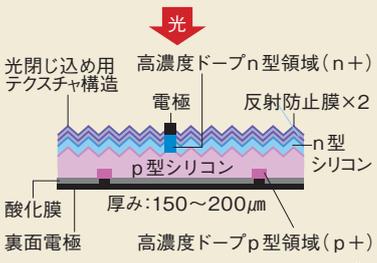
●アモルファスシリコン太陽電池の構造

ガラス基板、透明電極、アモルファスシリコン（発電層）、金属電極が積層した構造。シリコン膜の厚さは1μm未満。電卓に搭載されているのはこのタイプだ。



●結晶シリコン太陽電池の構造

光閉じ込め用の凹凸のあるテクスチャ構造を形成したシリコンウェハー（基板）を用い、上下に電極を形成している。発電層となるシリコン基板の厚みは150~200μmと、アモルファスシリコンに比べると厚みがある。



出典：「太陽光発電工学研究センター」ホームページより

●薄膜シリコン太陽電池の特徴

| 結晶シリコン | 薄膜シリコン |
|------------------------|--------------------------------------|
| 厚い(~200 μm) | ガラス 薄い(0.3~3 μm) 原料を1/100以下に削減 |
| シリコンウェハー(モジュールコストの約半分) | 安価な基板に堆積 ガラス・プラスチックなど |
| 切る必要あり(切りくず発生) | 切る必要なし 原料の利用効率大 |
| 小面積(20 cm角程度のセルを貼り合わせ) | 大面積(数mサイズの基板に製膜) 量産効果大 |
| 高温に弱い(温度上昇とともに変換効率が低下) | 高温に強い 温暖地域での発電量が多い |
| 変換効率が高い | 変換効率が低い |

齋のこの決断が、大きな転換点となった。

デバイスの性能を上げるには
光だけ見てもダメ

幸い、産総研には共用のナノプロセッシング設備があり、テクニカルスタッフも協力してくれた。フォトリソグラフィによって、つくりたいものがつけれないストレスから解放され、齋のモチベーションも上がってきた。

よい数値の出そうな規則性のある構造を作製し、電池として性能が出るかを試す日々。しかし当初は、これぞという構造を試しても結果が出ないことが続いた。それについて、松井は次のように説明する。

「薄膜シリコン太陽電池の場合、光閉じ込め効率がよい基板だからといって、デバイスになったときに発電量が増えるとは限りません。光の吸収量と発電量を両立させるのが、実はとても難しいところなのです」

光をたくさん閉じ込められれば、たくさん電気がつくれるのではないのだろうか。その疑問に齋が答える。

「基板とシリコン膜が接する界面の形状は、光の吸収を増やす点で重要ですが、同時にその上にできるシリコン膜の品質にも影響をおよぼします。界面の形状によっては膜の品質が悪くなり、発電効率が下がるわけですね。

つまり、適当な界面構造では光をよく吸収できても、電池としての性能が出ないのです」

より性能のよい太陽電池を開発するには、光について理解しているだけでも、デバイスが作れるだけでもだめで、光とデバイスという2つの視点から考えていく必要があるということだ。しかし、産総研には光の吸収についての知見もあれば、デバイス製造の技術もある。発電効率とテクスチャ構造の相関についてのノウハウも蓄積されていた。そのうえ、齋自身にフォトニック結晶の研究をしていた経験があり、光を閉じ込め、制御する技術には詳しい。これらを総合することで、突破口は見つかると思われた。

たどりついたのは
六角形のハニカム構造

基板のテクスチャ構造のポイントは、どのような向きから降り注ぐ太陽光に対してもそれなりに効果が出るもの、ということだ。さまざまな形状をシミュレーションした結果、六角形の配列にすれば最も効率が上がると考えられた。では、その上に品質のよいシリコン膜を製膜するにはどうすればよいか。齋たちはテクスチャの穴の大きさ、深さ、形状を変えて、試していった。

開発ヒストリー

2010年
10月

NEDOに「太陽光発電技術研究組合コンソーシアム」が発足。産総研は太陽光発電技術研究組合(PVTEC)、カネカ、シャープ、パナソニック、三菱重工などととも「太陽エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発」を受託した

2011年
3月

規則性テクスチャ構造の作製方法として、従来の陽極酸化法からフォトリソグラフィ工程に変更した

2013年
3月

太陽光発電技術研究組合(PVTEC)と共同で、ハニカムテクスチャ構造を開発。これを用いた薄膜微結晶シリコン太陽電池で、発電効率10.5%を達成した

2013年
6月

アモルファスシリコン太陽電池で、光劣化後の安定化効率10.1%を達成(世界タイ記録)



▲高効率アモルファスシリコン太陽電池の製膜に用いたトライオード型プラズマCVD

出典：T. Matsui et al., Prog. Photovolt: Res. Appl. vol.21, 1363 (2013).

現在～

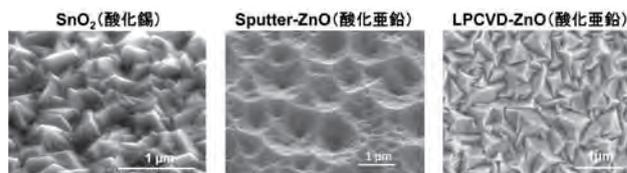
薄膜微結晶シリコン太陽電池で、世界最高の発電効率11%を達成。2015年までにモジュール変換効率14%以上を目指す
製膜速度の高速化や基板の面積化、アモルファスシリコン太陽電池との多接合化も推進していく

「最初に試したのは、V字型(逆ピラミッド型)の構造です。この構造はシリコンウェハーを使った太陽電池に用いる場合、最もよい性能となることが知られています。しかし微結晶シリコン太陽電池の基板に用いて製膜したところ、膜の中にひび割れが発生してしまいました」(松井)

だからといって、穴の底全体を平らにしてしまうと光がよく反射しないので、吸収率も悪くなる。なかなか成果が出ないなかで、しぶとく光閉じ込め構造作製の条件調整を行っていった。

「そのなかで、たまたまできたのが、穴の底の一部に平らな部分が残ったハニカム構造でした。試してみると、

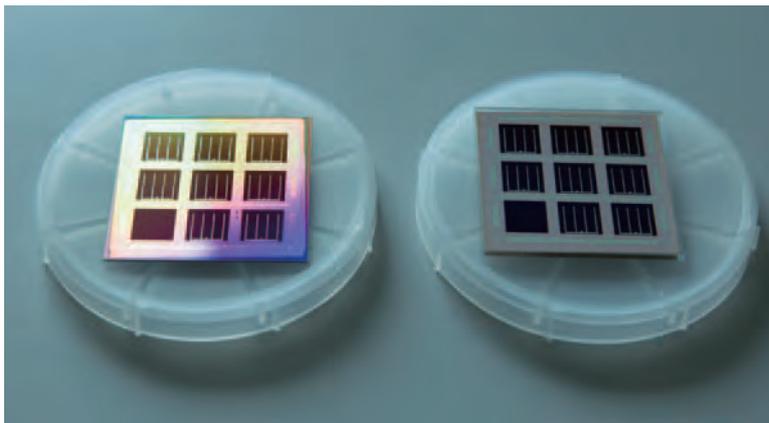
これまでの光閉じ込め技術(不規則なテクスチャ構造)



▲不規則なテクスチャ構造では光閉じ込め効率が十分ではなく、発電効率も上げられなかった。

出典：『太陽電池技術ハンドブック』(オーム社)

微結晶シリコン太陽電池



▲左の虹色に光っているのが、ハニカムテクスチャ構造の上に形成したもの。右は従来の不規則な構造の上に形成したもの。

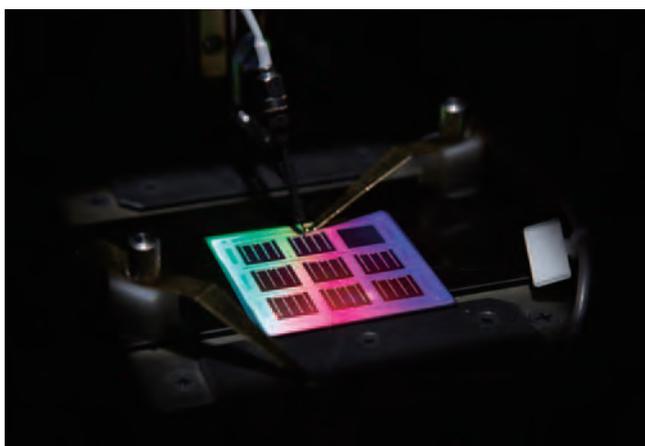
ひび割れも起こらず、膜の品質が上がり、よい特性が得られました。ここできっかけをつかみ、その後、研究を大きく進展させることができたのです」(齋)

最初に得られた発電効率は、9%。改善を重ねることで、十分によい成果が出せると期待できるものだった。これが始まりとなった。

「最初の成果が出てくるまでは、研究の方向性が正しいか不安になる時期もありました。しかし、それまでの方法で未開拓な分野にアクセスするには、この方法しかありません。絶対にできるという強い信念があった——というより、多分いけるだろう、やってみるしかない、という気持ちでした。実際に従来の構造を超える発電効率を確認できたことで、やっと方向性の正しさを確信できたのです」(齋)

複数の太陽電池を組み合わせ さらなる発電効率の向上へ

その後、シリコン膜の厚さに応じてテクスチャ構造の大きさを制御しなくてはならないことがわかるなど、予想外の出来事も起こったが、改善を重ね、2014年2月、薄膜微結晶シリコン太陽電池としては世界最高の11%と



▲太陽光を模した光の出る装置「ソーラーシミュレータ」を用いて、サンプルの性能を測定する。

いう発電効率を達成した。現在も効率は向上中であり、今後、さらにより成果を上げていけると考えられている。

「太陽電池のタイプによって吸収できる太陽光の波長が異なるので、より広い波長を吸収するため、薄膜シリコン太陽電池は多接合構造^{*7}にするのが一般的です。今後は私の開発しているアモルファスシリコン太陽電池と組み合わせることで、さらなる発電効率の向上を目指していきます」(松井)

環境問題に貢献するグリーン・イノベーションは、ライフ・イノベーションと並ぶ産総研の柱の一つだ。2014年4月には、産総研は再生可能エネルギーの大量導入の早期実現を目指し、福島県郡山市に福島再生可能エネルギー研究所^{*8}も設立している。この拠点とも連携し、今後より高性能の太陽電池の研究開発を進め、エネルギー問題の解決に貢献していく。

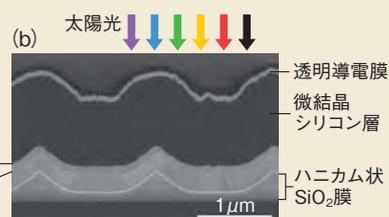
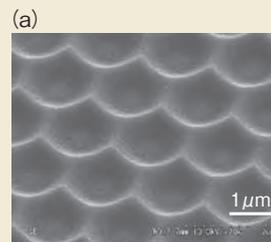
*7 多接合構造：異なる波長の太陽光を吸収する複数のタイプの太陽電池セルを直列につなぎ合わせ、全波長の太陽光を吸収させて変換効率を高めた太陽電池。出力電圧は各セルの電圧の合計になる。

*8 福島再生可能エネルギー研究所：産総研が、再生可能エネルギーに関する新技術を生み出し発信する拠点となることを目指し、2014年4月に福島県郡山市に開所。「世界に開かれた再生可能エネルギーの研究開発の推進」と「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」を使命とする。

目で見てわかる 用語解説

ハニカム構造のテクスチャ

六角形が整然と配列されたハニカム構造(a)。断面図(b)で見ると、穴の底が一部平らになっていることがわかる。一つの穴の直径が微結晶シリコン膜の膜厚と同程度のときに、最も光の吸収率が上がる。



薄膜シリコン太陽電池の

将来像

薄膜シリコン太陽電池は多接合型にするのが一般的であるため、太陽電池全体の性能を上げるには、微結晶シリコンだけではなく、組み合わせる別のタイプの太陽電池の光の吸収量を増やすことが大切です。

産総研の微結晶シリコン太陽電池の発電効率11%というのは、世界最高記録です。そして、アモルファスシリコン太陽電池でも発電効率10.1%という世界タイ記録をもっています。今後、これらの太陽電池を組み合わせることで、より高効率の太陽電池がつかれるでしょう。現在の多接合型の世界記録は13.4%です。まずは、これを超える成果を出すことを目指します。

そして、この成果が世の中に還元され、皆さんに使っていただけるようになることを夢見しています。



“細胞の顔” 糖鎖を読み解く技術

糖鎖マーカーで 肝炎の検査・診断が簡便に

期待される医療・創薬への貢献

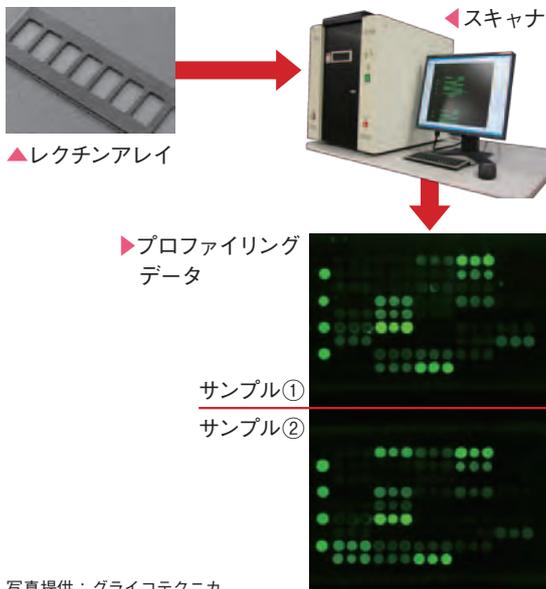
糖鎖創薬技術研究センター 標的糖鎖探索チーム

私たちの**生活・社会**が
こう変わる!



構造が複雑で解析が進まず、役割や機能を解くのが難しかった「糖鎖」。しかし、産総研開発の「レクチンアレイ」が構造解析を容易にし、糖鎖マーカーを用いた肝疾患の診断薬の開発・製品化にまでつなげることができた。この診断薬により、患者さんはより適切な治療や投薬が受けられるようになる。今後、第2、第3の糖鎖マーカーが生み出され、実用化されれば、より多くの疾患の治療に役立てられる。

糖鎖プロファイリングのプロセス



写真提供：グライコテクニカ

生命現象とかわかる「糖鎖」

「糖鎖」はDNA、タンパク質に続く「第3の生命鎖」として大きな注目を浴びている物質だ。文字通り、さまざまな種類の糖がつながったもので、生体を構成するすべての細胞の表面に、タンパク質や脂質と結合して存在している。これが他の細胞と結びつくと、さまざまな相互作用が起こる。たとえば、病原体のような外来生物（異物）の表面にある特殊な糖鎖が免疫細胞と結合して、免疫を獲得する。出血時には白血球を患部に集めるなど、細胞の動きを制御する。身体に侵入したウイルスや病原菌を感染させることもある。

「糖鎖はあらゆる生命現象にかかわっており、糖鎖の役割や機能を明確にしていけば医療や創薬に大きな貢献ができると考えられています。しかし、糖鎖の構造はDNAやタンパク質と比較にならないほど複雑なため、構造分析はなかなか進んできませんでした」

糖鎖創薬技術研究センター上級主任研究員の久野敦はそう語る。糖鎖は構造が複雑だけでなく、種類も非常に多い。しかも細胞の種類や状態が変化すると、それに合わせて形が変わってしまうのも厄介だった。

糖鎖プロファイリングシステムの開発

しかし、2005年、そのような状況を一変させるシステムが誕生する。久野が開発に携わった糖鎖プロファイリングシステム「レクチンアレイ」（2006年にモリテックス<現グライコテクニカ>から製品化）だ。

「レクチンアレイとは、糖鎖のある決まった形の部分を認識して結合するレクチンというタンパク質を40種程度、スライドガラス上に配列したものだ。どういう構造の



目で見えてわかる 用語解説

疾患の進行に伴う糖鎖構造の変化

この図は、肝臓の状態を表す線維化の進展度と、肝臓にもともと存在する特定の血中糖タンパク質Aがもつ糖鎖におきる構造変化の出現頻度の関係を示す。コアタンパク質部分は構造の変化がないので、正常な肝臓部分から発現する糖タンパク質Aも、線維化の影響を受けた細胞が発現する異常糖タンパク質Aも、タンパク質部分に対する抗体に反応する。そこで糖鎖部分に着目し、異常糖タンパク質Aの糖鎖部分に特異的に反応するレクチンが見出せれば、線維化の進展度と同調する異常糖タンパク質Aの量を測定することが可能になる。



糖鎖がどのレクチンと親和性が高いかは、あらかじめ産総研でデータベース化しています。糖鎖をスキャナで読み取り、データベースと照合することで、結合の様式や分岐度などといったその糖鎖の構造の特徴を抽出（プロファイリング）できる仕組みです」

糖鎖の分析には、液体クロマトグラフィー*¹、質量分析計*²などを利用した方法があったが、感度や簡便さの面ではまだ十分とはいえなかった。それに対してレクチンアレイは、糖鎖とレクチン間の弱い相互作用も見逃さない検出技術を用いており、世界で最も高い検出感度を誇る。扱いも簡単で、技術補助員が1カ月ほどトレーニングすれば分析できるようになるという。

17分で肝炎の進行度がわかる診断薬

解析が容易になったことで、糖鎖の機能を活用していく道筋がつけられた。2006年にはNEDOと産総研が「糖鎖機能活用技術開発プロジェクト」をスタート。そこで画期的な発見があった。血液中の特定タンパク質の糖鎖は、ウイルス性肝炎患者の症状の進行によって段階的に変化していくように見えることがわかったのだ。

ウイルス性肝炎は進行すると肝細胞がんになる恐れがある病気だ。これまで肝臓の状態を調べる精密検査は、患部に直接針を刺して組織の一部を採取し（針生検）、病理医が判断する方法がとられてきた。この方法は患者の身体的・経済的な負担が大きく、事故のリスクも低くない。

「血液検査で病気の進行が把握できれば、より初期の段階から“どれだけ悪くなったか、よくなったか”を定期的に診ることができます。そうすることで適切な治療

を適切なタイミングで始められ、より効果的な投薬が可能になるでしょう」

産総研はこれを肝臓の状態を測る技術として実用化すべく、精度の向上や診断速度の迅速化に取り組み、2013年12月、世界で初めて、糖鎖マーカー*³を用いた肝疾患の診断システム（肝臓の線維化検査技術）として実用化した（製品化はシスメックス）。診断速度は、血液を装置に仕掛けてからわずか17分。そのため定期検診時には、その日のうちに患者さんに結果を知らせることができる。

現在は臨床研究が進められている段階だが、いずれ保険が適用されて、より安価な診断薬となる予定だ。一貫して国産の技術で開発されたこの技術は、国内にいる300万人のウイルス性肝炎患者はもちろん、1億を優に超える世界中の肝炎患者の福音となるだろう。

「私たちが作り上げてきた仕組みは他のさまざまな病気を診るためのバイオマーカー*⁴の開発にも使えるので、多様な医療ニーズに応えていくと期待されます。病気の物差しができれば、薬の効き具合を調べることが容易になるので、通常10年は優にかかる創薬のスピードアップにも貢献できるでしょう。私たちはこれからも糖鎖マーカーを用いた診断薬や治療薬を開発し続け、産官学の連携によって着実に実用化させていきます」

*1 液体クロマトグラフィー：特定の性質をもつ固定相に物質を流し込み、成分ごとの移動度の違いからそれぞれを分離し、何がどれくらいの量含まれているかを分析したり、その中の特定のものを精製したりする方法。

*2 質量分析計：物質を原子、分子レベルにして、その質量スペクトルのパターンから物質を特定したり構造を決めたりするのに利用する装置。

*3 糖鎖マーカー：糖鎖を指標にしたバイオマーカー。一般的には体内の変化に関連して生じるタンパク質上の糖鎖ないし糖鎖変化をいう。

*4 バイオマーカー：体内の変化を定量的に把握するために、生体情報を数値化した指標のこと。たとえば、血糖値やコレステロール値は生活習慣病の指標として用いられる。

有機化合物の量を正しく測る「定量NMR法」

物質質量(モル)を、迅速かつ 正確に測る革新的な計量技術

環境、食品、医薬品分野などに大きく貢献

計測標準研究部門 計量標準システム科 化学計量システム研究室／計量標準基盤研究室

私たちの生活・社会が
こう変わる!



食品残留農薬や医薬品の成分など、有機化合物の量を測るニーズは高いが、そのための“ものさし”の役割を果たす「計量標準」づくりは手間と時間のかかるものだった。しかし、「定量NMR法」によって、物質質量(モル)を迅速かつ正確に計量できるようになり、残留農薬試験用などの計量標準の整備が急ピッチで進んでいる。今後、環境・食品・医薬品などの分野において、世界中でより安全・安心な環境が整っていくと期待される。

化学物質には計量標準がなかった?

ニュースなどで「基準値を超えた残留農薬が検出」と報じられ、健康診断では「コレステロールが基準値より高い」と示される。私たちは当然、こうした物質は正確に測れるものだと思っている。しかし、化学物質、特に有機化合物の量を正確に測るのは非常に難しい。実際、長さや質量(重さ)は国際的な「計量標準^{*1}」があるのに、これまで有機化合物にはごく一部にしか計量標準が存在していなかった。健康診断の測定値は、いわば「だいたい正しいと思われる数値」だったわけだ。

「長さを測るには1種類の“ものさし”ですみますが、有機化合物はそれぞれ分子構造が違うため、正確な量を知るには、測りたい物質と同じ物質の“ものさし”(標準物質^{*2})が必要となるからです。10種類の農薬の量

を測るには10種類の標準物質が必要で、しかも、1種類をつくるのに年単位の時間がかかっていました」

その理由について、化学計量システム研究室長の井原俊英はそう説明する。

分析装置を備える企業や組織は、自分たちの測定値を標準物質と比べることで正しい結果を得ることができる。標準物質がなければ、測定結果が基準値よりも高いのか低いのか正しく判断できないのだ。しかし、その整備がニーズに追いついていなかった。特に近年は安全・安心への意識が高まり、規制対象も増えている。たとえば2006年には、食品衛生法で規制される農薬が約250種から約800種へと増加。これだけでも約800種の標準物質が必要となる。標準物質は使うと減るので、おおもとになる標準物質(国家標準物質^{*3})を事業者がコピーして実際の試験に用いられる標準物質(実用標準物質)を大量生産する仕組みが成り立っているが、まずはオリジナルである国家標準物質がなければ話にならない。

「このとき、日本にあった食品残留農薬試験に使える国家標準物質はわずか2種類。計測の信頼性を保証するものさしはほとんどなかったのです。そしてこれまでの技術では、必要な種類の標準物質をすべて供給するのに数十年はかかると考えられました」(井原)

産総研は日本の国家標準物質を整備する立場にあることから、井原や計量標準基盤研究室長の齋藤剛は、もっと迅速に標準物質を社会に供給できる手立てを確立したいと考えた。

初めて共通の尺度ができた

二人が目にしたのが、有機化合物の成分分析で用いられる「NMR(核磁気共鳴)法」だった。化学物質に含



- 食
- 安全安心
- エコ
- 医療・福祉・介護



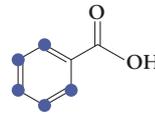
- 環境・資源・エネルギー
- 医療・福祉・介護
- 化学・バイオ
- 食品
- 農業・漁業

目で見えてわかる 用語解説

定量NMR法

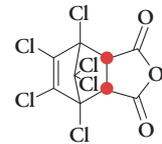
核磁気モーメントをもつ原子核を強い磁石の中に入れて、その磁石でつくられる静磁場の中で、原子核は静磁場と同じ向きか逆向きに揃って傾きかけたコマのように歳差運動をする。ここにラジオ波を与えると、原子核はそれぞれの核の置かれた状況によって、異なる周波数で共鳴する。その共鳴信号は、周波数のスペクトル（化学シフト）として表すことができる。NMRの信号面積は、物質の構造によらず共鳴している原子核の数に比例するので、プロトンNMRではその信号面積を利用してプロトン数が比較できる。そのため、プロトン数がわかっている標準物質の信号面積を基準にすることで、異なる物質であっても構造がわかっているならば、信号面積とそれに寄与するプロトン数から成分量を求めることが可能となる。

プロトン数の基準物質

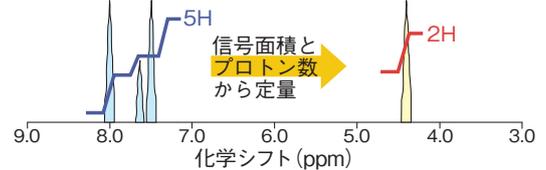


構造既知

定量したい化学物質



構造既知



まれる原子の原子核を強い磁石の中で共鳴させ、共鳴信号を分析することで、その物質の分子構造を知る方法だ。特に水素の原子核（プロトン）^{*4}から得られる信号面積は、含まれるプロトン数に比例することが知られていた。それなら、プロトンの量がわかっている物質があれば、これとプロトンの量を比較することで、さまざまな化学物質の量を測定できるのではないだろうか。

「当時は測定誤差が10%以上あり、精度の低さから標準物質の定量法としては実用化されていませんでした。しかし私たちは、ほとんどの有機分子に含まれるプロトン測定できるNMR法の汎用性の高さに注目し、精度を向上させて標準物質の定量法として実用化しようと考えたのです」（齋藤）

2006年に研究開発がスタートし、2008年には標準物質の定量分析に求められる精度を出せるようになった。この「定量NMR法」の誕生により、国家標準物質が一つあれば、それと比較することで他のさまざまな化学物質の計量が可能になった。

「プロトンの量という共通の尺度ができたことで、さまざまな有機化合物の量を迅速かつ正確に測れるようになりました。これによって化学物質の種類ごとに国家標準物質を整備する必要がなくなり、社会で求められる実用標準物質を迅速に供給できるようになりました」（井原）

定量NMR法は産総研では実現できた。が、この段階では、ほとんどのNMR装置のユーザーはこの技術に注目していなかった。というのは、この方法を適切に実現するレシピを示したものがなく、また、プロトン量の基準となる物質や定量用のソフトウェアも市販されていないなど、必要なインフラが整備されていなかったためだ。

そこで2008年、誰もが定量NMR法を使えるようにす

ため、産総研、厚生労働省国立医薬品食品衛生研究所（国立衛研）、JEOL RESONANCE・日本電子、和光純薬工業、花王の異業種の産官5機関が結集。技術的・法律的な問題を解決し、この技術を世界に先駆けて普及させるための共同研究が始まった。

各機関の協力と努力の結果、定量NMR法のためのソフトウェアやプロトン量の基準となる物質などが次々と製品化され、定量NMR法は2011年には食品衛生法（食品添加物公定書）に、2014年には薬事法（日本薬局方）に採用。また、食品残留農薬試験のための実用標準物質も、わずか数年で200種類近くを供給できた。この共同研究の成果はめざましく、研究者が学会などで次々と賞を受賞するなど国内外で評価された。

2014年には“計量標準の総本山”である国際度量衡局^{*5}との研究協力が締結され、5年間の国際共同プロジェクトがスタート。日本発といえるこの革新的な計測技術がグローバルスタンダードとなる日は遠くない。現在、定量NMR法から得られた科学的根拠に基づいたデータをもとに、さまざまな化学物質に関する議論が客観的にできるようになりつつある。今後は国際的にも、これまでとは全く異なるレベルで安全・安心への追求がなされていくだろう。

*1 計量標準：“ものを測るものさし”として、長さ、質量、温度、電圧など、あらゆる単位について国が定めている基準。

*2 標準物質：機器の校正や、測定法の評価などで“ものさし”として使われる、均質で安定な物質。化学物質の場合は、特定の分子の濃度がわかっている化学物質をいう。

*3 国家標準物質：国際規格に定められた手順に従い、特性値が国際単位系（SI）と結びつけられて定められているおおもとの標準物質。

*4 原子核（プロトン）：電子とともに原子を構成するもので、原子の中心に位置する。ほとんどの原子の原子核は陽子と中性子からなるが、水素原子だけはプロトン（陽子）1個だけで原子核となる。

*5 国際度量衡局：世界中の計測の同等性と国際単位系（SI）へのトレーサビリティを確保する役割の事務局兼研究機関。フランスのバリ郊外にある。

多品種少量向け 超小型装置「ミニマルファブ」

オンリーワンのモノづくりで 半導体産業の復活へ

低コストでできる装置で、1個からのデバイス製造が可能に

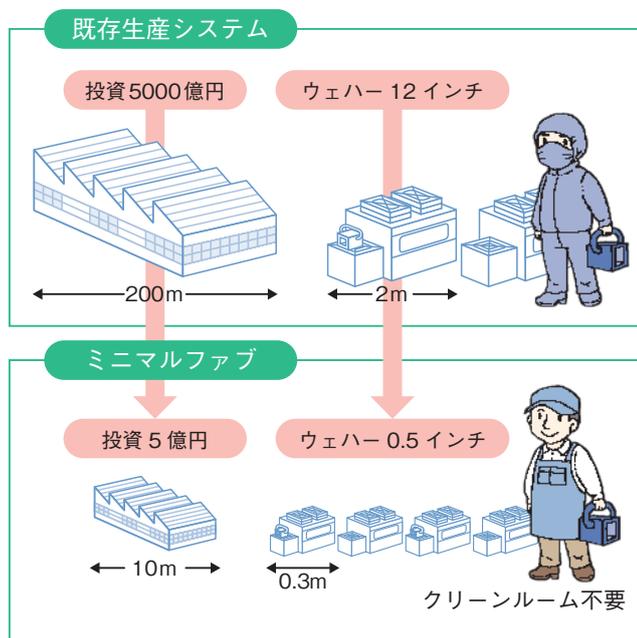
ナノエレクトロニクス研究部門 ミニマルシステムグループ

（私たちの生活・社会が
こう変わる!）



現在の半導体市場では、メガファブ（巨大工場）で大量に売れるデバイスばかりが製造されている。しかし、少量しか必要ではないデバイスも、市場全体では大量生産品と同規模になる。1個からの製造・販売ができる、クリーンルーム不要の超小型ファブの実用化によって、これから半導体産業が再構築されることが期待される。新しいモノづくりにもつながっていくだろう。

既存のメガファブとミニマルファブの比較



多品種少量市場を開拓すれば 半導体産業は復活できる

巨大なグローバル産業となった半導体ビジネスの世界。大量に売れるものをより安く製造するためにファブ（半導体の製造工場のこと。加工技術を意味するファブリケーションの略）は肥大化を続け、現在、1ラインのファブを建設するための投資額は5000億円にも達している。そこからは5000億～1兆円ものデバイスを上り上げる必要があるが、今やそのような売り上げを達成できるメーカーはほとんどなく、現在の半導体市場ではごく一部の勝ち組企業による寡占が進んでいる。

「ユーザーがユニークなデバイスを求めても、多品種少量のものは製造されない傾向にあります。このような状況では新しいデバイスは生まれてくるわけがありません」

危機感を抱いたミニマルシステムグループ長の原史朗は、2007年、量産性を意識的に切り捨てた「ミニマルファブ」構想を提案した。

「少量デバイスは品種ごとには小さい存在ですが、マーケット全体としては大量生産市場に匹敵する規模*1をもっています。多品種少量に対応できれば、半導体産業が復活する可能性もあるのです」

原が考えたミニマルファブは、12.5mmのハーフインチウェハで、装置の幅は約30cm、クリーンルームを不要にするという独創的かつ画期的なものだ。幅30cmの装置なら、事務室の一角に置くこともできる。多くのユーザーが1万個程度しかデバイスを注文しないことから、従来のファブの1/1000で、1万個生産に適した設備投資5億円のファブを目指すことにした。



クリーンルームが不要になった

それにしても、クリーンルームを不要にすることができるのか。クリーンルームを使わなければ、製造環境は非常に厳しいものとなるはずだ。この“常識外”を実現するのが、「局所クリーン化搬送システム^{*2}」である。もともと半導体の歩留まり向上を研究していた原は、1990年頃から局所クリーン化の基礎技術研究を進めてきた。

「半導体の搬送システムは、微粒子を排除したうえで、脆弱なウェハを精密に運ばなければなりません。過去誰もなしえなかった、非常に難易度の高い仕事でした」

原が取り組んだのは、ウェハを外界から完全密閉して酸素をシャットアウトし、窒素搬送するシステムの開発だ。1998年、ほぼ10年がかりで基礎的手法を確立し、密閉搬送は可能であることを証明した。

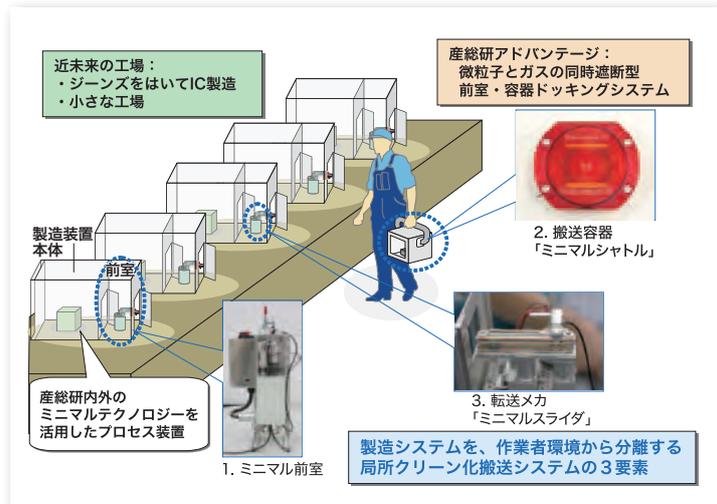
2001年には具体的なシステムづくりを展開し、2007年、いよいよ局所クリーン化搬送システムの開発に着手。開発にあたっては産総研における機械技術の第一人者、前川仁が加わり、また、半導体製造装置メーカー・ナノテックの理解と協力を得た。2010年、微粒子とガス分子を遮断する密閉能力をもつプロトタイプ（PLADシステム^{*3}）が完成した。

モノづくりがもっと自由になる

PLADシステムの完成を受け、原が主宰していた「ファブシステム研究会」をベースに、23社4大学と産総研によるコンソーシアム^{*4}を設立。ミニマルファブの開発は一気にスピードアップし、翌年にはミニマル装置群とミニマル搬送系のプロトタイプ群の開発に成功した。

この成果はすぐに政府や産業界に認知され、2012年

局所クリーン化搬送システム



には国家プロジェクトがスタート。同年6月からは装置メーカーを中心とする21社と「ミニマルファブ技術研究組合^{*5}」を発足させるに至った。翌2013年の半導体装置の展示会「セミコンジャパン」では、半日で製造ラインを立ち上げたうえ、ホコリだらけの会場で装置群を稼働させ、数千人の来場者を前に、実際にきれいにパターンニングできることを示した。

現在はファブの基幹製造プロセスとファクトリーシステムの原型ができつつある。すでに一部の装置は実用レベルに達し、未開発装置に既存大型装置を用いるハイブリッド方式を開発したため、2014年には販売実績もできた。今後は小型化が難しい装置の開発を進めつつ、ファクトリーそのものの開発と市場投入を急ぐ。ミニマルファブが実用化されれば、デバイスを1個ずつ製造・販売できるようになる。メーカーは大量生産を前提とせず、自由に、新しい商品づくりを行えるようになるだろう。

「私の夢は、このジャパンオリジナルのシステムで世界の半導体産業を再構築すること。現在は規模と資力によるグローバル手法が半導体産業を覆い尽くしていますが、ミニマルファブで、知恵と努力による方法でも社会に報いられることを示したいと思っています」



▲「セミコンジャパン2013」で展示、実演したミニマルファブ

*1 **大量生産市場に匹敵する規模**：グローバルチップの市場規模は約10兆円。ミニマルファブの目指すビジネスは、チップ1~100枚の少量品および100~1万枚の電子機器新市場ゾーン、そして1万~100万枚の量産ゾーンで、これらを合わせた市場は約10兆円になる。

*2 **局所クリーン化搬送システム**：ウェハまわりの局所的な環境を外部の作業環境と厳密に分離し、クリーンルームを不要とするシステム。

*3 **PLADシステム**：局所クリーン化気密洗浄ドッキングシステム (Particle-Lock Airtight Docking system)。

*4 **コンソーシアム**：産総研コンソーシアム「ファブシステム研究会」は2010年1月に設立され、現在は98社、9大学、3特許事務所、5公的機関で構成されている。

*5 **ミニマルファブ技術研究組合**：2012年5月、産総研と21企業により発足。現在は25企業が参加する。

巨大地震・津波のリスクが震災前に明らかに

地層が示していた 1100年前の東北の津波被害

将来の地震・津波への備えに活用

活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ

私たちの**生活・社会**が
こう変わる!



津波堆積物の研究が東日本大震災の発生リスクを震災以前に明らかにしていたことで、地震予測の分野では地質学的アプローチが重視されるようになりつつある。地質調査によって長期スパンの地震や津波の被害を把握できるようになれば、将来の巨大地震に対するリスクがより具体的に想定でき、効果的な対策が立てられるようになる。

報告されていた1000年に1度の大地震

2011年3月の東日本大震災では、東北地方を中心に東日本各地を巨大津波が襲い、大きな被害をもたらした。実はこの前年、産総研の海溝型地震^{*1}履歴研究グループでは、450～800年間隔で東北地方に津波が来ていたこと、すなわち、今後も津波を伴う大きな地震が発生する可能性があることを明らかにしていた。“1000年に1度”の巨大地震は、必ずしも想定外ではなかったわけだ。

惜しむらくは、この研究結果が広く知られたのは地震の後だったこと。研究に取り組んだ同グループ主任研究員の澤井祐紀はいう。

「地震の中長期予測には信頼性のある歴史記録や、地質学に基づいた活断層調査の結果が用いられますが、震災前は津波堆積物を使った研究にあまり注目されていませんでした。産総研でも南海トラフ巨大地震^{*2}については、地下水の水位変動^{*3}や地殻変動の観測を予測につな

げることを目指しています。それに対して地質学的なアプローチは、これまで漠としたものと思われ、注視されていなかったところがあるのです」

しかし、過去に学ぶことの大切さを、澤井らの研究は示すことになった。

地層から数千年の過去がわかる

海底で地震が起こると、海底に地殻変動が生じ、大きく動いた海水が津波となって陸地に押し寄せてくる。地震が多く、四方を海に囲まれた日本では津波の研究が盛んだが、津波に関する資料は過去になるほど少なくなる。機器による観測記録はさかのぼってもせいぜい100年程度だし、歴史的な記録から把握できるのも最大で過去1400年分ぐらいだ。信頼性の高い資料となると、江戸時代以降に限られてしまう。

「これでは発生間隔の長い地震をとらえきれません。しかし、地質記録を利用して過去の地震や津波について調べる方法であれば、過去数百～数千年の時間スケールの現象に対応することが可能です」

実は、平安時代の『日本三代実録』^{*4}には、869年に東北地方で巨大地震と津波が発生したことが記されている（貞観地震と貞観津波）。この地震の存在は古くから知られており、1990年代には貞観津波による津波堆積物も発見されていた。しかし、具体的な断層の実態がわかっていないため、国の「地震調査研究推進本部」の海溝型地震の長期評価から外されていたという。

津波堆積物とは、津波によって海底の砂などが陸上に打ち上げられ、地層中に砂層として保存されたものだ。澤井らは津波堆積物をさらに詳細に調べ、当時の海岸線の位置も考慮したうえで、貞観津波によるおおよその浸



- 住
- 防災
- 安全安心
- 社会インフラ
- 交通



- 環境・資源・エネルギー
- 建築・建設
- 農業・漁業
- 地質

水域を示すことに成功。その結果、仙台平野における貞観津波の浸水範囲は、2011年以前に観測されたとの津波よりも大きかったことが明らかになった。

さらに澤井らは、この結果とコンピュータ・シミュレーションを組み合わせ、貞観地震の津波の発生源と地震の大きさの推定にも至った。発生間隔の長さゆえに実態がわからなかった貞観地震の姿が、ようやく明らかになったのだ。

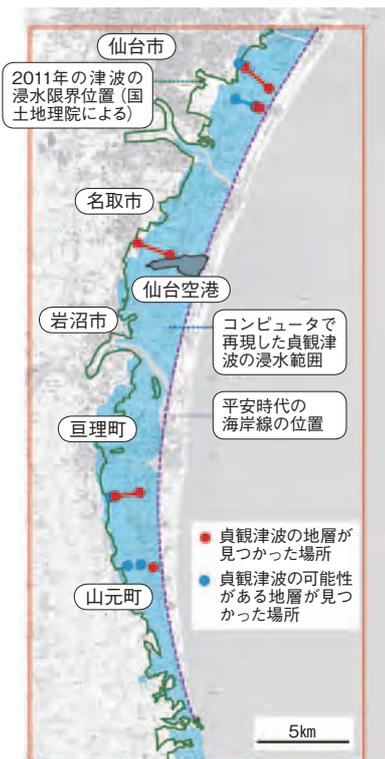
研究成果を生かせる体制づくりが重要

2010年、研究結果を国に報告。しかし、政府の公式見解として公表される前に、心配していた巨大地震・津波が起こってしまった。

「マグニチュードから被害の大きさが予想できました。調査にあたっては現地の方々に大変よくしていただいて感謝していたので、自分たちの研究結果が正しかった、などとクールに考えることは到底できませんでした」

震災後は、科学的な根拠に基づいて巨大地震・津波のリスクが示されていたにもかかわらず、その成果が軽視されていたことに大きな注目が集まった。澤井自身も、自分たちの発見を十分に周知させられなかったことを悔やんだという。

産総研により推定された貞観津波による仙台周辺の浸水範囲

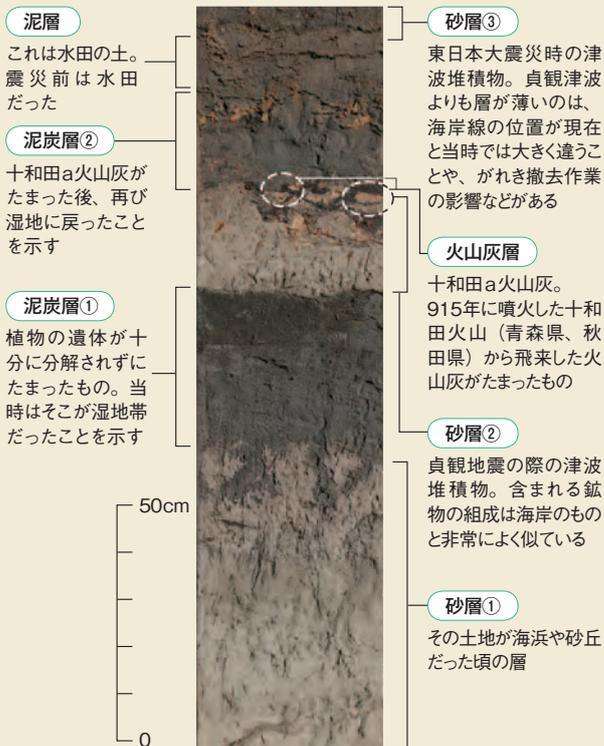


出典：国土地理院発行 1/25000 地形図「塩竈」「仙台東北部」「仙台北西部」「仙台西南部」「仙台東南部」「岩沼」「仙台空港」「亶理」「角田」「丸森」「荒浜」「山下」「新地」を改変して使用

目で見てわかる 用語解説

津波堆積物

仙台平野の地層サンプルから作成した、地層の剥ぎ取り標本。120cmほどの堆積物から、1000年以上にわたるこの地域の様子を調べることができる。



出典：澤井 (2014) 「GSJ地質ニュース」Vol.3 No.2を修正

しかし、津波被害想定の数値観は、それを契機に大きく変わった。地質学への期待が急速に高まったのだ。国の中央防災会議でも、これまでの考え方を改め、古文書等の分析、津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づいて想定地震や津波を設定し、地震学、地質学、考古学、歴史学等の統合的研究を充実させて検討していくべきだ、という趣旨の提言がまとめられた。

「大切なのは、この成果をどう使っていくかということです。私たちは今後も、過去を研究する重要性を訴えていくと同時に、地質学への関心が失われないよう、教育・普及活動にも取り組んでいきます」

- *1 **海溝型地震**：プレート運動により海側のプレートが大陸側のプレートの先端部分を引きずり込みながら沈み込むことで、陸側のプレートに歪が蓄積され、それが限界に達したときに、陸側のプレートが跳ね上がって起こる地震のこと。
- *2 **南海トラフ巨大地震**：近い将来、南海トラフのプレート境界を震源域に発生すると懸念されているマグニチュード8~9クラスの地震。
- *3 **地下水の水位変動**：地面の膨張・圧縮に一部の地下水（温泉水）が敏感に反応する現象を利用し、産総研では地震予測のために水位変動を測定している。
- *4 **「日本三代実録」**：平安時代に藤原時平、菅原道真らによって編纂された、858~887年の出来事を扱う歴史書。

福島における放射性物質のリスク管理研究

除染の効果や費用、 被ばく線量を科学的に示す

情報と評価手法を、自治体の政策決定に役立てる

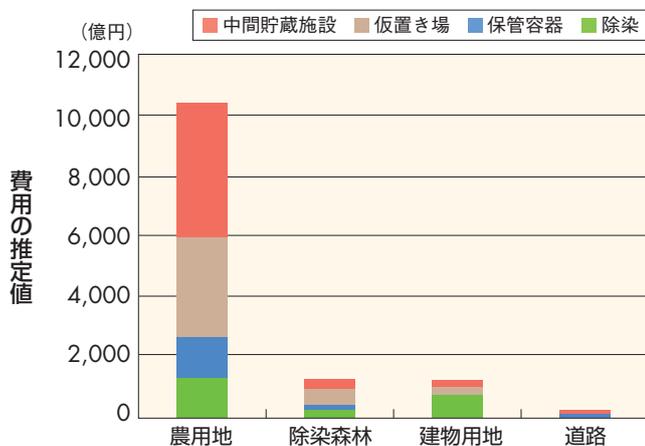
地圏資源環境研究部門 地圏環境リスク研究グループ
安全科学研究部門 リスク評価戦略グループ

私たちの**生活・社会**が
こう変わる!



福島第一原発の事故により、広範囲な地域が放射性物質に汚染されたが、除染の効果や必要となる費用、実際の生活の中での個人の被ばく線量などは、震災1年後の2012年3月にははっきりわかっていなかった。しかし、客観的・定量的な評価が可能になれば、それらの問題について具体的な議論がしやすくなり、自治体の今後の政策決定や、将来の危機に備えたフレームワークづくりにも役立てることができる。

基本シナリオ*4を用いた場合の推定除染費用



▲ 除染特別地域の除染費用。農用地の除染にかかるコストが、総額の約80%を占めると推定された。管理費、輸送費および帰還困難区域の作業効率低下は考慮していない。本文中の数字はこれらの影響を考慮している。

情報がなければ見通しが立てられない

放射性物質により汚染された地域の空間放射線量*1は、除染によりどのくらい下がるのだろうか。避難地域の人々は再びその地域に住めるようになるのだろうか。除染費用の総額はどれくらいなのだろうか。現在も放射性物質問題に直面している人々は、福島県を中心に多数存在している。そしてこの問題は、除染完了後、帰還可能となったときに、戻ってくる世帯数や年齢構成など、帰還後のコミュニティのあり方自体にもつながってくる。

「自治体や住民が地域を運営していくにあたっては、除染の効果やコストに関する総合的かつ長期的な情報が必要です。しかし本研究を始めた2012年3月時点では、そのような基礎的で包括的な情報は出ていませんでした」

地圏資源環境研究部門主任研究員の保高徹生は、原発事故後の調査で現地を訪れるうちに、放射性物質の適正なリスク管理や対策について、政策的な議論の土台となる情報の提供が必要だと考えるようになった。そして同年4月、産総研内外の13名の研究者と協同で、除染のあり方を考える問題解決志向の研究をスタートさせた。

除染の効果は?

まず取り組んだのは、除染の効果と費用の計算だ。除染の効率性は方法と環境によって異なる。それに、取り除いた汚染土や可燃物を仮置き場に保管し、可燃物は燃やすなどして減容化し、30年ほど中間貯蔵施設で保管をしたうえで最終処分することになる。莫大な保管費用も除染費用の一部として試算した。

「空間線量率や土地の利用法、除染効率などのデータを体系的に積み上げ、地理情報システム (GIS) *2を活用



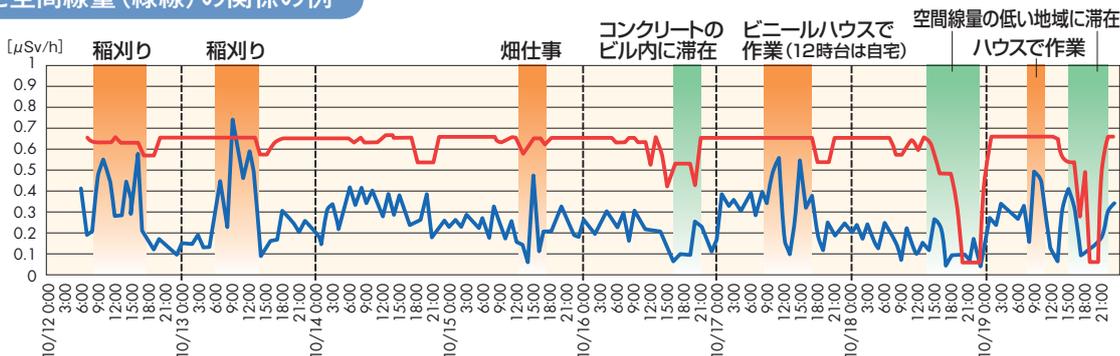
- 食 ● 住 ● 防災
- 安全安心
- 医療・福祉・介護
- 社会インフラ ● 交通



- 環境・資源・エネルギー
- エレクトロニクス
- 医療・福祉・介護
- 食品 ● 農業・漁業

個人線量(青線)と空間線量(緑線)の関係の例

▶青線はD-シャトルのアウトプット(個人線量)、赤線はGPSの行動記録より把握した航空機モニタリングによる空間線量。一般的に個人線量は空間線量より低く、屋外での作業(稲刈りや畑仕事)において個人線量の値が上昇していることがわかる。



して、除染の効果と費用を解析しました。その結果、汚染物質の保管費用も含めた除染費用は、除染特別地域*3で約1.2~2.0兆円、除染実施区域も合わせると、福島県全体で3~5兆円に達すると推定されました」

また、除染しても、短期間では空間線量率が政府の目標値に達しない地域があることを定量的・地理的に示した。すべての地域が事故前の状態に戻ることが理想なのは間違いない。しかし、前に進むには現実を知ることが重要だ。このような情報が初めて示されたことで、除染効果とコストの「最適解」を具体的に検討できるスタート地点に立つことができた。

個人被ばくの正しい理解と不安の解消につなげるために

産総研では個人の被ばく線量の評価研究にも取り組んでいる。空間放射線量は実際の被ばく線量とイコールではなく、その人の行動パターンによって異なってくる。たとえば、屋外で作業する仕事の人と事務仕事をする人では、屋内にいる時間が長い後者のほうが被ばく線量は少ない。一人ひとりが自分の実際の被ばく線量を知ることが、放射線に対する不安の解消や、政策への理解につながる。

個人の被ばく線量の計測に役立つのが、個人用の携帯型線量計「D-シャトル」だ。この活用法について、安全科学研究部門主任研究員の内藤航は「D-シャトルによる計測値とGPS、個人の行動記録を組み合わせることで、どのような行動をしているときに被ばく線量が多いかを把握できます。行動や場所と被ばく線量との関係が明確になるので、効果的な被ばく低減対策の検討が可能になります」と説明する。

現在、産総研は、福島県の住民と協働で、D-シャトルとGPS、個人の行動記録についての情報を収集。そ

携帯型線量計「D-シャトル」

▶個人被ばく線量の調査で利用した携帯型線量計「D-シャトル」(真ん中。産総研が開発、千代田テクノルが製品化)とGPSロガー(左)。「D-シャトル」は、非常に小型で省電力。電池は約1年は交換不要だ。



のデータをもとに、より実態に合う被ばく線量の推定を行う手法や、評価体系の開発に取り組んでいる。

「得られた情報から、個人の行動様式を考慮し目標とする被ばく線量を達成するためには、生活環境の空間放射線量をどの程度にすべきかといった試算もできます。効果的な被ばく低減対策を検討するうえで、実測結果に基づく貴重な情報を提供できると考えています」(内藤)

「今後もよい問題解決につなげられる情報を提供し、自治体の意思決定に使っていただきたい。また、これらの情報を、今後なんらかの危機的状況が起こった場合に備え、フレームワークを決めることにも役立てていただければと考えています」(保高)

結論は簡単に出るものではないが、産総研が客観的な評価データや情報を提供したことで、具体的に議論を始める糸口をつくることができた。その意義は大きい。

*1 空間放射線量：空間に存在する放射線(ガンマ線)の1時間あたりの量。単位は μSv (マイクロシーベルト)/時。

*2 地理情報システム(GIS)：コンピュータ上で位置情報とそれ以外のさまざまな情報の統合、解析、表示が可能なシステム。

*3 除染特別地域：国が除染の計画を策定し除染事業を進める地域。事故後1年間の積算線量が 20mSv を超えるおそれがあるとされた「計画的避難区域」と、東京電力福島第一原子力発電所から半径 20km 圏内の「警戒区域」を指す。

*4 基本シナリオ：農用地は 5cm の表土除去、森林は生活圏 20m 以内の落ち葉除去と腐葉土除去、建物用地は屋根と壁面の拭きとり、庭木の刈り込み、表層土壌除去($2\sim 3\text{cm}$)、道路はショットプラストを実施すると仮定。中間貯蔵施設については、可燃物は焼却による減容化を行い高濃度・溶出性対応型(遮断型処分場)で保管し、土壌(不燃物)は低濃度・非溶出性対応型(管理型処分場)で保管すると仮定して推定。

省エネルギー型過給式下水汚泥流動焼却炉

消費電力量40%削減を実現した 次世代の焼却システム

温室効果ガスの排出も抑制し、環境保全に貢献

エネルギー技術研究部門 クリーンガスグループ

私たちの**生活・社会**が
こう変わる!



日々の生活で排出される下水の処理プロセスでは、最後に残った汚泥は焼却される。ここで多くのエネルギーを消費し、多量の温室効果ガスを排出することが課題となっていた。産総研が開発した加圧方式の焼却炉は、従来のものに比べ40%の省エネと、50%の温暖化ガス抑制を実現。稼働中の焼却炉が、今後この新型焼却炉に置き換わっていけば、環境負荷を大きく低減することができる。

現在稼働中の過給式汚泥流動焼却炉



▲内部の過給機

▲全景

提供：東京都下水道局浅川水再生センター

省エネと環境配慮の両立を

下水処理システムの普及に伴い、国内の下水汚泥^{*1}の排出量は年々増加している。下水汚泥の大部分は焼却されているが、下水汚泥は脱水処理後でも約80%も水分を含み、そのままでは燃えにくい。そのため焼却処理には都市ガスや重油など多量の補助燃料を使っているという。

また、下水汚泥焼却システムの運転には、汚泥燃焼用の空気を供給するファンと、燃焼後の排ガスを誘引するファンが必要だが、問題は、これらを動かすための動力がシステム全体の消費エネルギーの約40%を占めていること。2つのファンが、電力由来の二酸化炭素 (CO₂) の大きな排出源となっていたのだ。そのうえ、下水汚泥には窒素が多量に含まれ、燃やすと大気汚染の原因物質である窒素化合物 (NO_x) や、温室効果ガスの亜酸化窒素 (N₂O)などを大量に放出する。つまり、従来の下水汚泥焼却炉は、エネルギー消費という面からも、環境保全の面からも大きな課題を抱えており、これに代わる新たな環境配慮型の焼却システムが求められていた。

石炭の焼却技術を汚泥処理に応用

ここで、少々時代をさかのぼろう。時は1990年代。エネルギー技術研究部門クリーンガスグループ長の鈴木善三は、石炭を加圧条件で燃焼させる流動層燃焼装置の開発に取り組んでいた。加圧することで複合発電 (ガスタービンと蒸気タービンによるダブルの発電) が可能になり、また石炭の燃焼速度が速まることで装置の小型化やNO_xの排出量も削減できるその技術は、火力発電所用の高効率発電技術として期待されていた。しかし、経済性や運転上の信頼性の問題で、2000年頃にブームは

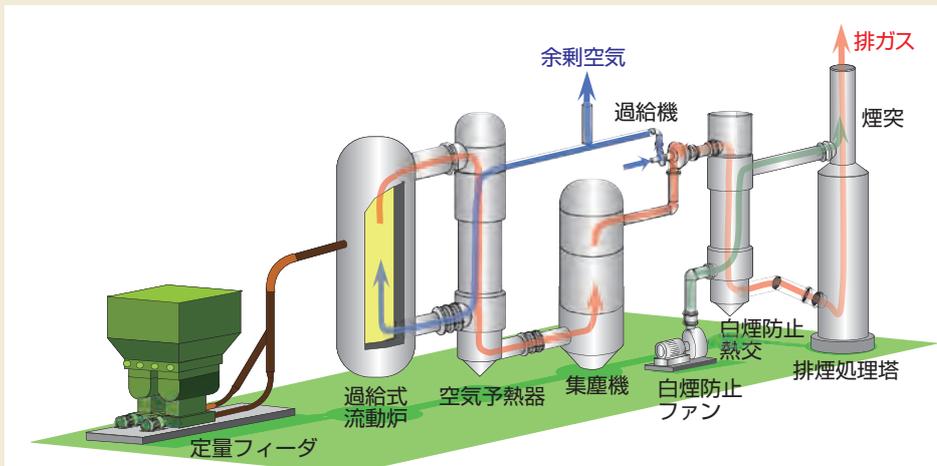


目で見えてわかる 用語解説

過給式流動燃焼システム

焼却炉を加圧運転して、そこから発生する高温高压の排ガスでターボチャージャーを駆動させ、それによって燃焼用の空気を生成する仕組み。排ガスも残圧で大気放出され、誘引ファンは不要となった。

出典：月島機械パンフレット



しぼんでしまう。

鈴木はその頃、省庁横断型の研究に参加し、国土交通省土木研究所の研究者と話をすることができた。

「そのシステムで下水汚泥は焼却できるかと聞かれ、できると答えました。聞くと、下水汚泥焼却炉の省エネ型への転換が求められているとのこと。そんな雑談が新規下水汚泥処理焼却炉の共同開発につながりました」

世の中、何が幸いするかわからない。ここから土木研究所と産総研、協力会社によって共同開発がスタート。まずはファンを不要にするため、排ガスからガスタービンを用いてエネルギー回収を図ろうと試みた。しかしタービンは高額で、汚泥焼却炉の規模ではコストに合わない。

「では、同じような機能を果たし、なおかつ安価なターボチャージャー(過給機)^{*2}を使うことはできないか? その発想がブレークスルーにつながりました」

鈴木らは、焼却炉を加圧運転して、そこから発生する高温高压の排ガスでターボチャージャーを駆動させ、それによって燃焼用の空気を送り出す、という仕組みの「過給式流動燃焼システム」を考案した。

研究開始から10年 次世代のスタンダードが誕生

鈴木は石炭のために用意した研究設備を用いて、それまでデータのなかった下水汚泥の加圧条件下での燃焼特性を明らかにしていった。時間をかけて基礎研究から実用化に向けた研究開発へと進み、実証プラントでの長時間連続運転性能を確認できたのは、2010年のことだった。

研究開始から10年、ようやくの完成である。

この次世代の下水汚泥焼却システムは、加圧によって燃焼が速まるので装置をコンパクトにでき、焼却炉からの放熱量も、補助燃料の使用量も低減できる。2つのファンも不要で、従来炉に比べて電力、その他で60%以上の省エネも実現した。

「しかし、いくら優れたシステムでも実績は全くありません。採用にはなかなか結びつきませんでした」

そこで狙いを定めたのが、当時、下水処理での温暖化ガス削減計画(アースプラン)^{*3}を策定中だった東京都だった。鈴木らはこのシステムの省エネ性と低N₂O性をアピールし、担当者の理解を得ることができた。そして東京都と行った耐久性の確認運転試験を経て、2011年3月、とうとう初号機が東京都に採用。これで一気に認知度が高まった。今後、全国で200基以上の焼却炉が寿命を迎え、新しい設備に代替されていくと予想される。このシステムは、そのときの有力な候補となるはずだ。海外においても、下水汚泥処理の方法は焼却が主流になりつつあり、海外での導入も期待される。

「今回の開発を通じて、技術の応用先は他者がヒントを与えてくれるので自分で狭めないこと、学会発表や論文投稿などの情報発信をすること、異分野との交流を大切にすることなどを学びました。今後はこの技術を、食品系や畜産系の汚泥処理へも展開していきます」

*1 下水汚泥：排水処理や下水処理の結果、排出される泥状の物質。

*2 ターボチャージャー(過給機)：内燃機関の熱効率を高めるため、吸入する空気の圧力を大気圧以上に高める装置。

*3 温暖化ガス削減計画(アースプラン)：2020年度までに温室効果ガス排出量の25%削減(2000年度比)に取り組んでいくことを目指し、2010年に東京都下水道局が策定した下水道事業における地球温暖化防止計画。

高齢者や障害者の感覚特性に基づくデザイン技術

誰にでも見やすく、 わかりやすい表示を目指して

JIS、ISOなどの規格にまとめて公開

ヒューマンライフテクノロジー研究部門 アクセシブルデザイン研究グループ

私たちの**生活・社会**が
こう変わる!



高齢者や障害者にも見やすく、わかりやすい「アクセシブルデザイン」。普及が求められているが、これまでは指標となるデータが存在していなかった。産総研がアクセシブルデザインのデータを標準化し、インタラクティブなデータベースとして公表したことで、アクセシブルデザインへの取り組みは大きく進むと考えられる。今後は誰にとっても見やすく、使いやすいデザインが増えていくだろう。

若者を対象にしたデザインは 高齢者にわかりにくいことも

私たちの身のまわりの製品やサービス、環境は、これまでは若い健常者を対象に設計・開発されることが一般的であった。しかし、そのようなデザインが、誰にでも見やすく使いやすいとは限らない。

この問題は、2011年の東日本大震災後に顕在化した。たとえば、節電の影響で駅構内の蛍光灯や道路にある自動販売機などが一部消灯されたことで、方向や場所を判断する手がかりがなくなり、一人で外出することが困難になった人がいた。これにより、通常の人には十分見える明るさであっても、ロービジョン（弱視）などの視覚障害者には困難となる場合があることが明らかとなった。また、避難所などでは、重要な情報が通常の文字サイズ

の紙などで掲示や配布されることが多く、読み上げサービスもなかったために、情報を得るまでに時間がかかる人がいた例もあった。

近年は高齢者の人口が急速に増加し、障害者への配慮の意識も高まってきたため、こういった人々を含めて、誰にでも使いやすい「アクセシブルデザイン」の普及が求められるようになった。

これと似た考え方に、「バリアフリーデザイン」や「ユニバーサルデザイン」がある。前者はもともとの製品からバリア（障害物）を取り除いたもの、後者はすべての人にとって使いやすいデザインをいう。後者の「すべて」という条件は厳しく、現在、この概念はあまり使われなくなっている。それに対してアクセシブルデザインは、対象範囲を明確にした、より現実的なアプローチだ。

「現在、産業界ではアクセシブルデザインを取り入れる動きが盛んになっています。しかし、感覚特性は個人差が大きく、また、視覚障害者の中でもロービジョンの症状は多岐にわたるため、実際にデザインしていくうえで指標となる基礎データはありませんでした」

ヒューマンライフテクノロジー研究部門主任研究員の伊藤納奈は、そう語る。

3000人のデータから 弱視者等の感覚特性を標準化

感覚特性を属性ごとに把握するには、数十名から数百名規模のデータが必要となり、コスト的にも労力的にも測定は容易ではない。しかし、産総研では過去15年以上にわたり、延べ3000人を超える高齢者や障害者を対象に、視覚、聴覚、触覚など、さまざまな感覚特性を測定してきた。そのデータを用いれば、高齢者の色の見え方の特

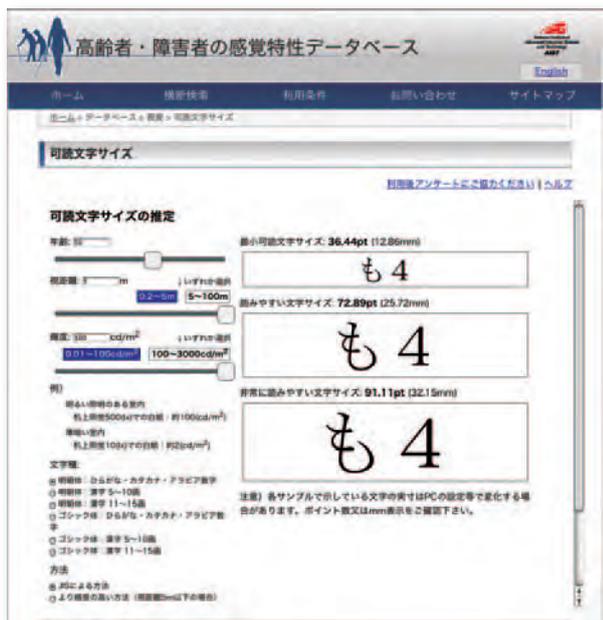


- 住
- 生活用品
- 安全安心
- 医療・福祉・介護
- 社会インフラ
- 交通



- 環境・資源・エネルギー
- 医療・福祉・介護
- デザイン
- サービス

「高齢者・障害者の感覚特性データベース」より



▲年齢などに応じた可読文字サイズを自動で推定する。
URL : <http://scdb.db.aist.go.jp/>

徴はどのようであり、ロービジョンの人にはどのような色の組み合わせがわかりやすいか、見え方のレベルの分布などの基礎データがつけられるはずだ。

伊藤らはこれに加え、比較対象として20歳代の感覚特性も計測し、2009年、それらをまとめた「ロービジョンの基本色領域データ集 技術報告書 (TR^{*1})」を提案。これは日本工業標準調査会標準部会高齢者・障害者支援専門委員会の審議を経て、2010年、TR S 0005「ロービジョンの基本色領域データ集」として経済産業大臣から公表された。製品の仕様を決める標準ではなく、データそのものと、その使い方の標準を定めているのが特徴である。

「このTRを用いると、見分けやすい色の組み合わせや、混同しやすい組み合わせなどを簡単に知ることができます。これまでは、ロービジョンの方々に見やすい案内板やポスター、福祉機器などの色彩設計は難しいとされてきましたが、今後はその取り組みが飛躍的に進んでいくでしょう」

この結果の一部はISO規格^{*2}としても登録され、国際的にも利用可能だ。産総研は世界に先駆けてこの課題を明らかにし、解決する方法を示したのである。

空港や病院でも、続々と採用

2013年にはこれまでのデータをもとに、インタラクティブ



▲群馬病院のサイン設計。病室扉(左)は、色・模様・文字の3種類の手がかりをつけ、部屋番号は低い位置にも表示している(写真提供:鹿島建設)。お手洗の扉(右)も、文字サイズ、コントラストともに識別しやすさに配慮した。

で使いやすい「高齢者・障害者の感覚特性データベース」を作成。利用者は感覚ごとに分類された17種類のデータベースから、利用したい項目を自由に選択できる。

たとえば、「可読文字サイズ」を選んでみよう。対象者の年齢や文字までの距離、書体などの条件を入力すると、その条件に合わせた「最小可読文字サイズ」「読みやすい文字サイズ」「非常に読みやすい文字サイズ」が、数値と原寸大で画面上に表示される。

またツールバーを動かすことにより、年齢や輝度により可読文字サイズがどのように変化するかも直観的に理解できる。

「これまでの規格は出版物として公開していたので、内容を理解するのに時間がかかったり、細かい計算が必要だったりなどの課題がありました。このデータベースであれば、専門知識や計算を必要とせず、簡単に利用が可能です」

すでにこのデータは空港や病院の案内表示板などの設計に活用され、好評を博している。現在は視覚以外に、聴覚や触覚についてのデータも揃いつつあり、高齢者や障害者に対して総合的に配慮できるようになってきた。今後も産総研は感覚特性のデータ計測・収集を続け、よりアクセシブルなデザインを可能とする標準づくりを行っていく。

*1 TR: JISとは異なる種類の標準に関する情報類として公表される標準報告書。

*2 ISO規格: 国際標準化機構 (International Organization for Standardization) が策定する国際規格。

工業技術院の挑戦

—産業技術融合領域研究所—

世界をリードした研究組織と研究成果



これまで「これも産総研の成果なんです!」の章では、産総研の前身にあたる国立研究所が生み出し、社会に大きな影響をもたらした製品・技術を紹介してきた。今回は製品・技術ではなく、かつて存在していた「産業技術融合領域研究所(融合研)」という組織そのものに焦点をあてる。国際的な成果を出すことを目的に組織された、さまざまな点において革新的だった融合研について振り返りながら、優れた成果を生み出す組織のあり方を考えたい。

写真出典：産業技術融合領域研究所パンフレット

多くの分野を横断的に融合した “伝説”の組織

1993年1月、産総研に統合される前の国立研究所群を統括していた「工業技術院」の下に、「産業技術融合領域研究所(融合研)」が設立された。目的は、世界的に評価される成果を上げること。それをなしうる組織とするため、画期的なシステムで運営された。そして、実際に、強相関材料、巨大磁気抵抗材料、生体材料、ナノクラスター、原子・分子の観察・操作、計算科学などで、世界をリードする数々の成果が生まれ、優れた人材が輩出した。

その後国立研究所が再編され、2001年に産総研が誕生する。産総研はこれまで数多くの成果を生み出してきたが、どんなに高い理想を掲げた組織でも、設立当初の新鮮さや緊張感を保ち続けるのは難しい。今後も産総研が成果を上げ続けていける組織であるには、どのようなことが必要なのだろうか。融合研という“伝説的”な組織について再検証することは、組織が成果を出すうえで何が必要であるかを考えるヒントになる可能性がある。

融合研の目的は、基礎的かつ先端的な研究分野における学際的な研究テーマを、国内外の産学官が一体となり、国際的協調のもとに追求することにあった。そのためにいくつもの研究分野を横断的に融合し、新しい研究分野を開拓していく実験的な研究所として発足した。

そして、それを確実にやっていくための、開放的で流動性が高く、国際性にあふれた研究体制と、公正な評価を行う体制がつくられた。この体制づくりが、融合研という組織の“肝”だったといえる。融合研の組織や研究

体制について具体的に見ていく前に、当時、このような研究所が設立された背景を見ていこう。

「基礎研究ただ乗り」論を受け 基礎シフトを進めた

1980年代は、後に破綻する「バブル経済」ではあったが、たいへんな好景気だった時期である。この頃、日本では官民一体となって応用開発プロジェクトが進められていた。これに対して海外、特にアメリカから「基礎研究のただ乗り」に対する批判が高まっていく。世界有数の経済力をもつ国として、相応の国際貢献が求められたのだ。

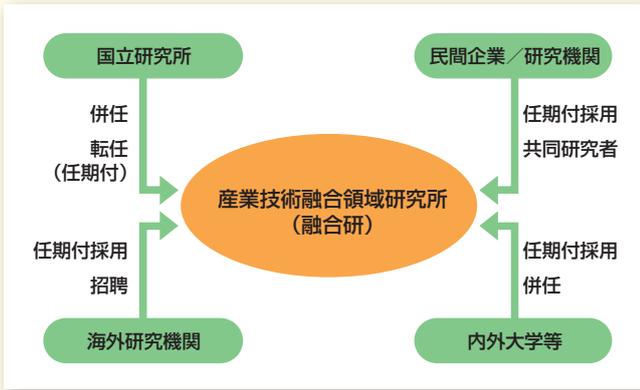
これを受けて、産業界では基礎研究への大型投資や人材採用による独創的な基礎技術の開発を行い、1990年代には旧通商産業省が「基礎シフト」の基本施策を打ち出して、時代に対応した研究所の再編を検討し始めた。その一つの答えが「融合研」の創設だった。

1990年代初頭、すでにナノテクノロジーは、新素材、エレクトロニクス、バイオテクノロジーなど、各種産業分野の共通の基盤技術として認識され始めていたが、これをさらに進展させていくには異分野の融合が不可欠だった。融合研はそのような時期に、時限付のプロジェクトを機動的に推進する研究所として誕生した。創設時の所長は、大越孝敬(元東京大学先端科学技術研究所長)である。

融合研で取り組まれた創設時のテーマは、単分野での進展が難しい3つの研究テーマ「アトムテクノロジー」「クラスターサイエンス」「バイオニックデザイン」だ。ア



研究者の採用体制



出典：産業技術融合領域研究所パンフレットをもとに作成

アメリカでナノテクノロジーの国家プロジェクトが発表されたのが2000年であることを考えると、7年も前にこのプロジェクトをスタートさせた旧通産省には先見の明があったといえる。

各プロジェクトには最初から5年または10年の年限が設けられた。その期間に成果を出すことが求められた一方で、期間内の予算がおおむね保証され、長期的な計画のもとで研究を進められる体制が組まれていた。

産学官の人材を融合する画期的な2つの工夫

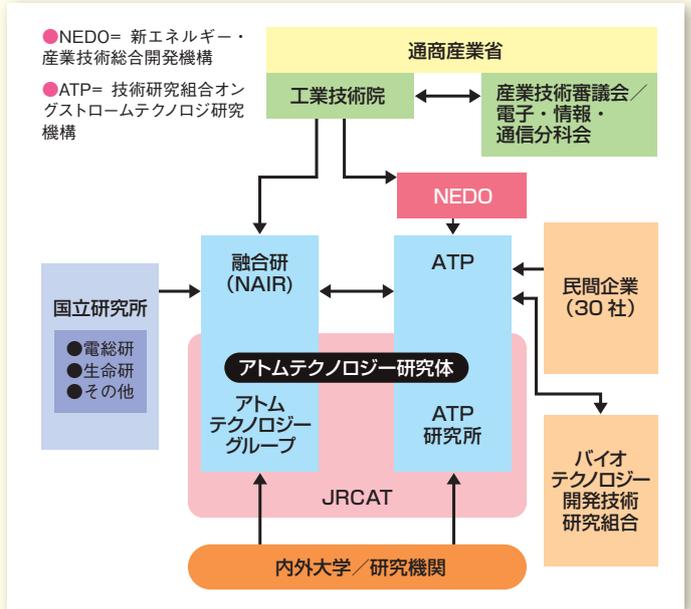
融合研の第一の目的は、先述した通り、基礎的かつ先端的な研究分野における学際的な研究テーマを追求することだ。それも、産学官が一体となり、国際的な協調もしながらである。学問・産業分野でも、人材面においても、融合が求められた。

その目的を達成するため、同時に、4つの特徴をもつ体制が練り上げられた。「開放性に富む研究体制」「流動性に富む研究体制」「国際性に富む研究体制」、そして「公正な評価を行う研究体制」だ。開放性、流動性を確保するために、研究者の多くは任期付きで採用。基礎研究はさまざまな経験と知識をもつ人材集団によって拓かれるという考えから、大学や民間企業、海外の研究機関から国立研究所に研究者を受け入れやすくした。

また、融合研には制度を熟知した研究調整企画官（創設時、後藤隆志通産技官）が常駐し、問題が起きると融合研側の論理で研究調整企画官がそれに対応し、国の制度下で実施できることは最大限実施した。海外派遣費や外国人研究者の招聘費が他の研究所よりも優遇された。融合研にはつねに外国人研究者が滞在し、頻繁に英語に

アトムテクノロジープロジェクトにおける人材召集体制

融合研と技術研究組合「オングストロームテクノロジー研究機構（ATP）」により、「アトムテクノロジー研究体（JRCAT）」を組織。産学官から人材を集めやすくした。



出典：田中一宜監修/市川昌和編著

「ナノテクノロジーの最前線 アトムテクノロジーへの挑戦1」(日経BP社)をもとに作成

よるセミナーが開催されていた。セミナーに参加するために来日した外国人研究者もいたほどである。

特にアトムテクノロジープロジェクトでは、人材を集める工夫を徹底させた。融合研のほかに技術研究組合「オングストロームテクノロジー研究機構（略称 ATP）」を設立し、両者で「アトムテクノロジー研究体（略称 JRCAT）」を組織。民間からの参加は ATP への出向、大学からの参加は融合研への併任、あるいは ATP への参加というかたちで、JRCAT という共通の名のもとで研究活動を行った。融合研と ATP は研究者間のイコールパートナーシップを確保するため、共同研究契約を締結し、100%コミットメントできる産学官の集中共同研究体制を可能とした。組織の壁を意識せずに優秀な人材を採用することが非常に大きなメリットだった。

アメリカに影響を与えたアトムテクノロジープロジェクト

融合研の3テーマのうち、最も規模が大きかったのがアトムテクノロジーだ。このプロジェクトは融合研設立の3年前から計画され、産学官で基礎研究を推進する大型プロジェクトの候補として、当時の通産省機械情報産業局電子機器課から NEDO の大型研究プロジェクトに提案され、採択された。ここでは原子や分子を自在に操

アトムテクノロジープロジェクトを支えたリーダーたち



▲田中一宜
JRCATサブリーダー（当時）

▲寺倉清之
JRCATサブリーダー（当時）

◀丸山瑛一 JRCAT プロジェクトリーダー（当時）

り、新しい機能をもった物質を生み出すという、人類の“夢の極限技術”ともいべきものに挑戦。プロジェクトには、原子・分子レベルの構造計測・制御技術、生体分子計測技術や、半導体サブナノ構造の大規模解析用の第一原理計算シミュレーション関連技術などに取り組む10の研究グループがあり、最大で研究者107名が所属した。通常はそれぞれの課題を持ち帰って研究する分散研究が一般的だが、このプロジェクトにおいては研究者全員が融合研に集まり、JRCATとして集中的に研究を行った。

また、公用語は日本語と英語（大事なミーティングは英語）。ATPは数十名の企画部門および支援スタッフを融合研に常駐させて研究者をサポートした。これにより研究者は研究に集中することができた。当時としては全く前例のない新しい試みだった。

当時、走査トンネル顕微鏡と質量分析器の融合に挑戦していた清水哲夫（現・ナノシステム研究部門ナノ光電子応用研究グループ主任研究員）は「グループ同士の壁は低かった」と振り返る。隣接分野を研究している者同士が一カ所に集まっていたことで、自然と人的交流が生まれたのだろう。

有機分子の自己組織化膜を活用した分子エレクトロニクスの研究に従事した石田敬雄（現・ナノシステム研究部門ナノ構造アクティブデバイスグループ長）は、「大学や企業からも優秀な研究者を取り込み、共通のゴールを目指して協働できた、ダイナミックでフレキシブルな組織だった」と評価する。

アトムテクノロジープロジェクトではプロジェクトリーダーと2名のサブリーダーによる「トロイカ体制」でプロジェクトを牽引した。また、この3名はプロジェクトにおける産学官の実質的な代表者でもあった〔初めの6年は丸山瑛一 JRCAT プロジェクトリーダー（現・理化学研究所名誉研究員）が“産”、田中一宜サブリーダー

（現・産総研名誉リサーチャー）が“官”、寺倉清之サブリーダー（現・産総研名誉リサーチャー）が“学”をそれぞれ代表し、後半の4年はJRCATプロジェクトリーダーを田中一宜が務め、竹山哲サブリーダーが“産”を担当〕。これらのリーダーには人事や予算に対し大きな裁量権が与えられていた。融合研が成果を上げた理由の一つに、何人もの研究者が「優れたリーダーの存在」を挙げたが——「腹をくくったボスの存在は大きかった」「大局的な視点でプラスになるような采配ができるリーダーだった」など——、それはこの体制と無関係ではないだろう。

アトムテクノロジープロジェクトは10年間で、スピントロニクス、強相関電子材料等に関する研究分野を創成するなど、現在の産総研のナノテクノロジー研究につながる抜群の成果を上げた。特に十倉好紀（現・理化学研究所創発物性科学研究センター長／東京大学教授）グループを中心に「Nature」「Science」に18本の論文を発表。知財面でも国内特許110件、国際特許38件という多数の出願を果たしている。これらの成果は1997年来日した米国調査団を驚愕させ、それがアメリカの「国家ナノテクノロジーイニシアティブ」に影響を与えたといわれている。

失敗を認める文化と 厳しい評価が人を育てた

2つめのテーマ「クラスターサイエンス」は、原子や分子を扱う点ではアトムテクノロジーと通じるが、より化学的な方面から、原子や分子の集合体がどのような新しい性質をもつか、それはなぜなのかを調べる目的をもっていた。

脇坂昭弘（現・環境管理技術研究部門環境分子科学研

クラスターサイエンスプロジェクト



▲クラスターの構造を知るために、多光子共鳴イオン化質量分析法と赤外分光法を結合した手法を開発。

▲竹尾陽敏グループリーダー(当時)

究グループ長)は、「融合研は研究者を育てるのによい場だった」といい切る。新しいことへの挑戦ができ、潤沢な予算がそれを支えていたこと。失敗を認める余裕があり、じっくりと研究の種を育てることができたこと。それは研究を太い幹にすることにつながった。

脇坂は、外部の有識者に加え、海外からも専門家を入れて組織された評価委員会の厳しさについても言及した。しかしそれは、改善のための厳しさだったという。それによって研究者たちは鍛えられ、磨かれていった。クラスターサイエンスプロジェクトの成果は、現在の産総研のナノ粒子製造や、液中エレクトロスプレー反応場の研究などに応用されている。

新しいことに挑戦できる貴重な場

3つめのテーマ「バイオニックデザイン」の目標は、生体を多機能な分子機械システムと見立て、生体を模倣する組織的な構造や運動機構などの設計・製造原理を確立すること。総勢50名を超える研究者が、細胞・組織工学に関する研究と、分子機械に関する研究に分かれて研究を進めた。人工骨・筋肉・血管などと適合できるバイオ組織や臓器の開発、ナノモータのような微小機構の開発も視野に入れた研究だった。

グループリーダーを務めた立石哲也(現・産総研名誉リサーチャー)は、自身のスタンスを「つねに新しい分野をつくり続けること」という。融合研のよさの一つは、まさに新しいことに挑戦する機運があったことだ。出る杭が打たれる傾向のある日本にあって、貴重な場であった。

生体分野の研究が成果を出すには、非常に長い時間がかかる。バイオニックデザインプロジェクトでの研究は、現在の産総研の幹細胞工学技術と人工臓器開発、ナノレ

ベルで機能発現する革新材料などの研究に引き継がれた。

発想を行動に移せる環境が世界をリードする研究を可能に

融合研が数多くの成果を上げることができたのは、潤沢な予算に伴う施設・マンパワーの充実によったところが紛れもなくあるだろう。しかし、決してそれだけではない。田中一宜名誉リサーチャーはいう。

「思いついたアイデアをすぐに予備実験で検証できるような柔軟なマネジメントと環境が用意されていた。そういったことこそが、とても重要だったのではないだろうか」

まさにその通りである。研究者が研究以外の要素に煩わされずに、研究に没頭できた面も大きかったようである。そして、そのような環境を整えるために意欲的に活動した強力なリーダー群の存在も大きかった。

当時、融合研で研究していた研究者たちへのヒアリングから浮かび上がってきたのは、能力の高い研究者たちが、自律的に、自由な発想で出てきたアイデアをもとに研究に打ち込む姿だった。それがチームや組織を健全に動かし、世界をリードする成果の創出につながったに違いない。融合研の体制は、当時の社会情勢においても画期的なものだった。それらの成果は現在の産総研の研究の源流になっている。

産総研が誕生して間もなく15年。これまで数多くの革新的な技術を生み出し、社会に貢献してきた。社会の状況、産業界からの期待、研究人材や研究費、研究スペースなど、さまざまな制約がある中で、研究者がより研究に集中できるように工夫したマネジメントを導入することで、今後も優れた成果を出し、将来の研究や新たな産業の礎を築き続けて欲しい。

バイオニックデザインプロジェクト



▲立石哲也グループリーダー(当時)



▲細胞の分化・増殖機能を人為的に操作。

こんなところに産総研!

常識外から生まれた
革新的コーティング技術「AD法」

焼かずに
吹き付けるだけで
堅牢なセラミックス膜
ができる!



明渡 純

泥団子を壁にぶつけてくっつける。
子どもの遊びのような発想も産総研の技術で
モノづくりに変革をもたらす原動力に。

粘土を原料とした高機能な薄膜「クレスト」

驚異的なガスバリア性、
耐熱性を誇る
粘土製フィルム

蛸名武雄

東北の大地に眠る良質の粘土が、
アスベストに代わりハイテク産業の救世主に。
それが、めぐみモノづくり。



未来のために産総研!

完全密閉型植物工場で遺伝子組み換えイチゴを栽培

世界初!
遺伝子組み換え植物からできた
イチゴ用の薬が、販売開始に

バイオテクノロジーと植物工場で
21世紀の農業は新しい産業へ。
歯周病を治して、お宅のワンちゃんもニコリ。



脳波で話す装置 ニューロコミュニケーター

難病患者の意思をくみとり、
速く正確にコミュニケーション
できる

人と人の絆はコミュニケーションから。
産総研の脳波解析技術で
「思い浮かべる」＝「人とつながる、人に伝える」を実現。



世界のトップを走る産総研のリサイクル技術

〈都市鉱山〉から
レアメタルを
高精度で回収する!

宝の山はあなたの暮らしの中に。
家電を咀嚼、飲み込みレアメタルだけを
分離・濃縮する、最先端のリサイクルシステム。



今のくらしに産総研!

パーソナルな小型線量計



見えない放射線を
きちんと測り
不安のない帰還実現を
目指す

お守りみたいなケータイ感覚の
パーソナル線量計。
正確な計測で安心を届けて、
復興支援に貢献。

注目される新しいエネルギー資源

海底下に眠る
〈燃える氷〉
メタンハイドレートの魅力

ストローを海底に差し込んで、
吸い込むと湧き出てくる天然ガス。
どこに? どれだけ? コストは?
産総研におまかせ。



くらしを支える産総研!

魚介類の鮮度を保つシャーベット状海水氷



鮮度が命!
産総研の技術で
おいしい魚を食卓に
届ける

おいしい魚を食べさせたい!
ミクロの氷でふんわりやさしく包み込む。
いつでもどこでも新鮮さキープ。

写真提供: ニッコー

デジタル音楽の真価を引き出す音楽理解技術

音楽の新たな楽しみ方を提案する
デジタルコンテンツ産業
のサポーター

音楽は技術の力でもっと楽しくなる!
音楽理解技術で、音楽鑑賞はさらに豊かに。
歌声合成技術で、日本の強み・
先進的コンテンツ文化はさらに発展。



これも産総研の成果なんです!



世界を制した
天然甘味料製造技術
産総研の特許輸出第1号が
食品産業を大きく変えた

50年前に産総研が製造技術を開発した
「グルコース・イソメラーゼ技術」で、
世界中に天然甘味のスイーツを。

索引

私たちに身近なキーワード

欧文

| | |
|-------------|----|
| NMR(核磁気共鳴)法 | 16 |
| QOL(生活の質) | 2 |

あ

| | |
|------------|----|
| アクセシブルデザイン | 26 |
| アニマル・セラピー | 2 |
| 医療福祉機器 | 2 |
| 温室効果ガス | 24 |

か

| | |
|-----------|----|
| 介護支援 | 2 |
| 肝炎 | 14 |
| 感覚特性 | 26 |
| 肝疾患診断システム | 14 |
| 基礎研究 | 28 |
| 携帯型線量計 | 22 |
| 下水処理システム | 24 |
| 研究組織 | 28 |

さ

| | |
|-----------|----|
| 再生可能エネルギー | 8 |
| 産官学 | 28 |
| 視覚障害者 | 26 |
| 地震 | 20 |
| 次世代エネルギー | 8 |
| 省エネ | 24 |
| 焼却炉 | 24 |
| 食品衛生法 | 16 |
| 食品残留農薬 | 16 |
| 除染 | 22 |
| セラピー効果 | 2 |

た

| | |
|---------|----|
| 太陽電池 | 8 |
| 多品種少量生産 | 18 |
| 津波 | 20 |
| 津波堆積物 | 20 |

な

| | |
|-----|---|
| 認知症 | 2 |
|-----|---|

は

| | |
|----------------|------|
| バイオマーカー | 14 |
| 半導体デバイス | 18 |
| 被ばく線量 | 22 |
| ファブ(ファブリケーション) | 18 |
| 福祉支援 | 2、26 |
| 防災・災害予測 | 20 |
| 放射性物質 | 22 |

ま

| | |
|----------------|---|
| メンタル・コミット・ロボット | 2 |
|----------------|---|

や

| | |
|-----|----|
| 薬事法 | 16 |
|-----|----|

ら

| | |
|------------|-------|
| リスク管理 | 20、22 |
| ロービジョン(弱視) | 26 |

QRコード

産総研HP

<http://www.aist.go.jp>



産総研Twitter

https://twitter.com/AIST_JP



YouTube 産総研CHANNEL

<http://www.youtube.com/user/aistchannel>



ここにもあった産総研

生活・社会を支える 変える 未来を創る

産総研ストーリーズ 2014年 No.3

編集・発行 独立行政法人 産業技術総合研究所
問い合わせ 〒100-8921 東京都千代田区霞が関1-3-1
経済産業省別館内 産総研企画本部
<http://www.aist.go.jp>

目次写真提供：グライコテクニカ(糖鎖プロファイリングシステム)
東京都下水道局浅川水再生センター(過給式下水汚泥流動焼却炉)
鹿島建設(群馬病院の病院扉)

●本誌掲載記事の無断転載を禁じます。 ©2014AIST



独立行政法人
産業技術総合研究所