

# 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

世界初！  
遺伝子組み換え  
植物からできた  
イヌ用の薬が、  
販売開始に



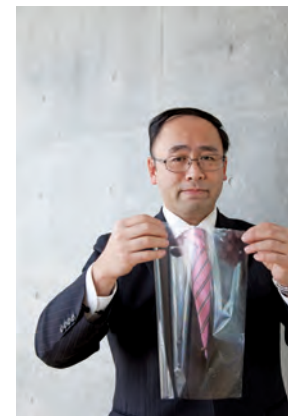
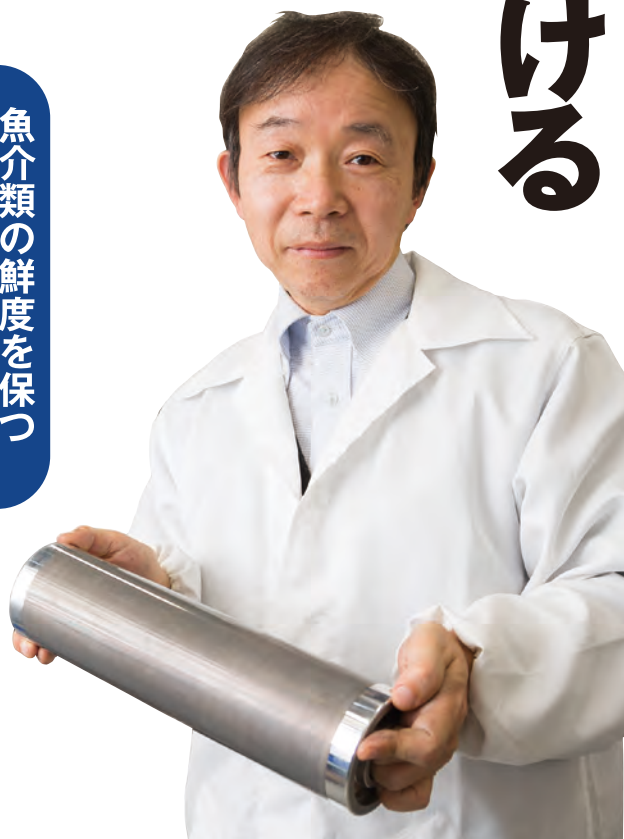
完全密閉型植物工場で  
遺伝子組み換えイチゴを栽培

鮮度が命！  
産総研の技術で  
おいしい魚を  
食卓に  
届ける



魚介類の鮮度を保つ  
シャープレット状海水氷

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！

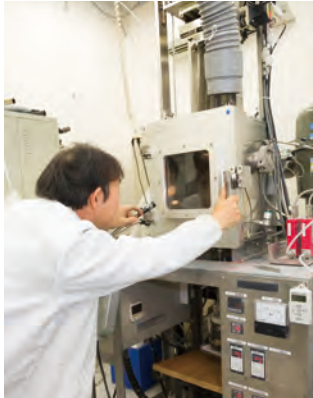


粘土を原料とした高機能な薄膜「クレースト」  
驚異的なガスバリア性、  
耐熱性を誇る粘土製フィルム

# 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

## Contents 目次



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!** — 2

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** — 8

姥名武雄

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  
できたイヌ用の薬が、販売開始に** — 14

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** — 16

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!** — 18

宝の山はあなたのくらしの中に。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。

「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。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つくりました。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!

### 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

20

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

22

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。

## 暮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

24

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。



### 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

26

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

28

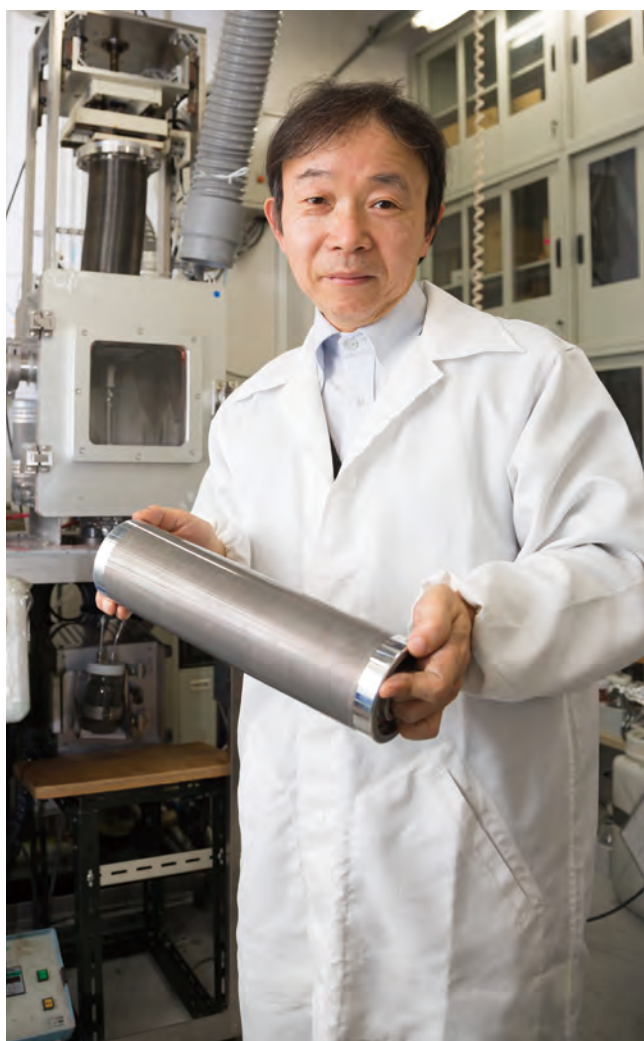
50年前に産総研が開発した「グルコース・イソメラーゼ技術」で、世界中に天然甘味のスイーツを。

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!

半導体製造装置から太陽電池まで、多彩な領域で活躍中

私たちの生活・社会が  
こう変わる!



先進製造プロセス研究部門  
首席研究員

明渡純 JUN AKEDO

セラミックスを焼かずに固めて膜をつくる技術「エアロゾルデポジション法 (AD法)」。これによってできる、硬度が高く、緻密でツルツルの表面をもつ膜は、すでに半導体製造の現場で耐プラズマ部材 (コーティング材) として使われ、生産性の劇的な向上に貢献している。現在は全固体リチウムイオン電池やフィルム状の色素増感型太陽電池などのエネルギー分野にも応用が進み、次世代エネルギー、燃料の省資源、低コスト化を実現するものと期待されている。

## アクシデントから生まれた 謎のコーティング

セラミックスといえば普通は「焼いてつくるもの」だ。焼かずにセラミックスをつくるなどあり得ない。数年前まで、これが世界の常識だった。この常識をくつがえしたのが、先進製造プロセス研究部門首席研究員の明渡純だ。明渡は偶発的なアクシデントから、焼かずにセラミックスの膜をつくる手法を発見。数年間の試行錯誤の末、その現象のメカニズム解明に取り組み、基盤技術として確立。現在は半導体チップの製造装置の生産効率の向上に欠かせない技術として用いられている。

この手法が生まれたのは1994年頃のことだ。当時、明渡は工業技術院・機械技術研究所 (産総研の前身組織の一つ) でマイクロデバイスの研究開発を手がけていた。その一環として、セラミックスで圧電膜方式のマイクロアクチュエータ\*<sup>1</sup>をつくれなかと、基板上でセラミックスを圧電材料として厚膜化するためのコーティング手法の研究に着手。国の予算がついた研究で、ニーズから



▲尖ったピンセットでこすっても、基板にできた膜は剥がれない。

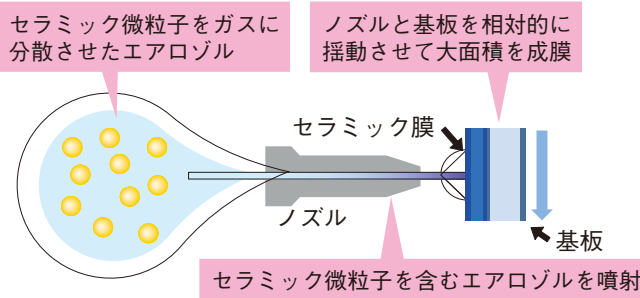
▶常温で透明なセラミックス膜もつくれる。これは $\alpha$ -アルミナ(サファイア)膜。



## 目で見てわかる 用語解説

### エアロゾルデポジション法

セラミックスの微粒子をガスと混ぜ、減圧した状態でノズルから噴射することで、エアロゾルジェットとして基板に衝突させ、膜を形成する技術。「常温衝撃固化現象」を用いて、緻密で高密着強度のセラミック膜が金属、ガラス、プラスチックなどさまざまな材質の基板に常温形成できる。成膜速度は、従来の薄膜形成技術の数倍以上である。



の出発ではあったが、微粒子の堆積という成膜手法としてはユニークな手法に取り組んだのは、応用物理学科出身である明渡自身の興味から、という面もあった。

セラミックの材料となる金属の微粒子を基板に堆積させるため、明渡は微粒子を溶かして吹き付ける方法を試していた。吹き付けて基板上に着いた微粒子を膜にするため、真っ赤に加熱された基板に微粒子を堆積し、焼き固め(焼結)たり、プラズマ<sup>\*2</sup>などで溶かして融着させたりしようとして熱をかける。が、剥がれたりボンボンになったりと、思うような結果が得られない。

そんな試行錯誤中のある日のことだ。実験を終えて基板を冷却し、装置をシャットダウンしようとしたところ、明渡は誤って微粒子を基板に吹き付けてしまった。

「見ると、基板の端に黒い汚れカスのようなものが着いていたのです。カチカチに固まっていて、尖ったピンセットの先でこすっても全く剥がれません。これは単なる汚れではなさそうだ。そうであれば一体なんだろうと、不思議に思いました」

それは、見過ごされてもおかしくない些細な現象だった。実際、それまでもときどき同じような現象が起きているのに気づいていたが、特に気にしていなかったという。しかし、そのときは実験に行き詰まっていたこともあり、明渡はそれが何かを調べてみることにした。

有機物のゴミが着いたのなら、高温にすれば融けるはずだ。しかし、500~600℃で一晩焼いても変化はなく、汚れカスはそのまますべてに密着していた。

「これはセラミックの粒子が常温で固化したに違いない。何か重要な現象だと直感し、衝撃を受けました」

明渡は早速、さまざまなセラミック粒子を同様の方法で基板に吹き付けてみた。すると、他の材料でもやはり、常温の基板にカチカチに密着する現象が見られたという。それが、微粒子とガスを混ぜて吹き付け、その衝突の衝撃によってセラミックの膜をつくる全く新しいコーティング技術「エアロゾルデポジション法(AD法)」の始まりだった。

## セラミックが常温で固まる？ 常識をくつがえす画期的な発見

それにしても、セラミック粒子が、どうして常温でこれほど緻密に固化するのだろうか。

「まず考えられたのは、微粒子が基板に衝突するとき熱が発生して融けてくっつく、ということでした。これは物理的には知られている常識的な説明で、宇宙の塵から重力に引き寄せられ惑星が形成される時のようなイメージで、粒子の高速の衝突エネルギーで表面が高温になり融着するというものです。しかし、実際観察していると、どう測定しても基板の表面は微粒子が融ける温

\*1 圧電膜方式のマイクロアクチュエータ：電圧を加えることで変形する圧電材料を用いた、小型の駆動デバイス。

\*2 プラズマ：気体中で電気を放電させることで発生する。正の電荷をもつ粒子(イオン)と負の電荷をもつ電子が電離状態で同程度存在し、全体としてほぼ中性である気体状の粒子集団のこと。

度まで上がっているようには考えられず、常温のままです。しかも、より緻密に着きやすくするため運動エネルギーを高めようと吹き付ける速度を上げると、密着するどころか、逆に基板が削れてしまうのです」

そこで、粒子の衝突速度を計測する手法を新たに開発し、その衝突速度を直接測定した結果、膜ができるときの速度はせいぜい200~300m/s。シミュレーションによると、その衝突速度では微粒子表面が焼結する温度(1000℃以上)まで上昇することはなかった。つまり、粒子が衝突したときのなんらかの変化が運動エネルギーを結合エネルギーに変換しているが、融けてくっつき緻密になるという従来の考えでは説明しきれず、そこには未知のメカニズムがあるのではないかと考えたわけだ。明渡は、粒子が融けなくても緻密に固まり膜ができることを説明する仮説を立ててみることにした。

「セラミックスの粒子同士がぶつかって微細な粒子に割れたときに、原子と原子をつなぐ安定な電子の結合がずれたり離れたりして不安定になり、“活性な状態”に

なる。それがまた安定な状態に戻ろうとするときに、すぐ横の割れた微細な粒子同士がくっつき合って緻密化するのではないかと。そのような仮説を考えました」

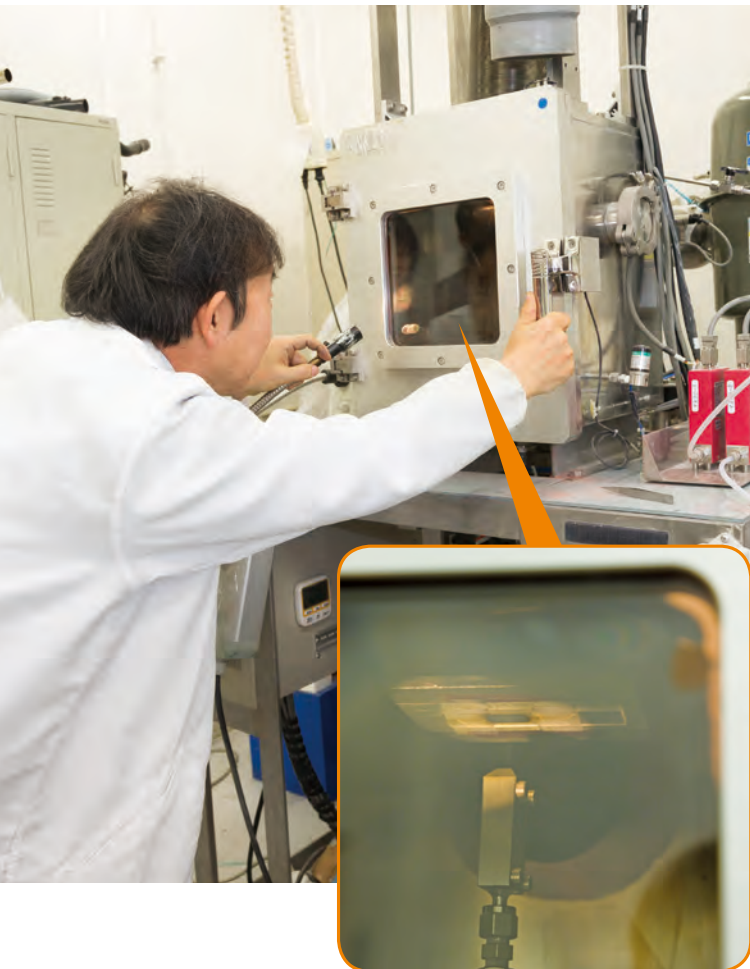
これはいわば、まんじゅうをぶつけて固めるようなイメージだ。まんじゅうをぶつけると、皮が破れて中のあんこが出てくる。そして、そのあんこによってまんじゅう同士がくっつくのではないかと、ということだ。果たして、この仮説は正しいのだろうか。仮説通りに粒子の破碎現象が起きているかを知るため、明渡は異なる材料の粒子を混ぜて吹き付け緻密な膜をつくり、その断面の微細構造を観察してみた。その結果、基板に衝突した粒子はナノレベルで破碎し、変形していることが確認できた。

これで仮説の正しさが裏づけられた。このとき、衝突時に火打石から火花が出るように火花が散る現象も見られることがあり、「やはり火花が出るほど、衝突した表面の温度が上がっているのでは？」という反論もあった。しかし、それは粒子を加速搬送するガスの種類によることが原因で、高温になるからではなく、粒子衝突時に物理的に表面から電子が放出され、これが周囲のガスを発光させているからだったのだ。

明渡はこの現象を「常温衝撃固化現象」、それを導く手法を「エアロゾルデポジション法(AD法)」と名づけた。

### ADコーティング実験の様子

▼減圧下で微粒子を基板に吹き付ける。



## 応用開発に向けて メカニズムを解き明かす

AD法で作製した膜は機械的な特性が非常に良く、成膜の速度も従来の方法よりずっと速い。アルミナ<sup>\*3</sup>のような従来の焼結法ではなかなか透明にならない材料も緻密に固化させられるため、透明な膜も成膜可能だ。マイクロデバイス以外にも、さまざまな分野に応用可能だと考えられたが、学会で発表してもなかなかよい反応が得られない。常温でセラミックス粒子を固化させるなどという、これまでの常識を外れた手法は、簡単には信じてもらえなかったのだ。

そこで明渡は、このAD法で作った膜(AD膜)を用いたアクチュエータを試作したうえで、他の手法と比較しながら膜の性能や特徴を発表するように作戦を変更。これによって1999年頃から、企業からの反響が得られるようになった。

しかし、共同研究を希望した複数の企業からは、「成

\*3 アルミナ：酸化アルミニウムのことで、高純度の単結晶としてはサファイアがある。



写真提供：TOTO

▲TOTOの半導体製造装置用プラズマ耐食部材「イットリアコーティング」

膜の再現性があっても、最適条件を見出す指針がわからなければ実用化に向けた研究開発ができない」という声が上がった。

「やはり産総研にはメカニズムの解明が求められているのだとわかりました。そこで、粒子の破碎によって成膜されるという先の考え方をもとに、基板に吹き付ける粒子の速度以上に、粒子の衝突による機械的な破壊特性に理解のカギがあると考え、原料の粒子に求められる最適なサイズや機械特性、前処理条件などと、成膜特性の関係を解き明かすことに力を注ぎました。

そして、緻密な膜を得るには、原料粒子の粒子径に、ある範囲があるとわかりました。材料とその内部構造にもよりますが、成膜されるのはおおよそ粒子径が $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ （マイクロメートル、 $\mu$ は $10^{-6}$ ）前後の範囲の粒子のみ。これより小さいと粒子は結合せず圧粉体になってしまい、大きいと粒子は衝突しても変形も結合もせず、粉々になり飛び散り、サンドブラストのように基板が削れてしまうのです。これが、本成膜法を実用技術につなげる重要な指針になりました」

メカニズムがわかれば、研究の道筋もはっきりついてくる。この頃からこの研究は「ナノレベル電子セラミックス材料低温成型・集積化技術」（2002年、NEDO）という大型の国家プロジェクトとして大きく展開し、2006年にはプロジェクトが完了。そこからはTOTOをはじめとする複数の企業とともに、数多くの応用開発や実用化、量産化に向けた共同研究に取り組むことになった。

「これらの研究を通じて、民間企業と共同で国際的にも戦略的な特許固めができたことも大きな成果でした」

## プラズマでも削れない硬度を生かし半導体製造装置に応用

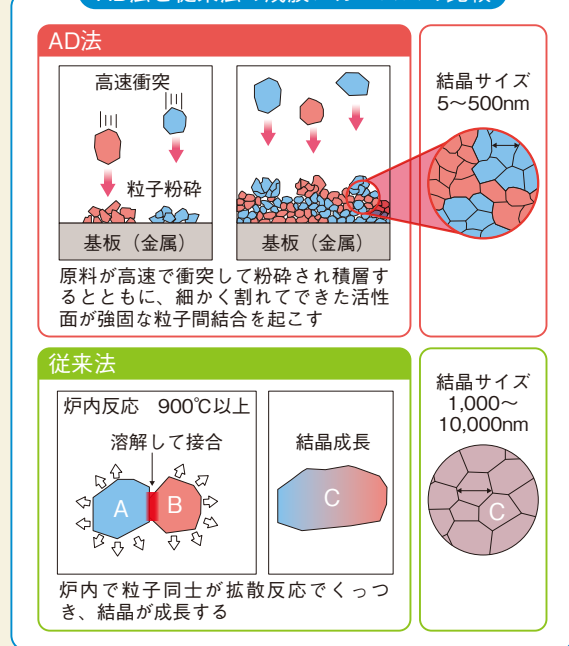
2007年、TOTOにより、AD法を用いた半導体製造

## 目で見てわかる 用語解説

### 常温衝撃固化現象

セラミックスの微粒子を高速で基板に衝突させると、その衝撃で結晶の粒子が壊れ、再び粒子が結合しようとする働きにより、常温でも堅牢な膜ができる現象。この現象の発見が、AD法が生まれるきっかけとなった。

### AD法と従来法の成膜メカニズムの比較



装置のコーティング技術が実用化。サファイア並みの硬度をもつセラミックス「イットリア」を用いたこのコーティング技術は、現在、次世代の半導体製造装置に欠かせないものになっている。

半導体チップは、シリコンウェハ上に薄膜を形成し、それをエッチングなどで削って微細なパターンをつくり回路などとして加工していくものだ。現在、パターンは幅20数nm（ナノメートル、nは $10^{-9}$ ）のレベルまで細線化が進み、従来の装置での製造はもう限界に達している。というのは、エッチングというのは装置内でプラズマを発生させてウェハを削っていく作業なのだが、プラズマによってウェハだけではなく装置の内壁まで削れてしまい、削りカスが発生してしまうのだ。この削りカスがチップ上に落ちると、意図しないパターンができてしまう。加工が微細になるほど削りカスの影響を受けやすく、生産効率が下がってしまうわけだ。

「削りカスの発生を防ぐために内壁をコーティングし、チップの歩留まりを上げ、生産コストを下げたい。AD法によるイットリアコーティングは、そのようなニーズ

に合致したのです。化学反応しにくく、プラズマでも削れにくいイットリアを金属部材やガラス部材などに緻密にコーティングすることで、チップの生産効率は劇的に向上しました」

これまでは溶射\*4を用いてイットリアをコーティングしており、膜はかなり粗かったのだが、それでもコーティングしない状態より効果はあった。しかし、AD法によるコーティングの場合、膜の緻密さが高く、結晶組織もナノレベルと桁違いに小さいため、これまでの4倍以上の性能を発揮する。とはいえ実際に引き合いが増えたのはこの1~2年ほど。時代のニーズがようやくこの技術に追いついたのだろう。現在、TOTOは工場を拡大し、製造に追われている。共同研究先のマーケティング力と努力により、現状のAD法のポテンシャルでも、機能面での優位性とコーティングコストが両立し、技術競争力

がいかに発揮された応用事例といえる。

## 次世代エネルギーを普及させる キーテクノロジーになる!?

常温で固化するため、大規模な設備がいらず、低コストで高品質なコーティングができるAD法。2004年には60 cm四方の高透明なセラミックス膜の常温形成に成功し、現在ではロールtoロールでの製造も可能となっている。この技術は、これからどのような分野に応用されていくのだろうか。

「まず、エネルギー関連部材への応用です。たとえば、リチウムイオン電池。通常は液体の電解質をこの技術で固体化し、薄いシート状の電池をつくる研究が進められています。また、軽くてフレキシブルな色素増感型太陽電池も、1~2年後には実用化できるそうです」

全固体型のリチウムイオン電池の開発を手がけるのはトヨタ自動車だ。ハイブリッド車や電気自動車の普及に

### 開発ヒストリー

**1994年** 偶然から、セラミックス粒子が常温で緻密に固化できる現象を発見

**1999年頃** 上記の現象（常温衝撃固化現象）を立証

**2001年頃** セラミックス粒子の固化体が高透明になることを立証  
(2004年、高透明の大判フィルム作製に成功)

**2002年頃** 民間企業6社と、この技術の応用開発を目指した大型国家プロジェクトを推進

**2006年頃** 常温衝撃固化現象のメカニズムの基本を解明、量産技術にもつなげる基盤則を確立

**2007年** TOTOがAD法を用いた半導体製造装置のコーティング技術を実用化



写真提供：TOTO

現在

リチウムイオン電池（トヨタ自動車）、色素増感型太陽電池（積水化学工業）など、エネルギー関連技術への検討が進行中。その他、ファッション、デザイン分野へも展開予定



### AD法の大面積成膜とエネルギー分野への応用

#### 産総研の独自成果（AD法）

ロールtoロール成膜



大面積成膜例  
nano tech2012



蓄エネ

全固体リチウム  
イオン電池応用

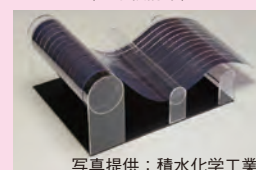
トヨタ自動車・共同研究



創エネ

フィルムタイプ  
色素増感太陽電池

積水化学工業・共同研究  
(上市検討中)



写真提供：積水化学工業

▲ AD法による成果の一例。全固体型リチウムイオン電池やフィルムタイプ色素増感型太陽電池として応用が進められている。

\*4 溶射：ガスの燃焼炎や電気エネルギーなどの熱源により溶射材料を加熱、溶融、またはそれに近い状態にし、基材に吹き付けることで皮膜を形成する方法。



は燃料の問題が重要なカギを握るとあって、トヨタ自動車は従来のリチウムイオン電池の性能を超える革新的な次世代電池の研究開発を行っている。そしてAD法は、次世代の電池を実現する技術として注目されている。

また、色素増感型の太陽電池は、次世代の低コスト太陽電池として期待されるフィルム状の電池だ。太陽電池が軽いフィルム状になれば、壁面などにも広く取り付けることが可能になる。この開発に取り組んできた積水化学工業は、色素増感型太陽電池用の半導体層となるセラミック膜の成膜にAD法を採用。成膜プロセスで焼成が不要となった結果、ガラス基板で9.2%、樹脂フィルム基板で8.0%という、フィルム基板を用いた色素増感型太陽電池としては世界最高水準の発電効率<sup>\*5</sup>を得ることができた。この方法により安価な太陽電池が実用化されれば、太陽電池は一般にも普及していくだろう。

## コストダウンを図り 塗装への用途拡大を目指す

「さらに私は、AD法が従来のメッキの代替技術となることを目指しています」

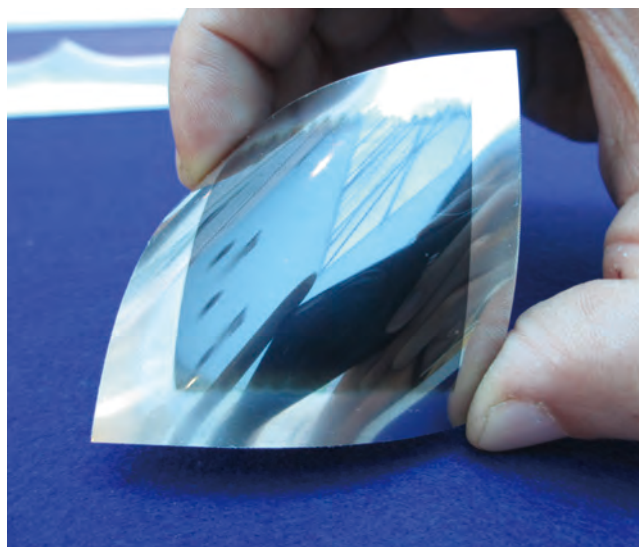
携帯電話の筐体から自動車のボディまで、塗装を必要とするものは世の中に山のようにある。明渡はAD法で、それらの塗装まで行えるようにしようと考えているのだ。実際、携帯電話の筐体や、メガネのテンプレート(つる)の塗装にAD法を応用し、傷つきにくく、かつ微細なデザインを施す試みも進められている。

「普及のカギは、いかにコストを下げられるかですね。現在でもCDやDVDの記録層をつくる真空コーティング法よりは安価なのですが、さらに1~2ケタ単位でコストを下げ、一般的な塗工と変わらないところまでもっていきたいと考えています」

そうなったときに実現するのが、自動車のボディのように、大きな面積を塗装する工業製品への応用だ。それにより、多少のことでは傷のつかない自動車や、使い込んでも色の剥げない携帯電話が登場することになる。

「その実現のためにも、より詳細な成膜メカニズムの解明とそれをベースにした成膜効率の向上、より精密な粉体材料制御技術の確立や再現性の検証を行うなど、再び基礎に立ち返って研究を進めていきます」

\*5 世界最高水準の発電効率(フィルム上)：条件は、4mm角、AM1.5 100mW/cm<sup>2</sup>の場合。数値は積水化学の測定による。



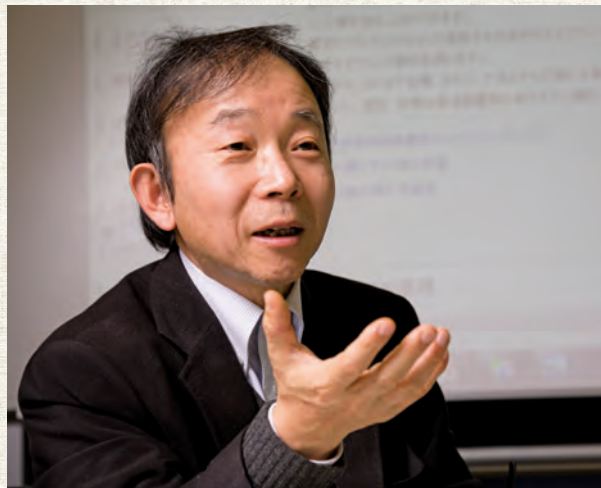
▲セラミック並に傷つかないフレキシブル部材は、携帯電話などの塗装にも応用可能だ。

## エアロゾルデポジション法の

## 将来像

私は、基礎研究と応用開発に境界はないと考えています。これまでは基礎研究というサイエンスがあって、応用開発というエンジニアリングが成り立つとされてきましたが、実際はそのようなリアモデルではないのです。応用開発をしていると、どのような基礎研究に意義があるのかが明確になり、基礎研究に戻ったときに集中すべきポイントがわかります。基礎研究と応用開発を行き来することで、基礎研究を効率よく実用化に結びつけていくことが可能になりますし、テクノロジーの進化によって新しいサイエンスが発展することもあるのです。

私はそのような科学と技術のやりとりが、世の中を豊かにすることにつながっていくことを望んでいますし、そのような往来から生まれたAD法が、50年たっても100年たっても使われ、社会に役立つ技術に育ってくればよいと願っています。



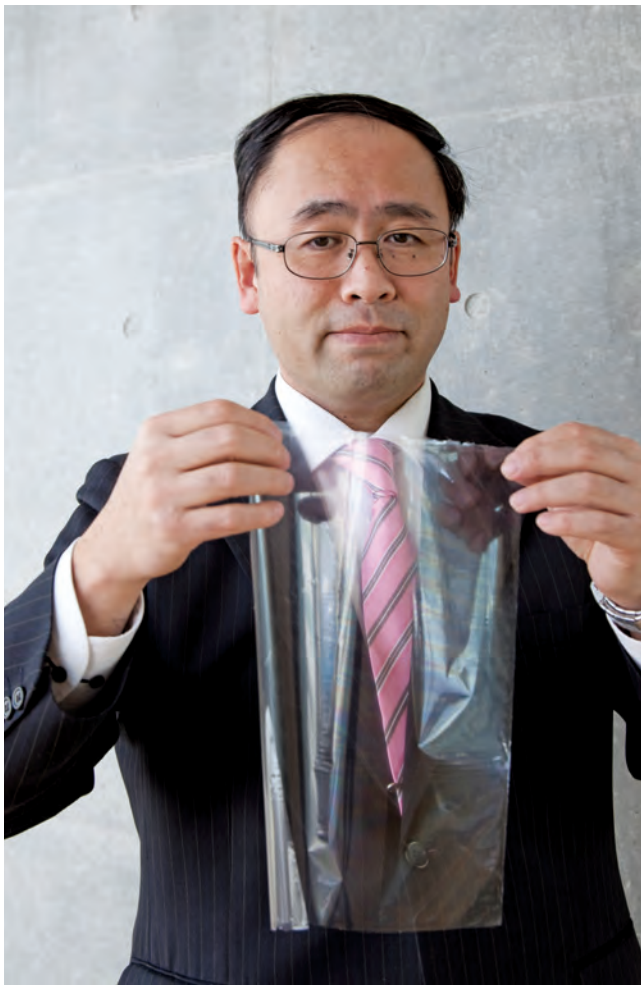
# 粘土を原料とした高機能な薄膜「クレースト」 驚異的なガスバリア性、 耐熱性を誇る粘土製フィルム

化学プラントから包装材まで、多彩な応用が展開中

（私たちの**生活・社会**が  
こう変わる!



成形しやすく耐熱性は高いが、強度は低く壊れやすい——。このような粘土のイメージをくつがえした、フレキシブルなフィルム状の粘土膜「クレースト」。産総研が開発した、厚さ1nm（ナノメートル、 $n$ は $10^{-9}$ ）の粘土結晶からできたクレーストは、水素や水蒸気に対するバリア性が非常に高く、すでに化学プラントでのガス漏れ防止用具として広く使われている。今後は燃料電池車用の水素燃料タンクや、有機ELディスプレイの基板などに応用され、安全・安心かつ便利で快適な社会の実現に貢献すると期待される。



コンパクト化学システム研究センター  
首席研究員 先進機能材料チーム長

**蛭名武雄** TAKEO EBINA

## 薄くなればなるほど バリア性が高くなる!?

粘土という素材は、水に弱い、焼かないと軟らかい、焼くと固くなるが壊れやすいなど、可塑性<sup>\*1</sup>は高いが強度は低いというイメージをもたれがちだ。実際、その脆さゆえに、これまで粘土から薄いセラミックス膜をつくることはできなかった。

しかし2004年、産総研はこの常識を打ち破り、粘土から紙のように薄く、折ったり曲げたりできるフィルム状の膜をつくることに成功。この膜の性能を調べると、ガスバリア性<sup>\*2</sup>や耐熱性が非常に高いことが判明した。この膜は「CLAY(粘土)」と産総研の英文略称である「AIST」から「クレースト(CLAIST)」と名づけられ、現在、さまざまな産業分野で応用・製品化が進められている。

仙台市の東部に位置する、産総研のコンパクト化学システム研究センター。ここで首席研究員を務める蛭名武



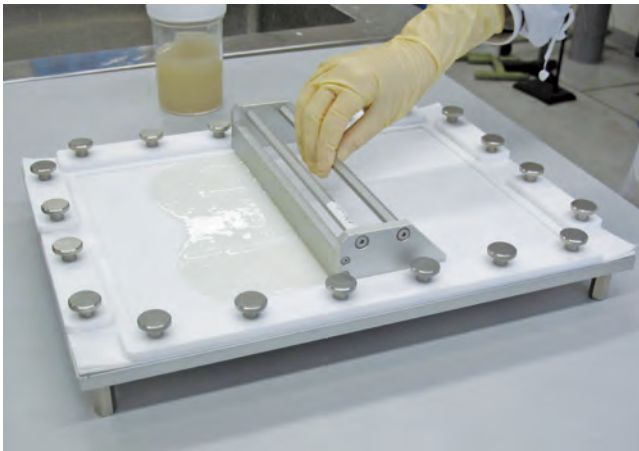
- 食
- IT
- 医療
- 住
- エコ
- 福祉・介護



- エレクトロニクス
- 自動車
- 建築・建設
- 医療・化学・バイオ
- 食品
- 航空・宇宙
- 素材・材料

### クレーストの作り方

▼粘土を分散した液を平らな器に流して乾燥製膜させる方法を「溶剤キャスト法」という。原理的には紙すきと同じようなものだ。



雄がクレーストの生みの親だ。蛭名はもともと環境保全のための廃棄物処理が専門で、ゴミの最終処分場から有害物質が漏れ出すのを防ぐために、粘土をバリア材料として用いる方法を研究していた。

一口に粘土といっても、さまざまな種類がある。東北地方から多く産出する粘土は、愛知県でとれる焼き物用の粘土\*3よりも保水性が高く、建築現場の地盤の補強や、農地の土壌改良、ダムの底の不透水層に使われることが多い。2003年、蛭名は、水を通しにくいというこの性質、すなわち粘土の「水バリア性」を有害物質のバリア材に応用しようと、粘土の透水性を調べることにした。

粘土の層をつくり、上から水を注ぐ。しかし、粘土層から水は浸み出てこない。出てこないということはバリア材に向いているということだが、出なければデータ自体をとることができない。そこで蛭名は、粘土の層の厚みを少しずつ薄くしながら水の浸出する時間を計測することにした。ここで、意外なことが判明する。

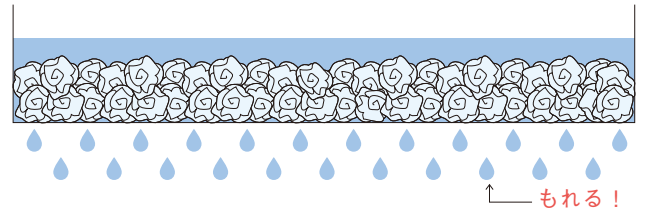
「粘土層を薄くすればするほど、水が粘土層を通るスピードが遅くなったのです。つまり、薄くなるほどバリア性が上がり、膜状にまで薄くしたものが最もバリア性が高い、という結果になりました」

## 2万枚の結晶が重なり 水やガスの漏れをストップ

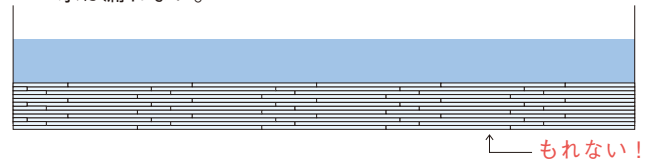
なぜ、そのようなことが起こるのだろうか。粘土の土の粒子と粒子の間には空気や水が含まれており、ここから空気や水を脱いていくと、通常は粘土の結晶がランダムに沈積していく。この状態では、結晶と結晶の間にす

### クレーストの原理

紙をくしゃくしゃにして、深めのザルにしきつめると、水が漏れる。



紙をピシッときれいにしきつめ、幾層にも重ねると、水は漏れない。



き間があって、水はそこから浸透していく。しかし、粘土の層が薄くなればなるほど、一枚一枚の結晶が整然と一方向に並びやすくなる、ということがわかった。さらに、脆いはずの粘土を薄膜にしたことでフレキシブルになり、折ったり曲げたりできるものになっていた。

このようなバリア性が高くフレキシブルな、しかも粘土なので耐熱性も高い特性をもつ素材は、何かに使えるに違いない。実用に向けたアイデアとしてまず浮上したのは、化学プラントでの高機能のシール材としての可能性だった。

「そこでこの薄膜のガスバリア性や耐熱性をテストしたところ、600℃の高い耐熱性と、金属の温度変化によって生まれる配管の継ぎ目のすき間の変化に対応できる圧縮性をもっていることがわかりました。つまり、シール材として非常に高い性能をもっていたのです」

実は、プラスチックに微量の粘土を加えるとガスバリア性が飛躍的に高まることは、以前から知られていた。5%の粘土を加えると、粘土を含まない材料の3倍ものガスバリア性を発揮するのだ。クレーストの場合はそれとは逆で、粘土が95%で添加物が5%。ガスバリア性は2400倍になると計算されたが、実際はそれ以上の1万倍にも達している例がある。これがクレーストなのである。

\*1 **可塑性**：物体に外から力を加えて変形させ、その力を取り除いても元に戻らない性質。

\*2 **ガスバリア性**：気体を遮断する性能。食品・医薬品包装、電子材料、ガスシール材料などの分野で、品質保持、酸化劣化防止、保香、ガス漏れ防止などの目的に特に重要である。

\*3 **焼き物用の粘土**：『ここにもあった産総研 産総研ストーリーズ No.1』掲載の「調湿タイル」は、愛知県で産出する焼き物用の粘土に関する研究開発から生まれた。



▲粘土を合成して製造する。透明な膜をつくるには、圧力釜で合成した人工粘土を用いる。

## アスベストの代替材料として 化学プラントで大活躍

2004年以降、産総研は基本特許、応用特許など、この研究に関して多くの特許出願を申請し、粘土膜の耐熱バリア材料についてのプレスリリースも発信。国内外から合わせて約500件もの問い合わせや技術相談が寄せられ、蜷名はニーズの大きさを実感することになった。

実際、クレーストの高いバリア性を活用できる技術分野は、多岐にわたっている。先にも述べたように、化学プラントでは高性能で高耐久性のシール材は安全のためにも不可欠な素材だ。

「たとえば、シール材として使われているテフロン<sup>\*4</sup>は、260℃以上になると軟らかくなりシール性を発揮しなくなります。しかし、クレーストなら300℃以上の高温になっても問題ありません。また、ガスケットという管と管とのつなぎ目に使用するシート状のシール材として、アスベスト<sup>\*5</sup>が長く使われてきましたが、アスベストは健康面に影響があることから使用が禁止されました。そのため、アスベストの代替材料の開発が急がれていたのです」

耐久性も耐熱性も高いアスベストが使えなくなり、その代わりに使われている黒鉛は、やや扱いづらいものだった。その中で、バリア性が高く取り扱いも容易なクレーストが誕生したのだ。産総研はジャパンマテックスとア

スベスト代替ガスケットの共同開発を始め、2007年、国内で流通しているガスケットの中で最も性能が高い製品を完成させた。これは業界から歓迎され、現在、火力発電所や原子力発電所、製紙プラントやケミカルプラント、石油化学プラントなどに広く導入されている。

これ以降、2008年の水素ガスバリア性複合材料の開発をはじめ、自己修復性ガスバリアフィルム、耐熱絶縁膜など、毎年のようにクレーストを用いた新製品が開発されている。

## 広がり続ける用途 燃料電池車の水素タンクにも

実際、水蒸気やガスのバリア性、耐熱性の高さといったクレーストの性能は、現在、非常に求められているものでもある。

たとえば、燃料電池車搭載用の水素タンクのバリア材。世界的に炭素社会から水素社会への転換が進みつつある中で、燃料電池車はこれから加速度的に普及していくと考えられるが、その燃料は、他でもない水素である。水素は分子が気体中で最も小さく、微細なすき間から漏れやすい。そして、漏れると爆発を起こす可能性もある。

\*4 **テフロン**：耐熱性、耐薬品性、難燃性、非粘着性に優れたフッ素樹脂の一種で、アメリカのデュボン社の登録商標。

\*5 **アスベスト**：耐熱性、保温性、防火性、防音性、耐磨耗性に優れた繊維状の鉱物。肺がんや中皮腫の発生の危険性が高く、現在は使用が禁止されている。

ジャパンマテックスのガスケット「クリアマテックス」



電気絶縁性も高く、電蝕による錆の発生も抑えられる。

燃料電池車用の水素タンクの模型



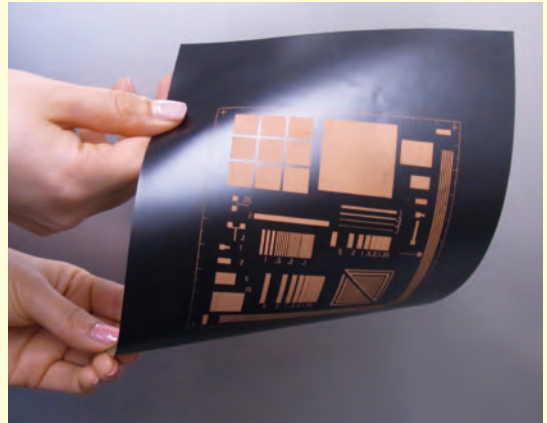
タンクの軽量化、ガス漏れを防ぐことで、燃費・省エネ性能の向上につながる。

大和製罐の空気バリア性の高い食品包装材「ラクレイン」



大気中の水蒸気を吸収して自己修復するため、くしゃくしゃにしても性能劣化しにくい。

住友精化の機能性フィルム「タフクレスト」



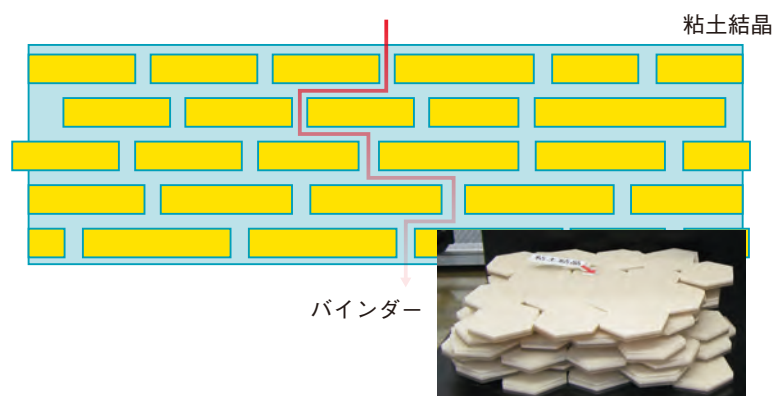
プリント基板、センサなどの生産性向上や電子機器の安全性確保にも寄与する。

目で見てわかる 用語解説

クレストのガスバリア性

粘土の結晶の一枚一枚は厚さ1nmほどの板状のものだ。それが2万枚も並行に何層にも重なると、分子がクレストを通り抜けるためには、2万回も壁にぶちあたり、進路を変えなければならなくなる。分子が道に迷って抜け出せなくなるこの「迷路効果」によって、結果としてできた膜に貫通孔がなくなり、高いバリア効果を発揮することになる。

「迷路効果」によるガスバリア性発現メカニズム



そのような危険な燃料を載せて走る燃料電池車にとって何よりも重要なのは、燃料用タンクの遮蔽性が高く、安全であることだ。今、世界中が安全性の高い新しいタンク用バリア材料を探している状況だといえるのだ。

「丸八と中国工業は、それぞれ産総研と共同で内側にクレストを塗布した軽量の燃料タンクを試作し、性能の試験などを進めています。水素社会の到来は、クレストを世界に普及させる絶好の機会になるでしょう。この好機を逃さず世界にアピールし、数年後には標準化につなげていければと考えています」

また、ガスバリア性に加え、透明性やフレキシブル性のある点は、スマートフォンをはじめとするエレクトロニクス分野での活用が期待されている。それは、エレクトロニクス機器のディスプレイとして有機エレクトロニクス（有機EL）\*6を採用した機種も増えているからだ。有機EL用の樹脂基板には、高透明性、耐熱性や耐溶剤性などの耐環境性、酸素や水蒸気を遮蔽するガスバリア

性などが求められるが、水蒸気の分子は小さく、その遮蔽は容易ではない。

「それらの要件をすべて満たす理想の樹脂は今のところ存在していません。しかし、クレストはその要件を満たす可能性をもっているのです。人工的に合成した粘土を用いると、透明性も高くなり、ディスプレイにとって重要な“見やすさ”も実現できると考えられています」

問題は、現在のクレストの強度はまだそれほど高くないこと。柔らかさと壊れにくさの両立に向けて、産総研ではさらに研究開発を進めている。

## コンソーシアムも発足し 多彩な応用開発に向け連携

クレストはもっと身近な分野でも活用できる。たとえば、食品や薬品の包装材料。フィルムを3層構造にし、外側の層をPETなどのフィルム、真ん中の層をクレー

### クレストの開発の展開



▲クレストの応用による産業規模は、約3000億円とも試算される。応用展開が進めば、東北地方の経済の活性化にもつながるだろう。

スト、内側の層をポリプロピレンフィルムにすることで酸素などの透過を防ぎ、これまでより長く鮮度を保ったり、成分変化を防いだりできるようになる。現状では通常の包装材より高価だが、現在の2分の1以下までのコストダウンが実現できれば、この用途で一気にブレイクできる可能性が高い。

暖房・冷房設備の冷媒ガスの漏れを防ぐシール材としても、また、金属の錆を防ぐコーティング材や、建築物・車両の難燃性の内装材としても応用が可能だと考えられ、現在は、それぞれの分野の企業と共同研究・共同開発が進んでいる。

これらのさまざまな技術移転の状況は、企画段階のものから実用化直前のものまで、製品によってさまざま。これらを有機的に連携させ、研究開発を促進させていく

ために、産総研では2010年に「Clayteam」\*7というコンソーシアムを発足させている。会長を務める蛭名のもとで、約50社の企業や団体が、モノづくりの英知を結集させた統合開発に取り組んでいる。

「この技術をどのようにつなげれば、目指しているものを効率よく開発することができるのか。統合開発において、産総研にはコーディネーターとしても大きな役割が課されています」

今後は粘土原料、膜用原料ペースト、汎用の膜についてコストダウンを進め、東北から生まれた新規材料として、エレクトロニクス、自動車をはじめ、航空宇宙、パワーエレクトロニクスなど、より幅広い産業に使われていくことが期待されている。

## 開発ヒストリー

2003年 粘土膜のガスバリア性を発見

2004年 透明な粘土膜を発明

2006年 耐水化粘土膜を発明

2007年 アスベスト代替ガスケットを製品化



2010年 粘土膜用粘土を製品化



クニミネ工業の機能性フィルム用原料粘土  
「クニピアM」

2011年 自己修復性ガスバリア膜を開発  
厚膜の連続生産が可能に

## クレストの将来像

「自然界に存在している粘土に多少の手を加えただけのクレストは、いわば“自然のめぐみ”です。ただの土ですから、製造するときも廃棄するときにも環境に負荷を与えません。地域の自然から産まれたこの材料から社会に役立つ応用製品をつくることで、地域の原料を、物産品レベルで終わらないビジネスに発展させていくことができるでしょう。それによって地域に経済的効果をもたらすとともに、地域における働ける場の提供もしたいと考えています。

私はこれからも、粘土だけではなく、鉱物、木材といった各種天然素材のよさを生かしながら、新規産業に利用する“めぐみモノづくり”を展開して、真のサステナビリティを導くモノづくりを行っていきたいと思っています」



\*6 有機エレクトロニクス：有機物をプラスチック基板の上に蒸着、あるいは塗布してつくる、有機半導体をベースとしたエレクトロニクス。

\*7 Clayteam：粘土膜および無機ナノ素材を生かした材料開発を、多くの分野・業種のモノづくりの連携を行う場として設立された、産総研を中心としたコンソーシアム。

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 できたイヌ用の薬が、販売開始に 植物バイオ産業を振興させ、医療分野に貢献

生物プロセス研究部門 植物分子工学研究グループ

私たちの**生活・社会**が  
こう変わる!



産総研とホクサン、北里研究所ではイヌ用の薬の開発に成功し、販売が開始された。薬の原料となったのは、遺伝子組み換えでイヌインターフェロンを発現させたイチゴだ。植物由来の薬の原料として遺伝子組み換え植物を使えるようになり、新たな医薬品の生産方法が開発されたり、漢方薬の原料などの栽培ができるようになれば、供給の安定化や有効成分の強化にもつながっていくだろう。



▲植物工場の内部



▶遺伝子組み換えイチゴと「インターベリーα」



## 安定的に有用物質を生産できる

医薬品の原材料として植物由来のたんぱく質はよく使われるが、植物の場合、安定して目的の物質を生産できるとは限らない。それなら植物の遺伝子を組み換え、その遺伝子を大量に発現させればよいのではないか。そのような考え方から、現在、世界各国で遺伝子組み換え植物体を原薬とする医薬品の研究開発が進められている。

しかし、これがそれほど容易ではない。植物にはサイレンシング\*1機構という働きがあり、導入された外来遺伝子を不活性化してしまうからだ。産総研の北海道センターはこの課題の解決に取り組み、2010年、サイレンシング機構を抑制する植物ウイルス由来のRNA\*2を利用して、目的の物質を大量に発現させる技術を開発。一方、2013年には、ついに遺伝子組み換え植物そのものを原薬とする薬品の製品化に成功した。イヌインターフェロン\*3発現イチゴが原料のイヌ用歯肉炎軽減剤がそれであり、2014年3月に発売された。

遺伝子組み換え技術を利用して植物に医薬品原材料などの付加価値の高い物質をつくらせる研究開発は、さまざまな機関や国で行われているが、組み換え植物体そのものを抽出・精製工程を経ずに原薬として使用し、事業化に至ったのは産総研が世界で初めてである。産総研は10年にわたる研究の成果として、医薬品生産の方法に、新たに遺伝子組換え植物による生産という道を拓いたのだ。

## 医薬品製造のための植物工場も開発

製品化第1号としてイヌ用の薬を選んだのは、動物用の薬は人体用の薬に比べて認可に要する時間が短いためだ。歯肉炎にかかっている犬が多い一方で、歯肉炎軽減

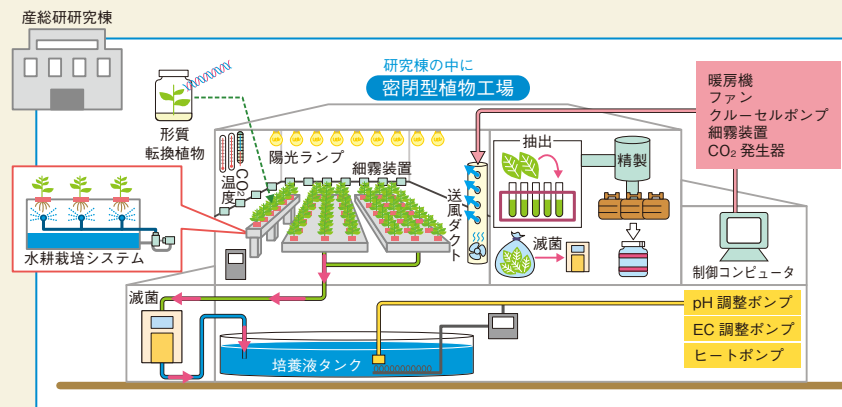




## 目で見えてわかる 用語解説

## 植物工場

産総研の植物工場は、栽培室内の温度、湿度、二酸化炭素濃度、風速、風量を自在に、かつ、精密に制御でき、ほとんどの植物種の栽培を可能にする人工環境構築能を備える。また、カルタヘナ法に準拠した拡散防止装置も持っている。栽培エリアと製剤エリアに分かれ、一つの工場内で製剤まで行うことができる。



薬に競合相手がなかったことも大きかった。では、原料の植物にイチゴを選んだ理由はなんだったのだろうか。

研究グループ長の松村健はこう説明する。

「そもそも、遺伝子組み換えが可能な植物の種類は限られています。イヌインターフェロンの場合、収量自体はイチゴよりジャガイモのほうが多かったのですが、ジャガイモの芽には毒が含まれており、追加で毒を除去する過程も必要になります。それにイチゴは食べるときに加熱する必要はないため、熱に弱いインターフェロンには好都合でした」

遺伝子組み換え自体は専門家の松村にとって特別な困難はなかったが、植物工場の開発には相当の苦労をしたという。そう、産総研は2007年に植物工場自体も開発しているのだ。食用野菜を栽培する一般の植物工場とは異なり、ここで栽培するのは遺伝子組み換え植物だ。そのため産総研の植物工場は、遺伝子が外部に拡散しないよう完全に閉鎖された特殊な空間となっている。さらに、安定的な生産、品質の保証も求められる。これらを実現する工場の開発は試行錯誤の連続だった。

「たとえば、照明で昼間の明るさを実現すると、室温が80℃まで上昇して植物は枯れてしまいます。温度上昇を抑えるための空調をつくと、かなりの風速で低温の空気を循環させるため、やはり枯れてしまいます。こういった相反する要求を両立させるために、さまざまなノウハウが投入されました」

完成した植物工場では、意外な発見もあった。たとえば、昼夜なしの環境でイチゴを生育すると早く収穫できるが、寿命が短いとわかった。また、これまで不可能だと思われていたジャガイモの水耕が可能だということも示すことができた。

## 漢方薬の原料が日本で採れる?

この研究開発の成果は、植物由来の薬が安定的につくれるようになっただけではない。遺伝子組み換え植物による医薬品原材料などの生産、植物工場を活用した物質生産という新たな産業形成へと展開する可能性も期待されている。現在、産総研では、これまで植物工場での水耕栽培実績がほとんど報告されていない、イネ、ダイズ、ジャガイモ、タバコ、それに漢方薬の原料となる生薬植物類などの栽培研究も進めている。

「生薬は中国など限られた地域でしか採れず、人工栽培ができないものが多いのです。この工場内で産地の状態を再現できれば人工栽培もできるでしょうし、薬効を何倍にも高めた生薬の生産も可能となるでしょう。今後は植物工場の性能向上を進め、植物バイオ産業の振興、人や動物の医療分野での貢献、そして研究拠点である北海道の地域産業の振興に貢献したいと思っています」

## パートナーの

## 声

(ホクサン 田林紀子氏)

基礎研究フェーズから製品化まで産総研が総合的にサポートしてくれたので、商品化までたどり着けました。ホクサン、産総研、北里研究所が、社会や市場の〈ニーズ〉を十分に意識して〈ゴール〉を共有できたことが成功につながったと思います。今後も実用化研究の場面で、共同研究を進めていけたらと考えています。

\*1 **サイレンシング**：遺伝子組み換え植物に導入された外来遺伝子は、非自己の異物として認識され、不活性化される場合が少なくない。このような現象を遺伝子サイレンシングと呼ぶ。

\*2 **RNA**：リボ核酸という遺伝物質。

\*3 **インターフェロン**：ウイルス抑制、抗腫瘍活性、免疫系の賦活化などの多様な作用をもつ生体防御因子。B型、C型慢性肝炎などのウイルス性疾患や腎細胞ガン、白血病などの悪性腫瘍の治療に使われている。

## 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

## 使いやすく安全なBMIで患者の生活を支援

ヒューマンライフテクノロジー研究部門 ニューロテクノロジー研究グループ

私たちの**生活・社会**が  
こう変わる!



頭の中で考えることはできても、病気や事故の後遺症などで身体を動かしたり話したりできず、意思の伝達が難しい患者さんたちがいる。意思伝達が困難だと、本人にも介護者にも負担が大きくなる。小型で使いやすいブレイン・マシン・インターフェース(BMI)「ニューロコミュニケーター」が実用化され、介護の現場に普及すれば、格段にスムーズなコミュニケーションが実現でき、患者さんのQOL(生活の質)も大きく向上すると考えられている。

### ニューロコミュニケーターの装置構成



▲患者さんに脳波計測用ヘッドギアを被せ、眼前に小型のモニターを設置。ヘッドギアからの脳波データは、ベッド脇のPCで受信・解析される。

### 正確に意思伝達できる小型装置

脳と機械を直結させて頭の中の考えを解読したり、外部機器を制御する——。「ブレイン・マシン・インターフェース (Brain-Machine Interface: BMI)\*1」は、そんなSF物語のような技術だが、実は国内外では実用化の動きが加速し、福祉、スポーツ、玩具などの分野では一部製品化されているものもある。

福祉分野では、筋萎縮性側索硬化症(ALS)などの難病や事故の後遺症などで身体を動かしたり話したりできなくなり、周囲に意思を伝えられない患者さんの介護現場に導入が期待されている。認知機能が極度に低下している患者さんを除き、頭の中ではいろいろ伝えたい気持ちや要求があるにもかかわらず、意思を疎通する手段がないことは、本人にとっても介護をする人にとってもストレスのかかる辛いことだったのだ。

BMIはそのような意思伝達に役立つものだが、一方で、装置が大きく高価、操作もしにくいなど、実用面では課題も多かった。また、脳内の微弱電流を測るために手術で電極を埋め込むタイプもあり、気軽に安全とはいえないところもある。そのような中で、非侵襲的に脳波を計測する装置のコンパクトさ、脳波解読にかかる時間の速さと正確さ、伝達可能なメッセージの多様さで抜きん出ているBMIがある。研究グループ長の長谷川良平が2010年に発表した「ニューロコミュニケーター」だ。

「私はもともと脳科学の基礎研究に取り組んでいましたが、2008年頃、NEDOの調査事業で意思伝達が非常に困難な〈完全閉じ込め状態〉と呼ばれる患者さんたちの存在を知ったことがきっかけで、より簡便な機器を開発して患者さんの生活支援を行おう、それにより社会に貢献しようと決意しました」



- 食
- 住
- IT
- 医療・福祉・介護
- サービス



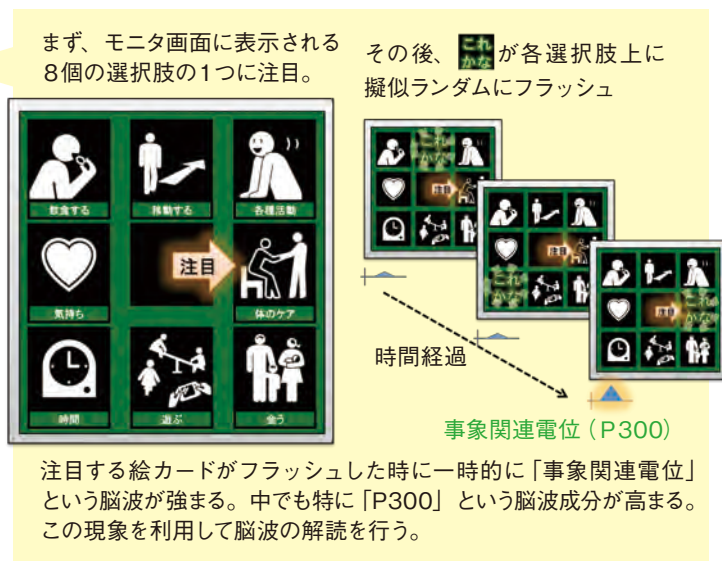
- 情報・通信
- エレクトロニクス
- 医療

### ニューロコミュニケーターの動作様式



▲ヘッドギアを装着したユーザーが、モニタ上の絵カードの一つに注意を向けている際の脳波データを解読。その結果として、選びたいメッセージを推定し、アバターによって表出する。

### 意思伝達メニューの一例



## 脳波をとらえ数秒で意思の予測が完了

ニューロコミュニケーターは脳波計が携帯電話の半分ほど、非常に小型である。そのついたキャップをかぶるだけで、頭皮上の脳波8チャンネルを計測できる。

患者は、パソコン画面上に表示された意思伝達メニューから、自分の伝えたいことを選択する。最初の画面には「飲食する」「移動する」「体のケア」「気持ち」など、伝達事項の大きなカテゴリーが文字と絵文字で示される。そのうちのどれかを選ぶと、次にそれより詳しい項目が出てくる。そのように階層ごとに項目を選んでいくことで、自分の欲求や感情を細かく伝えられるのだ。

「どの項目を選んだかは、脳波を解析して判断します。項目の候補をランダムに光らせると、選んだ候補が光ったときに脳が“あっ!”と反応します。そこで生じた脳波の変化がカギとなります。独自に開発した脳内意思解読アルゴリズムを用いて解析することで、迅速かつ正確な意思の推測が可能になりました」

ところで、これまでの脳波BMIによる意思伝達技術の研究者の多くは1文字単位での入力法にこだわる場合が多かった。しかし、従来技術では1回の選択に10秒以上かかることも多く、さらに伝えたいメッセージが長くなると脳波計測に必要な時間も長くなり、誤選択も増えてしまう。その一方、ニューロコミュニケーターなら、メッセージの長さにかかわらず、1回の項目選択(8択)にかかわる時間はわずか3~5秒。それをたった3回繰り返すだけで512種類(8の3乗)ものメッセージが選択可

能となる。予測精度は90%以上という正確さだ。

そして意思の伝達は、その人の分身として設定されたアバターが画面上でしゃべるという、ユーザーフレンドリーな方法で行われる。これにより、より自然なコミュニケーションができるようになった。

## 早期の実用化を目指して

ニューロコミュニケーターが使われる場所は、エアコンや冷蔵庫など、さまざまな電氣的なノイズが発生する一般の家庭や病室だ。そのような環境で微小な脳波を計測することは難しかったが、特殊な電磁シールド手法を新たに考案することで克服。発表当初は難病患者の家族から問い合わせが殺到、介護福祉分野でこのような装置が切実に求められていることがわかったという。現在は臨床研究用プロトタイプの実験も間近で、2014年の春からは最新版の装置で患者さん対象のモニター実験を開始した。

「当初想定していたよりもさまざまな困難があって、開発が遅れていますが、早期の実用化を目指して努力したいと思っています。今は“驚き”の技術として取り上げられているニューロコミュニケーターが、いつか人々の心と心の絆を強めるための“身近な存在”になれば嬉しいですね」

\*1 **ブレイン・マシン・インターフェース (BMI)** : 脳と機械を直接結びつける装置の総称。脳内インプラント装置を用いて脳活動を記録したり、脳内に電気刺激を与える侵襲型と、頭皮上から脳波などの脳活動を計測する非侵襲型に大別される。ニューロコミュニケーターは後者。

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!

## 希少金属タンタルを電子機器から“採掘”

環境管理技術研究部門 リサイクル基盤技術研究グループ

私たちの生活・社会が  
こう変わる!



これまではリサイクルできなかったために、そのまま廃棄されてきた希少金属（レアメタル）。産総研の技術によって高精度に回収し、再利用できるようになれば、電子機器に不可欠なレアメタルを輸入だけに頼らずにすむようになる。また、世界をリードするこの技術を輸出できるようになれば、経済の活性化につながるだけでなく、地球環境の保全にも貢献できる。

### 破碎された部品の山から レアメタルだけをどう取り出すか

天然資源が少なく、その多くを輸入に頼ってきた日本。日本近海のメタンハイドレートの存在により、エネルギー資源国となる可能性も見えてきたが、実はもう一つ、大きな資源が存在している。それが〈都市鉱山〉だ。

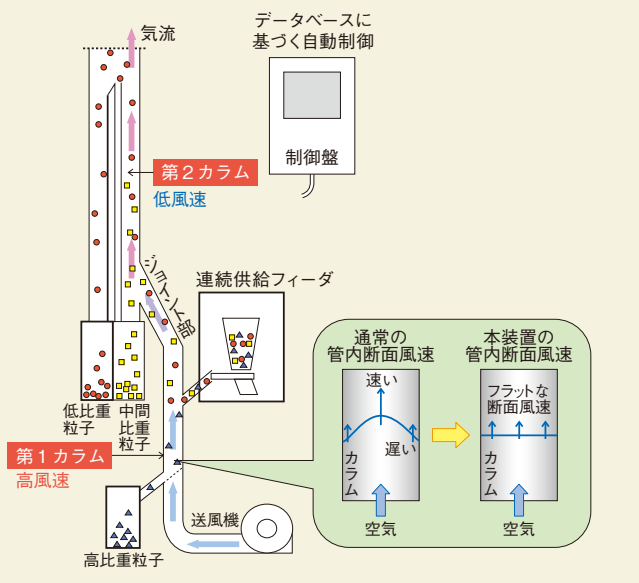
都市鉱山とは、家電製品などの廃製品中に含まれる有用な資源を鉱山に見立てたもの。リサイクルによりその資源を回収し、再利用すれば、賢い物質循環が期待できる。とはいえ“採掘”は簡単ではない。対象は廃家電製品のプリント基板などに使われている微量の金属なので、資源が濃縮している天然の鉱山とは異なり、日本全体に広く薄く分布している状態にあるからだ。しかも、そもそも、銅や貴金属を製錬所で処理する通常のリサイクル

### 目で見てわかる 用語解説

#### 複管式気流選別機

- 複管式気流選別機を用いたレアメタル選別の手順
  - ① 破碎した部品や基板のかけらから2~5mmのものだけを選別し、傾斜弱磁力磁選機で選別後、複管式気流選別機に運ぶ。
  - ② 高風速の第1カラムでは、高比重粒子を落下させて回収。
  - ③ 低風速の第2カラムでは、中間比重粒子を落下回収し、浮上した低比重粒子と選別。

速度の異なる気流によって、比重ごとにこのように選別される。





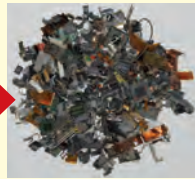
## タンタルコンデンサ回収の流れ



プリント基板

### 破碎

プリント基板から素子を原形のまま剥離



さまざまな素子が混在

### 選別

複管式気流選別機、傾斜弱磁力磁選機など



タンタルコンデンサ濃縮物



タンタル精錬  
金属回収

各種金属精錬  
金属回収

方法では、レアメタルの多くは回収できない。

回収の難しさについて、開発を手がけた研究グループ長の大木達也は次のように語る。

「リサイクルをするには、プリント基板を製錬所で処理する前にタンタルコンデンサ\*1などの電子素子を剥がして分ける必要があります。わずか数ミリメートルの電子素子を原形のまま剥がすのも一苦勞ですし、剥がせたとしても、そのままではさまざまな素子が混合していて効率よくレアメタルをリサイクルできないのです」

この電子素子の混合物から、重要なレアメタルを含む素子だけを選別・回収できなくては、せっかくの宝も持ち腐れになってしまうのだ。

## 世界で初めてタンタル素子を分離・回収

このような新しい資源開発に求められる装置の開発に早くから取り組み、世界トップレベルの技術をもつのが産総研だ。2012年には、廃プリント基板からタンタルコンデンサなどの電子素子を種類別に回収し、レアメタルリサイクルを実現する高度選別機を開発することに成功した。これはタンタルコンデンサなど特定の電子素子だけを回収できる「複管式気流選別機\*2」と、アルミ電解コンデンサや水晶振動子などをあらかじめ選別できる「傾斜弱磁力磁選機\*3」からなるものだ。これらの組み合わせにより、廃混合電子素子群から高純度でタンタルコンデンサを回収できるようになった。タンタル以外のレアメタルについてはリサイクルできる環境が整い始めているが、タンタルコンデンサを回収可能とした装置はこれが世界で初めてである（リーテム水戸工場にて）。

現在は、第2号システムの開発が始まっている。これまではパソコンやサーバーなどの比較的大きなプリント

基板を対象にしていたが、第2号システムではノートパソコン、携帯電話、デジタルカメラ、スマートフォンなど、よりニーズの高い小家電や情報機器を対象に、もっと小さな部品を分離回収できるよう性能を向上させた。

「第1号機よりカラム（管）数を増やして、分離できる種類も増やしました。カラム数の増加に伴う大型化を防ぐため、小型化する技術の開発にも成功しました」

## リサイクル技術で世界をリード

タンタルのリサイクルを実現するには、回収して、次の生産につなげるというリサイクルの輪を全体で回していかななくてはならない。そのため、戦略予算を通じて戦略的都市鉱山研究拠点（SURE）\*4の整備も企画し、産総研やリサイクル事業者、装置メーカーが共同でリサイクルシステムを構築するための活動も開始する。これも世界初の試みだが、実現すれば大量かつ高精度なレアメタル回収が現実のものとなるだろう。

「今後はリサイクル技術を日本のお家芸として確立すると同時に、総合的な技術のパッケージ化・標準化を進め、日本が都市鉱山開発立国として世界をリードしていくことを目指しています。世界中で私たちの技術が使われ、地球環境の保全が図れるようになればいいですね」

\*1 **タンタルコンデンサ**：タンタルはレアメタルとしては貴金属を除くと最も高価な金属の一つ。これを用いたコンデンサは、プリント基板上の電子回路に使用される電荷を蓄えたり放出したりする機能をもつ素子。他のコンデンサに比べて小型で周波数特性がよい。

\*2 **複管式気流選別機**：複数のカラム（管）内にそれぞれ一定の風速で上昇する気流を発生させ、その気流によって浮上する軽い低比重粒子と、落下する重い高比重粒子を選別する方式の選別装置（日本エリーズマグネチックス製）。

\*3 **傾斜弱磁力磁選機**：搬送コンベア上で形状・磁力に応じた選別を行う、電子素子の粗選用に開発した選別機（日本エリーズマグネチックス製）。

\*4 **戦略的都市鉱山研究拠点（SURE）**：産総研の研究成果を社会へと展開することを目的とした、都市鉱山技術の産業化促進組織。

## 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

産総研のもつ小型・省エネ化技術をフル活用

小型線量計開発チーム

私たちの**生活・社会**が  
こう変わる!



放射線量を常時モニタリングできる小型線量計が開発されたことで、放射能の影響に不安の残る地域の人々も、手軽に毎日の放射線被曝量を計測し、日常生活における被曝状況を把握できるようになった。それによって不要な被曝を避けることができる。また、原子力発電所事故以後、他の地域に避難している人々の早期の帰還の実現にもつながると考えられる。除染プラントや原子力発電所内で作業用ロボットに利用することで、事故処理の進行状況のリアルタイム計測にもつながりそうだ。

生活の中で手軽に使える  
個人向け線量計が欲しい!

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により、福島県を中心として広範囲に放射性物質が拡散した。局所的に放射線量の高いホットスポットが存在する地域など、避難区域外でも生活しながら被曝する不安の残る地域は少なくない。そのような中で、個人の生活レベルでも、「どのような場合に、どの程度の放射線被曝を受けているかを知りたい」という要望が高まっている。ましてやこれから帰還予定の住民にとって、被曝状況の把握は非常に重要だ。

そのようなときに必要なのが、放射線の線量計だ。しかし、放射線取扱業務従事者用の線量計は大型で日常の利用には不向きだし、従来の小型の線量計の多くは、電池交換の頻度が高かったり、途中段階での数値の確認やトレンドデータの表示ができなかったりするなど、個人利用のニーズに合ったものはほとんどなかった。

必要なのは、一人一人が携帯でき、長期間にわたって手軽に毎日の被曝量を計測できるもの。生活の中で、どのようなときに被曝量が増えるか簡単に把握できるもの。それがわかれば、不要な放射線被曝を避けることができる。

このニーズに応えるため、産総研は2011年に「MEMS技術を用いた携帯型放射線検出器の開発とその応用」プロジェクトを発足。普段は個別の研究をしている研究者がさまざまな分野から集結した。そして2012年、小型かつ低消費電力で、一定時間ごとの線量を記録でき、高線量下では警告を発する機能をもつ量産可能な「小型放射線積算線量計」を開発した。



1年以上電池交換なしに使用できる小型線量計（左）とその表示器（右）。ポケットはもちろん、児童の名札ケースにも入る。



- 食
- 防災
- 医療
- 住
- 安全安心
- 福祉・介護



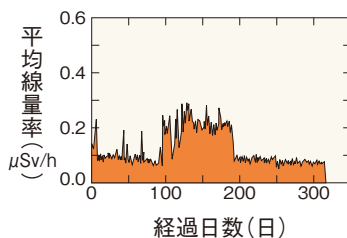
- 環境・資源・エネルギー
- エレクトロニクス
- 医療・化学・バイオ

PC画面の表示例

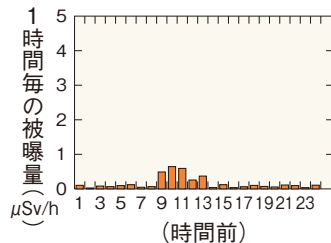
▼1日の被曝量や、それまでの累計の被曝量、1日の中のどの時間帯（何をしていたとき）に被曝量が多いかもわかる。

	過去1日	過去1週間	全計測期間
被曝量 (μSv)	3.8	17.2	611.8
積算日数 (日)	1	7	344.0
平均線量率 (μSv/h)	0.16	0.10	0.074

全計測期間の被曝量推移



過去1日の被曝量推移



産総研の総合力で  
低消費電力化・小型化を実現

この線量計の重さは、電池やブザーをつけてケースに入れてもわずか20g以下。使用する電池も3Vのボタン電池一つだけだ。これで電池交換なしに1年以上動き続ける。

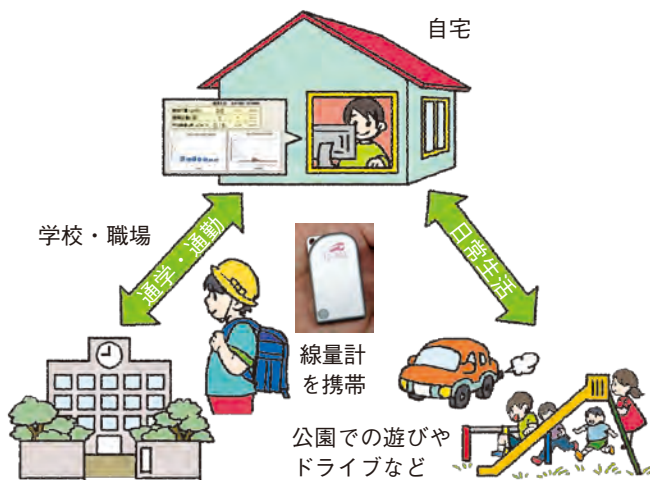
開発チームの計測フロンティア研究部門首席研究員の鈴木良一はいう。「ここまでの小型化・低消費電力化は困難だと思われましたが、乾電池駆動可搬型X線源<sup>\*1</sup>の開発や、MEMS応用機器開発で培ってきた産総研独自の小型・省エネ化技術、無線技術の応用によって実現できました。いわばこれは産総研の“総合力”の結晶です」

この線量計が測定できる放射線は、半減期が長く影響が長期にわたるγ（ガンマ）線で、測定・表示が可能となるのは0.1μSv（マイクロシーベルト、μは10<sup>6</sup>）<sup>\*2</sup>から。これは一般的な放射線取扱業務従事者用の線量計の検出下限の10分の1にあたる。検出方法には半導体方式<sup>\*3</sup>を採用したが、この方式では衝撃などによるノイズを誤検出する可能性があるため、衝撃センサも搭載してノイズを除外する機能も付加し、検出の精度をより向上させた。また、高線量を計測したときにはLEDライトやアラームで警告される。データは光通信アダプタや無線を介してパソコンなどに非接触で送信でき、被曝量の総量や、1日、あるいは1時間など、一定時間ごとの被曝量の推移を確認できる。この記録をもとに除染作業を進めたり、被曝を避ける行動をとることで、住民の放射線被曝を最小限にできると期待されている。

帰還住民向けに配布予定  
除染プラントでの活用も

この開発を発表すると、関連企業だけでなく、自治体、NPO団体や一般市民からの問い合わせも多く、社会が

小型線量計の利用イメージ



らの関心の高さ、切実さがうかがえた。そして、放射線の線量計測サービスを行う千代田テクノと線量計の大量生産に向けた共同研究を行い、産総研のあるつくば市民を対象にした実証試験を経て、同社に技術移転して製品化した。製品化した線量計については、帰還予定の自治体で配布される線量計の第一候補とされている。また、この技術は現在、帰還住民向けだけでなく、除染プラントや原子力発電所の内部で作業するロボットの線量モニタへの応用も検討されている。

「今後はデータ転送速度を上げてより使いやすくするとともに、医療現場に対応するため低エネルギーのX線も計測可能にするなど、利便性や信頼性を上げて応用範囲を広げていきます」

\*1 乾電池駆動可搬型X線源：産総研が2009年に開発した、カーボンナノ構造体の冷陰極電子源を用いた実用的な可搬型X線源。単三乾電池2本で動作し300枚以上の高精細X線透過像を撮影できる、予熱不要で必要時に即時にX線検査が可能、1000分の1秒の高速撮影もできるなどの特徴をもつ。

\*2 Sv（シーベルト）：放射線の被曝による生体への影響の度合いを表す単位。

\*3 半導体方式：γ線を検出する方法の一つで、半導体のPN接合に放射線が入ったときに流れる微弱電流を増幅して放射線の信号とするもの。ガイガーカウンターとして知られているガイガーミュラー（GM）管を使った放射線検出器に比べ、小型化・低価格化が可能。

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

世界初の海洋産出実験で開発に弾みが!

メタンハイドレート研究センター

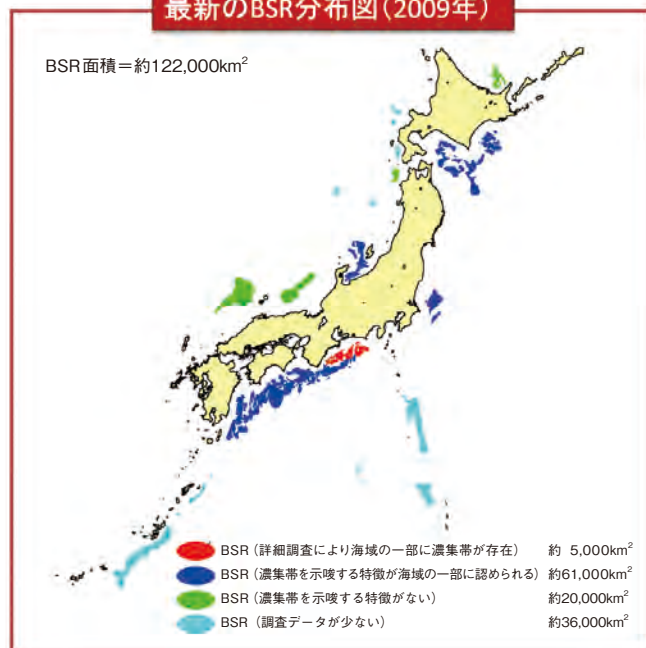
私たちの**生活・社会**が  
こう変わる!



「メタンハイドレート」が日本近海に大量に存在していることがわかり、資源に乏しいわが国の新たなエネルギー源として期待されている。資源開発が進み、エネルギーとして活用できるようになれば、日本をとりまくエネルギー事情は現在とは大きく変化する。エネルギーの安全保障の強化にもつながるだろう。

日本近海におけるメタンハイドレート分布図

最新のBSR分布図(2009年)



▲日本周辺海域に厚く濃集していることがわかる。

出典：メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム

## 日本がエネルギー資源国になれる?

2013年3月、渥美半島・志摩半島沖の東部南海トラフ海域で、メタンハイドレート（メタハイ）の世界初の海洋産出試験が行われた。そこに産総研が開発した「減圧法」\*1が用いられ、6日間で12万m<sup>3</sup>の天然ガスの産出を確認、今後の商用生産の可能性を示すものとなった。実験の成功はNHKをはじめ、主要各紙、専門紙にこぞって取り上げられ、世界各国からも大きな注目を浴びた。石油資源の枯渇が懸念される中で、それだけメタハイは新たな天然ガス資源として期待されているのだ。

実はメタハイは日本近海に大量に存在しており、東部南海トラフ海域だけで国内の天然ガス使用量の11年分にも相当すると推測されている。エネルギー資源の多くを輸入に頼る日本にとって、この意味は大きい。メタハイがエネルギー資源として活用できるようになれば、資源が長期的かつ安定的に確保できるので、天然ガスの低価格化や貿易収支の改善につながるうえ、外交的な立場も変わってくると考えられるからだ。

## 固体のメタハイからガスを取り出す

「しかし、メタハイから天然ガスを生産するのは簡単ではありません。メタハイは気体として地中にある天然ガスと異なり、井戸を掘っても自噴することがないからです。これをいかに効率的に海底から取り出し、商業生産につなげるかという点では、まだ課題は多いのです」

研究センター長の成田英夫はそう語る。

現在、生産技術の開発は諸外国で国家プロジェクトとして進められ、日本でも経済産業省が2001年に「メタンハイドレート開発促進事業」をスタートさせた。これ





◀ 海上で地質サンプルの採取を行う。

を受けて産総研は石油天然ガス・金属鉱物資源機構とともに研究コンソーシアムを設立、メタハイ資源から天然ガスを生産する技術評価や手法の開発に取り組んできた。

メタハイに刺激を与えて気化させるための方法として、これまで産総研は「熱水圧入法」\*2や「分解促進剤注入法」\*3など、さまざまな手法を検討。独自のシミュレータを開発するなどして効率的な方法を探り、最も効率的な「減圧法」を採用した。2008年にはカナダで陸上産出実験を行い、1日約2400m<sup>3</sup>の産出に成功した。

## 迅速な商用化により エネルギーの安全保障を!

2009年、産総研にメタンハイドレート研究センターが発足。メタハイが含まれる砂層の分析や、海底層を人工的につくるなどして、海洋産出実験への準備を進めてきた。そして2013年、冒頭のように、世界初の海洋実験を実施。カナダでの実験をはるかに超えた、1日あたり平均2万m<sup>3</sup>もの天然ガスの採取に成功したのだ。

エネルギー資源の商用化にあたっては、産出にかかるエネルギー量を上回る量を、長期的に安定して取り出ししていく必要があり、海底に多数の井戸を掘るメタハイの場合、1つの井戸あたり、1日数万m<sup>3</sup>以上の産出量が目安になると推定されている。

現状は井戸内に砂が流れ込むなどの生産障害が認められている。そのため産総研では大量生産技術の開発と長期安定生産技術の開発に重点をおいて取り組み、現在は、新たに開発した「強減圧法」\*4の効果を検証中だ。産総

## 目で見てわかる 用語解説

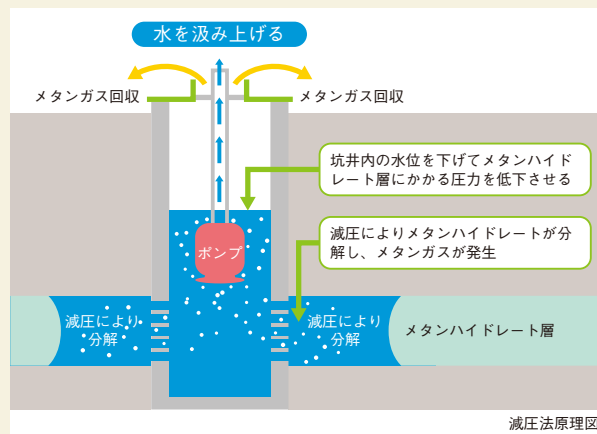
### メタンハイドレート



天然ガスの原料であるメタンガスが海底下で氷状に固まっている物質のこと。火をつけると燃えるために〈燃える氷〉とも呼ばれる。永久凍土地帯や、大陸周縁部の水深500m以深の海底下の地層に存在し、含まれるメタンは体積の約160倍。次世代の天然資源と期待され、現在、世界各国がメタハイの資源開発を進めている。

### 減圧法

掘削した井戸の中の水を汲み上げて周囲の圧力を減らすことでメタハイの分解を促進し、井戸に流入してきたメタンガスと海水を分離し、海上でメタンガスを回収する。



研は生産技術に関する基盤機器をトータルでもつ唯一の研究機関で、産出技術で世界のトップを走っている。しかし、現在はアメリカや中国、韓国の追い上げも激しい。また、アメリカを中心に開発が進むシェールガスの存在もある。これらに対してアドバンテージをとり続けていくには、企業の参入による早急な商業化が急務である。

「それが実現できれば、日本のエネルギーの安全保障の強化はもちろん、周辺エリアでのパイプライン建設など、日本の海洋産業の復活も含め、新しい産業の創出にもつながっていくと考えられます」

\*1 減圧法：固体のメタハイに刺激を与え、気化させる方法の一つ。「目で見てわかる用語解説」参照。  
\*2 熱水圧入法：メタハイを加熱して分解を促す方法。  
\*3 分解促進剤注入法：アルコールなどを注入して、分解を促す方法。  
\*4 強減圧法：減圧法のバリエーションで、これまで以上に低い30気圧以下まで減圧して分解を促進する方法。生産量が倍増できる可能性が高い。

## 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

## 医療分野、食品分野への応用も期待

エネルギー技術研究部門 熱・流体システムグループ

私たちの**生活・社会**が  
こう変わる!



魚介類の鮮度をより長く、よりよい状態で保持できるシャーベット状海水氷の製造技術。この技術を用いることで、食卓に新鮮でおいしい魚介類を届けられるのはもちろん、魚介のブランド化などにより、地域の水産業や関連する地場産業が活性化していくことも期待できる。また、食品分野（冷凍食品など）や医療分野（低温手術など）にも応用・貢献できる。

### より新鮮でおいしい魚のため 製氷機の開発に着手

生で魚介類を味わう食文化をもつ日本人は、魚介類の鮮度に対して強いこだわりをもっており、漁場から食卓までの鮮度管理のレベルは高い。しかし水産関係者は、より高度な鮮度保持技術を求めている。さらに新鮮な魚介類を全国の食卓へ届け、おいしく食べてもらいたい、という思いからだった。

魚の鮮度は、水揚げ時に魚が暴れる前に素早く活け締め<sup>\*1</sup>処理できるか、その後に適切に温度管理ができるかが大きく影響する。しかし、漁船上で大量の魚を活け締めするのは簡単ではない。そこで活け締めの代わりに、粒子の細かいシャーベット状の海水氷を活用する方法が用いられてきた。シャーベット状の水で保存すると魚は暴れずに死に至り、しかも急速に冷却されるために鮮度

が保持できるからだ。また、氷の粒子が細かければ、魚体を傷つけることもない。

北海道の機械メーカーであるニッコーは、低価格でより性能のよいシャーベット状氷の製氷機をつくりたいと、製氷機の開発に取り組むことにした。ニッコーから技術相談を受けた産総研は、2010年、製氷機の共同開発をスタートさせた。

### 氷はどうつくられるか 基礎研究を積み重ねた

製氷機の開発にあたった稲田孝明は、もともと冷房・空調のためにシャーベット状氷の製造について研究開発を行ってきた研究者だ。

「冷房設備の水蓄熱システム<sup>\*2</sup>では、過冷却水<sup>\*3</sup>からシャーベット状氷をつくる方法が増えています。そのほうがエネルギー効率が高いからです。しかし、今回は漁船に搭載する装置なので、小型化も視野に入れなければなりません。漁船の上で速く大量のシャーベット氷をつくるには、かきとり方式が適していると考えられました」

装置の開発も試行錯誤の連続だった。-15℃程度まで冷やされた氷は、冷却された固体面に強固に付着する。そこから氷をかきとっているうちに、スクレーパーの刃が破損することもあった。そこで製氷機を模した観察装置をつくり、製氷機内部におけるさまざまな条件下での氷の様子を研究。これによって判明したのが、魚種によって鮮度を保つための最適な塩分濃度は異なるが、海水の塩分濃度に対応して、2種類の製氷のされ方があったということだ。塩分濃度が低いときには氷の結晶が砕けることで、逆に塩分濃度が高いときは、氷が冷却された製氷器の内壁の固体面から剥がれることで氷ができていた



製氷機から出てくるシャーベット状の水



写真提供：ニッコー

のだ。このような基礎研究の積み重ねにより、2011年、わずか $8\mu\text{m}$  ( $\mu$ は $10^{-6}$ )のシャーベット状の水を生成する製氷機のプロトタイプが完成した。

## QOLの向上や 地場産業の発展に期待

実用化にあたっては、漁業関係者の協力を得て、実際に製氷機を漁船に搭載。フィールドテストを繰り返して、船の揺れに対する安定性や機械の操作性など、現場での問題点を抽出しては、それを改善していった。また、シャーベット状海水氷によって実際に鮮度保持効果が向上するかどうかについても、北海道立工業技術センターの専門家とともに検証。その結果、高い鮮度保持効果があると実証できた。そして2013年、ニッコーから連続式シルクアイスシステム「海水」として製品化された。

この製氷機でつくるシャーベット状の水は、魚を傷つけない柔らかな質感で、従来の碎氷の5分の1という短時間で氷点下まで冷却でき、しかもその温度を保てるという画期的なものだ。氷の材料は海水なので事前に船に水を積む必要はなく、製氷コストも大幅に下げることができた。

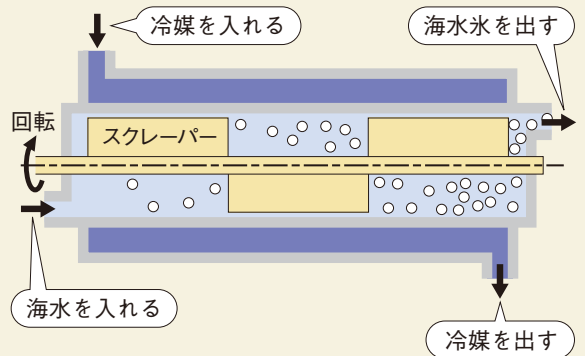
「この技術は医療分野での低温手術や、食品産業での食品の冷凍などへも応用でき、さまざまな分野でQOL(生活の質)の向上に貢献できると思います」

その他、ニッコーが事業展開している北海道の地場産業の発展にもつながると期待されている。

## 目で見てわかる 用語解説

### シャーベット状海水氷の製氷機

まず製氷装置の左上から冷媒を入れて筒の内壁を冷やす。次に海水を流し込むと(左下)、内壁で海水が冷やされて氷の小さな粒ができる。そこでスクレーパーを回転させると、連続的にシャーベット状海水氷をつくりながら、それをかきとることができ、シャーベット状海水氷を排出する(右上)。



### シャーベット状海水氷製氷機「海水(シルクアイス)」



写真提供：ニッコー



◀シャーベット状海水氷で保存したサンマ(下)は、従来の保存方法のサンマ(上)より鮮度が高い。そのため市場価値が高く、魚のブランド化・差別化につながっている。

写真提供：ニッコー、北海道立工業技術センター

- \*1 **活け締め**：魚の水揚げ時に運動中枢を破壊して、暴れをおさえる作業。
- \*2 **氷蓄熱システム**：電気料金が昼間より夜間のほうが安い点を生かし、夜間に氷をつくらせて蓄え、それを昼間の冷房に活用するシステム。
- \*3 **過冷却水**：水が $0^{\circ}\text{C}$ 以下に冷やされても固体にならず、液体を保っている状態のもの。

## 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

安心して制作・発表できる“コンテンツ共生社会”を創る!

情報技術研究部門 メディアインタラクション研究グループ

私たちの生活・社会が  
こう変わる!



音楽がデジタル化され、たくさんの楽曲に触れることができるようになった。その膨大な楽曲をコンピュータが自動的に分析・理解する技術によって、日々の音楽鑑賞がより楽しく、誰でも気軽に創作できるようになったら、音楽をめぐる文化のあり方は大きく変わるだろう。産総研の音楽理解技術は、音楽の楽しみ方の未来を切り拓くことで、コンテンツ産業の飛躍のきっかけとなる。

## コンピュータに音楽を「理解」させたい

「20代の頃、好みの音楽CDを探しに試聴コーナーに行くと、サビを聴きたくて何度も早送りボタンを押していたんです。やがてデジタル音楽が普及し、もはや一生かけても聴ききれないことに気づいたとき、コンピュータが代わりに聴いて助けてくれたらと思いました」

情報技術研究部門の首席研究員である後藤真孝は、音楽理解技術の必要性を感じたきっかけをこう語る。ここから「コンピュータに音楽を理解させて、人々の役に立つようにするにはどうすればいいんだろう」という探求が始まったという。

人間が音楽を聴けば、メロディを口ずさんだり、ビートに合わせて手拍子をしたり、サビがすぐわかったりする。しかし人間には簡単でも、仕組みがわからなければ、コンピュータによる自動理解はできない。音楽は、複数

の音が混ざり合った最も複雑な信号の一つで、その理解は既存技術ではかなわないきわめて難しい課題だった。その実現へ向けて、後藤らは20年以上にわたってさまざまなコア技術を研究開発して世界をリードしてきた。

その成果のごく一部を、誰でも気軽に体験できるサービスが「Songle (ソングル)」(2012年公開)だ。普通の音楽プレーヤーと異なり、ソングルでは音楽理解技術によって曲全体が地図として可視化されて見通せる点がひと味違う。ボタン一押しでサビの頭出しができ、試聴したり聴き比べたりもできる。

## 皆の力を結集すれば、もっと使いやすく

ソングルでは、ネット上ですでに無償公開されていた70万曲以上の音楽の自動理解結果を、誰でも「音楽地図」として楽しめる。音楽地図には一部誤りが含まれるが、これは想定内である。実はここでは、完璧ではない技術でも社会に役立たせるにはどうすればよいか、という重要な実験をしているのだ。ソングルでは、誤りを見つけて直せる人なら誰でも訂正して貢献できる機能を備えている。これにより、膨大な処理ができて自動理解が不完全なコンピュータと、誤りに気づいて直せる人間の能力との相乗効果を引き出せるのだ。つまり、未来社会で不可欠なコンピュータと人間との共存共栄の仕組みを研究しているのである。

さらに「Songrium (ソングリウム)」(2013年公開)では、ソングルの自動理解結果も活用しながら、膨大な楽曲の関係性を、さまざまな角度から把握できるようになっている。ソングリウムでは、自分の好きな曲に曲調が似た曲、あるいは好きな曲を誰かが歌ったり踊ったりした動画などを、サビの頭出しも活用して手軽に発見で



- サービス
- 娯楽・スポーツ
- 教育



- 情報・通信
- エレクトロニクス
- サービス
- ソフトウェア・コンテンツ

Songle (ソングル)

<http://songle.jp>

▶ インターネット上の楽曲の中身を自動理解した結果を「音楽地図」として可視化。ユーザは楽曲の構造を意識しながら盛り上がるサビだけを聴いたり、繰り返す部分を聴き比べたりできる。

※ 2012年8月29日  
産総研プレスリリース



きる。新曲がネット上で最初に公式発表される時代ならのでは、新たな音楽の楽しみ方が切り拓かれつつある。

創作のための歌声合成技術も研究

技術の発展は、新たな音楽文化を生み出す。2007年以降に注目を集めている歌声合成技術は、「合成された歌声がメインボーカルである楽曲を積極的に楽しむ文化」を世界で初めて誕生させた。日本の強みが発揮されたこの先進的な文化を、さらに発展させる研究に産総研も取り組んでいる。

その一つが歌声合成技術「VocaListener (ぼかりす)」だ。これはユーザの歌い方をまねて歌声合成できる技術だ。ユーザが歌い方のお手本を歌って入力するだけで、その歌を市販の歌声合成ソフトウェアのさまざまな声色でまねて自然に合成できるようになった。

デジタル音楽の時代では、音楽理解技術がネット上の膨大な楽曲へのアクセスを支援し、歌声合成技術が音楽を創る楽しみを広げつつある。こうした動きは音楽に限らず、映像など他のコンテンツにも拡大していこう。

「コンテンツのデジタル化は忘却できない社会を生みつつあり、増え続ける過去の膨大なコンテンツに未来が押しつぶされかねない問題があります。視聴者にとっては選択がより難しくなり、制作者にとっては自分の作品が埋もれやすくなるからです。さらに似ているコンテンツも増え続けることで、自分の作品が何かに似ていると糾弾されるリスクが増すと、人々が安心してコンテンツの制作や発表をしにくい社会になる心配があります。そうした心配がなく、過去のコンテンツに敬意を払いつつも、誰もがのびのびと鑑賞と創作を楽しめる“コンテンツ共生社会”を目指して、産総研の深い技術を生かした研究開発をこれからも進めていきたいと考えています」

Songrium (ソングリウム)

<http://songrium.jp>



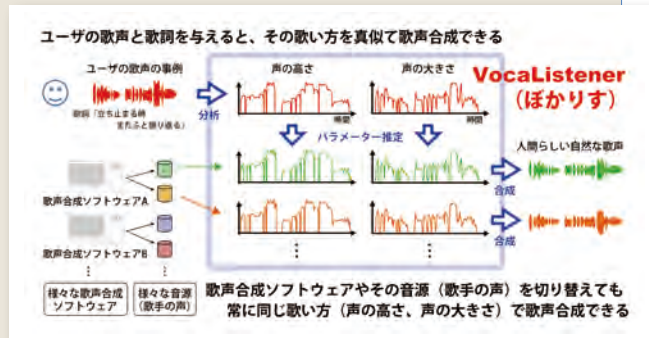
▲動画共有サイト上のミュージックビデオを対象に、さまざまな「音楽のつながり」を可視化するソングリウム。ユーザが次々と新たな楽曲に出会ったり、過去の楽曲を振り返ったりできる。

※ 2013年8月27日 産総研プレスリリース

歌声合成をもっと自然に歌わせたい!

クリプトン・フューチャー・メディアの「初音ミク」に代表される歌声合成ソフトウェアは、ヤマハが開発した歌声合成技術VOCALOID (ボカロロイド) を使っている。その技術で自然に歌わせるのは従来難しかったが、産総研の「ぼかりす」がこの問題を解決した。その後2012年にヤマハが「ぼかりす」製品版の発売を開始した。

※ 2012年9月18日 ヤマハニュースリリース



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



## イモやトウモロコシから果物の甘みを実現

天然甘味料の元祖、砂糖はサトウキビやテンサイからつくられる。だが、こうした作物は、栽培できる地域が限られ、価格も高くなりがちだ。もっと安くたくさんとれる作物から砂糖のような甘みがつくれないか。産総研は1965年、グルコース・イソメラーゼによりブドウ糖を果糖へ転換する技術でこの課題を解決。この特許は海外へも輸出され、天然甘味料製造技術のさきがけとして、世界中に安価で安心な甘みを提供することになった。

### いろいろな糖の甘味

※しよ糖を100とした場合

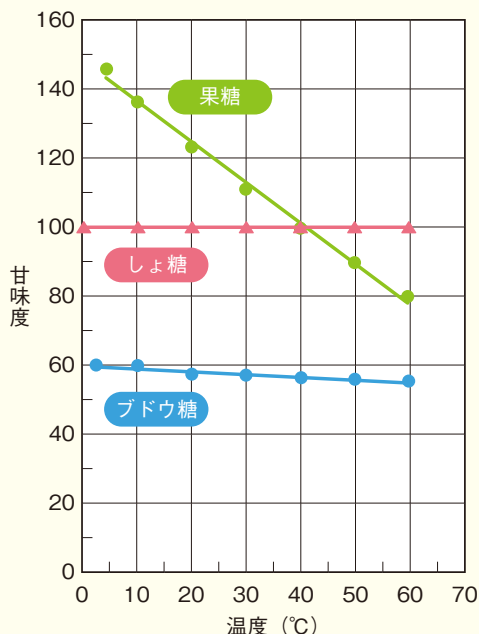
糖の種類	分子式	甘味の強さ
しよ糖 (砂糖)	$C_{12}H_{22}O_{11}$	100
ブドウ糖 (グルコース)	$C_6H_{12}O_6$	60~75
果糖	$C_6H_{12}O_6$	115~175
乳糖	$C_{12}H_{22}O_{11}$	15~30
麦芽糖	$C_{12}H_{22}O_{11}$	30~45
転化糖		砂糖より甘い
蜂蜜		砂糖より甘い

## 安価なサツマイモから 天然甘味料をつくる

今となってはやや時代遅れの感覚かもしれないが、かつて、甘さは豊かさの象徴のようなところがあった。砂糖の多くを輸入に頼っていた1960年代頃までの日本では、砂糖は高価であり、甘いものは“ぜいたく品”だった。一方、当時の日本では、戦後の食糧難の時代にサツマイモ栽培に力を入れた影響で、サツマイモが大量に余っていたという状況もあった。では、高価な砂糖の輸入を減らし、豊富に収穫できるサツマイモから天然甘味料をつくることはできないか。1962年、日本では各省庁の研究所で競うように天然甘味料の研究開発が始められた。

天然甘味料として使える糖といっても、実は、いろいろある。砂糖の主原料であるしよ糖、みずあめの主な成分である麦芽糖、果物や蜂蜜に含まれる果糖、病院の点滴液などに使われているブドウ糖などである。当時、すでに、サツマイモのデンプンからブドウ糖をつくり出す技術は確立されていた。問題は、ブドウ糖には砂糖の6~7割程度の甘みしかないこと。これに対して果糖は、天然の糖の中では最も甘く、特に温度が低いときの甘みは砂糖の1.7倍にもなる。サツマイモなどに含まれ、安価に大量生産できるブドウ糖を、いかに甘味の強い果糖に転換するか。これが課題であり、産総研（当時は前身の発酵研究所）で発酵の研究に従事していた高崎義幸博士率いるグループは、その手法の開発に取り組んだ。そして採用したのが、微生物酵素「グルコース・イソメラーゼ」を用いる方法だった。

### 糖類の甘味度と温度



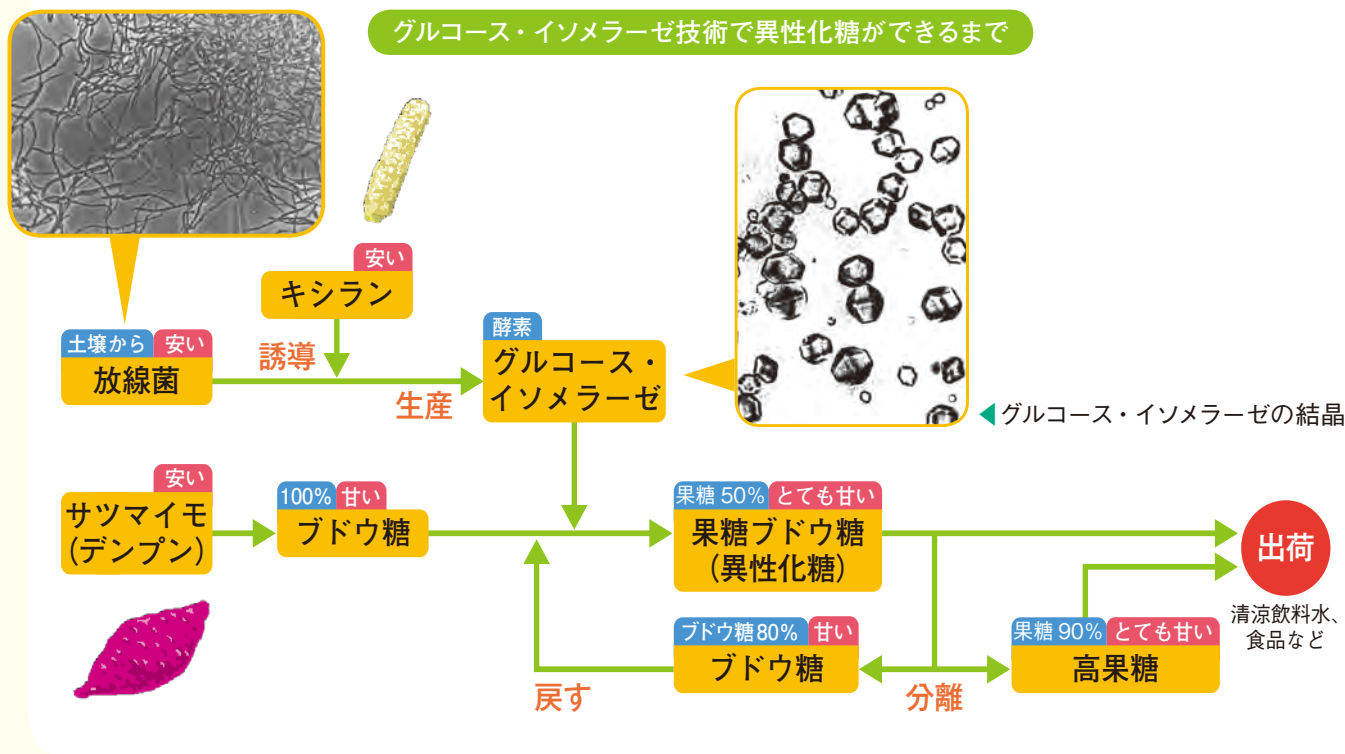
▲果糖の甘味度は温度の影響を大きく受け、約5°Cで砂糖（しよ糖）の1.5倍の甘さがあるが、約40°Cではほぼ同等の甘さとなる。



- 食
- 安全安心
- 医療・福祉・介護



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



## ブドウ糖を果糖に変える 酵素が見つかった!

ブドウ糖（英名グルコース）と果糖は、分子式で書くとどちらも  $C_6H_{12}O_6$  だ。同じ原子できてはいるが、原子構造が異なり、物質としては違うものになっている。分子式は同じでも、構造が違うこうした関係の物質を「異性体（イソマー）」という。ブドウ糖は果糖の、果糖はブドウ糖の異性体である。そして、ブドウ糖（＝グルコース）を異性化（イソメライゼーション）して果糖にする酵素が、その「グルコース・イソメラーゼ」だ。

ブドウ糖の溶液にグルコース・イソメラーゼを投入し、温度を65℃から70℃、pH（水素イオン指数）を6.8から7.2に調整しておく、化学反応が進み、ブドウ糖の50%が果糖に転換、ブドウ糖と果糖が混ざった「異性化糖」と呼ばれる溶液になる。この甘い溶液が、天然甘味料として使われるのである。つまり、ブドウ糖を直接、効率よく果糖に変換するには、グルコース・イソメラーゼがあればよいわけだ。では、どうしたらグルコース・イソメラーゼを大量につくることができるのだろうか。

高崎らは、放線菌という細菌がカギを握っていることを突き止めた。放線菌は、抗生物質をつくるときによく使われる細菌の種類で、糸が伸びるように増殖していく

### 当時の酵素実験室



ことからその名がついている。土壌から発見されたこの放線菌の仲間の一つが、植物に含まれるキシランという物質から、グルコース・イソメラーゼを活発に生産していることを発見したのだ。

キシランは、トウモロコシの芯や皮、米や麦の藁、もみから、小麦ふすまなど、穀物生産の副産物に多く含まれている。この方法を用いれば、普通なら捨ててしまうような原材料から、細菌を使って、安価にグルコース・イソメラーゼが生産できるというわけだ。さらに、そのグルコース・イソメラーゼを使って、これも安くつくれるブドウ糖から、果糖がたくさん含まれた異性化糖を生み出していく。産総研が開発したグルコース・イソメラーゼの技術は、安価な材料から高価な甘みを生み出す、とても経済的な天然甘味料の製造技術なのだ。

## 製品である果糖ブドウ糖液糖



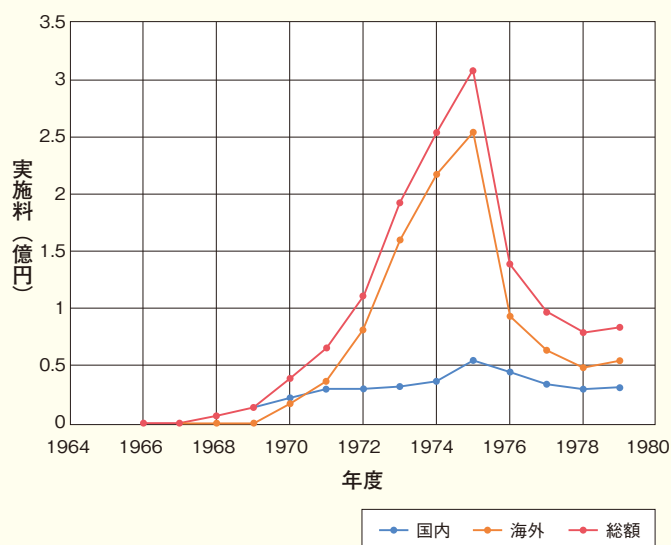
## 特許取得をバネに世界の甘味料市場へ

グルコース・イソメラーゼの製造法のベースとなる特許を発酵研究所が取得したのが1965年。そこから1970年までに合わせて4つの特許を取得し、工場での異性化糖の基本製造方法を確立した。これに対して、産業界、特にアメリカ企業の反応は早かった。当時、アメリカとキューバは対立しており、戦争寸前にまで両国の緊張は高まっていた。その「キューバ危機」において、アメリカはキューバを封鎖。それに伴い砂糖の輸入もできなくなり、砂糖の国際価格が高騰していたこともあって、アメリカは砂糖に代わる甘味料を求めていたのだ。

最初に興味を示したのは、アメリカの食品製造大手スタンダード・ブランド・インコーポレーテッド（1981年にナビスコと合併）で、1966年、産総研（当時は工業技術院）と同社間で契約が交わされた。この契約は、旧通産省の特許輸出第1号となった。続いて1968年には、同じくアメリカのコーンスターチ製造大手A.E.ステレー（現ステレー・コンティネタル）がスタンダード・ブランドからサブ・ライセンスを取得。異性化糖の製造を開始している。

海外展開はアメリカだけではない。1970年にはインドのブドウ糖メーカー、サヤジ・ミル社と、1972年に

## グルコース・イソメラーゼ技術による特許料の収入



▲特許取得から約10年後、海外からの特許収入は飛躍的に増加する。さらに1980年代に入ると大手飲料メーカーが異性化糖を採用し、再び収入は大幅に増加した。

はドイツのカリ・ケミ社と、1985年にはフィンランドのフィン・シュガー社と契約。グルコース・イソメラーゼによる異性化糖の生産は大きな勢いで世界に広がっていった。特に大きな契機となったのが、1980年にアメリカの大手清涼飲料水メーカーが異性化糖の利用を開始し、1984年に、その企業に次ぐ大手メーカーも追随したことだ。異性化糖の利用はこの2社により飛躍的に増大したといわれている。その後も、中国に技術指導を行うなど、産総研は技術の世界普及を積極的に展開している。

## グルコース・イソメラーゼが世界中に広がった

日本国内では、60年代には開発協力を行った参松工業のみの展開にとどまっていたが、アメリカでの成功が伝えられるようになると、各酵素メーカーがグルコース・イソメラーゼの利用をスタート。長瀬産業(1971年実施契約)、合同酒精(1977年実施契約)など、1970年代後半には15、16社で異性化糖の生産が行われていた。海外展開にプラスして国内でも特許利用が広がったことにより、1975年頃をピークに、総額14億円もの特許料収入が生み出されることとなる。これは産総研の特許料収入のうちでトップに当たる成績である。

現在では健康志向の広がりから、糖質の少ない甘味料



# 米CPCと調印

## 酵素イソメラーゼの技術輸出

工 業 年一億近い特許料

【東京】米国CPC社と日本の工業年一億近い特許料を以て、酵素イソメラーゼの技術輸出契約が調印された。この契約は、CPC社が持つイソメラーゼ生産技術の権利を、日本の工業年一億近い特許料で取得する。CPC社は、この技術を用いて、米国で高濃度の異性化糖を生産している。この技術は、日本で生産された異性化糖の輸出を促進し、世界の異性化糖生産に貢献するものと見込まれている。



### 当時の新聞報道

グルコース・イソメラーゼによる天然甘味料の合成技術や海外企業との提携は、当時、大きなニュースとなった。

## 果糖 高収率の製造法を開発

微工研 充てん塔に転化糖液流す「新規分離法」

# ほぼ一〇〇%の収率

ブドウ糖の異性化法と組合せて 転化糖を果糖に

△百林糖の製造が中心となり、工業年一億近い特許料を得た。この技術は、米国で高濃度の異性化糖を生産している。この技術は、日本で生産された異性化糖の輸出を促進し、世界の異性化糖生産に貢献するものと見込まれている。

技術の実用化 共同で研究 工業年一億近い特許料を得た。

## 異性化糖 製造技術 インドにも輸出

### いまや「ドル箱」に 工技院サ社と正式契約

△百林糖の製造が中心となり、工業年一億近い特許料を得た。この技術は、米国で高濃度の異性化糖を生産している。この技術は、日本で生産された異性化糖の輸出を促進し、世界の異性化糖生産に貢献するものと見込まれている。

△百林糖の製造が中心となり、工業年一億近い特許料を得た。この技術は、米国で高濃度の異性化糖を生産している。この技術は、日本で生産された異性化糖の輸出を促進し、世界の異性化糖生産に貢献するものと見込まれている。

▲日刊工業新聞 1970年9月26日付

▲日刊工業新聞 1972年1月7日付

が次々につくり出され、グルコース・イソメラーゼが天然甘味料の主演といえなくなりつつある。しかし、異性化糖自体がその役割を終えたわけではない。農畜産業振興機構の「世界のでん粉製品需給の見通し」によると、2009年の異性化糖生産量は、合計で1730万t。アメリカの777万tを中心に、北米全体で1238万t、アジア337万t、ヨーロッパ86万tと、今でも世界中で生産されている\*1。2008/09収穫年1年の世界の砂糖の生産量は1億5800万t\*2なので、異性化糖の生産量は、すでに砂糖の1割以上にまで拡大していることになる。

細菌の力を使って、イモやトウモロコシから果物の甘みを生み出すグルコース・イソメラーゼ技術。産総研が先鞭をつけたこの異性化糖の生産技術は、今や世界の食生活を豊かにするためになくてはならないものとなっている。また、この技術は、それまでの単なる発酵工業（醸造）から酵素利用工学へと進化し、さらには21世紀のキーテクノロジーであるバイオテクノロジー（再生医学、創薬など）へと発展する礎ともなったのである。

\*1：LMC International社資料より

\*2：USDA「Sugar: World Production Supply and Distribution」より

### 開発年表

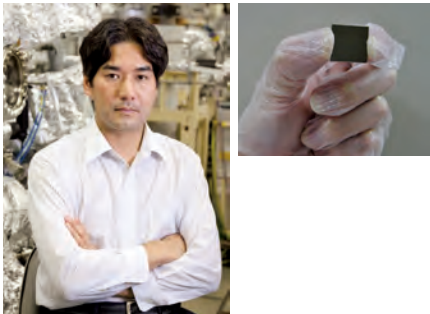
1962年	高価な輸入砂糖の代替品として果糖の生産技術の開発開始 高崎義幸研究員がイソメラーゼ生産放射菌を単離 50°C加熱で菌は死滅するが、酵素が菌体に固定化される 60°Cで高濃度の異性化糖を低コストで生産可能
1965年	特許出願「グルコースイソメラーゼの製造法」 参松工業で工業的規模の生産開始
1966年	アメリカ企業に技術輸出（通産省特許の輸出第1号） アメリカでキューバからの砂糖の輸入が途絶えていた時期で、異性化糖が急速に普及
1977年	固定化酵素発売開始（ナガセ生化学工業） この頃アメリカの大手飲料メーカーが異性化糖を本格採用
1980年	アメリカで異性化糖の生産量300万t/年を突破
1984年	日本で生産量70万t/年を突破
1995年	世界で生産量800万t/年を突破
～現在	生産量：日本75万t/年、アメリカ820万t/年 生産額：日本約600億円、アメリカ約6560億円

こんなところに産総研!

電子工学と磁気工学を融合させたスピントロニクス技術  
〈待機電力ゼロ〉の夢の  
IT機器の登場も近い?

湯浅新治

4



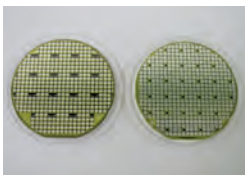
注目のエコ建材「調湿タイル」  
呼吸するように湿度を  
調整する建材の可能性

前田雅喜

10

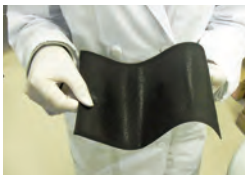


未来のために産総研!



半導体シリコンカーバイド(SiC)  
〈パワーエレクトロニクス〉  
の革新を半導体SiCが  
可能にした

16



単層カーボンナノチューブの  
量産技術の開発  
夢の素材で期待される  
〈21世紀の産業革命〉

18

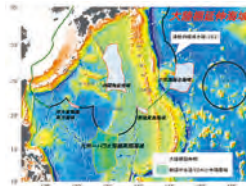


少子高齢化社会を支える  
生活支援ロボット  
〈新たなインフラ〉として  
普及が期待される  
生活支援ロボット

20

写真提供：JQA

今の暮らしに産総研!



日本の大陸棚が拡大  
〈大陸棚の拡大〉で、  
未来社会に貢献する  
海洋資源調査に弾み

22



高所調査用ロボットによる  
福島第一原発の環境調査  
人が近づけない  
極限環境での調査に  
ロボットが挑んだ

24

くらしを支える産総研!

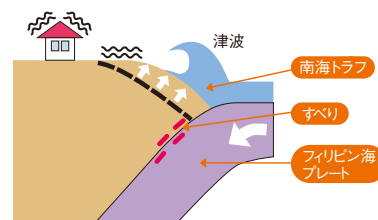
日本の計量技術の最上位機関  
あたりまえになっている  
〈正しくはかる〉を支える人々と技術

26



南海トラフの巨大地震の観測網  
巨大地震の予兆現象?  
地中深くの〈ゆっくりすべり〉のゆらぎ

28



これも産総研の成果なんです!



炭素繊維開発  
釣竿から飛行機まで  
「炭素繊維」の  
開発プロセス

30

# 索引

## 私たちに身近なキーワード

### あ

アスベスト代替材料	8
遺伝子組み換え植物	14
医薬品	14
歌声合成	26
エネルギー安全保障	22
音楽鑑賞	26
音楽コンテンツ	26

### か

介護支援	16
海洋資源開発	22
ガasket	8
漢方薬	14
原発事故収束作業	20
コーティング(材)	2、8
小型家電	18
小型線量計	20

### さ

シール材	8
情報機器	18
食品・薬品包装材	8
食品流通	24
植物工場	14
生活支援	16
製氷機	24
清涼飲料水	28
セラミックス	2
鮮度保持技術	24

### た

太陽電池	2
炭酸飲料水	28
低温手術	24

デジタルコンテンツ	26
電子機器	18
電子部品	18
天然ガス	22
天然甘味料	28
天然資源開発	22
動物用医薬品	14
都市鉱山	18

### な

難燃性内装材	8
燃料電池タンク	8
脳科学	16

### は

初音ミク	26
半導体	2
福祉支援	16
ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)	16
放射線被曝	20
ポーカロイド	26

### ま

ミュージックビデオ	26
メタンハイドレート	22

### や

有機ELディスプレイ	8
------------	---

### ら

リサイクル	18
リチウムイオン電池	2
レアメタル	18
冷凍技術	24

## 編集後記

中鉢良治理事長の鶴の一声で産声をあげた、『ここにもあった産総研』。幸い、第1号は皆さまから暖かく迎えていただきました。編集スタッフ一同、感謝の念に絶えません。

さて、皆さまからのご指導・ご鞭撻、励ましやアドバイスのおかげで、このように第2号を発刊することができました。

その編集過程で、産総研で扱う研究開発には、特徴のあるテーマが根底に流れていることに、ふと気づかされました。それは、

1. 「総合力の発揮」(本号の中では、植物工場、ニューロコミュニケーター、都市鉱山、小型線量計、メタンハイドレート)
2. 「地域産業振興への貢献」(クレースト、植物工場、メタンハイドレート)
3. 「中堅・中小企業への貢献」(エアロゾルデポジション法、クレースト、植物工場、都市鉱山、シャーベット状海水氷)

4. 「カタマリとして捉えること」。本号の中では、具体的には以下のように紹介しました。

- ・クレースト(粘土結晶のまま利用する)
- ・ニューロコミュニケーターのメニュー(アルファベットや五十音にはしない)
- ・都市鉱山のタンタルコンデンサ(コンデンサ自体を粉々にはしない)
- ・音楽理解のためのリズム、メロディ、サビ(音符レベルにはしない)

モノの構成要素を徹底的に分割して調べあげるのが基礎研究の一般的なスタイルですが、そこにとどまることなく、目的基礎研究と応用研究の間を自由に行き来しながら、速やかな製品化にまでつなげる本格研究を実践する。産総研の研究者ならではのスタンスではないかと、改めて思いました。

## QRコード

### 産総研HP

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



### 産総研Twitter

[https://twitter.com/AIST\\_JP](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.2

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>

表紙写真提供：ニッコー (サンマ/シャーベット状海水氷)

目次写真提供：ニッコー (シャーベット状海水氷)

●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