

## 特集

## 2 社会インフラのスマートメンテナンス技術

産総研のスマートメンテナンス技術

打音検査の高度IT化

保全サービス支援のための複合現実システム

モアレを利用した構造物の変形分布計測技術

コンクリート構造物のひび割れ自動検知

高感度近赤外分光を用いたコンクリート構造物の遠隔診断技術

鉛を使わないAEセンサーによるインフラ診断技術の開発

## リサーチ・ホットライン

- 12 超低消費電力の磁気書き込み技術  
高周波電圧による磁化反転アシスト効果を初めて実証
- 13 高精度な長尺マグネシウム合金細管押し出し  
生分解性マグネシウムステントの開発を可能に
- 14 ディーゼル酸化触媒の白金使用量低減化技術  
大量製造に適した貴金属ナノ粒子触媒調製方法を開発
- 15 厚さ数nmの板状有機ナノ粒子  
薄膜デバイス用ナノ粒子をマイクロミキサーで連続製造
- 16 常温大気中で金属同士を接合する技術  
装置の大幅な簡略化と製造効率の向上に期待

## パテント・インフォ

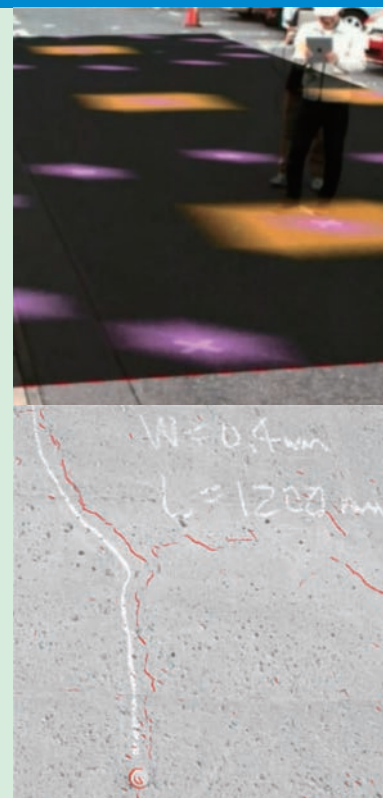
- 17 小型バイオ医薬品創薬を支援するリサーチツール  
低親和性ペプチドを高親和性タンパク質に変える分子創製技術
- 18 MEMSパッケージングのための極微小リーク検査  
世界最小  $10^{-14}$  Pa·m<sup>3</sup>/s のリーク量が校正可能に

## テクノ・インフラ

- 19 重水減速 <sup>252</sup>Cf 中性子標準の開発  
線量管理のための放射線作業場を模擬した中性子校正場
- 20 メタンハイドレート層の力学的性質の解明  
長期予測に対応した地層変形シミュレーターの開発に向けて

## シリーズ

- 21 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第56回)  
先端計測によるイノベーション創出と生産効率向上



上：試作した複合現実システムの動作例 (p.5)  
下：開発した手法により自動検知されたコンクリートのひび割れ(赤線) (p.9)

# 社会インフラのスマートメンテナンス技術

## 産総研のスマートメンテナンス技術

### はじめに

2012年12月に起きた笹子トンネル事故により、わが国の社会インフラの老朽化が一挙に注目されることになりました。この特集「社会インフラのスマートメンテナンス技術」では、社会インフラ維持にかかわる産総研の研究の一端を紹介します。

### 熟練検査員並みのインフラ点検技術をIT導入により安価・簡便に

トンネル以上に老朽化が進み、またその維持が喫緊の課題となっているのが橋梁と道路です。このため、国土交通省は橋梁長寿命化計画を打ち出し、現状の「事後保全」（壊れてから修理する）ではなく、「予防保全」（損傷が軽微なうちに補修を繰り返す）によってインフラの寿命を延ばすことを推奨しています。人であれば、健康診断で疾病が見つかっていても軽度なうちは少ない負担で治療でき、より長く寿命を保てるのと同じです。

しかし、社会インフラで予防保全を行うための各種技術では、IT化が著しく遅れています。例えば笹子トンネル事故後の緊急点検でハンマーを使った打音検査の様子がマスコミで報道されたように、いまだに熟練検査員の勘と経験に頼っているのが現状です。しかも熟練検査員は高齢化しており、今後急速に増大する老朽インフラの点検需要に応える見込みが立っていません。また、センサーや計測機器を用いたインフラ検査コストはわずか一日の検査で数百万円以上になることも珍しくありません。これは、一般に補修予算に乏しい全国の自治体にとっては大きな

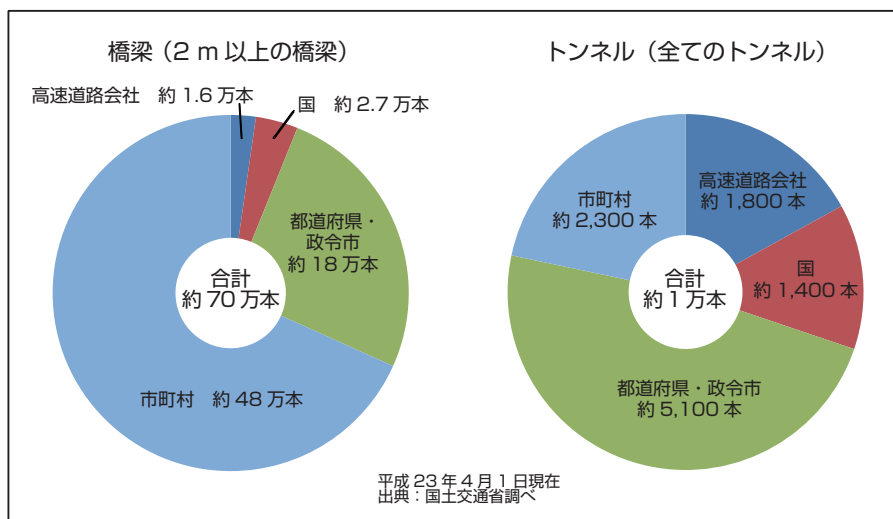


図1 橋梁およびトンネルの管轄状況

国土交通省「第5回道路メンテナンス技術小委員会」資料<sup>[1]</sup>を編集。わが国の社会インフラの大半が地方自治体の管轄にあるにもかかわらず、補修予算も削られ、町の5割、村の7割で橋梁業務に携わる技術者がいない。

問題です。維持修繕予算は10年で約2割削減されていますが、わが国のインフラの大半が自治体管轄です。例えば全国にある約70万本の橋の94%が都道府県・市町村の管轄で、全国のトンネル約1万本のうち74%が自治体の管轄です(図1)。

このような背景から、ITを積極的に導入することで、熟練検査員並みの点検精度をもつ予防保全のためのスマートメンテナンス技術を、安価で使いやすい形で実現することが社会的に強く求められています。

### この特集で紹介する研究テーマのポイント

現状の点検技術は、人手による打音検査とひび割れ目視検査に尽きると言っても過言ではありません。前者に対応した研究テーマが、この特集での「打音検査の高度IT化」(情報技術研究

部門)と、その検査結果の可視化技術である「複合現実システム」(サービス工学研究センター)です。ここでは述べていませんが、打音解析では熟練検査員以上の検査能力を獲得している事例もすでにあります。後者に対応するのが知能システム研究部門による「ひび割れ検知」についての紹介記事です。コンクリートのひび割れを画像処理によって検知しますが、その検知精度はこれまでにはないレベルに達しています。

また橋梁モニタリングに対する社会的要請の高まりに対応するために、「モアレ変位計測」(計測フロンティア研究部門)、「近赤外分光」と「AEセンサー」(電子光技術研究部門)の研究が行われており、この特集で紹介しています。モアレ変位計測は、橋梁に規則的構造が見られる場合には橋梁にセンサー類を一切付けることなく、デジタ





ルカメラ一つで橋梁のたわみを計測できる技術で、大幅なコスト削減や検査時間の短縮が見込めます。近赤外分光は、コンクリート構造物への塩分付着をこれまでよりも高精度で簡便に検知する技術です。またAEセンサーは、これまでのAEと違って鉛を使わず、環境にやさしいことが利点の一つです。

### 今後の展開

この特集で紹介するテーマはすでに2013年から所内の戦略予算で実施中ですが、今年度、そのほとんどが内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)やNEDOの国プロに採択され、また実用化に向けた高速道路会社との共同研究に発展しました。

これから本格的に研究が始まりますが、インフラ維持の研究における出口成果は、研究に終わらず技術移転までつなげることが必須です。わが国では

高速道路会社の点検技術水準が最高レベルにあると思われませんが、首都高速道路株式会社や東日本高速道路株式会社(NEXCO東日本)の点検プロトコルに産総研の技術が組み込まれることを目指したいと考えます。

一方、社会インフラに限らず、わが国のインフラ全体を考えた場合、三つの領域、すなわち社会インフラ、エネルギーインフラ、産業インフラが考えられます(図2)。これらはいずれも高度成長期に構築したインフラが一斉に老朽化の時期を迎えている点が共通しており、産総研の技術を今後適用していくべきです。例えばエネルギーインフラ維持では、すでに電力会社とともに電柱内部の鉄筋の、打音による腐食検知・強度推定に取り組んでいます。わが国には約3,300万本の電柱があり、耐用年数40年を超えたものが相当数存在するためです。また社会インフラでは、今後10年以内に老朽化した水道管

の管路を更新する費用が1兆円に達し、水道料収入では賄えない状況になることも新たな課題です<sup>[2]</sup>。これについては、精度の高い漏水検知技術によって管路の健康状態を確認すること、つまり予防保全を実現することが期待されています。

### 参考文献

- [1] 国土交通省：第5回道路メンテナンス技術小委員会 配付資料
- [2] 読売新聞：老朽水道管 改修1兆円、2014年8月3日
- [3] NHK：コンビナート クライシス、クローズアップ現代、2013年1月16日放送 [http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail\\_3294.html](http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail_3294.html)

### 関連情報

- [1] NHK：押し寄せる老朽化 水道クライシス、クローズアップ現代、2014年10月16日放送 [http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail\\_3566.html](http://www.nhk.or.jp/gendai/kiroku/detail_3566.html)

イノベーション推進本部  
イノベーションコーディネータ  
ひぐち てつや  
樋口 哲也



図2 インフラ維持の三つの領域

わが国のインフラ維持には、この特集で述べる社会インフラ維持だけでなく、エネルギーインフラ維持、産業インフラ維持も含まなくてはならない。



# 打音検査の高度 IT 化

## 一次検査の高度化

社会インフラの点検や調査では、目視点検と打音検査が一次検査として広く行われています。一次検査で異常が発見された場合には、その後の経過観察や精密な計測機器による二次検査に進みます。しかしその一次検査は、検査員の経験や感覚に依存しています。また、熟練検査員であっても、表面から深い位置にある内部欠陥は打音検査で発見するのが難しい場合があります。加えて熟練検査員の数は高齢化に伴い減少しています。

そこで私たちは、打音検査をIT化し、検査員の五感に頼らず、打音検査結果を定量化することでバラツキやミスを防止する研究開発を行っています。

## 産総研独自の音響解析技術

開発中のシステムでは、図1に示す

ようにハンマーなどによる打音のデジタル化とその収集、蓄積、分析による、構造物の欠陥自動検知を目的とします。打音の分析には、産総研独自の音響解析技術を用い、音の違いを判定します。これまでの解析手法が、信号の各周波数の振幅成分のみに着目していたのに対し、この技術では振幅と位相の両方に着目します。さらに時間一周波数面での動的遷移も考慮することで、音響信号の特徴が効果的に抽出できます。この特徴を収集・蓄積し、熟練検査員による判定結果とペアにして機械学習させることで、打音の微妙な差異を判別できます。

これにより、これまでの解析手法では難しかった深い位置にある欠陥の検出も期待できます。一次検査の点検精度や点検効率を向上させることで、その後の二次検査を含めて、点検に必要

な人件費や工事費用を削減することにもつながります。将来的には、欠陥マップなどの自動作成機能も備えることで、検査報告書の作成も含めたトータルな作業工数の削減を目指します。

## 供試体による打音検査実験

現在、首都高技術株式会社と共同で、図2に示すコンクリート供試体を用いた欠陥検出実験を行っています<sup>[1]</sup>。熟練検査員でも検出が難しかった、剥落防止用の炭素繊維シートに覆われたハンチ部表面から53 mm下の空洞を検出するなど、高い判定精度を実現しています。

今後は、実構造物での検査データを蓄積し、精度向上、性能評価を進めます。

## 参考文献

[1] Y. Kubota, et al.: Proc. 30th US-Japan Bridge Engineering Workshop, 105-114 (2014).

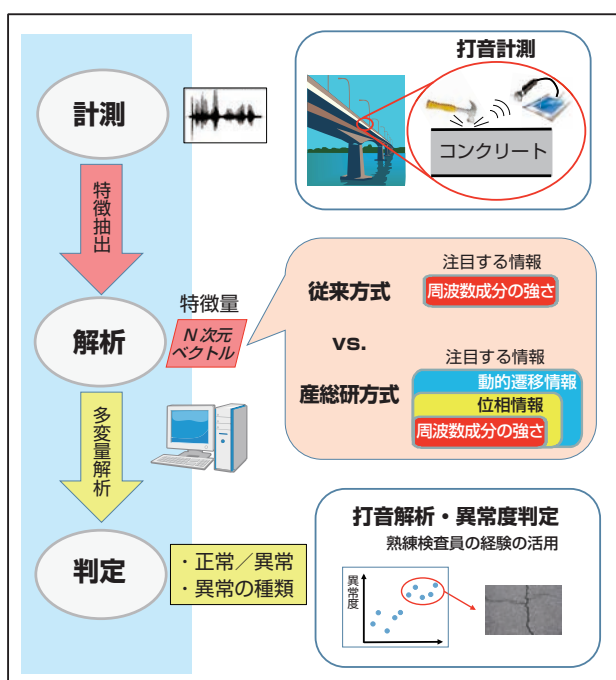


図1 打音検査のIT化イメージ

情報技術研究部門  
スマートシステム研究グループ  
むらかわ まさひろ  
村川 正宏  
よう かせい  
叶 嘉星



図2 複数の疑似欠陥（空洞やひび割れ）をもつコンクリート供試体。正面から見て左側（写真の手前側）は通常のコンクリート表面、右側（写真の奥側）は炭素繊維シートで覆われた表面。



## 保全サービス支援のための複合現実システム

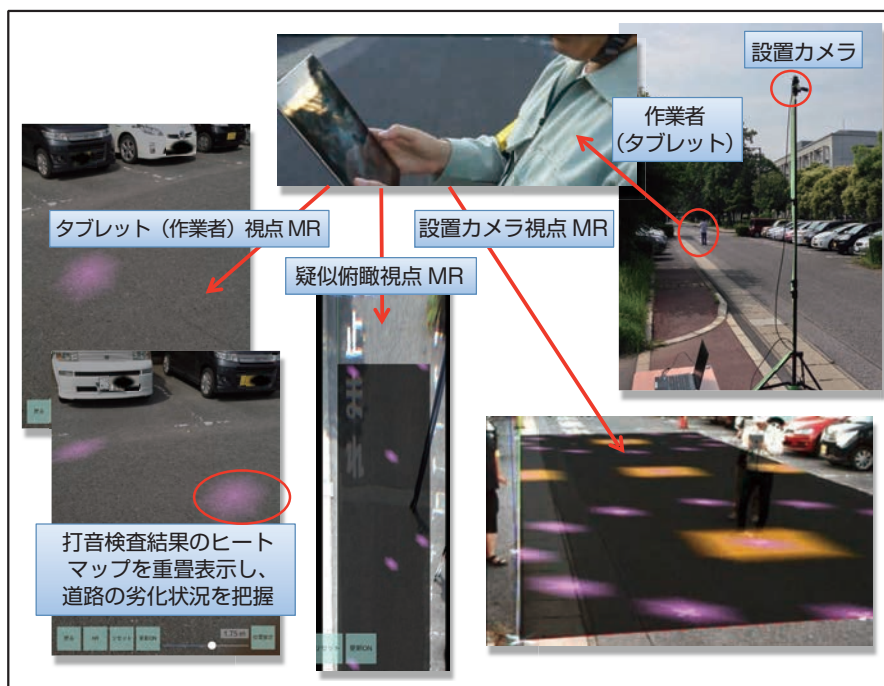
### 検査データの利活用に向けて

社会インフラの保全には検査が欠かせませんが、得られた検査データをどのように利活用していくかも、保全作業の生産性向上や保全サービス体制維持のための重要な課題となっています。例えば、検査データが「うまく」作業者に伝われば修復作業が効率化するということは、保全現場においてもすでに十分認識されていますが、技術的観点やコスト面からの実行可能性が明らかでないなどの理由により、具体的な研究開発はあまり進んでいないのが現状です。

そこで私たちは、実空間とバーチャル空間との関係、すなわち実際の道路と検査データとの関係を、直感的かつ包括的に把握できる複合現実（MR: Mixed Reality）システムを用いて道路保全作業を支援する、新しいインタフェースシステムの基礎的な研究を進めています。近年、センサー、ディスプレイ、ネットワーク、ストレージ、プロセッサなどの装置それぞれの低価格化、小型化、高性能化が進み、拡張現実（AR: Augmented Reality）を含むMRシステムの実用化の機運が高まっていることも研究を行う理由の一つとなっています。

### 現場起点のMRシステム試作

まず、具体的に橋梁路面の打音検査とそれに基づく修復作業を事例として、道路保全の現場サイドとの意見交換を行いました。アスファルト路面上の各位置での人手による打音検査結果は、まずチョークで路面上に記され、紙面に記録しなおされて、事務所で



### 試作したプロトタイプシステムの動作例

打音検査結果のヒートマップを異なる視点で重畳表示することで、道路の劣化状況や修復が必要な箇所を直感的かつ包括的に把握することができる。

データ化されます。意見交換の結果、そのデータは修復作業の見積もりには活用されているものの、アスファルト面を除去した後のコンクリート面の再打音検査や修復作業そのものにはあまり活用されてないことが判明しました。

現在、保全現場へのタブレット端末の配布・普及が急速に進んでいることもあり、道路の劣化状況を把握しやすくして再打音検査や修復作業を効率化することを目的としたハンドヘルドMRシステムを開発することになりました。図は試作したプロトタイプシステムの動作例です。このシステムは、タブレット（作業者）視点（Egocentric, Ego-impression）や設置カメラ視点、

疑似俯瞰視点（Exocentric）でのMR情報を提示する機能をもつため、道路の劣化状況や修復が必要な箇所を直感的かつ包括的に把握することができます。

今後は、タブレット端末や作業者の屋内外での位置姿勢の高精度計測、情報提示のための視点遷移に起因する認知的負荷の軽減といった技術的課題はもちろんのこと、人材育成につながる検査データや保全作業の履歴の活用にも取り組みたいと考えています。

サービス工学研究センター  
行動観測・提示技術研究チーム  
くらた たけし  
蔵田 武志



# モアレを利用した構造物の変形分布計測技術

## 変位計測技術の必要性

橋梁、プラント、建物といった社会インフラ構造物の損傷や劣化状態を的確に評価することは、社会の安全安心の確立につながるほか、長寿化によりコスト、エネルギー消費削減に寄与します。そのためには構造物全体の变形分布を監視して、早期に構造物の異常発生を検知することが重要です。

構造物の变形計測には、これまでレーザー変位計やひずみゲージといった点計測センサーが用いられてきましたが、構造物全体を計測するには数多くのセンサーを取り付ける必要があり、多大なコストと手間がかかります。そのため広範囲の变形分布を簡便な作業で高精度に計測できるデジタルカメラを利用した、全視野計測技術が期待されています。

## デジタルカメラを利用した全視野計測技術

ピッチ間隔が近い二つの周期的な模様を重ねると、図1に示すような干渉模様(モアレ縞)が現れます。一方の模様をわずかに移動・回転させるとモアレ縞の模様が大きく変化します。モアレ縞の模様変化は数学的には位相変化と呼ばれます。モアレ縞を利用することで、わずかな変形を大きな位相変化として観察することができます。モアレ縞の位相分布変化は变形分布に対応することから、モアレ縞が形成される領域の位相解析から变形分布を評価することができます。

構造物の变形計測にモアレ縞を利用するためには、二つの周期的模様が必要になります。たとえば、建物では

窓枠や外壁を構成するタイルが規則的に配置されています。そこでこれらの構造物に備わる周期的模様を利用します。もう一つの周期的模様としてデジタルカメラのイメージセンサーを利用します。

構造物に備わる周期的模様をデジタルカメラで撮影すると、規則的に配列されたイメージセンサーに周期的模様の輝度情報が記録されます。この撮影画像に間引きと輝度補間の画像処理を施すことで、モアレ縞を作成することができます。変形前後に撮影された画像から作成されるモアレ縞の位相分布変化を見ることで、構造物の变形分布を評価することができます。

現在、私たちはこのデジタルカメラで撮影された画像からモアレ縞を作成

する画像処理、モアレ縞の位相解析、および位相分布変化から变形分布を算出する手法(サンプリングモアレ法<sup>[1]</sup>)の精度向上<sup>[2]</sup>と、任意の繰り返し模様に対応可能な変位計測法<sup>[3][4]</sup>の開発を進めています。この手法を適用すると、構造物に備わる周期模様間隔の千分の一の精度で变形分布を高速に計測することができます。たとえば、1 m間隔の周期的模様が備わっている構造物では、1 mmの精度で变形分布を瞬時に計測できます。

この手法を図2(a)に示す福岡県北九州市にある若戸大橋(支間長367 m)のたわみ計測に適用しました。若戸大橋のような海峡にかかる大型橋梁のたわみ変形をこれまでの点計測センサーで実施するには、まず大規模な高所作

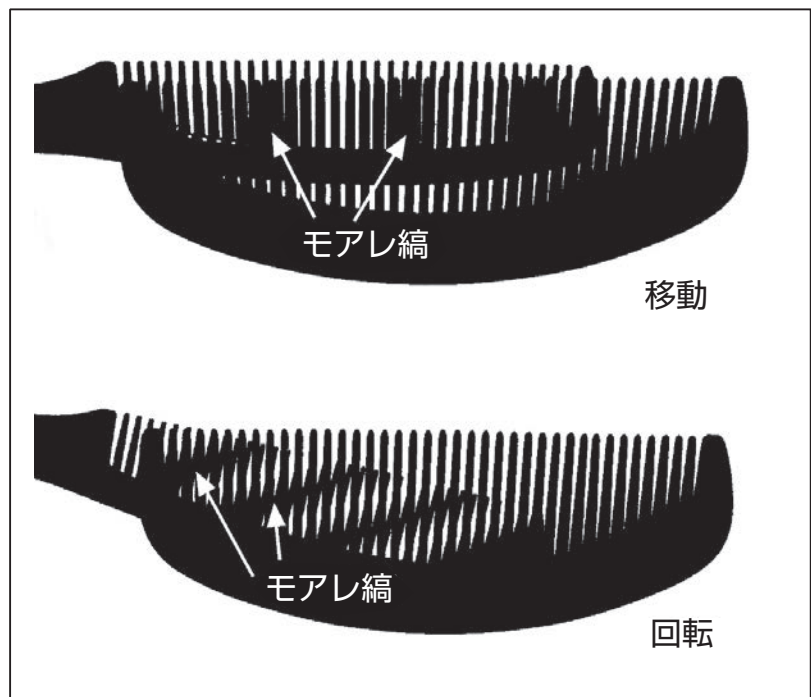


図1 わずかな変形によるモアレ縞模様の変化



業用の足場を組み立て、測定ポイントごとにセンサーを敷設し、その後、データ収録器と結線するといった多大な作業が必要になります。私たちが開発した変位計測手法を適用すると、橋梁全体が撮影できる箇所にカメラを設置してトラックの通過前後の写真を撮影するだけで、車両の移動に伴う橋全体の広範囲にわたるたわみ分布の変化を短時間に評価することができます。

若戸大橋の主桁は、図2 (a) に示すように周期的なトラス構造をしています。そこで主桁のトラス構造（周期間隔2.25 m）を利用して、デジタルカメラで橋梁全体を撮影して主桁のたわみ分布を計測しました。図2 (b) は橋梁を通過する大型トラックの位置を、図2 (c) は解析された主桁のたわみ分布を示します。これらの写真から、大型トラックの通過に伴い主桁がたわんでいることが観察されます。橋梁の異常はたわみ量を基準に判断されるため、この技術により評価されるたわみ量は、橋の健全度を診断する際に重要な判断基準を与えることになります。

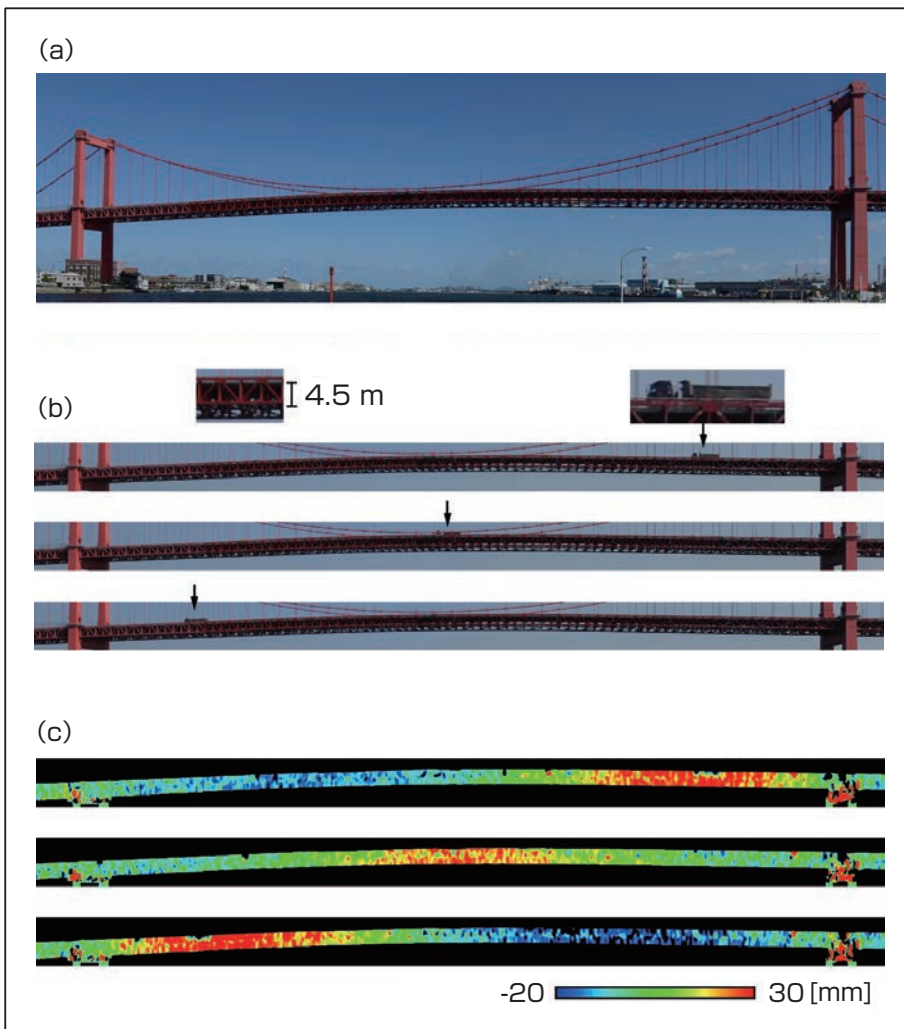


図2 若戸大橋の主桁たわみ分布計測の結果

## 今後の展開

半世紀以上にわたり利用される橋梁や建物のメンテナンスでは、変形分布を数十年単位で継続して監視することが必要になります。これまでのデジタルカメラを利用した全視野計測法では、定点固定されたカメラで変形前の基準となる参照画像を撮影し、時間が経過した後に撮影された画像（測定画像）との相対変位を算出していました。しかし長期間にわたる監視では、定点固定されたカメラを利用することは耐久性や電源供給の問題から現実的ではありません。長期モニタリングを実現するためには、カメラを固定せずに異

なる位置や角度から撮影された参照画像と測定画像から変形分布を計測できる、カメラ位置ずれ補正技術の開発が必要になります。

また構造物に損傷や劣化が生じたとき、構造物の変形分布にどのような変化が現れるのかをデータベース化することで、変形分布計測から迅速で正確な構造物健全度診断を行うことが可能になります。今後、カメラ位置ずれ補正技術、変形と損傷関係のデータベース化に関する研究を進め、安価で簡便な全視野計測法による構造物の監視システム構築を目指していきます。

## 参考文献

- [1] S. Ri et. al.: *EXP MECH*, 50(4), 501-508 (2010).
- [2] S. Ri and T. Muramatsu: *APPL OPTICS*, 51(16), 3214-3223 (2012).
- [3] 特願2013-149340, PCT/JP2013/82701
- [4] S. Ri et. al.: *OPT EXPRESS*, 22(8), 9693-9706 (2014).

計測フロンティア研究部門  
構造物画像診断グループ  
つだ ひろし  
津田 浩  
り しえん  
李 志遠



# コンクリート構造物のひび割れ自動検知

## ひび割れ自動検知の必要性

コンクリートのひび割れは、軽微であればそれ自身がコンクリート構造物の耐久性を損なうものではありませんが、劣化を把握するための主要な指標であるとともに、劣化を進行させる原因ともなります。そのため、ひび割れの状態を把握することはインフラ維持管理の基本といえます。実際、自治体や有料道路事業者は、国土交通省によるひび割れ発生状況調査要領に基づき、幅0.2 mm以上のひび割れを定期点検ごとに記録し管理計画の基本データとしています。

日本は高度成長期に多くの社会インフラを整備したことにより、耐用年数の目安の一つとされる建設後50年を経過する道路や橋などの構造物が、現状で全体の約1割を占め、今後20年で3～4割に増加すると言われています。一方、労働人口は1割程度減少することが予想され、人手にたよった点検作業が破たんする恐れがあります。また、現在の点検作業自体の効率化や高度化も常に望まれていて、利用者への影響を極力抑えるための迅速化や、高い所・狭い場所などでの安全性の確保などを実現する技術が必要とされています。

このような状況に応えるため、ひび割れを自動で検知する技術の開発に着手しました。これまでもカメラを用いてひび割れを自動で検知するための研究開発は行われていましたが、人手による点検作業の精度と効率に及ぶシステムはなく、広く普及するには至っていません。

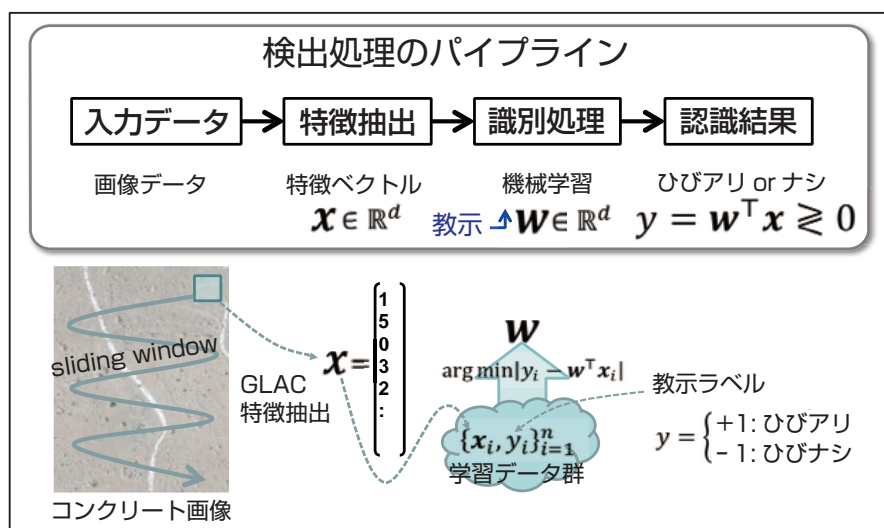


図1 統計的画像特徴抽出と事例学習からの識別による統計的パターン認識アプローチ

## 統計的パターン認識によるひび割れ検知技術

一般的なひび割れ検知の方法は、撮影した画像から機械的に読み取れる、ひび割れを表していると推測される定性的なルールを人が設定し、それに基づいていました。例えば、ひびは一般的に「ほかの画素よりも暗くなる」という人の体験による判断基準を計算機で分類処理できるように「ピクセルの輝度値<閾値」と置き換えるなど、事前に人手でひびを判別できると思われるルールを用意し検知しています。しかし、屋外環境で撮影された画像には、照明変動などさまざまな変動が反映されているため、事前に定めたルールだけではこれらの変動に対応し切れず見落としや誤検知が発生します。そこで私たちは、①統計的画像特徴抽出と②事例学習からの識別による「統計的パターン認識アプローチ(図1)」という手法を用いることで、精度の高いひび割れ検知を実現しました。

まず①統計的画像特徴抽出では、産総研で開発した画像中の輝度勾配パターンに着目したGLAC (gradient local auto-correlation) 特徴抽出法<sup>[1]</sup>を適用します。これは、ひび割れの“谷”としての形状特徴を表現するのに適した特徴抽出法で、穴や擦れ、落書きなどは異なる特徴パターンとしてひび割れの“谷”を抽出できます。(図2)。

特徴パターンからひび割れのみを抽出するためには、ひび以外の特徴パターンを除外する必要があります。そ

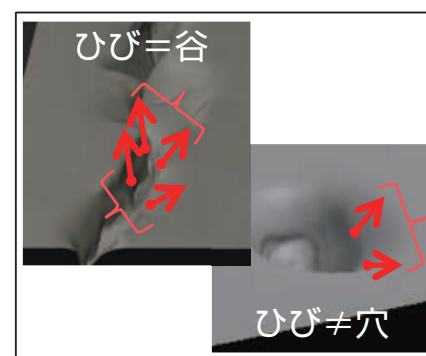


図2 輝度値曲面  
二つの近傍勾配の特徴パターンが曲率を表す。谷(=ひび)と穴とは異なる特徴を示す。



# 社会インフラの スマートメンテナンス技術

ここで、多数の事例から学習して識別器を構成する機械学習手法としてlinear SVM<sup>2)</sup>を適用します。ここでの事例とは、画像のある領域と、その領域に対するひび割れの有無(教示情報)のペアを指します。学習の目的は、画像から抽出されたGLAC特徴のみからひび割れを高い確率で推定できるような識別器(具体的には線形識別超平面)を構成することです。学習が成功すれば、GLAC特徴の中からひび割れと相関の高いものが自動的に抽出され、同時に無関係な特徴の影響は抑制されます。このとき、精度のよい教示情報が付与されたさまざまな事例をいかに集めるかが課題でしたが、首都高速技術株式会社の協力により、実際に点検作業に従事する専門家の手による事例データを得ることができました。これによってさまざまな変動を含む多数の事例による学習が行われ、事前にルールを人手で構築することなく、変動に影響されないひびの本質的な特徴を自動的に獲得できました。この識別器を用いることでさまざまな変動を含む画像からも精度よくひび割れを検知できるようになっています(図3)。

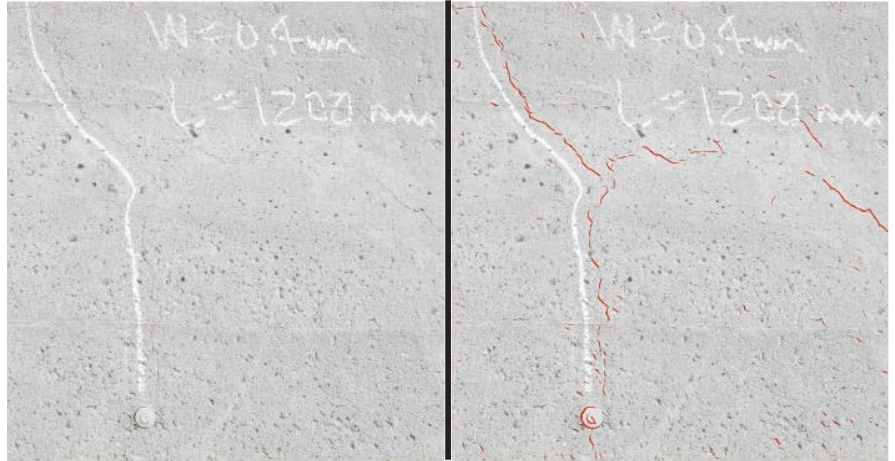


図3 人手により確認されたひび割れ部分(白いチョークの跡)と自動検知によるひび割れ部分(赤線)の比較  
白いチョークの跡と赤線がほぼ重なり、精度よくひび割れを検知できたことを示している。

## 点検支援システムへの実装

自動検知技術を利用するためのプラットフォームとして、実際の点検作業との連携を想定したモニタリングシステムを開発中です(図4)。このシステムは、現場での点検作業から、経営層などが行うインフラ維持管理の計画策定までを支援することを目的としています。

なお、この研究は首都高速技術株式会社の協力をいただき実施しています。

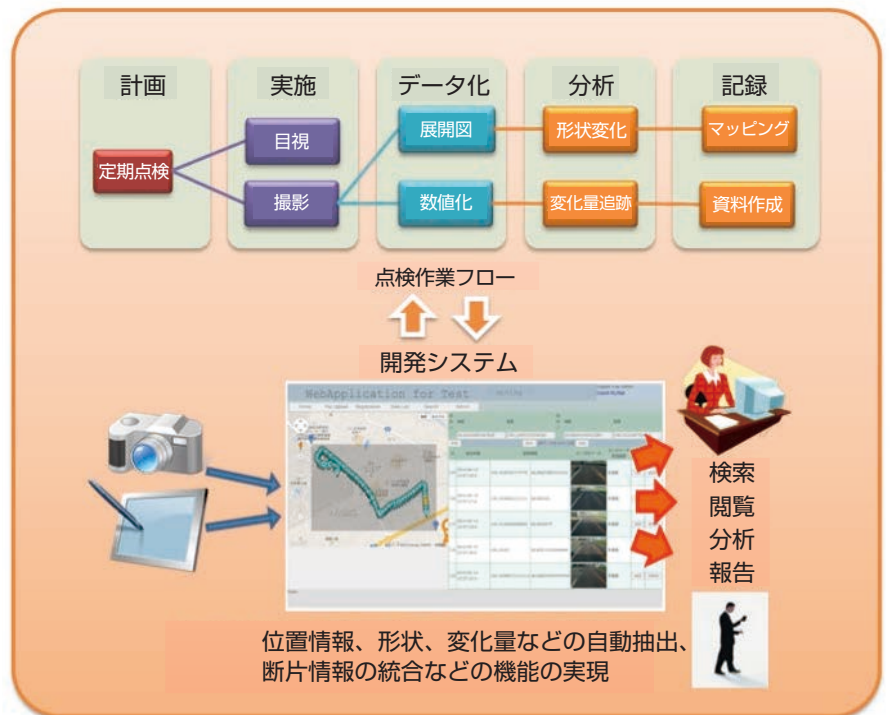


図4 モニタリングシステム  
実際の点検作業と連携して使用することを想定している。

## 参考文献

- [1] T. Kobayashi and N. Otsu: *Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 346-358, (2008).
- [2] V. Vapnik: *Statistical Learning Theory*, Wiley, (1998).

知能システム研究部門  
スマートコミュニケーション研究グループ  
こばやし たくみ  
小林 匠  
ながみ たけし  
永見 武司



# 高感度近赤外分光を用いたコンクリート構造物の遠隔診断技術

## コンクリートの健康診断

コンクリート構造物の塩害や中性化などの化学的劣化は、構造物に近づいて診断しなければならず、多くの場合、足場の設置が求められるため、費用や工期の面から負担が大きいという問題があります。そこで、足場を設置することなく、遠方から化学的劣化状態を診断できる技術が求められています。遠方から短時間で簡単に診断が行えるようになれば、定期的な健康診断のように、1次スクリーニングとして活用されることが期待され、これで異常が出た箇所について足場を設置しての精密検査を行うなど、分析試験の回数を減らしたり、試験箇所を限定したりすることができます。

近年、化学的劣化の診断を、近赤外分光法を用いて計測できることが報告されています<sup>[1]</sup>。しかし、現状の近赤外分光測定では、検出器の感度が低く、高強度な近赤外光源もないため、装置をコンクリートに近接させなければなら

りません。

このような問題点を解決し、現場からのニーズに応えるため、遠方からコンクリートの化学的劣化を診断できる高感度近赤外分光装置の開発に取り組んでいます。

## 高感度近赤外分光装置

遠方からの測定では、測定部から得られる光信号が弱くなることが問題です。そこで、広い面積から光を集めることで、検出器への入射光量を多くし、高速性を失わずに分光できるようにしました。曲率や凹凸をもつ表面など、これまでの分光器が不得意とする試料に対しても安定した計測が行えるなどの工夫を施し、これまでの1,000倍以上の高感度化を実現しました。

図1は、今回試作した近赤外分光装置の外観です。この分光装置を用いて測定した、東北大学で作製された塩害コンクリート試料の近赤外領域でのスペクトル(図2)によると、参考文献<sup>[1]</sup>

に示された塩害による影響が明確に検出されていることがわかります。

## SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

この研究は、内閣府「SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) / インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の研究テーマの一つとして、スタートを切りました。今後は共同研究の相手先企業・大学との連携のもとで、化学的劣化が進行したコンクリートのインフラ遠隔診断技術を開発し、実用化を目指していきます。

### 参考文献

[1] 金田 尚志 他：生産研究, 58巻3号 277-280 (2006).

電子光技術研究部門  
光センシンググループ  
ふるかわ ひろみつ  
古川 祐光  
ふじまき まこと  
藤巻 真

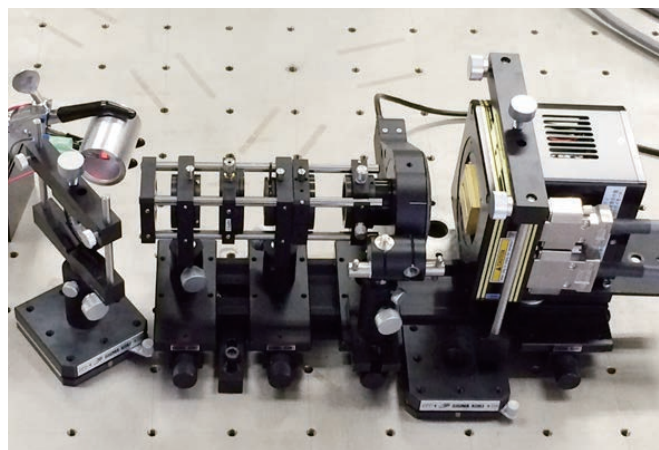


図1 開発した高感度近赤外分光装置

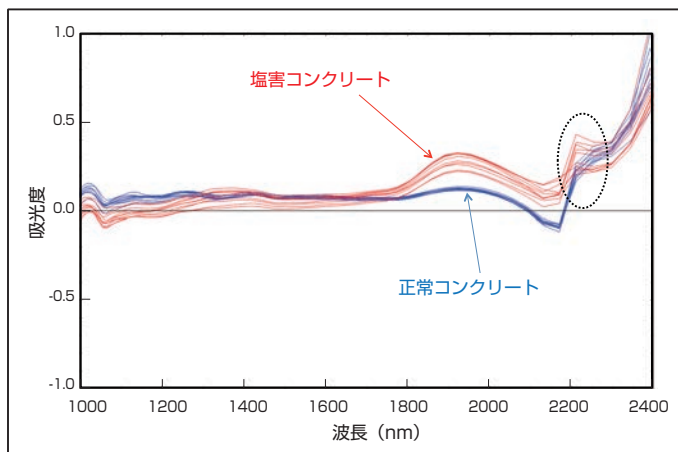


図2 正常なコンクリート供試体と、塩害を模擬したコンクリート供試体(東北大学・皆川准教授提供)の近赤外領域でのスペクトル



## 鉛を使わない AE センサーによるインフラ診断技術の開発

### AE センサーによるインフラ診断の現状

AEとはAcoustic Emission（アコースティック・エミッション）の略で、直訳すると「音響の放出」となり、材料が破壊されて亀裂が生じる時やその進展時に放出される音波を指します。物体が壊れる時はもちろんですが、微小レベルの亀裂やクラックが生じるような壊れ始めの段階からもAEは発生するため、AEの検知により材料や構造物の欠陥や破壊を早期に発見することができます。

橋やトンネルなどのインフラを構成するコンクリートや金属から発生するAE信号を検知・解析する技術は、社会インフラの健全性を診断する技術として注目されています。アメリカのフィラデルフィア市から対岸のニュージャージー州に渡るベン・フランクリン橋やニューヨーク市のマンハッタン橋などの吊り橋ケーブルのモニタリング、海底油田の石油掘削用構造物の腐食疲労亀裂モニタリングなど、世界各地でAE信号による健全性評価のための連続モニタリングが行われています

(図1)。

AE信号は周波数範囲が数十キロヘルツから数メガヘルツまでの音波なので周波数が高く、直接耳では聞こえません。そのため検出には圧電素子を使ったAEセンサーを用います。しかし、現在市販されているAEセンサーの圧電素子として使われているPZT (Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>)には、有毒な鉛が60重量%以上含まれています。鉛の使用は欧州のRoHS指令により制限されており、環境中で長期間安全に使用するために、鉛を含まないAEセンサーの開発が望まれています。

### 鉛フリー AE センサーの開発と実証

産総研では、PZTと同等の圧電特性を維持しつつ、鉛を使わない新しい圧電材料を開発しました<sup>[1]</sup>。この鉛フリー圧電材料を使い、さまざまな周波数帯に対応できるように複数の鉛フリーAEセンサーを開発しました。図2は約150kHzの共振周波数をもつように設計された産総研が開発した鉛フリーAEセンサーと市販の鉛系AEセンサーの感

度の周波数特性です。鉛フリーAEセンサーはより広い周波数帯域で高い感度を示すことがわかります。現在、この鉛フリーAEセンサーを道路橋に取り付け、実証試験を行う計画を進めています。

### 今後の展開

AEセンサーによるインフラ診断では、得られた信号から構造物の劣化に結び付く信号を解析して正確に劣化を検出する技術の確立がとても重要です。この課題に対し、情報技術研究部門と共同で実証試験を通じて取り組んでいます。またAEセンサーは機械や配管の劣化の検出にも有効と考えられています。今後、安心と安全を目指したさまざまな用途への応用が期待されます。

### 参考文献

[1] 王 瑞平：産総研 TODAY, 14 (7), 11, (2014).

電子光技術研究部門  
酸化物デバイスグループ  
主任 王 瑞平  
きくち なおと  
菊地 直人

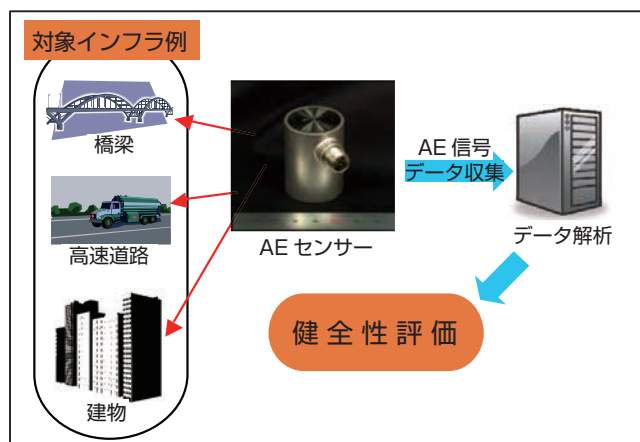


図1 AEによるインフラ健全性診断のイメージ

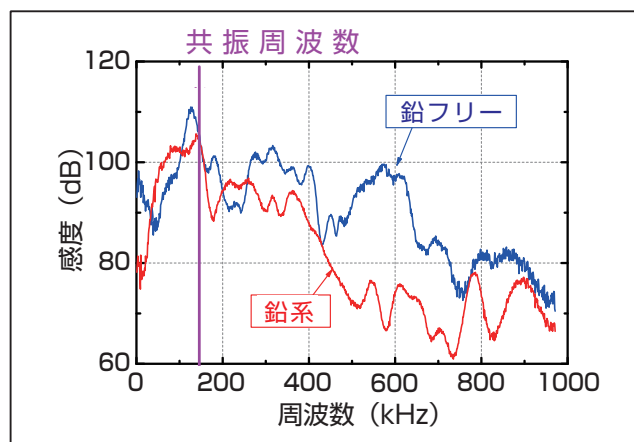
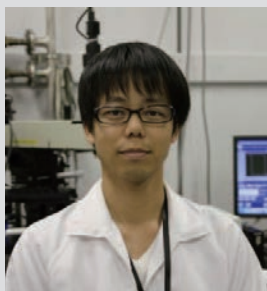


図2 開発した鉛フリーAEセンサーと鉛系AEセンサー（市販品）の感度特性

# 超低消費電力の磁気書き込み技術

## 高周波電圧による磁化反転アシスト効果を初めて実証



野崎 隆行

のぞき たかゆき  
nozaki-t@aist.go.jp

ナノスピントロニクス研究センター  
電圧スピントロニクスチーム  
主任研究員  
(つくばセンター)

学生時代に「磁石がエレクトロニクスを変える！」との謳い文句に魅せられて「スピントロニクス」の世界に飛び込み早 15 年。不揮発性固体磁気メモリなどの実用デバイスへの期待だけでなく、電子スピンに関連したさまざまな新物理現象が発見されつつしているのもこの分野の魅力です。最近では、スピントロニクスデバイスの超低消費電力駆動化を目指した、電圧による新しいスピントロニクス制御技術の確立を夢見て日々取り組んでいます。

### 関連情報：

● 共同研究者

荒井 礼子、薬師寺 啓、田丸 慎吾、久保田 均、今村 裕志、福島 章雄、湯浅 新治 (産総研)

● 参考文献

T. Nozaki et al.: *Appl. Phys. Exp.*, 7, 073002 (2014).

● プレス発表

2014年6月30日「超低消費電力な磁気書き込みを実現する新技術を開発」

● この研究開発は、独立行政法人 科学技術振興機構の委託事業「革新的プロセスによる金属/機能性酸化物複合デバイスの開発 (平成 21 ~ 27 年度)」、および産総研戦略的融合研究事業「高電力効率大規模データ処理イニシアチブ」による支援を受けて行ったものです。

### 磁気記録分野における課題

磁気記録の高密度化を図るためには熱ゆらぎで情報が消えないように数十nmの微小磁石でも磁化の向きを強固に維持できる強い磁石を使う必要があります。一方で、これは情報の書き換え時に磁化を反転させるため大きな磁界（エネルギー）を必要とすることを意味します。この問題を解決する方法として、書き込みのときだけ磁石材料に外部から高周波磁界をかけて磁化の歳差運動を引き起こし、磁化反転に必要なエネルギーの山を見かけ上低くする方法が提案されています。これにより、反転に必要な磁界を低減できますが、強い高周波磁界を作り出すにはやはり大電流が必要のため消費電力の増大が問題となります。

### 電流不要の磁化反転技術

私たちはこれまで、超薄膜金属磁石材料に高周波電圧をかけて、磁気異方性を振動的に制御することで磁化の歳差運動を誘起する技術を開発してきました。電圧による歳差運動の誘起は電流を流す必要がないため、大幅な駆動電力の低減が期待されます。

今回私たちは、図1に示した垂直磁化型のトンネル磁気抵抗素子を用いて、電圧による反転磁界低減効果の原理実証を試みました。この素子の磁化参照層には垂直磁化型の鉄薄膜、絶縁層には酸化マグネシウム、磁化フリー層は膜厚1.8

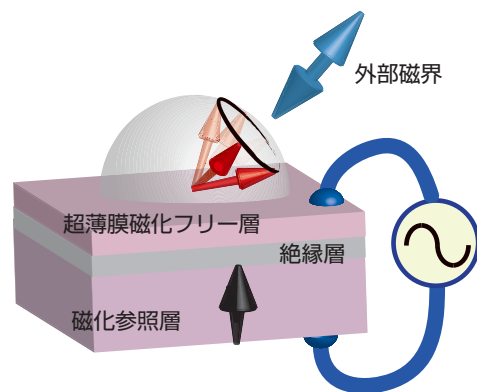


図1 この実験で用いた電圧駆動型トンネル磁気抵抗素子の模式図

高周波電圧をかけると超薄膜金属磁石からなる超薄膜磁化フリー層の磁化（赤矢印）の歳差運動が引き起こされ、磁化の反転に必要な磁界が低減する。

nmの鉄を主成分とした垂直磁化型の金属合金磁石薄膜を用いました。この素子に実効値315 mVの高周波電圧をかけながら、外部磁界により磁化フリー層の磁化を反転させて、反転に要する磁界（反転磁界）の印加電圧周波数依存性を調べました。反転磁界の評価は、磁化参照層の磁化（黒矢印）と超薄膜磁化フリー層の磁化（赤矢印）の相対角度によって素子の抵抗値が変化するトンネル磁気抵抗効果を利用して行いました。その結果、図2に示すように、電圧周波数1 GHz付近において、高周波電圧をかけない場合（青破線）と比べて80%以上磁化反転磁界を低減させることに成功しました。

これまでのマイクロ波アシスト磁化反転では、数~数十mAの大きな電流を流す必要がありましたが、今回用いたトンネル磁気抵抗素子は、抵抗が大きい素子を通る電流は0.1 mA以下です。そのため、電流による不要な電力消費を数十分の1以下に抑制しながら磁化反転を促進できることが明らかとなりました。

### 今後の予定

今後はより高い垂直磁気異方性をもつ材料系の検討とともに、局所的に高周波電圧（電界）をかけるための新しい磁気記録アシスト用ヘッドの開発により、数~数十nmサイズの微小磁石について電圧磁化反転アシスト効果の実証を目指します。

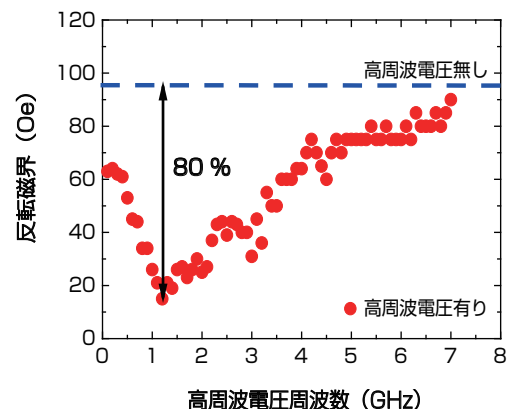


図2 電圧誘起共鳴ダイナミクスによる反転磁界低減効果の例

青点線が磁界のみによる反転磁界。約 1 GHz の高周波電圧印加により最大で約 80 % の反転磁界の低減が確認された。



# 高精度な長尺マグネシウム合金細管押出し

## 生分解性マグネシウムステントの開発を可能に



花田 幸太郎

はなだ こうたろう  
hanada.k@aist.go.jp

先進製造プロセス研究部門  
難加工材成形研究グループ  
主任研究員  
(つくばセンター)

塑性加工を利用したマグネシウム合金の加工技術に関する研究と医療分野への応用展開を行っています。生分解性をもつステントや骨インプラントなど、マグネシウム合金ベースの低侵襲医療デバイスの実用化を目指しています。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

井上 正士、上田 祐規（不二ライトメタル株式会社）、松崎 邦男（産総研）

#### ● 参考文献

松崎 邦男 他：素形材，54(3)，27-32 (2013)。

松崎 邦男 他：塑性と加工，53(621)，30-34 (2012)。

#### ● 用語説明

\* ポートホールダイス：一般的に中空材の押出し成形に使用される押出しダイス。材料流れを分割するためのホールとマンドレルが一体となった構造をもつ。

\*\* マンドレル：中空材の中空部分を成形するための金型部品。

#### ● プレス発表

2014年6月18日「高精度な長尺マグネシウム合金押出し細管の開発に成功」

### マグネシウムへの期待と課題

マグネシウムは実用金属の中では最軽量で、細胞毒性が低く、生分解性をもっており、生体材料、特に生体吸収性ステントの基材として期待されています。しかし、マグネシウムはその結晶構造に起因する塑性加工性の低さから、精密な長尺細管を作製することが困難でした。一般的に長尺中空管の成形加工法としてはポートホールダイス\*を用いた押出し加工が有効とされていますが、薄肉化が難しい上、組織が不均一になるという問題があります。そのため、上記問題を解決するマグネシウム合金の高精度な長尺押出し細管の製造法が求められています。

### ポートホールダイスを用いない押出し技術

私たちは、ポートホールダイスを用いず、押出しダイスとマンドレル\*\*のギャップに連続的な材料流れが生じるような型構造を採用し、加工条件や潤滑剤の最適化を図ることによって、肉厚誤差が±4%以下でメートル級の高精度長尺マグネシウム合金押出し細管の開発に成功しました（図1）。今回、市販合金（AZ合金、AM合金）、難燃性合金（AZX合金）、高強度合金（KUMADAI耐熱Mg合金）、生体合金について、管径3.0～3.4mmの長尺押出し細管の作製を試み、いずれも管の肉厚誤差が±4%より小さく、

内外面の表面粗さはRa 5 μm以下であることが確認できました。また、不純物などの巻き込みもなく均一な材料組織が得られていました（図2左）。高精度で管径が小さいMg合金押出し細管が得られるようになったことで、これまで困難であった小径（2mm以下）の長尺精密細管の作製も後加工によって可能となりました。

一方、ポートホールダイスを用いて作製した押出し細管断面（図2右）には、押出し中にポートホール部で材料流れが分割、その後ダイス内部で合流（接合）することによって生じる溶着線が確認されました。また、溶着部における結晶粒などの材料組織に不均一さが認められました。

今回開発したマグネシウム合金の押出し技術は、合金組成を問わず、これまでの手法に比べて少ない工程で材料特性の安定した長尺精密細管の作製が可能となるため、軽量部材だけでなく、ステントのような高い精度と信頼性が必要とされる生分解性医療デバイスの製造技術として活用が期待されます。

### 今後の予定

今後は、生体への応用を目的としたマグネシウム合金とその長尺ステント管の開発を進めていくとともに、動物実験を通して生分解性マグネシウムステントの効果を実証していく予定です。



図1 開発した押出し技術により作製した長尺マグネシウム合金押出し細管

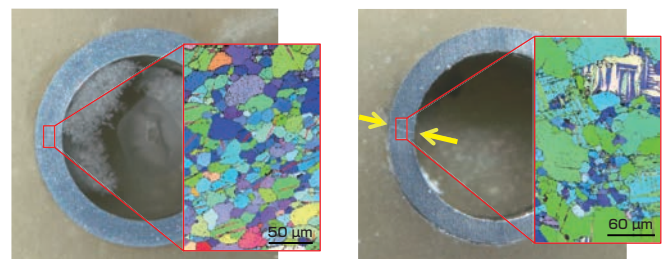
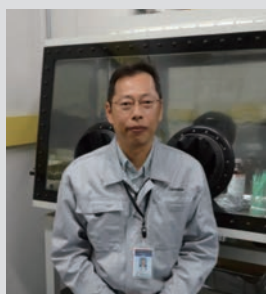


図2 作製したマグネシウム合金細管の断面組織

左：開発した押出し技術によるもの、右：ポートホールダイスによるもの、矢印は溶着線。

# ディーゼル酸化触媒の白金使用量低減化技術

## 大量製造に適した貴金属ナノ粒子触媒調製方法を開発



### 三木 健

みき たけし  
miki-t@aist.go.jp

サステナブルマテリアル研究  
部門  
物質変換材料研究グループ  
主任研究員  
(中部センター)

ゾル・ゲル法などの液相プロセスを基本とする触媒材料の調製方法を主に研究しています。開発した方法により、触媒材料の微構造制御（触媒成分の粒子径、担体の比表面積、細孔径、細孔容積など）を行い、触媒の性能や耐久性の向上を目指しています。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

多井 豊、尾崎 利彦、粕谷 亮（産総研）

#### ● 用語説明

\*パラジウム：白金族元素に分類される貴金属。白金と同様に化学的安定性が著しく高い。

#### ● プレス発表

2014年7月3日「触媒の性能を維持して白金族使用量を50%低減」

●この研究開発は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構「希少金属代替材料開発プロジェクト」助成のもとに行われたものです。

### ディーゼル酸化触媒における白金使用量低減の必要性

貴金属である白金の需要の半分近くは自動車排ガス浄化触媒で占められています。今後、世界的な自動車排ガス規制の強化と自動車保有台数の増加の予想に加えて、白金の供給量の大幅な増加が期待できないことから、将来的な供給不足が懸念されています。自動車排ガス触媒の中でも、特にディーゼル酸化触媒では、エンジンの排気量が多いことと熱劣化による触媒性能低下を補償するために白金が多量に使用されています。そのため、ディーゼル酸化触媒の白金使用量を低減することが喫緊の課題であり、触媒である白金粒子の耐熱性向上が白金族使用量低減の鍵となります。

### 表面ポリオール還元法の開発

私たちはこれまでの研究で、白金とパラジウム\*を複合化したナノ粒子触媒の耐熱性が高いことを明らかにしています。しかし、このナノ粒子触媒は、溶液中で貴金属イオンを還元して得られるナノ粒子を触媒担体に分散担持して調製するため、プロセスが煩雑となり大量製造に適していませんでした。そのため、大量製造に適した製造プロセスとして、担体表面にナノ粒子を直接分散担持する表面ポリオール法を新たに開発しました。この方法では、担体表面上に貴金属塩とポリオール還元剤の混合溶液を薄く

コーティングし、これを加熱することによりポリオールが貴金属塩を還元し、貴金属ナノ粒子が担体表面上に析出されます。最後に、残存するポリオール還元剤などを燃焼除去すると、貴金属ナノ粒子担持触媒が調製できます。

ポリオール還元後の白金触媒を透過電子顕微鏡 (TEM) で観察したところ、アルミナ担体表面に粒子径のそろった白金ナノ粒子 (3 nm程度) が直接析出していることが確認されました (図1)。さらに、この表面ポリオール還元法により調製した白金-パラジウム複合ナノ粒子触媒は、白金-パラジウムを50%低減させているにもかかわらず、高温での耐熱試験後に従来法 (含浸法) で調製した触媒と同等以上の炭化水素浄化性能を示しました (図2)。

今回開発した触媒調製法は、これまでの実用触媒の製造プロセスに近いことから、実用化に求められる大量製造も可能と考えられます。この技術により調製した触媒をディーゼル酸化触媒として用いることができれば、耐熱性向上による貴金属使用量の大幅な削減が期待できます。

### 今後の予定

今後はプロセス条件の最適化などにより、触媒の耐熱性や性能のさらなる向上を図ります。これにより、実用に耐えうる性能の実現を目指すとともに、実用化に向けた量産技術を確認します。

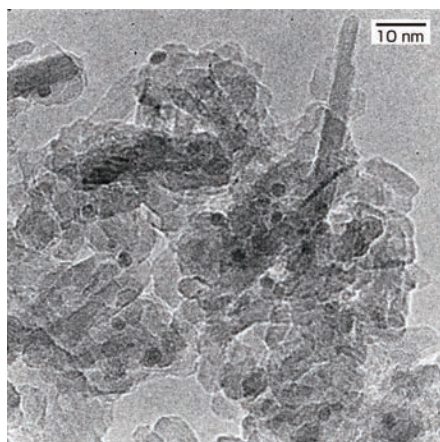


図1 アルミナ担体上に析出した白金ナノ粒子のTEM写真

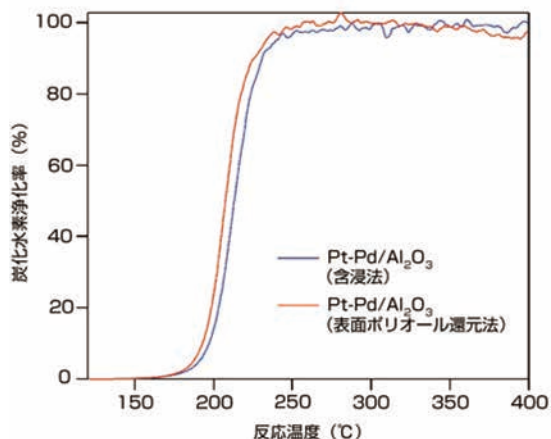


図2 含浸法と表面ポリオール還元法により調製した触媒の高温耐熱試験後の炭化水素浄化性能



# 厚さ数nmの板状有機ナノ粒子

## 薄膜デバイス用ナノ粒子をマイクロミキサーで連続製造



竹林 良浩

たけばやし よしひろ  
y-takebayashi@aist.go.jp

ナノシステム研究部門  
ナノケミカルプロセスグループ  
主任研究員  
(つくばセンター)

マイクロ流路を用いて混合状態や反応環境を迅速・精密に制御し、高温・高圧領域を含めた溶媒物性の変化に基づいて、ナノ材料の製造や光機能性分子の合成を連続的・効率的に進めるためのプロセス技術の開発や、物性測定・推算手法の研究を行っています。

### 関連情報：

- 共同研究者

池水 大、高 秀雄（コニカミノルタ株式会社）、陶 究、依田 智（産総研）

- 用語説明

\* 動的光散乱法：ナノ粒子が分散している液にレーザー光を当て、散乱される光の強さの時間的な変化を測定することで、サイズの分布を知る方法。

\*\* 原子間力顕微鏡：微細な針でなぞることにより、試料表面の微細な凹凸形状を観察する装置。

- プレス発表

2014年5月23日「厚さ数ナノメートルの有機半導体材料の板状ナノ粒子を製造」

### 有機半導体ナノ粒子への期待と課題

近年、有機半導体を用いた発光素子（有機EL）や太陽電池など、軽量でフレキシブルな有機薄膜デバイスが注目を集めています。これらのデバイスの高性能化のためには、有機半導体材料をできるだけ薄く成膜し、機能に応じて積層する技術が望まれています。しかし、真空蒸着や溶液塗布など既存の製造手法は、高コストであったり、積層が難しいなどの問題を抱えていました。これに対して、有機半導体をナノ粒子にし、それが分散した液を用いて成膜する手法が提案されていますが、数十ナノメートルよりもサイズの小さなナノ粒子を量産することは困難でした。

### マイクロミキサーで板状ナノ粒子を連続製造

有機化合物をナノ粒子化する方法の一つに再沈法があります。これは、有機化合物の溶液にその有機化合物が溶けない液体（貧溶媒）を混合し、溶けきれなくなった有機化合物を固体ナノ粒子として析出させる方法です。今回私たちが開発した製造方法では、図1に示すように、マイクロミキサーとよばれる0.1～1 mm程度の内径をもつ流路を用いて、有機半導体の溶液と貧溶媒を高速かつ均一に混合します。これにより、有機半導体ナノ粒子を連続的に製造できます。

この手法により、有機半導体化合物N,N'-ピ

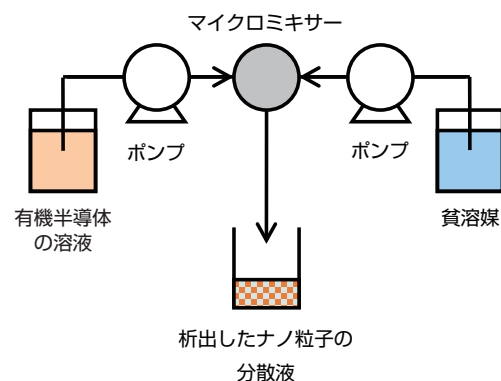


図1 有機半導体の板状ナノ粒子の連続製造方法  
マイクロミキサーを用いて有機半導体化合物の溶液と貧溶媒を急速に混合することによりナノ粒子が析出する。

ス（1-ナフチル）-N,N'-ビスフェニルベンジジン（NPB）をナノ粒子化しました。図2に、得られたナノ粒子の分散液の写真を示します。レーザー光を当てると、光が散乱されて光路が見えることから、ナノ粒子が存在することがわかります。ナノ粒子の濃度が薄ければ、界面活性剤などを使用せずに、数ヶ月間安定に分散させることができます。

このナノ粒子のサイズを動的光散乱法\*により測定したところ、60ナノメートルを中心とする分布をもつことが確認できました。さらに、粒子の形状を調べるため、分散液を平滑なマイカ（雲母）の基板の上に滴下し乾燥させ、原子間力顕微鏡\*\*で観測したところ、直径が約60ナノメートルの円形であるのに対し、厚さは2～3ナノメートルととても薄く、図2に示すように円板に近い形状であることがわかりました。こうした分散液を塗布し、薄い板状ナノ粒子を積み重ねて薄膜を形成する新たな成膜プロセスが期待されます。

### 今後の予定

現在、得られたナノ粒子分散液を用いた成膜実験を進めています。今後は、成膜に適した粒子サイズの制御や、高濃度の分散液を得るための条件の最適化を目指すとともに、有機薄膜デバイスとしての性能評価を進めます。

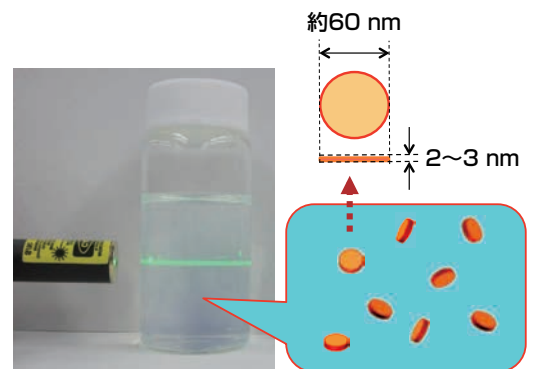


図2 有機半導体の板状ナノ粒子を含む分散液と、ナノ粒子の形状の模式図  
ナノ粒子によりレーザー光が散乱されて光路が見える。

# 常温大気中で金属同士を接合する技術

## 装置の大幅な簡略化と製造効率の向上に期待



### 倉島 優一

くらしま ゆういち (左)  
y-kurashima@aist.go.jp

集積マイクロシステム研究センター  
大規模インテグレーション研究チーム  
研究員  
(つくばセンター)

これまでの精密加工の研究を通して、原子レベルで表面の加工・計測を行ってきました。こうした経験を接合の分野に活かすことで今回の成果となりました。産総研での技術開発を通してMEMSの市場規模を拡大させ日本の産業の発展に貢献していきたいと思っております。

### 高木 秀樹

たかぎ ひでき (右)  
takagi.hideki@aist.go.jp

所属は同上  
研究チーム長  
(つくばセンター)

集積化センサーの大量生産を目指して、MEMSの製造やパッケージング、集積回路などの異種デバイスとの集積化について、低温、大面積、低コストをキーワードにプロセス開発を進めています。

### 関連情報：

#### ● 参考文献

Y. Kurashima et al.: *Microelectron. Eng.*, 129, 1 (2014).

#### ● プレス発表

2014年6月26日「常温大気中で金属同士を接合する技術を開発」

●この研究開発は、政府の最先端研究開発支援プログラムにより助成されて行ってきたものです。

### MEMSデバイスパッケージングにおける課題

MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) デバイスのパッケージングでは、メッキにより形成された封止枠やパンプ電極によるウエハー同士の接合が用いられていますが、メッキにより形成された表面は粗さが大きいため、300℃以上の高温で金属を軟化させながらプレスして、金属の接合面を変形・密着させることが必要です。このような接合方法では、加熱・冷却工程に時間がかかるためスループットが低下したり、冷却後に熱膨張係数の異なる材料の間で残留熱応力が発生したり、あるいはMEMSデバイスの特性が劣化したりするなど、さまざまな問題がありました。

### 犠牲層薄膜除去により超平滑表面を形成

そこで私たちは今回、超平滑メッキ表面を形成し、常温の大気中で金属同士を高強度接合するプロセス技術を開発しました。今回開発したプロセスでは、まず超平滑に研磨されたシリコンウエハーなどの仮基板上に、薄い犠牲層膜を成膜し、その上に厚膜金メッキパターンを形成します(図1(a))。次に、この金メッキパターンと封止基板の金薄膜とを熱圧着法により接合します(図1(b))。その後、薬液に浸して、犠牲層だけを選択的に溶解すると、封止基板には、表面が超平滑な金メッキパターンが転写さ

れます(図1(c))。そして、この超平滑メッキ表面とMEMS基板の金属薄膜を常温大気中で接合します(図1(d))。ここで、仮基板の犠牲層薄膜およびMEMS基板の金属薄膜は、スパッタ成膜により形成されておりとても薄いため、平滑な表面を維持しています。

図2に、これまでの金メッキによる粗い表面と、今回開発したプロセスによる超平滑表面を、それぞれ常温大気中、同一条件で接合した際の接合強度を示します。前者は平均接合強度が30MPaととても弱く接合面で剥離しているのに対して、後者は平均で256MPaと大きな接合強度が得られ、シリコンウエハー母材からの破断(図2(b))が確認されました。これは接合界面での密着がとても良好で強い接合であることを意味しています。

これまでの接合プロセスでは真空環境や加熱機構を備えた大規模な接合装置が必要でしたが、今回開発した接合技術は、常温の大気中で接合できるため、装置の大幅な簡略化と製造効率の向上が期待できます。

### 今後の予定

今後、気密封止性を評価するとともに接合部の金の使用量を低減させるプロセスの開発も計画しています。

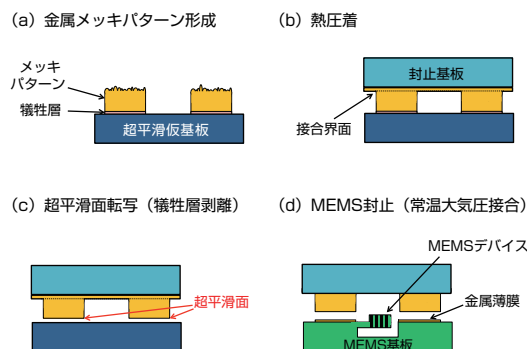


図1 開発した接合プロセス

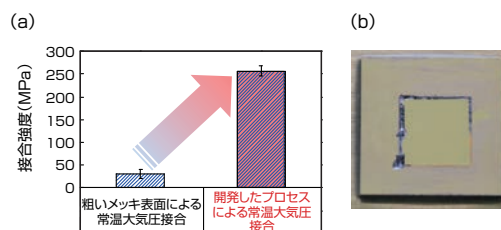


図2

(a) 常温接合されたサンプルの接合強度(粗いメッキ表面と開発したプロセスとの比較)  
(b) 開発した接合プロセスにより接合された際の接合界面(母材部より破断)



## 小型バイオ医薬品創薬を支援するリサーチツール

### 低親和性ペプチドを高親和性タンパク質に変える分子創製技術

国際公開番号  
WO2014/103203  
(国際公開日：2014.7.3)

研究ユニット：

バイオメディカル研究部門

#### 適用分野：

- バイオ医薬品開発
- 検査診断薬開発
- 研究試薬開発

#### 関連情報：

- 参考文献

H. Watanabe *et al.*: *J. Biol. Chem.*, 289, 3394 (2014).

Patent Information のページでは、産総研所有の特許で技術移転可能な案件をもとに紹介しています。産総研の保有する特許等のなかにご興味のある技術がありましたら、知的財産部技術移転室までご連絡なくご相談下さい。

#### 知的財産部技術移転室

〒305-8568

つくば市梅園 1-1-1

つくば中央第2

TEL：029-862-6158

FAX：029-862-6159

E-mail：aist-tlo-ml@aist.go.jp

#### 目的と効果

この発明は、がん抗原などの標的に対して高い親和性と特異性を示す小型の人工タンパク質を創製する技術です。25～60アミノ酸からなる短いポリペプチドでありながら安定な立体構造を形成する能力を付与できるので、安価な製造と高い標的識別能を両立させることが可能です。抗体代替分子創製技術の一つに相当します。この発明の特徴は、あたかも粘土細工のように部分を段階的に組み上げていくことで、低親和性ペプチドを高親和性タンパク質に変化させる点です。バイオ医薬品や検査診断薬開発のためのリサーチツールとしての活用を想定しています。

#### 技術の概要

抗体代替分子へのアプローチの一つに、天然に存在するタンパク質の分子表面に低親和性のペプチドを“移植”して抗体様の機能を発揮させる方法があります(図1左)。分子グラフティング法と呼ばれるこの方法では、利用するタンパク質骨格の選択が重要です。適切な骨格を選択できないと、目指す高親和性タンパク質を得ることができません。これに対し、今回開発したアダプティブアセンブリ法では、事前にタンパク質骨格を選択する必要がありません(図1右)。まず、低親

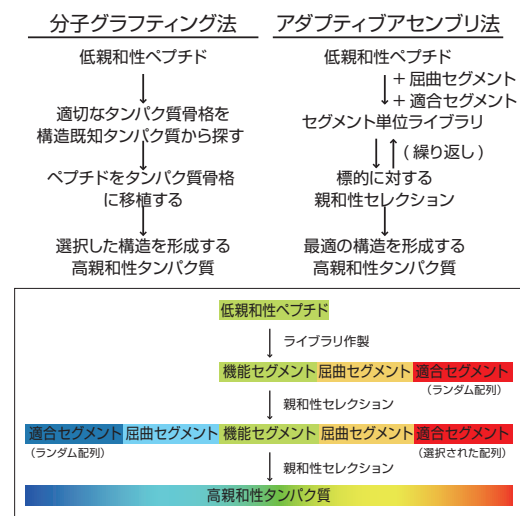


図1 アダプティブアセンブリ法の概要

従来法(左)とこの発明(右)のコンセプト比較、および作業工程の例(下)

和性のペプチドに、U字型の構造を自発的に形成する屈曲セグメントとランダムアミノ酸配列からなる適合セグメントを連結したポリペプチドライブラリを用意します。次いで、進化分子工学の技術(たとえばファージディスプレイなど)を利用して標的に対する親和性セクションを行います(図1下)。セグメント単位の伸長と親和性セクションを複数回繰り返すことで、低親和性ペプチドを活性型コンフォメーションに固定することができる最適のタンパク質骨格をみつらえることができます(図2)。

#### 発明者からのメッセージ

世界の医薬品売上高ランキングを見ると、バイオ医薬品がトップ10のうちの7品目を占めています(2012年)。また、上位50品目に占めるバイオ医薬品の売上比率も39%にまで増加しています。この成長を牽引しているのが抗体医薬品です。しかし、抗体は約150kDaの巨大分子であるため問題も多いのです。そこで現在、次の世代にむけた低分子量バイオ医薬品の開発が注目されています。この発明が創薬基盤技術として活用され、新たな医薬品誕生の契機となることを期待しています。

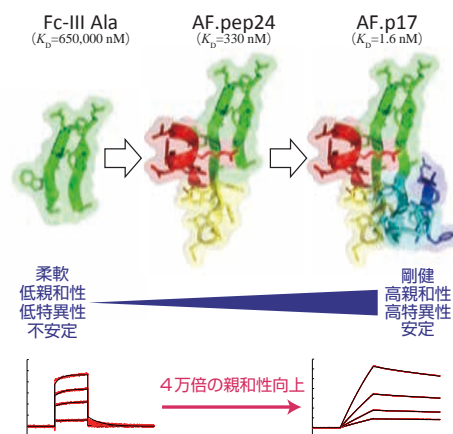


図2 アダプティブアセンブリ法で作製した小型人工タンパク質

標的に対して低い親和性を示すペプチド(Fc-III Ala)を起点に2段階の伸長/選択工程を行い、親和性が約4万倍向上した小型人工タンパク質AF.p17(54アミノ酸)の創製に成功した。X線結晶構造解析より、付加した屈曲セグメントと適合セグメントが機能セグメントのコンフォメーションを活性型に固定していることが証明された。

# MEMSパッケージングのための極微小リーク検査

## 世界最小 $10^{-14}$ Pa·m<sup>3</sup>/sのリーク量が校正可能に

国際公開番号  
WO2014/080798  
(国際公開日: 2014.5.30)

研究ユニット:

計測標準研究部門

### 適用分野:

- 漏れ検査
- MEMS
- 真空封止

### 目的と効果

MEMSパッケージ、水晶振動子・各種半導体・赤外線センサーパッケージなどにおいては、 $10^{-13}$  Pa·m<sup>3</sup>/sオーダーというとても微小なヘリウムリーク検査が要求されています。従来技術では、このような微小なリーク量を測定することは困難で、世界最高の校正能力があるアメリカ標準研究所 (NIST) でも、 $2.5 \times 10^{-10}$  Pa·m<sup>3</sup>/sまでの校正しかできていません。この発明は、要求値より優れた $10^{-14}$  Pa·m<sup>3</sup>/sオーダーのリーク量の測定・校正を実現するものです。

### 技術の概要

この発明の実施例を図1に示します。この発明は2つの部分から構成されます。図1の左部分は、校正用極微小リークを発生する部分です。分子流条件を満足した時、オリフィス（またはキャピラリー、多孔質体）を流れるリーク量は、分子流コンダクタンス（一定値）と上流圧力の積で表されます。膨張法を用いて、上流圧力を低圧まで正確に求めることで、 $10^{-14}$  Pa·m<sup>3</sup>/sオーダーの校正用参照リークを $\pm 15$

%以下の精度で発生させることができました。

図1の右部分は、発生した $10^{-14}$  Pa·m<sup>3</sup>/sオーダーのリーク量を計測する部分です。バルブで封止した検査室を、非蒸発ゲッターポンプ (NEGポンプ) で排気し、極微小なヘリウムリークを導入します。NEGポンプは、水蒸気などの残留気体を排気できますが、ヘリウムは排気できないため、検査室内のヘリウム分圧が徐々に上昇します。その上昇速度から極微小なヘリウムリーク量を計測しました。図2に、この技術を用いて作成した検量線を示します。

### 発明者からのメッセージ

真空封止したMEMSにおいては、極微小リーク検査が難しいことから、性能を長期間保証することが困難でした。この技術を用いると、 $10^{-14}$  Pa·m<sup>3</sup>/sオーダーのリーク量の校正を、現場で行うことができるので、信頼性の高いリーク検査が可能です。試験時間も数百秒程度と比較的短いので、実用的なリーク検査装置に応用されることを期待しています。

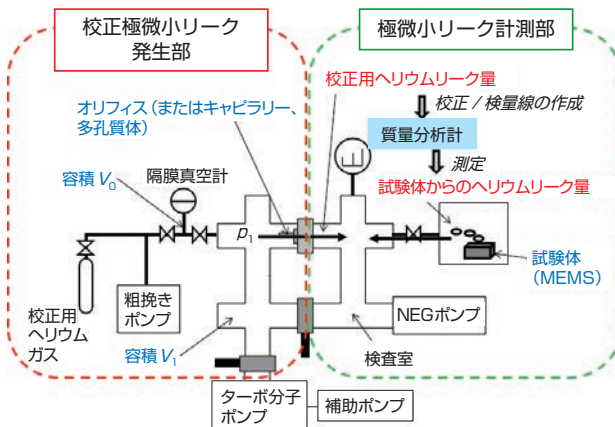


図1  $10^{-14}$  Pa·m<sup>3</sup>/sオーダーのリーク量測定・校正の例  
検査室に校正用ヘリウムリーク量を導入して、質量分析計の検量線を作成する。次に、試験体からのヘリウムリーク量を測定し、検量線を用いて定量化する。

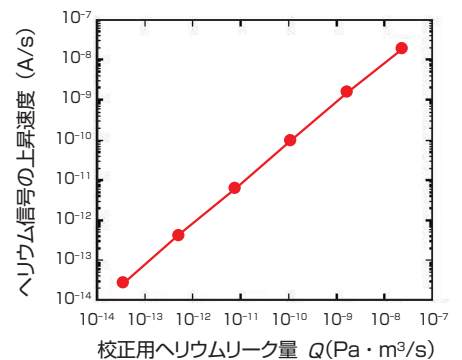


図2 作成した検量線  
 $10^{-14}$  Pa·m<sup>3</sup>/sオーダーまで、測定・校正が可能であることが確認されている。

Patent Information のページでは、産総研所有の特許で技術移転可能な案件をもとに紹介しています。産総研の保有する特許等のなかにご興味のある技術がありましたら、知的財産部技術移転室までご連絡なくご相談下さい。

知的財産部技術移転室  
〒305-8568  
つくば市梅園 1-1-1  
つくば中央第2  
TEL : 029-862-6158  
FAX : 029-862-6159  
E-mail : aist-tlo-ml@aist.go.jp



## 重水減速<sup>252</sup>Cf中性子標準の開発

### 線量管理のための放射線作業場を模擬した中性子校正場



増田 明彦

ますだ あきひこ  
aki-masuda@aist.go.jp

計測標準研究部門  
量子放射科  
放射能中性子標準研究室  
研究員  
(つくばセンター)

中性子標準の研究開発や維持・供給を行っています。中性子発生・計測技術の高度化に取り組みつつ、中性子標準の高エネルギー領域への拡張と利用現場への適応化を軸として活動しています。

#### 関連情報:

● 共同研究者

原野 英樹、松本 哲郎 (産総研)

● 注釈・用語説明

\* 中性子フルエンス: 単位面積を通過する中性子数を表す量で、単位は  $\text{cm}^{-2}$ 。

\*\* 中性子線量当量: 中性子による生体への生物学的影響の大きさを表す量で、単位は Sv。

\*\*\* 例えば ISO 8529-1。

#### 放射線作業場に対応する中性子標準

中性子は原子力関連、医療、各種工業などの現場で利用されています。産総研ではこれらの現場で使われる検出器の特性評価や作業者の線量管理に必要な中性子フルエンス\*の国家標準を整備しています(図1)。

原子力関連施設では、核燃料から核分裂で放出された中性子は構造物や遮へい材による散乱を経てから人が立ち入る作業場に到達するため、作業場での中性子のエネルギーは核分裂時よりも低エネルギー側に幅広く分布することが知られています。中性子のエネルギー分布が異なると、検出器の感度や中性子線量当量\*\*への換算係数も異なるため、線量計の表示が必ずしも正確にならない場合があります。そこで、核燃料と同様に核分裂反応で中性子を放出する<sup>252</sup>Cf(カリフォルニウム)中性子源を用い、線源を重水の減速材で覆うことで作業場のエネルギー分布を模擬した中性子の校正場、「重水減速<sup>252</sup>Cf中性子標準」を開発しました。<sup>252</sup>Cf中性子源単体による校正と相補的に利用することで、作業環境で線量計がより適切に運用できると期待されます。この仕組みによる校正方法は、線量計メーカーや利用現場から校正に用いるための標準を求められてきたものであり、国際規格\*\*\*にも定められて

ています。

#### 重水減速<sup>252</sup>Cf中性子場の構築と評価

直径30 cmのステンレス製の重水槽と熱中性子を取り除くためのカドミウム殻とで<sup>252</sup>Cf線源を覆った線源アセンブリを構築しました。校正の基準となる中性子フルエンスと線量評価に影響するエネルギー分布は、モンテカルロ計算コードによる中性子輸送計算で導出しました。中性子の精密測定では容器や支持台などの周辺構造物やわずかな隙間などが影響を及ぼすため、これらの詳細体系を計算に組み込むことで計算の精度を向上させました。その上で、ボナー球スペクトロメーターを用いた実測による検証を行いました。また、実験室内で散乱した中性子の影響を評価し補正するためには、線源アセンブリから直接届く中性子を遮り、散乱線のみに対する測定を行います(シャドーコーン法)。通常の線源とは異なり線源アセンブリが大きいいため、遮へい効果をシミュレーションで担保しつつ、既存の設備環境に対して現実的な重さの高密度ポリエチレン製のシャドーコーンを設計しました。

実際の線量計での試験(図2)を経て、外国の国家計量標準機関との国際比較に参加して、国際的な同等性の検証も行っています。

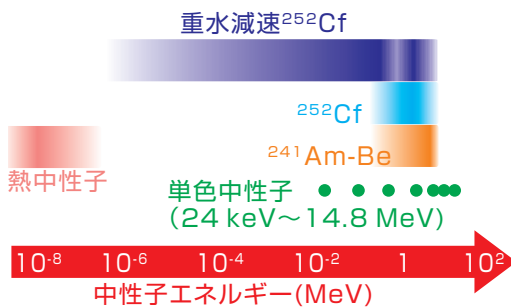


図1 中性子フルエンス標準のエネルギー領域  
中性子のフルエンス平均エネルギーは、<sup>252</sup>Cfの2.13 MeVに対して重水減速<sup>252</sup>Cfでは約0.55 MeVとなる。

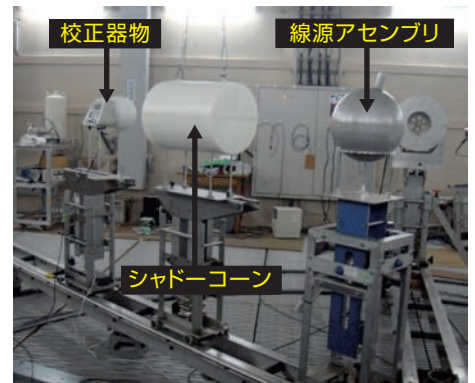


図2 重水減速<sup>252</sup>Cf中性子場と校正時の配置  
図はシャドーコーンを置いた散乱線測定中のもの。散乱線の寄与割合は検出器特性によっても異なるため測定ごとに評価する。

# メタンハイドレート層の力学的性質の解明

## 長期予測に対応した地層変形シミュレーターの開発に向けて



宮崎 晋行

みやざき くにゆき

miyazaki-kuniyuki@aist.go.jp

地圏資源環境研究部門  
地圏環境システム研究グループ  
研究員  
(兼)  
メタンハイドレート研究センター  
生産モデル開発チーム  
研究チーム付  
(つくばセンター)

専門は岩石力学です。これまで、岩石やセメント系材料（コンクリートなど）、メタンハイドレート層を含む土質材料など、幅広い地盤材料を対象として、室内力学実験、力学特性の定式化、数値シミュレーションなど一連の研究を行ってきました。最近では、沿岸域でのCO<sub>2</sub>地中貯留時における未固結層や軟岩層の力学挙動評価や、高効率な岩盤掘削を目指した掘削技術の開発にも取り組んでいます。

### 関連情報:

- 関連情報

この研究成果は、経済産業省メタンハイドレート開発促進事業に係る生産手法開発に関する研究の一部として実施したものです。

### メタンハイドレートの生産手法

メタンハイドレートは、メタンと水の固体化合物であり、低温・高圧下で安定に存在します。わが国周辺の海底堆積層中には、天然のメタンハイドレートが賦存していることが知られており、次世代の天然ガス資源として注目されています。現在、メタンハイドレートの生産手法として有力と考えられているのが「減圧法」です。減圧法では、地層中の水をくみ上げることで、地層の間隙水圧を減じ、メタンハイドレートをメタンガスと水に分解してメタンガスを回収する手法です。減圧法では、メタンハイドレート層やその周辺の地層の力学的な変化（変形や地盤沈下など）が起ることが予想されます。この変化により、ガス漏洩などの生産障害が引き起こされたり、生産井などの構造物の安定性が影響を受けたりすることが考えられます。このようなことから、長期的に安全で経済的なメタンハイドレートの生産を行うためには、減圧法適用時の地層の変形挙動を予測する数値シミュレーターを開発する必要があります。

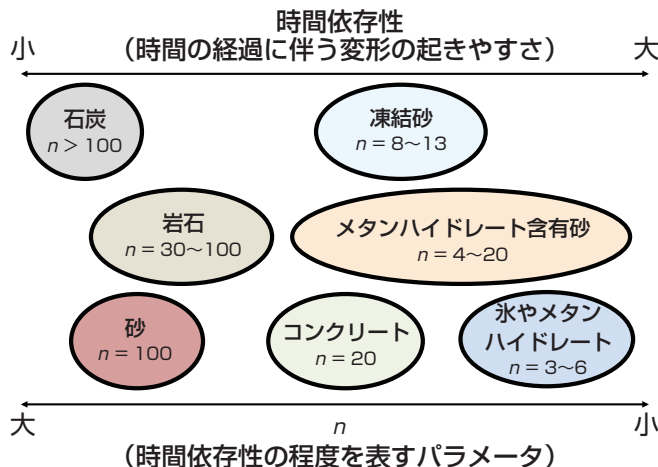
### メタンハイドレート含有砂の力学的性質

地層変形を予測するには、地層の力学的性質に関する知見を蓄積・整備し、定式化する必要があります。このため、天然メタンハイドレート層の実環境を模擬する試験方法を開発・確立

し、人工的に作製したメタンハイドレート含有砂の力学的性質を、室内実験により系統的に取得しました。実験結果をベースにメタンハイドレート層の力学挙動を定式化し、開発中の地層変形シミュレーターに組み込みました。

これまで、砂などの未固結層の時間依存性（時間経過に伴って変形が起こる性質）は小さいとして軽視されがちでした。しかし、上記の実験や解析を進めて行く過程で、メタンハイドレート含有砂の時間依存性が極めて顕著なことや、条件によって時間依存性の程度が大きく変化することを見いだしました。図に示した $n$ は、時間依存性の程度を表すパラメータで、 $n$ が小さいほど時間依存性が大きく、時間経過に伴う変形が起きやすいことを意味しています。（例えば、 $n = 1$ ならNewton流体の挙動を表し、 $n \rightarrow \infty$ なら理想的な塑性体を表します。） $n$ は、長期（例えば10年以上）の変形予測に対して重大な影響を与える可能性があるため、メタンハイドレート含有砂の $n$ を実験的に求め、定式化したことは、長期予測に対応した地層変形シミュレーターの開発に極めて重要と位置付けられます。

今後は、天然のメタンハイドレート層から採取したサンプルの力学パラメータを取得し、実環境に対応したシミュレーターの開発を進めていきます。



### さまざまな材料の時間依存性

図中の $n$ は、時間依存性の程度を表すパラメータ。メタンハイドレート含有砂の時間依存性は凍結砂と同程度であり、地盤材料の中では極めて大きい。



# シリーズ：進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第56回) 先端計測によるイノベーション創出と生産効率向上

上席イノベーションコーディネータ おおくほ まさたか  
大久保 雅隆

## 生産効率向上の必要性

日本の超長期人口変化を見ると、その変化に驚かされます。図1に示すとおり、階段状の増加とその後に続く爆発的増加、そして、今後の急激な人口減が予測されます（総務省統計局ほか）。現在、私たちは、ピークを少し過ぎたあたりにいます。政府の経済財政諮問会議「選択する未来」委員会においては、今後出生率が回復しなければ、2040年代から日本経済がマイナス成長に陥ると試算され、技術革新の創出による生産効率向上の必要性が説かれています。

日本ブランドは海外の友人に聞くとまだまだ健在で、もの作り日本の品質の高さは定評がありますが、薄利多売のもの作りは日本には馴染まなくなってきました。今後、付加価値の高い“高利少売”の製品を増やすことが一案かもしれません。その場合の生産効率向上のために、どのようなコーディネーションが必要でしょうか？

## 生産効率向上のための先端計測技術

私の経験を活かす道として、生産効率向上のために研究開発や検査で使われる、単価が高い計測分析機器を考えてみたいと思います<sup>[1]</sup>。現在、ラボ用計測分析機器の世界市場規模は約4兆円で定常的に拡大しています。これだけで日本全体を支えることは到底できませんが、輸入より輸出が多い日本の有力なハイテク輸出産業の一つであり、先端計測分析機器は、もの作りにおけるイノベーションの源泉です。

## 先端計測技術におけるコーディネーション活動

研究開発法人の役割の一つとして、先端計測分析機器を開発

し保有することが考えられます。ユーザーが少なくても社会に必要な不可欠なら機器を維持する必然性があり、十分なユーザーがつくようになれば製品化できます。例えば、つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点(TIA-nano)のコアインフラの一つである超電導デバイス開発施設(CRAVITY)で作られる超電導センサーや検出器は、使用目的を研究に限定することなく外部に供給することができ、研究開発段階からビジネス展開の初期にまで関わる技術革新に貢献できます。研究開発の目的でも、今年からスタートした内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の一つである革新的構造材料<sup>[2]</sup>において、超電導計測技術は、構造材料の性能を決めている微量添加軽元素の物理化学状態分析を可能にすると期待されています。

国際的には、超電導に関連する三つの国際会議の諮問委員を拝命しており、超電導センサーと検出器に関するアジア発の国際会議を韓国と中国の友人とともに立ち上げました<sup>[3]</sup>。また、それらの普及促進のために、国際電気標準会議(IEC/TC90)WG14のコンビナーとして国際標準制定を進めています。

超電導計測技術以外にも、ほかの技術をベースにした超先端計測を広く取り込むことに努めており、前述のSIP先端計測拠点は、つくば4機関の計測技術の特徴を活かしたコーディネーションの一例です。

## 関連情報

[1] [https://nanonet.go.jp/ntjb\\_pdf/nanoInnov-12.pdf](https://nanonet.go.jp/ntjb_pdf/nanoInnov-12.pdf)

[2] <http://www.jst.go.jp/sip/k03.html>, <http://www.jst.go.jp/pr/info/info1054/besshil.html>

[3] IWSSD: <https://sites.google.com/site/iwssd2012/>, <http://iwssd2014.csp.escience.cn/dct/page/1>

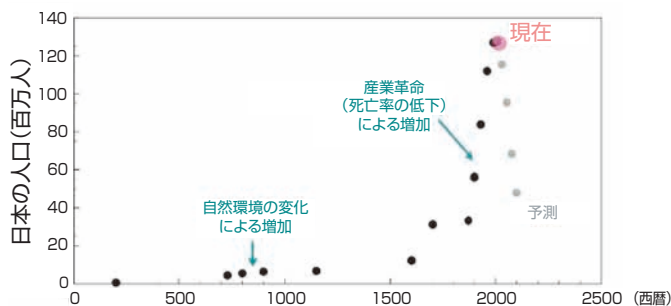


図1 日本の超長期人口変化(赤丸が現在)



図2 IEC/TC90 WG14の前身となる会合での筆者(右から3人目)

## 第3回世界研究機関長会議開催および第11回 STS フォーラムへの参加

報告

2014年10月4日～7日、京都国際会館において第3回世界研究機関長会議および第11回 STS フォーラムが開催され、産総研からは中鉢理事長および瀬戸理事が参加しました。

世界研究機関長会議は尾身幸次元財務相が発起人となり、世界の代表的研究機関の長が一同に会し、科学技術における各研究機関の役割について討議する国際会議です。また、STS フォーラムは尾身元財務相、吉川弘之科学技術振興機構 研究開発戦略センター長らが発起人となり、科学技術を適切にコントロール・発展させていくため、各国の多様なセクターの代表が科学技術について意見交換するために設立された国際会議です。

第3回となる世界研究機関長会議では「研究系人材育成と機関間連携」をテーマに12カ国から15機関の機関長が参加する中、活発な議論が行われました。会議の冒頭、中鉢理事長から、優秀な研究系人材を育成するためには研究者が多様な経験を経ること、また研究機関が大学と密接に連携することが重要であり、そのために研究機関間で国の枠を超えた連携が重要である、との講演が行われました。その上で各

研究機関からは職員構成や優秀な若手研究者採用の仕組み、および大学との連携や人材育成の取り組みについて紹介され、イノベーション人材の育成のためには各研究機関における研究者の相互的な流動を促進し、多様な経験を持たせることが重要であることを確認しました。この会議における議論の結果は共同宣言として取りまとめられました。

また、第11回 STS フォーラムでは、世界100の国・地域および国際機関から1,000人以上が参加し、日本からは安倍首相をはじめ下村文部科学相、石黒経済産業審議官らが参加しました。中鉢理事長は同会議の「新興国における科学技術」セッションにおいて登壇し、産総研のグリーン・イノベーション、およびライフ・イノベーションを

中心とした新興国との連携について紹介すると同時に、新興国の科学技術の発展は産業発展のみを目的とするのではなく、自然や人間と調和した「持続的社会の構築」に資するものでなくてはならない、との主旨で講演しました。同セッションでは中鉢理事長のほか、インドの Ashwani Kumar 国会議員、サウジアラビアの Abdulaziz Alswailem キングアブドゥルアジズ科学技術都市科学技術サポート副総裁が講演され、新興国における科学技術について活発な議論が行われました。

今回の参加を通して、産総研の活動を広く関係者に周知することができたと同時に、産総研の国際ネットワークを大きく広げることができました。



第3回世界研究機関長会議



第11回 STS フォーラムにおける中鉢理事長の講演

## つくば産業フェア出展報告

報告

10月25日～26日、今年で11回目となる「つくば産業フェア」が「つくばカピオ」で開催されました。産総研は毎年ブース出展という形で協力しています。今年は「産業」をキーワードに、「ロボットの街：つくば」にちなんだロボットデモ（アザラシ型ロボット“パロ”と床下探査ロボット“DIR-3”）と、観光産業を支える筑波山の“クレイモデル工作”を出展しました。幸い天候にも恵まれ、2日間の来場者数は約20,000名と発表されています。

会場では、つくば市内ならびにつくば市と関係の深い地域のお店や企業が

ブースを出し、商品紹介や即売を行いました。今回の公的研究機関からの参

加は、産総研と宇宙航空研究開発機構（JAXA）でした。



産総研ブースの様子



## ドイツフラウンホーファー研究機構訪問およびフランスハイレベルフォーラムへの参加

報告

2014年9月、産総研は中鉢理事長および瀬戸理事の訪独に際し、フラウンホーファー研究機構（FhG）、州政府、大学、企業などを訪問しました。続いて、中鉢理事長は訪仏し、グルノーブル市において開催されたフランス原子力庁主催のハイレベルフォーラムに、市原つくば市長らとともに参加しました。

ドイツへの訪問では、産総研の機能強化に向けて必要な、企業などと機動的に連携し実用化につなげる「橋渡し」研究を強化することを目的に、中鉢理事長と瀬戸理事はそれぞれ別行動にて、ドイツの代表的な「橋渡し」機関である FhG の 14 研究機関を中心に訪問し、さらに、FhG を中心としたイノベーションエコシステムの仕組みを理解するため、ザクセン州、バイエルン州などの州政府および企業などの

関係者と意見交換を行いました。FhG では、政府、EU などの競争的資金、企業よりそれぞれ 1/3 ずつの資金を調達するフランホーファーモデルと各研究所の所長の裁量に任された研究所のマネージメントシステムの実態を学びました。

また、中鉢理事長はノイゲバウワー FhG 総裁と会談し、フランホーファーモデルを進めていくうえで必要な企業マーケティング・研究戦略などについての意見交換を行いました。ノイゲバウワー総裁から、アジアにおける日本と欧州におけるドイツは、政治、外交、科学技術などさまざまな面で共通点があり、今後も日本を重視し、さらに密に連携を取りたいとのコメントがありました。

グルノーブル市で開催された第3回ハイレベルフォーラムは、世界中の産

学官連携拠点の代表者を集めて、イノベーション推進に関する意見交換を行うことが目的であり、11の国・地域から参加しています。日本からは中鉢理事長のほか、市原つくば市長、潮田物質・材料研究機構理事長、中村つくばグローバル・イノベーション推進機構長、吉川筑波大学副学長、野村高エネルギー加速器研究機構理事が参加しました。フォーラムでは、組織の新戦略、情報通信技術の変遷がもたらす影響についてのパネルディスカッションが行われ、中鉢理事長は、それぞれのセッションにおいて産総研の研究事例について紹介しました。このほか、市原市長の講演などにより、他国からの参加者につくばのプレゼンスを示すことができました。

なお、第4回はつくばで開催される予定です。



ノイゲバウワー FhG 総裁（左）と中鉢理事長（右）



フラウンホーファー研究機構応用固体物理研究所にて



ハイレベルフォーラムでのパネルディスカッションの様子

## 駐日ネパール大使の産総研つくばセンター来訪

報告

2014年10月21日、マダン・クマール・バッタライ駐日ネパール大使がつくばセンターを訪問されました。金山副理事長とごあいさつの後、産総研およびナノテクノロジー・材料・製造分野の概要説明を受け、続いてナノシステム研究部門の研究施設をご視察されました。ネパール国籍のパラジュリ・ドルガ研究員からプルシアンブルーナノ粒子のさまざまな用途が紹介され、同行された物質・材料研究機構および宇宙航空研究開発機構のネパール国籍

の博士研究員とともに熱心にお聞きになりました。大使からは、とても有意

義な時間であり、楽しむことができたとのお言葉をいただきました。



集合写真

右から4番目がバッタライ大使、その右隣が金山副理事長

## 平成 26 年度工業標準化事業表彰

2014年10月14日に東京都千代田区の都市センターホテルにて工業標準化事業表彰式が行われ、産総研から下記の3名が受賞しました。

### 受賞者と主な功績 経済産業大臣表彰

田中 充（フェロー）：日本工業標準調査会計測計技術専門委員会および基本技術専門委員会の委員長として、124規格の制定・改正を審議し、国際標準化に尽力しました。また、ISO/TC229（ナノテクノロジー）、ISO/TC256（顔料、染料および体質顔料）およびISO/TC12（量および単位）においても国内意見の取りまとめや、わが国の意見を反映した国際規格の制定に多大な貢献がありました。

### 産業技術環境局長表彰（国際標準化貢献者表彰）

藤本 俊幸（計測標準研究部門 副研究部門長）：ISO/TC229（ナノテクノロジー）においてワーキンググループのコンビーナやコンビーナ補佐を務め、日本提案を含む技術仕様書や技術報告書の発行に貢献しました。また、計測手法の国際標準化により、高品質な日本製品を国際的にアピールできる基盤を構築するなど、ナノテクノロジーの国際標準化に大きく貢献しました。

### 産業技術環境局長表彰（国際標準化奨励者表彰）

小林 吉之（デジタルヒューマン工学研究センター 健康増進技術研究チーム

主任研究員）：ISO/TC159（人間工学）/SC3（人体計測と生体力学）の国際幹事を務め、制定4件、見直し10件の規格審議をはじめ、円滑な会議運営に貢献しました。また、日本提案の2件について国内外で調整を行い、新作業項目提案採用から委員会原案への進展に貢献しています。



左から、小林主任研究員、田中フェロー、藤本副研究部門長

## 平成 26 年 秋の叙勲

瑞宝中綬章	榎本 祐嗣	元工業技術院名古屋工業技術研究所長
瑞宝中綬章	諏訪 基	元工業技術院大阪工業技術研究所長
瑞宝中綬章	中西 八郎	元工業技術院繊維高分子材料研究所首席研究官／東北大学名誉教授
瑞宝小綬章	井上 英夫	元工業技術院機械技術研究所生産システム部長
瑞宝小綬章	荻須 吉洋	元工業技術院資源環境技術総合研究所熱エネルギー利用技術部長
瑞宝小綬章	佐藤 眞士	元工業技術院物質工学工業技術研究所統括研究調査官
瑞宝小綬章	中嶋 輝允	元工業技術院地質調査所鉱物資源部長
瑞宝小綬章	中山 和郎	元工業技術院物質工学工業技術研究所首席研究官
瑞宝小綬章	廣末 英晴	元工業技術院九州工業技術研究所首席研究官
瑞宝小綬章	本田 皓一	元工業技術院生命工学工業技術研究所分子生物部長
瑞宝小綬章	三ッ井 洋司	元工業技術院生命工学工業技術研究所首席研究官
瑞宝小綬章	百瀬 英夫	元工業技術院総務部筑波研究支援総合事務所長

イベントの詳細と最新情報は、産総研のウェブサイト（イベント・講演会情報）に掲載しています  
<http://www.aist.go.jp/>

## EVENT Calendar

2014年12月

11月10日現在

期間	件名	開催地	問い合わせ先
<b>12 December</b>			
3日	協創マッチングフォーラム	川崎	044-819-2001
12日	SURE コンソーシアム設立記念シンポジウム	東京	029-861-8475
16日	プリントエレクトロニクスシンポジウム	東京	029-861-4516
27日	九州・沖縄 産業技術オープンデー	鳥栖	0942-81-3606



# 九州センター

今回は九州センターの改修工事中であり当センターでの開催ができませんので、九州シンクロトロン光研究センターにて合同で開催し、586名の皆さまにご来場いただきました。

## ○太陽電池で遊んでみよう



わぁ 動いた



へえ そうなんだ

## ○アザラシ型ロボット「バロ」



はい、チーズ



本物みたい

## ○わくわく科学講座「富士山に登って調べる火山の不思議」



みんな真剣です



わぁ 噴火ってこんな感じなんだ！

## ○筋電スイッチ(鉄道模型)



市長も感心させていました



うまく動かない？

## ○ミニヒューマノイド・チョコメテ&チョコメテ2



わぁ 本物のロボットが動いてる



記念写真です

## ○いろんなプラズマに触れてみよう



へえ これがプラズマなんだ



おもしろいね

## ○血管年齢測定装置



ちょっとドキドキしてます

## ○英語発声ティーチング



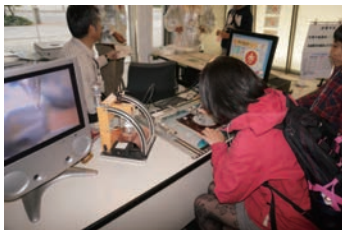
僕らの発音って、どう？

# 臨海副都心センター

臨海副都心センターの一般公開は、2日間で約2,150名の皆さまにお越しいただきました。

## 産総研 一般公開

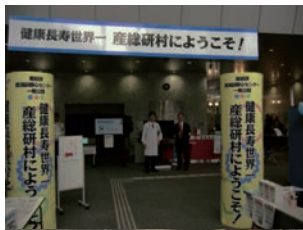
今年も全国各地の産総研で「一般公開」を開催しました。今回は、九州センター（10月11日）、臨海副都心センター（11月8～9日）での体験コーナー、展示コーナーなどを報告します。



オリジナルはんこができる「はんこ名人」や「工作教室」は今年も順番待ちになる大人気。個性あふれる作品がたくさんできました。



「モーションセンサーで遊ぼう」のコーナーでは、サッカーのほかに、メロディーにあわせてダンスも。



特別企画「健康長寿世界一 産総研村へようこそ！」は、「リハビリステーション」、「イベント広場」、「健康コンビニ」の三つのゾーン。大人も子供も一緒にダンスをしたり、体幹を測定したり、センサーをつけてケンケンで100メートル走のタイムを予測したり、血管年齢を測ったりと、体験型イベントで健康意識が高まりました。



# 産総研 TODAY 2014 総目次 Vol.14 (2014年1月号～12月号)

## 1月号 No.1

- 新春に想う、産総研の「第二創業」へ
- 新機能を生み出す加工技術
  - 製造業の道を切り拓く
  - 製造業を取り巻く最近の動向
  - 製造技術における3Dプリンターの活用
  - 金属積層技術による新しい部品の製造
  - 3Dプリンターが拓くものづくり技術の新展開
  - ナノ凹凸構造によるプラスチック表面の濡れ性制御とディスク用品への応用
  - ナノストライプ構造による摩擦低減技術
  - 医療用途を想定した極細管のレーザー加工技術、加工装置の開発
  - 生分解性マグネシウム合金ステントのための長尺薄肉細管成形技術
- 高齢者・障害者の感覚特性データベース
- ビッグデータから科学的発見を導く統計手法
- 高効率な電圧磁気異方性制御
- 基板上の液滴形状のシミュレーション技術
- 発光タンパク質とバイオマスとのハイブリッド化技術
- 斜め入射集光加熱反射鏡
- ユーザーに優しい重錘形圧力天びんの使用ガイド
- 5万分の1地質図幅「今庄及び竹波」地域の出版
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第48回)
- 豪州CSIROとのイノベーション推進についてのワークショップ開催
- 産総研 一般公開(臨海副都心センター)
- 太陽電池作製時の電子輸送特性のリアルタイム計測と最適化

## 4月号 No.4

- 科学技術イノベーションへの期待に応える
- 福島再生可能エネルギー研究所特集
  - 福島再生可能エネルギー研究所の開所にあたって
  - 再生可能エネルギーネットワーク開発・実証
  - 水素キャリア製造・利用技術
  - ナセルに搭載したLIDARによる風車出力・寿命の向上とアセスメント手法の高度化
  - 薄型結晶シリコン太陽電池モジュール化技術
  - 地熱資源の適正利用のための技術
  - 地中熱ポテンシャル評価とシステム最適化技術
  - 施設紹介
  - 産学官の連携
  - 研究所への交通アクセス
- 本格研究 理念から実践へ
  - AD法を用いた低環境負荷の耐摩耗ロールの開発
  - 無線電流センサーネットワークによる省エネ店舗
- 高密度部品内蔵インターポーザーを開発
- スピントルクダイオードの性能を大幅に向上
- アモルファス金属酸化物の構造にある普遍性
- 新しい工業用X線非破壊検査法
- 位相感応型光増幅器
- 多次元輝度情報による高精度位相解析技術
- 酸化還元反応を利用した定量分析の基準に用いる高純度標準物質
- 地圏環境リスク評価システムの開発
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第50回)
- 社会的取り組み◎「企業と博士人材との交流会」
- 日印ビジネスフォーラム・科学技術セミナー
- nano tech 2014 出展報告
- タイ国立科学技術開発庁長官の来訪
- アイルランド上院議長の来訪
- 産総研キャラバン2014 こおりやまの開催
- 駐日南アフリカ共和国大使の来訪
- 第54回産業技術連携推進会議(産技連)総会の開催
- 産総研・上海交通大学ジョイントシンポジウム
- 平成25年度「産総研イノベーションスクール」7期生修了式
- 第10回日本学術振興会賞および第10回日本学士院学術奨励賞を受賞
- 産総研における包括的な連携・協力の紹介
- 重希土類を含有する鉱物の資源評価:重希土類の安定供給を目指して

## 2月号 No.2

- 関西センター特集
  - 関西センターの概要
  - 高性能蓄電池用の電池材料開発
  - 錯体を用いた燃料電池触媒材料の開発
  - 医療福祉機器開発のための高分子アクチュエーターの研究開発
  - 間葉系幹細胞による再生医療とそれを支える細胞製造施設
  - 組込みシステム開発技術と産学官連携活動
- 四国センター特集
  - 健康な社会の実現を目指す
  - 細胞チップを用いたマラリア診断デバイス開発と国際貢献
  - ポリピア・ウユニ塩湖からのリチウム採取
  - 紙のバイオチップ
- 非可食バイオマスから高機能界面活性剤を量産
- 透明はつ油塗膜の耐熱性を飛躍的に向上
- ゴムをナノメートルレベルの精度で金型成形
- ウエハー常温接合のための表面平滑化プロセス
- ミニマルプロセスでのスピン現像
- 太陽電池フィンガー電極の高さ計測方法
- 環境レベルY線線量標準の開発
- 社会的取り組み◎「科研費の適正・公平な配分審査への貢献」
- 産総研 イノベーションワークショップ in インドネシアの開催
- バイオマーカー探索に有用なヒトタンパク質アレイの開発

## 5月号 No.5

- 産総研の平成26年度計画
- 本格研究 理念から実践へ
  - エネルギー貯蔵媒体としての水素活用
  - マグネシウム合金中の不純物酸素分析手法
- 人為的に設計・開発した生物発光酵素
- 昇華特性に優れたSiC粉末原料を開発
- 室温プロセスでフィルム型太陽電池を作製
- 塩化物イオンフリーの金コロイド液
- 調光幅の大きな反射型調光デバイス
- 光触媒を活用した快適な室内空間のために
- 気体大流速標準の開発
- 海底下の地質構造にみる地層の形成と流体移動
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第51回)
- 在京駐日大使ご一行のサイエンス・スクエアつづくば視察
- ノルウェー科学技術研究機関からの福島再生可能エネルギー研究所訪問
- 福島県と連携・協力協定を締結
- 集積によるイノベーション〜次世代のMEMS技術に関する研究

## 3月号 No.3

- 中国センター特集
  - 中国地域のオープンイノベーションハブを目指して
  - ナノセルロースを用いた高性能複合材料の開発と地域連携
  - 木質・草本バイオマスの成分分離技術の開発
  - 糖化酵素の生産性向上と高機能化
  - バイオエタノール製造プロセスの開発と実用化支援
  - 廃棄物からのバイオジェット燃料製造技術の開発
- 九州センター特集
  - 地域の基幹産業に貢献する産総研の研究開発
  - 半導体ウエハー表層のマイクロクラッチの可視化
  - 集束超音波を走査して平面の静電気分布を可視化
  - AEセンサーによるプラント診断
  - 太陽光発電システムの発電量を評価する技術
  - 世界初のPID屋外実証模擬システム
- 16 kV級の超高電圧SiCトランジスタ
- 細胞治療に役立つカレイ由来不凍タンパク質
- 医療機器用のソフトウエア開発キットを公開
- ダイヤモンドデバイスの高性能化の鍵を解明
- 「脳の関心度」をチェック!
- 新規材料による半導体コンタクト形成技術
- 微量元素・化合物分析用の食品標準物質
- 都市域に隠された活断層を探る
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第49回)
- 日米クリーンエネルギー技術協力ワークショップ
- シンガポール情報通信大臣Yaacob Ibrahim氏の来訪
- 駐日モンゴル大使の来訪
- 産総研 Topics 2013
- レーザー干渉計による長さ標準〜一次元寸法から二次元、三次元形状まで

## 6月号 No.6

- 第9回産総研運営諮問会議を開催
- 本格研究 理念から実践へ
  - ITをより身近にする印刷製造情報端末技術
  - 高温、高加圧下で使用できる新しい超硬合金の開発
- 糖鎖マーカーを用いた肝線維化検査技術
- 微量のバイオ物質を検出できるマイクロ回路
- セシウム汚染物の効率的な除染技術を実証
- 単層カーボンナノチューブの量産技術
- ワイドギャップ半導体素子の破壊防止技術
- プロテインタグ、タグ化タンパク質およびタンパク質精製方法
- 公共空間に設置する音楽内の標準化
- ナノインデンテーション試験用圧子
- 海域反射法音波探査データベースの構築
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第52回)
- 新研究ユニット紹介
- 平成26年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰
- カタール財団総裁モーザ妃の来訪
- 福島再生可能エネルギー研究所オープニングイベントを開催
- 第46回 町村学術賞貢献賞を受賞
- 平成26年 春の叙勲
- 原子炉建屋内調査のための高所調査用ロボットの開発



※2014.1～12号に掲載された記事の総目次です。これらの記事は、産総研のウェブサイト (<http://www.aist.go.jp/>) でご覧になれます。ご利用下さい。

## 7月号 No.7

- 座談会：産総研イノベーションスクールを体験して
- 本格研究 理念から実践へ  
RISING事業での産学官連携の取り組み
- 精子無力症の原因となる遺伝子を発見
- 高性能な鉛フリー圧電セラミックスを開発
- スピントルク発振器の発振安定性を向上
- 単層CNTと銅の複合材料で微細配線を作製
- 光源集積ポリマー光回路モジュール
- 平行四辺形リンクを3つ組み合わせて作った微小角回転軸保持機構
- RoHS指令対応鉛フリーはんだ標準物質の開発
- 地質分野における知的基盤の今後の整備計画
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第53回)
- 第46回 市村学術賞
- 産総研一般公開のお知らせ
- 夏期輪番一斉休暇のお知らせ
- 2014年度「産総研イノベーションスクール」第8期開校式
- シンポジウム「ナノカーボン材料が創る新しい社会」の開催
- 第41回「環境賞」優良賞を受賞
- 「日本が誇るマテリアルの世界 材料フェスタ in 仙台」開催のお知らせ
- 糖鎖腫瘍マーカーの開発：糖鎖研究の臨床応用へ向けた挑戦

## 8月号 No.8

- 安全で持続的発展可能な社会を目指す評価技術  
安全科学研究部門の取り組み  
カーボンナノチューブ(CNT)の安全管理を支援  
福島における放射性物質のリスク管理研究  
消費者製品からの化学物質暴露を評価するツールの開発  
難燃剤と金属のリスクトレードオフ評価  
爆発性銀化合物の熱分析  
爆風の低減化技術に関する研究  
各種ガスの燃焼爆発危険性評価と安全利用に関する研究  
バイオマスエネルギー利活用の持続可能性評価  
ウォーターフットプリント
- 本格研究 理念から実践へ  
施設栽培作物の生育環境の解析に向けたFS連携
- 移植用細胞の安全性を培養液で検査
- 半導体型単層CNTを選択的に合成
- 圧電MEMSデバイス200mmウエハプロセス
- プラズマを用いた流体制御アクチュエータ
- 移動体の進行方向推定装置および進行方向推定方法
- 玄米中カドミウム分析の信頼性確保の支援
- 富士山地質図(第2版)
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第54回)
- 産総研一般公開のお知らせ
- 独立行政法人産業技術総合研究所の役員報酬・給与等について
- 地中熱のポテンシャル評価 ～省エネルギー社会の実現に向けて～

## 9月号 No.9

- 陽電子をプローブとしたナノ材料評価技術  
産総研における陽電子を利用した材料計測・評価研究  
陽電子の発生と制御技術開発  
高強度陽電子の応用技術開発  
電子・陽電子・対消滅の理論と材料評価  
陽電子寿命測定方法の標準化  
陽電子計測のための普及技術開発  
【応用1】半導体デバイス部材の評価  
【応用2】燃料電池材料の評価  
【応用3】機能性化学材料の評価
- セラミックスの壊れにくさを高精度に測定
- バイオ分析向けの超小型蛍光検出装置を開発
- 量子通信や精密光計測を支える基盤計測技術
- 水中の放射性セシウムを素早くモニタリング
- 人工生物発光酵素(ALuc)の創製と応用
- 生体吸収デバイス用マグネシウム合金薄肉細管
- 陽電子寿命による空孔欠陥評価用標準物質
- 断層深部の岩石変形過程の解明
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第55回)
- 日本-ASEAN イノベーション・科学技術ワークショップへの参加
- 茂木敏充 経済産業大臣 福島再生可能エネルギー研究所訪問
- 山本一太 内閣府特命担当大臣 臨海副都心センター訪問
- 駐日アイルランド大使の福島再生可能エネルギー研究所来訪
- 第9回 ロレアル-ユネスコ女性科学者 日本奨励賞を受賞
- 第39回 井上春成賞を受賞
- 産総研一般公開(つくばセンター・東北センター)
- 小型超伝導加速器による次世代陽電子ビーム技術

## 10月号 No.10

- 産総研のライフ・テクノロジー開発における国際連携  
インドDBTとの連携研究  
QOL改善を目指したバイオメディカル研究  
ライフ・テクノロジー開発における国際標準化への取り組み  
インドネシアBPPTとの連携研究  
天然ゴム増産に向けた分子育種技術の開発  
上海交通大学との連携研究  
糖鎖バイオマーカーの検証試験  
ドイツフ라운ホーファーとの連携研究  
高分子アクチュエーターの研究開発
- 理想的な構造の有機薄膜太陽電池を実現
- ケイ素化学産業の基幹原料を効率的に合成
- アミノ酸で睡眠障害を診断する
- 可視光透過率が70%以上の調光ミラー
- スクリーンオフセット印刷技術
- 未利用の低温排熱を回収する有機熱電材料
- 快適な室内空気環境の実現のために
- 光センサーの応答非直線性の高精度計測
- 地球観測衛星に搭載したセンサーの校正
- 台湾ITRIとのイノベーション推進についてのワークショップ開催
- 「さくらサイエンスプラン」にてアジアの優秀な青少年が多数産総研を訪問
- 秋篠宮殿下と佳子内親王殿下 つくばセンターご来訪
- 新役員紹介
- 産総研一般公開のお知らせ
- シンセシオロジー編集委員会からのお知らせ
- 火山ガス研究による噴火活動推移予測技術の高度化

## 11月号 No.11

- ロボット革命を駆動する産総研のテクノロジー  
ロボット革命への橋渡し  
人の移動を支援するモビリティロボット技術  
人の生活を支援するロボット技術  
〈まほろ〉誕生物語-汎用ヒト型ロボットへの発想転換-  
ものづくり産業を支えるロボット技術  
安全な社会生活に資するロボット技術  
過酷環境での作業に対応するロボット  
価値創造を生み出すロボット技術
- 水道管の漏水を学習型異音解析技術で検知
- アルミニウム溶湯加熱用の高出力ヒーター
- 小型軽量な非破壊検査用パルスX線源
- 高精度な位置合わせが可能な電子デバイス実装技術
- レーザー援用インクジェット法
- 太陽電池の校正のトレーサビリティ確立方法
- 精密流量計-大気圧中への漏れ検査の国家標準-
- 精密模型による地質情報の立体化技術
- 産総研一般公開(関西センター・北海道センター・中部センター・福島再生可能エネルギー研究所・中国センター・四国センター)
- 日本学術振興会特別研究員の適正な審査への貢献
- 産総研一般公開のお知らせ
- カーボンナノチューブをゴムや金属と複合化してデバイス開発に活かす

## 12月号 No.12

- 社会インフラのスマートメンテナンス技術  
産総研のスマートメンテナンス技術  
打音検査の高度IT化  
保全サービス支援のための複合現実システム  
モアレを利用した建造物の変形分布計測技術  
コンクリート建造物のひび割れ自動検知  
高感度近赤外分光を用いたコンクリート建造物の遠隔診断技術  
鉛を使わないAEセンサーによるインフラ診断技術の開発
- 超低消費電力の磁気書き込み技術
- 高精度な長尺マグネシウム合金細管押し出し
- ディーゼル酸化触媒の白金使用量低減化技術
- 厚さ数nmの板状有機ナノ粒子
- 常温大気中で金属同士を接合する技術
- 小型バイオ医薬品創薬を支援するリサーチツール
- MEMSパッケージングのための極微細リリーク検査
- 重水減速<sup>252</sup>Cf中性子標準の開発
- メタンハイドレート層の力学的性質の解明
- 進化し続ける産総研のコーディネーション活動(第56回)
- 第3回世界研究機関長会議開催および第11回STSフォーラムへの参加
- つくば産業フェア出席報告
- ドイツフ라운ホーファー研究機構訪問およびフランスハイレベルフォーラムへの参加
- 駐日ネパール大使の産総研つくばセンター来訪
- 平成26年度工業標準化事業表彰
- 平成26年 秋の叙勲
- 産総研一般公開(九州センター・臨海副都心センター)
- 形式検証による高信頼ソフトウェアの研究

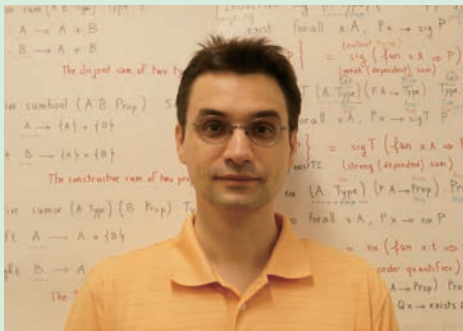
## 形式検証による高信頼ソフトウェアの研究

セキュアシステム研究部門 高信頼ソフトウェア研究グループ <sup>アフエルトレナルド</sup> AFFELDT Reynald (つくばセンター)

実装の誤りによって、ソフトウェアの脆弱性がしばしば生じます。例えば近年、デジタル社会に欠かせないセキュリティプロトコルの実装に誤りが発見されると、情報漏洩の危険性は必ず報道されます。仕様上は問題がなくても、実装時にミスをする可能性はあり、詳細なソフトウェアの正しさを網羅的にテストすることは一般的に困難です。一方、人間が書いた数学の証明の正しさを保証する定理証明支援系というツールの開発は長年続いてきました。定理証明支援系を用いて、ソフトウェアの仕様を数学の定理として表すと、実装の厳密な検証が可能となります。アフエルト主任研究員は、その検証方法を重要な基盤ソフトウェア（セキュリティプロトコル、符号など）に応用しています。



デスクからサーバー室の計算機を経て形式検証作業を行う様子



## アフエルトさんからひとこと

学生のころから、数学の定理については結果だけでなく、その証明の記述にも興味をもっていました。当時は厳密な記述までは求められていませんでした。現在、定理証明支援系を用いて誤りのない証明を厳密に記述できるようになり、ソフトウェアの安全保証に繋がりました。例えば、欧州では2000年代からスマートカードの評価に定理証明支援系がしばしば使われています。これからモバイルデバイスの普及によって、ソフトウェアの品質の問題はさらに重要になりますので、定理証明支援系がどのようにソフトウェアの開発方法を変えていくのか楽しみにしています。

産 総 研  
TODAY

2014 December Vol.14 No.12

(通巻 167号)  
平成26年12月1日発行編集・発行  
問い合わせ独立行政法人産業技術総合研究所  
広報部広報制作室

〒305-8568 つくば市梅園1-1-1 中央第2

Tel : 029-862-6217 Fax : 029-862-6212 E-mail : prpub-ml@aist.go.jp

ホームページ

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

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