

## 特集

2 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

## 12 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

## リサーチ・ホットライン

- 14 移植用細胞の安全性を培養液で検査  
再生医療の安全性向上へ貢献
- 15 半導体型単層CNTを選択的に合成  
最大98%の高い選択率を実現
- 16 圧電MEMSデバイス200mmウエハープロセス  
パルスポーリングで実用レベルの圧電定数

## パテント・インフォ

- 17 プラズマを用いた流体制御アクチュエータ  
ターボ機械の空力性能を飛躍的に改善する新技術
- 18 移動体の進行方向推定装置および進行方向推定方法  
スマートフォン利用者の屋内測位を実現する

## テクノ・インフラ

- 19 玄米中カドミウム分析の信頼性確保の支援  
分析技能向上支援プログラムの実施と標準物質の開発
- 20 富士火山地質図(第2版)  
噴火に備えて波瀾万丈の噴火史を読み解く基礎資料

## 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54回)  
半導体産業の再活性化を目指したコーディネーション活動



上：埋設作業中の地下式火薬庫モデル (p.8)  
 下：200 mmウエハー上に作製した圧電MEMSデバイス (p.17)

# 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

### はじめに

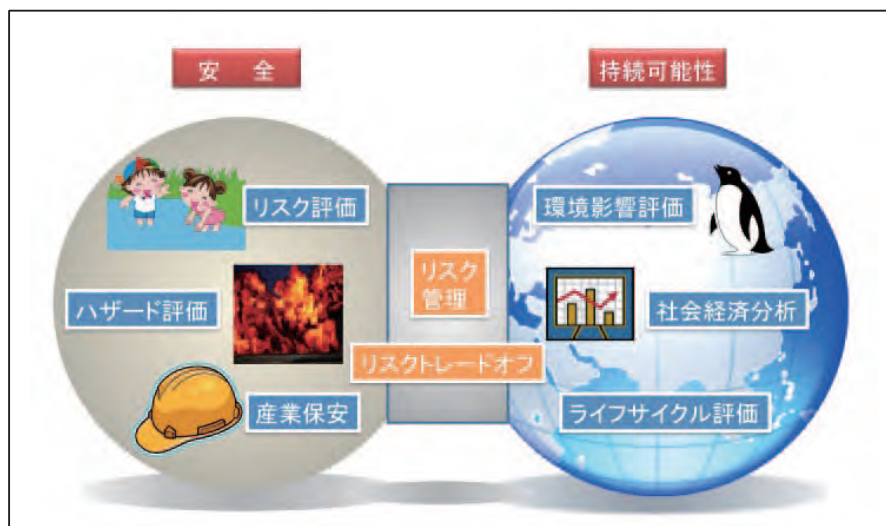
安全科学研究部門は、2008年4月1日の設立以来、「安全」と「持続可能性」を科学的に評価する手法を開発し、イノベーションに貢献することを目標として研究に取り組んでいます。

### リスクとリスクトレードオフ

新しい技術やシステムには、イノベーションへの大きな期待が寄せられる反面、その導入による悪影響も懸念されます。また、新しいがゆえに、そのリスクを評価するのに十分なデータがそろっていないという問題があります。このような問題に対処するため、工業用ナノ材料を例に取り上げ、リスク評価・管理手法の研究を進めています。また、これまで化学物質のリスク評価で蓄積したポテンシャルを活かして、福島県における除染と放射性物質のリスク管理の研究を始めました。

化学物質のリスクは、化学物質自体の有害性と、その化学物質にさらされる(暴露と言います)機会がどれくらいあるかで決まります。これまで、主に産業由来の化学物質による地域や街レベルの集団(ヒトと生物)への暴露状況を解析してきましたが、現在は、日常生活の空間で消費者製品から放出される化学物質の個人への暴露状況を解析する技術を開発しています。

化学物質のリスクが大きい場合は、その使用をやめるか、代替物質への置き換えが行われますが、それによって別のリスクが新たに顕在化することがあります。これをトレードオフの関係といいます。化学物質の使い方について何らかの決定をする際にはこのリス



安全科学研究部門の取り組み：「安全」と「持続可能性」の評価

クトレードオフを明らかにすることが重要で、そのための研究に取り組んでいます。

一部の化学物質には使い方を誤れば火災や爆発を起こす危険性をもつものがあります。その安全な利用のために、火災・爆発危険性を正確に評価する手法を開発しています。また、火薬類や可燃性ガスを利用する中で、万が一、事故が起きた場合に、その影響を低減し、被害を小さくするための研究を進めています。

新しい技術やシステムを導入する際には、それが環境、経済、社会の側面から見て持続可能であるかどうかを評価することが必要です。このため、バイオマスを取り上げ、エネルギーや工業原料に利用するシステムがどのような形態・規模だと持続可能であるかを明らかにする研究を行っています。また、その過程で必要となる環境影響の定量化技術の開発では、例え

ば、地球温暖化や資源消費などに加えて、新たに注目が高まっている水消費や土地利用の環境影響評価に対応するなど、より精密な評価手法の開発を進めています。

### おわりに

このように、「安全」と「持続可能性」にかかわる評価が必要とされる場面は数多くありますが、個々のケーススタディに取り組む中から普遍的な方法論を見だし、安全科学の確立に向け努力していきたいと思えます。

安全科学研究部門長  
よつもと ひろき  
四元 弘毅

# カーボンナノチューブ (CNT) の安全管理を支援

## CNT の安全管理の必要性

CNTは、髪の毛のおよそ1,000分の1～10万分の1の太さの非常に細い筒状炭素材料であり、高い機械的強度や電気／熱伝導性などをもつ革新的素材として、さまざまな分野での応用が期待されています。その一方で、新規材料ゆえにその安全性の評価や適切な安全管理が望まれています。そこで、私たちは、CNTを取り扱う作業者がCNTを吸入した場合の影響に焦点を当て、その有害性を評価する方法や暴露の状況を把握する方法の技術開発を進めてきました。

## CNT の有害性を評価する方法

吸入に伴う影響を評価する試験としては、試験動物へCNTを吸入暴露させる「吸入暴露試験」が最も信頼性が高いのですが、この試験は特別な設備や、多大な費用・時間が必要となります。

そこで、より簡易な試験として、液中に分散させたCNTを注射器などにより試験動物の気管内に直接投与する「気管内投与試験」、さらに動物を使わない簡易で迅速な「培養細胞試験」を効率的に利用するフレームワークを考えました(図1)。そして、その試験結果をもとに「リスク評価書」を作成・公開し、CNTを取り扱う事業者が安全管理を進める上で必要な許容濃度を提案しました。また、各試験の試料調製法や粒子径・濃度の計測法などを「試験手順書」としてとりまとめて一般に公開し、CNTの有害性評価が適切・簡単に行えるように支援しています。

## CNT への暴露の状況を把握する方法

CNTへの暴露の状況を把握するために、飛散したCNTを計測する計測技術の開発、そして、実際にCNTを取り扱う現場の調査や模擬排出試験を

行っています(図2)。これまでに、「計測の手引き」や「排出暴露評価書」を作成・公開し、事業者の安全管理を支援しています。

この研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業の成果であり、その一部は、技術研究組合単層CNT融合新材料研究開発機構 (TASC) に参画して実施したものです。また、ここで紹介した文書は安全科学研究部門のホームページ (<https://www.aist-riss.jp/main/modules/product/category0001.html>) で公開しています。

安全科学研究部門  
物質循環・排出解析グループ  
おぐら いさむ  
**小倉 勇**  
リスク評価戦略グループ  
ふじた かつひで  
**藤田 克英**



図1 有害性試験フレームワーク

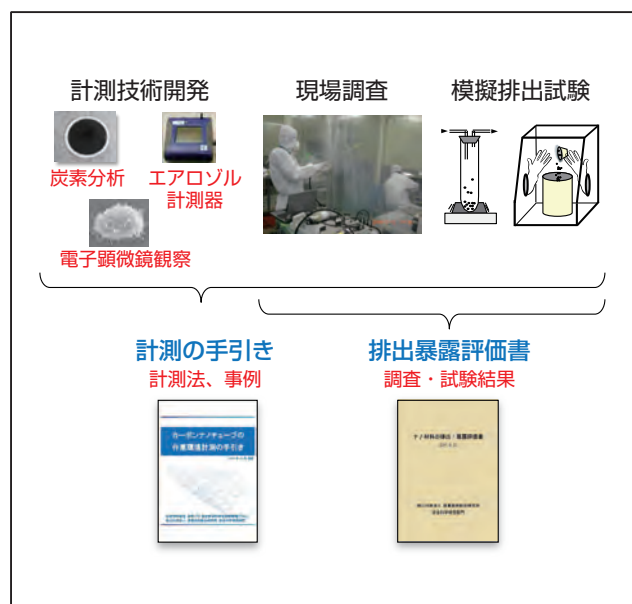


図2 暴露評価フレームワーク

# 福島における放射性物質のリスク管理研究 — 除染の効果と費用の推定から被ばく線量評価まで —

## 現実のリスク管理問題と対峙する

福島第一原発事故に伴い放射性物質で汚染された広範な地域の除染はどうあるべきか。除染事業には莫大な費用と労力が必要です。除染の方法と効率は環境によって異なり、除染をしても、すべての場所の線量が事故前の状態にすぐに戻るわけではありません。このような除染の問題に対して、私たちは2012年4月、所内外の研究者の協力のもと、除染のあり方を考える研究グループを立ち上げ、放射性物質の適正なリスク管理・対策につながる政策的な議論の土台となる情報提供を目的とした問題解決志向の研究を始めました。

## 除染の費用はどれくらいかかるの？ その効果は？

私たちがまず取り組んだのは福島県

における除染の効果と費用の計算です。空間線量率、土地利用、除染効率や除染原単位などの複数の知見を体系的に積み上げ、地理情報システム(GIS)を活用して、除染の効果と費用を解析しました。その結果、除染費用は、仮置き場や中間貯蔵施設なども入れると、除染特別地域で約1.8兆円、除染実施区域も合わせると福島県全体で最大で約5兆円に達すると推定し、除染をしても空間線量率が政府の目標とする値に短期間では達しない地域があることを示しました(図1)<sup>[1][2]</sup>。

## 実態に合う被ばく線量を知る・推定する

効果的な被ばく低減対策や放射線に対する不安解消のためには、現実的な被ばく線量の把握とその推定手法の確

立が必要です。産総研が開発し<sup>[3]</sup>株式会社千代田テクノルが製品化した携帯型個人積算線量計(D-シャトル)は、いつ、どこで、どれくらい被ばくしたかを知ることができます。私たちは現在、D-シャトルやGPS、行動記録を組み合わせ、空間線量と被ばく線量、個人の行動との関係を定量的に把握し、そのデータに基づき実態に合う被ばく線量の推定を可能にする手法の開発に取り組んでいます(図2)。

安全科学研究部門  
リスク評価戦略グループ  
ないとう わたる  
内藤 航  
地圏資源環境研究部門  
地圏環境リスク研究グループ  
やすたか てつお  
保高 徹生

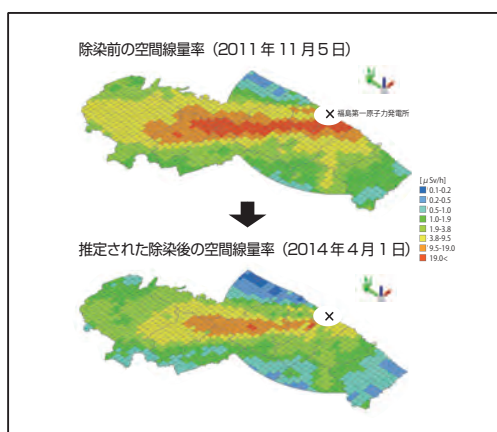


図1 GISを活用し、空間線量率と土地利用の基盤情報および土地利用別の除染効率のデータを統合・解析、除染の効果と費用の面的な広がり推定<sup>[1][2]</sup>

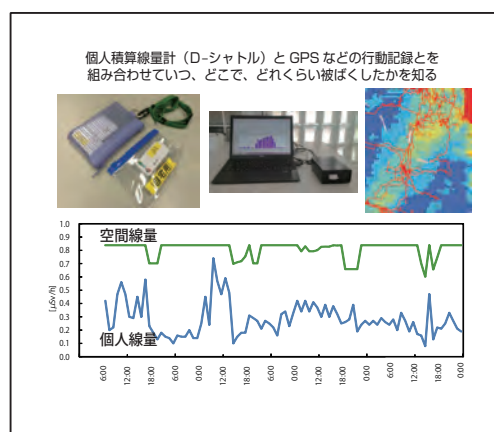


図2 D-シャトルとGPS/GISを活用し、個人線量と空間線量の関係を把握

## 参考文献

- [1] 産総研安全科学研究部門ホームページ 除染の効果と費用に関する解析について <http://www.aist-riss.jp/main/modules/research/content100.html>
- [2] T. Yasutaka et al.: PLoS ONE, 8(9), e75308 (2013).
- [3] 産総研プレスリリース 2012年2月13日 日々の線量を記録できる個人向け放射線積算線量計

# 安全で持続的発展可能な社会を目指す評価技術

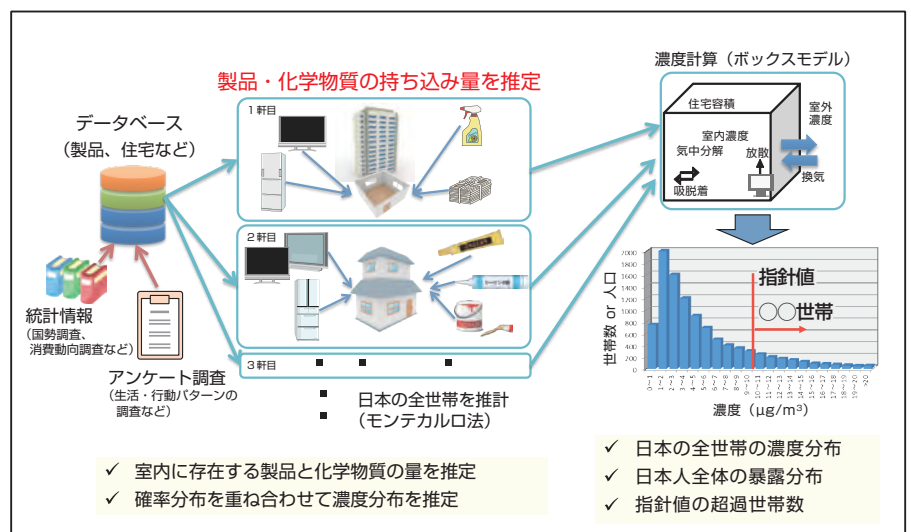
## 消費者製品からの化学物質暴露を評価するツールの開発

### 環境暴露から消費者製品暴露へ

化学物質のヒトへの暴露には、大気や水などを經由する環境暴露や、化学物質を取り扱う工場などでの職業暴露のほかに、日常生活で身近に使用する物（消費者製品）からの暴露があります。これまでは工場の煙突からの大気汚染など環境経由の暴露が大きな問題でしたが、近年はシックハウス症候群に代表されるように、身近な環境での消費者製品からの化学物質暴露による健康影響が注目されています。私たちは、これまで大気や水などを經由する環境暴露を中心にモデル開発とツール化の研究を進めてきましたが、現在は消費者製品暴露の手法とツールの開発に重点的に取り組んでいます。

### 開発中のツールの特徴

現在開発を進めているツールは、日本の住宅の中に存在する消費者製品に含まれる化学物質のヒトへの暴露を推定します。調剤（洗剤、殺虫剤など）と成形品（テレビ、家具など）からの暴露に対応し、室内空気を介した吸入暴露、製品との直接接触による経皮暴露、直接接触とハウスダスト経由による経口暴露を対象としています。私たちのツールの優れた特徴の一つは、データベース内蔵型のソフトウェアであることです。家屋の種類、面積など住宅に関する基礎情報、体重や呼吸量など人間に関する基礎情報についてわが国の実態に基づいたデータセットを内蔵しています。化学物質や製品に関する情報については、いくつかの代表的な物質、製品、用途に関するデフォルトのデータセットを用意する予定ですが、



### 室内暴露評価ツール (iAIR) の計算の仕組み

ユーザーが新たなデータを簡単に追加できるようなメンテナンス性に優れた仕組みを同時に開発する予定です。

### これまでの成果と今後の予定

消費者製品からの暴露については、私たちはこれまで、室内の吸入暴露の研究を先行して進めてきました。市販のパソコンで動作するソフトウェアとして、室内暴露評価ツール (iAIR) を安全科学研究部門のウェブサイトで公開しており無償でダウンロードできます。現在は、室内暴露評価手法の精緻化を進めるのと同時に、経皮・経口暴露についても評価手法の開発に取り組んでいます。私たちの計画では、吸入、経皮、経口の3つの経路からの暴露を統合的に推定できるツールを2016年頃に完成させる見込みです。現在は消費者製品からの暴露を評価するツール

や関連データがないため、極端に安全側の値を用いて過大に評価されていますが、このツールが完成すれば、行政機関や企業などにおいて、現実的なシナリオに基づいた適切な評価ができるようになることが期待されます。

この研究は、経済産業省の委託事業によるものです。

安全科学研究部門  
環境暴露モデリンググループ  
ひがしの はるゆき  
東野 晴行

# 難燃剤と金属のリスクトレードオフ評価

## 化学物質のリスクトレードオフの問題

産総研では2001年から2006年まで化学物質のリスク評価手法の開発に取り組む、27物質の詳細リスク評価書を策定しました。そして、国内企業などによるそれらの化学物質のリスク低減が図られる一方で、他の物質へ代替される事例が増加し、元物質のリスクよりも代替物質のリスクの方がかえって増加する懸念も出てきました。このような関係をリスクトレードオフと言います。そこで産総研では、化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発を2007年から2011年まで実施しました。

## 欧州指令対応の物質代替を対象

欧州では、電気・電子機器に含まれる鉛、カドミウム、水銀、六価クロム、ポリ臭化ビフェノール(PBB)、ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)の6物

質の使用を制限するRoHS指令が2006年に施行されました。欧州に製品を輸出する国内事業者も物質代替の対応を迫られ、鉛はんだから鉛フリーはんだへ、臭素系難燃剤からリン系難燃剤などへ代替が進められてきました。それらの物質代替事例を対象に、リスクトレードオフ評価を実施しました。

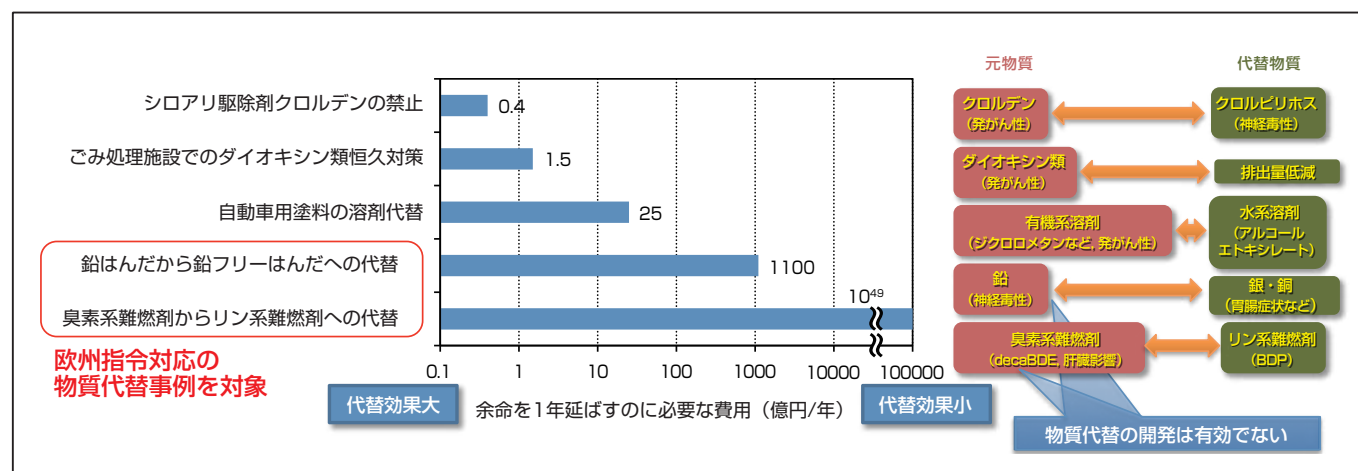
## リスクトレードオフ評価を実施

代替物質の有害性や暴露に関する情報が元物質よりも少ないため、代替物質の排出量や環境中挙動がわからない、代替物質の毒性が不明で、元物質と比較できないといった問題がありました。そこで、物性や製造工程条件を考慮した排出シナリオを作成し、暴露解析を実施しました。また、代替物質のようにデータが少なくても有害性を推論できるツールを構築し、元物質と代替物質を同一尺度で科学的・定量的

に比較する手法を構築しました。さらに、社会経済分析を行い、人間の余命を1年延ばすのに必要な費用を算出し、過去の対策事例と比較しました(図)。その結果、物質代替はリスク低減に若干寄与するものの、国内全体としては費用損失がきわめて大きい懸念があることが示されました。リスクトレードオフ評価書、評価ガイドライン、各種のツールやモデルを作成、公開し、事業者の物質代替の取り組みを支援しています。

この研究は、経済産業省の委託事業によるものです

安全科学研究部門  
物質循環・排出解析グループ  
つねみ きよたか  
恒見 清孝



リスクトレードオフ評価にもとづく社会経済分析結果

## 爆発性銀化合物の熱分析

### 爆発性物質の評価

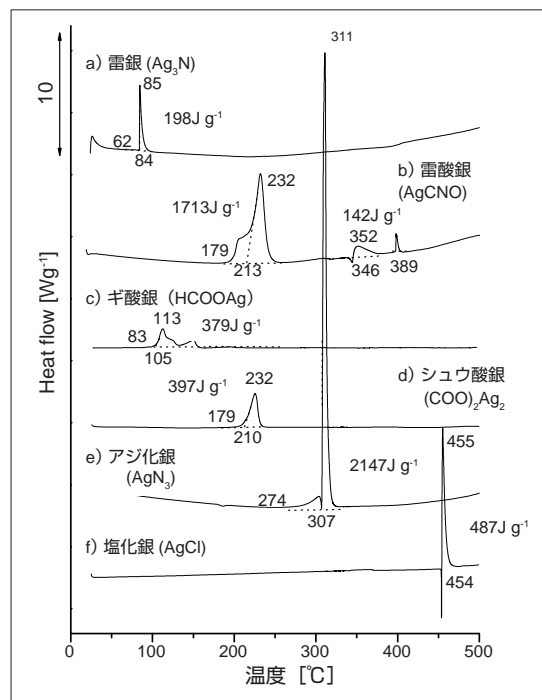
化学物質の爆発性は発熱分解反応のエネルギーと密接な関係があります。このため、熱分析装置で発熱分解エネルギーや発熱開始温度を測ることは爆発危険性を評価するために最も重要な計測です。よく使われているのは示差走査熱量測定 (DSC) という分析法です。この方法では1 mg程度の試料を耐圧性のある金属試料容器に密封し、一定の加熱速度 (例えば、毎分5℃) で温度を上げていき、何度で発熱分解するかを調べます。

国連が定める危険物分類試験では有機化合物の場合、DSC試験による発熱分解エネルギーの値が800 Jg<sup>-1</sup>未満であれば、大型の爆発危険性評価試験を行う必要がありません。消防法危険物第5類自己反応性物質を分類する試験でもDSC試験が使われます。また、多くの化学会社が爆発危険性評価にDSC試験を利用しています。

このようによく使われているDSC試験ですが、無機化合物の評価は難しく、専門知識が必要です。ここでは、爆発性のある銀化合物の評価例を紹介します。

### 爆発性のある銀化合物

最近、爆発性の銀塩に関する問い合わせ・研究依頼が多くなっています。銀ナノ粒子が注目されているためと思われる。銀には殺菌効果がありますし、プリンティング材料としても使い道が期待されています。銀ナノ粒子を作るには、ガス化する陰イオンを持つ銀化合物を使えばよいのではと考えるのが常道でしょう。しかし、そのような銀化合物は爆発性があるので注意が



爆発性銀化合物のDSCプロフィール

必要です。

図は爆発性のある銀化合物についてDSC試験を行った結果です。縦軸は発熱速度であり、横軸は温度です。評価は発熱開始温度が低いほど危険であり、発熱分解エネルギー (発熱部分の面積に相当) が大きいほど危険であると判断します。また、鋭く立ち上がるものは激しく分解していることを示しています。

特徴的なのは雷銀とアジ化銀です。これらは激しく分解することがわかります。雷銀は銀化合物をアンモニア水に溶かす時に偶発的に生じる物質であり、わずかな刺激で爆発するとともに危険な物質です。しかし、発熱分解エネルギーは大きくありません。これに対してアジ化銀は発熱分解エネルギーが大きく、かつ、激しい分解があります。しかし、発熱開始温度は高いので安定

であり注意をすればグラムスケールで取り扱うことができます。雷酸銀もよく知られた爆発性物質です。これに対してギ酸銀やシュウ酸銀は爆発性があまり知られていませんが、DSCプロフィールを見る限り、注意すべき物質といえます。では、塩化銀はどうでしょうか。実は450℃付近の激しい発熱は、塩化銀の融解に伴う試料容器のステンレスと塩素分との反応による発熱であり、塩化銀の分解による発熱ではなく、爆発性はありません。

今後は無機化合物についても爆発性を適正に評価できるような手法の体系化を目指していきます。

安全科学研究部門  
高エネルギー物質研究グループ  
まつなが たけひろ  
松永 猛裕

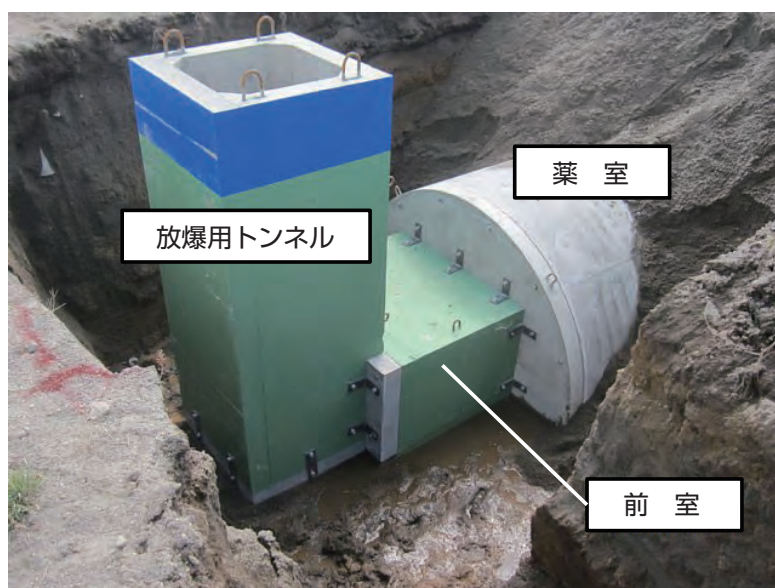
# 爆風の低減化技術に関する研究 —火薬類貯蔵施設などをより安全にするために—

## 公共の安全を確保する

私たちは、日々「爆発」という言葉を耳にします。爆発物の中でも黒色火薬やTNTなど産業上有用なものは、火薬類と呼ばれています。火薬類は、一度爆発災害が発生すると、当事者はもちろん、広く一般の公衆にまで被害が及ぶ可能性があります。このため、日本では火薬類取締法(火取法)で規制し、「公共の安全を確保」しています。火取法では、保護すべき家屋など(保安物件)と火薬庫の距離(保安距離)を、貯蔵量と保安物件の種類に応じて定めています。しかし、宅地化が進んで火薬庫の周辺に住宅が接近すれば、規定の保安距離をとれなくなる事態も想定されます。こうした事態には、科学的に合理的で十分に安全であると判断される場合には、火薬類貯蔵施設などの保安距離を見直す(短縮する)ことで対処できると考えられます。そのため、私たちは、保安距離を短縮してもなお、「公共の安全を確保」しうる技術(爆風の低減化技術)の研究開発を重点的に進めています。

## 爆風を低減するためには

ここでは、地下に設置する火薬庫(地下式火薬庫)について検討した例を紹介します。具体的には、火薬類を貯蔵する部屋(薬室)と、薬室に通じる部屋(前室)を地下に設置し、前室から地上までつながった爆風の通り道(放爆用トンネル)をもつ構造の火薬庫を研究の対象としました。地上式火薬庫は、万一の爆発の際に、爆発のエネルギーが水平方向に拡がるため、保安物件に対して十分な保安距離が定められてい



埋設作業中の地下式火薬庫モデル (6分の1スケールモデル)

ます。一方、地下式火薬庫は、周囲が地盤に囲まれていることで、爆発のエネルギーが前室と放爆用トンネルを通過して上空へ放出されるため、水平方向への拡がりは限定的で、爆風は減衰します。地下式火薬庫にすることで、爆風を低減させて保安距離を短縮できる可能性があるわけです。

## これまでの成果と今後の予定

地下式火薬庫による爆風の低減効果、保安距離の短縮効果を確認するために、平成19年度から22年度にかけて、最大78キログラムの爆薬を用いた実証実験(図)を行いました(経済産業省の委託事業として実施)。その結果、地下式火薬庫の保安距離は、地上式火薬庫の場合の6割程度まで短縮で

きるようになりました。この結果に基づいて、平成24年度に火取法が一部改正(経済産業省令 第三十九号)され、地下式火薬庫に関する条文が、施行規則に追加(規則 第二十五条の二(地下式一級火薬庫の位置、構造及び設備))されました。

爆風の低減化技術は、今回紹介したものだけではありません。私たちは今後も、「公共の安全を確保する」という観点で研究を遂行し、得られた成果については引き続き、法令の改正につなげていく予定です。

安全科学研究部門  
爆発衝撃研究グループ  
まつむら ともはる  
松村 知治



## 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

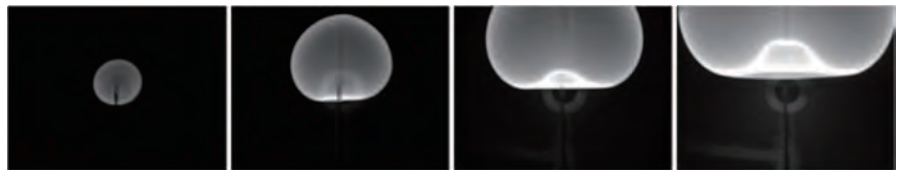
### 各種ガスの安全利用のために

近年増加しつつある高圧ガスに関連する事故の防止、オゾン層破壊や地球温暖化に配慮した次世代の冷媒の有効利用や水素社会構築のための基準の整備など、各種ガス類の燃焼爆発危険性評価や安全利用技術に対する要望が高まっています。私たちは、国内唯一の大型可燃性ガス風洞を用いた漏洩、拡散挙動に関する研究や大規模な野外での燃焼爆発実験の経験を活かし、経済産業省やNEDOの委託事業などで各種ガスの安全利用に関する研究を実施しています。

高圧ガスに関しては、可燃性ガスが化学プラントなどで火災、爆発事故を起こした際の影響評価ツールの開発を目的に、水素やプロパンガスの火炎が時間とともに加速していく様子や、化学プラント内の塔槽類や各種構造物などを模した障害物が火炎伝播や爆風圧に与える影響を観測して、数値計算の基礎となるデータを取得しました。

支燃性ガス（酸素のように可燃性物質の燃焼を助ける性質をもつガス）に関しては、過去に事故を起こしている三フッ化窒素などの各種支燃性ガスの燃焼特性評価を行い、どのような基準で支燃性ガスの危険性を分類すればよいかを検討しています。

ジフロオロメタン（R32）などは、次世代の冷媒としてオゾン層破壊や地球温暖化の問題を大幅に低減できる可能性がある一方で、わずかに燃焼する性質（微燃性）を示します。このような微燃性冷媒の危険性を評価するため、燃焼速度の遅い微燃性冷媒でも評価できる直径1 mの大型の燃焼試験容器を用



ジフロオロメタン(R32)の燃焼の様子(当量比1.2, 左から着火後100, 200, 300, 400 ms)<sup>[1]</sup>  
通常は球形に広がる火炎が、燃焼速度が遅いため浮上しながら燃焼する

いて、燃焼特性試験などを実施しています。

### 水素社会の構築に向けて

水素社会において水素を都市ガスのように一般家庭に供給する導管網を構築することを目的に、低圧の導管からの水素の漏洩、拡散挙動や漏洩した水素に着火した際の爆発影響などを実験によって評価し、ガス事業者が事故時の対策を検討するための基礎データを提供しました。また、新規に敷設された導管内は空気で満たされています。水素と空気との可燃性雰囲気を形成せずに安全に空気を水素で置換する技術の実験的調査を行い、導管工事の際の技術基準作成の基礎データを提供しています。

一方、2015年の燃料電池自動車の本格普及に向けて建設が進められている水素ステーションの社会受容性の向上を目的に、万が一の事故時の被害を数値シミュレーションで予測し、安全対策によるリスク低減効果を定量的に示すための研究、ヒューマンエラーや管

理不良などに起因する事故を防止するための保安全管理ガイドラインの提案のほか、燃焼爆発リスク、ヒト健康リスク、温暖化リスクの定量的評価結果に基づく社会受容性調査によってリスクイメージの変化を促す研究などを実施しています。

ここで紹介した内容の一部は、経済産業省委託事業、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)再委託事業の成果です。

### 引用文献

[1] Saburi, T. et al.: Proc. of the 7th Intl. Seminar on Fire & Explosion Hazards, 330-339 (2013).

安全科学研究部門  
爆発利用・産業保安研究グループ  
和田 有司

# バイオマスエネルギー利活用の持続可能性評価

## バイオマスエネルギーへの期待と懸念

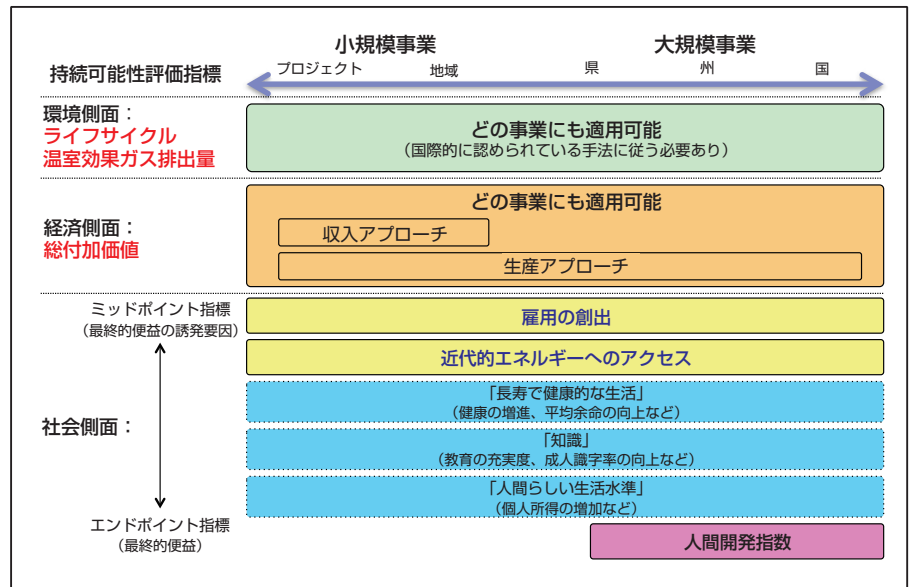
植物由来のバイオマスを燃焼したときに出る二酸化炭素は、植物が生育する過程で光合成によって吸収されたものと考えられます。そのため、バイオマスエネルギーは大気中の二酸化炭素の量を増減させない「カーボンニュートラル」の特性をもち、温室効果ガスの増加を抑制するエネルギーの一つとして位置づけられています。また同時に、バイオマスエネルギーの開発による関連産業への経済波及や雇用の創出などの、社会経済効果も期待されています。

その一方で、バイオマスの急速な利用の拡大は、生物多様性の衰退や森林破壊、水資源の枯渇、土地の収奪、食料との競合など、さまざまな負の影響をもたらすことが懸念されています。バイオマスエネルギーを将来にわたって持続可能な形態で利活用していくため、バイオマス利活用が環境・経済・社会に及ぼす影響を正負の両面から評価する必要性が世界中で認識されています。

## 持続可能性評価手法の開発

東アジアにはエネルギーとして利用可能なバイオマスが豊富に存在しますが、現状では多くの国がエネルギーの大部分を化石資源に頼っています。この地域の今後の経済成長には、バイオマスエネルギーの利活用を促進すべきであると考えられており、そのために持続可能なバイオマスエネルギーの利活用形態のあり方が問われています。

安全科学研究部門では東アジア各国の研究者らとともに、この地域に適し



## 東アジアに適したバイオマスエネルギー利活用持続可能性評価指標

データの利用可能性から、事業の規模に応じた評価方法・評価指標を環境・経済・社会側面に採用

たエネルギー利活用に伴うバイオマスの持続可能性を環境・経済・社会の三側面から評価する手法の開発に、2007年より取り組んできました。この手法では図に示すように、環境側面はライフサイクル全体にわたる温室効果ガス排出量、経済側面は付加価値、社会側面は雇用創出・エネルギーへのアクセス向上・人間開発指数（国連開発計画が提案する、人間的な生活度合いを測る指標。平均余命、識字率、就学率、国内総生産によって決まる）を、評価指標として採用しました。

## 今後の展開

開発した手法によるバイオマスエネルギー利活用の持続可能性の結果は、事業の意思決定者が事業を開始すべきか、あるいは継続すべきかなどの意思

決定を支援します。またこの手法で採用した評価指標は、太陽光や風力、小水力など、東アジアの農村地域での電化に重要な役割を果たす、小規模分散型の再生可能エネルギーの持続可能性評価にも応用することができるため、2013年からは東アジアに適した再生可能エネルギーの持続可能性評価手法の開発へと研究を展開させています。

なおこの成果は、東アジア・ASEAN経済研究センター（Economic Research Institute for ASEAN and East Asia, ERIA）の委託業務によるものです。

安全科学研究部門  
 素材エネルギー研究グループ  
 工藤 祐揮

# 安全で持続的発展可能な社会を目指す評価技術

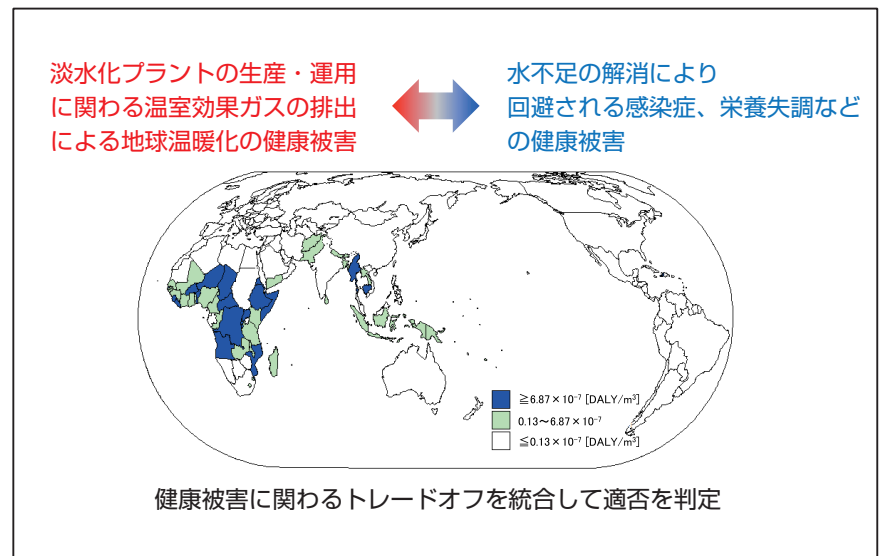
## ウォーターフットプリント —水利用に隠れた環境影響の見える化—

### 技術やシステム導入に関連して新たに注目される水資源問題

技術やシステムを導入することで起こる環境面での変化は、地球温暖化や資源消費など一つだけでなくさまざまな環境問題にかかわる場合が多く見られます。このような環境問題にかかわる影響の間で両立しえない状況（トレードオフ）が起こることがあり、安全科学研究部門ではさまざまな環境問題の影響を幅広く評価するための手法を開発してきました。一方、社会環境の変化によって新たに定量的評価に対する期待が高まっている環境問題もあります。その一つが水資源の問題です。特に、新興国や途上国では人口増加や経済成長に伴う水需要が増加する一方、利用できる淡水資源は限られており、水資源を消費することで起こる影響が懸念されています。

### 地域による違いの考慮と世界規模での評価の両立

水資源は地域的に偏って存在し、利用できる水資源量と需要とのバランスからみた水不足の深刻さの程度は地域によって異なります。また、世界のさまざまな地域や国で原材料や部品が生産されるようになり、技術やシステムにかかわる影響は生産される場所だけでなく、原材料の生産から、技術やシステムの使用・廃棄の段階を通じて世界に広がっています。こうした技術やシステムの一生を通じた水利用によって生じる隠れた環境影響を数値として見えるようにするための分析は「ウォーターフットプリント」として注目を集め、分析方法に関する国際標準



淡水化プラント導入の適否判定における健康被害トレードオフ評価の例  
青色で塗られた地域が適地。数値が高いほどメリットが大きい

規格の作成も進められています。

水資源の消費に伴う環境影響を評価する上では、地域により異なる水需給バランスや社会・環境条件を考慮し、かつ世界規模で分析可能なモデルを構築することが不可欠です。私たちは水資源の消費によって起こる人間健康被害（感染症被害や食糧不足による栄養失調被害）を対象として、水利用状況、気象条件、医療機会、栄養状態、食糧貿易を通じた他国との関係など国レベルの特徴を考慮し、地域による違いと世界規模での分析を両立させた水資源の消費にかかわる健康被害評価モデルを構築しました。これにより地球温暖化などの評価技術と組み合わせることで、例えば淡水化プラントを導入する上で、化石エネルギー消費による温室

効果ガス排出に起因する健康被害と、水不足を解消することで回避できる健康被害とのトレードオフを評価できるなど(図)、技術やシステムに関わるトレードオフ評価の進展が期待されます。

### 今後の予定

今後は評価技術のさらなる精緻化に向けて、水資源に関わる生態系への影響として陸域や水域の生態系に対する影響を評価するためのモデル開発を目指しています。

安全科学研究部門  
社会とLCA研究グループ  
もとした まさはる  
本下 晶晴

# 農作物生産性向上のためのセンシング技術 施設栽培作物の生育環境の解析に向けた FS 連携

## 農業分野における IT 活用

日本の農業は、1985年の農業総産出額11兆7千億円をピークに減少傾向にあり、2012年は8兆5千億円となっています。近年の農産物輸出入に関する海外諸国との関係、少子高齢化などによる就労人口の減少などを考え合わせると、この傾向に歯止めをかけるには制度改革とともに技術革新をいっそう進める必要があるといえます。

IT活用による生産性向上に関する研究開発は、他の産業同様農業分野においてもさまざまな機関で長年行われてきました。また、現場でのIT機器利用も広がっています。農林水産省が2012年に行った「農業分野におけるIT活用に関する意識・意向調査」の結果によれば、パソコンや携帯型情報端末は7割以上の農業従事者が所有し、5割以上が経営に利用していると回答しています。

しかし、これらIT機器の利用目的は、「インターネットによる栽培、防除、気象、市況等情報収集」と「経理事務や経営に関するデータ分析」が7割、「農作業履歴や出荷履歴の記録」が5割であり、「農業技術や飼養管理技術のデータベース化」や「センサーやカメラなどを活用した圃場や畜舎の環境測定」は1割に満たない状況です。情報収集や帳簿管理が主要な目的といえ、



1989年、旧電子技術総合研究所に入所。自然言語処理、画像処理、ユーザーインターフェースの研究に従事。近年、これらとともに、各種センサーや組込みシステムを用いたスマートセンサーの開発およびセンシングデータの解析に携わっています。

**永見 武司** (ながみ たけし)  
nagami-takeshi@aist.go.jp  
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  
主任研究員 (つくばセンター)

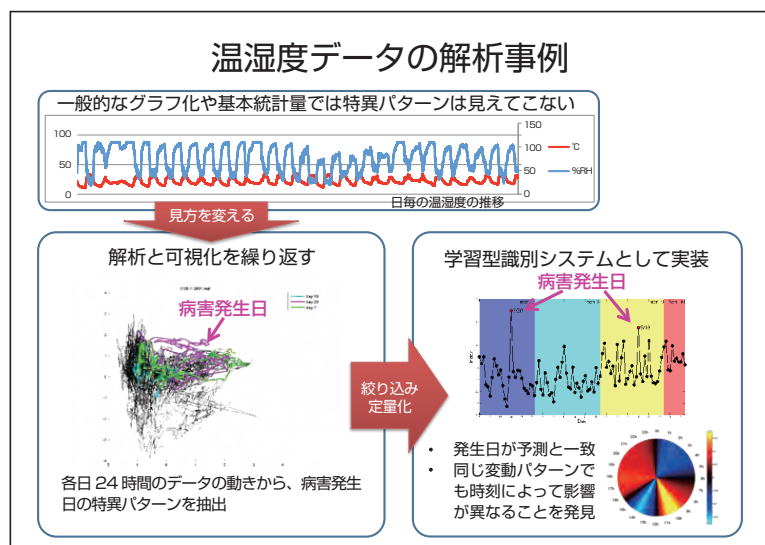


図1 温湿度、炭酸ガス濃度のデータから変動パターンを抽出し、病害発生日を予測した例

生育環境の把握や施設・設備の運用管理に活用する例は少数にとどまっています。

## 連携に至る経緯

私たちはこれまで、電子部品などの製造施設において、工程管理や不良品検出を目的とした環境センシングやセンシングデータの解析を行ってきました。工業製品の製造現場では、品質管理のためにさまざまなデータ採取が当たり前のように行われおり、よりいっそうの生産性向上のために高度なセンシング技術やデータ解析技術が求められています。これは、製品の信頼や競

争力を維持・強化するために不可欠なこととされています。

私たちは農業分野でも、このような品質向上や収量安定のための工程管理や環境センシングが必要だと考えています。実際、オランダのトマト生産では、温湿度や炭酸ガス濃度、養液などを時間単位で把握し積極的に制御する方法がとられています。

また、私たちが別件で行ったデータ解析では、トマトの施設栽培において温湿度と炭酸ガス濃度の日内変動パターンからカビ病の発生日を予測できることを確かめました。これには、新たに開発した複数種類のセンサーから得られたデータセットを対象に複雑に絡み合っている複数の要因を実用時間内に抽出する手法<sup>1)</sup>を適用しました(図1)。

一方、豆苗などのスプラウト類の生産販売を行う株式会社村上農園では、本拠地広島を中心に消費地に近い関東や九州など各地に生産拠点を置き、最新栽培法を取り入れた大規模生産を行っています(図2)。栽培施設では、種子の浸潤状態や養液、各種センサーによって取得された温湿度、日照量な

どの環境データから生育環境を推定して、これらを出荷計画に照らし合わせて制御し、徹底した管理のもと安定した品質と収量での出荷を実現しています。

施設栽培について、すでに多くのデータを蓄積し、ノウハウを構築して効率的な生産を行っているように見受けられますが、さらなる改善を図るため、豆苗1本1本の生育のばらつきのいっそうの低減、拠点間で異なる環境制御の効率化などの課題にも取り組んでいるようです。

今回、地域イノベーションハブ機能の強化を推進する産総研中国センターとイノベーションコーディネータから私たちのところへ連携研究の話が持ち込まれたのは、このような環境制御を課題とするものでした。

### FS 連携の内容

多くの連携研究では、課題に対し秘密保持契約を締結して具体的な検討や知財の整理を行った後、共同研究などによって課題に着手するのが一般的です。しかし、今回はFS連携制度を活用しました。早期に双方の状況や考え方を理解してすり合せ、解明すべき課題に対する試行的なデータを採取するには都合のよい制度だと判断しました。FS連携の趣旨は、「将来の本格的な共同研究などによる技術開発などの可能性を検討・確認することを目的として実施する試行的な連携」となっています。従来の共同研究契約を締結するよりは早期に課題に着手することが可能ですが、期間は最長6ヵ月、実施中に新たな知財は発生しない前提であるなどの制限があります。

具体的な課題や実施内容が言える段階にはありませんが、おおよそ栽培施設において各生育過程におけるセンシングデータと生育状況とを照合し、現状の管理制御を精密化することを目的としました。例として種子の状態、その発芽状態に至るまでの環境センシ



図2 村上農園山梨北杜生産センターの豆苗育成場

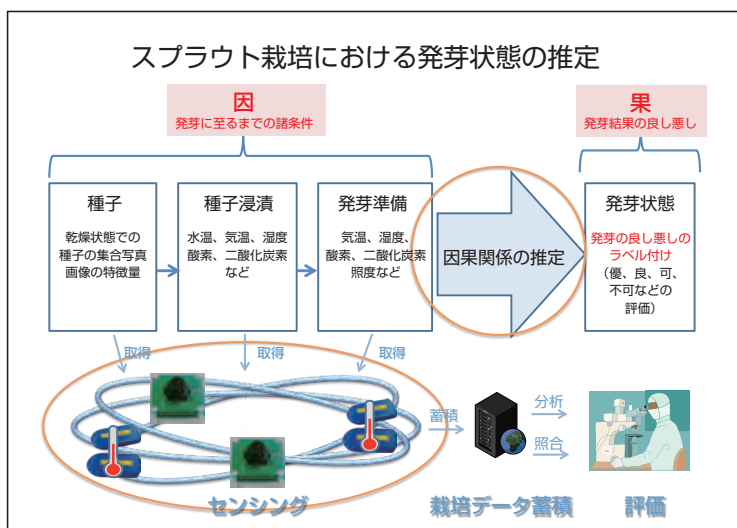


図3 種子の状態およびその発芽状態に至るまでの環境センシング

ング、発芽状態を評価して選別する工程に関する実験やその後の実施内容の検討を行っています(図3)。

実験にあたっては、既存センサーのデータの提供を受けるとともに、私たちが保有している装置やプログラムを若干改良して持ち込み測定しています。

### 今後の展開

現在、発芽状態までの環境測定や種子の状態のデータ化まで進んでいます。今後は、共同研究として次のフェーズへ移行し、発芽状態の良否判定、それに関連する環境要因の推定などを行い、以降の栽培工程でもセンシングを行う予定です。

私たちの目指すところは、生産現場

で発生している問題について解決方法を探り、確立して、支援システムとして実際に適用することです。そのためには、条件統制された実験ではなく、あくまでも生産している現場でのセンシングが重要であると考えています。生産現場でのデータ取得にはさまざまな課題がありますが、すでに私たちはある程度のノウハウをもっており、またそこにこそ技術力を注ぐ価値があると考えています。

### 参考文献

[1] T. Kobayashi and N. Otsu : *Proc. European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 474-487 (2012).

# 移植用細胞の安全性を培養液で検査

## 再生医療の安全性向上へ貢献



館野 浩章

たての ひろあき  
h-tateno@aist.go.jp

幹細胞工学研究センター  
糖鎖レクチン工学研究チーム  
主任研究員  
(つくばセンター)

糖鎖・レクチン工学技術を用いて、幹細胞、およびそれに由来する移植用細胞の品質特性や安全性を検査するための技術を開発し、安全性の高い再生医療の実現を目指しています。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

小沼 泰子、伊藤 弓弦、平林 淳、浅島 誠 (産総研)、福田 雅和、薬科 雅岐、本多 進 (和光純薬工業株式会社)

#### ● 参考文献

H. Tateno *et al.*: *Scientific Reports*, 4, 4069 (2014).

#### ● 用語説明

\* O型糖鎖：糖タンパク質の糖鎖のうち、タンパク質のセリンまたはスレオニン残基に結合している糖鎖のこと。

\*\*レクチン：糖鎖に結合するタンパク質の総称で、ヒトからウイルスまで全ての生物に存在する。

#### ● プレス発表

2014年2月17日「再生医療に用いる細胞の安全性を培養液で検査することが可能に」

### 未分化細胞検査の必要性と課題

ヒトiPS/ES細胞を用いた再生医療で解決すべき最大の課題は、ヒトiPS/ES細胞から分化させた移植用の細胞に未分化のヒトiPS/ES細胞が残存していると、それらが腫瘍を形成する危険性があることです。このため、移植用細胞に未分化細胞がどの程度残存しているかを検査する必要があります。しかしこれまでの方法では、せっかく作った移植用細胞の一部を破壊して検査する必要がありました。そのため、移植用細胞にわずかに混入している未分化細胞を、細胞自体を用いずに簡単に検出できる、新たな検査技術が求められていました。

### 2種類のレクチンを用いた検出システム

私たちは今回、H3+ポドカリキシンという物質が、さまざまな種類のヒトiPS/ES細胞から培養液中に分泌されていることを見いだしました。ポドカリキシンは腎臓など他の組織にも存在する膜タンパク質の一種ですが、そのうちH3+ポドカリキシンは、調べた限りでは通常の体細胞からは分泌されていませんでした。つまり、培養液中のH3+ポドカリキシンを調べることによって、細胞自体を使わずにヒトiPS/ES細胞を検出できることとなります(図)。

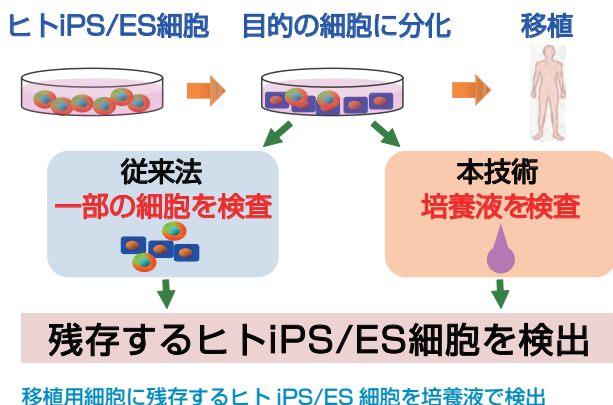
そこで私たちは、H3+ポドカリキシンに多く存在する特徴的なO型糖鎖\*に着目し、それを認識するレクチン\*\*を2種類用いてH3+ポドカ

リキシンを検出するシステムを考案しました。このシステムでは、まずH3+ポドカリキシンを修飾しているO型糖鎖のうちの一つを認識するレクチンrBC2LCNを、プレートに固定化し、培養液中のH3+ポドカリキシンを1時間吸着させます。次にrBC2LCNとは別のO型糖鎖を認識するレクチンrABAの酵素標識体を、H3+ポドカリキシンと1時間反応させます。最後に基質を加えて発色させ、その発色強度を測定することでH3+ポドカリキシン量を決定し、それを分泌したヒトiPS/ES細胞数を算出します。

今回開発した検出システムを用いると、多数の検体を迅速(3時間以内)に検査できます。また、10 mLの培養液で1000万個の細胞を培養している場合、5000個(0.05%)以上のヒトiPS/ES細胞が検出できます。移植用細胞中のヒトiPS/ES細胞の混入率を測定できるため、ヒトiPS/ES細胞を用いた再生医療の安全性評価法として期待できます。

### 今後の予定

この技術を再生医療の細胞源として用いるヒトiPS/ES細胞の規格化や、ヒトiPS/ES細胞から作製した移植用細胞の品質特性や安全性評価に活用し、再生医療の実現に貢献します。また企業との共同研究を通して、この技術を用いた測定キットを開発し、再生医療分野に広く普及させていく予定です。



# 半導体型単層CNTを選択的に合成

## 最大98%の高い選択率を実現



### 桜井 俊介

さくらい しゅんすけ  
shunsuke-sakurai@aist.go.jp

ナノチューブ応用研究センター  
スーパーグループ CNT チーム  
主任研究員  
(つくばセンター)

CNTの工業的量产技術開発や結晶性・純度・長さ・電子構造の制御されたCNTの合成技術開発を行っています。また、成膜・印刷法などを用いたCNTの成形加工技術開発も行っています。これらの技術開発により、導電材料・熱伝導材・各種構造材・半導体用途などにおけるCNT産業の実現ならびにその発展を目指しています。

### 関連情報：

#### ● 用語説明

\*単層CNT：カーボンナノチューブ(CNT)のうち、一層からなるもの。

#### ● プレス発表

2014年2月12日「半導体型単層カーボンナノチューブを選択的に合成する技術開発に成功」

● この研究開発は、最先端研究開発支援プログラム(FIRST)のプロジェクト「グリーン・ナノエレクトロニクスのコア技術開発」(2009～2013年度)の助成を受けて行いました。

### 単層CNT合成における課題

半導体型の単層CNT\*は、その高い移動度などから、新しい超低消費電力トランジスタの材料として期待を集めています。また、その高い柔軟性から、これまでの半導体材料では達成できない、曲げ・伸縮・印刷による作製が可能な半導体デバイスの材料としても注目されています。しかし、単層CNTには炭素原子の並び方によって半導体的な性質を示すものと金属的な性質を示すものがあります。半導体型単層CNTと金属型単層CNTの構造の違いはわずかであり、これまでの単層CNT合成技術では半導体型CNTと金属型CNTの作り分けがとても困難でした。

### 金属触媒微粒子を調整して高い選択率を実現

単層CNTの合成法として幅広く用いられているCVD法では、基材に付着させた金属触媒微粒子に炭化水素ガスを供給してCNTを成長させています。私たちは今回、成長するCNTの構造との関係が強い金属触媒微粒子の構造に着目し、これをCNTの成長前に炉内のガス雰囲気調整する方法を考案しました。

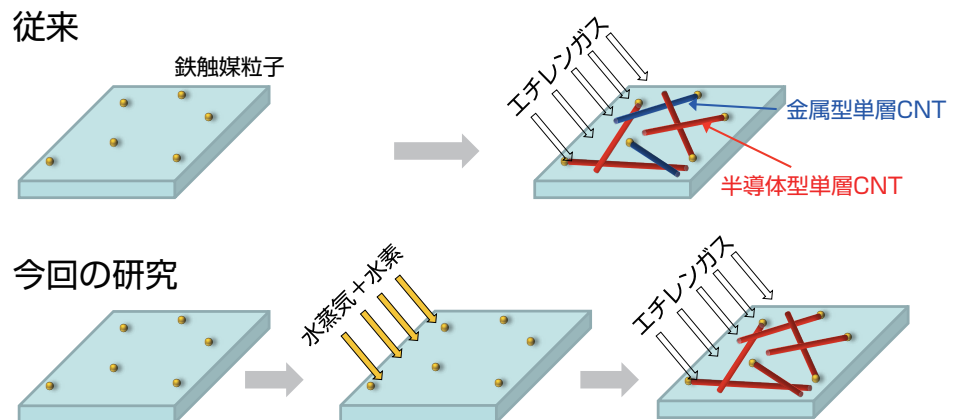
下図に今回開発した半導体型単層CNT選択的合成プロセスを示します。まず、水分と水素の

混合ガスを供給することで鉄触媒の微粒子を調整します。次に混合ガスの供給を停止し、その直後に原料である炭化水素ガスの供給を開始して単層CNT薄膜を合成します。混合ガスに含まれる水分・水素量の調整により、触媒粒子の活性を最適化することで、最大で98%の高い選択率で半導体型単層CNTを合成できました。この選択率は、半導体型単層CNT選択的合成技術の中で最高の値です。

これまでのCNTを用いた電界効果トランジスタでは、混在した金属型CNTによる回路のショートを防ぐために100 μm程度のチャンネル長が必要でした。そこで、今回合成したCNTを用いたトランジスタを試作したところ、5 μmという短いチャンネル長でも、オン・オフ比10,000以上、移動度17 cm<sup>2</sup>/Vs、オン電流1.3 S/mと、従来技術によるCNT電界効果トランジスタを大きく上回る特性を示しました。

### 今後の予定

今後は、半導体型単層CNTの成長選択性を維持しながら、より高収量・高密度に合成する技術開発を進めます。将来的には塗布技術などと組み合わせ、高集積フレキシブル回路の実現や、次世代LSI材料への応用を目指します。



開発した半導体型単層CNT選択的合成プロセスの模式図

# 圧電MEMSデバイス200 mmウエハープロセス

## パルスポーリングで実用レベルの圧電定数



### 小林 健

こばやし たけし  
takeshi-kobayashi@aist.  
go.jp

集積マイクロシステム研究センター  
ライフインターフェース研究チーム  
主任研究員  
(つくばセンター)

圧電MEMSについて材料、デバイス開発、二つの側面からアプローチして研究開発を進めています。新規参入の民間企業も研究開発が行えるような、薄膜形成、デバイス作製からシステム開発まで行えるプラットフォームの構築を目指しています。今回の成果を元に、将来的には産総研で少量生産まで対応できるように発展させたいと考えています。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

瓜生 敏史、森脇 政仁 (大日本印刷株式会社)、牧本 なつみ、鈴木 靖弘、前田 龍太郎 (産総研)

#### ● 参考文献

T. Kobayashi *et al.*: *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 52, 09KA01 (2013).

#### ● 用語説明

\* PZT 薄膜：代表的な圧電薄膜であるチタン酸ジルコニウム酸鉛 (Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>, PZT) 薄膜。

#### ● プレス発表

2014年1月28日「圧電MEMSデバイスを大口径ウエハ上に作製するプロセス技術を開発」

● この研究開発は、内閣府最先端研究開発支援プログラムマイクロシステム融合研究開発、および科研費補助金25820339の支援を受けて行われました。

### ウエハプロセス大口径化における課題

PZT薄膜\*を用いた圧電MEMSデバイスは、インクジェットヘッド、ジャイロセンサーの市場拡大に伴い、需要が増大すると予想されています。このため、圧電MEMSデバイスの製造に用いられている100、150 mmウエハプロセスを200 mmウエハプロセスへ大口径化することによる、製造能力の向上や低コスト化が求められています。しかし、200 mmウエハ上にPZT薄膜を均一に形成することが難しいため、200 mmウエハプロセス化は実現されていませんでした。

### ゾルゲル法により200 mmウエハプロセス化を実現

私たちはこれまで、ゾルゲル法によるPZT薄膜の形成や、これを用いた圧電MEMSデバイス作製の100 mmウエハプロセス技術を確立しており、企業と共同でさまざまな圧電MEMSデバイスの研究試作を行ってきました。

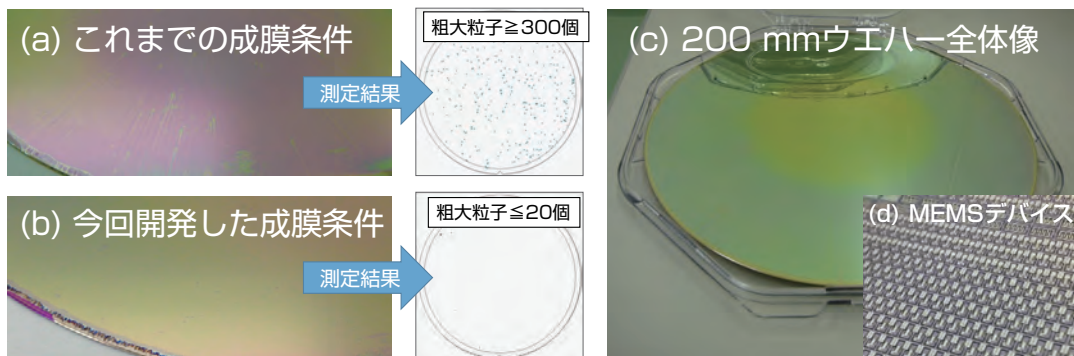
そこで今回は、100 mmウエハプロセスで行う研究試作から、200 mmウエハプロセスで行う量産試作へのスムーズな移行のために、100、150、200 mmウエハにPZT薄膜を同一条件で形成できる自動ゾルゲル形成装置を開発しました。これまで研究試作で100 mmウエハに形成していた条件では、歩留まり低下の原因となる粗大粒子(直径5 μm以上)が200 mmウエハ上に300個以上生成していました。そこ

で、形成時の雰囲気や熱処理条件を工夫することで、良好な圧電特性に有利な(100)/(001)結晶配向性を維持しながら、200 mmウエハあたりの粗大粒子の数を、これまでの300個以上から20個以下に低減したPZT薄膜を形成できました(図)。これにより圧電MEMSデバイスの歩留まりが大幅に向上できると考えられます。

このPZT薄膜を形成した200 mmウエハを、圧電MEMSデバイスに微細加工するプロセス技術を、企業と共同開発しました。作製した圧電MEMSデバイス上のPZT薄膜に、電界強度100 kV/cmの直流電圧でポーリングすることで、圧電定数d<sub>31</sub>で-90 pm/V (-2~2 V駆動時)、-140 pm/V (0~20 V駆動時)と、実用レベルの圧電定数をデバイスの状態で実現できました。さらに、直流電圧にかえて500 kV/cmのパルス電圧を印加することで、d<sub>31</sub>で-105 pm/V (-2~2 V駆動時)と、直流ポーリングの場合を上回る圧電定数を実現しながら、電圧印加の処理時間を1チップあたり1秒以下と、直流電圧印加の1/100以下に短縮することに成功しました。

### 今後の予定

今後は200 mmウエハ面内でのPZT薄膜の均一性を向上させるとともに、研究試作が完了した圧電MEMSデバイスの量産試作を行います。また、企業のニーズに即した研究開発支援体制の構築を目指します。



(a) これまでどおりの条件で形成したPZT薄膜表面(粗大粒子が溶液塗布時のムラとして現れている)

(b) 今回の開発条件で形成したPZT薄膜表面

(c,d) 今回の開発条件で形成したPZT薄膜形成後の200 mmウエハと、200 mmウエハ上に微細加工して作製した圧電MEMSデバイス



## プラズマを用いた流体制御アクチュエータ

### ターボ機械の空力性能を飛躍的に改善する新技術

#### 国際公開番号

WO2014/024590

(国際公開日: 2014.2.13)

#### ●関連特許

登録済み: 国内5件

出願中: 国内3件

#### 研究ユニット:

エネルギー技術研究部門

#### 適用分野:

- ガスタービン・ジェットエンジン・ターボチャージャなどのターボ機械の燃費向上
- 航空機翼や風車翼の揚力向上
- 高速列車の空力騒音低減

#### 目的と効果

ターボ機械に実装可能なさまざまなプラズマアクチュエータを考案し、空力性能を飛躍的に改善するための研究開発を行っています。この特許のプラズマアクチュエータは、従来型に比べて柔軟性・安全性に優れているため、3次元形状の表面や金属筐体に装着することができます。このプラズマアクチュエータをタービン翼列やケーシングに埋め込むことで、タービン翼列のはく離流れや漏れ流れを抑制できるため、流体機械の圧力損失を低減する新しい技術として期待されます。

#### 技術の概要

これまでのプラズマアクチュエータは、図1(a)のように薄い絶縁材を2つの電極で挟んだ「シート型」構造をしています。電極間に高周波・高電圧(数kHz、数kV程度)の交流を加えると、局所的にプラズマ(バリア放電)が発生して翼表面に沿った流れが誘起されます。可動部のない簡単な構造で、流体機械のはく離

制御や摩擦抵抗低減の流体制御デバイスとして注目を集めています。産総研では、図1(b)のように、柔軟性の高い絶縁被覆電線を電極にした「ひも型」プラズマアクチュエータの開発に成功して、設置しやすさと安全性を向上させました。さらに、図2のように、ひも型アクチュエータをターボ機械のケーシングに埋め込み、回転翼列の先端すきまに発生する漏れ流れを、プラズマによって抑制する「リング型」プラズマアクチュエータを開発しました。

#### 発明者からのメッセージ

航空用ジェットエンジンや発電用ガスタービンなどのターボ機械は、世界中で広く使われており、わずかな性能向上でもとても大きな効果をもたらします。地球温暖化防止・省エネルギーに貢献する技術として、実用化に向けた新型プラズマアクチュエータの研究開発を進めています。この技術は、ターボ機械に限らず、各種の流体制御に適用できると考えています。技術移転、共同研究、技術相談などが可能です。ご興味のある方のご連絡をお待ちしています。

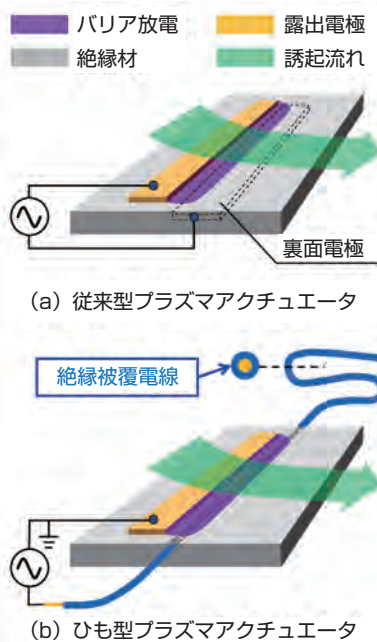


図1 柔軟性・安全性の高いひも型プラズマアクチュエータ

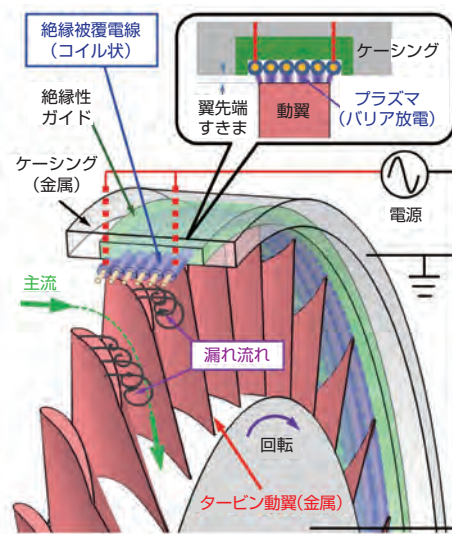


図2 翼先端の漏れ流れを抑制するリング型プラズマアクチュエータ

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

# 移動体の進行方向推定装置および進行方向推定方法

## スマートフォン利用者の屋内測位を実現する

国際公開番号  
WO2014/010727  
(国際公開日：2014.1.16)

研究ユニット：

サービス工学研究センター

### 適用分野：

- 屋内測位技術
- 歩行者自律航法
- スマートフォン向け測位技術

### 目的と効果

スマートフォンを携帯・保持しながら移動する歩行者の位置・姿勢を屋内外環境で計測する需要は極めて高く、その一つの手法として、内蔵センサー（加速度・角速度・磁気）に基づく歩行者自律航法（PDR）が注目されています。センサーの装着位置を固定したPDRは数多くありましたが、スマートフォンのような自由度の高い携帯・保持条件下で利用されると、鉛直方向と真北方向は推定できますが、その進行方向を特定できず、十分な測位精度を保てない問題がありました。

### 技術の概要

人の進行方向を推定する重要なヒントとして、歩行動作が引き起こす加速度・角速度成分の周波数領域上での特徴量に着目しました。表には、人を中心とした座標系において、その各軸上で各成分がピークをとる周波数を示しました。スマートフォンがどのように携帯・保持されていても、これらの特徴を内蔵センサーで観測されるデータに見いだすことができます。そこで、逆に、内蔵センサーで得られた加速度・

角速度成分について、それが表に示す特性と最も適合する軸を張るように探索することで、進行方向を推定します。具体的には、各軸の特徴周波数におけるパワーの総和を最大化する軸を探索します。人の進行方向に対応する軸を変化させたときのパワースペクトラムに現れる変化の一例を図に示します。パワーの総和を最大化する方向は正しい方向と180度ずれた方向の二通り存在するため、特定の軸の加速度成分間の位相差がほぼ一定であることに着目してこの曖昧性を除去します。

### 発明者からのメッセージ

最近のスマートフォンにはPDRの実現に必要な内蔵センサーに加えて、GPS、Wi-Fi、Bluetoothのような位置補正手段の機能を兼ね備えているため、屋内外環境をシームレスにつなぐ位置情報サービスをスマートフォン利用者に提供できると期待されています。利用シーンにかかわらずスマートフォンにおけるPDRの抜本的改良に資するこの発明は、この目的にかなっており、いよいよ到来する位置情報革命に大きく貢献できると考えています。

	加速度成分	角速度成分
鉛直方向軸（ヨー軸）	歩行周波数	歩行周波数 × 1/2
左右方向軸（ピッチ軸）	歩行周波数 × 1/2	歩行周波数
進行方向軸（ロール軸）	歩行周波数	歩行周波数 × 1/2

歩行動作が引き起こす加速度・角速度成分のピーク周波数の表  
各軸の成分について、特徴的なピーク周波数が現れる。

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

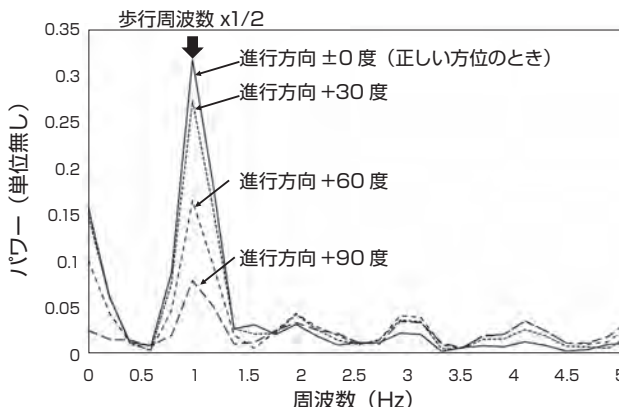
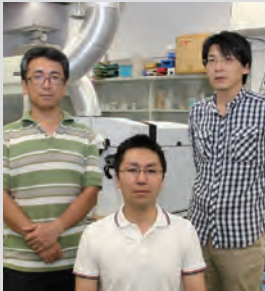


図 方位角探索とパワースペクトラムの関係の一例

この例では歩行周波数の半分の周波数において、正しい進行方向のときパワーが相対的に大きな値を取る様子が見て取れる。

## 玄米中カドミウム分析の信頼性確保の支援 分析技能向上支援プログラムの実施と標準物質の開発



### 宮下 振一

みやした しんいち (中央)  
shinichi-miyashita@aist.go.jp

計測標準研究部門  
無機分析科  
環境標準研究室  
研究員  
(つくばセンター)

### 成川 知弘

なるかわ ともひろ (右)  
tomohiro-narukawa@aist.go.jp

所属は同上  
主任研究員  
(つくばセンター)

### 稲垣 和三

いながき かずみ (左)  
k-inagaki@aist.go.jp

所属は同上  
研究室長  
(つくばセンター)

環境・食品分析の信頼性確保を支援するために、①国内外の規制に対応した環境・食品分析用組成標準物質の開発・供給、②分析実務者の技能向上支援、③環境・食品分析における先端計測技術の開発に従事しています。先端計測技術の開発では、デバイス開発を含む計測機器の開発・高度化、ならびに計測技術の高精度化・簡便化に取り組んでいます。

### 関連情報:

#### ● 注釈

\* 1 米中カドミウム濃度の国際基準値は、2006年に国際食品規格委員会で、精米(白米)中0.4 mg/kg(新鮮質量)と定められた。国内基準値は2011年に玄米および精米中0.4 mg/kg以下(いずれも新鮮質量)へと改正された。

#### ● 参考文献

[1] S. Miyashita *et al.*: *Anal. Sci.*, 28, 1171-1177 (2012)

[2] S. Miyashita *et al.*: *Anal. Bioanal. Chem.*, 405, 8347-8362 (2013)

#### ● 用語説明

\* 外部精度管理: 技能試験や試験所間比較への参加による客観的な精度管理。

\*\* 内部精度管理: 標準物質などを用いた分析機関内部での自主的な精度管理。

### 背景

わが国におけるイタイイタイ病の原因物質として知られるカドミウムは、その濃度を管理することが重要です。米については国内外で濃度基準値\*1が定められており、検査分析によってその濃度が管理されています。また、海外輸出における検査分析や、食品・外食産業における自主検査なども行われています。近年、食品の安全・安心を確保するための、検査などにおける分析の信頼性確保の重要性が高まっているにもかかわらず、分析現場における技能教育が難しくなっています。そこで、産総研計量標準総合センター(NMIJ)では、米の検査現場におけるカドミウム分析の信頼性確保を支援するため、玄米中カドミウム分析の技能試験と技術フォローアップ講習会を一体化した分析技能向上支援プログラムの実施と、玄米標準物質の開発に取り組んできました。

### 分析技能向上支援プログラムの実施

技能試験は、外部精度管理\*、すなわち客観的な分析技能の評価にとって有効なツールですが、通常、試験結果が示されるだけなので、仮に参加者に技術的課題があっても、その認識と解決策の模索を参加者自身で行わなければなりません。NMIJでは、農研機構 食品総合研究所との連携事業として、2011年度より3年間にわ

たり、玄米中無機元素分析の技能向上支援プログラムを実施してきました。このプログラムは、技能試験と技術フォローアップ講習会の一体型プログラムであり、試験結果に基づく技術的課題の解決まで支援するプログラムです。技能試験には延べ440名の方に、講習会には延べ338名の方にご参加いただきました。NMIJは、技能試験結果に基づいて技術的課題の抽出を行い、その原因と解決策について提案を行いました。また、試験結果を解析した結果、図1に示すような標準物質の有効性を改めて示す結果も得ることができました。今後はこのプログラムを発展させ、技能試験プロバイダーの育成やアジア地域への展開を進めていく予定です。

### 玄米標準物質の開発

標準物質は、分析手法の妥当性確認と内部精度管理\*\*にとって有効なツールです。NMIJでは、上記プログラムと連動した形で、国内外の米中カドミウム濃度基準に対応した2種類の玄米標準物質(図2)を開発し、供給しています。これらは、法規制に基づく検査分析や自主検査における分析手法の妥当性確認と内部精度管理に利用でき、米中カドミウム分析の信頼性確保に役立ちます。2012年4月に供給を開始した玄米標準物質(NMIJ CRM 7531-a)は、その利用者が増加しています。

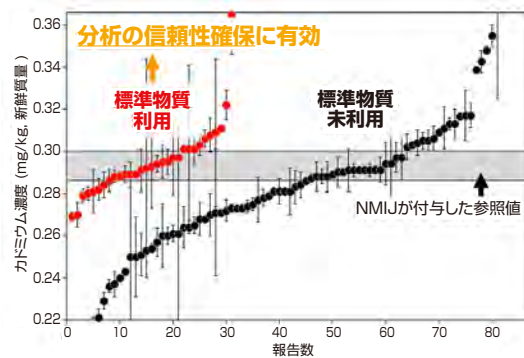


図1 技能試験結果の解析例

何らかの標準物質を分析手法の妥当性確認や内部精度管理に利用した参加者の報告値(赤丸)は、未利用の参加者の報告値(黒丸)と比べて、より参照値に近い報告値である傾向が得られた。

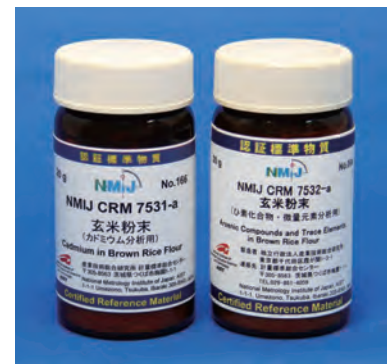


図2 開発した玄米標準物質

左はNMIJ CRM 7531-a(カドミウム分析用)、右はNMIJ CRM 7532-a(砒素化合物・微量元素分析用)。NMIJ CRM 7532-aにもカドミウムの認証値が付与。認証値の詳細はNMIJホームページ(<https://www.nmij.jp/service/C/crm/>)を参照してください。

# 富士火山地質図(第2版)

## 噴火に備えて波瀾万丈の噴火史を読み解く基礎資料



高田 亮

たかだ あきら

a-takada@aist.go.jp

活断層・火山研究部門  
マグマ活動研究グループ  
主任研究員  
(つくばセンター)

火山災害軽減のために、マグマの上昇から噴火までの仕組みを解明すること、そして、温故知新の立場から噴火史を解明することの2本立てで研究を進めてきました。

### 関連情報:

- 共同研究者

山元 孝広、石塚 吉浩、中野 俊 (産総研)

- 富士山に関する地質情報整備

[https://staff.aist.go.jp/a-takada/Akira\\_Takada\\_HP/Welcome.html](https://staff.aist.go.jp/a-takada/Akira_Takada_HP/Welcome.html)

### 300年静穏な火山の噴火への構え

1707年宝永噴火では、富士火山東麓は粗粒の降下火砕物で埋まり、100 km離れた江戸は細粒の火山灰で覆われました。その後、富士火山は300年間静穏な状態が続いています。しかし、観測体制が整った最近約20年間では、地下15–20 kmの深さで、低周波地震が発生していることがわかってきました。もし、300年前と同様の噴火が起こったら、首都圏は降灰に見舞われます。現代は火山灰に対して脆弱な高度文明社会であり、多くの複合災害が発生する危険性があります。宝永のような噴火はあくまで一つの可能性であり、全く異なる噴火が起きる可能性もあります。多様な噴火の可能性を理解して噴火に備えるためには、過去の噴火時期、噴火場所、マグマの種類、噴出量、噴火様式の情報が書かれた火山地質図が必要です。

### 噴火履歴を表現した富士火山地質図

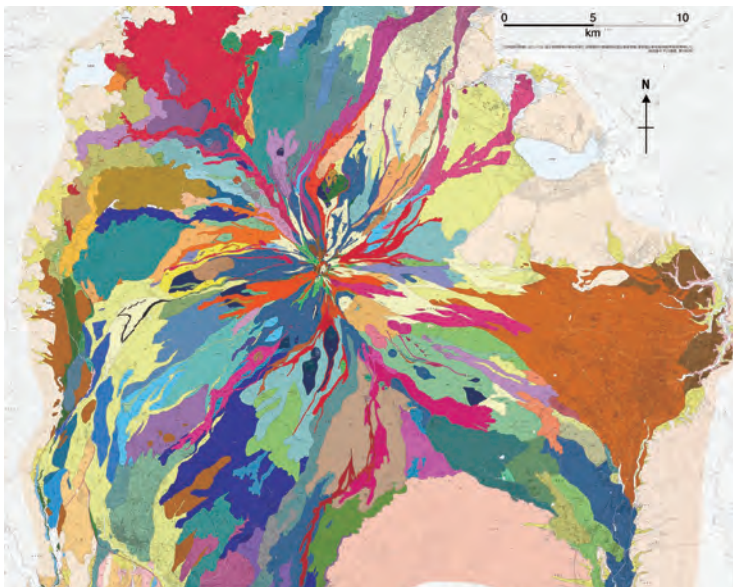
噴火に対しては、地球物理的な観測機器により直前の異常を検知する短期の噴火予知手法と、事前に多様な噴火シナリオを作成して、噴火に備えておく中長期の噴火災害軽減の取り組みがあります。私たちは、後者の取り組みとして、噴火予知計画の一環として作成してきた富士火山地質図(第2版)を地質調査総合センター研究資料集として速報的に公開しました。

過去の噴火履歴の情報は、富士山の活動が活発化した場合には、活動推移を評価するための基礎となります。富士火山地質図の第1版は、地表に露出する溶岩流の分布をもとに作成されました(津屋、1968)。しかし、山麓を除く山腹の溶岩流は、土壌や火山灰で覆われており、当時は調査が困難でした。今回の研究では、精力的にトレンチ調査や掘削調査を行うことにより、表層を剥いだ山腹での噴火史を確立しました。また、第1版以後、45年の歳月が経ち、この間に年代測定法やレーザーによる地形測量技術が進歩してきました。この結果、奈良–平安時代に代表される活動期と現在のような静穏期が存在する変化の大きい富士火山の噴火履歴の詳細が明らかになってきました。

### 社会への発信と利用にむけて

今回公表した地質図に示された溶岩流の分布範囲等は、研究の途上にも内閣府のハザードマップ作成等への反映を求められ、随時必要とされる公的機関に提供してきました。現在、解説書も含めた富士火山地質図の最終版完成へ作業を進めています。

なお、産総研による富士火山調査は、山岳調査が得意な高田のほか、山元孝広・石塚吉浩・中野俊の4名が地域を分担して行いました。



富士火山地質図の一部(地質調査総合センター研究資料集)、凡例は省略

# 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54回) 半導体産業の再活性化を目指したコーディネーション活動

イノベーションコーディネータ さるわたり あらみ  
**猿渡 新水**

## はじめに

長年勤務した大手半導体メーカーを早期退職後、縁あって産総研九州センターのイノベーションコーディネータに採用され、はや一年半が過ぎようとしています。半導体メーカー勤務時代には、半導体製造ラインの設計立上げや設備導入を行い、半導体量産工場での歩留向上・生産性向上活動などに携わってきました。

## 私のコーディネーション活動の原点

半導体前工程の歩留向上活動を実施していた時に、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 工程で、マイクロクラックによる大きな品質事故が発生し、多大の損害を出したことがあります。これらの発生防止、検知技術の検討を行っていたときに、産総研九州センターのマイスター制度\*を知り、生産計測技術研究センターの光計測ソリューションチーム(研究チーム長 野中 一洋)が保有しているシーズを基に、量産現場の課題解決を行いました。産総研の特許技術を用いて、2年近くかけて「シリコンウェハの表層部欠陥検出技術」を確立し、世界で初めてCMP工程直後のマイクロクラックの可視化に成功し、開発した検査装置試作機を量産現場に試験導入したのです。まさに企業ニーズと産総研シーズが合致した瞬間です。このときの感動を多くの企業技術者の方々にも味わっていただきたいという思いが、私の産総研でのコーディネーション活動の原点となっています。

## ミニマルファブ構想を通じたコーディネーション活動

日本の半導体産業は、未曾有の危機に瀕していると言われてます。そして大手半導体メーカーのリストラが今も進む中で、多くの方々が職を失いました。一方、産総研が提唱するミニマルファブ構想\*\*はその認知度が年々向上しており、国家プロジェクトにも取り上げられ、大手半導体メーカーを含む多くの企業



九州センター会議室にて打ち合わせ中の筆者(右側)

が次々に参入しつつあります。

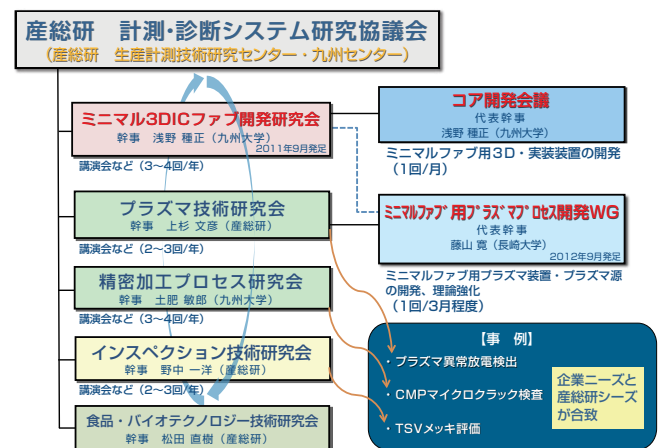
私は、この構想の話聞き、コーディネータの立場でお手伝いさせていただくことになりました。多くの中小企業の方々や公設試・大学の関係者と接しているうちに、近い将来多数のミニマル工場が立ち並び、日本の半導体関連企業が再度元気を取り戻し、若い世代のみならずリストラで職を失った有能な技術者の方々にも再度チャンスが巡ってくると確信するようになってきました。

## 九州地区の活動：「ミニマル3DICファブ開発研究会」

産総研九州センターに拠点を置く生産計測技術研究センターには、「計測・診断システム研究協議会」があり、5つの研究会が設置されています。私もこの中の半導体に関係する4つの研究会に携わっています。特に「ミニマル3DICファブ開発研究会」は、産総研つくばセンターの「ファブシステム研究会」と連携して、半導体後工程(3D積層・パッケージング)のミニマルプロセス開発やミニマル装置開発を行っています。後工程装置開発は、主に戦略的基盤技術高度化支援事業(サポイン)を活用して、中小企業や大学・公設試および産総研などで実施しています。2013年度は、九州地区で5件応募して3件の採択を得ました。私も微力ながらミニマルファブ構想に関するコーディネーション活動を通して、日本の半導体産業界を元気にするお手伝いをしたいと思っています。

\*マイスター制度：企業の生産現場の計測課題を熟知した専門家(マイスター)と産総研の研究者が連携して課題解決に取り組む制度

\*\*ミニマルファブ構想：産総研が提唱する半導体の超小型生産システム



計測・診断システム研究協議会の組織図

## 産総研一般公開のお知らせ

お知らせ

「産総研一般公開」は、産総研が行っている研究をご理解いただき、特に子どもたちに楽しみながら科学技術への

興味を高めてもらうため、毎年、つくばセンターおよび全国各地の地域センターで開催されています。

今後の開催日は以下のとおりです。皆様のご来場を心よりお待ちしております。

### 8月26日 中国センター

10時00分～16時00分

問い合わせ：中国産学官連携センター TEL：082-420-8254

#### ● 実験コーナー

- ・「ミクロの世界」電子顕微鏡・光学顕微鏡による身の回りのものの観察
- ・デンプンのダイラタンシー（固体から液体へ）
- ・「液体窒素」による極低温の世界
- ・食卓の小さな怪物「チリモン」を探してみよう
- ・スーパーシャボン玉を作ってみよう

#### ● 工作コーナー

- ・紫外線ビーズでストラップを作ろう
- ・偏光フィルムで万華鏡を作ろう
- ・不思議なコマを作ろう
- ・オリジナルはんこを作ろう

#### ● 科学体験コーナー

- ・パロと遊ぼう！
- ・「熱電発電」手のひらを当てて電気を起こそう！
- ・小さな本格ロボット「チョコロメテ」を見よう
- ・血管年齢（血管硬化度）を測定してみよう
- ・英語発音ティーチングを受けてみよう
- ・イグノーベル賞受賞スピーチジャーを体験しよう
- ・1メートルってどのくらい
- ・標準化クイズ&ひらめきクイズに挑戦してみよう

#### ● 移動地質標本館

- ・地質にちなんだ写真で「しおり」作り
- ・美しくて不思議な「砂」の観察
- ・ペットボトルで地盤の液化化実験

#### ● 研究紹介コーナー

- ・バイオマスリファイナリー研究センター研究内容の紹介（パネル・展示品）
- ・バイオエタノール生産実験施設、バイオメガス化実験施設の公開

プログラムは変更になる可能性があります。ホームページ上で随時更新します。  
<https://unit.aist.go.jp/chugoku/event/2014/20140826.html>

### 8月29日 四国センター

9時30分～16時00分（入場受付終了時間：15時30分）

問い合わせ：四国産学官連携センター TEL：087-869-3530

#### ● 技術者／研究者をめざそう

高専の生徒さんと産総研の若手研究者が、科学のおもしろさやむずかしさ、魅力などを紹介します。（特別出展：四国内 国立高等専門学校）

#### ● 不思議なモノをつくろう

- ・紫外線ビーズでストラップをつくろう
- ・いろいろな色が見える不思議なコマをつくろう

#### ● 科学であそぼう

- ・高校生のみなさんと科学の不思議を体験しよう（特別出展：観音寺第一高等学校～スーパーサイエンスハイスクール指定校）
- ・光る生き物「ウミホタル」をみてみよう
- ・不思議な光、偏光であそぼう
- ・パロとあそぼう
- ・英語発声ティーチング
- ・筋電スイッチ
- ・スピーチジャー

#### ● 体の状態をはかろう（所内健康遍路）

所内に設置した計測ポイントをお遍路さんの要領でまわることで、日ごろの疲れやストレスなど、体の状態を計測してみませんか？

一部ではありますが、事前に予約を必要とするプログラムもございます。詳細はホームページにてご確認ください。

<https://unit.aist.go.jp/shikoku/>

#### 今後の一般公開予定

10月11日 九州センター / 11月8～9日 臨海副都心センター

## 独立行政法人産業技術総合研究所の役職員の報酬・給与等について

お知らせ

平成25年度の公表資料について、公式ホームページに掲載しましたのでご参照ください。

[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/comp-info/idpo/information3-6.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/comp-info/idpo/information3-6.html)

## 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～

再生可能エネルギー研究センター 地中熱チーム 吉岡 真弓 (福島再生可能エネルギー研究所)

地中熱利用システムとは、深さ100 m程度までの比較的浅い地下の熱環境を利用して冷暖房や融雪を行う省エネルギーシステムです。通常のアコンと比較して消費電力を3～5割削減できるという実績があります。このシステムを適正なコストで導入し、持続的に利用するためには、導入地域の地下環境に合わせた設計が必要です。吉岡研究員は、野外調査や数値シミュレーションを活用し、地質環境や地下水の流れの状態などを推定することで、各種の地中熱利用方法に適した地域を評価・選定する手法に関する研究に取り組んでいます。



福島再生可能エネルギー研究所の地中熱実験室にて



## 吉岡さんからひとこと

地中熱利用に関する研究を始めて4年ほどですが、その間に世間の地中熱への関心が高まってきたことを実感しています。エネルギー利用について改めて考え直す必要に迫られた昨今、「今あるエネルギーをいかに有効に使うか」にも注力する必要があります。地下の熱利用は、古くは竪穴式の住居や地下貯蔵庫などにも活用されてきました。それらの知恵に現在の科学技術や知識を組み合わせ、より効率的に、快適に、そして持続的に利用できる地中熱利用システムの構築に貢献する研究に取り組んでいきたいと思っています。

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8月 → 2014年10月

7月10日現在

期間	件名	開催地	問い合わせ先
<b>8 August</b>			
1日	産総研一般公開(関西センター 尼崎支所)	尼崎	072-751-9606
2日	産総研一般公開(北海道センター)	札幌	011-857-8406
2日	産総研一般公開(中部センター)	名古屋	052-736-7063
3日	産総研一般公開(福島再生可能エネルギー研究所)	郡山	024-963-1805
7～8日	日本ソルゲル学会第12回討論会	つくば	052-736-7233
26日	産総研一般公開(中国センター)	東広島	082-420-8245
29日	産総研一般公開(四国センター)	高松	087-869-3530
<b>9 September</b>			
3日	TIA-nano公開シンポジウム	東京	029-862-6123
29～30日	日本熱電学会学術講演会	つくば	06-6879-7905
<b>10 October</b>			
11日	産総研一般公開(九州センター)	鳥栖	0942-81-3606

今後の一般公開予定：11月8～9日 臨海副都心センター

産 総 研  
TODAY

2014 August Vol.14 No.8

(通巻163号)  
平成26年8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。