

## 20年間に渡る分光イメージング研究とその実利用化への取り組み

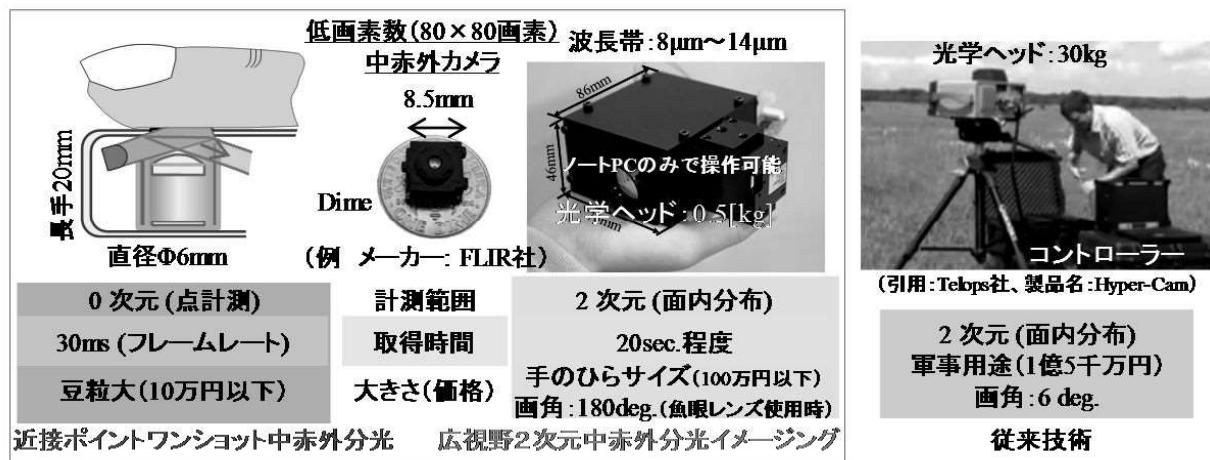
香川大学 創造工学部 機械システム工学領域 石丸伊知郎

中赤外分光法は100年以上の歴史を有しており、その分光吸光度から成分を同定できることが良く知られている。従来は、分析の専門家によりFTIR(フーリエ変換赤外分光光度計:Fourier transform infrared spectrometer)を代表とする機器が実験室内で用いられてきた。

我々は、超小型赤外分光イメージング装置の原理を新たに考案して19年の長きに渡って研究開発を行ってきた。2年前に分光イメージング装置が市販化されるに至り、現在は「健康医療」「環境モニタリング」「工業製品・工芸品」分野への適用展開を試みている。例えば、尿中の糖(グルコース)や蛋白(アルブミン)の濃度を計測するスマートトイレや非侵襲血糖値センサーである。これらの実利用化には、機能面での有効性は当然必須であるが、一般家庭で購入可能な低価格帯での提供も求められる。そこで、我々が提案してきた中赤外分光法に低画素数カメラを適用して、価格破壊とも呼べる低価格での装置提供を目指している。

本講話では、赤外分光法の基本的な知識から新たな分光法の原理、また研究開発の経緯について紹介する。

## 五感を超えた知能化情報による超スマート社会



### 謝辞

本講話は研究代表として石丸が発表するが、データなどは研究室の学生諸君の成果を引用している。数多くの卒業生や現役学生諸君の熱意ある研究活動と、それを支援して頂いている医学部 西山教授、和田教授はじめとする多くの先生方、また本分光イメージング装置を市販化して頂いている地元企業 アオイ電子(株)に心より深く感謝を申し上げる。

## 環境に優しい潤滑技術について

香川大学 創造工学部 先端材料科学領域 若林利明

環境問題への関心が高まる中、自動車などの円滑な運転には、エンジン油をはじめとする潤滑技術の高度化と環境に優しい潤滑剤の開発による各種部品の高性能化が重要課題である。とくにエンジン油の低摩擦化および耐久性の向上は、CO<sub>2</sub>の排出量や廃油の削減といった環境保護の観点から、非常に大きな社会的インパクトをもっている。

エンジン油には、さまざまな添加剤が配合されているが、中でもジアルキルジチオリン酸亜鉛（ZDDP）は、酸化防止と摩耗防止の面から半世紀以上もの間、エンジン油に不可欠な添加剤と考えられてきた。一方、この化合物は、その分子に含まれる硫黄に起因したエンジン油の酸化劣化促進や排出ガス浄化装置の触媒被毒といった悪影響をもつことが明らかになっている。そこで、その悪影響を排除することができる新たな添加剤としてジアルキルリン酸亜鉛（ZDP）が開発されている（図1）。ZDPは環境に優しい添加剤であるばかりでなく、図2のとおり、エンジン油の劣化を大幅に改善することができ、今では実際のエンジン油に適用され、自動車の環境性能の向上に大きく貢献している。この他にも当研究室では、各種の摩擦試験機を用いて、異なる摩擦材料、潤滑剤、接触形態での摩擦摩耗特性を調べ、その潤滑機構を解明するとともに、高機能潤滑油、グリース等の新規潤滑剤の開発につなげている。

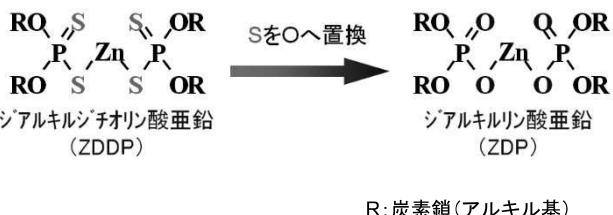


図1 新規なエンジン油添加剤 ZDP

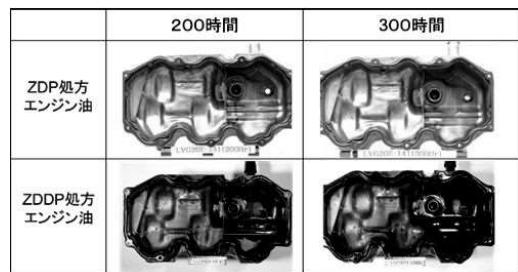


図2 エンジン油清浄性試験の結果 (JASO M331-91 準拠)

一方、製造技術の根幹をなす加工の現場でも、環境に配慮し、油剤使用量の見直しが急務となっている。しかし、たとえば切削油剤をまったく使用しないドライ加工では、生産効率や製品の精度に問題が生じる場合も多く、油剤の使用量を出来るだけ減らした環境対応技術として注目されているのが、極微量潤滑 (Minimal Quantity Lubrication : MQL) 方式に代表されるニアドライ加工である。具体的には1時間あたり数十ミリリットルという極めて少ない切削油剤をミクロンサイズに微粒子化し圧縮空気で加工部に供給する方法で、油剤使用量を従来給油法の数千から数万分の1にまで削減することができる（図3）。

このMQL加工に用いる油剤は、極微量で高い切削性能が求められ、環境や健康面を配慮し、生分解性、酸化安定性、安全性に優れる合成エステルをベースにした新しい「MQL加工用油剤」の開発が、この加工方法の実用化に重要な役割を果たしている。この独自の油剤を材料の切削時に用いた自動車製造ラインでは、図4のとおり切削油剤 84%削減、エネルギー消費量 56%削減、廃潤滑油 80%削減といった驚くべき環境負荷の低減効果が実証されている。

[これまでの穴あけ加工]



[環境対応MQL加工]



図3 従来の湿式加工(左)とMQL加工(右)

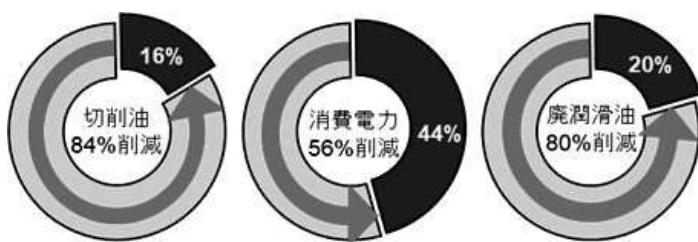


図4 MQL加工の適用による環境負荷の低減効果例

本講話では、上記のような環境に優しい潤滑技術について、かつて勤めた石油エネルギー企業の研究所で培った潤滑油の知識・経験を踏まえながら取り組んだ研究開発事例を紹介する。

## リスクマネジメント研究のフロンティア：巨大災害の事例

香川大学創造工学部 防災危機管理コース 教授 梶谷 義雄

連絡先 kajitani@eng.kagawa-u.ac.jp



### (1) 世界で懸念されているリスクと分析上の課題

我々の生活は様々なリスクに取り囲まれているが、世界経済フォーラムで取り上げられたリスク（表1）はその代表格となる。この表は、今後10年間を対象に様々な分野のエキスパート684名が各リスクを起こりやすさと影響の大きさを評価した結果を集計し、順位付けを行ったものとなる。あくまでも直感的な評価結果であり、各リスクの発生しやすさと影響の大きさを定量的に評価する試みは、多くの場合において挑戦的な領域であり、ダボスで開催される国際リスクフォーラムをはじめ、国際機関、学会など様々なプラットフォームにおいて科学的な研究成果を集約する試みがなされている。表1では、極端気象やその他の自然災害が最も起こりやすく、また影響の側面を見ても破壊兵器の次に極端気象やその他の自然災害の影響が大きくなっている。我が国においても自然災害は頻発しており、そのリスクを適切に評価し、許容されるレベルまで低減していくことが優先性の高い課題になる。国際連合の国際防災戦略事務局（UNISDR, 2018）によると、1998年から2017年の世界各国の経済被害は、（限定的な推計ではあるが）330兆円に達し、その前の20年間の損失の約2.2倍に相当することが報告されている。国際連合によって報告された被害額はいわゆるストック被害といわれるものであり、失われた家屋や社会基盤などの非金融資産の価値をあらわすケースが多い。学術的・データ的な課題はあるものの、このストック被害の評価アプローチはある程度確立している。一方、営業利益や収入の減少などの時間軸に応じて発生する被害はフローの被害と呼ばれる。このフロー被害が最終的に企業や一般家庭などの各主体に帰着する被害であり、災害リスクの許容、保険の購入（あるいは商品の開発や債券の発行）、ハード対策の意思決定などのいわゆるリスクマネジメントの領域において、人的被害とあわせて重要な指標となる。この議論は災害に限らずあらゆるリスクに当てはまる。

表1：懸念されているリスク（世界経済フォーラム：グローバルリスク調査（2017-2018））

起こりやすさ	影響の大きさ
1 異常気象	1 大量破壊兵器
2 自然災害	2 異常気象
3 サイバー攻撃	3 自然災害
4 データ改ざん/盗用	4 気候変動対策の失敗
5 気候変動対策の失敗	5 水不足
6 大規模移民	6 サイバー攻撃
7 人工的環境災害	7 食料不足
8 テロリズム	8 生物多様性喪失/生態系破壊
9 不法貿易	9 大規模移民
10 資産バブル	10 感染症の広がり

■ 経済リスク ■ 自然環境リスク ■ 地政学的リスク ■ 社会リスク ■ 技術的リスク

### (2) 自然災害のリスク評価手法

自然災害リスクを評価するためには、ハザード（気象、地震など）の影響範囲と人口や資産分布が重なる領域（エクスポージャー）を抽出することがスタートとなる。また、エクspoージャーとなる建物などが外力の大きさに対してどの程度影響を受けるかについても検討する必要がある。これにより初期の（主として人的・物的）被害の大きさが決定される。レジリエンスは、平常時利用しているもの（例えばライフライン）が機能麻痺になった場合の物理・社会システムの回復力を表すことが多いが、初期の被害の大きさや被害拡大を抑える抵抗力または頑健性（脆弱性の対の意）を含めるケースもある。基

本的に、ハザードの発生確率が分かり、エクスポージャー、脆弱性、レジリエンス特性が構造物や社会経済のあらゆる構成要素で分かれば、災害リスクの評価が可能となるが、現時点では仮定を多く設けた試算的な結果がいくつか公表されているのみに留まる。特に大量の情報を必要とするレジリエンス特性についての研究成果は少なく、近年において防災研究全般において着目される理由の一つと考えられる。

図1は、上記のリスク評価の基本概念を踏まえ、フロー被害（地域の生産、消費の減少）を評価するために筆者らが構築した分析枠組みとなる。東日本大震災のケースでは、ハザードは地震動、津波に加えて原子力発電所の事故影響も含まれる。各ライフラインの途絶情報や500mメッシュで整備した産業別の企業情報を重ねあわせてエクスポージャーの情報を構築し、生産能力への影響度や回復過程を評価したものが真ん中の図になる。この評価のために過去の災害調査から得られた企業の被災・復旧情報を活用している。これにより、企業の生産能力がどの程度失われたかを推定している。また右側の図は、企業の生産能力低下の結果、サプライチェーンの被害を通じて他の産業や地域にどの程度波及するかを評価するためのモデルの概要となる。この研究のポイントは、実際の災害である東日本大震災のケースで適用性の検証をしている点にある。図2のBase Caseは平常時を、Best Caseは災害時を対象に設定したモデルによる生産指数の試算結果を表しているが、災害時の様々な条件をモデル設定に反映したBest Caseにおいて、各地域の実際の生産の低下量と整合性の高い推計結果が得られている。このような試みはまだ緒についたばかりであり、今後様々な災害に対して同様の分析を進めていく必要がある。

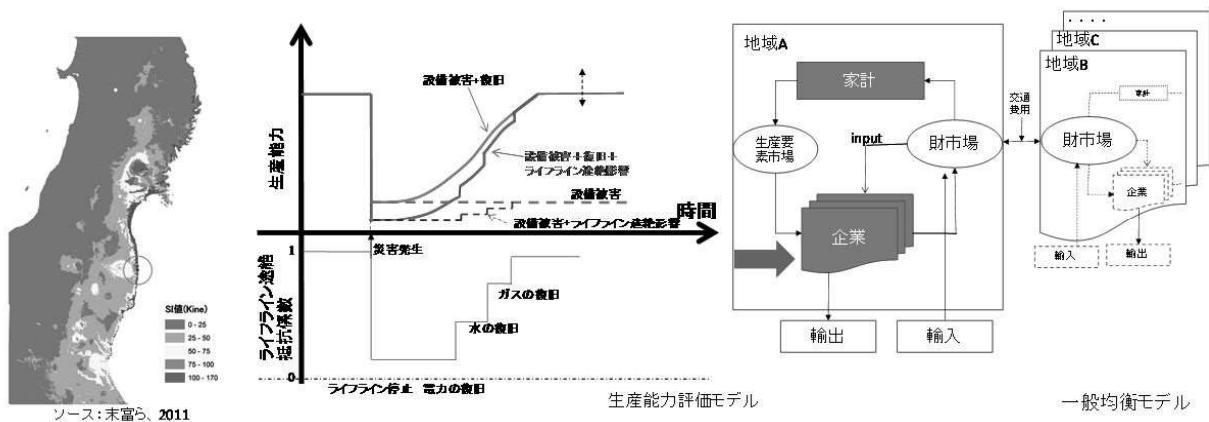


図1：サプライチェーン被害を考慮した災害の経済影響評価のアプローチ  
(Economic Systems Research, 2014&2018)

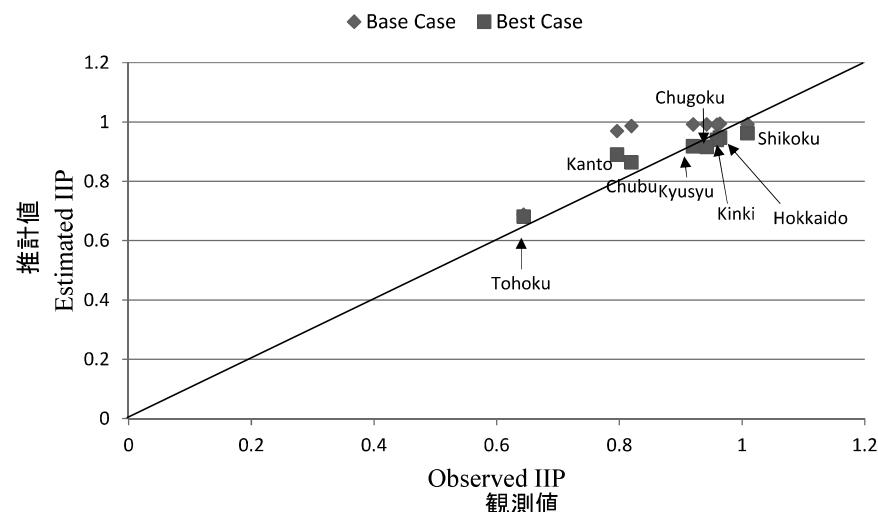


図2：東日本大震災を対象とした鉱工業生産指数の推計値と観測値の比較検証（2011年3月）

# 空間分割多重技術に基づく超大容量光通信ネットワークの研究

香川大学創造工学部電子・情報工学領域 教授 神野 正彦

jinno@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 研究の背景

当研究室では、光ファイバを伝送媒体として利用する光ファイバ通信ネットワークの研究に取り組んでいる。ここでは、空間分割多重（SDM: Spatial Division Multiplexing）技術と呼ばれる最新の通信技術に基づく将来の超大容量光ネットワークについて紹介する。

図1は、光ファイバ通信システムにおける、単一光キャリア当たりのビットレート、ファイバ当たりのシステム容量、ルータ・スイッチのインターフェース速度、ルータブレード（複数インターフェースの並列配置による大容量インターフェース）の総インターフェース速度の進展をプロットした図である[1]。ルータブレード総インターフェース速度は年率40%前後の高い伸びを維持しており、最新の商用ルータブレードのインターフェース速度は1.2 Tb/s (100 Gb/s × 12) に達している。このような超高速クライアントインターフェースを光ネットワークに収容するための光インターフェースも年率40%で大容量化する必要があると考えると、2010年の100 Gb/sからの外挿に基づき、光伝送システムに必要なインターフェース速度は、2024年には10 Tb/sを超えると予想される。DP-QPSK変調方式の10 Tb/s光信号は少なくとも3.2 THzの光スペクトルを専有するので、これはCバンドに光チャネルを1チャネルしか収容できないことを意味しており、このような超大容量の光チャネルに対しては、現状利用されている波長分割多重

(WDM: Wavelength Division Multiplexing) レイヤにおいてのグルーミング機能は不要であることは明らかである。

一方、光伝送システムのシステム容量も年率40%で増加する必要があるとすれば、2024年には1 Pb/sが必要になると予想され、これは現行の單一モード（單一コア）光ファイバ（SMF: Single Mode Fiber）容量の物理限界（40~60 Tb/s）を大幅に超えることから、隣接光ノード間は大量の空間レーン（空間伝搬モード）が必要となる。最近の10年間で、SDMの考えに基づく新構造の光ファイバ構造が多数研究開発されてきたが、技術的難易度と経済性の観点から、最初に実用に供される空間レーンは隣接ノード間に複数のSMFを並列配備したSMFバンドル、あるいは单一の光ファイバ内に複数の單一モードコアを配置した非結合マルチコアファイバ（MCF: Multi Core Fiber）で実現されることが自然であろう。

従来、新しい多重技術（例えばWDM技術）が本格導入された際には、それ以前の細かい粒度（時分割多重TDM）のスイッチの大容量化ではなく、新しい多重化レイヤ（WDMレイヤ）を定義し、そのレイヤの多重化単位（波長）でスイッチすることが選択されてきた。この歴史に鑑みると、SDMが本格導入される時代（2024~）には、WDMレイヤのスイッチの大容量化ではなく、光レイヤをWDMレイヤとSDMレイヤとに明確に階層化し、SDMレイヤの

粒度のスイッチを導入するのが、合理的な選択である。当研究室では、このようなアプローチに基づく光ネットワークを空間チャネルネットワーク（SCN: Spatial Channel Network）と名付け、そのアーキテクチャの提唱と実用化に向けた、光デバイスから光ノードアーキテクチャ、ネットワーク設計技術にわたる幅広い技術課題に取り組んでいる[2]。以降では、SCNアーキテクチャと導入メリット、必要な光スイッチの実現技術としての新規構成光スイッチについて説明する。

## 2. SCNアーキテクチャと導入メリット

### (1) SCNアーキテクチャ

現状のWDMネットワークにおいて通信トラフィックを転送する主体は、光ファイバの利用可能光スペクトル域の一部（例えば50 GHz幅）を割り当てられて光信号（光チャネル：OCh）である。SCNでは、これを光ファイバの利用可能光スペクトル域の全域を割り当てられた超大容量光信号が担う。これを空間チャネル（SCh）と呼ぶことにする。SCNは、図1に示すように、SDMレイヤとWDMレイヤから構成され、SDMレイヤにおいてSChのルーティングを担う空間クロスコネクト（SXC: Spatial Cross-Connect）とOChのルーティングを担う従来の波長クロスコネクト（WXC: Wavelength Cross-Connect）から構成される階層型光クロスコネクト（HOXC: Hierarchical Optical Cross-Connect）アーキテクチャを採用する[2]。

### (2) SCNの導入メリット

SCNにおいては、多くのトラフィックは小型、低損失、低コストが期待されるSXCによりスイッチングされ、上位レイヤのWXCをバイパスする。これを「空間バイパス」と呼ぶ。一方、小容量のトラフィックは他の小容量のトラフィックと空間チャネルを共有し、必要に応じて上位層のBV-WXCにより周波数スロット単位でクロスコネクトされる。このようなアーキテクチャを採用することで、ノード間を大量のSMF/MCFで結ぶ将来の光ネットワークを経済的に提供することが可能になると期待される。

さらに、HOXCにおいては、SXCにより上位層の

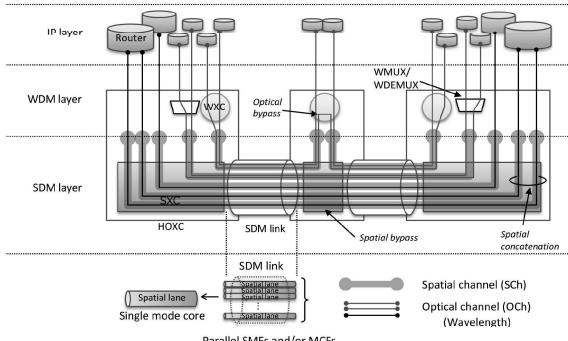


図1 空間チャネルネットワーク（SCN）アーキテクチャ

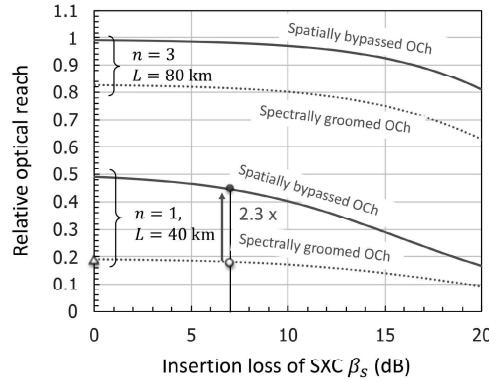


図 2 SCN により期待される伝送距離

WXC を空間バイパスされる OCh (Spatially Bypassed OCh) は、SXC の低損失性を享受して物理的転送特性の向上が期待される。図 2 は、コアネットワーク（青色）とメトロネットワーク（赤色）を模擬したネットワークモデルを対象に、WXC を空間バイパスされる OCh（実線）と WDM レイヤでグルーミングされる OCh（Spectrally Groomed OCh）の伝送可能距離（破線）を計算した結果である。SXC の挿入損失  $\beta_s$  の関数としてプロットしてある。ここで、単位長さ当たりのファイバの伝送損失を 0.25 dB/km として、スパン損失  $\alpha$  は 20 dB と 10 dB に相当している。WXC の挿入損失  $\beta_w$  は 20 dB を仮定した。 $\beta_s = 0$  における WDM レイヤでグルーミングされる OCh の伝送可能距離は、従来の WDM ネットワークにおいて WXC を通過する OCh の伝送可能距離に相当するので、それと同等（例えば > 95%）の G-OCh 伝送可能距離を確保するためには、同図から、 $\beta_s > 7$  dB である必要があることが分かる。幸い、市販の光スイッチならびに報告されている空間合分波器（SMUX/SDMUX）の数値例に基づけば、この値は十分実現可能である。

一方、同図に示すとおり、WXC を空間バイパスされる OCh の伝送可能距離は WDM レイヤでグルーミングされる OCh に比べて大幅に延伸可能である。この延伸効果は、WXC の損失が転送損失の主要部分を占めるメトロネットワークにおいて顕著であり、伝送可能距離 2.3 倍が期待できる。

### 3 HOXC アーキテクチャと CSS 実現技術

#### (1) IIOXC のアーキテクチャ

SCN を構成する光ノードアーキテクチャとして、当研究室では、図 3 に示すような波長選択スイッチ（Core Selective Switch: CSS）に基づく構成を提案している。CSS は現状の WDM ネットワークにおける波長選択スイッチ（WSS: Wavelength Selective Switch）に対応する機能を、SCN において担い、入力ポートの任意のコアの OCh を任意の出力ポートの同一番号のコアに出力することができる。同図のように CSS を Route & Selective 構成に配置することで、増築性にすぐれ、高信頼な HOXC を提供可能と期待している。

#### (2) CSS 実現技術

CSS 機能を実現する方法には複数考えられるが、その一例として、空間光学系に基づく構成を図 4 に示す。同図においては、入出力ファイバとして 4 コア MCF を想定し、 $4(1 \times 4)$  構成 CSS の場合を例

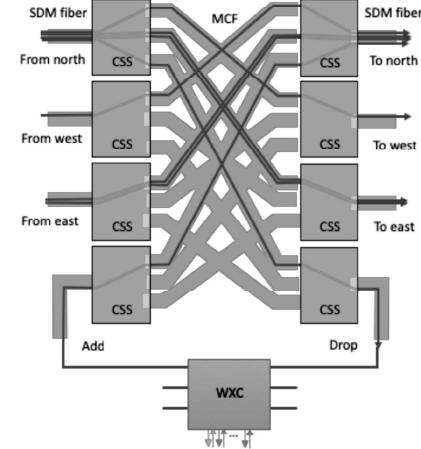


図 3 HOXC の構成例

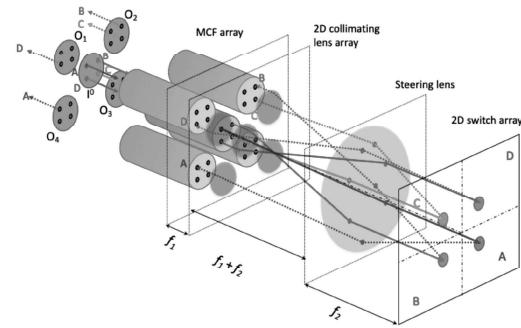


図 4 CSS 構成例

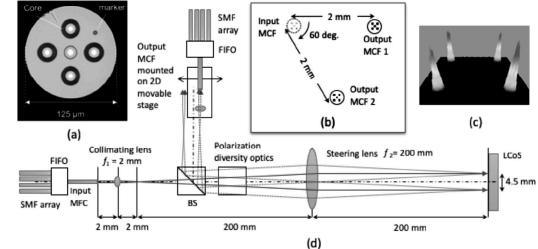


図 5 CSS の原理確認実験系

示している。入出力 MCF のそれぞれに配置したマイクロレンズは、各コアから出力される SCh を空間的に分離する機能を提供し、入口 MCF から出射した各 SCh はスレアリングレンズを介して、角度可変ミラーアレイに集光する。各角度可変ミラーの角度を調整することで、各 SCh を所望の出力 MCF にスイッチすることができる。図 5 に示す実験系を用いて CSS の動作原理を確認した。図中左上写真は実験に用いた 4 コア MCF の断面写真であり、右上写真はそこから出射した 4 つの光ビームの光スイッチ面でのビーム形状を表している。光スイッチとしては、LCoS 光空間変調器を用いている。

## 文 献

- [1] P. J. Winzer and D. T. Neilson, "From scaling disparities to integrated parallelism: A decathlon for a decade," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 35, no. 5, pp. 1099-1115, 2017.
- [2] M. Jinno, "Spatial Channel Network (SCN): Opportunities and Challenges of Introducing Spatial Bypass Toward Massive SDM Era," *J. Opt. Commun. Netw.*, Vol. 11 No. 3, 2019.

## 繊細な手触りの違いを数値化できる「ナノ触覚センサ」技術

香川大学創造工学部機械システム工学領域 教授 高尾 英邦

連絡先 takao@eng.kagawa-u.ac.jp



### (1) 目的

今日、ロボットの指先等に用いることのできる触覚センサは市場に存在するものの、対象の材質感や表面の手触り感を計測し、見分けることのできる高性能かつ高分解能の触覚センサは未だ実現されていないのが現状である。本研究では「人間の指先皮膚」が持つ繊細な触感覚をセンサ技術で再現する「ナノ触覚センサ」を実現し、「ザラザラ感」や「ふんわり感」、「しっとり感」などの繊細な手触り感を計測・数値化できる新しい技術を開発している。すでに人間の指先に相当する感度で手触りの感覚を定量化、または計測する新しいセンサを実現し、新素材開発、医療、美容健康、自動車内装など広い分野に渡って手触り感計測の結果を用いた応用技術の開発を進めている。超高性能のセンシングデバイスの計測結果を用いてAI（人工知能）との融合処理を行い、人間の指先を上回る能力を持つ高性能の触覚センシングシステムを実現することが本研究の目的である。

### (2) ナノ触覚センサ技術の特徴

本研究の「ナノ触覚センサ」は半導体微細加工技術で実現する高解像度と高い検出感度を両立する。手触り感を調べる際、人間は指先で物体表面をなぞる動作を行う。この際に微細な表面凹凸や摩擦から発生する微細な振動波を人間の指先皮膚よりも高い感度と周波数領域で検知することで、従来の触覚センサでは十分検知できない微細表面に起因する「真の手触り感」を取得できる。特に、指紋の変形で感じるとされる微細な凹凸形状と摩擦力変化を、ナノ触覚センサでは同地点・同時刻で関連付けて取得することが可能である。

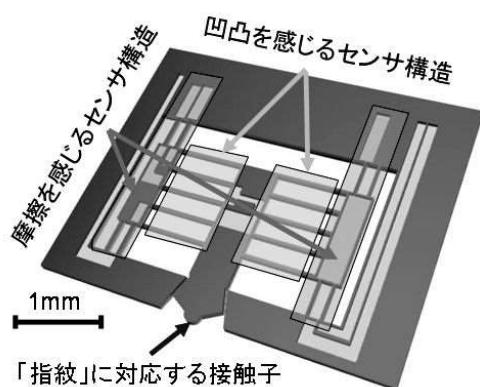


図1 ナノ触覚センサの基本構成

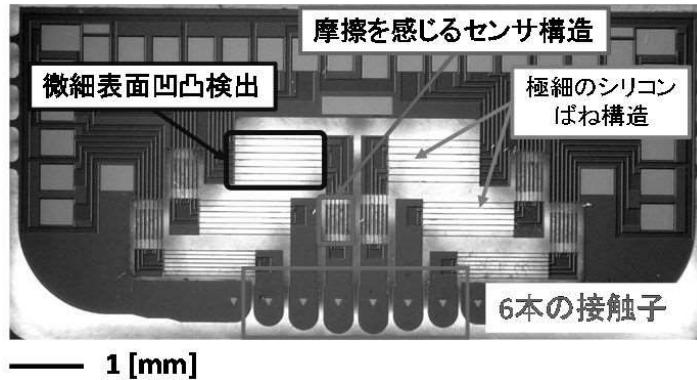


図2 人間の指腹を模したアレイ型ナノ触覚センサ

図1は本研究の「ナノ触覚センサ」の基本構成である。このセンサは指紋1本に相当する接触子を一本備えており、接触子が飛び出している側のチップ端を対象表面に押し当てて、指先の走査と同じように走査させて表面手触り感を計測する。表面凹凸は接触子の垂直方向変位で検出され、凹凸に起因する表面摩擦は水平方向の変位で検出する。これら2軸の変位は接触子を支える極細のシリコンバネとその上に集積化した歪みセンサで高精度に独立して検知可能となっている。また、実際に人間の指腹部分は多数の指紋が並ぶ形で構成されており、その機能を模倣すべく接触子をアレイ化したナノ触覚センサを実現した。図2は6本の独立した接触子を有するアレイ型ナノ触覚センサのチップ写真である。接触子先端の形状やアレイのピッチは平均的な指先指紋の形状と配置を参考にして設計されている。

図3にアレイ型ナノ触覚センサを用いて取得した手触り感データの一例を示す。計測対象は衣類等で

よく用いられる布地である「フライス編み」である。各接触子において、表面形状と摩擦変化の同時刻・同地点計測データを得ることで、6本の接触子データから3次元状の触覚データを取得できる。フライス編みを構成する繊維（糸）と編み構造を立体的に取得すると同時に、そこで生じる摩擦変化の特徴と強弱を同じ面上で視覚化することに成功した。各対象物表面の触覚データを詳細に分析することにより、指先が感じる手触りの構成因子を明らかにできる。また、官能評価結果との照合によって「なめらかさ」や「ざらざら感」などの手触り感を数量的に表現することが可能である。これらの数値は我々が指先で感じる手触り感覚とよく一致しており、人間以上の感度を持つセンサのデータを蓄積すれば、最終的には人間以上の感覚実現も可能と考えられる。

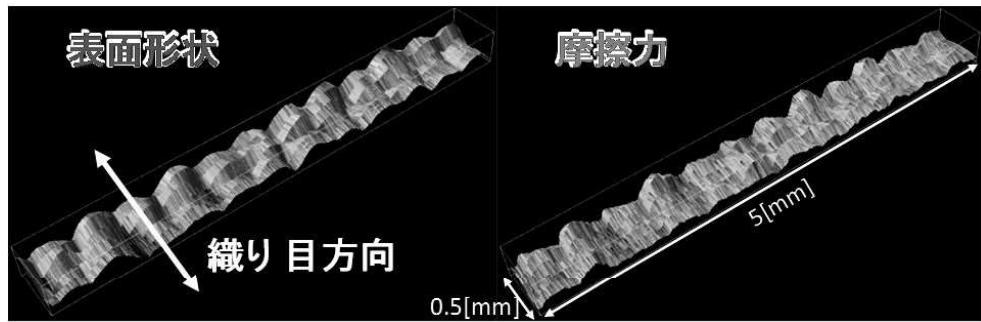


図3 アレイ型ナノ触覚センサを用いたフライス編み表面の「形状」と「摩擦」の3次元データ  
(3) 本成果の応用展開

人間が普段何気なく触れて感じ取っている触感には、重要な意味も含まれている。例えば、肌の調子や髪の毛の状態など、触れることで自身の体調や健康状態を無意識に理解しようとするのが人間である。図4はナノ触覚で計測した毛髪表面の微細な手触り感データの一例であり、シャンプー前後やダメージ状態の変化をキューティクル一枚一枚の単位で分解して違いを見いだすことが可能となっている。また、図5に示すように人間の皮膚表面の手触り感も高感度で取得できており、キメの細やかさや滑らかさを定量的に評価可能である。将来的には医師の指先に匹敵する触覚能力を実現できる可能性もあり、先進医療分野をはじめ様々な分野への応用が期待できる。

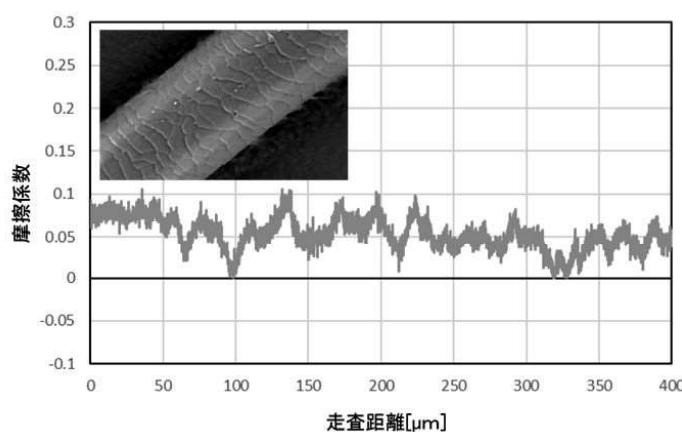


図4 ナノ触覚による毛髪表面の微細な手触り感データ

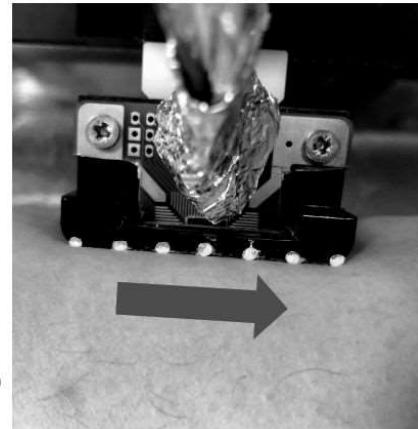


図5 人肌表面の手触り感計測の様子

#### (4) 謝辞ほか

- ・本研究は主にJST-CREST (Grant Number JPMJCR1531)の支援によって推進されている。
- ・IEEE MEMS2019国際会議においてOutstanding Student Paper Award Finalistを受賞した。

# 福島第一原発事故放射能汚染水処理用高性能ストロンチウム吸着剤の開発

香川大学創造工学部先端材料領域 教授 馮 旗

連絡先 feng@eng.kagawa-u.ac.jp



## 1. 研究背景

福島原発事故は、原子炉の炉心メルトダウンにより大量の放射性物質の漏洩で周辺に多大な被害を与えた。原子炉内の放射性物質は、地下水や雨水等の侵入により放射能汚染水となり、凍結壁を構築した今でも毎日 100 トンの汚染水が発生し、廃炉終了までの 30~40 年間には汚染水処理を行う必要がある。さらに周辺の海に流出した放射性物質の処理ができていない。放射能汚染水処理の最大の難題は放射性  $\text{Sr}^{2+}$  と  $\text{Cs}^+$  の除去である。その理由は、汚染水には高濃度海水成分の  $\text{Na}^+$ (10,800 ppm)、 $\text{Mg}^{2+}$ (1,280 ppm)、 $\text{Ca}^{2+}$ (412 ppm)、 $\text{K}^+$ (400 ppm) が含まれており、その中から僅かな  $\text{Sr}^{2+}$ (0.5 ppm)、 $\text{Cs}^+$ (1 ppm) を除去する。 $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{Cs}^+$  は海水主成分と同じアルカリ、アルカリ土類元素であり、性質が類似しており、 $\text{Sr}^{2+}$  と  $\text{Cs}^+$  を除去するためには、高選択性吸着剤が不可欠である。現状では、 $\text{Cs}^+$  吸着剤に関してはかなり高性能のものが開発されたが、高性能  $\text{Sr}^{2+}$  吸着剤の開発が進まず、高濃度海水成溶液の処理ができていない。低濃度海水成溶液の処理でも、現状の吸着剤（結晶性ケイチタン酸塩 CST とチタン酸塩  $\text{K}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$ ）が高価の上、選択性が不十分のため、汚染水処理のコストを大きく押し上げている。汚染水処理をより高効率低コストで行うため、高性能低コスト  $\text{Sr}^{2+}$  吸着剤の開発が重要課題である。

## 2. 研究開発の方針

本研究では、図 1 に示すイオンふるい型吸着剤の原理を利用して海水条件でも  $\text{Sr}^{2+}$  を選択的に吸着できる高性能吸着剤の開発を行う。イオンふるい効果とは、多孔性吸着剤が特定大きさのイオンを選択的に吸着する。図 1 に示すように多孔性の吸着剤でイオンを吸着する場合、吸着剤の細孔より大きなイオン ( $\text{Cs}^+$ 、 $\text{K}^+$ ) は、細孔内に入ることができないため、表面にしか吸着せず、吸着選択性と吸着容量が低い。一方、細孔より小さいイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ ) は、細孔内に入ることができるが、結合が弱く吸着選択性が低い。一方、吸着剤の細孔と同じ大きさのイオン ( $\text{Sr}^{2+}$ ) を吸着する場合、吸着剤に非常に強く結合し、高い吸着選択性が得られる。マンガン酸化物は、優れるイオン交換性を示し、様々なトンネル構造と層状構造を形成することができる。本研究は、図 2 に示すような各種トンネル構造と層状構造のマンガン酸化物を合成し、海水条件での  $\text{Sr}^{2+}$  吸着性能を調べ、従来の吸着剤との比較を行い、海水条件でも  $\text{Sr}^{2+}$  を選択的に吸着できる高性能  $\text{Sr}^{2+}$  吸着剤を開発し、実用化を目指す。

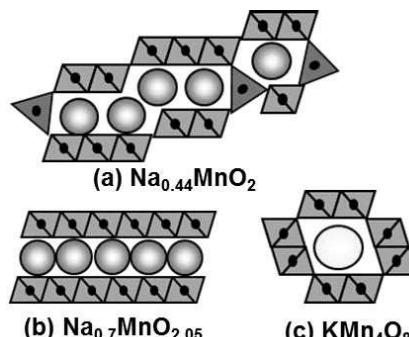
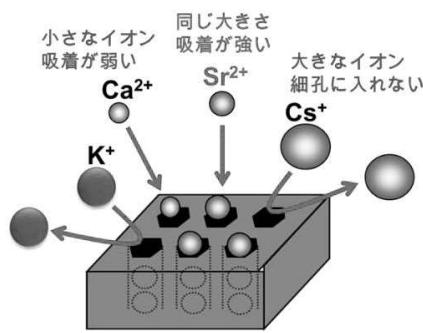


図 1. イオンふるい効果を利用した  $\text{Sr}^{2+}$  吸着剤の原理

図 2. トンネル構造と層状構造マンガン酸化物

## 3. 研究成果の概要

トンネル構造と層状構造の多孔性マンガン酸化物を合成するため、各組成比の  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-MnCO}_3$  や  $\text{K}_2\text{CO}_3\text{-MnCO}_3$  原料混合物を焼成した。図 2 に示す 3 種類の多孔性マンガン酸化物が得られた。海水条

件での  $\text{Sr}^{2+}$  吸着性能を調べた結果、層状構造を有する  $\text{Na}_{0.7}\text{MnO}_2$  が非常に高い選択吸着性能を有することがわかった。層状構造  $\text{Na}_{0.7}\text{MnO}_2$  の  $\text{Sr}^{2+}$  吸着性能をさらに向上するため、第 3 の金属成分 ( $T = \text{Li}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Cu}, \text{Al}, \text{Ti}$  等) を添加した  $\text{Na}_{0.7}\text{T}_x\text{Mn}_{1-x}\text{O}_2$  層状構造マンガン酸化物を合成した。図 3 には、本研究で開発したマンガン酸化物イオンふるい型吸着剤および従来の吸着剤の海水条件での  $\text{Sr}^{2+}$  吸着選択係数（分配係数  $K_d$ ）を示す。層状構造の吸着剤 (NLMO, NMO, KNiMO, KMO) はトンネル構造の吸着剤 ( $\text{Na}_{0.44}\text{MnO}_2, \text{K}_2\text{Mn}_8\text{O}_{16}$ ) より吸着性能が高い。Na-Mn-O 系吸着剤 (NLMO, NMO) は K-Mn-O 系吸着剤 (KNiMO, KMO) より性能が高い。本研究で開発した NLMO 吸着剤の分配係数は、現在福島で使用している CST および  $\text{K}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$  吸着剤よりそれぞれ 20 倍および 50 倍が高く、極めて高性能の  $\text{Sr}^{2+}$  吸着剤であることがわかった。

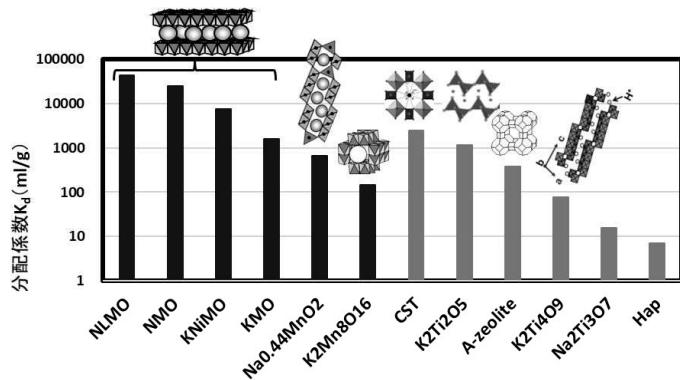
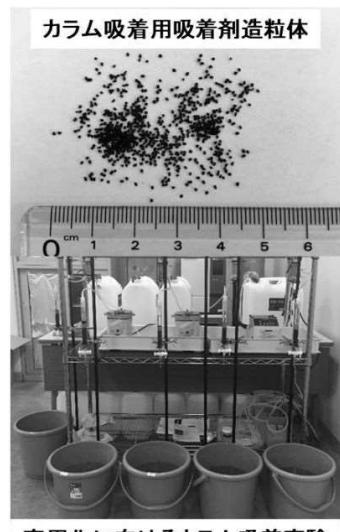


図 3. 各種吸着剤の海水条件での  $\text{Sr}^{2+}$  吸着分配係数の比較



実用化に向けたカラム吸着実験

図 4. 作製した吸着剤造粒体を用いるカラム吸着実験

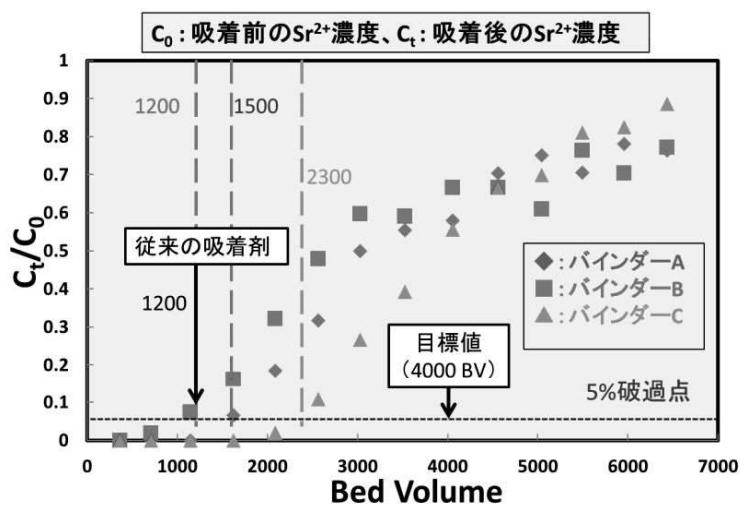


図 5. 各種バインダーで作製した吸着剤造粒体の  $\text{Sr}^{2+}$  カラム吸着特性。

吸着溶液 : 0.3% NaCl, 5ppm Sr, 5ppm Mg, 5ppm Ca

実用化のため、NLMO 吸着剤の造粒体（粒径 0.3~0.6 mm）を作製し、吸着カラムに詰めて疑似放射能汚染水処理条件でカラム吸着実験を行い、放射能汚染水処理性能を調べた（図 4）。図 5 には各種バインダーで作製した吸着剤造粒体のカラム吸着結果を示す。バインダー A で造粒した吸着剤は、従来の CST 吸着剤の約 2 倍の処理能力（ベッド体積 BV）を有することがわかった。さらに 2か月間の長期カラム吸着実験を実施し、造粒体の崩壊がなく、十分な強度を有することを確認した。

#### 4. 成果の活用

現在、企業（K&A 環境システム）との共同研究で実用化に向け、吸着剤造粒体の量産技術の開発を進めており、商品名 SrSieve でユーザーに提供して性能評価を行っている。

- ・知財関連：「ストロンチウムイオン吸着剤とその製造法」 香旗、特願 2015-225614 (PCT 出願中)
- 「ストロンチウムイオン吸着剤とその製造法」 香旗、PCT 出願中 (PCT/JP2016/87009)

# 機械学習を援用したインフラの劣化予測システム

香川大学創造工学部環境デザイン工学領域 准教授 岡崎 慎一郎  
連絡先 okazaki@eng.kagawa-u.ac.jp



## (1)はじめに

高度経済成長期に建設された多くのインフラ構造物において劣化が顕在化している。この一方で、少子高齢化に伴い、劣化に対する対応が今後不十分となると考えられる。コンクリート橋梁の劣化は、材料劣化と、活荷重等の作用が互いに関連するところに特徴があるため、これまでの実橋梁の点検データ内に含まれる複雑な劣化機構を機械学習により抽出し、効率的な維持管理を行うことが期待される。本研究では、四国内にある橋梁を対象に、ひび割れに対する点検結果の回帰モデル構築と、劣化要因分析を行う。

表 入力子一覧

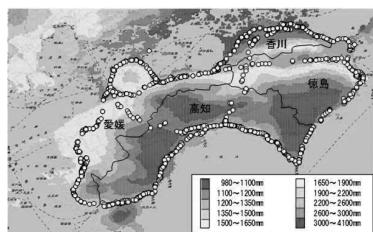


図 対象橋梁と四国内における降水量

区分	項目				
橋梁諸元	橋長	支間長	全幅員	構造形式 (橋種)	総径間数
設計条件	塩分対策 区分	設計 活荷重	示方書年代 (上部構造)	材料	打設場所
荷重条件	交通量	大型台数			
環境条件	年降水量	年平均 海岸線から の最小距離	気温	標高	
時間軸	供用年数	完成年度			
径間内	漏水有無	空間位置			
ばらつき					

## (2)機械学習アルゴリズムの選択

種々の機械学習モデルを用いて検討した。ガウス過程回帰モデルが最も精度が高いことを確認した。

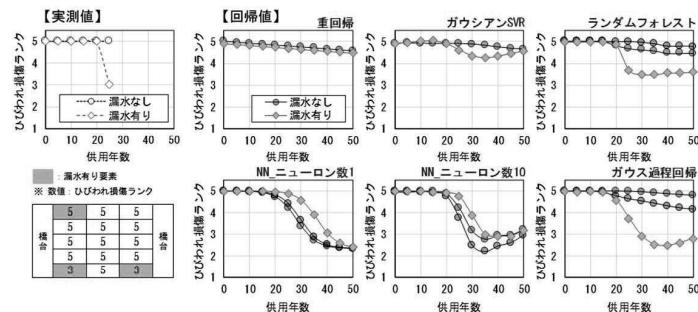


図 検討結果

## (3)橋梁の劣化要因分析

回帰モデルを用いて、種々の入力子に対する感度分析を実施し、劣化に及ぼす支配要因を抽出した。

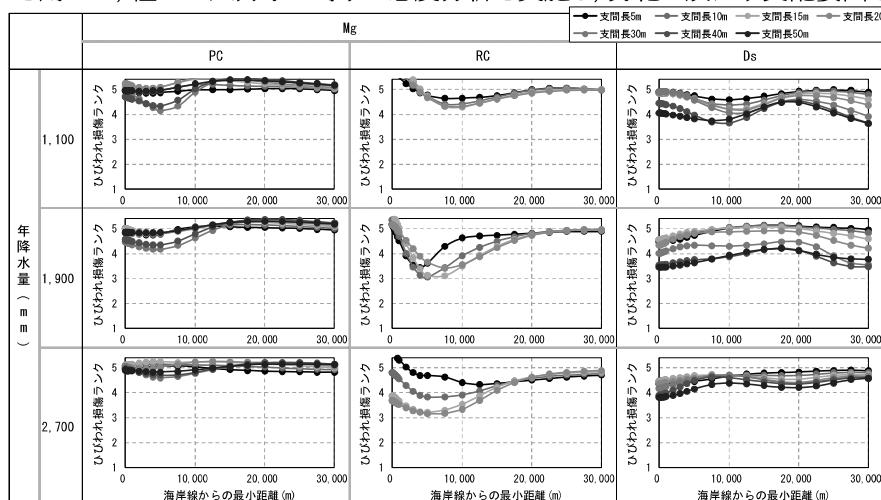


図 種々の要因がひび割れ発生挙動に与える影響

## 血圧脈波を用いた心房細動診断プログラムの新規開発

香川大学 医学部 循環器・腎臓・脳卒中内科学 学内講師 石澤 真

連絡先: i shizawa@med.kagawa-u.ac.jp



### 【研究背景】

心房細動は不整脈疾患の一つであるが、脳梗塞（心原性脳塞栓）の原因になる疾患である。心房細動の有病率は加齢と共に増加し、高齢化社会が進む日本では今後も心房細動患者数は増加することが予想されている。合併症である心原性脳塞栓発症を未然に防ぐためには、心房細動患者の早期発見、早期診断による適切な治療開始が重要である。心房細動患者の約4割は無症候性であるため、より簡便な方法で、繰り返しの測定が可能な、心房細動検出機能を有する医療機器が求められている。

### 【研究内容】

我々は、日本すでに販売されている自動血圧計の一部機種に、血圧脈波間隔の乱れを検出する機能を有する機種があることに着目し、その血圧計を用いて心房細動を検出できないかと考えた。オムロンヘルスケア社との共同研究を立ち上げ、計303名の患者に対して一人当たり3回ずつの自動血圧計計測を行い、自動血圧計計測中に得られる血圧脈波データを電子データとして取得した。得られた血圧脈波データを、胎児心拍モニター技術を有するメロディ・インターナショナル株式会社に外注し、周波数解析を加え(図1)、得られた特定の画像に対して独自のアルゴリズムを当てはめることで「洞調律(=正常の調律)」「心房細動」「その他」の3つに分類することが可能、新たなプログラム開発に成功した。先行研究の対象患者303名のうち正確な血圧脈波が得られた280名に対して、同プログラムを当てはめる後ろ向きの解析を行った結果、心電図診断をリファレンスとして感度100%、特異度97.9%で心房細動の診断が可能であった。感度、特異度の解析は、古典的な $2\times 2$ 分割表を用いて行った(表1)。

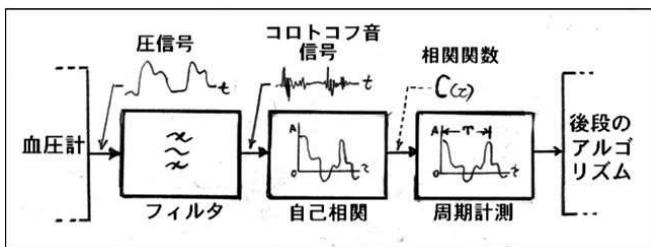


図 1

心電図による確定診断		
新規プログラムによる診断	心房細動	心房細動以外
陽性	40	5
陰性	0	235

表 1

### 【将来的な利活用方法】

今後、本方法を「医療プログラム」として確立させ、将来的に自動血圧計とリンクさせて医療機関等で設置することにより、血圧測定と同時に心房細動のスクリーニングが可能になると考えられる。無症候性の心房細動患者に対して、偶発的に発見される機会を増やすことにより、より早期に専門医への受診を促進することができる。本研究の成果は、日本のみならず世界中の心房細動患者の早期発見、ならびに合併症である心原性脳塞栓の予防に役立つと考えている。

# 蛋白質立体構造解析および相互作用解析に基づくレクチン蛋白質の機能調節の試み

香川大学医学部分子細胞機能学 助教 野中 康宏

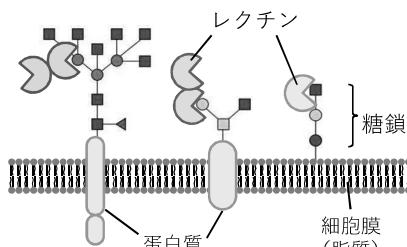
連絡先 nonaka@med.kagawa-u.ac.jp

## 背景

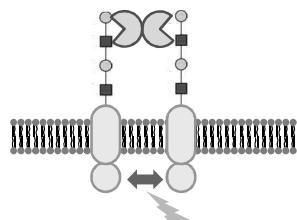
### レクチン

特定の糖鎖を認識し結合する蛋白質の総称。種類がとても多く、全ての生物種が何らかのレクチンを持つと言われている。生体内には様々な糖鎖が存在し、各種レクチンはそれぞれの標的となる糖鎖と結合することで機能を発現する。

レクチンは糖鎖解析ツールとしてよく用いられている。細胞表面の糖鎖はその細胞の特徴や状態をよく反映する。したがって細胞や組織に対するレクチンの結合パターンからは多くの有用な情報が得られる。



レクチンはそれぞれ異なる糖鎖と結合する



ガレクチンは蛋白質同士の相互作用を促し、細胞に命令を送る

### ガレクチン

ヒトを含む脊椎動物に広く存在するレクチンの一種。免疫系細胞の活性調節や分化調節、がん細胞の転移などに関わることが知られている。特に免疫関連の疾患やがんとの関わりが注目されている。糖蛋白質同士を架橋することで細胞に作用すると考えられているが、詳細は未だ不明である。

## 目的

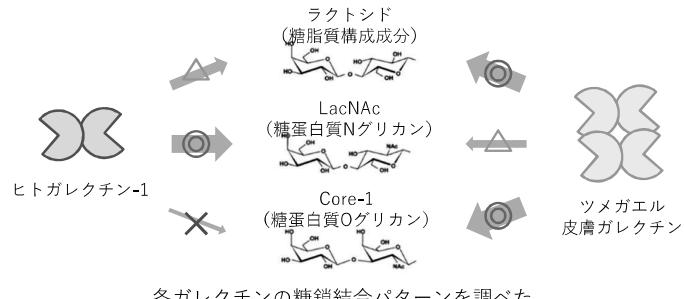
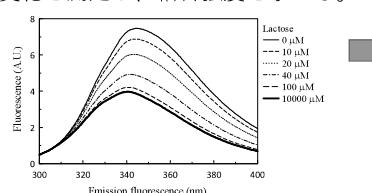
### ガレクチンの人工的機能調節

ガレクチンの生理活性メカニズムの解明と、新規の有用なレクチンの創出に向けて、ガレクチンの物理化学的な解析と変異体作成実験を行っている。今回はヒトガレクチン-1とアミノ酸配列が類似しながら、全く異なる生理活性を持つツメガエル皮膚ガレクチンに注目した。

## 研究方法

### 蛍光分光測定

ガレクチンと糖鎖の結合に伴う蛍光スペクトルの変化を測定し、結合強度を求める。



各ガレクチンの糖鎖結合パターンを調べた

### X線結晶解析

蛋白質を結晶化し、X線回折データから3次元立体構造を求める。



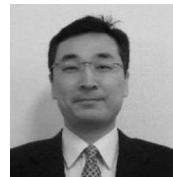
### 変異導入実験

結晶構造を元に、糖鎖結合に関わる部位を特定し、ガレクチン変異体を作製した。その結果、野生型とは異なる結合パターンを持つガレクチンを数種類作製することに成功した。一部の変異体はT細胞に対する細胞死誘導活性を獲得していた。



## 希少糖が酢酸発酵に及ぼす影響

香川大学農学部食品科学領域 教授 小川雅廣  
連絡先 ogawa@ag.kagawa-u.ac.jp



### はじめに

希少糖含有シロップ(RSS)は菓子類や清涼飲料水だけでなく発酵食品にも利用されている。RSSには、希少糖D-フクシコース(Alu)の他にも、D-タガトース(Tag)、D-アロース(All)など様々な希少糖が含まれている。しかしながら、各希少糖が微生物の発酵作用にいかなる影響を及ぼすかは明らかになっていない。本研究では、酢酸菌3種の酢酸発酵に各種希少糖が及ぼす影響を調べた。

### 実験方法

使用した菌は以下の3菌株:

*Acetobacter aceti* NBRC 14818

*Acetobacter pasteurianus* NBRC 3283

*Gluconobacter oxydans* NBRC 12528

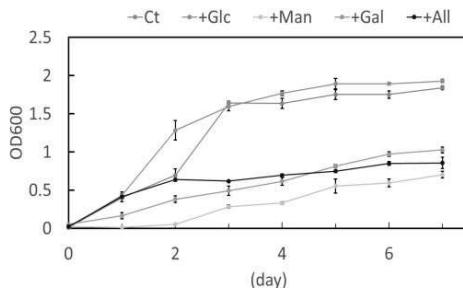
試験に用いた単糖は、

アルドヘキソース:D-グルコース(Glc)、D-アロース(All)  
D-ガラクトース(Gal)、D-マンノース(Man)  
ケトヘキソース:D-フルクトース(Fru)、D-ブクシコース(Alu)  
D-タガトース(Tag)、D-ソルボース(Sor)

発酵試験は、培地 [Yeast Extract 0.5%、Hipolypeptone 0.5%、Ethanol 1.0%、各種糖 10.0%] 中で、28°C、往復振とう150rpmで7日、あるいは14日間行った。培地に糖を添加しないものをコントロール(Ct)した。培養中、培養液を抜き取り、菌の生育を濁度(600nm)、酢酸生成、エタノール消費、糖の資化性をHPLCで調べた。

### アルドヘキソースの菌の生育への影響

#### ★ *Acetobacter aceti*



- Man, Gal, Allは増殖抑制
- ManとGalは生育遅延
- Manは最初の2日間ほとんど生育しなかった

★ *A. pasteurianus* と *G. oxydans* の結果は省略

### 結論

本研究のまとめを右表に示す。GlcとFru以外の六炭糖は、酢酸発酵に抑制的に働くものが多いことが分かった。なかでも、Manと希少糖Tagは発酵抑制が強いと分かった。現在これらの中糖が発酵を抑制する原因を探っている。

	アルドヘキソース				ケトヘキソース			
	Glc	Man	Gal	All	Fru	Sor	Tag	Alu
<i>Acetobacter aceti</i>	影響なし	抑制大	抑制	抑制	影響なし	抑制	抑制大	抑制
<i>Acetobacter pasteurianus</i>	促進	抑制	抑制	抑制	ND	ND	ND	影響なし
<i>Gluconobacter oxydans</i>	促進	抑制大	影響なし	抑制	影響なし	ND	ND	影響なし

表の赤字は希少糖を示す。ND; not determined

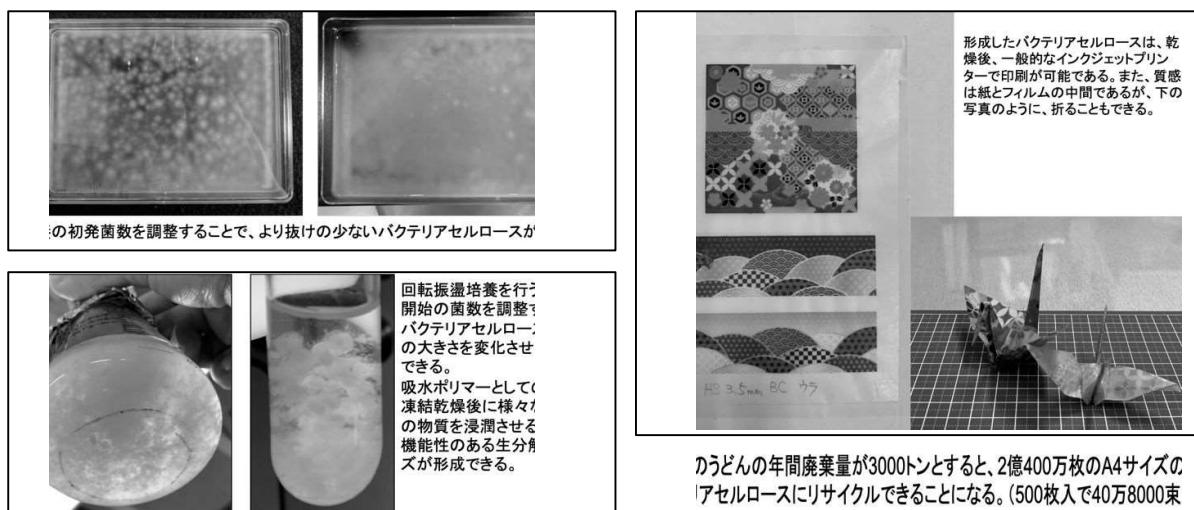
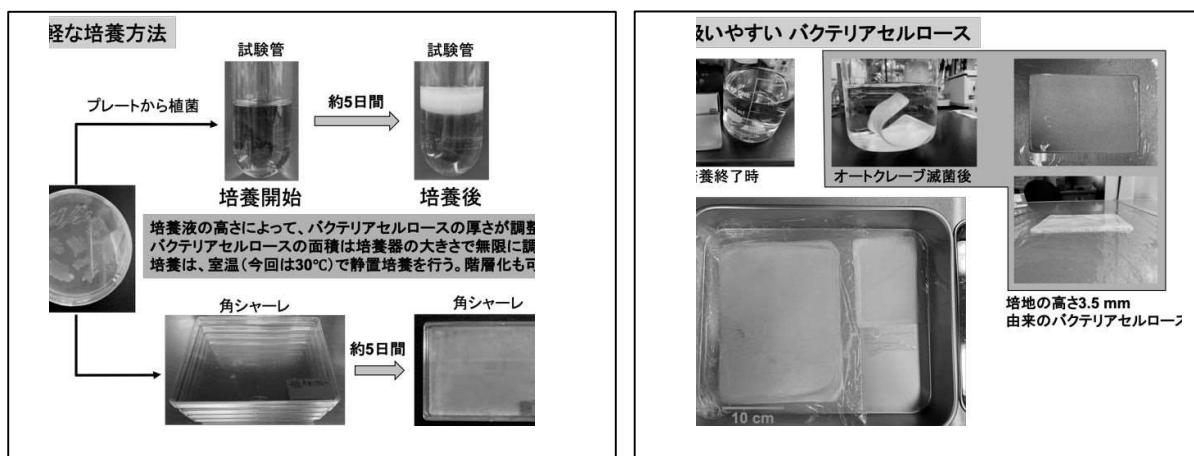
## バクテリアセルロースの紹介：廃棄うどんをセルロース繊維へ

香川大学農学部応用生物科学科 准教授 田中直孝

連絡先 ntanaka@ag.kagawa-u.ac.jp

酢酸菌の一種であるアセトバクター・キシリナスは、ブドウ糖からセルロースを生合成する。食物のナタデココは有名であるが、本菌が生合成するバクテリアセルロース(BC)は、物理的な強靱性や高い吸水性などの点で、通常の木粉から製造される紙とは一線を画す物質である。学術的にも機能性素材として研究され、応用面ではハイテク機器や紙としての性質を利用した開発が行われているが、依然として、一般的な認知度は低い状況である。

今回の目的は、微生物で作ったバクテリアセルロースの認知度を高め、予想外の利活用方法を見出すことである。幸い、香川県はうどん県としてデンプン質を大量に消費し、廃棄している。この廃棄うどんを糖原としてリサイクルし、デンプンからセルロースへ変換する。廃棄されるうどんから変換したセルロースは、一般的に馴染みのある「紙」として、老若男女、外国人観光客にも有名な千代紙、うちわなどに利用できる。また、ビーズ状に培養することで、生分解性の吸水ポリマーとしても利用できる。



# 局所構造を重視したエッシャー風タイリング問題の網羅的解法

徳島大学大学院社会産業理工学研究部 理工学域知能情報系 准教授 永田 裕一

連絡先 nagata@is.tokushima-u.ac.jp



図1のような1種類の（意味のある）絵を隙間なく敷きつめて得られたタイリングは、オランダの芸術家 M.C.の名前にちなんでエッシャータイリングと呼ばれることで知られる。芸術的なエッシャータイリングを作成することは、非常に知的な作業ですることは容易に想像できるであろう。

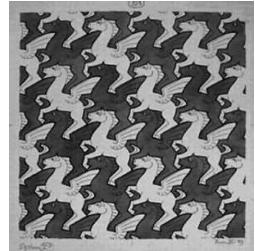


図1: Escher tiling

近年、計算機を用いて芸術的なエッシャータイリングを自動生成する試みとして、Kaplanらはエッシャータイリング問題というものを提案している。この問題は目標图形Wに対し、次の条件を満たす图形Uを求めるというものである（図2参照）

1. UはWに出来るだけ類似
2. Uはタイリング可能

これまでに、エッシャータイリング問題を最適化問題として定式化する方法がいくつか提案されているが、Koizumiらは目標图形と出力图形を同数の多角形で表現

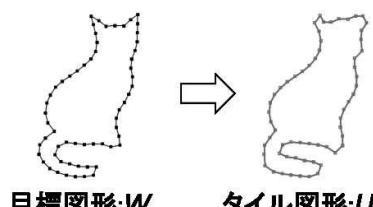
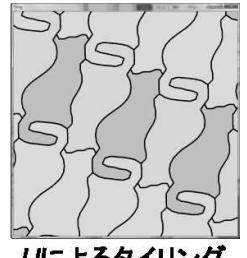


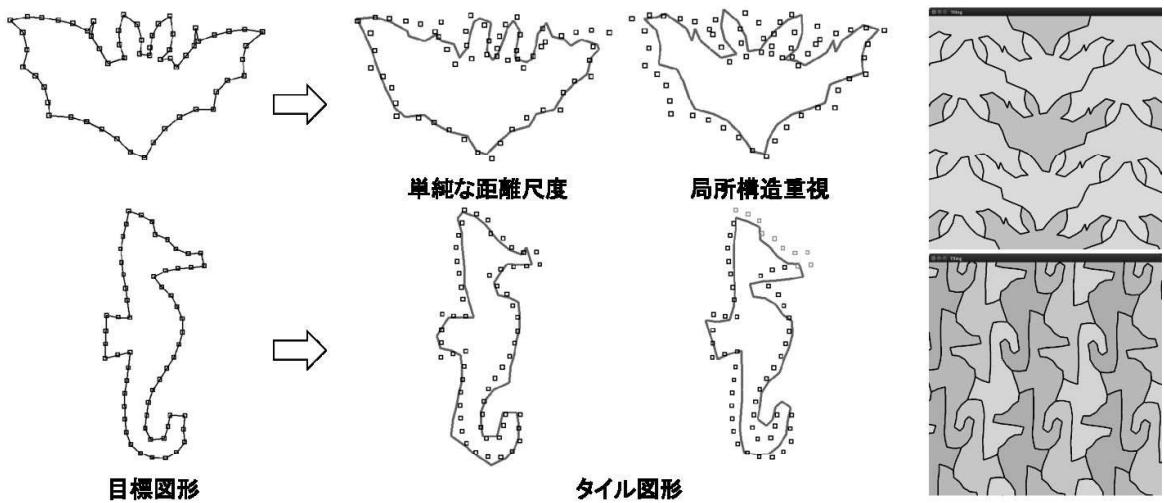
図2: エッシャータイリング問題



Uによるタイリング

することで、解析的に求解可能な固有値問題に帰着する方法を提案している。しかし、この方法で定式化されたエッシャータイリング問題の最適解（目標图形に最も類似した出力图形）を得るためにには、ある種の網羅探索を必要とし、非常に多くの計算時間を要することが問題となっている。そこで、本研究では最適解を高速に求めるためのアルゴリズムを開発した。

エッシャータイリング問題の定式化には目標图形Wと出力图形Uの距離尺度（類似度）を定義する必要がある。オリジナルの定式化では最も単純な距離尺度として、目標图形を表す点群と出力图形を表わす点群の距離の2乗和を用いていた。本研究では图形間の局所構造の類似度を重視した距離尺度を導入することで、より自然なタイリングが可能であることを示す。例えば、下の図は2つの目標图形に対して、単純な距離尺度と提案する距離尺度のそれぞれを用いて得られたタイリング图形、および後者のタイル图形によるタイリング結果を示している。



# 複素射影平面内の代数曲線の埋込位相

## ~4次元空間内の2次元多様体の絡まり方~

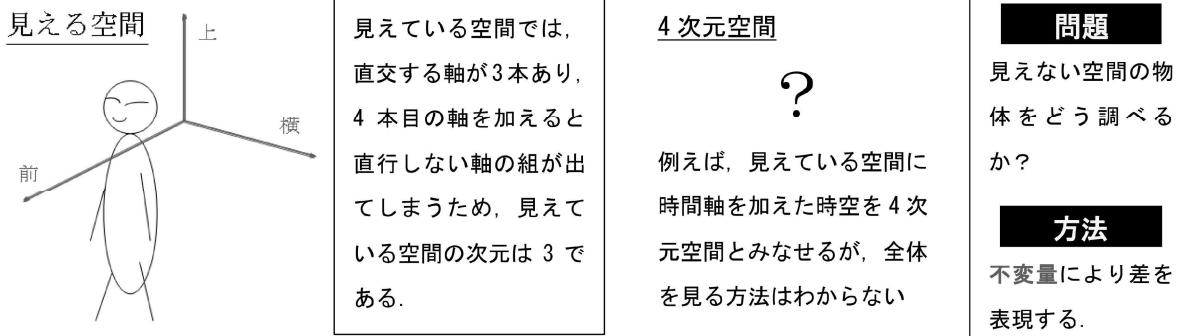
徳島大学・理工学域・数理科学系 講師 白根 竹人

連絡先 shirane@tokushima-u.ac.jp

### 概要

本研究の目的は複素射影平面（4次元空間）内にある代数曲線（2次元多様体）の“埋込位相”（絡まり方）を調べることである。特に、4次元空間は“見えない”ため、その中にある2次元多様体の絡まり方を比較する方法が問題になる。本研究では、多様体の絡まり方の固有の量「不变量」（同じ絡まり方ならば変わらない量）を定義し、埋込位相を見分ける方法をとる。

本研究の成果は、複素射影平面内の代数曲線に対し、新たな不变量「分解グラフ」を定め、埋込位相を見分ける精度を上げることに成功した。



### 主結果

- 複素平面曲線に対し、「分解グラフ」を定義し、埋込位相の差を表す不变量であることを示した。特に、古典的な不变量「基本群」で分解グラフは定まらないことを証明した。
- 非特異  $d$  次曲線と 3 本の直線からなる平面曲線「Artal 配置」の埋込位相は分解グラフによって完全に分類できることを証明した。

[学術論文] T. Shirane: [Galois covers of graphs and embedded topology of plane curves](#), Topol. Appl. 257 (2019), 122–143

#### 分解数の定義

$\phi: X \rightarrow P^2$  を複素射影平面  $P^2$  上の Galois 被覆とする。このとき、平面曲線  $C \subset P^2$  に対し、 $\phi$  による引き戻し  $\phi^*C$  の既約成分と特異点に対応する頂点をもつグラフを  $C$  の  $\phi$  に関する分解グラフと呼び、 $S_{\phi,C}$  と書く。ただし、既約成分とそれに含まれる特異点に限り、それらに対応する頂点を辺で結ぶものとする。

#### 定理 2.

代数曲線  $C$  が既約であるとき、分解グラフ  $S_{\phi,C}$  の連結成分の個数は  $C$  の  $\phi$  に対する「分解数」と等しい。特に、分解数は基本群で定まらない不变量であるため、分解グラフも基本群で定まらない。

#### Artal 配置の埋込位相の分類

2 つの Artal 配置  $A_1, A_2$  の埋込位相が等しいための十分条件はそれぞれの分解グラフが等しいことである：

$$(P^2, A_1) \cong (P^2, A_2) \Leftrightarrow S_{\phi_1, L_1} \sim S_{\phi_2, L_2}$$

ここで、 $\phi_i: X_i \rightarrow P^2$  は  $A_i$  の非特異  $d$  次曲線で分歧する巡回  $d$  次被覆で、 $L_i$  は  $A_i$  の 3 本の直線を表す

#### 定理 1.

分解グラフは下記の条件の下、不変である：

$$S_{\phi_1, C_1} = S_{\phi_2, C_2}.$$

条件： $h: P^2 \rightarrow P^2$  は同相写像、

$\phi_i: X_i \rightarrow P^2$  はガロア被覆 ( $i = 1, 2$ )

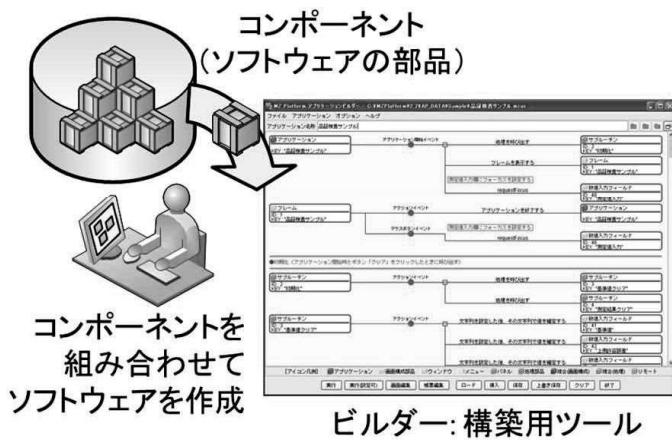
$$h(C_1) = C_2$$

# 中小企業のためのシステム開発環境 ～MZプラットフォーム～

産業技術総合研究所四国センター  
連絡先:toshihiko-ooie@aist.go.jp

## MZプラットフォームとは

- ・産総研が開発したソフトウェア基盤
- ・正式名称：MZ Platform（読み方：エムズィープラットフォーム）
- ・目的：中小製造業のIT化支援（自社用ソフトウェア構築＝エンドユーザ開発支援）
- ・特徴：高度なスキルがなくても（≒ソースコードを書かずに）ソフトウェアを作成できる
- ・対象：主にPC上で動作するアプリケーションソフトウェア
- ・動作環境：Windows/Linux + Java (+ Java3D)



## 開発例



## 柔軟に拡張可能

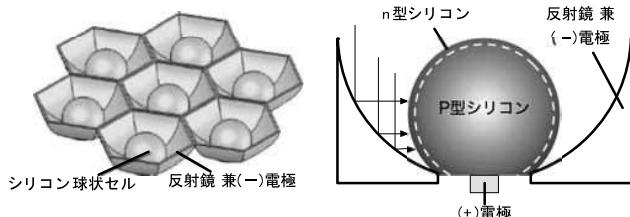


# 電場印加による球状シリコン太陽電池用の均一径金属球の製造

香川高等専門学校 機械電子工学科 准教授 嶋崎 真一  
連絡先 shimasaki@t.kagawa-nct.ac.jp



## 球状シリコン太陽電池



T. Minemoto et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 90 (2006), 3009-3013. をもとに改変

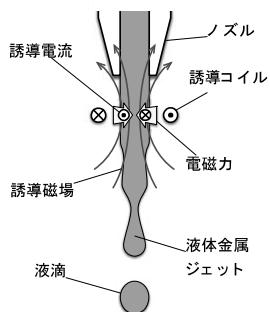
- ・球状のシリコンを用いた太陽電池
- ・溶融状態のシリコンから直接、球状シリコンを製造
- ・反射鏡を用いた集光型や、透明樹脂／ガラスに埋め込んだシースルーパー型などがある

本研究の目的：安価で精度の良い均一径金属シリコン球の量産法の開発

## 磁場と電場の同時印加による液滴制御

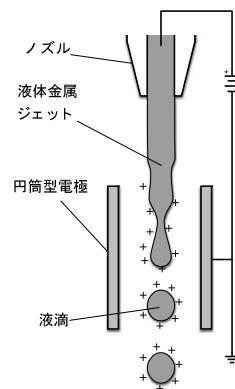
### 電磁力の間欠印加

電磁力を間欠的に印加することにより、液体金属ジェット表面に規則的な擾乱を発生させることで、均一な液滴を生成。

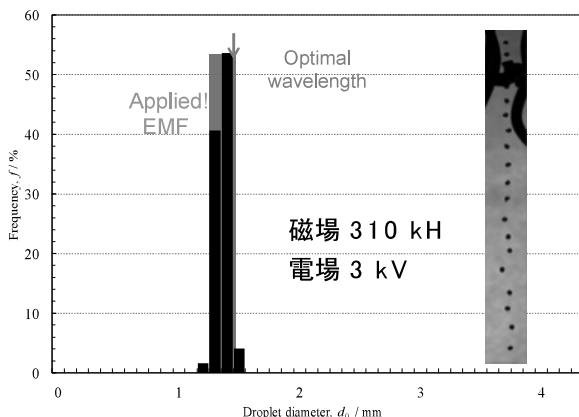
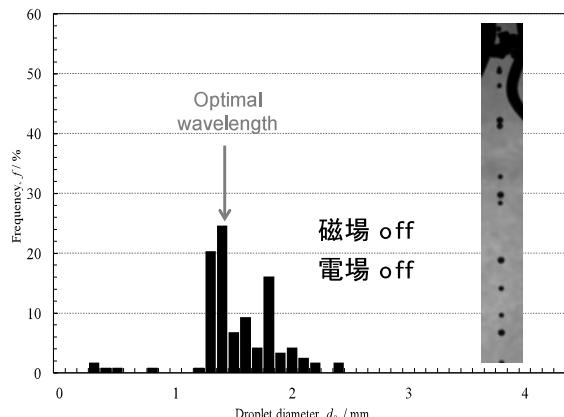


### 電場印加による帯電

電場中でジェットを分断させることにより、液滴を帯電させる。液滴の合体防止および軌跡の制御が可能となる。



## 実験結果



- ・磁場と電場の同時印加により、均一な液滴が生成可能であることを実証。
- ・磁場の間欠印加周波数を変えることにより、液滴径の制御が可能。
- ・液滴の合体防止モデルを確立した。合体を防止するために必要な電場の予測が可能。

単分散金属球の製造技術を確立

## 粒子法・個別要素法によるシミュレーションの紹介

(株)四国総合研究所 産業応用技術部 小川口 深雪  
連絡先 m-ogawaguchi@ssken.co.jp



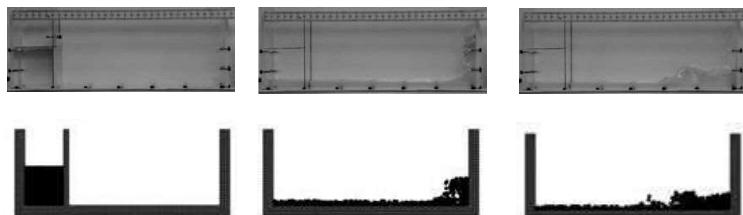
東日本大震災の発生に伴い、津波や地震などの過酷事象時の発電所設備などの機器に対する、より高度な健全性評価技術が求められています。当社においては、流体、粉体に対するシミュレーションの高度化を行っています。

### 流体(粒子法)

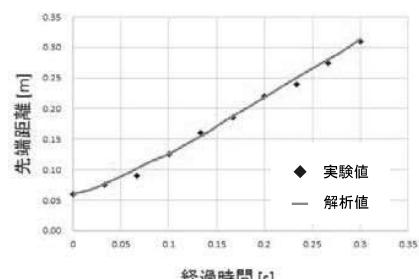
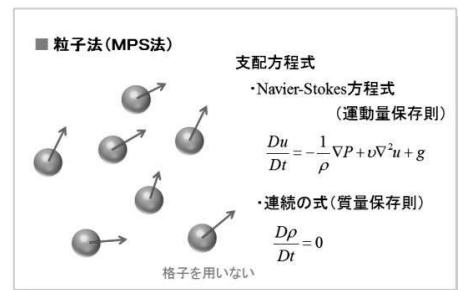
粒子法は、計算のための格子を定義する必要がないため、従来の手法では困難とされていた水面の揺動や水滴の飛び散りのシミュレーションができます。

粒子法の1つである MPS (Moving Particle Semi-implicit) 法は、1995年に東大の越塚教授が開発した方法です。粒子相互作用モデルを用いることで、式の離散化がとてもシンプルになっています。タンクにおけるスロッシング挙動の解析などに取り組んでいます。

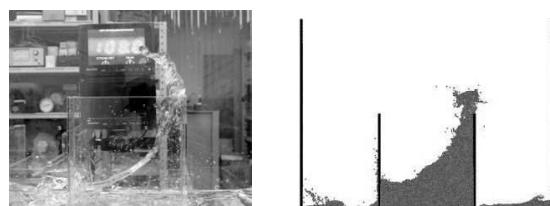
<< ダムブレーキ >>



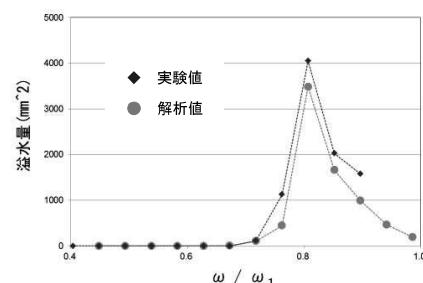
ダムブレーキの様子（上段：実験 下段：解析）  
グラフ：実験と解析による先端距離の比較



<< スロッシング >>



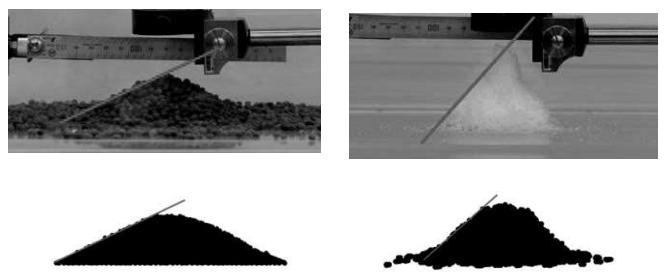
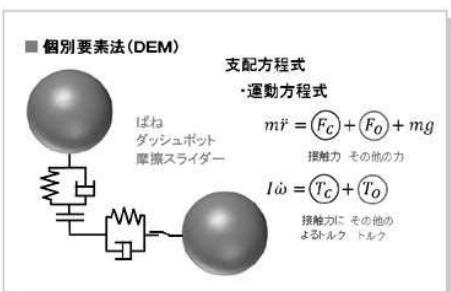
スロッシングの様子（左：実験 右：解析）



周波数比と溢水量の関係

### 粉体（個別要素法）

個別要素法(DEM: Discrete Element Method)はCundallとStrackにより1979年に提案された手法です。岩盤工学に適用するために考えられたものですが、現在では、粉体シミュレーションなど多くの分野で応用されています。地震時における岩塊粒子の崩落解析などに取り組んでいます。



安息角の再現

## 低成本な無線通信式水位観測システムの開発

(株)四国総合研究所 土木技術部 副主席研究員 藤本 知規  
電子技術部 部・部長 中西 美一  
連絡先 t-fujimoto@ssken.co.jp (藤本)

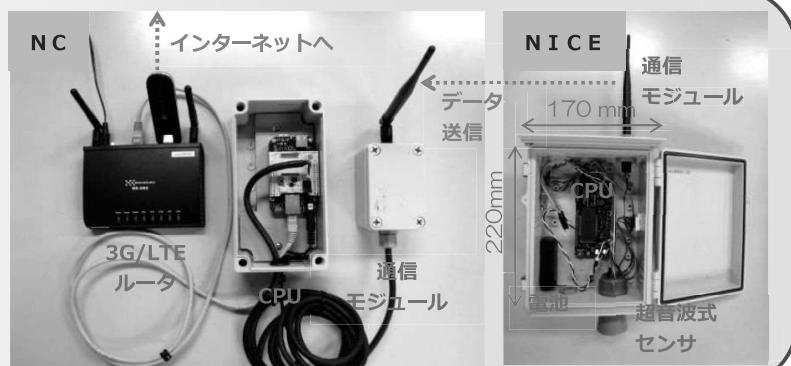


### 1. 開発の背景

近年、記録的な大雨による水害が全国各地で多発していることから、国土交通省では、防災上の観点から水位観測網の充実を図るべく、洪水に特化した低成本な水位計を開発し、中小河川等への水位計の設置を推進している。このような中、四国総合研究では、自社で保有するフィールドモニタリングシステムの共有基盤技術である openATOMS を利用し、河川やため池をはじめとした様々な水位観測への利用を目的とした、低成本な無線通信式水位観測システム「Water Minder」の開発を進めている。

### 2. Water Minder の構成

- NC (Network Computer)  
⇒ データ収集ユニット (親機)
  - NICE (Networked Intelligent Cell)  
⇒ センサユニット (子機)
- 1台の NC に対して複数台の NICE からデータ送信が可能



### 3. Water Minder の特徴

- ①低成本 (NC: 15万円/台以下、NICE: 10万円/台以下)
- ②長期間メンテナンスフリー (乾電池で5年以上稼働<sup>※1</sup>)
- ③省スペース (測定機器のサイズ: 220mm×170mm×100mm<sup>※2</sup>)
- ④インターネット上でリアルタイムに測定データの確認、ダウンロードが可能

※1 測定間隔10分、単3リチウムイオン乾電池6本の場合      ※2 アンテナ・センサ部除く、今後更に小型化予定

### 4. 測定データの確認、ダウンロード

- パソコンやスマホからリアルタイムに測定データの確認が可能
- 任意の期間の測定データのダウンロードが可能
- NICE に搭載した SD カードからデータの取得も可能



### 5. 実河川における実証試験

- 2018年夏より、香川高専と共同で、香川県内の複数の河川で実証試験を実施中
- 今後、試験個所の追加、梅雨や台風時の試験等を行い、2019年度中の完成を目指す



実証試験状況



1km以上離れた個所に設置したNCに測定データを送信している

## 無線式振動モニタリングシステムの高度化

四国総合研究所 土木技術部 研究員 山崎 崇寛

副主席研究員 天野雄一朗

電子技術部 部・部長 中西 美一

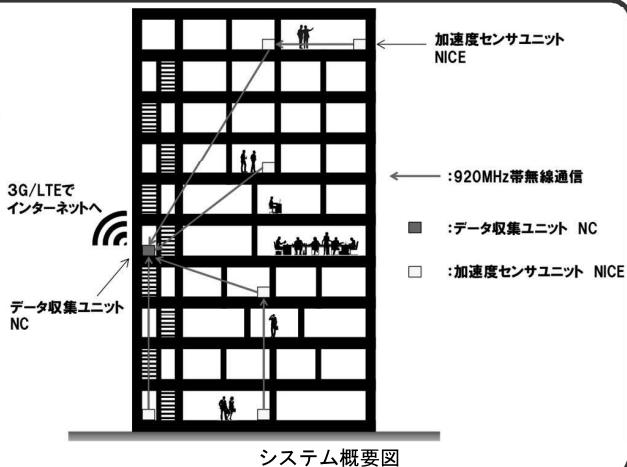
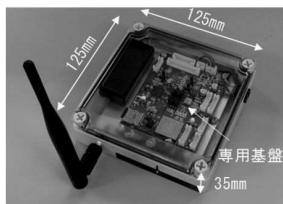
連絡先 t-yamasaki@ssken.co.jp



四国総合研究所では、地震発生後の建物被害推定を行う目的として 2017 年より自社が保有する無線オンデマンド通信技術 openATOMS®を利用した安価で高精度な無線式振動モニタリングシステム『SwingMinder®』の開発に取り組んできた。今年度は SwingMinder®の更なる性能向上を目指して、システム改良及び実建物での長期実証試験を実施している。

### ○システム概要

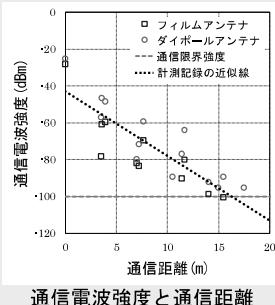
SwingMinder® はデータ収集ユニット (NC:Network Computer) と加速度センサユニット (NICE:Networked Intelligent Cell) から構成されており、通信性能に優れている 920MHz 帯の無線通信を用いて建物内で加速度データを収集できる、他に例のない無線式振動モニタリングシステム。



### ○システム改良

#### ①建物内における通信性能の向上

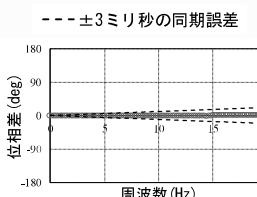
- NICE の専用基盤を作製することにより、電気的ノイズを低減し、通信能力が向上。
- フリーアクセスフロア内等の狭隘な場所にも設置可能となるように機器筐体を小型化。
- 建物内において RC 造で 5 階層程度、S 造で 7 階層程度の間隔での通信が可能。
- 通信状況に応じて、ダイポールアンテナ及びフィルムアンテナの選択が可能。



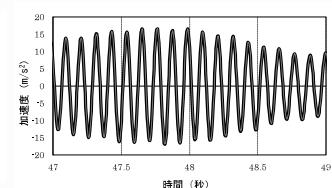
狭隘なスペースでの設置状況

#### ②同期精度及び計測精度の向上

- 加振台で NICE 10 台を同時加振し、各 NICE 間における伝達関数の位相差を評価した結果、同期誤差は±3 ミリ秒以内に収まっており、高い時刻同期精度を確認。
- 市販されている加速度センサと比較しても、同等の加速度時刻歴データが計測可能。



NICE 間の同期誤差



市販品センサと NICE の計測記録

### ○実建物における長期実証試験

- 実建物での運用を想定した長期実証試験を四国各県内の約 10 建物で実施しており、安定的に通信・計測が行えていることを確認。
- データサーバーを試行し、データが収集されていることを Web 上にて確認可能。



長期実証試験中の建物例

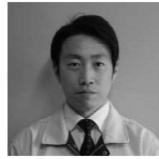


NC 及び NICE 設置状況

# 改良 9Cr 鋼溶接継手の余寿命評価精度向上に関する研究

株四国総合研究所 エネルギー技術部 中村 拓弥

連絡先 t-nakamura@ssken.co.jp



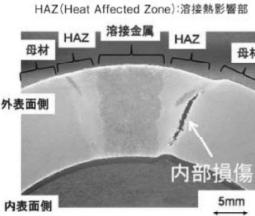
## 1. 改良 9Cr 鋼溶接継手のクリープ損傷

超々臨界圧火力発電プラントに使用されている改良 9Cr 鋼配管においては、溶接熱影響部(HAZ)を起点としたクリープ損傷 (TypeIV 損傷) が複数報告されている。



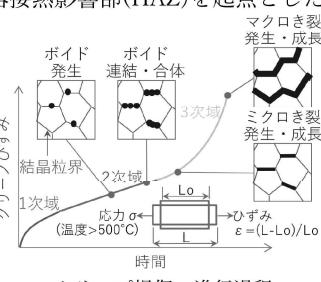
実機配管試験体の外観写真（破断後）

(出典:屋口,高クロム鋼大径管溶接部の余寿命診断技術,ふえらむ,Vol.24,No.2,(2019))



溶接継手部の断面写真（損傷後）

(出典:電中研 TOPIX, Vol.17,(2014))



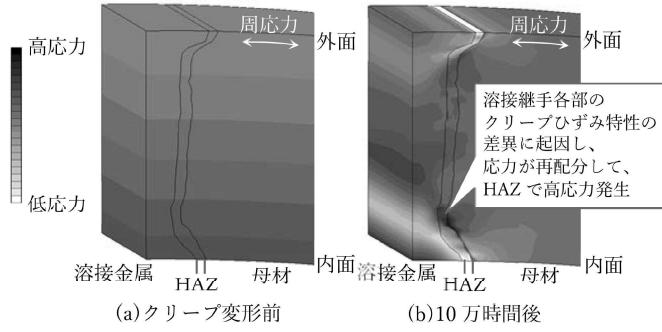
クリープ損傷の進行過程

## 2. FEM 解析に基づく余寿命評価の課題

TypeIV損傷は母材、溶接金属、HAZ のクリープひずみ特性の差異に起因するため、解析に基づく余寿命評価においては適切なクリープひずみ特性を与えることが重要と考えられる。

しかし、母材のクリープひずみ特性はプラント配管毎にばらつきを有し、溶接金属および HAZ は微小領域であるため試験片採取が難しい。そのため、解析モデルに与えたクリープひずみ特性が実機配管に適合するとは限らない。

そこで、まずは母材を対象として、実機配管(経年材)から採取した試験片のクリープ試験等を実施して、母材部のクリープひずみ特性を推定した。



改良 9Cr 鋼配管溶接継手部のクリープ変形前後の応力分布例

## 3. 母材部のクリープひずみ特性推定

改良 9Cr 鋼の NIMS クリープデータ(新材)を対象に破断時間  $t_r$  を試験前硬さ  $HV$  で規格化した応力 ( $\sigma/HV$ ) で整理することで、化学成分等に起因するばらつきが抑制されたため、本関係から寿命評価式を構築した。

$$\tau_r = \min \left[ 10^{(-0.03167t_{abs} + 35.4)} + (-0.01597t_{abs} + 6.84) \frac{\sigma}{HV}, 0.00743 \left( \frac{\sigma}{HV} \right)^{-1} \exp \left( \frac{13117.9}{T_{abs}} \right) \right]$$

寿命評価式から推定した破断時間は、経年材の  $600^{\circ}\text{C}$  データにおいて過大評価する傾向が認められたが、概ね精度良く表現できていると考えられた。

NIMS クリープデータから得られた最小クリープひずみ速度  $\dot{\varepsilon}_m$  と破断時間の関係から、経年材の最小クリープひずみ速度を推定した。

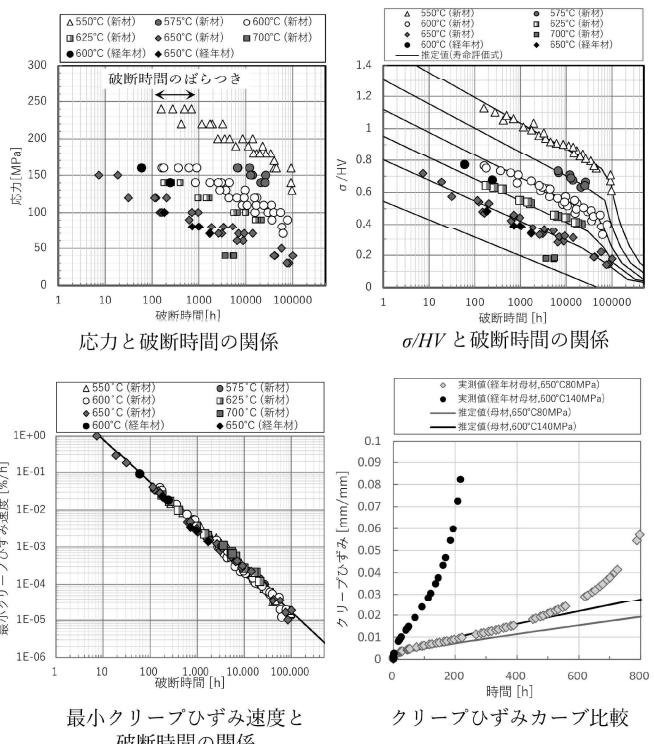
$$\dot{\varepsilon}_m = 0.121 t_r^{-1.17}$$

寿命評価式および最小クリープひずみ速度式から経年材の 2 次クリープ域までのクリープひずみ  $\varepsilon_c$  を推定した。

$$\varepsilon_c = \frac{74.1}{\exp(7.96 \times 10^{-3} T_{abs})} t_r^{-0.584} \ln(2.96 t_r^{-0.0392} t + 1) + \dot{\varepsilon}_m t$$

クリープひずみは経年材の  $600^{\circ}\text{C}$  データにおいて過小評価する傾向が認められたが、経年材の  $650^{\circ}\text{C}$  データにおいては精度良く表現できた。

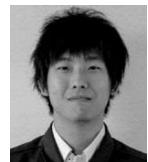
今後、母材のクリープひずみ特性の精度向上ならびに溶接金属および HAZ のクリープひずみ特性の推定を試みる。



自社製品紹介 削蹄電子カルテ『削レポ』

株式会社コヤマ・システム 技術課 松本 貢

連絡先 m-matsumoto@kym-sys.co.jp



酪農  
×  
株式会社コヤマ・システム

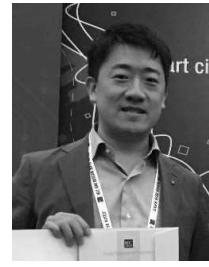


## スマート中低压直流配電システム D-SMiree

- MVDC distribution network system -

This paper shows current situation among MVDC (Medium voltage direct current) distribution network system with features of its components.

三菱電機株式会社 受配電システム製作所 スマートエンジニアリング G 専任 越智 良輔



### 1. まえがき

デジタル化・クラウド社会の到来によるデータセンター需要の拡大や、東日本大震災以降のBCP（事業継続計画）対策や電力自由化を代表とした市場環境の変化に伴い、電力インフラに対して省エネ効果・分散電源・エネルギー・ミックス等の新しい要求が増えている。

また、近年「建築物省エネ法」など省エネ規制の強化の流れを受け、建設業界におけるZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）実証設備の建設も増加し、従来の「エネルギー消費型」から自然光・周囲環境を利用した省エネ効果に、電力の発電・蓄電・制御技術を応用する「地産地消型」へ変化している。

このような背景の中、当社は、2016年7月、「スマート中低压直流配電システム実証棟」を当社受配電システム製作所（香川県丸亀市）内に建設し(図1)，今後の直流配電の普及促進に向けた製品開発やエンジニアリング強化を図るため開発検証と本システムの事業展開を開始した。

スマート中低压直流配電ネットワークシステム「D-SMiree」の主な構成機器は、「エネルギー・マネジメントシステム(EMS)」、「直流給電システム」、「DC連系変換装置」、「直流分電盤」、「マイグレーション装置」、そして空調機やエレベータといった従来は交流入力で駆動していた「直流負荷機器」である。



■実証棟構造 ・建築面積	地上3階建／175.2m <sup>2</sup> (延床面積507.44m <sup>2</sup> )
■導入設備	整流装置、太陽光発電、風力発電、蓄電池、EMS(エネルギー・マネジメントシステム)、EV用パワーコンディショナ、各種変換器、LED照明、サーバー、監視カメラ／セキュリティ、テレビ／サイネージ、換気扇、無人受付機、盤用冷却装置、(空調、エレベータ)、ほか
■直流系統電圧	DC400V以下(今後DC1500V以下まで拡大予定)

図1. D-SMiree 実証棟

### 2. 電力普及の歴史的背景

そもそも電力の普及は、交流から始まった。約120年前(19世紀末)、直流推進派のトーマスエジソン(1847~1931)と交流推進派のニコラ・テスラ(1856~1943)の間に電流戦争が発生し、その後、送電範囲の拡大、送電の安全性などの観点から、交流方式が主流となり現在に至る。

一方、現在のパソコンやテレビ、スマートフォン、電話機など我々の身の回りにある機器は、実は直流で駆動するものが多い。最近はエアコン、照明などの機器もインバータを搭載しているため交流を一度直流に変換した上、高周波の交流に変換している。また、近年は太陽光・風力などの再生可能エネルギーと蓄電池の組み合わせによる環境配慮型電力需給システムの普及が加速している。これら電源側装置も直流が利用されており、直流機器との組合せシステムの活用に注目が集まっている。

### 3. 「D-SMiree」の用途に合わせた特長

電力を無駄なく活用できる、信頼性と経済性を両立したスマート中低压直流配電ネットワークシステム「D-SMiree」をデータセンタ、ビル、工場、駅などの用途に合わせて提供する(図2)。

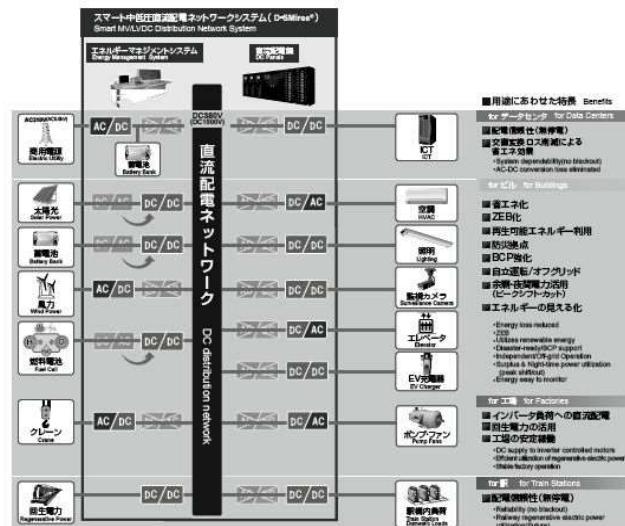


図2. D-SMiree の設備に合わせた特長

### 4. むすび

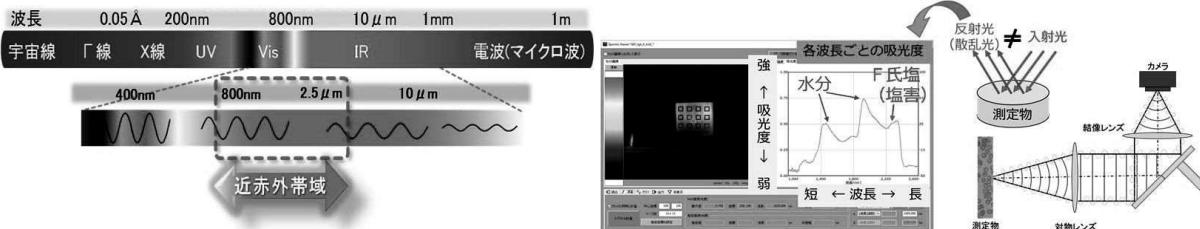
2016年7月に稼働開始した「スマート中低压直流配電システム実証棟」を主要拠点として、380Vdc以下の製品、システム群の実証試験を進めるとともに、お客様向けにシステムのPR活動を展開している。今後は、1500Vdc級システムへの適用範囲拡大検討含め、国内・海外市場問わずに展開する計画である。

# 分光技術で築く安全安心・持続可能な超スマート社会の実現

Nissin-Kikai

## 赤外分光法とは

赤外分光法とは、測定物に赤外線を照射し、吸光度の変化によって含有成分を算出



## ターゲットは

### 健康医療

非侵襲血糖値センサー  
スマートトイ  
iPS



### 環境・危機管理

社会インフラ  
赤潮発生予測  
消火活動支援システム  
火山等有毒ガス  
偽造文書の鑑定



### 食品・工業製品

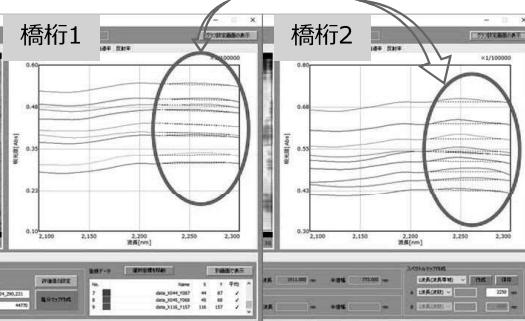
異物検査、品質検査  
文化財の保存修復  
化学反応プロセスの可視化・迅速分析

## 測定事例

### 【塩害調査：近赤外帯域】



### フリーデル氏塩由来特徴ピークの検出



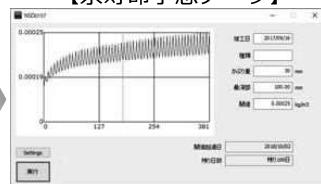
項目	測定機
外観	
寸法	203.5×998×140.5mm (分光部:約163.5×127×95mm)
質量	約7.1kg (分光部:約2.5kg)
計測対象	コンクリート構造物、木造構造物
計測時間	約60秒
計測項目	塩分、水分、中性化
劣化予測	塩害、劣化箇所推定、余寿命予測
代表特性	

劣化主要因：塩害

↓  
塩化物量 + 水分量

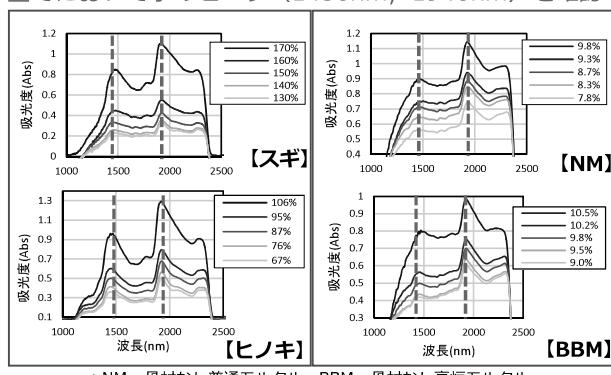
↓  
フリーデル氏塩 (2266nm)  
水分 (1450nm, 1940nm)

### 【余寿命予想データ】



### 【漏水検知：近赤外帯域】

全てにおいて水のピーク (1450nm, 1940nm) を確認



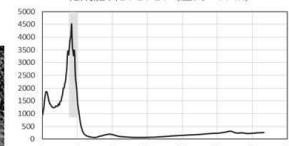
\* NM : 骨材なし普通モルタル, BBM : 骨材なし高炉モルタル

### 【化成肥料検知：中赤外帯域】

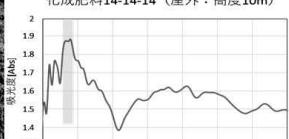
距離 (高さ) 10mの  
分光イメージングに成功



化成肥料14-14-14 (屋内: FT-IR)



※バックグラウンド: ゼオライト  
化成肥料14-14-14 (屋外: 高度10m)



\* 化成肥料14-14-14  
窒素: リン酸: カリウムの割合

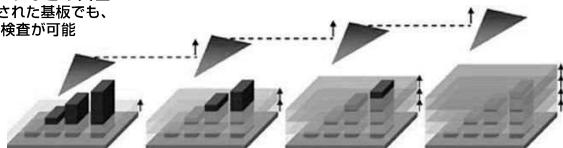
※バックグラウンド: アルミ板



High Specification, High Speed  
**Hi-SPECKER**  
**Sherlock-3D-1000S**

**① 背高部品を高精度に再現する  
「マルチスキャン方式」**

電解コンデンサなどの大型  
部品が搭載された基板でも、  
高精度な高さ検査が可能



**② 検査項目の設定は部品種類を選択するだけ!  
面倒な設定を自動かつ一括で!**



**3D-AOI**  
スピードアップ!

ハイレベルの検査速度

**最高検査速度  
5,000mm<sup>2</sup>/秒**

背高部品検査可能

**高さ最大 20mm**

小型部品検査可能

**最大分解能 12μm**

L対象基板サイズ

**最大基板サイズ  
510mm×460mm**



3D+2Dのハイブリッド検査が  
より使いやすくなりました!



**Rexxam**  
株式会社レクザム

お問合せ先／E-mail AOI@rexxam.co.jp

レクザム

検索



## ドローン暴走防止装置の決定版!! 新型ドローンスパイダー® DS-004PRO

DS-003PRO から機能をアップして低価格化  
専用マイコンボード開発!

定価 **238,000 円(税抜)**

安全なドローン運用のために

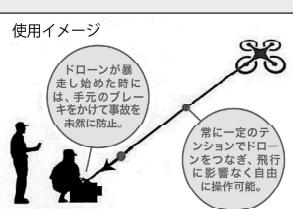
ドローンの暴走を防ぐ!

企業・公共機関様の事故対策に最適!

ドローンスパイダーは弊社のこれまでの経験により開発された、より安心・安全にドローンをお使いいただくための装置です。

万が一、ドローンが暴走を始めた際にも、本機器の重量により引っ張られることはあります。また、最高時速50kmという巻き取り速度で、糸がたるむことなくドローンを飛行することができます。

でき、暴走事故を確実に未然に防ぐことができます。すでにLMや大型テーマパーク撮影、各PV撮影等の実績があり、今後の安全なドローン運用に必須の一台です。



※品質改善のため、予告なく仕様を変更する場合がございます。予めご了承願います。

- ・ご使用前に取扱い説明書をよく読み、項目に従って正しく安全にお使いください。
- ・仕様は予告なく変更する場合があります。
- ・ドローン飛行中は、本装置使用法の訓練を受けた操作者が専属操作してください。
- ・弊社はドローン飛行における事故等の責任は一切負いません。

ドローンスパイダー®のご用命は当店にお任せ下さい

本 社

香川県観音寺市大野原町萩原2351  
TEL 0875-54-2600



k1112

ドローンスクール

香川県高松市国分寺町新名447-1  
TEL 087-874-7700

MAIL info@multicopter.jp

株式会社 空撮技研  
KUUSATSUGIKEN INC.  
<http://multicopter.co.jp/>

### DS-003PROからの改良点

#### 低価格化

DS-003PROの機能をアップして低価格化を実現!

#### 糸の整列巻取機能

巻き繰り出し時の摩擦抵抗を最小に繰り出し長さの精度をアップ!

#### ブザー機能

設定した倍数の距離ごとにブザー音が鳴ります。

#### 電圧表示機能

リアルタイムにバッテリーの残量がわかります。

#### 最大巻取速度

45km/h →(改良後)50km/h

#### 高機能化対応

ソフトのバージョンアップで高機能化(メーカー返送の必要)

#### リアルタイムな情報表示

ドローンの速度と糸の長さ、飛行時間がリアルタイムで表示されるので、それを見ながらより正確な操作が可能です。

特許第 6426643 号  
商標第 5941244 号

企業・公共機関の事故対策に  
ご活用いただいています。

型 式	DS-004PRO
サ イ ズ	ケース部: 260×220×H190mm (竿部・リール部・取手部除く)
電 源	リチウムポリマー電池 /11.1V/5.000mAh
モーター制御	サーボモータダイレクト駆動
展 張 調 整	80~250gt
筐 体	スチール
使 用 形 狀	地上設置 (ドローン暴走防止)
使 用 最 大 風 速	3m/s (機体の大きさ、使用ラインによる)
巻戻し最大速度	時速 50km
ブレーキ方式	手動ディスクブレーキ方式
最長展張距離	推奨 100m
重 量	7,500g (バッテリーのぞく)

※品質改善のため、予告なく仕様を変更する場合がございます。予めご了承願います。

- ・ご使用前に取扱い説明書をよく読み、項目に従って正しく安全にお使いください。
- ・仕様は予告なく変更する場合があります。
- ・ドローン飛行中は、本装置使用法の訓練を受けた操作者が専属操作してください。
- ・弊社はドローン飛行における事故等の責任は一切負いません。