

# デバイス・ナノテクノロジー・材料

IoT・MEMS・センサ

省電力・エネルギーハーベスト

フレキシブル・プリントド素子

カーボンナノチューブ・グラフェン

ナノ粒子・ナノバイオ

界面・コーティング

セラミックス・ガラス

# リソースを、無駄なく使いつくすセンシング

## 見えない価値分布を可視化するトリリオンセンサ

- 非連続的に膨大量(トリリオン：1兆)のセンサ/プローブを駆使
- 情報オリエンテッドな判断、無意識損失の無い潤沢な社会へ挑戦
- 「MEMS」・「画像計測」・「3D/印刷センサ」が重点技術

### 研究のねらい

非連続的に膨大な量のセンサを駆使するトリリオン(1兆個)センサ社会の到来に備え(2025年、現在の100倍、50兆個/年)、健康、食糧、環境・エネルギー、インフラ、製造における「見えない価値の分布を可視化」し、「情報オリエンテッドな判断」を確立することで、無意識に損失すること無い「潤沢な社会(リソースを使いつくす社会)」へと挑戦します。トリリオンセンサRoadmapにもある重点センサ技術「MEMS」・「画像計測」・「3D/印刷センサ」でも、IoT世界をリードする、革新的ONLY-ONEセンシング技術の確立を目指します。

### 研究内容

重点センサ技術「MEMS」・「画像計測」・「3D/印刷センサ」の中でも、直接価値の分布の可視化が可能な、ONLY-ONE画像センシング技術を開発しています。例えば、1. 業界が長年諦めている「潜傷(表面から見えない傷)」・「静電気」の可視化、2. 経験やシミュレーションで見えている筈(実際は異なる)の「破壊予兆や力学状態」の可視化、3. 現場プロセスの活かされていない「暗黙知」の可視化、を行っています。また、トリリオンセンサ時代に不可欠の超安価・超低環境負荷センサに挑戦すべく、生分解性印刷センサに取り組んでいます。

### 連携可能な技術・知財

- (1) 画像センシング
- ・ 超精密研磨基板(Si、SiO<sub>2</sub>、SiC等)の潜傷可視化
  - ・ 静電気分布の可視化
  - ・ 破壊予兆・マルチマテリアル・接着の応力可視化
  - ・ めっきプロセスの暗黙知可視化、溶液の劣化診断
- (2) トリリオンセンサ製造技術
- ・ 生分解印刷センサ



印刷生分解センサ



画像センシング

- 関連技術分野：トリリオンセンサ、イメージング、印刷、静電気可視化、潜傷検出
- 連携先業種：製造業(輸送用機器)、製造業(繊維製品)、製造業(ガラス・土石製品)、製造業(食料品)、医療・福祉業

寺崎 正/古賀 淑哲/菊永 和也/藤尾 侑輝/坂田 義太郎  
 製造技術研究部門  
 連絡先：rpd-element-m1@aist.go.jp  
 研究拠点：九州



# IoTの可能性を広げるマイクロpHセンサ

## 超小型完全固体型pHセンサと無線機能の実装

- pH値のリアルタイム・連続モニタリングを実現
- 低コスト・超小型化を実現できるMEMS製造プロセスを利用
- 低消費電力・連続健康管理用pHセンサモジュールへの応用が可能

### 研究のねらい

pH値（水素イオン指数）は、溶液物性の重要なパラメータの一つであり、畜産業における健康管理から工業製品の品質管理まで、その測定要求は多岐に渡ります。しかしながら、最も普及している、センサ部にガラス電極が用いられる従来のpHセンサは、全体のサイズや消費電力が大きくなり、破損する可能性もあります。そのため、pHセンサを様々な分野で利用するうえで大きな課題となっています。そこで、超小型、低消費電力および耐衝撃性を有するマイクロpHセンサの開発に取り組んでいます。

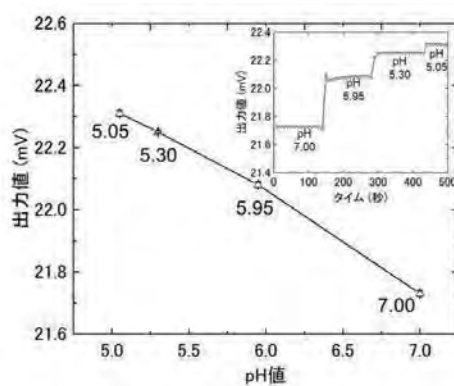
### 研究内容

本研究では、酸化インジウムスズ (ITO) をセンシング電極とする完全固体型pHセンサモジュールを開発し、高感度 (0.01 pH) な計測を実現しました。超小型 (pH電極サイズ: 14 × 10 mm、信号処理および無線通信基板サイズ: 18 × 12 mm)、低消費電力 (ボタン電池で数年間継続使用可能) という特徴を持つ無線センサノードを開発しました。

現在、工業生産現場での実証試験も進めています。今後は、大規模無線センサネットワークで本センサを活用することで健康医療、農業などのさまざまな分野でIoTの可能性を広げることを目指しています。



pHセンサモジュールの構成



pHセンサの出力特性

### 連携可能な技術・知財

- ・ 完全固体型pHセンサモジュールの試作
- ・ pHセンサ及び監視システム
- ・ IEEJ Transactions on sensors and micromachines 136 (2016) 11
- ・ Proceedings of IEEE Sensors 2016 (2016) 1457
- ・ Sensors and Materials 28 (2016) 1273
- ・ 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 次世代農林水産業創造技術によって実施されました。

- キーワード：MEMS、センサ、モニタリング、デバイス設計、半導体
- 連携先業種：製造業 (電気機器)、製造業 (精密機器)、農林水産業、電気・ガス・水道業、医療・福祉業

張 嵐・魯 健・日 暮 栄治  
 集積マイクロシステム研究センター  
 連絡先：エレクトロニクス・製造領域  
 研究拠点：つくば



# 呼吸で疾患をスクリーニングするガスセンサ

## 早期診断技術に貢献するヘルスケア用センサ・デバイス

- 高温駆動センサで口臭の原因である揮発性硫黄化合物 (VSC) の計測を高速化
- 熱電式センサで腸内細菌の活動と相関のある呼気水素を選択的計測
- 高感度半導体式センサで疾患と相関のある揮発性有機化合物 (VOC) を検知

### 研究のねらい

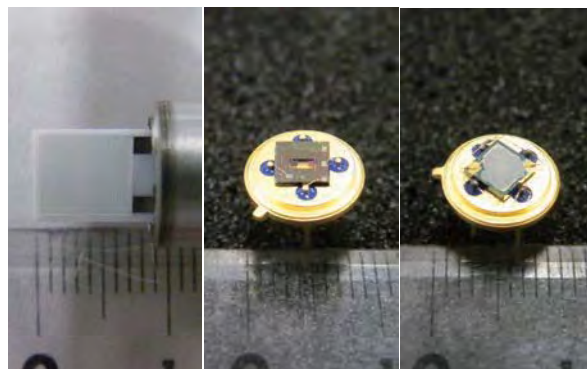
人口の高齢化が進む中、健康、医療、介護分野においては、ヘルスケア関連機器とサービスの充実および社会福祉コストの抑制が社会的課題となっています。ヘルスケア産業の中でも呼吸を用いた検診は、手軽に検体を採取できるだけでなく、人体への影響が少ないことから、新たな診断技術として注目されています。呼吸には、様々なガス種が含まれています。その中から、口臭、代謝、疾患と関係のある重要なガス種を選択的かつ高感度に検知できるガスセンサ素子とそのデバイス化を目指したガスセンシング技術の開発を行っています。

### 研究内容

高温駆動型半導体式センサはVSCを選択的かつ高速に検知することができることから、歯科医院向け口臭測定器に採用されました。

また、腸内細菌の活動を示す呼気中水素と健康・生活習慣との関係を明らかにするため、熱電式水素センサを用いて水素を選択的に測定できるデバイスを開発しました。2年間で834名の呼気水素を分析し、健康状態との相関を明らかにしました。

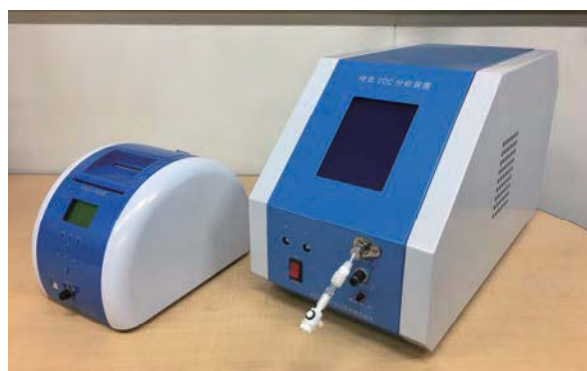
さらに、高感度半導体式VOCセンサを搭載し、肺がん患者と健常者の呼気を分析・解析して開発した判定アルゴリズムを用いる呼気VOC検知器プロトタイプを試作しました。



高温駆動センサ(左)、熱電式センサ(中央)、高感度半導体式センサ(右)

### 連携可能な技術・知財

- ・ガスセンサ評価、センサ製造、触媒評価、導電性材料高温伝導特性評価、低濃度有機ガス分析に関する技術、高感度ガスセンサ用ナノ粒子の合成プロセスに関する技術
- ・特開2015-10951 (2017/1/19)
- ・T. Itoh et al., Sensors, 16 (2016) 1891
- ・センシング技術コンソーシアム  
<https://unit.aist.go.jp/ifmri/sensorc/consortium/>
- ・本研究の一部は、愛知県『知の拠点』「超早期診断技術開発プロジェクト」の助成を受けたものです



呼気水素検知器プロトタイプ(左)、呼気VOC検知器プロトタイプ(右)

- キーワード：ガスセンサ、センサ、呼吸計測、スクリーニング、診断
- 連携先業種：製造業(電気機器)、医療・福祉業、製造業(精密機器)

伊藤 敏雄・赤松 貴文・鶴田 彰宏・申 ウソク  
無機機能材料研究部門  
連絡先：材料・化学領域  
研究拠点：中部



# SiCデバイス性能を発揮するパワーモジュール

## 小型・軽量・高電力密度の次世代パワーモジュール / 応用機器

- SiCデバイスの高性能を引き出す汎用低インダクタンスパワーモジュール
- 特定の応用に特化したSiCカスタムパワーモジュール開発支援
- SiCパワー機器開発に参入する企業に試用パワーモジュールを提供

### 研究のねらい

SiCパワーデバイスの大量導入が期待される自動車用の民生用途から、高エネルギー加速器電源のような特殊用途にいたる、幅広い電力変換分野でのSiCパワーエレクトロニクスの実用開発を目指して、SiCパワーデバイスの長所を発揮する高性能パワーモジュール実装技術を開発しています。SiCデバイスが初めての方でも使いやすい汎用パワーモジュールの提供や、応用に特化した特殊パワーモジュールの開発まで幅広く連携を行っています。

### 研究内容

SiCパワーデバイスが持つ高速動作、高温動作などの高性能を十分に引き出す両面接合型や機能集積化に向けた受動部品混載形のパワーモジュール開発を行っています。例えば、高速動作に適した低インダクタンス・フルSiCパワーモジュールを開発しました。また、共同研究先の応用に特化した小型EV駆動専用モジュールの試作も行っています。更に、産総研で試作したSBD、MOSFETチップを、パッケージに組み立てて、SiCデバイスを利用した応用機器開発を行う共同研究パートナーに提供しています。

### 連携可能な技術・知財

- ・ 使いやすい1200 V級汎用SiCパワーモジュールの提供
- ・ 特定用途用のカスタムSiCパワーモジュールの開発支援
- ・ 13 kV級超高耐圧パワーモジュール技術
- ・ その他、産総研が開発した、まだ市販品の無い仕様のチップを使いやすいパワーモジュールにして提供
- ・ 上記の連携をTPECの枠組みで実施



SiC MOSトランジスタ  
(TO247パッケージ)

低インダクタンス  
フルSiCパワーモジュール

13 kV超高耐圧 PiN  
ダイオード評価パッケージ

産総研が提供するSiCパワーモジュール、パッケージ

- 関連技術分野：パワーエレクトロニクス、エネルギーマネジメント、省エネルギー
- 連携先業種：製造業（電気機器）、製造業（輸送用機器）、製造業（機械）、電気・ガス・水道業、運輸業

佐藤 弘 / 坂本 邦博  
先進パワーエレクトロニクス研究センター  
連絡先：eneenv-ic-ml@aist.go.jp  
研究拠点：つくば



# しきい値制御と低電圧動作で燃費を一桁改善

## 低消費電力FPGA技術と評価環境—応用に向けた実装技術

- しきい値を細かくプログラム可能かつ超低電圧動作可能なFPGAを開発
- 総エネルギーを1桁削減するFPGAチップの実装
- 様々なIoT機器向けの回路を実装するソフトウェア・評価ボードを整備

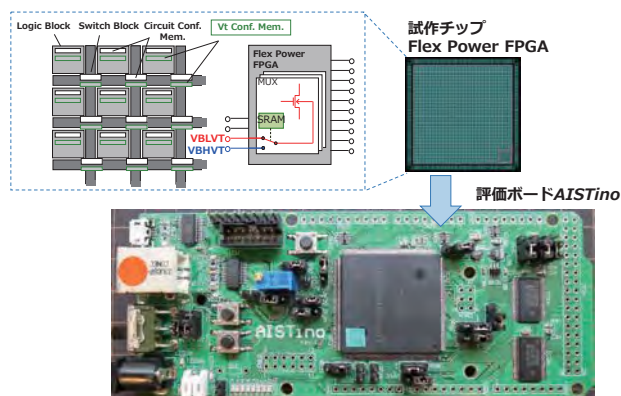
### 研究のねらい

近年、データセンターからIoT機器まで様々な演算を高速化・省電力化する用途に、回路機能をプログラム可能なFPGAの利用が拡大しています。このFPGAでは、特に静的消費電力の削減が大きな課題となっています。そこで我々は、しきい値電圧を細粒度でプログラム可能とすることで、静的消費電力の大幅な削減を可能とする技術を考案し、これを実現するFlex Power FPGAの試作やCADソフトウェアの研究開発を進めてきました。この革新的デバイス技術によるFPGAの更なる発展を目指し、応用回路の実装など実用化の活動を行っています。

### 研究内容

静的消費電力を削減する技術を実現するためには、しきい値電圧制御性の高いトランジスタが必要となります。LEAPプロジェクトで開発されたSOTBトランジスタはこの点で理想であり、これを用いたFlex Power FPGAチップを試作し、静的消費電力を1/51へ削減できることを実証しました。また、電圧動作を0.4Vとすることにより、単位処理あたりのエネルギーを従来のFPGAと比べて1/13に削減できることを示しました。

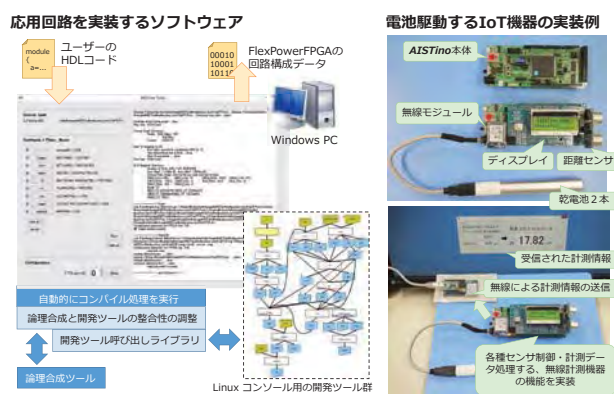
このデバイス技術の実用化に向けて、チップを搭載した評価ボードやFPGAへ応用回路を実装するソフトウェアの開発を進めています。



試作チップFlex Power FPGAと評価ボード

### 連携可能な技術・知財

- ・ しきい値電圧をプログラム可能なFPGA技術
- ・ 試作チップの性能・機能の評価できる環境一式 (試作チップ、評価ボード、ソフトウェア)
- ・ リファレンスデザインとして使える、FPGAチップ設計フロー一式と、設計されたチップと連携して動作するFPGA用CADツールチェーン一式
- ・ 本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「低炭素社会を実現する超低電圧デバイス技術プロジェクト」において、委託先である超低電圧デバイス技術研究組合(LEAP)と共同実施されました。



CADツールチェーンとソフトウェア、実装例

- 関連技術分野：デバイス設計、ロジックデバイス、FPGA、回路合成技術
- 連携先業種：製造業(精密機器)、情報・通信業、製造業

片下 敏宏 / 小池 帆平 / 日置 雅和 / 堀 洋平 / 小笠原 泰弘  
 ナノエレクトロニクス研究部門  
 連絡先: rpd-eleman-ml@aist.go.jp  
 研究拠点: つくば



# ポンプや配管の維持管理を自動化

## 電池レスで動作するワイヤレス振動センサ端末

- 振動発電を搭載しバッテリーレス
- 超低消費電力電源制御回路
- ワイヤレスかつコンパクト

### 研究のねらい

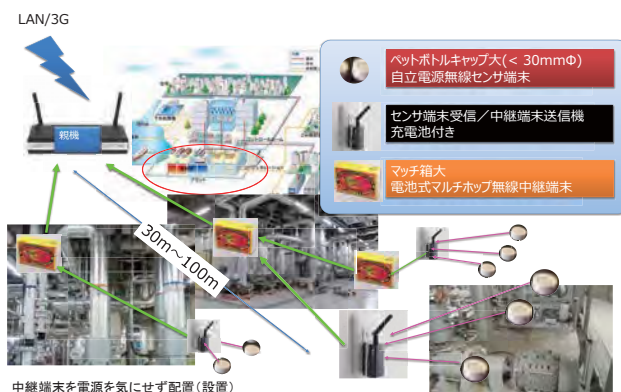
近年の日本では社会インフラの効率的な維持管理が重要な課題に位置付けられています。そういった背景のもと、我々はポンプに代表される回転機器を監視するセンサ端末の開発を行っています。機器から発せられる振動の大きさを無線技術を用いてクラウドに集約させます。端末は振動発電を搭載し電池交換が不要です。この技術は、ポンプの監視にとどまることなく配管、橋梁やビルなど振動しているあらゆる対象の監視に応用できます。また、振動発電の技術はネットに接続するあらゆる端末に電源を供給できる可能性を秘めています。

### 研究内容

当該センサ端末を実現するにあたって、重要な技術開発は以下の2点です。

- ① 高効率振動発電
- ② 超低消費電力アナログ回路

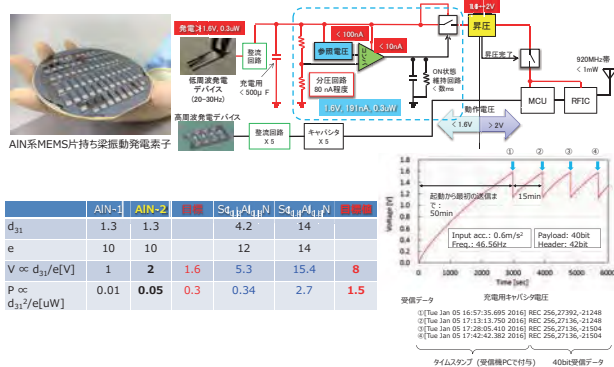
極めて微弱な振動から電力を得るために、半導体MEMSと新圧電材料を組み合わせ高効率振動発電デバイスを開発しています。同時に、高効率整流回路、数百nWオーダーの電源制御回路、920 MHz帯無線技術の開発も併せて行っております。



ポンプ監視の自動化システム

### 連携可能な技術・知財

- ・ MEMS 圧電振動発電デバイスの試作・評価
- ・ 圧電振動発電用高効率整流回路
- ・ 超低消費電力アナログ回路技術



自立電源無線振動センサ端末

- 関連技術分野：エネルギーハーベスティング
- 連携先業種：製造業、電気・ガス・水道業

武井 亮平 / 小林 健 / 岡田 浩尚  
 集積マイクロシステム研究センター  
 連絡先：rpd-element-m1@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば



# 身近な未利用熱を回収して省エネルギーに貢献

## 導電性高分子による熱電材料の開発

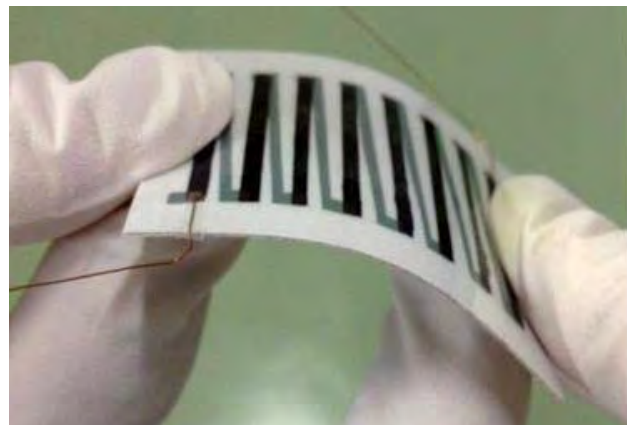
- 有機材料として室温で世界最高レベルの熱電変換性能を達成
- 本材料を用いた熱電モジュールでもLEDを点灯
- 排熱活用やエネルギーハーベスティングへの応用に期待

### 研究のねらい

クリーンなエネルギー源として、工場や住宅の排熱を有効利用することが期待されています。例えば熱電変換を利用して住宅の未利用熱からの電気を消費電力の小さい家庭用機器の電源として活用したり、人間の体温から作られる電気を携帯用のGPSや腕時計などの電源として活用することが考えられています。導電性高分子は希少元素や毒性元素を含まず、印刷により大面積な素子が形成可能でかつ柔軟性を持つため、従来までの“固い”無機系熱電材料に比べて次世代の熱電材料として非常に有望であると考えられます。

### 研究内容

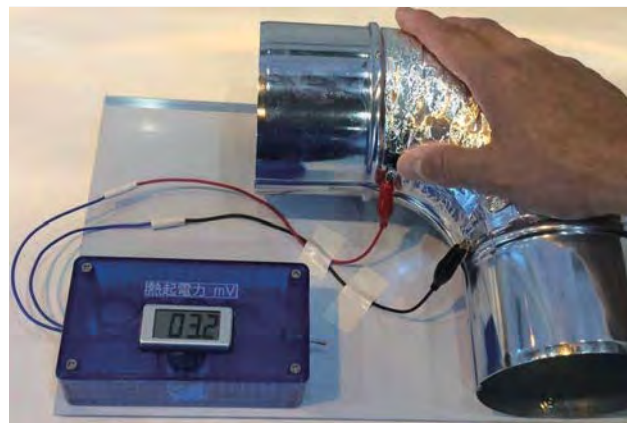
導電性高分子としてPoly (3, 4-ethylenedioxythiophene): Poly (styrenesulfonate) (通称 PEDOT: PSS) を用いました (上図)。この薄膜で870 S/cmの導電率、65  $\mu\text{V}/\text{K}$ のゼーベック係数が得られました。このような高い導電性が得られたのはエチレンジオキシベンゼンが蒸発する過程で溶媒に分散しているPEDOT:PSSのナノ結晶粒子が、非常に高い秩序をもって配列されるためだと考えられます。また下図に示すような有機熱電モジュールを試作しLEDの発光に成功しました。



導電性高分子PEDOT:PSSによる熱電素子

### 連携可能な技術・知財

- ・ *Appl. Phys. Exp.* 7(2014) 031601.
- ・ *RSC Adv.* 4 (2014) 28802.
- ・ 熱電材料および熱電モジュール



薄膜モジュールを用いた発光デモ機

- 関連技術分野：省エネルギー、熱電変換材料、エネルギー材料、ナノ材料
- 連携先業種：製造業(化学)、製造業(電気機器)

石田 敬雄 / 向田 雅一 / 桐原 和太 / 衛 慶碩  
 ナノ材料研究部門  
 連絡先: mc-liaison-ml@aist.go.jp  
 研究拠点: つくば



# 外付け部品無しで高効率に電圧を変換

## 0.1 Vで動くエネルギーハーベスティング向け電源回路

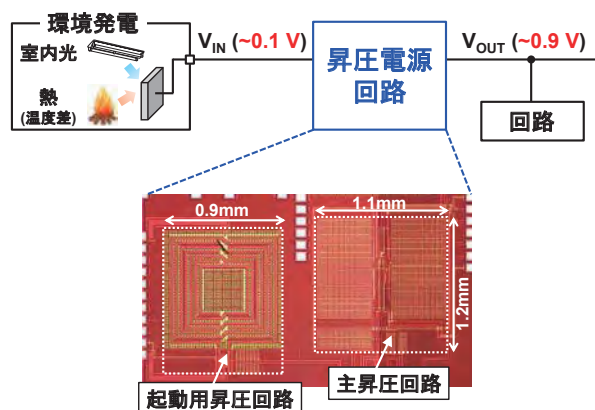
- 0.1 Vの入力電圧を最大0.9 Vまで昇圧、変換効率を従来技術に比べ10倍以上改善
- インダクタやトランスなどの外付け部品が不要
- 温度差発電など出力電圧の低い環境発電素子向けの電源回路として好適

### 研究のねらい

IoT向けデバイスでは、環境エネルギーから電力を取り出し(エネルギーハーベスティング)、その電力で必要な回路を動作させる試みがなされています。温度差発電など出力される電圧が非常に小さい(0.1 V程度)場合は、その低い出力電圧を回路動作可能な電圧(0.9 V程度)まで昇圧する電源回路が必要となります。しかし従来の電源回路では、インダクタやトランスなどの外付け部品が必要であったり、またそれが不要のものは変換効率が悪いという問題がありました。そこで我々は、外付け部品が不要で変換効率の良い電源回路を開発しました。

### 研究内容

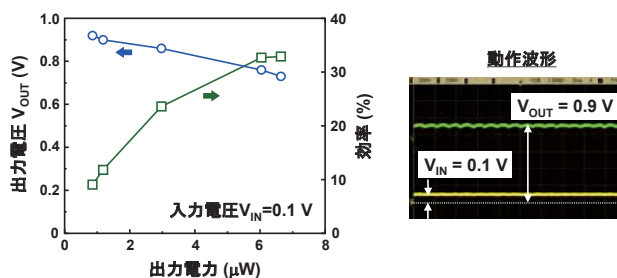
提案する電源回路は、低入力電圧で動作するが効率の悪い「起動用昇圧回路」と、効率は良いが最低動作入力電圧の高い「主昇圧回路」で構成されます。この二つの昇圧回路を切り替えて動作させることで、低入力電圧かつ高効率な昇圧回路を実現しました。65 nmプロセスで試作した本電源回路について評価を行った結果、0.1 Vの入力電圧を最大0.9 Vまで昇圧でき、最高変換効率は33 %になることを確認しました。これは、従来からある同種の昇圧電源回路に比べて、10倍以上の効率改善に相当します。



提案の電源回路を実装した試作チップの写真

### 連携可能な技術・知財

- ・ CMOS集積回路設計技術
- ・ 特許出願中「昇圧電源回路技術」



電源回路の性能と動作波形

- 関連技術分野：エネルギーハーベスティング、ナノエレクトロニクス、集積回路
- 連携先業種：製造業(電気機器)、情報・通信業

更田 裕司／大内 真一／松川 貴  
 ナノエレクトロニクス研究部門  
 連絡先：rpd-eleman-ml@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば



# フレキシブルバイタルセンシングシステム

## フレキシブルセンサによる姿勢・呼吸・心電の検知

- 自動車シートに備えた複数のセンサで運転手の生体情報をモニタリング
- 「薄く軽く曲がる」に加え「伸びる」エレクトロニクスの製造技術を開発
- 柔らかいセンサによって装着違和感のない見守りセンシングを可能に

### 研究のねらい

IoT社会の実現には、不快感を与えることなく人間の状態や行動をセンシングする必要があり、そのためのセンサのフレキシブル化あるいはウェアラブル化が急務となっています。これには、プラスチックのような熱に弱いフレキシブル材料の上にもデバイスを作製できる印刷・焼成・実装技術や、ストレッチャブルな配線形成技術を確認する必要があります。私たちは、材料・プロセス・デバイスにわたる総合的な研究を推し進め、使用感の良好なフレキシブルエレクトロニクス技術の創製を目指しています。

### 研究内容

ソフトな接触感を有する圧力分布センサや電位計測センサ、および非接触でヒトの動きを検出する人感センサを開発しました。座圧分布から分かる運転手の姿勢や、心電位・呼吸の状態といった情報から、運転者の状態を常時モニタリングすることが可能になり、居眠り運転の防止といった警告システムへの適用も期待されます。薄く柔軟なセンサデバイス技術によって、日常生活においても装着違和感のない見守りセンシングを実現し、様々なシーンでの利用を可能にします。

### 連携可能な技術・知財

- ・特許第6080054号(2017/01/27)
- ・特開2016-019588(2016/02/04)
- ・Science Reports 6 (2016) 19947.
- ・Polymer Bulletin 73 (2016) 2521.
- ・本研究開発の一部は、島根県産業技術センターと共同で実施されています。



フレキシブルセンサの組み合わせによる自動車ドライバーの状態見守りシステム

- キーワード：フレキシブルエレクトロニクス、プリントエレクトロニクス、センサ、ヘルスケア、医療デバイス
- 連携先業種：製造業(電気機器)、製造業(精密機器)、製造業(輸送用機器)、医療・福祉業

吉田 学・野村 健一・延島 大樹  
フレキシブルエレクトロニクス研究センター  
連絡先：エレクトロニクス・製造領域  
研究拠点：つくば





# 絆創膏サイズのフレキシブル電流センサ

## 消費電力量の見える化を実現するフィルム型電流センサ

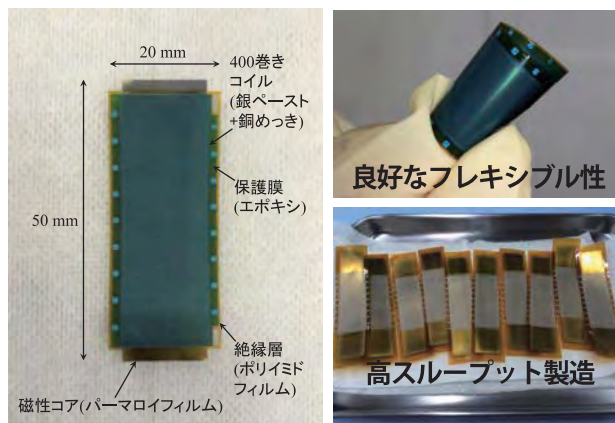
- 大きさ20 mm × 50 mm、厚み100 μmのフレキシブル電流センサ
- 安価なフィルム・ペースト材料のみの構成で高スループット製造を実現
- 無線モジュールと組み合わせることでセンサネットワークの構築が可能

### 研究のねらい

世界規模での省エネルギーが必要となっている現在、電力使用量をモニタリングするための電力センサの需要が高まっていますが、そのサイズは最小のものでも2 cm角程度の立方形状であり、他の機器も混在しスペースの制約が多い条件下（配電盤内等）で全ての電線にセンサを敷設することは困難です。そこで、フィルム材料と導電性ペーストによる高いフレキシブル性を備えたフィルム型電流センサを開発しました。従来の電流センサと比較して大幅な小型化に成功し、電線への取り付け作業も容易です。

### 研究内容

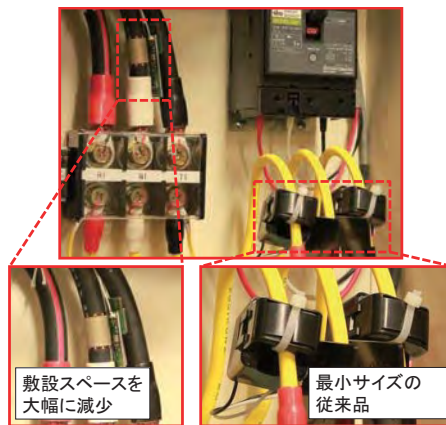
フィルム状の磁性コア基材に絶縁性フィルムを貼り合わせ、スクリーン印刷により導電性ペーストのコイル構造（400巻）を形成し、フィルム型の電流センサを実現しました。大きさは20 mm × 50 mm × 100 μmで、高いフレキシブル性により電線に巻きつけて使用することで敷設スペースを大幅に低減できます。フィルム基材とペースト材料のみの構成であるため低コスト製造が可能です。センサとしては、140 Aまでの被測定電流に対してリニアな出力応答を確認。現在無線モジュールを組み合わせたセンサネットワークシステムを開発中です。



開発したフィルム型電流センサ

### 連携可能な技術・知財

- ・ 無線モジュールと組み合わせたセンサネットワーク
- ・ コイルに発生する二次電流を活用したエネルギーハーベスティング
- ・ 特開2016-048224 (2016/04/07)
- ・ *Microsyst. Technol.*, 22 (2016) 577
- ・ 本研究の一部は、NEDOの「グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクト（平成23～26年度）」により行われました。



配電盤内の電線への敷設の様子

- 関連技術分野：センサ、印刷、加工技術
- 連携先業種：製造業（機械）、製造業（電気機器）、製造業（精密機器）、電気・ガス・水道業、情報・通信業

山下 崇博 / 森川 善富 / 張 毅  
 集積マイクロシステム研究センター  
 連絡先：rpd-eleman-mi@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば



# フレキシブルな有機電子デバイスを透明に

## 有機薄膜上への低ダメージ透明電極形成技術

- 有機薄膜上への低ダメージな透明電極形成を実現
- 有機電子デバイスのシースルー化を可能に
- 窓などの透明性が要求される場所に有機電子デバイスを実装可能に

### 研究のねらい

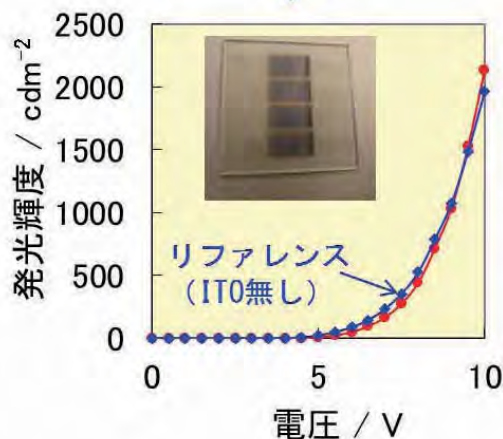
有機薄膜上へ低抵抗な透明導電性酸化物電極を低ダメージで形成できるようになれば、有機ELや有機太陽電池などのデバイスの高効率化や透明性を利用した高機能化を進めることができます。我々は、透明導電性酸化物を堆積させる際の製膜条件制御を通じた、有機薄膜上へのダメージレスな透明電極形成技術の開発を行っています。

### 研究内容

透明導電性酸化物の低ダメージ製膜プロセスとして、プラズマに直接基板を曝さない対向ターゲットスパッタ法が注目されています。我々は、対向ターゲットスパッタ法を用いて透明導電性酸化物膜を製膜する際の、プロセス条件等を制御することで、低ダメージなスパッタリング製膜技術を開発しました。この技術を用いて作製した透明導電性酸化物電極を有する有機デバイスは、リファレンス素子とほぼ同等の性能を示しました(図)。これは、ダメージを発生させずに、有機薄膜上に透明電極を形成できていることを示しています。

### 連携可能な技術・知財

- ・ 有機薄膜上への透明電極形成
- ・ 透明有機電子デバイスの測定・評価
- ・ 特開2016-219417(2016/12/22)
- ・ 本研究は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「次世代大型有機ELディスプレイ基盤技術の開発(グリーンITプロジェクト)」によるものです。



シースルー有機電界発光デバイスの発光特性

- 関連技術分野：低ダメージスパッタ、透明有機デバイス、低ダメージ透明電極形成、フレキシブルエレクトロニクス
- 連携先業種：情報・通信業、製造業(電気機器)

末森 浩司  
 フレキシブルエレクトロニクス研究センター  
 連絡先：rpd-eleman-ml@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば



# 新規印刷法提案とマイクロマシンの印刷形成

## 高精度印刷技術の新提案と、それによる可動式デバイス

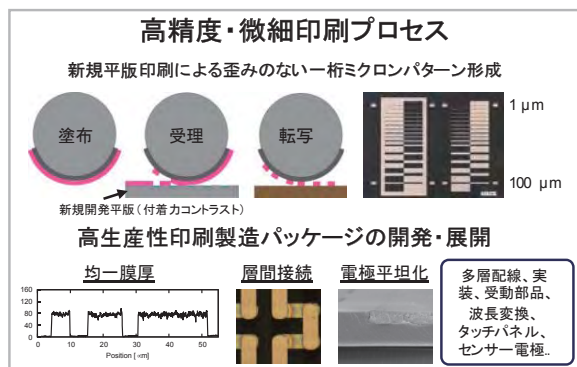
- 一桁ミクロンのパターン形成を実現する変量多品種型平版印刷技術
- 3次元構造のアディティブ印刷形成とMEMS応用
- 印刷実装技術と組み合わせたハイブリッドエレクトロニクスの展開

### 研究のねらい

アディティブ製造プロセスは、高速・省工程・省資源であることから、変量多品種生産に対応可能なマニュファクチャリング手法として期待されています。IoT社会を見据えて、入出力素子、実装配線、各種センサー等に適用可能な、一桁ミクロン精度で機能性パターンを簡便に形成する技術の実用展開を図っています。2次元印刷だけでなく、3次元構造をも印刷転写することで、トリリオンセンサ時代のためのセンサ開発を行っています。フレキシブル基板とも組み合わせることで、新たな利用シーンを想定した各種電子デバイスの開発を目指します。

### 研究内容

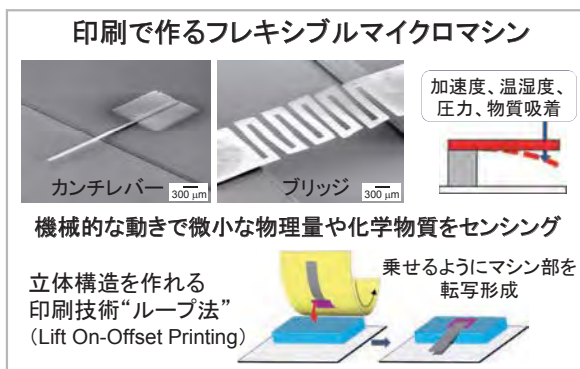
我々の印刷技術は、インクジェット印刷のように液滴をパターンニングせず、準固体化した機能性膜をパターン転写することに特徴があります。この方式により、パターン形状が確定し、形状再現性・寸法公差に優れた素子形成が可能です。また、このように適度に硬化したインク膜は自立することを利用して、中空構造を持ったカンチレバーのような可動式デバイスの形成にも展開することができます。印刷プロセス開発や装置化、デバイス展開を進めるとともに、そのプロセスルールを整理することで、実用可能な製造技術の確立を進めています。



微細印刷技術によるパターン形成

### 連携可能な技術・知財

- ・一桁ミクロンの微細印刷プロセス・デバイス応用
- ・印刷による層間接続・実装技術
- ・印刷とめっきを組み合わせた微細配線形成
- ・各種ペースト材料の印刷による3次元MEMS構造形成
- ・特開2016-175192(2016/10/06)
- ・本研究の一部はJSPS科研費17K18410の助成を受けたものです。



印刷転写による3次元MEMS構造形成

- キーワード：プリンテッドエレクトロニクス、デバイス、MEMS、実装、フレキシブル
- 連携先業種：製造業（化学）

日下 靖之・金澤 周介・牛島 洋史  
フレキシブルエレクトロニクス研究センター  
連絡先：エレクトロニクス・製造領域  
研究拠点：つくば



# 超微細回路を簡便・高速・大面積に印刷できる新原理の印刷技術を開発

## あらゆる生活シーンのIoT化・タッチセンサー化を加速する新技術

- 銀ナノインクを表面コーティングするだけで線幅0.8マイクロメートルの超微細回路を印刷
- 紫外光の照射によりパターニングした反応性表面上で銀ナノ粒子が自己融着する現象を利用
- フレキシブルなタッチセンサーによりプリントドエレクトロニクスの製品化を先導へ

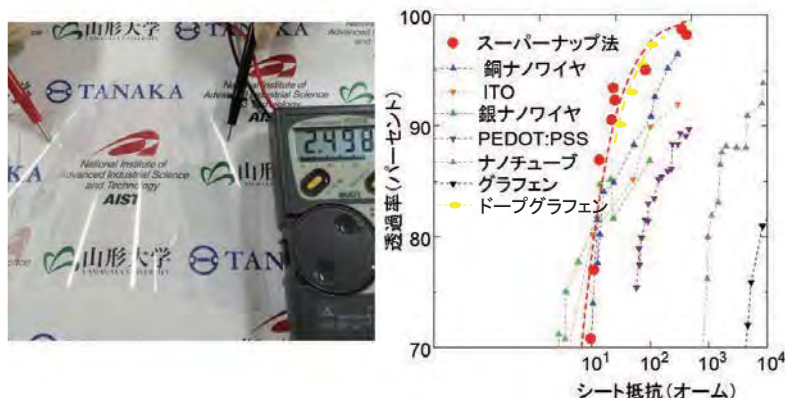
発表・掲載日：2016/04/20

### 研究概要

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】(以下「産総研」という)フレキシブルエレクトロニクス研究センター【研究センター長 鎌田 俊英】山田 寿一 主任研究員(現：窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリラボ研究主幹)、長谷川 達生 総括研究主幹(兼 国立大学法人 東京大学大学院工学系研究科 教授ら)、国立大学法人 東京大学【総長 五神 真】、国立大学法人 山形大学【学長 小山 清人】(以下「山形大学」という)、田中貴金属工業株式会社【社長 田苗 明】(以下「田中貴金属」という)と共同で、紫外光照射でパターニングし、銀ナノ粒子を高濃度に含む銀ナノインクを表面コーティングするだけで、超高精細な銀配線パターンを製造できる画期的な印刷技術「スーパーナップ(SuPR-NaP; 表面光反応性ナノメタル印刷)法」を開発した。

プリントドエレクトロニクス技術のうち、微細な電子回路の構成に欠かせない高精細な金属配線を印刷する技術は、治具・版などの汚染による繰り返し再現性の乏しさ、塗布後の基材表面上での金属粒子どうしの焼結・融着、高温の後処理によるプラスチック基板の歪み、基材の屈曲による配線の剥がれなどが課題であった。今回開発した技術は、紫外光の照射によって形成した活性の高い基材表面上に、銀ナノインク内の銀ナノ粒子を選択的に化学吸着させ、粒子と粒子との自己融着によって低い抵抗の銀配線を形成する。これにより、プラスチック基板に強く密着し、最小線幅0.8マイクロメートルの超高精細な金属配線を、真空技術を一切使うことなく、大面積基材上に簡便・高速に印刷で作製できるようになった。フレキシブルなタッチパネルセンサーがこの技術によって実用化される予定であり、今回8インチの試作品を作製した。なお、この成果の詳細は英国のオンライン科学誌 *Nature Communications* 7, 11402 (2016)に掲載された。

また、本研究開発の一部は、国立研究開発法人 科学技術振興機構(JST)の戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)「新しい高性能ポリマー半導体材料と印刷プロセスによるAM-TFTを基盤とするフレキシブルディスプレイの開発」(プロジェクトマネージャー：瀧宮 和男(国立研究開発法人 理化学研究所 創発物性科学研究センター グループディレクター))による支援を受けて開発を行っており、山形大学の銀ナノ粒子に関する知的財産権は同機構の特許群支援を受けている。また同機構の産学共同実用化開発事業(NexTEP)「金属細線を用いたタッチパネル用センサフィルム」(開発実施企業：田中貴金属、代表研究者：長谷川 達生)による支援も受けている。



試作したタッチパネルセンサーシートとその特性

左：PETフィルム上に試作した静電容量タイプのタッチパネルセンサー(8インチサイズ)、右：各種の透明導電膜のシート抵抗と光透過率の比較。

山田 寿一／長谷川 達生  
 フレキシブルエレクトロニクス研究センター(現：窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ)  
 連絡先：eneenv-ic-ml@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば



# 厚さ1 nmの炭素薄膜が未来に輝きを放つ！

## グラフェンを透明電極に用いた有機EL素子の開発

- プラズマ処理技術によるグラフェンの大面積かつ高速合成技術を確立
- グラフェンを透明電極に用いたフレキシブル有機EL素子を開発
- 昇温スピードの速い超薄型薄膜ヒーターを開発

### 研究のねらい

タッチパネルや液晶ディスプレイには酸化インジウムスズ (ITO) が透明導電膜材料として使用されています。ITOには曲げや折れに弱いなどの課題があります。一方グラフェンは炭素のみで構成され、透明導電膜として幅広い工業的利用が期待される先端ナノ材料です。グラフェンはグラファイトのハニカム格子1枚の炭素膜として定義され、電気伝導性以外にも熱伝導性、ガスバリア性、屈曲性などにおいて「グラファイトを超えるグラファイト」と言える優れた特性を有し、これらの特性を利用した応用開発を目指しています。

### 研究内容

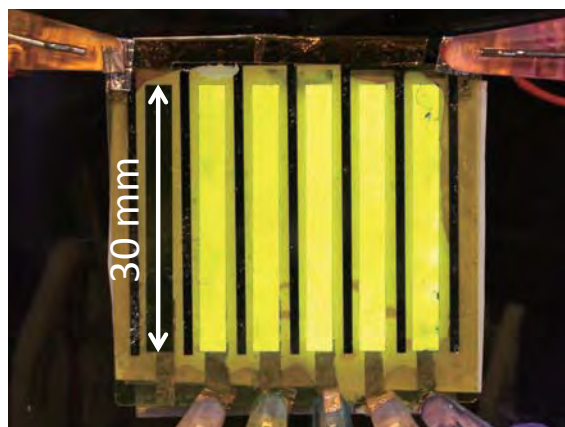
プラズマを用いた大面積グラフェンのCVD合成技術(A4サイズ)を開発しました。本手法は他の手法と比較して高速な合成法であり工業生産手法として有利です。さらにロールツーロール合成のデモンストレーションに成功するとともに、転写・ドーピングなど高品質グラフェン原子層フィルム作製技術を開発し、静電容量型タッチパネルや昇温スピードが速い超薄型グラフェンヒーターを試作しました。これらの要素技術をさらに発展させ、フレキシブル性を兼ね備えたグラフェンを用いた有機EL素子を開発しました。



昇温スピードが速い超薄型グラフェンヒーター (A4サイズ)

### 連携可能な技術・知財

- ・ フィルムヒーター、熱伝導材料などのフレキシブルデバイス
- ・ タッチパネル用、有機EL素子用、太陽電池用等透明電極
- ・ 特開2014-146478 (2014/08/14)
- ・ 本研究の一部は、NEDO「希少金属代替材料開発プロジェクト」「グラフェン基盤研究開発」「ナノ炭素材料の革新的薄膜形成技術開発」、科研費 新学術領域研究「原子層科学」により行われたものです。



グラフェンを透明電極に用いた有機EL素子

- 関連技術分野：カーボン材料、ナノ材料、原子層薄膜
- 連携先業種：製造業(電気機器)、製造業(精密機器)、製造業(化学)

長谷川 雅考 / 水谷 亘 / 石原 正統 / 山田 貴壽 / 沖川 侑揮  
 ナノ材料研究部門  
 連絡先：mc-liaison-ml@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば



# 高導電率と高耐久性を両立

## カーボンナノチューブを用いた透明導電膜

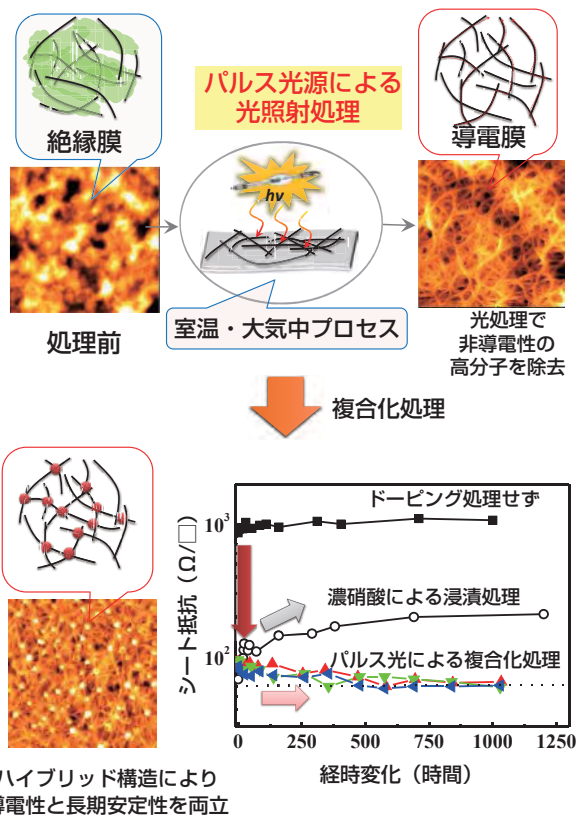
- ITOに代わる高透過率、高導電性の透明導電フィルム
- これまで課題であった導電性の長期安定性を大気環境下で実現
- 多様な基板に適用できる簡易な製膜技術を開発

### 研究のねらい

現在透明電極の材料として主に使用されている酸化インジウムスズ (ITO) 膜は、希少金属であるインジウムを用いており、資源の枯渇や国際情勢に依存した供給の不安定性が懸念されています。また、ITO 膜はもろく、曲げに弱いので、曲げたり折りたたんだりしても使用できる次世代のフレキシブルな電子デバイスの開発には利用しにくいという問題点があります。本研究では、カーボンナノチューブ (CNT) を分散させたインクを用いて塗布製膜することで、高い透過率と導電性を持つ透明導電フィルムを開発しました。

### 研究内容

高粘度のCNTインクを開発し、基板上に直接塗布することで透明導電フィルムの作製を行いました。インクに含まれるバインダーポリマーは、溶液または光焼成処理を行うことで、CNTの凝集や膜の崩壊を起こさず除去することができました。さらに、無機ナノ粒子とのハイブリッド構造とすることで、これまでCNT導電膜の課題とされてきた、大気保管中のシート抵抗値の長期安定性も実現しました。基材の透過率の85%の透過率を保持しながら、シート抵抗は60 Ω/□であり、CNT透明導電膜として実用化に十分な高い透明性と導電性を示します。



カーボンナノチューブ透明導電膜

### 連携可能な技術・知財

- ・ フレキシブル透明導電膜
- ・ ペロブスカイト型太陽電池
- ・ WO/2016/060225 (2016/04/21)
- ・ WO/2014/021344 (2014/02/06)
- ・ RSC Advance, 6, 25062 (2016)
- ・ Carbon, 87, 61(2015)

- 関連技術分野：カーボン材料、ナノエレクトロニクス、太陽光発電
- 連携先業種：製造業(電気機器)、製造業(化学)

周 英 / 阿澄 玲子  
 電子光技術研究部門  
 連絡先: rpd-eleman-ml@aist.go.jp  
 研究拠点: つくば



# カーボンナノチューブの光学機器への応用

## 3次元物体表面へのカーボンナノチューブ直接成長法

- 大気中での簡単な表面処理により、CNT 成長に必要な触媒の保護層を成膜
- 複雑形状かつ大型の3次元物体の表面に、多層CNTを成長させることが可能
- 次世代光学機器に使用する遮光材の開発や放射温度計測の高度化への貢献

### 研究のねらい

従来、金属・炭素材料からなる3次元形状の物体表面にCNTを緻密に成長させることは困難でした。本技術では表面前処理を改良することで、円筒や球体空洞の内面にCNTを成長させることが可能になりました。本技術により、次世代のカメラ・望遠鏡内部に使われる遮光材開発や、光学機器の校正光源に使われる黒体炉の高度化に寄与することが期待されます。また、この方法は、多層CNTと単層CNTどちらを成長させるためにも必要な金属触媒の担持層を簡便で低コストな粒子ブラスト法で成膜しており、CNTの新しい成長法として幅広い応用が期待されます。

### 研究内容

CNTを化学気相蒸着法により成長させる際に必要な触媒金属の保護層(担持層)を単純な表面処理手法である粒子ブラストを用いて成膜しました。

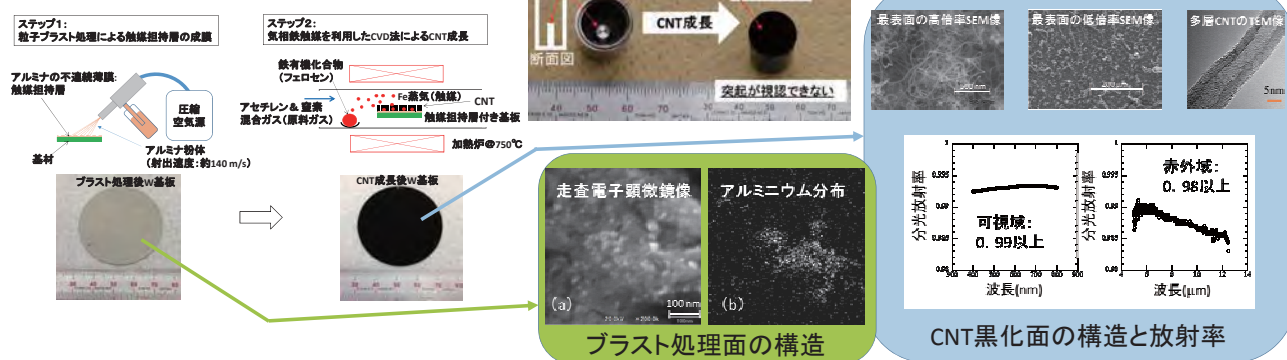
Wを含む18種類の金属・炭素材料基板に対してアルミナ粒子を用いた粒子ブラスト処理を施した後、鉄蒸気を触媒としアセチレンを炭素源に利用したCVD法により全ての基板表面に多層CNT膜を緻密に成長させることに成功しました。

本方法では、担持層と触媒層のどちらも3次元物体への成膜が容易であるため、3次元物体表面へCNTを直接成長させることが可能となります。

### 連携可能な技術・知財

- ・特許第5633071号(2014/10/24)
- ・WO/2015/190372 AI(2015/12/17)

#### CNT成長プロセスの概要



CNT成長プロセスの概略図と3次元物体への成膜例

- 関連技術分野：遮光材、計測技術、コーティング、ナノ材料、カーボン材料
- 連携先業種：製造業(精密機器)、製造業(化学)、製造業(金属製品)、製造業(電気機器)

渡辺 博道  
物質計測標準研究部門  
連絡先: nmj-liaison-ml@aist.go.jp  
研究拠点: つくば



# 光照射で効率的に発熱する ナノコイル状の新素材を開発

## 近赤外レーザーによるがん光熱療法への応用に期待

- 生体透過性の近赤外レーザーで効率的に発熱するナノコイル状の新素材を簡便に合成
- 培養したがん細胞へ添加し、レーザー照射すると、6割以上の細胞が死滅
- 近赤外レーザーを用いた生体深部のがん治療への応用に期待

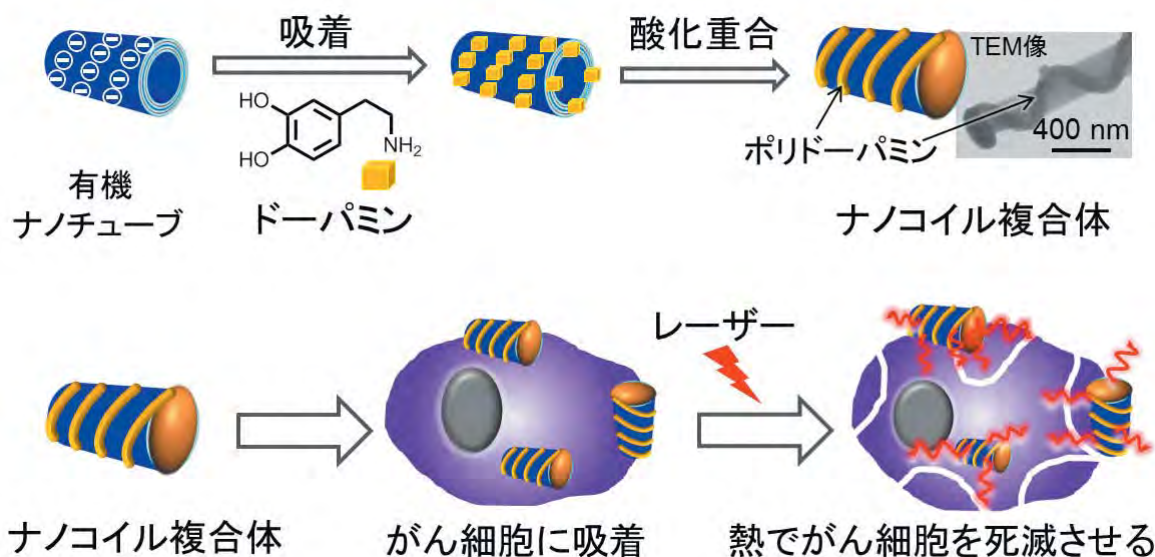
発表・掲載日：2016/03/08

### 研究概要

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】（以下「産総研」という）機能化学研究部門【研究部門長 北本 大】界面材料グループ 丁 武孝 研究員とナノ材料研究部門【研究部門長 佐々木 毅】CNT機能制御グループ 都 英次郎 主任研究員らは、優れた光発熱効果を示すナノコイル状の新素材を開発した。

この素材は、有機ナノチューブの表面に、ポリドーパミン（PDA）がコイル状に結合したもので、生体透過性の高い近赤外レーザーを照射すると、高効率で発熱する。培養したがん細胞に少量添加し、レーザー照射すると、60%以上の細胞が死滅した。近赤外レーザーを利用した生体深部のがん治療用材料への応用が期待される。

なお、この研究の詳細は、ドイツ化学誌 *Chemistry - A European Journal*, 22, 4345 (2016) に掲載された。また、2016年3月24日～27日に同志社大学京田辺キャンパス（京都府京田辺市）で開催された日本化学会第96春季年会で発表された。今回の研究開発の一部は、独立行政法人 日本学術振興会の科学研究費助成事業「挑戦的萌芽研究（平成27年度）」、「若手研究（A）（平成25～27年度）」、公益財団法人 新世代研究所の2014年度研究助成による支援を受けて行った。



光発熱効果を利用したナノコイル複合体によるがん細胞の死滅（概念図）

丁 武孝／都 英次郎  
機能化学研究部門／ナノ材料研究部門  
連絡先：mc-liaison-ml@aist.go.jp  
研究拠点：つくば



# 水に反応して内容物を放出する新規の有機ナノカプセルを開発

## 乾燥や有機溶媒に安定な均一サイズの水反応性カプセルが量産可能に

- 乾燥や有機溶媒に安定であるが、水に反応して構造が変化し、内容物を放出する新規の有機ナノカプセルを開発
- アミノ酸誘導体と亜鉛化合物を混ぜるだけで、均一サイズのカプセルを容易に製造可能
- 医薬、化粧品、塗料などの分野における水反応性のカプセル材料として期待

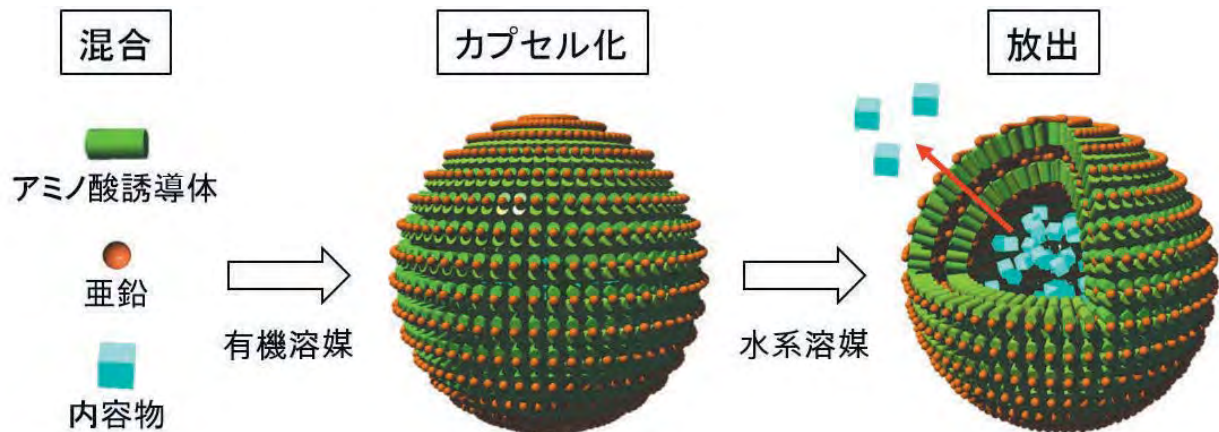
発表・掲載日：2016/09/13

### 研究概要

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】(以下「産総研」という) 機能化学研究部門【研究部門長 北本 大】界面材料グループ 小木曾 真樹 主任研究員、丁 武孝 研究員らは、水に反応して薬剤を放出する新規の有機ナノカプセルを開発した。

このナノカプセル(直径100～150ナノメートル)は、アミノ酸誘導体と亜鉛化合物をアルコール中で混合するだけで簡単に製造可能である。製造時に薬剤などの内容物を一緒に混合しておくだけで、カプセル化と同時に封入できる。アルコールに混合可能であれば、親水性、疎水性を問わず封入が可能となる。ナノカプセルは、乾燥状態および有機溶媒中では安定であるが、水系溶媒では水による刺激に反応して構造が変化し、内容物を放出する。汗、雨水、海水などでぬれると内容物を放出する水反応性カプセルとして期待できる。

なお、本研究成果の詳細は、2016年10月(日本時間)に日本油化学会の論文誌 *Journal of Oleo Science* 65, 1011-1016 (2016) にオンライン掲載された。



カプセル化と放出の模式図。

3つの原料を有機溶媒中で混合することでナノカプセルが形成し、水系溶媒に再分散すると内容物を放出する。

小木曾 真樹 / 丁 武孝  
機能化学研究部門  
連絡先: mc-liaison-ml@aist.go.jp  
研究拠点: つくば



# 体と環境に優しいコアシェル型ナノ粒子

## 環境に優しいポリマー / セラミックス複合ナノ粒子

- 界面活性剤を用いることなく常温常圧でコアシェル型ナノ粒子を合成
- 生分解性ポリマーがコア、リン酸カルシウム (アパタイト) 結晶がシェル
- 生物が安全に分解代謝できる材料のみでできたナノ粒子

### 研究のねらい

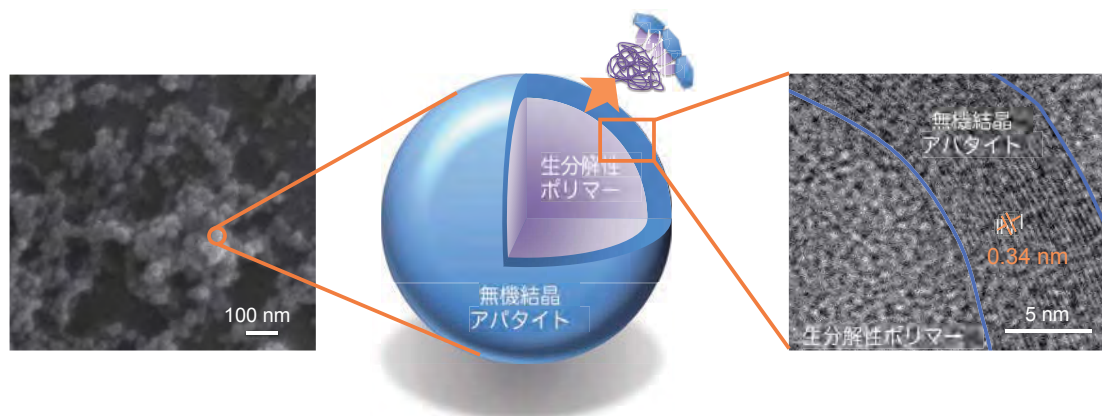
核 (コア) と殻 (シェル) が異なる材料で構成されるコアシェル粒子は、複数の機能を一つの粒子に持たせることができるため、薬物送達システム (DDS) 用担体や、化粧品、分離吸着剤、光機能材料など、幅広い分野で応用が進められています。私たちは、コア部もシェル部も生体内で安全に分解代謝可能な材料のみからなる新しいコアシェル型ナノ粒子の開発を目指しました。界面活性剤を用いずに常温常圧でナノ粒子を合成することができる手法であり、生体に対して安全であると同時に環境に優しいコアシェル型ナノ粒子合成技術です。

### 研究内容

生分解性ポリマーをコアとし、リン酸カルシウム (アパタイト) をシェルとするコアシェル型ナノ粒子の合成技術を開発しました。生物が貝殻など硬組織を形成する時と同様に、無機有機界面での相互作用を利用する手法で3次元複合構造を形成しました。析出したアパタイトが生分解性ポリマーの分散を安定化するため、界面活性剤を用いなくても安定してコアシェル型ナノ粒子を合成することができます。シェルのアパタイトは0.34 nmを基本ユニットとして規則正しく結晶成長しています。コアの生分解性ポリマーには、薬剤を担持することができます。

### 連携可能な技術・知財

- ・ 界面活性剤フリーなコアシェル型ナノ粒子の合成技術
- ・ 薬剤担持・徐放化技術
- ・ 特許第5158835号 (2012/12/21)
- ・ 特許出願中「コアシェル型粒子とその製造方法」



コアシェル型ナノ粒子の模式図と電子顕微鏡写真

- 関連技術分野：ナノ材料、コアシェル、環境負荷低減
- 連携先業種：製造業 (化学)、製造業 (医薬品)、製造業 (その他製品)

永田 夫久江 / 加藤 且也  
 無機機能材料研究部門  
 連絡先: mc-liaison-ml@aist.go.jp  
 研究拠点: 中部





# バイオ界面構築材料ライブラリー

## ナノ構造制御単分子膜表面修飾法とバイオ界面構築法



- バイオ界面構築に向けた機能性表面修飾材料各種の分子設計と合成
- 自己集合膜 (SAM) のような構造制御単分子膜表面修飾法の検討
- 修飾表面とバイオ界面機能の相関

### 研究のねらい

生体関連物質を検出するバイオセンサのバイオ界面構築には、抗体や酵素などの機能性物質の固定化が必要です。また、血清などのタンパク質を含む試料を測定する場合には、センシング機能を損なうタンパク質の吸着抑制も必要です。このように様々な機能を合わせ持つバイオ界面を構築するには、分子レベルで構造制御した表面修飾法が欠かせません。本研究では、イムノバイオセンサに用いるイムノセンシングバイオ界面構築を目的に、様々な機能性表面修飾材料ライブラリーを構築し、バイオ界面構築法について検討しています。

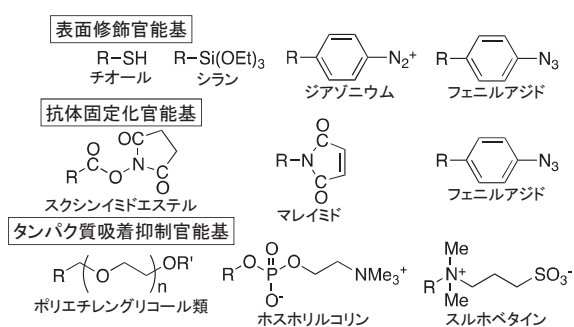
### 研究内容

1. バイオ界面構築には、抗体固定化機能とタンパク質吸着抑制機能を合わせ持つ修飾表面が必要です。これらの機能を持つ表面修飾材料各種を分子設計・合成してライブラリーを構築しました。
2. 修飾表面が目的とする機能を発揮するためには、自己集合膜同様な高い表面濃度の修飾が必要です。様々な表面修飾条件を検討し、高表面濃度単分子膜表面修飾条件を検討しました。
3. 構築したバイオ界面の機能は、修飾表面分子組成と三次元構造、固定化する抗体の組合せによって変化するので、最適構造条件を探索しました。

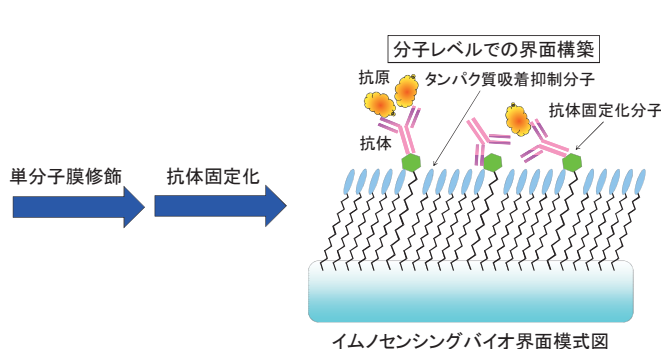
### 連携可能な技術・知財

表面修飾を施したい基盤に適した表面修飾材料の分子設計・合成技術、修飾表面の構築技術

- ・特許第5717138号(2011/5/23)
- ・特許第5751580号(2011/4/28)
- ・特許第5751578号(2011/4/27)



表面修飾材料の分子設計と合成



イムノセンシングバイオ界面模式図

イムノセンシングバイオ界面構築のアウトライン

- キーワード：表面修飾、センシング、イムノアッセイ
- 連携先業種：医療・福祉業、医療・福祉業、医療・福祉業

田中 睦生

健康工学研究部門  
連絡先：生命工学領域 life-liaison-ml@aist.go.jp  
研究拠点：つくば



# プラスチック、多孔体等の表面高機能化

## セラミックスの常温製膜、微構造粒子合成と新機能開発

- 各種基材へのセラミックスコーティング（酸化スズ、二酸化チタン等）を実現
- ナノ構造膜・微構造粒子を合成し、低コスト、常温で大面積コーティング
- ガスセンサ・溶液センサの高感度化、親水性撥水性を付与

### 研究のねらい

液体中の特定分子の検知による環境センサ、ヘルスケアセンサ等の実用化が期待されています。例えば、呼気中の特定分子を検知するセンサにより、肺がんの早期発見が可能となります。これらには、ナノ構造を有するセラミックス膜が有効と考えられますが、セラミックスの常温合成法を開発することにより、従来セラミックスコーティングが困難であったプラスチックフィルム等への製膜が可能となります。特に、水溶液法によるセラミックス製膜は、多孔体等の複雑形状への製膜、低コスト、大面積化、低環境負荷等の利点も有しています。

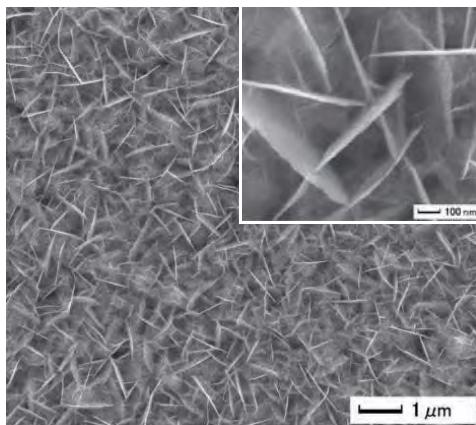
### 研究内容

呼気中のノナナール分子を検知する肺がんヘルスケアセンサ向けに、酸化スズナノシート表面層を有する構造膜を開発しました（左図）。ナノシートにより、ノナナール低濃度領域のセンシング感度が向上することが明らかになりました。

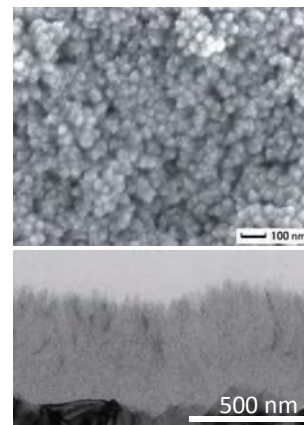
水溶液法により、針状結晶が集積したアナターゼ型二酸化チタンの微細構造膜を開発しました（右図）。表面の微細な凹凸形状は、表面積を増大させるとともに、分子などの吸着に有効であると考えられます。

### 連携可能な技術・知財

- ・ 常温でのセラミックスナノ構造膜合成
- ・ プラスチック、ガラス、金属、繊維等の表面改質
- ・ 色素増感光電変換型環境センサ
- ・ イムノアッセイ式バイオチップ
- ・ 特許第5154346号(2012/12/14)
- ・ 特開2016-017760(2016/02/01)
- ・ *Scientific Reports*, 5, 10122 (2015)



酸化スズナノシート集積膜の顕微鏡写真



二酸化チタン膜の顕微鏡写真

- 関連技術分野：センサ、コーティング、表面改質、印刷、電池
- 連携先業種：製造業（ガラス・土石製品）、製造業（化学）、製造業（電気機器）、製造業（繊維製品）、製造業（精密機器）

増田 佳文／伊豆 典哉  
無機機能材料研究部門  
連絡先：mc-liaison-ml@aist.go.jp  
研究拠点：中部



# 生体活性材料の形成を光でコントロール

## 液中レーザー法による生体活性ナノ表面・粒子の創製

- 生体活性を有するリン酸カルシウム薄膜を基材上に迅速形成
- リン酸カルシウムナノ粒子をワンポットで簡便に合成
- 金属元素やナノ粒子、タンパク質との複合化により多彩な機能設計が可能

### 研究のねらい

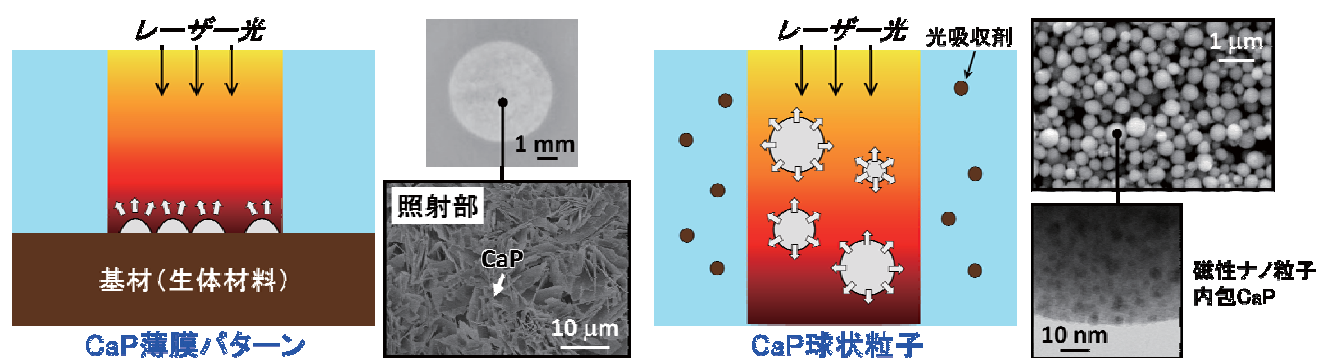
リン酸カルシウムは、生体親和性・骨結合能を示す生体活性物質です。過飽和溶液中からリン酸カルシウムを自発析出させる過程にレーザー光反応を導入することで、簡便で迅速なリン酸カルシウム薄膜およびナノ・マイクロ粒子の形成技術を開発しました。この技術を応用し、リン酸カルシウムに金属元素（亜鉛、鉄、テルビウムなど）やナノ粒子（マグネタイト、銀など）、タンパク質（フィブロンectinなど）を複合化することで、様々な機能（骨形成促進機能、薬剤徐放機能、造影機能、抗菌性など）を付加した生体活性材料を創製しています。

### 研究内容

過飽和溶液中に設置された基材上にレーザー光を照射し、ナノ構造を有するリン酸カルシウム薄膜をパターン形成する技術を開発しました（左図）。この手法によれば、金属やポリマー等の基材表面の目的の部位に、簡便（1段階工程）かつ迅速（5～30分）に生体活性を付与することができます。また、溶液組成・照射条件を変更することで、リン酸カルシウムのナノ～マイクロ球状粒子を合成することもできます（右図）。金属元素やタンパク質、磁性ナノ粒子、抗菌性銀ナノ粒子などを複合化することで、様々な機能設計も可能です。

### 連携可能な技術・知財

- ・ リン酸カルシウム薄膜・粒子形成技術
- ・ 薬剤や生理活性物質の担持・徐放化技術
- ・ 特開2015-063444 (2015/04/09)
- ・ 特許第5817956号 (2015/10/09)
- ・ 特許第5334030号 (2013/08/09)
- ・ 特許第4606813号 (2010/10/15)
- ・ 特許第4604238号 (2010/10/15)
- ・ 本研究の一部は、JSPS 科研費JP25108517、JP15H00906、JP16H03831、JP15F15331の助成を受けたものです。



リン酸カルシウム (CaP) の薄膜パターン (左) および球状粒子 (右)

- 関連技術分野：ナノ材料、医療デバイス、バイオ素材、レーザー
- 連携先業種：製造業 (化学)、製造業 (医薬品)、製造業 (電気機器)

清水 禎樹 / 大矢根 綾子 / 中村 真紀  
 ナノ材料研究部門  
 連絡先：mc-liaison-ml@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば

産総研

# 表面のすべり・ぬれ・光を変える

## 表面修飾とナノ構造形成による表面機能制御



- 大面積ナノ構造形成による濡れ性・光学機能制御技術
- マルチスケール表面構造による、摩耗によって再生可能な低摩擦表面の構築
- 表面分子修飾によるカビを水洗できるコーティング技術の開発

### 研究のねらい

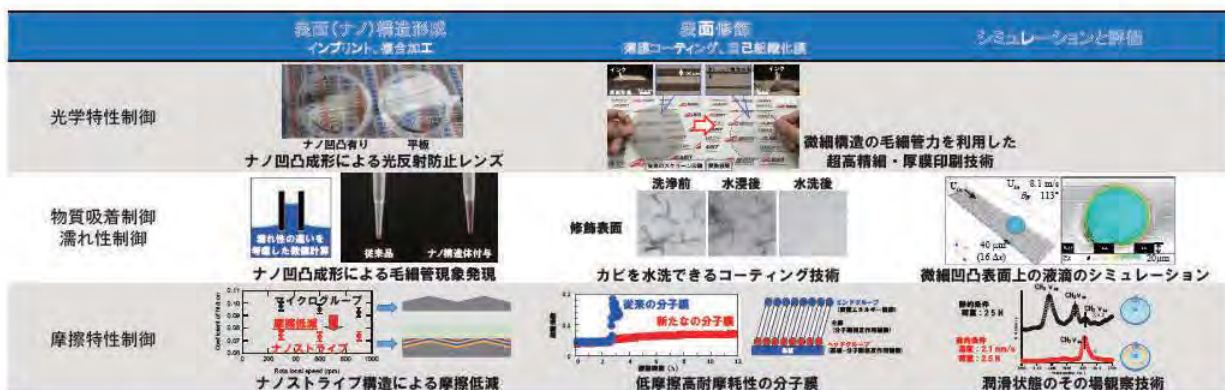
表面はそこで起こる現象の理解が難しく、バルクの高機能化と比較すると、これまで評価の対象となることが少なかったと言えます。しかしながら最近では、表面の高機能化に関する企業からの問い合わせが多く、その要望に応え得る技術開発が必要となっています。主な要望は、「表面の濡れ性制御(物質吸着制御)」、「光学特性制御」、「摩擦・摩耗特性の改善」、「抗菌・防汚」等です。私たちは、これら機能を実現するため、表面修飾技術と表面(ナノ)構造形成を組み合わせ、目的に応じた表面を創製することができる技術開発を行っています。

### 研究内容

表面機能を決定している因子に注目すると、求められる機能に依らず、表面ナノ構造と表面の化学的特性(濡れ性)が主であることがわかります。これらを制御し実用化する上で課題となるのが、ナノ構造を大面積に形成する技術と表面の化学的特性制御技術の開発です。産総研では、目的に応じた機能を発揮する表面創製技術を確認すべく、表面(ナノ)構造形成技術、表面修飾技術の開発に一体となって取り組むことのできる体制を確立し、様々な手法を駆使して上記課題を克服、親水維持性に優れた表面や反射防止機能付レンズ、摩耗により再生可能な低摩擦表面等の機能性表面を実現しています。

### 連携可能な技術・知財

- ・ 微細成形技術による反射防止レンズ/レンズ金型の作製、成形樹脂の親水化技術
- ・ 複雑な流体系の計算技術および計算システム開発
- ・ 微細成形のための金型技術/離型膜開発
- ・ カビを水洗できるコーティング技術
- ・ 潤滑状態その場観察技術
- ・ 特許第5392793号(2013/10/25)
- ・ 特許第4729767号(2011/04/28)
- ・ 特開2013-241551(2013/12/05)



- キーワード：表面修飾、ナノ構造、光学材料、摩擦
- 連携先業種：製造業(電気機器)、製造業(機械)、農林水産業、製造業(化学)、製造業(ガラス・土石製品)

三宅 晃司・高田 尚樹・栗原 一真・中野 美紀・徳丸 遠平・大花 維禎  
製造技術研究部門、連携マイクロシステム研究センター  
連絡先：エレクトロニクス・製造領域  
研究拠点：つくば



# 光MOD・表面化学修飾・LIJとその応用展開

## 光反応を用いた機能材料の低温コーティング

- 光MOD・ナノ粒子光反応法を用いた機能材料の低温・大気圧コーティング
- 各種官能基による安全・簡便な化学修飾ナノコーティング技術
- レーザー照射でインクの濡れ広がりを抑制、配線厚/配線幅が1以上で描画

### 研究のねらい

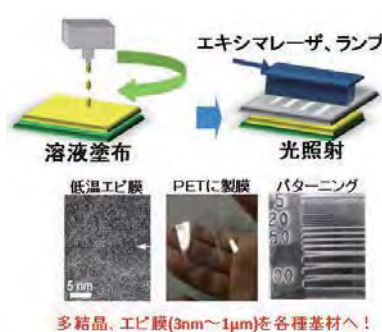
持続的発展社会の構築には、省資源、省エネルギー生産に資する多品種変量生産が可能な新しい薄膜・部材の製造プロセスが必要不可欠です。当グループでは光反応コーティング手法（光MOD：ELAMOD、ナノ粒子光反応法、ハイブリッド溶液反応法）による金属、金属酸化物などの低温コーティングと新材料・部材・デバイスの開発、表面化学修飾法による超撥水・超親水など各種材料の高機能化、レーザー援用インクジェット法（Laser assisted Ink-Jet printing: LIJ）による高アスペクト比の微細導体パターンの開発を行っています。

### 研究内容

- ・光MODによる金属膜・透明導電膜・蛍光体膜などを樹脂・金属・セラミック基板上へ作製
- ・エピタキシャル膜、無配向基板への一軸配向膜製造法開発とその応用（超電導、電池）
- ・カーボン系材料および各種ポリマー材料表面上への各種官能基の化学ナノコーティング
- ・材料表面への各種官能基修飾により、撥水性・親水性・低摩擦特性・生体分子固定・金属固定
- ・レーザー援用インクジェット法（LIJ）：基板上をレーザー光で局所加熱することで高アスペクトかつ微細な描画パターンを形成

### 連携可能な技術・知財

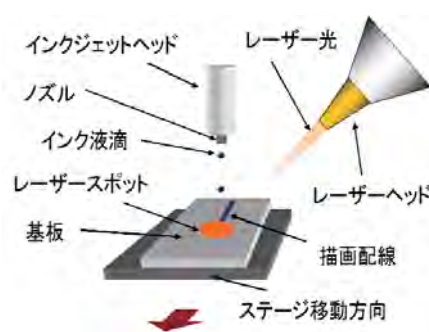
- ・光MOD
- ・特許第5740645号（2015/05/15）
- ・フレキシブル導電性膜及びその製造方法
- ・表面化学修飾
- ・特許第6011852号（2016/09/30）
- ・特許第5561729号（2014/06/20）
- ・Appl. Phys. Express, 6, 015001（2013）.
- ・LIJ
- ・特許第5187913号（2013/02/01）



光MOD



表面化学修飾



LIJ

光反応コーティング手法(光MOD、表面化学修飾、LIJ)

- 関連技術分野：コーティング、セラミックス材料、フレキシブル、表面修飾、インクジェット
- 連携先業種：製造業（化学）、製造業（非鉄金属）、製造業（精密機器）、製造業（電気機器）、製造業（ガラス・土石製品）

土屋 哲男／中村 孝子／中島 智彦／山口 巖／真部 高明  
 先進コーティング技術研究センター  
 連絡先：rpd-eleman-ml@aist.go.jp  
 研究拠点：つくば



# AD法による常温セラミックコーティング

## プラスチック上にハードコーティングを作製する技術

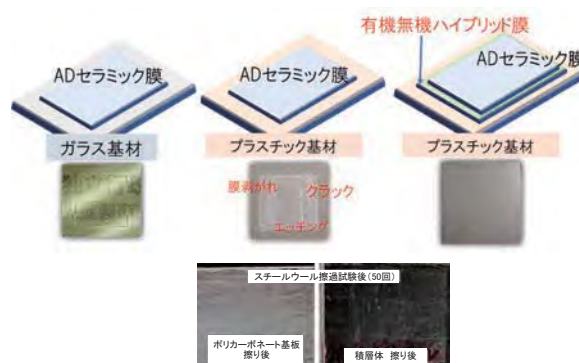
- 常温バインダーレスで多彩な基材にセラミックコーティングが成膜可能
- プラズマ溶射とのハイブリッドによる高品質・高速セラミックコーティング
- 構造材料・電子材料・医療用材料など幅広い分野の基材に応用可能

### 研究のねらい

本研究では我々が発見・開発したエアロゾルデポジション (AD) 法と呼ばれる常温コーティング手法をコアに、部材機能、デバイス機能、製品性能の革新的向上を実現し、幅広い分野での橋渡しを目指しています。セラミックコーティングは、部材表面への様々な耐性や表面機能の付与が可能で、電気電子、自動車・航空機、エネルギー変換・貯蔵、医療など幅広い分野での用途拡大が期待されています。最近、我々は高温の熱処理工程が不要なAD法を用い、プラスチック基材上に硬度・透明性・耐傷性に優れたセラミック膜コーティングを施すことに成功しました。

### 研究内容

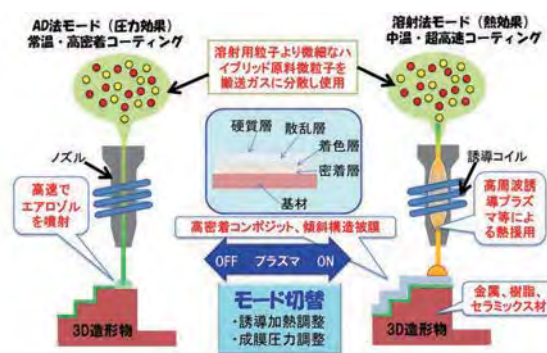
- ・ AD法によるプラスチック基材上へのセラミックハードコーティング (荒川化学工業との共同研究による成果)
- ・ プラズマ溶射とAD法のハイブリッドによる高品質・高速セラミックコーティング
- ・ 半導体製造装置用プラズマ耐食コーティング
- ・ パワー半導体・LED照明用放熱基板の絶縁層
- ・ エレクトロニクス、エネルギー変換・貯蔵デバイスへの応用
- ・ 歯科用インプラント・人工関節など医療用基材へのコーティング応用



プラスチック基材上へのセラミックコーティング

### 連携可能な技術・知財

- ・ 特許第 3265481 号 (2002/01/11)
- ・ 特許第 3740523 号 (2005/11/18)
- ・ その他民間企業との共同特許出願あり
- ・ AD膜のサンプル提供、ノウハウ開示等
- ・ AD法用の原料微粒子評価情報の提供
- ・ 本研究の一部は、NEDOナノテクノロジープログラム「ナノレベル電子セラミックス低温成形・集積化技術」プロジェクトならびに戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の中で実施されました。



ハイブリッドAD法の原理

- キーワード：コーティング、セラミック材料、電子材料、エネルギー材料
- 連携先業種：製造業(化学)、製造業(電気機器)、医療・福祉業、製造業(非鉄金属)

明渡 純・青柳 倫太郎・篠田 健太郎・野田 浩章  
先進コーティング技術研究センター  
連絡先：エレクトロニクス・製造領域  
研究拠点：つくば



# 安全・安心な循環型社会の構築に貢献

## 鉛フリー圧電材料を用いたAEセンサおよび振動センサ

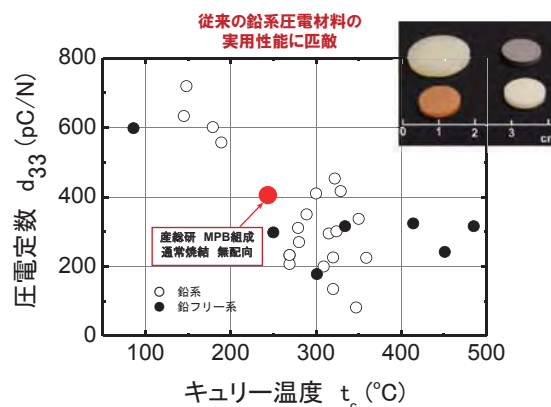
- 鉛フリーで、地球環境の維持・持続を可能とする社会の実現
- 従来の鉛系製品と同等の特性を実現した鉛フリーセンサ技術
- インフラヘルスマonitoringの実証実験に成功

### 研究のねらい

圧電材料は、車のバックソナー、インフラのヘルスマonitoring用AEセンサ・振動センサ等の素子として使われています。従来の圧電セラミックス材料は、環境問題の大きい鉛系圧電材料から作られています。安心・安全のためには、圧電材料の鉛フリー化が強く求められています。本研究は、環境や生体に有害な鉛を含まず、従来品に並ぶ高性能の酸化物圧電材料を開発することを目指しています。また、開発した鉛フリー圧電材料の圧電センサ(超音波距離センサ、AEセンサ、振動センサ等)への実用可能性を検証することを目的としています。

### 研究内容

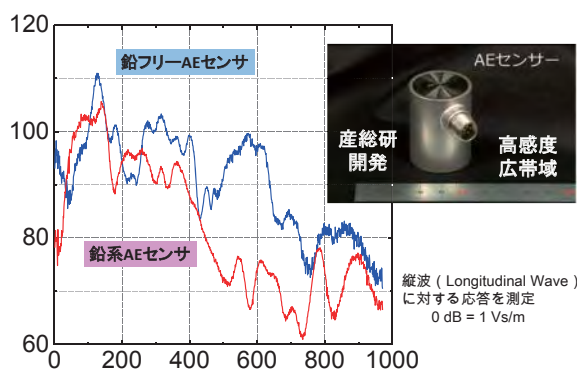
- ・ニオブ酸ナトリウム・カリウム ((Na,K)NbO<sub>3</sub>) を母材とする鉛フリー圧電セラミックスにおいて、室温で鉛系と同様な菱面晶/正方晶の相境界 (MPB) を形成することにより、圧電特性を向上させました。
- ・相境界を利用した鉛フリー圧電セラミックスは、ソフト系Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>に匹敵する圧電特性  $d_{33} > 400$  pC/N を達成しました。
- ・開発した鉛フリー圧電材料を使ったAEセンサ・振動センサ・超音波センサを開発、実証に成功しました。



産総研が開発した鉛フリー圧電セラミックス

### 連携可能な技術・知財

- ・特許第5213135号(2013/03/08)
- ・US8354038B2(2013/01/15)
- ・特許第5008090号(2012/06/08)
- ・産総研登録ノウハウH21NOH-638



鉛フリーと鉛系AEセンサの感度特性比較

- 関連技術分野：センサ、インフラ診断、環境負荷低減、セラミックス材料
- 連携先業種：製造業(化学)、製造業(電気機器)

王 瑞平/相浦 義弘  
電子光技術研究部門  
連絡先：rpd-eleman-ml@aist.go.jp  
研究拠点：つくば



# 新規構造制御により高気孔率と高強度を両立

## 軽くて強いセラミックス多孔体の製造法

- 表面に低気孔率層を形成することで高強度化を実現
- 異方性の構造により超高気孔率化と高強度を両立
- 原料の種類によらず高気孔率セラミックス多孔体製造が可能

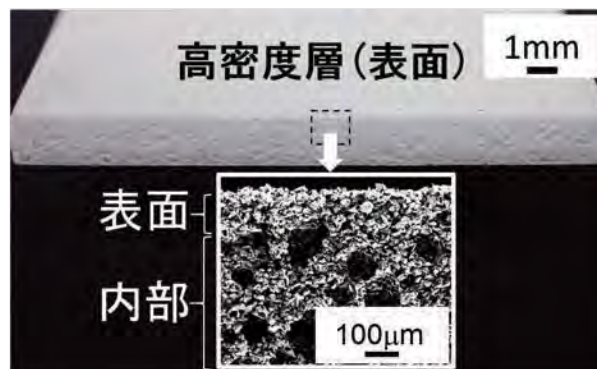
### 研究のねらい

工業分野において、軽量で高強度なセラミックス多孔体が必要とされていますが、軽量化による気孔率の向上を行うと強度が低下するため、軽量・高強度の両立は困難でした。今回、高気孔率多孔体において高強度を実現するための多孔体製造法を開発しました。(1)50～80%気孔率を有する多孔体では、表面を低気孔率にすることで高強度化を実現。(2)80～98%気孔率を有する多孔体は、一方向に配向した気孔構造により特定方向の圧縮強度の向きを実現。これらの手法は多様な原料に対応でき、広い分野へ展開が期待できます。

### 研究内容

(1)発泡を利用して、内部を多孔質にすると同時に、表面からの発泡ガス放出量を制御することで荷重のかかる表面部分を低気孔率にし、軽量かつ高強度の多孔体を得る事ができます。また、表面上に異種材料をコートすることで様々な機能が付与可能です。

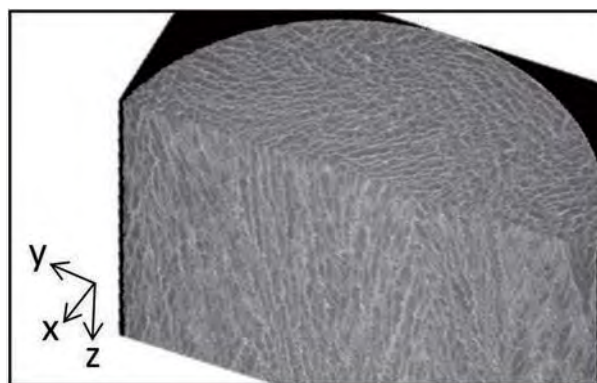
(2)原料粉末を分散させたゲル体を凍結乾燥することにより、マイクロメートルサイズの気孔が配向した超高気孔率多孔体が得られます。気孔サイズ、気孔形状(開/閉塞気孔)など気孔組織や形態の制御も可能です。



低気孔率表面層を備えたアルミナ多孔体

### 連携可能な技術・知財

- ・セラミックス、金属、樹脂の多孔体
- ・セッター、軽量構造部材、断熱材、耐火物
- ・特許第5176198号(2013/01/18)
- ・特許第5494024号(2014/03/14)
- ・特開2017-001943(2017/01/05)



異方性をもつムライト多孔体の組織

- 関連技術分野：多孔性材料、セラミックス材料、省エネルギー
- 連携先業種：製造業(ガラス・土石製品)

嶋村 彰紘 / 松永 知佳 / 近藤 直樹 / 福島 学 / 吉澤 友一 / 日向 秀樹  
 構造材料研究部門  
 連絡先: mc-liaison-ml@aist.go.jp  
 研究拠点: 中部

# 新機能粉体の高効率製造技術に向けて



## 結晶をナノレベルで精密制御するナノクリスタル技術

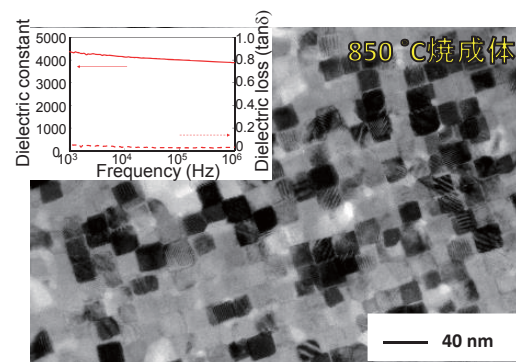
- 水熱合成法によるキューブ形状のチタン酸バリウム系ナノサイズ単結晶の開発
- 高誘電率を有する3D配列集積膜の作製プロセスを開発
- チタン酸バリウムナノキューブへの異種元素の固溶方法の確立

### 研究のねらい

情報通信機器の発展に伴い、それらを構成する部素材について微細化・高性能化が強く求められています。ナノクリスタルと呼ばれるナノサイズ単結晶は、従来のナノ粒子やバルク材料とは異なる特性を発現する新素材として注目されています。それらを三次元的に規則集積することで、無数に存在する結晶界面の相互作用等により、新機能発現や特性向上が期待されます。高誘電率デバイス等への応用を見据え、誘電材料として応用されているチタン酸バリウム系の材料に着目し、単結晶ナノキューブの合成法および規則配列集積プロセスの開発を行いました。

### 研究内容

水酸化物、水溶性金属錯体、界面活性剤等を用いる水熱反応により一辺が約15 nmのチタン酸バリウムナノキューブ単結晶を合成しました。それらを有機溶媒へ分散させ、ディップコーティングにより規則配列集積膜を作製しました。850°Cの温度で焼成した集積膜は、4000以上の高い誘電率を示すことが分かりました。また、Tiの一部をZrにより置換することが可能になり、固溶体組成の制御により、高い誘電特性や動作温度安定性の実現が期待できます。積層セラミックスコンデンサなどの高誘電率デバイスの超小型化の可能性が示されました。

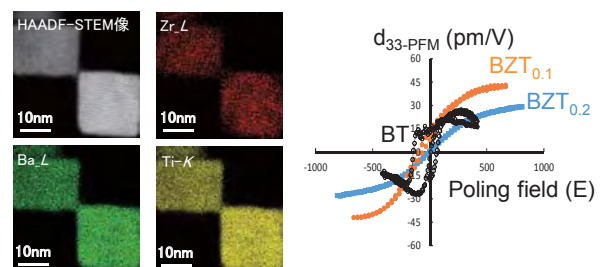


チタン酸バリウムナノキューブ3D集積膜と誘電特性

### 連携可能な技術・知財

- ・ 単結晶ナノキューブの合成法・配列技術
  - ・ 誘電特性評価、圧電応答解析
  - ・ 特許5637389 (2014/10/31), 特許5618087 (2014/09/26) 他
  - ・ Appl. Phys. Express, 7, 061501 (2014), J. Ceram. Soc. Jpn., 124, 639 (2016) 他
- 本研究はナノクリスタルセラミックスコンソーシアム共同研究、JST先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)の支援の下で実施されました。

本技術を発展させるため、JST A-STEP、NEDO エネルギー・環境新技術先導プログラムを実施中です。



Ba (Zr,Ti) O<sub>3</sub> ナノキューブ (Zr:Ti=20:80) の微構造観察と圧電応答特性  
K. Mimura and K. Kato, Jpn. J. Appl. Phys., 55, 10TA05 (2016)

- キーワード：セラミックス材料、ナノ材料、ナノクリスタル、誘電デバイス、粒子製造
- 連携先業種：製造業(化学)、製造業(精密機器)

三村 憲一・加藤 一実  
無機機能材料研究部門  
連絡先：材料・化学領域  
研究拠点：中部



# 有効波長に変換する機能をもつガラス

## 高効率で発光する波長変換が可能なガラス

- 高い発光効率で明るく光る透明なガラス蛍光材料
- 均質で、高透明性、高耐久性を有するオールガラスの蛍光体
- ナノインプリント法による微細成型加工も可能

### 研究のねらい

LEDなどの照明やディスプレイ、太陽電池の波長コンバーターなどに用いられる蛍光体は、結晶系の蛍光体の粉末を樹脂に混合して用いることが多いですが、その場合、均質性や耐久性が低くなります。一方、ガラス蛍光体は自在な形状（板、ファイバー、ロッドなど）で微細成形（反射防止構造）可能なため、均質な蛍光面が得られる、耐候性が高いなどの利点があります。我々は熔融急冷の単純なプロセスで、結晶蛍光体に匹敵する高輝度・高効率のガラス蛍光体の開発を行っています。

### 研究内容

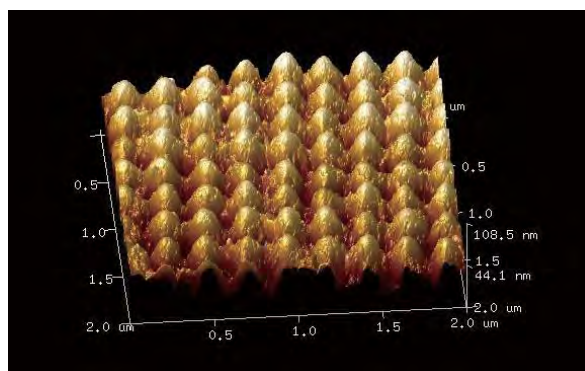
発光イオンを添加した酸フッ化物ガラスを比較低融点の熔融急冷のプロセスで合成しました。これにより得られたガラスは、近紫外励起において典型的な市販蛍光体に匹敵する90%を超える波長変換効率と、近紫外励起において典型的な赤色蛍光体結晶の約3倍の蛍光強度を示しました。



典型的な蛍光結晶よりも明るく光る蛍光ガラス

### 連携可能な技術・知財

- ・ 蛍光・蓄光などの機能ガラスやガラスセラミックスの開発、特性評価
- ・ ガラスのナノインプリント
- ・ 「化合物、それを用いた蛍光体、および化合物の製造方法」
- ・ 「ガラス組成物、その製造方法、ガラス組成物を用いた蛍光体およびガラス組成物を用いた紫外光透過光学部材」



蛍光ガラス表面にナノインプリントした反射防止構造

- キーワード：ガラス、蛍光体、微細成形
- 連携先業種：製造業（ガラス・土石製品）、製造業（電気機器）

篠崎 健二・北村 直之・山下 勝・赤井 智子  
無機機能材料研究部門  
連絡先：材料・化学領域  
研究拠点：関西

