

# 第一原理電子状態計算による 固体物性・材料機能の予測

First-principles prediction for material property and functionality

**研究分野**  
Department

ナノ機能予測  
Theoretical Nanotechnology

**研究者**  
Researcher

南谷英美  
E. Minamitani

**キーワード**  
Keyword

第一原理計算、表面界面、層状物質、磁性  
first-principles calculation, machine-learning

**応用分野**  
Application

固体物性の理論解析・予測  
Theoretical analysis and prediction for material properties

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

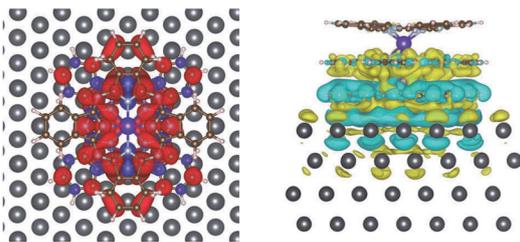
新奇的な固体物性の解明のために原子スケールでのシミュレーションを行っています。

## 概要・特徴

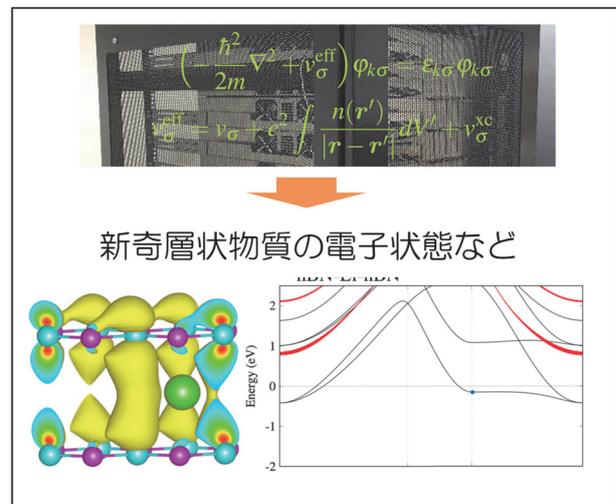
計算機を用いて密度汎関数理論に基づくコーン・シャム電子方程式を解くことにより、物質の電子状態や格子振動の情報（電子・フォノンのエネルギーバンド構造・状態密度）を得ることが可能です。

## 技術内容

非経験的・量子論的シミュレーション手法である第一原理電子状態計算に基づき、種々の固体系・表面系で発現する物性・機能を理論的に予測する研究を行っています。ナノ構造、物質機能、電子状態の相関を解明することで、新たな機能性物質を設計する研究にも展開しています。



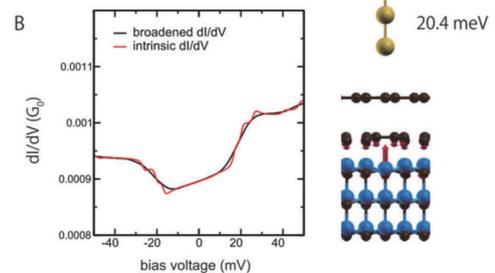
磁性錯体分子と金属表面の相互作用



新奇層状物質の電子状態など

## 社会への影響・期待される効果

次世代エレクトロニクス材料（グラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイド層状物質など）などの材料特性解析・基礎物性研究を進めています。電子状態以外にも、格子振動やそれが運ぶ熱についての研究も行っています。



グラフェン/SiC 界面フォノンの解明

## 【論文 Paper】

- [1] Phys. Rev. B. 96, 155431 (2017).
- [2] Nat. Commun. 8, 16012 (2017).
- [3] Appl. Phys. Express. 10, 093101 (2017).
- [4] Nanoscale. Adv. 2, 3150(2020).
- [5] Phys. Rev. B, 106, 085202 (2021).
- [6] Nature Commun. 13, 6388 (2022).

トポロジカルデータ解析と  
機械学習の物質科学への応用

Application of topological data analysis and machine-learning for materials science

研究分野  
Departmentナノ機能予測  
Theoretical Nanotechnology研究者  
Researcher南谷英美  
E. Minamitaniキーワード  
Keywordトポロジカルデータ解析、機械学習、アモルファス、熱伝導率、構造物性相関  
topological data analysis, machine learning, amorphous, thermal conductivity, structure-property relationship応用分野  
Application複雑な構造を持つ物質の物性予測  
Theoretical prediction of physical properties of materials with complex structures

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

数理学やデータサイエンスの手法を組み合わせることによって、望ましい機能をもつ新物質開発の効率化が求められています。

## 概要・特徴

構造の特徴を取り出す新しい数学的手法であるパーシステントホモロジーや、機械学習を応用することで、乱れのある複雑な構造での物性を理解し、望ましい機能を発現させるための指針を見出すことを目指しています。

## 技術内容

## ■ パーシステントホモロジーによる

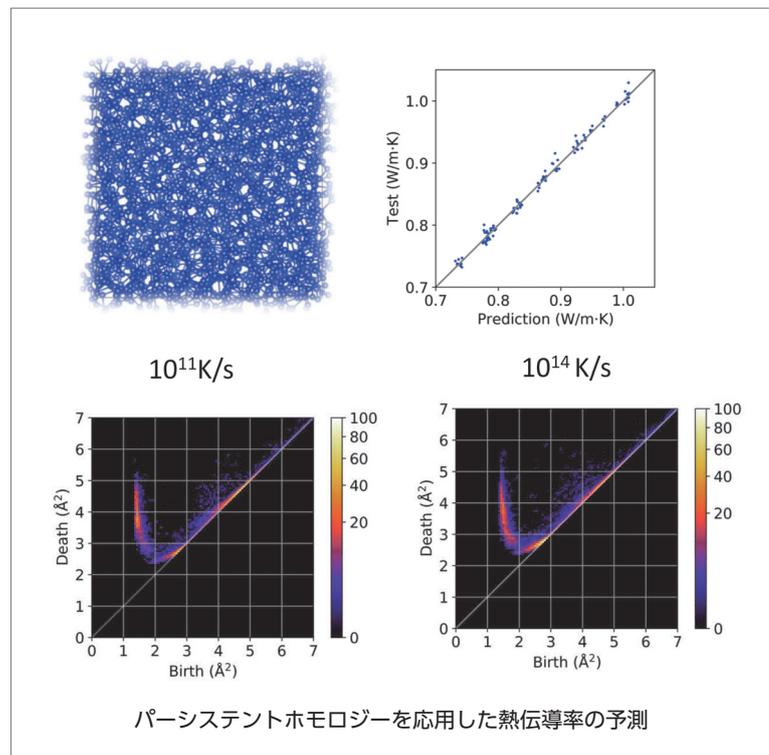
## アモルファスでの物性予測：

アモルファスでは結晶とは異なり決まった構造が繰り返される長距離秩序はありません。しかし完全にランダムな構造とも異なり、5から20Å程度のスケールでの中距離秩序があると考えられています。アモルファスの規則性とランダムの中間に位置する構造が、熱伝導率などの物理的性質とどのように関係しているのかをパーシステントホモロジーという数学的手法と機械学習を組み合わせる研究をしています。

## ■ 機械学習ポテンシャル：精度と計算コストのトレードオフを解決するシミュレーション手法として、第一原理計算結果を再現できる機械学習モデルの構築を進めています。

## 社会への影響・期待される効果

新材料設計のためのデータサイエンス手法の開発・公開を進めています。とくに、複雑な構造における物性を理論予測する研究を行っています。デバイス材料を始めとする産業応用上重要な物質への応用展開が期待されます。



[論文 Paper] [1] Appl. Phys. Express 12, 095001 (2019). [2] J. Chem. Phys. 156, 244502 (2022). [3] J. Vac. Soc. Technol. A 40, 033408 (2022). [4] J. Chem. Phys., 159, 084101 (2023).

IoT・AIを活用した大面積シート型  
センサーシステムの研究開発

Sheet-type Large-area Sensor Systems utilizing IoT and AI

研究分野  
Department先進電子デバイス  
Advanced Electron Devices研究者  
Researcher

関谷 毅 T. Sekitani	植村隆文 T. Uemura	荒木徹平 T. Araki
野田祐樹 Y. Noda	鶴田修一 S. Tsuruta	

キーワード  
Keywordフレキシブルエレクトロニクス、センサー、サイバーフィジカルシステム(CPS)  
flexible electronics, sensors, Cyber-Physical Systems応用分野  
Applicationバイオシグナルセンサー、ウェアラブルセンサー、IoT  
bio-signal sensors, wearable sensors, Internet of Things(IoT)

\*基礎・応用にとらわれることなく  
広く研究しているのが我々の特徴  
です。スタートアップ企業を設立  
して、製品を社会に展開している  
特長を有しています。

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

優れた機械的特性(フレキシビリティ)と電気的特性を同時に実現した次世代デバイス、“フレキシブルエレクトロニクス・フォトニクス”の研究に取り組んでいます。有機材料を含む機能性ソフト材料を用いた電子デバイス、光デバイスを基盤技術とし、情報通信技術から医療・福祉・バイオ分野、インフラ保守点検など広範な領域において新しい科学を創出します。さらに、その具体的応用例を実証し、社会実装することを目標にしています。

## 概要・特徴

“フレキシブルエレクトロニクス・フォトニクス”の応用研究は、微細構造形成技術、ナノ構造解析技術、最先端材料科学、高度集積化エレクトロニクス技術に支えられています。我々のグループでは、材料、デバイス、界面物理、物性物理、回路設計、システム設計、情報処理といった広範な学術分野を融合した新しいモノづくりを実現しています。

## 技術内容

有機材料の「優れた電気的・機械的特性」に加えて、「自己組織化現象(有機超分子構造形成)」、「低エネルギー加工性」を応用したフレキシブルエレクトロニクスの基礎材料・物性研究および応用研究を行っています。特に、有機ナノ分子積層技術、有機半導体/絶縁体界面制御技術、有機分子材料物性制御技術、分析技術、有機回路設計技術といった有機材料特有の技術開発を広範な領域において行うことで、有機トランジスタの高度集積化を実現しています。

有機材料を中心に、柔らかく、使いやすいエレクトロニクスを社会へ展開しています。実際に、研究室発スタートアップ企業PGV株式会社を設立し、医療機器の社会実装を実現するなど、真のモノづくり、価値づくりに取り組んでいます。

## 社会への影響・期待される効果

- メーターサイズの大面積性と、薄膜高分子フィルムの柔軟性を兼ね備えた大面積センサーシステムの構築とこれより得られる膨大な情報のリアルタイム可視化による社会の最適化
- 実世界の情報を正確かつ存在感無く収集するためのセンサーシステムにより、社会システムをより快適に、最適に、安全安心にするための基盤技術開発
- 次世代医療、ヘルスケア、構造物スマート管理など超少子高齢社会を迎えた我が国において社会基盤を支えるテクノロジーの実現

## 【論文 Paper】

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| [1] Nature Materials 6 (2007) 413.  | [7] Nature 499 (2013) 458.               |
| [2] Science 321 (2008) 1468.        | [8] Nature Electronics 2 (2019) 351.     |
| [3] Nature Materials 8 (2009) 494.  | [9] Adv. Mater. 32 (2020) 1902684.       |
| [4] Science 326 (2009) 1516.        | [10] Adv. Mater. 22 (2021) 2104446.      |
| [5] Nature Materials 9 (2010) 1015. | [11] Adv. Mater. (2023) 2304048 in press |
| [6] Nature Comm. 3 (2012) 723.      | [12] Adv. Mater. (2024) 2309864 in press |



## 『超薄・柔軟な有機エレクトロニクス技術』



関谷教授HP



研究室HP

## シリコン基板中への空洞形成

Void Formation in Si Substrates

研究分野  
Department先進電子デバイス  
Advanced Electron Devices研究者  
Researcher須藤孝一  
K. Sudohキーワード  
Keywordシリコン微細構造  
silicon micro-structure応用分野  
Application微小電気機械素子  
Micro-Electro-Mechanical-Systems (MEMS)

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

固体材料の様々な産業応用において、ミクロな表面形態を制御することが重要な課題となっており、表面形態の形成メカニズムを理解することは、制御するための第一歩となります。固体表面の表面形態形成現象の普遍的側面に注目し、結晶成長などの非平衡過程を通して表面が形作られていく物理的なメカニズムについて解明し、固体表面の表面形態を利用した産業応用への展開を進めます。

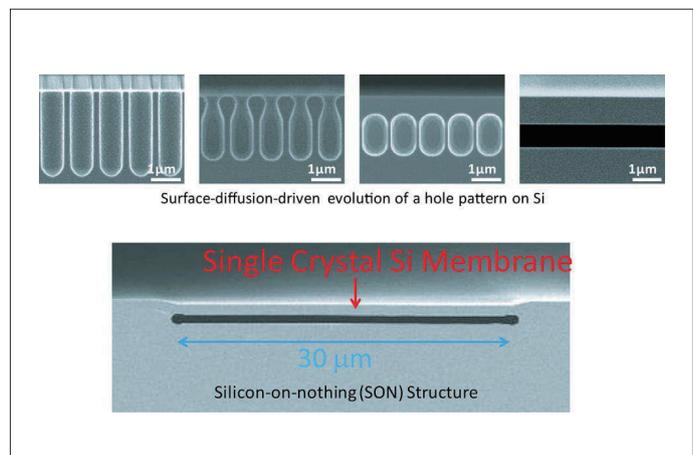
## 概要・特徴

リソグラフィーや水素アニールなど標準的な半導体製造技術を利用して簡便なプロセスによって、シリコン基板に空洞構造やシリコン膜を形成することが可能です。

## 技術内容

シリコン基板上に形成した高アスペクト比の微細ホールパターンを高温アニールすることによって引き起こされる自発的形態変化を利用してシリコン基板中に様々な微細空洞構造を形成することができます。また、100nmから1mm程度のシリコン膜を形成することも可能です。

シリコン基板上に形成した微細構造を水素雰囲気や真空中など酸化が起こらない環境で高温アニールすると表面拡散による形態変化が起こります。高アスペクト比のホールが表面拡散によって変形するとき、ホールの開口が自発的に閉じてシリコン基板中に空洞が形成されます。初期のホールパターンの設計によって様々な空洞構造を形成することが出来ます。



## 社会への影響・期待される効果

- 従来にない簡単なプロセスでシリコン基板中に微細空洞構造を作製する
- 安価で高品質な単結晶シリコンナノ膜の作製を実現する

## 【論文 Paper】

- [1] K. Sudoh, R. Hiruta, H. Kuribayashi, J. Appl. Phys. 114, 183512 (2013).  
 [2] K. Sudoh, H. Iwasaki, R. Hiruta, H. Kuribayashi, R. Shimizu, J. Appl. Phys. 105, 083536 (2009).

## スピンひずみゲージの開発

Development of spintronics strain gauge

研究分野  
Department界面量子科学  
Interface Quantum Science研究者  
Researcher千葉大地  
D. Chibaキーワード  
Keywordスピントロニクス、ひずみゲージ、フレキシブルエレクトロニクス、  
サイバーフィジカルシステム  
spintronics, strain gauge, flexible electronics, cyber-physical system応用分野  
Applicationひずみゲージ、フレキシブル・ウェアラブルデバイス  
strain gauge, flexible and wearable devices

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

磁気記録の高度化を目指し発展してきたスピントロニクスですが、その社会実装範囲を大きく広げ、高感度な力学センサーやウェアラブルなデバイスへの展開が期待されています。

## 概要・特徴

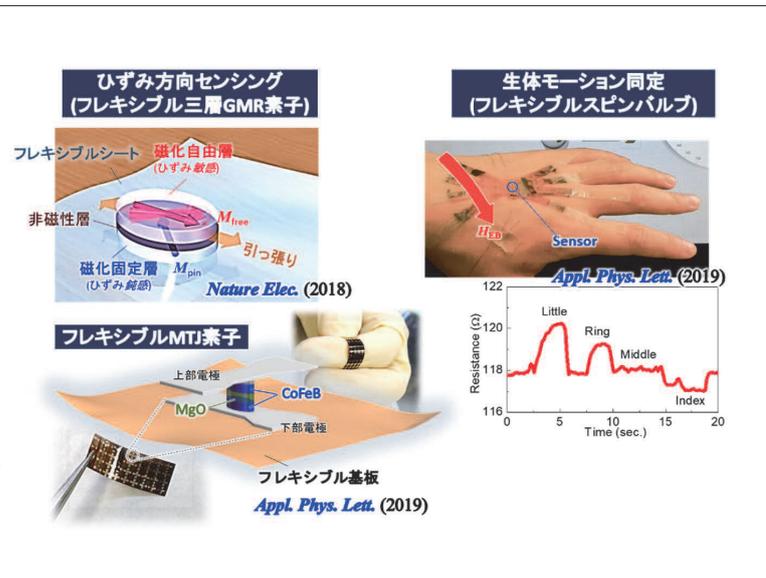
スピントロニクスデバイスの社会実装範囲を大きく拡大する研究開発を進めています。世界最高感度のフィルム型ひずみゲージの開発に成功しています。

## 技術内容

- スピン素子で「ひずみ」などの力学量のセンシングに成功。
- 広く世の中に普及しているスピントロニクス素子=磁気トンネル接合 (MTJ) をフレキシブル基板上に直接形成することに成功し、世界最高感度のフィルム型ひずみゲージを実現。
- 生体モーションをスピントロニクス素子で同定可能であることを初めて実証。

## 社会への影響・期待される効果

スピントロニクスデバイスを力学量センシングに用いることで、メカニカルなモーションセンサーやウェアラブルデバイスの高度化が期待されます。特に、集積化されたウェアラブル知能センサーシートや無電源でメカニカルモーションを記録できる特長をもつデバイスの開発に道が拓けます。また、スピントロニクス材料の力学的性質と磁性の関りを原子・ナノスケールから理解することで、デバイスの性能向上や機能創発につながる可能性があります。



## 【論文 Paper】

- [1] *Nature Elec.* 1 (2018) 124-129
- [2] *Appl. Phys. Lett.* 114 (2019) 132401
- [3] *Appl. Phys. Lett.* 114 (2019) 202401
- [4] *Appl. Phys. Lett.* 120, (2022) 072407

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2017-29314
- [2] 特願2019-14792

次世代磁気メモリへの応用を目指した  
人工カイラルスピン構造の創成

Formation of chiral spin structure based on nano-scale modulation of magnetic property

研究分野  
Department界面量子科学  
Interface Quantum Science研究者  
Researcher小山知弘 千葉大地  
T. Koyama D. Chibaキーワード  
Keywordスピントロニクス、スピнкаイラリティ、ナノテクノロジー  
spintronics, spin chirality, nanotechnology応用分野  
Application次世代情報処理・センシングデバイス  
pathogen detection, medical diagnosis, drug development

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

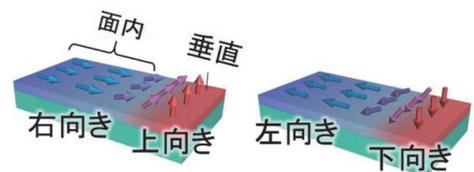
次世代情報処理の基盤技術として、電子の電荷とスピンの特性を融合した新しいエレクトロニクスである「スピントロニクス」が大きな注目を集めています。近年では、スピンの方向と空間変化を結びつける「カイラリティ」という特性により発現するカイラル磁壁やスキルミオンといった特殊なスピン構造が、高速・低消費電力メモリへの応用の観点から盛んに研究されています。

## 概要・特徴

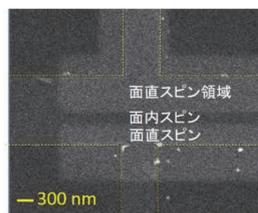
磁気異方性などの磁気特性をナノスケールで空間変調させることにより、カイラルスピン構造を人工的に作製できることを実証しました。

## 技術内容

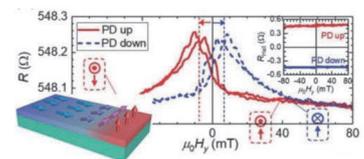
- 磁性体表面のみを低エネルギーイオン照射によりエッチングすることで、磁気異方性の面内⇄面直スイッチングに成功しました。
- 単一の磁性体中に面内スピンと面直スピンをハイブリッドさせた構造において、カイラリティによりそれぞれのスピン方向がカップルし特定方向に向きやすくなることを確認しました。
- 2つの面直スピン領域で面内スピン領域を挟んだ構造を作製し、面直スピンを平行および反平行配置にすることで、面内スピンの向きを制御できることを示しました。人工カイラルスピン構造を外部から制御できることを意味します。
- 単一の磁性体中に、異なる「構造反転対称性(カイラリティの起源)」を有する構造を作製することに成功しました。これは、カイラリティそのものを空間変調できる技術に繋がります。



人工カイラルスピン構造の概念図。面内スピンと面直スピンの向きが互いに一意に決まる。



面内-面直ハイブリッド構造の電子顕微鏡像



スピン方向のカップリングを電氣的に計測することに成功

## 社会への影響・期待される効果

スピントロニクスを活用した情報処理デバイスの最大の特徴は、磁石のN、S極の高い安定性に基づく情報の不揮発性です。ナノ磁性変調構造を導入することで不揮発性を保持しつつ、これまでにない機能、すなわち超低消費電力かつ高速な情報書き込みや読み出し、高効率センシング、さらには光制御技術をスピントロニクスデバイスに付与できると考えています。

【論文 Paper】 [1] Appl. Phys. Lett. 120, 172402 (2022). [2] Jpn. J. Appl. Phys. 61, 070908 (2022). [3] Appl. Phys. Lett. 119, 202402 (2021). [4] Appl. Phys. Lett. 116, 092405 (2020).

## 電界制御量子ドットを使った量子中継器開発

Development of quantum repeaters using electrically-controlled quantum dots

研究分野  
Department量子システム創成  
Quantum System Electronics研究者  
Researcher大岩 顕  
A. Oiwaキーワード  
Keyword量子ドット、電子スピン、光子、量子中継、量子インターフェース  
quantum dots, electron spin, photon, quantum repeaters, quantum interface応用分野  
Application量子暗号通信、量子インターネット  
flexible and wearable devices, switching and sensing devices,  
Nano Electro Mechanical Systems(NEMS)

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

IoTが発達した将来の情報社会において、絶対に安全な通信方法を提供する量子暗号通信の研究開発が進みますが、その長距離化を実現する手法や物理系が未だ未解決です。これを解決して、絶対に安全なグローバル量子暗号通信ネットワークを構築することが必要です。

## 概要・特徴

電気制御量子ドットを使って、量子メモリー機能を有する光子-スピン量子インターフェースを開発し、長距離量子暗号通信のための量子中継器を実現します。

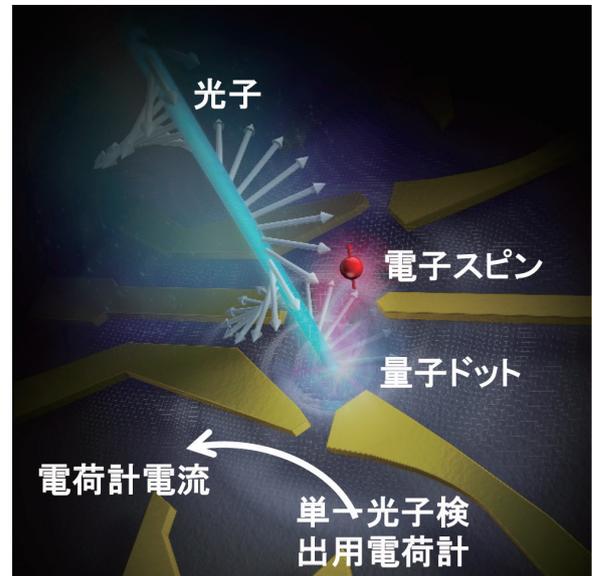
## 技術内容

- 減衰した量子情報を復調する量子中継器が必要で、その開発に不可欠な量子メモリー機能を有する光-スピン量子インターフェースをコア技術とした量子中継技術を開発します。
- 量子中継器は、光と固体量子ビットの間で量子情報を変換するインターフェースと量子メモリーで構成されます。我々は単一光子から半導体量子ドット中の単一電子スピンとの変換の技術を有します。
- 通信波長帯域での変換技術を開発したうえで、光学系や電子スピン操作・検出回路、それらを統合した量子中継システムなどの設計・開発と量子中継の実証を行います。
- 高効率量子もつれ光源の技術開発とのタイアップ。

## 社会への影響・期待される効果

量子暗号通信のグローバルネットワークが構築され、絶対に安全に情報をやり取りできる社会がもたらされます。

量子コンピュータや原子時計、あるいは量子センサーなどを接続した量子インターネットを構築することで、量子情報を最大限に活用します。



## 【論文 Paper】

- [1] T. Fujita et al., Phys. Rev. Lett., 110, 266803 (2013).  
 [2] A. Oiwa et al., J. Phys. Soc. Jpn. 86, 011008 (2017).  
 [3] K. Kuroyama et al., Phys. Rev. B 99, 085203 (2019).

- [4] K. Kuroyama et al., Sci. Rep. 7, 16968 (2017)  
 [5] T. Fujita et al., Nature communications 10, 2991 (2019).

## 量子ビットのシャトリング技術の開発

Development of a semiconductor spin qubit transfer

研究分野  
Department量子システム創成  
Quantum System Electronics研究者  
Researcher藤田高史  
T. Fujitaキーワード  
Keyword量子ドット、スピン、集積化、量子技術  
quantum dots, spin, integration, quantum technologies応用分野  
Application量子計算、量子シミュレーション  
quantum computing, quantum simulation

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

量子コンピュータ開発が激化しながらも、物理を含めた基礎研究は未だ切り離せず、世界中の研究機関や企業で要素技術の研究開発が進められています。様々な物理系が量子ビットとして研究されている中で、半導体量子ドット中の単一電子スピンは、電気的制御と集積化への適性といった利点により注目されています。

## 概要・特徴

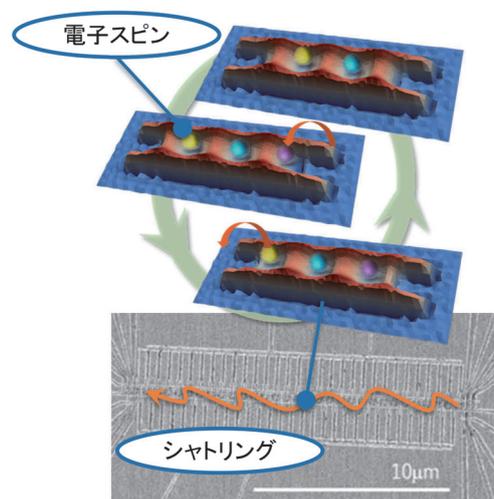
半導体スピン量子ビットの大規模集積化を可能にする、量子ドット間の伝送・量子結合を実現し、半導体スピンのオンチップネットワーク化に貢献します。

## 技術内容

- 半導体量子ドットとして、量子井戸基板表面のゲート電極を用いて、量子井戸中に誘起・制御されるゲート制御量子ドットを用います。
- 半導体量子ドットの1次元配列デバイスを延長した物理研究は世界的にもまだあまり進んでいません。中規模集積デバイスの試作、多重量子ドットの機械制御、スピン量子ビットの検証実験に取り組みます。
- 量子ドット1次元配列デバイスを用いて、量子伝送・もつれ配信・量子結合・多体量子系のシミュレーションへと発展します。
- 量子技術に着目した半導体産業とタイアップ。

## 社会への影響・期待される効果

半導体スピン量子ビットの集積化が進むことで、スピン量子コンピュータの早期実現が期待されます。量子コンピュータを実現すれば、その圧倒的な処理能力を活かして、新薬・新材料の開発や災害予測への活用が期待されます。



## 【論文 Paper】

[1] T. Fujita et al., npj Quantum Information 3, 22 (2017).

## 機能性酸化物を用いた新奇ナノデバイス創製

Fabrication of novel devices based on functional oxide materials

研究分野  
Departmentナノ機能材料デバイス  
Functional nanomaterials and nanodevices研究者  
Researcher田中秀和  
H. Tanakaキーワード  
Keyword機能性酸化物、二酸化バナジウム、二次元原子層材料  
functional oxide, vanadium oxide, 2D material応用分野  
Applicationフレキシブルデバイス、抵抗スイッチ素子、赤外線センサー、NEMS  
flexible and wearable devices, switching and sensing devices, Nano Electro Mechanical Systems(NEMS)

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

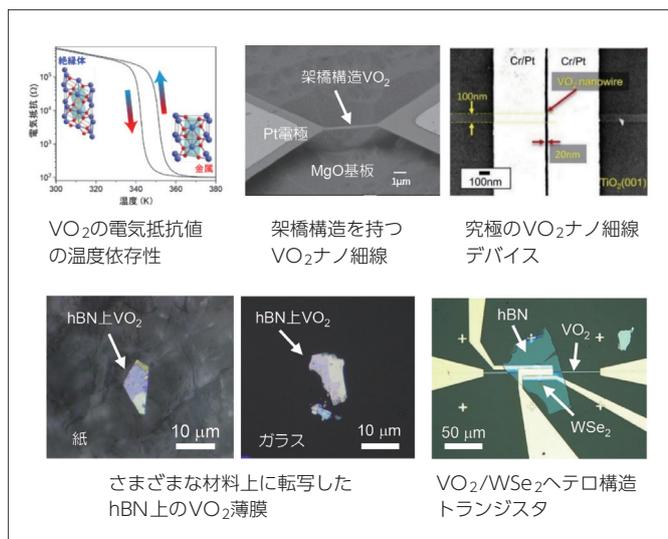
二酸化バナジウム( $\text{VO}_2$ )は、 $67^\circ\text{C}$ 付近において絶縁体状態から金属状態へと相転移します。この相転移に伴い電気抵抗値が5桁ほど、赤外線の透過率が50%以上変化するため、抵抗スイッチ素子や赤外線センサーへの応用が期待されます。

## 概要・特徴

機能性酸化物である $\text{VO}_2$ をナノ構造化させたり、異種機能材料とヘテロ構造化させたりすることで、 $\text{VO}_2$ のデバイス応用展開の可能性を広げました。

## 技術内容

- 酸化マグネシウム( $\text{MgO}$ )基板に成長させた $\text{VO}_2$ 薄膜を、 $\text{MgO}$ 基板を選択的にエッチングすることで、基板から数 $\mu\text{m}$ 浮いた架橋構造にすることに成功。
- リソグラフィ技術を駆使することで、電極間距離20nm、線幅100nmの $\text{VO}_2$ ナノ細線デバイスを作製。
- $\text{VO}_2$ を、六方晶窒化ホウ素(hBN)上に薄膜成長させ、形成した $\text{VO}_2$ 薄膜とhBNとの積層構造を、粘着性ポリマーを介して異種材料上に転写させることに成功。
- $\text{VO}_2$ と二次元半導体である二セレン化タングステン( $\text{WSe}_2$ )をヘテロ構造化させることで、急峻にオン・オフスイッチする新原理トランジスタの作製に成功。



## 社会への影響・期待される効果

今回作製したナノ架橋構造型 $\text{VO}_2$ は、熱散逸が極端に抑制されるため、これを用いれば抵抗スイッチの超低消費電力化、赤外線センサーの超高感度化が期待できます。また、 $\text{VO}_2$ 架橋構造は機械的柔軟性を有するため、アクチュエータへの応用も期待できます。

hBNと $\text{VO}_2$ との積層構造を柔軟な材料に転写することで、近年その需要が高まっている、ウェアラブルデバイスやペーパーデバイスなどへの応用が期待できます。また、どのような形状の窓にも適用できるスマートウィンドウなどの開発も期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] Appl. Phys. Lett. 107 (2015) 143509(1-6) [3] Adv. Materials 25 (2013) 6430-6435  
[2] Appl. Phys. Exp. 7 (2014) 023201 [4] ACS Appl. Mater. and Inter. 11 (2019) 3224-3230-(1-9)

## 研究分野

Department

ナノ機能材料デバイス

Functional nanomaterials and nanodevices

## 研究者

Researcher

田中秀和  
H. Tanaka服部 梓  
A. N. Hattori

## キーワード

Keyword

3次元ナノ構造、機能性酸化物、相変化、ナノテンプレート

3D nanostructures, functional oxides, phase change, nano template

## 応用分野

Application

3次元ナノ機能デバイス

3D nano functional devices

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

強相関電子系金属酸化物は、金属-絶縁体相転移に伴う抵抗変化が劇的で $10^3$ - $10^5$ にも及ぶためナノエレクトロニクスへの展開が期待されています。しかし、金属酸化物は一般的に難加工材料のため、100 nmを下回るサイズの構造を作る技術が確立されていません。

## 概要・特徴

トップダウンとボトムアップを組み合わせた独自のナノ構造創製技術により、サイズ制御精度10nm以下で金属酸化物の3次元立体造形技術を確立しました。

## 技術内容

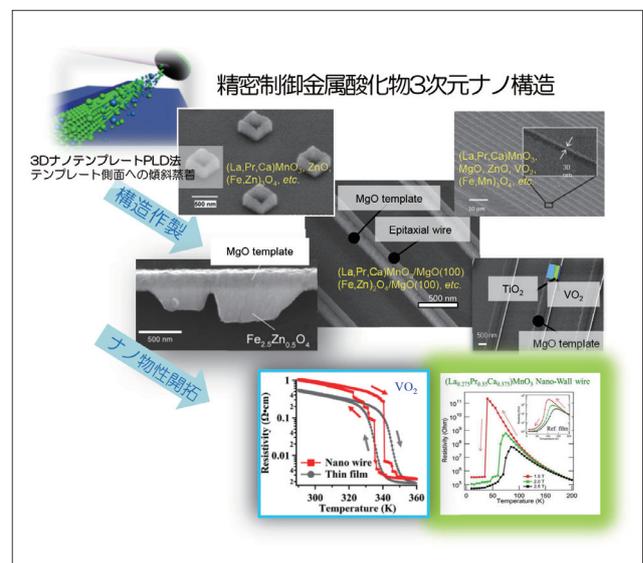
傾斜パルスレーザー堆積法 (PLD) 蒸着により、基板上に作製した3次元テンプレートの側面に成長起点を誘導し、テンプレート側面から分子層厚さ精度でサイズ制御したナノ構造を作製する手法を開発しました。テンプレートの形状、配置情報を正確に転写し、かつリソグラフィ分解能に縛られず分子層レベルでナノ構造のサイズ制御が可能であり、基本的にすべての物質に適用できる手法です。

立体基板の側面構造を原子レベルで観察・制御する手法も確立しており、これまでの加工、造形、構造評価技術の次元性と精度を大幅に向上した立体ナノ構造創生技術です。

## 社会への影響・期待される効果

ナノ細線試料では薄膜に比べて $10^3$ - $10^6$ 倍もの急激な金属-絶縁体相転移に伴う抵抗変化を発見し、その起源が制限空間内に閉じ込められた電子集団の生成・消滅挙動に起因することを明らかにしました (ナノ構造増感効果)。

極限ナノ構造によるナノ電子相への直接アクセスの可能性を秘めており、人為的な相転移現象の機能化の方法論確立に向けて研究を進めています。魅力的ではあるが操作が難しく、これまでポテンシャルが充分に引き出せていなかった強相関金属酸化物に対して、機能発現の起源を解明し、物性操作法の確立が期待できます。



## 【論文 Paper】

- [1] Nano Letters 15 (2015) 4322-4328.  
[2] Nano Lett. 19(2019) 5003-5010.

## 低次元ナノ構造酸化物の構造・機能チューニング

Architecture and Function Tuning for Low-dimensional Nanostructured Oxides

研究分野  
Department先端ハード材料  
Advanced Hard Materials研究者  
Researcher関野 徹  
T. Sekinoキーワード  
Keywordナノチューブ、ナノシート、高次機能触媒、エネルギー変換  
nanotube, nanosheet, multifunctional catalyst, energy conversion応用分野  
Application触媒（環境浄化、光、不均一系）、太陽電池、センサー、生体適合材料  
catalyst (environmental/heterogeneous/photo), solar cell, sensor, biocompatible material

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

酸化チタンを基礎とする酸化物ナノチューブやナノシート材料は、Ti-O結合に基づく結晶構造およびその電子状態に由来して発現する光化学物性と低次元ナノ構造との相関により、優れた光触媒能や特異な選択的分子吸着能の共生など従来材料にない多機能性を示します。

## 概要・特徴

酸化物材料の結晶およびナノ構造と機能を多角的にチューニングして高次機能を更に向上させ、次世代型の環境浄化機能材料、エネルギー創製材料や電池電極、光および化学センサー、更には多機能型生体適合・機能材料など、様々な応用展開・実用化を志向して研究を進めています。

チタニアナノチューブは通常の酸化チタンにはない優れた選択的分子・イオン吸着能と光触媒能を併せ持つ（能動型環境浄化機能）など、単材料でありながら物性-低次元構造協奏に基づく優れた多機能性を持ち、広範囲な環境およびエネルギー材料、更にはバイオマテリアル材料への展開が可能です。

## 技術内容

ごく簡単に環境低負荷な溶液化学プロセスによりナノチューブ構造などの低次元ナノ構造を持つチタニアを高収率で合成することができるほか、金属表面に直接ナノ構造を形成したりコーティングすることも可能です。さらに、機能性元素固溶やナノ複合化、ポリマーとのナノハイブリッド化など構造修飾を駆使し、物理的光化学的機能を更に向上させることができます。加えて分子レベル構造制御で可視光応答化も可能です。高効率の水分解光触媒のほか、吸着・光触媒特性の共生と向上、太陽電池電極特性の向上、室温ガスセンシング機能化などが可能です。

## 社会への影響・期待される効果

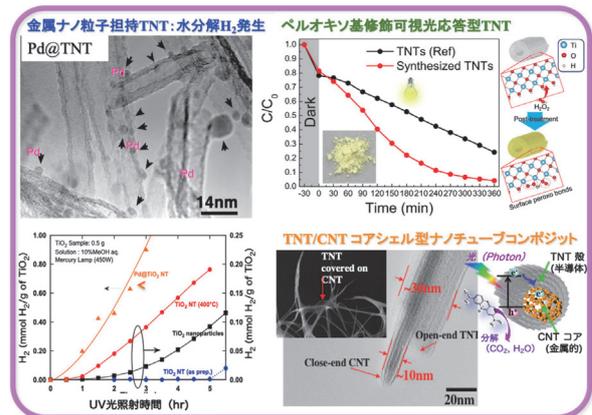
- 環境浄化・エネルギー創製機能材料、室温駆動型高性能ガスセンサー材料としての展開
- 多機能性を同時に獲得した材料デバイス（センサー等）の創出
- 多機能性生体適合性材料、バイオメディカル材料（DDS・PDT等）、衛生機能材料としての応用

## 【論文 Paper】

- [1] Chem. Commun., 57 (2021) 12536. [4] ACS Appl. Nano Mater., 2 (2019) 6230.  
[2] RSC Advances, 11 (2021) 18676. [5] Nano Biomed., 8 (2016) 41.  
[3] ACS Appl. Nano Mater., 3 (2020) 7795.

## 【特許 Patent】

- [1] 特開2021-171734  
[2] 特許第4868366号



# 高次機能を集約したマルチタスク型 先端セラミックス基複合材料の創製

Development of Multitask-type Advanced Ceramic-based Composites with Integrated Functions

研究分野  
Department

先端ハード材料  
Advanced Hard Materials

研究者  
Researcher

関野 徹  
T. Sekino

キーワード  
Keyword

セラミックス、複合材料、マイクロ/ナノ構造、異方性、機能統合、力学/電気/磁気/光化学機能、室温損傷修復機能  
ceramics, composite, micro/nanostructure, anisotropy, function integration, mechanical/physical/electrical/photochemical functions, room-temperature crack-healing function

応用分野  
Application

機能性構造用材料、易加工セラミックス、損傷修復材料、能動的センサデバイス、デバイス製造装置、人工歯骨  
functional structural materials, machinableceramics, crack-repair/healing materials, active sensor, device manufacturing, artificial teeth/born

研究開発段階

基礎

実用化準備

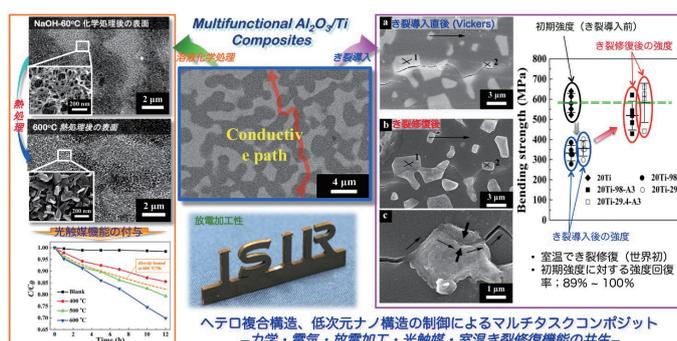
応用化

## 背景

構造用セラミックス材料が持つ力学的・熱的機能を更に向上させると共に、電気的性質や光化学的性質、磁氣的誘電的性質などの機能性を同時に共生させることで、ひとつの材料で多様な機能性を獲得し、様々な応用が可能な「マルチタスクな材料」の創製が期待されます。

## 概要・特徴

構造的機能（力学特性、耐摩耗性、耐熱性）に限定されていた従来の構造用セラミックス材料に、多様な複数機能を共生できます。これにより放電加工性や室温き裂損傷修復機能（世界初の成果）、光触媒機能を同時に備えた新規なセラミックス材料を創製し、生体親材料、機能性電極、光電変換材料、セルフセンシング構造材料などへの展開が可能な、そのものが多様なデバイス型機能を持つ「マルチタスク型材料」のコンセプト提案・創製および機能検証の研究を進めています。



ヘテロ複合構造、低次元ナノ構造の制御によるマルチタスクコンポジット  
—力学・電気・放電加工・光触媒・室温き裂修復機能の共生—

## 技術内容

セラミックスを中心としたバルク材料に、ナノ/マイクロサイズ金属や機能性物質を分散複合化し、構造ユニット毎にその異方構造や配列構造（パーコレーション）、界面を設計・制御すると共に、各機能評価と機構解明を通じて高次な機能集約を果たした「マルチタスク機能型セラミックス」の創製および実証を行っています。

一例として、アルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) セラミックスに金属チタン (Ti) を分散複合化した  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$  複合材料は、破壊靱性の向上、Ti粒子のパーコレーションによる電気伝導性の共生、通常のセラミックスでは不可能な放電加工性の付与が可能です。さらに、導電性と化学反応性を制御し、室温での電気化学的処理で材料に生じたき裂損傷を修復し、損傷により低下した強度を初期値まで回復させることを実証（世界初）しました。加えて、化学的または熱的処理で表面ナノ構造酸化物を形成し、光触媒機能を同時に付与することが可能です。

## 社会への影響・期待される効果

- 力学的機能と多様な物理光化学機能（例えば光触媒機能）が融合したセラミックスの創製
- 室温プロセスによる損傷・き裂修復が可能なセラミックス基材料の創製と機構提案
- デバイス型機能材料の創製およびシステム小型・軽量・低コスト化

## 【論文 Paper】

- [1] J. Am. Ceram. Soc., 104 (2021) 2753.
- [2] J. Alloys Comp., 851 (2021) 156895.
- [3] J. Am. Ceram. Soc., 103 (2020) 4573.

- [4] J. Am. Ceram. Soc., 102 (2019) 4236.
- [5] J. Ceram. Soc. Japan, 126[11] (2018) 877.
- [6] J. Am. Ceram. Soc., 101 (2018) 3181.

## 【特許 Patent】

- [1] 特開2020-094233
- [2] 特許第5189786号
- [3] 特許第3955901号

次世代二次電池の実現に向けた  
新規電解液材料の開拓

New liquid electrolyte materials for next-generation batteries

研究分野  
Departmentエネルギー・環境材料  
Energy and Environmental materials研究者  
Researcher山田裕貴 片山 祐 近藤靖幸  
Y. Yamada Y. Katayama Y. Kondoキーワード  
Keyword電気化学、電解液、界面  
electrochemistry, electrolyte, interface応用分野  
Application二次電池、電気二重層キャパシタ  
rechargeable batteries, supercapacitors

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

イオン輸送を担う電解液は、二次電池や電気二重層キャパシタなどの電気化学デバイスの性能・安全性を決定する重要な液体材料です。電解液は、電解質（塩）と溶媒を混合して作られるため、電解質及び溶媒の種類という2次元的な設計が行われてきました。既にさまざまな電解質・溶媒を用いた網羅的な探索が行われ、飛躍的な高機能化・高性能化のために新たな設計軸の確立が求められています。

## 概要・特徴

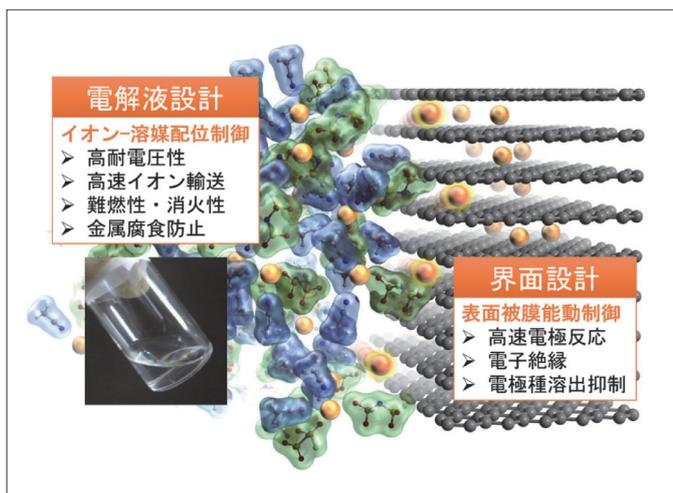
- 第3の設計軸としてイオンと溶媒分子のつながり（配位状態）を取り入れることで、さまざまな機能性電解液を開発しました。
- リチウム金属二次電池の高効率充放電を達成しました。

## 技術内容

- イオンと有機溶媒分子の配位状態をうまく制御することで、異常な還元安定性、5 V以上の酸化安定性、電極反応の高速化、金属の酸化腐食の抑制、難燃性の付与など、さまざまな機能が発現することを見出しました。
- 上記の概念を水に応用することで、室温で液体のリチウム塩水和物（水和融体）の発見に至るとともに、「水は1.23 Vの電圧で電気分解する」という教科書の常識を覆す3 V以上の耐電圧性を発現することを見出しました。
- リチウム金属二次電池の充放電効率を支配する電解液側因子を発見し、合理的な電解液設計により高効率充放電を達成しました。

## 社会への影響・期待される効果

リチウムイオン電池の電解液として応用することで、高電圧化や急速充電、高安全化などが可能になります。また、既存材料にはないさまざまな新機能により、リチウムイオン電池を超える次世代二次電池の開発に貢献します。



## 【論文 Paper】

- [1] J. Am. Chem. Soc. 136 (2014) 5039-5046  
 [2] Nat. Energy 1 (2016) 16129  
 [3] Nat. Energy 3 (2018) 22-29  
 [4] Nat. Energy 4 (2019) 269-280  
 [5] Nat. Energy 5 (2020) 291-298  
 [6] Nat. Energy 7 (2022) 1217-1224

## 【特許 Patent】

- [1] 特許第 5816997 号  
 [2] 特許第 5816998 号

## 電気化学反応のリアルタイム可視化技術開発

Development of Operando Analysis Tool for Electrochemical Devices

研究分野  
Departmentエネルギー・環境材料  
Energy and Environmental materials研究者  
Researcher片山 祐 山田裕貴 近藤靖幸  
Y. Katayama Y. Yamada Y. Kondoキーワード  
Keywordオペランド分光法、カーボンニュートラル、電気化学界面、反応場  
operando spectroscopy, carbon neutral, electrochemical interface, reaction field応用分野  
ApplicationPower-to-Xデバイス、燃料電池、次世代二次電池  
power-to-x, fuel cell, battery, carbon neutral

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

電気化学反応は、エネルギー貯蔵・エネルギー変換・材料合成など幅広い分野で我々の豊かな生活を支えています。これらの反応はいくつもの複雑な反応過程から成り立ちますが、その全てが固体の電極材料と液体の電解液材料の境界「電極/電解液界面」にて進行しています。この「電極/電解液界面」の理解は不十分であり、その解明と最適化の方策を確立することで、電気化学反応特性のさらなる向上が期待されます。

## 概要・特徴

- 電気化学反応をリアルタイムかつ原子レベルで可視化する技術を開発しました。
- メカニズム理解に立脚した材料開発による、各種電気化学デバイスの特性向上に成功しました。

## 技術内容

- 独自の金属薄膜製造技術により、シグナル増強効果を付与した金属薄膜の合成に成功しました。
- 開発した金属薄膜を集電体として用いることで、長時間分解能かつ高感度なリアルタイム可視化用電気化学セルを開発しました。
- 開発したリアルタイム測定セルを用いることで、これまで謎だった水分解反応（水から水素と酸素を製造する反応）、二酸化炭素資源化反応、燃料電池反応、二次電池反応のメカニズムを解明しました。
- 解明したメカニズムに基づくボトムアップ的なアプローチによって、各種電気化学デバイスの特性向上に取り組んでいます。

## 社会への影響・期待される効果

独自のオペランド測定による電極/電解液界面反応解析を「電極/電解液界面」材料設計に応用することで、エネルギー・環境問題の解決に資する電気化学反応（以下代表例）の飛躍的な特性向上が期待できます。

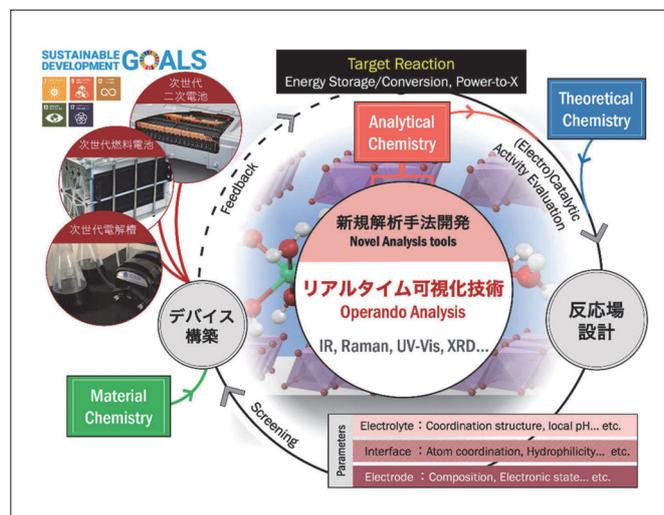
- 二酸化炭素資源化デバイス（電気化学的な二酸化炭素→燃料への変換反応）
- クリーン水素製造デバイス（電気化学的な水→水素への変換反応）
- クリーンアンモニア製造デバイス（電気化学的な窒素→アンモニアへの変換反応）

## 【論文 Paper】

- [1] Nature Catalysis 3, 516-525 (2020). [3] Science 358, 751-756 (2017).  
[2] Energy & Environmental Science 13, 183-199 (2020). [4] ACS Catalysis 6, 2026-2034 (2016).

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2022-032910  
[2] PCT/JP2022/11337



## 電子デバイス用セルロースナノファイバー材料の開発

Developments of cellulose nanofiber materials for electronic device

研究分野  
Department自然材料機能化  
Functionalized Natural Materials研究者  
Researcher能木雅也  
M. Nogiキーワード  
Keywordセルロースナノファイバー、水中短絡防止材料、高透明・絶縁・高耐熱性  
cellulose nanofiber, water protection, high transparency, high insulation, high heat resistance応用分野  
Application透明フィルム、生分解性デバイス、マイグレーション防止材  
transparent film, biodegradable device, electro chemical migration

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

私たちはセルロースナノファイバーを使い「透明な紙」を発明しました。また、デバイス回路をセルロースナノファイバー薄膜で覆っておくと、水没した際の短絡故障を防ぐことも明らかにしました。さらに、生分解性デバイスへの応用も可能です。

## 概要・特徴

- フレキシブル電子デバイスへの応用に向けて、セルロースナノファイバー材料の開発を行っています。
- 水没故障を防ぎ、土に還るセンサデバイスを実現します。

## 技術内容

## 【濡れても、故障しない電子機器の実】

- 電子回路は濡れると、ショートし、発熱・発火します。
- 従来は、回路が濡れないように、ポリマーで防水コート（封止）しています。しかし、ポリマー封止材が破損すると、水が浸入し、ショートします。
- セルロースナノファイバー薄膜で回路をコートしておけばショートしません。また、もし薄膜が破損しても、ショートしません。

## 【土に還るセンサデバイスの開発】

- セルロースナノファイバーを用いて、高性能キャパシタを開発しました。
- コイルや抵抗なども実装し、雰囲気湿度情報を無線送受信できるセンサデバイスを開発しました。
- このセンサデバイスは、紙（セルロースナノファイバー）と金属、石ころ（鉱物）という自然の恵みだけで作られています。
- したがって、使用後に土中へ放置すると、40日後には総体積の95%以上が分解します。

## 社会への影響・期待される効果

これまでのポリマーベースの電子デバイスは、割れて濡れると短絡故障します。しかしセルロースナノファイバーを利用すれば、割れて濡れても、電子デバイスは短絡故障しません。また、ポリマーベースの電子デバイスは野外放置するとゴミになりますが、セルロースナノファイバーを利用した電子デバイスは循環型資源になります。したがって、セルロースナノファイバーは、これからの未来社会において重要な材料となるでしょう。

## 【論文 Paper】

- [1] ACS Appl. Mater. Interfaces, 11 (2019) 43488, DOI: 10.1021/acsami.9b13886
- [2] ACS Appl. Mater. Interfaces, 4 (2021) 3861, DOI: 10.1021/acsanm.1c00267

●詳しくはQRコードより動画にアクセス! →

Damaged Coating Under Water

Long-term Protection by Cellulose Nanofiber

40日後 95%以上分解

20日後

10日後 (土中)

ナノベーパー

ナノベーパーIoTデバイス 湿度情報を無線で発信

●詳しくはQRコードより動画にアクセス! →

きめ細やかな 天候情報収集

リアルタイム・高精度な 気象情報提供

食糧生産の管理の効率化

●その他研究成果は、こちらから、YouTubeチャンネルにアクセス

木から生まれる夢の新素材 セルロースナノファイバー研究最前線

透明な紙が 私たちの未来社会に優しい変革をもたらす

紙のリノベーションによる  
新奇グリーンデバイスの創製

Renovation of Paper for Green Device Innovation

研究分野  
Department自然材料機能化  
Functionalized Natural Materials研究者  
Researcher古賀大尚  
H. Kogaキーワード  
Keywordセルロースナノファイバー、機能紙、グリーンケミストリー、グリーンエレクトロニクス  
cellulose nanofiber, functional paper, green chemistry, green electronics応用分野  
Application物質・光熱変換リアクター、サステナブルデバイス、健康診断  
reactor for material and photothermal conversion, sustainable electronic device, medical checkup

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

樹木セルロース繊維・紙や紙抄きといった伝統的な農学系材料・技法の長所を活用して、医・工学分野で注目される先端機能材料を創り出す異分野間の温故知新融合に取り組んでいます。

## 概要・特徴

伝統と先端を融合した「紙のリノベーション戦略= ①分子・材料設計+ ②ナノ-マイクロ構造設計」で、従来材料より優れた触媒・電子機能に加えて、紙特有のフレキシブル性・リサイクル性・生分解性も発現させることにより、機能性と環境調和性を両立した真のグリーンイノベーションを目指しています。

## 技術内容

## 【紙の反応器「ペーパーリアクター」】

●紙内部にナノ-マイクロ細孔構造を設計し、物質の効率輸送を実現する反応流路として応用することに成功しました。●紙内部のナノセルロース繊維表面に金属ナノ粒子を露出担持させる技術を確認し、高効率なフロー触媒反応や、太陽光-熱変換および海水の淡水化に成功しました。●現在、簡易・迅速・非侵襲健康診断への応用展開も進行中です。

## 【紙の電子デバイス「ペーパーエレクトロニクス」】

●紙に種々の電子ナノ材料を融合し、高性能・フレキシブル・皮膚親和性・生分解性の様々な電子デバイス素子を創出しました。●現在、ナノセルロースやナノキチン自体の半導体化、および、センサ、エネルギー変換、電磁波吸収等への応用も進行中です。



## 社会への影響・期待される効果

- ガラスや合成高分子ベースの先端材料よりも高性能なリアクターや電子デバイスを実現
- 紙特有のフレキシブル性・リサイクル性・生分解性・ディスプレイ性の発現にも成功
- 環境調和性と高機能性を両立させた真のグリーンケミストリー・エレクトロニクスに貢献

【論文 Paper】[1] ACS Nano, 16, 8630 (2022). [2] Chem. Eng. J., 450, 137943 (2022). [3] Chem. Mater., 34, 7379 (2022). [4] J. Mater. Chem. C, 10, 3712 (2022). [5] ACS Appl. Mater. Interfaces, 11, 15044 (2019). [6] ChemSusChem, 10, 2560 (2017). [7] NPG Asia Mater., 8, e310 (2016). [8] Adv. Mater., 27, 1112 (2015). [9] NPG Asia Mater., 6, e93 (2014). [10] Adv. Funct. Mater., 24, 1657 (2014).

## 【特許 Patent】

- [1] 特許6630091号  
[2] 特許6144982号  
[3] 特許5970915号  
[4] 特許5566368号

## 波長選択型有機太陽電池の開発

Development of wavelength-selective organic solar cells

研究分野  
Departmentソフトナノマテリアル  
Soft Nanomaterials研究者  
Researcher家 裕隆  
Y. Ieキーワード  
Keyword有機半導体材料、光・電子機能材料  
organic semiconducting materials, photo and electronic functional materials応用分野  
Application有機太陽電池、有機トランジスタ、有機フォトディテクター  
organic solar cell, organic transistor, organic photodetector

研究開発段階

基礎

実用化準備

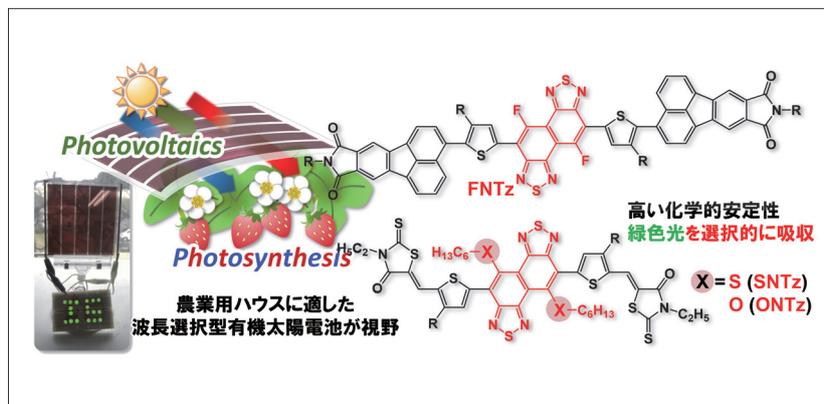
応用化

## 背景

分子の構造－物性－素子機能の相関を解明しながら、新規機能材料の創製を行っています。  
高い機能や新しい機能の創出、および、実用化を目標としています。

## 概要・特徴

- 高性能有機半導体材料開発の要件：  
電子受容性ユニットの組み込み
- 課題解決手段：  
フッ素原子を導入した「ナフトビスチアジアゾール (FNTz)」を開発
- 有機太陽電池のn型、p型半導体材料に活用し、性能向上を確認
- 光吸収波長を調節した材料開発により、波長選択性を付与した有機太陽電池が可能



## 技術内容

二置換ナフトビスチアジアゾールを有機太陽電池に組み込むことで発電効率が向上しました。  
これらのアクセプターは緑色光選択的な光吸収を持つため、波長選択型有機太陽電池が実現できます。

## 社会への影響・期待される効果

- 高性能有機太陽電池への応用。とりわけ、農業用ハウス搭載に向けた波長選択型有機太陽電池への応用。
- 熱活性化遅延蛍光の鍵中間体への応用。
- 高性能有機半導体材料開発も期待。

## 【論文 Paper】

- [1] ACS Sustainable Chem. Eng. 2023, 11, 1548.
- [2] J. Mater. Chem. A 2022, 10, 20035.
- [3] Adv. Energy Mater. 2020, 10, 1903278.
- [4] Adv. Energy Mater. 2018, 8, 1702506.
- [5] NPG Asia Mater. 2018, 10, 1016.
- [6] J. Mater. Chem. A 2017, 5, 19773.
- [7] J. Mater. Chem. A 2017, 5, 3932.
- [8] Chem. Mater. 2016, 28, 1705.

## 【特許 Patent】

- [1] 特許第 06141423 号 (2017/05/12)
- [2] 特許第 06004848 号 (2016/09/16)
- [3] 特許第 05987237 号 (2016/08/19)
- [4] 特許第 05954814 号 (2016/06/24)
- [5] 特許第 05881283 号 (2016/02/12)
- [6] 特許第 05792482 号 (2015/08/14)
- [7] 特許第 05643572 号 (2014/11/07)
- [8] 特許第 05342852 号 (2013/08/16)

研究分野  
Departmentソフトナノマテリアル  
Soft Nanomaterials研究者  
Researcher家 裕隆  
Y. Ieキーワード  
Keyword電荷輸送材料、光・電子機能材料、分子導線  
carrier-transporting materials, photo and electronic functional materials, molecular wire応用分野  
Application分子エレクトロニクス、有機エレクトロニクス  
molecular electronics, organic electronics

研究開発段階

基礎

実用化準備

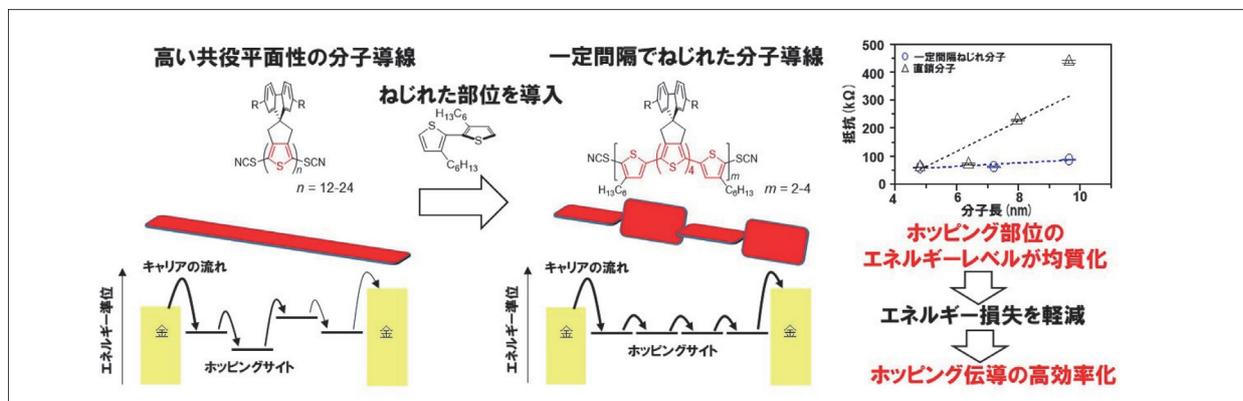
応用化

## 背景

分子レベルまで超微小化した分子エレクトロニクス実現のためには、高い電気伝導特性をもつ数ナノメートルスケールの分子導線の開発が不可欠です。分子内の長距離電気伝導において重要なホッピング伝導の高効率化の指針を得ることが、実用化に向けた重要な課題となっています。

## 概要・特徴

完全平面構造の分子導線に対して、一定間隔でねじれをもたせることで、分子内の分子内の電子準位（ホッピングサイト）が均質化し、電気伝導特性が向上することを明らかにしました。



## 技術内容

分子の長さが数ナノメートルスケール以上になると、正孔などのキャリアが分子内に局在し、ホッピングサイトを飛び移りながら移動していくホッピング伝導が主要なメカニズムとなります。(1)数ナノメートルスケール、(2)分子間相互作用を排除した完全被覆構造、(3)分子長の精密な制御、を兼ね備えた分子の有機合成を達成することで、「ホッピングサイトを均質に揃えることがホッピング伝導の効率化に有効」であることを実験的に初めて実証することができました。

## 社会への影響・期待される効果

- 高いホッピング伝導特性をもつ完全被覆構造の数ナノメートルスケールの分子導線が実現できます。
- 分子エレクトロニクス、有機エレクトロニクスに向けた、分子物性を活かした新機軸の分子開発が期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] J. Am. Chem. Soc. 2021, 143, 599. [4] J. Phys. Chem. Lett. 2015, 6, 3754.  
 [2] J. Phys. Chem. Lett. 2019, 10, 3197. [5] Chem. Eur. J. 2015, 21, 16688.  
 [3] J. Phys. Chem. Lett. 2019, 10, 5292. [5] Angew. Chem. Int. Ed. 2011, 50, 11980.

## 【特許 Patent】

- [1] 特許第4505568号  
(2010/05/04)

## 光電変換デバイスの高効率化

Transparent Solar Cell using Nanocrystals

研究分野  
Department金属有機融合材料  
Transcendental materials chemistry研究者  
Researcher坂本雅典  
M. Sakamotoキーワード  
Keyword赤外線エネルギー変換、窓ガラスとして利用可能な太陽電池、ナノ粒子  
Infrared light energy conversion, Transparent solar cell, Nanocrystal応用分野  
Application熱線遮蔽フィルム、建材一体可型太陽電池  
Heat shielding film, Building integrated photovoltaic (BIPV)

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

赤外線を選択的に吸収する透明な無機ナノ粒子を開発し、窓ガラスのような無色透明の太陽電池や不可視の赤外線センサーといったSF小説に出てくるようなデバイスの開発を行っています。

## 概要・特徴

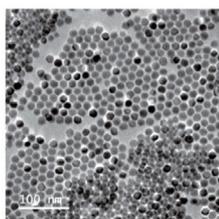
窓ガラスの代わりに使用できる無色透明な太陽電池の開発

## 技術内容

- 優れた熱線遮蔽能を有する新規ナノ粒子群の創成
- 赤外光で発電する無色透明な太陽電池の開発
- 太陽電池、光学式赤外線センサーなど優れた熱線遮蔽能を有する新規ナノ粒子群のデバイス化
- 新規ナノ粒子群の塗工技術（インクジェット、ロールtoロールなど）



ナノ粒子



太陽電池



街を森に!!

## 社会への影響・期待される効果

未利用エネルギー資源である赤外域の太陽光（熱線）を有効利用するために、熱線を選択的に吸収して電力に変換する透明な太陽電池（発電ガラス）の開発を進めています。発電ガラスは、①発電によるエネルギー生産効果に加えて、②熱線である赤外線を電力に変換する事に由来する省エネルギー効果（熱線遮蔽効果）を有するため、透明性を活かして窓ガラスの代替品として用いることで、省エネと発電の組み合わせで大きなCO<sub>2</sub>削減を実現できることが特徴です。「街を森に！」をスローガンに、発電ガラスを搭載したビル群がエネルギーを産み出す未来の都市の実現を目指します。

## 【論文 Paper】

- [1] Nat. Commun, 14 (2023) 4471. [2] Nat. Sustain, 5 (2022) 1092-1099. [3] Nat. Commun. 10 (2019) 406. [4] J. Am. Chem. Soc. 141, (2019) 2446-2450.

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2020-071711 [2] 特願2020-166375

# 金属有機構造体による環境課題解決とシリコン/黒鉛シート複合体を用いたリチウムイオン電池の創製

Metal organic frameworks for environmental remediation and fabrication of Si/graphite sheet anodes in Li ion batteries

研究分野  
Department

金属有機融合材料  
Metal organic material science

研究者  
Researcher

松本健俊  
T. Matsumoto

キーワード  
Keyword

金属有機構造体、吸着、分解、放出、リチウムイオン電池、シリコン切粉、黒鉛シート  
metal organic framework, adsorption, decomposition, release, Li ion battery, Si swarf, graphite sheet

応用分野  
Application

土壌改善、農業、緩効性施肥、金属有機構造体被膜、エネルギー貯蔵、電動移動体  
soil improvement, agriculture, controlled-release fertilizer, metal organic framework layer, energy storage, electric vehicle

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

有機フッ素化合物や農薬、産業廃棄物、過剰な施肥等による環境問題が、世界的に報道されています。低濃度でも健康被害や生態系破壊につながる可能性も指摘されています。リチウムイオン電池の高容量負極の材料として、シリコンが研究されています。充放電時の体積変化により、破壊されやすい欠点もあります。

## 概要・特徴

土壤中の化学物質の選択的除去・分解と、緩効性施肥が可能な金属有機構造体を探索します。シリコン切粉/極薄黒鉛シート複合体負極により、リチウムイオン電池の充放電特性が向上しました。

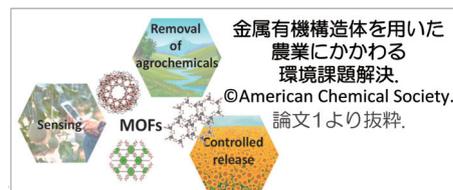
## 技術内容

- 金属有機構造体の安定性、吸着挙動や化合物の選択性を評価し、反応メカニズムを解明します。
- 金属有機構造体からの化合物の放出速度の制御法を研究します。
- 金属有機構造体の吸着化学物質の分解方法を探索します。
- フレーク状のシリコン切粉と極薄黒鉛シートを溶媒中で分散、ろ過し、複合体を作製します。
- シリコン/極薄黒鉛シート複合体負極を十分に充電し、放電容量を制限することで、サイクル寿命が向上します。
- 厚いシリコン負極を用い、高容量・高電流密度での充放電と、電池の軽量・低コスト化が可能です。

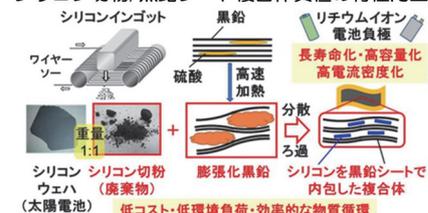
## 社会への影響・期待される効果

金属有機構造体の利用について、水資源や農業分野での報告例が少なく、今後、食料・環境問題を解決するために、より多くの研究成果が必要です。これらの分野において、安心・安全な生活環境の実現が期待されています。簡便な化学物質の検出技術の研究・開発も加速しています。

シリコン切粉は、世界で年間約10万トンも発生する廃材として扱われましたが、ワイヤーソーの砥粒固定法や冷媒が改良され、水洗のみで利用可能です。極薄黒鉛シートは、膨張化黒鉛や黒鉛シートの副産物を分散し、室温でシリコンと複合化でき、循環型経済に寄与します。有機構造体被膜のシリコン負極への効果も検証します。



## シリコン切粉/黒鉛シート複合体負極の特性向上



電極	理論容量 (mAh/cm <sup>2</sup> )	面積容量 (mAh/cm <sup>2</sup> )	サイクル	電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )
nanoSi/FLG	8.8	5.2~4.2	120	2.4
Si/黒鉛シート	10	4	≥75	5
	2	0.8	901	1

## 【論文 Paper】

- [1] ACS Appl. Mater. Interfaces 14 (2022) 16983. (DOI: 10.1021/acsami.2c00615)
- [2] J. Electrochem. Soc. 168 (2021) 020521-1-14. (DOI: 10.1149/1945-7111/abdd7e)
- [3] J. Alloys Compd. 720 (2017) 529-540. (DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.05.228)
- [4] J. Electrochem. Soc. 164 (2017) A995-A1001. (DOI: 10.1149/2.0361706jes)
- [5] Sci. Rep. 7 (2017) 42734-1-10. (DOI: 10.1038/srep42734)

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2020-002263.

## 殺菌作用を有する二次元高分子材料の開発

Development of Two-dimensional Polymeric Materials with Bactericidal Activity

研究分野  
Department励起材料化学  
Material Excitation Chemistry研究者  
Researcher藤塚 守 小阪田泰子  
M. Fujitsuka Y. Osakadaキーワード  
Keyword二次元高分子、光増感剤  
two dimensional macromolecules, photosensitizers応用分野  
Application光触媒、殺菌剤、人工光合成  
photocatalysts, disinfectant, artificial photosynthesis

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

ポルフィリンに代表される光増感剤などからなる光機能性材料は、細菌などを不活性化するための最も有望な材料の一つである。中でも、高分子に分類される光機能性有機材料は、光増感剤としてしばしば用いられている。有機高分子材料の光増感剤の中でも、共有結合性有機フレームワーク (COF) は、細菌を不活性化する光触媒として有望であり、実用化に向けてより高活性な光増感作用をしめす有機高分子材料の開発が望まれていた。

## 概要・特徴

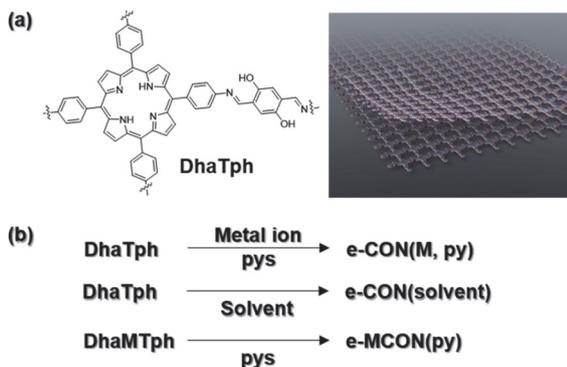
本研究では、ポルフィリンCOFを剥離することで、ディスク状の高分子材料の共有結合性有機ナノディスク (CON) を合成し、CONはCOFに比べ細菌に対してより優れた光増感作用として高い殺菌活性を示すことを明らかにした。

## 技術内容

- 簡易な方法で、ディスク状の形状をしたCONを合成できることがわかった。
- 合成したポルフィリンCONは、オリジナルのCOFと比較して、光照射により10倍以上の抗菌活性を示すことがわかった。
- 助触媒存在下で、合成したポルフィリンCONは、COFに比べ、光照射により最大で7倍の水素を発生する光増感剤としても機能することが分かった。

## 社会への影響・期待される効果

今回作製したポルフィリンCONは、大腸菌の場合、一重項酸素が菌膜の破裂という致命的なダメージを与えていることがわかり、これを用いれば大腸菌のみならず、一般的な殺菌剤としての利用が期待できる。また、光機能に応じた二次元ポリマーの新しい作製方法を複数示し、このディスク状高分子が人工光合成を目指した光触媒反応に使用できる光機能性材料であることを示した。



## 【論文 Paper】

- [1] Commun. Chem. 2 (2019) 55.
- [2] [2] Appl. Surf. Sci. 513 (2020) 145720.
- [3] ACS Omega 7 (2022) 7172.
- [4] Surf. Interf. 25 (2021) 101249. (Review)

研究分野  
Department励起材料化学  
Material Excitation Chemistry研究者  
Researcher藤塚 守 Lu Chao  
M. Fujitsuka L. Chaoキーワード  
Keyword光機能材料、励起イオン種、時間分解分光、光化学  
photo-functional materials, excited ion species, time-resolved spectroscopy, photochemistry応用分野  
Application太陽電池、半導体デバイス、光センサー、光触媒  
solar cells, semiconductor devices, optical sensors, photocatalysts

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

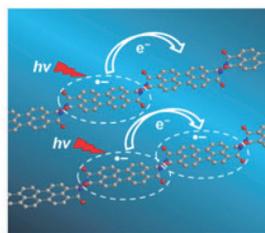
単一電子移動などによる生じたイオン種は光化学や材料化学を含む多くの分野において重要な中間反応体です。一方、これらのイオン種を光励起すると励起イオン種が生成します。励起状態のイオン種は、エネルギー増幅から酸化還元能力が強化されたため、極めて反応性の高い化学活性種として扱われています。これらの中間体は新しい反応への有力な前駆体として、関連する様々な光機能分子材料の伝導過程に寄与することが可能になります。

## 概要・特徴

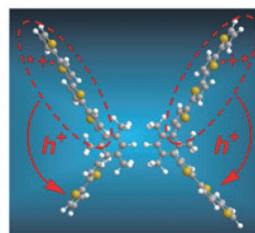
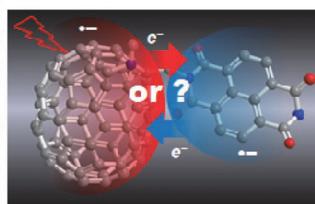
励起イオン種は極めて強い酸化還元力を持つ高度活性種であり、高い所有電位から新規化学反応の実現により、「スーパーリダクタント・スーパーオキシダント」と呼ばれ、光エネルギー変換材料への応用展開が期待できます。

## 技術内容

幅広い時間精度を狙えるレーザーフラッシュフォトリシスなどの手法を用いた超高速分光により、励起ダイナミクス・電荷移動過程をリアルタイムで観察し、さらには解析・制御することも可能になります。研究内容はレーザーを使用した時間分解分光を主な検出方法とし、高度活性種である多種多様な励起イオン中間体に関する励起状態・電荷移動メカニズムの解明とこれらの還元・酸化反応のスーパープレカターに関する新たな分野の確立により、新規伝導材料システムへの実用化開発であります。



励起ラジカルアニオン



励起ラジカルカチオン

## 社会への影響・期待される効果

未開拓の励起イオン種からの反応は、最も豊富な再生可能エネルギーとしての太陽光をより効率的に使うための新しいルートであり、エネルギー危機の緩和などに貢献できるように期待される所であります。

## 【論文 Paper】

- [1] J. Phys. Chem. B 119 (2015) 7275-7282  
 [2] J. Phys. Chem. C 120 (2016) 12734-12741  
 [3] J. Phys. Chem. C 121 (2017) 649-655

- [4] J. Phys. Chem. C 121 (2017) 4558-4563  
 [5] J. Phys. Chem. C 122 (2018) 13385-13390

## 不斉水素借用反応の開発と天然化合物の触媒的不斉合成

Asymmetric hydrogen borrowing reaction and application for the catalytic asymmetric synthesis of natural products

研究分野  
Department総合解析センター  
Comprehensive Analysis Center研究者  
Researcher鈴木健之  
T. Suzukiキーワード  
Keywordイリジウム、不斉触媒、酸化反応  
iridium, asymmetric catalyst, oxidation応用分野  
Applicationファインケミカルズ、医薬品、農薬、香料  
fine chemicals, medicines, agrochemicals, perfumery

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

酸化、還元は合成化学の基盤技術であり、これらに関わる新規不斉触媒反応の開発により、環境負荷の低いグリーンプロセスの構築を目指しています。

## 概要・特徴

酸化や還元プロセスに関わる新規不斉触媒反応を用いて有用天然化合物の高効率触媒的不斉合成を行います。

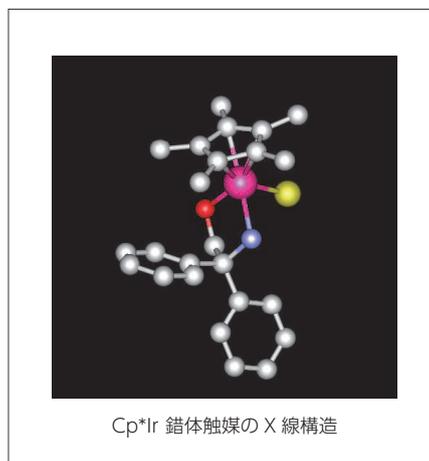
- 対称化合物の非対称化による複数のキラル中心を有する有機化合物を合成
- 高原子効率の化学変換による環境調和型触媒反応を実現

## 技術内容

- 不斉金属錯体の合成
- 不安定中間体の構造決定
- 光学異性体の分離、純度決定
- 有機化合物の構造決定
- 光学異性体の絶対配置決定

## 社会への影響・期待される効果

- 従来にないレドックスニュートラルな不斉触媒反応の実現
- 有用天然化合物の高効率合成



## 【論文 Paper】

- [1] Suzuki, T., Chem. Rev. 2011, 111, 1825-1845.
- [2] Suzuki, T., Desymmetrization of meso diols. In Comprehensive Chirality, Yamamoto, H.; Carreira, E. M., Eds. Elsevier 2012; Vol. 5, pp 502-533.
- [3] Ismiyanto; Kishi, N.; Adachi, Y.; Jiang, R.; Doi, T.; Zhou, D.-Y.; Asano, K.; Obora, Y.; Suzuki, T.; Sasai, H.; Suzuki, T., RSC Adv. 2021, 11, 11606-11609.
- [4] Jiang, R.; Ismiyanto; Abe, T.; Zhou, D.-Y.; Asano, K.; Suzuki, T.; Sasai, H.; Suzuki, T., J. Org. Chem. 2022, 87, 5051-5056.

シンクロトロン放射光角度分解光電子分光による  
固体電子の様々な相互作用の検出

Probing of the electron-interaction in solids by means of angle-resolved photoelectron spectroscopy with synchrotron radiation

研究分野  
Department励起物性科学  
Excited solid-state dynamics研究者  
Researcher田中慎一郎  
S. Tanakaキーワード  
KeywordARPES, シンクロトロン放射光、2次元物質、電子格子相互作用  
ARPES, synchrotron radiation, 2D-material, electron-phonon interaction応用分野  
Application新機能デバイス開発  
development of new-functional devices

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

固体内の電子の静的な性質は、平均化したポテンシャル中での電子の波動方程式を解くことで理解できます。しかし、実際の固体の性質、特にデバイスとしての応用を考えた時重要な電子の動的な性質は、格子の運動による擾乱（電子格子相互作用；図参照）や、光（電磁波）による励起など、さまざまな相互作用によって決定されます。

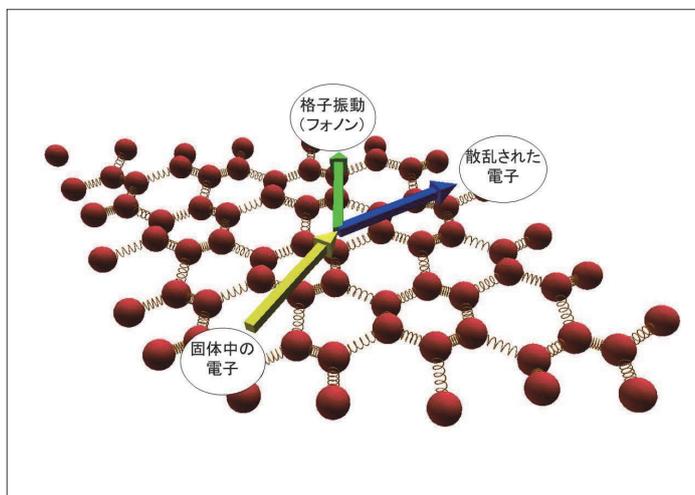
## 概要・特徴

最先端の計測技術を用いて、グラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイドなど低次元系物質電子のダイナミクスを研究し、新機能物質開発のための指針を打ち立てます。

## 技術内容

固体内電子の相互作用を分光学的に調べることは、固体電子物性の理解に役立ち、将来の新機能デバイス開発のためのしっかりとした指針の形成につながります。現在は、興味深い低次元物性を示すため注目を集めるグラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイドなどの層状物質について研究しています。これらは新奇デバイス候補としても有力です。

角度分解光電子分光 (ARPES) は、電子の運動量とエネルギーを直接検出できる非常に優れた実験手段です。この光源として最もふさわしいシンクロトロン放射光施設を利用し、多くの他機関の研究者とも連携して研究を進めています。さらに、高分解能電子エネルギー損失分光 (HREELS) や、電子コインシデンス分光法 (EECOS) など、先進的なさまざまな電子分光法も用いています。



## 社会への影響・期待される効果

- 物質の電子物性における基礎過程の解明
- 新機能物質開発のための指針の確立

## 【論文 Paper】

- [1] S. Tanaka, M. Matsunami, S. Kimura, Sci. Rep. 3, 3031 (2013).
- [2] I. Suzuki, Z. Lin, S. Kawanishi, K. Tanaka, Y. Nose, T. Omata, S. Tanaka, Phys. Chem. Chem. Phys., 24, 634 (2022).
- [3] T. Terasawa, K. Matsunaga, N. Hayashi, T. Ito, S. Tanaka, S. Yasuda, H. Asaoka, Pys. Rev. Matt. 7, 014002014002(2023).

## 動作中のナノギャップ電極の表面観察

Atomic scale analysis of the surface structure in working nanogap electrodes

研究分野  
Departmentナノ構造・機能評価  
Nanocharacterization for  
Nanostructures and Functions研究者  
Researcher末永和知 吉田秀人 岩清水千咲  
K. Suenaga H. Yoshida C. Iwashimizuキーワード  
Keyword金属ナノ構造、ナノギャップ、環境制御型透過電子顕微鏡  
metal nanostructure, nanogap, environmental transmission electron microscopy (ETEM)応用分野  
Application表面化学、ナノデバイス  
surface chemistry, nano device

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

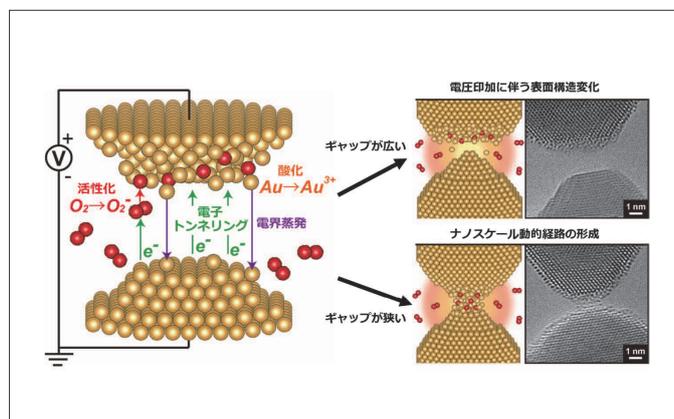
固体表面の構造は電子励起によって変化するが、その反応メカニズムの解明には実時間、実空間、実環境での観察が必要となります。高い空間分解能と時間分解能を有する環境制御型透過電子顕微鏡を用いることにより、動作中の金属ナノギャップ電極表面の原子スケールの構造変化をその場観察で捉えることができます。

## 概要・特徴

環境制御型透過電子顕微鏡と高速カメラを使用することにより、動作中の金属ナノギャップ電極において、電極表面の構造が原子スケールで連続的に変化する現象を初めて可視化しました。

## 技術内容

金は化学的に不活性な金属であり電極材料として広く利用されてきましたが、実際に動作中の電極表面の原子スケールの構造はこれまで明らかにされていませんでした。今回、電子顕微鏡内で金ナノギャップ電極に電圧を印加し酸素ガスを導入することで、正極表面の結晶構造が乱れることを明らかにしました。さらにナノギャップ間を金原子が移動する様子をその場で可視化することに成功し、その連続的に変化する構造が金の酸化物であることを解明しました。酸素ガス中における異方的な構造変化がトンネル電子とガス分子との反応によって引き起こされることを世界で初めて明らかにした成果です。



## 社会への影響・期待される効果

本研究成果により、ナノギャップ電極におけるトンネル電子とガス分子との反応メカニズムが解明され、この反応を利用した新たなナノ材料の開発に繋がると期待されます。

また、金ナノギャップ電極だけでなく、ナノデバイスに用いられる様々な金属電極表面の反応メカニズムを解明する手がかりになり、実環境ガスや実用電極材料を選択することで、電子を利用した新たなナノ材料の開発に繋がると期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] T. Tamaoka, H. Yoshida, and S. Takeda, RSC Advances 9 (2019) 9113-9116.
- [2] T. Tamaoka, R. Aso, H. Yoshida, and S. Takeda, Nanoscale 11 (2019) 8715-8717.
- [3] R. Aso, Y. Ogawa, T. Tamaoka, H. Yoshida, and S. Takeda, Angew. Chem. Int. Ed. 58 (2019) 16028-16032.

## レーザーと量子ビームによる材料の機能創製

Functionalization of materials by lasers and quantum beams

研究分野  
Department量子ビーム物理  
Beam Physics研究者  
Researcher佐野雄二 水田好雄 佐野智一 細貝知直  
Y. Sano Y. Mizuta T. Sano T. Hosokaiキーワード  
Keywordパルスレーザー、機能性付与、寿命延長  
pulsed laser, functionalization, life extension応用分野  
Application材料加工、表面処理、医療、非破壊検査  
material processing, surface treatment, medical application, nondestructive testing

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

高出力パルスレーザーの超小型化により、材料の改質や機能創製、検査・分析などへ応用が進んでいます。特に、ピーニングは圧縮残留応力の導入により金属部品や構造物の疲労寿命を延長できるため、超小型レーザーの適用により場所を選ばない応用が期待できます。

## 概要・特徴

持ち運びができるレーザーピーニング装置を開発し、高張力鋼・チタン合金・アルミニウム合金などの疲労特性の改善を確認しました。屋外でも使えます。

## 技術内容

- パルス幅の短いレーザーを使用することにより、小さいレーザー出力でも疲労寿命を延長できることを実証
- 主な金属材料やセラミックスの残留応力および機械的特性の改善効果を確認
- レーザーの冷却方法を工夫することにより、100 Hzの高繰返し運転を実現。ピーニング処理時間を短縮
- 小型の協働ロボットと組合せ、持ち運びができるレーザーピーニング装置を実現。インフラへの適用も可能
- ピンフォーミング効果による曲面の成型や形状の矯正、表面のクリーニングも可能

## 社会への影響・期待される効果

開発したレーザーピーニング装置は、従来の装置と比較して桁違いに小型・軽量であり、金属部材や溶接部の疲労特性の改善、SCC(応力腐食割れ)の抑制、積層造形した構造物の高機能化、橋梁・発電設備・航空機などの社会インフラの保守・寿命延長への適用が期待できます。



超小型レーザー



開発したレーザーピーニング装置

従来のレーザーピーニング装置  
<https://zal.aero/news/lsp-days-2019-der-2-europaeische-laser-shock-peening-workshop/>

## 【論文 Paper】

- [1] Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 121 (1997) 432-436
- [2] Mater. Sci. Eng. A 417 (2006) 334-340
- [3] J. Laser Appl. 29 (2017) 012005
- [4] Metals 11 (2021) 1716
- [5] Forces in Mech. 7 (2022) 100080
- [6] Shot Peener 37-2 (2023) 6-12, Spring 2023

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2020-539464「金属積層造形装置及び金属積層造形方法」

フレキシブル有機集積回路を活用した  
ウェアラブルデバイスの研究開発

Development of wearable devices utilizing flexible organic integrated circuits

研究分野  
Department先進薄膜機能物性  
Advanced Thin-Film Functional Properties研究者  
Researcher植村隆文  
T. Uemuraキーワード  
Keywordフレキシブルエレクトロニクス、有機エレクトロニクス、ウェアラブルセンサ  
Flexible electronics, Organic electronics, Wearable sensors応用分野  
Applicationウェアラブルデバイス、ウェアラブルバイオセンサー、IoTセンサ  
Wearable devices, Wearable biosensors, IoT sensors

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

フレキシブル有機エレクトロニクス技術を活用した新しい生体センシングデバイスの実用化に向けた研究開発に取り組んでいます。超軽量・超薄型のフレキシブル有機電子回路技術を用いて、脳波、心電、筋電、生体代謝物計測をはじめとするバイタル・健康関連情報の常時取得が可能なウェアラブルセンサ・バイオセンサの実用化を目指しています。

## 概要・特徴

「超軽量・超薄型」というフレキシブル有機電子回路の特徴により、装着感の非常に少ない新しいウェアラブルデバイスが実現し、生体情報の常時モニタリングが可能となります。日常的・長期の生体情報の取得・解析による、未病・フレイルの早期発見と予防的治療実現のためのセンサデバイスの開発を行っています。

## 技術内容

- 「超軽量・超薄型」という特徴を持つフレキシブル有機トランジスタ回路の製造技術・集積化技術を有しています。
- フレキシブル有機トランジスタによる差動増幅回路の実現により、ハムノイズや生体の動きによるノイズを除去することが可能な低ノイズ心電計測技術を有しています。
- 有機半導体/絶縁体界面の制御により、脳波などに代表される $\mu\text{V}$ レベルの微小生体信号を増幅・検出可能なフレキシブル・低ノイズ信号増幅回路技術を有しています。
- 運動中の汗などの生体分泌物をリアルタイムに採取し、NaやKなどのイオン濃度を計測する技術を有しています。

## 社会への影響・期待される効果

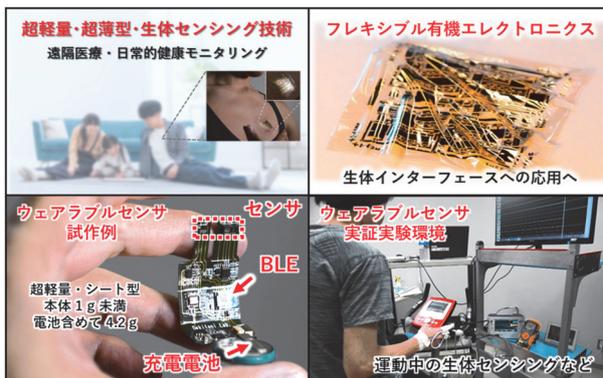
フレキシブル有機エレクトロニクス技術は、無意識下のウェアラブル生体計測を実現するためのデバイス技術として、遠隔医療・デジタルヘルスケアで実現する持続的な社会の構築を目指した研究開発が行われています。

また、生体計測だけではなく、ロボティクス、モーションセンシングに活用されるセンサシステムとして、温度、圧力、歪み、磁気など、フレキシブルなシート状のセンサシステムを貼付けるだけで様々な物理量の検出を可能とする新しい世界観の実現が期待されます。

## 論文 Paper

- |   |  |
|---|--|
| [1] Adv. Electron. Mater. 1-8 (2023) 2201279. | [6] Nat. Commun. 12 (2021) 2399.                 |
| [2] Adv. Electron. Mater. 9-9 (2023) 2201333. | [7] Sci. Adv. 6 (2020) eaay6094.                 |
| [3] ACS Appl. Electron. Mater. 4 (2022) 6308. | [8] ACS Appl. Mater. Interfaces 11 (2019) 41561. |
| [4] Adv. Mater. 33 (2021) 2104446.            | [9] Nat. Electron. 2 (2019) 351.                 |
| [5] Org. Electron. 96 (2021) 106219.          | [10] Sci. Rep. 9 (2019) 9200.                    |

【特許 Patent】 [1] 特許第6629887号「生体信号計測装置」



## 地域スマートシティにむけた先進材料とセンサシステムの共創

Co-creation of Advanced Materials and Sensor Systems toward Regional Smart Cities

**研究分野**  
Department

先進材料実装  
Advanced Materials and Implementations

**研究者**  
Researcher

荒木徹平 阿部岳晃  
T. Araki T. Abe

**キーワード**  
Keyword

ナノ・マイクロ材料、柔軟エレクトロニクス実装、センサシステム  
Nano & Micro Materials, Flexible Electronics Packaging, Sensors & Systems

**応用分野**  
Application

次世代ヘルスケア、農業IoT、建設テック  
Next Generation Healthcare, Agriculture IoT, Construction Tech

**研究開発段階**

基礎

実用化準備

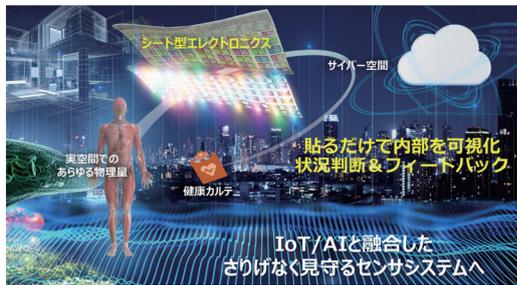
応用化

材料  
Material

**背景**

最近、世界では、温室効果ガスや自然災害の増加、構造物老朽化、社会情勢の変化、少子高齢化(人材不足)などの社会課題を抱えています。それら社会課題解決に向けて、ゼロエミッション、レジリエント、アダプティブ、サーキュラーといった機能があらゆるものに希求されています。同時に、Internet of Things(IoT)等の技術を活用し、持続可能な社会を創出するためのスマートシティ事業が国内外で始まりつつある状況です。

**概要・特徴**

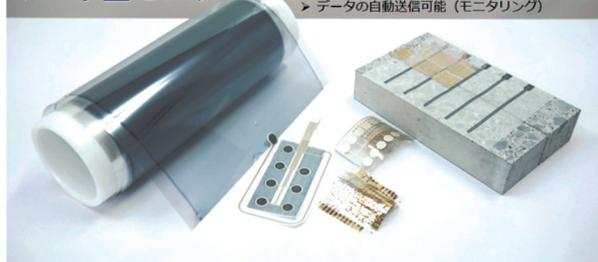


地域住民が安全・安心に暮らせる持続可能なまちづくりへの貢献を目指し、地域社会に潜む課題を解決するための先進材料や電子デバイスの基礎研究から、IoTなどを活用した“さりげなく見守るセンサシステム”を創出するための応用研究まで行っています。センサシステムは「信頼される人とデジタルのインターフェース」として機能し、地域を支える人・ファシリティ・自然を対象としたヘルスケアを実現します。研究推進時には、あらゆるステークホルダーと連携して、地域スマートシティへのテクノロジーの実装や、新たな価値づくりをゼロから共創することも試みています。

**技術内容**

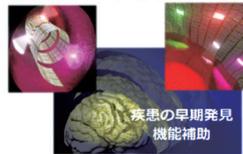
人・ファシリティ・自然などとデジタル空間の翻訳機となるシート型センサは、柔軟性や透明性が高いため、対象物表面に貼りついた状態で「違和感・装着感なく、対象物を傷つけることなく」内部の特徴量を抽出できます。

**シート型センサ**



- 薄い、柔らかい、軽い、透明、どこにでも設置可
- 電位、歪み、温度等の複合データ取得可能
- データの自動送信可能(モニタリング)

**医療・ヘルスケアセンサ**



**農業・食品センサ**



**構造物センサ**



価値創出に向けたKey Words

- ✓フレキシブルエレクトロニクス
- ✓IoTセンサシステム・ネットワーク
- ✓長寿命材料・デバイス・システム
- ✓印刷形成

軽量・薄型 → 省資源、印刷 → 低コスト、自律型センサ → 省電力



**社会への影響・期待される効果**

シート型センサは、微小な電気信号処理を検出できるため、人、農作物、インフラ構造物などにおける異常の早期検知が可能となります。また、自然な状態での計測を行って得た結果をクラウドで共有することにより、リアルタイムでの状況判断や行動につなげるような効率化も達成できます。

**【論文 Paper】**

- [1] Advanced Materials, Early View (2024) 2309864
- [2] Advanced Materials, Early View (2023) 2304048
- [3] Advanced Science, 10 (2022) 2204746
- [4] Advanced Materials Technologies, 7 (2022) 2200362

**【特許 Patent】**

- [1] 特許第6889941号 生体信号計測装置
- [2] 特許第6865427号 電極シート及びその製造方法
- [3] 特許第6832535号 電極シート

Research map



研究分野  
Departmentフレキシブル3D実装協働研究所  
Flexible 3D Systemintegration Laboratory研究者  
Researcher菅沼克昭 陳 伝彤 張 政 末武愛士  
K. Suganuma C. Chen Z. Zhang A. Suetake  
謝 明君 劉 洋 趙 帥捷  
M.-C.Hsieh Y. Liu S. Zhaoキーワード  
Keywordエレクトロニクス実装、パワーエレクトロニクス、接合・接着、フレキシブル、ポスト5G、高密度実装  
electronics packaging, power electronics, interconnection, flexible, beyond 5G応用分野  
Applicationパワーエレクトロニクス、フレキシブルデバイス、ポスト5G半導体高密度実装  
power electronics, flexible devices, post 5G advanced semiconductor, 3D interconnection

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

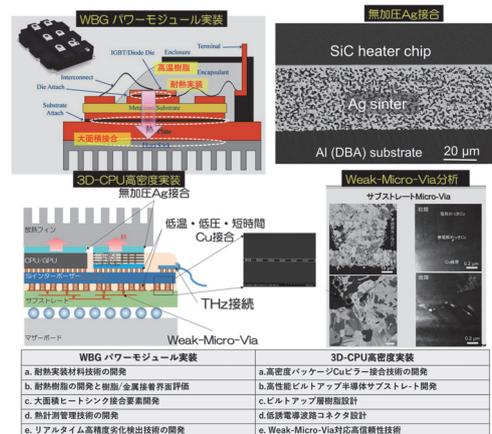
近未来先端半導体は、車載機器からポスト5GのAI/IoT領域全ての電子機器に普及する。そのエッジからデータセンターまでを支える実装技術は、日本の高度な材料・製造技術と信頼性技術を必要とする。F3D(フレキシブル3D実装協働研究所)では、WBGパワーエレクトロニクス、ポスト5G/先端AI機器の3D高密度実装の開発をオープンなプラットフォームにおいて推進しています。

## 概要・特徴

金属焼結接合を新たに提案し、WBGパワーと先端半導体実装で世界の物造りの流れを導いている。それぞれに学術的基礎を示すことで、世界を納得させる信頼性の高い技術実現を目指しています。

## 技術内容

- WBGパワーエレクトロニクス実装に幅広く取り組み、世界初の無加圧銀焼結接合の提案、DBA基板、ヒートシンクとの大面積接合開発などを提案しています。
- 先端電子機器で大きな課題となる熱問題を解決するため、新材料と計測技術を開発提案し、デジュール、デファクトとして国際標準化を目指しています。
- 3D高密度実装で大きな課題となっているマイクロビアの「隠れた脅威」現象の解明から、「Mooreの法則」の限界を超えるため、ポスト5G/AI実現に必須の先端半導体高密度実装技術を開発しています。
- 接合の基礎科学から樹脂/金属接着技術と劣化分析技術の再開発を目指し、産業界で必要な要素技術の基礎を提供していきます。



## 社会への影響・期待される効果

AI/IoT更には電気自動車の自動運転が拡大するこれからの世界で、日本が得意とする摺り合わせの物造り基礎を証明・構築し、「絶対に壊れない」機器を製造するためのノウハウを蓄積することで、日本の物造り産業の糧とする。決して過剰品質を日本製品の特徴とするのではなく、IECやISOで開発技術・基準を国際標準化することで、国際ビジネスの基本的な流れを導きます。

## 【論文 Paper】

- [1] Composites Part B: Engineering, 254, (2023) 110562.
- [2] Journal of Materials Research and Technology 26, (2023) 1079-1093.
- [3] Journal of Science: Advanced Materials and Devices 8 (3), (2023) 100606.
- [4] SiC/GaN パワー半導体の実装と信頼性評価技術、日刊工業新聞社 (2014.12).
- [5] Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging - 1st Edition, Elsevier(2014)

## 【特許 Patent】

- [1] US Patent App. 17/595,826, 2022
- [2] 特願2016-213000 「接合構造体の製造方法」