



# 研究 紹介

リサーチ 2023

RESEARCH  
2023  
SANKEN,  
OSAKA UNIVERSITY



OSAKA UNIVERSITY  
**SANKEN**

# 研究・技術シーズ 目次

1 対話を通じて知識を獲得する対話システム	情報
2 小型マイクロフォンアレイを使った音源分離・定位	情報
3 犯罪捜査支援のためのマルチモーダル生体認証による鑑定システム	情報
4 コンピューショナルフォトグラフィ	情報
5 適応能力を持つコンピュータ技術の開発	情報
6 時空間データからの知識発見と予測	情報
7 ビッグデータからの推定・予測・知識発見	情報
8 計測インフォマティクスによる革新的先端計測の実現	情報 解析
9 リアルタイム予測システム	情報
10 時系列テンソルからの多角的特徴抽出	情報
11 第一原理電子状態計算による固体物性・材料機能の予測	材料
12 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	材料
13 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	材料
14 シリコン基板中への空洞形成	材料
15 スピンひずみゲージの開発	材料
16 ナノ磁性変調構造を用いた人工カイラルスピン構造の創成	材料
17 電界制御量子ドットを使った量子中継器開発	材料
18 量子ビットのシャトリング技術の開発	材料
19 機能性酸化物を用いた新奇ナノデバイス創製	材料
20 強相関電子系金属酸化物の精密3次元ナノ構造創製	材料
21 低次元ナノ構造酸化物の構造・機能チューニング	材料
22 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	材料
23 次世代二次電池の実現に向けた新規電解液材料の開拓	材料
24 電気化学反応のリアルタイム可視化技術開発	材料
25 電子デバイス用セルロースナノファイバー材料の開発	材料
26 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	材料
27 波長選択型有機太陽電池の開発	材料
28 数ナノメートルスケールの分子導線の開発	材料
29 金属有機構造体による環境課題解決	材料
30 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負極の創製	材料
31 殺菌作用を有する二次元高分子材料の開発	材料
32 光機能材料における励起イオン種の応用開発	材料
33 自動精密有機合成を志向した機械学習による反応条件最適化	材料
34 二重活性化型不斉触媒の開発とキラルビルディングブロックの創出	材料
35 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	材料
36 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	材料 解析
37 動作中のナノギャップ電極の表面観察	材料 解析
38 機能中の触媒表面ダイナミクス解析	解析
39 極短パルス電子線によるダイナミクス計測	解析
40 超高速パルス電子顕微鏡	解析
41 量子ビームによる材料の反応解析	解析
42 量子ビームを用いた極限状態下の誘起反応化学	解析
43 レーザープラズマ駆動高エネルギー電子加速の研究開発	解析 医療
44 レーザーと量子ビームによる材料の機能創製	材料
45 超高感度ナノポアウイルスセンサー	バイオ 解析
46 1分子量子シークエンサー	バイオ
47 化学発光タンパク質を利用したオンサイト検出法の開発	バイオ
48 蛍光タンパク質を用いた生理機能破壊ツールの開発	バイオ
49 ヒト嗅覚システムを再現した匂いセンサーの開発	バイオ
50 多剤耐性細菌に有効な情報伝達阻害型薬剤の開発	バイオ 医療
51 遺伝子の迅速検査技術	バイオ 医療
52 核酸標的低分子創薬基盤技術開発	バイオ 医療
53 エピジェネティクスの化学的制御に基づいた医薬品創製	バイオ 医療
54 標的タンパク質分解誘導剤の創製	バイオ 医療
55 細菌薬剤排出ポンプの機能と制御に関する研究	バイオ 医療
56 脂溶性生理活性物質の輸送体の同定と輸送体を標的とした創薬	バイオ 医療
57 nmスケール造形技術を駆使したナノ機能材料開発とデバイス展開	材料
58 先進材料実装による印刷デバイスの開発	材料
59 先端高密度3D実装材料・プロセス・信頼性評価技術開発	材料
60 KOBELCO未来協働研究所	情報
61 シリコン製剤の創製方法とその物性の解明	材料 医療
63 産研研究分野全体のSDGsマップ	

# Contents

- 1 Dialogue Systems Acquiring Knowledge **Information**
- 2 Sound source separation and localization with small microphone array **Information**
- 3 Multi-modal Biometric Verification System for Supporting Criminal Investigation **Information**
- 4 Computational Photography **Information**
- 5 Highly Adaptive Computer Technologies **Information**
- 6 Knowledge Discovery and Prediction from Spatio-Temporal Data **Information**
- 7 Estimation prediction and knowledge discovery from big data **Information**
- 8 Innovative measurement technology using measurement informatics **Information** **Analysis**
- 9 Real-time forecasting system **Information**
- 10 Multi-aspect mining of time-series tensor **Information**
- 11 First-principles prediction for material property and functionality **Material**
- 12 Application of topological data analysis and machine-learning for materials science **Material**
- 13 Sheet-type Large-area Sensor Systems utilizing IoT and AI **Material**
- 14 Void Formation in Si Substrates **Material**
- 15 Development of spintronics strain gauge **Material**
- 16 Formation of chiral spin structure based on nano-scale modulation of magnetic property **Material**
- 17 Development of quantum repeaters using electrically-controlled quantum dots **Material**
- 18 Development of a semiconductor spin qubit transfer **Material**
- 19 Fabrication of novel devices based on functional oxide materials **Material**
- 20 Fabrication of 3D nanostructures based on strongly correlated transition metal oxides **Material**
- 21 Architecture and Function Tuning for Low-dimensional Nanostructured Oxides **Material**
- 22 Development of Multitask-type Advanced Ceramic-based Composites with Integrated Functions **Material**
- 23 New liquid electrolyte materials for next-generation batteries **Material**
- 24 Development of Operando Analysis Tool for Electrochemical Devices **Material**
- 25 Developments of cellulose nanofiber materials for electronic device **Material**
- 26 Renovation of Paper for Green Device Innovation **Material**
- 27 Development of wavelength-selective organic solar cells **Material**
- 28 Development of several-nanometer-scale molecular wire **Material**
- 29 Metal organic frameworks for environmental remediation **Material**
- 30 Fabrication of anodes with Si/graphite sheet composites in Li Ion batteries **Material**
- 31 Development of Two-dimensional Polymeric Materials with Bactericidal Activity **Material**
- 32 Application of excited ion species in photo-functional materials **Material**
- 33 ML-assisted Conditions Screening Toward Automated Organic Synthesis **Material**
- 34 Development and Application of Chiral Dual Catalysts **Material**
- 35 Asymmetric hydrogen borrowing reaction and application for the catalytic asymmetric synthesis of natural products **Material**
- 36 Probing of the electron-interaction in solids by means of angle-resolved photoelectron spectroscopy with synchrotron radiation **Material** **Analysis**
- 37 Atomic scale analysis of the surface structure in working nanogap electrodes **Material** **Analysis**
- 38 In situ observation of active nanostructures in solid catalysts under reaction environments **Analysis**
- 39 Investigation of reaction kinetics induced by ultra-short electron beams **Analysis**
- 40 Ultrafast electron microscope with relativistic femtosecond electron pulses **Analysis**
- 41 Analysis of reactions induced in materials using quantum beam **Analysis**
- 42 Study on radiation induced chemical reactions at extreme conditions **Analysis**
- 43 R&D on laser-plasma-driven electron acceleration **Analysis** **Medical**
- 44 Functionalization of materials by lasers and quantum beams **Material**
- 45 Ultra-sensitive nanopore virus sensor **Bio** **Analysis**
- 46 Single molecule DNA sequencer **Bio**
- 47 Development on-site investigation system by chemiluminescent proteins **Bio**
- 48 Fluorescence protein based inactivation tool for physiological function **Bio**
- 49 Development of odor sensor mimicking human olfactory system **Bio**
- 50 Development of antibiotics targeting signal transduction of multi-drug resistant pathogens **Bio** **Medical**
- 51 Development of rapid, accurate, and cost effective technology for gene analysis **Bio** **Medical**
- 52 Development of research tools and molecules accelerating research toward small-molecule drugs targeting nucleic acids **Bio** **Medical**
- 53 Development of therapeutic agents based on epigenetics **Bio** **Medical**
- 54 Development of targeted protein degraders **Bio** **Medical**
- 55 Regulation and Function of Bacterial Drug Efflux Pumps **Bio** **Medical**
- 56 Discovery of a drug that is targeting a novel lipid mediator transporter **Bio** **Medical**
- 57 Development of three dimensional nano-structured functional materials and devices **Material**
- 58 Development of Printed Devices with Advanced Material Packaging **Material**
- 59 Development of 3D Systemintegration technology **Material**
- 60 KOBELCO Future Pioneering Co-Creation Research Center **Information**
- 61 Development of fabrication method of SI-based agent and its characterization **Material** **Medical**
- 63 SANKEN SDGs map



# 大阪大学産業科学研究所 研究組織

	テーマ番号	
<b>■ 第1研究部門 (情報・量子科学系)</b>		
量子システム創成研究分野 (大岩研)	17	18
界面量子科学研究分野 (千葉研)	15	16
先進電子デバイス研究分野 (関谷研)	13	14
複合知能メディア研究分野 (八木研)	3	4
知能推論研究分野 (鷺尾研)	7	8
知識科学研究分野 (駒谷研)	1	2
知能アーキテクチャ研究分野 (沼尾研)	5	6
<b>■ 第2研究部門 (材料・ビーム科学系)</b>		
自然材料機能化研究分野 (能木研)	25	26
金属有機融合材料研究分野	29	30
先端ハード材料研究分野 (関野研)	21	22
エネルギー・環境材料研究分野 (山田研)	23	24
励起物性科学研究分野	36	
量子ビーム物理研究分野 (細貝研)	43	44
量子ビーム物質科学研究分野 (古澤研)	41	42
<b>■ 第3研究部門 (生体・分子科学系)</b>		
励起材料化学研究分野 (藤塚研)	31	32
機能物質化学研究分野	33	34
精密制御化学研究分野 (中谷研)	51	52
複合分子化学研究分野 (鈴木研)	53	54
生体分子反応科学研究分野 (黒田研)	49	50
生体分子制御科学研究分野 (西野研)	55	56
生体分子機能科学研究分野 (永井研)	47	48
<b>■ 産業科学ナノテクノロジーセンター</b>		
ナノ機能材料デバイス研究分野 (田中研)	19	20
ナノ極限ファブリケーション研究分野	39	40
ナノ構造・機能評価研究分野 (未永研)	37	38
ナノ機能予測研究分野 (南谷研)	11	12
ソフトナノマテリアル研究分野 (家研)	27	28
バイオナノテクノロジー研究分野 (谷口研)	45	46
<b>■ 産業科学 AI センター</b>		
トランスレーショナルデータビリティ研究分野 (櫻井研)	9	10
<b>■ 総合解析センター</b>	35	
<b>■ 三次元ナノ構造科学研究分野</b>	57	
<b>■ 先進材料実装研究分野</b>	58	
<b>■ フレキシブル3D実装協働研究所</b>	59	
<b>■ KOBELCO未来協働研究所</b>	60	
<b>■ シリコン製剤創製・物性学寄附研究部門</b>	61	

## 対話を通じて知識を獲得する対話システム

Dialogue Systems Acquiring Knowledge

研究分野  
Department知識科学  
Knowledge Science研究者  
Researcher駒谷和範 武田 龍  
K. Komatani R. Takedaキーワード  
Keyword対話システム、対話ロボット、知識グラフ、チャットボット  
dialogue system, dialogue robot, knowledge graph, chat-bot応用分野  
Application医療介護、家電、エンタテインメント  
medical care, electrical appliances, entertainment

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

人と言語を用いてインタラクションするシステムの実現に向けた研究開発を行っています。

最近一問一答型の対話システムは多く作られるようになってきましたが、それを上回る、飽きられないシステムを実現するための技術が必要です。

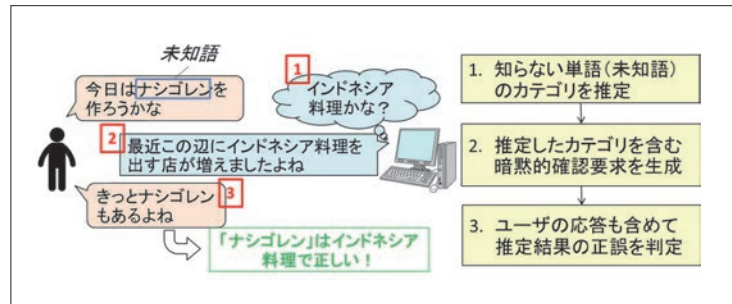
## 概要・特徴

対話を通じて知識を獲得する方式に関する基礎研究を行っています。対話の中でユーザ発話から得られる情報とともに、ユーザの心象を損なわずにシステムがうまく質問する技術を開発しています。

## 技術内容

システムが持つ知識の表現を、リレーショナルデータベースよりも柔軟な知識グラフとすることや、そこから対話システムによる応答選択に有用な汎化した知識を取り出す試みをしています。これを通じて、自然な対話を続けながら、少しずつ賢くなっていくシステムを目指しています。

また、マルチモーダルデータからのユーザの心象推定にも取り組んでいます。



知識を獲得する対話の例

## 社会への影響・期待される効果

- 言語を用いた人と機械とのインタラクションを実現
- 機械に対する親密度やユーザエクスペリエンスの向上

## 【論文 Paper】

- [1] K. Komatani, K. Ono, R. Takeda, E. Nichols, M. Nakano: User Impressions of System Questions to Acquire Lexical Knowledge during Dialogues. Dialogue and Discourse, Vol. 13, No. 1, pp.96-122 (2022).
- [2] Shun Katada, Shogo Okada, Kazunori Komatani: Effects of Physiological Signals in Different Types of Multimodal Sentiment Estimation. IEEE Transactions on Affective Computing (2022).
- [3] K. Komatani, Y. Fujioka, K. Nakashima, K. Hayashi, M. Nakano: Knowledge Graph Completion-based Question Selection for Acquiring Domain Knowledge through Dialogues. Proc. IUI, pp.531-541 (2021).

## 【特許 Patent】

- [1] 中野, 駒谷, 大塚: 音声対話システム及び音声対話方法, 特許第6126870号, 特願2013-040742.

## 小型マイクロフォンアレイを使った音源分離・定位

Sound source separation and localization with small microphone array

研究分野  
Department知識科学  
Knowledge Science研究者  
Researcher駒谷和範 武田 龍  
K. Komatani R. Takedaキーワード  
Keyword対話ロボット、音源分離、音源定位、深層学習  
dialogue robot, sound source separation, sound source localization, deep neural network応用分野  
Application医療介護、防犯、家電、エンタテインメント  
medical care, crime prevention, electrical appliances, entertainment

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

「百聞は一見に如かず」というように、音には一覽性や可視性がなく、記録や検索が難しいという問題があります。また音は可視光などに比べて波長が長い等の性質があることから、回折や反射による残響などの特性があります。このため、とりわけ周辺雑音や複数の音が存在する場合、特定の音を聞き分けたり、音の到来方向を検出することは単純ではありません。

## 概要・特徴

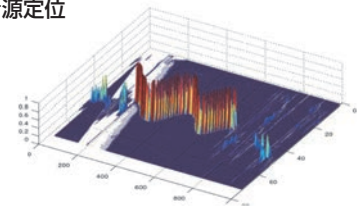
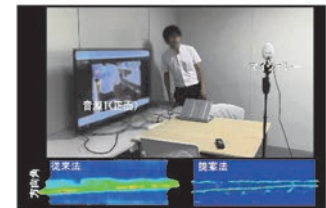
ロボットの頭部に装着された複数のマイクロフォンなど、小型のマイクロフォンアレイを使って、特定の音を聞き分ける音源分離や音の到来方向を検出する音源定位を開発しています。これは人の音声に対して応答する対話ロボットには必須の技術です。

## 技術内容

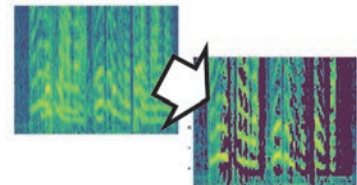
特にマイクロフォン間の位置関係や特性をキャンセルするために、無響室において測定したインパルス応答を用い、入力音響信号と方向ラベルの間の写像をDNN (Deep Neural Network) を使って学習することで、音源定位の高精度化を図っています。また、音響信号と注目する方向ラベルを入力とし、その方向に存在する信号を出力とした写像をDNN で学習させることで、高精度な分離を実現します。インパルス応答を用いて混合音をシミュレートすることで、DNN 学習に必要な大量の混合音データを作り出すことが可能です。

## 社会への影響・期待される効果

- ロボットに装着された複数のマイクロフォンで音源分離・音源定位を実現
- 音の到来方向の記録や可視化、話者毎の音声記録が可能

DNN音源定位  
スコアリアルタイム  
音源定位

DNN音源分離



## 【論文 Paper】

- [1] H. Munakata, R. Takeda and K. Komatani: "Training Data Generation with DOA-based Selecting and Remixing for Unsupervised Training of Deep Separation Models," Proc. of Interspeech, pp.861-865 (2022).
- [2] R. Takeda, et al.: Spatial Normalization to Reduce Positional Complexity in Direction-aided Supervised Binaural Sound Source Separation, Proc. APSIPA ASC, pp.248-253 (2021).
- [3] R. Takeda and K. Komatani: Sound Source Localization based on Deep Neural Networks with Directional Activate Function Exploiting Phase Information, Proc. IEEE-ICASSP, pp.405-409 (2016).

# 犯罪捜査支援のためのマルチモーダル 生体認証による鑑定システム

Multi-modal Biometric Verification System for Supporting Criminal Investigation

**研究分野**  
Department

複合知能メディア  
Intelligent Media

**研究者**  
Researcher

八木康史 榎原 靖  
Y. Yagi Y. Makihara

**キーワード**  
Keyword

歩容、マルチモーダル、個人認証、犯罪捜査  
gait, multi-modal, person authentication, criminal investigation

**応用分野**  
Application

科学捜査  
forensics

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

歩き方の個性に基づく個人認証技術である歩容認証技術は、カメラから離れた場所でも利用可能な唯一の生体情報(バイオメトリクス)であり、近年、注目を集めています。

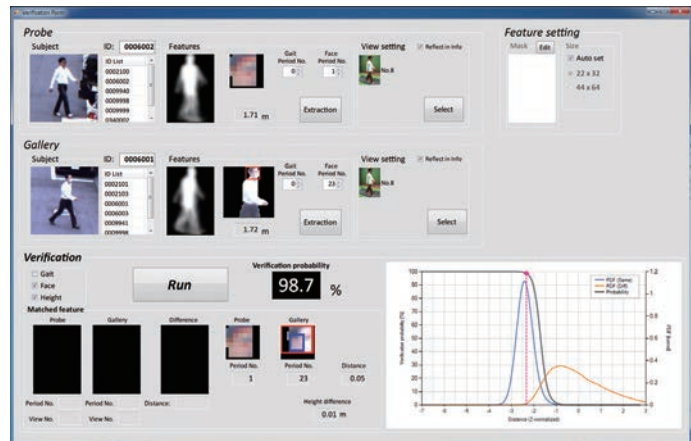
## 概要・特徴

本研究においては、歩行映像解析により、歩容・頭部テクスチャ・身長 of マルチモーダル生体情報の統合による高精度な同一人物性の鑑定を行うシステムを開発しました。単一の防犯カメラ映像からマルチモーダル生体情報を抽出するため、幅広いシーンに適用可能です。また、GUIを備えたシステムとして構築されているため、一定の研修を積むことで、歩行映像解析の非専門家である一般の捜査員でも実施可能になります。

## 技術内容

本システムは対象の登録ダイアログ、シット生成ダイアログ、個別鑑定モジュール、一括鑑定モジュールからなるGUIアプリケーションとして構成されています。

歩容・頭部テクスチャ・身長による認証結果を時空間解像度といった条件変化を考慮して適応的に統合し、本人事後確率(歩容による人物の同一性)を算出します。



## 社会への影響・期待される効果

- 防犯カメラに映った犯人と容疑者の歩行映像解析による人物の同一性鑑定により犯罪捜査を支援する
- 一般の捜査員向けのマルチモーダル鑑定システムを構築する

## 【論文 Paper】

- [1] 木村卓弘, 村松大吾, 榎原靖, 八木康史, "歩容・頭部・身長を用いたマルチモーダル鑑定システム", 電子情報通信学会論文誌A バイオメトリクス小特集, Vol. J98-A, No. 12, pp. 659-663, Dec. 2015.
- [2] H. Iwama, D. Muramatsu, Y. Makihara, and Y. Yagi, "Gait Verification System for Criminal Investigation," IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol.5, pp. 163-175, Oct. 2013.



研究分野  
Department複合知能メディア  
Intelligent Media研究者  
Researcher八木康史 榎原 靖 中村友哉  
Y. Yagi Y. Makihara T. Nakamuraキーワード  
Keyword光学設計、画像再構成、センシング  
optical design, image reconstruction, sensing応用分野  
Application情報計測  
information measurement

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

ビッグデータを基盤とする高度視覚情報技術が目覚ましい発展を遂げています。この恩恵を最大化するためには、実世界の光ビッグデータを効率的に取り込むイメージングシステムの性能向上が重要です。近年、計算機の進展を背景に、CTのように撮影後の画像再構成を前提とした新しい光イメージング技術が開拓されており、「コンピューショナルフォトグラフィ」と名付けられています。コンピューショナルフォトグラフィは、レンズの結像作用に基づく従来型の結像型イメージングシステムの物理限界を打ち破る新技術として期待されています。

## 概要・特徴

光による符号化と、演算による復号化の協調により、光情報伝達の効率を最大化し、従来の結像型イメージングシステムにおける課題を解決します。光学設計やその実装技術を基盤とした時空間光符号化法、スパースモデリングや凸最適化を駆使した画像再構成法、フーリエ光学に基づく光波制御法などをコア技術としています。

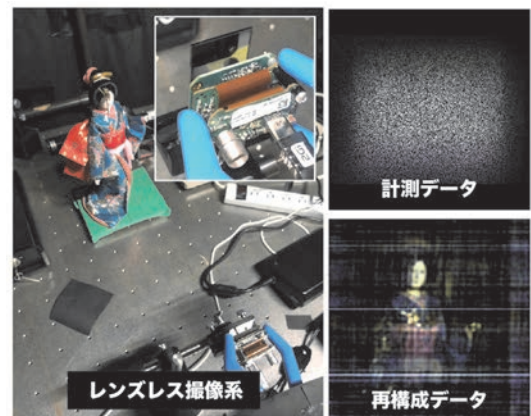
## 技術内容

現在、下記のような研究に取り組んでいます。

- 画像情報の圧縮表現を積極利用し、少数の観測から密な情報を回復する、圧縮センシング技術
- 高度信号処理の積極利用により結像型イメージングの解像限界を越える、超解像イメージング技術
- 画像再構成処理を駆使し、カメラの小型化を実現するレンズレスイメージング技術(右図)
- 光の波動的効果を計測・制御するホログラフィ技術

## 社会への影響・期待される効果

- バイオ、天体、ロボティクス等における画像入力系の性能向上
- 超解像、小型広視野、散乱透視等、光イメージング系の限界問題の突破



## 【論文 Paper】

- [1] T. Nakamura, K. Kagawa, S. Torashima, and M. Yamaguchi, "Super Field-of-View Lensless Camera by Coded Image Sensors," Sensors, Vol 19, No. 6, 1329 (2019).



## 適応能力を持つコンピュータ技術の開発

Highly Adaptive Computer Technologies

研究分野  
Department知能アーキテクチャ  
Architecture for Intelligence研究者  
Researcher沼尾正行 福井健一  
M. Numao K. Fukuiキーワード  
Keyword機械学習、人工知能(AI)、専門家エージェント、ユーザインタフェース  
machine learning, artificial intelligence, expert agent, user interface応用分野  
Application自動作曲、ゲーム型教材、データマイニング  
automatic composition, educational game, data mining

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

情報端末環境が普及するにつれて、インタフェースの悪さに起因するテクノストレスや、スパムメール、多量データによる情報洪水の問題が生じています。本研究では、これらの原因がコンピュータシステムの柔軟性の欠如にあることから、その対策として適応能力を持ったコンピュータの開発を進めてきました。心理実験と高度な機械学習技術の組合せにより、こうした課題の克服を目指しています。

## 概要・特徴

- 学習機能を持ったコンピュータの開発
- 複雑な構造をしたデータから新たな知識を発見する手法の開発

## 技術内容

学習機能を持ったコンピュータの開発では、高効率化のためのアルゴリズム、学習のための背景知識の獲得など、情報環境の整備を支援しています。これらは、ユーザインタフェースやデータマイニングの技術として定着しつつあります。

このような技術の適用例として、感性獲得機構を提案し、世界で初めて、ユーザの個性と感情に適応して自動作曲を行うシステムを開発しました。

また、膨大な情報空間を活用し、意味を持つ情報を見出す研究を進めており、化学薬品をはじめとする複雑な構造をしたデータから新たな知識を発見する手法を開発しています。大量の化学物質データおよび化学の背景知識によって、構造から生理活性を予測するための新しい知識を発見します。また、新規に発見された規則や相関関係などに基づいて、新たな薬品の開発を促進することを目指しています。

## 社会への影響・期待される効果

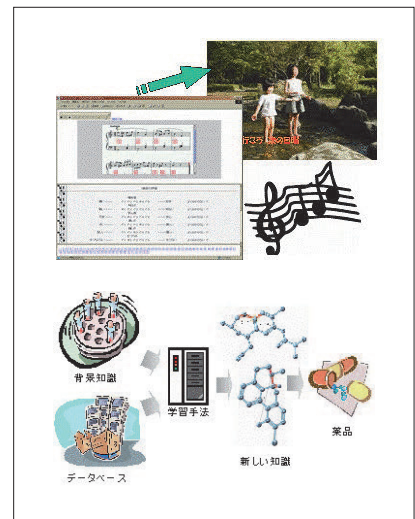
- 高度な学習機能による情報処理の高効率化
- 複雑な情報構造からの新たな知識の獲得

## 【論文 Paper】

- [1] N. Thammasan, K. Moriyama, K. Fukui, and M. Numao. "Familiarity Effects in EEGbased Emotion Recognition", Brain Informatics, 1-12 (2016).
- [2] V. Vachiratamporn, R. Legaspi, K. Moriyama, K. Fukui, and M. Numao. "An Analysis of Player Affect Transitions in Survival Horror Games", Journal on Multimodal User Interfaces, 9 (1). 43-54 (2015).

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2015-169802.「楽曲聴取経験有無推定方法, 楽曲聴取経験有無推定装置, 及び楽曲聴取経験有無推定プログラム」



**研究分野**  
Department

知能アーキテクチャ  
Architecture for Intelligence

**研究者**  
Researcher

福井健一 沼尾正行  
K. Fukui M. Numao

**キーワード**  
Keyword

データマイニング、人工知能(AI)、機械学習、因果、物理モデル  
data mining, artificial intelligence, machine learning, causality, physical model

**応用分野**  
Application

睡眠解析、地震解析、損傷解析、気象予測  
sleep analysis, earthquake analysis, damage analysis, climate prediction

**研究開発段階**

基礎

実用化準備

応用化

**背景**

自然現象、生体活動、また現代の機器は複数の要素からなり、それらが相互作用しながら秩序を保っています。本研究では、このような多くの因子からなる系のメカニズムの理解を目的として、事象発生因果関係推定法やクラスタの可視化手法などを開発してきました。複雑な自然現象・生体活動の理解や解明、早期の異常検知や予兆検出、また物理モデルと機械学習の融合による予測精度の向上を目指します。

**概要・特徴**

- 観測データ系列から事象発生因果関係を推定
- 時間的に変化するクラスタの様子を可視化
- 機械学習と物理モデルを融合し高精度化

**技術内容**

- **事象発生因果性データマイニング**  
事象の系列データから因果性を推定するデータマイニング技術を開発し、燃料電池の損傷部材評価や地震発生パターンの解析などへの応用を行ってきました。
- **動的クラスタ可視化ニューラルネットワーク**  
クラスタリングとその時間変化の可視化を同時に行うニューラルネットワークを提案し、睡眠音から睡眠パターンの可視化などの応用を行ってきました。
- **物理モデルを制約とするディープラーニング**  
データから学習するディープラーニングに、その物理現象を表す基礎方程式を制約として導入する方式を提案し、上空の風予測において予測精度の向上を確認しました。

**社会への影響・期待される効果**

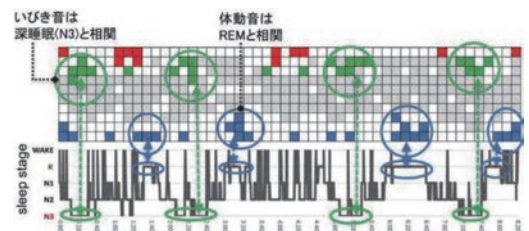
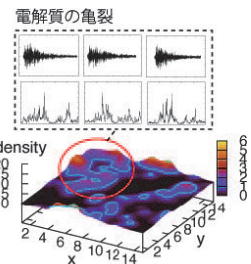
- 複雑な現象からの知識発見
- 状態監視・管理システムへの応用
- 異常・予兆検知への展開

**[論文 Paper]**

[1] Ken-ichi Fukui, Yoshiyuki Okada, Kazuki Satoh, and Masayuki Numao. "Cluster Sequence Mining from Event Sequence Data and Its Application to Damage Correlation Analysis", Knowledge-Based Systems, vol. 129, pp. 136-144, 2019.

**[特許 Patent]**

[1] PCT/JP2018/029517, 「睡眠の質判定システム、睡眠の質モデル作成プログラム、および、睡眠の質判定プログラム」



## ビッグデータからの推定・予測・知識発見

Estimation prediction and knowledge discovery from big data

研究分野  
Department知能推論  
Reasoning for Intelligence研究者  
Researcher鷲尾 隆  
T. Washioキーワード  
Keywordビッグデータ、データマイニング、機械学習、知識発見、最適化  
big data, data mining, machine learning, knowledge discovery, mathematical optimization応用分野  
Application基礎研究成果を含めた機械学習やデータマイニング技術を、科学、情報ネットワーク、品質・リスク管理、医療、セキュリティー、マーケティング、金融など、様々な分野のビッグデータ解析に役立てる応用研究  
application to big data analysis of scientific study, information network, quality/risk management, medicine, security, marketing and finance

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

膨大で複雑なデータから、そこに埋もれた傾向の分析や知識の発見、変化の予測を行うことが求められています。

## 概要・特徴

膨大な情報の処理をコンピュータにより行うための、機械学習及びデータマイニングと呼ばれる推論方法や技術の研究開発をしています。

多くの科学技術、産業、社会の分野において、膨大な情報を処理することで既存ハード・ソフト技術では達成できない高い性能を有するシステムを実現できます。

## 技術内容

様々な情報の探索、検索、統計処理、確率計算、データベース、それらを融合した理論、手法、技術、システムツールが含まれます。

## 社会への影響・期待される効果

- 多様な汎化指標の下でも効率性と安定性を保持する学習アルゴリズムを実現
- 機械学習モデルの説明性を向上
- カーネル分布埋め込みにより複雑な異常事象検知を実現

## 【論文 Paper】

- [1] M. J. Holland and E. M. Haress. Learning with risk-averse feedback under potentially heavy tails. Proc. of Machine Learning Research 130:892-900 (AISTATS 2021), 2021.
- [2] D. Pan, T. Wang, S. Hara. Interpretable companions for black-box models. Proc. of Machine Learning Research 108:2444-2454 (AISTATS 2020), 2020.
- [3] K. M. Ting, T. Washio, B.-C. Xu, Z.-H. Zhou. Isolation distributional kernel: a new tool for kernel based anomaly detection, Proc. of Knowledge Discovery and Data Mining (SIG-KDD2020), Paper No.233, 2020.





## 計測インフォマティクスによる革新的先端計測の実現

Innovative measurement technology using measurement informatics

研究分野  
Department知能推論  
Reasoning for Intelligence研究者  
Researcher鷲尾 隆  
T. Washioキーワード  
Keyword先端計測、機械学習、数理最適化、精度、ロバスト性、低コスト、コンパクト性  
measurement, machine learning, mathematical optimization, accuracy, robustness, low cost, compactness応用分野  
Application計測に向けた機械学習の基礎原理、技術、アルゴリズムを、科学、産業、医療、社会など多方面の先端的計測やIoTセンシングに役立てる研究  
application of measurement oriented machine learning to advanced measurement and IoT sensing in science, industry, medicine and society

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

複雑な原理や過程を用いる先端的計測装置やIoTセンサーの高精度化、高感度化、ロバスト化、高速化、低コスト化、コンパクト化、エッジ情報処理の高効率化を行い、広範な問題領域に実装することが求められています。

## 概要・特徴

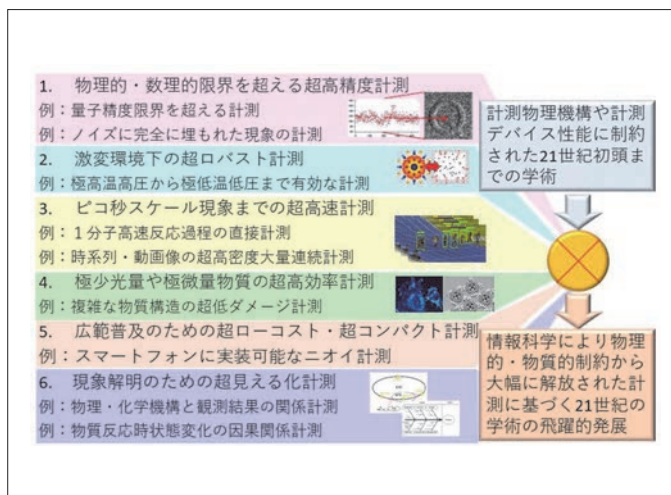
複雑な原理を用いる計測過程を機械学習で解析し、その結果得られる計測結果推定モデルを用いて、計測装置やIoTセンサーの高精度化、高感度化、ロバスト化、高速化、低コスト化、コンパクト化を実現する技術の研究開発をしています。また、低消費電力のエッジコンピュータを用いて、上記の情報処理を行うIoTセンシングシステム技術の研究開発も行っています。以上により、現在のデバイス・装置技術では達成できない超高性能な計測装置、センサー、センシングシステムを実現できます。

## 技術内容

既存の機械学習に加えて、新しく複雑な計測過程をモデル化する機械学習を用いるための理論、手法、技術、システムツールが含まれます。

## 社会への影響・期待される効果

- 超コンパクト超ローコスト超高精度嗅覚IoTセンサーの実現
- 超高速超解像蛍光顕微鏡の実現
- AIナノポア計測によりコロナウイルスのリアルタイム個体検知を実現



## 【論文 Paper】

- [1] T. Washio, G. Imamura and G. Yoshikawa, "Machine Learning Independent of Population Distributions for Measurement", Proc. DSAA2017, 2017.
- [2] S. Hara, W. C. Chen, T. Washio, T. Wazawa, T. Nagai, "SPoD-Net: Fast Recovery of Microscopic Images Using Learned ISTA", Proc. ACML2019, 2019.
- [3] M. Taniguchi, T. Washio et al. Combining machine learning and nanopore construction creates an artificial intelligence nanopore for coronavirus detection, Nature Communications, Springer Nature, Vol.12, No. 3726, 2021.

## リアルタイム予測システム

Real-time forecasting system

研究分野  
Departmentトランスレーショナルデータビリティ  
Translational Datability研究者  
Researcher櫻井保志  
Y. Sakuraiキーワード  
Keyword時系列予測、非線形モデル、リアルタイム処理  
time-series analysis, non-linear model, real-time processing応用分野  
ApplicationIoT (製造、車両データ解析、環境など)、医療情報  
IoT(manufacturing, vehicle sensor data, environmental data, etc.), medical data analysis

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

時系列データは、センサーネットワーク、製造業、経済、ソーシャルネットワーク、医療情報等、様々な分野において大量に生成されています。これらの応用の中で、時系列データのリアルタイム解析、中でもリアルタイム将来予測は、これからのAI時代における最も重要かつ挑戦的な研究課題となっています。

## 概要・特徴

時系列データは企業活動や人々の行動、自然現象の様々な環境変化や状況変化を表しており、それらの変化は局所的、突発的に起こります。そこで、局所的な環境変化や突発的な状況変化に対して即座に対応することができるリアルタイム予測・要因分析技術を開発しました。

- 時系列データのパターン分け、オンライン学習、将来値の生成、全てをリアルタイムに処理します。
- 最新の既存手法と比較し大幅な精度向上、計算コストの低減化を達成しています。

## 技術内容

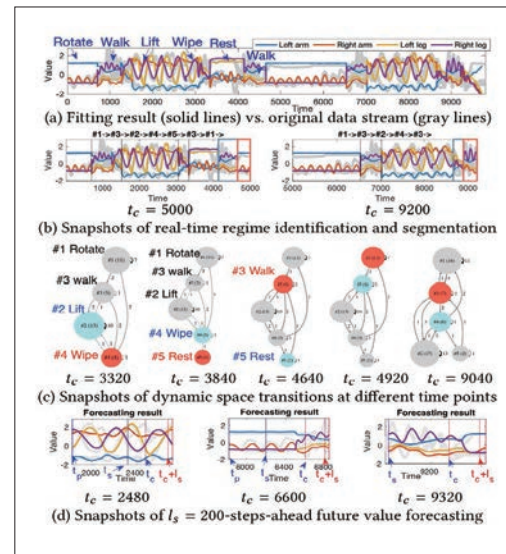
時系列モデル間の因果関係(要因-結果関係)を捉え、事象の連鎖をモデル化し、そのモデル選択と将来予測を高速かつ完全自動で行います。数ある予測手法の中で、世界最高の予測精度と計算速度を示しており、最新の深層学習と比較し最大で約670,000倍の高速化、約10倍の高精度化(予測誤差88%減)を達成しています。

## 社会への影響・期待される効果

- リアルタイムに時系列データの将来値を予測
- 時系列モデル間の因果関係(要因-結果関係)を捉え、リアルタイムに要因分析

**【論文 Paper】** [1] Y. Matsubara, Y. Sakurai: "Dynamic Modeling and Forecasting of Time-evolving Data Streams", ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), pp. 458-468, August 2019.  
[2] Y. Matsubara, Y. Sakurai: "Regime Shifts in Streams: Real-time Forecasting of Co-evolving Time Sequences", ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD), pp. 1045-1054, August 2016.  
[3] 松原靖子, 櫻井保志: "大規模データストリームの将来予測アルゴリズム", 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.9 No.4, pp. 32-45, 2016年12月.

**【特許 Patent】** [1] 松原靖子, 櫻井保志, "予測装置、予測方法およびプログラム", 特願2019-142295, 2019年8月1日。  
[2] 松原靖子, 櫻井保志, "予測装置、予測方法およびプログラム", PCT/JP2020/029178, 2020年7月30日。



モーションセンサーデータを用いた要因分析の様子

# 時系列テンソルからの多角的特徴抽出

Multi-aspect mining of time-series tensor

研究分野  
Department

トランスレーショナルデータビリティ  
Translational Datability

研究者  
Researcher

櫻井保志  
Y. Sakurai

キーワード  
Keyword

時系列テンソル、自動特徴抽出、イベント予測  
time-series tensor, automatic mining, event prediction

応用分野  
Application

IoT (製造、車両データ解析、環境など)、医療情報  
IoT(manufacturing, vehicle sensor data, environmental data, etc.), medical data analysis

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

### 背景

近年のセンサーデバイスの低価格化や高性能化に伴い、生産設備や車両走行、ヘルスケアデバイスなどから得られる時系列データは、より大規模かつ複雑になっています。このようなデータの利活用において特に重要となるのが、大規模時系列データからの効果的な特徴抽出と情報要約、および将来イベントの予測技術の開発です。

### 概要・特徴

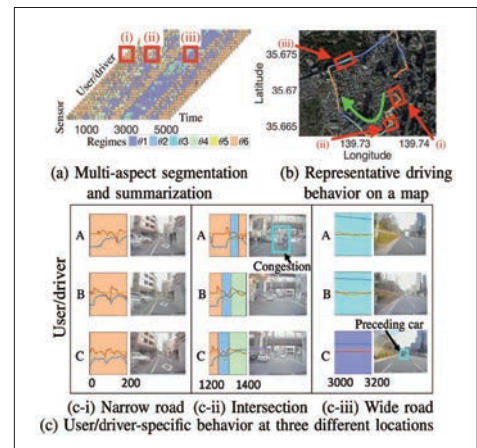
現実世界で収集される時系列データは(車両、センサー、時間)のような複数の属性を持つデータ形式であり、本研究ではそのような複雑な構造を持つビッグデータから時系列テンソルを用いて効果的に特徴を完全自動で抽出、要約する技術を開発しました。また、要約情報に基づいて様々な事象の発生を予測することを可能とする時系列イベント予測技術を開発しました。

- 時系列テンソルに含まれるパターンの時間遷移と個体差の抽出を全て自動的に行います。
- 最新の既存手法と比較し大幅な精度向上、計算コストの低減化を達成しています。

### 技術内容

車両走行センサーデータを用いた特徴抽出の様子▶

時系列テンソルの複数ドメインにまたがる多角的なパターンを捉え、そのパターンの時間遷移と固有差をモデル化し、要約情報を高速かつ完全自動で抽出します。右図は、車両走行センサーデータから、ハンドル操作、加減速、停止など車両走行の様々な共通パターンを抽出するとともに、交通状況によって生じる車両走行の違いを把握し、例えば慎重な走行、スムーズで安定した走行、渋滞時の走行など車両走行のグループ化を完全自動で行います。



### 社会への影響・期待される効果

- 完全自動で時系列テンソルの特徴を抽出
- 要約情報に基づく高精度なイベント予測

**[論文 Paper]** [1] T. Honda, Y. Matsubara, K. Kawabata, Y. Sakurai: "Multi-Aspect Mining of Complex Sensor Sequences", IEEE International Conference on Data Mining (ICDM), pp. 299-308, November 2019. [2] 本田崇人, 松原靖子, 根山亮, 櫻井保志: "車両走行センサーデータからの自動パターン検出", 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.9 No.3, pp. 1-13, 2016年9月. [3] 本田崇人, 松原靖子, 川畑光希, 櫻井保志: "大規模時系列テンソルによる多角的イベント予測", 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.13 No.1, pp. 8-19, 2020年1月.

**[特許 Patent]** [1] 本田崇人, 松原靖子, 川畑光希, 櫻井保志, "時系列解析に基づくイベント予測装置、イベント予測方法およびプログラム", 特願2020-8388, 2020年1月22日. [2] 本田崇人, 松原靖子, 川畑光希, 櫻井保志, "イベント予測システム、イベント予測方法およびプログラム", PCT/JP2021/000606, 2021年1月12日.



# 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

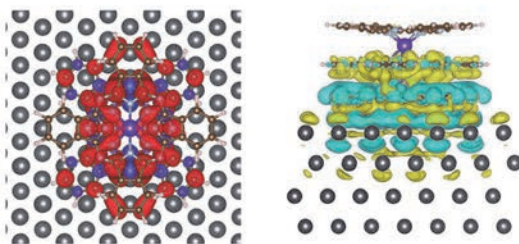
新奇的な固体物性の解明のために原子スケールでのシミュレーションを行っています。

## 概要・特徴

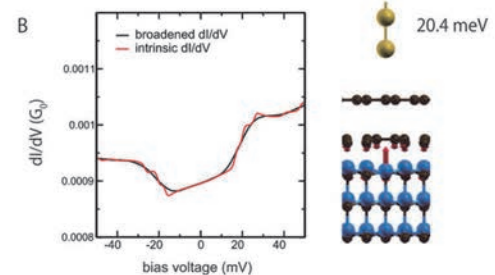
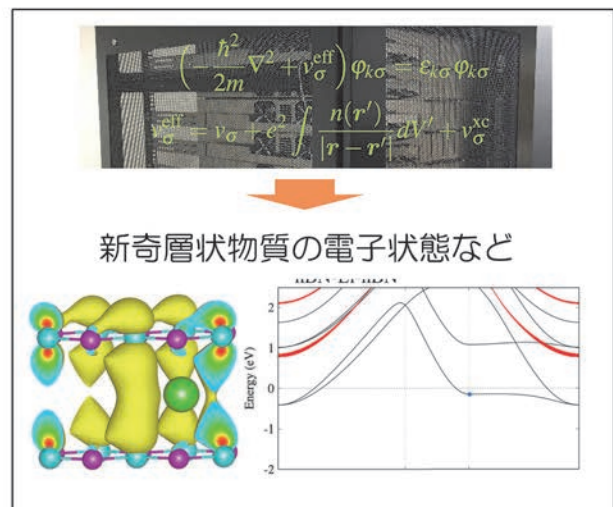
計算機を用いて密度汎関数理論に基づくコーン・シャム電子方程式を解くことにより、物質の電子状態や格子振動の情報（電子・フォノンのエネルギーバンド構造・状態密度）を得ることが可能です。

## 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



グラフェン/SiC 界面フォノンの解明

## 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。

## 【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] J. Phys. Chem. C 123, 2008 (2020).
- [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

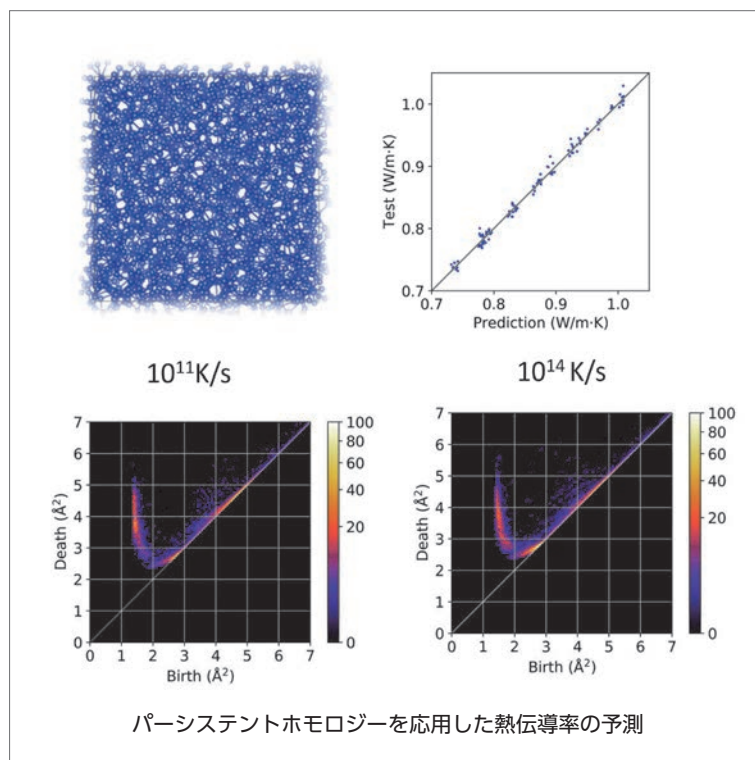
## アモルファスでの物性予測：

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).

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	吉本秀輔 S. Yoshimoto

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・フォトンクス”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、その具体的な応用例を実証し、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・フォトンクス”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.  | [6] Nature Comm. 3 (2012) 723.                     | [10] Science Advances 6 (2020) eaay6094.   |
| [2] Science 321 (2008) 1468.        | [7] Nature 499 (2013) 458).                        | [11] Advanced Materials 32 (2020) 1902684. |
| [3] Nature Materials 8 (2009) 494.  | [8] Nature Electronics 2 (2019) 351.               | [12] Advanced Materials 22 (2021) 2104446. |
| [4] Science 326 (2009) 1516.        |  |  |
| [5] Nature Materials 9 (2010) 1015. | [9] Advanced Intelligent Systems 2 (2020) 2000093. |  |



## 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。

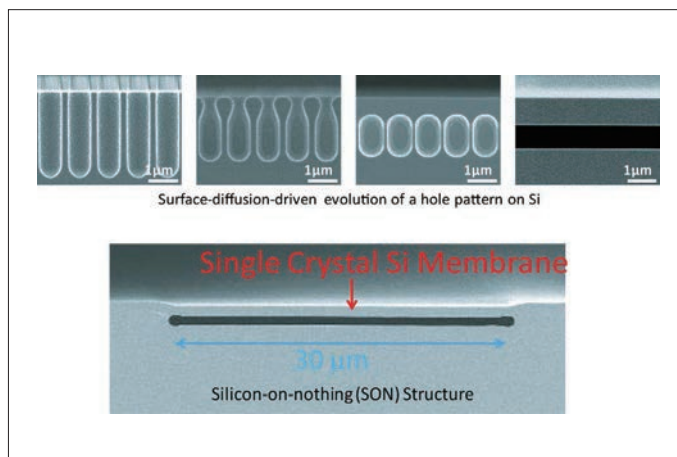
## 概要・特徴

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

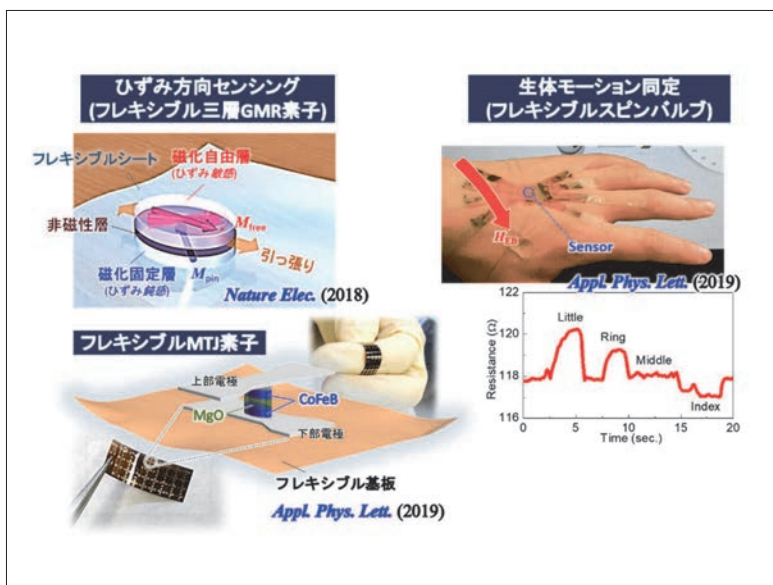
スピントロニクスデバイスの社会実装範囲を大きく拡大する研究開発を進めています。世界最高感度のフィルム型ひずみゲージの開発に成功しています。

## 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

# ナノ磁性変調構造を用い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、スピンカイラリティ、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

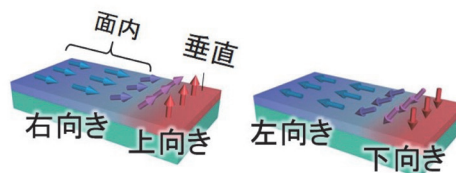
次世代情報処理の基盤技術として、電子の電荷とスピンの特性を融合した新しいエレクトロニクスである「スピントロニクス」が大きな注目を集めています。近年では、スピンの方向と空間変化を結びつける「カイラリティ」という特性により発現するカイラル磁壁やスキルミオンといった特殊なスピン構造が、高速・低消費電力メモリへの応用の観点から盛んに研究されています。

## 概要・特徴

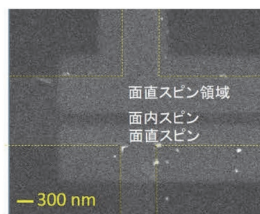
磁気異方性などの磁気特性をナノスケールで空間変調させることにより、カイラルスピン構造を人工的に作製できることを実証しました。

## 技術内容

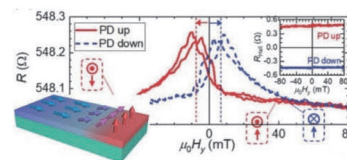
- 磁性体表面のみを低エネルギーイオン照射によりエッチングすることで、磁気異方性の面内⇄面直スイッチングに成功しました。
- 単一の磁性体中に面内スピンと面直スピンをハイブリッドさせた構造において、カイラリティによりそれぞれのスピン方向がカップルし特定方向に向きやすくなることを確認しました。
- 2つの面直スピン領域で面内スピン領域を挟んだ構造を作製し、面直スピンを平行および反平行配置にすることで、面内スピンの向きを制御できることを示しました。人工カイラルスピン構造を外部から制御できることを意味します。
- 単一の磁性体中に、異なる「構造反転対称性(カイラリティの起源)」を有する構造を作製する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

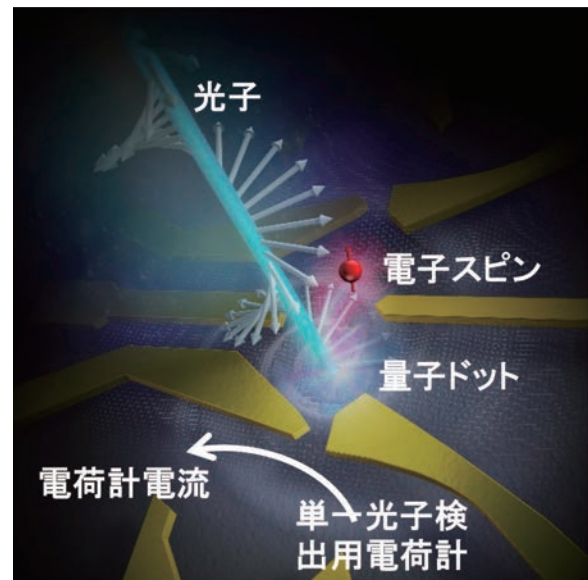
## 技術内容

- 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

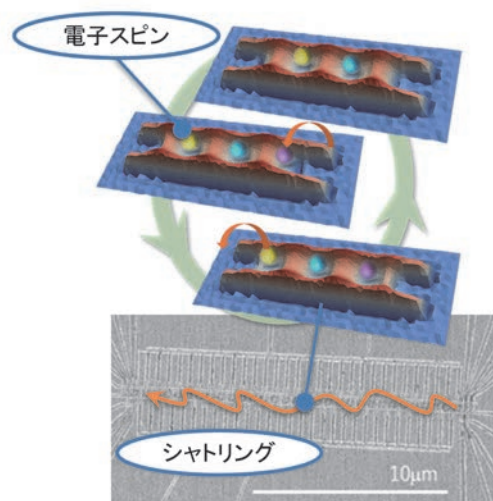
半導体スピン量子ビットの大規模集積化を可能にする、量子ドット間の伝送・量子結合を実現し、半導体スピンのオンチップネットワーク化に貢献します。

## 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 神吉輝夫  
H. Tanaka T. Kanki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。

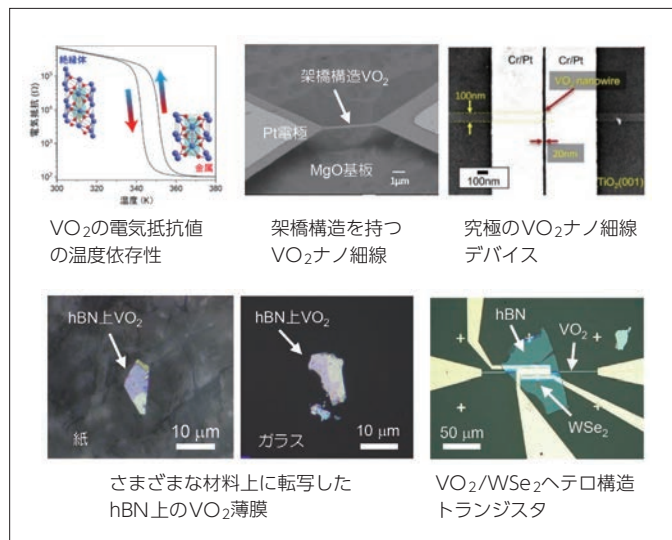
## 社会への影響・期待される効果

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)





# 強相関電子系金属酸化物の精密3次元ナノ構造創製

Fabrication of 3D nanostructures based on strongly correlated transition metal oxides

<b>研究分野</b> Department	ナノ機能材料デバイス Functional nanomaterials and nanodevices	<b>研究者</b> Researcher	田中秀和 H. Tanaka	服部 梓 A. Hattori
<b>キーワード</b> 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			
<b>応用分野</b> Application	3次元ナノ機能デバイス 3D nano functional devices			



### 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。

精密制御金属酸化物3次元ナノ構造

3DナノテンプレートPLD法  
テンプレート側面への傾斜蒸着  
(La, Pr, Ca/MnO<sub>2</sub>, ZnO, Fe, Zn, O<sub>2</sub>, etc.)

MgO template  
Epitaxial wire  
(La, Pr, Ca/MnO<sub>2</sub>, MgO, ZnO, VO<sub>2</sub>, Fe, Mn, O<sub>2</sub>, etc.)

構造作製

ナノ物性開拓

500 nm, 300 nm, 500 nm

Fe<sub>2</sub>Zn<sub>1-x</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>, MgO template

Resistance (Sheet) vs. Temperature (K) for VO<sub>2</sub> (Nano-wire and Thin film)

Resistance vs. Temperature (K) for (La<sub>0.2</sub>Pr<sub>0.1</sub>Ca<sub>0.7</sub>)<sub>2</sub>(Mn<sub>0.9</sub>)<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Nano-Wall wire

## 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

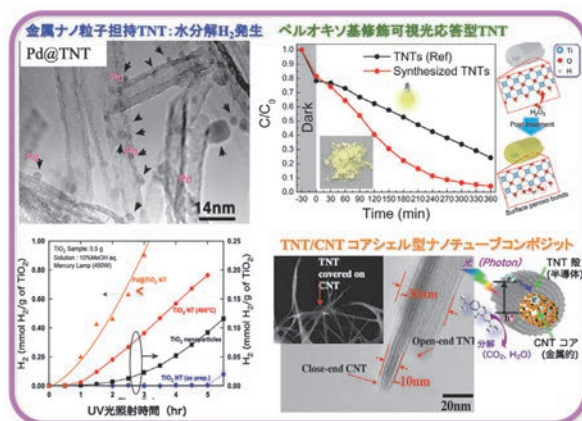
- 環境浄化・エネルギー創製機能材料、室温駆動型高性能ガスセンサー材料としての展開
- 多機能性を同時に獲得した材料デバイス（センサー等）の創出
- 多機能性生体適合性材料、バイオメディカル材料（DDS・PDT等）、衛生機能材料としての応用

## 【論文 Paper】

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

## 【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

<b>研究分野</b> Department	先端ハード材料 Advanced Hard Materials	<b>研究者</b> Researcher	関野 徹 T. Sekino
<b>キーワード</b> 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		
<b>応用分野</b> 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		

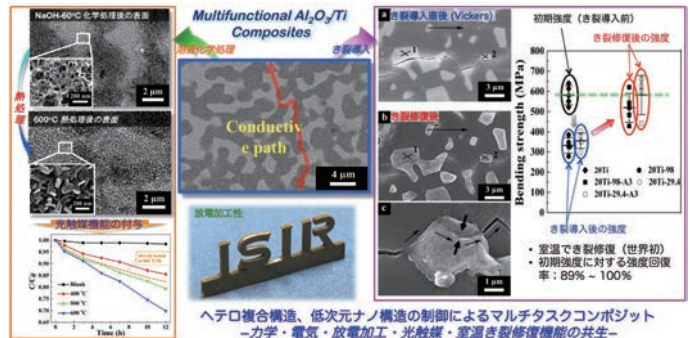


## 背景

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。



## 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 ( $Al_2O_3$ ) セラミックスに金属チタン (Ti) を分散複合化した  $Al_2O_3/Ti$  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.

## 【特許 Patent】

[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

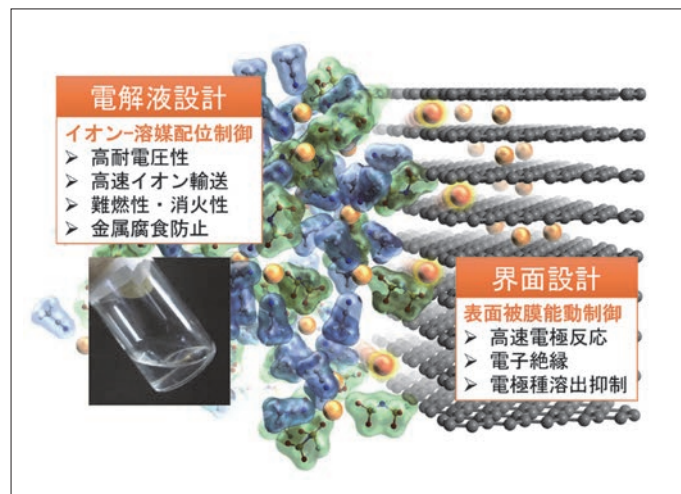
- 第3の設計軸としてイオンと溶媒分子のつながり（配位状態）を取り入れることで、さまざまな機能性電解液を開発しました。
- リチウム金属二次電池の高効率充放電を達成しました。

## 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、高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。

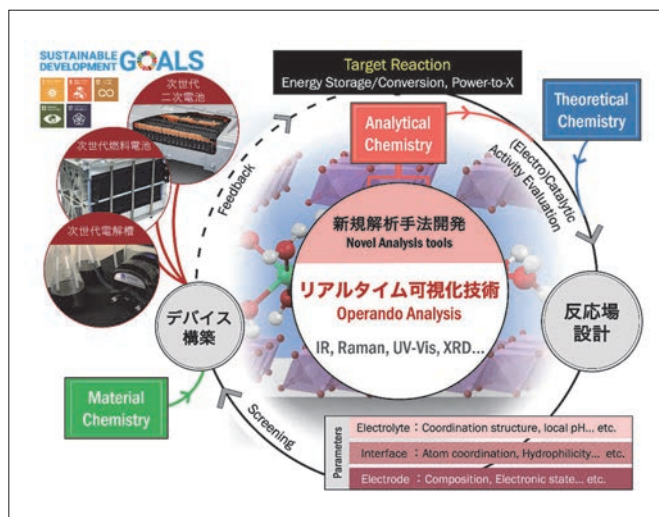
- 二酸化炭素資源化デバイス（電気化学的な二酸化炭素→燃料への変換反応）
- クリーン水素製造デバイス（電気化学的な水→水素への変換反応）
- クリーンアンモニア製造デバイス（電気化学的な窒素→アンモニアへの変換反応）

## 【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

私達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





# 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

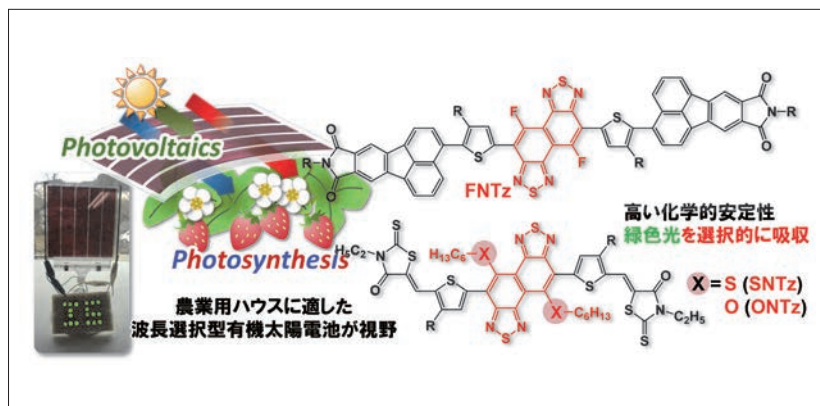
応用化

## 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)

## 数ナノメートルスケールの分子導線の開発

Development of several-nanometer-scale molecular wire

**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**

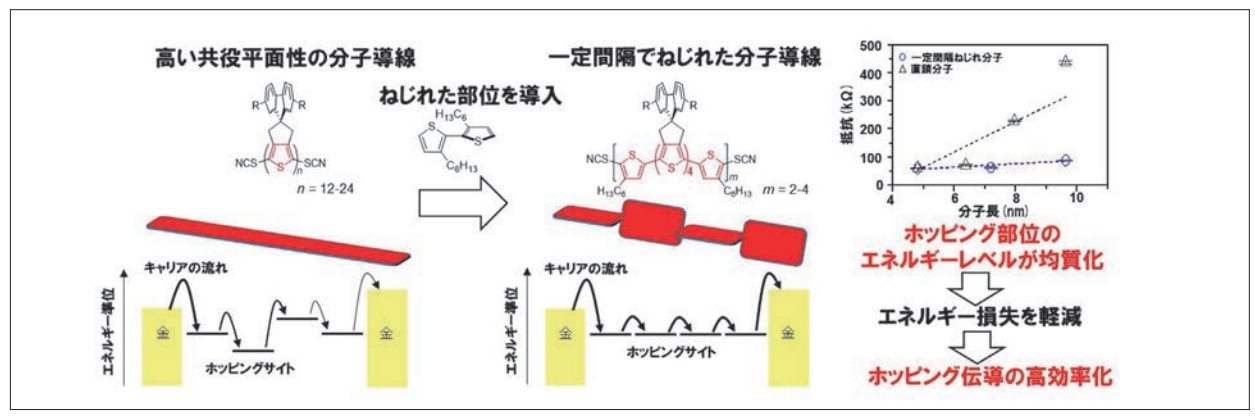


**背景**

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)



# 金属有機構造体による環境課題解決

Metal organic frameworks for environmental remediation

**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  
metal organic framework (MOF), adsorption, decomposition, release

**応用分野**  
Application

水質改善、農業  
water quality improvement, agriculture

## 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などによる環境問題が取りざたされています。これらの化合物は、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。そのため、低濃度でも効率的に回収し、流出させることなく、安全に処分する方法の確立が期待されています。また、過剰な施肥による水質劣化にも関心が集まっています。

### 概要・特徴

金属原子と有機化合物からなり、規則構造をもつ金属有機構造体を用い、化学物質の選択的除去・分解や、長期にわたる必要最低限の肥料放出が可能な金属有機構造体を探索します。

### 技術内容

- 実際に用いられる環境に近い条件での、金属有機構造体の安定性について評価します。
- 金属有機構造体への吸着挙動や、化合物の選択性について評価し、メカニズムを解明します。
- 金属有機化合物からの化合物の放出速度の制御法を研究します。
- 金属有機構造体に吸着した化学物質の安全な分解方法について、触媒や熱分解などの利用可能性を探索します。
- 金属有機構造体の最適化を効率的に進めるため、機械学習の手法を適用します。

### 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・環境問題の解決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されること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。



### 【論文 Paper】

[1] ACS Appl. Mater. Interfaces 2022, 14, 16983. (DOI: 10.1021/acsami.2c00615)

# 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負極の創製

Fabrication of anodes with Si/graphite sheet composites 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

リチウムイオン電池、シリコン、切粉、黒鉛シート、金属有機構造体  
Li ion battery, Si, swarf, graphite sheet, metal organic framework (MOF)

応用分野  
Application

リチウムイオン電池、電動移動体、シリコン加工、黒鉛加工、エネルギー貯蔵、金属有機被膜  
Li ion battery, electric vehicle, silicon processing, graphite processing, energy storage, MOF layer

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

### 背景

次世代の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。しかし、充放電時の体積変化が大きく、破壊されやすい欠点があります。破壊を抑制するために、シリコン粒子のサイズを小さくする方法もありますが、高コストになる課題もあります。

### 概要・特徴

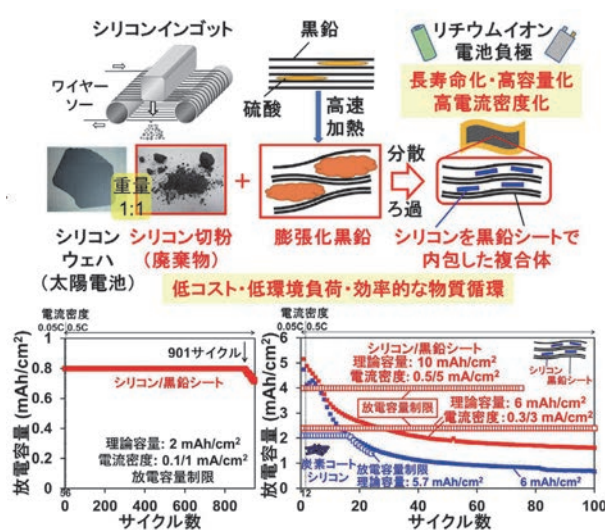
シリコンインゴットをスライスする時に発生するシリコン切粉を解砕し、極薄黒鉛シート間に分散させた複合体を用いることで、シリコン負極の充放電特性が向上します。

### 技術内容

- シリコン負極の反応メカニズムを研究し、高容量負極を開発しています。
- 切粉を解砕したフレーク状シリコン粒子を極薄黒鉛シートと溶媒中で分散、ろ過し、複合体を作製しています。
- シリコン/黒鉛シート電極を十分に充電し、放電容量を制限することで、サイクル寿命が大きく向上します。
- 厚い電極と放電容量制限を用いることで、高容量・高電流密度で充放電でき、電池の軽量化・低コスト化も可能です。
- 金属有機構造体被膜による充放電特性の向上について、評価しています。

### 社会への影響・期待される効果

シリコン切粉は、主に廃材として扱われ、世界で年間約10万トンも発生します。砥粒が混入しないシリコンインゴットのスライス法と水ベースの冷媒の利用が主流になり、水洗だけでシリコン切粉を利用できるようになっています。高温プロセスで作製されたシリコンの廃材と、短時間加熱で作製する膨張化黒鉛と黒鉛シートの副産物を原料とし、室温でシリコン/黒鉛シート複合体を作製します。これを用いてリチウムイオン電池の負極を製造することで、コストや環境負荷を低減でき、循環型経済への寄与も期待されます。



### 論文 Paper]

- [1] J. Electrochem. Soc. 168 (2021) 020521-1-14. (DOI: 10.1149/1945-7111/abdd7e)
- [2] J. Alloys Compd. 720 (2017) 529-540. (DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.05.228)
- [3] J. Electrochem. Soc. 164 (2017) A995-A1001. (DOI: 10.1149/2.0361706jes)
- [4] 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

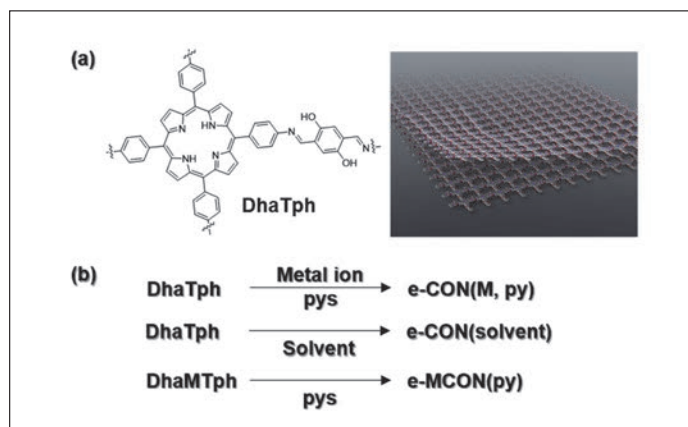
本研究では、ポルフィリンCOFを剥離することで、ディスク状の高分子材料の共有結合性有機ナノディスク (CON)を合成し、CONはCOFに比べ細菌に対してより優れた光増感作用として高い殺菌活性を示すことを明らかにした。

## 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)



## 光機能材料における励起イオン種の応用開発

Application of excited ion species in photo-functional materials

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

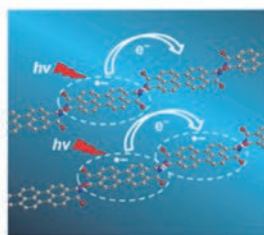
単一電子移動などによる生じたイオン種は光化学や材料化学を含む多くの分野において重要な中間反応体です。一方、これらのイオン種を光励起すると励起イオン種が生成します。励起状態のイオン種は、エネルギー増幅から酸化還元能力が強化されたため、極めて反応性の高い化学活性種として扱われています。これらの中間体は新しい反応への有力な前駆体として、関連する様々な光機能分子材料の伝導過程に寄与することが可能になります。

## 概要・特徴

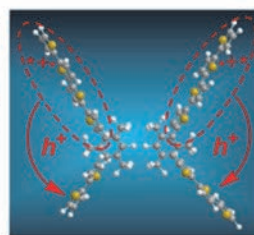
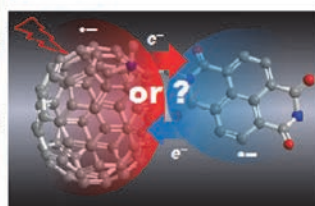
励起イオン種は極めて強い酸化還元力を持つ高度活性種であり、高い所有電位から新規化学反応の実現により、「スーパーリダクタント・スーパーオキシダント」と呼ばれ、光エネルギー変換材料への応用展開が期待できます。

## 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ソ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

# 自動精密有機合成を志向した 機械学習による反応条件最適化

ML-assisted Conditions Screening Toward Automated Organic Synthesis

研究分野  
Department

機能物質化学  
Synthetic Organic Chemistry

研究者  
Researcher

滝澤 忍  
S. Takizawa

キーワード  
Keyword

フロー合成、電解合成、機械学習  
flow synthesis, electrolytic synthesis, machine learning (ML)

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

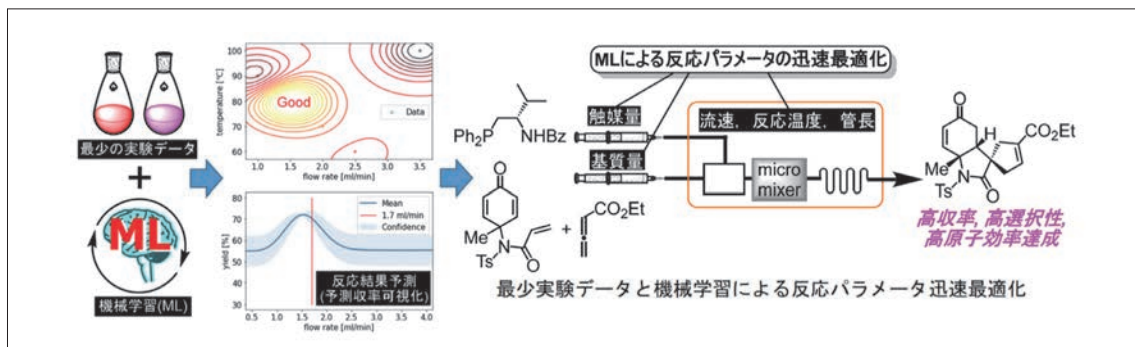
医薬原料等のファインケミカルズの安定供給は、人類の安全と快適な生活を維持するために重要です。ファインケミカルズのフロー・電解自動合成に向け、最少実験と実験計画をハイブリッドした**実践的機械学習を基盤とする反応プロセス**技術の革新を目指しています。

## 概要・特徴

反応支配因子の多くが連続パラメータであるフロー・電解反応の高品質かつ高い再現性を有する学習データを効率的に収集することで、膨大な数の学習データを必要とするAI・MLの常識を覆し、最少実験試行数にて反応開発を加速する実践的な反応条件自動最適化AI・MLを実現します。

## 技術内容

フロー・電解合成法は、「分子拡散や熱移動を精密に制御でき個々の操作が実験者の技術に依存しにくくデータ精度が高い」「反応温度・基質当量・溶液の混合速度などのパラメータを容易に変更できる」「コンピュータ制御による自動化が可能であり信頼性の高いデータを集積化できる」といった特徴を有します。本合成法は機械学習との親和性が極めて高いことから、有機分子触媒によるフロードミノ反応やケチミンの電解合成にガウス過程帰帰やベイズ最適化を適用したところ、10回程度の実験試行から収率の可視化や複数の反応条件最適化が可能なることを実証しました。



## 社会への影響・期待される効果

- プロセスの省資源化・省エネルギー化
- 新規反応開発の加速化とその自動化

## 【論文 Paper】

- [1] Chem. Commun. 2020, 56, 1259. [4] Chem. Commun. 2022, 58, 3893.  
 [2] Green Chem. 2021, 23, 5825. [5] Commun. Chem. 2022, 5, 148.  
 [3] J. Org. Chem. 2021, 86, 16035. [6] Org. Process Res. Dev. 2023, in press, doi: 10.1021/acs.oprd.2c00267.

二重活性化型不斉触媒の開発と  
キラルビルディングブロックの創出

Development and Application of Chiral Dual Catalysts

研究分野  
Department機能物質化学  
Synthetic Organic Chemistry研究者  
Researcher滝澤 忍  
S. Takizawaキーワード  
Keyword触媒的不斉合成、不斉触媒、光学活性化合物、機械学習  
asymmetric catalysis, chiral catalyst, optically active compound, machine learning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

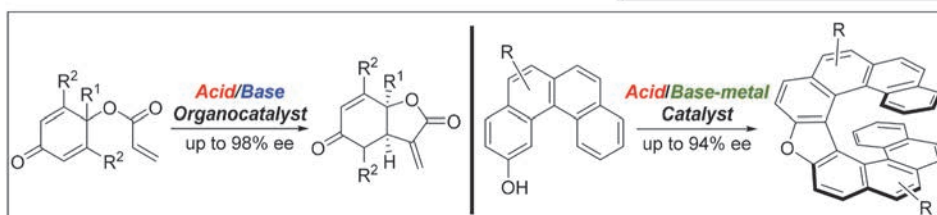
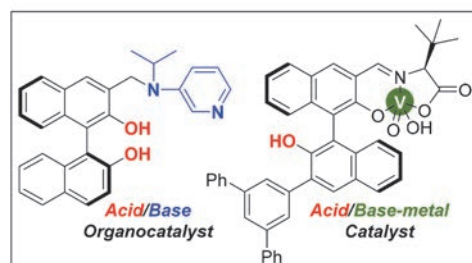
「光学活性化合物」は、医薬品や農薬などの現代社会に必要な幅広い製品に利用されています。本研究では、少量のキラル源から大量の光学活性化合物を産出でき、効率性・環境調和性にも優れた触媒的不斉合成技術の革新とそのデジタル化研究を展開しています。

## 概要・特徴

有機酸、有機塩基や卑金属を人工の不斉骨格に任意に導入した有機分子不斉触媒や二核卑金属不斉触媒の開発を行っています。同一触媒内の反応基質活性化ユニットが協調的に働くことで、高価で毒性の高いレアメタルを用いずとも触媒的不斉反応が効率的に進行し、汎用性の高い医薬品中間体の環境低負荷な供給法が確立できます。

## 技術内容

酸-塩基型有機分子不斉触媒や二核バナジウム金属不斉触媒を用いると、安価で入手容易な原料から反応性の高い光学活性な中間体が発生し、これを連続反応へと応用することで、下図のような付加価値の高い複雑な機能性分子骨格が簡便に合成可能です。



## 社会への影響・期待される効果

- プロセスの省資源化・省エネルギー化・環境低負荷化・デジタル化
- 新規な光学活性化合物開発における有用な合成手法

## 論文 Paper

- [1] J. Am. Chem. Soc. 2005, 127, 3680. [6] ACS. Catal. 2018, 8, 5228.  
 [2] Angew. Chem. Int. Ed. 2010, 49, 9725. [7] ACS. Catal. 2021, 11, 1863.  
 [3] Angew. Chem. Int. Ed. 2012, 51, 5423. [8] Green Chem. 2021, 23, 5825.  
 [4] Angew. Chem. Int. Ed. 2015, 54, 15511. [9] Acc. Chem. Res. 2022, 55, 2949.  
 [5] J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 11481.

## 特許 Patent

- [1] 特開2006-28021. [2] Patent No. US 2006-009646. [3] 特願2020-189525



# 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。

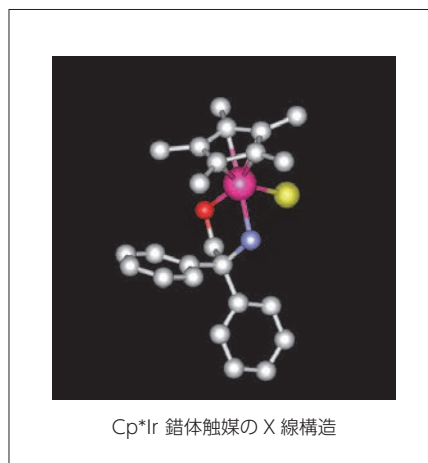
- 対称化合物の非対称化による複数のキラル中心を有する有機化合物を合成
- 高原子効率の化学変換による環境調和型触媒反応を実現

## 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

Keyword

ARPES, 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

固体内の電子の性質は一般に、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されます。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、光による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。

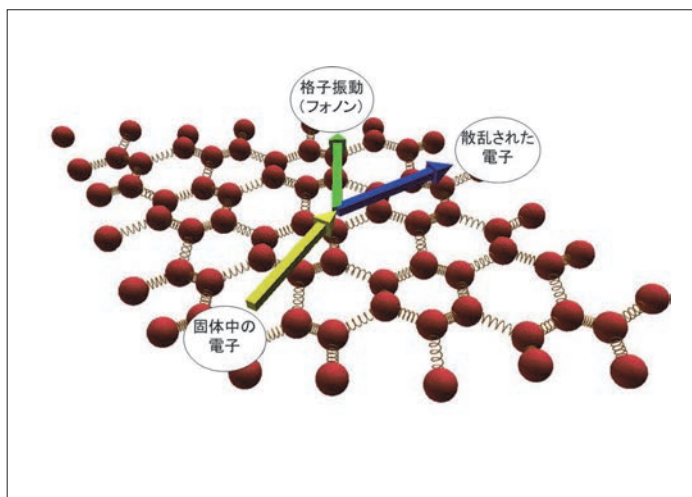
## 概要・特徴

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における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

これらの相互作用を分光学的に調べることは、固体の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。現在は主として新奇デバイス候補として、さらに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。

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 神内直人  
K. Suenaga H. Yoshida N. Kamiuchi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

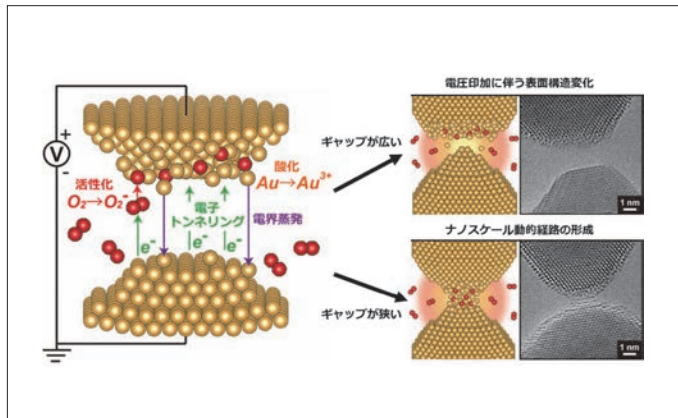
固体表面の構造は電子励起によって変化するが、その反応メカニズムの解明には実時間、実空間、実環境での観察が必要となります。高い空間分解能と時間分解能を有する環境制御型透過電子顕微鏡を用いることにより、動作中の金属ナノギャップ電極表面の原子スケールの構造変化をその場観察で捉えることができます。

## 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.



## 機能中の触媒表面ダイナミクス解析

In situ observation of active nanostructures in solid catalysts under reaction environments

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 神内直人  
K. Suenaga H. Yoshida N. Kamiuchiキーワード  
Keyword金属ナノ粒子触媒、CO酸化反応、環境制御型透過電子顕微鏡  
metal nanoparticulate catalysts, CO oxidation, environmental transmission electron microscopy (ETEM)応用分野  
Application触媒化学、ナノデバイス  
catalytic chemistry, nano device

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

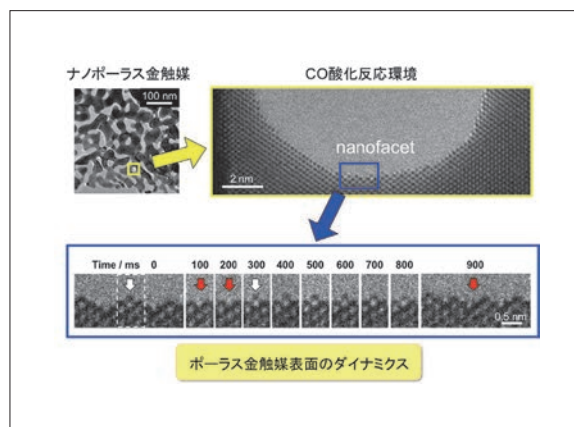
触媒は化学反応を促進するために、様々な化学反応に用いられますが、多くの場合、その活性構造は明らかになっていません。触媒の性能向上には、機能発現中の活性構造の正確な理解が必要です。環境制御型透過電子顕微鏡 (ETEM) は様々なガスを試料周辺に導入することができる強力な分析手法です。

## 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、化学反応条件で起こる触媒表面ダイナミクスを明らかにしました。

## 技術内容

有害ガスである一酸化炭素を無害化するナノポーラスAu触媒の活性構造を原子スケールで初めて明らかにしました。Auは化学的に不活性で錆びない金属であるにも関わらず、ナノサイズの孔を持つスポンジ状にすると触媒として働くことが報告されてきました。しかしながら、その活性構造やメカニズムは、これまで明らかにされていませんでした。今回、高性能の環境制御型透過電子顕微鏡によるその場解析を行い、化学反応中に残留元素を含む特徴的なナノ構造(図)ができること、触媒表面を複数の原子が激しく動き回り触媒として働くことを明らかにしました。また、ab initio計算を行うことにより、触媒の活性に寄与する本質的なナノ構造には、Auだけでなく、触媒中に残留するAg成分が関与することを明らかにしました。



## 社会への影響・期待される効果

この研究成果は、Au触媒だけでなく、工業的に用いられる様々な固体触媒の反応メカニズムを解明する手がかりになり、新たな高性能触媒の開発に繋がると期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] H. Yoshida, Y. Kuwauchi, J. R. Jinschek, K. Sun, S. Tanaka, M. Kohyama, S. Shimada, M. Haruta, and S. Takeda, Science 335 (2012) 317-319.
- [2] Y. Kuwauchi, S. Takeda, H. Yoshida, K. Sun, M. Haruta, and H. Kohno, Nano Lett. 13 (2013) 3073- 3077.
- [3] H. Yoshida, H. Omote, and S. Takeda, Nanoscale 6 (2014) 13113-13118.
- [4] S. Takeda, Y. Kuwauchi, and H. Yoshida, Ultramicroscopy 151 (2015) 178-190.
- [5] N. Kamiuchi, K. Sun, R. Aso, M. Tane, T. Tamaoka, H. Yoshida, and S. Takeda, Nat. Commun. 9 (2018) 2060.

## 極短パルス電子線によるダイナミクス計測

Investigation of reaction kinetics induced by ultra-short electron beams

**研究分野**  
Department

ナノ極限ファブリケーション  
Advanced Nanofabrication

**研究者**  
Researcher

楊 金峰 神戸正雄  
J. Yang M. Gohdo

**キーワード**  
Keyword

量子ビーム誘起超高速現象、フェムト秒光パルス・電子ビーム、放射線化学  
quantum-beam-induced ultrafast phenomena, femtosecond electron beam/laser, radiation chemistry

**応用分野**  
Application

材料評価、リソグラフィ  
materials evaluation, lithography

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

### 背景

極限ナノファブリケーションを実現するために材料中に量子ビームが誘起する基礎過程の解明を目指しています。そのためのツールとして、世界最高時間分解能を有するフェムト秒・アト秒パルスラジオリシスシステムの研究開発を行っています。

### 概要・特徴

フェムト秒極短パルス電子ビームを時間分解分光法に適用し、量子ビーム誘起反応による過渡種（ホール、電子、ラジカル）のダイナミクスを実測する装置と測定法を開発・運用しています。電子ビームによる分析光の発生により、THz光も使えるようになり、測定対象、現象に合わせた測定が可能です。パルス電子線の短パルス化と、時間分解分光法の高時間分解化の実現に注力しています。

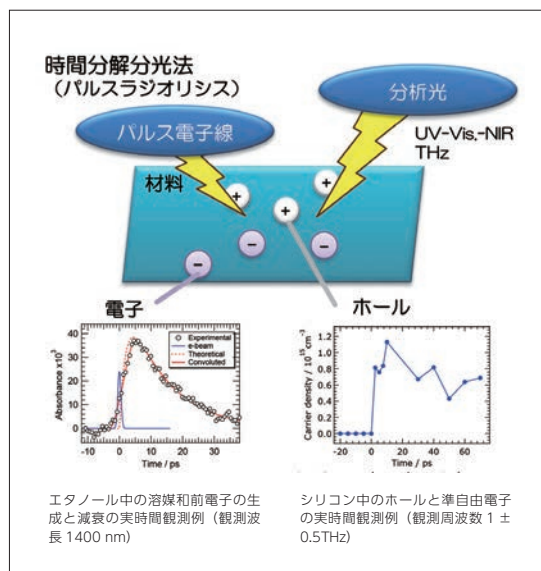
### 技術内容

我々は、量子ビームが誘起する超高速反応の基礎過程の解明を目指し、極短パルス電子線によるダイナミクス計測を行っています。フェムト秒・アト秒パルスラジオリシスでは、試料に量子ビーム(電子線)を照射し、分析光(紫外・可視・近赤外・遠赤外)の吸収・透過率の解析により、反応ダイナミクスの計測を行っています。この計測により、電離放射線の利用が検討されている次世代ナノファブリケーション、放射線治療、原子炉水化学等における量子ビーム誘起による超高速反応の知見の提供が可能となります。図にはエタノールやシリコンに電子ビームを照射した直後に起きるピコ秒オーダーの反応の観測例を示します。

### 社会への影響・期待される効果

放射線場や宇宙空間での材料の劣化や、材料中の電荷キャリアの動き、EUVリソグラフィ等の次世代半導体微細加工技術の基礎過程の解明に役立つ知見を与えます。これらの知見の材料へのフィードバックが極限空間での活動を支える材料や、次世代材料の開発の契機となることを期待します。

また、極短パルス電子ビームは、物質を高密度にイオン化・励起できる可能性があり、新たな材料プロセスの可能性を秘めています。



### 論文 Paper]

- [1] T. Toigawa, et al., Radiat. Phys. Chem. 123, 73-78 (2016); T. Kondoh, et al., Radiat. Phys. Chem. 84, 30-34 (2013); T. Kondoh, et al., Radiat. Phys. Chem. 80, 286-290 (2011); 80, 286-290 (2011).
- [2] I. Nozawa, et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 17, 072803 (2014).
- [3] K. Kan, et al., Rev. Sci. Instrum. 83, 073302 (2012); J. Yang, et al., Nucl. Instr. Meth. A 629, 6-10 (2011).

## 超高速パルス電子顕微鏡

Ultrafast electron microscope with relativistic femtosecond electron pulses

研究分野  
Departmentナノ極限ファブリケーション  
Advanced Nanofabrication研究者  
Researcher楊 金峰 神戸正雄  
J. Yang M. Gohdoキーワード  
Keyword電子顕微鏡、電子線回折、フェムト秒電子線パルス、構造ダイナミクス  
electron microscopy, electron diffraction, femtosecond electron beam, structural dynamics応用分野  
Application構造ダイナミクスの研究、物質機能の解明、新材料・デバイスの創製  
structural dynamics, material functions, new device development

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

新しい物質創製・新物性発現には、実時間 ( $\sim$ fs) と実空間 ( $\sim$ Å) での原子・分子の動きや構造変化のダイナミクスを直接的に観察し理解することは必要不可欠です。一方、汎用の電子顕微鏡では高時間分解能がなく、フェムト秒・ピコ秒の早い時間領域での構造変化の観察がまだ不可能です。

## 概要・特徴

最先端加速器技術を用いて、エネルギーが3 MeV、パルス幅が100fsの高輝度電子線パルスを発生し、フェムト秒時間分解能を有する「超高速電子顕微鏡」を世界に先駆けて開発し、原理実証に成功しました。

## 技術内容

我々は、物質科学の研究力を高め、新たな学際領域を切り拓き、革新的製品開発の核となる新知見を創出するために、物理、化学、生物学など幅広い科学分野に利用可能な、時間的にフェムト秒、空間的にオンゲストロームの分解能を有する「超高速電子顕微鏡」を開発し、実証実験を試みました。

開発した超高速電子顕微鏡では、高周波電子銃技術を用いてエネルギー3MeV、パルス幅100fsの高輝度電子線パルスを発生し、相対論的フェムト秒電子線パルスを用いた電子顕微鏡像の測定に成功しました。電子回折の観察では、単一電子線パルスによる測定や、フェムト秒時間分解構造変化の観察に成功しました。これにより、今まで測定できなかった不可逆な構造ダイナミクスの解明を可能にしました。

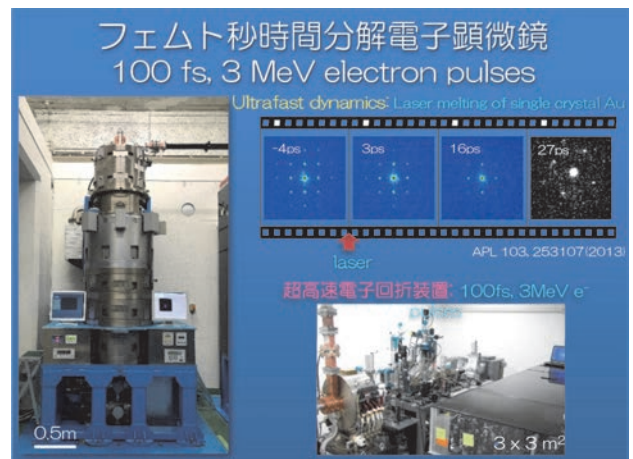
## 社会への影響・期待される効果

相転移等のトリガーに始まる構造変化等の拡大現象や、金属中の転移滑り現象の観測、化学反応における分子構造変化等のダイナミクス解明を目指しています。これにより新しい物質相・新物性の探索、化学反応から生成される様々な中間種の発見が期待されます。

また、様々なタンパク質の構造決定において、ビームダメージよりも早く回折像を取得し、構造決定する手法の確立を目指しています。これにより創薬等への貢献が期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] Electronics and Communication in Jpn, 98, No. 11, 50-57(2015);
- [2] Microscopy, 67, 291-295(2018);
- [3] Adv. in Cond. Matt. Phys. 2019, 9739241(2019);
- [4] Quantum Beam Sci. 2020, 4, 4(2020).





## 量子ビームによる材料の反応解析

Analysis of reactions induced in materials using quantum beam

**研究分野**  
Department

量子ビーム物質科学  
Beam Materials Science

**研究者**  
Researcher

古澤孝弘  
T. Kozawa

**キーワード**  
Keyword

レジスト、微細加工、リソグラフィ、量子ビーム  
resist, nanofabrication, lithography, quantum beam

**応用分野**  
Application

半導体リソグラフィ、レジスト材料  
semiconductor lithography, resist materials

### 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

### 背景

半導体製造における極端紫外光リソグラフィ、粒子線ガン治療等、今後電離放射線領域にある量子ビームの利用が大きく展開して行くことが予想されます。

### 概要・特徴

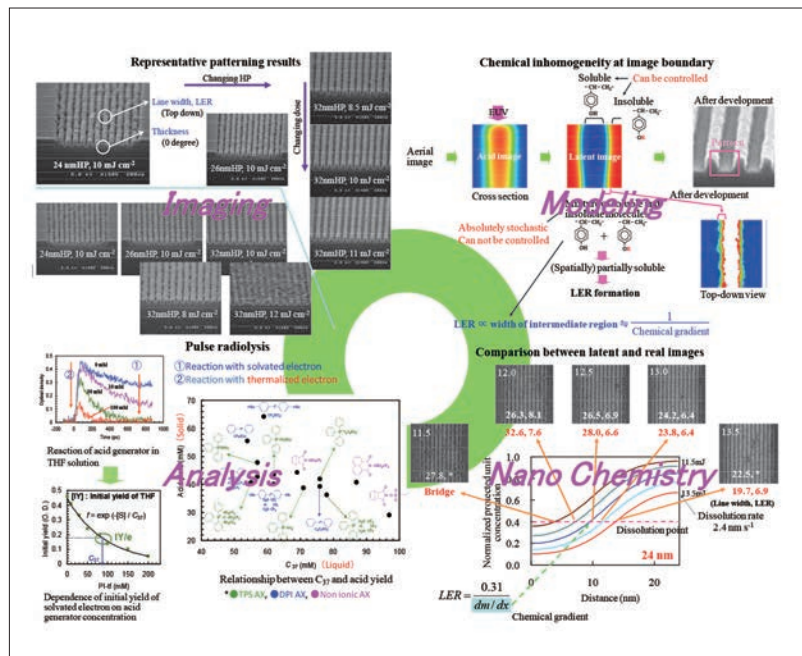
短パルス量子ビームを活用した高時間分解過渡吸収分光システムは他に類を見ない装置であり、モデリングに威力を発揮します。

### 技術内容

最先端の量子ビーム（電子線、極端紫外光、レーザー、放射光、X線、ガンマ線、イオンビーム）を利用して、量子ビームが物質に引き起こす化学反応と反応場の研究を行っています。量子ビームによる物質へのエネルギー付与から、化学反応を経て、機能発現に至るまでの化学反応システムの解明、得られた知見から新規化学反応システムの構築を行い、産業応用分野としては、特に半導体リソグラフィ材料をターゲットとして、反応解析、材料設計指針を得るための研究を行っています。

### 社会への影響・期待される効果

- レジスト材料の反応解析
- 新規材料の設計指針の取得



### [論文 Paper]

- [1] T. Kozawa and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys. (Invited Review) 49 (2010) 030001.  
 [2] T. Itani and T. Kozawa, Jpn. J. Appl. Phys. (Invited Review) 52 (2013) 010002.

## 量子ビームを用いた極限状態下の誘起反応化学

Study on radiation induced chemical reactions at extreme conditions

研究分野  
Department量子ビーム物質科学  
Beam Materials Science研究者  
Researcher室屋裕佐  
Y. Muroyaキーワード  
Keyword量子ビーム、放射線化学、高温高压流体、超臨界状態、軽水炉水化学  
quantum beam, radiation chemistry, high temperature and pressure fluids, supercritical state, water chem応用分野  
Application環境科学、軽水炉水化学  
environmental science, water chemistry in nuclear engineering

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

量子ビームはガン治療、半導体加工、環境有害物質の無害化や難分解性物質の分解といった幅広い分野に利用されています。照射によって物質中に生成するイオンやラジカル、電子といった反応活性種をうまく活用することが鍵となりますが、これらの反応性は高温下で著しく増大することから強力且つ効率的な反応場を創製できることが期待されています。一方で原子力工学においてこれらの反応活性種は構造材料の腐食促進の原因となり、バルク材料界面における化学雰囲気制御が長期安全性に関わる課題となっています。

## 概要・特徴

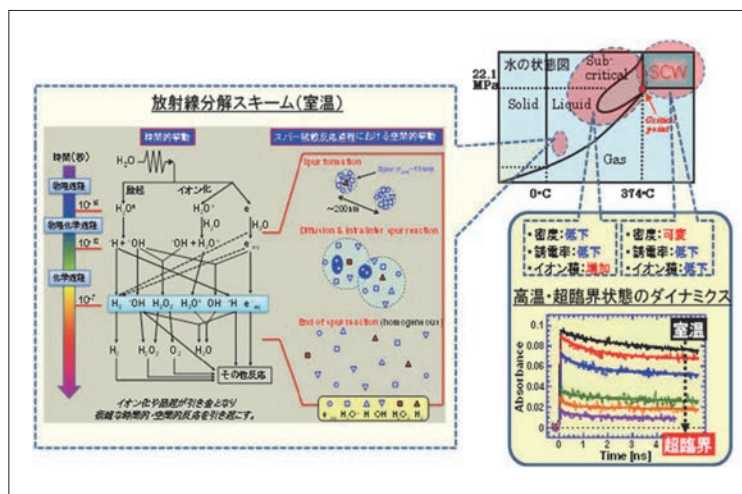
ピコ秒～ナノ秒～マイクロ秒といった極めて短時間に進行する放射線反応を素過程から解明し、これを基に反応システムの把握や制御の研究を行います。

## 技術内容

電子線、ガンマ線、極紫外光といった様々な量子ビームを用いてバルクや溶液-固体界面において誘起される反応を追跡し、シミュレーションも併用することにより反応機構の解明や新たな反応場創製のための指針を得ることを目指します。

## 社会への影響・期待される効果

- 高温高压溶媒の放射線分解反応過程の解明
- 亜臨界・超臨界水を用いた新しい反応場の創製
- 放射線照射下における溶液・固体表面相互作用の解明
- 量子ビームを用いたナノ粒子生成と界面の振る舞いの解明
- 放射性廃棄物処理における化学環境評価



## 【論文 Paper】

- [1] "Supercritical pressure light water cooled reactors", Springer, ISBN: 978-4-431-55024-2, pp.347-375 (2014).
- [2] Chem. Phys. Lett., 657 (2016) 102-106.
- [3] Phys. Chem. Chem. Phys., 19 (2017) 23068-23077.
- [4] Phys. Chem. Chem. Phys., 19 (2017) 30834-30841.
- [5] Nat. Commun., 10 (2019) 102.

## レーザープラズマ駆動高エネルギー電子加速の研究開発

R&amp;D on laser-plasma-driven electron acceleration

## 研究分野

Department

量子ビーム物理  
Beam Physics

## 研究者

Researcher

細貝知直 T. Hosokai	金展 J. Zhan	A. ジドコフ A. Zhidkov	N. パサック N. Pathak
Y. グー Y. Gu	水田好雄 Y. Mizuta	D. オウムバレク D. Oumbarek	A. ロンドピエール A. Rondepierre

## キーワード

Keyword

レーザー加速、プラズマ、超短パルスレーザー、極短電子バンチ  
laser-driven particle acceleration, plasmas, ultra-short pulse lasers, ultra-short electron bunches

## 応用分野

Application

高エネルギー加速器、卓上加速器、超高速イメージング、医療、材料、創薬  
high-energy accelerators, table-top accelerators, ultra-fast imaging, medicine, materials, drug discovery

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

高強度レーザーとプラズマとの相互作用で電子を加速するレーザープラズマ加速は従来の高周波加速の1000倍以上の超高加速電場を生成可能であることから、キロメートルサイズの高エネルギー加速器を卓上サイズにまで小型化可能と期待されています。

## 概要・特徴

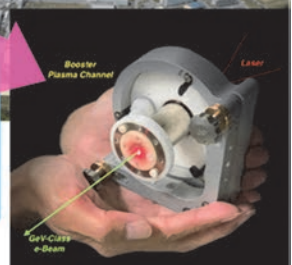
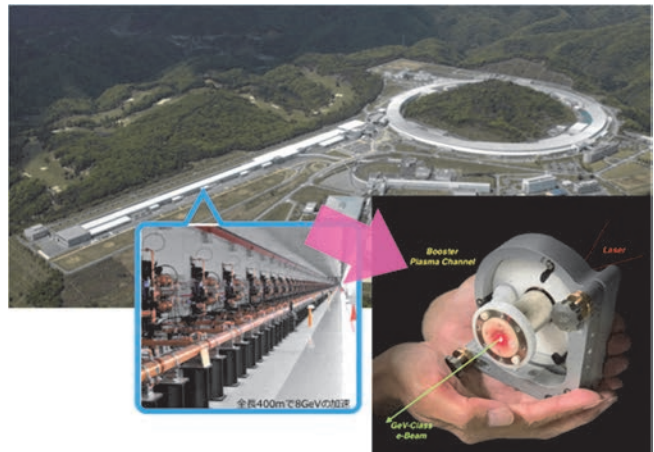
レーザープラズマ加速器の実現に向けた研究開発と高エネルギー電子ビームの利用開拓を行っています。

## 技術内容

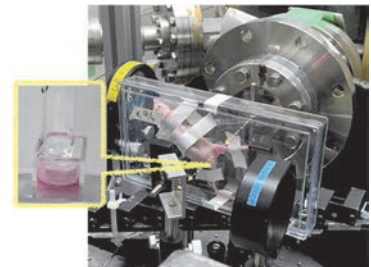
レーザー航跡場加速はGeV級の超高エネルギーの電子加速を卓上サイズで実現可能と期待されています。電子ビームの安定性/再現性、品質、制御性等の粒子加速器としての性能指標の向上がレーザープラズマ加速器実現への大きな課題です。相対論プラズマの挙動と電子加速機構の詳細な理解をベースに、レーザープラズマ加速器の実現を目指します。同時に、レーザープラズマ加速器ならではのユニークなビームの特徴を利用する新しい研究テーマの開拓も行っています。

## 社会への影響・期待される効果

レーザープラズマ加速スキームによる高エネルギー電子加速の劇的な小型化技術を用いて、卓上サイズの短波長領域の自由電子レーザーの実現を目指して研究開発を進めています。並行して、レーザープラズマ加速の極短高エネルギー電子ビームの利用を想定したビーム創薬研究を実施しています。



開発中のプラズマフースター  
— 5cm JJGeV級レーザー加速装置



高エネルギー電子ビーム創薬実験

## 【論文 Paper】

- [1] D. Oumbarek et al., Physics. Letters, 453, 128482 (2022)
- [2] N. Pathak et al., Physics. Letters, 425, 127873 (2022)
- [3] N. Pathak et al., Phys. Plasmas, 28, 053105 (2021)
- [4] N. Pathak et al., Phys. Plasmas, 27, 1033106 (2020)
- [5] A. Zhidkov et al., Phys. Rev. Res., 2, 013216 (2020).
- [6] Z. Jin et al., Scientific Reports, 9, 20045 (2019).

## 【特許 Patent】

- [1] 特許第6873465号「電子ビーム照射装置及び電子ビーム照射装置の作動法」
- [2] US 10,104,753 B2 (米国)
- [3] GB 2559676 B (英国)
- [4] 特許第6319920号「光導波路形成法」
- [5] 特許第5611699号「電子ビームパルス出射装置」



## 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

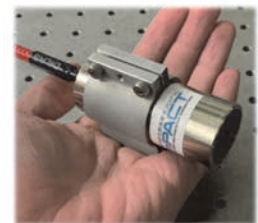
応用化

## 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ました。  
生産ラインに留まらず空調のない屋外での使用も可能です。



超小型レーザー

## 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。
- アルミニウム合金や高張力鋼など、主な金属材料への圧縮残留応力の導入と疲労特性の向上を確認。
- 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。
- 人協働ロボットとの組合せで、持ち運びが可能な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。



開発したレーザーピーニング装置

## 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。



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 10 (2020) 152
- [5] Metals 11 (2021) 1716
- [6] Forces in Mech. 7 (2022) 100080

## 【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」

## 超高感度ナノポアウイルスセンサー

Ultra-sensitive nanopore virus sensor

研究分野  
Departmentバイオナノテクノロジー  
Bio-Nanotechnology研究者  
Researcher谷口正輝 筒井真楠 田中裕行 小本祐貴  
M. Taniguchi M. Tsutsui H. Tanaka Y. Komotoキーワード  
Keywordウイルス、ナノポア  
virus, nanopore応用分野  
Applicationウイルスセンサー  
virus sensor

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

従来、インフルエンザの型判定は、イムノクロマト検査キットに現れるマーカーの有無を、熟練者が目視で判断する形式で行われており、ウイルス数が少ない感染初期の段階では判定が難しいだけでなく、その的中率は個人の能力にも依存していました。

## 概要・特徴

極薄窒化シリコン膜中に開けられたナノ細孔(ナノポア)を通るイオン電流を計測するナノポア法を用いて、インフルエンザウイルスを1個レベルで検出しました。

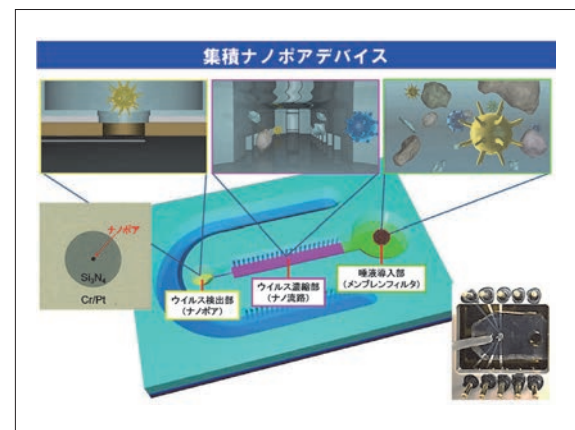
## 技術内容

我々は、ナノポアセンシングの単一粒子検出能という究極の感度を用いて、インフルエンザウイルスの検出を行いました。さらにそのシグナル解析では、従来利用されてきた波形の高さや幅だけではなく、シグナルの立ち上がり角度や尖り具合(尖度)などの特徴量を利用しました。この高次元解析を、AI技術を用いることにより、人間の目ではもはや判別不可能なシグナルのわずかな違いも判別できるようになり、今回の成果へと繋がりました。

インフルエンザウイルス粒子1個で72%,20個以上の検出で95%以上の精度で型判定が可能であることを実証しました。これにより、検査者の能力に依存しない、感染初期でのインフルエンザウイルス型判定の実現が期待されます。

## 社会への影響・期待される効果

本研究成果により、判定する人の能力に依存しない、感染初期でのインフルエンザの型判定が可能になり、患者の負担軽減やウイルス感染の拡大抑止が期待されます。また、本手法はインフルエンザのみならず、あらゆるウイルス種への応用が可能な原理を有しており、従来の1種類のウイルス同定のみに限定されている現状の検査キットの性能を大きく超える、多項目ウイルス検査の実現が期待されます。



## 【論文 Paper】

- [1] Sci. Rep. 7 (2017) 17371.
- [2] ACS Nano, 10 (2016) 803.
- [3] Appl. Phys. Lett., 104 (2014) 163112.
- [4] Sci. Rep. 3 (2013) 01855.
- [5] Appl. Phys. Lett., 103 (2013) 013108.
- [6] "Scientific Reports" on Friday, November 2. (2018.).

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2012-017325
- [2] 特願2012-286115
- [3] 特願2013-047373

## 1 分子量子シーケンサー

Single molecule DNA sequencer

## 研究分野

Department

バイオナノテクノロジー  
Bio-Nanotechnology

## 研究者

Researcher

谷口正輝 筒井真楠 田中裕行 小本祐貴  
M. Taniguchi M. Tsutsui H. Tanaka Y. Komoto

## キーワード

Keyword

マイクロRNA、がん診断、1分子技術  
microRNA, cancer diagnosis, single molecular technologies

## 応用分野

Application

次々世代DNAシーケンサー  
next generation DNA sequencer

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

これまで、マイクロRNAによるがん診断は、乳がんや肺がんなどの早期診断を可能にすることが知られていました。マイクロRNAによるがん診断を行うためには、数種類のマイクロRNAの塩基配列とその量比を同時に決定する定量解析が必要ですが、これまでの解析方法では定量解析が不可能でした。

## 概要・特徴

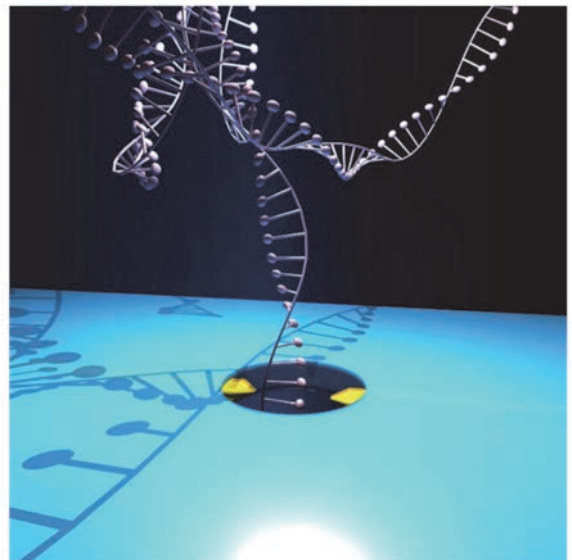
1分子レベルでマイクロRNAの塩基配列、化学修飾、量比を同時に決定する1分子定量解析法を世界で初めて開発しました。

## 技術内容

1分子量子シーケンシング法は、1塩基分子の電気抵抗の違いをトンネル電流で読み出す方法であり、DNAやマイクロRNAの塩基配列、ペプチドのアミノ酸配列、および化学修飾された塩基分子とアミノ酸分子を直接解読できる方法です。さらに、特定の塩基配列・アミノ酸配列や化学修飾塩基分子・アミノ酸をマーカーにすることで、計測分子数を決定できます。今回、当研究グループは、1分子量子シーケンシング法により、がんの診断マーカーであるマイクロRNAの塩基配列、化学修飾、および量比を同時に決定する1分子定量解析に成功しました。これにより、マイクロRNAを利用した乳がんや肺がんなどの早期診断が期待されます。

## 社会への影響・期待される効果

本研究成果により、マイクロRNAによる乳がんや肺がんなどの早期診断が期待されます。また、本1分子量子シーケンシング法は、マイクロRNAをそのまま1分子レベルで定量解析でき、マイクロRNAをDNAに逆転写してDNAを増幅する操作が不要となるため、低コストかつ迅速ながん診断が期待されます。



## 【論文 Paper】

[1] "Scientific Reports" (online) on September 29, 2021. "Single-molecule RNAsequencing for simultaneous detection of m6A and 5mC"



## 化学発光タンパク質を利用したオンサイト検出法の開発

Development on-site investigation system by chemiluminescent proteins

研究分野  
Department生体分子機能科学  
Biomolecular Science and Engineering研究者  
Researcher永井健治  
T. Nagaiキーワード  
Keyword化学発光タンパク質、オンサイト診断、スマートフォン  
chemiluminescent protein, on-site diagnosis, smart devices応用分野  
Application医療、環境調査  
clinical use, environmental investigation

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

我々の研究室では、肉眼で見えるほど明るく、多色な化学発光タンパク質を開発してきました[1]。この明るさを利用して、様々な検出技術への応用を展開しています。

## 概要・特徴

化学発光タンパク質とスマートフォンを組み合わせ、血液成分を高感度・迅速・オンサイトで検出可能なシステムを開発しました。

## 技術内容

化学発光タンパク質を利用したバイオセンサー①②を開発しました[2][3]。対象となる分子の濃度を発光波長の変化、つまり色の変化により計測します。これらのセンサーは非常に明るい発光を示すため、その色変化をスマートフォンなどのカメラを用いて検出することができます。

極微量の血液から高感度に検査対象を測定することが可能です。

- ①ビリルビンバイオセンサー「BABI」新生児黄疸の原因分子であるビリルビンを検出します(図1右上)。
- ②トロンビンバイオセンサー「Thrombastor」血栓症の原因となりうる血液凝固因子トロンビンの活性を検出します(図1右下)。



ビリルビン濃度



トロンビン濃度



図1. 化学発光タンパク質を利用したバイオセンサーによる血中成分の検出。右上. BABIによるビリルビンの検出。ビリルビンの濃度に応じて、血液を通した発光色が青から橙に変化する。スマートフォン搭載のカメラで撮影し、色成分を解析することで濃度が計算できる。右下. Thrombastorによるトロンビンの検出。トロンビンの濃度に応じて、発光色が緑から青に変化する。

## 社会への影響・期待される効果

化学発光タンパク質を利用したセンサーは特別な装置を用意する必要がなく、その場で簡便に、迅速にシグナルを得ることができるため、オンサイト検出の実現に適したツールです。

スマートフォンなどの汎用的な機器を用いた検査方法を確立することで、誰もが気軽に健康診断ができる社会が実現されます。また、通信機能と組み合わせることで、検査結果を医療機関へ送り診断を仰ぐ、といった在宅医療の新しい形が期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] Nat. commun., 7, 13718, 2016
- [2] ACS Sensors, 6, 889-895, 2021.
- [3] Anal. Chem., 93, 13520-13526, 2021.

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2017-013463「生体物質の検出方法、それに用いる化学発光指示薬」
- [2] 特願2018-565519「デバイス、及びそれを用いた判定システム」

## 蛍光タンパク質を用いた生理機能破壊ツールの開発

Fluorescence protein based inactivation tool for physiological function

研究分野  
Department生体分子機能科学  
Biomolecular Science and Engineering研究者  
Researcher永井健治  
T. Nagaiキーワード  
Keyword蛍光タンパク質、生理機能操作、光増感色素  
Fluorescent protein, Biomanipulation Photosensitizer応用分野  
Applicationオプトジェネティクス、バイオイメージング、顕微鏡  
Optogenetics, Bioimaging, Microscopy

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

光増感色素は、光照射により活性酸素を産生し近傍の分子の機能を破壊することのできる分子です。当研究室では遺伝子工学技術を利用して光増感を持つ蛍光タンパク質を開発し、細胞機能操作へ応用展開しています。

## 概要・特徴

光照射により活性酸素を産生する光増感蛍光タンパク質を開発し、生きている細胞内での光照射による自在な生理機能破壊への応用展開を進めています。

## 技術内容

- クラゲ由来の赤色蛍光タンパク質を遺伝子改変して、橙色光照射により活性酸素を産生する単量体型光増感赤色蛍光タンパク質SuperNova Red (SNR) を開発しました[1]。
- SNRに対してさらにアミノ酸変異を導入して、青色光照射により活性酸素を産生する波長変異体の単量体型光増感緑色蛍光タンパク質SuperNovaGreen (SNG) を開発しました[2]。
- 光照射によりSNR、SNGを融合させたタンパク質の機能の破壊や、シグナル配列の融合によりこれらをミトコンドリア局在させた細胞への細胞死の誘導に成功しました。
- 照射する光の波長を切り替えることによって、SNRとSNGによる蛋白質機能破壊、細胞死誘導を異なるタイミングで起こすことに成功しました[2]。

## 社会への影響・期待される効果

光増感蛍光タンパク質は遺伝子でコードされているため、機能破壊の標的となるタンパク質との融合タンパク質として発現させてやれば様々なタンパク質分子の機能破壊に応用することができます。最近ではこの技術を発展させることによって、光照射によりマウスの記憶を消去する実験にも成功しており[2]、医薬研究等への貢献が期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] Takemoto K. et al. Sci. Rep., 3, 2629, 2013  
[2] Riani Y. D. et al., BMC Biol., 16, 50, 2018  
[3] Goto A. et al., Science, 374, 857, 2021

## 【特許 Patent】

- [1] 特願2010-22603「光増感蛍光タンパク質」

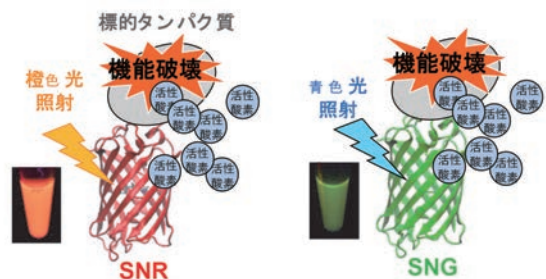


図1. SuperNova タンパク質機能破壊の概念図

## HeLa細胞 共培養

緑色: SuperNova Green 発現細胞  
マゼンタ: SuperNova Red 発現細胞

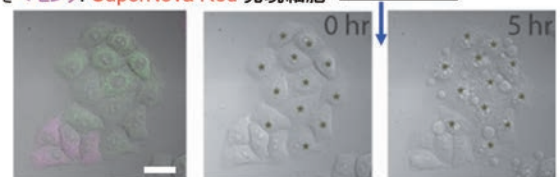


図2. SNG/SNR 発現HeLa細胞共培養系に対する青色光照射によるSNG発現細胞特異的な細胞死誘導。

## ヒト嗅覚システムを再現した匂いセンサーの開発

Development of odor sensor mimicking human olfactory system

研究分野  
Department生体分子反応科学  
Biomolecular Science and Reaction研究者  
Researcher黒田俊一 立松健司  
S. Kuroda K. Tatematsuキーワード  
Keyword匂いの数値化、ヒト嗅覚受容体、嗅覚受容体アンタゴニスト  
smelldigitization, human olfactory receptor, odorant-receptor antagonist応用分野  
ApplicationAI調香師、消臭剤、仮想現実  
AI perfumer, deodorizer, virtual reality

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

食品、化粧品等の広範な製品開発において匂いの官能試験は非常に重要ですが、試験士の資質に大きく依存するため、再現性やスループット性が低く、しかも他者との情報共有が困難でした。一方、化学系匂いセンサーは特定の匂いしか検出できず、官能試験との連携は不可能でした。

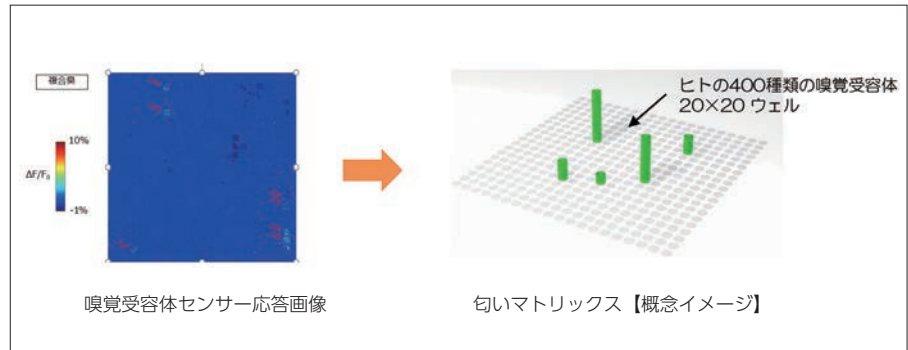
## 概要・特徴

ヒト嗅覚受容体全て（約400種類）を用いた嗅覚受容体センサーを作製し、ヒトの感じる匂い全てを定量することに成功しました。

## 技術内容

人間の視覚や聴覚の情報はデジタル化され「情報の正確な記録と再現」が可能となっており、映像作品や音楽として商業的に活用されています。一方で、嗅覚情報は「匂いの基準」となるものが存在せず、匂いを正確に表現することが困難でした。

私たちはヒトの約400種類の嗅覚受容体を発現する細胞からなる嗅覚受容体センサーを開発しました(特許技術、図左)。この匂いセンサーはヒトの嗅覚受容体を網羅的に発現させたものであり、ヒトが匂いを感じる仕組みをアレイ上で再現したものです。各嗅覚受容体の応答は細胞内カルシウムイオンの濃度変化を蛍光強度に変換し、約400種類の嗅覚受容体の応答を一括測定することができます。これにより、約400種類の嗅覚受容体の応答をまとめた匂いの基準「匂いマトリックス」の作成、すなわち嗅覚情報のデジタル化が実現されます(図右)。



## 社会への影響・期待される効果

これまで匂いのデジタル化そのものが困難であったため、当技術の市場展開が匂い関連製品にパラダイムシフトを起こす可能性があります。具体的には、遠隔地への匂い情報の転送と再構成（匂いが伝わるテレビや映画）、嗅覚受容体応答情報の医療への応用（アロマセラピーの発展型等）が想定されます。

## 【論文 Paper】

- [1] Biosci. Biotechnol. Biochem. 86 (2022) 1562–1569
- [2] 生産と技術 72 (2020) 78–80
- [3] Aroma Research 20 (2019) 38–39
- [4] Scientific Reports. 6 (2016) 19934

## 【特許 Patent】

- [1] 特許出願2019-536790



# 多剤耐性細菌に有効な情報伝達阻害型薬剤の開発

Development of antibiotics targeting signal transduction of multi-drug resistant pathogens

**研究分野**  
Department

生体分子反応科学  
Biomolecular Science and Reaction

**研究者**  
Researcher

岡島俊英 内海龍太郎  
T. Okajima R. Utsumi

**キーワード**  
Keyword

多剤耐性菌、二成分情報伝達系、ヒスチジンキナーゼ  
multi-drug resistant bacteria, two-component signal transduction system, histidine kinase

**応用分野**  
Application

多剤耐性菌感染症治療薬、新規抗生物質  
drug for infection of multi-drug resistant bacteria, novel antibiotics

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

### 背景

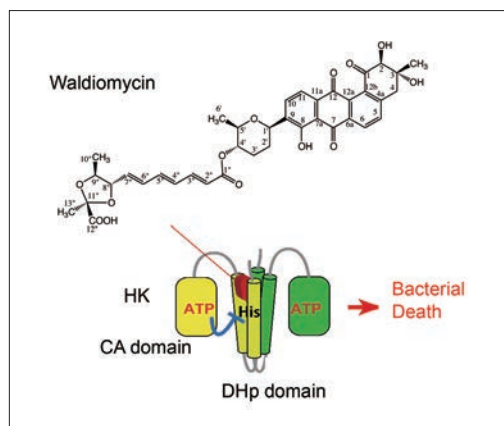
既存の複数抗生物質が効かない多剤耐性菌の院内感染あるいは市中での蔓延は、公衆衛生上の大きな問題となっています。これまでの抗生物質が改良されても、新たな耐性菌が直ちに出現する状況にあり、新しいコンセプトによる抗生物質の開発が望まれています。

### 概要・特徴

細菌の情報伝達系を阻害することによってMRSAやVREなどの多剤耐性菌にも抗菌作用を示す新規な薬剤を開発することに成功しました。

### 技術内容

細菌の主要な環境応答システムである二成分情報伝達系(TCS)は、細胞膜に存在するヒスチジンキナーゼ(HK)と転写因子レスポンスレギュレーター(RR)から構成されています。HKは環境シグナルに反応して、自己のHis残基をリン酸化し、そのリン酸基をRRへ転移します。リン酸化RRは遺伝子発現を制御し、各種の重要な生理過程に関与します。TCSはヒト細胞に存在せず、動植物病原菌の病原性、増殖、薬剤耐性等にも関与するため、抗菌薬の新規かつ重要な標的と考えられています。これまでに我々はHKに特異的に作用する阻害剤を放線菌から発見し、特許化している。そのひとつwaldiomycinは、HKの自己リン酸化部位周辺の保存領域に対して特異的に結合します。その結果、MRSA(メチシリン耐性黄色ブドウ球菌)やVRE(バンコマイシン耐性腸球菌)等の多剤耐性菌の情報伝達を阻害して、抗菌作用を示します。



### 社会への影響・期待される効果

Waldiomycinは広範なTCSを同時に阻害するため、抗菌特性を示すばかりでなく、同時に薬剤耐性や病原性も抑え込むマルチな機能性をもつ次世代型抗菌薬のシーズとなり得ます。

### 【論文 Paper】

- [1] Biomolecules 12 (2022) 1321-1321
- [2] Anal. Biochem. 600 (2020) 113765-113765
- [3] 化学と生物57 (2019) 416-427
- [4] J. Antibiot. (Tokyo) 70 (2017) 251-258
- [5] J. Gen. Appl. Microbiol. 63 (2017) 212-221
- [6] J. Antibiot. (Tokyo). 66 (2013) 459-64

### 【特許 Patent】

- [1] 特許第5686981号

## 遺伝子の迅速検査技術

Development of rapid, accurate, and cost effective technology for gene analysis

研究分野  
Department精密制御化学  
Regulatory Bioorganic Chemistry研究者  
Researcher中谷和彦  
K. Nakataniキーワード  
Keyword遺伝子、ウイルス、診断  
genome, virus, diagnosis応用分野  
Application遺伝子検査キット  
diagnosis kit for genetic analysis

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

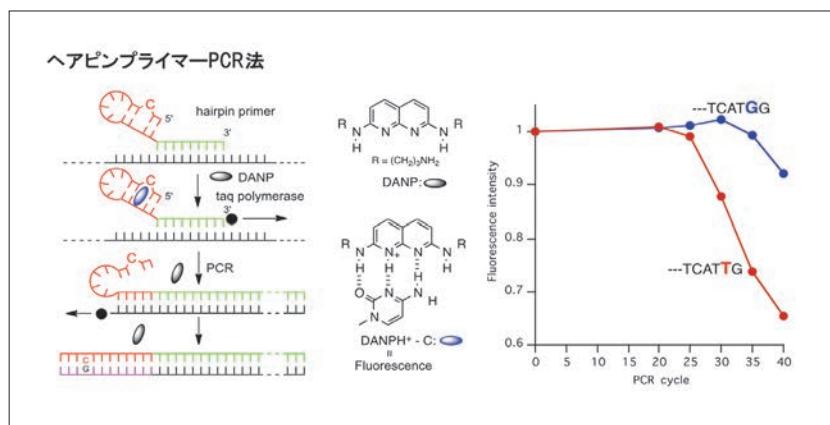
## 背景

実用的な迅速且つ高精度なウイルス検出を目指し、簡便な遺伝子検出法の開発を行います。

## 概要・特徴

DNAのシトシンバルジに特異的に結合し蛍光を発する低分子リガンド(DANP)を化学修飾したプライマーを用い、特徴的な蛍光強度変化から遺伝子検査を行うヘアピンプライマーPCR法を開発しました。

- 遺伝子を迅速、簡便、安価に検査、検出する技術
- 基本はポリメラーゼ連鎖反応(PCR)を用いる
- ウイルスの迅速な確定検査技術としての実用化を検討中



## 技術内容

PCRのプライマー3'側にシトシンバルジをもつプライマーを使います。低分子リガンドDANPはシトシンバルジに結合すると蛍光を発します。PCR前はプライマーが大量に有るため、DANPの結合により蛍光強度が高い。PCRが進行するとプライマーのヘアピン構造が解消し、DANPが結合することができず蛍光強度が低下します。PCR前と後の蛍光強度により、PCRの進行(プライマーの消費)度合い、即ち、検査する遺伝子の量や存在の有無が判ります。

## 社会への影響・期待される効果

- コスト従来比1/10
- 従来技術に比べて圧倒的な簡便性
- ウイルス増殖を待つ必要の無い、初期感染時期での検査が可能

## 【論文 Paper】

- [1] Secondary Structure-Inducible Ligand Fluorescence Coupled with PCR, Takei, F.; Igarashi, M.; Hagihara, M.; Oka, Y.; Soya, Y.; Nakatani, K. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2009, 48, 7822-7824.
- [2] Competitive Allele-specific Hairpin Primer PCR for Extremely High Allele Discrimination. Takei, F.; Igarashi, M.; Oka, Y.; Koga, Y.; Nakatani, K. *ChemBioChem* 2012, 13, 1409-1412.

## 【特許 Patent】

- [1] 特開2008-125425
- [2] 特願2010-054658号
- [3] 特願2012-51551号

## 核酸標的の低分子創薬基盤技術開発

Development of research tools and molecules accelerating research toward small-molecule drugs targeting nucleic acids

研究分野  
Department精密制御化学  
Regulatory Bioorganic Chemistry研究者  
Researcher中谷和彦  
K. Nakataniキーワード  
Keyword低分子、核酸、DNA、RNA、創薬  
small molecule, nucleic acids, DNA, RNA, drug development応用分野  
Application創薬リード創出、スクリーニング技術  
drug lead development, screening technology

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

ヒトゲノムの3/4を占める非翻訳RNAなど、機能を有する核酸を標的とした低分子創薬に大きな期待が寄せられています。欧米の研究速度に負けない、創薬研究の加速を支援します。

## 概要・特徴

- 標的を標識せずに、化合物ライブラリーを混ぜるだけの簡便な「蛍光ディスプレイメントアッセイ」。既に創薬企業2社が採用。
- 表面プラズモン共鳴 (SPR) を使った、標的DNA・RNA結合分子の探索技術
- 世界で唯一無二のハンチントン病 (CAGリピート)、脆弱X症候群 (CGGリピート) 結合分子開発実績

## 技術内容

- 1) HTS対応蛍光ディスプレイメントアッセイ
- 2) 疾病関連DNA、RNA結合分子探索・開発技術
- 3) 創薬候補低分子に結合するRNAの探索

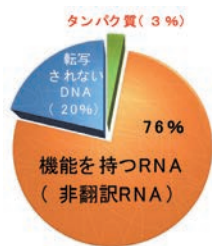
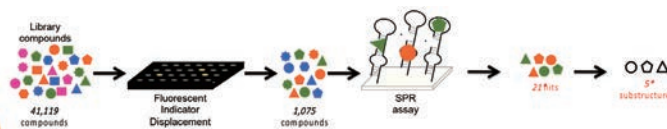
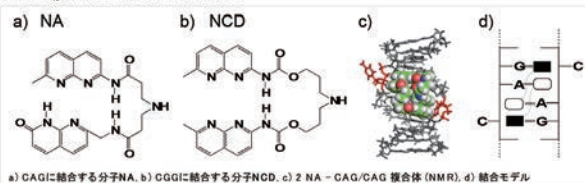


図1 ヒトゲノム30億塩基対の行方

## 蛍光ディスプレイメントアッセイ (HTS)



## 遺伝子疾患原因遺伝子結合分子



## 社会への影響・期待される効果

- 核酸を標的とした低分子創薬開発
- 企業における核酸標的の低分子創薬の加速、参入障壁低減

## 【論文 Paper】

- [1] Scanning of guanine-guanine mismatches in DNA by synthetic ligands using surface plasmon resonance assay, Nakatani, K.; Sando, S.; Saito, I. Nat. Biotechnol.2001, 19, 51-55.
- [2] Small-molecule ligand induces nucleotide flipping in (CAG)<sub>n</sub> trinucleotide repeats, Nakatani, K.; Hagihara, S.; Goto, Y.; Kobori, A.; Hagihara, M.; Hayashi, G.; Kyo, M.; Nomura, M.; Mishima, M.; Kojima, C. Nature Chemical Biology 2005, 1, 39-43.

## 【特許 Patent】

- [1] PCT/IB2017/054932 (平成29年8月12日) 他

# エピジェネティクスの化学的制御に基づいた 医薬品創製

Development of therapeutic agents based on epigenetics

## 研究分野 Department

複合分子化学  
Complex molecular chemistry

## 研究者 Researcher

鈴木孝禎  
T. Suzuki

## キーワード Keyword

エピジェネティクス、阻害剤  
epigenetics, inhibitor

## 応用分野 Application

医薬品、生物試験用試薬  
therapeutic agents, reagents for biological studies

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

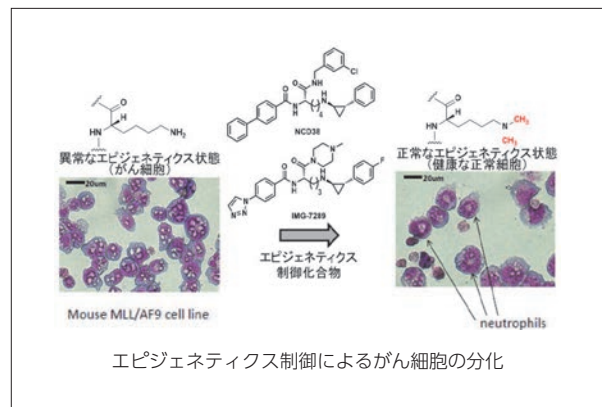
DNAの塩基配列に依存しないで遺伝子の発現を制御する機構「エピジェネティクス」の異常は、がんなどの疾病に関与する。エピジェネティクスをコントロールする化合物は、抗がん剤などの治療薬として応用することが期待できます。

## 概要・特徴

疾患に関与するエピジェネティックタンパク質の阻害剤を創製し、それらの阻害剤が疾患細胞を正常細胞に変化させることを示しました。

## 技術内容

- 標的誘導型合成やフォーカスライブラリーのスクリーニングなどの独自の創薬手法を用いて、エピジェネティック阻害剤を創製しました。
- エピジェネティック阻害剤は、疾患細胞中の異常なエピジェネティクス状態を正常なエピジェネティクス状態に変えることで、疾患細胞を正常細胞に分化させる作用(例：白血球細胞を好中球などの正常細胞に分化させる作用)を示しました。
- 動物実験(マウスがんモデル、マウスうつ病モデル)においても、エピジェネティック阻害剤は、少ない副作用で、高い治療効果を示しました。



## 社会への影響・期待される効果

がんは、1981年以降死因の第1位であり、最近では、総死亡数の約3割を占めています。また、認知症の患者数は約500万人ですが、その数は増加の一途をたどり、2025年には730万人に達すると予測されています。さらに、うつ病などの精神疾患の患者数も約500万人であり、精神疾患による自殺者の増加は著しく、それに伴う損失額は年間2.7兆円と推定されています。これらの疾患治療は、喫緊の課題です。

これらの疾患には、エピジェネティクスの異常が関与していることが分かっており、エピジェネティック阻害剤は、これらの疾患の根本治療に役立つと期待されます。

## 【論文 Paper】

- [1] ACS Med. Chem. Lett. 13 (2022) 1568-1573
- [2] ACS Catal. 10 (2020) 5383-5392
- [3] J. Am. Chem. Soc. 142 (2020) 21-26
- [4] J. Med. Chem. 62 (2019) 5844-5862
- [5] Chem. Sci. 7 (2017) 6400-6408

## 【特許 Patent】

- [1] 特許第6238908号
- [2] 特願2018-08464「ヒストン脱アセチル化酵素阻害剤」
- [3] 特願2019-106166「KDM5C阻害剤及び抗うつ剤」



## 標的タンパク質分解誘導剤の創製

Development of targeted protein degraders

研究分野  
Department複合分子化学  
Complex molecular chemistry研究者  
Researcher伊藤幸裕  
Y. Itoh  
鈴木孝禎  
T. Suzukiキーワード  
Keywordプロテインノックダウン、分解誘導剤、ユビキチン  
protein knockdown, degraders, ubiquitin応用分野  
Application医薬品、生物試験用試薬  
therapeutic agents, reagents for biological studies

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

プロテインノックダウン法は、標的タンパク質を分解する新しい技術として注目を集めています。プロテインノックダウン法で用いるタンパク質分解誘導剤は、抗がん剤をはじめとする様々な医薬品として期待されています。

## 概要・特徴

標的タンパク質を特異的に分解する技術を確立し、疾患に関連するタンパク質を標的とする種々の分解誘導剤を創製しました。

## 技術内容

- 生体内のタンパク質分解機構であるユビキチン-プロテアソームシステムをハイジャックし、狙ったタンパク質を特異的に分解する技術を確立しました。
- 本技術が様々なタンパク質に適応できることを明らかにしました。
- 神経芽細胞腫や前立腺がんの生育に関与するタンパク質など、種々のタンパク質を分解する分解誘導剤を創製しました。
- タンパク質分解誘導剤は、酵素阻害薬などの従来のタンパク質制御化合物とは異なる作用を示します。

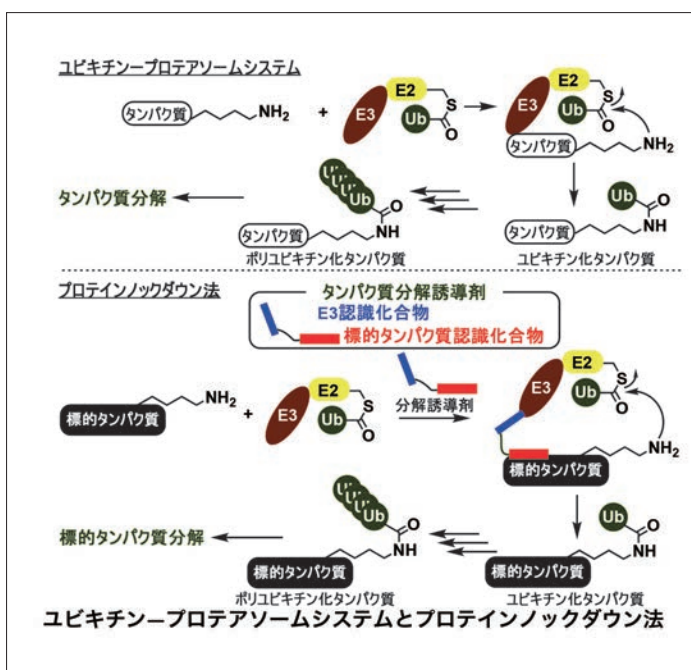
## 社会への影響・期待される効果

プロテインノックダウン法で用いるタンパク質分解誘導剤は、狙ったタンパク質を特異的に分解し、その細胞内存在量を減らすことができます。病原性タンパク質を標的とする従来の医薬品の多くは、受容体アンタゴニストや酵素阻害薬であり、それらはタンパク質の特定の機能を阻害します。一方、タンパク質分解誘導剤は、標的タンパク質のみを分解するため、特定の機能のみならず、そのタンパク質が持つあらゆる機能を阻害できます。このように、タンパク質分解誘導剤は、これまでの医薬品とは異なる新たな創薬モダリティとして期待できます。実際、本技術ならびに分解誘導剤は世界中の創薬研究で利用されており、その中には臨床研究に進んでいるものがあります。

## 【論文 Paper】

- [1] Chem. Commun. 58 (2022) 4635–4638.  
[2] ChemMedChem 16 (2021) 1609–1618.

- [3] Chem. Rec. 18 (2018) 1681–1700.  
[4] J. Am. Chem. Soc. 132 (2010) 5280–5286.



## 細菌薬剤排出ポンプの機能と制御に関する研究

Regulation and Function of Bacterial Drug Efflux Pumps

研究分野  
Department生体分子制御科学  
Biomolecular Science and Regulation研究者  
Researcher西野邦彦 K. Nishino  
山崎聖司 S. Yamasaki  
西野美都子 M. Nishino  
田口厚志 A. Taguchiキーワード  
Keyword発現制御、トランスポーター、化学療法、細菌感染症  
regulation, transporter, chemotherapy, bacterial infection応用分野  
Application感染症治療  
treatment of infection

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

世界中で抗菌薬で治療することができない薬剤耐性菌による感染症が問題となっている。薬剤排出ポンプは抗菌薬を細菌の中から外へ排出することで、細菌多剤耐性化に関与しています。

## 概要・特徴

私達の研究室では、抗菌薬を効かせなくする病原細菌について、薬剤排出ポンプの機能と制御機構に着目し、細菌の適応能力を明らかにした上で、新たな感染症治療戦略の開発に取り組んでいます。

## 技術内容

ポストゲノム解析を駆使して、これまでに細菌ゲノムに潜む数多くの薬剤排出ポンプと、その制御ネットワークを同定してきました。これらの同定された因子は、多剤耐性を克服する新たな薬のターゲットとして期待されています。さらには、病原性発現と多剤耐性の両方に関与する制御因子の構造を明らかにしました。薬剤排出ポンプや制御因子に対する阻害剤を用いることによって病原性を軽減させながら、細菌の多剤耐性化を抑制する新たな感染症治療が可能になります。

## 社会への影響・期待される効果

- 新規薬剤排出ポンプ制御機構の解明
- 感染症新規治療戦略の確立



薬剤排出ポンプ制御因子による抗菌薬認識

## 論文 Paper]

- [1] Antimicrob. Agents Chemother. 66 (2022) e00672-22. Spatial Characteristics of the Efflux Pump MexB Determine Inhibitor Binding.
- [2] Front. Microbiol. 13 (2022) 839718. Identification of Bacterial Drug-Resistant Cells by the Convolutional Neural Network in Transmission Electron Microscope Images.
- [3] Antimicrob. Agents Chemother. 66 (2022) e02392-21. Proximal Binding Pocket Arg717 Substitutions in Escherichia coli AcrB Cause Clinically Relevant Divergencies in Resistance Profiles.
- [4] Microbiol. Immunol. 64 (2020) 182-188. An efflux inhibitor of the MacAB pump in Salmonella enterica serovar Typhimurium.
- [5] Front. Microbiol. 11 (2020) 581571. Identification of Genetic Variants via Bacterial Respiration Gas Analysis.
- [6] Commun. Biol. 2 (2019) 340. Phylogenetic and Functional Characterisation of the H. influenzae multidrug efflux pump AcrB.
- [7] Nature Commun. 9 (2018) 124. Multiple Entry Pathways within the Efflux Transporter AcrB Contribute to Multidrug Recognition.
- [8] Nature Commun. 4 (2013) 2078. The Crystal Structure of Multidrug-Resistance Regulator RamR with Multiple Drugs.
- [9] Nature 500 (2013) 102-106. Structural Basis for the Inhibition of Bacterial Multidrug Exporters.
- [10] Nature 480 (2011) 565-569. Structures of the Multidrug Exporter AcrB Reveal a Proximal Multisite Drug-Binding Pocket.
- [11] J. Biol. Chem. 283 (2008) 24245-24253. AcrAB Multidrug Efflux Pump Regulation in Salmonella enterica Serovar Typhimurium by RamA in Response to Environmental Signals.
- [12] Mol. Microbiol. 59 (2006) 126-141. Virulence and Drug Resistance Roles of Multidrug Efflux Systems of Salmonella enterica Serovar Typhimurium.
- [13] Science 307 (2005) 864. Bacterial Multidrug Exporters: Insights into Acquisition of MDR.

# 脂溶性生理活性物質の輸送体の同定と輸送体を標的とした創薬

Discovery of a drug that is targeting a novel lipid mediator transporter

**研究分野**  
Department

生体分子制御科学  
Biomolecular Science and Regulation

**研究者**  
Researcher

西 毅  
T. Nishi

**キーワード**  
Keyword

免疫抑制剤、リンパ球、輸送体、阻害剤、脂質メディエーター  
immunosuppressant drug, lymphocyte, transporter, inhibitor, lipid mediators

**応用分野**  
Application

自己免疫疾患治療、がん転移抑制、感染症治療  
treatment of autoimmune diseases, suppression of tumor cells metastasis, treatment of infection

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

### 背景

脂溶性の生理活性物質（脂質メディエーター、ステロイドホルモン、ビタミン等）の細胞内外での輸送機構が様々な細胞機能に必須であることがわかってきました。

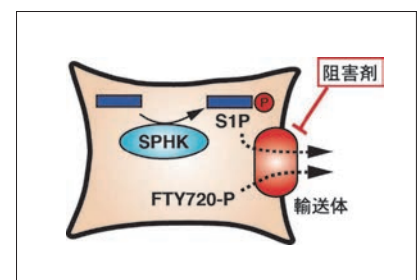
### 概要・特徴

我々は生理活性脂質であるスフィンゴシン1リン酸(S1P)をモデルとして、細胞外への放出輸送体SPNS2やMFSD2Bを同定し、これら輸送体の活性を測定する細胞系を開発しました。S1P輸送体の阻害剤はこれまでに無い新しい作用機序で副作用の少ない免疫抑制剤や抗がん剤のターゲットとして有効であると考えられます。

S1Pを細胞内に蓄積する細胞を構築し、そこに輸送体を発現させることで輸送活性を測定できる系を確立しており、この系を用いて阻害剤のスクリーニングが可能です。またこの系は、新しい輸送体や異なる生理活性脂質の輸送系の探索にも応用可能です。

### 技術内容

S1Pはヒトでは免疫細胞の血管移行に中心的な役割を果たします。そのためS1P受容体は免疫抑制剤の開発の標的となり、FTY720などの薬が開発されました。しかし、受容体の多様性などから依然として副作用が存在し、S1P受容体の欠損マウスは胎生致死となります。我々はS1Pの細胞外への供給に関わる輸送体を同定し、この輸送体の欠損マウスでは他に顕著な異常を示すことなく、血液中へのリンパ球の移行のみが特異的に抑制されることを見いだしました。このことからこの輸送体の阻害剤がこれまでに無い新しい作用機序で副作用の少ない免疫抑制剤や阻害剤のターゲットになります。測定系が確立しており阻害剤の探索はすぐにでも開始できます。



### 社会への影響・期待される効果

- 副作用の少ない免疫抑制剤の実現
- トランスポーターオリエンティッドな新しい作用機序を持つ創薬の実現

### 【論文 Paper】

- [1] Science 323, 524-527 (2009)
- [2] J Biol Chem. 286, 1758-1766 (2011)
- [3] PLoS ONE 7(6): e38941 (2012)
- [4] J Lipid Res 57: 2088-2094 (2017)
- [5] Sci.Rep. 8 (1), 1-11(2018)

### 【特許 Patent】

- [1] 特許第5373346号スフィンゴシン1-リン酸の新規トランスポーター分子

# nmスケール造形技術を駆使した ナノ機能材料開発とデバイス展開

Development of three dimensional nano-structured functional materials and devices

**研究分野**  
Department

三次元ナノ構造科学  
3D-nano structural science

**研究者**  
Researcher

服部 梓      大坂 藍  
A. Hattori    A. Osaka

**キーワード**  
Keyword

ナノ立体造形、完全結晶表面、機能性金属酸化物  
nano 3D fabrication technique, perfect crystal surface, functional metal oxides

**応用分野**  
Application

立体ナノデバイス構造、急峻応答デバイス、NEMS、立体ナノ構造・計測評価技術  
3D structured nano devices, steep slope device, NEMS, nanostructure production and investigation techniques

研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

ナノ構造体ではその構造と特性、デバイス動作効率とは直結しています。ナノ立体構造をデザインし精密造形技術で製造することで、これまでにない優れた機能を創出し、新奇ナノ機能材料の開発、デバイス展開が可能となります。

## 概要・特徴

- 究極の3次元立体構造創製・計測評価技術の構築
- ナノ構造マニピュレーションによる新機能性の創出と制御
- 高効率ナノデバイスの具現化

## 技術内容

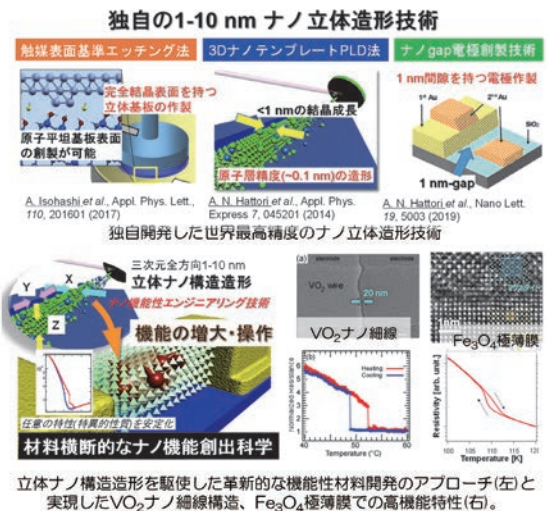
- トップダウンとボトムアップを高度に融合させた1-10nmスケールのナノ立体造形技術を機能性エンジニアリングの要素技術として開発。結晶の乱れが入らない原理的に最高精度でのものづくりを実現。
- リソグラフィ技術を駆使することで、電極間距離20nm、線幅600nmの二酸化バナジウム(VO<sub>2</sub>)ナノ細線デバイスを実現し、物性の起源である電子相転移特性の優れた特性を抽出し、バルクの100倍以上の急峻応答性を実現。
- 独自の化学研磨法により酸化マグネシウム基板上に原子の乱れが無い完全結晶表面を実現。この上でマグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)薄膜を成長させることで結晶の不完全性を除去した極薄膜の成長を可能とし、相転移特性の向上に成功。

## 社会への影響・期待される効果

従来の生産技術を単にサイズダウンするだけでなく、製造プロセスでの物理・化学反応をナノ・マイクロ領域で理解し、所望のナノ構造、機能を安定化させる学理を構築し、方法論を打ち立てることで、材料開発及びデバイスの高性能化、微細化に貢献します。ナノ・マイクロ空間での3次元立体形状の制御によって、特定状態を安定化させ薄膜やバルク材料では実現不可能であった金属酸化物の新奇物性の創出を実現し、デバイス応用展開を通じて、高機能を維持したITデバイスの低消費電力駆動、医療応用など健康生活の実現として2050年のカーボンニュートラル社会の実現へと貢献する。

## 【論文 Paper】

- [1] Crystals 10 (2020) 631(1-14)
- [2] Appl. Nano Mater. 4 (2021) 12091-12097
- [3] Cryst. Growth Des. 21 (2021) 946-953





## 先進材料実装による印刷デバイスの開発

Development of Printed Devices with Advanced Material Packaging

研究分野  
Department先進材料実装  
Advanced Materials and Implementations研究者  
Researcher荒木徹平  
T. Araki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

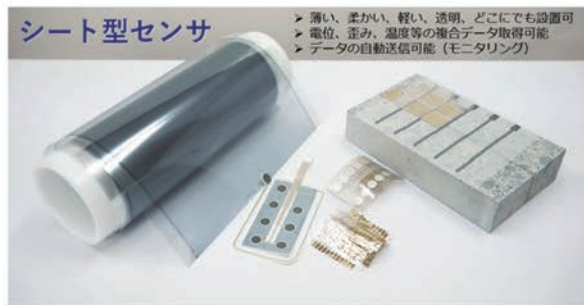
## 背景

従来の電子デバイスには、硬くて不透明な電極や半導体が利用されています。それゆえ、「人の体になじみにくく自然な生体の反応データを得ることが難しい」「対象物を傷つけかねない」「対象物の目視観察が難しい」という問題がありました。

## 概要・特徴

フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス (FHE) に必要な印刷配線板を多機能化・高性能化する研究開発を通じて、人/農業/インフラ分野にむけたヘルスケアセンサシステムへの応用研究を行っております。特に、有機・無機ナノ材料を中心とする伸縮導体材料を、有機デバイスへ集積実装することで、薄膜・柔軟・透明なシート型センサの構築を目指しています。

## 技術内容



## 社会への影響・期待される効果

人肌のような柔軟性や、水のような透明性を発現し、専門家でなくても明確に観察をすることが可能な電子デバイスの開発を行うことにより、生体に溶け込む次世代パーソナルセンサ (シート型センサ) の基盤技術を構築しております。

シート型センサが実現すれば、微小な電気信号処理を可能とし、対象物を傷つけることなく、人 (医療・ヘルスケア)・農業・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 Science 10 (2022) 2204746
- [2] Science Advances 8 (2022) eabm4349
- [3] Advanced Materials Technologies 7 (2022) 5533695
- [4] Advanced Materials 32 (2019) 1902684

## 【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

# 先端高密度3D実装材料・プロセス・信頼性評価技術開発

Development of 3D Systemintegration technology

**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 K. Suganuma  
陳 伝トウ C. Chen  
謝 明君 M.-C.Hsieh  
張 政 Z. Zhang  
劉 洋 Y. Liu  
趙 帥捷 S. Zhao  
末武愛司 A. Suetake

**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

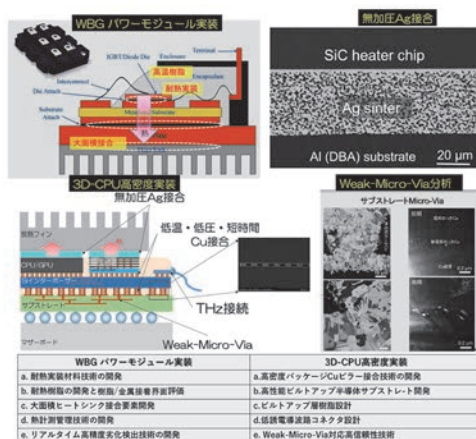
金属焼結接合を新たに提案し、WBGパワーと先端半導体実装で世界の物造りの流れを導いている。それぞれに学術的基礎を示すことで、世界を納得させる信頼性の高い技術実現を目指しています。

## 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、世界初の銀焼結接合の提案、DBA基板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接着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] Materials & Design 224, (2022)111389.
- [3] Journal of Materials Science & Technology 113,(2022) 261-270.
- [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」

# KOBELCO未来協働研究所

KOBELCO Future Pioneering Co-Creation Research Center

**研究分野**  
Department

ものづくりの革新  
Innovation of manufacturing

**研究者**  
Researcher

鷺尾 隆 T. Washio	友近信行 N. Tomochika	加藤 淳 J. Kato
榑崎博司 H. Narazaki	高橋英二 E. Takahashi	

**キーワード**  
Keyword

人とシステムの共進化、デジタルトランスフォーメーション、オープンイノベーション  
co-evolution of people and systems, digital transformation, open innovation

**応用分野**  
Application

機械部品加工、切削加工、成形加工、技能継承、人材育成  
machine parts processing, cutting process, forming process, skill transfer, human resource development

**研究開発段階**

基礎

実用化準備

応用化

**背景**

ものづくり産業にとって、現場で働く人々の成長促進とノウハウの継承・強化、並びに製造プロセス技術の革新は、必須の活動です。近年は脱炭素化をはじめとする急激な環境変化にもさらされており、これらの活動の重要性はさらに増しています。今後、少子高齢化による労働力の減少が一段と進む中、これらの活動を継続・進化させる必要があります。

その課題解決のためには、人とデジタル技術とが共存しながら進化するものづくりの実現が不可欠であり、ものづくりを革新するためのソリューションを産学で共創し、社会実装していかなければならないと考え、KOBELCO未来協働研究所を2022年10月に設立しました。

**概要・特徴**

- **ビジョン**：「社会の持続的発展のために、人がシステムと共に進化しながら、創造性豊かにイキイキと活躍できるものづくりの世界を実現する！」
- KOBELCOの多種多様でリアルなものづくりの経験/技術資源と、大阪大学のAI研究資源とを融合することで、社会に広く役立たせられるソリューションの創出を目指しています。
- ものづくりを支える様々な企業や機関との意見交換も積極的に行っています。

**技術内容**

- ものづくりの多様性を担保している機械部品加工産業(切削加工、成形加工など)の成長/進化を支える技術開発
- 各種シミュレーション技術× 機械学習技術

**社会への影響・期待される効果**

- 日本のものづくりのサステナビリティのために、社会に実装可能なデジタルソリューションを具現化し、新たな価値と新規事業の芽を生み出すことで、社会の生産性を向上する。
- そこで発見した新たな課題や収益を共創の場にフィードバックすることで、大学も企業も継続的に発展するエコシステムの構築が期待される。





## シリコン製剤の創製方法とその物性の解明

Development of fabrication method of Si-based agent and its characterization

研究分野  
Departmentシリコン製剤創製・物性学  
Fabrication and characteristics of Si-based agent研究者  
Researcher

小林 光 H. Kobayashi	小林悠輝 Y. Kobayashi
寺川澄雄 S. Terakawa	黒崎千香 C. Kurosaki

キーワード  
Keyword酸化ストレス、疾患防止、活性酸素、体内水素発生  
oxidative stress, prevention and treatment of diseases, reactive oxygen species, Internal hydrogen generation応用分野  
Application医薬品、食品、畜産、水産、化粧品  
pharmaceutical products, food, stock raising, fisheries, cosmetics

## 研究開発段階

基礎

実用化準備

応用化

## 背景

活性酸素中最も強い酸化力を持つヒドロキシルラジカルは、代謝等によって常時体内で発生します。その高い酸化力により、細胞が酸化され、慢性腎不全、パーキンソン病、潰瘍性大腸炎、アトピー性皮膚炎等、色々な疾患を発生させています。

## 概要・特徴

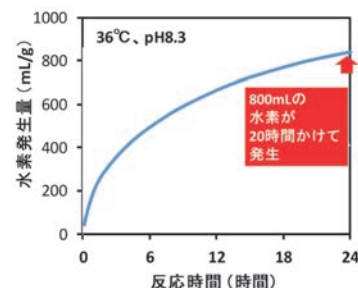
シリコン製剤は腸内で24時間以上持続的に水素を発生させることで、体内で生成する最も高い酸化力を持つ活性酸素のヒドロキシルラジカルを消滅させます。酸化ストレスを低減して、種々の疾患の予防・治療が可能となります。

## 技術内容

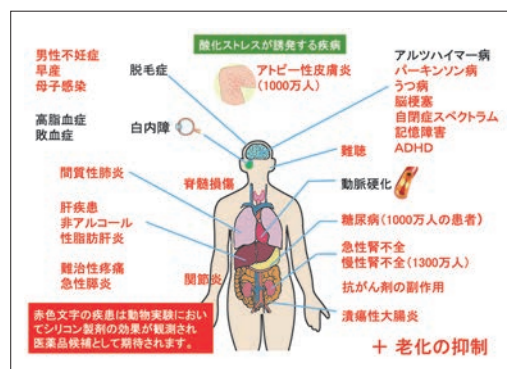
- 腸内擬似環境であるpH8.3、36℃の下で、シリコン製剤1gから800mL以上の水素を発生するシリコン製剤の製造に成功しました。
- シリコン製剤の摂取によって、酸化ストレスが低減することを見出しました。
- ラットを用いる91日間反復経口投与毒性試験、及び遺伝毒性試験を実施し、全く問題が発生しなかったです。現在、食品(サプリメント)としてシリコン製剤が製造・販売されています。
- 阪大医学部の動物実験によって、慢性腎不全、パーキンソン病、潰瘍性大腸炎、II型糖尿病、アトピー性皮膚炎、うつ病等の酸化ストレスが大きな原因となり発症する疾患に対して、高い予防/治療効果があることが見いだされた。

## 社会への影響・期待される効果

シリコン製剤は、国内だけで1000万人クラスの患者がいる慢性腎不全、糖尿病、アトピー性皮膚炎に対して予防/治療が可能になると期待されます。さらに、パーキンソン病、潰瘍性大腸炎等の難治性疾患の予防/治療も期待できます。シリコン製剤は摂取しても吸収されず、発生した水素だけが吸収されるために、副作用がなく食品にも利用できます。シリコン製剤により、健康寿命の延伸が期待できます。



腸内類似環境でのシリコン製剤と水との反応による水素発生



動物実験においてシリコン製剤の薬用効果が観測された疾患

## 【論文 Paper】

- [1] Sci. Rep. 12 (2022) 9634.
- [2] Andrology 9 (2021) 376-383.
- [3] Sci. Rep. 10 (2020) 5859.
- [4] J J. Nanopart. Res. 19 (2017) 176-1-9.

## 【特許 Patent】

- [1] 特許第6893586号 (登録日2021年6月3日)
- [2] 特許第6924918号 (登録日2021年8月4日)
- [3] 特許第6467071号 (登録日2019年1月18日)





# 産研研究分野全体のSDGsマップ

## 材料技術

- 3次元ナノ構造 ●CNF
- 環境触媒 ●EUVフォトレジスト
- 宇宙用バイオ材料
- 磁気冷凍 ●磁壁メモリ材料
- 低次元構造酸化物
- 自己修復材料  
(セラミックス/ナノAg/ポリマー)
- メタマテリアル ●シリコン製剤
- 触媒 (AI材料開発)
- 核酸標的創薬 ●植物照明
- 固体表面/構造制御

## 9 産業と技術革新の基盤をつくろう



## プロセス技術

- MI
- AI
- 薄膜新プロセス
- 量子ビーム材料改質
- 量子ビーム材料開発
- 薄膜機能のバルク発現
- 超微小信号計測
- 医薬・有機物省エネ製造
- AI活用スマート工場

## システム技術

- AI教育
- ペーパーディスプレイ
- 音声対話先生ロボット
- マルチモーダルプレゼン支援



## デバイス技術

- 量子コンピュータ (最適化)
- 量子暗号通信 ●量子ビーム解析
- 量子中継器 ●マルチモーダル対話ロボ
- パターン認識/人物認証 (画像解析)
- 音声認識/人物対話
- 映像から人流推定
- 国際標準化 (実装技術)
- におい計測デバイス

## システム技術

- 音声間深層転移学習
- 量子技術 ●Mott-FET
- DNAメモリ ●相変化Tr
- スピン・マグネット新センサ
- 新型ジャイロ
- プリンテッドデバイス/IoT
- 超高解像度電子顕微鏡分析
- トランススケール細胞イメージング

## 12 つくる責任 つかう責任



## 材料技術

- 環境触媒
- MIレア金属削減
- AI新材料創出
- レア金属フリースピントロ/磁気冷凍
- 低次元酸化物環境浄化
- CNF使い捨てセンサ
- CNFサステナブル材料
- 自己修復セラミックス/ナノAg/ポリマー
- Si製剤 (副作用無し)
- リサイクルSAM膜
- 触媒リサイクル
- 薬剤耐性 (細胞コンタミ防止)
- CNF複合材料
- レーザー改質材料
- 自己修復ポリマー
- MI化学合成プロセス最適化

## システム技術

- ナノポア環境汚染検査
- 微小信号測定値保障
- 故障予知センシング
- 酵素水ナノミストの農作物リサイクル
- 衣料品ジャストフィットセンサ
- 産業IoT適用リアルタイムAI

## デバイス技術

- インフラ用センサ (フレキシブル)
- インフラ用センサ (スピントロ)
- 土砂崩れセンサ (スピントロ)
- 衣料品ジャストフィットセンサ
- 5Gインダクタ
- CNF透明窓
- 非破壊モニタリング磁気センサ
- ワイヤレス通信デバイス
- Beyond5G向けデバイス

## 11 住み続けられるまちづくりを



## システム技術

- 建造物内鉄筋計測
- ウイルスクラスター発見 (ナノポア、Grセンサ等)
- 磁気冷凍式空調
- 交通渋滞解析
- 量子センサネットワーク
- 動解析認知症発見
- 歩行解析高齢者検出
- 人物解析高齢者見守り
- Beyond5G向けエッジAI

## システム技術

- 歩容解析による乳牛疾病検出
- 食品鮮度可視化
- 光合成量推定
- 食物疾病検出

## 材料技術

- 機能性酵素食品
- 1細胞育種
- ゲノム編集
- Si製剤による畜産
- Si製剤動物愛護



- フードロス改善
- 食物鮮度保持
- 1分子計測種の保存
- CNF利活用
- 植物成長推定
- 植物疫病検出
- 発電/農業の両立

## プロセス技術

- MI/AIによる省エネ材料開発
- 省エネ薄膜合成プロセス
- レーザー表面改質
- AI自動運転による省エネ化

## システム技術

- 省エネ量子コンピュータ
- 光/動き解析による省エネ化

## 医用デバイス技術

- 磁気冷凍冷えピタ
- 1分子シーケンサ
- ナノポアセンサ
- 圧電ヘルスセンサ
- 薄膜呼吸センサ
- 量子センサネットワーク
- ウェアラブルスピメカセンサ
- グラフェンバイオセンサ
- 脳波センサ ●心電センサ
- 筋電センサ ●バイオセンサ
- 匂い・香りセンサ
- ペプチドバイオセンサ
- 発光タンパク生理機能センサ
- 多剤耐性菌検出キット

## 診断技術

- フェムト秒放射線 (治療)
- 超高速イメージング
- 超小型加速器
- ヘアピンプライマーPCR
- ナノポアウイルス検出器
- 医療AI応用機器
- 医療機器・デバイス高信頼性実装
- AI活用医療診断

## システム技術

- スマートトイレ  
(腸内フローラ計測)

- ナノミスト食品腐敗防止
- ヘルスケア
- 感染症予防
- 呼吸センサ
- 農業IoTバイオセンサ
- 太陽電池僻地電源供給
- 脳波センサ、電気化学センサ

6

安全な水とトイレ  
を世界に



## デバイス技術

## 材料技術

- ナノポア分離膜
- 重金属吸着  
低次元酸化物
- 抗菌セラミックス
- CNFフィルター
- 有用微生物単離

- 重金属センサ
- 太陽菌センサ
- 電気化学センサ
- 細菌検出
- 水硬度センサ

## 3 すべての人に 健康と福祉を



## 医療機器技術

- 老化・健康の可視化
- 歩容解析 (認知症診断)
- 動き解析 (認知度推定)
- 容体解析 (体調診断)
- 画像解析 (異常検出)
- 感染症AI診断
- 腸内フローラ計測・改善
- 発光タンパクによる診断
- イメージング診断・検査

## 介護/介助

- 音声対話介護ロボ
- 音による見守り ●表情読み取り
- 認知症予防センサ

## 医用材料技術

- MI材料開発
- 抗菌・抗ウイルスセラミック
- シリコン製剤
- CNF細胞培養基材
- CNFバイオリアクタ材料
- レーザー改質
- 量子化学計算創薬
- 創薬用触媒
- バイオナノDDS
- 次世代抗菌薬
- 核酸標的創薬
- 多剤耐性病原菌による  
感染症未然防止

- AI自動作曲
- Ft秒反応の自動  
・遠隔検出
- MI活用研究効率化
- Si製剤で健康に働く
- 量子活用金融、商取引
- 自動音声応答
- マルチモーダル就活支援
- 動線解析による仕事効率化
- 歩容解析による疲労度判定
- 脳波センサ体調管理 ●機能性酵素食品
- 腸内フローラで健康維持 ●生体イメージング健康管理

8

働きがいも  
経済成長も



16

平和と公正を  
すべての人に



- 1分子検出テロ防止センサ
- 太陽電池非常電源
- レーザー短波長光源
- 不審者検出 (音、動き、歩容解析)
- Gr.危険物センサ
- バイオナノ粒子センサ

## 材料技術

- ナノ固体触媒省エネ化学品製造
- ナノ熱電材料/電池材料
- 省エネ創薬プロセス用触媒
- 波長選択型有機半導体分子設計
- 低次元酸化物太陽電池/電極材料
- Siによる体内水素発生
- 高安全性水系Liイオン蓄電池
- Liイオン電池電極用Si
- 新型水系キャパシタ
- 発光植物
- 磁気冷凍

7

エネルギーをみんなに  
そしてクリーンに



## デバイス技術

- Ft秒反応解析半導体省エネ
- ナノ立体構造機能増幅
- ナノ固体触媒省エネ化学品製造
- ナノ熱電材料/電池材料
- 省エネスピントロニクス
- MIによる省エネ材料開発
- 無電源メカニカルレジスタ
- 磁気冷凍 (フロン削減)
- 相変化省エネTr
- 高効率Si太陽電池
- CNF使い捨てセンサ
- Mott-FET
- フレキシブルセンサ
- 振動発電
- 環境発電デバイス
- 新奇CPLデバイス
- パワーデバイス
- 波長選択型太陽電池

13

気候変動に  
具体的な対策を



## 材料技術

- 低次元酸化物CO2吸収
- CNF新材料
- 水濡れに強い  
デバイス用CNF膜
- 化石資源代替のCNF
- 夜間発光植物CO2吸収

## デバイス技術

- 土に還るCNFデバイス
- Mott-FET
- 防災IoTデバイ

## システム技術

- Approx.コンピュータ
- 量子コンピュータ  
災害予測

# 索引・キーワード

英	ARPES	36
	CO酸化反応	38
	DNA	52
	IoTセンサー	15
	RNA52	52
い	一重項酸素	32
	1分子技術	46
	遺伝子	51
	イベント予測	10
	異方性	22
	医薬品	30
	イリジウム	35
	因果	6
	インフルエンザ	16
う	ウイルス	45,51
え	エネルギー変換	21
	エピジェネティクス	53
	遠赤外	44
お	音源定位	2
	オンサイト診断	47
か	化学発光	47,48
	化学療法	55
	核酸	52
	環境制御型透過電子顕微鏡	37,38
	がん診断	46
き	機械学習	5,6,7,8,12
	機能紙	26
	機能性酸化物	19,20
	機能統合	22
	嗅覚受容体アンタゴニスト	49
	強磁性半導体	18
	金属酸化物	31
	金属ナノ構造	37
	金属ナノ粒子触媒	38
	金属有機分子結晶系	11
	金属有機化合物分解法	24
く	グラフェン	16,36
	グリーンケミストリー	26
	グリーンエレクトロニクス	26
け	蛍光プローブ	32
	軽水炉水化学	42
	計測	48
	化粧品	30
	結晶シリコン太陽電池	29
こ	高温高压流体	42
	光学活性化化合物	33,34
	光学特性	11
	抗がん剤	54
	光子	17
	高次機能触媒	21
	光線力学的療法	32
	構造予測	12
	高透明・絶縁・高耐熱性	25
	高密度実装	23
	個人認証	3
	コンパクト性	8
さ	細菌感染症	55
	最適化	7
	サイバーフィジカルシステム(CPS)	13
	酸化ストレス	30
	酸化反応	35
	酸化物半導体	24
	3次元ナノ構造	20
し	時系列テンソル	10

	時系列予測	9
	脂質メディエーター	56
	磁性	11
	室温損傷修復能	22
	自動特徴抽出	10
	自由電子レーザー	44
	焼結接合	23
	小分子	54
	触媒の不斉合成	33,34
	触媒反応	11
	食品	30
	シリコンナノクリスタル	29
	シリコン微細構造	14
	シンクログロン放射	36
	人工知能(AI)	5,6
	深層学習	2
	診断	51
す	水素	30
	数値最適化	8
	スピントロニクス	15
	スマートフォン	47
せ	生細胞イメージング	32
	精度	8
	生分解性材料	25
	生理機能	48
	セラミックス	22
	セルロースナノファイバー	25,26
	遷移金属酸化物系	11
	センサー	13
	先端計測	8
	専門家エージェント	5
そ	相安定性・結合	11
	相変化	20
	創薬	52
	阻害剤	53,56
た	ダイアタッチ	23
	第一原理計算	11
	大強度コヒーレント光	44
	対話システム	1
	対話ロボット	1,2
	多剤耐性菌	50
ち	知識グラフ	1
	知識発見	7
	チャットボット	1
	超構造体	31
	超高速電子顕微鏡	40
	超短パルスレーザー	43
	超伝導	11
	超臨界状態	42
て	低コスト	8
	低分子	52
	データマイニング	6,7
	デュアルタスク	4
	テラヘルツ	44
	電荷輸送材料	28
	電子格子相互作用	3
	電子スピン	17
	電子線回折	40
	導電性接着剤	23
と	ドラッグデリバリー	54
	トランジスタ	16
	トランスポーター	55
な	ナノチューブ	21
	ナノギャップ	37

	ナノシート	21
	ナノテンプレート	20
	ナノポア	45
	ナノ粒子	31
に	匂いの数値化	49
	二酸化バナジウム	19
	二次元原子層材料	19
	二次電池正極材料	11
	二成分情報伝達系	50
	認知機能計測	4
ね	熱電変換	23
は	バイオセンサー	16
	発現制御	55
	犯罪捜査	3
	反射防止	29
	半導体	31
	半導体スピントロニクス	18
	光・電子機能材料	27,28
ひ	微細加工	41
	ヒスチジンキナーゼ	50
	非線形モデル	9
	ビッグデータ	4,7
	ヒト嗅覚受容体	49
ふ	フェムト秒光パルス・電子ビーム	39
	フェムト秒電子線パルス	40
	複合材料	22
	不斉触媒	35
	物質設計	12
	物質探索	12
	物性最適化	12
	物理モデル	6
	プラズマ	43
	プリンテッドエレクトロニクス	24
	フレキシブルエレクトロニクス	13,15,58,59
	分子導線	28
ほ	放射線化学	39,42
	歩容	3
ま	マイクロRNA	46
	マルチモーダル	3
み	マイクロ/ナノ構造	22
め	メソ結晶	31
	免疫抑制剤	56
ゆ	有機半導体材料	27
	有機分子不斉触媒	34
	ユーザインタフェース	5
	誘電性	11
	輸送体	56
よ	予防医学	30
ら	ラボオングラフェンFET	16
り	リアルタイム処理	9
	力学/電気/磁気/光化学機能	22
	リンググラフィ	41
	量子インターフェース	17,18
	量子中継	17,18
	量子ドット	17,18
	量子ビーム誘起超高速現象	39
	量子ビーム	41,42
	リンパ球	56
れ	レーザー加速	43
	レジスト	41
ろ	ロバスト性	8



# Keyword Index

2D material	19	function integration	22	optically active compound	33,34
3D nanostructures	20	functional oxide	19,20	organic semiconducting materials	27
accuracy		functional paper	26	oxidation stress	30
anisotropy	22	gait	3	oxidation	35
anticancer agents	54	genome	51	oxide semiconductor	24
anti-reflection	29	graphene	16,36	person authentication	3
ARPES	36	green chemistry	26	pharmaceuticals	30
artificial intelligence	5,6	green electronics	26	phase change	20
asymmetric catalysis	33,34	height density packaging	23	phase stability	11
asymmetric catalyst	35	high hear resistance	25	photo and electronic functional materials	27,28
automatic mining	10	high insulation	25	photodynamic therapy	32
bacterial infection	55	high temperature and pressure fluids	42	photon	17
big data	4,7	high transparency	25	physical model	6
biodegradable	25	high-intensity coherent radiation	44	plasmas	43
biosensors	16	histidine kinase	50	preventive medicine	30
bonding nature	11	human olfactory receptor	49	printed electronics	24
cancer diagnosis	46	hydrogen	30	property optimization	12
carrier-transporting materials	28	immunosuppressant drug	56	quantum beam	41,42
catalytic reactions	11	influenza	16	quantum dots	17,18
cathode materials for secondary battery	11	inhibitor	53,56	quantum interface	17,18
causality	6	IoT sensors	15	quantum repeaters	17,18
cellulose nanofiber	25,26	iridium	35	quantum-beam-induced ultrafast phenomena	39
ceramics	22	isotropic conductive adhesive	23	radiation chemistry	39,42
chat-bot	1	knowledge discovery	7	real-time processing	9
chemiluminescent protein	47,48	knowledge graph	1	regulation	55
chemotherapy	55	lab-on-graphene-FET	16	resist	41
chiral organocatalyst	34	laser-driven particle acceleration	43	RNA	52
chiral spiro ligand	33	lipid mediators	56	robustness	8
CO oxidation	38	lithography	41	room-temperature crack-healing function	22
cognitive assessment	4	live cell imaging	32	semiconductor spintronics	18
compactness	8	low cost	8	semiconductor	31
composite	22	lymphocyte	56	sensors	13
cosmetics	30	machine learning	5,6,7,8,12	silicon micro-structure	14
criminal investigation	3	magnetism	11	silicon nanocrystals	29
crystalline Si solar cells	29	materials design	12	single molecular technologies	46
Cyber-Physical Systems	13	materials exploration	12	singlet oxygen	32
data mining	6,7	mathematical optimization	7,8	sinter joining	23
deep neural network	2	measurement	8	small molecule	52
diagnosis	51	mechanical/physical/electrical/photochemical functions	22	small molecules	54
dialogue robot	1,2	mesocrystal	31	smart devices	47,48
dialogue system	1	metal nanoparticulate catalysts	38	smell digitization	49
die attach	23	metal nanostructure	37	sound source localization	2
DNA	52	metal organic decomposition	24	spintronics	15
drug delivery	54	metal oxide	31	structure prediction	12
drug development	52	metal-organic molecular crystals	11	superconductivity	11
dual-task	4	micro/nano structure	22	supercritical state	42
electron diffraction	40	microRNA	46	super-structure	31
Electron spin	17	molecular wire	28	synchrotron radiation	36
electron-phonon interaction	36	multi-drug resistant bacteria	50	terahertz (THz)	44
energy conversion	21	multifunctional catalyst	21	thermoelectric	23
environmental transmission electron microscopy (ETEM)	37,38	multi-modal	3	time-series analysis	9
epigenetics	53	nano template	20	time-series tensor	10
event prediction	10	nanofabrication	41	transistors	16
expert agent	5	nanogap	37	transition-metal oxides	11
far infrared	44	nanoparticle	31	transporter	55,56
femtosecond electron beam/laser	39,40	nanopore	45	two-component signal transduction system	50
ferroelectricity	11	nanosheet	21	ultrafast electron microscope(UEM)	40
ferromagnetic semiconductors	18	nanotube	21	ultra-short pulse lasers	43
first-principles calculation	11	non-linear model	19	user interface	5
flexible electronics	13,15,58,59	nucleic acids	52	vanadium oxide	19
fluorescence probe	32	odorant-receptor antagonist	49	virus	45,51
foods	30	on-site diagnosis	47,48	water chemistry in nuclear engineering	42
free electron laser (FEL)	44	optical properties	11		



## 産業科学研究所

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘8-1

**TEL.06-6879-8448**

● E-mail

[air-office@sanken.osaka-u.ac.jp](mailto:air-office@sanken.osaka-u.ac.jp)

● ホームページ

[www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/air/](http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/air/)

● 企業リサーチパークホームページ

[www.sanken.osaka-u.ac.jp/research-park/](http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/research-park/)