

令和4年度

「研究助成金」受領者 16名・「矢崎学術賞」受賞者 2名を決定

公益財団法人 矢崎科学技術振興記念財団(理事長:佐藤慎一、所在地:東京都港区、以下「当財団」)は、令和4年度の「研究助成金」受領者 16名・「矢崎学術賞」受賞者 2名を決定しました。

当財団は、昭和58(1983)年以来、科学技術の発展を目的として「研究助成」事業を行っています。

今年度も、独創的かつその成果が科学技術の発展に大きく貢献すると考えられる研究を対象として選考いたしました。

当財団の「研究助成」は、「材料・デバイス」、「環境・バイオサイエンス」、「エネルギー・情報通信」の分野を対象領域とし、「一般研究助成」、「奨励研究助成」、「特定研究助成」の三つの助成制度です。また、国際的な学会での研究発表や共同研究をする際の渡航費を支援する「国際交流援助」、過去に当財団から研究助成を受けた研究者の中から優れた業績をあげた研究者を表彰する「矢崎学術賞」があります。

【一般研究助成(200万円)】(応募72件)

久保 拓也(クボ タクヤ) 京都大学大学院工学研究科 准教授

「(糖)タンパク質の高感度検出及び三次構造解析のためのヒドロゲル開発」はじめ5件

【奨励研究助成(100万円):原則35歳以下の研究者が対象】(応募38件)

原田 芽生(ハラダ メイ) 愛知学院大学薬学部 助教

「セラノスティクスを指向した第二近赤外色素の創製と分子機能開拓」はじめ10件

【特定研究助成(1,000万円):当財団が特定したテーマにふさわしい研究が対象】(応募18件)

佐藤 弘志(サトウ ヒロシ) 理化学研究所創発物性科学研究センター ユニットリーダー

「近赤外光を熱エネルギーへ変換する多孔性結晶の開発」

※本年度の特定研究助成は、当財団設立40周年記念事業の一環として実施しました。

設立40周年記念事業の特定研究助成テーマは、以下となります。

「現在の社会問題を解決する研究」

研究課題 1. 「カーボンニュートラル」を実現する技術

研究課題 2. 「人の活動を高度に支援」するための革新的技術

【国際交流援助】(応募3件)

3名

【矢崎学術賞】(応募8件)

功績賞:寺尾 潤(テラオ ジュン) 東京大学大学院総合文化研究科 教授

奨励賞(若手研究者を対象):都甲 薫(トコウ カオル) 筑波大学数理物質系 准教授

なお、3月9日に開催を予定していた研究助成金贈呈式は、新型コロナウイルス感染拡大の影響を踏まえ、中止いたしました。

◎財団概要

名 称 : 公益財団法人 矢崎科学技術振興記念財団
理 事 長 : 佐藤 慎一
所 在 地 : 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目13番地3号 虎ノ門東洋共同ビル
電 話 : 03-5501-9831
設 立 : 昭和57年(1982)12月15日(矢崎総業(株)の設立40周年を記念して設立)
目 的 : 科学技術にかかる研究開発の助成と振興を図り、公益の増進と活力ある社会の実現に資することを目的とします。
基本財産: 9億2,410万円(2022年3月末現在)
主務官庁: 内閣府
U R L : <https://www.yazaki-found.jp>

<本件に関するお問い合わせ先>
公益財団法人 矢崎科学技術振興記念財団
TEL. 03-5501-9831

目次

| | |
|----------------------|----|
| 受領者・受賞者の決定について | 1 |
| 目次 | 3 |
| 一般研究助成 受領者名簿 | 4 |
| 一般研究助成 研究紹介文 | 5 |
| 奨励研究助成 受領者名簿 | 10 |
| 奨励研究助成 研究紹介文 | 11 |
| 特定研究助成 受領者名簿 | 21 |
| 特定研究助成 研究紹介文 | 22 |
| 国際交流援助 受領者名簿 | 23 |
| 学術賞 受賞者名簿 | 24 |
| 学術賞 研究紹介文 | 25 |

2022年度(令和4年度)

「一般研究助成」受領者名簿

敬称略五十音順

材料・デバイス

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|--------------------|-------------------|-----|--|
| 岡林 潤 オカハヤシ ジュン | 東京大学 大学院理学系研究科 | 准教授 | 液晶化学に倣う異方的な電荷分布を有する新規な磁気異方性材料の創成 |
| 小野瀬 佳文 オノセ ヨシノリ | 東北大学 金属材料研究所 | 教授 | ヘリカルスピントロニクスの開拓 |
| 谷口 耕治 タニグチ コウジ | 東京工業大学 理学院化学系 | 教授 | キラル分子インターラーションによる空間反転対称性の破れた強磁性体の創製と機能開拓 |

環境・バイオサイエンス

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|-----------------|------------------|-----|-----------------------------------|
| 久保 拓也 クボ タクヤ | 京都大学 大学院工学研究科 | 准教授 | (糖)タンパク質の高感度検出及び三次構造解析のためのヒドロゲル開発 |

エネルギー・情報通信

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|------------------|--------------------------|----|--|
| 小原 伸哉 オバラ シンヤ | 北見工業大学 工学部 地球環境工学科 | 教授 | CO ₂ 冷凍サイクルーハイドレートサイクルのハイブリッド化による電力用バッテリの開発 |

助成対象研究の紹介文

液晶化学に倣う異方的な電荷分布を有する新規な磁気異方性材料の創成

東京大学大学院理学系研究科 准教授 岡林 潤

低消費電力にて動作する磁気デバイスの開発を目指したスピントロニクスの研究分野では、超高記録密度化のためにナノスケールに素子化した際に漏れ磁場のない垂直磁気異方性材料と、面内-面直間の磁気異方性を外的に制御できる系の創出が学術的・産業的に切望されている。しかし、垂直磁気異方性は軌道磁気モーメント L および高次の異方的な電荷四極子分布 $Q (= 3L_z^2 - L^2)$ と関連しており、これらを計測できる手法が限られているため、材料設計指針が立っていないのが現状である。そこで、磁性薄膜の界面に生じる格子ひずみの外的操作を通して電子状態を変調できれば、自在かつ可逆的に軌道磁気モーメントと垂直磁気異方性の制御が可能となり、既存の磁気記録デバイスの概念を超えた機能性を付与できることに着目する。

一方、異方的な形状分布に関しては、ネマチック液晶状態の制御において高分子化学の分野で進んでいる。微弱な刺激(電圧やひずみなど)による液晶転移など、スピントロニクスとの類似性があるはずであり、図 1 のように、液晶物性の概念を固体界面の電荷分布制御に応用する全く新しい材料設計に着目する。

本研究では、薄膜界面に生じる格子ひずみを電圧ピエゾ効果と力学的応力によって能動的に操作し、垂直磁気異方性を制御できる物質系を設計し、実現させる。そのために、軌道磁気モーメントを計測できる磁気円二色性(XMCD)および異方的な電荷分布を測定する磁気線二色性(XMLD)の測定法を応用して、外場印加時の非平衡状態を観測できる新しいオペランド磁気分光法を開発する。そして、この新手法を用いて「外的な格子ひずみを用いた磁気異方性の操作を実現させ、微視的な電子論からの解明」、および「液晶を模倣したひずみ効果による可逆的な軌道磁気モーメントの操作を世界で初めて実証し、面内-面直の磁気異方性の制御」を実現させ、物理学と化学の融合分野の学術を展開する。

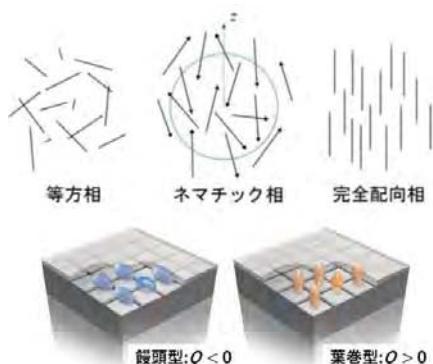


図 1: 液晶系と本研究の界面スピン軌道系における異方性の対比。異方的な配向分布 Q (葉巻、饅頭型)を外的制御する類似性がある。下段は J. Okabayashi et al., Appl. Phys. Lett. 115, 252402 (2019)より抜粋。

【実用化が期待される分野】

磁気記録、スピントロニクス、低消費電力デバイス、量子コンピューティング

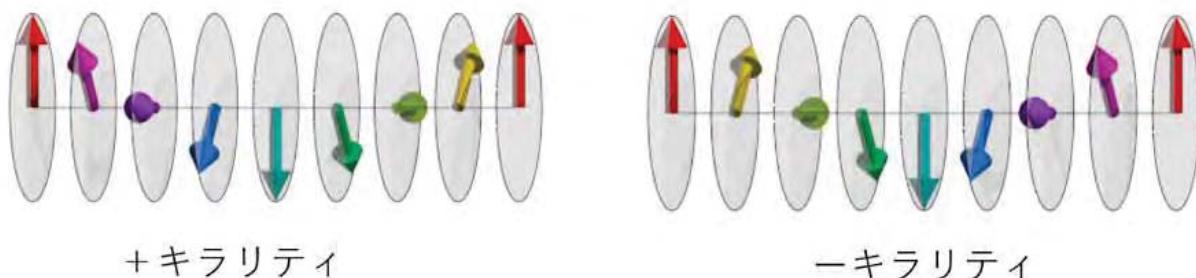
助成対象研究の紹介文

ヘリカルスピントロニクスの開拓

東北大学金属材料研究所 教授 小野瀬 佳文

現在のコンピュータにおいては、いわゆるムーアの法則に従って集積化が急速な集積化が進んでいるが、そこでの消費電力も指数関数的に増えていることが非常に大きな問題となっておりさらなる集積化を妨げている。このような問題の一つの処方箋と考えられてきたのが、磁気抵抗メモリMRAMである。従来のDRAMにおいては、情報をキャパシタにたまたま電荷として保持しているが、データを保持し続けるために大きな消費電力が必要になる。一方で、MRAMでは電源を切ってもメモリを保持できる特徴があるため消費電力の大きな低減が期待できる。このような期待のもと、近年MRAMの開発が精力的に行われてきており、一部で製品化も行われている。しかしながら、MRAMにおける強磁性ビットは磁気双極子由來の漏れ磁場を生じ、これが隣接した他のビットに影響するという問題が指摘されている。また、制御速度が強磁性共鳴周波数(数GHz)で律速されているという問題もある。このような問題の処方箋として本研究ではヘリカル磁性体の活用を目指す。

ヘリカル磁性体とは、下図のように磁気モーメントがらせん状に整列する磁性体である。この磁気構造には、らせんの巻き方(キラリティ)に関する自由度が存在しており、結晶の対称性が高ければ二つの状態は完全に縮退している。絶縁体のらせん磁性体は電場制御することが出来ることが分かっていたが、スピントロニクスに適応可能な金属のらせん磁性体におけるキラリティ制御法は最近まで明らかでなかった。小野瀬らは、金属ヘリカル磁性体におけるキラリティを、電流磁場の同時印加により制御することに世界で初めて成功した(Jiang, Onose et al., Nature Communications 2020)。さらに、共同研究者の関とともに室温らせん磁体 MnAu₂(転移温度 363K)の薄膜においてキラリティ制御が可能であることを示した(Masuda, Seki, Onose et al. 投稿中 arXiv: 2205.13112)。本研究では、これらの研究成果をもとに、ヘリカル磁性体のキラリティ自由度を情報の担体として用いたスピントロニクスの研究を推進する。



図：ヘリカル磁性体のキラリティ自由度

【実用化が期待される分野】

ヘリカル磁性体を用いた磁気メモリ応用

助成対象研究の紹介文

キラル分子インターラクションによる空間反転対称性の 破れた強磁性体の創製と機能開拓

東京工業大学理学院化学系 教授 谷口 耕治

空間反転対称性の破れた強磁性体は、電気磁気効果（磁性と誘電性の相関現象）や非相反伝導（磁場により電流の流れやすい向きが制御される整流現象）といった、従来の磁性材料にはない、特異な電気磁気相関物性の発現が期待される興味深い材料である。しかしこまでの材料開発は空間反転対称性の制御に問題があり、偶然に頼らざるを得ないという大きな課題を抱えていた。これは、電気磁気相関を生じるのに必要な磁気秩序や強いスピン軌道相互作用を持つ無機物において、空間反転対称性の破れを制御した物質設計が、非常に困難であることに起因している。

この課題に対し、本研究では、無機物とキラルな有機物のハイブリッド化という独自のアイディアに基づいたアプローチを行う。具体的には、磁気秩序や強いスピン軌道相互作用を組み込み易い無機物の長所と、不斉炭素の導入などにより空間反転対称性の破れが容易に制御できるという有機物の長所とを、無機物と有機物のハイブリッド化により単一の材料中で統合する。偶然に頼ることのない合理的な物質設計により、有機物や無機物単体では実現が困難な空間反転対称性の破れた強磁性体を新規に開発し、電気磁気効果、非相反伝導、キラリティ誘起スピン選択性等の、新奇な電気磁気相関現象の開拓を目指す。

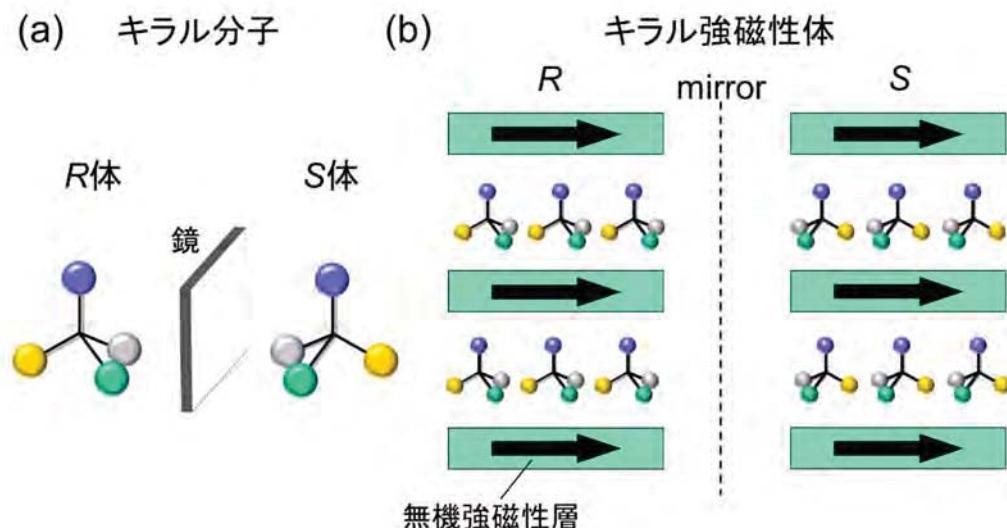


図. 有機・無機ハイブリッド化による強磁性体の物質設計の概念図.

(a) キラル分子 (b) キラル分子インターラクションによるキラル強磁性体の設計

【実用化が期待される分野】

スピントロニクス、マルチフェロイクス

助成対象研究の紹介文

(糖)タンパク質の高感度検出及び三次構造解析のためのヒドロゲル開発

京都大学学院工学研究科 准教授 久保 拓也

タンパク質は、それぞれが独自の三次構造を形成し、離合集散をくりかえしながら多様な生命現象を支配している。特に、これらの生体反応では、タンパク質の三次構造が重要であり、アミノ酸配列や場合によっては糖鎖の立体的な配置を正確に理解する必要がある。同様の情報は、昨今のSARS-CoV-2等の抗体検出、解析においても重要であり、with/postコロナ時代を戦うための新たなタンパク質解析の手段が必要不可欠である。

分子認識材料の合成手法として知られる分子インプリント法は、目的物質を鋳型分子として用いて、架橋高分子内部に分子レベルの「鍵と鍵穴」を構築する手法である。近年の研究においては、ポリエチレングリコール(PEG)を基材とするヒドロゲルの柔軟性に基づく分子認識能に着目し、生体高分子の選択的分子認識能を目的としたタンパク質インプリントゲルの開発、競合酵素免疫測定法(ELISA)と同様の機能を有するタンパク質検出ゲル、糖鎖及び糖タンパク質検出ゲルの開発にも成功した。さらに、分子認識応答型の膨潤収縮ヒドロゲルと生体高分子の選択的分子認識能を目的としたタンパク質インプリントゲルにも成功している。

以上の背景から、糖・タンパク質の三次構造を含む選択的な検出及び高次構造解析を目的としたインプリントヒドロゲルの開発を着想した(図)。

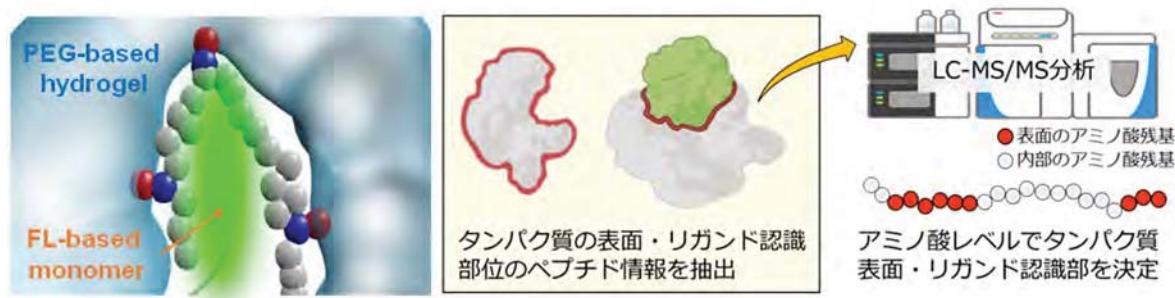


図. インプリントヒドロゲルとタンパク質高次構造解析の概念.

【実用化が期待される分野】

- ・特定の(糖)タンパク質の高感度可視検出
- ・タンパク質の高次構造ライブラリーの構築
- ・微量タンパク質の構造変化やリガンド認識部位に関する情報収集

助成対象研究の紹介文

CO₂ 冷凍サイクル－ハイドレートサイクルの ハイブリッド化による電力用バッテリの開発

北見工業大学工学部地球環境工学科 教授 小原 伸哉

太陽光や風力などの変動再エネを大量に導入するには、電力の需給差の変動を抑制するための大容量バッテリが必要である。しかしながら、電気化学反応を用いたリチウムイオン系や Na イオン系などの 2 次電池では、性能を維持できる充放電回数に制限があり、揚水発電を上回る経済性は得られていない。そこで本研究の目的は、電気化学による電池ではなく、安価で充放電回数による性能劣化のほとんどない物理電池を開発して、電力系統での変動再エネの導入割合を現在よりも大きく増加させることを目的とする。図 1 は、実現を目指す電力貯蔵装置(図中の白いドーム)の予想図である(出典:イタリア・EnergyDome 社の製品イメージより)。

・研究の意義

CO₂ ヒートポンプサイクルによる CO₂ の気相変化と、CO₂ ハイドレートサイクルによる気固相変化を組み合わせることで、気温の低い冬季でも自己放電が無く、さらに充放電効率が低下せず、揚水発電と同等なコストで設置及び運用が可能な、数 MWh の電力用バッテリの開発を最終目標としている。現在使われているリチウムイオン電池のおよそ半分のコストで、電力システムの数日間の電力変動を抑制することができる。

本研究ではこれまでに得られた知見に基づいて、数 kWh の実証システムを開発する一部である。本研究の成果から実規模のシステムが完成すると、中小規模の配電用変電所などに設置することで、商用系統などの再エネ割合が大幅に増加し、今後普及の進む地域マイクログリッドについては、100%再エネ電力を需要家に供給できると予想される。



図1 実現を目指す蓄電装置の予想図

【実用化が期待される分野】

クリーンで低成本、低温下でも充放電効率の低下がなく、充放電回数による性能劣化の無い電力用の大容量バッテリが社会に実装される。この結果、2030 年の温室効果ガス排出量の削減目標(2013 年比で 46% 削減)に寄与できる。特にこれまで重油や天然ガスなどで発電していた離島や、商用電力系統の配電用変電所に設置することで、変動を伴う再生可能エネルギーの大量導入が低成本で可能となる。

2022年度(令和4年度)

「奨励研究助成」受領者名簿

敬称略五十音順

材料・デバイス

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|--------------------|-------------------------|-------|--------------------------------|
| 金子 哲 カネコ サトシ | 東京工業大学 理学院化学系 | 助教 | 光増強場を利用した単一分子界面構造の特定と制御 |
| 後藤 陽介 ゴトウ ヨウスケ | 産業技術総合研究所 省エネルギー研究部門 | 主任研究員 | 革新的熱電モジュールの構築に向けた新しいpn共存型材料の開発 |
| 高橋 英史 タカハシ ヒデフミ | 大阪大学 大学院基礎工学研究科 | 助教 | 新しい電気一振動変換材料の創成の機能検証 |
| 田中 正樹 タカナカ マサキ | 東京農工大学 大学院工学研究院 | 助教 | 高安定有機ラジカルの固体機能開拓 |
| 藤田 貴啓 フジタ タカヒロ | 東京大学 大学院工学系研究科 | 助教 | 量子磁性体酸化物ヘテロ界面における創発磁気輸送現象の検出 |
| 不破 麻里亞 フワ マリア | 学習院大学 理学部 | 助教 | 磁場の量子計測に向けた低散逸軟磁性振動系の作製と実証 |

環境・バイオサイエンス

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|---------------------|--------------------|----|--------------------------------|
| 高田 昌嗣 タカダ マサツugu | 東京農工大学 大学院農学研究院 | 助教 | 高機能発光リグニンの創製に向けた消光機構の解明 |
| 原田 芽生 ハラダ メイ | 愛知学院大学 薬学部 | 助教 | セラノスティクスを指向した第二近赤外色素の創製と分子機能開拓 |

エネルギー・情報通信

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|--------------------|-------------------|------|-----------------------------------|
| 安達 真聰 アダチ マサト | 京都大学 大学院工学研究科 | 助教 | 振動と組み合わせた太陽光発電パネル用の静電砂塵クリーニングシステム |
| 内藤 剛大 ナカツバ タカヒロ | 名古屋大学 未来社会創造機構 | 特任助教 | 電析法によるプロモーター形成を通じた新奇アンモニア合成触媒の開発 |

助成対象研究の紹介文

光増強場を利用した単一分子界面構造の特定と制御

東京工業大学理学院化学系 助教 金子 哲

人工知能や機械学習等の情報処理技術の急速な発達により、電子素子の処理するべき課題は複雑化しているため、効率よく問題解決をすることでエネルギー消費を節約する革新的な機能を持つ素子の開発は重要な課題の一つである。分子の多様性を活用した分子素子は新しい機能を持つ素子として注目を集めている。分子に素子機能を担わせる場合、電極金属との接続界面はその物性を担う重要な因子となる。我々はこれまで、振動分光法と電流計測とを組み合わせることにより、単一分子レベルでの界面構造が電子輸送に与える影響を明らかにしてきた。一方で、能動的に界面構造を制御する手法は十分に開拓されていない。そこで本研究では光増強場に着目して、一分子レベルで分子の界面構造を制御し、さらにその構造を分光学的に特定することを目的とする。光増強場による局所的な加熱効果による原子移動を駆動力に、単分子が結合した状態と破断した状態とを制御し、形成状態における界面構造を振動分光により特定することで、単分子レベルでの界面構造変化を起源に持つスイッチの実現を目指す。

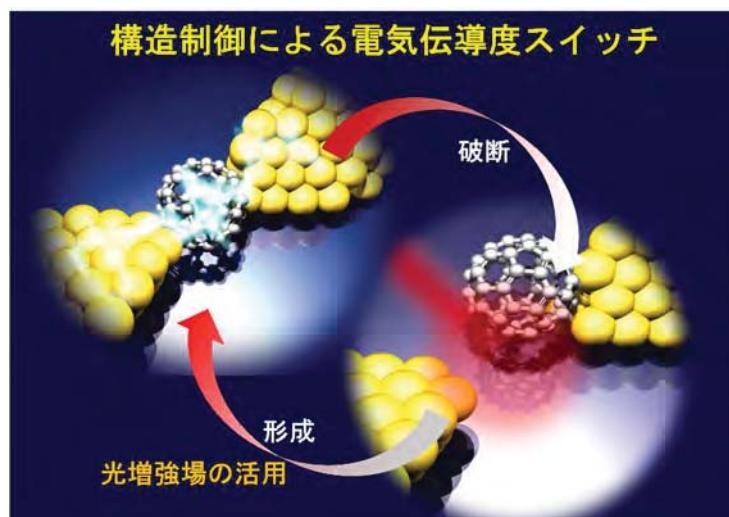


図 光増強場による単分子レベルでの構造制御によるスイッチ機構の概念図

【参考文献】

1. K. Yasuraoka, S. Kaneko, et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* 13, 51602–51607 (2021).
2. S. Kaneko, et al., *Chem. Sci.* 10, 6261-6269, (2019).
3. S. Kaneko, et al., *J. Am. Chem. Soc.*, 138, 1294-1300, (2016).

【実用化が期待される分野】

新しい機能を持つ素子開発、高感度分子検出による分析手法の開拓。

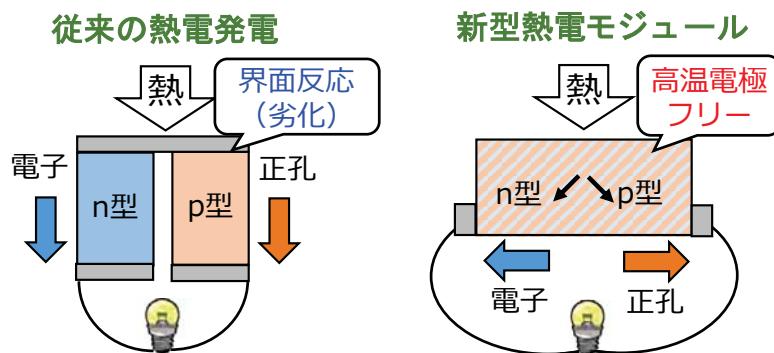
助成対象研究の紹介文

革新的熱電モジュールの構築に向けた新しいpn共存型材料の開発

産業技術総合研究所省エネルギー研究部門 主任研究員 後藤 陽介

膨大な数のセンサーから収集した情報を活用する技術 IoT が注目されている。現在用いられている乾電池では交換作業が発生し、保守コストがかかるため、電池不要の自立型電源の開発が求められている。環境中に未利用のまま捨てられている廃熱を用いて発電する熱電モジュールは自立型電源の有力な候補であるが、従来の熱電モジュールは高温熱源と接触した材料・電極界面の反応(元素拡散など)による劣化という未解決の課題を抱えている(下図左)。本研究では、この課題を解決するために、ひとつの材料中でキャリア極性(p型・n型)が方向により変化するという極めて特異な性質を持つ「pn共存型材料」を開発する。

pn共存型材料においては、ゼーベック係数(温度差によって生じる熱起電力)の非対角項を利用することで、温度差方向と発電方向を直交方向にすることができる(下図右)。すなわち、電極と熱源を空間的に分離することで、従来モジュールの劣化原因を抜本的に解消する新型熱電モジュール構築が可能になる。現在は黎明期にあるpn共存型材料の研究であるが、本研究で高性能材料を作製することで、革新的な熱電モジュール構築を可能にし、廃熱利用のための世界的に新しい潮流を生み出す。特に電子軌道の異方性に注目し、新材料設計のための指針を提示する。



【実用化が期待される分野】

熱電モジュールの実用化による省エネ効果、CO₂削減は将来のカーボンニュートラル社会の実現に貢献することができる。具体的には、工場配管、自動車、ごみ焼却炉・バイオマス炉、IoT 電源が想定される。さらに、p型・n型制御は、熱電変換にとどまらず、半導体応用全般において本質的に重要な技術である。本研究によりpn共存型材料の開発を推進することで、将来的には、太陽電池、ソーラー水素製造光触媒など、熱電変換に留まらない幅広い学術分野へ波及していくと期待される。

助成対象研究の紹介文

新しい電気—振動変換材料の創成の機能検証

大阪大学大学院基礎工学研究科 助教 高橋 英史

近年、高度な情報化社会や持続可能な社会のニーズとして、太陽光や廃熱及び環境振動といった未利用エネルギーを活用した発電素子や高速で動作する電子デバイス、量子コンピュータに代表される高付加価値デバイスの開発が課題となっている。そこで本研究では、トポロジカル半金属と呼ばれる物質群において新機能の創出を目指し、固体が持つ量子位相(ベリ一位相)を制御することによる新しい電気—振動応答現象の確立とそのための材料開拓を行う。これにより、振動発電デバイスや振動センサーの可能性の他に、量子コンピュータのためのトポロジカル超伝導探索のベンチマークとなるような、新しい実験手法と材料開拓を行う。

革新的な電子デバイスのための機能開拓において、近年、量子位相(ベリ一位相)の重要性が高まっている。ベリ一位相は物質内部にエネルギー散逸の少ない電流(トポロジカル電流)を生み出すため、これを効率的かつ簡便に制御できれば、これまでのような散逸電流を制御するエレクトロニクスを超える機能が期待できる。本研究では、ベリ一位相に由來した新しい機能応答として、電気(トポロジカル電流)—振動変換を提案する。ベリ一位相は固体中の伝導電子によるバンド構造や多数のスピンが作るスピン秩序において特異な構造(トポロジカル構造)がある場合や特殊な超伝導電子対(パリティ混成)の形成により有限になる(図)。一方で、電気—振動変換は強誘電体のような絶縁体材料では広く知られているが、金属材料では光や電場といった電気的な外場は伝導電子の遮蔽効果により結晶内部まで影響を及ぼさない。そのため、トポロジカル半金属ではベリ一位相に由來した機能応答は限定されていた。本研究では、「フレキソエレクトリック効果」を用いた新しい電気—振動応答現象の実験手法を開発し(図)、新規な振動発電や振動センサーの材料開拓を目指す。

電気—振動変換のための材料候補と測定手法の概略図



【実用化が期待される分野】

新しい原理による電気—振動応答の実現により、身の回りにある環境振動(自動車のモータやコンプレッサーの振動等)を用いた発電や、異常振動の観測による自律的なセンサーが実現可能になる。特に本研究で対象とした現象では、デバイスの小型化が容易になると期待できるため、小型の電子デバイスや生体材料と組み合わせた高機能・高付加価値材料への応用の可能性がある。

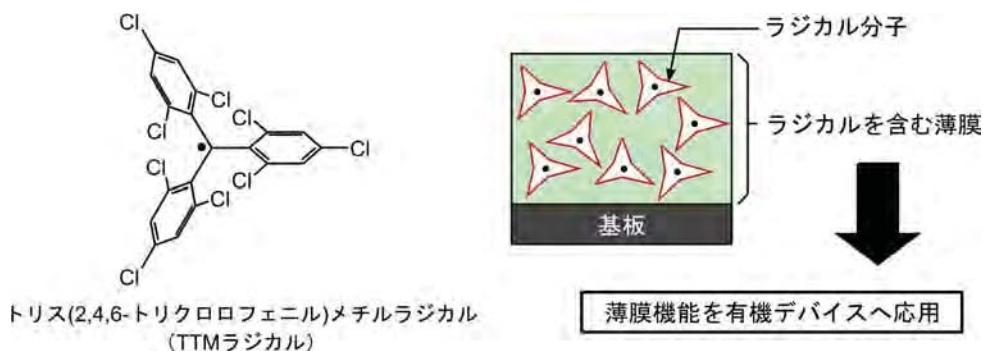
助成対象研究の紹介文

高安定有機ラジカルの固体機能開拓

東京農工大学大学院工学研究院 助教 田中 正樹

不対電子を有する開殻(ラジカル)分子は、その電子構造的な特徴から活性が高く、反応開始剤など化学反応に関する研究が多く報告されてきた。しかし、ラジカルの潜在的な不安定性に由来して、発光特性や電荷輸送特性などラジカル分子自体の半導体物性は未解明の部分が多い。例えば、かさ高い官能基に保護されて比較的安定なトリス(2,4,6-トリクロロフェニル)メチル(TTM)ラジカルは優れた発光特性を示すが、励起状態の安定性が低いことが発光材料としての応用や発光メカニズム解明に向けた研究の障壁となっていた。しかし最近の研究では、TTM骨格を用いたドナー・アクセプター型分子の設計により、耐久性の劇的な改善が報告されており、ラジカル分子の基礎物性や有機半導体材料としての応用可能性が注目を集めている。

有機発光ダイオード(有機EL)などの有機半導体デバイスでは、真空蒸着やスピノコートにより成膜した有機薄膜を用いるため、有機分子自体の物性と合わせて薄膜としての機能を設計する必要がある。しかし現状では、閉殻分子・開殻分子の種類に関わらず、分子設計と薄膜設計との間には大きな溝があり、薄膜の固体物性を意図的に制御することは困難である。そこで本研究では、筆者が最近の研究で見出した TTM 以外の発光性ラジカル分子を用いて、ラジカルを含む薄膜で特異的に生じる固体物性について研究を行う。さらに、ラジカル分子の精密設計を駆使して、薄膜物性を制御し、高性能な有機半導体デバイスやエネルギーハーベスティングデバイスを実現する。



【実用化が期待される分野】

有機ELや有機太陽電池など有機半導体デバイスの利点は、軽量・安価・フレキシブルであり、無機半導体デバイスとは異なる用途への展開が検討されている。本研究でのラジカルを含む機能性薄膜の開発は、新たな機能を有する有機半導体デバイスの実現に貢献すると期待できる。

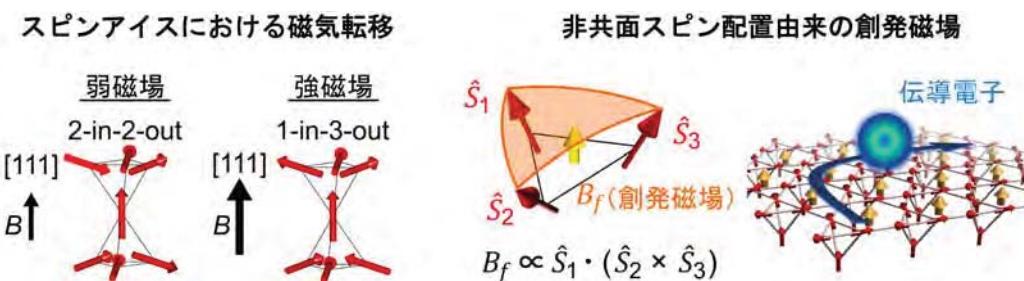
助成対象研究の紹介文

量子磁性体酸化物ヘテロ界面における創発磁気輸送現象の検出

東京大学大学院工学系研究科 助教 藤田貴啓

三角形や四面体を基調とした結晶構造を有する磁性体においては、磁気的相互作用の結果、結晶格子上に配置された磁気的スピンが局所的なエネルギーを同時に最小化できない場合が往々にして生じます。このような物質群は幾何学的フラストレーション系として知られ、量子磁性体と呼ばれる新奇な凝縮系物理の舞台として、近年盛んに研究されています。量子磁性体ではフラストレーションの結果、膨大な数のスピン配置が同一または類似のエネルギーで縮退しており、エキゾチックな基底状態を持つとともに、磁場を印加した際に生じる磁気転移がもつれ揺らぎや集団励起といった創発的な量子現象を引き起こします。それらの現象は、基礎物理的な興味に留まらず、量子技術への応用が期待されています。一方で量子磁性体は一般的に絶縁体であり、そのような現象を既存のエレクトロニクス素子へと融合するためには、電気測定を通じた検出方法の創出が望まれています。

本研究で着目するパイロクロア型酸化物($A_2B_2O_7$)は、典型的な幾何学的フラストレーション系です。特に「スピニアイス」と呼称される量子磁性絶縁体においては、結晶の[111]方向に磁場を印加した際に、基底状態における「2-in-2-out」から「1-in-3-out」構造と呼ばれるスピン配置への磁気転移を生じます。これらのスpin配置はいずれも非共面的であり、隣接するスpinの成す立体角によって定義されるスカラースpinカイラリティに由来する創発磁場を誘起します。本研究では、量子磁性絶縁体と非磁性導電体のパイロクロア型酸化物ヘテロ界面構造を作製し、この創発磁場を導電体における電気磁気輸送現象として観測することを目指しています。



【実用化が期待される分野】

高感度磁気センサー、創発磁気センサー、量子コンピューティング

助成対象研究の紹介文

磁場の量子計測に向けた低散逸軟磁性振動系の作製と実証

学習院大学理学部 助教 不破 麻里亜

本研究では、重力波分野で蓄積した技術を活かして、磁性体の機械振動を用いた磁力計を開発する。具体的には、軟磁性体球を懸架線で吊るしたねじれ振り子を作製し、磁気異方性によって軟磁性体が磁場の方向に回転するときの回転角度を量子レベルで計測することを目指す。新しく提案する磁気異方性読み出し法は、回転磁気異方性によって、強磁性共鳴周波数が回転角度に比例してシフトすることを利用する。これより、外部磁場の方向と変動を計測することができる。本手法はマイクロ波を用いた読み出しであるため、光を用いた従来の光てこ法と比較して、低温でも導入しやすい利点がある。これより系の熱雑音を落とし、量子レベルの磁性スピン信号を計測可能である。このように、機械振動子のスピンという材料特性を活かした回転の量子計測を実現し、マテリアル量子オプトメカニクスの基盤創生を目指す。

本研究で扱う軟磁性体磁力計は、剛体変位を剛体回転に、光共振器をマイクロ波強磁性共鳴に読み替えることで、重力波望遠鏡と同じ方程式で記述できる。申請者はこの類似性に着目し、同様に低散逸磁性体ねじれ振り子を作製することで、磁束密度の変動を高精度に読み出せるのではないかという考えに至った。このように本研究は、これまで独立に発展を遂げてきた物性物理分野と、重力波検出器から始まった量子計測分野を融合した分野融合型研究である。本研究によって、量子計測分野には、従来の物理系では困難だった計測を可能とする新たな計測方法をもたらす可能性がある。



図：軟磁性体磁力計の完成系

【実用化が期待される分野】

将来的に磁場の変動を 11 枠の精度で観測することで、量子状態である電子スピンにかかる相対論的な重力効果の有無を検証する。地球の重力場による時空の歪みによって、回転する剛体が傾く効果を測地歳差運動というが、この効果を磁性体内部の電子が受けて傾くと、磁場が偏極する。この磁場の変動を観測することによって、量子力学と相対性理論を統合する統一理論への理解を深めることができる。本研究で開発する高感度磁力計は、長さ 5 cm、太さ 1 mm 程度の小型なものであるため、磁気探知機として船舶などの乗物に搭載することで、鉄管・砲弾・凶器・沈船などの埋没磁性体の探査に利用できる。さらに $\mu\text{Hz} \sim \text{mHz}$ の長期変動をモニターすることで、地磁気観測による気象変動予測に応用できる可能性がある。

助成対象研究の紹介文

高機能発光リグニンの創製に向けた消光機構の解明

東京農工大学大学院農学研究院 助教 高田 昌嗣

持続可能な社会の構築に向け、石油代替資源として注目される木質バイオマス資源の細胞壁は、多糖類(セルロース・ヘミセルロース)及び芳香族高分子(リグニン)から構成される。多糖類は紙パルプやセルロースナノファイバーなど利用法は多岐に渡る一方、リグニンは主に製紙工程の副産物として回収され、プラントの熱源で利用されるのが現状で、高付加価値な活用が切望されるが、その複雑で不均一な構造が原因で、十分に活用されていない。これまで申請者は、リグニン高次構造が発光特性に及ぼす影響に着目し、メディアである溶媒やポリマーの特性を制御することで、発色団構造全てを特定することなく、多彩な発光特性の創製に成功した(図1)。中でも樹種と抽出法の選択による発色団構造の違いに起因する多彩な発光色を創出した。しかし、更なる優れた発光特性の創製・制御に向けて、消光機構の解明が重要となる。その中で、ナノレベルの発色団間距離の接近が消光機構に寄与することが明らかとなった。そこで本研究では、種々リグニンの各種メディアにおける発光特性に基づく消光機構の網羅的解析による、リグニン消光機構の解明を通じ、高機能発光リグニンの創製を目指す。

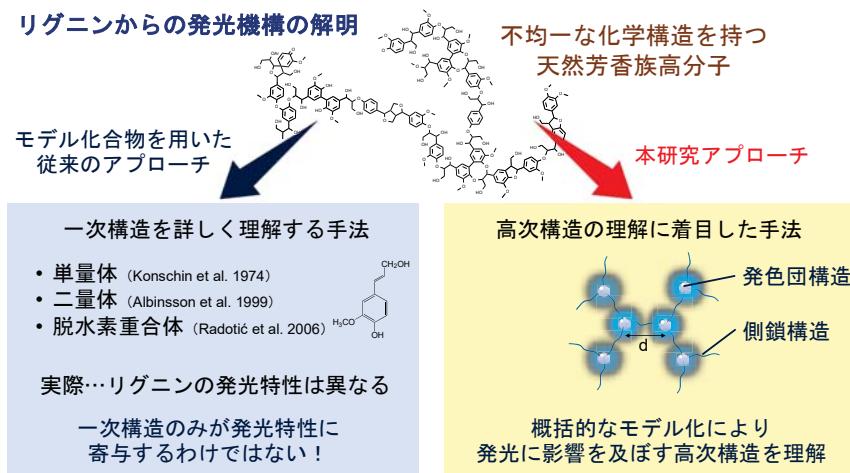


図1：高次構造に着目した手法によるリグニン発光機構の解明

【実用化が期待される分野】

セキュリティプリント、微量物質センシング、外場(圧力、温度)センシング、バイオイメージング、光波長変換材料等多岐に渡り、光学、工学、材料科学、医学、農学といった幅広い分野

助成対象研究の紹介文

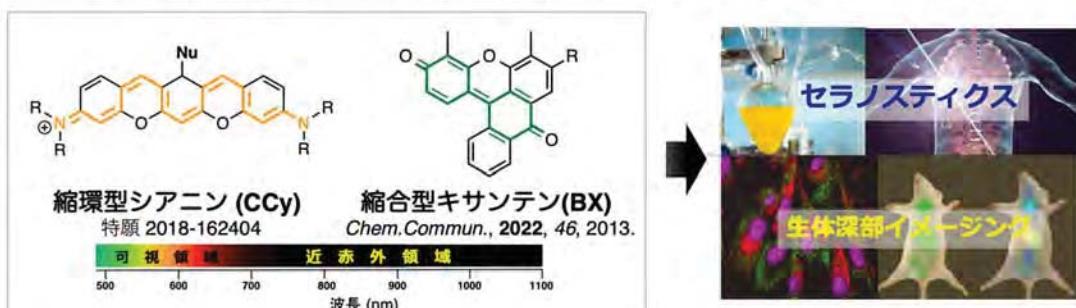
セラノスティクスを指向した第二近赤外色素の創製と分子機能開拓

愛知学院大学薬学部 助教 原田 芽生

近赤外光 (Near-Infrared Light; NIR) は、700–1000 nm (NIR-I), 1000–1400 nm (NIR-II), 1500–1850 nm (NIR-III) の領域に分類され、低エネルギーかつ物質透過性の高さを利用した幅広い科学技術への応用がなされています。中でも NIR-II 領域では、生体組織に対する光損失が大幅に低減されるため、本波長域の光を吸収し、イメージング・治療機能を発現する機能性分子の開発が期待されます。また NIR を吸収する物質は、光音響イメージングや光線力学療法の両方で機能することが可能であるため、正確な診断と効果的な治療を同時にに行う、セラノスティクス薬剤の創製においても益々重要となっています。しかしながら、1000 nm 超の領域に強い吸収をもち、同時に優れた安定性、溶解性を示す有機分子を開発できた例は限られています。

本研究では、当研究室で見いだした有機色素を母核構造とし、量子化学計算を利用したテーラーメード分子設計により、NIR-II の光を効率的に吸収・発光し、かつ、熱力学的安定性に優れた色素を新規に創製します。新規な NIR 有機色素をもとに、生体試料の深部イメージングや、がんのセラノスティクスに利活用できる新たなバイオイメージングプローブや薬剤の創出を目指します。

第2近赤外領域 (NIR-II) 蛍光色素を創製し、がんの診断とPDTが同時に可能な薬剤へ機能化



光を利用した創薬科学の発展と健康な社会構築に寄与

【実用化が期待される分野】

本研究で創製した NIR 有機色素は、がんの創薬や治療に関する分野での実用化が期待されます。即ち、本色素群を生体イメージングや光線力学治療に利用できる「薬剤」へ応用展開することで、非侵襲的な診断や治療、またこれらを同時にを行うセラノスティクスの実現を可能とし、がんに苦しむ患者を救う新たな診断・治療法の確立に寄与します。

助成対象研究の紹介文

振動と組み合わせた太陽光発電パネル用の静電砂塵クリーニングシステム

京都大学大学院工学研究科 助教 安達 真聰

クリーンなエネルギー源として太陽光発電技術の重要性が高まっており、発電を効率的に行うために、日射量も多く、降雨の少ない砂漠地域における大規模発電設備の建設が進められている。その地域特有の課題として砂嵐により舞い上がる砂が太陽光発電パネル表面に堆積し、太陽光の入射を妨げて発電量を低下させるという問題がある。砂漠のような過酷な環境下では、貴重な資源である水の利用を抑制し、ダスト清掃を実施する人やロボットへの負担を軽減するようなクリーニング技術が求められている。本研究の目的は、太陽光発電パネル表面に堆積した砂を静電気力により自動除去するシステムについて、振動と組み合わせた機構を開発し、その除去性能についての基礎特性を明らかにするものである。これまでの研究で、静電気力のみを使用した場合に付着力の影響が強い小粒径粒子が除去できないという課題が確認された。本研究では、静電場に加えて振動を与えることにより、付着力が強い粒子の除去率向上を目指す。振動を与えることにより、粒子を除去する外力が大きくなるだけでなく、接触面積が変化することで付着力を減少させる効果も期待できる。

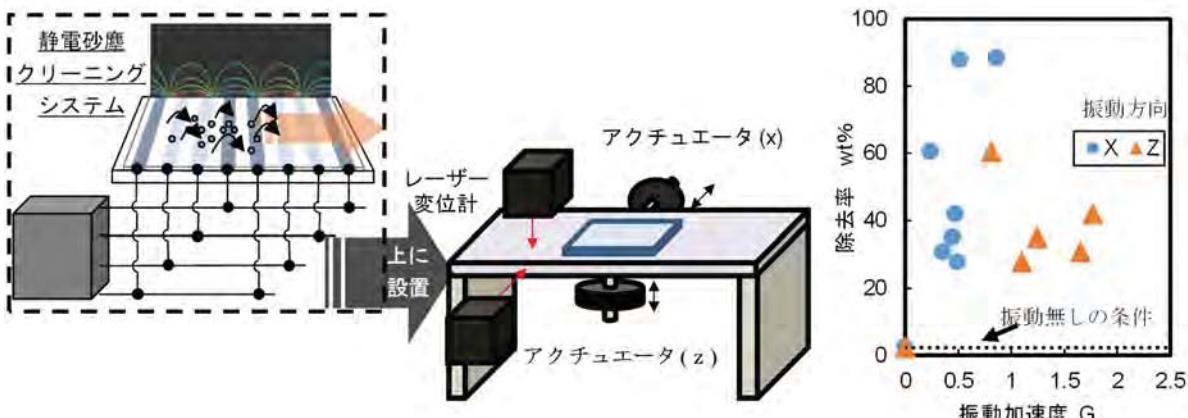


図 1 静電砂塵クリーニングシステムと振動機構を組み合わせた試験装置と予備試験結果

【実用化が期待される分野】

本研究成果により、地球上陸地の 1/4 程を占めるとされる砂漠環境下での太陽光発電技術に関する課題を解決することで、よりクリーンなエネルギーを活用する社会を導くことができる。また、粉体は様々な産業分野で活用される基本的材料であり、それらを利用するための粉体ハンドリング技術としても本研究成果の応用が期待できる。さらに、地球上の砂だけでなく、月や火星の砂が同様の問題を引き起こすことが確認されており、宇宙探査技術としての応用も進めている。

助成対象研究の紹介文

電析法によるプロモーター形成を通じた新奇アンモニア合成触媒の開発

名古屋大学未来社会創造機構 特任助教 内藤 剛大

アンモニアは肥料原料として人類の食糧生産を支えるのみならず、再生可能エネルギーを用いた持続可能型社会の構築に不可欠なエネルギーキャリアとしても期待されている。アンモニア生産において再生可能エネルギーとの親和性を高めるためには、小規模なグリーン水素製造装置への対応や、分散型の製造システム構築が有効である。この場合、既存の製造法よりも温和である低温・低圧条件下において高効率なアンモニア製造プロセスが好適に利用できる。このようなプロセス開発のボトルネックは温和条件での高効率なアンモニア合成触媒の開発にある(*Nat. Commun.*, 2022, 13, 2382など)。また、プロセスの持続可能性を高めるために非貴金属を用いることも重要である。

従来、アンモニア合成触媒の調製には熱エネルギーを駆動力とするものが主である。そこで本研究では、従来用いられてこなかった電気エネルギーを駆動力とし、全く新しい触媒の開発を目指す。具体的には、非貴金属を対象とし、電気化学的手法である電析法を活用する。電析法では、図1に示すように、電気化学的に x 価の金属カチオン種(M^{+x})を還元することで、カチオン種を金属として基材表面に堆積させることができる。基材として、アンモニア合成に用いる触媒担体粉末を用いれば、担体表面に任意の金属種を堆積させることができるとなる。さらに、還元時の電流密度や電解質構成材料などの電析条件を変化させることで、担体表面に担持される金属種の3次元構造をコントロールすることができる。本研究では、触媒の活性点を高活性にするうえで重要な役割を担う促進剤(プロモーター)を電析法により担持することで、従来の熱エネルギー駆動による触媒調製法では形成し得なかった、全く新しい3次元構造・電子構造をもつアンモニア合成用触媒の形成を目指す。

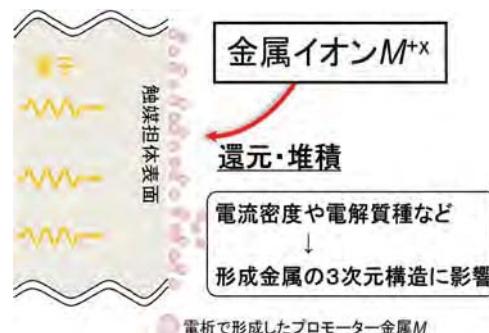


図1. 電析法によるプロモーター形成の概念図

【実用化が期待される分野】

アンモニア合成。特に、既存プロセスであるハーバー・ボッシュ法よりも低温・低圧の温和な条件で高活性な触媒を開発するため、再生可能エネルギーと接続した持続可能なアンモニア生産プロセスの構築が期待できる。

2022年度(令和4年度)

「特定研究助成」受領者名簿

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|------------------|----------------------|--------------|--------------------------|
| 佐藤 弘志 サトウ ヒロシ | 理化学研究所 創発物性科学研究中心 | ユニット リーダー | 近赤外光を熱エネルギーへ変換する多孔性結晶の開発 |

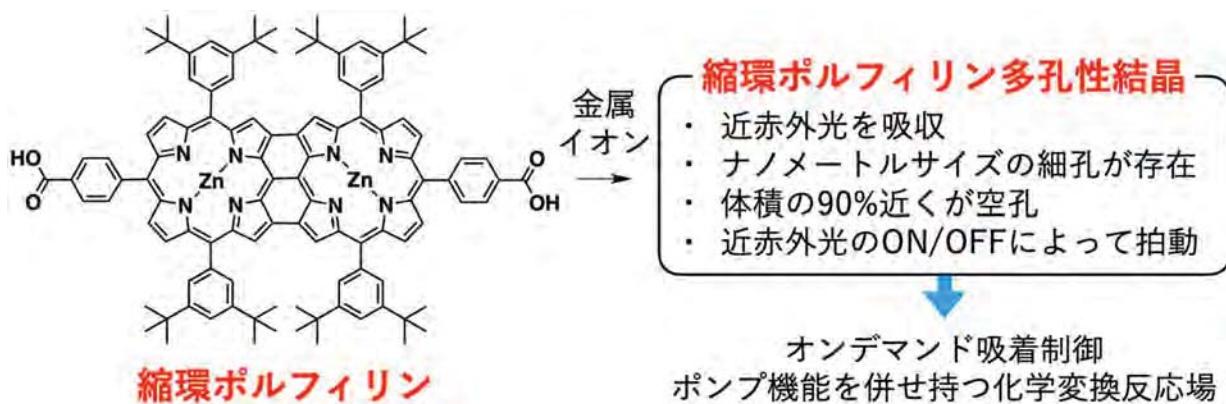
助成対象研究の紹介文

近赤外光を熱エネルギーへ変換する多孔性結晶の開発

理化学研究所 創発物性科学研究センター ユニットリーダー 佐藤 弘志

本研究では、太陽光から地上に届く光エネルギーの半分を占めながらも有効利用の道筋の立たない「近赤外光」を効率よく熱エネルギーへと変換し、ガス分離や化学変換反応促進へ有効利用することを可能にする『近赤外光を熱エネルギーへと変換する多孔性結晶』を提案します。

活性炭をはじめとするナノメートルサイズの空間を物質内部に有する多孔性物質は太古から、小分子を分離、貯蔵、変換する物質として人類に利用されてきました。多孔性物質は現代でも環境、エネルギー、生命現象に至る様々な分野で重要な役割を果たしており、吸着機能をはじめとする機能開拓は益々重要な課題となっています。我々はこれまで「柔らかさ」と「堅さ」が協奏的に働くユニークな結晶性多孔体の開拓を行ってきました(*Nature* 2021, 598, 298など)。その一環として、巨大 π 共役系分子(ナノグラフェン)を用いた多孔性結晶開発(*J. Am. Chem. Soc.*, 2019, 141, 15649)を行っていましたが、最近より巨大な π 共役系分子を利用した系への展開を計る目的で、縮環ポルフィリン(下図参照)を用いた多孔性結晶の合成を行いました。この多孔性結晶は、光熱効果を示すと期待される縮環ポルフィリン平面によって囲まれたナノメートルサイズの細孔を多数有しています。興味深いことに、この単結晶試料は近赤外光のオンオフによって特異な収縮・拍動現象を示すことを世界で初めて見出しました。本研究では、この特異な結晶収縮現象の機構解明を行うと共に、オンデマンド吸着制御ならびにポンプ機能を併せ持つ化学変換反応場としての利用に挑戦します。



【実用化が期待される分野】

太陽光エネルギーの利用は可視光(400–800 nm)領域を中心に行われてきましたが、実はそのエネルギーのおよそ半分はより長波長の近赤外領域の光が占めています。近赤外光に応答する多孔性結晶によりこの未活用エネルギーの有効利用を実現し、脱炭素社会に貢献します。また、近赤外光は生体組織に対する透過性が高いため、生体内で働く材料としても期待できます。

2022年度(令和4年度)

「国際交流援助」受領者名簿

前期

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 | 共同研究機関名 | 分野 | 期間 | 金額 (千円) |
|------------------|------------------------|----|------------------------|---|---------|-------------------------------|------------|
| 山下 尚人 ヤマシタ ナホ | 九州大学 大学院システム情報科学研究院 | 助教 | 酸化物薄膜における スキルミオンの研究 | University of Leeds (リーズ大学) / Christopher Marrows Professor (クリストファー・マローズ 教授) (英国 リーズ大学) | 材料・デバイス | 2022/10/04 ～ 2023/01/08 | 230 |

中期

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 | 主席集会 | 分野 | 期間 | 金額 (千円) |
|------------------|--|-----------|---------------------------------------|--|-------------|-------------------------------|------------|
| 石橋 朋樹 イシバシトモキ | 理化学研究所 生命機能科学研究センター フィジカルバイオロジー研究チーム | 特別研究員(PD) | 細胞レベルの左右非対称性が多細胞スケールの左右非対称性を生み出す原理の解明 | 3rd FRANCO-JAPANESE Developmental Biology Meeting (第3回 フランス-日本 発生生物学会 合同ミーティング) / Societe Francaise de Biologie du Developpement and Japanese Society for Developmental Biologists (フランス発生生物学会 日本発生生物学会 共催) (フランス ストラスブール ストラスブール大学宮殿) | 環境・バイオサイエンス | 2022/11/05 ～ 2022/11/11 | 321 |

後期

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 | 共同研究機関名 | 分野 | 期間 | 金額 (千円) |
|---------------------|---------------------------|----|--------------------------------|--|----------|-------------------------------|------------|
| 西川原 理仁 ニシカラ マサヒト | 豊橋技術科学大学 大学院工学研究科機械工学系 | 助教 | 拡大電場下における マイクロチャネル蒸発器内の気泡挙動 | Worcester Polytechnic Institute, ウースター工科大学 / Jamal Yagoobi, ジャマル・ヤゴービ (USA, Massachusetts, Worcester, Worcester Polytechnic Institute) | エネルギー・情報 | 2023/06/22 ～ 2023/07/24 | 283 |

2022年度(令和4年度)

「学術賞」受賞者名簿

功績賞

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|-----------------|------------------------|----|----------------------------------|
| 寺尾 潤 テラオ ジュン | 東京大学 大学院総合文化 研究科 | 教授 | 機能性高分子ワイヤの合成を基軸とする高分子デバイスの 作製 |

奨励賞

| 氏名 | 所属機関 | 役職 | 研究題名 |
|-----------------|---------------|-----|-----------------------------------|
| 都甲 薫 トコウ カオル | 筑波大学 数理物質系 | 准教授 | 高効率多接合太陽電池の超汎用化に向けた革新ボトムセル の開発 |

受賞研究の紹介文

機能性高分子ワイヤの合成を基軸とする高分子デバイスの作製

東京大学大学院総合文化研究科 教授 寺尾 潤

共役分子は、軽量・安価・フレキシブルな材料であり、特異な導電性、光学特性を有していることから、エレクトロニクス材料として注目を集めている。しかしながら、ランダムに配向した共役部位間のエネルギー移動や電荷移動により、無機材料に比べ導電特性や光学特性が低い。また、共役部位は光や熱、酸素に対する耐久性が低く、特に有機エレクトロニクス分野における分子素子として実用化するには数多くの問題点が存在する。これらを解決する方法の一つとして、合成化学的に共役部位を絶縁物で被覆する研究が活発に行なわれている。その手法として、大別すると共役部位に嵩高い置換基を導入する方法と、環状分子により共役部位を三次元的に被覆する方法がある。本研究では、側鎖修飾法の高い構造規則性と、環状分子被覆法の高い三次元的被覆効果に注目し、両手法の長所を組み合わせた手法として、環状分子と共に共役部位が結合した連結ロタキサン型被覆法を考案し、単分子性に由来する新機能を発現する共役分子の合成に成功した。

1. 連結型ロタキサン構造を基軸とする単分子性共役分子の新規合成法の開発

分子エレクトロニクス分野における理想的な配線素子として、一義的な物性を発現する単分子性共役分子の創製を目指し、高い電荷輸送特性を兼ね備えた被覆型共役分子の合成を行った。まず、有機溶媒に可溶なメチル化シクロデキストリンを環状分子として用い、これが共役分子に連結した化合物の自己包接、続く伸張固定化反応により、ロタキサン構造を有する被覆型共役分子を合成した。得られた被覆分子を重合し、被覆型分子ワイヤの合成に成功した。この分子ワイヤは、共役鎖間の相互作用が抑制されるため、電荷輸送特性が極めて高く、固体においても高い蛍光性を示した。また、環状分子が主鎖に連結しているため、共役鎖の剛直性が向上し、液晶性を示した。さらに、AFM 測定では、束状となることなく、単一の分子ワイヤとして観測され、単分子性を示した。

2. 高い電荷移動特性を有するジグザグ状被覆型共役高分子の合成

π 共役高分子の電荷輸送特性を高めるため、あえて共役鎖を規則正しく局在化させ、軌道レベルを同程度とし、律速段階である共役鎖内でのホッピング伝導の効率を向上できると考え、共役鎖にメタ接合部位を導入し、ジグザグ状被覆型共役高分子を合成した。分子内電荷移動度測定では、ジグザグ状は対応する直線状高分子と比べてより高い値を示し、さらに共役部位を伸張することで、単一の高分子鎖として最も高い値を示した。

3. 単分子性被覆型分子ワイヤの合成と新規機能の開拓

単分子性を発現する被覆型分子ワイヤを単なる無機物の模倣である配線素子として利用するだけでなく、有機物特有の機能性を付与した新たな分子素子への展開を目指し、被覆型共役分子と種々の機能性分子との共重合により、様々な機能を発現する被覆型分子ワイヤの合成に成功すると共に、金属錯体を含む種々の被覆型メタロワイヤの合成にも成功した。例えば、白金-アセチリド部位を共役鎖内に含有する分子ワイヤでは、高密度被覆により三重項励起状態の失活を抑制することで、常温・固体状態において燐光を発現する高分子の合成に成功した。また、ルテニウム錯体を導入した分子ワイヤは一酸化炭素を高感度にセンシングすると共に、配位結合に基づき自己修復機能を発現した。さらに、共役鎖中にビピリジル基を導入した分子ワイヤを設計・合成し、異なる金属種の配位により蛍光発光色が変化する金属イオンセンサの開発に成功した。さらに、両端にビピリジル基を有する被覆型白金アセチリド錯体とRu ポルフィリンの配位により2つの金属錯体を含有

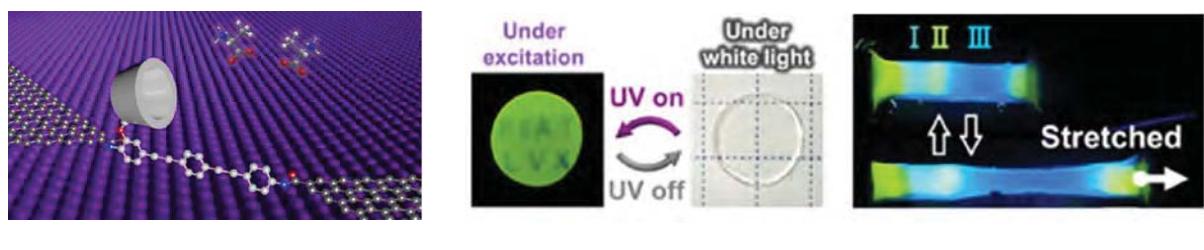
する分子ワイヤを合成した。この分子ワイヤは、興味深いことに、CO が低濃度領域では無発光、中濃度領域では濃度に比例した発光を示し、さらに高濃度領域では、濃度に対して一定の発光強度を示すという生体応答に類似した非平衡型の二段階応答変調を示した。この様に、単分子性を発現する機能性分子ワイヤの合成に成功したが、実際の応用を考えると、多段階を経て合成したこれらの高分子をバルク材料として利用することはコスト的に厳しい。そこで現在は本研究で合成した様々な連結ロタキサンユニットを①1分子 ②数分子 ③ごく少量用いる研究展開を試みた。即ち、「1分子」利用では单分子センサ応用、「数分子」としては分子回路における配線素子としての利用、「ごく少量」では高分子の架橋剤として用いた研究を行っている。

4. ごく少量の分子ワイヤを用いる新規機能性材料の開拓

①1分子: 単一分子デバイスについては、ブレークジャンクション法により電極を可動させ、分子接合したスピロピラン分子の牽引・圧縮を分子レベルで行い、構造異性化を伴う伝導性スイッチに成功している。さらに、シクロデキストリンを分子認識部位として有する1分子センサを单層グラフェン電極に分子接合し、リアルタイム伝導度測定により4つのアミノ酸とそれらのエナンチオマーを、数 μ 秒以内に区別することに成功した。

② 数分子: ナノ空間内での合成による分子デバイスの作製を目指し、ナノ電極表面にヘテロ原子を介して反応点を導入し、被覆型配線分子と種々の機能性分子との逐次的なカップリング反応による分子配線を行い、nmスケールの光スイッチデバイスの作製に成功した。本法は、電極表面から被覆分子を逐次的に組み上げる手法であるため、従来法の様にナノ電極と同じ長さの配線分子を合成する必要はなく、また、一挙に大量の分子配線が可能である。さらに、各共役鎖が被覆されているため、共役鎖の直線性・安定性が向上すると共に凝集が抑制され、鎖内の電荷移動のみが起こり、高い導電性が得られる事を実証した。

③ ごく少量: 被覆型白金アセチリドが、光に安定でありながらも、酸の添加時には光分解することを発見した。この錯体を架橋剤として高分子ネットワーク中へ導入し、得られる材料は光安定性を示す一方、酸の添加時のみ光加工性を示すゲル材料の開発に成功した。この材料は蛍光を文字列として印字する透かし技術や、材料の破壊度の可視化の実現にも成功した。



1分子キラル認識センサ素子

透かし技術

材料破壊度の可視化

【実用化が期待される分野】

- ・導電性高分子分野 ・半導体高分子分野 ・分子エレクトロニクス分野 ・光加工性材料分野
- ・発光性高分子材料分野 ・光分解性接着分野 ・生分解性高分子分野 ・有機電子材料分野

受賞研究の紹介文

高効率多接合太陽電池の超汎用化に向けた革新ボトムセルの開発

筑波大学数理物質系 准教授 都甲 薫

ユビキタス・エネルギー社会の実現には、高い変換効率をもちながらどこにでも設置できる新しい太陽電池の開発が求められます。バンドギャップの異なる材料を積層した多接合太陽電池は、太陽電池の最高効率を更新し続けています。しかし、単結晶基板やプロセスが高コストであり、用途は限られています。一方、軽くて丈夫なプラスチックを基材としたフレキシブル太陽電池は、効率で劣るもののが高い汎用性を持ちます。そこで近年、これらのメリットを併せ持った「フレキシブル多接合太陽電池」の研究が活発化しています。

多接合太陽電池では、半導体材料を積層して太陽光を広い波長領域で吸収することで、高い変換効率を得ることができます。トップ／ミドルセルには多くの材料候補がある一方、長波長光(近赤外光)を吸収するための狭バンドギャップなボトムセル材料は限られており、主要な半導体の中ではゲルマニウム(Ge)とIII-V族化合物半導体しかありません。ガラスやプラスチックなどの非結晶な絶縁基板上に直接合成された半導体薄膜は、結晶粒界などの欠陥を多く含む「多結晶」となります。III-V族化合物半導体は直接遷移型の半導体なので、多結晶状態では太陽光発電に必要なキャリア寿命が著しく低下します。したがって、フレキシブル多接合太陽電池のボトムセルの候補としては、間接遷移型の狭ギャップ半導体であるGeのほぼ一択となります[1]。

そのような中、太陽電池用の多結晶Ge薄膜がNew South Wales大学やStanford大学等、世界的な研究機関で組織的に研究されてきました。しかし、従来の多結晶Ge薄膜では、太陽電池用薄膜としてのファーストステップである光励起キャリアの取り出し(分光感度の取得)に成功した例はありませんでした。これは主に、「多結晶Ge薄膜の結晶粒が小さく欠陥(粒界)が多く存在すること」「Geに特有のアクセプタ欠陥により正孔密度が高いこと」の2つの要因により、光励起キャリアが消滅しやすいためです。また、多結晶Ge薄膜はアクセプタ欠陥により必ずp型半導体となることに加え、Ge中のn型ドーピングは固溶度や活性化率が低く、n型伝導制御も容易ではありませんでした。

私はこれまでに「固相成長」というシンプルな結晶化法に改良を加えることで、結晶粒径が大きくキャリア移動度の高いGe薄膜を低温形成し[2]、薄膜トランジスタのチャネル層や熱電変換素子へ応用してきました。本研究では、このシーズ技術を太陽電池に応用し、赤外光吸収層として未踏の光励起キャリアの取り出し(分光感度の取得)を目指しました。

研究開始当初の技術で形成したGe薄膜では分光感度を取得することができなかつたため、まずは結晶性および電気的特性のさらなる向上を目指しました。その結果、Ge薄膜と基板との間に酸化ゲルマニウム(GeO_2)層を設けることで、Ge薄膜の界面核発生が抑制され、結晶粒径の拡大およびアクセプタ欠陥密度の低減が可能となることが判りました[3]。プロセス温度は低温($\leq 500^\circ\text{C}$)であるためプラスチック(ポリイミド)基板上にも形成可能であり、正孔移動度は $690 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ に達しました(図1a)。また、不純物ドーピングによりn型伝導制御も可能であり[4]、最近では電子移動度450

cm^2/Vs が得られています。これらの移動度は、多結晶 Ge 薄膜として世界最高値になります。ガラス基板上に形成した TiN 導電膜上に薄い GeO_2 層を設け、その上に大粒径 p 型 Ge 薄膜を形成することにより、世界に先駆けて多結晶 Ge 膜由来の分光感度取得に成功しました(図 1b)[5]。長波長領域の分光感度は未だ弱いものの、Ge 膜の厚さ(200 nm)が光吸収に不十分であることに起因しており、最近では Ge の厚膜化によって改善されることが判っています。

以上、低温多結晶 Ge 薄膜について p/n 型ともに最高キャリア移動度を達成し、光励起キャリアの取り出しに成功しました。新しい太陽電池の開発に向けた大きな一步であると考えています。

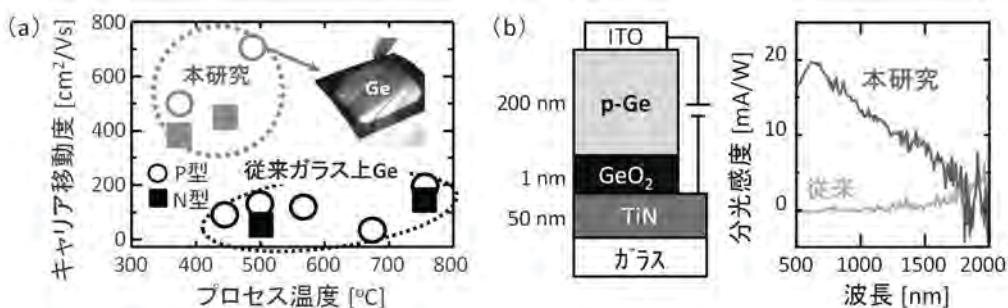


図 1. 研究成果の概要。(a) 多結晶Ge膜のキャリア移動度とプロセス温度における本研究の位置づけ。(b) 光学特性測定用試料の模式図と分光感度スペクトル。

[1] 都甲薰「第 3 章 第 5 節 Ge の太陽電池応用と薄膜化への期待」(『次世代の太陽電池・太陽光発電—その発電効率向上、用途と市場の可能性—』, 技術情報協会) 2019 年

[2] K. Toko, R. Yoshimine, K. Moto, and T. Suemasu, "High-hole mobility polycrystalline Ge on an insulator formed by controlling precursor atomic density for solid-phase crystallization", Scientific Reports 7, 16981 (2017). 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会研究奨励賞

[3] T. Imajo, T. Ishiyama, N. Saitoh, N. Yoshizawa, T. Suemasu, and K. Toko, "Record-High Hole Mobility Germanium on Flexible Plastic with Controlled Interfacial Reaction", ACS Applied Electronic Materials 4, 269 (2022). Journal Cover

[4] K. Nozawa, T. Nishida, T. Ishiyama, T. Suemasu, and K. Toko, "n-Type Polycrystalline Germanium Layers Formed by Impurity-Doped Solid-Phase Growth", ACS Applied Electronic Materials in press. Journal Cover

[5] T. Mizoguchi, T. Imajo, K. Moto, T. Suemasu, and K. Toko, "First demonstration of photoresponsivity in a polycrystalline Ge-based thin film", 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2021), K-6-04, Sep, 8, 2021. SSDM Young Researcher Award

【実用化が期待される分野】

太陽光発電ロードマップ(PV Challenge)には、2030 年までの技術課題として「多接合太陽電池用の狭バンドギャップ材料基板の製造」と「フレキシブル太陽電池の多接合化」が明記されています。低炭素社会への関心が年々高まる中、さまざまな研究開発が加速していますが、これらを達成する確かなアプローチはまだありません。本成果は、これらロードマップの 2 課題を同時に解決するポテンシャルがあります。「限られた面積・耐荷重で大きな発電量」の必要な機器、建築(家屋)などへの用途に加え、太陽光で充電できる携帯型端末や乗り物などへの応用が期待されます。