

令和 3 年度
「研究助成金」受領者 14 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 3 年度の「研究助成金」受領者 14 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、「新材料」・「エネルギー」・「情報」の各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られた研究者に与える「矢崎学術賞」があります。

【一般研究助成(200 万円)】(応募 61 件)

川上 恵里加(カワカミ エリカ) 理化学研究所 量子コンピュータ研究センター 理研白眉研究チームリーダー

「量子コンピュータ大規模化のための低温マイクロ波測定機器の開発」 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 41 件)

田尻 武義(タジリ タケヨシ) 電気通信大学 大学院情報理工学専攻 情報・ネットワーク工学専攻 助教

「結晶性エッチングを利用した中空状の窒化ガリウムスラブの表面改善」 はじめ 9 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 8 件)

該当なし

なお、当財団が特定したテーマは以下の通り

1. 「人の活動を高度に支援するための革新的技術に関する研究」
2. 「革新的なモビリティ社会の構築を支える基盤技術に関する研究」

【国際交流援助】(応募 1 件)

該当者なし(新型コロナウイルス感染拡大の影響による国際学会の中止・オンライン開催のため)

【矢崎学術賞】(応募 8 件)

功績賞:島川 祐一(シマカワ ユウイチ) 京都大学 化学研究所 教授

奨励賞(若手研究者を対象):平井 大悟郎(ヒライ ダイゴロウ) 東京大学 物性研究所 助教

なお、3 月 10 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

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
矢崎総業株式会社 広報部
TEL. 055-965-3002

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	20
国際交流援助 受領者名簿	21
学術賞 受賞者名簿	22
学術賞 研究紹介文	23

2021年度(令和3年度)

「一般研究助成」受領者名簿

敬称略五十音順

新材料

氏名	所属機関	役職	研究題名
加藤 俊顕 カウ トシアキ	東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻	准教授	グラフェンと遷移金属ダイカルコゲナイドの接合界面制御によるオール原子層太陽電池の開発
近藤 美欧 コトウ ミオウ	大阪大学 大学院工学研究科 応用化学専攻	准教授	高効率光-化学エネルギー変換に向けた π 集積型活性化結晶性ホストの創出
鷹谷 絢 タカヤ ジュン	東京工業大学 理学院化学系	准教授	二酸化炭素の高度資源化を可能にする均一系複合金属触媒の創製

エネルギー

氏名	所属機関	役職	研究題名
守友 浩 モリト ユウカ	筑波大学 大学院理工情報生命 学術院 数理物質科学研究群	教授	温度変化で充電される「三次電池」の開発

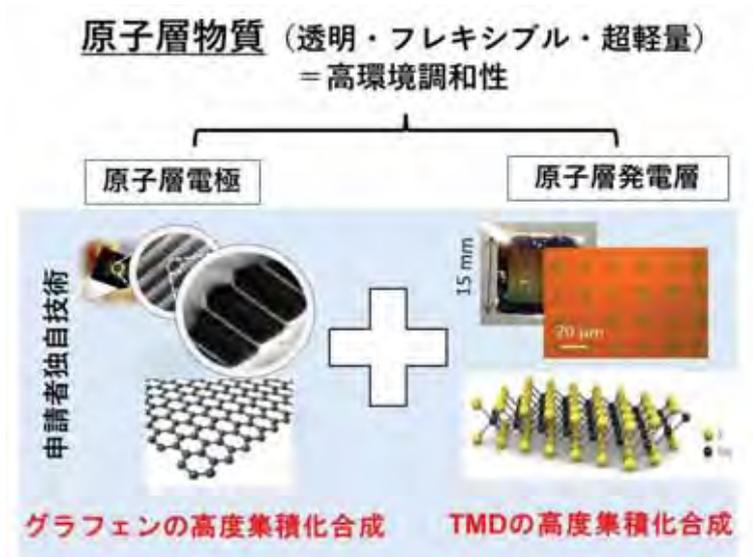
情報

氏名	所属機関	役職	研究題名
川上 恵里加 カワカミ エリカ	理化学研究所 量子コンピュータ研究 センター	理研白眉 研究チー ムリーダー	量子コンピューター大規模化のための低温マイクロ波測定機器の開発

グラフェンと遷移金属ダイカルコゲナイドの接合界面制御による オール原子層太陽電池の開発

東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻 准教授 加藤 俊顕

本研究では、環境調和性の極めて高い透明フレキシブル超軽量な原子層太陽電池の開発を目的とします。具体的には金属原子層物質であるグラフェンと半導体原子層物質である遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)を接合した際の界面に発現するショットキー障壁を詳細に制御することでオール原子層ショットキー太陽電池の発電実証、及び高効率発電を目指します(図)。従来薄膜太陽電池の数千分の1の薄さの原子層物質を発電層に用いることで、透明化に加え、軽量化やフレキシブル化も期待でき、究極の環境調和型環境発電素子の実現が期待できます。



図：本研究の全体概略図。

【実用化が期待される分野】

本研究提案が実現することで、環境調和性の極めて高い、究極の環境発電素子の実用化が期待されます。これらは、持続可能な開発目標(SDGs)に掲げられている、“すべての人々に手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する”課題解決にも繋がると期待されます。

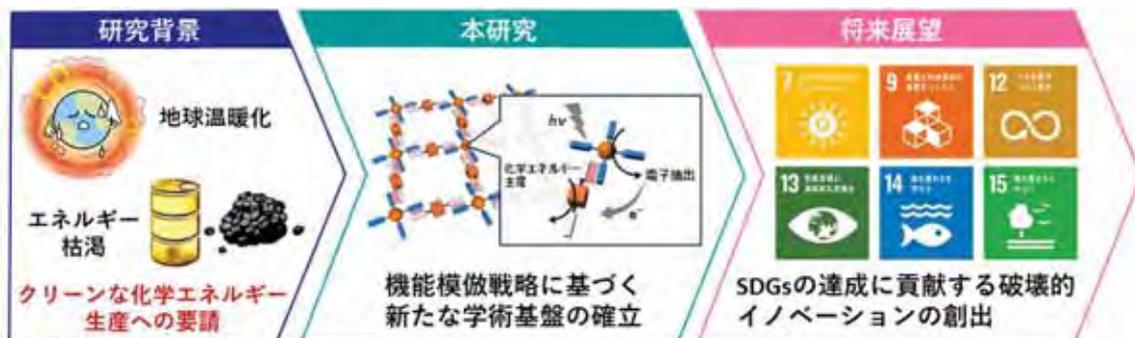
助成対象研究の紹介文

高効率光－化学エネルギー変換に向けた π 集積型活性化結晶性ホストの創出

大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻 准教授 近藤 美欧

産業革命に端を発する社会活動の発展の代償として、我々人類は現在、エネルギー枯渇・環境破壊といった地球規模で解決すべき重大な諸問題に直面している。これらの問題を解決するための一つの方策として、太陽光や風力に代表される地球上に無尽蔵に存在する再生可能エネルギーの利用が考えられる。但し、再生可能エネルギーは輸送・貯蔵性に乏しい為、その有効活用にあたっては、再生可能エネルギー源を貯蔵・輸送が可能な化学エネルギー源へと変換することが要請される。このようなエネルギー変換を可能にする技術として、近年、植物で行われている天然の光合成反応を模倣し、太陽光エネルギーを有用な化学エネルギー源へと変換する人工光合成技術が大きな期待を集め、人工光合成反応を促進する触媒材料の開発が世界中で盛んに研究が行われている。しかしながら、天然の光合成反応系に匹敵する性能を有する光-化学エネルギー変換触媒システムを構築することは最先端の科学技術をもってしても極めて困難である。

そこで本研究では、高効率な光-化学エネルギー変換システムの構築を可能にする新規触媒材料の創製を目指す。より具体的には、申請者のこれまでの研究により独自に開発された“ π 集積型活性化結晶性ホスト(π -Electronic Activated Crystalline Host, PEACH)”を活用し、反応活性中心に対して高効率な光－化学エネルギー変換システムの創出に不可欠な①光捕集サイト、②電子移動サイト、③基質認識サイトが規則的に配置された「反応場」を合理的に構築する手法を確立することで、種々の光-化学エネルギー変換反応を高効率で進行させることが可能な革新的触媒システムの構築を目指す。本研究により得られる成果は、人類社会の様々な側面に波及効果をもたらす。特に、持続可能な開発目標(SDGs)に掲げられた、エネルギー問題の解決(7)、産業と技術革新の基盤創成(9)、資源の再利用性(12)、気候変動への対策の提示(13)、地球環境保全に対する活動(14、15)等に大きく貢献する。すなわち本研究は、人類が現在抱える様々な社会問題を包括的に解決しうる破壊的イノベーションの創出へと繋がるポテンシャルを十分に秘めていると言える。



【実用化が期待される分野】

エネルギー分野・環境材料

二酸化炭素の高度資源化を可能にする均一系複合金属触媒の創製

東京工業大学理学院化学系 准教授 鷹谷 絢

有機化合物の最終酸化物である二酸化炭素を再利用する物質合成は、化石資源に依存した現代の物質生産社会から脱却するために、我々化学者が成し遂げなければならない重要科学技術の1つである。なかでも、太陽光エネルギーを用いて二酸化炭素の還元的分子変換を行う人工光合成は、エネルギー問題や二酸化炭素問題の解決につながるものとして活発に研究開発が行われている。しかし一方で、人工光合成反応によって生じる二酸化炭素還元種を利用して、ファインケミカル合成に欠かせない、より複雑かつ高付加価値のカルボン酸を直接合成する例はほとんど無い。この一因は、触媒系の複雑性にある。すなわち、一般的な人工光合成反応では、可視光捕集触媒と二酸化炭素還元触媒が別個の金属錯体もしくは半導体などの固体材料であり、これらを混合、あるいは連結することで用いている。ここにさらに、二酸化炭素還元種と有機分子との反応を担う第3の触媒系を複合することは極めて難しい。従って、高付加価値カルボン酸類の直接生産を可能にする二酸化炭素の高度資源化型人工光合成を実現するには、複数機能を併せ持つ新触媒の創製が必要不可欠である。

本研究では、研究代表者が独自に開発した複数典型金属・遷移金属の効率的集積技術を活用することで、複数の触媒機能を併せ持った均一系複合金属触媒を開発する。これらの構造解析と性質解明、機能開拓を基盤として、二酸化炭素還元から反応基質のカルボキシル化までの全過程を高度に制御した、新しい二酸化炭素の高度資源化反応を実現する。



【実用化が期待される分野】

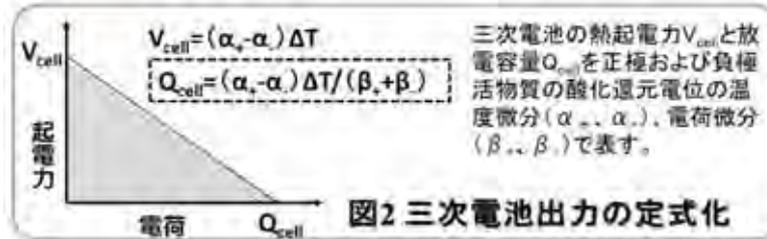
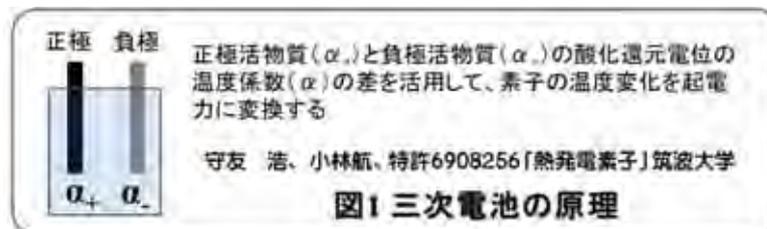
アクリル酸やフタル酸、アジピン酸といった重要カルボン酸類を、酸化的条件を用いることなく、二酸化炭素から光エネルギーを利用して合成する手法を実用化する。一例を挙げると、既存のアジピン酸の工業的合成法では、シクロヘキサノンやシクロヘキサノールを化学量論量の硝酸を用いて酸化する必要があり、人体と地球環境に極めて有害な亜酸化窒素が共生する。本研究は、これに代わる環境調和型のカルボン酸合成法となるものであり、その社会的波及効果は極めて大きい。

温度変化で充電される「三次電池」の開発

筑波大学大学院理工情報生命学術院数理物質科学研究群 教授 守友 浩

近年、地球環境保全や IoT 社会への基盤技術として、環境熱を電力に変換するエネルギーハーベスト技術が注目を浴びています。我々は、電極活物質の酸化還元電位の温度係数 (α) を活用し、温度変化で充電される「三次電池」を提案しています(図1)。特に、プルシャンブルール類似体 ($\text{Na}_x\text{M}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_y$; M-PBA, M=Co, Mn, Ni) 薄膜を配置した「三次電池」を試作し、温度上昇で充電→電力の取り出し→温度下降で充電→電力の取り出し、を実証しました。現状の三次電池の熱起電力 (V_{cell}) は 40mV 程度(40 度の温度変化)ですが、市販のキャパシタ回路を用いると数 V まで昇圧できます。しかしながら、「三次電池」の社会実装を実現するには、低コストで量産可能な M-PBA 粉末から構成される三次電池の研究開発を推進する必要があります。

本研究の目的は、(A) 三次電池の低コスト化、および、(B) 三次電池の性能の最適化により、三次電池を社会実装に近づけることです。これまでの研究で、Co-PBA および Ni-PBA 電極は良好なサイクル特性を示すことが分かっています。そこで、三次電池の低コスト化を目指して、Co-PBA および Ni-PBA 粉末から作成したペースト電極から構成される三次電池を試作・評価します。さらに、三次電池の放電容量 (Q_{cell}) を各電極の電位の温度微分 (α) と電荷微分 (β) で定式化し、その最大化の方法を確立します(図2)。



【実用化が期待される分野】

- ・IoT センサー等の自律分散電源 (電池交換が不要で半永久的に電力を供給)
- ・環境の温度変化を利用した発電

助成対象研究の紹介文

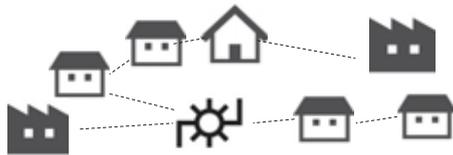
量子コンピューター大規模化のための低温マイクロ波測定機器の開発

理化学研究所 量子コンピューター研究センター
理研白眉研究チームリーダー 川上 恵里加

大規模量子コンピューターが実現すれば、私達の生活をどのように変えていくかを予測することは難しいが、例えば、エネルギー問題や新薬開発などのゲームチェンジャーになると考えられている。量子コンピューターで使う情報の最小単位である量子ビットはたくさんの可能を表すのが得意(下図)で、量子コンピューターは、その中から最適な解を見つけるのが得意である。

古典コンピューターには解けないが量子コンピューターには解ける問題

エネルギー問題



どのように送電網を作れば、消費電力が一番抑えられるか？

新薬開発



ある物質から別の物質を生成する際に、
どのような中間体を辿るのが一番効率的か？

例えば、送電網の問題では、地点が 10 程度以上ですでに(古典コンピューターの中で最強の)スーパーコンピューターでも解くことが出来ないが、量子コンピューターなら、さらに数が増えても解くことが出来る。

上記のような量子コンピューターの実現には 1000 万個以上の量子ビットを準備し量子コンピューターを大規模化することが必要不可欠である。しかし、大規模量子コンピューター実現の障壁の1つは、多数の量子ビットを集積化することの難しさにある。

高性能の量子ビットを実現するためには、主に、量子ビットを冷却機と呼ばれる装置を用いて、極低温(-273°C程度)に冷却する必要がある。量子ビットはマイクロ波によって読み出し・制御されているが、室温におかれるマイクロ波発振器と極低温下にある量子ビットを繋ぐ電線は直径 1 cm 程度である必要があり、冷却機内の大きさの制約から 100 本程度しか設置出来ない。1 つの量子ビットに対して1本以上の太い電線が必要となるため、高々、100個程度の量子ビットしか実現出来ない。

この問題を解決するために、極低温下である冷却機内でも動作するマイクロ波測定機器を開発することを目標とする。測定機器を冷却機内に置けば、電線を細くすることが出来、1000 万個の量子ビットを実現するために必要な電気配線を冷却機内を実現することが出来る。

【実用化が期待される分野】

最近の量子コンピューター分野では、色々な種類の量子ビットの開発が進んでいるが、その多く(例えば、今最も有力視されている超伝導量子ビット、半導体中の電子、ダイヤモンド中の電子、ヘリウム表面上の電子など)は冷却機内の極低温下におかれ、マイクロ波で制御・読み出しされる。低温マイクロ波測定機器はその全ての量子ビットに対して応用出来る。

2021年度(令和3年度)

「奨励研究助成」受領者名簿

敬称略五十音順

新材料

氏名	所属機関	役職	研究題名
大竹 研一 オオtake ケンイチ	京都大学 高等研究院	特定助教	構造応答性を利用した超高選択的二酸化炭素吸着材料の開発及び実証
小野寺 桃子 オノデラ モモコ	東京大学生産技術研究所 基礎系部門	特任助教	原子層とMEMSの組み合わせによる動的複合原子層の実現
岸本 史直 キシモト シナオ	東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻	助教	高選択的CO2転換を実現する天然由来の高機能触媒開発
田尻 武義 タジリ タケヨシ	電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻	助教	結晶性エッチングを利用した中空状の窒化ガリウムスラブの表面改善
谷 洋介 タニ ヨウスケ	大阪大学 大学院理学研究科	助教	光に応答する純有機りん光液体の開発
脇坂 聖憲 ワキサカ マサリ	東北大学 理学研究科	助教	多孔性グラファイトを担体に用いた炭化鉄ナノ粒子のサイズ制御合成と強磁性相互作用の解明

エネルギー

氏名	所属機関	役職	研究題名
多々良 涼一 タタラ リョウイチ	東京理科大学 理学部第一部 応用化学科	助教	デンプンの全酸化を目指した多酵素型バイオ電極の設計
宮川 晃尚 ミヤカワ アキヒサ	筑波大学 数理物質系	助教	分子クラウディング反応場を利用した溶媒抽出法の開発

情報

氏名	所属機関	役職	研究題名
三浦 智 ミウラ サトシ	東京工業大学 工学院機械系	講師	ロコモティブロボット用ハプティックデバイスの知的制御

構造応答性を利用した超高選択的二氧化碳吸着材料の開発及び実証

京都大学高等研究院 特定助教 大竹 研一

近年、環境への負荷を可能な限り低減させる技術の開発はますます重要性が高まっている。特に温室効果ガスとして知られる二酸化炭素(CO₂)を効率よく分離・貯蔵する技術(CCS)は、産業的な側面や環境問題において重要な課題となっている。

本研究では、構造応答性を利用した多孔性配位高分子(Porous coordination polymer = PCP)材料を基盤として、超高選択的CO₂吸着材料の開発に取り組む。PCPは、金属イオンと有機分子の配位結合からなる連続構造を持つ、近年見出された新しい多孔性材料である。PCPは、多様な有機配位子と金属イオンの選択や合成法の調整により、細孔構造を緻密に設計できるという特徴を有する。本研究では特に、PCPの骨格に構造柔軟性を導入した、構造応答性PCPに着目した。構造応答性PCPは結晶でありながら、ガス種に応答して構造を柔軟に変えて吸着する性質を有する。特に、ガス種に応じたある一定の圧力(ゲート圧力と呼ばれる)以上で構造変化を伴ってガス分子を吸着する現象は、ゲートオープン現象と呼ばれている(下図)。ゲートオープン現象において生じるPCPの構造変形は、PCPの変形エネルギーとガスの吸着エネルギーとのバランスで起こるため、PCPの骨格内やガス-骨格間の相互作用エネルギーの調整により、高いガス選択性の発現も可能となると予想される。本研究では、構造応答性PCPを基盤として、CO₂を含んだ複数成分混合ガスのうちCO₂のみを排他的に吸着する吸着材料を開発し、その分離性能の実証に取り組む。

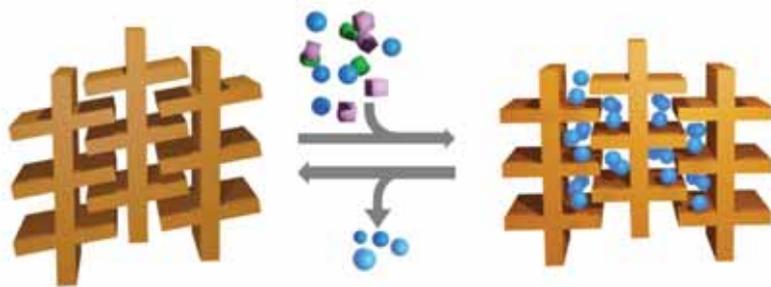


図. 構造応答性PCPにおける選択的ガス吸着分離の模式図。PCPの構造変化に伴い、選択的なガス吸着・分離を行うことが可能である。

【実用化が期待される分野】

CCS や、ガス分離・精製に関連する分野。ガスの蒸留分離プロセスにかかるエネルギー消費は、全世界の1割以上のエネルギー消費に及んでいると見積もられている。本研究を通して、PCPを用いたガス分離・精製技術の基盤技術の確立できれば、省エネルギーな社会への変革をもたらす大きな可能性を秘めている。

原子層と MEMS の組み合わせによる動的複合原子層の実現

東京大学生産技術研究所基礎系部門 特任助教 小野寺 桃子

本研究では、小さなチップ上で μm 単位で位置制御を行える Micro Electro Mechanical Systems (微小電気機械システム、MEMS) と原子層を組み合わせ、原子層同士の積層角度 θ を動的に変化させながら測定を行える「動的複合原子層構造」を構築することを最終的な目的とする。

2018 年、単体では超電導を示さない単層グラフェンを積層角度 1.1 度で積層すると超伝導性を示すという驚くべき発見が報告された。それ以後、ツイスト積層二層グラフェンの研究は世界中で行われ、その勢いは加速度を増しているが、現状では所望の角度のデバイスをつくるには相当数の素子を作製しなければならず、確率的な事象に依っている。こうした現状を打破するには、同一積層構造内で角度を可変にできる仕組みを作り上げる以外にはない。

そこで発想したのが今回の提案である「MEMS と原子層を組み合わせる」というものである。MEMS は μm 単位で可動部の位置及び角度制御を行うことができる微小素子であり、同じく微小な構造である原子層とはサイズの的に組み合わせやすい。具体的には下図のように、MEMS 上及び SiO_2 基板の上に原子層を転写し、MEMS の位置制御によって原子層同士の張り合わせ、引き離し、角度回転を行いたい。本研究では初期段階として、ピエゾ駆動ステージを用いた原子層同士の接触、測定、引き離しの動作実現を目標とする。

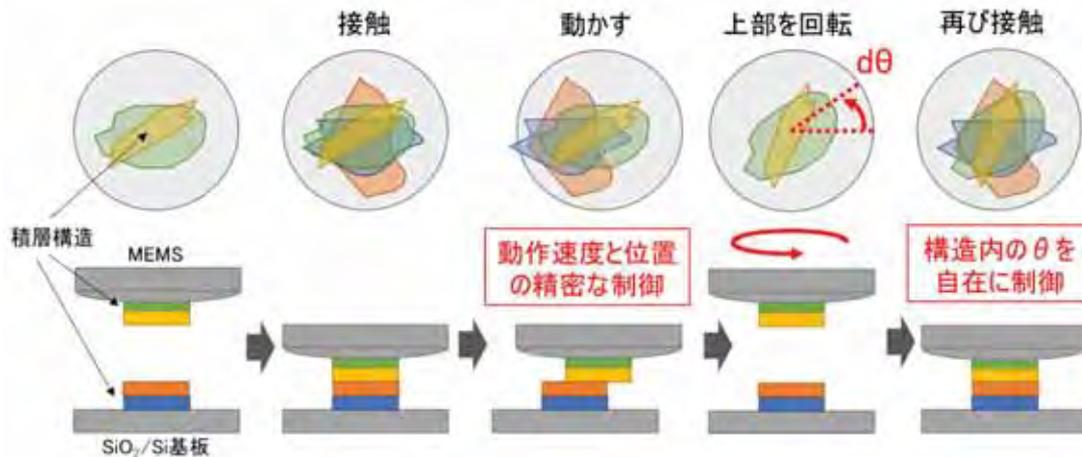


図 1 MEMS と原子層を組み合わせた動的複合原子層構造の概念図

【実用化が期待される分野】

MEMS/原子層複合構造は単に物性の評価だけでなく、原子層を用いたスイッチングに応用できる。ファンデルワールスヘテロ接合の物性は積層角度 θ によって多様に変化するため、 θ を変化させることで流れる電流量の連続的な制御や、超伝導状態から絶縁状態への切り替えを行うことができ、半導体デバイスや電気通信の分野で実用化が期待される。

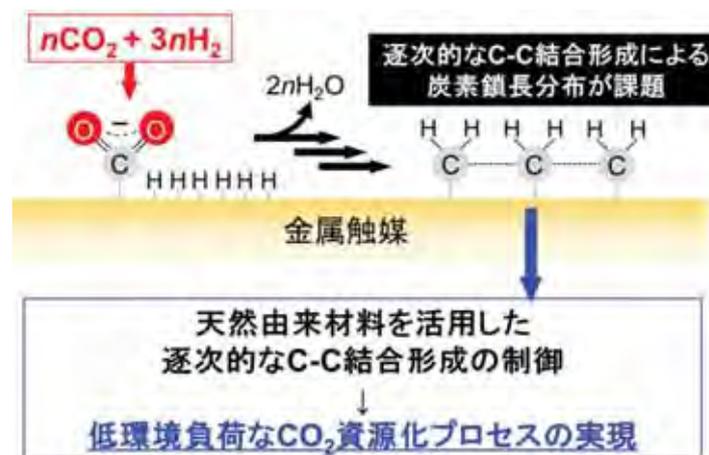
高選択的 CO₂ 転換を実現する天然粘土由来の高機能触媒開発

東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻 助教 岸本 史直

2050 年時点でのカーボンニュートラル社会創生のために、プラスチックなどの原料となるオレフィン(エチレン C₂H₄・プロピレン C₃H₆ など)を二酸化炭素 CO₂ から合成するプロセスが望まれている。より効率的な反応プロセスを実現することが可能な Fischer-Tropsch 型ルートでの CO₂ オレフィン化のメカニズムを下図に示す。金属触媒に吸着した CO₂ は水素によって脱水・還元され、触媒表面で CH₂ 吸着種に転換される。この CH₂ 吸着種間での C-C 結合形成によってオレフィンが生成する。しかし、このとき C-C 結合形成は逐次的に進行するため、生成するオレフィンの炭素鎖長は分布 (Anderson-Schulz-Flory 分布)を持つ。

すなわち、解決すべき課題は、C-C 結合形成が連鎖的に進行することで、生成物の炭素鎖長に分布ができてしまうことである。これまで、金属触媒のナノ粒子化や合金化による CH₂ 吸着種の脱離促進によって、炭素鎖長分布を制御した報告がある。しかし、触媒のサイズ・組成分布が工業化に向けた更なる問題となる。

本研究では、天然に豊富に存在するナノ材料群(ゼオライト・鉱物類)を活用し、低環境負荷かつ大量製造可能な CO₂ 資源化触媒の開発を着想した。これらの天然由来材料のナノ空間に金属触媒を閉じ込めることで、C-C 結合形成の抑制・制御を狙う。つまり、ナノ空間をオレフィンの分子サイズ(C₂H₄ならば 3.9 Å, C₃H₆ならば 4.5 Å)に合わせて精密に設計することで、狙った炭素鎖長のオレフィンを高選択的に合成する触媒を実現する。



【実用化が期待される分野】

石油化学、ポリマー産業:我々の生活にとってプラスチックは必要不可欠な材料であるが、その原料(エチレン・プロピレン・ブテンなど)は石油などの化石資源に大きく依存している。カーボンニュートラル社会において正味ゼロの CO₂ 排出を実現するには、CO₂ からのプラスチック原料の生産プロセス開発は喫緊の課題である。

結晶性エッチングを利用した中空状の窒化ガリウムスラブの表面改善

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻
助教 田尻 武義

直接遷移型ワイドギャップ半導体の窒化ガリウム(GaN)は、光を制御するためのサブミクロン程度の微細構造(光ナノ構造)を形成することにより、集積型光源や光回路などへの応用が期待される。特に、中空状の GaN 薄膜(スラブ)を基本構造とする光ナノ構造は、スラブ面内に閉じ込められた光の制御が可能であり、微小なレーザや光導波路などへの応用研究が進展している。GaN 系半導体の中空スラブ構造の作製法には多くの提案があるが、応用研究の更なる進展には、スラブの品質改善が求められている。本研究では、光電気化学エッチングを用いた中空 GaN スラブの作製において、光散乱要因となる表面凹凸の改善を目的に、結晶面を利用した異方性エッチング(結晶性エッチング)を応用した表面改善手法を開発する。結晶性エッチングによって得られる高平坦面の利用や、結晶面制御を取り入れた包括的な表面加工技術の開発に取り組むことで、マイクロディスク共振器を中心とする GaN スラブ型光ナノ構造の改善を目指す。

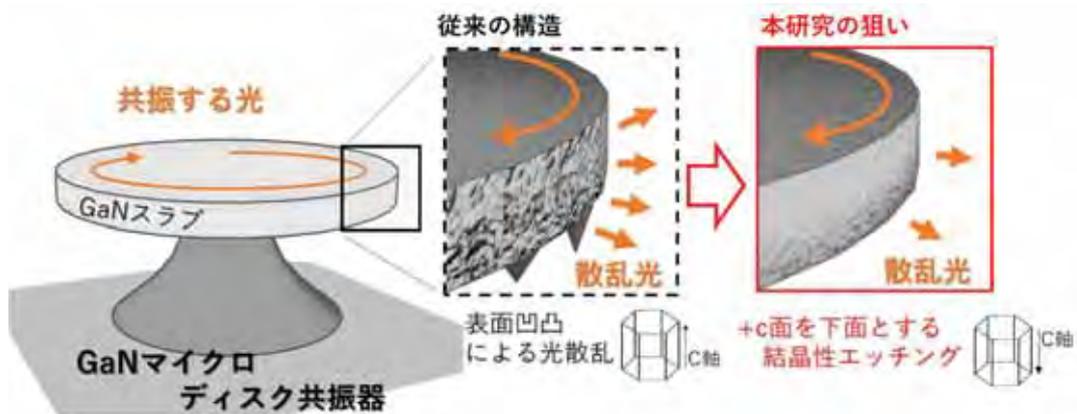


図 中空 GaN スラブに形成されたディスク型共振器の表面改善例

【実用化が期待される分野】

スラブ型光ナノ構造は、微小な光デバイスを集積化・回路化することが可能であり、複数の機能を集積した小型光システムの実現が期待される。他の材料では、情報処理分野等で実用化のための研究が近赤外領域で進展している。透明波長域の広い GaN を用いることで、産業応用上重要な可視光領域を包含する広範な波長域へと応用展開が可能となる。将来的に、プロジェクター等の可視光を制御する機器の小型化に寄与することで IoT 分野等での実用化が期待される。

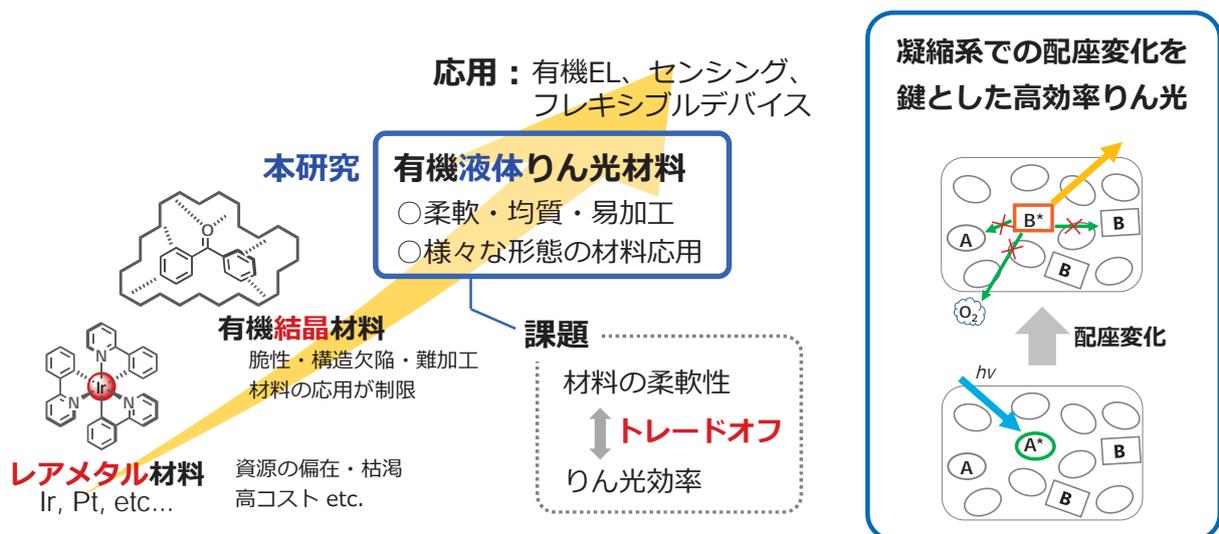
助成対象研究の紹介文

光に応答する純有機りん光液体の開発

大阪大学大学院理学研究科 助教 谷 洋介

液体は、物質の三態のなかで固体とともに高密度な凝縮系に分類される。同時にその流動性から、気体と同じく流体にも属する。しかし、凝縮系でありながら動的であるという液体の特異性に注目した機能は、およそ未開拓である。液体は材料形態として優れており、①究極の柔軟性 ②均質で性能が安定 ③塗布や注入など成形が容易 ④凝縮系であり高密度 など多くの利点をもつが、その柔軟性・流動性ゆえに、むしろ固体と同様には発現しない機能も多い。

本研究では、りん光を示す有機液体を開発する。りん光は、有機ELやセンシングに応用される基礎的かつ特異な光機能であるが、高効率りん光を示す物質のほとんどは、白金やイリジウムを含む貴金属錯体である。そこで近年、コストや持続可能性の観点から、金属元素を含まない純有機分子の室温りん光が盛んに研究されている。しかし、りん光を得るには結晶などの剛直な環境が必須と考えられてきた。すなわち、材料・分子環境の柔軟性と純有機材料のりん光効率は、一般にトレードオフの関係にある。これに対し本研究では、独自の柔軟な機能骨格「チエニルジケトン」を基盤に用い、柔軟な分子骨格こそが高効率なりん光液体に適する、という直観に反した設計原理を実証する。分子の立体的なかたち＝配座に注目し、多数の配座が混在し動的に変化する「配座ダイナミクス」が許容される液体を構築することで、高効率なりん光を実現する。今回の助成対象研究では特に、光に応答して配座分布が変化し、それに連動して液体の性状やりん光機能が変わる、動的機能性液体の開発を目指す。



【実用化が期待される分野】

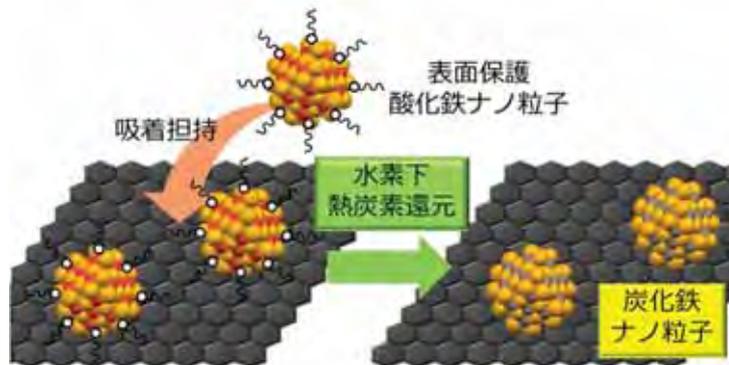
機能性分子液体、光機能性材料、特にディスプレイ、照明、センサー、バイオイメージングなど

多孔性グラファイトを担体に用いた炭化鉄ナノ粒子の サイズ制御合成と強磁性相互作用の解明

東北大学理学研究科 助教 脇坂 聖憲

炭化鉄は金属性とセラミック性を併せ持つ非常に興味深い物質である。強磁性体として磁石になることが知られているが、炭化鉄ナノ粒子の磁性は依然としてよく分かっていない。炭化鉄ナノ粒子の磁性を明らかにできれば、超高密度磁気記憶素子として、付加価値の高い次世代のナノテク材料として活用する道が開ける。一方で筆者らは水素下熱炭素還元法 (Carbothermal Hydrogen Reduction) による新しい金属炭化物微粒子合成法を開発した (*Small*, 2021 巻, pp.2008127, 2021 年; *Nanoscale*, 12 巻, pp.15814, 2020 年)。これは水素下で行う熱炭素還元であり、カーボン担体上の前駆体を 500°C 以下の温和な条件で炭化できる優れた特徴を持つ。この炭化温度の低温下により、凝集を抑制した分散性の高いナノ粒子やクラスターの合成が可能となる。そこで本研究は水素下熱炭素還元法を用い、サイズをナノスケールで系統的に制御した炭化鉄ナノ粒子を高比表面積な多孔性グラファイト担体上に合成し、分散担持された炭化鉄ナノ粒子の磁気特性を解明する。

本研究は、①酸化鉄ナノ粒子の単分散担持、②水素下熱炭素還元法の最適化、③炭化鉄ナノ粒子のキャラクタライズ、④磁気測定を行う。炭化鉄ナノ粒子の前駆体として有機配位子で表面保護された酸化鉄ナノ粒子 (粒径 5, 10, 20, 30 nm) を用い、多孔性グラファイトに担持する。水素下熱炭素還元は凝集を防ぐために低温かつ短時間で炭化する条件に最適化する。炭化鉄ナノ粒子は粉末 X 線回折及び X 線吸収微細構造測定で同定する。磁束計を用いてキュリー点、磁化磁場ヒステリシスループ、磁場中冷却及びゼロ磁場冷却磁化曲線を測定する。



【実用化が期待される分野】

ハードディスクの心臓部である磁気記憶素子にはナノサイズの磁石が使われている。理論的にはナノ磁石をより小さくすれば記憶密度・容量が向上する。しかしやっかいなことに、ナノ磁石を更に小さくすると超常磁性と呼ばれる磁気現象が現れ、室温ではもはや磁石として働かなくなってしまう。炭化鉄のナノ粒子及びクラスターはこの超常磁性の壁を突破するブレイクスルーになる可能性がある。将来的には電子デバイスの小型化やデータ容量の増大・高密度化に繋がると期待される。

デンプンの全酸化を目指した多酵素型バイオ電極の設計

東京理科大学理学部第一部応用化学科 助教 多々良 涼一

酵素はタンパク質からなる生体触媒であり、通常条件では起こりえない特定の反応を触媒的に進行させることができる。ある酵素が触媒する反応は原則として 1 反応に限られ、これは基質特異性として知られている。このため生体内の代謝系では、多種の酵素が働くことで炭水化物を酸化しエネルギーを取り出している。一方で酵素を電極上に固定化し、この反応を利用することでエネルギーを取り出すデバイスがバイオ燃料電池として知られている。しかしながら酵素は 1 種類につき 1 反応しか触媒しないため、生体内代謝のように炭水化物を何段階も分解していく反応(究極的には、CO₂までの全酸化)は模倣できていない。例えばグルコースの酸化をグルコースオキシダーゼで行う場合、グルコノラクトンで酸化は止まってしまう。この問題点を解決するためには生体内と同様に複数の酵素を電極上に固定化する必要があるが、①固定化方法によって失活する酵素があり、最適な固定化手法は酵素ごとに異なる、②多酵素型の電極は反応系が非常に複雑になる、といった問題点から実用に至っていない。本研究では複数の酵素を組み合わせることにより、最もポピュラーな糖類であるデンプンの全酸化を目指した多酵素型電極の構築を目指す。

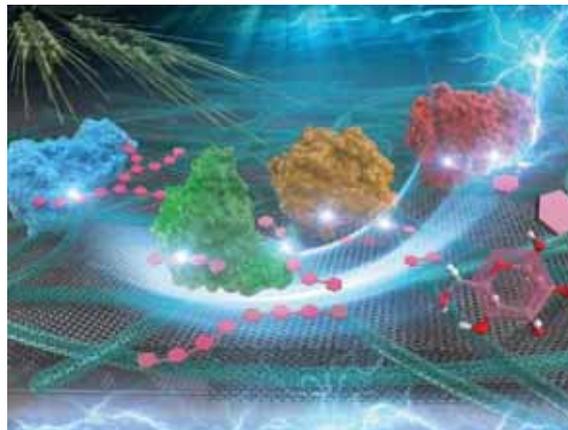


図 1 多酵素型電極のイメージ図
(*ChemElectroChem*, 2021, 8, 4199)

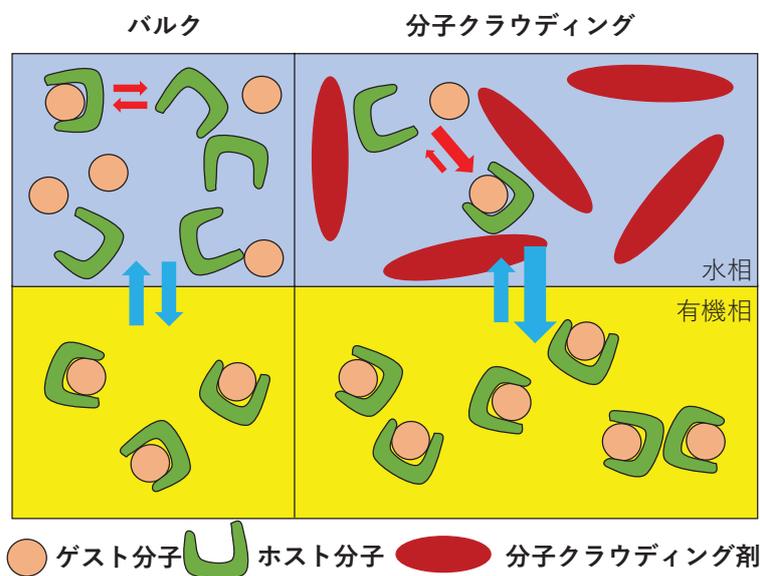
【実用化が期待される分野】

バイオ燃料を利用したエネルギー変換デバイスはエネルギー需要が拡大する現代社会において実用化が待たれる技術である。グルコース(ブドウ糖)やアルコールを燃料としたバイオ燃料電池の報告例はあるものの、これらはある程度加工精製されたバイオ燃料を必要とする。一方でデンプンをそのまま燃料とすることができ、さらに CO₂ までの全酸化によって高出力が得られれば非常に有用なデバイスとなることは疑いようがない。穀物を利用することに対する批判はあるものの、本技術は食糧となる素材を減らすことには直接繋がらず、食べ残し、食品ロス、農業廃棄物などの効果的な利用法として期待ができる。また多酵素型のメリットとして、デンプン、グルコース、マルトース、フルクトースなどの多糖類の混合物であっても、複数の酵素によって問題なく利用できるため、燃料の精製が必要ないという点も挙げられる。

分子クラウディング反応場を利用した溶媒抽出法の開発

筑波大学数理物質系 助教 宮川 晃尚

分子クラウディングとは、細胞内でタンパク質、核酸(DNA、RNA)、糖などの高分子が込み合った環境のことである。この環境下では、酵素反応の促進やDNAの二重鎖形成の安定化などバルク環境とは異なる反応挙動を示すことが報告されている。非常に興味深い現象である一方で、いまだ物理化学的に説明するに至っていない。我々はこれが物理化学式として表現しにくい高分子の構造変化に起因していると考え、分子クラウディング環境下における金属錯形成反応の錯形成定数について物理化学的観点から評価した。¹⁾ 結果として、分子クラウディング剤であるポリエチレングリコール(PEG)の濃度および分子量の増加に伴い、オキシシと Zn, Cd, Co の錯形成反応が増加する(約 50 倍)ことを示し、それが排除体積効果による反応分子の活量の増加と浸透圧の増加による水の活量の減少によって説明できることを明らかにした。したがって、本研究ではこの分子クラウディングの効果を利用し、溶媒抽出に展開する。これにより、分子クラウディングによる錯形成定数の上昇と同程度の抽出率の向上が見込める。分子クラウディングによる分配挙動の変化を反応分子と水の活量の観点から評価することにより、汎用性の高い手法として確立することを目指す。



【実用化が期待される分野】

分析化学、環境科学、化学工学

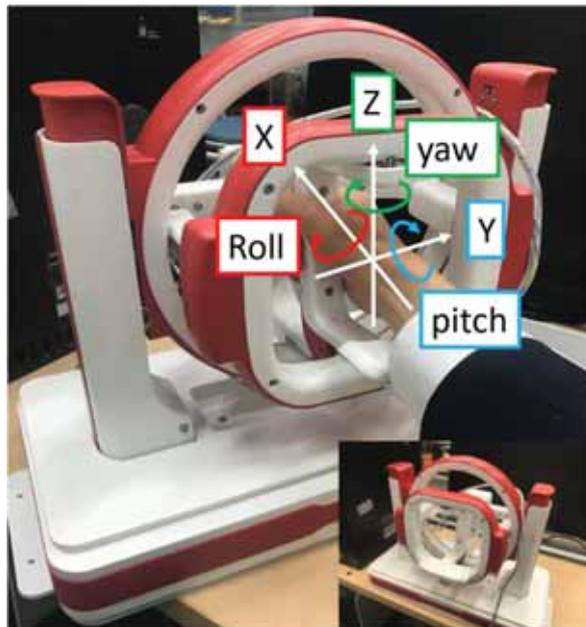
1) A. Miyagawa, H. Komatsu, S. Nagatomo, and K. Nakatani, *J. Phys. Chem. B* **2021**, *125*, 9853-9859.

助成対象研究の紹介文

ロコモティブロボット用ハプティックデバイスの知的制御

東京工業大学工学院機械系 講師 三浦 智

遠隔で操作するロボットの需要が急速に高まっている。ドローンによる橋梁の点検や、内視鏡による身体の検査、宇宙ステーションのドッキングなどである。これらの遠隔操作ロボットの多くは、移動(ロコモーション)を想定されている。これらの移動ロボット(ロコモティブロボット)は、ジョイスティックなどで操作される場合が多く、立体的な操作において必ずしも直感的に操作しやすいとは限らない。本研究では、ロボットを直接掴む感覚で操作できるように、直交座標系に合った操作空間を有するインタフェースを独自に開発し、その知的な制御を研究している。



【実用化が期待される分野】

ロボット、医療福祉機器、宇宙開発、自動車、ドローンなど

2021年度(令和3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
該当なし			

2021年度(令和3年度)

「国際交流援助」受領者名簿

氏名	所属機関	役職	研究題名	主席集会(行先)	分野	期間	金額 (千円)
該当なし							

新型コロナウイルスのため国際学会がオンライン開催となり、採択件数は0件となりました。

2021年度(令和3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
島川 祐一 シマカワ ユウイチ	京都大学 化学研究所	教授	カチオン秩序配列制御による新規遷移金属酸化物の合成とその機能探求

奨励賞

氏名	所属機関	役職	研究題名
平井 大悟郎 ヒライ ダイゴロウ	東京大学 物性研究所	助教	強いスピン軌道相互作用を利用した省エネメモリデバイス材料の開発

カチオン秩序配列制御による新規遷移金属酸化物の合成とその機能探求

京都大学 化学研究所 教授 島川 祐一

新物質における新現象の発見は、化学や物理を含む物質・材料科学を大きく進展させる。さらに持続可能な社会の構築と将来の産業発展を目指す上で、新しい機能特性を示す材料の開発は社会的にも強く望まれている。本研究では、このような科学的・社会的な要請に応える新物質・新材料の探索と新しい機能特性の探求を、遷移金属酸化物に注目して行なってきた。

新規遷移金属酸化物の合成においては、高圧法を活用した。高圧法を用いると非平衡準安定な領域までの広い物質空間での新物質探索が可能となる。また、高圧下での物質合成ではカチオンが秩序配列した構造がしばしば安定化されることも知られている。本研究で高圧法により合成したのはAサイト秩序型ペロブスカイト構造酸化物である。これはペロブスカイト構造(ABO_3)のAサイトカチオンが1:3に秩序配列し、組成式 $AA'_3B_4O_{12}$ で表される物質群である。この中でBサイトのカチオンとしてFeを含んだ酸化物では、異常高原子価と呼ばれる高い価数状態が得られることがあり、この異常高原子価状態にあるFeイオンの電子的な不安定性に起因して磁性や電気伝導性などの物性に劇的な変化が現れる。 $NdCu_3Fe_4O_{12}$ ではBサイトの異常高原子価 $Fe^{3.75+}$ の電子的不安定性がA-Bサイト間の電荷移動相転移($3Cu^{2+} + 4Fe^{3.75+} \rightarrow 3Cu^{3+} + 4Fe^{3+}$)を起こし、金属-絶縁体転移に加え、反強磁性転移と負の熱膨張的な格子変形を含む構造相転移が観測される。本研究では、この相転移において巨大な潜熱が生じることを見出した [1,3]。磁気構造解析を含む中性子回折実験から、この巨大な潜熱は相転移に伴う磁気エントロピーの変化に起因するものであることを明らかにした。さらに、圧力を加えると電荷転移温度が低下することから、この潜熱を圧力熱量効果として熱制御に利用できることを実証した(図1参照)。実験で得られた潜熱および圧力熱量効果は、無機固体材料において室温付近でこれまでに報告されているものの最高値に匹敵する巨大なものであり、また電荷移動による磁気エントロピー変化に起因する熱量効果は全く新規なメカニズムである。

さらに同じAサイト秩序型ペロブスカイト構造を有するフェリ磁性酸化物 $BiCu_3Cr_4O_{12}$ では磁場でも圧力でも熱制御可能なマルチ熱量効果が起こることを発見した(論文[2,3])。この物質では、混合高原子価イオン $Cr^{3.75+}$ が電荷不均化転移($4Cr^{3.75+} \rightarrow 2Cr^{3.5+} + 2Cr^{4+}$)を起こし大きな潜熱が生じる。圧力を加えると、この電荷不均化転移温度が低下し、 $NdCu_3Fe_4O_{12}$ と同様の圧力熱量効果が観測される。一方、 $NdCu_3Fe_4O_{12}$ との重要な違いは、電荷不均化により生じたBサイトの Cr^{3+} と Cr^{4+} のスピンがAサイトの Cu^{2+} スピンと反強磁性相互作用をすることによりフェリ磁性が現れることである。そのため、この物質の磁性は外部磁場で制御することが可能であり、実際に磁場を加えると磁気転移温度が高くなる。つまり、外部磁場によっても潜熱を制御することができる磁気熱量効果を示すことになる。このようにAサイト秩序型酸化物 $BiCu_3Cr_4O_{12}$ では、その電荷不均化相転移に伴う潜熱を圧力と磁場という異なる複数の外場で制御できること(マルチ熱量効果)が実証された(図2参照)。

遷移金属酸化物はこれまでその電子物性やスピン物性に着目して、主としてエレクトロニクスやスピントロニクスへの応用を想定した機能開拓が進んできたが、新たに特異な電荷転移に起因するエントロピー変化による熱物性の変化から、熱量効果などのエネルギー・環境問題の解決に資する材料として展開できることを示したものである。

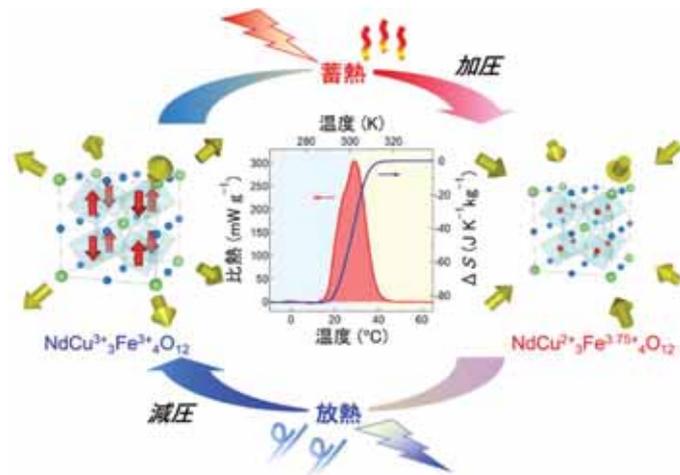


図 1. $\text{NdCu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$ の巨大圧力熱量効果

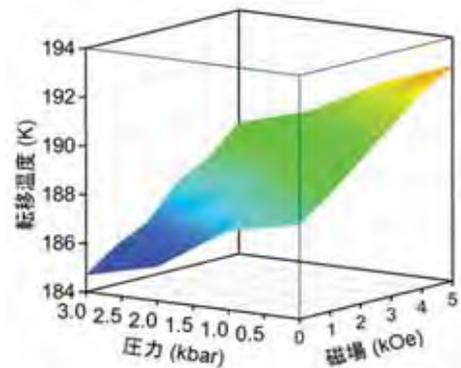


図 2. $\text{BiCu}_3\text{Cr}_4\text{O}_{12}$ の電荷転移のマルチ制御

【実用化が期待される分野】

熱量効果は、圧力や磁場といった外場で相転移を誘起し、温度変化を生じる現象である。この熱量効果はヒートポンプとして利用できるため、次世代の高効率な冷却技術として注目を浴びている。現在、世界の電力消費の 25～30%が冷却・冷房に使われていると言われており、その解決は社会からも切望されている。また近い将来の水素利用社会を見据えると、水素を液化し利用するために新規な冷却技術の開発は必須である。そのような中で、本研究で見出した巨大圧力熱量効果やマルチ熱量効果は、次世代の高効率冷却技術の一つとなり得るものである。特に固体材料での巨大な熱量効果は高効率かつ環境負荷の少ない冷却が実現できるうえに、機器の小型化も可能となる。また、 $\text{BiCu}_3\text{Cr}_4\text{O}_{12}$ でのマルチ熱量効果は、単に熱制御可能な温度範囲を広げるだけでなく、複数の外場によるさまざまな環境下での熱制御を可能にするものである。さらに、熱量効果を使うことで、外場の印加により熱を蓄えたり、取り出したりすることが制御できるため、蓄熱や熱搬送などの応用へも展開できる。

参考文献

- [1] Y. Kosugi, Y. Shimakawa, *et al.*, “Colossal barocaloric effect by large latent heat produced by first-order intersite-charge-transfer transition”, *Adv. Func. Mater.* **31**, 2009476/1–7 (2021).
- [2] Y. Kosugi, Y. Shimakawa, *et al.*, “Giant multiple caloric effects in charge transition ferrimagnet”, *Sci. Rep.* **11**, 12682/1–8 (2021).
- [3] 島川 祐一 「熱を操る酸化物新材料」, *化学* **10**, 23–28 (2021).

強いスピン軌道相互作用を利用した省エネメモリデバイス材料の開発

東京大学 物性研究所 助教 平井 大悟郎

私達の身の回りにある電子機器の中には多くのエレクトロニクス材料が使われています。これらの材料は、電流や電圧によって電気的性質を変える、または磁場によって磁氣的性質を変えることで情報の書き込みや動作を行っています。このような「対角応答」に対して、磁場で電気的な状態を変化させたり電場で磁氣的性質を変えたりする性質を「非対角応答」と言います。非対角応答が実現できるとデバイスを設計する自由度が高くなり、例えば、電圧によって磁性を制御するタイプの新しいメモリデバイスや磁場により非接触で動作するデバイスなどを実現することができます。このため、これまで非対角応答を実現する材料の開発が盛んに行われてきました。これまでに開発されたなかでも、最も有力な物質群は強磁性と強誘電性を併せ持つマルチフェロイック物質と呼ばれるもので、すでに非対角応答が実証されています。しかし、マルチフェロイック物質は数が限られており、動作温度が室温よりも低いものが多いという課題がありました。

本研究では、「スピン軌道相互作用」という性質に着目し、マルチフェロイック物質とは異なる原理での非対角応答の実現を目指しました。スピン軌道相互作用は、物質の磁氣的性質の源であるスピンと電子の軌道運動を結びつける力で、トポロジカル絶縁体という新奇な状態をもつ物質やスピン流の生成などに深く関わっているため、近年大きな注目を集めています。元素ごとにスピン軌道相互作用の強さは大きな違いがあり、原子番号の大きな元素では軽い元素と比べはるかに強いスピン軌道相互作用が働くことが知られています。そこで、原子番号の大きな遷移金属元素を含む化合物を合成しその磁氣的、電気的性質を調べることで、スピン軌道結合の影響が強く物性に現れる物質の探索を行いました。様々な物質を調べた結果、 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ という物質では強いスピン軌道相互作用によってスピンと軌道が結合した特殊な電子の状態が出来ていることを明らかにしました(図1)[1]。この状態では、電子の運動方向に依存してスピンの方向が固定されているため、例えば、電流を流すだけで磁氣的性質を変えるという非対角応答が起こる可能性があります。最近の私た

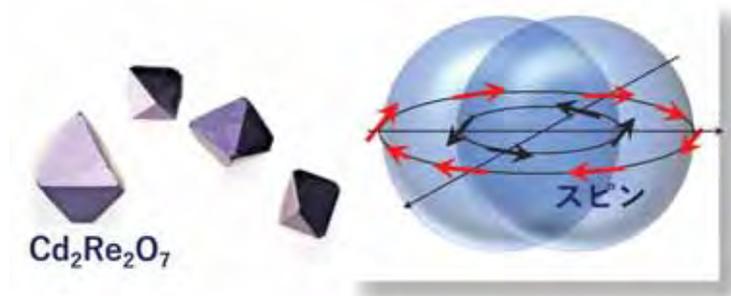


図1(左) 本研究で育成した高品質の $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の単結晶。金属光沢のある鮮やかな紫色をしている。(右) $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ において実現しているスピンと軌道が結合した電子の状態の模式図。電子の動く方向によってスピンの向きは固定されている。

ちの実験では、電流を $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ に流した時に磁化率が変化する兆候がみられています。

$\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の場合、非対角応答が起こる温度はマイナス 70 度程度とまだ室温よりも低いのですが、この原理での非対角応答は室温以上でも実現できる可能性が十分あります。今後さらに、原子番号の大きな遷移金属化合物に着目した物質開発によって、優れた材料が見つかることが期待されます。実際、すでに新しい候補物質 PbRe_2O_6 を発見し、その性質を調べています[2]。また、物質開発の過程で、見る方向や偏光によって色が変わる物質 $\text{Ca}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ [3] や磁場をかけることで電気抵抗が 200 倍以上変化する物質 $\beta\text{-ReO}_2$ [4] などユニークな性質を持つ物質(図 2) が多数見つかっています。今後も原子番号の大きな遷移金属元素を含む材料において、他の元素では出せないような性質や機能の発見が期待されます。

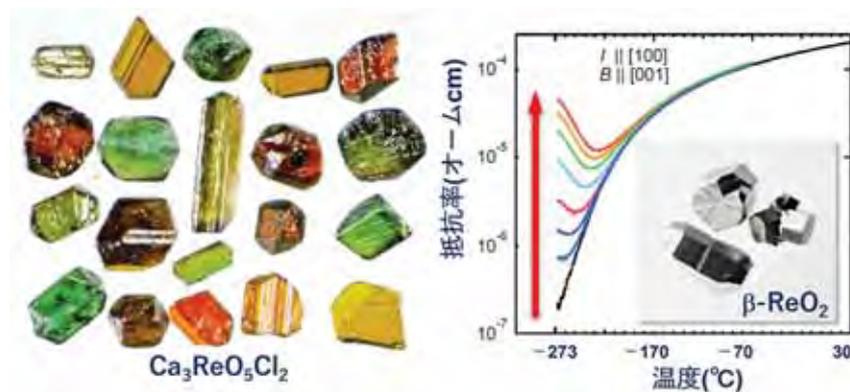


図 2 (左) 偏光板を通して撮影した $\text{Ca}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$ の単結晶。偏光の方向と結晶の無機によって様々な色に変化する。(右) $\beta\text{-ReO}_2$ の電気抵抗率。磁場をかけると赤矢印のように抵抗率が 200 倍大きくなる。

【実用化が期待される分野】

今後情報化社会の進展に伴い、IT 機器のエネルギー消費が爆発的に増加することが予想されます。このため、IT 機器の省電力化は持続可能な社会の実現に向けて非常に重要な課題です。非対角応答を示す物質を使うと従来とは異なる書き込み・読み出しの操作が可能となるため、低消費電力のメモリデバイスの材料などへの応用が期待されています。

[1] Y. Matsubayashi, K. Sugii, H. T. Hirose, D. Hirai, S. Sugiura, T. Terashima, S. Uji, and Z. Hiroi, “Split Fermi Surfaces of the Spin Orbit Coupled Metal $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ Probed by de Haas van Alphen Effect,” *J. of Phys. Soc. Jpn.*, **87**, 053702, (2018).

[2] S. Tajima, D. Hirai, T. Yajima, D. Hamane, Y. Matsubayashi, and Z. Hiroi, “Spin orbit coupled metal candidate PbRe_2O_6 ,” *J. of Solid State Chem.*, **288**, 121359 (2020).

[3] D. Hirai, T. Yajima, D. Hamane, C. Kim, H. Akiyama, M. Kawamura, T. Misawa, N. Abe, T.-H. Arima, and Z. Hiroi, “‘Visible’ $5d$ Orbital States in a Pleochroic Oxochloride,” *J. Am. Chem. Soc.*, **139**, 10784, (2017).

[4] D. Hirai, T. Anbai, S. Uji, T. Oguchi, and Z. Hiroi “Extremely Large Magnetoresistance in the Hourglass Dirac Loop Chain Metal $\beta\text{-ReO}_2$,” *J. Phys. Soc. Jpn.*, **90**, 094708 (2021).