

放射光でついに見えた磁気オクタポール ～熱を電気に変える新たな担い手～

2021年9月22日
東北大学金属材料研究所
東北大学大学院理学研究科
東北大学国際放射光イノベーション・
スマート研究センター
高輝度光科学研究センター
高エネルギー加速器研究機構
京都大学複合原子力科学研究所
東京大学大学院理学系研究科

■概要

物質中の電子が持つスピンを起源とする高い熱電変換効率や大きな異常ホール効果は、これまで電子スピンの揃った状態でのみ起こると考えられてきました。その一方で、スピンの互いに打ち消し合うように整列した反強磁性と呼ばれる状態でも、大きな効果が報告されており、スピンは打ち消し合っているにも関わらず、何らかの状態が打ち消し合わずに向きを揃えていると考えられていました。これは、「磁気八極子」として理論的に予測されていましたが、実験的には検出されていませんでした。

東北大学金属材料研究所の木俣基准教授、野尻浩之教授と高輝度光科学研究センター（JASRI）の雀部矩正博士研究員、小谷佳範主幹研究員、横山優一博士研究員、東北大学大学院理学研究科の栗田謙亮大学院生、是常隆准教授、物質・材料研究機構の山崎裕一主幹研究員、高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所の中尾裕則准教授、雨宮健太教授、京都大学複合原子力科学研究所の田端千紘助教、東京大学大学院理学系研究科の中辻知教授、東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センターの中村哲也教授らの研究グループは、磁石のミクロな起源である電子スピンの互いに打ち消しあう反強磁性と呼ばれる状態の中に潜んだ「磁気八極子（磁気オクタポール）」を放射光X線実験から明らかにしました。

今回検出された磁気八極子は、従来のスピンよりも高速制御が可能で、スピントロニクスデバイスなどの大幅な高速化にも貢献すると期待されています。本研究の成果は新規なスピントロニクスや熱電変換機能を生み出す起源を探る新たな手法の提案であるとともに、放射光を用いたX線磁気分光や共鳴X線散乱の新たな可能性を拓くものです。

本成果は2021年9月22日10:00（英国時間）に、Nature Communications 誌にオンラインで公開されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/09/PR20210922r.pdf> をご覧ください）。

極めて安定な天然赤色色素を分解できる バクテリアを発見 ～新たな糖代謝酵素の同定～

2021年9月30日
筑波大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

カルミン酸は、コチニールカイガラムシという甲虫の一種が作る天然の赤色色素で、食品や化粧品、医薬品の着色に広く利用されています。この色素は、糖が炭素-炭素（C-C）結合した化合物群 C-配糖体の一つで、その C-C 結合は極めて安定なため、自然環境中でどのように分解されているのかは不明でした。

本研究では、筑波大学周辺の土壌から、カルミン酸を分解するバクテリアを発見しました。このバクテリアは、まずカルミン酸の糖を酸化し、その後、C-C 結合を分解します。その際の酸化反応を触媒する酵素を同定し、CarA と名付け機能解析を行いました。

CarA は、糖を酸化する酵素のグループに属し、C-配糖体を基質とする新規な酵素でした。また、CarA 以外に、別のバクテリアから遺伝子クローニングした2種類のホモログ（複数の生物種で類似する）酵素についても、同様の働きが見られることを明らかにしました。データベース検索により、さまざまな微生物が CarA ホモログを有することが判明し、C-配糖体代謝において、C-配糖体3'-オキシダーゼ（CarA ホモログ）による糖の酸化が、初発反応として広く一般的に見られることが示唆されました。さらに、これらのホモログ酵素の一つについてのX線結晶構造解析により、このC-配糖体3'-オキシダーゼの反応機構が立体構造に基づいて提唱されました。

今後、他の代謝酵素も同定することにより、C-配糖体代謝の全容を解明していく予定です（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/09/PR20210930.pdf> をご覧ください）。

昆虫のさやばね内部に十字型の影をもつ球 晶構造を発見

2021年10月5日
筑波大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

タマムシやオサムシ、コガネムシなど昆虫の外骨格は美しい構造色（微細構造によって光の干渉や散乱が生じて発

色する現象)を示します。これは、主としてさやばねが、らせん構造をもつコレステリック液晶のような規則的な構造を持つことに由来します。このような材料は、柔らかさと固さを併せ持っており、さらに表面は、虹色に輝いたり、金色もしくはエメラルドグリーンのような金属反射が見られたりすることから、生体模倣材料などへの応用も期待されています。

本研究では、外骨格を有する昆虫であるカナブン類のさやばねについて、透過型および反射型の顕微鏡観察を同時に行い、構造を調べました。その結果、さやばね内部に、表面の構造色の反射だけでなく、マルターゼクロスと呼ばれる十字型の影をもつ球状の構造(球晶)を発見しました。昆虫においてマルターゼクロスが観察された報告は、本研究が初めてとなります。この構造は、オサムシの場合、整然と列をなして並んでいます。タマムシでは、不規則に存在しています。また、コメツキムシでは楕円上のマルターゼクロスの配列がみられました。これは、甲虫の種類に応じて、同様の液晶性構造からマルターゼクロスを形成したためだと考えられます。つまり、この現象は、タマムシやオサムシ、コメツキムシが同じ種類の生物から進化したことと関わっている可能性があります(この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/10/pr20211005.pdf>をご覧ください)。

岡山県産鉱物「逸見石」が示す新奇な磁性特徴的な結晶構造が量子力学的なゆらぎを生み出す

2021年10月18日

東北大学

岡山大学

東京工業大学

高エネルギー加速器研究機構

福井大学

神奈川県立産業技術総合研究所

■概要

我が国ではこれまで140種類を超える多くの新鉱物が発見されていますが、サンプルの稀少さから、固体物理学の視点で物性研究をした例は多くありません。東北大学多元物質科学研究所 山本孟助教、坂倉輝俊助教、木村宏之教授らの研究グループは、岡山県高梁市布賀鉱山で産出する逸見石が量子力学的なゆらぎの強い磁性体であることを、放射光や理論計算、極低温物性測定を用いて発見しました。高い精度で結晶構造を解析できる放射光X線回折により、逸見石が従来の報告とは異なる結晶構造を持つことが明らかとなりました。今回決定した結晶構造と理論計算から、逸見石は量子力学的なゆらぎが強く現れる磁気スピン格子の性質を持つことが分かりました。この発見は、稀少さのために磁性研究の舞台に上がることが少なかった「日本産新

鉱物」に注目するという、新しい視点を持った研究成果です。

本成果は2021年10月13日(米国時間)にPhysical Review Materials誌でオンライン公開されました(この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/10/pr20211018.pdf>をご覧ください)。

金属が破壊する瞬間に出現する不思議な原子配列を発見

2021年10月27日

高エネルギー加速器研究機構

■概要

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造科学研究所の丹羽尉博技師、高橋慧博士研究員、一柳光平研究員、阿部仁准教授、木村正雄教授、European XFEL 佐藤篤志 シニア・サイエンティストからなる研究グループは、レーザー衝撃による金属銅の破壊に伴う原子構造の変化を、放射光を用いたX線吸収分光とX線回折を併用して調べ、破壊する瞬間に不思議な原子配列が出現することを初めて見いだしました。

レーザー照射された銅は時間とともに、(i)弾性変形(時間 $t=0\sim 20$ ナノ秒)、(ii)塑性変形($t=20\sim 50$ ナノ秒)を経て、(iii)近接する原子間の構造は大きく乱れているのに、数100個の原子列全体では結晶の特定方位での配列が揃っているという不思議な原子配列状態("short-range-disorder-only" stateと命名)($t=50\sim 320$ ナノ秒)が出現し破壊に至ることが本研究により明らかになりました。

本研究のアプローチ法および得られた情報は、社会インフラ構造材料として信頼性が求められる金属系材料の破壊メカニズムの理解と制御に重要な知見を与える(工学的重要性)とともに、従来の材料科学分野ではほとんど例の無い不思議な原子配列状態("short-range-disorder-only" state)を見いだした(学術的重要性)という両面で今後の展開が期待できます。

この研究成果は、10月26日にMaterials Science & Engineering Aに掲載されました(この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/10/pr20211027.pdf>をご覧ください)。

新しい半導体物質「硫化ホウ素シート」の生成に成功

2021年10月28日

筑波大学

東京工業大学

高知工科大学

東京農工大学

名古屋大学

高エネルギー加速器研究機構

■概要

硫化ホウ素シートは、ホウ素と硫黄から構成される原子4層の厚みの二次元状に広がった物質で、優れた熱電特性や水素吸蔵特性を示すことが理論的に予測されていました。しかしながら、これまでに実際に合成あるいは観測された報告はありませんでした。本研究では菱面体硫化ホウ素という層状の物質の表面を剥離することにより、硫化ホウ素シートの生成に成功しました。

分析の結果、この硫化ホウ素シートは、ホウ素と硫黄が共有結合した半導体であり、このシートを重ね合わせることで、バンドギャップが最大で1.0 eV（エレクトロンボルト）程度変化することが分かりました。これは、太陽電池やトランジスタなどの電子デバイス部品や、光触媒として用いる上で重要な特性です。さらに、電子の有効質量が軽いという性質を持ったn型半導体であることが計算により示されました。

今後、理論予測されていた熱電材料や水素貯蔵材料としての応用に加え、電子デバイスの半導体部品としての利用や、光触媒としての応用、光に反応するセンサー材料など、幅広い分野への展開が期待されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2021/10/pr20211028.pdf> をご覧ください）。