

ファンデルワールス力による“つよく”・ “しなやか”な新しい結合 - 強磁性トンネル 接合素子の構成材料としてグラフェン 二次元物質 / 規則合金の異種結晶界面に 期待 -

2022年3月2日

東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター

東北大学電気通信研究所

高エネルギー加速器研究機構

神戸大学

東京工業大学

早稲田大学

パリ - サクレ大学

フランス国立科学研究センター

■概要

情報機器でのエネルギー消費増大問題を解決するために、計算機用の高性能な不揮発性磁気メモリ (MRAM) の開発が求められています。東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所、東北大学電気通信研究所、神戸大学、東京工業大学、早稲田大学、パリ - サクレ大学、フランス国立研究センターの国内6機関・国外2機関のそれぞれが得意とする専門分野を学際的に協働することにより、六方晶系の二次元物質 (グラフェン) と正方晶系の規則合金 ($L1_0$ -FePd) の結晶系の異なる界面 (異種結晶界面) を、ファンデルワールス力により“しなやか”に結合させ、かつ界面電子密度の増加により“つよい”混成軌道を誘起させることに成功しました。また、KEK フォトンファクトリーの BL-16 に設置されている深さ分解 X 線磁気円二色性 (XMCD) 装置を用いて界面付近の磁気状態を調べ、界面垂直磁気異方性が出現していることを明らかにしました。さらに、直接観察実験と理論計算の両方からグラフェン/ $L1_0$ -FePd の異種結晶界面の原子位置を正確に決定することに成功しました。本研究により、界面磁気異方性と $L1_0$ -FePd のもつ高い結晶磁気異方性の両方を利用する道筋が示され、X nm 世代の MRAM 用の微小な強磁性トンネル接合 (MTJ) 素子への利用が期待されます。

本研究成果は、米国化学学会発行の科学誌 ACS Nano の 2022 年 2 月 28 日 (米国東部標準時 EST) にオンライン掲載されました (この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/03/pr20220302.pdf> をご覧ください)。

鉱物が一瞬だけ衝撃を受けるとどうなるか

2022年5月9日
高エネルギー加速器研究機構
筑波大学
大阪大学大学院工学研究科
国理化学研究所
高輝度光科学研究センター

■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、筑波大学、大阪大学大学院工学研究科、高輝度光科学研究センター、理化学研究所放射光科学研究センターの共同研究グループは、X線自由電子レーザー施設 SACLA を用いて、ジルコンという鉱物の衝撃特性を超高速X線観察することに成功しました。これは、KEK 物質構造科学研究所の高木壮大博士、一柳光平研究員、野澤俊介准教授、筑波大学生命環境系の興野純准教授、岡田慧氏、大阪大学大学院工学研究科の尾崎典雅准教授、新田蒼真氏（当時）、理化学研究所の宮西宏併研究員、末田敬一研究員、高輝度光科学センターの藪内俊毅主席研究員、富樫格主幹研究員らを中心とした共同研究グループの成果です。

隕石衝突による衝撃は“瞬間的な高温高压状態”を生み出して鉱物の状態を変化させ、鉱物にその痕跡を残します。ジルコンは少量のウランを含み、ウランが放射壊変して鉛になることで数億年から数十億年前の時間を知る「時計」として利用できる重要な鉱物です。ジルコンが受けた衝撃の大きさと残る痕跡の関係を知ることが、過去の隕石衝突の規模や年代を推定する上で重要です。

本研究では、強いレーザー光をジルコンに照射して5ナノ秒（1ナノ秒は1億分の1秒）という一瞬の衝撃を与え、その瞬間の結晶構造変化をX線を用いてリアルタイムで観察しました。ジルコンから高压相であるレーダイトへの結晶構造相転移が観察された一方、長時間の高温高压状態では観察される酸化物への分解は起こらないことが分かりました。

この研究成果は、国際学術誌「Physics and Chemistry of Minerals」に5月3日掲載されました（この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/05/PR20220509.pdf>をご覧ください）。

タンパク質の結晶のほとんどはねじれている！—微小な“ねじれ”の観測に成功—

2022年5月18日
横浜市立大学
高エネルギー加速器研究機構
広島大学

■概要

横浜市立大学大学院生命ナノシステム科学研究科 阿部満理奈（博士後期課程3年生）と鈴木凌助教、橘勝教授、小島謙一名誉教授、高エネルギー加速器研究機構（KEK）平野馨一准教授、広島大学大学院統合生命科学研究科 小泉晴比古准教授らの研究グループは、世界で初めて、タンパク質結晶に存在する微小なねじれの観察に成功しました。

本研究成果は、Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 誌（通称PNAS；米国科学アカデミー紀要）に掲載されました（日本時間2022年5月17日）。（この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/05/pr20220518.pdf>をご覧ください）。

エネルギーは、電流ではなく「摩擦」で失われていた～電気自動車用モーターの効率化に向けた新発見～

2022年5月20日
高エネルギー加速器研究機構

■概要

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 塚原宙協力研究員（研究当時は研究員）は、産業技術総合研究所エレクトロニクス・製造領域 今村裕志研究チーム長、物質・材料研究機構 三俣千春 特別研究員、オーストラリア モナッシュ大学 鈴木清策教授、および高エネルギー加速器研究機構 小野寛太特別教授と共同で、エネルギー損失が少ないモーターの主要部品として使用されるナノ結晶軟磁性材料のエネルギー損失機構をコンピューターシミュレーションにより明らかにしました。ナノ結晶軟磁性材料に与えられた磁気エネルギーは、結晶格子を歪ませ、力学エネルギーに変換されます。この力学エネルギーは、磁区構造の変化に伴う磁壁移動によって格子歪が緩和されることで、格子振動、すなわち熱エネルギーに変換されて失われるため、エネルギー損失が生じます。この新たなエネルギー損失機構の解明はモーターのエネルギー効率の更なる向上を可能にします。

本研究は2022年5月20日にNPG Asia Materials 誌でオ

ンライン公開されました。本研究はトヨタ自動車株式会社の支援により行われました（この記事の続きは https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/05/pr20220520_1.pdf をご覧ください）。

AWS と KEK, 日本のアカデミアにおける研究 DX を加速

2022年5月25日
アマゾン ウェブ サービス ジャパン合同会社
高エネルギー加速器研究機構

■概要

Amazon.com, Inc. の関連会社であるアマゾン ウェブ サービス ジャパン合同会社（以下、AWS）と高エネルギー加速器研究機構（以下、KEK）は、AWS クラウドを活用する KEK の「GoToCloud」プラットフォームの構築および今後の展開について連携を強化することを発表いたしました。「GoToCloud」は、タンパク質の構造解析にかかる時間およびコストを大幅に削減し、構造生物学研究を含む日本の科学研究分野におけるデジタルトランスフォーメーション（研究 DX）を加速させます。新型コロナウイルス感染症の世界的流行を背景に、ワクチン開発につながる抗体や薬剤のターゲットとして使われるタンパク質に関する研究が増加するに伴い、タンパク質の構造解析需要も拡大しています。KEK と AWS はこの度の連携強化により、生命の起源の理解や創薬研究など様々な研究領域において、タンパク質の構造解析を利用する全ての日本の研究者が、世界トップクラスの研究成果を数多く生み出していくことを支援します（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/05/pr20220525.pdf> をご覧ください）。

新奇トリテルペン生合成経路を発見

2022年6月2日
東京大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

テルペノイド化合物は、知られているだけで 80,000 以上の分子が単離されている天然物の一群であり、生物活性を持つ化合物が数多く含まれることから、医薬品候補化合物の探索ソースとしても非常に重要な化合物群の一つです。その中でも、炭素数 30 (C30) のトリテルペンは、微生物、植物、動物に普遍的に見いだされ、細胞膜の重要な構成成分の一つであり、生物の生理機能を調節するステロイド化合物の前駆体などが含まれます。これまでに、トリテルペンの生合成経路としては、炭素数 15 (C15) のファルネシル二リン酸 (FPP) が 2 量化して生成するスクアレ

ンを経由するものしか知られていませんでした。

今回、東京大学大学院薬学系研究科の阿部郁朗教授と森貴裕助教、Hui Tao 特任研究員、および、高エネルギー加速器研究機構の千田俊哉教授と安達成彦特任准教授、武漢大学の Tiangang Liu 教授、ボン大学の Jeroen Dickschat 教授らの共同研究グループは、カビ由来テルペン合成酵素の機能解析を行い、スクアレニン由来せずに、C5 イソプレレン単位ジメチルアリル二リン酸 (DMAPP) とイソペンテニル二リン酸 (IPP) を基質として、C30 トリテルペンの骨格を一挙に構築する、画期的な新奇生合成酵素を世界に先駆けて発見しました。さらに、共同研究グループは、安定同位体を利用した酵素反応機構の精密解析や、酵素の X 線結晶構造解析、クライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析、さらには立体構造をもとにした部位特異的変異導入により、2 種類のトリテルペン合成酵素の反応機構の詳細を明らかにすることに成功しました。本成果は既存の常識を覆す新たな生合成経路と画期的な新奇酵素の発見であり、新しい分子認識化学の開拓や新たな触媒概念の確立など、学術的に大きなインパクトを与えるとともに、今後、合成生物学の手法を用いた生合成マシナリーの再設計により、天然物を超える新規機能分子の創製など、創薬研究に幅広く貢献することが期待されます。

本研究成果は 2022 年 6 月 1 日付で英国科学雑誌 Nature (オンライン版) に掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/06/pr20220602.pdf> をご覧ください）。

有機溶媒中で導電性高分子ポリアニリンを容易に合成する方法を開発 ～さまざまな物質との複合化が可能に～

2022年6月15日
筑波大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

本研究では、アニリンと有機スルホン酸またはアニリン塩を、エタノール、クロロホルム、トルエンなどの有機溶媒に加え、少量のヨウ素を添加し、攪拌するのみで、ポリアニリン（エメラルジン）を合成することに成功しました。ヨウ素は、重合反応の初期段階でモノマーにラジカルを発生させるため、重合活性が向上し、さらに酸化剤を加えることにより重合が進行します。このポリアニリンの導電キャリアーであるポーラロン) の存在を、電子スピン共鳴法 (ESR = Electron Spin Resonance) で確認するとともに、四端子法で電気伝導性を評価しました。さらに有機溶媒にヒドロキシプロピルローズ液晶やアクリル樹脂、ポリスチレンなどのプラスチックを溶解し、その溶液中でアニリンの重合を行うと、これらのプラスチックとアニリンが分子レベルで複合化したポリマ

ーコンポジットが作成できることを見いだしました。このようなポリマーコンポジットのミクロ構造を放射光X線回折装置（高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 フォトンファクトリーのビームライン BL-8B）により評価したところ、コンポジット化に基づく分子レベルでの周期性構造が確認されました。

本研究成果は 2022 年 5 月 24 日付で Polymer-Plastics Technology and Materials 誌（オンライン版）に掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/06/pr20220615.pdf> をご覧ください）。

有機トランジスタの動きを動画に － 電子の流れをイメージング－

2022 年 6 月 21 日
高エネルギー加速器研究機構
筑波大学

■概要

高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所の福本恵紀 特任准教授は、筑波大学 数理物質系の山田洋一 准教授・同 応用理工学学位プログラム 修士 2 年の竹入総一郎氏らと共同で、フェムト秒パルスレーザーを励起光源とする光電子顕微鏡法（フェムト秒光電子顕微鏡）を用い、トランジスタの動作環境下における伝導電子の動きの可視化に世界で初めて成功した。

物質・材料研究機構（NIMS）国際ナノアーキテクトニクス研究拠点（MANA）の早川竜馬 主幹研究員と若山裕副拠点長らが開発した、2 種類の有機材料を利用することで、室温で負性抵抗を示すアンチアンバイポーラートランジスタ（AAT）は、従来の有機集積回路の性能を飛躍的に向上させる多値論理回路へ応用できるため、近年注目されている。この負性抵抗トランジスタでは、半導体界面（n 型半導体と p 型半導体が形成する界面）が電子の流れを制御するバルブに相当する。その界面の役割を可視化することにより、動作原理の解明に成功した。新規に開発されたトランジスタの動作原理を、これまでになかった装置で解明したこの成果の社会的なインパクトは大きい。有機トランジスタだけでなく、太陽電池、発光素子などその他の半導体デバイスに適用できることが期待される。

この研究成果は、Advanced Materials 誌オンライン版に 5 月 30 日掲載された（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/06/pr20220621.pdf> をご覧ください）。

つくば駅前特設展示「POP into サイエンス」開始のお知らせ － 第 1 回 中和抗体あるときないとき－

2022 年 6 月 22 日
高エネルギー加速器研究機構

■概要

つくば市は研究学園都市と呼ばれ数多くの研究所がありますが、つくばエクスプレスつくば駅で降りても、研究所の街という雰囲気はあまり感じられません。また、KEK つくばキャンパスには常設展示施設「KEK コミュニケーションプラザ」がありますが、駅から遠く、電車で行くつくばを訪れた方にはアクセスしやすいとは言えません。

そこで、KEK 物質構造科学研究所（IMSS）では、つくば駅前の商業施設で特設展示を行い、訪れた人々に研究所の存在や研究の内容を知っていただくと考えました。ちょっと立ち寄って科学に触れてもらえたらという意味を込め「POP into サイエンス」と名づけました。

今年度の展示は構造生物学研究センター（SBRC）が担当します。初回の展示テーマは「中和抗体あるときないとき」です。

SBRC では、タンパク質のかたちを調べ、その機能や起源を解明するための研究をしています。このコロナ禍で、人々の関心が高い新型コロナウイルスと感染を防ぐ「中和抗体」について、構造を詳しく見てみようという企画しました。

中和抗体とは、ウイルスなどに感染した後やワクチンを打った後に体内で作られるタンパク質の一種です。中和抗体がウイルスのスパイクタンパク質にくっつくと、ウイルスはヒトの細胞の受容体にくっつきにくくなります。

展示では、体内に中和抗体があるときとないときの細胞の周りの様子を大きなパネルに描きました。クライオ電子顕微鏡や放射光（X線）を用いて解き明かされた中和抗体・スパイクタンパク質・受容体のかたちを描いています。一般に「鍵と鍵穴」と表現されるものが、実際にはどんなかたちなのかを確かめてみてください。

また、パネルの裏面では、ヒトの細胞に対してウイルスや中和抗体、受容体がどのくらい小さいかが分かるよう、横幅いっぱい細胞を描いています。

実際の構造を正確に再現した拡大模型「タンパク質の立体構造パズル」では、複雑な立体構造を組み合わせて遊ぶことができます。ウイルスのスパイクタンパク質とヒト細胞の受容体、スパイクタンパク質と中和抗体ががっちり組み合う様子を体験でき、タンパク質のかたちが機能と直結することが直感的に分かります。タンパク質のかたちを知ることは、病気のメカニズムを知ったり新しい薬を作ったりするために必要不可欠だと感じていただければ幸いです。

また、KEK IMSS の放射光実験施設 フォトンファクトリーを用いて解き明かされたタンパク質の立体構造の一部を、内部が透けて見えるカラフルな模型で紹介しています。胃がんの原因となるピロリ菌が作るタンパク質のかたちや、オートファジーに関わるタンパク質などの三次元模型をご覧ください。

この特設展示では、数ヶ月ごとに展示替えを行い、IMSS の研究内容を紹介していく予定です。また、複数の研究所の展示が集まる場所になればと考えており、つくば市内の他機関にも参画を呼びかけています（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/06/pr20220622.pdf> をご覧下さい）。

牛乳のナノサイエンス ～牛乳のミクロ構造が温度に対して敏感に 変化することを発見～

2022年8月2日
高エネルギー加速器研究機構

■概要

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の高木秀彰助教、南日本酪農協同(株)の中野智木博士、鹿児島大学の青木孝良名誉教授、山梨大学名誉教授で東京聖栄大学の谷本守正教授の研究グループは共同で、牛乳の主成分であるカゼインタンパク質が作るミセル構造が温度に対して敏感に、かつダイナミックに変化することを解明しました。これまでの研究ではミセルサイズを調査した例はありますが、サブミクロンからナノメートルオーダーにわたるミセルの内部構造が温度に対して敏感に、かつ大きく変化することを発見したのは世界初です。温度などの外部環境は牛乳の加工性に強く影響を与え、また母牛の体調変化による乳の性質変化とも密接に関係があります。本研究の成果は、食品科学や酪農・畜産科学だけでなく、医学や栄養学など多岐にわたる分野に波及することが期待されます。

この研究成果は「Food Chemistry」に6月9日オンライン掲載されました(この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/08/pr20220802.pdf>をご覧ください)。

新型コロナウイルスの感染を阻害するペ プチドを発見 ～スパイクタンパク質の変異しにくい部 位に作用し、種々の変異株にも効果があ る阻害剤の開発に期待～

2022年8月30日
産業技術総合研究所
長崎大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

国立研究開発法人 産業技術総合研究所(以下「産総研」という) バイオメディカル研究部門 山崎 和彦 主任研究員、久保田 智巳 主任研究員、同 細胞分子工学研究部門 舘野 浩章 研究グループ長、清水 弘樹 主任研究員、国立大学法人長崎大学 感染症研究出島特区 森田 公一 教授、同 熱帯医学研究所 Ngwe Tun, Mya Myat 准教授、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 安達 成彦 特任准教授(研究当時)、川崎 政人 准教授、守屋 俊夫 特任准教授、池田 聡人 研究員は、新型コロナウイルスの従来株およびオ

ミクロン株の感染阻害能を有するペプチド分子を発見しました。

このペプチドは、スパイクタンパク質上のN型糖鎖を認識して結合し、これを凝集させることによって、感染を阻害するという機能を持ちます。スパイクタンパク質中でも、糖鎖が付加される部位は変異を起こしにくいことが知られており、その結果、このペプチドの作用も変異に対して強いことが示されました。このペプチドを出発点として、これから生じる可能性のある新たな変異にも対応できる阻害剤の創出に貢献します。

なお、この技術の詳細は、2022年8月25日付で「The FEBS Journal」に掲載されました(この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/08/pr20220830.pdf>をご覧ください)。

小惑星探査機「はやぶさ2」初期分析 石の物質分析チーム 研究成果の科学誌 「Science」論文掲載について

2022年9月23日
宇宙航空研究開発機構
東北大学
高エネルギー加速器研究機構
J-PARC センター
高輝度光科学研究センター
北海道大学
京都大学
九州大学
広島大学
東京大学

■概要

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)では小惑星リュウグウ試料分析を、6つのサブチームからなる「はやぶさ2初期分析チーム」および、2つの「Phase-2 キュレーション機関」にて進めています。この度「はやぶさ2初期分析チーム」のうち「石の物質分析チーム」の研究成果をまとめた論文が、アメリカの科学誌「Science」に2022年9月23日付(日本時間)で掲載されましたのでお知らせします。

タイトル：炭素質小惑星リュウグウの形成と進化：リターンサンプルから得た証拠

原題：Formation and evolution of carbonaceous asteroid

Ryugu: Direct evidence from returned samples

掲載誌：Science

DOI：10.1126/science.abn8671

公表日：日本時間 2022 年 9 月 23 日（金）午前 3 時（オンライン公開）。この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/press/202209230930ryugu/> をご覧下さい。

コンデンサーの極板間の電場と電磁波の電場は別物－100年続いた混乱を解消し、電磁波発生の安易な説明を正す－

2022 年 9 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 低速陽電子実験施設の兵頭俊夫協力研究員（東京大学名誉教授）は、平行平板コンデンサーの極板の電荷による電場の変動（変位電流）は磁場を作らないという正しい認識が定着していない要因を指摘し、その詳細を説明することで正しい認識を定着させるための論文を発表しました。

コンデンサーの極板の電荷による電場が変動しても磁場を作らないことは 100 年前に証明されているのですが、なかなか常識にならず、現在でも「平行平板コンデンサーの極板の間で変化する電場が極板間やまわりに作る磁場」が、電磁波が発生するしくみの説明の前置きとされているのを見かけることがあります。この状況が 100 年も続いてしまった要因を以下の [1] ～ [3] のように解明し、正しい理解に至るための要点を示しました。

[1] 電場にクーロン電場と誘導電場があることは知っているても、マクスウェル方程式の電場がそれらの和であり、見えないところで別々に電荷の保存と電磁波の存在を独立に担っていることへの認識が不十分であること、

[2] 磁場の計算に使われるアンペール＝マクスウェルの法則が因果関係の式と誤認されていること、

[3] アンペール＝マクスウェルの法則を用いた磁場の計算が与える第一印象から、誤った因果関係をよみとってしまうこと

これらに加えて、実際に流れている通常の電流だけで極板間の磁場を説明する具体的な計算が比較的最近まで行われなかったことも、長い間正しい認識が広まらなかった要因だろうと指摘しました。

本研究は、9 月 23 日、European Journal of Physics に online 掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/09/pr20220927.pdf> をご覧下さい）。

世界最高効率のスピンの流電流変換を酸化物で実現 ～酸化物を用いた低消費電力スピンドバイスの実現に向けた新たな進展～

2022 年 10 月 4 日
東京大学大学院工学系研究科
高エネルギー加速器研究機構

■概要

東京大学大学院工学系研究科の金田（高田）真悟大学院生、Le Duc Anh 准教授、小林正起准教授、関宗俊准教授、田畑仁教授、田中雅明教授、大矢忍准教授のグループと、高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所の北村未歩助教、堀場弘司准教授（現量子科学技術研究開発機構次世代放射光施設整備開発センター上席研究員）、東北大学多元物質科学研究所の組頭広志教授らは、強相関電子系酸化物 LaTiO_3 と酸化物 SrTiO_3 基板との界面に形成される 2 次元電子ガスに純スピン流を注入し、世界最大効率のスピンの流電流変換を実現することに成功しました。

近年、強磁性体の電子のスピンの自由度を用いて新たな省エネルギーデバイスを実現する試みが盛んに行われています。現在、強磁性体を用いた磁気抵抗メモリなどが商用化され始めていますが、強磁性体の磁化反転に比較的大きな電力が必要で、将来の新しい磁化反転方式が模索されています。その中で、スピン流と電流の相互変換現象を利用することにより、高効率の磁化反転が実現できると期待されています。特に、物質の界面では相対論効果によるスピン軌道相互作用が強く、それによりスピン流と電流を高効率に相互変換できると期待されています。その有力な候補として、酸化物同士の界面に形成される 2 次元電子ガスが注目されています。絶縁体酸化物基板として広く利用されている SrTiO_3 の上に、絶縁体の LaAlO_3 薄膜を製膜すると、界面に 2 次元的に電子が蓄積することが広く知られています。今まで、この 2 次元電子ガスを用いると非常に高効率にスピン流を電流に変換できることが示されてきました。しかし、この界面にスピン流を注入する際には、絶縁体である LaAlO_3 を介してスピン流を注入する必要があり、そこでスピン流が減衰してしまうことが問題でした。今回、研究グループは、 LaAlO_3 の代わりに、金属状態の強相関電子系酸化物 LaTiO_3 を用いました。 LaTiO_3 は、強相関電子系として知られる材料の一つであり、もともとは絶縁体ですが、 SrTiO_3 基板の上に製膜すると歪みや基板からの酸素の拡散により、金属状態となります。研究グループは、分子線エピタキシーと呼ばれる手法を用いて、1 原子層ごとに結晶成長を行って高品質の $\text{LaTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ の単結晶界面を作製し、スピン流が流れる際のスピン散乱を大幅に抑制しました。その結果、これまでに報告された最大値と比べて 3 倍以上の大きなスピン流電流変換を実現することに成功しました。また、KEK 放射光実験施設フォトンファクトリーで共鳴角度分解光電子分光法を用いて $\text{LaTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ 界面に形成された 2 次元電子ガスの Ti 3d 軌道由来

の電子構造を観測し、その結果に基づいて理論計算を行うことで、スピン流電流変換効率の温度依存性を理論的に説明することに成功しました。本研究の結果は、高品質の単結晶界面や強相関電子材料を利用することにより、高効率のスピン流電流変換が実現できることを示しています。将来的には、次世代の磁性を用いた不揮発性メモリの実現に向けた、より高効率の磁化反転技術の実現に結びつくものと期待されます。

本研究成果は、2022年9月26日（英国夏時間）に英国科学誌「Nature Communications」のオンライン版に掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/10/pr20221004.pdf> をご覧ください）。

放射光の発生特性を最大限に利用した高速サンプリング時間分解軟X線計測手法を開発 一次世代超高速スイッチング・通信デバイス開発研究の飛躍的加速に期待

2022年10月5日

高エネルギー加速器研究機構
東北大学大学院理学研究科
東北大学多元物質科学研究所

■概要

物質の電気・磁気的な特性を超高速で制御する技術は、次世代超高速スイッチング・通信デバイスへの応用展開への可能性を秘めているため、世界中で精力的に研究が進められています。

高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所の深谷亮特任助教、足立純一講師、中尾裕則准教授、野澤俊介准教授、東北大学大学院理学研究科の石井祐太助教、東北大学多元物質科学研究所の木村宏之教授、KEKの足立伸一理事らを中心とした共同研究グループは、放射光X線のメガ（メガ＝100万）ヘルツ（MHz）オーダーの高繰返し発生特性と先端レーザー装置を組み合わせることで、従来よりも10倍以上高いサンプリング周波数で計測可能な、時間分解共鳴軟X線散乱実験装置を開発しました。さらに、レーザー光照射後およそ100ピコ（ピコ＝1兆分の1）秒後に生じるマルチフェロイック材料の磁気特性の変化を、高精度に観測することに成功しました。この装置開発により、これまで信号が微弱で計測が困難であった物質においても時間分解共鳴軟X線散乱実験が実施可能となり、物質の電気・磁気特性の超高速制御技術を利用した次世代超高速スイッチング・通信デバイスの開発研究が飛躍的に加速されることが期待されます。

この研究成果は、国際科学雑誌「Journal of Synchrotron Radiation」に2022年10月6日にオンライン掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/10/pr20221006-imss.pdf> をご覧ください）。

カゴメ格子超伝導を担う電子軌道を解明 - 放射光を用いた先端電子計測で照らし出す -

2022年11月14日
東北大学大学院理学研究科
東北大学材料科学高等研究所
東北大学多元物質科学研究所
東北大学先端スピントロニクス研究開発センター
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
分子科学研究所
高エネルギー加速器研究機構
量子科学技術研究開発機構
科学技術振興機構 (JST)

■概要

カゴメ格子の「カゴメ」とは「籠目」のことで、三角形や六角形からできる結晶格子で伏見康治博士が命名したことでも知られています。このカゴメ格子を持つ物質は、特殊な電子構造や強い幾何学的フラストレーションを示します。フラストレーションはパリージ博士が昨年のノーベル物理学賞を受賞するきっかけにもなった興味深い性質で、様々な新規物性を引き起こす源として期待されます。特に、最近発見されたカゴメ格子金属 CsV_3Sb_5 (セシウムバナジウムアンチモンド) において、カゴメ格子では稀有不超伝導をはじめ、高温超伝導体と類似する対称性の低下など、特異な性質が次々と明らかになっています。しかしながら、これらの性質が生じる仕組みは未解明でした。東北大学大学院理学研究科の加藤剛臣大学院生、中山耕輔助教、材料科学高等研究所 (WPI-AIMR) の佐藤宇史教授、多元物質科学研究所の組頭広志教授、分子科学研究所の松井文彦教授、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所の北村未歩助教、量子科学技術研究開発機構の堀場弘司 首席研究員、北京理工大学の国際共同研究グループは、 CsV_3Sb_5 の電子構造について放射光を用いた先端分光測定によって調べました。その結果、これまで提案されている超伝導機構のモデルは V の電子だけを考慮したものがほとんどであったのに対して、 V 電子と Sb 電子が協力しながら超伝導を実現していることが明らかになりました。この成果は、超伝導機構の解明とより高い温度で超伝導になる物質の設計に重要な指針を与えるものです。

本研究成果は、米国物理学会誌 *Physical Review Letters* のオンライン版 2022 年 11 月 10 日号で公開されました (この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/11/pr20221114.pdf> をご覧ください)。

KEK と農研機構がやさしい科学展示でコ ラボ〜つくば駅前特設展示「POP into サ イエンス」リニューアル〜

2022年11月16日
高エネルギー加速器研究機構
農研機構

■概要

つくば市は数多くの研究所が集まる研究学園都市です。気軽にちょっと立ち寄って研究所の活動内容に触れていただこうと、KEK の物質構造科学研究所 (物構研) が、2022 年 6 月つくば駅前の商業施設で特設展示「POP into サイエンス」を始めました。物構研は、物質や生命に関する多岐にわたる研究を行っていますが、その中の構造生物学研究センター (SBRC) が「新型コロナウイルスの中和抗体」の紹介をしました。展示会場には多くの来場者が訪れ、自由に書き込めるノートには「もっといろいろな研究所の展示を見たい」という声もありました。

このたび、多くの研究所の展示が集まる場所にしたいという KEK の考えに賛同した農研機構が、「ミニ食と農の科学館」展示を開始しました。「食と農の科学館」は、つくば市南部に位置する農林水産業をテーマにした科学館です。また、KEK 物構研のブースも合わせて展示替えを行い、日本とヨーロッパのピロリ菌について紹介しています。

研究学園都市つくばの玄関口であるつくば駅前で複数の研究所が合同で研究活動を紹介する場所はこれまでありませんでした。訪れる方に各研究所を知ってもらうだけでなく、KEK と農研機構の横のつながりをもっと広げて、研究学園都市全体の紹介ができる場をつくることができると考えています (この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/11/pr20221116Tonarie2.pdf> をご覧ください)。

サッカーボール型タンパク質ナノ粒子 TIP60 を壊して戻す技術開発 - 任意のタイミングで解離・会合を制御可 能なタンパク質 -

2022年12月26日
慶應義塾大学
信州大学
高エネルギー加速器研究機構

■概要

慶應義塾大学大学院理工学研究科の大原直也 (博士課程 2 年)、同大学理工学部生命情報学科の川上了史専任講師、

宮本憲二教授，信州大学繊維学部・バイオメディカル研究所の新井亮一准教授，高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の安達成彦特任准教授らの共同研究グループは，人工的に設計されたサッカーボール型中空タンパク質ナノ粒子 TIP60 が，60 分子が自発的に集まってできあがる仕組みに着目し，自在に分子をバラバラにしたり，元のサッカーボール形状に戻したりできる構造形成の制御技術を開発しました。これにより，内部の空間に DNA などを内包することができ，将来的な薬物のカプセルとしての利用などが期待されます。

本研究成果は，2022 年 12 月 21 日に，米国化学会誌 *Journal of the American Chemical Society* のオンライン版に掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2022/12/pr20221226.pdf> をご覧ください）。