

海底堆積物に膨大な " 微小マンガン粒 " を発見～陸上マンガン鉱床に匹敵する量のマンガンが海底下に存在～

2019年2月6日

海洋研究開発機構

高知大学

農業・食品産業技術総合研究機構

高輝度光科学研究センター

愛媛大学

広島大学

高エネルギー加速器研究機構

東京大学

■概要

国立研究開発法人海洋研究開発機構（理事長 平 朝彦、以下「JAMSTEC」という。）の諸野祐樹主任研究員、稲垣史生上席研究員、国立大学法人高知大学（学長 櫻井 克年）の浦本豪一郎特任助教／卓越研究員（JAMSTEC 客員研究員）らは、南太平洋環流域等の外洋の海底堆積物の中に、直径数ミクロンの鉄マンガン酸化物微粒子が、堆積物 1cc あたり 1 億～10 億個存在することを世界で初めて発見しました。

微小マンガン粒は、外洋域の酸素に富む堆積物環境のみ見つかりました。外洋地層全体での存在量を計算した結果、 10^{28} ～ 10^{29} 個もの微小マンガン粒が海底下に存在することが分かりました。また、この微小マンガン粒は鉄やマンガン等の主要金属元素だけでなく、レアアースのような有用希少金属を多く含むことも分かり、特にマンガンについては、地層中に含まれるマンガンの 30～60%、重さにして 1.28～7.62 兆トンのマンガンに相当することが明らかとなりました。これは、海底表層に広く存在することが知られる球状や板状の鉄マンガン酸化物（マンガン団塊やコバルトリッチクラスト）に含まれるマンガン総量の 100～1000 倍に相当します。さらに、レアアースについては最大 33～194 億トン程度が微小マンガン粒に含まれており、マンガン、レアアース等の膨大な金属元素が微粒子状の形で海底下に埋もれていることを示しています。

また本研究では、精密元素分析等を実施することにより、この微小マンガン粒が海水中で形成したことが示唆されました。これにより、これまで存在すら知られていなかった金属酸化物の微粒子が、海洋での金属元素循環や物質保持メカニズムを理解する上で重要な役割を果たすことが明らかとなりました。本研究成果は、環境試料から特定の微細粒子を精密かつ高速に分離・回収する基盤技術の確立に立脚しており、今後、様々な応用展開が期待されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190204.pdf> をご覧下さい）。

新材料の研究開発に有用な量子ビーム実験の計測効率を向上する手法を開発 量子ビーム実験の計測時間を従来の 10 分の 1 に短縮し、新材料の研究開発の加速を支援

2019年2月7日

高エネルギー加速器研究機構

株式会社日立製作所

■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（機構長：山内 正則／以下、KEK）物質構造科学研究所の小野 寛太准教授および株式会社日立製作所（執行役社長兼 CEO：東原敏昭／以下、日立）は、このたび、人工知能 (AI)・機械学習にも用いられる統計手法を用いて、新材料の研究開発に有用な量子ビームを用いた材料評価の計測実験（以下、量子ビーム実験）を効率化する手法を開発しました。

高機能材料の性能にはさまざまなスケールの微細な構造が大きく影響するため、その計測実験に多くの時間を要しています。特に、加速器などの大型設備を必要とする量子ビーム実験では、実験が可能な施設や機器の稼働時間が限られることから、実験の高効率化が求められていました。今回開発した手法を適用することにより、従来の 10 分の 1 の計測時間で取得したデータでも、従来と同等の精度を得ることが可能となり、大型実験施設での実験時間を有効利用でき、より多くの試料を計測することが可能となります。また、本手法は大学や企業の実験室にある一般的な実験装置へも広く適用できるため、材料評価に必要なさまざまな計測の効率化につながり、各種材料の研究開発が加速されることが期待されます。

なお、本実験は、トヨタ自動車株式会社（以下、トヨタ）と共同で推進し、今後、トヨタは、本研究成果を電気自動車 (EV) など電動車のモーター向け新材料研究へ応用していく予定です（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190207.pdf> をご覧下さい）。

トポロジカル物質中の新型粒子を発見 - ディラック・ワイル粒子に次ぐスピン1 および2重ワイル粒子 -

2019年2月21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
高エネルギー加速器研究機構
ドイツ ケルン大学 物理学科

■概要

東北大学大学院理学研究科の佐藤宇史教授、博士課程後期1年 高根大地、同材料科学高等研究所の相馬清吾准教授、高橋隆教授、同多元物質科学研究所の組頭広志教授、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の堀場弘司准教授、およびケルン大学（ドイツ）の安藤陽一教授らの研究グループは、高輝度放射光を用いた光電子分光実験により、コバルトシリサイド（CoSi）の内部に、これまで他のトポロジカル物質で観測されていたディラック粒子やワイル粒子とは異なる新型の粒子「スピン1粒子」および「二重ワイル粒子」が存在していることを発見しました。これらの新型粒子は結晶がもつカイラルな特徴により形成されたもので、不純物や欠陥からの散乱に対して強いトポロジカルな性質を持っています。今後、これらの新型粒子が示す物質機能の開拓が進むとともに、放射光を駆使することでさらに新しい粒子の発見が期待されます。

本成果は、米国物理学会誌フィジカル・レビュー・レターズの注目論文（Editors' suggestion）に選ばれ、2019年2月20日（米国東部時間）に、オンライン公開されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190221.pdf> をご覧下さい）。

機械学習により X線吸収スペクトル解析の 自動化が可能に～データの類似度に着目し 定量的なスペクトルの解析を実現～

2019年4月19日
高エネルギー加速器研究機構
東京理科大学
情報・システム研究機構 統計数理研究所

■本研究成果のポイント

- ・ 機械学習によってX線吸収スペクトルから物理量を自動で抽出することを実現
- ・ データ解析における解析者の主観を除き、客観的かつ高精度な定量分析に成功
- ・ ノイズの多いデータの解析も可能に。測定効率化や微弱信号解析への応用に期待

【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小野 寛太 准教授と東京理科大学 鈴木 雄太 大学院生（研究当時：修士2年、現所属：総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究所）は、統計数理研究所の日野 英逸 准教授らと共同で、機械学習を用いて物質・材料研究に必要な不可欠なX線吸収スペクトルの解析を自動化・高効率化する手法を開発しました。

X線吸収分光法（XAS）は、物質・材料の機能と性質を支配する電子状態や化学状態の情報を得ることができる手法で、物質・材料研究において広く利用されています。XAS 実験データを解釈し、必要な物理量を取得するためには専門家が目で見て判断する必要があります。

本研究では機械学習の一種である多様体学習および、データの類似度の概念をX線吸収スペクトル解析に応用することで、XAS に内包された物理量を自動的かつ高精度で予測すると共に、大量のXAS データを効率的に解析する手法を開発しました。さらに、スペクトルを比較するための適した尺度を検討することで、ノイズの極めて多いスペクトルからでも物理量を予測できることを示しました。本手法はX線吸収スペクトルのみならず様々な計測に応用することが可能であり、計測データの解析の効率化につながります。さらに、超高速現象や不安定物質の計測など、これまでは解析が困難であった極めて微弱な信号の解析にも適用できると見込まれ、今後の物質・材料研究の加速と新奇な物理現象の理解に貢献します。

この研究成果は、英国の学術誌「npj Computational Materials」に3月29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/ja/newsroom/attic/PR20190419%20.pdf> をご覧下さい）。

衝撃破壊の瞬間、材料に何が起こるのか ～パルスX線の応用でナノ秒間に起こる現象の目撃に成功～

2019年5月23日
高エネルギー加速器研究機構
自治医科大学
熊本大学
東京工業大学
筑波大学

■本研究成果のポイント

- ・ 衝撃破壊にともなう金属組織の微細化をパルス状の硬X線により直接捉えることに成功
- ・ 衝撃波進展にともなう金属組織のマイクロメートルサイズからナノメートルサイズへの変化を定量的に解析

■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、熊本大学パルスパワー科学研究所、東京工業大学科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所、テクニコン-イスラエル工科大学、筑波大学の研究グループは、KEKの放射光実験施設 フォトンファクトリー・アドバンストリング（PF-AR）を用いて、金属内に伝搬する衝撃波によってナノ秒（1ナノ秒＝10億分の1秒）の間に進行する金属組織の微細化を直接観測することに成功しました。

本成果は5月20日、科学雑誌 Scientific Reports オンライン版に掲載されました。

■背景

形あるものは必ず壊れる。これは自然の摂理ですが、最も短い時間で起こる破壊が衝撃波による衝撃破壊です。衝撃波は、高速衝突・爆発・火山噴火・雷・隕石・超音速飛行中の飛行機などによって発生することが知られていて、特に高圧の衝撃波は1キロメートル毎秒以上の高速で物質に伝搬し、材料内部を不均一に後戻りできない状態に破壊します。

現代社会で安全な生活を送るためには衝撃破壊の正確な計測が必要となります。しかし、衝撃波は音速で伝搬するため、破壊は一瞬のうちに起き、不均一かつ非常に複雑です。衝撃波内の破壊現象についての評価は難しく、衝撃破壊前と後の物質を見比べて想像するしかありませんでした（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190523.pdf> をご覧ください）。

ナノ磁気渦形成の定説を覆す物質の開発に成功 – 磁気フラストレーションを利用して創発電磁気応答を巨大化 –

2019年8月5日

理化学研究所
物質・材料研究機構
高エネルギー加速器研究機構
東京大学

■概要

理化学研究所（理研）創発物性科学研究センター強相関物性研究グループの車地崇客員研究員（マサチューセッツ工科大学ポストドクトラルフェロー）、十倉好紀グループディレクター（東京大学大学院工学系研究科教授）、物質・材料研究機構の山崎裕一主任研究員、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の佐賀山基准教授らの共同研究グループは、これまでの定説を覆す微小な磁気渦（磁気スキルミオン、以下スキルミオン）を形成する新たな磁性材料の開発に成功しました。本研究成果は、次世代の情報記憶媒体への応用も期待されるスキルミオン材料の設計指針を大きく刷新し、高集積化・高検出感度化を可能にするスピントロニクスデバイスへの応用につながると期待できます。

従来のスキルミオン物質は、「空間反転対称性が破れている」という状態が実現している磁性体であることが不可欠でした。

今回、共同研究グループは、「磁気フラストレーション」に着目した探索を行い、 Gd_2PdSi_3 （Gd：ガドリウム，Pd：パラジウム，Si：ケイ素）の結晶構造には空間反転対称性がある一方で、磁性原子のGdは三角格子状に並んだ状態にあることに着目しました。そして、詳細な電気伝導特性の測定およびスピン構造の解析の結果、この物質中では、数ナノメートル（nm，1 nmは10億分の1メートル）サイズの磁気渦が存在しており、創発電磁気応答の一つである「トポロジカルホール効果」が従来のスキルミオン物質より1桁以上も大きく発現することを明らかにしました。

本研究は、米国の科学雑誌『Science』のオンライン版に掲載されます。この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190805.pdf> をご覧ください。

超高速の分子振動の高精度観測に成功 – 原子レベルの時空間分解能で分子動画を作成 –

2019年8月9日

高輝度光科学研究センター
理化学研究所
高エネルギー加速器研究機構

■概要

高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室の片山哲夫研究員，理化学研究所ビームライン研究開発グループの矢橋牧名グループディレクター，大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の足立伸一教授，ヨーロッパ XFEL（ドイツ）のクリスチャン・プレスラーグループリーダー，ポール・シェラー研究所（スイス）のクリストファー・ミルネグループリーダー，ハンガリー科学アカデミー（ハンガリー）のジョージ・バンコ教授，ニューキャッスル大学（イングランド）のトーマス・ペンフォールド教授らによる共同研究グループは，X線自由電子レーザー（XFEL）施設 SACLA を使い，光を吸収した金属錯体分子の核波束振動を原子レベルの高い時間・空間分解能で追跡することに成功しました。

本研究成果は，“光反応中に分子がどのように動くのか”を観測して理解するための「分子動画」を実現したものであり，光反応の機構の解明に貢献することが期待されます。光増感剤として期待される銅（I）フェナントロリン錯体は光を吸収すると正四面体型から平面型へ構造が変化することが知られています。共同研究グループは，核波束振動がどのようにこの構造変化に関連しているのかを XFEL による時間分解 X線吸収分光法を使って調べました。100兆分の1秒の時間幅と100億分の1メートルオーダーの波長を併せ持つ XFEL は，光反応中の銅（I）フェナントロリン錯体の構造を時間的にも空間的にもピンぼけすることなく鮮明に捉え，分子動画を作成することができます。その結果，光反応の進行中に3つのタイプの核波束振動があることを発見しました。1つは銅原子と窒素原子の結合長が足並みを揃えて伸縮する振動であり，残りの2つは，銅原子と窒素原子の結合の角度が変化する変角振動でした。これらの核波束振動の寿命の違いから，銅（I）フェナントロリン錯体の平面型への構造変化に強く関連しているのは2つの変角振動であることが分かりました。

今回の研究成果は，国際科学雑誌，「Nature Communications」のオンライン版に掲載されます。この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190809.pdf> をご覧ください。

室温で磁場により電気が100倍流れ易くなる物質を発見

2019年9月18日

横浜市立大学

東京大学

高エネルギー加速器研究機構

■概要

横浜市立大学 大学院生命ナノシステム科学研究科 物質システム科学専攻の山田重樹准教授、東京大学 大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻の有馬孝尚教授、阿部伸行助教、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の佐賀山基准教授らの研究グループは、室温でかつ比較的弱い磁場で巨大磁気抵抗が発現する物質を発見しました。

■研究成果のポイント

- 「室温で」磁場により電気の流れ易さが100倍以上変化する物質を発見した。
- この物質でみられた巨大磁気抵抗は、温度・磁場の条件、電気抵抗の変化の鋭さのすべてにおいて、従来の物質よりも実用性に優れているといえる。

■掲載論文

Room-temperature low-field colossal magnetoresistance in double-perovskite manganite, S. Yamada, N. Abe, H. Sagayama, K. Ogawa, T. Yamagami, and T. Arima, Physical Review Letters, DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.126602>

(この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190918.pdf> をご覧ください。)

「ストライプ照射」だと放射線の影響は軽減される ～放射線の当たり方が一様でない場合、従来の単純な予測は当てはまらない～

2019年9月30日

量子科学技術研究開発機構

Queen's University Belfast

横浜市立大学

高エネルギー加速器研究機構

■発表のポイント

- ・ マウス精巣に対してX線を微細なストライプ状に照射すると、均一に照射した場合では起こらない組織機能の回復が生じ、放射線影響が軽減されることを発見した。
- ・ そのメカニズムとして、X線が直接当たらなかった精子形成細胞が移動することによって、組織全体として

の機能がカバーされることをイメージング実験によって示した。

- ・ 本研究により、空間的に不均一に放射線が当たる場合には、「生体器官のダメージは線量に応じて増加する」という従来のモデルが当てはまらないことを実験的に証明した。

■概要

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(理事長平野俊夫。以下「量研」という)量子生命科学領域の神長輝一博士研究員、横谷明德量子細胞システム研究グループリーダー及び英国 Queen's University Belfast の福永久典博士課程大学院生(現:医療法人 沖縄徳洲会湘南鎌倉総合病院放射線科)、Kevin M. Prise 教授らは、公立大学法人横浜市立大学の小川毅彦教授、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の宇佐美徳子講師らとともに、放射光X線マイクロビーム技術とマウス精巣器官培養法を組み合わせ、空間的に不均一に放射線を当てた場合には組織機能の回復が生じ、放射線量から単純に予測されるよりも影響が軽減されること、さらにそのメカニズムとして放射線の直接当たらなかった細胞の移動が起きていることを実験的に証明しました。

従来、生体器官への放射線の影響は、放射線の量(線量)に応じてその度合いが大きくなるというモデルで説明されてきました。そこには「器官全体が一様に影響を受ける」という暗黙の前提がありますが、医療放射線も含め私たちが日常浴びる放射線は、地面に落ちた雨粒の跡と同様に、身体の中に当たる細胞と当たらない細胞が混在しているのが普通で、それほど単純ではないはずです。そこで本研究では、高度な量子ビーム制御技術により微細なストライプ状にしたX線を、細胞の生死や成熟の様子が蛍光観察できるようにしたマウス精巣に照射し、顕微鏡下でその影響を解析しました。その結果、X線が当たっていない微細な領域の細胞が移動し、組織全体の能力をカバーする現象が起きていることを発見しました。

この結果は、従来の「用量(線量)―反応モデル」の限界を示すもので、今後、より精緻な放射線影響の予測法の確立に貢献し、将来的には放射線治療における副作用の低減などにもつながることが期待されます。

この研究成果は、生物学・医療分野でインパクトの大きい論文が数多く発表されている英国の総合科学誌「Scientific Reports」2019年10月1日号に掲載されます。

この成果は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)(No.16KT0079)、一般財団法人丸文財団 交流研究助成事業、公益財団法人放射線影響協会 研究奨励助成金、Department of Health UK (Ref 091/0205) を受けて行われたものです。

この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190930.pdf> をご覧ください。

遺伝情報の読み取りを強化する tRNA のメチル化の仕組みを構造解析と生化学解析により解明 ～真核生物 Trm7-Trm734 複合 tRNA メチル化酵素の基質 tRNA 選択性とサブユニットの役割～

2019年10月31日

愛媛大学

高エネルギー加速器研究機構

■概要

愛媛大学と高エネルギー加速器研究機構の研究グループは共同で、真核生物 tRNA のアンチコドン一文字目のリボースをメチル化する Trm7-Trm734 複合体の構造解析を行ない、その構造をもとに、この複合体が特定の tRNA のみをメチル化する仕組みや各サブユニットの役割を、分子・原子レベルで解明することに成功しました。本研究の成果は、2019年10月5日に英国の Oxford University Press が発行する科学誌 Nucleic Acids Research 電子版に先行掲載されました。

■詳細

DNA 上にコードされた遺伝情報は、メッセンジャー RNA (mRNA) に写し取られ、タンパク質合成の際に、トランスファー RNA (tRNA) によって読み取られます。tRNA の遺伝暗号解読部位 (アンチコドン) 一文字目 (34位) のリボースのメチル化は、すべての生物に共通にみられる現象で、tRNA と mRNA の結合を強化し、タンパク質合成の途中でエラーが起こる頻度を低下させます。ヒトをはじめ真核生物では、Trm7-Trm734 タンパク質複合体がこのメチル化を担いますが、どうして、この複合体が特定の tRNA のみをメチル化するのか、Trm734 は tRNA の 34 位のリボースをメチル化する上でどのような役割を担っているのかなどが不明でした。

これらの問題を解決すべく、愛媛大学大学院理工学研究科 堀弘幸教授、平田章講師、大学院生の岡田圭祐さん、吉井一晃さん、学部生の白石裕之さんの研究グループは Trm7-Trm734 の X線結晶構造解析を行ない、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 清水伸隆教授、西条慎也特任助教 (研究当時)、米澤健人研究員と共同で X線小角散乱の測定を行いました。これらの構造情報をもとに生化学解析を行ない、(1) Trm7-Trm734 は Cm32, m1G37, ピリミジン 34 の 3 つの因子のうち最低 2 つの因子を持つ tRNA を優先的にメチル化すること、(2) Trm734 は 3 つの WD40 β プロパドメインからなり、ロスマンフォールド型 触媒ドメインを持つ Trm7 と前例がない結合様式で複合体を形成すること、(3) メチル化には、tRNA の D-arm 構造が必要なこと、(4) X線小角散乱の測定結果から、Trm7-Trm734 は水溶液中でもヘテロ二量体を形成していること、(5) Trm734 は tRNA を捉まえ、触媒サブユニット Trm7 と tRNA を接触させる役割があることなどを解明しました。

これら一連の研究成果により、長年、生化学・分子生物学分野で課題であった Trm7-Trm734 の基質 tRNA 特異性が分子・原子レベルで説明可能になり、Trm734 の役割も明らかとなりました。

ヒトでは、tRNA のアンチコドン一文字目のリボースのメチル化の欠損は X染色体リンク精神発達遅滞という遺伝形質を引き起こします。したがって、本研究で得られた研究成果は、ヒト遺伝形質の発現の理解、新たな遺伝子診断法や遺伝子治療法の開発にも新知見を与えるものです (この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20191031.pdf> をご覧下さい)。

グラフェン超伝導材料の原子配列解明に成功～薄くて柔らかい、原子スケールの2次元超伝導材料の開発に新たな道～

2019年11月14日
東京大学大学院理学系研究科
早稲田大学
日本原子力研究開発機構
高エネルギー加速器研究機構

発表のポイント

- ◆ TRHEPD 法を用い、超伝導を示すグラフェンとカルシウムの2次元化合物の原子配列を解明
- ◆ 2次元化合物において電気抵抗がゼロになる超伝導現象を示すことを観測
- ◆ グラフェンを利用した新たな化合物の原子配列解明により、デバイス材料開発への応用を期待

■概要

東京大学大学院理学系研究科博士後期課程3年の遠藤由大（えんどうゆきひろ）および長谷川修司（はせがわしゅうじ）教授、早稲田大学理工学術院の高山あかり（たかやまあかり）専任講師、日本原子力研究開発機構先端基礎研究センターの深谷有喜（ふかやゆうき）研究主幹、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の望月出海（もちづきいづみ）助教および兵頭俊夫（ひょうどうとしお）ダイヤモンドフェローの研究グループは、これまで未解決だった超伝導を示す炭素原子層物質グラフェンとカルシウムの2次元化合物の原子配列を、全反射高速陽電子回折法（以下、TRHEPD法、トレプト法）という実験手法を用いて世界で初めて決定しました。また、この原子配列が電気抵抗がゼロになる超伝導現象を示すことも実験により明らかにしました。グラフェンを利用した新たな化合物の原子配列を解明したことで、エネルギー損失ゼロの超高速情報処理ナノデバイスなどの材料開発への応用に道を開くものです。本研究成果は、『Carbon』のオンライン版に2019年10月25日（現地時間）に掲載されました。この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20191114.pdf> をご覧下さい。

アルミでコンピュータメモリを省電力化する～アルミ酸化膜を用いた新しい不揮発メモリの動作メカニズムを解明～

2019年11月14日
日本原子力研究開発機構
高エネルギー加速器研究機構

■概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（理事長 児玉敏雄）物質科学研究センター多重自由度相関研究グループの久保田正人研究副主幹、国立研究開発法人物質・材料研究機構（理事長 橋本和仁）国際ナノアーキテクトニクス研究拠点の加藤誠一主任研究員、兒子精祐外来研究員及び大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（機構長 山内正則 以下、KEK という）物質構造科学研究所の雨宮健太教授らの研究グループは、次世代不揮発メモリの材料として期待されるアモルファスアルミ酸化膜において、半導体メモリのまったく新しい動作メカニズムを説明する電子状態変化を世界で初めて直接観測でとらえました。

現在、コンピュータの主記憶メモリとして利用されている DRAM は、電源供給がないと記憶の保持ができません。従って、一定時間ごとに記憶を保持する動作（リフレッシュ動作）が必要のために電力消費が大きいという問題を抱えています。この解決のために次世代不揮発メモリの研究が行われています。次世代不揮発メモリの候補として、タンタル酸化物（ Ta_2O_5 ）などの遷移金属酸化物を用いた ReRAM が広く研究されています。しかし、一般的に、遷移金属酸化物では、メモリ動作時に遷移金属原子の価数が変わってしまう化学反応が起こります。その結果、副生成物が生じるために、ReRAM が劣化しやすく、書き換え回수에限界があると言われていました。

一方、遷移金属酸化物ではないアモルファスアルミ酸化膜に関して、酸素空孔内への電子の出入りはエネルギー的に安定であるという理論計算を元にして、本研究グループは、アモルファスアルミ酸化膜を用いた ReRAM のメモリ動作を説明するための全く新しい「酸素空孔モデル」を提唱しています。このモデルでは、遷移金属ではないアルミニウムを用いているために、メモリ動作時に化学変化を伴わず ReRAM の劣化が生じにくいと考えられます。

この酸素空孔モデルを検証するために、KEK 物質構造科学研究所の放射光実験施設（フォトンファクトリー）において、アモルファスアルミ酸化膜（ $AlOx$ ）ReRAM の構成元素である酸素とアルミニウムの吸収スペクトル測定を行いました。測定結果では、オン状態とオフ状態で酸素の吸収スペクトルは大きく変化しましたが、アルミニウムの吸収スペクトルは変化しませんでした。この測定結果は、 $AlOx$ -ReRAM では、メモリ動作時には酸素サイトの電子

分布が変わりますが、アルミサイトの電子分布は変わらないことを明らかにしており、このことは、化学変化を伴わないメモリ動作である酸素空孔モデルを支持するものとなっています。

通常の半導体は、不純物を加えることにより電気特性を変えます（元素ドーピング）。これに対してアモルファスアルミ酸化物は、元素ドーピングすることなく、酸素空孔に外部電子を注入・抽出するだけで電気特性を変えることができる半導体（ドーピングレス半導体）です。通常の半導体とは異なり、ドーピングレス半導体では、薄膜作製後でも外部からの電子の注入・抽出で電気特性を自由に換えられる大きなメリットがあります。

本研究によりアモルファスアルミ酸化物がドーピングレス半導体として不揮発なメモリ動作をすることが明らかになり、この研究成果により、今後、DRAMに代替可能な省電力な不揮発メモリ開発が進展することや、ドーピングレス半導体を活用した新規電子デバイス材料の開発が期待されます。

本研究成果は、2019年9月26日付のアメリカの科学雑誌「AIP advances」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/ja/newsroom/attic/PR20191114_1500.pdf をご覧ください）。

電子スピンを自在に操ることができる積層材料の開発に成功 - 日常生活の情報化を支える超高記録密度・省エネ磁気メモリの実現に大きく前進 -

2019年12月2日
量子科学技術研究開発機構
高エネルギー加速器研究機構

【概要】

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（理事長 平野俊夫、以下「量研」）量子ビーム科学部門の李松田主任研究員、境誠司プロジェクトリーダーらは、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（機構長 山内正則）物質構造科学研究所の雨宮健太教授、国立研究開発法人物質・材料研究機構（理事長 橋本和仁）の桜庭裕弥グループリーダーらとの共同研究により、電子スピンを使った情報処理に重要な、電子スピンの向きを揃える性能とスピンの向きを保つ性能のそれぞれに最も優れるホイスラー合金とグラフェンからなる積層材料の開発に成功しました。この新しい材料により電子スピンの自在な操作が可能になることで、超高記録密度で省エネな磁気メモリの実現など、日常生活の情報化を支える情報技術の発展に新たな道が拓かれることが期待できます。

近年、次世代の情報技術としてスピントロニクスが注目を集めています。従来のエレクトロニクスでは、電子のある/なしを情報処理に用いますが、スピントロニクスでは、

さらに電子のスピンの上向き/下向きをデジタル情報として扱うことで、飛躍的に高速で省エネルギーなデバイスを実現できます。スピントロニクスデバイスは、スピンの向きを制御した電流を生み出す磁性体とそのような電流を伝える非磁性体を組み合わせることで、スピンの向きを操作して情報処理を行うため、そのようなデバイスには磁性体と非磁性体を積層した材料が用いられます。今回、研究チームは、スピントロニクスデバイス用の新しい積層材料として、磁性体の中でスピンの向きを揃える性質に最も優れるホイスラー合金と、非磁性体の中でスピンの向きを保つ性質に最も優れるグラフェンからなる材料の開発に世界で初めて成功しました。この新しい積層材料により電子スピンの自在な操作が可能になることで、スピントロニクスによる情報技術の発展に新たな道筋が開かれました。それにより、今後、超高記録密度で省エネな磁気メモリの実現により身の回りの膨大な情報を自在に記録して利用できるようになることや、人間の活動を自然にサポートしてくれるアシスト技術の出現など、情報技術がより便利で生活に密着したものに進歩していくことが期待できます。

本成果は、Advanced Materials 誌のオンライン版に2019年12月3日（火）12:00（現地時間）に掲載されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20191202.pdf> をご覧ください）。

航空機用構造材料 (CFRP) の破壊はどこから始まるか—放射光 X 線顕微鏡を用いたナノレベル観察—

2019年12月17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木村正雄教授、渡邊稔樹研究員、武市泰男助教、丹羽尉博技師、の研究グループは、航空機の機体や翼の構造材料として用いられている炭素繊維強化樹脂（Carbon fiber reinforced plastic : CFRP）複合材料内に、き裂が発生・進展する様子を放射光 X 線顕微鏡を用いて空間分解能 50 nm 程度で観察することに初めて成功した。

本研究では、CFRP 試料に応力を印加した状態で X 線を照射し X-CT 法により内部の状態を非破壊で三次元観察した。その結果、(A) 樹脂内でのき裂発生と、(B) 炭素繊維 / 樹脂界面での剥離が競合して、き裂が発生するという（起点の特定）、さらにその三次元での進展過程が初めて解明された。

ナノスケールでのき裂の発生・進展挙動は、CFRP のマルチスケール強度設計のための力学モデルの構築に必要とされながら、実験が困難であるため不明であった破壊の初期現象である。それを解明としたことは破壊力学での学術

的意義に加え、航空機産業の材料分野への工学的意義が大きい。

この研究成果は、12月17日10時（日本時間12月17日19時）にNature Publishing Groupの電子ジャーナルScientific Reportsに掲載されます（この記事の続きは<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20191217.pdf>をご覧ください）。

筋ジストロフィー症に関わる糖鎖を合成する仕組みを解明

2020年1月17日

東京都健康長寿医療センター
高エネルギー加速器研究機構

【概要】

東京都健康長寿医療センターの遠藤玉夫シニアフェロー、萬谷博研究副部長、今江理恵子研究員、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の加藤龍一准教授、桑原直之研究員（研究当時）らの共同研究グループは、先天性筋ジストロフィー症の原因遺伝子FKRPによる糖鎖合成機構を解明し、筋ジストロフィー症の新たな発症メカニズムを明らかにしました。この研究成果は、今後の病態解明や治療法の開発に大きく貢献するものと期待されます。本研究は、Nature Publishing Group発行のオンライン国際科学雑誌「Nature Communications」に1月16日に掲載されました。

今回、X線結晶構造解析によりFKRPの立体構造の解明に成功し、FKRPがリビトールリン酸をつなげて糖鎖を伸ばす仕組みを明らかにしました。FKRPは機能未知だった部分（幹領域）と酵素活性を担う部分（触媒領域）で構成されますが、1分子で単独で存在するのではなく、FKRPが4つ集合した「4量体」という状態で存在し、2つのFKRPのそれぞれの幹領域と触媒領域を使って糖鎖を両端から挟み込むように捕まえることが分かりました。FKRPと糖鎖の結合にはリン酸というこの糖鎖に特徴的な構造が必要でした。さらに、筋ジストロフィー症患者から見つかったいくつかの変異FKRPは、4量体を作ることができず、酵素活性が著しく低下していました。これらの結果から、FKRPが複数で集まって存在することは、FKRPが糖鎖を捕まえるために必須であることが分かりました。同じ酵素2つが協調して糖鎖を捕まえるという方式も、糖鎖を合成する仕組みとして初めての発見であり、ユニークなりビトールリン酸構造を形成する基盤であることが明らかになりました（この記事の続きは<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/e076ae356eed1708ac9dfcb29c9bba97.pdf>をご覧ください）。

基板に吸着するだけで、100兆個以上の分子の「形状」が一斉に変化 – 世界初、有機半導体の電子状態を物理吸着で制御することに成功 –

2020年1月24日

東京大学
東北大学
筑波大学
産業技術総合研究所
広島大学
高エネルギー加速器研究機構

【概要】

東京大学大学院新領域創成科学研究科、同マテリアルイノベーション研究センター、東北大学大学院理学研究科、大阪大学大学院基礎工学研究科、筑波大学大学院数理物質科学研究科、広島大学大学院理学研究科、スタンフォード大学SLAC国立加速器研究所、産業技術総合研究所産総研・東大先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ、物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点（WPI-MANA）の共同研究グループは、有機半導体単結晶超薄膜が基板に吸着する際の分子形状を0.1ナノメートル（100億分の1メートル）の精度で決定することに成功しました。その結果、比較的剛直な構造を持つ有機半導体であるにもかかわらず、基板に物理吸着することで、100兆個以上におよぶ全ての分子が同じように形状を変えることを明らかにしました。この物理吸着に伴う分子形状の変化は、超薄膜の厚さを制御することで抑制され、半導体デバイスの性能指標である移動度が40%以上向上することも明らかにしました。

本研究成果は、英国科学雑誌「Communications Physics」2020年1月23日版に掲載されます。本研究は、日本学術振興会（JSPS）科学研究費補助金「単結晶有機半導体中電子伝導の巨大応力歪効果とフレキシブルメカノエレクトロニクス」「有機単結晶半導体を用いたスピントランジスタの実現」（研究代表者：竹谷純一）の一環として、一部の実験は高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所フォトンファクトリーBL-3A、SLAC SSRL BL8-2ビームラインを利用して行われました（この記事の続きは<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20200123.pdf>をご覧ください）。