

2026 年 6 月 24 日

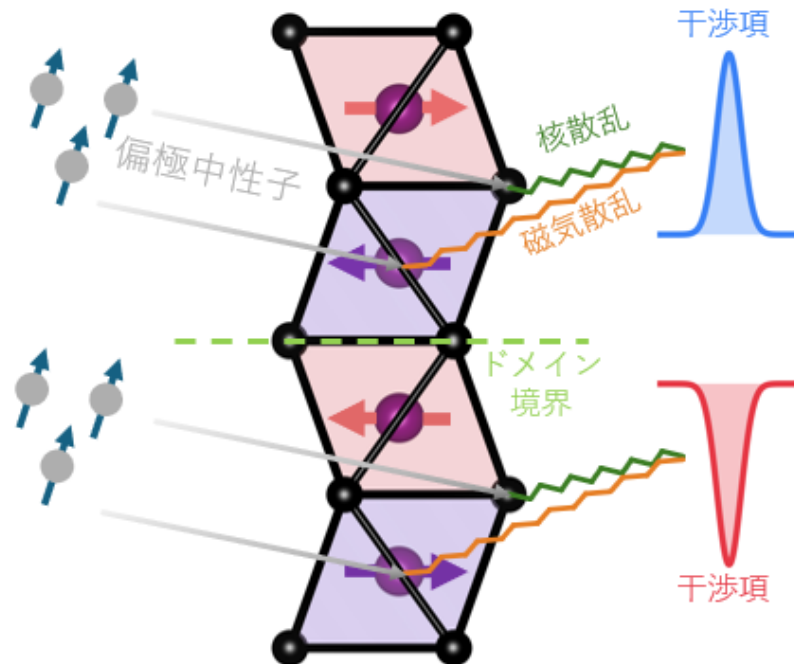
東京大学

高エネルギー加速器研究機構

交替磁性ドメインの磁場制御に成功、偏極中性子回折で観測

発表のポイント

- ◆交替磁性体 MnTe において、交替磁性ドメインと結合した弱強磁性が存在することを実験的に明らかにし、ミリテスラ級の微小磁場によるドメイン制御に成功しました。
- ◆偏極中性子回折を用いて、交替磁性ドメインに由来する核・磁気干渉信号を観測し、磁場によるドメイン反転を実証しました。
- ◆本成果は、ほぼゼロの漏れ磁場と磁場制御性を両立する交替磁性デバイス実現への道を拓くものです。



交替磁性体では、スピンによって散乱された偏極中性子と、非磁性原子によって散乱された偏極中性子との干渉を利用することで、交替磁性ドメインを検出することができます。

概要

東京大学物性研究所の益田隆嗣教授（兼：高エネルギー加速器研究機構（以下、KEK）物質構造科学研究所 特別教授）の研究グループは、中島多朗准教授（兼：KEK 物質構造科学研究所 客員准教授）らの研究グループと共同で、偏極中性子回折（注 1）を用いて、交替磁性体 MnTe 中の磁気ドメイン（注 2）を直接観測することに成功しました。交替磁性体では、スピンが反平行に並んだ磁気構造を持ちながらも、スピン流（注 3）を生成できるという特徴があります。この特性により、低消費電力かつ高速な次世代スピントロニクスデバイス（注 4）の有力な候補として期待されています。しかし、実際の物質中では、スピン配列が正反対の状態をとる領域「交替磁性ドメイン」が複数形成され、領域が混在することで、スピン流が互いに打ち消し

合ってしまいます。そのため、交替磁性ドメインを制御することが、機能性交替磁性デバイスの実現に向けて極めて重要となります。

研究グループは、交替磁性ドメインと結合した弱強磁性（注 5）が存在することを実験的に確認しました。さらに、外部磁場によって弱強磁性モーメントの向きを反転させると、それに伴って交替磁性ドメインも同時に切り替わることを見いだしました。特筆すべきことに、この切り替えに必要な磁場はミリテスラ（注 6）程度と非常に小さく、容易かつ低コストに実現可能です。本成果は、交替磁性体の基礎研究および技術応用の双方に新たな道を拓くものです。

本研究成果は、米国物理学会誌 Physical Review Letters 6 月 23 日（現地時間）に掲載されました。

発表内容

① 研究の背景

スピントロニクスは、電子のスピン自由度を利用して、情報を効率的に記録・伝送する技術です。従来の強磁性体では、図 1(a)に示すように、巨視的な磁化（注 7）に伴って時間反転対称性が破れ（注 8）ており、この性質がスピントロニクス機能の基盤となっています。また、大きな磁化を持つため、外部磁場による読み出しや制御が容易であり、現在の磁気記録技術に広く利用されています。しかし一方で、強磁性体は不可避免的に漏れ磁場（注 9）を発生させます。この漏れ磁場は、隣接するデバイスへ影響を引き起こし、さらなる微細化や高密度集積化を妨げる要因となっています。

近年、「交替磁性（altermagnetism）」と呼ばれる新しい磁性状態が提唱されました。交替磁性体は、自発的に時間反転対称性を破りながらも、全体としての磁化がほぼゼロに保たれていることを特徴とします。そのため、超高密度集積デバイスへの応用が期待されています。一方で、その磁化がほぼゼロであることから、強磁性体とは異なり、磁場による磁気制御が難しいと考えられてきました。

交替磁性体では、図 1(b)に示すように、通常、互いに逆向きのネールベクトル（注 10）を持つドメインが形成されます。これらのドメインは時間反転操作によって結び付けられており、スピン流生成のような時間反転対称性の破れに由来する機能を互いに打ち消し合います。そのため、交替磁性ドメインの制御は、交替磁性研究における中心的課題の一つとなっています。

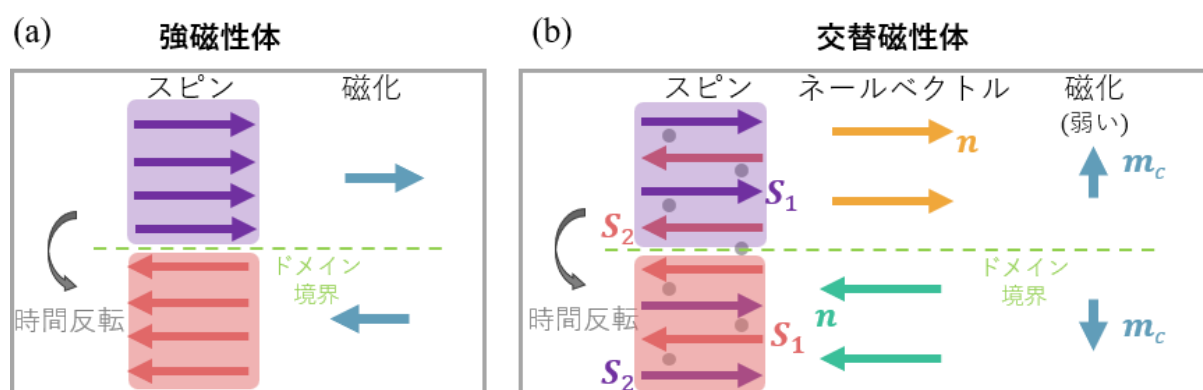


図 1：強磁性体および交替磁性体のドメインと現れる磁化

(a) 時間反転対称性によって結び付けられた強磁性ドメイン。スピンと平行な強い磁化を有しています。(b) 時間反転対称性によって結び付けられた交替磁性ドメイン。交替磁性体ではスピンは反平行に配列していますが、ネールベクトル ($n=S_1-S_2$) は「強磁性的」に揃っています。MnTe の交替磁性ドメインは、スピンに垂直な向きに互いに逆向きの磁化（弱強磁性モーメント）を有しています。

② 研究内容

本研究ではまず、磁化測定により、交替磁性体 MnTe において、磁場中冷却（注 11）によって極めて小さな弱強磁性モーメントが誘起されることを明らかにしました。図 2(b)に示すように、このモーメントの向きは、冷却時に印加する磁場の向きを反転させることで反転します。

次に研究チームは、研究用原子炉 JRR-3（注 12）に設置された偏極中性子分光器 PONTA を用いた偏極中性子回折実験により、MnTe 中の磁気ドメイン分布を調べました。中性子は、原子核による散乱（核散乱）と電子スピンによる散乱（磁気散乱）の両方を受けます。さらに偏極中性子を用いることで、表紙図に示すように、これら二つの散乱過程の干渉を検出することが可能になります。理論計算の結果、この核磁気干渉項は、異なる交替磁性ドメインに対して逆符号を持つことが示されました。実験では、磁場中冷却後の MnTe 結晶において顕著な核・磁気干渉信号が観測されました。さらに、図 2(c)に示すように、冷却磁場の向きを反転させると、干渉信号の符号も反転することが確認されました。

さらに定量的な解析により、弱強磁性モーメントと交替磁性ドメインが結合していること、また両者が磁場によって同時に制御されることが示されました。弱強磁性によって生じる漏れ磁場は約 10^{-3} mT と見積もられ、強磁性デバイスで典型的な約 10 mT の漏れ磁場と比較して無視できるほど小さいことが分かりました。これらの結果は、交替磁性体が、ほぼゼロの漏れ磁場を維持しながら、外部磁場によって容易に制御可能であることを示しています。

本研究は、偏極中性子回折が交替磁性ドメインを観測する強力な手法であることを示すとともに、磁場によって制御された弱強磁性を介して交替磁性ドメインを制御する原理を確立したものです。

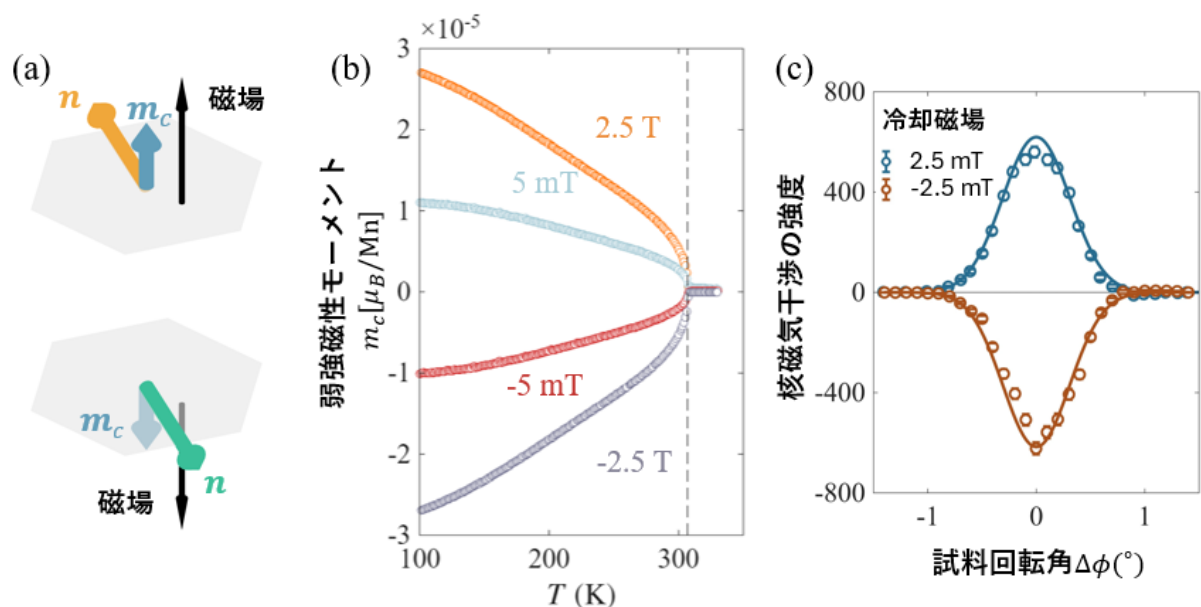


図 2：外部磁場による弱強磁性モーメント、交替磁性ドメインの反転

(a) 磁場の切り替えに伴って、ネールベクトル n と弱強磁性モーメント m_c が同時に反転する模式図。(b) 磁場中冷却後の MnTe における弱強磁性モーメントの温度依存性。モーメントの向きは冷却磁場の向きに対応しています。(c) 交替磁性ドメインを示す、観測された核磁気干渉項は、冷却磁場の向きを反転させることで符号が反転します。

③ 今後の展望

対称性の理論は、多くの交替磁性体において弱強磁性が許容されることを示唆しており、微小磁場による交替磁性ドメイン制御が広く適用可能である可能性を示しています。これらの成果は、低消費電力で制御可能な交替磁性デバイスの実現につながることを期待されます。

○関連情報：

プレスリリース「交替磁性体でスイッチ可能なカイラルマグノンを観測」(2026/6/16)

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=31110>

プレスリリース「新しい概念の磁性体を実験的に検証 ―中性子散乱実験による交替磁性体の観測―」(2024/10/9)

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=24615>

発表者・研究者等情報

東京大学物性研究所

益田 隆嗣 教授

兼：東京大学トランススケール量子科学国際連携研究機構 教授

兼：高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 特別教授

中島 多朗 准教授

兼：高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 客員准教授

兼：理化学研究所創発物性科学研究センター 客員研究員

Liu Zheyuan (リウ・ゼユアン) 大学院生 (同大学大学院新領域創成科学研究科 物質系 専攻 博士課程)

論文情報

雑誌名：Physical Review Letters

題 名：Observation of Altermagnetic Order Switching in Bulk MnTe by Polarized Neutron Diffraction

著者名：Zheyuan Liu, Shinichiro Asai, Shingo Takahashi, Hiraku Saito, Taro Nakajima, and Takatsugu Masuda* (*責任著者)

DOI: <https://doi.org/10.1103/yklc-9n6t>

研究助成

本研究は、科研費 基盤研究(A)「次世代中性子分光器による量子物質の準粒子構造研究(課題番号：21H04441)」の支援により実施されました。

用語解説

注1 偏極中性子回折

スピンの向きがそろった「偏極中性子」を用いて、物質中の磁気構造を詳細に調べる中性子散乱手法です。偏極中性子は、原子核による散乱(核散乱)と電子スピンによる散乱(磁気散乱)を区別できるだけでなく、それらの干渉効果も検出できます。そのため、通常の中性子散乱では観測が難しい磁気ドメインや磁気対称性の情報を高感度に調べることが可能です。

注2 磁気ドメイン

物質内部において、スピンの向きや配列が異なる領域のことです。

注3 スピン／スピン流

スピンとは、電子などの粒子が持つ微視的な磁気モーメントのことです。棒磁石のように、大きさと向きを持っています。スピン流とは、物質中を流れるスピンの流れを指し、スピントロニクスの中核的概念です。

注4 スピントロニクスデバイス

電子の電荷だけでなく、スピン自由度も利用するデバイスのことです。

注5 弱強磁性

反強磁性的に秩序化した物質では、通常、スピンの磁気モーメントは互いに打ち消し合います。しかし、スピンがわずかに傾くことで、有限ではあるものの非常に小さな正味の磁気モーメントが生じる場合があります。このような磁性を弱強磁性とよびます。

注6 ミリテスラ

実験的に容易に発生させることができる非常に弱い磁場です。一般的な電磁石は通常テスラ級の磁場を発生でき、研究室用の超伝導磁石では10 T（テスラ）を超える磁場も可能です。一方、地磁気は約0.05 mT（ミリテスラ）です。

注7 磁化

磁性体中のすべてのスピンモーメントを足し合わせた物理量です。

注8 時間反転対称性の破れ

時間を逆向きにした場合に、系の物理的性質が元の場合と異なることを指します。磁性体において、スピン流の生成には時間反転対称性の破れが必要です。

注9 漏れ磁場

磁性体の外部に漏れ出す磁場のことです。強磁性体では大きな漏れ磁場が生じますが、交替磁性体では全体の磁化が打ち消し合うため、漏れ磁場はほとんど発生しません。

注10 ネールベクトル

交替磁性ドメインを特徴付けるベクトルです。交替磁性体ではスピンが反平行に配列するため、強磁性体のような磁化ではなく、反平行スピン間の差によって磁気状態が記述されます。

注11 磁場中冷却

高温から低温へ冷却する際に磁場を印加することで、物質の磁性を制御する標準的な手法です。

注12 研究用原子炉 JRR-3

JRR-3 は、日本原子力研究開発機構が茨城県東海村で運営する大型中性子研究施設です。東京大学物性研究所は、JRR-3 に設置された実験装置を用いて共同利用中性子散乱実験を実施しています。

問合せ先

（研究内容については発表者にお問合せください）

東京大学物性研究所

教授 益田 隆嗣（ますだ たかつぐ）

Tel：04-7136-3415 E-mail：masuda@issp.u-tokyo.ac.jp

東京大学物性研究所 広報室

Tel：04-7136-3207 E-mail：press@issp.u-tokyo.ac.jp

高エネルギー加速器研究機構 広報室

Tel：029-879-6047 E-mail：press@kek.jp