

複数の秩序が生むドメイン壁の不安定性

[1] 要旨

本論文はマルチフェロイクス系の複合ドメイン壁を磁場で駆動した際のダイナミクスを理論的に研究し、複数の秩序間の相関がダイナミクスに与える影響を明らかにした。特に、駆動された複合ドメイン壁の内部構造に動的な不安定性が現れ、複合ドメイン壁の自発的分裂という新たな現象が起きることを発見した。秩序が3種類以上存在することで複数種類の複合ドメイン壁を持つことがこの現象の本質である。

[2] 本文

マルチフェロイクスは磁化や電気分極など複数の秩序変数を持つ系であり、2000年代以降、交差相関と呼ばれる特徴的な性質に関心を持たれている。秩序間の相互作用によって、例えば磁場の印加により磁化だけでなく電気分極などを制御できる性質のことである。交差相関の原因にはバルクの性質によるものとドメイン壁の移動によるものがあり、本研究では後者に焦点を当てている。

マルチフェロイクス系では秩序間の相互作用により、バルクの安定状態での秩序変数の値の組み合わせが制限される。同時に、ドメイン壁も複数の秩序が同時に変化する複合ドメイン壁となる。さらに、各秩序変数のエネルギースケールの違いが非自明なダイナミクスをもたらすことが期待されるが、これまでの複合ドメイン壁の研究は静的な性質が中心であり、ダイナミクスは詳しく研究されてこなかった。

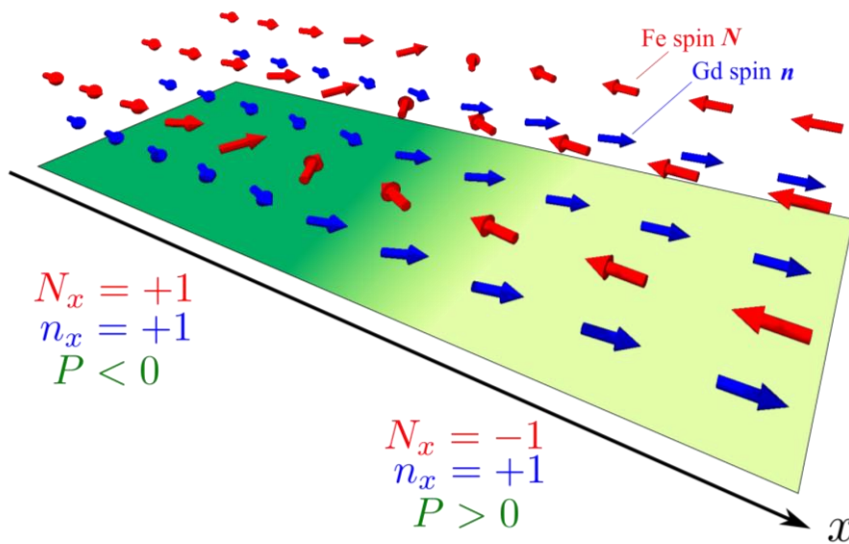


図 1. GdFeO₃の複合ドメイン壁(NP 反転) : ここでは Fe のスピンの向きと電気分極 (緑が負、黄色が正) が反転し、Gd のスピンの向きは反転せずにいる。

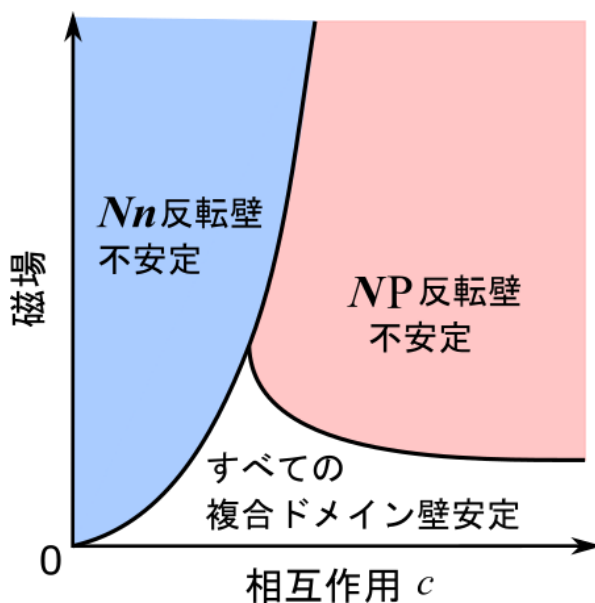
最近、東京大学物性研究所の研究グループは、典型的なマルチフェロイクス物質である GdFeO₃ における複合ドメイン壁の磁場駆動ダイナミクスを詳細に研究し、複数の秩序に由来する本質的な不安定性があることを初めて指摘した。この不安定性はドメイン壁の内部構造の変形に関連した動的なものである。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan

(JPSJ)の 2021 年 1 月号に掲載された。

GdFeO₃は低温のマルチフェロイック相において Fe スピンの反強磁性(N)、Gd スピンの反強磁性(n)、強誘電性(P)の 3 種類の秩序を持ち、磁気異方性およびこれらの相互作用エネルギー($F_1 = cPN \cdot n$)を負符号にする制限から、バルクの安定状態は 4 重に縮退する。関連してドメイン壁も図 1 に示すように、2 つの秩序が組になって反転する複合ドメイン壁が 3 種類あることが知られていた。

本研究は複合ドメイン壁を磁場駆動する際のダイナミクスを、 N , n , P に対する時間依存 Ginzburg-Landau 方程式を用いて解析し、これを摂動論的および数値的に解いている。磁場は Fe スピンの持つ弱い強磁性成分と結合し、複合ドメイン壁を駆動する。主要な結果として、駆動磁場や秩序間相互作用が強い場合には複合ドメイン壁の内部構造が大幅に変形し、異なる種類の複合ドメイン壁 2 個に分裂することが発見された。ドメイン壁の分裂は先行研究において不純物効果として指摘されていたが、本研究は磁場駆動されたドメイン壁の内部構造自身が不安定性を持つことを示し、分裂条件を系統的に明らかにした(図 2)。この分裂は数 T (テスラ) オーダーの磁場で起きると見積もられ、実験により確認されることが期待される。

磁性体に限らず、3 種類以上の秩序が相関する系では複数種類の複合ドメイン壁が存在するので同様のドメイン壁分裂が起きる可能性があり、複数の秩序を持つ様々な系のダイナミクスの研究を刺激することが期待される。



(図 2 ドメイン壁分裂の相図)

原論文 (12 月 9 日公開済)

Dynamics of Composite Domain Walls in Multiferroics in Magnetic Field and Their Instability

K. Kawahara and H. Tsunetsugu: J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 014703 (2021).

< 情報提供 : 川原光滋 (東京大学物性研究所)

常次宏一 (東京大学物性研究所) >