磁性焦電体ならではの新しい電気磁気効果の発見

[1] 要旨

磁性と誘電性を併せ持つマルチフェロイック物質は、電気磁気効果を活用した省エネルギーデバイスへの応用が期待されている。これまで、その研究は主に電場で電気分極を反転できる強誘電体が中心で、電気分極が反転しない焦電体は見過ごされがちであった。最近、焦電性フェリ磁性体 $CaBaCo_4O_7$ において、外部電場の向きによってフェリ磁性相が安定化、あるいは不安定化する現象が発見された。これは焦電体特有の新しい電気磁気効果であり、今後の材料開発に新たな指針を与えるものである。

[2] 本文

現代社会は多くの電子機器に支えられているが、そこでは膨大な電力が消費されている。これら電子デバイスの省エネルギー化を実現する手段として、マルチフェロイック物質が注目を集めている。磁性と誘電性を併せ持つマルチフェロイック物質は、電場（磁場）により磁性（誘電性）を制御できる電気磁気効果を示す。この効果を利用すれば、コイルに電流を流して磁場を発生させる方式に比べて、電場という遥かにエネルギー消費の少ない入力で磁気デバイスの駆動が可能になる。これまで、マルチフェロイック物質の研究は電場により電気分極を反転できる「磁性強誘電体」が主な舞台であり、電気分極が反転しない「磁性焦電体」に特有の電気磁気効果は注目されてこなかった。磁性強誘電体では、電気分極の向きと磁化の向きが結合していることを利用して、電場の反転、つまり電気分極の反転により磁化の向きを制御できる。一方で、磁性焦電体では電気分極の向きが固定されているため、磁性強誘電体と同様のメカニズムによる電場を介した磁化の制御を実現することは困難である。しかしながら、この「電気分極の向きが固定されている」という特徴は、電場と電気分極の向きが平行か反平行かという新たな自由度を生む。この見過ごされてきた自由度の活用が、磁性焦電体ならではの新しい電気磁気効果の観測につながった。

最近、上智大学と東北大学の共同研究グループは、巨大な電気磁気効果を示すことが知られている焦電性フェリ磁性体 $CaBaCo_4O_7$ の単結晶を合成し、電場および磁場下における磁化測定を行った。外場の印加方向を考慮した測定の結果、電場の印加方向に依存してフェリ磁性相が安定化または不安定化する現象を発見した。この成果は JPSJ の 2025 年 10 月号に掲載された。

$CaBaCo_4O_7$ は T_C = 63 K でフェリ磁性相転移を示し、この相転移に伴い電気分極の値が大きく変化するマルチフェロイック物質である。この物質は巨大な電気磁気効果や、電磁波の整流効果である非相反方向 2 色性が見出されたことでこれまで注目を集めてきた。本物質は焦電体であるため、電場の向きを反転しても電気分極の向きは反転しない。そのため、電場と電気分極が平行または反平行の 2 種類の測定配置が考えられる。研究グループは、各測定配置における磁化測定から、$CaBaCo_4O_7$ の電気磁気効果が外場の印加配置に依存するか調べた。その結果、磁化の温度依存性において、図 1 に示すように、ゼロ電場での測定に比べて、電場と電気分極が平行な場合は T_C が上昇し、反平行な場合は低下することを発見した。更に、電場中での磁化の磁場依存性や磁場中での磁化の電場依存性といった複数の測定からも同様の結果が得られた。この振る舞いは、フェリ磁性相の安定性が電場の印加方向に依存していることを示している。また、現象論的な考察から、本現象の発現には電場の向きと電気分極の向きの相対的な関係が重要であり、強誘電体では観測されな

い、焦電体に特有の電気磁気効果であることを結論付けた。

本研究で発見された、電場の向きに依存した磁性の制御は、焦電体だからこそ観測できる新しい電気磁気効果と言える。この成果は、これまであまり注目されてこなかった磁性焦電体という広大な物質群に新たな光を当て、同様の新機能を持つ物質の発見へと繋がる可能性がある。また、電場の向きにより磁気秩序相の安定性を制御できることは、電場の向きによる常磁性相と磁気秩序相のスイッチング、つまり電場を用いた励磁と消磁の実現に繋がる。このことは、例えば電場で駆動する省エネルギーな電磁石への展開といった磁性強誘電体とは異なるアプローチの応用可能性を、磁性焦電体が秘めていることを示している。

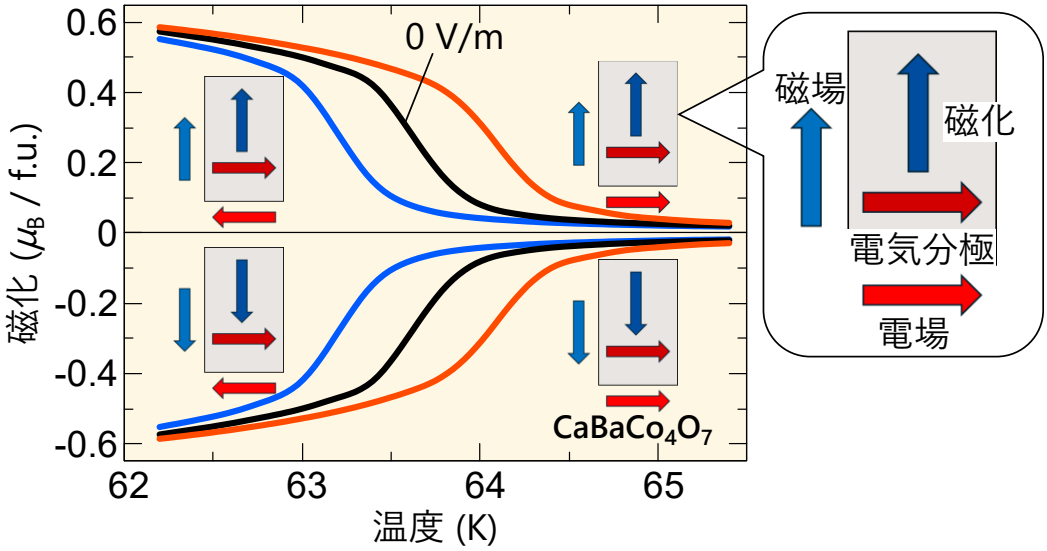

図 1. 磁場と電場の向きの組み合わせが異なる、4 種類の測定配置における磁化の温度依存性。$CaBaCo_4O_7$ の焦電性により、電場と電気分極が平行（右上および右下）または反平行（左上および左下）の 2 種類の配置に磁場方向が異なる 4 種類の配置が可能となる。磁場と磁化は常に平行となる。黒曲線はゼロ電場における磁化の振る舞いを示す。右の 2 種類と左の 2 種類で磁化の振る舞いが変化する。

原論文（2025 年 9 月 10 日公開済）

Magnetoelectric Effect Dependent on Electric Field Direction in a Pyroelectric Ferrimagnet $CaBaCo_4O_7$

T. Shirasaki, M. Noda, H. Arai, M. Akaki, H. Kuroe, and H. Kuwahara, J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 103702 (2025).

＜情報提供：桑原英樹（上智大学理工学部機能創造理工学科）＞