

トポロジカルな磁気構造を持つ室温磁性体の物性解明と新物質探索

応用物理物性およびその関連分野

研究者所属・職名 :  
創発物性科学研究センター・ユニットリーダー

ふりがな かるべ こうすけ

氏名 : 軽部 皓介

主な採択課題 :

- [基盤研究\(B\)「対称性と乱れに基づく新しいトポロジカル磁性と創発機能の開拓」\(2023-2025\)](#)
- [若手研究「トポロジカルな磁気構造を持つ室温磁性体の物性解明と新物質探索」\(2020-2022\)](#)
- [若手研究\(B\)「高温カイラル磁性体における新奇スキルミオン状態の探索と解明」\(2017-2018\)](#)

分野 : 材料科学、磁性

キーワード : トポロジカル磁性、スキルミオン、アンチスキルミオン、新物質開拓、遷移金属化合物

課題

● **なぜこの研究をおこなったのか？ (研究の背景・目的)**

スキルミオンは、固体中の電子スピンによって形成される、渦状のトポロジカルな磁気構造体であり、高性能な磁気メモリーへの応用が期待されている。また、近年スキルミオンの反粒子であるアンチスキルミオン (図1) が新しいトポロジカル磁気構造体として注目されている。しかしながら、これまでに知られているアンチスキルミオン物質は一部のホイスラー合金のみであり、アンチスキルミオンに関する研究は遅れていた。そこで、本研究ではアンチスキルミオンを室温で示す新物質の開拓を行った。

● **研究するにあたっての苦労や工夫 (研究の手法)**

アンチスキルミオンは90°回転する毎に上下が反転する $D_{2d}$ または $S_4$ 対称性の結晶構造を持つ磁性体で発現すると予想されていた。これまでに報告されているホイスラー合金は $D_{2d}$ 対称性を持つため、本研究では $S_4$ 対称性を持つ $(Fe,Ni)_3P$ という物質に着目した。様々な組成の単結晶試料を合成し、磁気測定により磁気パラメータの変化を系統的に調べた。また、磁気構造を直接観察するために、ローレンツ透過型電子顕微鏡及び磁気力顕微鏡測定を行った。

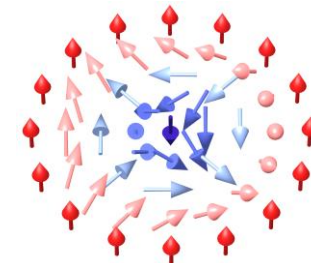


図1 アンチスキルミオンのイメージ図

トポロジカルな磁気構造を持つ室温磁性体の物性解明と新物質探索

応用物理物性およびその関連分野

研究成果

●室温アンチスキルミオンの発見

(Fe,Ni)<sub>3</sub>PにPdをドーブした(Fe<sub>0.63</sub>Ni<sub>0.30</sub>Pd<sub>0.07</sub>)<sub>3</sub>Pの単結晶試料を作製し、薄片試料に対しローレンツ透過型電子顕微鏡観察を行った結果、目的通り、室温を含む広い温度範囲でアンチスキルミオンが観測された(図2)。また、アンチスキルミオンとスキルミオンが磁場や試料の厚さで相互変換することも分かった。さらに、磁気力顕微鏡により厚い試料の表面付近にS<sub>4</sub>対称性を反映したノギリ型の新奇な磁区構造が観測された。

●アンチスキルミオンの安定化メカニズムの解明

組成変化による系統的な磁気測定を行ったところ、母物質であるFe<sub>3</sub>PにNiや4d遷移金属(Ru,Rh,Pdなど)をドーブすると磁気異方性が劇的に変化することが分かった。特にPdをドーブすると磁気異方性が容易面型から容易軸型に変化し、アンチスキルミオンが発現することが分かった。これらの系統的なデータから、アンチスキルミオンの安定性には容易軸型の磁気異方性エネルギーと静磁エネルギーのバランスが重要であることを明らかにした。

(参考) プレスリリース

[https://www.riken.jp/press/2021/20210126\\_1/](https://www.riken.jp/press/2021/20210126_1/)

[https://www.riken.jp/press/2022/20220125\\_1/](https://www.riken.jp/press/2022/20220125_1/)

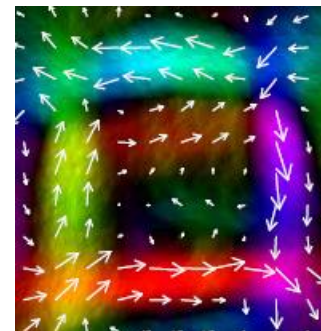


図2 ローレンツ透過型電子顕微鏡で観察されたアンチスキルミオンの磁場分布

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

本研究によるS<sub>4</sub>対称性を持つ(Fe,Ni,Pd)<sub>3</sub>Pにおける室温アンチスキルミオンの発見及びその安定化機構の解明は、物質例が限られていたために遅れていたアンチスキルミオン研究を大きく促進し、将来的な室温トポロジカル磁気構造を用いた磁気メモリー(図3)の実現に貢献すると期待される。

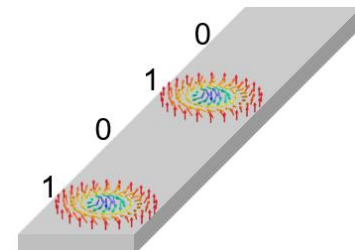


図3 トポロジカル磁気構造を用いた磁気メモリーのイメージ図