

平成 28 年 6 月 17 日

各報道機関文教担当記者 殿

## 「棄てる熱を使った発電」における新たな方法論 電子のスピンが生み出す巨大な熱電効果を予測

金沢大学理工研究域数物科学系の石井史之准教授らの研究グループ(計算物性研究室)は、**電子スピン(※1)の形成する渦構造の一種“スキルミオン”(※2)が巨大な熱電効果(※3)を生む可能性を計算機シミュレーションにより明らかにしました。**

電子スピンが形成する渦構造は、近年では、特に低消費電力スピントロニクス(※4)応用の観点から例えばパソコンのハード磁気ディスクの高性能化といった用途で注目を集めています。

本研究では、そのようなスピン構造について、従来とは別の形で省エネ技術に応用する道を示したものです。今後は、シミュレーションにより得られた本研究の知見をいかして、シリコン化合物などの**実際の材料における巨大熱電効果の実現を目指す研究が進んでいくことが大いに期待されます。**

本研究成果は、平成 28 年 6 月 16 日午前 10 時(英国時間, 日本時間平成 28 年 6 月 16 日午後 6 時)発行、英国ネイチャー出版グループのオープンアクセス電子ジャーナルである「Scientific Reports」に掲載されました。

なお、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(新学術領域「ナノスピン変換科学」、若手研究(B)、基盤研究(C))およびMEXT HPCI 戦略プログラム、金沢大学 先魁プロジェクトによる支援を受けて行われました。

\*\*\*\*\*

雑誌名：Scientific Reports

論文名：Large anomalous Nernst effect in a skyrmion crystal

(スキルミオン結晶における大きな異常ネルンスト効果)

著者名：Yo Pierre Mizuta, Fumiyuki Ishii (水田耀ピエール, 石井史之)

掲載日時：英国時間 平成 28 年 6 月 16 日午前 10 時(日本時間：同日 午後 6 時)に  
オンラインで公開

\*\*\*\*\*

## 【研究の背景】

環境と調和したエネルギー活用の重要性が社会的に高まる中、身近にあふれた廃熱を電気として回収して利用する“熱電変換”に期待が集まっています。その効率を高める試みの中で、通常は専ら、物体に熱を与えて生じた温度差により起こる熱の流れ・電子の流れの方向に電圧が生じる“ゼーベック効果”が利用されています。これまで、この効果を強める多くの工夫が研究され着実に成功を収めていますが、我々は、温度差によって起こる熱の流れ・電子の流れの方向と垂直に電圧が生じる“ネルンスト効果”を利用することで熱電性能を一層高められないかと考えました。

## 【研究成果の概要】

通常のネルンスト効果は電子の流れに対して、外から垂直方向に磁場をかけることで現れますが、我々が今回注目したのは、外から磁場をかける代わりに電子スピンの生み出す“磁場”が引き起こす「異常ネルンスト効果」です。この“磁場”は電子スピンのなす渦状の幾何学構造が“電子状態の幾何学構造”（※5）に転写されて現れる量子力学に起因した効果（※6）で、それが熱電変換にいかせたら面白いのでは、という着想でした。

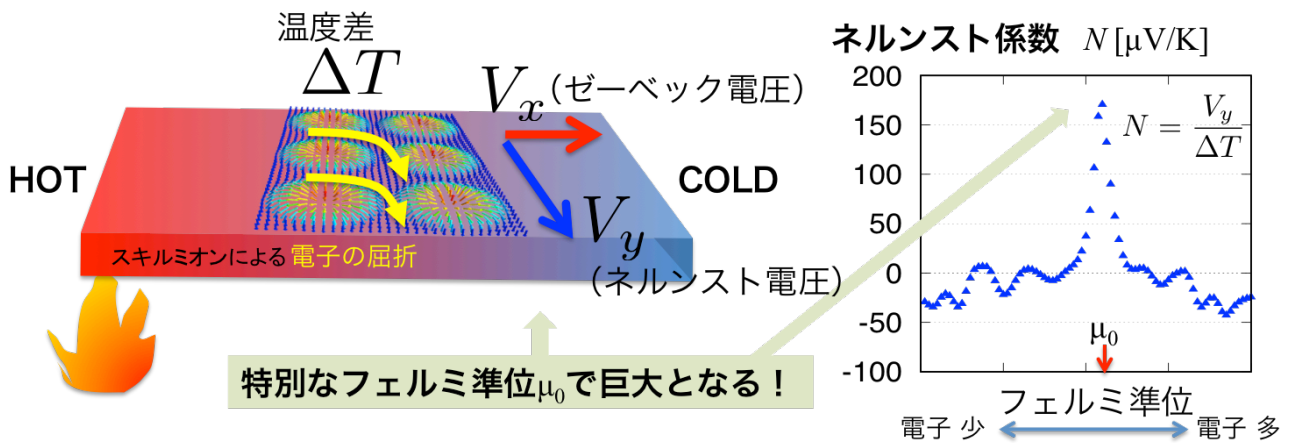
そこで、既存の研究において大きな異常ネルンスト効果の発現を予想させる結果が示されていた「スキルミオン結晶」のモデルについて詳細にシミュレーションすることで、異常ネルンスト効果の大きさを評価し、その効果を考慮して熱電係数を算出しました。

その結果、特別なフェルミ準位（※7）の場合に**巨大な異常ネルンスト効果が現れ、それが大きな熱電係数を生むことを見出しました。また、一つ一つのスキルミオンの半径を大きくするほどそれが大きくなることも見出しました。この効果を上手く制御できれば、従来のゼーベック効果を使うよりも効率の良い熱電変換が実現するかも知れません**。本研究は、実験からの情報に頼らず、固体の構造とその構成要素のみを用いて電子状態をシミュレーションしたのですが、スーパーコンピュータを更に大規模に活用することで、より複雑な現実的な物質に適用して同様の効果を調べることも可能となります。

## 【本研究成果で明らかにしたこと】

1. 電子スピンのスキルミオンが周期構造をなすことで、巨大な熱電係数が得られる。
2. この効果は、電子スピンと電子状態の幾何学的性質に起因する。
3. スキルミオンのサイズが大きいほど、大きな熱電係数が得られる。

## 【模式図】



## 【研究成果の意義】

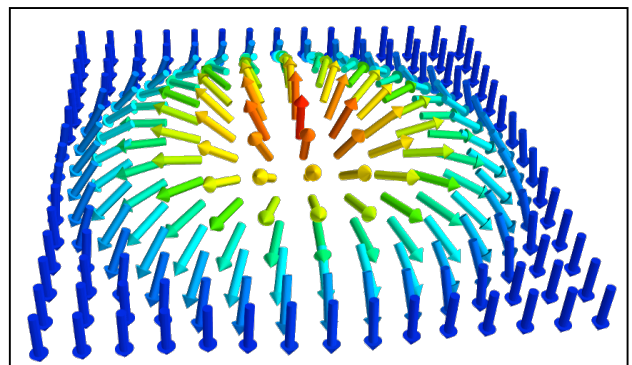
本研究成果について、応用科学の面からは、本研究で見出されたスキルミオン構造と大きな熱電係数との相関が、良い熱電材料をデザインする上で有用な指針になるという点です。本成果に基づき、高性能熱電材料の設計を目指すことができます。

基礎科学の面からは、電子スピンの形成するスキルミオン結晶という幾何学的構造が、(より抽象的な)電子状態の幾何学的性質を反映して“磁場”を生じさせ、それが大きな異常ネルンスト効果を生む、という量子力学由来の特異な現象を見出した点です。

## 【用語解説】

※1 電子スピン：電子が、あたかも自転して生み出しているような性質。磁性の源の一つ。

※2 スキルミオン (右図にその一種を示す)：電子スピン (矢印で表される) たちが形成する渦構造。



※3 熱電効果：試料に温度差をつけると、電圧が生じる効果。熱の流れ・電子の流れと平行な方向に電圧が生じる場合をゼーベック効果、熱の流れ・電子の流れの方向に対し垂直な方向に電圧が生じる場合をネルンスト効果と呼ぶ。

※4 スピントロニクス：エレクトロニクスが利用していた「電荷」に加えて、「スピン」も同時に制御することで、より高機能・高効率な素子の実現を目指す技術分野。

- ※5 電子状態の幾何学構造：異常ネルンスト効果は，電子の進む軌道が“磁場”によって曲げられる効果であり，この“磁場”は電子状態を表す波が住む空間の曲がった幾何学構造を示す。
- ※6 量子力学に起因した効果：異常ネルンスト効果は，電子を粒と考ただけでは理解できないもので，波としての性質を明らかにする量子力学ではじめて捉えられる。
- ※7 フェルミ準位：低エネルギー側から見ていくときに，ぎっしり詰まっていた電子状態に空きが出はじめるエネルギーの指標となる値。結果中の $\mu_0$ は，もともと入っていた電子の半分を抜き去った状態に対応する。

---

**【本件に関するお問い合わせ先】**

金沢大学理工研究域数物科学系 准教授

石井 史之 (いしい ふみゆき)

TEL : 076-264-6075

E-mail : ishii@cphys.s.kanazawa-u.ac.jp

**【広報担当】**

金沢大学理工系事務部総務課総務係 加納 奈美子(かのう なみこ)

TEL : 076-264-6826

E-mail : s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp

---