



2024年9月30日

報道関係者各位

慶應義塾大学

軌道流の伝導を制御することに成功 —電子技術の加速的進化につながる新発見—

慶應義塾大学基礎科学・基礎工学インスティテュート（KiPAS）および同大学院理工学研究科の高藤華助教（研究当時：KiPAS 研究員）と同大学理工学部の安藤和也准教授（KiPAS 主任研究員）らは、軌道流の伝導を制御することに成功しました。

電子には電荷・スピン・軌道という3つの性質があります。電荷の流れである電流の制御を基盤として、エレクトロニクスはこれまで発展を続けてきました。また、スピン流と呼ばれるスピンの流れを生み出すことができるようになり、これを制御しようとする試みが、次世代の電子技術であるスピントロニクス研究の発展に寄与してきました。さらに近年、電流とスピン流に対応する軌道流の重要性が明らかになり、最近のKiPAS研究などによって、軌道流を生み出す手法に関しては大きく進展してきました（関連プレスリリース参照）。しかし、生み出した軌道流を制御する方法はこれまで知られていませんでした。

今回、物質中の原子配列の状態によって軌道流を制御することに初めて成功しました。この研究成果は、軌道流の本質的理解に繋がるだけでなく、軌道流を用いた電子デバイス設計に重要な知見を与え、エレクトロニクスとスピントロニクスに続く、新たな電子技術の展開に貢献するものです。

本研究成果は9月27日午前10時（英国時間）に英国科学誌『*Nature Physics*』オンライン版に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- ・電流とスピン流に対応する電子の流れとして軌道流が近年大きな注目を集めている
- ・物質中の原子配列に注目することで軌道流の制御が可能であることを見出した
- ・今回の発見は、エレクトロニクス・スピントロニクスに続く、軌道流に基づく革新的な電子技術・電子物理を切り拓くための基盤となることが期待される

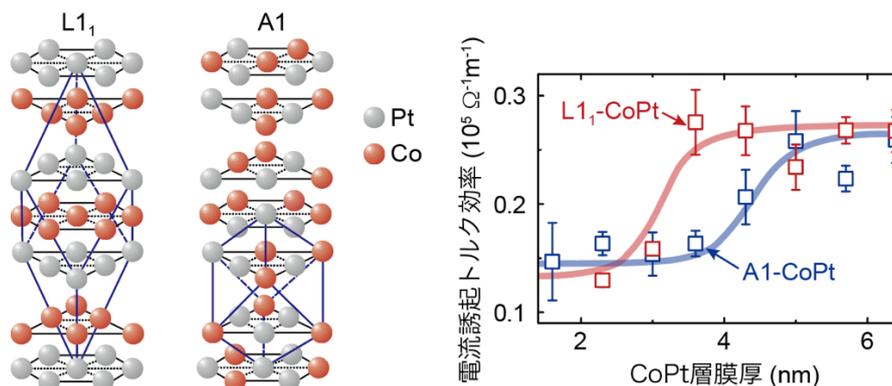
2. 研究背景

現代の電子デバイスは電子の流れの制御により機能しています。電子の持つ電氣的な性質である電荷の流れ、すなわち電流の制御を基盤としているのがエレクトロニクスです。また、電子には電荷だけでなく磁氣的性質であるスピンも備わっており、電流に対応するスピン流の制御によって、高性能・低消費電力な電子デバイスを実現する新たな電子技術としてスピントロニクスがあります。最先端のスピントロニクス研究では、スピン流が生み出すさまざまな物理現象が見出されたことでスピン流の基本的な性質が明らかになり、スピン流を自在に操るための基盤が構築されてきています。現在では、スピン流による次世代の記憶素子や新原理コンピューティング技術の研究が広く展開されています。

このようなスピントロニクスの研究において、近年、電子の持つもう一つの性質である軌道が担う軌道流の重要性が明らかになってきました。この進展は、電流とスピン流の制御に基づくエレクトロニクスとスピントロニクスに続く、新たな電子技術の展開を期待させるものです。しかし、軌道流の生成と検出原理は明らかになってきた一方で、電子技術への展開に必須となる軌道流を制御する原理は明らかではありませんでした。

3. 研究内容・成果

今回の研究では、コバルトと白金が原子レベルで規則的に配列している合金と、コバルトと白金の配列が不規則な合金の2種類について、軌道流が伝導する距離を測定しました。この結果、原子配列が不規則な合金の方が、軌道流は長距離伝導できることを見出しました。原子配列が乱れている方が軌道流の長距離伝導を可能にするという結果は直感とは反するものですが、縮退に近い量子状態が軌道流の伝導を担うというモデルでこの結果が説明できることが明らかになりました。



図：(左) コバルト (Co) と白金 (Pt) 原子が規則的に配列した L1₁-CoPt 合金と原子配列が不規則な A1-CoPt の模式図。(右) 軌道流が生み出す電流誘起トルクの生成効率と CoPt 層の関係。原子配列が不規則な A1-CoPt において、より厚い領域で電流誘起トルク効率が変化している。この結果は、軌道流の伝導長が、原子配列が不規則な方が長距離にわたることを示している。

4. 今後の展開

電子の流れを自在に制御しようとする試みは、物質中の電子の性質の本質的理解につながり、電子技術の発展に大きく寄与してきました。電流とスピン流の制御は、現代の産業を支えるエレクトロニクスと次世代の電子技術として期待されるスピントロニクスの基礎を成しています。本研究により、新たに軌道流の制御原理が明らかになったことは、軌道流に基づく革新的な電子技術や電子物理の展開を可能にする鍵となることが期待されます。

<原論文情報>

Tenghua Gao, Philipp Rüßmann, Qianwen Wang, Riko Fukunaga, Hiroki Hayashi, Dongwook Go, Takashi Harumoto, Rong Tu, Song Zhang, Lianmeng Zhang, Yuriy Mokrousov, Ji Shi, and Kazuya Ando

"Control of dynamic orbital response in ferromagnets via crystal symmetry,"

Nature Physics

DOI: 10.1038/s41567-024-02648-0

<関連プレスリリース>

軌道流を生み出す新現象「軌道ポンピング」の観測に成功

—電子技術の加速的進化につながる新現象—

<https://www.keio.ac.jp/ja/press-releases/2024/6/28/28-160107/>

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

- 研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 准教授 安藤 和也 (あんどう かずや)

TEL : 045-566-1582 E-mail : ando@appi.keio.ac.jp

- 本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (増田) TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>