



2024年6月28日

報道関係者各位

慶應義塾大学

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－

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林宏樹助教（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」を生み出す新現象「軌道ポンピング」を観測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、電荷とスピンの流れはそれぞれ「電流」と「スピン流」と呼ばれています。電流に基づく現代のエレクトロニクスは著しい発展を続けていますが、近年はスピン流という新たな概念に基づくスピントロニクスが電子技術の進化に新たな領域をもたらしました。一方、これらに対応する軌道流を生み出すことはこれまで困難でした。今回の研究により見出された軌道ポンピングは、エレクトロニクスとスピントロニクスに続く、軌道流に基づく新たな電子技術を切り拓くための基盤となることが期待されます。

本研究成果は6月27日（英国時間）に英国科学誌『*Nature Electronics*』オンライン版に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- ・電子の流れがつくる電流・スピン流・軌道流の中で、軌道流を生み出すことは困難であった
- ・軌道流を生み出す新現象「軌道ポンピング」の観測に成功した
- ・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、軌道流に基づく新たな電子技術・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

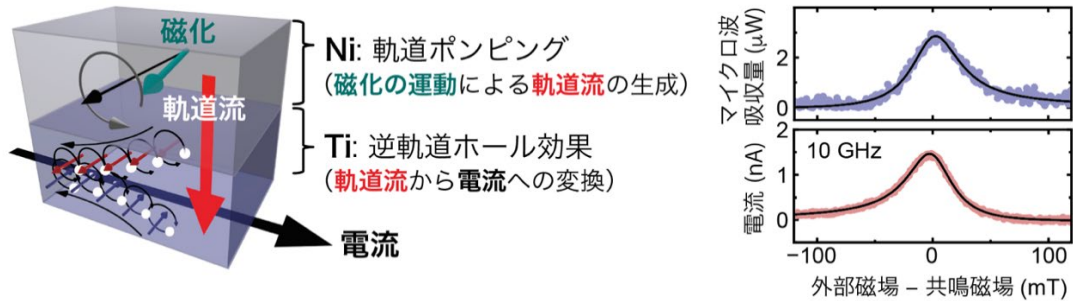
現代の電子デバイスは、電子の電氣的性質「電荷」を利用して動作しています。一方、電子は電氣的性質だけでなく、磁氣的性質「スピン」も持ち、電荷に加えてスピンを利用することで、高性能・低消費電力な電子デバイスを実現する新しい電子技術としてスピントロニクスがあります。電荷の流れである「電流」の自在な操作がエレクトロニクスの発展をもたらしたのに対し、スピントロニクスが可能にするさまざまな機能を担うのは、スピンの流れである「スピン流」です。最先端のスピントロニクス研究では、スピン流が生み出すさまざまな物理現象が見出され、スピン流の基本的な性質が明らかになってきたことで、スピン流を自在に操るための基盤が築かれつつあります。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、ごく最近になり、電子の持つもう一つの性質「軌道」の重要性が浮かび上がってきました。特に、電流・スピン流に対応する「軌道流」の存在が明らかになりつつあります。これは、エレクトロニクス・スピントロニクスに続く電子技術の新たな展開を期待させるものですが、軌道流を生み出すことは依然として困難でした。

3. 研究内容・成果

今回、磁性体（磁石）の磁化（N極/S極）の運動から、軌道流が生み出される新現象「軌道ポンピング」を観測することに成功しました。スピントロニクスでは、磁化の運動からスピン流が生み出される「スピンプンピング」という現象が知られていました。これに着想を得て、磁性体のニッ

ケルとチタンを組み合わせた試料においてマイクロ波により磁化の運動を駆動し、磁化の運動によって試料に生じる信号を測定しました（図）。この信号の構造・磁場・物質依存性を詳細に調べることで、軌道ポンピングを検出することに成功しました。



図：軌道ポンピングによる軌道流の生成・電流への変換の模式図と実験結果の例。実験結果の上段はマイクロ波の吸収スペクトル、下段は同時に測定した電流スペクトルである。磁化の運動が駆動される（マイクロ波が吸収される）と電流が現れており、これは軌道ポンピングが生成した軌道流から変換されたものである。

4. 今後の展開

スピン流に基づくスピントロニクス的发展において、スピンプンピングは重要な役割を果たしてきました。特に、この現象を利用することで、スピン流に起因する多彩な現象・機能が次々と明らかになっています。今回の研究により見出された、スピンプンピングの軌道版である軌道ポンピングは、軌道流に基づく新たな電子技術・電子物理を切り拓くための重要な基盤となることが期待されます。

<原論文情報>

Hiroki Hayashi, Dongwook Go, Satoshi Haku, Yuriy Mokrousov, and Kazuya Ando,
"Observation of orbital pumping,"

Nature Electronics

DOI: <https://www.nature.com/articles/s41928-024-01193-1>

※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 (望月) TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

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