



東北大学



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

TEL: 06-6877-5111(代)

www.osaka-u.ac.jp

Press Release

研究成果



2020年12月3日

分野：自然科学系 キーワード：物理学、物性、強相関系、高温超伝導

鉄アレイ型から四つ葉のクローバー型へ —鉄系超伝導体に現れた電子軌道スイッチング現象を発見—

【研究成果のポイント】

- ◆ はしご構造をもつ鉄系超伝導体において電子の軌道が入れ替わる“軌道スイッチング現象”を発見
- ◆ 電気の流れやすさがわずかに変わる小さな兆候を手掛かりに、磁場や歪みを制御することでこれまでの鉄系超伝導体でも例を見ない新しい電子軌道状態の存在を解明した。
- ◆ 電子軌道が切り替わることで物性を変化させる現象は、将来的に電子の軌道制御を介した新しい機能デバイスへの応用設計につながることを期待されます。

❖ 概要

大阪大学大学院基礎工学研究科の細井優助教(研究開始時;東京大学大学院新領域創成科学研究科博士課程大学院生)、東京大学大学院新領域創成科学研究科芝内孝禎教授、東北大学大学院理学研究科青山拓也助教、大串研也同教授らの研究グループは、東北大学金属材料研究所の研究グループと共同で、はしご構造をもつ鉄系超伝導体である硫化鉄化合物 BaFe_2S_3 (※1)において、これまでその起源が未解明であったわずかに電気伝導性が良くなる現象

が、ある電子軌道から別の電子軌道へ入れ替わる“軌道スイッチング”に由来していることを明らかにしました。これまでの研究において、磁気構造や結晶構造を調べてもこの新奇現象の兆候をとらえることができておらず、電子軌道が何らかの役割を担っていると推測されてきましたが、その正体はつかめないままでした。今回、細井助教らのグループは、磁場や歪みを加えて物質の応答を調べることにより、もともと鉄のはしご方向に広がっていた電子軌道が、はしごの脚方向に延びる電子軌道に切り替わりつつあることを解明しました(図1参照)。このような電子軌道の切り替わりによって物性が変わることを手掛かりにした、新しい機能デバイスへの応用が期待されます。

本研究成果は、米国科学誌「Physical Review Research」に、12月1日(日本時間)に公開されました。

❖ 研究の背景

2008年に日本において発見された鉄系高温超伝導体は、その超伝導発現機構をめぐって現在も精力的に研究されており、その謎を紐解くカギとして電子の持つ磁性や軌道が重要であると考えられてきました。この電子の持つ磁性や軌道によって高温超伝導以外にも磁気秩序や軌道秩序などのさまざまな新奇量子現象(※2)があらわれます。今回の研究では鉄系高温超伝導体の中でも、鉄原子がはしご状に2列に直線的に並んだ構造を持つ硫化鉄化合物 BaFe_2S_3 に注目しました。この物質は電子同士の相互作用が非常に強く働いており、

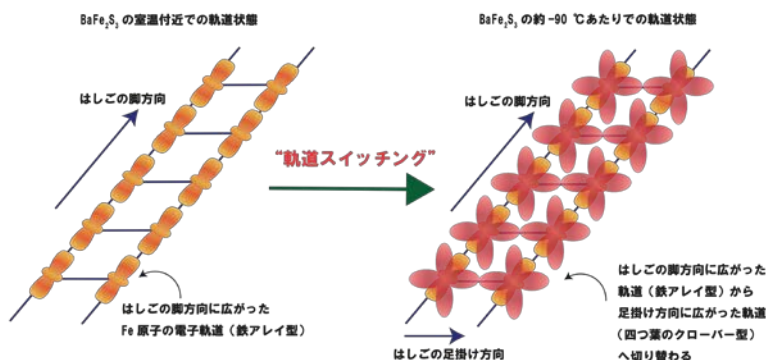


図1:今回明らかになったはしご型超伝導体における軌道スイッチング現象のイメージ図。



東北大学



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

TEL: 06-6877-5111 (代)

www.osaka-u.ac.jp

Press Release

もともと絶縁体に近い電気伝導性を示しますが、圧力を加えることで金属化して高温超伝導が現れることが報告されています。この BaFe_2S_3 という物質では -90°C あたりで電気伝導性が良くなる兆候が見られることから、何らかの電子状態変化の存在が示唆されてきました。しかしながら、磁気的な性質も結晶の構造にも大きな変化が見られないため電子の軌道状態に何らかの変化が起きていると推測されるものの、その起源は謎のままです。

細井助教らのグループは、磁場を様々な方向に加えたり、物質を歪ませたりした際の応答を詳細に調べました。その結果、未知の電子状態変化がある領域において、磁場の向きや歪みに対する応答が小さくなることがわかり、電子状態変化の存在を明らかにしました。さらにこの振る舞いから、もともとはしごの脚方向に鉄アレイのように伸びていた電子軌道が、はしごの足掛け方向に広がる四つ葉のクローバー型の電子軌道に切り替わりつつあることを解明しました(図1)。この軌道の切り替えを通じて電子軌道が空間的に広がることによって、電気伝導性が良くなることも説明できると考えられます。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

本研究成果により、電子軌道が別の軌道へ切り替わる軌道スイッチングが起こることで物性が変わることを明らかにしました。現代社会においてスマートフォンやパソコンなどの電子デバイスは欠かせないものとなりましたが、主に電子の電荷や磁気的な性質を応用されています。本研究により発見された軌道スイッチングの存在は、電子の軌道を制御することで新しい機能デバイスの設計につながることを期待させます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2020年12月1日(日本時間)に米国科学誌「Physical Review Research」(オンライン)に掲載されました。

タイトル: “Dichotomy Between Orbital and Magnetic Nematic Instabilities in BaFe_2S_3 ”

著者名: S. Hosoi, T. Aoyama, K. Ishida, Y. Mizukami, K. Hashizume, S. Imaizumi, Y. Imai, K. Ohgushi, Y. Nambu, M. Kimata, S. Kimura, and T. Shibauchi

なお、本研究は、科学研究費新学術領域研究(研究領域提案型)「量子液晶の物性科学」(領域代表: 芝内孝禎教授)[JP19H05823, JP19H05824, JP20H05162]の助成を受けて行われました。

❖ 用語説明

※1 はしご構造をもつ鉄系超伝導体である硫化鉄化合物 BaFe_2S_3

BaFe_2S_3 は鉄原子が2列に一直線状に並んだ、はしご構造を持つ結晶です。この物質は電子同士の相互作用が強く働いており絶縁体に近い電気伝導性を持ちますが、圧力を加えることで金属化し超伝導が現れることが報告されています。特にこの物質では常圧下では -90°C あたりで電気伝導性が良くなる兆候が見られており、何らかの電子状態変化の可能性が議論されてきましたが、その詳細はよくわかっていませんでした。

※2 磁気秩序や軌道秩序などのさまざまな新奇量子現象

物質の中にある最小単位の磁石である電子のスピンが、物質の中で規則的に並んだような状態を磁気秩序、原子の周りの電子雲の空間分布である軌道が規則的に配列したような状態を軌道秩序と呼びます。電子軌道には、球形、八の字型、鉄アレイ型、四つ葉のクローバー型など様々な形のものがあります。スピンや軌道が規則的に配列した秩序状態は電子同士に働く量子力学的な相互作用によって引き起こされるもので、そのメカニズムを明らかにすることや応用に役立てることが重要です。



東北大学



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

TEL: 06-6877-5111 (代)

www.osaka-u.ac.jp

Press Release

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究内容について>

大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教 細井 優(ほそい すぐる)

TEL:06-6850-6436 FAX: 06-6850-6436

E-mail: hosoi@mp.es.osaka-u.ac.jp

東北大学 大学院理学研究科 助教 青山 拓也(あおやま たくや)

TEL:022-795-6488

E-mail: aoyama@tohoku.ac.jp

東北大学 大学院理学研究科 教授 大串 研也(おおぐし けんや)

TEL:022-795-5556

E-mail: ohgushi@tohoku.ac.jp

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授 芝内 孝禎(しばうち たかさだ)

TEL:04-7136-3774

E-mail: shibauchi@k.u-tokyo.ac.jp

<報道対応について>

大阪大学 大学院基礎工学研究科 庶務係

TEL:06-6850-6131 FAX: 06-6850-6477

E-mail: ki-syomu@office.osaka-u.ac.jp

東北大学 大学院理学研究科・理学部 広報・アウトリーチ支援室

TEL:022-795-6708 FAX: 022-795-5831

E-mail: sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp

東京大学 大学院新領域創成科学研究科 広報室

TEL:04-7136-5450

E-mail: press@k.u-tokyo.ac.jp