



TOHOKU
UNIVERSITY

平成 27 年 11 月 5 日

報 道 機 関 各 位

国立大学法人東北大学 金属材料研究所

高温超伝導体の電荷秩序における 3 次元性を発見 —パルス超強磁場と X 線レーザーパルスの融合が拓く新地平—

〈概要〉

東北大学、スタンフォード線形加速器国立研究所、スタンフォード大学、ブリティッシュコロンビア大学を中心とする国際研究チームは、東北大学が開発した強力なパルス強磁場と地上で最強の X 線光源の一つである X 線自由電子レーザー、Linac Coherent Light Source: LCLS を組合せて、高温超伝導体における重要な謎として知られている電子が局在して作る電荷の波が、3 次元性を持つことを発見しました。本成果および本研究手法は、高温超伝導体発現機構の解明と超伝導材料の革新に繋がることが期待されます。

今回の報告は 2015 年 11 月 5 日 14:00 (アメリカ東部時間) に American Association for the Advancement of Science の学術誌である Science 誌 オンライン版に掲載予定です。

〈研究の背景〉

高温超伝導体の改良と発展は、低損失送電線、超高速コンピュータ、エレクトロニクスなどで社会に革新をもたらすものとして、開発競争が続けられています。現在使用されている MRI、加速器などの超伝導磁石を将来的に高温超伝導体に置き換えることも期待されています。

2012 年、Y 系高温超伝導体:YBCO^{*1}において、超伝導状態では物質の中で抵抗なく動き回る筈の電子が局在して静的な電荷の波:電荷密度波を作っており、それが磁場でより強固になる事が見出されて以来、その起源に多くの研究者が頭を悩ませてきました。なぜなら、電気抵抗のない超伝導状態と電荷の波の存在は全く矛盾する現象であるためです。

従来、この波は 2 次元的に配列していると低磁場の実験の報告から考えられてきましたが、様々な強磁場中の実験は、それと矛盾する結果を示しており、その全貌は謎とされてきました。電荷密度波の形を直接確かめるためには、強力な磁場の下で、強力な X

線を用いて、電荷の波が格子をほんの僅かに歪ませることによる極めて弱い信号を捉えることが必要で、それは不可能に近いと見なされていました。

〈成果の内容〉

国際研究チームは、数年にわたり、SLAC に設置されている地上最強の X 線光源の一つである X 線自由電子レーザー、Linac Coherent Light Source:LCLS と超強磁場を組み合わせる実験技術の開発に取り組んできました。

東北大学金属材料研究所のグループは、強磁場を中性子や X 線という量子ビームと組み合わせる実験の世界的なパイオニアであり、今回、その技術を活かして、医療用 MRI の数十倍の強磁場を千分の一秒の短時間に圧縮して発生する超小型のパルス磁場発生装置の開発に成功しました。これにより、強力な磁場の下で、強力な X 線を用いて、電荷の波が格子をほんの僅かに歪ませることによる極めて弱い信号を捉える手法を確立しました。

実験では、YBCO に超強力な磁場を短時間加えて超伝導状態を抑制し、瞬間的に強度を増す電荷秩序波の信号を、磁場と同期した超高輝度の X 線自由電子レーザー光をあてることで、直接捉えることに成功しました。その結果、これまで予想されていたのとは異なり、3 次元的な電荷秩序の波が存在し、それは 2 次元的な波より強磁場では支配的になり、超伝導ともより密接な関係があることが発見されました。これは、高温超伝導と電荷密度波が表裏一体の関係にあることを示しています。

この全く予想外の新現象は、これまで報告された高温超伝導体における電子の局在に関する様々な実験の間での不一致と未開研究領域を解消することで、その全貌の解明に指針を与えるものとなりました。

〈本研究成果の意義〉

今回見出された高温超伝導体の新しい性質は、発見から 30 年以上に渡って続けられている高温超伝導体の謎の解明に重要な里程を付け加えることとなりました。今後、今回開発した強力な新しいツールを用いて、この新発見が高温超伝導体に共通な現象かどうかをはじめとして、その全貌が明らかになれば、高温超伝導体発現の機構が明らかになり、超伝導材料の革新に繋がることが期待されます。

また、今回開発された手法により、高温超伝導体のみならず、様々な物質において磁場中で起こる結晶構造や電子構造変化を直接的に捉えることが可能になり、物質科学と材料科学の広範な分野での展開がもたらされると予想されています。

「この実験は、全く新しい X 線自由電子レーザーの利用法であり、今後、これまでとは全く次元の異なる多数の実験に道を開く斬新な結果です」と、LCLS の所長である Mike Dunne 博士はアメリカ版のプレスリリースの中で明言しています。

〈発表論文〉

雑誌名：Science

英文タイトル：Three-Dimensional Charge Density Wave Order in YBa₂Cu₃O_{6.67} at High Magnetic Fields

全著者：S. Gerber, H. Jang, H. Nojiri, S. Matsuzawa, H. Yasumura, D. A. Bonn, R. Liang, W. N. Hardy, Z. Islam, A. Mehta, S. Song, M. Sikorski, D. Stefanescu, Y. Feng, S. A. Kivelson, T. P. Devereaux, Z.-X. Shen, C.-C. Kao, W.-S. Lee, D. Zhu, J.-S. Lee

DOI: 10.1126/science.aac6257

〈特記事項〉

本研究は、東北大学金属材料研究所の国際共同研究センターのプロジェクト研究により支援されました。使用された磁場発生技術は、科学研究費助成事業：基盤研究(S)で開発されたものであり、研究には、博士課程教育リーディングプログラム(マルチディメンジョン物質理工学リーダー養成プログラム)の大学院生が参加し、国際共同研究の中で自律的に研究を遂行しました。

研究チームには、スタンフォード線形加速器国立研究所、スタンフォード大学、ブリテイッシュコロンビア大学、カナダ先端研究所、アルゴンヌ国立研究所の研究者が参加しました。

スタンフォード線形加速器国立研究所:SLAC, 住所:2575 Sand Hill Road, Menlo Park, CA 94025, USA は、光科学、天文学、素粒子物理学、加速器科学で先端研究を進める総合的国立研究機関であり、アメリカエネルギー省により運用されています。

本プレスリリースは、スタンフォード線形加速器国立研究所:SLAC のサイト www.slac.stanford.edu に連動して掲載されます。

〈専門用語解説〉

※ 1…Y 系高温超伝導体 (YBCO)

Y(イットリウム)Ba(バリウム) Cu(銅) O(酸素) からなる酸化物の高温超伝導体で、高い超伝導転移温度をもつ。磁場への耐性も強いことから実用化が期待されている超伝導材料。

〈写真〉

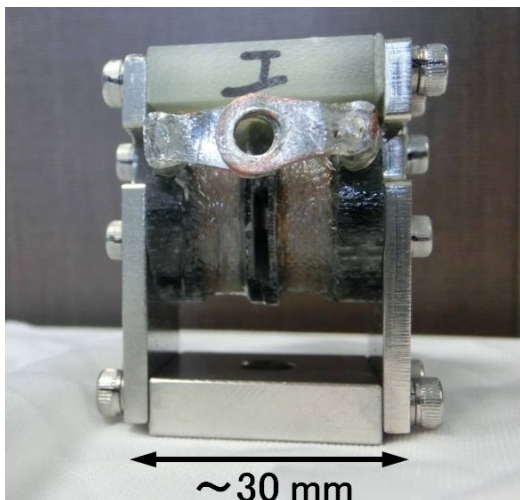


図 1 東北大学が開発した、X線自由電子レーザー用のパルス磁場コイル。小型化することで、X線レーザー装置への組み込みを可能にした。X線は、中央のスリットからコイル中心に入射される。



図 2 東北大学金属材料研究所が開発した小型パルス磁場発生用電源。軽量、コンパクトなため、空輸可能で、海外での実験に利用されている。

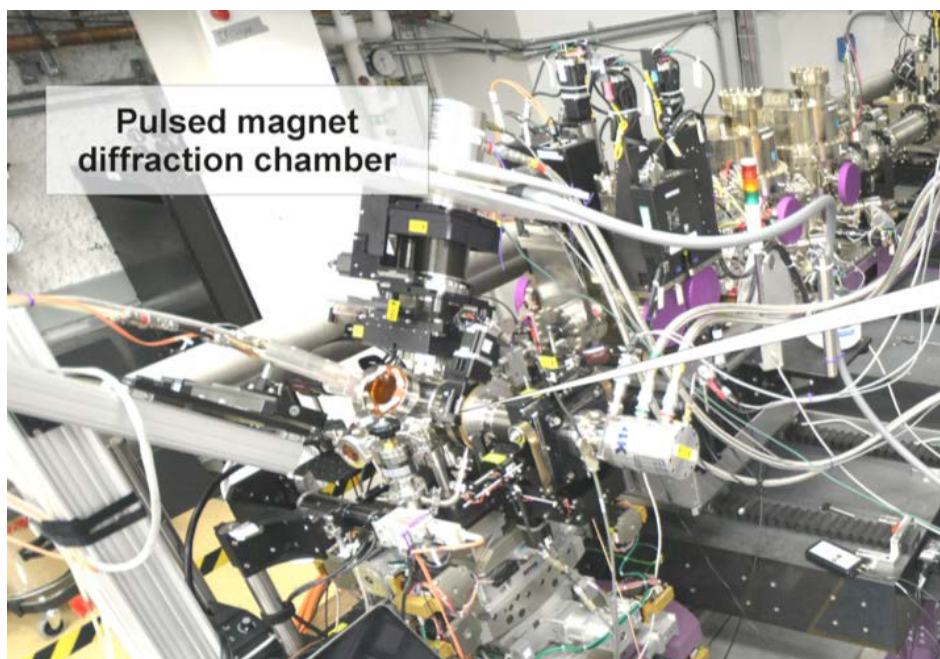


図3 LCLS におけるパルス磁場パルス X線レーザー回折実験装置の写真。図右上から入射した超強力な X線が、中央にあるチェンバーに入射され、それと同期してパルス磁場が超伝導体に印可される。

本件に関するお問い合わせ先

◆研究内容に関して

東北大学金属材料研究所

磁気物理学研究部門

教授 野尻 浩之 (ノジリ ヒロユキ)

TEL : 022-215-2017

Email : nojiri@imr.tohoku.ac.jp

◆報道に関して

東北大学金属材料研究所 情報企画室広報班

横山 美沙 (ヨコヤマ ミサ)

TEL : 022-215-2144 FAX:022-215-2482

Email : pro-adm@imr.tohoku.ac.jp