

これにより、超強磁場中で結晶が「のびちぢみ」する過程が明らかになり、特徴的な新たな電子磁気状態が存在することを確認しました(図 3) [6]。

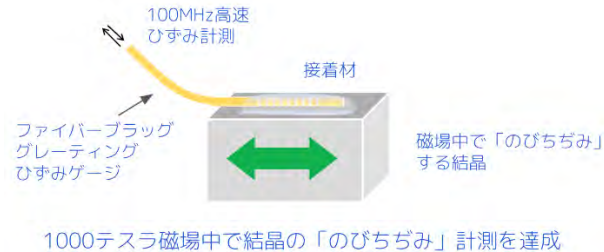


図 2 爆発を伴う超強磁場発生中に一瞬のうちに一発で「のびちぢみ」を計測するために利用した超高速ひずみ計測装置の概略図。計測対象の結晶側面に光ファイバーを接着します。光ファイバーはファイバーブラッググレーティングという「ひずみゲージ」の機能を持つものを使用しています。「のびちぢみ」はファイバーを通して離れた場所で検出します。特別に開発した 100 メガヘルツ超高速計測法を利用して、一瞬のうちに一発でひずみを計測します。

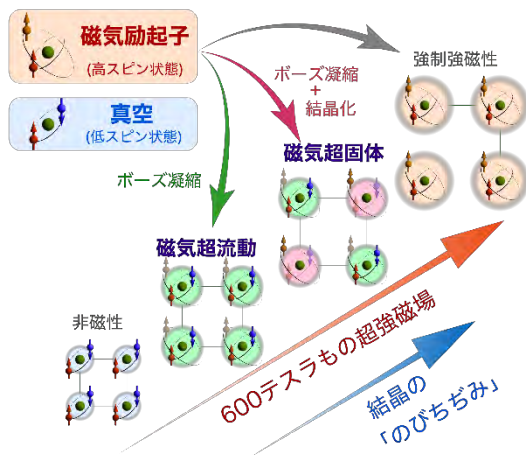


図 3 コバルト酸化物に超強磁場を印加することで新奇な磁気状態とそれらの間の相転移が生じる様子の概念図。LaCoO₃には「真空(低スピン)」と「磁気励起子(高スピン)」の状態があります。磁場をかける前はすべてのコバルトイオンが真空状態です。600 テスラまでの超強磁場をかけると変化が起こり、磁気超流動状態や磁気超固体状態が発現します。磁気励起子は結晶格子を押し広げる性質があるので、今回の「のびちぢみ」計測によりこれらの変化の兆候を観測しました。最終的にはすべてのコバルト酸化物が完全に磁化した状態になると期待されますが、今回はその観測には至っていません。

磁気励起子を有するコバルト酸化物の磁場誘起相転移は「のびちぢみ」を見れば観測することができます。超強磁場中で磁気励起子が固体を組んだ場合は、外部磁場の変化に対して結晶の「のびちぢみ」は起こらない一方で、超強

磁場中で磁気励起子が超流動状態や超固体状態になった場合は、量子力学的効果が強くなるために外部磁場の変化に応じて結晶が連続的に「のびちぢみ」することが従来予想されていました。

これらの成果は固体物理最大の難問の解決に向けた重要な糸口になります。さらに、LaCoO₃の基本的な性質を明らかにするもので、コバルト酸化物を用いた微小なスイッチなどのデバイス開発に大きく役立つ知見になると考えられます。

本研究で新たに見つかった超強磁場で起こる磁気励起子の秩序状態には、未解明な点がまだ多くあります。今後は X 線自由電子レーザーを用いて 100 テスラ領域における微視的な研究を行い[7, 8]、その詳細を明らかにする予定です。ファイバーブラッググレーティングを利用した超高速ひずみ計測法は、超伝導体から金属まであらゆる固体物質に適用できるため、超強磁場の発生と計測技術を併用することによって、1000 テスラ級の超強磁場においてさらに新たな電子状態や相転移などが発見できると期待されます。

参考文献

- 1) Jan Kuneš, J. Phys.: Condens. Matter **27** 333201 (2015).
- 1) A. Ikeda, T. Nomura, Y. H. Matsuda, A. Matsuo, K. Kindo, K. Sato, Phys. Rev. B **93**, 220401(R) (2016).
- 3) A. Ikeda, T. Nomura, Y. H. Matsuda, S. Tani, Y. Kobayashi, H. Watanabe, K. Sato, Rev. Sci. Instrum. **88**, 083906 (2017).
- 4) A. Ikeda, Y. H. Matsuda, K. Sato, Phys. Rev. Lett. **125**.177202 (2020).
- 5) D. Nakamura, A. Ikeda, H. Sawabe, Y. H. Matsuda, and S. Takeyama Rev. Sci. Instrum. **89**, 095106 (2018).
- 6) A. Ikeda, Y. H. Matsuda, K. Sato, Y. Ishii, H. Sawabe, D. Nakamura, S. Takeyama, J. Nasu, Nat. Commun. **14**, 1744 (2023).
- 7) A. Ikeda, Y. H. Matsuda, X. Zhou, T. Yajima, Y. Kubota, K. Tono, M. Yabashi, Phys. Rev. Research **2**, 043175 (2020).
- 8) A. Ikeda, Y. H. Matsuda, X. Zhou, S. Peng, Y. Ishii, T. Yajima, Y. Kubota, I. Inoue, Y. Inubishi, K. Tono, M. Yabashi, Appl. Phys. Lett., **120**, 142403 (2022).