

新・超伝導状態：ウラン系超伝導体だからできる磁場と超伝導の関係の解明

超伝導体の単結晶の超純良化で、磁場の間に新たな超伝導状態を発見→磁場で性格が変わる超伝導

課題 超伝導体のニュータイプ「トポロジカル超伝導体」では、強磁場中でも超伝導が壊れない
しかし、磁場に強い超伝導の特性が、強磁場中でどう変化するかは不明だった

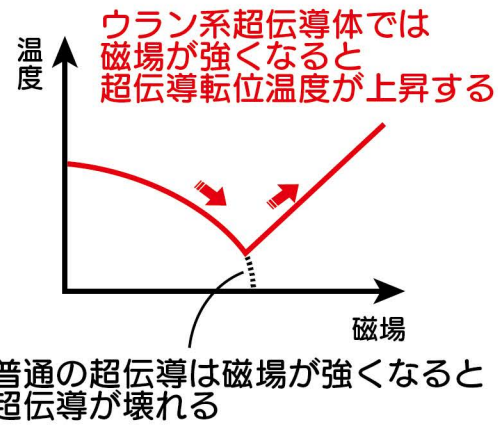
成果 超伝導体の超純良単結晶を使用することで、超伝導の性質を精密に調べることが可能に！
低磁場の超伝導と高磁場の超伝導との間に、両者が混ざった新しい超伝導状態を発見！

今回の結果の要約

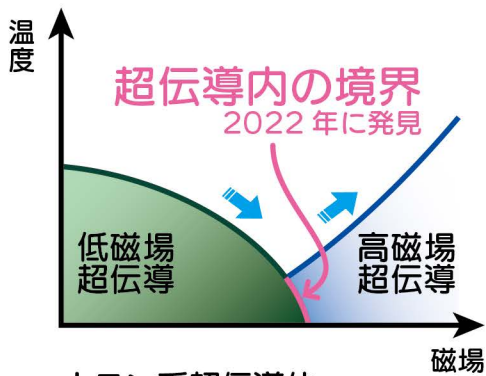
ウラン系超伝導体



量子コンピュータへの応用が期待される「トポロジカル超伝導体」と呼ばれる新しいタイプの超伝導体の候補



これまで分かっていたこと
分かっていたこと

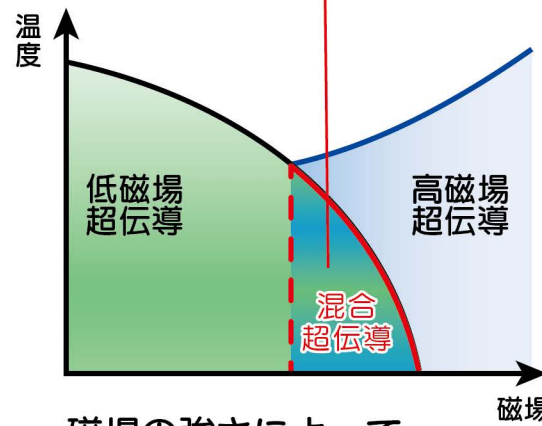


ウラン系超伝導体：
・低磁場の超伝導状態
・高磁場の超伝導状態
の2種類の超伝導状態がある

2種類の超伝導状態がどのように変化していくかは不明

今回分かったこと

新しい超伝導状態の発見！



磁場の強さによって性格の異なる超伝導状態に変化していく

想定される活用例

今回発見した「新しい超伝導状態」も含め、多様な超伝導状態を制御することができれば、次世代量子コンピュータ用の新しい超伝導量子デバイスの開発へ！

補足説明

超伝導って、なに？

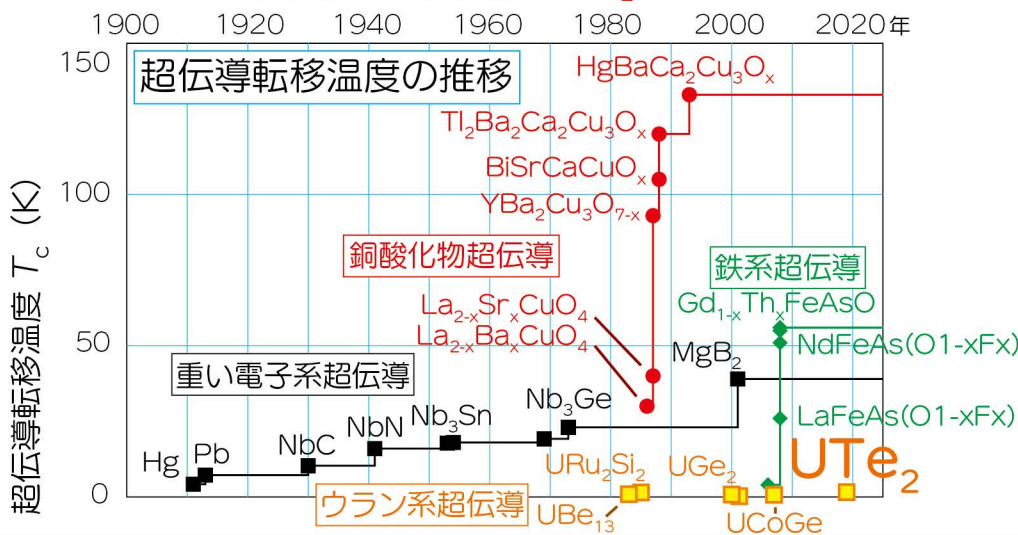
超伝導とは？



- 物質の温度を下げていくと、ある温度を境に電気抵抗がなくなる現象
- 超伝導は一般的に磁場に弱い
- 超伝導になる温度 ⇒ 「転移温度」 (「超伝導転移温度」とも) T_c と書くことが多い

超伝導の歴史

- 1911年、水銀で超伝導現象を初めて発見
- 1983年、ウラン系超伝導の発見
- 1986年、銅酸化物超伝導現象の発見 転移温度が急上昇
- 2006年、鉄系超伝導の発見
- 2019年、ウランテルル化合物 (UTe₂) で超伝導現象の報告



期待される超伝導

- 社会の様々な面で超伝導の実用化が求められている

実用化の例

リニアモーターカー 送電ケーブル



量子コンピュータ



MRI

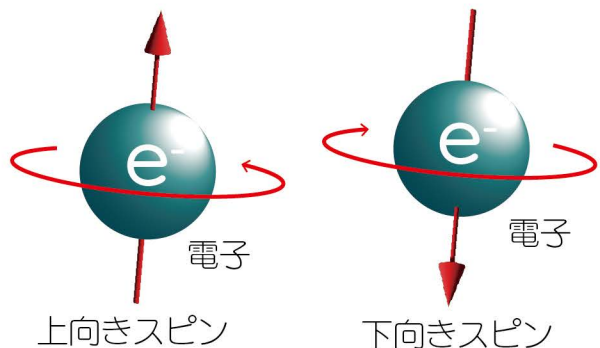


加速器



スピンと超伝導

スピンとは？



- 電子の自転により生じる磁気的な性質
- 上向きスピンと下向きスピンがある

スピンと超伝導 通常の超伝導



スピン一重項
= スピンは互いに逆向き
= スピンを打ち消しあう

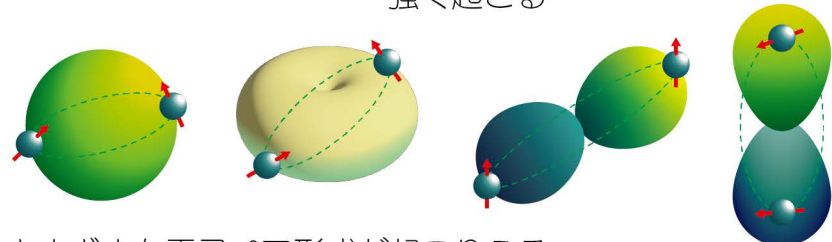
等方的なペア形成
= 電子ペア形成がどの方向から見ても同じように起こる

スピン三重項超伝導



スピン三重項
= スピンは互いに同じ向き
= スピンを打ち消しあわない

異方的なペア形成
= 電子ペア形成がある特別な方向に強く起こる



さまざまな電子ペア形成が起こりえる
UTe₂の超伝導はスピン三重項超伝導と考えられる

ウラン系超伝導

通常の超伝導

||

磁場と相性が悪い

→強磁場環境下では超伝導が壊れる

ウラン系超伝導体

||

磁場に強い!

現在までに確認されている
ウラン系超伝導体

URu₂Si₂、UCoGe

UGe₂、UTe₂ etc...

ウラン系超伝導体：UTe₂

ウランテルル化物：UTe₂

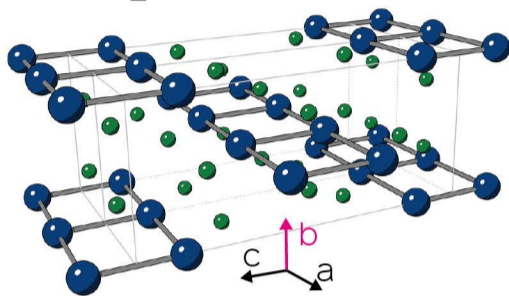
ウラン系超伝導体：多くは強磁性超伝導体

UTe₂：強磁性に近い常磁性超伝導体

トポジカル超伝導体*の候補物質

*量子コンピュータへの応用が期待される新しいタイプの超伝導体

UTe₂の結晶構造



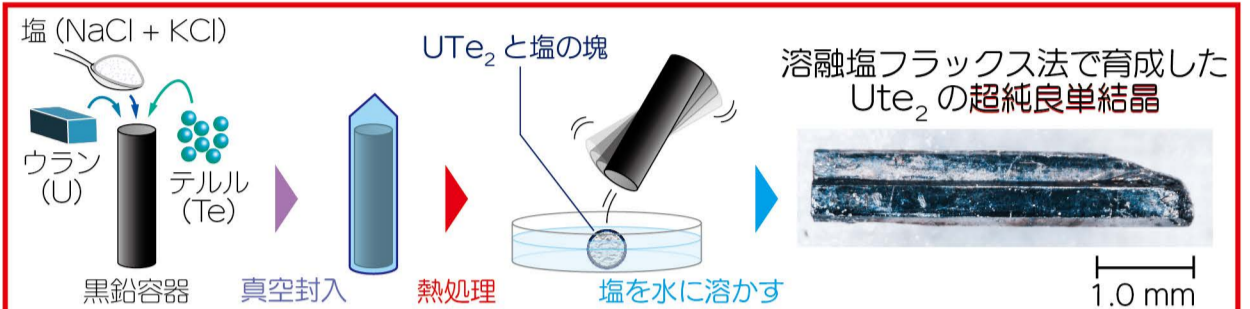
磁場をかける方向によって超伝導の発現の仕方が変わる
UTe₂では、図中のb軸方向に磁場をかけたときに
超伝導が最も強くなる

UTe₂の単結晶

わずかな格子欠陥で超伝導性能が低下
既存の結晶育成方法では良い結晶ができない

溶融塩フラックス法

結晶の育成方法を改善
→超純良結晶を作成 **2022年に発見**



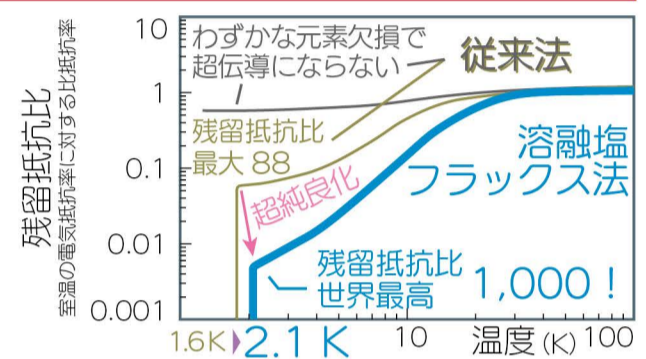
結晶の欠損を限りなく除去

超伝導転移温度が向上

T_c = 1.6 K → **2.1 K**

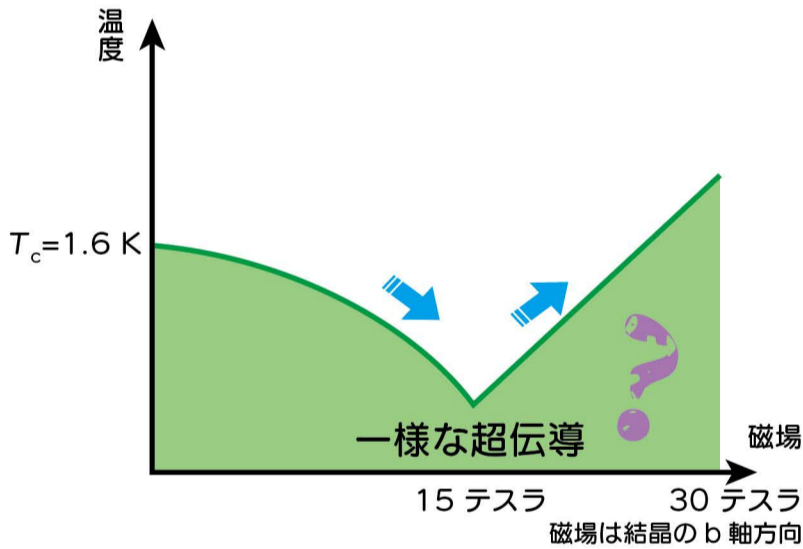
残留抵抗比の大幅な向上

88 → **1,000**

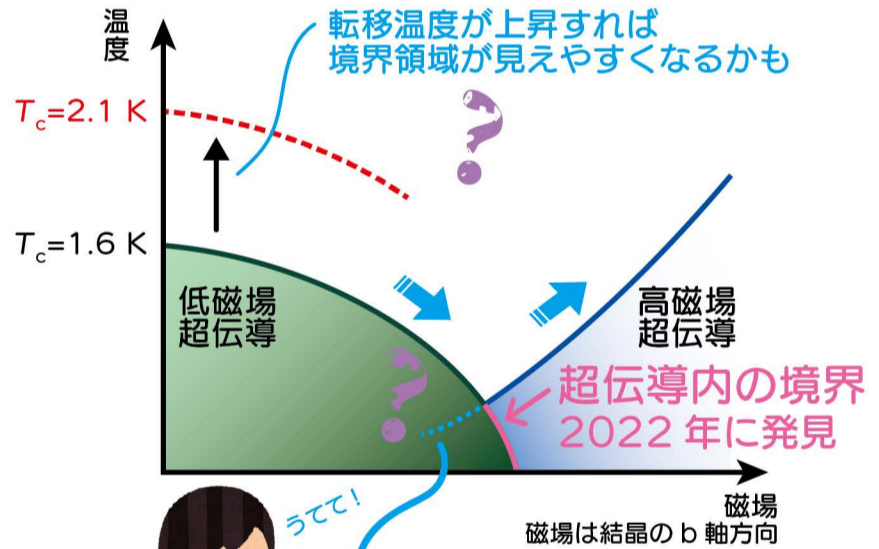


UTe₂の磁場と温度の関係に対する理解の変遷

2019年ごろ (UTe₂超伝導発見当初)



2022年ごろ (本研究直前)

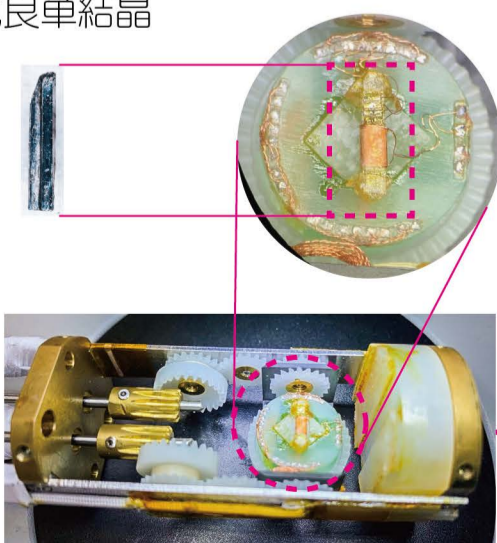


うてて!
UTe₂の超伝導内には
もう一つ境界があるはず!

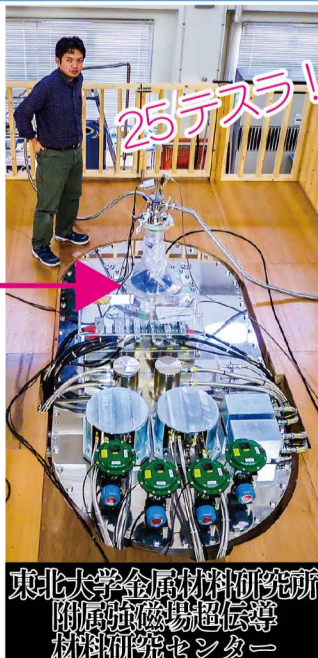
UTe₂で新しい超伝導状態を発見

UTe₂の
超純良単結晶

電氣的、磁氣的応答を
同時に測定

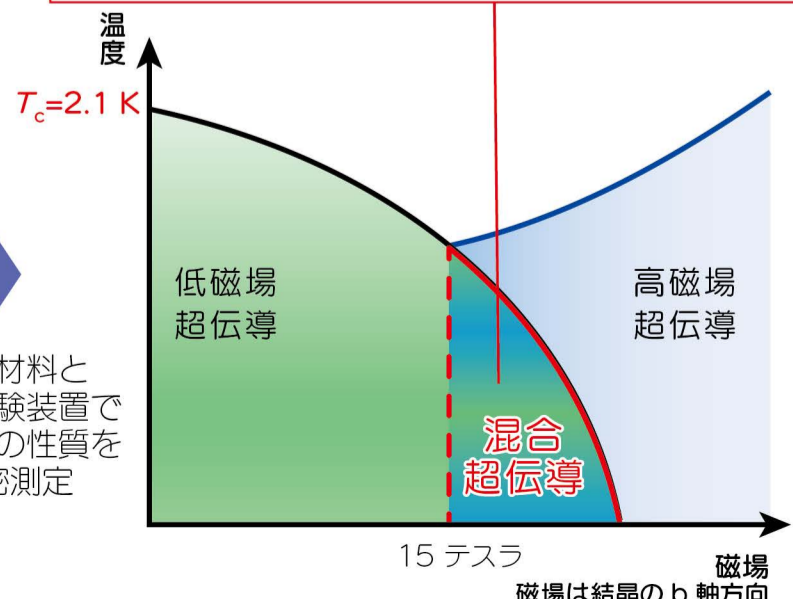


試料を磁場中で精密に回転させて測定



無冷媒超伝導磁石
無冷媒としては世界最高の磁場を発生

新しい超伝導状態の発見!



スピントリニ重項トポロジカル超伝導体
であることの裏付け