

3-3 ウラン化合物の超伝導と電子のゆがみ —電子系のゆがみが引き起こす URu₂Si₂ の超伝導—

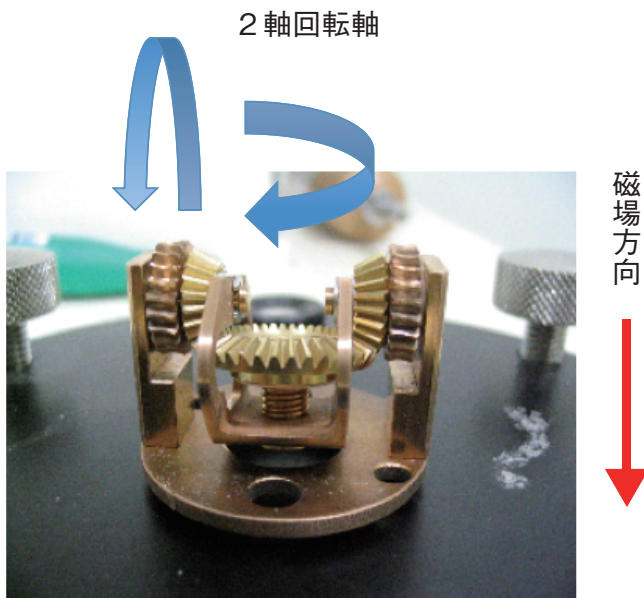


図3-6 X軸とY軸を独立に2軸回転できる試料ステージ
一定の方向にかけた磁場の中で試料を回転させて磁場の向きで物質の性質がどう変わるかを調べることができます。本研究では物質内の磁場分布に比例するNMRスペクトル幅を測定しました。

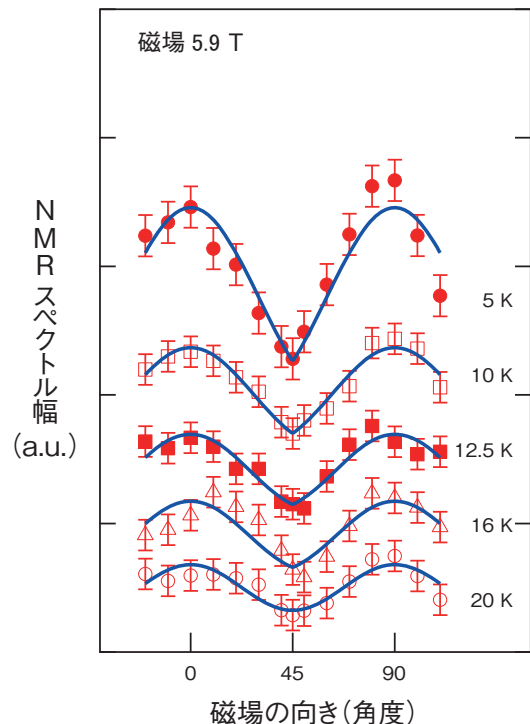


図3-7 NMR スペクトル幅の磁場方向依存
45度に見れる鋭いピークが2対称性に起因します。低温(17.5 K 以下)で変化が大きくなります。

超伝導状態では二つの電子が対となって超伝導電子ペアを組みます。このペアを形成するには電子がお互いに引き合う、引力が必要です。従来の超伝導体では、この引力の起源は結晶格子の振動を介して電子同士が引き合うことでした。しかし、ウランやネプツニウムなどを含む超伝導体では、磁気揺らぎがその起源となっていると考えられています。揺らぎは、ある量が変動する現象です。磁気揺らぎから誘起される特異な超伝導では、従来の超伝導に比べて高い超伝導転移温度が期待できるので、その起源の解明は重要な課題です。

超伝導体 URu₂Si₂ は、約 2 K (-271 °C) で超伝導になりますが、それより高温 (2 K から 17.5 K (-256 °C)) で“隠れた秩序”と呼ばれる状態があります。超伝導はこの秩序状態下で起きるので、この状態の磁気揺らぎが超伝導を引き起こしていると考えられますが、長年隠れた秩序は未解明であり、固体物理の難問のひとつになっています。この超伝導体の通常状態 (17.5 K 以上) では、電子系と結晶格子は 4 回対称になっています。最近、隠れた秩序状態では、電子系が 2 回対称にゆがんでいることが分かってきました。しかし、そのゆがみの大き

さは正確には分かっていませんでした。本研究では、核磁気共鳴 (NMR) 法を用いてその電子系の 2 回対称のゆがみを正確に見積もることを目指しました。この目的のために磁場下で試料を正確に回転させるためのステージを開発しました(図 3-6)。このステージを用いて物質内の磁場分布に比例する NMR スペクトル幅を測定した結果、磁場方向によってスペクトル線幅が、低温の隠れた秩序状態で大きく変化することを発見し、この変化の値から電子系の 2 回対称のゆがみが従来考えられていた値よりは小さいことを発見しました(図 3-7)。

URu₂Si₂ の新奇超伝導は、隠れた秩序状態での 2 回対称のゆがみの揺らぎによって引き起こされていると推測されており、本研究によってその機構解明が大きく前進すると考えられます。室温で超伝導になる高温超伝導物質が見つければ、リニアモーターへの応用など大きな社会的インパクトがあるため、その開発努力が続けられています。今後は、様々なアクチノイド化合物について、超伝導が磁気揺らぎから誘起される発現機構を明らかにしていきたいと考えています。

●参考文献

Kambe, S. et al., NMR Study of In-Plane Twofold Ordering in URu₂Si₂, Physical Review Letters, vol.110, issue 24, 2013, p.246406-1-246406-5.