

識別番号 P 7

2010 年度完了学内共同研究

研究課題 有機超伝導体・高温超伝導体における磁束状態と安定化の新展開

研究代表者 後藤貴行（理工学部機能創造理工学科）

共同研究者 中村一也（理工学部機能創造理工学科）

高尾智明（理工学部機能創造理工学科）

Summary To achieve a high critical current for superconducting wires, strong pinning force on superconducting flux lines is required. For the fundamental understanding of pinning mechanism in superconducting materials, we utilize NMR method that detects spatial distribution as well as dynamical motion of flux lines inside superconductor. In this report, we propose a new in-situ experiment of measuring NMR signal in superconducting materials with a high current applied. By the investigation of the flux-lines motion in the vicinity of the critical current, we expect to obtain key parameters for pinning centers to achieve higher critical current.

#### 研究目的

超伝導電磁石や送電に応用される第二種超伝導体が高い臨界電流を持つためには、ピン止め中心の導入が不可欠である。しかし、ピン止め中心としてドーピングされた不純物原子のミクロな電子状態はこれまで殆ど調べられておらず、ピン止め中心がボルテックスを捕らえるメカニズムは現象論的にしかわかっていない。ボルテックス内部の電子状態についても、エネルギー準位の離散化が起こっているのかという基本的な問題が依然未解決のままである。ボルテックス芯の電子状態が半導体的であるか、或いは金属的であるかという問題は、ピン止めの働きをミクロに解明する上で極めて重要であり、高臨界電流線材の開発という応用面での期待も大きい。

本研究では、ピン止め中心による磁束捕捉の効果及び、通電によるデピニングのダイナミクスを、NMR によって捉え、これを臨界電流の実験データにフィードバックすることにより、どのような電子状態を持ったピンが、ピン止め中心として最も有効であるかを調べ、ピン止めのミクロな機構を明らかにし、高臨界電流密度線材の指針を得る。

#### 研究の方法・内容と共同研究員の役割分担

- 1) ランタン系高温超伝導体(LSCO)、有機超伝導体( $\kappa$ -(BEDT-TTF) $2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ )、そして実用線材である NbTi, Nb<sub>3</sub>Sn の各試料について、臨界温度以下の低温で、Cu/La/C/Sn 核等の NMR スペクトルを測定し、内部磁場不均一によるブロードニングパターンから磁束格子が形成されていることを確認する。〔後藤〕
- 2) 超伝導体試料に臨界電流付近の大電流を通電状態にし、NMR スペクトルの変化（磁束格子の運動によるナローイング）、及び縦緩和時間の臨界発散を検出し、磁束格子のフローに関する知見を得る。〔高尾・後藤〕

3) 得られた結果を、臨界電流のデータを比べることで、どのような電子状態を持ったピン止め中心が最も有効であるかを検討し、ピン止めのミクロな機構を明らかにする。〔中村・後藤〕

#### 今年度の研究成果

有機超伝導体( $\kappa$ -(BEDT-TTF) $2\text{Cu}(\text{NCS})_2$ )において臨界温度以下の低温で、 $^1\text{H}$ 核の NMR スペクトル及び T1 を測定した。通常の超伝導体では、固体相は低磁場域からマイスナー相、ブラッグガラス相、ボルテックスガラス相の三つの相からなる。臨界磁場以下の全ての磁場域において、低温極限では固相に転移する。しかし、二次元性が強く、量子揺らぎの顕著な本系では、高磁場域で絶対零度の極限まで、固化せず、vortex slush 相が現れるという予想がある。

本研究において、液体相から vortex slush 相に変化する際の縦緩和曲線の曲率の温度変化を測定した結果、高温の磁束液体相で緩和曲線の立ち上がりは有限な曲率を示し、QVL 相で直線となった。一般に、均一な系では  $^1\text{H}$ 核の緩和曲線の立ち上がりは直線的になるため、本系での測定は、vortex slush 相の方が液体相に比べて不均一になっているという、一見、奇妙に見える結果を与える。一見、奇妙に見えるこの結果は次のように説明される。核スピン緩和曲線が冪的になる現象は、たとえば、希薄磁性不純物を含んだ系で良く知られている。そのような系では、緩和中心である磁性不純物と dipole-dipole 相互作用によって核スピン緩和が進行するが、その速さは両者間の距離に強く依存するため、核スピンは各々の位置によって、緩和の進行速度が異なり、空間的に不均一な状態となり、これが冪乗的な緩和曲線の原因である。本系は slush 相において磁束格子の微小クラスターが多数出現することにより、全体的な空間不均一が小さくなった可能性がある。

なお、低磁場域ではボルテックスガラス相に相転移し、そのようすは、 $1/T_1$  の明瞭な臨界発散と、スペクトルのブロードニングによって確認された。今後、超伝導試料に乱れを導入した場合の vortex slush 相の振る舞いについて検証を進めて行く。

#### 謝辞

本研究は、「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」ならびに「上智大学学内共同研究」の支援を受けて行われました。