

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：核磁気共鳴(NMR)実験によるオキシニクタイト化合物の研究

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）：

研究代表者

石田 憲二（京都大学 教授）

3. 研究実施概要

本研究課題では、FeAs 系高温超伝導の特性を明らかにするために、常伝導状態の磁気励起、磁気相と超伝導相の関係、磁気励起と超伝導の相関、超伝導ギャップの構造、超伝導対の対称性について検討を行った。まず LaFeAs(O_{1-x}F_x)について、¹³⁹La、⁷⁵As-NMR を行い、その特性を調べた。その結果、LaFeAs(O₁F)において低励起反強磁性ゆらぎと超伝導には関連がみられないことから、122 系と相図が異なることを明らかにした。次に BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂において、常伝導の磁気励起と超伝導の関係を P-NMR 測定により検討し、BaFe₂(AsP)₂が他の強相関電子系超伝導に類似した量子臨界磁気励起と超伝導との関連すること（122 物質に共通の性質）を見出した。また、反強磁性相と超伝導層が微視的に相関していることから、反強磁性モーメントが超伝導転移後に減少していることを明らかにした。さらに、LaFeAsO_{1-δ}における Zn の不純物効果をみるため、Zn による T_c抑制の原因を La と As 核の NMR 測定を行ったところ、T_c抑制の原因は Zn による非磁性効果の可能性であることが示唆されたことから、ドーピングする不純物によって超伝導体に対する影響が大きく異なることを指摘した。また、1111 構造の LaCoPO における二次元遍歴強磁性状態についても、P-NMR を用いて微視的に調べ、この物質が T_{Curie} 以上で、二次元強磁性ゆらぎを持つことを明らかにした。また、2 次元構造に起因した新奇物理現象を探索する狙いで、重い電子系である CeFePO について、低温電子状態を広い磁場領域で調べ、μH_{Cri} ~ 4T において磁場誘起量子臨界現象が生じることを見出した。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果

本研究課題では、次のような成果が得られた。

①鉄系超伝導体为非従来型超伝導体であることの指摘

LaFeAs(O_{1-x}F_x)の超伝導発見直後、超伝導状態の核スピン-格子緩和率(1/T₁)を測定した。鉄系超伝導の 1/T₁ には、通常の超伝導体に見られる転移直下のコヒーレンスピークや指数関数的温度依存性が見られないことを見出し、非従来型超伝導と考えられることを指摘した。

②122 構造の BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂ における磁気ゆらぎと超伝導の相関

BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂ では As サイトを同価数の P で置き換えることで、磁気相から超伝導相に変化させることができる。この系において P-NMR を行い、磁気ゆらぎが低温でもっとも大きくなる P 濃度で最高の超伝導転移温度を示すことを見出し、磁気ゆらぎと超伝導の相関を指摘した

③BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂ における磁気秩序と超伝導の共存、競合

磁気相と超伝導相の境界に位置する試料において、磁気秩序と超伝導の関係を微視的に調べた。その結果、磁性と超伝導がミクロに共存していることを示した。さらに超伝導転移以下の温度で磁気モーメントが減少することも明らかにし、少なくともあるフェルミ面では磁性と超伝導は競合関係にあることが考えられる。

4-2. 総合的評価

LaFeAs(O_{1-x}F_x)(1111系)やBaFe₂(As_{1-x}P_x)₂(122系)の超伝導状態、磁気的狀態を主にNMRを測定手段として調べようとしたプロジェクトである。プロジェクトがスタートして、まずはLaFeAs(O_{1-x}F_x)のLa, AsのNMR測定を行ったが、この物質では、反強磁性スピン揺らぎと超伝導の間の相関は弱く、その点でも122系とは異なる傾向を示している。その後、BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂の主としてPのNMR測定に集中した。特に、1111系とは違って、ストライプ構造の反強磁性スピン揺らぎと超伝導転移温度の間に正の相関があり、超伝導発現がスピン揺らぎによることを示唆するデータを得ている。また、最高のT_c(31 K)の試料において、緩和率の温度依存性から超伝導ギャップにノードがあることを指摘し、超伝導ギャップ構造に関して、122系の中でもBaFe₂(As_{1-x}P_x)₂の特異性を明らかにした。NMRによる研究として質の高いデータを出し、物質群間の相違点を明らかにしたことは評価できる。申請者は主にスピンゆらぎの立場からアプローチしているが、より広い立場から軌道ゆらぎについても知見を得ようとしており、この計画が成功し、物質群間の類似性、相違性をより明確にできることを期待する。