

研究課題名

Fe(Se_{1-x}Te_x)_yの磁気揺らぎの中性子散乱研究

研究代表者名

九州工業大学・大学院生命体工学研究科・飯久保 智

研究分担者名

東北大学・金属材料研究所・藤田 全基

1. はじめに

超伝導転移温度 T_c が 50K を超える新規 Fe 系高温超伝導体は、その超伝導発現メカニズムに関して大きな注目を集めている。その高い T_c に寄与している具体的な要因を、実験的に明らかにすることは最重要課題であるといえる。本研究ではこの系の超伝導が磁気秩序相の近傍で発現していることに着目し、新規 Fe 系高温超伝導体の磁気揺らぎの研究を系統的に行うことで、超伝導発現メカニズムに対する情報を得ることを目的としている。

2. 研究経過

前年度は Fe(Se_{1-x}Te_x)_y 系の粉末試料について磁気揺らぎを調べ、他の FeAs 系の超伝導相に共通する波数ベクトルの磁気揺らぎを観測した。この結果は、磁気揺らぎが超伝導に果たす役割が重要であることを示唆していると考えている。一方で、粉末試料であるために詳細な議論するには測定制度が十分ではなく、また波数ベクトルの方向に関する情報が失われていた。そこで本年度は単結晶を用いて、磁気揺らぎの詳細な性質を明らかにすることを目的とした。Fe(Se_{1-x}Te_x)_y は、 $T_c \sim 14K$ とやや低いながらも最も単純な結晶構造を持ち、他の鉄系超伝導体よりも単純な物性が観測されると期待されることから今年度もこの系について調べた。実験には東北大所有の中性子散乱装置、AKANE と TOPAN を使用した。実験に用いた試料は、超伝導を示す FeSe_{0.45}Te_{0.55} と、反強磁性を示す Fe_{1+x}Se_{0.45}Te_{0.55} の二つを用いた。

3. 研究成果

逆格子空間の (hk0) 面における測定を行い、両者に対して特徴的な 2 つの波数ベクトルにおいて非弾性磁気散乱強度を観測した。その二つは $Q_{AF} = (0.5, 0, 0)$ と $Q_{SC} = (0.5, \pm 0.5, 0)$ で、それぞれこれまでに反強磁性相で観測されていたものと、超伝導相で観測されていたものに対応する。観測されたシグナルのエネルギー依存性には、両者で次のような顕著な違いが見られた。反強磁性試料ではエネルギーの増加に伴い、波数ベクトルが連続的に $Q_{AF} \rightarrow Q_{AF} + Q_{SC}$ へと移り変わるように見え、一方で超伝導試料では低エネルギー領域では Q_{AF} 、高エネルギー領域では Q_{SC} と不連続に変化している。この両者の振る舞いの違いは超伝導性と密接に関係すると思われるが、この実験結果に対する明快な解釈はまだ得られていない。このような複雑な変化をもたらす起源としては、まず遍歴電子磁性の磁気揺らぎがあげられる。これは Fe 系超伝導体のフェルミ面が複数のバンドから構成されていることに起因する。また、単結晶試料の原子濃度分布が不均一である可能性等も考慮して、本質的な情報を引き出す工夫が必要と思われる。これらの結果に関して、日本物理学会(平成 22 年度秋季大会)において成果発表を行った。

4. まとめ

Fe(Se_{1-x}Te_x)_y 系の磁気揺らぎに着目して研究を進め、超伝導領域では $Q_{SC} = (0.5, \pm 0.5, 0)$ という共通の波数ベクトルを有することが明らかにできた。しかしながら、単純な結晶構造を有する Fe(Se_{1-x}Te_x)_y 系でさえも、磁気揺らぎの波数空間、エネルギーによる変化は単純でなく、その解釈に対しては今後バンド理論との比較なども含めて、より詳細な検討が必要であると思われる。また、Fe(Se_{1-x}Te_x)_y 系には複数のグループによる研究が集中している状況もふまえて、関連する他の系を用いて磁気揺らぎに関する幅広い情報を得ることも今後必要であると考えている。

研究課題名
電荷揺らぎを持つ幾何学的スピンプラストレーション系の
スピン励起と格子振動の中性子散乱研究

研究代表者名
東北大学・大学院理学研究科・富安啓輔

研究分担者名
東北大学・金属材料研究所・藤田全基, 平賀晴弘

1. はじめに

磁性や強相関電子系の分野を牽引する新機軸として、幾何学的フラストレーションと電荷自由度の組み合わせという概念が注目されている。これまで、絶縁性幾何学的フラストレート系では量子スピン液体やマルチフェロイクといった興味深い性質が発見され、研究が大きく進展してきた。一方、伝導性幾何学的フラストレート系は、実例は少数だが、例えばラーベス相 YMn_2 やスピネル LiV_2O_4 が重い電子現象を、スピネル AlV_2O_4 がスピン七量体一重項を伴う金属絶縁体転移を示すことが知られている。さらに、理論的には、分数電荷状態や非従来型超伝導の可能性も指摘されている。そこで本研究では、微視的研究の基礎を築くべく、伝導性幾何学的フラストレート系の中性子非弾性散乱研究に取り組んだ。

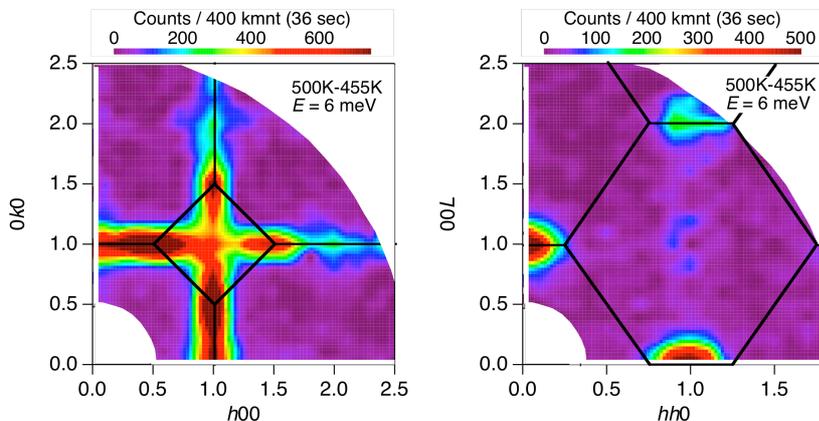
2. 研究経過

昨年度の調査研究を踏まえ、本年度は、本テーマに最適な物質の候補として金属間化合物 Mn_3Pt の研究を進めた。本物質では、Mn 原子が三回軸方向にカゴメ格子の積層構造を形成するため、伝導性幾何学的フラストレート系となる。事実、近年の単結晶中性子非弾性散乱により、統計精度が低いものの、常磁性相においておよそブリュアンゾーン境界 (BZB) に沿うと思われる磁気散漫散乱が発見された (T. Ikeda *et al.*, *JPSJ* **72** (2003) 2614)。スピンの空間相関は不明である。

まず、我々は、当大学本所の山口泰雄名誉教授のご好意により、良質の大型単結晶を準備することができた。次に、JAEA の原子炉 JRR-3 に設置された当大学大学院理学研究科の維持管理する高線束中性子散乱装置 TOPAN において、単結晶中性子非弾性散乱実験を行なった。

3. 研究成果

図は、 $hk0$ ゾーンと hhl ゾーンにおける中性子散乱強度分布を示す。本結果の統計精度は先の報告よりも1桁高い。その結果、左図では、BZB 境界に沿うというよりも、十字形の磁気散漫散乱と $1\ 1/2\ 0$ とその等価点周りの磁気散漫散乱の重ね合わせ、右図では、 001 とその等価点の周りに磁気散漫散乱であることが明らかとなった。この結果は、常磁性相のスピン揺らぎの空間相関が、十字に対応する2次元的なスピン相関と、 $1\ 1/2\ 0$ シリーズに対応する部分無秩序型スピン相関 (本物質の持つ F 相という磁気秩序相の磁気構造と同型) からなることを示唆するものである。



図：エネルギー $E = 6\text{ meV}$ で測定した Mn_3Pt の単結晶中性子非弾性散乱データ。磁気散乱を抽出するため、温度 $T = 500\text{ K}$ のデータから 455 K のデータを差し引いた。左が $hk0$ ゾーン、右が hhl ゾーンを表す。太実線はブリュアンゾーン境界を表す。

4. まとめ

単結晶中性子非弾性散乱により、 Mn_3Pt が常磁性相で部分無秩序型スピン揺らぎを示すことを発見した。伝導性幾何学的フラストレート系におけるフラストレーション効果の研究の糸口になると考えられる。