

## Fe<sub>2</sub>P の中性子異常磁気散乱

広島大学総合科学部 藤井博信

Fe<sub>2</sub>P は C22 型六方晶構造をとり、T<sub>c</sub> = 217 K にキリー点をもち c 軸を磁化容易軸とする強磁性体で、T<sub>c</sub> で一次相転移を伴って常磁性へ転移する。帯磁率は T<sub>c</sub> の 3 倍以上の 750 K までキリー・ワイス則に従わない。さらに、Fe<sub>2</sub>P は 5 kbar 以上の静水圧を加えるか、あるいは Fe を Cr, Mn で 1~3% 置換すると反強磁性が安定化される。一方、P を B or Si で 10% 置換すると、T<sub>c</sub> は Fe<sub>2</sub>P のそれより 2~3 倍も高くなり強磁性が安定化する。こうした点から、Fe<sub>2</sub>P は強磁性と反強磁性が競合した遍歴磁性体として興味深い物質の一つであるといえよう。理論的には、最近石田、浅野によって、KKR および LMT0 法を用いた Fe<sub>2</sub>P のバンド計算が実行された。計算結果は、Fe<sub>2</sub>P 中の P 原子の s, p-電子と Fe の s, p, d-電子の混成によって低エネルギー側に混成バンドが形成され、フェルミ面近くには Fe の 3d-特性のみを反映した凹凸のつけしの上に非常に鋭い 3d-バンドが形成されていることを示している。このような状態密度の存在はバンド計算からも、Fe<sub>2</sub>P が反強磁性に近い遍歴強磁性体であることを示唆している。ここでは、我々が最近行った種々の中性子散乱実験の結果を紹介する。

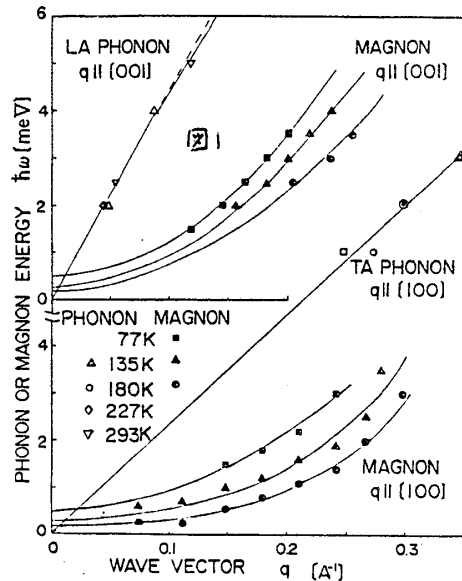
(1) 中性子弾性散乱実験 : 我々は 10 K から 300 K までの温度範囲で、Fe<sub>2</sub>P 単結晶の詳細な中性子回折実験を行った。その結果、これまで全温度範囲 (T < T<sub>c</sub>) で単純な c 軸強磁性と信じられていた Fe<sub>2</sub>P が T > 130 K で強磁性モード (Q = 0) と c 面内に長波長の incommensurate な反強磁性ヘリックスモード (|Q| = 0.10 Å<sup>-1</sup>, 波長 ~ 60 Å) が共存したコーン構造 (c 軸からの傾き角 5~10°) を示し、T<sub>c</sub> = 217 K で一次転移を伴って常磁性になることを見出した。このとき、共存状態での Q-ベクトルの方向は c 面内で等方的で、c 面内の任意の方向に沿ってもサテライトが観測された。さらに、T ≥ T<sub>c</sub> で強い散漫散乱が c 面内のブラッグ点まわりで、等方的に観測され、室温付近まで持続していることが利明した。これは c 面内で強磁性と反強磁性相互作用が競合していることに起源していると思われる。最近我々は高压中性子回折実験をグループ・ロサミニオン・グループと共同研究し、Fe<sub>2</sub>P の圧力誘起反強磁性は Q-ベクトルが a 軸方向に沿って進む incommensurate なヘリックス構造 (|Q| = 0.11 Å<sup>-1</sup>) であることを見出した。尚、この Q-ベクトルの大きさは常圧下の Fe<sub>2</sub>P にみられるコーン構造の |Q| と同じ値である。一方、Fe<sub>2</sub>P の Fe を少量 Mn で置換した (Fe<sub>0.97</sub>Mn<sub>0.03</sub>)<sub>2</sub>P は、|Q| = 0.18 Å<sup>-1</sup> の波数をもつヘリックス構造で、Q-ベクトルは b 軸方向に沿っていることを見出した。

(2) 中性子非弾性散乱実験 : 図 1 に a 軸および c 軸方向に沿ってのフォノンおよびスピン波の分散関係が示してある。フォノン分散関係は温度に依存しないが、スピン波分散関係は著しい温度依存を示している。特に a 軸方向のスピン波分散関係 (b 軸方向のそれとほぼ同じ) は大きな温度依存を示しており、c 面内のスピン波エネルギーは温度上昇とともに c 軸方向のスピン波エネルギーより低くなり、強くソフト化している。この結果は c 軸方向に沿っての一次元強磁性配列は温度によってほとんど影響を受けはりのに反して、c 面内の二次元強磁性秩序は温度上昇とともに大きな影響を受け、135 K 以上で小さな Q をもつた反強磁性配列を安定化しうることを示している (図 1 参照)。すなわち、c 軸方向に

浴って強い強磁性的相互作用が働いき、c面内の磁気相互作用はc面内で反強磁性スピン配置を安定化させる働きをし、Fe<sub>2</sub>P中では両者が競合していることを示している。

(3)常磁性散乱実験：300Kから800Kの温度範囲で、偏極中性子解析法によってFe<sub>2</sub>P単結晶の常磁性散乱実験を行った。図2は<002>ブラッグ点まわりのフリットング比Rの温度依存を示したものである。この図から分るようには、T<725KではFe<sub>2</sub>P試料の内部で中性子がdepolarizeしていることがわかる。これは強磁性的のshort range orderがT<sub>c</sub>の3倍以上まで残っていることを示している。このようなgiant short range orderの存在は帯磁率のキューリー・ワイス則からのズレ、電気抵抗や熱膨張の温度依存にもみられており、Fe<sub>2</sub>Pに本質的な現象であるといえよう。T<sub>c</sub>=725Kで、試料内部での中性子のdepolarizationは消失し、完全な常磁性へ転移している。常磁性散乱断面積は、<002>ブラッグ点まわりでc軸に沿って、インスタントQ法によって測定された。測定に用いたエネルギー-積分範囲は-20meVから+20meVである。エネルギー-積分してえた常磁性散乱断面積より評価した<M(Q)><sup>2</sup>が図3にQに対してプロットされている。T=300Kではshort range orderが存在し、Q=0で強い相関をもった準弾性散乱が観測されている。そこで、<M(Q)><sup>2</sup>がQに対してローレンツ関数で表わせることを仮定して相関距離rを求めると、r=5.5Åとなった。実線は計算曲線で実測値との一致はよい。他方、完全なpara状態である750Kの高温においてさえ、スピンのゆがみの二乗振中<M(Q)><sup>2</sup>はかなりはっきりとしたQ依存性を示している。これは3d-電子の遍歴性の表われといえよう。これを最近田島らが提唱したモデルで解析した。それは、スピン波分散関係、磁気モーメントおよび一様化帯磁率をモデルパラメーターとして含むもので、それらの実測値より評価した<M(Q)><sup>2</sup>のQ依存が図3の実線で示してある。両者の一致はほぼ満足できるものである。この結果は、

遍歴強磁性体においても、常磁性状態でのスピンのゆがみは交換相互作用、磁気モーメント、および一様化帯磁率によってほぼ支配されていることを示している。同様な結果はFe, Niおよびインバー合金においても観測されている。



である。この結果は、  
遍歴強磁性体において

