

1. はじめに

ラーベス相の鉄化合物では、強磁性-反強磁性転移<sup>1)</sup>、強磁性と反強磁性の共存<sup>2,3)</sup>、磁気モーメントの異なる強磁性状態間の転移<sup>4)</sup>と特異な磁性が見い出されている。ここでは、ラーベス相鉄化合物の磁気状態と格子の大きさおよび電子数との関係、さらに強磁性体と反強磁性体の合金系で見い出されている強磁性-反強磁性転移について述べる。

2. 磁気状態

ラーベス相鉄化合物  $AFe_2$  では、A原子を替えることにより、強磁性、反強磁性、パワリ常磁性などの種々の磁気状態が実現される。A原子を替えるに擬二元系で、rigid band モデルが良い近似になっていると仮定し、磁気状態とA原子の電子数およびC14型単位胞体積との関係を図示すると図1のようになる。図の斜線部は鉄の内部磁場が $\sim 180$  kOe以上の強い強磁性状態を示す。Scを基準とした電子数  $\Delta n$  が $\sim 0.7$ までは、格子の大きさによらず強い強磁性状態が実現している。 $\Delta n$  が $0.7$ を越えると単位胞体積  $V$  が $\sim 170 \times 10^{24} \text{ cm}^3$ 以上でのみ強磁性状態が実現している。 $\sim 0.7 < \Delta n < 2$  で  $V < \sim 170 \times 10^{24} \text{ cm}^3$  の部分は、Feの内部磁場が $\sim 100$  kOe以下の反強磁性または反強磁性と強磁性の共存状態となっている。強い強磁性とこれらの間の転移は1次である。 $\Delta n=3$ の完全なC14型  $WFe_2$  をつくることはむずかしいが、 $W(Fe_{0.9}Sc_{0.1})_2$  としてC14型を安定化させた試料は強磁性的で、4.2 Kで $\sim 35$  kOeの内部磁場がFeの位置で観測されている。

石田ら<sup>5-7)</sup>によるFeの状態密度の計算結果をもとに、磁性と電子構造の関連をみてみると次のようなことがわかる。強い強磁性となる $\Delta n < 0.7$ の領域では、フェルミ準位はFe(2a)

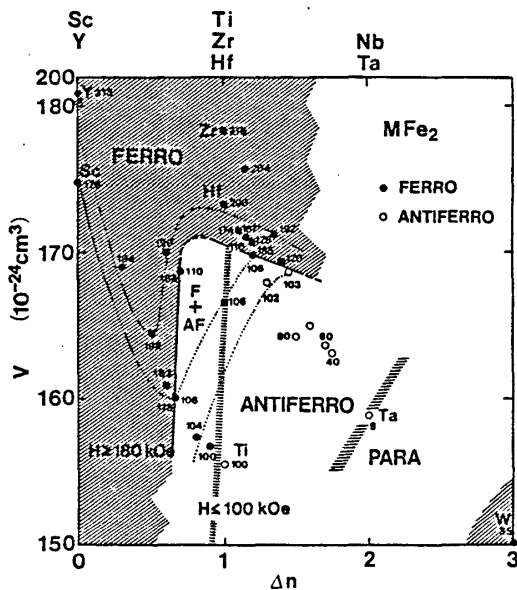


図1. ラーベス相鉄化合物の磁気状態.

、Fe(6h)ともに磁気モーメントを持ちやすい位置にある。 $\Delta n$ が $0.7$ を越えた反強磁性となりやすい領域では、Fe(2a)の状態密度が小さい位置にフェルミ準位があり、Fe(2a)が非磁性になりやすくなっている。この状態にある  $TaFe_2, NbFe_2$  などの計算結果によると強磁性と反強磁性のエネルギー差は非常に小さくなっている。しかし、Feの磁気モーメントが大きいときは、格子がのびるとともに強磁性が安定であることが計算されており、格子の大きさと磁気状態の間に強い相関のあることが、バンド計算の結果からも予想される。Fe(2a), Fe(6h)の状態密度は $\Delta n \sim 2$ 近傍で最も小さくなるが、さらに電子数がふえると再び増加する。この結果は  $WFe_2$  近傍で再び強

磁性状態が実現する可能性を示しており、実験結果ともよく合っている。

### 3. 強磁性-反強磁性転移

強磁性体と反強磁性体の混晶系の磁性は、スピングラスに関する興味などから、これまでにいくつかのものが調べられている。その結果、スピングラス<sup>8)</sup> およびリエントラントスピングラス<sup>9-11)</sup> の出現するもの、強磁性と反強磁性の共存相<sup>10-12)</sup> の出現するものなどが報告されている。これらの物と比較して、ラーベス相の合金系では、強磁性と反強磁性状態間で1次相転移が観測されることがこれまでにない特徴である。遍歴電子強磁性と反強磁性の共存系では、スピンのゆらぎの温度変化によりこの型の相転移が引き起こされることが理論的に示されていたが、<sup>13)</sup> 実験的にはラーベス相の合金系においてはじめて明らかにされた。<sup>1-3)</sup>

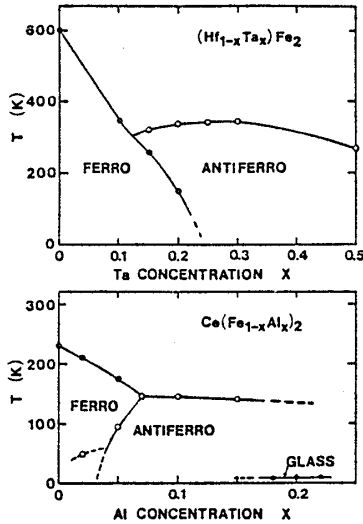


図2. 合金系の磁気状態図

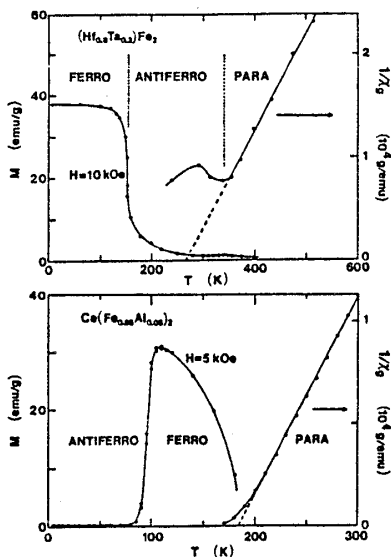


図3. 磁化の温度変化

図2. に  $(\text{Hf}_{1-x}\text{Ta}_x)\text{Fe}_2$  系と  $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Al}_x)_2$  系の磁気状態図を示す。強磁性と反強磁性の境界は、 $(\text{Hf}_{1-x}\text{Ta}_x)\text{Fe}_2$  系では反強磁性側に、 $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Al}_x)_2$  系では強磁性側にのびている。したがって、温度を上昇させることにより、 $(\text{Hf}_{1-x}\text{Ta}_x)\text{Fe}_2$  系では強磁性から反強磁性への、 $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Al}_x)_2$  系では反強磁性から強磁性への相転移が起こる(図3)。体積はいずれも強磁性相の方が大きく、相転移点での体積変化は  $(\text{Hf}_{0.2}\text{Ta}_{0.8})\text{Fe}_2$  で1.2%、 $\text{Ce}(\text{Fe}_{0.95}\text{Al}_{0.05})_2$  では0.05%である。磁場温度相図は理論的に予想されているものと一致しており、これらの系の磁気相転移はいずれも、遍歴電子強磁性と反強磁性の共存系で、スピンのゆらぎの温度変化により引き起こされたものとして理解できる。

### 4. おわりに

ラーベス相の鉄化合物は、比較的強い磁性を示すが、遍歴電子系としての特徴を強く持った磁性体であるといえる。

- 1) Y. Nishihara and Y. Yamaguchi: J. Phys. Soc. Jpn. 52 (1983) 3630.
- 2) Y. Yamada, Y. Kitaoka, K. Asayama and A. Sakata: J. Phys. Soc. Jpn. 53 (1984) 3198.
- 3) Y. Nishihara and Y. Yamaguchi: J. Phys. Soc. Jpn. 54 (1985) 1122.
- 4) Y. Nishihara and Y. Yamaguchi: J. Phys. Soc. Jpn. 55 (1986) 920.
- 5) S. Ishida, S. Asano and J. Ishida: J. Phys. Soc. Jpn. 54 (1985) 3925.
- 6) S. Ishida, S. Asano and J. Ishida: J. Phys. Soc. Jpn. 54 (1985) 4695.
- 7) S. Ishida and S. Asano: J. Phys. Soc. Jpn. 54 (1985) 4688.
- 8) Y. Kimishima, H. Ikeda, A. Furukawa and H. Nagano: J. Phys. Soc. Jpn. 55 (1986) 3574.
- 9) S. K. Burke, R. Cywinski, J. R. Davis and B. D. Rainford: J. Phys. F 13 (1983) 451.
- 10) W. H. Schreiner, W. Stamm and E. F. Wassermann: J. Phys. F 15 (1985) 2009.
- 11) W. Stamm and E. F. Wassermann: J. Mag. Mag. Mater. 54-57 (1986) 161.
- 12) W. Reimers, E. Hellner, W. Treutmann and G. Heger: J. Phys. C 15 (1982) 3597.
- 13) T. Moriya and K. Usami: Solid State Commun. 23 (1977) 935.