

# 高機能遷移金属磁性材料の強磁場磁性の研究

## High field magnetism of novel functional transition alloys

秋田大・工資 左近 拓男, 長塩 仁志  
東北学院大・工 遠藤慶太, 鹿又 武  
東北大・金研, 東北大・CINTS 野尻 浩之

T. Sakon<sup>1</sup>, H. Nagashio<sup>1</sup>, K. Endo<sup>2</sup>, T. Kanomata<sup>2</sup>, H. Nojiri<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Facu. of Eng. Mat. Res., Akita Univ., <sup>2</sup>Faculty of Engineering, Tohoku Gakuin Univ.,

<sup>3</sup>IMR, Tohoku Univ., <sup>4</sup>CINTS, Tohoku Univ.

### 1. はじめに

近年、Ni<sub>2</sub>MnGa 系ホイスラー合金や Fe-Pt, Fe-Pd 合金で数%もの磁場誘起歪みが観測されている。これらの合金は機能性超磁歪材料として利用が注目されている。Ni<sub>2</sub>MnGa 系では他の元素と置換することでマルテンサイト転移温度  $T_M$  を上昇させるために試みがなされている。

我々はこの系の合金で零磁場および磁場中におけるマルテンサイト転移の際の熱膨張や磁歪の実験を行なっている。これらの結果から磁気相図を作成し、磁化などの結果と合わせて磁性を考察する。

### 2. 実験結果および考察

実験は、東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料センターの VTI 型超伝導磁石を用いた。

右図は一定磁場下における Ni<sub>52</sub>Mn<sub>12.5</sub>Fe<sub>12.5</sub>Ga<sub>23</sub> 多結晶の線膨張測定の結果である。300K での試料長を 1 として表示した。マルテンサイト転移温度  $T_M$  および逆マルテンサイト転移温度  $T_R$  において明瞭な跳びが観測された。  $T_M$  において急激な収縮が起こるが、これは高温側のオーステナイト相では立方晶系であり、低温側のマルテンサイト相では正方晶系であることに起因すると考えられる。

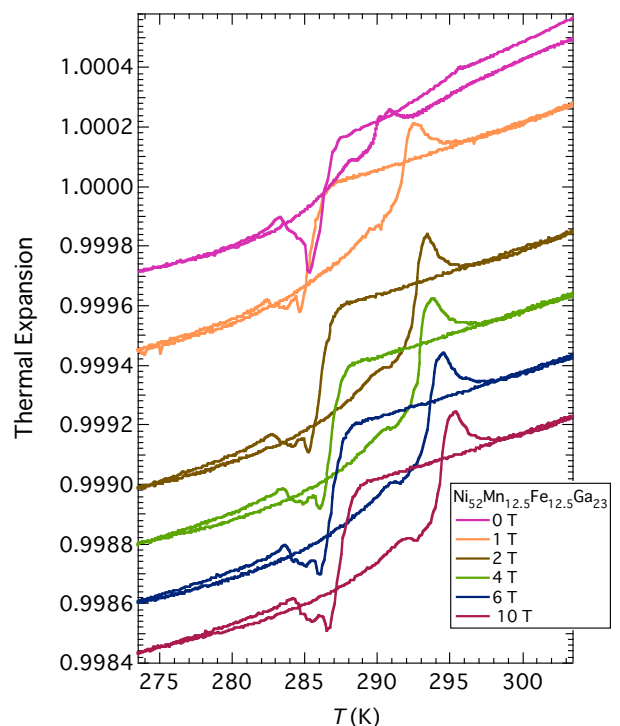
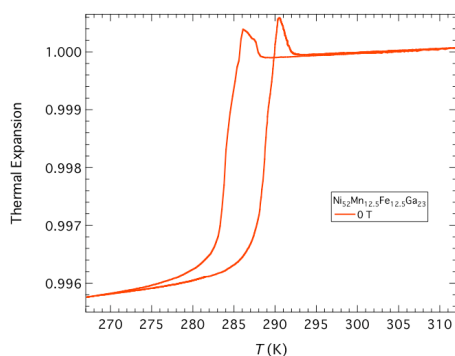


図1 Ni<sub>52</sub>Mn<sub>12.5</sub>Fe<sub>12.5</sub>Ga<sub>23</sub> の線膨張の温度依存性

図1において、降温の際には1段の明瞭な跳びが観測されたが、昇温の際には徐々に伸びていき、明瞭なピークが観測された。この現象はNiTiでも観測されており、マルテンサイト相からオーステナイト相へ変化する際に中間の結晶状態となると考えられる。



零磁場での Ga23 の熱膨張を図 2 に示す。図 1 では接着剤はひずみゲージ専用のものを使用したがる、図 2 では木工用アロンアルファを用いて接着した。図 2 のほうが図 1 よりも構造相転移にともなう線膨張の変化が大きい。零磁場においてこの 2 種類の接着剤で幾度か試しても同様の結果となった。この原因として、歪みゲージの接着剤の硬化後の硬度によって格子変形量が異なると考えられる。今後、結晶の相転移に関する外部からの圧力依存性を調べる必要がある。

秋田大学のパルス磁石で測定した Ga23 の磁化曲線は図 3 のように、マルテンサイト相では 2 T 以下で急激に磁化が増加したあと、17 T 付近まで直線的な増加を示し、17 T 以上で飽和する傾向がある。一方、オーステナイト相での磁化は 3 T

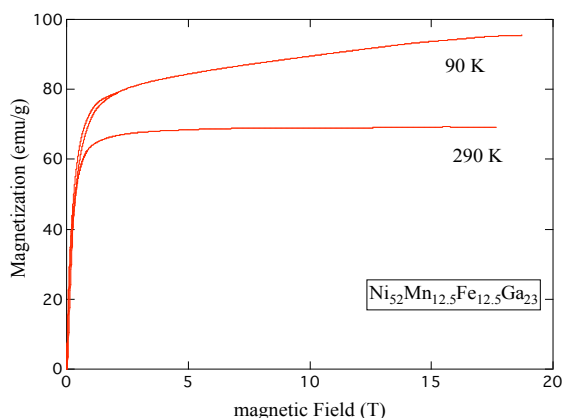


図 3 パルス磁場での磁化曲線

近までは磁場とともに増加するが、それ以上の磁場ではほぼ一定で飽和磁化を示した。マルテンサイト相での飽和磁化がオーステナイト相での飽和磁化よりも大きな値を示した。定常磁場での磁化の温度依存性の実験でも同様の結果が報告されている。磁化率の実験結果から Ga23 は 380 K 以下では強磁性であるが、帯磁率の実験でもマルテンサイト転移温度  $T_M$  以下の温度では  $T_M$  以上よりも磁化が増加することを示している[1]。

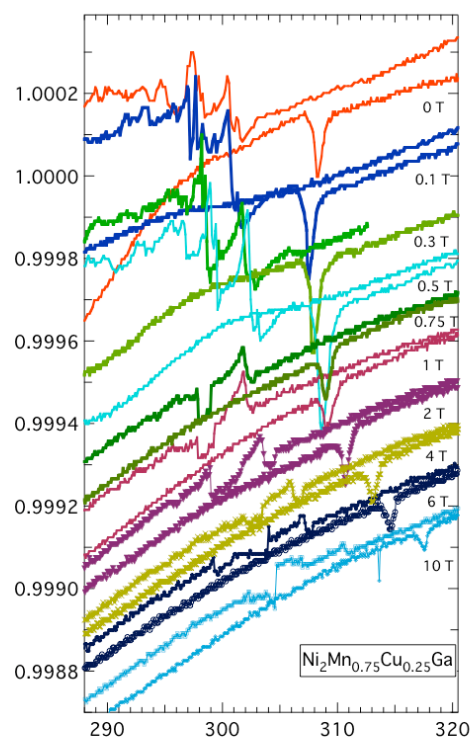


図 4  $Ni_2Mn_{0.75}Cu_{0.25}Ga$  の線膨張

Ga23 の磁化と帯磁率の結果は強磁性状態においても磁気秩序状態が異なることを示している。 $T_M$  以下では弱磁場で磁化は飽和しないことから、 $T_M$  以下のマルテンサイト相ではキャント構造などのフェリ磁性である可能性を示唆している。

次に  $\text{Cu}_{0.25}$  の熱膨張について報告する。この物質は  $T_M$  が約 300 K である。特徴としては、降温時にはマルテンサイト転移にともなう複数の跳びがあるが、昇温時の逆マルテンサイト転移には  $T_R$  でピークが 1 つとなる。図 4 の実験の際、歪みゲージ用接着剤を用いてゲージを固定したが、図 5 の木工用アロンアルファの結果と比較すると、Ga23 と同様に、アロンアルファで固定した場合のほうが専用接着剤よりも  $T_M$  および  $T_R$  での変化が大きかった。接着剤による拘束力が構造相転移に影響しているものと推察される。

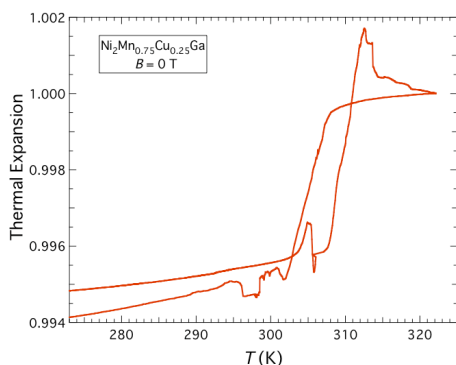


図 5 零磁場での  $\text{Cu}_{0.25}$  の線膨張

図 4 に示した磁場中での熱膨張の測定結果から図 6 の磁気相図を作成した。× および ▼ は降温時の  $T_M$ 、■ は昇温時の  $T_R$  である。降温時の跳びは大きくは 2 つ確認できるので × および ▼ で示した。  $T_M$  より高温側では常磁性-オーステナイト相 (Para-A)，低温側では強磁性マルテンサイト相である。他の実験では Cu 濃度が 0.25 未満の試料で Para-A 相と Ferro-M 相の間に Ferro-A 相も確認されているので [2]，× と ▼ の間の領域は Ferro-A 相である可能性もある。

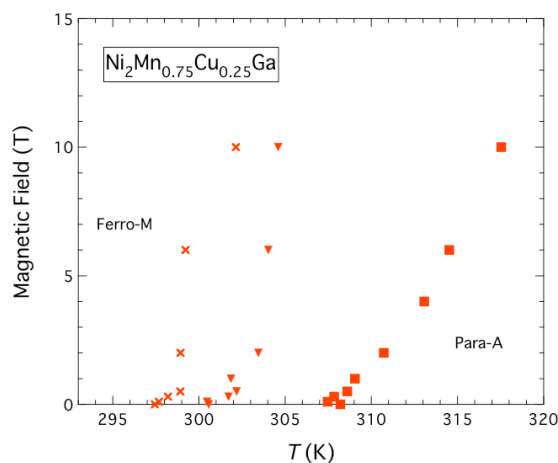


図 6  $\text{Ni}_2\text{Mn}_{0.75}\text{Cu}_{0.25}\text{Ga}$  の磁気相図

転移温度  $T_M$  と  $T_R$  は、磁場が上昇するとともに高温側にシフトしている。特に  $T_R$  のほうがシフト量大きい。この原因としては、磁場中では常磁性状態よりも強磁性状態のほうが安定化するために磁場とともに転移温度が高温側にずれていくものと考えられる。この物質は磁化は未測定であるので、今後、磁化の測定を行ない、磁化と磁気相図からクラウジウス-クラペイロンの式を使って熱力学的な考察を行なう必要がある。

#### 参考文献

- [1] D. Kikuchi, T. Kanomata, Y. Yamaguchi, N. Nishihara, *J. Alloys and Compounds* 426 (2006) 223.
- [2] T. Kanomata, private communication.