

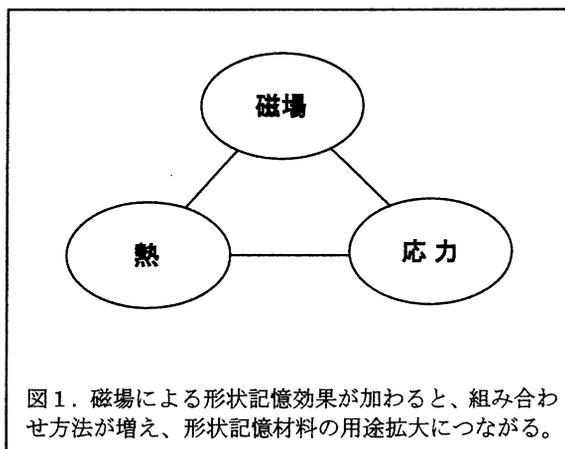
新しい Mn 系強磁性形状記憶材料の開発

東北学院大学工学部 菜嶋 理

【背景と目的】

環境の変化に応じて自律的な機能を発現する能力を持つ材料はインテリジェントマテリアルと呼ばれ、現代の先端材料の主役のひとつとみなされており、盛んな研究が行われている。インテリジェントマテリアルとして実用化されているものには形状記憶材料、圧電材料、超磁歪材料、液晶、磁性流体、光ファイバなどがある。なかでも形状記憶材料は温度センサ、形状記憶、さらにはアクチュエータとしての機能を複合的に備えた極めて優秀なインテリジェントマテリアルであり、多くの分野で利用されている。

通常、形状記憶材料は温度あるいは応力に対して形状回復効果を示す。しかし最近、磁場によって形状回復効果を示す新しいタイプの形状記憶合金（強磁性形状記憶合金）が発見された。磁場による形状回復は温度による形状回復と比べて応答速度を高速化できるため、形状記憶材料の用途を更に広げるものとして注目を集めている（図1）。また、これらの強磁性形状記憶合金は、マルテンサイト相において「双晶磁歪」とよばれるバリエーション界面の移動に由来する特殊な超磁歪を示すため、特にアクチュエータ分野への利用が期待されている。



一方、最近我々は Ni_2In 型から TiNiSi 型への熱弾性型マルテンサイト変態をおこなうことが知られている Mn-M-X (M : 遷移金属, X : Si, Ge) 合金において、 M の割合をわずかに増減させることによりマルテンサイト変態温度が急激に変化し、その一方でキュリー温度は殆ど影響を受けないことを発見した。このことはキュリー温度とマルテンサイト変態温度の関係が自由に調整可能であることを意味し、この物質群が未知の強磁性形状記憶合金を探索する上で非常に好都合であることを示している。そこで今回我々はこの物質群の良質結晶を作製し、磁性と結晶構造の研究を行った。今回の報告では現時点での研究成果について報告する。

また、我々の研究グループでは従来よりホイスラー型の結晶構造をとる磁性合金の研究を精力的に行っており、特に強磁性形状記憶合金として最も研究が盛んな物質のひとつである Ni-Mn-Ga 合金については高圧をかけることにより通常物質とは反対にキュリー温度が上昇することを見出すなど重要な研究成果を上げている。最近の我々の Ni-Mn-Ga 系合金に対する研究成果についても報告する。

【Mn-M-X 合金】

図2はある組成比の Mn-M-X 合金に対する透磁率の温度変化の測定結果である。

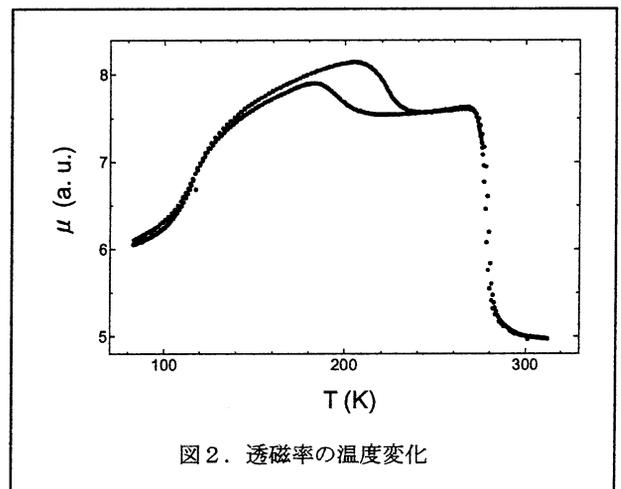
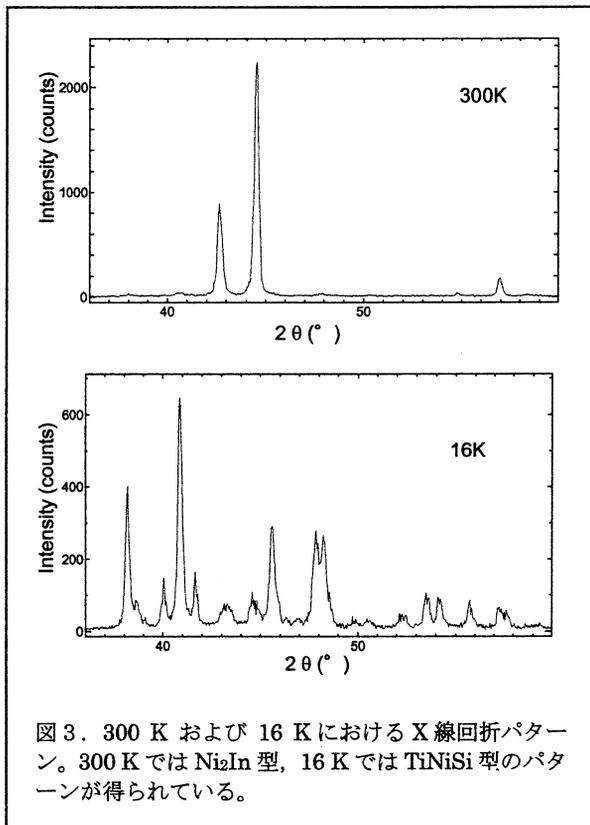


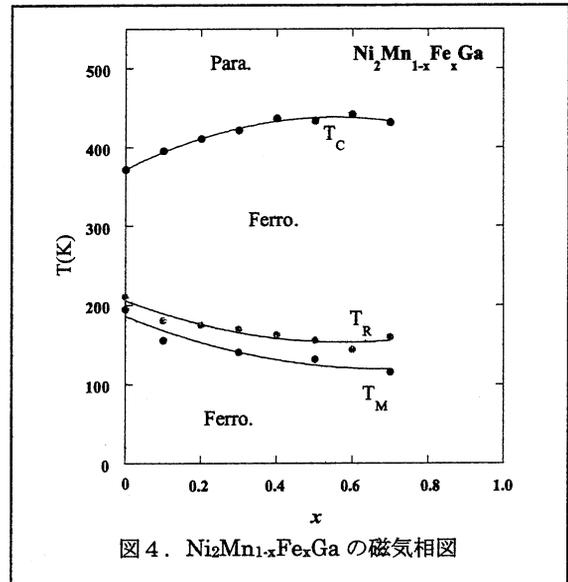
図2における 290 K 付近での透磁率の落ち込みはキュリー温度に対応している。また、200 K 付近にヒステリシスをともなう異常な振る舞いが観測されている。我々はこの異常がマルテンサイト変態に起因するものと予想し、低温 X 線回折実験を行った。その結果を図3に示す。



この X 線回折パターンより、確かにこの試料は室温からの冷却過程においてマルテンサイト変態を起こしていることが確認された。強磁性形状記憶合金となる必要条件是「強磁性状態において熱弾性型のマルテンサイト変態を発生すること」であり、この物質はその条件を満たしていることが間違いなく確認できた。また、この X 線回折パターンより得られる格子定数や格子体積の変化は極めて大きなものであり、この変化を磁場によって誘起できれば極めて高性能な超磁歪材料になると期待できる。その確認のため、現在我々は強磁場下での X 線回折実験を予定している。

【Ni-Mn-Ga 系合金】

現在我々はホイスラー型 Ni-Mn-Ga 合金の Mn を Fe に置き換えたときの基礎物性を調べている。図4はキュリー温度とマルテンサイト変態温度の Fe 置換効果を表す磁気相図である。



図から明らかなように、Fe 置換により結晶変態温度は低下するが、キュリー温度は逆に上昇する。このキュリー温度上昇の起因を調べるため、中性子回折実験により各原子の磁気モーメントがどのような状態にあるかを調べた。その結果、置換された Fe の磁気モーメントが約 $2.8 \mu_B$ という異常に大きな値になっていることが明らかになった。この原因は Fe 原子の周囲を取りかこむ Ni 原子との間に生じる 3d 軌道の混成に由来するものと思われる。

【謝辞】

本助成金により高性能な真空ポンプが購入できて、作製試料のクオリティが向上いたしました。貴財団に心より御礼申し上げます。また、本研究の共同研究者の皆様に深く感謝いたします。共同研究者／鹿又武、菊地大輔、山口泰男（以上東北学院大学）、金子武次郎、小山佳一（以上東北大学）、西原弘訓（龍谷大学）、他