

東北大学大学院工学研究科の石田清仁教授らは、ニッケル、マンガン、インジウム、コバルトから構成される、室温において作動する磁性形状記憶合金を見出した。現在、チタン-ニッケル系形状記憶合金は熱の変化により駆動されるアクチュエータなどに利用されているが、冷却時における応答速度が遅いという問題点がある。磁場の変化により材料の微視的構造が変化することを利用すると、高速作動で大きな力を発生させることが可能になるが、これまでこのような特性を有する材料は見つからなかった。今回見出した試料に約3%の変形を与えた後に磁場を印加したところ、ほぼ完全な形状に回復する効果が認められた。これは、従来のニッケル-マンガン-ガリウム系磁性形状記憶合金に比べて、50倍以上の力を発生させることに相当する。このニッケル-マンガン-インジウム-コバルト系磁性形状記憶合金を応用すると、磁場により変位を高速制御することが実現でき、磁性駆動アクチュエータ、高出力振動子などの様々な応用展開が可能となる。

トピックス 5 磁場で大きな力を発生する磁性形状記憶合金

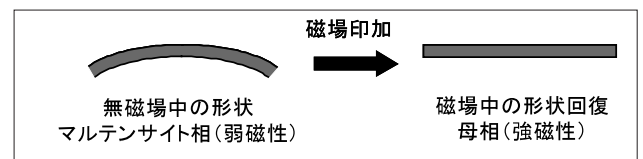
現在、実用されている形状記憶合金のほとんどは、チタン (Ti) - ニッケル (Ni) 系合金であり、熱の変化により駆動されるマルテンサイト変態^{注1)}による大きな変位を利用したアクチュエータなどに利用されている。しかし、Ti - Ni 系形状記憶合金を用いたアクチュエータでは、温度変化により変位を制御するため、冷却時における応答速度が遅いという問題がある。セラミックス系圧電素子では、高速駆動が可能であるが、動作力と変位量が小さいという欠点があり、形状記憶合金に見られる大きな仕事量は確保できない。このような問題を解決するため、磁場の変化で材料の微視的構造が変化することで高速応答する磁性形状記憶合金の研究開発がなされてきた。それらの一つに Ni (ニッケル) - Mn (マンガン) - Ga (ガリウム) 系磁性形状記憶合金があるが、双晶界面^{注2)}の移動を駆動原理とすることから、この合金は室温では3MPa程度の応力しか発生せず、それが実用への障害となっていた。

東北大学大学院工学研究科の石田清仁教授らは、Ni、Mn、In (インジウム)、Co (コバルト) から構成される材料の状態図^{注3)}を計算機シミュレーションで予測し、その結果に基づいた合金設計により、室温において作動する磁性形状記憶合金を見出した。この Ni - Mn - In - Co 系磁性形状記憶合金は強磁性^{注4)}の母相から弱磁性のマルテンサイト相へ変態する性質を有し、母相のキュリー温度^{注5)}は100℃以上である。さらに、変態温度付近で磁場が印加されると、マルテンサイト相から母相への逆変態の性質が確認された。予めマルテンサイト相状態で約3%変形させた試料に磁場を印加したところ、ほぼ完全な形状に回復する形状記憶効果が認められた。この効果は、無磁場では安定な弱磁性マルテンサイト相が存在し、磁場によりこの

相が強磁性を有する母相に変化し、形状が元に戻るメカニズムによる。このように、磁場誘起逆変態の機能を有する磁性形状記憶は今までに無く、7テスラ^{注6)}の磁場中で100MPaもの大きな応力を発生させることができる。この Ni - Mn - In - Co 系磁性形状記憶合金により、従来の Ni - Mn - Ga 系磁性形状記憶合金に比べて、50倍以上の力を発生させることができる。

Ni - Mn - In - Co 系磁性形状記憶合金を応用すると、磁場により変位を高速制御することが実現でき、磁性駆動アクチュエータ、高出力振動子、磁気により駆動するエンジンなどの様々な応用展開が可能となる。本成果は、2006年2月23日付のネイチャー誌に掲載された。

磁場による形状記憶効果の模式図



約3%変形させた試料に2テスラの磁場を印加すると、歪が回復し始め、8テスラでほぼ完全に歪が回復

注1 マルテンサイト変態：結晶中の各原子が拡散しないことで共同的に移動することにより新しい結晶に変わる変態。

注2 双晶界面：形状記憶合金を構成する結晶中に見られる格子欠陥の一種であり、この欠陥は外力により容易に移動。

注3 状態図：温度、組成、圧力などの条件下で、どのような状態が化合物としての材料が安定なのかを示す図。

注4 強磁性：外部磁場を加えると磁化し、磁場を加えることを止めても、自ら磁化をもち続ける性質。外部磁場がなくなると磁化もなくなる性質を弱磁性と称す。

注5 キュリー温度：強磁性材料が磁化を失う温度。

注6 テスラ：磁束密度の単位で、透磁率と磁場の強さの積。