

平成19年9月14日
筑波大学

実用可能な高温形状記憶合金の開発に成功

このたび、筑波大学大学院数理物質科学研究科の宮崎修一教授は、100℃以上の温度で利用可能な高温形状記憶合金の開発に成功しました。

この成果は、1980年代に入ってTi-Ni形状記憶合金の実用化が始まって以来、その開発が期待されていましたが今回初めて実現されました。

形状記憶合金は、Ti-Ni合金の開発により、現在までに数多くの応用製品に利用されています。例えば、電気器具ではエアコン、お風呂の湯温調節器、炊飯器、コーヒーメーカー。日用品では、眼鏡フレーム、超弾性ブラジャー。工業製品では、新幹線車軸油温制御器、流量調弁、パイプ継手。医療分野では、医療ガイドワイヤ、内視鏡、歯列矯正用超弾性ワイヤ等に使われています。市場における形状記憶合金の規模は、年間5,000億円を超えています。

しかし、これらの応用の全ては、100℃以下で室温までの温度範囲で使用されているものです。100℃以上の高温域で機能する形状記憶合金が実用化すると、今まで手付かずの応用分野が出現します。例えば、宇宙航空分野、自動車エンジン、発電所、原子炉等での使用や多くの大衆使用製品が考えられます。特に、今回開発された高温形状記憶合金は、100℃から200℃で作動可能です。この温度域には多くの大衆使用の家電製品が含まれ、100℃以上の高温域の中では最も多くの応用事例が生まれると考えられます。

この研究成果は、9月19日（水）から岐阜で開催される日本金属学会で発表する予定です。

発表者

筑波大学大学院数理物質科学研究科 物性・分子工学専攻
教授 宮崎 修一（みやざき しゅういち）

○ 研究の背景

1951年、Au-Cd合金の形状記憶効果がコロンビア大学で発見されました。その特異な挙動は研究者達の注目を集め、各研究機関で形状記憶合金(Shape Memory Alloy, SMA)の研究が積極的に行われることとなります。現在までに、In-Tl合金、Cu-Al-Ni合金、Ti-Ni合金、鉄系合金など、様々な種類の形状記憶合金が発見、研究されてきました。特にTi-Ni合金は良好な形状記憶特性を示し、さらに加工性や強度、形状記憶効果の安定性といった機械的特性も優れており、幅広い分野で実用化が進められてきました。

しかし、Ti-Ni合金は形状回復温度が100℃以下であるため、エンジンや発電機といった高温になる場所での使用が不可能です。そのため、Ti-Ni合金以上の形状回復温度を示す高温形状記憶合金の開発が求められています。これまでの研究により様々な高温形状記憶合金が開発されてきましたが、いずれも加工性や安定性などに問題があり実用化に至っていないのが実状です。

形状記憶合金はセンサーとアクチュエータ機能を同時に有するため、小型で多機能の知的材料システムの実現に不可欠です。高温形状記憶合金の開発により、形状記憶合金の応用範囲がさらに拡大されることが期待できます。航空宇宙分野ではNASAを始めとする研究機関が研究を行っており、スペースシャトルやロケットへの応用を考えています。また、自動車業界ではエンジン部に用いることで燃費の向上が期待されるなど、環境問題に対しても有効です。さらにこのような最先端技術だけでなく、一般家電製品のような身近なものでも多くの応用が現れると考えられています。

○ 研究の経緯

この問題に対し、我々のグループは以下の2つの方法からアプローチしました。

1. Ti-Ni系高温形状記憶合金の問題点の改善

Ti-Ni合金にPd, Au, Ptなどの貴金属やZr, Hfを添加すると形状回復温度が上昇することが知られています。特にZr, Hfはコスト面から実用化に適した材料です。しかし、Ti-Ni合金にこれらの元素を添加すると加工性が悪化するといった問題が生じます。そこでこのTi-Ni-(Zr, Hf)合金の加工性を改善させることで実用可能な高温形状記憶合金の開発を試みました。

その方法としてNbを添加し、軟らかい・相を析出させることで加工性の改善を図りました。

2. 全く新しい系の高温形状記憶合金の開発

新しい高温形状記憶合金の開発に当たり、我々は従来生体用に使う目的で研究を進めてきた、 β 型 Ti 基形状記憶合金を改良しました。この材料は 90%以上の冷間圧延を施すことが可能なほど非常に加工性が良いことが特徴で、加工性の問題はありません。 β 型 Ti 基形状記憶合金には Ti-Nb, Ti-Mo, Ti-Ta という系があります。これらはいずれも形状回復温度が 100°C以上となります。しかし、 β 型 Ti 基形状記憶合金は 100°C~300°C程度で形状回復温度の低下が起こり、特性の劣化が生じます。しかし、Ti-Ta 合金はこれらの合金系の中では安定性に優れており、更なる安定性の向上が実現できれば高温形状記憶合金として使用できる可能性が高いと考え、研究を行いました。

○ 成果の内容

1. Ti-Ni-(Zr, Hf)高温形状記憶合金の加工性の改善

図 1-1 に、試料に冷間圧延を施し、破断した時点の圧延率をプロットしたものを示します。ここに示すように Nb を添加することにより破断時の圧延率が上昇し、加工性が改善されているのが分かります。特に 10at.%以上の Nb 添加材においては 60%の加工を行っても破断することなく、良好な冷間圧延性を示すことが可能となりました。

図 1-2 に Nb 無添加材及び Nb 添加材の冷間圧延前後の写真を示します。Nb 無添加材は非常に多くのクラック（ひび）が見られ、破断するまでにほとんど加工を施すことができません。一方 Nb 添加材は大きなクラックが見られず、十分な加工が可能であることが分かります。

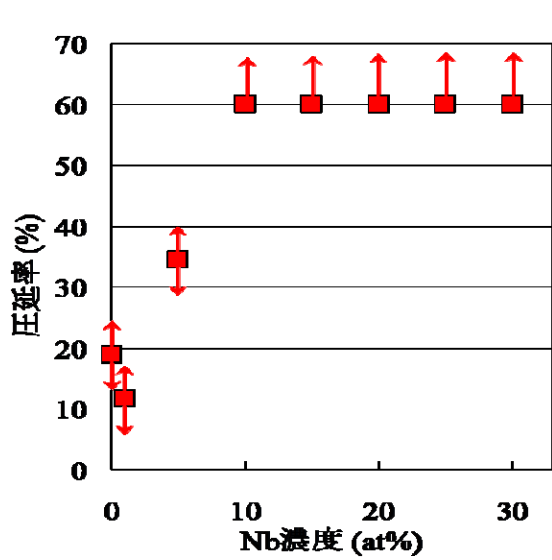


図 1-1 Ti-Ni-Zr-Nb 合金における冷間圧延時により破断した時点の圧延率の Nb 濃度依

図 1-2 冷間圧延前後の試料形

図 1-3 に走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)による Nb 添加材の内部組織の写真を示します。Nb を添加することにより軟らかいβ相（写真の白い領域）が析出しているのが分かります。このβ相の析出により加工性が改善されたと考えられます。

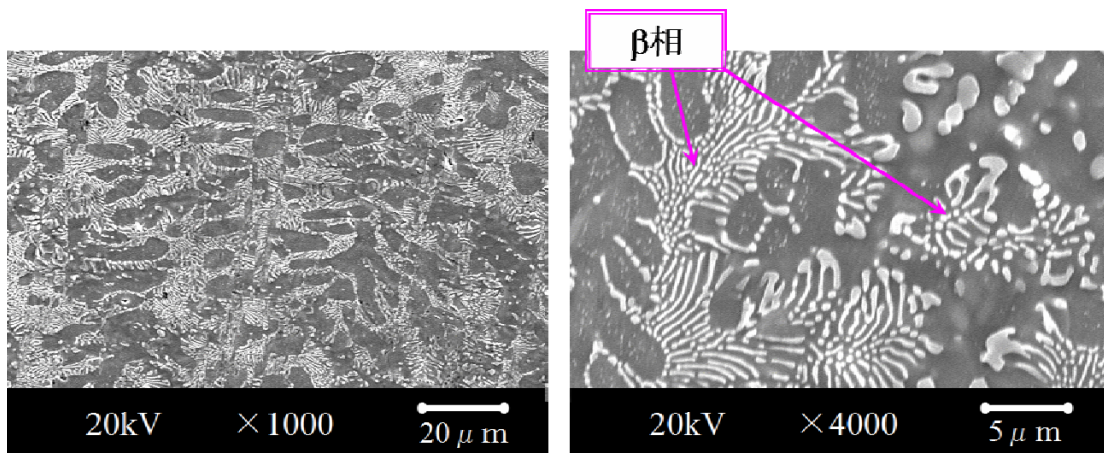


図 1-3 Ti-Ni-Zr-Nb 合金の内部組織

図 1-4 に Nb 添加材における形状回復温度をプロットしたものを示します。このように Nb の添加によって形状回復温度は低下しますが、良好な加工性を示した 10at.%以上の領域でも 170℃と十分高い値を示します。

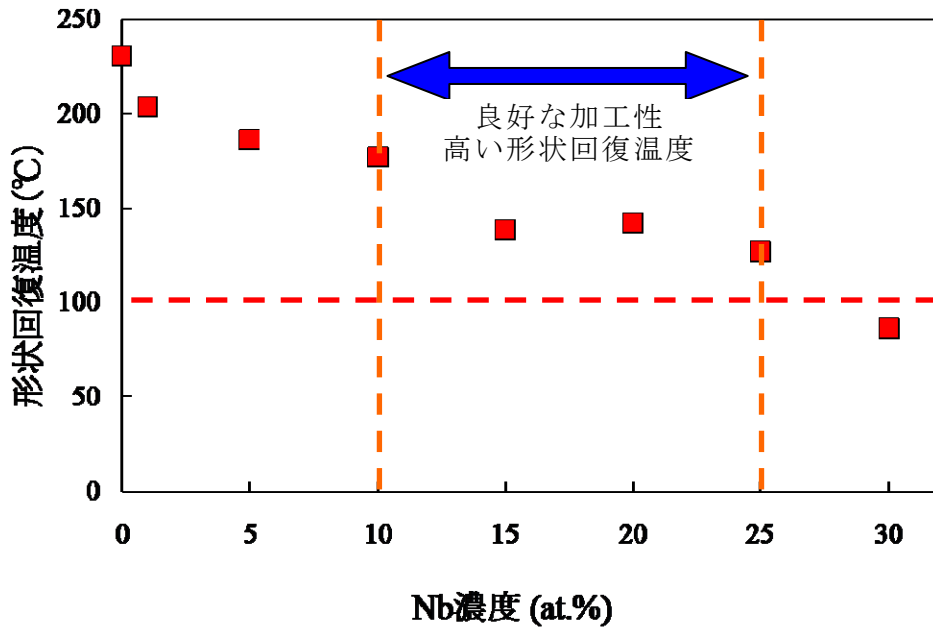


図 1-4 Ti-Ni-Zr-Nb 合金における形状回復温度の Nb 濃度依

2. Ti-Ta 系高温形状記憶合金の開発

図 2-1 に Ti-Ta 形状記憶合金の形状回復温度をプロットしたものを示します。Ti-Ta 合金は 36at.%以下の Ta 濃度で形状回復温度が 100℃以上となり、高温形状記憶合金として用いることが可能であることが分かります。

このように Ti-Ta 合金は加工性の観点からは、実用上有望な材料ですが、β型 Ti 基形状記憶合金は 100℃から 300℃程度の高温下にあるとその特性が劣化（形状回復温度の低下等）してしまうことが知られています。そこで我々は Ti-Ta 合金に新たな元素を添加することでこの問題の解決を図りました。

図 2-2 に、加熱・冷却を繰返した時の形状回復温度の変化をプロットしたものを示します。Ti-Ta 合金では加熱・冷却の熱サイクル数の増加と共に形状回復温度が低下していくことが分かります。一方、Ti-Ta 合金に Al を添加した Ti-Ta-Al 合金では、形状回復温度の低下が少なく、しかも 20 回の熱サイクル後はほとんど変化せず安定になっていることがわかります。

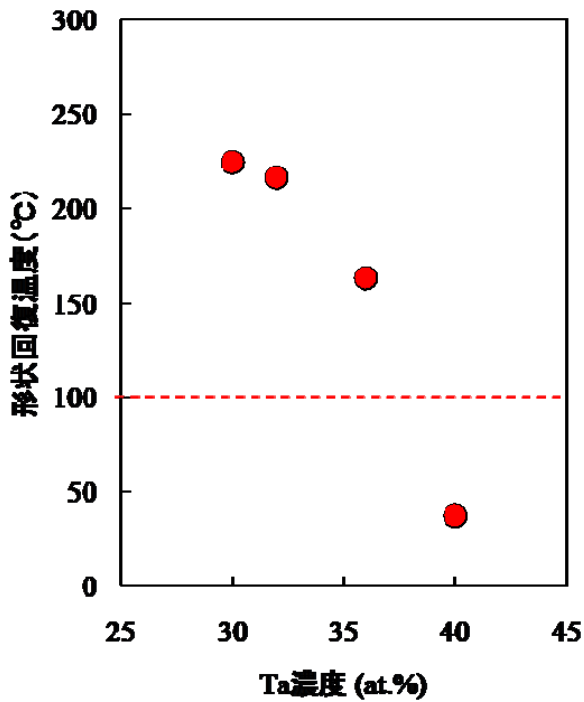


図 2-1 Ti-Ta 合金における形状回復温度の Ta 濃度依存性

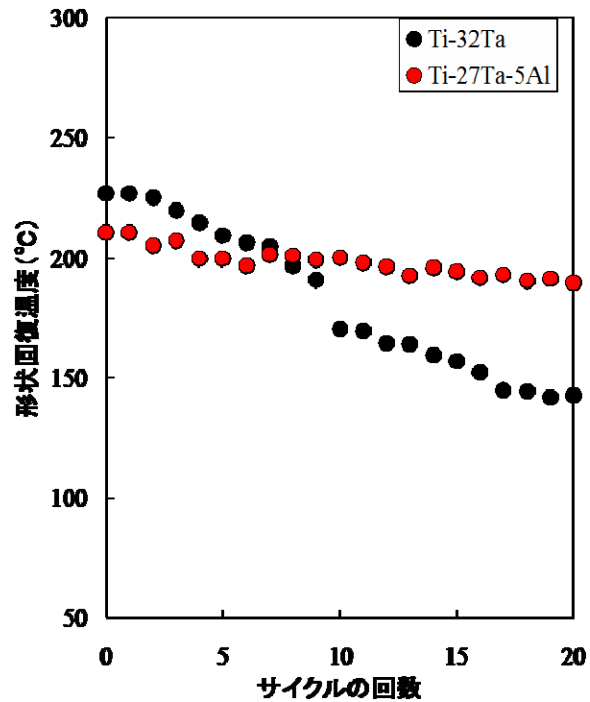


図 2-2 Ti-Ta 合金と Ti-Ta-Al 合金における

○ 今後の予定

今回開発に成功した Ti-Ni-(Zr, Hf)-Nb, Ti-Ta-Al 高温形状記憶合金はいずれも形状回復温度が 100°C~200°C の範囲で使用可能です。しかし、現在求められているものの中にはこれ以上の高温領域での使用を目的としたものも存在します。今後はこのようなニーズに応えられるように、さらに形状回復温度の高い形状記憶合金の開発を行っていく予定です。

取材に関する窓口 筑波大学総務・企画部広報課 報道係
TEL : 0 2 9 - 8 5 3 - 2 0 4 0