

# 形状記憶合金薄帯板を利用した2方向回転アクチュエータの提案

[研究代表者] 松井 良介 (工学部機械学科)

## 研究成果の概要

TiNi 形状記憶合金では熱・力学トレーニングを適切に施すことによって、加熱・冷却のみで伸び縮み可能な2方向形状記憶効果が現れることが知られている。本研究ではねじり変形モードで2方向形状記憶効果を示す TiNi 形状記憶合金薄帯板を作製し、加熱・冷却による往復回転特性を明らかにした。さらに、この2方向形状記憶合金薄帯板を駆動素子とする新たな小型アクチュエータを提案した。本研究で得られた成果の要点を以下に示す。(1) 形状記憶合金薄帯板にねじり変形モードの熱・力学トレーニングを施すことで、加熱・冷却において2方向の回転挙動を示す。(2) 2方向形状記憶合金の両端を固定した状態で加熱・冷却するなどの負荷を繰り返し与えることで2方向の回転角は徐々に減少し、飽和する傾向を示す。(3) 一度内部応力が緩和した2方向形状記憶合金に再度熱・力学トレーニングを施すと再び内部応力が増大し、2方向の回転角が増加する。

**研究分野：**材料工学，材料力学，塑性加工学

**キーワード：**TiNi 合金，形状記憶合金，二方向形状記憶効果，アクチュエータ

## 1. 研究開始当初の背景

TiNi 形状記憶合金 (shape memory alloy, 以下 SMA) は機能材料のひとつであり、温度に応じて形状記憶効果 (shape memory alloy, 以下 SME) や超弾性の特性を示す。これらの特性を利用し、これまでに熱エンジンやアクチュエータ等の駆動素子に応用されている。また、SMA に熱・力学トレーニングを施した場合、2方向形状記憶特性を示すことが知られている(1)。この特性を積極的に利用すれば小型アクチュエータを開発できると考えられるが、著者が調べた限りこのことに関する報告はほとんどされていないようである。

## 2. 研究の目的

本研究では平面状態を形状記憶した SMA 薄帯板 (テープ) を用い、ねじり変形モードで熱・力学サイクルを施すことで2方向形状記憶合金 (two-way shape memory alloy, 以下 TWSMA) を作製した。本講演ではこの TWSMA を用いた加熱・冷却のみで往復回転運動する小型アクチュエータを提案し、この動作特性を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

供試材には株式会社古河テクノマテリアル製の TiNi SMA 薄帯板 (Ti-50.07 at% Ni, 板厚 0.35 mm, 板幅 5.9 mm, 全長 70 mm) を用いた。773 K で 3.6 ks 保持後、水冷する条件での形状記憶処理を施したものを試験片とした (以下 SMA)。また、TWSMA を作製するために試験片にねじり負荷を与える熱・力学サイクルを 5800 回施した。

本研究で提案する TWSMA を用いた2方向性バルブの概略図を図1に示す。これは一定温度以上の流体を流すことができる電源不要のバルブである。

この仕組みの実現には TWSMA の加熱・冷却で得られる2方向の回転角を明らかにする必要があるために、各種試験を行って動作可能なバルブの回転角を調査した。

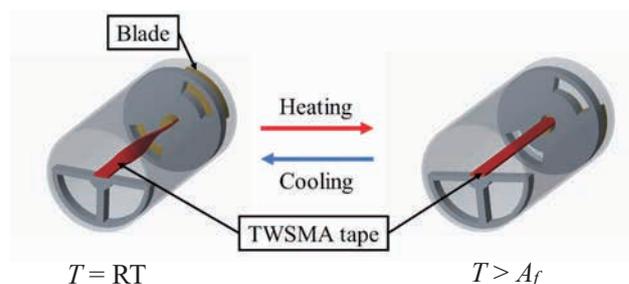


図1 2方向回転バルブの概略図

#### 4. 研究成果

##### (1) 2方向動作特性

TWSMA を加熱・冷却して得られた回転角と温度の関係を図2に示す。図2(a)は無負荷状態での結果、図2(b)は図1で示した回転バルブ用の羽根を TWSMA 先端に取り付けて行った結果である。両方の実験結果において、TWSMA は加熱・冷却で2方向の回転角運動を示すことがわかる。これらの結果から、加熱過程において TWSMA の温度  $T$  が  $A_s$  点を超えると平面形状を回復する方向に回転することがわかる。一方で冷却過程では、 $R_s$  点近傍より再び初期のねじられた状態へ形状変化を始めることがわかる。

無負荷状態での試験結果（図2(a)）において、 $N=2$ 以降では最大温度まで加熱するとシャフト回転角はほぼ  $0^\circ$  になり、平面になるまで形状回復することがわかる。冷却後もほぼ加熱前の角度まで回転し、曲線は閉ループを描く。この条件では加熱・冷却による2方向の回転角（最大・最小回転角の差）は  $69^\circ$  であった。これに対して図2(b)に示す羽根を取り付けた場合の結果においては、加熱・冷却による2方向の回転角は  $43^\circ$  であり、無負荷の場合に比べて小さくなった。これは羽根の重さによる回転抵抗の増加のためであると考えられる。冷却過程ではシャフトに取り付けた羽根の重さが二方向形状記憶効果（two-way shape memory effect, TWSME）によってねじられる方向とは逆方向へ働いたためであると考えている。

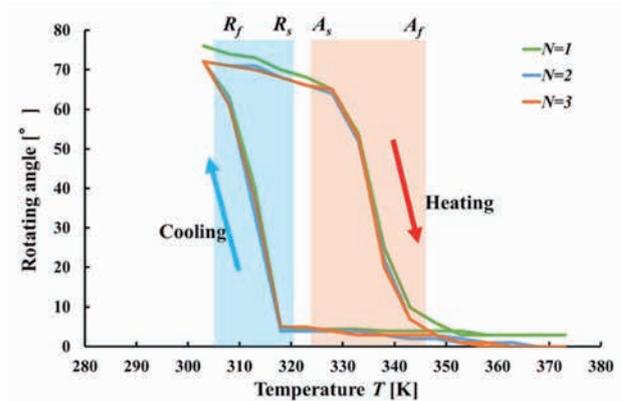
##### (2) 2方向形状記憶特性の回復

図2で示した加熱・冷却サイクルを繰返し行った場合、内部応力の緩和による回転角の減少が現れた。そこで動作特性低下後の TWSMA に対して再度熱・力学トレーニングを施すことで回転角の回復を試みた。再トレーニングの条件および方法は3章で示した通りとした。

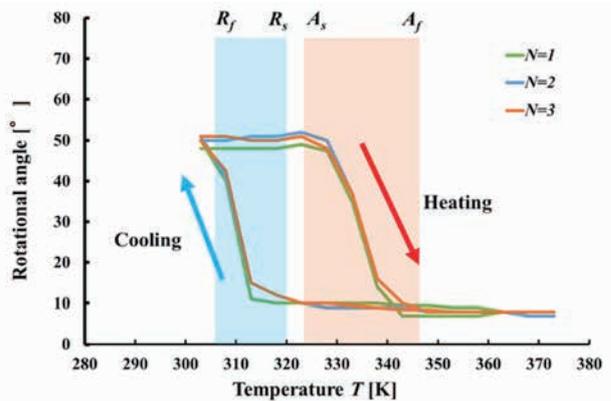
再トレーニングを施した後の TWSMA において、無負荷状態での加熱・冷却サイクルに伴う回転角の変化を図3に示す。図中に破線で示す結果は再トレーニング前のものである。これらの結果から、再トレーニングによって TWSME による動作範囲は  $49^\circ$  まで回復することが明らかとなった。これは再トレーニングによる内部応力の増加による。一方で高温時の回転角は再トレーニングによって  $8^\circ$  増加し、 $33^\circ$  になった。このことは再トレーニングに

よる塑性変形の進行のためであると考えられる。

以上のことから、一度付与した内部応力が繰返し負荷によって緩和し、回転角が減少しても再度熱・力学トレーニングを施すことによって再び内部応力を生じさせることができ、加熱・冷却による回転範囲が増加することが明らかとなった。



(a) 無負荷状態



(b) 2方向回転バルブ用の羽根を取り付けた状態

図2 TWSMA の回転角と温度の関係

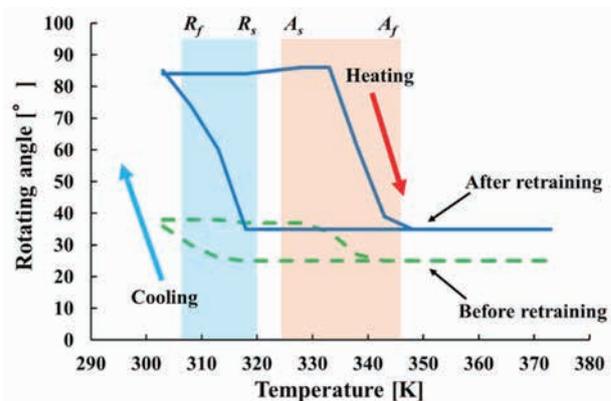


図3 再トレーニング前後の回転角