

〔論 文〕

薄膜で作成された形状記憶合金の 位置制御について

白石 元*

Feedback position control of thin-film's shape-memory-alloy

Hajime SHIRAISHI

Abstract

Nowadays shape-memory-alloy is expected as using of the micro-actuator, because this metal has the more force, according to this volume. However this alloy is caused the action by heat, so this is difficult to be faster this own behavior. Many researches to be more downsized, thinner are conducted. In this research author tested that the thin film shape-memory alloy can be controlled by position feedback and can gain the accuracy, response, or not.

論文要旨

形状記憶合金は占有する体積あたりの動力が大きいため、マイクロアクチュエータとしての利用が期待されている。しかし、この合金は熱に対して反応するため応答性を速くすることが難しく、現在、この合金を薄膜化し、高応答化、小型化する研究が行われている。

今回、実験によりこの薄膜化された形状記憶合金を用いて、位置でのフィードバック制御が可能か、精度と応答性を確保できるかを確かめた。

1. 緒 言

形状記憶合金は占有する体積あたりの動力が大きいため、マイクロアクチュエータとしての利用が期待されている。しかし、この合金は熱に対して反応するため応答性をあげることが難しい。現在この合金を薄膜化し、高応答化、小型化する研究が行われており、これらの薄膜材料を用いて、マイクロプロセッサなどの試作も行われている。

また市販されているアクチュエーター製品の多くは、形状記憶合金が変形した後に形状復帰するための逆方向からのバイアス力が必要である⁽¹⁾。

今回の実験目的は、この薄膜化された形状記憶合金を用いて、バイアス力を用いずに位置でのフィードバック制御が可能かどうか、精度と応答性を確保

できるか否かを確かめることである。

これらを小型化されたサーボ機器としてコントローラと併せて商品化すれば、販路が広がる可能性があると考えられる。

2. 形状記憶合金材料

今回実験に使用したものは、一般的に多く応用製品に用いられているニッケルチタン合金であり、薄膜の厚さは10 μ m前後である。この合金系は疲労強度に強く、耐食性に優れているといわれている⁽²⁾。図1に作動概要と特性を示す。

*機械システム工学科
平成21年7月3日受理

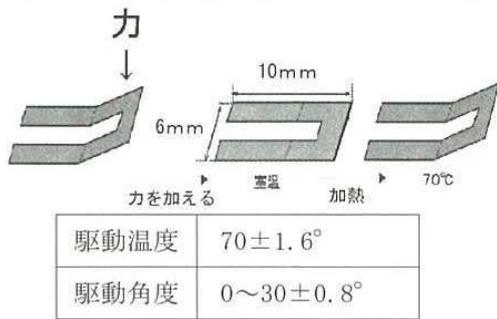


図1 形状記憶合金作動概要⁽³⁾

実際に作動させた様子を図2に示す。温度上昇は材料に電流を流し発熱させることでおこなった。温度上昇後に図の上方へ変形していることがうかがえる。

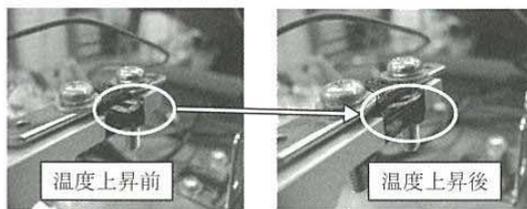


図2 形状記憶合金作動の様子

3. 実験方法

今回のフィードバック制御には、熱発生時、冷却時にむだ時間が生じると思われたため、I-P制御系を用いた。この制御系は一般的なPID制御系に比較してロバスト性が高く、調整が容易とされており、外乱抑制性と目標追従性を両立できる系である⁽⁴⁾。この系のブロック図を図3に示す。調整できる項は内側ループの比例項 K_1 、と積分項 K/T_s である。実験では、この系をオペアンプで実現し、合金薄膜の動きを観察した。

図4にI-P制御系でのオペアンプ回路図を示す。制御対象 $G(s)$ のところはアクチュエーター自身に電流を流し発熱させるために電流増幅回路を付加している。

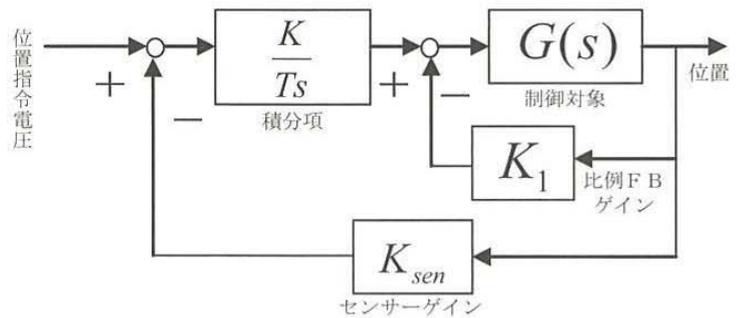


図3 I-P制御系ブロック線図

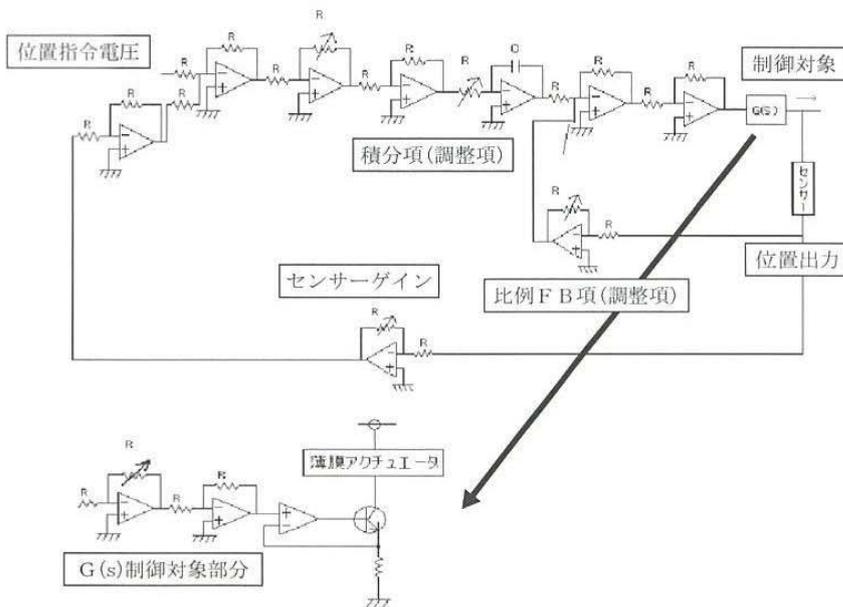


図4 I-P制御系オペアンプ回路図

表1に今回使用した位置センサーの主特性を示す⁽⁵⁾。
また図5にセンサーを用いた位置測定の概要を示す。

表1 位置センサー主特性

検出範囲	4 ± 1.25mm	分解能	5 μm以下
光源	赤色LED	出力	1.6V/mm ± 10%

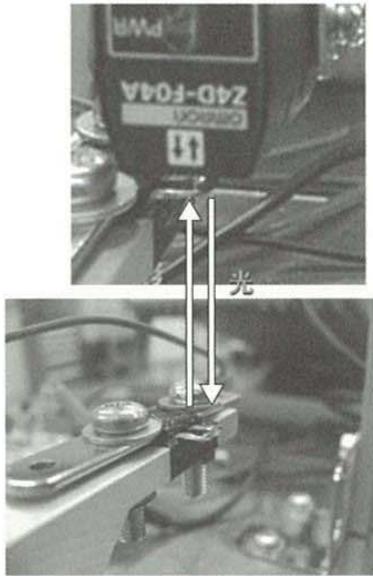


図5 位置測定概念図

4. 静特性実験結果

静特性実験結果を図6に示す。センサーゲインをかけているため、センサーからの信号と位置指令電圧は1 : 1とはなっていない。センサー信号電圧から測定点での稼働範囲は、1.05mmであった。指令電圧を上げてゆくと、合金が大きく折れ曲がる個所が現れる、その後、しばらくリニアに変化する箇所が観察されるが、それ以上指令電圧を上げても合金の変形は見られなかった。リニアに変化したフィードバック制御が成立している箇所の拡大図を図7に示す。

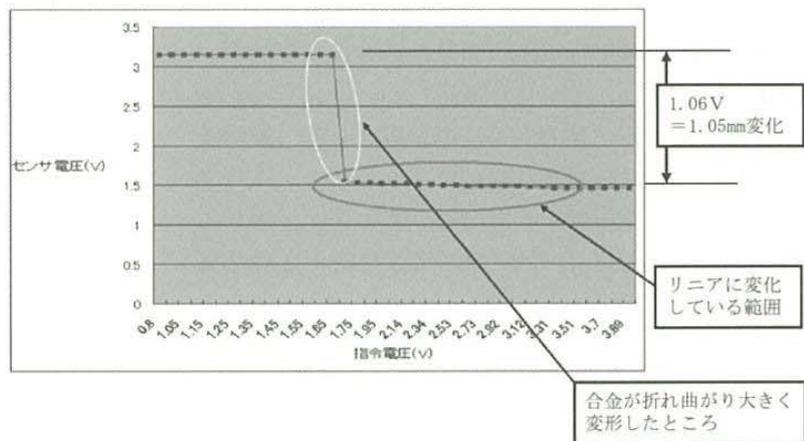


図6 位置指令電圧—センサー電圧静特性結果

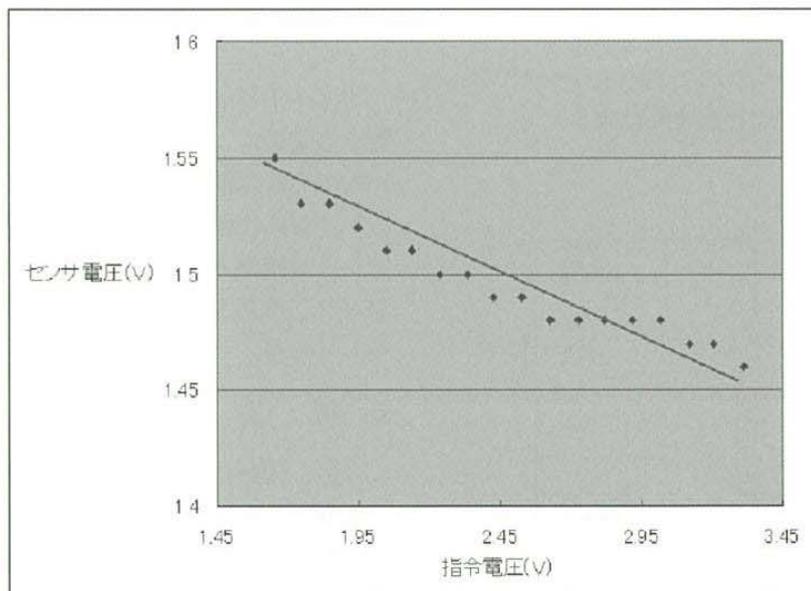


図7 リニアに変化している範囲での指令電圧—センサー電圧静特性結果

フィードバック制御が成立するのは、センサー電圧が1.55~1.47Vの範囲でこれは、0.05mmが制御可能であることを示している。分解能は、6 μm前後とみられるがセンサーの分解能が、5 μmであるため、より高精度のセンサーを用いれば分解能が上がることも考えられる。以上の結果から、この合金は可動範囲のどこでも制御が容易に行えるわけではなく、合金が最初の状態から温度が上昇して大きく相変態したのち、わずかな部分でしか制御できない可能性を示していると思われる。

5. 動特性実験結果

静特性実験で観察した、合金の稼働範囲でのステップ応答実験を行った。図8にその様子を示す。制御可能範囲は、センサー電圧1.55~1.47V=0.08Vであるためその範囲内で波形を観察した。静特性と同様にセンサーゲインをかけているため、指令電圧とセンサー電圧は1:1になっていない。図9にセンサーゲインとI-P制御の定数を変化させた場合を示す。

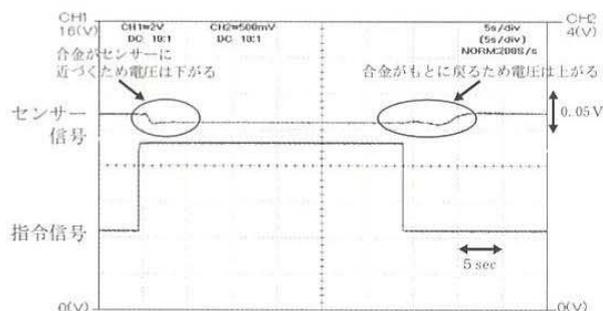


図8 ステップ応答動特性結果1

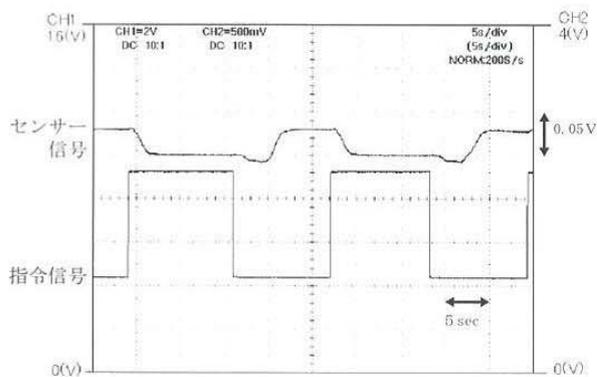


図9 ステップ応答動特性結果2

また、ステップ応答の上げ、下げによるむだ時間を観察するためそれぞれを拡大した様子を図10、図11に示す。

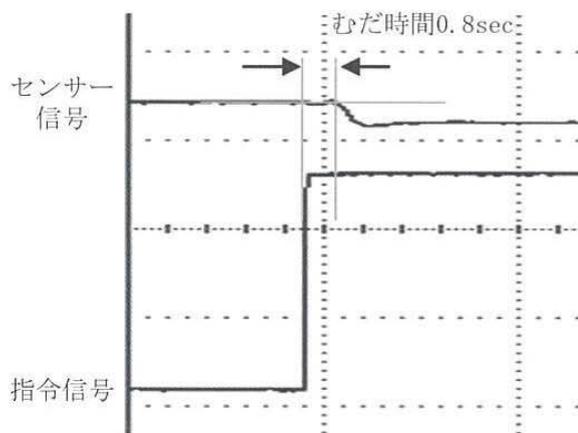


図10 ステップ応答立ち上げ拡大図

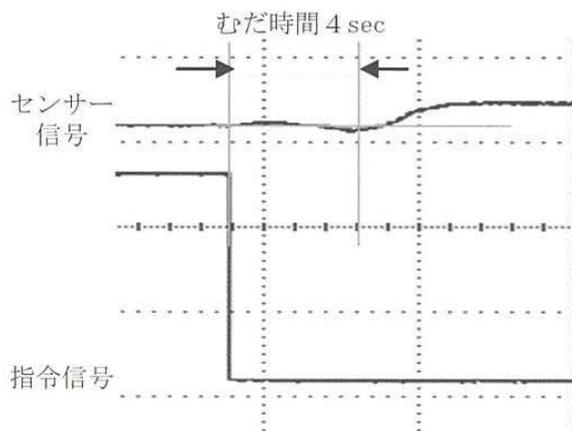


図11 ステップ応答立ち下げ拡大図

フィードバックをとっているため、応答時間は調整する定数によって変わってくるが、同じ定数での比較であれば傾向を把握することは可能である。立ち上げ時に比較して、立ち下げ時のむだ時間が大きいことが観察される。これは合金薄膜が発熱する時間より、冷却する時間がより多く必要であることを示している。

6. 結 言

今回、薄膜化された形状記憶合金の制御性について実験を行った。静特性を観察した結果、薄膜合金の制御が良好に行えるのは、温度が上昇して金属が変態を始めた後のわずかの範囲であった。しかし、形状記憶合金は1方向だけにしか変形しないと考えていたため、わずかの範囲とはいえバイアス力なし

でフィードバック制御が行えたことは意外でもあった。動特性は、一般に良好であった。発熱に比べ、冷却には時間がかかるため応答性を上げるためには、冷却の工夫も必要となる。今回用いた薄膜合金の制御範囲はわずかであったが、約5マイクロン単位で簡単に制御が行えるため、応用させる可能性はあるものと思われる。

参考文献

- (1) トキ・コーポレーション, バイオメタル,
<http://www.toki.co.jp/biometal/index.php>.
- (2) 根岸 朗: 形状記憶合金のお話, 1989, pp46,
日本規格協会。
- (3) 白石元, 平嶋千洋, 土師陽子, 金丸祥二, 秋本
恭喜, 島田眞一, 化学工学会研究発表講演要旨集
2006, p801。
- (4) 須田信英: P I D制御, 1997, pp104, 朝倉書店。
- (5) OMRON社製 短距離変位センサー
Z4D-F04A。