

形状記憶合金ワイヤの歪みサーボ制御における遅れ補償

辻善夫・渡辺哲史

Yoshio TSUJI and Tetsushi WATANABE

キーワード 形状記憶合金, PID 制御, サーボ制御

KEY WORDS Shape Memory Alloy, PID Control, Servo Control

1 はじめに

近年、医療分野における機器の小型・軽量化にともなって、高性能マイクロアクチュエータの開発が期待されている。マイクロアクチュエータ用素材の一つである形状記憶合金ワイヤ (Shape Memory Alloy Wire) は、常温 (冷却時) では糸のようにしなやかであるが、電流を印加すると自己加熱し、軸方向に収縮する性質を持つ。また、出力重量比が大きく、駆動機構もシンプルであることから装置の小型化に有効であり、現在 SMA ワイヤをアクチュエータに用いた義手やロボットハンドに関する研究が行われている。

一方、SMA ワイヤはヒステリシスを持つ非線形素子であるため、これを用いたマニピュレータの高精度な位置制御は困難である⁽¹⁾。これらの背景から、SMA ワイヤをアクチュエータとして用いた実用例は一部に限られている^{(2), (3)}。

本研究では、SMA ワイヤの非線形性を考慮したサーボ制御系を構成し、SMA マニピュレータの位置決め精度を向上させることを目的とした。これまでに、SMA ワイヤの電気抵抗から歪みを推定した制御系を構成し、ステップ状の中間歪みに制御した。しかし、実歪みと歪み推定値は誤差が大きく、制御結果には定常偏差を生じた。また、目標歪みの大きさによっても定常偏差が変動するため、可動範囲内での制御性能が不均一であった。

そこで、本報告では、ノイズ低減による歪み推定精度の向上を行い、PI (比例積分) 制御に比べて、高い PI ゲインを設定できる PID 制御を適用してサーボ制御を行い、正弦波目標軌道に対する遅れの補償を行った結果について述べる。

2. 実験システム

実験に用いる TiNi 系 SMA ワイヤの歪み制御

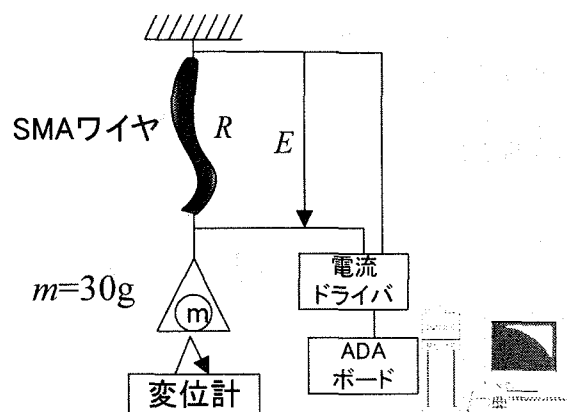


図1 システム概形

システムの概形を図1に示す。SMA ワイヤ (商品名: BMF100、(株) トキコーポレーション製、直径 0.1mm、長さ $L=53\text{mm}$) の片端に錘 ($m=30\text{g}$) を取り付け、鉛直方向に吊した。SMA ワイヤに電流を印加するために、パソコンに装着した ADA ボードを介して定電流ドライバに信号を送り、電流制御を行った。ここで、LED 式変位計 (オムロン製 Z4W-V、分解能 $10\mu\text{m}$) は通常は制御に使用しておらず、歪み-抵抗特性を計測する時のみに用いる。実験は室温 20°C 、無風状態 (0.03m/s 以下) で行った。

SMA の歪みを抵抗値から推定するため、SMA に電流を印可して SMA を伸縮させ、この時の歪と抵抗の値を計測した。この結果を図2に示す。図中の淡い線は実測値、実線は最小二乗近似によって求めた近似直線である。実験に用いた SMA の伸縮時のヒステリシスは小さく、制御には影響を与えない事が分かった。本報告では、ここで得られた近似曲線を用いて歪みを推定し、制御に用いた。

図3に実験に用いた制御系のブロック線図を

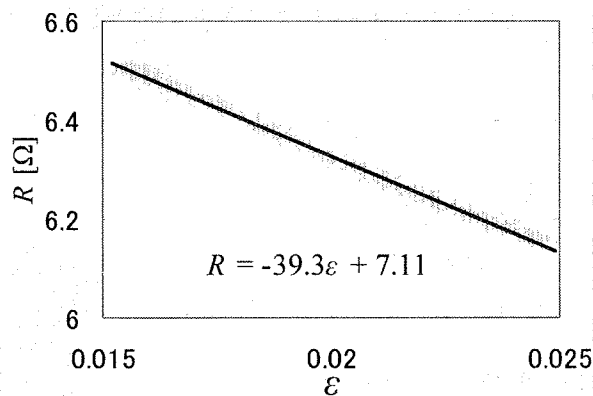


図2 歪み-抵抗線図

示す。ここで、 ε_r :目標歪み、 ε :歪み、 $\hat{\varepsilon}$:推定歪み、 $\hat{\varepsilon}_e$:歪み誤差の推定値、 I [A]:SMA に流れた電流値、 E [V]:SMA 両端電圧、 $f^{-1}(I, E)$ は図2で求めた式の逆関数、 K_p 、 K_i 、 K_d は比例ゲイン、積分時間[s]、微分時間[s]を表す。

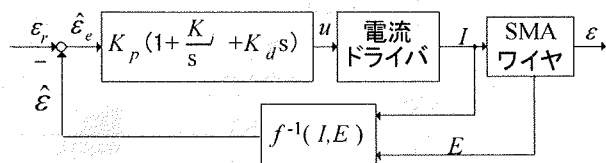


図3 ブロック線図

3 実験結果

SMA の歪みが全長の 1~4% の場合、僅かな温度変化によって歪み量が大きく変化し、比較的高速な応答が可能である。また、SMA に 5% 以上の大きな歪みを繰り返し与えると SMA の寿命を縮めてしまう。これらのことから、SMA をマニピュレータに利用するには、1~4% 程度の領域で利用することが望ましく、この領域の制御性能を向上させることが重要である。よって、本報告では目標歪みは 0.02 を中心とし、振幅 0.005、周波数 0.5 [Hz] の正弦波とする。

SMA ワイヤの抵抗値から歪みを推定して PI 制御 ($K_p=10$, $K_i=0.08$ [s])、PID 制御 ($K_p=15$, $K_i=0.08$ [s], $K_d=0.05$ [s]) した場合の応答を図 4, 5 に示す。PI 制御時には伸張時に目標歪みに対して遅れが生じているが、PID 制御時には遅れも減少し、全ての区間で目標歪みに良く追従している。

4 おわりに

SMA ワイヤの歪み-抵抗特性から得られた歪み推定式を用いて SMA ワイヤのサーボ制御を行った。PID 制御を用いることで、全ての領域で目標歪みに追従可能であった。しかし、

SMA ワイヤは伸縮を繰り返すと伸びが生じたため、歪み推定の精度を維持するためには、数十試行毎にパラメータの再計算が必要であった。

今後、SMA マニピュレータを構成するには複数本の SMA を精度良く制御する必要があり、各 SMA 間のパラメータ変動の影響を考慮した制御系の設計が課題である。

参考文献

- (1) 児玉, 長谷川, 真島, ヒステリシスモデルを用いた SMA アクチュエータの位置制御, 機論, 65-640, C(1999), 4708.
- (2) 本間, 三輪, 井口, 形状記憶効果を利用したデジタルアクチュエータ, 日本機械学会誌, 49-448, (1983), 2163.
- (3) 広瀬・生田・塚本, 形状記憶合金アクチュエータの開発(材料特性の計測と能動内視鏡の開発), 日本ロボット学会誌, 5-2, (1987), 87.

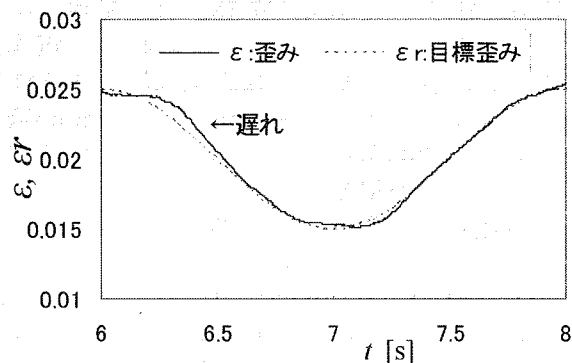


図4 実験結果 (PI 制御)

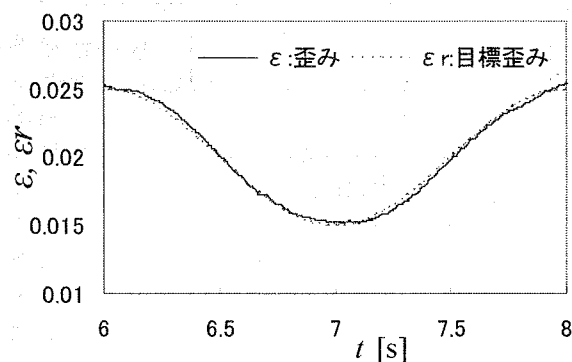


図5 実験結果 (PID 制御)