

形状記憶合金を用いた小型分散ユニット機械の設計

機械技術研究所 吉田 英一 小銀治 繁 村田 智
 富田 康治 黒河 治久

1. はじめに

多数の自律ユニットからなる再構成可能な機械システム¹⁾²⁾は、小型化により極限環境の検査機械や小回りの効くロボットなどの応用が期待できる。小型ユニット機械のアクチュエータには、トルクと広い動作範囲が要求される。その反面、結合・離脱の繰り返しによる構造の変更は離散的な制御で可能である。そこで、小型化に有利な形状記憶合金を用いて、トーシヨンばね拮抗型の回転アクチュエータを構成した。これにより小型ユニットを設計・試作し、その基本性能を確認した。

2. 機械ユニットの設計

設計した機械ユニットは正方形で、対角する頂点に配した回転アクチュエータが結合部(オス)を回転させる。結合部(オス)は他ユニットの結合部(メス)と結合・離脱が可能である。Fig. 1(a)~(c)は2ユニットU1,U2による基本的な移動である。U1,U2の結合部A,Bの回転(1)~(3)と離脱を適切な順序で行い、U1がU2の周囲を回転する。この動きを繰り返すことにより、多数のユニットが様々な2次元形状を構成することができる。

3. トーシヨンばね拮抗型 SMA 回転アクチュエータ

Fig. 1 で見たように、回転部は±90[deg]の動作範囲が要求され、さらに他ユニットを回転させるだけのトルクが必要となる。しかし、制御は中間点と±90°の回転だけであり、離散的な制御でよい。そこで Fig. 2 に示すように形状記憶合金(SMA)によるトーシヨンばねを2個拮抗させて用いることにより、この動きを実現した。さらに、SMAによる発生力は面積に比例することから、小型化に適するという利点も持つ。

トーシヨンばねによる発生力と動作範囲を計算する。トーシヨンばねのばね定数 k_τ [kgf·mm/deg] は、次のように計算できる。

$$k_\tau = \frac{\pi d^4 E}{11520 n D} \quad (1)$$

ただし、 E :縦弾性係数、 d :線径、 D :ばね径、 n :有効巻数である。ここで、温度を上げて行ったとき、変態点 A_S 点を境に E が E_1 から E_2 に変化するとする。式(1)に示すように、 k_τ は E に比例するので、 $k_\tau = cE$ と書ける。また予圧のための巻き込み角を B 、アクチュエータの回転角を x [deg]、負荷トルクを T とする。片方の SMA を加熱したときには、力の釣り合いの式から

$$cE_2(B-x) = cE_1(B+x) + T \quad (2)$$

となる。これを x について解くと

$$x = \frac{Bc(E_2 - E_1) - T}{c(E_2 + E_1)} \quad (3)$$

となり、負荷と動作回転範囲との関係を求めることができる。

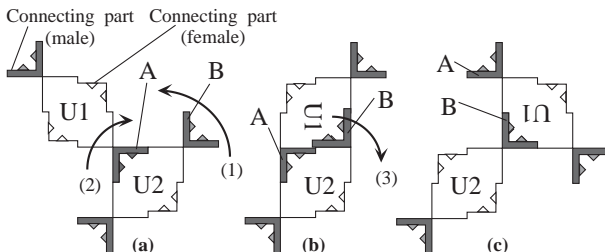


Fig. 1 ユニット (U1, U2) の動作

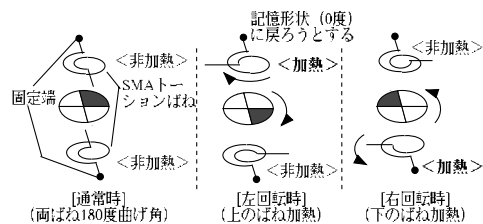


Fig. 2 SMA トーシヨンばね回転アクチュエータの原理

典型的な Ti-Ni 合金では、 $E_1=2000$ [kgf/mm²]、 $E_2=7000$ [kgf/mm²]と計測されている³⁾。 $d=0.6$ [mm]、 $D=8$ [mm]、 $n=3$ のトーシヨンばねを予圧のねじり角 270[deg] で用いた場合、回転角 $x = 0$ [deg]、90[deg] のときには、式(3)からそれぞれ $T = 1998$ [gf·mm]、 761 [gf·mm]となる。実際には摩擦などによりトルクは減少するが、回転開始時($x=0$)に重力に抗して自重を持ち上げることも十分可能になる。また、ユニットが Fig. 1 に示す 90°回転した中間状態でも十分なトルクを持っていると言える。

以上のように、SMA トーシヨンばねを用いた回転アクチュエータの利用により、再構成可能な小型の分散ユニット機械を構築することが可能になる。

4. 基本実験

以上の設計指針に基づき、Fig. 3 に示す小型ユニットを製作し、その基本性能を確認した。2個の SMA 回転アクチュエータをユニット対角する頂点に配し、結合部 I のドラムを回転させる。結合部 II はピンを上下に SMA で駆動し、I との着脱を行う。

回転アクチュエータを、変態点 A_S は約 50 の SMA で $d = 0.6$ [mm]、 $D = 8$ [mm]、 $n = 3$ のトーシヨンばねを製作し、予圧ねじり角 270[deg] で用いた。また、ユニットの質量は約 50[g]であった。Fig. 4 は、1つのユニットが結合している別のユニットを持ち上げる実験の様子を示す。実験では、ユニットは 90°持ち上げられ、Fig. 1(b)の中間状態に達しており、複数ユニットによる再構成動作の可能性が示された。

5. おわりに

SMA アクチュエータを利用した再構成可能な小型ユニット機械を設計し、実験によりその動作を確認した。今後は、結合部分を改良し、さらなる小型化と3次元への拡張を進めていきたい。

謝辞

試作にあたり、(株)小川スプリング製作所の小川明氏、高橋進氏に貴重な助言をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村田他: 計測自動制御学会論文集, 31-2, 254/262 (1995).
- 2) 吉田他: 1998 年度精密工学会秋期大会, 518 (1997).
- 3) 田中他: “形状記憶合金の機械的性質”, 養賢堂, 56 (1993).

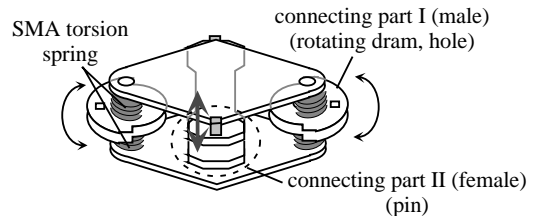


Fig. 3 試作したユニット

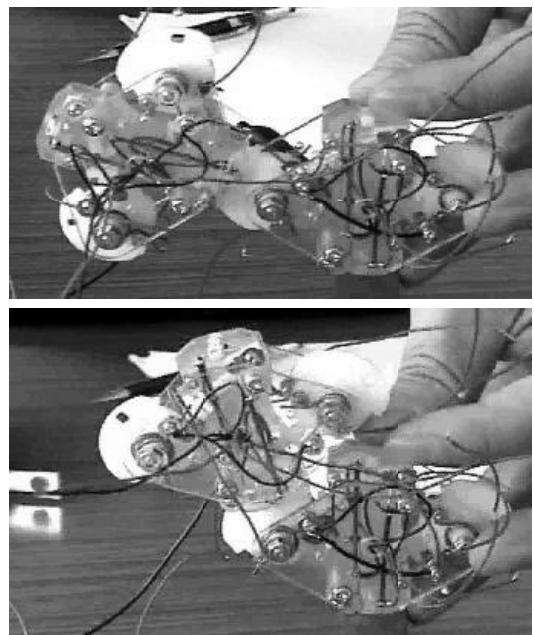


Fig. 4 ユニットの動作実験: 右のユニット(固定)が左のユニットを水平状態から 90°持ち上げる