

SMA を用いたマイクロ自己組み立て機械ユニット

正 吉田 英一 (機技研) 正 村田 智 (機技研) 正 小鍛治 繁 (機技研)
富田 康治 (機技研) 黒河 治久 (機技研)

Micro-size self-assembling modular machine using SMA

Eiichi Yoshida Satoshi Murata Shigeru Kokaji Kohji Tomita Haruhisa Kurokawa
Mechanical Engineering Laboratory

Abstract – This paper presents a micro-size self-reconfigurable modular machine using shape memory alloy (SMA). Each mechanical module realizes rotational motion by using an actuator mechanism composed of two SMA torsion springs which can generate sufficient motion range and torque. The basic reconfiguration motion of the machine is verified by using two prototype micro-size unit. Possibility of extension to 3-D space is also mentioned.

Key Words: Self-reconfigurable Modular Robot, Shape Memory Alloy, Micro/Miniature Robotic Actuator

1 はじめに

多数の小型ユニットからなる自律再構成可能な機械システムは、小型の多目的なロボットや極限環境の検査機械などへの応用が期待できる。このような背景から、小型化・マイクロ化に有利な形状記憶合金 (SMA) アクチュエータを用いた機械ユニットの開発を進めている。これまでに、小型ユニットを設計・製作し、多数台による自己組み立て実験を行った¹⁾。本報では、サイズを 2cm 立方 (約 1/2) にマイクロ化した自己組み立てユニットについて述べる。また、3次元への拡張についても触れる。

2 小型ユニットの構造

設計した小型機械ユニットは正形状で、対角する頂点に配したアクチュエータにより回転する結合部 (オス) が他ユニットの結合部 (メス) と結合・離脱する。Fig. 1(a) ~ (c) は 2 ユニットによる基本的な移動手順で、U1, U2 の結合部 A, B の回転 (1) ~ (3) と結合・離脱を適切な順序で行って、U1 が U2 の周囲を時計回りに 90° 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次元形状を構成できる。これまで、約 5cm 立方の大きさ (マイコンによる制御部除く) のユニットを 6 台試作し、これらを用いて基本動作や自己組み立て機能を検証した¹⁾。

3 ユニットのマイクロ化設計

SMA の発生力はひずみエネルギーによるもので、トルク・重量比が一定である。したがって、小型化した場合にこの比が低下する電磁モータに比べ有利である²⁾。また、マイクロ化により体積に対する表面積の比が大きくなり、冷却効率が上がるため、応答性も向上する。SMA マイクロアクチュエータは、能動カテーテルなどに応用されている³⁾。このように SMA はマイクロ化に適しているので、ここでは管内など狭隘環境での移動や作業など、

応用範囲の拡大を視野に入れた設計を行う。

Fig. 2 に、設計したマイクロユニットの構造を示す。ユニットのマイクロ化において、単純な機構である SMA による駆動部分については、サイズの小さいばねを用いればよい。基本的な構造は既報の小型ユニット¹⁾と同様であるが、回転ドラムを 0° と ±90° の位置に止めるための機構には板ばね機構を用いている (Fig. 2 の 0° stopper mechanism)。0° 位置での固定の開放は SMA コイルばねにより行う。結合ピンは上下にスライドする機構となっており、オートロックにより結合し、その解除も SMA コイルばねにより行う。結合の維持や 0° 位置での固定はパイアスのコイルばねによりなされるので、SMA を通電加熱するのは、その解除のときだけである。

Fig. 3 に、試作したマイクロサイズのユニットを示す。大きさは約 2cm 立方に収まり (高さ約 1.5cm)、これまでの小型ユニットに比較しては約 1/2 のサイズとなっている。Fig. 4 は、ユニットが 2 個結合しているところである。

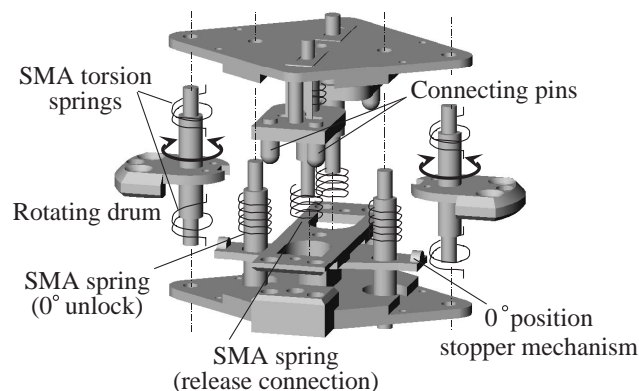


Fig. 2: Structure of micro-unit.

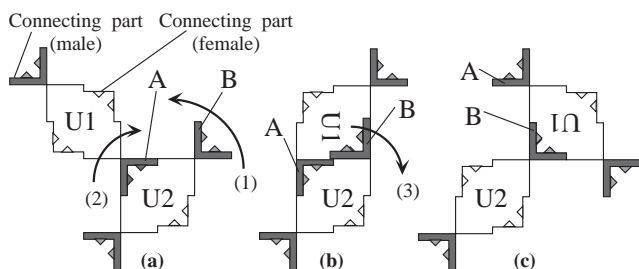


Fig. 1: Basic motion of two units.

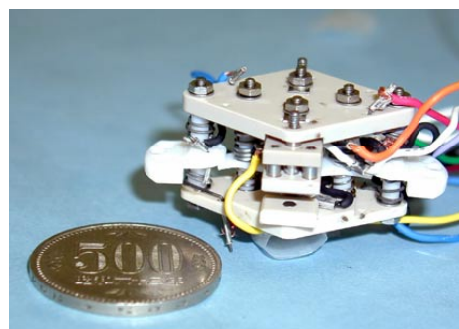


Fig. 3: Prototype of micro-unit with 500yen coin.

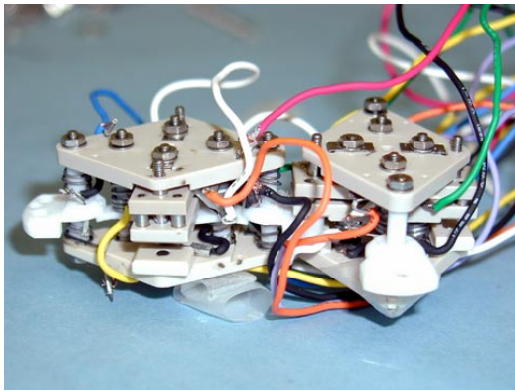


Fig. 4: Two units connected.

回転アクチュエータのSMAトーションばねには、加熱時と非加熱時の剛性の差が大きい材料であるTi-Ni-Cuを用い、線径0.45mm、ばね径3.0mm、有効巻数3とした。これにより、最大1.68kgf・mm(回転角0°)のトルクを発生することができる¹⁾。また、結合の解除と0°位置でのロックの開放のためのSMAコイルばねにはTi-Ni材を用い、線径0.6mm、ばね径3.0mm、有効巻き数7とした。

4 基本動作実験

ユニット単体については、回転ドラムを0°と±90°の位置でロックする機能、結合のSMAによる解除などの機能を実験により確認できた。ここでは、SMA回転アクチュエータが十分なトルクを持つことを示し、マイクロ化したユニットが基本動作を行えることを実験により確認する。実験では、1個のユニットがもう1個を重力に抗して垂直方向に持ち上げ、1つの結合部で結合した状態から中間状態に至るまでの動作(Fig. 1(a) ~ (b))を行う。実験の結果、Fig 5に示すように、マイクロ化したユニットにより基本動作が可能であることを確認した。

5 3次元への拡張可能性

Fig. 1に示すユニットを3個組み合わせると正八面体とすると、3次元形状を構成するユニットになる(Fig. 6)。ただし、一つの八面体の頂点をオス部とメス部が共有する形になるので、結合機構を再設計する必要がある。

このユニットはFig. 7のようにその頂点で結合して3次元直交格子座標上を移動することができる。このユニット群に対しては、筆者らがこれまでに開発した3次元機械ユニットの自己組立アルゴリズム⁴⁾を、移動形態の類似性を利用して適用することが可能である。

6 おわりに

SMAを利用したユニット機械のマイクロ化を行った。今後、試作したマイクロユニットを用いて、自己組み立ての基本機能の検証実験を進める。さらに、制御部のマイクロ化とそのユニットへの搭載について検討し、また3次元拡張ユニットの実際の設計を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 吉田他: "SMAを用いた小型ユニット式自己組織ロボット," ロボティクス・メカトロニクス講演会99, 1P2-29-035 (1999).
- 2) K. Ikuta: "Micro/minature shape memory alloy actuator," Proc. IEEE ICRA, 2156/2161 (1990).
- 3) 江刺: "半導体微細加工を応用したマイクロメカニズム," 1999年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, 117 (1999).
- 4) 吉田他: "自律分散機械による3次元形状の自己組み立てと自己修復," 計測自動制御学会論文集, 35-11, 1421/1430 (1999).

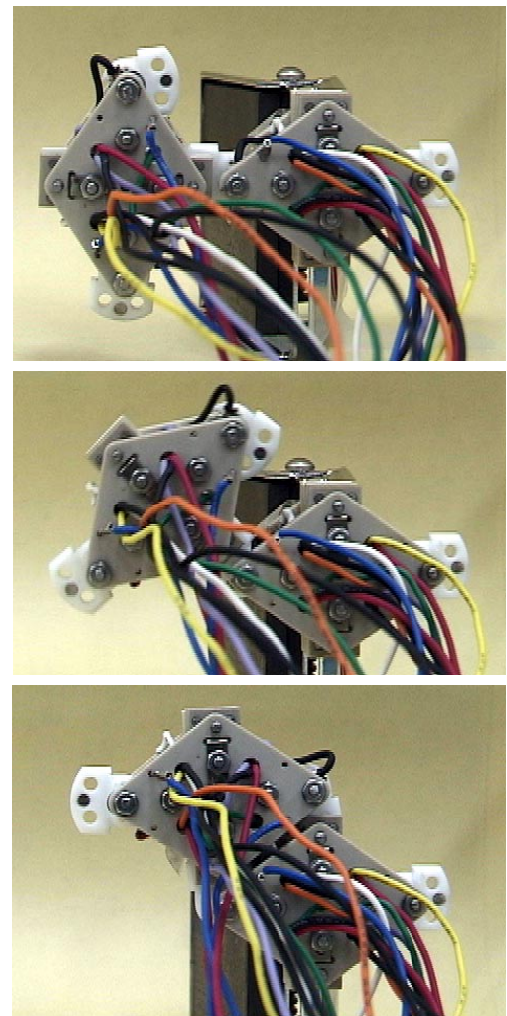


Fig. 5: Experiment of basic motion by two units.

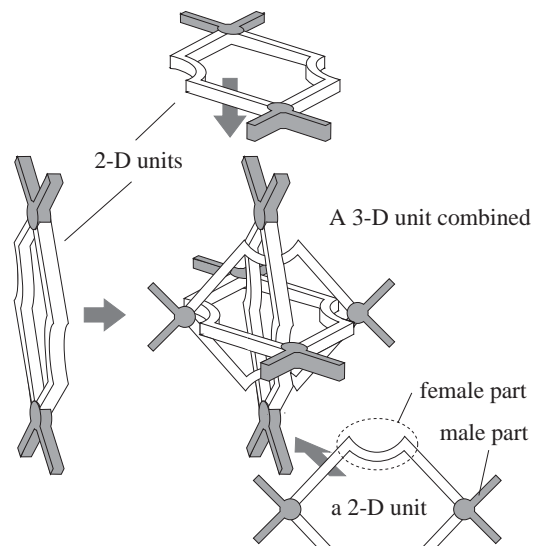


Fig. 6: 3-D unit composed of three 2-D SMA units.

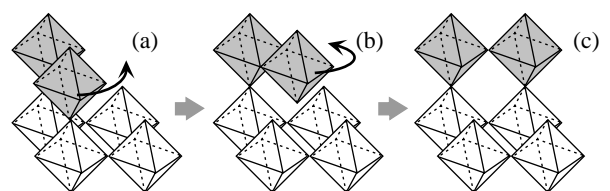


Fig. 7: Motion of 3-D SMA units.