

J1103-1-1 形状記憶ポリマーを用いた McKibben 型アクチュエータの開発

Development of a McKibben actuator using a shape-memory polymer

○ 正 高嶋 一登 (理化学研究所), Jonathan Rossiter (University of Bristol), 向井 利春 (理化学研究所)

Kazuto TAKASHIMA, RIKEN, 2271-130, Anagahora, Shimoshidami, Moriyama-ku, Nagoya-shi, Aichi
Jonathan ROSSITER, University of Bristol, University Walk, Bristol BS8 1TR, UK
Toshiharu MUKAI, RIKEN

Shape-memory polymers (SMPs) can be deformed above their glass transition temperature (T_g) upon the application of a small load. They can maintain their shape in a rigid form after they have been cooled to below T_g . When heated again above T_g , they return to their predefined shape. Exploiting these characteristics, we developed a McKibben actuator which can fix into a rigid shape without the need for continuous control using an SMP. When this new actuator is warmed above T_g , it can be used as a conventional McKibben actuator. When the actuator attains its desirable length, it can be cooled to below T_g and the SMP will fix the structure in a rigid, actuated, state. This state is maintained without the need for any air supply or control system. The enhanced versatility of this new actuator is shown through a series of experiments conducted on a prototype SMP McKibben actuator.

Key Words: Shape-memory polymer; McKibben actuator; Shape fixity; Shape recovery; Glass transition temperature

1. はじめに

McKibben 型アクチュエータは、網状の繊維スリーブに覆われたゴムチューブの内部に圧縮空気を給気すると長さ方向に収縮し、空気を排気すると元の長さに戻る空気圧アクチュエータであり、軽量、高出力などの利点を持つ。McKibben 型アクチュエータをロボットの関節に用いる場合、拮抗駆動型にして関節の剛性を高くすることが多いが、ガススプリングのようなものなので、保持力に限界がある。また、非線形性やヒステリシスといった特性を持ち、正確な位置制御や速度制御が難しい。そのため、本研究では、形状記憶ポリマー (SMP) ⁽¹⁾⁻⁽³⁾ を用いた McKibben 型アクチュエータを開発した。

2. SMP の特性

SMP とは、成型加工後に力を加えて変形しても、ガラス転移温度 (T_g) 以上に加熱すると元の形状に回復するポリマーである。さらに、SMP は室温付近に設定された T_g 以上に加熱すると弾性係数が大きく変化し、約 100~1000 分の 1 になる (Fig.1)。このため、 T_g 以上でゴムのように柔らかく大変形させることができ、その状態で T_g 以下にすると、変形した任意の形状を保持したまま、ガラスのように硬く変形しにくくできる (形状固定性)。その後、 T_g 以上に再加熱すると、材料は柔軟性を取り戻し、弾性力によって元の形状に回復する (形状回復性)。同種の形状記憶材料である形状記憶合金との違いとしては、①軽い、②複雑形状に加工しやすい、③形状回復率が高いことなどが挙げられる。

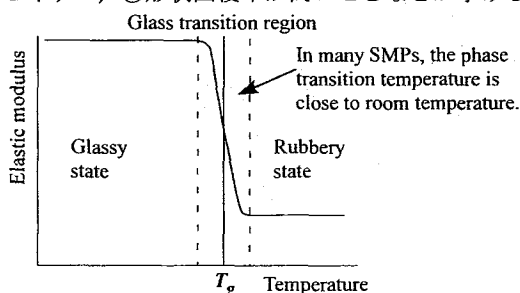


Fig. 1 Relationship between the elastic modulus and temperature of the SMP.

3. SMP を用いた McKibben 型アクチュエータの基本仕様

本アクチュエータの基本的な動作を Fig. 2 に示す。本ア

クチュエータを従来の McKibben 型アクチュエータと同様に使用する際は T_g 以上まで加熱して SMP 自体を柔らかいゴム状態にして駆動する (S1→S2)。その後、目標とする位置で T_g 以下まで温度を下げ、SMP をガラス状態にして硬くし、その状態で保持する (S3)。その結果、従来に比べて強い力で姿勢を保持できる。さらに、圧縮空気を供給しなくてもこの長さを保つことができる (S4)。その後、 T_g 以上に加熱すると、柔軟性を取り戻し、元の形状に回復する (S5)。

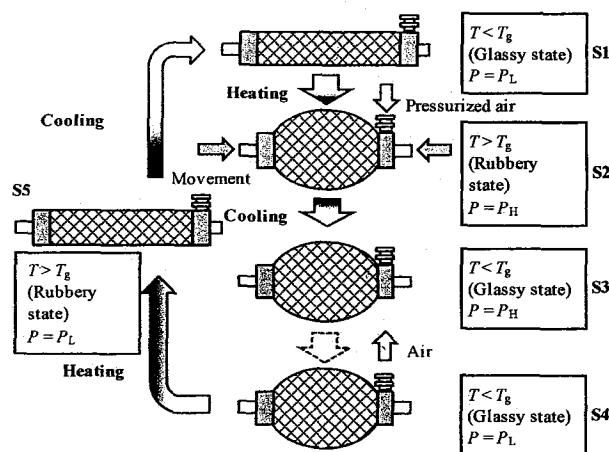


Fig. 2 Schematic of McKibben actuator that uses SMP (P_H : high pressure, P_L : low pressure).

従来の McKibben 型アクチュエータに比べて、以下の利点が挙げられる。

- (1) 従来の McKibben 型アクチュエータは、S2, S5 の状態しかとれないが、形状固定状態 (S1, S3, S4) をとることができる。
- (2) SMP をゴム状態からガラス状態にすることによって、アクチュエータの形状固定性を強くできる。一方、ゴム状態にすることによって、任意の広い範囲で、この形状固定性を利用することができる。
- (3) Fig. 2 の S1 で、内圧を高くしても、SMP の剛性により、アクチュエータの変形は拘束される。この場合、内圧が一定でも、加熱すると、S1 から S2 の変化が可能である。すなわち、温度によって動作可能である。さらに、SMP は温度以外の刺激 (光, 電場, 磁場, 水など) によって、

ガラス転移するので、これらの刺激によっても同様に動作可能である。

4. 実験方法

本研究では、 $T_g = 45^\circ\text{C}$ のポリウレタン系 SMP (ディアプレックス製ダイアリイ、二液硬化タイプ) を市販のマッキベン型アクチュエータ (外径: 20 mm, 伸長させた長さ: 210 mm, Shadow robot company Ltd.) に塗布し、試作品を製作した (Fig. 3)。その後、試作品を等張試験、等尺試験で評価した。すなわち、等張試験として、一定荷重 (62 N) を負荷した状態で内圧を変化させ、そのときの変位をレーザ変位計で測定した。さらに、等尺試験として、片端にロードセルをつけ、一定長さを保った状態で、内圧を変化させ、アクチュエータが発生させる力を測定した。実験時、試作品はプラスチックボックスの中に入れ、周囲温度が T_g より十分高い 70°C 以上になるように加熱した。

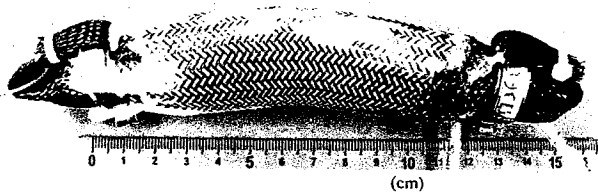


Fig. 3 Prototype of newly developed actuator with SMP.

5. 実験結果および考察

5-1. 動作例

Fig. 2 の動作手順に沿って、試作品を動作させた。内圧、変位、周囲温度の経時変化を Fig. 4 に示す。まず、無荷重で冷却固定した試作品の片端に 62 N のおもりをぶらさげ、 T_g 以上に加熱すると、おもりの重さでアクチュエータは徐々に伸長した (Fig. 4(a))。これは加熱によりゴム状態の部分が増加するためである。その後、圧縮空気を注入すると収縮した (Fig. 4(b))。すなわち、SMP をゴム状態にすることにより動作可能となった。さらに、その状態で、 T_g 以下に冷却後、内圧を低下させても、アクチュエータの長さは変化しなかった (Fig. 4(c))。すなわち、ガラス状態の SMP の形状固定性によって荷重負荷可能だった。この形状固定性を調べるためにその状態を 1 h 保ったときの変位を Fig. 5 に示す。異なる内圧で異なる長さに固定しても、排気後、大きな変形は見られなかった。

5-2. 等張試験

一定荷重を負荷した状態で内圧と温度を変化させ、そのときの変位を測定した。アクチュエータ内部に 10 s 間隔で圧縮空気の給排気を繰り返した。内圧、変位、周囲温度の経時変化を Fig. 6 に示す。まず、 T_g 以上に加熱すると、アクチュエータは徐々に伸長し、内圧変化に応じた長さ変化が徐々に大きくなっていった (Fig. 6(a))。 T_g 以上に十分加熱されると、長さの変化量はほぼ一定になった (Fig. 6(b))。その後、 T_g 以下に冷却すると、内圧変化に応じた長さの変化量は小さくなっていった (Fig. 6(c))。

5-3. 等尺試験

等尺試験として、一定長さに保ち、Fig. 6 と同様に内圧、温度を変化させた。内圧、発生した力、周囲温度の経時変化を Fig. 7 に示す。Fig. 6 と同様に温度変化に応じて、発生する力が変化していった。

6. おわりに

本研究では、SMP を用いた McKibben 型アクチュエータを開発し、その基本特性について検討した。試作品を用いた評価実験により、本コンセプトの有効性を示した。

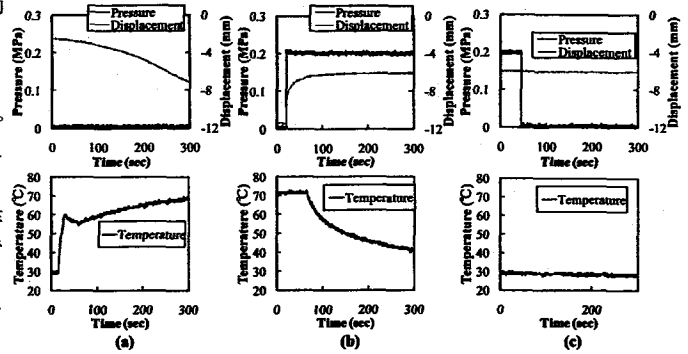


Fig. 4 Motion of the prototype actuator when the internal pressure is changed with heating and cooling under a constant load (62 N). (a) $T < T_g$, $P = P_L$, (b) $T > T_g$, $P = P_L \rightarrow P_H$, (c) $T < T_g$, $P = P_H \rightarrow P_L$

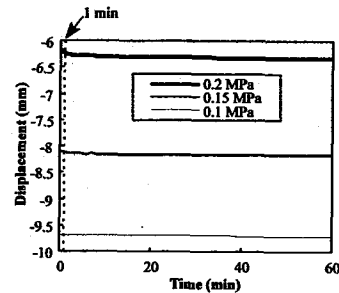


Fig. 5 Transition of shape fixity state of the prototype actuator ($T < 30^\circ\text{C}$) under a constant load (62 N). When $T = 1$ min, the inner pressure of the actuator is reduced to the environmental pressure.

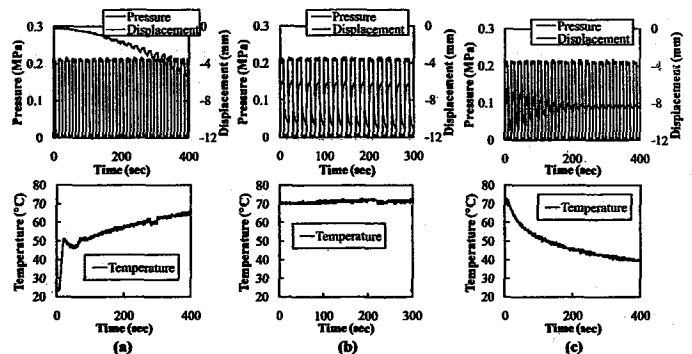


Fig. 6 Motion of the prototype actuator when we applied a 0.2 MPa square wave pressure with heating and cooling under a constant load (62 N). (a) $T < T_g \rightarrow T > T_g$, (b) $T > T_g$, (c) $T > T_g \rightarrow T < T_g$

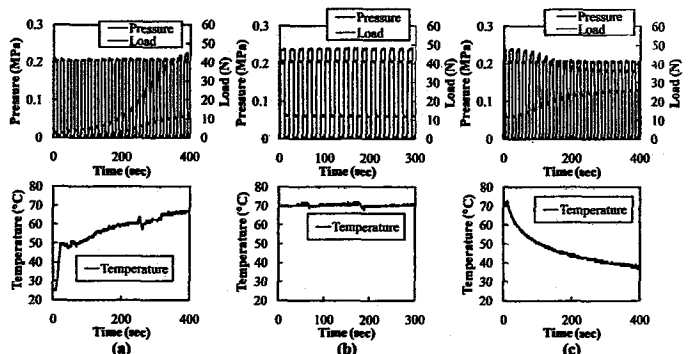


Fig. 7 Generated force of the prototype actuator when we applied a 0.2 MPa square wave pressure with heating and cooling under a constant length (initial displacement = 1 cm). (a) $T < T_g \rightarrow T > T_g$, (b) $T > T_g$, (c) $T > T_g \rightarrow T < T_g$

参考文献

- (1) 入江正浩, 形状記憶ポリマーの材料開発, シーエムシー出版, 2000.
- (2) 戸伏寿昭ほか, 形状記憶材料とその応用, コロナ社, 2004.
- (3) 高嶋一登ほか, 日本ロボット学会誌, 28(7-8) (2010) (in press).