

# 電熱線埋め込み型形状記憶ポリマーシートを用いた

## 空気圧ゴム人工筋の動作特性の評価

○杉谷 和洪 (九州工業大学), 高嶋 一登 (九州工業大学, 理研),  
則次 俊郎 (津山高専), 向井 利春 (理研)

### Evaluation of Motion of Pneumatic Artificial Rubber Muscle Using Shape-Memory Polymer Sheets with Embedded Electrical Heating Wires

○Kazuhiro SUGITANI (KIT), Kazuto TAKASHIMA (KIT, RIKEN),  
Toshiro NORITSUGU (Tsuyama National College of Technology), and Toshiharu MUKAI (RIKEN)

Abstract: We have developed the pneumatic artificial rubber muscle whose bending direction can be changed using shape-memory polymer (SMP) sheet with embedded electrical heating wires. In this study, we confirmed that the temperature of the SMP sheet can be maintained at a definite temperature by controlling the pulse current. Controlling the temperature of the SMP sheet, the bending motion of the actuator could be changed.

#### 1. 緒言

空気圧ゴム人工筋は、ゴムに空気を注入して動力を与えるアクチュエータであり、軽量・柔軟・高出力などの利点から、ウェアラブルなパワーアシスト装置への応用が検討されている。ここで使用している伸長型空気圧ゴム人工筋は、ゴムチューブの周りをポリエステル繊維製の蛇腹で覆ったものである。ゴムチューブ内を加圧したときに、チューブ半径方向への膨張が抑制され、軸方向にのみ伸長する。この伸長型空気圧ゴム人工筋は、一部を繊維強化し湾曲動作を行うものを用いたパワーアシストグローブの開発<sup>[1]</sup>などが行われている。

また、形状記憶ポリマー (Shape-Memory Polymer, SMP) は、室温程度に設定されるガラス転移温度 ( $T_g$ ) を境に機械的特性が大きく変化する。 $T_g$  以上に加熱すると、弾性率が  $T_g$  以下の時と比べて 100~1000 分の 1 に変化するのので、柔らかくなり変形させることができる。そして、変形させた SMP の形状をそのまま保持して  $T_g$  以下の温度に冷却すると、その形状のまま変形しにくくなる (形状固定性)。その後、SMP を  $T_g$  以上の温度に加熱すると柔軟性を取り戻し、弾性力によって元の形状に回復する特性を示す (形状回復性)。その特徴を利用し、エンジンのオートチョークや、温めるとねじ山がなくなるビスなどの研究がある。我々は、SMP を伸長型空気圧ゴム人工筋の伸長拘束部材に用いることで、湾曲動作を変更可能なアクチュエータの開発を行っている<sup>[2][3][4]</sup>。

これまでの研究<sup>[3][4]</sup>では、伸長拘束部材に用いる SMP の温度を上昇させるために、電熱線を埋め込んだ SMP シートを作製し、力学的特性の評価を行い、電熱線の機械的特性の影響が SMP シートに現れないようにした。本研究では、電熱線に加える電気の ON-OFF 制御装置を変更することで、SMP シートの温度変動を少なくした。また、その装置を用いて SMP シートを取り付けた湾曲型空気圧ゴム人工筋を駆動させ、動作特性について評価を行った。

#### 2. 電熱線埋め込み型 SMP シートの温度制御

##### 2.1 試作品

本研究で使用した電熱線埋め込み型 SMP シートの外観を Fig. 1 に示す。

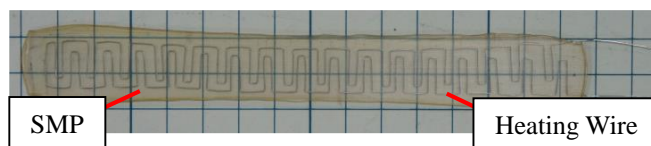


Fig. 1 SMP sheet with embedded electrical heating wire

このシートに使用した SMP は、SMP テクノロジーズ製の二液硬化タイプ (MP4510) で、 $T_g=45^\circ\text{C}$  である。シートサイズは Table 1 に示す。また、ここで使用した電熱線は  $\phi 0.26\text{mm}$  のニクロム (電気固有抵抗:  $108\pm 6\times 10^{-6}\Omega\text{cm}$ ) を使用し全体の抵抗は  $20\Omega$  となった。

Table 1 SMP sheet size

Length [mm]	Width [mm]	Thickness [mm]
150	20	1.0

## 2.2 温度制御実験

電熱線埋め込み型 SMP シートの温度を、温度制御装置を用いて、 $T_g$  以上の温度 ( $55^\circ\text{C}$ ) で一定に保つことが可能であるかどうか調べた。温度制御装置の概要を Fig. 2 に示す。このときの温度の制御方法は、LabVIEW からの PWM (パルス幅変調) 信号で、リレーの ON-OFF の動作を行った。信号パターンは 5 秒サイクルでデューティ比 10% としたとき、3 秒サイクルでデューティ比 12% としたとき、1 秒サイクルでデューティ比 12%、15% としたときの 4 パターン行い、電熱線にパルス状の電流を流すことで変化する SMP シートの温度を測定した。リレースイッチが ON の時に AC20V の電圧を負荷した。SMP シートの表面温度の時間変化は、赤外線温度計 (キーエンス, FT-H10) で、全体の温度分布の様子を、サーモグラフィカメラ (NEC Avio 赤外線テクノロジー, F30) で測定した。また、以前の PWM を用いない ON-OFF 制御のみを使用した結果も併せて示す。

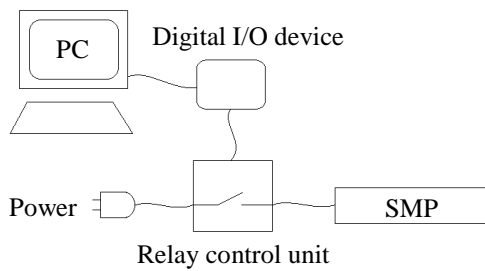


Fig. 2 Schematic of temperature control system

## 2.3 温度制御実験結果及び考察

Fig. 3 に赤外線温度計で測定した SMP シート表面の温度変化の結果を示す。また、1 秒サイクルでデューティ比が 12% と 15% のもののサーモグラフィ写真を Fig. 4 に示す。この結果から、PWM 信号を用いて、以前の ON-OFF 制御に比べて SMP シートの温度を一定に保つことができた。今回の SMP シートでは、1 秒サイクルでデューティ比が 12% にするときに、最も  $55^\circ\text{C}$  で SMP シートの温度を一定に保つために適していた。

## 3. 湾曲型空気圧ゴム人工筋の動作特性

### 3.1 動作特性測定実験方法

2.2 で使用した温度制御装置を用いて SMP シートの温度を変化させ、人工筋の運動の様子を測定した。実験には、以前に製作した電熱線埋め込み型 SMP シートを張り付けた湾曲型空気圧ゴム人工筋<sup>[3]</sup>を用いた。人工筋の直径は 15mm、全長は 150mm となっている。実験方法は、人工筋の片側を固定し、人工筋の内圧を変化させ

た ( $0 \Leftrightarrow 0.24\text{MPa}$ ) 場合の動作の様子をビデオカメラで撮影した。動作位置は、固定した位置を原点  $O$  とし、人工筋の先端の位置を  $X, Y$  の二次元平面で示した。また原点  $O$  と先端点を結んだ直線と  $Y$  軸となす角を  $\theta$  とし、 $\theta$  の時間変化を示した。これらの位置関係を Fig. 5 に示す。

測定した動作パターンは、下記の 6 パターンとした。まず、SMP シートの温度が  $T < T_g$  のときの加圧時と減圧時、次に、SMP シートの温度が  $T > T_g$  のときの加圧時と減圧時、最後に、SMP シートの温度が  $T > T_g$  で加圧した後、異なる場所に再固定し、温度を  $T < T_g$  にしたときの減圧時と加圧時の動作を測定した。

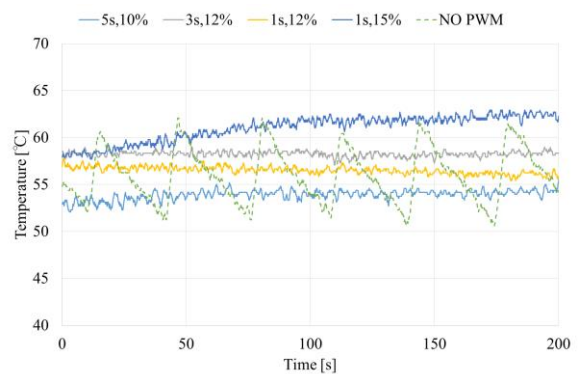


Fig. 3 Transition of temperature of the SMP sheet surface

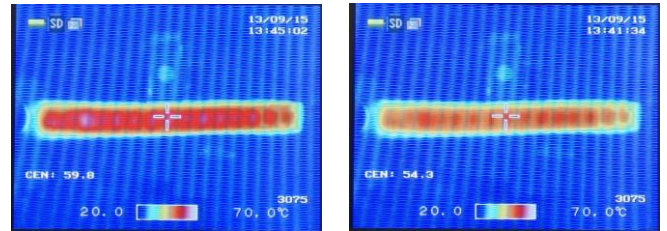


Fig. 4 Thermography of the SMP sheet

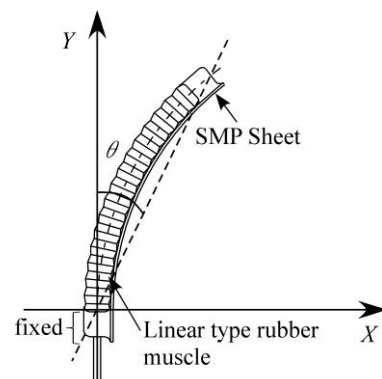


Fig. 5 Positional relationship of artificial muscle

### 3.2 動作特性測定実験結果及び考察

先端位置の軌跡を Fig. 6 と Fig. 7 に、 $\theta$  の時間変化を Fig. 8 と Fig. 9 に示す. 測定は 0 秒の時に圧力を変化させた. Fig. 6 と Fig. 7 よりそれぞれの動作パターンで、人工筋の動作量や動作位置を変更できていることが分かった. また、Fig. 8 と Fig. 9 より加圧または減圧を開始してから、 $T < T_g$  のときは 0.5 秒ほどで目的の位置まで移動ができていた. しかし  $T > T_g$  のときは、5 秒程度経過した場合でも、少しずつ移動が行われていたため、決まった位置に動作を停止させるためには、SMP シートの温度を  $T < T_g$  に下げる必要がある.

### 4. 結言

温度制御装置を用いることで、電熱線埋め込み型 SMP シートの温度を一定に保つことができた. また温度制御装置を用いて人工筋の湾曲動作を行った結果、SMP シートの温度を変化させることで、湾曲動作の位置や変化量を変えることができた. また、 $T < T_g$  のときの湾曲動作の速度がおよそ 0.5 秒程度と速い動きが確認できた.

### 謝辞

本研究は、公益財団法人マツダ財団からの研究助成を受けたものです.

### 参考文献

- [1] 佐々木大輔, 則次俊郎, 山本裕司, 高岩昌弘, “空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストグローブの開発”, 日本ロボット学会誌, vol.24, no.5, pp.640-646, 2006
- [2] K. Takashima, T. Noritsugu, J. Rossiter, J. Guo, and T. Mukai, “Curved Type Pneumatic Artificial Rubber Muscle Using Shape-Memory Polymer,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.24, no.3, pp.472-479, 2012
- [3] 杉谷和洪, 則次俊郎, 向井利春, 高嶋一登, “形状記憶ポリマーを用いた空気圧ゴム人工筋の温度制御の検討”, SI2012, pp.1144-1146, 2012
- [4] 杉谷和洪, 高嶋一登, 則次俊郎, 向井利春, “電熱線埋め込み型形状記憶ポリマーシートの力学的特性の評価”, 日本機械学会 2013 年度年次大会講演論文集, 2013

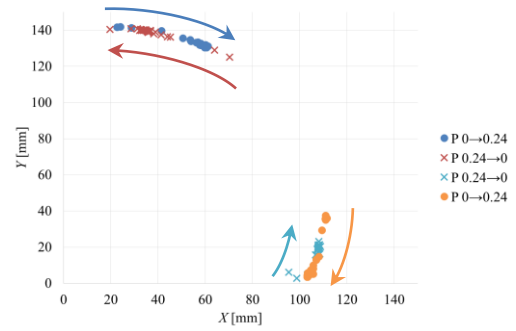


Fig. 6 Trajectory of the artificial muscle tip using the SMP sheet ( $T < T_g$ )

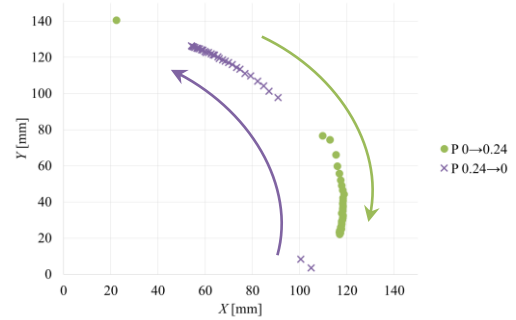


Fig. 7 Trajectory of the artificial muscle tip using the SMP sheet ( $T > T_g$ )

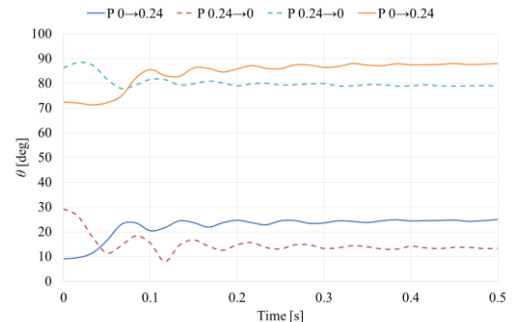


Fig. 8 Motion of the artificial muscle using the SMP sheet ( $T < T_g$ )

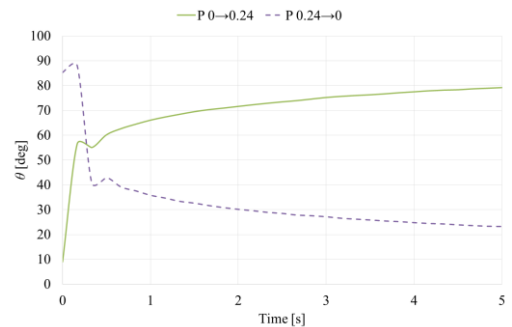


Fig. 9 Motion of the artificial muscle using the SMP sheet ( $T > T_g$ )