

C112 電熱線埋め込み型形状記憶ポリマーシートを用いた力覚センサに関する研究

Study on force sensor using shape-memory polymer sheet with embedded electrical heating wire

○神園大樹 (九工大) 正 高嶋一登 (九工大, 理研)
正 竹中 慎 (香川産技セ, 九工大) 正 向井利春 (理研)

Hiroki KAMIZONO (Kyusyu Institute of Technology),
Kazuto TAKASHIMA (Kyusyu Institute of Technology, RIKEN),
Makoto TAKENAKA (Kagawa Prefectural Industrial Technology Center)
Toshiharu MUKAI (RIKEN)

Key words : Shape-Memory Polymer, Force Sensor, Electrical Heating Wire

1. 緒言

ロボットは近年、介護・福祉などの分野に適用され、従来のように工場のみで使用される場合に比べて幅広い環境で使用されるようになり、さまざまな外界情報の測定が必要になってきた。我々はこれまで形状記憶ポリマー (SMP) の温度による剛性変化を利用した姿勢維持モジュール、アクチュエータ、センサ[1-5]をいくつか開発してきた。ここで 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率が大きく変化し、約 100~1000 分の 1 になる。本研究ではこれまで開発してきた知見を応用し、測定レンジや精度を変更できる力覚センサを構築した。

2. SMP を用いた力覚センサの基本仕様

力覚センサは、機械変形によって検出部分に生じた抵抗、静電容量、レーザ光の反射量などの変化を電気信号に変換するが、その測定原理やセンサ材料の材質・サイズによって測定レンジや精度は決まる。センサ材料に加わった変形量をひずみゲージなどで読み取り、力覚センサを構築する場合、変位量を読み取れるレンジはセンサの材料によって決まっており、センサ作製後に変更することはできない。そこで本研究では、センサ材料を SMP で構成した。Fig.1 に示すように、SMP は温度によって剛性が変化するので、同じ力を加えても温度に応じて変形量が異なる。すなわち、SMP を用いることで、センサを作製後、温度によって荷重の測定レンジを変えることができる。このような特性を示すセンサを構築することを目標に本実験を行った。以前にもセンサを作製し、実験を行ったが[5]、今回用いたセンサは全体が T_g 以上に温まりやすいように電熱線をより密になるように挟んだ。また、前回の問題点としてあがっていた T_g 以上の時に熱膨張によって生じるひずみを打ち消すため、2 ゲージ法[6]を用いたセンサの作製を試みた。さらに、センサの小型化のために温度センサ付きひずみゲージを用いた。

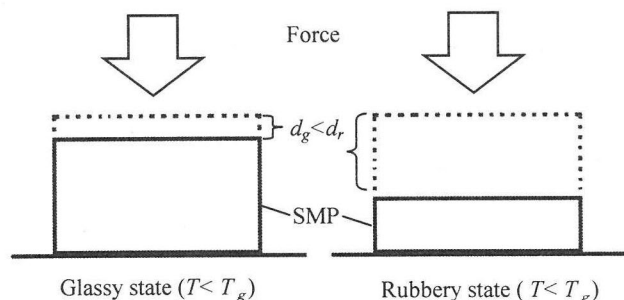


Fig.1 Deformation in glassy state and rubbery state

3. 実験方法

3.1 試作品

Fig.2 が実験に用いた SMP を用いた力覚センサ (長さ: 98 mm, 厚さ: 1.2 mm, 幅: 25 mm) の試作品である。本研究では、株式会社 SMP テクノロジーの SMP (MP 4510, $T_g=318$ K, 弾性率:1350 MPa ($T < T_g$), 4.5 MPa ($T > T_g$), 線膨張係数: $\alpha=11.6 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$) を使用した。A 剤 B 剤の二液を混合して、343 K で 2 時間加熱することで硬化し、その形状を記憶させた。その後、厚さ 1.0 mm の SMP シートを 2 枚作製するため、加熱プレス (190°C, 10 MPa, 10 分以上) し形状を再記憶させた。さらに、温度を制御するために 2 枚のシートの上に電熱線 (ニクロム, $\Phi 0.26$ mm, 電気固有抵抗: $108 \pm 6 \times 10^6 \Omega \text{ cm}$, ヤング率: 214 GPa) を挟んだ。そして加熱プレス (150°C, 20 分) し、2 枚の SMP を接着させ、SMP 自体にその形状を再記憶させた。作製したシートの表と裏の両面に温度センサ付きひずみゲージ (共和電業, KFGT-5-120-C1-11 NIM3) を貼り、SMP シート表面のひずみを測定できるようにした。2 ゲージ法を用いることにより、2 枚のひずみゲージに同じひずみが生じた時に出力のひずみがキャンセルされる。よって温度変化時の熱膨張によって生じるひずみをキャンセルできる効果がある。

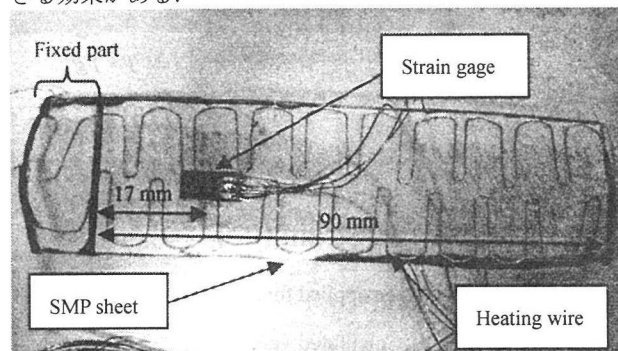


Fig. 2 Prototype of the force sensor using SMP sheet

3.2 実験装置および実験方法

Fig.3 に実験装置を示す。 $T < T_g$ と $T > T_g$ に分け SMP シートの片側を固定し、固定部から 75 mm の点をロードセル (共和電業, LTS-2KA ($T < T_g$), LVS-100GA ($T > T_g$)) で押すことで、変位と力を測定した。ロードセル、作製したセンサはそれぞれ手動ステージ、自動ステージ (シグマ光機, SG-SP-26-50) に取り付けられた。一定速度 (20 mm/s) で自動ステージを動かしセンサ先端の変位量を変化させた。また、試作品表面の温度はひずみゲージに付いている熱電対により計測した。また、電熱線をスライダックに接続し、電圧を調整して温度を制御した。

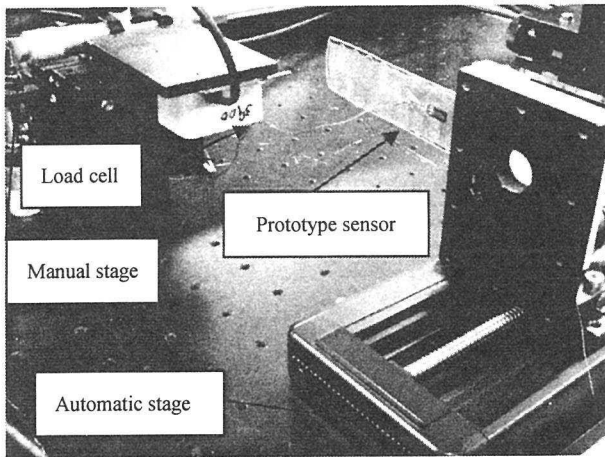


Fig.3 Experimental apparatus to evaluate the force sensor

4. 結果および考察

4.1 ひずみと力の関係

Fig.4 は作製したセンサを自動ステージに取り付けて動かし、ロードセルで検出された力とひずみとの関係を $T < T_g$, $T > T_g$ それぞれにおいて表した図である。Fig.4 の結果からセンサの換算値に当てる値を算出した。今回作製した力覚センサは Fig.4 に示すように温度変化させることにより同じひずみ変化に対する荷重変化量が大幅に異なる。すなわち $T > T_g$ のときには微細な力を検出できることが分かる。例えば、100 $\mu\epsilon$ のひずみ変化に対して、 $T < T_g$ で 0.04 N、 $T > T_g$ で 0.008 N の力の変化として計測できる。従来、測定レンジや精度の異なるものを測定する場合、センサを取り外し、別のものに交換することが必要だが、温度によって使い分ければより広範囲の力をセンサの交換をせずに測定できる。

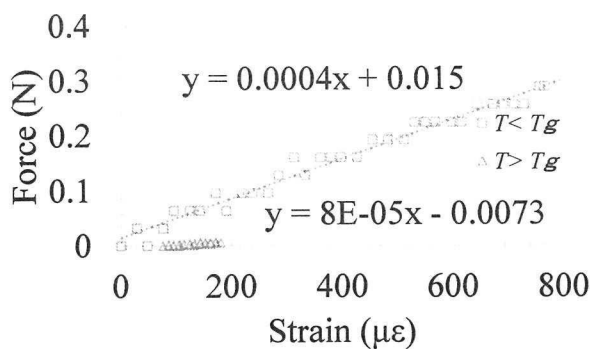


Fig.4 Relationship between applied force and strain on SMP sheet

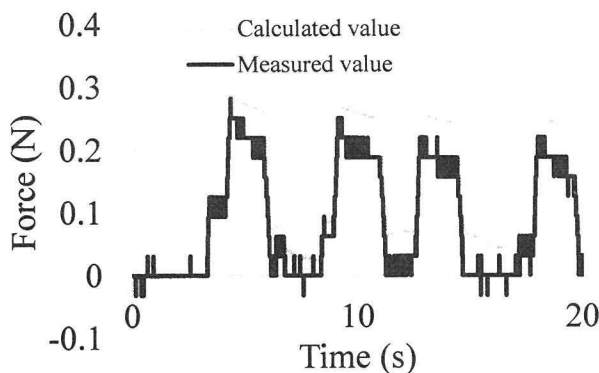


Fig.5 Relationship between calculated value and measured value ($T < T_g$)

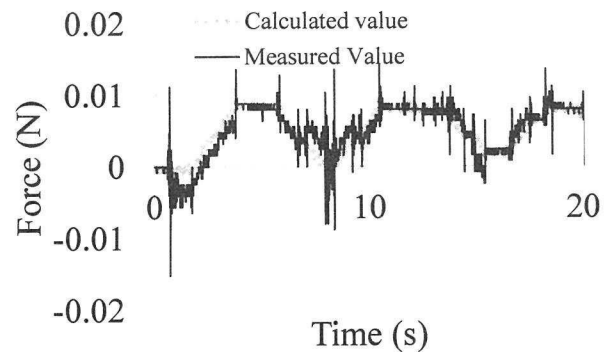


Fig.6 Relationship between calculated value and measured value ($T > T_g$)

4.2 接触反力の算出例

次に、ひずみゲージの出力により試作品に加わった力を Fig.4 の近似曲線から計算し、実際に加えた力と比較した。Fig.5, 6 はそれぞれ $T < T_g$, $T > T_g$ における力の経時変化である。ロードセルを適当な距離送り、計測を行った。Fig.5, 6 ではロードセルによる実測値と試作センサによる計算値は同様の出力が見られた。また、同様の変形を与えたものの測定する力のレンジは大きく異なることから本実験の結果は、 $T < T_g$ のときに測定された SMP シートの反力と比べ、 $T > T_g$ のときに計測できる反力はかなり狭い範囲で測定されていることが分かる。

5. 結論

本研究では、SMP の温度による剛性変化を利用した力覚センサの検証を行った。実験結果から、荷重の測定レンジを、センサを交換することなく変えることができ、広範囲の力を検出することのできるセンサを構築することができた。

参考文献

- [1] 高嶋 一登, 張 楠, 向井 利春, 郭 士傑, “形状記憶ポリマーを用いた姿勢維持モジュールの基礎研究”, 日本ロボット学会誌, vol.28, no.7 (2010) pp.905-912.
- [2] K. Takashima, J. Rossiter, T. Mukai, McKibben artificial muscle using shape-memory polymer, Sensors & Actuators: A. Physical vol. 164 (2010) pp. 116-124.
- [3] K. Takashima, T. Noritsugu, J. Rossiter, S. Guo, T. Mukai, Curved type pneumatic artificial rubber muscle using shape-memory polymer, Journal of Robotics and Mechatronics, vol.24 no.3 (2012) pp.472-479.
- [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評価”, SI2012, (2012) pp.1144-1146.
- [5] 神園 大樹, 高嶋 一登, 向井 利春, “形状記憶ポリマーの温度による剛性変化を利用した力覚センサに関する研究”, SI2013, (2013) 3 pages (314-3).
- [6] 鈴木 俊晴, 稲岡 喜作, 福岡 俊道, “ひずみゲージによる計測の理論と実際” 神戸大学大学院海事科学研究科紀要 (2010) pp.99-102.