

# ソフトひずみセンサを用いたソフトグリッパの変形センシング

○宮越 陸矢（立命館大学）松野 孝博（立命館大学）渡邊 修也（電気通信大学）  
新竹 純（電気通信大学）平井 慎一（立命館大学）

## 1. 緒言

近年、様々な産業用ロボットが製造されている。その中でも食品産業では、ロボットハンドに対する期待が高まっている。食品工場では、弁当への食品のパッキングを始めとして様々な種類の食材を大量に扱っている。しかし、その作業のほとんどが手作業になっているため、人員不足やそれに伴うコストの増加などの問題点が見受けられる。この問題の解決の案として、ロボットを用いた作業の自動化が試みられている。しかし、食品は柔らかく、形状や特性にばらつきが多いため、食品のハンドリングが困難である。そのため、食品のハンドリングには、柔軟であり、かつ様々な形状に対応できるソフトグリッパが適している。ソフトグリッパによる物体把持を可能にし、食品工場で用いることにより、人件費のコストの削減に繋がる。さらに、物体の把持の有無の確認を人ではなく、センサによって行うことで、人が物体の把持を確認する必要がなくなり、さらなる人員とコストの削減が期待できる。

物体の把持を推定する方法として、グリッパの形状から、物体の把持状態を推定する方法が提案されている。これまでに、ソフトグリッパに直接センサを埋め込み、物体の把持に成功しているか否かを検出する試みが成された [1][2][3][4]。本研究では、ソフトグリッパに対して埋め込むセンサに、歪みセンサを用いることでこの研究の一例として取り組む。把持状態推定の前段階として、ソフト歪みセンサによるソフトグリッパの変形センシングの可能性を評価する。

## 2. ソフト歪みセンサ

### 2.1 構造

ソフト歪みセンサは電極層と誘電体層の2種類で構成された、伸縮性の高いセンサである [5]。

電極層は炭素粒子を充填した導電性エラストマ素材が使用されている。センサの構造は2つの重なり合う電極層と、それらにある誘電体層からなる。2種の層をシリコン樹脂で挟み込むように固定することにより、柔軟性を保ちつつ耐久性を高める。

### 2.2 計測原理

本研究で使用したソフト歪みセンサは、静電容量を計測する [5]。ソフト歪みセンサが伸縮によって、電極層の表面積が変化する。それに伴い、電極層と誘電体層の厚さが変化するにより、測定される静電容量の値が変化する。

本研究では、ソフト歪みセンサをソフトグリッパの内側に設置し、ソフトグリッパの形状と、ソフト歪みセンサで測定される静電容量の値の関係を調査する。ソフトグリッパが曲がるとソフト歪みセンサは縮む。そのため、ソフトグリッパを曲げた場合、電極層と誘電

体層の厚さが増加するため、ソフト歪みセンサによって測定される静電容量の値は、減少すると予想される。

## 3. ソフト歪みセンサの動作検証実験

### 3.1 実験目的

本実験の目的は、ソフトグリッパの曲げ伸ばし動作において、ソフトグリッパに取り付けられた、ソフト歪みセンサから測定される静電容量の変化の有無を確認する。そして、ソフトグリッパの変形に対する、ソフト歪みセンサの反応を検証することである。

### 3.2 実験方法

本実験では、ソフトグリッパの内側にソフト歪みセンサを取り付け、注射器を用いてソフトグリッパの曲げ伸ばしを行い、その際にソフト歪みセンサで静電容量を計測する。

本実験で使用したソフト歪みセンサ付きソフトグリッパを図1に示す。また、静電容量の計測は、HIOKI社のLCRメータ [6] を使用した。

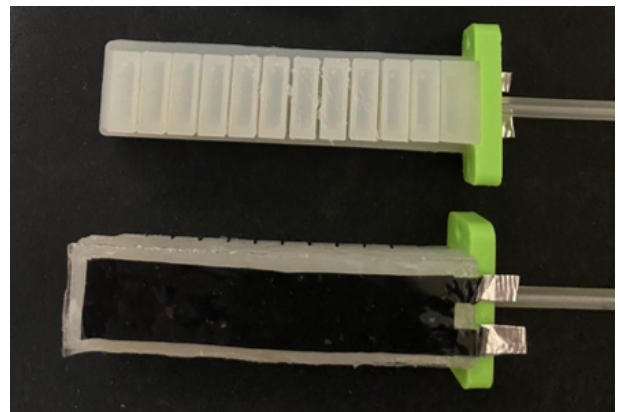


図1 ソフト歪みセンサ付きソフトグリッパ

### 3.3 実験結果

ソフトグリッパに対して、複数回曲げ伸ばし動作を行った。ソフトグリッパにおける静電容量の変化のグラフを図2に示す。グラフの縦軸は静電容量、横軸は時間を示す。グラフの開始時にソフトグリッパの曲げ動作を開始した。そして、3回曲げ伸ばし動作を行った。また、LCRメータの設定は、電圧2V、周波数40Hzである。

### 3.4 考察

ソフト歪みセンサによって計測された静電容量の変化と、ソフトグリッパの動作が連動していることを確認した。今回使用しているソフト歪みセンサは、セン

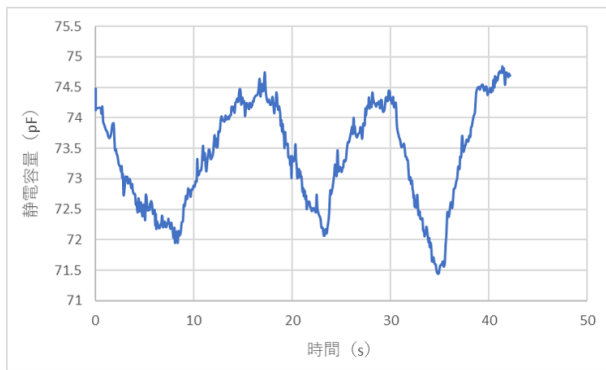


図2 実験結果

サ自体の厚さによって、測定される静電容量に変化が現れる仕組みである。実験前の考察では、ソフトグリップが曲がった場合、ソフト歪みセンサの表面積は小さくなり、電極層と誘電体層の厚さが増えるため、測定される静電容量は減少すると予想した。これらの実験結果より、計測された静電容量は予想通りの挙動を示しており、ソフト歪みセンサを使うことでソフトグリップの変形を検知できることを確認した。

## 4. ソフトグリップの変形センシング

### 4.1 実験目的

本実験を行う目的は、ソフトグリップに印加された圧力に対する静電容量の値を、ソフト歪みセンサを用いて計測することである。

### 4.2 実験方法

レギュレータを使用し、空気圧を0, 5, 10, 15, 20, 25, 30kPaと設定し、それぞれの空気圧をソフトグリップに与えた際における静電容量の値を、ソフト歪みセンサを用いて計測した。

### 4.3 実験結果

図3に実験結果を示す。グラフの縦軸が静電容量の変化量、横軸が設定した空気圧である。

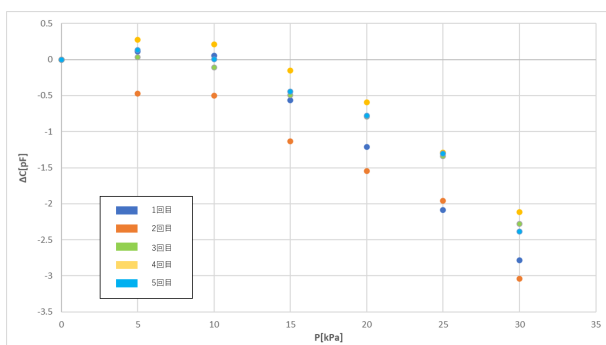


図3 実験結果

### 4.4 考察

実験結果より、空気圧とソフト歪みセンサで測定された静電容量の関係がわかる。また、空気圧が5, 10kPaのときに変化量が増加していることや、ソフトグリップ

に印加された圧力における、静電容量の変化量にばらつきがあることを確認した。

## 5. 結言

本稿では、ソフト歪みセンサを用いたソフトグリップの変形センシングの方法を提案した。ソフトグリップの動作に対するソフト歪みセンサの値を計測し、そして、ソフト歪みセンサの評価方法として、空気圧を用いて実験を行った。実験結果より、ソフトグリップに印加された圧力における、静電容量の変化量にばらつきがあることを確認した。今後は、物体の把持実験を行い、その際の静電容量の変化を調べ、把持状態の推定を試みる。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21H00333 の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] Zhongkui Wang, Shinichi Hirai, "A 3D printed soft gripper integrated with curvature sensor for studying soft grasping", 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 10.1109/SII.2016.7844069, Sapporo, Japan, 13-15 December 2016.
- [2] Takahiro Matsuno, Zhongkui Wang, and Shinichi Hirai, "Real-time Curvature Estimation of Printable Soft Gripper using Electro-conductive Yarn", 2017 IEEE Int. Conf. on Real-time Computing and Robotics (IEEE RCAR 2017), pp.5-10, 10.1109/RCAR.2017.8311827, Southern Beach Hotel, Resort Okinawa, Itoman, Japan, July 14-18, 2017.
- [3] Zhong Shen, Juan Yi, Xiaodong Li, Mark Hin Pei Lo, Michael Z. Q. Chen, Yong Hu, Zheng Wang, "A soft stretchable bending sensor and data glove applications", Robotics and Biomimetics Volume 3, Article number: 22, 15 December 2016.
- [4] Khaled Elgeneidy, Niels Lohse, Michael Jackson, "Bending angle prediction and control of soft pneumatic actuators with embedded flex sensors? A data-driven approach", Mechatronics, Volume 50, pp.234-247, April 2018.
- [5] Jun Shintake, Egor Piskarev, Seung Hee Jeong, and Dario Floreano: "Ultrastretchable Strain Sensors Using Carbon Black-Filled Elastomer Composites and Comparison of Capacitive Versus Resistive Sensors", Advanced Materials Technologies, March 2018.
- [6] HIOKI LCR メータ IM3523 : [https://www.hioki.co.jp/jp/products/detail/?product\\_key=1023](https://www.hioki.co.jp/jp/products/detail/?product_key=1023)