

静電容量型ソフト歪みセンサを用いた薄型平面シェルグリッパの把持状態推定

○松野孝博（立命館大学） 鐘江 峻（立命館大学） 清水敬太（電気通信大学）
王 忠奎（立命館大学） 新竹 純（電気通信大学） 平井慎一（立命館大学）

1. 緒言

食品の箱詰めや仕分け作業の自動化のため、シェルグリッパが提案されている[1]。シェルグリッパとは複数のチャンバで構成されるソフトグリッパであり、膨張したチャンバで直接対象物を把持する。シェルグリッパはチャンバの伸縮性により、さまざまな形状・重量の物体を安定的に把持可能である。また、柔軟物のみが把持対象物と接触するため、把持物体を破損させるリスクが少ない。

本研究では静電容量型ソフト歪みセンサ[2]を有する薄型平面シェルグリッパを提案する。計測値から把持状態を推定する方法を提案し、試作機による検証実験を行う。

2. センサ付き薄型平面シェルグリッパ

2.1 グリッパの構造と計測原理

本研究で提案する、静電容量型ソフト歪みセンサを有する薄型平面シェルグリッパの構造を、図1に示す。センサ付きシェルグリッパは外殻、柔軟膜、柔軟電極2枚、電極間およびグリッパ表面に設置するエラストマシートで構成される。外殻と柔軟膜の間に微小なチャンバを設け、このチャンバはチューブと接続される。空気圧を印加することで、チャンバの膨張と収縮を制御する。薄型平面シェルグリッパは対で構成され、左右のチャンバの膨張により対象物を挟み込んで把持する。なお、チャンバ内部の圧力はチューブ先に接続された圧力センサにより計測する。ソフト歪みセンサは2枚の柔軟電極間の静電容量を計測する。チャンバが膨張すると電極の面積が広がり、かつ電極間の距離が縮まり、静電容量が上昇する。この静電容量の上昇に着目することで、チャンバの膨張の程度を計測することができる。グリッパが何も把持していない場合、チャンバに印加する圧力が増加するにつれてセンサの静電容量が上昇する。反対に、グリッパが物体を把持し

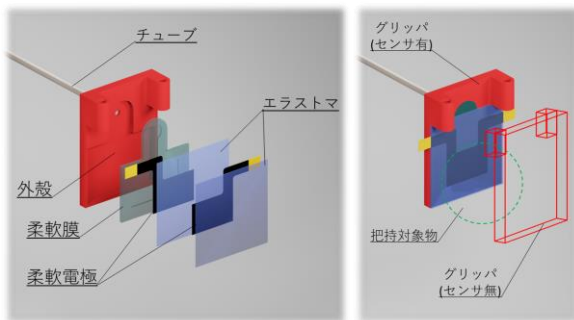


図1 センサ付き薄型平面シェルグリッパの構成

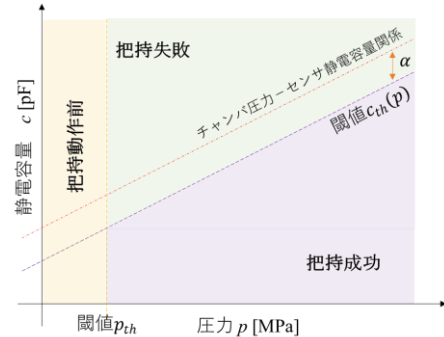


図2 シェルグリッパの把持状態推定方法

ている場合、チャンバが押し戻され静電容量が減少する。

2.2 把持状態の推定方法

センサの静電容量とチャンバの内圧から、グリッパの把持状態を推定する方法を図2に示す。把持物体のない状態におけるチャンバの内圧とセンサの静電容量の関係を一次式で近似し、赤の一点鎖線で表す。この関係に対し、バイアス α を引いた値を閾値 $c_{th}(p)$ とし、紫破線で示す。また、チャンバに印加する最低圧力付近に閾値 p_{th} を設ける。グリッパの把持状態はセンサの静電容量 c とチャンバの内圧 p から、以下のように推定する。

- ① 静電容量 $c < c_{th}(p)$ かつ内圧 $p_{th} < p$ ：把持成功
 - ② 静電容量 $c_{th}(p) \leq c$ かつ内圧 $p_{th} < p$ ：把持失敗
 - ③ 静電容量に関わらず内圧 $p \leq p_{th}$ ：把持動作前
- ただし、閾値 p_{th} およびバイアス α は、あらかじめ予備実験を行い調節する。

3. 把持状態推定実験

3.1 センサ付き薄型平面シェルグリッパ試作機

試作したグリッパを図3に示す。グリッパは外形 $30\text{mm} \times 40\text{mm}$ であり、センサのサイズは $17\text{mm} \times 11\text{mm}$ である。グリッパ外殻にPLA樹脂、柔軟膜に

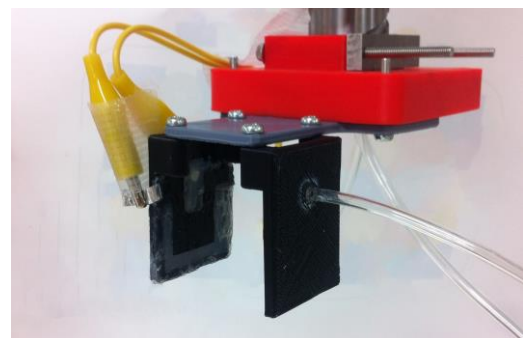


図3 センサ付きシェルグリッパ試作機

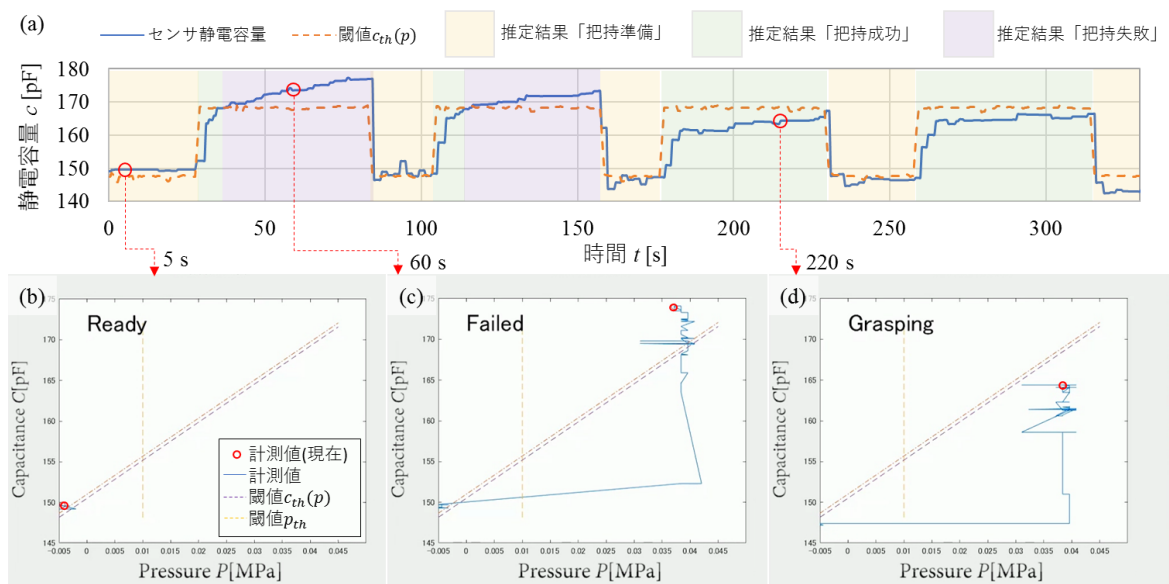


図4 シェルグリッパの把持状態推定実験の結果 (a)把持・非把持動作時のセンサの静電容量、閾値 $c_{th}(p)$ 、把持状態の推定結果、(b)-(c) $t=5, 60, 220$ sにおける把持状態推定結果

シリコン(DragonSkin30SM, Smooth on Inc., America)を用いる。柔軟電極には、[2]に見られるような炭素粒子を充填した導電性エラストマ素材が使用される。各電極はLCRメータ(LCR700, Sanwa, Japan)に接続され、電極間の静電容量を計測する。また、グリッパのチャンバ内部の空気圧を、圧力計(GC67, NAGANO KEIKI, Japan)を用いて計測する。ここで、把持状態推定に用いるバイアスは $\alpha = 0.1$ とし、閾値は $p_{th} = 0.01$, $c_{th}(p) = 468.5p + 149.9$ とする。

3.2 把持状態推定実験結果

提案した方法を用いてグリッパの把持状態を推定する。実験では連続したグリッパの動作で物体の把持と非把持を各2回行い、2.2節に示す推定方法で、把持状態推定が可能か検証する。なお、本実験では把持対象物に一边30mmの立方体を用いた。またチャンバに印加する圧力を0.04MPaとする。試作したグリッパによる把持状態推定実験の結果を図4に示す。まず、センサの静電容量の変化と把持状態の推定結果を図4(a)に示す。図では青の実線がセンサの静電容量、赤の破線が閾値 $c_{th}(p)$ を示す。また把持状態の推定結果は、図中の黄、緑、紫色の領域で、それぞれ把持動作前、把持成功、把持失敗を示した。また、構築したシステムでは、静電容量、圧力、把持状態の推定結果がリアルタイムでモニタできる。図4(b)-(c)に5s、60s、220sにおける表示結果を示す。まず、グリッパが把持に成功した $t = 176.7 \sim 229.0$ sおよび $t = 258.1 \sim 313.9$ sにおいて、センサの静電容量は閾値 $c_{th}(p)$ を超えず、状態を「把持成功」と推定しており実際の状態と一致している。また、把持に失敗した $t = 28.1 \sim 82.8$ sおよび $t = 103.9 \sim 157.1$ sにおいて、静電容量は閾値 $c_{th}(p)$ を超え、状態を「把持失敗」と推定しており実際と一致している。それ以外の時刻では、チャンバに圧力を印加しておらず、状態は「把持

動作前」と適切に推定されている。以上の実験結果より、センサ付き薄型シェルグリッパは把持状態を適切に推定できることを確認した。

4. 結言

本報告では静電容量式のソフト歪みセンサを用いた薄型平面シェルグリッパと、センサ付きシェルグリッパを用いた把持状態の推定方法を提案した。シェルグリッパは平面のチャンバで構成され、その表面にソフト歪みセンサが設置される。センサは2枚の柔軟電極とエラストマが交互に置かれた構造であり、チャンバの膨張の程度を計測することが可能である。チャンバ内の圧力と膨張の程度を計測することで、グリッパの把持状態を把持動作前、把持失敗、把持成功の3段階で推定することが可能である。試作機による検証実験の結果、提案するグリッパで把持状態を推定可能であることを確認した。今後の研究において、推定精度と速度の向上、推定内容の増加を目指す。

謝辞

本研究はJSPS科研費19H05337の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 鐘江 峻, 王 忠奎, 平井 慎一, “きゅうりの箱詰め作業を目的とした接着レス薄型平面シェルグリッパの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020, May 27-30, 2020.
- [2] J. Shintake, E. Piskarev, S. H. Jeong, and D. Floreano, “Ultrastretchable Strain Sensors Using Carbon Black-Filled Elastomer Composites and Comparison of Capacitive Versus Resistive Sensors”, *Advanced Materials*, Vol. 3, Issue 3, 1700284, 2018.