

報告日： 2024年 6月 24日
報告者： 岡山大学 学術研究院 環境生命自然科学学域
協元 修一

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名

IPMC センサを統合した空気圧ソフトフィンガの開発

(2) 研究者氏名、職名

協元 修一、准教授

(3) 研究概要

空気圧ソフトアクチュエータを高機能化するためには、センサの複合が必要である。しかし、一般的なセンサを複合する場合、機械的インピーダンスの違いから空気圧ソフトアクチュエータの特長を損なう可能性がある。

本研究では、双方向湾曲型空気圧ソフトアクチュエータに機能性高分子の一種であるイオン導電性高分子センサ (IPMC センサ) を複合した。製作したソフトアクチュエータによる基礎実験を行った結果、アクチュエータの 2 方向への湾曲駆動に応じて IPMC センサの出力が変化することを確認した。また、3 本のアクチュエータをフィンガとするロボットハンドを試作し、物体把持の検出が可能であることを確認した。

(4) キーワード

ソフトアクチュエータ, 空気圧アクチュエータ, ソフトセンサ, IPMC, ロボットハンド、

(英文)

(1) Research title

Development of pneumatic soft finger with IPMC sensor

(2) Name of researcher with title of position

Shuichi Wakimoto, Associate Professor

(3) Summary

To enhance the functionality of pneumatic soft actuators, sensor integration is essential. However, conventional general sensors are rigid and not suitable for combination with soft actuators. In this study, an Ionic Polymer-Metal Composite (IPMC) sensor, which is a soft sensor, is incorporated into the bidirectional bending pneumatic soft actuator. Experiments with the fabricated actuator and the IPMC sensor showed that the output of the IPMC sensor can correspond to the bending of the actuator in two directions.

Additionally, a prototype robot hand was developed using the fabricated actuators, and it was confirmed that the sensor output can detect the object grasping state of the hand.

(4) Key Words

Soft Actuator, Pneumatic Actuator, Soft Sensor, IPMC, Robot Hand

2. 本研究の意義、特色

近年、柔軟な素材で構成される空気圧ソフトアクチュエータの開発が盛んに行われている。空気圧ソフトアクチュエータは、高い柔軟性や形状適応性、しなやかな動きを実現できるといった特長を有しており、人や農作物などの生体を含め、不定形な物体や脆弱な物体などと接触を伴う分野等での活用が期待されている。空気圧ソフトアクチュエータの利便性を向上させるためには、アクチュエータの特長を損なうことのない柔軟なセンサを統合する必要である。そこで、本研究では、申請者らが開発してきた空気圧ソフトアクチュエータの一種である双方向湾曲空気圧ソフトアクチュエータに、機能性高分子材料の一つである IPMC センサ (Ionic Polymer-Metal Composite sensor: イオン導電性高分子金属複合体センサ) を複合した。また、これをフィンガとして用いたロボットハンドを製作し、物体把持が検出可能であることを確認した。

3. 実施した研究の具体的内容、結果

3. 1 双方向湾曲型空気圧ソフトアクチュエータと IPMC の概要

双方向湾曲型空気圧ソフトアクチュエータは蛇腹部と板部の 2 つのパーツから構成されており、その内部が空気室となる。空気圧 (正圧) を印加すると、蛇腹部は容易に伸長するのに対して、板部の変形量は限定的である。この変形量の違いから湾曲動作を実現する。また、負圧を印加した場合は、板部に対して蛇腹部が大きく収縮するため、正圧とは逆方向に湾曲を行う。

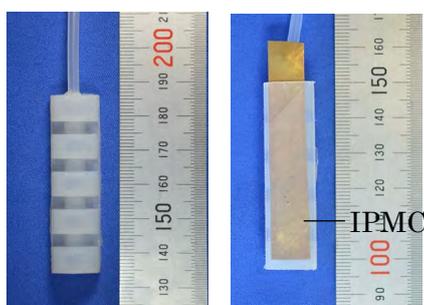
IPMC センサはイオン導電性高分子の一種で、イオン交換樹脂膜の両面に金電極を施した構成となっている。電極に電圧を印加した場合、内部の陽イオンが移動することで電極間に体積差が生じ、アクチュエータとして湾曲駆動を行う。一方、外力を加えて湾曲させた場合、内部のイオン密度が偏り、それによって極板間に電位差が生じ、これがセンサ出力として利用できる。湾曲方向も検出可能であるため、本研究では、センサとして IPMC を双方向湾曲型空気圧ソフトアクチュエータに複合した。

3. 2 センサ複合型アクチュエータの製作

3D プリンタを用いて蛇腹部、板部のモールドを作製し、液状シリコーンゴム(Dragon

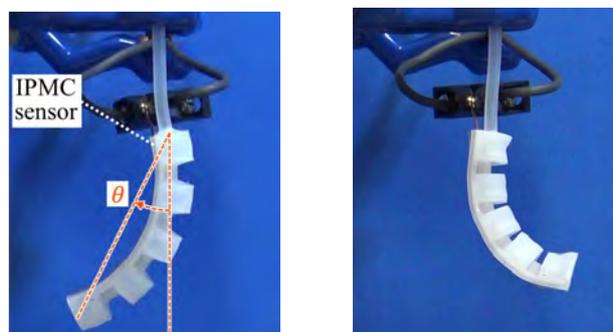
Skin 30 : Smooth-On 社)を注入し硬化させることで、板部、蛇腹部をそれぞれ成型し、その後、両者の接着面に同種の液状シリコンゴムを塗布し、硬化させることでアクチュエータを製作した。製作したセンサ複合型アクチュエータを図 1 に示す。アクチュエータは幅 14.0mm、高さ 9.0mm、長さ 52.0mm で製作しており、板部には、幅 12mm、高さ 0.5mm、長さ 51mm のスリット構造を設けている。このスリットに IPMC (厚み 0.2mm) が挿入可能である。

アクチュエータへ正圧を印加することで、板部側 (IPMC 搭載側) へ、負圧を印加することで蛇腹側に湾曲駆動が行われる。図 2 に駆動の様子を示す。湾曲角 θ をアクチュエータの根元固定部と先端部を直線で結び、初期状態と駆動状態によって両直線がなす角として定義している。また板部方向への湾曲を正方向、蛇腹部方向への湾曲を負方向とする。正圧・負圧の最大圧は、それぞれ 100kPa、-80kPa としている。100kPa 印加時では約 35 度、-80kPa 印加時は約 -18 度の湾曲角度である。



(a) 正面 (b) 背面

図 1 製作したアクチュエータ



(a) 正圧印加による湾曲 (b) 負圧印加による湾曲

図 2 アクチュエータの駆動

3. 3 センサ特性

アクチュエータを駆動しながら IPMC センサの出力を計測した。IPMC センサの出力を直接、電圧として計測した場合、アクチュエータの湾曲に伴いセンサ出力が変化するものの、内部のイオンの分布が平衡状態に戻っていくことや漏れ電流などの影響で、湾曲量を維持している状況でもセンサ出力に大きなドリフトが生じる。そこで、チャージアンプ回路を用いて計測した電圧から電荷の積算量を算出し、これをセンサ出力とした。図 3 (a)、図 3 (b) に 100kPa、-80kPa の圧力をステップ上に与えた後に 0kPa に立下げた際のアクチュエータの湾曲角度とセンサ出力の関係を示す。正・負の湾曲に応じて、正の値と負の値のセンサ値を得ることができていることが分かる。しかしながら、センサ出力のドリフトを完全に排除することはできておらず IPMC の湿潤状態の管理や検出回路のさらなる改善が課題となっている。図 3 (c)にアクチュエータの湾曲角度とセンサ出力の関係を示す。センサ出力はステップ状の空圧印加から 2.5 秒後の値としている。アクチュエータの湾曲角度が -20 ~ 15 度程度まではアクチュエータの湾曲角度が増加するに伴ってセンサ出力が増加することが確認されている。一方で、15 度を越えた範囲においてはセンサ出力が飽和している。正

圧の際には IPMC を複合している板部側は圧縮力を受ける。湾曲量の増加に伴い増大する圧縮力によって IPMC センサに微視的な波状変形や座屈変形が生じ、その影響がセンサ出力に支配的になるためと考えている。

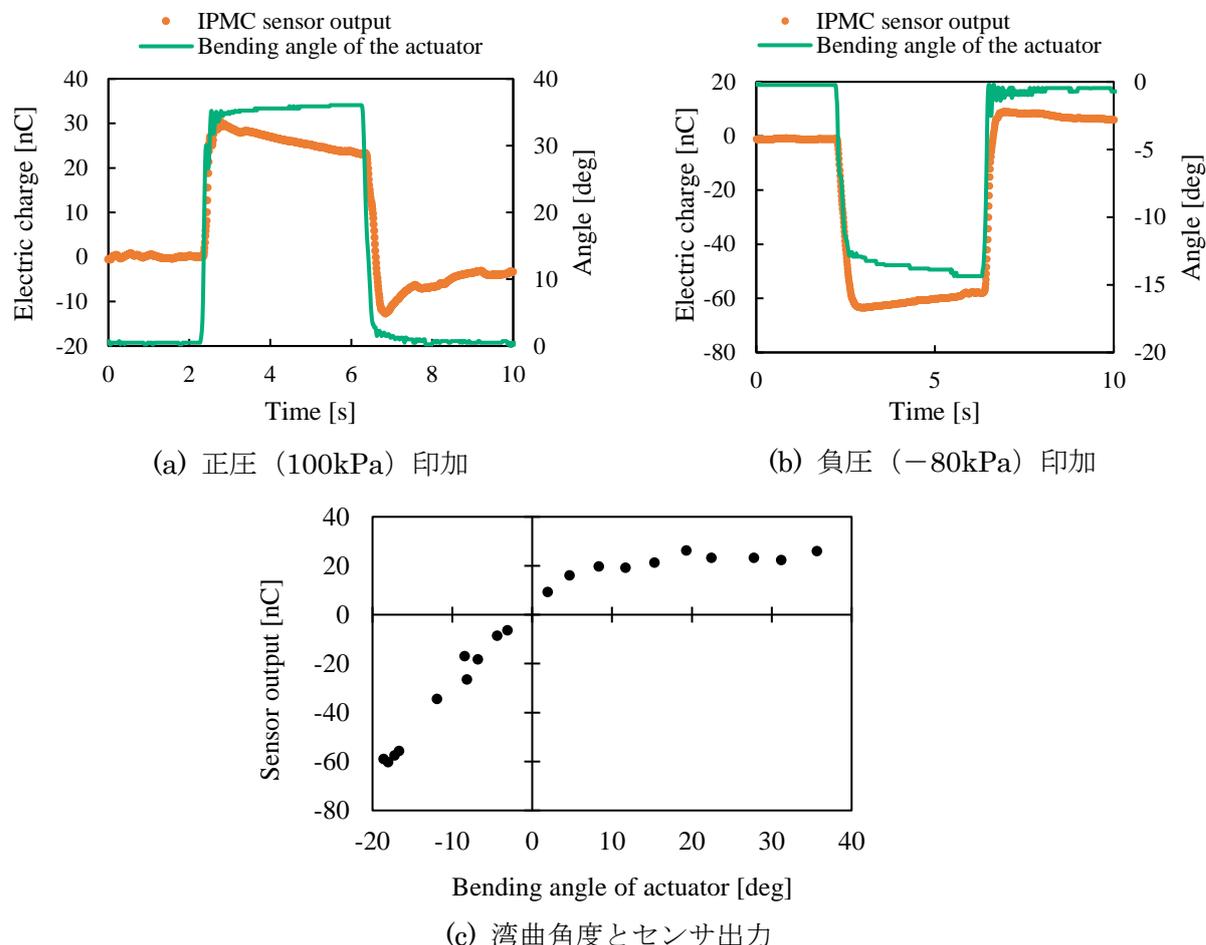
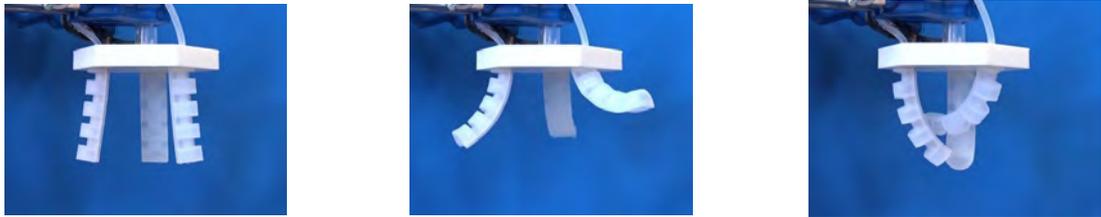


図3 ソフトアクチュエータに複合した IPMC センサの特性

3. 4 ソフトロボットハンド

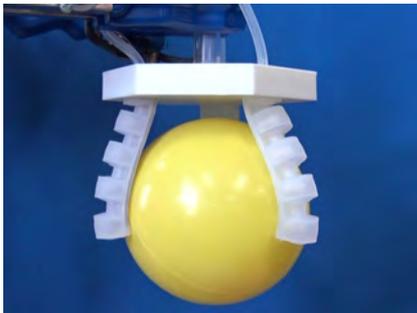
アクチュエータをフィンガとするソフトロボットハンドを製作した。掌部を直径 80mm の円としてアクチュエータを 120 度間隔で配置している。本試作では、3つのアクチュエータのうち1つにのみ IPMC センサを搭載している。製作したロボットハンドの空圧印加前と負圧 (-70kPa)・正圧(90kPa)の印加による開閉状態を図 4(a)~図 4(c)に示す。基礎実験として、直径の異なる 3 種類の球の把持実験を実施した。センサ出力の検出にはチャージアンプを用いており、ロボットハンドが開いた状態(-70kPa)でチャージアンプ内に溜まった電荷を放出し、センサの初期値として設定し、その後、閉動作(正圧 90kPa)で球体の把持を行った。直径 65mm、直径 49mm、直径 40mm の球を把持した際の印加圧力とセンサ出力の関係を図 5、図 6、図 7 に示す。把持対象の直径が小さいほどアクチュエータに生じる湾曲量が大きくなり、IPMC センサの出力が増加し、高いピーク値を示している。その後

は、基礎実験でもみられたようにドリフトが生じているものの、ピーク値を計測することで把持の成否、把持対象の直径の推定が可能であることが示唆されている。

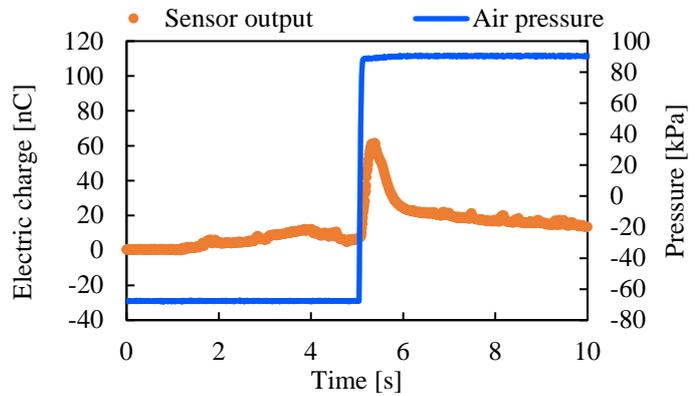


(a) 空圧印加前 (b) 開動作 (負圧) (c) 閉動作 (正圧)

図4 3つのアクチュエータで構成したロボットハンド

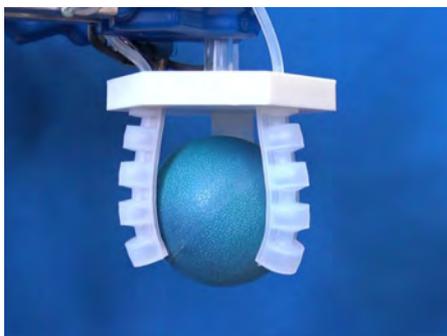


(a) 把持状態

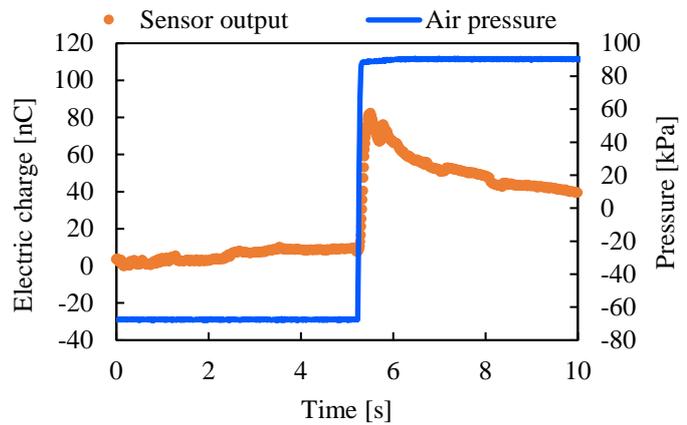


(b) センサ出力

図5 直径 65mm の球の把持実験

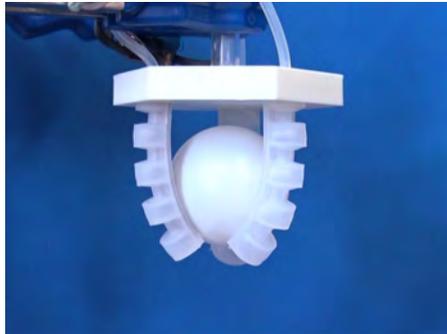


(a) 把持状態

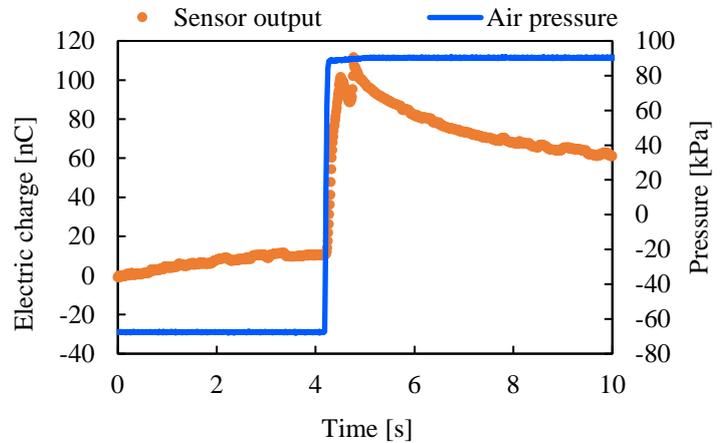


(b) センサ出力

図6 直径 49mm の球の把持実験



(a) 把持状態



(b) センサ出力

図7 直径40mmの球の把持実験

4. 本研究を実施したグループに属する主な研究者の氏名、職名

脇元修一 岡山大学 准教授

5. 研究実施時期

令和3年3月31日から 令和6年3月31日まで

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

作間祐仁, 脇元修一, 神田岳文, 山口大介, 堀内哲也, 安積欣志, 湾曲空気圧ソフトアクチュエータに複合したIPMCセンサの特性評価, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp.2729-2731, 2021.

7. 内外における関連研究の状況

近年、ソフトアクチュエータにセンサを搭載する研究は、国内、国外を問わず盛んになってきている。本研究では、正・負圧によって一つの空気圧室ながら2方向へ湾曲するソフトアクチュエータに対して、2方向の湾曲が検出可能なIPMCセンサを搭載することで、単純な構成ながら双方向への湾曲とその検出を実現するアクチュエータ・センサ構造を提案した。

8. 今後の発展に対する希望

現状のセンサ出力は非線形性、ドリフトといった問題を有している。機械学習を取り入れることで、制度の高い湾曲量のセンシングが可能となると考えている。