

令和 5 年 5 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14696

研究課題名（和文）ソフトロボットのためのフレキシブルなイオンゲルセンサの開発と実装

研究課題名（英文）Development and Implementation of a Flexible Ionic Gel Sensor for Soft Robots

研究代表者

大橋 ひろ乃 (Ohashi, Hirono)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・特任研究員（常勤）

研究者番号：60853562

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、フレキシブルなイオンゲルセンサの開発である。当初の研究計画は、配置と軟度の組合せによる接触センサの特性変化の解析、接触位置推定方法の確立、ヒゲロボットの作製とセンサの評価法であった。：特定の刺激に対し流路により解像度が異なることを見出した。2つの平面的な流路を組み合わせ三次元的な流路をもつセンサを作製し、抵抗値の他に静電容量値の計測により、各流路のセンサ情報を取得可能にした。：流路2本をX状に配置し、接触位置・圧力推定可能なセンサを開発した。：ひげセンサを搭載したロボットを開発した。走行速度に依らずセンサがひげのたわみを検知し、障害物を回避する行動が発現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの接触センサはシート状のものであり、衝撃性に弱く、複雑な構造や大きなサイズのアクチュエータに使用するのは困難であった。そこで、それら問題を解決すべく、シリコンゲルにイオンゲルが内在するイオンゲルセンサの開発に挑戦し、配置と軟度の組合せによる接触センサの特性変化の解析を行った。これにより、耐衝撃性を有し、かつ、流路デザインによって多種多様な接触センサができることが期待される。さらに、シリコンゲルは造形が容易で、それ自体がアクチュエータとなりうるため、センサを搭載するアクチュエータの自由度が飛躍的に向上するといえる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to develop a soft tactile sensor using ionic gel. The original research plan as follows: (1) analysis of sensor characteristics by changing channel arrangements and silicone rubber softness, (2) development of the sensor that can estimate contact position, and (3) fabrication of a robot with a whisker sensor and its evaluation method. 1) We found that the resolution of a specific stimulus varies depending on the channel design. 2) We developed the soft tactile sensor having two channels with different slopes for contact position and pressure estimation. 3) We developed a vehicle robot equipped with a whisker sensor. The sensor detects the deflection of the whiskers regardless of the running speed, and the robot can avoid obstacles.

研究分野：行動生理，神経科学，ソフトロボティクス，生体工学

キーワード：接触センサ イオン液体/イオンゲル ソフトセンサ ソフトロボット

## 1. 研究開始当初の背景

これまでのロボットは正確性を追求した結果、からだは硬質・頑丈であり、既知空間では高速かつ高精度に動作が可能である。これを可能にしている理由の1つは、動作環境や作業目的に応じてロボット身体や制御則を最適に設計しているからである。そのため、未知空間に遭遇すると、途端にシステムが崩壊してしまう問題点を抱えている。この問題に対して生物が有する「順応性」が、今後のロボット分野のカギになると申請者は考える。この順応性は周囲環境から生存に必要となる情報を取得する感覚器においても見られ、これにより生物は多様な刺激を処理し、それに応じて適応的に振る舞うことができている。これは生物の感覚器に柔軟性が備わっているからに他ならない。従来の工学におけるセンサ設置方法はしっかりとした土台にリジッドに設置することが常だった。一方で、多数のセンサが埋め込まれているとされる生物の体表は柔らかく、体表から出ている毛や髭も非常に柔らかいが、触覚の性能は優れている。そのためには、生物のような柔らかさを持ち、幅広い環境でも安定した機能を発揮する触覚センサの開発が今後のロボット工学の発展に必要であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、「フレキシブルなイオンゲルセンサの開発」である。生物が順応性を持つのは、正確にかつ瞬時に刺激に応答し、それに対してふさわしい処理を行っているからである。ロボットに順応性を付与するためには、柔らかく、様々な環境下で安定した性能をもつセンサの開発が不可欠である。そのために注目されているのがイオンゲルである。イオンゲルは不揮発性、不燃性、熱安定性・電気化学的安定性が高く、加えて電気伝導性を持つため、形状に変化が生じた際にその刺激を電氣的に取得可能である。しかし既存のイオンゲルセンサはシート状で、複雑なアクチュエータを沿うことが難しく、クッション性が低いのが欠点である。そこで本研究ではクッション性が高く、さらにデザインの自由度が高い、フレキシブルなイオンゲルセンサの開発に挑む。

## 3. 研究の方法

以下、3つの研究項目を実施する。

### 配置と軟度の組合せによる接触センサの特性変化の解析

本研究で提案するイオンゲルセンサの構造は、シリコーンゴムゲルの内部にイオンゲルの流路を有するものである。イオンゲルの流路のデザインとシリコーンゴム軟度の関係性を刺激の種類・強さ・方向等の観点から網羅的に調査する。

### 接触位置の推定方法の確立

従来のイオンゲルを用いた触覚センサの弱点は接触位置が推定できないことであった。そこで、本研究では、イオンゲルの構造を工夫すること、およびラダー回路の原理を組みこむことにより、接触刺激の位置推定を試みる。

## ヒゲロボットの作製とセンサの評価法

開発したイオンゲルセンサの評価を行うため、単に接触センサとして機械刺激に対する電圧の変化を観察するだけでなく、開発したイオンゲルセンサをロボットに実装し、実験を行う。具体的には、髭によって障害物との距離や構造を検知していると言われているネズミの形を模したネズミ型ロボット（ひげセンサを搭載した車両型ロボット）を作製する。このロボットを走行させ、的確に壁との接触を判断しつつ、障害物を回避できるかを調査する。

### 4. 研究成果

#### <1年目>

2020年度は、の接触位置の推定方法の確立について主に取り組んだ。当初の計画通り、ラダー回路の原理を取り入れることにより、接触刺激の位置推定を試みた。しかしながら、ラダー回路を作製するにあたり流路の途中に計測用のワイヤを挿入することは困難であった。イオンゲルの抵抗値変化は、圧力の大きさとその流路の位置（刺激源との距離）にも依存する。そこでイオンゲル流路を工夫することで、位置特定を行えないかと考えた。検討の結果、イオンゲル流路を2本クロスするよう配置し、それらの抵抗値の比を取ることで、接触位置とセンサ値が1:1になることを見出した。つまり、流路のデザインを工夫することで、イオンゲルセンサでの接触位置推定ができることが示唆された（国内学会で発表済）。また、イオンゲル流路を持ったシリコンに3Dプリンタで作製したPLAのヒゲを挿したセンサを作製した。実験の結果、ひげのたわみ具合により抵抗値が変化することを確認した（国内学会で発表済）。

#### <2年目>

これまでの研究から、イオンゲルセンサは粘度が高いため、流路によってはイオンゲルを注入することが困難であった。イオンゲルの材料の一であるイオン液体は、イオンゲルと同様の化学特性を持ち、粘度は低い。そこで、イオン流体をイオンゲルと併用し、接触センサの開発を進めた。

2021年度は、すべての研究項目について実験を遂行した。：3Dプリンタを用いて平面的な流路をもつイオン液体センサを作製、特性解析を行った。その結果、刺激方向とイオン液体センサの流路方向に関係があることが分かった。さらに平面的な2つの流路を組み合わせることで、三次元的な流路をもつセンサを開発した。抵抗値の他に静電容量値を読み取ることで、各流路のセンサ情報を取得することが可能となった（国内学会で発表済）。：昨年度開発した接触位置センサを基にインターフェース（センサと信号線の接続）の改良を行った。新センサで分解能を調査したところ、約20mmであることが分かった。ヒトの2点弁別閾（2点刺激を与えられたときに、2点の刺激だと感じられる最小距離）は、手のひらが10数mm、手の甲で30数mm、前腕が約40mmであることから、ロボットハンドやアームのセンサとして十分に応用可能である（国際学術論文として報告済）。：ひげを模したイオンゲルセンサ（ひげセンサ）を作製し、感度の良いデザイン（流路の形状、ひげの位置など）を探索した。次に、ひげセンサを搭載した車両型ロボットを開発した。開発した車両

型ロボットで走行実験を行ったところ、走行速度によらず、ひげセンサがひげのたわみ具合を検知し障害物を回避する行動が発現した（論文準備中）。

<3年目>

最終年度は、当初の研究計画であった、に加え、イオン液体接触センサによる形状識別に取り組んだ。：複数の分岐する流路、らせん型流路をもつイオン液体センサを開発し、特性解析を行った。分岐の仕方により感度と測定範囲が変化すること、完全な立体流路でもセンサとして機能することを明らかにした。：開発した位置特定接触センサを用いてアームを作製し、把持物体の角度推定ができることを示した。：イオン液体センサを用いて、従来システムより高精度・少ない接触回数で形状識別を行えるセンサシステムを開発した（論文準備中）。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ohashi Hirono, Yasuda Takuto, Kawasetsu Takumi, Hosoda Koh	4. 巻 In press
2. 論文標題 Soft Tactile Sensors Having Two Channels With Different Slopes for Contact Position and Pressure Estimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Letters	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LSSENS.2023.3268888	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 久木佑真, 川節拓実, 大橋ひろ乃, 細田耕
2. 発表標題 3次元的な流路を有するイオン液体触覚センサの応答特性調査
3. 学会等名 ROBOMECH2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安田匠利, 大橋ひろ乃, 川節拓実, 細田耕
2. 発表標題 圧力と接触位置特定のためのイオンゲル触覚センサの開発
3. 学会等名 ROBOMECH2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌田直, 大原賢一朗, 原祐太, 吉田一也, 古川英光, 細田耕
2. 発表標題 イオンゲルひずみゲージを利用したヒゲセンサの開発
3. 学会等名 ROBOMECH2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------