

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420199

研究課題名(和文) 細径空気圧人工筋を集積したタコの筋構造模倣ソフトメカニズム

研究課題名(英文) A soft robotic mechanism mimicking octopus arm structure with thin pneumatic artificial muscles

研究代表者

脇元 修一 (Wakimoto, Shuichi)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：40452560

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：空気圧駆動のラバーアクチュエータであるMcKibben型アクチュエータは、高出力、軽量、柔軟などの特長から人工筋肉として高い可能性を有する。本研究では細径のMcKibben型アクチュエータを集積することで柔軟なロボットアームを開発した。本ロボットアームはタコの腕の筋肉配置を模倣した構造であり、また、アームは柔軟な高分子材料のみで構成されている。駆動実験を実施し、本ロボットアームが湾曲・収縮・ねじれの多自由度な動作、および剛性変化が実現可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：A McKibben actuator which is flexible and driven pneumatically has the features of high output force and light weight. Therefore the actuator has high potential as an artificial muscle. In this research a soft robotic arm has been developed by integrating multiple thin McKibben actuators. This robotic arm mimics muscle configuration of an octopus arm and is configured with polymer materials without rigid materials. The robotic arm can realize bending, contracting, and torsional motions and stiffness change.

研究分野：アクチュエータ

キーワード：ソフトアクチュエータ ソフトロボット 生物模倣機構

1. 研究開始当初の背景

一般にロボットなどの機械システムは高剛性の材料を用いて構成され、これによって高速・大出力・高制御性を実現している。一方で医療・福祉・農業などの分野に機械システムを用いる場合、対象の形状に対して適応性を有し、また、高い安全性を確保できるメカニズムの実現が求められる。このような背景の中でラバーチューブと繊維から構成され空気圧で駆動する柔軟で軽量の McKibben 型アクチュエータを機械システムに適用する研究が実施されてきている。

2. 研究の目的

本研究ではタコの腕の筋肉構造を模倣し、McKibben 型アクチュエータを集積することで従来のメカニズムと比較し、より多自由度な柔軟なロボットアームの開発を目指した。本研究期間での主要な目的を以下としていた。

(1) 柔軟ロボットアームの製作

(2) 制御系の考案

また、研究の進捗にともなって当初目的にはなかった下記の項目を新たに研究目的として追加した。

(3) McKibben 型アクチュエータのスマート化

3. 研究の方法

(1) 柔軟ロボットアームの製作

① タコの腕の筋配置と細径 McKibben 型アクチュエータ

図 1 はタコの腕の筋肉配置の概略を示す。タコの腕の筋肉は大まかに分類すると軸方向・径方向・軸に対して斜め方向に配置されている。これらの筋肉の駆動の組合せによってタコの腕は湾曲・収縮・ねじれといった多自由度な動作と剛性変化を実現している。

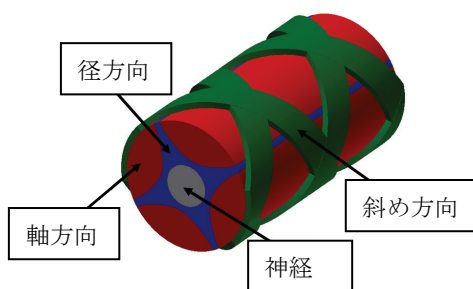


図 1 タコの腕の筋肉配置の略図

細径 McKibben 型アクチュエータを筋肉として用いて、この構造を模倣することで多自由度なロボットアームを開発した。図 2 に細径 McKibben 型アクチュエータを示す。本アクチュエータは外径 1.8mm であり 300kPa の空圧印加で約 20%収縮する。

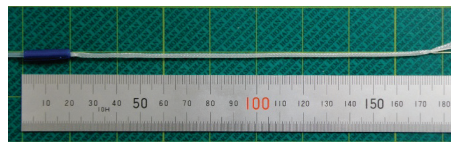


図 2 細径 McKibben 型アクチュエータ (上: 初期状態、下: 300kPa 印加状態)

② ロボットアームの製作

図 2 に示した細径 McKibben 型アクチュエータを図 1 のタコの腕の筋配置を参考にして集積することで柔軟ロボットアームの製作を実施した。アクチュエータの配置について図 3 に示す。

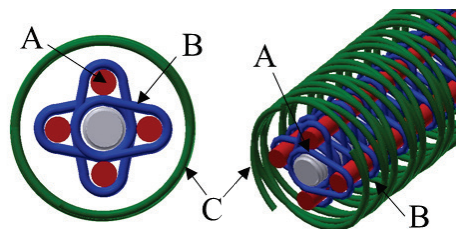


図 3 柔軟ロボットアームの構造図

図中の A、B、C はそれぞれ軸方向、径方向、斜め方向のアクチュエータを示している。また、中央にはダミー神経構造として柔軟なラバー構造体を配置している。

図 4 に製作した柔軟ロボットアームを示す。外径 27mm、全長 145mm、質量 35g である。

ダミー神経構造の周りに軸方向の筋肉として 6 本のアクチュエータを 1 束としこれを 4 束配置している。また、径方向のアクチュエータは軸方向に配置したアクチュエータ束とダミー神経構造を結ぶように 4 本配置している。斜め方向には右回り・左周りにそれぞれ 1 本のアクチュエータを螺旋状に配置している。



図 4 製作した柔軟ロボットアーム

③ 駆動特性

柔軟ロボットアームの駆動実験を実施した。図 5 は軸方向に配置したアクチュエータ束に空気圧を印加することで湾曲動作を行

っている例である。

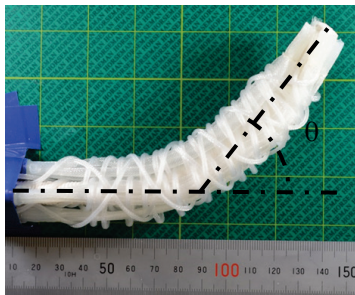


図5 湾曲動作の例

図6に湾曲特性を示す。軸方向のアクチュエータ1束に空気圧を印加しながら、その際の湾曲角度を測定している。

300kPa印加において湾曲角は約55度となっている。一方でアクチュエータや柔軟構造体が有する非線形特性やヒステリシス特性により駆動特性も非線形でヒステリシスを有するものとなっている。

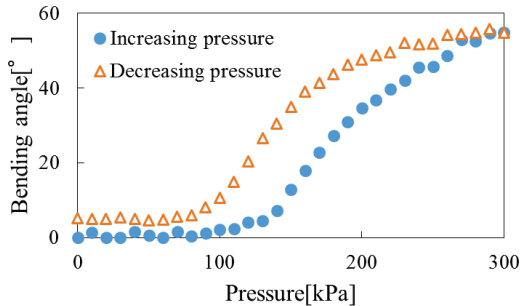


図6 印加圧力と湾曲角の関係

この他、すべての軸方向のアクチュエータ束に同圧を印加することで収縮動作を斜め方向のアクチュエータによってねじり動作を径方向のアクチュエータによって可変剛性機能可以实现できる。

実験により収縮動作では収縮率約14%の全長収縮を、ねじり動作では約200度の軸回りのねじりを、可変剛性機能では約2.9倍の剛性変化をそれぞれ確認している。

④ 2ユニットアームの製作

2ユニットを連結した柔軟ロボットアームを製作した。

本節の②で述べた機構を1ユニットとしてこれを2つ直列に配置している。ただし、連結化にともなって軸方向へ配置するアクチュエータ束、および1束を構成するアクチュエータ数などを減少させている。

図7上に試作した2ユニットアームを示す。左側の1段目のユニットでは合計12本、右側の2段目のユニットでは合計6本の細径McKibben型アクチュエータを用いている。駆動するアクチュエータを変化させることで、大きな湾曲動作や図7下に示すようなS字状の湾曲動作が可能であることを確認してい

る。

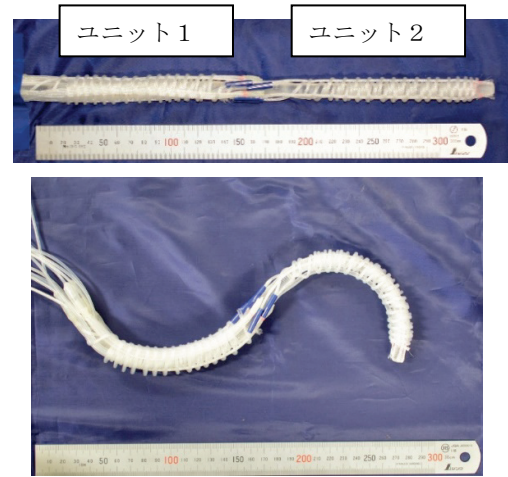


図7 2ユニットを連結した柔軟ロボットアーム (上:初期状態、下:S字湾曲状態)

(2) 制御系の考案

本ロボットアームは非線形性と高いヒステリシスをもつ。運動学の導出を実施したが容易ではなく研究期間内では十分な成果を得られなかった。運動学の導出は継続して検討している。本研究期間では1ユニットを対象とし制御手法にマスタースレーブ方式を用いた。マスタースレーブ機と同サイズの円筒状ラバー構造体である。湾曲動作・ねじり動作を対象として、マスタースレーブ機には軸方向に3本、斜め方向に1本のストリングを配置し、各々、ワイヤー式エンコーダと接続している。マスタースレーブ機に湾曲変形やねじり変形を加えるとストリング長が変化し、この変化量をワイヤーエンコーダで読み込むことで湾曲量・ねじり量を計測する。この情報にもとづきスレーブ機である柔軟ロボットアームへの空気圧印加量を決定する。なお、現状ではロボットアームへは湾曲量・ねじり量を測定するセンサが搭載されていないため、オペレータの視覚によってスレーブ機の状態をフィードバックし制御を行っている。

図8にマスタースレーブ方式による柔軟ロボットアームの制御の様子を示す。左側のマスタースレーブ機を任意方向に曲げることで、右側のスレーブ機がそれに倣うように湾曲していることが分かる。マスタースレーブ機に対してスレーブ機が倣って駆動することを確認した。

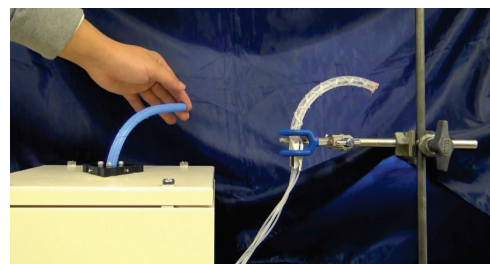


図8 マスタースレーブによる制御

(3)McKibben 型アクチュエータのスマート化
開発した柔軟ロボットアームはアーム自体は軽量であるものの、空気圧駆動システムにはコンプレッサや電空レギュレータが必要であり、そのためにシステム全体が大型化する。より簡便に制御が可能なセンサ機能を搭載したスマート McKibben 型アクチュエータの開発を実施した。

McKibben 型アクチュエータはゴムチューブの周りを繊維を編み込んだスリーブで覆う構造である。製紐機を用いることでチューブの周りにスリーブを成型すること可能である。

図9左に製紐機を、右にスリーブが成型される様子を示す。製紐機は繊維が巻かれた複数のポビンを有しており、これが交差しながら回転していくことで、装置中央部で繊維を編んでいくことができる。この際に、編み込まれる繊維中央部にゴムチューブをセットしておくことで、McKibben 型アクチュエータが成型できる。本研究では、導電性繊維をポビンにセットすることで、スリーブの一部が導電性繊維となる McKibben 型アクチュエータを製作した。

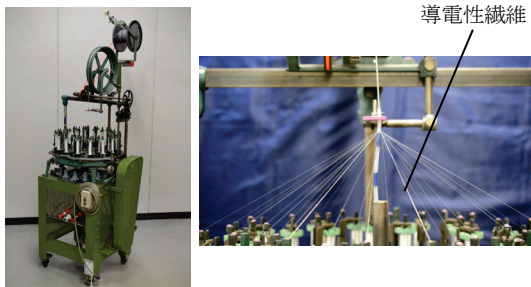


図9 スマート McKibben 型アクチュエータの製作プロセス (左：製紐機、右：アクチュエータの製作)

製作したスマート McKibben 型アクチュエータを図 10 に示す。図中の白線が導電性繊維である。導電性繊維はスリーブの一部を成型している。また、ゴムチューブ内に空気圧が印加された際には径方向に応力を受けるため、その抵抗値が変化する。つまり、導電性繊維はアクチュエータとしての構造でありながらセンサとしても機能することとなる。

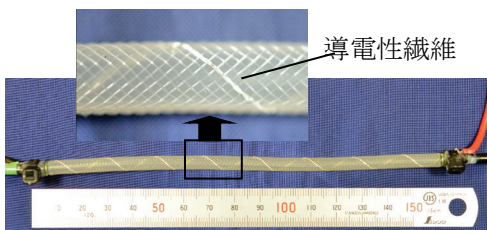


図10 スマート McKibben 型アクチュエータ

図 11 にアクチュエータへの印加圧力とセンサ出力の関係を示す。センサ出力は計測用ブリッジ回路から出力された電圧値で示している。印加圧力に対して高い線形性を有していることが分かる。小型チュービングポンプを用いたコンパクトな圧力制御システムを構築し、本センサによって圧力制御が可能であることを確認した。

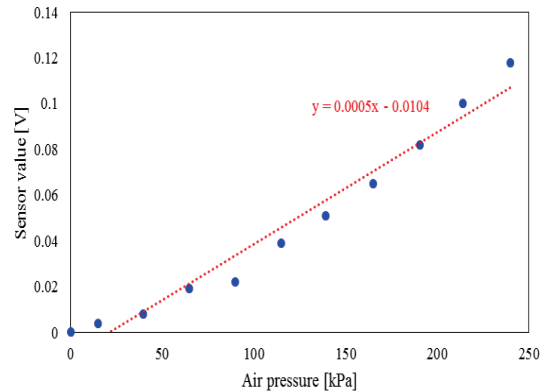


図11 印加圧力とセンサ出力の関係

4. 研究成果

本研究ではタコの腕の筋配置を模倣した新たな柔軟ロボットアームを開発した。従来のソフトメカニズムにない多自由度な動作が実現可能となっている。

また、マスタースレーブ方式による制御系を構築し柔軟ロボットアームが制御可能であることを確認した。

柔軟ロボットアームは、形状適応性、高い安全性を有しているため医療・福祉・農業などの分野における新たなロボットメカニズムとして高いポテンシャルを有する。

また、アクチュエータ自体のスマート化に関する研究も実施し、印加圧力を自己センシング可能な McKibben 型アクチュエータを実現した。

今後、本アクチュエータを用いた柔軟ロボットアームの構築を実施するとともに、アクチュエータ自体のさらなる高機能化を目指す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Shuichi Wakimoto, Jumpei Misumi, Koichi Suzumori, New concept and fundamental experiments of a smart pneumatic artificial muscle with a conductive fiber, *Sensors and Actuators A*, 査読有, Vol.250, 2016, 48-54, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.08.004>.

[学会発表] (計 14 件)

① Keisuke Goto, Control of a robot arm with smart pneumatic artificial muscles ,

International Conference on Machine Design and Tribology, 21.4.2017, Jeju.

② Toshiyuki Doi, Proposal of flexible robotic arm with thin McKibben actuators mimicking octopus arm structure, International conference on intelligent robots and systems, 13.10.2016, Daejeon.

③ Gaurav Maiti, Establishment of a simplified simulation method for axially reinforced pneumatic artificial muscles by introducing anisotropic material, International conference on advanced mechatronics, 5.18.2015, Tokyo.

④ Jumpei Misumi, Experimental Investigation of conductive fibers for a smart pneumatic artificial muscle, International conference on robotics and biomimetics, 19.12.2015, Zhuhai.

⑤ Kazuya Mori, Development of thin McKibben artificial muscle and its application to biomimetic mechanisms, International symposium on fluid power, 29.10.2014, Shimane.

〔図書〕(計 1 件) *解説記事

① 脇元修一、空気圧駆動細径人工筋の基礎特性と応用例、加工技術、Vol. 51、No. 12、35-40、2016.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 1 件)

名称：人工筋肉

発明者：脇元修一、三隅順平

権利者：岡山大学

種類：特許

番号：特許願2015-237988号

出願年月日：平成27年7月8日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ

<http://www.act.sys.okayama-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

脇元 修一 (WAKIMOTO, Shuichi)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：40452560

(2) 研究協力者

三隅 潤平 (MISUMI, Jumpei)

後藤 佳輔 (GOTO, Keisuke)

土井 俊幸 (DOI, Toshiyuki)

GAURAV, Maiti

森 和也 (MORI, Kazuya)