

# 細径 McKibben 型人工筋肉を集積したタコ腕模倣メカニズムの開発

## Development of octopus arm imitation mechanism with an integrated small-diameter McKibben artificial muscles

○学 森 和也 (岡山大学) 正 脇元 修一 (岡山大学)  
高岡 真幸 (岡山大学) 正 鈴森 康一 (岡山大学)

Kazuya MORI, Okayama University, morika12@act.sys.okayama-u.ac.jp  
Shuichi WAKIMOTO, Okayama University, wakimoto@act.sys.okayama-u.ac.jp  
Masayuki TAKAOKA, Okayama University, takaoka8@act.sys.okayama-u.ac.jp  
Koichi SUZUMORI, Okayama University, suzumori@act.sys.okayama-u.ac.jp

Octopus arm has no rigid structure, and it is almost composed of muscles located various directions. Therefore, it is flexible mechanism and can perform complex functions. This study aims at development of the new soft mechanism using the thin McKibben artificial muscles which imitates the structure of muscles of the octopus arm.

**Key Words:** Artificial muscle, Flexible mechanism, Biomimetic actuator

### 1. 緒言

自然界には象の鼻やタコの腕などのように骨格を持たず、筋肉だけで構成されている機構が存在する。それらは柔軟性、形状適応性に優れており、多自由度な動作が可能である。これまでにタコの腕を模倣したメカニズムの開発が行われている[1],[2]。

本研究では細径 McKibben 型人工筋を多方向に配向し集積した、タコの腕の模倣メカニズムの実現を目指している。

### 2. タコの腕の筋肉構造

タコの腕には骨格が無く、図 1 に示すように腕の中央に配置された神経とそれを覆うように軸方向の筋肉(Longitudinal muscles)・径方向の筋肉(Transverse muscles)・斜め方向の筋肉(Oblique muscles)の 3 種類に大別される[3]。それぞれの筋肉が独立して収縮することにより、柔軟で複雑な動作(収縮・伸長・湾曲・ねじれ・剛性)が可能になる。

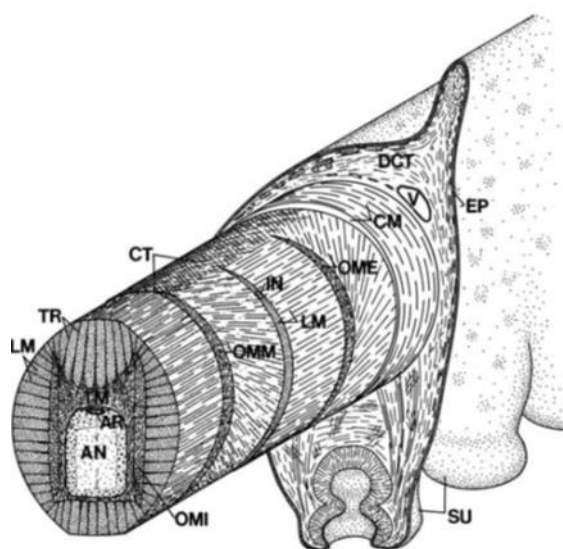


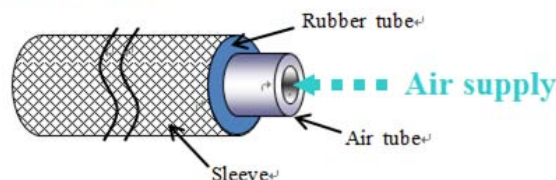
Fig. 1 Diagram of the arm of Octopus [3]

### 3. 細径 McKibben 型人工筋

#### 3.1. 構造・駆動原理

McKibben 型人工筋は図 2 に示すようにゴムチューブとそれを覆うように編みこんだスリーブと空圧を印加するための送気チューブから構成されている。チューブの片端は封止され、もう片端に取り付けた送気チューブから空圧を印加することでゴムチューブが径方向に膨張し、同時にスリーブの編み角が変化することにより軸方向への収縮力が得られる。

#### Initial state



#### Pressurized state

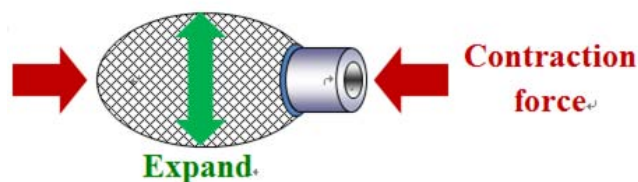
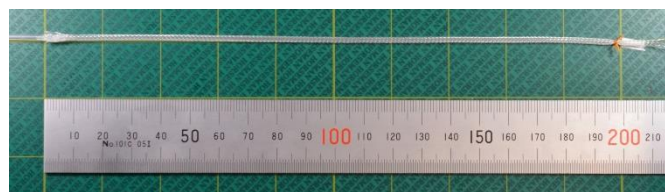


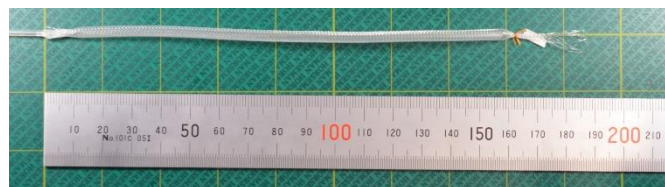
Fig. 2 Structure and drive principle of the McKibben artificial muscle

#### 3.2. 細径 McKibben 型人工筋

製作した細径 McKibben 型人工筋を図 3 に示す[4]。ゴムチューブは外径 1.3[mm]—内径 0.9[mm]、硬度 30 のシリコンチューブである。スリーブに使用した繊維はポリエステル繊維の一種であるテトロンモノフィラ( $\phi 0.12$ [mm])で編み角は 18[deg]、使用する繊維の数である打ち数は 24 打ちとした。人工筋の片端を塞ぎ、もう一方には空圧印加用の送気チューブを接着剤(LOCTITE401)で接続している。使用した細径 McKibben 型人工筋は 500[kPa]印加時に最大収縮率が 34[%]である。



(a) Initial state



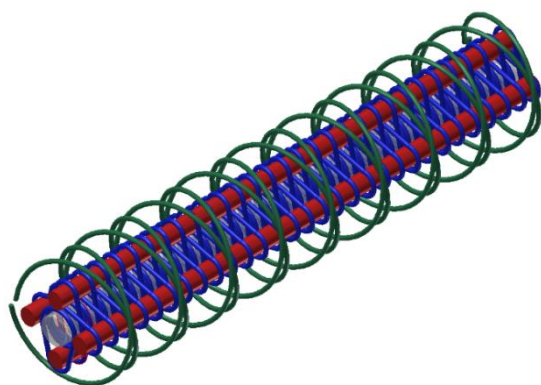
(b) Pressurized state

Fig. 3 Thin McKibben artificial muscle

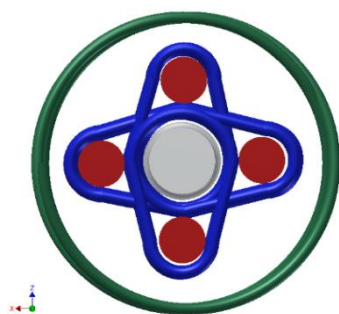
#### 4. 生体模倣メカニズム

##### 4.1 構造・駆動原理

3章で製作した細径 McKibben 型人工筋を集積したタコ腕模倣メカニズムの構造を図 5 に示す。タコ腕模倣メカニズムの中央には神経を模倣した低高度なゴム材料を配置し、その周囲に人工筋を配置する。赤色で示す部分は Longitudinal muscles を模倣した構造であり、8本の細径 McKibben 型人工筋を束状し、これを4束軸方向に配置する。青色で示す部分は Transverse muscles を模倣した構造であり低硬度ゴム材料と1束の軸方向の人工筋を束ねるように4本配置する。緑色で示す部分は Oblique muscles を模倣した細径 McKibben 型人工筋を右巻き、左巻きそれぞれ1本ずつ配置する。



(a) Overview



(b) cross-section view

Fig. 5 Structure of octopus arm imitation mechanism

湾曲動作は任意の Longitudinal muscles を収縮させることで行い、収縮動作はすべての Longitudinal muscles に同じ量の空圧を印加することで行う。ねじれ動作は右巻き、左巻きそれぞれの Oblique muscles を収縮させることで行う。剛性の変化を Transverse muscles を駆動することで実現する。

##### 4.2 製作したタコ腕模倣メカニズム

直径が 22[mm]、長さは 160[mm]のタコ腕模倣メカニズムを製作した。製作したタコ腕模倣メカニズムを図 6 に示す。低硬度ゴム材料には KE-1308(信越シリコン)を使用した。

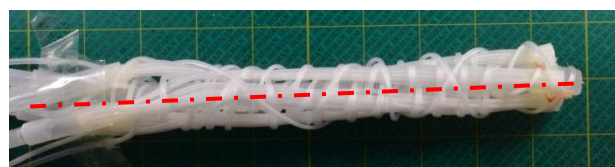


Fig. 6 Mimicking octopus arm imitation mechanism

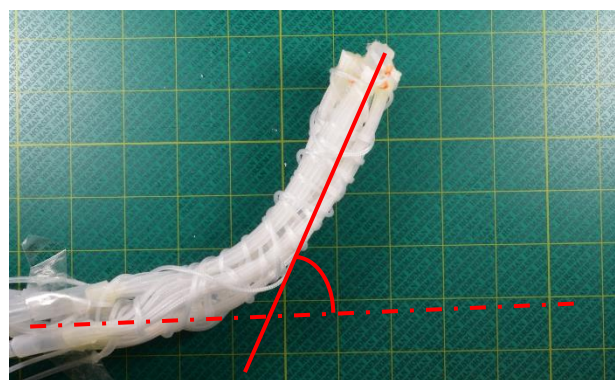
##### 4.3 駆動実験

##### 4.3.1 湾曲動作実験

任意の Longitudinal muscles に空圧を印加し、印加圧力と湾曲角度に関する評価実験を行った。150[kPa]印加時のタコ腕模倣メカニズムを図 7 に示し、印加圧力と湾曲角度の関係を図 8 に示す。空圧は 0[kPa]から 150[kPa]まで 10[kPa]間隔で印加した。150[kPa]印加時に 64[deg]の湾曲を確認した。



(a) Initial state



(b) Pressurized state

Fig. 7 Bending movement



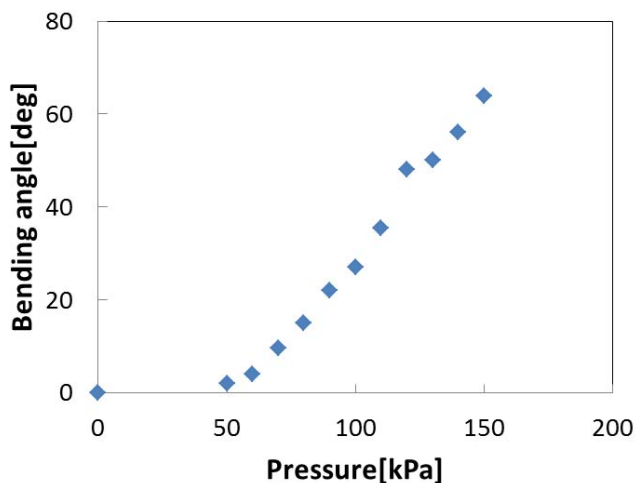


Fig. 8 Relation between applied pressure and central angle

#### 4.3.2 収縮動作実験

4本のLongitudinal musclesに空圧を印加し、印加圧力と収縮率に関する評価実験を行った。130[kPa]印加時のタコ腕模倣メカニズムを図9に示し、印加圧力と収縮率の関係を図10に示す。空圧は0[kPa]から130[kPa]まで10[kPa]間隔で印加した。実験結果より、130[kPa]印加時に9.8[%]の収縮を確認した。

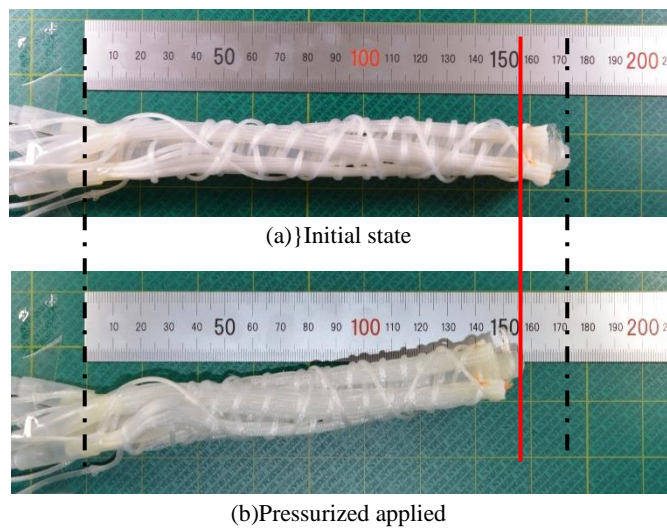


Fig. 9 Contracting movement

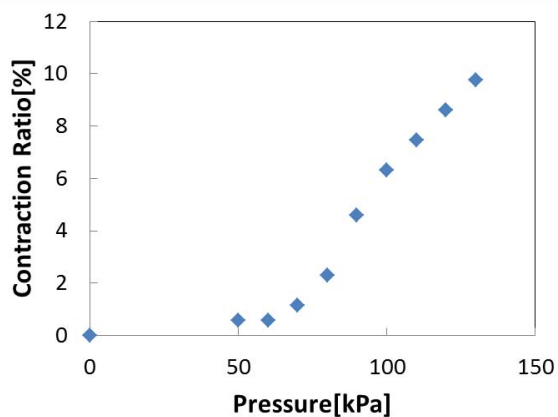


Fig. 10 Relationship between applied pressure and contraction ratio

#### 4.3.3 ねじれ動作実験

右巻き、左巻きそれぞれのOblique musclesに空圧を印加し、印加圧力とねじれ角度に関する評価実験を行った。実験時の様子を図11に示す。また、印加圧力とねじれ角度の関係を図12に示す。空圧は0[kPa]から200[kPa]まで50[kPa]間隔で印加した。実験結果より、右巻きと比べ左巻きの回転角度が小さいことが分かる。原因として、2本のOblique musclesを互い違いに配置せず、左巻きの人工筋の上から右巻きの人工筋を配置したためだと考えられる。その結果、左巻きの人工筋に圧力を印加した際に径方向への膨張が阻害され、回転角度に差が生じた。

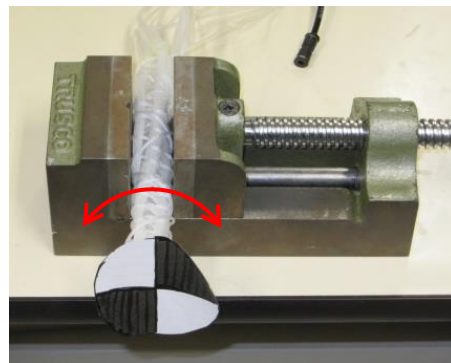


Fig. 11 Experimental setup

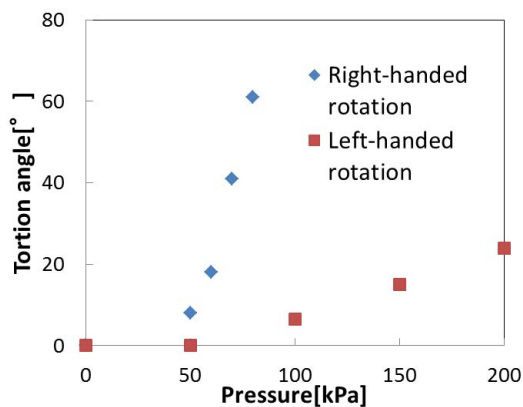


Fig. 12 Relationship between applied pressure and twisting angle

#### 4.3.4 剛性動作実験

4本のTransverse musclesに0[kPa]と150[kPa]をそれぞれ印加し、印加圧力と力に関する評価実験を行った。実験は図13に示すようにタコ腕模倣メカニズムの根元を固定し、先端部に取り付けたフォースゲージで押しながら、その際の変位と力を測定した。実験結果を図14に示す。空圧を印加しない場合と比較して空圧を印加したときは力が大きくなっており、剛性が高くなっていることを確認した。



Fig. 13 Experimental setup

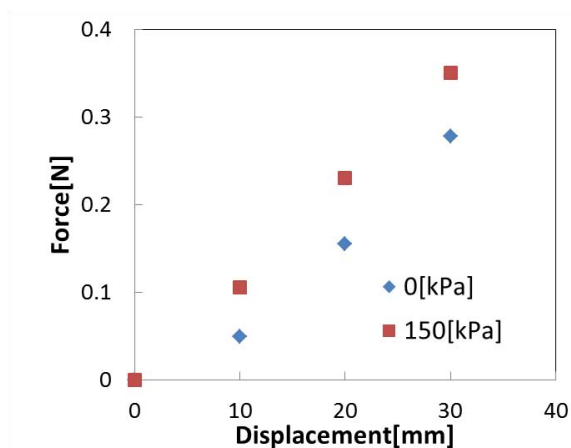


Fig. 14 Relationship between displacement in the radial direction and stress

## 5. 結言

本論文では、タコの腕の筋肉構造を模倣したメカニズムを製作した。最大収縮率が 34[%]の細径 McKibben 型人工筋を軸方向・径方向・斜め方向に集積することでタコと同様の柔軟で複雑な動作（湾曲・収縮・ねじれ・剛性）を実現した。

## 文 献

- [1] 山崎 景, 塚越 秀行, 北川 能, “タコの筋肉構造を参考とした定体積式柔軟変形アクチュエータ,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2A2-B07
- [2] Deepak Trivedi, Christopher D. Rahn, William M. Kier and Ian D. Waler, “Soft robotics: Biological inspiration, state of the art, and future research,” Applied Bionics and Biomechanics, Vol. 5, No. 3, September 2008, 99-117
- [3] Deepak Trivedi, Christopher D. Rahn,\* William M. Kier and Ian D. Walker, “Soft robotics: Biological inspiration, state of the art, and future research”, Applied Bionics and Biomechanics, Vol. 5, No. 3, September 2008, 99-117.
- [4] 高岡 真幸, 鈴森 康一, 脇元 修一, 飯嶋 一雄, 徳宮 孝弘, “生体模倣ロボット機構実現に向けた多繊維構造マッキベン人工筋,” 第 14 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(SICE SI 2013), pp.1767-1770, 2013