

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題	多繊維構造人工筋における筋繊維間干渉のモデリング
Title	Modeling of Multifilament Muscle Regarding Physical Interaction between Muscle Fibers
著者	車谷駿一, 鈴森 康一, 難波江, 脇元 修一
Author	Shunichi Kurumaya, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae, Shuichi Wakimoto
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 予稿集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2016, 6
URL	<a href="http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html">http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html</a>
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。

# 多繊維構造人工筋における筋繊維間干渉のモデリング

## Modeling of Multifilament Muscle Regarding Physical Interaction between Muscle Fibers

○ 学 車谷 駿一 (東工大)                      正 鈴森 康一 (東工大)  
正 難波江 裕之 (東工大)                      正 脇元 修一 (岡山大)

Shunichi KURUMAYA, Tokyo Institute of Technology, kurumaya.s.aa@m.titech.ac.jp  
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology  
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology  
Shuichi WAKIMOTO, Okayama University

Muscles of creatures have bundle structure consisting of a large number of thin muscle fibers. Using a bundle of thin McKibben muscles, we have developed a multifilament muscle that has characteristics similar to those of human muscles. It is reported that bundling thin McKibben muscles causes physical interaction between muscle fibers with their radical expansion, resulting in the increase of the muscle contraction ratio. It is only confirmed as an experimental result. In this paper, we propose a simple model to reveal this interesting phenomenon. The analytical result successfully expresses the increase in contraction due to bundling thin McKibben muscles.

**Key Words:** Soft actuator, Thin McKibben muscle, Multifilament muscle

### 1. 緒言

生物の骨格筋は多数の筋繊維が束になった構造を持つ。筆者らは独自に開発した細径マッキベン人工筋[1]を束ねて骨格筋の構造を模倣した多繊維構造人工筋を開発した[2]。この人工筋は細径マッキベン人工筋を径方向に集積しており、空圧を印加するとそれぞれの人工筋が径方向へ膨張し、人工筋同士の干渉が発生することが確認されている[3]。先行研究において、集積本数の変化に伴う収縮力・収縮率への影響について実験が行われ、この干渉が軸方向の収縮率向上に寄与していることが明らかにされている。

本論文では、多繊維構造人工筋の構造を説明した上で、収縮率の増加に関してこの人工筋のモデル化を行い、理論的に収縮率が大きくなることを示す。

### 2. 多繊維構造マッキベン人工筋の構造

細径マッキベン人工筋を複数本束ねることによって、多繊維構造人工筋を作ることができる。直線形状の基本的な多繊維

着剤でまとめて、送気チューブ、熱収縮チューブで形作られた密閉性の高い送気ポートを取り付けている。両端には取り付け用の腱としてダイニームを用いている。

### 3. 多繊維構造人工筋の収縮率向上メカニズム

多繊維構造人工筋は細径マッキベン人工筋を単体で使用するときよりも収縮率が大きくなるということを簡単なモデルを使って定式化する。多繊維構造人工筋の収縮率が向上するのは、束ねられた人工筋が径方向に膨らむことによって外側の人工筋が図2のように外側に湾曲して広がることに起因しており、これによって見かけ上の収縮率が向上すると考えられる。この現象を図3に示すような多繊維構造人工筋の2次元平面モデルで考える。ここで、初期直径を $d_0$ 、束ねた人工筋の本数を $n$ 、初期長さを $l_0$ 、軸方向収縮率を $\epsilon_l$ 、径方向膨張率を $\epsilon_r$ とした。このとき細径マッキベン人工筋は隙間なく並

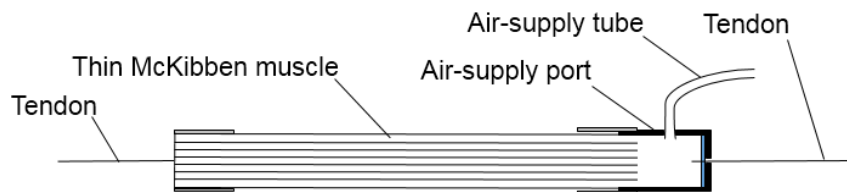
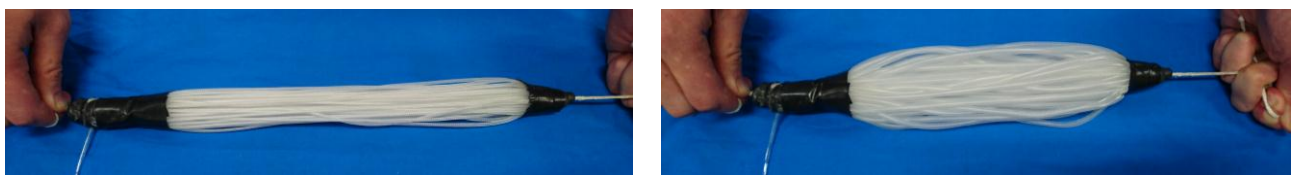


Fig.1 Structure of multifilament muscle.



(a) Air pressure 0MPa

(b) Air pressure 0.30MPa

Fig.2 Example of the developed multifilament muscle consisting of 60 thin McKibben muscles.

維構造人工筋は図1に示すように細径マッキベン人工筋を接

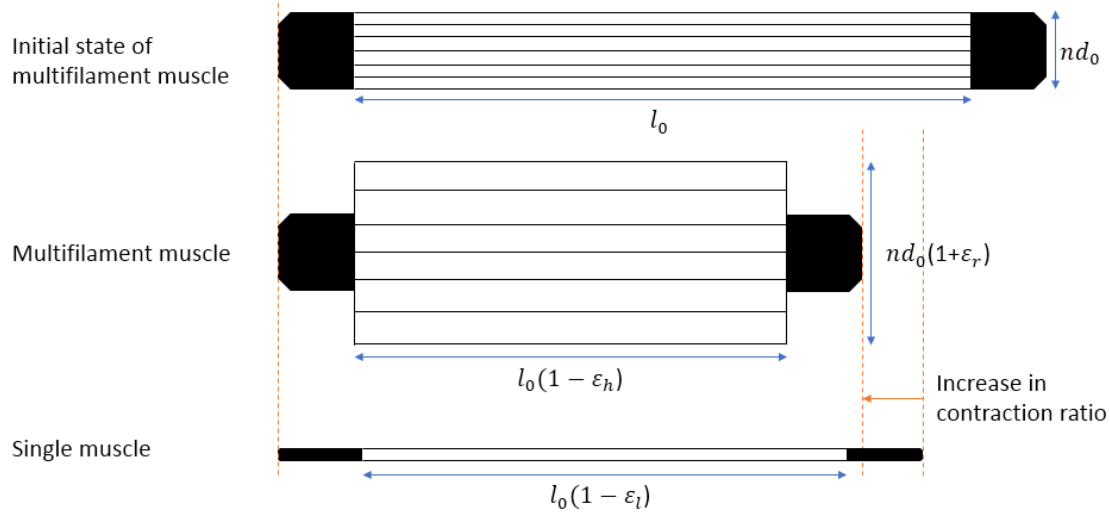


Fig.3 Model of multifilament muscle. Bundle mechanism makes contraction ratio of multifilament pneumatic muscle higher than a single muscle.

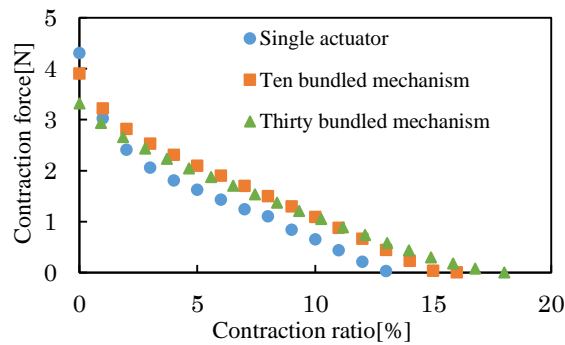


Fig.4 Comparison result of single artificial muscle and multifilament pneumatic muscles with air pressure 0.20MPa. In the experiment, Bundle mechanism makes contraction ratio of multifilament pneumatic muscle higher than a single muscle [3].

んでいるものとする。このモデルでは空圧を印加したときの端部において人工筋が湾曲してとる経路は簡単のため、図のように直角であるとする。膨らんだときに湾曲して外側を走行する長さ $nd_0\epsilon_r$ だけ収縮量が増加すると仮定すると、幾何学的な関係からこの多繊維構造人工筋に空圧を印加したときに得られる見かけ上の収縮率 $\epsilon_h$ は以下の式(1)で表される。

$$\epsilon_h = \epsilon_l + n\epsilon_r \frac{d_0}{l_0} \quad (1)$$

式(1)から細径マッキベン人工筋単体の収縮率 $\epsilon_l$ に加えて第2項の分だけ収縮率が増加することがわかる。第2項は束ねた人工筋の本数 $n$ 、径方向膨張率を $\epsilon_r$ 、人工筋単体のアスペクト比 $d_0/l_0$ に比例する。これは先行研究で示された図4の収縮力と収縮率のグラフからわかるように、束ねた本数が多いほど収縮率が増加するという実験結果と一致する。

#### 4. 結言

本論文では、多繊維構造人工筋の収縮率の増加に関してモデル化を行い、導出された式から多繊維構造人工筋の見かけ上の収縮率が増加することを示した。導出された式の結果と

先行研究の実験結果において、束ねられた本数が増加すると収縮率が増加するという点が一貫していることを確認した。

今後は人工筋の本数、径方向膨張率、人工筋単体のアスペクト比といったパラメータを変化させて実験を行い、モデリングの妥当性について詳しく検証する。

#### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費(基盤(A),26249028「次世代マッキベン人工筋の実現」)の補助を受けて実施した。

#### 文献

- [1] Masayuki Takaoka, Koichi Suzumori, Shuichi Wakimoto, Kazuo Iijima, Takahiro Tokumiya: "Fabrication of Thin McKibben Artificial Muscles with Various Design Parameters and Their Experimental Evaluations", The 5th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (IC-MDT2013), pp.82, 2013.
- [2] 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 pp.1767-1770, 2013.
- [3] 土井俊幸, 脇元修一, 鈴森康一, 神田岳文; "細径 McKibben 型人工筋の集積化に関する研究 一第1報: 収縮率と収縮力の静特性の測定一", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1P1-B03, 2015.