

細径 McKibben 型人工筋の集積化に関する研究 —第 1 報：収縮率と収縮力の静特性の測定—

Research on Bundle Mechanism of Thin McKibben Artificial Muscles

-1st report: Static characteristics of contraction ratio and contraction force-

○学 土井 俊幸 (岡山大学) 正 脇元 修一 (岡山大学)
正 鈴森 康一 (東京工業大学) 正 神田 岳文 (岡山大学)

Toshiyuki DOI, Okayama University, doi14@act.sys.okayama-u.ac.jp
Shuichi WAKIMOTO, Okayama University, wakimoto@act.sys.okayama-u.ac.jp
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology, suzumori@mes.titech.ac.jp
Takefumi KANDA, Okayama University, kanda@act.sys.okayama-u.ac.jp

The muscle of creatures is bundle structure consisting of a large number of thin muscle fibers. Our research group succeeded the development of thin McKibben artificial muscles which is 1.8[mm] in diameter. The purpose of this research is realization of the mimetic mechanism of muscle structure of creatures. The McKibben artificial muscles expand radially and contract axially. Therefore when thin McKibben artificial muscles are bundled, their expansion of radial direction cause an interference of each other. However the influence of the interference for the output of axial direction has never been clarified. We evaluate the influence of the interference between the artificial muscles by measuring contractive force and contraction ratio.

Key Words: Soft actuator, Pneumatic system, Artificial muscle

1. 緒言

生物の筋肉は多数の細径の筋繊維を束ねた構造である。筆者らの研究グループでは、独自で開発した細径 McKibben 型人工筋を用いて生物の筋肉構造を模倣したメカニズムを開発している[1]。その例として図 1 にタコ腕模倣メカニズムを示し[2]、図 2 に膝関節の駆動メカニズムを示す[3]。このようなメカニズムは、複数の細径 McKibben 型人工筋を径方向に集積した人工筋（以降、多繊維構造化 McKibben 型人工筋）を複数製作し、それらを組み合わせることで製作されている。

細径 McKibben 型人工筋を径方向に集積した人工筋に空圧を印加するとそれぞれの人工筋が径方向へ膨張するために人工筋同士の干渉が発生する。しかしながら、その干渉が軸方向の出力に与える影響は明らかにされていない。

そこで、本報では細径 McKibben 型人工筋の集積本数が異なる多繊維構造化 McKibben 型人工筋を製作し、集積本数の変化に伴う収縮力・収縮率の特性への影響を調査した。



Fig. 1 Mechanism mimicking octopus arm[2]

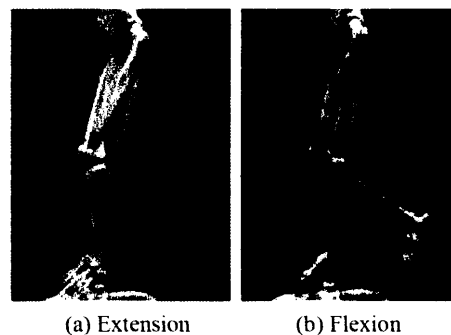


Fig. 2 Mechanism mimicking the knee joint[3]

2. 細径 McKibben 型人工筋

2.1. 構造・駆動原理

McKibben 型人工筋は図 3 に示すようにゴムチューブの周りをナイロンで編んだスリーブで被覆したもの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によってゴムチューブが径方向に膨張する。このゴムチューブの膨張に伴い、ゴムチューブの周りに被覆したスリーブの編み角が変化する。その変化により軸方向への収縮力が得られる。

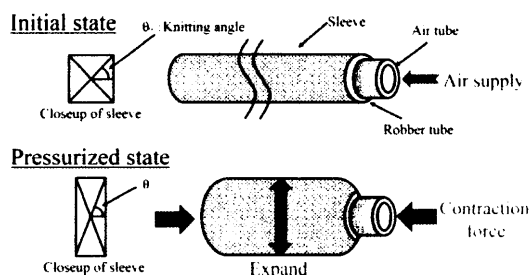
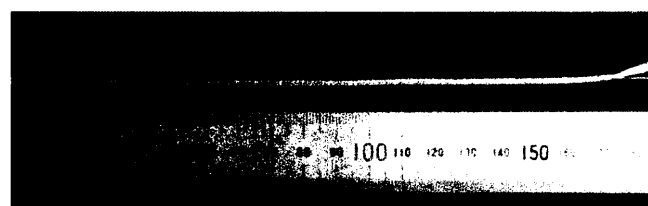


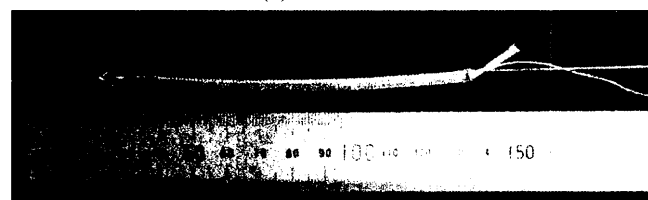
Fig. 3 Structure and drive principle of the McKibben artificial muscle

2.2. 細径 McKibben 型人工筋

製作した細径 McKibben 型人工筋を図 4 に示す。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])を使用し、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 型人工筋の収縮率と収縮力の測定結果に図 5 に示す。300[kPa]空圧印加時の最大収縮率は 20.2[%]、最大収縮力は 7.92[N]である。



(a) Initial state



(b) Pressurized state

Fig. 4 Thin McKibben artificial muscle

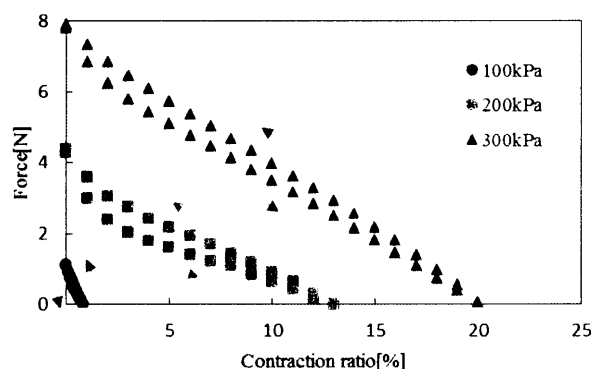


Fig. 5 Characteristics of a single artificial muscle

3. 多繊維構造化 McKibben 型人工筋

3.1. 構造・駆動原理

細径 McKibben 型人工筋を径方向に集積した多繊維構造化 McKibben 型人工筋の構造モデルを図 6 に示す。多繊維構造化 McKibben 型人工筋は径方向に集積した細径 McKibben 型人工筋の両端を固定用チューブに接続した構造となっている。また、固定用チューブの両端は封止しており、片方の固定用チューブには空圧印加用送気チューブを接続している。そのため送気チューブから空圧を印加することで、集積したすべての人工筋に同時に空圧を印加できる構造である。10 本、30 本の人工筋を集積して製作した多繊維構造化 McKibben 型人工筋とその駆動の様子を図 7 と図 8 にそれぞれ示す。

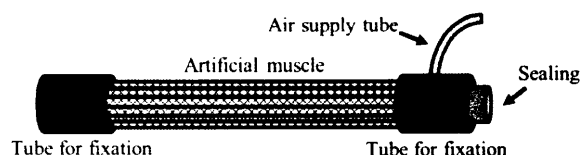
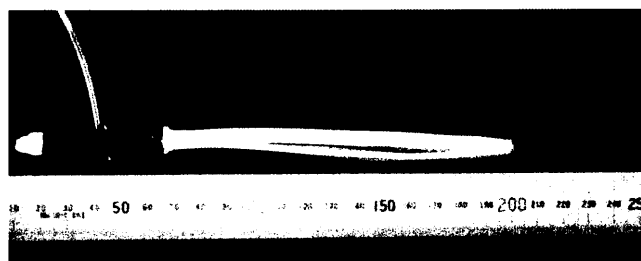
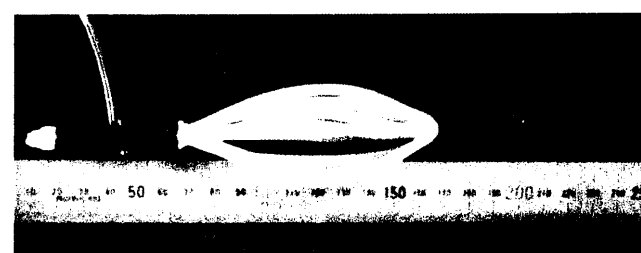


Fig. 6 Structure of bundle mechanism

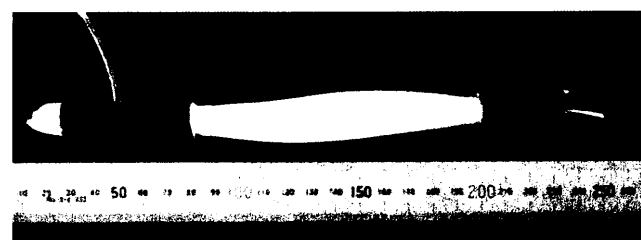


(a) Initial state

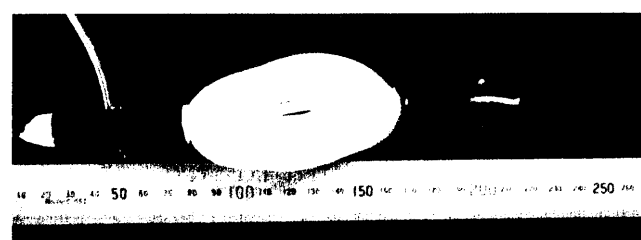


(b) Pressurized state at 300[kPa]

Fig. 7 Bundle mechanism of ten artificial muscles



(a) Initial state



(b) Pressurized state at 300[kPa]

Fig. 8 Bundle mechanism of thirty artificial muscles

3.2. 収縮率-収縮力特性

製作した多繊維構造化 McKibben 型人工筋の収縮率と収縮力の測定実験を行った。実験は図 9 に示すように人工筋を引張試験機に設置して実施した。製作した多繊維構造化 McKibben 型人工筋に送気チューブより一定の空圧を印加した状態で引張試験機のクロスヘッドを徐々に移動させながらロードセルで発生力を測定する。ロードセルで測定した発生力が 0[N]になったときのクロスヘッドの移動量を、その圧力における最大収縮量として収縮率を求めた。また、空圧は 0[kPa]から 300[kPa]まで 100[kPa]間隔で印加した。

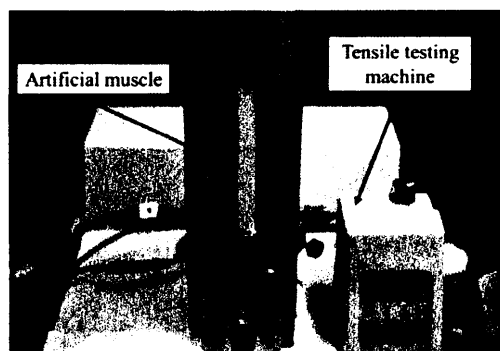


Fig. 9 Experimental setup

図 10 に 10 本の多繊維構造化 McKibben 型人工筋の各印加圧力での収縮率と収縮力の関係を示す。このグラフより 300[kPa] 空圧印加時の最大収縮率は 21.6[%]、最大収縮力は 74.40[N] であった。また、図 11 に 30 本の多繊維構造化 McKibben 型人工筋の各印加圧力での収縮率と収縮力の関係を示す。300[kPa] 空圧印加時の最大収縮率は 23.7[%]、最大収縮力は 183.02[N] であった。

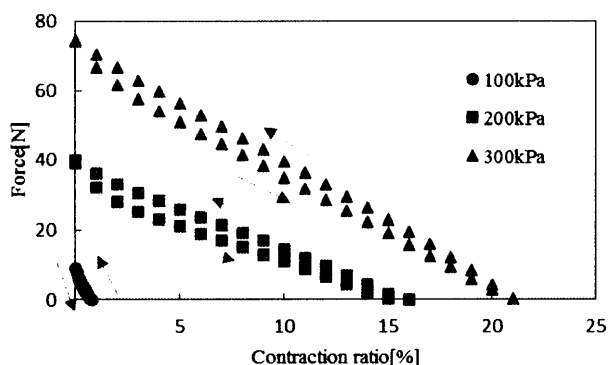


Fig. 10 Characteristics of mechanism of ten artificial muscles

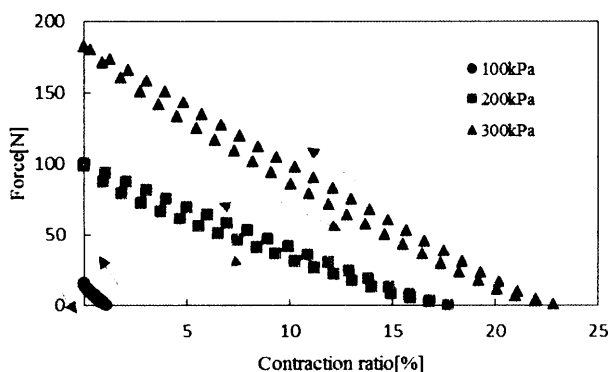
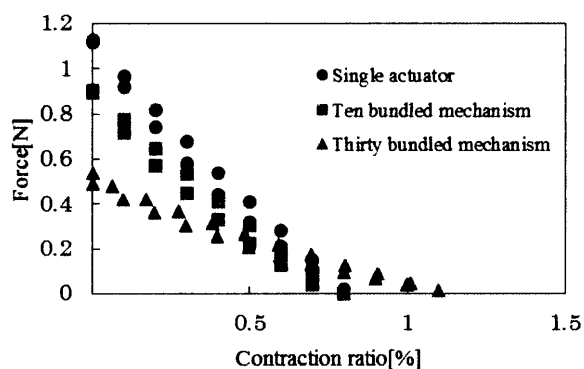


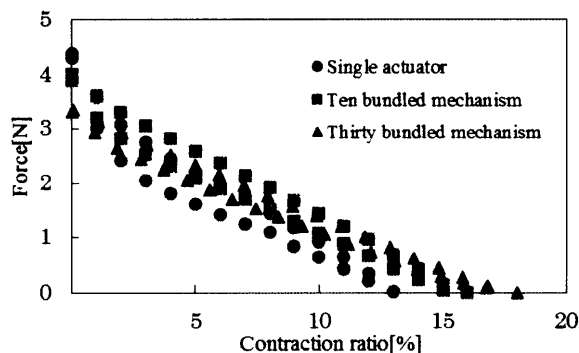
Fig. 11 Characteristics of mechanism of thirty artificial muscles

4. 特性の比較検証

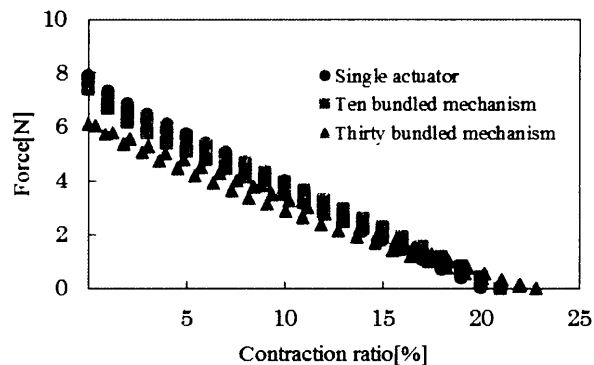
単体の細径 McKibben 型人工筋と製作した 10 本、30 本の多繊維構造化 McKibben 型人工筋の静特性を比較する。収縮力は測定された力を束ねた人工筋の数で除することで 1 本あたりの発生力として示している。比較結果を図 12(a), (b), (c) に示す。この比較結果より細径 McKibben 型人工筋を集積する本数を増やすことで、細径 McKibben 型人工筋 1 本あたりの最大収縮力が低下することがわかる。これは、製作過程において人工筋を平行に集積する際、一部たわんだ人工筋が存在してしまうことが原因と考えられる。しかし、どの圧力下においても収縮率の増加に伴って、集積した細径 McKibben 型人工筋の 1 本あたりの収縮力が単体の細径 McKibben 型人工筋を上回る。また、単体の細径 McKibben 型人工筋に比べ多繊維構造化 McKibben 型人工筋の収縮率が最大 30[%] 増加したことを確認した。



(a) 100kPa



(b) 200kPa



(c) 300kPa

Fig. 12 Comparison results of single artificial muscle and bundle mechanisms

この収縮率の増加は、細径 McKibben 型人工筋を径方向に集積することにより発生する人工筋同士の干渉が原因と考えられる。図 8(b)に示すように、径方向に集積した人工筋に空圧を印加した際、すべての人工筋が径方向に膨張することで、固定部付近において径方向で人工筋同士の干渉が発生する。この干渉により、外側の人工筋は湾曲した状態になる。さらに、この状態で収縮するため、集積化により収縮率が増加したと考えられる。

5. 結言

本論文では、本研究室で開発した細径 McKibben 型人工筋を径方向に集積した多繊維構造化 McKibben 型人工筋を製作し、収縮率と収縮力の測定を行った。その測定結果と単体の細径 McKibben 型人工筋の収縮率と収縮力の測定結果を比較することで、集積本数の増加による収縮率の増加を確認した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費（基盤(C) 26420199, 基盤(A) 26249028）の助成を受けて実施した。

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, PB-22, 2013.
- [2] Kazuya Mori, Shuichi Wakimoto, Masayuki Takaoka, Koichi Suzumori, "Development of thin McKibben artificial muscle and its application to biomimetic mechanisms", the 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, pp.177-180, 2014.
- [3] 鈴森康一, 車谷俊一, 脇元修一, "多繊維構造化マッキベン人工筋の開発と筋骨格ロボットへの適用", 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 2D1-06, 2014.