T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の開発
Title(English)	Development of Back-stretchable McKibben Muscle
著者(和文)	田中翔真, 難波江裕之, 鈴森 康一
Authors(English)	Shoma Tanaka, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2023講演論文集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2023, 6

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の開発

Development of Back-stretchable McKibben Muscle

○学　田中　翔真（東工大）　正　難波江　裕之（東工大）　正　鈴森　康一　（東工大）

Shoma TANAKA, Tokyo Institute of Technology, tanaka.s.ca@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

McKibben artificial muscles are used in many musculoskeletal robots. However, unlike living muscles, McKibben artificial muscles cannot be stretched by external forces during relaxation. This makes it impossible to accurately reproduce biological mechanisms. In this paper, we propose a new type of artificial muscle that has the property of being stretched by an external force during relaxation like a living muscle (referred to "back-stretching" in this paper), in addition to the contraction movement possible with conventional McKibben artificial muscles. We achieved the desired movement by constructing an artificial muscle from the elongation section for back-stretching and the contraction section for contraction.

Key Words: Artificial muscle, soft robot, soft actuator

1　緒言

生体の筋肉の機能を模倣したアクチュエータとしてマッキベン型人工筋肉は広く知られている [1]．マッキベン型人工筋肉はゴムチューブの外側に繊維を編んだスリーブと呼ばれる構造を持つ空圧アクチュエータであり，空気圧を印加すると，ゴムチューブが径方向に膨張し，スリーブの拘束により軸方向に収縮力が発生する．筆者らはこのマッキベン型人工筋肉の細径化とその量産に成功し，細径マッキベン型人工筋肉を生体の筋肉の代わりとして使用した筋骨格系ロボットの研究を行ってきた [2][3]．

細径マッキベン型人工筋肉を生体の筋肉の代わりとして使用する際に，人工筋肉と生体の筋肉では機能としての違いが存在する．それは，図 1 に示すように，生体の筋肉は弛緩時に外力を加えることで自然長から伸ばすことができるが，細径マッキベン型人工筋肉は空気圧を印加しない時にこの受動的な伸長動作を行うことができないという点である [4]．これは特に関節を駆動する際，弛緩した拮抗筋が伸長しないために主動筋が十分に収縮できないという問題を生み出している．そこで，本稿では図 1 に示すような細径マッキベン型人工筋肉にこの受動的な伸長機能を付与した新しい人工筋肉について述べる．

筆者らは，生体の筋肉のように筋肉が弛緩時に外力によって伸ばされる動作をバックストレッチと名付け，細径マッキベン型人工筋肉にバックストレッチの機能を付与した新しい人工筋肉をバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉と呼ぶことにした．本稿ではバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の構造について紹介した後，その動作確認について紹介する．

2　バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の構造

提案するバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の構造を図 2 に示す．図 2 に示すように，バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉はバックストレッチを行う伸長部 (Elongation section) と収縮動作を行う収縮部 (Contraction section) から構成される．伸長部は伸縮性のある素材でできたインナーチューブが伸縮性のないアウターチューブの内側に入る構造となっており，空気圧印加用チューブからインナーチューブへ空気が流入するようになっている．これらはカップリングによって相互に固定される．収縮部は空気圧を印加すると収縮する従来の細径マッキベン型人工筋肉で構成され，伸長部のインナーチューブと接続されている．また，伸長部と収縮部の間にはオリフィスが入っており，伸長部から収縮部へ入る空気の流量を減少させる．

この構造により，次のようにバックストレッチ動作と従来のマッキベン型人工筋肉と同様の収縮動作が実現される．まず，図 2(b) のように空気圧が印加されないとき，外力によって受動的に伸長部のインナーチューブが伸びることにより，バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉はバックストレッチを行う．このとき，収縮部の細径マッキベン型人工筋肉は自然長のままである．一方で，図 2(c) のように空気圧が印加されると，収縮部の細径マッキベン型人工筋肉は収縮する．このとき，伸長部が受動的に伸びることが可能であると，バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉全体として収縮動作を達成することができない．そこで，伸長部のインナーチューブが空気圧を印加したときに膨らむことでアウターチューブに押し付けられ，その摩擦によってインナーチューブが伸びないようにした．また，オリフィスの空気の流量調整によって，伸長部がロックしてインナーチューブが伸びないようになった後，収縮部の収縮がはじまる．

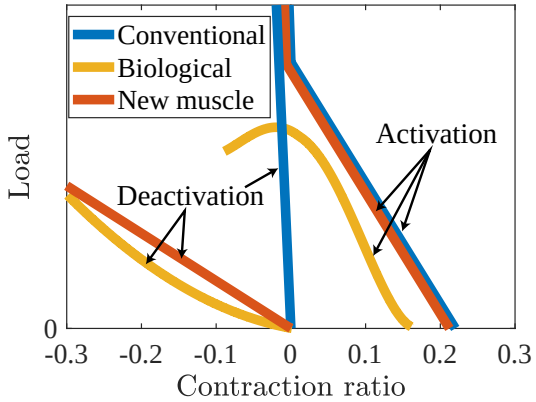


Fig.1 Comparison of conventional McKibben artificial muscles, biological muscles, and back-stretchable McKibben muscles.

3　動作確認

開発したバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉を図 3 に示す．伸長部の長さは 30.0 mm，収縮部の長さは 237 mm とした．また，伸長部のアウターチューブを外径 10 mm，内径 6.5 mm のポリウレタンチューブ，インナーチューブを外径 4.0 mm，内径 2.5 mm のシリコーンチューブで製作した．空気圧印加用チューブには外径 6.0 mm，内径 4.0 mm のポリウレタンチューブ，オ

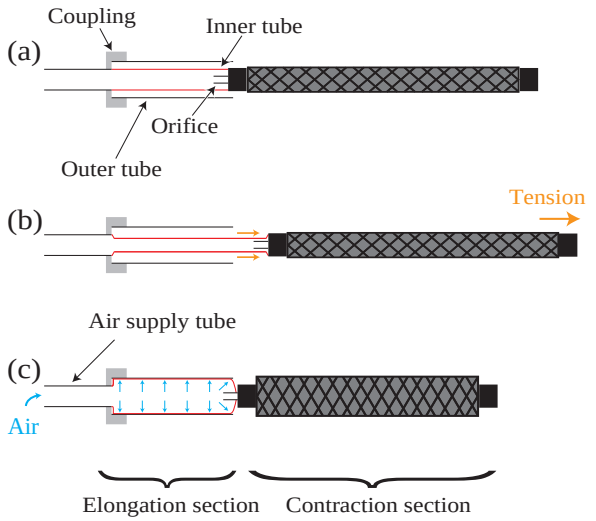


Fig.2 Structure of the back-stretchable McKibben muscle. (a) Initial state. (b) Back-stretching state. (c) Contraction state

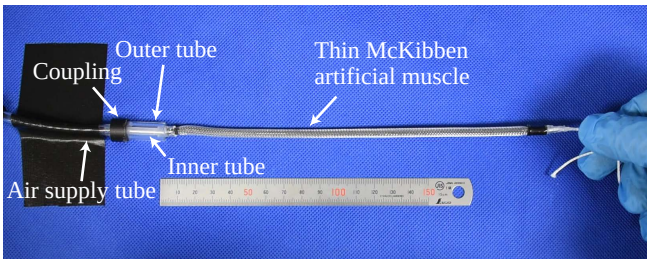
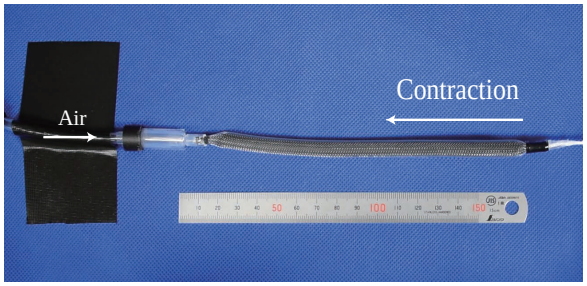


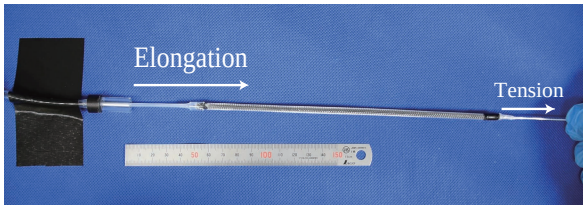
Fig.3 Back-stretchable McKibben muscle.

リフィスには被覆の内側に銅線の詰まった外径 0.75 mm の電線を使用した．銅線間の僅かな隙間に空気が流れることでオリフィスとして働く．また，収縮部には外径 5.0 mm，内径 2.6 mm の細径マッキベン型人工筋肉を使用した．カップリングは 3D プリンタで製作し，全ての構成要素間の接続には瞬間接着剤 (LOCTITE401, Henkel AG & CO. KGaA) を使用した．

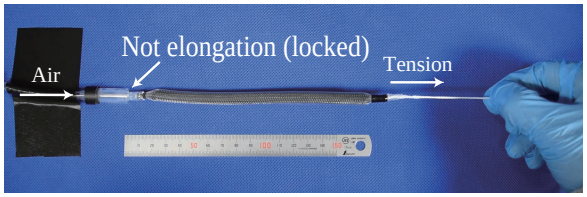
開発したバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の動作の様子を図 4(a)-(c) に示す．空気圧印加用チューブにはコンプレッサーからレギュレータを通し，0.4 MPa の空気圧を印加した．図 4(a) のように空気圧を印加すると，収縮部の細径マッキベン型人工筋肉が収縮することが確認された．収縮部の細径マッキベン型人工筋肉の収縮率は約 22%，バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の収縮率は約 19% となった．また，図 4(b) のように空気圧を印加しないとき，バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉を外力を加えて引っ張ると伸長部のインナーチューブが受動的に伸びてバックストレッチできることが確認できた．また，図 4(c) に示すように，空気圧を印加しているときにバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉を外力で引っ張っても，伸長部のインナーチューブがアウターチューブに対して滑らず，伸長部がロックして伸びないことを確認した．しかし，引っ張る外力の大きさがある一定の力を超えるとアウターチューブに対して滑り，アウターチューブからはみ出して破裂した．この破裂する直前の力を，フォースゲージを用いてバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉を引っ張り，測定すると約 20 N となった．



(a) Contraction state



(b) Elongation state



(c) Locking state

Fig.4 Movement of the back-stretchable McKibben muscle. (a) The contraction section contracts. (b) The innner tube in the elongation section is pulled and elongated. (c) The elongation section locks when air pressure is applied.

4 結言

本稿では，従来のマッキベン型人工筋肉では不可能であった，空気圧を印加していない時にバックストレッチ可能なバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉について述べた．人工筋肉を伸長部と収縮部の二つに分けて構成することで，空気圧印加時には従来のマッキベン型人工筋肉のように収縮動作を行い，空気圧を印加しないときには生体の筋肉のように受動的な伸長動作であるバックストレッチを行うことを，実機を用いて確認した．

今後は，バックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉の細かな特性について調べる予定である．また，開発したバックストレッチャブルマッキベン型人工筋肉を筋骨格系ロボットに応用し，より正確な生体模倣を目指す予定である．

5 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18H03760 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] SCHULTE H. F., The characteristics of the McKibben artificial muscle, The Application of External Power in Prosthetics and Orthotics, 1961, pp. 94-115.

[2] Kurumaya, S., Nabae, H., Endo, G. and Suzumori, K., Design of thin McKibben muscle and multifilament structure, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 261 (2017), pp. 66–74.

[3] Kurumaya, S., Suzumori, K., Nabae, H. and Wakimoto, S., Musculoskeletal lower-limb robot driven by multifilament muscles, ROBOMECH Journal, Vol. 3, No. 1 (2016), p. 18.

[4] Gajdosik, R. L., Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications, Clinical Biomechanics, Vol. 16, No. 2 (2001), pp. 87–101.