

## 概要

McKibben 型人工筋肉 (McKibben Pneumatic actuator) は圧縮空気を印加することで収縮し、自身の軸方向への張力を発生させるアクチュエータであり、近年では直径数 mm の細径 MPA が注目されている。細径の MPA は生体筋に似た特性を持ち、筋骨格系ロボットや生物模倣ロボットに用いられてきた。一方で、高集積化や小動物、昆虫型ロボットに適用しようと考えたら現在の McKibben 型人工筋肉では、内径 3 mm 以下の作製が困難なため、より細径な人工筋肉の開発が求められている。本研究では比較的構造が簡単な軸方向繊維強化型人工筋肉での超細径空気圧人工筋肉の開発に取り組む。それに向けて本論文では風船作製のノウハウを基に、内径 5 mm, 3 mm の軸方向繊維強化型人工筋肉の作製を行い、収縮率や発揮張力を確認した。

## Abstract

The McKibben pneumatic actuator is an actuator that contracts when compressed air is applied and generates tension in its own axial direction. Recently, thin MPAs with diameters of a few millimeters have been attracting attention. Recently, thin MPAs with diameters of a few millimeters have been attracting attention. On the other hand, if we consider the application of MPAs to highly integrated, small animal or insect-like robots, the current McKibben-type MPAs are not suitable for such applications. The current McKibben-type artificial muscles are difficult to fabricate with an inner diameter of 3 mm or smaller, so there is a need for the development of smaller diameter artificial muscles. In this study, we are developing an ultra-small pneumatic artificial muscle with a relatively simple structure using an axial fiber-reinforced type artificial muscle. In this paper, based on the know-how of balloon fabrication, we fabricated axial fiber-reinforced artificial muscles with inner diameters of 5 mm and 3 mm, and confirmed the contraction rate and exerted tension.

## 目 次

<b>1</b>	<b>緒言</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>空気圧人工筋肉</b>	<b>2</b>
2.1	McKibben 型空気圧人工筋肉アクチュエータ (MPA) . . . . .	2
2.2	軸方向繊維強化型人工筋肉 . . . . .	2
<b>3</b>	<b>細径 MPA の開発</b>	<b>3</b>
3.1	風船作製 . . . . .	3
3.1.1	作製手順 . . . . .	3
3.1.2	問題点の改善 . . . . .	3
3.2	内径 5 mm の人工筋肉の作製 . . . . .	6
<b>4</b>	<b>結言</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>謝辞</b>	<b>9</b>

## 1 緒言

近年，ロボティクスや医療分野において，柔軟性を持つアクチュエータの重要性が増している．特に，従来の硬いアクチュエータに代わる柔軟な人工筋肉は，より自然な動作や安全性の向上が期待されており，様々な応用が模索されている．人工筋肉の中でも，細径人工筋はパワーアシストスーツや筋骨格ロボットにおいて重要な役割を果たす [?]. しかし，現状においては人工筋肉の細径化に課題があり，これらの解決に向けたさらなる研究が必要とされている．中西研究室でも McKibben 型人工筋肉の細径化に成功しているが [?], 内径 3 mm 以下の人工筋肉の作成はスリーブとゴムチューブの作成が困難なためこれ以上の細径化は難しいと考えられる．そこで本研究では，構造が簡単である軸方向繊維強化型人工筋肉 [?] を用いて，従来よりもさらに細径な空圧筋の開発を目的とする．本論文の構成は以下の通りである．まず 2 章では従来の McKibben 型空気圧人工筋肉について述べてから，今回使用する

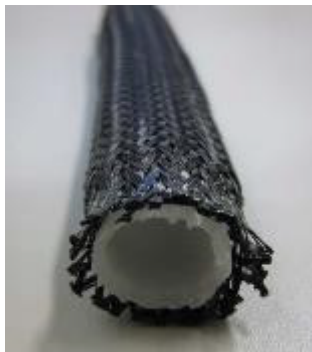
## 2 空気圧人工筋肉

### 2.1 McKibben 型空気圧人工筋肉アクチュエータ (MPA)

MPA はシリコンゴムチューブをナイロンメッシュで覆うことで構成されており (図 1(a)), 両端に栓をするシンプルな構造である。これに圧縮した空気を印加することでシリコンゴムチューブが膨張しメッシュによる自身の軸方向への張力が発生するアクチュエータである (図 1(b))。高出力かつ素材自体も軽量で、物理的柔軟性による高い弾性力を持つという利点があり、筋肉の代用として生物を模したロボットやリハビリなどに用いられる。しかし図 1 に示すような従来の直径数十 mm の MPA は膨張時の径の拡大が大きいため配置の際は膨張を阻害しないような配置や直線形状で駆動するような取り付け方が求められ、取り付けの位置や密度に制限がある。

### 2.2 軸方向繊維強化型人工筋肉

本研究で開発する超細径空圧筋のベースとなる、軸方向繊維強化型人工筋肉の動作原理を図 1 に示す。この人工筋肉は、ゴムチューブ内に拘束繊維を内包する構造で、拘束繊維とゴムチューブとの摩擦を抑え長寿命を実現する。空気圧が供給されると、内圧が半径方向にのみ伝達され、軸方向への効率的な収縮を引き起こす。さらに、チューブに外挿されたリングの数を調整することで、ゴムチューブの膨張を抑制しつつ必要な収縮力を発揮できる [?].



(a) MPA 断面図



(b) MPA 外観および動作の様子

図 1: McKibben 型空気圧人工筋 (MPA) の構成および外観 [?]

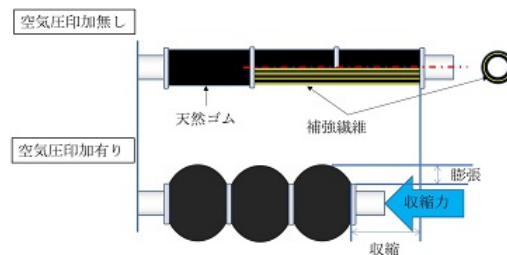


図 2: 軸方向繊維強化型人工筋肉の仕組み [?]

### 3 細径MPAの開発

#### 3.1 風船作製

中西研究室では液体ゴム(前加硫ラッテクス)を用いて細径MPAを作製したことがないので、研究の第1歩として風船作製を行った。

##### 3.1.1 作製手順

図3に作製に必要な物品、図4に作製手順、図5に作製した風船を示す。必要な物品は以下の通りである。

- 鉄棒(内径5 mm, 3 mm)
- REGITEX 液体ゴム(前加硫ラッテクス) メーカー: 有限会社 ハイラテック
- PC-518 用 凝固液
- ドライヤー Panasonic EH-Ne13

以下、作製手順である。

1. まず初めに鉄棒を凝固液に約5秒浸して取り出す
2. 取り出した鉄棒を凝固液の水滴がなくなるまでドライヤーで乾かす(水滴が残っているとゴムがダメになってしまいゴム厚に偏りが生じ、破裂が起きやすくなるのでよく乾かす)
3. 鉄棒を液体ゴムに約10秒浸して取り出す(容器に鉄棒が触れるとゴムの外膜が剥がれるので注意する)
4. 凝固液に約5秒浸して取り出す
5. 取り出した鉄棒をゴム膜の外側のいろが白色から肌色になるまでドライヤーで乾かす
6. 3時間程部屋で乾かしたら鉄棒からゴム膜をとる(部屋で放置しすぎるとゴムが硬くなりすぎて鉄棒から取り外すときに割れたり、穴が空きやすくなるので注意する)

以上が本研究で用いる風船の作製手順である。

##### 3.1.2 問題点の改善

上記の作製方法で風船を作製するとゴム膜が硬すぎる、ゴム膜の上下で厚さにムラができる問題が生じた。この問題を解決するために以下の方法を行った。まずゴム膜が硬すぎて膨張させるのにかかる印加圧力が多く破裂が起きやすい問題に対して、ゴムと水の比率を変化させることで解決を行った。初めはREGITEX 液体ゴム(前加硫ラッテクス)の原液のみで作製を行っていた。原液で作製を行うとゴム膜が硬すぎて図5のように破裂してし

まった。そこで実際に売られている風船と同じ比率のゴム 60: 水 40 での作製, ゴム膜が形成されるギリギリの比率を調べるためにゴム 40: 水 60 での作製を行った。ゴム 60: 水 40 の割合で作製したゴム風船は図 6 のように破裂をすることなく膨張することが確認できた。一方でゴム 40: 水 60 の割合で作製したゴム風船はギリギリゴム膜を形成することができるが空圧を印加するとすぐに膨張が始まり, 図 7 のように破裂が生じてしまった。次にゴムの上下で厚さに差が出ている問題に対して作製方法の変更で解決を行った。図 3 を見れば分かるように鉄棒を液体ゴムに浸す時に 1 回で行っており, 上下で液体ゴムに浸っている時間に差が生じてしまっていた。そこで上と下 2 回に分けることで解決をした。作製手順を以下と図 8 に示す。

1. まず初めに鉄棒を凝固液に約 5 秒浸して取り出す
2. 取り出した鉄棒を凝固液の水滴がなくなるまでドライヤーで乾かす (水滴が残っているとゴムがダメになってしまいゴム厚に偏りが生じ, 破裂が起きやすくなるのでよく乾かす)
3. 鉄棒を液体ゴムに約 5 秒浸して取り出す (容器に鉄棒が触れるとゴムの外膜が剥がれるので注意する)
4. ドライヤーで凝固液の水滴がなくなるまで乾かす
5. 鉄棒を液体ゴムに約 5 秒浸して取り出す
6. 凝固液に約 5 秒浸して取り出す
7. 取り出した鉄棒をゴム膜の外側のいろが白色から肌色になるまでドライヤーで乾かす
8. 3 時間程部屋で乾かしたら鉄棒からゴム膜をとる (部屋で放置しすぎるとゴムが硬くなりすぎて鉄棒から取り外すときに割れたり, 穴が空きやすくなるので注意する)



図 3: 使用器具

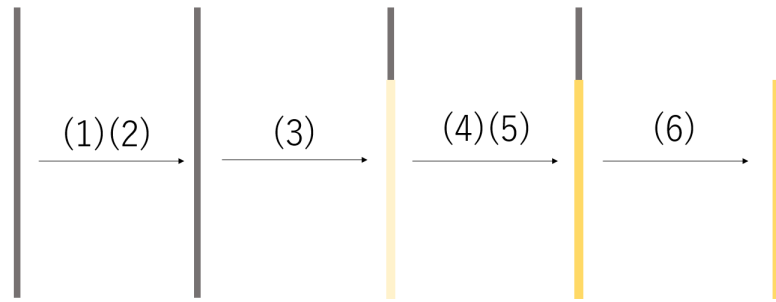


図 4: 風船の作製手順



図 5: 作製した風船

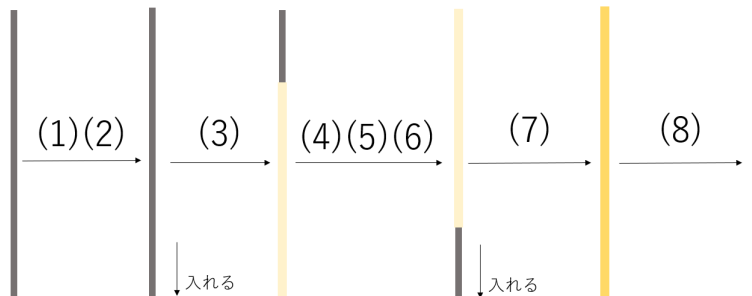


図 6: 風船の作製手順



### 3.2 内径 5 mm の人工筋肉の作製

超細径人工筋肉開発の開発に先立ち、まずは内径 5 mm の細径空圧筋の作製を行った。作製するにあたって糸を止めるための器具を開発した。開発した器具の写真を図 8, 9 使用方法について図 10 に示す。開発した器具は図 8 のように鉄棒を刺す穴の周りに 8 つの穴が空いている。中央の穴は鉄棒より少し広い 5.3 mm, 糸を通す穴は 1 mm で設計している。使用方法としては図 9 のように鉄棒に器具をはめナイロン糸を通す仕組みになっている。

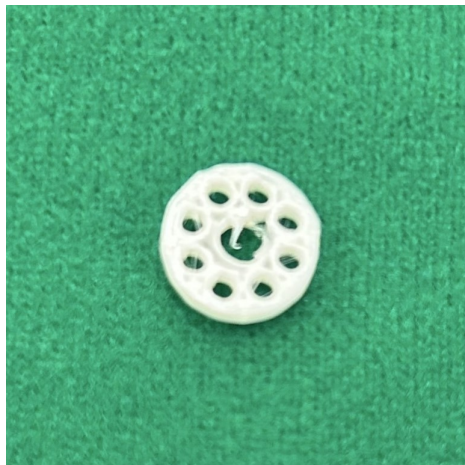


図 7: 作製した器具

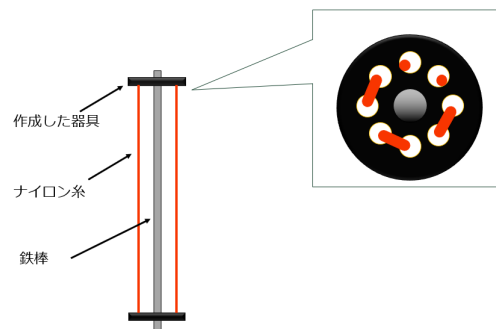


図 8: 作製した器具



图 9: 使用方法

## 4 結言

本研究では、超細径空気圧人工筋肉の開発を目的として、内径 5 mm と内径 3 mm の軸方向繊維強化型人工筋肉の開発し、評価実験を通じて収縮率、発揮張力を通じて超細径空気圧人工筋肉の適切な作製方法、断面について考察をした。その結果、細径な空圧筋においては、糸を内包するほどのゴム厚はむしろ膨張を妨げ、また必要な印加圧力が高まることで破裂を引き起こす結果となった。一方で作製方法 5 では、糸はゴム膜の中央には配置されておらず、糸と糸の間に薄いゴム膜を張るような構成となった。このことにより、膨張がスムーズに行われ、空圧筋が高い柔軟性を持ちながらも、必要な強度を確保することができた。このことから細径化していくには、ゴム膜の厚さと糸配置のバランスを取ることが重要でありゴム膜の厚さと糸配置のバランスを取ることが重要でありひだ状に作製していくことが有効だと考えられる。

## 5 謝辞

本研究を進めるにあたり、数多くの助言、提案、活発な議論をしていただいた中西大輔先生に心から感謝申し上げます。また、様々なご助言やご協力をいただきました中西研究室の皆様に、心から感謝いたします

## 参考文献