

カニ模倣型ロボットの開発に向けた細径空圧筋の改良

Improvement of Thin Pneumatic Muscles for Development of Crab-type Robot

研究者 濱口 紘生 指導教員 中西 大輔

Keywords: McKibben Pneumatic Actuator, Exoskeleton, Biomimetic Robot

1. 緒言

代表的な人工筋肉として、圧縮空気を印加することにより骨格筋のように収縮する McKibben 型人工筋肉 (MPA) があげられる。従来は直径が数十 mm 程度のものが多かったが、近年では数 mm 程度の MPA が注目を集めている¹⁾。その細さを活かして小さい筋肉、あるいは集積によって複雑な筋肉を表現可能なことから、筋骨格系ロボットに盛んに用いられている¹⁾。一方で、甲殻類のような外骨格を有する生物模倣ロボットでは、アクチュエータの配置が困難なことからワイヤ駆動や関節にサーボモータを配置したものが主流であった²⁾。細径 MPA であれば骨格内部にアクチュエータを配置することが可能であり、実際の生物に近い構成でロボットを作成することが可能である。そこで本研究では外骨格生物のうち甲殻類の蟹をモデルに、実際の蟹の筋肉と関節の構造を参考にして細径 MPA を使用した蟹の歩脚ロボットの開発に取り組む。

2. MPA および羽状筋について

従来の MPA と細径 MPA を図 1 に示す。通常の MPA(図 1 左)と比べて細径 MPA(図 1 中、右)は細くて軽量のため狭いスペースへの配置と集積が可能である。また複数の細径 MPA を集積することで複雑な筋肉の再現が可能である。また先行研究³⁾で開発されたロボットに搭載された細径 MPA を用いた羽状筋を図 2 に示す。羽状筋とは羽のように筋繊維が斜めに並んだ筋肉である。先行研究³⁾ではこの羽状筋を用いてカニの歩脚を模した外骨格型ロボットを開発し、脚の開閉動作の実現に成功した。しかし羽状筋の構成方法や細径 MPA の収縮性能などを原因として、実際の蟹と比べて可動域が狭いという課題が残された。また細径 MPA の制作過程の煩雑さも課題であった。本研究ではまずこれらの課題を解決することで、より実際の蟹に近い構造や可動域を有するロボットの開発を目指す。

3. 細径 MPA および羽状筋構造の改良

まず細径 MPA の制作方法的改良を行った。先行研究では図 3 上のように、MPA を構成するシリコンチューブとスリーブを端部で糸で縛り接着剤で固定する方式を採用していたが、糸の締結に時間と練度を必要とすることや、度々空気漏れを生じるという難点があった。そこで本研究では端部部品を改良し、ゴムと端部を接着剤で、スリーブと端部を O リングと接着剤でそれぞれ固定する方式へと変更した(図 3 下)。これにより細径 MPA に練度が不要となり、作成時間も大幅に短縮された。

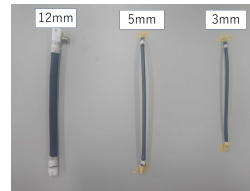


図 1: MPA の外径

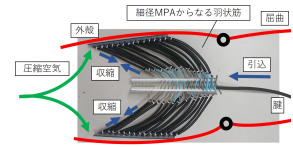


図 2: 蟹模倣ロボット³⁾

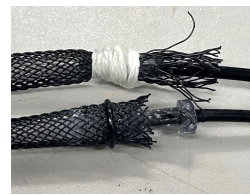


図 3: 細径 MPA 締結方法

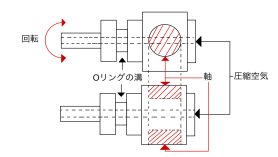


図 4: 細径 MPA 端部部品

続いて細径 MPA の収縮性能向上に取り組んだ。先行研究において開発された細径 MPA においては、折癖の影響からスリーブが多少膨らんだ状態で作成されていたため、圧力印加時の収縮量が減少してしまっていた。本研究ではメッシュの中に直径 2mm の丸棒を差し込んで固定した状態でホットプレートで加熱することで熱可塑変化させた。折癖をとるとともにスリーブの初期直径を 2mm にまで小さくすることに成功し、収縮量を向上させることができた。

最後に、細径 MPA を羽状配置するために端部の部品の構造を改良した。羽状筋は収縮した際に筋肉の角度が変化するが、先行研究(図 2)では根元の角度が固定されており、腱の引き込みの妨げになっていた。そこで本研究では図 4 の細径 MPA の端部の部品を作成した。図 4 の赤い斜線部の穴を回転の軸にして細径 MPA の角度を自由に変化することができ、これにより細径 MPA 動作時に端部の部品に干渉しないことが確認できた。

4. 実機的设计・作成方法

4.1 外骨格の設計について

作成した実機を図 5 に示す。今回の研究では甲殻類のうち蟹のズワイガニの歩脚モデルに機体を作成した。機体作成時には先行研究³⁾のズワイガニの歩脚の各部寸法と、本研究で新たに解剖した際に得られた可動域をもとにしてモデリングした。ただし機体内部に細径 MPA や腱部品などを配置する必要があるため、実測値に対して直径方向には 7 倍、長手方向には 3.5 倍のサイズとした。可動域を実際の蟹に近づけるために腕節部だけ長手方向に 6.3 倍した。作成には MPA 方式の 3D プリンタを使用し、関節部にはベアリングを入れている。長手

方向の具体的な寸法としては、長節が 350 mm、腕節が 256 mm、前節が 245 mm、指節が 100 mm である。

4.2 細径 MPA を用いた羽状筋の再現について

蟹の外骨格内部の筋配置を図 6 に示す。蟹の筋肉は外骨格から腱に向かって斜めに並んだ羽状筋となっている。羽状筋は収縮した際、各筋繊維の角度が大きくなるだけで、膨張しないため狭い空間で働くのに適している。また、長節から腕節に配置されている羽状筋は節の回転軸によらず縦に格納されており、腱がねじれるようになっている。

上記で説明した羽状筋の筋繊維は 1 本ずつ長さが異なっているが、作成方法と関節の可動域の幾何学的計算を簡易化するため図 7 のように細径 MPA の長さがすべて等しくなるように設計した。

可動域の幾何学的計算は図 8 のような簡易モデルをもとに三角関数などを用いて計算した。

このような駆動原理の実現には、外骨格内部という限られた空間の中に、細径 MPA をはじめとする多数の部品を配置する必要がある。まず、2 章で述べたような細径 MPA 端部部品や改良したメッシュを用いて細径 MPA を作成した。

5. 結言

本稿では、外骨格生物模倣ロボットの開発をするにあたって課題となる細径 MPA の作成方法と固定方法について改良を行った。今後は羽状筋の構築、およびカニの歩脚を模したロボットの開発を行い、可動域などについて検証を行う。

参考文献

- 1) 脇本修一, 細径 McKibben 型人工筋の開発と用途開拓, 計測と制御, 57 巻, 11 号, pp.812-815, 2018
- 2) CHEN, Xi, et al. Study on the Design and Experimental Research on a Bionic Crab Robot with Amphibious Multi-Modal Movement, Journal of Marine Science and Engineering, 10, 12, p.1804, 2022
- 3) 中西大輔, 長谷川侑大, 浪花啓右, 杉本靖博, 細径空圧筋を用いた羽状筋および外骨格生物模倣ロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024, 2A1-L08, 2024.
- 4) D.Hazerli and S.Richter, Why “swimming crabs” are able to swim-The importance of the axial skeleton:A comparison between the “swimming crab” Liocarcinus depurator and two other brachyuran crabs (Cancer pagurus, Carcinus maenas) using μ CT and 3D-reconstruction, Arthropod Structure & Development, 59,p.100972,2022



図 5: 実機外観

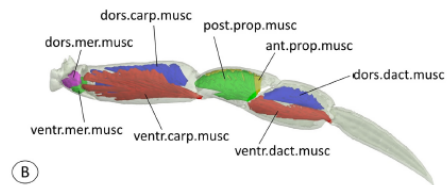


図 6: 蟹の筋構造⁴⁾

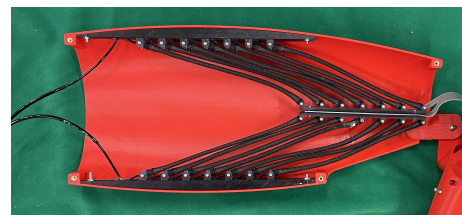


図 7: 実機内部の筋配置

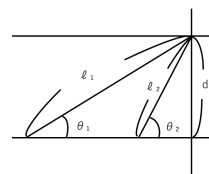


図 8: 実機内部の筋配置