

ラバーレス人工筋のスリーブの違いによる出力特性変化に関する考察

Consideration on output characteristic changes of the rubber-less artificial muscle depend on the sleeve

○小笠原 隆倫, 齋藤 直樹, 佐藤 隆智, 佐藤 俊之

○Takanori OGASAWARA, Naoki SAITO, Takanori SATO, Toshiyuki SATO

秋田県立大学
Akita Prefectural University

キーワード：空気圧人工筋肉(Pneumatic Artificial Muscle), ラバーレス(Rubber-Less)

連絡先：〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4

秋田県立大学大学院 システム科学技術研究科

機械知能システム学専攻 メカノシステム研究室 小笠原 隆倫

Tel : 0184-27-2217 Fax : 0184-27-2188 E-mail : m08a008@akita-pu.ac.jp

1. 緒言

近年我が国の少子高齢化に伴い、リハビリテーション支援や介護の代行作業等を目的とし、ロボットの活動範囲が、人間と密接に関わりあう環境にまで広がりを増してきている。このような環境において人間への安全性を確保するため、ロボットのメインの駆動源として空気圧を利用したものが注目されてきている。空気圧は柔軟性を有し、軽量高出力であるという特長をもっているため、人間と機械のようにデリケートな相互作用が必要な場合において、非常に有効的であると考えられる。

一方、空気圧ゴム人工筋は空気圧を利用するアクチュエータの中でも特に軽量であり、出力重量比に非常に優れている。むしろ柔軟性も有しており、上記の安全性の面でも優れていると言える。

しかしこのような特長を持ちながらも、空気圧ゴム人工筋は実用的なロボットのアクチュエータとしては未だにほとんど浸透していない。この理由としては、出力特性が非線形であることによる制御性の悪さや、ゴムの経年劣化による特性の変動、または、その寿命の短さによるメンテナンス性の悪さが考えられる。

本研究ではこれらの欠点について後者の経年劣化に

着目しメンテナンス性を改善するため、ゴムを使用しないラバーレス人工筋を開発した[1]。この人工筋はゴムの代わりに非伸縮素材の袋を使用し、McKibben 型人工筋同様その周りを網で覆った構造となっている。

本研究では、収縮率の改善や特性の安定化を考慮したラバーレス人工筋の設計手法の確立を目指して、本人工筋の網の違いでの出力特性の変化を考察する。

2. ラバーレス人工筋

空気圧ゴム人工筋は McKibben 型人工筋と呼ばれるものが一般的で、ゴムチューブを網で覆い、その両端を固定したシンプルな構造である。空気圧の印加によりこのゴムチューブは膨張し、それを覆っている網が径方向に押し出されることによって、パンタグラフ機構により軸方向の収縮へ出力が変換される。本研究で開発したラバーレス人工筋も、これと同様の原理であるが、このゴムチューブの代わりに強度・機密性を持ち防湿・防錆用包装材として利用されているアルミ蒸着シートを袋状にして用いている。現段階での袋の形状は製作が容易であることから、膨張時に円筒形状になるように作られている。網は螺旋状に編みこまれたエステル製の糸が用いられ

ている。また、McKibben 型人工筋は一般的にゴムチューブの両端を固定しているのに対し、ラバーレス人工筋は片端は網と袋の両方を固定し、他端は別々に固定されている。本研究で開発したラバーレス人工筋を図 1 に示す。

3. 異なる網での出力特性変化に関する考察

ラバーレス人工筋の動作メカニズムを図 2 に示す。前章でも述べた通り、ラバーレス人工筋は McKibben 型人工筋同様の動作原理であり、パンタグラフ構造の網の効果により袋の膨張を軸方向の出力に転換している。つまり、袋はただ径方向に膨張し、網を押し広げるための役割を果たし、アクチュエータとしての目立った出力は網の張力によるものである。よって収縮率の向上と再現性のあるアクチュエータ製作を目指した場合、この網と出力特性の関係を理解しておく必要があると考えられる。ここでは網の直径や網の目の大きさの違いによる特性変化について考察する。

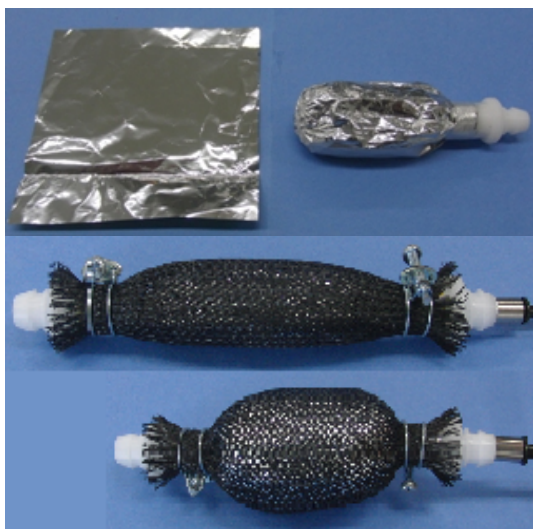


Fig.1 Rubber-less artificial muscle

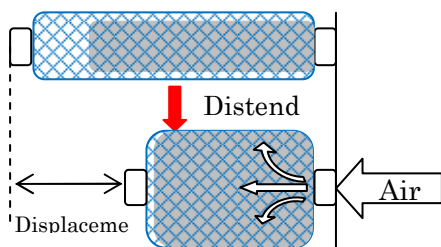


Fig.2 Transform of length of rubber less artificial muscles

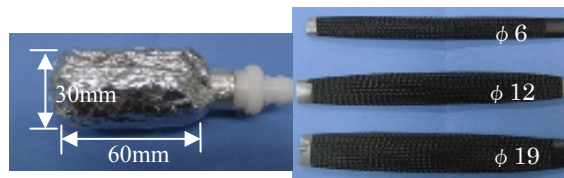


Fig.3 Size of a envelope

Fig.4 Diameter of each net

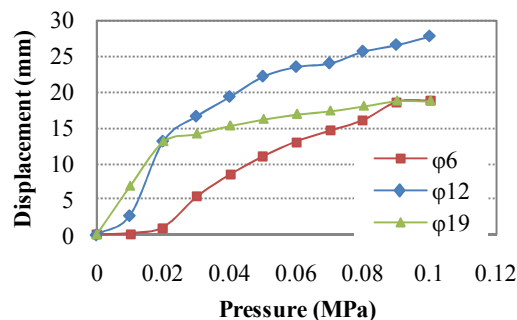


Fig.5 Pressure-Displacement characteristics

3.1 網の直径による特性の比較

まず、袋の大きさと網目の大きさを不変とし、最大伸長時の網の直径を変えた場合での出力特性の比較を行った。袋の大きさは、図 3 に示すように膨張時の長さが 60mm、直径が 30mm のものを使用した。網はエステル製のものを使用し、図 4 に示すように伸長時の直径が、6mm、12mm、19mm のものを使用し、それぞれアクチュエータの伸長時の長さが約 100mm になるように製作した。この 3 つの種類においてそれぞれ 10N の荷重をかけ、圧力-収縮量特性を計測した。この計測結果を図 5 に示す。この図から直径 12mm のものが優れた特性を示していることがわかる。この特性の違いは網の構造等が原因であると考えられる。これについての考察は次節で述べる。

3.2 網の角度と体積の関係に基づく考察

McKibben 型人工筋のモデル解析については 1961 年に Schulte[2]が報告しており、これはアクチュエータの形状が円筒形であるとし、網のパンタグラフ機構について解析している。今回製作したラバーレス人工筋も袋は円筒形にしており、誤差は大きいものの特性の傾向を掴むためにこの Schulte の式を参考とし考察する。

長さ l の糸が m 本、円筒形の袋の周りに螺旋状に n 周巻かれているとする。この時糸の弾性変形を無視す

ると、図6を基に、糸の螺旋角度 θ の時でのアクチュエータの円筒形部分の全長 L と直径 D は式(1)で与えられる。

$$L = l \cos \theta, \quad D = \frac{l \sin \theta}{n\pi} \quad (1)$$

従って、この円筒部分の体積 V は、

$$V = \frac{1}{4} \pi L D^2 = \frac{l^3}{4\pi n^2} \sin^2 \theta \cos \theta \quad (2)$$

となる。この体積と螺旋角度は図7のような関係を示し、螺旋角が 54.7deg の時に体積が最大となる。より収縮量を得るためにこの最大角度以上の値を与えるためには、網または袋を軸方向へ圧縮するための外力が別途必要となる。本研究で製作した人工筋は空気圧の印加でのみ出力を得るため、摩擦力等を無視した理想的状態では、この式に習い円筒形部分の最大体積は、螺旋角が 54.7deg の時に最大となると考えられる。

この事を踏まえて前節の特性の違いについて考察する。3つの網の長さ L と網目の大きさは同一であるが、巻き数が異なるために直径が異なる。そのため、同じ螺旋角を与えた場合でも網が構成する体積は異なる。袋の最大膨張時の体積と、網の最大体積を考えると、網対袋の体積比が1以下であれば、袋はほぼ最大体積に達し、螺旋角が 54.7deg に近づく。螺旋角が大きいという事はその分パンタグラフ機構により収縮量が多い事に繋がる。今回の場合、収縮量の大きい直径 12mm の網で構成されたものがより螺旋角が大きく、体積比が1に近いものであったと考えられる。ここでそれぞれの最大膨張時での写真を図7, 8, 9に示す。図8は直径 12mm の網を用いたもので、螺旋角はどの部分でもほぼ一定で、約 50deg であった。また、図9は直径 19mm のもので、螺旋角はほぼ一定であるが、約 45deg と直径 12mm のものより小さい値となった。これは袋の最大体積が網の最大体積に達していないためであると考えられる。次に、図7の直径 6mm の網で構成された人工筋を見てみる。袋が最大体積に達していない事が見て取れる。しかし体積比が1以下であれば網の最大体積に達するため、螺旋角は 54.7deg に近い値となるはずであるが、図を見るとその値は場

所によって違い、固定されていない側の端では約 50deg あるが、その他は約 45deg となっている。これは袋の膨張の仕方等を考慮した設計を行っていないため、袋の先端部分から先に膨張し、その部分の網が先に最大膨張に達してしまい、その状態で力の釣合いがとれてしまったためと考えられる。

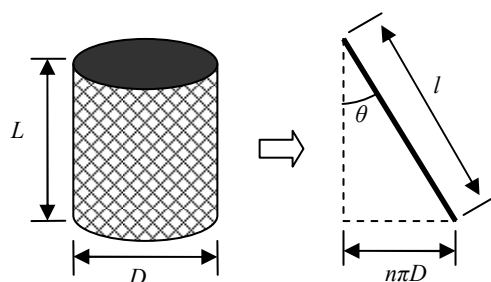


Fig.6 Geometry of sleeve

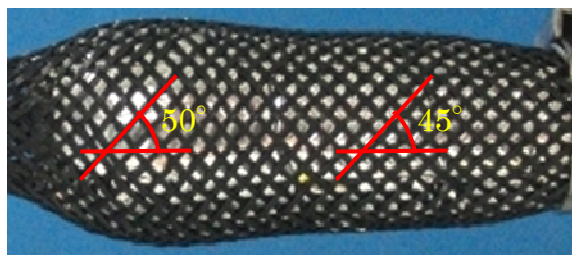


Fig.7 Aspect of inflation of $\phi 6$

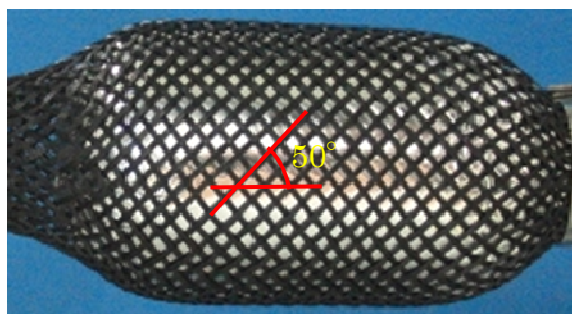


Fig.8 Aspect of inflation of $\phi 12$

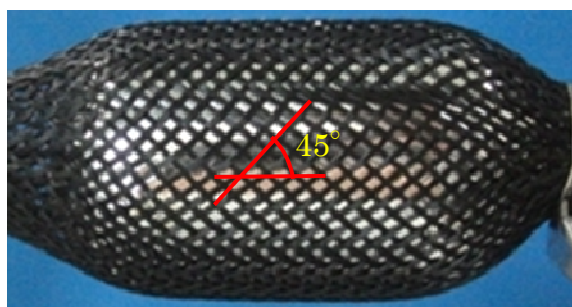


Fig.9 Aspect of inflation of $\phi 19$

これらより、ラバーレス人工筋の設計の際の注意点として、理論式に基づき、網と袋の体積比を考慮して適切なものを選定する必要があると言える。

3.3 網の目の大きさに関する考察

次に前節同様、袋の大きさは不変とし網の目の大きさの違いについて比較する。図 10 に示すように前節の直径 12mm の網から数本の糸を抜き取っただけの、糸の長さ l や巻き数 n は変わらず、糸の間隔のみ異なる網を用意した。これは単純に糸の本数のみが異なる事を意味している。これを用いて同様の実験を行った。この計測結果と、前節での結果の比較図を図 11 に示す。

Schulte の式より、網の長さや体積は糸の本数に依存しないことが分かる。しかしながら、実際は網の目を大きくすると(糸の本数を減らすと)収縮量が小さくなる結果となった。これについて図 12 に示す最大膨張時の写真を見ると、いくつかの網目部分で、袋の食い込みが生じている事が見て取れる。この袋の食い込みにより、その時点で網と袋の力が平衡状態になってしまったことが主な原因であると考えられる。これによって螺旋角度も 42deg と小さい値になっている。また、この袋が網に引っ掛かるような現象によって、網目の形状が変形している事もわかり、特性の不安定化に繋がる可能性も考えられる。よってこの網の食い込みや引っ掛かりを防ぐためには、網の目は小さい方が適切であると言える。

ここで、網の目の小ささに関して考慮する。Caldwell ら[3]は糸の太さや網の目の大きさを考慮した場合の伸長時の最小螺旋角 θ_{min} について導いている。



Fig.10 Large-mesh net

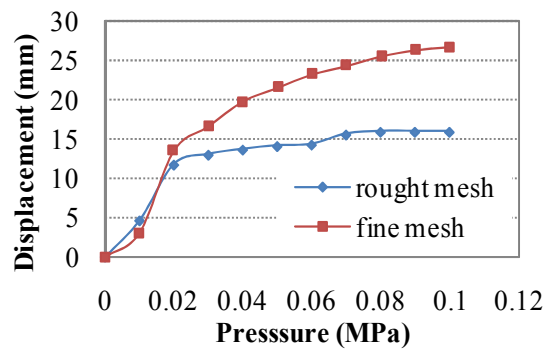


Fig.11 Comparison of the different mesh

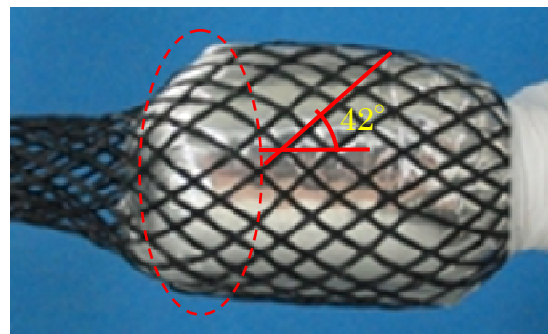


Fig.12 Aspect of inflation

その式は、糸の直径 D_s 、糸の数 N 、網が構成する最少の直径を D_0 とし式(3)で与えられる。

$$\theta_{min} = \frac{\sin^{-1} \left(\frac{D_s \cdot N}{\pi \cdot D_0} \right)}{2} \quad (3)$$

またこれを Schulte の式に代入すると、アクチュエータの最大長さ L_{max} は式(4)で与えられる。

$$L_{max} = l \cos \theta_{min} = l \cos \left[\sin^{-1} \left(\frac{D_s \cdot N}{\pi \cdot D_0} \right) / 2 \right] \quad (4)$$

これらより分かる事として、糸の直径と本数の積が大きいほど最少角度 θ_{min} は大きくなってしまい、そのため最大長さ L_{max} は小さくなる。この差がパンタグラフ機構の変位領域を効率よく利用できるか否かに関わってくる。つまり網の目を小さくする、または糸を太くするほど、その分収縮率は減少すると考えられる。ラバーレス人工筋製作の際には、これらについても考慮すべきである。

4. 結言

本研究では、ゴムを使用しないラバーレス人工筋を開発した。ラバーレス人工筋は網のパンタグラフ機構を利用して出力を得ているため、この網についての理解を深めるため、網の違いによるラバーレス人工筋の出力特性の違いについて考察した。その結果、

- アクチュエータ製作の際は、網と袋の体積比を考慮する必要がある。
- 網の目の大きさは、網の食い込みを防ぐために小さくした方がよいが、最小角度を考慮しなければならない。

等のが挙げられる。これらを考慮して収縮率の向上と特性の安定化を目指し、再現性のあるアクチュエータ製作に繋げる。

参考文献

- [1] 佐藤隆智, 齋藤直樹, 佐藤俊之 “ラバーレス人工筋の開発” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 講演論文集 CD-ROM, 1A1-F08, 2010
- [2] Schulte, H. F. Jr., “The characteristics of the McKibben artificial muscle” *The application of External Power in Prosthetics and Orthotics*, Washington, DC: Nat. Acad. Sci. –Nat. Res. Council, (1961)
- [3] S. Davis, Darwin G. Caldwell, “Braid Effects on Contractile Range and Friction Modeling in Pneumatic Muscle Actuators” *International Journal of Robotics Research*, Volume 25, Issue 4. April 2006