

空気圧ゴム人工筋肉を用いた人体模倣ロボットハンドの開発

Development of Human Like Robotic Hand using Pneumatic Artificial Rubber Muscle

○山口翔大*, 戸森央貴**

○Shota Yamaguchi*, Hiroki Tomori**

*山形大学, **山形大学大学院

*Yamagata University, **Yamagata University Graduate School

キーワード： ロボットハンド (Robot hand), 空気圧人工筋肉 (Pneumatic artificial muscle), 生体模倣 (Biomimetics), 筋骨格 (Musculoskeletal), 腱駆動ロボット (Tendon driven robot)

連絡先： 〒 992-8510 山形県米沢市城南 4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学科 戸森研究室
山口翔大, Tel.: (0238)26-3217 E-mail: tcn44032@st.yamagata-u.ac.jp

1. 緒言

今日に至るまで様々なロボットハンドの研究・開発が行われ、その性能は年々向上していると言える。一般的なロボットハンドは物体の把持を目的としており、指の数や機構などの構造は把持する物体の形状に特化した設計となっている。またロボットハンドは高精度・高速度を生かし単純な繰り返し動作に有効であると言える。一方、人間の手はその構造を変えることなくあらゆる物体を把持することができ、複雑な動作・作業を行うことが可能である。現在のロボットハンドでは機構やアクチュエータの都合により人間の手のような柔軟性や複雑な動き、器用さを再現することが困難である。

そこで人間の手の機能性を獲得するために、本研究では可能な限り人間の手の構造をロボットハンド上で再現することを目指す。これによってロボットハンドは柔軟性や器用さなどの人体の特性を獲得することができると考えている。

また、人体模倣ロボットハンドの開発を通し人体の特性に対する考察を行い機能的要因を明らかにし、この結果によりロボットハンドの機能向上・技術発展を目指す。

人体模倣ロボットハンドは人間の手の構造を再現していることから、その特性も再現することができるので義手やパーソナルロボットの分野で役立つと考えている。パーソナルロボットとは人の生活空間でサービスを補助することが可能なロボットのことであり、産業用などと異なり稼働する環境が人間に最適化された生活空間であることから、パーソナルロボットが人間と同等なエンドエフェクタを獲得することは高い汎用性の獲得につながると考えている。また、義手は人間の腕や手の代わりとなることから、機能だけでなく見た目も重要であり本研究はこれらの分野で役立つと考えている。本稿はロボットハンドの開発にあたり製作した指について、その概要及びこれを用いた実験について報告する。

2. 製作した指

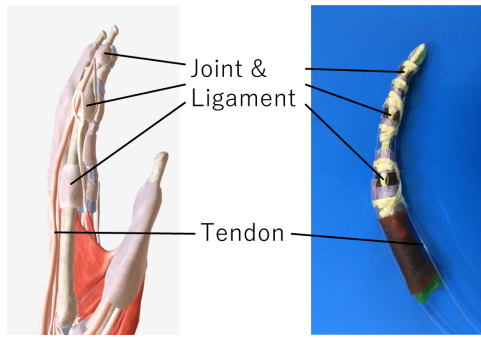


Fig. 1 Human like robot finger (Side view)

手の 3D モデルと製作した指の側面を Fig. ?? に示す。今回製作した指は研究室で用意できる材料のみで製作した。骨格部分は 3D プリンタにより印刷したものをを用いており、これは人間のものと全く同じ形状となっている。関節部分はゴムチューブで包んでおり、人体の関節包の役割を果たす。これにより柔軟になった関節に、アラミド繊維を張ることで可動域を制限している。アラミド繊維は人間の体で言う靭帯の役割を果たす。また、人間の関節には動きを滑らかにするために軟骨や関節液などの組織があるが、今回はグリスでその機能を再現した。骨格と筋肉の接合を行う腱はナイロンテグスを用いて再現している。この腱は屈曲用と伸展用に 2 本あり、指先の骨に接着している。

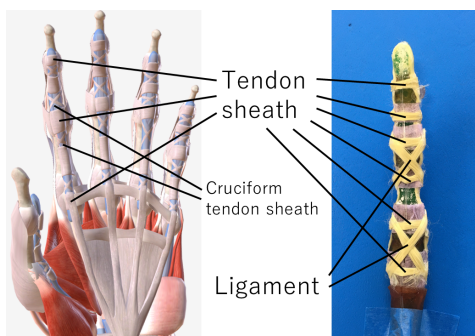


Fig. 2 Human like robot finger (Front view)

次に手の 3D モデルと製作した指の正面を Fig. ?? に示す。人間の手には筋肉から腱に加えられた力を関節へ正しく伝達するためにプーリーの役割を果たす組織があり、これを腱鞘と呼ぶ。この腱鞘をアラミド繊維により再現し指へ搭載している。またモデルの方には十字状の腱鞘があり、製作した指にも十字状に配置したアラミド繊維があるが、このアラミド繊維は腱鞘を再現したものではなく伸展方向の可動を制限する靭帯を再現したものになっている。本来であればこのような形状にはなっていないが現状では形状をそのまま再現することができなかった。よって機能だけでも再現するためにこのような形状となっている。

3. 使用するアクチュエータ

人間の手を模倣するにあたり、それを動かす筋肉もまた人間の特性に近づく必要がある。そこで今回は生体筋の力学評価において人間に近い筋肉特性を有する軸方向繊維強化型人工筋肉を使用する。このアクチュエータは他と比べ軽量・柔軟で高い出力密度があることも特徴である。軸方向繊維強化型人工筋肉を Fig. ?? に示す。この人工筋肉はゴムチューブとアラミド繊維からできている。軸方向に沿ってアラミド繊維が配置され、これにより軸方向への膨張を拘束している。このアクチュエータは空気圧を印加することにより、径方向へ膨張し、軸方向へ収縮することで駆動力を得ることができる。また、金属リングは人工筋肉の膨張を調整するために用いている。

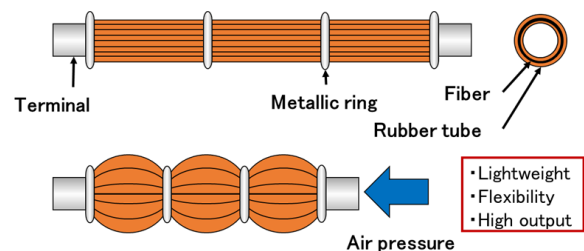


Fig. 3 Pneumatic artificial rubber muscle

実際に使用する空気圧ゴム人工筋肉を Fig. ?? に示す。この人工筋肉は今後前腕に搭載する予定があり、前腕の骨格に合わせた長さで設計している。長さは 200mm、直径は 7mm、重さは 14.5g となっている。この人工筋肉の出力特性は Fig. ?? のようになっている。Fig. ?? は印加した各圧力における収縮量と加えた負荷の関係を表している。これにより人工筋肉は収縮量が大きくなるほど出力が小さくなることがわかる。

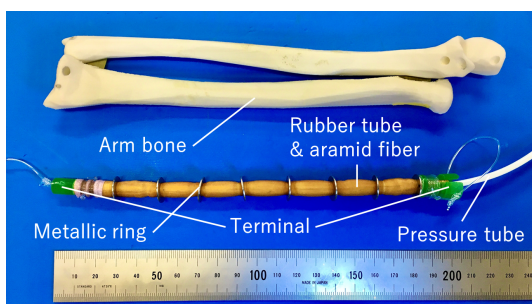


Fig. 4 Pneumatic artificial rubber muscle used in the experiment

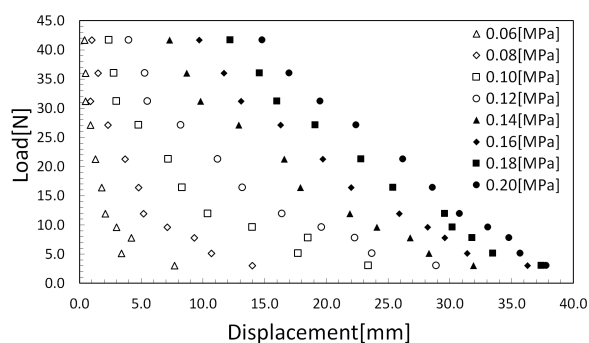


Fig. 5 Relationship between contraction force and displacement of artificial muscle

4. 指の評価試験

製作した指を評価するにあたり、今回は指の運動と指先の力の測定を行い評価することを考えた。指の運動の測定ではモーションキャプチャーを使用し、指先の力の測定ではフォースゲージを用いて実験する。実験の詳細は以下の通りである。

4.1 モーションキャプチャーによる指の運動の測定

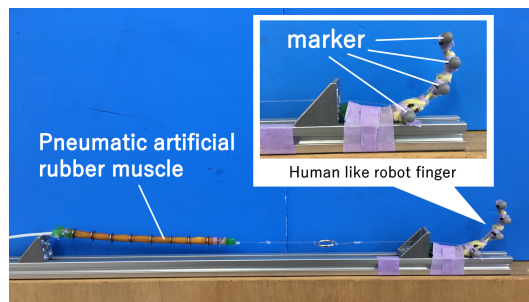


Fig. 6 Finger trajectory measuring device

この実験ではアキュイティー株式会社製 OptiTrack V120:TRIO を用いて、真横から指の屈曲時における運動を計測する。実験装置の様子を Fig. ?? に示す。Fig. ?? のように関節上にマーカーを配置し、人工筋肉に空気圧を印加して指を動かし軌跡を読み取る。今回の実験において使用する人工筋肉は屈曲用の 1 本のみであり伸展用の筋肉がないため、指がある程度曲がった状態から測定を開始する。また実験結果の比較対象として、20 代男性の指でも同様に実験を行い結果を記録する。

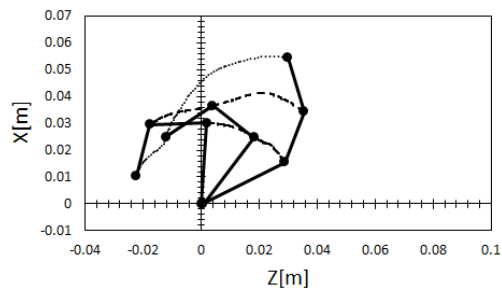


Fig. 7 Finger trajectory (Robot finger)

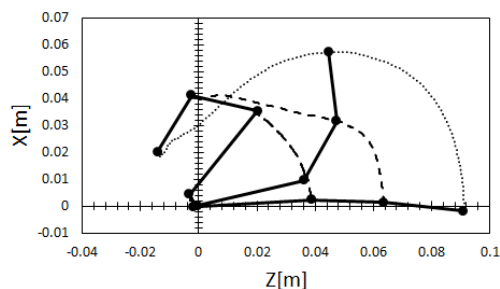


Fig. 8 Finger trajectory (Human finger)

実験によって得られたロボットの指の軌跡を Fig. ?? に、人間の指の軌跡を Fig. ?? に示す。Fig. ?? と Fig. ?? より、ロボットの指は人間の指の軌道の特徴をとらえていると言える。今回の実験では伸展用の筋肉がなかったため指の伸展の運動を行うことができなかった。今後は伸展用の筋肉を追加し動作の確認を目指す。

4.2 指先の力の測定

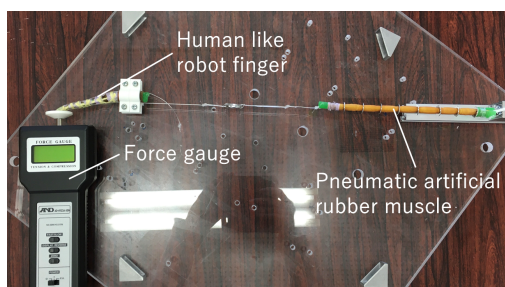


Fig. 9 Finger force measuring device

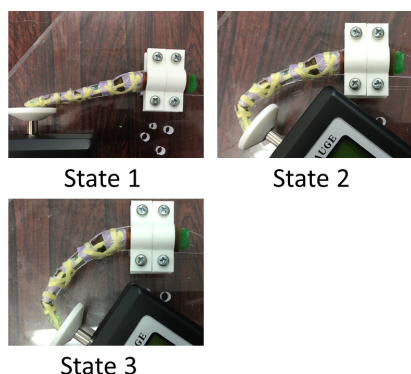


Fig. 10 States to record

この実験ではエー・アンド・デイ株式会社製のデジタルフォースゲージ AD-4932-A50N を用いて、人工筋肉に空気圧を印加した際に指先が生じる力を測定する。実験装置の様子を Fig. ?? に示す。また今回は Fig. ?? のように伸展状態の State 1、屈曲状態の State 2、さらに屈曲した状態の State 3 の計 3 つの状態について実験を行い結果を記録する。実験結果を Fig. ?? に示す。Fig. ?? は人工筋肉に印加した空気圧とフォースゲージを用いて測定した力の関係を示している。

Fig. ?? からわかる通り State 1, State 2, State 3 のどの状態においても計測できる力に大きな変化がないことがわかる。

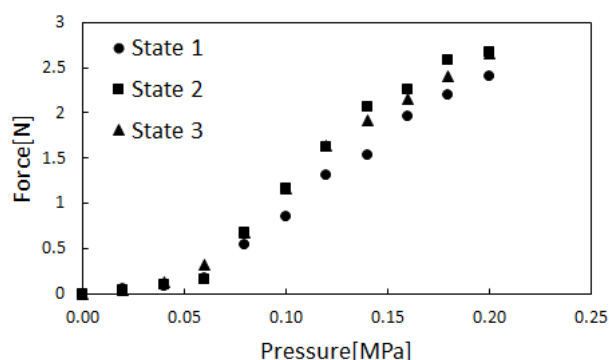


Fig. 11 Relationship between finger force and air pressure applied to artificial muscle

ここで人間の指先の力の参考値を示す。使用するのは独立行政法人製品評価技術基盤機構のデータベースである。このデータの計測は、同機構が、平成 13-14 年度及び平成 20 年度に行ったものである。計測内容は人差し指で水平パネルのボタンを普段の力 (洗濯機, 券売機のボタンを押すときの力) で押したときの力を計測するものである。このデータベースを用いて算出した平均値は 15.58 [N] である。製作した指の力の最大がおよそ 2.6 [N] であることを考えると製作した指は人間の指の力を再現できていないということになる。

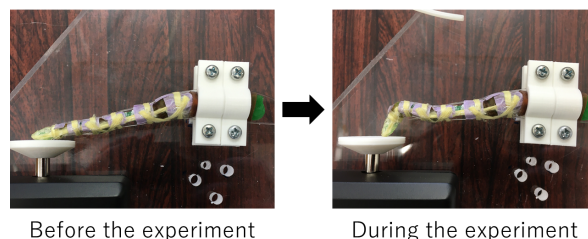


Fig. 12 State of finger during exoeriment

また、実験中の指の様子を Fig. ?? に、指先の力と人工筋肉の収縮量の関係を Fig. ?? に示す。本来この実験の指は屈曲などの運動を起こさないとし、人工筋肉の持つ力がそのまま指先に伝達されると考えていたが Fig. ?? のように指先は屈曲しそれ以外の関節は逆側へ反っている。

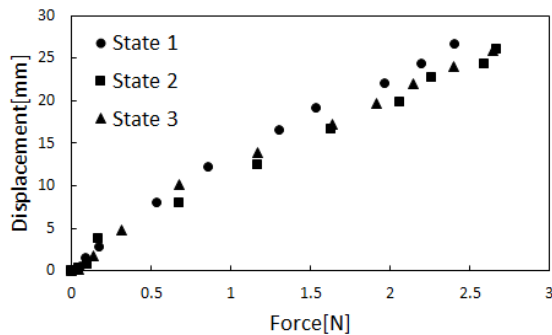


Fig. 13 Relationship between finger force and displacement of artificial muscle

Fig. ??では動かないものを引張ると仮定していた人工筋肉が、収縮してしまっていることがわかる。上記でも示したように人工筋肉には収縮量が大きくなるほど出力が低下する特性がある。このことから今回製作した指は人工筋肉の持つ力を指先へ正しく伝達することができず、その原因は指先が必要としていないのに屈曲してしまうことや指が反ってしまうことであると言える。また、人工筋肉が収縮し十分な出力を出せていないことは指が動いてしまうことが原因である。今後これらを調査し原因の解決を目指したい。

5. 結言

今回は人体の構造を模倣した指の製作を行った。またこれを用いた評価実験を実施した。製作した指は人体の動きを再現することができた。しかし、指の力は再現できず、力を出す際に指が変形してしまった。

6. 今後の展望

指先の力は再現することができなかったが、運動の方は再現することができたので今後は手や腕としての完成を目指す。それに伴いアクチュエータの数が増加するのでその制御方法を考案する。また指先の力の向上を可能にするため問題の解決を目指す。

参考文献

- 1) Hirofumi Niimi:Development of robot hand based on the skeleton. No.13-2 Proceedings of the 2013 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Tsukuba, Jpan, May 22-25, 2013, 1A1-L07
- 2) 一般社団法人 人間生活工学研究センター HQL データベースサイト NITE 平成 13-14 年度, 平成 20 年度人間特性計測データ, <https://www.hql.jp/database/cat/etc>