

報告日：2022年 11月 16日
報告者： 岡山大学 学術研究院 自然科学学域
下岡 綜

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名

伸長型柔軟空気圧アクチュエータの改良と在宅用上肢リハビリテーション機器への応用

(2) 研究者氏名、職名

下岡 綜、助教

(3) 研究概要

近年、高齢化社会が急速に進行しており、家庭でも使用可能なリハビリテーション機器の開発が強く望まれている。これらの機器に使用されるアクチュエータは小型・軽量はもとより、人体に負担がかからない構造が求められる。そのアクチュエータとして、柔軟素材によるソフトアクチュエータが注目されている。

本研究では、2倍以上伸長する伸長型柔軟空気圧アクチュエータ(以後、EFPAと呼ぶ)を用いて他動運動を促すことのできるリハビリテーション機器へ適用する。具体的には、EFPAの蛇腹部分にPET製の拘束板を挿入し、螺旋形状になるよう幾何学的拘束を行い、上肢や下肢に装着してマッサージや吊り上げによる他動運動が可能なリハビリ機器の開発を行う。

(4) キーワード

柔軟螺旋アクチュエータ, 空気圧駆動, リハビリテーション機器,

(英文)

(1) Research title

Improvement of extension type flexible pneumatic actuator and Its application of home-based rehabilitation device for upper-limbs

(2) Name of researcher with title of position

So Shimooka, Assistant Professor

(3) Summary

Recently, several pneumatic soft actuators have been applied to wearable and welfare devices to provide nursing care and rehabilitation for the elderly and disabled. In this study, as a wearable soft actuator for holding body and rehabilitation, a spiral shaped soft holding actuator using Extension type Flexible Pneumatic Actuator (EFPA for short) and a circumferential restraint plate that can wrap a user according to their body shape was proposed and tested. As a result, it was found that the tested actuator could hold elbows and knees

when the joint in motion.

(4) Key Words

Spiral shaped soft actuator, Extension type flexible pneumatic actuator, Rehabilitation device, Circumference restraint mechanism,

2. 本研究の意義、特色

本研究は、伸長型柔軟空気圧アクチュエータ(EFPA)と PET 製の拘束板を用いることで幾何学的に形状を拘束することができ、用途に応じた動作や力を発生させることができる。その改良として、複数の EFPA の拘束間隔を変えることで螺旋形状に拘束することに成功し、身体部位の形状に合わせて巻き付き動作が可能な柔軟螺旋アクチュエータを開発した。さらに腕などの上肢や下肢に巻き付けた状態で肘の屈曲や、巻き付いたアクチュエータを持ち上げても外れることなく固定することができること確認した。また形状解析モデルを構築し、その有効性を示した。

3. 実施した研究の具体的内容、結果

報告者が以前開発した EFPA を図 1 に示す。EFPA はシリコンゴムチューブ(内径 8mm, 外径 11mm)を蛇腹状のスリーブ(内径 12mm, 外径 20mm)で覆った構造である。EFPA は供給圧力 500kPa を加えることで自然長から約 2.5 倍に伸長することができる。この複数本の EFPA を用いて螺旋形状へ拘束した柔軟螺旋アクチュエータを図 2 に示す。具体的な構造は、3 本の EFPA と図 3 に示すような厚さ 1mm の PET 製拘束板を用いて、EFPA の周方向を拘束することで螺旋形状を構成する。また EFPA の蛇腹状スリーブの窪み部分に拘束板を挿入し、その挿入するピッチを 1:2:4 の比率としている。1 ピッチ、2 ピッチ、4 ピッチに拘束板を挿入した EFPA を EFPA1, EFPA2, EFPA3 とする。これより、図 2 のように EFPA1 と EFPA3 により曲線を構成し、EFPA2 により平面から離れるように拘束している。

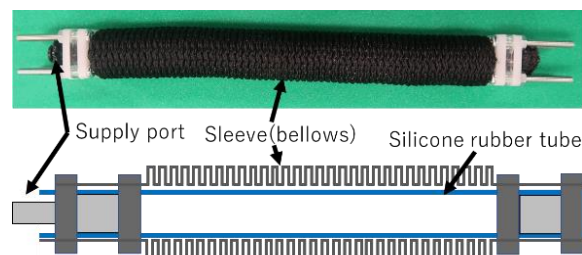


Fig.1 View and schematic diagram of Extension type Flexible Pneumatic Actuator



Fig.2 Overview of spiral soft actuator

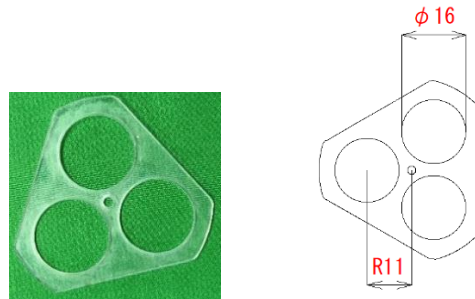


Fig.3 Shape of restraint PET plates (t=1 mm)

螺旋アクチュエータの動作原理を以下に示す. 図 4(a)は EFPA1 に圧力を印加した場合の動作を示しており, EFPA が伸長することで, アクチュエータの直径と長手方向の長さが大きくなり, 巻き数も初期状態より減少する. さらに, 図 4(b)より EFPA3 を加圧した場合, 外側の EFPA3 が伸長し, 直径が小さくなり長手方向も長くなる. 巻き数も初期状態より増加する. これは, EFPA3 が伸長することで, 内側へ向かうように螺旋アクチュエータが動作するからである. 図 4(c)は 3 本の EFPA 全てに加圧した場合の螺旋型アクチュエータの動作を示している. まず EFPA1 が先に伸長し, EFPA2 と EFPA3 が次第に伸長していく. これは EFPA2 と EFPA3 が EFPA1 と比べて, ゴムチューブとスリーブとの摩擦が大きいと考えられる. これらの動作によって個々の腕の太さや状態に合わせて直径を変化させ, 瞬間的な装着ができると考える.

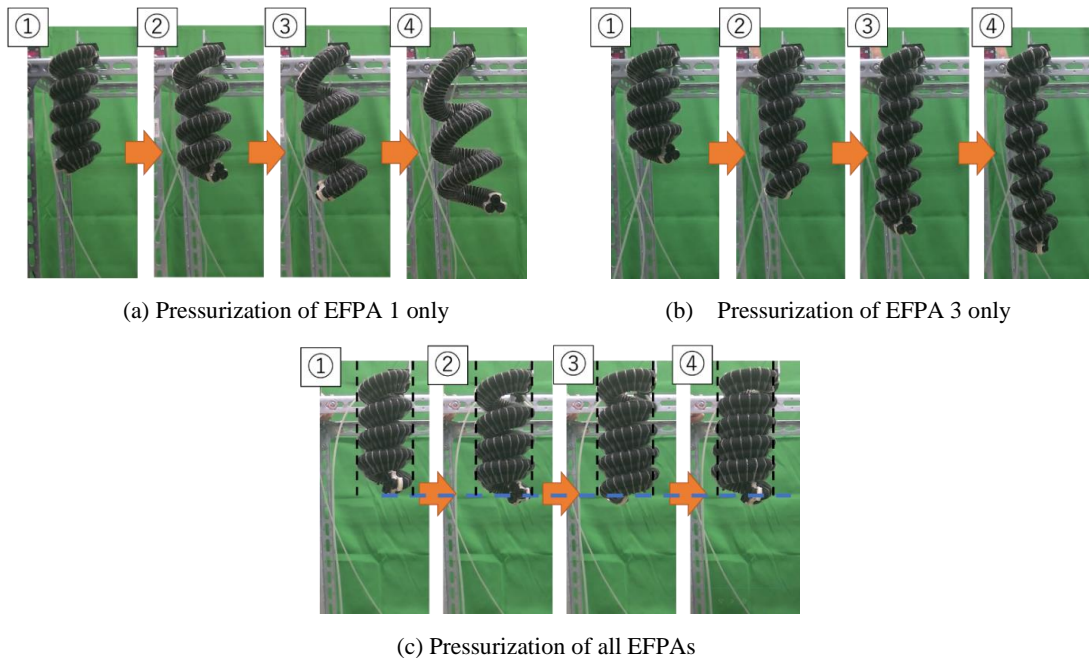


Fig. 4 Operation of spiral shaped actuator for various combinations of pressurized EFPAs

続いて、上肢や下肢に装着した際の様子を図 5 から図 7 に示す。図 5 では上肢に装着した状態で肘を屈曲している様子である。図より肘全体に装着していないため曲げるなどの屈曲動作が実現している。また図 6, 7 では上肢および下肢に装着した状態で、アクチュエータを持ち上げた場合の様子である。図からアクチュエータが身体から外れることなく持ち上げられていることがわかる。着脱が容易であることやアクチュエータの保持力が高い(80N)ことから、アクチュエータの両端に紐を取り付け、紐を引き上げることで上肢や下肢全体にリハビリテーションのような運動支援が可能であると考えられる。また、図 4(b)のような締め付ける動作を利用することで、リンパ浮腫に対するリハビリテーション機器として適用できると考える。

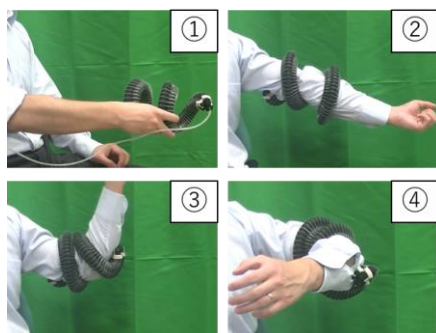


Fig. 5 Transient view of moving the joint while holding

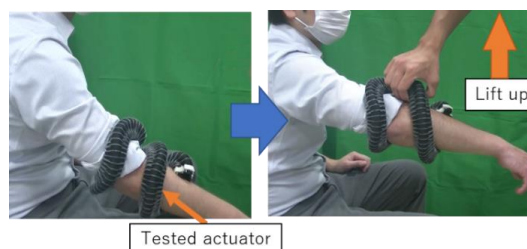


Fig. 6 Transient view of a lifted-up arm

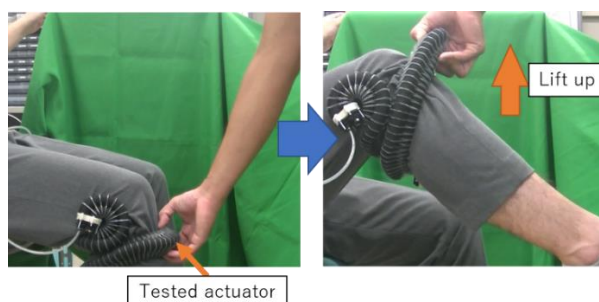


Fig. 7 Transient view of a lifted-up knee.

使用者の身体的特徴を考慮した螺旋アクチュエータの設計および形状を予測する必要があるため、螺旋構造を有するアクチュエータの解析モデルを構築した。この形状解析モデルは、それぞれの EFPA が加圧された際の各拘束間隔の長さを求めることで、アクチュエータの螺旋直径と動作形状を求めることができる。これらに基づき、得られた座標を用いて MATLAB 内で螺旋型アクチュエータのシミュレーションを行なった。図 8 では、EFPA1 または EFPA3 が伸長した場合のシミュレーション結果を示し、赤、緑、青はそれぞれ EFPA1, 2, 3 を示している。EFPA3 のみ伸長した場合、直径が小さくなるにつれて巻き数が増えているのがわかる。これは図 4(b)と比較し実際の動作とシミュレーションによる動作が類似していることがわかる。

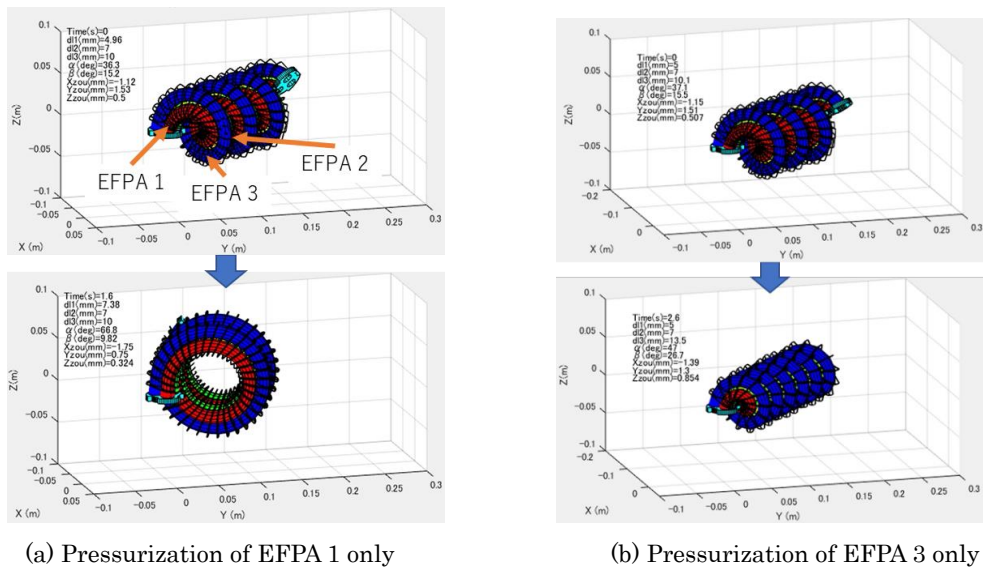


Fig.8 Operation of calculated spiral actuator.

また実験結果と計算結果を比較するために、螺旋型アクチュエータの直径を測定した。その結果を図 9 に示す。結果より、計算結果と実験結果が概ね一致していることがわかった。しかし、圧力を大きくした場合、EFPA3 のみ実験結果と計算結果に差が生じた。これはアクチュエータの直径が小さくなる時、アクチュエータ同士が干渉するため、計算結果ほど変化しないと考えられている。今後、干渉が発生しない拘束方法について検討し、高さ方向に対して伸縮できる柔軟螺旋アクチュエータの開発を行う予定である。

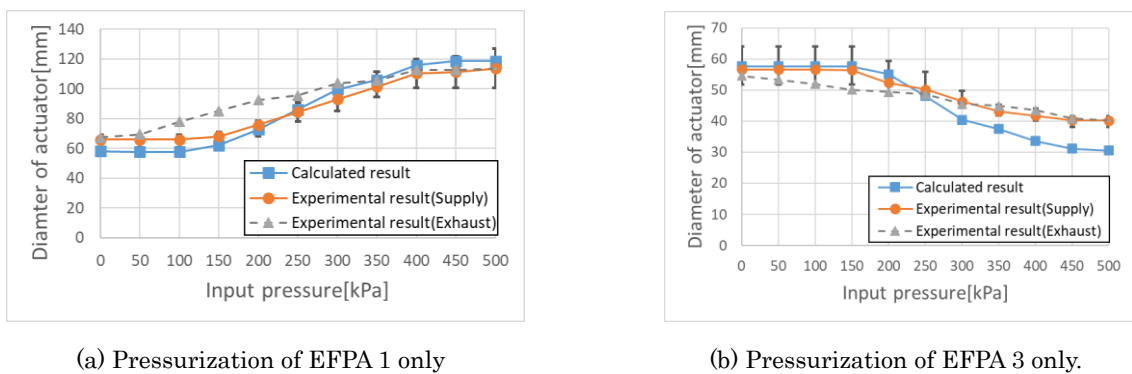


Fig.9 Relation between supply pressure and diameter of the actuator.

4. 本研究を実施したグループに属する主な研究者の氏名、職名
下岡 綜, 助教

5. 研究実施時期

令和3年 4月 1日から 令和4年 8月 31日まで

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

1. 高橋 遼, 下岡 綜, 五福 明夫, 亀川 哲志, 赤木 徹也, 保持機構を有する柔軟螺旋アクチュエータの開発, 2022 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.74-76, 2022.
2. So Shimooka, Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Takashi Shinohara and Takumi Kobayashi, Development of Spiral Shaped Soft Holding Actuator Using Extension Type Flexible Pneumatic Actuators, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.34 No.2, pp. 373-381 2022.

7. 内外における関連研究の状況

まずこのような螺旋形状に変形するソフトアクチュエータはいくつかある。しかし、圧力を印加することでしか螺旋形状に変形できない。本研究の柔軟螺旋アクチュエータは幾何学的な拘束により初期状態から螺旋形状を維持することに加え、圧力の印加によって図 4 のように直径のみを変化させることができる。この特長により、身体の特徴に合わせて上肢だけでなく下肢に対しても容易に着脱が実現できる。

8. 今後の発展に対する希望

本開発したアクチュエータは、身体的特徴に合わせて容易に着脱ができ、圧力の調整によってリンパ浮腫などむくみに対するリハビリテーション機器へ適用ができると考える。