

家庭用シミュレータのための18脚移動ロボットと パラレルリンク型ソフトアクチュエータの提案

足立 悠真・赤木 徹也^{1)*}・趙 菲菲¹⁾・横田 雅司¹⁾・篠原 隆²⁾

岡山理科大学大学院理工学研究科

1)岡山理科大学情報理工学部情報理工学科

2)研究・社会連携機構 工作センター

(2024年9月24日受付、2024年10月31日受理)

1. 緒言

老々介護に代表されるように近年、少子高齢化が深刻な状況にある¹⁾。これは単に高齢者を支える働き手世代が少ないことの問題だけでなく、今後、介護を必要とする高齢者が増えることを意味し、生産に係わる労働力が減ることを意味する。つまり、日本の生産(労働力)経済に対して無視できない問題である。この対策として高齢者を労働力として活用するため、定年の引き上げや、年金受給年齢の引き上げなどの政策が実施されている。この労働力年齢の引き上げ、つまり、永く働けるためにも、高齢者や一時的な致傷による障害者などの身体能力の改善が必要である。このような状況を背景としてQOL(Quality of life:生活の質)の向上から医療介護、リハビリテーションの分野での福祉機器の重要性が増加している²⁾。このような機器に使用されるアクチュエータには、高い人間親和性が求められるため、安全で人体に優しいソフトアクチュエータが望まれている³⁾。また、このようなソフトアクチュエータは人と接する環境で使用されるアクチュエータとしても有用である。例えばパワーアシストなどの人の力を補助する機器やパーチャルリアリティなど仮想空間での身体的フィードバックなどを行うシステムなどである。これらの人と接する状況下で使用できる機器に用いられるアクチュエータは上述のリハビリテーション機器に用いられるものと同様のスペックが必要となる。以下に、このような要求を満たすアクチュエータの開発に関する以前の開発事例を紹介する。赤木ら⁴⁾は以前よりフレキシブルチューブを用いた柔軟空気圧シリンダの開発を行ってきた。また、一時的な怪我から回復するため、自宅で患者自身が一人で使える自主的なリハビリテーション機器の開発をめざし、安藤らは手首を含むリハビリテーション機器として、自由度の高い手首等の他動運動を行うために球面アクチュエータを試作した^{5) 6)}。これは、ボールを前後左右に転がすことで、手首の関節可動域を広げる運動を他動運動として加えることを想定した装置である。機器は、

前述の柔軟空気圧シリンダの柔軟チューブをリング状に曲げ、それを2本直角に交差させた柔軟な設置型球面アクチュエータである。また松井ら^{7) 8)}はこの柔軟球面アクチュエータを改良し、両手で保持して腕や肩などのリハビリテーションが行えるポータブル上肢リハビリテーション機器への改良を行ってきた。これは、PT(理学療法士)などがない自宅でのリハビリテーションを想定したもので、利用者が危険を感じた際に機器を手から離すことで安全性を確保できるものである。また、田ら⁹⁾はよりシンプルでコンパクトおよび柔軟な手首リハビリテーション機器の開発をめざし、伸長型柔軟空気アクチュエータ(Extension type Flexible Pneumatic Actuator:以後、EFPAと略す)を3本用いた四面体型ソフトアクチュエータ(Tetrahedral-shaped Soft Actuator:以後TSAと略す)を開発した。また四面体型の頂点の傾斜角と土台からの変位により、姿勢制御を行うシステムを構築した。以上のように共同研究者らが開発を行ってきた空気圧駆動アクチュエータはリハビリテーション機器や家庭で使える健康支援機器に用いられるほど人間親和性が高いものである。

本研究では以前の研究でターゲットとした上肢を対象に他動運動を加えるリハビリテーション機器や健康支援機器ではなく、下肢、特に転倒など重篤な事故に繋がりにくい体幹を訓練する機器の開発について注目する。つまり、TSAを用いた移動ロボットや家庭用のパーチャルシミュレータを基にした健康支援機器の開発を目的とする。



図1 開発機器の利用イメージ

イメージとしては図1に示すように、VRゴーグルをつけた患者もしくはフレイル状態の健常者がゲームもしくは映像を見ながら、自然とバランスを取る動作を誘導する他動運動を与える健康支援機器の開発である。これらの機器開発における以前の研究として、長谷ら¹⁰⁾は上記で述べたソフトアクチュエータのうち田らの開発した四面体型ソフトアクチュエータ (TSA) に注目し、TSA内のEFPAの配置に対する曲げ剛性、力・トルク特性などの基本特性について調査した。また、この四面体型アクチュエータ (TSA) を用いて家庭で手軽に使用できるバーチャルシミュレータとしての6脚移動ロボットの開発を行った。

本研究ではこの長谷らが開発した移動ロボットの実用化に向けた改良について検討する。具体的には、実際に人が乗ることのできる移動ロボットを実現するために、長谷らの開発した6脚移動ロボットに比べ、支える脚数の多い多足移動ロボットの開発をめざす。すなわち、長谷らが用いた四面体型ソフトアクチュエータより小型で持ち上げ能力の高いアクチュエータを使用した18脚移動ロボットの開発について検討する。また、試作したロボットを用いて、人を乗せることを想定した負荷条件下での移動ロボットの駆動実験を行う。さらに、機器本体が設置場所から移動せず座面の動きのみで、回転や並進動作を与えるソフトアクチュエータの開発についても検討する。

2. 従来の6脚移動ロボット¹⁰⁾

次に長谷らが開発したバーチャルシミュレータ (移動ロボット) について紹介し、TSAの構成要素であるEFPAの構造と動作原理について説明するとともに、TSAの構造と動作原理についても述べる。

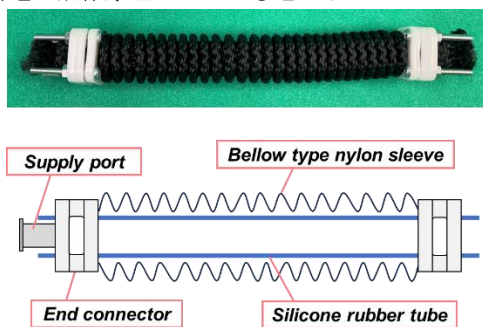
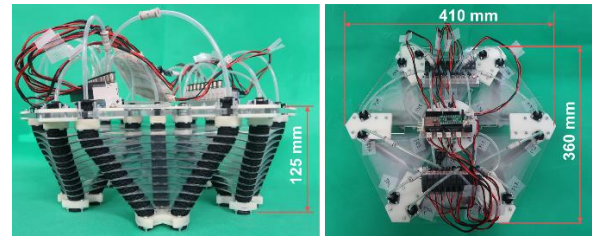


図2 EFPAの外観と構造図

図2にEFPAの外観と構造を示す。EFPAはシリコンゴムチューブ (内-外径: 8-11mm) を蛇腹状のナイロン製スリーブで覆った単純な構造を有し、材料費は1 m当たり約600円と非常に安価なソフトアクチュエータである。動作原理は印加圧力により内部のチューブが膨れるが、スリーブにより軸方向だけの変形に拘束されるため、

0.4 MPaの印加圧力で約2.5倍伸長する。引張力はゴムチューブの弾性力に依存し、最大約60 Nと比較的大きいが、単体での曲げ剛性が小さく、押し出し力を利用しにくい欠点も有する。



(a) 正面図

(b) 上面図

図3 従来の6脚移動ロボットの外観

図3に、長谷らが開発した従来の6脚移動ロボットの外観を示す。機器は6個のTSAの正三角形の底面部分を、正六角形を形成するように配置し、各三角形の頂点同士をプレートで締結している。機器のサイズは高さ115 mm、横410 mm、縦360 mmの一辺が210 mmの六角形状で、質量は2.85 kgである。各脚の湾曲方向は1本および2本のEFPAを加圧することで三角形の重心から放射状60度毎の湾曲動作ができ、さらに全加圧で伸長動作が可能で、これらの動作を考慮して試行錯誤的に機器の駆動パターンを調整した。また、これらの駆動パターンは、マイクロコンピュータ (株Renesas, SH7125) で駆動される18個のON/OFF弁 (株KOGANEI, G010E-1) を用いて制御され、PCからのシリアル通信により送られた文字コードに従って、動作を選択する。

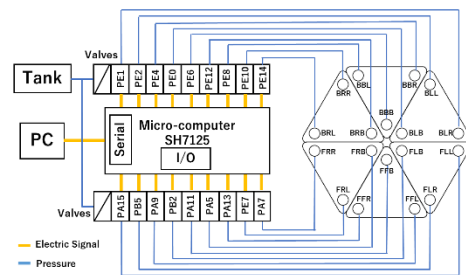


図4 6脚移動ロボットのシステム構成図

図4に6脚移動ロボットのシステム構成図を示す。システムはマイクロコンピュータ (株Renesas, SH7125) と18個のON/OFF弁 (株KOGANEI, G010E-1)、USB-シリアル変換モジュール (FTDI, FT234X) と試作シミュレータから構成される。ロボットの各EFPAはマイクロコンピュータのI/Oポートと弁を介して操作される。ここでON/OFF弁は10連のマニホールタイプの弁 (株KOGANEI, G010M10F STN1-10 G010E1-PS/DC5V) を2つ用いている。この機器の操作は、PCからシリアル通信ケーブルを通

して送られたコードを基にあらかじめプログラムされたシーケンスプログラムに従って弁を操作し、ロボットを操作する。

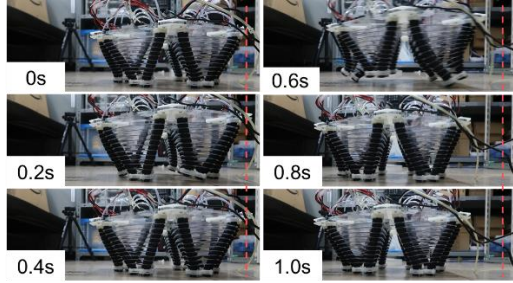


図5 6脚移動ロボットの並進動作の様子

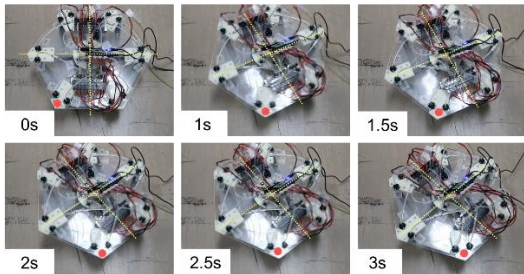


図6 6脚移動ロボットの回転動作の様子

図5と図6にそれぞれ6脚移動ロボットの並進動作の様子と回転動作の様子を示す。機器の動作パターンの選定では、脚の湾曲が蹴り出し力を加えるため、脚が6方向に湾曲可能であることを考慮して、機器に加わる力を考えた。また、複数の脚を伸長させ、機器を持ち上げた後に、特定の脚を遊脚として進行方向に湾曲させた状態から、機器を下げながら逆方向に湾曲させることで推進力を得る手法で動作パターンを決定した。また、この推進力を得る脚は6脚中3脚とし、残りの3脚は機器を持ち上げる役割を担う。この手法をもとにして長谷らはシーケンス動作により各脚が駆動され、試行錯誤的に求めた駆動パターンにより並進・回転運動が可能であることを確認している。

3. 小型TSAを用いた18脚移動ロボットの開発

従来の6脚移動ロボットの脚となるTSAの垂直方向の押し出し力を調べたところ、印加圧力350 kPaで130 Nと大きな力が生じていた。しかし、従来のTSAは曲げ剛性が小さく、それ以上の印加圧力ではTSAが座屈を生じるため発生力が低下し、垂直持ち上げ力に制限をかけていた。また、従来のロボットは、3脚毎に移動や傾斜などの湾曲動作を加えるため、ロボット全体の垂直持ち上げ力が400Nに満たないなど、平均的な高齢者の体重60kg(588N)を支えるには力不足である。そこでより曲

げ剛性を高めるため、座屈に影響する高さ方向の長さを短くした小型のTSAの開発を行った。図7に小型TSAの外観と構造を示す。小型TSAは剛性を上げるため、高さ方向の長さは短くなったものの、従来と同じく10枚の拘束PETシートで拘束している。ここで、小型TSAの根元の端部から先端部までの高さは62 mmであり、使用EFPAの自然長も従来は40山分であったのに対して小型TSAは13山分と約1/3に短くなっている。また、従来のTSAのEFPAの設置角度は60度であるが、小型TSAは底面から75.6度と設置角度を大きくすることにより、EFPAの軸方向発生力をより多く垂直方向成分に振り分けた。この発生力の振分けにより、理論的には従来の最大押し出し力の $(\sin 75.6^\circ / \sin 60^\circ =) 1.12$ 倍だけ発生力が増加することになる。実際に小型TSAの垂直方向の最大押し出し力を調べた結果、印加圧力350 kPaで150 Nと従来の1.2倍に改善されたのを確認している。この持ち上げ力の改善は設置角度の増加だけでなく剛性の改善も影響しているものと考えられる。

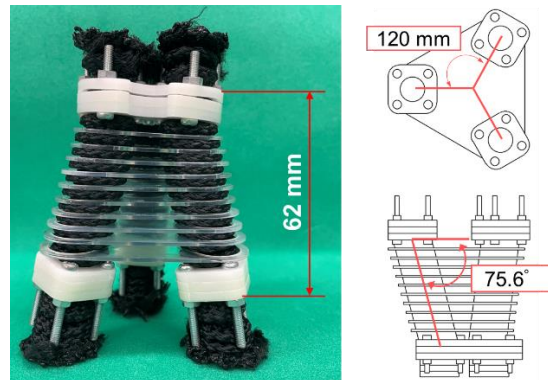
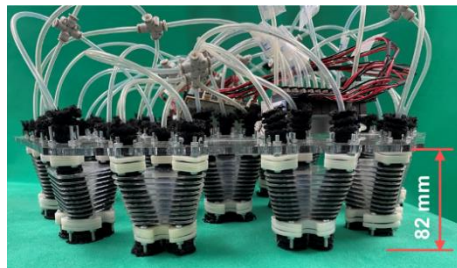


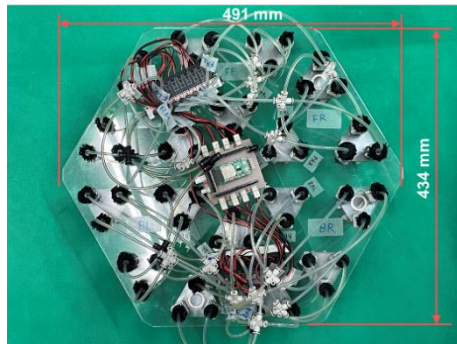
図7 小型TSAの外観と構造図

そこで十分な可搬力を有するロボットとして、小型TSAを脚として改良した18脚移動ロボットの外観を図8に示す。改良ロボットは従来の小型の6脚移動ロボットの各脚を頂点とした正三角形を形成するように、放射状に12脚を追加した。サイズは491×434 mmで弁やコントローラを含めたロボット全質量は3.9 kgである。ロボットは1脚当たり最大150 Nの発生力を有し、ロボットの最大持ち上げ力は2700 Nと人を乗せた状態での加振動作等に対しても十分な発生力を有する。図9に18脚移動ロボットの制御システムの構成を示す。システムは組込コントローラ(株式会社Espressif Systems, ESP32-ROOM-32E)と18個のON/OFF弁(株式会社コガネイ, G010E-1)と18脚の移動/座面シミュレータロボットから構成される。図9で管路を省略して示すように、ロボットは18脚(TSA)で54個のEFPAを有しているが、3つの脚を1グループとして同一動作を行うため、1つの弁はグループ内

の同一位置にある3つのEPPAを操作する。つまり同グループの3つのTSAを1つの大きな脚として考えることで、従来のロボットと同じく、18個の弁で操作を可能としている。これは提案するロボットの利点でもある。



(a) 正面図



(b) 上面図

図8 18脚移動ロボットの外観

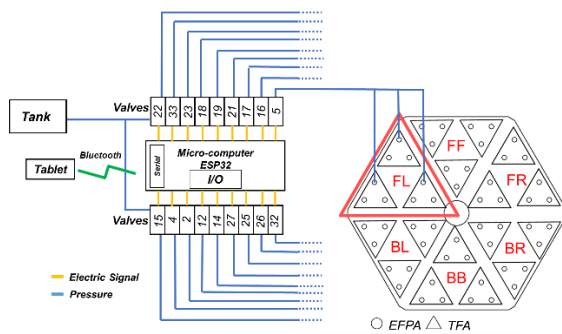


図9 18脚移動ロボットのシステム構成図

4. 18脚移動ロボットの動作試験

前述のように18脚の移動/座面シミュレータロボットは従来の6脚移動ロボットと同じ駆動パターンで6方向への並進運動が可能である。しかし、従来と異なり1つの弁で3本のEPPAを操作するため、流量不足により従来のロボットの歩容は実現できず、1回の歩容パターンでの移動距離も小さくなる。そこで従来に比べ1本のEPPAに対して少ない流量でも並進歩容が可能な駆動パターンを再検討した。従来手法では複数の脚を伸長さ

せ、機器を持ち上げた後に、特定の脚を遊脚として進行方向に湾曲させた状態から、機器を下げながら逆方向に湾曲させることにより推進力を得ることで並進動作を実現していた。しかし、今回の歩容では加圧による湾曲動作でなく、もとに戻る復元力も推進力に利用する方法を用いた。具体的には9脚を伸長し、機器を持ち上げた後、図9の赤三角で示す9脚を進行方向に湾曲させる。その後、持ち上げていた脚を元に戻し、機器を下げ終えた状態から進行方向に湾曲させておいた脚を逆方向に湾曲し、湾曲した状態を保持する。その後、残りの9脚で機器を持ち上げ、湾曲した脚を機器が持ち上がった状態で元の状態へと戻すことで並進を実現する。図10に提案手法による18脚移動ロボットの並進動作の様子を示す。この方法では、従来の脚の蹴り上げなど瞬間的な流量が必要な方法に比べ、少ない流量でも動かすことのできる手法で、湾曲からの復元と逆方向への湾曲の脚先の円弧軌道の動きを推進力として利用している。そのため弁の操作流量が少なくても、動いた軌道分の推進が可能で、従来手法で生じていたロボット自身が飛ぶような動作をしないため、より安定した歩容が実現できることとなる。また従来の方では、蹴り上げ動作を利用していたため、脚の接地面の摩擦が推進距離に影響し、床材の違いによる並進性能の違いが見られたが、改良した並進歩容では滑りやすい床材や従来引っ掛かりを生じていたスポンジ素材など摩擦が大きい床材面でも同じ並進動作が実現できることを確認している。

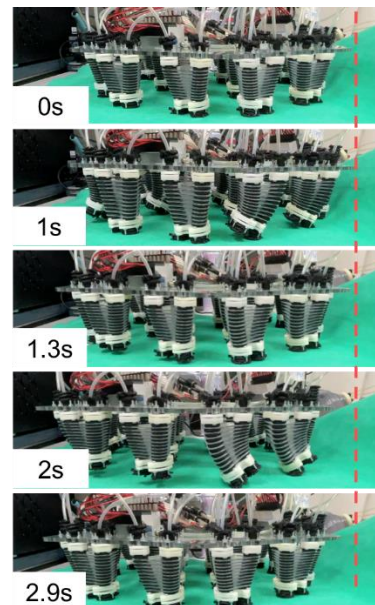


図10 18脚移動ロボットの並進動作の様子

次に、図11に18脚移動ロボットの並進動作の様子を示す。具体的には、9脚の湾曲動作で回転力を加えた後、

脚の湾曲が飽和した後に湾曲した状態を保持したまま残りの9脚による伸長で機器を持ち上げる。その後、ロボットが持ち上がった状態で湾曲した脚を元に戻すことにより回転を実現している。18脚移動ロボットは、従来の6脚移動ロボットと同じように加圧するEFPAの組み合わせを変えることにより6方向への並進と時計回り反時計回りの回転動作が可能である。そのため18脚移動ロボットは可搬力が増加しつつも家庭用の体幹訓練のためのシミュレータとして、従来のロボットと同様の機能を有している。移動ロボットが人を乗せた状態での加振等に対して十分な力を発生するかどうかを検証するため、実際に機器に負荷を与えた状態での駆動実験を行った。図12に検証実験用に改良した18脚移動ロボットの外観を示す。改良ロボットは、従来の18脚移動ロボット上部に、負荷となる重りを乗せるための平らなプレートを追加した。

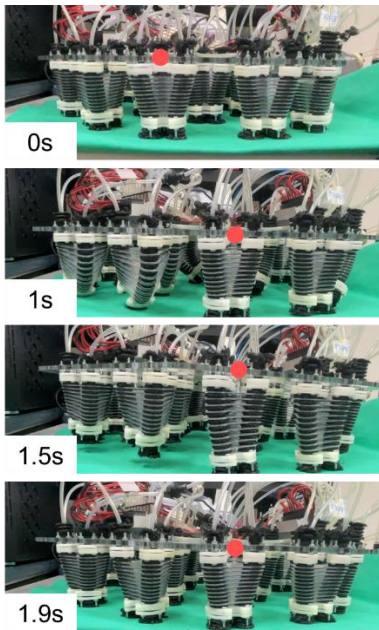


図11 18脚移動ロボットの回転動作の様子

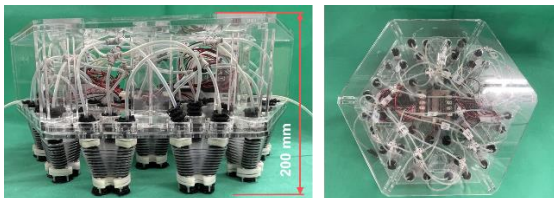


図12 実験用に改良した18脚移動ロボットの外観

図13に392 Nの荷重を加えた状態での回転動作の様子を示す。ロボットは、9脚の湾曲動作で回転力を加え、脚の湾曲が飽和した後、湾曲した状態を保持したまま

残り9脚が伸長し、機器を持ち上げた状態で湾曲した脚を元に戻すことで回転動作を実現している。通常、剛体脚での回転では、ロボットの中心に近い脚と外側の脚とで足先の変位を変える必要がある。しかし、このロボットの場合3脚が同じ圧力で操作され、また柔軟でもあるため、負荷により自然と脚先の変位が変わり滑らかな回転移動を実現できる。また、回転動作と同様に負荷を与えた状態での並進動作が可能なることも確認している。並進動作では、無負荷時での動作に比べ、湾曲脚が座屈するような姿勢になるため、移動距離が無負荷時より増加することも確認している。

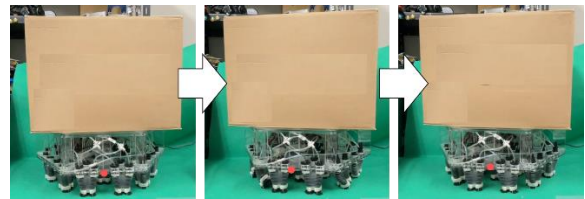


図13 392 N 負荷時の回転動作の様子

5. パラレルリンク型ソフトアクチュエータの試作

前述のように18脚移動ロボットは、負荷(子供:想定60 kg以下)を乗せた状態で6方向への並進と時計回りや反時計回りの回転動作が可能である。しかし、ロボットは、VRゴーグルを装着した状態での使用を想定しており、座面の運動を与える際に機器本体が設置場所から移動する必要がない。そこで機器本体が設置場所から移動せず、座面の動きのみで、体幹に対する他動運動を与えるリハビリテーション機器の開発をめざし、試作したパラレルリンク型アクチュエータの外観を図14に示す。アクチュエータは2枚の厚さ5 mmの亚克力円板、6本のEFPA、6個の圧縮コイルバネから構成される。6本のEFPAは、円板に対し半径20と65 mmの位置に設置角度が45度で交差を形成するように放射状に配置され、6個の圧縮コイルバネ(外径20 mm、長さ12 mm、ばね定数200 N/m)は圧縮された状態で中心から半径65 mmの位置に60度毎に亚克力円板に固定されている。また、圧縮バネによりクッションと同様に自然に垂直負荷を支えることができる。図15に試作アクチュエータの動作の様子を示し、図16と17にそれぞれ加圧EFPAと並進移動方向と湾曲方向の関係を示す。図15の①と②に示すように、上部円板(座面)は水平を保ったまま放射状方向への並進動作が可能であり、図16に示すように、加圧EFPAの組み合わせにより放射状の6方向への水平移動が可能である。この水平移動はEFPAの2本または4本加圧によって動作を実現しており、2本加圧に比べ4本加圧の方が変位は大きくなることを確認している。また図15の④と⑤に示すように、座面に傾斜を生

じるような湾曲動作も可能である。また、図17に示すように水平移動と同様に6方向への湾曲が可能である。ここで、500 kPa印加時の最大水平変位と傾斜角はそれぞれ38.5 mmと27度であることを確認している。Fig. 6の③と⑥は、それぞれ無負荷時と98 Nの負荷時での伸長動作の様子である。試作アクチュエータはEFPAの6本加圧により伸長が可能で、98 Nの負荷を与えた状態でも十分に動作可能であることを確認している。

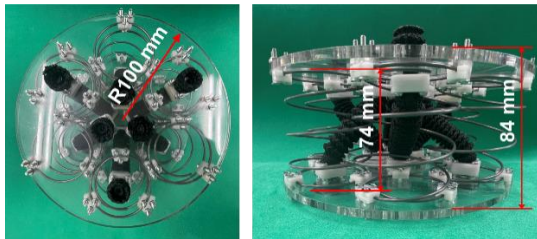


図14 パラレルリンク型アクチュエータの外観

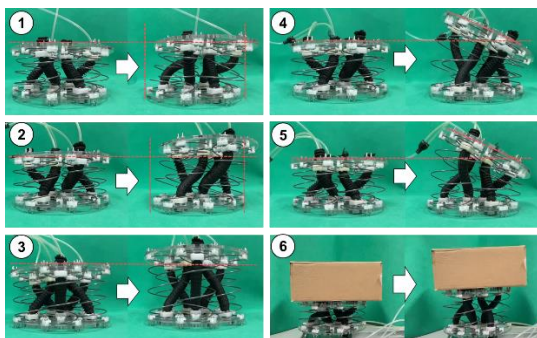


図15 試作アクチュエータの動作の様子

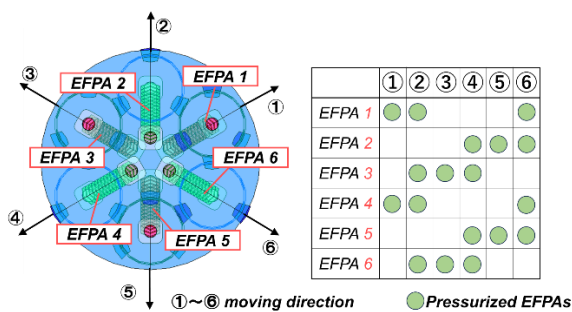


図16 試作アクチュエータの並進移動方向と各EFPAの駆動パターン

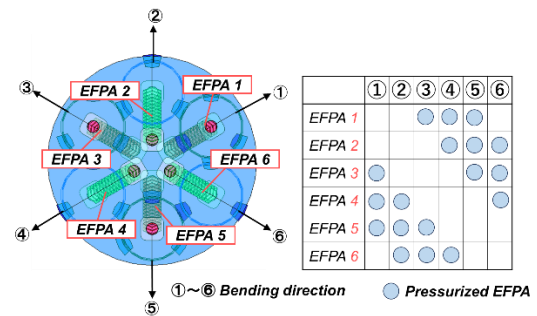


図17 試作アクチュエータの湾曲方向と各EFPAの駆動パターン

6. 結言

ゲームをしながら体幹訓練を行うことを目的として、可動クッションのように並進運動や振動、傾斜を与えることのできる座面シミュレータの開発をめざした本研究は以下のように要約される。実際に人を乗せることを想定し、十分な可搬力を得るため、放射状に18脚を配置した18脚移動ロボットを提案・試作し、実際に負荷を与えた状態での検証実験を行った結果、移動ロボットは、392 Nの負荷時でも、並進動作や回転動作が可能であることを確認した。また、機器本体が設置場所から移動せず、座面の動きで、体幹訓練のための他動運動を与えるリハビリテーション機器の開発をめざし、コイルバネと6本のEFPAを用いたパラレルリンク型ソフトアクチュエータを提案・試作した。その結果、試作したアクチュエータは垂直負荷に対してクッションのように自然と支える柔軟性を有した状態で、6方向の水平移動と湾曲動作および負荷(98 N)に対する持ち上げ動作が可能であることを確認した。

今後の課題として、加速度センサなどを用いて、試作機器やロボットが体幹訓練用の機器としての有用性について検証する予定である。

参考文献

- 1) <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2015/html/zenbun/index.html>, 高齢社会白書(全体版), (2015).
- 2) M. Takaiwa, T. Noritsugu and D. sasaki, Training Simulator For P.T. In Wrist Rehabilitation Using Pneumatic Parallel Manipulator, Proc. FLUCOME2013, OS4-01-1. pdf, pp1-8, (2013).
- 3) 小林宏・鈴木秀俊・伊庭雅弥・長谷川翔：上肢動作補助用マッスルスーツの肩機構開発と姿勢制御手法の提案, 計測自動制御学会論文集, Vol. 42, No. 4, pp. 376-385, (2006).
- 4) 赤木徹也・堂田周治郎：ロッドレス型柔軟空気圧シリンダの開発とその応用, 日本機械学会論文集 (C

- 編), Vol.73, No.731, pp.2108-2114, (2007).
- 5) S. Dohta, T. Akagi, A. Ando, F. Zhao and C. Liu, Development of flexible spherical actuator controlled by low-cost servo valve and embedded controller, *Journal of Procedia Engineering*, Vol.41, pp.127 -133, (2012).
- 6) S. Dohta, T. Akagi, C. Liu and A. Ando, Development and Control of Flexible Spherical Actuator Using Flexible Pneumatic Cylinders, *International Journal of Advanced Mechatronic Systems*, Volume 5, No.3, pp.184-192, (2013).
- 7) Y. Matsui, T. Akagi, S. Dohta, M. Aliff and C. Liu, Development of Portable Rehabilitation Device Using Flexible Spherical Actuator and Embedded Controller, *Lecture Notes in Electrical Engineering 293*, Volume 1, Springer, pp.231-238, (2014).
- 8) Y. Matsui, T. Akagi and S. Dohta, Development and Control of Flexible Spherical Actuator for Portable Rehabilitation Device, *International Journal of Materials Science and Engineering*, Vol.3, No.1, pp.49-54, (2015).
- 9) W. Tian, C. Jhan, M. Inokuma, T. Akagi, S. Dohta, and S. Shimooka, Development of a Tetrahedral-Shaped Soft Robot Arm as a Wrist Rehabilitation Device Using Extension Type Flexible Pneumatic Actuators *Journal of Robotics and Mechatronics* Vol.32 No.5, pp.931-938, (2020).
- 10) K. Hase, T. Akagi, S. Dohta, T. Shinohara, W. Kobayashi and S. Shimooka, Development of Six-Legged Mobile Robot Using Tetrahedral Shaped Pneumatic Soft Actuators, *JFPS International Journal of Fluid Power System*, Vol.15, No.1, pp.33-39, (2022).

Proposal of 18-Legged Mobile Robot and Parallel Link-type Soft Actuator for Home-based Simulator

Yuma Adachi , Tetsuya Akagi^{1)*}, Feifei Cho¹⁾, Masashi Yokota¹⁾,
and Takashi Shinohara²⁾

Department of Systems Science, Graduate School of Science and Engineering

¹⁾*Department of Information Science and Engineering, Faculty of Information Science and Engineering,*

²⁾*Design and Manufacturing center, Organization for Reserch Development and Outereach*

Okayama University of Science,

1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan

(Received September 24, 2024; accepted October 31, 2024)

According to Japanese elderly society and lower birth rates, a healthcare support device that can provide passive exercise to a patient at home or hospital without any caregivers has been desired. In the previous study, a Tetrahedral-Shaped Soft Pneumatic Actuator (it is called “TSA” for short) using three Extension type Flexible Pneumatic Actuators (it is called “EFPAs” for short) was proposed and tested as a healthcare support device for wrist. Also, K. Hase developed the six-legged mobile robot that consists of six TSAs. The robot can be available to use a core training and amusement machines based on video game for patients or elderly. The previous mobile robot consists of six TSAs. The control system that consists of the previous robot and 18 on/off valves was also reported. The sequential driving pattern for moving forward and rotating in clock-wise and counter clock-wise was investigated. As a result, it could be confirmed that the previous robot could move toward six horizontal directions and rotate toward both clock-wise and counter clockwise. However, the previous six-legged mobile robot lacks the load capacity to carry the patient on board. Therefore, in order to increase the carrying load per plane unit area of the robot, a miniaturized TSA which was increased maximum generated force of 20 N compared to the previous one was developed.

In this study, an 18-legged mobile robot that consists of 18 miniaturized TSAs was proposed and tested. As a result, it can be confirmed that the improved robot can translate and rotate by changing driving pattern of each EFPA as same as the previous robot. By increasing the number of legs per plane unit to get enough carrying force of human, the estimated lifting force of the 18-legged robot is improved to 2700 N, that is 3.2 times compared with the previous one. Also, it can be confirmed that the robot is capable of translational and rotational motion even under a load of 392 N. In addition, in order to develop an actuator that can give translational force, inclined angle and vibration to the seat without mobility, a parallel link-type soft actuator that consist of six EFPAs and six coil springs was proposed and tested. The driving test was carried out. As a result, it can be confirmed that the upper plate of the tested actuator can move horizontally toward six radial directions every 60 degrees and bend toward six radial directions every 60 degrees by changing pressurized EFPAs.

Keywords: Extension Type Flexible Pneumatic Actuator, Tetrahedral-shaped Flexible Pneumatic Actuators, 18-legged mobile robot, Parallel Link-type Soft Actuator.