

6 脚移動ロボット用簡易型脚姿勢計測センサの開発と制御システムの省力化

長谷 建汰・赤木 徹也*・趙 菲菲*・篠原 隆**

岡山理科大学大学院工学研究科知能機械工学専攻

*岡山理科大学情報理工学部情報理工学科

**岡山理科大学サイエンスドリームラボ

(2022年10月20日受付、2022年12月5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³⁾が望まれている。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バ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⁵⁾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。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)などがい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。本研究ではこれらの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に注目し、これを用いたバーチャルシミュレータなどVR関連機器の開発について検討した。すなわち、このTSAを脚として使用するクッション型のVRシミュレータなど体幹訓練用の健康支援機器の開発を目的として、まず並進や回転動作などを加えることのできる6脚移動ロボットを開発した¹⁰⁾。このロボットはシーケンス動作により各脚が駆動され、試行錯誤的に並進・回転運動のパターンを検証している。しかし、今後、歩容解析などから求めた最適歩容パターンなど、脚自体の動的な動きを制御する必要がある。そこで、脚の姿勢制御のため、TSAの湾曲や伸長を定量的に計測できるセンサの開発を検討する。また、脚の姿勢制御の場合、各EFPAに対して給気・排気・保持の3状態を実現する必要があり、少なくとも1本あたり2個のOn/off弁(合計で6個)が必要であり、すべての脚の制御では36個の弁が必要になるなど大規模な駆動システムになってしまう。そこで本研究では、弁の個数を減らして所望の動作を実現できる駆動制御システムの省力化についても検討する。

2. 6脚移動ロボット¹⁰⁾

TSAに関して田ら⁹⁾が開発した四面体型リハビリテーション機器について紹介し、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の構造と動作原理やその姿勢制御について述べる。

図1に伸長型柔軟空気圧アクチュエータの外観と構造を示す。EFPAは、シリコンゴムチューブ(外径10mm, 内径8mm, 長さ311mm)を軸方向にのみ伸縮する蛇腹状のナイロン製のスリーブ(株式会社直村企画 びっくりホースプロ)で覆い、その両端を樹脂製のコンネクタで固定した簡易な構造のアクチュエータである。動作原理は、供給圧力をEFPAに加えると、内部のシリコンゴムチューブが膨らみ、周方向および軸方向に向かって伸びる。しかし、蛇腹状のナイロン製スリーブにより、周方向への伸びは拘束され、軸方向のみに伸びることになる。また、排気を行うと内部のシリコンゴムチューブの復元力により、EFPAは自然長へと戻る。このEFPAは自然長の約2.5倍伸長し、ゴムチューブの復元弾性力により約20Nの最大引張力が得られる。

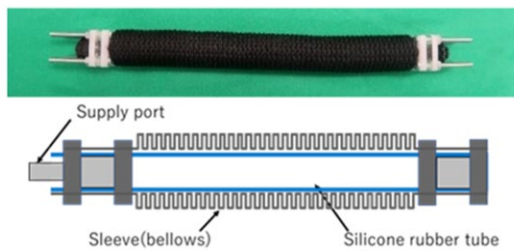


図1 伸長型柔軟空気圧アクチュエータ (EFPA) の外観と構造

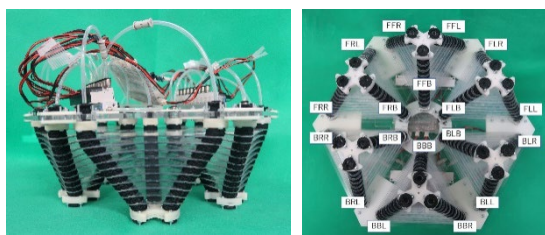


図2 開発した6脚移動ロボットの外観

図2に、開発した6脚移動ロボットの側面と背面写真を示す。機器は6個のTSAの正三角形の底面部を、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115mm, 横410mm, 縦360mmの一辺が210mmの六角形状で、質量は2.85kg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60deg. 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(株式会社Renesas, SH7125)で駆動される18個のON/OFF弁(株式会社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、6方向への直動運動や時計回り/反時計回りの回転などの動作を実現する。

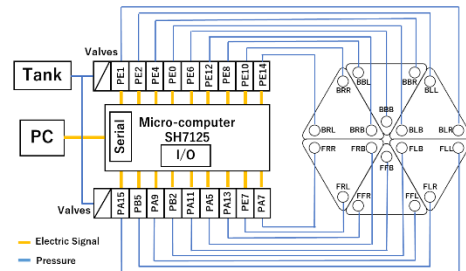


図3 6脚移動ロボットのシステム構成図

図3に6脚を有する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(株式会社Renesas, SH7125)と18個のON/OFF弁(株式会社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連のマニホールドタイプの弁(株式会社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。

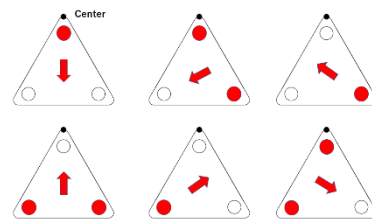


図4 脚の湾曲方向

機器の動作パターンの決定では図4に示すように一つの脚の湾曲方向を6方向として考え、機器の移動方向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移動方向を決定した。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シーケンス動作により各脚が駆動され、試行錯誤的に並進・回転運動のパターンを検証した¹⁰⁾。しか

し、今後、歩容解析などから求めた最適歩容パターンなど、脚自体の動的な動きを制御する必要があるが、脚であるTSAの湾曲や伸長を定量的に計測できるセンサが必要不可欠である。また、脚の姿勢制御では、各EFPAに対して給気・排気・保持の3状態を実現する必要があり、少なくとも1本あたり2個のOn/off弁が必要で、1脚あたり6個の弁が必要になり、6脚では合計36個の弁が必要になる。そこで本論文では、弁の個数を減らして所望の動作を実現できる駆動制御システムの省力化についても検討する。

3. 非接触型変位センサ内蔵型TSA

脚の姿勢を計測する簡易姿勢センサの開発として、新たに試作した姿勢センサを内蔵した四面体型柔軟空気圧アクチュエータの構成を図5に示す。改良TFAは、3本のEFPAを用いた従来のTSA、1個のリング状磁石(外径24mm, 内径17.5mm, 厚み1mm)と1個の磁気センサとなるホール素子(Allegro Micro Systems Phil Inc. A1324 LUA-T)からなる変位センサから構成される。TSAのサイズは縦156mm, 横176mm, 高さ80mm, 質量0.35kgである。TSAは、従来のもの¹⁰⁾と同様に3本のEFPAを9枚のPET拘束板で拘束し、頂点部から1~9枚目は厚さ1mmのPETシート, 10枚目には厚さ5mmのPETシートを用いた。また、土台に相当する11枚目のシートには厚さ3mmの亚克力製プレートに3本のEFPAを四面体の底辺を除く3辺に配置し、拘束することで構成されている。

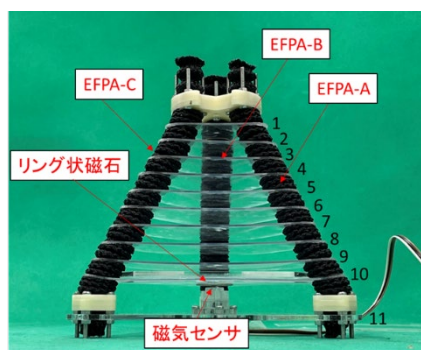


図5 TSA (脚) 単体の外観と構成

図6にPET拘束シートの四面体型アクチュエータの先端部分からのシート番号とEFPAを配置する中心からの半径の関係を示す。図6に示すように徐々に配置半径が変わるシートでEFPAの蛇腹部分を3個毎に拘束することで、水平から約60deg.の傾斜をつけてEFPAを配置することができ、この傾斜をつけた配置と3本のEFPAを互いに拘束することで、EFPA内のゴムチューブの伸長方向のバネ弾性力を水平方向と垂直方向に分割でき、両方向に対する剛性を確保している。TFPAの動作原理は、以前のものと同様にEFPAを1本または2本を加圧すると、

図4に示すように放射状に6方向での湾曲方向角に湾曲できる。また、3本のEFPAを加圧すると垂直方向への伸長動作が可能である。

図7に11枚目に相当する磁気センサ付き土台と10枚目拘束シートの外観とリング状磁石と磁気センサの配置を示す。変位センサの基準面(0mm位置)に相当する11枚目の亚克力プレートと10枚目の板厚3mmの拘束シート下面との距離が初期値で2mmになるように設置した。これは、磁気センサとリング状磁石との距離がセンサの計測範囲1~7mmを超えないようにするためである。

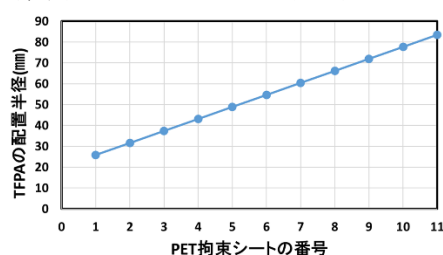


図6 PET拘束シートの番号とEFPAの配置半径の関係

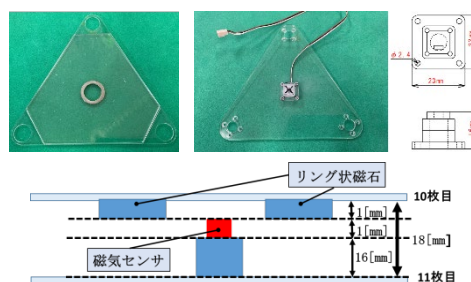


図7 磁気センサ付き土台と10枚目拘束シートの外観とリング状磁石と磁気センサの配置

図8に、EFPAを1本または2本加圧した場合の変位センサの変位に対するTFPAの湾曲角の関係を示す。図の○は加圧、△は減圧を示す。色の違いはEFPAの加圧本数を示す。予備実験からEFPA-A, B, Cのどの組み合わせを用いた場合でも変位-湾曲角特性は図8のように1本もしくは2本加圧と同じ特性になることを確認している。

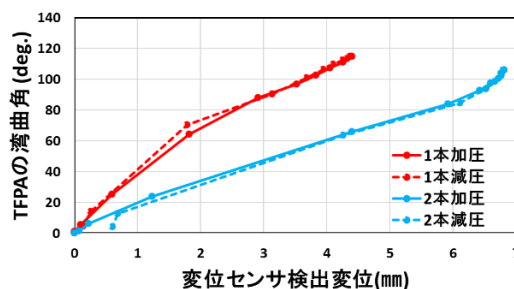


図8 変位センサ検出変位に対するTFPAの湾曲角の関係

図8からEFPAの加圧位置による特性変化はなくなり加

圧本数によって拘束板のPETシートにあるリング状磁石とアクリル製プレートの磁気センサの間隔が変化するためそれぞれの最大変位は約1.6倍の差があるが、それぞれの最大湾曲角の差は小さいことがわかる。また、湾曲角はTFPAが湾曲するにつれて変位に対して線形な関係を示し、ヒステリシスが少ないことがわかる。図8の結果から変位センサの変位に対するTFPAの湾曲角の近似式を導出する。ここで、マイクロコンピュータの処理能力を考慮して二次関数として近似する。また、以上の近似式より得られた変位 X に対する湾曲角 β_1, β_2 の関係は以下の式で与えられる。

1本加圧の場合

$$\beta_1 = -3.322 X^2 + 39.786 X + 1.755 \quad (1)$$

2本加圧の場合

$$\beta_2 = 0.232 X^2 + 13.228 X + 1.520 \quad (2)$$

また、図9にTFPA内のEFPAを3本加圧した場合の垂直変位 Y (高さの変化分)とセンサ検出変位 X の関係を示す。また、図9から求めた近似式を次式に示す。

$$Y = 2.511 X^2 + 4.254 X + 2.416 \quad (3)$$

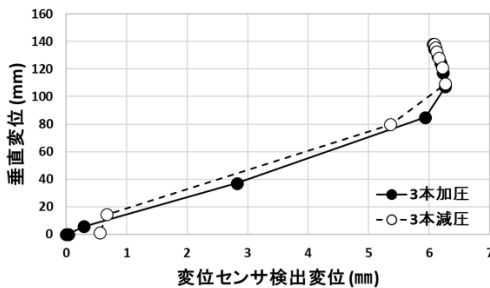


図9 変位センサ検出変位に対するTFPAの垂直変位の関係

4. 姿勢制御システムの省力化

図10にTSAの姿勢制御システムの構成を示す。システムは、複数のTSAを脚として利用する6脚移動ロボットの駆動システムのコンパクト化と、移動に対して各TSAは6方向の湾曲動作と伸長動作しか利用しない点を考慮して、使用する弁の個数を減らす省力化を考えた。システムの構成は、前述のセンサ付きTSAと、TSA内の3本のEFPAの給気/排気の切り替え用の3ポートOn/Off弁(株KOGANEI, G010E-1)が3個、この3個のOn/Off弁に対して給気と保持を制御する1個の2ポートOn/Off弁と、組込コントローラであるマイクロコンピュータ(株ルネサスエレクトロニクス, SH7125)から構成される。3個の3ポートOn/Off弁の出力口は、それぞれ3本のEFPAに接続され、その供給口は1つの共通供給管に束ねられ、その共通供給管への供給/保持は1個の2ポートOn/Off弁により切り替えを行う。この方法により従来1本のEFPAに

対して供給/排気/保持の3動作を実現するため、2個、全体として6個のOn/Off弁が必要であったが、今回の改良で4個で制御可能となる。

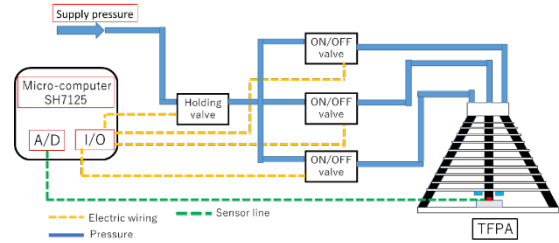


図10 TSAの姿勢制御システムの構成

このシステムを用いた姿勢制御は、以下の通りである。まず湾曲状態での姿勢制御では、目標となる6方向の湾曲方向角から駆動するEFPAを決め、3個の3ポートOn/Off弁から特定の弁をI/Oポートとトランジスタを介して駆動する。また、あらかじめ設定した目標湾曲角に対して、1本もしくは2本のEFPAを加圧した場合の近似モデル(式(1), (2)参照)をマイクロコンピュータに組み込み、変位センサからの出力変位をA/D変換器を介して取り込み、モデルを介してTFPAの制御湾曲角を取得する。その後、あらかじめ設定した目標湾曲角との偏差 e_i を求め、制御則に従って供給/保持/排気動作を決めTFPAのI/Oポートを介して各弁を駆動する。この際、供給動作は、加圧EFPAに相当するOn/Off弁をOn(給気)にした状態で供給/保持用の2ポートOn/Off弁を(供給)にすることで実現し、排気時は供給/保持用の2ポートOn/Off弁をOff(保持)にした状態で該当の3ポート弁を排気(Off)することで実現できる。また保持は、2ポート弁を保持(Off)にした状態で該当の3ポート弁を供給(On)することで実現できる。ここでこの供給/排気/保持の切り替えに用いた予見On/Off制御則を以下に示す。

$$u_{(i)} = e_{(i)} + \frac{kp}{\Delta t} (e_{(i)} - e_{(i-1)}) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} u_{(i)} > 2\text{deg.} & : \text{給気} \\ u_{(i)} < -2\text{deg.} & : \text{排気} \\ -2 \leq u_{(i)} \leq 2\text{deg.} & : \text{保持} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで $u_{(i)}$ は現在の制御入力、 $e_{(i)}$ は現在の目標湾曲角と制御湾曲角の偏差、 kp は予測時間、 Δt はサンプリング周期を示し、このシステムでは2msである。また、 $e_{(i-1)}$ は1サンプル前の偏差を示す。制御では制御入力 $u_{(i)}$ の閾値は $\pm 2\text{deg.}$ とし、その値が 2deg. より大きい場合は供給、 -2deg. より小さい場合は排気、 $\pm 2\text{deg.}$ 内なら保持を行う。

次に姿勢制御実験について述べる。実験では目標湾曲角を 90deg. 一定として、加圧EFPAを $A \Rightarrow A \& B \Rightarrow B \Rightarrow B \& C \Rightarrow C \Rightarrow C \& A$ の順に2秒毎に変えることで湾曲方向角を

60deg. 毎に変える首振り運動を行った. その制御の様子を図11に示し, その制御結果として, TFPAの目標湾曲角と制御湾曲角の時間応答を図12に示す. 図13中の実線は制御湾曲角, 点線は目標湾曲角を示す.

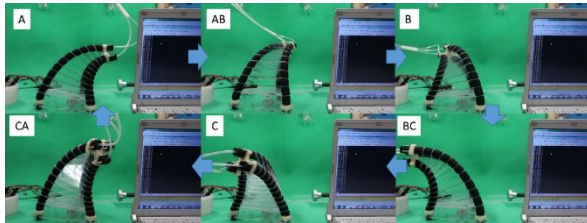


図11 TSAの首振り動作における姿勢制御の様子

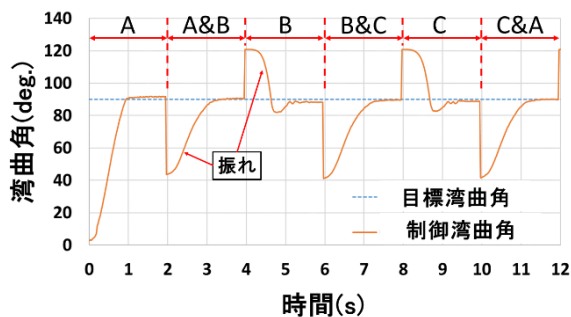
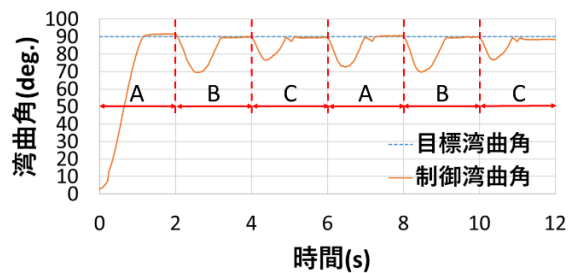


図12 TSAの首振り動作における湾曲角の制御結果

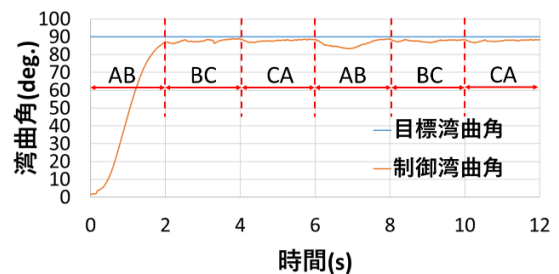
図11から一定湾曲角で湾曲方向角が60deg. 毎に変わる首振り運動ができていることがわかる. また, 図12から湾曲角はリアルタイムで計測可能で, さらに目標湾曲角に追従しようとしていることが確認できた. しかし, AからA&Bの1本加圧から2本加圧に切り替える過渡状態で湾曲角が大きく振れている(オーバーシュートしている)ことがわかる. これは, 湾曲方向角の変更による湾曲角の変化のように思えるが, 図11の実際の動作の応答を観察する限り図12に示すような湾曲角が確認できない. つまり, この湾曲角変化は1本加圧の近似式が2本加圧の近似式に切り替わる際に生じる計測誤差も含まれるものだと考えられる.

そこでこのモデル化誤差の影響を調べるため1本または2本加圧のみを用いた首振り運動, つまり湾曲方向角を120deg. 毎に切替えた場合の姿勢制御を行った. 図13にその結果を示す. 実験では前回の目標値と同様に湾曲角を90deg. 一定として湾曲方向角を120deg. で2秒毎に変更した. 図13の(a)は1本加圧のみを使って湾曲方向角を切り替えた場合の制御結果を示す. 制御ではA⇒B⇒Cの順に加圧EFPAを2秒毎に切り替えている. また, 図13の(b)は, 2本加圧のみを使って湾曲方向角を切り替えた場合の制御結果を示す. この実験では, A&B⇒B&C⇒C&Aの順に加圧EFPAを2秒毎に切り替えている.

図13(a), (b)の両図から図12の応答に比べ湾曲角のアンダーシュートが小さく, 比較的良く追従していることがわかる. つまり, 図13の湾曲角の応答ではモデル切り替えによるモデル化誤差が含まれている可能性が高いことを示す. また, 図13(a)で示す1本加圧のみによる切り替えの場合は2本加圧の切り替えによる(b)の場合と比べると切り替えた際に湾曲角が振れる傾向がある. これは, 1本加圧の切り替えによる追従誤差の標準偏差は6.55deg. であるが2本加圧の切り替えによる追従誤差の標準偏差は1.38deg. と2本加圧による切り替えの方が誤差が少ない点から明らかである. これは, 1本加圧の場合, 2本加圧に比べ発生力が小さく, 加圧されていない他の2本のEFPA自体がTFPAの湾曲を妨げているからだと考えられる. そのため発生力が大きな2本加圧の場合は, 加圧されていない1本のEFPAによる湾曲の抵抗があるものの十分な発生力から比較的良好に追従できているものとする.



(a) 1本加圧(A⇒B⇒C)の場合



(b) 2本加圧(AB⇒BC⇒CA)の場合

図13 加圧TFPAが同じ条件での首振り運動における湾曲角の制御結果

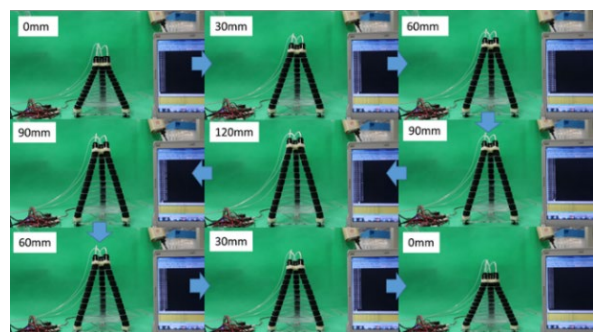


図14 垂直方向の追従制御の様子

また、垂直方向つまり高さ方向の追従制御も行った。図14に高さ方向の追従制御の様子を示し、図15に高さ方向への追従制御応答を示す。実験では、2秒毎に30mm毎の高さの目標値を変えさせTFPAを上下させた。図15中の破線は目標高さ(変位)、実線は制御高さを示す。図14と図15から変位センサにより高さ方向の制御も実現できていることがわかる。

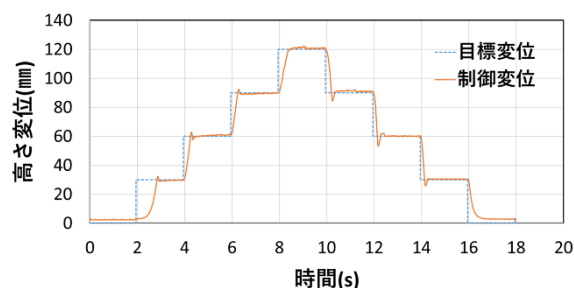


図15 高さ方向への追従制御応答

5. 結言

本研究では体幹強化用の健康支援機器としてクッション型VRシミュレータを想定した6脚移動ロボットの脚の姿勢制御を実現するために、各脚の湾曲・伸長を計測する非接触型センサを提案・試作した。リング状磁石とホール素子で構成される試作センサはTSAの底面部に配置され、実験からセンサ変位と湾曲角/伸長変位の特性を調べた。その結果、両特性ともヒステリシスが少なく良好な結果が得られた。また、この特性をモデルとしてマイクロコンピュータ内に組み込み、姿勢計測システムを構成した。さらに、試作TSAは加圧EFPAにより湾曲方向角が決まる点に注目し、3個の3ポート0n/off弁による加圧EFPAの切替と、3個の弁への共通供給管中の2ポート0n/offによる供給/保持操作を行うシステムを提案・試作し、TFPAの姿勢制御に必要な弁の数を従来の6個から4個に減らすことができた。また、近似モデルを組込んだ組込コントローラを用いて、TFAの姿勢制御を行った。その結果、目標湾曲角を90deg.一定にし、EFPAを2秒毎に変えることで湾曲方向角を60 deg.毎に変える首振り運動を実現した。さらに、目標高さを30mmずつ2秒毎に変える追従制御を行った結果、高さ方向への追従制御も実現可能であることを確認した。

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).

Development of Simple Attitude Measuring Sensor for Leg of 6-legged Mobile Robot and Simplification of Control System

Kenta Hase, Tetsuya Akagi*, Feifei Cho*, and Takashi Shinohara**

*Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Graduate School of Science,*

**Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Okayama University of Science*

***Science Dream Lab.,
Okayama University of Science,*

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

(Received October 20, 2022; accepted December 5, 2022)

Recently, the ratio of the Japanese elderly became more than 26 % in 2020. Under these circumstances, various assisting and rehabilitation devices to help welfare work for the elderly and disabled using pneumatic soft actuators have been actively developed. A pneumatic soft actuator is useful for, not only power assisted system but also a rehabilitation device. In the previous study, the Extension type Flexible Pneumatic Actuators (we call it “EFPA” for short) that could extend 2.5 times of its original length was proposed and tested. W. Tian developed the Tetrahedral-shaped Soft Actuator (we call it “TSA” for short) for wrist rehabilitation. Usually, a pneumatic actuator was often used for wearable and rehabilitation devices because it has an advantage of compliance based on air compressibility. Especially, a pneumatic soft actuator is more suitable because it has more advantages such as lighter-weight and more compliance based on flexibility. Based on this concept, the mobile robot using six TFAs for core training and amusement was also proposed and tested. The mobile robot that consists of six TSAs was proposed and tested. The control system that consists of the tested robot and 18 on/off valves was also proposed and tested. The sequential driving pattern for moving forward and rotating in clock-wise and counter clock-wise was investigated. As a result, it can be confirmed that the tested robot can move toward six directions and rotate toward both clock-wise and counter clockwise.

In the next step, to realize precise attitude control of the robot, it is necessary to develop the attitude measuring sensor to recognize bending angle and extension length of leg (TSA). In this paper, the construction and operating principle of the tested sensor that consists of a hall sensor and a ring-shaped magnet were described. As a simplification of the driving system for leg (TSA), the simple control system using the tested sensor, an embedded controller and 4 on/off valves was also described. As a result, the attitude control of the TSA by feedback of the tested sensor signal can be realized.

Keywords: Non-contact Type Bending and Extension Sensor, Sensor Using Ring-shaped Magnet and Hall Sensor, 6-legged Mobile Robot, Attitude Control, Extension Type Flexible Pneumatic Actuator