

水平移動可能なはしご昇降ロボット

足立 悠真・篠原 隆¹⁾*・赤木 徹也²⁾・趙 菲菲²⁾・横田 雅司²⁾

岡山理科大学 大学院 理工学研究科

1) 岡山理科大学 研究・社会連携機構 工作センター

2) 岡山理科大学 情報理工学部 情報理工学科

(2024年9月24日受付、2024年10月31日受理)

1. 緒言

ソフトロボットなど柔軟なソフトアクチュエータを用いて、人と接する環境で本質的な安全性を保つロボットの開発が近年進んでいる。また、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)~6)}。このような機器やソフトロボットに用いられるアクチュエータは、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⁷⁾⁸⁾が望まれている。特に空気圧駆動のソフトアクチュエータは空気圧の有するコンプライアンスを利用して人や壊れやすい対象物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⁹⁾。著者らは、空気圧駆動のソフトアクチュエータを用いた研究として、以前からリハビリテーション機器などの健康支援機器の開発を行ってきた¹⁰⁾¹¹⁾。例えば田ら¹¹⁾はよりシンプル・コンパクトで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を3本用いた四面体型アクチュエータを開発した。田ら¹¹⁾が用いた伸長型柔軟空気圧アクチュエータは自然長の2.5倍程度に伸長し、軽量で柔軟性を有したソフトアクチュエータである。特に自然長の2.5倍もの伸長動作を行うソフトアクチュエータは稀であり、大きな特長である。またこのアクチュエータは曲げ剛性が低いといった欠点を有していたが並列に配置した伸長型柔軟空気圧アクチュエータの蛇腹状被覆スリーブを利用して互いに拘束し合うことで、剛性の向上が可能であることを下岡ら¹²⁾が立証している。また羽根・下岡ら¹³⁾はこのアクチュエータの拘束板を工夫することによって特定の動きが可能なソフトアクチュエータを開発している。以上のように、伸長型柔軟空気圧アクチュエータは「軽量」「柔軟」「長変位」に加え、特定の動きをするアクチュエータが構成しやすいという利点がある。つまりアクチュエータの「自由度設定」の容易さがある。本研究ではこれら

ソフトアクチュエータの利点は福祉分野への応用だけでなく、様々な分野に応用できるものと考えている。例えば、ある対象物に接触をする状況においてアクチュエータ自身がその対象物を傷つけないことは重要な性質である。特に対象物が経年劣化などで壊れやすくなっている場合などはソフトアクチュエータの有効性がより増すものと思われる。また軽量であることも対象物を傷つけにくくする1つメリットである。アクチュエータなど可動部の質量が小さければ慣性力も小さく衝突等を生じても対象物へのダメージも少ない。以上の伸長型柔軟空気圧アクチュエータの利点を活かし、共同研究者の下岡ら¹⁴⁾は接触時に対象物が壊れやすく、容易に交換等ができないものに対して検査等を行うロボットへの応用を検討した。具体的には、検査対象として老朽化した煙突など建造物に設置された「はしご」など、雨風にさらされて人が登ること自体の安全性が確保されていないはしごを自動で昇降できるロボットの開発を行ってきた。しかし、はしごだけでなく、そもそも建物自体が十分な強度を持っていない場合や、原子炉の炉心内近くなど、検査に人間が立ち会えない場合も存在し、ロボット自身に水平方向への移動能力があることにより検査ロボットの有用性が増すものと考えられる。

そこで、本論文では、下岡ら¹⁴⁾の開発した「はしご自動昇降ロボット」をベースとして、水平移動可能なロボットに改良について述べる。

2. 従来のはしご昇降ロボット¹⁴⁾

図1に下岡ら¹³⁾が以前に開発した伸長型柔軟空気圧アクチュエータの外観と構造を示す。従来の伸長型柔軟空気圧アクチュエータはその英語名Extension Type Flexible Pneumatic Actuatorの略からEFPAと呼ぶことにする。EFPAは蛇腹状スリーブで覆ったシリコンゴムチューブ (外径11 mm, 内径8 mm) で構成されており、アクチュエータの端部のチューブ内に中子 (外径11.5 mm, 厚み3 mmの円板) を入れて両側から挟むこと

で固定している。動作原理はEFPAに圧力を加えると内部のシリコンチューブが膨張するが、蛇腹状のスリーブにより、軸方向の変形のみ拘束されるために、長手方向(軸方向)にのみ伸長する。この伸長率は蛇腹状スリーブのつまり具合に依存し、おおよそ自然長の2.5倍程度まで伸長する。圧力に対するEFPAの発生変位は大きなヒステリシス特性を有している。これは内部のゴムチューブとスリーブとの摩擦によるものである。またこのEFPAは曲げ剛性が低いため押出力が発生できないものの引張力は内部のゴムチューブの弾性に依存し、以前の研究では最大伸長(500 kPa印加)時の状態から大気開放した際の引張り力は約60 Nであることを確認している。

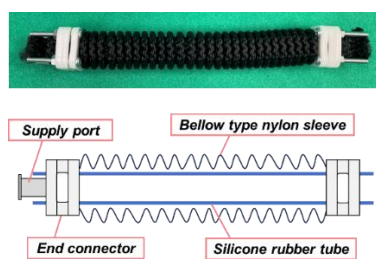
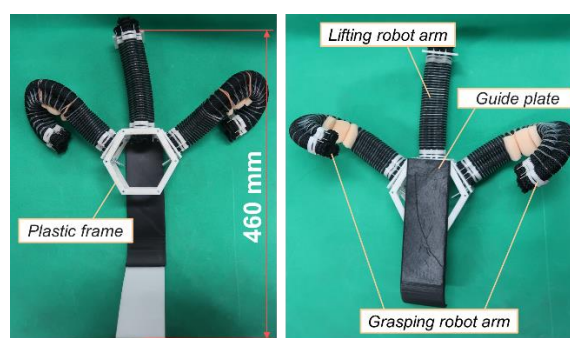


図1 EFPAの外観と構造図

図2に下岡ら¹⁴⁾が開発した従来のはしご自動昇降ロボットの外観を示す。ロボットは一边が55 mm、高さ55 mmの六角柱状の骨格フレーム(フレーム幅50 mm×10 mm)と支柱保持用のロボットアーム2本、自然長200 mmの従来の周拘束強化型EFPAであるはしご昇降用ロボットアームから構成される。はしご昇降用ロボットアームは六角柱の側面の一面に接続され、その左右面に2本の支柱保持用ロボットアームが接続されている。つまり3本のロボットアームはそれぞれ放射状に60度毎に配置されている。また、支柱保持用ロボットアームは無加圧時に2本の支柱に対して引っ掛かりを生じるように螺旋部がありロボットの裏面側に向くように配置している。さらに、はしごを保持する際の滑り止めとしてスポンジを内周側のEFPAに取り付けている。昇降用ロボットアームの先端には踏み機への引っ掛かり用に長さが35 mm、幅50 mmの短形状の爪が付いている。また、六角柱フレームの底面には降下時に踏み機の内側への入り込みを防止するため先端部に丸みのついた長さ270 mm(出っ張り部の長さは110 mm)の板を取り付けている。図3にはしご自動昇降ロボットの制御システムの構成を示す。システムは試作ロボットとロボットを操作するための4つのON/OFF弁(株式会社KOGANEI, G010E-1)とマイクロコンピュータ(株式会社Renesas, SH7125)、シリアル通信ユニット(株式会社FTDI, FT234X)から構成される。またこの制御システムはシリアル通信ケーブルを通じ

てPCと接続されている。ロボットの操作手順は以下の通りである。まず操作者はキーボードの操作等によりシリアル通信ケーブルを通じて文字コードをマイクロコンピュータに送る。マイクロコンピュータ内部では送られた文字コードに従い、事前にプログラムしておいたシーケンスプログラムを選択し、そのシーケンス動作に従って弁を操作する。これにより、操作者はボタン1つで連続してロボット昇降操作を実現できる。また図3に示す通り、ロボットの操作にはON/OFF弁を4個しか必要としておらず、はしごの昇り降りなどの複雑な動作を4種類の入力で実現できる。



(a) 上面図

(b) 底面図

図2 従来のはしご昇降ロボットの外観

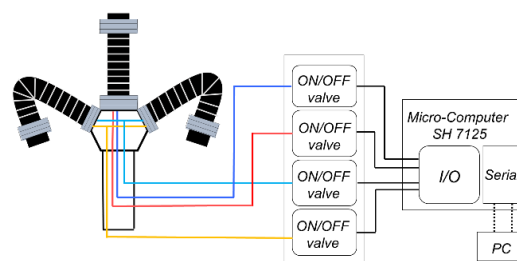
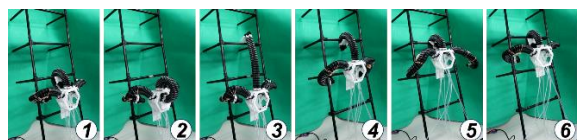


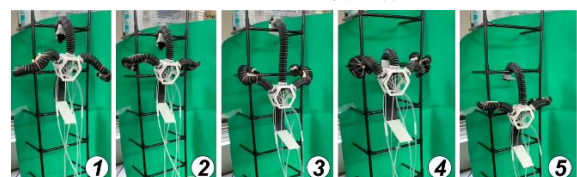
図3 従来のはしご昇降ロボットのシステム構成図

図4(a)に従来のはしご昇降ロボットのはしご上昇動作の様子を、図4(b)にはしご降下動作の様子を示す。はしご上昇動作では、まず図4(a)の①に示すように2本の支柱保持用アームで2本の支柱を保持し、さらに昇降用アームを踏み機に巻き付けてロボットを3箇所保持した状態から、②に示すように昇降用アームを反り返す。その後、反り返った状態から③に示すように伸直線状に伸長させ、先端部の爪を一段上の踏み機の上側に配置する。その後、④に示すように昇降用アームを上側の踏み機に巻き付けロボット本体を上方向へ引っ張る。その際、⑤に示すように支柱保持用のロボットアームを反り返し、支柱を解放し、昇降用ロボットアーム1本で本体を支えた状態で⑥に示すように2本

の支柱保持用アームが再度、支柱を保持することで1段分の踏み栈を登ることができる。この動作を繰り返すことではしごの昇が可能となる。また、降下の場合には逆の動作を行うことで実現可能である。



(a) はしご上昇動作



(b) はしご降下動作

図4 はしご昇降動作の様子

3. EFPAを用いた腕・脚兼用アクチュエータ

本研究は下岡ら¹³⁾が開発したアクチュエータを腕・脚兼用のアームとして用いるため、アームに様々な動作をさせる必要がある。そこで、従来の3本のEFPAで構成されていた3本方式アームを、4本のEFPAを独立して操作する4本方式に変更することを考える。図5に提案する腕・脚兼用ロボットアームの外観と拘束プレートの寸法を示す。ロボットアームは、自然長183 mm(蛇腹36山分)の4本のEFPA中心が一辺22 mmの正方形を形成するように並列に配置し、図5の右に示す拘束板で1山毎に拘束したEFPA集合型のアクチュエータである。またロボットアームの先端には、はしごの踏み栈(以下、踏み残と略記)への引っ掛かり用に出っ張り部の長さが34 mm、幅44 mmの矩形形状の爪が付いている。図6にロボットアーム内の2本のEFPAを0から300 kPaまで加圧した際の湾曲動作の様子を示す。図6から試作ロボットアームは踏み栈への巻き付け動作や柱の保持動作を行うための十分な湾曲動作が実現できていることがわかる。また、図7にロボットアーム内の1本、2本、3本のEFPAを0から500 kPaまで加圧・減圧した際の印加圧力に対する湾曲角の変化を示す。図6から試作ロボットアームの湾曲角は印加圧力に比例して大きくなり、ヒステリシスを有することがわかる。また、EFPA 2本加圧時では300 kPaで最大226度まで湾曲することがわかる。図8にロボットアーム内の加圧するEFPAの位置と湾曲方向角(アームが湾曲する方向を表す角度)の関係として、図中の赤丸の位置にあるEFPAに250 kPa加圧した際の湾曲状態の平面図を示す。さらに、矢印は湾曲方向を示している。加圧EFPAのパターンは、無加圧時と全加圧による伸長を含め16パターン(4bit分)あり、図8に示す

ように多彩な動きが実現できることがわかる。

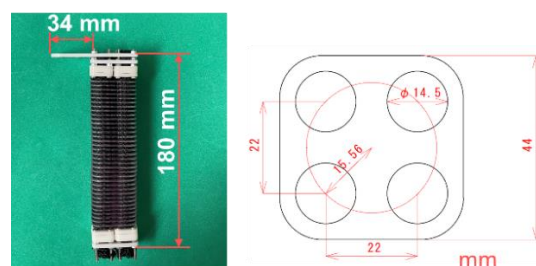


図5 腕・脚兼用ロボットアームの外観と拘束プレートの寸法

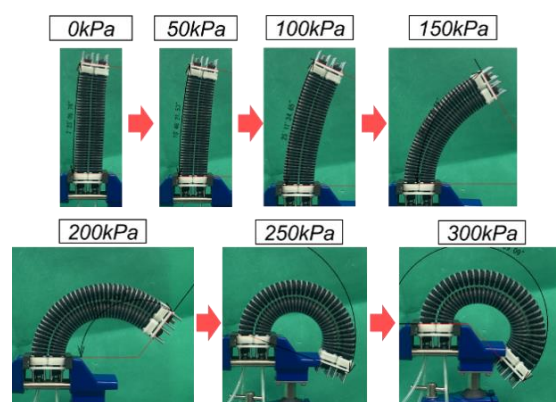


図6 腕・脚兼用ロボットアームの湾曲動作の様子

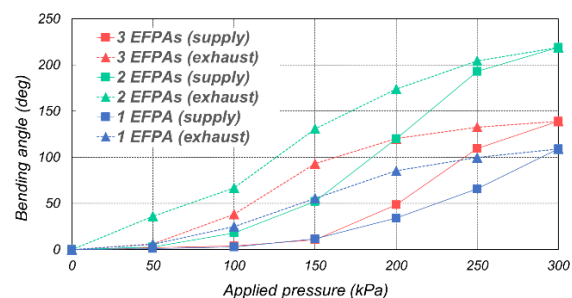


図7 腕・脚兼用ロボットアームの印加圧力と湾曲角度の関係

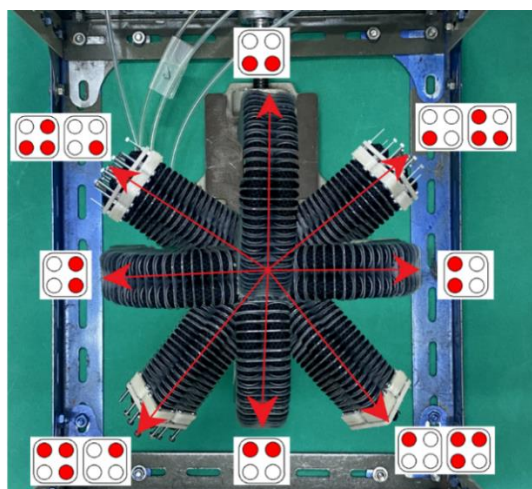
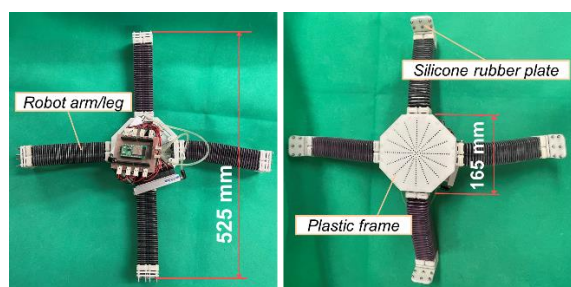


図8 加圧EFPAの位置と湾曲方向角(250 kPa印加時)

4. 水平移動可能なはしご昇降ロボット

図9に試作した水平移動可能なはしご昇降ロボットの外観を示す。試作ロボットは幅165 mm、縦59 mm、高さ60 mmの八角形の骨格フレームと4本の腕・脚兼用ロボットアームから構成される。各ロボットアームは八角形の側面に十字形に配置されている。



(a) 上面図

(b) 底面図

図9 水平移動可能なはしご昇降ロボットの外観

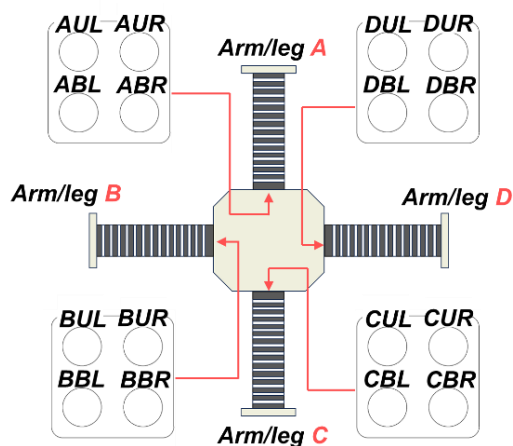


図10 試作ロボットの各EFPAの操作上の名称

図10にロボットの操作等に必要なロボットアーム内のEFPAの操作上の名称を示す。図10ではロボットアームの先端断面を用いて各EFPAの名称を示している。図10に示すように4本のロボットアームの前側(図では上側)をA、右側をD、左側をB、後側をCと呼ぶことにする。各EFPAは左上、右上、左下、右下をそれぞれの英語の頭文字を用いて左上:(Upper Left=)UL, 右上:(Upper Right=)UR, 左下:(Bottom Left=)BL, 右下:(Bottom Right=)BRと表し、ロボットアーム各A, B, C, Dも合わせてそのアルファベットで加圧位置を指定する。図11に、試作ロボットの制御システム構成図を示す。制御システムは、16個のOn/Off弁(KOGANEI(株), G010M8F), 組み込みコントローラ(Espressif systems(株), ESP32-R00M-32E)と試作ロボットから構成される。ロボットの操作はBluetooth経由でタブレットやスマートフォンから送られた文字コードに従い、マイクロコンピュータ内にあらかじめ設定していたシーケンスプログラムを選んで行われる。

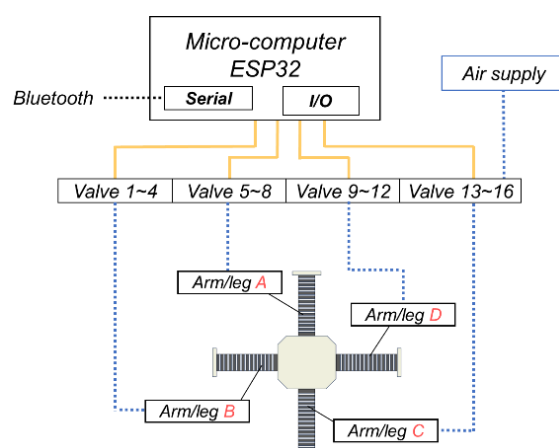


図11 試作ロボットの制御システム構成図

5. はしご昇降試験

本研究では、表1に示すあらかじめ設定した10種類の操作コマンドをタブレットで操作することにより試行錯誤的に試作ロボットのはしご昇降試験を行った。図12にはしご上昇試験の様子を示す。はしご上昇動作では、アームAを踏み機への巻き付け動作を行う昇降用アームとし、アームBとDを支柱保持用アームとして使用した。またアームCは床面や踏み機の押し出し動作を行うことではしごを上昇する際の推進力を与えるアームとして使用した。試行錯誤的に試験を行った結果、図12に示すように試作ロボットはわずかではあるがはしごを上昇することができることを確認した。現時点では、はしごを一段上げるために必要な動作が多くスムーズな上昇動作は実現できていないため、今後改良する必要

がある。図13に試作ロボットのはしご降下試験の様子を示す。降下試験では、従来のはしご昇降ロボットと同様の手順を用いて降下動作を行った。図13に示すように試作ロボットは、上昇動作とは異なりスムーズな降下ができることを確認した。

表1 はしご昇降動作に使用する操作コマンド

	Operation	Operation of valves
1	Bending of arm/leg A	AUL and AUR on
2	Bending of arm/leg A	ABL and ABR on
3	Extending of arm/leg A	AUL,AUR,ABL and ABR on
4	Exhaust of arm/leg A	AUL,AUR,ABL and ABR off
5	Extending of arm/leg C	CUL,CUR,CBL and CBR on
6	Exhaust of arm/leg C	CUL,CUR,CBL and CBR off
7	Bending of arm/leg C	CBL and CBR on
8	Bending of arms/legs B and D	BUL,BUR,DUL and DUR on
9	Bending of arms/legs B and D	BUL,BUR,BBL,CUL,CUR and CBR on
10	Exhaust of arms/legs B and D	BUL,BUR,BBL,BBR,CUL,CUR,CBL and CBR off

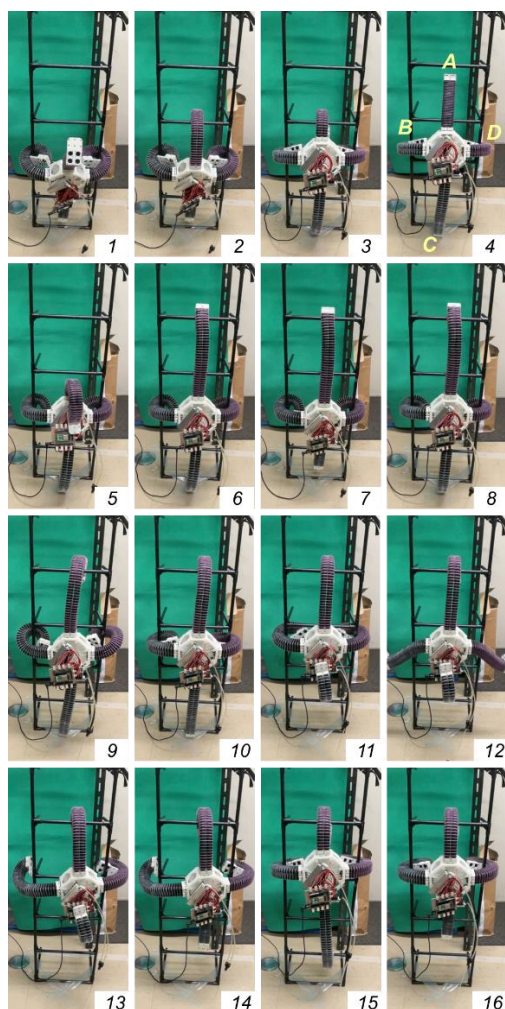


図12 試作ロボットのはしご上昇試験の様子

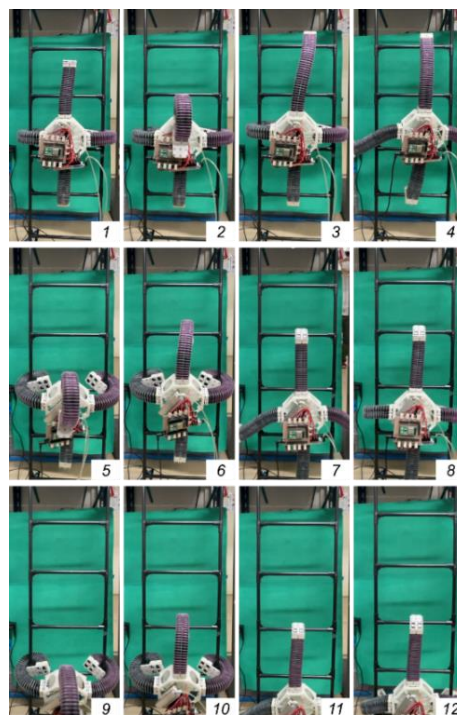


図13 試作ロボットのはしご降下試験の様子

6. 水平移動試験

試作ロボットを用いた水平歩容のコンセプトを以下に述べる。本ロボットは4本腕/脚のロボットであり、4脚の動物と同じ歩容を利用して移動が可能と考える。そのため馬や犬などと同様に立ち上がって歩容を行うことも考えられ、これらの4脚動物は脚が重力方向に向いて配置され、自然時に立脚状態であるのに対して、このロボットは水平に、さらに放射状に配置している。形状としては水の中や水表面に浮かんでいるカエルの後足などの配置に近いことになる。またカエルの前足の動きもほぼ水平に動かすため、本研究のロボットの脚/腕アームの配置はカエルの前後脚の配置に近いといえる。そこでカエルなどのように、水中での生物の平泳ぎ動作を模倣してロボットの水平移動の歩容を検討する。具体的には平泳ぎ型のほふく前進が可能であると考えられる。以上の戦略をもとに具体的な歩容について考える。“カエル”と同じ水泳動作を実現する際、進行方向を2つのアームの間として考えるとABとCDのアームを一对として対称の動きをさせることが有効であると考えられる。アームABの間の方向に進むと考えた場合、ABとCDのアームはともにロボットの進行方向に水平に湾曲し推進力を加える準備をした状態で、その後、進行方向とは逆方向に床面を押し付けながら湾曲することでロボットの本体を少し浮かせながら前進方向に力を加えることができると考えた。また、このロボットは、押し付けながら力を加える際には地面との摩擦

を利用して前進するためにアームの爪を使用する。このような動きは、狭い空間での移動に適していると思われる。また、不規則な地形などを移動する際にはアームを上方に上げながら進行方向に湾曲させるなどの工夫が必要であると考えられる。

以上の歩容コンセプトをもとに、基礎実験として、「四脚歩行パターン」、「三点支持歩行パターン」、「平泳ぎパターン」の3種類を試した。「四脚歩行パターン」では4本のアームを床面方向に湾曲させた立位姿勢の状態から、1本ずつアームを前に出す犬や猫などの四脚歩行をイメージした動作であり、実際に適用してみた結果、1本アームを動かすと、筐体のバランスが崩れ倒れるなど歩行には到らなかった。「三点支持歩行パターン」は、常に3つのアームが地面に湾曲し自重を支え、1本のアームだけが移動して新しい位置に移動し支えることで移動する手法である。例えば、アームA, B, Cで本体を支えた状態で、アームDだけが床面に平行にスライド移動し、アームDが新しい支持位置に到達したら、次は別のアームが同様の動作で別の支持位置にスライド移動する方式である。この方法を試みた結果、多少の推進動作は実現できたものの、ロボットの自重を支える際にバランスを崩しやすく、歩幅を大きくできにくいため、移動効率が悪く断念した。最後に、「平泳ぎパターン」は、水平歩容の戦略にあるように、水中でのカエルの平泳ぎと同じ動作である。表2に水平移動を目的とした平泳ぎ動作における各EFPAの駆動パターンを示し、図16にロボットの水平移動の様子を示す。表2中の塗りつぶしは加圧(供給)を示し、白ぬきは排気を示す。表2に示す通り開始から1.4秒間は床面に平行な湾曲を行わせるため各アームEFPA 2本加圧を行い、その後床面に対して押し付けながら湾曲させるため、各アームとも3本加圧(2秒間)を行う。その後0.7秒間は水平方向の床面と平行な湾曲動作を与えている。最後に0.7秒間全てのEFPAを排気することで初期状態に戻る。図16に平泳ぎ動作による水平歩容実験の様子を示す。この実験結果から、平泳ぎのように水平に前に4脚を押し出し、推進力を得るため床などを押しながら逆方向に湾曲させる方法は、比較的有効な方法であることがわかった。この提案駆動パターンは、床面を少し這いながら移動するため、歩容中に転倒する心配がなく、平行な床面であれば均一で安定した歩容動作が実現できることになる。この歩容による移動速度は25mm/sである。今回の実験ではアームADの中間方向への推進を行ったが、同様にAD間やBC間、CD間など4方向への推進が可能である。今後はこの歩容の更なる効率改善を図り、移動速度を上げるとともに、不整地での歩容に関する検証が課題となる。また、床からの設置角度やサイズの異なる各種はしごを用いて、

はしごの昇降試験も実施する必要がある。

表2 平泳ぎ動作における各EFPAの駆動パターン

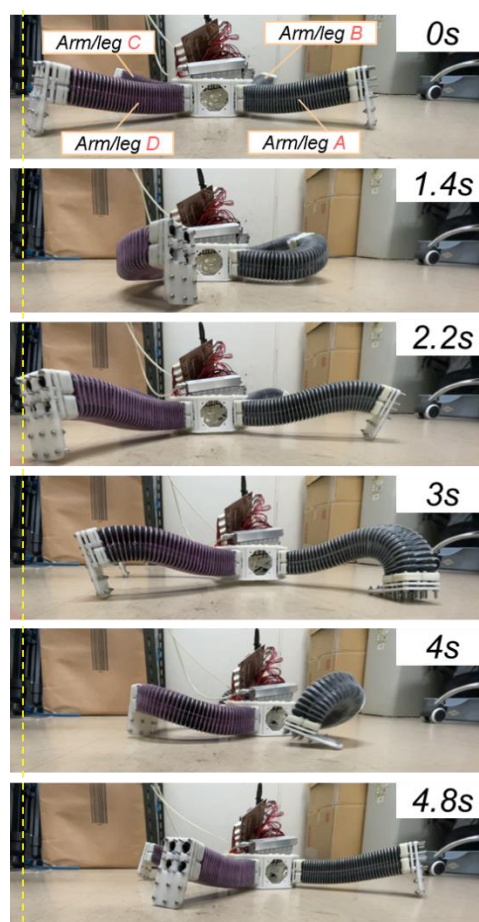
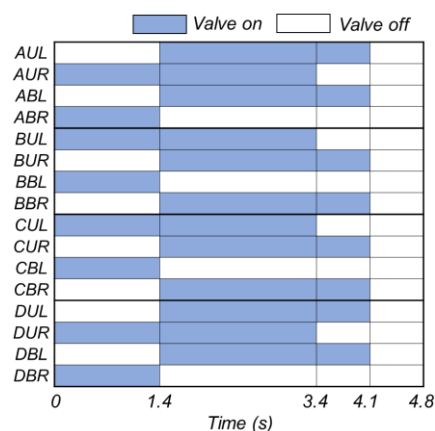


図14 平泳ぎ動作によるロボットの水平移動

7. 結言

はしご昇降が可能で水平移動機能を備えた自動はしご昇降点検ロボットの開発を目的とした本研究は以下のようにまとめられる。

ロボットの腕や脚として利用できるアクチュエータ

として、4つのEFPAを40枚の拘束板で拘束した腕・脚を提案し、実験を行った。その結果、腕・脚が45度ごとに放射状に8方向へ湾曲することが確認された。4本の腕・脚からなる水平移動機能を備えた自動はしご昇降検査ロボットも提案し、試験を行った。はしご昇降動作の走行試験は、あらかじめ設定された10種類の動作を実行して実施した。その結果、試作ロボットははしごを上り下りできることを確認した。また、水平移動実験を行った結果、試作ロボットは45度ごとに8方向に水平移動できることを確認した。

今後の課題として、速度向上を図るためにロボットのはしご登り動作の改善を検討する必要がある。

参考文献

- 1) <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2015/html/zenbun/index.html>, 平成27年版 高齢社会白書(全体版)。
- 2) Mineo Ishii, Keijiro Yamamoto and Kazuhito Hyodo: Stand-Alone Wearable Power Assist Suit-Development and Availability-, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.5, pp.575-583, (2005).
- 3) 小林宏: 動作支援装置の事業戦略, 日本機械学会2015年度年次大会講演論文集, No. 15-1, (2015).
- 4) 趙菲菲, 則次俊郎, 李向攀, 廣谷伸哉: 介護者のための腰支援システムの開発, 第33回目日本ロボット学会学術講演会, (2015).
- 5) 堂田周治郎: ウェアラブル制御機器の開発と生活支援機器への応用, 第22回パイオエンジニアリング講演会講演論文集, 特別講演1, pp. 1, (2010).
- 6) 高岩昌弘: 空気圧アクチュエータを用いた人間支援システムの構築, 日本機械学会2015年度年次大会講演論文集, No. 15-1, (2015).
- 7) 長田義仁編: ソフトアクチュエータ開発の最前線—人工筋肉の実現をめざして, エヌ・ティー・エス出版, pp. 291-335, (2004).
- 8) 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).
- 9) M. Pan, C. Yuan, X. Liang, T. Dong, T. Liu, J. Zhang, J. Zou, H. Yang and C. Bowen: Soft Actuators and Robotic Devices for Rehabilitation and Assistance, Advanced Intelligent Systems, Vol. 4, No. 4, 210040, pp. 1-25 (2022).
- 10) T. Fujikawa, S. Dohta, T. Akagi, F. Zhao: Development and Attitude Control of Flexible Robot Arm with Simple Structure Using Flexible Pneumatic Cylinder, Proceedings of the 4th Asia International Symposium on Mechatronics (AISM 2010), pp. 136-141 (2010).
- 11) W. Tian, C. Cheng 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)
- 12) S. Shimookae, T. Akagi, S. Dohta, T. Shinohara, Y. Hane and M. Aliff, "Development of Reinforced Extension Type Flexible Pneumatic Actuator with Circumferential Restraints and Its Application for Rehabilitation Device" International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. Vol. 17, No. 3, pp. 8116-8127 (2020).
- 13) S. Shimookae, Y. Hane, T. Akagi, S. Dohta, W. Kobayashi, T. Shinohara, and Y. Matsui, Development and Attitude Control of Washable Portable Rehabilitation Device for Wrist without Position Sensor JFPS International Journal of Fluid Power System, Vol. 13, No. 3, pp. 25-34 (2020).
- 14) S. Shimooka, K. Katayama, T. Akagi, S. Dohta, T. Shinohara, T. Kobayashi, M. Aliff, Development of Automatic Ladder Climbing Inspection Robot Using Extension Type Flexible Pneumatic Actuators, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Vol. 19, No. 1 pp. 9593-9605 (2022).

Ladder Climbing Robot that can Move Horizontally

Yuma Adachi , Takashi Shinohara¹⁾ *, Tetsuya Akagi²⁾, Feifei Cho²⁾

and Masashi Yokota²⁾

Department of Systems Science, Graduate School of Science and Engineering

¹⁾ Design and Manufacturing center, Organization for Reserch Development and Outereach

²⁾ Department of Information Science and Engineering, Faculty of Information Science and Engineering,

Okayama University of Science,

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

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

As earthquakes occur frequently in Japan, aging infrastructures such as bridges, chimneys, power lines and tunnels are extremely dangerous from view point of possibility to collapse due to earthquake shaking. Therefore, it needs to investigate a dangerous point in infrastructures immediately to prevent accident. Usually, inspectors have climbed the attached ladders for inspection of some buildings. However, it is very dangerous, because it uses uncertain ladder and it occurs unpredictable weather and conditions. Therefore, in the previous study, the automatic ladder climbing inspection robot that could climb up and down the ladder by using flexible robot arms without giving damage to the ladder was developed. The previous flexible robot arm that consists of three Extension type Flexible Pneumatic Actuators (EFPAs) that can extend about 2.5 times from its natural length. In this study, in order to investigate a dangerous point in hazardous environments such as inside of a nuclear reactor, we aim to develop a ladder climbing inspection robot that can also move horizontally. To construct the desired robot, we proposed and tested a robot arm/leg that consists of four EFPAs with restraint plates. We confirmed that the arm/leg could bend toward eight radial directions every 45 degrees. We also proposed and tested the automatic ladder climbing inspection robot with horizontal mobile function that consists of four arms/legs. The driving tests of ladder climbing up and down motion were carried out. As a result, we confirmed that the tested robot could climb up and down the ladder. Also, the driving tests of horizontal mobile function of the tested robot was carried out. As a result, we also confirmed that the tested robot could move horizontally toward eight directions every 45 degrees.

Keywords: Extension Type Flexible Pneumatic Actuator, Ladder Climbing Robot, Horizontal Mobile Function.