

バックドライバリティを有する空気圧駆動柔軟ロボットアームの試作

森本 貴文・赤木 徹也*・堂田 周治郎*・ムハマド アリフ**

岡山理科大学大学院工学研究科知能機械工学専攻

* 岡山理科大学工学部知能機械工学科

** 岡山理科大学大学院工学研究科システム科学専攻

(2014年9月30日受付、2014年11月6日受理)

1. 緒言

近年、高齢者や身体障害者などのQOL(生活の質)の向上の観点から医療介護、リハビリテーションの分野での福祉機器の重要性が増している。このようなシステムに使用されるアクチュエータは、高い人間親和性が求められる。また、安全で人体に優しいソフトアクチュエータの開発が求められている¹⁾。著者らは、このような要求を満たすアクチュエータとして、ロッドレス型柔軟空気圧シリンダ²⁾を用いたロボットアームを試作し、手首のリハビリテーションを想定したマスタースレーブ制御を行った³⁾。このマスタースレーブ制御はバイラテラル方式ではないので、スレーブ側に負荷が生じて、マスター側にはその負荷を感じることはできない。

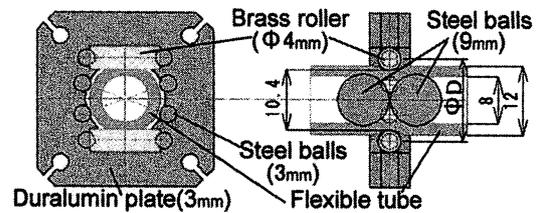
そこで、本研究では、PT(理学療法士)の操作性の改善のためバイラテラル式マスタースレーブ制御の実現をめざし、バックドライバリティを有するロボットアームの開発を行うことを目的とする。

2. 従来の柔軟空気圧シリンダ

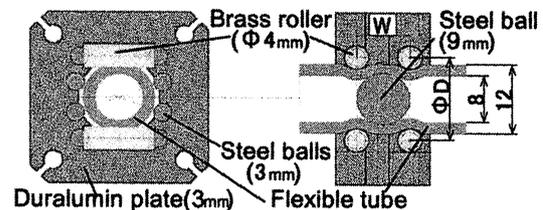
2種類のロッドレス型柔軟空気圧シリンダ²⁾の構造を、図1(a)、(b)に示す。(a)は、ダブルボールタイプ、(b)はシングルボールタイプである。どちらのタイプも似たような構成になっており、動作原理は同じである。

ダブルボールタイプの構造はシリンダ部に相当する柔軟チューブ、シリンダヘッドに相当する2個の鋼球、またチューブを介して2個の鋼球で真鍮製ローラのついたスライドステージで挟んでいる。真鍮製ローラの両端は鋼球で支えられ、ステージにはチューブを保持する役割の鋼球を4個設けている。シングルボールタイプ構造はダブルボールタイプとは異なり、2つのスライドステージで1つのボールを両側から挟んだ構造になっている。

両シリンダの動作原理は以下の通りである。まず、片側の圧力室を加圧すると内部の鋼球が押し、それに伴いチューブを変形させながら鋼球がローラを押し、スライドステージが駆動する。



(a) ダブルボールタイプ



(b) シングルボールタイプ

図1 柔軟空気圧シリンダの構造

両タイプの特徴を以下に示す。シングルボールタイプは摩擦力が少ないという利点を有するが、スライドステージ部分での柔軟性は低い。一方、ダブルボールタイプは高い柔軟性があるが、チューブ内部に鋼球を2つ入れているため摩擦力は大きい。最低駆動圧力は、シングルボールタイプの場合120kPaであり、ダブルボールタイプの場合130kPaである²⁾

3. 柔軟ロボットアーム

以前の研究で開発した柔軟ロボットアーム³⁾の構造を図2に示す。ロボットアームは外径100mmの円形ステージを2つ有している。下側の円形ステージには3本のシングルボールタイプの柔軟空気圧シリンダのスライドステージが円中心から直径66mmで120deg.の位置に取り付けられている。また、上側のステージにはそれぞれ3本のシリンダ端部を締結している。各シリンダへの圧力を変えることで、アーム中心軸を中心に全方向への湾曲が可能である。また、このロボットアームの湾曲角を制御するために上面の上部円形ステージの中

心に加速度センサを取り付けている。またシリンダ変位とロボットアームの姿勢角の関係式³⁾を用いて、ロボットアームの姿勢制御を行った。その際、上部円形ステージに固定された背骨チューブに付けたポテンシオメータにより変位計測を行った。このロボットアームのサイズはφ100×300mmであり、全質量は380g、最大湾曲角は約45degである。

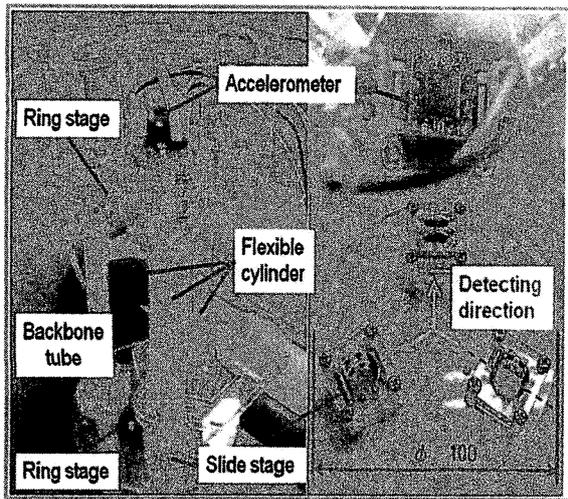


図2 柔軟ロボットアームの構造

以前の研究⁴⁾で上記の柔軟ロボットアームを使用してマスタースレーブ制御システムを開発した。図3にマスタースレーブ制御システムの概略図を示す。スレーブアームは試作ロボットアーム、加速度センサ、組み込みコントローラ(機Renesas Electronics SH/7125)と6つの疑似サーボ弁⁵⁾から構成されている。マスターアームは加速度センサと図3の左の写真に示すような円形ステージを付けた柔軟チューブから構成される。以前の研究ではスレーブアームがマスターアームの動きを比較的よく追従することを確認し、制御システムの有効性および、リハビリテーション装置のためのロボットアームの有用性を確認した⁴⁾。しかしながら、開

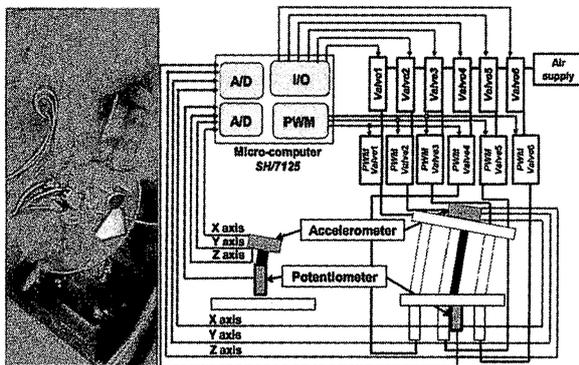


図3 マスタースレーブシステムの外観

発したロボットアームでは患者によって何かしらの負荷がスレーブアームに加えられたとしてもスレーブアームからの力を理学療法士が認識し、さらにマスター側を逆に動かすことができない。そこで、スレーブアームからの反力を認識することができるバックドライバビリティを有するマスターアームの開発が求められる。

4. バックドライバビリティを有する柔軟空気圧シリンダ

バックドライバビリティとは力の双方向伝達能力のことである。カフィードバックを有するマスターアームの開発するためには、前述のロボットアームのように力を発生するアクチュエータである必要がある。また、マスターアームを手動で動作する逆駆動性が必要である。そこで、バックドライバビリティを有する柔軟空気圧シリンダの開発を行った。図4に試作したバックドライバビリティを有する柔軟空気圧シリンダの構造を示す。構造はシリンダ部に相当する2本の柔軟チューブ(長さ250mm、内径8mm、外径12mm)、シリンダヘッドに相当する鋼球(外径9.5mm)がそれぞれの柔軟チューブに1つずつ入っている。このa、b 2つの鋼球でスライドステージ(アクリル樹脂製、縦40mm、横25mm、高さ3mm)を両側から挟むように配置している。そして、鋼球に近い方のスライドステージの面(左側チューブは上、右側チューブは下)にチューブを介して2対の真鍮製ローラ(外径4mm)を取り付けている。真鍮製ローラの両端は鋼球(外径3mm)で支えられ、ステージにはチューブを保持する役割の鋼球(外径3mm)を4個設けている。このシリンダの最低駆動圧力は約240kPaである。

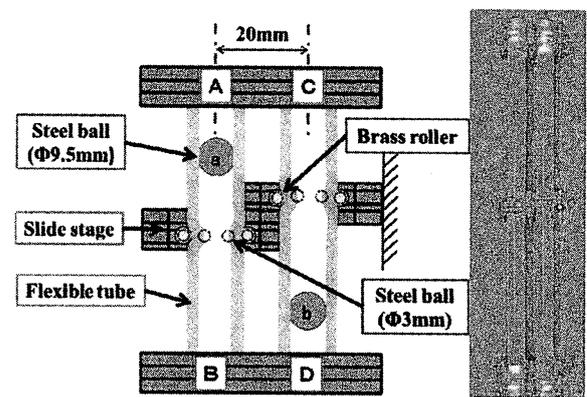


図4 試作シリンダの構造

動作原理は以下の通りである。チューブ端にある4つの給気口の内2つを加圧することで、図5に示す(a)プッシュ、(b)プル、(c)ロック、(d)リセット、(e)フリーの5つの動作を可能とする。(a)プッシュは給気

口A、Cを加圧することで、鋼球aが押しされ、圧力室が膨張しチューブを上方に押し出す。逆に(b)プルは、給気口B、Dを加圧することでチューブを下方に押し出す。(c)ロックは鋼球が近い方の給気口を同時に加圧することで鋼球が押しされステージを挟むというものである。(d)リセットは、鋼球のない側から加圧することで鋼球を押しステージから離れるというものである。(e)フリーは加圧を行わないので、ステージを手で自由に動かすことができる。ロックをする前に行うことで鋼球がスライドステージと干渉することを防ぐ目的もある。

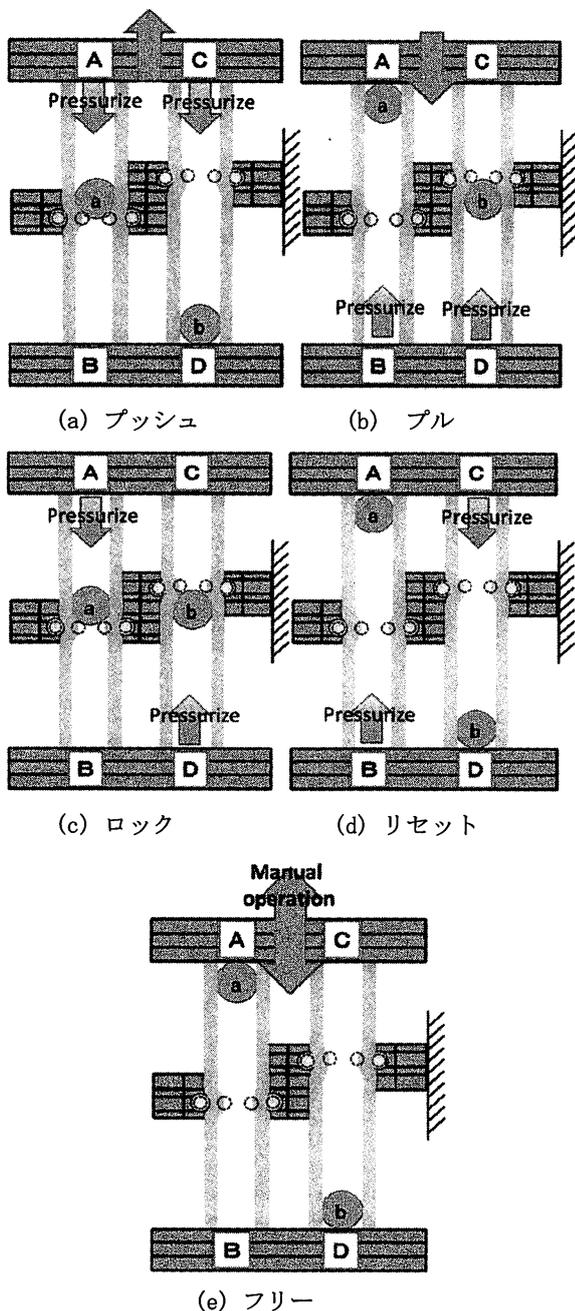


図5 試作シリンダの動作原理

5. バックドライバリティを有するロボットアーム

試作したロボットアームと制御システムの外観を図6に示す。ロボットアームは前述のシリンダを3組用いる。また、外径φ100mmの亚克力製ステージを2つ有しており、下側のステージには中心からφ66mm、120deg.の位置に3組の試作シリンダを取り付けている。上側のステージにはそれぞれ3組のシリンダ端部を接続している。このロボットアームのサイズはφ100×250mm、全質量は450gである。

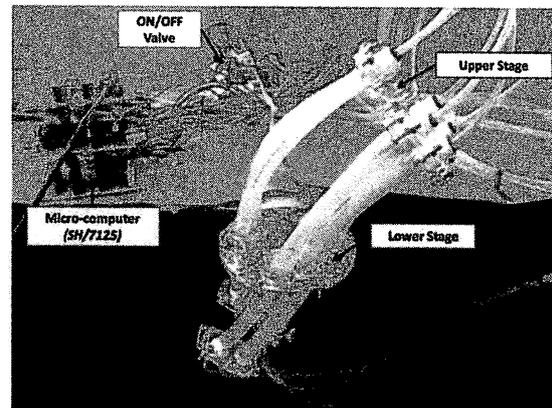


図6 試作柔軟ロボットアームの外観

図7に基本動作のための制御システムの構成を示す。システムは前述のバックドライバリティを有するロボットアーム、12個のON/OFF弁(株KOGANEI G010HE-1)、コントローラであるマイクロコンピュータ(株Renesas Electronics SH/7125)から構成される。

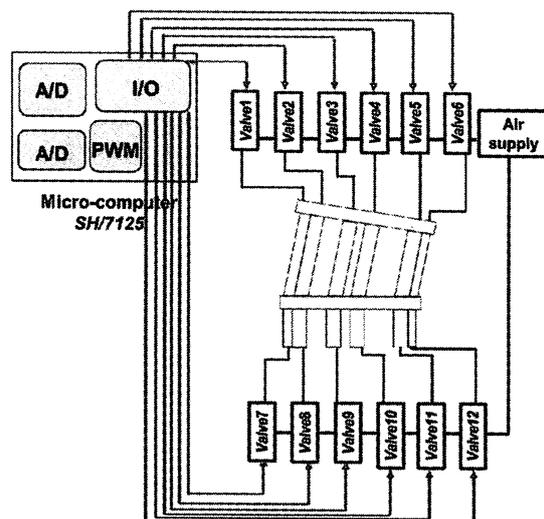
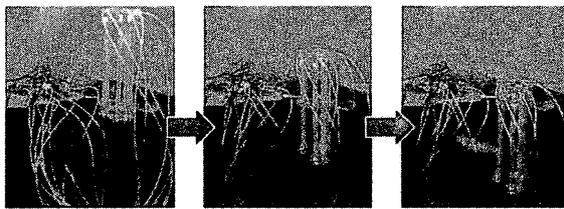


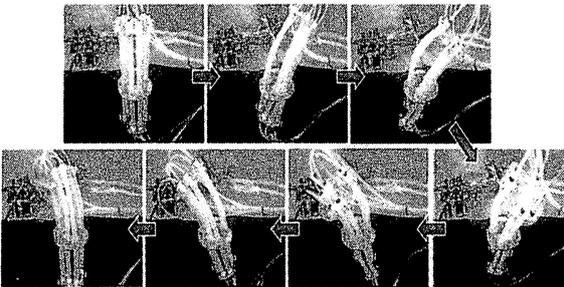
図7 システム構成図

図8に試作したロボットアームの各種動作風景を示

す。図8(a)に示す伸縮動作では、3組のシリンダをプッシュもしくはプルを行うことで伸縮動作を実現する。図8(b)に示す湾曲動作は、湾曲側とは逆側の1本のシリンダにロックを行い、残り2つのシリンダはプルすることで、加圧したシリンダは収縮つまり2つのステージ間距離が短くなり、ロックしたシリンダとは逆方向に湾曲する。またロック側に湾曲させる場合は、2つのシリンダの上側を加圧し、伸長させる。ここで試作ロボットアームの最大湾曲角は約90deg.である。この湾曲角は1つのシリンダの長さや固定位置に依存し、より長い柔軟空気圧シリンダを用いることで湾曲角を大きくすることができる。



(a) 伸縮動作



(b) 湾曲動作

図8 試作ロボットアームの動作風景

図9にロック状態の様子を示す。実験では供給圧力450kPaで、上側ステージに1kgの重りを置いて上昇動作とロック動作を行った。その結果、ロボットアームがスムーズに動作することを確認した。また、ロックは

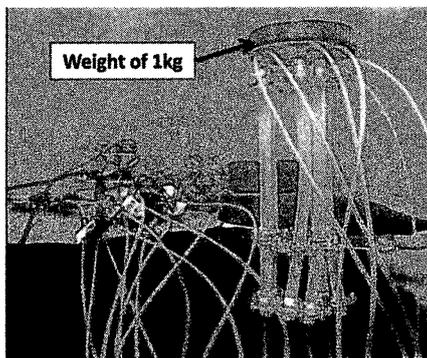


図9 ロックの様子

スライドステージを両側から鋼球で挟むため、大きな摩擦力を生じ、シリンダの発生力によりロック力は強くなり、450kPaの印加圧力で50N以上得られた。

図10にフリーでの動作風景を示す。すべてのシリンダをリセットした後、フリーにすることで手動での動作が可能であることがわかる。しかし、1つのシリンダに柔軟チューブを2本使用している点と従来のロボットアーム³⁾の大きさであるφ100mmのステージに合わせて設計しているため、シリンダ間隔が短くなり、剛性が高くなり湾曲しにくい(最大湾曲角約90deg.)、といった問題を生じている。しかしながら、本研究で試作したロボットアームはバックドライバビリティを有しており、バックドライバビリティの機能を有するマスター装置が実現可能である。

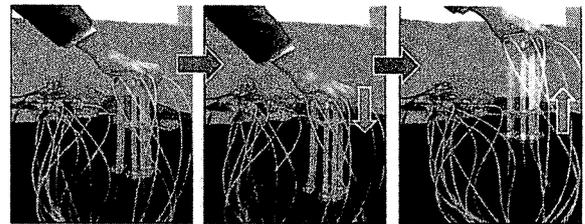


図10 フリーの動作風景

6. 結言

本研究は以下のように要約される。

- (1) バックドライバビリティを有するロッドレス型柔軟空気圧シリンダを提案、試作した。シリンダは、プッシュ、プル、ロック、リセット、フリーの5つの基本動作を有し、それらの動作原理を紹介した。
- (2) 試作シリンダの応用として、3組の試作シリンダを用いたマスター用柔軟ロボットアームを提案、試作した。また、組込みコントローラと12個のON/OFF弁を用いてロボットアームの制御システムを構成し、動作確認を行った。
- (3) 動作実験の結果、ロボットアームは、プッシュやプルの場合でスムーズに動作し、さらにスライドステージを両側から鋼球で挟むロックで50Nの保持力を有していることを確認した。また、フリー状態では手動でロボットアームを動かすことのできるバックドライバビリティ機能を有するマスターアームが実現できた。

参考文献

- 1) Y. Nagata, ed., "Soft-Actuators-Forefront of Development", NTS Ltd., (2004), pp291-335.
- 2) 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, (2007), pp. 2108-2114.

- 3) M. Aliff, S. Dohta, T. Akagi and H. Li, "Development of a Simple-structured Pneumatic Robot Arm and Its Control using Low-cost Embedded Controller", *Journal of Procedia Engineering*, Vol.41, (2012), pp.134-142.
- 4) T. Fujikawa, S. Dohta and T. Akagi, "Development and Attitude Control of Flexible Robot Arm with Simple Structure Using Flexible Pneumatic Cylinders", *Proceedings of 4th Asia International Symposium on Mechatronics*, (2010), pp.136-141.
- 5) F. Zhao, S. Dohta and T. Akagi, "Development and Analysis of Small-Size Quasi-Servo Valve for Flexible Bending Actuator", *JSME Trans., Series C*, Vol.76, No.772, (2009), pp.3665-3671.

Development of Pneumatic Drive Flexible Robot Arm with Backdrivability

Takafumi MORIMOTO, Tetsuya AKAGI*, Shujiro DOHTA*
and Mohd ALIFF**

Master's Program in Intelligent Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering,

** Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,*

*** Doctoral Program in System Science, Graduate School of Engineering,*

Okayama University of Science,

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

(Received September 30, 2014; accepted November 6, 2014)

In the remote controlled rehabilitation device, physical therapists must recognize the situation of the patient. The actuator in the device is also required to be flexible so as not to injure the body. In our previous study, the flexible pneumatic cylinder was proposed and tested. The flexible robot arm using the cylinders was also developed for human wrist rehabilitation. In the next step, it is necessary to develop the master device for bilateral master-slave control. In this paper, the flexible pneumatic cylinder with backdrivability is proposed and tested for bilateral control. The master robot arm using the tested flexible cylinders is also tested and constructed. As a result, the master robot arm with backdrivability which can be operated manually was realized.

Keywords: flexible pneumatic cylinder; backdrivability; flexible robot arm; rehabilitation device; bilateral control;