

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：35302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760201

研究課題名（和文） 長時間動作可能なウェアラブル駆動ユニットの開発

研究課題名（英文） Development of Wearable Driving Units Driven for Long Time

研究代表者

赤木 徹也 (AKAGI TETSUYA)

岡山理科大学・工学部・准教授

研究者番号：50311072

研究成果の概要（和文）：

少子高齢化社会の進行に伴い、リハビリテーション機器などウェアラブル駆動機器の開発が望まれる。本研究ではウェアラブルな小型制御機器の開発を目的とし、長時間動作可能なウェアラブル駆動ユニットの開発を目的とする。その研究の成果として、曲がっても使える柔軟な空気シリンダ用の変位・湾曲センサを開発し、またそれらを一体型した柔軟空気圧シリンダを開発した。またそのアクチュエータの制御機器として電池駆動も可能な自己保持機能を有する流体制御弁の開発し、小型化などの改良を行った。

研究成果の概要（英文）：

Due to the aging Japanese society, the wearable driving system such as rehabilitation device is required. The purpose of this study is to develop small-sized wearable control devices. We aim to develop wearable driving units driven for long time. As a result, a displacement sensor and a bending sensor for a novel flexible pneumatic cylinder that could be used even if the cylinder bends was proposed and tested. The flexible pneumatic cylinder with built-in linear encoder and banding sensor was also proposed and tested. As a control device for wearable actuator, fluid control valve with self-holding function that can be driven for a long time by using a small-sized battery was proposed and tested. In addition, the performance of these tested wearable control devices was improved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学 機械システム

キーワード：ソフトメカニクス、ウェアラブルシステム、メカトロニクス

## 1. 研究開始当初の背景

近年の少子高齢化社会への急激な推移に伴い、将来における介護支援者の高齢化や実質的な労働力不足は深刻な問題である。また

近年、情報ネットワークが我々の生活に果たす役割は大きくなり、従来の視覚・聴覚の情報フィードバックだけではなく、触覚など力のフィードバックシステムの充実が必要不

可欠となる。さらに、QOLの向上の観点からも、自宅等で気軽にリハビリテーションができる機器の開発が望まれる。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、リハビリテーションに使用できるウェアラブル駆動システムや、情報ネットワークにおける人体への力フィードバックシステムの実現をめざし、これらのシステムに必要な機器の開発をめざす。つまり、人体に直接アクチュエータを取り付けるかもしくは接触する環境で使用しても十分安全が保たれ、かつ、軽量の柔軟アクチュエータの開発と、使用者の負担を軽減するため、そのアクチュエータの制御に必要な機器の小型・軽量化をめざしたウェアラブル小型制御機器の開発を目的とする。

具体的には長時間動作可能なウェアラブル駆動ユニットの開発であり、それに関連した変位・湾曲センサー一体型柔軟空気圧シリンダの開発と電池駆動も可能な自己保持機能を有する流体制御弁の開発である。

## 3. 研究の方法

株式会社SMCとの共同研究で開発したロッドレス型柔軟空気圧シリンダ (Fig.1 参照) の高機能化として、軸方向のストローク変位長変位の計測が可能で同時に湾曲角の計測が可能な変位・湾曲センサー一体型柔軟空気圧シリンダの開発を行う。

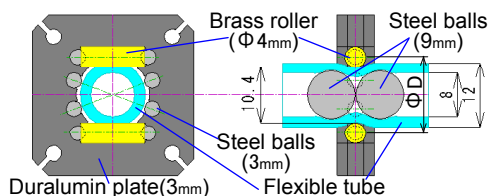


Fig.1 Rodless type flexible pneumatic cylinder

シリンダは柔軟チューブ内部に鋼球を1個使い、その両側より2組の真鍮製ローラのペアで挟んだ柔軟空気圧シリンダである。このシリンダのスライドステージ部分に取り付け可能なリニアエンコーダユニットを開発し、シリンダチューブ表面に施したスリットを読み取ることで、相対変位の計測が可能な変位センサー一体型の柔軟空気圧シリンダが構成可能である。またこのセンサユニット内部でチューブが湾曲等により生じる隙間を検出し、誤検出を防ぐシステムを構築する。また、チューブ自身の湾曲状態も知る必要があるため、シリンダチューブ端に取り付けて使用できる湾曲センサの開発を行う。

また、これらのシリンダを駆動する制御弁もウェアラブル化を図るため、重量・サイズの軽減はもとよりバッテリー重量の問題から

消費電力の低減が必要不可欠である。そこで、以前にFig.2に示す永久磁石とソレノイドを用いた自己保持機能を有する流体制御弁の開発を行なった。

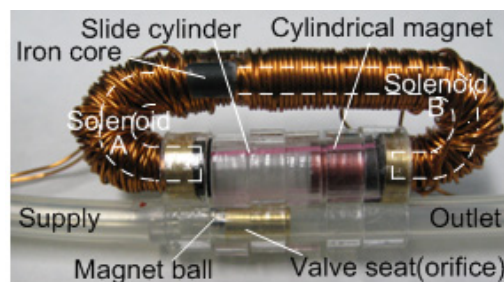


Fig.2 The valve with self-holding function

この弁は、永久磁石を用いることで開閉時にのみ電力を消費し、その状態を維持するための電力を消費しないといった特長を有する。しかし、弁の小型化や速応性の改善のためには、形状パラメータに対する弁性能が評価できる解析モデルが必要であり、本研究では最適設計のために弁解析モデルを提案し、弁の性能評価を行う。また、空気圧モータなど一定流量を制御するため、開口面積をほじできるデジタルサーボ弁の開発も行う。

## 4. 研究成果

上述の方法によるウェアラブル制御機器の開発として、ロッドレス型柔軟空気圧シリンダの高機能化をめざし、Fig.3に示すシリンダと同素材の柔軟チューブを用いたリニアエンコーダの開発を行った。

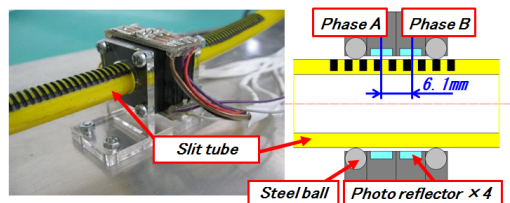


Fig.3 Flexible linear encoder

また、そのエンコーダを柔軟空気圧シリンダと一体化させるため、Fig.3に示すチューブに施したスリットに改良を加え、湾曲状態でも軸方向のストローク変位が計測可能な変位センサー一体型柔軟空気圧シリンダを開発した。

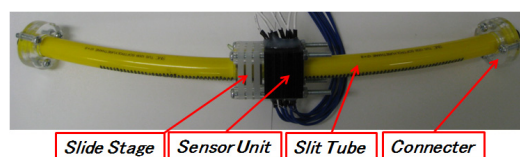


Fig.4 Flexible pneumatic cylinder with linear encoder

上記の変位センサー一体型柔軟空気圧シリンダを用いて、動作時に湾曲を加えた場合の動作実験(Fig. 5 参照)を行い、湾曲したばあいでも、スライドステージの位置をリニアエンコーダでフィードバックしながら位置決め制御が可能であることを確認した。

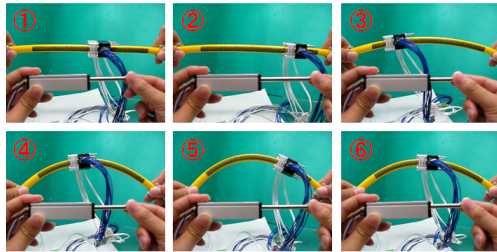


Fig. 5 Position control using tested cylinder

また、このシリンダ端部に取り付けたらだけで湾曲状態を計測できる湾曲角センサとして、安価なフォトフレクタを用いて湾曲により生じたチューブとの隙間を計測して湾曲角を推定する湾曲角センサを開発した。(Fig. 6 参照)

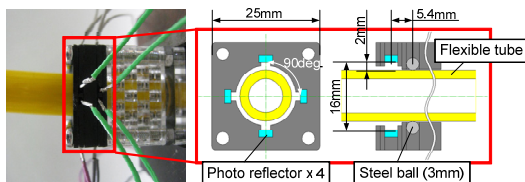


Fig. 6 Flexible bending sensor

また、このセンサの計測システムとして、湾曲方向角に対して標準偏差で約 0.5 度程度の精度で計測できるシステムを、組み込み技術(マイクロコンピュータ)を用いて構築した。さらに、チューブ周囲にリング状のスリットを取り付けた新たなスリットチューブを製

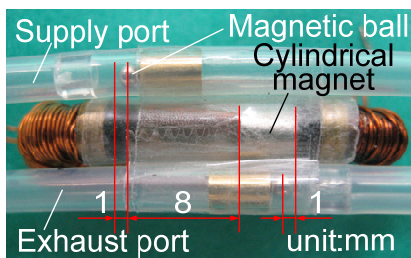
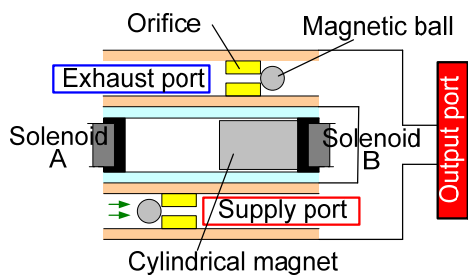


Fig. 7 2-position 3-port valve with self-holding function

作し、チューブが回転した状態でも軸方向変位が計測できるリニアエンコーダを開発した。

また、これらを長時間駆動するため、開口、閉口の保持状態でエネルギーを消費しない自己保持機能を有する流体制御弁制御弁として、(株SMC との共同研究で開発した開口、閉口の保持状態でエネルギーを消費しない自己保持機能を有する流体制御弁を改良し、給気、排気の両動作を同時に操作できる 2 位置 3 ポート弁に改良した。(Fig. 7 参照)

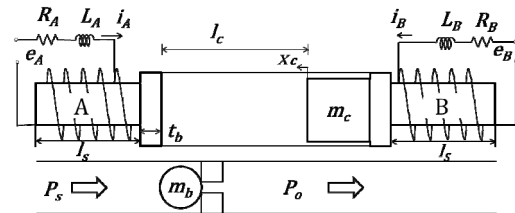


Fig. 8 Model of the tested valve

さらに、自己保持機能を有する流体制御弁の速応性改善を目指した最適設計のための Fig. 8 に示す解析モデルを提案し、弁のパラメータ同定を行い実験結果と比較することでモデルの有効性を確認し、解析的に弁の速応性の評価が行える環境を構築した。

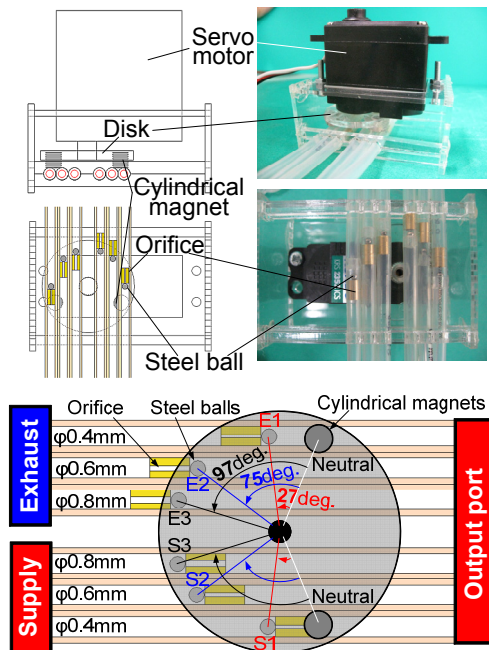


Fig. 9 Digital servo valve with self-holding function

また、自己保持機能を有しながら段階的な流量が調整できるサーボ弁として、Fig. 9 に示すサーボモータに回転する永久磁石により複数のオリフィス中の鋼球を動かし開閉を行うデジタルサーボ弁の開発を行い、自己保持機能を有しながら 7 段階の流量制御が可能であることを確認した。さらに、デジタルサー

ボ弁の小型化を行い、以前開発した弁に比べ約70%の小型化を実現した。

以上のように、長時間駆動可能なウェアラブル制御ユニットの開発として、柔軟空気圧シリンダの変位・湾曲センサの一体化を行ったインテリジェントの柔軟アクチュエータの開発を行い、その制御弁として自己保持機能を有する流体制御弁の性能改善を行うとともに、自己保持機能を有しながら制御流量を保持できるデジタルサーボ弁の開発を行った。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Akimasa Fukuhara, Development of Intelligent Flexible Pneumatic Cylinder with Built-in Linear Encoder and Flexible Bending Sensor, Proceedings of 11th International Conference on Fluid Control, Measurements and Visualization, 査読有, 2011, No.28, pp.1-8.
- ② Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Hirofumi Ueda, Development of Digital Servo Valve with Self-Holding Function, Proceedings of the 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, 査読有, 2011, pp.344-351.
- ③ Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and Hirofumi Ueda, Improvement of Fluid Control Valve with Self-holding Function Using Permanent Magnet, Journal of System Design and Dynamics, 査読有, Vol. 5, No. 6, 2011, pp. 1251-1263. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsdd/5/6/5\\_6\\_1251/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsdd/5/6/5_6_1251/_article)
- ④ Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Hiroaki Kuno, Akimasa Fukuhara, Development of Flexible Sensors for Measuring Human Motion and Displacement of Novel Flexible Pneumatic Actuator, International Journal of Automation Technology, 査読有, Vol.5, No.5, 2011, pp. 621-628.
- ⑤ Shujiro Dohta, Tetsuya Akagi, Hirofumi Ueda, Wearable Pneumatic Control Valves Driven by Small Power, Proceedings of the 4th Asia International Symposium on Mechatronics, 査読有, 2010, pp. 122-128.
- ⑥ Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta, Hiroaki Kuno, Akimasa Fukuhara, Development of

Flexible Sensors for Measuring Human Motion and Displacement of Novel Flexible Pneumatic Actuator, Proceedings of the 4th Asia International Symposium on Mechatronics, 2010, 査読有, pp.129-135.

- ⑦ Hirofumi Ueda, Tetsuya Akagi and Shujiro Dohta, Development of 2-Position 3-Port Control Valve with Self-holding Function, Proceedings of SICE Annual Conference, 査読有, 2010, pp. 1239-1243.
- ⑧ Akimasa Fukuhara, Tetsuya Akagi and Shujiro Dohta, Development and Application of Flexible Pneumatic Cylinder with Linear Encoder, Proceedings of SICE Annual Conference, 査読有, 2010, pp. 768-772.
- ⑨ Tetsuya Akagi, Shujiro Dohta and Hirofumi Ueda, Development of Small-sized Fluid Control Valve with Self-holding Function Using Permanent Magnet, Journal of System Design and Dynamics, 査読有, Vol.4, No.4, 査読有 2010, pp. 552-563. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsdd/4/4/4\\_4\\_552/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsdd/4/4/4_4_552/_article)

[学会発表] (計10件)

- ① Tetsuya Akagi, Development of Intelligent Flexible Pneumatic Cylinder with Built-in Linear Encoder and Flexible Bending Sensor, 11th International Conference on Fluid Control, Measurements and Visualization, 2011年12月9日, Taiwan
- ② Tetsuya Akagi, Development of Digital Servo Valve with Self-Holding Function, 8th JFPS International Symposium on Fluid Power, 2011年10月27日, Okinawa
- ③ 上田宗史 (赤木徹也), 自己保持機能を有するデジタルサーボ弁の試作, 日本機械学会中国四国支部第49期総会・講演会, 2011年3月5日, 岡山
- ④ 福原彬真 (赤木徹也), 柔軟チューブを用いた変位・湾曲角センサの試作, 日本機械学会中国四国支部第49期総会・講演会, 2011年3月5日, 岡山
- ⑤ Tetsuya Akagi, Development of Flexible Sensors for Measuring Human Motion and Displacement of Novel Flexible Pneumatic Actuator, 4th Asia International Symposium on Mechatronics, 2010年12月16日,

- Singapore
- ⑥ Shujiro Dohta (Tetsuya Akagi),  
Wearable Pneumatic Control Valves  
Driven by Small Power, 4th Asia  
International Symposium on  
Mechatronics, 2010年12月16日,  
Singapore
  - ⑦ 上田宗史 (赤木徹也), 自己保持機能を  
有する小型制御弁の改良, 平成22年秋  
季フルートパワーシステム講演会, 2010  
年12月3日, 大分
  - ⑧ 福原彬真 (赤木徹也), 変位センサー体  
型柔軟空気圧シリンダと湾曲センサの  
開発, 平成22年秋季フルートパワーシ  
ステム講演会, 2010年12月3日, 大分
  - ⑨ Akimasa Fukuhara (Tetsuya Akagi),  
Development and Application of  
Flexible Pneumatic Cylinder with  
Linear Encoder, SICE Annual Conference  
2010, 2010年8月19日, Taiwan
  - ⑩ Hirofumi Ueda (Tetsuya Akagi),  
Development of 2-Position 3-Port  
Control Valve with Self-holding  
Function, SICE Annual Conference 2010,  
2010年8月19日, Taiwan

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

赤木 徹也 (TETSUYA AKAGI)  
岡山理科大学・工学部・准教授  
研究者番号: 50311072

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

堂田 周治郎 (DOHTA SHUJIRO)  
岡山理科大学・工学部・教授  
研究者番号: 10090218