

報告日： 2022年(令和4年) 5月27日  
報告者： 岡山理科大学 情報理工学部 助教  
横田 雅司

## 1. 研究概要

(和文)

### (1) 課題名

ボールネジ機構を用いた回転型空気圧アクチュエータの開発と  
人間支援システムへの適用

### (2) 研究者氏名、職名

横田 雅司、助教

### (3) 研究概要

我が国では高齢化が急速に進んでおり、身体装着可能なリハビリテーション機器の開発が望まれている。このようなウェアラブルデバイスには身体の負担をできるだけ低減するために小型・軽量なアクチュエータが要求される。空気圧アクチュエータは電磁アクチュエータに比べて出力/重量比が高く空気の圧縮性によるバックドライブ機能が安全性として作用するためウェアラブルデバイスとして最適である。しかし、その多くが直動駆動である空気圧アクチュエータは直動から回転への変換機構を別途要し装置の複雑化・高重量化を招く。球面関節も一つの方法であるが、直接回転駆動型の小型・軽量な空気圧アクチュエータが望まれている。

本研究では、ボールネジとベローズを用いた小型・軽量な回転型の空気圧アクチュエータを提案・開発し、リハビリ支援や運動支援を目的としたウェアラブル型の人間支援システムへ適用する。

### (4) キーワード

アクチュエータ, 空気圧駆動, ウェアラブルデバイス, 人間支援

(英文)

### (1) Research title

Development of rotary type pneumatic actuator with ball screw mechanism and its application for human support system

### (2) Name of researcher with title of position

Masashi Yokota, Assistant Professor

### (3) Summary

Pneumatic actuators are suitable as wearable devices due to the high power / weight ratio and compliant property. Most of the pneumatic actuators are linear drive therefore an extra conversion mechanism from linear motion to rotation is required in order to support the movement of a human body. In this study, we develop a compact and lightweight rotary type pneumatic actuator to directly

support human joints. We verify the support effect with a rehabilitation device using this device.

#### (4) Key Words

Actuator, Pneumatic drive, Wearable device, Human support, Rehabilitation

## 2. 本研究の意義、特色

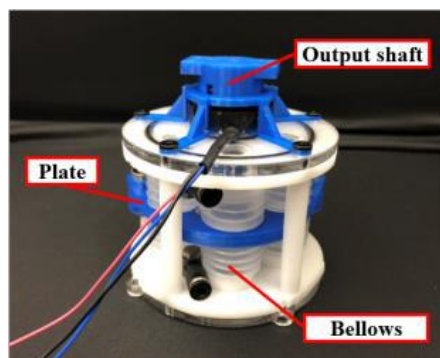
本装置は、ボールネジ機構とベローズを用いることで小型かつ軽量で出力重量比が高く空気の圧縮性によるバックドライブ特性が安全性として作用するため、ウェアラブルデバイスやリハビリテーション機器への応用が期待できる。本研究では、人の関節を直接支援が可能な小型・軽量の回転型空気圧アクチュエータを開発し、発生トルクの理論値、ならびに圧力、回転角度の制御特性を求めた。また、実機実験により上肢の支援が可能であることを検証し、本装置の有効性を示した。

## 3. 実施した研究の具体的内容、結果

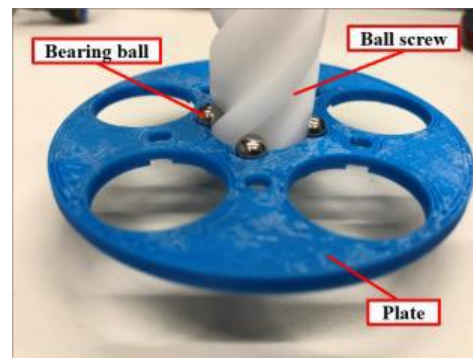
### 3.1 ボールネジ機構を用いた回転型アクチュエータ

#### 3.1.1 装置の概要

開発したアクチュエータの概観を Fig. 1(a)に示す。本装置は空気圧ベローズによる直動運動をボールネジの機構を用いて回転運動に変換する。中央の円盤状の移動体を上下からベローズ（蛇腹）で挟み込んでおり、ベローズ内の空気圧を調整することによって移動体が軸を上下に移動する。Fig. 1(b)に示すように、移動体と軸はそれぞれ循環しないボールナットとボールネジになっており、ボールナットである移動体がベローズに押し入れられ、回転せずに上下運動することによってボールネジの軸が回転する。ベローズは市販のもので、並列に5つ配置している。全体の大きさは直径が100[mm]、高さが80[mm]程度で重量は約400[g]となり、回転型の空気圧アクチュエータとしては非常に軽量である。また、本装置の発生トルクは理論解析上ではゲージ圧450[kPa]時に9.9[Nm]であり、軽量でかつ高出力であることがわかる。



(a) Overview of device



(b) Ball screw

Fig.1 Developed rotary pneumatic actuator

### 3.1.2 トルク計測

本装置に供給圧力を 30[kPa], 50[kPa], 100[kPa]と印加した際のトルクを計測し，理論値と比較した．計測結果を Fig. 2 に示す．各圧力をそれぞれ 3 回ずつ計測し，その平均値を示している．Fig. 2 より，本装置はウェアブルデバイスとして用いるのに十分なトルクを有する．理論トルクとの差はボールネジとボールのかみ合いの差やねじ溝の角度，摩擦などが原因と考えられる．

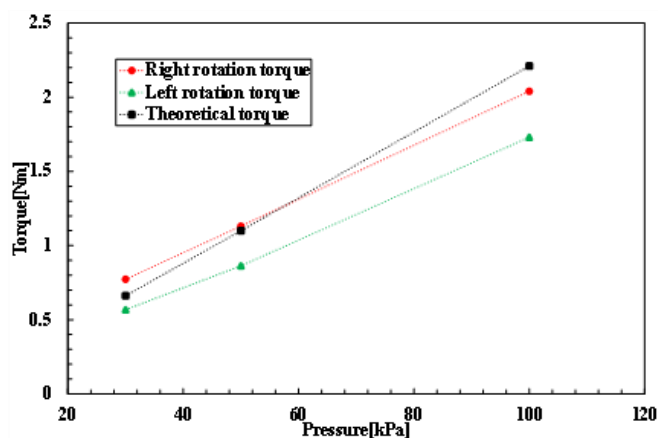


Fig. 2 Relationship between pressure and torque

## 3.2 上肢リハビリテーションへの応用

### 3.2.1 実験内容

本装置が肘関節まわりの筋力回復を目的とするリハビリテーションにおいての支援効果を検証するために，Fig.3 に示すように本装置を用いた上肢リハビリテーション機器を製作し検証実験を行った．装置を用いて肘関節の屈曲と伸展のリハビリテーション動作を行い，回転型アクチュエータで負荷を生成し，上腕二頭筋の筋負担を筋電センサで測定した．

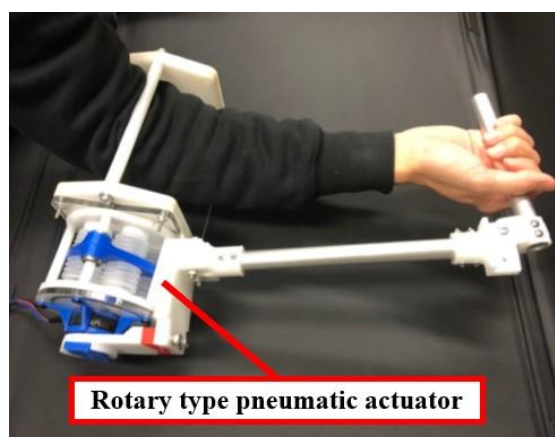


Fig.3 Rehabilitation device for upper limbs

### 3.2.2 検証結果

リハビリテーション動作時の筋活動率を Fig.4 に示す。無負荷時の筋電積分値 IEMG の平均値を 100%として正規化している。本装置で負荷をかけた時の値は無負荷時よりも筋負担が約 40%高いことが示され、本装置の有効性が確認された。

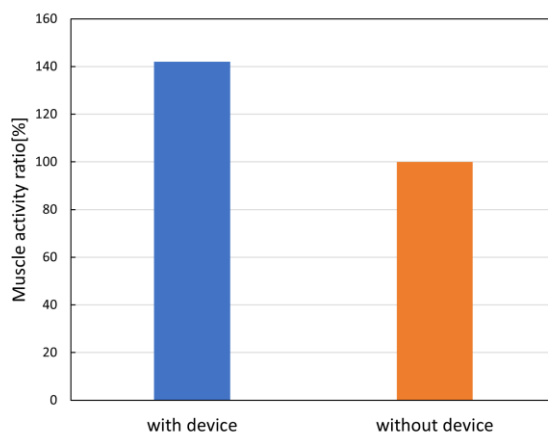


Fig.4 Muscle activity ratio

#### 4. 本研究を実施したグループに属する主な研究者の氏名、職名

横田 雅司, 助教

#### 5. 研究実施時期

令和 3年 3月 1日から 4年 2月 28日まで

#### 6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) 横田 雅司, 十川 由祈也, 高岩 昌弘: ボールネジ機構を用いた回転型空気圧アクチュエータの開発と制御性能の評価, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2021
- (2) 十川 由祈也, 横田 雅司, 高岩 昌弘: 回転型空気圧アクチュエータの開発と人体支援動作への応用, 第 39 回日本ロボット学会学術講演会, 2021

#### 7. 内外における関連研究の状況

空気圧アクチュエータは電磁アクチュエータに比べて出力/重量比が高く空気の圧縮性によるバックドライブ機能が安全性として作用するためウェアラブルデバイスやリハビリテーション機器として最適である。しかし、空気圧アクチュエータの多くは空気圧シリンダーのように直動型であるため、回転動作を得るには別途直動から回転への変換機構を要し、装置の複雑化・高重量化を招く。また、回転型の空気圧アクチュエータとして空気圧ベーンモータが市販されているが、産業応用を目的としているため一般に金属管体であるため高重量であり、ウェアラブルデバイスやリハビリテーション機器には不向きである。

本研究は、ボールネジ機構とベローズを用いることで小型・軽量な回転型空気圧アクチュエータを開発し、実機実験で本装置の有効性を示したことに意義がある。

#### **8. 今後の発展に対する希望**

本装置は、小型・軽量・安全性が高いアクチュエータであることからウェアラブルデバイスやリハビリテーション機器として最適であり、多岐の分野に応用されることが期待される。