

7自由度を有する上肢用ウェアラブル型訓練装置の開発

Development of Wearable Training Device with 7 D.O.F for Upper Limb

○ 佐々木大輔(岡山大) 則次俊郎(津山高専) 高岩昌弘(岡山大)

Daisuke SASAKI, Okayama University

Toshiro NORITSUGU, Tsuyama National College of Technology

Masahiro TAKAIWA, Okayama University

Abstract: The purpose of this study is to develop a wearable training device for upper limb, which can be used to a passive training for a trainee who cannot move by oneself. Developed device has 7 D.O.F by using electric motor and pneumatic artificial muscles, which are chosen as suitable actuators to move each human joint. In this paper, cooperated movements are experimented to verify a capability of developed device. It is confirmed from the result under the master-slave control that a subject who uses this device can follow a trainer movement. Therefore, this device may be possible to train all upper limb joints independently and cooperatively.

Key Words: Wearable Robot, Master-Slave Control, Pneumatic

1. はじめに

患者自身が自立した日常生活に復帰するためにも障害部位の機能を回復させるリハビリテーションの重要性がさらに増してきている。本研究では、自発的な動作が困難な被訓練者(患者)を対象に Fig.1 に示すように訓練者(理学療法士など)や被訓練者が装置を直接装着し、訓練者が自分自身の肩、肘、手首など上肢全体を動かすことで被訓練者の他動的訓練が可能な装着型訓練装置の実現を目標としている。装置にマスタスレーブ制御を導入することで関節ごとの目標角度を容易に決定することができ、被訓練者に対し自然な上肢動作の訓練を行うことができる点が提案装置の特徴である。

この目的を実現するために筆者らはこれまでに、空気圧人工筋を使用し上肢全体を対象に人間と同様な肩関節3自由度、肘関節1自由度、手首関節3自由度の計7自由度を有する訓練装置を開発してきた。本研究では、可動域を増加させるために空気圧ゴム人工筋と DC モータを組み合わせた装着型の訓練装置を開発した。装置の各関節は独立して動作させることができるため、上肢7自由度すべてを用いた訓練が可能である。

本論文では装置構造、動作原理を述べたあとマスタスレーブ制御による装着実験について述べる。

2. 上肢用ウェアラブル型訓練装置

2-1 装置構造

開発した装置の外観を Fig.2 に示す。装置は肩部の屈曲・伸展、外転・内転、内旋・外旋機構、肘部の屈曲・伸展機

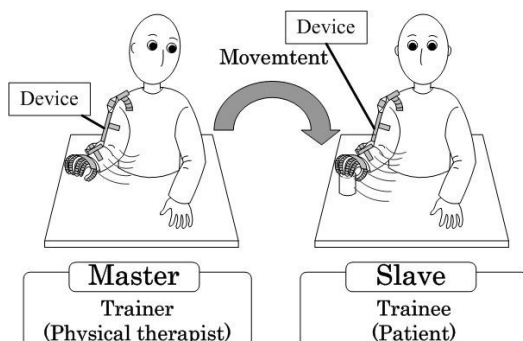


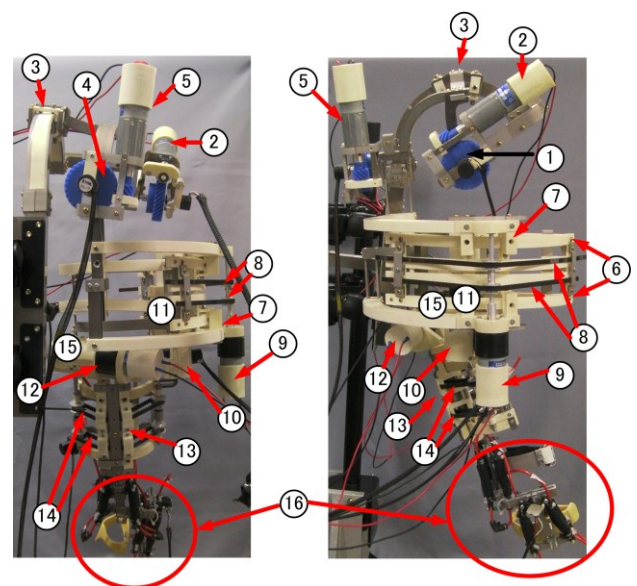
Fig. 1 Image of final goal

構、手首部の回内・回外、掌屈・背屈、尺屈・橈屈機構により構成されている。このうち肩部屈曲・伸展、外転・内転、内旋・外旋、肘部屈曲・伸展、手首部回内・回外機構にはアクチュエータとして DC モータを用いている。

手首部掌屈・背屈、尺屈・橈屈機構は装置の先端部であり人間が装着することを考慮すると軽量であることが望ましい。また、装置を小型化するためにはアクチュエータを配置するスペースは限定される。したがって手首部質量の軽量化並びに省スペースな機構の実現の観点から手首部掌・背屈、尺・橈屈機構にはアクチュエータとして出力重量比に優れる空気圧ゴム人工筋を用いている。

2-2 動作原理

各機構の動作の概略図を Fig.3-7 に示す。また、Fig.3-7 の各番号に対応するパーツおよび動作を Table 1 に示す。肩部屈曲・伸展、外転・内転、肘部屈曲・伸展機構は Fig.3, 4, 6 に示すようにモータの回転をねじ歯車を介して回転軸に伝えることで各動作を行う。肩部内旋・外旋機構は Fig.5 に示すようにモータの回転をタイミングベルトを介しレールパーツに伝え、レールパーツがローラーパーツ内で動作



(a) Rear view

(b) Side view

Fig.2 Overview of device

することで外旋・内旋動作を行う。手首部回内・回外機構は Fig.7 に示すようにモータの回転をタイミングベルトを介しローラーパーツに伝え、ローラーパーツがレールパーツに沿って動作することで回内・回外動作を行う。肩部内・外旋、手首部回内・回外機構は人間が装着する構造上回転中心に軸を配置することができないため、腕部側面にレールとローラを配置する構造としている。Fig.2 中の 16 で示す手首部掌・背屈、尺・橈屈機構は、筆者らがこれまでに開発した人工筋により駆動する機構を使用している⁽¹⁾。

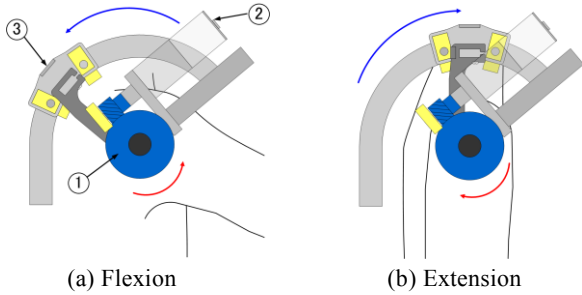


Fig.3 Flexion-Extension

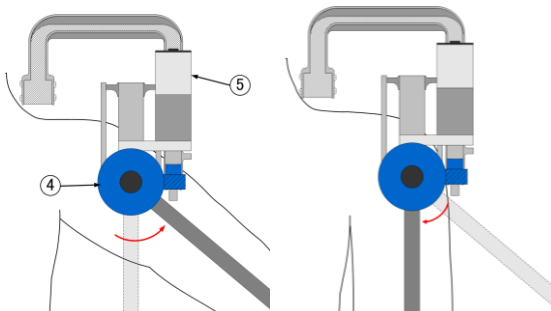


Fig.4 Abduction-Adduction

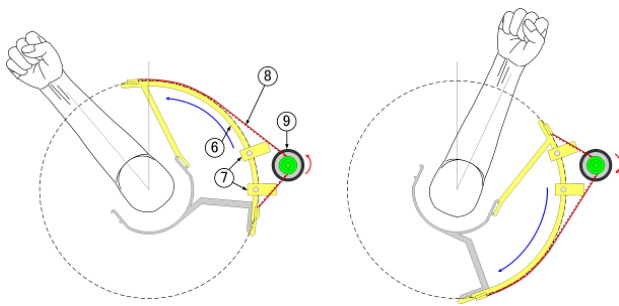


Fig.5 Internal rotation-External rotation

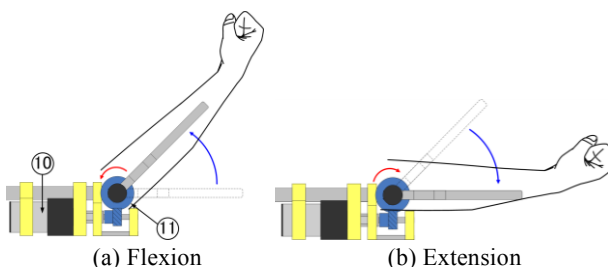


Fig.6 Flexion-Extension

2-3 装置構造

人間の関節可動域と装置の各関節の可動域を Table 2 に示す。ここでは肩部屈曲、外転、内旋、肘部屈曲、手首部回内、掌屈、尺屈を正方向とする。身体に装着する構造のため、人間の可動域全域において支援を行うことはできないが、身体前方での動作に十分な可動域が得られることを確認した。

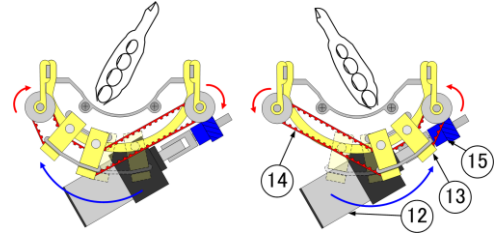


Fig.7 Pronation-Supination

Table 1 List of parts

Part	No.	Parts	Movement
Shoulder	1	Gear	Flexion Extension
	2	Motor	
	3	Roller	
	4	Gear	Abduction Adduction
	5	Motor	
	6	Rail	Internal rotation External rotation
	7	Roller	
	8	Timing belt	
	Elbow	9	Motor
10		Motor	
Wrist	11	Gear	Flexion Extension
	12	Motor	
	13	Roller	
	14	Timing belt	Pronation Supination
	15	Gear	
	16	Palmar flexion/Dorsal flexion Ulnar flexion/Radial flexion	

Table 2 Movable range of each joint

Part	Movement	Human[°]	Device [°]
Shoulder	Flexion (+)	-50~180	-10~50
	Extension (-)		
	Abduction (+)	-30~180	-20~40
	Adduction (-)		
	Internal rotation (+)	-60~80	-25~40
	External rotation (-)		
Elbow	Flexion (+)	0~145	0~100
	Extension (-)		
Wrist	Palmar flexion (+)	-70~90	-25~25
	Dorsal flexion (-)		
	Ulnar flexion (+)	-20~50	-25~25
	Radial flexion (-)		
	Pronation (+)	-90~90	-25~25
	Supination (-)		

3. 装着実験

実験ではユニラテラル型のマスタスレーブ制御を導入しマスタ装着者が身体前面で約 30[cm]の円を Fig.8 のように上肢全体を使って描く。開発した装置をスレーブ装置として使用し、マスタの動作に追従可能であることを確認した。実験結果を Fig.9,10 に示す。また、各関節の変数とその動作を Table 3 に示す。Fig.9(a)の肩部屈曲・伸展動作において装置の可動域を超えたため、最大屈曲角度 50[°]において飽和しているものの他の関節はマスタ装置の角度に追従していることが確認できた。肩部屈曲・伸展動作も可動域以下の範囲ではマスタの動作に追従可能であることが実験結果より確認できる。

4. おわりに

本研究では、空気圧ゴム人工筋と DC モータを組み合わせた人間と同様の計 7 自由度を有する装着型の訓練装置を開発した。本装置をスレーブ装置としたマスタスレーブ制

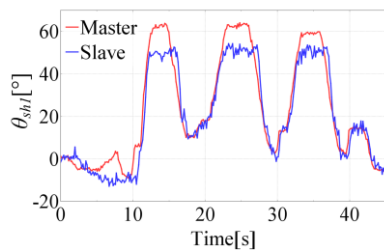
御による装着実験より、本装置を装着した被験者の動作がマスタの動作に追従可能であることを確認した。

参考文献

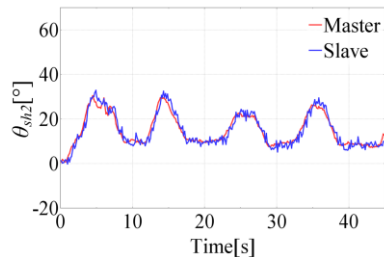
- (1) 佐々木大輔, 則次俊郎, 高岩昌弘, 空気圧ゴム人工筋を使用した上肢用ウェアラブル型マスタスレーブ訓練装置の開発, 計測自動制御学会論文集, vol. 49, no. 1, pp. 166-175, 2013.



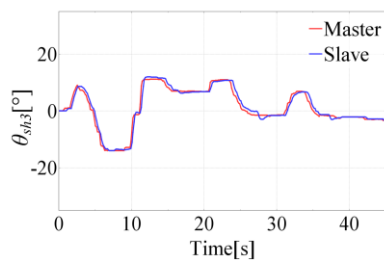
Fig.8 Image of experiment



(a) θ_{sh1}

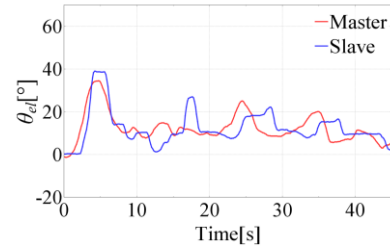


(b) θ_{sh2}

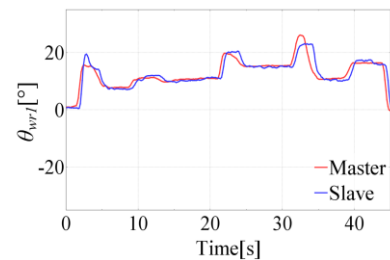


(c) θ_{sh3}

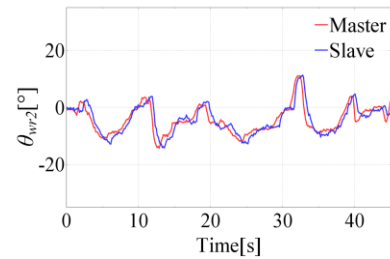
Fig.9 Experimental results of shoulder



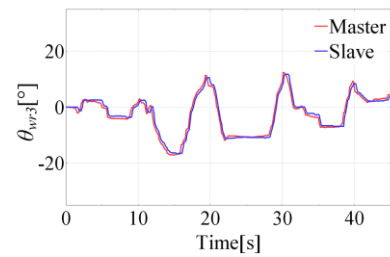
(a) θ_{el}



(b) θ_{wr1}



(c) θ_{wr2}



(d) θ_{wr3}

Fig.10 Experimental results of elbow and wrist

Table 3 Main parameters

	Part	Movement
θ_{sh1}	Shoulder	Flexion/Extension
θ_{sh2}		Abduction/Adduction
θ_{sh3}		Internal rotation/External rotation
θ_{el}	Elbow	Flexion/Extension
θ_{wr1}	Wrist	Palmar flexion/Dorsal flexion
θ_{wr2}		Ulnar flexion/Radial flexion
θ_{wr3}		Pronation/Supination