手指の屈曲・伸展動作支援機能を備えたパワーアシストグローブの開発

Development of power assist glove to support bending and extension

○学 加藤真知子 (岡山大) 正 則次俊郎 (岡山大) 正 高岩昌弘 (岡山大)
正 佐々木大輔 (岡山大)

Machiko KATO, Okayama University, Tsushimanaka 3-1-1, Okayama
Toshiro NORITSUGU, Okayama University
Masahiro TAKAIWA, Okayama University
Daisuke SASAKI, Okayama University

Recently, the rapid aging is a serious concern in Japan, and the lack of caretaker is anticipated in the future. When bending and extending finger motions are difficult, that prevents someone from performing daily activities. Therefore developing a device to realize an independent daily life of people with disabilities and to reduce the burden caretaker is expected. To perform daily activities with wearing this device lightweight, flexible and wearability is useful. So, there are many studies about support devices. In this study, a wearable power assist glove to support bending and extending finger is developed. This device consists of sheet-like curved type pneumatic rubber muscle. In this paper, the structure and characteristic of this device is described. Additionally, the effectiveness of this device is experimentally evaluated.

Key Words : Wearable device, Power assist, Artificial pneumatic rubber muscle

1. 緒言

近年我が国では急速に高齢化が進行しており、介護者の不足が社会的な問題となっている^[1]。老化によって生じた筋力の衰えや身体障害により手指の屈曲・伸展動作を行うのが困難となった場合、食事、整容などを始めとした多くの日常動作に支障が生じ、介護者による支援が必要になると考えられる。しかし、衰えた筋力を補い、手指の屈曲・伸展動作を支援できるような装置があれば、介護者の負担を軽減させ、被介護者は自立した生活を行うことが可能となる。さらに動作支援装置を装着して生活を行う場合、装置が軽量・柔軟で容易に着脱が可能であることが必要である。現在手指の動作支援装置として、さまざまな研究が行われている^{[2][3]}。

そこで本研究では、手指の屈曲・伸展動作支援を目的としたウェアラブルパワーアシストグローブ^[4]の開発を行う。本研究で開発したパワーアシストグローブに用いている人工筋は、軽量、柔軟で手指に沿った変形が可能である。さらにグローブ型の装置であるため、容易に着脱できる。本論文では、開発した装置の構造、特性について述べ、その支援効果を検証する。

2. シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋

開発したシート状湾曲型空気圧ゴム人工筋の構造及び外観を Fig.1, Fig.2 に示す。耐久性向上のため、屈曲動作に用いる側にはゴムチューブ（外径 8.4[mm]、内径 6.0[mm]）を使用し、伸展動作に用いる側の風船は 2 枚重ねたものを使用している。風船、ゴムチューブにそれぞれ圧力を加えると、軸方向にのみ伸長するゴムバンドと

布で覆うことにより径方向の膨張が抑制され、軸方向への伸長動作を行う。さらにゴムバンドと布の伸び量に変化が生まれるため、湾曲動作を行う。Fig.1 のゴムチューブを加圧することで屈曲動作 (Fig.3(a)) を、風船を加圧することで伸展動作 (Fig.3(b)) を行う。

図 1: Structure

図 2: Overview

(a) Bending

(b) Extending

図 3: Pressurized

3. パワーアシストグローブの構造

パワーアシストグローブの外観を **Fig.4** に示す。パワーアシストグローブには、5つのシート状湾曲型空気圧ゴム人工筋をそれぞれの指に配置している。シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋は、ゴムバンドにより合成皮のグローブに固定している。各人工筋の駆動長は親指が 80[mm]、人差し指が 140[mm]、中指が 150[mm]、薬指が 130[mm]、小指が 110[mm] である。手袋をはめるように容易に装着することが可能である。

図 4: Glove

4. パワーアシストグローブの動作性能

4.1 グローブの発生力測定

パワーアシストグローブの屈曲・伸展動作支援における指先発生力の変化を調べる。発生力の測定は、力センサ（日本電産シンボ株式会社デジタルフォースゲージ FGX-5）を用いて行う。グローブを装着し、無加圧で脱力した状態を初期状態とする。屈曲動作支援についてはシート状湾曲型空気圧ゴム人工筋の屈曲用人工筋を 0 ~ 200[kPa] まで加圧し、伸展動作支援については伸展用人工筋を 0 ~ 150[kPa] まで加圧し、人差し指先端での発生力を調べる。**Fig.5** に屈曲・伸展それぞれの実験装置の概要を示す。人工筋を無加圧状態で人間の手指の屈曲方向に屈曲させたときの角度 θ を湾曲角度とし、屈曲動作支援では θ を 0° 、 45° 、 90° 、伸展動作支援では θ を 45° 、 90° として測定を行う。実験結果を **Fig.6** に示す。

屈曲用人工筋は加圧時に 170[kPa] 付近で発生力が増加している。これは屈曲用人工筋に使用しているゴムチューブが 170[kPa] 付近で急激に膨張したためだと考えられる。

(a) Bending

(b) Extending

図 5: Experimental equipment(Top view)

(a) Extending

(b) Bending

図 6: Relation between angle and force

4.2 グローブの角度測定

パワーアシストグローブの人工筋加圧時における人差し指の屈曲角度、伸展角度について調べる。測定には曲げセンサ（ABRAMS GENTILE ENTERTAINMENT 製）（**Fig.7**）を用いる。曲げセンサを **Fig.8** のようにグローブの人差し指に取り付け、**Fig.9** に示す人差し指の PIP 関節角度 θ_p と MP 関節角度 θ_m の合計角度 θ を測定する。グローブを装着して脱力した状態を初期状態とし、屈曲角度測定については屈曲用人工筋を 0 ~ 200[kPa] まで加圧し、伸展角度測定については伸展用人工筋を 0 ~ 150[kPa] まで加圧し、測定を行う。実験結果を **Fig.10** に示す。屈曲角度測定結果は伸展角度測定結果と比較するとヒステリシスが大きい、これは人工筋の表面を布で覆っているため、元の状態に復元する力が小さいためだと考えられる。伸展角度が加圧時に 100[kPa] 以降で増加しているが、これはグローブ装着時に 5° 付近までしか伸展できず、さらに加圧することで屈曲方向に曲がったためだと考えられる。

図 7: Overview of bend sensor

図 8: Arrangement of sensor

図 9: Definition of angle

(a) Bending

(b) Extending

図 10: Relation between pressure and angle

5. 角度制御

グローブの人差し指に曲げセンサ (Fig.7) を Fig.8 のように取り付け、指の屈曲角度制御を行った。角度制御を構築したフィードバック制御系を Fig.11 に示す。 θ は指の角度、 θ_r は指の目標角度、 P_{br} 、 P_{er} は屈曲・伸展用人工筋の目標圧力、 P_b 、 P_e は屈曲・伸展用人工筋の内圧を示す。

図 11: Control system

5.1 静特性

パワーアシストグローブを装着した状態で、目標角度 θ_r を 30° 、 60° 、 90° としてステップ状に入力したときの応答特性を調べる。応答結果を Fig.12 に示す。実験結果より、1.5[s] 付近で角度が安定することがわかる。

図 12: Response characteristics

5.2 周波数特性

パワーアシストグローブを装着した状態で、人差し指の目標角度 θ_r を制御可能角度の範囲内である $20 \sim 90^\circ$ の間で正弦波状に与え、グローブの応答特性を調べる。正弦波の周波数は 0.1, 0.2, 0.4[Hz] とする。シート状湾曲型空気圧ゴム人工筋の屈曲側のみを使用した場合と、屈曲側と伸展側を併用して使用した場合について実験を行う。応答結果を Fig.13 に示す。屈曲機能のみでは目標角度の 20° まで応答できていないが、伸展機能を併用することにより 20° まで応答できており、伸展機能との併用による性能向上が確認できた。

(a) 0.1[Hz]

(b) 0.2[Hz]

(c) 0.4[Hz]
図 13: Frequency characteristic

5.3 ティーチング制御

グローブのすべての指に曲げセンサを人差し指と同様に取り付け、目標角度をティーチングにより与えることで制御を行う。以下の実験により、ティーチングによって得た目標角度についてグローブの応答特性を調べる。初期状態は、グローブを装着し脱力した状態とする。実験開始 10[s] 間でティーチングを行い、その後の 10[s] 間でティーチングにより得た目標角度により動作支援を行う。

- ・ 0 ~ 2[s] : 初期状態を維持
- ・ 2 ~ 4[s] : 指を屈曲させる
- ・ 4 ~ 6[s] : 指の屈曲状態を維持
- ・ 6 ~ 8[s] : 指を伸展させ、初期状態に戻す
- ・ 8 ~ 10[s] : 初期状態を維持
- ・ 10 ~ 20[s] : ティーチングにより動作支援

にぎり動作と V サインの動作について実験を行った。にぎり動作、V サインの動作についての実験結果を Fig.14, Fig.16 に、またそれぞれのティーチング時と動作支援時の外観を Fig.15, Fig.17 に示す。実験開始から 6[s] 経過した後に伸展動作を開始しているため、多少角度変化に遅れが生じている。人工筋の湾曲角度の限界により Fig.14 の人差し指と中指は目標角度まで動作できていないが、ティーチングにより得た目標角度に対してほぼ同様の動作が実現できていることがわかる。

図 14: Result of teaching (grasp)

図 15: Grasp

図 16: Result of teaching (vsign)

図 17: Vsign

6. 結言

本研究では、空気を加圧することで 2 方向に湾曲することのできるシート状湾曲型空気圧ゴム人工筋を用いて、手指の屈曲・伸展動作支援を目的としたウェアラブルパワーアシストグローブの開発を行った。本装置は軽量、柔軟で手指に沿って変形し、容易に着脱可能である。実験結果より、伸展用人工筋を併用することによる性能向上が確認できた。今後は、親指の自由度の増加、より動作性能を向上させるための制御手法について検討していきたい。最後に、本研究は文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(16078210)の一環として実施されたことを付記する。

参考文献

- [1] 国立社会保障・人口問題研究所 “日本の将来推計人口”, 2008.
- [2] 山田高史, 田口幹他: “リハビリ支援パワーアシストグローブの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会'06 講演論文集 (CD-ROM), 2P2-A08, 2006.
- [3] 岩田季恵, 高木基樹他: “装着型握力補助装置の制御手法の開発”, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会'07 講演論文集 (CD-ROM), 3J15, 2007.
- [4] 佐々木, 則次, 山本, 高岩: “空気圧ゴム人工筋を用いたパワーアシストグローブの開発”, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.5, 2006.