407 手首の多様な運動を促す Tail-wrist の開発

Development of Tail-wrist that presses various movements of wrist

○学 井戸聞多(東工大) 正 塚越秀行(東工大) 学 白土賢一(東工大) 正 北川能(東工大)

Monta IDO, Tokyo Institute of Technology
 Hideyuki TSUKAGOSI, Tokyo Institute of Technology
 Kenichi SHIRATO, Tokyo Institute of Technology
 Ato KITAGAWA, Tokyo Institute of Technology

Abstract: In this research, the device that supported various operation of the wrist by the installation type was developed based on the spiral fluid actuator that authors had originally proposed up to now. It is expected that the necessity of the installation type actuator into which the load is changed according to user's purpose and ability will rise in the future. It proposes joint drive part Tail-wrist aiming at the operation support of two degree of freedom. The device made for trial purposes can handily detach, and the function to follow to the operation of the target is had both. It was confirmed that Tail-wrist was effective to the wrist exercise support to measure the generation torque.

Key Word: wearable robot, pneumatic actuator, Wound Tube Actuator, power assist

治療のための過度な安静・臥床は、逆に間接拘縮・筋力低下・骨粗しょう症など廃用症候群(disuse syndrome)という二次的障害をもたらす。この予防策の1つとして、自在に動かすことの出来ない患部に無理のない外力を与えて、身体運動を生成する装着型アクチュエータが有効である。本研究では、複数自由度を備えた手首部の動作支援を目的とし、その実現に有効なアクチュエータおよび機構(Tail-wrist)の提案を行う(Fig.A3, Fig.A4)。

Fig.A1 Concept of Tail-wrist to stimulate the body exercise.

Fig.A2 Driving principle of Wound Tube Actuator.

Fig.A3 Structure of "Tail-wrist" to assist the wrist motion.

Fig.A4 Developed Tail-wrist

重量: 348[g]

可動範囲: 各自由度±30[degree]

最大トルク(0.4[MPa]加圧時):

各方向1.11[Nm]

装着時間: 10~40[s]

Fig.A5 Specification of Tail-wrist and output torque of man's wrist

1. 緒言

治療のための過度な安静・臥床は、逆に間接拘縮・筋力低下・骨粗しょう症など廃用症候群(disuse syndrome)という二次的障害をもたらす。この予防策の1つとして、自在に動かすことの出来ない患部に無理のない外力を与えて、身体運動を生成する装着型アクチュエータが有効と思われる。(Fig.1)また、上記用途以外にも、高齢者の健康維持のためのパワートレーニング、あるいは健康者においてもスポーツスキル向上用や、介護時などのパワーアシストとして、使用者の目的や能力に応じて負荷を変えられる装着型アクチュエータの必要性が、今後高まると予想される。そのため本研究室では、(i)出力/重量比が高く、(ii)身体外部への突出度を少なくし、(iii)広い移動範囲を有する Wound Tube Actuator (WTA) およびそれを用いた駆動系について研究してきた。

Fig.1 Image of wearable actuator to promote exercise

筆者らは昨年度までに、肩、肘 3 自由度の上肢間接駆動部 Tail-arm^[1] (Fig.2)と腰、膝の下肢関節駆動部 Tail-leg を製作してきたが、本研究では手首部分における動作支援を目的とする。手首の動作支援を目的とした研究として手首の掌屈、背屈の動作支援を可能にする、揺動型アクチュエータを用いた装具が研究されている^[2]が、本研究では、掌、背屈に尺、とう屈を加えた2自由度の動作支援を目的として関節駆動部 Tail-wrist を提案する。

Fig.2 Image of transportation of elbow using WTA

身体的弱者にも装着できる構造を有し、かつ実用的に手首の動作支援を行えるアクチュエータの開発を目的とする。本論文の構成は、2 章では本研究室において開発された WTA と呼ばれる空圧アクチュエータの駆動原理と動作特性。3 章においては WTA を用いて手首の2 自由度の動作支援を目的とした Tail-wrist の構造。4 章においてはその動作特性と仕様について述べる。

2. アクチュエータの構造とその特性

本研究室で開発された空圧アクチュエータ、WTA の構造について説明する。装着型アクチュエータは身体に装着するため、(i)出力/重量比が高く、(ii)身体外部への突出度を少なくし、(iii)広い稼働範囲を有する、という条件を満たすアクチュエータである必要がある。WTA は、ウレタンチューブを熱加工により扁平化し、螺旋状に巻きつけた形状をしており、加圧すると相隣り合うチューブと押し合う力を生成しスラスト方向に伸長動作を行う。(Fig.3)

Fig.3 Driving principle of WTA, when its inside is pressurized.

また、WTA の一部を拘束することにより、加圧時に曲がりながら伸長動作を行うこともできる。(Fig.4)

Fig.4 Driving principle when WTA to which part is restrained is pressurized

3. 手首動作支援機構 Tail-wrist

3. 1. 手首の動作について

まず、人間の手首の動作が持つ自由度について考える。手首の動きの名称について Fig.3 に示す。数字はその曲げの可動域の角度を表す。手首関節が持つ自由度は、掌の方向(掌屈)とその逆に手の甲の方向(背屈)に倒す自由度(Fig.5, 右)と、掌を立てたときに親指側(とう屈)と小指側(尺屈)に倒す自由度(Fig.5, 左)の、手首を曲げる2自由度と、さらには手首自身を回転させる1自由度(Fig.6 矢印1)の、合わせて3つ存在する。本研究では、3つの自由度のうち手首を曲げる2つの自由度 (Fig.6 矢印2, 矢印3) に特化して、その動作を支援するような装着型アクチュエータ Tail-wrist を提案する。

Fig.5 Name of operation of wrist. The figure shows a movable region of the bend of the wrist.

Fig.6 Basic design of concept of Tail-wrist.

3. 2. Tail-wrist の構造

装着型アクチュエータは、身体への着脱が容易でその上、一度装着すると関節周りの柔軟性を自在に調整できる構造が望ましい。それらを満たすアクチュエータとして、Tail-wrist は Fig.6 に示すような棒状の形状を採用した。

Fig.7 Structure of Tail-wrist. The left is at back of palm angle. The right is parallel angle of palm. The same color wire is pulled when a certain color WTA is pressurized, and wooden board inclines at the direction of the same color arrow.

Tail-wrist の構造を Fig.7 に示す。手の甲に装着する部分は、手の甲全体にフィットするように加工した木製の板を用い、手首部分に相当する手の甲と前腕の接続部にはユニバーサルジョイントを用いて、2 自由度の関節運動を実現させた。前腕部に相当する駆動部分は、4 つの WTA を円盤のプレートの間に配置し、2 つの WTA を互いに拮抗させてその間に移動プレートを含むことにより、WTA が加圧されたときに移動プレートは WTA の伸縮方向に圧力を受ける。この力をワイヤの張力に変換して、ユニバーサルジョイントを曲げるトルクを生み出す。ワイヤは合計で4 本あり、それぞれのワイヤが一つずつ WTA の伸びに対して連動しており (Fig.7 では同じ色の WTA とワイヤが連動している)、それぞれの方向への曲げを担当する。加圧されている WTA は伸長運動をし、それに連動してワイヤは引っ張られ (Fig.7 下では赤の WTA が加圧されると赤のワイヤに張力が伝わり) トルクを生む。逆にそれに拮抗する、加圧されていない WTA (Fig.7 下では青) は移動プレートによって押し込まれて短縮運動をし、それと連動しているワイヤ (青) は張力を持たず、トルクを相殺することは無い。また、このワイヤは WTA の内側の空間と芯となるアルミ棒の間の空間を通っており、人体に触れて肌がずれるという事は無い。

3. 3. 製作した Tail-wrist

Tail-wrist の装着図を Fig.8 に示す。装着部は手の甲、手首関節、肘周辺の3部分からなり、着脱は容易に行うことができる。慣れれば30秒以内に装着することが可能であり、10秒前後で取り外すことが可能である。

Fig.8 Image of arm wearing Tail-wrist.

4. 動作特性

実際に装着して動作を確認したところ、目的の2自由度に対してそれぞれ $\pm 30^\circ$ の可動範囲で、動作支援することが確認できた(Fig.9)。可動域を人体の曲げられうる最大角に設定しなかったのは、可動域には個人差があるため、誰が着けても無理のない角度に設定したためである。

Fig.9 Image of Tail-wrist motion

Tail-wrist の角度と供給圧、出力トルクとの関係を Fig.10 に示す。手首関節からの変位角を θ とし、それぞれの供給圧についてそれぞれの角度における出力トルクを計測した。また、最大出力トルクは

0.4[MPa]加圧時に1.1[Nm]であり、人体の手首が出力するトルクの56~100%に相当する。割合にばらつきがあるのは、各方向の出力トルクが人体では異なり、Tail-wrist は一定であるからである。Fig.11 に人体が出力する手首部分のトルクを示す。

Fig.10 Image of definition of θ and graph of relation between torque output of Tail-wrist and wrist angle.

Fig.11 Image of torque output of human.

5. Tail-wrist の追従実験

Tail-wrist を制御して身体運動を生成することを最終目的とするが、そのためには人体と Tail-wrist の姿勢と力を読み取り、Tail-wrist に適切な入力を与える必要がある。それらを実現するために、人体の手首の姿勢を読み取り、Tail-wrist をその姿勢に追従するような入力を与えるという、簡易的な実験を行った。このとき、手首の関節の角度を読み取るために、手首からの突出が少なく装着できるとい

う目的からポテンショメータを用いて手首用サポーターの内部に配置した。その状況を Fig.12 に示す。被験者 A の手首にはセンサのみ装着し、被験者 B にはセンサおよび Tail-wrist を装着した。被験者 A、B の手首の姿勢を読み取り、被験者 B が被験者 A の手首の姿勢を追従するような入力を Tail-wrist に与える。

Subject A

Subject B

Fig.12 Appearance of the experiment Subject B following wrist position of Subject A.

あった。健常者の前腕部の重さは 1500～2000[g]であり、手首部分の出力は約 0.8[W]であることから、Tail-wrist は健常者の前腕の 2 割ほどの重量で 9 割近くの出力を発生する。これにより、手首の動作支援を行うという Tail-wrist の有効性を示すことができた。

6. 結言

前腕部の運動支援を目的とした棒状のアクチュエータ Tail-wrist を製作し、その生成トルクなどの動作特性を調べることで Tail-wrist が手首の運動支援に有効であることを確認した。

今後の課題として、Tail-wrist を改良し、前腕部における回旋運動の支援も実現することにより、前腕部の全ての動作支援を可能にするアクチュエータの製作を目指す。

参考文献

- [1] 塚越、鎌田、北川:”Tube Actuator によるウェアラブル・フルードパワーの開発 第 3 報: 省エネルギー歩行支援のための自重ロック式膝駆動、ロボティクス・メカトロニクス’02、1A1-F10(2002)

- [2] 佐々木、則次、高岩、福井:”空気圧ソフトアクチュエータを用いた手首関節能動補助装具 ASSIST の開発”、ロボティクス・メカトロニクス’04、2P2-H-45(2004)