

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 9 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05906

研究課題名(和文) 家庭用水道を主動力とする水圧人工筋駆動式パワーアシストの開発

研究課題名(英文) Development of a power assist device with an artificial muscle actuator driven by tap water

研究代表者

小崎 貴弘 (Kosaki, Takahiro)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20285422

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人工筋アクチュエータで駆動される、装着型の水圧式パワーアシスト装置及び動作支援制御システムを開発した。この装置では、水道水圧をそのまま主動力源とするためコンプレッサやポンプが不要であり、消費電力が非常に小さい。また、軽量の柔軟素材なら成る人工筋アクチュエータを用いており、高い対人安全性を備える。被験者による実験の結果、この装置により筋活動量を低減化できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：A wearable water-hydraulic power assist device has been developed for the upper limbs with an artificial muscle actuator. As this device uses the pressure of readily available tap water as a main power source, it does not need pumps or compressors; thus, it consumes very little electric power. In addition, this device is safe for users because an artificial muscle actuator comprises highly flexible and lightweight rubber with fiber. The results of experimental verification with research participants wearing the developed device demonstrate that the device can reduce the muscle activity of users.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：水圧システム パワーアシスト

1. 研究開始当初の背景

人口減少・少子高齢化が進行し、総人口に対する 65 歳以上の高齢者の人口は約 26% に上っており、この割合は 2060 年には約 40% に達すると予測されている。そのため、筋肉の衰えや疾病による運動弱者が増加していくと同時に、介護者にかかる負担がますます増大することが懸念されている。このような中で、近年ロボット支援技術に対する関心が高まっている。運動弱者の自立支援や介護者の身体的負担軽減のためのロボット支援技術の一つとして、人が装着し、装着者の筋力を補助するパワーアシストがある。装着型のパワーアシストは、常時人と密着し、装着者の動作に合わせてアクチュエータが駆動力を発揮するものであるため、本質的な安全性が重視される。

作動流体として水道水を用いる水圧駆動システムは、一般に空気と同様に人や環境との融和性が高い、作動水の入手・廃棄が容易、感電・発熱による危険が無いだけでなく、オイルフリー、防水化が容易といった利点を有する。従来は高压域対象の機器を中心に開発が行われてきたが、近年は家庭における新しい動力源として水道水圧の活用が期待されている。これまでに、電動式や空気圧式のパワーアシストには市販が開始されているものもあるが、水道水圧式は実用化に至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、潤滑が不要、金属部品がないため錆を生じない、軽量といった特長を備えた人工筋アクチュエータを用いた水道水圧式の肘関節用パワーアシスト装置を開発することを目的とする。はじめに、パワーアシスト装置に対してインピーダンス制御に基づく動作支援制御システムを構築し、次いで、その基本的な制御性能、及び装着時の支援効果を実験で検証することにより、水道水圧で駆動されるパワーアシストの実現可能性を検討することを目的とする。

この装置は、水道水圧をそのまま主動力源として用いるため、水道蛇口からの配管が必要であるが、コンプレッサやポンプが不要であるため省電力であり、また、モータ作動音、コンプレッサ作動音、空気の排気音などが無く静音性に優れ、特に一般家庭でも安全で使い易い介護支援パワーアシストへの発展が期待できる。

3. 研究の方法

研究期間内に、水道水圧を主動力源とする水圧人工筋式の肘関節用パワーアシスト装置を試作し、その動作支援制御システムを開発して実装・評価実験までを行う。

- (1) 1 年目は、水圧式パワーアシスト装置の設計・製作と、制御システムの設計に資するための、人工筋モデルの作成・パラメータ同定を行う。さらに、提案制御シ

ステムは複数の要素から構成されるが、最初にインピーダンス制御システム、及びその基礎となる収縮力制御システムの設計を行う。

- (2) 2 年目以降は、筋電位信号を用いた装着者の筋活動検知システム、インピーダンス制御と増幅制御を組み合わせた動作支援制御システムの構築・実装、及び被験者が装着して支援効果の検証実験までを行う。

4. 研究成果

本研究では、人工筋アクチュエータで駆動される、装着型の水圧式パワーアシスト装置を開発することを目的とした。このパワーアシスト装置では、水道水圧をそのまま主動力源とするためポンプ等が不要であり、消費電力が非常に小さい。また、軽量の柔軟素材から成る人工筋アクチュエータを用いており、高い対人安全性を備える。主な研究成果を以下に記載する。

- (1) 水道水圧を用いる人工筋アクチュエータ駆動式パワーアシストの試作機を構築した。システム全体の構成を図 1 に示す。この水圧式パワーアシスト装置は、人の前腕と上腕にベルトで取り付け、肘関節の動作を補助する。人工筋アクチュエータの上端は外骨格フレームに固定され、下端にはワイヤが接続されており、人工筋アクチュエータの収縮力はワイヤを介して肘関節部のプーリでトルクに変換される。プーリの回転(すなわち肘関節の回転角度)、人工筋アクチュエータの収縮力、収縮加速度は、それぞれセンサにより検出される。また、人工筋アクチュエータを制御するため、比例制御バルブ 2 個を 1 組として用いる。すなわち、比例制御バルブ A により人工筋アクチュエータへの水道水の供給流量が調節され、比例制御バルブ B により排出流量が調節される。

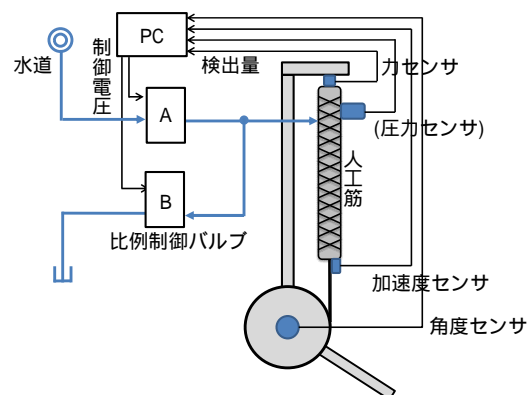
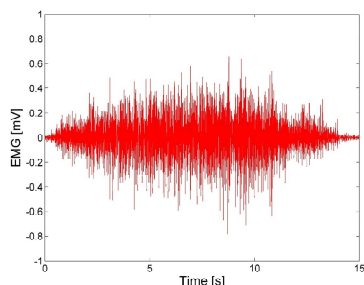
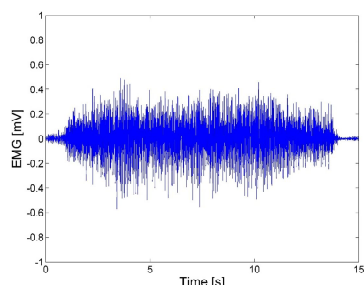


図 1 水圧式パワーアシスト装置

- (2) 動作支援制御システムを構成する際に必要であるため、試作した水圧式人工筋式パワーアシスト装置に関するモデルを構築し、モデルに含まれるパラメータを実験により同定した。この実験のため、人工筋アクチュエータの内圧を測定するセンサを取り付けた。また、制御バルブの流量特性についても測定を行った。
- (3) モデルに基づき、本研究の動作支援制御システムにおいて基礎となる、人工筋アクチュエータの収縮力制御システムを構築した。次いで、パワーアシスト装置と装着者との動的な相互作用を調節できるインピーダンス制御を導入し、目標とするインピーダンスを実現すると同時に、装着者がパワーアシスト装置に加えたトルクを増幅できる動作支援制御システムを構築した。



(a) アシスト無



(b) アシスト有

図2 実験結果例

- (4) 構築した動作支援制御システムを実装した水圧式パワーアシスト装置の性能を検証するための実験を実施した。システムの基幹を成す収縮力制御器の性能試験、インピーダンス制御器による目標インピーダンスの実現精度を調べるための、インピーダンスパラメータ（仮想慣性、仮想粘性摩擦、仮想剛性）をそれぞれ変更した場合の性能試験を経て、実際に被験者がパワーアシスト装置を装着し、それによる動作支援効果を実験で調べた。実験においては、被験者の筋電位信号を計測し、筋活動量の観点から、各インピーダンスパラメータの影響を調査するとともに、本研究で開発した制御システムの動作支援効果を検証した。

図2（上腕二頭筋の筋電位）に示されるように、開発した水圧式パワーアシスト装置による動作支援により、被験者の筋活動量の低減化が確認された。

- (5) 水圧式パワーアシスト装置の耐水性能を高めるため、装置本体のセンサレス化を進めるとともに、流量センサを用いて人工筋アクチュエータの体積変化を求めることにより変位量を推定するシステムを構築した。このシステムでは、人工筋アクチュエータへの水の供給・排出流量を測定するための流量センサを配管系に取り付けた。また、人工筋アクチュエータの体積と収縮量に関する特性にはほとんどヒステリシスがなく、負荷の影響も小さいため、特性を計測し、供給・排出流量から体積変化を求めて変位量を推定する手法を本研究で用いた。これにより、角度センサを用いずに動作支援制御を可能とした。
- (6) 検証実験では、人工筋アクチュエータの圧力制御を実行し、供給・排出流量から変位量の推定が可能であることを確認した。さらに、角度センサレス化された水圧式パワーアシスト装置を実際に被験者が装着し、装着者の筋電位信号を計測することにより動作支援効果を検証した結果、筋活動量の観点から、センサレス化を行ってもほぼ同等の支援効果が得られることが確認された。この結果、従来よりも耐水性能が向上したため、応用範囲の拡大が期待できる。
- (7) 水圧式パワーアシスト装置への実装までには至らなかったが、筋電位信号を用いて装着者の筋活動開始をリアルタイムで検知できる手法の開発も並行して実施し、完成に至った。今後は実装を進めることで水圧式パワーアシストの更なる有用性向上を図る。

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1件)

小寺 貴弘, 二反田 晃尚, 厚海 慶太, 李仕剛, 水道水圧駆動人工筋アクチュエータを用いた肘関節用パワーアシスト装置の開発, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol. 82, No. 841, 2016 [DOI: 10.1299/transjsme.16-00174]

〔学会発表〕(計2件)

二反田 晃尚, 小寺 貴弘, 厚海 慶太, 李仕剛, 水圧人工筋駆動パワーアシストロボットによる肘動作支援制御, 第33回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2015AC3

A3-07, 2015

Takahiro Kosaki, Keita Atsuumi, Yuzo Takahashi, and Shigang Li, A pneumatic arm power-assist system prototype with EMG-based muscle activity detection, Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 793-798, 2017

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

平成28年度 第3回 医療福祉機器技術事業化交流会「水道水圧式装着型パワーアシストシステム」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小嵯 貴弘 (KOSAKI, Takahiro)
広島市立大学大学院・情報科学研究科・准教授
研究者番号：20285422

(2) 研究分担者

厚海 慶太 (ATSUUMI, Keita)
広島市立大学大学院・情報科学研究科・助教
研究者番号：80453207