

令和 5 年 4 月 11 日現在

機関番号：55301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14954

研究課題名（和文）前腕の回外動作を利用して高機能的な把持力制御が可能な統合制御型流体駆動義手の開発

研究課題名（英文）Development of Integrated Controlled Fluid-Driven Prosthetic Hand Capable of High-Function Grasp Force Control Using Supination of Forearm

研究代表者

西川 弘太郎（Nishikawa, Kotaro）

津山工業高等専門学校・総合理工学科・准教授

研究者番号：90824532

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：近年、3D-CAD・3Dプリンタ等を利用して製作された筋電義手が注目されている。しかし、義手の駆動源に減速機を用いた電動アクチュエータを使用する場合、義手の関節剛性が高くなるため、柔軟な対象物の把持にはコンプライアンス制御が必要となる。そこで研究では、柔軟なベローズアクチュエータを用いた空気圧駆動義手を提案した。本義手は、従来の空気圧システムに必須の外部コンプレッサの代わりに使用者の前腕の回外運動により圧縮空気を生成する無動力型のため、軽量・低コストである。このシステムを利用して5指ハンドを駆動することにより対象物の安定した柔軟把持を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の筋電義手の重量が大きくコストが高いという問題に対して、3Dプリンタを利用した義手が提案されている。筐体の軽量・低コスト化は実現できているものの、駆動源の電動アクチュエータは関節剛性が高いためバックドライバビリティがない。したがって、外力や把持対象物からの接触力に対して受動的な把持ができず、コンプライアンス制御が必要になる。これに対して本研究では、空気圧アクチュエータを採用することによって、空気の圧縮性を活かした受動的な把持を実現した。また、無動力システムの採用によって、外部コンプレッサなしでの駆動も実現した。

研究成果の概要（英文）：Recently, myoelectric hand prostheses produced by the combination of 3D-CAD and printer have gained attention. However, when an electric actuator with reduction gears is used as the driving source of the hand prosthesis, the joint rigidity becomes high; therefore, compliance control is required to grasp soft target objects. In this study, I propose a pneumatically driven hand prosthesis using a flexible bellows actuator. The hand prosthesis is lightweight and inexpensive

because it is self-powered and generates compressed air through the supination motion of the user's forearm instead of an external compressor, which is essential for conventional pneumatic systems. Stable flexible grasping of the target object was achieved by driving a five-finger hand using this system.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：空気圧 義手 柔軟把持 バックドライバビリティ 無動力 統合制御

1. 研究開始当初の背景

わが国では、より多くの障害者の社会参加を目指しており、平成 30 年版障害者白書では、真に役立つ福祉機器開発のための研究が推進されている。その中で筋電義手が注目されている。これは、皮膚表面に発生する微弱な表面筋電位を利用して義手の関節角等を制御する高機能な義手である。しかし、複雑な電子回路や電動アクチュエータを制御し義手を駆動しているため、重量が大きくコストが高いという問題があり普及率は 2%程度に止まっており、一般的な筋電義手にかわる軽量・安価な義手が必要とされている。

2. 研究の目的

従来の筋電義手には、関節を駆動するアクチュエータにサーボモータ等の電動アクチュエータが使用されているため、筋電義手の重量が大きくなり、それが使用者にとって筋疲労の原因となる。また、筋電位をインターフェースとして把持動作を行うため、それには筋電センサー・信号処理装置・コントローラ等が必要であり、複雑に構成されるシステムから義手本体の価格が数百万円するものもある。このように、筋電義手は一般的に重量が大きくコストが高くなりがちであり、その筋電義手は装着後すぐに使いこなせるものではなく、数週間の訓練が必要となる。それに加えて、公的制度の不備や訓練施設の不足等が挙げられ、わが国では海外と比較して筋電義手を導入するための環境が整っていない。そこで本研究では、電動アクチュエータよりも出力/重量比が高い空気圧アクチュエータを採用した、軽量・安価な流体駆動義手を提案する。義手の駆動方式に空気圧を採用することにより、義手の軽量化が可能になる。また、一般的な筋電義手に使用されている電動アクチュエータにはバックドライバビリティがないため、対象物を柔軟に把持することは困難である。その一方で、空気圧アクチュエータには圧縮性を有する空気を媒体として使用しており、バックドライバビリティがあるため、対象物の柔軟な把持が可能になる。そして、義手のシステムは一般的な筋電義手よりもシンプルな構造となるため、低コスト化も可能になる。義手骨格は、3D-CAD および 3D プリントを用いて安価に製作する。空気圧を駆動源に用いる場合、外部コンプレッサは必須となるが研究対象とする義手は使用者に装着することが前提のため搭載できない。そこで本研究では、義手本体に搭載が可能な外部コンプレッサなしの無動力型のポンプシステムを提案する。さらに、対象物の安定な把持を実現するためハンドは人間の手に即して 5 指とする。5 指駆動は 1 指駆動と比較して必要なポンプ容量は大きくなる。しかし、それに対応しようにも、義手本体に搭載できるポンプ容量にはスペース的な限界もある。そこで、ポンプ容量は変更なしでの 5 指駆動を実現するために、複数回のポンピングによる駆動を採用する。さらに本研究では、義手の把持能力向上を行った。具体的にはマイコンによる圧力制御を導入し、最大把持力の制限による柔軟対象物の破損防止および把持力の微調整を可能とする。つまり、使用者はポンピングを行う加圧制御に対してマイコンは減圧制御を行う、使用者と自動制御系の統合制御によって、柔軟物から重量物までの安定把持を実現する。ここでは、本研究の成果を以下のとおり報告する。

3. 研究の方法

本義手の有用性を定量的に評価するため、把持実験を行う。本義手との比較対象として無動力型 2 指空気圧駆動義手 および 5 指電動義手 (HACKberry) を用いる。この 5 指電動義手は価格が十数万円であり、一般の電動義手よりも安価で入手しやすいため、比較対象に選定した。これらを用いて柔軟対象物把持実験を実施し、多指化の効果・空気圧の柔軟把持の効果・そして圧力制御の効果について両義手と把持性能を比較検討する。具体的には、2 指空気圧駆動義手と本 5 指義手の比較によって多指化の効果を、5 指電動義手と本統合制御型 5 指空気圧駆動義手の比較によって、空気圧の柔軟把持と圧力制御の効果について確認する。また、重量対象物把持実験についても実施する。被験者は健康な成人男性 3 名の A,B,C である。実験条件は、把持対象物を把持し約 50 [mm] 持ち上げ、初期位置から 400 [mm] 左の位置に移動する。義手使用者が断端をホルダーに挿入する代わりとして、被験者はホルダー自体を右手でつかんで回転させることによって、義手の使用を模擬する。ホルダーの回転角度はポテンショメータから、ベローズ圧力 P は圧力センサーにより計測する。実験時のセンサー出力は、外部の実時間 Linux で動作する PC にて記録する。サンプリングタイムは、5.0 [ms] である。

4. 研究成果

把持対象物は、弁当カップに盛り付けたコーンチョコ（総重量：48.5 [g]）とする。コーンチョコは、不定形状のコーン表面がチョコでコーティングされているため滑りやすい。それがたわみやすい紙カップに盛り付けられ、カップの中で互いに点で接触している。つまり、小さな外力変化や把持・移動の際の加速度の変化でさえ、コーンチョコやカップの落下につながる可能性がある懸念される。被験者はハンドを手で保持し、対象物の様子を確認しながら対象物の把持・移動を行う。各ハンドの把持実験の結果は、以下のとおりである。

無動力型 2 指空気圧駆動義手の結果ではホルダーの回外角度を調整し、コーンチョコを把持するものの、2 指であるためコーンチョコが指の間隙からこぼれ、被験者全員が把持に失敗している。

次に、5 指電動義手では被験者らは、慎重に電動義手を制御してコーンチョコの把持を試みている。5 指のため、コーンチョコを包み込んで把持をするものの、電動の指はバックドライバビリティがないため、紙カップの表面形状の変化に追従できず被験者全員がコーンチョコをこぼしてしまっている。

一方、統合制御型 5 指空気圧駆動義手では、把持・移動中にコーンチョコがカップの中で動いてカップの表面形状および接触力が変化しているが、空気の柔軟性・バックドライバビリティにより、その影響を受動的に吸収し安定な柔軟把持ができている。コーンチョコの様子を被験者が確認しながらポンピングをしており、その時の指関節は内圧を適切に設定することによって低剛性となっている。把持実験では、被験者全員が 5 指空気圧駆動義手の指関節剛性を適切に設定することにより、受動的な把持が必要とされるコーンチョコの把持に成功した。

大きな重量の対象物の各ハンドの把持実験の結果について述べる。把持対象物は、中身の入った 440 [ml] のペットボトルとする。無動力型 2 指空気圧駆動義手の結果では被験者らは、2 指ハンドを操作しペットボトルを 2 指で挟みこんで把持を試みているが、ポンプ容量の不足による把持力の小ささから把持に失敗し指からペットボトルを滑らせ落下させている。5 指電動義手は、電動アクチュエータの大きなトルクによる把持力で 2 指空気圧駆動義手では把持ができなかったペットボトルの安定した把持に、被験者全員が成功している。最後に統合制御型 5 指空気圧駆動義手では、波打った側面形状に沿ってハンドの指がペットボトルを包み込んでいる。ペットボトルは重量がありハンドから滑り落ちやすい状態にあるが、被験者全員が大きな把持力で安定に把持できた。目標圧力は、被験者 A では 70 [kPa] に調整されており、ペローズ圧力を高めることにより、指関節は高剛性となり、把持に成功している。しかし、被験者がペットボトルの把持状況を見ながら目標圧力を徐々に上げる過程で、22 [s] 間にわたる 15 回ものポンピングが必要になった。これは、ピストンロッドと円筒リブカムがガタに加え、マイコンによる圧力制御が目標圧力を上げる際においても介入するため、結果としてペローズ圧力の低下が起こったこともその一因となっている。このような連続的なポンピングが必要であることは義手の操作性の面から考えて現実的とはいえないため、操作性向上が課題となる。

< 引用文献 >

Kotaro Nishikawa, Kentaro Hirata, Masahiro Takaiwa, Development of Self-Powered 5-Finger Pneumatically Driven Hand Prosthesis Using Supination of Forearm ,Journal of Robotics and Mechatronics 34(2) 454-465

西川弘太郎, 平田健太郎, 高岩昌弘, 感覚フィードバック機能を備えた無動力型空気式義手の開発, 日本フルードパワーシステム学会論文集, Vol.49, No.2, pp.56-63

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kotaro Nishikawa, Kentaro Hirata, Masahiro Takaiwa	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of Pneumatically Driven Hand Capable of Grasping Flexible Objects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 923-930
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2020.p0923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kotaro Nishikawa, Kentaro Hirata, Masahiro Takaiwa	4. 巻 34
2. 論文標題 Development of Self-Powered 5-Finger Pneumatically Driven Hand Prosthesis Using Supination of Forearm	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 454-465
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2022.p0454	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------