

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20741

研究課題名（和文）音声主体多様入力と小型安全直感フィードバック装置を持つ柔軟軽量肩義手の利便性向上

研究課題名（英文）Lightweight flexible shoulder prosthesis with various operation input modalities composed mainly of voice and small safe intuitive feedback device

研究代表者

関根 雅（Sekine, Masashi）

千葉大学・西千葉地区事務部・技術専門員

研究者番号：70769182

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：音声を主体とした多様操作入力方式及び、足首/耳垂部に適用する小型安全直感型フィードバックデバイスを備えた肩義手システムを研究開発し、肩義手の利便性向上を図った。5自由度義手腕のうち3関節を音声入力操作対象とした。また柔軟・安全性アップのため4関節の駆動に軽量柔軟な空圧ゴムタイプのアクチュエータを採用している。義手腕単体の重量は830gとなった（コンプレッサ等重量物を含まず）。動作実験ではペットボトルにリーチングしボトルを把持し口付近に移動させ水を飲むという動作を再現した。当該実験時では入力音声の認識ミスも多く動作完結まで時間を要し、システムを改善し、より円滑迅速な動作の達成が今後の課題となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動力肩義手は多くの関節を要するために操作入力は多く複雑となるが、音声入力を主体として採用することによりユーザの健常部位による動作・操作が少なくなり操作性を向上できる。関節の駆動には空圧ゴムアクチュエータを用い、それにより義手は軽量柔軟性を得ることで利便性安全性の改善に繋がる。さらに義手ハンド把持動作に同期して足首や耳垂部等ユーザの健常部位を掴む/摘まむような形態のソフトフィードバックデバイスは直感的に握力を感じやすく、使用時の安全性も高めることが可能である。

研究成果の概要（英文）：The shoulder prosthetic system was studied, and its usability is enhanced by using various operation input modalities composed mainly of voice and small safe intuitive feedback device for the part of ankle / ear lobe. The voice operation input was used for three joints (degrees of freedom, DOFs) in five DOFs prosthetic arm. Pneumatic soft actuators were employed for driving four joints (DOFs) for enhancing flexibility, compliance and safety. The prosthetic arm weighs 830 grams without heavy devices such as air compressor, battery and so on. In motion experiments of activities of daily living (ADL), the motion of reaching for, grasping, and drinking bottled water in a standing posture could be reproduced. In the experiment, it takes long time to complete the motion due to failures in the speech recognition. In the future, speeding up and smoothing the motion and reducing the time will be worked on.

研究分野：医用システム、機械工学、メカトロニクス、ロボティクス

キーワード：肩義手 音声入力 握力フィードバック ソフトアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

切断患者は義手を利用することにより日常生活動作(Activities of daily living, ADL)を回復でき、それは生活の質(Quality of life, QOL)の改善や社会参加の支援にも繋がる可能性がある。動力義手では手部や前腕義手等に比べ、肩等の高位切断向け義手はサイズが大きく重量は重くなる。制御機構も複雑で開発実用化が困難で研究例も少なく、開発には以下のような課題があると考えられる。

動力義手の利便性において操作性、制御方式は重要な要素である。本研究代表者の先行研究では頭、胸、足部に加速度、筋電、力センサを貼付け、当該部位の動きによる義手操作を試みたが操作が複雑で慣れが必要となり、センサ種類も多く配置・配線も煩雑で利便性が悪く、これらの改善が必要である。

また、ADLにおいて把持動作は不可欠なものであり、義手把持力をユーザに認識させること(フィードバック)は把持対象物に対する過度の把持力発生防止や、他人が存在する外部環境では怪我の防止、安全性の向上に繋がる。先行研究では、義手把持動作に合わせて手首を握ることで低侵襲に把持力を伝達する、健常腕側手首装着用の腕時計バンド型フィードバックデバイスを試作した。しかしながら本来は切断者にとって健常腕は頻繁に使用するものでありフィードバックの箇所としては避けるほうが望ましい。

義手の重量については、岡本ら(2001)や横山ら(2009)の報告から切断者が望む重量や重いと感じる重量を鑑みれば、1kg以下が望ましいと考えられるが、肩義手の例では多自由度の動力義手があり重量はこれよりも重いものが多く、軽量化が必要と考えられる。また動力肩義手開発例における駆動は電気モータによるものが多い。モータは大きな可動領域と出力を兼ね備えるが一般的には出力に対して重量が重い。さらに強い停動トルク・多段の歯車減速機構により低い逆可動性(バックドライバビリティ)をもたらす。これは柔らかさのない重い腕となることを意味する。

肩切断者は残肢が無い為、残肢で義手を移動させ負荷を支えるのは困難で、義手を操作させるための残存部位からの信号や動作取得も難しい。そのため、腕本体の可動領域と出力を確保しつつ、義手の操作性・方式、さらにはフィードバック要素、軽量柔軟性を向上させることは大きな課題と言える。

2. 研究の目的

操作入力、フィードバック、アクチュエータ/各部品を含む機構開発を通じ、被験者評価を取り入れ高い利便性を持つ肩義手を実現する。その際、音声認識をメインとし補助的センサを組合せた多様式操作入力装置、腕以外の健常部位を「手/指」で「握る/摘まむ」ような形態の直感的で安全な小型の義手握力フィードバック装置を採用する。さらに義手腕本体には安全性向上に繋がる軽量・柔軟な空気圧ゴムアクチュエータによる駆動をメインとし、その短所である可動域・出力をアシストする電気モータを一部採用したハイブリッド駆動を用いる。

3. 研究の方法

本研究代表者がこれまで行ってきた「マルチモーダル入力と直感的フィードバックを有する実用安全指向型軽量肩義手システム」の研究で得られた成果を基礎的な情報として参考にし、以下の各技術要素開発に取り組み、システム全体の構築を行う。

(1) ハンド把持力フィードバックデバイスの開発

2本の湾曲型空圧駆動ソフトアクチュエータを用い健常腕以外の部位に適応させるデバイスを開発する。足首および耳垂部を適応箇所の候補とし、被験者実験を通じて足首、耳垂部における把持力の認識率を調査し、適性を確認する。

(2) 柔軟軽量義手腕の開発

基本的な構造は5自由度(関節)の腕(肩2、肘1、手首1、ハンド(握み動作)1自由度)とする。先行研究における実験計測によって得られた各関節の所要角度トルクや各種寸法を参考に形状・機構の設計製作を行う。駆動アクチュエータには軽量柔軟な空圧駆動ゴムアクチュエータ及び電気モータを組み合わせ、先行研究に対し柔軟・安全性を向上させるべく、空圧駆動を2自由度から4自由度に増やし、空圧駆動部については効率化も行う。ハンド部においてはフィードバックシステムに採用している湾曲型ソフトアクチュエータを利用した構造を採用する。固有の柔軟性により、対象物把持の際、過剰な力が発生した場合でも指

に該当する部分が変形して力を逃し危険な状態を回避できる利点がある。

(3) 音声主体多様入力操作システム開発

義手の5自由度(肩2、肘1、手首1、ハンド1)の制御・操作のために、音声入力を主体としたシステムを設計開発する。音声入力以外は、ユーザの腕以外の部位にセンサを設置して当該部位の動作により義手関節を制御する。

(4) 確認テスト

上記の開発デバイスの有用性を評価確認するために動作確認テストを行う。

4. 研究成果

(1) ハンド把持力フィードバックデバイス

2本の湾曲型空圧駆動ソフトアクチュエータを用いたフィードバックデバイスを耳垂、足首部に設置し、ランダムに異なる強さ(最大15N程度)で当該部位を摘まむ/掴むような動作を繰り返した時の、強さの認識調査を5名の被験者テストにより実施した。テストを難易度別にテスト1(強さを3段階に分けたもの)、テスト2(強さを5段階に分けたもの)、テスト3(強さを7段階に分けたもの)と設定した。テスト1の識別率は足首、耳垂部共に90%前後となった。当初、耳垂部においては図1のような耳垂部に合った小型のものを試作した。しかしながらソフトアクチュエータを3Dプリンタで試作した際に空路詰まりや空気漏れがあり、改善できず被験者実験には至らなかった。そこで足首部と同じサイズのものに被験者実験で使用している(図2参照)。被験者からは、耳垂部のほうが力を認識しにくいといった意見が得られ、また耳垂部におけるデバイス設置は、マイクを含む音声操作システムとスペース的に干渉し、足首部の設置と比較して難しいということもあり、本研究においてのデバイス設置は足首部が適しているという判断に至った。

本研究で使用したデバイスにおける、対象部位を摘まむ/掴む力は2kg以下であり、成人の握力を考えれば実験において被験者に痛みを与えてしまう可能性は限りなく低く、実際に実験において痛みを訴える被験者はいなかった。このテストは国立大学法人千葉大学における学内の倫理審査委員会からの承認を受け行っている。



図1 耳垂用小型デバイス



図2 耳垂部被験者実験の様子



図3 足首部被験者実験の様子

(2) 柔軟軽量義手腕

3Dプリンティングによる造形部品を主に採用し義手腕を試作した。図4に示す。アクチュエータの配置は、肩部の関節J1、J2、手首部の関節J4、ハンド部(指)の関節J5を空気圧駆動としている。J1、J2、J4ではマッキベンタイプの直動収縮型を使用し、プーリー

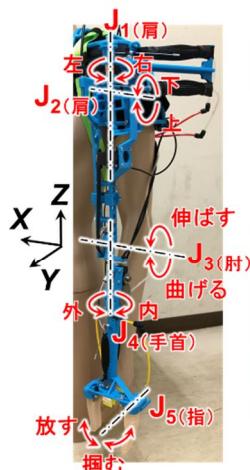


図4 義手腕及び各関節における音声入力用フレーズ

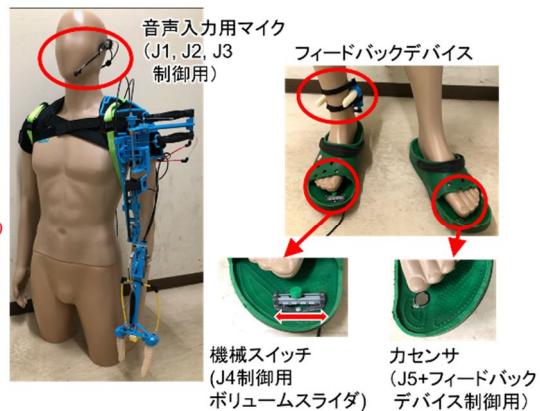


図5 操作システム

(滑車)と組み合わせて回転関節を構成している。ハンド部のJ5では湾曲型ソフトアクチュエータを指に該当する部分として利用した。なお、J2のアクチュエータは腕内ではなくワイヤを伸ばし背面に設置した。先行研究では小型のアクチュエータを連結し、可動域と出力

を確保していたが、連結部での金属部品による重量アップ回避や効率を向上させるべく新たにロングタイプのアクチュエータを採用した。肘部 J3 にはモータを使用している。義手腕単体の重量は 830g となった(コンプレッサ等重量物や、ソケット、チューブ等含まず)。

(3) 音声主体多様入力操作システム

音声をメインの入力に採用し、肩部の関節 J1、J2 および肘部の J3 の操作入力には音声認識モジュール(Microtechnica 社、SR-MOD100C)と音声入力マイク、手首部の J4 には右足拇指で操作するボリュームスライダ(機械スイッチ)、ハンド部の J5 およびフィードバックデバイスのアクチュエータには左足拇指で押圧操作するフォースセンサを採用した(図 5)。音声システム単体での基礎実験において、音声認識モジュールを用い特定の 1 ユーザの 10 種類の発話フレーズ(「左」「右」「上」「下」「曲げる」「伸ばす」「外」「内」「掴む」「放す」)を登録しランダムに 100 フレーズを発話した際の識別率は 95%であった。実際には、肩部 J1、J2 にはフレーズ「左」「右」「上」「下」を、肘部 J3 にはフレーズ「曲げる」「伸ばす」を制御のために割り当てた(図 4 参照)。

(4) 確認テスト

操作システム、義手腕、フィードバックデバイスを使い、ADL の再現テストを行った。図 6 のように健常者に各システムを実装し、立位にてペットボトル(300g)のドリンク動作を再現した。義手腕は左腕側に装着し、左腕が切断されていることを想定している。義手腕をペットボトルまで近づけ、ペットボトルを掴んだ後、健常側手腕を想定した右手により蓋を開け、その後ペットボトルを口に近づけて水を飲むという一連の動作となる。前述のマイクやセンサを使って操作入力を行うことにより動作を

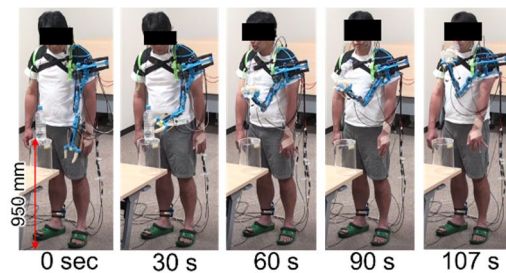


図 6 確認テスト

再現している。しかしながら動作完結まで 2 分弱かかっており、通常の健常者の動作に比べれば長い時間を要している。ADL テスト中の音声識別率は、前述の基礎実験での 95%から 75% (6 回の ADL テスト中、合計 167 フレーズ発話) まで低下した。落ち着いた環境での基礎実験に比べ、ADL 中は各動作への集中や緊張、焦り等により、登録時の声の状態から差が生じ識別率が低下したとも考えらえる。また今回の実際の音声入力において、一つのフレーズにより J1、J2 を駆動するための空圧レギュレータへの付加電圧は $\pm 0.2V$ 、J3 のサーボモータの動作角度指令は $\pm 37.5^\circ$ としていたが、さらなる操作性向上の為に、これらの数値の見直しや制御方法、さらには音声入力方法等を含むシステムの再検討が必要であると考え、今後の課題とする。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 関根雅, 和田淳, 河村洋平, 山門祐多佳, 林美恵子
2. 発表標題 マイコンWG活動から機器（義手システム）試作開発への技術展開の紹介
3. 学会等名 実験・実習技術研究会2023広島大学
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masashi Sekine, Wenwei Yu
2. 発表標題 Recognition Rate of Grasping Force for Prosthetic Hand Feedback Using a Pneumatic Device on the Earlobe
3. 学会等名 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関根雅
2. 発表標題 肩義手用音声主体操作入力装置構築の基礎検討
3. 学会等名 令和2年度冬季千葉大学技術職員交流研修会(第8回)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関根雅, 兪文偉
2. 発表標題 足首に適用した義手握力フィードバック用バンド型デバイスの握力識別率調査
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH)2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関根雅
2. 発表標題 開発ウェアラブル機器の被験者評価実験及び研究倫理審査申請の紹介
3. 学会等名 実験・実習技術研究会2020鹿児島大学
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関根雅, 俞文偉
2. 発表標題 義手握力フィードバック用ウォッチバンド型デバイスの握力識別率調査
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH)2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masashi Sekine, Wenwei Yu
2. 発表標題 Investigation of Recognition Rate of Grasping Force Produced by Wrist/Ankle Attachment Device for Prosthetic Hand Feedback
3. 学会等名 The 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関根雅
2. 発表標題 被験者実験による直感的義手握力フィードバックデバイスの握力識別率調査
3. 学会等名 2019年度分子科学研究所機器・分析技術研究会
4. 発表年 2019年

〔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
---------	---------