

補助事業番号 2020M-189

補助事業名 2020年度 軽量かつ高操作性を有する筋電肩義手の研究開発 補助事業

補助事業者名 電気通信大学情報理工学研究科 東郷俊太

## 1 研究の概要

本研究では、軽量かつ高操作性を有する筋電肩義手を開発する。肩義手とは、事故等で肩から先を離断した使用者の、腕運動を代替する義肢装具である。特に、筋電を制御入力とした、装着型の電動ロボットアームを筋電肩義手と呼ぶ。筋電とは、筋肉が収縮した際に発生する生体電位であり、制御入力として使用することで、直感的な機器の操作を可能とする。筋電肩義手の開発の困難さは、離断した腕全体を装着型ロボットアームで置き換えなければならないハードウェアの問題と、複雑な腕運動を体幹からの少ない制御入力で制御しなければならないソフトウェアの問題に大別される。本研究では、これらの問題に対し、ヒトと同等に肩・肘・手首が3次元空間内を動く機構を持ちながらも軽量であるロボットアームと、少ない制御入力で腕運動を自在に制御することのできる高い操作性を持つ制御器を開発する。最終的には、これらの要素技術を開発・統合し、開発したシステムで日常生活動作を実現することを目指す。

## 2 研究の目的と背景

事故等で肩から先を離断した人の、腕運動を代替する義肢装具を肩義手と呼ぶ。特に、筋電を制御入力とした、装着型の電動ロボットアームを筋電肩義手と呼ぶ。筋電とは、筋肉が収縮した際に発生する生体電位であり、制御入力として使用することで、直感的な機器の操作を可能とする。我々の研究グループはこれまでに、前腕から先の離断者用の前腕筋電義手を開発してきた。開発した前腕筋電義手は、機械学習によって使用者の筋電から運動意図を推定し、直感的な操作を可能とする個性適応制御器、腕にベルトで固定するだけで筋電を計測できる乾式電極筋電センサ、様々な日常生活物品を把持できる握力を持った3Dプリンタ製の軽量の電動ハンドなどの要素技術を含む。社会実装のために、厚生労働省の義肢装具等完成用部品に成人用の筋電義手一式を登録し、一般の使用者が公的な支給制度を利用して開発した筋電義手を入手できるようにした。このように、前腕用の筋電義手は研究の段階から普及の段階に進んでいるが、筋電肩義手の開発は前腕用の筋電義手ほど進んでいない。

筋電肩義手の開発の困難さは、離断した腕全体を装着型ロボットアームで置き換えなければならないハードウェアの問題と、複雑な腕運動を体幹からの少ない制御入力で制御しなければならないソフトウェアの問題に大別される。我々の研究グループはこれまでに、ハードとソフトの両面を可能な限り簡素化した、簡易型筋電肩義手を開発してきた。肩と肘が平面内のみを動くシンプルな機構で、重量を片側約1.3kgまで落とし、制御も手の上昇・下降、握り・開きの4動作を制御するのみと簡略化した。このような簡素なシステムであっても、物体の垂直方向および水平方向の把持移動が可能であることを、実際に両肩離断者に開発したシステムを使用してもらうことで実証した。しかしながら、日常生活動作や巧緻動作の再建には至っていない。

そこで本研究では、人と同等に肩・肘・手首が3次元空間内を動く機構を持ちながらも軽量であるロボットアームと、少ない制御入力で腕運動を自在に制御することのできる高い操作性を持つ制御器を開発することを目的とする。

### 3 研究内容

#### (1) 装着型7自由度ロボットアームの開発

我々のグループの先行研究である、モジュール型ワイヤ干渉駆動アーム(図1)をベースに、身体に装着可能な7自由度ロボットアームを開発した(図2)。ワイヤ干渉駆動機構とは、ワイヤの牽引力を各関節で干渉させることにより、関節の出力を増大させる張力伝達機構を指す。開発したロボットアームは重量約2.3 [kgw]でペイロード約1.5 [kgw]、肩3自由度、肘1自由度、手首3自由度の7自由度であり、人間と同等の自由度配置となっている。従来の肩モジュールは土台への固定が前提となっているため、そのまま身体装着用のソケットにとりつけると、肩幅が非常に大きくなってしまいう問題があった。そこで新しく、干渉機構のワイヤ経路の自由度を向上させる折返しワイヤ干渉駆動機構を開発することで、従来の機構と出力を変えことなく肩基部のモーターを移動させ、肩幅を短くすることができた。

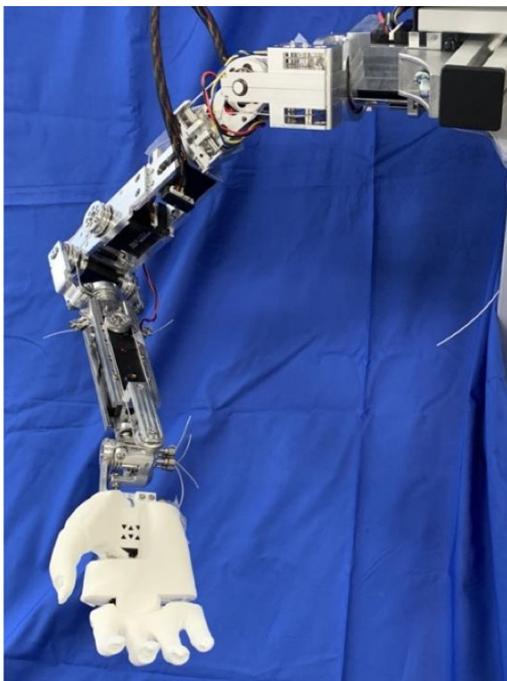


図1:従来の7自由度ロボットアーム



図2:開発した装着型7自由度ロボットアーム

#### (2) 軽量なロボットハンドの開発

従来のモジュール型ワイヤ干渉駆動アームの手先具は、1自由度のグリッパーであった。そこで、義手としての使用を想定し、前腕義手用の電動ハンドであるUEC-Eハンド(図3左)、および健常手

のスキャンデータから健常手の外見を再現したUEC-Hハンド(図3中央), 6自由度の自由度を持つUEC-Mハンド(図3右)をそれぞれ作成し, 7自由度ロボットアームの手先具として使用できるようにした. ハンドの重量はそれぞれ, UEC-Eハンドが134 [gw], UEC-Hハンドが210 [gw], UEC-Mハンドが236 [gw]であり, 指先力はそれぞれ, UEC-Eハンドが3.76 [N], UEC-Hハンドが3.73 [N], UEC-Mハンドが4.04 [N]であった.



図3: 作成したロボットハンド. 左からUEC-Eハンド, UEC-Hハンド, UEC-Mハンド.

### (3) 装着型8自由度ロボットアームの開発

装着型7自由度ロボットアームよりもさらに関節の出力を向上させるため, 全てのアクチュエータ出力がすべての関節で干渉する全軸干渉駆動機構8自由度ロボットアームを開発した. まずは土台に固定した状態でロボットアームを開発した(図4). このロボットアームはモーター抜きで重量約2.4 [kgw]でありながら, ペイロード約5.45 [kgf]と非常に高出力を達成した. さらに, モーターを小型軽量のモーターに変え, 装着型の全軸干渉駆動機構8自由度ロボットアームを開発した(図5). 重量はモーターを含んで2.8 [kg]であり, 装着型の7自由度ロボットアームよりも若干重量が増加したが, 出力は大きく向上した.

### (4) 識別可能な体幹の筋電パターンの評価

筋電肩義手の制御入力として使用できる体幹部の筋電パターン数を評価する計測実験を行った. 図6に示すように, 被験者の体幹部に複数の筋電センサをとりつけ, 多点筋電計測実験を行った. 得られた多次元筋電情報に対して次元削減をかけることで, 安定して制御入力に使用できる筋電情報の抽出方法を開発した. 図7に示すようなシミュレータを用いた結果, 5人の被験者に対して80%以上の精度で6種類程度の動作識別が可能であることがわかった. また, 識別した動作を関節動作に割り当てた結果, 比較的単純な腕運動であれば体幹の筋電情報から再構成できることを確かめた.

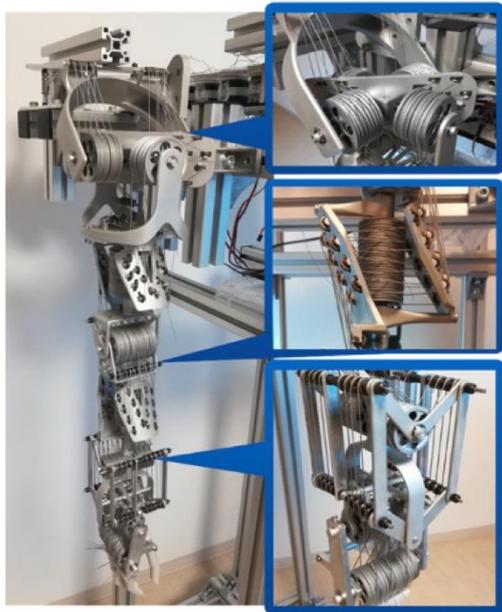


図4: 土台固定型の全軸干渉駆動アーム

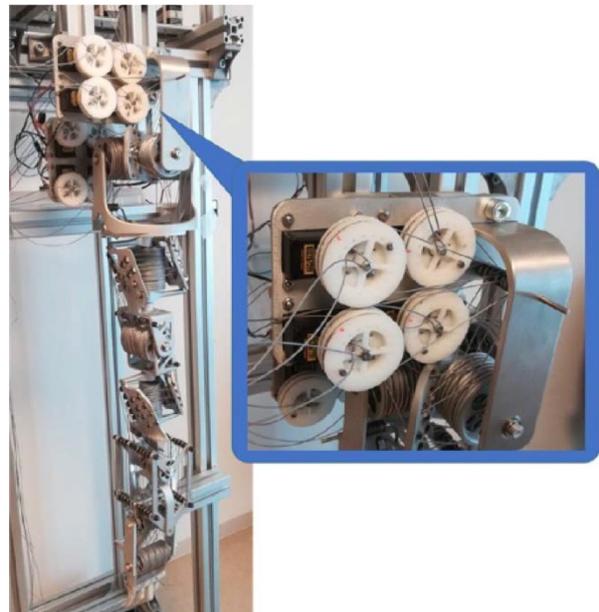


図5: 装着型の全軸干渉駆動アーム

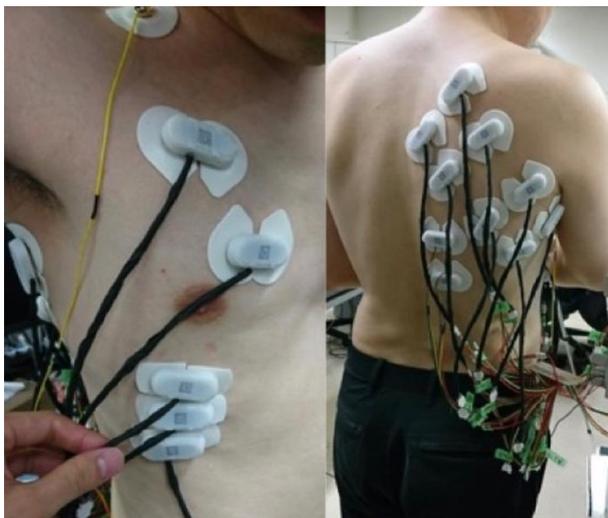


図6: 体幹部の多点筋電計測

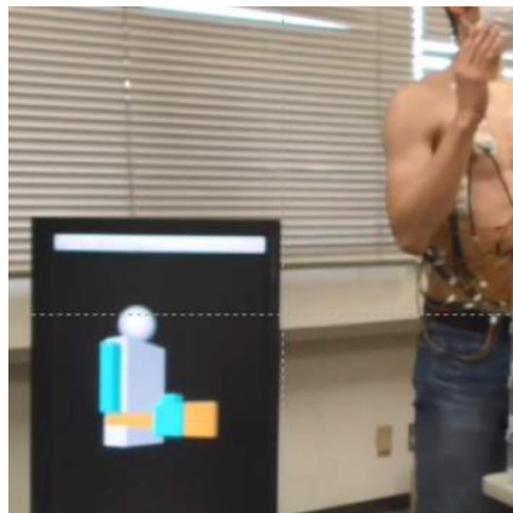


図7: 筋電データからの上肢動作の再現

#### (5) 開発した多自由度電動肩義手の評価

開発した多自由度電動肩義手の評価を行った。開発した7自由度ロボットアームを図8に示すように、実際に両肩離断者に装着してもらい、装着感や重量を評価してもらった。開発した7自由度ロボットアームは、従来の肩幅が大きい7自由度ロボットアームと比較してソケットのずれが少ないことがわかった。また重量に関して、日常生活においても問題がないとのコメントを得たが、比較的重量のある能動肩義手に慣れていない人にとってはもう少し軽いほうが良いという今後の改良に繋がるコメントも得た。さらに学生により、国際会議において筋電で肩義手を操作するデモン



図8: 両肩離断者による試着評価

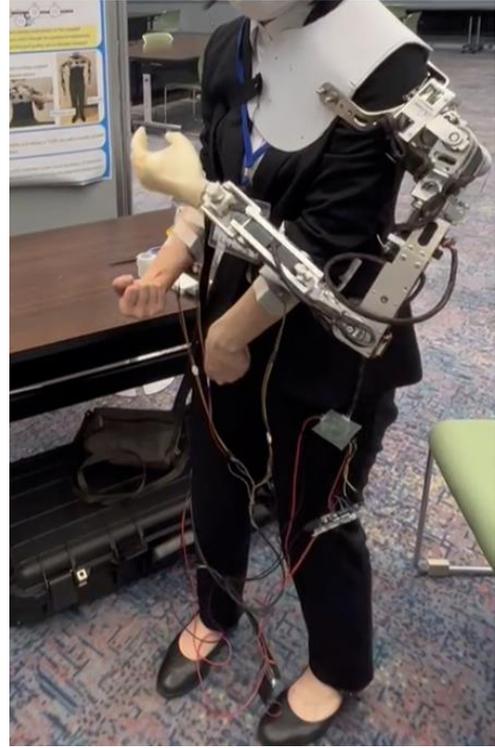


図9: 国際会議でのデモンストレーション



図10: 全軸干渉アームの装着

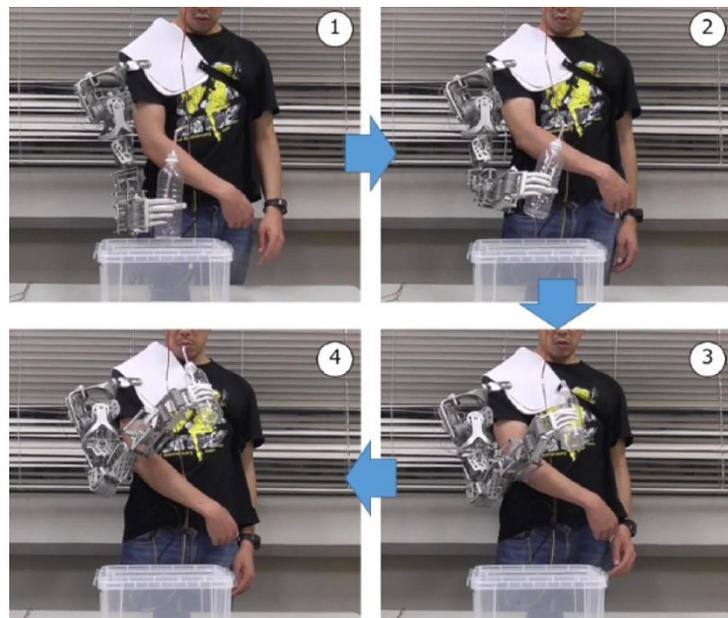


図11: 全軸干渉アームによる水飲み動作

デモンストレーションも行った(図9)。このデモンストレーションは高く評価され、IEEE LifeTech 2022 Excellent Paper Award for Demo Presentationを受賞した。

また、図10に示すように、全軸干渉アームを装着し、オフラインで生成した高自由度モーションの実行を、低自由度な体幹筋電入力に対応させることで、日常生活動作を実行することができた。特に、我々の従来の簡易筋電肩義手では実行できなかった水飲み動作を図11に示すように実行することができたほか、コップに水を注ぐ動作、ドアを開ける動作が実行できた。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の成果の1つは、我々の従来の電動肩義手では実行が困難であった日常生活動作を実行できるようになった点にある。これにより、肩から先の離断という大きな障害を持つ人の日常生活動作を補綴できるようになると考えられる。一方で、実際の両肩離断の方に協力いただいた評価実験では、ロボットアームのさらなる軽量化が必要などの課題が明らかとなったため、改良を続けていく。このように、実際の使用者のレビューとそれに基づく改良を重ねることで、社会実装を目指す。さらに、本研究の成果は肩離断者のみならず、健常者であったとしても、作業を補助する第3の腕、すなわち身体拡張用の装着型ロボットアームとしての利用も考えられる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

我々の研究グループは、本研究前までは肩肘2自由度の簡易型筋電肩義手の開発を行ってきたが、実行可能な日常生活動作が少ないなど多くの課題があった。本研究の実施により、軽量高出力で装着可能な7自由度および8自由度のロボットアームを開発することができた。また、オフラインで生成した多自由度モーションの実行と低自由度制御入力を対応付けることで、日常生活動作を実行可能であることを示すことができた。今後は、本研究で開発したロボットアームをベースに、ハードウェアのさらなる軽量化および、マルチモーダル情報を用いることで制御系をより知的にしていく研究に繋げていく。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

##### 査読付き学術論文

- [1] Susumu Kimizuka, Yohei Tanaka, Shunta Togo, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi, “Development of a shoulder disarticulation prosthesis system intuitively controlled with the trunk surface electromyogram,” *Frontiers in Neurorobotics*, Vol.14, No.542033, pp.1–10, 2020. doi: 10.3389/fnbot.2020.542033
- [2] Shunta Togo, Kazuaki Matsumoto, Susumu Kimizuka, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi, “Semi-automated control system for reaching movements in EMG shoulder disarticulation prosthesis based on mixed reality device,” *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, Vol. 2, pp. 55–64, 2021.
- [3] 小畑 承経, 熊谷 あやね, 矢吹 佳子, 東郷 俊太, 姜 銀来, 横井 浩史, “動的安定把持を実現する電動義手のための二層弾性構造グローブの開発”, *日本ロボット学会誌*, Vol. 39, No. 8, pp. 744–750, 2021. doi: 10.7210/jrsj.39.744

#### 国際学会発表

- [1] Yuko Nakamura, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi and Shunta Togo, “Development of a 7 DOF electric shoulder disarticulation prosthesis using a return routing tendon driven mechanism,” *2022 IEEE 4th Global Conference on Life Science and Technologies (LifeTech2022)*, Osaka, Japan, 7–9 Mar. 2022. ※IEEE LifeTech 2022 Excellent Paper Award for Demo Presentation受賞
- [2] Jiazhen Guo, Peng Chen, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi and Shunta Togo, “Real-time object detection with deep learning for robot vision on mixed reality device,” *2021 IEEE3rd Global Conference on Life Science and Technologies (LifeTech2021)*, pp. 82–83, Nara, Japan, 9–11 Mar. 2021. ※IEEE LifeTech 2021 Outstanding Paper Awards for Demo! Presentation 受賞

#### 国内学会発表

- [1] 中村 優子, 姜 銀来, 横井 浩史, 東郷 俊太, “肩義手のための腕の手先位置のフィードバックシステムに適した振動刺激の検討”, 第38回日本ロボット学会学術講演会, 2I3-01, オンライン開催, 2020年10月9–11日.
- [2] 島田 孝太, 東郷 俊太, 姜 銀来, 横井 浩史, “磁気センサを応用した柔軟な圧力センサの開発”, 第38回日本ロボット学会学術講演会, 2G3-01, オンライン, 2020年10月9–11日.
- [3] 熊谷 あやね, 姜 銀来, 横井 浩史, 東郷 俊太, “ヒト指末節骨の形態的特徴に基づいた人工指による精密把持性能の評価”, 第41回バイオメカニズム学術講演会, 2B3-1, オンライン開催, 2020年12月5–6日.
- [4] 宮崎 健太, 姜 銀来, 横井 浩史, 東郷 俊太, “体幹筋電から上肢運動の動作意図を抽出するシステムの開発”, 第41回バイオメカニズム学術講演会, 1B3-1 オンライン開催, 2020年12月5–6日.
- [5] 関 美咲, 姜 銀来, 横井 浩史, 東郷 俊太, “多軸干渉駆動機構のためのワイヤ滑り関節機構の開発”, 第39回日本ロボット学会学術講演会, 2I2-04, オンライン, 2021年9月8–11日.
- [6] 君塚 進, 東郷 俊太, 姜 銀来, 横井 浩史, “筋電肩義手のための全軸干渉型ロボットアームの開発”, 第39回日本ロボット学会学術講演会, 2I2-05, オンライン, 2021年9月8–11日.
- [7] 小畑 承経, 熊谷 あやね, 矢吹 佳子, 東郷 俊太, 姜 銀来, 横井 浩史, “動的安定把持実現のための電動義手用2層弾性グローブの開発”, 第39回日本ロボット学会学術講演会, 1G3-05, オンライン, 2021年9月8–11日.
- [8] 東島 涼香, 姜 銀来, 横井 浩史, 東郷 俊太, “ヒトの捕球姿勢の分類と筋電義手ハンドへの応用”, 第42回バイオメカニズム学術講演会, C8-1, オンライン, 2021年11月27–28日.

- [9] 中村 優子, 姜 銀来, 横井 浩史, 東郷 俊太, “折り返しワイヤ干渉駆動機構を用いた7自由度筋電肩義手の開発”, 第42回バイオメカニズム学術講演会, C8-2, オンライン, 2021年11月27-28日.

## 7 補助事業に係る成果物

### (1)補助事業により作成したもの

[http://www.hi.mce.uec.ac.jp/togolab/sd\\_prosthesis.html](http://www.hi.mce.uec.ac.jp/togolab/sd_prosthesis.html)

### (2)(1)以外で当事業において作成したもの

なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 東郷研究室

(デンキツウシンダイガク ダイガクインジョウホウリコウガクケンキュウカ トウゴウケンキュウシツ)

住 所: 〒182-8585

東京都調布市調布ヶ丘1-5-1

担 当 者: 准教授 東郷俊太(トウゴウシュンタ)

担 当 部 署: 大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻

(ダイガクインジョウホウリコウガクケンキュウカ キカイチノウシステムガクセンコウ)

E - m a i l: [s.togo@uec.ac.jp](mailto:s.togo@uec.ac.jp)

U R L: <http://www.hi.mce.uec.ac.jp/togolab/>