

| | |
|--------------|--|
| Title | 移動機構を備えたウェアラブルロボットアームの提案と試作 |
| Author(s) | 楠木, 幹也; 吉田, 匠吾; 謝, 浩然 |
| Citation | HCGシンポジウム2024 |
| Issue Date | 2024-12-04 |
| Type | Conference Paper |
| Text version | author |
| URL | http://hdl.handle.net/10119/19705 |
| Rights | Copyright (c) 2024, Author(s). 楠木幹也, 吉田匠吾, 謝浩然, HCGシンポジウム2024, 金沢市, 2024年12月11日-13日. |
| Description | HCGシンポジウム2024, 金沢歌劇座, 金沢市, 2024年12月11日-13日 |

移動機構を備えたウェアラブルロボットアームの提案と試作

楠木 幹也[†] 吉田 匠吾[†] 謝 浩然[†]

[†] 北陸先端科学技術大学院大学 〒923-1211 石川県能美市旭台 1-1

E-mail: †{s2420019,shogo-y,xie}@jaist.ac.jp

あらまし ウェアラブルロボットアームは人間の身体能力を向上させ、ユーザの動作や作業を支援する人間拡張技術の一つである。しかしロボットアームの到達範囲によって対応可能なタスクが制限される場合がある。本研究では、リニアアクチュエータを身体の背面に装着することで、22cm × 12cm の移動範囲を持つウェアラブルロボットアームを開発した。提案デバイスに対して到達範囲を検証するとともに、物体の保持といったアプリケーションを実施した。
キーワード ウェアラブルデバイス、ロボットアーム、人間拡張

Proposal and prototype of a wearable robotic arm with mobility mechanism

Mikiya KUSUNOKI[†], Shogo YOSHIDA[†], and Haoran XIE[†]

[†] Japan Advanced Institute of Science and Technology 1-1 Asahidai, Nomi-shi, Ishikawa, 923-1211 Japan

E-mail: †{s2420019,shogo-y,xie}@jaist.ac.jp

Abstract Wearable robotic arms are one of the human augmentation technologies that augment human physical capabilities and assist users in their movements and tasks. However, the tasks that can be performed may be limited by the robot arm's reach. In this study, we developed a wearable robotic arm with a movement range of 22 cm x 12 cm by attaching linear actuators to the back of the body. We verified the reach of the proposed device and performed applications such as holding objects.

Key words Wearable device, Robotic arm, Human augmentation

1. はじめに

ウェアラブルデバイスによる人間と機械の統合は、人間の身体機能、運動機能、認知機能などを向上させることができる。例えばウェアラブルロボットアームを用いて身体機能を向上させることで、頭上での作業や複数の物体の保持や操作といった負担のかかる作業の支援が可能になる。そのため、製造やインフラなどの産業分野 [1] から日常生活分野における物体の保持・運搬 [2] に至るまで様々な場面で利用される。一方でロボットアームの動作範囲には限界があるため、達成可能なタスクは限られる。背中、腰、腕といった特定部分に固定されたロボットアームでは、ユーザの頭部や腹部付近など広範囲にわたる作業に対して十分な機能を提供できない可能性がある。このように、動作範囲の制約が効率性や実用性を大きく制限する要因となる。

本研究では、移動機構を備えたウェアラブルロボットアームを提案する (図 1)。移動機構は、ステッピングモータを用いたリニアアクチュエータを身体の背面に十字に配置することで実現している。取り付けられたロボットアームは 22cm × 12cm の範囲を移動することが可能であり、提案デバイスの到達範囲をソフトウェア上でシミュレーションすることで可視化した。また、音声認識を用いてロボットアームの移動や操作を行う。

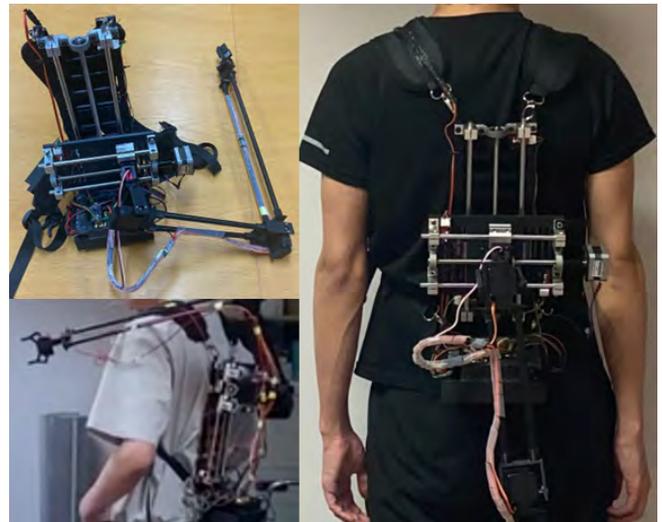


図 1: 提案システム (左上: デバイス, 右: デバイスの装着, 左下: システム利用時)

開発したデバイスを用いてアプリケーションを実施し、コンセプトの検証を行った。

2. 関連研究

2.1 ウェアラブルロボットアーム

装着したロボットアームを人体の一部のように操作し、身体機能を向上させるこの技術は多様な場面での活用が期待されている。これらのデバイスの作業空間に着目すると、頭上の高い位置の物体の保持や固定をしての作業 [3] [4]、身体の前にある物体の把持や操作 [5] [6] [7] [8]、身体の下部に対する歩行補助 [9] [10] などがある。ウェアラブルロボットアームの作業空間や取り付け位置はタスクによって異なり、一般的には身体上部での作業では肩や背中付近に、身体下部での作業では腰付近にロボットアームを装着する場合がある。既存研究の多くは装着位置が固定されているため、作業空間から生じるタスクの制限がある。本研究はロボットアームの到達範囲を拡大することで、多様なタスクに対応することを目指す。

2.2 体表上を移動するデバイス

体表上を移動することで身体の様々な部分に到達でき、ロボットアームの動作範囲の限界から生じるタスクの制限という課題を解決することができる。体表上を移動する機構として、身体に沿って設置された軌道上を移動するもの [11] や磁気ホイールによる駆動 [12]、服の布地を掴みながら移動するもの [13] がある。しかしこれらのデバイスは、センシングやフィードバックの提供を目的としており、小型なデバイスで構成されているため耐荷重には着目されていない。ロボットアームほどの重量に耐えうる移動機構ではないため、本デバイスではリニアアクチュエータを用いた移動機構を採用している。このように先行研究が身体の様々な部分に移動できるのに対し、提案システムは耐荷重を考慮した機構を用いるため、移動範囲は背中部分のみで限定的である。

3. 提案システム

本システムはリニアアクチュエータによる移動機構を備えたウェアラブルロボットアームである。ユーザは、バックパックのように背中に装着した移動機構を備えたロボットアームを音声によって操作する。ウェアラブルロボットアームの操作には生体信号、センサフィードバックといった方法 [14] があるが、本システムはロボットアームの他に移動機構も制御する必要があり、多くのパラメータを操作する必要があるため、複雑な操作を覚える必要がなく直感的である音声認識を適用している。

3.1 デバイス詳細

提案デバイス (図 2) について説明する。バックパック部分は 3D プリンタによって製作されたパーツと市販のベルトによって構成されており、回路は PCB 基板を作成した。移動機構にはステッピングモータを用いたリニアアクチュエータを背中に沿って十字に配置している。垂直方向におけるステッピングモータには 17HS8401、水平方向には 17HS2408 を使用している。垂直方向には 30cm のリードスクリュー (ピッチ 2mm リード 8mm)、水平方向には 20cm のリードスクリュー (ピッチ 2mm リード 8mm) を適用しており、実質的な移動範囲は垂直 22cm 水平 12cm である (図 3 (a))。リニアアクチュエータの端にはエ



図 2: システム概要

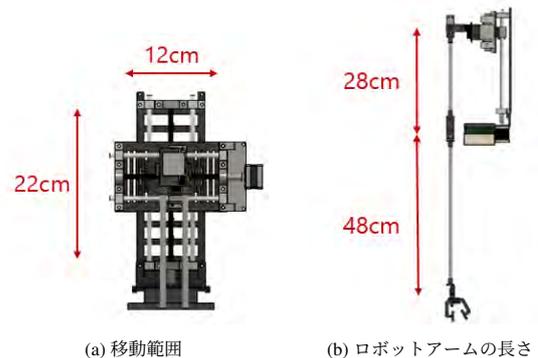
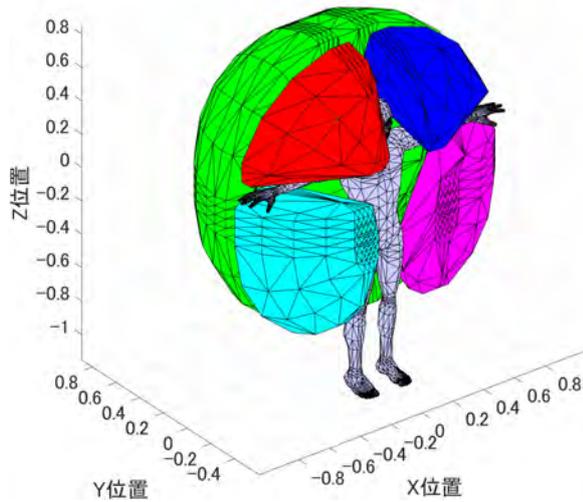


図 3: 提案デバイスの寸法

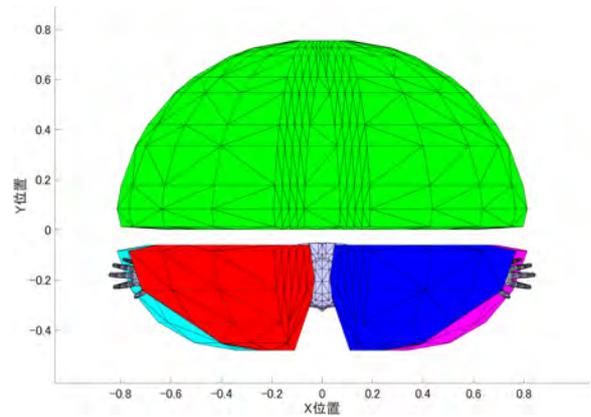
ンドストップスイッチを固定しており、ロボットアームが端まで移動したことを読み取る。ロボットアームは既存のものを参考にして (注1)。ここではロボットアームは水平方向のリニアガイドに取り付けられており、垂直方向のリニアガイドは水平方向のリニアガイドとロボットアームを駆動させている。よってロボットアームは軽量なものを選択した。ロボットアームには、DS3218MG、DS558HV (2 個)、SG90 (2 個) を用いている。ロボットアームのリンクの長さは 28cm、48cm であり (図 3 (b))、サーボモータの動作範囲は全て 180° である。駆動回路は、Arduino nano と A4988 モータドライバ (2 個) を使用している。作成した PCB 基板は 8.5cm × 9.0cm である。音声認識には、SR-100C モジュールを利用している。回路基板はデバイスを装着した際、ユーザの腰辺りに位置する。よって音声認識に支障がでることを考慮し、ベルト部に取り付けた。

ロボットアームは音声認識モジュールに登録したユーザの音声によって「右上」「右下」「左上」「左下」の 4 つの位置に移動することができる。ロボットアームの移動順序について、デバイスはまず垂直方向に対してエンドストップスイッチに接触するまで移動する。次に水平方向に対して移動し、垂直方向と同様端にあるエンドストップスイッチとの接触によって動作を終える。垂直、水平方向への移動が完了後、ロボットアームが動作する。

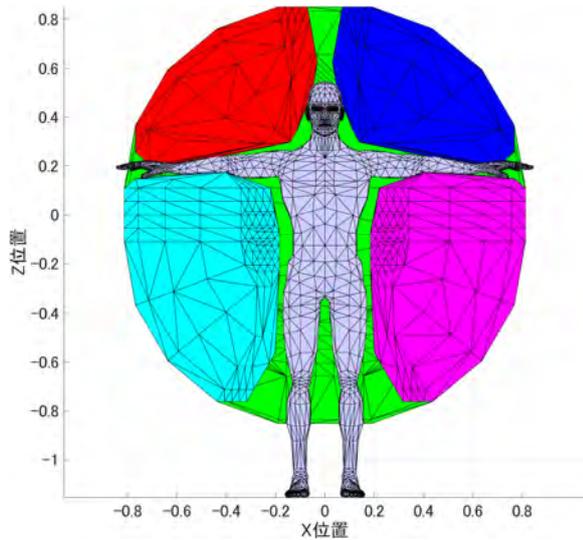
(注1) : <https://www.thingiverse.com/thing:205539>



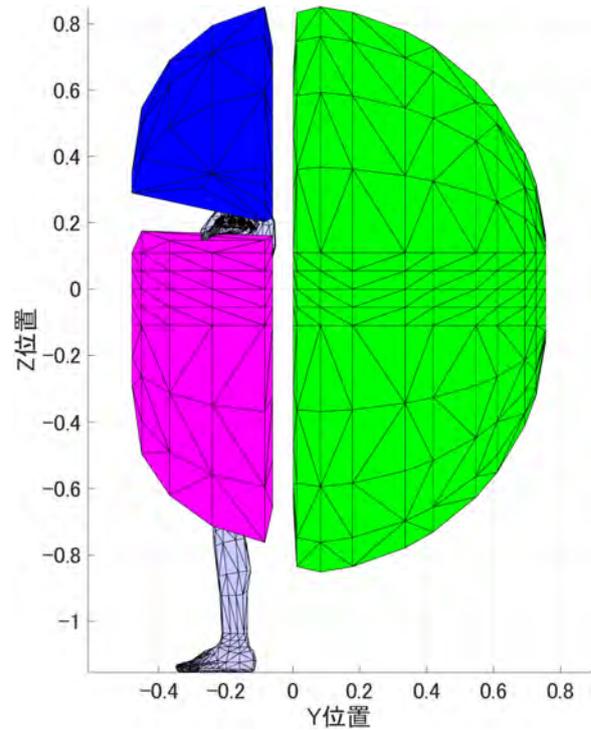
(a) 3次元視点



(b) XY平面からの視点



(c) XZ平面からの視点



(d) YZ平面からの視点

図4: ロボットアームの到達範囲

3.2 到達範囲

移動機構を持つロボットアームの到達範囲を MATLAB 上でシミュレーションした(図4). ロボットアームの他に人体の3Dモデル^(注2)によって, ロボットアームと人体との接触を考慮した上での到達範囲を可視化している. 人体の3Dモデルは高さ1.7mに調整している. 平行移動の範囲は垂直22cm水平12cmであるが, 垂直は5.5cmおき水平は3cmおきにプロットしている. ロボットアームの各関節の範囲(180°)を等間隔に5つ

プロットしており, 3Dモデルとロボットアームの接触の判定は, 各リンクを10分割した点が干渉閾値(5cm)を下回った際に接触とみなし(図5), 接触がなかった場合のみプロットを行っている. ここではロボットアームのリンクの直径や提案デバイスの回路やバッテリー部分の障害物は考慮していない. ロボットアームの到達位置に関して分かりやすく表示するため, (1) $Y \geq 0$ (2) $Y < 0, X > 0.05, Z > 0.2$ (3) $Y < 0, X < -0.05, Z > 0.2$ (4) $Y < 0, X < -0.2, Z \leq 0.2$ (5) $Y < 0, X > 0.2, Z \leq 0.2$ の5つの場合に分けて, 凸包による多面体を作成した(到達範囲の区別のため, 各多面体を色分けしている). ここでこの5つの場合分け

(注2) : <https://www.cgtrader.com/free-3d-models/character/man/base-mesh-man-simple>

に含まれていない領域があることや、ロボットアームと人体の干渉判定が完全ではないことから、可視化された範囲には多少の誤差があることに注意する必要がある。

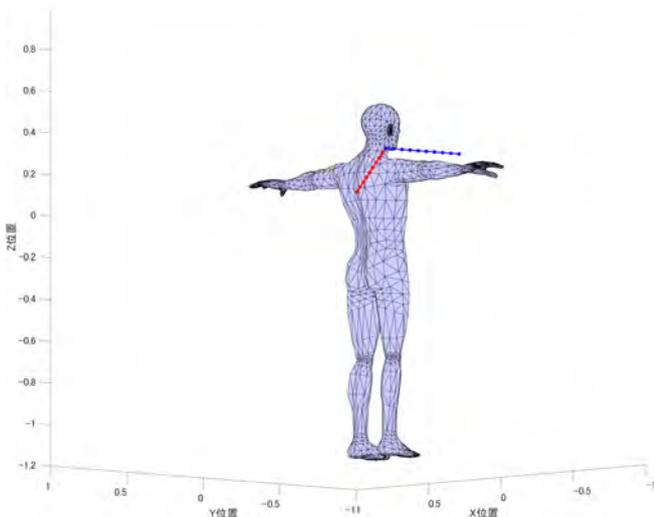


図 5: ロボットアームの接触判定におけるプロット点の一例。赤色と青色の線はそれぞれロボットアームのリンクを表しており、リンク上に接触判定のための点が設けられている。この点と人体の 3D モデルとの距離が 5cm 未満である場合、接触とみなしている。

4. 応用例

移動機構を持つ提案システムは頭部付近での作業や腹部付近またはそれ以下の位置での作業への活用が考えられる。頭部付近での作業では高い位置にある物体の把持または操作、腹部付近での作業では手を利用せずに物体の保持といった事例が考えられる。提案デバイスを利用してアプリケーションを実施した。図 6 (a) ではロボットアームの位置を右下に移動させ、身体の前側に位置するロボットアームと身体を利用して物体を保持している。これにより両手を空けたまま物体の保持を達成できる。図 6 (b) では、ロボットアームの位置を右上に移動させ、両手を空けたまま傘を保持している。

5. まとめ

本研究ではリニアアクチュエータを用いた移動機構を備えたウェアラブルロボットアームを開発した。ロボットアームの到達範囲を拡大することで、頭部付近で行われる作業から腹部付近またはそれより下で行われる作業まで対応できるシステムを目指した。シミュレーション結果から提案デバイスの到達範囲を確認した。

今後の課題として提案システムの有効性を確認するためのユーザ実験が挙げられる。被験者にデバイスを装着してもらい、アプリケーションを実施してもらう。加えて、アンケート調査を行い、提案デバイスの使用感やデバイスを装着することで生じる疲労度を検証する。



(a) 低い位置での物体の保持 (b) 高い位置での物体の保持

図 6: ロボットアームが異なる位置にある場合の応用例

文 献

- [1] Davenport, Clark Clark Michael. *Supernumerary robotic limbs: Biomechanical analysis and human-robot coordination training*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2013.
- [2] H. Xie, Z. Ding, S. Yoshida, T. Chong, T. Torii, and T. Fukusato. Augmenting human with compact supernumerary robotic limbs. In *13th Augmented Human International Conference*, pages 1–4, 2022.
- [3] B. L. Bonilla and H. H. Asada, "A robot on the shoulder: Coordinated human-wearable robot control using Coloured Petri Nets and Partial Least Squares predictions," *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Hong Kong, China, 2014, pp. 119-125, doi: 10.1109/ICRA.2014.6906598.
- [4] Kojima, A., Yamazoe, H., Lee, JH. Practical-Use Oriented Design for Wearable Robot Arm. In: Kubota, N., Kiguchi, K., Liu, H., Obo, T. (eds) *Intelligent Robotics and Applications. ICIRA 2016. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 9835. Springer, Cham. 2016.
- [5] C. Véronneau et al., "Multifunctional Remotely Actuated 3-DOF Supernumerary Robotic Arm Based on Magnetorheological Clutches and Hydrostatic Transmission Lines," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 2546-2553, April 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.2967327.
- [6] Nguyen, Pham Huy, et al. "Soft poly-limbs: Toward a new paradigm of mobile manipulation for daily living tasks." *Soft robotics* 6.1 (2019): 38-53.
- [7] Zeyu Ding, Shogo Yoshida, Takuma Torii, and Haoran Xie. 2021. XLimb: Wearable Robot Arm with Storable and Extendable Mechanisms. In *12th Augmented Human International Conference (AH2021)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 8, 1–4.
- [8] M. Kusunoki, L. V. Nguyen, H. -R. Tsai, V. A. Ho and H. Xie, "Scalable and Foldable Origami-Inspired Supernumerary Robotic Limbs for Daily Tasks," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 53436-53447, 2024.
- [9] Parietti F, Chan K C, Hunter B, et al 2015 J Design and control of Supernumerary Robotic Limbs for balance augmentation IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 5010-5017
- [10] Khazoom C, Caillouette P, Girard A, et al. 2020 J A Supernumerary Robotic Leg Powered by Magnetorheological Actuators to Assist Human Locomotion *IEEE Robotics* 5(4) 5143-5150
- [11] Sathya, Anup, et al. "Calico: Relocatable On-cloth Wearables with Fast, Reliable, and Precise Locomotion." *arXiv preprint arXiv:2208.08491* (2022).
- [12] Dementyev, Artem, et al. "Rovables: Miniature on-body robots as mobile wearables." *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*. 2016.
- [13] Chen, Guangchen, et al. "Rubbot: Rubbing on flexible loose surfaces." *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, 2013.
- [14] Zhang, Kailing, Yi Long, and Xiaofeng Luo. "Review of Supernumerary Robotic Limbs." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2456. No. 1. IOP Publishing, 2023.