

# 装着型ロボットアーム操作のためのユーザインタフェースの検討

小島 景行<sup>\*1</sup> 山添 大丈<sup>\*2</sup> 李 周浩<sup>\*2</sup>

## Consideration of user interface for wearable robot arm operation

Akimichi Kojima<sup>\*1</sup>, Hirotake Yamazoe<sup>\*2</sup> and Joo-Ho Lee<sup>\*2</sup>

**Abstract** – We are researching a wearable robot arm, AOA, that takes into account weight and practicality. In this paper, for a better operability, we investigate an interface for AOA. The old version of AOA interface adopted multi button switches. However, the old version did not satisfy the users. To improve the user's satisfaction, a new interface with a 3 axis force sensor is proposed and evaluated.

**Keywords** : Wearable, Robot Arm, User Interface

### 1. 緒言

人と協調して作業を行うロボットの研究は多く行われている。鈴木らの研究<sup>[1]</sup>では、遠隔ロボットの操作性について述べられている。通常は、ユーザがジョイスティックを前に倒した場合、ロボットは現在向っている方向に進行する。しかし、遠隔地では画面の中のロボットを見ながら操作を行うため、ユーザの入力と画面上のロボットの進行方向が一致しない。そのたびにユーザは自分自身にて方向の対応付けを行う必要がある。こうした遠隔操作において典型的な問題を解決するため、AR 技術を操作インタフェースに応用した。タッチパネルディスプレイにロボットを操作するための仮想矢印を重畳表示することでユーザがタッチパネルを通じて操作が可能となる。Baldin らの<sup>[2]</sup>では、人の肩にロボットアームを装着し天井パネルの固定支援を行う。しかし、ロボットアームと人が協調した動きを行うのは非常に困難である。そこで、このロボットアームは人の腕に取り付けられたジャイロセンサにて腕の姿勢を取得し、その姿勢において最適なロボットアームの姿勢位置を生成し支援を行う。

このように、人と協調して作業を行うロボットにはどのようなユーザインタフェースを用いるかで、有用性に大きな影響を与える。また、ロボットや作業内容によってもユーザインタフェースによって作業効率に大きく影響が生じる。

また、より人と協調した働きを行う、ウェアラブルデバイスも注目されている。山本らの<sup>[4]</sup>や関口らの<sup>[5]</sup>など人に装着したインタフェースも数多く研究されて

いる。人と協調して作業を行う上で最も効率よく作業スペースを共有するためには、人に直接装着するのが有用である。しかし、ウェアラブルデバイスのデザイン次第では、装着者に大きな負担を与えたり、作業効率が大幅に減少する可能性が高い。ウェアラブルデバイスの負担軽減のため、<sup>[6]</sup>ではウェアラブルデバイスを人のどの場所に装着するのが最適かを検討している。

本研究ではこれらを元に、人と協調して作業を行うロボットアームとして Assist Oriented Arm (AOA) を提案した(図1)<sup>[3]</sup>。人にロボットアームを装着し、2本の腕では困難な作業の支援を行う。例えば、ケーブルのテーピングやポスターの取り付け作業などがそれにあたる。図1に AOA のメカニズムを示す。AOA のアクチュエーションシステムはパッシブ関節とアクティブ関節の組み合わせにより成り立っている。パッシブ関節は、図2に示すようにモータのトルクにて角度を固定するのではなく、物理的に固定してしまう。操作は、ボディに取り付けられたスイッチの ON/OFF によってブレーキの開閉が行え、人が直接ロボットアームを把持し、目標位置まで動かす。目的角度まで操作するとスイッチを放しブレーキを締め、物理的に固定する。アクティブ関節は、両手が塞がった状態を想定しているため、腕以外の部位にて操作をする必要がある。このアクティブ関節をどのようなユーザインタフェースを用いて操作するのが最適かを実装し、評価実験を通して検討した。

### 2. インタフェースの装着位置と操作方法

#### 2.1 AOA とインタフェースの装着位置

装着位置次第では作業効率の低下や人に大きな負担を与える。<sup>[6]</sup>では、適切な装着位置を抽出しとめている。人に装着する最適位置を解剖学を元に検討し、腰部、臀部、大腿部、頸部、足首より下部の5箇所が最適であると検証している。ロボットアームを装着す

\*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究科

\*2: 立命館大学

\*1: Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

\*2: College of School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

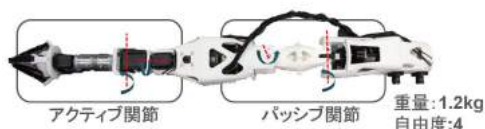


図1 Assist Oriented Arm (AOA)  
Fig.1 Assist Oriented Arm (AOA)

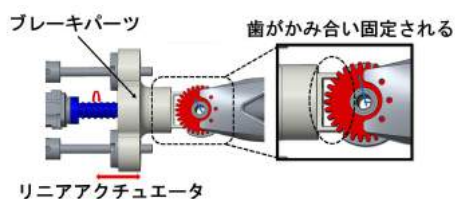


図2 パッシブ関節のブレーキメカニズム  
Fig.2 Brake mechanism of passive joints

る位置として、人と作業スペースの共有が可能な腰部が最適であるとし、腰部に装着し作業支援を行う。もう一つの問題としてユーザインタフェースの装着位置の決定である。三本目の腕としてロボットアームが必要になることを想定しているため、ロボットアームの操作方法として手以外の部位にて操作を行う必要がある。しかし、ロボットアームの操作を行うには、十分な自由度が必要なため、臀部、大腿部、頸部では難しい。そこで、足首より下を用いて操作することを想定しユーザインタフェースの実装を行った。

## 2.2 AOAの操作方法

以前の操作方法は、図3に示すインタフェースにてスイッチ操作を行っていた。つま先部分に三つのスイッチを取り付け、左のスイッチはモータの左回転を操作し、右のスイッチはモータの右回転を行う。中心のスイッチにて操作するモータを順次シフトしていく。この操作方法では、操作が難しく足に意識が集中してしまい作業に大きな支障が生じ、腕との協調した作業は行えない。この問題を改善するために、ロボットアームの操作方法とユーザインタフェースの装着位置を検討する。



図3 インタフェースのプロトタイプ  
Fig.3 Prototype of inter face

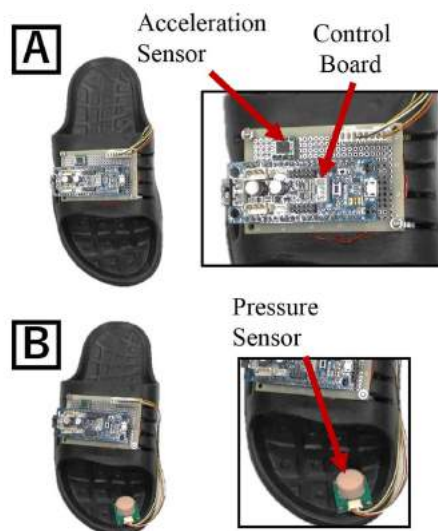


図4 実装したインタフェース A:足の傾きを用いたインタフェース B:足の親指を用いたインタフェース

Fig.4 Implemented interface A: Using accelerator B: Using push sensor

Eduardo らの研究<sup>[7]</sup>では、足を用いたユーザインタフェースについて述べられている。使用用途によってユーザインタフェースの形状や用いるセンサをまとめている。本研究で用いる装着型ロボットアームの操作と、マウスポインタを操作する方法が近いと仮定しセンサを選別した。ロボットアームの先端座標を操作するのと、マウスポインタを操作することは点座標を操作する点で同じである。そこで、マウスポインタ操作に用いられるセンサから、ロボットアームの操作にも応用できるセンサとして、圧力センサと加速度センサに絞り、実際に実装し評価を行う。

## 3. 実装したユーザインタフェース

### 3.1 足の傾きによる操作

加速度センサを用いて重力方向からの傾きを検出し、ロボットアームの先端位置座標を操作する。図4に、実装した二種類のインタフェースを示す。重力方向からの傾きを入力値とし、ロボットアームの操作を行う。

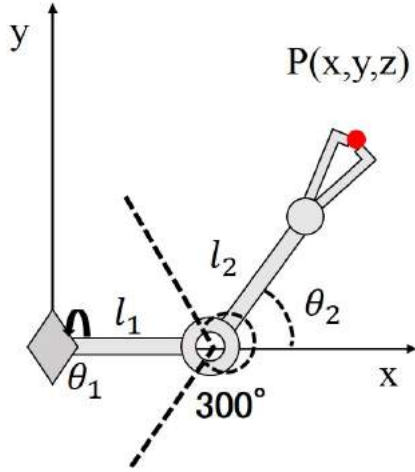


図5 二次元での AOA のアクティブ関節部分  
Fig.5 The active joint part of AOA in two dimensions

### 3.2 足の親指による操作

図4のBに示す様に、爪先部分に取り付けた圧力センサを親指で押し込み、押し込まれた方向を入力値として上記と同様にロボットアームの先端を操作する。

### 3.3 先端座標の操作方法

運動学・逆運動学(式1, 2)を用いて先端位置座標  $p(x, y, z)$  を操作する。図5に示すように、ロボットアームの先端位置座標は  $150^\circ$  から  $-150^\circ$  の球座標系上を移動する。各ユーザインタフェースの入力値を元に運動学、逆運動学を用いて制御を行う。

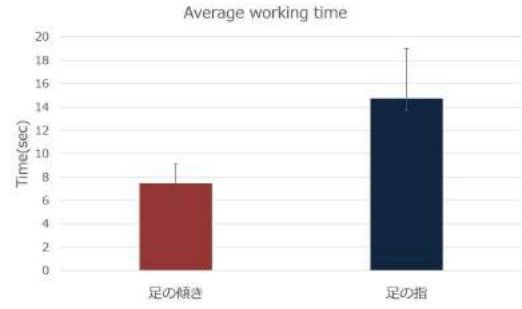
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 + l_2 \cos \theta_2 \\ l_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1 \\ l_2 \sin \theta_2 \sin \theta_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^{-1} \frac{y}{l_2 \sin \theta_2} \\ \tan^{-1} \frac{z}{y} \end{bmatrix} \quad (2)$$

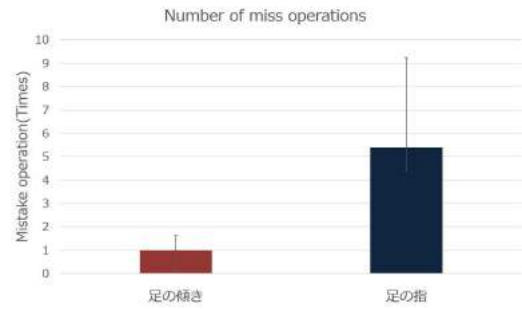
## 4. 評価実験

3章で述べたユーザインタフェースにおいて、どちらが容易に操作可能かを比較する実験を行った。被験者は、AOAを二種類のユーザインタフェースを用いて操作してもらい、操作性、作業効率、ユーザ満足度の3点にて評価しどちらが有用であることを検証する。被験者には、各操作方式にて事前に3分間の練習時間を確保、その後タスクを実行する。タスク内容は、ロボットアームの先端位置座標を、実験者が4点指定し、各指定された点まで被験者に各ユーザインタフェースを用いて操作し、評価アンケートを記入する。

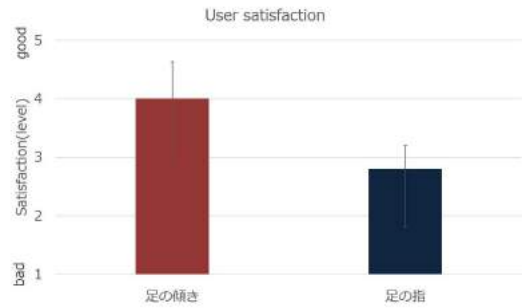
図6(a)は、タスクを行った際の平均作業時間である。足の親指による操作方法より、足の傾きを用いた操作



(a) 平均作業時間



(b) ミス操作の平均回数



(c) ユーザ満足度

図6 実験結果：加速度センサを用いたユーザインタフェースの結果が左、圧力センサを用いたユーザインタフェースの結果を右の棒グラフにて示す。

Fig.6 Result of experiment: left; Using a accelerometer. right; Using a push sensor.

方法の方が、約倍近く平均作業時間が早く、習熟時間においても各方式にて3分間設けたが、足の親指による操作方法では習熟時間が足りなかった。図6(b)は、ミス操作の平均回数を示している。ミス操作の定義として、ユーザが想定した動きとは別の動きが生成された回数をミス操作とし、その回数をユーザ自身で記入する。足の傾きを用いた操作方法では、ミス回数が平均で1回なのに対し、足の親指による操作方法では約

5 回ものミスが発生した。足の親指による操作方法では、習熟時間が十分ではなく、ミス操作が多かったとの意見もあった。図 6(c) はユーザのトータル満足度を示す。この結果から、タスクを行うにあたって、被験者に与える負担やストレスが足の親指による操作方法の方が高く、操作性についても低いといえる。よってこの二種類の操作方法では足の傾きを用いた操作方法の方が有用である。

## 5. 結言

本論文では、人と協調したロボットの操作ユーザインタフェースについて述べ、本研究で提案した Assist Oriented Arm (AOA) の操作ユーザインタフェースの装着位置と、操作に用いるセンサの検討を行った。最適なセンサを加速度センサと圧力センサの二種類に絞り、実装し比較実験を行った。比較方法として被験者は、簡単なタスクを実行しその後、操作性、作業効率、ユーザ満足度の 3 点を基準にアンケートを記入し、その平均から有用性を比較した。

結果として、加速度センサを用いて足の傾きを入力値としたユーザインタフェースが上記の三点にて有用な結果を得られた。また、習熟時間についても足の傾きを用いた操作方法では約 1 分ほどで操作を覚えていたが、圧力センサを用いた足の親指からの入力によるユーザインタフェースでは、3 分では不十分であった。それにより、ミス操作回数も増え、作業効率が低下したといえる。しかし、足の親指を用いた操作にて習熟時間を十分に設けた場合、足の傾きより有用な結果が得られる可能性もあるため、この点において今後調査する必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の助成により実施した。

## 参考文献

- [1] 鈴木雄介, 福島寛之, 宮本一郎, 竹内晃一”コミュニケーション支援ロボットシステムの撮影動作インタフェース”, 情報処理学会論文誌, 2010.
- [2] Baldin Llorens-Bonilla, H. Harry Asada, IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA), A Robot on the Shoulder: Coordinated Human-Wearable Robot Control using Coloured Petri Nets and Partial Least Squares Predictions, pp-4803-4807 2014.
- [3] 小島景行, 山添大丈, 李 周浩, 軽量化と実用性を考慮した装着型ロボットアームの提案”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2016.
- [4] 山本哲也, 寺田努, 塚本昌彦, 義久智樹”ジョギング時における情報機器利用のための足ステップ入力方式”, 情報処理学会論文誌, 2009.
- [5] 関口優, 小野瀬俊介, 相川真之介, 中沢信明, 松井利一,

- 藤井雄作”膝と足先の動きを利用したインタフェースの開発”, ロボティクスメカトロニクス講演会, 2016.
- [6] Francine Gemperle, Chris Kasabach, John Stivoric, Malcolm Bauser, Richard Mart in, Design for Wearability”, International Symposium on Wearable Computers 1998.
  - [7] Eduardo Velloso, Dominik Schmidt, Jason Alexander, Hans Gellersen, Andreas Bulling, ACM COmputing Surveys, The Feet in HCI: A Survey of Foot-Based Interaction, Vol. 9, No. 4, Article 39, July 2015.