

# 前腕皮膚変形による腕動作伝達—前後方向の試作と評価—

Cutaneous Stimulation Device for Transmitting Forearm Motion –Evaluation of Backward-Forward Motion–

國安 裕生<sup>1)</sup>, 佐藤 未知<sup>1)2)</sup>, 福嶋 政期<sup>1)2)</sup>, 梶本 裕之<sup>1)3)</sup>

Yuki KUNIYASU, Michi SATO, Shogo FUKUSHIMA and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 情報理工学研究所 総合情報学専攻

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kuniyasu, michi, shogo, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 日本学術振興会特別研究員

3) 科学技術振興機構さきがけ

**Abstract:** When we teach skills related to hand motion such as calligraphy, it is important to transmit forearm motion. When we teach the forearm motion, we occasionally grab and pull the forearm to transmit the motion. This direct pulling is quite intuitive and effective, but cannot be used remotely. In the previous work, we proposed to use cutaneous tangential deformation to generate pseudo pulling sensation, and succeeded in producing up-down, side-side motion. In this work, we fabricated a device that can present backward-forward motion, and evaluated the sensation.

**Key Words:** Cutaneous stimulation, Pulling sensation, Navigation, Tactile Display, Haptic Teaching

## 1. はじめに

書道やスポーツ等の教示の場面において、腕動作を伝達することは重要である。現在、腕動作を教示するにあたりもっとも一般的に行われている手法は映像による手法であると考えられる。映像による教示では、映像から得られた情報をユーザ自身が解釈し、正しい動作を判断する必要がある。この場合、ユーザは自分の動作のみでなく、映像を注視することにも集中しなければならず、訓練に集中することができない。

そこで直感的に腕動作を教示するため、視覚情報を使わず、注目せずとも感じ取ることができる触覚に着目した教示手法が多く提案されている。その中でも特に多く用いられている手法は振動刺激を用いた手法である。Sergiらは、リストバンドに4つの振動子を搭載することで、手首に対して上下左右の4方向の振動刺激を提示し、腕の動作の教示を行った[1]。また、Liebermanらは肘と手首に振動刺激を提示することで、関節の動作を教示する手法を提案した[2]。これらの手法は簡便ではあるが、振動刺激を提示されている部位や方向をユーザ自身が解釈し、どのような動作を行えばよいのか判断するためやや直感性に欠ける。

また、振動刺激ではなく、力覚を提示することによる教示手法も提案されている[3][4]。これらの手法は、書道など実際の教示の場面でよく見られる「腕を手取る教示」に着目し、腕を牽く際の力を提示している。力を提示することで、動作方向を解釈なしに知覚することが可能であり、非常に直感的であるが、PHANTOM[5]等の据え置き型の触覚提示装置が必要であり、設置場所や応用先が限定的にな

ってしまう。

そこで我々は、腕を牽く際の力をウェアラブル型のデバイスで提示することで、直感的な教示を可能としつつ、設置場所等の限定条件をなくすことができると考えた。しかし、通常のウェアラブル型デバイスでは据え置き型のデバイスとは異なり、外力の提示を行うことが困難である。そのため我々は腕を牽く過程を分解して考え、腕を牽く際に生じる皮膚の変形をウェアラブル型のデバイスにより生じさせることで、あたかも腕を牽かれているかのような力を知覚させることができるのではと考えた。皮膚変形を与えることで力を錯覚させる手法自体は数多く提案されており[6][7][8]、我々の提案は実現可能であると考えられる。

我々はこの提案手法に基づき、これまでにユーザに上下左右の4方向に対しての力の提示を可能としたデバイスを製作した[9]。また、実際にユーザが主観的な力を感じていることも、重さ知覚の実験により確認した[10]。

本稿では前腕に対して前後方向への力の提示が可能であるウェアラブル型のデバイスを試作する。

## 2. デバイス概要: 前後方向への牽引力提示デバイス

本デバイスの概観を図1に示す。本デバイスはサーボモータ(Grand Wing Servo-Tech Co.,Ltd, GWSMICRO/2BBMG)、ABS樹脂製フレーム、アクリル製皮膚刺激子から構成される。アクリル製皮膚刺激子には前腕皮膚との接触面にゲルシートが貼り付けられており、皮膚との摩擦を生じさせやすくしてある。なおサーボモータの制御には、Arduino(Duemilanove328)を用いた。本デバイス装着時の様子を図2に示す。

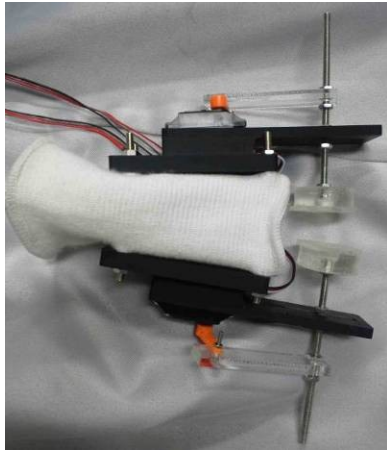
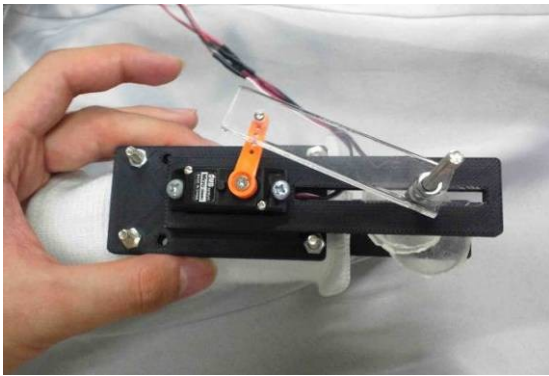


図 1 本デバイス外観（上図：上面，下図：側面）

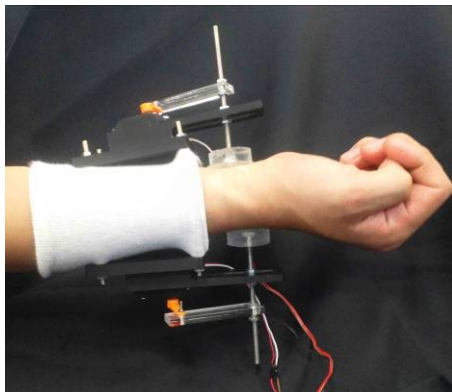
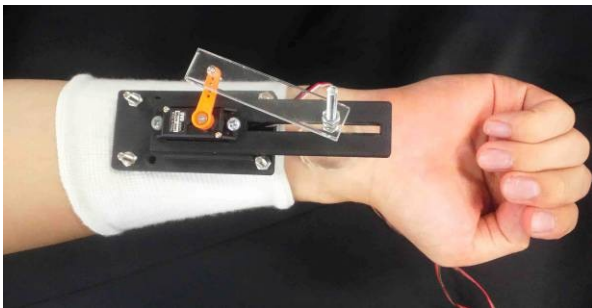


図 2 デバイス装着時の外観（上図：上面，下図：側面）

## 2.1 動作原理

動作原理図を図 3 に示す。スライダクラック機構により

サーボモータの回転運動を直線運動に変換する。これにより皮膚刺激子を前腕に沿って動作させることができる。図 3 は前方向への牽引力提示を行うときの動作原理図である。図 3 上面図左が定常状態を表す。この状態からサーボホーンを図 3 上面図右に示すように右回りに 90°回転させることで皮膚刺激子が前腕に沿って前方向に移動する。その際に、刺激子と前腕皮膚との摩擦により前腕に前方向への皮膚変形が生じる。これを前方向へ腕を牽いた際の皮膚変形と見立てて、前方向への牽引力提示を行う。同様の原理により、サーボホーンを左回りに 90°回転させることで後方向への牽引力提示を行う。

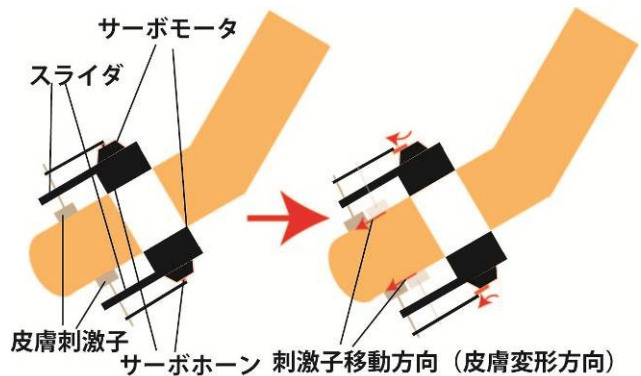
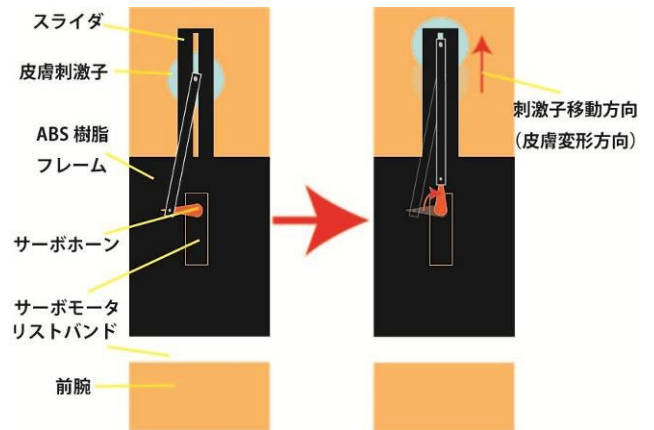


図 3 デバイス動作原理（上図：上面図，下図：側面図）

## 3. 方向知覚実験

本デバイスにより前後方向への方向提示が行えることを確認するため、方向知覚実験を行った。

### 3.1 実験方法

実験は装置を前後の2方向に対しランダムで駆動させたとき、どの方向に牽引を感じるかを前、後、回答不能の3択で回答させた。実験は被験者ごとに、各方向につき10試行ずつ、計20試行を行った。

実験時、被験者は常に着席、肘を90度曲げた状態で腕の腹を上にした状態でデバイスを装着した。実験中、被験者には常にこの姿勢を保つよう指示した。なおデバイスは利き腕に関係なく右腕に装着させた。また実験中、デバイスの動作音はイヤホン経由のホワイトノイズによりマスクし、さらに被験者には閉眼させた。実験は21~24歳の男

女 6 名に対し行った。なお、被験者は全員右利きであった。実験時の様子を図 4 に示す。



図 4 実験時の様子

#### 4. 実験結果

実験結果のグラフを図 5 に示す。これは方向の正答率を前と後についてまとめたものである。グラフよりどちらの方向に対しても 90%以上正しく知覚出来ていたことがわかる。

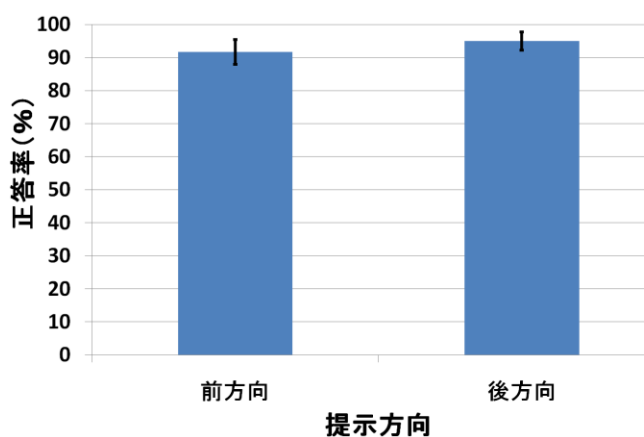


図 5 提示した方向毎の正答率

また被験者毎の正答率をまとめたグラフを図 6 に示す。

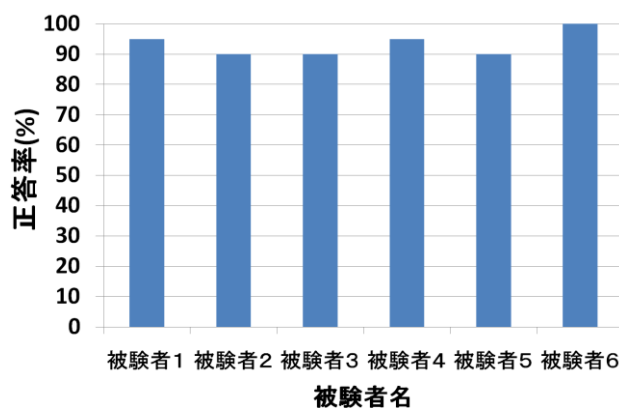


図 6 被験者毎の正答率

グラフよりどの被験者も 90%以上正しく回答できており、被験者毎の個人差もほぼ生じていないと考えられる。

#### 5. 考察

内観報告より強制的に腕が動かされるのではなく、提示した方向に腕を動かしたくになると報告した被験者がいた。これにより、本デバイスを用いることで被験者の能動的な腕の動きを誘発することができる可能性が示唆された。

教示の場面においては訓練者の能動的な動きが効果的であるといわれている。嵯峨らはこの能動性に着目し、あえて所望の動きとは反対の方向へ力を提示することで訓練者に主体性に動作させることにより教示の効果を高める手法を提案している[4]。また Lee らは訓練中にあえて力覚的なノイズを与えることでユーザの能動的な動きを促し、教示の効果が高まることを見いだしている[11]。実験後の内観報告により、我々のデバイスを用いることで、能動的に腕の動きが教示できる可能性があると考えられる。

その一方で、腕が強制的に動かされている感覚がすと報告した被験者もいた。そのため、能動的ではなく受動的な力の提示と知覚する場合もあるということが考えられる。腕を能動的に動かすのか受動的に動かされるのかについては教示への応用を考える場合、今後検討が必要になると考えられる。

#### 6. 結論

本稿では手を牽くという行為に着目し、手を牽いた際に生じる皮膚変形を再現することで、前後方向への牽引力を知覚させることができた。我々の前回の報告と合わせて、上下、左右、前後の並進運動の教示が実現した。

今後は、腕の回転方向の動作提示など方向提示の自由度を上げていくとともに、教示への応用を目指した腕の動作のセンシング等も行っていく。

#### 参考文献

- [1] F.Sergi et al. : Forearm Orientation Guidance with a Vibrotactile Feedback Bracelet: on the Directionality of Tactile Motor Communication, Biomedical Robotics and

- Biomechanics, 2008, pp. 433 - 438, 2008.
- [2] J.Lieberman et al. : TIKL: Development of a Wearable Vibrotactile Feedback Suit for Improved Human Motor Learning, Robotics IEEE Transactions on Oct.2007, pp. 919 – 926, 2007
- [3] K.Henmi et al. : Virtual Lesson and Its Application to Virtual Calligraphy System: Robotics and Automation, 1998, pp.1275 - 1280 vol.2, 1998
- [4] 嵯峨ら : 力覚の主体性を活用した教示手法に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 363-369, 2005.
- [5] T. H. Massie et al., “The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects ,”Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 1994.
- [6] K.Minamizawa et al. : Simplified Design of Haptic Display by Extending One-point Kinesthetic Feedback to Multipoint Tactile Feedback, Haptics Symposium 2010 , pp257 -260 , 2010
- [7] G.Inaba et al. : A Pseudo-Force-Feedback Device by Fingertip Tightening for Multi-Finger Object Manipulation, Eurohaptics Conference, pp275-278, 2006
- [8] P.Shull et al. : Skin Nonlinearities and their Effect on User Perception for Rotational Skin Stretch, Haptics Symposium 2010, pp 77 – 82, 2010
- [9] 國安ら : 前腕部皮膚変形による疑似牽引力提示装置, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A2-E03, 2010
- [10] Y.Kuniyasu et al. : Weight Illusion by Tangential Deformation of Forearm Skin, Augmented Human 2011, DP-P2, 2011
- [11] J.Lee et al. : Effects of haptic guidance and disturbance on motor learning: Potential advantage of haptic disturbance, Haptics Symposium 2010, pp 335 – 342, 2010