

# 指先の力触覚を前腕に提示するウェアラブルデバイスの開発 (第2報)：温度感覚提示の付与

森山多覇<sup>†1</sup> 西綾花<sup>†1</sup> 櫻木怜<sup>†1</sup> 中村拓人<sup>†1†2</sup> 梶本裕之<sup>†1</sup>

**概要：**VR空間内の物体に対する触覚提示デバイスは、グローブ形状の物や直接指先に装着する物などが存在する。しかしながらこれらのデバイスは、サイズの問題や、指先に装着する事でデバイス同士が物理的に干渉する問題が避けられない。そこで、本稿では直接指先や手にデバイスを装着する事無く、本来指先で知覚する触覚と温感を前腕に提示するデバイスを提案する。5節リンク機構とペルチェ素子を用いて、力の強さや方向、振動感覚や温度感覚を前腕に提示するデバイスを設計、試作した。

## Development of a Wearable Haptic Device that Presents the Haptic Sensation Corresponding to Fingers on the Forearm (II): Integration of Thermal Display

TAHA MORIYAMA<sup>†1</sup> AYAKA NISHI<sup>†1</sup> REI SAKURAGI<sup>†1</sup>  
TAKUTO NAKAMURA<sup>†1†2</sup> HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1</sup>

**Abstract:** Many wearable tactile displays for the fingers, such as fingertip type and glove type displays for objects in the Virtual Reality (VR) environment have been developed. However, these are typically too large for fingertips and hinder the free movement of fingers. In this series of research, we developed a device that presents the haptics sensation of the fingertip on the forearm, not on the fingertip, to address this issue. In this paper, we report integration of Peltier element for thermal sense.

### 1. はじめに

近年 VR 環境中での触覚情報の提示を試みる研究は多数存在する。特に、人は指を用いて作業を行うため、指先をターゲットとした触覚提示デバイスは多く、グローブ形状の物から指先に直接装着する物など、数多くのデバイスが提案されている。しかしながら、これらの多くにはデバイスのサイズの問題や、脱着の手間、複数指に装着する事でデバイス同士が物理的に干渉してしまう問題が存在する。そこで、これらの問題を解消するために、指先で触れた際の触覚情報を、身体他の部位（前腕）に提示する触覚提示手法を提案する。指や手に直接装着する事無く体の他部位に提示する事によって、装置の脱着も容易となり、指の動きを妨げる事無く自由に動かすことが可能となる。

人が指で作業を行う際、指には様々な触覚情報が提示される。その中でも、作業のための触覚情報提示という観点では、物体を把持する際や変形させる際の「力の強さ及び方向」が特に重要な触覚提示要素だと考える。更に、対象物の識別に関する「振動感覚」、「温度感覚」の重要度も高く、これらの3つの要素を再現する事で VR 空間内の体験でよりリアリティが向上すると考えられる。

我々は前報において、指先で知覚する力の情報を方向も

含めて提示する5節リンク機構を用いたデバイスを提案した[1]。本報では、さらに駆動系を DC モータに変更する事で振動感覚を提示し、ペルチェ素子によって温度感覚を提示するデバイスを設計、試作した。

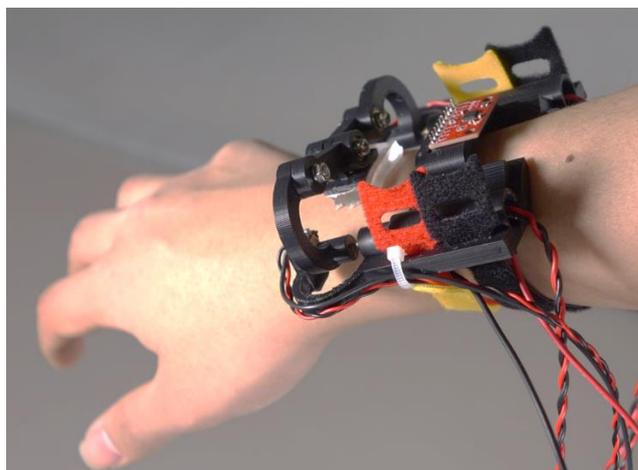


図 1：試作したデバイス

### 2. 関連研究

VR 空間中で物体に触れた時に、指先に知覚する触覚を手や指先に直接提示する研究は数多く存在する。特にウェアラブルタイプのものに関しては Pacchierotti による詳細

<sup>†1</sup> 電気通信大学

<sup>†2</sup> 日本学術振興会特別研究員

なレビューがあるが[2]、大別してグローブ形状の物と、指先に直接装着する物に分けられる。

### (1) グローブ形状の触覚提示デバイス

装着可能な触覚提示デバイスとして、指先とは異なる場所に基点が存在するグローブ形状のデバイスが多く開発されている[3][4]。これらは指を曲げるための実際の力を、指先に提示する事ができるが、5本全ての指の触覚提示を実現させるためには、デバイスの大きさ、脱着の手間といった課題を持つ。

### (2) 指先に直接触覚を提示する触覚提示デバイス

指先に直接装着する事で、指先の皮膚変形を生じさせ、疑似的な力提示が可能になるデバイスも数多く提案されている[5][6]。力を知覚するための手掛かりとしては、皮膚の変形を利用している。しかしながら、5本の指にデバイスを装着する事を考えると、デバイス同士の干渉や、装置の重みはユーザに大きな負担になると考えられる。

上記2つのタイプのデバイスの問題に対する現実的な解決策の1つとして、身体の他の部位に指先の触覚情報を提示するデバイスが考えられる[7][8]。感覚義手の観点からは一般的に行われている手法であるが、力の方向情報までも提示する例は少ない。

そこで、我々は前報にて、VR空間中で物体に触れた際に、指先の触覚情報を力の方向も前腕に提示できるデバイスを設計、試作した。本報告ではさらに対象物の識別にも重要な情報である温度感覚や振動感覚も提示できるデバイスを設計、試作する。

## 3. デバイスの構成

### 3.1 5節リンク機構

指で作業を行う時の指先の皮膚に着目すると、物体に触れた際、皮膚には物体から垂直方向に力が加わる。また、物体を持ち上げる際や、物体を撫でる際、指先の皮膚は接面方向に力が加わる。このような指先で知覚する力や横ずれ感を前腕に同様に再現する事で、よりリアルな体験に繋がるのではないかと考えた。これらの力の向きを提示する機構として、5節リンク機構を用いたデバイスを設計した。

5節リンク機構では、5節のうち2節を駆動する事で平面2自由度の制御が実現できる。そのため、触覚提示位置は上下左右に動くことが可能である。上下の動きで圧覚を、左右の動きでは横ずれ感を提示する事ができる。これは、Tsetserukouら[9]によって指先への力覚提示のリンク機構として提案されたものである。この先行研究を参考に、前腕にも装着できる形のデバイスを作成した。

前報では駆動にRCサーボモータを用いていたが、今回はDCモータを用いた。これにより駆動の制御周期が短くなり、よりユーザの動作に遅延なく追従することが可能になるとともに、DCモータに振動信号を加えることによって振動感を提示する事が可能となる[10]。

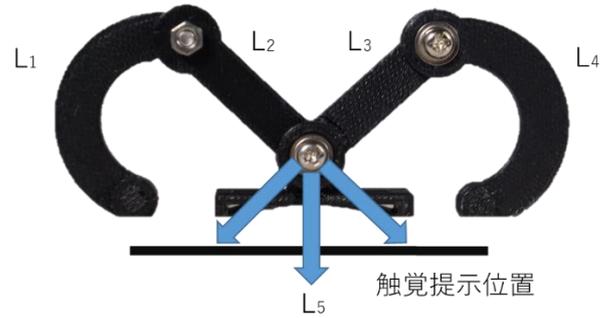


図 2：5節リンク機構

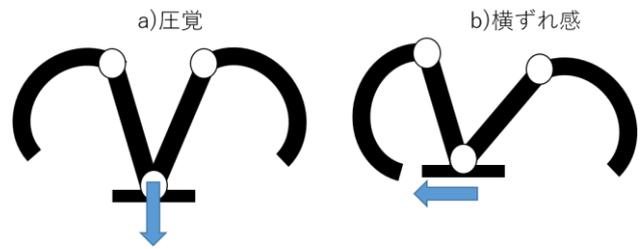


図 3：5節リンク機構の駆動図 (a:圧覚, b:横ずれ感)

表 1：デバイスの仕様

	Maxon RE 1.5W (118396)
DC モータ	
リンクの長さ L1,L2,L3,L4[mm]	30
リンクの長さ L5[mm]	70
デバイスの重み[g]	80

### 3.2 温度提示および姿勢トラッキング

図1に試作した、指1本に対応するデバイスの外観を示す。接触対象物の材質感を提示するためには温度感覚の提示が重要である。ここではデバイスの側面に左右2つずつ、長さ15mm×30mmのペルチェ素子を用いた。予備的な検討の結果この大きさは冷感や温感を提示するには十分な大きさであった。

デバイスの中央には3軸加速度3軸角速度センサ(MPU6050)が取り付けられており、手首を使用したジェスチャ認識や、デバイスの姿勢をトラッキングするために用いる。

デバイスの重みは約80gであり、3Dプリンタにて作成した。マジックテープを腕に通すだけで脱着が可能であるため、利便性が高い。デバイスの中央は皮膚に触れないようにしている。これは皮膚変形が阻害されることを防ぎ、圧覚や横ずれ感を明確に知覚させるためである。

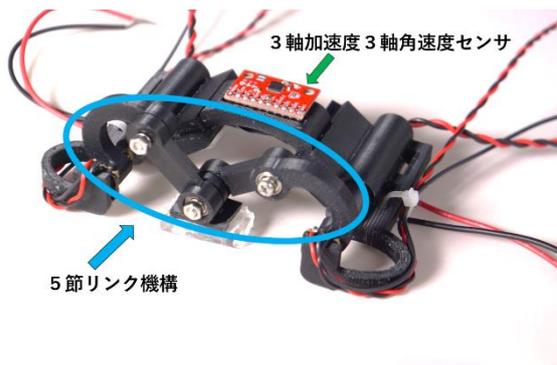


図 4：デバイスの外観 (表)

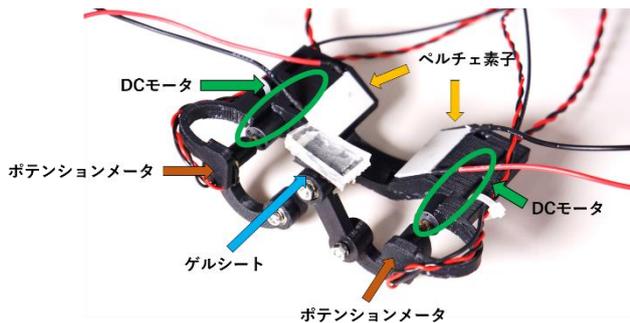


図 5：デバイスの外観 (裏)

#### 4. 試作デバイスの使用感

実際に試作したデバイスを用いて、圧覚と横ずれ感、温度感、振動感を前腕に提示する予備的な検討を行った。それぞれの触覚情報（圧覚、左右の横ずれ、振動感、温度感）に対して、ほぼ確実に区別して知覚する事ができた。

また、VR 環境中の物体を把持する検討も行った。ヘッドマウントディスプレイとして Oculus Rift を使用し、LeapMotion を用いて指をトラッキング、Unity を用いて提示映像を描画した。前報ではデバイスを前腕の背側部に取り付けていたが、前腕の腹側部にさらにデバイスを取り付けることで触覚提示位置を2つに増やし、それぞれを人差し指と親指に対応させた。この状態で VR 環境中に用意されているコップを実際に把持し、持ち上げる動作を行った。8名の被験者の予備的な感想としては、「2本の指で作業を行っているように感じる」、「物体を把持した、といった感覚を記号的ではあるが、明確に感じることができる」というコメントがあった。

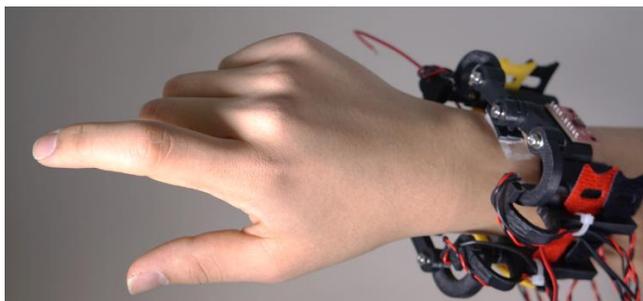


図 6：前腕の背側部と腹側部にデバイスを装着時の様子

#### 5. まとめと今後の展望

本稿では、VR 環境中で物体に触れた際に、本来指先で生じる触覚情報を、前腕部に提示する事を提案し、デバイスを設計、試作した。特に、指に加わる水平、垂直方向の力、振動感、温度感覚の触覚情報を前腕に提示する事が可能であり、VR 環境中の体験の向上に繋がる可能性も示唆された。

今後は、今回の試作デバイスの温度提示を含めた表現能力の検証を行い、主観的な体験の向上にどのように寄与しうるかの評価を行っていく。

**謝辞** 本研究は JST-ACCEL 身体性メディアプロジェクト (JPMJAC1404) の一環として行われた。またリンク機構に関して Dr.Dzmitry Tsetserukou の助言を得た。

#### 参考文献

- [1] T.Moriyama, A.Nishi, T.Nakamura, H.Kajimoto “Development of a Wearable Haptic Device that Presents the Haptic Sensation Corresponding to Fingers on the Forearm,” in *Proceedings of 22th Annual Conference of the Virtual Reality Society of Japan, 2017*
- [2] C.Pacchierotti, S.Sinclair, M.Solazzi, A.Frisoli, V.Hayward, D.Prattichizzo, “Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives,” *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 10, Issue 4, pp.580-600, May 2017.
- [3] K. Minamizawa, S. Kamuro, S. Fukamachi, N. Kawakami, and S. Tachi, “GhostGlove: Haptic existence of the virtual world,” in *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos*, pp.18.
- [4] J. Iqbal, N. G. Tsagarakis, and D. G. Caldwell, “Four-fingered lightweight exoskeleton robotic device accommodating different hand sizes,” *Electronics Letters*, vol. 51, no. 12, pp. 888–890, 11th June 2015.
- [5] M. Gabardi, M. Solazzi, D. Leonardis, and A. Frisoli. “A New Wearable fingertip haptic interface for the rendering of virtual shapes and surface features,” in *Proceedings of Haptic Symposium 2016*.
- [6] K. Minamizawa, S. Kamuro, N. Kawakami, and S. Tachi, “Haptic interaction with virtual objects in midair using a finger-worn haptic display,” *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, vol. 13, no. 4, pp. 415–420, 2008.
- [7] C. Antfolk, M. D’Alonzo, M. Controzzi, G. Lundborg, B. Rosen, F. Sebelius, and C. Cipriani, “Artificial redirection of sensation from prosthetic fingers to the phantom hand map on transradial amputees: Vibrotactile versus mechanotactile sensory feedback,” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 21, pp. 112–120, 2012.
- [8] T. Nakamura, N. Nishimura, M. Sato, and H. Kajimoto, “Development of a wrist—twisting haptic display using the hanger reflex,” in *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, no. 33, 2014.
- [9] V. Yem, R. Okazaki and H. Kajimoto, “Vibrotactile and Pseudo Force Presentation using Motor Rotational Acceleration.” *Proc. of IEEE HapticsSymposium 2016*, Philadelphia April 8-11th, pp. 47-51, 2016.
- [10] D. Tsetserukou, S. Hosokawa, and K. Terashima, “LinkTouch: A wearable haptic device with five-bar linkage mechanism for presentation of two-DOF force feedback at the fingerpad,” in *Proceedings of IEEE Haptic Symposium*, pp.307-312, 2014