

## 衣服牽引を用いた触力覚提示装置

大石恵利佳<sup>†1</sup> 高下昌裕<sup>†1</sup> Khurelbaatar Sugarragchaa<sup>†1</sup> 梶本裕之<sup>†1</sup>

視聴覚コンテンツの臨場感を高めることを目的として、身体の大範囲へ触力覚を提示する手法は数多く提案されているが、提示領域の狭さ、着脱の手間などの課題がある。我々はこの問題に対して、着用している衣服自体を牽引することにより衣服ずれを生じさせ、大範囲かつ簡易に触力覚を提示可能とする手法を提案する。本報告ではシステム構成および予備的な実験結果について述べる。

### Haptic Force Feedback System by Pulling Clothes

ERIKA OISHI<sup>†1</sup> MASAHIRO KOGE<sup>†1</sup>  
SUGARRAGCHAA KHURELBAATAR<sup>†1</sup> HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1</sup>

While numerous methods were proposed to present haptic sensation to the whole body to enhance the realism and immersion of audio visual content, they have common issues such that the presentation area is limited and attaching the devices require cumbersome procedures. To cope with these issues, we propose a method to utilize displacement of clothes by pulling the clothes. In this paper, we describe the system configuration and report results of preliminary experiments.

#### 1. はじめに

ゲームや映画などの視聴覚コンテンツにおいて、身体への触覚提示はコンテンツの臨場感を高める目的で数多く提案されている[1][2][3][4]。これらの研究の多くはボイスコイルアクチュエータ等による振動刺激を用い、音や衝撃等を提示している。

しかし振動提示では身体が動かされるような力覚を提示することは難しい。力覚を再現する装置として知られるPHANTOM[5]やFalcon[6]、SPIDAR[7]等はユーザがペン型や球体のデバイスを操作する際に抵抗力を与えることによって力覚を提示可能としている。こうした力覚提示装置の多くは手掌部への提示を前提としており、身体の大範囲を対象としたものは少ない。また身体大範囲に提示する装置の多くは装着が煩雑である。

そこで我々は新たな身体への触力覚提示手段として、すでに着用している衣服に着目した。本研究では衣服を牽引することによって意図的に衣服と皮膚の間に衣擦れを発生させ、この衣擦れによる皮膚刺激や牽引による力覚を触力覚提示として利用することを提案する(図1)。

衣服を利用することにより、牽引のためのワイヤ式の装置のみが必要となり簡易かつ小型となる。また衣服の一部を牽引すると周囲の衣も同時に動くため、大範囲に衣擦れを提示することが可能である。つまり、簡易かつ大範囲への提示を可能とした触力覚提示装置となる可能性がある。

本稿では衣服牽引を用いた触力覚提示装置の開発と提示可能感覚について述べ、衣服牽引による力覚提示の有効性の検証を行う。



図1 システム利用のイメージ

#### 2. 衣服牽引装置

##### 2.1 システム構成

本システムの構成を図2に示す。本装置はギアヘッド付きモータ(Maxon社製, RE 25 φ25mm, 10 W, GP 26 B φ26 mm, ギア比 19:1), モータドライバ(Okatech社製, JW-143-2), ボビン, ガイド, 糸, サスペンダークリップ, マイクロコントローラ(NXP社製, mbed NXP LPC1768)から構成される。

本装置は図3に示すように、椅子の背もたれ後方に設置し、サスペンダークリップと糸をガイドを介してユーザまで伸ばすことができる。ガイドとクリップの固定位置は任意の位置に定めることができ、これにより任意の身体部位への提示を可能としている。今回試作したデバイスでは同時に2箇所への提示に限られるが、装置を増設することによって提示可能範囲をより広げることが可能となる。

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications

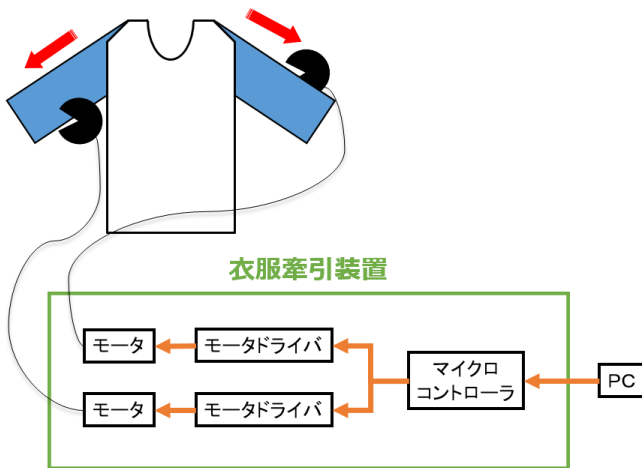


図 2 システム構成



図 3 作成した衣服牽引装置

## 2.2 システムの動作

図 4 に示すように、サスペンダークリップを衣服に固定し、モータによって巻き取ることで衣服を牽引する。モータによる巻き取りの強さや動作周期を制御することにより、任意の牽引力や振動感覚を提示する。



図 4 衣服が牽引される様子

### 2.2.1 牽引力の提示

衣服を牽引することによって、身体が一方方向に牽引される擬似的な力覚を提示することが可能である。また、サス

ペンダークリップの固定場所や牽引の方向を変えることで、異なった感覚を提示することが可能となることも確認した。ただし、感覚提示は牽引する一方方向しか行うことができない。

### 2.2.2 皮膚せん断の提示

本装置では前項で説明した力覚の提示と同時に、衣服の牽引によって皮膚のせん断変形が提示可能となる。皮膚に対するせん断力は擬似的な力を錯誤させるという知見は数多く[8][9][10][11]、前項の力覚提示と相補的に働く可能性がある。ただし、提示可能な範囲は衣服が皮膚に密着している箇所に制限される。

### 2.2.3 振動感覚の提示

糸を用いたハプティックインタフェースは高い張力と高速なフィードバックループにより振動の提示も可能であることが知られている[12]。本装置においても、電圧を変動させることによって振動を提示することが可能である。従来の糸を用いた振動提示の多くが指先への触覚提示に限られていたのに対し、衣服を介することにより、より広い範囲に一樣な触覚を提示することができる。

## 2.3 応用シナリオ

ここでは前節で述べた提示感覚の応用シナリオについて述べる。

### 2.3.1 牽引による加速度感覚の提示

レースゲームなどの視覚的移動を伴うコンテンツにおいて、人間は視覚的手がかりから自身の速度を推定することは出来るが、前庭感覚や体性感覚への提示なしに加速度を推定することは困難である。

モーションプラットフォームを用いて加速度感覚の提示をすることでコンテンツの臨場感を高めることは行われているが[13]、モーションプラットフォームはユーザ自身を大きな機構によって駆動する形態をとるため大掛かりな装置となる。

これに対して雨宮ら[14]の研究では、取り外し可能な簡易的装置で振動感覚や触覚の流れ場を提示することによって移動速度を変調させる取り組みを行っているが、前庭感覚や体性感覚への提示は行っていない。前田らは前庭電気刺激を行うことで加速度感を提示したが、電気刺激を頭部に提示する手法は一般的に普及のハードルは高いと言える[15]。

自動車を運転する際、加速度は前庭感覚への刺激と慣性力による体性感覚への刺激によって知覚可能である。特に自動車の場合、背もたれがあるために身体は拘束状態であり、体性感覚として感じる感覚のほとんどは触覚であると考えられる。このことから我々は本装置によって提示可能である後方への牽引力を、加速度運動が行われる際の慣性力として提示することで、加速度感覚を提示できるのではないかと考えた。

比較的近いコンセプトとして Danieau らは座席に座ったユーザに対して身体各所を力覚提示装置で刺激する試みを行っている例がある[16]. ただしこの例では力覚提示装置で手掌部や首を直接駆動しており, 衣服を介した広範囲の皮膚への触覚/力覚提示は行っていない. 我々の手法は広範囲への触力覚提示が可能であることから, より全身での体感を可能とすると思われる.

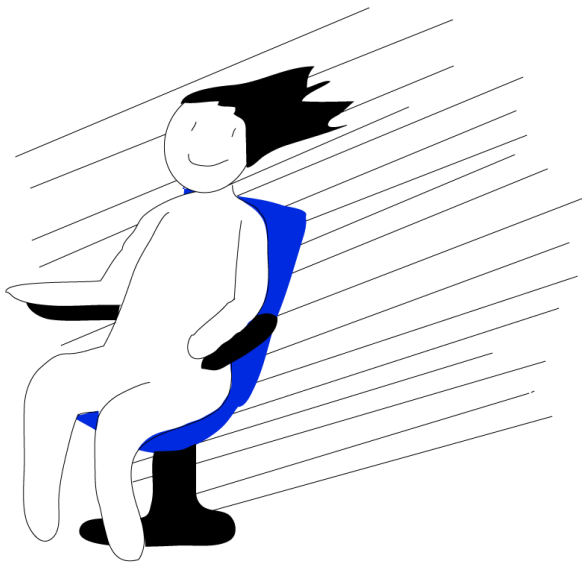


図 5 加速度提示感覚のイメージ図

### 2.3.2 裾への振動提示による風力の提示

人間が自己の運動を推定する際, 体性感覚への刺激は重要である. その一つの手がかりが風の知覚である.

例えば映像コンテンツに合わせて頭部へ風を提示することで移動感覚を変調させる取り組みが行われている[17][18][19]. ただし実際に我々が移動をする際には, 頭部だけでなく身体にも風を感じているため, 臨場感を十分に高めることができる手法であるかは疑問が残る. これに対して全身への風提示も行われているが[20][21], 提示範囲に応じて多くの送風機が必要となり, 結果として非常に大掛かりな装置になってしまいがちである.

そこで我々は, 風を受けた際に衣服が翻る感覚を提示することによって, 簡易的に移動感覚の変調を行うことが出来るのではないかと考えた. 本装置では, 衣服の裾へ振動を提示することによって衣服の翻りを再現し, 身体に風を受けたかのように感じさせることを期待する.



図 6 裾への振動提示のイメージ図

## 3. 実験：牽引による加速度感覚への影響

本実験では 2.3.1 で述べた仮説を確認するため, 加速度が変化するオプティカルフローの提示と同時に後方への牽引力を提示し, 本手法が加速度感覚, ひいては臨場感の向上に有効であるかの検証を行った.

### 3.1 実験環境

本実験で用いる視覚刺激はゲームエンジン Unity (<http://japan.unity3d.com/>) によってレンダリングし, HMD (Oculus VR 社, Oculus Rift Development Kit 2, 解像度 1920 × 1080 (片目 960 × 1080), 水平面角 90°, 対角面角 110°) で提示した. 50m 四方 (Unity 中での数値でほぼ物理的に正しい大きさに対応. 以下同様) の立方体内に, 直径 1m の球を 0.005 個/m<sup>3</sup> でランダムに配置した. これを進行方向に 10 個並べ, 視点 (眼間距離 6.4cm) がその中を直線的に移動することで, オプティカルフローを提示した. 視点は 3 秒間で時速 80km まで前方に加速 (加速度 7.4m/s<sup>2</sup>) し, 2 秒間一定速度で移動, その後 3 秒間かけて後方に加速 (加速度 6.0m/s<sup>2</sup>) する動きを 1 サイクルとし, 2 サイクルで一つの視覚提示とした. また, 視覚刺激の中心には注視させるために十字の指標を提示した.

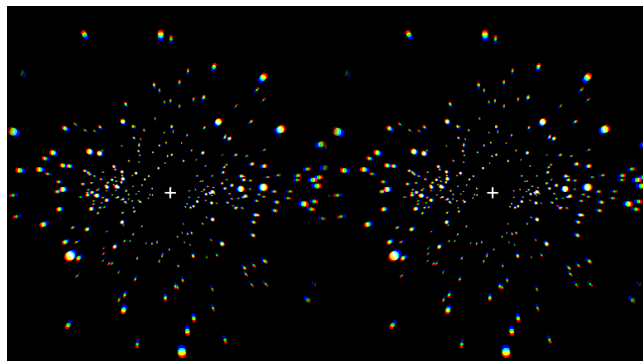


図 7 視覚刺激

牽引力提示には、今回試作したプロトタイプを用いた。視覚刺激に合わせて、Unity から動作指令信号をシリアル通信を介してマイクロコントローラに送信することでモータの制御を行い、視覚刺激に合わせて牽引力の提示を行った。前方に加速するとき、3秒間で牽引力を約0.1kg（初期状態）から約1.2kgまで徐々に強めた。一定速度で移動中は約1.2kgの力で牽引し続けた。そして後方に加速するとき、3秒間で約1.2kgから約0.1kgまで徐々に力を弱めた。

### 3.2 実験条件

本実験では提示刺激として3条件（力覚の提示なし、肩部、ズボンのポケット）を設定した。肩部を牽引することで上半身の広範囲、ズボンのポケットを牽引することで下半身の広範囲に力覚を提示できると考えた。

### 3.3 実験手順

図8に示すように、被験者は本装置が搭載された椅子に座った。まず始めに、被験者は実験者から実験に関する説明を受け、酔いの度合いを確認する Simulator Sickness Questionnaire[22]（以下、SSQ）に回答した。その後、HMDとノイズキャンセリングヘッドホン（BOSE社製、QuietComfort15）を着用した。実験中はモータの駆動音を遮蔽するため、ヘッドホンからホワイトノイズを提示した。まず基準刺激として「力覚の提示なし」の条件が提示された。次に比較刺激として「力覚の提示無し、肩部、ズボンのポケット」の3条件のいずれかをランダムに提示した。その後、被験者は基準刺激に対する比較刺激の加速度感覚の強さと臨場感の大きさを7段階のリッカート尺度（1：とても弱い—4：基準刺激と同じ—7：とても強い）で評価した。これを1試行とし、3条件を各4試行、合計12試行を行った。実験終了後、被験者は簡単なアンケートと再度SSQに回答した。被験者は23から26歳の男性5名、女性1名であった。



図8 実験の様子

## 3.4 実験結果及び考察

### 3.4.1 加速度感覚強度

図9に被験者が回答した加速度感覚の強さを示す。赤線が中央値を示し、箱が四分位点を、エラーバーが最大値・最小値を示す。この結果に対して、多重比較による検定（Steel-Dwass法）を行った。その結果、「肩部」は他の2条件（ズボンのポケット・力覚の提示なし）に対して、1%水準で有意差が見られた。また実験後のアンケートの中には、前方から風が吹いてきているような感覚がしたというコメントもあった。このことから「肩部」への牽引力の提示は加速度感覚の向上に効果的であることが考えられる。

しかし「ズボンのポケット」と「力覚の提示なし」の間に有意差は生じなかった。これは臀部が衣服を座面に押さえつけてしまっているために、力覚が生じにくかったことが原因であると考えられる。また実験後のアンケートで、オブティカルフローの方向が水平であるのに対し、大腿部が垂直方向に牽引されたことは違和感があったと半数以上の被験者が回答したことから、牽引する方向も原因であると考えられる。視覚刺激に合わせて牽引力を提示する際には、視覚刺激の流れる方向に牽引することが重要であることがわかった。

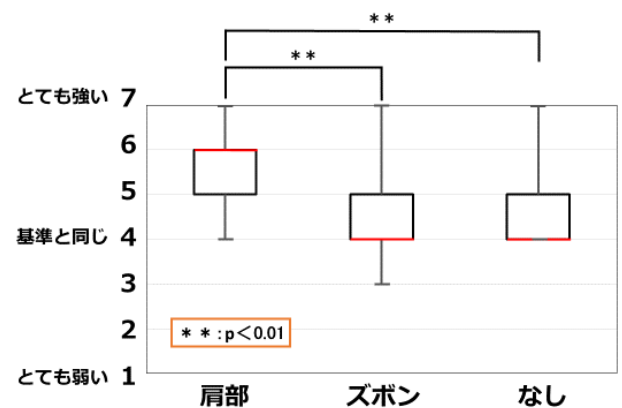


図9 加速度感覚の強さ

### 3.4.2 臨場感の高さ

図10に被験者が回答した臨場感の高さを示す。この結果に対して、多重比較による検定（Steel-Dwass法）を行った。その結果、臨場感においても「肩部」は他の2条件に対して1%水準で有意差が見られた。

「ズボンのポケット」への提示は、加速度感覚強度は「力覚の提示なし」に対して有意性はなかったが、臨場感の高さは「力覚の提示なし」と比較して1%水準で有意差が見られた。牽引する際、力覚が生じにくかったために加速度感覚を変化させることはできなかったが、衣服と皮膚の密着度が高いため皮膚変形は生じた。この皮膚変形によって、臨場感が向上したのではないかと考える。

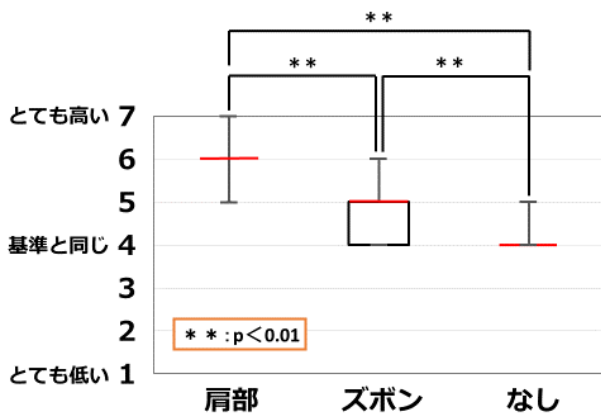


図 10 臨場感の高さ

### 3.4.3 結論

以上の結果から、仮説どおり、身体を後ろに牽引することは加速度感覚の提示として有効であることがわかった。「肩部」への提示は加速度感覚と臨場感を高めることができ、コンテンツ体験の向上に寄与しうる。また「ズボンのポケット」への提示結果から、皮膚変形では臨場感を高めることは出来るが、加速度感覚を高めるためには触覚だけでなく力覚を知覚させる必要があることが考えられる。さらに、視覚刺激に対して牽引方向を熟考する必要があることもわかった。

## 4. おわりに

本研究では、衣服を牽引することで触力覚を提示する装置を提案した。プロトタイプを試作し、衣服牽引による力覚提示の有用性の検証を行った。その結果、本装置によってユーザの加速度感覚が向上することを確認できた。特に、肩への力覚提示は非常に効果的であることが確認できた。

今後は、2.3.2 で述べた振動による風の提示の有用性や本装置の他の利用方法を検証する予定である。また、モジュール数を増やし、同時に複数個所への感覚提示を可能にする予定である。

## 参考文献

[1] 矢野博明, 小木哲朗, 廣瀬通孝: 振動子を用いた全身触覚提示デバイスの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 3, pp. 141-147 (1998)

[2] Y. Kurihara, M. Koge, R. Okazaki, H. Kajimoto : Large-Area Tactile Display Using Vibration Transmission of Jammed Particles, in Proceedings of IEEE Haptics Symposium, pp. 313-318 (2014)

[3] L. Terziman, M. Marchal, F. Multon, B. Arnaldi, A. Lécuyer : The king-kong effects: improving sensation of walking in VR with visual and tactile vibrations at each step, in Proceedings of 3D User Interfaces (3DUI), pp. 19-26 (2012)

[4] M. Koge, D. Ogawa, S. Takei, Y. Nakai, T. Nakamura, T. Nakamura, R. Okazaki, T. Hachisu, M. Sato, H. Kajimoto : Haptic Bed: Bed-style Haptic Display for Providing Weight Sensation, in Proceedings of ACE2014, pp. 11-14 (2014)

[5] T. H. Massie and J. K. Salisbury : The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects, in Proceedings of 3rd Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 295-300 (1994)

[6] Novint 社, "Falcon.", <http://home.novint.com/>

[7] L. Buoguilu, Y. Cai, M. Sato : New Haptic Device For Human Scale Virtual Environment Scaleable - SPIDAR, in Proceedings of ICAT'97, pp. 93-98 (1997)

[8] 佐藤未知, 中村拓人, 梶本裕之: ハンガー反射における皮膚せん断変形による触錯覚と運動誘発, 第5回テレプレゼンス研究会 (2014)

[9] Edin, B.B., Johansson, N : Skin strain patterns provide kinaesthetic information to the human central nervous system. J. Physiol. 487(1), 243-251 (1995).

[10] K. Shikata, Y. Makino, H. Shinoda.: Inducing Elbow Joint Flexion by Shear Deformation of Arm Skin, in Proceedings of World Haptics Conference 2015, WIP30 (2015)

[11] Y. Kuniyasu, M. Sato, S. Fukushima, H. Kajimoto : Transmission of Forearm Motion by Tangential Deformation of the Skin, 3rd Augmented Human International Conference (2012)

[12] 池田有冬, 長谷川晶一: 材質感提示のための振動を用いた力覚インタラクション環境の提案, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎 108(77), pp. 51-56 (2008)

[13] Driving Simulator, TOYOTA: [http://www.toyota-global.com/innovation/safety\\_technology/safety\\_measurements/driving\\_simulator.html](http://www.toyota-global.com/innovation/safety_technology/safety_measurements/driving_simulator.html)

[14] 雨宮智浩, 広田光一, 池井寧: 座面上の触覚運動が及ぼす視覚誘導性自己運動感覚の速度知覚変化, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 18(2), pp. 121-130 (2013)

[15] 前田太郎, 安藤英由樹, 渡邊淳司, 杉本麻樹 : 前庭電気刺激を用いた感覚の提示, パイオメカニズム学会誌 Vol. 31 No.2, pp82-89 (2007)

[16] F. Danieau, J. Fleureau, P. Guillotel, N. Mollet, A. Lécuyer, M. Christie, HapSeat: Producing Motion Sensation with Multiple Force-feedback Devices Embedded in a Seat, in Proceedings of the 18th ACM symposium on Virtual reality software and technology, pp. 69-76 (2012)

[17] Sensorama: <http://www.telepresence.org/sensorama/index.html>

[18] S Cardin, F Vexo, D Thalmann : Head Mounted Wind, in Proceedings of 20th Annual Conference on Computer Animation and Social Agents, pp101-108 (2007)

[19] T. Seno, M. Ogawa, H. Ito, S. Sunaga : Consistent air flow to the face facilitatesvection, Perception 40(10), pp. 1237-1240 (2011)

[20] 小坂崇之: WindStage (WindDisplay & WindCamera), The Journal of the Society of Art and Science, Vol. 8 No. 2, pp57-65 (2009)

[21] S. Kulkarni, C. Fisher, E. Pardyjak, M. Minor, J. Hollerbach : Wind Display Device for Locomotion Interface in a Virtual Environment, in Proceedings of EuroHaptics conference 2009 and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 184-189 (2009)

[22] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum & Michael G. Lilienthal : Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, The International Journal of Aviation Psychology Vol. 3, pp.203-220 (1993)