



片手での加振ベルベットハンドイリュージョンの検証

Verification of the vibrating “Velvet Hand Illusion” that can be experienced with one hand

阿部優樹¹⁾, 寺西竜一¹⁾, 渡辺修平¹⁾

Yuki ABE, Ryoichi TERANISHI, Shuhei WATANABE

1) 株式会社リコー デジタル戦略部 (〒243-0460 神奈川県海老名市泉 2-7-1,
{Yuki.Abe2, ryohichi.teranishi, shuuhei.sw.watanabe}@jp.ricoh.com)

概要: ベルベットハンドイリュージョン (VHI) に振動を付与し, 様々な触感を提示できるデバイスを検討している. 前回報告のデバイスは両手を使う必要があり, ユーザビリティに課題があった. 本研究では, 片手で体験可能なデバイスの開発およびその提示触感について調査した. VHI 知覚強度と前回報告で振動付与による変化が大きかった触感 3 項目を評価した結果, 片手での触感の変化は両手条件での変化と定性的に一致することが確認できた.

キーワード: ベルベットハンドイリュージョン, 触感提示, 錯覚

1. はじめに

我々は日常生活に必要な情報として, 衣服の柔らかな触感, 木の温もり, コンクリートの硬いテクスチャーなど, 様々な物体の質感を知覚している. 近年では, それを遠距離または疑似的に知覚することを目的に, テレハプティクス[1]や触覚ディスプレイ[2]の研究がなされている. そのほかにも VR などの仮想現実の体験価値向上のため, 触感を提示できる触錯覚は, 重要な要素技術となる可能性がある. 触錯覚の研究において, ベルベットハンドイリュージョン (VHI) は, 簡素な装置で強い錯覚を誘発できることで知られている[3, 4]. しかしながら, VHI で提示可能な触感範囲は限られていた[5]. 以前の我々の研究では VHI に振動を付与させた触覚デバイスを開発し, 振動条件によって錯覚をベースとして異なる触感を作り出すことが可能なことを報告した[6]. しかしながら, 報告した装置は両手で挟むような動作が必要であり, 体験の手軽さやアクセス性に改良の余地があった. また, VHI 自体は片手でも知覚できることが報告されているが[7], 振動条件によって錯覚をベースとした異なる触感を作り出すことができるかは不明であった.

本研究では, 体験価値の向上を目指し, 片手での VHI による触感提示と振動による触感変化の有無について検討した.

2. 実験

2.1 実験装置

実験は, 図 1 に示す装置を用いて行った. 装置は, 地面と平行面となるアルミフレームでできた外枠と 2 本の

ワイヤー (ピアノ線), それぞれのワイヤー両端に取り付けられた計 4 つの振動アクチュエーター, アルミフレーム枠下部に取り付けられたリニア駆動ステージによって構成されている. また, アルミフレーム枠の中央位置に上下方向に調整可能なステージを配置した. ステージには人工皮膚を設置し, 人工皮膚上面が装置内のワイヤーに隣接するように調整した. 人工皮膚は一般的な成人男性の手の大きさより大きいものを使用した.

2.2 実験条件

実験は表 1 に示す 12 条件を用いて実施した. 条件は, 3 つのワイヤー間隔 (25 mm, 50 mm, 100 mm) と 4 つの振動数 (0 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 250 Hz) によって構成されている. なお, リニア駆動ステージの速度は 100 mm/s で固定し, 7 往復駆動するように設定した.

2.3 実験方法

実験は, 計 12 名 (男性 11 名, 女性 1 名) の被験者に対して実施した. 被験者には, 図 1 で示した装置のワイヤー越しに人工皮膚上に利き手を乗せてもらい, 装置を駆動さ

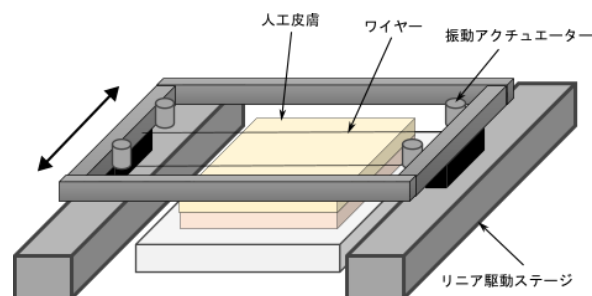


図 1: 実験装置

表 1: 実験条件

No.	ワイヤー間隔 (mm)	振動数(Hz)
1	25	0
2	25	50
3	25	100
4	25	250
5	50	0
6	50	50
7	50	100
8	50	250
9	100	0
10	100	50
11	100	100
12	100	250

せることで各条件における VHI を知覚させた。なお、被験者には手からの知覚のみに集中してもらうため、被験者と装置の間にはカーテンを設置し、駆動音を遮音する目的で耳当てを装着させた。

被験者は各条件を体験し、その都度 VHI 知覚強度と触感に関する 3 項目の計 4 項目についてそれぞれ 7 段階尺度で評価した。触感 3 項目については SD 法による形容詞対を用いており、それぞれ“凹凸⇄フラット”、“滑りづらい⇄つるつる”、“粗い⇄滑らかな”であった。これらの触感は Okamoto ら[8]の研究で示された触感 6 項目のうちの 3 項目であり、前回実験の振動付与が VHI に与える検証において特に変化の大きかった触感項目である。

これら 4 項目の評価に際し、本実験では提示する条件と回答させる項目を被験者毎にランダムに変更することで、回答順によるバイアスを防止した。

3. 結果と考察

3.1 VHI 知覚強度

全条件における VHI 知覚強度に対する実験結果を図 2 に示す。図は、ワイヤー間隔によって分かれており、横軸

は各ワイヤー間隔での振動条件、縦軸は VHI 知覚強度の平均値である。また、図中の多重比較検定には、0 Hz と各振動条件の違いを確認したいことから Dunnett 法を用いた。前回の両手実験ではどのワイヤー間隔においても、振動を付与することで VHI 知覚強度の上昇が確認できた。今回の結果においても、無振動時のオレンジ棒に注目すると、ワイヤー間隔が広がるにつれ VHI 知覚強度の上昇が確認できた。

振動付与時においては多くの場合、前回の結果と同様に VHI 知覚強度の増加は確認されたが、増加量は両手と比べて低かった。

3.2 触感評価

触感に関する 3 項目（“凹凸⇄フラット”、“滑りづらい⇄つるつる”、“粗い⇄滑らかな”）が、ワイヤーを振動させない条件（0 Hz）と振動を付与した条件でどのように変化するかを確認した。図 3 に結果を示す。図において、横軸は各実験条件、縦軸は SD 法による 7 段階尺度の平均値である。図中の多重比較検定には、0 Hz と各振動条件の違いを確認したいことから Dunnett 法を用いた。

全体の結果から、触感 3 項目で有意な変化が確認できた。また、振動を付与しないと比べて、振動付与することでフラット⇄凹凸、つるつる⇄滑りづらい、滑らかな⇄粗いに触感が変化し、100 Hz では変化のピークになるような山なりの傾向で 250 Hz ではワイヤーを振動させない条件（0 Hz）に近い触感を知覚させることが分かった。これらは前報の両手条件での振動付与による結果と傾向は一致したが、その変化量は異なっていた。

3.3 考察

人工皮膚と片手を用いて触感体験をする本装置が両手で体験する前回装置と比べて VHI 知覚強度の上昇率が鈍化したのは、受容器の絶対値が半分になったことに起因するものと推測される。

両手条件と、片方+人工皮膚にした条件にした本装置とで振動数の変化に対する触感の挙動が一致したことは、ワイヤーの振動が任意の受容器のみを刺激し、これによる錯覚を生み出したためと推測できる。そのため、片手のみで

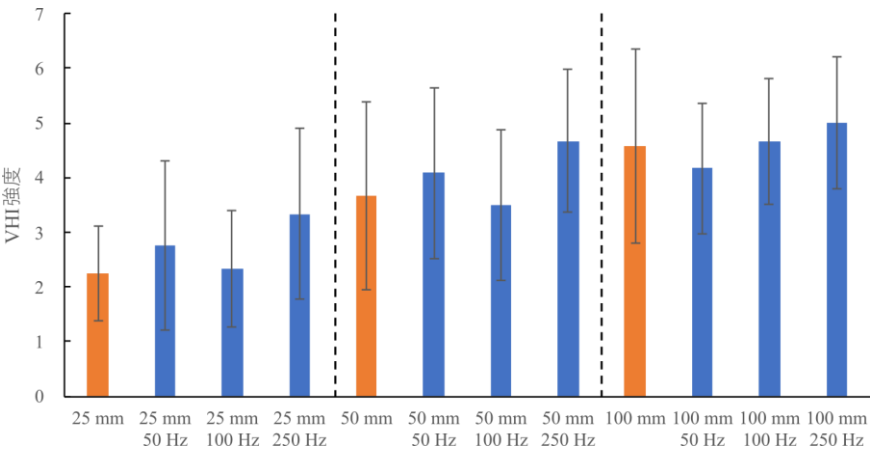


図 2: 全条件における VHI 知覚強度に対する実験結果

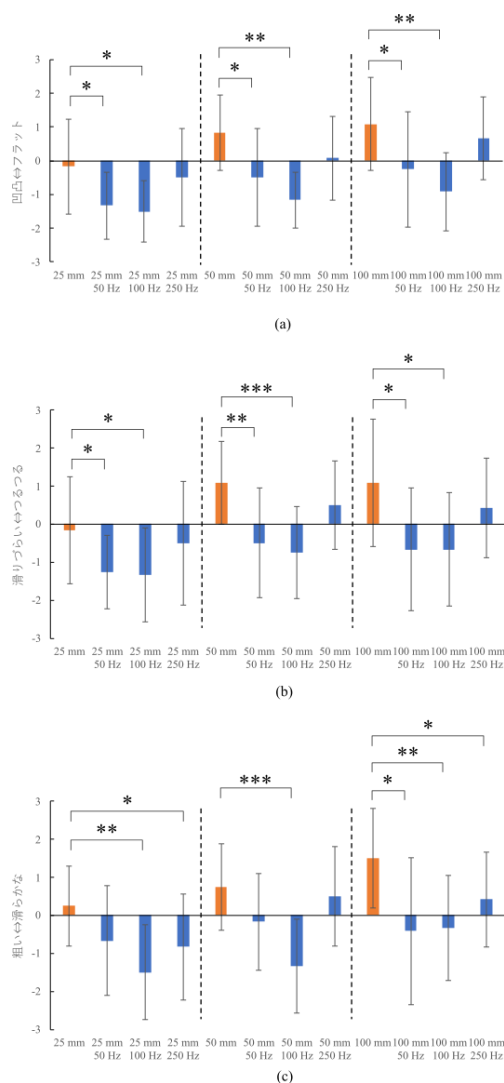


図 3: 触感 6 項目に対する実験結果 (*: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$). (a) “凹凸⇔フラット”. (b) “滑りづらい⇔つるつる”. (c) “粗い⇔滑らかな”.

も本装置は触感を制御・提示可能であると考えられる。また触感変化の傾向は一致したが変化量が異なることは、手と人工皮膚の触感が異なることに由来すると考えられる。

4. まとめ

本研究では、前報の装置における両手を使うわずらわしさをなくすため、片手で体験可能なデバイスの開発およびその提示触感について調査した。実験装置にはワイヤーと人工皮膚を使用し、ワイヤー越しに人工皮膚上に利き手を乗せることで被験者に触感提示をした。VHI 知覚強度およ

び前検証から振動付与により変化が大きい触感 3 種を被験者に評価してもらった。結果、触感の振動周波数変化に対する挙動は従来の両手と定性的に一致し、VHI 知覚強度も振動付与により増加することが確認できた。以上から、片手のみでも本装置は VHI による触感を制御・提示可能であると考えられる。ただし、今回測定していない触感については検討の余地がある。

また、人工皮膚を使用すると加振 VHI による触感提示は両手と同様の触感変化の傾向を示したが、変化量は異なることから、別素材を用いることでさらに触感提示の幅を拡大可能である推測した。今後は、人工皮膚の代わりに様々な素材を使った際の振動付与による触感制御について検討する。

参考文献

- [1] Hoshi T. et al., "Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound," IEEE Transactions on Haptics, Vol. 3, No. 3, pp. 155-165, 2010.
- [2] Antonakoglou K. et al., "Toward Haptic Communications Over the 5G Tactile Internet," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 20, No. 4, pp. 3034-3059, 2018.
- [3] Mochiyama H. et al., "Haptic illusions induced by moving line stimuli," First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, World Haptics Conference, 2005.
- [4] Rajaei N. et al., "Tactile mouse generating velvet hand illusion on human palm," International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 13, No. 5, 2016. doi:10.1177/1729881416658170
- [5] Yokosaka T. et al., "Describing the Sensation of the 'Velvet Hand Illusion' in Terms of Common Materials," IEEE Transactions on Haptics, Vol. 14, No. 3, pp. 680-685, 2021.
- [6] 阿部優樹, 渡辺修平: 振動付与がベルベットハンドイリュージョン知覚に与える影響, 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2C1-02, 2024.
- [7] Komura, H. et al.: Basic investigation of velvet hand illusion using a dot matrix for haptic display development, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.19, No.1, 2025.
- [8] Okamoto S. et al., "Psychophysical dimensions of tactile perception of textures," IEEE Transactions on Haptics, Vol. 6, No.1, pp. 81-93, 2013.