



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

Effect of vibration on the tactile perception of "Velvet Hand Illusion"

阿部優樹¹⁾, 渡辺修平¹⁾

Yuki ABE, Shuhei WATANABE

1) 株式会社リコー 先端技術研究所 (〒243-0460 神奈川県海老名市泉 2-7-1, {yuki.abe2, shuuhei.sw.watanabe}@ricoh.jp.com)

概要: ベルベットハンドイリュージョン (VHI) による触感提示技術を検討している。本研究では、VHI 提示装置のワイヤーが振動することで、知覚される触感がどのように変化するか調査した。3つのワイヤー間隔と4つの振動数による全12条件の実験を、14名の被験者を対象に実施した結果、以下が確認できた。1) ワイヤーに振動を付与させることで、VHI 知覚そのものは減衰せず、特にワイヤー間隔が狭い条件において VHI 知覚が強まる。2) 無振動時とは異なる触感を提示できる。

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

我々は日々、衣服の柔らかな感触、木の温もり、コンクリートの凹凸で硬いテクスチャーなど、様々な物体の質感を知覚し、生活に必要な認知、判断を行っている。近年では、それを遠距離または疑似的に行うことを目的に、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。特に、現実には存在しない触感を提示できる触錯覚は、それらを実現する上で重要な要素技術となる可能性がある。

数多くある触錯覚の中で、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から、多くの研究が行われてきた[3, 4]。VHI は、2本のワイヤーを両手で挟み、ワイヤーまたは両手を前後に動かすと、「ベルベットのような、つるつるとした、油っぽい不思議な感覚」[3]、または「滑らかで柔らかい手触り」[4]を知覚する錯覚である。ワイヤーの物理的性質は実際には変化しないが、ワイヤーの間隔とワイヤーまたは両手を前後に動かす速度によって VHI の知覚強度が変化することが知られている[4]。しかしながら、VHI で提示可能な触感範囲が限られており[5]、その多様性や制御方法については更なる検討が必要である。

本研究は、触感研究で幅広く用いられている振動に注目し、VHI を知覚させる際ワイヤーを振動させることで、より多様な触感を提示できるか明らかにすることを目的とする。そのために、著者らはワイヤーに振動を付与できる

VHI 実験装置を構築し、被験者に VHI を知覚・評価してもらう実験を行った。

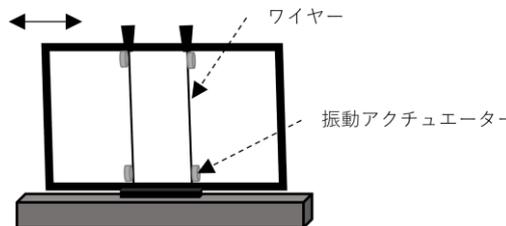
2. 実験

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、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上下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。2本のワイヤーはそれらの間隔が調整可能であり、ステージの駆動速度やワイヤー間隔、アクチュエーター出力を制御することで様々な条件下での VHI を被験者に対して提示することができる。

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、



リニア駆動ステージ

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

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 14 名 (男性 13 名, 女性 1 名) の被験者に対して実施された。被験者には、2.1 で示した装置のワイヤーを挟んで両手を合わせてもらうことで各条件における VHI を知覚させた。なお実験に際し、被験者には両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 6 項目の計 7 項目についてそれぞれ 7 段階尺度で評価した。触感 6 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”、“乾いた⇄湿った”、“柔らかい⇄硬い”、“粗い⇄滑らかな”、“冷たい⇄温かい”であった。これらは Okamoto ら[6]の研究を参考にした。

これら 7 項目の評価に際し、本実験では回答順によるバイアスを防ぐために、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提示した。

3. 結果と考察

3.1 VHI 知覚強度

まず、ワイヤーを振動させない条件 (0 Hz) 同士の比較によって、先行研究と同様の結果が得られるかを確認した。図 2 にその結果を示す。図において、横軸はワイヤー間隔、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は、Tukey 法を用いた。結果から、先行研究の報告と同じく、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。このことから、本実験が通常の VHI を被験者に対して適切に提示できたと判断した。

次に、全条件における VHI 知覚強度に対する実験結果

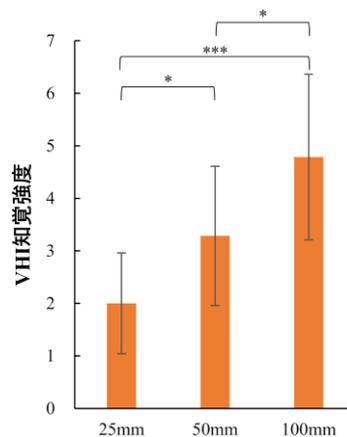


図 2: 振動無し条件における VHI 知覚強度に対する実験結果 (*: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$).

を図 3 に示す。図中のグラフ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。結果から、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。特に、0 Hz での知覚強度が低いワイヤー間隔 25 mm では有意に上昇した。ワイヤー間隔 50 mm と 100 mm は、0 Hz での知覚強度が元々高いため、本実験での尺度では、上昇幅が少なく評価された可能性がある。

3.2 触感

触感に関する 6 項目 (“凹凸⇄フラット”、“滑りづらい⇄つるつる”、“乾いた⇄湿った”、“柔らかい⇄硬い”、“粗い⇄滑らかな”、“冷たい⇄温かい”) 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 4 にその結果を示す。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。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。

全体の結果から、“冷たい⇄温かい”以外の触感 5 項目で有意な変化が確認できた。また、すべてのワイヤー間隔において有意な変化が確認できたのは“凹凸⇄フラット”、“滑りづらい⇄つるつる”、“乾いた⇄湿った”、“粗い⇄滑らかな”であった。また、すべての触感項目において、50 Hz, 100 Hz と 250 Hz では変化の様子が異なり、250 Hz 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。より高周波な振動を付与することで、0 Hz 条件と同じ知覚方向でよりその強度を高めるような変化ができる可能性がある。

次に、個々の結果において、まず“凹凸⇄フラット”では振動を付与することによって“フラット”から“凹凸”へ知覚される触感が変化したことが確認できた。滑りづらい⇄つるつる”では振動を付与することによって“つるつる”から“滑りづらい”へ知覚される触感が変化したこと

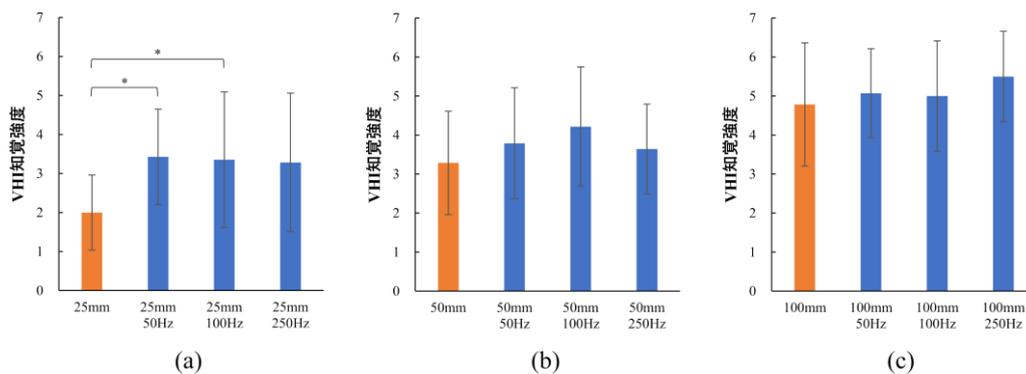


図 3: 全条件における VHI 知覚強度に対する実験結果 (*: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$). (a) ワイヤー間隔 25 mm. (b) ワイヤー間隔 50 mm. (c) ワイヤー間隔 100 mm.

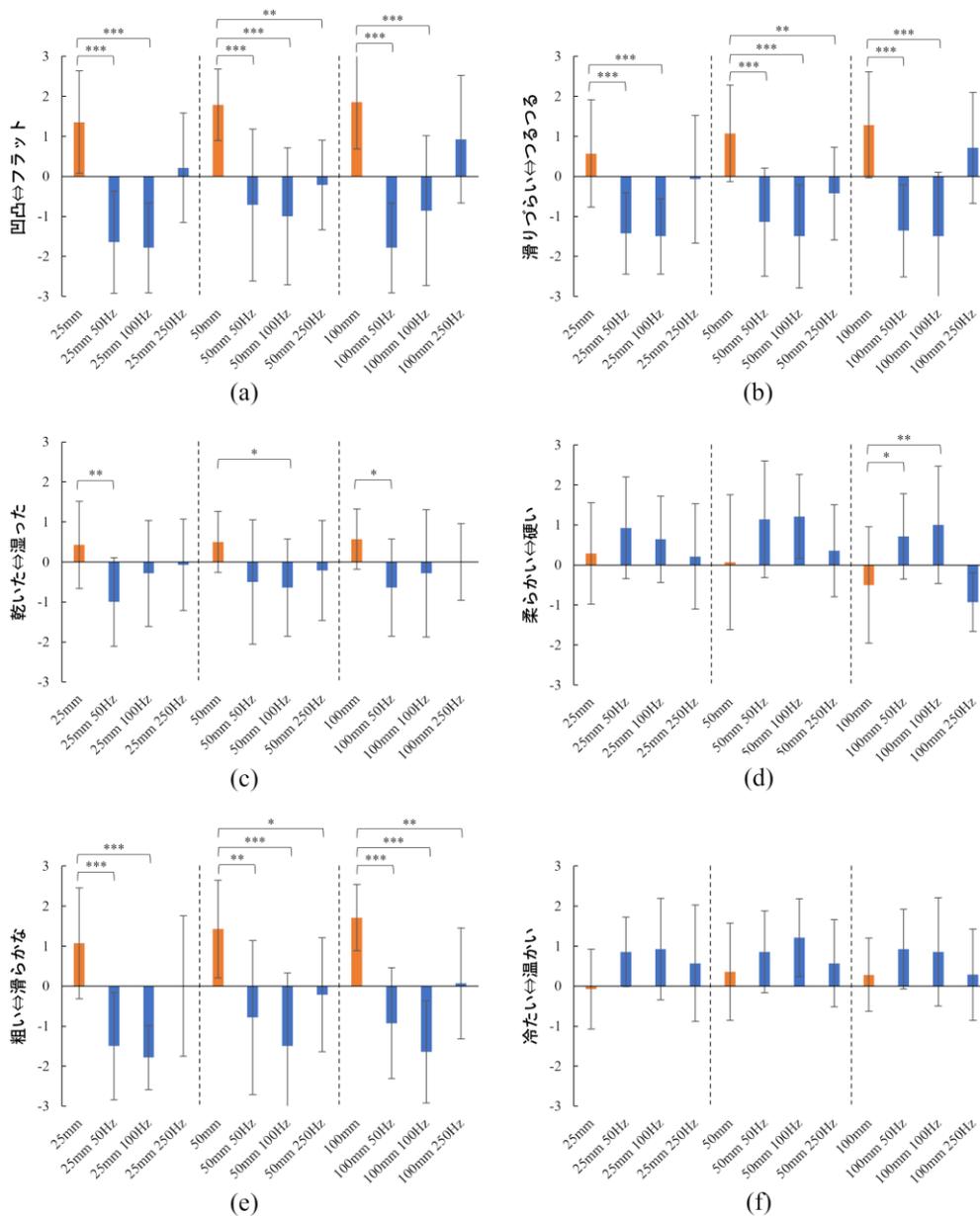


図 4: 触感 6 項目に対する実験結果 (*: $p \leq 0.05$, **: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$). (a) “凹凸⇄フラット”. (b) “滑りづらい⇄つるつる”. (c) “乾いた⇄湿った”. (d) “柔らかい⇄硬い”. (e) “粗い⇄滑らかな”. (f) “冷たい⇄温かい”.

が確認できた。次に，“乾いた⇔湿った”では振動を付与することによって“湿った”から“乾いた”へ知覚される触感に変化したことが確認できた。“柔らかい⇔硬い”では振動を付与することによって“硬い”知覚方向へ触感に変化したことが確認できた。“粗い⇔滑らかな”では振動を付与することによって“滑らかな”から“粗い”へ知覚される触感に変化したことが確認できた。最後に，“冷たい⇔温かい”では振動を付与することによって“温かい”知覚方向へ触感に変化したことが確認できた。以上のことから，本実験では振動付与により，“凹凸”で“滑りづらい”，“乾いた”，“硬い”，“粗い”，“温かい”触感を提示することができ，先行研究や本実験での 0 Hz 条件とは異なる触感であることが確認できた。

4. まとめ

本研究では，VHI を活用した触感提示技術の開発を目的として，ワイヤーに振動を付与できる VHI 提示装置を製作し，それを用いた実験を行った。その結果，以下の新たな発見が得られた。ワイヤーに振動を付与させることで，1) VHI 知覚そのものは減衰せず，特にワイヤー間隔が狭い条件（VHI 知覚強度が低い条件）において，むしろ VHI 知覚が強まる。2) ワイヤーを振動させない条件（0 Hz）とは異なる触感を提示できる。

今後は，本研究のさらなる深堀として未検討項目を制御することによる VHI 知覚変化の調査を行う。さらに，本研

究の応用を目的として，まずは実素材との比較による本装置の現状の触感提示可能範囲を調査する予定である。

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] Okamoto S. et al., "Psychophysical dimensions of tactile perception of textures," IEEE Transactions on Haptics, Vol. 6, No.1, pp. 81-93, 2013.