



# VR 体験における足底振動の効果に関する研究

## Effects of Vibration at Foot Sole in VR Experience

梨木玲穂<sup>1)</sup>, ヤエム ヴィボル<sup>1)</sup>, 雨宮智浩<sup>2)</sup>, 北崎充晃<sup>3)</sup>, 池井 寧<sup>1)</sup>

Reon NASHIKI, Yem VIBOL, Tomohiro AMEMIYA, Michiteru KITAZAKI, and Yasushi IKEI

1) 首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, {nashiki, yem, ikei}@vr.sd.tmu.jp)

2) 東京大学大学院 (〒113-8654 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1, amemiya@vr.u-tokyo.ac.jp)

3) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, mich@tut.jp)

**概要:** 遠隔の映像体験への適用を想定した足底振動刺激の効果进行分析するため, 提示刺激に視覚・聴覚・足底振動を使用し, VR 空間を用いて実験を行なった. その結果, 視覚刺激のみの場合は足底振動刺激の提示で, VR 酔いの低減が確認された. また視覚刺激が酔いやすい映像の場合, 足底振動刺激を提示することで, 映像の不快感の低減傾向が確認された. 足底振動刺激が映像に対して同期していないテンポで提示されることにより, 歩行感覚強度が減少傾向にあることが明らかとなった.

**キーワード:** 足底振動, VR 酔い, 同期, 歩行感覚

## 1. 緒言

近年の技術発展に伴い, ヘッドマウントディスプレイ (HMD) で映像空間に没入することが容易となった. 一方で遠隔の映像の転送[1]は 5G 通信の普及で高品質となるとともに, カメラの小型化で移動視点映像が一般化すると予想される. しかしながら, 没入空間での視点移動は身体感覚との矛盾から VR 酔いを引き起こす問題があり, 移動時の身体感覚との整合が望まれている. 雨宮[2], 上田[3]は同期した歩行音振動を足底に提示することで, 歩行感覚が生成される特性を明らかにしているが, VR 体験での酔いについては分析されていない. 本研究では VR 体験における足底振動の VR 酔い等にもたらす効果を分析し, 今後の研究開発における基礎データを得ることを目的とする.

## 2. 評価システムの構成

本研究で用いた評価システムの構成を図 1 に示す. 実験参加者に刺激を提示するデバイスは HMD (VIVE Pro, HTC), ヘッドホン (ATH-M30x, audio-technica) とボイスコイルスピーカ振動子 (Vp604, Acouve Lab) である.

## 3. 足底振動刺激効果に関する評価実験

### 3.1 実験目的及び実験参加者

VR 空間の直線路において, 視点が並進移動する際の足音聴覚刺激, 足底振動刺激が, 映像酔い, 歩行感覚等に与える効果を調べる. 本実験の参加者は平均年齢 22.3 歳の大学(院)生 7 名である.

### 3.2 刺激と条件

視覚刺激は, 廊下状の VR 空間 (4m×5m) を仮想カメラが

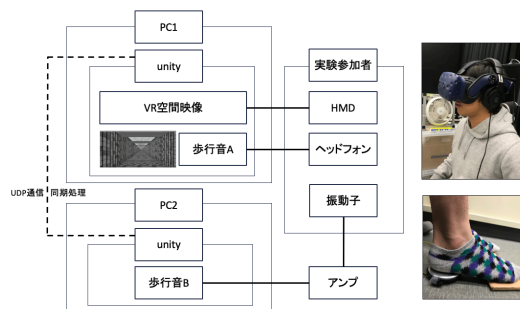


図 1 評価実験システム構成

直進運動する映像であり, HMD を用いて両眼立体視で与える. カメラの速度は等速 (6 m/s) と, 正弦波加減速 (0.6-11.4 m/s) の 2 水準である. 聴覚と足底への刺激は, 歩行音 (効果音ラボによる) であり, テンポが映像と同期, ランダム, 提示なしの 3 水準とした. また足底振動刺激では歩行音に 120 Hz のローパスフィルタをかけたものを使用し, オーディオアンプ (LP-V3S, Lepy) を介して踵中央に提示した.

実験参加者は, 靴下もしくは裸足, 座位姿勢, HMD の見回し運動可能, 3 要因 18 水準の刺激を各 30 秒間体験し, SSQ, 映像の不快感, 能動感, 受動感, 歩行感覚強度, バクションの 6 項目の質問紙に回答した. なお SSQ を除く 5 項目の評価スケールは VAS を使用した.

3.3 実験結果

評価実験前に、実験参加者には自身が酔いにくい体質か判断してもらい、かなり酔いにくい場合は、本実験の酔いの評価項目である SSQ の結果から除外した。

各評価項目で 3 要因での多元配置分散分析を行った結果、酔いの評価項目である SSQ では 2 次の交互作用は認められなかったが、1 次の交互作用で聴覚\*足底振動 ( $F=4.18, p=0.017$ ) が認められた。また聴覚刺激における足底振動刺激の単純主効果 ( $F=7.27, p=0.005$ )、及び足底振動刺激における聴覚刺激の単純主効果 ( $F=8.045, p=0.003$ ) は両要因とも刺激提示なしの水準において有意差が認められた。聴覚刺激の各水準における足底振動刺激で Tukey-Kramer の多重比較を行い、図 2 の結果が得られた。以上より、聴覚刺激提示がない場合は、足底振動刺激を提示することで、SSQ Total Score は低減され、また足底振動のテンポは映像と同期することでより低減できることが示唆された。

映像の不快感では視覚刺激で主効果 ( $p<0.05$ ) が認められ、聴覚・足底振動刺激では有意傾向が確認された。視覚\*足底の多重比較の結果を図 3 に示す。この結果から、酔いが高まる視覚刺激の場合において、映像の不快感足底振動刺激の提示により低減されることが示唆された。

また 3 要因の刺激により、体性感覚が高まるかどうか評価するため、歩行感覚強度も分散分析を行い、聴覚刺激で主効果 ( $p<0.01$ ) が認められた一方で、足底振動刺激では有意傾向となった(図 4)。特にテンポが映像と同期している場合と刺激提示無しでは有意な差は確認されず、ランダムテンポでは強度が下がることが示唆された。

3.4 考察

評価実験の結果より、視覚刺激に対して、足底振動刺激

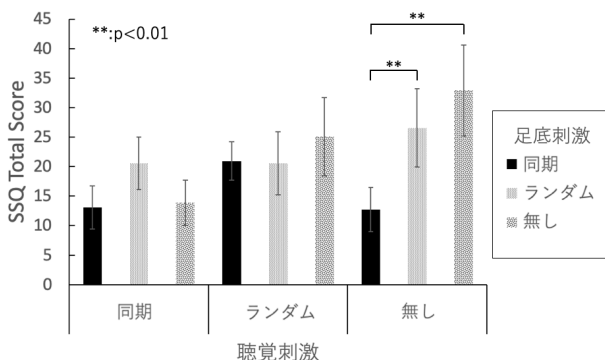


図 2 聴覚\*足底での SSQ Total Score (n=5)

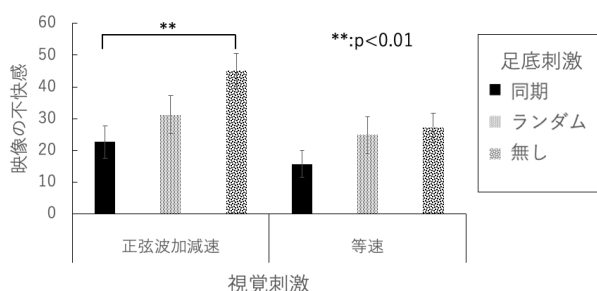


図 3 視覚\*足底での映像の不快感 (n=7)

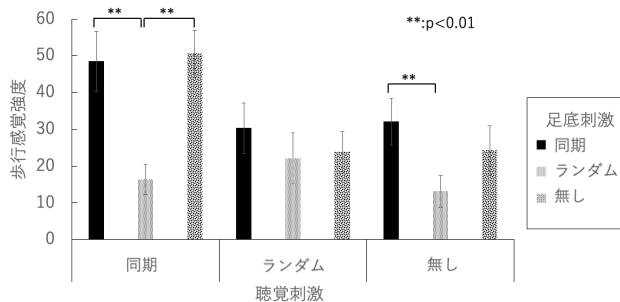


図 4 聴覚\*足底での歩行感覚強度 (n=7)

に比べ聴覚刺激が酔いに対する働きが大きいことが確認されたが、これは五感による知覚の割合が、足底振動刺激という触覚に比べて、聴覚が大きいことによると考える。従って聴覚刺激提示がない場合は、触覚の働きが大きくなったと考える。また歩行感覚強度において、映像と同期していない不一致なランダムテンポでの足底振動刺激を提示することによって、視覚刺激との感覚の不一致が増大するため、同期テンポ、提示無しに比べて減少したと考える。

4. 結言

本研究は、遠隔体験を想定した VR 空間における足底振動刺激の効果とその特性を明らかにした。その結果、視覚刺激に対して、聴覚刺激がない場合は足底振動刺激を提示することで、VR 酔いの低減が確認された。また視覚刺激が酔いやすい映像の場合において、足底振動刺激を提示することで、映像の不快感の低減傾向が確認された。また足底振動刺激が映像と同期していないテンポで提示されると歩行感覚強度が減少傾向にあることが明らかとなった。

今後は、本実験の実験参加者を増やすとともに、視覚刺激提示がない場合についても、聴覚刺激と足底振動刺激の関係を明らかにし、その効果や特性を調査する予定である。

謝辞 本研究は、総務省 SCOPE (#141203019, 191603003), JSPS 科 研 費 (JP26240029, JP18H04118, JP18H03283), JKA, SCAT の支援により実施されたことに謝意を表す。

参考文献

[1] 田代研人, 藤江柊生, 池井 寧, 雨宮智浩, 広田光一, 北崎充晃, 遠隔立体映像提示における VR 酔いの軽減手法に関する研究, 第 2 回バーチャルリアリティと超臨場感研究会, pp. 31-32, 2016

[2] 雨宮智浩, 池井 寧, 広田光一, 北崎充晃, 歩行を模擬した足底振動刺激による身体近傍空間の拡張, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 21, No. 4, pp. 627-633, 2016

[3] 上田祥平, 池井 寧, 広田光一, 北崎充晃, 実映像オプティックフローと足裏振動による歩行感覚記録・体験手法の基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 21, No. 1, pp. 15-22, 2016

