



# 全天球動画に合成した自己身体アバタの影が バーチャル歩行感覚に与える効果

Effects of the Shadow of Self-body Avatar Synthesized  
in Omnidirectional Video on Virtual Walking Sensation

中村純也<sup>1)</sup>, 池井寧<sup>2)</sup>, 北崎充晃<sup>1)</sup>

Junya NAKAMURA, Yasushi IKEI, and Michiteru KITAZAKI

1) 豊橋技術科学大学 大学院工学研究科

(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, nakamuraj@real.cs.tut.ac.jp, mich@tut.jp)

2) 東京大学 大学院情報理工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, ikei@vr.u-tokyo.ac.jp)

**概要:** 椅子に座った静止観察者が歩行する自己身体アバタを鏡越しに観察することで、バーチャル歩行感覚を誘発できる。全天球動画において鏡の設置は違和感となるため、本研究では、全天球動画に歩行する自己身体アバタを重畳し、アバタの影によりバーチャル歩行感覚が増強されるか、また、足裏振動との関係を調べた。アバタの影と足裏振動を変化させた環境で実験を行い、アバタの影による影響と足裏振動の効果が明らかになった。

**キーワード:** 歩行, 全天球動画, 影

## 1. はじめに

360 度撮影可能なカメラによる全天球動画は、写実性が高く、遠隔地のバーチャル旅行体験に適している。また、全天球動画は既に全世界で広く撮影されており、体験可能な機器やプラットフォームも多く、臨場感の高い体験を得やすい。一方で、一般にカメラの近傍空間には撮影者や機材の写り込みが見られ、これらの写り込みを除いた場合においても、本来そこにあるべき観察者の身体情報を視覚的に認識することはできない。そこで、観察者の身体情報を提示し全天球動画中を歩く体験が得られるシステムを構築し、評価した。

バーチャル環境での歩行体験は、自身の身体情報を歩行するアバタで提示し、それを鏡越しで観察することで、バーチャルな歩行体験が強化可能である[1]。また、視覚へのオブティクフローと足裏への振動を組み合わせることで、バーチャルな歩行体験を生起することが可能である[1-3]。全天球動画においても足裏振動は有効であり、撮影地の環境に最適化した足裏振動によって歩行感覚や質感知覚が強化される[3]。

一方で、HMD によるアバタの観察は、HMD の視野角に起因する課題が存在し、鏡を用いて間接的に観察する手法[4]や HMD の垂直方向の視野角を拡大し、周辺視で観察可能とする手法[5]が行われている。しかし、全天

球動画の観察において、前者は鏡を動画中に合成することが考えられるが、鏡の写り込みの処理を実装する必要があるほか、鏡が違和感として感じられ、臨場感を損ねる可能性がある。後者は専用の HMD が必要となり、ソフトウェア内で完結しない。

鏡を使用した研究では、鏡に映り込むアバタの観察を主としているが、アバタの影も併用している。しかし、これらの研究ではアバタの影の効果は明らかにされていない。バーチャル環境におけるオブジェクトの影は、オブジェクトの存在感を高め[6]、写実的な映像にバーチャルなオブジェクトを描画する AR においても、オブジェクトの影はオブジェクトの存在感を高める[7]。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

実験には 20 名の被験者が参加した。被験者は全員が男性であった。全ての被験者は、裸眼または矯正視力が正常であった。本実験は豊橋技術科学大学の人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。実験は被験者に実験の説明を行い、同意を書面で得て実施した。被験者のサンプルサイズは中程度の効果量 ( $f=0.25$ )、有意水準  $\alpha=0.05$ 、検出力  $\text{power}=0.8$ 、被験者内要因  $2 \times 3=6$  水準として、G\*Power3.0 によって計算し決定した。

2.2 装置

実験にはコンピュータ (Intel Core i7 10700, NVIDIA GeForce RTX 2070 Super, DDR4 32GB) を使用し, Unity (2020.3.20f1) で提示刺激を制御した。被験者は椅子に座り, 頭部にヘッドマウントディスプレイとヘッドホンを装着し, 足裏振動装置に足を置いた。

視覚刺激はHMD (HTC Vive Pro Eye) で提示し, 視線計測を行った。振動刺激は4つの振動子 (Acouvelab Vp4) で左右の足の前足部と踵に提示した。

振動子や外部環境から発生する聴覚刺激を打ち消すために, 被験者はヘッドホン (SONY WH-1000XM4) を装着した。刺激の提示中にヘッドホンのノイズキャンセリングを使用し, ホワイトノイズ (70dBA) を提示した。

2.3 刺激・条件

振動刺激は撮影地をスニーカーで歩行した音を録音し, 使用した。振動刺激の提示タイミングは動画の歩行 (120-124[steps/min]) に同期させ, 踵部と前足部の振動タイミングの差を 100[ms] に設定した。振動条件は, 振動ありと振動なしの2水準を設定した。

映像刺激は場所の異なる3種類の全天球動画を使用した。全ての動画は全天球カメラ (Insta360 Pro 2, 7680[width] × 3840[height] pixels, 60fps) で撮影し, 実験では60秒間ほぼ一定の速度 (1.55-1.62 [m/s]) で前方に移動する動画を使用した。全天球動画はUnity上に配置したICO球の内側に描画し, 球の中心からHMDで観察した。また, 動画に同期する歩行アニメーションを適用したアバターを配置し, 影を描画した。影はアバターの進行方向の左後方30度の位置にある光源で描画され, 光源の高さは動画撮影地の条件 (豊橋技術科学大学, 2022/1/1) を設定した。影条件は, 長い影 (15:00), 短い影 (12:00), なしの3水準を設定した (図1)。

被験者は18試行 (振動条件2水準 × 影条件3水準 × 動画3種) をランダムに観察した。

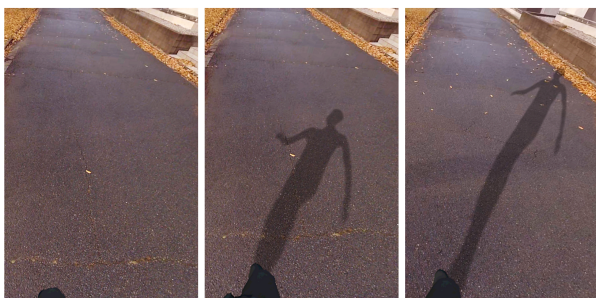


図1: アバター主観視点からの影の見え方。

2.4 手続き

被験者は60秒間の刺激観察の後, 歩行に関する主観評定とSimulation Sickness Questionnaire(SSQ)に回答した。

歩行に関する主観評定はVAS (Visual Analogue Scale) を用いて測定し, 左端を「全くそう感じない」, 右端「現実と同じに感じる」とした。質問項目の順番は, 試行毎にランダムに表示した。また, VASの回答は0-100に離散化し

て分析に用いた。この評定項目は以前の研究[1-3]に基づいた。

1. 自分が移動している感じがする (移動感, Self-motion)
2. 自分が歩行している感じがする (歩行感, Walking)
3. 自分が脚を動かし地面を踏んでいる感じがする (脚運動感, Leg action)
4. 自分がその空間にいるような感じがする (臨場感, Telepresence)

3. 結果

歩行に関する評定について, 被験者内要因二元配置分散分析 (振動条件2水準 × 影条件3水準) を行った (図2)。

全ての評定項目で, 振動条件の有意な主効果が認められた (p<.0001)。振動がある条件では, 振動がない条件よりも, 移動感, 歩行感, 脚運動感, 遠隔臨場感の全てが高かった。

また, 影条件について, 移動感の項目で有意傾向 (p=.076), 臨場感の項目で有意な主効果 (p=.016) が認められた。いずれの評定項目でも交互作用は認められなかった。

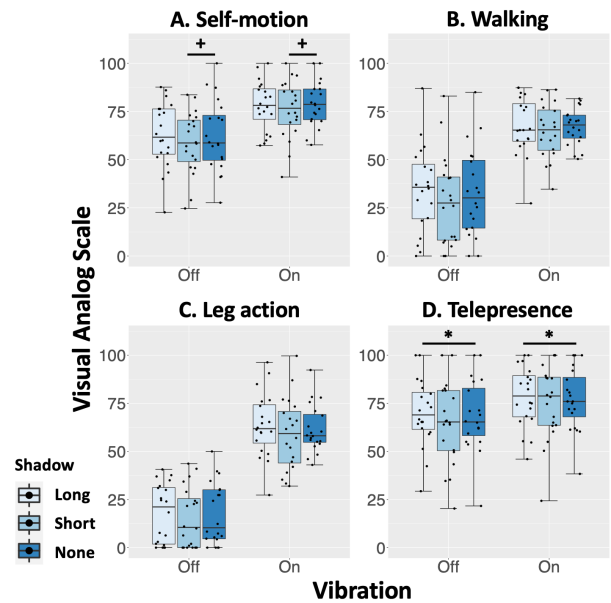


図2: 歩行に関する感覚評定の結果。

影条件の主効果について多重比較を行ったところ, 移動感の項目で, 短い影水準は影なし水準よりも有意に高かった。また, 臨場感の項目で, 長い影水準は影なし水準よりも有意に高かった。

4. 考察

足裏振動が歩行に関する評価を強化する結果を得た。これは, 先行研究と同様の結果である。影の効果は限定的で, 歩行感よりも移動感への作用が強いと考えられる。また, 影の表示が臨場感を強化した。これは全天球動画と3DCGのアバタを合成した今回の環境において, 視覚的に双方を自然に馴染ませる効果が得られたのだと考えられる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (22J21664;18H04118) および JST ERATO Grant Number JPMJER1701 (稲見自在化身身体プロジェクト) の補助を受けて行われた。

#### 参考文献

- [1] Y. Matsuda, J. Nakamura, T. Amemiya, Y. Ikei, and M. Kitazaki. Enhancing Virtual Walking Sensation Using Self-Avatar in First-Person Perspective and Foot Vibrations. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 26. 2021.
- [2] M. Kitazaki, T. Hamada, K. Yoshiho, R. Kondo, T. Amemiya, K. Hirota, and Y. Ikei. Virtual walking sensation by pre-recorded oscillating optic flow and synchronous foot vibration. *i-Perception*, 10(5), 1-14. 2019.
- [3] J. Nakamura, Y. Matsuda, T. Amemiya, Y. Ikei, and M. Kitazaki. Virtual Walking With Omnidirectional Movies and Foot Vibrations: Scene-Congruent Vibrations Enhance Walking-Related Sensations and Ground Material Perceptions. *IEEE Access*, 9, 168107-168120. 2021.
- [4] E. Kokkinara, K. Kiltani, K. J. Blom, and M. Slater. First person perspective of seated participants over a walking virtual body leads to illusory agency over the walking. *Scientific reports*, 6(1), 1-11. 2016.
- [5] K. Nakano, N. Isoyama, D. Monteiro, N. Sakata, K. Kiyokawa and T. Narumi. Head-Mounted Display with Increased Downward Field of View Improves Presence and Sense of Self-Location. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 27(11), 4204-4214, 2021.
- [6] M. Slater, M. Usoh, and Y. Chrysanthou. The influence of dynamic shadows on presence in immersive virtual environments. *Virtual Environments '95*, 8-21, 1995.
- [7] N. Sugano, H. Kato and K. Tachibana. The effects of shadow representation of virtual objects in augmented reality. *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2003*, 76-83, 2003.