



# 視触覚提示による床の踏み心地への介入に向けた基礎検討

Intervention in floor stepping through visual-haptic presentation

辻田喜琉<sup>1)</sup>, 堀江新<sup>1)</sup>, 神山洋一<sup>1)</sup>, 花光宣尚<sup>1)</sup>, 湯川光<sup>2)</sup>, 田中由浩<sup>2,3)</sup>, 南澤孝太<sup>1)</sup>

Kiryu TSUJITA, Arata HORIE, Youichi KAMIYAMA, Nobuhisa HANAMITSU,

Hikari YUKAWA, Yoshihiro TANAKA and Kouta MINAMIZAWA

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

(〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, dxkiryu,a.horie,kamiyama,hanamitsu,kouta@kmd.keio.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 (〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, yukawa.hikari,tanaka.yoshiro@nitech.ac.jp)

3) 稲盛科学研究機構 (〒 600-8411 京都市下京区烏丸通四条下ル水銀屋町 620 番地)

**概要:** 人は日常的に床を踏み生活している。しかし、踏み心地という床に対する印象が感覚モードとしてどのように構成されているかは明らかではない。本研究では踏み心地に対して視覚及び触覚の寄与に着目する。ヘッドマウントディスプレイによる視覚刺激と振動床による触覚刺激の踏み心地に対する影響を調査し、結果を二要因分散分析する。得られた知見に基づいて床の硬さの違いを提示可能なシステムを設計する。

**キーワード:** 足裏触覚, 視覚効果, XR, Pseudo-haptics

## 1. 序論

近年, XR を活用したショッピングやライブ配信でモノを売るライブコマースに注目が集まっている。XR を用いたショッピングでは「XRShop World [1]」や「@cosme TOKYO - virtual store- [2]」などがあげられる。ライブコマースにおいては米国で 2024 年には 350 億ドル規模まで成長すると予測されている [3], これらの販売形態は客が直接店舗に赴かなくとも, 商品の魅力が伝わりやすいことが強みである。しかし, カーペットなど床に敷くことを目的とした商品において, 踏み心地は購入判断において大きな要素であり, XR 上で商品の良し悪しを検討することは難しい。これらの商品の魅力を遠隔で伝えるためには, XR 上で踏み心地体験を行えるシステムが必要であるが, 社会に実用化された体験の設計論が少なく研究を要する。

本研究は, 足裏での検証が乏しい視触覚のマルチモーダルな刺激を与えるデバイスを開発し, 視触覚が床を踏んでいるときの感覚としての踏み心地にどのような影響を与えているか調査を行う。さらに得られた知見に基づいて, 床に敷くことを目的とした商品の踏み心地を遠隔で伝えるべく, 床の硬さの違いを提示可能なシステムを設計する。

## 2. 関連研究

足裏で素材を認識する際に触覚情報が用いられることが明らかにされており [4], 足裏に対する触覚生成を目的とした研究が多く存在する。Snow Waking[5] は深い雪に足を下ろし足を上げるときに感じる抵抗感などを再現し, 人間が歩行時に足元の雪道を歩く感覚を伝えている。岡野ら [6] の研

究では, 空気圧を用いて足裏の皮膚を押すことで圧覚を与えている。Yang ら [7] の研究では, 磁場によって粘度が変化する流体を用いた触覚再現シューズの開発を行っている。

また, 視覚情報を工夫することで触覚知覚が変化する Pseudo-haptics の研究も行われている。例えば, 割澤ら [8] の研究ではバーチャル物体の大きさが重さの知覚に与える影響について調査している。また鳴海ら [9] は画面に表示された手とバーチャル物体の動きを変化させて見せることで硬さ・柔らかさ知覚を操作する研究を行っている。

## 3. 踏み心地の変化提示システム

### 3.1 システム概要

このように装着型・遭遇型の触覚デバイスを活用した踏み心地の再現が提案されている一方で, 視覚と触覚の刺激を組み合わせた踏み心地の再現の報告はまだ少ない。

そこで本研究は, 踏み心地における視覚的な床の凹み具合と触覚的な足裏の振動に着目する。視覚情報として, 全体のシステムの視覚的な情報が被験者にバイアスをかける可能性を考慮し, ヘッドマウントディスプレイ (HMD) 上の床を凹ませることで刺激を与える。HMD は, Oculus Rift S(Meta) を用い, 体重によって凹み具合を変化させるためのロードセルを搭載した板を組み合わせシステムを開発する。触覚情報は, 振動子のついた板を使用し振動させる。被験者にはロードセルの板と重ね合わせ踏んでもらうことで視触覚を同時に刺激する。ロードセルの値はシリアル通信を用いて Unity で制御し, 視覚的な凹み具合と, 振動を出力するタイミングを調整する。システムを図 1 に示す。

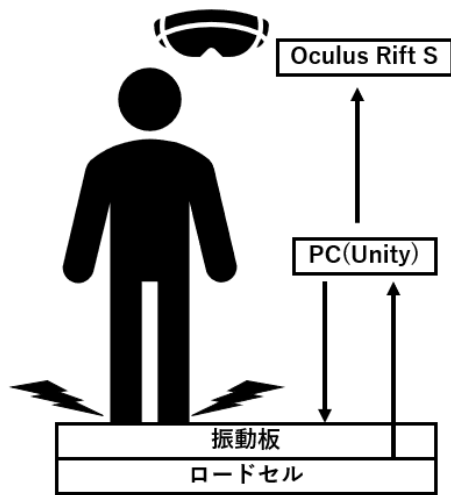


図 1: 視覚・振動刺激を与えるシステム図

### 3.2 床が凹むシステムの設計

振動を発する板にはロードセルを4つ搭載することで、右足に体重をかけると画面右が凹み、左足に体重をかけると画面左地点が凹むシステムを開発する。凹みの深さは体重のかかり具合によって連続的に変化し、変化率は任意に変更できるよう設計する。

## 4. 実験

本実験では VR 空間内の床の凹みと振動を変化させ体験してもらうことで、これらが硬さの評価にどの程度寄与するのかアンケート調査を行い、結果を二要因分散分析する。

### 4.1 視触覚刺激の準備

実験装置を用いて、床の凹みの変化率を変えることで2つの床パターンを用意した。床が凹んでいない段階での足の位置を Unity 上の2つの白い立方体で示している。現実の床で考えられる最大の凹み値を5cmと定義し、VR空間上で10cm(5cm×2)と25cm(5cm×5)の凹みパターンとした。凹みは体重のかかり具合によって変化し、20kgの体重がかかった時点で最大の凹み量となる。(図2)。

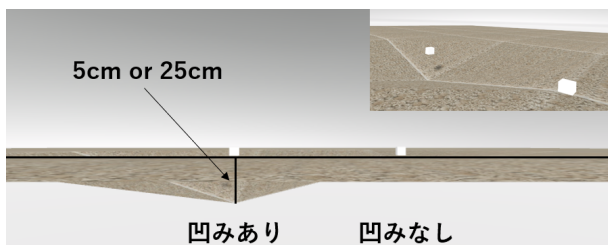


図 2: 床が凹む様子

また、床を踏み込んだときの振動に近い「ドンッ」という低周波を基調とする音源(図3)と「カーン」という高周波を基調とする音源(図4)を用意した。音は振動としてメトロノーム方式で1秒ごとに発生させた。実験では床の凹みなしと振動なしを含める3×3の9パターンを用意した。

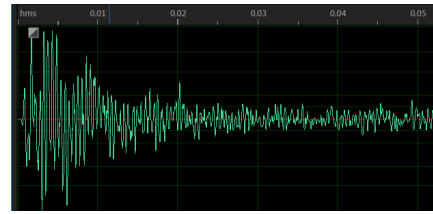


図 3: 「ドンッ」という低周波を基調とする音源

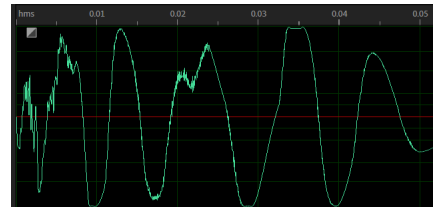


図 4: 「カーン」という高周波を基調とする音源

### 4.2 実験手順

本実験には3人(20代、男性2名、女性1名)が参加した。被験者にはまずHMDを被ってもらい、次に振動する床の上に立ってもらい、さらに被験者には聴覚情報による影響を無くすためにノイズキャンセリングイヤホンをしてもらい、ホワイトノイズをかけた。実験では振動に合わせて足踏みをしてもらうことで視覚刺激3種、触覚刺激3種の計9パターンをそれぞれ3回ランダムな順番で体験してもらった。実験の様子を図5に示す。27回のそれぞれの体験後には、柔らかさと硬さを評価するためのアンケート調査を行った。アンケート調査は10件法で行い、最も柔らかい評価を「羽毛のように柔らかい」、最も硬い評価を「コンクリートのよう硬い」として評価してもらった。



図 5: 実験の様子

### 4.3 結果

アンケート結果に対して二要因分散分析を行った結果、視覚刺激の要因に主効果 ( $F=98.41, p=1.02e-09$ ) が得られた。また触覚刺激の要因に主効果 ( $F=6.57, p=8.28e-03$ ) が得られた。交互作用には交互作用効果 ( $F=2.11, p=1.27e-01$ ) が得られなかった。床が凹むほど柔らかいとの評価が多い一方で、振動は無しの方が柔らかく感じる結果となった。実験後には「柔らかいものを踏んだときに音がしたり振動することはないと思う」との声が聞かれた。x 軸を振動の種類とし、y 軸を硬さの評価軸 (1=柔らかい, 10=硬い) とした交互作用グラフを図 6 に示す。

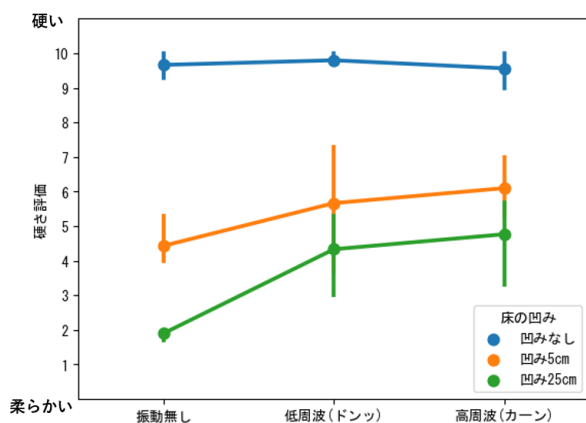


図 6: 視覚と触覚の交互作用

## 5. 考察

結果から、視覚的な床の凹みが大きいほど強く柔らかさを感じる事が示唆された。振動に関しては高周波、低周波ともに振動無しよりも硬く感じられる結果となった。「柔らかいものを踏んだときに音がしたり振動することはないと思う」との声が聞かれたように、低周波が最も柔らかく感じると期待していた結果は得られなかった。

柔らかい床の代表例として、カーベットは防音性能を備えており、音や振動を吸収する性質がある。振動がないほど柔らかいと感じるため、振動のみで柔らかい踏み心地を再現することは難しいと考えられる。一方で、高周波ほどくすぐったい感覚を感じるため [10]、足を踏み込んで素材と擦れているときの感覚を表現すること可能だと考えられる。

また布の下に弾性や粘性が異なる素材を敷くによって、踏み心地を拡張することが可能であること [11] も確認されており、弾性や粘性に近い変位を機械的に再現することで、踏み心地を遠隔で再現することができると考えられる。今後は被験者数を増やし、詳細な検証実験を行う。

## 6. 結論

本研究では、踏み心地という床に対する印象が感覚モードとしてどのように構成されているかを明らかにするべく、視覚及び触覚の寄与に着目し実験を行った。結果として床

を凹ませることで生じる視覚情報は大きく寄与したものの、振動で踏み心地における柔らかさを表現することは難しいことが分かった。今後は本実験の結果をカーベットの踏み心地を再現するプロジェクトに応用し、振動を使った柔らかさの表現とは別の方法を模索し、組み合わせることで継続的に研究を進める。

**謝辞** 本研究は JST ムーンショット型研究開発事業「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」(Grant number JPMJMS2013) および、一般社団法人日本工芸産地協会、堀田カーベット株式会社、株式会社三菱総合研究所、稲盛科学研究機構フェローシッププログラム の支援を受けて行われた。

## 参考文献

- [1] 東海林健建築設計事務所.“XRShop World/XR ショップワールド”. <https://takerushoji.jp/works/xr/xrshop-world/>, (2023/07/16 閲覧)
- [2] KDDI.“XR を活用したバーチャルストア「@cosme TOKYO -virtual store-」のお買い物体験とは”. <https://time-space.kddi.com/au-kddi/20210106/3037>, (2023/07/16 閲覧)
- [3] Statista Japan.“モバイル端末の普及と共に発展する E コマース”. <https://jp.statista.com/articles/1002/e-commerce>, (2023/07/16 閲覧)
- [4] Bruno L. Giordano et al.: Identification of walked-upon materials in auditory, kinesthetic, haptic, and audio-haptic conditions, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 5, pp. 4002–4012, 2012.
- [5] Tomohiro Yokota et al.: Snow walking: motionlimiting device that reproduces the experience of walking in deep snow, In Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference, pp. 45–48., 2015.
- [6] 岡野哲大 et al.: 圧覚を用いた足裏への触覚提示に関する研究, 日本機械学会第 26 回設計工学・システム部門講演会, 2016.
- [7] Tae-Heon Yang et al.: Magnetorheological Fluid Haptic Shoes for Walking in VR, IEEE TRANSACTIONS ON HAPTICS, Vol. 14, No.1, 2021.
- [8] 鳴海拓志 et al.: Pseudo-haptics 応用インタフェースの展望 —疑似触力覚提示からその先へ, システム/制御/情報, Vol. 61, No. 11, pp. 463–468, 2017.
- [9] 割澤伸一 et al.: バーチャル物体の大きさが Pseudo-haptics による重さ知覚に与える効果の検証, 第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2022.
- [10] 大島沙也佳 et al.: 触覚運動の幅知覚における振動周波数の影響, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2009.
- [11] 林谷なつみ et al.: 柔らかさに着目した足底におけるカーベットの触覚変化の検討, 第 22 回システムインテグレーション部門講演会, 2021.