

# 仮想空間における床面変形が歩行動作に与える影響の調査

小平 佳純<sup>1,a)</sup> 熊崎 凌雅<sup>1</sup> 井上 亮文<sup>2</sup>

**概要：**本論文では仮想地表面の変形による視覚刺激が仮想世界没入者の歩行動作に与える影響を検証する。仮想地表面とは、プレイヤーのアバターが移動する仮想空間で作られた地表面を指す。仮想地表面の見え方を変更したり動きを加えることによってプレイヤーの身体動作や歩行動作に影響を与えることができれば、身体的な負荷を増減させる効果が期待できる。本論文では、歩行動作に影響がでると考えられる仮想地表面の候補と、それをを用いた実験システムの構成について述べる。

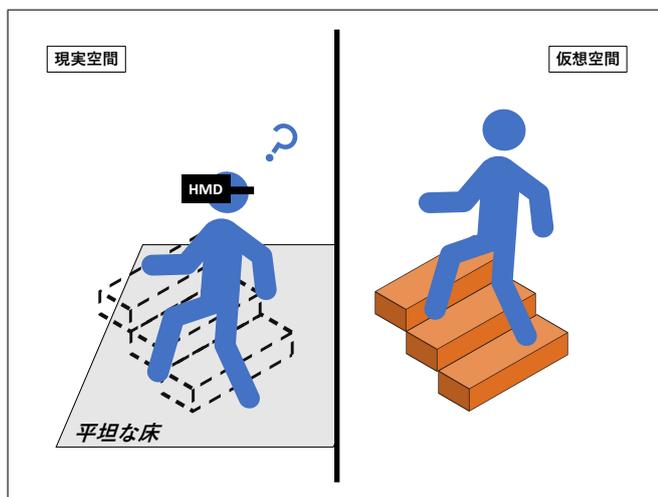


図 1 現実空間と仮想空間の違い

## 1. はじめに

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を通じて見える仮想空間の中をプレイヤーの身体動作によって移動するシステムはフィールド VR アクティビティと呼ばれる。仮想地表面には砂利、岩、階段や坂などの 3D オブジェクトが配置されている。この種のシステムは、仮想空間でプレイヤーのアバターが移動すると、HMD に表示される映像の視点が平行移動したり、地表面の凹凸や高さに合わせて上下に移動したりする。図 1 の左は現実空間、右は仮想空間を表した図である。移動を操作するプレイヤーは現実空間の平坦な床で歩行動作をするのみで、仮想地表面の質感を触覚で得ることも、上下方向に移動することができない。仮想地

表面とは、ユーザのアバターが移動する仮想空間で作られた地表面を指す。このような仮想空間における視覚と、現実空間における運動感覚のギャップは現実感を減少させる。

仮想空間と現実空間のギャップの低減する手法は、すでに数多く提案されている。足裏に力触覚を与えることで仮想地表面の質感をプレイヤーに与える提案がある [1]。

また、現実空間の地表面を隆起させることによって、仮想空間で上下方向の移動感覚をプレイヤーに与える提案がある [2][3]。これらの手法は HMD の映像による視覚刺激と身体への触覚刺激を統合してプレイヤー提示している。これによりプレイヤーは仮想空間における歩行動作について、現実感が增加する。

前述した手法は外部からの力によって変形しない剛体の仮想地表面をプレイヤーに提示した。しかし、人間の歩行動作は剛体の地表面だけでなく、柔らかい地表面にも影響を受ける。例えば、室内のフローリングのように平坦な床面では通常の歩行動作を行う。水中では水の抵抗による体力消耗を防ぐために、水面が高ければ足裏を床面に接地させたまま歩行動作(すり足)を行う。雪中では足を雪から引き抜くために、積雪の高さに合わせて足を上げる高さを変えて歩行動作を行う。このように床面の状況が歩行動作に影響を及ぼしていることがわかる。

一方で、人間は歩行する際、周囲の状況を知覚しながら自身の身体の動きを調整している。中でも視覚の影響は大きいことが知られている。視覚の影響力の大きさを利用して、歩行動作そのものに変化をもたらす可能性がある。プレイヤーは HMD で水中や雪中といった仮想地表面の変形を視認することで、現実空間の平坦な床面での歩行動作の変化が予想される。

本論文では、HMD に表示される仮想地表面の変形がプレイヤーの歩行動作に与える影響の検証を目的とする。こ

<sup>1</sup> 東京工科大学大学院  
Tokyo University of Technology Graduate School

<sup>2</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology

a) g2120037ee@edu.teu.ac.jp

の目的を達成するために、変形しない仮想地表面と、変形する仮想地表面を作成した。これらの仮想地表面の映像と現実空間での歩行動作を組み合わせたときの筋電位を計測する。

仮想地表面の変形によって身体の動作を任意で誘導可能ならば、動作時の身体への負荷の増減によるトレーニング、リハビリテーションや姿勢矯正といった医療・福祉サービスへの貢献が期待できる。

## 2. 関連研究

本章では、HMDによる仮想空間の映像がプレイヤーの身体動作に及ぼす影響について先行研究を交えて述べる。

### 2.1 Level-Ups

Schmidtらは靴裏にジャッキを取り付け、それを伸縮させることでプレイヤーに物理的に仮想空間の段差と同じ高低差の変化を提示するシステムを開発した[4]。仮想空間でプレイヤーが段差を踏もうとする際、ジャッキが伸びることで足の垂直方向の稼働範囲が変化する。現実世界で足を降り下ろした時に、プレイヤーの右足の垂直方向の位置が左足に比べて高くなっていることから、プレイヤーは高さの差を感じることができる。

このシステムはプレイヤーに現実世界で物理的に高さを提示することで、仮想空間での現実感を高めるアプローチをしている。我々はハードウェアによる現実感の増加ではなく、HMDの映像のようなソフトウェアによって現実の身体動作に影響を及ぼすことを目指している。そして坂や段差の高さに対するアプローチではなく、仮想地表面という平面に焦点を当てた。

### 2.2 インタクション技術を用いた歩行リハビリ支援システムの提案と基礎技術の開発

小笠原らは床面プロジェクションマッピングによるMR映像等を用いて、歩行リハビリテーション支援システム[5]を提案した。歩行中の足を床面に接地した位置で映像を反応させたり、これまでの歩行状況に応じてプレイヤーの歩行を補助・誘導させたりする映像を提示する。さらに大量の落ち葉や足跡のない雪など足を踏み入れたくなるような映像を投影することで、自然な歩行を促す効果が期待されている。

この歩行リハビリ支援システムは、我々が目指している仮想地表面の変形によって身体動作へ影響を与えるシステムに近い。しかしこの提案は歩行する方向を誘導するものであり、歩行動作に変更を加えるものではない。

### 2.3 現実空間での移動量低減を目的としたVR空間における歩幅の運動学習に関する一検討

中澤らは、現実空間における身体の移動距離に対して仮

想空間のアバターの移動距離を長く変更することで広大な仮想空間での移動に同等の広さの現実空間を必要としない仮想空間の提示手法[6]を提案した。HMDを装着させたプレイヤーをトレッドミル上で歩行動作させ、仮想空間での並進方向の歩幅を少しずつ大きくすることで、実際の歩幅を少しずつ減衰させる。プレイヤーは仮想空間の歩幅をどれほど大きくするまで気が付かないのか、実験を行った。プレイヤー10名中、1.3倍程度及び1.6倍程度で気づいたプレイヤーが各1名、1.7倍程度で気づいたプレイヤーが2名、2倍になっても気づかなかったプレイヤーが6名という結果になった。

以上の評価結果から、プレイヤーはHMDによって現実空間の動作とは異なる仮想空間の映像を視認することで、実際の身体動作に影響を及ぼすことが分かる。本論文では、歩行した時に形状が変わるような柔らかい仮想地表面は現実空間での歩行動作に影響を与えるかに注目した。

## 3. 仮想地表面変形による身体負荷増減

本研究では、現実空間の平坦な床での歩行動作を行うプレイヤーに仮想地表面が変形する視覚刺激を与える。プレイヤーは仮想地表面の変形に伴い、歩行動作を変化させると考えられる。

例えば、トランポリンのように踏み込んだ力が反射する床面のとき、踏み込む力を強くしたり、反射する力に備えて足腰に力を込めたりする。氷や泥の上のように接地時に水平方向の力が加えられていると滑る床面のとき、滑るのを防ぐために床面へ水平方向の力を加えないように足を垂直方向に下す。または、滑走するためにすり足のように足を接地したまま水平移動を行う。斜面ではバランスをとるために、つま先や踵に力を込める。

仮想地表面が変形する視覚刺激によって歩行動作を変化させることが可能ならば、任意の筋肉や姿勢のトレーニングに活用できると考える。さらに仮想空間は限られた現実空間で多種の視覚刺激をプレイヤーに提示することができる。その視覚刺激はHMDの機材一式のみで提示することができるため、トレーニングしたい部位によってトレーニング機器を使い分ける必要がない。

本論文では多種の仮想地表面の中で、トランポリンのように踏み込んだ力が反射する床面の視覚刺激が歩行動作に影響を及ぼしているかを検証する。

## 4. 仮想地表面変形システム

### 4.1 ハードウェア

図2に本システムの構成を示す。本システムではプレイヤーに、HMDを通じて仮想地表面と被験者の足先に相当するアバターの映像を提示する。

プレイヤーへの視覚刺激提示と頭部の位置情報を取得しPCへの送信にHTC社のVIVE Cosmos Elite(HMD)を使

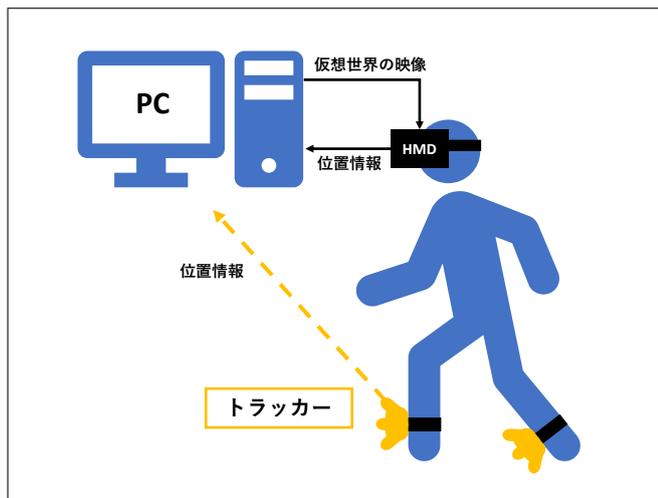


図 2 システム構成

用する。これによりプレイヤーは、現実空間での頭部の動きと仮想空間に同期した映像を見ることができ、現実空間の任意の位置情報を取得して仮想空間に反映するために同社の VIVE Tracker(トラッカー)を使用する。トラッカーは任意の部位に装着させることでその部位の位置情報を PC に送信することができる。本研究では、現実空間での足の動きと仮想空間でのアバターの位置を同期させるために足首に装着する。

#### 4.2 ソフトウェア

本システムで動作するソフトウェアとして、仮想空間に対応するゲーム制作エンジン (Unity) を用いて仮想空間を作成した。PC で受信した各位置情報を仮想世界に反映した映像を HMD でプレイヤーに提示する。これにより現実空間のプレイヤーの頭の動きや足の動きに合わせて、仮想空間のプレイヤーの視界や足先のアバターが移動する。

本論文では、変化のない仮想地表面とトランポリンのように踏み込んだ力を反射する仮想地表面を作成した。図 3 に現実空間の足の動作にともない、仮想地表面が変形する過程を示す。上段は現実空間の平坦な床に足を下ろす過程を表した図である。下段は仮想空間内でアバター (青い球体) が床面に沈み込む様子を撮影したものである。仮想地表面は現実空間の床面よりも高く位置している。そのため (a) のように仮想地表面とアバターが接地していても、現実空間の床面と足は接地していない。 (b) のように現実空間の足を降下させることでアバターと接地している仮想地表面が凹んでいく。 (c) のように現実空間の床と足が接地した時、仮想地表面の凹みの深さは最大になる。 (d) と (e) はアバターが反射している様子を示している。足が接地した後もアバターは反射によって上下運動を行う。仮想空間でのプレイヤーの視線もアバターの上下運動に伴って上下する。足を降下する速度によって上下運動の幅は異なるが、いずれも (C) の位置に収束する。

## 5. おわりに

本論文では、現実空間の平坦な床での歩行動作を行うプレイヤーに仮想地表面が変形する視覚刺激を与え、実際の歩行動作を変化させることを目的としたシステムを実装した。今後は、通常の歩行動作と仮想地表面が変形する映像を提示した時の歩行動作時のプレイヤーの脚部の筋電位の計測を行う。これらを評価することで本システムがプレイヤーの身体にどのような影響を与えるかを検証する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 20K12128 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

- [1] 黄訓達. 仮想現実感に向けた足底部の触覚刺激による地面テクスチャ再現手法の提案. 2017 年度関西大学総合情報学部, 卒業論文, 2018.
- [2] Ryohei Nagao, Keigo Matsumoto, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Ascending and descending in virtual reality: Simple and safe system using passive haptics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG)*, Vol. 24, No. 4, pp. 1584–1593, 2018.
- [3] Hiroo Iwata, Hiroaki Yano, Hiroyuki Fukushima, and Haruo Noma. Circulafloor. In *ACM SIGGRAPH 2004 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '04, p. 3, New York, NY, USA, 2004. Association for Computing Machinery.
- [4] Dominik Schmidt, Robert Kovacs, Vikram Mehta, Udayan Umapathi, Sven K?hler, Lung-Pan Cheng, and Patrick Baudisch. Level-ups: Motorized stilts that simulate stair steps in virtual reality. *CHI '15: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2157–2160, 2015.
- [5] 小笠原千紘, 松岡基揮, 水野慎士. インタラクティブ技術を用いた歩行リハビリ支援システムの提案と基礎技術の開発. 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-DCC-24, No. 25, p. 5, (2020.1.23 24, 隠岐島文化会館).
- [6] 中澤陽介, 萩生翔大, 萩生翔大, 小川剛史. 現実空間での移動量低減を目的とした vr 空間における歩幅の運動学習に関する一検討. *VR 学研報*, MR2020-05 (Jan. 2020).

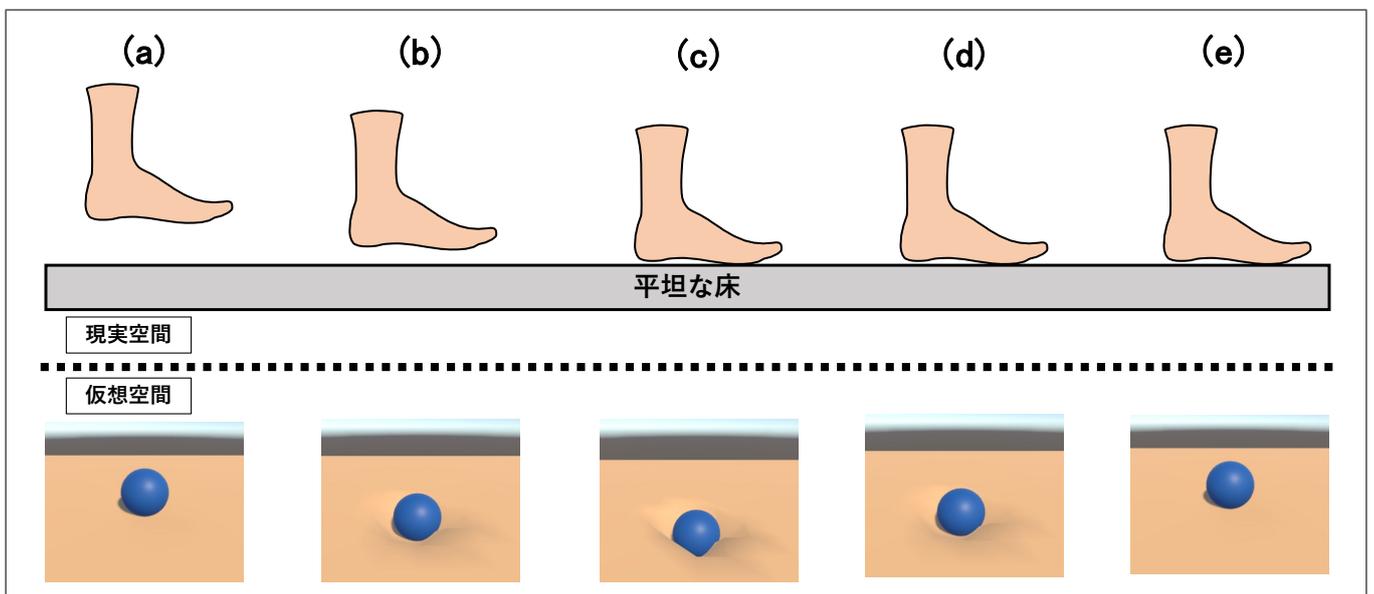


図 3 仮想地表面が変形する過程