



# 坂道の昇降感覚を提示する靴型デバイスの開発

谷本 識心<sup>\*1</sup>      Photchara Ratsamee<sup>\*2</sup>      浦西 友樹<sup>\*2</sup>  
 Jason Orlosky<sup>\*2</sup>      竹村 治雄<sup>\*2</sup>

**Abstract** – In this paper, we present our preliminary result of using angle adaptive boot that allows users to experience walking uphill in Virtual Reality (VR). The device is a self-contained and worn like a boot. Its main function of the device is a vertical slope actuation mechanism mounted to the bottom of the boot that extends the slope angle within 0 to 28 degree. Unlike conventional devices that are integrated with locomotion devices, our device allows users to have a real-walking (walk around freely). We present our device in an environment based on a head-mounted display and test user perception with two different slopes which are 5 degrees and 15 degrees. Preliminary experimental result show the improvement of realism of uphill step. The remaining problems about the device are weight, stability, and boots do not give them tiredness.

**Keywords** : Up Hill Slope, Virtual Reality (VR), Haptics, Human Computer Interaction

## 1 はじめに

HMD (Head Mounted Display) を用いた VR (Virtual Reality) において、VR 体験者が仮想空間上を歩くことは高い臨場感を与える。しかし VR 体験者が現実世界で歩行する際、現実世界の環境によって歩行に様々な問題を与えてしまう。そのような問題を解消するために歩行を補助する様々なハプティックデバイスが研究、開発されている。

Virtuix Omni[3] といったハプティックデバイスは現実空間が狭くても仮想空間を歩き回ることができるように VR 体験者の物理的な位置を固定したまま仮想空間を 360 度移動可能にした。加藤らは長時間立った状態での VR 体験による疲労を軽減するため、座位歩行感覚ディスプレイを開発した [4]。

さらに、仮想空間内での段差の昇降感覚を提示する手法として、Schmidt らはリフトテーブル、それを動作させるためのモータ、コントローラを使用した特殊な靴を開発した [1]。この靴は VR 体験者が仮想空間にある段差を昇る際、リフトテーブルの高さが上がり、段差を下る際、リフトテーブルの高さが下がることによって段差の昇降の感覚を提示する。しかしこのデバイスでは靴の地面からの高さを変えることはできるが地面に対しての角度を変えることができない。そのため段差がある仮想空間の臨場感を高めることができる一方、坂道のある仮想空間の臨場感を高められない。

また仮想空間内の坂道の昇降感覚を提示する手法として、Ishikawa らは傾きを変えたトレッドミルの上

を歩くことによって坂道を登る感覚を提示しようと試みた [2]。しかしトレッドミルの上を歩くシステムはうまく機能しても直線上しか歩けず、VR 体験者を様々な角度に歩かせる体験には適さない。

そこで本研究では、VR 体験者に様々な方向に歩くことが可能な上で坂道を登る感覚を提示するための靴型デバイス開発を目的とする。本論文で報告する内容は、予備実験用の靴型デバイスを開発し、現段階でのリアリティと安定感を調査した結果である。2 節で現段階で完成している靴型デバイスのデザインについて述べ、3 節では靴型デバイスを使用した予備実験の内容と結果を解説する。4 節では本研究の目的である坂道を登る感覚を提示する靴型デバイスのデザインとその概要を説明する。5 節では予備実験の結果の考察を述べる。最後に、6 節で本論文をまとめる。

## 2 デバイスのデザイン

角度を手動で調節することによって足を傾けたまま移動できる靴型デバイスを開発した。板の前側にリフトテーブル、後ろ側の位置を固定した上で角度は調整できるように蝶番をつけた。またリフトテーブルを上下する際に板の前側とリフトテーブルを固定する際にスライダと蝶番を間に挟むことで、リフトテーブルと靴の底面を固定したまま角度の調整を可能にした。

リフトテーブルについているモータを回転させることによって、図 1 のように靴の角度を 0 度から約 28 度までの間で調整できる。

靴の重さは 1.34kg、足を乗せる上面の面積は 118mm × 293mm、上面の高さは角度が 0 度のとき 95mm で

<sup>\*1</sup>大阪大学 大学院情報科学研究科

<sup>\*2</sup>大阪大学 サイバーメディアセンター



図1 角度を変えた時のデバイス

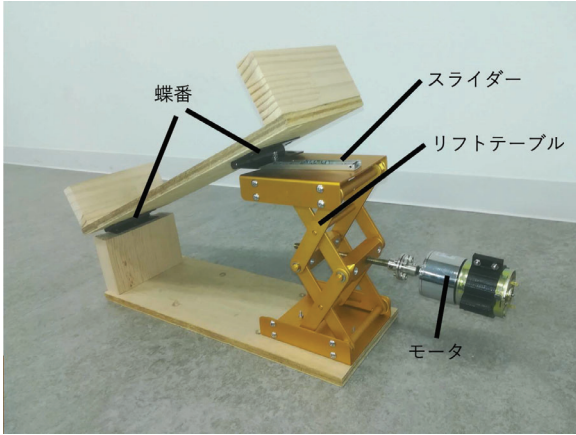


図2 システム構成

ある。

### 3 予備実験

#### 3.1 予備実験内容

指定した角度の坂道がある仮想空間とその坂道の角度に手で調整した靴型デバイスを用意する。被験者には HMD をつけた状態で靴型デバイスを装着していない場合と装着している場合の両方で、それぞれ5歩ほど10秒以内で坂を登る方向に歩くよう指示した。実験後、被験者は坂道を歩く VR 体験にリアリティを感じたか、体験に安定感があったかをそれぞれ7段階(1が悪く、7が良い)で評価し、歩いた坂道の角度を推測した。被験者は23才から31才の5人に参加してもらい、内4人が男性、1人が女性であった。また全員が HMD による VR を体験したことがある者だった。図5は、靴型デバイスを用いて実際に VR での坂道体験をしている様子である。

本実験では、図3の5度傾いた坂道と図4の15度傾いた坂道とで実験した。

実験は角度ごとに靴なし、靴ありの順番で5度から始めるか15度から始めるかをランダムで決めた。

#### 3.2 予備実験結果

リアリティのアンケートの平均を図6、図7に安定感のアンケートの平均を図8、図9にまとめた。また被験者 A から E ごとのそれぞれの実験での坂道の角度の予想を表1にまとめた。リアリティは図6、7より、5度のとき靴なしの平均が4.8、靴ありの平均が5.2となり0.4増加、また15度のとき靴なしの平均が



図3 5度の坂道

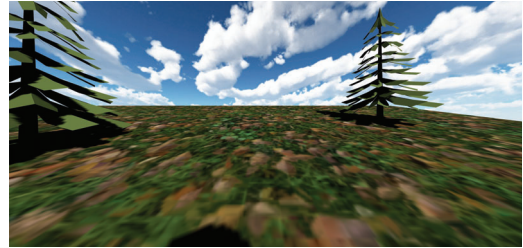


図4 15度の坂道

5.2、靴ありの平均が4.6となり0.6減少した。また安定感を図8、9より、5度のとき靴なしの平均が6.2、靴ありの平均が5.0となり、1.2減少、また15度のとき靴なしの平均が5.6、靴ありの平均が4.4となり1.2減少した。また角度の予想に関しては、仮想空間の坂道の角度と比較して平均12.4度大きい角度を予想していた。

### 4 今後のデバイスのデザイン

本論文で使用した靴型デバイスは手動で角度調整している。そのため目的である自由な方向へ坂道を歩き回ることに対して、以下の2つの問題があると考えられる。

1. 仮想空間の坂の角度が異なっていたとしても、歩いている最中に角度を調整できないこと
2. 左足と右足の位置関係が前後にあるとき、足の高さは本来異なるべきであるが図10のように同じこと

この2つの問題を解決するために図11のように角度を調整するデバイスを開発したい。新しいデバイスでは以下のように角度を調整する。

1. 左足と右足が同じ位置の時、デバイスの角度は同じ
2. 右足を前に出すときに右足のデバイスの角度を大きくする
3. 右足のデバイスの角度が大きい状態で着地



図5 歩いている際の画像

表1 坂道の角度の予想

	A	B	C	D	E	平均
5度(靴なし)	15	3	0	30	40	17.6
5度(靴あり)	10	3	20	10	40	16.6
15度(靴なし)	20	5	50	42	20	27.4
15度(靴あり)	20	5	50	45	20	28

4. 左足を上げている最中に右足のデバイスの角度を小さくする

この機能によって、新しいデバイスでは歩いている最中に角度を変えられる。それに伴って左足と右足が前後の位置関係にあるとき、前に出している足の角度が後ろの足の角度より大きくなる。このデバイスは傾きが大きいほど地面からの高さが高くなるため、前に出している足の方が高くなり、前に出している足と後ろに出している足の高さが同じ問題を解決できる。

## 5 ディスカッション

予備実験で開発した靴は現在、安定さに関して2つの大きな問題を抱えている。1つ目は靴の上面とリフトテーブルがうまく固定されていないので、特に横方向への力がかかった際に足が揺れてしまうこと。2つ目は靴の高さが最低でも95mmあることである。こ

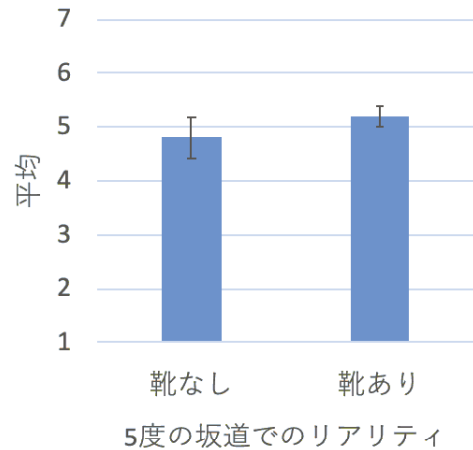


図6 5度の坂道感覚のリアリティ

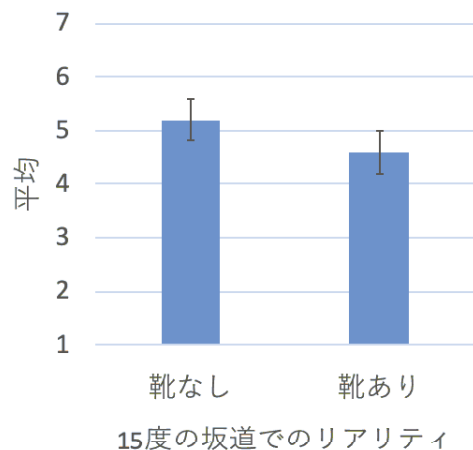


図7 15度の坂道感覚のリアリティ

の2つの問題によって靴を履いていないときと比較して被験者に不安定と思わせる結果となったと考える。

またリアリティに関しては足の傾きは再現できていたものの被験者の内2名が靴が重いことを言及し、また被験者の内1名が実際に登る際の疲労感がないことを言及しており、このことがVR体験のリアリティを減少させたと考える。

また角度が15度のとき、仮想空間の坂の角度と靴の角度は同一であるにも関わらず、被験者の内2名が仮想空間の坂の角度が靴の角度よりも小さいと感じた。そのため次回からは仮想空間上の坂の角度と靴の角度が異なる状態でも実験する必要があると考える。

## 6 おわりに

本論文ではユーザが仮想空間で登り坂を歩く体験を可能にする靴型のハプティックデバイスを使用した予備的な結果を示した。その主な機能要素は靴の底部に

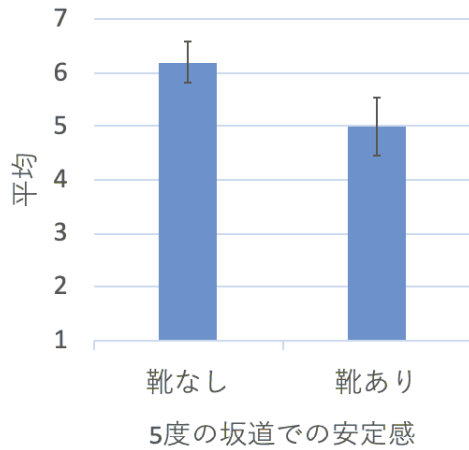


図8 5度の坂道感覚の安定感

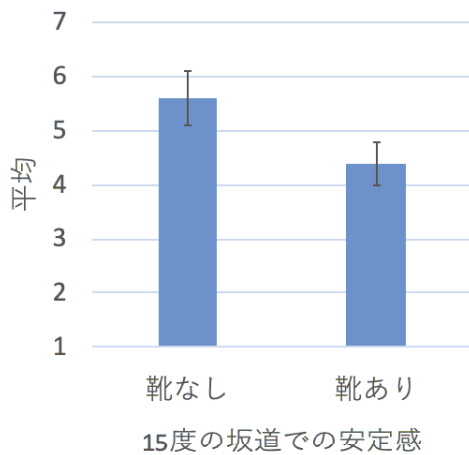


図9 15度の坂道感覚の安定感

取り付けられ、手動での垂直方向の伸縮によって傾斜角を変更する垂直傾斜作動機構である。

移動デバイスと統合されている従来のソリューションとは異なり、私たちのデバイスでは、ユーザが実際に歩く(自由に歩き回る)ことができる。HMDに基づく仮想環境でデバイスを提示し5度と15度の2つの異なる傾斜でユーザの知覚をテストした。参加者はデバイスを装着していないときと比べ、デバイスを装着しているときは足裏の感覚が良くなったという言及がある一方、靴の重量、足を持ち上げることによる疲労感がないこと、靴が不安定であることを言及していた。このことが靴型のデバイスを使用した坂道のVR体験のリアリティ、安定さを損なっていると考えられる。またデバイスの傾斜角と仮想空間の坂道の角度が同じであるにも関わらず、デバイスの傾斜角の方が大きいと感じる声があり、デバイスの角度設定と仮想空間の坂道の角度設定をそれぞれ変えて実験する必要性があ

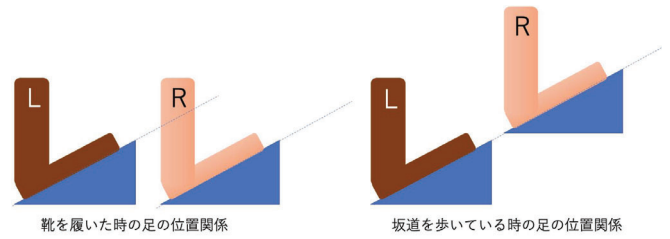


図10 靴を履いた時の足の位置関係と坂道での足の位置関係

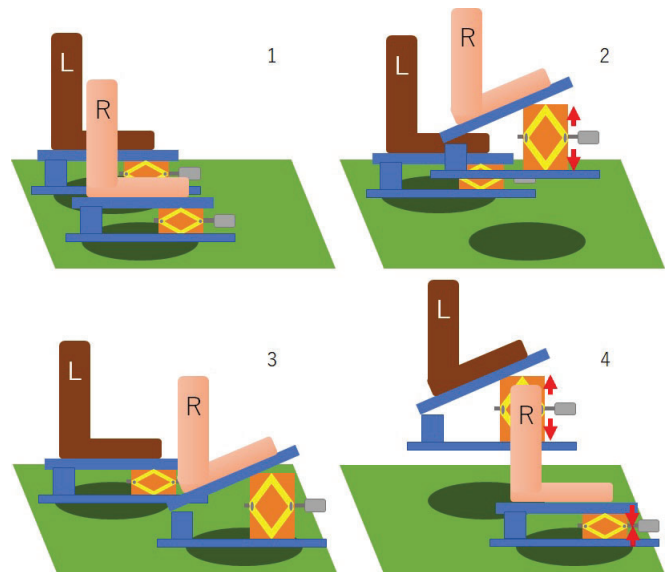


図11 角度を調整するデバイス

ることが判明した。

### 謝辞

靴型デバイスの開発に協力してくれた Harn Sison さんに感謝します。また、実験に参加してくれた人たちに感謝します。

### 参考文献

- [1] Dominik Schmidt et al., Level-Ups: Motorized Stilts that Simulate Stair Steps in Virtual Reality. CHI 2015
- [2] Ryuta Ishikawa et al., Investigating perceived slope gradient in virtual environment with visuo-haptic interaction. OzCHI '18.
- [3] Virtuix Omni. <https://www.virtuix.com/>, 2018.
- [4] Ginga Kato et al, HapStep: A Novel Method to Sense Footsteps While Remaining Seated Using Longitudinal Friction on the Sole of the Foot. Haptic Interaction pp 105-111
- [5] Cheng, L.P., Lühne, P., Lopes, P., et al. Haptic Turk: a Motion Platform Based on People. In Proc. CHI '14, 3463-3472.

©2020 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)