

# VRにおける雲上行動の触感表現

布施皓輝<sup>†1</sup> 兼松祥央<sup>†1</sup> 松吉俊<sup>†1</sup> 三上浩司<sup>†1</sup>

**概要:** 近年バーチャルリアリティ（以下「VR」）デバイスが普及しており、それに伴いVRに関する研究も盛んに行われている。その中でも視聴覚のほかに触覚を追加して、VR体験の向上を目指す研究は数多く存在する。しかし、そのなかでも実現不可能な体験や架空の物質の触感を表現している研究は少ない。そこで、本稿では雲の上を歩行するという実現不可能な体験に焦点を当てて、その触感を提示することでVR体験に更なる没入感を与えることを目指す。そのために、雲上歩行を表現する触感提示デバイスとそれを体験するコンテンツを開発した。

## 1. はじめに

近年、クロスリアリティ（Extended Reality：以下「XR」とする）市場は成長を続けている。その中でもバーチャルリアリティ（Virtual Reality：以下「VR」とする）は国内のヘッドマウントディスプレイ（Head Mount Display：以下「HMD」とする）の普及によりアミューズメント施設、家庭用など様々な場面で体験できる機会が増加し、XR市場における主流なカテゴリーとして成長を続けている[1]。それに伴い、VRに関する研究も盛んに行われており、その中でも映像や音声といった視聴覚のインタラク션을中心としたVRコンテンツに加えて、触力覚を利用した新たなデバイスを追加することで、VRの体験を向上させる研究に注目が集まっている。具体的には、搭乗体験など身近な体験を仮想空間内で実現する研究[2]や、物質の触感を再現する研究[3]が多く存在する。しかし、実際には実現不可能な体験や、存在しない架空の物質の触感を表現する研究は少ない。実現不可能な体験の例として雲上での行動があげられる。ビデオゲームやアニメーション作品では、キャラクターが雲の上に乗る、歩行する表現がよく用いられている。これはVRコンテンツでも同様である。このような実際には実現不可能な体験に対しても、視聴覚以外のインタラク션을付与することで、VRコンテンツ体験時の没入感を高めることができる。

そこで、本研究では「雲上行動」に焦点を当てた。そして、雲の上に乗っている触感や歩行している触感の提示を目的とした。そのため、本研究では雲上を表現した足元触感提示デバイスと体験者の動きと連動したコンテンツを開発した。

## 2. 関連研究

### 2.1 足の感覚を使用するデバイスに関する研究

小黒ら[4]は、座位姿勢では大腿部の動きで下半身の感覚を得ることができると仮定した。そのために推力を与えるマルチローターとそれを支えるためのトレーニングチュー

ブを組み合わせて、浮遊物体に搭乗しているかのような浮遊感を提示するデバイスである「OGRone」を開発した。また、体験者が浮遊感を感じるかどうかについて実験を行い、浮遊感の提示が可能なことを示した。

黄[5]は地面における地面テクスチャとそれが作る物理刺激による「歩く」感覚と臨場感を再現・構築することを目的に、地面テクスチャの物理的臨場感を足裏に提示するシステムを提案した。黄らはモータアレイを足裏の足先、前足部、中足部、後足部に搭載したスリッパ型の歩行臨場感提示デバイスを開発した。このシステムにより、視覚コンテンツの特定の部分を振動情報として得ることが可能になった。

### 2.2 歩行感覚提示デバイスに関する研究

KAT VR社の『KAT WALK』シリーズ[6]や Freacaim Technologies社の『Freacaim VR Shoes』[7]などの歩行型VRデバイスが多数開発されており、現実に近い歩行を再現してVR体験を向上させている。

大島ら[8]は両足の上下運動による歩行運動感を高く維持したまま、座位姿勢での歩行感覚提示インタフェース「Virtual ISU」を開発した。このデバイスは座位姿勢で両大腿部を上下に動かすことで大腿部の下に設置された圧力センサユニットが反応して仮想空間での歩行動作を可能にしている。

### 2.3 本研究との差異

足の感覚を使用するデバイスは、浮遊物体に搭乗する体験や様々な地面を歩く体験など、実現可能な体験を仮想空間内で可能にする研究が多い。そこで、本研究では実現不可能な体験に焦点を当てた。これにより、現実ではできない表現ができる仮想空間での体験に更なる没入感を与えることができる。

## 3. 雲上歩行について

雲上歩行を表現する前提として「乗ることができる雲」の挙動を定義する必要がある。そこで本章では提案システムで表現する「乗ることができる雲」の定義を述べる。ま

<sup>†1</sup> 東京工科大学

た、この定義に基づいて実装したデバイスを用いた体験について述べる。

### 3.1 乗ることができる雲の定義

雲に乗る表現をしている作品として『ドラえもん』[a]が挙げられる。この作品では雲かためガスという、雲にガスを吹きかけて乗ることができる雲を作るひみつ道具がある。作中ではこの道具で作られた雲に乗ると足元が雲に沈み込み、跳ねる動作を行うと地上よりも高く跳ねるように描写している。本研究では、この描写を参考に「乗ることができる雲」の挙動を定義した。

乗ることができる雲の挙動に必要な要件は次の3つである。本研究ではこれらの挙動を表現することを目標にデバイスの開発を行った。

- 雲上に立つ際、踏んでいる箇所は沈み込む
- 歩行時に雲を踏んでいない際は踏む前の状態に戻す
- 雲上で跳ねようと強く踏み込む際は、強力な押し返す力を与えて強く反発させる

### 3.2 実現する体験

3.1でも示したように、踏む力によって沈み込む、反発させる触感提示デバイスを用いたコンテンツで実現する体験は次の3点である。これらの体験を実現することを目標に、デバイス、コンテンツの開発を行った。

- 雲に乗る
- 雲の上で歩行する
- 雲の上で跳ねる

## 4. 体験コンテンツの開発

本章では本研究で開発したコンテンツと足元触感提示デバイスについて述べる。コンテンツはUnity Technologies社の「Unity」[9]、VRシステムにMeta社のHMDである「Meta Quest2」[10]を使用している。足元触感提示デバイスはトランポリンと複数のスポンジ、体験者保護のための補助装置により構成されている。図1にデバイスの全体図を示す。



図1 デバイスの全体図

## 4.1 コンテンツ

### 4.1.1 コンテンツの概要

本研究では雲上歩行の触感を立位姿勢で体験するコンテンツを開発した。図2にコンテンツの体験時に表示する映像を示す。このコンテンツは、体験者が指定の位置で足踏みをすることで仮想空間内のプレイヤーが前進し、両足を一緒に曲げた後に元の姿勢に戻ると、仮想空間内のプレイヤーが跳ねるといったアクションができる。このコンテンツを用いて体験者の動作と映像を連携させることで、触感提示デバイスに加えてVR体験の向上を図る。

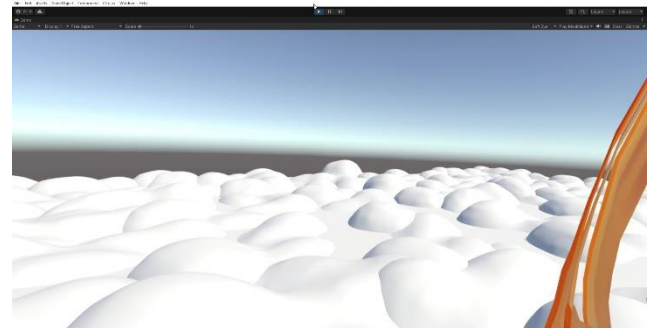


図2 コンテンツの映像

### 4.1.2 コンテンツの構造

このコンテンツは仮想空間の開発にUnity、足踏みなどの動作を取得するためにSony社のモバイルモーションキャプチャーである「mocopi」[11]、仮想空間を表示するためのVRデバイスにMeta Quest2を組み合わせて開発した。コンテンツのシステムフローは図3のとおりである。

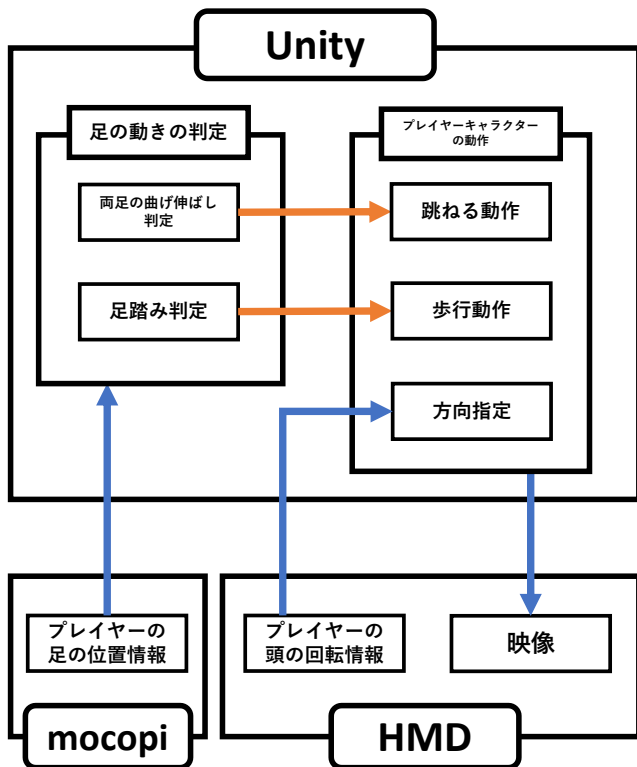


図 3 コンテンツのシステムフロー

青色の矢印は送信を示し、橙色の矢印は制御を示す。このシステムでは、mocopi のベータ機能である下半身優先モードを使用して、下半身のモーションデータを取得し、そのデータを UDP 通信でリアルタイムに Unity 側へ送信する。また、HMD からは頭の回転方向などのモーションデータを取得して Oculus Link を用いて Unity へ送信する。送信されたモーションデータを Unity 側で取得して、足踏みの動作をしているか、両足を曲げて伸ばしているか、どこを向いているかなどの判定を行い、判定の結果から仮想空間でのプレイヤーの動作を制御する。そして、Unity で制御している映像は随時 HMD へ送信して、体験者に表示する。

なお、各デバイスからのデータを送受信するために、mocopi 及び Oculus の Unity 専用 SDK を使用している。

## 4.2 足元触覚提示デバイス

### 4.2.1 デバイスの概要

足元触覚提示デバイスとして必要な要素である踏む力による反発を表現するために、本デバイスでは図 4 に示すようにスポンジとトランポリンを組み合わせる。これによりスポンジによる踏む位置の沈み込み、トランポリンによる強力な反発を体験者の足に与えることができる。

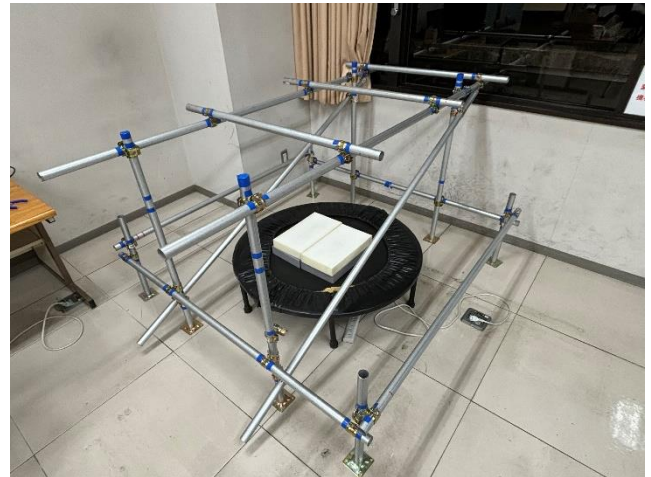


図 4 足元触覚提示デバイス

### 4.2.2 デバイスの構造

本デバイスはトランポリンの上部に硬さや弾性力が違うスポンジを層にして設置した。図 5 に示すように、スポンジは弾性の異なる縦 350mm、横 200mm 厚さ 50mm の 4 種類のスポンジを用意した。それらを組み合わせることで試した結果、提示したい触覚に最も近いと感じた組み合わせを採用した。また、トランポリンは直径 1180mm のサイズの製品を使用した。

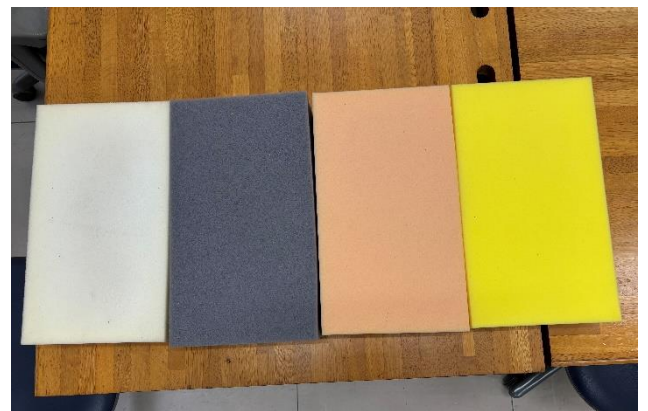


図 5 用意したスポンジ

スポンジとトランポリンを触覚提示に使用する上で足元の不安定感とコンテンツで使用する HMD の視界不良による転倒の危険性は無視できない問題である。この問題を解決するため対策として、体験する箇所の四方を金属パイプとクッションで囲い、体験者を支える補助装置を設置した。これにより、体験者は四方に囲まれた補助装置を掴みながら動作を安全に行うことができる。

## 5. 実験

### 5.1 予備実験

本実験に入る前に開発した体験コンテンツを実際に体験

してもらった。体験者が考える雲の触感とその触感に近いどうか、またコンテンツや足元触感提示デバイスの改善点などを回答してもらった。予備実験参加者は20代の男性3人である。

予備実験の結果、触感提示デバイスについて全員が雲の触感に近いと感じたと回答した。また、スポンジの組み合わせについて、組み合わせを変更すれば雲の触感により近くなるという回答もあった。

コンテンツについて、ただ歩いて跳ねるだけではいつ実験を終了させればよいのか分からないという意見を頂いた。このことから今後の評価実験では、体験者が仮想空間内のプレイヤーを操作して、歩く、跳ねるといったアクションを駆使して雲の上に存在するアイテムを全て拾うというゲーム要素をコンテンツに追加する。これにより動作を促すと同時に、本実験の流れを円滑に体験者へ示すことができる。

## 6. まとめ・展望

本研究では、立位姿勢で体験するコンテンツと足元触感提示デバイスを用いて雲上歩行の触感を体感することで、VR体験の没入感をさらに高めるシステムを開発した。

今後は、開発した体験コンテンツを使用した実験を行う予定である。

## 参考文献

- [1] “令和5年版 情報通信白書”。  
[https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r05/html/n\\_d245220.html](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r05/html/n_d245220.html), (参照 2023-11-22).
- [2] 塩野入央空, 櫻木怜, 小玉亮, 岡崎龍太, 梶本裕之. 自動車をモーションプラットフォームとしたVRシステムにおける振動表示(第3報): 直動アクチュエータと振動子の組み合わせによる検証. 第23回日本バーチャルリアリティ学会論文集. 2018.
- [3] 田島優輝, 加藤史洋, 井上康之, 舘暉. 力・振動・温度を触原色とする触感提示デバイスにおける触感再現手法. 日本バーチャルリアリティ学会論文集. 2019, vol. 24, no. 1, p. 125-135.
- [4] 小黒由樹, 兼松祥央, 三上浩司. OGRone: マルチローターを用いた浮遊感覚提示デバイスの開発. 映情学技報. 2019, vol. 43, p. 183-186.
- [5] 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. 関西大学. 2017.
- [6] “KAT VR”. <https://www.kat-vr.com/>, (参照 2023-12-05).
- [7] “VR Shoes | Freeaim VR”. <https://www.freeaim.com/>, (参照 2023-12-05).
- [8] 大島登志一, 枝元瑩, 舘脇望, 柴田龍輝. Virtual ISU: 座位姿勢での擬似歩行運動による歩行感覚提示インタフェース(第3報). エンターテインメントコンピューティングシンポジウム. 2016, p. 295-300.
- [9] “Unity のリアルタイム開発プラットフォーム | 2D/3D, VR/AR エンジン”. <https://unity.com/ja>, (参照 2023-12-05).
- [10] “Meta Quest 2: 没入感あふれるオールインワンのVRヘッドセット | Meta Store | Meta Store”.  
<https://www.meta.com/jp/quest/products/quest-2/>, (参照 2023-12-05).

- [11] “モバイルモーションキャプチャー mocopi | ソニー”.  
<https://www.sony.jp/mocopi/>, (参照 2023-12-05).