

大学建物を模した VR 空間内での歩行行動の再現と検証

尾崎 未奈

1. はじめに

Virtual Reality (VR) の技術は日々進歩しており、すでに Oculus や HTC といったメーカーが、Head Mount Display (HMD) や操作デバイスを一般向けに販売している。建築分野においても、研究や設計の 3D シミュレーションなどで、VR の活用が現実に行われている¹⁻³⁾。現在の VR は、HMD を通じた両目からの立体視や、ヘッドホンからの 3 次元音響で、あたかもその場にいるかのような感覚(いわゆる没入感)を体験できる。一方、我々が空間体験する際には、いわゆる身体知と呼ばれる体の動きを伴った空間体験を無意識に行っていると考えられている⁴⁾。空間体験では、特に歩行行動によって空間が次々と変化することが、リアリティを高めるうえで重要であると考えられる。しかし現在の VR は、多くの場合手で操作するキーボード、ゲームコントローラー、操作デバイスなどで移動行動を制御しており、現実の移動を身体性の点から模擬しているとは言い難い。一方、移動行動をシミュレートするための VR 用の既存のセンサデバイスとしては、図 1 のような大規模な装置が販売されているが、設置場所やコストの問題があった。しかし近年は、VR 用の小型のデバイスが開発されており上記の問題が解消されつつある。

そこで今回の研究では、人の歩行行動の中で最も基本的な歩行行動に焦点をあて、VR 機器と比較的安価なデバイスを用いて、建築物を模した VR 空間内で、自然な歩行行動を行えるようなシステムを開発することを、研究目的とする。



図1 VR の歩行デバイスの例:KAT Walk mini⁵⁾

2. 研究方法

2.1 実験空間の構築

はじめに実験空間を構築する。今回は大阪市立大学生活科学部棟 A 棟の廊下、階段をモデルにする。Autodesk Revit

2018 で作成(図2)し、一般的な 3D モデルのフォーマットである FBX 形式にファイルを変換する。

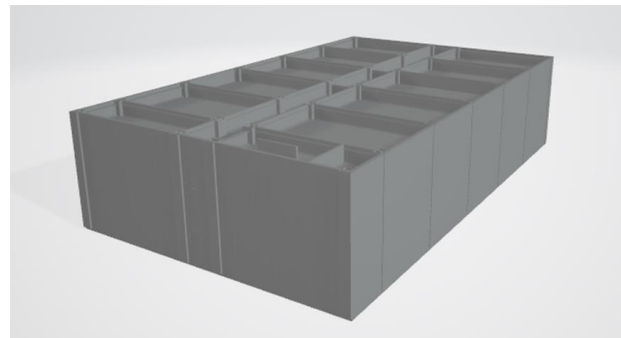


図2 作成した生活科学部 A 棟の 3D モデル

2.2 移動行動の実装

2.1 で構築した実験空間内で自由に移動できるようにする。Unity⁶⁾ で平面ポリゴン以外何も無い空間に FBX 形式に変換した生活科学部棟 A 棟を挿入し、Unity 内の生活科学部棟 A 棟内の階段の昇降、廊下の歩行を実装していく。

2.2.1 キーボードでの移動行動の実装⁷⁾

Unity で移動行動を再現する C# スクリプトを作成する。Capsule を人に見立て MainCamera と移動するための C# スクリプトを Capsule に追加し、PC のキーボードの矢印キーで Capsule を動かせるようにする。

2.2.2 VR での移動行動の実装(トラッカー)

前節の移動行動の実装を VR で行えるようにする。今回使用する VR デバイスとして、HTC VIVE Pro Eye(図 5)を用いる。また歩行デバイスには、VIVE トラッカー(図 6)を用いる。視覚・向きの変更を HMD で行い VIVE トラッカーは足首に付け、トラッカーが動きを感知すると前に進むよう C# スクリプトを作成する。



図3 HTC VIVE Pro Eye⁸⁾



図4 VIVE トラッカー⁸⁾

脚(くるぶし)に装着した VIVE トラッカーによる歩行・静止状態の区別を説明する。図 5 はトラッカーを両足のくるぶしにそれぞれ装着した状態で、静止→(その場で)足踏み→静止というサイクルを繰り返した際の、トラッカーの高さのフレーム毎の変化を示す。足踏み状態のときは、各足について周期的に高さが変化する。片足だけ見るとトラッカーの高さが一定の区間があるが、両足で見れば、足踏み時は常にどちらかのトラッカーの高さが変化しているとみなせる。ただし静止状態でも若干の揺らぎがみられる。

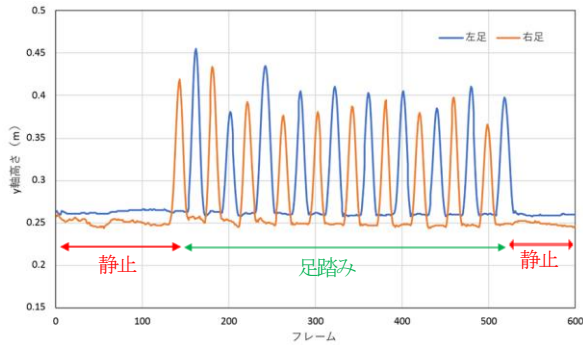


図5 トラッカーの y 軸高さの変化と足踏み・静止状態の関係

以上の観察から、どちらかのトラッカーの現在の高さと1フレーム前のそれらの高さの差の絶対値がある設定した値よりも大きければ、移動しているとみなし、コードを作成する。

2.2.3 VR での移動行動の実装(ゲームコントローラー)

前節の VR での移動行動の実装(トラッカー)を基に、視覚・向きの変更を HMD、移動を一般的なゲームコントローラー(Xbox コントローラー⁹⁾)の右スティックボタンで行う。

3. システムの検証実験

システムを検証するために以下の手順で実験を行う。¹⁰⁾

3.1 被験者

生活科学部居住環境学科・コースの学生の 13 名(男性 3 名女性 10 名)が実験に参加した。

3.2 実験ルート

以下が実験ルートである。

- ① 生活科学部棟A棟に入り階段を上る。(図6)
- ② 居住システム第2研究室の前まで歩く。(図7)
- ③ 来た道に戻り階段を下る。(図8)

3.3 計測方法

被験者には HMD、ゲームコントローラーの操作に慣れてもらうため、実験前に2分程度練習時間を設ける。そして3.2の実験ルート通りに(1)実際の行動、(2) 2.2.3 HMDとゲームコントローラー、(3)2.2.2 HMDとトラッカー、の順に行動する。最後に被験者は評定を行う。また(1)、(2)、(3)それぞれかかった時間を計測する。

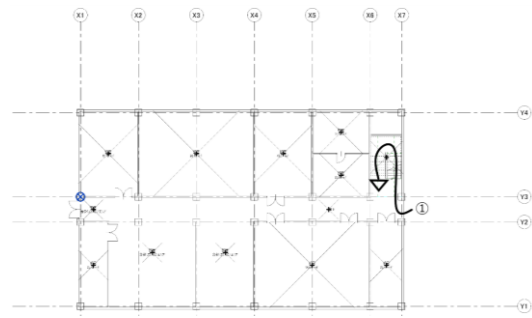


図6 生活科学部棟A棟1階 ①ルート

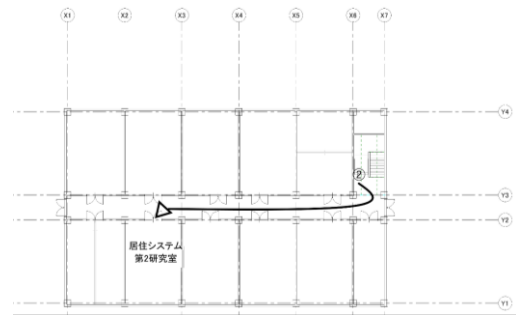


図7 生活科学部棟A棟2階 ②ルート

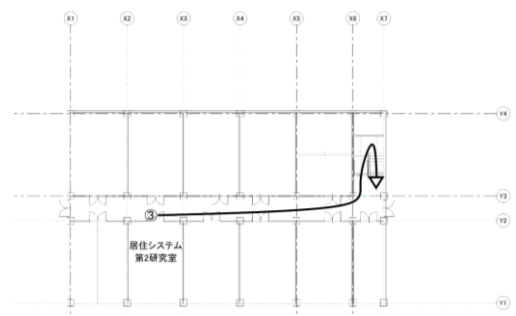


図8 生活科学部棟A棟2階 ③ルート

①実際の行動と HMD (VR)・ゲームコントローラーの比較	
1.階段を上る動作について数字に○をつけて下さい。	
実際の行動に程遠い	1 2 3 4 実際の行動に近い
2. 歩行について数字に○をつけて下さい。	
実際の行動に程遠い	1 2 3 4 実際の行動に近い
3.階段を下る動作について数字に○をつけて下さい。	
実際の行動に程遠い	1 2 3 4 実際の行動に近い
4. 実際の行動と HMD (VR)・ゲームコントローラーを比べて違うと感じた点・感想	
② 実際の行動と HMD(VR)・トラッカー(足に付けたもの)の比較	
1.階段を上る動作について数字に○をつけて下さい。	
実際の行動に程遠い	1 2 3 4 実際の行動に近い
2. 歩行について数字に○をつけて下さい。	
実際の行動に程遠い	1 2 3 4 実際の行動に近い
3.階段を下る動作について数字に○をつけて下さい。	
実際の行動に程遠い	1 2 3 4 実際の行動に近い
4. 実際の行動と HMD (VR)・トラッカーを比べて違うと感じた点・感想	
③ VR 自体のリアリティ (空間のボリューム、通路の遠近感など) はどうでしたか?	

図9 評価内容

3.4 評価内容

どれくらい自然な歩行行動が再現できているかを測るため□(1)実際の行動と(2)HMD+ゲームコントローラー(GC)を

比較する質問②(1)実際の行動と(3)HMD+トラッカーを比較する質問③VR 自体のリアリティを問う質問の、大きく分けて3種類の質問を用意した。(図9)

4. 結果と考察

4.1 測定時間の比較結果

ケース別の測定時間とそれらの差を表1に示す。(1)実際の行動よりも、(2)HMD+ゲームコントローラーで行動した時間、(3)HMD+トラッカーで行動した時間がともに長くなった。なお(3)のほう(2)よりも27秒短くなった。

表1 ケース別の測定時間と差

被験者	(1)実際の時間	(2)HMD+GC	(3)HMD+トラッカー	(2)と(1)の差	(3)と(1)の差
1	0:01:32	0:02:22	0:01:53	0:00:50	0:00:21
2	0:01:20	0:02:33	0:02:18	0:01:13	0:00:58
3	0:01:24	0:03:00	0:02:15	0:01:36	0:00:51
4	0:01:13	0:02:31	0:02:05	0:01:18	0:00:52
5	0:01:17	0:02:27	0:01:48	0:01:10	0:00:31
6	0:01:23	0:02:27	0:02:27	0:01:04	0:01:04
7	0:01:19	0:02:18	0:02:04	0:00:59	0:00:45
8	0:01:21	0:02:57	0:01:34	0:01:36	0:00:13
9	0:01:35	0:02:46	0:02:14	0:01:11	0:00:39
10	0:01:28	0:03:02	0:02:27	0:01:34	0:00:59
11	0:01:11	0:02:18	0:02:04	0:01:07	0:00:53
12	0:01:11	0:02:19	0:01:50	0:01:08	0:00:39
13	0:01:16	0:02:32	0:02:48	0:01:16	0:01:32
平均値	0:01:21	0:02:35	0:02:08	0:01:14	0:00:47

4.2 実際の行動とHMD・ゲームコントローラーについて

実際の行動とHMD+ゲームコントローラーの比較において、1, 2, 3, 4の4段階でアンケートを取った結果を表2に示す。1に近いほど実際の行動にほど遠く4に近いほど実際の行動に近くなる。

表2 実際の行動とHMD+ゲームコントローラーの比較

被験者	階段上る	歩行	階段下る
1	1	2	1
2	3	3	3
3	3	3	3
4	3	3	2
5	2	2	2
6	2	2	1
7	2	3	2
8	2	3	2
9	3	4	3
10	2	2	2
11	3	4	2
12	2	3	2
13	3	4	3
平均値	2.38	2.92	2.15

階段を上る動作、歩行、階段を下る動作のそれぞれの平均値を比べると歩行が1番実際の行動に近く、階段を上る

動作、階段を下る動作と続く。

感想・違和と感じた点については、ゲームコントローラーの動作について、操作の指摘、速度の指摘などがあった。

4.3 実際の行動とHMD+トラッカーについて

実際の行動とHMD+トラッカーの比較において1, 2, 3, 4の4段階でアンケートを取った結果を表3に示す。

表3 実際の行動とHMD+トラッカーの比較

被験者	階段上る	歩行	階段下る
1	2	3	2
2	1	4	1
3	2	4	3
4	3	3	2
5	3	3	3
6	3	3	1
7	3	4	3
8	3	4	3
9	3	4	2
10	3	3	2
11	3	4	1
12	2	4	2
13	3	3	2
平均値	2.62	3.54	2.08

階段を上る動作、歩行、階段を下る動作のそれぞれの平均値を比べると、実際の行動とHMD+ゲームコントローラーについての結果と同様に、歩行が1番実際の行動に近く、階段を上る動作、階段を下る動作と続く。

感想・違和と感じた点については、ゲームコントローラーに比べてリアルであるという意見や階段への指摘が多くみられた。

4.4 VR自体のリアリティについて

VR自体のリアリティについては違和感がなかった、実際に見た空間とほぼ同じだったといった意見がみられた。

4.5 ゲームコントローラーとトラッカーの比較

(2)HMD+ゲームコントローラーと(3)HMD+トラッカーの実験で

- ① 階段を上る動作
- ② 歩行の動作
- ③ 階段を下る動作

に関する被験者13人の評価値の分布を、それぞれ図(10,11,12)に示し、両デバイスにおけるこれらの分布の差を検定した。評価値が正規分布に従わないので、ノンパラメトリック手法のU検定で検定している。①階段を上る動作のP値=0.366、②歩行の動作のP値=0.0361、③階段を下る動作のP値=0.823でP<0.05で有意差があるのは②の歩行の動作だけであった。

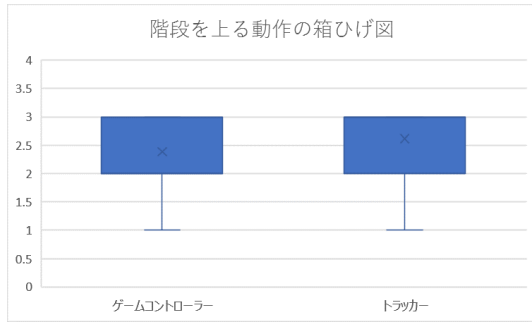


図10 階段を上る動作の評価値の分布

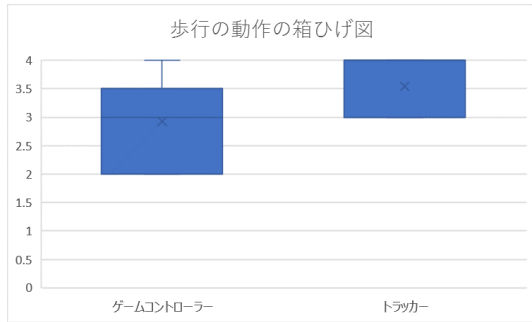


図11 歩行の動作の評価値の分布

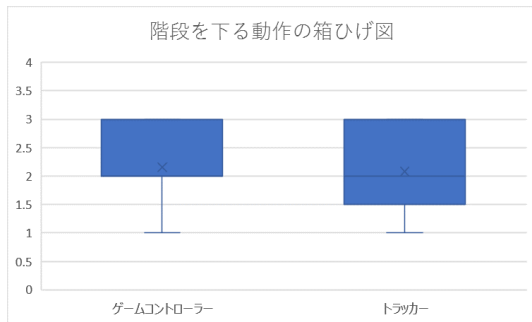


図12 階段を下る動作の評価値の分布

5. 結果を踏まえた改善点

測定時間が実際の行動よりもゲームコントローラー平均で1分14秒、トラック平均で47秒長くなってしまったので、速さの調整が必要である。

ゲームコントローラーは上下運動をつけることで実際の行動に近づけることが可能だと考えられるが、操作について再検討が必要である。

トラックについては階段が課題である。現在階段での速度を落とし現実に近づけようと試みたが、この方法だと1歩につき1段ではなく人によって2歩、3歩足踏みしないと進めないといったことが見られたので1歩につき1段進むようこれからしていく。

ゲームコントローラー、トラックどちらにおいても優位性があるのが歩行のみだったので階段の再現性をあげていくことと、現在自分視点で速度などを決めているので歩幅など一人ひとりに対応することが必要である。

VR自体についてのリアリティは特に問題はなかったが今

後色彩なども近づけていければ良いと考える。

有意差があるのが歩行の動作だけであった結果から、階段の再現性を上げることが必要である。

6. まとめ

本研究では主に歩行行動、階段の昇降について実装、実験し、VRの自然な歩行行動、そして建築分野では空間把握、設計などにおいてのVR活用に繋がるのが期待されるが、完全な移動行動実装には程遠いためこれからも修正が必要である。また、ドアを開ける動作や座る動作などさらなる行動の実装が今後の課題となる。

参考文献

- 1) 横井梓, 齋藤美穂, VR空間における心理的影響に対する検討大型スクリーンを用いた居住空間シミュレーションにおけるVR空間の感性評価, 日本建築学会環境系論文集, 78(683), 1-7, 2013
- 2) 石田 康平, 酒谷 稔将, 田中 義之, 千葉 学, VRを通じた空間の経験が設計プロセスに与える影響建築設計における創造的プロセスを支える対話ツールとしてのVRに関する研究(その1), 日本建築学会計画系論文集, 84(761), 1579-1587, 2019
- 3) ELECOM, Vol.01 VRってどんな意味? VRのしくみと活用事例, https://www.elecom.co.jp/pickup/column/vr_column/00001/ (参照日 2020.9.26)
- 4) 諏訪正樹, 身体知という研究領域, 「身体知の発展」特集, 人工知能, 32(2), 215-217, 2017.
- 5) KATVR, KAT Walk mini, <https://www.kat-vr.com/products/kat-walk-mini-vr-treadmi-ii> (参照日 2020.9.26)
- 6) Unity, <https://unity.com/ja> (参照日 2020.9.26)
- 7) 阿部秀之, Unityでつくる建築VR入門, 株式会社エクスナレッジ, 2020
- 8) HTC Corporation, VIVE PRO EYE, <https://enterprise.vive.com/jp/product/vive-pro-eye/> (参照日 2020.9.26)
- 9) Xbox ワイヤレスコントローラー | Xbox, <https://www.xbox.com/ja-JP/accessories/controllers/xbox-wireless-controller> (参照日 2020.12.18)
- 10) 森 一彦, 野原 裕介, 柴田 良一, 小池 啓高, 探索型ビデオ環境シミュレーションの再現性に関する考察: 実環境との探索行動比較実験, 日本建築学会計画系論文集, 586, 57-63, 2004