

# VR 空間における空間認識を補助する UI の提案 ーVR 酔い軽減を目的としてー

田中 聖也<sup>†</sup> 工藤 雅士<sup>‡</sup> 渡邊 充博<sup>‡</sup> 山名 早人<sup>§</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学基幹理工学部 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

<sup>‡</sup> 早稲田大学大学院基幹理工学研究科 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

<sup>§</sup> 早稲田大学理工学術院 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: <sup>†</sup> <sup>‡</sup> <sup>§</sup> {seiya, kudoma34, mwatanabe, yamana}@yama.info.waseda.ac.jp

**あらまし** 医療やエンターテインメントといった様々な分野で応用が見込まれる VR では、仮想空間（VR 空間）上を自由に移動することができるという特徴がある。しかし、移動方法によっては VR 空間上での体験と自らの予測との間に不整合が生じ、吐き気やめまいといった症状を引き起こす可能性がある。こうした VR 空間上で生じる特有の酔いは「VR 酔い」と呼ばれ、これにより使用者が VR の体験に不快感を感じやすくなる。そこで本研究では、VR 空間上において VR 酔いが顕著となる「移動」に焦点をあて、VR 空間上での体験と自らの予測との間の不整合が生じにくいと考えられる 2 つの UI 構成手法を提案し、UI の違いによる VR 酔いの程度の違いを検証した。具体的には、(1)移動先での自身の位置関係を分かりやすくするために、移動先に自身の幅と高さが同じである半透明の「棒」を表示する方法、(2)移動先の視界をフェードインさせる方法の 2 つについてその効果を検証した。18 人の被験者による評価実験では、ある地点から目的地まで移動するタスクにおいて、Simulator Sickness Questionnaire を用いて VR 酔いの発症度合いの観点からの評価を行った。評価の結果、(1)については VR 酔いを軽減する効果は確認できなかった。(2)については、(2)を適用することで逆に VR 酔いが生じやすくなることが分かった。フェードイン自体の効果は従来の研究で確認されているため、今後さらなる検証が必要である。

**キーワード** VR 酔い, UI, 移動方法

## 1. はじめに

近年、医療やエンターテインメントといった様々な分野で Virtual Reality(VR)の応用が見込まれている。実際、MindMotion<sup>1</sup> ではリハビリテーションに VR が利用されたり Playstation VR<sup>2</sup> という VR ハードウェアは新たなゲーム体験をユーザに提供したりするといった試みがある。また VR では、仮想空間(VR 空間)上を自由に移動できるという特徴がある。一方、VR を体験した後、吐き気やめまいといった症状が現れる場合があり、これは VR 酔いと呼ばれている。酔いの原因は、VR 空間上での体験と自らの予測との間に不整合が生じることで引き起こされる（感覚不一致説[1]）。

例えば、テレポートによる移動方法では、移動前の視界が一瞬に変化して移動後に突然目の前にオブジェクトが現れるという予測できない事態によって VR 酔いが生じることになる。また、コントローラを用いた連続的な移動方法では、VR 空間内の自分は現実で歩く速度とは異なる移動速度で進むため、移動前に予測した移動速度（自分が歩く移動速度）と VR 空間内の自分の移動速度の不一致が生じ、VR 酔いが生じることになる。このように移動時の視界の変化の仕方により移動前の予測と実際の移動の間に不整合が生じ、VR 酔いが生じてしまう。こうした酔いにより使用者は VR の体験に不快感を生じやすくなり、その結果 VR が市場に定着しづらくなるという問題がある。

VR 酔いを対策する主な方針としては、「完全に物理法則的に矛盾のない自然環境と同一の環境を再現し、かつ、人が自然環境でも適応できないような環境を含めないこと」を目指すものと、自然環境を再現するのが難しい場合、「人が適応できる自然環境と同等の VR 環境」の構築を目指すものがある[2]。これらを比較した時、前者は自然環境の再現のために物

理的な制約を伴い実現が難しいことから、主に後者の観点から移動方法について VR 酔いを対策することが求められる。

VR 酔いが少ないとされる方法として、テレポートによる移動[3]がある。テレポートによる移動は、VR 空間上での主要な移動方法の 1 つであり VR 空間上である地点から別のある地点へ一瞬で移動するものである。テレポートによる移動では、プレイヤーは視点が切り替わっただけで自身は動いていないように感じる。VR 空間上の体験と「VR 空間上で移動したとしても実際の位置は変化しない」という現実の体感が似ているため、コントローラによる連続的な移動と比べて VR 酔いが少ない。ただし、テレポートによる移動は物体の位置関係といった空間情報が一瞬で変化するため、突然目の前にオブジェクトが現れるという予測できない事態によって VR 酔いが生じる可能性がある。

VR 空間上での移動による VR 酔いを軽減する手法としては、Daniel ら[4]による Animated Teleport Box(AT)法や Laurenz ら[3]による World-in-miniature(WIM)法が提案されている。AT 法は、テレポートで移動する際の周りの風景をフェードアウト、フェードインにより表現する手法であり、テレポートと同様に酔いを軽減できるものの、移動途中の状況が省略されるために移動後の位置関係を把握することが困難になるという問題を持つ。また、WIM 法ではミニチュアを手元に持ちミニチュア上で移動先を指定するため VR 酔いの発生はないが、細かい移動が難しく、また、VR 特有の没入感等のメリットが失われてしまう。

上記の問題に対して、本稿では、移動後の物体の位置関係が分かりやすくなるようなテレポートを提案する。具体的には、移動の際の UI を工夫することで物体の位置関係を把握できるとともにテレポートによる移動のように細かく移動でき

<sup>1</sup> <https://www.mindmaze.com/mindmotion/>

<sup>2</sup> <https://www.playstation.com/ja-jp/explore/playstation-vr/>

ることを目指す。移動の際の UI では、物体の位置関係を明示することにより空間認識を補助する2手法を提案する。

以下、2節でテレポートによる移動の概要を述べる。3節でVR酔いと移動方法の関係についての関連研究を述べる。次に、4節で提案手法を述べる。そして5節では、評価実験の概要と評価指標を示す。

## 2. テレポートによる移動

テレポートによる移動はコントローラにより移動する場所を指定した後、一瞬でその場所に移るものである。具体的には図2.1のようにプレイヤーが矢印の先の地点に移動する場合、コントローラで矢印の先の地点を指し、コントローラのボタンにより一瞬で→の先の地点に移動する。

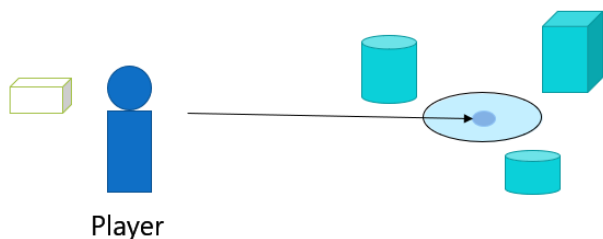


図 2.1 プレイヤーの移動例

## 3. 関連研究

本節ではVR酔いを防止する観点からVR空間上の移動方法を検証する既存研究について説明する。

### 3.1. 移動速度と移動方法の検証

Danielら[4]はプレイヤーが目的地を指定して移動する場合の移動方法について、プレイヤーの快適さとVR酔いの観点から移動速度と移動方法を比較検証した。

移動方法として(1)一瞬で移動するテレポートによる移動方法と(2)目的地に一定速度で真っ直ぐ進む移動方法と(3)Animated Teleport Box(AT)という移動方法が比較されている。ATと呼ばれる移動方法は、Danielらが新たに提案したものであり、目的地を指定した後、足元から現れる箱にプレイヤーが包まれた後に箱が上から下へ取り除かれると、目的地に移動しているというものである。ATの利点として、視点の切り替えが分かりやすいことが挙げられる。箱に包まれることでプレイヤーに視界が変わることをほのめかし、プレイヤーは移動のタイミングを予測しやすくなることができる。

評価においては、仮想環境上に用意されたチェックポイントをすべて通過するというタスクを設定し、移動にかかった時間とプレイヤーのVR体験後の評価を用いている。不快感の観点では、移動速度について瞬時に移動する方法であるテレポートおよびATが最もVR酔いを軽減することが示された。

### 3.2. VR環境の把握がしやすい移動方法の提案

Laurenzら[3]は、VR酔いや方向感覚の欠如という問題に対してWorld-in-miniature(WIM)という移動方法が有効かどうか検証した。コントローラによる移動やVR酔いが少ないとされるテレポートといった従来の移動方法とWIMとを比較した。

WIMでは、プレイヤーは手元にVR環境のミニチュアを持ちプレイヤー自身を表現するアイコンを確認できる第三者視点に切り替えることができる。プレイヤーはこのアイコンを目的の場所に動かすことで自身のVR空間上の位置を変える

ことができる。テレポートによる移動ではプレイヤーの視界内でポインターにより移動先を指定して移動することができる一方、WIMでは第三者視点の視界内で移動することができるためWIMはテレポートによる移動よりも広範囲に移動することができるという利点を持つ。

VR酔いに関するアンケート評価と仮想環境のチェックポイントをすべて通過するタスクにかかった時間を評価した結果、WIMは従来の2つの移動方法(コントローラによる移動、テレポートによる移動)に比べてVR酔いを少なくし、長距離移動においては、第三者視点により障害物を確認し障害物が少ない場所を選択して移動できるため、タスクにかかる時間を最も短くできる移動方法であることが示された。しかし、没入感やゲームプレイ法、リアリズムやスケール感のためには、1人称の視点の移動方法が好まれる場合があることも示されており、WIMの用途は限定される。

### 3.3. まとめ

本節ではVR酔いの観点からVR空間上の移動方法と酔いに関する研究を紹介した。VR空間上の移動について移動方向を分かりやすくするものや物体の位置関係を把握しやすくする(ミニチュア上での移動)といった空間認識を補助するような工夫が提案されている。なお、WIMのようにミニチュアを用意することは、一般的にはコストが大きいことと細かい移動が困難であることから、本論文ではこうしたミニチュアを用いずに移動する方法を検討する。また、DanielらのATによる移動は、移動途中の状況が省略されるため、移動後の物体の位置関係が分かりづらくなり、突然目の前にオブジェクトが現れるという予測できない事態によってVR酔いが生じる可能性があるという問題がある。

## 4. 提案手法

本節では、移動時の視界の変化による、「VR空間上での体験」と「自らの予測」との間の不整合が生じにくい2つのUI構成手法を提案する。移動方法は、細かく移動できるようにテレポートによる移動を採用し、移動前と移動途中のUIに工夫を加えることで、移動後の位置関係の把握が容易になることを目指す。

移動前のUIの工夫について、図4.1のようにプレイヤーが矢印の先の地点に移動する場合を考える。図4.1に示すように、プレイヤーが矢印の先の地点に移動する場合、まず、コントローラによって指定された場所にプレイヤーと同じ幅と高さを持った柱を立てる。これにより移動後のプレイヤーと物体の位置関係の把握を容易にすることで、VR酔いを軽減する。

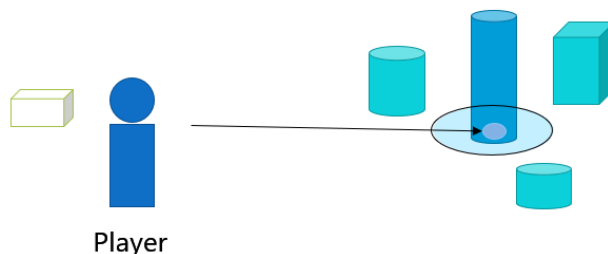


図 4.1 移動前の工夫: 移動後の位置関係の表示

移動途中のUIの工夫については、図4.2に示すように、移動途中に移動後の視界の画像をフェードインさせる。なお、AT法との違いは移動途中に箱を使わず移動後の視界を使う

ことであり、移動後の状況への適応を早め、VR 酔いを軽減することを目指す。

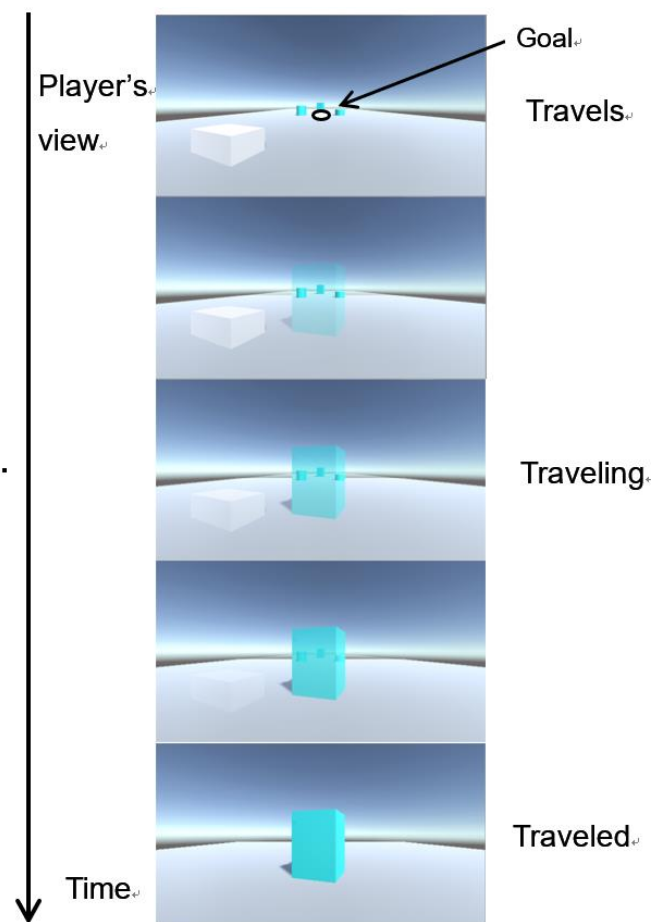


図 4.2 移動途中の工夫：移動後の視界のフェードイン

5. 評価実験

本節では、提案手法に対する評価実験の内容と評価指標について述べる。

5.1. 概要

被験者は回転椅子に座り自由に周囲を見渡せる。被験者はコントローラを持っている状態でテレポートによる移動に対して、以下の4種類のタスクを行うことで評価実験を行う。

- タスク 1：何れの工夫も行わない場合（ベースライン）
- タスク 2：移動前に工夫を行う場合（プレイヤーと同じ幅、高さの柱を立てる）
- タスク 3：移動途中に工夫を行う場合（移動後の視界をフェードインさせる）
- タスク 4：移動前と移動途中に工夫を行う場合（プレイヤーと同じ幅、高さの柱を立てる、かつ、移動後の視界をフェードインさせる）

なお、各タスク共、図 5.1 に示すフィールド（港町）内のすべてのチェックポイントをテレポートによる移動で通過するとした。



図 5.1 実験フィールドの全体図

5.2. 評価指標

VR 酔いの程度の指標として、Kennedy らが提案した Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) Score [5]を用いる。SSQ は VR 酔いの主観評価としてよく用いられる[2]。SSQ[5]では、被験者はシミュレータ酔いに有効だと考えられる 16 個の項目に対して4つの選択肢（なし、わずかに、中程度、激しく）の中から1つ回答する。集計では、回答に応じた得点に、吐き気、眼球運動、見当識障害として 16 個の各項目に与えられた重みをかけ、その項目ごとの集計値を計算したり Total Score という合計値を求めたりすることができる。16 個の各項目についての和訳[6]を表 5.1 に示す。

表 5.1 SSQ の項目の和訳[6]

General Discomfort	一般的な不快感がある
Fatigue	疲労感がある
Headache	頭痛がする
Eyestrain	眼が疲れている
Difficulty Focusing	眼の焦点がぼける
Increased Salivation	唾液が増えている
Sweating	発汗している
Nausea	吐き気がする
Difficulty Concentrating	集中できない
Fullness of Head	頭が重い
Blurred Vision	眼がかすむ
Dizzy(Eyes Open)	（眼を開けた状態で）フラットするようなめまい感がある
Dizzy(Eyes Closed)	（眼を閉じた状態で）フラットするようなめまい感がある
Vertigo	自分や周囲が回転するようなめまいがある
Stomach Awareness	胃の存在感がある
Burping	げっぷがでる

5.3. 評価実験及び考察

被験者 18 人（男性 9 人、女性 9 人）を 4 つのグループ A,B,C,D に分け、各グループでタスクの順番が異なるようにして、評価実験を行った。グループの男女内訳は A のみ男性 3 人、女性 3 人でその他男性 2 人、女性 2 人である。なお、VR 経験者は 9 人である。

まず、グループ間で SSQ スコアに差があるかどうか検証するために、グループ A,B,C,D に対してクラスカル・ウォリス検定を行うと、統計的に有意差があるとは言えず、各グループの組み合わせに対して Mann-Whitney の U 検定を行ったところ統計的に有意差があるとは言えなかった。

次に、各タスクにおける SSQ スコアの分布として、各タスクにおける SSQ スコアの箱ひげ図を図 5.2 に示す。

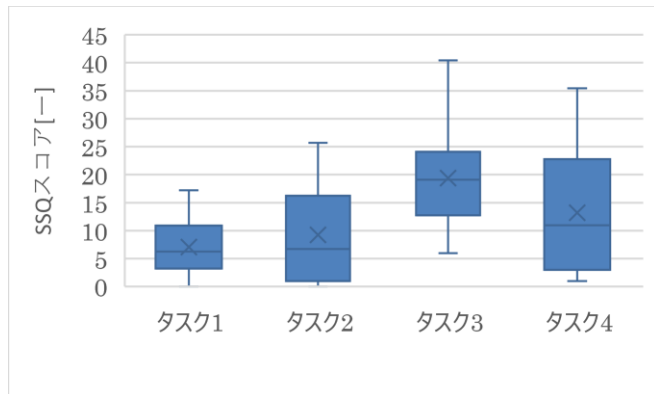


図 5.2 各タスクにおける SSQ スコアの箱ひげ図

表 5.2 各タスクにおける SSQ スコアの平均値と標準偏差

	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4
平均値 [－]	7.09	9.26	19.38	13.20
標準偏差 [－]	4.85	8.37	9.42	9.96

タスク 1,2,3,4 に対してタスク間に差があるかどうか検証するために、タスク 1,2,3,4 に対してクラスカル・ウォリス検定を行うと、

検定統計量  $K = 16.7$ , 有意確率  $p = 0.000819 < \alpha$

となり、1 つ以上のデータ間で有意差がある。つまり、1 つ以上のいずれかのタスクの組み合わせで VR 酔いの程度に差がある。

次に、どのタスクの組み合わせで VR 酔いの程度に差があるかを調べるために、どのデータ間で有意差があるかどうか検証した。多重比較法として、Bonferroni 法を用いて、各データ間で Mann-Whitney の U 検定を行った結果を以下に示す。なお、Bonferroni 法より有意水準は  $\alpha = 0.05/6 = 0.00833$  である。

タスク 1,2 間:

検定統計量  $U = 145.5$ , 有意確率  $p = 0.612 > \alpha$

タスク 1,3 間:

検定統計量  $U = 33.0$ , 有意確率  $p = 4.74 \times 10^{-5} < \alpha$

タスク 1,4 間:

検定統計量  $U = 106.5$ , 有意確率  $p = 0.0813 > \alpha$

タスク 2,3 間:

検定統計量  $U = 69.5$ , 有意確率  $p = 0.00357 < \alpha$

タスク 2,4 間:

検定統計量  $U = 121.0$ , 有意確率  $p = 0.199 > \alpha$

タスク 3,4 間:

検定統計量  $U = 215.0$ , 有意確率  $p = 0.0965 > \alpha$

タスク 1 とタスク 3, タスク 2 とタスク 3 の組み合わせでは SSQ スコアにおいて統計的に有意差があるが、その他の組み合わせでは、SSQ スコアにおいて統計的に有意差はない。

なお、各被験者による SSQ 値の付与のばらつきが評価に影響を与えている可能性を考慮して、2 タスク間においてどちらのタスクで SSQ 値が小さくなっているかを検証した。SSQ スコアの大小と人数の関係を表 5.3 に示す。なお、18 人の被験者において、2 タスク間で同一の SSQ 値を付与した場合は、この表中の人数から除外されている。表 5.3 から分かる通り、表 5.2 の検定結果と同様、タスク 1 とタスク 3, タスク 2 とタスク 3 の間で、タスク 1 の方が VR 酔いが小さいことが確認された。

以上の結果から、移動先に半透明の棒を立てるという手法の VR 酔い軽減への効果は確認できないことがわかった。一方、移動後の視界をフェードインさせる手法は、逆に VR 酔いを誘発することがわかる。なお、AT 法 [4] の提案では、VR 酔いが少ないことが述べられている。AT 法では、フェードインの手法が用いられていることから、フェードインの手法の違いが VR 酔いに影響を与えるのかどうかという点について、今後さらなる検証が必要である。

表 5.3 SSQ スコアが左辺<右辺である人の人数

右 辺 左 辺	タスク 1	タスク 2	タスク 3	タスク 4
タスク 1		10	17	13
タスク 2	5		15	13
タスク 3	1	0		4
タスク 4	5	5	13	

## 6. おわりに

VR では、VR 空間上を自由に移動することができる。しかし、移動方法によっては VR 空間上での体験と自らの予測との間に不整合が生じ、VR 酔いを引き起こす可能性がある。本研究では、VR 空間上での移動に焦点を当て、VR 酔いの軽減を目的として VR 空間上での体験と自らの予測との間の不整合が生じにくい 2 つの UI 構成手法を提案した。具体的には、(1)移動先での自身の位置関係を分かりやすくするために、VR 空間内のプレイヤー自身の幅と高さが同じである半透明の「棒」を移動先に表示する方法、(2)移動先の視界をフェードインさせる方法の 2 つについてその効果を検証した。18 人の被験者による評価実験の結果、(1)については VR 酔いを軽減する効果は確認できなかった。(2)については、(2)を適用することで逆に VR 酔いが生じやすくなることが分かった。フェードイン自体の効果は従来の研究で確認されているため、今後さらなる検証が必要である。

今後の課題としては、今回比較できなかった AT 法と提案

手法とを比較することである。また、SSQ 中の吐き気、眼球運動、見当識障害の 3 項目から移動後の視界をフェードインさせる UI 構成を、UI を工夫しない場合や移動前に VR 空間内のプレイヤーと同じ大きさの半透明の柱を移動予定地点に立てる場合と比較して分析することである。

## 参 考 文 献

- [1] J. J. LaViola, "A discussion of cybersickness in virtual environments," *SIGCHI Bulletin*, vol. 32, no. 1, pp. 47-56, January 2000.
- [2] 田中信壽, "VR 酔い対策の設計に求められる知見の現状," *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, vol. 10, no. 1, pp. 129-138, 2005.
- [3] L. Bergerand , K. Wolf, "WIM: Fast Locomotion in Virtual Reality with Spatial Orientation Gain & without Motion Sickness," *In Proceedings of the 17th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, p. 19-24, 2018.
- [4] D. Medeiros, E. Cordeiro, D. Mendes, M. Sousa, A. Raposo and J. Jorge, "Effects of Speed and Transitions on Target-based Travel Techniques," *In Proceedings of the 22Nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology (VRST'16)*, pp. 327-328, 2016.
- [5] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum and M. G. Lilienthal, "SimulatorSickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness," *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 3, no. 3, pp. 203-220, 1993.
- [6] 氏家弘裕, "知っておきたいキーワード 映像酔い," *映像情報メディア学会誌*, vol. 61, no. 8, pp. 1122-1124, 2007.