

# VR 車椅子シミュレーションにおける 直線距離を伸ばすためのリダイレクション

杉本 隆星<sup>1</sup> 齊藤 孝樹<sup>1</sup> 藤本 悠作<sup>2</sup> 滝本 涼太<sup>2</sup> 呉 健朗<sup>2</sup> 宮田 章裕<sup>2,a)</sup>

**概要：**現実空間における移動を伴うバーチャルリアリティ（VR）アプリケーションでは、ユーザに気付かれないように現実空間のユーザの移動経路を操作することで、物理空間よりも大きな VR 空間を歩行体験させることを可能にする Redirected walking という手法がある。車椅子に乗車して行う乗車型 VR シミュレーションでも同様の取り組みが行われているが、ユーザに気付かれないように、VR 空間中で直進し続けながら現実空間では 90 度以上曲げるようなリダイレクションは困難であった。そこで本研究では、VR 車椅子シミュレーションにおいて、現実空間で電動車椅子が急カーブを曲がるタイミングで、VR 空間中に横断勾配がある道を直進するシーンを HMD に提示するという、直進し続けるためのリダイレクション手法を提案する。22 名の実験参加者に対する検証の結果、提案手法は臨場感が高く、違和感が少ないリダイレクションを実現できる可能性が確認できた。

## 1. はじめに

現実空間における移動を伴うバーチャルリアリティ（VR）アプリケーションにおいて、現実空間のスペースの制約を克服しようとする取り組みは古くから行われてきた。中でも、Redirected walking [1] はもっとも典型的な手法である。これは、ユーザに気付かれない程度に VR 空間を回転させることで、現実空間におけるユーザの歩行方向を変更させ、物理空間よりも大きな VR 空間を体験させることを可能にする手法である。車椅子に乗って VR 空間を移動するシミュレータにおいても、同様の取り組みが行われている [2]。しかし、基本的にはユーザに気付かれない程度に VR 空間を回転させるアプローチであるため、たとえば VR 空間中で直進し続けながら現実空間では 90 度以上曲がるといったように、VR・現実の両空間でユーザの動きを大幅に変えることは困難である。

この問題を部分的に解決することを狙い、我々は、乗車型 VR シミュレーションにおいて直進し続けるためのリダイレクション手法を提案する。具体的には、図 1 に示すように、自動制御された電動車椅子と Head-mounted display (HMD) を用いる VR 車椅子シミュレーションにおいて、現実空間で急カーブを曲がるタイミングで、VR 空間中に横方向の勾配がある道を直進するシーンを提示することで、急カーブによって生じる遠心力に起因する違和感の低

減を狙う。これにより、物理的制約の都合で現実空間では曲がらなければいけない場合も、VR 空間では不必要に曲がらずに直進し続けることができ、シミュレーションコースの自由度を高める効果が期待できる。

本稿では、上述の手法をプロトタイピングし、シミュレーションの臨場感・違和感の観点から基礎的知見を得ることを目的とする。

## 2. 関連研究

かつては、現実空間中の移動がバーチャル空間中の移動に反映されるタイプの没入型 VR では、VR 空間と同じ広さの現実空間が必要であった。Razzaque ら [1] は、この問題を解決するために Redirected walking (RDW) を提案した。RDW では、VR 空間をユーザに気付かれない程度に少しずつ回転させることで、現実空間に障害物がない方向にユーザを移動させることができる。この原理により、VR 空間の再現に必要な現実空間のスペースを削減できる。

RDW は現実空間で歩行を行う没入型 VR では重要な技術であり、ベーシックな RDW を発展させる形で、ユーザの移動経路を曲げる手法、歩行速度を調整する方法、歩行の回転を補正する方法などが検討されてきた [3] [4]。Steinicke ら [5] は、現実空間と VR 空間の間で方向転換の角度や移動距離を異ならせた場合、ユーザがその違いを認識できる範囲を究明した。Bolling ら [6] は、ユーザが長時間 VR 体験を続けると脳が VR 空間に適応することに着目し、現実空間と VR 空間の方向転換の角度を時間経過とともに大

<sup>1</sup> 日本大学大学院 総合基礎科学研究科

<sup>2</sup> 日本大学 文理学部

<sup>a)</sup> miyata.akihiro@acm.org

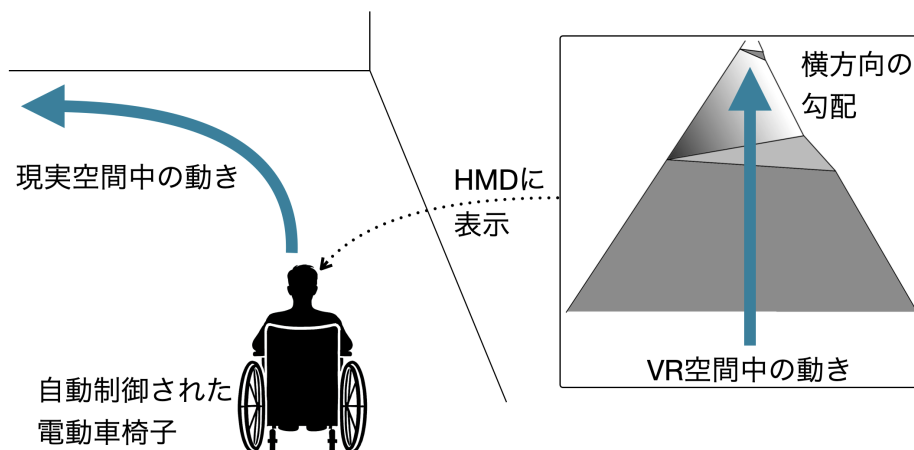


図 1: 提案手法のコンセプト

きくする試みを行った。Thomas ら [7] は、ユーザを現実空間の障害物から遠ざける反発力と、ユーザを VR 空間のゴールに引き寄せる引力を組み合わせたモデルを提案し、障害物が多い物理空間でも長距離の VR 歩行体験ができる可能性を示した。

このような VR 空間内の微小な刺激によって現実空間のユーザの移動方向などを制御するテクニック（リダイレクション）は、歩行以外のコンテキストにも適用されてきた。特に目立つのが、車椅子を用いた VR シミュレーションへのリダイレクションの適用である。Bruder ら [2] は、ユーザが VR 空間内を長距離移動する場合は、歩行だけでなく何らかの車両に乗る必要性を主張し、電動車椅子にもリダイレクションが適用できるか検証を行った。歩行時と車椅子利用時のそれぞれに適したリダイレクションパラメータを究明したことで、彼らは両方の移動手段を円滑に組み合わせた VR 体験の可能性を示せたといえよう。Fiore ら [8] [9] は、VR 空間の回転に加え、電動車椅子のステアリングも制御することで、リダイレクション時に生じる違和感の低減を目指した。Motooka ら [10] は、現実空間における電動車椅子の速度を、VR 空間中の移動速度よりもわずかに遅くすることで、相対的に長い距離の直線移動シミュレーションを実現した。ここまでの事例は電動車椅子にフォーカスしているが、Sassi ら [11] は、HMD 上に提示する VR 空間の回転を制御することで、自走式車椅子に対してもリダイレクションが有効であることを示した。

### 3. 研究課題

乗車型 VR シミュレーションにおける現実空間の直線距離の制約を克服するため、従来のリダイレクション手法は、ユーザに気づかれない程度に VR 空間を回転させることで、現実空間のユーザの移動経路を変更させていた。そのため、VR・現実の両空間でユーザの動きを大幅に変えることは困難であった。本研究では、この問題の部分的な

解決を狙い、VR 空間中で直進し続けながら現実空間では大きく曲がらなければならない状況において、ユーザが感じる違和感を低減する手法の確立を研究課題とする。

### 4. 提案手法

没入型 VR 空間で直進中に現実空間で車椅子がカーブして方向転換してしまうと、ユーザの視覚情報と、ユーザが感じる遠心力との間に不整合が生じる。そこで我々は、現実空間における方向転換時に、VR 空間の直進路に横断勾配を導入する手法を提案する。具体的には、プログラム制御された電動車椅子が左（右）方向の急カーブを曲がるタイミングで、VR 空間中では右方向（左方向）に傾く横断勾配を提示する。これにより、右方向（左方向）に発生する遠心力と視覚情報の整合性がとれ、ユーザが感じる違和感の低減が期待できる。

なお、この手法の実現のために、先行研究 [12] [13] の車椅子シミュレータを利用する。この車椅子シミュレータは、HMD を用いた視覚フィードバックと、プログラム制御された電動車椅子を用いた前庭感覚へのフィードバックを組み合わせることで、進行方向の傾斜や進行方向に直行する傾斜（横断勾配）を通過する感覚を提示できる。

### 5. 実装

本研究で用いる車椅子シミュレータの実装方法は先行研究と同様であるが、本稿の理解に必要な最低限の情報を説明する。より詳細は文献 [12] [13] を参照されたい。

車椅子シミュレータの外観を図 2 に示す。本研究の車椅子シミュレータは、シングルボードコンピュータ（single-board computer, 以降 SBC）、密閉型 HMD（Meta Quest 2）、電動車椅子（WHILL Model CR）からなる。

#### 5.1 SBC の役割

HMD と SBC は無線で Websocket 通信を行っており、



図 2: シミュレータの外観

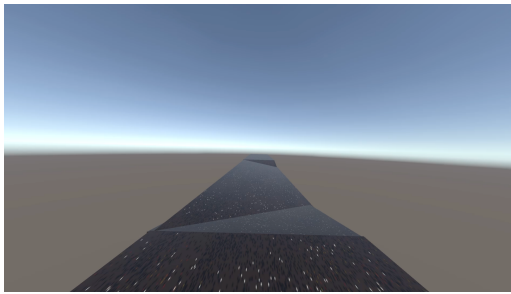


図 3: VR 空間で平地直進路を通過中の HMD 映像

SBC と電動車椅子は有線でシリアル通信を行っている。HMD は映像再生と同時にシミュレーション開始信号を SBC に送信し、それを受け取った SBC が電動車椅子の動作を制御することでシミュレーションを行う。

## 5.2 HMD 上の映像

HMD 上には、Unity を用いて VR 空間中に作成された横断勾配の直進路を走行する一人称視点の映像を流す。HMD 上に流す VR 空間のシミュレーションコースの一部を図 3 に示す。今回は、平地の直進と右方向（左方向）の横断勾配の直進が VR 空間にて交互に繰り返される実装を行った。VR 空間で横断勾配を走行するとき、視点は道の傾斜に合わせて傾く（図 4）。VR 空間のシミュレーションコースは Unity を用いて作成しているため、VR 空間におけるコースの長さ、横断勾配の角度の大きさ、そして車椅子の走行速度を自由に設定できる。

## 5.3 電動車椅子の挙動

電動車椅子は、HMD 上の映像に合わせて直線運動か円

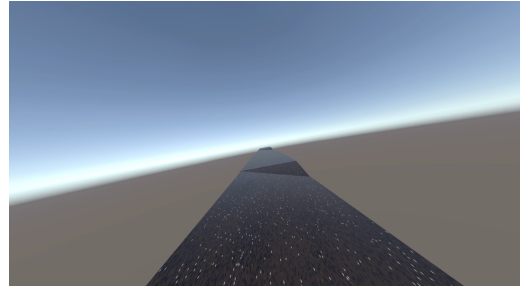


図 4: VR 空間で横断勾配直進路を通過中の HMD 映像

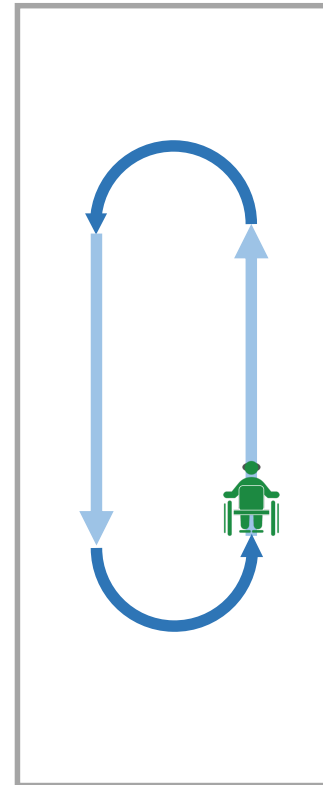


図 5: 現実空間の電動車椅子の軌跡

運動を行う。具体的には、HMD 上で平地を走行している映像が流れている間は、電動車椅子は直線運動を行う。一方で、HMD 上で横断勾配の直進路を走行している映像が流れている間は、電動車椅子は円運動を行う。これらの電動車椅子の動きを決定するパラメータ（走行速度・回転半径）は規定の範囲で任意に設定できる。VR 空間中で平地・右方向の横断勾配が繰り返される場合の、現実空間における電動車椅子の軌跡を図 5 に示す。VR 空間中の横断勾配が左方向である場合は、現実空間における軌跡は逆方向となる。

## 6. 検証実験

### 6.1 実験目的

本実験の目的は、VR 空間で直進中に現実空間で大きな方向転換を行う際、VR 空間中に横断勾配がある道を提示することで、ユーザが感じる違和感を低減できるか否か検



図 6: 実験環境

証することである。

## 6.2 実験参加者・実験環境

本実験の実験参加者は、20 代の学生 22 名 (男性 18 名, 女性 4 名) であり, 全員健康常歩行者である。実験参加者には, 参加が任意であること, いつでも不利益なく参加を辞退できること, この実験参加には金銭的な報酬がないことを説明した。本実験は, 安全確保のために部外者が一切入れないようにした約 10m × 4m の広さの部屋で行った (図 6)。床は平坦であり, 毛足の短いカーペットが敷いてあった。本実験は, これらの条件に基づき日本大学文理学部倫理委員会の許可のもと行われた。

## 6.3 実験条件

本実験は, 被験者内計画で行った。制御変数, 独立変数は次のとおりである。

### 6.3.1 制御変数

**再現する横断勾配の角度** 本実験で再現する横断勾配の角度の大きさを決めるために, 事前に東京都内の横断勾配のある道を 13 箇所調査したところ, 勾配角度の平均は約 3.5° であった。この調査に基づき, 本実験での VR 空間中の横断勾配の勾配角度は 3.5° とした。

**VR 空間中の電動車椅子の走行距離** シミュレーション時の VR 空間中のコースの走行距離は, 実験環境の広さの制約から 18m とした。具体的には, コースの最初と途中に 2 回ずつ出現する平地と横断勾配は 4m, 最後に出現する平地は 2m とした (図 7)。

**VR 空間中の電動車椅子の走行速度** HMD 上に流れる VR 空間中における電動車椅子の走行速度は, 先行研究 [13] のものと同じ 0.80m/s とした。

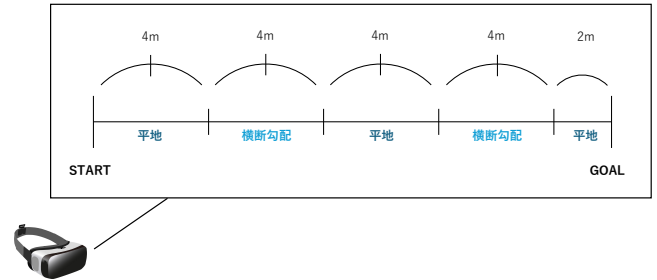


図 7: VR 空間のシミュレーションコースの内訳

表 1: 実験条件の一覧

| 実験条件 | 現実空間の<br>電動車椅子の円運動 | VR 空間の<br>シミュレーションコース |
|------|--------------------|-----------------------|
| C1   | 左回り                | 平地のみ                  |
| C2   |                    | 平地+横断勾配 (右傾斜)         |
| C3   | 右回り                | 平地のみ                  |
| C4   |                    | 平地+横断勾配 (左傾斜)         |

### 6.3.2 独立変数

**VR 空間映像** 平らな直進路を提示する映像と, 横断勾配がある直進路を提示する映像の 2 種類を用意した。

**現実空間中の電動車椅子の走行速度** VR 空間中の走行速度と同じ 0.80m/s とした。

**現実空間中の電動車椅子の回転半径** 1.07m (詳細は後述) とした。

実空間中の電動車椅子の回転半径について説明する。走行速度 (0.80m/s) で円運動を行った際に遠心力によって生じる身体の横方向の加速度と, 再現する横断勾配の角度 (3.5°) だけ横方向に傾いた道を実際に通過するとき身体に横方向にかかる重力加速度の影響の理論値が等しくなるように標準半径を決定した。具体的には, 物理法則により回転半径が 1.07m の場合に上記条件が満たされる。HMD 上の映像と現実空間の電動車椅子による円運動の回転方向は, シミュレーションを行う横断勾配の傾斜の方向\*1 (左傾斜, 右傾斜) に合わせて 2 種類用意した。これらに基づいて, 表 1 のように 4 個の実験条件を設計した。以降, 条件 C1・C3 を用いる手法をベースライン手法, 条件 C2・C4 を用いる手法を提案手法と呼ぶ。

## 6.4 評価指標

本実験では, リダイレクション時に実験参加者が違和感を感じた程度を, Precence Questionnaire [14] (以降, PQ) と Simulator Sickness Questionnaire [15] (以降, SSQ) で測定する。PQ は表 2 の質問を用いてシミュレーションの臨場感を評価するものであり, 実験参加者は 7 段階のリッカート尺度で回答する。以降, PQ への回答 (自由記述による回答理由を含む) を求めるアンケートを実験後アンケート

\*1 本実験では傾斜の方向が実験結果に及ぼす効果を直接検証しないため, 傾斜の方向は独立変数に含めていない。

ト1と称する。SSQは表3の質問により、吐き気、眼精疲労、めまいの程度を評価するものであり、実験参加者は実験参加者は0, 1, 2, 3の4段階のスコアで回答する。回答されたスコアの合計値がVR酔いの程度を表す総合スコアとなる。以降、SSQへの回答（自由記述による回答理由を含む）を求めるアンケートを実験後アンケート2と称する。

## 6.5 実験手順

本実験は次の手順で行った。

**Step 1:** 実験参加者は、実験者の監督のもと電動車椅子に乗って実際に横断勾配を走行し、そのときの感覚を覚える。

**Step 2:** 実験者が表1の各実験条件からラテン方格法に従って選んだ1条件のシミュレーションを、実験参加者は2回続けて体験する。

**Step 3:** 実験者は、シミュレーション終了後に実験参加者が電動車椅子の軌跡を停止地点の位置から推測できないように、HMDを外す前に電動車椅子をシミュレーション開始地点まで戻す。

**Step 4:** 実験参加者は、2種類のアンケート（表2, 表3）に回答する。

**Step 5:** 全ての実験条件のシミュレーションが終了するまでStep2~4を繰り返す。

## 6.6 実験結果

実験後アンケート1におけるQ1~Q10の回答分布を図8に示す。提案手法（C2・C4）では、70%以上の実験参加者が全ての質問に対して5以上の回答をした。現実空間の電動車椅子の円運動回転が同じ実験条件グループ（すなわち、C1-C2間、C3-C4間）でWilcoxonの符合順位検定を行った結果、Q1~Q10にてC1-C2間で5%水準の有意差が認められた\*2。さらに、Q1~Q6, Q10にてC3-C4間で5%水準の有意差が認められた。

実験後アンケート2におけるQ1~Q16の回答分布を図9に示す。C1~C4の中央値はそれぞれ、4.0, 3.5, 5.0, 3.0であった。現実空間の電動車椅子の円運動回転が同じ実験条件グループ（すなわち、C1-C2間、C3-C4間）でt検定を行った結果、C1-C2間でのみ有意差が認められた。

## 6.7 考察

まず、臨場感の観点から考察したい。上述のとおり、実験後アンケート1で実施したPQ測定結果（図8）では、すべての質問項目において5以上の肯定的な回答数は提案手法（C2・C4）の方が多く、ほとんどの項目で有意差も認められた。特に、Q3（VR環境での体験は現実世界での体験とどの程度一致していると感じましたか）に対する5以

上の回答は、ベースライン手法のC1・C3とともに18%であるのに対し、提案手法のC2で86%, C4で91%であったことから、提案手法が現実世界における経験と整合する効果を提供できていたと考えられる。これらのことから、現実空間で車椅子を急カーブさせる状況において、VR空間で平坦な直進路を提示し続けるよりも、横断勾配がある直進路を提示した方が臨場感が高まると判断できる。

一方で、Q7~Q9についてはC3-C4間のみ有意差が認められなかった。Q7・Q8は使用したデバイスの品質に関する質問であり、ここに有意差が認められなかったことは提案手法の価値判断にあまり影響しないと考えている。ただし、Q9（VR環境の体験中にタスクや環境に完全に集中していると感じた瞬間はありましたか?）にて、C1-C2間（左回り）で有意差があり、C3-C4間（右回り）で有意差がなかったことは議論の余地がある。この違いは偶然生じたものかもしれないが、使用した電動車椅子や環境の特性に起因する可能性も否定はできない。つまり、何らかの物理的要因により、実験システムが左回りに動くときと右回りに動くときに、回転方向以外の物理的な差異が生じた可能性はないとは言い切れない。あるいは、没入型VR空間において、ユーザの集中度が回転方向によって変わるのであれば大変興味深い現象であるが、残念ながら今回の実験はその可能性を十分に議論する材料を提供できず、実験の主目的からも若干外れてしまう。この現象については、今後究明することとしたい。

VR酔いの観点からは条件間で特筆すべき差はなかった。実験後アンケート2で実施したSSQ測定結果（図9）では、C1-C2間のみで有意差が認められたものの、そもそも全条件においてSSQのスコアの中央値が4~5程度と、無視できるくらいの軽微なVR酔い[16]しか生じていなかった。ただし、車椅子の速度や回転角度をより大きくした場合、条件間でより大きな差が生じる可能性は排除できない。

## 7. 制約・今後の課題

本研究にはいくつか制約がある。1点目は、今回の検証は特定角度（3.5°）の横断勾配のみを対象としている点である。今後は、他の角度の横断勾配で検証を行ったとき、同等の結果となるか検証する。2点目は、シミュレーション時の現実空間の電動車椅子の曲がり方が1パターンという点である。今後は、電動車椅子の曲がり方について様々なパターンを用意し検証する必要がある。3点目は、シミュレーションにおける移動速度である。今回の検証は、先行研究[13]に従い、VR・現実の両空間で車椅子の走行速度を0.80m/sと設定した。速度が小さすぎる場合、現実空間にて当該速度で円運動を行っても十分な遠心力を生じさせられず、ユーザに高い臨場感を与えられない可能性がある。今後は、シミュレーションにおいて、ユーザが違和感を感じない速度の下限値を調べたい。4点目は、実験参加者の

\*2 本実験では、円運動方向が同じ2条件間の比較のみを行うので、多重検定の問題は生じない。以降も同様である。

表 2: 臨場感を計測するための質問一覧

| 質問内容                                                       | 回答方法                   |
|------------------------------------------------------------|------------------------|
| Q1. VR 環境の視覚的な側面はどの程度あなたを VR 環境に引き込みましたか？                  | 1：引き込まれなかった ～ 7：引き込まれた |
| Q2. VR 環境内の移動を制御する仕組みはどの程度自然でしたか？                          | 1：自然でない ～ 7：自然である      |
| Q3. VR 環境での体験は現実世界での体験とどの程度一致していると感じましたか？                  | 1：一致していない ～ 7：一致している   |
| Q4. VR 環境内を移動する感覚はどの程度魅力的でしたか？                             | 1：魅力的でない ～ 7：魅力的である    |
| Q5. VR 環境の体験にどの程度没頭できましたか？                                 | 1：没頭できない ～ 7：没頭できた     |
| Q6. VR 環境での体験にどのくらい早く慣れましたか？                               | 1：慣れなかった ～ 7：すぐに慣れた    |
| Q7. 視覚ディスプレイの質は与えられたタスクや必要な行動を行う上でどの程度邪魔になったり気を散らせたりしましたか？ | 1：邪魔である ～ 7：邪魔でない      |
| Q8. 制御装置は割り当てられたタスクの遂行や他の活動の妨げになりましたか？                     | 1：妨げになった ～ 7：妨げにならなかった |
| Q9. VR 環境の体験中にタスクや環境に完全に集中していると感じた瞬間はありましたか？               | 1：全くそう思わない ～ 7：とてもそう思う |
| Q10. VR 環境での各感覚（視覚、聴覚、触覚など）から感じられる情報に整合性はありましたか？           | 1：全くそう思わない ～ 7：とてもそう思う |

表 3: VR 酔いを計測するための質問一覧

| 質問内容                    | 吐き気 | 眼精疲労 | めまい | 回答方法    |
|-------------------------|-----|------|-----|---------|
| Q1. 全体的な不快感             | ✓   | ✓    |     | 0：なし、   |
| Q2. 疲労感                 |     | ✓    |     | 1：少しある、 |
| Q3. 頭痛                  |     | ✓    |     | 2：ある、   |
| Q4. 目の疲れ                |     | ✓    |     | 3：大いにある |
| Q5. 目の焦点が合わない           |     | ✓    | ✓   |         |
| Q6. 唾液が増加している           | ✓   |      |     |         |
| Q7. 汗をかいている             | ✓   |      |     |         |
| Q8. 吐き気                 | ✓   |      | ✓   |         |
| Q9. 集中できない              | ✓   | ✓    |     |         |
| Q10. 頭が重い               |     |      | ✓   |         |
| Q11. 視界がぼやける            |     | ✓    | ✓   |         |
| Q12. 目を開けた状態でふらふらする     |     |      | ✓   |         |
| Q13. 目を閉じた状態でふらふらする     |     |      | ✓   |         |
| Q14. （回転するように感じる）めまいがする |     |      | ✓   |         |
| Q15. 胃の不快感              | ✓   |      |     |         |
| Q16. げっぷが出る感覚がある        | ✓   |      |     |         |

属性である。今回の検証は、全員 20 代の健常者を対象に行った。今後は、高齢者や車椅子を日常的に利用する方を対象に検証を行い、今回の検証結果が普遍的なものであるかどうか確かめる必要がある。5 点目は、リダイレクションに関する評価の網羅性である。例えば、リダイレクションが行われたことに実験参加者が気付いたか否かなど、今後明らかにすべき点が残っている。

## 8. おわりに

本稿では、乗車型 VR シミュレーションにおいて、VR 空間で直進中に現実空間で大きな方向転換を行う際、VR 空間中に横断勾配がある道を提示することで、ユーザが感じる違和感を低減できるか否か検証した。22 名の実験参加者に対する検証の結果、提案手法は臨場感が高く、違和感が少ないリダイレクションを実現できる可能性が確認できた。今後は、より多様な条件で、提案手法の普遍性を検証する必要がある。

## 参考文献

- [1] Razzaque, S., Kohn, Z. and Whitton, M. C.: Redirected Walking, *Eurographics Association*, Vol. 9, pp. 105–106 (2001).
- [2] Bruder, G., Interrante, V., Phillips, L. and Steinicke, F.: Redirecting Walking and Driving for Natural Navigation in Immersive Virtual Environments, *IEEE Trans. Visu-*

- alization and Computer Graphics*, Vol. 18, No. 4, pp. 538–545 (2012).
- [3] Suma, E. A., Bruder, G., Steinicke, F., Krum, D. M. and Bolas, M.: A Taxonomy for Deploying Redirection Techniques in Immersive Virtual Environments, *Proc. 2012 IEEE Virtual Reality Workshops (VRW '12)*, pp. 43–46 (2012).
- [4] Fan, L., Li, H. and Shi, M.: Redirected Walking for Exploring Immersive Virtual Spaces With HMD: A Comprehensive Review and Recent Advances, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol. 29, No. 10, pp. 4104–4123 (2022).
- [5] Steinicke, F., Bruder, G., Jerald, J., Frenz, H. and Lappe, M.: Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, Vol. 16, No. 1, pp. 17–27 (2010).
- [6] Bolling, L., Stein, N., Steinicke, F. and Lappe, M.: Shrinking Circles: Adaptation to Increased Curvature Gain in Redirected Walking, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics (TVCG '19)*, Vol. 25, No. 5, pp. 2032–2039 (2019).
- [7] Thomas, J. and Rosenberg, E. S.: A General Reactive Algorithm for Redirected Walking using Artificial Potential Functions, *Proc. 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR '19)*, pp. 56–62 (2019).
- [8] Fiore, L. P., Phillips, L., Bruder, G., Interrante, V. and Steinicke, F.: Redirected Steering for Virtual Self-Motion Control with a Motorized Electric Wheelchair, *Proc. Joint Virtual Reality Conference of ICAT - EGVE - EuroVR*, pp. 45–48 (2012).

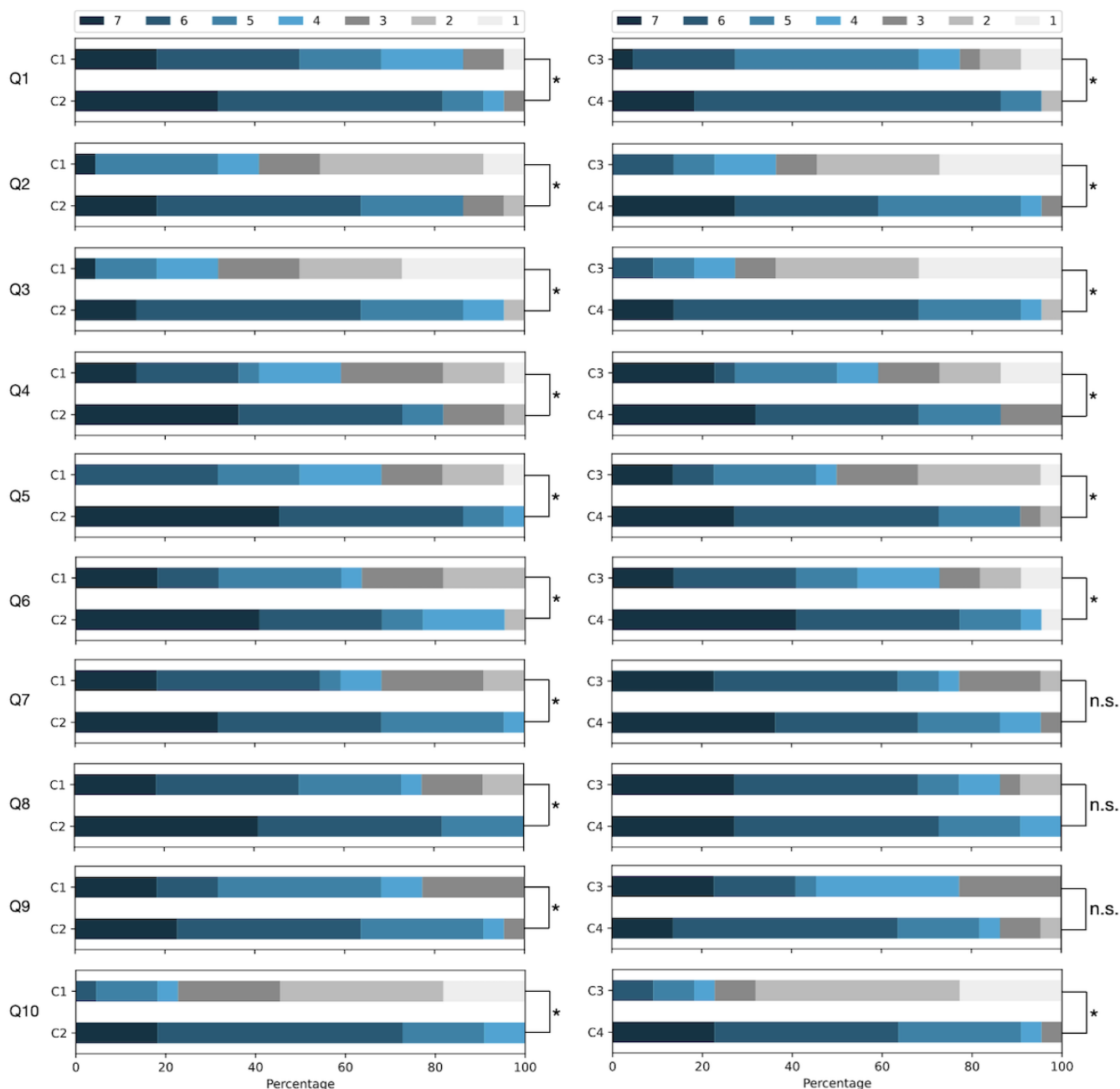


図 8: Presense Questionnaire の回答分布 (N=22)

- [9] Fiore, L. P., Coben, E., Merritt, S., Liu, P. and Interante, V.: Towards Enabling More Effective Locomotion in VR Using a Wheelchair-based Motion Platform, *Proc. the 5th Joint Virtual Reality Conference (JVRC '13)*, pp. 83–90 (2013).
- [10] Motooka, K., Okawara, T., Yamato, Y. and Miyata, A.: Real-world Distance Reduction in a Virtual Reality-based Wheelchair Simulation on Flat Surfaces, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 12769, pp. 438–448 (2021).
- [11] Sassi, V. F. P., Porcino, T., Clua, E. W. G. and Trevisan, D. G.: Redefining Redirected Movement for Wheelchair Based Interaction for Virtual Reality, *2023 IEEE 11th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH' 23)*, pp. 1–8 (2023).
- [12] 杉本隆星, 大河原巧, 板床海斗, 落合慶広, 宮田章裕: Vection 誘発映像と電動車椅子の円運動を組み合わせた横断勾配シミュレータの検証, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 28, No. 1, pp. 35–42 (2023).
- [13] Miyata, A., Motooka, K. and Go, K.: A Wheelchair Simulator Using Limited-Motion Patterns and Vection-Inducing Movies, *Proc. 31st Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI '19)*, pp. 508–512 (2019).
- [14] Witmer, B. G., Jerome, C. J. and Singer, M. J.: The Factor Structure of the Presence Questionnaire, *Presence*,.
- [15] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. and Lilienthal, M. G.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 3, No. 4, pp. 203–220 (1993).
- [16] Stanney, K. M., Kennedy, R. S. and Drexler, J. M.:

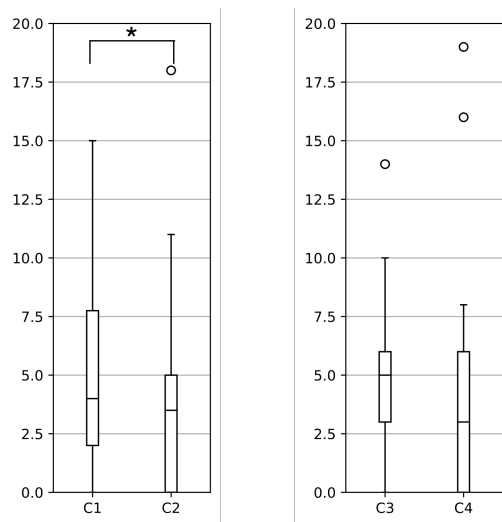


図 9: Simulator Sickness Questionnaire の回答分布 (N=22)

Cybersickness is Not Simulator Sickness, *Proc. the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 41, No. 2, pp. 1138–1142 (1997).