

令和 6 年 5 月 15 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12785

研究課題名（和文）VRを利用したバリアフリー検証用車椅子シミュレータの開発

研究課題名（英文）Development of a wheelchair simulator for barrier-free verification using VR

研究代表者

山田 宏尚（Yamada, Hironao）

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：80240034

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、前庭感覚提示、車椅子のホイールの力覚提示およびキャスター上下機構を有する車椅子シミュレータを用いて高い没入感と現実空間の模擬機能を有する実用性の高いシミュレータの開発を目的とする。そのために、まず車椅子の位置を視覚により提示するための数学モデルを構築し、その妥当性を検証した。また、VR酔いがより強く発生しやすい状況においてVR酔いを軽減できる各種手法を提案した。そして、本手法を実装したシミュレータを用いた評価実験により、その有効性と相互作用を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本シミュレータを用いて、揺動感覚、力感覚および映像提示により得られる人の感覚認知機能と実際の車椅子操作における感覚との心理物理実験による比較検証を行い、VRシステムとして必要となる感覚提示手法について明らかにした。また、VR酔いを低減しつつ現実空間を良好に模擬できる手法について実験により検証した。加えて、手動車椅子シミュレータに対して、力学モデルおよび心理物理実験の側面から評価した。本研究の成果は、構想段階の施設等の車椅子利用時の利便性を事前に評価できる実用的なシミュレータを開発し、車椅子利用者の社会進出を支援できる評価システムの確立に役立つものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a highly practical simulator with high immersive and realistic functions by using a wheelchair simulator with vestibular sensation presentation, wheelchair wheel force perception presentation, and a caster up/down mechanism. To this end, we first developed a mathematical model for visually presenting the position of the wheelchair, and verified its validity. We also proposed various methods to reduce VR sickness in situations where VR sickness tends to occur more strongly. The effectiveness and interaction effects of these methods were verified through evaluation experiments using a simulator that implements the methods.

研究分野：人間支援工学

キーワード：バーチャルリアリティ 車椅子 シミュレータ VR酔い

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

車椅子利用者のためのバリアフリー住宅を設計する際には、健常者の住宅設計に比べ間取りや家具の配置などについて慎重な評価・検討を行う必要がある。VR技術を用いたシミュレータを用いて構想段階の施設等の利便性を評価できれば有用である。バーチャルリアリティを利用した車椅子シミュレータの構築に際しては、1) 前庭感覚提示、2) 力覚・触覚提示、3) 視覚提示がシミュレータ使用者にどのような影響を及ぼすのかを総合的に検証する必要がある、それらを連携させたVR提示システムの構築が必要となる。また、単に車椅子利用によるリアリティを追求するだけでなく、実質的に現実空間での利用の可否をVRシミュレータで判断するための実用性が重要となり、その意味でVR酔いへの対策も必要となる。

### 2. 研究の目的

本研究で使用する車椅子シミュレータは油圧6軸モーションベースを用いた前庭感覚提示、車椅子のホイールの力覚提示およびキャスター上下機構を有する。また、リアリティの高い3DCG表示が可能なヘッドマウントディスプレイ(以下HMD)と操作者の手の位置をVRにリンクさせるためのグローブ型コントローラを用いて、従来研究よりも高い没入感と現実空間の模擬機能を有する実用性の高いシミュレータの開発を目的とする。VRシミュレータでしばしば問題となるVR酔いはシミュレータの実用上の大きな研究課題となっている。車椅子の傾斜角度の認知誤差と、実空間における傾斜角度の認知誤差との比較に基づき、本システムが視覚情報以外の感覚に起因する車椅子の傾斜感覚を現実に近いかたちで操作者に伝えるための方策、ならびに感覚提示に必要となるシミュレータ制御のための数学モデルを導出する。

さらに、VR酔い低減に関する車椅子シミュレータの必要なデータを取得する。VR酔いは、視覚刺激で誘発される酔い(視覚誘導性動揺病)の1つである。VRでは、使用者の身体が実際に移動しなくても、HMDの視覚刺激によって、VR空間内をまるで自分が移動するような感覚(ベクシオン)が得られ、このベクシオンが体性感覚との齟齬を引き起こし、酔いの原因になる。そこで、周辺視野等に特殊な映像加工を施すことで、リアリティを維持しつつ移動時のベクシオン発生による感覚の不一致を抑制する手法について検討を行う。そして、本実験によって得られたデータを用いることで、構想段階の施設等の車椅子利用時の利便性を事前に評価できる実用的なシミュレータを開発し、車椅子利用者の社会進出を支援できる評価システムの確立を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究で利用した車椅子シミュレータのシステム概要をFig. 1に示す。本シミュレータは、仮想空間提示部、揺動感覚提示部、力覚提示部の3つから構成されている。仮想空間提示部では、HMDを用いてコンピュータで作成した仮想空間の提示を行う。傾斜感覚提示部では、6軸揺動装置を用いて坂道走行時の角度変化を再現する。力覚提示部では、ハンドリムに加えた力に応じてサーボモータを速度制御することで、車椅子操作時の力覚を提示する。

本研究ではシステムの数学モデルを導出し、その妥当性の検証した後、シミュレータで発生するVR酔いの抑制を行うために、(1)垂直に交わる直線を用いて操作者の視野内に格子状のオブジェクトを固定された基準として配置する固定格子配置手法および、(2)周辺視野を黒色の半透明な板状のオブジェクトで覆い輝度を抑制する輝度抑制手法を提案した。そして、2種類の格子と半透明板を組み合わせて適用するシステムを構築した。Fig. 2に本手法を適用しない場合と本手法を適用した場合の計4パターンの映像を示す。

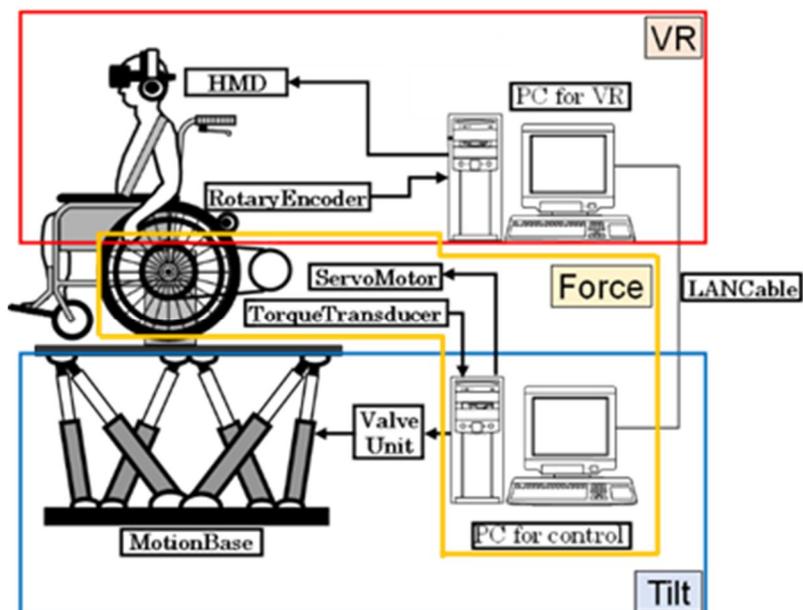


Fig. 1 Wheelchair simulator

#### 4. 研究成果

本研究では被験者の協力のもと、横断勾配走行、縦断勾配走行、及び八の字走行時の頭部のロール、ピッチ、ヨー回転によって発生するVR酔いを軽減する手法の有効性を検証した。評価実験では、Fig. 2に示す4パターンの映像を提示しながら、Fig. 3, Fig. 4, 及びFig. 5に示す走行距離が等しい3パターンの仮想空間を走行し、計12パターンの走行実験を行った。その後主観評価として、Simulation Sickness Questionnaire (SSQ)と移動感覚、臨場感、及び没入感のアンケートを行った。SSQの結果をFig. 6に示す。実験の結果、輝度抑制手法では

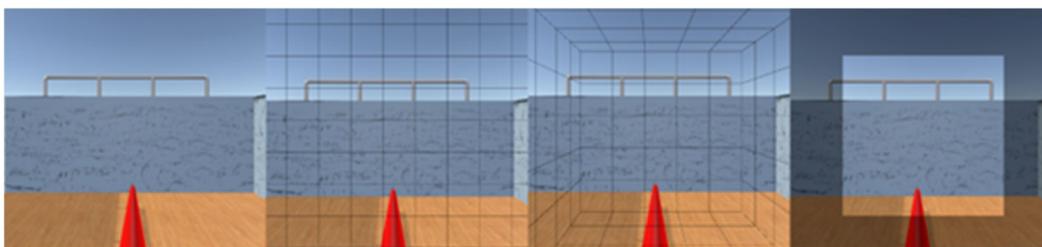


Fig. 2 Presentation screen

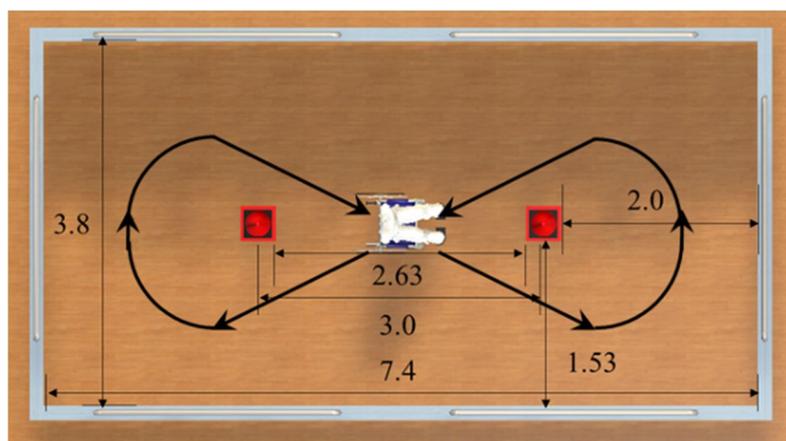


Fig. 3 Virtual space of Pattern A1

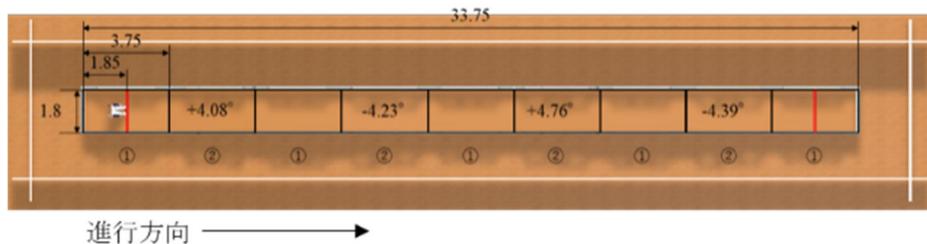


Fig. 4 Virtual space of Pattern A2

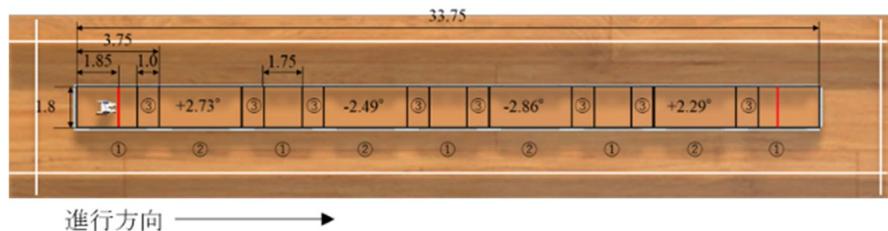


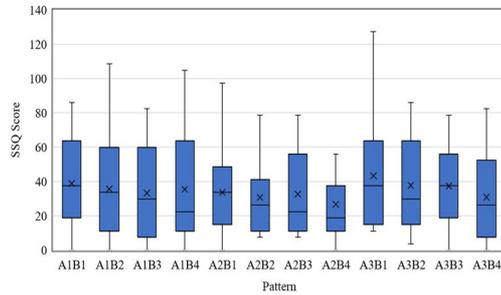
Fig. 5 Virtual space of Pattern A3

SSQ の Total score (合計点), Oculomotor (目の疲れ) において有意差が見られ, Nausea (吐き気) において有意傾向が見られロール, ピッチ, ヨー回転が発生するコースにおいて VR 酔いが軽減された。これは, 周辺視野に映像加工を施すことで, 周辺視野のオプティカルフローを低減することにより, sensory conflict を抑え, ベクシオン発生による感覚不一致を抑制できたためだと考える。しかし, VR への没入感がわずかながら減少する傾向が見られた。

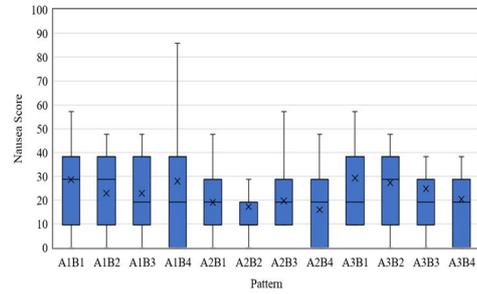
一方, 固定格子配置手法を用いたパターンでは VR 酔いが軽減された被験者と軽減されず不快感が増した被験者が見られ, SSQ の全ての項目において有意差は確認されなかった。これは, 格子の認識に個人差があり格子の線を無意識に注視点や基準点の役割として仮想空間のオブジェクトとは別に認識している被験者は VR 酔いが軽減されるが, 格子をただの直線として捉え仮想空間のオブジェクトと等しく認識している被験者は VR 酔いが軽減されず不快感が増したためと考える。さらに, 床面の傾斜情報のように映像から細かい情報を読み取ることを必要とした場合, 格子が情報を遮断し被験者にストレスを与え臨場感や没入感を減少させる傾向も見られた。従って, 固定格子配置手法を用いたパターンでは格子の認識に個人差があり VR 酔いの軽減に差が生じたと考える。また, 頭部の回転が自分の意志によるものという認識の差によって, VR 酔いの発生にばらつきがあることが分かった。

コースごとの VR 酔いのスコアに着目した結果, 縦断勾配走行時よりも八の字走行と横断勾配走行時のほうが, VR 酔いのスコアが大きい結果となった。これは, 縦断勾配走行時に起こるピッチ回転の視界変化よりも横断勾配走行時に起こるロール回転と八の字走行時に起こるヨー回転の視界変化のベクシオンのほうが強く, 感覚の不一致が起こったためと考える。ただし, 横断勾配走行時の操作の難しさや実験時間の長さが影響した可能性も考えられる。

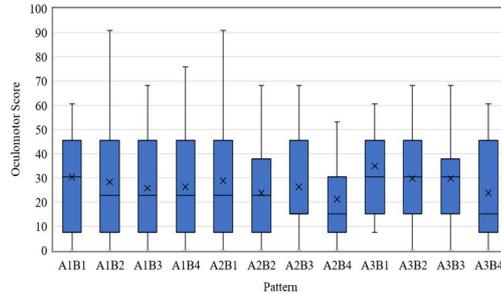
上記に加え, 本研究では VR 酔いを軽減する手法として運動適応ぼかし法を提案した。この手法は操作者の周辺視野及び画面全体にぼかしを施し, それを直進運動と回転運動の 2 つの運動に分けてぼかし加工を施すものである。本研究では, ぼかし加工なしを含め 5 つのパターンのシステムを構築した。Fig. 7 に本手法で被験者に HMD を用いて提示する 2 つのぼかし加工の手法の映像を示す。



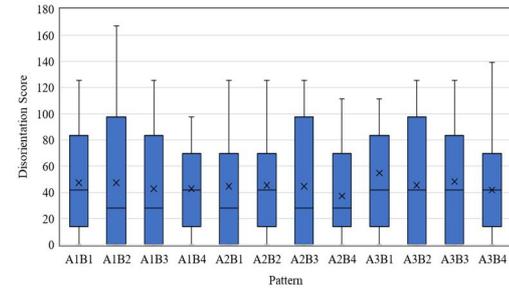
(a) Total score



(b) Nausea

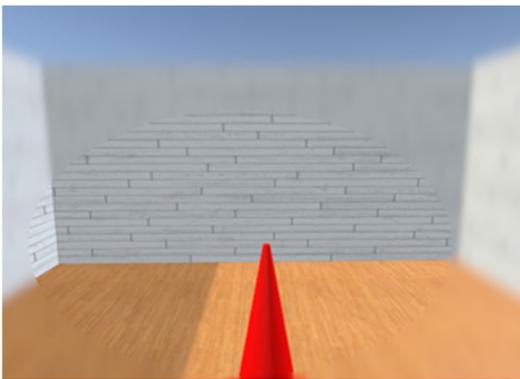


(c) Oculomotor



(d) Disorientation

Fig 6 SSQ score



(c) Blur effect on peripheral vision

(d) Blur effect on entire field of view

Fig. 7 Presentation screen

評価実験では、仮想空間を走行する被験者実験を行い、その後主観評価としてSSQとアンケートを行った。運動適応ぼかし法ではVR酔いが軽減されたが、有意差は認められなかった。運動適応ぼかし法では、ぼかし加工により操作者の視野内にある情報量を減少することができたことで視覚と体性感覚のズレを抑制しVR酔いを軽減できたと考えられる。また、運動を2つに分けることでよりVR酔いが発生しやすい回転運動の時のみ、ぼかし加工を施すことが可能であったため、それらのパターンにおいては臨場感や没入感が常にぼかし加工を施す場合と比べて高くなった。しかし、臨場感では統計学的有意差が認められたため本手法を用いることで、ぼかし加工を施さない場合と比べて臨場感が低下する結果となった。以上より、提案した手法の適用によりVR酔いが軽減されることが確認された。なお、これと同時に臨場感を減少させる傾向も示された。

本研究の成果は、構想段階の施設等の車椅子利用時の利便性を事前に評価できる実用的なシミュレータの開発や、車椅子利用者の社会進出を支援するための評価システムの構築に役立つものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上木 諭、池田 貴公、坂東 直行、鈴木 省吾、山田 宏尚	4. 巻 27
2. 論文標題 車椅子シミュレータにおけるVR酔い軽減手法の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌	6. 最初と最後の頁 425 ~ 433
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/tvrsj.27.4_425	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木省吾、池田貴公、上木諭、山田宏尚
2. 発表標題 車椅子シミュレータにおける固定格子表示によるVR酔い軽減の検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------