

Vection誘発映像を用いて傾きを提示する 車椅子シミュレータの考察

大河原 巧¹ 本岡 宏将² 大和 佑輝² 奥川 和希¹ 宮田 章裕^{1,a)}

概要：車椅子に不慣れな車椅子ユーザは多くの場合屋外を移動することに不安を感じ、特に坂道などのバリアを通過する際には恐怖を感じることもある。このため、彼らが車椅子に乗る感覚に慣れることなどを目的として、Virtual Reality（以降 VR）を用いた車椅子シミュレータが数多く開発されてきた。しかし、VRを用いた従来の車椅子シミュレータは、金銭的なコストと現実感がトレードオフの関係にあった。この問題を解決するために、我々は Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせた車椅子シミュレータを提案してきた。我々はこのシミュレータを用いてユーザに坂道を通過する感覚を与えるための提案を行ってきたが、ユーザに横断勾配のある道を通過する感覚を与えるための提案は行われていない。そこで、本稿ではこのシミュレータを用いてユーザに横断勾配のある道を通過する感覚を与える方法を提案する。

Consideration of a Wheelchair Simulator Generating Pseudo-sensation of Tilt Using Vection-inducing Movies

TAKUMI OKAWARA¹ KOUSUKE MOTOOKA² YUKI YAMATO² KAZUKI OKUGAWA¹
AKIHIRO MIYATA^{1,a)}

1. はじめに

車椅子に不慣れな車椅子ユーザは多くの場合屋外を移動することに不安を感じ、特にバリアを通過する際には恐怖を感じることもある。このため、彼らが手軽かつ安全に車椅子に乗る感覚に慣れることなどを目的とした車椅子シミュレータが数多く開発されてきた。車椅子シミュレータの中でも VR を用いた車椅子シミュレータは、実際にバリアのある場所まで移動したり、バリアを模した練習用のコースを作成する必要が無くなるというメリットがある。しかし、VR を用いた従来の車椅子シミュレータは、金銭的なコストと現実感がトレードオフの関係にあった。このようなことから我々は、Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせた車椅子シミュレータを提案して

きた [1][2][3]。先行研究 [1][2] では、電動車椅子が前後方向に傾く錯覚をユーザに与えることで、坂道を走行しているかのような感覚を与える方法を提案している。しかし、先行研究 [1][2] で提案しているシミュレータが再現しているバリアは坂道のみで、他のバリアを再現することはできていなかった。他のバリアの例として、左右方向の傾斜のある道（以降横断勾配のある道）は、車椅子ユーザが実際に通過する際に事故に繋がってしまうことがある。そこで、本稿ではこのシミュレータで横断勾配のある道を再現するための方法を提案する。本稿の貢献は、Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせた車椅子シミュレータを用いて、ユーザに横断勾配のある道を通過する感覚を与える方法を提案したことである。

2. 関連研究

VR ベースの車椅子シミュレータは、視覚のフィードバックのみを与えるものと視覚と動きの両方のフィードバックを与えるものに大別できる [4][5]。

¹ 日本大学 文理学部
College of Humanities and Sciences, Nihon University
² 日本大学 大学院 総合基礎科学研究科
Graduate School of Integrated Basic Sciences, Nihon University
^{a)} miyata.akihiro@acm.org

2.1 視覚のフィードバックのみを行う事例

視覚のフィードバックのみを与えるシミュレータの例として、ディスプレイ、椅子、ジョイスティックの3つから構成されるものがある [6][7]。文献 [6][7] ではユーザは椅子に座りジョイスティックを操作することで、ディスプレイに表示される遠隔地や仮想空間上にある車椅子を操作する。文献 [6] は重度の障害を持つ子供が電動車椅子を適切に操作できるようにするためのシミュレータであり、文献 [7] は車椅子の操作に不慣れな人が車椅子を操作する技術を向上させるためのシミュレータである。

2.2 視覚と動きの両方のフィードバックを行う事例

視覚と動きの両方のフィードバックを与えるシミュレータの例として、HMD とモーションプラットフォームを利用した、車椅子利用者が現実世界の動的な障害物に衝突する事故を防ぐための車椅子シミュレータがある [8]。

ユーザに対して動きのフィードバックを与える車椅子シミュレータは、文献 [9] のような6自由度で天板を制御する専用装置を利用して動きのフィードバックをユーザに与える。このような専用装置に HMD や大型半球ディスプレイを組み合わせることで、ユーザに視覚のフィードバックと動きのフィードバックを同時に与える試みもある [10][11]。我々は HMD と電動車椅子を組み合わせることで、ユーザに視覚と動きの両方のフィードバックを与える取り組みを行っている [1][2][3]。

3. 研究課題

車椅子に不慣れな車椅子ユーザが車椅子に乗る感覚を体験するために、VR ベースの車椅子シミュレータが数多く開発されてきた。視覚のフィードバックのみを与えるシミュレータ [6][7] は既製品のみで構築できるため金銭的なコストが低いが、動きのフィードバックが無いため、視覚と動きの両方のフィードバックを与えるシミュレータと比べ現実感が低い。視覚と動きの両方のフィードバックを与えるシミュレータ [8][10][11] は視覚のフィードバックのみを与えるシミュレータと比べて現実感が高いが、モーションプラットフォームなどの高額装置が必要になる。このように、車椅子シミュレータは金銭的なコストと現実感がトレードオフの関係にある。

我々はこの問題を解決するべく金銭的なコストが低く現実感の高い車椅子シミュレータを提案してきた [1][2][3]。先行研究 [1][2] では、電動車椅子が前後方向に傾く錯覚をユーザに与えることで、坂道を通過しているかのような感覚を与える方法を提案している。しかし、先行研究 [1][2] で提案しているシミュレータが再現しているバリアは坂道のみで、他のバリアを再現するための検証はなされていない。他のバリアの例として、車椅子ユーザが歩道の車両乗り入れ部などの横断勾配のある道を実際に通過する際に、

車椅子の進行方向が傾斜の影響を受けて曲がってしまうことで車椅子ユーザが車椅子の操作を誤ってしまい、転倒や車道への進入などの事故に繋がってしまうことがある。そこで、車椅子ユーザが前もって横断勾配のある道を通過するときの感覚を体感することで、実際に車椅子ユーザが横断勾配のある道を通過する際に落ち着いて操作ができるようになり、事故を減らせると考えられる。よって我々は、車椅子シミュレータにおいて横断勾配のある道を再現する必要があると考える。

本稿では、我々が開発してきた Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせた車椅子シミュレータにおいて、横断勾配のある道を通過している感覚をユーザに与えられるのかを明らかにすることを研究課題として設定する。

4. 提案手法

本研究の車椅子シミュレータにおいて、ユーザは非透過型の HMD を装着した状態で電動車椅子に乗る。本研究の車椅子シミュレータによって横断勾配のある道を通過している感覚をユーザに与えるために、我々は HMD 上の Vection 誘発映像と電動車椅子の動作をどのように組み合わせたら良いか考える。

まず、HMD 上の Vection 誘発映像について考える。先行研究 [1][2] により、HMD 上の Vection 誘発映像は車椅子でバリアを通過している一人称映像とすることで、ユーザは目的のバリアに適した運動感覚を得られると考える。このことから、HMD 上の Vection 誘発映像はユーザが乗っている電動車椅子が横断勾配のある道を通過する一人称視点とする。

次に、電動車椅子の動作について考える。車椅子ユーザが横断勾配のある道を通過する場合、車椅子は左右に傾く。そこで、電動車椅子の動作によって左右の傾きを再現する必要があると考えられる。ユーザに左右の傾きのフィードバックを与えるために、我々は電動車椅子が左右どちらか一方に傾きながら直進する際にユーザが得る運動感覚に着目した。実際に車椅子が左右に傾きながら直進する場合、車椅子ユーザは前進する感覚と車椅子が傾いている方向に自身の体が引き寄せられる感覚の複合感覚を得る。我々はこれらの感覚を電動車椅子の低自由度動作を用いて再現するために、電動車椅子本体を傾けることなく、ユーザに体が横方向に引き寄せられる感覚を与える必要があると考える。本稿では、電動車椅子の動作によってこれらの感覚をユーザに与えるために遠心力を利用する。我々は、電動車椅子が円運動をすることで本体を傾けることなくユーザに体が傾いたと感じさせるシミュレータを提案する。

5. 実装

本稿では、研究課題を達成するために HMD と電動車椅子

を用いて、車椅子が横断勾配のある道を通過するシミュレータを実装する。我々のシミュレータは、非透過型 HMD、シングルボードコンピュータ (single-board computer, 以降 SBC)、電動車椅子からなる。

まず、HMD 上の映像について説明する。Unity を用いて横断勾配のあるコースを仮想空間上に作成する。仮想空間上に専用コースを作成することにより、将来的にはユーザが体験したい角度の傾きを提示できるようになることが考えられる。専用コース上を、ユーザが乗っている電動車椅子が左右どちらか一方に傾きながら任意の速さで直進しているような一人称視点の映像を HMD 上に映す。シミュレータに用いる横断勾配のある道を図 1 に示す。

次に、電動車椅子の円運動について説明する。電動車椅子の円運動は、電動車椅子の前進速度と回転半径を指定できるようにする。シミュレーション時の実際の電動車椅子の動きを図 2 に示す。

電動車椅子を制御する SBC と HMD は WebSocket でリアルタイムに通信し、電動車椅子の動作と HMD 上の映像が連携するようにする。

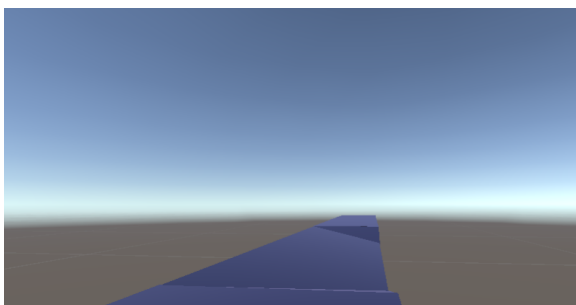


図 1 シミュレータに用いる横断勾配のある道

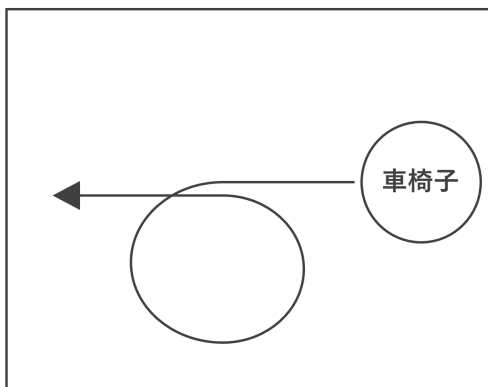


図 2 シミュレーション時の実際の電動車椅子の動き

6. 検証実験に向けた検討

提案手法の有効性を検証する実験の実施に向けて、横断勾配のある道を通過している感覚を適切にユーザに与えられるような HMD 上の映像と電動車椅子の円運動の組み合わせがあるか事前検討を行う。本稿では電動車椅子の円運動について、どのような半径や前進速度ならば横断勾配の

ある道を通過している感覚を適切にユーザに与えられると考えられるのか検討する。具体的には電動車椅子の円運動時の条件によって、ユーザが感じる遠心力の強さと、その遠心力の力がどの程度の横断勾配を再現することに適しているかを調査する。このとき、ユーザが感じる遠心力の強さを調査する際にはユーザの体重を、20 歳の日本人の男女それぞれの平均体重である 64.4kg と 49.9kg として計算する [12]。

6.1 円運動時の回転半径の条件がユーザに与える影響について

調査する半径 r の範囲は $0.0 < r \leq 4.0$ [m] を満たすものとする。電動車椅子の前進速度は、先行研究 [2] における平地での前進速度と同様に 0.8m/s とする。ユーザの体重が 64.4kg である場合にユーザが感じる遠心力と、ユーザの体重が 49.9kg である場合にユーザが感じる遠心力を図 3 に示す。シミュレータの使用時の回転半径と、円運動により再現できると考えられる横断勾配のある道の角度の関係を図 4 に示す。

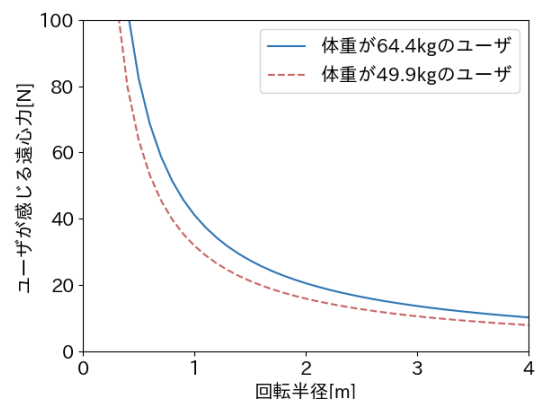


図 3 回転半径と遠心力の関係

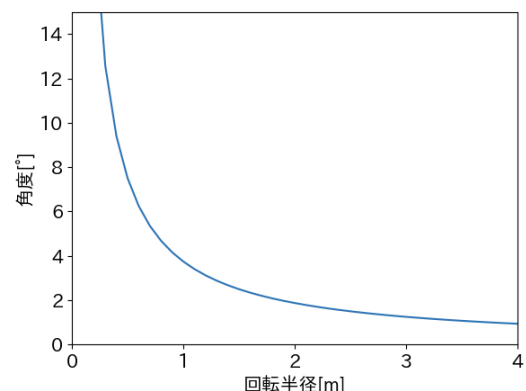


図 4 回転半径と対応する横断勾配の角度の関係

6.2 円運動時の前進速度の条件がユーザに与える影響について

調査する前進速度 v の範囲は $0.0 \leq v \leq 2.0$ [m/s] を満たすものとする。電動車椅子の回転半径は 2.0m とする。ユーザの体重が 64.4kg である場合にユーザが感じる遠心力と、ユーザの体重が 49.9kg である場合にユーザが感じる遠心力を図 5 に示す。シミュレータの使用時の前進速度と、円運動により再現できると考えられる横断勾配のある道の角度の関係を図 6 に示す。

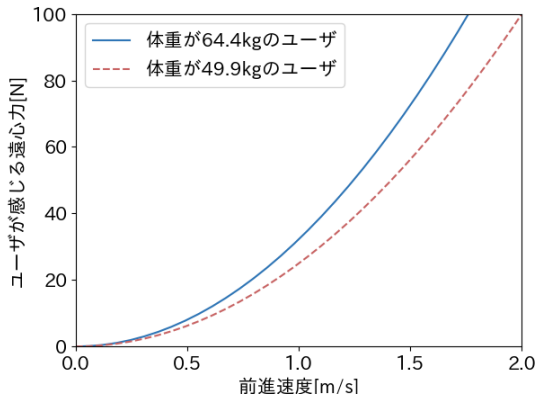


図 5 前進速度と遠心力の関係

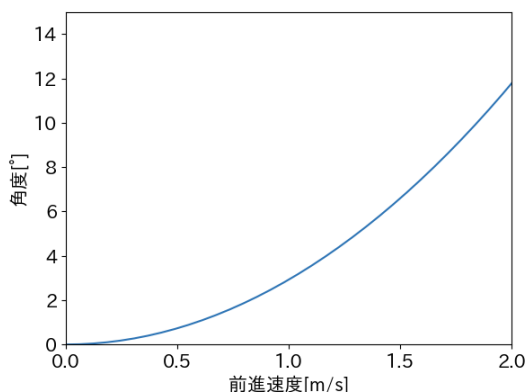


図 6 前進速度と対応する横断勾配の角度の関係

6.3 考察

6.3.1 円運動時の回転半径の条件について

電動車椅子が円運動したときにユーザが感じる遠心力の大きさは、前進速度が一定のとき回転半径が 0 に近づくにつれ大きくなる (図 3)。理論的には、我々のシミュレータが任意の回転半径で円運動を行うことで、ユーザに適切な遠心力を与えることができると考えられる。ユーザが感じる遠心力の大きさが適切であれば、我々のシミュレータを用いて左右の傾きを提示できるのかは、今後実験を行うことで検証していく予定である。また、回転半径の条件の違いによってユーザが感じる遠心力の大きさの違いが、HMD 上の映像による視覚刺激によってどのような影響を受ける

のかも、今後検証していく予定である。

6.3.2 円運動時の前進速度の条件について

電動車椅子が円運動したときにユーザが感じる遠心力の大きさは、回転半径が一定のとき前進速度の二乗に比例する (図 5)。理論的には、我々のシミュレータが任意の前進速度で円運動を行うことで、ユーザに適切な遠心力を与えることができると考えられる。しかし、円運動時の条件によりユーザが感じる遠心力が適切であっても、我々がユーザに与えたい前進速度と実際の電動車椅子の前進速度が大きく異なると、ユーザが感じる前進する感覚が適切なものでなくなると考えられる。これにより、シミュレーションの臨場感が下がると我々は考える。我々がユーザに与えたい前進速度と、実際の電動車椅子の前進速度の差がどの程度までなら我々のシミュレータにおいて臨場感を下げずにシミュレーションが行えるかは、今後実験を行うことで検証していく予定である。

7. おわりに

我々は、Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせた車椅子シミュレータを提案してきた。しかし、このシミュレータによって再現してきたバリアは坂道のみで、横断勾配のある道を再現することはできていなかった。本稿では、この車椅子シミュレータを用いてユーザに横断勾配のある道を通過する感覚を与える方法を提案した。今後、我々は提案手法を用いてユーザに横断勾配のある道を通過する感覚を与えられるかを検証していく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H04160 の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] Akihiro Miyata, Kousuke Motooka and Kenro Go: A Wheelchair Simulator Using Limited-Motion Patterns and Vection-Inducing Movies. Proc. 31st Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI 2019), pp.508–512 (2019).
- [2] 本岡 宏将, 呉 健朗, 大和 佑輝, 宮田 章裕: Vection 誘発映像と前進動作による坂道シミュレーション. 情報処理学会論文誌, Vol61, No1, pp.61-69 (2020).
- [3] 大河原 巧, 本岡 宏将, 呉 健朗, 大和 佑輝, 奥川 和希, 宮田 章裕: バリアシミュレータのための傾きフィードバックの基礎検討. 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, pp.192–194 (2020).
- [4] Python et al.: Wheelchair Simulators: A Review. Technology and Disability, Vol.21, Issue 1-2, pp.1-10 (2009).
- [5] Abellard et al.: Electric Wheelchair Navigation Simulators: Why, When, How? Mechatronic Systems Applications, pp.161-186 (2010).
- [6] Desbonnet, M., Sara, L.C., and Rahman, A.: Development and Evaluation of a Virtual Reality based Training System for Disabled Children. Proc. ICDVRAT 1998,

- pp.177-182 (1998).
- [7] Silva, Y.M., Simoes, W., Tefilo, M.R.D.S., and Naves, E.L.M.: Training Environment for Electric Powered Wheelchairs Using Teleoperation Through a Head Mounted Display. Proc. ICCE 2018 (2018).
 - [8] 陳 連怡, 藤本 英雄, 山田 雅司:仮想空間内車椅子訓練システムにおける操作感覚の実現と情報支援, 日本機械学会論文集 (C 編), Vol72, No718, pp.1891-1899 (2006).
 - [9] Stewart: A Platform with Six Degrees of Freedom. Proc.the UK Institution of Mechanical Engineers, Vol.180, No.1, pp.371-386 (1965).
 - [10] Sonar et al.: Development of a Virtual Reality-based Power Wheel Chair Simulator. Proc. ICMA 2005, pp.222-229 (2005).
 - [11] Niniss et al.: Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability. Proc. SVR 2006 (2006).
 - [12] e-Stat 入手先 https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?stat_infid=000031777330 (参照 2020-05-03).