

HMDと電動車椅子を用いた バリアシミュレータの移動距離削減

令和元年度 卒業論文

日本大学 文理学部 情報科学科 宮田研究室

本岡 宏將

概要

リハビリテーションやトレーニングには、VR ベースの車椅子シミュレータが使用されている。しかし、既存の VR ベースの車椅子シミュレータでは、低コストで視覚フィードバックと運動フィードバックの両方を提示することは難しかった。この問題を解決するために、我々は、HMD 上の 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バリアシミュレータを提案してきた。しかし、このシミュレーションでは、仮想空間上での走行距離と同じ距離を現実空間で用意する必要があった。これでは、シミュレーションを行うことができる環境に限られるという問題がある。VR の分野では、現実空間での走行距離を仮想空間での走行距離より短くする研究が多くされている。しかし、それらの研究の多くは仮想空間上を歩行するシーンを想定しているものだった。そのため、車椅子シミュレーションでは、現実空間の走行距離とユーザが仮想空間上で知覚する走行距離の関係は明確ではなかった。本研究では、シミュレータの車椅子の移動距離を削減するための基礎検討として、車椅子の現実空間における移動の振る舞いと、ユーザが仮想空間で知覚する移動距離の関係について実験を行った。その結果、直線の通路を走行する車椅子シミュレーションにおいて、現実空間の走行距離とユーザが仮想空間上で知覚する走行距離の関係の一部を明らかにできた。

本稿の貢献は直線の通路を走行する車椅子シミュレータにおいて、車椅子の走行速度が等速のパターンと減速するパターンでユーザ実験を行い、仮想空間の距離が 8m の場合、車椅子シミュレーションにおける距離の圧縮には等速の方が適していることを確認したことである。

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	2
1.2	研究の目的	2
1.3	本論文の構成	2
第2章	関連研究	3
2.1	VR ベースの車椅子シミュレータに関する研究事例	4
2.1.1	視覚フィードバックのみを提示するシステムに関する研究事例	4
2.1.2	視覚・動きのフィードバックを提示するシステムに関する研究事例	5
2.2	現実空間での移動距離圧縮に関する研究事例	5
第3章	研究課題	7
3.1	問題の定義	8
3.2	研究課題の設定	8
第4章	HMD と電動車椅子を用いた 車椅子シミュレータの実装	9
4.1	シミュレータの全体像	10
4.2	映像再生アプリケーションの実装	10
4.3	電動車椅子の制御アプリケーションの実装	11
第5章	評価実験	13
5.1	実験の目的	14
5.2	実験参加者・実験環境	14
5.3	実験の手順	15
5.4	実験結果	15
5.5	考察	17
第6章	結論	18
	研究業績	23

目 次

4.1	シミュレータの外観	10
4.2	システム構成	11
4.3	HMD 上に表示する映像	12
4.4	電動車椅子の速度変化	12
5.1	実験時の走行コース	14
5.2	実験環境	14
5.3	走行速度が等速のパターンの回答分布 (N = 9)	16
5.4	走行速度が減速するパターンの回答分布 (N = 9)	17

表 目 次

4.1 シミュレータに使用したデバイスの名称	11
5.1 等速の場合の実験条件	16
5.2 減速の場合の実験条件	16

第1章 序論

1.1 研究の背景

リハビリテーションなどを目的として、車椅子用の物理的なコースを構築する必要のないVRベースの車椅子シミュレータが開発されてきた。しかし、既存のシミュレータではコストと現実感がトレードオフの関係にあった。視覚フィードバックのみを与えるシミュレータは、低コストで構築できるが、現実感が低いという問題があった。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は、より高い現実感を与えることができるが、高額な装置が必要になる。この問題を解決するために、我々はHMDに表示される Veciotn 誘発映像と電動車椅子を組み合わせたVR車椅子シミュレータを提案してきた。しかし、従来手法では仮想空間上で移動するスペースと同じスペースを現実空間でも用意する必要があった。これでは、ユーザがシミュレーションを行うことができる場所が限られてしまうため、ユーザがシミュレーションに必要なスペースを用意しなければならないという問題がある。

1.2 研究の目的

1.1節で述べた問題を解決するために、これまで現実空間に必要なスペースを仮想空間のスペースより小さくする研究が数多くされてきた。しかし、従来の研究は、仮想空間上を歩行するシーンを想定した研究がほとんどだった。そのため、車椅子シミュレーションの現実空間での走行距離と仮想空間で知覚する走行距離の関係は明確にはなっていなかった。本研究では、我々が提案してきた車椅子シミュレータにおいて、シミュレーションに必要なスペースを圧縮することを研究目的とする。

本稿では、車椅子シミュレータの現実空間での移動距離を削減するための基礎検討として、車椅子の現実空間における移動の振る舞いと、ユーザが仮想空間で知覚する移動距離の関係を明らかにすることを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。

2章では、VRベースの車椅子シミュレータに関する研究事例、現実空間での移動距離圧縮に関する研究事例について述べる。

3章では、従来手法について説明し、従来手法の車椅子シミュレータにおいて生じる問題を定義し、それをふまえた上で本研究における課題を設定する。

4章では、最初にシステムの全体像を説明する。その後、HMD上で映像を再生するアプリケーションの実装、電動車椅子を制御するアプリケーションについて具体的に述べる。

5章では、評価実験の目的と実験環境、手順、実験結果と考察を述べる。

最後に6章にて、本論文の結論を述べる。

第2章 関連研究

2.1節では、VRベースの車椅子シミュレータに関する研究事例について紹介する。これらは、車椅子シミュレータに仮想空間を使用している点で、本研究と関係している。また、VRベースの車椅子シミュレータは、大きく分けて、視覚フィードバックを提示する車椅子シミュレータと、視覚フィードバックと動きのフィードバックの両方を提示する車椅子シミュレータに分けられる。視覚フィードバックのみを提示するシステムに関する研究事例については2.1.1項、視覚・動きのフィードバックを提示するシステムに関する研究事例については2.1.2項で紹介する。2.2節では、現実空間での移動距離圧縮に関する事例について紹介する。これらは、仮想空間の再現に必要な現実空間スペースを圧縮する研究を行っている点で、本研究と関連している。

2.1 VRベースの車椅子シミュレータに関する研究事例

[1], [2] は、車椅子シミュレータの評価を行っている。VRベースの車椅子シミュレータは、視覚フィードバックのみを提示するものと、視覚フィードバックと動きのフィードバックの両方を提示するものの2種類に大別できる。

2.1.1 視覚フィードバックのみを提示するシステムに関する研究事例

本項では、視覚フィードバックを提示する車椅子シミュレータに関する研究事例について述べる。

[3] では、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ションシステムを開発している。このシステムでは、ジョイスティックとPCに表示している仮想世界の車椅子が連動する。PCに表示している仮想世界には、車などの動くオブジェクトがあり、ユーザは車椅子と動くオブジェクトとの衝突を避けるシミュレーションをすることができる。[4] は、重度の運動障害を持つ人が、電動車椅子の運転技術を向上させるためのシミュレーションシステムを開発している。このシステムでは、ジョイスティックとPCに表示している仮想世界の車椅子が連動する。PCに表示している仮想世界は、6種類あり、シミュレーションの回数を重ねるごとに、より複雑な仮想環境で車椅子のシミュレーションをすることができる。[5] は、複数の障害を持つ子供が、車椅子の運転に慣れ親しむためのシミュレーションシステムを開発している。このシステムでは、ジョイスティックとPCに表示している仮想世界の車椅子が連動する。PCに表示している仮想世界は、人や机などの仮想オブジェクトがあり、ユーザは車椅子と仮想オブジェクトとの衝突を避けるシミュレーションをすることができる。[6] は、車椅子を初めて利用する人が、車椅子の運転技術を向上させるためのシミュレーションシステムを開発している。このシステムでは、ジョイスティックとHMDに表示している仮想世界の車椅子が連動する。HMDで表示している仮想世界は、4つのフロアがあり、ユーザはドアの開閉、車椅子と仮想オブジェクトとの衝突を避けるシミュレーションをすることができる。[7] は、車椅子の運転に慣れていない人が、車椅子の運転技術を向上させるためのシミュ

レーションシステムを開発している。このシステムでは、ジョイスティックと実世界の車椅子が連動する。実世界の車椅子にはカメラが装着されており、カメラで撮影している映像がHMDに表示される。ユーザはHMDに表示している映像を見ながらシミュレーションをすることができる。

2.1.2 視覚・動きのフィードバックを提示するシステムに関する研究事例

本項では、視覚・動きのフィードバックを提示する車椅子シミュレータに関する研究事例について述べる。

[8]は、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シミュレーションシステムを開発している。このシステムは、HMDと手動車椅子で構築されており、実世界の手動車椅子のハンドリムと仮想世界の車椅子が連動する。さらに、手動車椅子を固定し、車輪をモータで回転させることで、斜面を車椅子で通過する様子を再現している。[9]は、車椅子シミュレータにおいて動きのフィードバックを提示するために、6自由度で天板（ユーザが乗る台）を制御するStewart platformを開発している。[10]は、車椅子利用者が電動車椅子の操作に慣れるためのシミュレーションシステムを開発している。このシステムは、HMDとStewart platformで構築されており、ジョイスティックとユーザが座っているプラットフォームが連動する。また、HMDに仮想環境を表示し、ユーザの運転技術に応じて表示する仮想環境を変えることができる。[11]は、車椅子を初めて運転する人が、事前に車椅子の運転技術を向上させるためのシミュレーションシステムを開発している。このシステムは、Stewart platformと大型半球ディスプレイで構築されており、ジョイスティックとユーザが座っているプラットフォームが連動する。大型半球ディスプレイに表示している仮想環境は、実世界の建物を元に構築された仮想環境であり、ユーザは高い現実感を得ながら、車椅子の運転技術を向上できる。[12]は、車椅子利用者が日常的に直面するバリア通過時の困難を体感するシミュレーションシステムを開発している。このシステムは、HMDと3自由度のモーションプラットフォームを利用して、車椅子利用者が日常的に通る斜面や段差などの通過時の様子を体感できる。また、ユーザがジョイスティックを操作することで、HMD上に表示している映像が変化する。HMD上に表示している映像が車椅子でバリアを通過する際、ユーザが座っているモーションプラットフォームが傾き、車椅子で斜面や段差などを通過する様子を再現している。

2.2 現実空間での移動距離圧縮に関する研究事例

本項では、現実空間での移動距離圧縮に関する研究事例について述べる。

歴史的には、没入仮想空間を構築する際は、仮想空間と同じ広さのスペースを現実空間にも用意する必要があった。しかし、近年、仮想体験しているユーザを障害物の無い方向へユーザに知覚されることなく方向転換させることで、仮想空間の再現に必要な現実空間スペースを圧縮するRedirect walking (RDW)が提案されている[13]。[14]は、RDWの

効果でどの程度現実空間上の距離を圧縮できるかについて検証している。その結果、現実空間上の距離を14%圧縮できることを報告している。[15]は、触覚を用いて、凸面の壁に触れながら壁に沿って歩行させることで仮想空間を無限に歩けるシステムを開発している。これは、視覚フィードバックに加えて触覚フィードバックを与えることで没入感を高め、RDWの効果を高めている。[16]は、障害物を含む複雑な現実世界の空間でもRDWを機能させるために、利用者が障害物に近づいたら障害物とは逆方向に利用者を誘導するシステムを開発している。また、逆方向だけではなく、ユーザを広いスペースへ誘導するシステムも開発している。[17]は、聴覚フィードバックで利用者にRDWの効果を与えられることを報告している。さらに、従来手法と聴覚のみを使用したRDWを比較し、ユーザを誘導する効果にほとんど差はないと報告している。[18]は、現実空間の部屋のサイズや障害物をリアルタイムで検出し、その結果を基に仮想空間を生成するVroamerを開発している。このシステムでは、仮想空間上で仮想オブジェクトを生成し、ユーザが現実空間での障害物や壁に衝突しないようにしている。[19]は、APF-RDWと呼ばれる、不規則な形状の部屋でもRDWを機能させるシステムの効果について報告している。また、APF-RDWを複数の利用者が同時に利用できることも報告している。[20]は、RDWに機械学習を利用するシステムを開発している。具体的には、ユーザの進行方向を予測し、その方向に障害物があった場合にユーザを障害物のない方向へ誘導するシステムである。[21]は、歩行だけでなくジャンプでもRDWの効果を得られるという報告をしている。これは、ジャンプ距離をどの程度なら圧縮しても気付かれないかの範囲を検証している。[22]は、ユーザを方向転換させる際、ユーザに知覚させることなく方向転換できる閾値を大きくすることについて検証している。ユーザに事前に仮想空間上でユーザが知覚できる範囲で方向転換させ、その後にユーザがどの程度の角度なら方向転換しても、方向転換したことに気付かれないかを検証したところ、従来手法より大きい角度で方向転換しても気付かれなかったと報告している。[23]は、ユーザを最適な方向へ方向転換させるシステムを開発している。また、このシステムがユーザが少なくとも8人まで同時に使用できることを報告している。

第3章 研究課題

3.1 問題の定義

2章で紹介した既存研究は、コストと現実感がトレードオフの関係にある [3][4][5][6][10][11][12]。視覚フィードバックのみを提示するシミュレータは、PCディスプレイやHMDなどの低コスト機器で構築できるが、ユーザに動きのフィードバックを与えられず現実感に乏しい。[3], [4], [5], [6]は、ユーザがジョイスティックを操作し、仮想環境を車椅子で移動するシミュレーションシステムである。しかし、視覚フィードバックのみを提示するシミュレータなので、車椅子で坂道を通る際に生じる車椅子の速度の変化と傾きの状態を把握することが難しい。

一方で、視覚・動きのフィードバックを提示するシミュレータは、ユーザに高い現実感を与えられるが、モーションプラットフォームなどの高額な装置が必要になる。[10], [11], [12]は、ユーザがジョイスティックを操作すると、モーションプラットフォームが動き、仮想環境を車椅子で移動するシミュレーションシステムである。これらのシステムは、車椅子で坂道を通る際に生じる傾きなどを体感させることができ、ユーザに高い現実感を与えながらバリア通過時の車椅子の様子を把握させることができる。しかし、これらのシステムで利用しているモーションプラットフォームなどは高額な装置であり、車椅子利用者がシステムを容易に利用することは難しい。すなわち、従来手法の問題点は、視覚と動きのフィードバックを低コストで提示できないことである。

この問題を解決するために、我々は、電動車椅子の低自由度動作をHMD上に表示するVection誘発映像で拡張するバリアシミュレータを提案してきた [24][25][26][27]。このシステムでは、HMD上の映像と電動車椅子の動作がシナリオに沿って連動する。例えば、シミュレータが平地から上り坂にさしかかるシーンを再現するとき、電動車椅子は等速運動に続いて減速運動を行う。一方、HMDは平地から上り坂に移動する映像を表示する。これにより、Vectionが生じ、電動車椅子は実際には傾斜などを行っていないが、まるで坂を上り始めたかのような自己身体感覚をユーザに与えられることが期待できる。

しかし、この従来手法ではシミュレーションを行う際、映像上で電動車椅子が進む距離と同じ距離を現実空間で確保する必要があった。これはユーザにとって負担である。以上より、従来の車椅子シミュレータにおける問題は次のように定義できる。

問題：シミュレーションを行う際、仮想空間上のスペースと同じスペースを現実空間で確保する必要があること。

3.2 研究課題の設定

3.1節で定義した問題をふまえ、本研究では、電動車椅子とHMDを用いたシミュレータの現実空間における移動距離を削減するための検討として、電動車椅子の現実空間における移動の振る舞いと、ユーザが仮想空間で知覚する移動距離の関係を明らかにすることを研究課題として設定する。

第4章 HMDと電動車椅子を用いた 車椅子シミュレータの実装

4.1 シミュレータの全体像

シミュレータの外観を図4.1に示す。我々のシミュレータは、非透過型HMD(OPQ-HMD, 以降 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。シミュレータに使用したデバイスの名称を表4.1に示す。シミュレータ使用時には図4.1のように、ユーザはHMDを着用し、HMDと接続しているコントローラを用いて自身でシミュレーションを開始できる。

HMD上の映像再生アプリケーションはAndroid Studio, SBC上の電動車椅子制御アプリケーションはPythonを用いて実装した。HMDとSBCは、WebSocket通信を無線で行っており、SBCはHMDからのシミュレーション開始信号を受信し、電動車椅子を制御する。これらのシミュレーションを実現するためのシステム構成を図4.2に示す。



図 4.1: シミュレータの外観

4.2 映像再生アプリケーションの実装

HMD上で動作する映像再生アプリケーションについて説明する。HMDに表示する映像を図4.3に示す。ユーザは図4.3の左下のプルダウンからシミュレーションタイプを選

表 4.1: シミュレータに使用したデバイスの名称

デバイス	名称
HMD	Oculus Go
SBC	Raspberry Pi3
電動車椅子	WHILL Model-CR

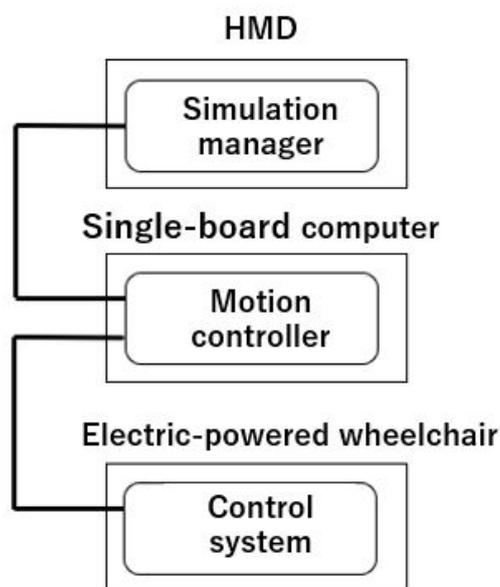


図 4.2: システム構成

択する。シミュレーションタイプを選択した後、図 4.3 の右下の START ボタンを押すことで、選択したシミュレーションの視界の映像を表示する。START ボタンが押されると、SBC にシミュレーション開始信号を送信する。HMD 上で表示する映像は、実際に車椅子で屋内の平地を走行しながら撮影したものを使用する。

4.3 電動車椅子の制御アプリケーションの実装

現実空間での電動車椅子の動作は、速度と距離の2つを自由に設定できるようにした。また、速度に関しては、等速のものと、徐々に減速していくものの2つを選べるようにした。速度変化について図 4.4 に示す。SBC と電動車椅子はシリアルケーブルで接続されており、SBC 上で動作する制御アプリケーションはシリアル通信で電動車椅子の制御を行う。HMD 上に選択したシミュレーションの映像が表示された後、SBC 上で動作する制御アプリケーションは HMD からのシミュレーション開始信号を受信する。受信した後、HMD 上で選択したシミュレーションによって電動車椅子の挙動を変える。

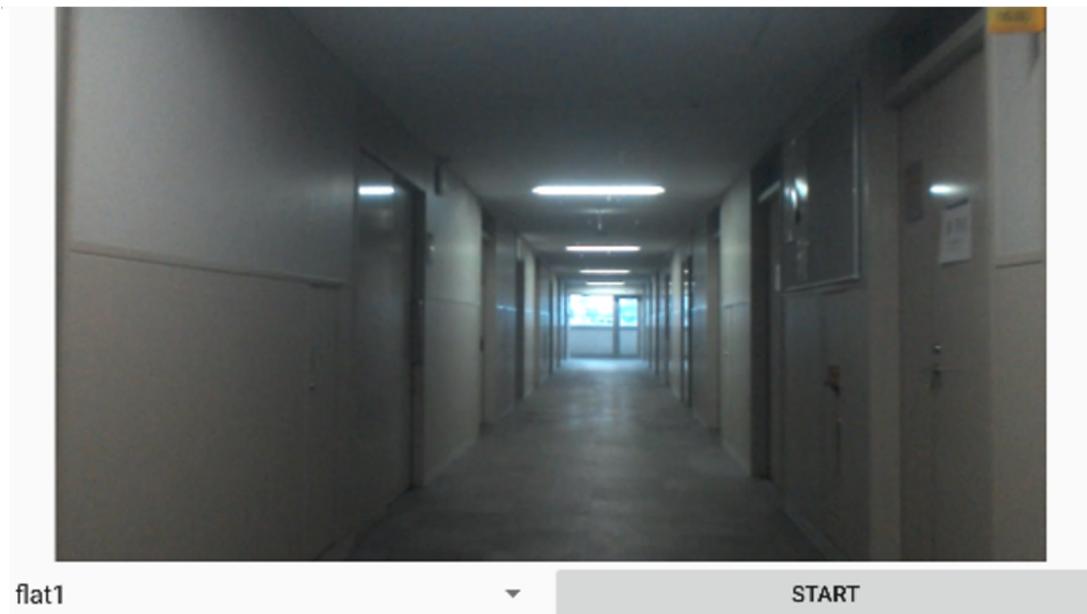


図 4.3: HMD 上に表示する映像

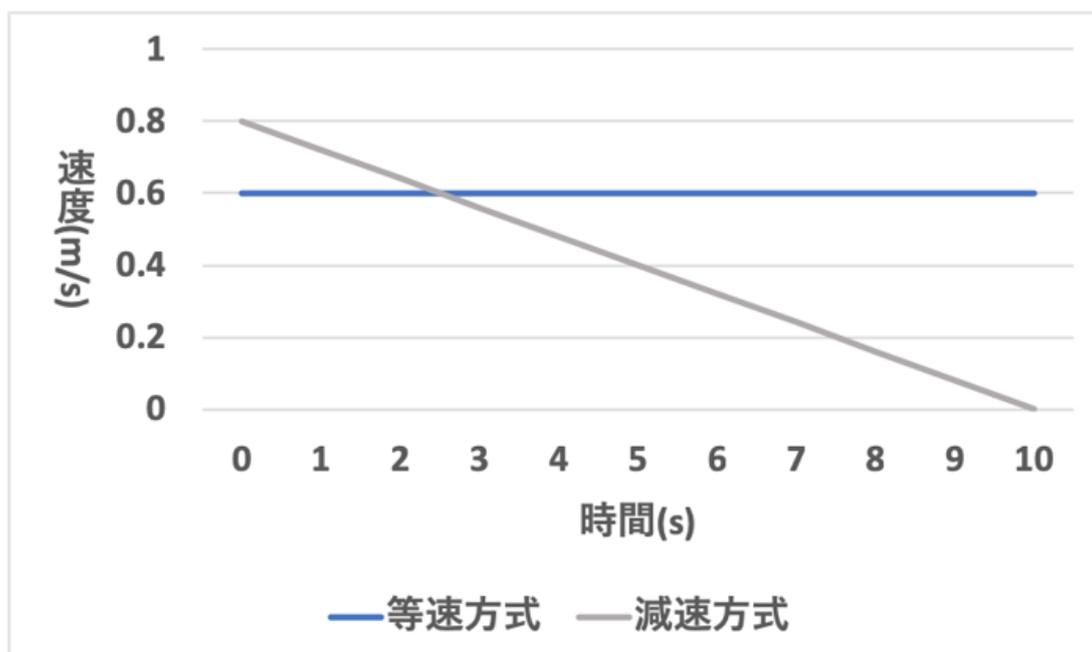


図 4.4: 電動車椅子の速度変化

第5章 評価実験

5.1 実験の目的

本実験では，電動車椅子の現実空間における移動の振る舞いと，ユーザが仮想空間で知覚する移動距離の関係を検証することを目的とする．その第一段階として，電動車椅子で平地を走行するシミュレーションで実験を行う．

5.2 実験参加者・実験環境

実験参加者は20代の学生9名である．全員，下肢障害は有しておらず，日常的に車椅子を利用していなかった．実験参加者には，本実験への参加が任意であること，いつでも不利益無く参加を辞退できることを説明した．実験者は1回の試行が終わるたびに，実験参加者にVR酔いが無いことを確認した．実験では約10m四方の部屋に，図5.1のように走行コースを構築した．実験環境を図5.2に示す．床は平坦であり，毛足の短いカーペットが敷いてあった．また，部外者は部屋に一切入れないようにし，安全は確保されていた．

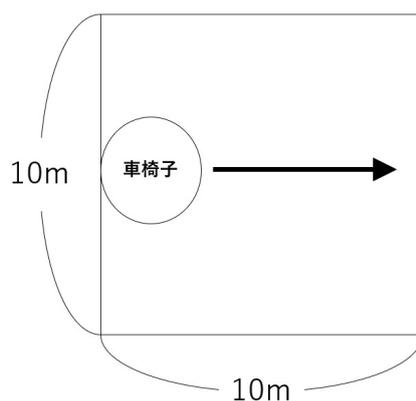


図 5.1: 実験時の走行コース



図 5.2: 実験環境

5.3 実験の手順

実験参加者がシミュレータの操作ミスをするといった外的要因が混入しないように、実験者がシミュレータをコントロールした。HMD 上に表示する映像は速度 0.8m/s で 8m の距離を実際に電動車椅子で走行しながら撮影したものを使用した。実験条件は、合計 11 個用意した。その 1 つは、HMD 上に表示される映像上の走行速度と同じ走行速度で走行するもの (N) である。さらに、電動車椅子の走行速度が映像上の走行速度より遅く、等速のもの (Constant velocity) と、減速するもの (Deceleration) に対して、それぞれ 5 つ用意した。映像上の走行速度と同じ走行速度で走行するものと等速のもの各実験条件を表 5.1 に、減速するもの各実験条件を表 5.2 に示す。

電動車椅子の走行速度が等速のものは、電動車椅子が映像上の走行距離より 60% 短いもの、50% 短いもの、40% 短いもの、30% 短いもの、20% 短いものの 5 つを用意した。これらの走行距離は、それぞれ、 3.2m 、 4.0m 、 4.8m 、 5.6m 、 6.4m である。また、これらの走行速度は、それぞれ 0.32m/s 、 0.40m/s 、 0.48m/s 、 0.56m/s 、 0.64m/s である。これらのパターンを C-1、C-2、C-3、C-4、C-5 とする。

電動車椅子の走行速度が減速するものは、電動車椅子が映像上の走行距離より 50% 短いもの、40% 短いもの、30% 短いもの、20% 短いもの、10% 短いものの 5 つを用意した。これらの走行距離は、それぞれ、 4.0m 、 4.8m 、 5.6m 、 6.4m 、 7.2m である。また、これらの初期速度は全て 0.8m/s で、それぞれ 0.08m/s^2 、 0.064m/s^2 、 0.048m/s^2 、 0.032m/s^2 、 0.016m/s^2 で減速する。これらのパターンを D-1、D-2、D-3、D-4、D-5 とする。

各実験参加者には、各実験条件を体験する前に、HMD 上に表示される映像と同様、走行距離 8m 、走行速度 0.8m/s でシステムを使用してもらった。これは、実験参加者に HMD 上に表示される映像と同じ走行速度と走行距離で走行する感覚を覚えさせるためである。その後、ランダムな順に決定された各実験条件について、2 回ずつシミュレーションを体験させた。また、電動車椅子のモーター音の変化による影響を受けないようにするため、実験参加者には耳栓をしてもらった。一回のシミュレーションが終わるたび、実験参加者が移動距離を目視で確認できないよう、HMD を外す前に電動車椅子の位置をシミュレーション開始地点まで戻した。その後、彼らには、各実験条件を体験するたびに、電動車椅子の走行距離は HMD 上の映像上の走行距離より短く感じたかを “Yes” か “No” で回答してもらった。

5.4 実験結果

電動車椅子の走行速度が HMD 上に表示される映像と同じパターンにおいては、全ての実験参加者が “電動車椅子の走行距離は HMD 上の映像上の走行距離より短く感じたか” というアンケートで “No” と回答した。

等速のパターンの実験条件に対する実験参加者の回答分布を図 5.3 に示す。C-1、C-2、C-3、C-4、C-5 においてアンケートに “No” と回答した実験参加者の割合は、それぞれ 33%、77%、66%、88%、100% であった。それぞれの実験条件で二項検定を行ったところ、

表 5.1: 等速の場合の実験条件

実験条件	走行速度 (m/s)	走行距離 (m)
C-1	0.32	3.2
C-2	0.40	4.0
C-3	0.48	4.8
C-4	0.56	5.6
C-5	0.64	6.4
N	0.80	8.0

表 5.2: 減速の場合の実験条件

実験条件	走行速度 (m/s)	加速度 (m/s^2)	走行距離 (m)
D-1	0.8	-0.080	4.0
D-2	0.8	-0.064	4.8
D-3	0.8	-0.048	5.6
D-4	0.8	-0.032	6.4
D-5	0.8	-0.016	7.2

C-4とC-5において“No”と回答した人数の方が“Yes”と回答した人数より有意に多かった。

減速するパターンの実験条件に対する実験参加者の回答分布を図5.4に示す。D-1, D-2, D-3, D-4, D-5においてアンケートに“No”と回答した実験参加者の割合は、それぞれ55%, 55%, 55%, 88%, 88%であった。それぞれの実験条件で二項検定を行ったところ、D-4とD-5において“No”と回答した人数の方が“Yes”と回答した人数より有意に多かった。

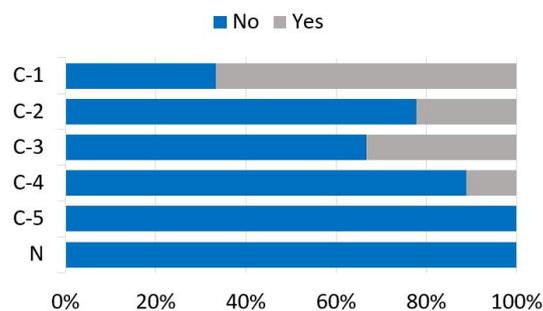


図 5.3: 走行速度が等速のパターンの回答分布 (N = 9)

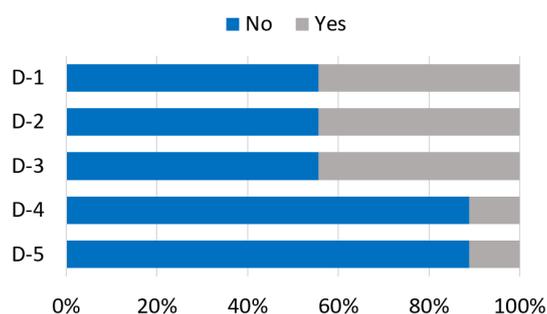


図 5.4: 走行速度が減速するパターンの回答分布 (N = 9)

5.5 考察

実験結果より、実験参加者は等速の実験条件では、走行距離の削減率が30%以下の場合に距離の圧縮に気付かない傾向にあると考えられる。また、減速の実験条件では、実験参加者は走行距離の削減率が20%以下の場合に距離の圧縮に気付かない傾向にあると考えられる。削減率が減速の実験条件の方が小さかったのは、実験参加者が現実空間の電動車椅子の速度変化に気付いたからと考えられる。しかし、今回は短距離での実験だったため、長距離でのシミュレーションでは同じ結果が得られないかもしれない。今後、長距離でのシミュレーションでも同じ結果が得られるか実験を行う必要がある。

第6章 結論

本研究では、電動車椅子と HMD を用いたシミュレータの現実空間における移動距離を削減するための検討として、電動車椅子の現実空間における移動の振る舞いと、ユーザが仮想空間で知覚する移動距離の関係について報告した。実験結果は等速で走行するシミュレーションならば、現実空間でシミュレーションに必要なスペースを 30%削減できることを示唆していた。また、減速しながら走行するシミュレーションでは、現実空間でシミュレーションに必要なスペースを 20%削減できることを示唆していた。この結果は、車椅子シミュレータを小さいスペースで利用可能にすることに利用できる。

しかし、今回は仮想空間上で 8m 直線の道を走行するシーンという比較的短距離でのシミュレーションでの実験だったため、長距離でのシミュレーションでも同じ結果が得られるとは限らない。そのため、長距離でのシミュレーションでも同じ結果が得られるか検証を行っていく必要がある。また、より長い道路での走行や、曲がりくねった道路の走行、坂道の走行などのシミュレーションでも検証を行う必要がある。今後は、長距離でのシミュレーションや、坂道や不均一な道路などのバリアを通過するシミュレーションで、走行距離を圧縮できるかどうかを検証していく予定である。また、今回の実験参加者の人数は多くなかったため、参加者を増やして実験を行っていく予定である。

参考文献

- [1] Pithon Thomas, Weiss Tamar, Richir Shimon, and Klinger Evelyne. Wheelchair simulators: A review. In *Technology and Disability*, Vol. 21, pp. 1–10, 2009.
- [2] Patrick Abellard, Iadaloharivola Randria, Alexandre Abellard, Mohamed Moncef Ben Khelifa, and Pascal Ramanantsizehena. Electric wheelchair navigation simulators: why, when, how? In *Mechatronic Systems Applications*, 2010.
- [3] Manuel Desbonnet, Sara L. Cox, and Abdur Rahman. Development and Evaluation of a Virtual Reality based Training System for Disabled Children. *Proc. ICDVRAT 1998*, pp.177-182, 1998.
- [4] Yann Morre, Guy Bourhis, Kvin Cosnau, Georges Guilmois Emmanuelle Blangy, and milie Rumilly. ViEW, a Wheelchair Simulator for Driving Analysis. *Proc. ICVR 2015*, pp.100-105, 2015.
- [5] Nancy Rodriguez. Development of a Wheelchair Simulator for Children with Multiple Disabilities. *Proc. VAAT 2015*, pp.1-4, 2015.
- [6] Chris James Headleand, Thomas William Day, Serban R Pop, and Panagiotis D. Ritsos. A Cost-effective Virtual Environment for Simulating and Training Powered Wheelchairs Manoeuvres. *Studies in Health Technology and Informatics*, 220, pp.134-141, 2016.
- [7] Yuri Motta Silva, Walter Simes, Mauro Ricardo da Silva Tefilo, and Eduardo L M Naves. 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)*, 2006.
- [9] D. Stewart. A Platform with Six Degrees of Freedom. *Proc. the UK Institution of Mechanical Engineers*, Vol.180, No.1, pp.371-386, 1965.
- [10] Ajay Sonar, K.D. Burdick, Ryan R. Begin, and James J. Carroll. Development of a Virtual Reality-based Power Wheel Chair Simulator. *Proc. ICMA 2005*, pp.222-229, 2005.

-
- [11] Hafid Niniss and Takenobu Inoue. Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability. Proc. SVR 2006, 2006.
- [12] Carmen Fernandez Panadero, Valentin de la Cruz Barquero, Carlos Delgado-Kloos, and David Moran Nunez. PhyMEL-WS: Physically Experiencing the Virtual World. Insights into Mixed Reality and Flow State on Board a Wheelchair Simulator. Jnl. Universal Com-puter Science, Vol.20, No.12, pp.1629-1648, 2014.
- [13] Sharif Razzaque, Zachariah Kohn and Mary C. Whitton. Redirected Walking. Eurographics 2001, Vol.9, pp.105–106, 2001.
- [14] Frank Steinicke, Gerd Bruder, Jason Jerald, Harald Frenz and Markus Lappe. Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques. IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, Vol.16, No.1, pp.17–27, 2010.
- [15] Keigo Matsumoto, Yuki Ban, Takuji Narumi, Yohei Yanase, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose. Unlimited Corridor: Redirected Walking Techniques Using Visuo-Haptic Interaction. SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies, 2016.
- [16] Jerald Thomas and Evan Suma Rosenberg. A General Reactive Algorithm for Redirected Walking using Artificial Potential Functions. IEEE VR 2019, 2019.
- [17] Nicholas Rewkowski Atul Rungta, Mary Whitton and Ming Lin. Evaluating the Effectiveness of Redirected Walking with Auditory Distractors for Navigation in Virtual Environments. IEEE VR 2019, 2019.
- [18] Lung-Pan Cheng, Eyal Ofek, Christian Holz and Andrew D. Wilson. VRoamer: Generating On-The-Fly VR Experiences While Walking inside Large, Unknown Real-World Building Environments. IEEE VR 2019, 2019.
- [19] Justin Messinger, Eric Hodgson and Eric R. Bachmann. Effects of Tracking Area Shape and Size on Artificial Potential Field Redirected Walking IEEE VR 2019, 2019.
- [20] Dong-Yong Lee, Yong-Hun Cho and In-Kwon Lee. Real-time Optimal Planning for Redirected Walking Using Deep Q-Learning. IEEE VR 2019, 2019.
- [21] Daigo Hayashi, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Robert W. Lindeman and Yoshifumi Kitamura. Redirected Jumping: Imperceptibly Manipulating Jump Motions in Virtual Reality. IEEE VR 2019, 2019.
- [22] Luke Bolling, Niklas Stein, Frank Steinicke and Markus Lappe. Shrinking Circles: Adaptation to Increased Curvature Gain in Redirected Walking. IEEE VR 2019, 2019.

-
- [23] Eric R. Bachmann, Eric Hodgson, Eric Hodgson and Justin. Messenger Multi-User Redirected Walking and Resetting Using Artificial Potential Fields. IEEE VR 2019, 2019.
- [24] 宇野広伸, 呉健朗, 樋口恭佑, 篠崎涼太, 宮田章裕: 電動車椅子を用いたバリアシミュレーションシステムの基礎検討. 情報処理学会 DICO2018 論文集, Vol.2018, pp.421-426 (2018).
- [25] 宮田章裕, 宇野広伸, 呉健朗, 樋口恭佑, 篠崎涼太: Vection 誘発映像と低自由度動作による VR バリアシミュレーションの映像提示方式の比較. 日本バーチャルリアリティ学会 VR 学研報, Vol.23, No.CS-3, pp.25-30 (2018).
- [26] Akihiro Miyata, Hironobu Uno, Kenro Go, Kyosuke Higuchi and Ryota Shinozaki: Study on VR-Based Wheelchair Simulator Using Vection-Inducing Movies and Limited-Motion Patterns. Proc. the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2018), Article No.121 (2018).
- [27] 呉健朗, 宇野広伸, 本岡宏將, 樋口恭佑, 宮田章裕: Vection 誘発映像による凹凸バリアシミュレータの基礎検討. 日本バーチャルリアリティ学会 VR 学研報, Vol.23, No. CS-4, pp.3-6 (2018).

研究業績

論文誌

- (1) 本岡宏將, 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, vol.61, No.1, pp.61-69 (2020年1月).
-

査読付国際会議

- (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年12月).
-

研究会・シンポジウム

- (1) 本岡宏將, 大河原巧, 呉健朗, 大和佑輝, 宮田章裕: HMDと電動車椅子を用いたバリアシミュレータの移動距離削減の基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 6B-04 (2019年9月).
 - (2) 呉健朗, 宇野広伸, 本岡宏將, 樋口恭佑, 宮田章裕: Vection 誘発映像による凹凸バリアシミュレータの実装と評価, 情報処理学会第81回全国大会講演論文集, Vol.2019, No.1, pp.43-44 (2019年3月).
 - (3) 本岡宏將, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 宮田章裕: 電動車椅子とHMDを用いたバリアシミュレーションの検討, 情報処理学会インタラクシオン2019論文集, pp.476-478 (2019年3月).
 - (4) 呉健朗, 宇野広伸, 本岡宏將, 樋口恭佑, 宮田章裕: Vection 誘発映像による凹凸バリアシミュレータの基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会 VR学研報, Vol.23, No. CS-4, pp.3-6 (2018年12月).
-