

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

宇野 広伸¹ 呉 健朗² 樋口 恭佑¹ 篠崎 涼太¹ 宮田 章裕^{1,a)}

概要:

我々の生活空間には、車椅子利用者などの移動に困難を抱える人にとって、坂・段差などの円滑な移動を妨げているバリアが数多く存在する。また、このようなバリアを車椅子で通過する際、どれほど危険であるか把握しておかなければ、事故が生じる可能性がある。この問題を解決するために、我々は、HMDと電動車椅子を用いて、電動車椅子でバリアを通過する際の様子を体感するシミュレーションシステムを提案する。これは、電動車椅子でバリアを通過する映像をHMDで表示し、電動車椅子の速度をHMDで表示している映像に合わせて変化させるアプローチである。例えば、電動車椅子で上り坂を通過する映像をHMDで表示した場合、電動車椅子の速度を徐々に減速させた。このシステムを利用することで、車椅子利用者は生活空間に存在するバリアを、電動車椅子で通過する様子を体感できる。プロトタイプシステムによる検証実験を行ったところ、HMDでバリアを通過する映像を表示することと、電動車椅子を走行させることは有効であり、提案方式に一定の有効性を確認できた。

A Study of a Barrier Simulation System using an Electric Wheelchair

Hironobu Uno¹ Kenro Go² Kyosuke Higuchi¹ Ryota Shinozaki¹ Akihiro Miyata^{1,a)}

1. はじめに

我々の生活空間を観察すると、車椅子利用者などの移動に困難を抱える人にとって、坂・段差といった円滑な移動を妨げるもの(以降、バリア)が数多く存在することに気付く。このようなバリアの存在を把握することで、車椅子利用者の移動計画を助けられるだけでなく、道路・施設管理者への改善を促すことができる。現在、我々は健常者の歩行時加速度データをDeep Learningで分析することで、広域のバリア情報を高精度に収集する試みを推進している[1]。しかし、広域のバリア情報を収集し、把握するだけでは問題がある。例えば、下り坂の存在を把握していたとしても、実際にその下り坂を通過する際に想像していたよりも加速してしまい、歩行者などと接触事故を起こしてしまうという問題がある。

このような事故を防ぐために、我々は、車椅子でバリア

を通過する際、車椅子の速度が変化することに着目した。この着目点を元に、我々は、Head Mounted Display(以降、HMD)と電動車椅子を用いて、電動車椅子でバリア通過を通過する際の様子を体感するシミュレーションシステムを提案する。これは、電動車椅子でバリアを通過する映像をHMDで表示し、電動車椅子の速度をHMDで表示している映像に合わせて変化させるアプローチである。このシステムを利用することで、車椅子利用者が外出する際、事前に目的地までに通過し得るバリアがどれほど危険かを体感することができる。

本稿の貢献は次の通りである。

- 電動車椅子でバリア通過時の様子を体感するシミュレーションシステムを提案したこと。
- 上記提案のプロトタイプシステムを構築し、ユーザ実験を行って有効性を検証したこと。

2. 関連研究

身体障がい者数は年々増えている傾向が見られる[2]。身

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

体障がい者は、移動手段として車椅子を利用する場合があるため、車椅子利用者数も年々増えてきていると考えられる。車椅子の利用に慣れていない者は、車椅子でバリアを通過した時に、車椅子がどのような挙動になるのかを把握していないため事故が生じる可能性がある。そのため、車椅子利用者の事故も増えてきているとも考えられる。このようなことから、車椅子を利用したバリア通過時の様子を体感できるシミュレーションシステムの開発が数多く行われている。陳らは、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た [3]。このシステムは、Virtual Reality(以降、VR)と手動車椅子で構築されている。VR上では、仮想世界のエレベータの利用環境を表示し、ユーザが実世界の手動車椅子のハンドリムに力を加えることで、仮想世界の車椅子が動くように連動している。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。Richirらは、車椅子を適切に運転できるようにするシミュレーションシステムを開発した [4]。このシステムは、手動車椅子とVRで構築されており、VR上で仮想世界の斜面を表示している。また、手動車椅子を固定し、車輪をローラ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。Panaderoらは、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た [5]。このシステムは、VR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、システム利用者がジョイスティックを操作することで、VR上で表示している映像が変化している。VR上で表示している映像が車椅子でバリアを通過する際、システム利用者が座っている椅子を傾け、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。

3. 研究課題

身体障がい者が増えている傾向が見られるため、車椅子利用者も増えていると考えられる。そこで、車椅子利用者が安全・確実に目的地に到着する際、事前に通過し得るバリアがどれほど危険であるか把握しなければ、事故が生じる可能性がある。例えば、下記のような事故が想像できる。

- 車椅子で下り坂を通過している際、車椅子が想像していたよりも加速してしまい、歩行者などと接触事故を起こしてしまう。
- 車椅子で段差を通過している際、衝撃が車椅子利用者が想像しているよりも大きく、その結果、バランスを崩し、車椅子から転落してしまう。

そこで車椅子利用者が外出する際、上記のような事故が生じるのを防ぐために、2章で紹介した、事前に車椅子でバリア通過時の様子を体感できるシミュレーションシステムの開発研究が数多く行われている [3][4][5]。しかし、これらを使用するには、2つの問題が存在する。

1つ目の問題として、仮想空間中でバリアを通過するタイミングに合わせて、実空間の車椅子の車輪を回転させるためのモータやローラといった特別な装置が必要になるという問題がある。[3]、[4]、[5]で使用している装置は高価であり、車椅子利用者はこれらを入手することが困難である。

2つ目の問題として、このような特別な装置を入手できた場合でも、車椅子利用者だけでこれらの装置を制御し、利用することは困難である。[3]、[4]では、車椅子を指定された位置に固定する必要があるため、車椅子利用者だけで利用するのは困難である。以上から本稿では、車椅子でバリア通過時の様子を体感できるシミュレーションシステムを構築する上で、下記の課題を設定する。

研究課題

課題 1: 大掛かりな装置を必要とせず、システムを利用できるようにする

課題 2: 車椅子利用者だけで、システムを利用できるようにする

4. 提案手法

3章で述べた研究課題を満たすアプローチを検討するにあたり、バリア通過時の様子を仮想的に“体験”するには何が必要なのか整理する。

第一に、車椅子の速度変化の再現が必要であると考えられる。例えば、車椅子で実際に下り坂を通過する際には車椅子は徐々に加速し、上り坂を通過する際には車椅子は徐々に減速する。このような速度変化を再現することが必要であると我々は考える。

第二に、車椅子利用時の視界の再現が必要であると考えられる。例えば、車椅子で下り坂を通過する際、図1の上から下に向かって視界が変化する。このような視界変化を再現することも必要であると考えられる。

以上をふまえ、我々は、電動車椅子とHMDを用いたバリアシミュレーションシステムを提案する。これは、HMDに表示する電動車椅子でバリアを通過する映像と、電動車椅子の加減速により、バリア通過時の様子を体感できるシミュレーションシステムである。例えば、電動車椅子で下り坂を通過する映像をHMDで表示しながら、電動車椅子の速度を徐々に加速させる。提案概念の模式図を図2に示す。

これによって3章で述べた2つの研究課題を達成していると考えられる。本システムで利用する装置は、電動車椅子とHMDであり、大掛かりな装置ではないため、課題1

は達成していると考えられる。また、事前準備では、車椅子利用者は HMD を装着するだけなので、課題 2 は達成していると考えられる。

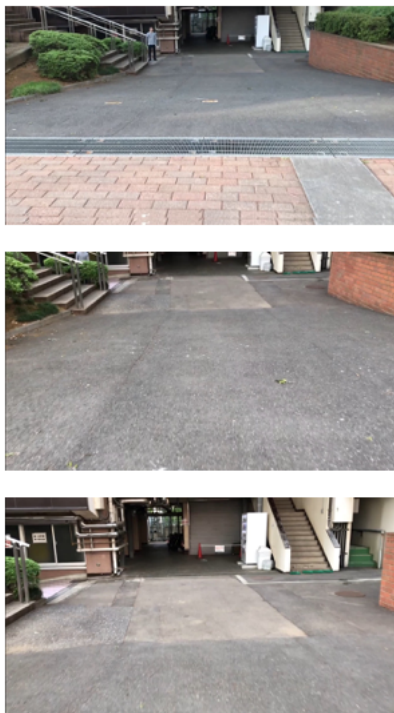


図 1: 下り坂通過時の視界変化 (上画像から下画像へ)

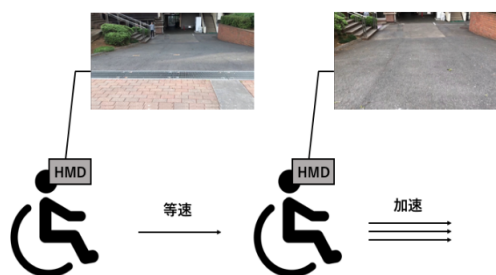


図 2: 提案概念の模式図

5. 実装

本稿では、プロトタイプシステムとして、車椅子の速度が変化しやすい上り・下り坂通過時の様子を体感できるシミュレーションシステムを実装した。本実装で使った車椅子は WHILL Model CR である [6]。この車椅子はシリアル通信により速度制御などを行える。本プロトタイプシステムにおいては、図 3 のように WHILL に接続した Raspberry Pi3 で速度制御を行った。また、本実装では、中にスマートフォンを入れるタイプの HMD を用いた。HMD で表示する映像は、電動車椅子で平坦な道から上り・下り坂を通過しているものである (図 4, 図 5)。本システムの利用風景を図 6 に示す。

HMD で表示した映像上で平坦な道を通過している最中、実際の電動車椅子を等速で走行させる。映像上で上り坂を通過し始めた時、実際の電動車椅子の速度を徐々に減速させる。映像上で下り坂を通過し始めた時、実際の電動車椅子の速度を徐々に加速させる。映像上で上り・下り坂を通過し終わると、実際の電動車椅子の速度を等速に戻す。

なお、今回は初期プロトタイプシステムであるため、入手しやすいビデオシースルータイプの HMD を用いているが、これによりユーザは実世界が見えなくなっている。今後は、安全性を高めるために光学シースルー HMD を利用する予定である。



図 3: WHILL Model CR と Raspberry Pi 3 の接続



図 4: 上り坂



図 5: 下り坂



図 6: システムの利用風景

6. 検証実験

我々は、提案手法を用いて、平坦な道でも上り・下り坂通過時の様子を体感できたかを検証することを目的に、実験を行った。本章では、行った実験について述べる。

6.1 実験条件

実験は大学内の安全を確保したホールに構築した、約7mの平坦な直線コースで行った(図7)。被験者は大学生11名(男9人, 女2人, 全員20代)である。なお、被験者の中には、過去に車椅子を利用したことがある者はいなかった。実験では下記の手法を用意した。

- 手法1
HMDを装着して、電動車椅子で平坦な道から上り・下り坂を通過する映像を表示する。その際、電動車椅子は停止している。
- 手法2
HMDを装着して、電動車椅子で平坦な道から上り・下り坂を通過する映像を表示する。その際、電動車椅子は等速運動をしている。
- 手法3
被験者はHMDを装着せず、電動車椅子が3秒間走行した後、速度変化して走行する。

- 手法4

HMDを装着して、電動車椅子で平坦な道から上り・下り坂を通過する映像を表示する。その際、電動車椅子は被験者が見ている映像に合わせてながら速度変化する。

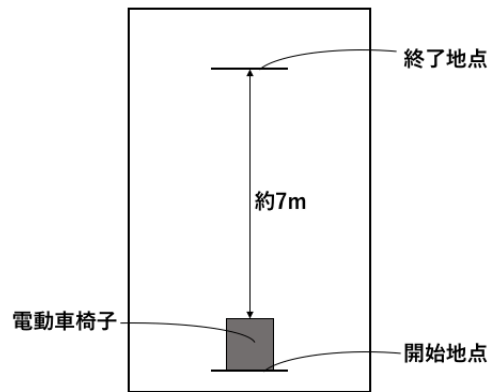


図 7: 実験場所の詳細

6.2 実験手順

被験者には、6.1節で述べた4つの手法を使用してもらい、平坦な道でも上り・下り坂通過時の様子を体感できたかどうか、アンケートに回答してもらった。また、順序効果を相殺するために上り坂、下り坂通過時の様子を体感する順番、各手法を利用する順番をランダムに行った。下記に実験手順の詳細を記す。

Step 1: 被験者は、“上り坂”、“下り坂”と書かれた2枚の紙から1枚選ぶ。

Step 2: 実験者は、Step1で選ばれた坂を電動車椅子で通過する時の様子を体感する実験の説明をする。

Step 3: 被験者は、各手法の数字が書かれた4枚の紙から1枚選ぶ。

Step 4: 被験者はStep3で選んだ手法を3回行う。電動車椅子を動かす手法の場合、1試行ごとに実験者は安全確認を行う。

Step 5: 被験者はアンケートに回答する。

Step 6: Step3~Step5を各手法を全て行うまで繰り返す。4手法全て行った時点でStep1で選ばれた坂を電動車椅子で通過する時の様子を体感する実験は終了。

Step 7: 実験者は、Step1で選ばれなかった坂を電動車椅子で通過する時の様子を体感する実験の説明をする。以降、Step3~Step5の手順で4手法を全て行うまで繰り返す。

なお、Step5のアンケートについては、5段階のリッカート尺度で回答するアンケートを行った。被験者への質問は、上り坂を電動車椅子で通過する時の様子を体感する実験を行った場合、“上り坂を通過している感覚を得ること

ができましたか”，下り坂を電動車椅子で通過する時の様子を体感する実験を行った場合，“下り坂を通過している感覚を得ることができましたか”とした。

6.3 結果・考察

本章では，本実験の結果について述べる。

6.3.1 上り坂を通過する時の様子を体感する実験結果

上り坂を通過している感覚を得ることができたかに関する質問への回答結果を図8に示す。“上り坂を通過している感覚を得ることができましたか”という質問に対し，“とても得られた”，“まあまあ得られた”と回答した被験者は，手法1では0%，手法2では73%，手法3では0%，手法4では64%であった。各手法間でリッカート尺度の回答に Wilcoxon の符号順位検定を行うと，手法2と手法4を除く，すべての手法間で1%水準で有意差を確認できた。以上の結果から，上り坂を通過している感覚を得るのに，手法2，手法4は有効であったと考えられる。

この結果を得られたことに対して考察する。手法2，4は手法3に対して有意差が確認できたため，HMDで上り坂通過時の映像を表示することは有効であったと考えられる。また，手法2，4は手法1に対して有意差が確認できたため，電動車椅子を走行させることは有効であったと考えられる。しかし，手法2と手法4では有意差が確認できなかったため，今後は，上り坂を通過する感覚を得るために加速度を変化させることは必要であったかを検証していく予定である。

6.3.2 下り坂を通過する時の様子を体感する実験結果

次に，下り坂を通過している感覚を得ることができたかに関する質問への回答結果を図9に示す。“下り坂を通過している感覚を得ることができましたか”という質問に対し，“とても得られた”，“まあまあ得られた”と回答した被験者は手法1では9%，手法2では55%，手法3では18%，手法4では91%であった。各手法間でリッカート尺度の回答に Wilcoxon の符号順位検定を行うと，手法2と手法4を除く，すべての手法間で5%水準で有意差が確認できた。以上の結果から，下り坂を通過している感覚を得るのに，手法2，手法4は有効であったと考えられる。

この結果を得られたことに対して考察する。手法2，4は手法3に対して有意差が確認できたため，HMDで下り坂通過時の映像を表示することは有効であったと考えられる。また，手法2，4は手法1に対して有意差が確認できたため，電動車椅子を走行させることは有効であったと考えられる。しかし，手法2と手法4では有意差が確認できなかったため，今後は，下り坂を通過する感覚を得るために加速度を変化させることは必要であったかを検証していく予定である。

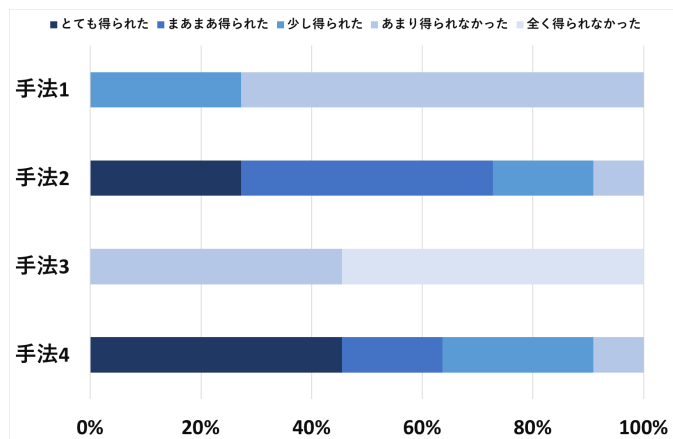


図8: 上り坂を通過している感覚が得られたかどうか (N=11)

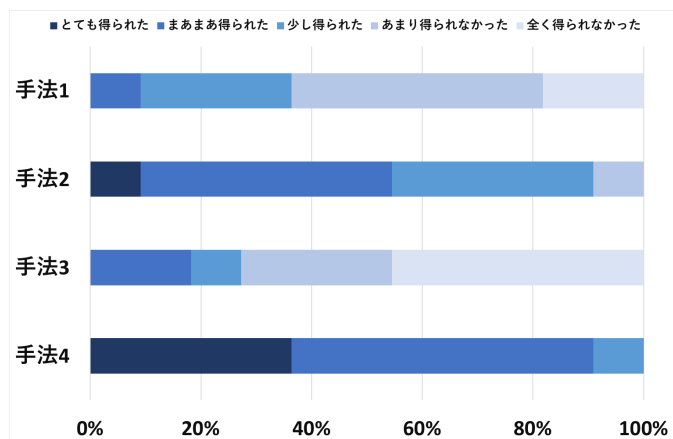


図9: 下り坂を通過している感覚が得られたかどうか (N=11)

7. おわりに

本稿は，車椅子利用者が外出する際に，安全・確実に目的地に到着するために，事前にバリア通過時の様子を体感するシミュレーションシステムを提案するものである。これは，システム利用者に，電動車椅子でバリアを通過する映像をHMDで表示し，電動車椅子の速度をHMDで表示している映像に合わせながら変化させるアプローチである。実装したプロトタイプシステムを用いた実験の結果，電動車椅子でバリアを通過する映像をHMDで表示し，HMDで表示している映像に合わせながら電動車椅子を走行させることは，バリア通過時の様子を体感するのに有効であることが判明した。今後は，電動車椅子をどの程度の速度で動かすことが，よりバリア通過時の様子を体感できるかを検証していく予定である。また，我々は，上り・下り坂通過時のみの様子を体感できるシミュレーションシステムを実装したが，安全性を高めるために光学シースルーHMDを利用し，他のバリア通過時の様子を体感できるシミュレーションシステムも実装していく予定である。

謝辞

本稿は JSPS 科研費 JP17K12730 の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] 宮田 章裕, 荒木 伊織, 王 統順, 鈴木 天詩: 健常歩行者センサーデータを用いたバリア検出の基礎検討, 情報処理学会論文誌, Vol59, No1, pp22-32 (2018).
- [2] 内閣府, http://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h29hakusho/zenbun/siryu_02.html (last visited May. 9, 2018).
- [3] 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, pp1891-1899 (2006).
- [4] Richir, S., Pineau, S., Monacelli, E., Goncalves, F., Malafosse, B., Dumas, C., Schmid, A. and Perret, J.: Design of Portable and Accessible Platform in Charge of Wheelchair Feedback Immersion, Proc. 2015 IEEE Virtual Reality Conference (VR), pp.389-390 (2015).
- [5] Panadero, C. F., Carlos, V. C. B., Kloos, C. D.: PhyMEL-WS: Physically Experiencing the Virtual World. Insights into Mixed Reality and Flow State on Board a Wheelchair Simulator, Journal of Universal Computer Science, Vol.20, No.12, pp.1629-1648 (2014).
- [6] WHILL Model CR, <https://whill.jp/model-cr> (last visited May. 9, 2018).