

# バリアシミュレータのためのオーサリングツールの基礎検討

大河原 巧\* 本岡 宏将† 大和 佑輝† 奥川 和希\* 宮田 章裕\*

**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 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。我々は、コストが低く臨場感が高い車椅子シミュレータを実現するために、HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの提案を行ってきた。しかし、この車椅子シミュレータを用いてシミュレーションを行うには、ユーザが HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを作成する必要があるため、高い作業コストがかかるという問題がある。この問題を解決するために、HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動で作成するツールを作成することを提案する。今後は、ツールを用いて実際にシミュレーションを行い、ツールの評価を行うことを計画している。

## 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したりする必要がな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、コストと臨場感がトレードオフの関係にあった。これをふまえ我々は、HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの提案を行ってきた [11][21][22]。この車椅子シミュレータは金銭的なコストが低く、臨場感が高いという特徴がある。

この車椅子シミュレータを用いてユーザがバリア(例:坂道)通過時の感覚を体感するためには、そのバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを手動で作成しなければいけないため、ユーザがシミュレーションを行う際の作業コストが高くなる。そこで本稿では、ユーザがこの車椅子シミュレータを用いてシミュレーションを行う際の作業コストを低くするために、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成できるツールの提案を行う。

## 2 関連研究

本研究の車椅子シミュレータは、VR ベースの車椅子シミュレータの事例と関係がある。また、3D オブジェクトのオーサリングツールの事例とも関係がある。2.1 節では VR ベースの車椅子シミュレータの事例、2.2 節では 3D オブジェクトのオーサリングツールの事例について説明する。

### 2.1 VR ベースの車椅子シミュレータの事例

文献 [12] では初めて車椅子を操作する人が事前に車椅子の操作技術を向上させるための車椅子シミュレータの開発が行われている。この車椅子シミュレータは、モーションプラットフォームと大型の半球ディスプレイを用いる。大型の半球ディスプレイには、実世界の建物をもとに作成された VR 空間が表示される。VR 空間上の車椅子の操作に合わせてモーションプラットフォームが動作することで、車椅子でバリアを通過する際の感覚を再現している。文献 [18][20] ではユーザが車椅子の操作に慣れることを目的とした車椅子シミュレータの開発が行われている。これらの車椅子シミュレータは、モーションプラットフォームと HMD を用いる。VR 空間上の車椅子の操作に合わせて、モーションプラットフォームが動作することで、ユーザが実際に車椅子を操作しているような感覚を与える。文献 [13] では車椅子ユーザが直面している困難をユーザが体感することを目的とした車椅子シミュレータの開発が行われている。この車椅子シミュレータは、モーションプラットフォームと HMD を用いる。VR 空間上の車椅子の操作に合わせてモーションプラットフォームが動作することで、車椅子でバリアを通過する際の感覚を再現している。文献 [6] では障害をもつ子供が車椅子を適切に操作できるようになることを目的とした車椅子シミュレータの開発が行われている。この車椅子シミュレータは、ジョイスティックを操作するこ

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

\* 日本大学 文理学部

† 日本大学 大学院 総合基礎科学研究科

とでディスプレイに表示されている VR 空間上の車椅子を操作できる。ユーザは VR 空間上で、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行うことができる。文献 [14] では障害を持つ子供が車椅子の操作に慣れるためのシミュレータの開発が行われている。この車椅子シミュレータは、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ている VR 空間上の車椅子を操作できる。ユーザは VR 空間上で、障害物を避けて車椅子を操作するシミュレーションを行うことができる。文献 [16] では車椅子の操作に慣れていない人が車椅子の操作に慣れることを目的とした車椅子シミュレータの開発が行われている。この車椅子シミュレータは、ジョイスティックを操作することで、カメラを装着した遠隔地にある車椅子を操作できる。車椅子に装着されたカメラによって撮影された映像は、ユーザが装着している HMD 上にリアルタイムに共有される。文献 [7] では車椅子の操作に慣れていない人が車椅子の操作に慣れることを目的とした車椅子シミュレータの開発が行われている。この車椅子シミュレータは、ジョイスティックを操作することで HMD 上に表示されている VR 空間上の車椅子を操作できる。ユーザは VR 空間上で、障害物を避けて車椅子を操作するシミュレーションを行うことができる。

## 2.2 3D オブジェクトのオーサリングツールの事例

文献 [4][10] では 3D オブジェクトを VR 空間上に容易に配置できるようにするためのツールの開発が行われている。ユーザはこれらのツールを用いることで VR 空間上への 3D オブジェクトの配置をインタラクティブに行うことができる。文献 [8] では 3D オブジェクトの VR 空間上での動きを容易に設定できるようなツールの開発が行われている。ユーザはこのツールを用いることで 3D オブジェクトの動作を設定することができる。文献 [15] ではプログラミングの知識がなくとも容易に 3D オブジェクトを作成できるツールの開発が行われている。ユーザはこのツールを用いることで 3D オブジェクトのモデリングや、3D オブジェクトの動作を設定することができる。Since8 の World Up[2] は 3D オブジェクトを容易に作成できるツールである。ユーザはこのツールを用いて 3D オブジェクトを作成できるほか、作成した 3D オブジェクトに簡単な動きを容易に設定できる。Carnegie Mellon University の Alice[1] は 3D オブジェクトを容易に作成できるツールである。ユーザはこのツールを用いて 3D オブジェクトを作成できるほか、プログラムを用いて 3D オブジェクトに動きを設定できる。文献 [9][17][19] では実空間をスキャンすることで、VR 空間を自動で作成するツールの開発が行われている。ユーザは実空間を歩行することで、作成された VR 空間上を移動することができる。ユーザはこれらのツールを用いること

で、実空間の広さや形状に合わせた VR 空間を作成することができる。文献 [5] ではユーザの動きに合わせて実空間をリアルタイムにスキャンすることで、VR 空間を自動で作成するツールの開発が行われている。ユーザは実空間を歩行することで、リアルタイムに生成された VR 空間上を移動することができる。ユーザはこのツールを用いることで、人などの動的な障害物に衝突することなく VR 空間上を移動することができる。

## 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。視覚と動きの両方のフィードバックを与える車椅子シミュレータ [12][13][18][20] は臨場感が高いが、モーションプラットフォームなどの専用装置が必要になりコストが高い。視覚のフィードバックのみを与える車椅子シミュレータ [6][7][14][16] は既製品のみで構築できるためコストが低い。動きのフィードバックが無い場合、視覚と動きの両方のフィードバックを与える車椅子シミュレータと比べ臨場感が低い。このように、VR ベースの車椅子シミュレータはコストと臨場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べく、金銭的なコストが低く臨場感が高い、HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの提案を行ってきた [11][21][22]。この車椅子シミュレータは、車椅子に乗っている視点からの風景 CG を表示する HMD と、外部接続した PC からシリアル通信で速度・進行方向を制御できる電動車椅子からなる。以降、電動車椅子の速度・進行方向を時系列に沿って定義したものを動作シナリオと定義する。

この車椅子シミュレータにおいて、HMD 上の映像を作成するためには VR 空間上にコースを作成する必要がある。これを実現する手段として、3D オブジェクトを VR 空間上に配置する方法や、実空間をスキャンする方法が考えられる。3D オブジェクトを VR 空間上に配置する方法 [1][2][4][8][10][15] はユーザが自由にコースを作成することができるが、ユーザが体感したいバリアに合わせて適切なコースを手動で作成する必要がある。実空間をスキャンする方法 [5][9][17][19] はコースを自動的に作成することができるが、コースの形状は実空間に依存するため、ユーザが体感したいバリアに合わせた適切なコースを作成することは困難である。このように、ユーザが体感したいバリアに合わせたコースを自由に VR 空間上に作成するツールは存在しない。また、この車椅子シミュレータにおいて電動車椅子の動作シナリオを作成するためには、HMD 上の映像を参照する必要がある。しかし、HMD 上の映像をもとに、この車椅子シミュレータにおける電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成するツールは存在しない。

車椅子ユーザが屋外を移動する際に遭遇するバリアは坂道や左右方向に傾斜のある道など様々な種類がある。また、同じ種類のバリアでも、傾斜の角度や道幅などのバリアの特徴の違いにより、ユーザがバリアを通過する際に受ける感覚は様々である。この車椅子シミュレータは、坂道のシミュレーションと、左右方向に傾斜のある道のシミュレーションを行える。しかし、種類や特徴の異なる様々なバリアのシミュレーションを行うためには、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを作成する必要がある、高い作業コストがかかってしまう。

上記をふまえ我々は、この車椅子シミュレータにおいてユーザがシミュレーションを行う際の作業コストを低くする必要があると考える。本稿では、HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータにおいてユーザがシミュレーションを行う際の作業コストを低く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を用いてユーザがシミュレーションを行うためには、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを作成する必要がある。そこで我々は、この車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成できるツールを作成することで、ユーザがシミュレーションを行う際の作業コストを抑えることができると考える。上記より、我々はこの車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせたコースを自動的に VR 空間上に作成することで、HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成できるツールを提案する。

#### 5 実装

本章では、本研究の車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成できるツールの実装について説明を行う。また、ツールの実装についての説明を行う上で必要となる、本研究の車椅子シミュレータの実装についても説明を行う。5.1 節では本研究の車椅子シミュレータの実装について説明を行い、5.2 節ではツールの実装について説明を行う。

##### 5.1 本研究の車椅子シミュレータの実装

本節では、本研究の車椅子シミュレータの実装について説明を行う。図 1 にこの車椅子シミュレータの外観を示す。こ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。この車椅子シミュレータは、HMD 上の映像と、電動車椅子の動作を適切に組み合わせることでシミュレーションを行う。

まず、HMD 上の映像について説明を行う。シミュレーションを行う前に、VR 空間上にバリアを模したコースを作成する。シミュレーションを行う際には、ユーザが車椅子に乗った状態で VR 空間上のコースを通過しているかのような一人称視点の映像を HMD 上に流す。

次に、電動車椅子の動作について説明を行う。本研究の車椅子シミュレータにおける電動車椅子の動作は、坂道を通過するシミュレーションと、左右方向に傾斜のある道を通過するシミュレーションについて提案が行われている [11][21][22]。坂道を通過するシミュレーションの際には、HMD 上の映像に合わせて電動車椅子が速度の変化を行いながら直線運動を行う [11][22]。左右方向に傾斜のある道を通過するシミュレーションの際には、HMD 上の映像に合わせて電動車椅子が円運動を行う [21]。



図 1. HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの外観

##### 5.2 ツールの実装

本節では、本研究の車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成できるツールの実装について説明を行う。ツールの実装には Unity[3] を用いる。ツールには、4つの画面（バリア選択画面・コース詳細設定画面・プレビュー画面・シミュレーション画面）を実装する。バリア選択画面は、ユーザが体感したいバリアの種類を大まかに選択する画面である。コース詳細設定画面は、ユーザがシミュレーションに用いる VR 空間上のコースの細かな設定を行う画面である。プレビュー画面は、自動で VR 空間上にコースを作成し、ユーザはそのコースを俯瞰で見ることが出来る画面である。シミュレーション画面は、ユーザがシミュレーションを行う画面である。次に、各画面の説明を行う。

### 5.2.1 バリア選択画面

図2にバリア選択画面を示す。この画面では、ユーザが坂道のシミュレーションと左右方向に傾斜のある道のシミュレーションのどちらを行うかを選ぶ。

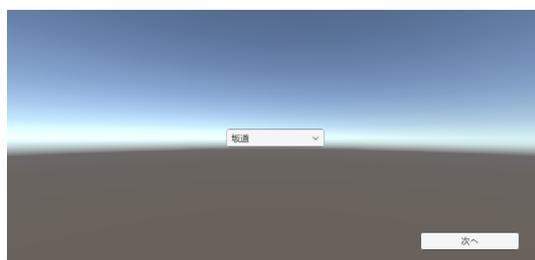


図 2. バリア選択画面

### 5.2.2 コース詳細設定画面

図3にコース詳細設定画面を示す。この画面では、ユーザがシミュレーションに用いるVR空間上のコースの細かな設定を行う。例えば、ユーザがバリア選択画面で坂道のシミュレーションを選んだ場合は、上り坂と下り坂のどちらのシミュレーションを行うか選択し、その坂の傾斜はどの程度か設定をする。また、ユーザはコースの道幅や、コースの長さについても設定を行う。

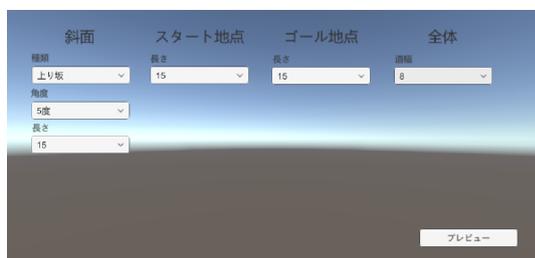


図 3. コース詳細設定画面

### 5.2.3 プレビュー画面

この画面では、ユーザがバリア選択画面とコース詳細設定画面で行った設定をもとにVR空間上にコースを作成する。また、ユーザは作成されたコースを俯瞰で見ることができる。坂道を再現したコースや左右方向に傾斜のある道を再現したコースを表示したプレビュー画面を、図4, 5, 6, 7に示す。

### 5.2.4 シミュレーション画面

図8にシミュレーション画面を示す。この画面では、シミュレーション時のHMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成し、それらを用いてユーザはシミュレーションを行う。まず、シミュレーション時のHMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成することを考える。HMD

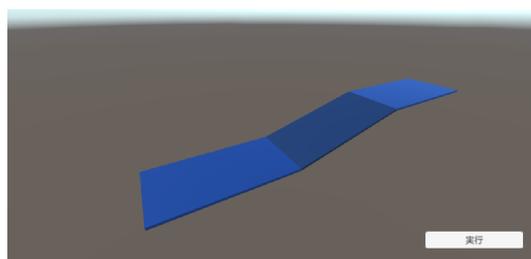


図 4. 上り坂を再現したコースを表示したプレビュー画面

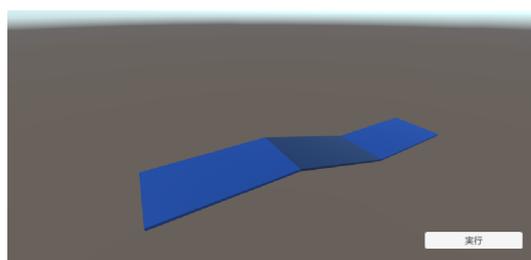


図 5. 下り坂を再現したコースを表示したプレビュー画面

上の映像については、プレビュー画面で作成されたVR空間上のコースを車椅子に乗って走行しているかのような一人称視点の映像を自動的に作成する。電動車椅子の動作シナリオについては、この画面で自動的に作成されるようにする予定である。電動車椅子の動作は、先行研究[11][21][22]の実装をもとに、坂道のシミュレーションの際には速度を変化させながら直線運動を行うようにし、左右方向の傾斜のある道のシミュレーションの際には円運動を行うようにすることを想定している。HMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオの作成が完了したら、シミュレーションを開始する。シミュレーションを行う際のHMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオは、シミュレーション画面で作成されたものとする。

## 6 おわりに

本稿では、HMDと電動車椅子を用いた車椅子シミュレータにおいてユーザがシミュレーションを行う際の作業コストを低くするためのツールの提案を行った。今後は、ツールを用いて電動車椅子の動作シナリオを作成できるようにする予定である。また、本手法を用いて実験を行い、評価を行うことで本手法の有効性を検証することを計画している。

## 謝辞

本研究はJSPS科研費JP19H04160の助成を受けて行われた。

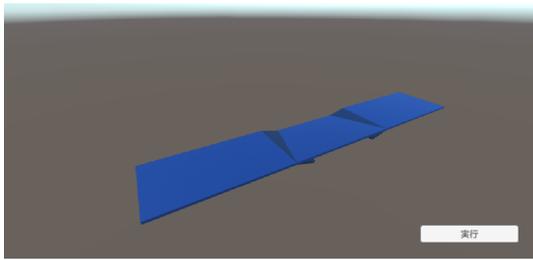


図 6. 左方向に傾斜のある道を再現したコースを表示したプレビュー画面

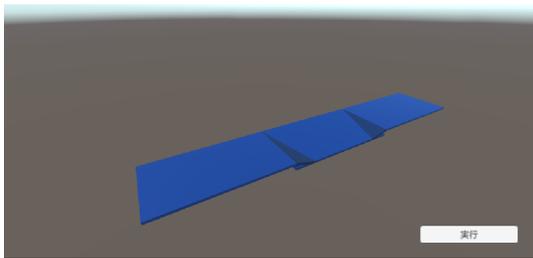


図 7. 右方向に傾斜のある道を再現したコースを表示したプレビュー画面

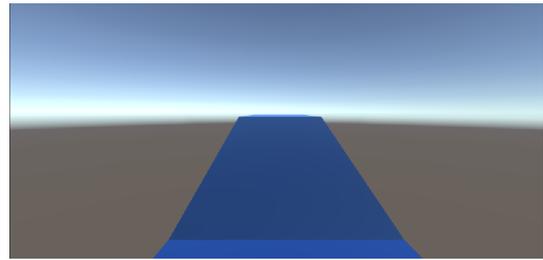


図 8. シミュレーション画面

## 参考文献

- [1] Carnegie Mellon University, Alice. <http://www.alice.org/>.
- [2] Sense8 World Up. <http://www.aaronjamesrogers.com/misc/hotmix16/vendors/sense8/wup.html>.
- [3] Unity. <https://unity.com/>.
- [4] D. A. Bowman and L. F. Hodges. User Interface Constraints for Immersive Virtual Environment Applications. Graphics, Visualization, and Usability Center, Georgia Institute of Technology, GIT-GVU-95-26, 1995.
- [5] L.-P. Cheng, E. Ofek, C. Holz, and A. D. Wilson. VRoamer: Generating On-The-Fly Experiences While Walking inside Large, Unknown Real-World Building Environments. In *Proc. 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR '19)*, pp. 359–366, 2019.
- [6] M. Desbonnet, S. L. Cox, and A. Rahman. Development and Evaluation of a Virtual Reality based Training System for Disabled Children. In *Proc. ICDVRAT '98*, pp. 177–182, 1998.
- [7] C. J. Headleand, T. W. Day, S. R. Pop, and P. D. Ritsos. A Cost-effective Virtual Environment for Simulating and Training Powered Wheelchairs Manoeuvres. *Studies in Health Technology and Informatics*, pp. 134–141, 2016.
- [8] G. A. Lee, G. J. Kim, and C.-M. Park. Modeling Virtual Object Behavior within Virtual Environment. In *Proc. VRST '02*, pp. 41–48, 2002.
- [9] S. Marwecki and P. Baudisch. Scenograph Fitting Real-Walking VR Experiences into Various Tracking Volumes. In *Proc. the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '18)*, Vol. 24, pp. 511–520, 2018.
- [10] M. R. Mine. ISAAC : A Virtual Environment Tool for the Interactive Construction of Virtual Worlds. Department of Computer Science University of North Carolina Chapel Hill, 1995.
- [11] A. Miyata, K. Motooka, and K. Go. A Wheelchair Simulator Using Limited-Motion Patterns and Vection-Inducing Movies. In *Proc. 31st Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI '19)*, pp. 508–512, 12 2019.
- [12] H. Niniss and T. Inoue. Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability. In *Proc. SVR '06*, 2006.
- [13] C. F. Panadero, V. de la Cruz Barquero, C. Delgado-Kloos, and D. M. Nunez. PhyMELWS: Physically Experiencing the Virtual World. Insights into Mixed Reality and Flow State on Board a Wheelchair Simulator. *Intl. Universal Computer Science*, 20:1629–1648, 1 2014.
- [14] N. Rodriguez. Development of a Wheelchair Simulator for Children with Multiple Disabilities. In *Proc. 3rd IEEE VR International Workshop on Virtual and Augmented Assistive Technology (VAAT '15)*, pp. 19–21, 2015.
- [15] J. Seo and S. woong Oh. PVoT: An Interactive Authoring Tool for Virtual Reality. In *Proc. International Journal of Computer Science and Network Security(IJCSNS '07)*, Vol. 7, pp. 17–26, 2007.
- [16] Y. Silva, W. Simões, M. Teófilo, E. Naves, and V. Lucena. Training Environment for Electric Powered Wheelchairs Using Teleoperation Through a Head Mounted Display. In *Proc. 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE '18)*, pp. 1–2, 2018.
- [17] A. L. Simeone, E. Velloso, and H. Gellersen. Substitutional Reality: Using the Physical Environment to Design Virtual Reality Experiences. In *Proc. the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, pp. 3307–3316, 2015.
- [18] A. Sonar, K. Burdick, R. R. Begin, and J. J. Carroll. Development of a Virtual Reality-based Power Wheel Chair Simulator. In *Proc. ICMA '05*, Vol. 1, pp. 222–229, 7 2005.

- [19] M. Sra, S. Garrido-Jurado, and P. Maes. Oasis: Procedurally Generated Social Virtual Spaces from 3D Scanned Real Spaces. In *Proc. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics(TVCG '18)*, Vol. 24, pp. 3174–3187, 2018.
- [20] G. Vailland, F. Grzeskowiak, L. Devigne, Y. Gaffary, B. Fraudet, E. Leblong, F. Nouviale, F. Pasteau, R. L. Breton, S. Guegan, V. Gouranton, B. Arnaldi, and M. Babel. User-centered design of a multisensory power wheelchair simulator: towards training and rehabilitation applications. In *Proc. 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR '19)*, pp. 77–82, 6 2019.
- [21] 大河原巧, 本岡宏將, 大和佑輝, 奥川和希, 宮田章裕. 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. 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO '20), pp. 904–908, 2020.
- [22] 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, 61(1):61–69, 2020.