

# Vection誘発映像と低自由度動作による VRバリアシミュレータの試作

平成30年度 卒業論文

日本大学 文理学部 情報科学科 宮田研究室

宇野 広伸

# 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・凸凹道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。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。このような事故を防ぐために、数多くの車椅子シミュレータが開発されてきた。しかし、従来の車椅子シミュレータは、コストと現実感がトレードオフの関係にあるという問題がある。視覚フィードバックのみを提示する車椅子シミュレータは、低コストで構築できるが、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。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、高額な装置が必要になる。そこで本稿は、低コストで高い現実感を与える車椅子シミュレータを提案する。これは、HMD上のVection誘発映像と、電動車椅子の低自由度動作を複合提示するアプローチである。これにより、車椅子利用者は、低コストで高い現実感の車椅子シミュレータを利用することができる。提案方式の車椅子シミュレータを用いた検証実験を行った結果、Vection誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を複合提示することは、電動車椅子でバリアを通過している感覚を得られることが確認できた。

本稿の貢献は次の通りである。

- 車椅子利用者が容易に利用できる、低コストで現実感のある車椅子シミュレータを提案したこと。
- 上記提案の車椅子シミュレータを構築し、ユーザ実験を行って有効性を検証したこと。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>1</b>
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
<b>第2章</b>	<b>関連研究</b>	<b>4</b>
2.1	VR ベースの車椅子シミュレータに関する研究事例	5
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	5
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	6
2.2	Vection に関する研究事例	6
<b>第3章</b>	<b>研究課題</b>	<b>8</b>
3.1	問題の定義	9
3.2	研究課題の設定	9
<b>第4章</b>	<b>Vection 誘発映像と低自由度動作による VR バリアシミュレータの提案</b>	<b>10</b>
4.1	アプローチ	11
4.2	Vection 誘発映像と低自由度動作による VR バリアシミュレータの提案	12
<b>第5章</b>	<b>Vection 誘発映像と低自由度動作による VR バリアシミュレータの実装</b>	<b>14</b>
5.1	シミュレータの全体像	15
5.2	映像再生アプリケーションの実装	16
5.3	電動車椅子の制御アプリケーションの実装	18
<b>第6章</b>	<b>評価実験</b>	<b>19</b>
6.1	実験の目的	20
6.2	実験条件	20
6.3	実験の手順	22
6.4	実験結果・考察	23
6.4.1	上り坂を通過している感覚を得る実験結果・考察	23
6.4.2	下り坂を通過している感覚を得る実験結果・考察	23
<b>第7章</b>	<b>結論</b>	<b>25</b>

---

参考文献	27
研究業績	30

# 目 次

4.1	製品の外観 . . . . .	11
4.2	システム概念図 . . . . .	13
5.1	シミュレータ全体像 . . . . .	15
5.2	HMD 上に表示する画面 . . . . .	16
5.3	画面詳細 . . . . .	17
5.4	上り坂の映像 . . . . .	17
5.5	下り坂の映像 . . . . .	18
6.1	実験場所の詳細 . . . . .	21
6.2	上り坂を通過している感覚を得ることができたかどうか (N=11) . . . . .	24
6.3	下り坂を通過している感覚を得ることができたかどうか (N=11) . . . . .	24

# 表 目 次

4.1	制御内容 . . . . .	12
5.1	シミュレータに使用したデバイスの名称 . . . . .	16
5.2	映像と電動車椅子の挙動 . . . . .	18
6.1	実験条件(上り坂) . . . . .	21
6.2	実験条件(下り坂) . . . . .	21

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景

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・凸凹道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。しかし、車椅子利用者がバリアの位置を把握できるようにするだけでは、実際にバリアを通過したとき、自身にどのような負荷がかかるか体感できないという問題がある。例えば、下り坂の存在を把握していたとしても、実際に通過するとき、車椅子が想像以上に加速してしまい、歩行者などと接触事故を起こしてしまう問題がある。また、凸凹道の存在を把握していたとしても、実際に通過するとき、車椅子の車輪が凸凹道の溝にとられ、車椅子利用者にとって想定外の方向に車椅子が走行し、近くにいる人と衝突してしまう問題がある。

## 1.2 研究の目的

1.1節で述べた外出時における事故が生じるのを防ぐために、これまで数多く車椅子シミュレータが開発されてきた。しかし、従来の車椅子シミュレータには、コストと現実感がトレードオフの関係にあるという問題がある。本研究では、ユーザに、低コストで高い現実感を与える車椅子シミュレータの実現を目的とする。この目的を達成するために、自己動作感覚を誘発する映像と、電動車椅子の低自由度動作を同時に提示することで、バリアを通過している感覚を得られるようにする。

本稿では、上記の要件を実装したシミュレータの構築、および評価実験から構築したシミュレータの有効性を確認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、Vectionに関する研究事例について述べる。

3章では、従来のVRベース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、従来のVRベースの車椅子シミュレータにおいて生じる問題を解決するために、低コストで高い現実感を得られる方法について検討し、電動車椅子の低自由度動作をVection誘発映像で拡張するVRバリアシミュレータを提案する。

5章では、Vection誘発映像を再生するアプリケーションの実装、電動車椅子の低自由度動作を制御するアプリケーションについて具体的に述べる。

---

6章では、行ったユーザ実験の目的や手順について述べ、実験結果から得られた知見についても述べる。

最後に7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。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。これらは、2.1.1項、2.1.2項においてそれぞれ紹介する。2.2節では、Vectionに関する研究事例について紹介する。

## 2.1 VRベースの車椅子シミュレータに関する研究事例

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 [1][2].

### 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]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車椅子シミュレータを開発した。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車椅子シミュレータを開発した。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車椅子シミュレータを開発した。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車椅子シミュレータを開発した。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車椅子シミュレータを開発した。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車椅子シミュレータを開発した。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車椅子シミュレータを開発した。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。[10]は、車椅子利用者が電動車椅子の操作に慣れるための車椅子シミュレータを開発した。このシステムは、HMDとStewart platform[11]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。[12]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車椅子シミュレータを開発した。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ることができながら、車椅子の運転技術を向上できる。

## 2.2 Vectionに関する研究事例

本節では、Vectionに関する研究事例について述べる。Vectionとは歴史的には静止したユーザが特定の視覚刺激を受けることで身体が動いているように感じる感覚のことであった[13]。例えば、止まっている電車の中で、向かい側を走る電車を窓越しに観察した場合、あたかも自分の乗っている電車が動いているように感じることもある。しかし、近年では複数感覚刺激により誘発される自己動作感覚を総じてVectionと呼ぶ動きもある[14]。[15]は、投影スクリーンによる視覚刺激と、ジョイスティックと連動する車椅子による前庭感覚刺激を複合することで、自己動作感覚を強化するという報告をしている。[16]は、投影スクリーンによる視覚刺激と、モーションプラットフォームによる直線方向の前庭感覚刺激を複合することで、直線方向の自己動作感覚を強化するという報告をしている。さらに、視覚刺激に合った前庭感覚刺激をすることで、モーションプラットフォームなどの高額な装置を必要とせず、低コストなシミュレータを開発することが可能であることも報告している。[17]は、没入型ディスプレイによる視覚刺激と、回転のみの低自由度のモーションベースによる前庭感覚刺激を複合することで、ユーザに慣性力を体感させるシステ

ムを開発した。[18]は、HMDに表示している映像による視覚刺激と、垂直方向に振動する椅子による前庭感覚刺激を複合することで、垂直方向の自己動作感覚を強化するという報告をしている。[19]は、動く縞模様、傾く視野、欠ける視野による視覚刺激と、前方に走行する電動車椅子による前庭感覚刺激を複合することで、左右方向の自己動作感覚を強化するという報告をしている。

## 第3章 研究課題

### 3.1 問題の定義

身体障がい者数は、平成18年は356万人、平成23年は386万人、平成28年は427万人と年々増えている傾向 [20] 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。そのため、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、下記のような事故が増加する可能性がある。

- 車椅子で下り坂を通過している際、車椅子が想像以上に加速してしまい、歩行者などと接触事故を起こしてしまう。
- 車椅子で凸凹道を通過している際、車椅子の車輪が凸凹道の溝にとられ、車椅子利用者にとって想定外の方向に車椅子が走行し、近くにいる人と衝突する可能性がある。

そこで、上記のような外出時における車椅子の事故が生じるのを防ぐために、2章で紹介した、車椅子シミュレータの開発が数多く行われている [3][4][5][6][9][10][12]。しかし、これらのシステムには、2つの問題が存在する。

1つ目の問題として、視覚フィードバックのみを提示する車椅子シミュレータは、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という問題がある。[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車椅子シミュレータである。しかし、[3], [4], [5], [6] は、視覚フィードバックのみを提示する車椅子シミュレータなので、車椅子で坂道を通過する際に生じる速度の変化や、凸凹道を通過する際に車輪が凸凹道の溝にとられ、想定外の方向に車椅子が走行してしまうなどの車椅子の様子を把握させることが難しい。

2つ目の問題として、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は、モーションプラットフォームなど的高額な装置が必要になるという問題がある。[9], [10], [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車椅子シミュレータである。これらのシステムは、車椅子で坂道を通過す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、車椅子利用者がシミュレータを容易に利用することは難しい。

### 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、車椅子シミュレータを構築する上で、下記の研究課題を設定する。

問題1：現実感のある車椅子シミュレータを実現する。

問題2：低コストで利用できる車椅子シミュレータを実現する。

## 第4章 Vection誘発映像と低自由度動作 によるVRバリアシミュレータの 提案

## 4.1 アプローチ

3.2節で設定した課題を達成するために、(1) 低コストかつコンピュータ制御可能な電動車椅子と、(2) 視覚誘導性の自己動作感覚に着目した。(1)について、低コストかつコンピュータ制御可能な電動車椅子が市場に出回り始めている。例えば、WHILL社の製品[21](図4.1)はジョイスティック型の電動車椅子であり、欧米・日本で1,000台以上の売り上げを達成している。この製品はシリアルケーブルか無線で接続した外部コンピュータから制御可能である。制御可能である内容は表4.1のように、電動車椅子のジョイスティックを制御し、電動車椅子を動かすことなどである。このような電動車椅子を用いることで、高額なモーションプラットフォームを使わなくても、動きに多少制限があるが(例: 車椅子は自身で傾くことはできない) ユーザに高い現実感を提供できる可能性がある。(2)について、視覚誘導性の自己動作感覚により現実感を高められる可能性がある。2.2節より、視覚と前庭感覚に同時刺激を行うことで、電動車椅子の限られた動きを、ユーザにはより多様な動きに感じさせられる可能性が示唆される。



図 4.1: 製品の外観

Command	制御内容
SetPower	本体の電源を入れる/切る
SetJoystick	本体にジョイスティック入力を入れる
StartSendingData	本体の情報送信を開始させる
SetSpeedProfile	本体の速度情報を設定する
SetBatteryVoltageOut	供給電源を ON/OFF にする

表 4.1: 制御内容

## 4.2 Vection 誘発映像と低自由度動作によるVRバリアシミュレータの提案

4.1 節の (1)(2) に基づき、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 VR バリアシミュレータを提案する [22][23][24]. このシステムは、図 4.2 のように、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. このとき、映像と車椅子動作の挙動は完全に一致したものではない. 電動車椅子が実際にはできない動作をしているかのように、映像が変化する. 例えば、下記のように HMD 上の映像と電動車椅子の動作を変化させて、バリアを再現する.

- HMD 上に平地から上り坂に移動する映像を表示する. 一方、電動車椅子は等速運動に続いて減速運動を行う.
- HMD 上に平地から下り坂に移動する映像を表示する. 一方、電動車椅子は等速運動に続いて加速運動を行う.

上記のように、HMD 上の映像と電動車椅子の低自由度動作によって 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、まるで上り・下り坂を通過している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.

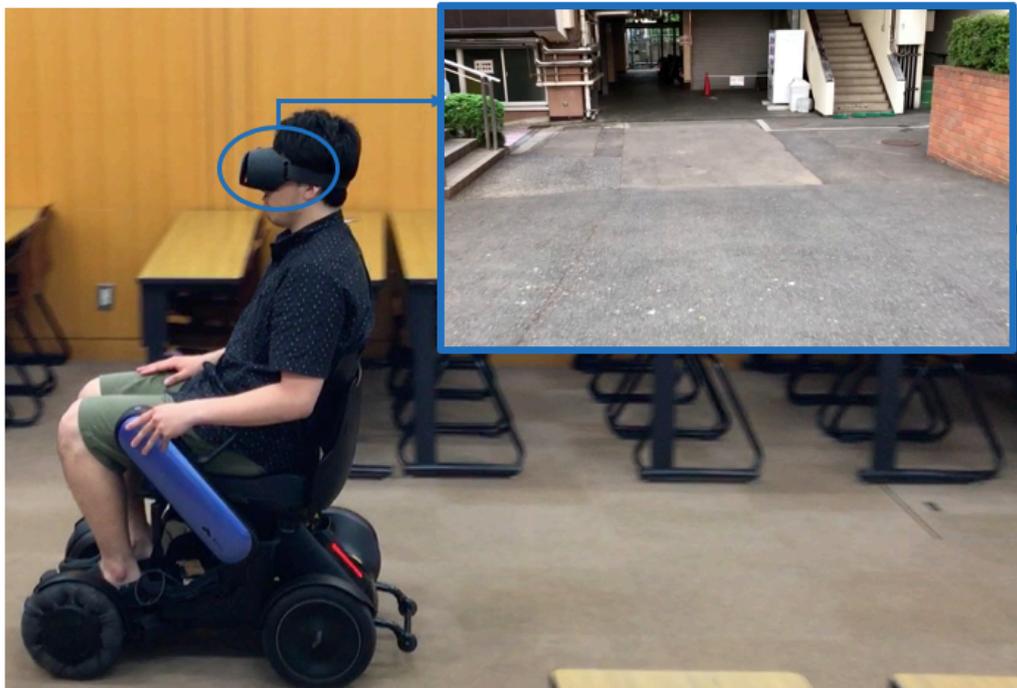


図 4.2: システムの概念図

## 第5章 Vection誘発映像と低自由度動作 によるVRバリアシミュレータの 実装

## 5.1 シミュレータの全体像

シミュレータの全体像を図5.1に示す。シミュレータは、光学シースルーHMD[25](optical see-through HMD, 以降 OST-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5.1に示す。光学シースルーHMDを使用したのは、ユーザがシミュレータ使用時に現実オブジェクトに気付かずに衝突しないようにするためである。シミュレータ使用時には図5.1のように、ユーザはOST-HMDを着用し、OST-HMDと接続しているコントローラを手を持ち、電動車椅子に座る。SBCは電動車椅子の荷物入れに格納してある。ユーザはOST-HMD上に表示されている画面(図5.2)を見ながら、OST-HMDに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。

OST-HMD上の映像再生アプリケーションはAndroid(バージョン5.1.1), SBC上の電動車椅子制御アプリケーションはPython(バージョン3.6.4)を用いて実装した。OST-HMDとSBCは、WebSocket通信を無線で行っており、SBCはOST-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。

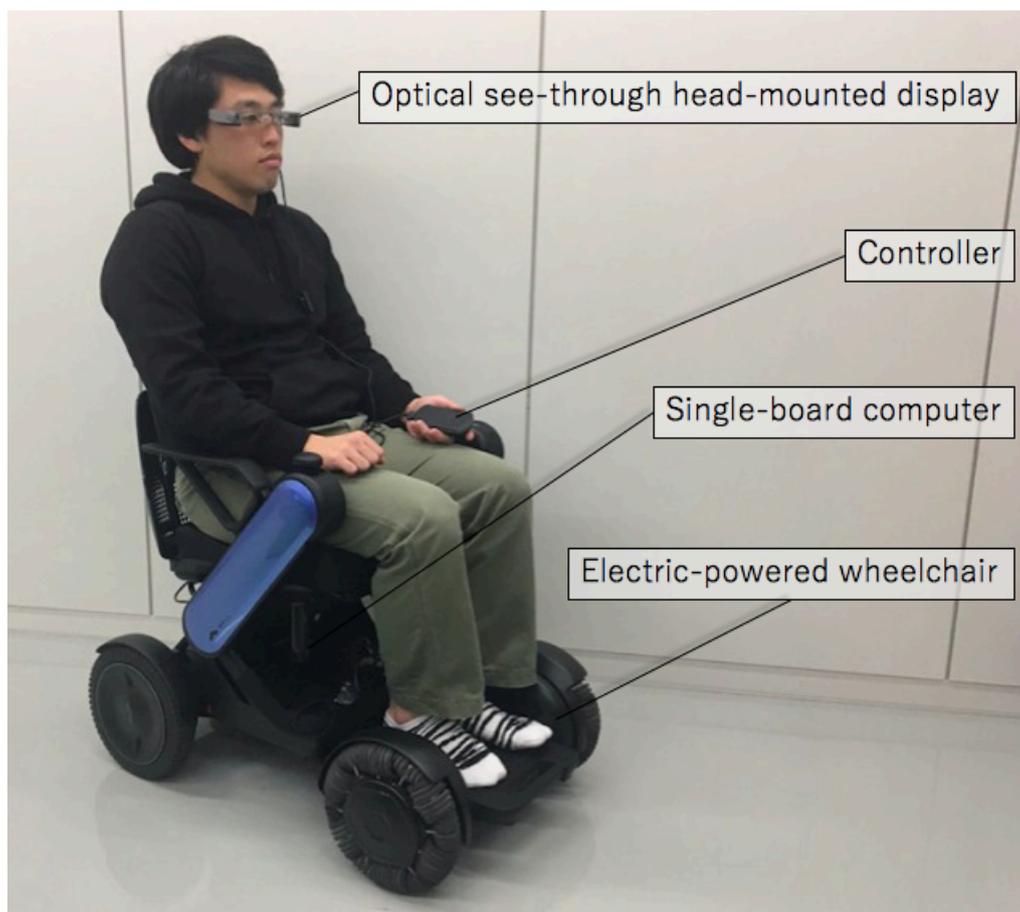


図 5.1: シミュレータ全体像

デバイス	名称
OST-HMD	MOVERIO BT-300
SBC	Raspberry Pi3
電動車椅子	WHILL Model-CR

表 5.1: シミュレータに使用したデバイスの名称

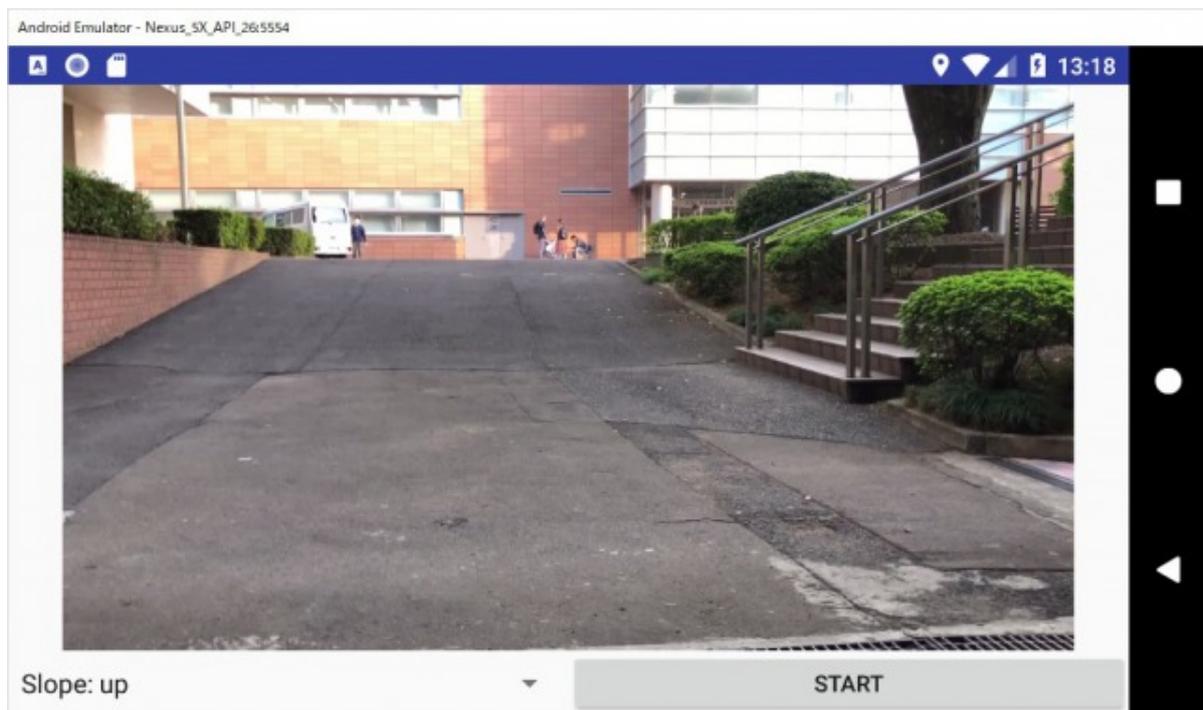


図 5.2: HMD 上に表示する画面

## 5.2 映像再生アプリケーションの実装

OST-HMD 上で動作する映像再生アプリケーションの画面の詳細を図 5.3 に示す。ユーザは、図 5.3 の左下のプルダウンからシミュレーションを行うバリアを選択する。バリアを選択した後、図 5.3 の右下の START ボタンを押すことで、選択したバリアを電動車椅子で通過するとき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。ユーザが選択、表示できるバリアの種類は上り・下り坂の 2 種類であり、上り坂の映像は、平地から上り坂に変化し、下り坂の映像は、平地から下り坂に変化する (図 5.4, 図 5.5)。これらの映像は、実際に映像に表示している上り・下り坂を、電動車椅子で走行しながらスマートフォンを用いて撮影した。その際、現実世界

の平地から上り・下り坂に差し掛かるときに生じる車椅子利用者の視界の変化や揺れを、シミュレータ利用者が感じ取れるように、撮影者の頭部にカメラを固定して撮影した。



図 5.3: 画面詳細



図 5.4: 上り坂の映像



図 5.5: 下り坂の映像

### 5.3 電動車椅子の制御アプリケーションの実装

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。OST-HMD 上に選択したバリア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 OST-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、OST-HMD 上で選択したバリアの種類によって電動車椅子の挙動を変える。OST-HMD 上で選択したバリアの種類に対応する映像と、その映像に合わせた電動車椅子の挙動を表 5.2 に示す。OST-HMD 上に表示する映像が平地から上り坂に変化する場合、電動車椅子の挙動は等速運動から、あたかも上り坂に影響を受けたように減速運動に変化する。OST-HMD 上に表示する映像が平地から下り坂に変化する場合、電動車椅子の挙動は等速運動から、あたかも下り坂に影響を受けたように加速運動に変化する。

バリアの種類	映像・挙動
上り坂	映像: 平地→上り坂 挙動: 等速運動→減速運動
下り坂	映像: 平地→下り坂 挙動: 等速運動→加速運動

表 5.2: 映像と電動車椅子の挙動

## 第6章 評価実験

## 6.1 実験の目的

本実験では、提案方式を用いて、平地でも上り・下り坂を通過しているような感覚を得られるかどうかを検証することを目的に、実験を行った。

## 6.2 実験条件

被験者は20代男性9名、女性2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い。実験は、大学内の約8m四方のホールに、7mの直線コースを構築して行った(図6.1)。床は平坦であり、毛足の短いカーペットが敷いてあった。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。

実験は上り坂、下り坂に対して、それぞれ下記に示すP1～P3の3パターンを用意した。P1～P3の3パターンを表にまとめたものを、表6.1と表6.2に示す。

- P1-up  
OST-HMDを装着して、平地から上り坂に変化する映像を表示させる。電動車椅子は静止したままである。
- P2-up  
OST-HMDを装着して、平地から上り坂に変化する映像を表示させる。電動車椅子は等速で前進する。
- P3-up  
OST-HMDを装着して、平地から上り坂に変化する映像を表示させる。電動車椅子は等速で前進した後、減速しながら前進する。
  
- P1-down  
OST-HMDを装着して、平地から下り坂に変化する映像を表示させる。電動車椅子は静止したままである。
- P2-down  
OST-HMDを装着して、平地から下り坂に変化する映像を表示させる。電動車椅子は等速で前進する。
- P3-down  
OST-HMDを装着して、平地から下り坂に変化する映像を表示させる。電動車椅子は等速で前進した後、加速しながら前進する。

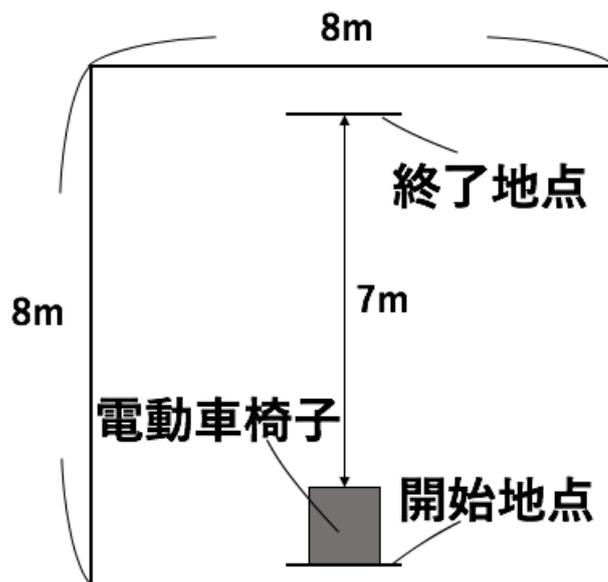


図 6.1: 実験場所の詳細

実験条件	映像・動作の挙動
P1-up	映像: 平地→上り坂 動作: 静止
P2-up	映像: 平地→上り坂 動作: 等速前進
P3-up	映像: 平地→上り坂 動作: 等速前進→減速前進

表 6.1: 実験条件 (上り坂)

実験条件	映像・動作の挙動
P1-down	映像: 平地→下り坂 動作: 静止
P2-down	映像: 平地→下り坂 動作: 等速前進
P3-down	映像: 平地→下り坂 動作: 等速前進→加速前進

表 6.2: 実験条件 (下り坂)

### 6.3 実験の手順

被験者は、6.2節で述べた各実験条件について、3回ずつ体験した。その際、被験者は、各実験条件を体験するたびに、アンケートに回答をした。また、順序効果を相殺するために上り坂、下り坂を通過している感覚を体験する順番、各実験条件を体験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、文字を見ずに1枚を選ぶ。

**Step 2:** 実験者は、Step1で選ばれた坂を電動車椅子で通過している感覚が得られるかの実験を行うことについて被験者に説明する。

**Step 3:** 被験者は、P1～P3が書かれた3枚の紙から、文字を見ずに1枚選ぶ。

**Step 4:** 被験者はStep3で選んだ実験条件を3回体験する。電動車椅子を動かす実験条件の場合([P2, P3]-up, [P2, P3]-down), 1試行ごとに実験者は安全確認を行う。確認する内容を下記に示す。

- シミュレーション開始地点に電動車椅子が置いてある
- 直線コースに障害物がない
- 電動車椅子の車輪に異物の巻き込みがない
- 実験者がいつでも電動車椅子を止められるように、WHILL Model-CRを遠隔で操作できるアプリケーションをスマートフォンで起動する
- 被験者がいつでも電動車椅子を止められるように、電動車椅子の電源ボタンに指を添える
- シミュレーション体験中、被験者が電動車椅子のジョイスティックを操作しないよう、右手を膝の上に置く
- 被験者の体調・気分の不調がない
- 被験者が電動車椅子から転落しないように、電動車椅子の椅子に深く腰掛けている

**Step 5:** 被験者はアンケートに回答をする。

**Step 6:** Step3～Step5の各実験条件を全て体感するまで繰り返す。全ての実験条件を体感した時点でStep1で選ばれた坂を電動車椅子で通過している感覚が得られるかの実験は終了。

**Step 7:** 実験者は、Step1で選ばれなかった坂の電動車椅子で通過している感覚が得られるかの実験を行うことについて被験者に説明する。以降、Step3～Step5の手順で各実験条件を全て体感するまで繰り返す。

なお、Step5のアンケートは、[P1, P2, P3]-upのどれかを体験した場合、“上り坂を通過している感覚を得ることができましたか”、[P1, P2, P3]-downのどれかを体験した場合、“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。被験者は、これらのアンケートに5段階のリッカート尺度(1:全く得られなかった, 5:とても得られた)で回答をした。

## 6.4 実験結果・考察

### 6.4.1 上り坂を通過している感覚を得る実験結果・考察

上り坂の実験条件に対する被験者の回答分布を図6.2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、4または5の回答をした割合は、P1-upは0%、P2-upは18%、P3-upは55%であった。各実験条件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、P1-up・P3-up間で1%水準の有意差を確認した。このことから、上り坂を通過している映像による視覚刺激と、電動車椅子の低自由度動作による前庭感覚への刺激を複合提示することは、被験者に上り坂を通過している感覚を与えることができたと判明した。P2-up・P3-up間では、電動車椅子の挙動の差があるにもかかわらず、被験者の回答には有意差が認められなかった。

以上の結果から、上り坂を通過している感覚を得るためには、上り坂を通過している映像による視覚刺激と、電動車椅子の低自由度動作による前庭感覚への刺激を複合提示することは有効であると考えられるが、電動車椅子の挙動を変化させる必要はないと推測される。この結論が普遍的なものであるか否か、下肢障害などの車椅子利用者に体験してもらい、被験者数を増やして明らかにする必要がある。

### 6.4.2 下り坂を通過している感覚を得る実験結果・考察

下り坂の実験条件に対する被験者の回答分布を図6.3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、4または5の回答をした割合は、P1-downは0%、P2-downは27%、P3-downは90%であった。各実験条件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、P1-down・P3-down間、P2-down・P3-down間でそれぞれ5%水準の有意差を確認した。このことから、下り坂を通過している映像による視覚刺激と、電動車椅子の低自由度動作による前庭感覚への刺激を複合提示することは、被験者に下り坂を通過している感覚を与えることができたと判明した。

以上の結果から、下り坂を通過している映像による視覚刺激と、電動車椅子の挙動を変化させる低自由度動作による前庭感覚への刺激を複合提示することは、下り坂を通過している感覚を得ることに有効であったと考えられる。

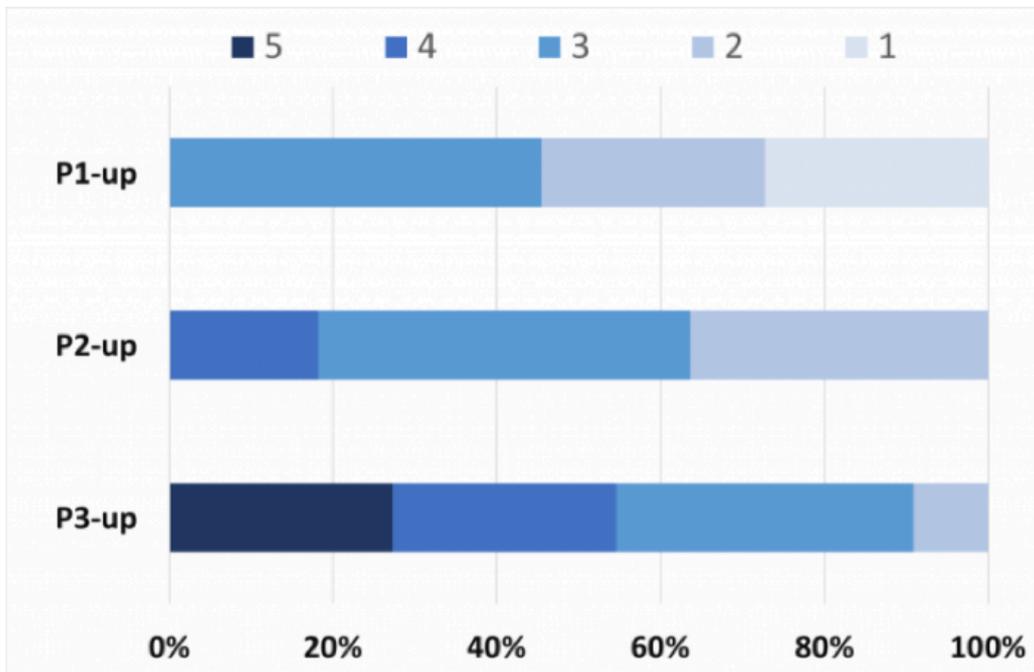


図 6.2: 上り坂を通過している感覚を得ることができたかどうか (N=11)

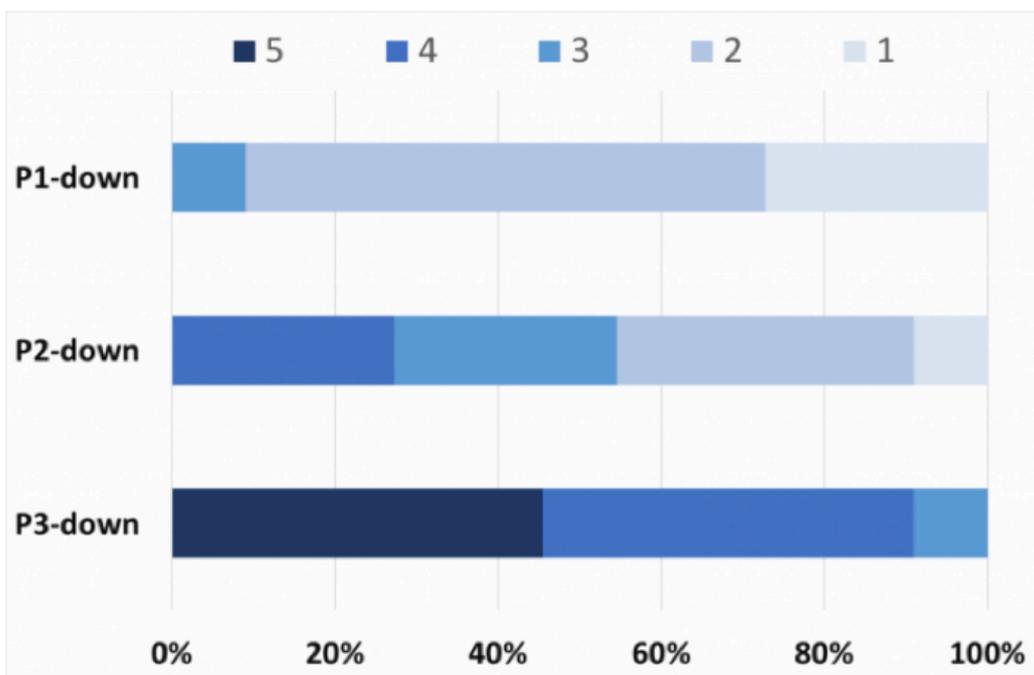


図 6.3: 下り坂を通過している感覚を得ることができたかどうか (N=11)

## 第7章 結論

本稿は、外出時における車椅子の事故を防ぐことを目的に開発された車椅子シミュレータは、コストと現実感がトレードオフの関係にあるという問題の解消を狙ったものである。視覚フィードバックのみを提示する車椅子シミュレータは、低コストで構築できるが、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。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、高額な装置が必要になる。この問題をふまえ、本研究では、ユーザに、低コストで高い現実感を与えるために、Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を複合提示する車椅子シミュレータを提案した。これは、HMD 上の電動車椅子でバリアを通過する映像と、外部制御による電動車椅子の低自由度動作によって Vection が生じ、まるで現実世界のバリアを通過しているかのような自己動作感覚をユーザに与える車椅子シミュレータである。実装した車椅子シミュレータを用いた実験を行った結果、Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を複合提示することで、電動車椅子でバリアを通過している感覚が得られることを確認した。

今後は、シミュレーションができるバリアの種類を増加させる予定である。具体的には、旅客施設のバリアフリー化によって増設が行われる可能性がある点字ブロックのような凸凹道などを再現する予定である。また、本シミュレータは、シミュレーションをする際に、OST-HMD に表示する映像上の電動車椅子が進む距離と同じスペースを現実世界で確保する必要があるため、シミュレーションをする際に必要なスペースを縮小する方法についても検討を行っていく。

## 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, 7 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*, 3 2010.
- [3] Manuel Desbonnet, Sara L. Cox, and Abdur Rahman. Development and evaluation of a virtual reality based training system for disabled children. In *Proc. ICDVRAT1998*, 1998.
- [4] Yann Morre, Guy Bourhis, Kvin Cosnuau, Georges Guilmois Emmanuelle Blangy, and milie Rumilly. View, a wheelchair simulator for driving analysis. In *Proc. ICVR 2015*, 6 2015.
- [5] Nancy Rodriguez. Development of a wheelchair simulator for children with multiple disabilities. In *Proc. VAAT2015*, 3 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. 1 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. In *Proc. ICCE 2018*, 3 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] Carmen Fernndez 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. In *Universal Computer Science*, Vol. 20, pp. 1629–1648, 1 2014.

- 
- [10] Ajay Sonar, K.D. Burdick, Ryan R. Begin, and James J. Carroll. Development of a virtual reality-based power wheel chair simulator. *In Proc. ICMA 2005*, Vol. 1, pp. 222–229, 1 2005.
- [11] D. Stewart. A platform with six degrees of freedom. *In Proc. the UK Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 180, pp. 371–386, 6 1965.
- [12] Hafid Niniss and Takenobu Inoue. Electric wheelchair simulator for rehabilitation of persons with motor disability. *In Proc. SVR 2006*, 2006.
- [13] Johannes Dichgans and Thomas Brandt. Visual-vestibular interaction: Effects on self-motion perception and postural control. *In Handbook of Sensory Physiology*, 1978.
- [14] Stephen Palmisano, Robert S. Allison, Mark M. Schira, and Robert J. Barry. Future challenges for vection research: Definitions, functional significance, measures, and neural bases. *In Frontiers in Psychology*, Vol. 6, pp. 1–15, 2 2015.
- [15] Bernhard E. Riecke. Simple user-generated motion cueing can enhance self-motion perception (vection) in virtual reality. *In Proc. VRST 2006*, 11 2006.
- [16] Bernhard E. Riecke, Joerg schulte pelkum, and F. Caniard. Visually induced linear vection is enhanced by small physical accelerations. *In Proc. IMRF 2006*, 1 2006.
- [17] Maiya Hori, Masayuki Kanbara, and Naokazu Yokoya. A mixed reality telepresence system with limited dof motion base and immersive display. *In Proc. ACE 2009*, 1 2009.
- [18] Wright W. G., DiZio P., and Lackner J. R. Vertical linear self-motion perception during visual and inertial motion: More than weighted summation of sensory inputs. *jnl. In Vestibular Research*, Vol. 15, pp. 185–195, 6 2005.
- [19] 鈴木亮太, 中村優介, 福田悠人, 小林貴訓, 久野義徳. ベクションを用いたパーソナルモビリティの誘導. 情報処理学会 インタラクション 2017, 3 2017.
- [20] [https://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h30hakusho/zenbun/siryu\\_02.html](https://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h30hakusho/zenbun/siryu_02.html) (last visited: 2019/1/11).
- [21] <http://whill.us> (last visited: 2019/1/7).
- [22] 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 (DICOMO2018), 第 2018 巻, 7 2018.

- 
- [23] 宮田章裕, 呉健朗, 樋口恭佑, 篠崎涼太, 宇野広伸. 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, 2018.
- [24] 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. *In Proc. the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2018)*, 2018.
- [25] <https://www.epson.jp/products/moverio/bt300/> (last visited: 2019/1/18).

# 研究業績

## 査読付国際会議

- (1) 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) (2018).
- 

## 研究会・シンポジウム

- (1) 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 篠崎涼太, 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, (2019 年 3 月発表予定).
  - (2) 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, (2018 年 10 月).
  - (3) 大和佑輝, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いたバリア情報収集システムの実装, 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 (DICOMO2018), Vol.2018, pp.721-724 (2018 年 7 月).
  - (4) 篠崎涼太, 呉健朗, 樋口恭佑, 宇野広伸, 宮田章裕: 健常者歩行時加速度データからのバリア検出における最適サンプル長の基礎検討, 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 (DICOMO2018), Vol.2018, pp.432-436 (2018 年 7 月).
  - (5) 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 (DICOMO2018), Vol.2018, pp.421-426 (2018 年 7 月).
  - (6) 大和佑輝, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 荒木伊織, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いたバリア情報収集の提案, 情報処理学会第 80 回全国大会講演論文集, Vol.2018, No.1, pp.63-64 (2018 年 3 月).
  - (7) 大和佑輝, 呉健朗, 宇野広伸, 樋口恭佑, 荒木伊織, 宮田章裕: ゲーミフィケーションを用いたバリア情報収集の基礎検討, 情報処理学会グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2017 論文集, Vol.2017, pp.1-2 (2017 年 11 月).
-

## 受賞

- (1) マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム ヤングリサーチ賞, 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, 受賞者: 宇野広伸 (2018 年 7 月).
  - (2) マルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2018) シンポジウム ナイトテクニカルセッション賞, ちぎることで電子情報を手渡すインタラクション方式の実用性検証, 受賞者: 呉健朗, 宇野広伸, 富永詩音, 長岡大二, 小林舞子, 大和佑輝, 篠崎涼太, 多賀諒平 (2018 年 7 月).
-