

全天球映像を活用した VR 空間における お出掛け歩行訓練システムに関する研究

荒木 沙紀^{1,a)} 小松 稔惇^{1,b)} 大井 翔^{1,c)}

概要：高次脳機能障害とは、交通事故などの頭部外傷や、脳梗塞や脳炎など疾患により、脳が損傷を受けることにより生じる記憶機能障害、注意機能障害などの症状である。日常生活行動によるリハビリテーションにより症状の進行を遅らせることができるが、外出を伴う買い物などでは転倒リスクが高く、運動不足にもなりやすい。本研究では、VR 環境と 360 度カメラによる実映像を用いることで、外出時の事故リスクを排除し、足踏みによる移動で実際の歩行感覚を提供するシステムを開発した。全天球映像と VR ゴーグル、加速度センサを用いて実装し、異なるフレーム数での歩行感覚の評価実験を行った。結果として、足踏みと映像の連動性が重要であることが判明し、足踏みの速さに応じたフレーム数の調整が必要であることが示唆された。本システムは認知リハビリテーション効果に加え、有酸素運動による運動不足解消やメンタルヘルスケアへの活用も期待できる。

1. はじめに

本研究の目的は、外出による移動を VR 内で再現し、安全に外出歩行訓練を行うことができるようにすること、VR 内で再現した現実空間を足踏みによって移動することで実際に歩いている感覚を与えることである。外出による移動を再現するために、360 度カメラで撮影した映像を訓練ルートとして使用する。この映像を VR ゴーグル (MetaQuest2) を利用して観ることで、その空間に自身が居るように感じさせることができる。図 1 にシステムの全体像を示す。

高次機能障害とは、交通事故などの頭部外傷や脳梗塞、脳炎などの疾患により脳が損傷を受けることにより、記憶障害、注意障害、遂行機能障害、社会的行動障害などの症状が現れることをいう [1]。2008 年に東京都で行われた調査では、東京都内の高次脳機能障害者の人数は 49,508 人と推定されている。この調査から全国の高次脳機能障害者の人数は約 50 万人であると論じられている [2]。記憶障害の症状がある場合、発症前にしたこと、話したこと、頼まれたこと、ものを置いた場所など、自身の過去の経験を思い出したり、新しい経験を覚えらるることが難しくなる。注意障害の症状がある場合、周囲からの刺激に対して必要なものや重要なものに意識を集中できなくなってしまう。遂

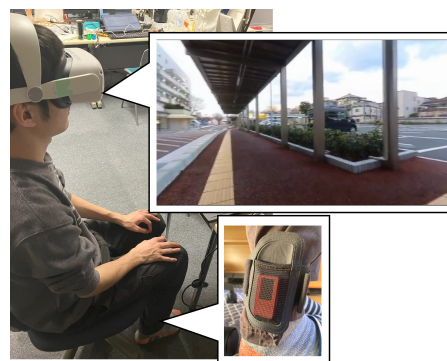


図 1 歩行訓練システムの概要

行機能障害の症状がある場合、予定外のことが起こるとき、複数の課題を同時にこなすときに混乱してしまう。社会的行動障害の症状がある場合、行動や感情を適切にコントロールできなくなってしまう [3]。

これらの症状が生じることにより、日常生活を送ることが困難になる。日常生活の例として、買い物に行くなどの外出の際にも支障をもたらすことが考えられる。外出をしている際起こる問題は、注意障害の症状がある場合、階段の昇り降りや信号を利用するときに別のものに気を取られてしまうことで、足元や前方への注意が散漫になり、転落や交通事故などを引き起こしてしまうことになる。遂行機能障害の症状がある場合、何を買いに行くか、どの道を通るかなどの計画が自分でできなかったり、計画をすることができても、通行止めなどにより予定していた道が使えないというような想定外の事態が起きても、計画を修正する

¹ 大阪工業大学情報科学部

^{a)} saki.araki@mix-lab.net

^{b)} toshinobu.komatsu@mix-lab.net

^{c)} sho.ooi@outlook.jp

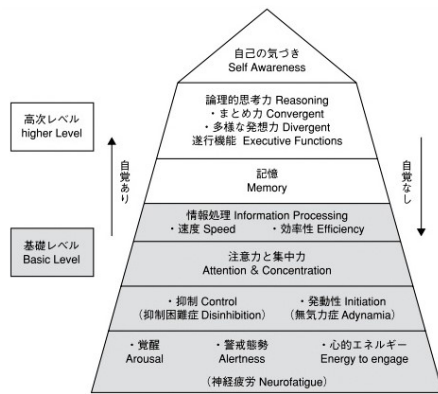


図 2 神経心理ピラミッド [4]

ことができない。外出は日常生活の中でも基盤となる行為であり、少しのミスでも大きな怪我につながる危険性がある。これらの高次脳機能障害は複数の同時に発症することで、単体で発症したときよりもさらに大きな問題が発生することになることもある。

ニューヨーク大学の Rusk 研究所では、図 2 で示す後天性脳損傷による高次脳機能障害を神経心理ピラミッドとしてまとめている [4]。神経心理ピラミッドは、高次脳機能障害を階層として捉え、下の階層にある機能はその上の階層の機能すべてに影響を及ぼしていると考えられている。これより、高次脳機能障害に対する検査や訓練では、1 つの症状についてアプローチすることが難しいので、全体としてアプローチする必要がある。そのため、遂行機能障害や注意障害などの高次脳機能障害に関するリハビリテーションが多く行われている。岩崎らの研究 [5] から、日常生活行動による VR 認知リハビリテーションが有効である可能性が示されている。日常生活行動によるリハビリテーションには、実生活への再現性が高い調理や洗濯、買い物などがある。買い物などの外出で歩行をする際、認知機能が低下している人は転倒のリスクが高いので、怪我をしてしまう可能性が高い [6]。また認知機能が低下している人は外出回数が少ないので、運動不足になってしまう可能性がある [7]。本研究では、VR 環境と 360 度カメラによる実映像を用いることで外出訓練を再現することにより、転倒や交通事故などによる怪我のリスクを無くすことを目的とする。また、実際の外出訓練に近づける為に、VR 空間を足踏みによって進むことにより、実際に歩いている感覚を与える。さらに、立位による足踏みは、バランスを崩した際に転倒のリスクがあるため、座位による足踏みで歩いている感覚を与えるシステムの開発する。

2. 関連研究

2.1 VR 空間を使った認知リハビリテーションシステム

岡橋らの研究 [8] では、VR 空間上に商店街を構築した買い物支援システムを開発している。被験者は空間内を移動する場合は、タッチパネル操作で自由に移動する。商店街

では、雑踏や自動車の音のような自然な環境音が鳴るような設定である。このシステムでは、高次脳機能障害の検査や認知リハビリテーションをすることはできるが、目的地への移動に関してはタッチパネルによる移動であるため、実際に歩いている感覚を与えることはできないと考える。

2.2 歩行制御に関する研究

米原らの研究 [9] では、HMD に内蔵されている加速度センサの情報により、深層学習を利用することにより、停止、歩行、走行の 3 パターンを約 94% で分類している。HMD に内蔵されている加速度センサより、加速度の数値を検出するため、足にセンサをつけることなく深層学習を用いて立位の足踏みを高精度で分類することができる。しかし、深層学習を用いて足踏みを検知するため、高精度で分類することができるが、座位での足踏みでは、頭部が揺れることはあまりないため、座位での足踏みを検知することは難しいと考える。石原らの研究 [10] では、座った状態で、楽に安全に、VR 空間内の歩行を実現を提案している。手法として、座位姿勢での擬似歩行運動による歩行感覚提示インタフェース (Virtual ISU) の座面および背面に圧力センサなどを設置し、両足大腿部の上下運動と体幹の重心移動を検出することにより、方向や速度などの歩行状態を推定する。しかし、クッション型デバイスを正しい向きに設置し、デバイスに正しい位置で座らないと足踏み、および重心移動を検知することができないと考える。他にも、山田らの研究 [11] では高齢者のフレイルの予防を目的とし、VR を用いた自然を鑑賞する観光システムの開発を行っている。VR 内で形成された空間を実空間での足踏みによって移動することができる。しかし、合成加速度の数値を数 [ms] 集めて、その標準偏差を足踏みの検知に使用することで足踏みの検知の精度を上げているため、リアルタイム性を損なってしまうと考える。

3. 全天球映像を活用した VR 空間におけるお出掛け歩行訓練システム

3.1 全天球映像による実空間の再現

小山らの研究 [12] の様な、連続した画像を順に表示することで移動している感覚を与えるために、本研究では、事前に撮影した訓練ルート動画をコマ送りのように進めることで再現する。動画は、連続した画像の集まりであるので、同様の効果を得ることができる。また、現実空間と同じようにあたりを見渡すことができるように、360 度カメラによる全天球映像を利用する。全天球映像を利用することで、VR 内にオブジェクトを設置せずとも、立体感を出すことができる。また、全天球映像を見ることができるよう本研究では VR ゴーグル (MetaQuest) を利用する。



図 3 加速度センサを脚首に装着



図 4 フローチャート

3.2 加速度センサによる足踏み検知

加速度センサ (M5StickCPlus) を足首に装着することで、足踏みをしたときに加速度センサが動くことで加速度を取得することができ、その加速度から足踏みを検知することができる。足首に加速度センサを装着した様子を図 3 に示す。加速度センサで、X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 つの軸の加速度の数値を取得する。この 3 つの軸の加速度の数値の 2 乗和の平方根を取ることで、合成加速度に変換する。合成加速度の計算方法を式 1 に示す。

式 1 によって算出された合成加速度は Wi-Fi を経由することにより、加速度センサから PC に送信される。PC 側で UDP (User Datagram Protocol) を用いることで送信されたデータを受信している。受信した合成加速度の数値が設定した閾値を超えることで足踏みを検知することができる。合成加速度は加速度センサが動いていないときには、数値が約 $1 [m/s^2]$ となるが、誤差が出る。その誤差は約 $\pm 0.1 [m/s^2]$ ほどである。

閾値は、本システムでは $1.0 [m/s^2] \sim 2.0 [m/s^2]$ までの 11 段階で設定できる。この閾値の範囲は、1 分間足踏みをしたときの合成加速度を平均した数値であり、20 代の男性 3 人、20 代の女性 1 人、50 代の男性 1 人、50 代の女性 1 人、70 代の女性 1 人が行った。この 7 人の平均が約 $1.5 [m/s^2]$ であったため、 $1.4 [m/s^2]$ を基準にして 11 段階の範囲を設定できるようにしている。

$$\text{合成加速度} = \sqrt{X \text{ 軸の加速度}^2 + Y \text{ 軸の加速度}^2 + Z \text{ 軸の加速度}^2} \quad (1)$$

3.3 システムの流れ

本研究では外出の目的を食材の買い出しとしている。これは、日常の中で、目的のために特定の場所に行くというシナリオを作ることができるので、外出訓練には適していると考えたためである。システムのフローチャートを図 4 に示す。以下にシステムの流れを記す。

3.3.1 外出の目的を覚える

画面上に外出の目的となる [買い物メモ] が表示される

[買い物メモ]	[買い物メモ]	[買い物メモ]
カレーのルー × 6	すき焼きのたれ × 3	ゴーヤ × 5
ニンジン × 2	卵 × 2	豚肉 × 6
ジャガイモ × 4	牛肉 × 7	卵 × 4
豚肉 × 3	キャベツ × 2	木綿豆腐 × 2
玉ねぎ × 2	糸こんにゃく × 5	
[買い物メモ]	[買い物メモ]	[買い物メモ]
だしの素 × 6	中華麺 × 6	カレーのルー × 6
絹ごし豆腐 × 2	玉ねぎ × 4	ニンジン × 2
わかめ × 5	キャベツ × 2	ジャガイモ × 4
	豚肉 × 5	豚肉 × 3
		玉ねぎ × 2

図 5 [買い物メモ] の内容

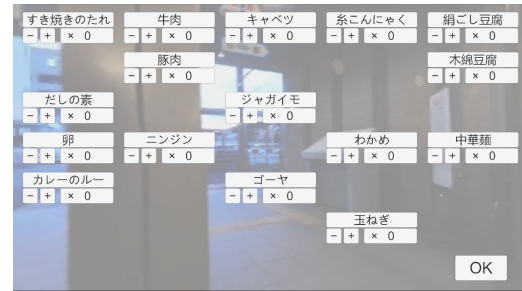


図 6 答え合わせの画面

ので、その内容を覚える。[買い物メモ] には 5 パターンあり、それぞれで目的の食材の種類や個数の指定が異なっている。システムを開始したときに、5 パターンの [買い物メモ] がランダムで表示される。5 パターンの [買い物メモ] の内容を図 5 に示す。[買い物メモ] は食材の種類の多さによって覚える難易度が変わるようになっている。

3.3.2 目的地へ向かう

[買い物メモ] の内容を覚えてから、目的地に到着するまで足踏みをし進んでいく。目的地に向かっていく途中に、気をそらすための妨害を用意しておく。現在は救急車のサイレンや車のエンジン音、動物の鳴き声などの音による妨害が用意されている。

3.3.3 目的の内容を覚えているか確かめる

目的地に到着後、今回の目的の内容を覚えているかの答え合わせを行う。答え合わせの画面を図 6 に示す。図 6 の画面にて、食材名の下に「+」「-」をクリックすると食材名の下に数字が増減する。この数字を、はじめに覚えた [買い物メモ] の内容と同じになるように設定する。「OK」を押すと完了。

難易度は 3 段階あり、難易度毎に表示される食材の種類が増え、似ている名前の食材も増えるので、より、正解することが難しくなっていく。

4. 実験

4.1 実験概要

本実験では、現実空間で訓練をしているように感じさせることができるか、足踏みと映像の連動によって VR 酔いが引き起こされるかどうかを調査、比較するために、足踏



図 7 実験参加者の様子

みによる映像のコマ送りの値を変更して 1 人 3 回実験を行い、それぞれアンケートを実施した。実験参加者は 19 歳～23 歳の健常者の男性の大学生 5 人である。実験に使用する機器はシステムを実行するための PC、360 度カメラによる実映像を観るための MetaQuest2、足踏みを検知するための M5StickCPlus である。実験は 1 月に大阪工業大学枚方キャンパスで行った。

足踏みと映像の連動によって、実際に道を歩いている感覚があるかどうか、VR 酔いを引き起こすかどうかを調査する。また、実験中の音に気を取られて、本研究の「買い物」に行くという目的からそれてしまうかどうかを確認する。足踏みと映像の連動の関係を調べるために、本実験では映像のコマ送りのフレーム数を、10 フレーム、30 フレーム、60 フレームに分けて 1 人 3 回実験を行った。

4.2 実験手順

実験の手順について以下に示す。ただし、7. のコマ送りのフレーム数は数値による違いを明確にするため、順番はランダムで行った

- (1) 加速度センサーを足首に、MetaQuest2 を頭部に装着する。
- (2) はじめに [買い物メモ] を見て内容を記憶する。
- (3) 映像が目的地に到着するまで足踏みをする。
- (4) 目的地に到着するまで、動物の鳴き声や車のエンジン音、サイレンなど、音を出すことで気を引く。
- (5) 目的地に到着後、目的 ([買い物メモ] の内容) を覚えてるか答え合わせをする
- (6) 実験後にアンケートを実施する。
- (7) 映像のコマ送りのフレーム数を 10 フレーム、30 フレーム、60 フレームと変更して繰り返す。

4.3 アンケート

アンケートはリッカート尺度を用いて、5 段階評価で回答できるようにしている。また、回答に強制力をつけてしまうことがないように、「実際に道を歩いていると感じたか」というような質問の仕方ではなく、「実際に道を」と質問をして、回答の文章が問題につながるようにした。

視線変更	実験時間
カメラ視点動かさないから(30)	時間が掛かりしんどかった(10) 早く終わったから(30) スムーズに進めた(30) 思ったより早く終わったから(60) スムーズに進めたため(60)

図 8 【1】の記述回答の主題分析

速度	システム
時間かかり過ぎ(10) 全然前に進まない(10) 歩行速度より遅い(10) あまり違和感はなかった(30) 自然に歩いていた(30) 速度が速い(30) 丁度いい(60) 無茶苦茶速いため(60) 少しペースが速い(60)	反応しないことがあった(10) 進むときと進まないときがある(30) 画面があまり進まないところがあった(30) 足が浮いていても動くから空中歩行みたい(30) 足でストリートビューを動かしてみたい(60)

図 9 【2】の記述回答の主題分析

アンケートの項目とそれぞれの評価は、以下のとおりである。

- 【1】 VR 酔いを、評価 1「とても感じた」～評価 5「全く感じなかった」
- 【2】 実際に道を、評価 1「全く歩いていないと感じた」～評価 5「とても歩いていると感じた」
- 【3】 足踏みと映像の連動に、評価 1「とても違和感があった」～評価 5「全く違和感がなかった」

以上の項目について 5 段階評価による回答と、なぜその評価を選んだかについての理由を自由記述式によって回答してもらう。10 フレームの場合、30 フレームの場合、60 フレームの場合で 1 人 3 回アンケートを受けてもらう。

5. 結果と考察

5.1 リッカート尺度の結果と考察

実験後のアンケートと結果を表 1 に示す。

【1】【2】に関する記述式の回答を 3 人で主題分析した結果を図 8 と図 9 に示す。

【1】の記述回答を主題分析したところ実験時間、視点変更に分けることができたが、実験時間に関する意見がほとんどであった。

【2】の記述回答を主題分析したところ速度、システムに分けることができた。

各質問の相関を調べた結果を図 10 に示す。

60 フレームの場合【2】と【3】での相関に有意差が見られた。強い負の相関が現れているので、この場合、歩いている感覚が無いほど、足踏みと映像の連動に違和感を覚えるということになる。このことから、足踏みと映像の連動に違和感を覚えなければ、歩いていると感じさせることができるようになると思う。これより、本研究の目的である、実際に歩いている感覚を与えるという目的を達成す

表 1 アンケート結果

フレーム数	質問番号	質問内容	1	2	3	4	5
10	【1】	VR 酔いを	0	0	0	4	1
	【2】	実際に道を	1	4	0	0	0
	【3】	足踏みと映像の連動に	1	3	1	0	0
30	【1】	VR 酔いを	0	0	0	3	2
	【2】	実際に道を	0	1	2	1	1
	【3】	足踏みと映像の連動に	0	3	0	2	0
60	【1】	VR 酔いを	0	0	0	1	4
	【2】	実際に道を	0	3	0	1	1
	【3】	足踏みと映像の連動に	0	3	1	1	0

10フレーム		【1】VR酔い		【2】歩いている感覚	
歩いている感覚	【2】	相関係数	0.25		
		p値 (N=5)	0.685 n.s.		
		[ρ 下限, ρ 上限]	[-0.811, 0.928]		
足踏みと映像の連動の違和感	【3】	相関係数	0	-0.791	
		p値 (N=5)	1 n.s.		
		[ρ 下限, ρ 上限]	[-0.882, 0.882]		

30フレーム		【1】VR酔い		【2】歩いている感覚	
歩いている感覚	【2】	相関係数	0.48		
		p値 (N=5)	0.413 n.s.		
		[ρ 下限, ρ 上限]	[-0.698, 0.975]		
足踏みと映像の連動の違和感	【3】	相関係数	-0.167	-0.0801	
		p値 (N=5)	0.789 n.s.		
		[ρ 下限, ρ 上限]	[-0.914, 0.839]		

60フレーム		【1】VR酔い		【2】歩いている感覚	
歩いている感覚	【2】	相関係数	0.395		
		p値 (N=5)	0.51 n.s.		
		[ρ 下限, ρ 上限]	[-0.748, 0.947]		
足踏みと映像の連動の違和感	【3】	相関係数	-0.375	-0.988	
		p値 (N=5)	0.534 n.s.		
		[ρ 下限, ρ 上限]	[-0.945, 0.758]		

図 10 アンケートの相関

るためには、足踏みと映像の連動の違和感を取り除くことが重要であると考ええる。

60 フレームのその他の項目や 10 フレーム、30 フレームの場合では有意差は見られなかった。これは今回の実験参加者は 5 人と少なく、データの数が少なかったため、相関を正確にとることができなかったからであると考ええる。データの数がさらに集めることができれば、より正確に相関をとることができると考える。

5.2 VR 酔いについて

佐々木らの研究 [13] によれば、VR 酔いは、VR 空間内で現実と”似た”動きはするが、現実と”同じ”動きではない、といった感覚の不一致が主な原因となっている。

図 8 を見ると、コマ送りフレーム数が 10 フレームでも、30 フレームでも、「時間が掛かりすぎ」「早く終わった」などの実験時間に関する意見や、「カメラ視点を動かさないから」などの視点変更に関する意見が見られた。

カメラの視点の問題などは、システム面での意見は、本実験で使用した訓練ルートはほぼ直線の道になるので、音や別の何かに気を取られない限り、キョロキョロと視点を変える必要が無い。そのため VR 酔いにはつながりにくかったのだと考える。

訓練ルートが曲道が多かったり、何かに気を取られることにより、視点を動かすようになると、VR 酔いを感じるようになってくると考える。

コマ送りフレームが 10 フレームの場合、30 フレームや 60 フレームの場合と比べても、少し VR 酔いを感じた人が多い。これは、佐々木らの研究 [13] の感覚の不一致によるものだと考える。

60 フレームの場合に VR 酔いを感じた人が少ないのは記述式の意見にもあったように実験時間が短いので VR 酔いを感じる前に実験がおわってしまったのだと考える。今回の訓練ルートで 60 フレームでコマ送りする場合、平均約 4 分で程度で、30 フレームで平均約 7 分、10 フレームで約 11 分ほど実験に時間が掛かっていた。

本研究のシステムの VR 酔いについて調べる場合、実験時間を一律にし、実験を行うことで感覚の不一致による VR 酔いを調べることができると考える。

5.3 実際に道を歩いていると感じるかについて

図 9 を見ると、コマ送りフレーム数が 10 フレームの場合、1 人が評価 1、4 人が評価 2 で、自由記述では、「歩行速度より遅く動いていた」「進んでいる気がしない」といった意見があった。これは足踏みに対して、コマ送りのフレーム数が小さいため、感覚のずれが発生し、実際に道を歩いている感覚を得ることができないのだと考える。

30 フレームの場合、評価 2 が 1 人、評価 3 が 2 人、評価 4 が 1 人、評価 5 が 1 人となった。自由記述では、「足が浮いても動くので空中歩行みたい」「速度が速い」「画面が動かないときがある」「10 フレームのときより自然だった」という意見があった。10 フレームの場合より、評価 3 評価 4 評価 5 を選択する人が増えた。これは 10 フレームの場合より足踏みと映像のずれが少なくなっているのだと考える。

60 フレームの場合、評価2が3人、評価4が1人、評価5が1人で、自由記述では、「足でストリートビューを動かしてるみたいと感じた」「ペースが速い」「30 より丁度良い」という意見があった。これは、足踏みの速さ、普段の歩く速度の速さによって個人差が出ているのだと考える。

以上のことから、VR 空間を実際に歩いているように感じさせるためには、足踏みとによって連動する映像のコマ送りのフレーム数が、普段の歩く速度に近い必要があると考えられる。また、さらに実際に歩いている感覚を与えるためには、足踏みの速さによって、コマ送りのフレーム数を変動させる必要があると考える。

6. おわりに

本研究の目的は、転倒事故などの危険を無くするために VR 内で外出訓練を再現すること、より実際の外出訓練に近づける為に VR 内を足踏みによって進むようにすることで、VR 内を実際に歩いているように感じさせることである。

VR 内で外出訓練を再現する目的を達成するために、360 度カメラによる全天球映像を使用することにより VR 内で現実世界を映すことができた。そしてその VR 内を足踏みによって進めるようにし、動物の鳴き声や車の音などの自然な違和感のない音を出すことにより、最低限達成できたと考える。

VR 内を実際に歩いている感覚を与える目的は、本研究で行った実験の結果、それを基にした考察から、この目的は本研究で開発したシステムによって達成できる可能性があると言える。足踏みの速さに関係なく設定されたフレーム数コマ送りする現在の状態で実際に歩いている感覚を与えるを5人中2人ほど与えることができているので、足踏みの速さによってコマ送りのフレーム数を変動できるようになれば、より足踏みと映像の連動に違和感がなくなり、実際に歩いている感覚を与えることができると考える。

参考文献

- [1] 種村純, 福永真哉, 大槻美佳, 河村満, 熊倉勇美, 熊倉真理, 小林祥泰, 七條文雄, 渋谷直樹, 下村辰雄, 先崎章, 田川皓一, 立石雅子, 能登谷晶子, 田博文, 原寛美, 原田浩美, 深津玲子, 藤田郁代, 前島伸一郎, 三宅裕子. 高次脳機能障害全国実態調査報告. 高次脳機能研究, Vol. 36, No. 4, pp. 492-502, 2016.
- [2] 渡邊修, 山口武兼, 橋本圭司, 猪口雄二, 菅原誠. 高次脳機能障害全国実態調査報告. 日本リハビリテーション医学会誌, Vol. 46, No. 2, pp. 118-125, 2009.
- [3] 大東祥孝. 頭部外傷と高次脳機能障害. 脳神経外科ジャーナル, Vol. 18, No. 4, pp. 271-276, 2009.
- [4] 早川裕子. 作業療法士の立場から. 高次脳機能研究, Vol. 38, No. 3, pp. 292-296, 2018.
- [5] 岩崎寛太, 大井翔, 佐野睦夫. 日常生活行動に基づく vr 認知リハビリテーションの開発とその検証. 高齢社会デザイン研究会, 2023.
- [6] Helena M Blumen Michele L Callisaya Anne-Marie De Cock Reto W Kressig Velandai Srikanth Jean-Paul Stein-

- metz Joe Verghese Olivier Beauchet; Biomathics Consortium Gilles Allali, Cyrille P Launay. Falls, cognitive impairment, and gait performance: Results from the good initiative. *Multicenter Study*, Vol. 18, No. 4, pp. 335-340, 2017.
- [7] Helena M Blumen Michele L Callisaya Anne-Marie De Cock Reto W Kressig Velandai Srikanth Jean-Paul Steinmetz Joe Verghese Olivier Beauchet; Biomathics Consortium Gilles Allali, Cyrille P Launay. Influence of outdoor activity and indoor activity on cognition decline: Use of an infrared sensor to measure activity. *Telemedicine and e-Health*, Vol. 16, No. 6, 2010.
- [8] 岡橋さやか, 関啓子, 長野明紀, 種村留美, 小島麻木, 羅志偉. バーチャルリアリティ技術を用いた買い物課題による高次脳機能検査の開発. 高次脳機能研究, Vol. 32, No. 2, pp. 302-311, 2012.
- [9] 米原あぐり, 植村匠, 尾島修一. 足踏み動作によるキャラクターの歩行制御の一検討. 火の国情報シンポジウム 2021 論文集, 2021.
- [10] 石原大貴, 小島健三, 櫻井清花, 関根健太, 北野貴士, 柴田龍輝, 大島登志一. Virtual isu : 座位姿勢での疑似歩行運動による歩行感覚提示インタフェース. 情報処理学会, Vol. 2015, pp. 354-356, 2015.
- [11] 山田夢一途, 大井翔, 佐野睦夫. Vr を活用した観光システムのための座位足踏み運動に関する研究. 電子情報通信学会, 2022.
- [12] 小山嘉紀, 林明倫, 岡部一光, 三宅新二, 横田一正. 仮想 3d 空間を用いた要介護者観光旅行支援システムの開発と評価. 情報文化学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 32-39, 2008.
- [13] 佐々木隼太, 菊地慶仁. Vr 空間上の移動操作における酔いやすいシチュエーション及び対応策の模索. 北海学園大学大学院工学研究科, No. 22, pp. 29-34, 2022.