

愛知工業大学情報科学部情報科学科
コンピュータシステム専攻

平成27年度 卒業論文

**ベッド型の下肢リハビリ装置を拡張する
没入型歩行感覚提示による
視覚刺激に関する研究**

2016年2月

研究者 K12031 片桐雅貴

指導教員 澤野弘明 准教授

目 次

第 1 章 緒言	5
1.1 背景	5
1.2 関連研究	5
1.3 本研究の目的	9
1.4 論文の構成	9
第 2 章 没入型歩行感覚提示システム	11
2.1 はじめに	11
2.2 KinectV2 を使用したシステム構成	11
2.3 改善を行った没入型歩行感覚提示システムの概要	11
2.4 仮想空間の一例	11
2.5 処理の流れ	11
2.5.1 歩行距離の設定	15
2.5.2 キャラクタの視点設定	15
2.6 むすび	18
第 3 章 実験と考察	19
3.1 はじめに	19
3.2 実験環境	19
3.3 使用アンケート	19
3.3.1 SD 法とは	19
3.3.2 実験の種類	20
3.4 考察	20
3.4.1 SD 法アンケート考察	20
3.4.2 自由記述アンケート考察	26
3.5 むすび	30
第 4 章 結言	31
4.1 まとめ	31
4.2 今後の課題	31
4.2.1 音の考慮	31
4.2.2 歩幅の変更	31
4.2.3 複数人での使用による相乗効果の検討	31
4.2.4 Kinect と HMD を使用したリハビリ	31
謝辞	35
参考文献	37

第1章 緒言

1.1 背景

リハビリテーション(以下リハビリ)とは、障害の原因となる機能の回復を図る訓練である。下肢リハビリの風景を図1.1に示す。リハビリは、主に理学療法士が計画を立案・施行し、患者の機能回復や障害の改善を目標としている。社会の高齢化が進み、リハビリを必要とする患者の数が増加しているが理学療法士の人手不足の問題を抱えている[1]。そのため、機械やロボット技術を使用したリハビリ装置の導入に向けて研究が進められている[2]。機械を使用したリハビリ装置の1つである、下肢リハビリ装置を図1.2-1.3に示す。下肢リハビリ装置は、下肢リハビリの動作と連動した、ゲームをしながら楽しむリハビリ装置である。その他に、健常者の怪我予防や筋力トレーニングにも使用されている。また、機械を使用したリハビリ装置において、寝たきりの患者が利用可能なベッド型の下肢リハビリ装置が開発されている。ベッド型の下肢リハビリ装置を図1.4に示す。ベッド型の下肢リハビリ装置は、患者が仰向けの体勢になり、装置の下肢部分が上下に動作することで歩行動作の機能回復を図る。下肢リハビリを患者が行う際、歩行動作改善のため、正常な歩行を想像することが重要であると報告されている[3]。現状のベッド型の下肢リハビリ装置のみでは患者が天井を見上げ、正常な歩行を想像することが難しく、また、退屈であるという問題点も挙げられる。

そこで本研究では、HMD (Head Mounted Display) を使用し、患者が天井を見上げる退屈さを解消し、正常な歩行の想像の助けを行う。ベッド型の下肢リハビリ装置の動きと仮想空間内に配置したキャラクタの視界移動を同期させることで、歩行を行う視覚の感覚を提示可能なシステムを開発する。HMDを図1.5に示す。患者が提案システムを使用することによって、正常な歩行の想像の一助となることが期待される。また、歩行を疑似体験することで患者が「早く治したいという気持ち」にするモチベーションの維持も期待される。

1.2 関連研究

本節では、機械を使用した下肢リハビリに関する研究と歩行感覚提示装置に使用するディスプレイに関する印象調査に関する研究について述べる。維持期脳卒中患者に対して歩行感覚提示装置を用いた歩行トレーニングを行い、その効果の持続性の検討[4]が田中らによって行われている。棚からの歩行感覚提示装置を図1.6に示す。歩行感覚提示装置は、通常の歩行に近い動作かつ、通常の歩行と同じ1m/sの歩行速度を実現可能な装置である。患者は球面型ディスプレイ内を歩く構造となっている。入院前の健康状態の歩幅で自宅付近を歩く疑似体験をすることで、患者自身が早く治したいという気持ちになり、リハビリに対するモチベーションが向上するという精神面での効果も報告されている。しかし、寝たきりの患者は対象とされていない問題点がある。

高齢者の自立・社会参加の前提となる歩行機能および歩行訓練に着目し、バーチャルリアリティ(VR: Virtual Reality)を活用した歩行訓練器具[6]が藤江らによって開発されている。藤江らによる歩行訓練機器を図1.7に示す。リハビリ患者の歩行機能の改善を目指し、自立歩行によって実写映像が切り替わるシステムとなっている。VRを活用しリハビリ患者の訓練意欲を高める試みがされている。リハビリ患者に対して、立体視可能な映像を流した結果、映像に集中していたという結果が報告されている。そのことから、HMDを使用することがリハビリへの集中に繋がることも期待される。



図 1.1: 下肢リハビリ風景



図 1.2: 下肢リハビリ器具正面図 (文献 [2] より引用)



図 1.3: 下肢リハビリ器具側面図 (文献 [2] より引用)



図 1.4: ベット型下肢リハビリ器具



図 1.5: HMD

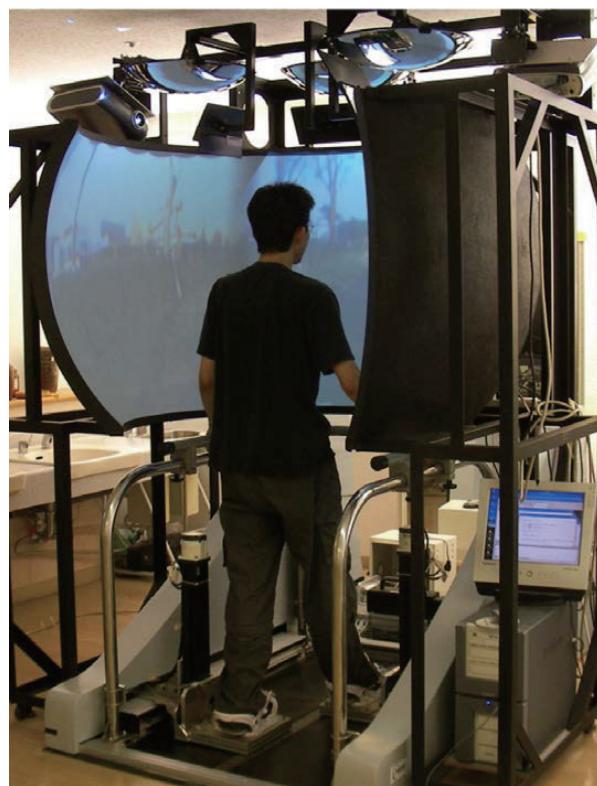


図 1.6: 没入型歩行感覚提示装置全景 (文献 [5] より引用)



図 1.7: バーチャルリアリティを活用した歩行訓練機器 (文献 [6] より引用)

歩行感覚提示に使用するディスプレイの印象評価 [7] が小林らによって報告されている。ロコモーション・インターフェース [8](LI: Locomotion Interface) を提示するディスプレイとして、プラズマディスプレイと HMD とスクリーンの 3 タイプのディスプレイを用い、ユーザに与える感覚を測定し分析が行われている。ロコモーション・インターフェースとは、VRにおいて、あたかも現実で歩いているような感覚を体感できる装置である。小林らの調査の結果、ディスプレイの違いによってユーザの感覚に差は僅差であったと報告されている。そのことから、ベッド型の下肢リハビリ装置には、着脱可能な HMD の利用が容易であると考えられる。

いずれの関連研究も自立て立ち上がる事が可能なりハビリ患者を対象としており、寝たきりの患者は対象とされていない。そこで本研究では、寝たきりの患者も対象とし、下肢リハビリを行う際の退屈さや歩行の想像の助けを行うシステムの開発をする。

1.3 本研究の目的

本研究目的は、HMD を使用し、患者が天井を見上げる退屈さを解消し、正常な歩行の想像の助けを行う。ベッド型の下肢リハビリ装置の動きと仮想空間内に配置したキャラクタの視界移動を同期させることで、歩行を行う視覚の感覚を提示可能なシステムを開発する。患者が提案システムを使用することによって、正常な歩行の想像の一助となることが期待される。また、歩行を疑似体験することで患者が「早く治したい」という気持ち」にするモチベーションの維持も期待される。

1.4 論文の構成

本稿の構成について述べる。第 2 章では提案システムの概要と処理の流れについて述べ、第 3 章では、提案システムに関する SD 法を使用したアンケートと記述式のアンケートで印象の評価を行う。そして、評価の結果からの考察を述べる。第 4 章では、以上で述べたことをまとめ、実験の考察の課題に基づき今後の課題を明らかにする。

第2章 没入型歩行感覚提示システム

2.1 はじめに

本章では、ベッド型の下肢リハビリを拡張する、下肢リハビリへのモチベーションを向上させるための没入型歩行感覚提示システムについて述べる。提案システムは没入感が高を高めるため、現実的な3DCGを利用し実現する。センサが内蔵されたHMDを使用することで、リハビリ患者の頭部の動きに追従した映像提示により、没入感が高まることが期待できる。次節以降に提案システムの概要、処理の流れについて述べる。

2.2 KinectV2を使用したシステム構成

提案システムでは、ベッド型の下肢リハビリ装置の下肢可動部にKinectV2[9]を置き、歩行の検出を行う。KinectV2を図2.1に示す。KinectV2をセンサとして使用する。提案システムの歩行の検出にKinectV2を使用したシステム構成を図2.2に示す。ベッド型の下肢リハビリ装置の下肢部分の手前にKinectV2を設置する。処理の流れを図2.3に示す。KinectV2からの取得した映像を二値化行い、図2.4に示す、ベッド型の下肢リハビリ装置の下肢可動部の検出を行う。図2.4に示す矩形の重心点の座標を取得し閾値を設定し、歩行判定を行う。歩行判定を基にキャラクタは歩行動作を行う。

2.3 改善を行った没入型歩行感覚提示システムの概要

KinectV2を使用した提案システムでは、ベッド型リハビリ装置の下肢可動部の検出が困難であったため、提案システムの改善を行う。改善を行った提案システムは、ベッド型の下肢リハビリ装置に患者は仰向けの体勢をとり、HMDを装着する。提案システムの構成図を図2.5に示す。あらかじめ用意した、仮想空間内をCGキャラクタが歩行動作を行い、CGキャラクタの一人称視点の映像を患者に提示し正常な歩行の想像の助けとする。次節以降にそれぞれの処理について述べる。

2.4 仮想空間の一例

仮想空間は3D都市モデル空間を使用している。3D都市モデル空間の例を図2.6-2.7に示す。3D都市モデル空間は、複数のモデル都市の実際の町並みを基に再現しており、現実的な仮想空間を再現することが可能なモデルである。自作することも可能であるが、臨場感を出すため地図データを用いた3D都市モデルを使用する。

2.5 処理の流れ

提案システムの処理の流れについて述べる。処理の流れを図2.8に示す。提案システムの開始方法は、HMDをつなげたPCのマウスを左クリック又はキーボードのスペースキーで開始される。HMDに提示される開始画面を図2.9に示す。開始後、キャラクタの一人称視点の映像が提示され歩行が開始される。

¹この作品は『ZENRIN City Asset SeriesTM』を素材として制作されている。



図 2.1: KinectV2



図 2.2: KinectV2 を使用したシステム構成図

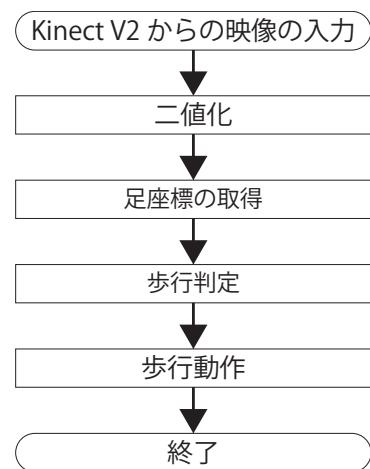


図 2.3: 処理の流れ

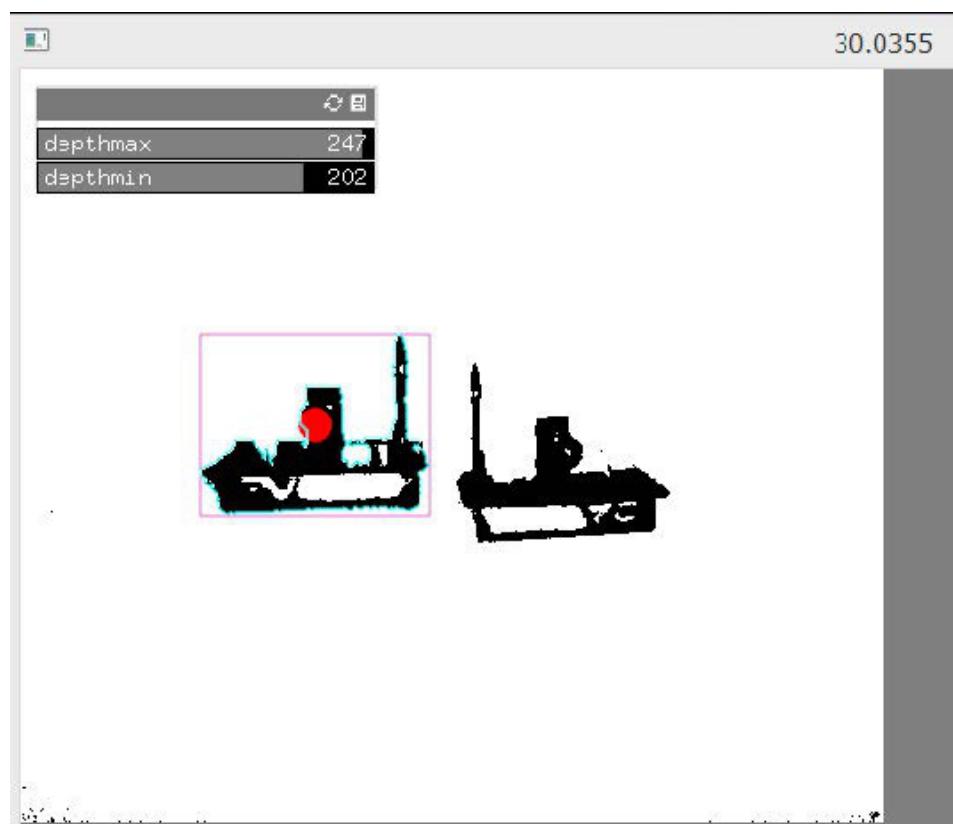


図 2.4: KinectV2 の検出画像

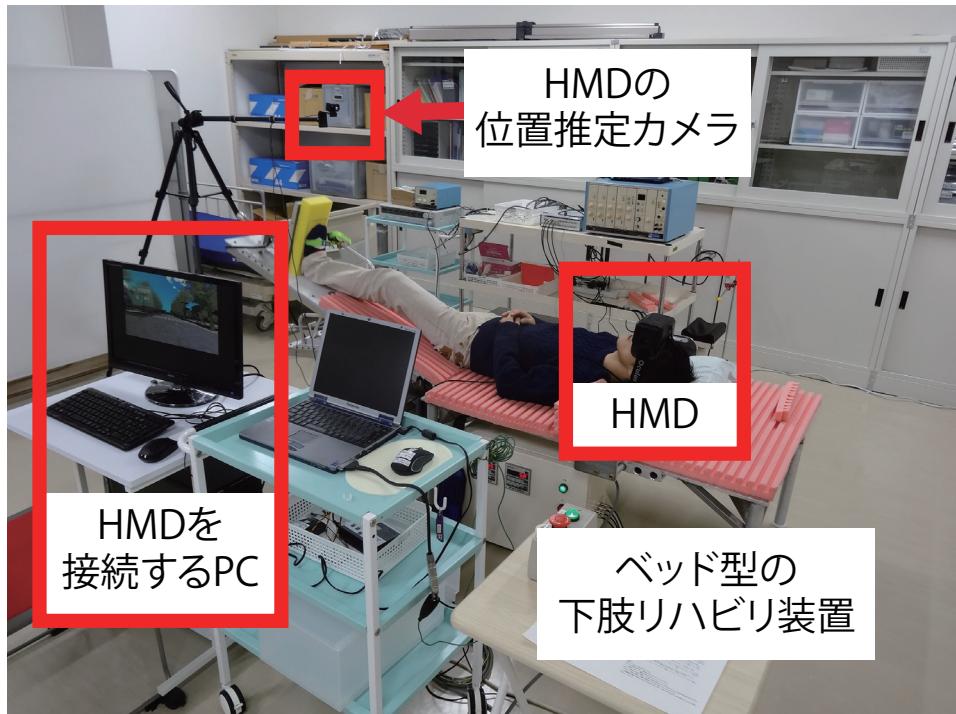


図 2.5: システム構成図



図 2.6: 3D 都市モデル空間例¹

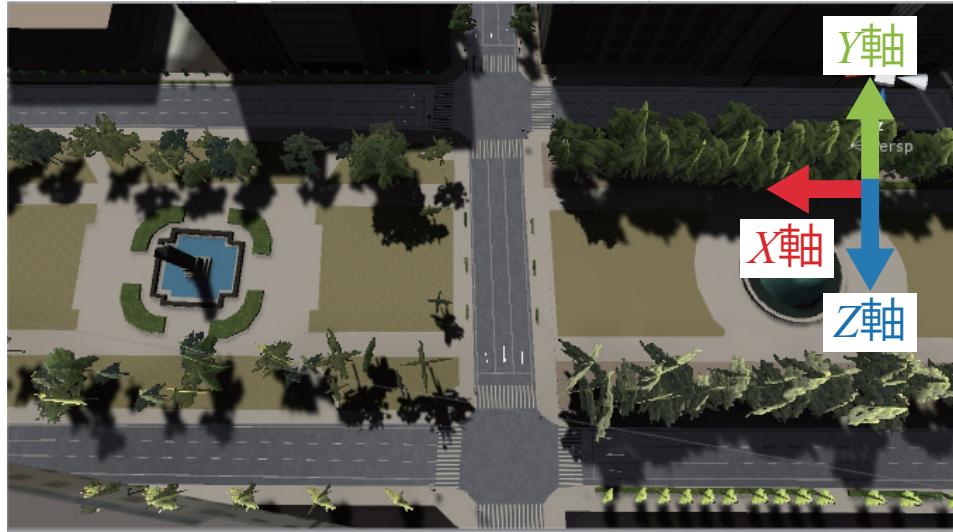
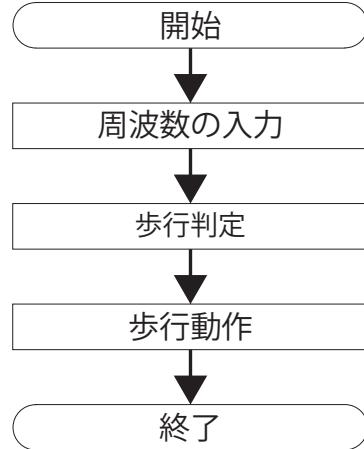
図 2.7: 3D 都市モデル空間上部¹

図 2.8: 処理の流れ

開始後の画面を図 2.10 に示す。患者は設定時間が終了するまで下肢リハビリを続ける。設定した時間が終了すると、図 2.11 の画面が提示される。

2.5.1 歩行距離の設定

CG キャラクタの歩行距離は、ベッド型の下肢リハビリ装置から読み取れる動作周波数から計算され、動作周波数 N 秒間の 1 周期ごとに、CG キャラクタが Mm 進む。設定した時間まで CG キャラクタは歩行動作を続ける。

2.5.2 キャラクタの視点設定

HMD には、センサが内蔵されており、頭部の動きに応じて映像がリアルタイムに追従するので、仮想空間に没入できる利点がある。すなわち、患者が頭部を動かすと、仮想空間内に配置された CG キャラクタの視点も追従して変わり、HMD の持つ没入感という利点を活かしている。図 2.12 に、プレイ途中に頭部を動かした一例を示す。



図 2.9: スタート画面

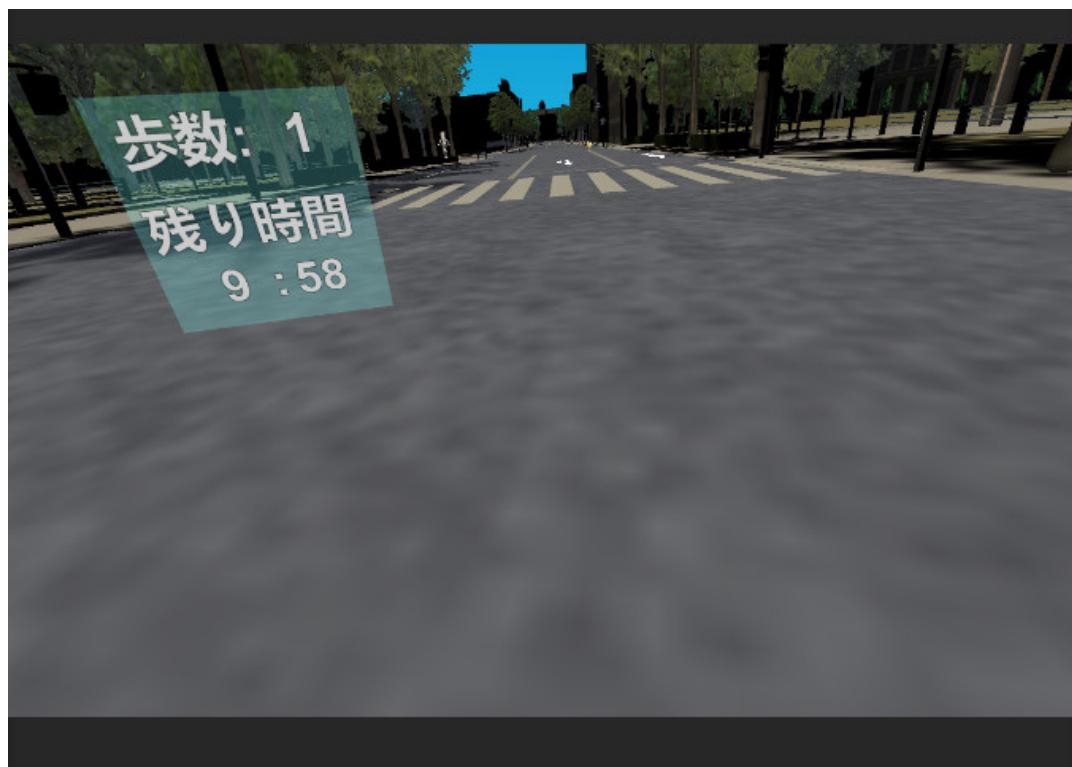


図 2.10: 開始後画面



図 2.11: 終了画面

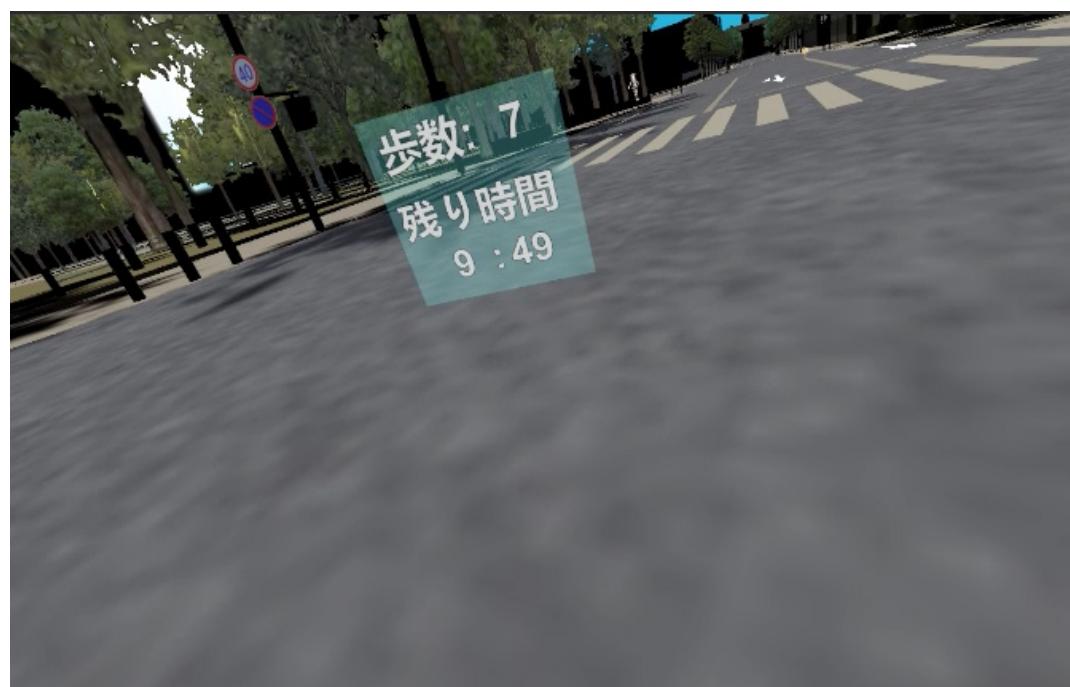


図 2.12: プレイ途中視点を変えた図

2.6 むすび

本章では、ベッド型の下肢リハビリ装置から読み取れる動作周波数から計算される CG キャラクタの歩行距離によって、3D 都市モデル空間での CG キャラクタの移動を行う手法について述べた。ベッド型の他動歩行器と同時に体験するシステムのためのキャラクタの視点の変更を行う手法を記述した。第3章では、大学生の被験者に対して行った提案システムに関するアンケート評価について述べる。

第3章 実験と考察

3.1 はじめに

本章では、提案システムを実装し、大学生の被験者に対してアンケート評価を行う。そして、各実験のアンケート評価の結果から考察について述べる。アンケート評価にはSD法を使用した。提案システムに対する心理的尺度を図り、リハビリに対するモチベーションへの影響を考察する。

3.2 実験環境

実験環境を以下に示す。

- OS: Windows8.1
- CPU: 4.0GHz Intel Corei7-4790k
- GPU: 4GB NIVIDA Geforce GTX970
- Memory: 8G DDR3-1600 × 2

HMDには、Oculus VR社のOculusRiftDK2[10]を使用した。開発環境はUnity[11]を使用した。開発環境であるUnityで提供されている3D都市モデル空間アセット[12]を仮想空間として使用する。使用キャラクタを図3.1に示す。

3.3 使用アンケート

評価対象は、提案システムを使用した実験(実験1)、ベッド型の下肢リハビリ装置のみを使用した実験(実験2)、提案システムにおいて風景を変化させない実験(実験3)、ベッド型の下肢リハビリ装置を動作させず、HMDの映像のみを視聴した実験(実験4)の4種類を用意した。10代から20代の男性24名を対象にSD法の形容詞対と記述式の2種類のアンケートを用いた。使用したアンケートを図3.2-3.5に示す。実験の体験時間は3分間である。実験の様子を図3.6示す。

3.3.1 SD法とは

SD法[13]は相反する形容詞対を多数用いて評価することにより、人が「どのように感じるか」といった心理的な印象を明らかにすることができます。今回の実験では、提案システムの絶対的な印象を評価するために、各実験6名ずつに分かれて実験を行った。

¹ Unity Technologies Japan/UCL



図 3.1: 使用キャラクタ¹

3.3.2 実験の種類

評価対象は、提案システムを使用した実験(実験1), ベッド型の下肢リハビリ装置のみを使用した実験(実験2), 提案システムにおいて風景を変化させない実験(実験3), ベッド型の下肢リハビリ装置を動作させず, HMD の映像のみを視聴した実験(実験4)の4種類を用意した。10代から20代の男性24名を対象にSD法の形容詞対と記述式の2種類のアンケートを用いた。

3.4 考察

アンケートで得られた結果を基に考察を行う。アンケートの回答の様子を図3.7に示す。また、自由記述の回答時間は3分間とした。

3.4.1 SD法アンケート考察

各実験およびアンケート評価の結果から考察について述べる。各実験の平均値[14]を算出し、モチベーションに関わる形容詞対を抜粋し比較を行った。実験1と実験2で各形容詞対の尺度の平均値を比較し、セマンティック・プロフィール[15]で図示することで提案システムによる印象の影響を調べた。

実験1と実験2を比較したアンケート結果を図3.8に示す。図3.8から実験1と実験2を比較して、楽しい・面白い・新しい・遅い・健全な・好き、という印象が得られた。これらの結果から提案システムは好印象であることが考えられる。一方でネガティブな「遅い」という印象を解決することが今後の課題といえる。

実験1と実験3を比較したアンケート結果を図3.9に示す。図3.9から実験1と実験3を比較して、楽しい・面白い・新しい・遅い・健全な・嫌いな、という印象が得られた。これらの結果から提案システムは好印象の面もあるが改善点もあると考えられる。一方でネガティブな「遅い」、「嫌い」という印象を解決することが今後の課題といえる。

**バーチャルリアリティーを用いた他動歩行に関する
印象評価実験**

実施日：平成 年 月 日
評定者：男・女 歳

今回の他動歩行を行って感じたことを、（　　）の中に単語や文を入れて文章にしてください。10個までいくつでもお答えください。回答時間は3分間以内とします。

他動歩行は（	）感じであった。

図 3.2: アンケート 1 枚目

**バーチャルリアリティーを用いた他動歩行に関する
印象評価実験**

実施日：平成 年 月 日
評定者：男・女 歳

・実施日、性別、年齢をご記入ください。
 ・体験した他動歩行に対して、あなたが抱いたイメージを、それぞれの項目に対して適当と思われる箇所に、下記の例に従って丸印を付けてください。

1. 他動歩行が、一方の形容詞に対して「非常にあてはまる」と印象を受けた場合

派手な	<input checked="" type="radio"/>	+	+	+	+	+	+	+	地味な
派手な	+	+	+	+	+	+	+	<input checked="" type="radio"/>	地味な

2. 他動歩行が、一方の形容詞に対して「かなりあてはまる」と印象を受けた場合

近い	<input checked="" type="radio"/>	+	+	+	+	+	+	遠い
近い	+	+	+	+	+	<input checked="" type="radio"/>	遠い	

3. 他動歩行が、一方の形容詞に対して「ややあてはまる」と印象を受けた場合

異質の	+	+	<input checked="" type="radio"/>	+	+	+	+	同質の
異質の	+	+	+	<input checked="" type="radio"/>	+	+	+	同質の

4. 他動歩行が、両方の形容詞に対して「どちらともいえない」、「すなわち『まったくあてはまらない』あるいは『同程度にあてはまる』」と印象を受けた場合

確実な	+	+	+	<input checked="" type="radio"/>	+	+	+	不確実な
-----	---	---	---	----------------------------------	---	---	---	------

<注意>

- ・必ずメモリの上に印を付けて下さい。
- ・すべての項目に回答し、書き損じをしないようにして下さい。
- ・一つの項目に対して、複数の丸印を付けないようにして下さい。
- ・似たような項目を以前に回答したと感じる時があるかもしれません、すべての項目は完全に別々のものですので、以前に回答した項目を読み返したり思い返したりしないで下さい。
- ・この評価実験は能力を判定するものではありませんので、あまり考え込みず、自分の感じたとおりに評価を行ってください。

図 3.3: アンケート 2 枚目

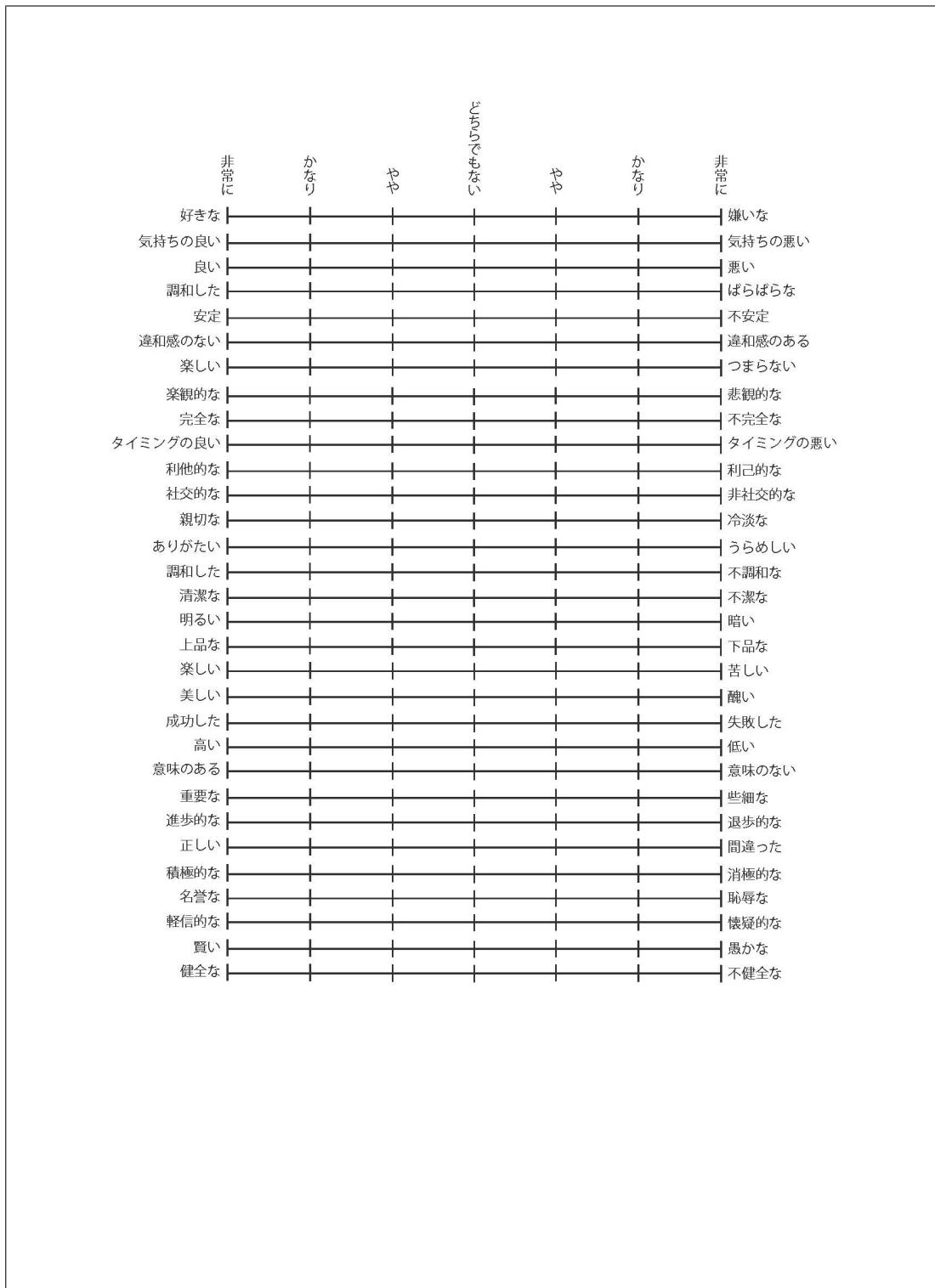


図 3.4: アンケート 3 枚目

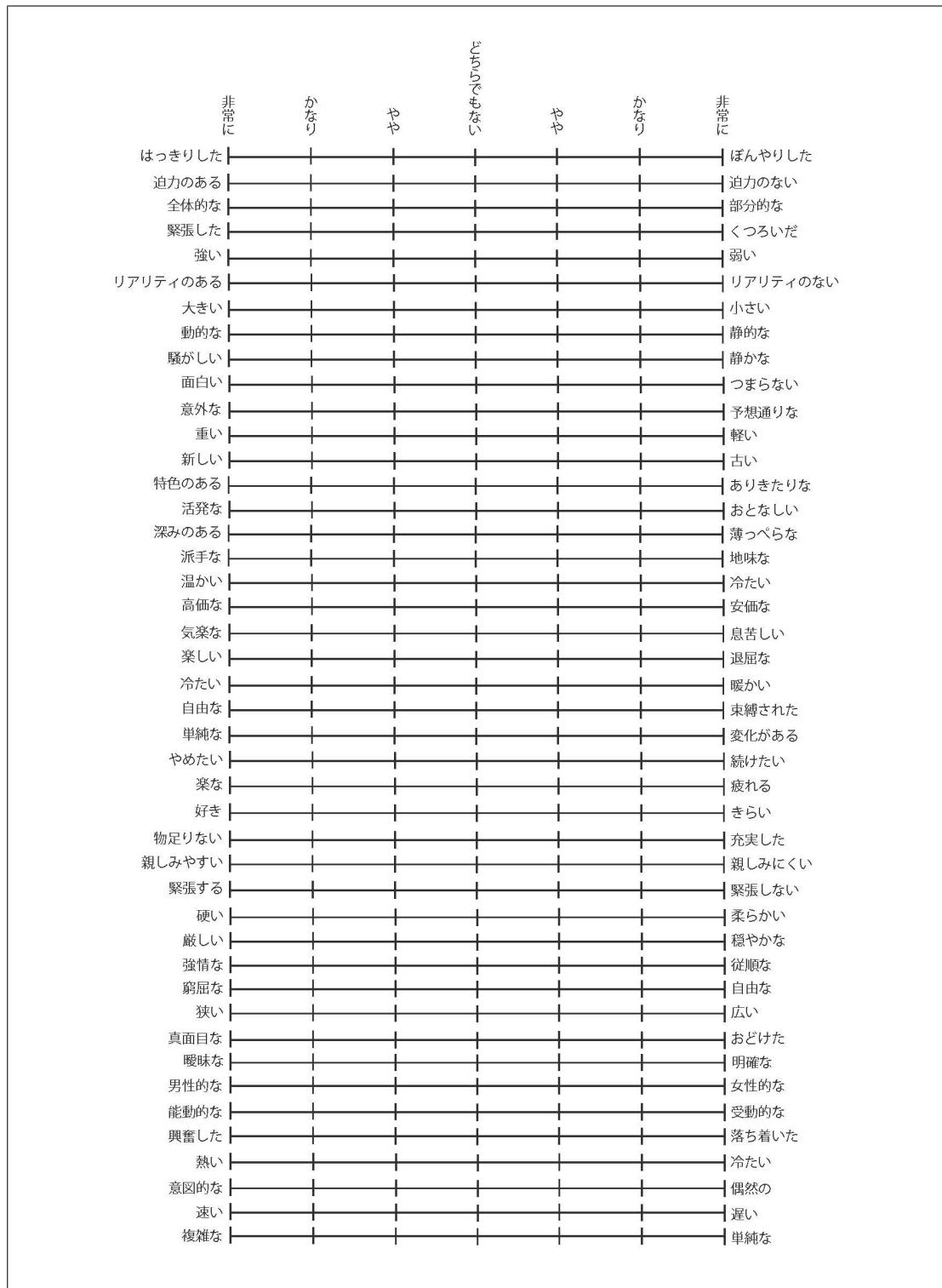


図 3.5: アンケート 4 枚目



図 3.6: 実験風景

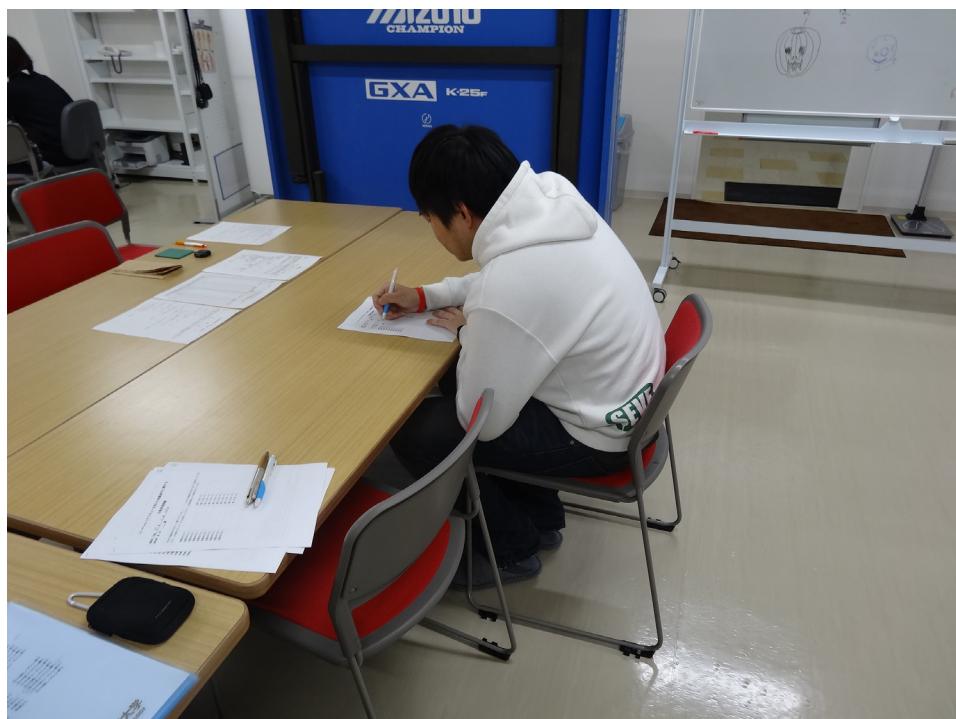


図 3.7: アンケート回答の様子

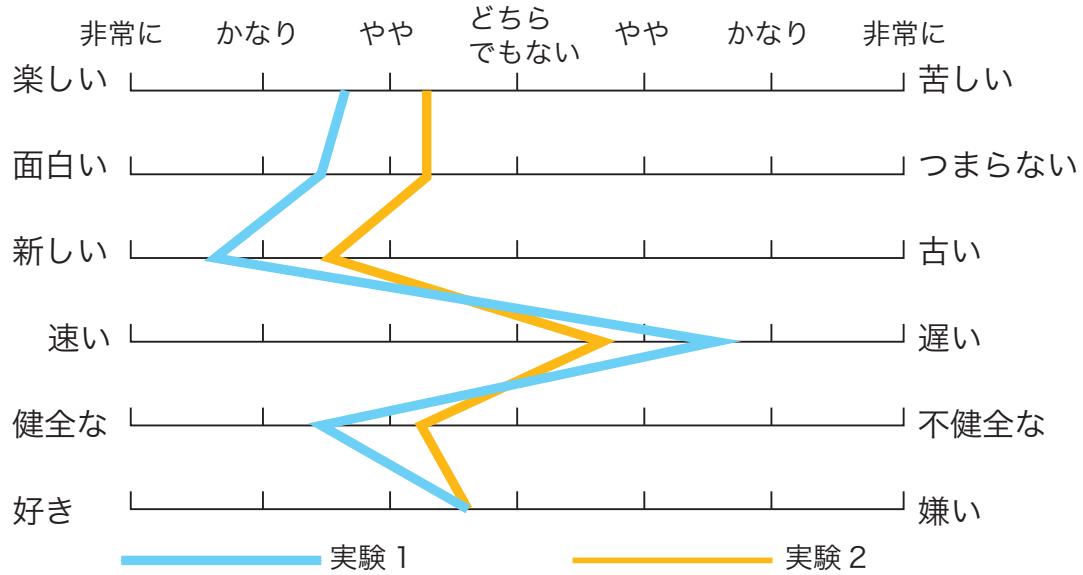


図 3.8: 実験 1 と実験 2 のセマンティック・プロフィール

実験 1 と実験 4 を比較したアンケート結果を図 3.10 に示す。図 3.10 から実験 1 と実験 4 を比較して、楽しい・面白い・新しい・遅い・健全な・嫌いな、という印象が得られた。これらの結果から提案システムは好印象の面もあるが改善点もあると考えられる。一方でネガティブな「遅い」、「嫌い」という印象を解決することが今後の課題といえる。

以上の結果から、実験 1 の提案システムを使用した下肢リハビリがリハビに対するモチベーションの向上に繋がることが考えられる。また、マン・ホイットニーの U 検定 [16] を使用し各実験の形容詞対に有意差が見られた形容詞対を示す結果を示す。

実験 1 と実験 2 では形容詞対の有意差は確認できず、実験 1 と実験 3 では、実験 1 の条件のほうが「緊張する」と回答する傾向が得られた。また、実験 3 の条件のほうが「良い」「明るい」「迫力のある」「温かい」「熱い」と回答する傾向があった。実験 1 と実験 4 では、実験 4 の条件のほうが「全体的な」「能動的な」と回答する傾向が確認できた。

3.4.2 自由記述アンケート考察

自由記述アンケートを行った際の個人間の回答の主な頻出ワードを提示し、個人間の回答の傾向をつかむ。実験 1 の記述式アンケートの結果を図 3.11 に示す。図 3.11 から、実験 1 では「楽しい・面白い」や「面白い」といったリハビリに対してポジティブな意見が確認された。また、「歩いているようだ」や「足のトレーニングになりそう」といったリハビリに対するポジティブな意見も出された。

実験 2 の記述式アンケートの結果を図 3.12 に示す。図 3.12 から、実験 2 では「歩いている感じ」や「暇・他事ができそう」や「作動音がうるさい」といった意見が確認された。「作動作音がうるさい」といった意見から、被験者にヘッドフォンを着用し、生活音も出力するシステムへの変更も検討される。これにより臨場感が高まり、没入感の向上が期待できる。

実験 3 の記述式アンケートの結果を図 3.13 に示す。図 3.13 から、実験 3 では「楽しかった」や「景色が変わらないのは不自然」や「景色が綺麗」や「歩いているような」といった意見が確認された。結果から、被験者は下肢リハビリを行っているのにキャラクタの移動がないと違和を感じる意見が確認された。

実験 4 の記述式アンケートの結果を図 3.14 に示す。図 3.14 から、実験 4 では「面白い」や「楽しい」や「ゆっくりとした」といった意見が確認された。結果から、歩行の感覚が長くゆっくりとしたといった、意見が出されたと考えられる。

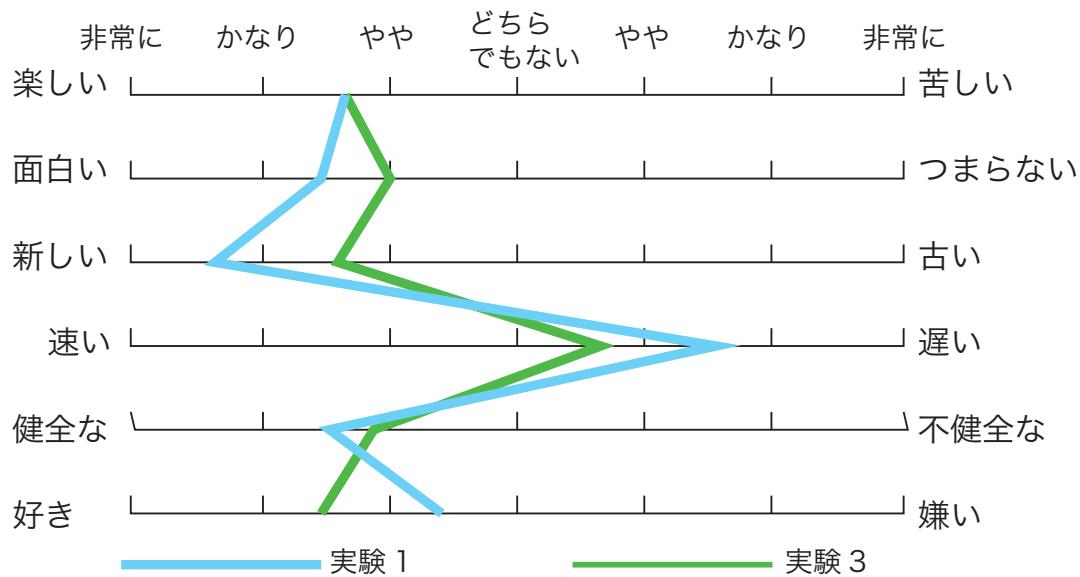


図 3.9: 実験 1 と実験 3 のセマンティック・プロフィール

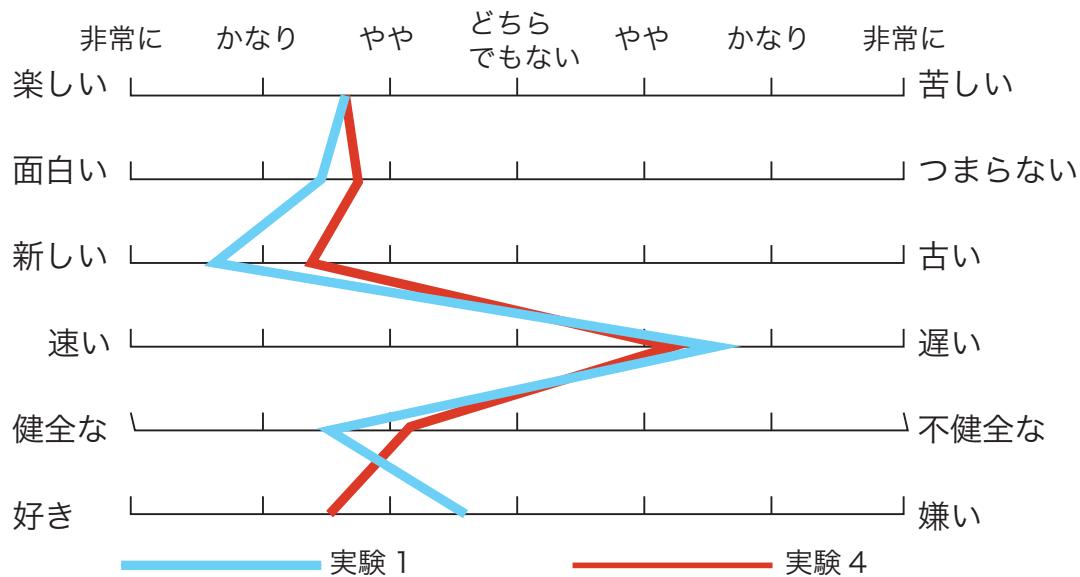


図 3.10: 実験 1 と実験 4 のセマンティック・プロフィール

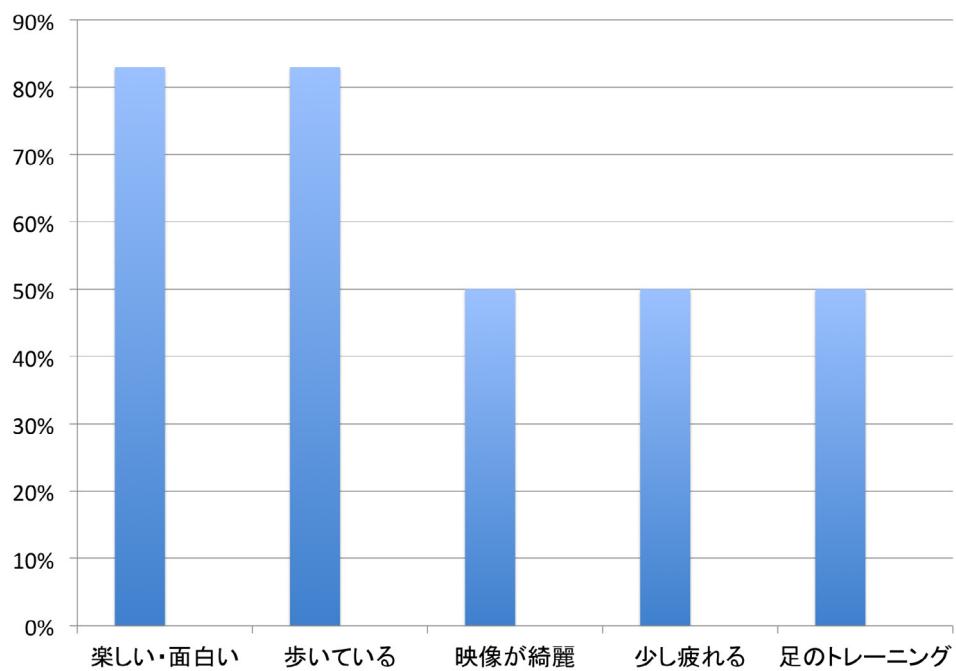


図 3.11: 実験 1 の自由記述

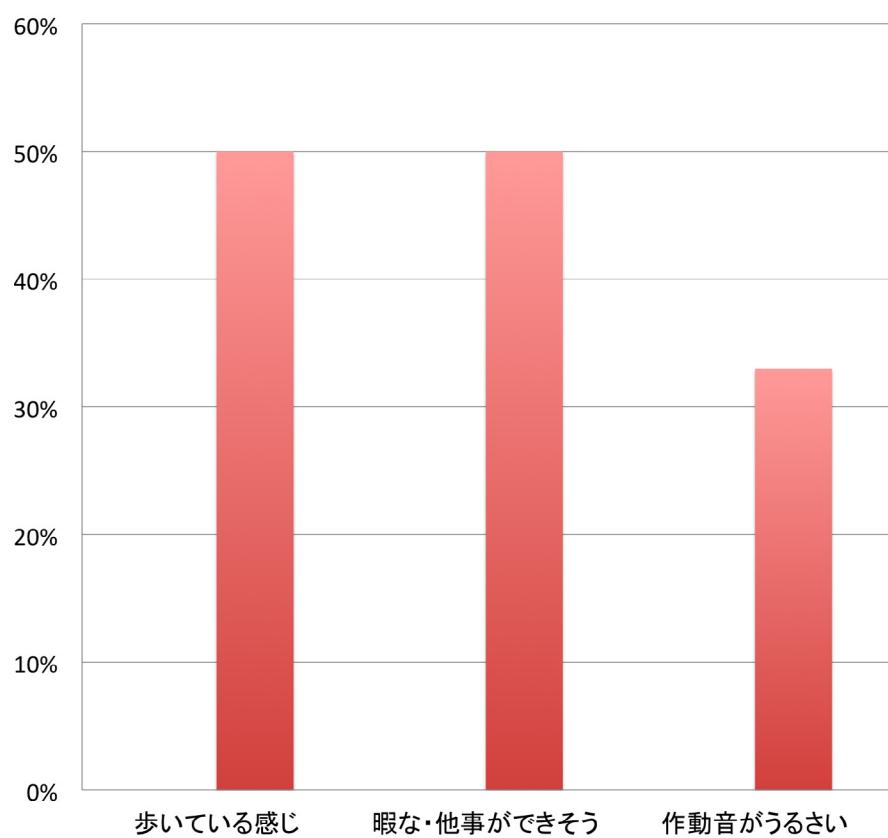


図 3.12: 実験 2 の自由記述

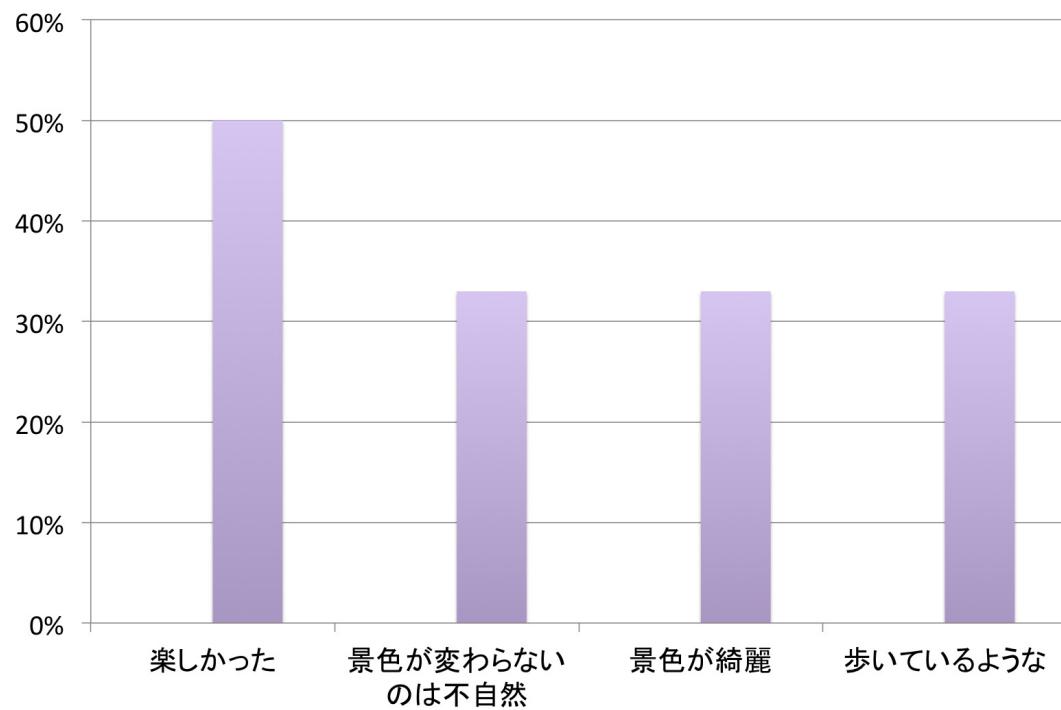


図 3.13: 実験 3 の自由記述

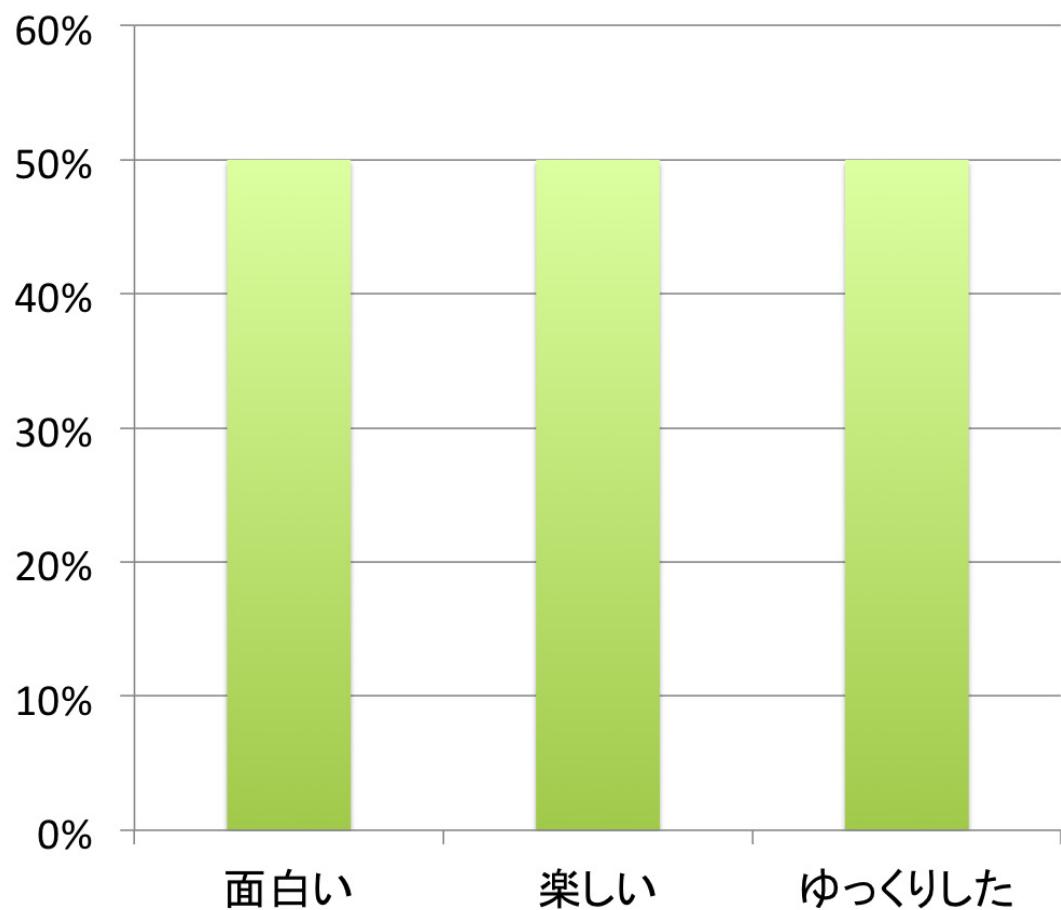


図 3.14: 実験 4 の自由記述

3.5 むすび

本章では、提案システムの実装を行い、提案システムと他動歩行器具を被験者に対して使用したアンケート評価について述べた。そして、それぞれの実験に対しての考察を行った。

第4章 結言

4.1 まとめ

本研究では、ベッド型の下肢リハビリ装置を拡張する没入型歩行感覚提示システムを提案し、大学生の被験者に対して提案システムの印象に関するアンケート調査を行った。SD法を用いたアンケートの結果より、提案システムに対して肯定的な意見が確認され、リハビリへのモチベーション向上が期待される。今後の課題として、「作動音がうるさい」という問題点を解決するために、被験者にヘッドフォンを着用し、生活音を利用した没入感の向上が検討される。また、「歩いている距離が短い」という問題を解決するために、被験者の足の長さに合わせたCGキャラクタの移動距離の変更の実装も考えられる。

4.2 今後の課題

本節では、提案システムを使用した評価実験に基づいた今後の課題について述べる。本研究における今後の課題として、提案システム内での音の考慮、複数人での提案システムの使用による相乗効果の検討、応用としてKinectとHMDを使用した歩行感覚提示システムの応用などが挙げられる。以下に各課題について述べる。

4.2.1 音の考慮

「寂しい」という意見やベッド型の下肢リハビリ装置の作動音がうるさいという意見があげられたので、ヘッドフォンを着用し、生活音も出力するシステムへの変更も検討される。これにより臨場感が高まり、没入感の向上が期待できる。

4.2.2 歩幅の変更

「歩いている距離が短い」という意見から、被験者の歩幅に合ったキャラクタの移動距離の変更を実装する必要が検討される。性差や各年代の歩幅を調べ性別や年齢を入力することでキャラクタの移動を変更するシステムが考えられる。

4.2.3 複数人での使用による相乗効果の検討

実験環境で使用したUnityのオンラインシステムを使用し、複数人でコミュニケーションを取りながらリハビリを行えるシステムも考えられる。これにより、寂しさや単調さを解消が期待される。

4.2.4 KinectとHMDを使用したリハビリ

ヘルス・リテラシーの向上を目指し、「23区VRウォーキング」が開発されている。図4.1に示す、仮想空間をKinectを使用してユーザの動作を検出し、図4.2-4.3に示す足踏みの動作によってキャラクタが移動するコンテンツとなっている。そこで今回開発したHMDを使用した歩行感覚提示装置とKinectを使用し、「23区VRウォーキング」よりも没入感の高いコンテンツに応用可能と考えられる。



図 4.1: 関連コンテンツ (文献 [17] より引用)



図 4.2: Kinect と HMD を使用した足踏みのリハビリの例 (横からの図)



図 4.3: Kinect と HMD を使用した足踏みのリハビリの例 (正面からの図)

謝辞

本論文は筆者が愛知工業大学情報科学部情報科学科コンピュータシステム専攻在学中に行った研究成果をまとめたものである。愛知工業大学情報科学部情報科学科澤野弘明准教授には研究室配属時より筆者の指導教官として、学会や他大と開催した合同シンポジウムに参加する機会を与えて下さるともに、日頃より多くのご指導ご鞭撻を賜りましたことを、ここに心から深く感謝致します。また愛知工業大学情報科学部情報科学科の教授、准教授、講師の方々には、大学入学時より多くのご指導ご鞭撻を賜りまして、心から感謝致します。研究の協力・支援をしてくださった、中部大学の尾方寿好先生、鈴木裕利先生、愛知きわみ看護短期大学の石井成郎先生に、深く感謝致します。また、日頃から活発な議論にお付き合い頂き、助言を頂いた、愛知工業大学大学院経営情報科学研究科澤野研究室に所属している小西拓也氏、原拓海氏、山田郷史氏、岩本雄太氏、林友貴氏に感謝致します。研究室配属時から研究に関する実験の実施や助言を頂いた、有限会社サイバーネットワークス社長の立野雄也氏、愛知工業大学情報科学部情報科学科澤野研究室の井嶋亮太氏、畠広貴氏、山口達也氏、浅井美香氏、伊神栞里氏、加藤葵氏、加藤晃哉氏、栗原春菜氏、小山直紀氏、佐藤貴明、佐分基泰氏、志賀俊佑氏、前田拓磨氏、浅野拓也氏、岡田伊織氏、澤田和伸氏、栗原尚弘氏に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 国内渉外部: “作業療法士の需給計画の 見直し”, 理学療法学, Vol. 18, No. 6, pp. 645-657 (1991)
- [2] 竹井機器工業株式会社: “ゲーム機能を搭載した施設向けフィットネスマシンを開発”, 報道発表資料 (2010) <http://www.takei-si.co.jp/productinfo/detail/pdf/puresu.pdf>(confirmed in Feb. 2016)
- [3] 大橋麻美, 保坂章夫, 岡田利香, 久保通宏, 関根由里, 古谷信之, 増岡泰三, 後藤博: “脳卒中急性期片麻痺患者における歩行イメージ再学習後の歩容変化”, 理学療法学, Vol. 32, pp. 441 (2005)
- [4] 田中直樹, 斎藤秀之, 飯塚陽, 矢野博明, 奥野純子, 柳久子: “維持期脳卒中患者に対する歩行感覚提示装置を用いた歩行トレーニング効果の持続性”, 理学療法科学, Vol. 27, No.2, pp. 123-128 (2012)
- [5] 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: “リハビリ患者がより現実に近い移動感覚で歩行機能の改善訓練ができる装置と訓練中の飽きを防ぎリハビリ効果の向上を実現する球面ディスプレイを組み合わせた新しい歩行リハビリテーションシステムの開発”, 成果事例集原稿, p. 3 (2008)
- [6] 藤江正克, 土肥健純, 根本泰弘, 酒井昭彦, 吉田輝, 佐久間一郎, 鈴木真, “参加支援工学 バーチャルリアリティを活用した歩行訓練機器”, 日本生体医工学会, Vol.12, No, 8, pp. 29-37 (1998)
- [7] 小林秀明, 浅井紀久夫: “歩行動作環境において提示ディスプレイの違いが感性に与える影響”, ヒューマン情報処理, Vol. 105, pp. 143-148 (2005)
- [8] 野間春生: “ロコモーションとバーチャルリアリティ”, 社団法人 計測自動制御学会, Vol. 143, No. 2, pp. 133-138 (2004)
- [9] KinectV2: <https://dev.windows.com/en-us/kinect/develop>(confirmed in Feb. 2016)
- [10] OculusRift: <https://www.oculus.com/ja/rift/>(confirmed in Feb. 2016)
- [11] Unity: <http://japan.unity3d.com/>(confirmed in Feb. 2016)
- [12] Unity 向け 3D 都市モデルデータ: <http://www.zenrin.co.jp/product/service/3d/asset/> (confirmed in Feb. 2016)
- [13] 福田忠彦研究室: “増補版 人間工学ガイド–感性を科学する方法–”, サイエンティスト社, pp. 125-173 (2009)
- [14] 中村永友, 山田智哉, 金明哲 : “Excel で学ぶ統計・データ解析入門”, 丸善株式会社 (2011).
- [15] 和田有史, 繰木大介, 山口拓人, 木村敦, 山田寛, 野口薫, 大山正 : “SD 法を用いた視覚研究知覚属性と感情効果の研究を例として”, VISION Vol.15, No.3, pp.179-188 (2003).
- [16] Wilcoxon の順位和検定 (マン・ホイットニーのU検定): <http://www.gen-info.osaka-u.ac.jp/MEPHAS/wilc1.html> (confirmed in Feb. 2016)

- [17] 株式会社ポケットクエリーズ: “ゲームのちからの VR ソリューションへの応用～ジオ + VR + ゲーム = ヘルスケアソリューション～”, Unity Solution Conference 2014 発表資料 (2014) http://japan.unity3d.com/events/usc2014/pdf/1300_ROOM1a_PocketQueries.pdf (confirmed in Feb. 2016)