

インタラクション技術を用いた歩行リハビリ支援システムの 提案と基礎技術の開発

小笠原 千紘^{1,a)} 松岡 基揮^{2,b)} 水野 慎士^{1,2,c)}

概要: 本稿では、映像技術やインタラクション技術を活用することで、「楽しさ」と「効果の実感」という2つの方向から患者の歩行リハビリに対するモチベーションを維持して、患者にとっても医療従事者にとっても有用な歩行リハビリ支援システムの提案を行った。そして、システム実現に必要な基礎技術として、歩行動作中の足接地位置を検出する手法を開発した。また、歩行動作を促すための床面インタラクティブ映像を生成した。

Proposal and Development of Walking Rehabilitation Support System using Interaction Technology

CHIHIRO OGASAWARA^{1,a)} MOTOKI MATSUOKA^{2,b)} SHINJI MIZUNO^{1,2,c)}

Abstract: In this paper, we proposed a walking rehabilitation support system, which is useful for both patients and healthcare professionals by using video and interaction technologies to maintain motivation for walking rehabilitation of patients from two directions: “fun” and “actual feeling of effect”. As a basic technology necessary for realizing the system, we developed a method to detect the ground contact position during walking. We also generated an interactive floor image to encourage walking.

1. はじめに

超高齢化社会の日本ではリハビリを必要とする人が増加傾向にあり、厚生労働省の推計によると、医療・介護分野での需要は、2018年と比較して2025年には1.24倍、2040年には1.38倍となっている[1]。そのため、リハビリ施設や医療従事者の供給と共に、リハビリ分野でのITの活用の期待が高まっている。特に、患者の動作に対してリアルタイムに反応するインタラクション技術の活用は、リハビリ実施中に状況をリアルタイムで確認できるため、様々なリハビリの種類やその目的に合わせて効果的にリハビリを行

うためのIT活用事例が近年いくつも提案されている[2]。

効果的なリハビリには、施設、器具、医療従事者の充実に加えて、患者自身のリハビリに対するモチベーションが非常に重要となる。しかし、リハビリの辛さや効果の実感のなさから、多くの場合に患者のリハビリへのモチベーションが低下することが問題となっている。そこで、リハビリに対する患者のモチベーションの維持向上を目指したインタラクティブシステムもいくつか提案されている[3][4][5]。

ただし、既存のリハビリ支援用インタラクティブシステムは、医療従事者もしくは患者のいずれかのみを対象としたものがほとんどで、十分に実用化されているとも言い難い。これは、効果的なリハビリを実現するには、一般的な医療行為と異なり医療従事者だけでなく患者自身が高いモチベーションを持って協力して取り組む必要があるからであり、現状のインタラクション技術を活用したリハビリ支援システムは、そのような要望に十分に答えられていない可能性がある。

そこで、本研究ではインタラクション技術を活用するこ

¹ 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration and Computer Science, Aichi Institute of Technology, Aichi Toyota 470-0392, Japan

² 愛知工業大学情報科学部
Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology, Aichi Toyota 470-0392, Japan

a) b19707bb@aitech.ac.jp

b) x16078xx@aitech.ac.jp

c) s.mizuno@aitech.ac.jp

とで、患者にとっても医療従事者にとっても有用で効果的なリハビリを実現するリハビリ支援システムの提案と開発を行う。リハビリには様々な種類があるが、本研究では歩行リハビリに特化したリハビリ支援システムの開発を行う。これは、リハビリの大きな目的は日常生活に不可欠な基本動作や移動能力の回復、獲得を目指すことであり、歩行は最も基本的な移動能力として非常に重要で他の基本動作の土台にもなるからである。

提案システムの特徴は、映像技術やインタラクション技術を活用することで、「楽しさ」と「効果の実感」という2つの方向から患者の歩行リハビリに対するモチベーションを保つことにある。また、リハビリ結果を数値や可視化情報として提供、蓄積することで、患者と医療従事者のどちらにとっても有用なシステムとすることである。これらを実現するために、複数のセンサを組み合わせながら、リハビリ中の患者の歩行中の動作に関する様々な情報を同時にリアルタイムで取得して、瞬時に映像やサウンドに反映させるとともに、取得したデータを分析する。

本稿では、提案システムの概要を紹介するとともに、システム実現のための基盤技術の開発を行ったので報告する。

2. 提案システム

2.1 コンセプト

前述したように、提案システムの特徴は「楽しさ」と「効果の実感」という2つの方向から患者の歩行リハビリに対するモチベーションを保つことにある。

歩行リハビリにおける「楽しさ」の実現は、床面プロジェクションマッピングによるMR映像等を用いて、歩行動作に対する映像やサウンドのインタラクションを実現することで行う。例えば、歩行中の足を接地した位置で映像を反応させたり、これまでの歩行状況に応じて患者の歩行を補助・誘導する映像を提示したりする。このように、歩行に対してエンタテインメント性を導入することで、室内での歩行リハビリに楽しさを感じさせる。

歩行リハビリにおける「効果の実感」の実現は、本研究で開発するシステムが医療従事者にとっても有用であることにも関連する。そのため、取得した歩行動作に関する詳細な情報を蓄積しながら分析する。歩行動作の情報は、歩行速度、歩幅、歩隔、上体の傾きや揺れ、重心位置や左右バランスなどである。そして、これらの情報を医療従事者向けには詳細かつ専門的に、患者にはわかりやすく可視化する。その結果として、患者はリハビリによる歩行動作改善の効果を医療従事者経由および自ら可視化された情報を確認することで実感することができ、リハビリ継続のモチベーションにつながると考える。

2.2 システム構成

図1に提案システムの構成を示す。

提案システムでは、歩行姿勢など歩行動作の外観情報が必要になる。そのため、RGBカメラ、深度カメラ、測域センサを用いて患者の歩行動作を撮影/スキャンして、得られた情報を統合処理することで、歩行中の足接地位置や上体を含む歩行姿勢をリアルタイムに取得する。

歩行中の重心や足裏圧力に関する情報は外観情報からある程度計算できるが、これらは歩行状態を判断するために医療従事者も重視する情報であり、より正確な値が必要とされる。そこで、超小型マイコンと複数の圧力センサを内蔵した特別な靴を開発する。得られた圧力値はワイヤレスでシステムに送信して、システムでは前後左右の圧力バランスなどをリアルタイムで取得する。

床面への映像投影はプロジェクタを用いる。そして、取得した情報を用いて歩行する患者の足元で映像を反応させたり、患者の歩行を補助する映像を提示したりする。

取得した情報は患者ごとに蓄積していく。そして、過去の歩行情報を患者向けおよび医療従事者向けに可視化してタブレット端末に表示したり床面に投影したりする。これにより、患者はリハビリの効果が実感できることが期待される。

3. 基礎技術の開発と実験

3.1 概要

提案システムで取得する患者の様々な歩行動作情報のうち、歩幅や歩隔を計測するには歩行中の足接地位置の取得が必要になる。そのため、提案システムを実現するための基礎技術の一つとして、二次元測域センサを用いて歩行中の足接地位置を取得する手法の開発を行った。また、歩行リハビリを楽しくしたり特定の歩行動作を促したりすることを目的として、歩行動作に対してインタラクティブに変化する床面投影映像の生成を行った。

3.2 二次元測域センサを用いた足接地位置の取得

3.2.1 概要

二次元測域センサは、多数のレーザを扇状に射出することで空間を二次元的にスキャンして物体を検出して、センサからの距離を計測する。計測の高いフレームレートで連続的にリアルタイムで行われる。そのため、二次元測域センサで床面の上方10cm程度を床面に平行にスキャンすることで、足の接地を検出してその位置を取得することができる。

しかし、歩行動作を行った場合には、足が床面に接地しているときだけでなく、足が床面から離れて前方に移動しているときでも足を検出することがある。従って、そのままでは足の接地位置だけを取得することは困難である。

そこで、本研究では歩行動作中に接地している足は同じ位置に一定時間留まっていることに着目して、スキャンデータの積算によって足の接地位置だけを検出する手法を

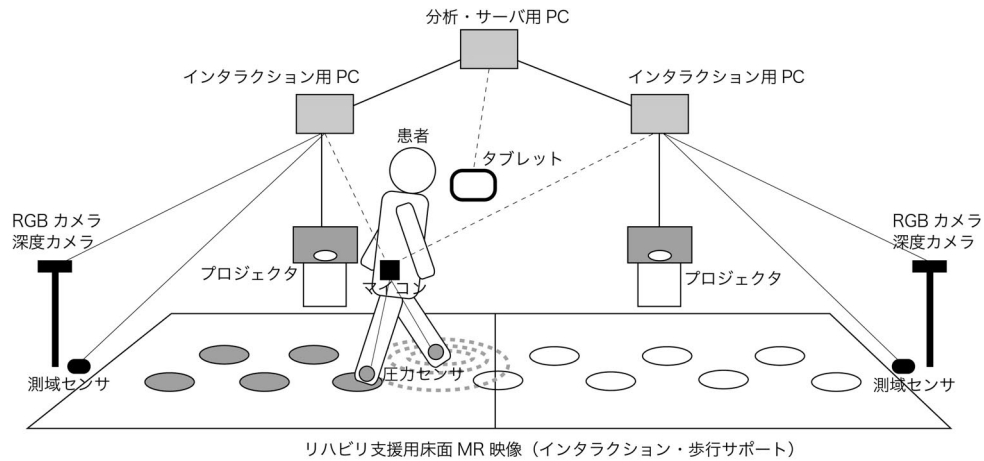


図 1 提案システムの構成

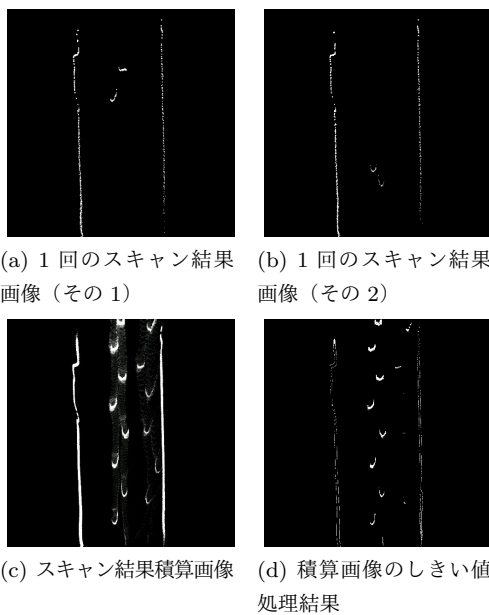


図 2 足接地位置の検出

開発した。図 2 に開発手法の手順を示す。まず 1 回のスキャンごとに、センサから射出された各レーザの角度と物体検出距離の結果を画像にプロットすることで二値画像化する (図 2(a)(b))。このとき、測域センサはレーザを扇状に射出するため、センサからの距離に比例してスキャン間隔も大きくなる。そのため、スキャン結果を画像にプロットする際には、距離に比例してプロットする点の大きさを拡大する (図 3)。得られた画像中には足が検出されて表示されているが、1 回分のスキャン結果画像だけでは足が接地しているのか接地せずに移動しているのか区別できない。そこで、一定時間分のスキャン結果画像を積算した画像を生成する (図 2(c))。足が接地している場合には同じ場所に足が検出され続けるため、積算画像では接地している足の部分は濃度値が高くなる。最後にしきい値処理を行うことで、接地した足だけが検出される (図 2(d))。

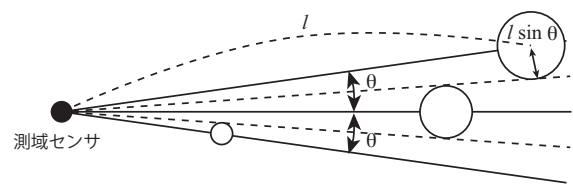


図 3 距離に応じたスキャン結果のプロット

3.2.2 実験

提案手法を検証するために実験を行った。実験では、歩幅 61cm で距離約 10m の直線的な歩行動作を行い、提案手法によって足接地位置を検出した。そして、検出結果に基づいて歩幅を計測して、実際の歩幅と比較した。使用した測域センサは北陽電機 UST-20LXH01 で、スキャンのステップ角は 0.125 度、スキャンのフレームレートは 40fps である。

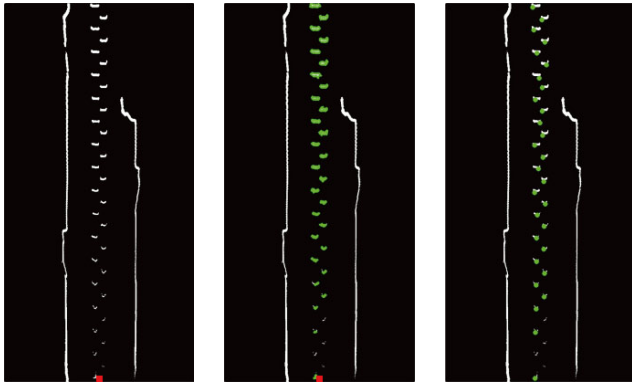
スキャンは 10×5m の範囲で行い、スキャン結果は 1000×500 画素 (画素間隔 1cm) で 0 または 1 の値を持つ二値画像を生成した。そして、得られた画像を積算していき、しきい値 40 でしきい値処理を施すことで 1 秒以上物体が検出された点を抽出した。最後に抽出領域の中心を足接地点として歩幅の計測を行った。

図 4 に足接地位置の検出の様子を示す。提案手法によって歩行動作時の足接地位置が検出できることを確認した。図 5 に歩幅の計測結果を示す。正解値 61cm に対して計測値の平均値は 61.1cm で標準偏差は 2.1cm であった。また、センサからの距離が大きくなるほど、正解値からのばらつきが大きくなる傾向があることが確認された。これは、センサ自体の精度の問題の他、センサ結果の画像化の解像度が不足していることが考えられる。

3.3 床面投影インタラクティブ映像の生成

3.3.1 概要

自由に歩行するリハビリを楽しくしたり特定の歩行動作を補助することを目的として、歩行動作に対してインタ



(a) 積算画像 (b) しきい値処理結果 (c) 接地位置検出結果
 図 4 足接地位置の検出の様子

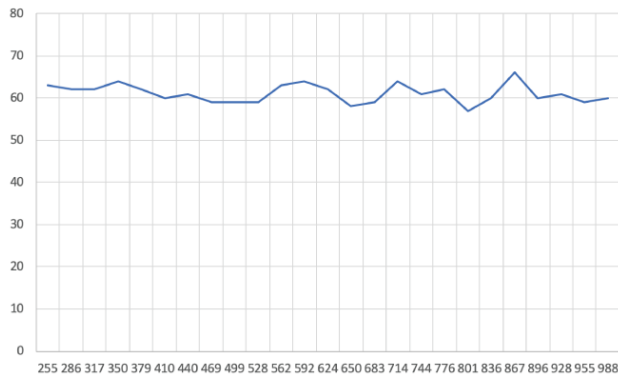


図 5 歩幅計測結果 (正解値 61cm)

ラクティブに変化する床面映像を試作した。歩行動作中の足は測域センサで検出する。また、映像はリアルタイム 3DCG で生成して、プロジェクタで床面に投影する。そして、足の検出結果に応じて、投影映像の足の位置に対応する部分の映像をリアルタイムで変化させる。

3.3.2 自由な歩行を促す映像

自由な歩行を促す映像として、落ち葉映像と雪面映像を生成した。これは、落ち葉がたくさん落ちている森の中やまだ誰も歩いていない雪面などは、自然に足を踏み入れたくなるのではという想定に基づいている。

落ち葉映像では 3DCG 空間中の床面に落ち葉モデルを多数配置する。落ち葉モデルは重力の影響などの簡易的な物理モデルに基づいて運動する。そして、足の検出位置の付近に存在する落ち葉に力を加えることで、落ち葉は舞い上がった後に移動しながら落下する。実際に映像を試作した様子を図 6 に示す。歩行動作に応じて足元の落ち葉が舞い散る様子が再現されるのを確認した。

雪面映像では格子構造を持つ床面を 3DCG 空間中に設置することで雪面を表現する。そして、足の位置に対応する格子点を下方に移動させることで雪面の凹みを再現する。実際に映像を試作した様子を図 7 に示す。歩行動作に応じて雪面に足跡が出来ていき、実際に雪面上を歩いているような雰囲気を感じられることを確認した。



図 6 落ち葉映像



図 7 雪面映像



図 8 ゲーム感覚で大股歩行や横向き歩行を促す映像 (その 1)

3.3.3 特定の歩行動作を促す映像

歩行リハビリでは、バランス間隔の向上などを目的として大股歩行や横向き歩行を取り入れることがある。そこで、このような歩行をゲーム感覚で行うことができる 2 種類の映像を生成した。

一つめの映像は所々にヒビが入った映像を床面に投影する。そして、スタート地点から歩き始めて、ヒビを踏まないようにしながらゴールに到達すれば課題クリアとなるゲームである。患者自身がルートを決めることで、大股歩行や横向き歩行が可能となる。図 8 に生成した映像を示す。

二つめの映像は足で踏むべき位置を示すマークを床面に投影する。マークを足で踏むと、マークは次に踏むべき位置に移動する。対象者のリハビリの種類に応じて適切にマークを移動させることで、大股歩行や横向き歩行を促すことが可能になる。図 9 に生成した映像を示す。

4. まとめ

本稿では、映像技術やインタラクション技術を活用する



図 9 ゲーム感覚で大股歩行や横向き歩行を促す映像 (その 2)

ことで、「楽しさ」と「効果の実感」という 2 つの方向から患者の歩行リハビリに対するモチベーションを維持して、患者にとっても医療従事者にとっても有用な歩行リハビリ支援システムの提案を行った。そして、システム実現に必要な基礎技術として、歩行動作中の足接地位置を検出する手法を開発した。また、歩行動作を促すための床面インタラクティブ映像を生成した。

今後は、歩行動作中の姿勢の取得や足裏圧力計測などシステム実現に必要な他の基礎技術の開発、歩行動作を促すための適切な映像の生成、歩行動作情報の分析と可視化手法の開発を行い、それらを統合することで歩行リハビリ支援システムを完成させていくつもりである。

なお、本研究の一部は大室整形外科（兵庫県姫路市）の支援によって行なった。

参考文献

- [1] 厚生労働省 理学療法士・作業療法士需給分科会 (第 3 回), 資料 1 理学療法士・作業療法士の需給推計について, 入手先 <<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000132674.00001.html>> (2019).
- [2] A. D. Gama, P. Fallavollita, V. Teichrieb, N. Navab, Motor Rehabilitation Using Kinect: A Systematic Review, *Games for Health Journal*, Vol. 4, Issue 2, pp. 123–135 (2015).
- [3] 佐野睦夫, 辻村拓実, 大井翔, 田淵肇, 斎藤文恵, 梅田聡, 仮想空間における片づけ行動の振り返りによる認知トレーニングシステム, *インタラクション 2018*, 1P09, pp. 481–486 (2018).
- [4] D. Choi, W. Choi, S. Lee, Influence of Nintendo Wii Fit Balance Game on Visual Perception, Postural Balance, and Walking in Stroke Survivors: A Pilot Randomized Clinical Trial, *Games for Health Journal*, Vol. 7, Issue 6, pp. 377–384 (2018).
- [5] 伊藤哲平, 菅谷みどり, Mihabilly: 感情を考慮したリハビリテーション時の声かけロボット, *インタラクション 2018*, 3B51, pp. 1068–1071 (2018).