

センサとインタラクション技術を活用した歩行リハビリ支援システムの開発

[研究代表者] 水野慎士（情報科学部情報科学科）

[共同研究者] 恒藤慎也、池本圭祐（医療法人社団 大室整形外科脊椎・関節クリニック）

研究成果の概要

効果的なリハビリには、施設、器具、医療スタッフの充実に加えて、患者自身のリハビリに対するモチベーションの維持が重要となる。本研究では歩行リハビリに対してセンサとインタラクション技術を適用して、リハビリ効果の可視化とリハビリへのエンタテインメント性の導入という 2 つの方針によって効果的なリハビリを実現するシステムの開発を行う。

2019 年度は、リハビリ効果の可視化の基盤となる歩行情報の取得手法の開発、および自由歩行や特定歩行にエンタテインメント性を与えて歩行リハビリを支援する手法の開発を行った。2020 年度は、リハビリ効果の可視化に関して、足接地位置と上体姿勢の同時取得と関連性の検証や、足裏圧力取得システムの開発などを行った。また、リハビリへのエンタテインメント性の導入に関して、横向き歩行用のインタラクション映像の開発、歩行距離の取得と記録などを行った。2021 年度は実用化を見据えて、リハビリの様子や結果を記録して、タブレット等で閲覧するシステムの開発を行った。そして、2022 年度は実使用のためのシステム構成の決定と、ステッパーと映像を用いた新しいリハビリ支援システムの開発を行った。

研究分野：画像情報工学

キーワード：リハビリ支援、インタラクション、センサ、CG

1. 研究開始当初の背景

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。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。

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。

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がたい。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。

2. 研究の目的

本研究ではインタラクション技術を活用することで、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（図 1）。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

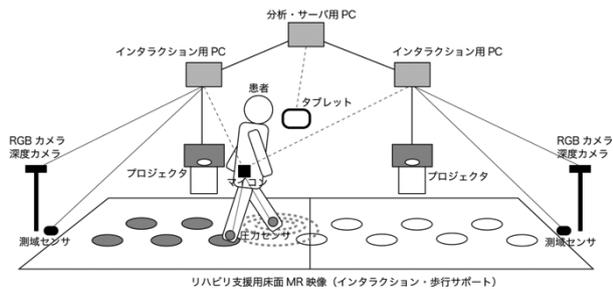


図1 歩行リハビリ支援システム

行う。歩行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、「効果の実感」と「楽しさ」という2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向上することを目指す。そして、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。

3. 研究の方法

前述したように、本研究では、「効果の実感」と「楽しさ」でモチベーションを維持向上しながら効果的な歩行リハビリを支援するためのシステムの基盤技術の開発を行った。「効果の実感」のための方法としては、歩行情報の計測、蓄積、そして可視化を用いた。また、「楽しさ」のための方法としては、歩行エリアへのインタラクティブプロジェクションマッピングを用いた。

3.1 2019年度

「効果の実感」を実現するための基盤技術として、センサを組み合わせることで歩行に関する情報（歩幅、歩隔、重心）を取得する手法を開発した。

開発手法では二次元測域センサおよび RGBD カメラを用いており、患者に器具やマーカを装着する必要はない。そして、二次元測域センサのスキャンデータから得られた二値画像を積算することで、足接地位置を求める手法を開発した。そして、足接地位置に基づいて歩幅と歩隔を算出する手法を開発した（図2）。また、体を10個のパーツに

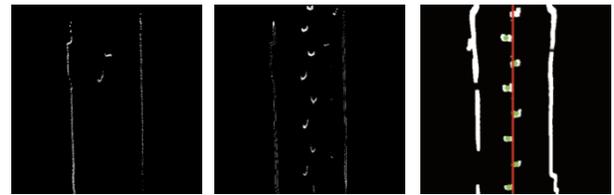


図2 二次元測域センサによる歩幅と歩隔の算出



図3 自由な歩行を楽しくするインタラクティブ映像

分解して、RGBD カメラで推定した関節点に基づいて各パーツの位置と姿勢を推定した。そして各パーツの質量比率の重心に基づいて、体全体の重心を算出する手法を開発した。

「楽しさ」で歩行リハビリのモチベーションを維持向上するため、床面にプロジェクタで映像を投影しながら、歩行に合わせて映像を変化させる手法とコンテンツの提案・実装を行った。歩行中の足の位置は二次元測域センサを用いて取得した。そして、足の位置にある映像をリアルタイムCGを用いてインタラクティブに変化させた。

歩行リハビリを支援する映像の一つとして、自由な歩行を楽しんだり、特定の歩行を促したりするインタラクティブ映像を制作した。雪面や落ち葉など誰でも自然に足を踏み入れたいようなシーンを床面に再現して、歩くたびに雪面に足跡が残ったり、足元の落ち葉が舞い上がったことで、歩くことに楽しさを与えた（図3）。また、踏み出す位置を床面に提示することで、ゲーム感覚で大股歩きをしながらゴールを目指す映像を制作した。

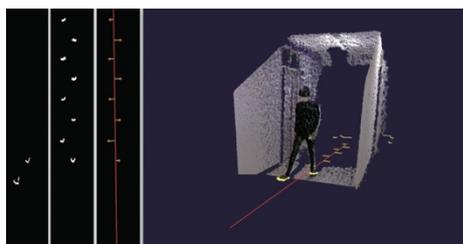
3.2 2020年度

「効果の実感」を実現するための基盤技術として、レーザセンサとマーカレスモーションキャプチャ技術を同時に適用することで、足接地位置と上体骨格座標を同時に取得する手法を開発した。その結果、歩幅、歩隔、重心位置の関連性を検証することが可能となった。

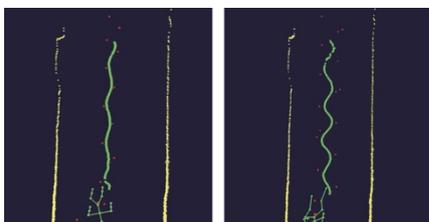
また、新たな歩行情報として、圧力センサを内蔵した靴を開発した。これにより、歩き方によって変化する足裏圧力を画像として可視化して確認することが可能となった。

3.3 2021年度

システムの実用化を見据えて、歩行に関する情報を記録、閲覧できる Web 対応歩行情報記録システムを開発した。



(a) 取得中の様子



(b) 歩行の違いによる歩隔と重心位置の変化

図4 足接地位置と上体姿勢の同時取得

このシステムでは、従来システムに対して歩行の様子を横から撮影するためのカメラを追加設置した。そして、患者が決められたエリアを歩行すると、二次元測域センサ、RGBDカメラ、側面撮影用カメラが連動して自動的に歩行記録を始め、患者の足元には足設置位置や重心軌跡がリアルタイムで表示される(図4)。また、患者が歩行エリアを歩き終わると、歩行中の足設置位置と重心移動の軌跡、および歩幅と歩隔を記録、計算する。これらの結果は、歩行の様子を正面および側面から記録した動画とともに Web 閲覧可能である。

3.4 2022 年度

システムを病院で実際に使用するために、システム構成を決定した。病院からの意見に基づいて、システム全体をタイヤ付き小型ラックに設置して、使用に合わせてシステムを簡単に移動できるようにした。また、横からの歩行の様子を適切に撮影できるようにするため、システムをワイヤレスカメラに適用させた。

加えて、ステッパーと映像を用いた新しい歩行リハビリ支援システムの開発を行った(図5)。これはステッパーによるステップの速さに応じて再生速度が変化する映像を見ながら歩行運動を行うシステムである。映像としては、3DCG映像およびビデオで撮影した実映像にも対応する。特に、実映像を用いた場合には、GPSとカメラが装着された専用カートを用いることで、散歩をしながら簡単に映像コンテンツを生成できる手法を開発した。



図5 ステッパーを使った歩行運動システム

4. 本研究に関する発表

- [1] 松岡基揮, 水野慎士, "歩行リハビリ及び介護を支援するインタラクティブ映像の提案", 情報処理学会 DICO2020 論文集, pp. 1601-1605 (2020).
- [2] 小笠原千紘, 水野慎士, "歩行リハビリ支援のための歩行情報取得システムの開発", 情報処理学会 DICO2020 論文集, pp. 1569-1575 (2020).
- [3] 小笠原千紘, 松岡基揮, 水野慎士, "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", 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-DCC-24, No. 25, 5 pages (2020).
- [4] 松岡基揮, 水野慎士, "歩行リハビリの支援と実施履歴を管理するシステムの提案と開発", 情報処理学会 DICO2021 論文集, pp. 798-804 (2021).
- [5] 松岡基揮, 水野慎士, "歩行情報取得とエンタテインメント要素を組み合わせた歩行リハビリ支援システムの開発", 情報処理学会第84回全国大会論文集, 4N-05 (2022). (学生奨励賞)
- [6] 松岡基揮, 水野慎士, "歩行情報取得とエンタテインメント要素を組み合わせた歩行リハビリ支援システムの開発", 情報処理学会第84回全国大会論文集, 4N-05 (2022). (学生奨励賞)
- [7] 柴田侑里子, 中川輪子, 横江夏実, 舟橋健司, 水野慎士, "フレイル予防のための循環型コンテンツを用いた歩行運動システムの提案", 第20回情報学ワークショップ (WiNF2022), S-2B-8 (2022).
- [8] 柴田侑里子, 中川輪子, 横江夏実, 小栗真弥, 松河剛司, 水野慎士, "ステッパーを用いた健康志向インタラクティブコンテンツの開発", 情報処理学会研究報告, Vol. 2023-DCC-34, No. 5, 5 pages (2023).