

# 歩行リハビリ支援システムの病院での実用化に関する研究

簗 知樹<sup>1,a)</sup> 水野 慎士<sup>1,b)</sup>

**概要：**本研究では、病院での歩行リハビリをサポートするシステムを開発した。このシステムは LiDAR と Kinect センサーを利用して、歩行時に歩幅、歩隔、歩行速度、および体重中心の移動などのさまざまな歩行情報を自然な歩行で取得できる。また、測定された歩行情報はタブレット端末で即座に確認できる。このシステムは患者がリハビリの効果を数値で実感できるようになるという点でも価値がある。

## 1. はじめに

病気や怪我の治療において、リハビリテーションは重要な役割を担っている。特に、歩行リハビリテーションは、日常生活の基盤となる基本的な運動能力の回復・獲得を目的としており、重要な位置を占めている。また、近年では入院期間を短縮する取り組みが行われており、リハビリ分野での IT の活用の期待が高まっている。リハビリテーションを効果的に行うためには、医療従事者と患者が高いモチベーションを持ち協力して行う必要がある。しかし、リハビリの辛さや効果の実感の無さによる患者のモチベーションの低下が懸念されている。

著者は病院と共同で歩行情報取得システムを開発している [1][2]。開発しているシステムでは、効果を実感させるということと、リハビリを楽しくさせるということの2つの方針でモチベーションの維持・向上を行っている。しかし、それらは病院の実運用に至っていない。

そこで、本研究では病院での実運用を見据えて、歩行リハビリの効果を実感してもらうことを目的に歩行情報取得システムを開発した。提案システムでは特別な器具やセンサーなどをつけずにただ歩くだけで、患者に関する様々な歩行情報を取得できる。歩幅、歩隔、歩速、重心移動などのリハビリの結果を評価するために必要な情報を自動的に計測することができる。また、歩行過程の動画を自動的に撮影することもできる。自動的に取得した歩行情報は、タブレットで即座に見ることができる。データが蓄積されるため、現在の結果と過去の結果を容易に比較することができる。提案システムを用いることで、患者に取得した歩行情報の確認をしてもらい効果を実感させ、理学療法士に歩

行情報の記録や患者へのアドバイスなどのサポートを行うことでモチベーションの維持・向上が期待される。

## 2. 関連研究

患者の動作に対してリアルタイムに反応する技術の活用は、様々なリハビリの種類や目的に合わせて研究されている。多田らは、在宅リハビリに IT を活用している [3]。在宅リハビリシステムとして各動作の確認や効果測定、計画策定などのためのデータ取得を行えるようにすることを目的として、患者のリハビリ運動を詳細に認識する手法を検討している。Gonzalez らはエクササイズゲームを基にした知的なりハビリテーションシステムを開発した [4]。この研究では、ユーザーの対話を分析しユーザーの履歴と共に新しいゲーム化された演習を選択する推薦システムが含まれている。ユーザーの履歴と好みに基づいて、ユーザーにパーソナライズされたゲームモードを提供することで、患者の治療へのモチベーションを高め、関与させ、治療への忠実度を向上を目的としている。

## 3. 提案システムについて

1章で述べた通り、提案システムでは特別な器具やセンサーなどをつけずにただ歩くだけで、患者に関する様々な歩行情報を取得できる。従来から病院で行われている歩行テストと同様に、患者は約 10m を直線的も歩くことで、システムはリハビリの効果を評価するために必要な歩行情報を取得する。システムが取得する歩行情報としては、歩幅、歩隔、歩行速度、重心移動、前から撮影した動画、横から撮影した動画をである。これらの取得した歩行情報はタブレット等で専用 Web ページにアクセスすることですぐに確認できるようになる。

開発したシステムは、PC、LiDAR、RGBD カメラ、Web カメラ、タブレット端末で構成されている (図 1)。LiDAR

<sup>1</sup> 愛知工業大学

<sup>a)</sup> b22716bb@aitech.ac.jp

<sup>b)</sup> s\_mizuno@aitech.ac.jp

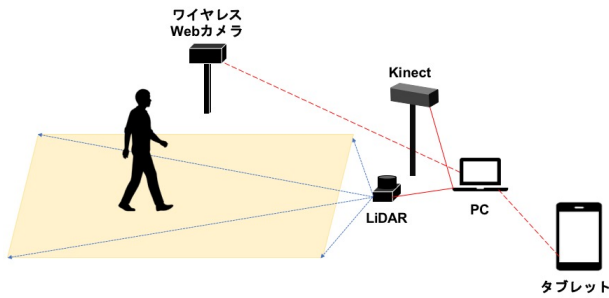


図 1: システム構成

は床をスキャンしながら歩行中の患者の足の接地位置を取得するために用いる。RGBD カメラは患者の骨格情報を取得して体の重心位置を計算するとともに、患者の歩行映像を前方から撮影するために用いる。Web カメラは患者の歩行映像を横から撮影するために用いる。PC は LiDAR, RGBD カメラ, Web カメラを制御して歩行情報を取得して管理する。また管理している歩行情報をタブレットで確認するための Web サーバとしても機能する。

## 4. 実現手法

### 4.1 歩行時の足接地位置の取得

本研究のシステムでは、病院での歩行テストの環境に合わせて、長さ 10m, 幅 1.5m の歩行エリアを設定している。LiDAR はこのエリアの床を毎秒 30 回の頻度でスキャンしており、スキャン結果を 5mm/ピクセルの解像度で二値画像に変換する。歩行中の患者の足接地位置はこのスキャン結果二値画像に基づいて取得する。

ここで、LiDAR は接地した足だけではなく、歩行中に前方に振り出す足にも反応してしまう。そこで、地面に接地した足は前方に振り出す足に比べて長い時間同じ場所にとどまるという特徴に着目して、スキャン結果二値画像から接地された足のみを抽出する方法を開発した。この方法では、毎回のスキャンで生成された二値画像の画素値を積算した画像を生成していく。そのため、足が接地しているとどまっている位置に対応する画素値は高くなっていく。そして、積算によって生成された画像をしきい値処理することで、接地している足の領域だけが抽出される。なお、積算画像に対する二値化のしきい値としては、1 秒の接地時間に相当する値を実験的に決定した。

### 4.2 歩行情報の取得

#### 4.2.1 歩幅, 歩隔, 歩速の算出

前節で述べた方法で取得した足接地領域画像から足の接地点を求めた後、患者の歩幅, 歩隔, 歩速を計算する(図 2)。まず、足の接地点は抽出された各足接地領域の重心とする。そして、抽出した足接地点集合に対して主成分分析を適用して、第一主成分の軸を歩行中心直線として求める。

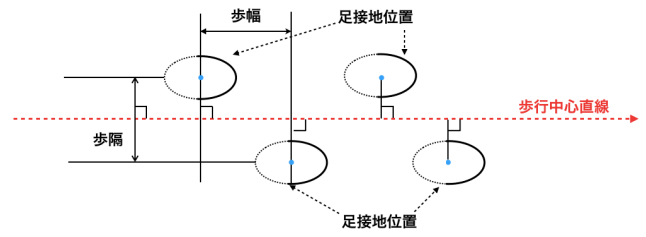


図 2: 歩幅, 歩隔の算出

次に各足接地点から歩行中心直線に垂線を下ろして交点を求める。そして、各交点間の平均距離を算出して歩幅として、垂直線の平均の長さを算出して 2 倍にすることで歩隔とする。なお、システムは各足の接地時間の取得時間を 1 ミリ秒の間隔で取得する。そのため、歩行エリアの両端の足接地点と取得時間を利用することで、歩行エリア内の平均歩行速度を算出している。

#### 4.2.2 重心の算出と歩行映像の撮影

歩行中の重心移動も歩行リハビリの効果の検証に重要である。そのため、RGBD カメラを使用して患者の骨格座標を捉え、歩行中の重心移動を計算する。本研究では RGBD カメラは Kinect センサーを使用する。まず、Kinect は歩行中の患者の 15 の関節点の 3D 座標を測定する。そして、体を 10 部位に分けて考えることで、15 の関節点の座標から各部位の歩行中の位置を計算する [5]。さらに各部位の全体重に対する重さの割合を考慮することで、歩行中の重心を計算することができる。なお、Kinect センサーでの骨格取得範囲は約 4m になっているため、重心を計算できる範囲は歩行エリア内の一部に限られる。

病院での実際の歩行テストにおいては、歩行中の患者を正面および側面からビデオ撮影する。ここで、本研究のシステムでは重心算出用に用いる Kinect と追加の Web カメラを用いて、それぞれ歩行の正面および側面から見た様子を自動撮影する。自動撮影の制御は LiDAR を用いており、LiDAR で患者の足が歩行エリアに入ったことを検知すると自動的に撮影を開始して、足が歩行エリアから出ると自動的に撮影を停止する。

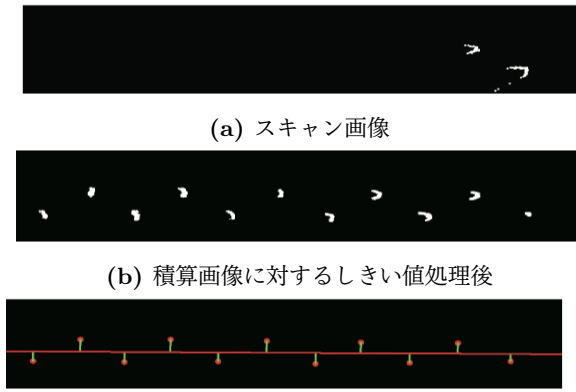
### 4.3 歩行情報の確認

歩行情報を確認するシステムは、Web ベースで開発した。取得した歩行情報はすぐに患者ごとにまとめられ、医療従事者や患者は歩行テスト後すぐにタブレット等で情報を確認することができる。タブレットで確認できる歩行情報は、歩幅, 歩隔, 歩速, 正面撮影ビデオ, 側面撮影ビデオ, 骨格情報, 足接地位置, 重心移動軌跡である。

## 5. 実験

### 5.1 歩行情報の取得

整形外科病院の理学療法士の立会いの元で、病院でのリハビリ効果検証用歩行テストの環境と類似した条件で歩行



(a) スキャン画像  
(b) 積算画像に対するしきい値処理後  
(c) 足接地点と歩行直線

図 3: 足接地点の取得



(a) 正面から撮影したビデオ映像



(b) 側面から撮影したビデオ映像

図 4: システムが自動撮影した歩行中のビデオ映像

情報の収集を行う実験を行った。被験者は 10m の直線を歩き、システムは歩幅、歩隔、歩速、重心移動軌跡を測定するとともに、歩行の様子を正面および側面からビデオ撮影した。

図 3 に LiDAR によってスキャンされた二値画像 (1 フレーム分)、積算画像に対するしきい値処理後の画像、抽出された足接地点および歩行中心直線を示す。本研究の提案手法によって、歩行中の足接地点を検出できることを確認した。

図 4 に Kinect と Web カメラによって撮影した歩行ビデオ映像を示す。システムが被験者の歩行エリア侵入と退出を正しく検出して、歩行ビデオ映像を適切に取得していることを確認した。

図 5 に歩行中の骨格情報と重心移動の軌跡を示す。重心が歩行と同期して左右に揺れており、意図的に揺れながら歩行した場合は揺れ幅が大きくなっていることから、重心移動の軌跡が適切に取得できていると思われる。

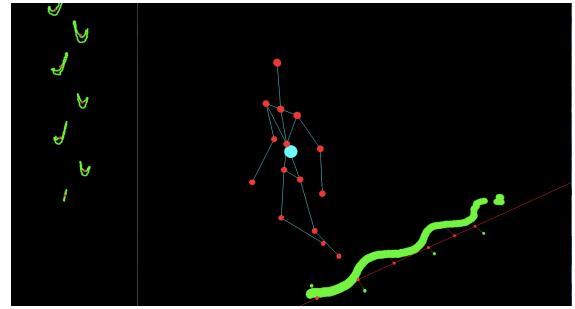


図 5: 骨格情報と重心移動軌跡

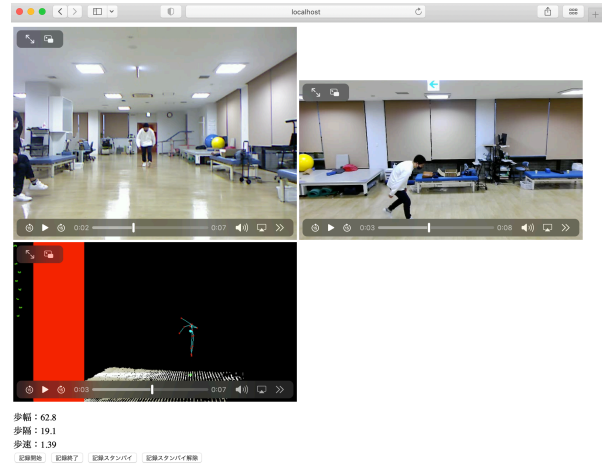


図 6: 歩行情報の確認

図 6 にシステムで取得した歩行情報を Web ページ上で確認した様子を示す。上部には歩行中のビデオ映像と重心の移動軌跡動画が表示されている。また下部には歩幅、歩隔、歩速の数値が表示されている。なお、理学療法士がメジャーとストップウォッチを用いて従来手法で取得した歩幅、歩隔、歩速の計測結果と比較したところ、システムの測定値とほぼ同じであり、理学療法士からは測定値は十分な精度があるとの意見が得られた。

## 6. まとめ

本研究では、病院での使用を想定した歩行リハビリ支援システムを開発した。開発したシステムでは、患者が装置などを身につけずに歩くだけで、整形外科などで歩行リハビリの効果検証用に取得する歩行情報を十分に高い精度で取得することができることを確認した。開発したシステムでは歩行後すぐに歩行情報の提示を行うことができるため、患者に歩行リハビリの効果を実感させて、リハビリに対するモチベーションの維持や向上につながる可能性がある。また、病院のスタッフによると、従来はさまざまな種類の歩行情報を得るために患者に複数回歩行テストを実施してもらう必要があったが、本研究のシステムでは患者がたった一度歩くだけで必要な歩行情報が得られるため、スタッフにとっても便利であるとの感想が得られた。

今回の実験では被験者は杖などの歩行補助具を使用せずに歩行したが、実際には歩行補助具を使用して歩行テストを行う場合がある。そのため、形状情報などを利用することで足と歩行補助具を区別することが必要である。また、開発したシステムを使って実際の患者を対象とした実証実験も行うことで、システムの実用性の向上などを図る必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費基盤研究 (C)22K12337 および (C)23K11182 の支援を受けています。

## 参考文献

- [1] 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, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2020 論文集, Vol. 2020, pp.1569–1575 (2020).
- [2] 松岡基揮, 水野慎士: 歩行リハビリおよび介護を支援するインタラクティブ映像の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2020 論文集, Vol. 2020, pp. 1601–1605 (2020).
- [3] 多田剛史: 高齢者在宅リハビリテーションのためのウェアラブルセンサによる行動認識, 第 82 回全国大会講演論文集 2020 (1), pp. 257–258, (2020).
- [4] C. S. Gonzalez-Gonzalez, P. A. Toledo-Delgado, V. Munoz-Cruz, P. V. Torres-Carrion: Serious games for rehabilitation: Gestural interaction in personalized gamified exercises through a recommender system, J. of Biomedical Informatics, Vol. 97, Research article 2 (2019).
- [5] 松井秀治: 各種姿勢の重心位置に関する研究:(1) 身体各部の簡易質量計算とその質量比 による重心位置の合成, 体育学研究 2, pp.65–76 (1956).