

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

松岡 基揮¹ 水野 慎士¹

概要：日本では、超高齢化社会によりリハビリ及び介護を必要としている人が増加傾向にある。しかし、リハビリの分野では患者がモチベーションを低下させてしまうこと、介護の分野では要介護者の誘導が困難であることが問題になっている。本研究では、インタラクティブ映像を用いることで歩行リハビリ及び介護を支援するシステムの提案・開発を行った。歩行者の足の位置によってインタラクティブに変化する映像を投影することで、リハビリの楽しさの実現と、特定の場所への経路を随時案内することが可能となる。歩行者の足の位置情報を取得するために二次元測域センサを用いた。そして、二次元測域センサで取得した情報を二値画像化することで足の位置を求めた。投影するインタラクティブ映像は、自由な歩行を促す映像、特定の歩行を促す映像、特定の場所まで誘導する映像を制作した。

Proposal of Interactive Images to Support Walking Rehabilitation and Nursing Care

MOTOKI MATSUOKA¹ SHINJI MIZUNO¹

1. はじめに

日本では、高齢化社会の進行に伴いリハビリ及び介護を必要としている人が増加傾向にある。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年は1.24倍、2040年には1.38倍に増加する見込みとなっている[1]。そのため、リハビリ及び介護の分野では患者を支援するためのデジタル技術への期待が高まっている。実際にリハビリや介護を支援する研究は報告されており、杖にセンサデバイスを取り付けることで歩行者の日常での歩行動作をセンシングすることで歩行能力を評価する研究[2]や、KINECTを用いることで膝関節とつま先の座標から求める足の動き、両肩関節と両腰関節の座標から求める上体の動きを可視化・数値化する研究[3]などがある。

リハビリの分野において、効果的なリハビリを実現するためには、器具や施設、医療従事者の充実が非常に重要であるが、他に患者自身のモチベーションも非常に重要であ

る。しかし、リハビリ患者はリハビリに対して辛く感じるようになり、リハビリの効果が実感できなくなったりすることでモチベーションが低下することが問題となっている。そのため、患者の歩行能力を評価することでリハビリを支援する研究だけではなく、デジタル技術をエンタテインメント要素として取り入れることで、リハビリを支援する研究もある[4]。また、介護の分野において、例えばトイレに移動しなければならないときでも、要介護者にとっては歩行が辛かったり、場所を忘れてしまったりすることが原因で、介護者が要介護者をトイレへ誘導することに苦勞することが度々問題となる。

そこで、本研究では歩行動作に着目して、インタラクティブ技術を用いることでリハビリ及び介護を支援するシステムの提案と開発を行う。歩行動作に着目したのは、リハビリの大きな目的は日常生活において必要不可欠な基本動作や移動能力の回復、そして獲得を目指すことであり、歩行動作は人の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となるからである。

実際の病院では、支えなしの歩行が不可能なリハビリ患者や要介護者は医療従事者が体を支えながら歩行を行った

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

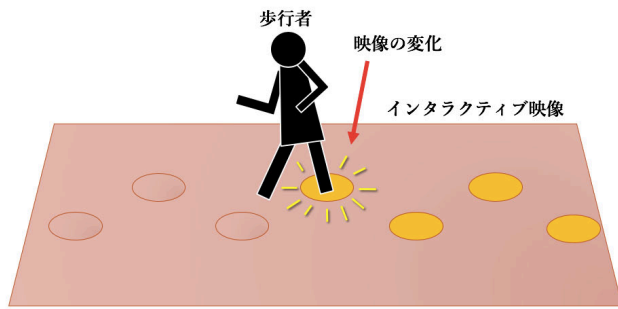


図 1 提案システムイメージ

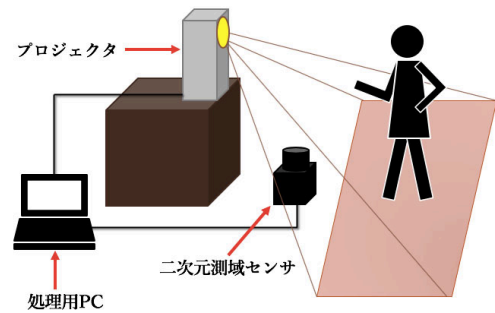


図 2 ハードウェアの構成

り、ある程度歩行が可能な患者は筋力の向上などを目的として特別な歩行を行うことがある。しかし、同じ床を何度も歩く行為であり大きな変化がないので、歩行を行うモチベーションが湧いてこなくてやめてしまったり、要介護者が移動することを思い出せず誘導できない可能性がある。そこで、リハビリで生じる患者のモチベーションの問題や介護で生じる要介護者の誘導の問題に対して、歩行自体にエンタテインメント性を与えることで解決を目指す。具体的には、患者の歩行の動きに合わせてインタラクティブに変化する映像を床面に投影することで、歩行自体に楽しさを持たせてモチベーションの維持・向上や、特定の場所へ自然と誘導したりすることを行う。また、ある程度歩行が可能な患者には、楽しさに加えて、リハビリの訓練として特定の歩行を促すことも行う。

2. システム概要

前章で述べたように、リハビリ及び介護の分野の問題に対して、インタラクティブ映像を用いて歩行動作にエンタテインメント性を与えることで歩行自体に楽しさを持たせて、モチベーションの維持・向上及び誘導を行うシステムを開発する。提案システムのイメージを図1に示す。

提案システムを実現させるためには、歩行者の足位置の取得、映像の生成、生成された映像の投影が必要である。それらを実現するためのハードウェア構成を図2に示す。足の位置情報は二次元測域センサで取得する。センサ情報は処理用PCで処理して、映像はリアルタイムCGとして生成する、そして、生成された映像を超短焦点プロジェクタを用いて床面に投影する。例えば超短焦点プロジェクタを約90cmの高さの台に乗せて床面に映像を投影したとき、縦の長さが約260cm、横の長さが約460cmの映像が投影されて、歩行者は投影された映像の範囲を自由に歩くことができる。

床面への映像の投影はリハビリにおける楽しさを実現するために行う。歩行者の歩行に合わせて映像が変化することで、歩行者は歩行することを楽しさを感じることができる。映像を変化させるには、歩行者の足位置の情報が必要になる。そのため、歩行者の足位置をセンサを用いてス



図 3 二値画像の生成

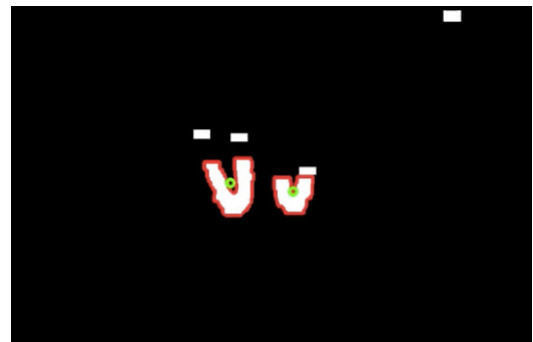


図 4 領域検出処理

キャンする。そして得られた歩行情報を用いて、投影された映像を歩行者の歩行動作に合わせてリアルタイムに変化させる。

投影する映像には複数の種類の映像を用意する。自由な歩行を促す映像には、実際に足を踏み入れたくなるような場所を再現した映像を用意する。また、歩行リハビリで実際に行っている特定の歩行動作を促すような映像も用意する。映像で踏んではいけない場所、踏まなくてはいけない場所を提示して歩行者に自然と特定の歩行動作を行ってもらふ。歩行者の誘導を行う映像では、歩行者が現在いる位置から目的地までの進むべき経路を映像によって示す。

3. 足位置の取得方法

本研究で使用する二次元測域センサは北陽電機 UST-20LX-H01 である。このセンサはステップ角が 0.125° で

あり、角度 270°、距離 10m 以上の範囲をスキャンすることができるため、本研究で使用するには十分な性能を持っている。センサからレーザ光を回転させながら扇面状にレーザを照射して、照射したレーザが当たった物体からの反射光を捉えることで物体の距離と角度を測定する。そのため、二次元測域センサを用いて床面の上方の設定した領域内を平面的にスキャンすることで、歩行者の足が床に接地した時に検出してその位置を取得することができる。

二次元測域センサで床面の上方をスキャンする際、あらかじめ設定した領域内に歩行者がいない初期状態をスキャンする。歩行者の歩行中にスキャンした情報と初期状態の情報を比較することで検出した物体が歩行者の足であるか判定する。スキャンによって設定した領域内で物体を検出した場合に、センサから物体までの距離と角度が得られる。それらの値を用いて物体の二次元座標を計算して、領域内全体の検出結果を二値画像として表現する。そして、生成された二値画像に領域検出処理を行うことで歩行者の足位置の座標を取得する。図 3 に二値画像として表現した様子、図 4 に領域検出処理を行った様子を示す。

取得した足の座標情報は床面に投影するための映像生成時に用いる。それによって、歩行者の足元の映像を変化させたり、足が映像によって提示した場所にあるかどうか判定することが可能となる。

4. インタラクティブ映像の生成

4.1 概要

床面に投影する映像は、歩行することでインタラクティブに反応するように制作する。取得した歩行者の足の位置情報は、一般的には映像の一部を変化させることに用いる。足の位置情報を用いた映像の一例としては、歩行者が多数のモデルが配置されている 3DCG 空間の映像を投影した床に足を踏み出すと、足の位置を取得して対応した 3DCG 空間の位置に存在するモデルに対して移動や変形などを行う。これをリアルタイムに行うことでインタラクティブに変化する映像が生成される。

床面の投影映像と足の位置を合わせる手法について、まず処理用 PC のディスプレイサイズを設定して画面を床面に投影する。次に床面の投影映像の縦横の長さを図り、生成映像の長さを投影映像の長さに設定する。最後に生成映像をフルスクリーンにして画面を投影することで、投影映像と足の位置を対応させることができる。

4.2 映像の種類について

歩行リハビリに関する投影映像には自由な歩行を促す映像と特定の歩行を促す映像の 2 系統を用意する。自由な歩行を促す映像にはリハビリ歩行者の体力の維持・向上という目的がある。そして、歩行者が自然に足を踏み入れたくなるような映像にすることでリハビリに楽しさを持たせる。

特定の歩行を促す映像には、バランス感覚の向上や足の柔軟性の向上という目的がある。足を踏み出すべき位置を映像によって提示することによって、歩行がゲームのように楽しむことができるものにする。歩行者に映像で促す特定の歩行として、大股歩行と横向き歩行を促す。この 2 つの歩行方法は、どちらも歩行リハビリにおいて取り入れることがある歩行方法である。大股歩行を行うと、股関節の屈曲を行うのに用いられる大腰筋を鍛えることができ歩行の柔軟性及び体幹の安定性の向上に繋がる。横向き歩行を行うと、骨盤のバランスを保つのに用いられる中臀筋を鍛えることができ歩行バランスの安定性の向上に繋がる。

介護を支援する投影映像には歩行者を特定の場所まで誘導する目的がある。映像によって歩行者を随時案内することで、自然と目的地まで進みたくなるようなものにする。

4.3 自由な歩行を促す映像

歩行者に自由な歩行を促す映像として 2 つの映像を制作した。1 つは落ち葉がたくさん落ちているシーンを再現した映像、もう 1 つは雪が積もっているシーンを再現した映像である。これは、多くの人が落ち葉や雪が積もっている場所には自然と足を踏み入れて歩行を楽しく感じるだろうという想定に基づいている。

4.3.1 落ち葉映像

落ち葉映像では、3DCG 空間中にある床面に多数の落ち葉モデルを生成して配置する。歩行者の足の位置と落ち葉の位置が近い場合、落ち葉に力とモーメントを与えることによって落ち葉が回転しながら舞い上がる。そして、舞い上がった落ち葉は重力の影響によって落下する。これを連続的に行うことで、歩行者が足を投影映像上に踏み出すたびに足元の落ち葉が舞い上がって落ちる映像が生成される。また、歩行者に踏み込んだ感覚をより深く感じてもらうために、落ち葉が床面から舞い上がるときに落ち葉同士がこすれるような音を鳴らす。

実際に映像を投影して歩行した結果、歩行動作によって落ち葉が舞い上がり、そして床面へと落下していく様子が再現されるのを確認した。図 5 に落ち葉映像を投影して歩行した様子を示す。

4.3.2 雪面映像

雪面映像では、3DCG 空間中に格子構造で作られた床面を生成して配置する。歩行者が投影映像上に足を踏み出すと、足の位置に近い格子点の位置を下方に移動させる。この際、足の位置と格子点の位置が近いほど大きく移動させる。そして、足の位置が格子点の位置から離れた場合、格子点が徐々に元の高さに戻る。これを連続的に行うことで、歩行者が雪面の上を踏んだ時に雪面が凹む映像が生成される。また、雪面が凹む際に踏んだ感覚を歩行者に感じてもらうために、雪を固めるような音を鳴らす。

実際に映像を投影して歩行した結果、歩行動作によって



図 5 落ち葉映像



図 7 提示された場所を踏むことでゴールを目指す映像



図 6 雪面映像



図 8 障害物を回避してゴールを目指す映像

雪面に足跡ができていき、本物の雪面を上を歩いているような雰囲気が感じられることを確認した。図 6 に雪面映像を投影して歩行した様子を示す。

4.4 特定の歩行を促す映像

特定の歩行を促す映像として 2 つの映像を制作した。どちらの映像もゲーム感覚で歩行ができる映像となっている。1 つは提示された場所を踏むことでゴールを目指す映像、もう 1 つは障害物を回避してゴールを目指す映像である。歩行にゲーム性を持たせることで、歩行者にリハビリにおいて有用な歩行を促すとともに楽しく歩行をしてもらう。

4.4.1 提示された場所を踏むことでゴールを目指す映像

提示された場所を踏むことでゴールを目指す映像では、踏むべき場所を示した 2 つの星を 3DCG 空間上に生成する。はじめに、歩行者がスタート位置に立つと映像上に 2 つの星が表示される。そして、それぞれの星を両足で踏むことにより、歩行者前方に踏む場所を示した星が移動して表示される。これを連続的に行っていくことで、歩行者がゴール位置に到達するとゲームクリアとなる。歩行者が星を踏んでいることをより実感してもらうために、踏んでいる間は星が一定の大きさまで大きくなり音を鳴らして回転する。歩行者の歩行リハビリにおける歩行方法に応じて適切に星を移動させることで大股歩行や横向き歩行などの歩行を促すことが可能となる。

図 7 に提示された場所を踏むことでゴールを目指す映像を投影して歩行した様子を示す。実際に映像を投影して歩

行した結果、星を踏んだときに星が大きくなり回転すること、次に踏むべき星が前方に現れること、星が動くギミックによりゲーム感覚で歩行を楽しむことができること、特定の歩行方法へと自然に促されることを確認した。

4.4.2 障害物を回避してゴールを目指す映像

障害物を回避してゴールを目指す映像では、いくつかのひび割れた面が含まれている格子構造の床面を 3DCG 空間上に生成する。歩行者は、スタート位置からひび割れた面を踏まないように進み、ゴール位置に到達することでゲームクリアとなる。ひび割れた面には耐久度を設けてあり、歩行者のひび割れた面上の滞在時間により徐々に減少していき、耐久度が 0 になると床に穴があきゲーム終了となる。耐久度が残り半分になった際、よりひびの入った面に変わり音になることで歩行者に残り耐久度を知らせる。また、穴が空いた面になった際にも音を鳴らす。ゲームを無事クリアするためにはひび割れた面を避ける必要があるため、大股歩行や横向き歩行などの歩行を促すことが可能となる。

図 8 に障害物を回避してゴールを目指す映像を投影して歩行した様子を示す。実際に映像を投影して歩行した結果、ひび割れた面に一定時間滞在しているとよりひび割れた面へと変化すること、さらに滞在すると穴が空いた面へと変化して本当に足元に穴が空いたように見えること、ひび割れた面をどのように避けるか考えることでゲーム感覚で歩行を楽しむことができること、特定の歩行方法へと自然に促されることを確認した。

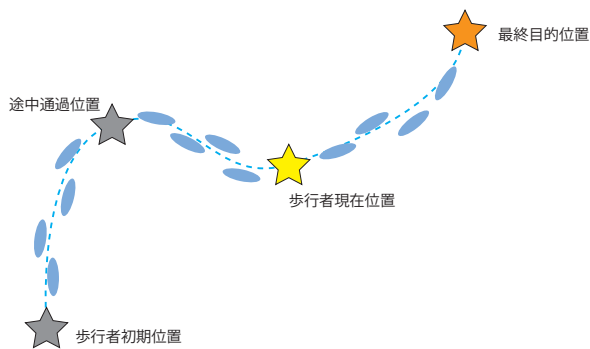


図 9 特定の場所まで誘導する映像の概要



図 10 魚の泳ぎで特定の場所まで誘導する映像

4.5 特定の場所まで誘導する映像

特定の場所まで誘導する映像では、要介護者の現在いる場所から目的地に到着するため進むべき経路を映像として床面に投影する。投影映像は要介護者が自然に進むべき方向が認識できるように魚の群れの泳ぎで表現している。システムは逐次要介護者の位置を追跡しながら、要介護者の足元から障害物を避けつつ目的地に向かって魚の群れを泳がせる。

魚映像の生成は、著者らが行ってきたエンタテインメント映像生成手法に基づいている [5][6]。この手法では、魚同士を干渉させることで魚らしく泳がせながら、各魚を任意の目標点に向かって泳がせることができる。そして、本研究では歩行者の初期位置、現在の歩行位置、途中通過位置、そして最終目的位置をそれぞれ目標点として魚に順番に与えることで、魚映像は歩行者を経由しながら目的地に向かって泳ぐ。従って、歩行者が通常経路から外れたとしても、魚映像は常に正常ルートへの修正を促しながら歩行者を目的地へと誘導する。

図 10 に魚の泳ぎで特定の場所まで誘導する映像を投影した様子を示す。魚の群れが歩行者の足元を通過しながら目的地に誘導するように泳ぐことを実現していることを確認した。

5. まとめ

本研究では、インタラクティブ映像を用いることで歩行リハビリ及び介護を支援するシステムの提案と開発を行っ

た。リハビリ患者の歩行リハビリへのモチベーションの維持・向上、そして要介護者の特定の場所への誘導のために、床面に映像を投影して、センサに取得した歩行者の足の位置情報を用いて投影映像の変化を行った。実際に歩行を行い、何もない床面を歩行するよりも楽しく歩行ができること、映像に自然に誘導されて特定の場所まで行くことができることを確認できた。

今後は、歩行者の姿勢情報の取得や足裏圧力情報の取得を行うシステムの開発を行い、これらの取得情報を用いた歩行動作を促すためのより適切な映像の生成を行うつもりである。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・作業療法士の需要推計について, 入手先 <https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000132674_00001.html> (2019).
- [2] 高橋雄太, 音田恭宏, 藤本まなと, 荒川豊, “歩行リハビリ支援のためのセンサ装着杖を介した歩行動作認識手法の提案”, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, Vol. 2017, pp.44-51 (2017).
- [3] 新沼昂幸, 村田嘉利, 鈴木彰真, 佐藤永欣, “KINECT を用いた転倒防止システムの提案”, 第 79 回全国大会講演論文集, Vol. 2017, No. 1 pp. 399-400 (2017).
- [4] 松隈浩之, 藤岡定, 中村直人, 原田浩子, 百武永里子, 内之浦真士, 足立勇人, 梶原治朗, 服部文忠, “起立-着席訓練のためのリハビリテーション用シリアスゲームの介護老人保健施設への導入”, Vol. 2012-EC-24, No. 3, pp. 1-5 (2012).
- [5] 岩崎妃呂子, 水野慎士, 秋葉陽児, “いけばなと CG によるインタラクティブデジタルコンテンツ「デジタル枯山水」と「いけばな影絵」”, 情報処理学会論文誌・デジタルコンテンツ, Vol. 5, No. 1, pp. 1-7 (2017.2).
- [6] 榊原拓実, 水野慎士, “ディスプレイ付きニューコンセプトカートと床面を用いたインタラクティブプロジェクションマッピング”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-DCC-23, No. 15, 6 pages (2019).