

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03558

研究課題名(和文) 手つなぎ歩行支援による歩行機能の回復と評価

研究課題名(英文) Recovery and evaluation of locomotion function based on hand-holding support

研究代表者

三枝 亮 (Saegusa, Ryo)

神奈川工科大学・創造工学部・准教授

研究者番号：80386606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,790,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では手つなぎ歩行を実現するための歩行支援ロボットを開発した。本ロボットは歩行計測、バイタル計測、ロボット制御の要素によって構成され、これらの個々の機能についても研究を行った。歩行計測では一歩ごとの歩行特徴を抽出して歩行形態を分析した。バイタル計測ではロボットとの手つなぎを介して生体情報を記録した。ロボット制御では力触覚センシングを介して手つなぎ歩行の誘導や追従を制御した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的な意義は、動的な歩行環境で比較的容易に歩行機能を計測できる仕組みを実現した点である。歩行機能の定量的な計測は、計測装置が置かれたリハビリ室で行われることが多い。本研究の歩行支援ロボットでは、ロボットが対象者と共に移動して計測するため、計測の場所やタイミングに関する自由度が高い。手つなぎと手放しの形態移行や対象外の人物との衝突予防など、今後の現場導入に向けた配慮もなされている。

研究成果の概要(英文)：We developed a walk assistive robot to support human walking based on hand chaining. The system of this robot is composed of the elements related to walk measurement, vital measurement and robot control. The investigation of these functions were also included in this research, where the walk measurement system extracted motion features from each step, and the vital measurement system recorded user's vital signals from a chaining hand. The control system allowed the robot to track and navigate a walking user based on haptic sensing through hand chaining.

研究分野：情報工学

キーワード：歩行 リハビリ ロボット

1. 研究開始当初の背景

人はなぜ手をつないで歩くのか、また、手をつないで歩くことでどのような効果が得られるのだろうか。医療介護の現場では手つなぎや手引きによる歩行介助が一般的であるが、歩行支援に関するこれまでの工学的な研究では、筋動作や身体支持の補助に重点が置かれてきた。このような背景を踏まえ、私たちは前研究において「手つなぎによる介入や同調によって歩行の認知運動機能を強化することが可能か」という学術的な問いを持つに至った。この問いを解決するためには、手つなぎ歩行を支援する手段を工学的に実現する必要がある。さらに、歩行時に認知運動状態を計測、評価して、歩行動作の安定化や歩行意欲の向上に与える影響を精査することが求められる。

2. 研究の目的

本研究では、手つなぎによって歩行動作に介入、同調することが可能な歩行支援ロボットを実現し、手つなぎが歩行機能の維持や回復に与える効果について人間医工学の観点から検証することを目的とする。歩行支援ロボットは歩行計測、バイタル計測、ロボット制御の要素から構成され、これらを統合して実装する。歩行計測では一歩ごとの歩行特徴を抽出して歩行形態を分析する。バイタル計測では手つなぎを介して生体情報を記録する。ロボット制御では視聴覚情報や力触覚情報に基づいて対人的な誘導や追従を制御する。

3. 研究の方法

歩行支援ロボットのハンドル部と表面外装は、歩行練習時に練習者がロボットに接触しやすいように、樹脂とポリウレタンを用いて造形する。ハンドルの表面には脈波センサを設置し、手つなぎを介して練習時や練習前後に脈波を計測する。計測値より心拍と血中酸素濃度を推定する。これらのバイタル項目は練習時の体調管理に有効であり、心疾患を有する練習者を安心させる効果が期待できる。体温と呼吸は歩行支援が手つなぎと手放しのいずれの形態でも計測できるように非接触型センサを用いる。本ロボットのアームは腱駆動と関節固定を組み合わせた駆動機構により制御する。関節の固定時に可動部が滑る場合が予想されるが、本研究では関節の固定に空気圧機構を導入して可動部の固定力を強化する。

歩行支援ロボットには歩行計測と視線提示の機能を実装する。歩行計測はロボットが手つなぎと手放しのいずれの形態が好ましいかを判断する際に重要である。本ロボットは歩行が不安定な歩行者にアームを提供して手つなぎを促し、歩行が安定した後は手放しに移行して歩行状態を見守る。視線提示は人との衝突を回避するうえで効果的である。ロボットはアームを介して練習者に情報を提示できるが、練習者以外の周辺にいる人物には移動の方向やタイミングを直感的に伝えることは難しい。音声による情報の提示は練習者に混乱を与える可能性がある。本研究で提案する目配りを模した視線提示は移動の方向やタイミングを容易に表現することが可能であり、衝突や見合いを回避する効果が期待できる。

4. 研究成果

(1) 本研究ではロボットに搭載したレーザセンサによりリハビリ支援対象者の下肢運動を計測するシステムを構築した。本システムではレーザ計測で得られた水平面内の深度情報から左右脚の表面形状を表す円弧パターンを抽出し、これらの円弧パターンを近似する楕円の中心位置を左右脚の位置として検出する。図1にレーザ計測による両脚位置の検出方法を示す。歩行状態は立脚、遊脚、待機の3状態として認識し、歩行が開始すると各脚は待機状態から移行して立脚と遊脚の状態を繰り返す、歩行が停止すると待機の状態として認識する。続いて、歩行状態の判定のために各脚の着地のタイミングを推定する。着地推定は、脚の水平面内の速度の絶対値に関する時系列パターンを毎フレームごとにガウス関数で近似し、現時刻がガウス関数の偏差に基づく所定の時間帯に収まった際に着地を検出する。図2に歩行状態の判定と着地タイミングの検出を示す。

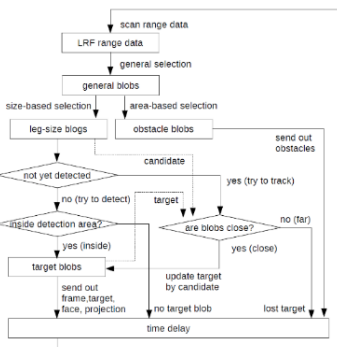


図1. レーザ計測による両脚の位置検出

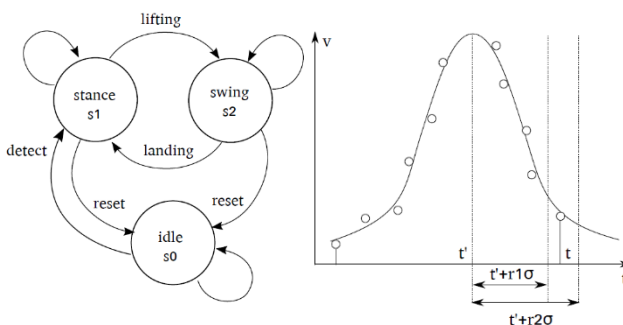


図2. 歩行状態の判定と着地タイミングの検出

(2) 歩行支援ロボットを用いて歩行計測を行った。本実験では歩行練習の指導に熟練した作業療法士が通常歩行、ぶん回し歩行、小刻み歩行の3種類の歩行パターンを再現し、本ロボットで歩行パターンを計測、記録した。図3に示されるように両脚の速度の時系列パターンから着地タイミングを検出し、3種類の歩行特徴を取得することができた。例を図4に示す。ぶん回し歩行と小刻み歩行は、それぞれ片麻痺患者とパーキンソン病患者に見られる歩行パターンであり、これらの歩行特徴を取得することはリハビリの評価や練習プログラムの計画に有用である。

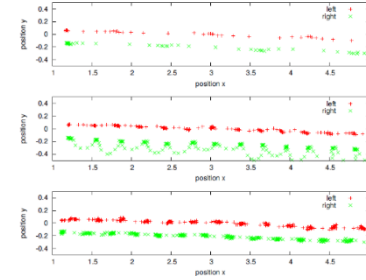
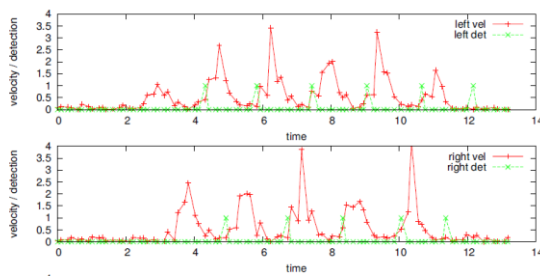


図3. 歩行時の両脚の速度の時系列パターン 図4. 通常歩行, ぶん回し歩行, 小刻み歩行

(3) 歩行補助具や歩行環境の影響を検討するため健常者と片麻痺患者の歩行を模擬し、通常歩行、杖歩行、コーン一周、ターンの4種類の歩行パターンを計測した。歩行軌跡を図5に示す。杖や障害物の有無に関わらず歩行軌跡を記録できることが確認された。さらに、計測値より立脚期/遊脚期の比率を算出して、歩行の対称・非対称を判定する指標として用いた。コーン一周とターンでは折り返し時に両脚の回転半径が異なるが、健常者では立脚期/遊脚期の比率に有意差が認められない傾向があり、歩行リズムが安定している様子が観察された。

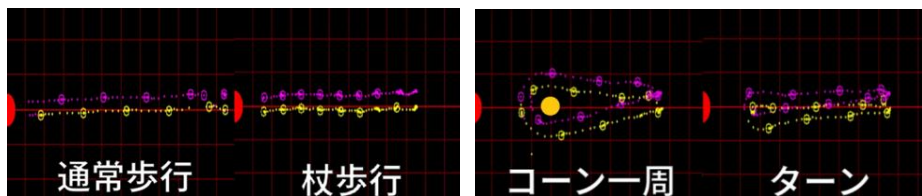


図5. 通常歩行, 杖歩行, コーン一周, ターンの歩行パターン

(4) 手つなぎによるバイタル計測では、計測の信頼性を高めるためにバイタルと接触圧を同時に計測可能なハンドルを提案した。試作したハンドルを図6に示す。利用者が接触圧を容易に調整できるように、手指全体で握ることが可能な円筒型の形状とし、表層に緩衝材を巻くことで弾性をもたせて握みやすくした。バイタルセンサは緩衝材の下層に設置し、照射部と受光部のみを露出させた。緩衝材の下層にハンドルの円周に沿って圧力センサを配列し、これを用いて接触圧を計測した。視覚的なフィードバックを用いて利用者に接触状態を提示したところ、バイタル計測の成功率が向上した。手つなぎによるバイタル計測の様子とGUIを図7に示す。

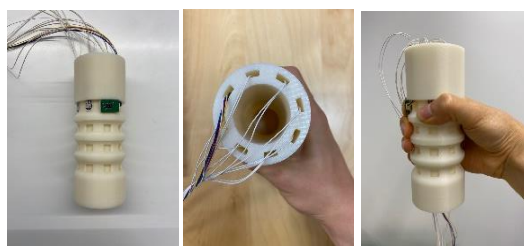


図6. バイタル計測ハンドル



図7. ロボットとの手つなぎによるバイタル計測

(5) 本研究では手つなぎによって歩行動作に介入や同調を行うことが可能な歩行支援ロボットを提案した。本ロボットで歩行軌跡を記録し歩行動作を分節化することで、歩幅、歩行速度、立脚期/遊脚期の比率などの歩行特徴の定量化が可能となり、これらの歩行特徴から歩行の対称性や方向転換の状態を評価できることが示唆された。また、手つなぎを介して歩行の練習中や練習前後にバイタル項目を計測し、接触圧をフィードバックすることでバイタル計測の成功率を高めることができた。今後はバイタル情報に基づいて誘導のペースを調整する機能を付加し、歩行支援ロボットを軽度のリハビリ患者に適用して効果を検証する予定である。

#### <引用文献>

- ① H. Kawamoto and Y. Sankai, Power assist method based on phase sequence and muscle force condition for hal, *Advanced Robotics*, vol.19, no.7, pp.717-734, 2005.
- ② A. M. Moseley, A. Stark, I. D. Cameron, and A. Pollock, Treadmill training and body weight support for walking after stroke, *Stroke*, vol.34, no.12, pp.3006, 2003.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 手つなぎロボットによる歩行リハビリ支援
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 人間共生型ロボットと身体拡張インターフェースによる介護・医療・福祉支援
3. 学会等名 精密工学会第408回講習会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野 健介, 米澤 佑美, 三枝 亮
2. 発表標題 ロボットアームによる身体接触とバイタル計測
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米澤 佑美, 大野 健介, 三枝 亮
2. 発表標題 介護ヘルスケアシステムによる見守りロボットと職員の連携
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 賀川 智紀, 大野 健介, 三枝 亮
2. 発表標題 歩行リハビリシステムによる歩行パターンの計測と解析
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 雅大, 大野 健介, 三枝 亮
2. 発表標題 アイコンタクトエージェントによる情動表出と注視への影響
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 人間と共生するロボット・インターフェース技術～介護・医療・福祉への適用～
3. 学会等名 情報処理学会IPSJ-ONE2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 健介, 三枝 亮
2. 発表標題 身体接触圧をフィードバックするバイタル計測システム
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 見守りロボットとの身体接触に基づくバイタル計測
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松浦 孝欣, 大野 健介, 三枝 亮
2. 発表標題 機械学習による対象物の把持位置の検出
3. 学会等名 情報処理学会第82回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 人と共生するロボット技術と介護分野導入への展望
3. 学会等名 介護ロボットあおもりフォーラム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 手つなぎロボットによる歩行リハビリ支援
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 介護、医療、福祉に関するロボット、AI、インターフェース技術と現場適用
3. 学会等名 全国脊髄損傷者連合会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Saegusa, R., Ito, H., Duong, D. M.
2. 発表標題 Human-Care Rounds Robot with Contactless Breathing Measurement
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Saegusa, R., Duong, D. M.
2. 発表標題 IRT-based Assistance for Inclusive Education
3. 学会等名 ITを活用した教育研究シンポジウム2018
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 共生型ロボット技術による介護医療支援～現場での新しい価値づくり～
3. 学会等名 情報処理学会第7回アクセシビリティ研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野 健介, 三枝 亮
2. 発表標題 ロボットアームを用いたバイタル計測
3. 学会等名 情報処理学会第16回アクセシビリティ研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三枝 亮
2. 発表標題 介護・医療・福祉とロボット技術
3. 学会等名 2021年日本電子材料協会セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Saegusa, R., et al.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 335
3. 書名 Ageing and Digital Technology	

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 ロボット	発明者 三枝 亮, 平山 慶太, 鈴木 新雄	権利者 豊橋技術科学大 学, 新東工業株 式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-013589	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ロボット	発明者 三枝 亮, 伊藤 寛和, 鈴木 新雄	権利者 豊橋技術科学大 学, 新東工業株 式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-013590	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 コントローラ	発明者 三枝 亮, 鈴木 新雄	権利者 豊橋技術科学大 学, 新東工業株 式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-013591	出願年 2019年	国内・外国の別 国内



産業財産権の名称 ロボットアーム	発明者 三枝 亮, 鈴木 新雄	権利者 豊橋技術科学大学, 新東工業株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-013592	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ロボット	発明者 三枝 亮, 鈴木 新雄	権利者 神奈川工科大学, 豊橋技術科学大学, 新東工業株
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-080572	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ロボット	発明者 三枝 亮, 鈴木 新雄	権利者 神奈川工科大学, 豊橋技術科学大学, 新東工業株
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-080573	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<a href="https://www.syblab.org/">https://www.syblab.org/</a>
---

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------