

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：54701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26750236

研究課題名(和文) 松葉杖歩行訓練のための「見守り・付き添い」型バーチャル・トレーナーロボットの開発

研究課題名(英文) Development of "Attending and Observing" Virtual Trainer Robot for Crutch Walk Training

研究代表者

津田 尚明 (TSUDA, Naoaki)

和歌山工業高等専門学校・知能機械工学科・准教授

研究者番号：40409793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：松葉杖を不適切に使うと、転倒のような二次的な事故の原因となる。そのような事故を防ぐためには、少しでも練習することが望まれる。本研究では、松葉杖歩行訓練のための「見守り・付き添いロボット」を開発した。このロボットは松葉杖使用者の歩行に伴走し、歩行動作を計測し、計測結果に基づき歩行動作の改善方法を提示する。このロボットを用いて歩行訓練することで、松葉杖使用者は自らの歩行動作を検証できる。こうして開発したロボットを使って松葉杖歩行動作を訓練すると、歩行方法が改善することを実験で確認した。

研究成果の概要(英文)：Improper usages of crutches can cause a secondary accident like a falling. In order to prevent such accidents, it is expected that crutch users practice crutch walks. In this research, an instruction robot for crutch walk training called "Attending and Observing Robot" was developed. This robot moves along a walking crutch user, and it measures his/her body parts motions. Based on the measurements, the robot provides advices to the crutch user about proper walk motions. By using this robot for trainings, the crutch user can review his/her own walk motions. It was confirmed through experiments that the crutch walk training with this robot improved the crutch user's walk motions.

研究分野：人間医工学

キーワード：松葉杖歩行 福祉・介護用ロボット 動作教示 動作計測

## 1. 研究開始当初の背景

杖、歩行器などの歩行補助具の中で、松葉杖は他に比べて扱いが容易とされ、突然の怪我の治療など短期的に歩行補助具が必要な患者によく用いられる。怪我が原因で急に松葉杖の使用を余儀なくされる患者は、常に使う患者と違い、松葉杖の正しい使い方を知らないのが普通である。しかし現実には、はじめに病院でその使い方を指導されるものの、その後は患者自身が試行錯誤的に習得した方法で使うことが多いとされる(中西ら, 日本体育学会大会号, 1999)。その際、一度間違った使い方に慣れてしまうと、転倒などさらなる怪我の原因となり危険である。例えば、大学の附属病院で1年間に発生した治療中の患者の転倒事故14件のうち5件が松葉杖や歩行器使用中の転倒であったという報告がある(高島ら, 秋田大学医学部保健学科紀要, 2007)。また整形外科病棟での治療中の転倒は、自立または見守りレベルでの発生が多いことも報告されている(本間ら, 日本看護学会論文集, 2004)。このように、松葉杖を使い始めた時から歩行に少し慣れた段階で転倒事故が起きやすい。とはいえ、突然の怪我に限れば治療までの期間が比較的に短いため、これまで、短期的な松葉杖使用者に対する指導方法について議論されることは多くはなかった。

これまで申請者は、短期的な松葉杖使用者のための「松葉杖歩行訓練システム」の構築に取り組んできた。松葉杖を使う患者の歩行動作を計測し、計測結果に応じて改善方法を教示することが目的である。これまで「身体(体幹)の加速度が歩行の安定性に影響する」(小島, バイオメカニズム学会誌, 2006)という発想に基づき、松葉杖に取り付けたセンサだけで歩行者の身体の加速度を推定、歩行動作を評価したり(津田ら, 生体医工学, 2009)、歩行訓練環境の天井にプロジェクタを設置して歩行路面に理想的な健側肢の着地点を投影(教示)する機能を開発した(科研費23700680)。開発したこの訓練環境での歩行訓練をモーションキャプチャシステムで計測した結果、着地点教示が歩行動作の矯正に有効であることを確認した(Tsuda et al., MIPE, 2012)。これより本研究で提案してきた訓練方法の有用性を確認できたと言えるが、松葉杖にセンサを付ける改造が必要であったり、教示内容が健側肢の着地点のみでその他の身体部位の動作は考慮しないなど、実際の歩行訓練としては物足りなく実用性に欠けていた。

これらの背景から、もし着地点教示のためのプロジェクタなど大がかりな装置が無くても身近な装置だけで一部だけでも訓練できれば、利用できる状況が広がると期待された。また、あまり議論されなかった松葉杖歩行時の身体(特に下肢)の運動をバイオメカニクスの観点から検討する新しい試みも考

められた。

## 2. 研究の目的

上述のように、これまで松葉杖歩行を計測し、必要に応じて歩行方法、特に健側肢の着地点を教示することで歩行動作をアドバイスする基本的なシステムを開発してきた。引き続き、病院での現実の医療スタッフと同じようにより多くの観点から松葉杖使用者の歩行方法を観察・評価し、健側肢の着地点以外についてもアドバイスする機能の追加が求められた。本研究計画ではこれらの機能をロボット技術で仮想的に実現する「バーチャル・トレーナーロボット」の開発を目的とする。

本研究における歩行の計測には、これまで開発してきた複数カメラと加速度センサ等から成る大がかりなシステムではなく、家庭用ゲーム機のモーションセンサ(MS-Kinectセンサ)を採用することで、容易に身体の複数力所の動作を同時に計測する。また歩行の安定性の評価指標となる身体加速度を、加速度センサを使用する代わりにMS-Kinectセンサによる計測値から推定することをめざす。ただしMS-Kinectセンサの計測領域は狭く(奥行き4m)そのままでは計測できる歩行動作が数歩分に限定されるため、MS-Kinectセンサを移動ロボットに載せて歩行者に伴走させながら計測する方法を提案する。このセンサを載せたロボットを「付き添いロボット」と呼び、歩行のペースメーカーの役割も期待する。加えて、ロボットに載せたコンピュータのディスプレイに歩行のアドバイスを表示することで、歩行に関してアドバイスする現実の医療スタッフの役割を期待する。このアドバイス機能には実体がなくコンピュータの中のバーチャルなものであるが「見守りロボット」と呼ぶ。

以上のように、本研究では、松葉杖使用者の側で松葉杖歩行の訓練を監督し、必要に応じて医療スタッフが見守るように改善方法をアドバイスするバーチャルな訓練スタッフ(ロボット)を開発し、検証実験を通して効果的にアドバイスする方法(伴走速度やタイミングなど)を明らかにする。

## 3. 研究の方法

本計画で目的とする松葉杖歩行の「見守り・付き添いロボット」の開発は、以下の4つの段階に分けられる。

### (1)MS-Kinect センサの導入

従来は、あらかじめ歩行空間でキャリブレーションして用いる光学式モーションキャプチャシステムや、被験者の身体に取り付ける加速度センサなどを使って歩行動作を計測していた。一方、本研究ではMS-Kinectセンサのみで歩行動作を計測し、加速度を推定することを提案した。

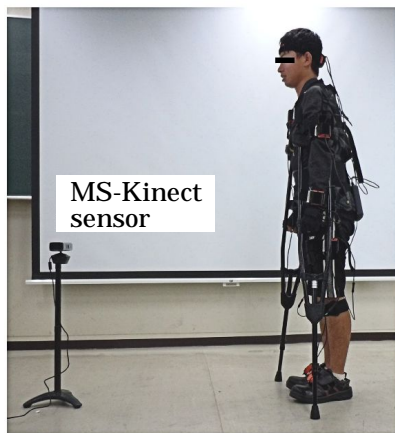


図1 MS-Kinect センサの計測精度の検証

平成 26 年度に、被験者の松葉杖歩行時の特に大腿、膝、つま先など歩行に重要と思われる身体部位の動作と、元来必要とされた身体加速度を計測し、関係性を分析した。

(2) 大腿の動作から身体加速度の推定

平成 27 年度は、前年度に得た「松葉杖歩行中の下肢、特に大腿の振れ具合と体幹の加速度の変化傾向の間に相関がある。」という結果に基づき、従来は加速度センサで計測していた身体加速度を、大腿の動作計測結果から推定することを提案した。そして、MS-Kinect センサで計測した大腿のみの動作から身体加速度を推定するという、本研究で提案した手法の有用性を実験で検証した。

(3) 見守り・付き添い機能の開発

MS-Kinect センサの計測領域は狭い（奥行き約 4m）ため、センサを移動ロボットに載せて歩行者に伴走するように移動させ、歩行動作を計測する（付き添いロボット）方法を提案した。平成 28 年度に、この「付き添い」機能の実現のために、パソコンから随時制御できるなど研究用途で使いやすい掃除ロボットの派生品「ルンバ研究開発キット」を導入した。そしてこの掃除（移動）ロボットに Kinect センサとパソコンを搭載することで、歩行中の松葉杖使用者を伴走しながら身体加速度を推定した。続いて、訓練を監視するための「見守り」機能を付加した。移動ロボット上のパソコンの画面にリアルタイムに歩行方法の改善のためのメッセージを表示した。その際、ロジスティック解析を使って歩行を評価するための新しいアルゴリズムを構築した。具体的には、推定した身体加速度の変化傾向を統計的に分析し、歩行の善し悪しの判断を目指した。

(4) 評価・検討

平成 29 年度に、それまでに開発した機能を統合した「見守り・付き添い型ロボット」の実用性を評価するため、被験者を募っての検証実験を行った。このロボットの側を被験者が松葉杖を使って歩行すると、ロボットが歩行者に伴走しながらリアルタイムに歩行の様子を計測し、必要に応じて歩行方法をモニタに表示してアドバイスできることを確認した。

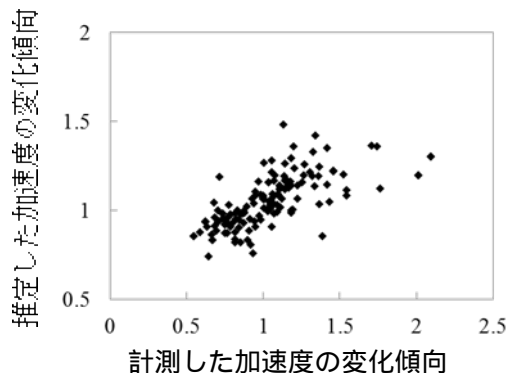


図2 身体加速度の計測値と推定値

4. 研究成果

(1) MS-Kinect センサの導入

MS-Kinect センサで計測した松葉杖歩行動作の結果を分析したところ、特に腰を中心とした大腿の振れ具合（矢上面での振幅）と身体加速度の変化傾向（振幅の変化）に相関があること、MS-Kinect センサと被験者の距離が 2[m] のとき計測誤差が小さいことが分かった（図 1）。

これらの実験結果を元に、MS-Kinect センサで身体加速度の変化傾向  $r$  を推定する式 (1) を導出した。

$$r = \frac{a_{\text{after}} - a_{\text{before}}}{a_{\text{before}}} \quad (1)$$

ここで、 $a_{\text{before}}$  はそれまでの大腿の振幅の平均値、 $a_{\text{after}}$  はそれ以降での大腿の振幅であり、このタイミングの前後における大腿の振れ具合の変化を表す。

この式を使って推定した身体加速度と、実際に加速度センサで計測した身体加速度の変化傾向を比較した。その結果、それらには相関がある、すなわち歩行の安定性に影響する体幹の加速度を推定できる可能性を確認した。

(2) 大腿の動作から身体加速度の推定

本研究で提案した身体加速度の推定法の実用性を検証するために、既存の加速度センサも使用しながら実際に松葉杖歩行を計測した。MS-Kinect センサによる計測結果と、従来の光学式モーションキャプチャシステムおよび加速度センサによる計測結果を比較することで、提案手法の信憑性を確認した（図 2）。

(3) 見守り・付き添い機能の開発

松葉杖歩行動作を計測するために MS-Kinect センサを移動させる付き添いロボットを開発した。その際、移動ロボットの移動速度  $v_{\text{ref}}$  [mm/s] は式 (2) で表される比例制御で算出した。

$$v_{\text{ref}} = 0.5 \cdot (2000 - d) + 350 \quad (2)$$

この段階までで、松葉杖歩行者に伴走して移動する「付き添い」機能と、計測結果を解析して歩行者へのアドバイスをロボットに



図3 見守り・付き添い機能

載せたパソコンのディスプレイに表示する「見守り」機能が完成した。そして、被験者に対して簡単な指示を発することができた。その結果、使用者にとっては「見守られているような」訓練が可能になった(図3)。

更に、これまでに開発した警告・教示効果の向上を目指して、被験者の歩行中の大腿の振れ幅の変化傾向を説明変数、影響を受けた歩幅の変化傾向を目的変数としてロジスティック解析して、新たな評価基準を導出した。これによって、松葉杖歩行者により具体的に分かりやすい「歩幅」の観点からアドバイスを画面に表示できるようになった(図4)。

#### (4) 評価・検討

開発した「見守り・付き添い型ロボット」の実用性を評価するため、被験者を募っての検証実験を行った。ロボットが歩行者に伴走しながらリアルタイムに歩行の様子と評価をモニタに表示できることを確認した。また、タブレットコンピュータに歩行の様子を表示して、歩行後に歩行者が自らの歩行方法をレビューできる機能も追加した。この画面には、歩行の安定性に影響する歩幅と身体加速度の変化を図と文章で表示した(図5)。

本研究の成果として、松葉杖歩行の訓練のための「見守り・付き添い型ロボット」を開発した。完成したこのロボットを使って松葉杖歩行を訓練することで、リアルタイムあるいは直後に歩行方法をアドバイスできることを確認した。

今後は実際に医療機関における松葉杖歩行の訓練に導入して、実際の医療スタッフが行う訓練に近い効果を得られることを確認し、また訓練の指導に従事するスタッフの業務軽減の可能性があるかどうか検証することが求められる。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- (1) 津田尚明, "松葉杖歩行訓練のための IT システムの提案", 地域ケアリング,



図4 歩幅に関するアドバイス



図5 タブレットコンピュータでの教示

Vol.17, No.12, pp.80-81, Nov, 2015. (査読なし・Invited paper)

- (2) Naoaki TSUDA, Hiroumi FUNATSU, Noboru ISE, Yoshihiko NOMURA, Norihiko KATO, "Measurement and evaluation of crutch walk motions by Kinect sensor", Mechanical Engineering Journal, Vol.3, No.6, Paper No.15-00472, Dec, 2016. (DOI: 10.1299/mej.15-00472) (査読あり)

〔学会発表〕(計6件)

- (1) 船津大海, 津田尚明, 野村由司彦, 加藤典彦, "Kinect センサを用いた松葉杖歩行の計測と身体の加速度推定手法の評価", 第19回 知能メカトロニクスワークショップ 講演論文集, 和歌山, pp.45-48, Jul 12, 2014. (査読なし)
- (2) Naoaki TSUDA, Hiroumi FUNATSU, Noboru ISE, Yoshihiko NOMURA and Norihiko KATO, "Estimation Model of Body Acceleration of Crutch Users based on Body Parts Movement", Proc. of 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2014), pp.3964-3969, October 5-8, San Diego, CA, USA, 2014. (査読あり)
- (3) 船津大海, 津田尚明, 伊勢昇, 野村由司彦, 加藤典彦, "松葉杖歩行時の身体部位の動作と身体加速度", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 京都, 1P1-12, May 18, 2015. (査読なし)
- (4) Naoaki TSUDA, Hiroumi FUNATSU, Noboru ISE, Yoshihiko NOMURA and Norihiko KATO, "Measurement and Evaluation of Crutch Walk Motions by Kinect Sensor",

Proc. of 2015 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE 2015), WeD-3-4, Jun 14-17, Kobe, Japan, 2015. ( 査読あり )

- (5) Naoaki TSUDA, Ryo HASHIMOTO, Reiya HIASA, Susumu TARA0, Yoshihiko NOMURA and Norihiko KATO, "Development of Measuring and Guiding Robot for Crutch Walk Training", Proc. of the Third IASTED International Conference on Telehealth and Assistive Technology (TAT2016) (DOI: 10.2316/P.2016.846-002), pp.30-35, October 6-7, Zurich, Switzerland, 2016. ( 査読あり )
- (6) Naoaki TSUDA, Susumu TARA0, Yoshihiko NOMURA and Norihiko KATO, "Attending and Observing Robot for Crutch Users", Proceedings of the Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI2018) (DOI: <https://doi.org/10.1145/3173386.3176968>), pp.259-260, March 5-8, Chicago, IL, USA, 2018. ( 査読あり )

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

津田 尚明 ( TSUDA, Naoaki )

和歌山工業高等専門学校・知能機械工学科・准教授

研究者番号 : 40409793