

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：54701

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700680

研究課題名（和文） 松葉杖使用患者の歩行訓練のためのバーチャルリアリティ空間の構築

研究課題名（英文） Development of Training Space with Virtual-Reality Technique for Crutch Walk Patients

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、松葉杖歩行に不慣れな患者を想定して、患者が体感的に歩行訓練を受けるためのバーチャルリアリティ空間を構築した。これは、杖に組み込んだセンサとモーションキャプチャシステムによる歩行動作計測機能、患者へのアドバイスとしてプロジェクタにより歩行路面に健側肢の着地場所を投影する機能、歩行動作の確認のために歩行動作の計測結果をグラフとしてコンピュータ上に提示する機能から構成される。被験者の歩行を計測する実験の結果、これらが機能することを確認した。

研究成果の概要（英文）：In this research, a walk training space for crutch walk patients was developed by using a virtual-reality technique. This space consists of a measuring function by sensors that were embedded into the crutch and a motion capturing system, a presentation function by LCD projector that projects proper landing positions onto walkway, and a visualization function by a computer that shows the measured walking motion. The usability of the training environment was examined through experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学 ・ リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション、医療・福祉、バーチャルリアリティ、計測工学、可視化

## 1. 研究開始当初の背景

近年の少子高齢化などの影響で、医療現場で働くスタッフの負担増加は大きな問題である。看護・介護は患者を対象とする決してミスが許されないタスクであり、ほとんどのタスクが患者一人に対して一人のスタッフが一定時間付きっきりで施される。しかしながら、数ある看護・介護のタスクの中には、必ずしもスタッフが付きっきりである必要のないタスクもあると考える。そのようなタスクに対し、工学技術を用いてスタッフの負担を軽減することは有用である。

本研究では、怪我が原因で一時的に松葉杖を使用する患者のための装置の開発を目的

とする。怪我が原因で急に松葉杖を使用する患者は、松葉杖の正しい使い方を知らないのが普通である。実際には、はじめに病院でその使用方法を指示されるだけで、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(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、秋田大学医学部病棟で 2003 年度に発生した治療中患者の転倒は 14 件で、そのうち 5 件が松葉杖や歩行器使用中の転倒であった(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無視できない頻度で転倒事故が起きている. すなわち, 松葉杖を使い始める段階で患者の歩行方法を確認し, 歩行方法が不適切であればその場でそれを指導することが重要であると考えられる. Danielらは, 歩行方法をビデオで確認しながら歩行訓練するときの床反力を計測し, 歩行方法の教示が有効であることを確認した(Daniel K. et al., Arch. Phys. Med. Rehabili., 2007). Winsteinらは, 歩行補助具を用いた歩行訓練では, 訓練の後からではなく訓練しながらその場でアドバイスすることが有効であると報告している(Winstein C. et al., Physical Therapy, 1996). 歩行補助具を用いない歩行ではあるが, 藤本らや冷水らも, 歩行者が歩行中に自らの歩行方法を意識することで歩行方法が改善することを報告している(藤本ら, 理学療法学, 2008)(冷水ら, 理学療法学, 2008).

これまで申請者は, 松葉杖にジャイロセンサと圧力センサを取り付けて, それらの内界センサ情報を元に松葉杖の回転(傾き)角度を算出する方法を提案した(津田ら, 生体医工学, 2009). 内界センサのみを用いることで, 松葉杖の利点である「扱いやすさ」を損なわず, 傾き角度の計測に成功した(図1). 又, 松葉杖があらかじめ設定する閾値よりも大きく傾いたときに警告音を発することで, それまで不規則だった松葉杖の挙動が改善されることを確認した.

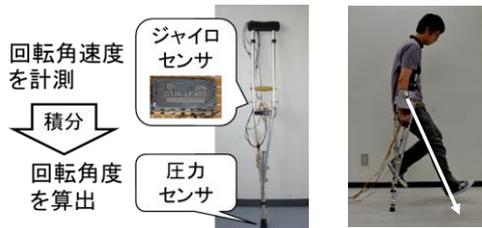


図1 先行研究の装置



図2 レーザポインタを用いた教示

続いて, 同じ内界センサの情報を元に歩行者の体幹の加速度を推定し(津田ら, 生体医工学, 2009), その値から健側肢の理想的な着地点を算出しレーザーポインタでその点を指し示す「着地点教示」を提案した(津田ら, 生体医工学シンポ, 2010). 本研究の目的は, これまで申請者らが提案してきた手法に基づき計測精度を向上し, 教示項目を追加して効果を上げることで, 患者が歩行訓練に集中できる, いわば, “松葉杖使用患者の歩行訓練のためのバーチャルリアリティ空間の構築”である.

## 2. 研究の目的

上述のようにこれまで申請者は, 計測・教示機能を有する松葉杖歩行訓練器の開発を進めてきた. その訓練器は市販の松葉杖に次々とセンサや電気回路を取り付けたもので, センサからの信号は有線でパーソナルコンピュータに取り込む仕組みであった. 構成が煩雑なため, 実用化には改良が必要であった. すなわち, 着想自体の有用性は確認したが, 計測精度の向上や実用化をめざした工夫が求められた.

そこで本研究期間内には, (1)センサを追加し, (2)マイコンを導入することで既存の問題を解決し, 更に患者が直感的に歩行訓練に取り組めるように(3)バーチャルリアリティ技術を用いて教示機能を強化する. また, これまでは健常者のみを被験者として装置の評価実験を行ってきたが, (4)実際に松葉杖を使用する患者の協力も得て評価実験を行う. (1)と(2)はこれまでの改良であり, (3)と(4)は新しい取り組みである.

(3)に関して, これまでの教示は, 松葉杖が設定した角度よりも大きく傾いたときに警告音を発したり, 健側肢の理想的な着地点をレーザーポインタで指し示し教示する簡単なものであった(図2). それに対して本計画では, 松葉杖歩行訓練のための専用の空間(スペース)を構築し, その空間内で視覚・聴覚に直接訴える教示をめざす. 具体的には, 歩行訓練する場所の天井にプロジェクタを設置し, 理想的な着地点などの情報を歩行路面に提示(投影)し教示する. これまでの警告音のように不適切な歩行に対しては音声でも警告する. バーチャルリアリティ技術を用いて患者の感覚に直接訴えることで, 患者が松葉杖歩行訓練に集中できると期待される. 訓練空間は大がかりになるが, 松葉杖自体はこれまで以上にコンパクトにして, 歩行訓練の妨げにならないように注意する.

## 3. 研究の方法

(1)センサの追加: 松葉杖の挙動計測精度の向上をめざして

これまでの基礎研究では, 松葉杖に回転の角速度を計測するジャイロセンサー一つを取り付け(図3), 進行方向の杖の傾き角度を算出していた. 本計画では, ジャイロセンサを追加して進行方向と垂直な方向への傾きを計測し, それも考慮することで, 計測精度の向上をめざす. ジャイロセンサの他に加速度センサも追加して, 多くのセンサ情報を活用(センサフュージョン)することも効果的であると考えられる. この方法による計測精度を客観的に評価するために, カメラを用いて指定した点の三次元座標を計測できる三次元運動計測装置を導入する.

(2)マイコンの導入：装置の煩雑さの解消をめざして

これまでは試行錯誤的に製作した実験装置（図4）を使っていた。センサ回路やソフトウェアはしばしば更新、改良が求められたため、汎用基盤上に回路を製作し、有線で接続したコンピュータを用いて計測していた。汎用品を使うことで、メンテナンスが容易だったからである。

しかし、実用化を目指すためには松葉杖に取り付けたセンサ類を小型化し、扱いやすくする必要がある。そのために、松葉杖に取り付けたセンサ情報を処理するパーソナルコンピュータの代わりにマイコンを導入し、あわせてソフトウェアを変更する。信号処理回路もより小型に集積する。歩行動作を表示するコンピュータとのデータ通信には無線通信を導入する。その結果、実験に必要な実験補助者の人数が減り、実験も容易になる。

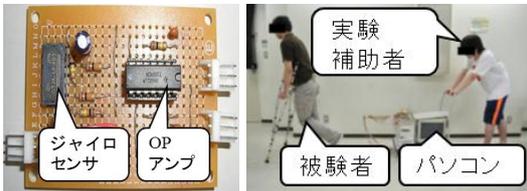


図3 先行研究でのセンサと回路

(3) 教示機能の強化：視覚・聴覚・力触覚に直接訴える空間の構築をめざして

前述のように、本研究では、患者が松葉杖歩行訓練に集中できるバーチャルリアリティ空間（図5）の構築を目的とする。そのためには、患者が知るべき情報を視覚・聴覚・力触覚で提示することが必要である。レーザポインタを用いた教示や警告音による聴覚提示、力触覚提示が有効であることは既に確認している（東内、伊藤、津田、SICE 関西支部若手研究発表会講演論文集、2009）が、本計画では新たに、天井に設置したプロジェクタで必要な方法を床に投影する。

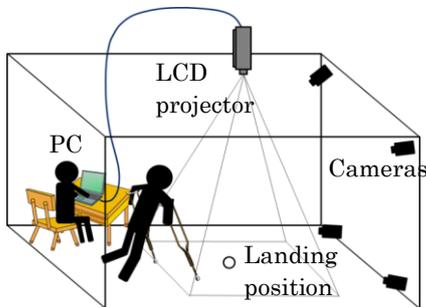


図5 訓練空間

(4) 評価実験・改良：実用性の向上をめざして

和歌山高専の学生から被験者を募り、製作

した装置を含めた訓練環境の効果を検討する。評価項目は、計測精度が向上したかどうかと、歩行方法が改善したかどうかの2項目である。健常者を被験者とする状況は、急に怪我をして急に松葉杖を使用することになるような、松葉杖に不慣れた患者が松葉杖を使用する状況と同じであるため、本研究が想定するのと同じ状況である。

#### 4. 研究成果

本研究では、松葉杖を使い始めたばかりの患者を想定して、松葉杖の挙動や患者の歩行動作を容易に計測し、動作が不適切な場合は患者に対して体感的に改善方法を教示する、歩行訓練のためのバーチャルリアリティ空間の構築を目的とした。研究期間に実施した具体的な成果は、以下の通りである。

(1) 松葉杖の挙動計測精度の向上をめざしたセンサの追加：先行研究では、松葉杖にジャイロセンサー一つを取り付け、松葉杖の進行方向の角速度のみを計測していた。本研究では、進行方向と垂直な方向への傾きを計測するためのセンサを追加した。また、先行研究の方法では、傾き角度の算出時の積分誤差の蓄積が原因で、計測時間が長くなると正確に傾き角度を得られない問題があった（図6）。これに対して、最小自乗法を用いて誤差を取り除く方法を導入し、実験の結果、利用できることを確認した（図7）。

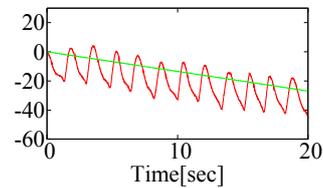


図6 積分誤差の影響を受けた角度計測値

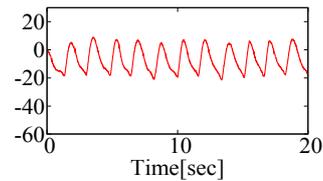


図7 積分誤差の影響を除去した角度計測値

(2) 装置の煩雑さの解消をめざしたマイコンの導入：先行研究では、松葉杖のセンサ情報を有線接続したコンピュータで計測・処理していた。本研究では、センサの計測値を無線送信できるセンサユニット（図8）を導入した。これは、ジャイロセンサと加速度センサを3組ずつ内蔵するため、(1)で述べたような必要な計測値を増やすことができ、その上で、それら計測値をほぼリアルタイムにコンピュータに無線送信できるため、実用化を想定した実験が可能になった。加えて、必要な実験補助者の人数が減り、計測そのものも容易になった。



図8 通信機能を内蔵したセンサユニット

(3) 視覚・聴覚・力触覚に直接訴える空間の構築をめざした教示機能の強化：本研究では、液晶プロジェクタを天井に設置し、松葉杖歩行中の患者に健側肢の着地点とメッセージをリアルタイムに提示した。その結果、歩行方法を教示できるようになった（図9, 10）。

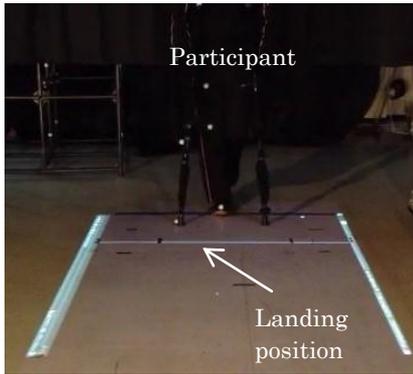


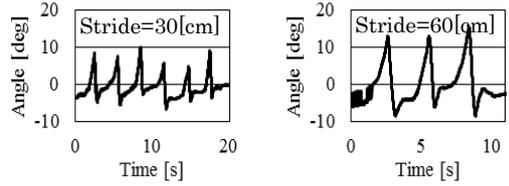
図9 被験者に着地点を直線で提示した様子



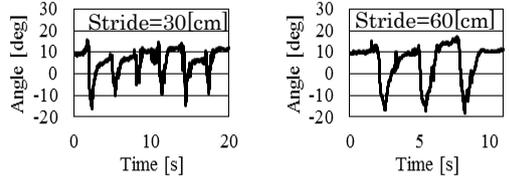
図10 提示した着地点を使った歩行訓練

(4) 実用性の向上をめざした評価実験・改良：提案方法であるプロジェクタを用いた着地点教示が歩行方法に与える影響を、健常被験者を対象にした実験で確認した。歩幅やタイミングを変えながら着地点を教示することで、松葉杖の挙動と股関節屈曲角度、歩行者の体幹の加速度が変化することを確認した（図11）。よって、提案方法で歩行を矯正できると考えられるため、今後は具体的にどのような教示が有効かの検討が求められる。

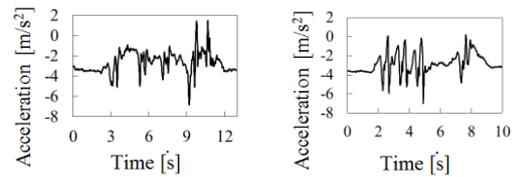
(5) 松葉杖歩行の計測・評価の簡易化：当初の計画には無かったものであるが、松葉杖歩行を簡易的に計測し、その歩行を評価し、コンピュータ上にグラフ表示するまでの一連の機能を開発した（図12）。さらに、三次元運動計測装置の代わりに家庭用ゲーム機の簡易モーションセンサで歩行を計測し、(4)の結果に基づいて評価し、結果をタブレット端末に表示する機能を開発した（図13）。



歩幅を指定した歩行時の松葉杖の傾き角度  
(左：歩幅 30[cm], 右：歩幅 60[cm])

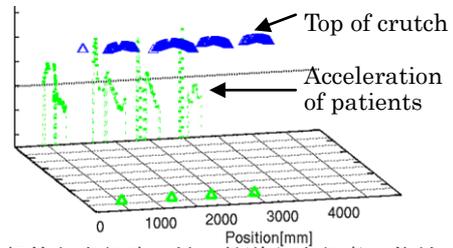


歩幅を指定した歩行時の歩行者の股関節屈曲角度  
(左：歩幅 30[cm], 右：歩幅 60[cm])

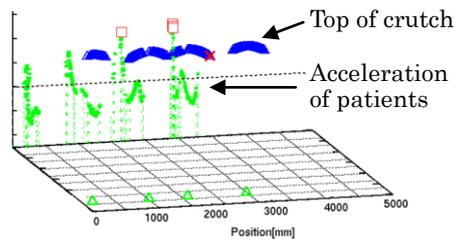


歩行中の歩行者の体幹の加速度  
(左：歩幅を矯正した場合, 右：周期を矯正した場合)

図11 着地点教示による歩容の変化



理想的な歩行時の杖の軌道と歩行者の体幹の加速度



閾値を超えた歩行時の杖の軌道と歩行者の体幹の加速度

図12 歩容のグラフ表示



図13 歩容のタブレット端末への表示

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

(1) 津田尚明, 野村由司彦, 加藤典彦, “松葉杖歩行の訓練支援装置の開発”, マテリアルインテグレーション, Vol. 25, No. 4, pp. 62-66, 2012. (査読無)

[学会発表] (計 4 件)

(1) Naoaki Tsuda, Yuya Sakai, Kousuke Fujii, Susumu Tarao, Yoshihiko Nomura and Norihiko Kato, “Simplified Measurement and Visualization Tool for Crutch Walk Training”, Proc. of The 2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 910-915, July 11-14, Kaohsiung, Taiwan, 2012. (査読有)

(2) Naoaki Tsuda, Kota Tominaga, Susumu Tarao, Yoshihiko Nomura and Norihiko Kato, “Development of Training Space with Visual Instruction for Crutch Walk”, Proc. of 2012 ASME-ISPS/JSME-IIP Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE2012), pp. 23-25, Santa Clara, California, USA, June 18-20, 2012. (査読有)

(3) 富永浩太, 津田尚明, 加藤典彦, 野村由司彦, “松葉杖歩行訓練のための着地点教示”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 浜松, 2P1-T09, May 29, 2012. (査読無)

(4) 富永浩太, 津田尚明, 加藤典彦, 野村由司彦 “松葉杖歩行訓練における情報提示方法の提案”, 第 17 回高専シンポジウム (熊本) 講演要旨集, SA14, pp. 60, Jan. 28, 2012. (査読無)

[その他]

(1) 津田尚明, “松葉杖歩行の簡易計測装置の開発”, 和歌山高専 教員研究発表会 in オークワロマンシティ”, 会場: スーパーオークワ ロマンシティ御坊店. 日時: 2012 年 4 月 21 日.

## 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