

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01493

研究課題名(和文) アクティブセンシング機能を有する高付加価値歩行訓練システムの開発

研究課題名(英文) Development of High Performance Walking Training System with Active Sensing System

研究代表者

早川 恭弘 (Hayakawa, Yasuhiro)

奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：50180956

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高齢者が自身で歩行訓練を行うことができ、かつ使用環境を限定することのない高付加価値歩行訓練システムの開発を行った。本システムは、歩行動作の補助を行う歩行補助装具、足裏荷重分布を検出する高機能靴、歩行訓練中の安全確保と体の支持を行うアクティブ歩行器から構成されている。製作する歩行補助装具は、アクチュエータにゴム人工筋を使用しており、空気により駆動する空気圧機器であり、外力をゴムの伸縮性で吸収できる等のメリットを持つ。本研究では、屋外での使用など、自立的に訓練するために、エネルギー源としてCO2ガスボンベを使用し、その有効性を実験により明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this paper, we describe about the development of high-value-added walking training system, the structure of the wearable walking assist device, and experimental results and their evaluation are described. In this study, a wearable walking assist device to support the elderly people is developed. Their walking speed and step can be improved by supporting a flexing action of hip joint. The device is required to have a lightweight, simple structure, and portability. Therefore a pneumatic rubber artificial muscle which has a lightweight and high power-weight ratio is used as an actuator. Further, CO2 gas cartridge tank is used to realize a portability instead of air compressor as air pressure source. In the experiment, myogenic potential is measured when subject wearing the wearable walking assist device walks on a treadmill. From some experimental results with respect to both walking speed and step, similar waveforms are obtained.

研究分野：福祉工学

キーワード：高機能靴 歩行訓練 アクティブ歩行器 歩行装具 空気圧ゴム人工筋 圧力分布 脳波 ゴニオメータ

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

55歳～84歳における死亡原因の第三位は脳血管疾患であり、全体の50%で介護が必要な重度の障害が残ると言われている。ここで、片麻痺などによる歩行障害が残った場合、歩行リハビリが必要不可欠となる。術後の歩行リハビリでは、手すりに掛りながら歩行練習するのが一般的である。しかし、高齢者や腕力の無い人は、身体を支えることができず、理学療法士などが患者の身体を保持しながら訓練することが多い。また、高齢者の場合、指示通りに脚部を動かすことが出来ず、歩行訓練に時間を要する結果となっている。さらに、現在の歩行訓練環境は、床面が平、階段などが一般的であり、実環境のように凹凸部を有する床面での歩行訓練（実生活環境での歩行訓練も含む）が難しい状況にある。また、自宅や屋外で歩行訓練を行う場合、介護者が常に身体を支えなければならず、負担が大きくなっている。

2. 研究の目的

本研究では、これらの問題を解決するために、図1に示す高付加価値歩行訓練システムを開発する。本システムは、高機能靴中敷部（以下、高機能靴）、歩行補助装具（以下、歩行装具）及びアクティブ歩行器（以下、歩行器）から構成される。患者は、座位姿勢において歩行器に取り付け可能な歩行装具を下肢に装着する。そして、歩行装具を歩行器に固定し、歩行器の高さ調整により、患者は、座位から立位姿勢に移行する。ここで、歩行装具は、足部先端部に高機能靴が取り付けられており、歩行装具と高機能靴は取り外し可能である。

歩行訓練の流れとしては、(1)高機能靴において、歩行時の足部圧力分布が測定され、無線により、(a)タブレット端末（理学療法士使用）及び(b)ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）（患者使用）に圧力分布状態が表示される。(2)視覚的に足裏部圧力分布状態変化を把握すると同時に患者自らの重心移動を促すために、高機能靴中敷部に配置した要素の剛性を変化させる。これにより、患者の足裏部に刺激を与え、バランスをとる足裏場所を直接指摘する。さらに、(3)歩行バランス状態から足部の動かし方を直接教示するために、理学療法士が教示用マスター装具及び携帯するタブレット端末のタッチパネル操作により、歩行装具を能動的に駆動し、患者の足部を動かす。これにより、患

者に対し、直感的に歩行の仕方を指示する。

また、(4)歩行訓練時、患者が転倒しないように、歩行装具と歩行器が連結されており、患者の歩行動作に合わせて、歩行器が移動する。さらに、床面の段差に応じて歩行器の高さを調整することにより、歩行時における負担を軽減する。

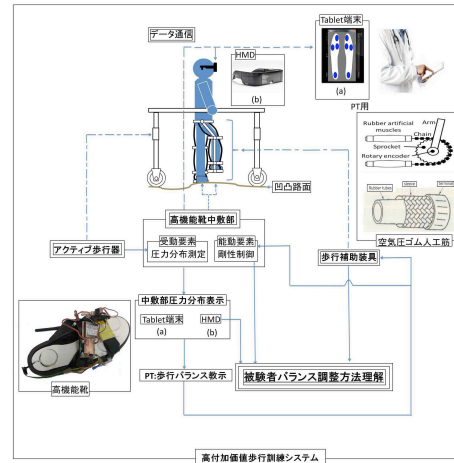


図1 高付加価値歩行訓練システム

3. 研究の方法

(1) 端末装置に効果的な足裏部・分布圧力提示方法の検討と遠隔操作基礎実験

歩行訓練時における足裏圧力分布変化をHMDに表示する際、歩行に障害を及ぼさないための表示レイアウト及び表示サイズに関して検討する。一例として、左右別々にHMDへ提示する方法を採用する。また、理学療法士は、タブレット端末を見ながら患者を見守る必要があることから、圧力分布変化が分かりやすい表示方法を工夫する。さらに、理学療法士がタッチパネル操作により、無線で高機能靴中敷部要素を加減圧するために、ZigBee及びArduinoを用いた遠隔操作による弁の開閉制御実験を行う。さらに、実際の訓練場所のネット環境における汎用性を検証する。

(2) 中敷部剛性変化要素の最適形状の検討及び高機能靴のコンパクト化

中敷部に配置する加減圧要素の形状変形を的確に患者足裏部に伝えるために、突起状の要素を試作し、加圧時における足裏への圧迫度を調べる。また、要素内部の発泡ゴム材質及び加圧値の違いによる足裏部刺激の度合いを明らかにする。さらに、制御回路の小

形化を行うために、プリント基板加工機を用いて基板を積層化する。また、弁及びポンプの組合せを検討する。

(3) 歩行装具用人工筋の基礎特性実験

人工筋により歩行装具を設計するために、人間の歩行動作解析を行う。すなわち、関節角度計測用センサを用いて、歩行時における各関節の回転角度及び、歩行に必要な関節数を調べる。また、理学療法士が使用する教示用マスター装具及び患者用歩行装具の設計仕様を決定する。ここで、空気圧の柔軟性を最大限に発揮する人工筋を歩行装具に応用する場合、人工筋の加圧値と伸縮量の関係にはヒステリシスが存在し、個体差がある。そこで、装具に使用する個々の人工筋の静特性を明らかにする。また、ゴム人工筋を拮抗させることにより回転関節が実現できることから、拮抗構造の角度及び力制御性能を調べる。

(4) 歩行器の設計

四輪駆動及びアクティブ・エアサスペンションを搭載する歩行器を実現するために、既存の歩行器をベースに設計する。そして、電動駆動車輪を採用し、患者の動きに合わせて歩行器を移動させる。具体的には、歩行器の移動速度を歩行装具先端に配置する高機能靴の移動速度から算出するシステムを構築する。

(5) 歩行訓練時における心身ストレスの評価準備

歩行訓練時の患者の不安を定量的に評価するために、脳波測定による検証を行う。具体的には、様々な動作を行ったときの脳波を調べ、不安なときに α 波が減衰するかどうか確認する。さらに、患者の下肢部及び腕部における筋電位を測定することにより、脳波測定による不安度と筋肉の緊張度との関係を明らかにする。

(6) 教示用マスター装具及び人工筋を用いた歩行装具の試作とマスター・スレーブ制御

理学療法士が使用する教示用マスター装具及び患者が使用する歩行装具の設計仕様を踏まえ、マスター・スレーブ装具のシステム設計及び試作を行う。具体的には、理学療法士の歩行時下肢各関節角度変化をリアルタイムで計測し、マスター側指令値とする。そして、歩行装具をスレーブ側としてティーチング・プレイバック方式により、歩行動作の教示を行う。すなわち、教示用として、ゴニオメータ、関節角度リアルタイム計測装置及びAD変換ユニットを組み込んだ理学療法士用マスター装具を設計製作する。また、スレーブ側としては、人工筋を組み合わせた足

部ロボットを設計製作し、動作の検証を行う。次に、足部ロボットを歩行装具に応用するための構造を検討し、高機能靴を含めた歩行装具の試作を行う。これにより、理学療法士の模範的な歩行動作を患者が装着する歩行装具に教示することが可能となる。これは、理学療法士の身体の動きに合わせて歩行装具が駆動することから、患者の下肢を直接動かすことができ、より効果的な歩行訓練が実現できると考えられる。さらに、理学療法士が使用するタブレット端末に歩行装具各関節部位を表示させ、タッチパネル操作により該当する関節のみ駆動する方法も検討する。

4. 研究成果

高付加価値歩行訓練システム

本研究で開発を行う高付加価値歩行訓練システムの構成図を図2に示す。本システムは、空気圧ゴム人工筋を用いた歩行補助装具、足裏荷重分布の検出が可能な高機能靴、衝撃等の振動を吸収することが出来るアクティブセンシング歩行器から構成される。

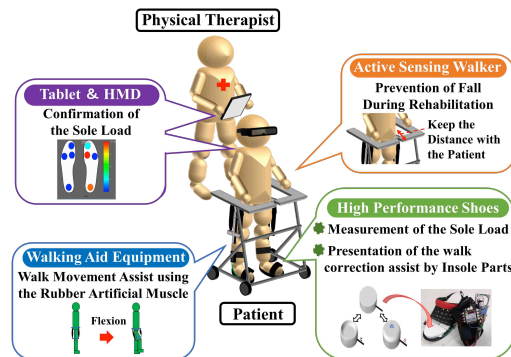


図2 歩行訓練システム構成図

具体的な動作としては、歩行補助装具により歩行動作の補助を行う。同時に、高機能靴により足裏荷重を検出し、被験者が装着したヘッドマウントディスプレイ（以下、HDM）と理学療法士が所持するタブレットに測定データを提示する。これにより、被験者は自身の歩行状態をリアルタイムに確認することが出来、理学療法士は目視で得られない詳細な歩行状態を確認することでより適切なアドバイスを出すことが可能となる。これにより、理学療法士は、被験者の身体に長時間直接接触せずに下肢関節の動作訓練等を行うことが出来る。

(2)歩行補助装具を図3に示す。歩行補助装具は、股装具に取り付けた空気圧ゴム人工筋を収縮させることにより、歩行動作における屈曲、つまり、足を前に持ち上げる動作の補助

を行う。また、印加する空気圧の最大値を変化させ、補助力を変えることで、装着者の状態に合わせた歩行動作補助を行う。

一般に、空気圧機器を使用する際、圧力源の確保が大きな課題となってくる。圧力源にコンプレッサを用いると、それ自体が巨大で重いため、軽量で小型の機器を開発できても、配管チューブ等が原因で携帯性に欠けるといふ点がある。そのため、我々は圧力源として市販されている炭酸ガスポンベを使用することで、携帯性を欠くことなく、緩衝効果や防爆性、過負荷に対する安全性を有する機器の研究開発を行う。しかし、炭酸ガスポンベは使用環境によって内圧の変化が生じ、制御弁に想定外の負荷をかけてしまう可能性が考えられる。そこで、CKD 株式会社で開発されている炭酸ガスレギュレータを用いて、制御弁側に流入する気体の圧力を一定に保つことで機器の破損対策を講じる。

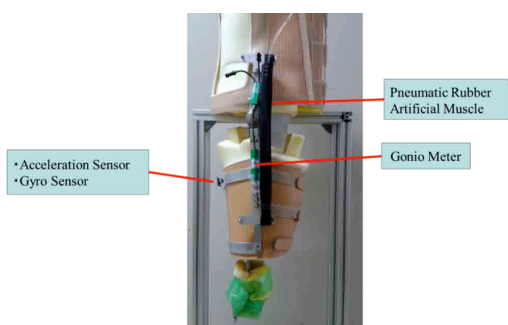


図3 歩行装具

実験結果を表1に示す。表より、空気圧ゴム人工筋に印加する圧力を 250kPa から 500kPa へ増加させると、平均して 15.2%だけ%MVC の減少がみられた。これは、印加圧を上げたことにより得られた追加分の補助力により、それまで働く必要のあった筋力が代替されたからだと考えられる。したがって、本装具を装着し、補助力を加えながら歩行（訓練）を行う事で、筋力が弱った状態の利用者でも、筋力が十分にある使用者と同様の歩行動作を再現できると考えられる。

表1 実験結果

	%MVC [%]	
	Peak 1	Peak 2
250kPa	48.3	46.8
400kPa	41.3	41.1
500kPa	32.7	29.5

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5件)

- 1) Yasuhiro Hayakawa, Study on a new type of walking training system using high performance shoes, Journal of BIOTECHNOLOGY, 査読有, Vol.208, Supplement, 20 August 2015, pp.s86-s87, ISSN 0168-1656
- 2) Yasuhiro Hayakawa, Shogo Kawanaka, Kazuma Kanezaki, Kosei Minami and Shigeki Doi, Study on Presentation System for Walking Training using High-Performance Shoes, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.27, No.6, 2015, pp.706-713
- 3) Yasuhiro Hayakawa, Development of an active sensing shoes for a new type of walking training system, Journal of BIOTECHNOLOGY, Vol.231, 2016, Supplement, pp.s36, ISSN 0168-1656
- 4) Y Hayakawa, S Kawanaka, K Kanezaki and S Doi, Study on Walking Training System using High-Performance Shoes constructed with Rubber Elements, Journal of Physics: Conference Series, Published: 3 October 2016, Volume 744, Number 1, 012034, pp. 1-11
- 5) Yasuhiro Hayakawa, Development of high performance walking training shoes by using hybrid pneumatic elements, Journal of Biotechnology, 2017, Volume 256, Page s56

[学会発表] (計16件)

- 1) Yasuhiro Hayakawa, Study on a new type of walking training system using high performance shoes, Proceedings of European Biotechnology Congress 2015, 7-9 May 2015, Bucharest, Romania, 2015
- 2) 早川恭弘, 河中祥吾, 金崎和馬, 土井滋貴, 高機能靴を用いた歩行訓練用提示システムに関する研究, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 '15, 1P2-L10 (1)-(3), 京都, 2015
- 3) 柴田大作, 金崎和馬, 早川恭弘, 河中祥吾, 土井滋貴, 歩行訓練用高機能靴に関する研究, 日本フルードパワーシステム学会平成27年春季フルードパワーシステム講演会, pp.19-21, 2015

- 4) 早川恭弘, 河中祥吾, 金崎和馬, 土井滋貴, 櫛弘明, “高機能靴を用いた歩行訓練用提示システムに関する研究”, 日本機械学会2015年度年次大会講演論文集, S1150202, 2015. 9. 13-16, 北海道大学, 2015
- 5) 早川恭弘, “人間親和性を有する歩行訓練システムに関する研究”, 看護理工学会学術集会, P6-09, 10月10日~11日, 立命館大学 朱雀キャンパス, 2015
- 6) 早川恭弘, 柴田大作, 河中祥吾, 櫛弘明, 高付加価値歩行訓練システムに関する研究, 日本機械学会 第28回バイオエンジニアリング講演会, 1F21, 東京工業大学, 2016
- 7) Yasuhiro Hayakawa, Development of an active sensing shoes for a new type of walking training system, Proceedings of European Biotechnology Congress 2016, 5-7 May 2016, Riga, Latvia, 2016
- 8) 早川恭弘, 長渡知明, 河中祥吾, 柴田大作, 高付加価値歩行訓練システムに関する研究日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 ‘16, 2A1-04a7, (1)-(3), 2016
- 9) Y Hayakawa, S Kawanaka, K Kanazaki, S Doi, Study on Walking Training System using High-Performance Shoes constructed with Rubber Elements (2428), Proceedings of the XIII International Conference on Motion and Vibration Control, XII International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics, Southampton, UK, 2016
- 10) 早川恭弘, アクティブセンシング機能を有する歩行訓練システムの開発, 第4回看護理工学会学術集会, P2-1, pp 60, 県立岩手大学 滝沢キャンパス, 2016
- 11) 長渡知明, 早川恭弘, 高付加価値歩行訓練システムに関する研究, 日本機械学会, 第29回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2E41, ウィンクあいち, 2017
- 12) Yasuhiro Hayakawa, Development of high performance walking training shoes by using hybrid pneumatic elements, Proceedings of European Biotechnology Congress 2017, 25-27 May 2017, Dubrovnik, Croatia, 2017
- 13) 長渡知明, 早川恭弘, 高付加価値歩行訓練システムに関する研究, 日本機械学会第15回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2017), 愛知, 2017
- 14) 早川恭弘, 長渡知明, 横田理樹, 高機能靴を用いた歩行訓練システムの開発, 第5回看護理工学会学術集会, P6-3, pp 107, 金沢大学 室町キャンパス, 2017
- 15) Yasuhiro HAYAKAWA, Tomoaki NAGATO, Study on Walking Training System for Using High-Performance Shoes with Human Compatibility, Proceedings of the 10th JFPS International Symposium on Fluid Power Fukuoka2017, 2D28, 2017
- 16) 横田理樹, 早川恭弘, 前川哲志, 高機能靴を用いた歩行訓練システムに関する研究, 日本機械学会, 第30回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2D02, 2017
- [図書] (計0件)
- [その他]
http://www.jfps.jp/kenkyusya/y_hayakawa.pdf
6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 早川 恭弘 (HAYAKAWA Yasuhiro)
 奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授
 研究者番号 : 50180956