

## 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 8 月 27 日現在

機関番号：13904  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23650350  
 研究課題名（和文） 脳情報を用いた知能バイオメカトロニクス構築による全方向移動歩行リハビリテーション  
 研究課題名（英文） Omni-Directional Walking Assist Robot for Rehabilitation Using Intelligent Bio-Mechatronics Technology  
 研究代表者  
 寺嶋 一彦 (TERASHIMA KAZUHIKO)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：60159043

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、快適かつ安心・安全な早期歩行訓練を可能とすることを目指した吊り下げ式免荷型歩行訓練ロボットを開発した。開発した歩行訓練器の機能、新しく製作した全方向移動駆動ユニットおよび追従制御システム、免荷機構について報告する。人の意図を推定し歩行訓練機は、人の思うままに全方向に動き、訓練者の歩行自由度をあげ快適な歩行訓練が可能になる。また、歩行訓練を行う患者を対象とした提案システムの有効性の確認実験の結果および考察について報告する。

## 研究成果の概要（英文）：

In this paper, we present an omni-directional hoisting-type walking assist robot to support and enhance the comfortable life for disable or elderly people. Omni-directional driving unit, following system and hoisting system developed in this paper is provided. Comfortable walking training can be realized by omni-directional movement based on the estimating human intention. The usefulness of the proposed approach is demonstrated by experimental results using disabled people.

## 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：介護予防・支援技術

## 1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者の増加に伴い、要介護者および寝たきり人口が今後も増加している。寝たきりとなる原因として、脳血管障害、認知症、転倒・骨折等が挙げられる。転倒・骨折の患者は、脳が正常であっても寝たきりとなる場合がある。その原因として、けがや病気等による入院やその後の介護における、廃用症候群の発症が挙げられる。廃用症候群は、長期間の臥床をきっかけに筋力が低下し、不活動となり、心肺機能や他の臓器の機能が低下する等の悪循環が発生する病気のことであり、

適切な介護を行わなければ寝たきりとなる。大腿四頭筋や腓腹筋等の筋力は、絶対安静の状態では 1 週間で 10～15%、3～5 週間で 50%と、著しく減少する。このため、早期リハビリテーションが重要であると考えられる。従来の歩行訓練は、歩行器や平行棒を用いた訓練が一般的である。しかし、現状として、患者が自身の体重を両腕で支持しなければならぬため、腕の筋力がない片まひ患者や高齢の患者には負担が大きいのが問題となっている。患部の状態や痛み、関節拘縮、筋力低下、恐怖心等が原因となり訓練に遅れ

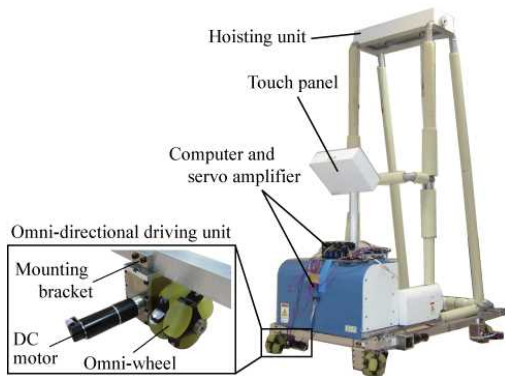


図 1 歩行訓練器の外観

表 1 歩行訓練器の基本仕様

基本仕様	
大きさ(WHD)	866 × 2200 × 1470 [mm]
重量	60 [kg]
最高速度	1.7 [m/s]
免荷機能仕様	
最大吊り上げ重量	80 [kg]
最大吊り上げ速度	0.22 [m/s]

が生じている。拘縮や筋力低下を解消するために、離床前からストレッチや関節を動かさずに筋肉を鍛える等尺性運動等を行う。現在、早期リハビリテーションは医療施設やリハビリ施設で広く行われている。しかし、早期回復への課題は未だ多く、高齢者の転倒による骨折の大多数である大腿骨頸部骨折に対する研究が多く行われている。

## 2. 研究の目的

本研究では、快適かつ安心・安全な早期歩行訓練を可能とすることを旨とした吊り下げ式免荷型歩行訓練ロボットを開発する。本稿では、開発した歩行訓練器の機能、新しく製作した全方向移動駆動ユニットおよび追従制御システム、免荷機構について報告する。また、歩行訓練を行う患者を対象とした、提案システムの有効性の確認実験の結果および考察について報告する。

## 3. 研究の方法

本研究では、歩行訓練者の意図に従い、全方向に自由に動くことのできる歩行支援ロボットのシステムを構築すること、および、訓練者の足の健康上状態に応じて、免荷力自動調整できるシステムの構築を行うための基礎試験をすることを目的として、それらの実験装置の試作、またシステムの構築を行い、実験により提案手法の有効性を検証して行く研究方法で研究を実施した。

## 4. 研究成果

### (1) 歩行訓練器の概要

歩行訓練器の外観を図 1 に、基本仕様を表 1 に示す。NILTWAMOR とは、Novel Intelligent Lift-Type Walking-Assist Mobile Robot の略称である。本歩行訓練器には、体重免荷機能と追従移動機能が備わっ

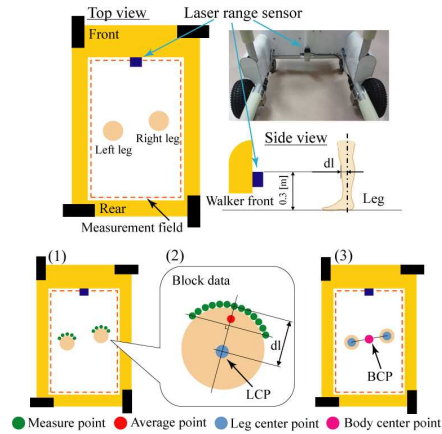


図 2 推定アルゴリズムの概略図

ている。体重免荷機能は、モータ、ワイヤ、重さを計測するロードセルなどから成る。ワイヤで体を吊上げて患者の脚にかかる負担を減らすことにより、自分の体重を脚で支えることが困難な患者でも立位姿勢を維持することが可能となる。また、免荷機構が左右独立のため、免荷量を左右個別に設定可能であり、片まひや骨折などの患側のみに免荷を必要とする場合に有効である。追従移動機能は、モータ、測域センサと呼ばれるレーザセンサなどから成る。歩行器に患者と向かい合うように設置された測域センサを用いて、脚の動きを計測し、歩行速度・方向を推定し、歩行器を駆動させる。これにより、患者が進みたい方向へ歩行器が追従して、歩行を補助することが可能となる。

また、本歩行器は、体の不自由な人が使用することを目的としているため、使用しやすい配慮が施されている。歩行器後方のフレームは着脱可能で、車いすが歩行器内部まで進入でき、患者は座ったまま免荷用のハーネスの装着が可能である。また、訓練者の体格に合わせて、手すりの高さや吊上げ用のワイヤの幅が調節可能である。

### (2) 全方向移動式歩行訓練器への拡張

従来の歩行訓練では、平行棒やトレッドミルと呼ばれるベルト上を直進歩行する訓練が行われている。しかし、直進のみでは単調で退屈であり、訓練者の訓練意欲が減少して訓練効果が低下することが考えられる。斜め歩きや横歩きの歩行訓練は、股関節がより活発に動くため中殿筋の筋力を鍛えることが可能である。そこで、本研究室では、図 1 の左側に示す全方向移動駆動ユニットを製作した。車輪には、オムニホイールと呼ばれる特殊なタイヤを用いている。全方向移動駆動ユニットを前後方向と左右方向に駆動するように設置することにより全方向移動を実現する。

### (3) 追従制御システム

従来の歩行訓練は、平行棒や歩行器を使用している。これらの訓練機器の場合、訓練者

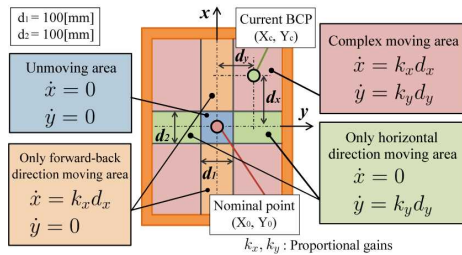


図3 速度制御則の概略図

は体重を支持するために常に手すりに掴まって訓練を行っている。そのため、ボタンやジョイスティックなどの手を用いた操作は困難であると考え。本章では、訓練者の歩行挙動から移動方向を推定する方法および速度制御則について述べる。

#### (4) 体中心位置の推定アルゴリズム

提案するアルゴリズムの概略図を図2に示す。測域センサ (URG-04LX: 北洋電機製) は、歩行器前方の床から 0.3[m] の高さに設置される。この測域センサを用いて脚の挙動を計測して、体中心位置を推定する。体中心位置の推定アルゴリズムを、以下に示す。

1. 計測群の抽出：測域センサを用いて計測したデータから、各脚部分の2つの計測群を抽出する。測域センサの構造上、計測群の1つ目が左脚、2つ目が右脚である。
2. 脚中心位置の推定：計測群の平均点を算出する。次に、この平均点を通る計測群の両端を結ぶ直線との法線を引く。そして、この法線に対して最近傍の計測点から一定距離  $d_l$  の法線上の点を脚中心位置とする。この一定距離  $d_l$  は計測する高さの脚の半径とする。この推定を各計測群で行う。
3. 体中心位置の推定：推定した両脚の脚中心位置の midpoint を体中心位置とする。この体中心位置の変化から訓練者の歩行方向および速度を算出して、歩行器の移動速度および方向を決定する。

#### (5) 速度制御則

前述の推定アルゴリズムで推定した体中心位置の移動の変化から、歩行器の移動速度を決定する速度制御則を構築した。速度制御則の概略図を図3に、移動速度の決定の流れを以下に示す。

1. 基準点の設定：静止時の体中心位置を基準点と設定する。この基準点から移動速度を決定するエリアを設定する。そして、歩行中の体中心位置が各エリアに存在する時に任意の移動速度を決定する。
2. 不動帯の設定：歩行による体の微小な移動に対して歩行器が移動することを防ぐために、基準点の周囲に不動帯を設定する。この場合の移動速度は、 $x' = 0, y' = 0$  とする。ここで、不動帯の幅  $d_1, d_2 = 100[\text{mm}]$  である。



図4 実験環境



図5 被験者1の歩行挙動

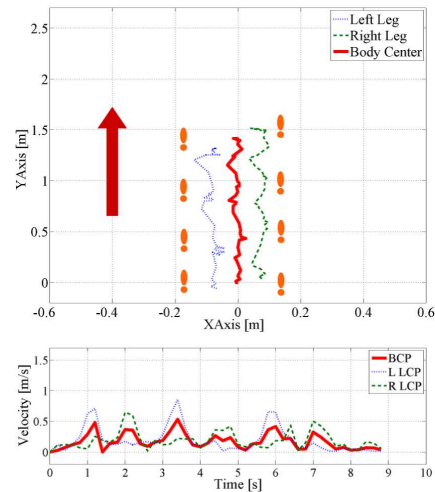


図6 被験者1の推定結果

3. 前後・左右方向および複合移動エリアの設定：不動帯の前方および後方に前後方向移動エリアを設定する。この場合の移動速度は、 $x' = k_x dx, y' = 0$  とする。また、不動帯の左側および右側を左右方向移動エリアと設定する。この場合の移動速度は、 $x' = 0, y' = k_y dy$  とする。それ以外のエリアを複合移動エリアと設定し、この場合の移動速度は、 $x' = k_x dx, y' = k_y dy$  とする。ここで、 $dx, dy$  は、基準点と現在の体中心位置の  $x$  および  $y$  軸方向の距離である。また、 $k_x, k_y$  は、比例ゲインである。

#### (6) 歩行訓練中の歩行挙動の測定実験

前章で提案した推定アルゴリズムの有効性を確認するために、歩行訓練を行う患者を対象とした実験を行う。実験環境を図5に示す。実験内容は、歩行訓練中の様子をビデオカメラで録画し、同時に測域センサで歩行挙動の測定を行う。実験条件は、実際の自然な

歩行を計測するため、日常の歩行訓練と同じ平行棒内で歩行し、歩き始めの脚や歩幅は特に指定しないとす。また、実験中、転倒防止のため、理学療法士が被験者に付き添いながら細心の注意を払って実験を行う。

本章では、被験者の実験結果および考察を述べる。実験の様子を図4に、推定結果を図5に示す。上のグラフはLCPとBCPの移動軌跡、下のグラフはLCPとBCPの移動速度を表す。

被験者は、年齢が80代で、疾患は左半身まひである。実験の様子より、左脚への負荷を減らすために右側に重心を移動させ、右手のみで平行棒に掴まり一歩ずつゆっくり歩行しているのが確認できた。図6より、歩行は直線的で左右の振れは少ないことがわかる。この結果より、片まひ患者に対しても、推定アルゴリズムが有効であると確認できる。しかし、推定したBCPに対して実際の体の重心の位置は右側にあると思われる。そのため、歩行器で歩行した時に重心の影響により、脚が重心側に移動して、直線もしくは任意の方向の移動が困難となることが考えられる。対策として、患側の免荷量を増やして重心を体の中心に移動させる。また、免荷

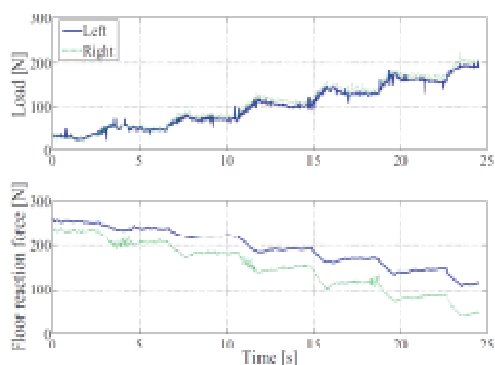


図7 免荷力と床反力の実験結果

した場合においても重心が移動することが考えられるため、センサを設置して重心位置を計測し、重心位置のずれに応じて移動方向の調整する追従制御アルゴリズムの改良を行う。

#### (7) 新型体重免荷機構の実験的解析

本研究では、左右で独立した免荷が可能な新型免荷機構を開発した。本章では、新型免荷機構による体重免荷が歩行挙動に及ぼす影響を実験により解析する。本実験では、左右のワイヤを同時に巻き上げ、免荷率が10%上昇するごとに一定時間停止する間欠動作を行う。その時の免荷機構に加わる荷重と両足にかかる床反力を計測する。免荷率は、0%～60%まで上昇させる。吊上げ速度は、10[mm/s]、20[mm/s]とした。実験結果として図7に、ワイヤにかかる荷重と床反力の関係を示す。結果より、免荷力の上昇に伴い床

反力が減少していくことが確認できた。右脚の床反力が左脚に比べて小さいのは初期姿勢で偏りがあったためと考えられる。免荷重の計測には歩行訓練器のロードセルを用いており、フィードバックによる調整が可能なため左右で同程度の免荷が可能である。これに対して、床反力は被験者の姿勢による重心位置に大きく依存するため、このような結果になったと考えられる。

#### 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0件)

〔学会発表〕(計4件)

①K. Matsuo, Y. Ochi, W. Aribowo, R. Tasaki, and K. Terashima: Tracking control system for walking assist using intention estimation, 15th International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR2012), 2012年7月23日-7月26日, pp.11-18

②松尾一博, 越智友亮, 田崎良佑, 寺嶋一彦, 榊原利夫, 山本孝之: 行動推定を用いた歩行補助のための追従制御システム 参加学会, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2012, 2012年11月2日-11月4日, GS1-1-3 1-4

③松尾一博, 越智友亮, 田崎良佑, 寺嶋一彦, 山本孝之, 榊原利夫: 活発な歩行訓練を促進する全方向移動免荷式歩行訓練器の開発参加学会, スポーツアンドヒューマンダイナミクス2012, 2012年11月15日-11月17日, pp.172-175

④K. Matsuo, Y. Ochi, R. Tasaki, K. Kunihiro, K. Terashima, T. Yamamoto and T. Sakakibara: Tracking Control System for Walking Assist Using Intention Estimation, AP-IRC2012, 2012年11月15日-11月16日, pp.52

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.syscon.me.tut.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺嶋一彦 (TERASHIMA KAZUHIKO)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60159043

(2)研究分担者

鈴木重行 (SUZUKI SHIGEYUKI)  
名古屋大学・医学系研究科 (保健)・教授  
研究者番号：60179215

南哲人 (MINAMI TETSUTO)  
豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端  
融合研究所・テニュアトラック准教授  
研究者番号：70415842