

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 11 日現在

機関番号：52605  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22700586  
 研究課題名（和文） 脳卒中片麻痺患者が安全・快適な歩行を行うための意志入力型密着式歩行補助機の開発  
 研究課題名（英文） Development of a will-input and a Closed-Fitting Type Walking Assistance Device for stroke hemiplegia patient to perform a safe and comfortable walk  
 研究代表者  
 池原 忠明（IKEHARA TADAAKI）  
 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 准教授  
 研究者番号：60369949

研究成果の概要（和文）：本装置は、脳卒中片麻痺患者が安全・快適な歩行を行うための密着式歩行補助機の開発密着式歩行補助機を開発する。装置は、歩行補助機のフレームを汎用性の長下肢装具とし、足関節および膝関節が分離可能で耐久性のある歩行補助機にした。さらに麻痺患者に装置を装着させて歩行実験を行い、支援効果を検討した。その結果、本装置を使用することにより歩行の歩容が改善させることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：A Closed-Fitting-Type walking assistance device was developed. The combination of a flexible shaft with a worm gear was successfully adopted on this device to simplify its appearance and reduce its size. A hybrid control system on this device controls both torque and angle at the ankle and knee joints. As a result of walking that mounted a Walking Assistance Device to motor paralysis patient, the effect of support and the improvement of postural were achieved.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

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：密着型歩行補助機，福祉工学

#### 1. 研究開始当初の背景

本研究は、“脳卒中片麻痺患者が安全・快適な歩行を行うための意志入力型密着式歩行補助機の開発する”ことを目的とした。脳卒中片麻痺患者は、麻痺のため膝に力が入らず屈曲時の自重の支持ができないことや足関節の背屈動作ができないため遊脚期において足先が上がらず地面に接触し転倒する。そこで本装置は、安全な歩行のために足関節の背屈・底屈動作および膝関節の伸展・屈曲動作を補助してQOL(quality of life)向上を

目指す。さらに快適な生活のために衣服の下に装着できる装置を開発することで人目に気づきにくい装置にし、日常生活で使用できる装置とする。

#### 2. 研究の目的

本装置は、装置の骨格部分を可能な限り小型化し、その特性であるねじりばねの効果を利用して必要なタイミングで力の補助や抵抗を加える。最終的には脳卒中片麻痺患者・リハビリ患者へ適用し、長時間歩行の実現に

よる自立支援や QOL 向上を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 歩行補助機の基本構成

本装置は、歩行動作に不安がある高齢者の日常生活や片麻痺患者のリハビリ用として、膝関節の伸展・屈曲と足関節の背屈・底屈の動作補助を行う装置である(図 1)。

歩行補助機の基本構成は、アクチュエータを関節部に配置せず、モータおよび制御部を背中へのバックパックに収納する。また、図 2(a)のように背部の DC モータからフレキシブルシャフトで動力を関節部へ伝達し、ウォームギヤで出力軸の回転方向を変換し、下肢関節部の小形・軽量化を行っている。これにより、図 2(b)のように本装置を装着した上から着衣を可能にした。アクチュエータは、FAULHABER 製の DC モータ(定格出力 90W)を使用しており、ギヤヘッド(減速比 14 : 1)が搭載されている。装置の関節部には、ウォームギヤ、エンコーダ、ポテンシオメータを搭載した。そのウォームギヤは、減速比を 10 : 1 とし、小形で高効率かつセルフロックのかからないスペックとした。

下肢フレームは、足関節と膝関節が分離可能な KAFO (Knee-Ankle-Foot Orthosis) を使用した。このフレームは、複数のサイズが選択できる。装具のサイズは、小柄な成人男性から大柄な成人女性用の M サイズおよび成人男性用の L サイズの 2 種類あり、身長は、約 165cm~180cm に対応している。また、アジャスト機構により上下方向に 30mm と左右方向に 25mm の関節位置と脚幅の調節が可能となっている。

本装置の制御は、目標角度に追従する角度制御と歩行時のトルクの強弱を再現するトルク補償を組み合わせたハイブリッド制御を用いている。トルクの補償量は、フレキシブルシャフトのねじりばね定数(実験値)と

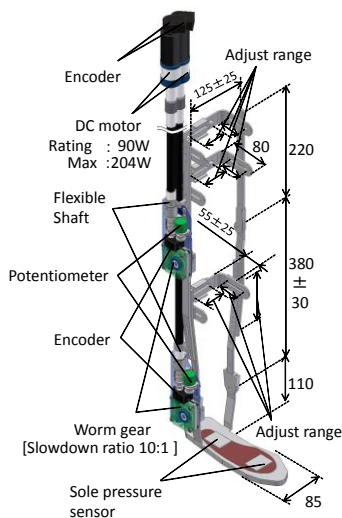


Fig.1 Outline of the device and the appearance



(a)Wearing the device (b)Wearing the device into a pants

Fig.2 Wearing the device

モータ・関節部にあるエンコーダから取得されるシャフトのねじれ量より算出した。歩行位相は、両足裏の踵とつま先の計 4 つの感圧センサで、足の接地状態の ON・OFF パターンから判別した。

#### (2) フレキシブルシャフトのねじりばね定数測定

脚に装着する装具の重量と外郭を減らすため、背部に配置したアクチュエータの動力伝達的手段として、外郭を目立たないように体に密着させながら動力を別配置できるフレキシブルシャフト((株)昌和発条製作所)を使用した。フレキシブルシャフトは許容伝達トルクが 1.8 Nm で両回転用のものを使用し、長さは足関節で 100 cm、膝関節で 65 cm とした。そのフレキシブルシャフトは、特殊硬鋼線を左右交互に数層巻いた構成で、回転軸の向きを任意の方向に変えて動力を自由に伝達できる。さらにねじり方向に弾力性があり、ねじりばねとしての活用が可能である。そこでこの特性を利用し、立脚期や蹴り動作のときは、ばねの特性を用いてクッション性を持たせる。さらに膝関節に対しては、立脚期の姿勢維持するよう抵抗要素として補助を行う。歩行位相ごとにフレキシブルシャフトの曲げ半径は異なり、フレキシブルシャフトの曲げが強くなれば、ねじりばね定数が変化する可能性がある。そこでフレキシブルシャフトの曲げ半径とねじりばね定数の関係を計測した。装着可能な身長 of 装着者が健常者として歩行したときの、背部から各関節までの距離とフレキシブルシャフトの長さより、曲げ半径は 40~300cm となった。ねじりばね定数の計測は、フレキシブルシャフトを水平にし、一方の軸を固定し他端の軸に棒を取り付け、棒の端に負荷をかけ、棒の傾斜角度を測定し算出した。ねじりばね定数は、曲げ半径によって若干異なるが、使用範囲内で

は一定値とし、100cmの右回転は0.21Nm/rad、左回転は0.43Nm/rad、65cmの右回転は0.67Nm/rad、左回転は0.89Nm/radとしてプログラム内に設定した。特に足関節は背屈時、膝関節は伸展時にトルクを必要とするため、高剛性な回転方向となるよう取り付けた。

### (3)制御システムの自立化

本装置を自立化させ、装置着用時の歩行可能な行動範囲を屋内外に広げることが、使用者のQOLが著しく向上するため、非常に重要な要素である。例えば、高齢者が億劫になりがちな外出を促進し、自立生活支援に貢献する。また、リハビリ患者は、本装置を使用することで訓練場所を選ばず、自由な場所で訓練が可能となる。さらに精神的にも負担が軽減し、訓練に対する意欲も増進することが可能である。また、装置全体がコンパクトにまとまっていると、搬送する際にも容易に収納可能であり、様々な場所での使用が可能となる。

そこで、従来デスクトップPCにより構成していた制御システムを、ART-Linux搭載SH4ボード（ゼネラルロボティクス製、HRP-3P-CN-A）へ移行し、家庭用電源から有線で供給していた電源を、リチウムイオンバッテリー（グローバルテック製、FB8800、14.8V、8.8Ah）に変更した。

さらに装着者・他の人が見て違和感を少なくするため、背部に配置するアクチュエータ、制御部を小型バックパック（縦35cm、幅23cm、高さ10cm）に収納し、目に付かないようにすることで外観による抵抗感の軽減を図った。モータ部・制御部は、各部ごとに取り外しできるようにし、フレキシブルシャフトに負荷をかけないようにバックパック内に全て収めるようレイアウトを検討した。その結果、図6のようにモータ部、制御部を合板上に1つにまとめ、小型バックパックに収めることとした。

## 4. 研究成果

密着型歩行補助機の支援効果の検証

### ①実験目的と方法

リハビリテーションを受ける患者に本装置を適応し、歩行訓練を想定した実験を行った。片麻痺患者の歩行レベルは、Brunnstrom stage 4とする。Brunnstrom stageは、脳卒中における麻痺レベルを示す指標で6段階に分別される。ステージ1は、麻痺のためにまったく身体を動かさない状態で、ステージ6は、麻痺の影響がなく歩ける状態である。ステージ4は、ある程度の麻痺が残るが、杖・装具を使用しての歩行が可能な麻痺レベルである。このステージの患者の歩行は、麻痺した足のつま先が床に接触して躓きを引き起こさないように骨盤を大きく引き上げる

動作や股関節の内外転を大きく外転させるような特有の動作がみられる。

測定は、装置の背屈・底屈補助動作による歩行動作の変化を確認するため、股関節の垂直方向の引上げ幅・内外転角度を計測した。また、背屈・底屈動作の支援効果には体感評価を用いた。

被験者は、装置を初めて体験する健常者5名（20代：156～170cm、男性3名・女性1名、40代：男性1名、173cm）とした。

装置の歩行周期は、安全性および装置の角度追従性を重視するため健常者の2倍（2.16s）とした。また、歩行軌道を再現するための目標角度は、健常者の歩行軌道とし、装着者が歩きやすいように体感から軌道に微調整を加え決定した。被験者の股・膝・足の3関節に画像解析用のマーカを取り付けた。通常の短下肢装具および装置を装着して歩行し、10m区間を6分間、被験者のペースで往復し、側面と正面に設置したカメラで歩行動作を撮影した。

### ②使用者の体感と実験結果

装置使用後の体感は、“背屈の力を感じ歩きやすい”、“脚装具の重さは気にならなかった”、また“装着したい”など良好な意見や“装置のタイミングに合わせての歩行が難しい”、“自分の歩行速度に合わせてたい”などの改善点を確認した。体感から、背屈動作の支援効果と人の歩行動作に装置が合わせる必要があることも確認した。

実験結果を図3と図4に示す。図3は、被験者のうち3名を抜粋したデータで歩行訓練開始直後の装置装着と非装着時の骨盤の垂直方向の引上げ幅（最大値から最小値までの幅）を比較したグラフである。

被験者Aでは、5.3cmから4.9cmと8.7%の減少、以上の結果から体感や外転角度、骨盤の引き上げ動作の減少から歩容の改善がみられ、本装置を片麻痺患者に装着して歩行訓練を行うことで躓き防止や歩容の改善に効果が期待されることが明らかとなった。

被験者Bでは、7.4cmから7.1cmと3.9%の減少がみられた。しかし、被験者Cでは4.5cmから7.7cmと64%大きく増加した。

骨盤の引き上げ歩行を行わない健常者でも引き上げ幅が減少したことは、片麻痺患者が使用した場合にも大きな効果が期待される。また、引き上げ幅が増加した被験者は、装着者と装置の歩行周期の差異により違和感が生じたと考えられる。この違和感は、体感からも確認され、装置が人の歩行動作に合わせる制御の導入によって改善が可能であると推測される。

図4は、被験者3名を抜粋したデータで歩行訓練開始直後の股関節内外転角度を比較したグラフである。被験者両名共に外転方向

の最大角度値が、被験者 A は 6.9deg から 4.9deg、被験者 C は 13.8deg から 9.5deg とどちらも約 30%の減少、被験者 B は 10.2deg から 4.5deg と約 50%の減少が確認された。これは、装置の底屈・背屈動作が適切なタイミングで行われ、装着者の前進する方向の力が向上したために外転が減少したのではないかと考えられる。また、装置が密着しているため下腿の外転方向に対して抵抗になったのではないかと推測される。

以上の結果から体感や外転角度、骨盤の引き上げ動作の減少から歩容の改善がみられ、本装置を片麻痺患者に装着して歩行訓練を行うことで躓き防止や歩容の改善に効果が期待されることが明らかとなった。

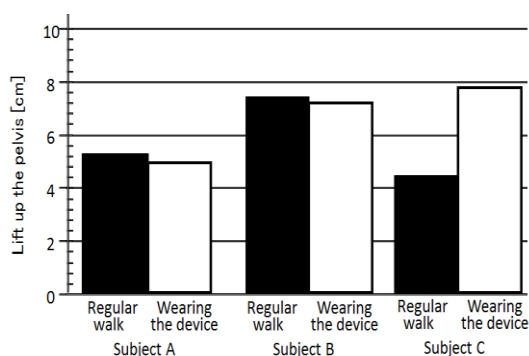


Fig.3 Range of lift up of the pelvis

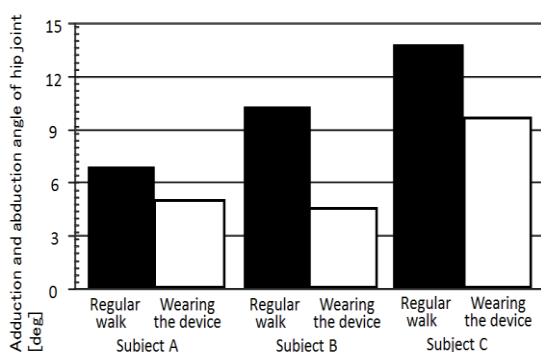


Fig.4 Abduction angle of the hip joint

## 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 池原忠明, 田中英一郎, 永村和照, 池条清隆, 小島翔, 梶原陽介, 今出亘彦, 弓削類, “密着型歩行補助機の小型・軽量

化と支援効果の検証”, 日本設計工学会誌, 査読有, (2012), pp. 144-150.

- ② 小島翔, 田中英一郎, 池原忠明, 梶原陽介, 桜井智広, 弓削類, “歩行動作の変化に対応可能な密着型歩行補助機の開発”, 第 17 回ロボティクスシンポジウム, 4B4, 査読有, (2012), pp. 351-356.
- ③ 池原忠明, 田中英一郎, 永村和照, 牛田卓朗, 小島翔, 田宮高信, 池条清隆, 青景遵之, 中川慧, 弓削類, “フレキシブルシャフトのねじりばね効果を用いた脚部密着型歩行補助機の開発”, 日本機械学会論文集 C 編, 査読有, Vol. 77, No. 775, (2011), pp. 698-711.
- ④ 池原忠明, “装置の上から着衣可能な脚部密着型歩行補助機の開発” 日本設計工学会誌, 査読なし, 46 巻 2 号, (2011), 68-73.
- ⑤ Tadaaki IKEHARA, Eiichirou TANAKA, Kazuteru NAGAMURA, Takanobu TAMIYA, Takuro USHIDA, Kenichi HASHIMOTO, Sho KOJIMA, Kiyotaka IKEJO, Louis YUGE, Development of a Closed-Fitting-Type Walking Assistance Device on Leg with a Self-Contained Control System, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.22, No.3, (2010), pp. 380-390.

[学会発表] (計 10 件)

- ① Tadaaki Ikehara, Eiichirou Tanaka, Kazuteru Nagamura, Sho Kojima, Yousuke Kajihara, Nobuhiko Imade, Louis Yuge, “Development of a Closed-Fitting-Type Walking Assistance Device for Rehabilitation”, Proceedings of the Joint International Conference of the XI International Conference on Mechanisms and Mechanical Transmissions (MTM) and the International Conference on Robotics (Robotics'12) (MTM & Robotics 2012), Clermont-Ferrand, France, June 6-8, (2012), pp. 252-257.
- ② 今出亘彦, 梶原陽介, 小島翔, 池原忠明, 田中英一郎, “傾斜歩行時に使用可能な密着型歩行補助機の開発”, 日本機械学会関東学生会第 51 回学生員卒業研究発表講演会, pp. 381-382, (2012).
- ③ 田宮高信, 浅野端, 田中英一郎, 池原忠明, 宮川睦巳, 鈴木拓雄, 杉本聖一, “フレキシブルシャフトの非線形ねじり特性に関する研究”, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演論文集, G030054, (2012).

- ④ T. Ikehara, E. Tanaka, K. Nagamura, S. Saegusa, T. Ushida, S. Kojima and L. Yuge, "Development of Closed-Fitting-Type Walking Assistance Device for Legs and Evaluation of Muscle Activity", Proceedings of the IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, June 29-July 1, Zurich, USB-Memory, 2011 Switzerland.
- ⑤ 池原忠明, 田中英一郎, 梶原陽介, 牛田卓朗, 小島翔, 弓削類, "実用化に向けた密着型歩行補助機の開発と支援効果の検証", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, (2011),
- ⑥ 田宮高信, 浅野瑞, 田中英一郎, 池原忠明, "フレキシブルシャフトの静的非線形ねじり特性の測定", 数理科学会第 30 回記念数理科学講演会, (2011).
- ⑦ 梶原陽介, 池原忠明, 田中英一郎, 牛田卓朗, 小島翔, 弓削類, "密着型歩行補助機の実用性向上と支援効果の検証", 日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集, (2011).
- ⑧ 浅野瑞, 田宮高信, 田中英一郎, 池原忠明, "フレキシブルシャフトの両回転ねじり特性の測定", 日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集, (2011).
- ⑨ 池原忠明, 田中英一郎, 牛田卓朗, 小島翔, 伊藤和寿, 弓削類, 永村和照, "起立補助可能な密着型歩行補助機の開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 (ROBOMECH'10), 1P1-F23, (2010).
- ⑩ 池原忠明, 田中英一郎, 永村和照, 牛田卓朗, 小島翔, 田宮高信, 池条清隆, 弓削類, "フレキシブルシャフトのねじりばね効果を用いた脚部密着型歩行補助機の開発", 日本機械学会機素潤滑設計部門講演会講演論文集, No. 10-10, (2010), 165-166.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

池原 忠明 (IKEHARA TADAAKI)

東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 准教授

研究者番号 : 60369949