

歩行補助ロボットと協働する歩行器ロボットの開発

Development of walker robot for gait assistance with wearable robot

2161003



研究代表者

愛知工業大学

准教授

香川 高 弘

[研究の目的]

下肢の筋肉に麻痺が生じると「立つ」「歩く」といった日常動作が困難となる。下肢麻痺者の移動手段として一般に車椅子が用いられるが、段差や狭路の移動などの機能的な問題と、筋萎縮や骨粗しょう症など2次合併症を引き起こす健康上の問題がある。また、「立って歩きたい」という声も多く、歩行機能の再建が望まれている。近年のロボット技術の発展に伴い、国内外でさまざまな装着型ロボットが開発・実用化されている。特に、障がい者や高齢者の動作支援に対するニーズは高く、下肢麻痺者の歩行アシストに関してはHAL（サイバーダイン）、Rewalk（Rewalk Robotics）、Ekso（Ekso Bionics）などが代表的なロボットとして挙げられる。著者らは下肢麻痺者用の歩行補助ロボットWPAL（アスカ株式会社）の試作機を用いて、歩行アシストのセンサ・制御システムの研究・開発を進めてきた。ロボットの概観を図1(A)に示す。股関節・膝関節・足関節のモータにより、歩行動作をアシストする。また図1(B)に示すように、腕でバランスをとり重心を移動するため、歩行器を併用して歩行する。

装着型ロボットによる下肢麻痺者の歩行では、歩行速度が0.27 [m/s]（健常者の1/5）程度と非常に遅いという問題点がある。さらに、脚を振り出すときに必要な体重移動を下肢麻痺者は

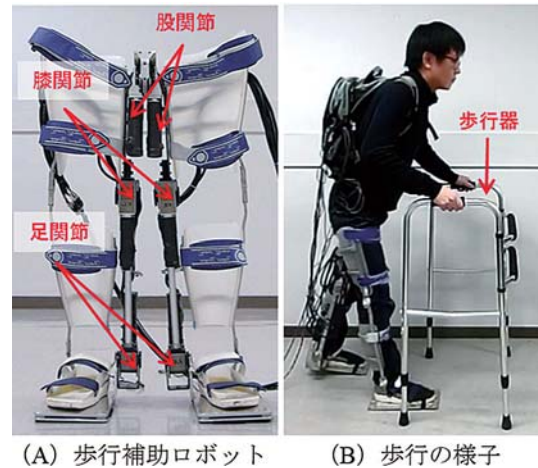


図1 歩行器補助ロボット WPAL の試作機 (A) と WPAL による歩行の様子 (B)

腕の力で行わなければならない、その身体負荷も高い。そのため、日常生活における移動手段という観点では、現在の歩行補助ロボットには車いすに代わるほどの有効性がないのが現状である。

歩行速度や身体負荷の問題を改善するために、本研究では腕で体を支える歩行器に着目する。

図1(B)のように歩行器を使った歩行では、歩行器を腕で前に動かす必要があり、連続的で滑らかな歩行動作を行うことができない。そこで本研究では、全方向に移動可能な車輪型駆動機構を歩行器に取り付けた歩行器ロボットを開発する。ユーザを支えて前に引っ張るように車輪を駆動して歩行器を制御することで、歩行の

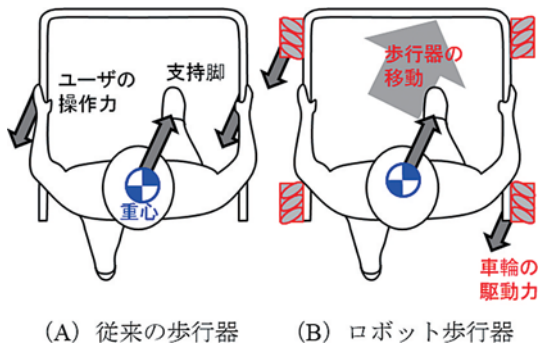


図2 ロボット歩行器によるユーザーの重心移動補助のコンセプト。従来の歩行器 (A) では、スイング動作の前に腕で歩行器を右後方に押すことで重心を支持脚側に移動する必要がある。ロボット歩行器 (B) では、車輪の駆動力によってユーザーを支持脚側に引っ張ることで支持脚側に重心を移動する。

速度だけでなくユーザーの身体負荷の軽減も期待できる。

[研究の内容, 成果]

1. 歩行器ロボットの開発

歩行補助ロボットでの歩行における身体負荷は、主にスイング動作前の支持側への体重移動において生じる。図2(A)は従来の歩行器を用いたときの重心移動を示したものである。重心を支持側（右前方）に移動するために、ユーザーは歩行器を左後方に押す必要がある。この時に歩行器にかかる荷重は最大で20 [kgf]となる。この負担を軽減するため、歩行器の4つの脚部に取り付けたメカナムホイールを駆動してアシストする。それぞれの車輪の回転を独立に制御することで、歩行器は前後だけでなく左右や回転など全方向に移動することができる。図2(B)に示すように対角線上の車輪を同じ方向で回転させ、逆の対角線の車輪の回転を止めると斜め45度の方向に推進力を生じる。この歩行器の推進力によってユーザーの体重移動をサポートすることができる。また、ユーザーが歩行器を動かす必要がないため、歩行速度の向上も期待できる。

図3に開発した歩行器ロボット試作機を示す。最大速度0.4 [m/s]で移動できるように駆動



図3 歩行器ロボットの写真。メカナムホイールを用いた4輪の駆動機構によって、歩行器は全方向に移動できる。コントローラで書く駆動機能のモータを独立に制御することで移動方向と速度を調整できる。また、歩行器とユーザーとの相対位置を計測するためにレーザーレンジファインダをフレーム前方に配置する。

機構（減速機・モータ・車輪）の設計・製作を行った。

モータは小型コントローラに接続され、それぞれのメカナムホイールの回転を独立に制御できる。歩行器前方下部にレーザーレンジファインダを取り付け、歩行器に対するユーザーの左右の脚の相対位置を計測する。この相対位置のデータは、ユーザーと歩行器の位置を一定の範囲内に維持する制御のために使用する。

2. 歩行器ロボットの評価試験

開発した歩行器ロボットの性能を検証する実験を行った。周期3 [s]の正弦波を目標軌道として、前後および斜め45度の方向の動作となるようにモータを駆動した。モーションキャプチャを用いて、その時の歩行器の動作をサン

プリング周波数 100 [Hz] で計測した。

図 4 に水平面内における歩行器ロボットの軌跡を示す。赤線が前後動作における軌跡、青線が斜め 45 度の動作における軌跡を表す。計測結果は、目標軌道どおりに歩行器の動作が制御できていることを示している。

図 5 は歩行器の速度の時間変化を示す。赤線が前後、青線が左右の速度を表す。(A) は前

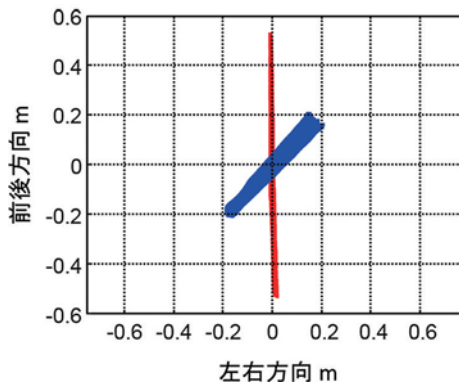
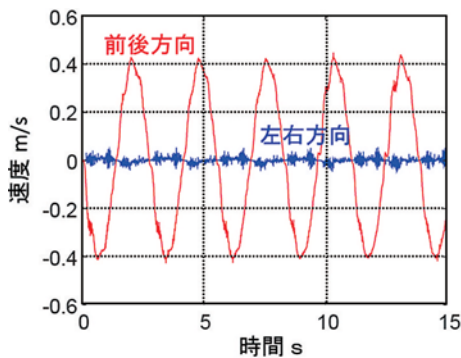
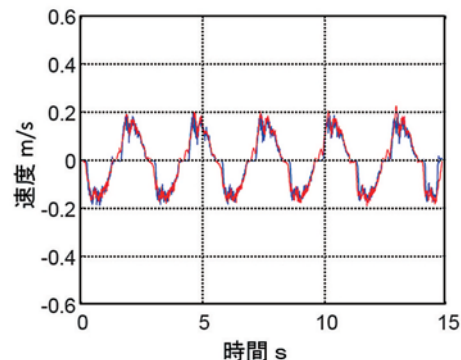


図 4 水平面内における歩行器ロボットの移動の軌跡。赤線が前後の動き、青線が斜め 45 度の動きを表す。



(A) 前後方向



(B) 斜め45度方向

図 5 歩行器ロボットの速度の時間変化。(A) は前後方向、(B) は斜め 45 度のときの速度波形を示す。

後方向の動作のときの速度を示す。最大速度が目標の 0.4 [m/s] となっており、開発した歩行器ロボットが仕様を満たすことを確認した。一方、斜め 45 度の場合 (B) には、実験では速度は 0.2 [m/s] が最大であった。斜め方向の移動では 2 つの車輪で移動しなければならないため、前後の移動と比較してモータのトルクが不足することが原因と考えられる。以上の実験結果から、開発したロボット歩行器は歩行アシストに必要な仕様を満たすことを確認した。また、前後と比較して斜め方向の移動の場合には、最大速度が低くなることがわかった。

[今後の研究の方向・課題]

本研究では、装着型ロボットとともに下肢麻痺者の歩行をアシストする歩行器ロボットの設計・製作を行い、動作テストによって基本的仕様を満たすことを確かめた。

今後、開発した歩行器ロボットと装着型歩行補助ロボットの協調制御システムを開発する。協調制御システムのコンセプトを図 6 に示す。

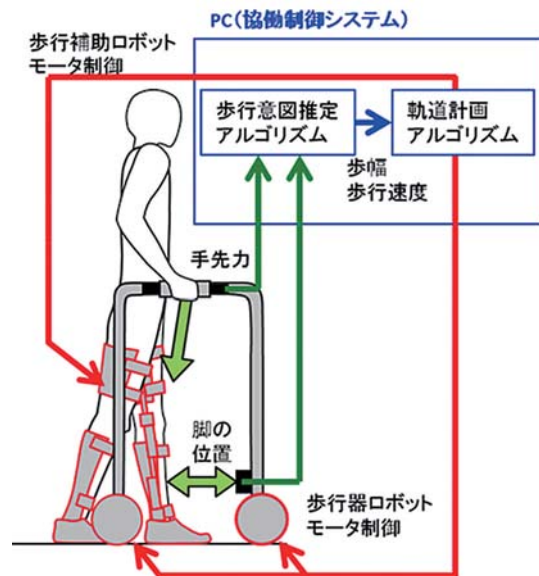


図 6 歩行器ロボットと歩行補助ロボットの協調制御システム。歩行器のセンサから歩行器の操作力と脚の位置を計測して、ユーザの意図する歩行動作を推定し、その動作に合わせて歩行補助ロボットと歩行器の軌道を計画し制御する。

脚の位置と歩行器の操作力をそれぞれレーザーレンジファインダと力センサによって計測する。このセンサデータが歩行器制御マイコンを介して統合制御システムに送られる。統合制御システムでは、センサ信号から歩行の意図として次のステップの歩幅と歩行速度を推定する。歩幅と歩行速度を基に、歩行器ロボットと歩行補助ロボットの目標軌道を決定・実行する。また歩行器と脚の相対位置から、歩行器がユーザから離れすぎたり、近づきすぎたりしないように歩

行補助ロボットとロボット歩行器の軌道をオンラインで修正・実行する。

協調制御システムを実装し、下肢麻痺者の歩行速度の向上と身体負担の軽減についての有効性を検証することが今後の課題である。また歩行器ロボットは、下肢麻痺者だけでなく高齢者や歩行に障害を持つ方の歩行アシストに役立つ可能性がある。歩行器ロボットがより汎用な歩行アシストシステムとなるように機構や制御について検討したい。