

エネルギー回生を用いたインテリジェント短下肢装具の開発と評価実験

知能機械力学研究室

江口翔平

1. 背景と目的

脳卒中等の症状による片麻痺患者の多くは歩行時につま先が垂れ下がること（下垂足）により、転倒の危険がある。そのため、下垂足の防止を目的として短下肢装具（以下、AFO）が用いられる。従来はプラスチック製の靴べら型 AFO が多く用いられているが、足関節への底屈方向に対する高い制動トルクにより下垂足を防止する一方で、底屈、背屈の両方向に対する過度の制動トルクにより健常者に近い自然な歩行の実現を妨げており、装着者のリハビリ効果や心身の負担軽減効果が低いといった問題が挙げられる。この問題を解決するためには、AFO が発生する制動トルクを歩行の状態により適切に変化させる必要がある。本報では、この制動トルクを歩行の状態によって変化させることの出来る AFO の歩行改善効果の評価を行った。

2. 開発した IAFO の概要

本研究で新たに開発した、DC モータの両端子を短絡させることにより制動トルクが発生する現象（本報では電磁ブレーキと呼ぶ）を利用して適切な制動トルクを発生させるインテリジェント短下肢装具（以下、IAFO）を図 1 に示す。この IAFO は、足関節が自由に回転する足継手付き AFO を土台として、発生させた制動トルクの足関節への伝達にプーリーギアと歯付きベルトを用いており、足裏の 2 カ所に設置した感圧センサにより歩行の状態を検知し、その情報を基に図 2 の昇圧チョップ回路⁽¹⁾内にある MOS-FET の ON と OFF の PWM 制御による Duty 比の変更により DC モータに流れる単位時間あたりの平均電流を変化させることで適切な制動トルクを発生させている。また、この IAFO は DC モータにより歩行時の足関節の回転エネルギーを電気エネルギーに変換し、昇圧チョップ回路を利用してバッテリーに充電する、エネルギー回生⁽²⁾を用いることで軽量化と長時間使用の実現を目指している。

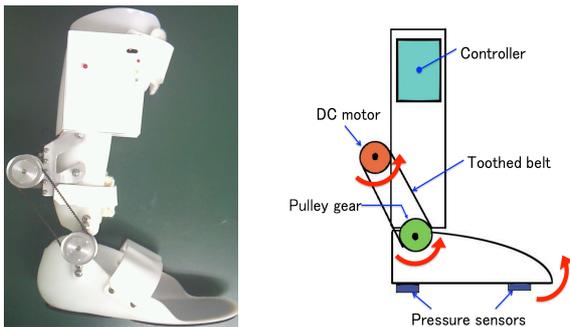


図 1 IAFO

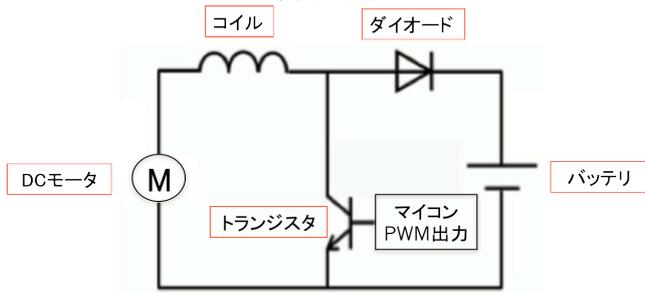


図 2 昇圧チョップ回路

3. 歩行改善効果評価実験

IAFO が片麻痺患者の歩行改善に必要な、下垂足の防止と足裏が地面に接地している状態（立脚期）における足関節の滑らかな回転の両方に有効であるかを評価するため、20 代の健常な男性 1 名が、1. 裸足で普段通りの歩行、2. 従来型の AFO を装着して片麻痺患者の足関節の状態を模倣、3. IAFO を装着して片麻痺患者の足関節の状態を模倣、以上の各条件で歩行した時の右脚の足関節の角度を、三次元動作解析装置を用いてサンプリング周期 10[ms]で計測した。歩行速度は健常者が出来る限り遅く歩いた時の歩行速度である 2.0[km/h]とし、トレッドミルを用いた。

4. 実験結果および考察

各条件で歩行速度がほぼ一定になった後の 2[s]間の足関節角度を図 3 に示す。ここでは、直立した時の足関節角度を 0[°]とし、底屈方向をプラス、背屈方向をマイナスとした。0.7～1.5[s]の期間が、計測側の脚を蹴り出してから足が接地するまでの期間（遊脚期）であり、AFO、IAFO とともに、遊脚期における底屈方向への角度の変化が、健常者の歩行に比べて小さくなっている。足が接地する 1.5[s]のときの足関節角度は、健常者の歩行と比較しても背屈方向に足関節が回転した状態で足を接地させていることから、下垂足を防ぐことが出来ていると言える。また、0～0.7[s]の立脚期における AFO は背屈方向への角度の変化がほぼ起きておらず、滑らかな足関節の回転を行っていない。対して、IAFO においては背屈方向へ最大で 15[°]程度の背屈方向への角度の変化が起きていることから AFO よりも足関節を滑らかに回転させることが出来ていることが分かる。以上から、IAFO は下垂足の防止と立脚期における足関節の滑らかな回転の両立が出来ており、IAFO が片麻痺患者の歩行改善に有効であることが確認できた。

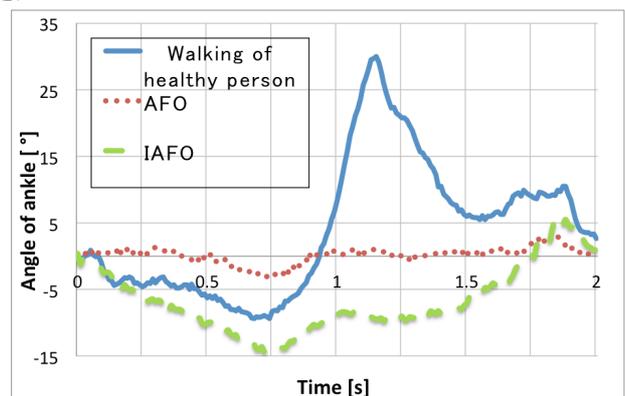


図 3 足関節角度

文献

- (1) 小澤圭介, 岡田養二, “エネルギー回生・アクティブ制御ダンパの研究”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 70, No. 700, pp. 3413-3418, 2004.
- (2) 河辺裕隆, “エネルギー回生を用いた短下肢装具の開発における基礎研究”, 日本機械学会 中国四国支部第 51 期総会・講演会発表 K-617, 2013.