

## 蹴り力に応じたトレッドミルの制御手法の開発

## ～トレッドミル歩行時の運動評価～

TreadmillControlDependedonAnteroposteriorForce  
-MotorAssessmentofduringWalkingontheTreadmil 1-

○ 中島康貴 (早大) 安藤健 (早大) 小林洋 (早大) 藤江正克 (早大)

YasutakaNAKASHIMA ,WasedaUniversity  
TakeshiANDO ,WasedaUniversity  
YoKOBAYASHI ,WasedaUniversity  
MasakatsuG.Fujie,WasedaUniversity

**Abstract:** We have been developing a new walking aid vehicle, “Tread-Walk 2(TW-2)”, which supports walking for elderly. TW-2 has intuitive operability, which is controlled by the natural walking movement. But the user felt a sense of discomfort when the user began and stopped walking. This problem of operability is caused by inaccurate estimation of the user’s anteroposterior forces. We therefore proposed the new control algorithm corresponding anteroposterior forces that are estimated using mechanical model which is considered frictional forces of the treadmill. This paper showed that the walking movement on this new treadmill was analyzed comparing with the overground walking. As the result, it was found that the waveform pattern of the walking on this new treadmill was similar with that of the overground walking.

**KeyWords:** Walking, Treadmill, Anteroposterior force

## 1. 序論

超高齢社会に突入した日本において、身体能力が低下した高齢者でも直感的に操作が可能な移動支援機器が注目されている<sup>(1)(2)(3)</sup>。そのような中で、筆者らは、トレッドミル上での歩行動作を操作に用いる移動支援機器 Tread-Walk 2 (TW-2) を開発している (Fig. 1)<sup>(4)(5)</sup>。TW-2 では、平地歩行のように自然な歩行で操作を実現するために、一定速度で回転し搭乗者を強制的に歩かせるトレッドミルではなく、搭乗者の蹴り力に応じて回転するトレッドミルを用いている。そのため、搭乗者は自由に速度を変更しながらトレッドミル上を歩行可能である。これまでに、このトレッドミルの評価として、加速減速歩行時や一定速度で歩行時の運動解析など様々行われているが<sup>(6)(7)</sup>、平地歩行と比較した定量的な評価は行われていない。

そこで、本稿では、この蹴り力に応じて回転するトレッドミル上で平地のように自然な歩行が再現されているかの検証を行うことを目的とする。特に、トレッドミル上を歩行時の動作を運動学的に解析し、従来のトレッドミル制御を実装した際の歩行と比較することで、平地歩行との差異について報告する。

## 2. 蹴り力に応じたトレッドミルの制御

本研究では、搭乗者の歩行動作に応じて変化する摩擦をモデル化し、この摩擦の影響を除きながら、トレッドミル駆動用の DC モータの電流値を用いて、正確な蹴り力の推定を行っている (Fig. 2)<sup>(8)(9)(10)</sup>。また、質点系での運動量と力積の関係を用いることで、その推定した蹴り力から歩行速度を決定し、蹴り力に応じたトレッドミルの制御アルゴリズムを構築している<sup>(11)</sup>。本稿で検証するトレッドミルの制御として、こちらを用いた。

## 3. トレッドミル歩行時の運動評価実験

## 3-1 実験目的

本実験では、蹴り力に応じたトレッドミルの評価として、トレッドミル上歩行時の下肢の関節位置という運動学的な指標を用いて、今回構築したトレッドミル上での歩行と従

来のトレッドミル上での歩行、平地歩行とを比較し、三者の差異を検証することを目的とする。

## 3-2 実験方法

前章で記述した制御を実装したトレッドミル上と従来の制御を実装したトレッドミル上と平地において、それぞれ一定の速度歩行を行った際の下肢の関節位置を計測し、三者の波形の比較を行う。本実験では、TW-2 から駆動輪を除き、歩行面として必要なトレッドミル部のみを用いて行った。また、一定速度で歩行時の下肢の関節位置を計測するために、トレッドミル上と平地の両者の歩行状態において、広範囲かつ高精度で計測可能な三次元動作解析装置 VICON612 を用いた。計測項目として、TW-2 の操作入力である蹴り力を発生させる動作に最も影響が大きいとされる被験者の足関節、特に第 5 中足骨頭と呼ばれる爪先の位置を選定した。

実験条件として、歩行速度は TW-2 の対象である高齢者の平均歩行速度である 2.0[km/h] とした。また、歩行速度をトレッドミル上と平地の両者の歩行状態において統一するために、それぞれ歩調と歩幅を固定した。実験回数によるばらつきを含めた十分な実験結果として扱うために、各条件につき 3 回の計測を行った。本実験の被験者は 20 代の健康男性 1 名 (165[cm], 60[kg]) とした。被験者には実験の内容をあらかじめ説明し、参加の同意を事前に得て、実験を行った。

## 3-3 実験結果・考察

以下に、第 5 中足骨頭と呼ばれる爪先位置の変化として、一歩行周期毎の矢状面方向の第 5 中足骨頭軌跡を示す。Fig. 3 が平地歩行時の実験結果であり、Fig. 4 (a) が今回構築した制御アルゴリズムを実装したトレッドミル上を歩行時の実験結果、また、Fig. 4 (b) が従来の制御アルゴリズムを実装したトレッドミル上を歩行時の実験結果である。この結果から、今回構築した制御アルゴリズムを実装したトレッドミル上の歩行における結果では、従来の制御を実装した実験結果と比較して、平地歩行時の軌跡に近いことが確認できる。

今回構築した制御アルゴリズムにおいては、従来の制御

と比べて、足関節の軌跡という運動学的な指標を用いて、平地と同様な歩行が可能であることを確認した。本研究で構築したアルゴリズムが搭乗者の歩行運動に及ぼす影響を平地歩行における運動学的な要素から評価し、従来のアルゴリズムと比較することで、その有効性を検証した。

#### 4. 結言

高齢者を対象とした移動支援機 TW-2 において、直感的な操作性を実現するために開発されている蹴り力に応じたトレッドミルの評価として、一定速度で歩行時の足関節の軌跡を運動学的な視点から、平地歩行と比較を行い、その有効性を示した。今後は、若年健常者だけでなく、高齢者を被験者とした評価実験を行い、その有効性を確認する。また、トレッドミル部だけでなく、駆動輪まで含めた実機に制御を実装し、その有効性を確認する。

#### 参考文献

- (1) “Segway®”, <http://www.segway.com/>, Available 17 July, 2008.
- (2) “U3-X”, <http://www.honda.co.jp/motorshow/2009/U3-X/>, Available 15 October, 2010.
- (3) “Winglet”, [http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/p\\_mobil it y/winglet/](http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/p_mobil it y/winglet/), Available 15 October, 2010.
- (4) 二瓶美里, 金重裕三, 藤江正克, 井上剛伸: “歩行速度を増幅する移動支援機器の開発-高齢者のジレンマ解消の解として-”, バイオメカニズム学会論文集, vol. 18, pp.101-112, 2006.
- (5) 二瓶美里, 金重裕三, 井上剛伸, 藤江正克: “移動支援装置用左右分離ベルト型旋回システムの開発”, バイオメカニズム学会論文集, vol. 19, pp.243-254, 2008.
- (6) 安藤健, 二瓶美里, 小林洋, 大木英一, 中島康貴, 藤江正克: “移動支援機 “Tread-Walk” 使用時の歩行解析”, 福祉工学シンポジウム, pp.37-40, 2008.
- (7) 中島康貴, 安藤健, 小林洋, 藤江正克: “蹴り力に応じたトレッドミル上における加速減速歩行時の運動解析”, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 1N2-1, 2011.
- (8) 中島康貴, 大木英一, 安藤健, 小林洋, 藤江正克: “歩行支援機 Tread-Walk2 の操作性向上のための制御アルゴリズムの構築-摩擦を考慮したトレッドミルの力学的モデルを用いたモータ電流値からの蹴り力推定-”, 日本ロボット学会誌, vol.28, no.7, pp.776-782, 2010.
- (9) Yasutaka Nakashima, Eiichi Ohki, Takeshi Ando, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, “Treadmill Motor Current based Real-time Estimation of Anteroposterior Force during Gait”, Proceedings of the 2010 IEEE/EMBS International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, pp.475-478, 2010.
- (10) Yasutaka Nakashima, Takeshi Ando, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, “Treadmill Motor Current based Real-time Estimation of Anteroposterior Force Using Ground Reaction Force Approximation Depending on Gait Cycle”, Proceedings of the 2011 IEEE/EMBS International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2011.
- (11) 中島康貴, 安藤健, 小林洋, 二瓶美里, 藤江正克: “平地のように加減速歩行が可能なトレッドミルの制御手法の開発”, 第22回バイオメカニズムシンポジウム, 2011.

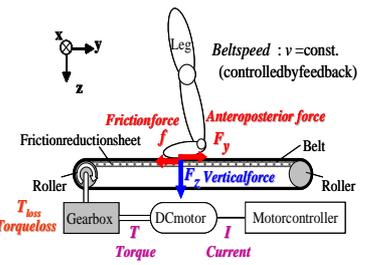
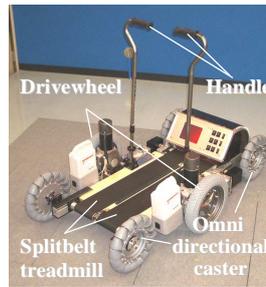


Fig.1 Tread-Walk2 Fig.2 Mechanical model of treadmill

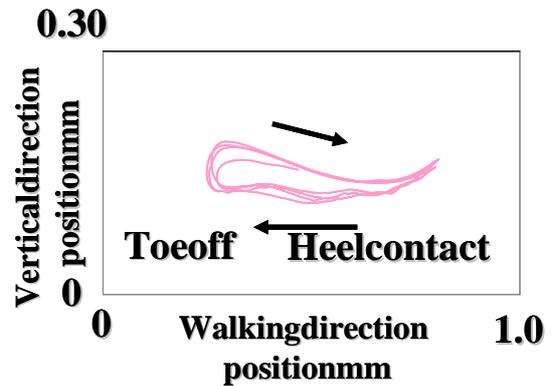


Fig.3 Toe trajectory during the overground walking

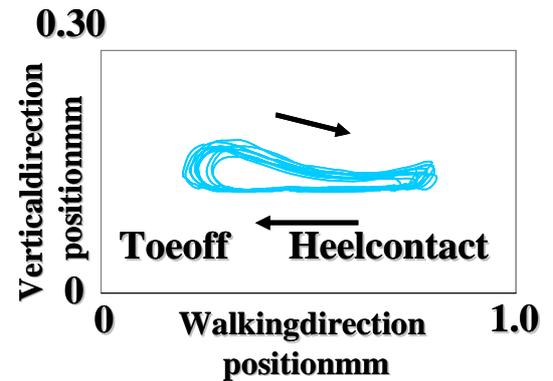


Fig.4(a) Toe trajectory during the walking on the treadmill controlled in proposed algorithm

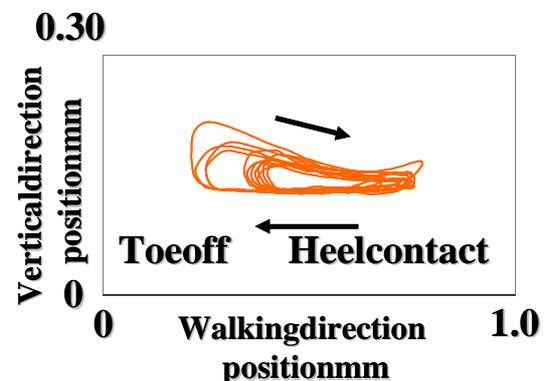


Fig.4(b) Toe trajectory during the walking on the treadmill controlled in previous algorithm