

上肢の運動解析に基づいたトレッドミルの制御の評価

Kinematic Analysis of Upper Limb Based Evaluation of Active Control of a Treadmill

○中島康貴 (早稲田大学) 横尾勇樹 (早稲田大学) 鋸屋宜和 (早稲田大学)

三浦智 (早稲田大学) 安藤健 (早稲田大学・パナソニック株式会社)

小林洋 (早稲田大学) 藤江正克 (早稲田大学)

Yasutaka NAKASHIMA, Waseda University

Yuki YOKOO, Waseda University

Yoshikazu OGAYA, Waseda University

Satoshi MIURA, Waseda University

Takeshi ANDO, Waseda University and Panasonic Corporation

Yo KOBAYASHI, Waseda University

Masakatsu G. FUJIE, Waseda University

**Abstract:** We have been developing a new walking aid vehicle, “Tread-Walk (TW)”, which supports walking for elderly. TW 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. 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 to evaluate the new control algorithm of the treadmill from the point of the reaction force to the handle during walking on the treadmill. Compared with the experimental results using differential controlled parameter, it was found that there is no significant difference among all subjects who are differential characteristics of gait.

**Key Words:** Walk, Treadmill, Upper Limb, Tread-Walk

1. 緒言

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が注目されている<sup>(1)</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Tread-Walk (TW)を開発している (Fig. 1)<sup>(2)</sup>。TWでは、平地上のように自然な歩行を用いた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、搭乗者の蹴った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。このトレッドミルの評価として、これまで、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<sup>(3)</sup>。しかし、搭乗者によっては、その歩行中に違和感があることも挙げられている。これは、搭乗者ごとの異なる歩容に対して、制御パラメータの設定が十分ではなく、そのパラメータの違いが操作性に影響を与えていると考えられる。そこで、本論文では、この制御におけるパラメータを変更した際のトレッドミル上での歩きにくさを歩容の異なる被験者ごとに運動学的な観点から定量的に評価することを目的とする。本論文では特に、操作入力に用いている下肢の運動ではない上肢の運動として、ハンドルにかかる力に基づいて評価を行い、被験者ごとにどのような結果が得られるか比較検証を行う (Fig. 2)。

速度の変化量  $\Delta v$  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 (式 1) (Fig. 3)<sup>(5)</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、搭乗者の操作性に及ぼす影響を検証するパラメータとして  $\alpha$  を設定し、この  $\alpha$  を変化させた際のハンドルにかかる力の計測を行う (式 2)。

$$\Delta v = \frac{1}{M} \int F_y \cdot dt \tag{式 1}$$

$$\Delta v = \frac{1}{\alpha \times M} \int F_y \cdot dt \tag{式 2}$$



Fig. 1 Tread-Walk

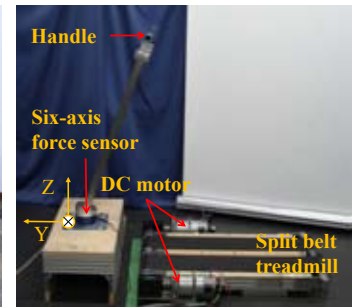


Fig. 2 experimental set-up

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トレッドミル上での摩擦力のモデル化を行っている。トレッドミル駆動用の DC モータの電流値  $I$  から、この摩擦の影響を除くことで、正確な蹴り力  $F_y$  の推定が可能である<sup>(4)</sup>。さらに、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の積分値  $F_y$  と搭乗者の体重  $M$  から歩行

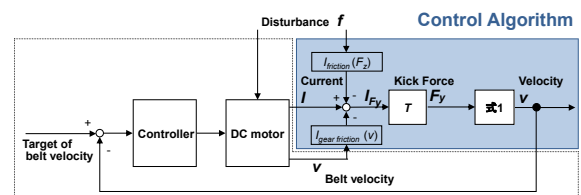


Fig. 3 Block diagram of control algorithm

### 3. ハンドルにかかる力に基づく評価実験

#### 3-1 実験目的

本実験では、蹴り力に応じたトレッドミル制御の評価として、制御パラメータ  $\alpha$  の値の違いが歩容の異なる搭乗者の操作性に与える影響を運動学的な指標に基づいて定量化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において、それぞれ制御パラメータ  $\alpha$  の値を変化させて、一定速度で歩行を行った際の上肢の運動の影響として、ハンドルにかかる力を計測し、比較を行った。本実験では、TW から駆動輪を除き、上肢の運動を計測するハンドル部と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。トレッドミル歩行時のハンドルにかかる矢上面方向の力  $F_y$  を計測するために、6軸の力覚センサ（ニッタ社製、IFS-100M40A 100-I63）を下部に取り付けたハンドルを用いた（Fig. 2）。

実験条件は、制御パラメータ  $\alpha$  の値を 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2 の 5 条件で変化をさせた。また、TW の対象である高齢者の平均歩行速度である 2.0[km/h]と規定するために、メトロノームを用いて歩調を 80 [steps/min]に固定し、また歩幅をベルト長の制約から 77 [cm]と設定した。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 回の計測を行い、1 回の計測では 20[s]間の歩行とした。本実験の被験者は男性の若年健常者 9 名とした。年齢および体重は以下の通りであり、歩容がいずれも異なる被験者である (23.1 ± 0.78 (SD) years; range 22–24 years, 67.5 ± 7.86 (SD) kg; range 51.9–78.4 kg)。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

被験者 1 名の実験結果を Fig. 4 に示す。縦軸が 6 軸の力覚センサで計測した矢上面方向の力  $F_y$  の 3 試行回数の平均の値、横軸が変更したトレッドミルの制御パラメータ  $\alpha$  の値である。この実験結果から、被験者は制御パラメータ  $\alpha$  の値によらず、ハンドルにかかる力  $F_y$  はほぼ一定であることがわかった。この結果について一元配置分散分析法を用いて検定したところ、制御パラメータ  $\alpha$  の値の違いに対し、ハンドルにかかる力  $F_y$  に有意な差が見られなかった ( $p > 0.05$ )。また、被験者 9 名の実験結果をまとめたものを Fig. 5 に示す。縦軸と横軸は Fig. 4 と同様である。この結果から、今回実験を行った被験者 9 名全員で制御パラメータ  $\alpha$  の値の違いに対し、ハンドルにかかる力  $F_y$  に有意な差が見られなかった ( $p > 0.05$ )。そのため、今回、評価指標に用いたハンドルにかかる力という運動学的な観点から搭乗者の違和感を定量化することは困難であることがわかり、今後は表面筋電位や脳波、血中ヘモグロビン濃度などの生理学的な指標に基づいて評価を行う。

### 4. 結言

高齢者を対象とした移動支援機 Tread-Walk 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を行った。本論文では特に、操作入力に用いている下肢の運動ではない上肢の運動として、ハンドルにかかる力に基づいて、異なるトレッドミルの制御パラメータごと評価を行い、歩容の異なる被験者にどのような結果が得られるか比較検証を行った。その結果、若

年健常者 9 名の被験者にいずれにおいても、制御パラメータの値によらず、ハンドルにかかる進行方向の力に有意な差が見られなかった。そのため、今回、評価指標に用いたハンドルにかかる力という運動学的な観点から搭乗者の違和感を定量化することは困難であることがわかった。そこで、今後は、筋電や脳活動計測などを用いた生理学的な観点からも評価を行う予定である。

### 謝辞

本研究の一部は、文部科学省グローバル COE プログラム「グローバルロボットアカデミア」、文部科学省科研費基盤研究 A(23240088)、財団法人 JKA 平成 23 年度小型自動車等機械工業振興事業の支援を受けて行なわれた。

### 参考文献

- (1) “Winglet<sup>®</sup>”, [http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/p\\_mobility/winglet/](http://www2.toyota.co.jp/jp/tech/p_mobility/winglet/), Available 15 October, 2010.
- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) 中島康貴, 大木英一, 安藤健, 小林洋, 藤江正克, 歩行支援機 Tread-Walk 2 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.
- (5) 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, バイオメカニズム学会論文集, vol. 21, pp.157-166, 2012.

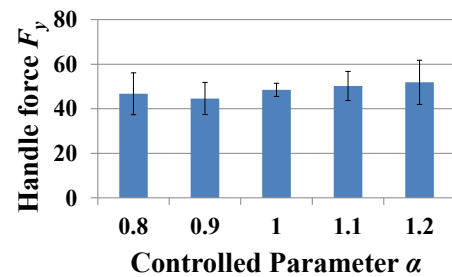


Fig. 4 Handle force and Controlled parameter (Subject A)

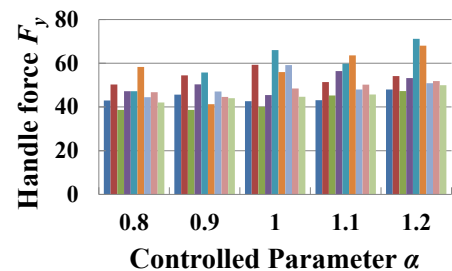


Fig. 5 Handle force and Controlled parameter (All subjects)