

K_003

ボールアレイトレッドミル (BAT) における 歩行方向を考慮した歩行者位置制御

Walker position control considering walking directions on Ball Array Treadmill (BAT)

稻葉 潤† 岩崎 周平†
Jun Inaba Shuhei Iwasaki

小笠原 陽輔†
Yosuke Ogasawara

永森 彰†
Akira Nagamori

伊藤 稔†
Minoru Ito

1. はじめに

2次元の任意方向の移動を打ち消すロコモーションインターフェースとして、従来 Omni-Directional Treadmill、Torus Treadmill が提案されている。Omni-Directional Treadmill はベルトにコロを編み込んだ事による耐久性の問題があり、Torus Treadmill は装置の大きさの問題がある。上記問題を解決するため、ベルトコンベア、ターンテーブル及びボールアレイを組み合わせて搬送物をボールアレイの中心へ戻すことができるボールアレイトレッドミル (BAT) を既に提案している。[1] また、歩行者等の移動物体の位置を磁気センサで計測し、PC を用いて中心からのずれに応じてベルトコンベアと回転板を制御するシステムを構築し、ベルトコンベアと回転板の駆動制御パラメータの設定誤差や駆動誤差が与える影響について明らかにした。[2] 本稿では、歩行者の歩行方向を考慮した歩行者位置制御方法を提案し、シミュレーション実験により歩行者の軌跡、回転板の回転量等の動作特性を求め、この手法の有効性を明らかにする。

2. 概要

BAT は、歩行者の位置を磁気センサを用いて計測し、その位置に応じてベルトコンベアとターンテーブルを駆動させ、歩行者を歩行板の中心へ引き戻す。ベルトにより搬送される速度を v_b 、回転板により搬送される角速度を ω 、歩行者の速度を v_h 、歩行者の位置方位角を θ_h 、ベルトの移動方位角を θ_b とする。また角度については X 軸となす角を基準とし、左回転方向を正方向とする。また、歩行板の中心から歩行者までの距離を r 、 θ_b と θ_h のなす角を θ_d ($\theta_d = \theta_b - \theta_h$) とすると、 ω と v_b の関係は次式で与えられる。

$$\omega = \tan^{-1} \left[\frac{v_b \sin \theta_d}{r - v_b \cos \theta_d} \right] \quad (1)$$

この式 (1) を用いて ω を制御し、最終的には回転板が $-\theta_d$ 回転することにより静止している歩行者を中心に引き戻していた。しかし、この制御方法を実際に歩行している状態の歩行者に対して用いると、歩行板の中心に引き戻すことはできるが、中心に引き戻すまでの制御時間が長く、制御距離も大きくなってしまう問題があった。その原因是回転板が $-\theta_d$ 回転することにより歩行者の歩行方向も θ_d 回転てしまい、歩行者の歩行方向 (以下、歩行方向) と

ベルトの駆動方向 (以下、ベルト方向) が交差してしまうためである。そこで本稿では歩行方向を考慮にいれた新たな制御方法を提案し、その有効性を検討した。

3. 歩行方向を考慮にいれた制御

説明の都合上、歩行者の位置を第 1 象限、歩行方向は中心から離れる方向とする。すなわち、 $0 < \theta_b < \theta_b$ 、歩行方向を ψ ($0 < \psi < \theta_b$) として考えることにする。また、ベルトの初期移動角度は Y 軸方向とする。

先ず、歩行方向とベルト方向を一致させることを考える。そのための ψ 、 θ_b 、および回転板の回転量 ϕ の関係式は次式で与えられる。

$$\phi = -(\theta_b - \psi / 2) \quad (2)$$

しかし、 ϕ だけ回転させると歩行方向とベルト方向は一致するが、歩行者を BAT の中心に搬送することができない。これを解決するためには歩行方向とベルト方向の各ベクトルの合成ベクトルが歩行板の中心へ向ければよい。そのためには式 (2) の回転量に加えさらに微少量の角度だけ回転させる必要がある。その角度を α とすれば、 α は次式で表すことができる。

$$\alpha = -\tan^{-1} \left\{ \frac{\left(v_h + v_b \right) \left(\tan \theta_b \cos \frac{\theta_b + \psi}{2} - \sin \frac{\theta_b + \psi}{2} \right)}{\left(v_h - v_b \right) \left(\tan \theta_b \sin \frac{\theta_b + \psi}{2} + \cos \frac{\theta_b + \psi}{2} \right)} \right\} \quad (3)$$

この式 (3) を用いて回転板の回転量を制御する方法を本稿では歩行追従制御と表すこととする。上記では、歩行者の角度を ($0 < \theta_b < \theta_b$)、ベルトの初期位置角度を Y 軸方向、歩行者の歩行方向を ($0 < \psi < \theta_b$)、歩行者の角度と回転板との角度差を ($0 < \theta_d < \pi/2$) とした状態で説明してきたが、式 (3) は上記条件だけでなく、どのような状態でも成立つ。

また、回転板の角速度設定は従来の制御では式 (1) を使用していたが、この式 (1) は角度差 θ_d に依存して変化するので、歩行追従制御には適さない。そこで本稿では回転板の角速度 ω を回転量と同様に

$$\omega = \beta \left\{ -\frac{(\theta_b - \psi)}{2} + \alpha \right\} \quad (4)$$

とした。但し、 β は角速度係数である。

†工学院大学

次章では、このような歩行制御方式の有効性を従来の制御と比較することにより、明らかにする。

4. シミュレーション実験と結果

歩行者をボールアレイの中心方向に搬送するシミュレーション実験を行った。人の歩行速度を一步で 30[cm]と仮定し、2 歩で 1 秒、すなわち歩行者の速度を 60[cm/s]とした。ボールアレイの設定としてベルトの最大速度を 62[cm/s]、ベルトの加速度を 62[cm/s²]、回転板の最大角速度を 15[degree/s]、回転板の角加速度を 10[degree/s²]とする。また、ボールアレイの中心から半径 10[cm]を不感帯として足位置がこの位置にある時はベルトの駆動を停止させる。歩行者の初期位置を原点、歩行者の初期方向を Y 軸正方向とし、約 5 秒後に歩行方向を変化させた。角度変化は、-10 度、-20 度、-30 度とし、中心に引き戻すまでの軌跡や回転板角度変化を記録した。

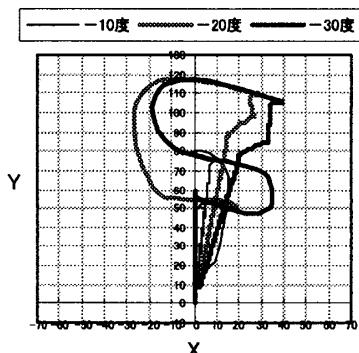


図 1. 従来の制御時の歩行者軌跡

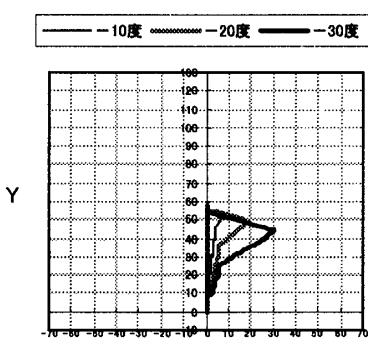


図 2. 歩行追従制御時の歩行者軌跡

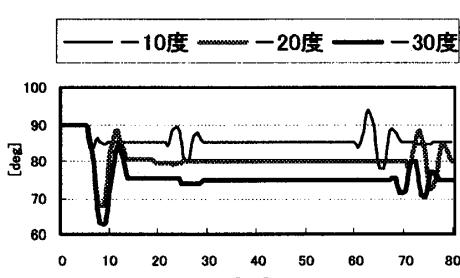


図 3. 従来の制御時の回転板の角度変化

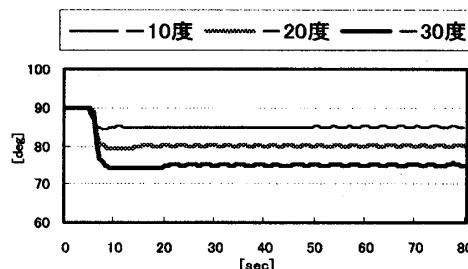


図 4. 歩行追従制御時の回転板の角度変化

図 1 に従来の制御時の歩行者軌跡、図 2 に歩行追従制御時の歩行者軌跡を示す。座標は縦が Y 軸、横が X 軸となっており、シミュレーション上の実空間となっている。図 3 に従来の制御時の回転板の角度変化、図 4 に歩行追従性制御時の回転板の角度変化を示す。両制御法を比較すると、従来の制御では歩行者が左右に大きく移動しているのがわかる。歩行範囲も最大で 120[cm]まで大きくなってしまい中心に引き戻すまでに 1 分以上の時間を要する。回転板の角度変化も正負に大きく何度も変化しているので歩行者のふらつきの原因になるとも考えられる。

提案する歩行追従制御では、ベルト方向の極性変化が殆ど見られず、そのため歩行者が大きく左右に振られる現象は改善されていることが明らかである。歩行範囲についても 60[cm]以下となっており大幅に減少している。中心に引き戻すまでの時間も 30 秒以内と大幅に短縮している。また、回転板の角度変化がやや大きく変化しているのは一度だけであり、その大きさは必ずしも大きくないので歩行者への影響は少ないと考えられる。

5. おわりに

以上により、提案した歩行追従制御は従来の制御の欠点である軌跡の蛇行を大幅に改善できることが明らかになった。これにより、制御時間特性、歩行者へのふらつきへの影響も改善された。今後は歩行者が歩行方向や歩行速度を随時変更する場合の最適な回転量更新条件と提案した方式の実機での確認を検討していきたい。

参考文献

[1]堀田,伊藤:「ロコモーションインターフェースのためのボールアレイトレッドミル」信学総合大会, pp.371, 2001.

[2]若林,伊藤:「ボールアレイトレッドミルにおける搬送経路のシミュレーションによる検討」信学総合大会(基礎,境界), pp285, 2004