

K_004

ボールアレイトレッドミル上の歩行者に働く力の検討

The force added to the walker on the ball array treadmill

小笠原 陽輔†
Yosuke Ogasawara岩崎 周平†
Shuhei Iwasaki稲葉 潤†
Jun Inaba永森 彰†
Akira Nagamori伊藤 稔†
Minoru Ito

1. はじめに

VR空間において実際の歩行によるウォークスルーを実現するためのロコモーションインタフェースの開発が望まれている。我々はベルトコンベアと回転板及びボールアレイを組み合わせて実際の歩行移動を打ち消すことができるボールアレイトレッドミル(BAT)を既に提案した[1]。また、駆動条件や搬送経路についての計算機シミュレーション結果[2]と実機による実験結果を比較した[3]。この装置による移動打消の際に、ベルトと回転板の駆動により歩行者に力が加わり、歩行者がバランスを崩してしまうことが懸念される。そこで本稿では、歩行者の容認できる力の大きさを実験で調査するとともに、歩行板から歩行者が受ける力の変化をシミュレーションにより算出し、歩行者がバランスを崩さないためのベルト、回転板の制御条件を明らかにする。

2. 歩行者が耐えうる力の大きさ

歩行板上を歩行する際に歩行者が耐えられる力の大きさを計測するために、被験者の腰のベルトにバネ計りをつけ、片足が遊脚している左足遊脚・右足遊脚と両足が床に接している左足前・右足前の4つの歩行状態について、前後左右とさらにその中間の8方向から引っ張り、被験者が自然な状態からバランスを崩し始めた力(以降、許容外力と呼ぶこととする。)を記録した。測定値の平均値は、横、後、前方向の順に、被験者の体重に比例して許容外力は小さくなる。この得られた許容外力の最小値(最小許容外力)を図1、2に示す。サンプル数は大学生延べ100人である。この結果、60[kg]の歩行者の歩行に影響を及ぼさない力の大きさは約2[kg重]=19.6[N]であることがわかった。

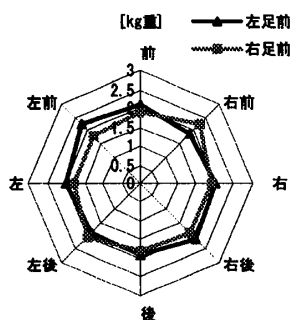


図1 両足時最小値

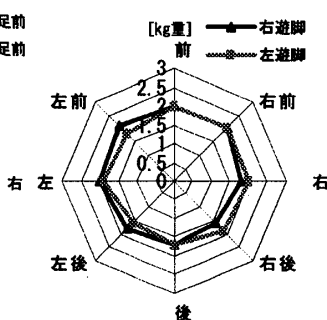


図2 片足時最小値

3. 歩行板が歩行者に与える力

ベルトと回転板の速度・加速度からBATが歩行者に与える力の大きさを計算する。その力の要因としてベルト・回転板の二つがあるため、この二つの要因の速度変化または角速度変化により発生する力と歩行者が受ける遠心力の計三つの力を算出する。歩行者の重さを m 、ベルトに搬送される加速度を a_b 、ベルトの角度を θ_b とする。角度 θ は x 軸となす角を表し、左回転を正方向とする。ベルトの駆動時に歩行者が受ける力 F_1 は、

$$F_1 = -ma_b(i \cos \theta_b + j \sin \theta_b) \quad (1)$$

で与えられる。また、回転板の駆動時に歩行者が受ける力 F_2 は、回転板によって搬送される角加速度を $\dot{\omega}$ 、歩行者の位置を (x, y) とすれば、次式により与えられる。

$$F_2 = m\dot{\omega}(-yi + xj) \quad (2)$$

さらにまた、回転板によって搬送される角速度を ω とすれば、歩行者にかかる遠心力を F_3 は、

$$F_3 = m\omega^2(xi + yj) \quad (3)$$

により与えられる。ここで、 F_1 と F_2 はベルトと回転板によって発生する力なので、歩行者の足に加わる慣性モーメントであり、歩行者の重心に加わる力は逆方向になる。歩行者の重心に働く力 F はこれらを合成したものとなるから次式で表すことができる。

$$F = (-F_1) + (-F_2) + (F_3) \\ = m[(a_b \cos \theta_b + \dot{\omega}y + \omega^2 x)i + (a_b \sin \theta_b - \dot{\omega}x + \omega^2 y)j] \quad (4)$$

上記の力 F_1 、 F_2 、 F_3 が歩行者の最小許容外力2[kg重]以下となる a_b 、 $\dot{\omega}$ 、 ω の理論値を算出する。歩行者の重さ m は60[kg]とし、歩行者の位置は実機の最大歩行範囲0.35[m]とする。算出の結果、 a_b は0.33[m/s²]、 $\dot{\omega}$ は54[deg/s²]、 ω は55[deg/s]となった。 F_1 、 F_2 、 F_3 は同時に発生するので a_b 、 $\dot{\omega}$ 、 ω の算出した値より小さい最適な値を求める必要がある。そこで、シミュレーション実験を行いそれぞれの速度、加速度、位置と歩行者に加わる力の関係を比較する。シミュレーション実験では歩行者は初めに x 軸となす角 90° 方向に歩行し、0~5秒後に $-15^\circ \sim -45^\circ$ 方向転換するものとする。回転板の初期方向は歩行者の初期歩行方向と同じく、 x 軸となす角 90° 方向である。また、ベルト最大速度0.3[m/s]、ベルト最大加速度0.2~

† 工学院大学

0.3[m/s²]、回転板最大角速度 15[deg/s]、回転板最大角加速度 3~15[deg/s²]、歩行者最大速度 0.28[m/s²]、歩行者重量 60[kg]、 $\dot{\omega}$ を3、5、10[deg/s²]とした。0.5秒間隔の歩行者の軌跡を図3に示す。図3から、 $\dot{\omega}$ を大きくすると歩行者が短い距離で中心に引き戻されているのがわかる。これらの結果からベルト加速度 a_b を 0.3[m/s²]、回転板角加速度 $\dot{\omega}$ を 10~15[deg/s²]とし再度シミュレーションを行った。歩行者の方向転換角度は歩行開始2秒後に-45°とした。回転板角加速度 $\dot{\omega}$ を 13[deg/s²]とした時の F_1 、 F_2 、 F_3 、 F の結果を図4、5、6、7に示す。歩行者が歩行方向転換を開始するとベルト、回転板が駆動し始め、 F_1 、 F_2 、 F_3 が増加し、2、3秒後にはほぼ0に戻るが、 F_2 、 F_3 の最大は0.5[kg重]と小さい。合力 F はほぼ F_1 と同様の变化を示し、その合力は最大2[kg重]であり、歩行者が耐えうる最小許容外力以内となっている。

歩行者の軌跡と歩行者に加わる力、方向の変化を図8に示す。はじめに回転板の初期方向に外力が加わり、歩行者はその左斜め前方に振られるが、その後、回転板の回転によって最終的に歩行者の歩行方向と外力の方向が一致し、かつ外力が小さくなり歩行者は安定する。

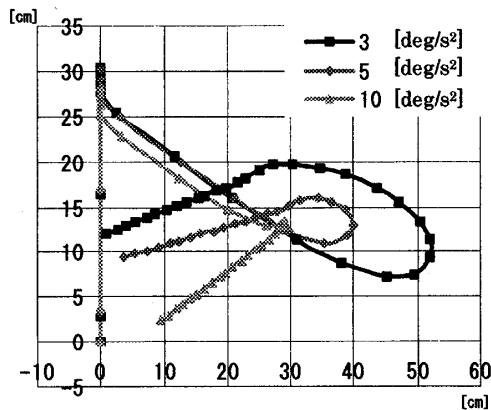


図3 歩行者の軌跡

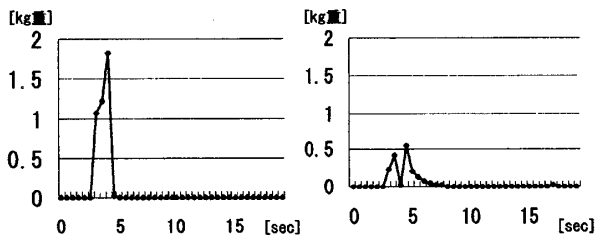
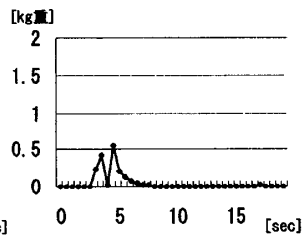
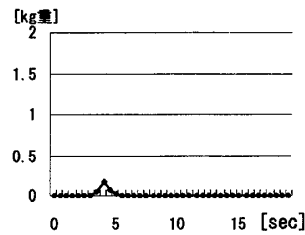
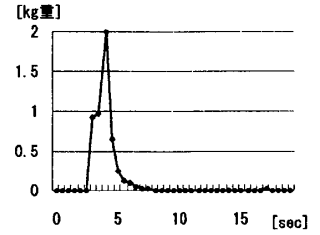
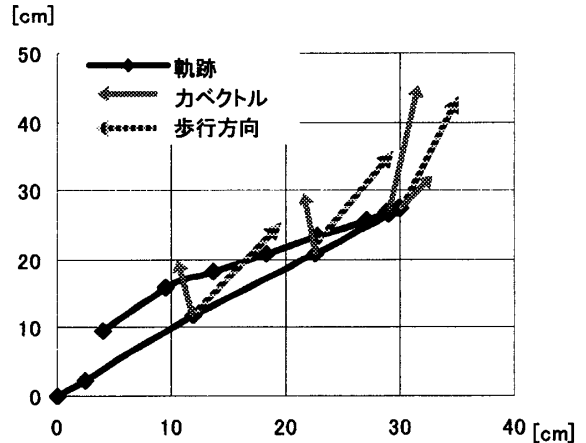
図4 F_1 の結果図5 F_2 の結果図6 F_3 の結果図7 合成した力 F 

図8 歩行者の軌跡とカベクトル

4. 結論

シミュレーションの結果から、歩行者に加わる力が最大となるのはベルトの初期駆動時であり、その時に歩行者に加わる力を2[kg重]以下にするためにはベルトの加速度を0.3[m/s²]以下にする必要がある。さらに制御範囲内で歩行者を中心に引き戻すためにはベルト加速度を0.3[m/s²]、回転板加速度を13[deg/s²]にする必要がある。これらの条件内であれば、歩行者に与える外力は最小許容外力2[kg重]を上回ることなく、安全に歩行者を歩行板中心に引き戻すことができることが明らかになった。

今回のシミュレーションではベルト、歩行者の速度、加速度を固定したが、今後はこれらが随時変化する場合の外力の変化と制御条件を検討したい。

参考文献

- [1]堀田,伊藤:「ロコモーションインタ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]金子,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), pp.285, 2004
- [3]永森,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実機による検討」信学総合大会, A-15-15, 2005.