

足踏みによる歩行感覚体感デバイスの開発(第 5 報)

—3 軸加速度を利用した歩行・足踏みの評価指標の検討—

針山 拓人* 大倉 典子**

芝浦工業大学大学院* 芝浦工業大学**

1 はじめに

VR 空間内を移動するためのインタフェースとして、歩行感覚提示装置がある。これは、実際の歩行や足踏みなどを利用することで、従来のキーボードやジョイパッドによる移動とは異なり、現実の歩行と同様に疲労感を伴うので、VR 空間への没入感が増すという特徴がある。しかし、自然な歩行に近い歩行感覚が得られる高度な装置は、ユーザの歩行による移動を相殺する機構を持つため、複雑で大型になってしまう[1]。

そこで足踏みを利用した装置に着目した。足踏みを利用した装置では、歩行感覚は得られないという欠点はあるが、各種センサを取り付けるだけなので、装置は単純で小型になる。この特徴を生かし、足踏みを利用することの欠点を補うため、歩行感覚が足踏みをした時にも得られるようなデバイスの開発を研究目的とする。

第 1 報・第 2 報[2]では、歩行時の足裏に加わる力の位置変化、第 3 報・第 4 報[3][4]では、歩行時の足圧変化にそれぞれ着目し、足踏み時にこれらの歩行時の特徴を再現できるデバイスを製作し、歩行感覚が体感できるか評価した。

本報では、新たに歩行時の加速度変化に着目し、測定した歩行時と足踏み時の加速度から、歩行動作の特徴を調べた。また、歩行時の加速度変化の特徴を示す指標を新たに導出し、有用性の検討を行った。これらの結果を報告する。

2 歩行時の加速度変化に関する先行研究

加速度を測定し、歩行を分析した研究は多くあり、測定した加速度データから歩行動作を評価するための指標も多数報告されている[5][6]。しかし、歩行と足踏みの動作の違いを、加速度を用いて分析した研究はあまり無いとわかった。

3 加速度を用いた歩行動作の評価と加速度変化評価指標の導出

先行研究から得られた知見を元に、歩行と足踏みの動作の違いを、加速度を用いて分析することにした。まず、歩行時と足踏み時の加速度

を測定し、歩行動作の特徴を調べた。次に歩行時の加速度変化の特徴を示す指標を新たに導出し、有用性を検討した。以下に結果を述べる。

3.1 歩行・足踏み時の加速度の測定

被験者は 20 代男子学生 7 名とし、直線の廊下で歩行と足踏みをそれぞれ約 40 秒間行った。その際に、普段履いている靴を使用し、早すぎず遅すぎず普通だと思える速さで行うように指示を与えた。

加速度の測定には、図 1 に示す ATR-Promotions 社製の小型無線加速度センサ WA-001 を使用した。第 3 腰椎棘突起部に取り付けることで、地面に対し垂直方向の体幹加速度を測定した。また測定のスプリング周波数は 200Hz とした。

3.2 加速度を用いた歩行・足踏み動作の評価

測定した加速度データから歩行動作の特徴を調べた。周期性を示す加速度波形を分析するため、動作を開始して右足が 10 回目に接地した後から、5.12 秒の連続した加速度データを選択した。その後、先行研究を参考に以下の指標を算出した[5][6]。

- ① RMS 値(RMS) : 動作の動揺性の指標
二乗平均平方根。大きくなるほど、体幹動揺性が大きい。
- ② 平均情報量(H) : 動作の円滑性の指標
パワースペクトル解析結果を確率曲線に見立て、エントロピーを算出。大きくなるほど動作の円滑性が低下する。
- ③ 自己相関係数(AC) : 左右の対称性の指標
0.5 周期ずらした波形と自己相関係数を求めたもの。大きくなるほど左右対称性が高い。

それぞれの指標に対して解析を行った。平均値の差の検定(片側)より、指標 H は足踏み時が大きかった(1%有意)。また指標 AC は、歩行時が大きかった(1%有意)。一方、指標 RMS には統計的に有意な差はなかった。このことから、足踏みに比べて歩行は、動作の滑らかさと左右対称

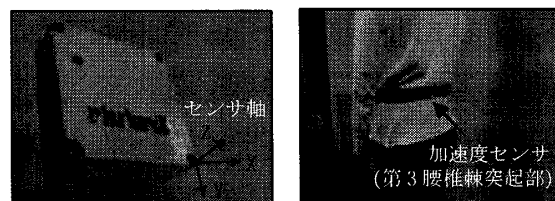


図1 加速度センサ取り付け位置とセンサの軸

Development of a device with locomotive sensation using step motion (The Fifth Report) - Calculating evaluation index of walking and step motion by using acceleration measurement - Hiroto Hariyama* Michiko Ohkura**

*Graduate School of Engineering, Shibaura Institute of Technology **Shibaura Institute of Technology

性が高いことが示された。

今後はこの特徴を利用し、足踏み動作の滑らかさと左右対称性を向上させることで、歩行感覚にどのような影響があるのか調べていく。

3.3 歩行の加速度変化の特徴を示す指標の導出

測定した加速度データから、歩行時の加速度変化の特徴を示す指標の導出を行った。周期性を示す加速度波形を分析するため、動作を開始して右足が 10 回目に接地した後から、連続した 10 歩行(足踏み)周期を選択した。歩行時と足踏み時の加速度波形を比較した結果、動作ごとに違いがあると考えられた以下に示す値を 1 周期ごとに求めた。各値の算出場所を図 2 に示す。

- (a) 右 IC 前後で下向きの加速度が最大となるまでの変化量
- (b) 右 IC から左 TO までの最大値と最小値の差
- (c) (a) の変化にかかった時間
- (d) (b) における最大値
- (e) (b) における最小値
- (f) 1 動作周期(1MotionCycle)を 100%として%MC を設定したときの、25~40%MC における RMS 値。この部分の加速度変化は歩行時・足踏み時ともに最も安定している
- (g) 25~40%MC における標準偏差

各値に対して、被験者ごとに平均値の差の検定(片側)を行った結果を表 1 に示す。(b)以外の値については半数以上の被験者で統計的に有意な差があり、歩行時の特徴を示す指標として導出できた。特に、(a)(c)(d)は足接地、(e)は爪先離地という特徴的な動作に関係する値であり、動作との対応付けがしやすい。さらに、(a)(c)は加速度や時間の変化量を示した指標であるのに対し、(d)(e)は単純に加速度波形のピーク値を求めた指標であるため、足踏みによっても比較的簡単な方法で歩行時の特徴を再現できると考えられる。よって歩行時の加速度波形の特徴を足踏み時に再現し、歩行感覚の生成への影響を調べる上で、まず(d)か(e)、次に(a)や(c)の指標に順に着目するのが良いと考えられる。

4 まとめ

足踏みによって、歩行感覚が体感できるデバイスの製作を目的に、研究している。本報では、新たに歩行時の加速度変化に着目し、測定した歩行時と足踏み時の加速度から、歩行動作の特徴を調べた。また歩行時の加速度変化の特徴を示す指標を新たに導出し、有用性を検討した。

結果として、歩行は足踏み比べ、動作の滑らかさと左右対称性が高いことがわかった。また、新たに導出した加速度変化の特徴を示す指標のうち、まず足接地や爪先離地におけるピーク値を示す評価指標に着目して研究を進めると

良いとわかった。

今後は、得られた知見を元に、歩行時の特徴を足踏み時に再現し、歩行感覚に与える影響を評価していく。

参考文献

- [1] 野間春生：ロコモーションとバーチャルリアリティ, 計測と制御, Vol. 143, No.2, pp.133-138, 2004
- [2] 針山拓人他：足踏みによる歩行感覚体感デバイスの開発(第 2 報) —ローリング再現度の改善—, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2008
- [3] 針山拓人他：足踏みによる歩行感覚体感デバイスの開発(第 3 報) —足圧の測定—, 第 51 回自動制御連合講演会論文集, 2008
- [4] 針山拓人他：足踏みによる歩行感覚体感デバイスの開発(第 4 報) —足圧変化再現の評価—, 第 11 回日本感性工学会大会予稿集, 3G2-3, 2009
- [5] 山田実他：体幹加速度由来歩容指標による歩容異常の評価, 理学療法学, Vol.33, No1, pp.14-21, 2006
- [6] 加速度計を用いた高齢者歩行の安定性評価(動作の円滑性の視点から), バイオメカニズム学会誌, Vol.30, No.3, pp.138-142, 2006

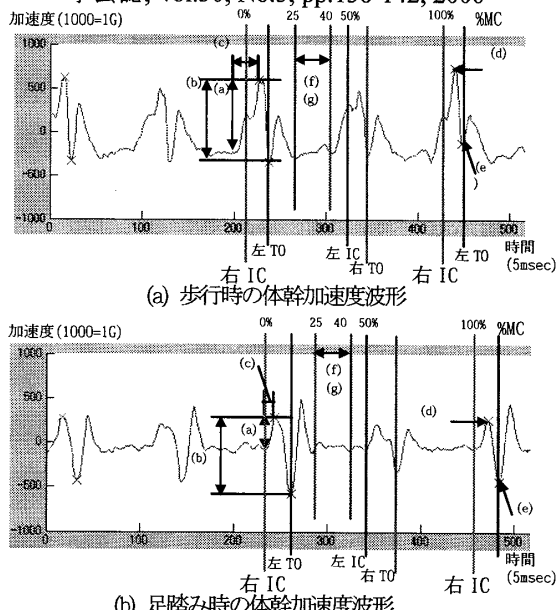


図 2 体幹加速度波形と周期の対応

IC(Initial Contact) : 着床初期、TO(Toe Off) : 爪先離地

表 1 1 周期の加速度波形から求めた各値の差の検定結果

	被験者①	被験者②	被験者③	被験者④	被験者⑤	被験者⑥	被験者⑦
(a)	*	**	**	**	**	**	**
(b)	**	**	**	**	**	**	**
(c)	**	**	**	**	**	**	**
(d)	**	**	**	**	**	**	**
(e)	**	**	**	**	**	**	**
(f)	**	**	**	**	**	**	**
(g)	**	**	**	**	**	**	**

**p<0.01,*p<0.05