

# 抑制形状を有する 2 足受動歩行機での環境変化における歩行分析

○井上 和総（福岡工大）， 富永 彩人（福岡工大）， 兵頭 和幸（福岡工大）

## Gait Analysis in Environmental Changes on Biped Passive Dynamic Walker with Constraining Shape

○Kazusa INOUE (FIT), Ayato TOMINAGA (FIT), and Kazuyuki HYODO (FIT)

Abstract: In recent years, research on passive dynamic walking, which is a gait only in a gravitational field, has attracted attention. In active bipedal robots such as humanoid robots, attention has been paid to the elements of passive dynamic walking. We analyzed the walking changes when the slope angle for environment was changed in a walkable biped passive dynamic walking in a real environment. In this paper, gait analysis was performed based on the collected data. We used ZMP, a method of motion analysis, for gait analysis.

### 1. 緒言

近年，重力場のみでの歩容である受動歩行に関する研究に注目が高まっている．また，ヒューマノイドロボットなど能動型 2 足歩行ロボットにおいても，受動歩行の要素への注目が高まっている．

浅野らはエネルギー効率に注目した解析[1]を行い，佐野らは人間の歩容に近いことに注目し人間との歩行比較[2]を行っている．しかし，受動歩行は環境によって歩行できる距離や速度が大きく変わってしまう．

本研究では，実環境での歩行可能な 2 脚受動歩行において，環境を変化させた場合の歩行変化について分析を行った．本稿では，収集できたデータを元に歩行分析を行った．計測結果から得られた受動歩行について報告する．

### 2. 環境変化における歩行変化

受動歩行に対する歩行分析として，実環境で安定性の高い受動歩行機が必要となる．実際の運動として，2 脚での 3 次元運動を行う歩行機での計測により歩行の状態を詳しく計測できると思われる．

歩行変化として，受動歩行は傾斜角によって歩行変化する．歩行変化を 3 状態に分類し，1)歩行を停止する場合，2)安定した歩行を継続する場合，3)転倒する場合の歩行による状態について計測及び分析を行う．

### 3. 歩行変化の分析

歩行変化の分析として，歩行分析の手法の一つである ZMP を用いて分析を行う．ZMP は受動歩行機に搭載したジャイロセンサによって計測した値から算出した．

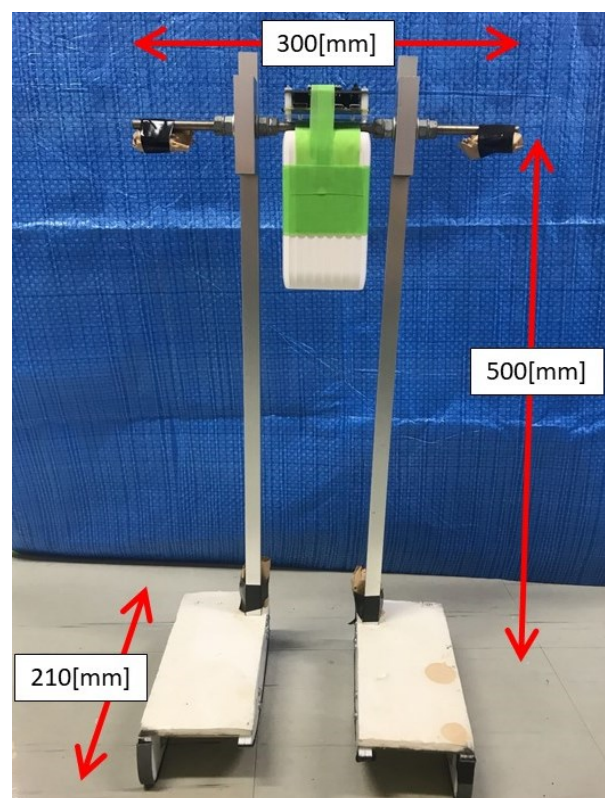


Fig.1 Biped Passive Dynamic Walker

#### 3.1 ZMP

ZMP とはゼロモーメントポイントの略称で，重心からの重力と進行方向に対する加速度との合力が接地している足の床反力のベクトルと交わる点である．

ZMP による歩行運動分析を行う式(1)．

$$\text{ZMP} = \frac{Ma_x - I_x \omega_x}{Ma_z} \times h \quad (1)$$

式(1)での、 $M$ は質量、 $a_x$ は加速度の $x$ 軸、 $a_z$ は加速度の $z$ 軸、 $I$ は慣性力、 $\omega$ は角速度を示す。

センサを重心位置にあると想定しているため、回転モーメントは無視でき、 $x$ 平面のZMPとして式(2)、 $y$ 平面のZMPとして式(3)から加速度から変換した。

$$X_{zmp} = \frac{-a_y}{a_z} \times h \quad (2)$$

$$Y_{zmp} = \frac{a_y}{a_x} \times h \quad (3)$$

式(2)、式(3)において $a_x$ は加速度の $x$ 軸、 $a_y$ は加速度の $y$ 軸、 $a_z$ は加速度の $z$ 軸であり、 $h$ は重心から地面までの高さであり、センサの取り付けられている辺りを重心の高さとし500[mm]で設定し、変換を行った。

## 4. 環境変化における歩行計測

環境変化における歩行計測として、計測環境や使用機器について述べる。

### 4.1 計測環境

計測環境として700[mm]の傾斜を用いた。傾斜での環境変化として傾斜角度を変更し実験を行った。傾斜角度に関して歩行中は変更せず、一定の角度を保つよう設定した。

### 4.1 計測に使用した2足受動歩行機

実環境での歩行可能な2足受動歩行機として、抑制形状を有する受動歩行機を用いた。抑制形状によって斜面の歩行で高い安定性を得られ、歩行安定性の高さからセンサ及びバッテリーを搭載しても、重さによる影響を吸収できる。

実機は全長500[mm]、全幅300[mm]、足幅210[mm]となっている(図1)。重心に当たる位置となる股の部分にモバイルバッテリーとジャイロセンサ計測装置を取り付けた。

抑制形状とは、足裏の形状を抑制する機構によって倒れ込み現象を抑える形のことである(図2)[1]。受動歩行機の前額面の左右揺動による倒れ込みと、矢上面の進行方向への倒れ込みを抑制する足形状により歩行安定性を高める。

### 4.2 歩行計測

抑制形状を有する2足受動歩行機を用いて傾斜角度を変更し計測を行った。また歩行の様子をビデオで撮影し、ZMPと共に分析を行った。歩行計測の傾斜角度は4.0[deg]、4.5[deg]、5.0[deg]、5.5[deg]、6.0[deg]、6.5[deg]の0.5[deg]刻みで計測を行った。

本歩行機は4.0[deg]以下では途中で停止する。6.5[deg]

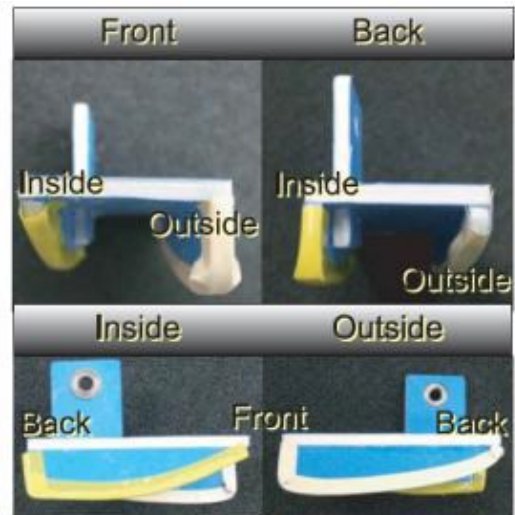


Fig.2 Constraining Shape

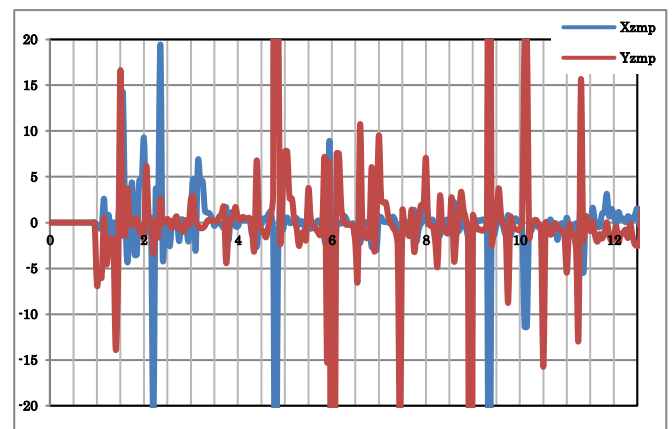


Fig.3 5.0[deg]

で転倒する事を確認している。

## 5. 計測結果

安定して歩くことのできた5.0[deg](図3)と5.5[deg](図4)を比較した。現状では $X_{zmp}$ では差が小さくわかりにくく、 $Y_{zmp}$ において歩行の特徴を捉えることができた。各傾斜での歩行分析として $Y_{zmp}$ において比較を行う。比較は $Y_{zmp}$ でのピークピーク値を合わせて算出を行った。

4.0[deg]では、図5において6[s]まで安定して6歩の歩行を行い、6[s]以降から8[s]にかけて小刻みに進み、歩き始めから500[mm]辺りにて停止した。歩行変化としては歩行停止を計測できた。ピークピーク値は343.62であった。

4.5[deg]では図6において初動から8.5[s]辺り、約8歩目辺りまでは、大きく歩き、9[s]以降からは小刻みに歩いた。設定した傾斜は全て歩き終えた。ピークピーク値は334.32であった。

5.0[deg]では図7において斜面の停止位置まで徐々に

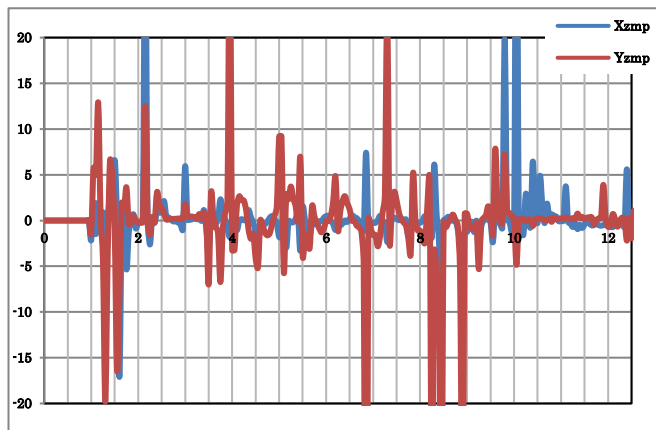


Fig.4 5.5[deg]

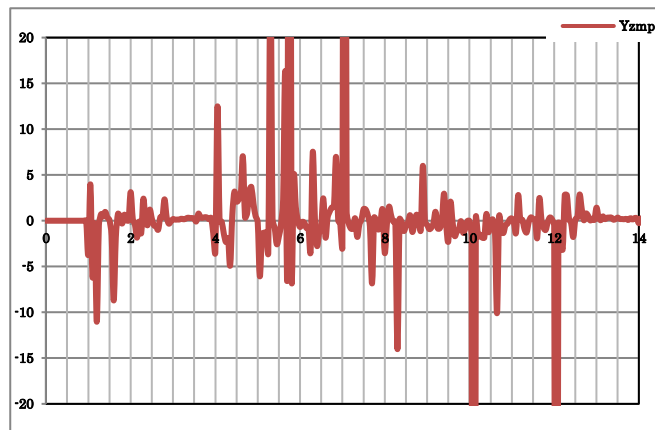


Fig.8 5.5[deg]

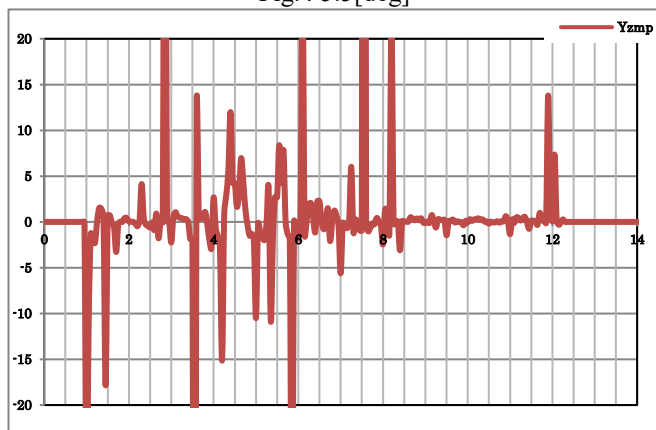


Fig.5 4.0[deg]

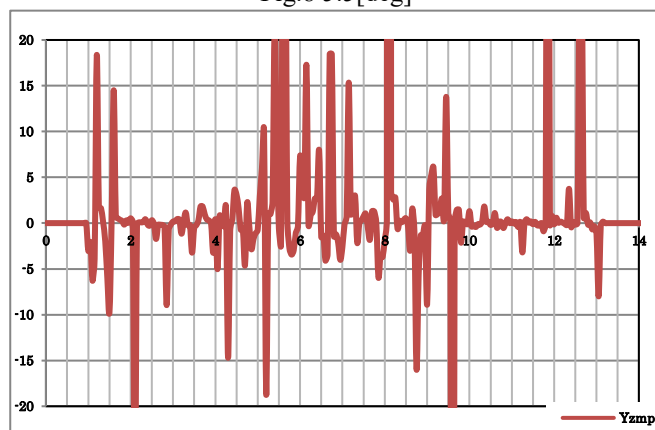


Fig.9 6.0[deg]

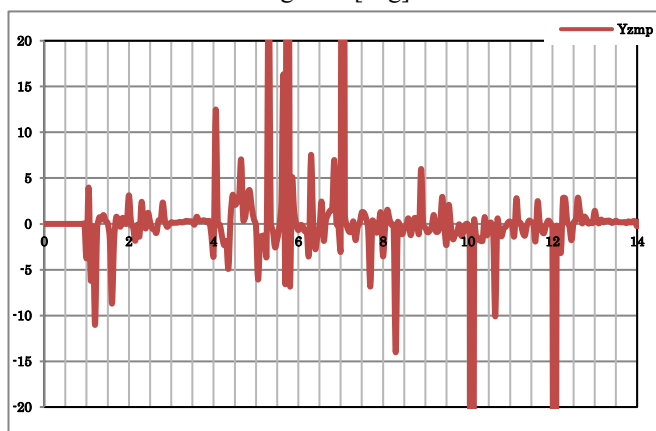


Fig.6 4.5[deg]

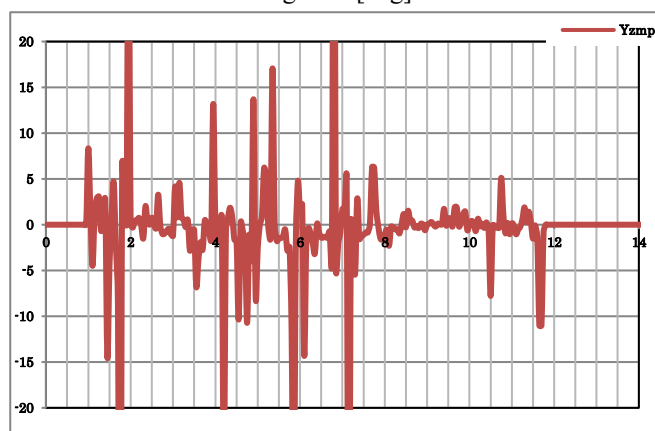


Fig.10 6.5[deg]

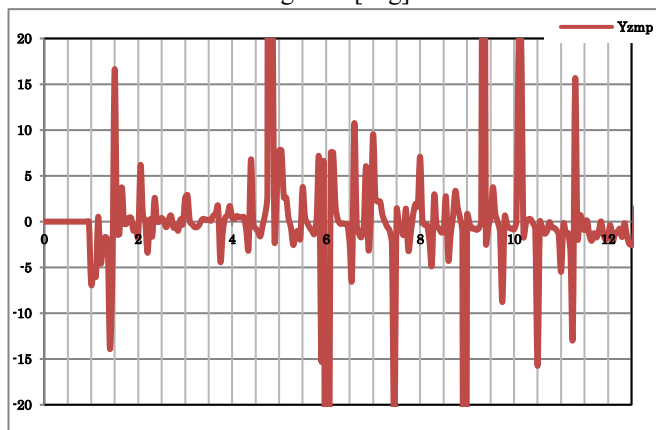


Fig.7 5.0[deg]

歩幅が小さくなっていった。ピークピーク値は 402.78 であった。

5.5[deg]では図 8 において最後まで一定の歩幅で歩くことが確認することができた。ピークピーク値は 95.49 であった。

6.0[deg]では図 9 において転倒はしないが、歩数が増えるにあたって左右への揺動が大きくなっていった。6[s]付近で一度体制が整えられるが、その後、左右への揺動が大きくなっていった。ピークピーク値は 901.63 であった。

6.5[deg]では図 10 において一步一步の歩幅が大きく、

左右への揺動が大きくなっていきバランスが崩れながら歩行するのを確認，7[s]付近，歩数 10 歩目にして転倒を確認した．本実験では，10 歩目に傾斜幅から逸脱し，地面を踏み外す状態で転倒に至った．ピークピーク値は 112.52 であった．

## 6. 結言

抑制形状を有する 2 足受動歩行機を用いて，環境変化として傾斜角度毎の歩行実験から得られたデータを元に歩行分析を行った．

0.5[deg]ごとに傾斜を変更し，停止，安定歩行，転倒の歩行分析をした．歩行機における前額面となる  $Y_{zmp}$  において歩行の変化について計測することができた．停止直前の歩行で歩幅も小さくなると ZMP も振幅が小さくなる．また転倒直前では振幅が大きくなる傾向が得られた．

しかしながら，各傾斜での前額面 ZMP のピークピーク値からは大きな差は得られなかった．ピークピーク値へ歩行の様子が反映されていないことからノイズ情報による影響と考えられる．

今後の展開として，センサデータに対して FIR フィルタを用いてフィルタ処理を行い，ZMP データの算出を進めている．また前額面のみではなく，矢上面における ZMP も利用できるよう研鑽を進める．

## 参考文献

- [1] 浅野文彦; 羅志偉; 山北昌毅. 受動歩行を規範とした 2 足ロボットの歩容生成と制御. *日本ロボット学会誌*, 2004, 22.1: 130-139.
- [2] 佐野明人, et al. 1P1-B16 大人サイズの受動歩行機の開発とヒト歩行との類似性. : *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2008*. 一般社団法人 日本機械学会, 2008. p. \_1P1-B16\_1-\_1P1-B16\_2.
- [3] 兵頭和幸, 三上貞芳, and 鈴木昭二. "倒れ込み現象を足裏形状により抑制した受動歩行の安定化." *日本機械学会論文集 C 編* 74.742 (2008): 1514-1521.