

# 適応的なふるまいを利用した受動的動歩行の歩容制御

## — 関節の粘性による歩容の設計 —

○廣氏 遼一 (大阪電気通信大学), 入部 正継 (大阪電気通信大学)

## Gait control of Passive Dynamic Walking using adaptive behavior

### - Gait design by viscosity of joint -

○Ryoichi HIROUJI (O.E.C.U.), and Masatsugu IRIBE (O.E.C.U.)

Abstract: In Passive Dynamic walking, there is a characteristic behavior called “Adaptive behavior” which changes walking gait of Passive Dynamic Walking robot automatically to keep on walking even if the parameters of the system changes. The behavior is known by computer simulation and experiments in past researches, which changed the slope angle of walking surface. In this paper, we attempt to appear the behavior by changing viscous resistance, which is an internal parameter of the robot, by some experiments.

### 1. 緒言

従前より様々な二足歩行ロボットの研究が行われているが、それらの多くは能動的に制御されて動作する歩行ロボットである。しかしながら、それらのロボットは、アクチュエータを常に駆動させる必要があるため、歩行動作に対するエネルギー効率が低くなると考えられている。その問題に対する解決策の候補として、受動的動歩行が着目されている[1][2]。

受動的動歩行とは、アクチュエータを使用せずに歩行機械の持つダイナミクスと重力によって、緩やかな下り坂を自然な歩容で歩く現象である。この受動的動歩行の特徴に、歩行時のエネルギー効率が低いことが挙げられる。このことから、従来の二足歩行ロボットの歩行効率の向上を考える場合には、この受動的動歩行の性質を利用することが有用であると考えられる。

受動的動歩行の興味深い特徴の一つに、適応的なふるまい[3]が挙げられる。適応的なふるまいは、歩行路面の傾斜角度などの周囲環境すなわち外界の変化や歩行ロボットの質量、脚長の変化といった自身のパラメータである内界の変化が生じた際に、自動的に歩幅や、歩行速度を変化させ、歩行を継続させようと

する挙動を示す。これは、シミュレーションにより確認されており、特に外界変化となる傾斜角度に対しては、実機実験において確認されている[4][5][6]。

本研究では、内界変化の一つとなる関節の粘性抵抗に着目し、関節の粘性抵抗係数の変化に対する適応的なふるまいを実機実験にて確認をする。また、この関節の粘性抵抗係数を動的に制御することによる適応的なふるまいを利用した受動的動歩行の歩容の設計が可能なることを示す。

### 2. 内界パラメータ調整機構

#### 2.1 粘性抵抗係数調整機構の開発

本研究で開発した粘性抵抗係数調整機構とそれを搭載した4脚型受動的動歩行ロボットをFig.1に、その主要諸元をTable 1に示す。

粘性抵抗係数調整機構は、歩行時の脚の回転をギアを介してDCモータ(maxon motor, RE 40 Ø40mm, グラフアイトブラシ, 150 Watt, 148877)に伝達し、その回生ブレーキ(回転速度に比例して負荷トルクが発生する性質)を応用して粘性抵抗を発生させる。DCモータの反対側に配置されたおもりと右側のギアは質量のバランスを取るためのカウンターウェイトである。

粘性抵抗は、DCモータの端子間を短絡することで

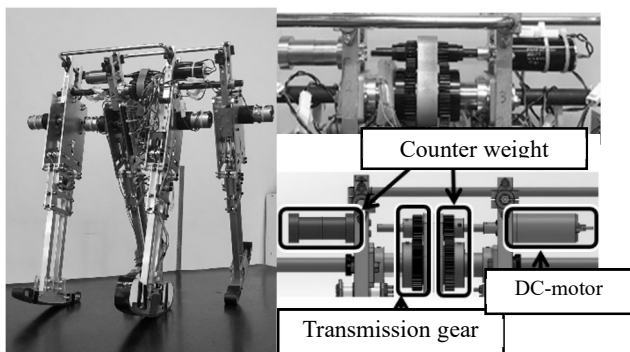


Fig.1 Passive Dynamic Walking Robot which has symmetrized structure and viscous resistance generation mechanism of it

Table 1 Specifications of robot

weight [kg]	10.8
height [mm]	630
width [mm]	610
length [mm]	300
Radius of curvature of foot [mm]	540
Gear ratio	2.9

得られる。その具体的な値は、リレーを用いて短絡を行い、マイコンからのPWM信号によって決定することが出来る。

## 2.2 実験による評価

粘性抵抗係数調整機構の動作確認実験を行う。ロボットの片側の脚を固定し、もう片方の脚にジャイロセンサを取り付けて、自由振動させたときの角速度を計測する。計測は、DCモータの端子間を開放して粘性抵抗が最小の状態と、短絡して粘性抵抗が最大状態で行った。測定した角速度を積分し、角度に変換した結果をFig.2に示す。これより、10[deg]、脚長より歩幅で94.7[mm]の抑制が確認できた。

## 3. 歩行実験

### 3.1 一定傾斜角歩行路面での歩行実験

実際に歩行動作中に粘性抵抗を加えることによって適応的なふるまいが発現し、歩容の変化の有無を確認する歩行実験を行った。歩行実験に使用する歩行路面は、長さ2000[mm]、横幅1000[mm]、のアルミ製の板を4個直列に配置し、全長8000[mm]となる。路面にはすべり止めとして、ゴムシートを敷いている。歩行路面はジャッキによって高さを調節できるようになっており、傾斜角度が変更可能である歩行路面を使用した。実験の様子をFig.3に示す。

歩行時のロボットの歩容の測定は、小型9軸ワイヤレスモーションセンサ(LOGICAL PRODUCT, LP-WS1104)を脚に取り付けて使用し、脚の加速度と角速度を計測し角度を算出する。

歩行実験は、10歩目を基準に前半後半に分けて、Table 2のPattern 1, 2, 3とFig.4に示す、3つのパターンを行った。

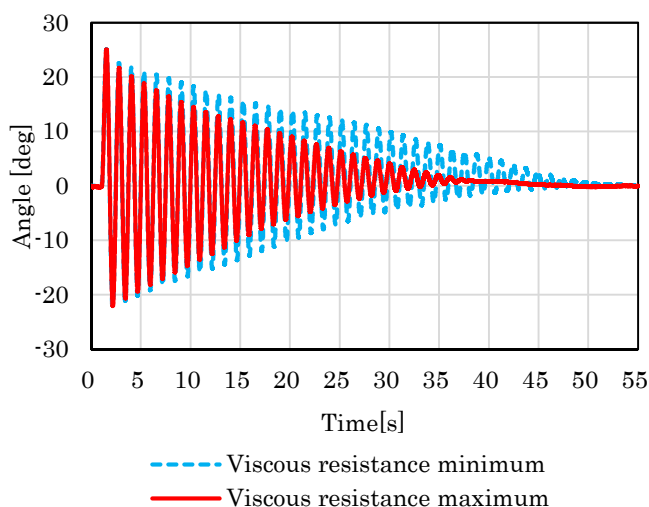


Fig. 2 Leg angle transition at free vibration

歩行実験の結果として、歩幅の角度からヒストグラムを作成し、Fig.5に示す。

Fig.5(a),(b)に示すように、粘性の有無により歩幅の脚角度の抑制が確認された。Fig.5(c)では、前半はFig.5(a)に近い脚角度で歩行していたが、粘性を加えることによりFig.5(b)に近い歩行をしていることが確認された。

### 3.2 傾斜角が増加する歩行路面での歩行実験

実験は、歩行路面を2個ずつに分けて傾斜角度が2.0 [deg]から2.5 [deg]と前半後半に分けて、Table 2のPattern 4, 5とFig.6に示す、2つのパターンを行った。

Fig.7(a)より、傾斜角度の増加により歩行時の脚角度が増加することが確認された。Fig.7(b)より、傾斜角度の増加と粘性抵抗の増加を共に行うことによって、脚角度は増加するが、標準偏差が小さくなっている。すなわち、粘性抵抗の増加により脚角度のバラツキが抑えられることが確認された。

以上のことから、関節の粘性抵抗を増加することにより、脚角度の抑制やバラツキの抑制つまり任意の脚角度、歩幅といった歩容の実現や歩容の安定化が可能であると考えられる。すなわち、関節の粘性抵抗を動的に制御することにより、適応的なふるまいを利用して受動的動歩行の歩容の設計が可能であると考えられる。

## 4. 結言

本稿では、受動的動歩行ロボットの腰関節の粘性抵抗を制御することが可能な粘性抵抗係数調整機構を用いて歩行実験を行った。これにより、歩行動作中に粘性抵抗を増加させることで、脚角度やバラツキの抑制を確認し、関節の粘性抵抗を動的に制御することにより、適応的なふるまいを利用した受動的動歩行の歩容設計が可能であることを確認した。今後は、粘性抵抗や傾斜角度の減少による歩容の変化の確認を行う。

### 参考文献

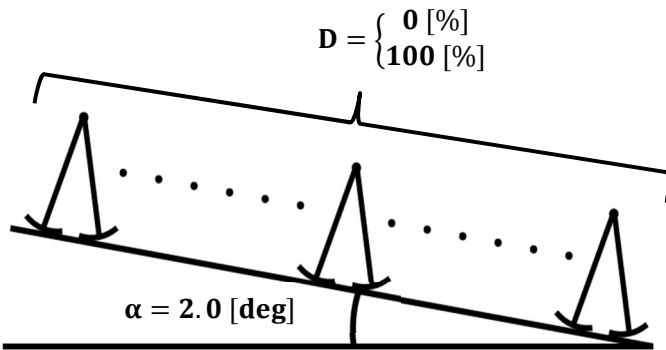
- [1] S. Collins, A. Ruina, R. Tedrake, M. Wisse, "Efficient Bipedal Robots Based on Passive-Dynamic Walkers", Science, Vol. 307, Issue 5712, pp. 1082-1085, Feb. 2005.
- [2] T. McGeer : Passive Dynamic Walking, The International Journal of Robotic Research, 9-2, 62/82, 1990
- [3] M. Iribe, K. Osuka, "A Designing Method of the Passive Dynamic Walking Robot via Analogy with the Phase Locked Loop Circuits", Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2006), pp.636-641, Kunming, China, 2006.
- [4] M. Iribe, K. Osuka, "Design of the Passive Dynamic Walking Robot by Applying its Dynamic Properties", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.19, No.4, Aug. 2007. pp.402-408.
- [5] 入部, 廣瀬, 浦, 衣笠, 大須賀, "受動的動歩行の適応機能の実験的検証", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 1A2-P03, 2012.
- [6] 浦, 入部, 大須賀, 衣笠, "受動的動歩行の性質を利用した脚歩行ロボットの一設計方法 - 適応的機能を使用した形状と関節自由度構成の設計 -", 計測自動制御学会論文集, No.5, Vol.51, pp.329-335, 2015.

**Table 2 Walking experiment pattern**

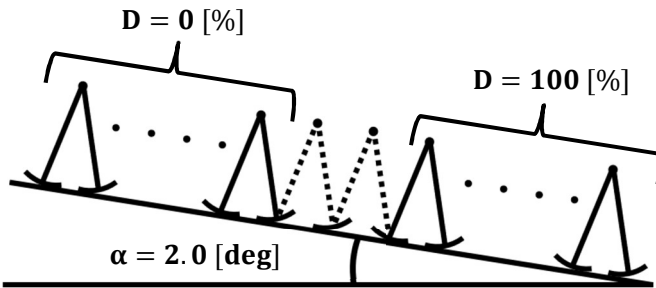
Pattern	slope angle [deg]		viscous resistance [%]	
	the first half	the second half	the first half	the second half
1	2.0	2.0	0	0
2	2.0	2.0	100	100
3	2.0	2.0	0	100
4	2.0	2.5	0	0
5	2.0	2.5	0	100



**Fig. 3 Experiment scene**

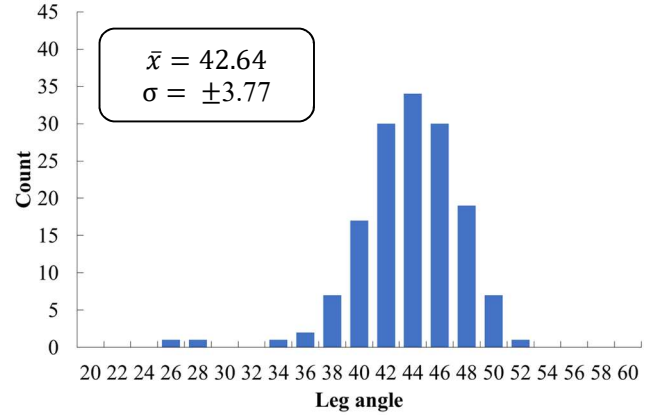


**(a) Pattern 1, 2**

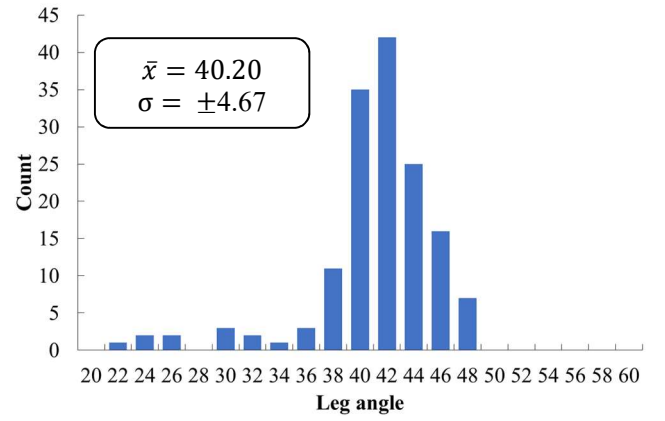


**(b) Pattern 3**

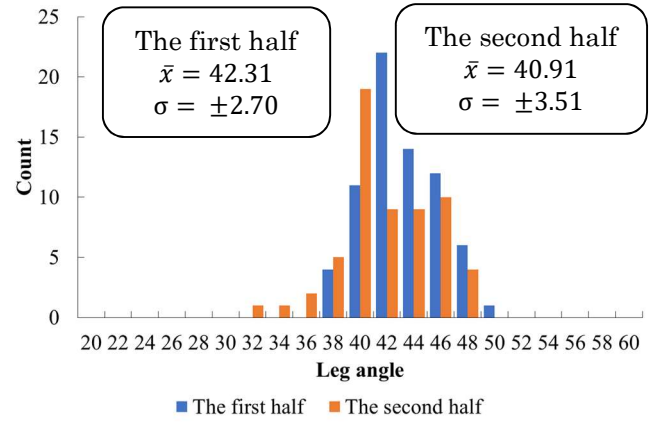
**Fig. 4 Walking experiment pattern 1, 2, 3**



**(a) PWM 0% to 0%**



**(b) PWM 100% to 100%**



**(c) PWM 0% to 100%**

**Fig. 5 Leg angle histogram at slope angle 2.0[deg] (N = 10)**

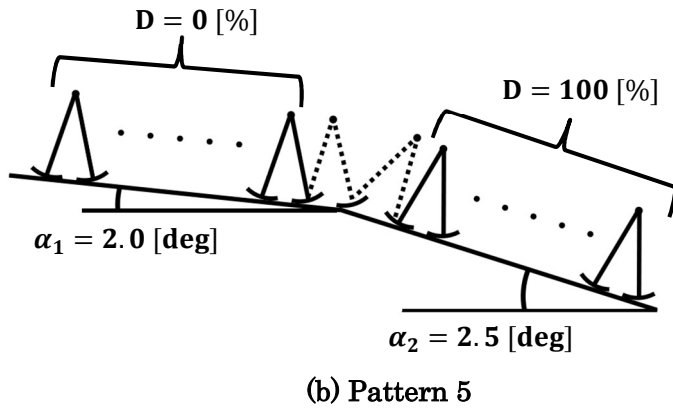
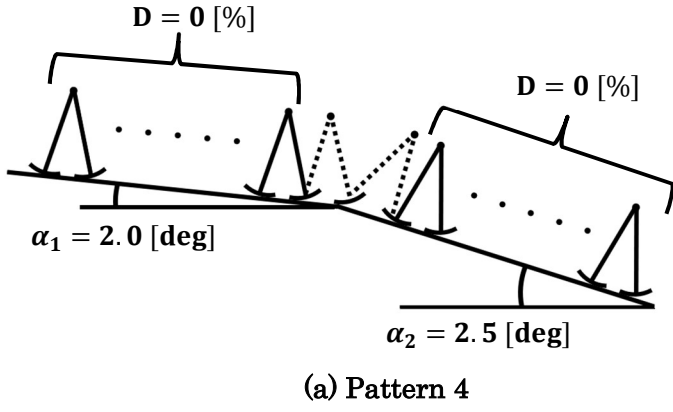


Fig. 6 Walking experiment pattern 4, 5

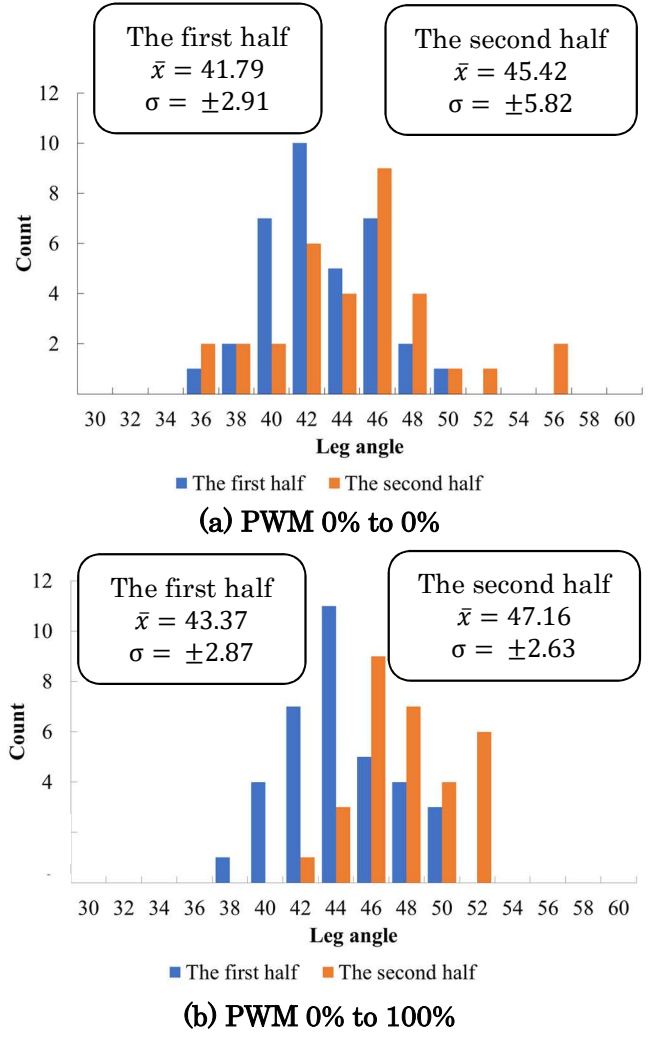


Fig. 7 Leg angle histogram at slope angle 2.0[deg] to 2.5[deg] (N = 5)