

脚伸縮機構による二足歩行シミュレーション

宮腰 清一 (電子技術総合研究所 (電総研)) 山本 知幸 (電総研) 多賀 徹太郎 (東京大学)
國吉 康夫 (電総研)

Bipedal Walking Simulation of a Compass-Like Robot

*Seiichi Miyakoshi: Electrotechnical Laboratory(ETL) Tomoyuki Yamamoto: ETL
Gentarō Taga: University of Tokyo and PRESTO, JST Yasuo Kuniyoshi: ETL

Abstract—This paper proposes a simple compass-like biped robot model, with a simple motion pattern for locomotion. The robot stretches and shrinks its legs with a frequency 3 times higher than its duplex step period during leg swinging. Although, the model and its motion are simple, it is able to produce a human like walking pattern.

Key Words: Compass-like Biped, 3 times higher frequency

1. はじめに

ヒューマノイドは、それ自体、あるいは環境との接合の多様性から、本質的に多自由度 (冗長) である。しかも、歩行時に顕現するように、全身運動は劣駆動系になりやすい。一方、系 (と環境) 自体の性質をうまく利用し、制御系の負担を減らす (無くす) やり方を、大須賀は一般的に「裏モデル」(逆は「表モデル」) の概念で説明した¹⁾が、この「裏モデル」型 (ダイナミクス・ベースト¹⁾) 制御系の典型例として、受動歩行²⁾が挙げられる。また近年、受動歩行をベースとした能動歩行の研究が注目されつつある³⁾⁴⁾⁵⁾。

本研究では、最小限の要素で二足歩行をモデル化し、最も単純と思われる周期運動パターンを与えて、二足歩行運動の基盤を探った。モデルとその基本歩容を示し、パラメータ変化が歩容に及ぼす影響も示す。

2. 二足歩行のモデル化

運動は矢状面内に限定する。また、床面は水平とする。定常歩行状態を取り扱い、過渡状態は考慮しない。以上の条件の下で、以下の認識の下にモデル化する。

- 推進力の主要な供給源は、足部の蹴り出し運動⁷⁾。
- 着地時の衝撃を減らし、エネルギーの消散は避ける。
- 強引な駆動は反動による挙動の乱れを誘引する⁸⁾。一方、股関節の摩擦は系を不安定化する²⁾。

2.1 運動体のモデル化

二足歩行運動体を以下の要素でモデル化した⁶⁾。

- 棒状で質量と慣性モーメントを持つ脚。
- 集中質量のみを持つ上体。
- 股関節。
- 脚長を変化させるアクチュエータ。
- 点形状の足先。

Fig.1に概形を示す。

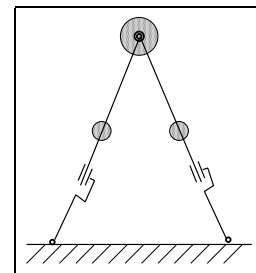


Fig.1 Compass-like biped walker

Table 1にモデルの主要物理量を示す。

Table 1 Physical parameters of the biped

胴部質量	28.3[kg]
片脚質量	7.85[kg]
片脚慣性モーメント	0.659[kg·m ²]
脚長	1.0[m]
床反発係数	0.0
床ヤング率	鉄の1万分の1

2.2 運動パタンのモデル化

二足歩行 (矢状面内) を行わせるために、運動パターンが満たすべき一般的な条件を以下に示す。

- 運動パターンは周期的。
- 左右の脚運動パタンの位相は逆相。
- 立脚中期に、支持脚長は遊脚長よりも長い。

本研究では、さらに以下の条件を加えた。

- 離床時、脚伸長の速度により推進力を得る。
- 逆に、着床時には脚を収縮し、衝撃の発生を抑制。
- 股関節は駆動しない。ただし、摩擦も無しとする。

以上の条件を満たす最も簡単な運動パターンとして、一重複歩の周期の1/3の周期で脚の伸縮を正弦波状に行わせるものを考えた。

3. 基本踏み出し様態

本モデルでの歩行サイクルの流れは、「蹴りによる」胸部慣性力で後脚が引き上げられ、遊脚として振れ、前方に着床する」の繰返しである。ある脚(股関節)開度で歩行を対称に実現する動作パターン(それを導く胸部初速度)は一意に決まる。各脚開度に対し、脚を自然長に固定した状態で、この胸部初速度を試行錯誤的に求めた。シミュレーションにはDADS(LMS社)を用いた。

この一步の時間を2倍して一重複歩周期とし、脚運動の周波数(3倍)を導き、この周波数と初速度とから振幅を導く。股関節開度と脚伸縮運動の周波数・振幅との関係をFig.2に示す。一様な質量分布の脚を「normal」として、脚部の重心点をそれぞれ上下に7.7[cm]ずらしたのも重ねて表示する。遊脚の振子としての性質から

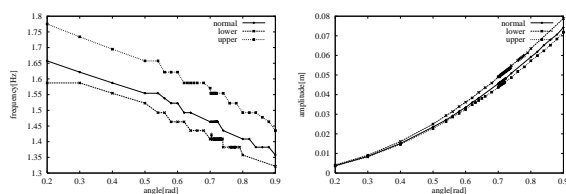


Fig.2 Hip joint angle vs. leg waving freq. and amp.

周波数変化は少ない事、振幅(蹴りの強さ、胸部初速度)は、立脚中期のポテンシャルの山を越えるため、比例的よりも大きく増加している事が分かる⁹⁾。またこの値は主として脚部の振子・倒立振子運動に依存し、胸部質量への依存は少ない(図は割愛)。

4. 基本歩行様態

数歩歩ける程度まで脚伸縮の振幅の微調整を行った本モデルの歩容をFig.3に示す。左が股関節開度0.6[rad]、右が0.8[rad]である。脚開度変化に伴う遊脚振り出し量の変化、特に着地前の足先軌道の変化が分かる。これ

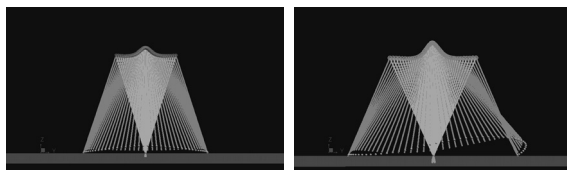


Fig.3 Simulated one step motion

は、遊脚の振り出され方が立脚中期の支持脚伸展に依り、開度大の領域で(支持)脚伸縮振幅がより増大する事(Fig.2右)による。

脚開度が小さい領域では、周期的歩行パターンが存在しない。これは、着床すべき位相(脚の収縮速度最大点(脚が自然長の点))以前(脚最大伸展時)での足先と歩行面との接触による。脚開度0.54[rad]以下では、同現象により歩行パターンが存在しなかった。この臨界点は、脚部の慣性モーメントにより変化する。

本歩容は、文献²⁾中の‘Synthetic Wheel’のアナロジに対応する。ノミナル軌道は不安定平衡であり、その

近傍では、振動的に発散していく‘totter mode’が現れる²⁾。これは、着床直前の足先の後方運動に因り、例えば、速度過剰(過小)～着床時刻の早まり(遅れ)～遠く(近く)に着地、と言う一連の挙動変化による。

Fig.4に床反力を示す。左図はシミュレーション(脚開度0.6[rad]時)で、右図¹⁰⁾は人間である。定常歩行時

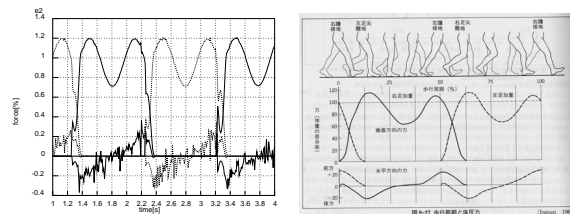


Fig.4 Reactive force from floor

を示すよう1[s]～4[s]を切り出し、実線が右足側、破線が左足側を示す。右図では、着地時の衝撃によるひげ状の変化が省かれているが、左図ではそれも現れている。法線方向反力の二峰性等の概形や絶対値だけではなく、接線方向反力の着床前後での反転等も含めて良く対応している。ただし、モデル中に柔軟要素がないため、脚交代がほぼ瞬間的に起き、両足支持期が存在しない。

5. 終わりに

非常に簡易なモデルと運動パターンから、人の歩行と良く一致する結果が得られた。受動歩行ベースの能動歩行を構成していく基盤となり得ると考えられる。

二足歩行における最大の問題点である安定性の問題は未解決であるが、各関節の能動的制御、あるいは足裏等の要素を加える事で解決が可能であると考えている。

本研究は、COE 大域情報処理技術研究の一環として行われた。

参考文献

- 1) 大須賀 公一: “モデルベース制御からダイナミクススペース制御へ - ロボットにおける「表モデル」と「裏モデル」 - ” システム / 制御 / 情報, Vol. 43, No. 2, (1999).
- 2) T. McGeer: “Passive Dynamic Walking,” The Int. J. of Robotics Research, Vol. 9, No. 2, (1990).
- 3) R. Q. van der Linde: “Passive bipedal walking with phasic muscle contraction,” Biological Cybernetics, No. 81, (1999).
- 4) K. Osuka and Y. Saruta: “Development and Control of New Legged Robot QUARTET III -From active walking to passive walking-,” Proc. of IROS2000, (2000).
- 5) H.Ohta, M. Yamakita and K.Furuta: “From passive to active dynamic walking,” Proc. of CDC, (1999).
- 6) A. Goswami, B. Thuilot and B. Espiau: “A Study of the Passive Gait of a Compass-Like Biped Robot: Symmetry and Chaos,” The Int. J. of Robotics Research, Vol. 17, No. 12, (1998).
- 7) 臨床歩行分析研究会 編: “関節モーメントによる歩行分析,” 医歯薬出版株式会社, (1997).
- 8) 藤野 正晴: “二足歩行機物語,” private(日本ロボット学会誌 Vol.12 No.1 に紹介記事有り), (1989).
- 9) 梶田 秀司, 谷 和男: “線形倒立振子モードを規範とする凹凸路面状の動的2足歩行制御,” 計測自動制御学会論文集, Vol. 31, No. 10, (1995).
- 10) 中村 隆一, 斎藤 宏: “臨床運動学 第2版,” 医歯薬出版株式会社, (1990).