

Mechanism of Robustness of Dynamic Walking NANBA by a Humanoid Biped Robot GENBE Based on the Distributed Control of Physical Body in a Martial Art

○ 正 川副嘉彦 (埼玉工大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Okabe, Saitama

It seems that the emergence of intelligence in an autonomous robot exists in the dexterity of human or creatures as complex systems and the research style and the development procedure along this approach should be necessary for realization of a real intelligent robot. This paper realized the simple self-sustained humanlike robust walking NANBA of humanoid biped robot GENBE based on distributed control of physical body in a martial art without ZMP control, which uses only small active power with simple chaotic limit cycle using gravity, further developing into autonomous walking.

Key Words: Humanoid Biped Robot, Dynamic Walking, Autonomous Robot, Limit Cycle, Chaos, Human's Dexterity, Inverted Pendulum, Martial Art, Emergence, Complex System

1. 研究の背景と目的

自然・生き物・ヒトと共生して知的に動くロボットには生き物のような適応性・柔軟性が求められるが、現在のロボットの延長線上では実現しそうもないことが次第に認識され始めた⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。二足ロボットとして知られている ASIMO は遠隔操縦であって自律できず, QRIO は絶妙なバランス制御ゆえにスペックをひとつ変えるだけでバランスが簡単に崩れてしまう。産官学の大プロジェクトによる HRP-2 もゴキブリやフェレットの知的な動きにはかなわない。これらの代表的な二足ロボットは、「足の裏で踏ん張る, 転倒力を制御する, 理想的な位置に着地する」という重心と ZMP (Zero Moment Point) の制御を歩行の基本としている。しかし, このように重力に逆らう歩行は推進力のブレーキとなり, エネルギー的にも無駄が多く, 関節の負担も大きく, 複雑精妙な制御を必要とし, 外乱に弱い。

本研究は, 自然・生き物・ヒトと共生するロボットの開発法の質的転換をめざすものであり, 前報⁽⁵⁾では, 命がけの対決を通じて培われた古の足運びに学ぶ「足の裏で踏ん張らない, 転倒力を利用する, 着地位置は気にしない」という従来とは逆の発想を基本とした自立型二足ロボットの俊敏・柔軟な歩行・走行を SA (Subsumption Architecture) 的開発法⁽⁶⁾⁻⁽¹⁰⁾で実現し, さらに, 障害物を回避しながらの自律歩行への進展を示した。本研究では, 直立二足ロボットの歩行・走行のロバスト性について考察する。

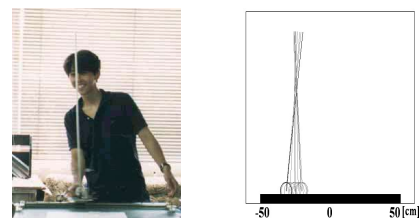
2. 人間型二足ロボット「源兵衛」の「ナンバ歩き」のロバスト性

ギブソンによると, 行動は「姿勢」に依存しており, 立位のような平衡姿勢ですら多数の微細な修正の動きからなっており, 立つことは止まることではなく, 倒れないための「不安定幅」の持続であり, 「姿勢」の止まらないという性質が, 身体に動きをもたらす。図 1 は, 倒立棒を倒さないように安定化する人間による制御である。従来の機械制御が絶えず釣り合い位置 (垂直) に近づけようとするのに対して, ヒトは練習を重ねると, 倒立棒が倒れない範囲の有限振幅の制御をする。倒立棒はほとんど垂直には立っておらず, 常にゆれている。習熟していくと動きが滑らかで揺れが目立たなくなる。これは不安定な倒立棒系と非線形な人間系の相互作用により経験的に獲得されたカオス的リミットサイクルであり, 軌道安定だから予期せぬ外乱に対して頑健であり, 構造安定だから状況の変化に応じた運動の変化 (適応) が起こる⁽¹¹⁾⁻⁽¹⁴⁾。

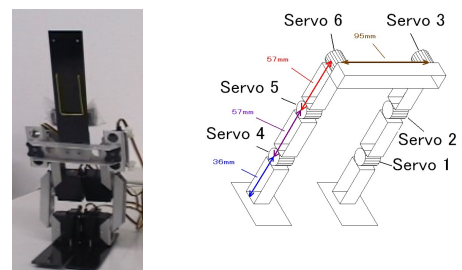
古の足運びに見られるナンバ歩きの基本は, 前傾姿勢を

取り, (1) 状態 1 : 身体を右に傾けて左脚を宙に浮いた形に作る。(2) 状態 2 : 左脚を前脚の形に作ると, 左前方に倒れていき, 左足が接地する。(3) 状態 3 : 身体を左に傾け右脚を宙に浮いた形に作る。(4) 状態 4 : 右脚を前脚の形に作ると, 右前方に倒れていき, 右足が接地する, という四つであり, 重力による転倒力と地面との間にシンプルなりミットサイクルを形成する。各状態は静バランス的には不安定だから転倒する (図 2)。実環境に必要な歩行を姿勢制御無しで設計者の介助によりロボットが試行錯誤的に学習することにより自在の速度で歩行する。「倒れる前に足を出す」である⁽⁵⁾。

図 3 は, 「ナンバ歩き」に学ぶ「源兵衛 2 号」(脚部 6 自由度, 身長 30 cm) の歩行 (10cm/s, 人間の身長なら 2km/h に相当) である。図 4, 図 5 はそれぞれ, 「源兵衛 4



(a) Experiment (b) Stick picture
Fig.1 Stabilizing control by a human operator



(a) GENBE-No.2 with 6 freedom legs
(b) GENBE-No.4(Left) & No.5(Right) with 10 freedom legs
Fig.2 Humanoid Biped Robots GENBE utilizing instability.

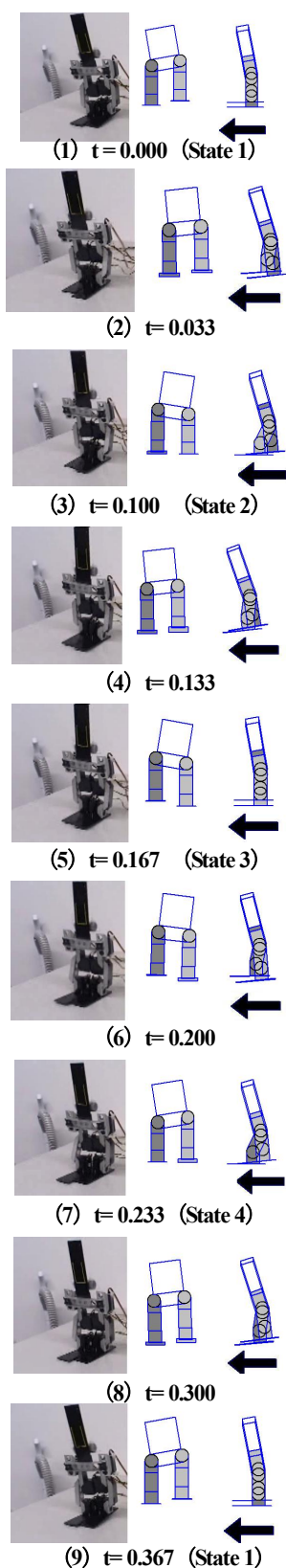


Fig.3. GENE No.2. Height: 30 cm, walking speed: 10 cm/s (Reduced walking speed to height 170 cm: 2 km/h)

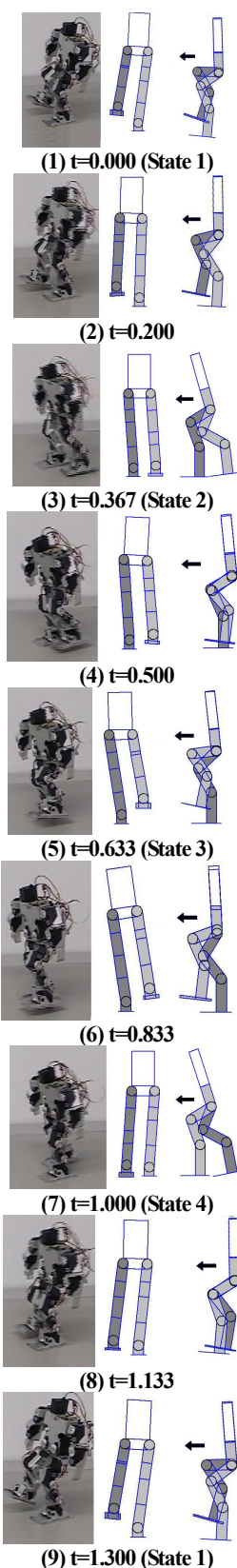


Fig.4 GENE No.4. Height: 34 cm, walking speed: 7.9 cm/s (Reduced walking speed to height 170 cm: 1.4 km/h)

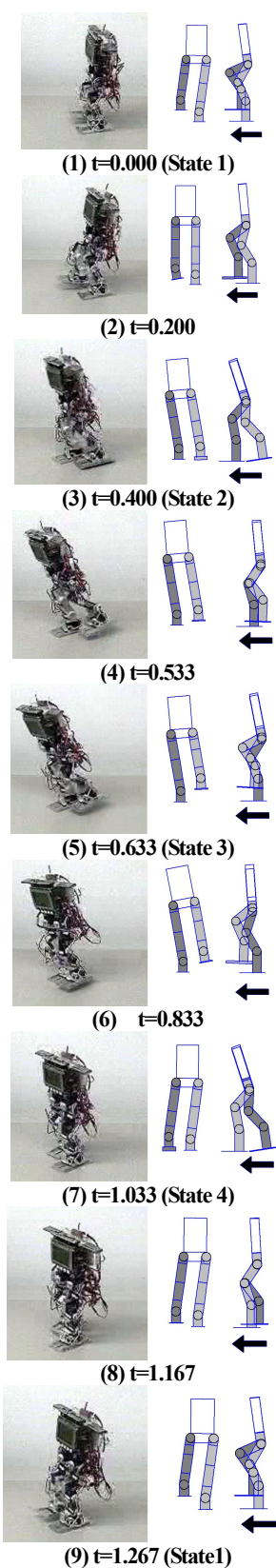


Fig.5 GENE No.5. Height: 35 cm, walking speed: 6.5 cm/s (Reduced walking speed to height 170 cm: 1.14 km/h)

号」(脚部 10 自由度, 身長 34 cm), 「源兵衛 5 号」(脚部 10 自由度, 身長 35 cm) の歩行である。それぞれの図の左からビデオ写真, 正面図(手前に前進), 側面図(左に進む)である。歩行速度が増すと「ナンバ歩き」になるが, 歩行原理は「ナンバ歩き」と同じである。

3. 結論

ロボットの転倒力により地面との間に形成されるリミットサイクルを利用した歩行は, 関節自由度数, 筐体, 歩行速度などが異なっても, 姿勢制御無しで, 歩行の開始, 停止, 旋回も含めてきわめてロバスト・柔軟である。習熟すれば飛脚「源兵衛」のような速い走りや柔軟で自在な歩行への進展が見えてくる。(文献省略)