

人間型二足ロボット「源兵衛」による捻らない・うねらない・踏ん張らない身体操法の研究

川副嘉彦 (埼玉工業大学)

1. 研究の背景と目的

「スポーツ選手の頂点は、残酷なほど若い時にやってくる。酷使して、あちこち壊れかかった体を残して現役を退いた時には、彼らは後進の指導とかいうもの以外、スポーツに対してもう何をしたらいいのかわからない。(中略) 私が誉めそやしたい技術は、もっと別なところで、おそらくは黙々と生きている技術である。年齢の積み重なりと強く関わり、それによってのみ少しずつ可能となってくるような技術である。こういう技術は、組織的にはほとんど利用することができない。利用するには、いささか手間がかかり過ぎる。待つ時間が長過ぎる。けれども、ほんとうに上達する技とは、そうした在り方しか実はしていないものではないだろうか。」という鋭い指摘がある[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 も知的な動きとは言い難い。これらに代表される二足歩行ロボットは、「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、近代スポーツの動きに似ている。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、予想外の外乱に弱い[1]-[4]。

古武術は命がけの対決を通じて培った適応性のある柔軟な動作が基本であり、「捻らない、うねらない、踏ん張らない」というのが特長である。本研究では、「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」という従来と反対の歩行原理を基本とした人間型二足ロボットの俊敏・柔軟な歩行・走行を実現し、「捻らない、うねらない、踏ん張らない」テニスへの質的転換の指針を探る。

2. 人間型二足ロボット「源兵衛」の捻らない・うねらない・踏ん張らない身体操法

ナンバ歩きの基本は、最もシンプルな源兵衛 2 号 (脚部 6 自由度, 身長 30 cm) の場合、前傾姿勢で、(1) 状態 1 : 身体を右に傾けると左脚が浮く。(2) 状態 2 : このとき左足を前に出す姿勢をとると体が自然に左前方へ倒れ、左足が接地する。状態 3 と状態 4 は体を左へ傾けた反対の動きであり、こうした動きを左右交互に繰り返して歩く。足を上げたとき自然に前方へ倒れようとする力を利用する。歩きたい方向に倒れ、倒れる方向に足がでることにより重力を利用して自然に前進する。

図 1 は、「源兵衛 4 号」(脚部 10 自由度, 身長 34 cm) のナンバ歩きである。足首関節を使って上体 (頭)

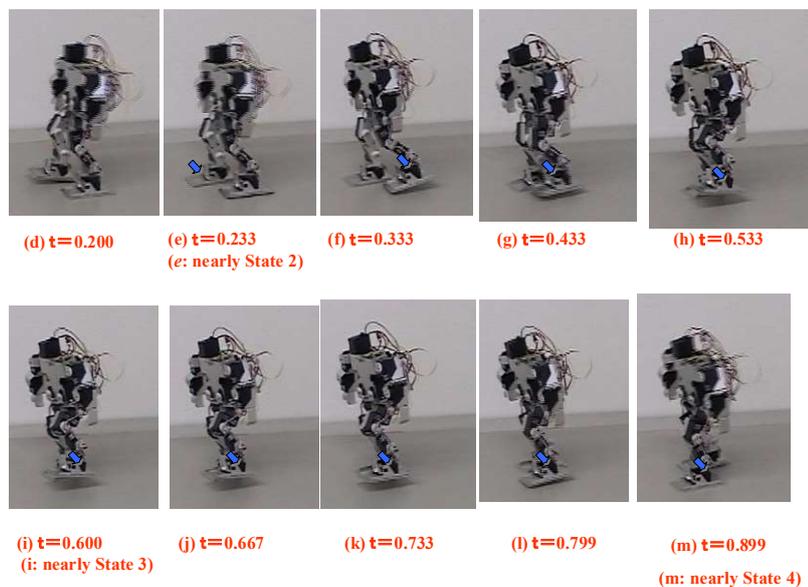
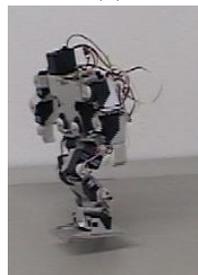


図 1 直立二足歩行ロボット源兵衛 4 号のナンバ歩き



(a)



(b)

図 2 ナンバ走り

が左右に傾かないように歩く。図1(e)において右足が着地したときにはすでに左足が浮いており、さらに(f)~(m)において転倒力を利用して自然に左足が右足の横を通過して進行方向に着地する。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[5]-[10]。前傾角度、左右の傾き角度を大きくしてピッチを速くすると自然に歩きから走りに転ずる。これまで毎秒2cmから毎秒18cmまでの歩行速度を実現している。ナンバ歩きを人間型二足歩行ロボットに生かすと俊敏で柔軟な動きをつくりやすい。関節への負担も軽く、省エネルギーで済む利点もある。図2の高橋尚子選手の走法は胸を張ってから走っているのではない。大きく前方に上体が倒れ込む以上に左右交互に繰り返す足のピッチが速いので自然に姿勢が起きてくる。ピッチが遅くなると前傾をゆるめないと前方に転倒する。逆に、ピッチが速くなるにつれて前傾を大きくしないと反り返って滑って後に転倒する、動きを外から見た(フォーム)だけでは体の内の関節の動きはわからないことに注意すべきである。図3は、秒速18cmの走りであり、1秒間に6歩走る。図4は、人間の手による倒立棒の安定化制御の習熟過程である。人間は、機械制御とは異なり、右と左の切り替えの途中はほとんど制御していない。あらゆる状況で倒さないように切り替えのコツを試行錯誤により獲得する。試行を重ねると次第に動きが滑らかになり、静止しているように見える。しかし、絶えず左右に切り替えているのである。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頑健であり、構造安定だから状況の変化に適應する[11]-[14]。倒立棒が倒れる方向にそのまま台車を動かすと倒立棒は前進する。赤ちゃん歩行から飛脚走り・忍者走りへの進展のメカニズムである。

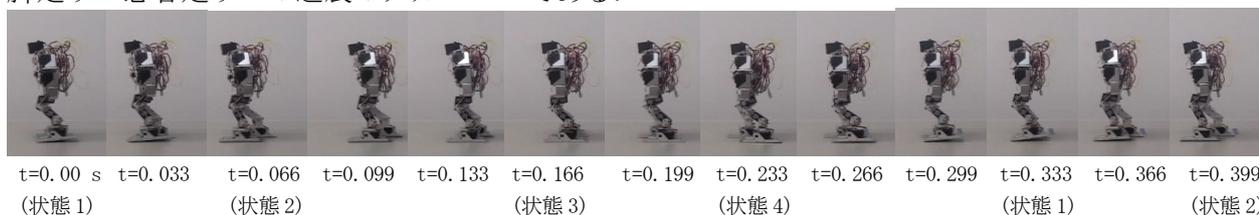


図3 人間型二足ロボット「源兵衛4号」のナンバ歩き(身長34cm, 18cm/s)

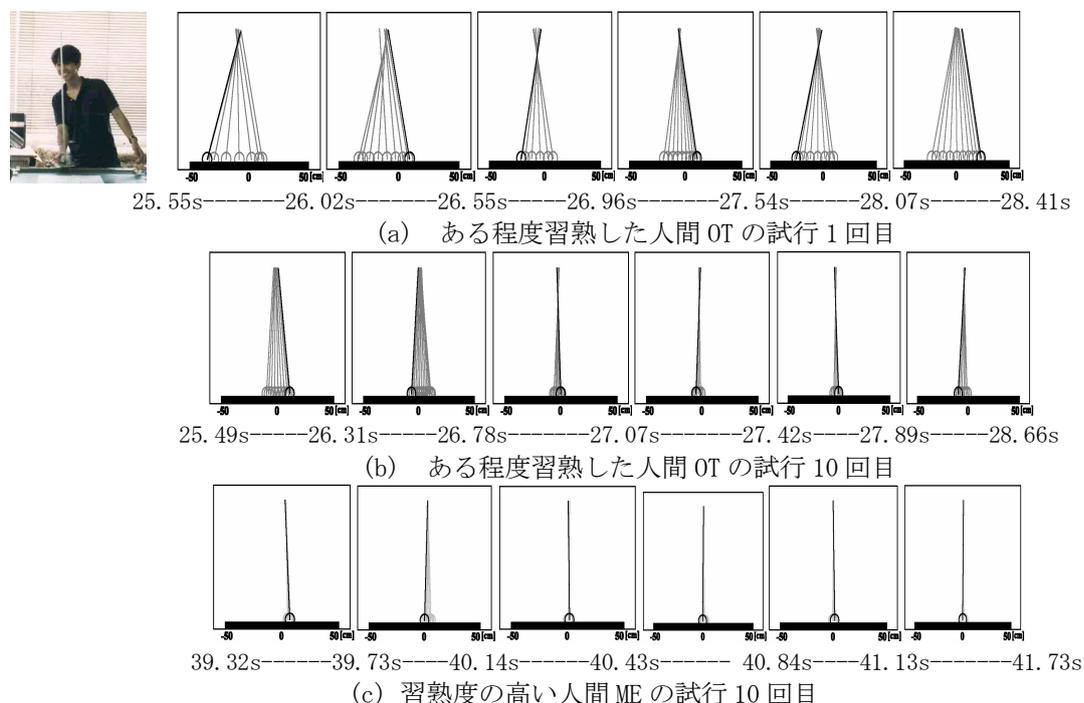


図4 人間による倒立棒の安定化挙動に見える赤ちゃん歩きから飛脚走りへの進展のメカニズム

3. 結論

重力による転倒力と地面との間に形成されたりミットサイクルを利用した人間型二足ロボットの歩行は、捻らない・うねらない・踏ん張らないシンプルな身体操作であり、習熟すれば300kmを10時間で走ったという飛脚「源兵衛」の速い走りへの進展が見えてくる。(文献省略)