

自然・生き物・ヒトと共生するロボットのありかた (人間型二足ロボット「源兵衛」の赤ちゃん歩きから飛脚走り・忍者走りへの道筋)

川副 嘉彦

埼玉工業大学

〒369-0293 埼玉県大里郡岡部町普濟寺1690

TEL: 048-585-2521 FAX: 048-585-6717 E-mail: kawazoe@sit.ac.jp

ABSTRACT

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.

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な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(いにしえ)の足運び(ナンバ歩き)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」という従来と反対の歩行原理による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、開発した直立二足ロボット「源兵衛」の歩行・走行の柔軟性と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・ナンバ走り」のロバスト性

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30cm)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34cm)のナンバ歩きである。足首関節を使って上体(頭)だけは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]。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のである。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後に滑って転倒するなどの知見が人間型二足ロボットの歩行・走行の実験からわかる。図3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、従来の機械制御理論とは異なり、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状況に応じた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る。静止しているように見えても、絶えず左右に細かく動いている。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（非線形振動論）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]。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る（ギブソン）。倒立棒が倒れる方向に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。

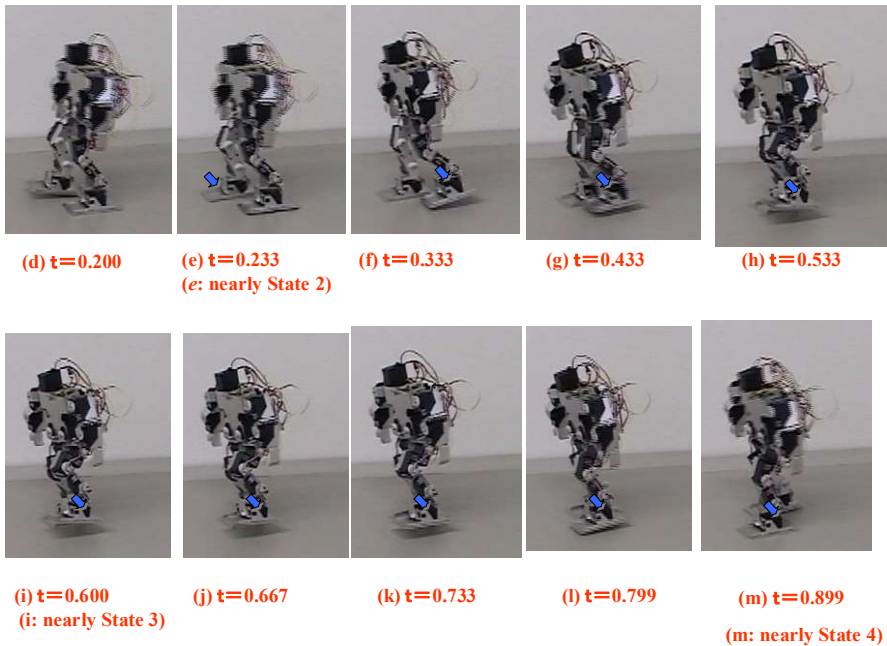


図1 直立二足歩行ロボット源兵衛4号のナンバ歩き



(a)



(b)

図2 ナンバ走り

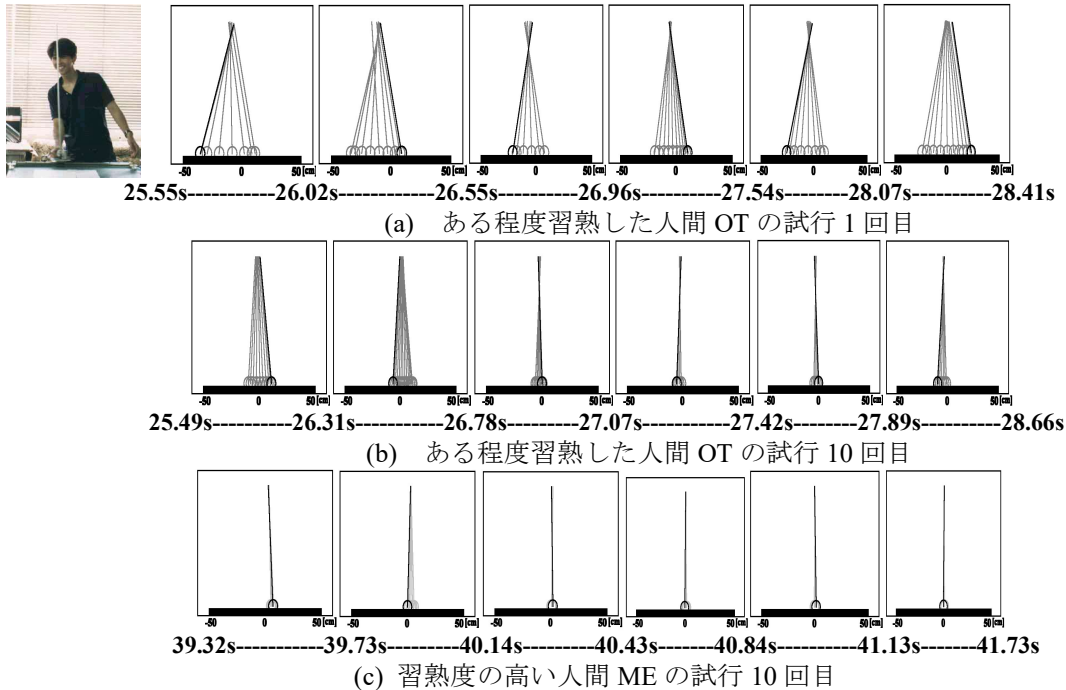


図3 人間による倒立棒の安定化挙動に見える赤ちゃん歩行から飛脚走りへの進展のメカニズム

3. 結論

「はちはお花のなかに、お花はお庭のなかに、お庭は土べいのなかに、土べいは町のなかに、町は日本のなかに、日本は世界のなかに、世界は神さまのなかに。そうして、そうして、神さまは、小ぢなはちのなかに。（はちと神さま by 金子みすず）」の中に、人間が「はちロボット」を作れない理由を見ることが出来る。世界の人が日本人と同じエネルギーを消費するとすれば地球が5つ必要だという。重力による転倒力と地面との間に形成されたリミットサイクル・アトラクターを利用した人間型二足ロボットの歩行は、きわめてシンプルであり、習熟すれば飛脚のような速い走りへの進展が見えてくる。（文献省略）