C33　古の身体操縦に学ぶ人間型二足歩行ロボット「源兵衛」のナンバ歩き・ナンバ走りの発現

Emergence of Adaptive Dynamic Walking NANBA of 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）　　南雲貴志（関東自動車工業）
伊能新一（ｼﾞｮﾝｿﾝｺﾝﾄﾛｰﾙｽﾞ）　　鈴木一彰（東京部品工業）

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Okabe, Saitama
Takashi NAGUMO, Kanto Automobile Corporation Ltd.
Shinichi INOU, Jhonson Controles Ltd.
Kazuaki Suzuki, Tokyo Buhin Kogyo Co Ltd.

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

1.1　21世紀のロボットと人間の知性のあり方

宇宙や海底や生き物の世界で働くロボットには大量生産時代の産業用ロボットの開発手法は通用しない．ロボットにも設計者にも適応性・柔軟性が求められる．生き物やヒトの巧みさの発達を包摂構造の観点から吟味すると，現在展開されている知能ロボット開発における本質的な欠陥を克服するヒントが見えてくる．生き物・ヒトの世界で働くロボットは生き物・ヒトの巧みさの発達に学ぶしかない[1]-[21].

1.2　生き物とヒトの知性はどのように生まれるか

ダーウィンの観察によると，ミミズの穴ふさぎ，モグラの穴掘りは巧みである．モグラは，頭を絶えず左右に動かして石や土の硬さを感じるとその反対側へ，湿っている方向があればその方向に，向きを変える．時々穴掘りを中断して重力感覚で下の方を確かめてもっと深い穴を掘り始める[8][22]．浅いプールで泳ぎを覚えたアザラシは海では溺れてしまう．アザラシの泳ぎと犬かきとは質が異なるのである[20][23].

上泉新陰流についての前田[24]の考察は鋭い．「スポーツ選手の頂点は，残酷なほど若い時にやってくる」．「ほんとうに上達する技とは，年齢の積み重なり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」．「深まるものは，量ではなく，質以外にない．最初にその質が植え付けられていない限り，上達の過程は始まりようがない．故に，基本と極意とは，まったく同質のものでなくてはならない」．怖いトンカツ屋のオヤジ，宮大工の棟梁，絵画の巨匠，エンデの童話「モモ」の道路掃除夫ベッポじいさん，ダンサー・山田うん，シンクロ・井村コーチにも同じような構造が見える[20][21].

野球の達人・イチロー選手は次のように言う．「やるべきことを一つ一つ積みあげていくと，そうしようと思わなくても，結果は出てくる」．日本における1994年の大記録210安打の翌年，彼はさらに本塁打と打点を飛躍的に伸ばした．大リーグ２年目の開幕戦２試合のヒットは，いずれも「追い込まれて」から打った「決して綺麗ではない」ヒットだったという．「一喜一憂はまわりがすることで，僕がすることじゃない」．4年目を迎えた開幕1週間前に，「練習でできることはもう終わっている，これから1週間練習しても同じ．あとはゲーム」．結果は歴史を塗り替えるほどの活躍であった．「特別な目的は持たないが，こういう場所に来れば見えてくるものがある」．大リーグ・オールスターで語ったイチロー選手の場の哲学である．21世紀の知性のあり方を極めつつあるように見える[8][20][21].

1.3　知能ロボットの壁

ホンダのASIMOとソニーのQRIOが知能ロボットとして良く知られている．ASIMOはきわめて高度な機械である．しかし，オペレータによる遠隔操縦であり，自律型ではない[20][21]．QRIOは，産業用ロボットや実装技術の集大成であり，絶妙・複雑なバランス制御で成り立っている．しかし，たとえば実環境の変化に対応してスペックをひとつ変えるだけで，全体のバランスは簡単に崩れてしまう[20][21]．これらのロボットが，知的に見えても，オペレータなしでは動けないのはこの理由による．

多くの時間と経費を費やして産官学の大規模プロジェクトとして展開されつつある最先端の知能ロボットでさえ，現状では，その行動はヨチヨチ歩きの赤ちゃんレベルであり，赤ちゃんに幾何学や物理学の知識を詰め込むような開発スタイルが依然として展開されているように見える．生き物や人間の住む現実世界で本当に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，現在の延長線上では実現しそうもないことが開発に実際に取り組んできた研究者だけではなく一般にも認識され始めた[10][25].

地球の歴史は46億年，単細胞生物が出現したのが35億年前，単細胞から昆虫に進化するのに３０億年，昆虫から人類に達するのに5億年．人類が農耕を始めたのが約２万年前，文字を書くようになったのが5千年前，専門的知識を所有するようになったのは数百年前だとブルックスは指摘している[2][10]．小成は大成を妨げる最大の要素でもある．量から質への転換，質の進展が求められる．

1.4 生き物のように知的に動くロボットはどのようにして生まれるか

作業の精度，速度，効率を追求する従来の知能ロボットは，外界をセンサで認識し，そのモデルを内部に構築し，行動計画を立て，そして実際に行動を起こす．しかし，このような直列方式の頭でっかちロボットは，人間の住む実世界では，障害物が突然現れたような場合に立ち往生してしまう[4]-[10].

養老によると[20][21][26],”システムとは「意識」によってつくられた世界である．(現代は) すべてを「システム」化，すなわち「自動化」しようとする．「自動化」をすすめているのは「意識」である．しかし，ヒトも身体も「自然」である．「自然」のすべてを「意識化」することはできない.”したがって，「自然」は技術者の最も苦手な対象になる．技術者が設計したロボットは，「自然」によって妨害される．ロボットにとって人間社会は未知の環境（自然）である．自然を知らない技術者が設計した回転ドアはいつでも事故が起こりうる.

一方，ブルックスが提唱したサブサンプション・アーキテクチャ（包摂構造）をもつ行動型ロボットは，要素行動と呼ばれる単純なモジュールを並列的に積み上げていき，次第に能力が向上していく．上位レベルの行動が失敗しても，下位レベルの行動が実行され，致命的な失敗を防ぐ[1]-[10]．前報までに，従来のモデル・ベースト・ロボットの実環境における本質的な欠陥のブレークスルーのために，ヒトの巧みさと巧みさの発達を包摂構造の観点から吟味し，ロボットにとって刻々変化する危険に満ちた実環境（現場）では,外界のモデル化は非現実的であり,従来のリアルタイムでの学習はすぐに破綻してしまうこと[5]-[9]，実環境（現場）で遭遇した課題を試行錯誤により学習（練習）し，その結果を要素行動として積み上げていくようなロボット開発のスタイルを提案した[10] [20] [21].

1.5 本研究の目的

本研究では，自律型ロボットにおける包摂構造化による知性の創発へのアプローチ[5]- [10] を二足歩行ロボットに展開し，ロボットにとって人間や動的障害物の存在する危険に満ちた未知の実験環境での俊敏な自律歩行・走行をめざす．ホンダの ASIMO とソニーの QRIO に代表される従来の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ている．しかし，このように重力に逆らう歩行法は前方への推進力のブレーキとなり，エネルギー的にも無駄が多く，サーボモータの負担も大きく，複雑精妙な制御を必要とし，しかも，実環境における外乱に弱い.

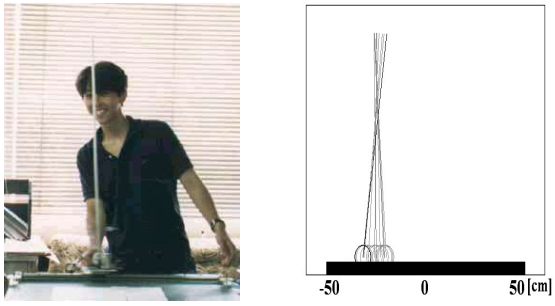
本研究の直立二足歩行ロボットは，ホンダやソニーのロボット，あるいは産官学の大規模プロジェクトによるヒューマノイド HRP-2 などの基本であるモデル・ベーストやZMP（ゼロ・モーメント・ポイント）制御とは逆の発想によるものであり，これらのロボットとは質の異なる俊敏で柔軟な自律歩行・走行の実現をめざす.

2. 古の身体操縦に学ぶ自立型二足歩行ロボット「源兵衛」のナンバ歩き・ナンバ走りの発現

2.1 生き物のように柔軟に適応する巧みな歩行・走行の原理

ギブソンは,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と述べている[8]-[9]．従来の機械制御は，たとえば台車上の倒立棒を安定化制御するとき常に目標値に近づけようとする．しかし，人間オペレータは，倒立棒を倒さないように有限振幅の制御をする（図１）．不安定で非線形な倒立棒系と非線形な人間系との相互作用により獲得された（発現した）いわゆるリミットサイクルである．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．コンピュータ制御実験によると，線形的に安定な動きに比べて，線形的に不安定なリミットサイクルや不規則な揺らぎのあるカオス的動き（図 2）は予期せぬ外乱に対してロバスト（頑健）である[27]-[29]．リミットサイクルは軌道安定だから過渡的な外乱にロバストであり，構造安定でもあるから，状況の変化に応じた運動の変化が起こりうる[30]-[33]．これが人間の立位あるいは歩行が外乱に対して 強いロバスト性をもつ理由であり，柔軟な制御の生成に対応する[27]-[29].

古武術は古人が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[23]．ナンバ歩きは古武術の足の運びに見られる．「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ロバストで柔軟な動きをする自立型二足歩行ロボットのサブサンプション的な開発方法を以下に述べる．歩行の詳細な分析は別報に述べる．自立から自律への展開については，第３章に述べる.



(a) Experiment (b) Stick picture

Fig.1 Stabilizing control by a human operator

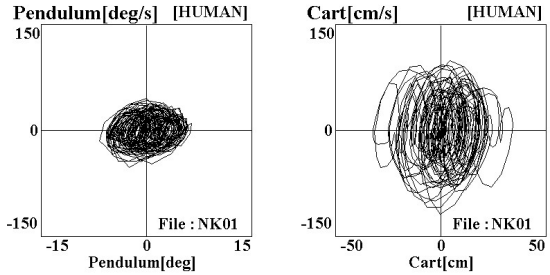


Fig.2 Behavior of an inverted pendulum in a phase plane.

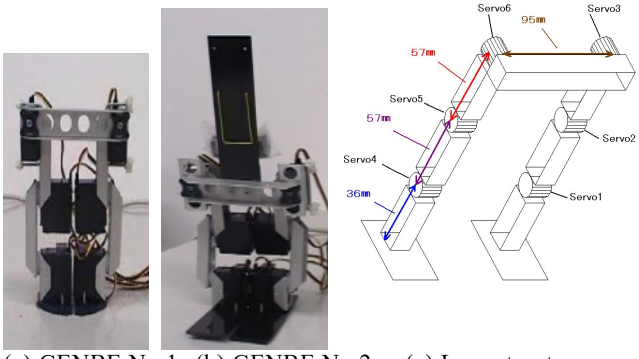
2.2 自立型二足歩行ロボット「源兵衛」のサブサンプション的開発

サーボモータ HS－422（ Hitec 社製，トルク 3.3 kg /cm）を用いたアームロボット Rascal（Advanced Design Inc. 製）を転用して簡単な構造の６自由度ロボット「源兵衛１号」（図 3(a)）を製作し，歩行実験を開始した．サーボコントローラを介してパソコンで作成した命令をサーボモータに転送することにより巧みな歩行の実現を試みた．上体を模擬して脚部の上に重量を付加したのが「源兵衛２号」（（図 3(b)，身長 300 ㎜，体重 550g，足の幅 36 ㎜，長さ 120 ㎜）である．全体の重心が上へと移行したことにより，「転倒力を利用する」効果が大きく，前進速度が増す．ナンバ歩きの基本は，前傾姿勢を取り，自然と前に倒れていく．(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，という四つの状態が基本である．

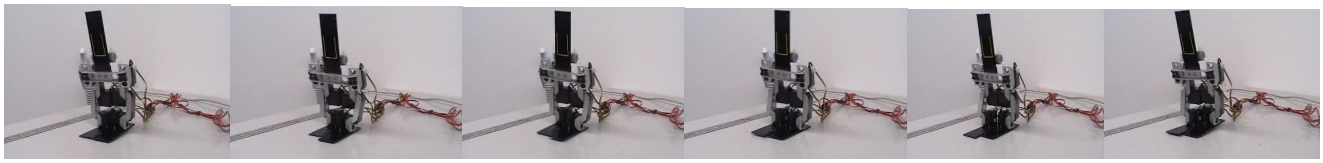
図 4 は「源兵衛 2 号」の俊敏・巧みな「ナンバ歩き」「ナンバ走り」を示す．制御しないにもかかわらず，サーボの回転角速度と傾き角の組み合わせにより，自在の速度での歩行が可能である．この場合の前進速度は，9.7 cm/s（人間の身長なら 時速 2km）である．

「源兵衛２号」の脚部の上に頭脳と上体を兼ねてマイコン（Joker 社製 Eye-bot）を搭載したのが自律型の「源兵衛 3 号」（図 5）である．この「源兵衛 3 号」は，下半身に比べて上体が重すぎて歩行・走りの速度を上げると，脚関節の負担が大きすぎて耐えられなくなった．トルクの大きいサーボ KRS-7841ICS を備えた KHR－1（近藤科学製）を採用したのが「源兵衛４号」（図４）である．



(a) GENBE No.1 (b) GENBE No.2 (c) Legs structure

Fig.3 Humanoid Biped Robot GENBE



①t= 0 s ② t= 0.07 s ③ t= 0.13 s ④t= 0.2 s ⑤ t= 0.26 s ⑥ t= 0.33 s

Fig.4 Emergence of simple humanlike robust walking NANBA of humanoid biped robot GENBE No.2. Height: 30 cm, walking speed: 10 cm/s（Reduced walking speed to height 170 cm: 2 km/h）

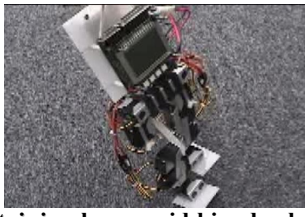


Fig.5 Self-sustaining humanoid biped robot GENBE No.3.

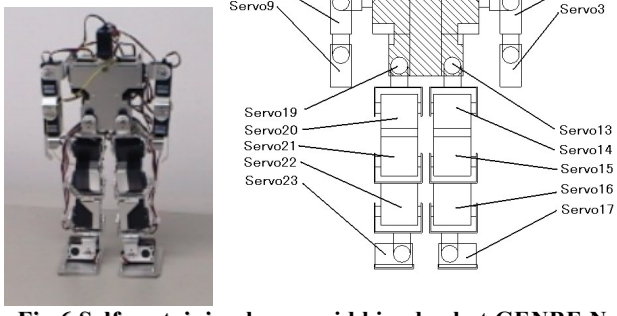
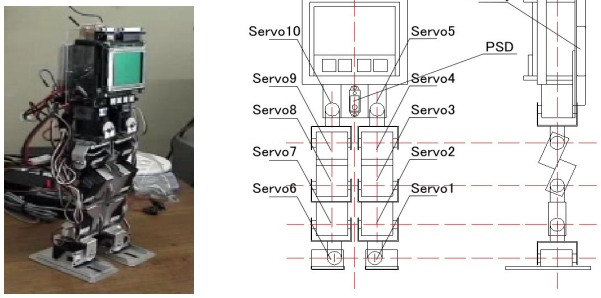


Fig.6 Self-sustaining humanoid biped robot GENBE No.4.



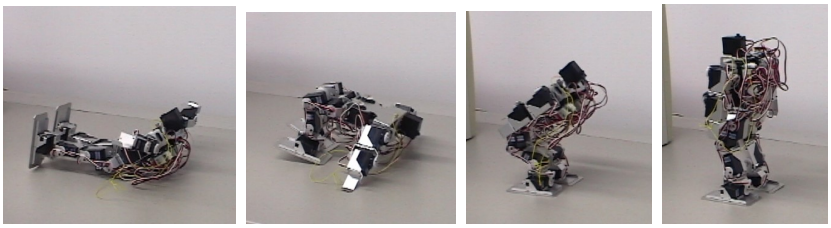
(a) (b)

Fig.7 Autonomous humanoid biped robot GENBE No.5

源兵衛４号の脚部の上にマイコン（Eye-bot）を搭載したのが自律型・「源兵衛５号」（図 6）である．教示により学習した源兵衛４号の動きを自律型「源兵衛５号」により展開するという開発方法をとることにした．「源兵衛４号」は，二枚のボートによって 17 個のサーボモータを制御し，筐体のサイズは 340 × 180 mm，脚部の長さは 210mm,足裏 59×113×1.5 ㎜，重量はバッテリー等を搭載して約 1.2 ㎏である．パソコン上で作成したモーションデータ（サーボ位置を表すポジションデータの集まり）をロボットのコントロールボードにダウンロードして実行させる．サーボの回転速度は 8 段階で設定できる．ポジションは「源兵衛２号」での“状態”に相当する．脚部６関節の「源兵衛２号」で獲得した動きを脚部 10 関節の「源兵衛４号」で展開する．

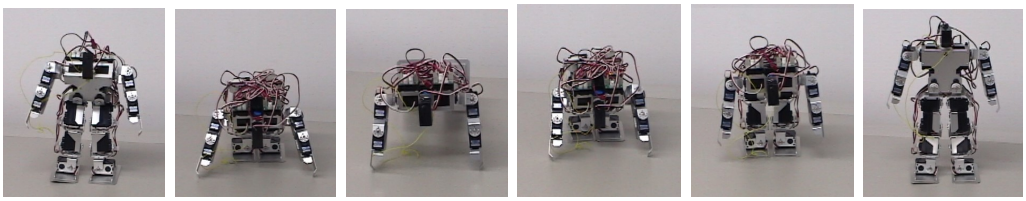
2.3 古の身体操縦に学ぶ自立型二足ロボットの巧みな動きの発現

図 6～図 9 は，源兵衛４号（筐体 KHR－1）の俊敏・巧みな動きを示す．図 8 は「仰向けからの起きあがり運動」，図 9 は「転倒防止の受け身と起きあがり」，図 10 はナンバ歩き（歩行速度:7.9cm/s，身長 170 ㎝の人間に換算すると 1.4km/h)），図 10 はナンバ走り（14.7cm/s，身長 170 ㎝なら 2.7 km/h ）である．すべてが「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 ZMP と逆の原理の動きであり，片持はり状態を作らないような関節角度の形成により楽に体重を移動する．図 10，図 11 は，立位から歩行あるいは走りの左右各１歩までを示すが，立位から歩行開始への移行も定常歩行あるいは定常走りから停止への移行の動きもシンプルである．歩行の詳細は作成した開発支援ソフト Genbe Simulator を使って別報に述べるが，重力を利用したきわめてシンプルな歩行であり，ナンバ走りはありきたりの駆け足より速い．従来のバランス歩行（ZMP）は，エネルギーを多く必要とし，アクチュエータ等に大きな負担をかけ，外的要因によって転倒しやすく，ロバストであるとは言い難い．従来の歩行原理と逆の発想により，転倒力を利用したロバストで巧みな「ナンバ歩き」，「ナンバ走り」を実現した．



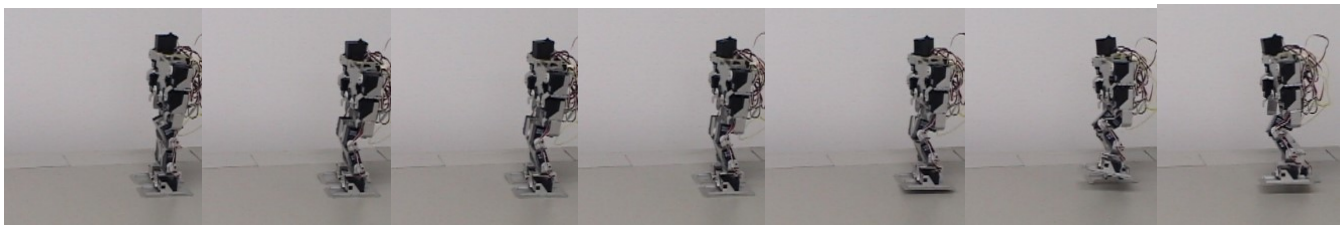
(n) t = 89.03 s (p) t = 90.03 s (t) t = 92.27 s (v) t = 93.73 s

Fig.8 Self-sustaining humanoid biped robot GENBE No.4 rising from lying on his back.

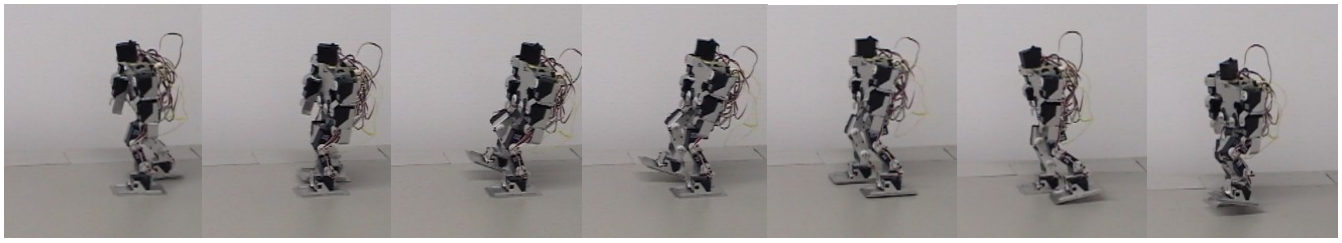


(b) t = 68.43 s (d) t = 68.27 s (e) t = 69.97 s (i) t = 76.40 s (j) t = 77.23 s (l) t = 79.93 s

Fig.9 Self-sustaining humanoid biped robot GENBE No.4 break-fall for preventing falling down and picking himself up.

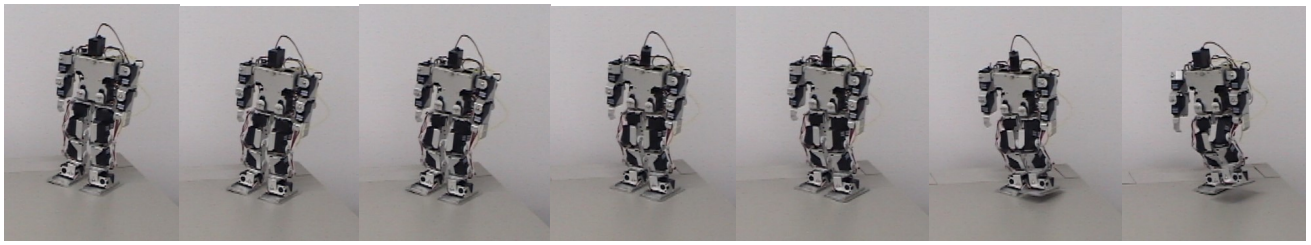


(a) t = 0.00 s (b) t = 2.40 s (c) t = 2.57 s (d) t = 2.73 s (e) t = 2.87 s (f) t = 3.00 s (g) t= 3.20 s

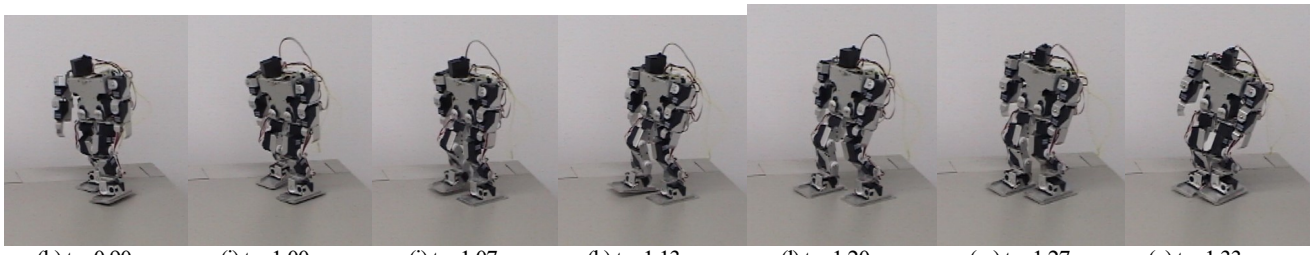


(h) t = 3.37 s (i) t = 3.50 s (j) t = 3.64 s (k) t = 3.80 s (l) t = 3.94 s (m) t = 4.10 s (n) t = 4.27 s

Fig.10 Emergence of simple self-sustained humanlike robust walking NANBA of self-sustaining humanoid biped robot GENBE No.4. Height: 34 cm, Walking speed: 7.9 cm/s（reduced walking speed to height 170 cm: 1.4 km/h）.



(a) t = 0.00 s (b) t = 0.10 s (c) t = 0.27 s (d) t = 0.47 s (e) t = 0.53 s (f) t = 0.63 s (g) t = 0.77 s



(h) t = 0.90 s (i) t = 1.00 s (j) t = 1.07 s (k) t = 1.13 s (l) t = 1.20 s (m) t = 1.27 s (n) t = 1.33 s

Fig.11 Emergence of simple self-sustained humanlike robust running NANBA of self-sustaining humanoid biped robot GENBE No.4. Height: 34 cm, walking speed: 15 cm/s（reduced walking speed to height 170 cm: 2.7 km/h）.

倒れる前に足を出すという人間オペレータの倒立棒の安定化制御の原理と同じであり，サーボの負担とエネルギを大幅に低減する．また，ナンバ歩き・ナンバ走りには，西洋式の近代スポーツ理論に見られる腕の振りは不要である．転倒の心配に頭脳を使わなくて済めば，いろいろなタスクへの展開が見えてくる．

3. 二足歩行ロボット「源兵衛」のナンバ歩き・ナンバ走りの自立から自律への展開

ZMP (Zero Moment Point) を基本とした従来の二足ロボットの歩行は，慣性力や転倒力を二足歩行の制御をする上で邪魔なもの（障害）と位置づけたバランス制御あるいは線形的な安定化制御である．しかしこのように重力に逆らうような歩行法は前方への推進力のブレーキとなり，エネルギー的にも無駄の多い歩行である．

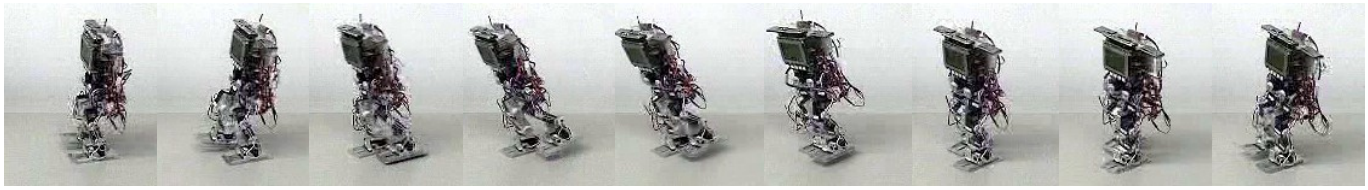
さらに，従来の二足歩行ロボットは SMPA (Sense -Model -Plan -Act) フレームに基づいたモデル・ベーストであり，ロバストネスの欠如と開発方法が困難であるという二つの問題点を抱えている．知能ロボットとしての自律型二足歩行ロボットに期待されるのは，刻々変化する複雑な実世界での作業環境や人間社会によく適応する歩行である．このような要求に従来の自律型二足歩行ロボットの開発に採用された方法を適用することは極めて困難であり，現実世界で本当に自律的に動く二足歩行ロボットは，長い間の研究にもかかわらずまだ実現されていない．

「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」という従来と逆の発想による自立型二足歩行ロボット「源兵衛４号」で獲得した巧みな歩行をベースにして，サブサンプション的手法により，マイコン（CPU はモトローラ社製 MC68332ACF25，32 ビット）とセンサ[5]-[10]を実装した高いロバスト性と拡張性を持つ自律型「源兵衛５号」へと開発を展開する．脚部アクチュエータとして 10 個のサーボモータを使用して 10 自由度を持たせた．全高は約 350mm，重量は約 1.1kg である．

「源兵衛 5 号」の二足歩行は，①状態数，②各状態におけるサーボモータの角度および③回転速度，④状態間の待ち時間，という 4 つの要素を設定することで多様な歩行動作を生成する．状態とは各サーボモータに角度データを与えた両脚の形のことであり，この状態を組み合わせることにより 1 つの歩行動作が生成される．歩行動作は，サーボモータごとに違った角速度を設定する必要があるので，「源兵衛 5 号」では状態間の角度差の分割数の増減を利用して角速度を可変にした．分割数を増やしていけば次の状態までの時間は遅くなる．すなわち設定した分割数が実質的な角速度の設定値となる．

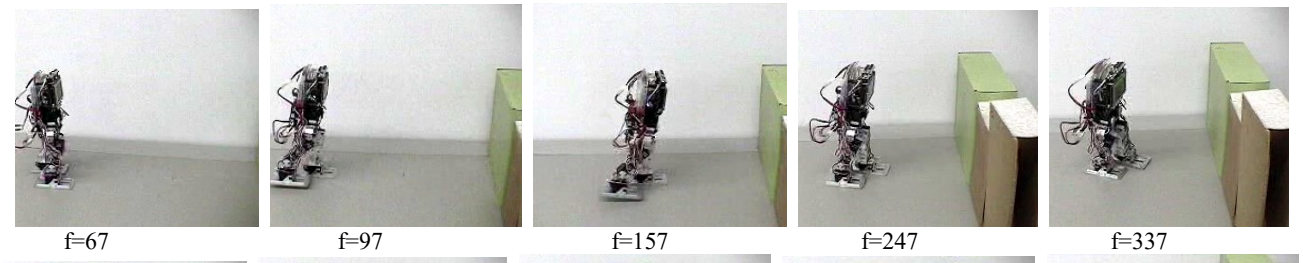
図 12 は「ナンバ歩き」の例である．この場合の「ナンバ歩き」では，足を高めに上げて，重力を意識して前方に大きく倒れ込んで推進力として利用している．また状態 2, 4 においてサーボモータの回転速度を遅めに設定して時間を掛けて倒れ込んでいるため，しっかり踏み込んでから次の状態へ移っている．歩行速度は約 6.5 cm/s （身長 170 ㎝なら 1.14 km/h に相当）である．この場合の「ナンバ歩き」は，歩行のピッチ（サーボの回転速度）を遅くしても歩幅が大きくなっており（大股歩き），サーボモータの回転速度を全体的に速くした「駆け足」よりも歩行は速い．動きの詳細は別報に述べる．

図 13 は，胴体中央部に障害物回避用の距離検出素子

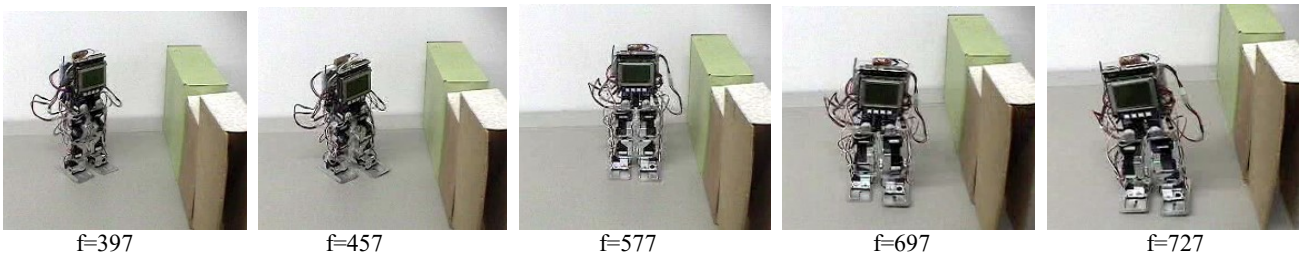


f=85**(State 1)** f=91 f=97**(State 2)** f=101 f=104**(State 3)** f=110 f=116**(State 4)** f=120 f=123
t=0.000 s t=0.200 s t=0.400 s t=0.533 s t=0.633 s t=0.833 s t=1.033 s t=1.167 s t=1.267 s

Fig.12 Emergence of simple self-sustained humanlike robust walking NANBA of humanoid biped robot GENBE No.5. Height: 35 cm, Walking speed: 6.5 cm/s（Reduced walking speed to height 170 cm: 1.14 km/h）



f=67 f=97 f=157 f=247 f=337



f=397 f=457 f=577 f=697 f=727

Fig.13 Emergence of simple self-sustained humanlike robust walking with autonomous obstacle avoidance of humanoid biped robot GENBE No.5.

(PSD)センサを搭載し，障害物を回避する例である．この場合は簡単な制御構造であり，要素行動 Walk（前進）と要素行動 Avoid（障害物を検知し回避する）からなり，障害物を検知すると Avoid が優先される．要素行動 Avoid（障害物回避）が発現すると，停止した後，約 90°右旋回する．要素行動 Avoid が終了すると，Walk に戻って前進を再開する．

4. 結 論

従来のモデル・ベーストやZMP（ゼロ・モーメント・ポイント）制御とは逆の発想，すなわち「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」により，制御無しでも，従来の自立型二足ロボットの歩行とは質の異なるロバストで柔軟なナンバ歩き・ナンバ走りを発現した．さらに，SAを採用して，障害物を回避しながらの自律的「ナンバ歩き」を発現した．高い拡張性を持ち，センサの追加などハードウェアの変更等にも柔軟に対応できるので，新たな要素行動を積み上げていくことにより，衝突を検知しての回避行動や坂道や階段などの環境における歩行，転倒防止や転倒時の受け身，CCDカメラを用いた色探索など，次第に能力が向上していく形で巧みな動きの進展が期待できる[5]-[10][21].

また，足と地面の接地状況を判断すれば，柔軟で自在な自律歩行が実現できる可能性がある．足の裏に取り付ける接地状況検知用センサを試作中である．足裏の接触センサなど各種センサを用いた SA 的な技の学習と獲得により陸上競技の末続選手や飛脚の走りのような達人技をめざす．

本研究の一部は埼玉工業大学ハイテク・リサーチ・センターの援助によって行われたことを付記する．

文 献

[1] Brooks, R. A., A robust layered control system for a mobile robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.2, No.1, 14 -23 (1986).

[2] Brooks, R. A., Intelligence without representation, Artificial Intelligence, Vol.47, (1991), pp. 139 -159.

[3] Gomi, T, Impact of Non-Cartesianism on Software Engineering, Evolutionary Robotics ER'98, AAI Books, Ontario, Canada, 1998, pp.487–519.

[4] 五味隆志，知的移動ロボット：知能の新しい見方，ロボットの新たな役割，Evolutionary Robotics ER'98, AAI Books, Ontario, Canada, 1998, pp.427–454.

[5] 川副嘉彦，複雑系としての人間の巧みさと自律ロボットの知性の発現，日本機械学会2002年度年次大会講演論文集, pp.171-172，(2002).

[6] 川副嘉彦，知能ロボットの知性の創発（第1報，複雑系としての人間の行為・運動の巧みさとサブサンプション・アーキテクチャ），埼玉工業大学紀要，第11&12号，pp.9-19, (2002)

[7] 川副嘉彦，知能ロボットの知性の創発（第2報，SAを用いた行動型移動ロボットの自律走行の発現），埼玉工業大学紀要，第11&12号，pp.21-31, (2002)

[8] 川副嘉彦，人間の巧みさの発現と包摂構造（スポーツにおける巧みさへのアプローチ），日本機械学会・機械力学・計測制御部門講演会CD-ROM論文集，pp.1-6, (2003).

[9] 川副嘉彦，知能ロボットの知性の創発（生き物・人間の巧みさと包摂構造からのアプローチ），埼玉工業大学工学部紀要，第13号，pp.13-23, (2003)

[10] 川副嘉彦，学習の包摂構造化による知能ロボットの知性の創発と人間の巧みさの発現，日本機械学会2004年度年次大会講演論文集, pp.169-170，(2004).

[11] 梅谷陽二，RSJ－黎明期から今日まで，日本ロボット学会誌，20-6，(2002)，pp.566- 567.

[12] 有本卓，ロボティクスは先端科学技術になりうるか，日本ロボット学会誌，20-6，(2002)，pp.569-570.

[13] 広瀬茂男，大衆工学としてのロボット，日本ロボット学会誌，21-2, (2003), pp.138-140.

[14] 國吉康夫，ロボットの知能－創発実体主義の挑戦－，計測と制御，42-6, (2003), pp.497-503.

[15] 井上博允・加賀美 聡，ロボットの知能とシステム統合，日本ロボット学会誌，20-5,(2004), pp.4642- 469.

[16]井上博允，人間型ロボットが拓く未来社会と新産業の創成，日本ロボット学会誌，22-1,(2004), pp.2-5.

[17]比留川博久，人間型ロボットの近未来応用，日本ロボット学会誌，22-1,(2004), pp.6-9.

[18] 星野力,『日本のロボット研究って変ですね』, 情報処理学会誌「情報処理」, 41-3 , (2000)

[19]ソニー,研究所設立へ:考えるロボット　脳科学で開発,2004/03/14, 朝日新聞.

[20] 川副嘉彦，21世紀のロボットと人間の知性のあり方（学習の包摂構造化による巧みさの発達），第3回２１世紀連合シンポジウム―科学技術と人間―抄録集，pp.15-16. (2004)

[21] 川副嘉彦，知能ロボットの知性の創発（学習の包摂構造化と巧みさの発達）埼玉工業大学工学部紀要，第14号, pp.3-16, (2004).

[22] 佐々木正人，知性はどこに生まれるか，講談社，(1996)

[23] 甲野善紀，武術の新・人間学，PHP研究所．(2002)

[24]甲野善紀・前田英樹，剣の思想，青土社，(2001)

[25] 室山哲也，ロボットシティへの質問，日本ロボット学会誌，22-7, (2004), pp.853-855.

[26] 養老孟司，唯脳論，青土社，(1989)

[27] Kawazoe Y (1992), Manual control and computer control of an inverted pendulum on a cart, Proc. of the 1st International Conf. on Motion and Vibration Control, pp.930 -935.

[28] Kawazoe, Y., Measurement of Chaotic Behavior of Human Operator stabilizing an Inverted Pendulum and Its Fuzzy Identification from Time Series Data, J.Robotics & Mechatronics, 13-1. (2001), pp.23-29.

[29] Kawazoe, Y., CHAOS-ENTROPY ANALYSIS AND ROBUSTNESS OF HUMAN OPERATOR'S SKILL DURING STABILIZING CONTROL OF AN INVERTED PENDULUM, 7th International Conference on Motion and Vibration Control, MOvIC '04, St. Louis, CD-ROM pp.1-10.

[30] 川副嘉彦，空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究（第1報，原因を探る諸実験），日本機械学会論文集51-461，pp. 404- 409.(1985)

[31] 川副嘉彦，空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究（第3報，低速ハンチングの計算機シミュレーション），日本機械学会論文集, 51-471, (1985), pp.2789-2795.

[32] 川副嘉彦，空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究（第9報，非線形挙動の考察），日本機械学会論文集，56-523，(1990), pp.693- 699.

[33] 多賀厳太郎，歩行の創発，日本ロボット学会誌，15- 5，(1997), pp. 680- 683.