

人間型二足歩行ロボット「源兵衛」の「ナンバ歩き」から 「超高速ナンバ走り」への展開

川副 嘉彦

埼玉工業大学工学部ヒューマンロボット学科

kawazoe@sit.ac.jp

Development of JIZAI Movement of Humanoid Biped Robot GENBE Toward Super-High Speed NANBA Dash

Yoshihiko KAWAZOE

Department of Human-Robotics, Faculty of Engineering, Saitama Institute of Technology

Abstract

It seems that the emergence of intellectuality in an autonomous robot exists in the dexterity of human or creatures as complex systems. The previous paper proposed the research style and the development procedure along this approach for realization of a real intellectual robot. We call this Human-Robotics, where robots and engineers should learn and develop in collaboration with each other in the real world on the basis of the dexterity of nature, life and human. We realized the simple self-sustained humanlike robust walking & running NANBA of humanoid biped robot GENBE based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability without ZMP (Zero Moment Point) control, which uses only small active power with simple chaotic limit cycle utilizing instability, further developing into autonomous walking & running. Instability makes the natural movement. We also investigated the approach to the emergence of the intellectuality of an autonomous robot for breaking through the problems of the conventional intelligent robot with SMPA (Sense- Model- Plan-Act) framework in the real world. It is based on the development of human's dexterity or proficient skills with Subsumption Architecture (SA) by learning in the real world. This paper showed the development of NANBA Run of Humanoid Biped Robot GENBE by using small-soles toward Super-High Speed NANBA Dash making full use of instability as a source of driving force based on the distributed control of physical body in a martial art.

Key Word: Robotics, Humanoid Biped Robot, High Speed NANBA Dash, Human-Robotics, Small-Soles

1. 研究の背景と目的

生活分野，公共分野，医療福祉分野等においてロボット技術の多様な利用が期待されているが，現状のロボット技術は，将来の市場拡大に対応したロボット技術の具体的な用途や技術の実現可能性を明確にできないでいる¹⁾。

作業の精度，速度，効率を追求するモデル・ベーストと呼ばれる従来の知能ロボットは，SMPA(Sense- Model- Plan-Act) と呼ばれ，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ロボットは，どこかに誤りがあると，最終行動は失敗してしまう。また，新たな機能を付加しようとする，結局すべてを一から作り直すことになる²⁾⁻¹⁶⁾。たとえば，最先端と言われるヒューマノイドロボットは，従来の制御技術を極めた高度な機械であるが，実環境における外乱に極めて弱く，高精度な ZMP(Zero Moment Point) 操作の研究も精力的になされているが¹⁷⁾，精密な測定と計算に頼る ZMP 制御の限界はもはや明かである¹⁰⁾⁻¹⁶⁾。歩くだけでも計算に手間がかかりすぎるし，計算するほど動きがぎこちなくなる。ヒューマノイドロボットに必要とされる最優先の課題は，(1)全身を駆使して素早く巧みな運動を，(2)多様な姿勢や環境接触と予測困難な外乱やモデル化誤差のもとでロボストに達成することであると指摘されている^{18), 19)}。

本研究では前報までに，重心と ZMP の制御を基本とする従来の二足歩行ロボットの歩行原理とは逆に，不安定な姿勢が動きを作るという原理により，転倒力と状態遷移を利用する「ナンバ歩き・ナンバ走り」，瞬間的方向転換「ナンバ・ターン」，さらに後方から外乱により突然押されて倒されたときの転倒衝撃回避と転倒してからの起き上がりを自律的に発現した²⁾⁻¹²⁾。

従来の超スローの二足歩行ロボットは足裏が大きいほど重心と ZMP 制御の計算が容易で静的バランスがとりやすいが，硬くて大きい足裏は，速い走りや階段を駆け上る場合などの俊敏な動きには邪魔になる¹³⁾⁻¹⁵⁾。

甲野²⁰⁾⁻²²⁾によると，ナンバ走りは，体を上手

に使うことで体全体に滞りがなくなり，ある状態から別の状態に一気に変化することにより速さを生む。

本報では，できるだけ小さい足裏(スモール・ソール)を用いて，甲野²³⁾の「極短距離走・蹴らない走り」に学んで，ある状態から別の状態へ不安定を利用して一気に遷移することにより速さと威力を生む二足歩行ロボット「源兵衛」の超高速走りを試みる。また，自律型二足歩行ロボット「源兵衛5号」での反射的障害物回避の進展についても報告する。

2. 超高速ナンバ走り

ナンバ歩きは，前傾角度を大きくしてピッチを速くすると自然に走りに転じる。

Fig.1 の高橋尚子選手の走りは，自然に姿勢が起きているが，大きく前方に上体が倒れ込む以上に繰り返す足のピッチが速いのであって，二足歩行ロボット「源兵衛」の走りに近い。

Table 1は，「源兵衛4号」の各動作時間設定での腕の振り上げ動作における実際の動作時間，最大動作角度の高速ビデオ画像解析結果でよ



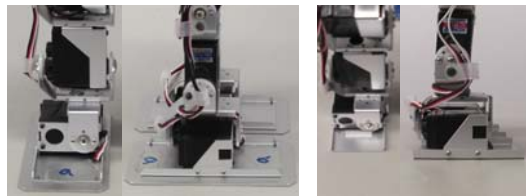
(a) Naoko TAKAHASHI (b) GENBE No.4.

Fig.1 NANBA Runs

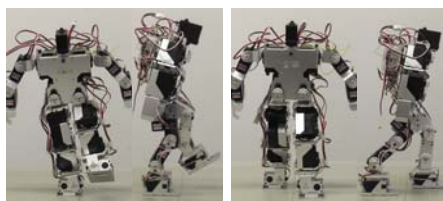
Table 1 Measured operating time and max operating angle vs. time setting (speed) of GENBE No.4.

Time Setting (speed)	Operating Time	Max Operating Angle of Servomotor	Max Operating Angle velocity of Servomotor
1	0.047sec	15deg	319deg/sec
2	0.094sec	30deg	319deg/sec
3	0.188sec	60deg	319deg/sec
4	0.376sec	120deg	319deg/sec
5	0.752sec	180deg	239deg/sec
6	1.504sec	180deg	120deg/sec
7	3.008sec	180deg	60deg/sec

ある³⁾。遅めの時間設定5~7では、設定した時間で180度まで回転させることができるが、速めの設定1~4ではトルク不足になりモータの様どおりにはならず、設定時間をあてても



(a) Large (59×113 mm) (b) Small (46×66 mm)
Fig.2 Soles of biped robot GENBEs



(a) State 1 (b) State 2
Fig.3 Two states of GENBE No.4 with small soles for Super-high-speed NANBA dash 37cm/s, 8 steps/s.

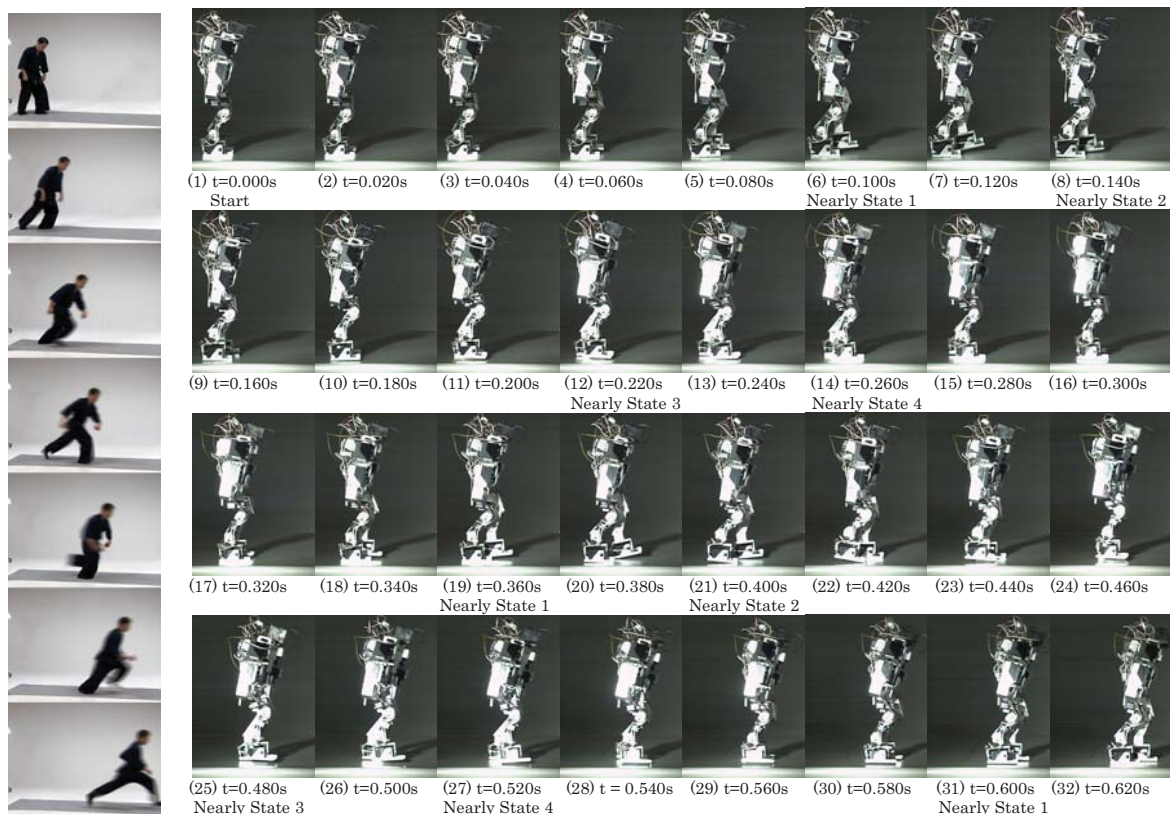
180 deg まで回転させることができない。

したがって、速いナンバ走り（ダッシュ）の状態遷移では、走行ピッチを上げて目標の関節角度まで至らないまま次の動作に移ることになる。

Fig.2はスモール・ソール概観、Fig.3は、スモール・ソールによる二足ロボットの超高速ナンバ走りの状態図、Fig.4は超高速ナンバ走りの実行結果、Fig.5は空中に吊り下げた状態での超高速ナンバ走りの実行結果、Fig.6は前進速度と両脚のピッチ速度の関係である。

Fig.6では、スモール・ソールによる超高速ナンバ走り（記号▲）は、最速のラージ・ソールによる走り⁴⁾⁶⁾の約2倍の速さになっている。

ピッチ速度が増すとサーボのトルク不足により前脚の角度が十分形成されず歩幅が小さくなり、前進しないで転倒しやすくなる。したがって、重



(a) KOHNO's RUN (b) GENBE No.4 with small soles
Fig.4 Emergence of NANBA dash 37cm/s, 8 steps/s of GENBE No.4 with small soles. It takes only 0.6 seconds from standstill to 2 step runs.

量に対して高速でのトルクが十分でない現状のサーボモータでは、ピッチの動作時間を長めにとって前脚の角度をある程度形成するほうが、不安定を利用して速く走る可能性がある。

Fig.4(a) に比べて, Fig.4(b) は足が十分に上がりきらず, 膝が十分折れていないので歩幅が狭いが, 状態1から状態2への遷移時間は転倒力を利用して約 0.04 s と短く, 状態2から状態3への遷移時間 0.08 s の半分になっている。

Fig.5 の空中で吊った状態では, 足を上げる時間も接地するまでの時間もほぼ同じであり, 0.08 s~1.00 s である。

Fig.4(b) は, ピッチの時間設定1の場合であり, 状態2を3回繰り返し与えて, 少しでも前脚の角度(姿勢)が形成できるように試みた結果であるが, むしろピッチ速度を落として Fig.4

(a) のように前脚の角度を十分形成すれば不安定を利用して歩幅が大きくなり, さらに高速に走る可能性がある。

この走法は, バasketボールやサッカーなどの瞬間的な加速や極短距離のダッシュに有効であるが, 人間の場合でも, 走り出しが非常に速い反面, 身体の手がかりが従来の走りに比べてあまりに複雑で, 最初の二, 三步は何とかなっても持続的にこれを行うことは非常に難しいといわれる^{22), 23)}。

人間にとっても二足歩行ロボットにとっても, 転倒したときに怪我したり壊れたりしないことが重要であり, 転倒したときにすぐに自分で起き上がる必要がある。受身の出来ないロボットや自分で起き上がれないロボットは, ブレーキのない自動車のようなものである。

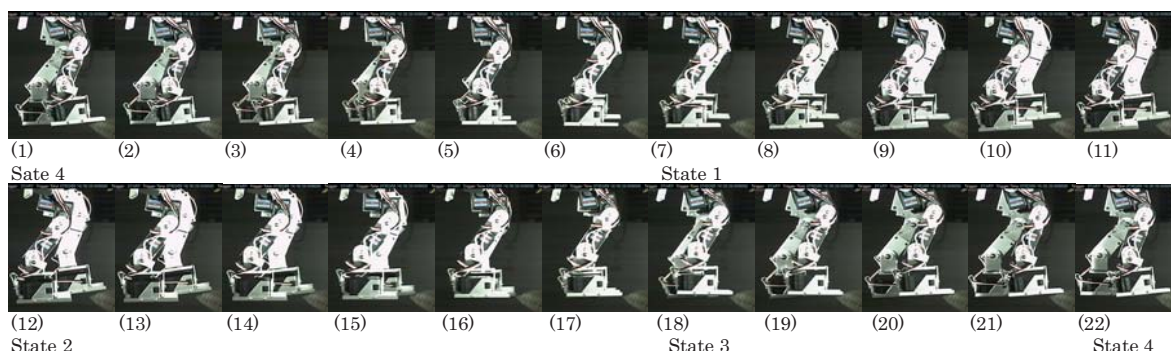


Fig.5 Moves of legs in the air for NANBA dash 37cm/s, 8 steps/s of GENBE No.4 with small soles (Every 0.02 seconds)

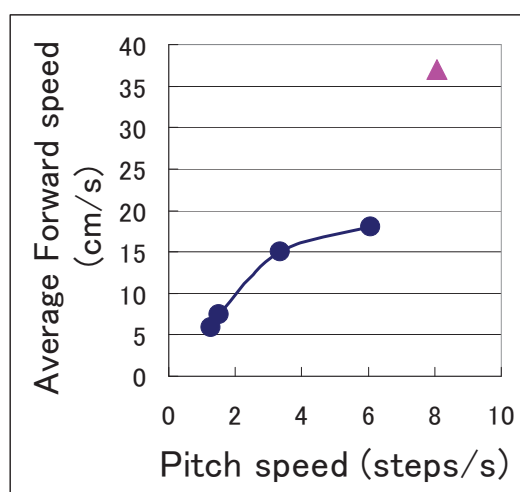


Fig.6 Forward speed vs pitch speed of biped robot GENBE No.4 (▲ : with small-soles).

すなわち、転倒時の衝撃回避は、二足歩行ロボットにとって最優先の設計課題であり、転倒しても怪我したり壊れたりしないような身体操作や倒れたらすぐに自ら起き上がるという動き

の生成は二足歩行ロボットにとっては大前提である。

Fig.7 は、源兵衛5号 (Fig.8) が不意に後から

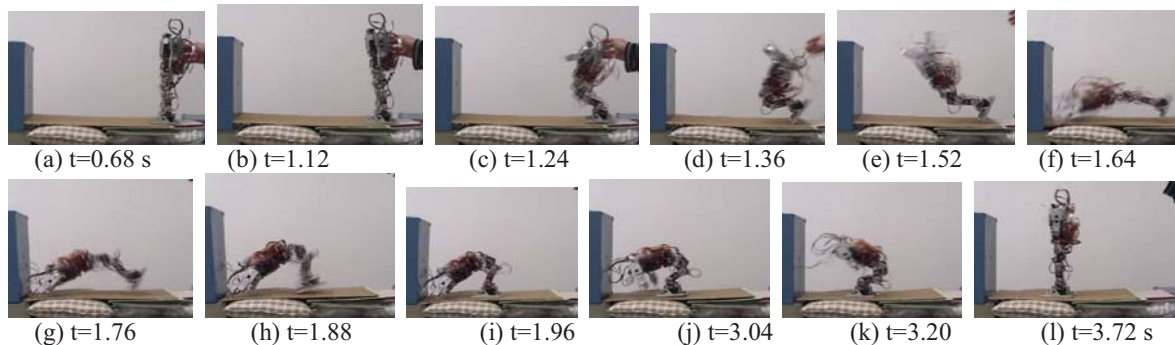


Fig.7 Simple autonomous shock avoidance during falling down and instantaneous rising of biped robot GENBE No.5 with Anti-ZMP based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability. It takes only 2.5 seconds.

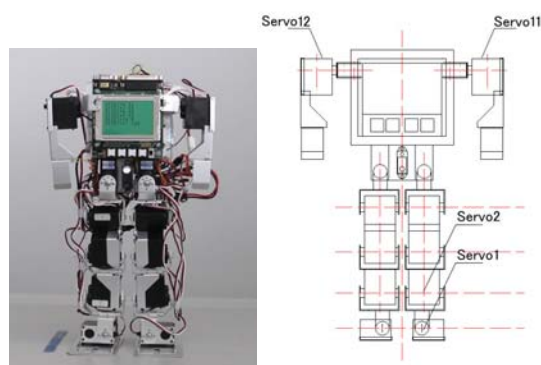
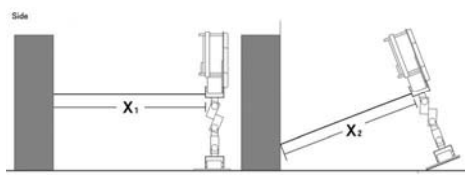


Fig.8 Autonomous humanoid biped robot GENBE No.5-2005



(a) Before falling down (b) after falling down
Fig.9 Detection of falling down using Position Sensitive Detector (PSD).



Fig.10 PSD-Sensor of autonomous humanoid biped robot GENBE No.5-2005

押されたときに前方への転倒を検出し (Fig.9, Fig.10), 転倒時の衝撃が小さくなるように受け身的な動きをして転倒し, さらに, 転倒した後素早く立ち上がる動きの自律的発現であり, これについては前報^{7), 8), 12)}に述べた。

3. 自律型二足ロボット「源兵衛5号」の反射的障害物回避の進展

自律的な行動要素のサブサンプリング (包括構造) 的積み上げを想定 (拡張性を考慮) して, 「源兵衛4号」の脚部の上に上体の一部を兼ねてマイコン JOKER 製 Eye-Bot Controller (Eye-Con) : CPU はモトローラ社製 MC 68332 ACF 25 (32ビット) を搭載し, センサを取り付けたのが自律型「源兵衛5号」(Fig.8, Fig.10)²⁾⁻¹²⁾ である。全高は約 350 mm, 重量はバッ

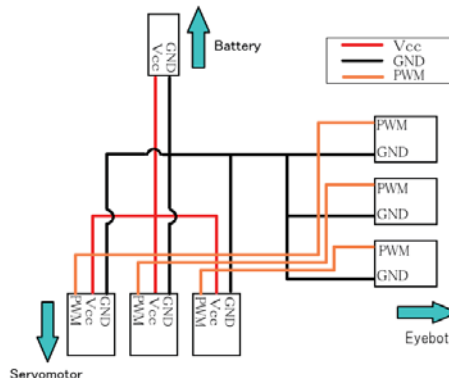


Fig11 Power layout for servomotors

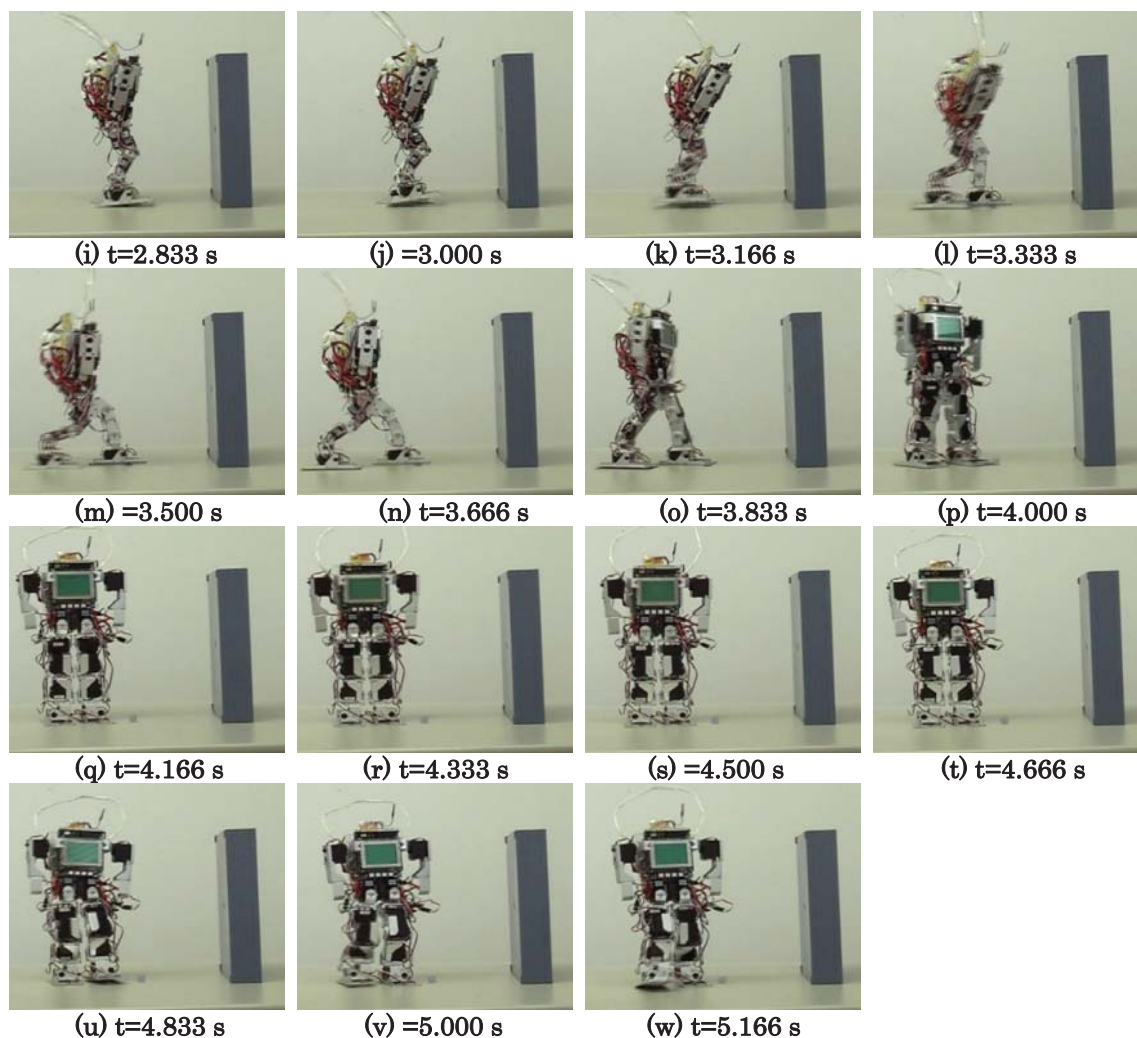


Fig.12 Emergence of a simple self-sustained humanlike robust instantaneous NANBA TURN-2006 of humanoid biped robot GENBE No.5 for obstacle avoidance during NANBA walking. It turns instantaneously 90 degrees in 0.8 seconds for obstacle avoidance and restarts NANBA walking (every 5/30 frames).

テリなどを含めて約 1.4 kg である。デジタルカメラほか種々のインターフェース・コネクタをもつ。マイコンボード Eye-bot には基板を保護するために流れ込む電流を 3A のヒューズによって制限する設計がなされている。マイコンボード Eye-bot にサーボモータを多数接続する場合、3A 以上の大きな電流を使用することになるためサーボモータの電源のみを別回路から供給する必要がある。「源兵衛 5 号」ではサーボモータへの専用電源回路を製作してサーボモータのみ別電源を使用できるようにした。Fig.11 にそのレイアウトを示す。マイコン Eye-bot と各サーボモータ間は PWM 信号

と GND のみを接続し、Vcc はバッテリーから直接サーボモータへ接続する。

「源兵衛 5 号」は、「源兵衛 4 号」の試行錯誤的に獲得した動きに基づいてセンサ入力により反射的に行動する要素をサブサンプリング（包摂構造）的に積み上げていく。サーボの回転速度は任意に設定可能であり、「源兵衛 4 号」の速度設定値に対応して、動作時間設定が同一なら回転角変位が異なっても基本的には同一の時間で回転できるようにした。

Fig.12 は、源兵衛 5 号がナンバ歩きで前進中に実距離約 30cm (PSD 値 148) 以内の距離に障害物（壁）を検知し、90 度のナンバ・ターンを

して再び歩き出す様子を示すコマ写真である。障害物回避用の距離検出素子(PSD センサ)は胴体中央部に搭載している (Fig.10)。ナンバ・ターン 2005^{3), 11)} はターンに入る時に障害物(壁)側に少し近づくのに対し, Fig.12 のナンバ・ターン 2006 は上体を前に倒しながら前(左)脚に体重を移動し, 後(右)脚を後方に伸ばすことにより前(左)脚の位置を変えないでターンすることができる。源兵衛4号によるナンバ・ターン 2006 の状態図が Fig.13 であり, ナンバ歩きの途中で障害物(壁)を検知してナンバ・ターンで右折し, 再び歩き出すときの源兵衛5号の状態図が Fig.14 である。

Fig.12 の源兵衛5号は, ナンバ歩きで前進中に約 30cm 以内の距離に障害物を検知すると, Fig.14 の状態 1 (両膝を曲げて「構え」の形)を即座にとる。その後, 状態 2 から状態 5 まで遷移する。状態 2: 重心を左に寄せる。状態 3: 右足首を深く前方に曲げながら右脚を上げる。状態 4: 右脚, 左脚とも膝の角度は変更せずに, 足首, 脚の付け根の角度をそれぞれ変えることにより接地している左脚の位置を変えないで前後に脚を開く。状態 5: 直立(オフセット)の姿勢をとることにより, その場で約 90°右向きに回転する。その後は, 少しの待ち時間を挟んで状態 1 (両膝を曲げて「構え」の形)の姿勢をとり, ナンバ歩きへと移行する。停止後, 即座に「構え」の状態をとることにより障害物が退い

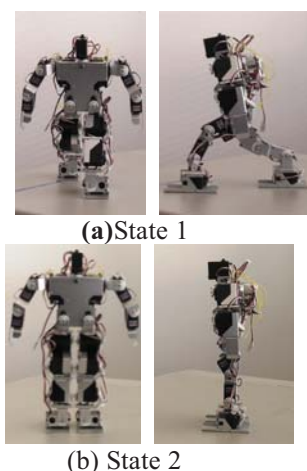


Fig.13 Fundamental two states of GENBE- No.4-2006 NANBA turn (90 degrees)

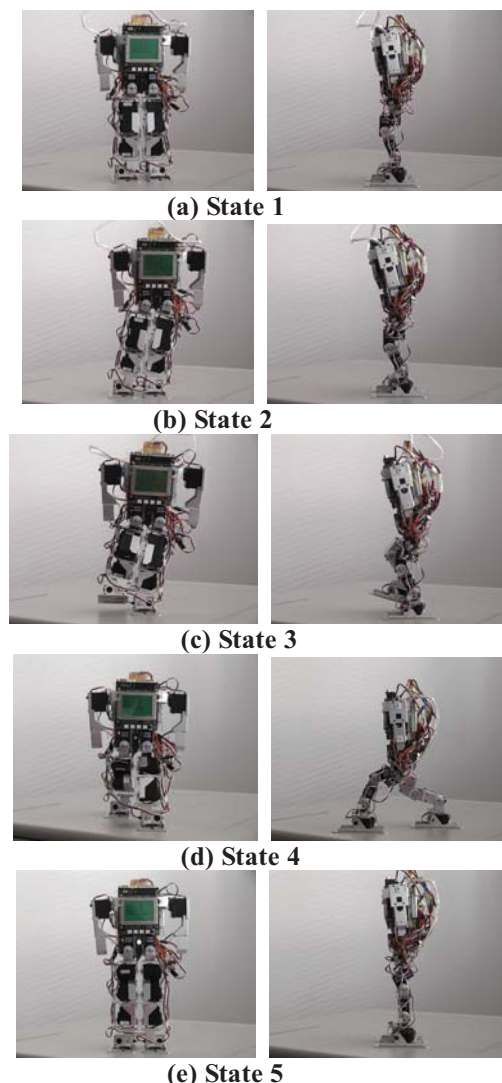


Fig.14 Fundamental states of GENBE- No.5-2006 of improved NANBA turn (90 degrees) for obstacle avoidance during NANBA walking.

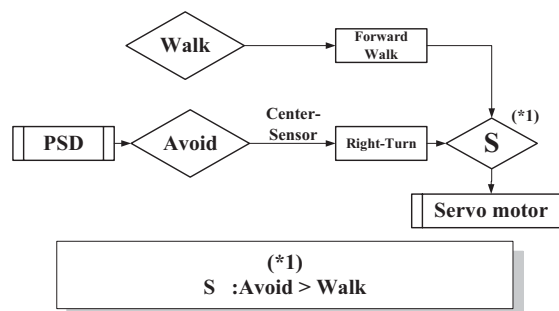


Fig.15 Subsumption Architecture of NANBA walk of GENBE No.5 -2006 for obstacle avoidance and instantaneous NANBA turn (90 degrees).

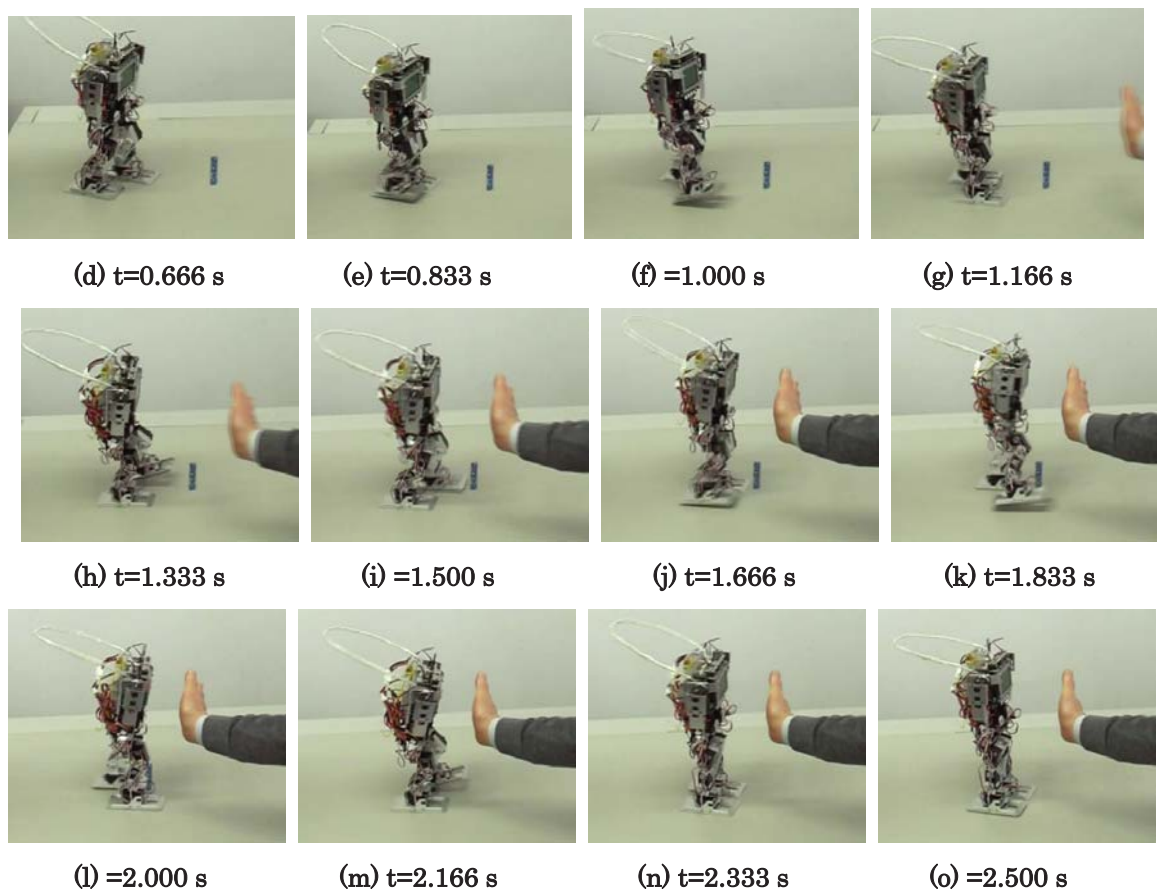


Fig.16 Emergence of simple self-sustained humanlike robust quick stops of humanoid biped robot GENBE No.5-2006 for abrupt disturbance during NANBA walking. It stops quickly during walking in 0.8 seconds (every 5/30 frames).

た後の歩き出しが安定する。

Fig.15 は, SA(Subsumption Architecture)による並列処理構造と各要素行動の処理系²³⁾⁻³⁵⁾の例を示す. 要素行動 Walk (前進)と要素行動 Avoid (障害物を検知し回避する) からの簡単な制御構造例であり, 障害物を検知すると Avoid (回避) が優先され, 停止してから約 90° 右に瞬間的に方向転換し, Avoid (回避) が終了すると Walk (ナンバ歩き) に戻って前進を再開する.

Fig.16 は, 突然の外乱 (動的障害物) に対する源兵衛 5 号の応答性の良さを示すビデオ・コマ写真である. ナンバ歩きで歩行しているときに突然に目の前に出現した障害物に対して急停止した例であり, 歩行状態から約 0.8 秒で急停止し, 次の行動のために身構える.

4. 結論

小さめの足裏 (スモール・ソール) を用いて, ある状態から別の状態へ不安定を利用して一気に遷移することにより速さと威力を生む二足歩行ロボット「源兵衛」の極短距離走・超高速ナンバ走りを試みた. スモール・ソールによる超高速ナンバ走りは, ラージ・ソールによる最速の約2倍の速さであった. この走法は, 走り出しが非常に速い反面, 身体の手操作が従来の走りに比べて非常に難しい. ピッチをあまり上げずに多少の時間をかけても前脚を上げて前足の形を十分形成すれば不安定を利用して大きな歩幅で接地することができ, さらに高速に走る可能性がある.

ナンバ歩きで前進中に実距離約30cm以内の距離に障害物 (壁) を検知し, 自然な90度のナ

ンバ・ターンをして再び歩き出すという要素行動、ナンバ歩きで歩行中に突然目の前に出現した障害物に対して約 0.8 秒で急停止して身構えるという自律二足歩行ロボット「源兵衛5号」の進展例を示した。

1980年代にマサチューセッツ工科大学のロドニー・ブルックスが「人口知能にも身体が必要だ」と発表したとき、「何をばかな」と会場が騒然として、大変なブーイングで発表を続けられないほどだったという話に関連して、武術研究者・甲野善紀³⁶⁾が人間とロボットの運動と知覚の本質を次のように見事に捉えている(川副要約)。「これは、物事の本当に根本に関わる話で、私はこの話を聞いたとき、大変感動しました。ブルックスは、物を考える能力、知能の原点の原点を説いたからです。つまり、ブルックスは、お茶を入れたりするようなすごく単純な動作でも、それをまったくゼロから知能が考えて組み上げるには、ほとんど無限なくらい多くの情報量が必要だということに気づいたからです。茶碗の形や机の状況にしても、この場合は大丈夫だ、この場合は大丈夫じゃないと(人工知能が)知らなければならぬ情報を、全てを一から教えるとする、無限に近いほどたくさんあることに気づいたのです。ところが、身体があれば身体ができる限界という、規定されたものが最初からあって、そこから話が始まるということなのです。規定されていれば、前提がすでにある。その前提をすべて思考で作り出そうとしたら、キリがないということです。」

武術という生死をかけた身体操作の実践研究から生まれてくる理解力の深さには感嘆するしかない。

おわりに、写真提供をいただいた高橋尚子選手とさかいやスポーツ・酒井孝典氏に厚くお礼申し上げます。また、本研究に励ましとご指導をいただいている森政弘(東工大名誉教授)、養老孟司(東大名誉教授)、五味隆志(アプライド・AI・システムズ社)、甲野善紀(松聲館)、梅谷陽二(東工大名誉教授)、佐々木正人(東大教授)の諸先生に深謝する。卒業研究として熱心な協力を頂いた平成16年度・南雲貴志・伊能新一・

鈴木一彰・池田光雄、17年度・須永智文・桃井孝昌・原田一臣・清水祐一、18年度・森山真太郎・田口準・癸生川純一・小嶋賢一、平成19年度・伊倉良明・筋野駿介・輿水裕矢・原昌彦の諸君にも深く感謝する。

なお、本研究の一部は平成17年度中山隼雄科学技術文化財団助成研究費の援助によって行われたことを付記する。

文献

- 1) 山本哲也, 次世代ロボット実用化プロジェクト, 日本ロボット学会誌, 24-2, (2006), pp.169-170.
- 2) 川副嘉彦・南雲貴志・伊能新一・鈴木一彰, 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, 日本機械学会主催, 第9回運動と振動の制御シンポジウム論文集, (2005), pp.514-519.
- 3) 川副嘉彦・須永智文・桃井孝昌, 二足ロボット源兵衛の Anti-ZMP による瞬間的方向転換「ナンバ・ターン」の発現, 日本機械学会主催 Dynamics and Design Conference 2006 CD-ROM 論文集 560, (2006), pp.1-6
- 4) 川副嘉彦, 不安定を利用する人間型二足ロボット「源兵衛」に学ぶ関節に負担の少ない身体操法, 福祉工学シンポジウム 2006, (2006), pp. 301-304.
- 5) 川副嘉彦, 自然・生き物・ヒトと共存するロボットのありかた(第1報, 古の身体操法に学ぶ人間型二足ロボット「源兵衛」のナンバ歩き・ナンバ走りの発現), 埼玉工業大学工学部紀要, 第15号, pp.11-23, (2005)
- 6) 川副嘉彦, 自然・生き物・ヒトと共存するロボットのありかた(第2報, 人間型二足ロボット「源兵衛」の俊敏・柔軟・ロバスト性のメカニズム), 埼玉工業大学工学部紀要, 第15号, pp.25-32. (2005)
- 7) 川副嘉彦・原田一臣・清水祐一, 自律型二足ロボット源兵衛の Anti-ZMP による瞬間的転倒衝撃回避と起き上がり, 日本機械学会・機械力学・計測制御部門講演会 D & D

- 2006 CD-ROM 論文集 550, (2006), pp.1-6
- 8) 川副嘉彦, 自律型二足ロボット「源兵衛」に学ぶ俊敏な転倒時・衝撃回避受け身と起き上がり, 福祉工学シンポジウム 2006, (2006), pp.297-300.
- 9) 川副嘉彦, 不安定を利用する非線形制御による人間型二足ロボット「源兵衛」の俊敏自在の身体操作法, 日本機械学会主催ジョイントシンポジウム(スポーツ工学& ヒューマン・ダイナミクス) 講論集, (2006), pp.296-301.
- 10) 川副嘉彦, 「ロボットと人間が 21 世紀を生きるための「ヒューマン・ロボット学」の提唱」, 第 5 回 21 世紀連合シンポジウム - 科学技術と人間 - 論文集, (2006), pp.23-26.
- 11) 川副嘉彦, 自然・生き物・ヒトと共存するロボットのありかた (不安定を利用した二足ロボット源兵衛の瞬間的方向転換「ナンバ・ターン」の発現), 埼玉工業大学工学部紀要, 第 16 号, pp.3- 11 ,(2006)
- 12) 川副嘉彦, 自然・生き物・ヒトと共存するロボットのありかた (不安定を利用した自律型二足ロボット源兵衛の瞬間的転倒衝撃回避と起き上がり), 埼玉工業大学工学部紀要, 第 16 号, pp.13- 20 ,(2006)
- 13) 川副嘉彦・森山真太郎・田口準, 古(いにしえ)の身体操作法に学ぶ二足歩行ロボット「源兵衛」の自在な動きの発現 (不安定を利用する階段の登り降り), 日本機械学会 2007 年度年次大会講演論文集, Vol.7, pp.27-28, (2007)
- 14) 川副嘉彦・田口準・癸生川純一, スモール・ソールによる二足ロボット「源兵衛」の不安定を利用するナンバ走りの進展, 日本機械学会 2007 年度年次大会講演論文集, Vol.7, pp.29-30, (2007)
- 15) 川副嘉彦, 人間型二足ロボット「源兵衛」の身体操作法に学ぶ「ナンバ・テニス」の研究, 福祉工学シンポジウム 2007 講論集, (2007), pp. 185-188.
- 16) 川副嘉彦, 古の身体操作法に学ぶ人間とロボットの動きの原理 (人間型二足歩行ロボット「源兵衛」の「ナンバ歩き」から階段登り降りへの展開), 埼玉工業大学工学部紀要, 第 17 号, (2007), pp.
- 17) 杉原知道・中村仁彦, 非駆動自由度の陰表現を含んだ重心ヤコビアンによる脚型ロボットの全身協調反力操作, 日本ロボット学会誌, 24-2, (2006), pp.222-231.
- 18) 國吉康夫・大村吉幸・寺田耕志・長久保晶彦, 等身大ヒューマノイドロボットによるダイナミック起き上がり行動の実現, 日本ロボット学会誌, 23-6, (2005), pp.706-717.
- 19) 國吉康夫, ヒューマノイドの身体性, 現代思想, 33-8, (2005), pp.114-120.
- 20) 甲野善紀, 日本人古来の動きを取り戻せ, 中央公論, 2006 年 11 月号, pp.184-192.
- 21) 甲野善紀, 武術とスポーツの身体操作法の違い: 身体運動に対する新たな視座を, 科学, Vol.74, No.6, (2004), pp.772- 773.
- 22) 甲野善紀監修, 甲野善紀の身体革命, pp.54-55, 学習研究社, (2005)
- 23) 甲野善紀監修, 甲野善紀の驚異のカラダ革命, pp.58-61, 学習研究社, (2006)
- 24) 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).
- 25) Brooks, R. A., Intelligence without representation, Artificial Intelligence, Vol.47, (1991), pp. 139 -159.
- 26) Gomi, T, Impact of Non-Cartesianism on Software Engineering, Evolutionary Robotics ER'98, AAI Books, Ontario, Canada, 1998, pp. 487-519.
- 27) 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.
- 28) 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).

- 29) 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クション・アーキテクチャ), 埼玉工業大学紀要, 第11&12号, pp.9-19, (2002)
- 30) 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)
- 31) 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).
- 32) 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)
- 33) 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).
- 34) 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)
- 35) 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).
- 36) 甲野善紀, 古武術の息づかいを現代に活かす, とみん経営ビジネス 21, 2007年10月号, No.235, pp.8-13.とみん経営研究所, (2007) (TMC講演会抄録)