

Mechanism of Robustness of Humanoid Biped Robot GENBE who Runs
on the Ice and Snow Based on the Distributed Control of Physical Body in a Martial Art

正 川副嘉彦(埼玉工大) 伊倉良明(埼玉工大)
輿水裕矢(埼玉工大) 筋野駿介(埼玉工大) 原 昌彦(埼玉工大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Fukaya-si, Saitama
Yoshiaki IKURA, Saitama Institute of Technology
Yuya KOSHIMIZU, Saitama Institute of Technology
Shunsuke SUJINO, Saitama Institute of Technology
Masahiko HARA, Saitama Institute of Technology

The previous paper proposed the research style and the development procedure 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 and instantaneous turn. Instability makes the natural movement. We also investigated the approach for breaking through the problems of the conventional robot with SMPA (Sense- Model- Plan- Act) framework in the real world, developing to the simple autonomous shock avoidance during falling down and instantaneous rising. This paper showed experimentally the mechanism of robustness of humanoid biped robot GENBE who walks and runs everywhere even on the ice and snow in the nature.

Key Words: Robotics, Humanoid Biped Robot, Robustness, Limit Cycle, Instability, NANBA Run, Dexterity, Martial Art, Human-Robotics, Subsumption Architecture, Real World, Emergence

1. 研究の背景と目的

ホンダの ASIMO の歩行が滑らかであるために、ZMP 制御に基づく歩行は安定だと誤解されやすい⁽¹⁾。ZMP は、目標軌道からの微小変位の制御だから、たとえば転倒時のように周囲の状況により目標軌道が急変したり、予測外の外乱などにより目標軌道が未知の場合には、無力である。

従来の ZMP 制御とは逆に、不安定な姿勢が動きを作るという新しい歩行原理によると、直立二足歩行ロボットの「ナンバ歩き・ナンバ走り」、瞬間的方向転換「ナンバ・ターン」、軽快な階段の昇降動作などへと展開することができる⁽²⁾。本研究では、「ナンバ」という用語は、「ねじらない・うねらない・踏ん張らない」という関節に負担が少ない動きのイメージとして象徴的に使う。転倒力を利用して「歩きたい方向に倒れ、倒れる方向に足を出す」というのが「源兵衛」と名づけた二足ロボットのナンバ歩き・ナンバ走りであり、江戸-仙台間を1日で走ったといわれる伝説の飛脚の名前にちなんでいる。

二足ロボット「源兵衛」の「ナンバ歩き」の基本は、最もシンプルな脚部6自由度の場合(源兵衛2号)、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。脚部が10自由度の「源兵衛4号」および自律型「源兵衛5号」の場合、足首関節を使って上体(頭)が左右に傾かないように歩く。振動学的には、不安定な平衡状態から安定な平衡状態へ、不安定を利用して素早い遷移を繰り返すリミットサイクル・アトラクターである。歩行の周期も振幅(歩幅)もほぼ周期的であるが、サーボモータへの負荷の大きさや足裏のすべりなどが足を上げる時間や歩幅に微妙に影響し、歩行の周期も歩幅も微妙に変化し、複雑系・カオス的挙動を示す。リミットサイクルは、予期せぬ外乱に対して頑健であり、状況の変化に応じた柔軟性がある⁽²⁾⁽⁴⁾。

2. ナンバ歩きのロバスト性のメカニズム

一般に二足ロボットにおいて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(Fig.1)、歩幅が小さくなり、前進しないで転倒しやすくなる。

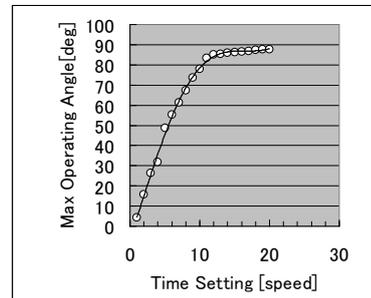


Fig.1 Measured max operating angle vs. operating time setting for objective operating angle of 90 degrees.

二足ロボット「源兵衛4号2007」を用いて、同一の状態図(姿勢)で動作時間のみを変更して歩行・走行実験を行った。Fig.2は、状態1,3を動作時間3、状態2,4を動作時間4に設定した結果であり(2歩のコマ写真)、画像解析よりピッチ速度は6.58 steps/s、前進速度は36.5cm/sであった。プログラムで与えられた状態図とは異なって、常に前傾姿勢で走っている。Fig.3は、横軸が歩行ピッチ速度(歩数/秒)、縦軸が歩行速度である。ピッチ速度に比例して前進速度が増している。動作時間が5よりも短くなると、動作時間が短いほど前傾姿勢が大きくなる(図省略)。また、移動距離から測定した歩幅(Stride)は、動作時間の長短にかかわらず、ほぼ近い値であった。Fig.3において、前進速度がピッチ速度に比例することは歩幅が変わらないことを意味する。一方、Fig.1によると、設定動作時間が短くなると、最大動作角度が飽和し、動作速度が遅くなり、プログラムどおり脚があがらなくなる。他の設定動作時間での歩き・走りを分析すると、設定動作時間が短くなると、脚は十分上がらないが、前傾姿勢により前方へすべっていることがわかつ

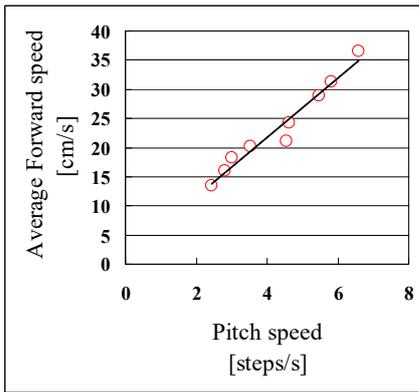


Fig.3 Forward speed vs pitch speed of biped robot GENBE No.4-2007.

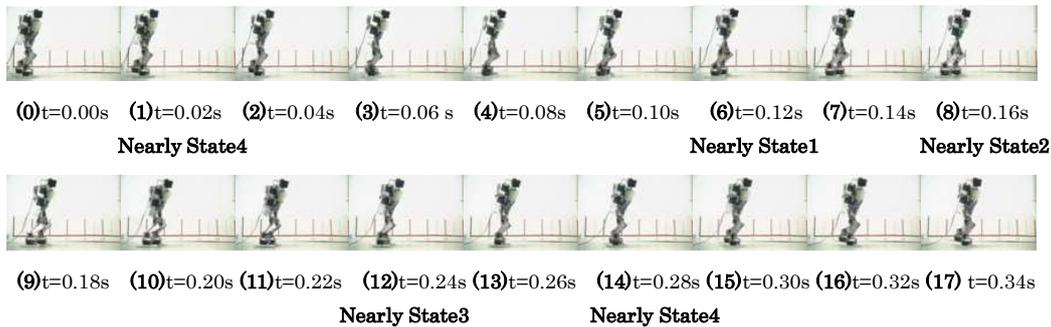


Fig.2 NANBA dash (36.5 cm/s, 6.58 steps/s) of GENBE No.4-2007. It takes only 0.3 seconds for 2 steps.

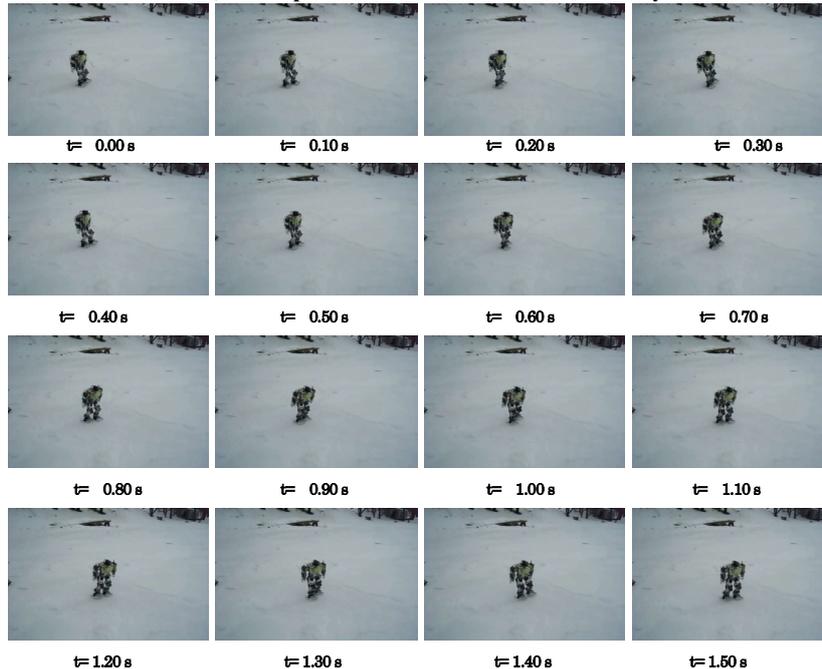


Fig.4 Robustness of humanoid biped robot GENBE who runs on the ice and snow 9 steps during 1.50 seconds.

4. 結論

歩幅が一定であれば、理論的には、ピッチ速度に比例して前進速度も増す。しかし、一般にピッチ速度が増すとサーボのトルク不足により脚がプログラムどおり上がらず、サーボ速度も飽和し、歩幅も小さくなって転倒しやすい。本研究の二足ロボットのナンバ歩き・ナンバ走りは、設定動作時間が短くて足が上がりきらない場合は、常に前傾姿勢で足裏が前方に滑るかのように走り、ピッチ速度が速くなくても前傾角度が大きくなって、転倒しない。自律型二足ロボットも、同様の原理により俊敏であり、前進中あるい

た。トルク不足のために脚が十分上がらなくても、ピッチ速度に比例して前進し、しかも、同じ状態図でピッチ速度を変えるだけで広範囲の前進速度で歩き・走る。いろいろな建物の廊下や室内、あるいは屋外での歩行・走行もロバストであった。Fig.4は、「源兵衛4号-2007」が榛名湖の氷雪を自在の速度で走る様子を示す。

3. 自律型「源兵衛5号」の動的障害物に対する反射的回避

自律型「源兵衛5号」⁽²⁾⁽⁵⁾も同様の動きの原理により、俊敏に動く。たとえば、不意に後から押されたときに前方への転倒を検出し、転倒時の衝撃を最小化するように受け身をし、転倒した後に素早く立ち上がる。突然の動的障害物に対する応答性もよい。たとえば、前進中あるいはターンの途中で突然に出現した障害物に対して約 0.4 秒で急停止する。

はターン途中の突然の動的障害物に対しても約 0.40 秒で急停止できた。

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) 小椋優・林憲玉・高西淳夫, 2 足ヒューマノイドロボットの膝関節伸展型歩行パターン生成アルゴリズム, 機論, 70-700(C), (2004), pp.3509-3515.

(2) 川副嘉彦, 人間型二足ロボット「源兵衛」を用いたナンバ歩きからナンバ走りの再現, バイオメカニクス研究, 12-1, (2008), pp.23-33. (ほか省略)