

# 古(いにしえ)の身体操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)

## Emergence of JIZAI Movement of Humanoid Biped Robot Based on the Distributed Control of Physical Body in a Martial Art (Going Up and Down the Stairs with Instability)

○正 川副嘉彦(埼玉工大) 森山真太郎(埼玉工大) 田口 準(埼玉工大)

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Fukaya-si, Saitama  
Shintaro MORIYAMA, Saitama Institute of Technology  
Jun TAGUCHI, Saitama Institute of Technology

There is no robot around us in our society at the current stage and also there will be no robot in the future if we define a robot as an machine working in the arena of offices, homes, and disaster sites, etc. outside the factories and also continue the present conventional research and development (R&D) style in robot projects. We proposed the concept of 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 with Subsumption Architecture (SA) in the previous paper. We showed as the case studies the simple self-sustained humanlike robust walking & running & instantaneous turn 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 shock avoidance during falling down owing to being pushed from backside and instantaneous rising. Instability makes the natural movement. We also showed the case study of an autonomous robot without SMPA (Sense- Model- Plan- Act) framework. In this paper, we realized the JIZAI movement of humanoid biped robot based on the distributed control of physical body in a martial art going up and down the stairs with instability.

**Key Words:** Robotics, Humanoid Biped Robot, Dexterity, Limit Cycle, Instability, Ascent and Descent, Staires, Subsumption Architecture, Real World, Martial Art,

### 1. 研究の背景と目的

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は推進力のプレーキとなり、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、ZMP 制御と反対に不安定を利用すること (Anti-ZMP) により、直立二足ロボットの「ナンバ歩き・ナンバ走り」、瞬間的方向転換「ナンバ・ターン」を発現し、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<sup>(1)-(4)</sup>。本報では、不安定を利用した「ナンバ歩き」を基にして無駄 (エネルギー損失) の少ない階段の昇降動作の発現をめざす。

### 2. 不安定を利用する二足ロボットによる階段の昇降

Fig.1 は、各 3 自由度の脚部の上に重量を付加した簡単な構造の二足ロボット「源兵衛 2 号」(身長 300mm, 体重 550g) の「ナンバ歩き」における前進速度 (縦軸) と両脚のピッチ速度 (横軸) の関係を示す。前傾姿勢で、身体を右に傾けると、左脚が浮く (状態 1)。このとき左脚を前に出す姿勢 (状態 2) をとれば身体が自然に左前方に倒れ、左足が接地する。サーボの回転角速度と傾き角の組み合わせにより、転倒しないで自在の前進速度を獲得する。脚を引き上げるのに十分なトルクがあれば、両脚交互のピッチ速度に比例して前進速度が増す。「源兵衛」は、江戸・仙台間 300 km を 1 日で走ったといわれる飛脚にちなんで名づけた名前である。

Fig.2 は、近藤科学(株)製 KHR-1 を筐体とした「源兵衛 4 号」(脚部 10 自由度, 340×180mm, 脚部の長さは 210mm, 足裏 45.7×93mm, 重量はバッテリー等を搭載して約 1.2kg) であり、足首関節を使って上体 (頭) だけが左右に傾かないように歩く。Fig.3 と Fig.4 は、それぞれ階段登りの状態

図と実行例である。状態 1 において状態 2 の姿勢をつくると、転倒力を利用して前方に倒れていき左脚が上の段に接地する。状態 2 において状態 3 の姿勢を作ると、右脚が浮くと同時に左脚が段に上がる。サーボのトルク不足など気にしないかのごとく 1 段を約 1 秒で (本実験では 5 段) 軽やかに登りきる。Fig.5 と Fig.6 は、それぞれ階段下りの状態図と実行例である。なんば歩きを基にして、足を高く上げ、前傾姿勢を深くし、階段に足が衝突しないように状態の数を一つ増やすことにより転倒力を利用してサーボのトルク不足を補った無駄の少ない自然な階段昇降を実現した。

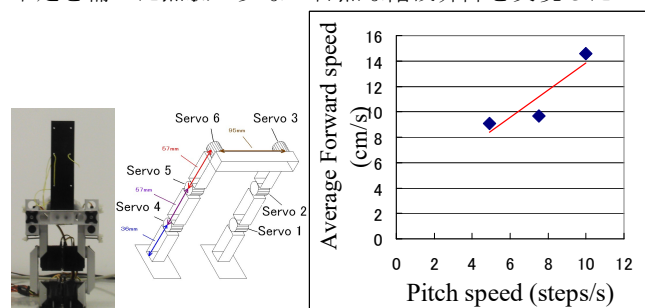


Fig.1 Forward speed vs pitch speed of NANBA dash of biped robot GENBE No.2 with legs of 6 joints.

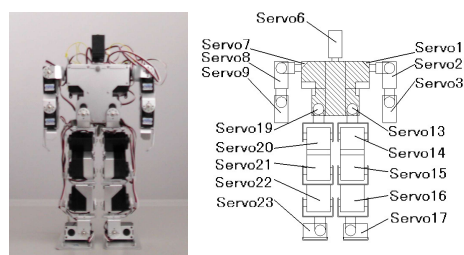


Fig.2 Humanoid biped robot GENBE No.4 with legs of 10 joints

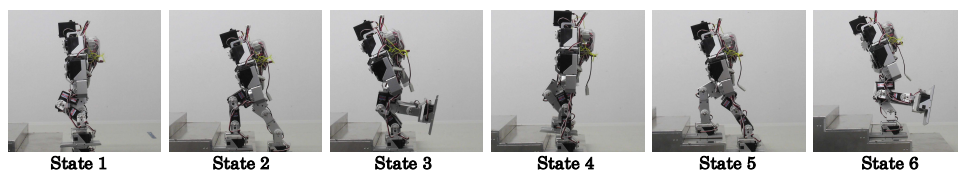


Fig.3 Six states of GENBE-No.4 with 10 freedom legs for going up the stairs with instability.

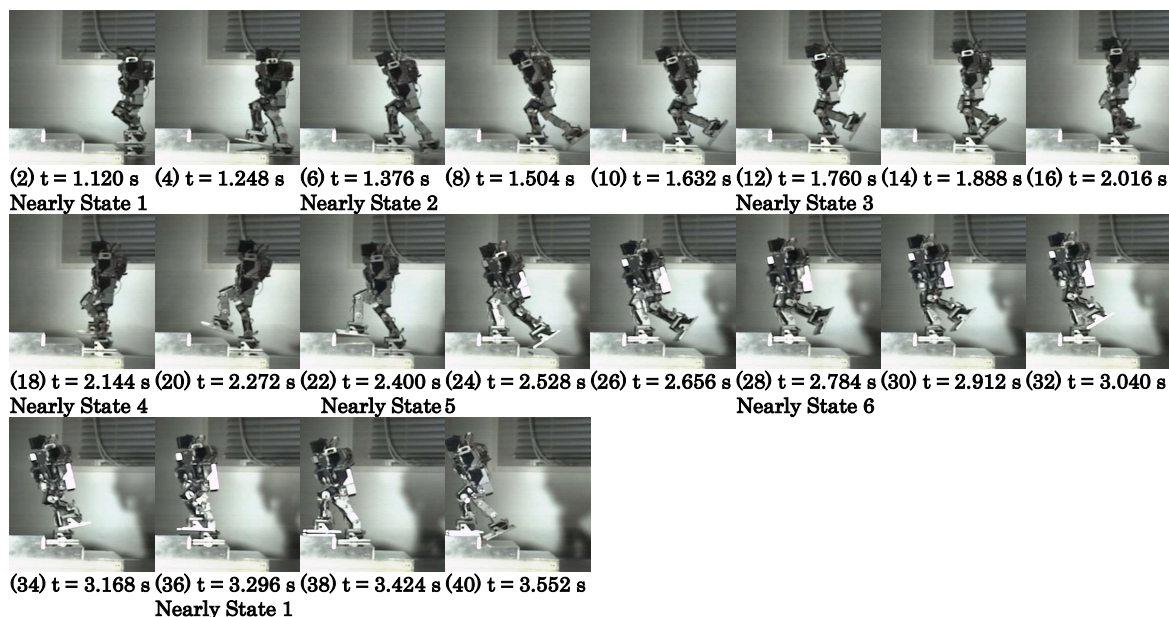


Fig.4 Going up the stairs of GENBE-No.4 with 10 freedom legs with instability (every 32/250s)

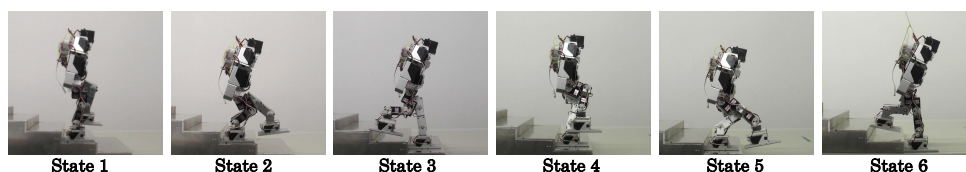


Fig.5 Six states of GENBE-No.4 with 10 freedom legs for going down the stairs with instability

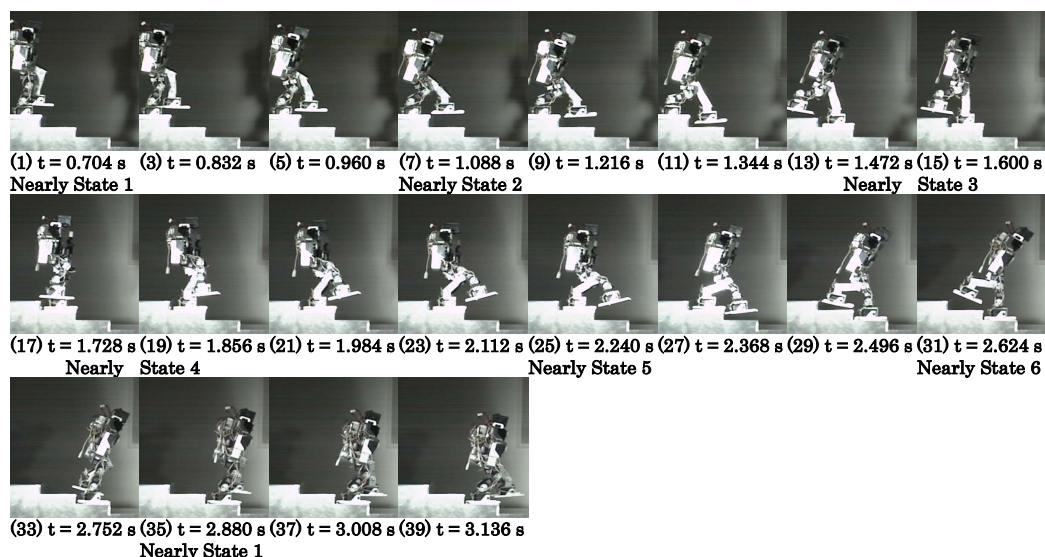


Fig.6 Going down the stairs of GENBE-No.4 with 10 freedom legs with instability (every 32/250s)

### 3. 結論

従来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を利用するナンバ歩きを基にして、足を高く上げ、前傾姿勢を深くし、階段に足が衝突しない

ように状態の数を一つ増やすことにより転倒力を利用してサーボのトルク不足を補った無駄の少ない自然な階段昇降を実現した。サーボのトルク不足など気にしないかのごとく1段を約1秒で5段を軽やかに登り降りした。(文献省略)