316 「ヒューマン・ロボット学」事例研究
（移動ロボットと二足歩行ロボットの包摂構造化）

Case Study of Human-Robotics (Autonomous Mobile Robots and Humanoid Biped Robots)

正　川副嘉彦（埼玉工大）　原田一臣（埼玉工大）　須永智文（埼玉工大）
桃井孝昌（埼玉工大）　清水祐一（埼玉工大）

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusaiji 1690, Fukaya-si, Saitama
Kazuomi HARADA, Saitama Institute of Technology.
Tomofumi SUNAGA, Saitama Institute of Technology.
Takamasa MOMOI, Saitama Institute of Technology.
Yuichi SHIMIZU, Saitama Institute of Technology.

We proposed in the previous paper 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. We showed in this paper as the case studies 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 showed the case study of an autonomous robot without SMPA (Sense- Model- Plan- Act) framework. It is based on the development of human's dexterity or proficient skills with Subsumption Architecture (SA) by learning in the real world.

Key Words: Robotics, Human-Robotics, Autonomous Robot, Real World, Subsumption Architecture, Complex System, Dexterity, Development, Humanoid Biped Robot, Limit Cycle, Nonlinear Control, Martial Art, Emergence

1. 研究の背景と目的

従来の SMPA(Sense -Model -Plan -Act) や ZMP(Zero Moment Point) 制御に基づくロボットの実環境における本質的な欠陥を克服し，人間共存型のロボットや環境保護・省エネのロボットを実現するために，設計者とロボットとが共に次第に発達していくという「ヒューマン・ロボット学」を別報[1]に提唱した．本報では，事例研究として，不安定を利用する二足ロボットの自在の動きの生成[2]-[5]と高速接近する障害物を俊敏に（0.5 秒で）回避する移動ロボット[6]を紹介する．

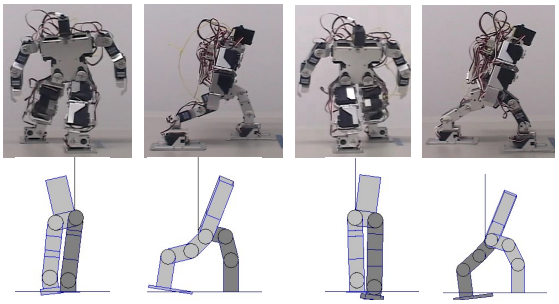
2. 不安定を利用する二足ロボットの自在の動きの生成

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」のナンバと名づけた歩行・走行は，転倒力と地面により形成された最もシンプルなリミットサイクル・アトラクターであり，自在の速度が可能であり，極めてロバストである[1]-[5].

Fig.1 は，一瞬で 180 度の方向転換をする「ナンバ・ターン」を生成するための二つの状態である．左脚を前に出して前傾で左脚に重心を乗せた状態（状態 1）から右脚を前に出した状態（状態 2）に遷移することにより，その場での瞬間的な 180 度方向転換が FIg.2 のように発現する．歩行してきた流れのまま一気に 1 秒以下の時間で方向転換できる．さらに Fig.3 は，Fig.4 のように，突然うしろから押されて前方へ転倒するときに転倒時の衝撃を最小にするような受け身的な動きと転倒から素早く立ち上がる動きの自律的発現のための４つの状態である．センサーにより転倒を認識すると，状態１から状態４まで遷移することによる．

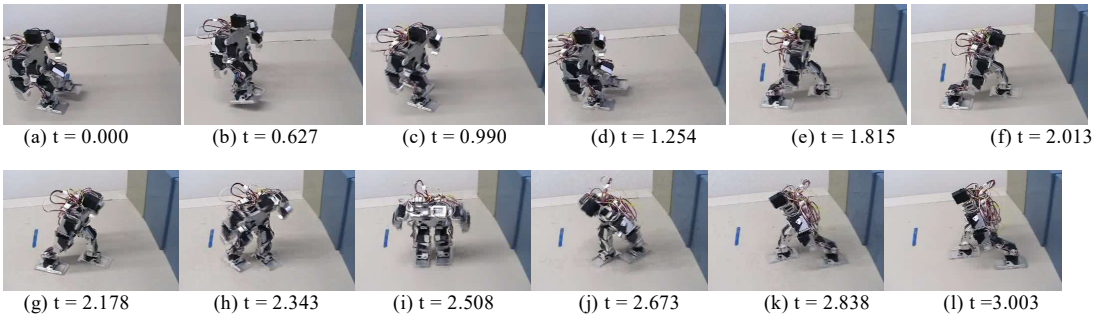
3. 包摂構造化による自律移動ロボット

包摂構造を持つロボットは，次第に能力が向上していき，上位レベルの行動（目的行動など）が失敗しても，下位レベルの行動（障害物回避，衝突回避など）が実行され，致命的な失敗を防ぐことができる．人間のような動的障害物も含めて自律的に障害物を回避しながら CCD カメラで床



(a) state1　(b) state2

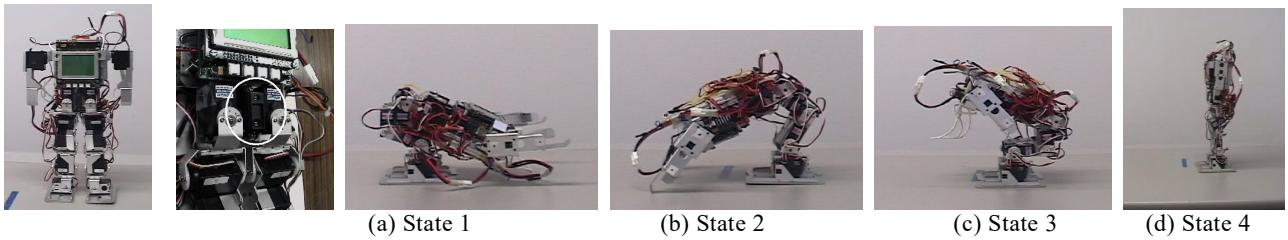
Fig.1 Fundamental two states of 180 degrees NANBA TURN.



(a) t = 0.000　(b) t = 0.627　(c) t = 0.990　(d) t = 1.254　(e) t = 1.815　(f) t = 2.013

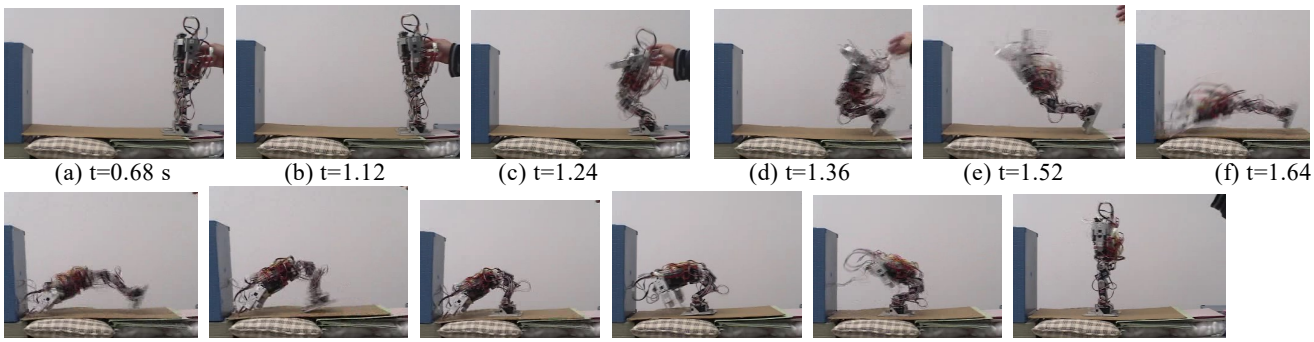
(g) t = 2.178　(h) t = 2.343　(i) t = 2.508　(j) t = 2.673　(k) t = 2.838　(l) t =3.003

Fig.2 Emergence of a simple self-sustained humanlike robust instantaneous NANBA TURN of humanoid biped robot GENBE No.4. It turns instantaneously 180 degrees per second.



(a) State 1 (b) State 2 (c) State 3 (d) State 4

Fig.3 Four states for realizing autonomous shock avoidance during falling down owing to being pushed from backside and instantaneous rising of biped robot GENBE with Anti-ZMP based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability.



(a) t=0.68 s (b) t=1.12 (c) t=1.24 (d) t=1.36 (e) t=1.52 (f) t=1.64

(g) t=1.76 (h) t=1.88 (i) t=1.96 (j) t=3.04 (k) t=3.20 (l) t=3.72 s

Fig.4 Simple autonomous shock avoidance during falling down and instantaneous rising of biped robot GENBE with Anti-ZMP based on distributed control of physical body in a martial art utilizing instability - Part 2. It takes only 2.5 seconds.

と壁の赤い部分を発見するという目的行動（Fig.5），さらに，坂になった二つの出入口と狭い通路のような複雑な未経験の環境に遭遇したときに（Fig.6），学習の包摂構造化により新しい要素行動を積み上げていく（Fig.7）．さらに，速いスピードで接近してくる障害物（実験では転がってくるバレーボール）を回避しながらの目的行動（色探索）も新しい要素行動を追加して積み上げること（包摂構造化）により発現した（Fig.8）．未知の現場で遭遇した課題をオフラインで設計者の介助により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ることにより（包

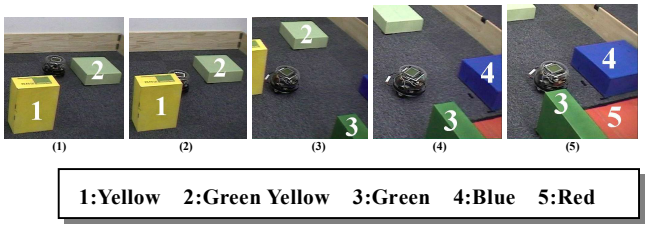
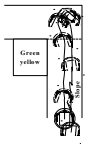


Fig.5 Autonomous and objective behaviors of mobile robot 2004 for searching for red color using CCD camera.

(a) time historical frames



(b) Trajectory

Fig.6 Mobile robot with the agents of Escape･Avoid･Search･Cruise turns back when he encounters the unknown environment with ascend & descend at narrow passage.

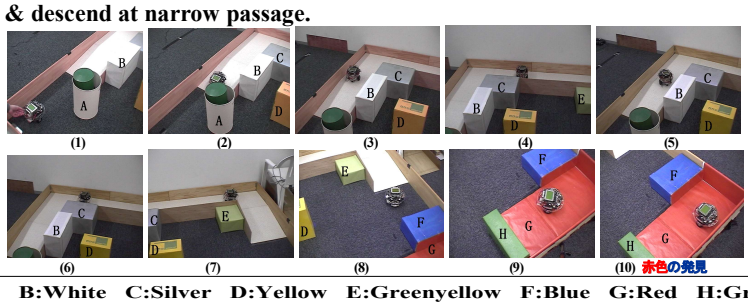


Fig.7 Autonomous and objective behaviors of Mobile Robot 2004 for searching for Red color using CCD camera with high-speed approaching obstacle avoidance in a new unknown environment.

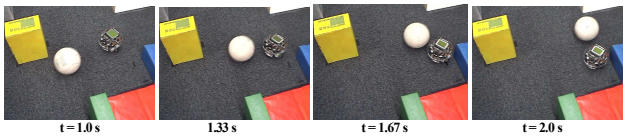


Fig.8 Avoidance (0.5 s) of Mobile Robot 2004 against an approaching high speed ball during searching for Red color.

摂構造化），高速接近する障害物を 0.5 秒で俊敏に回避する．

4. 結 論

従来の SMPA や ZMP の実環境における本質的な欠陥を克服し，人間共存型のロボットを実現するために，設計者とロボットとが共に次第に発達していくという「ヒューマン・ロボット学」の事例を紹介した．（文献省略）．