

Practical Education Curriculum Starting from Humanoid Biped Robot Using Simple Nonlinear Optimal Control

○正 川副嘉彦(埼玉工大) 伊倉良明 石川恵介 高野悠人 満岡将樹

Yoshihiko KAWAZOE, Saitama Institute of Technology, Fusajii 1690, Fukaya-si, Saitama, Japan
 Yoshiaki IKURA, Saitama Institute of Technology
 Keisuke ISHIKAWA, Saitama Institute of Technology
 Yuto TAKANO, Saitama Institute of Technology
 Masaki MITSUOKA, Saitama Institute of Technology

There is no robot around us in our society at the current stage if we define a robot as an autonomous machine working in the arena of offices, homes, and disaster sites, etc. outside the factories. Mechatronics, dynamics and robotics involving humans are the world of strong nonlinearity. The realized movements of humanoid biped robot using simple nonlinear optimal control use only small active power with simple chaotic limit cycles and showed robustness during walking, running everywhere even on the ice and snow. This paper showed the application of the simple nonlinear optimal control to various movements making full use of instability as a source of driving force and developed into practical education curriculum as an introduction with humanoid biped robot to Robotics having an intellectual and emotional appeal.

Key Words: Robotics, Practical Education Curriculum, Humanoid biped robot, Robustness, Nonlinear Optimal Control

1. 研究の背景と目的

少子・高齢化社会に期待されるサービスロボットや介護ロボットなど、我々の周囲に存在して知的に動く（従来とは質的に異なる）機械をロボットと定義するならば、長年の研究にもかかわらず、我々の周りには1体のロボットも実在しない。自動車工場などで活躍している工業用ロボットは、ロボットというより、高級な自動機械であり、二十数年前から始まっている国家プロジェクトによるロボットも現在の延長線上では難しい問題が多すぎるように見える⁽¹⁾⁻⁽⁵⁾。

二足歩行ロボットでは、単一質点の倒立振子やテーブル・台車モデルとして近似するZMP（Zero Moment Point）制御が一般的という認識があるが、梶田⁽⁶⁾も指摘するように、実際のロボット制御では教科書どおりにいかないことが多い、速い動きの生成やロバスト性の実現への限界が指摘されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁷⁾。俊敏・柔軟な動きを期待すればするほど、制御すべきパラメータと計算量が爆発的に増えることになる。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⁽⁸⁾が、ASIMOはZMP制御だけに依存しないで試行錯誤による多くの経験を生かしているから比較的の安定なのである。多自由度・非線形はロボットの本質であり、従来とは質の異なる新しいロボット制御が求められる⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。

一方、ロボットの人間教育的意義については一層の関心がもたれており^{(12),(13)}、極論すれば、ロボットが現時点で唯一貢献できる分野は教育だけのように見える。

本報では、最も基本的で本質的なロボットの定義を生体（人間・動物）に似た運動機能を持つもの、あるいは運動機能に加えて知的機能を備えているものとし、不安定を利用するシンプルな非線形最適制御を二足歩行ロボットの様々な動きに展開し、その成果に基づいて、「二足歩行から始める実践ロボット教育カリキュラム」へと展開する。ロボティクス入門を「二足歩行ロボット」から始める理由は、システムとしての制御が難しい多自由度システムであり、巧みな動きを実現するには様々な知恵が要求され、しかも、その良し悪しが誰でも容易に分かり、学習の全体像と具体的な成果が目に見えやすいからである。具体的な実践と問題解決の経験を一般的な手法に展開できる能力を養うこ

とが目的である。

2. 不安定を利用する状態遷移による非線形最適制御の原理

提案するシンプルな非線形最適制御は、不安定を利用する状態遷移によるものであり、目標値突変への応答を最短時間内に終結させるオルデンバーガーの非線形最適制御⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾の応用・展開とも言える。図1(a)のように、糸で吊り下げられた質量Mの振動性2次要素を例にして以下に説明する。質量Mを吊るす支点AをBの位置へABだけステップ状に移す。そうすると質量Mは振子となってBの真下を通過し他端で一瞬停止する。その瞬間に支点をBからDへBDだけステップ状に移せば、質量Mは再び振子となって、振動を繰り返しながら前進する。一種のリミットサイクル（自励振動）であり、エネルギー源は支点のステップ状の移動である。操作量の切換は、図1(b)のように、質量Mの速度 dx/dt がゼロの瞬間にに行う。たとえば、図2において、不安定な平衡状態1から横方向の転倒力をを利用して安定な状態2へ遷移する。支点となる足関節の負担が少なく、動き始めが早く、支点側の足裏が滑らずに自然に直横に移動する。蹴らないで転倒力をを利用して遷移すると、図3のように、摩擦が大小変化する種々の建物の床、廊下、室内、あるいは屋外や湖の水上での歩行・走行もロバストである⁽⁴⁾⁻⁽⁵⁾。

3. 包摂構造化に基づく自律行動の生成と学習カリキュラム

大学ロボット系学科の1年次からスタートする少人数グループによる必修プロジェクト型講義を想定し、包摂構造化⁽¹⁾⁽²⁾をベースにした自律型二足歩行ロボットの学習プログラムを開発した。部品を組み立てて、各種センサの実験結果と生成した各種の動きを使って、知覚と要素行動を

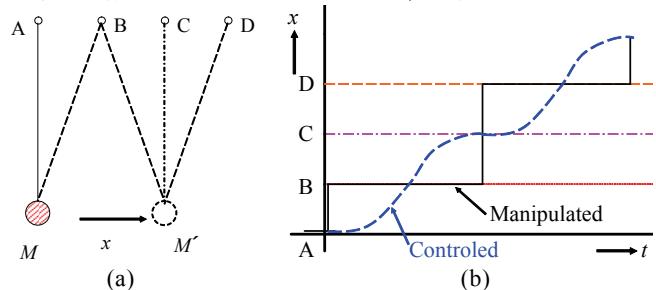


Fig.1 Proposed nonlinear optimal control applied to humanoid biped robot in this study.

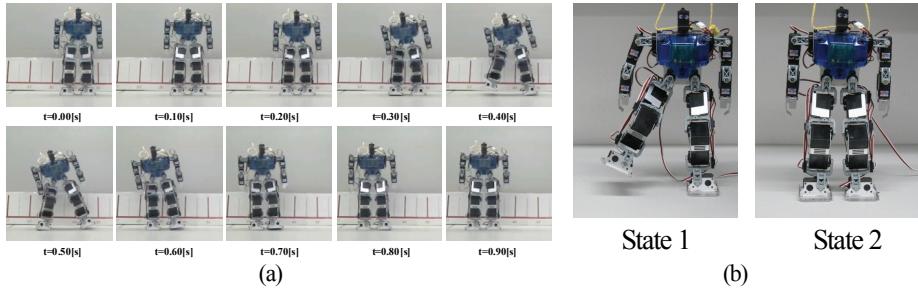


Fig.2 Robust NANBA right side-step of humanoid biped robot utilizing instability without kick of ground, which uses only small active power. (250 fps)

包摑構造化の手法によりプログラムし、二足歩行ロボットの自律行動を実現させる。近藤科学のロボットKHR-2HVおよび自律ビーチフラッグ競技を採用した。ロボットに搭載したセンサの入力情報を頼りに超音波を送信するフラッグに自律的に向かい、フラッグを3分以内に倒すまでの時間を競う競技であり、競技会に至るまでに試行錯誤による問題解決の経験を積む。図4は、制御プログラム構造例と作成した授業用マニュアルの一部である。人間とロボットについて

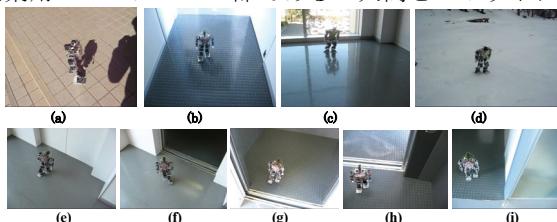


Fig.3 Robustness of humanoid biped robot GENBE who walks and runs everywhere.

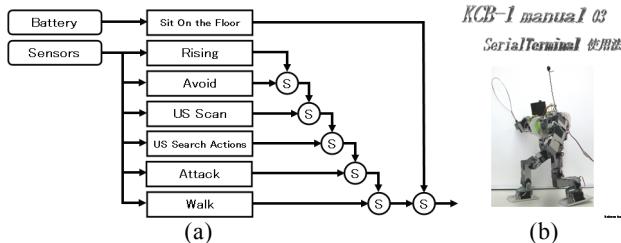


Fig.4 Subsumption architecture in the autonomous robot for beach flag contest and one of manuals made for the class.

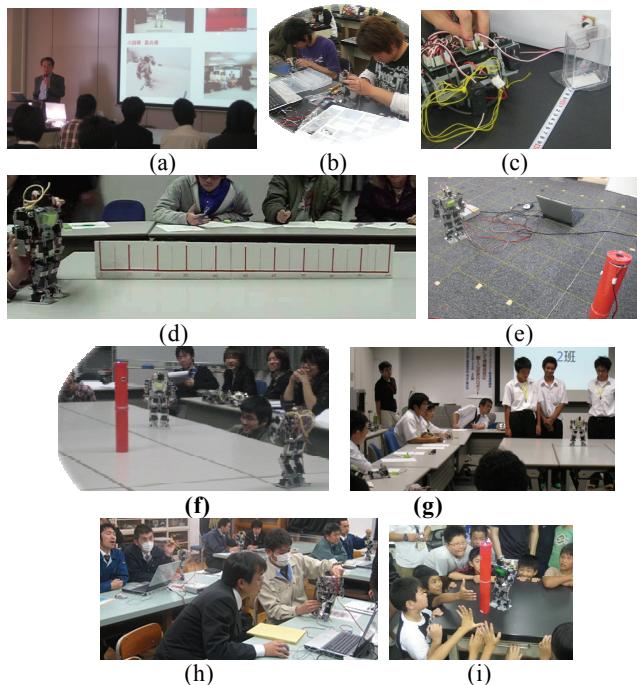


Fig.5 Scenes of educational curricula and presentation of autonomous biped robot.

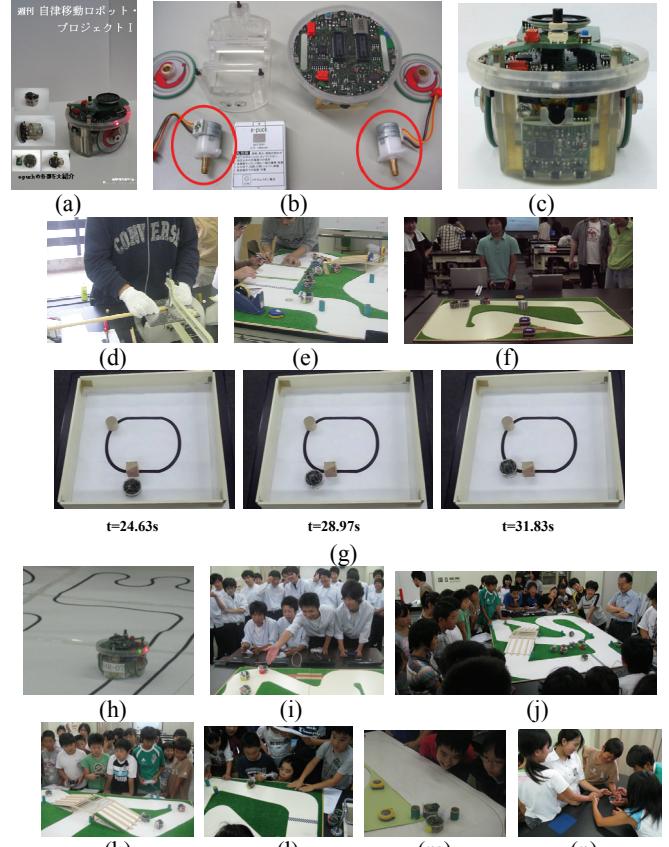


Fig.6 Scenes of educational curricula and presentation of autonomous mobole robot.

て考える「ヒューマン・ロボット学入門」という科目を別に配置している。図5は、二足歩行ロボット・プロジェクト関連であり、講義、組立、距離センサ特性実験、歩行競技、超音波センサ特性実験、2年生の競技会、高校生の3日間体験授業、工業高校教員研修会、小学校での体験授業の風景を示す。図6は、二足歩行ロボットに続く「自律移動ロボット」プロジェクト関連であり、スイス連邦工科大で開発された生物型ロボットe-puck (AAI社製)とwebotsシミュレータを採用し、包摑構造化の手法の習得を基本としている。

4. 結 論

不安定を利用する状態遷移による巧みな動きの生成と包摑構造化の手法を用いて、具体的な実践と問題解決の経験を一般的な手法に展開できる能力を養うための大学ロボット系学科の二足歩行から始めるプロジェクト型のロボット学習プログラムを開発し、実践した。習熟した高学年のTA (Teaching Assistant)が目標としてのデモを見せるが、受講生にはできるだけ独力で新しい発想にチャレンジさせる。TAの学生にとっても貴重な教育実習の場であり、総合的な教育効果が高い。高校から小学校までの体験学習においても効果がある。巧みな技術の習熟をめざす過程で科学する心が生まれ、科学する心から哲学が生まれる。文献(省略)