2 足歩行ロボットを教材とした大学機械工学系の 創成教育プログラム

A creative educational program for department of mechanical engineering
using bipedal walking robot

○正 原田 孝 (近畿大) 正 大坪 義一 (近畿大)
正 橋本 知久 (近畿大) 正 鈴木 直弥 (近畿大)

Takashi HARADA, Kinki University, harada@mech.kindai.ac.jp
Yoshikazu OHTSUBO, Kinki University
Tomohisa HASHIMOTO, Kinki University
Naoya SUZUKI, Kinki University

A creative educational program for department of mechanical engineering using bipedal walking robot is introduced. For educating in the mechanical engineering, we focused on kinematics and dynamics about the robot. The educational program was tested for university freshmen for a great number of people of 100 scales. They were divided into 10 groups with 10 peoples. A bipedal walking robot "e-nuvo WALK ver. 3" and softwares for the robot was given for each group. Robotic floor exercise in two minutes after one minute presentation was given for each group as a challenge. Guidance of the robot, group work and competition were lectured in 6 weeks. In this paper, tools, equipment, preparation and execution of the educational program are introduced in detail.

Key Words: robot, educational program, mechanical engineering, university freshmen, kinematics

1. 緒 言

近畿大学理工学部では、1年生に対する導入教育として基礎ゼミと称する創成教育カリキュラムを実施し、学科毎に独自の教育プログラムを展開している。創成教育とは、1学年の定員200名の大人数の学科構成である本学において、教員1名に対して学生10名の小人数教育体制を構築し、学生達自らの課題形成、解決からプレゼンテーションを実施させることを基本としている。

機械工学科では平成15年度より、1年生後期にペーパーカーレースと題して、学生にモータ、プーリと電池ボックスを配布し、「紙」を素材にしてスピードまたは登坂を競う自動車の設計、製作および競技会を実施してきた。

平成20年度よりZMP社製の2足歩行ロボットe-nuvo WALK ver. 3^[1]を導入し、基礎ゼミの新たなプログラムを準備し実施した。本稿では、大学1年生という低学年を対象とし、100人規模の大人数に対する機械工学教育という条件下で、創成教育プログラムを構築して実施した内容を報告する。

2. 2足歩行ロボット教材の選定

・2.1 ハードウェア 図1に示すZMP社製2足歩行ロボットe-nuvo WALK ver. 3を教材として選定した。近年、ロボットや倒立振りなどの、いわゆるメカトロ教材の商品化が数多く行われている。大学の理工系学部では、主として機械系学科と情報系学科がこれらの教材を導入する事例が多い。同じロボット教材を用いるにしても、大学で学ぶ学問体系に応じて、一般的に情報系学科ではセンサ情報処理などの上位系を、機械系学科では、運動制御などの下位系に着目することになる。

我々も、特に機械工学の基本である物理、力学の導入教育であることを意識し、2足歩行ロボット教材を選定した。胴体、腕、足に多自由度を有するいわゆるヒューマノイド・ロボットは、複雑なモーションを実行させることができる点では大いに魅力的ではある。しかし、その力学的な構成は複雑であり、機械工学の導入教材としては適していないために、左右

各6自由度の下肢のみを有するシンプルな構成であるe-nuvo WALKを教材として選定した。サイズは159×140×353mm(幅×奥行き×高さ)、重量2.5kgである。

・2.2 ソフトウェア e-nuvo WALK ver. 3は、Microsoft Robotic Studio(以下、MRSと略す)に準拠した教育用2足歩行ロボットである。MRSの詳細は、Microsoft社ホームページ^[2]や関連書籍^{[3][4]}に委ねるが、MRSはロボットのセンサ情報処理などの上位系から運動制御などの下位系までを総合的に扱うことができるプラットフォームである。

Fig.1 Overview of e-nuvo WALK ver. 3 (ZMP)

Fig.2 Robot in the Microsoft Virtual Simulation Environment

Fig.3 Motion Editor

Fig.4 Walk Dashboard

Fig.5 Position of the center of gravity

さらに、MRS に付随する物理シミュレータである Virtual Simulation Environment(以下、VSE と略す)により、図 2 に示すように、コンピュータ内に構築した仮想ロボットを、現実のロボットと同じプログラムで動作させることができる。

ZMP 社より、e-nuvo WALK ver. 3 の VSE 用ロボットの力学モデルが提供されている。リンクの質量、質量中心、慣性モーメントなどの動力学パラメータを用いて、ロボットの動的挙動がシミュレーションできるようになっている。機械工学科向けの力学教育には、格好の教材であり、VSE 準拠であることが e-nuvo WALK ver. 3 を選定した理由のひとつでもある。

また、大人数教育の場合、高価な実物のロボットを学生人数分用意するのは困難であるが、VSE を用いることで、この問題を解決できた。

ZMP 社より、e-nuvo WALK ver. 3 に対して、MRS と連携する下記のソフトウェアが提供されている。

①Motion Editor e-nuvo WALK ver. 3 専用のオフライン・ティーチング用プログラムである。操作画面を図 3 に示す。関節座標および足先座標系における一連の目標位置(ポーズ)と、各目標位置へ到達するまでの時間を教示する。一連のポーズと到達時間データの集合をモーションと呼ぶ。Motion Editor から、実ロボットおよび VSE 上の仮想ロボットに対して、モーションをプレイバックさせることも可能である。

②Walk Dashboard 原点補正、サーボの ON/OFF や、モータのゲインなどのサーボパラメータの調整を行う。(図 4)

3. オリジナル・ソフトウェアの作成

・3.1 重心位置計算 動力学を考慮した 2 足歩行ロボットのモーション作成は、大学 1 年生では困難であるために、まずは、静力学のみを考慮したモーション設計を行なわせることとした。すなわち、接地足裏の支持多角形上に重心位置が載るように各ポーズを設計する。

Motion Editor では、各ポーズの重心位置が把握できないために、図 5 に示すような、独自にロボットのポーズに対する重心位置を計算、表示するソフトウェアを作成し、学生に使用させることとした。Microsoft Excel を用いて実装し、学生が自宅のパソコンでも自習できるようにした。ソフトウェアは、同次変換行列を用いた座標変換^[5]や、ヒューマノイド・ロボットの下肢の順逆運動学^[6]などのロボット工学に基づいており、興味を持った学生が、本格的に学習できる内容とした。

図 6 に、ロボットがハイキックしているポーズに関して、(a)VSE 上の仮想ロボット、(b)実ロボット、(c)重心位置計算結果を示す。図 6(c)に示すように、接地足裏の支持多角形(赤い四角形で表示)に重心(赤丸で表示)が載っていれば、ロボットは転倒しない。

(a) virtual robot

(b) actual robot

(c) top view and front view of the center of gravity

Fig.6 Static balancing at "High Kick"

・3.2 モーション結合 ZMP 社提供の Motion Editor では、作成したモーションデータを独自の xml 形式にて保存する。ZMP 社から、VPL 上にて、複数のモーションファイルをインタラクティブに選定、実行できる仕組みも用意されているが、機械系の大学 1 年生にはややハードルが高い。

そこで、同じく Microsoft Excel を用いて、複数のモーションを結合するソフトウェアを独自に作成した。これにより、グループワークで各人がモーション作成し、それを一つに結合して連続した複雑なモーションを実行できる。

4. 2 足歩行ロボットを用いた教育の実践

・4.1 教育体制 1 年生後期基礎ゼミの講義日程を表 1 に示す。1 学年 200 名を 100 名の 2 班に分け、ロボット教育に関しては 6 回という限られた講義時間である(1 講義時間 90 分)。

100 名の一斉講義とし、学生 100 名をさらに 10 人×10 班に分け、各班 1 名、計 10 名の教員を割り当てた。学生の自主性を尊重し、教員は課題の進め方に関するアドバイスに徹した。別途、ロボットの操作を事前に教育した機械系大学院生からなるティーチング・アシスタント 6 名が、技術的なサポートを行なう体制にて教育を実施した。

・4.2 教育設備 コンピュータ端末 120 台、120 名収容の本学情報処理教室を仕切なしの 10 区画に分割し、各班に端末 10 台と作業用の区画、および班毎に共有ドライブを割り当てた。授業中の教室全体風景を図 7 に示す。各端末には 2.2 節で説明した MRS を含む ZMP 社提供のソフトウェアと、3 章で説明した、独自に作成したソフトウェアをインストールした。教育用として e-nuvo WALK ver. 3 を 16 台導入したが、各班 1 台の実機を与え、残り 6 台は説明用および予備機とした。900mm×900mm の市販のロボット競技用リングを各班に 1 台ずつ与え、ロボットはリング上で動作させることに統一した。各班の作業の様子を図 8 に示す。

・4.3 教育課題と進め方 「ロボリンピック床運動」と題して、ロボットを前述のリング上で床運動させることを課題とし、各班に競わせた。床運動は 2 分間の自由演技とし、演技前に 1 分間のプレゼンテーションを行い、演技ストーリーや見どころなどの解説を行なわせる。与えられた 6 週間の講義時間に対し、下記のように教育を進めた。

①第 1 週：ロボットの操作説明 ZMP 社提供のロボット操作マニュアルを抜粋し各学生に配布した。各人 1 台のコンピュータ端末と各班 1 台のロボットを操作させながら、ZMP 社提供の Motion Editor と Walk Dashboard の操作を理解させた。ZMP 社提供のスクワット、ハイキック、2 足歩行などのサンプルモーションを実機および VSE 上の仮想ロボットにて実行させ、また、Motion Editor にてそれらのモーションを一部変更させてロボットを動作させて、ロボットモーションを体感させた。

②第 2 週：ロボットの力学 ロボットの順逆変換と静力学に関して簡単に講義した後に、当学で独自に作成した 3 章のソフトウェアの操作方法を説明した。ZMP 社提供のサンプルモーションを読み込ませ、歩行やハイキック時の重心位置を調べながら、ロボットの静歩行を理解させた。

③第 3～5 週：グループワーク 各グループに分かれて、床運動課題に取り組ませた。課題の取り組み方として、まずは各グループにリーダーを決めさせた。参考として、学生には課題の取り組み方を例示したが、具体的な取り組みは学生に任せた。課題の取り組み方の例：

(1)グループ全員で演技ストーリーをディスカッション

(2)ストーリーを複数のモーション分割し、分担して具体的なポーズとモーションを作成する。各モーションは、3.1 節の重心位置計算プログラムを用いて基本設計し、VSE および実機にて動作検証する。

(3)個々のモーションを 3.2 節のモーション結合プログラムにて一つにまとめ、2 分間の床運動用のモーションプログラムにまとめる。

(4)並行して、Microsoft PowerPoint を用いて、1 分間のプレゼンテーション用資料の作成を行う。

現実には、3 週の講義時間内(90 分×3=270 分)にて、一連の演技を作り上げるのは困難であり、大半の学生が情報処理教室の自由利用時間や自宅学習などを行なっていたようである。また、競技会前日には、担当教員と TA 監督のもとで、ロボット最終調整を行なう時間を設け、時間の不足を補った。

④第 6 週：競技会 競技会当日の最初 30 分間を最終調整時間とし、50 分間程度の時間をかけて、10 班のプレゼンテーションと演技を行なった。教員 5 人が審査員となり、各教員がプレゼンテーション(10 点)と、演技の芸術点(10 点)、技術点(10 点)を採点したものを平均(30 点満点)した。成績発表、表彰と講評にて授業を締めくくった。

Table 1 Schedule of the educational program

	1週	2～7週(6回)	8～13週(6回)	14週
A班(100名)	全体説明	ロボット	ペーパーカー	ペーパーカー
B班(100名)		ペーパーカー	ロボット	全体レース

Fig.7 Overview of the lecture

Fig.8 Testing a motion

・4.4 採点方法 基礎ゼミに関しては、ペーパーカーレースとロボット課題を総合して、学生個人の成績をつける。何れの課題も、共通フォーマットの作業日誌を学生個人単位で作成させ、担当教員が毎回チェック、アドバイスをを行っている。ロボット課題に関しては、各学生の所属している班の競技点30点満点と、個人の作業日誌に対する20点満点の評点を合計して、成績評価点とした。

・4.5 競技会 第1回の競技会を、平成20年12月1日に実施した。ZMP社のe-nuvo WALK ver. 3を用いて、大学1年生の講義でこれほど大規模の授業を行なったのは本学が初めてということもあり、ZMP社および本学広報の取り計らいで、複数の新聞やメディア媒体の取材を受けた^{[7][11]}。その一部を以下に引用する。

日刊工業新聞 ロボナブル：近大、ZMPの2足歩行ロボ教材を使った、大規模人数によるロボット競技会を公開^[7]

(前略) ロボリンピック床運動では、1分間のプレゼンと2分間の演技で競い合った。プレゼンは、演技の内容と見どころを簡潔に紹介し、演技ではストーリー性を持たせたモーションを披露した。演技は芸術点と技術点が与えられ、前者はストーリー性や動作のメリハリ度などを、後者は動きの意外性や体重移動などを基準に採点した。

結果は、30満点中29.2点を獲得した15班が優勝した。15班の演技テーマは「極限」で、「礼」に始まり、「準備体操」「横歩き」「リンボーダンス」(図9)、「ハイキック」(図10)から「連続片脚ジャンプ」、そして「正座」と「礼」で終わるモーションを披露。重心位置を正確に計算することにより、このような複雑なモーションを取りながらバランスを維持するという「極限」に挑戦してみせた。(後略)

Fig.9 Limbo dance

Fig.10 High kick

(Fig.9 と Fig.10 はロボナブル掲載記事^[7]より引用)

5. 教育効果の客観的評価システム

・5.1 授業評価アンケート 近畿大学理工学部では、全ての授業に対して学生アンケートの形式で授業評価を行い、結果を担当教員にフィードバックしている。授業評価アンケートに対して、担当教員は改善点をまとめたリフレクションペーパーを学部へ提出する義務がある。全講義のリフレクションペーパーは、各学科事務にて自由に閲覧できる。本講義を行った平成20年度後期の授業評価は、本稿執筆中に集計を終っていないが、学生アンケートに基づいて次年度の講義の改善を実施していく予定である。

・5.2 外部評価 近畿大学理工学部では、JABEE 認定プログラムの継続的なPDCAサイクルを機能させるために、各学科で外部評価委員会を設置している。機械工学科では、今年度はペーパーカーレースの実施状況を外部評価の対象としたが、次年度はロボット競技会を外部評価の対象とする計画である。

6. 結 言

近畿大学 理工学部 機械工学科で実施した、2足歩行ロボットを用いた創成教育を紹介した。ロボットに興味を持って、機械工学科に入学してくる学生が多いが、では、具体的に何がしたいのかを答えられる学生は殆どいない。今回の教育プログラムにて、ロボット技術を垣間見て、2年生以降の専門科目に対する学習意欲が向上することを期待している。

近年、自動車やロボットを題材とした教材が多く市販されている。本学を含む多くの大学や企業がこれらの教材を導入し、教育プログラムも整備されつつある。一方、ロボットや自動車だけが機械工学ではなく、熱力学、材料力学、流体力学といういわゆる3力学の教育も重要である。機械工学科の教員として、大学と教育産業が連携し、これら3力を題材とした、魅力的な導入教育・創成教育プログラムの充実も必要であると考えている。

文 献

- [1] ZMP社 e-nuvo WALK ver. 3 ホームページ, <http://www.zmp.co.jp/e-nuvo/jp/walk.html>
- [2] Microsoft 社 Robotic Studio ホームページ, <http://www.microsoft.com/japan/robotics/default.msp>
- [3] 布留川英一, “Microsoft Robotic Studio プログラミング”, 毎日コミュニケーションズ, 2007
- [4] 大川善邦, “Microsoft Robotics Developer Studio 入門”, 工学社, 2008
- [5] R.P. Paul 著, 吉川恒夫 訳, “ロボット・マニピュレータ”, コロナ社, 1984
- [6] 梶田秀司 編集, “ヒューマノイド ロボット”, オーム社, 2005
- [7] 日刊工業新聞 ロボナブル, “近大、ZMPの2足歩行ロボ教材を使った、大規模人数によるロボット競技会を公開”, <http://robonable.typepad.jp/news/2008/12/20081202-zmp2-2.html>
- [8] Robot Watch, “近畿大学がロボットをものづくり人材育成授業に活用 1年生100人による競技会 ROBOLYMPIC 床運動を実施”, <http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2008/12/05/1487.html>
- [9] Robot Venture, ZMP CEO Blog, “近畿大学 ROBOLYMPIC 100人で二足歩行競技大会”, http://www.sekkeiseizo.net/blog/blog2/2008/12/rolympic_100.html
- [10] 旺文社パズナビ, “近畿大学 競技会ロボリンピック床運動が開催される”, <http://passnavi.evidus.com/2008daigakujo/20081208.html>
- [11] 三月 兎, “近畿大学, 「e-nuvo WALK ver.3」でロボット競技会を実施”, ロボコンマガジン, No.62, p.56, 2009