

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	動力学シミュレータ “ Open Dynamics Engine ” と普及型四脚歩行機械 “ TITAN-VIII ” を用いた学部生実験課題
Title	An Experimental Subject for Bachelor Students Using “ Open Dynamics Engine ” and “ TITAN-VIII ” Hardware System
著者(和文)	遠藤玄, 福島E. 文彦, 広瀬茂男
Authors	Gen Endo, EDUARDO FUMIHIKO FUKUSHIMA, SHIGEO HIROSE
出典 / Citation	日本ロボット学会学術講演会, , , 1L2-6
Citation(English)	, , , 1L2-6
発行日 / Pub. date	2010, 9
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 2010 The Robotics Society of Japan.

# 動力学シミュレータ “Open Dynamics Engine” と 普及型四脚歩行機械 “TITAN-VIII” を用いた学部生実験課題

○遠藤玄 (東京工業大学) 福島 E. 文彦 (東京工業大学) 広瀬茂男 (東京工業大学)

## An Experimental Subject for Bachelor Students Using “Open Dynamics Engine” and “TITAN-VIII” Hardware System

\*Gen ENDO (Tokyo Tech.), Edwardo F. FUKUSHIMA (Tokyo Tech.)  
and Shigeo HIROSE (Tokyo Tech.)

**Abstract**— We developed an experimental subject for bachelor students using a free dynamics simulator “Open Dynamics Engine (ODE)” and a quadruped walking robot “TITAN-VIII”. All students successfully implemented crawl gait in ODE and TITAN-VIII.

**Key Words:** RSJ, A4, Manuscript

### 1. はじめに

工学系教育課程の一部としてロボットを題材とした実験課題を取り入れている大学は数多い。ロボットを用いた実験は、理論中心の座学と実際に手を動かして学ぶ実学とを直接的に結び付けることができ、同時に結果がロボットの動きとして目に見える形で現れるため、学生の学習モチベーションを高めることが出来る。実際に教材として倒立振子型車両や二足歩行ロボットなどが販売されている [1][2]。

本報告では無償で提供されている動力学シミュレータ Open Dynamics Engine (ODE) [3] と、研究用途に販売されている普及型四脚歩行機械 TITAN-VIII [4] 実機を用いて四脚歩行のもっとも基本となるクロール歩容の実装を行う実習を東京工業大学機械宇宙学科3年前期の実験課題として新たに開発したのでこれを紹介する。

### 2. 講義概要

本実験課題は機械宇宙学科3年前期の必修科目「機械宇宙学実験第二 (講義1 実験1 の2単位)」の一部として行われている。機械宇宙学実験はいわゆる機械系四力とロボット・制御の課題合計8つで構成されている。受講学生は1グループ7~8人にグループ分けされ、基本的に2週で1課題を行う。正規の講義時間は1.5コマであり、2週で3コマである。受講する学生は2年後期までに座学でロボット工学の基礎や古典制御、PCを用いた数値計算基礎の実習を履修している。またこれに先立つ2年後期の実験では、マニピュレータの手先を位置・速度レベルでCP制御することにより、描画や物体の置き置き作業を既に行っている。

### 3. 実験課題と目的

実習の達成目標は、四脚歩行のもっとも基本的な静歩行であるクロール歩容を実装し、実機で直進歩行させることである。また ODE 上で歩行の静的安定性の指標である縦安定余裕を導出し、脚位置などの条件が変化した際にどのような変化が見られるか測定する。

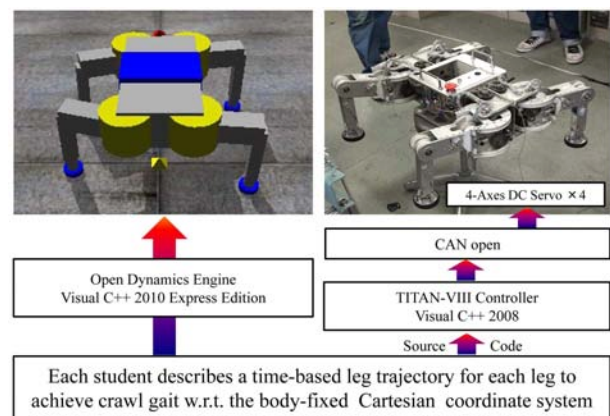


Fig.1 Overview of the experimental setup

通常ロボット工学の基礎的な演習では2自由度のシリアルリンクマニピュレータを用いて順運動学・逆運動学などを学ぶ。これらの基礎知識を用いれば一見困難に思える歩行ロボットの制御も可能であり、より興味深い問題設定により座学と実学の関連付けを狙う。また機械系の学科であるためプログラミングの実習時間は限られていることから、本実験を通して繰り返しの脚軌道については関数化するなど、プログラミングスキルを向上させることも目的としている。

### 4. 実験装置

TITAN-VIII 実機は研究用途に開発されており、出力も大きく民生品のような安全設計がなされている訳ではない。しかしながら学部学生にとって研究に用いられる「本物のロボット」に触れることは貴重な経験であると思われる<sup>1</sup>。Fig. 1 に実験装置の概要を示す。まず始めに脚軌道を記述しクロール歩容を ODE 上で実現する。それを確かめた後、その脚軌道を生成するプログラムを実機制御ソフトウェアに組み入れ、ビルドすることで実機を制御する。

<sup>1</sup> 本学では4年時より研究室配属となるが、ほとんどの学生はロボット工学以外の研究を行う。従って多くの学生にとって本実験がロボットに触れる最後の機会である。

#### 4.1 ODE による TITAN-VIII シミュレータ

Open Dynamics Engine 0.11.1 を Microsoft Visual C++ 2010 Express Edition 上でビルドした環境を用いて TITAN-VIII のシミュレータを作成した [5]. シミュレータは以下の 3 つのソースコードに分かれており、学生が作業するのは基本的に GaitController.cpp のみである。

- Main.cpp: TITAN-VIII モデルの生成, ODE 演算, データログなど
- InverseKinematics.cpp: 脚の逆運動学計算
- GaitController.cpp: 脚先軌道生成 (時間ベース)

レポート作成・デバッグに便利のようにボディの位置・姿勢・脚軌道の時系列データをキーボード入力をトリガとしてテキストファイルに書き出せるようソフトウェアを整えた。また重力加速度の生成をキーボードから指令入力することで、単なる運動学シミュレータと、内部に運動方程式を持つ動力学シミュレータの差異を体感できるよう工夫した。

ODE 0.11.1, TITAN-VIII シミュレータおよびそれらのインストール方法を学内サイトにアップしておき、学生は適宜個人の PC にダウンロード・インストールすることが可能なように資料を整えた。

#### 4.2 脚軌道の確認

本実験では学生の記述したソースコードを実機制御プログラム中に直接組み込みビルドすることから、安全に実機動作可能か事前に十分確認する必要がある。各脚の脚位置軌道およびその時系列変化を可視化する Excel シートを作成し、脚軌道を書き出したデータを貼り付けることで、正しい脚軌道か否か、視覚的に判断できるようにした (Fig. 2)。

#### 4.3 TITAN-VIII 実験機

実験機は、本研究室で開発され東京精機 (株) で販売されている TITAN-VIII を用いた。アクチュエータ制御には Hibot 社製の 4-Axes DC Servo を用い、配線や緊急停止などの電装系実装も Hibot 社に依頼した。アクチュエータの PID 制御や CANopen との通信など 4-Axes DC Servo 上の SH4 を用いた制御には本研究室で開発したファームウェアを用いた [6]。

実機制御用プログラムは Visual Studio 2008 から Windows Multimedia Timer を利用して時々刻々の関節角度指令値を Vector 社製の CAN インターフェース (CANcardXL) を介して SH4 に送信している。脚軌道を生成する部分は ODE と共通化されており、ODE で動いたソースコードを直接 include することで実機を制御できるようにした。

### 5. 実習と実験

まず始めに基本的用語や歩容制御の基礎について解説し、その後 Visual C++ の使い方やシミュレーションソフトウェアの内容について説明を行った。1 週目の目標課題は ODE 上でクロール歩容を実装するまでとし、2 週目でそれを実機に実装し歩行速度を計測することで理論値との比較を行う。またシミュレーションと実機の動作を観察し比較する。その後、ODE 上で縦安定余裕を算出するプログラムを作成し、脚初期位置

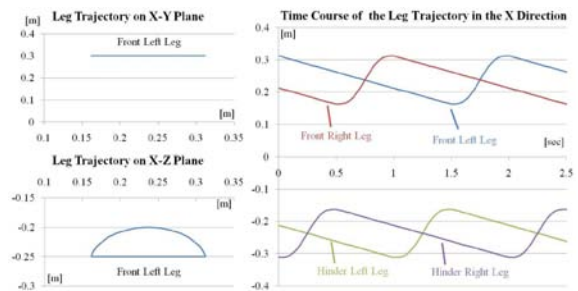


Fig.2 Visualization of the leg trajectory



Fig.3 Walking experiment using TITAN-VIII

や足裏直径などパラメータ変動させた場合の縦安定余裕と挙動の変化を確かめる。

本年は 41 名が受講しその全員がクロール歩容を実現するプログラムを完成させ、実機歩容を実現することが出来た。また実験中の怪我や TITAN-VIII 実機の故障といったトラブルも全くなかった。

### 6. まとめ

本報では ODE と TITAN-VIII を用いた学部学生実験について報告した。実験中には個人のカメラや携帯で動作の様子を撮影・録画する学生もおり、自らのブログに掲載したいとの申し出もあった。学生の感想はほとんどが好意的であり「プログラミングには苦労したが実際に動いた時には感動した」との意見が多かった。本報がロボット教育事例の一つとして参考になれば幸いである。

### 謝辞

ODE の詳細な解説と情報提供を行っておられる金沢工業大学出村公成先生のサイト [7] を参考にシミュレータを作成いたしました。ここに深く感謝いたします。

### 参考文献

- [1] ヴイストーン (株) Beauto Balancer: <http://www.vstone.co.jp/top/products/robot/beauto/bindex.html>
- [2] (株) ZMP nuvo: [http://nuvo.jp/nuvo\\_home.html](http://nuvo.jp/nuvo_home.html)
- [3] "Open Dynamics Engine" <http://www.ode.org/>
- [4] 広瀬, 有川: "研究用プラットフォームとしての普及型歩行ロボット TITAN-VIII の開発", 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.8, pp.1191-1197, 1999.
- [5] 遠藤, 有川, 広瀬: "研究ツールとしての Open Dynamics Engine の定量評価-4 脚歩行機械 TITAN-VIII 実機歩行との比較-", 第 28 回日本ロボット学会学術講演会, 2010.
- [6] Frederic Chucholowski: "Development of a Standard Control Platform for Mobile Robots", Master Thesis in Technical University of Munich, 2008.
- [7] "demura.net ロボットの開発と教育" <http://demura.net/ode>