

## 効果的なロボット制御演習のためのシミュレーション環境の開発

前田紘希<sup>†</sup> 加藤昇平<sup>†</sup><sup>†</sup>名古屋工業大学

## 1 はじめに

近年、ロボット市場の拡大や制御技術の向上により様々なロボットが登場し、関心が高まりつつある。本研究では、学部向けの情報系専門教育科目「知能ロボット制御論」でロボットの構造や運動制御についての知識習得を目的とし、物理演算シミュレータと実ロボットを用いた演習を実施している。これまでは、簡易的なロボットモデルを使用し大まかな動作確認にシミュレータを用いていたが、本研究では、物理演算シミュレータで用いるロボットモデルを高精度化し、学習者のモチベーション向上とロボットの構造や運動制御の学習促進を図る。ロボットの運用では、対象ロボットシステムのモデルやデータ、プログラムを扱うためのシミュレーションモデルが必要とされる。特に、実ロボットの使用では時間的コストや費用の面で不利な状況において、シミュレータが重宝される。例えば、シミュレータでプログラムの動作を確認することで、予期せぬ挙動により実ロボットが破損する可能性を下げることができる。実ロボットとロボットモデルの構造の差異が少ないほど、シミュレーション上で確認した動作を実ロボットに適用する際の修正が少なくなる。これにより、シミュレーションと実ロボットでの動作制御を円滑に進めることができ、作業の効率化が図れる。

シミュレーション環境としてオープンソースの物理演算エンジンである ODE (Open Dynamics Engine)[1]を用いる。ODE は多くの研究やゲームで利用されている。また、ODE には四角や球、円柱などの形状を用いたモデリング機能が存在するが、3D ポリゴンによる高精度なロボットモデルの構築は困難である。

本研究では、3D ポリゴンの組み合わせで重量配分や構造的に高精度なロボットモデル構築支援システムを使用可能なシミュレーション環境(図1)を開発した。これにより、実ロボットを想定したシミュレーションにおいてシステム修正や時間的コストの面で効率的なロボットモデルが構築可能であり、シミュレータを用いた円滑な学習が行える。提案システムの詳細は後述する。提案システムで構築したロボットモデル(図2)と ODE の標準機能で構築したロボットモデル(図3)を用いて、ユーザビリティおよび学習効率の比較実験による効果測定を予定している。

## Development of the simulation environment for effective robot control practice

Hiroki MAEDA<sup>†</sup>, and Shohei KATO<sup>†</sup><sup>†</sup>Nagoya Institute of Technology

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan

{maeda, shohey}@katolab.nitech.ac.jp

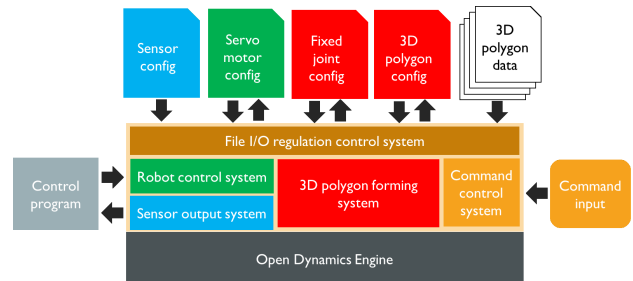


図1: 提案システム

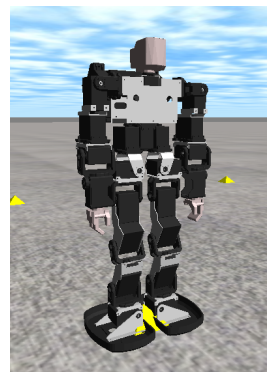


図2: 提案システムで構築したロボットモデル

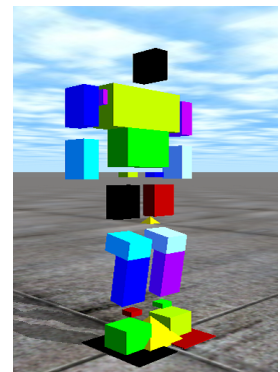


図3: ODE の標準機能で構築したロボットモデル

## 2 システム構成

本システムでは、3D モデルデータを読み込んでシミュレータ上でロボットモデルを構築する。ロボットモデルはロボットの構造を示した json ファイルに従い構築される。必要となるファイルの内容とシステム構成を図1に示す。

ファイル管理システムでは設定ファイルをシステム内部での利用形式に変換したり、変更された設定のファイル書き込みを行う。3D ポリゴン生成システムでは、ファイル管理システムで得られたデータに基づきポリゴンの生成とポリゴンの位置関係の固定、サーボモータとセンサの設定構築を行う。ロボットモデルを構築する際には、コマンドコントロールシステムを介してポリゴンの回転や移動、固定などを行う。また、サーボモータや各センサをテストしたり、ロボットの構築状態を確認したりできる。実際に実験を行う際には、ロボットのサーボモータの制御や外乱等の設定が行えるロボット制御システムを介して制御を行い、センサ管理システムからセンサ情報を受け取ることができる。

このように、ユーザは本システムを介してロボットモデルの構築から制御までを行う。

## 2.1 3D ポリゴン

本システムで用いる 3D ポリゴンモデルは別のソフトウェアを用いて構築する。構築した 3D ポリゴンは 3DCAD ソフト用の規格である STL 形式で出力する。STL 形式は、3つの頂点座標と法線ベクトルにより定義される三角形ポリゴンの集合で表記している。また、STL 形式ではポリゴン形状のみを設定するシンプルなファイル形式であるため、3D ポリゴンの状態は別途設定する必要がある。3D ポリゴンの設定では STL ファイルの指定と色や質量などの各種情報や座標、回転の設定を行う。なお、材質の違いによる質量設定を細かくし、より高精度なロボットモデルとするために素材毎にポリゴンを分けることが推奨される。3D ポリゴン同士を固定するために2つのポリゴン間の相対座標と相対回転角度を設定する。これは ODE の標準機能である fixed joint により実現しているため、実際には相対位置を固定したい2つのポリゴンを指定するだけでよい。

## 2.2 サーボモータ

本システムではサーボモータを用いたロボットを想定している。サーボモータは2つのポリゴンと回転軸を設定し、角速度を変更することで動作する。そのため、サーボモータ本体とピニオンギヤを別々の 3D ポリゴンとすることで、軸以外の設定を統一することができる。サーボモータは回転軸や稼働角度 [rad]、最大角速度 [ $\pi$ /sec]、最大トルク [ $g \cdot mm$ ]、初期角度 [rad] を設定することができる。

## 3 ユーザビリティ及び学習効果の比較実験計画

本実験ではユーザにタスクを与え、提案システムと従来システムでの使用感やタスク達成度を比較検証する。使用するロボットは近藤科学の KHR-2HV[2] と KHR-3HV[3] とする。また、従来のシミュレータ環境では KHR-2HV を用い、提案システムのシミュレータ環境では KHR-3HV を用いるものとする。KHR-2HV および KHR-3HV のスペックを表 1 に示す。

表 1: 使用ロボットのスペック

Item	KHR-2HV	KHR-3HV
Height × Width [mm]	353 × 183	401.5 × 194.4
Weight [g]	1270	1500
DoF (Lower Body)	17 (10)	22 (12)

KHR-2HV に比べ、KHR-3HV は自由度の高い動作が可能だが、操作する関節数が多いため学習コストが大きくなる。順序効果をなくすため、被験者を無作為に KHR-2HV を先に使用するグループ及び KHR-3HV を先に使用するグループに分ける。タスクは、著者らの所属研究室が開講している学部生向け演習講義の一課

題と同等の積み木運び (図 3)[4] とする。このため、被験者は演習講義を受講する学生を想定し、本校の情報工学部 3 年生以上の学生とする。このタスクは、積み木を図 3 の各得点エリアまで運び、積み木が置かれた得点エリアおよび置き方によって点数が加算されている。制限時間は 2 分とし、制限時間内は何度でもリトライ可能で、積み木を何個でも運んでも良い。ただし、各得点エリアでカウントされる積み木は 1 つまでで、一度に運べる積み木は 1 つとする。

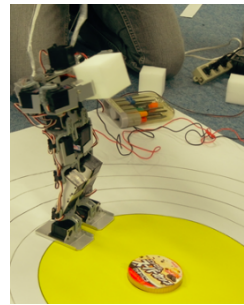


図 4: 積み木運びの様子

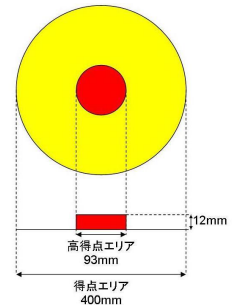


図 5: 得点エリア

タスク達成までに被験者がこなす作業内容を以下に示す。

1. 専用のエディタを用いてロボットの関節角度を時系列順に設定
2. シミュレータで動作確認 (提案システム or 従来システム)
3. 実ロボットで動作
4. 1~3 をタスク達成まで繰り返す

タスク達成までの作業時間や得点数、シミュレータの使用感アンケートにより総合的に比較検証する。

## 4 おわりに

本稿では実機との乖離の少ない高精度なロボットモデル構築支援システムを使用可能なシミュレーション環境と効果測定の実験計画を紹介した。今後は描画速度を向上させ、よりスムーズに学習が行えるように改良を行う。ロボットに対する理解を促進させるためにセンサ系の充実させ、センサを用いて複雑な学習も行うようにしたい。また、効果測定から本システムの検証を進め、実際に教育現場に導入したい。

## 参考文献

- [1] R. Smith et al. The Open dynamics engine, open source library for simulating rigid body dynamics. <http://ode.org>.
- [2] 近藤科学株式会社. KHR-2HV <http://kondo-robot.com/product/khr-2hv>.
- [3] 近藤科学株式会社. KHR-3HV <http://kondo-robot.com/product/khr-3hv-ver-2-life>.
- [4] 加藤昇平研究室. 知能ロボット演習 <http://www.katolab.nitech.ac.jp/lecture/intelli-robot/tsumiki.html>.