

# 学習用 3D 二足歩行ロボットシミュレータの試作\*

宇賀神 匡孝<sup>†</sup> 中川 秀一<sup>†</sup> 平山 晴久<sup>†</sup> 神林 靖<sup>†</sup>

日本工業大学 工学部 情報工学科<sup>†</sup>

## 1.はじめに

日本はロボットの分野において既に世界一の地位を築いており、製造業を中心に多くのロボットが稼働している。近年ペット型や二足歩行型などの民生用分野におけるロボットが各方面で活躍している。

二足歩行ロボットの制作は、個人の趣味のレベルでも行われるほど普及しつつある。ここまで二足歩行ロボット技術が発展してきたのは二足歩行が我々の興味を刺激してやまないためである。興味の対象になるということは「学びたい」という意欲も湧いてくるようになるということである。さらにロボットの制作は工学の基礎分野を網羅していたり、自分で手を動かし、問題を解決することで理解が深まったりと利点も多い。これはできれば学校教育や個人での学習に取り入れたい。しかし、趣味のレベルで行われていると言ってもロボットの製作には1台で最低 10 万程度の費用がかかるのが実状である。これでは教材として使うには費用がかかりすぎる。

シミュレータを使えば、パソコン上で動かすために新たに機材を用意する必要がなく、ソフトウェアなので費用が実機を購入するより安価ですみ、ハードの物理的な破損も起こらない。CG を用いることで、重心の動きなど実際には見えない部分も視覚的に見せることが可能なので学習者の理解を深められ、一人一人が自由に学習することができる。

以上の動機に基づいて、二足歩行ロボットの教材用シミュレータを試作することにした。試作したシミュレータでは共通のサーボ・モータを表わすブロックを組み合わせることで脚部機構を再現し、ダイアログからの各部分の重心の重さやモータのトルク、動作角度を入力することでユーザが二足歩行ロボットの動作を容易に表現できるようにした。

## 2.シミュレータの設計

ロボットを構成する要素としてプログラムや回路設計、デバイス設計がある[1]が、これは作る側によって千差万別なためシミュレーションが非常に困難になってしまう。そこで今回試作したシミュレータは、ボディを構成する主要な要素である機械工学や物理学に特化したものになっている。

したがって搭載する機能は二足歩行の具体的なイメージをつかむためのサンプル動作と、複数回の角

度指定による連続した動作、ロボットが動作する際にどれだけのモーメントが各関節にかかっているのかを計算する機能を実装する。

まず各モータ動かすために各関節をリンクさせる。これには一般的な親子関係用いたのだが、実際にロボットを動かすように各関節に角度を入力した場合、腰の重心を親として、例えば屈伸の様な動きをさせると、腰が落ちるのではなく脚が腰に引き付けられるような動作になり、逆に足を親とすると脚を地面から離す動作が行えなくなってしまった。これは親である重心部分を動かす処理が無いためである。

そこで親子関係を腰から足先に向かって行い、順運動学を用い足先の座標を出して両足が地面から離れた場合、離れた分だけ重心を移動させ擬似的に重力を再現する方法をとった。

## 3.シミュレータの実装

順運動学とは各関節角度から位置座標を求める運動学である[2]。

ロボットの各モータの動きは図1のような動きをする。

図1に順運動学を適用し導かれる式は次のとおり

$$\begin{aligned}
 x_R &= GPx - FG + \{m_1 + (l_1 + l_2) \cos \theta_1 + \\
 &\quad l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + m_2 \cos \theta_4 \sin \theta_3\} \cos \theta_0 \\
 x_L &= GPx - FG + \{m_1 + (l_6 + l_7) \cos \theta_6 + \\
 &\quad l_8 \cos(\theta_6 + \theta_7) + m_2 \cos \theta_9 \sin \theta_8\} \cos \theta_5 \\
 y_R &= GPy - l_0 + \{m_1 + (l_1 + l_2) \cos \theta_1 + \\
 &\quad l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + m_2 \cos \theta_4 \cos \theta_3\} \cos \theta_0 \\
 y_L &= GPy - l_5 + \{m_1 + (l_6 + l_7) \cos \theta_6 + \\
 &\quad l_8 \cos(\theta_6 + \theta_7) + m_2 \cos \theta_9 \sin \theta_8\} \cos \theta_5 \\
 z_R &= \{m_1 + (l_1 + l_2) \cos \theta_1 + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2) + m_2 \cos \theta_4 \sin \theta_3\} \sin \theta_0 \\
 z_L &= \{m_1 + (l_6 + l_7) \cos \theta_6 + l_8 \cos(\theta_6 + \theta_7) + m_2 \cos \theta_9 \sin \theta_8\} \sin \theta_5
 \end{aligned}$$

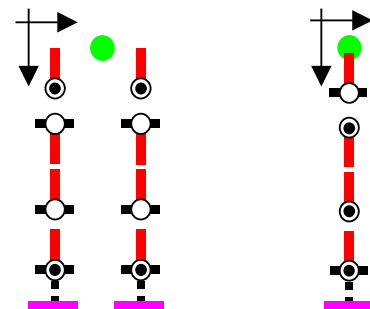


図1:ロボットの個所

\*A 3D Simulator for Controlling Biped Walking Robots

<sup>†</sup>Masataka Ugajin, Syuichi Nakagawa, Haruhisa Hirayama, Yasushi Kambayashi, Nippon Institute of Technology

先に述べたような「両足が地面から離れている状態なら一方の足が地面に着くまで全体を移動する」という動作を実行させるには Y 軸の座標のみ判定ができれば十分だが、歩行の再現や加重移動で X, Z の座標も必要となるのでその式も用意した。Y 軸座標の判定式は地面との接地センサーとしても使える。このように実機では手間のかかるセンサーの設置を数式で簡単に行えるのもシミュレータの利点である。

ロボットが動作したとき各関節にどれくらいのモーメントが加わるのかを屈伸姿勢を取ったときを例にして考える。これはこのモーメントに対抗できるトルクを持っていれば少なくとも姿勢維持だけができるためである。

以下はある角度のモーメントを求める式である。

$$M = W * L * \cos \theta \quad [\text{kgf} \cdot \text{cm}]$$

足首に掛かるモーメントは、スネとモモと胴体の重心によるモーメントの総和として、ヒザに掛かるモーメントはモモと胴体の重心によるモーメントの総和として、腰に掛かるモーメントは胴体の重心によるモーメントとして算出する。屈伸時など両足が接地している場合の各関節へのモーメントの計算の注意点として二本の脚で胴体を支えているので、片足にかかる重さは重心の半分の重さとして扱うことができる。そうすることでより実際のモーメントに近い値となる。

次にロボットが左右方向に過重移動を行う時のモーメントについて考える。これは二足歩行ロボットの歩行は、必ず支持脚に体重を載せ、遊脚を持ち上げて前に振り出す静歩行を使うことが多いからだ。左右加重移動時のモーメントが分かれば足首、膝、腰にかかるモーメントと合わせて、足腰の各関節に必要な最低限のトルクが求められることになる。主な計算方法は、先の屈伸姿勢を取ったときの各関節のモーメントと同じ考えに基づいている。

両脚と地面と腰で囲まれる部分は常に平行四辺形を維持し、支持脚だけに体重が乗っていて片方の足は遊脚になっていることを前提として計算を行うと足が固定されているので、急な傾斜角にするほどモーメントは大きくなる。

支持脚股関節は、足首によって支持脚のスネとモモが固定されている場合、支持脚の股関節には遊脚の重心、および上半身の重心によるモーメントが加わることになる。

遊脚の股関節に加わるモーメントは、モモとスネの重心によるものだけとなる。また、両足とも着地していて足首が固定されていない場合、両股関節とも同じモーメントになると考えられる。

#### 4. シミュレーション実行の様子

試作したシミュレータの設定用のダイアログを図 2 に示す。動作角度の指定や重心の重量、距離など

シミュレーションに必要な情報をまとめて入力することでユーザが操作に手間取らないようにした。OK をクリックすればシミュレーションが開始される。図 3 がその実行画面である。各関節に掛かるモーメントの計算結果が画面下のステータスバーに常時表示されるようになっている。しかしバーの表示は非常に高速で変化するので数字を読み取ることが困難なため、ストップを押すことで処理を一時止めることができるようにした。他にモーメントがモータのトルクを超えた場合にメッセージを表示し処理を止める機能やモーメントがモータの出力トルクを超えることなく動作が完了した場合、最大モーメントとその角度をダイアログで確認できる機能を付加した。

#### 5. まとめ

当初費用の面や導入の簡便さから教材としてのシミュレータの利用を考えたのだが、ユーザ評価によりシミュレータを実機の前段階の学習として導入することで、実機に触れる前にロボット製作に必要な理論の理解を深めることができるようになるスムーズな学習が行えることがわかった。

#### 参考文献

- [1] ROBO-ONE 委員会「ROB-ONE のための二足歩行ロボット製作ガイド」. オーム社, 2004.
- [2] 酒井幸市「物理・制御シミュレーション入門」. CQ 出版社, 2002.



図 2: 各種設定ダイアログ

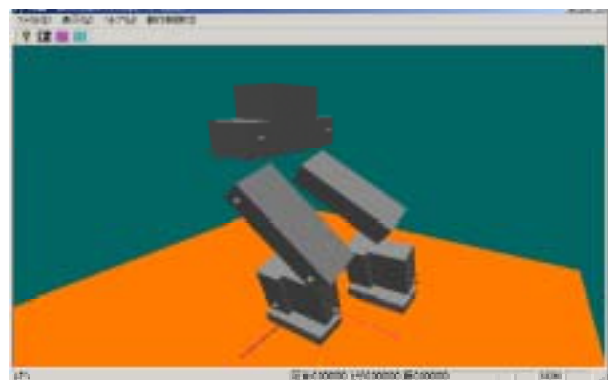


図 3: シミュレーション実行中