

恐竜型二足歩行ロボットの開発

新 谷 裕 和*・倉 内 亮 平**

Development of Biped Dinosaur-like Robot

Hirokazu Araya and Ryouhei Kurauchi

It works on the development of the biped dinosaur-like robot supposing the use in museums. This time, we made a simple simulation model of the biped dinosaur-like robot and examined walking patterns with it. As a result, we found that the rotation around the yaw-axis caused by biped-walking was counterbalanced by operation that wagged the tail. And this walking pattern carries out the motion that seems to be the dinosaur. In addition, a prototype and the detailed simulation model were made based on this result.

1. はじめに

近年、人間や動物の動きを模したアミューズメントロボットやエンターティメントロボット、ペット型ロボットの開発が盛んに行われている。これらのロボットは、産業用のロボットとは異なり、作業の効率化や高性能さよりも、人間を楽しませたり和ませたりすることに重点を置き、人間や動物の動きをリアルに再現することに焦点が当てられている。しかし、テーマパークなどに置かれているアミューズメントロボットのほとんどは地面に固定して体の一部をエアシリンダで動かすというもので、動物の動きを完全に再現しているとは言い難い。一方、福井県では恐竜の化石の発掘調査が行われており、その成果が恐竜博物館で展示されている。

そこで本研究では、博物館などで使用されている恐竜型のアミューズメントロボットに注目し、今までの主流であるエアシリンダを動力とした歩行できないロボットに代る安価な恐竜型二足歩行ロボットを設計・試作する事を目的とした。なお、現在開発されている恐竜型二足歩行ロボットとしては、東京工業大学¹⁾や産総研²⁾の物があるが、恐竜らしい動きや、開発・生産コストなどの点で、研究・検討の余地があると考ええる。また、本ロボットを利用することにより恐竜のより本物に近いと思われる動きを再現することが出来、現在世界中で行われている恐竜学への応用も可能になると考えている。

2. 簡易シミュレーション

恐竜型二足歩行ロボットを試作する前に、コンピュータシミュレーションによりロボットの構造および歩行パターンを検討した。

2.1 シミュレーションモデルの作成³⁾

シミュレーションモデルは、長方形14個、多面体1個、合計15個のブロックを組み合わせた (Fig. 1)。

* 原子力技術応用工学科 ** 元機械工学専攻院生

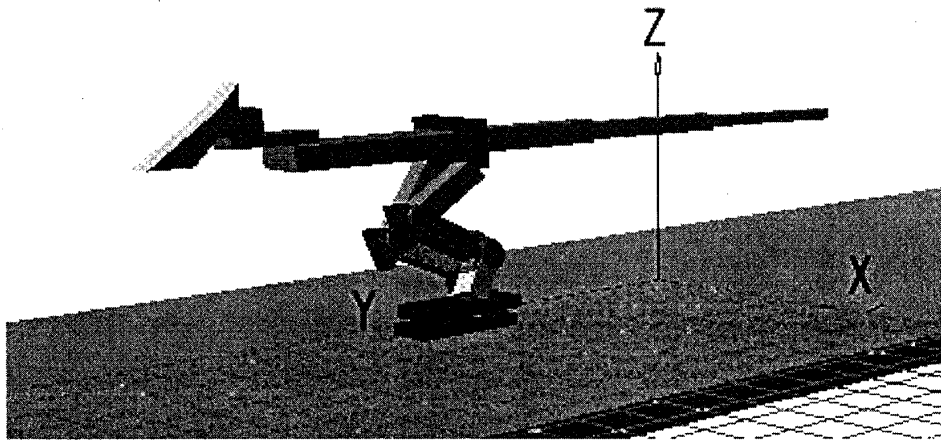


Fig.1 Simple simulation model

両脚にそれぞれ 6 自由度、尻尾に 3 自由度の合計 15 自由度の関節にモータを設置し、それ以外は回転しない結合のみの拘束に設定した。脚底となるブロックでは衝突計算を行い、反発係数 0.02、摩擦係数 1 とし、非反発ゴムを脚底に配置した状態を想定した。本来であれば衝突の計算はすべてのブロックに行うべきだが衝突演算には時間がかかるため、本研究では地面に設置する脚底のブロックのみとした。材質はアルミ材とし、両足は左右のバランスを、胴体・尻尾は前後のバランスを取るように重量を調整した。胴体、尻尾ともにいくつかのパーツに分かれているが、腰を中心にして少しずつ重さが軽くなるように設定し、調整する際は各パーツに分けて重さを加えた。全体の見た目のバランスとしては恐竜をイメージできるように脚のブロックは上から 2:2:1 の割合の長さに作成した。胴体の長さ、尻尾の長さは、モデルにした恐竜を横から見たイメージに近くなるように長さに調整し、胴体から順にブロックを細くした。その他、頭なども恐竜をイメージしやすいものを作成したが、脚底のブロックに関しては、簡易的な動作パターンの確認を行いやすくするために、恐竜をイメージできるものよりも大きいものを使用した。また、本来恐竜の踵は地面には接地しておらず、関節の一つとなっているが、Y 軸方向のバランスが崩れやすくなるため、脚底のブロックを後方にも伸ばし、バランスを取りやすいようにした。なお、座標系は Y 軸を進行方向とした左手系を用い、シミュレーションソフトには MSC. visualNastran4D⁴⁾ を使用した。

2.2 歩行パターンの作成

歩行パターンは各モータに時間ごとの角度を与えることにより作成する方法を取った。各モータに指令値を与える方法として、数式により連続的に与える方法もあるが、本来の恐竜の動きを考えながら調整するには困難と考えた。

基本歩行パターンはロール方向 (X 座標) については、ZMP (Zero Moment Point) 規範を用いることとした。ZMP の基本式は以下のように考える。ロボットモデルを質量 M の 1 質点系とし、重心位置を x_g とする。重心位置が両脚の中央にあるときを時刻 0 で $x_g=0$ とする基準位置とする。ZMP が足首の中心に来るように制御するとき、ZMP の位置は基準位置から X_{zmp} だけ離れた位置となる。これらの値を使い、ZMP まわりのモーメントの釣

り合いを考えれば、ZMP の基本式は次のようになる。

$$M \times \ddot{x}_g \times H + M \times G \times (X_{zmp} - x_g) = 0 \dots\dots (1)$$

ここで、

\ddot{x}_g : 重心加速度 G : 重力加速度 H : 重心までの高さ

式 (1) の一般解⁵⁾ を用いて、ロール方向の基本パターンとした。

しかし進行方向であるピッチ方向 (Y 座標) において、式 (1) を使うと上体が前後に揺れる動作となってしまう。恐竜の動きを考えた場合、その動作では不適切であり、定常的な歩行中は上体に加速度がない動作が適当であると考えた。そこで等速運動による基本歩行パターンを作成した。

実際の歩行パターンは、より恐竜らしく見えるように考古学などの資料^{6) 7)} を基にして、基本歩行パターンをアレンジして作成した。この際、二足歩行ロボットとしての安定した脚の動きよりも、恐竜と見せるような動きのほうを優先した。また、ロボットを恐竜らしく見せようとしたとき、前からよりも横から見たほうがイメージしやすいと判断し、横から見た動き、特に脚の進行方向に対する動きを重視した。

2.3 シミュレーション結果

人型の二足歩行ロボットの場合、ヨー軸回りの慣性モーメントが小さく、歩行が高速になるとロボットの足底と路面間にヨー軸回りのすべりが生じ、これが歩行の安定性に大きく影響すると問題が生じている⁸⁾。そこで、回転と同じ方向に尻尾を振ることにより逆のモーメントを発生させ、回転を相殺できるかどうかを検討した (Fig. 2)。

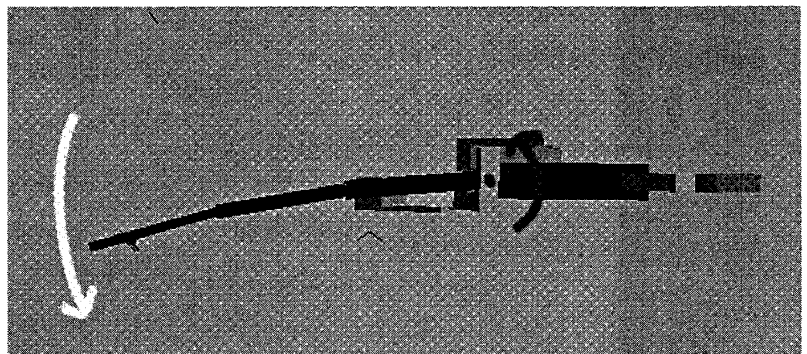


Fig.2 Moment of Z axis

まず、Fig.1 のモデルから胴体と尻尾を取り外したモデルを作成し歩行させた (Fig. 3)。初期状態から重心を下げ、片足に重心を預けた後、片足を上げる。そこから歩行動作を開始し、バランスを崩す前に上げた足が接地する様に歩行パターンを作成した。しかし、恐竜をイメージさせるダイナミックな歩行動作を設定すると、Z 軸回りの回転を抑えることが出来ず、すぐに歩行不能になってしまった。

Fig.4 はシミュレーションモデルの腰ブロックの各軸回りの回転をグラフにしたものである。縦軸が回転角度、横軸が時間を表している。胴体・尻尾が無い為、X・Y 軸回りの回転

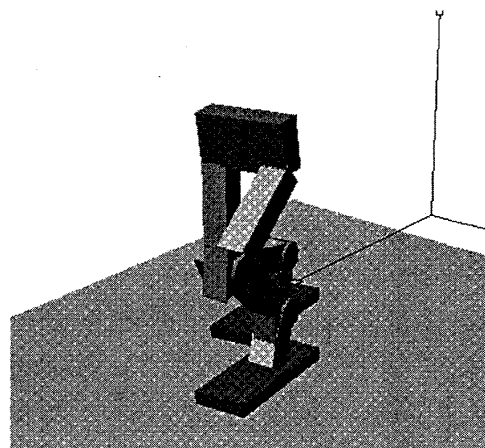


Fig.3 Simple simulation model without tail

も発生しているが、特に Z 軸回りの角度が大きく乱れており、15 度以上の回転が発生していることがわかる。

そこで Fig. 1 のモデルを使用し、まず尻尾を動かさずに歩行をさせた。その結果、胴体・尻尾のバランスにより X・Y 軸の乱れは無くなったが、Z 軸の回転は改善せず、かえって尻尾が付いていなかったモデルよりも大きく回転してしまった。

Fig. 5 にその結果を示す。動作開始から 2 秒ほどは、安定しているが、その後急激に Z 軸回りの回転角度が増し、-25 度近くまで回転してしまっている。原因として、胴体・尻尾があることにより、モーメントが大きくなってしまったと考えられる。

次に、尻尾の関節のモータを動作させ Z 軸の回転が発生するタイミングにあわせて尻尾を振るように動作させた。Fig. 6 にそのときの結果を示す。X・Y 軸の乱れが小さくなり、かつ Z 軸回りの回転も ± 5 度以内に収まっていることが分かる。

3. 試作機

3.1 試作機の製作

簡易シミュレーションの結果を基に試作機を製作した (Fig. 7)。

本体の素材はアルミ材とプラスチック樹脂を利用し、強度が必要ないところはプラスチックネジを使うなどして出来る

だけ重量が増えないように各部品を考えたが、尻尾の重量が胴体よりも重かったため、胴体に、バランスを取る重りを取り付けた。モータは、簡易モデルとできるだけ同じ位置になるようにしたが、モータの回転範囲・取り付け方法などにより、完全に同じ位置に取り付けることは不可能だった。そこで、モータの回転軸の位置関係をシミュレーションに近づけるように部品を設計した。

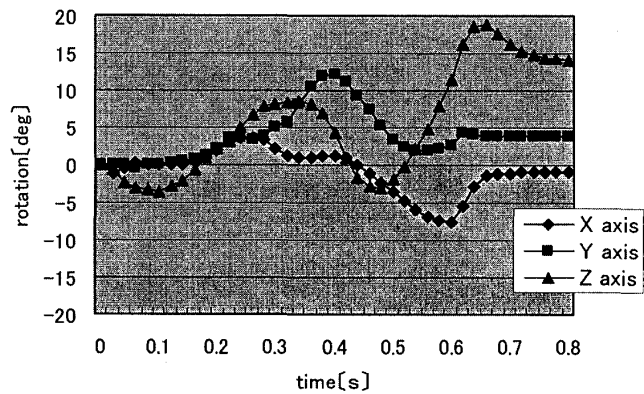


Fig.4 Rotation of waist block without tail

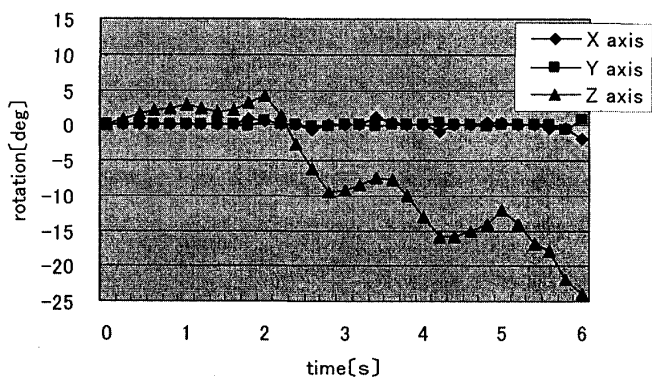


Fig.5 Rotation of waist block with tail

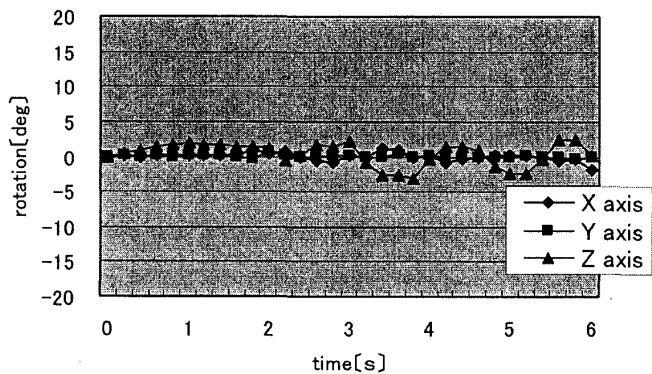


Fig.6 Rotation of waist block with tail

脚底のパーツは、足首から広がるような形の物を製作し、脚底には滑らないようにゴム材を貼り付けた。また、簡易モデルにはあった踵の接地を考えず、二足で歩く恐竜の特徴のひとつとも言えるつま先歩行を考えた形状とした。尻尾の関節は、軽量化のためモータを複数使用せず、ひとつのモータでワイヤーを引っ張る形で尻尾を振る構造にした。また、歩行動作の実験中にロボットが転倒し破損する恐れがあったので、歩行の妨げにならないような転倒防止補助フレームを製作した。材質は強度よりも軽さを重視し、機体と同じアルミ材を使用した。

コントローラは 32bitCPU を使用したマイコンボードと専用の I/O ボードを使用し、RC モータをマイコンのシリアルポート経由でコントロールした。モータは AI MOTOR-1001 を使用した。マイコンから I/O ボードを経由し、モータの接続端子から各モータへ信号を送っている。モータは内蔵されたチップに ID 番号を登録し、Fig. 8 のように直列繋ぎすることにより複数のモータを一つの接続端子で制御できる。プログラムは C 言語を使用、市販の人型二足歩行ロボットのプログラムを一部変更し使用した。ロボットの歩行プログラムは、シュレーションと同じく各モータに時間ごとの角度を与える形になっている。

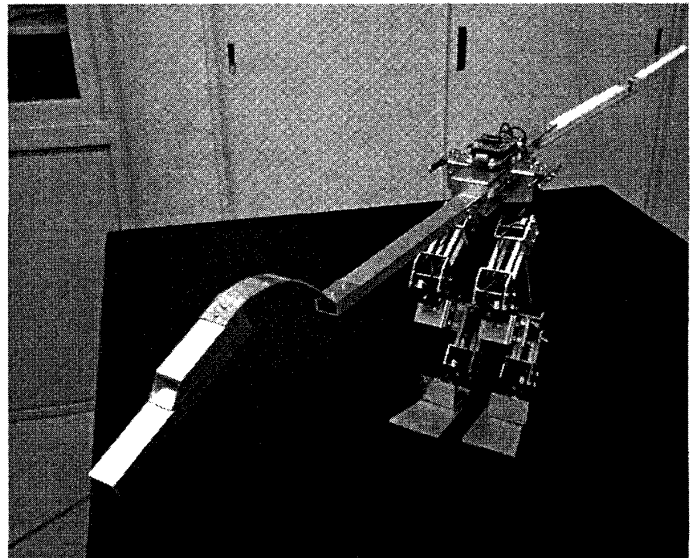


Fig.7 Prototype robot

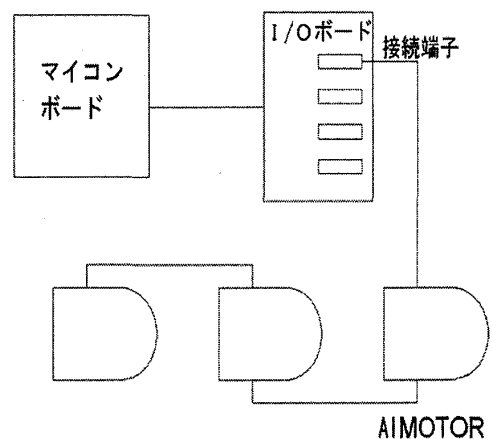


Fig.8 Control circuit

3-2 試作機シミュレータ

試作機的设计図を基に 3D CAD でモデルを作り、データを変換し、シミュレーションソフトに取り込んだ (Fig. 9)。材質はアルミ材で統一し、重量のデータは実際のロボットの値を正確に計測して同じ値に設定した。部品の重量として、ネジなどの細かい部品も含まれるが、それを正確に取り込むと、シミュレーション時間が大幅に増大するので、その部分は省略した。このシミュレータを使用することにより、試作機を動かさなくても歩行パターンの作成が可能となる。

基本的な構造は試作機と同じものを設定したが、尻尾の関節の動力は、ワイヤーを引っ張って動かす機構がシミュレーションの中で再現できなかったため、各関節にモータを使用した。動作は実機の機構で考えられる動作範囲 (± 5 度) に限定した。

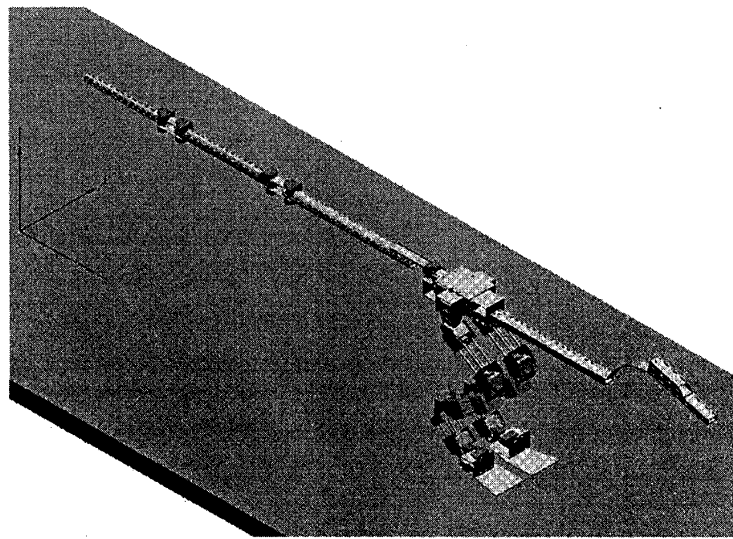


Fig.9 Simulation model of prototype robot

4. 結言

博物館などでの使用を想定した恐竜型二足歩行ロボットの開発に取り組んでいる。今回は恐竜型二足歩行ロボットの簡易シミュレーションモデルを作成し、それを用いて歩行パターンを検討した。その結果、二足歩行によって生じるヨー軸回りの回転を、尻尾を振る動作で相殺し、恐竜らしい歩く歩行パターンを見出した。更に、そのデータを基に試作機とその詳細シミュレーションモデルを作成した。

今後、試作機と詳細シミュレーションモデルで歩行パターンを検討し、シミュレーションだけでなく、実際のロボットで尻尾を応用したモーメント制御が可能かを検討していく。また、そのデータを基にして実機的设计・製作なども行っていきたい。

参考文献

- 1) 滝田謙介ほか：恐竜型二足歩行ロボット TITRUS の開発（第6報：首・尾の動的効果を利用した運動）、機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集、2P1-1F-G3、2003
- 2) 金子健二ほか：恐竜型二足歩行ロボット、第23回日本ロボット学会学術講演会、2G17、2005
- 3) ROBO-ONE 委員会：二足歩行ロボットのモデルベース開発、オーム社、2005
- 4) MSC.visualNastran 4D 2002 チュートリアルガイド、エムエスシーソフトウェア（株）、2002
- 5) ROBO-ONE 委員会：ROBO-ONE のための二足歩行ロボット製作ガイド、オーム社、2004
- 6) R.M.アレクサンダー、坂本健一（訳）：恐竜の力学、カナメブックス、1994
- 7) 真鍋真ほか：恐竜博 2005 The Dinosaur Expo 2005、朝日新聞社、2005
- 8) 山口仁一ほか：上体運動により3軸モーメントを補償する2足歩行ロボットの開発、日本ロボット学会誌、Vol.11、No.4、pp. 581~586、1993

(平成19年3月22日受理)