

## RoboCup用ロボットNAOの姿勢制御

渡辺 光† 中村 克彦‡

†東京電機大学大学院理工学研究科 ‡東京電機大学理工学部

## 1 まえがき

標準プラットフォームリーグでは、フランス製二足歩行型ロボットNAO 4機からなるチームがサッカーを行う。このリーグはハードウェアの改造が禁止されており、ソフトウェアの優劣を競い合う競技である。NAOは全身に21の自由度をもち、加速度センサや加圧センサ、MRE(Magnetic Rotary Encoders)などを備えているためかなり高度な動作を行うことができる[2]。

ロボットにサッカーを行わせる際に、歩行、キック、旋回などの動作や、ロボット同士の接触や床の状態の変化などの外的要因によってロボットのバランスが不安定な状態になり転倒してしまう。ロボットの姿勢を制御し転倒を防ぎ安定な状態を保つことは、もっとも重要な制御である。

本研究の目的は、NAOを静的な状態および動的な状態で姿勢を制御し安定させる方式を明らかにすることである。この報告では、ゼロモーメントポイント(以下ZMP)を用いた姿勢制御方法について述べる。

## 2 NAOの安定化

NAOの姿勢を制御するにZMPと目標ZMPを用いる。ZMPと目標ZMPためには、各部位の位置および重心位置を求めてNAO全体の重心位置を算出する必要がある。各部位の位置は次の式によって算出される(図1)。

$$\begin{aligned}x_2 &= x_1 + l \times \sin(\theta_1 + \theta_{xz}) \times \cos(\theta_2 + \theta_{yz}) \\y_2 &= y_1 + l \times \cos(\theta_1 + \theta_{xz}) \times \sin(\theta_2 + \theta_{yz}) \\z_2 &= z_1 + l \times \cos(\theta_1 + \theta_{xz}) \times \cos(\theta_2 + \theta_{yz})\end{aligned}$$

角度 $\theta_1$ に平行な面 $Y'Z'$ について考える。部位の長さ $l$ と $\theta_2$ および機体の傾き $\theta_{yz}$ より長さ $z$ を求める。 $z'$ はXZ平面上の $P_1 \sim P_2$ 間の距離と等しいため $Z'$ と $\theta_1$ および機体の傾き $\theta_{xz}$ より $x$ ,  $z$ を求める, 求めた $z$ か

## Posture Control of Robot NAO for RoboCup

Hikaru Watanabe†, Katsuhiko Nakamura‡

†Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Denki University

‡School of Science and Engineering, Tokyo Denki University

†h1rmj40@ms.dendai.ac.jp, ‡nakamura@rd.dendai.ac.jp

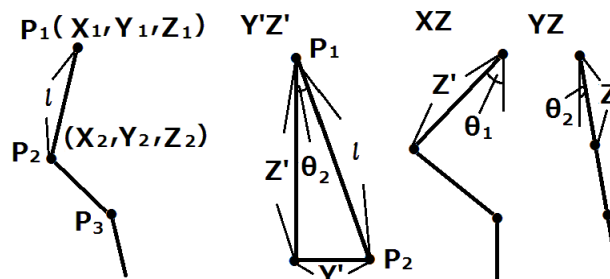


図1: 順運動学を用いた重心位置の算出

ら $\theta_2$ および機体の傾き $\theta_{yz}$ を用いて $y$ が求められる。求めた $x$ ,  $y$ ,  $z$ にそれぞれ $x_1$ ,  $y_1$ ,  $z_1$ の位置を加えることによって次の部位位置 $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$ が求まる。同様に他の部位についても位置を求めることによってすべての部位の重心位置を算出できる。算出された各部位の位置と質量から次の式によってNAO全体の重心位置を求める。

$$\begin{aligned}cx &= \sum_{i=1}^N \frac{px_i \times m_i}{M} \\cy &= \sum_{i=1}^N \frac{py_i \times m_i}{M} \\cz &= \sum_{i=1}^N \frac{pz_i \times m_i}{M} \\C &= [cx, cy, cz]\end{aligned}$$

算出した各部位のX軸, Y軸, Z軸の重心位置に部位ごとの質量を与え全質量で割ることによってNAO全体の重心位置が求められる。これを用いてNAOの姿勢を制御する。

## 3 静止時の姿勢制御

NAOが静止状態である場合は水平方向に加速度が一切発生しないため重心の垂直方向にZMPが存在する。具体的な例を図2に示す。NAOが図の①の状態である場合、重心からの総慣性力が支持多角形内にあり、ZMPからの床反力のベクトル軸と総慣性力のベクトル軸が交わるため、床反力と総慣性力が均衡し安定した

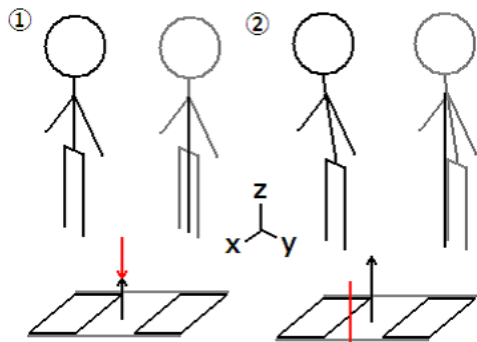


図 2: 静止状態の姿勢制御

状態になっていることがわかる。NAO が図の②の状態である場合、重心からの総慣性力が支持多角形内にならないため、床反力から発生した上向きの力と総慣性力から発生した下向きの力によって X 軸方向に反時計回りの回転力が生まれ NAO は転倒してしまう。これを防ぐためには、NAO が静止状態のときは支持多角形内に重心が納まるような姿勢をとらなければならない [3]。

#### 4 動作時の姿勢制御

NAO が動作状態である場合は様々な方向に加速度や減速度が発生している。これと ZMP を用いて以下のように姿勢を制御する動作時の NAO の姿勢制御方法を図 3 に示す。

##### 4.1 安定な状態での姿勢制御

NAO が安定な状態で姿勢を制御する場合、ZMP を用いた姿勢制御を行う。まず、NAO の現在の姿勢を求め重心位置を算出する。次に加速度センサからのデータを読み取り、重心からの総慣性力を求める。さらに、加圧センサを用いて接地面の圧力を測定し ZMP の位置を算出する。このとき、ZMP の位置が総慣性力のベクトル軸と交わるならば次のモーションに移る。もし、ZMP の位置が総慣性力のベクトル軸と交わらないなら

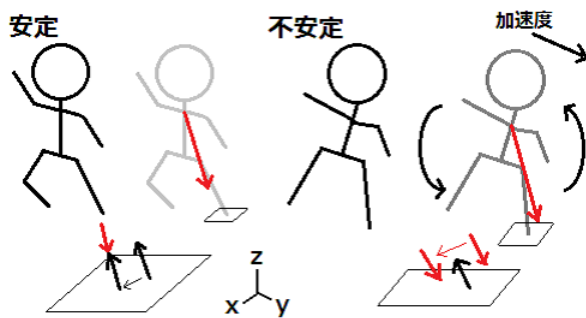


図 3: 安定状態の姿勢制御

ば、機体の重心位置を変えるために逆運動学を用いて姿勢を修正し、ZMP の位置を総慣性力の延長線上に移動させることによって NAO を安定した状態にさせる。姿勢を修正する際には、全体の重心位置を変えさせずに ZMP の位置を修正しなければならない。

##### 4.2 不安定な状態での姿勢制御

NAO が不安定な状態で姿勢を制御する場合、目標 ZMP を用いた制御を行う。まず、実行していたモーションをすぐに停止し、ZMP を用いた姿勢制御と同じように NAO の現在の姿勢と重心位置を算出し、センサからのデータから総慣性力を求める。また、加速度センサからのデータから加速度の向きを得る。加速度の向きから転倒方向を導出し、加速度と逆向きの回転力が発生するような ZMP と目標 ZMP の位置を決定し姿勢を修正する。

安定な状態での制御と不安定な状態での制御の相違点は、安定な状態での制御では姿勢修正された NAO はすぐに次のモーションに移れるが、不安定な状態での制御では安定な状態になるまで姿勢を修正し続けなければならない。この二つの制御を使い分けることによって NAO の姿勢を制御することができる。

#### 5 むすび

本方針により ZMP を用いた NAO の姿勢制御方法について求めることができた。本方式には次のような特長があげられる。

- 静止状態および動作状態のどちらでも共通の制御を用いて姿勢を修正することができる。
- 様々なモーションの制御に応用できる。
- RoboCup 用ロボット NAO 以外の二足歩行型ロボットにも応用できる。

今後の課題として、次の問題があげられる。

- 計算の簡略化および処理の高速化
- モーション評価への応用
- ZMP より高性能な制御方法の導入

#### 参考文献

[1] ロボカップ日本委員会公式ホームページ  
<http://www.robocup.or.jp/>

[2] アルデbaranロボティクスホームページ  
<http://www.aldebaran-robotics.com/ja/>

[3] オーム社, 梶田秀司, ヒューマノイドロボット. 2005, p. 65.