

# 重心インピーダンスモデルを利用した2足歩行ロボットの制御法

80022050 酒井 亮太

指導教員 大西 公平

## 1 概要

本研究で取り上げる2足歩行ロボットは、多様に変化する環境下での移動及び活動を目的としている。つまり、決められた動作の繰り返しにより目的地に到達するという他の移動型ロボットとは異なる特徴をもつ。そこで、外的環境にあわせて歩容を変化させなければならない。

本研究では、2足歩行ロボットを冗長ロボットシステムとして扱い、支持脚の接地点を固定点として遊脚先端及び、重心の動作を制御する。重心の動作に対してインピーダンスモデルを採用することにより、環境外力に対してより柔軟に対応できるようにする。

## 2 2足歩行ロボットのモデル

本論文で扱う2足歩行ロボットは、6自由度を持つ2次元2足歩行ロボットである。

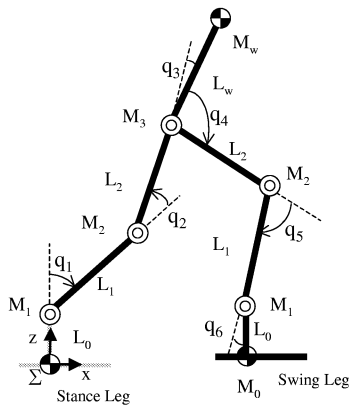


図1: 2足歩行ロボットのモデル

図1に示すように、2足歩行ロボットを8質点、7リンクのモデルとして扱う。

## 3 運動学

図2に示すように、支持脚座標系  $\Sigma_{base}$  から重心への運動学より導出されるヤコビ行列  $\mathbf{J}_{cog}$  と、重心座標系  $\Sigma_{cog}$  から遊脚先端への運動学より導出されるヤコビ行列  $\mathbf{J}_{tip}$  を定義する。

## 4 制御系の構成

2足歩行ロボットのメインタスクとして重心位置の移動を考える。重心位置をインピーダンスモデルを利用して

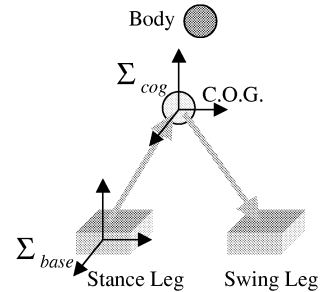


図2: 運動学の計算方向

積極的に制御することにより、遊脚の接地時における床反力の影響を抑え、2足歩行ロボットの動作全体における大域的安定性を確保するものとする。

### 4.1 重心インピーダンスモデル

重心動作の制御には、図3に概略を示すような重心インピーダンスモデルを提案する。

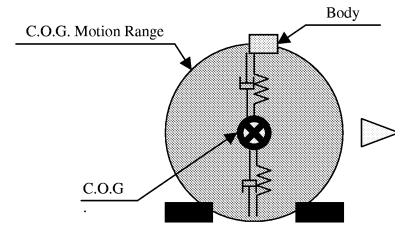


図3: 重心インピーダンスモデル

重心の動作範囲は、可操作性楕円体をもとに決定する。

$$\mathbf{M}_d \ddot{\mathbf{x}}_{cog}^d + \mathbf{D}_d \dot{\mathbf{x}}_{cog}^d + \mathbf{K}_d \mathbf{x}_{cog}^d = \mathbf{F}_{inp} \quad (1)$$

インピーダンスモデルによる重心の動作を実現する重心加速度参照値を式(2)のように求める。

$$\begin{aligned} \ddot{\mathbf{x}}_{cog}^{ref} &= \ddot{\mathbf{x}}_{cog}^d + \mathbf{K}_{vcog} (\dot{\mathbf{x}}_{cog}^d - \dot{\mathbf{x}}_{cog}) \\ &+ \mathbf{K}_{pcog} (\mathbf{x}_{cog}^d - \mathbf{x}_{cog}) \end{aligned} \quad (2)$$

等価質量行列を用いた重心制御のための入力トルクは、式(3)より求める。

$$\boldsymbol{\tau}_{cog}^{ref} = \mathbf{J}_{cog}^T \mathbf{M}_{cog}^n \ddot{\mathbf{x}}_{cog}^{ref} \quad (3)$$

作業空間オブザーバを適用することにより,入力トルクは式(4)より求められる.

$$\tau_{cog}^{ref} = J_{cog}^T \left( M_{cog}^n \ddot{x}_{cog}^{ref} + \hat{F}_{cog}^{cmp} \right) \quad (4)$$

#### 4.2 遊脚先端の制御

式(5)により遊脚先端の加速度参照値を求め,作業空間オブザーバを適用することにより,遊脚先端動作の制御を行う.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_{tip}^{ref} &= K_{vtip} \left( \dot{x}_{tip}^{cmd} - \dot{x}_{tip} \right) \\ &+ K_{ptip} \left( x_{tip}^{cmd} - x_{tip} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\tau_{tip}^{ref} = J_{tip}^T \left( M_{tip}^n \ddot{x}_{tip}^{ref} + \hat{F}_{tip}^{cmp} \right) \quad (6)$$

#### 4.3 トータルシステム

制御系全体のブロック線図を図4に示す.

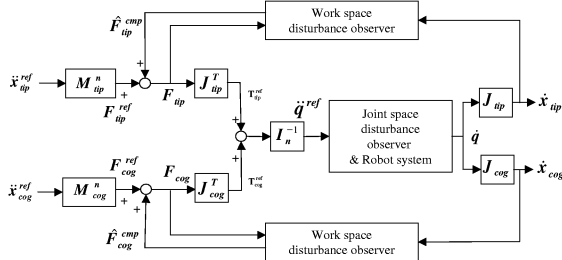


図4: 制御系全体のブロック線図

- $I_n$  : ロボットのノミナル慣性行列
- $\ddot{q}^{ref}$  : 関節角加速度参照値
- $\dot{q}$  : 関節角速度応答値

### 5 シミュレーション結果

2足歩行ロボットのモデル,環境外力等を再現した数値シミュレーションによる,提案した手法の検証結果を示す.

このシミュレーションにおいてはz軸負の方向に3秒間100[N]の力を加えている.このときの重心動作の制御のための作業空間オブザーバを用いたとき,作業空間オブザーバを重心動作の制御には用いずに遊脚動作の制御に用いたときの重心位置の応答値を図5,6に示す.

これらのシミュレーション結果より,インピーダンスモデルと重心動作への作業空間オブザーバの適用により作用する力に対する重心位置の応答値の急峻な変化と,オーバーシュートが抑制されていることがわかる.作業空間オブザーバを重心動作に作用させるか,遊脚先端動作に作用させるかを選択することによって,2足歩行ロボットはその動作目的を選択することができる.

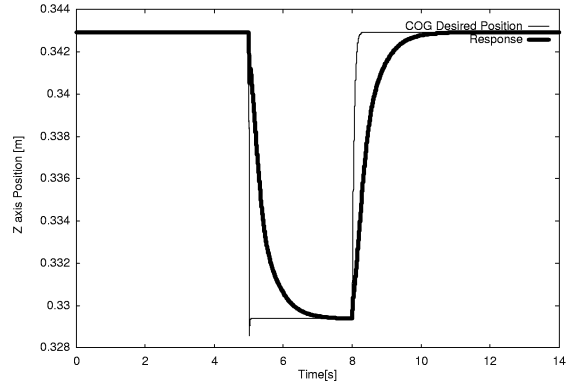


図5: 重心位置の応答 (作業空間オブザーバ有り)

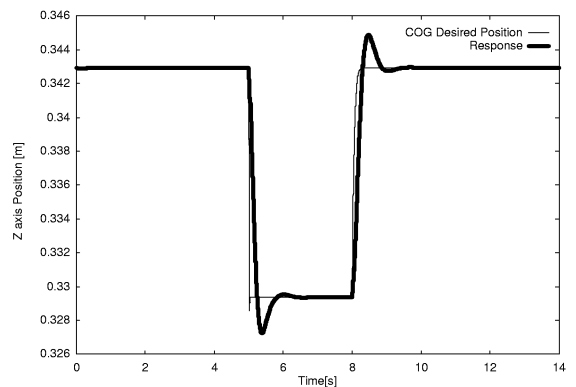


図6: 重心位置の応答 (作業空間オブザーバ無し)

### 6 結論

インピーダンスモデルの導入により,重心に作用する力に対するの重心の動作目標が決定され,重心動作制御のための作業空間オブザーバの適用によって,重心の急峻な動作を抑制することができることが確認できた.

これらの効果により,2足歩行ロボットに作用する環境外力に対して,重心を柔軟に動作させて対応することが可能となった.

### 参考文献

- [1] 酒井, 村上, 大西:”自律分散制御による2足歩行ロボットの制御”平成12年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集 JIASC2000,Vol.1,pp.485-490
- [2] M.Shibata, et al., :”Decoupling COG Control for Redundant Biped Robot Based on Null-space Disturbance Observer” 26th International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation (IECON'2000),pp800-805