

## 変動する外力場を想定した二足歩行ロボットの動力学モデルの構築

北九州高専 浜松弘 北九州高専専攻科 ○廣川裕次郎

Dynamics Modeling for Biped Robot in Variable Force Field  
Kitakyushu National College of Technology: Hiroshi Hamamatsu, Yujiro Hirokawa

人間と同じ環境下での動作を目標としている二足歩行ロボットの労働力が注目されている。人間と同じ環境下で動作させるためには、二足歩行ロボットの転倒を防止しなければならない。しかし、転倒の防止について片足支持での研究は多くされているが両脚支持についての研究は多くはなされていない。本研究では二足歩行ロボットの両脚支持での斜面における転倒防止のための姿勢制御を目的とし、姿勢制御のための動力学モデルを作成する。

### 1. 緒論

直立した状態は、人や二足歩行ロボットなどが二足歩行を行う前に必ず現れる。また、二足歩行ロボットの動的な安定制御を行う上で、直立を維持した状態や両脚支持の状態において挙動を把握することは重要である。

従来の研究では、歩行の最中に現れる両脚支持期についての研究<sup>[1][2]</sup>、斜面での二足歩行系の重心移動を考慮した研究<sup>[3]</sup>が発表されている。本稿では、周期的に傾斜が変化する斜面を考慮して、簡単な動力学モデルを作成し、解析を行う。

### 2. 動力学モデル

二足歩行ロボットの下半身は両脚支持の状態では、閉ループなマニピュレータと考えることができる。Fig.1にその動力学のモデルを示す。

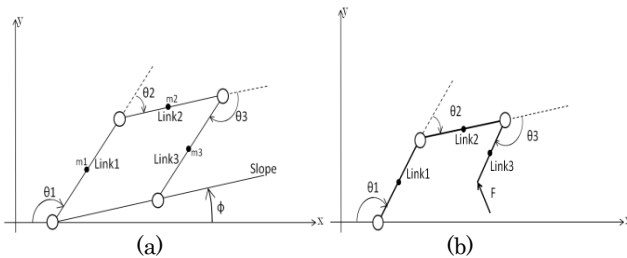


Fig.1 動力学モデル

Fig.1の(a)は二足歩行ロボットの下半身を表しており Link1 から Link3 の三リンクからなる閉ループリンクである。上半身は考慮していない。Fig.1の(b)は(a)の運動方程式を導出する際に考える開ループリンクである。

なお、各リンクの角度を図のように  $\theta_i$  とし、斜面の角度を  $\phi$  とする。リンク  $i$  の重心回りの慣性モーメントを  $I_i$ 、リンク  $i$  の長さを  $l_i$ 、ジョイント  $i$  からリンク  $i$  の重心までの距離を  $l_{gi}$ 、リンク  $i$  の質量を  $m_i$  とする。

### 3. 閉ループリンクの運動方程式

閉ループリンクの求めるために、Fig.1の(b)のような開ループリンク系の運動方程式を導出する。運動方程式は以下のようになる。

$$\mathbf{M}(\theta)\ddot{\theta} + \mathbf{C}(\theta, \dot{\theta}) + \mathbf{Z}(\theta) = \tau \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} \mathbf{M}(\theta) &: \text{慣性行列} \\ \mathbf{C}(\theta, \dot{\theta}) &: \text{コリオリ力・遠心力によるトルク} \\ \mathbf{Z}(\theta) &: \text{重力によるトルク} \end{aligned}$$

である。

ここで、閉ループリンクはエンドポイントがある対象物と接触し、対象物に受けてい力  $F$  を作用させ、対象物から反作用力  $-F$  を受けている状態にあるリンク系<sup>[4]</sup>と定義する。これ

より、閉ループリンクの運動方程式は、開ループリンクの運動方程式に  $F$  を加えることによってできる。よって、

$$\mathbf{M}(\theta)\ddot{\theta} + \mathbf{C}(\theta, \dot{\theta}) + \mathbf{Z}(\theta) + \mathbf{J}^T \mathbf{F} = \tau \quad (2)$$

ただし、 $\mathbf{J}$  はエンドポイントの座標  $\mathbf{r}$  と  $\theta$  の関係

$$\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J}\dot{\theta} \quad (3)$$

を表すヤコビ行列である。

また、斜面の傾斜角  $\phi$  を考慮すると

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{Z}(\mathbf{q}) + \mathbf{J}^T \mathbf{F} + \mathbf{J}^T \mathbf{Q} = \tau \quad (4)$$

ただし、

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_1 - \phi \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F(\cos\phi - 1) \\ F\sin\phi \end{bmatrix}$$

### 4. 力学解析

導出した運動方程式を用いて、直立状態の初期条件  $\theta_1 = \pi/2$ 、 $\theta_2 = \pi/2$ 、 $\theta_3 = \pi/2$  についての  $\tau$  を計算した。Fig.2 は第一関節に対するトルク  $\tau_1$  を表しており、変動する傾斜角  $\phi$  を周期的に与えた値である。

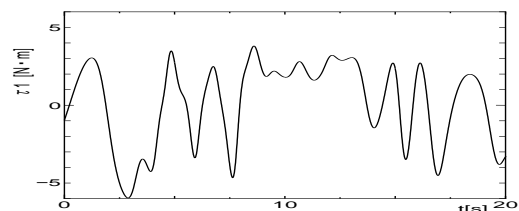


Fig.2 第一関節のトルク  $\tau_1$

### 5. 結論

周期的に傾斜が変化する斜面を考慮した動力学モデルを作成し、ラグランジュ法より運動方程式を導いた。直立状態についての  $\theta$  に対するトルクを計算した。このシステムの斜面の傾斜の変動を表す動力学モデルを構築した。

#### 参考文献

- [1]五十嵐, 野飼, "二足歩行運動における両脚支持相の力学解析と制御", 日本ロボット学会誌 Vol.7 No.3, pp.30-38
- [2]成清, 小林, 伊藤, 細江, "二足歩行系の両脚支持期の制御について", 電気学会論文誌.C Vol.103 No.12, pp.9-14
- [3]伊藤, 浅野, 川崎, "床反力中心制御による2足歩行系両脚支持期の重心移動", 日本ロボット学会誌 Vol.22 No.4, pp.113-120
- [4]中村, "ロボットマニピュレータの操作力発生の必要十分条件", 日本ロボット学会誌 Vol.4 No.1, pp.3-7