

1. 研究背景と目的

現在,人の生活環境に近い場所で活動するロボットの移動方式として二足歩行が多く取り上げられている.しかし,段差や障害のある不整地では有効であるが,平坦な地面のような整地では,車輪を用いた走行の方が移動速度やエネルギー効率などの点で有利である.

本研究では,二足ロボットの足先にモータなどの駆動系のない受動車輪を取り付け,不整地では歩行をし,整地では車輪走行をそれぞれ行うハイブリッドな移動機構を持った二足ロボットの開発を目指している.しかし,現状では補助アームに支えられ倒立して走行している.そこで,今回は倒立させる一案として慣性ロータを使う.本報では,車輪走行時の受動車輪型二足ロボットのシミュレーションモデルを作成し,慣性ロータによるモデルの姿勢制御の可能性について理論計算とシミュレーションにより検討する.

2. 受動車輪型二足ロボットと慣性ロータによる倒立制御

Fig.1 に受動車輪型二足ロボットを,Fig.2 にロボットの基本動作を示す.このロボットは脚を開閉しながら,車輪の角度を変えることで,地面と車輪の間に発生した摩擦が Fig.2 の FRONT 方向への推進力となる.そして,この動作を①~⑤の順で繰り返すことによりロボットは前方に進むことが可能になる.

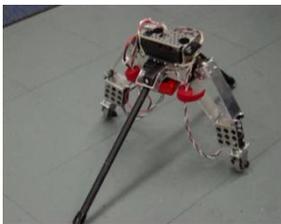


Fig.1 Robot

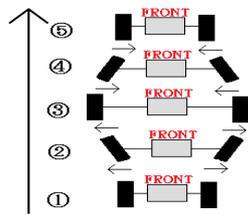


Fig.2 Robot motion

Fig.3 に慣性ロータを用いた倒立振子のモデル図を示す.

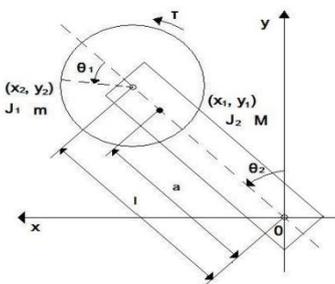


Fig.3 Model of inertia rotor



Fig.4 Simulation model

慣性ロータによる倒立制御とは,ロータを回転させるときに回転方向とは反対の向きに発生するトルクを利用して倒立制御を行うことである.

3.理論計算およびシミュレーション

Fig.3 のモデル図よりラグランジュの方法を用いて運動方程式

が次のように導出される.

$$J\ddot{\theta}_2(t) + J_1\dot{\theta}_1(t) - (Ma + ml)g \sin \theta_2(t) = 0 \quad (1)$$

$$J_1(\ddot{\theta}_1(t) + \ddot{\theta}_2(t)) = \tau(t) \quad (2)$$

ただし,  $J = J_1 + J_2 + Ma^2 + ml^2$

(1),(2)の二式をラプラス変換し,慣性ロータのモータのトルク  $\tau(s)$  を入力,振子の角度  $\theta_2(s)$  を出力としたときの伝達関数  $G(s)$  は次の式で表される.

$$G(s) = \frac{\theta_2(s)}{\tau(s)} = -\frac{1}{(J_2 + Ma^2 + ml)s^2 - (Ma + ml)g} \quad (3)$$

各パラメータの名称と値は,Table 1 に示す.これらを式(3)に代入し,応答波形を求め,さらに安定化するためにコントローラを作成した.

次に,Fig.4 に示すようなシミュレーションモデルを作成して先に作成したコントローラと同じものを使用してシミュレーションソフトによるモデルの挙動を調べた.各パラメータは,Fig.3 のモデルと同様にしている.

Table 1 Parameter

Parameter	Value
Mass of pendulum: M	0.48[kg]
Mass of rotor : m	0.21[kg]
Moment of inertia around center of gravity : $J_1$	$2.63 \times 10^{-4}$ [kg·m <sup>2</sup> ]
Moment of inertia around center of gravity of pendulum : $J_2$	$3.72 \times 10^{-5}$ [kg·m <sup>2</sup> ]
Length of pendulum : l	0.25[m]
Distance to center of gravity of pendulum : a	0.22[m]

4.シミュレーション結果と考察

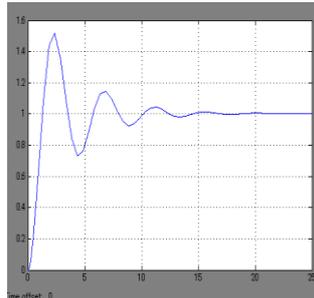


Fig.5 Response waveform

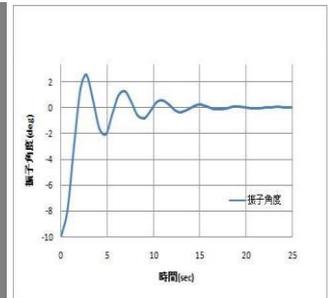


Fig.6 Angle displacement

Fig.5 に理論計算で求めた伝達関数の応答波形を,Fig.6 にシミュレーションソフトによるモデルの角度変位を表したものを示す.これら二つの結果を比較するとよく似た動作をしていることがわかる.応答波形も角度変位も目標値に収束し安定化できている.しかし,整定時間がかかりすぎているため設計したコントローラでは不十分であることがわかる.今後コントローラの調整を行い,後に摩擦などを考慮した解析も行っていく予定である.