

1. 研究の背景と目的

現在,研究が行われている一般的な二足ロボットの移動方式は,脚の機構を使用した歩行での移動が多く用いられている.しかし,段差のある空間や砂利道などの不整地では有効であると知られているが,平坦な地面では脚で歩行を行うよりも車輪を使用して走行を行った方が,移動によって消費されるエネルギーの大きさや移動速度などの面で有利である.

本研究では,不整地では脚機構を用いた歩行を行い,整地では受動車輪といわれる動力などが無いため軽量な車輪機構を用いた走行を行うハイブリッドな移動機構を持った 2 足のロボットの開発を行っている.本論文では受動車輪を使用した走行を行う際の動作の違いが走行性能にどのような影響を与えるかを数値解析によるシミュレーションと実験機による測定により検討する.

2. 受動車輪によって得られる推進力

Fig.1にロボットが行う基本動作を,Fig.2にある時刻tにおけるFig.1の④ロボットの右の受動車輪にかかる力の関係図を示す.受動車輪をFig.1のように脚で速度  $\dot{L}(t)$  に動作させ車輪を  $\theta(t)$  傾けると,Fig.1のような車軸の法線方向の摩擦力  $F_n$  と車軸と接線方向の摩擦力  $F_t$  を得られる.このときの本体速度を  $V$  とすれば,  $F_n$  と  $F_t$  は次の式で表される.

$$F_n = -\text{sgn}(V \cdot \sin \theta(t) - \dot{L}(t) \cdot \cos \theta(t)) \cdot \mu_n \cdot W \quad (1)$$

$$F_t = -\text{sgn}(V \cdot \cos \theta(t) + \dot{L}(t) \cdot \sin \theta(t)) \cdot \mu_t \cdot W \quad (2)$$

ここで,  $W$  はこの車輪にかかる重量である.  $\mu_n$  は車軸の法線方向の摩擦係数であり,  $\mu_t$  は車軸と接線方向の摩擦係数である.また,  $\text{sgn}$  は括弧内の値がマイナスなら-1を,プラスなら+1を,零なら0の値を返す.

$F_t$  と  $F_n$  の  $y$  成分を足した値を車輪にかかる質量で割ると  $y$  方向の加速度を得ることができ, Fig.1 のようにもう片方の車輪が対称の動きをすることにより  $x$  方向の加速度が相殺され  $y$  方向に倍の加速度を得ることができる.

この動作を①~⑤の順で繰り返す動作の周期を設定することによりロボットは前方に進むことが可能になる.

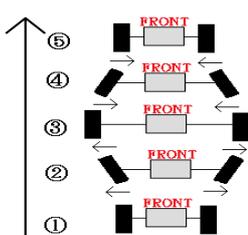


Fig.1 Robot motion

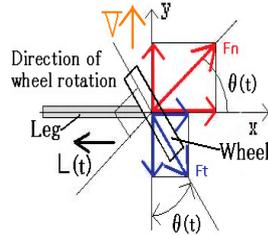


Fig.2 Relation of power,

3. 実験およびシミュレーション

Fig.3,に作成したシミュレーションソフトのインターフェイスを, Fig.4 に測定に使用したロボットを示す.車輪を

傾ける最大角度を 10deg~60deg の範囲で 10deg ずつ変え, ロボットを動作させる周期を  $1\pi, 2\pi, 3\pi$  とし,脚の開閉と車輪の角度の付け方のパターンを 10 種類設定した.このようなロボットの複数の動作を調べるため Fig.3 で示した Visual Basic 2005 で制作したシミュレーションソフトと Fig.4 のようなロボットの動作プログラムの開発を行った.

測定には 3 次元動作解析カメラを使用した.これは,測定対象に専用のマーカを取り付け,複数の専用のカメラで撮影を行うことによって三次元上にマーカの位置情報を取得できる装置である.

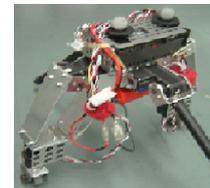
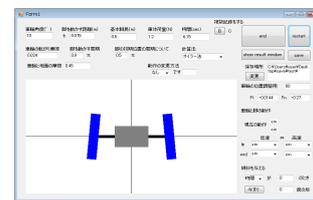


Fig.3 Simulation Software Fig.4 Experimental Robot

4. シミュレーションと実験の結果

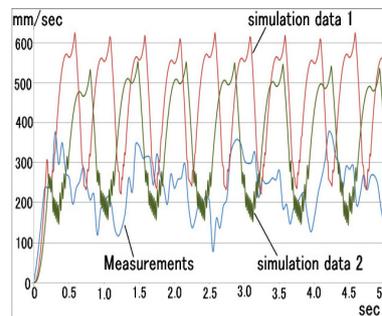


Fig.5 Velocity result

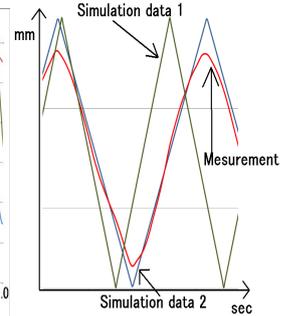


Fig.6 Distance between legs

Fig.5 に測定とシミュレーションの結果の一部を示す.ロボットを動作させる周期を同じにしたシミュレーション結果 Simulation data 1 と測定結果 Measurements では大きく異なる.これは,ロボットの周期が設定した値よりも遅延していたためだと Fig.6 の脚の間の距離変化よりわかる.そこで,シミュレーション結果から得られたロボットの位置情報と測定から得られたロボットの位置情報を比べて修正した値でシミュレーションを行った.しかし,修正を行ったシミュレーション結果 Simulation data 2 と測定結果 Measurements と比べても上下の幅にも違いがあることがわかる. Fig.6 や測定時のロボットの動作から,測定結果より脚の開閉動作時にロボットは上下に動いていること,動作中の開く時と閉まる時の脚の動作速度が異なることによると考えられる.ロボットの上下運動に慣性力が発生したことや,ロボットに使用しているモータに掛かる負荷が大きくなり動作が十分に行えていないことがロボットの動作に影響を与えたことや,摩擦係数の正確な測定ができておらず若干実際の値と異なることが影響していると推測される.今後このような影響を考慮してシミュレーションソフトの改良を行う.