

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	ローラーウォーカーに関する研究-直進ローラーウォークの実験的検討-
Title	
著者(和文)	遠藤玄, 広瀬茂男
Authors	Gen Endo, SHIGEO HIROSE
出典 / Citation	第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. , No. , pp. 443-444
Citation(English)	, Vol. , No. , pp. 443-444
発行日 / Pub. date	1997,
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 1997 The Robotics Society of Japan.

# ローラーウォーカーに関する研究

—— 直進ローラーウォークの実験的検討 ——

東京工業大学 広瀬茂男 ○遠藤 玄

Study on Roller-Walker : Experiment of Straightforward "Roller-Walk"

Shigeo HIROSE ○ Gen ENDO

Tokyo Institute of Technology

**Abstract :** We have proposed a new Leg-Wheel hybrid mobile robot named "Roller-Walker". This paper describes some experiments of "Roller-Walk" especially about straightforward motion. First We measure the friction of the passive wheel to know basic characteristics and next We confirm that "Roller-Walk" can generate the velocity to forward direction by the experiment using a Quadruped Robot as the simulation.

**Key words :** Leg-Wheel hybrid mobile robot, Roller-Walker, Roller-Walk, Straightforward motion

## 1 はじめに

ローラーウォーカーとは歩行機械の脚先に駆動力を持たない受動車輪を取り付け、歩行のための脚の自由度をそのまま用いて、ローラースケートと同様の原理で効率よく推進する脚・車輪型ハイブリッド移動体である。また、足首部の角度を変化させることで平坦地では車輪による推進、不整地では足の裏として用いることによる歩行を行い、歩行機械と車輪型移動機械の両方の特質を兼ね備えている。本稿では実験機の開発に向け予備実験として受動車輪の摩擦特性を明らかにし、次に4脚歩行ロボット TITAN VII による走行試験を行い、実際に推進可能であることを確かめるとともに計算機シミュレーションとの比較を行う。

## 2 受動車輪の摩擦特性

受動車輪による推進は、車輪の軸方向摩擦力和転がり方向摩擦力の差を利用するものである。現在までに行われたシミュレーション[1][2]ではクーロン摩擦を仮定しており、摩擦係数は速度や進行方向に無関係に一定であるとしてきた。しかし、ゴムのような大変形しうる材料においてはこの仮定は正確には成り立たないことが知られている。また摩擦係数は走行路面によって大きく変化するものと考えられ、実測によりその値を定量的に把握することは重要である。

### 2・1 実験

Fig. 2 に実験の概要を示す。座標軸を図のように定め、受動輪を進行方向に対して  $\alpha$  傾けた状態で一定速度  $V$  で  $Y$  方向に牽引し、そのときに生ずる軸方向摩擦力  $F_n$  および転がり方向摩擦力  $F_t$  を測定する。キャンバー角は  $90$  度で固定する。摩擦力は  $\alpha$ 、 $V$ 、垂直抗力  $N$  の関数で表されるものと考えられるがここでは簡単のため  $N$  を一定、 $\alpha$  と  $V$  をパラメータとして、それぞれの摩擦係数を算出した。測定輪はインラインスケート用の中実ゴムタイヤを用い、走行路面はリノリュームの床の上で行った。

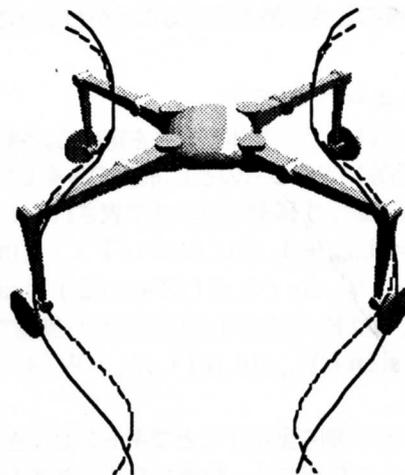


Fig. 1 ローラーウォーク概念図

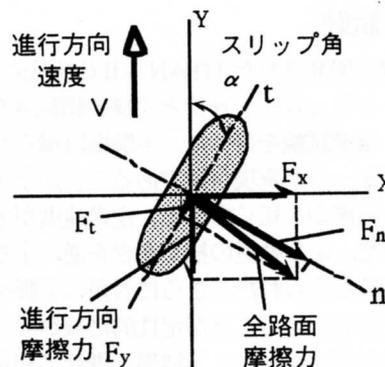


Fig. 2 摩擦力測定

### 2・2 結果

転がり方向摩擦係数  $\mu_t$  はベアリングにより支持されているため、条件によらず一定であった。軸方向摩擦係数  $\mu_n$  は  $V$  が小さい場合、静止摩擦から動摩擦への遷移、および変形損失摩擦によりその値が変化するものと予想されたが測定した  $1 \sim 25$  [cm/s] の範囲では速度に依存せずにはほぼ一定とみなせることが分かった従って  $\mu_n$  は  $\alpha$  のみの関数として次の実験式が誘導された。

$$\mu_t \approx 0.002 \quad (1)$$

$$\mu_n = 0.2304 \times \alpha^{0.57} \times e^{-\frac{\alpha}{48.3}} \quad (2)$$

(2) および、これらの結果より導かれる進行方向摩擦力  $\mu_y$  を Fig. 3 に表す。クーロン摩擦を仮定した場合と比較して、 $\mu_n$  が  $\alpha$  に依存する理由は、ゴムタイヤの場合、接地面において大きな変形することにより、静止摩擦の領域と動摩擦の領域が存在し、その接地面積比は  $\alpha$  の関数で表されるためである。[3]

また  $\mu_y$  のグラフより、ブレーキ機構を持たないローラーウォーカーの制動動作を考えると、制動力は受動車輪の進行方向摩擦力によってのみ発生させることから、直観では  $\alpha=90$  度のときに最大のように思われるが、実際には  $\alpha$  がおよそ 60 度のときに最大であることがわかった。

### 3 シミュレーション

Fig. 4 に示すように胴体座標系を定める。各脚は自重  $W$  の 1/4 を均等に支えるものとし、前脚のみを 2 次元平面上で左右対称に動かす脚軌道は次式で表されるものとする。

$$d(t) = d_{\text{offset}} + d_0 \sin(2\pi t/T) \quad [\text{m}] \quad (3)$$

$$\theta(t) = -\theta_0 \sin(2\pi t/T + \pi/2) \quad [\text{rad}] \quad (4)$$

脚先に働く力は  $F_t$  が十分小さいことから無視でき、

$$F_n = -\text{sign}(V_{\text{leg}} \sin \alpha) \cdot \mu_n \cdot W/4 \quad [\text{N}] \quad (5)$$

のみとなる。

$F_x$  は左右対称に脚を動かすことでキャンセルされ  $F_y$  のみが推進力として作用する。軌道パラメータは  $d_0=0.08$ 、 $\theta_0=0.5$  とした。また周期  $T$  は 1.5[s]、2.5[s] とした。

### 4 走行試験

本研究室で開発された TITAN VII の脚先に受動車輪を取り付け、シミュレーションと同様の脚軌道を描かせることにより、推進試験を行った。実験機は滑らかに直進し、ローラーウォークが実現可能であることが示された。同じ軌道に対して周期を短くすると、定常速度が上がるということが確かめられた。また軌道の描く向きを逆にすることで後退することも確かめられた。さらに対角の 2 脚を動かすことで旋回の動作も行えることが定性的に確かめられた。直進時の速度をシミュレーション結果と併せて Fig. 7 に示す。

定常速度に関してはシミュレーションと比較的よく一致しており、またその値も周期 1.5[s] のときおよそ 0.7[m/s] と通常の歩行に比して十分高速な移動が実現されている。

### 5 まとめ

本稿では受動車輪の軸方向転がり方向の摩擦特性を実験的に明らかにし、その関数系を定めた。また、実験機により走行試験を行いローラーウォークが実際に推進可能であることを確かめた。また、シミュレーションとの比較も行い直進定常速度に対してその解析の妥当性を示した。

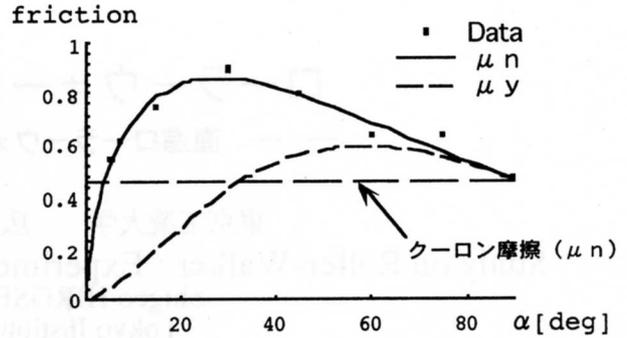


Fig. 3  $\alpha$ - $\mu$  グラフ

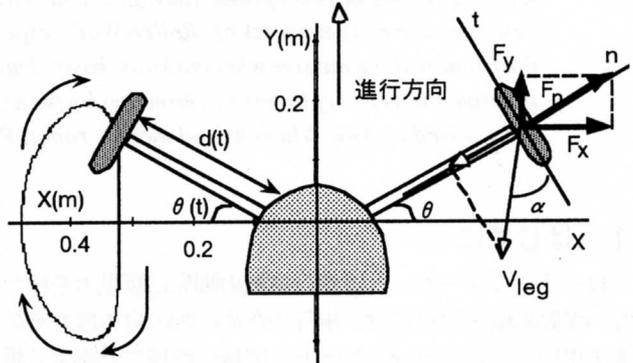


Fig. 4 シミュレーション座標と脚軌道

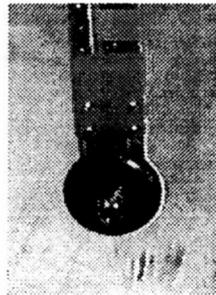


Fig. 5 受動車輪

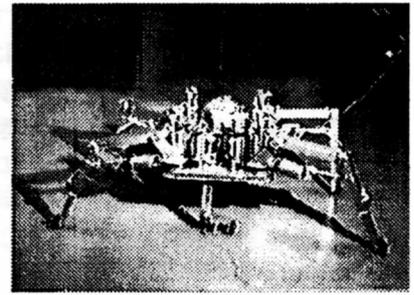


Fig. 6 走行実験

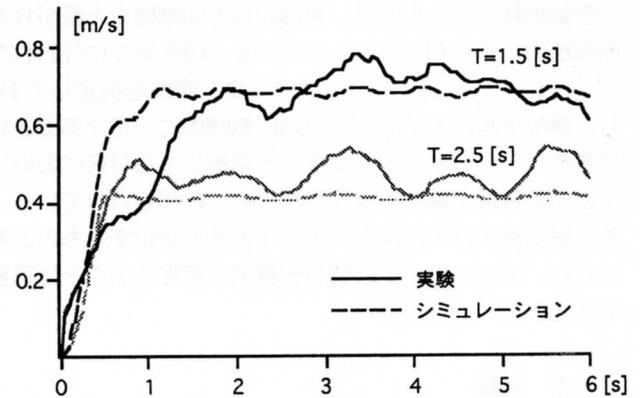


Fig. 7 速度変化

### 参考文献

- 1) Hirose, Takeuchi: Roller-Walker: A proposal of New Leg-Wheel Hybrid Mobile Robot, Proc. ICAR pp.917-922 (1995)
- 2) 広瀬・竹内・遠藤:ローラーウォーカーに関する研究, 第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集 pp.799-800 (1995)
- 3) 酒井秀男:タイヤ工学 pp.163-165 グランプリ出版 (1987)