T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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 第７報：ローラーウォーク脚軌道による減速比調整
Title	
著者(和文)	遠藤玄, 広瀬 茂男
Authors	Gen Endo, Shigeo Hirose
出典 / Citation	第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. , No. , pp. 3E+14(1)-(2)
Citation(English)	, Vol. , No. , pp. 3E+14(1)-(2)
発行日 / Pub. date	2001,
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) 2001 The Robotics Society of Japan.

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

ローラーウォーカーに関する研究
第7報：ローラーウォーク脚軌道による減速比調整

○遠藤 玄 (ソニー(株))　広瀬 茂男 (東京工業大学)

Study on Roller-Walker
No.7: Reduction ratio adjustment by Roller-Walk trajectory

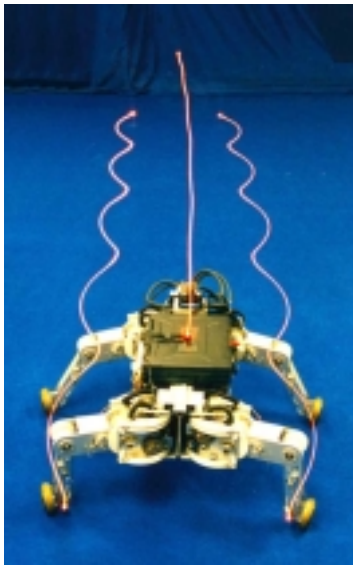
○Gen Endo (Sony Corporation)　Shigeo Hirose(Tokyo Institute of Technology)

Abstract - *We have proposed a new Leg-Wheel hybrid mobile robot named "Roller-Walker". This paper describes reduction ratio adjustment in straight forward motion by changing leg trajectory parameter theta0, which is the amplitude of swinging motion. Velocity simulations are performed and derived results were verified by control experiments .*

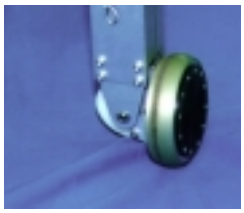
Key Words : *Leg-Wheel hybrid mobile robot, Roller-Walker, Roller-Walk, Reduction ratio*

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[1](Fig.1)．特に受動車輪を用いた推進をローラーウォークと呼び，現在までに直進・旋回・超信地旋回を実現する脚軌道が導出されている．本報では直進脚軌道による出力減速比の調整について報告する．



(a) Walking mode



(b) Skating mode

Fig.1 Roller-Walker

2　シミュレーション

脚を遊脚化せず，かつ各脚は周期的な運動をするという条件の下で速度シミュレーションが行われている．座標系をFig.2に示す．ローラーウォークは受動車輪の転がり方向（接線方向）と軸方向（法線方向）の摩擦力に差があることを利用して推進する．ここで最も簡単な関数形として接線・法線方向に各々正弦波的に振動する脚軌道を考える．

$$d(t) = d_{offset} + d_0\left(\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{3}{2}\pi\right) + 1\right) \qquad (1)$$

$$\theta(t) = -\theta_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{3}{2}\pi + \phi\right) \qquad (2)$$

このとき制御パラメータはd_0，θ_0，ϕ，Tの４つである．なお実験機の可動範囲を考慮して予め位相差として$3\pi/2$，dにオフセットとして1が加えられている．脚軌道の一例をFig.2左側に示す．

脚先に働く力は次式で表される．

$$F_t = -\mathrm{sign}\left(V\cos\theta(t) + d(t)\dot{\theta}(t)\right)\cdot\mu_t\cdot\frac{w}{4} - \mu_{tc}\cdot\left(V\cos\theta(t) + d(t)\dot{\theta}(t)\right) \qquad (3)$$

$$F_n = -\mathrm{sign}\left(V\sin\theta(t) + \dot{d}(t)\right)\cdot\mu_n\cdot\frac{w}{4} \qquad (4)$$

ここで転がり方向の摩擦係数μ_t，その粘性摩擦をμ_{tc}，軸方向摩擦係数μ_nとおき，予備実験により求められた以下の値を用いる．

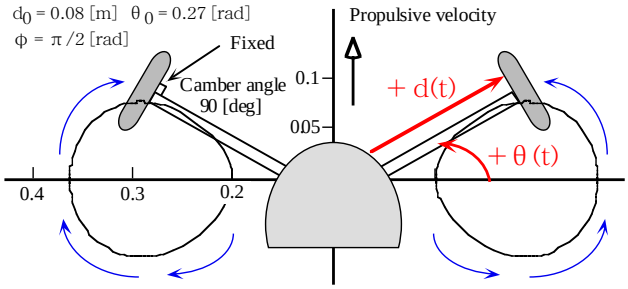


Fig.2 Simulation model

$$\mu_t = 0.01 \quad , \quad \mu_{tc} = 5.5 \qquad (5)$$

$$\mu_n = 0.560 \quad \left(|V_n| \geq 0.01\ [\mathrm{m/s}]\right) \qquad (6)$$

μ_nはシミュレーション上での発振を防ぐため，軸方向速度の小さい領域では粘性摩擦を仮定した．

後脚についても同様にモデル化を行い，加減速を最小化するため前後の周期関数に対して位相差$\phi fr=2\pi/3$[rad]を導入する[2]．

全検索により定常平均速度Vと各脚軌道パラメータの関係を求めると次のようにまとめられる．

(1)　Vはd_0および1/Tの単調増加関数
(2)　Vは$\phi=\pi/2$で極大値をとる
(3)　Vの極大値を与えるθ_0が一点存在する

3　θ0と減速比

各脚軌道パラメータとVの関係を定性的に考察する．

ローラーウォークは受動車輪の持つ摩擦抗力の異方性を利用して推進する．この場合，接線方向の摩擦係数は微少であることから，法線方向摩擦力を源として推進力が生成される．よって法線方向変位d_0が増大するにつれ，一周期内に投入されるエネルギ量が増加し，Vも増加する．またTも小さくなるにつれ単位時間に投入されるエネルギ量が増大することから(1)の結果は説明できる．(2)については，摩擦力は走行路面との相対速度をゼロにするように働くこと，および軸方向滑りはエネルギ損失であることから，Vを定数，式(2)で接線方向を駆動すると仮定して幾何学的に路面に対する法線方向相対速度が常に0となるd(t)を求めると，$\phi=\pi/2$を得られる．最後に(3)であるが，推進方向と接線方向のなす角は，法線方向摩擦力を推進方向に変換する割合を規定する．すなわち出力減速比を変化させるパラメータである．

摩擦係数比$\mu n/\mu t$を変化させた場合の，Vとθ_0のシミュレーション結果を実験と合わせてFig.3に示す．最大速度を与えるθ_0は$\mu n/\mu t$の関数であり，$\mu n/\mu t$が大きいほど小さなθ_0で高速の推進が可能であることが分かる．またθ_0が小さくなると法線方向と推進方向が直交する向きに近づくことから推進できなくなることが定性的に理解できる．

ところでθ_0が小さい領域では理論値と実験値には大きな差異が見られる．これは理論値では微少な推進力の積分で定常速度に達しているのに対し，実機では外乱により相殺されてしまうからであると考えられる．

Fig.4に，推進に抗して一定の牽引力を負荷した場合の速度を示す．θ_0を大きくとると，より大きな牽引力を発生出来ること分かる．

4　推進実験

無線により操縦者がθ_0，Tおよびステアリング操作の指令値を送信できるシステムを実装し，ビニル床シート上で推進実験を行った．θ_0を0.3[rad]から0.15[rad]まで徐々に減らすことで，推進速度が滑らかに増加することを確かめた．最大推進速度はd_0=0.08[m]，θ_0=0.15[rad]，T=1.0[s]のとき2.25[m/s]であり著しく高速の推進が確認された．また推力が必要な停止状態からの推進ではθ_0=0.15[rad]とすると法線方向滑りを生じてほとんど推進することが出来なかった．さらにθ_0=0.4[rad]とし，傾斜角3.3[deg]の石タイル上で登坂実験を行い推進可能であることを確かめた(Fig.5)．以上からθ_0が推進速度の減速比を規定するパラメータであることが確かめられ，脚軌道を変化させることで幅広い減速比の調節が可能な本推進の有効性が示された．なおこれらの実験は同一のソフトウェアを用いており，θ_0とTのみを変化させることで硬平地上での高速推進から，推力の必要な登坂まで幅広い推進が生成可能であることがわかる．

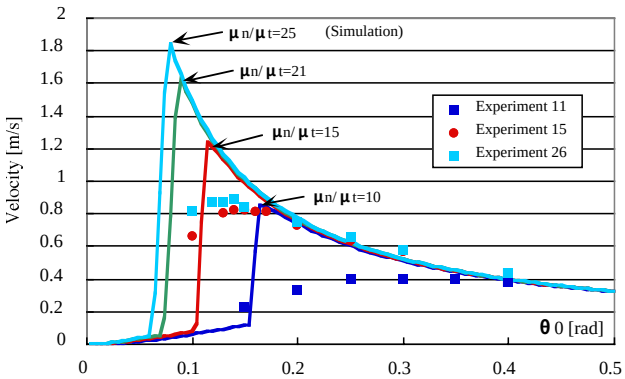


Fig.3 Relation between θ0 and μn/μt

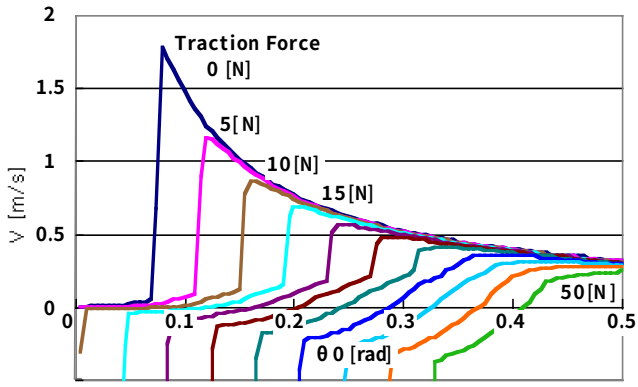


Fig.4 Relation between θ0 and traction force

Fig.5 Slope climbing experiment

5　まとめ

本報ではローラーウォーク推進の減速比を変化させるパラメータθ_0について検討し，実機を用いて検討した．今後はエネルギ効率の側面から本推進を検討して行く．（なお本研究は文部科学省科学研究費（COE形成基礎研究費スーパーメカノシステムおよび特別研究員奨励費）を使用して行われました．）

参考文献

1)　遠藤，広瀬：ローラーウォーカーに関する研究 -システムの構成と基本的動作実験-，日本ロボット学会誌，18巻，2号，pp.270-277
2)　遠藤，広瀬：ローラーウォーカーに関する研究 -基本的運動の生成と自立推進実験-，日本ロボット学会誌，18巻，7号，pp..1159-1165