

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	低摩擦環境下での段差踏破能力に優れた揺動グロウサの研究
Title	Research of Swing-Grouser that has High Step Climbability in Low Friction Environment
著者	古村博隆, 山田浩也, 広瀬茂男, 遠藤玄, 鈴森康一
Author	Hiroataka Komura, Hiroya Yamada, Shigeo Hirose, Gen Endo, Koichi Suzumori
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2015 予稿集, Vol. , No. , pp. 1P2-F10
Journal/Book name	Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp. 1P2-F10
発行日 / Issue date	2015, 5
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

低摩擦環境下での段差踏破能力に優れた揺動グローサの研究

Research of Swing-Grouser that has High Step Climability in Low Friction Environment

学 古村博隆 (東工大) 正 山田浩也 ((株)ハイボット)
正 広瀬茂男 ((株)ハイボット) 正 遠藤玄 (東工大)
正 鈴森康一 (東工大)

Hiroataka KOMURA, Tokyo Institute of Technology
Hiroya YAMADA, Hibot. Corp
Shigeo HIROSE, Hibot. Corp
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Typically, instead of high energy efficiency, wheel mechanism is inferior to crawler or walking mechanism in point of step climbability. In this research, we focused on a new wheel mechanism named " Swing-Grouser Wheel ". At first, we confirmed its performance on climbing higher step than its wheel radius by the experiment with practical model. Furthermore, we experimented the performance of the energy efficiency and the step climbability in low friction environment with 2D physics simulation which allow to make such environment easily. As a result of this simulation, we confirmed that the Swing-Grouser Wheel was able to climb up the higher step than wheel radius, even in the environment whose friction coefficient is too small for rimless wheel to climb up. In addition, the energy efficiency of Swing-Grouser Wheel measured in physics simulation is also higher than rimless wheel.

Key Words: Wheel, Virtual step, Physics simulation

1 緒言

移動機構としての車輪は、一般的に高い移動効率を持つ代わりにクローラや歩行などの移動機構と比較して不整地踏破能力が低い。ただし、移動効率以外にも車輪一輪につき回転部が一つでよい事から他の機構にはないシンプルさを持ち、また防水防塵といった耐環境性能の付加も容易であるために堅牢な移動機構を実現可能である。このことから、不整地移動を目的としながら車輪機構を採用している例も多い [1, 2]。本研究では、高い段差踏破能力を持つ "揺動グローサ車輪" [3] について、その移動効率と低摩擦環境下における段差踏破性能についてリムレス車輪 [4] との比較実験を物理シミュレーションによって行い、その有用性を示す。

2 揺動グローサ車輪の概要

揺動グローサの構造の模式図を図1に示す。各グローサは接地する円弧部分とホイール本体に接続される回転軸によって構成される。この回転軸は受動対偶であり、これらによってグローサを複数等配に配置されている。さらに、パネやスポンジなどの弾性体によって角度を保持することで、平地上で外力が働かなければ図中左側のように各グローサは中立の位置を保つような構造となる。車輪の周上に受動対偶を配置するのみであることから車輪中央部は比較的大きな容積となるため、車輪内部にモータなどを搭載するインホイールモータ構成なども容易に行える。また段差においては、図中右側のように段差側面に接触したグローサが回転することで続くグローサが段差上面に直接接触することができる。このまま回転することで、トルクが十分であれば段差踏破が達成される。また図からもわかるように、形状によっては車輪半径よりも大きな段差であっても段差上面に接触できるため、踏破可能となる場合がある。図2に示した実際の揺動グローサ車輪による実験から、車輪半径である 150mm よりも高い 189mm の段差の踏破が可能であることが判明した。この段差上面に直接接触しトラクションを得られるという特徴から、低摩擦環境下においても高い段差踏破性能を発揮できると考えられる。また、円弧部分によって平地上では比較的円形に近い形を保つため、移動効率もリ

ムレス車輪などと比べて高いと考えられる。

3 シミュレーションによるリムレス車輪との比較実験

3.1 シミュレーション概要

揺動グローサの、低摩擦環境下においても段差上面に接触することでトラクションを獲得し車輪半径以上の段差を乗り越えが可能であるという特長を調べるために、物理エンジンをを用いたシミュレーション実験を行う。本研究ではフリーの二次元剛体物理エンジンである Box2D を使用した。平地での移動や段差乗り越

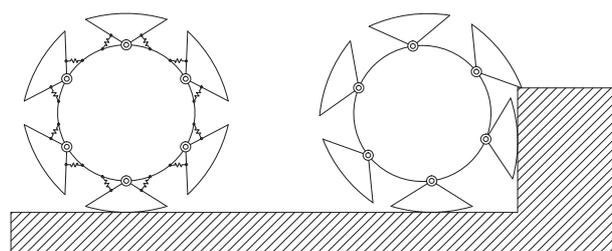


Fig.1 Schematic View of Swing-Grouser

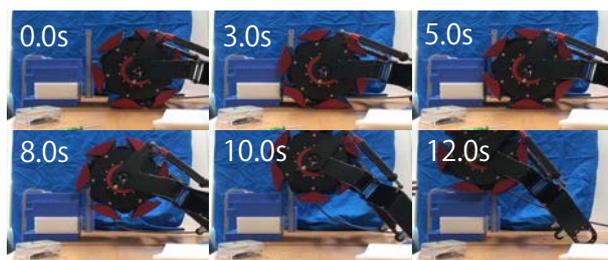


Fig.2 Practical Example of Swing-Grouser Climbing Higher Step than its Radius

え時の運動は車輪の進行方向及び鉛直上方向の含まれる平面内のみで発生する。したがって、二次元空間のみにモデルを限定することで、モデル作成の手間やシミュレーションの演算量を削減することができるという利点があり、また十分にシミュレーションを行うことが可能となると考えられる。他の物理エンジンとして、ロボット研究にしばしば用いられる ODE や Bullet 等 [5, 6] が挙げられる。Box2D における摩擦モデルはクーロン摩擦モデルの近似であり、静止摩擦係数と動摩擦係数を区別しない。また、揺動グロウサの回転軸にはバネ定数のみを設定しただけではグロウサが振動し続けてしまい不都合であるため、中立位置で停止させるためにグロウサの振動が臨界減衰となる粘性抵抗を設定した。

3.2 段差踏破

図 3 及び図 4 にそれぞれ揺動グロウサ車輪とリムレス車輪の、車輪直径の 60% の高さを持つ段差の物理シミュレーションによる踏破実験の様子を示す。これらの実験では、低摩擦環境とするため、車輪と段差及び床面との間の摩擦係数を 0.1 に設定し、それぞれの車輪を一定回転数で回転させた。リムレス車輪では、段差の角の部分に接触するものの滑り落ちてしまうため踏破が不能であったが、揺動グロウサ車輪では図中 3 において段差壁面に接触したグロウサが変形し、それによって続くグロウサが段差上面に接触し、そのまま段差を登っていることがわかる。

3.3 平地走行

揺動グロウサ車輪の走行効率を検証するため、段差踏破実験に用いた揺動グロウサ車輪及びリムレス車輪について、摩擦係数 0.3 の環境下における平地走行のシミュレーションを行い、車輪が一回転する間の必要トルクや移動距離などからエネルギー効率に関する比較を行う。図 5 にシミュレーションによって得られたそれぞれの車輪の回転角度に対する時間あたり消費エネルギーのグラフを示す。

消費エネルギーは角速度とトルクの積を積分することで算出できるが、負のトルクをそのまま積分することは、系が再生効率 1 となることを意味している。これでは現実的ではないため、本比較においては発生トルクが正の場合のみ積分を行い、負のトルクは消費エネルギーの計算において除外した。また、移動効率の評価方法として、移動ロボットの移動性能の比較にしばしば用いられる移動仕事率 [7] の考え方を元に、消費エネルギー E 、車輪重量 mg 、移動距離 L を用いて次式で評価指標 ϵ を定義する。

$$\epsilon = \frac{E}{mgL} \quad (1)$$

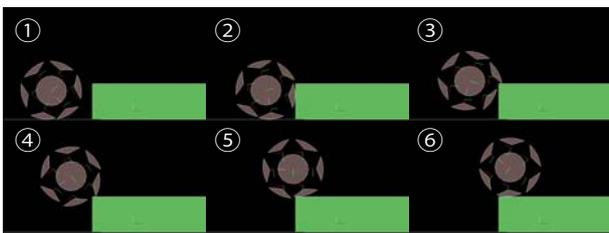


Fig.3 Simulation Experiment of Swing-Grouser

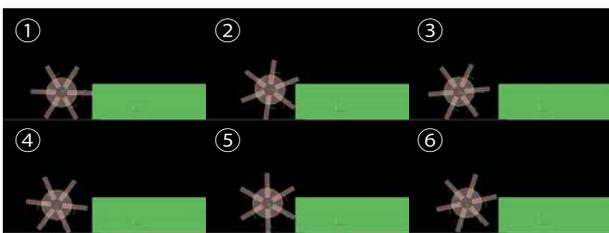


Fig.4 Simulation Experiment of Rimless Wheel

また、これらの計算結果を表 1 に示す。この結果から、受動要素によって一回転あたりの移動距離が短縮してしまうものの、エネルギー消費の小ささから評価指標も小さく、実験で用いたリムレス車輪よりも高効率であることが示された。

4 結論と今後の課題

2 つの比較実験から、揺動グロウサ車輪が低摩擦環境下における段差踏破において優位性があること、また走行効率についても比較的良好であることがわかった。今後の課題として、シミュレーションを用いた揺動グロウサの最適形状探索、また実際の実験を通じた有効性の確認などがあげられる。

References

- [1] *An Innovative Space Rover with Extended Climbing Abilities*, chapter 43, pp. 333–339.
- [2] R.A. Lindemann and C.J. Voorhees. Mars exploration rover mobility assembly design, test and performance. In *SMC 2005*, Vol. 1, pp. 450–455 Vol. 1, Oct 2005.
- [3] 古村博隆, 山田浩也, 広瀬茂男. 原発などの狭隘環境で作業を行う能動車輪ヘビ型ロボットの開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会, pp. 2A2–P1, 2013.
- [4] M. W. Thring. *Robots and telechairs : manipulators with memory, remote manipulators, machine limbs for the handicapped*. Ellis Horwood, 1983.
- [5] E. Rohmer, S.P.N. Singh, and M. Freese. V-rep: A versatile and scalable robot simulation framework. In *IROS 2013*, pp. 1321–1326, Nov 2013.
- [6] Gen Endo, Keisuke Arikawa, and Shigeo Hirose. An empirical comparison of a free dynamics simulator “ open dynamics engine ” with titan-viii hardware torque/power measurements. In *ICRA 2011*, pp. 6065–6070, May 2011.
- [7] G. Gabrielli and T. H. von Karman. What price speed? In *Mechanical Engineering*, Vol. 72, pp. 775–781, 1950.

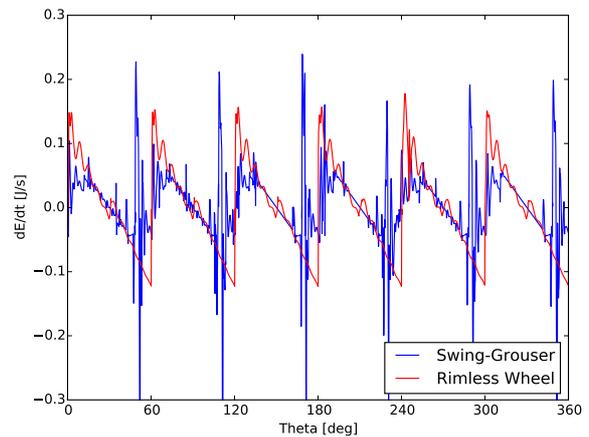


Fig.5 dE/dt-theta Graph

Table 1 Result of Traveling Simulation on Flat Plain

	消費 エネルギー	移動距離	移動効率 評価指標 ϵ
	[J]	[m]	
Swing-Grouser	43.94	7.85	0.092
Rimless Wheel	61.29	9.36	0.104