

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題	差動サスペンション機構を有する独立二輪駆動車両による 斜め進入での段差踏破性に関する実験的検討
Title	Experimental study of step-climbing with slantwise entering angle by a differential mobile robot with differential passive suspension
著者	藪田拓磨, 遠藤玄, 鈴森康一, 難波江裕之
Author	Takuma Yabuta, Gen Endo, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2017 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2017, 5
URL	<a href="http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html">http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html</a>
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.

# 差動サスペンション機構を有する独立二輪駆動車両による 斜め進入での段差踏破性に関する実験的検討

Experimental study of step-climbing with slantwise entering angle by a differential mobile robot  
with differential passive suspension

学 藪田拓磨 (東工大) 正 遠藤玄 (東工大)  
正 鈴森康一 (東工大) 正 難波江裕之 (東工大)

Takuma YABUTA, Tokyo Tech, yabuta.t.ab@m.titech.ac.jp

Gen ENDO, Tokyo Tech

Kouichi SUZUMORI, Tokyo Tech

Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech

There are a lot of studies of step climbing for a mobile robot. However, almost all studies do not discuss the relation between the ability of step-climbing and the angle of entering step. We proposed a differential passive suspension mechanism for a mobile robot with two independent drive wheel and evaluated the ability of step-climbing with slantwise entering angle. In this paper, we improve and evaluate the mechanism with the numerical simulator and by the experimental model. As a result of the experiment, it was confirmed that the mechanism improved the ability of step-climbing with under 30 deg entering angle.

**Key Words:** Mobile robot, Passive suspension, Step-climbing, Slantwise entering

## 1 緒言

通常の手椅子では、前輪を持ち上げなければ高い段差を乗り越えることができない。これに対し、高性能電動手椅子 [1][2] は多自由度にすることで踏破能力を向上させている。その代わりに、高コストであるという欠点がある。広く普及させるためには、省自由度で高踏破性能な低コストな手椅子が必要であり、それを実現するための機構の研究が行われてきた [3][4]。しかし、従来の段差踏破に関する研究では、平面問題に帰着して段差踏破を解析しており、段差に対して斜めに進入して踏破する場合の踏破性能に関して十分な評価がなされていない。

そこで、本研究では、差動懸架機構としてボギーリンクを手椅子等の独立二輪駆動車両に適用した機構 (図 1(a)) を提案し、動力学シミュレーションと実機 (図 1(b)) による実験から、斜行段差踏破性能を評価し、その有用性を明らかにする。

## 2 差動懸架機構の提案

独立二輪駆動車両に適用する差動懸架機構では、通常の手椅子同様に折り畳みや人の乗降が容易であることを考慮し、前輪を左右に配置し、それぞれの駆動輪とボギーリンクを構成した。このような構成により、左右の差動懸架機構が段差衝突時にそれぞれ独立して動くことが可能となり、段差に対する斜め進入の踏破性能の向上が期待できる。そして、受動機構で構成しているため、駆動輪を使用せず人が押す場合でも、踏破性能向上に寄与する。また、台車など他の独立二輪移動車両への応用が可能である。

## 3 動力学シミュレータによる斜行段差踏破実験

前輪と駆動輪 (中輪) それぞれの段差を乗り越える力とボギーリンクの比  $L_1/L_2$  とそのオフセット角度  $\varphi_1$  には、先行研究 [5] の解析より、図 2 ような関係があることがわかっている。 $L_1$  を長くするもしくは、オフセット角度  $\varphi_1$  を大きくすることで、前輪が段差を乗り越えやすくなる。反対に、 $L_2$  を長くするもしくは、オフセット角度  $\varphi_1$  を小さくすることで、中輪が乗り越えやすくなり、前輪と中輪の乗り越えやすさはトレードオフ関係にあることがわかっている。本研究でもこの設計パラメータとして  $L_1/L_2$  と  $\varphi_1$  を採用する。

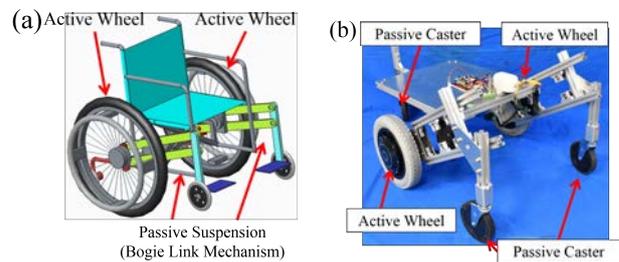


Fig.1 (a) Proposed wheel chair and (b) Experimental model

このパラメータと斜行段差踏破性能の関係を検証するため、シミュレーション実験を行った。シミュレータには Open Dynamics Engine (ODE) を使用し、前 2 輪が受動キャスト、中 2 輪が駆動輪、後 1 輪が受動キャストである車両モデルを作成した (図 3)。左右の駆動輪と受動キャストは同じ直径 200 mm とし、受動キャストの旋回軸は車軸から 25 mm 前方にオフセットさせてある。左右の駆動輪に同じ速度指令 (0.9 m/s) をフィードフォワード入力している。ODE により進入角度を 0 から 50 度まで 10 度間隔で変化させたときの踏破した最大の段差高さを調べた。摩擦係数は 1.0 とした。ボギーリンクの効果を比較するために、前 2 輪が受動キャスト、後 2 輪が駆動輪の 4 輪モデルも作成し、同様のシミュレーション実験を行った。

シミュレーション結果を縦軸に段差踏破高さ、横軸に進入角度をプロットしたグラフが図 4 である。差動懸架機構によって車両の踏破性が向上し、4 輪駆動車両より最大段差踏破高さが 50% 増加することがわかった。また、受動キャスト軸が自由な場合、進入角度が 20 度で 44% 以上踏破段差高さが低下することがわかった。段差の踏破に失敗する場合として、受動キャストが段差に当たったとき、段差に車輪側面が引っかかることがあった。これを改善するため、試しに受動キャスト軸を固定すると、図 4 の  $L_1/L_2=0.6$ ,  $\varphi_1=30$  [deg], fixed で示すように、大きな進入角

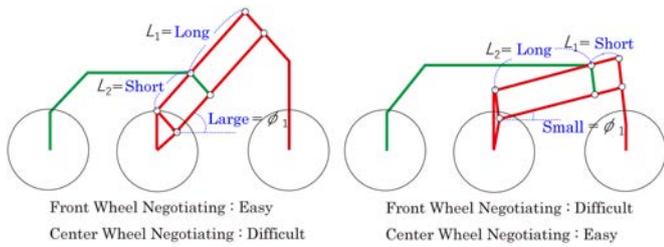


Fig.2 Results of the static force analysis

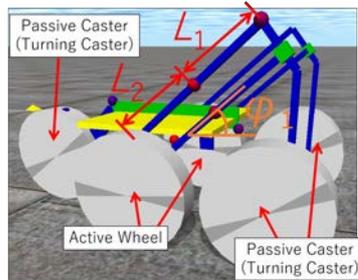


Fig.3 View of the model in the numerical simulator

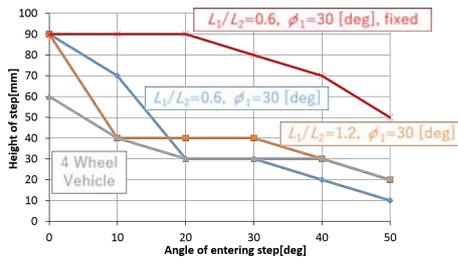


Fig.4 Result of simulation

度での踏破性が向上した。

#### 4 実機による斜行段差踏破性の評価

動力学シミュレーション結果の実証を行うために試作機を製作した(図1(b))。試作機の仕様を表1に示す。この試作機は汎用アルミフレームを用いることで、 $L_1/L_2$ と $\phi_1$ を変更し、複数のパラメータで実験を行うことができる。駆動輪には車椅子用のインホイールDCモータ(PW-12H - Wheelchair Hub Motor, GoldenMotor)を用いている。制御側はシミュレーションと同様、両方の駆動輪に同じ指令値を入力し、平均速度0.8 m/sで走行させた。

この試作機を用いて、シミュレーションと同様の実験を行った。段差には厚さ12 mm合板を重ねて使用し、0から84 mmの範囲で行った。図5に実験の様子を示す。パラメータが $L_1/L_2 = 1.2, \phi_1 = 30 \text{ deg}$ の試作機で、進入角度30 degで高さ48 mmの段差の踏破に成功した。ボギーリンクの効果を比較するために、試作機の前輪を持ち上げた状態で固定した3輪車両についても実験を行った。

実験結果を図6に示す。差動機構によって踏破性が向上していることが実機においても検証された。とくに、進入角度が30 deg未満で斜行段差踏破性能が向上していることが確認された。また、進入角度と斜行段差踏破性の関係がシミュレーション結果と同様の傾向が得られた。踏破失敗は、シミュレーション同様、受動キャストが段差に引っかかることによって起きる場合が多く、特に進入角度が大きくなるに従って前輪が持ち上がらず、段差に沿って移動し、踏破失敗するようになった。推進力が前輪を段差に押し付ける力として十分働く場合は、前輪の受動キャストが段差に面していても、差動懸架機構でその前輪が持ち上がり、乗り越えることができた。シミュレーションにより、受動キャストの旋回軸を固定することで斜行段差踏破性能の向上が

Table 1 Specification of experimental model

Length × Width × Height	1031 × 741 × 228 [mm]
Weight	38.1 [kg]
Diameter of active wheel	332 [mm]
Diameter of passive wheel	150 [mm]

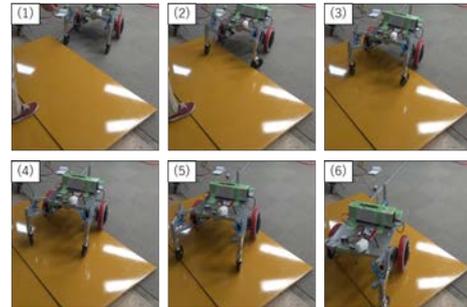


Fig.5 Condition of the experiment

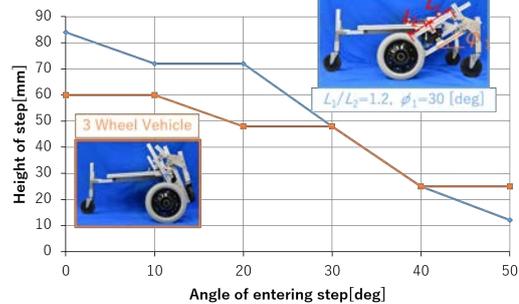


Fig.6 Result of experiment

確認されているので、実機の受動キャストをオムニホイールなどの全方向車輪に代えることで、さらなる斜行段差踏破性能の向上が見込まれる。

#### 5 結論

差動懸架機構を有する独立二輪駆動車両に適用する機構を提案し、動力学シミュレーションと実機実験によって差動懸架機構による踏破性の向上を確認し、斜行段差踏破性についての評価を行い、提案した機構の有用性を明らかにした。

#### 謝辞

本研究の成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)ならびに文部科学省「廃止措置工学高度人材育成と基盤研究の深化」の委託業務の結果得られたものです。

#### 参考文献

- [1] TOYOYA USANEWSROOM. ibot poised for comeback <http://pressroom.toyota.com/releases/toyota-deka-research-partnership-may21.htm>. 2017年2月現在.
- [2] TopChair. The topchair-s electric wheelchair <http://www.topchair.fr/en/stair-climbing-wheelchair/>. 2017年2月現在.
- [3] 細野泰彦, 吉田祐夫. 車いす用段差乗り越え機構の実験と開発. 日本経営工学会誌, Vol. 41, No. 6, pp. 390-397, 1991.
- [4] 小田鶴介. 段差越えが容易な車椅子の開発. 東亜大学紀要, 2010.
- [5] 遠藤玄, 谷篤, 福島 E. 文彦, 広瀬茂男, 入部正継, 田窪敏夫. 在宅酸素療法患者の外出を支援する追従型搬送移動体の開発. 日本ロボット学会誌, Vol. 30, No. 8, pp. 779-787, 2012.