4WD全方向移動車椅子の研究 —4WDの段差走破性能に関する検討—

Omnidirectional Wheelchair with 4WD Drive System - Step Climb Capability of 4WD Drive System-

和田 正義 (埼工大) 坂田 聡士 (埼工大) 森村 篤 (埼工大) 矢嶋 浩幸 (埼工大)

Masayoshi WADA, Mechanical Eng., Saitama Institute of Technology, mwada@ieee.org
Satoshi SAKATA, Mechanical Eng., Saitama Institute of Technology
Atsushi MORIMURA, Mechanical Eng., Saitama Institute of Technology
Hiroyuki YAJIMA, Mechanical Eng., Saitama Institute of Technology

In this paper, step climbing capabilities of wheeled mobile robots are studied in theory and experiments. To estimate and verify the enhanced mobility of a 4WD system, statics of a wheel-and-step system is analyzed and surmountable capabilities are tested in experiments not only for 4WD but also for a conventional rear-drive configuration. For the experiments, a 4-wheeled small vehicle is designed and built which equips four normal wheels two or all of that are driven by two electric motors. In the experiments, the small vehicle with 4WD drive configuration overcomes a step more than three times of the conventional RD configuration in the step height.

Key Words: Omnidirectional mobile robot, 4WD vehicle, Wheelchair, Step climbing capability

1. 緒言

ロボットの移動機構として車輪を利用するものは、一般にアクチュエータの数が少なくかつ簡単な機構で、安定したかつ高速な移動が実現できることから広く用いられ、またその歴史も古い。しかし、歩行ロボットとしばしば比較されるように、走破性に関しては満足な性能を有しているとは決していえず、改善の余地が残されている。筆者らのグループは、車椅子の移動ベースを適用分野の中心として、限られた容積と重量の制約のなかで、最大限の走破能力を発揮できる機構の研究を行っている。そこで、前後の車輪を共通のモータにて駆動する4WDシステムの採用について検討を行っている。

しかし、従来の駆動システムと4WDの構成との理論的な比較検討は詳細になされた例はこれまで見当たらず、4WDの走破能力の優れている力学的な根拠と、その限界値の予測方法は確立されているとはいえない。

そこで本文では、4輪車両を対象として、通常の駆動方式(後輪駆動: RearDrive, RD)と4WDによる駆動方式の段差乗りあげの際の力学的メカニズムを解析し、4WDがRDに比較してどの程度の性能の向上が期待でき、またその限界はどの程度であるかを明らかにする。また、実験車両により実験を行い、力学モデルとの照合を行うことで、解析結果の妥当性について検討する。

2. 段差乗り上げモデル

図1に後輪駆動車両と4WD車両の側面から見た模式図を示す。(a)の後輪駆動車両では、モータのトルクは後輪にのみ伝達されるのに対して、(b)の4WD車両では1つのモータの動力が前後輪に同時に伝達される構造を示している。どちらも車輪、モータ、車体重量などは同等であると仮定する。以下それぞれの車両の段差乗り上げの力学について解析する。

Fig. 1 Drive transmissions

2.1 後輪駆動車両

図2は、後輪駆動車両の段差乗り上げ時における段差の角に車輪の一部が接触した状態を示す。前輪は受動的に回転するのみであり、後輪が前輪を F_r の力で進行方向に押すことで前輪の乗り上げを行う。このとき、(1)式を満たす場合に、前輪は段差を乗り越えることができる。

$$F_r \cos \theta < W_f \sin \theta \quad (1)$$

2.2 4WD車両

上述の後輪駆動車両に対して、4WDの構成は、前後輪ともに駆動力を発生することができる。このとき、図3に示すように、車輪の一部が段差の角に接触した場合の力学は、RD車両とは異なったものとなり、特に前輪が発生する駆動力が、段差の角を中心とする回転運動に対して法線方向に作用することから、段差乗り上げの能力を向上させることが期待できる。このとき、(2)式を満たすときに、前輪は段差を乗り越えることができる。

$$\frac{F_f}{2} + \frac{F_r}{2} \cos \theta > W_f \sin \theta \quad (2)$$

Fig.2 Statics of a front wheel of RD contacting a step edge

Fig.3 Statics of a front wheel of 4WD contacting a step edge

3. 実験

3.1 実験装置

図4に実験に使用した小型車両の概観を示す。左右に1つずつのモータを搭載し、モータ軸-車軸間のタイミングベルトの着脱により、前輪駆動、後輪駆動、および4WDの3種類の駆動方法が選択できるものである。車両の重量は約7kg、車輪径は100mm、ホイールベース、トレッドはそれぞれ、200mm、450mmである。また、モータには100WのACサーボモータを使用した。

Fig.4 A small vehicle for experiments

3.2 実験結果

図5は前後輪が段差乗上げに成功した際の左右のモータが発生したトルクの実測値である。左右の車輪のトルク曲線には2つのピークが現れ、それぞれ前輪、後輪が段差を乗上げる際に必要となるトルクとなる。

図6は段差を変化させた際に必要となるトルクをプロットし

たもので、三角印、丸印はRD車両、4WD車両のそれぞれの実験値であり、赤線、青線はRD車両、4WD車両の理論値を表す。両車両とも実験値は理論値と良い一致を見た。また、RD車両は10mmの段差しか乗上げできなかったのに対して、4WD車両は35mmの乗上げに成功し、その優位性も認められた。

Fig.5 Motor torques measured by experiment

Fig.6 Required motor torque for climbing up a step

4. 結論

後輪駆動（RD）車両および4WD車両の段差乗上げの力学的解析を行い、乗上げに必要なトルクの理論的条件を求めた。また、それぞれの駆動方式による段差乗上げ実験を行った。その結果、実験値と理論値との良い一致が見られ、力学モデルの妥当性が認められた。さらに実験では、4WD車両がRD車両の3倍以上の高さの段差を走破できることがわかり、4WDの走破性の優位性も確認された。

謝辞

本研究の一部はNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）による産業技術研究助成事業の支援により行われたものである。

参考文献

- [1] 伊能崇雄, 広瀬茂男, 松野文俊, "レスキューロボットの不整地走破性", 第10回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.39-44, 2005.