

# 転倒回避を考慮したロッカボギーリンク移動機構を 備える移動ロボットの昇段能力調査

大島 悠<sup>1</sup>・森下 武志<sup>2</sup>

桐蔭横浜大学工学部

(2012 年 3 月 22 日 受理)

## 1. はじめに

月や惑星を探索するローバは、惑星探索ミッションを実現するうえで重要な技術のひとつであると共に、宇宙環境という未知の世界に挑む技術の研究として興味深い。また、移動ロボットの研究は、構成する要素やシステム、自律移動に関するものなど関連技術は多岐に渡り、そのプラットフォームとなる移動機構そのものの特性や特徴は、ロボットシステムの構築に直接影響するため、そのコンセプトや設計は重要である<sup>[1,2]</sup>。

不正地走行を考慮した移動機構で代表的なロボットとして、1997 年に火星表面を探索するミッションを担った NASA の 6 輪型ローバ Sojourner は、ロッカボギーと呼ばれる懸架機構が本体に採用されたことはよく知られている。この機構は進行方向の片側前方二つの車輪をイコライザで結合し、このレバーと後輪をこれと異なるイコライザによって結合した構造となっている。更に、左右のこの機構は立体リンク機構により構成され、走行面に対して 6 輪の接地をより確実なものとしている。この機構を用いたローバの形態や研究は様々あるが、車輪型ローバの本質は本体、

車輪、支持、駆動機構やサスペンション構造によって移動機構が構成され、これらにより移動能力は目的に応じて設計される。加えて、宇宙探索では地球から離れ人の手が簡単に届かない惑星表面の移動が前提になり、ローバには惑星探索活動の適応性や信頼性の確保と共に、高い踏破性能が求められている。

一方、探索活動を目的としたローバは走行環境が明らかでない未知の環境下での移動が必要とされ、直接的支援を受けにくい条件では、不測の状況として転倒の危険性を考慮する必要がある。この対策として脚型ローバの研究や、微小重力環境の宇宙であるがゆえに車輪や脚を持たない非常にシンプルな構造をした手乗り箱型探索機 MINERVA なども研究開発されている。また、2005 年「はやぶさ」に搭載された MINERVA は移動機構を持たない特徴の他、自律機能や激しい温度変化に耐えるためのデバイスの工夫がなされている<sup>[3,4]</sup>。

本論文では、外的支援を受けにくい環境下でのローバの運転を想定し、車輪型移動機構で課題となっている転倒状態による走行不能状態を回避するため、上下方向に対して対称となる形状の 6 輪型ロッカボギーリンク移動

<sup>1</sup> Yu Oshima : Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama, Japan 225-8503

<sup>2</sup> Takeshi Morishita : Department of Robotics and Bio-mechatronics, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama, Japan 225-8503

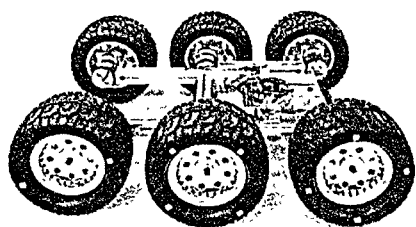


図1 転倒回避を考慮した移動ロボット

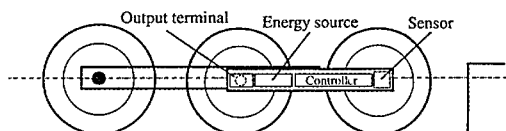


図2 上下対象のロッカーボギーリンク機構設計図

機構を特徴とした設計方法を提案する。また、宇宙環境や極限環境などでの移動機構の駆動力源は電気的なアクチュエータによるものが多く、併せて高い走破性能を求められる。その調査として、本設計コンセプトを実現した実機による実験によって、これまで研究事例の少ない、本システムの段昇段能力の確認と、効率的な駆動エネルギー消費に関する制御方法を把握するため、独立した6輪に対して駆動エネルギー配分率を変えた場合の昇段能力に及ぼす影響を調査することを研究の目的とする。

## 2. 転倒回避を考慮したロボットとシステム設計

宇宙などの極限環境ではなるべくシンプルなシステム設計が良いとされている。本研究もこれに従った構想でロッカーボギー型の車輪支持機構の設計を行った。また、不意に大きな凸凹や急斜面に遭遇し、ロボット本体が転倒した場合にも接地面に対して上下方向に対称とすることで、その場で移動機構が持つ移動能力を損なわない設計を検討した。これを実現した上下対称型ロボットの外観を図1に示す。

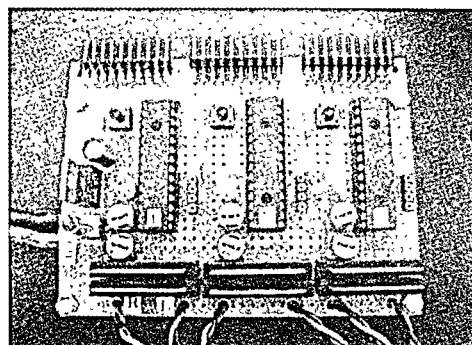


図3 アクチュエータ制御回路

このロボットは車輪とその支持機構のみで構成されている。しかし支持機構には一定の厚みが存在するため、その空間にコントローラ、エネルギー源、センシングデバイスを組み込むことは現在の技術で十分な容積が確保できる。また、適度な小型化は宇宙環境など、太陽光の照射表面とその裏で数百℃の差が生まれるような過酷な環境下におけるデバイスの保護を意識した制御装置のカバーの小型化にも有用であり、制御装置の実装部容積を小さくすることで断熱や保温エネルギーの抑制も考慮したロボットの設計とした。この基本設計を図2に示す。

また、本ロボットは6つの車輪を配備しており、各々1つの車輪に対してギアードモータを装着している。これに対して、アクチュエータの制御装置は、図3に示すように、汎用的なデバイスと回路で簡素化と小型化を図り、これには標準的な8bit マイクロコントローラと電子部品を用いた構成で開発した。また、本制御装置は256階調の独立した印加電圧を各アクチュエータに対して制御することが可能である設計とした。加えて、この制御装置には、開放した入出力ポートを確保し外部信号入出力の電氣的拡張性も考慮に入れている。

本研究で用いたロボットは、本設計における移動機能の性能評価をするために、本体の構成を必要最小限に留めている。しかし、本体スペースには空間的余裕を持たせること

表1 ロボット基本仕様

Weight	48.2 [N]
width	440 [mm]
Length	460 [mm]
Height (wheel)	140 [mm]
Frictional force	42.5 [N]

で、このロボットのミッションに合わせて、ロボットアームやカメラ、各種センサなど、目的に応じた電氣的・機械的拡張性を考慮した設計としている。表1に、本ロボットの仕様に対する基礎データを示す。

### 3. 昇段能力調査実験

実験は、水平な走行面に対して垂直な段差を昇段させる実験を行った。この実験フィールドとなっている水平面と段差部は、スタイルフォームと呼ばれる押出発泡ポリスチレンフォーム材を用い、その段差は5 [mm] 間隔で調整可能である。

昇段能力の調査実験を行うにあたっては、前輪、中輪、後輪の3組でモータの印加電圧を変化させ、それぞれの引加電圧で直進させた場合、本体が完全に昇段する高さを調査した。実験中のシステムには、走行に必要なエネルギー源を直流電源とした。また、この印加電圧パラメータは、この電源の最大電圧を印加電圧100 [%]とし、これに対してそれぞれの車輪にPWM制御により100 [%]、75 [%]、50 [%]となる平均電圧を印加して行った。

これらの設定を行った上で実験は、ロボット本体を段差から装着しているタイヤ一つ分に当たる140 [mm] 離れた位置から走行させ、実験フィールドの段差を昇段させる実験を行った(図4)。

なお、実験にあたっては、事前に各印加電圧に対して各車輪が同じ回転速度になるように非接触型のタコメータを用いて、モータや

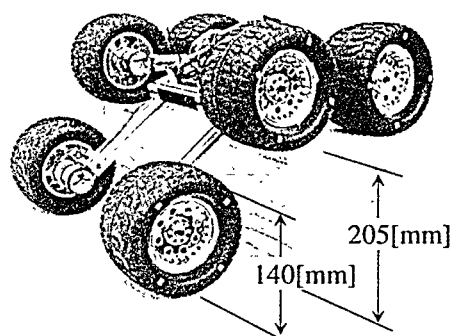


図4 昇段実験の様子

ギアによる出力のばらつきを補正し、調整を行って上で実験を実施した。

### 4. 車輪支持部と段差干渉に関する検討

本研究は本体の上下左右方向に対して対称な設計を特徴としているが、昇段の高さによって、車輪支持部の一部が段差と接触することを設計の段階から課題としていた(図5)。そこで、車輪支持部を適宜高くすることで段差が接触しないモデルを設計し、図6のように車輪支持部と段差が非接触となる設計(以下、非接触設計)となるように、車輪の中心から29 [mm] 高く設計した(図7)。この設計によって、本体に対する支持部の完全な対象性は失われるが、表裏走行面に対して走行は可能なため、これらの2つのモデルについて各々の最大昇段能力を同様な実験によって調査することとした。

### 5. 実験結果と考察

上下対称型支持移動機構と非接触型支持移動機構を用いて行ったエネルギー配分比率に対する昇段能力実験の結果を図8に示す。この結果は、図に示す比率で後輪、中輪、前輪に各々の印加電圧パラメータを定め、それぞれのパラメータに対して昇段した高さを調べた結果を示している。図9は、前述した実験結果を前輪、中輪、後輪の順位で並び替えて

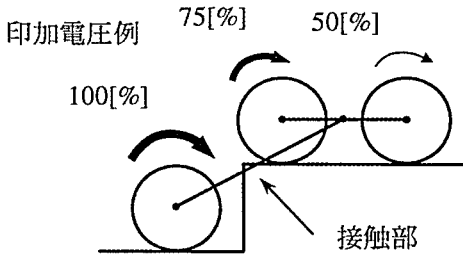


図5 フレームと段差の接触

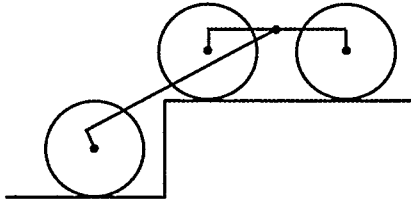


図6 段差との接触の無い昇段

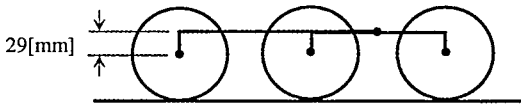


図7 フレームの設計変更

示したものである。なお、図8、9に記された破線は、一般的に知られているロッカーボギーリンク機構における理想的な最大昇段能力の高さを示しており、本システムの一つの評価基準である。

実験結果を考察すると、図8から後輪出力を下げるに従って、昇段能力が右下がりになる傾向であった。また、上下対称設計の昇段能力に対し、非接触設計は車高が高い本体の向きの場合は昇段能力が高まり、低い場合は昇段能力が低下した。加えて、上下対称設計の実験では駆動電源電圧100[%]の駆動で、車輪直径の1.25倍の高さ175[mm]を昇段し、非接触設計では車輪直径のほぼ1.5倍の196[mm]の昇段が確認できた。この結果より、図7の非接触設計がロッカーボギーの最大昇段能力とされる車輪のほぼ1.5倍の段差登りを

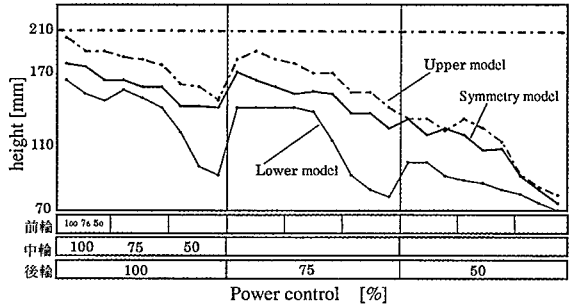


図8 駆動印加電圧配分比率に対する昇段高特性

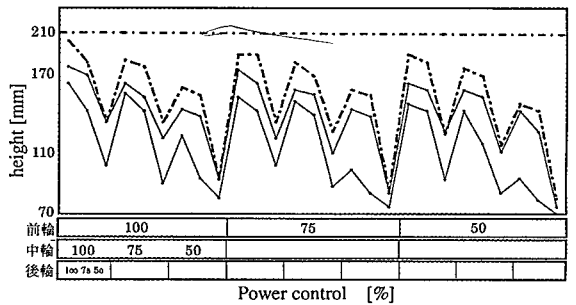


図9 駆動印加電圧配分比率に対する昇段高特性2

実現したことから、昇段限界能力を示す比較対象として適当な設計基準値が得られたと言える。これは一般的なロッカーボギー機構の理想的な特性と一致しており、本システムにおける上下対称設計が一般的な昇段特性を備える設計であること示している。

また、このときの両者の昇段の差は、後輪出力が100[%]でその差が約20[mm]であった。同様に75[%]では差が9[mm]、50[%]では同じ昇段能力であることが明らかになった。

更に、図9のグラフより全ての組合せの特性から、本システムは、後輪の駆動出力が昇段能力に最も大きく作用し、中輪、前輪の順にその影響が少なくなる特性を持つことが読み取れた。

## 6. おわりに

本研究は、上下対称型ロボットの設計構想により転倒状態のないロッカーボギー移動機構

を備える車輪移動型ロボットを提案し、その設計開発及びこの昇段特性と最大昇段能力を引き出す駆動出力の組み合わせを実験によって示した。また、この設計を基とした転倒時走行可能な車高の高さ設計において、非接触設計の車体を用いた実験より、車輪中央から最小となる車高の高さで、昇段できる最大昇段能力を示すことができた。さらに、駆動出力に対する昇段特性を明らかにしたことで、環境に応じた駆動力制御に対する適切な駆動エネルギー配分による効率的なエネルギー消費量を明らかにしつつ、より高い走破性が得られる指標を示した。

#### 参考文献

- [1] Rivellini, T. P. "Mars Rover Mechanisms Designed for Rocky IV." 27th Aerospace Mechanisms Symposium, (May 1993) , pp. 37-44
- [2] Volpe, Richard; Balaram, J.; Ohm, Timothy; Ivlev, Robert, "Rocky 7: a next generation Mars rover prototype". In J Advanced Robotics, Volume 11, Number 4, 1996 , pp. 341-358 (18)
- [3] Farritor, S., Hacot, H., and Dubowsky, S. May 1998. Physicsbased planning for planetary exploration. In Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 278?283, Leuven, Belgium,IEEE.
- [4] Sugiura, M. and Kubota, T., "Leg Control of Regular Octahedral Planetary Exploration Rover" ,Proceedings of 2004 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, (2008) , 2P2-A16. in Japanese.Shinjuku, D., Shibuya, J. and Tokyo, M., "Swing Motion Control of Casting Manipulation," IEEE Control Systems, vol.19-4, pp.56-64, 19