

走行システムに着目した車輪型ローバの最適化設計

知能制御工学研究室 村上遼

1. 緒言

近年、月・惑星探査において、自律走行が可能な移動ロボット（ローバ）は、科学的な探査を遂行するうえで、欠かせない技術となっている。月や惑星の表面は、細かい砂で覆われた軟弱地盤や岩石が散在した不整地であるため、高い走破性能を有するローバの設計開発が求められる。

ローバの走破性能に関して、これまで様々な研究が行われており、走行力学解析という観点では、テラメカニクスに基づくローバの斜面の登坂解析[1]が行われているが、ローバ本体の設計論には言及していない。また、最適化設計という観点では、遺伝的アルゴリズムを用いたローバの構造最適化[2]が行われてきたが、数値シミュレーションによる検証のみで、実験による定量的な検証が行われていない。

そこで本研究では、不整地踏破に最適なローバの走行システムの設計指針を提示することを目指し、本研究では車輪型ローバテストベッドを用いて、車両パラメータ（ホイールベースと重心位置高さ）と障害物乗り越え時の姿勢変化に関する実験的考察を行う。

2. 実験内容

本実験では、JAXA 宇宙科学研究所においてローバテストベッド（図1）を用いた。本ローバは、ホイールベース（WB）および重心位置高さ（CG）を機械的に調節することが可能である。また、本ローバにはディファレンシャルリンクが搭載されており、ローバ本体の姿勢変化を抑制する機構となっている。ローバの寸法は、ホイールベース 600~1000 [mm]、重心位置高さが 400~560 [mm]の範囲で可変可能であり、トレッドは 600 [mm]で固定となっている。

実験場では、実験場を俯瞰するように取り付けられた計 8 台の赤外線カメラによって、ローバの三次元の位置姿勢計測が高精度で可能である。また、実験場は珪砂 5 号（粒度 0.3 ~ 0.5 mm）で覆われており、非常に車輪が滑りやすい地形である。この実験場に障害物（高さ 200 [mm]、傾斜 60 [deg]）を設置し、ローバが障害物を片輪で乗り上げる際の姿勢変化の計測を行った。実験でローバのホイールベースを 600, 800, 1000 [mm]に、重心位置高さを 400, 560 [mm]に変化させて、全 6 通りの車両パラメータの組み合わせで実験を行い、各組合せにおいて 3 回ずつ計測実験を行った。

3. 実験結果及び考察

実験結果の一例を図2に表す。図2より、障害物を乗り越える時のみ、ピッチ角が激しく変化し、その前後においてはほとんど変化していないことがわかる。ここで、車輪による沈下[1]やディファレンシャルリンクの影響を考慮した場合、ローバの最大ピッチ角は以下の式より求めることが可能である。

$$\theta = \frac{1}{2} \sin^{-1} \frac{h_0 + z_0}{l_{wb}} \quad \dots(1)$$

θ [deg]は最大ピッチ角、 h_0 [mm]は障害物高さ、 l_{wb} [mm]はホイールベース長さ、 z_0 [mm]は車輪の砂への沈下量を表す。なお、沈下量の導出式はここでは割愛する。図3にも示すように、ローバのホイールベースが長い程、最大ピッチ角が小さくなるのがわかる。

式(1)に基づいた解析結果を図3に実線にて示す。幾何学解析のみの結果を青線、テラメカニクスを用いて沈下量を考慮した場合の解析結果を赤線で示している。車両の沈下量を考慮することで、実験値との差が減少することが確認できた。

4. 結言

本研究では、ローバの車両パラメータと姿勢変化に関する実験的考察を行った。特にピッチ角変化に関しては、軟弱地盤上における車両沈下量を考慮することによって、厳密な動力学シミュレーション解析を行わずとも、ローバの姿勢角の推定が可能であることを示した。これらの定量的な知見に基づくことによって、ローバの走行システムの設計指針が、より明示的に策定できると推察する。



図1 ローバテストベッド

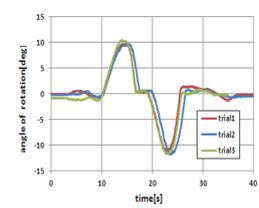


図2 WB600 [mm], CG400 [mm]時のピッチ角

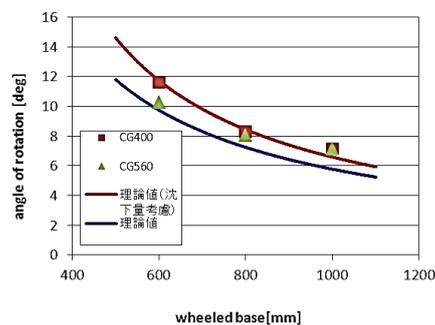


図3 WBと最大ピッチ角

参考文献

- [1] 三輪章子, 石上玄也, 永谷圭司, 吉田和哉: テラメカニクスに基づく月・惑星探査ローバの登坂性能解析, 2006
- [2] 佐藤正紀ら: 動力学シミュレーションと進化型アルゴリズムを用いた不整地移動ロボットの構造最適化, 2009
- [3] J.Y.WONG: THEORY OF GROUND VEHICLES, 2008