

惑星探査ローバーの小型実験機の製作

1. 緒言

1-1 惑星探査機

惑星探査機にはオービター、フライバイ、ランダー、ローバーがある。フライバイは天体へ接近通過する際に観測を行う。オービターは惑星周囲の軌道に乗せ周回しながら観測を行う。フライバイ、オービターは天体を周りから観測するため、詳細な観測を行うことが出来ない。ランダーは惑星や他の天体の地表面などの調査を目的に着陸する探査機であり、着陸付近の探査を行う。ローバーは天体の表面を移動し観測するために使われる車両であるため、他の探査機と比べ広範囲で探査を行うことが可能である。

1-2 ローバーについて

ローバーの移動機構は、車輪型、クローラ型、脚型、またこれらを組み合わせたものに分類される。現在この中で車輪型が省電力であることに加え、機構が簡潔であるため、惑星探査において主に使用されている。

またローバーが要求されることとして、惑星表面は不整地であるためあらゆる地表に対応した高い走破性能、惑星では人の手を介することが出来ないため修理することなく動き続けることが可能である信頼性、地球からリアルタイムで制御することが出来ないので自律性、宇宙機に搭載物として載せるため、ロケットの打ち上げコストに直結するので軽量化が挙げられる。

過去の登坂走行の研究においてアクティブサスペンションを用いた登坂走行⁽¹⁾や更斜面に対して平行な走行時にステアを変更した場合の研究⁽²⁾が行われている。本研究では小型実験機の製作を行い、パッシブサスペンションの有用性を確認するとともに登坂走行時の進入角度、ステアの変更時における走行性能の検討を行う。

2. 小型実験機の製作

実際に製作したローバーの外観を図1、スペックを表1に示す。車輪型ローバーで4輪が独立で駆動、手動でステアの切り替えが可能になっている。平行リンク機構を図2に示す。今回パッシブサスペンションとして平行リンク機構を採用し、この機構により左右の車輪が平行リンクで連結するため、段差乗り越え時に片輪が上がった際にもう片輪が下がる仕組みにより車輪が異なる高さにおいても4輪が接地可能となっている。また惑星は不整地であるためオフロードタイヤを採用している。

3. 制御系仕様

マイコンとして ARM 社の mbed NXP LPC1768 を使用した。これは開発環境のインストールが不要であり、インターネットにつながった環境があれば開発を行え、コンパイルしたプログラムをメモリに保存するだけで簡単に実行可能である。mbed NXP LPC1768 には PWM ピンが 6 つある。速度制御は PWM 信号で行うが、モーター1つに対し PWM ピンを 2 つ使用してしまう。今回は mbed 1 つで PWM 制御を行うために論理回路として NAND 回路を組み込むことでモーター1つに対し PWM ピンを 1 つだけ使用する回路を設計した。使用した回路を図3、この時の動作ロジックを表2に示す。

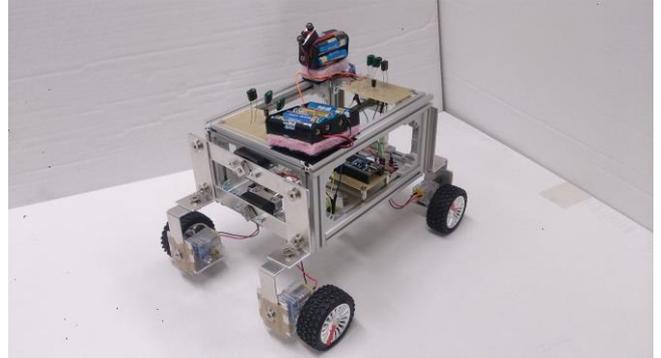


Fig.1 appearance of the rover

Table 1 Rover specification.

Full length [mm]	300
Full width [mm]	230
Total height [mm]	175
Total weight [g]	2200
Wheel width [mm]	25.8
Wheel diameter [mm]	60
Wheelbase [mm]	231

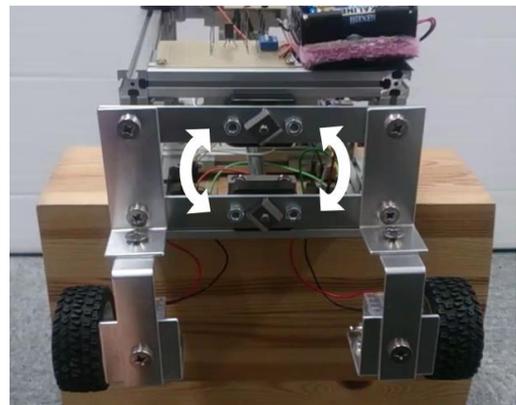


Fig.2 Parallel link mechanism

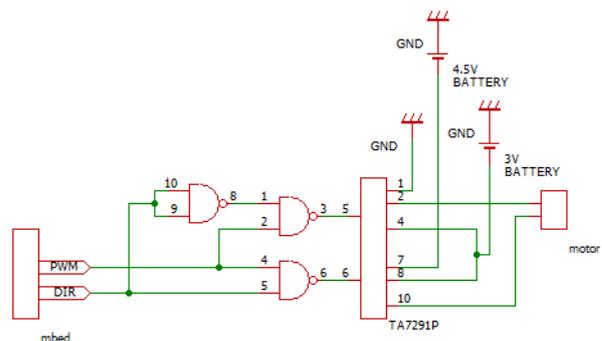


Fig.3 Motor driver circuit

4. 実験

4-1 実験内容

登坂走行に使用した坂を図4に示す。坂は2枚の板で構成されており1枚は水平にもう一枚は傾斜をつけて配置した。傾斜した板の傾斜角度を θ とする。またローバーの進入角度を β とする。斜面でローバーの車輪が滑りにくくするためにゴムシートを敷いた。実験は平行リンク機構の有用性、傾斜角度 θ による登坂性能、進入角度 β による登坂性能について行った。

実験1. 製作したローバーの平行リンク機構の有用性を確認するためにリンクを固定した場合と自由に動作させた場合の実験を行った。

実験2. 傾斜角度 θ による登坂性能では動きを検出するためにローバーの中心にマーカをおいてモーションキャプチャーを用いた。

実験3. 進入角度 β による登坂性能では $0^\circ \sim 75^\circ$ まで 15° ずつ変化させて行った。4輪とも平面から斜面に進入するように実験を行ったが、 60° 、 75° は斜面から行った。

4-2 実験結果

実験1. 平行リンク機構の固定と自由に動作させた場合の登坂走行の実験を行った結果を図5、図6に示す。図5は固定した場合、図6は自由に動作させた場合の結果である。図の左側は後輪、右側は前輪の画像である。平行リンク機構を固定した時は赤丸で囲むタイヤが浮いてしまうことで走行することが出来なかった。自由に動作させた場合は後輪側に平行リンク機構を搭載していないが、車輪が浮くことなく登坂可能であった。平行リンク機構はローバーの重量を大きく変化させることなく搭載可能であるため有用であると考えられる。

実験2. 斜面に対して $\beta = 0^\circ$ に進んだ結果を図7に示す。図7の斜面 $\theta = 9^\circ$ のx軸より、平面と斜面での速度がほとんど変化することなく走行可能であるのに対し $\theta = 10^\circ$ の場合では登坂可能であるが速度は落ちている。また $\theta = 11^\circ$ の時は、4輪が斜面に達したときに停止してしまったため、図の結果となっている。これより、製作したローバーの進入角度 $\beta = 0^\circ$ における限界傾斜角度は $\theta = 10^\circ$ である。

実験3. 進入角度を $\beta = 0^\circ \sim 75^\circ$ まで変更した際の走行結果を図8に示す。図8の○は走行可能、△は登坂途中に停止、×は4輪進入時に停止を表す。進入角度 β を大きくすることによって後輪にかかる重量が抑制され登坂性能の拡大につながったと考えられる。△になった要因としてゴムシートの継目や浮いたところが原因として考えられる。

6. 結言

本研究ではパッシブサスペンションとして平行リンク機構を搭載した小型ローバーを製作し、平行リンク機構の有無による走行性能の違いを検証した結果平行リンク機構の有用性を確認することができた。また製作したローバーでの登坂走行可能な斜面角度を得ることができた。今後はステアを変更した際の登坂走行を行い、直進時との差を比較することでステア変更による走行性能の向上が可能か検証する。

参考文献

- (1) 長塩拓馬, “二次元重心位置制御が可能な車輪型ローバーの不整地での走行性能の検討” 高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻知能機械システム工学コース修士論文, 2016.
- (2) 三輪章子, “テラメカニクスに基づく月・惑星探査ローバーの走行力学解析” 東北大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻修士学位論文, 2005.

Table 2 Logic.

Signal		Input		Output		Mode
DIR	PWM	IN1	IN2	OUT1	OUT2	
L	L	H	H	L	L	Brake
L	H	L	H	L	H	CCW
H	L	H	H	L	L	Brake
H	H	H	L	H	L	CW



Fig.4 Slope of the experiment

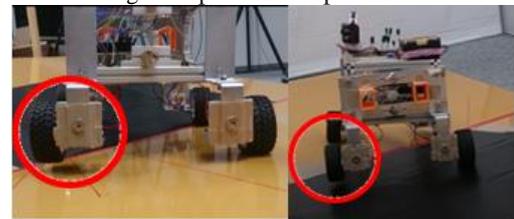


Fig.5 Result of fixing of the Parallel link

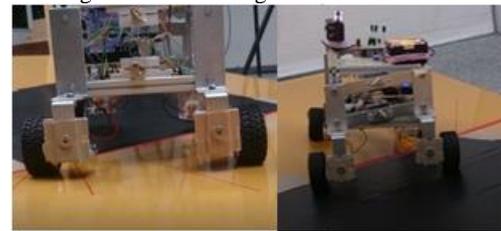


Fig.6 Result of free moving of the Parallel link

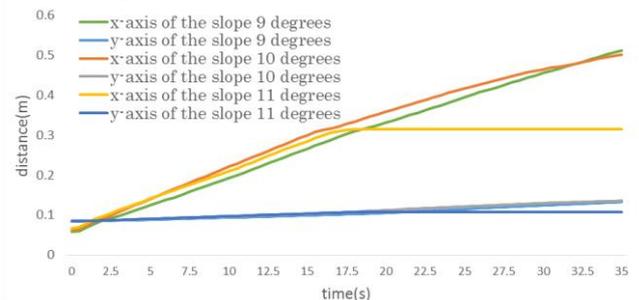


Fig.7 Result of the climbing a slope

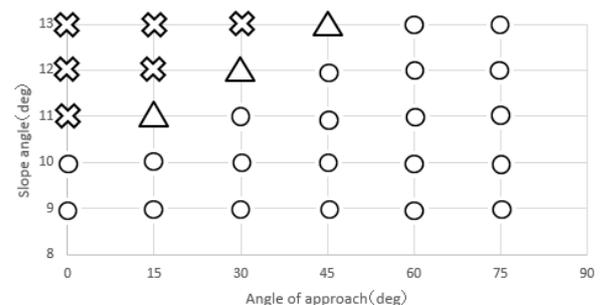


Fig.8 Result of the angle change