

# 惑星探査ローバーのマニピュレーター形重心移動機構の開発

## Development of the manipulator form center of gravity movement mechanism of planetary probe Rover

知能機械システム工学コース

機械・航空システム制御研究室 1215037 米田 政耶

### 1. 緒言

現在火星では着陸後惑星地表面を移動し、探査するロボット(ローバー)が活動している。惑星探査において地表の様子を広く調査できることは必要不可欠な機能である。人間が直接行く場合と比べ、コスト面と安全面において優れていることから今後も惑星探査の主流になると考えられる。

月や火星等の地表は低重力かつ細かな砂で覆われた軟弱地盤であるため、サスペンション機構などを用いて走行安定性を高める必要がある。現在活動を行うローバーの走行部には6つ独立駆動車輪の他、ロッカーボギー機構と呼ばれる受動機構が採用されている。この機構は、全車輪に加わる垂直抗力を等しくするものである。

しかしこの機構は、受動的なものであり、進行軌道上に障害物がある場合には走破は困難である。障害物乗り越えができれば、より効率的な探査をすることが可能である。本研究は、障害物及び不整地走破が可能な惑星探査ローバー用能動的サスペンションシステムを開発することが目的である

### 2. 試作機の作製

#### 2.1 走行部前輪側のサスペンション

本研究で使用する惑星探査ローバーの試作機を図1に示す。この機体には、走行部前輪側と機体上部にサスペンションを搭載している。まず走行部前輪側に採用されているサスペンションを図2に示す。この機構は二本の平行リンクで接続することにより片輪が上がった際に、リンクが回転することで、もう片輪が下がる仕組みとなっている。これにより異なる高さで接地できるため、両輪に掛かる垂直抗力を等しくすることができると考えた。また、電力の消費がなく簡素な構造のため、故障信頼性が高いというメリットがある。

#### 2.2 機体上部のサスペンション

先行研究では機体上部に錘を搭載し、水平面内を移動させることで、機体の重心移動を行っていた。実際の惑星探査を想定した場合、機構に錘を使用することは、重量の増加に繋がるため、実用性があるものとは言えない。重心部として新たに機構を搭載するのであれば、本来ローバーに備わっている機構を用いて重心移動を行うことが望ましいと考えた。本研究では探査に必要なマニピュレーターに着目し、それを用いた新たな重心移動機構を考案した。

新機構作製にあたり考慮した点は、軽量化と重心移動性能

新機構作製にあたり考慮した点は、軽量化と重心移動性能である。このため、マニピュレーター先端に質量を集中させることにより、低重量高効率な機構を構想した。また、故障信頼性が高い物にするため、リンクの回転は水平方向のみとした。

今回作製するのは、従来機同様二次元重心移動機構であるため、マニピュレーターのリンク数は2つとした。機構概形の決定後、簡易モデルを作成し手先と回転角の関係式を導出した。その式から各リンクの重量並びに重心移動範囲を求め、部品選定を行った。

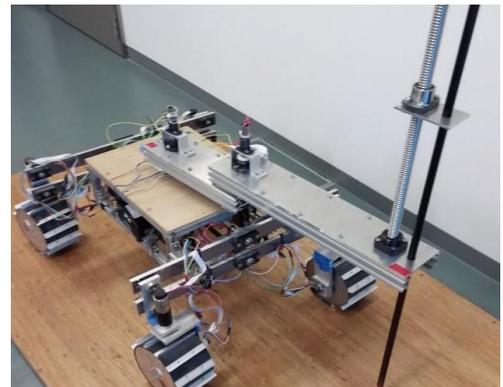


Fig. 1 Prototype of Planetary Exploration Rover

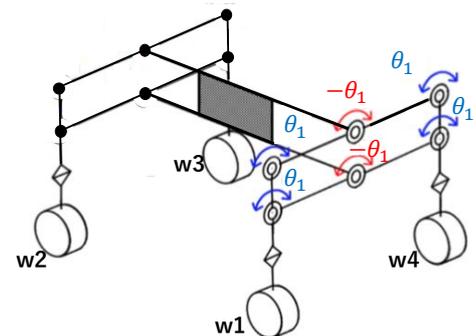


Fig. 2 Suspension of runner

#### 2.3 製作機と重心移動性能

図3および表1に製作した機体と従来機との比較を示す。今回作製した機体を搭載することで、全体重量を8.86kg削減することができた。このことにより車体が自重によって埋没するリスクが軽減したと考える。また、従来機よりも機体重心位置をより広範囲に動かすることができるため、走破性能が向上したと考える。

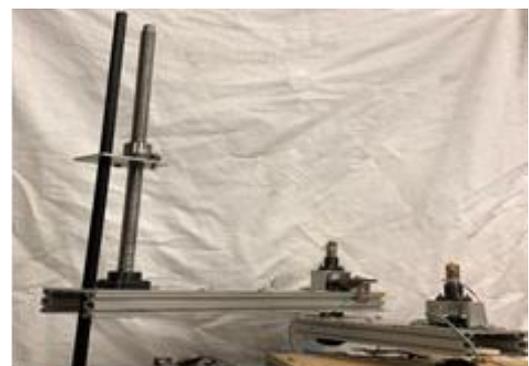


Fig. 3 The prepared manipulator

Table. 1 Comparison between conventional machine and machine

	A weight	manipulator
Top weight[kg]	15	6.14
Traveling part weight[kg]	25	25
Gross weight[kg]	39	31.14
Maximum center of gravity change[m]		
x-direction	$\pm 0.0564$	$\pm 0.074$
y-direction	$\pm 0.0718$	$\pm 0.074$

### 3. 実験環境と走行実験

#### 3.1 実験環境と測定装置

製作機的能力を検証するため、図4に示す室内実験場にて走行実験を行った。図4は縦1m横2mの空間に惑星環境を模した砂(珪砂6号)を高さ約24.5cm敷き詰めた。今回はローバーの位置、車輪駆動モータの電流値から車体運動を見る。また、xyz軸は進行方向をx、高さ方向をy、横方向をzとした。なお車輪駆動速度は秒速2cmとした。

#### 3.2 実験条件

車輪の電流値を計測するにあたり、各車輪を図5のように定義する。今回走行する路面状態を考慮し、全車輪円周に12枚のL字のラグ(歯丈12mm)を取り付けた。今回の走行実験では、主に砂と重心位置による走行の変化を調べるため、走行中の重心位置は固定し、路面状態はなめらかな平地とした。また、速度の計測は4回行い、モータ電流値の計測は3回行った平均値を掲載する。



Fig. 3 Experiment environment

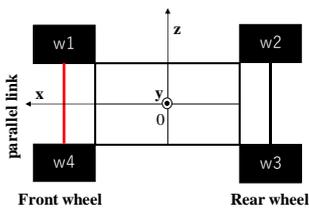


Fig. 5 Each wheel definition

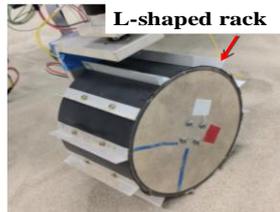


Fig. 6 Wheel with lug

### 4. 実験結果

#### 4.1 中心部に重心を固定した走行実験の結果

まず初めに図7に駆動モータの各電流値を示す。計算の結果、重心位置がx方向-5.27mm、y方向6.44mmとなるマニピュレーターの姿勢が最も中心との距離が小さかったため、この姿勢を中心し、数値を測定した。電流値を見ると、4輪とも近い値を示していることが確認できる。次に各数値を見ていくと、全数値に同周期の波形が見られた。

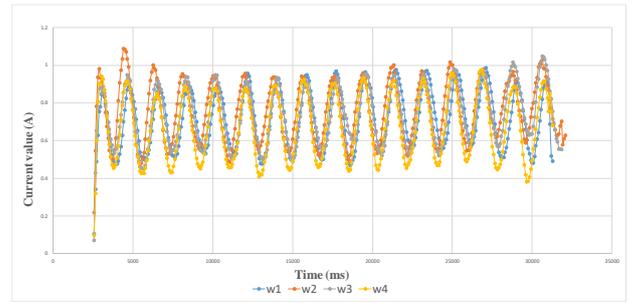


Fig. 7 Each current value of the drive motor

#### 4.2 前輪片側に重心を固定した場合の実験結果

次に、前輪片側、W1側に重心固定した場合の実験結果を図8に示す。前輪の両輪(W1、W4)と後輪片側W2の電流値が近い値を示しているのがわかる。前輪片側に重心を固定したのにも関わらず、W1とW4の差が平均0.054Aと僅かだった。次に重心を固定した対称側、W3を見ると、電流値が他の3輪に比べ平均0.25A低い値を示した。

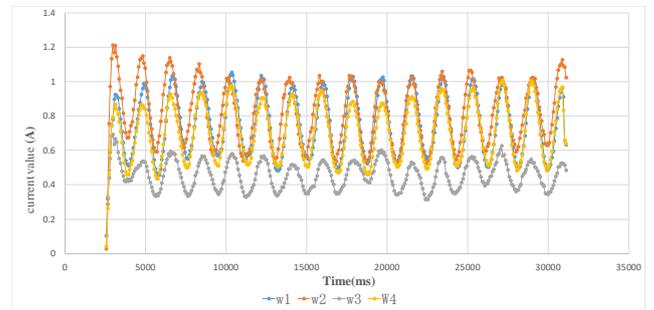


Fig. 8 Each current value of the drive motor

#### 4.3 後輪片側W2に重心を固定した場合の走行実験結果

つぎに、後輪片側、W2側に重心固定した場合の実験結果を図9、進行方向速度を前述の2つの結果と比較したものを図10に示す。前輪片側の場合では対称側のみの電流値が低くなる結果となったが、今回の結果では、重心を固定したW2のみ電流値が高い値を示しているのがわかる。そのほかの車輪は近い値を示したため、前輪と後輪では荷重の分配法則が変わることが明らかになった。また、W2と他3輪の電流値を比較したところ、平均0.48Aの差があった。

進行方向速度を前述と比較すると、中心部、前輪片側が同じ値を示していたことに対し、今回の場合は速度の立ち上がりが悪く、波高が小さいという結果となった。

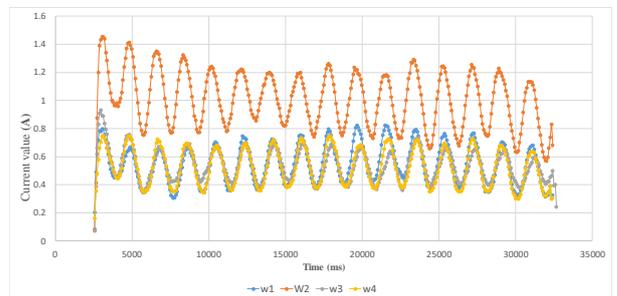


Fig.9 Each current value of the drive motor

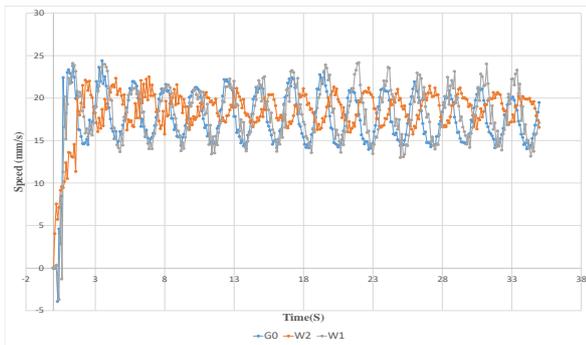


Fig. 10 Line speed at each center of gravity position

## 5. 考察

まず、駆動モータの電流値の波形について考察を行う。この波形の発生原因を求めめるため、車輪回転速度におけるラグの間隔と波長を比較した結果、車輪回転の約  $30^\circ$  が波形の1周期であることがわかった。図6に示した車輪に取り付けたラグが12枚であることから、このラグの間隔と波長が一致したと考えた。また、この結果からラグが接地点に到達する際、車体にスラスト方向の力が掛るため、ラグの周期で車体が振動していると考えられる。

つぎに駆動モータの電流値を見ていく。重心が中心部にあるとき、4輪の波形が重なる結果となった。前輪片側では固定した車輪の対称側(W3)側の電流値のみが低い値を示した。片輪に重心が移動したのにも関わらず、前輪の電流値波形が重なったことから図2の走行部のサスペンションが有効に作用し、両輪に掛かる荷重が等しくなっていると考えられる。また、後輪側ではサスペンションがないため、重心固定側の車輪(W2)の接地荷重が増加するため、対称側のW3のみが低くなる結果になったと考えられる。

後輪側に重心を固定場合は、固定した車輪側の電流値が増加し、他が減少した。また、電流値波形の差が前輪に比べ2倍近くあった。このため、大きい荷重の差が必要な路面では後輪片側に重心を移動すれば効果的であると考えられる。

最後に進行方向速度の比較をみると、後輪部重心固定の場合速度の減少が見られた。その原因は、1輪のみの電流値増加だと考えられる。1輪のみの駆動力が増加したため、路面に掛かる力が均等に作用せず、進行方向速度が低下しているのではないかと考察した。以上の結果から接地荷重が高くなると、車輪の駆動力が増加することを実験により示せた。これに加え、路面粘着性(車輪にかかる力の均等さを示す指標)も考慮すると、車輪にかかる力を等しくする重心制御が有効である考察した。

## 6. 今後の予定

今回は、なめらかな平地でのみ走行実験を行った。今後は、図11に示す、片輪障害物を乗り越えるの走行実験を行う予定である。この理由として、従来のパッシブサスペンションを持つローバーでは、スタック等のリスク回避のために、踏破可能とされる障害物を避けて通る場合が多い。それにより探査にかけられる時間が削られ、ミッションの中止に繋がる可能性がある。そのため乗り越えられる障害物の基準を引き上げることができれば、大きなアドバンテージとなると考えた。その中でも今回は、最も一般的に起こり得て、基礎的な問題だと考えられる、前輪の片輪のみが障害物に接触し、乗り越える場合における有効性を検討することにした。

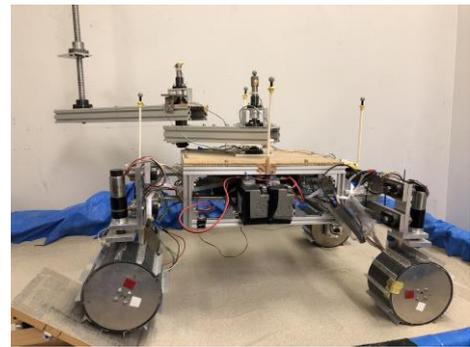


Fig. 11 There is a ring cut in half obstacle at the time of advance

## 7. 結言

本研究では、惑星探査ローバーのマニピュレーター形重心移動機構の構想を示した。今回はその実現のため重心制御が可能な機体の製作を行い、走行実験を行った。今後は重心位置制御を行った場合の走行実験を行う。

## 文献

- (1)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, (2005)