

## 月面探査ローバ –SeW–

芝浦工業大学

[2年] 村中優里子 齊藤真衣 佐々木航平 [1年] 金子綾乃 小松龍世

[指導教員] 飯塚浩二郎

### 1. 背景・目的

近年、地球や太陽系の誕生と進化を科学的に解明するため、月・惑星探査が盛んに行われている。また、月には大気や地殻変動がないため形成の痕跡が残っている。そこで、本稿では月に焦点を当てることとした。

現在、月面探査ローバとしてよく使われているのは、主に車輪型(図1)、クローラ型(図2)である。月面の環境は、剛体面や崖が存在している他、大部分はレゴリスと呼ばれる微細な粒子で覆われている。車輪型、クローラ型のローバは、このレゴリスによって走行不能になる場合がある。以下に、走行不能となる問題点を示す。

車輪型ローバは、レゴリスにより形成される軟弱地盤上で、車輪の回転によって地表面を掘りスタックしてしまう(図3)。一度スタックしてしまうと抜け出すことが困難なため非常に厄介な問題となっている。

クローラ型ローバは、車輪型ローバと比べ接地面積が大きいいため、接地面にかかる荷重を分散させることができる。したがって、車輪型に比べ走破性が高いといえる。しかし、外側の履帯とスプロケットから構成されるクローラは、レゴリスの影響により、スプロケットが削れたり履帯が離脱したりしてしまう。こうした故障は、ローバの修理が不可能である宇宙空間において重大な問題である。また、クローラは、接地面においてレゴリスを激しく動かし、レゴリスが崩れやすくなってしまふ。

私たちはこれらの問題に着目し、レゴリス上の走行に適した新しい走行系を考案した。既存の走行系である車輪型・クローラ型よりも高い走行性能をもつ月面探査ローバ-SeW-(Selene Walker)を提案する。



Fig.1 Wheel typed rover [1]



Fig.2 Crawler typed robot [2]

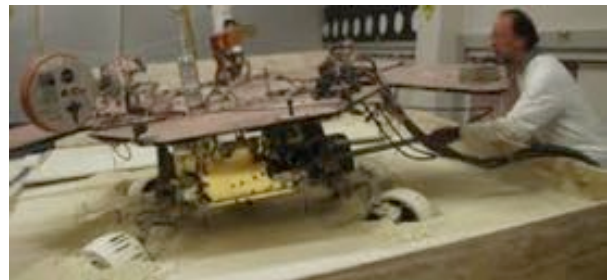


Fig.3 Poor condition on loose soil [3]

## 2. ローバの提案

### 2.1. 機構案

私たちはローバの接地面において、レゴリスをせん断する運動をさせ、斜面登坂が実施できる機構を考えた。私たちが提案するSeW (図4)は、4つの面、グラウザ、2つのモータ、糸から構成されている。図5に示すように、2つのモータはSeWの面の内部に取り付けてある。それぞれのモータの軸には、糸が繋がっており、糸の另一端は向かい合う面に繋がれている。糸1は面Aに取り付けたモータ1と面Cを、糸2は面Bに取り付けたモータ2と面Dを繋いでいる。SeWは、それぞれのモータが糸を巻きとったり、緩めたりすることで、連結した4つの面が回転しながら進んで行く機構を有する(図6)。この機構により、接地面がレゴリスをせん断する方向に動くことなく移動が可能となる。表1にSeWの仕様を示す。

また、SeWの特徴のひとつとして平面形状(図7)になることがあげられる。これにより、SeWは収納性に優れているといえる。



Fig.4 SeW

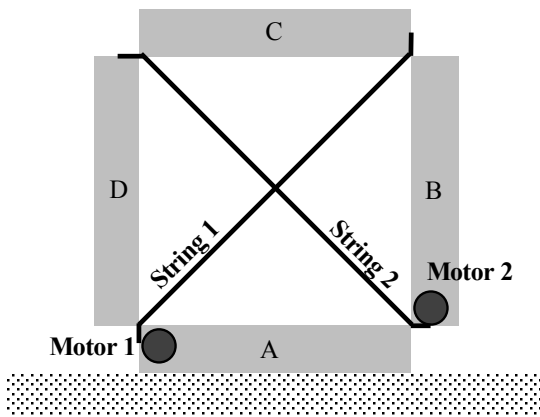


Fig.5 Structure of SeW

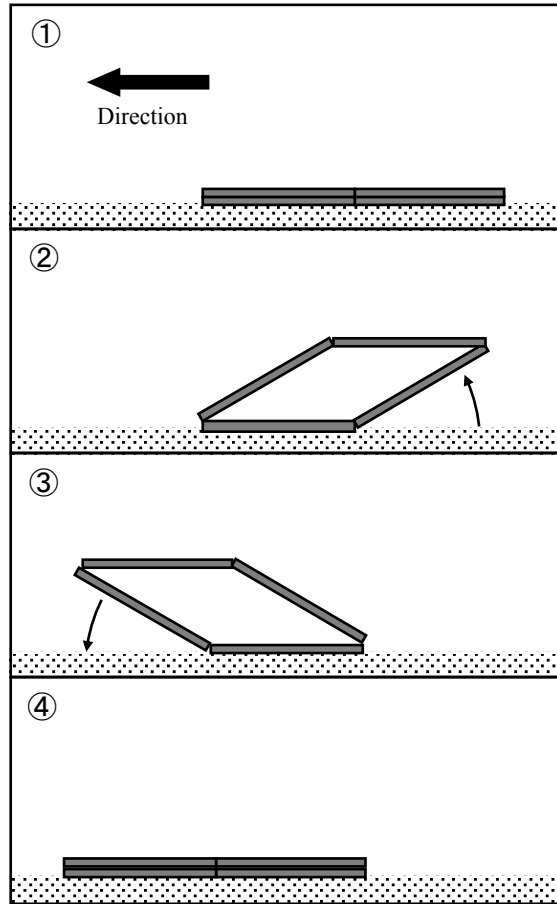


Fig.6 Motion of SeW

Table 1 SeW's specification

Weight	Max Length	Min Length	Min Height
911g	328mm	150mm	50mm

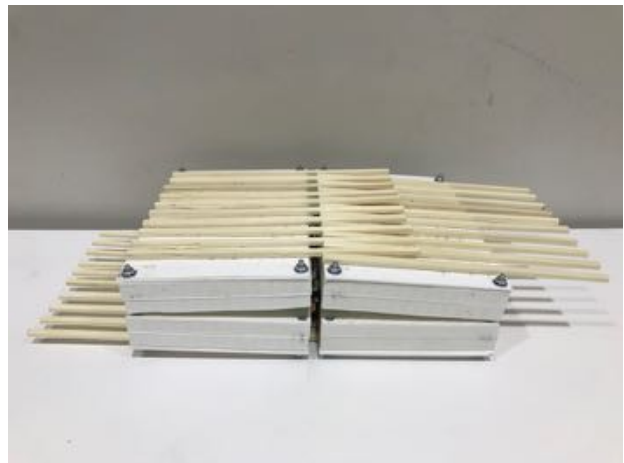


Fig.7 Planer shaped SeW

## 2.2. グラウザの機能

改善前のSeW(図8)では、斜面を登る際に斜面下方向に倒れ込むようにモーメントが作用していた(図9(a)). このモーメントによって、斜面を転がり降りるような動作をしてしまう. この問題を解決するために図10のようなグラウザを取り付けた. このグラウザによって斜面を転がり降りる方向の力を食い止める. よって、機体が転がり降りないように保持することができる(図9(b)). また、このグラウザによって接地面積が大きくなり、斜面上で機体の後方がレゴリスに埋没してしまうのを防ぐ.

改善前のSeWでは、図11(a)のような状態になると、接地面が滑って斜面を下ってしまう. しかし、グラウザを取り付けたSeWでは、図11(b)に示すようにグラウザがレゴリスに杭のようにささる形になる. したがって、機体を滑り降りないように保持することができる.



Fig.8 Motion of SeW

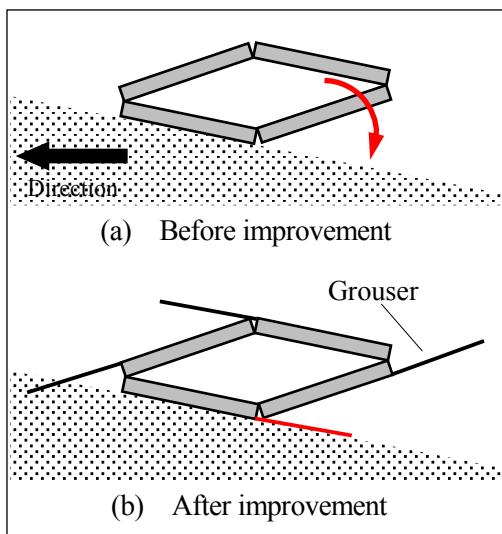


Fig.9 Function of grouser 1



Fig.10 Grouser

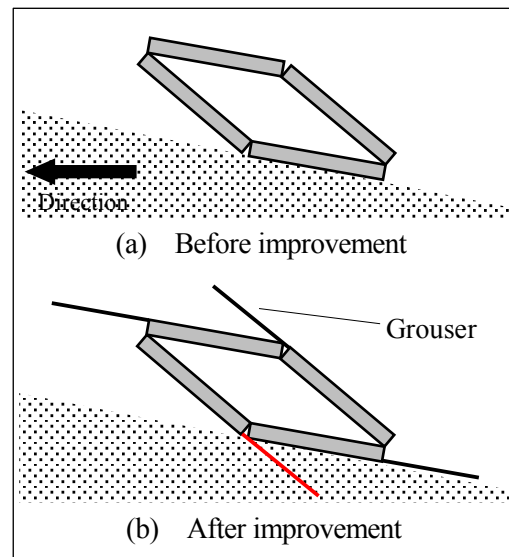


Fig.11 Function of grouser 2

## 2.3. 糸の検討

SeWが走行するにあたって、糸は重要な役割を果たす. しかし、走行時に糸には大きな力がかかるため、切れてしまう場合がある. そこで、私たちは糸の検討を行った. 使用した糸を表2と図12に示す.

Table 2 Type of strings

タコ糸	φ 1.00mm
ステンレス ワイヤロープ	φ 0.43mm
ケブラー	φ 0.43mm
ベクトラン	20番手



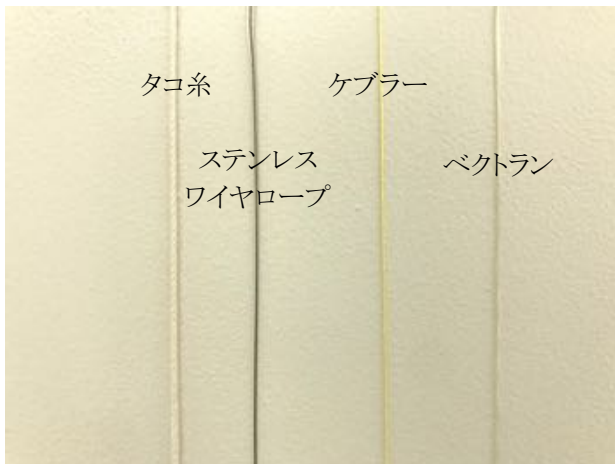


Fig.12 4 typed strings

タコ糸は、摩耗に非常に弱くすぐに切れてしまった。また、ステンレスワイヤロープは、塑性変形をしてしまい、引張方向の力に弱いために切れてしまった。

ケブラーとベクトランはタコ糸と同じように、摩耗によって切れてしまった。但し、タコ糸より耐久性に優れていた。切れた理由は、ケブラーとベクトランの両方とも、細い糸を複数束ねた構造にあると考えられる。この構造のため、糸が機体と擦れる際に束ねられた糸が広がってしまい、強度が低くなってしまう。この糸の広がりを防ぐため、それぞれの糸を三つ編みし、再度検討した。三つ編みしたケブラーとベクトランを図13に示す。

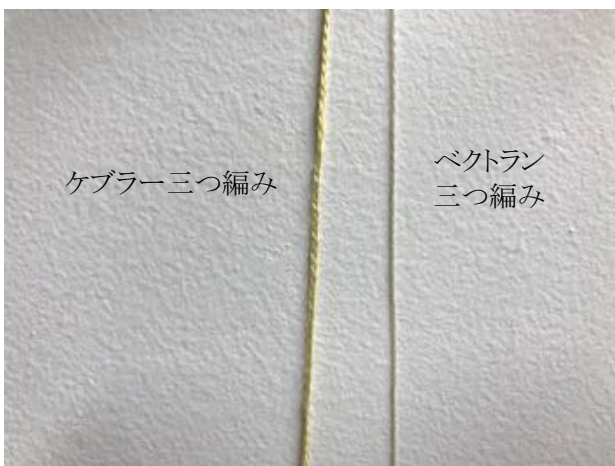


Fig.13 Braid

それぞれの糸をSeWに取り付け走行させた結果、両方とも三つ編みにすることで耐久性が向上した。特にケブラーは、強い耐久性を見せた。よって、私たちはSeWで使用する糸として、ケブラーの三つ編みを採用した。

### 3. 走行実験

1章で述べたように、SeWの走破性を車輪型、クローラ型と比較するために、走行実験を行う。車輪型、クローラ型、SeWが登る斜面の角度を調べる。

#### 3.1. 実験条件

箱に珪砂5号をいれることで、月面の軟弱地盤を模擬する(図14)。比較対象の車輪型とクローラ型をそれぞれ図15、図16に、仕様を表3、表4に示す。



Fig.14 Experimental setup : bin of loose soil

Table 3 Wheel typed tester's specification

Weight	Length	Width	Height	Wheel width
260g	190mm	180mm	130mm	30mm

Table 4 Crawler typed tester's specification

Weight	Length	Width	Height	Rack width
454g	195mm	105mm	140mm	17mm

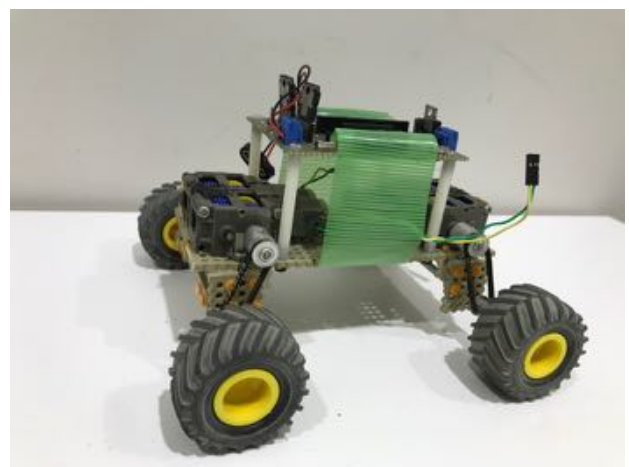


Fig.15 Wheel typed robot for experiment to compare with proposed robot



Fig.16 Crawler typed robot for experiment to compare with proposed robot



Fig.17 Poor condition of on loose soil : wheel type

### 3.2. 実験方法

珪砂5号の入った箱の傾きを変えることで、斜度を変更する。斜面上で車輪型、クローラ型、SeWを走行させ、走行不能となる斜度を測定する。走行させる斜度は、0度、25度、30度とした。

### 3.3. 実験結果

実験結果を表5に示す。

斜度0度では、車輪型、クローラ型、SeWの3つの走行系のどれもが問題なく走行した。

斜度25度では、車輪型はスタックしてしまい走行不能となった(図17)。また、クローラ型も走行不能となってしまった(図18)。原因としては、履帯が砂を掘って崩してしまうことで sprocket の周りに砂が溜まることである。その砂が、外側の履帯と sprocket の間に入り、ロックしてしまい走行不能となる。よって、車輪型とクローラ型が走行不能となる斜度は25度であることが分かる。斜度25度において、SeWは問題なく走行することができた(図19)。

斜度30度では、SeWは多少の滑りがあったものの問題なく走行することができた(図20)。

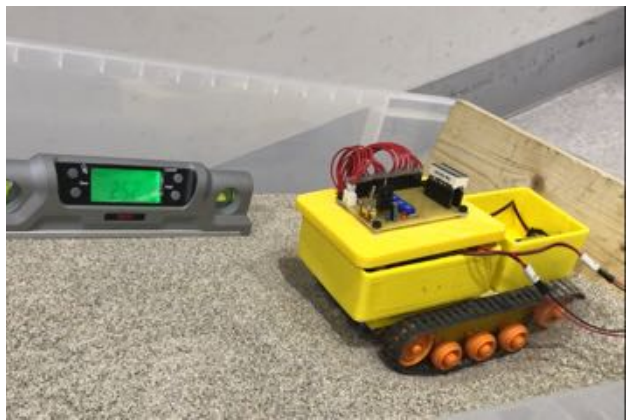


Fig.18 Poor condition of on loose soil : crawler type

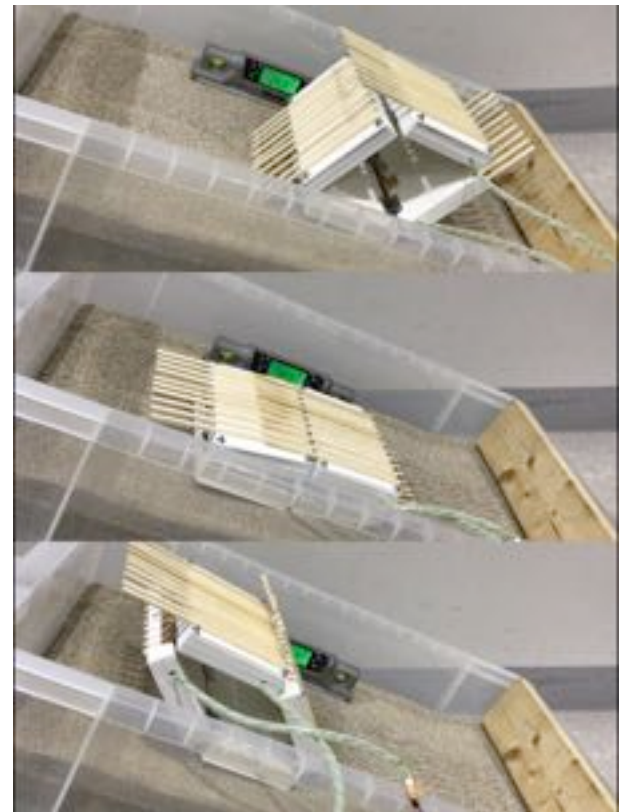


Fig.19 Running SeW

Table 5 Experimental result

	車輪型	クローラ型	SeW
0度	○	○	○
25度	×	×	○
30度	-	-	○





Fig.20 Going up slope of 30 degrees

### 3.4. 考察

実験結果より、軟弱地盤の斜面の走行において車輪型、クローラ型、SeWの3つの走行系の中でSeWが最も走行性能が高いといえる。このような結果となった理由として、斜面を登る際に車輪型、クローラ型は接地面に動摩擦力が働くのに対し、SeWは接地面に静止摩擦力が働くということがあげられる。つまり、SeWは他の2つの走行系に比べて大きな摩擦力を得ながら走行することができる。

また、SeWのグラウザは走行不能にならずに斜面を登りきることに大きな役割を果たしている。2章でも述べたように、このグラウザは斜面を登る際にかかる、斜面を転がり降りる方向の力を食い止めることができる。そして、次に接地面となる面に取り付けられたグラウザは斜面に杭のようにささる形となり、機体を滑り降りないように保持することができる。

## 4. 結言

以上より、SeWはレゴリス上の走破性に優れたローバであると言える。このローバにより安定した走行を実現できるため、月面探査の範囲を広げることができる。SeWが月面探査の足がかりとなれば幸いである。

## 5. 今後の展望

### 5.1. 計測機器の搭載

SeWは、走行性向上のためにグラウザが取り付けられている。将来的には、このグラウザを利用して月面の砂質調査を行うことを検討している。

グラウザに砂の抵抗力を測るセンサを取り付け、グ

ラウザがレゴリスを掻く際にかかる反力を測定する。この測定結果を解析することで、探査ローバが走行しやすい砂質を知ることができる。したがって、他の探査ローバが探査を行うときの走行経路選択の手助けとなる。ただし、この調査の実現には多大なデータを必要とする。

### 5.2. ターンテーブルによる方向転換

現在SeWの進行方向は、前方のみである。しかし、月面を探査するにあたって、進行方向の転換は必須である。そこで私たちは、SeWの方向転換方法として、以下のような機構を提案する。

SeWの1面にターンテーブルを搭載する(図21)。ターンテーブルの搭載された面が地面に接したときに、ターンテーブルを回転させることによって進行方向の転換を図る。しかし、ターンテーブルを搭載することによって、重心に偏りが生じてしまうことが懸念される。この点については、他の面に搭載予定のペイロードの重さとの兼ね合いを考える必要がある。

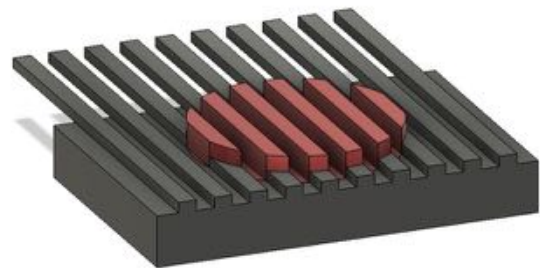


Fig.21 Turntable

## 参考文献

- [1] Space Images | Artist's Concept of Mars Exploration Rover  
<https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA04239> (2018年6月19日閲覧).
- [2] 表面探査技術 | JAXA | 研究開発部門  
<http://www.kenkai.jaxa.jp/research/exploration/surface.html> (2018年6月22日閲覧).
- [3] NASA - Preparing for Rover Pivot Test  
[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/mer/images/mer20090716.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/mer/images/mer20090716.html) (2018年6月19日閲覧).