

テーマ名：小型月・惑星探査ローバ -GOA-

信州大学大学院理工学系研究科 機械・ロボット学専攻

大学院2年 中村貴裕

芝浦工業大学大学院理工学系研究科 機能制御システム専攻

博士課程1年 藤原大佑

芝浦工業大学システム理工学部 機能制御システム学科

学部3年 北川翔太, 三浦太志, 池田哲之, 大島哲也

指導教員 飯塚浩二郎

1. 背景

月(図 1)天体の探査の方法の一つとして、車輪型移動ロボット(ローバ)が用いられており、土壌の組織調査や天体環境(温度や気圧)の観測など、様々な成果を挙げている[1]。しかしながら、月探査において、月面の環境は厳しいものとなっている。月面においてミッションを遂行するエネルギー確保はその課題の一つである。月面活動初期段階の探査活動においてローバは他に頼らずにエネルギーを調達しなければならない。長期的な探査や広範囲にわたる探査を行うには、ランダ等に頼らずに自律的に昼と夜のサイクルをこなせる必要がある。月面においては夜間に最大-170度にも達するため、内包しているミッション機器、各種駆動機構系、電源系などの保護のために何らかの保温機構や加熱を必要とする[2]。先行研究にてレゴリスの断熱性を利用し、月面の夜間の極低温環境からローバを保温することが提案されている。提案されたローバは脚型車輪(図 2)そのものを回転させることによって地盤を掘ることに着目している[2]。しかしながら、先行研究においては、砂を押しつける方向に行っているため、断熱効果を発揮するにはさらに深く掘る必要があると言及されている。本稿では、車輪形状そのものに着目し、車輪が砂を掻くことにより、砂を制御部に掻けることに着目した。

月の表面はレゴリスと呼ばれる微細な粒子に覆われている。このレゴリスの特徴として、熱伝導率が小さくおよそ、 0.01W/m/K 程度とされている[3]。月表面にあるレゴリスは太陽からの放射熱

により昼は110度、夜は-170度と温度差が極めて大きい[4]。近年開発されている HAKUTO[5]においては、搭載する主な機器の最低保存温度が-20度である。上記からローバに搭載される断熱構造とレゴリスの断熱効果を合わせれば、機器を月の厳しい温度環境から保護できると考えられる。

2. 目的

上述のように、月環境下で温度からローバを保護するためには、ローバの制御部をレゴリス地盤にごく浅く埋めることが有効である。

以上より、レゴリスの断熱性を利用し、ローバの制御部に砂をかぶせることにより、月の厳しい温度環境下から保護することを目指す。特に、本稿では、砂をかぶせることに有効なローバの車輪形状と、この車輪を利用したごく浅く制御部を埋めるための移動機構について提案する(図 3)。



Fig. 1 Moon[1]

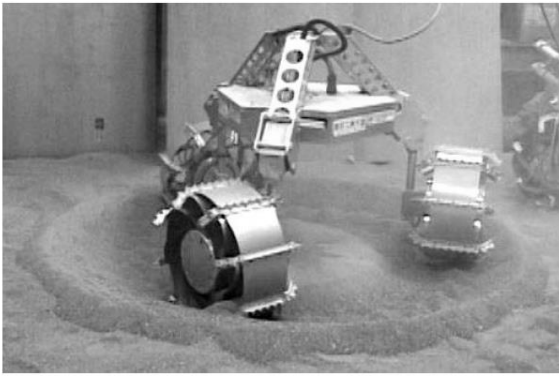


Fig. 2 Previous study[2]

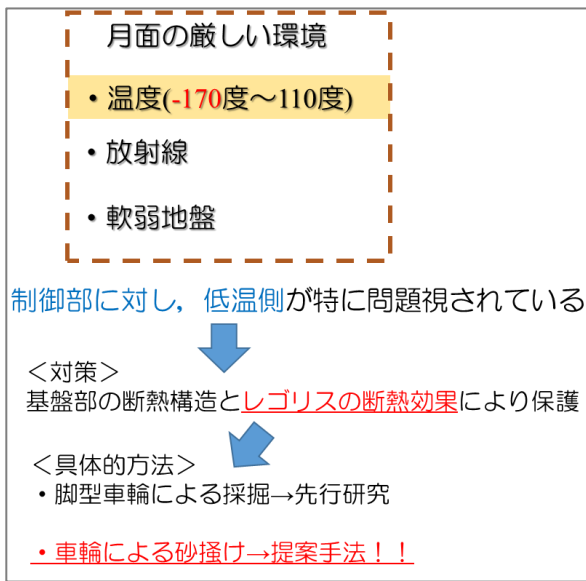


Fig.3 Approach of this study

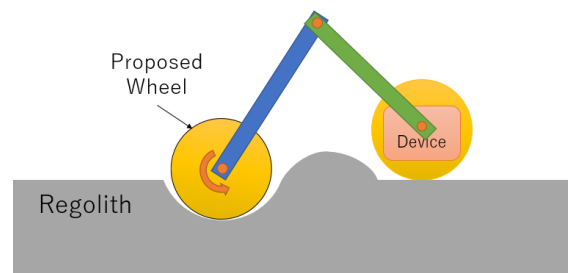
3. 車輪案

本グループは極低温に弱いデバイスをレゴリスに埋め、極寒の月の夜を乗り越えるという独創的なアイデアを提案する。現在主流のローバの移動方法は、車輪を用いるものである。そのため、本グループは車輪にレゴリスをかける機構を取り付け、デバイスをレゴリス中に埋めることを提案したい。本章では、デバイスをレゴリスに埋めるシーケンスと車輪について述べる。

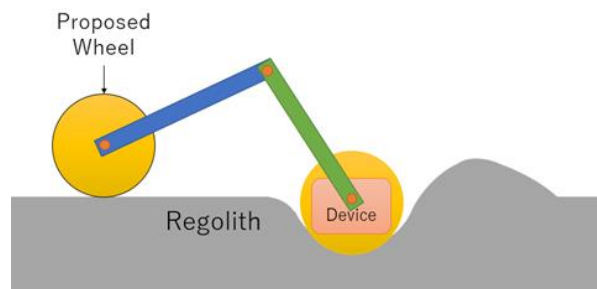
まず、デバイスをレゴリスに埋めるシーケンスについて述べる(図 4)。まずローバの後輪を空転させることにより、デバイスを埋める穴を掘る(図 4(a))。その次に、デバイスが先ほど掘った穴に入るようローバを移動させる(図 4(b))。そして、デバイスに砂をかける(c)。さらに、デバイスにレゴ

リスをかける(d)。以上のシーケンスにより、デバイスをレゴリスで覆うことにより、極低温からデバイスを守る。

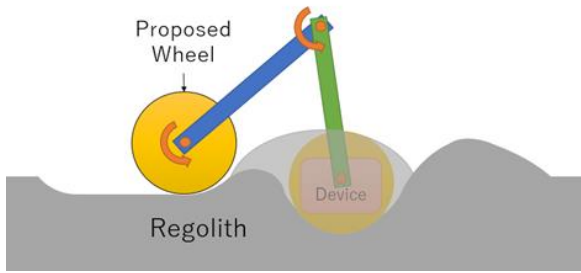
次に車輪について説明する。本提案では図 4(a)に示したように、レゴリスに覆われた地盤を掘削する必要がある。そこで、本グループは土砂の掘削に頻繁に用いられる油圧ショベルのバケット(図 5)に着目した。バケットとは、油圧ショベルのアーム先端に取り付けられ、土砂や山を掘削する機能を有している。そこで、バケットの形状を参考にすることで、掘削能力を持つ車輪の設計を行う。また、提案する車輪には掘削能力だけでなくレゴリス上を走行できる能力も必要である。そのため、掘削能力、走行能力の 2 点に着目して車輪の設計を行う。以上の点に着目して製作した車輪を図 6~8 に示す(φ150mm)。今回は比較のために、開口部が 3, 6, 9 箇所 of 3つのモデルを製作している(図 6)。これらは油圧ショベルのバケットを模したパーツが放射状に配置してあるのが特徴となっている。そのため、内部は空洞となっている(図 9)。また、掘削時と走行時の車輪の回転方向を変えることにより(図 10)、一つの車輪で 2つの機能を有している。以上の車輪を用いてアイデアの実現が可能か検討していく。



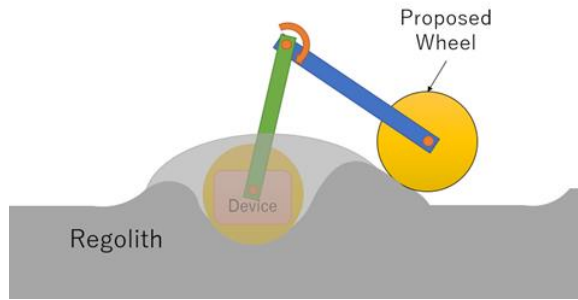
(a) Excavation using proposed method into soil



(b) Locomotion on loose soil



(c) Cover the device with the regolith①



(d) Cover the device with the regolith②

Fig. 4 Sequence of covering the device with the regolith



Fig.5 Hydraulic excavator[6]

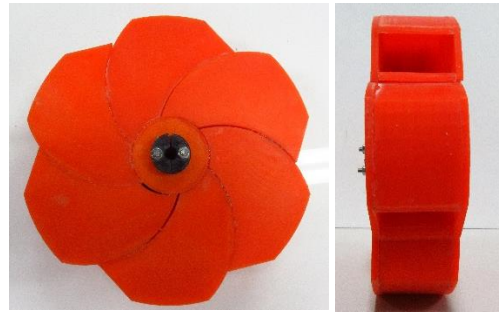


Fig. 7 Proposed wheel(6model); Front view & Side view)

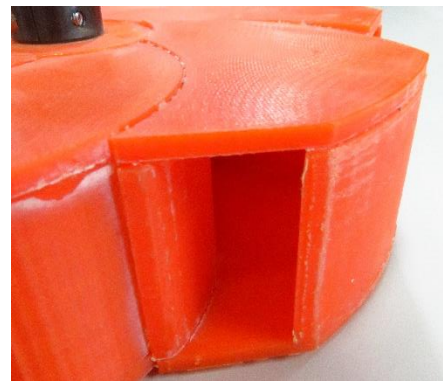


Fig. 8 Proposed wheel(6model) ;Bucket part

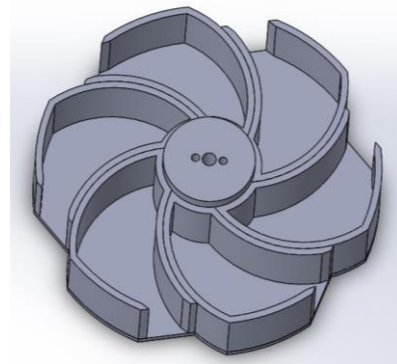


Fig.9 Proposed wheel(6model) ;Cross section(3D-CAD)



(a)3model

(b)6model

(c)9model

Fig.6 Proposed wheel

Excavating mode



Moving mode

Fig. 10 Working motion :Direction of rotation

4. 掘削実験

採掘実験では、下記の確認を行う。

「前章で製作した3種類の車輪を用いて、どの程度掘削することができるか単輪で確認をする」

4.1 実験条件

実験には単輪試験装置を用いる。掘削試験用の単輪試験装置の概要を図11に、仕様を表1に示す。

実験条件だが、荷重 167g(地球上での荷重を1.0kgとしたため)、印加電圧2~5V、駆動時間30秒で製作した車輪が掘削できた深さを測定する(図12)。

Tab. 1 Single wheel tester's specification

Width	1100.0mm
Height	1140.0mm
Depth	6400.0mm
Motor	TAMIYA Geared Motor 540K300
Test distance	Max 560.0 mm

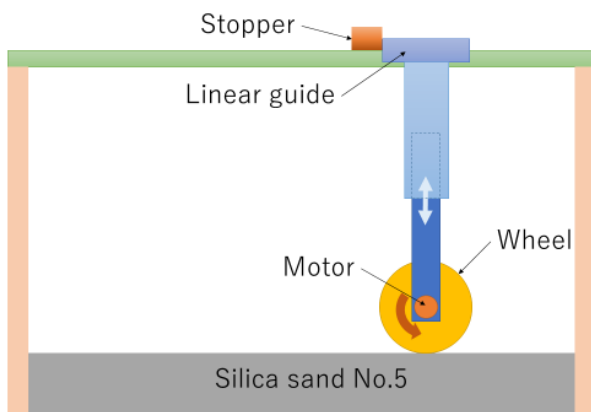


Fig. 11 Single wheel tester for excavation test

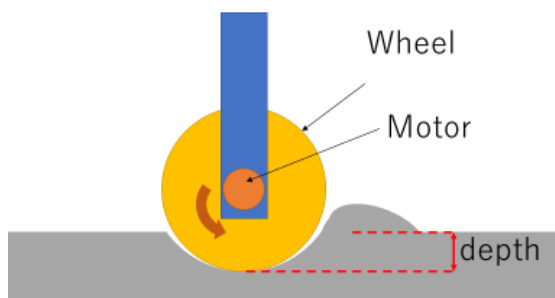


Fig. 12 Measurement items: Depth

4.2 掘削実験結果

実験結果を図13に示す。これより、本グループが提案する3種類の車輪のうち、開口部が9箇所の子輪が最も掘削できることを確認できた。このような結果になった理由として、開口部の個数が多い方が車輪1回転あたりの掘削量が増えるからであると考えられる。

図14、15に開口部が9箇所の車輪(9model)の掘削の様子を示す。図16、17に開口部が6箇所の車輪(6model)の掘削の様子を示す。図16より、車輪内部に砂が入っている様子が分かる。また、図17より、内部の砂が排出されている様子が分かる。この様子から、掘削をし続けても車輪内部に砂がずっと蓄積されたままになるわけではないことが確認できた。

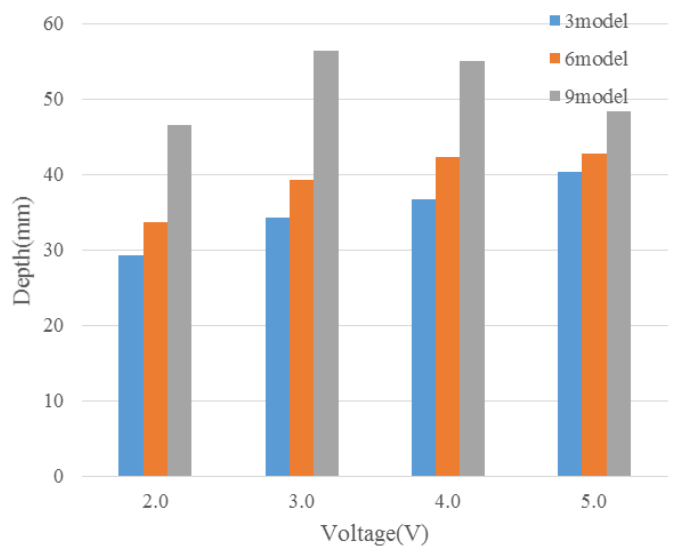


Fig. 13 Experimental result :Depth

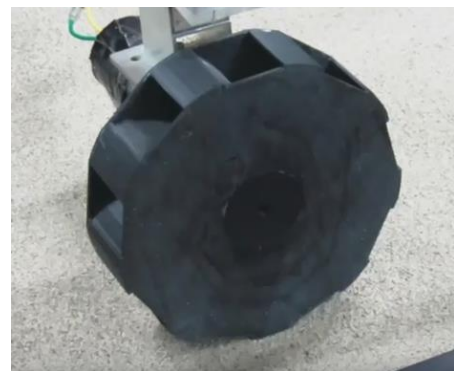


Fig. 14 Situation of excavation using proposed wheel(Start)



Fig. 15 Situation of excavation using proposed wheel(30sec later)



Fig. 16 Situation of excavation using proposed wheel



Fig. 17 Situation of ejection using proposed wheel

5. 走行実験

次に製作した車輪が走行可能か確認を行う。

5.1 実験条件

単輪走行試験機(図 18)を用いて、製作した車輪の走行実験を行う。回転方向は、図 10 に示す走行モードで行う。荷重 167g(地球上で荷重 1.0kg と仮定)で 2V~5V の電圧をモータに印加し、走行時間を測定する。走行試験距離は 560mm とする。

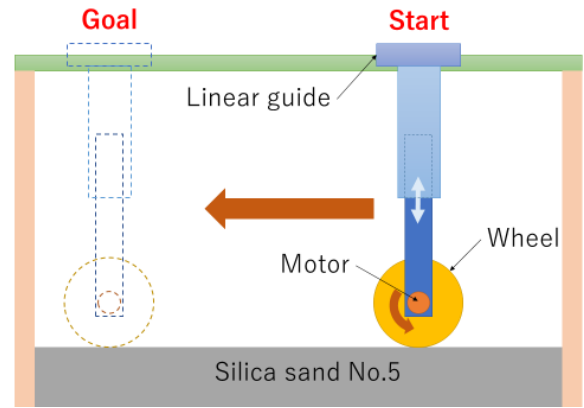


Fig. 18 Single wheel tester

5.2 走行実験結果

走行実験結果を図 19 に示す。4.0V 及び 5.0V において 9model のデータが無い理由は、スリップにより走行不能に陥ったためである。この結果より、全ての条件下において、開口部が 6 箇所的車輪(6model)がスリップが少なく走行できることが確認できた。このような結果になった理由として、開口部 6 箇所の車輪の接地部分の凹凸が 3 種類中最も激しいからであると考えられる。不整地を移動するロボットのタイヤには「グラウザ」と呼ばれるパドルのようなものが付けられていることがある(図 20)。このグラウザを走行面に差し込むことにより、走行性能を向上させることができるとされている。今回の実験では、車輪表面の凹凸がグラウザの役割を果たしたため、このような結果になったと考えられる。走行の様子を図 21 に示す。

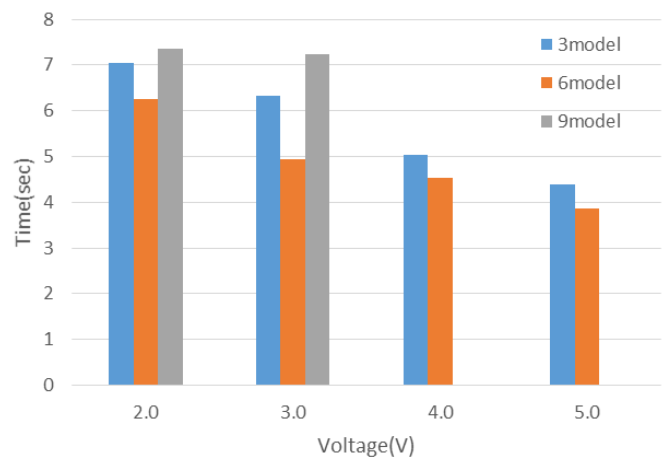


Fig. 19 Run time of the proposed wheel

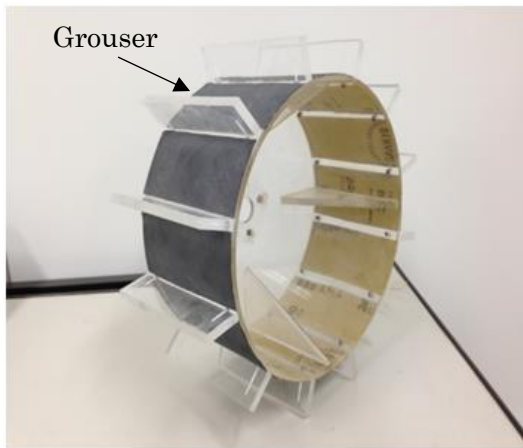
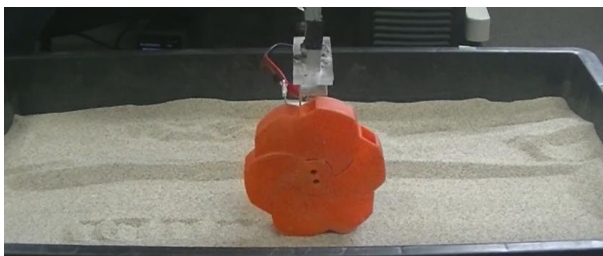


Fig. 20 Wheel with grouser



(a) Start



(b) 2seconds later



(c) Finish

Fig. 21 State of the experimental

6. 結言

以上より、月面環境下において、デバイスをレゴリスに埋設することで極低温からローバを保護する車輪を提案した。これは、月面に存在するレゴリスを断熱材代わりとして使用することに

より、温度変化に弱いデバイスを守ろうというものである。そして、本グループはそのための車輪の提案を行った。実験結果より、掘削は開口部 9 箇所の車輪、走行については開口部 6 箇所の車輪が優れていることが分かった。以上の結果より、惑星探査ローバには高い走行性能が求められるため、開口部 6 箇所の車輪を用いることが適当であると考えられる。

本グループが提案する車輪が月面探査への足がかりになれば幸いである。

参考文献

- [1] JAXA ホームページ
http://www.jaxa.jp/article/special/lunar/exploration_j.html (2016年7月4日閲覧).
- [2] 桑原, 広瀬, “レゴリスを用いた月面ローバの温度維持に関する研究”, 日本機械学会[No.00-2]ロボティクスメカトロニクス講演会 00 講演論文集, No.2P1-09-009.
- [3] Spohn, T., A. J. Ball, K. Seiferlin, V. Conzelmann, A. Hagermann, N. I. Kömle and G. Kargl, “A heat flow and physical properties package for the surface of Mercury”, Planetary and Space Science No.49(14-15), PP.1571-1577 2001.
- [4] JAXA ホームページ
http://www.jaxa.jp/countdown/f13/special/moon_j.html (2016年7月4日閲覧).
- [5] HAKUTO ホームページ
<https://team-hakuto.jp/> (2016年7月4日閲覧).
- [6] 日立建機日本ホームページ
<https://japan.hitachikenki.co.jp/products/new/> (2016年7月6日閲覧)