

第27回衛星設計コンテスト

アイデアの部 ミッション概要説明書

1. 作品情報・応募者情報

作品名 月面探査の移動機構「LuViX」
副題
学校名 芝浦工業大学

2. ミッションの概要

<p>生活における振動は地震、騒音など有害なものと考えられることが多いが、振動を利用した機能性のある製品が開発されている。そこで、本研究では振動現象を利用した月面探査ローバの移動機構を提案する。振動現象は媒質から媒質へと伝わる現象であることから、既存のローバではレゴリスの侵入の余地があった駆動部分を、内部に配置することが可能になる。これにより、機体が破損する可能性を減らすことができ、継続的に探査することに貢献できると言える。そこで、振動現象を利用してレゴリスで覆われた軟弱地盤上を走破することを目指す。</p>

3. ミッションの目的と意義

<p>(a) 目的</p> <p>月などの衛星や惑星を探査するために開発されているローバは、主に車輪型やクローラ型である。しかし、月面環境はレゴリスと呼ばれる細かいガラス質の粒子で構成される軟弱地盤に覆われている。そのため、どのような移動機構を用いても移動の加減速で砂中への沈下が発生し、安定した走行が困難である。さらに、現在実用化されている移動機構ではある程度の質量がないと、地面からの反力が十分に得られず、軟弱地盤上では砂のせん断による滑りが発生する。これにより、高い走行性能を備えた小型かつ軽量のローバの開発が難しい状況となっている。そこで、地球上で既に利用されている振動現象を用いた小型な駆動源に着目し、本研究では振動を積極的に利用することで従来のローバで起こりうる問題を解決する移動機構を考える。</p>
<p>(b) 重要性・技術的、社会的意義等</p> <p>振動現象は、地震や騒音というような生活に悪影響を及ぼす悪い面で注目されることが多い。しかし、積極的に振動現象を用いることで生活の様々な場面で活用することができる。また、地球環境においては、振動現象を駆動源として走行する機体が製作されており、実際に車輪型のロボットが走行困難な場所に活用されている。したがって、振動現象を適切に制御して駆動源に用いれば、簡潔な構成をした故障のリスクが少ないローバが開発可能になる。そして、この実現により今まで探査が困難であった場所や環境下でも探査が可能になり、惑星探査の発展に繋がると期待している。</p>

4. ミッションの具体的な内容

(a) システム

本研究で開発した LuViX (Lunar Vibration eXplorer) を図 1 に示す。LuViX は底面形状と 2 つの偏心モータで構成されており、偏心モータで発生した振動を用いて走行する。偏心モータから起きる振動が機体を介した地面との摩擦によって推進する。また、モータの回転方向を選択することで、前進、後退、旋回を行うことが可能である。

砂などの粉粒体は振動に励起されて流動化することが知られている。このことから底面形状に関しては、砂を流体として考えて進行方向にある砂の抵抗を減らすために流線形で実験を行うことを考えた。図 2 に使用した底面形状を示す。

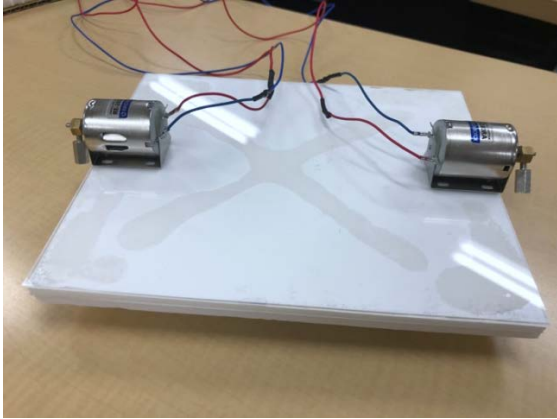


Fig.1 LuViX

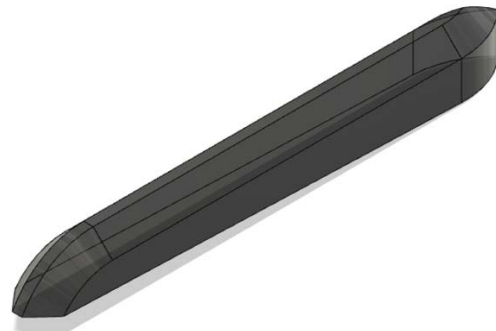


Fig.2 Shape of the bottom

(b) 具体的な実現方法、もしくは実現のために必要な課題・開発すべき項目

振動現象を利用しているため、ローバに搭載されたセンサによる計測に影響することが考えられる。よって、ダンパを用いてセンサが搭載された部分を制振するなど、正しい計測が行えるように対策すべきである。また、計測機器を搭載した時の重量増加への対策も考える必要がある。

(a) で述べた推進に関して、砂のせん断により滑りが生じて機体が上手く推進できない。また、傾斜のある地形を登る際にも、登坂中に滑りが発生するということが考えられる。そのため、滑りが生じない底面形状や材質などをさらに検討すべきである。

図 3 に機体の内部にモータを配置した際の完成予想図を示す。

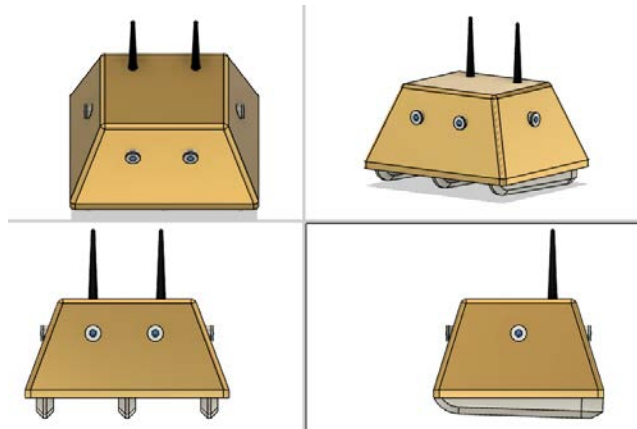


Fig.3 Predictive model

5. 主張したい独創性や社会的効果

(a) 主張したい本ミッションの独創性

本研究は、機体の駆動源として振動現象を利用していることが最大の特徴である。振動は媒質を通して伝播するため、振動源である偏心モータを覆うことが出来る。このことにより、機体の駆動部にレゴリスが侵入することを防ぐことができる。よって、走行不能となる可能性を低くできると考える。

また、小型かつ軽量のローバの駆動源に振動現象を用いることで、ローバの質量を小さくできることが利点として挙げられる。これにより必要部品点数と構成要素が簡潔になり故障リスクの低減が期待できる。これらのことから今までの機構とは全く異なる、軟弱地盤走破のための移動機構であると言える。

(b) 得られる成果・波及効果・対象となる受け取り手

振動現象による移動機構を用いた探査を実施することが実現すれば、車輪型やクローラ型では探査が難しい環境での研究を進めることが可能になる。このことは、惑星探査の新たな切り口となる。また、本研究で提案した移動機構を搭載した小型で軽量のローバを開発することで、輸送にかかる費用を削減することが可能である。

月惑星探査の移動機構「LuViX」

芝浦工業大学

[2年] 小松龍世 [1年] 長谷川あゆみ 青木優太 水上真宏 佐藤淳希

[指導教員] 飯塚浩二郎

1. 背景・目的

現在、惑星探査で使用されるローバの開発においては、月や火星に重力が存在していることを利用した車輪型やクローラ型、ホッピング型などの移動機構が提案・実用化されている。しかし、月・火星探査では環境がローバに大きな影響を与える。特に、月に注目してみると月面環境はレゴリスと呼ばれる細かいガラス質の粒子で構成される軟弱地盤に覆われている。そのため、上記のような移動機構を用いても移動の加減速で砂中への沈下が発生し、走行が困難なことがある。さらに、従来のローバはある程度の質量が存在しないと、地面からの反力が十分に得られず、砂のせん断による滑りが発生する。これにより、高い走行性能を備えた小型かつ軽量のローバの開発が難しいという現状がある。このことから、本研究では今までとは異なる新しい移動機構を開発し、ローバの走行性能を向上させることを目的とした。

そこで、地球上で既に利用されている振動現象を用いた小型の駆動源に着目した。日常生活における振動は、地震や騒音というような有害な事象として捉えられることが多い。しかし、地球環境におけるロボットの分野では、振動現象を利用して走行させる機構を持つロボットが製作・活用されている。代表的なものとして、細管用マイクロロボット^[1](図 1)や振動駆動型ファイバースコープ^[2](図 2)があげられる。これらは、細管や瓦礫内部など車輪型での走行が困難な場所で活用されている。したがって、振動を積極的に駆動源に利用することで従来のローバで起こりうる問題を解決できるのではないかと考えた。これにより、駆動源を振動現象にすることで必要部品点数と構成要素が簡潔になり故障のリスクを減らすことが期待できる。

以上のことを踏まえ、本研究では「振動現象を用いた軟弱地盤走破の移動機構」を提案する。

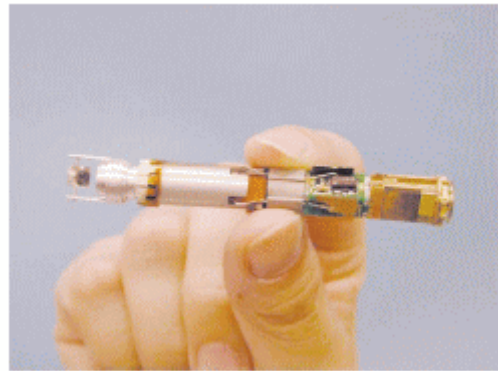


Fig. 1 Electrostatic linear actuator^[1]



Fig. 2 Fiberscope^[2]

2. 機体

本研究が提案する LuViX (Lunar Vibration eXplorer) を図 3 に示す. 改善前の機体(図 4)では脚を搭載していたが, 四つの脚のうち一つの脚が地面と接地しないだけで走行が安定しない事が多かった. また, 重心位置が高いことから転倒する可能性もあった. さらに, 脚を介して底面に伝わる振動にばらつきがあった. これらのことから, 脚ではなく LuViX の底面に直接, 溝や底面形状を備える事で, 走行性能を高めることを考えた.

ここで, 図 5 に使用するモータを, 表 1 に使用するモータの諸元を示す. 表 2 に LuViX の諸元を示す.

モータに付けて偏心の役割をする重りの負荷は $7gf \cdot cm$ であり, 適正負荷以下であるから, 過負荷でないことを確認した.



Fig. 3 LuViX

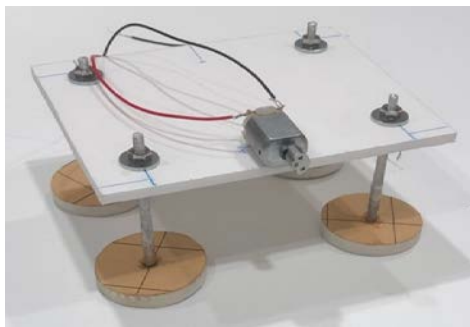


Fig. 4 Former model

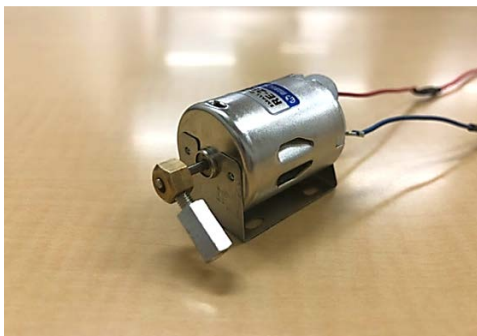


Fig. 5 Motor

Table 1 Motor's specifications

	Numeric	unit
Voltage range	1.5-3.0	V
Normal voltage	3.0	V
Normal load	15	gf·cm
Speed at normal load	5800	rpm
Current	650	mA
Shaft diameter	2.0	mm
Weight	44	g
Outline size	30.5x24.2	mm

Table 2 LuViX's specifications

Width	Length	Height	Weight
180mm	150mm	50mm	215g

3. 推察

図 6 のようにモータに重りをつけて回転させた. モータが回転軸を中心に旋回し, 旋回方向は回転方向に依存することが確認できた. このことから, 重りを取り付けた部分から力が作用することで回転軸周りのモーメントが発生していると予測される.

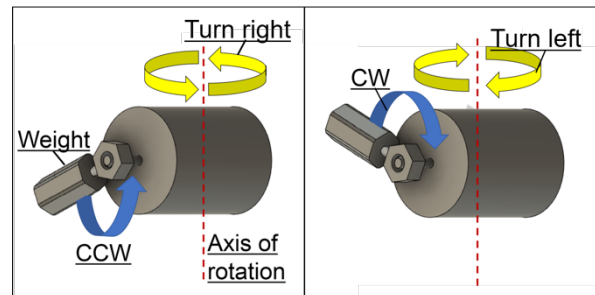


Fig. 6 Differences of turning direction depending on the rotation direction

4. 実験

課題として, 方向の制御が困難であることが挙げられる. その原因は以下の二つのことが考えられる.

- ・モータからかかる力の影響を大きく受ける
- ・軟弱地盤上での機体の挙動が不安定

これらのことを実験によって解決手段を探る.

4.1 機体にかかる力の実験

モータからかかる力の影響を大きく受けるという課題の対策として、逆にその力を利用して制御を行うことを考えた。

本実験では、モータの個数と設置位置を変えることで機体への力のかかり方を変化させ、より制御性の向上を検討する。

軟弱地盤上では砂のせん断による滑りが生じるため、モータから機体にかかる力を正確に観測することが困難である。そこで、せん断による滑りが生じない剛体面上で実験を行うことで機体の挙動の特徴を得られるようにする。

4.1.1 実験条件

実験は図 7 の斜度 $0deg$ の剛体面上で行う。

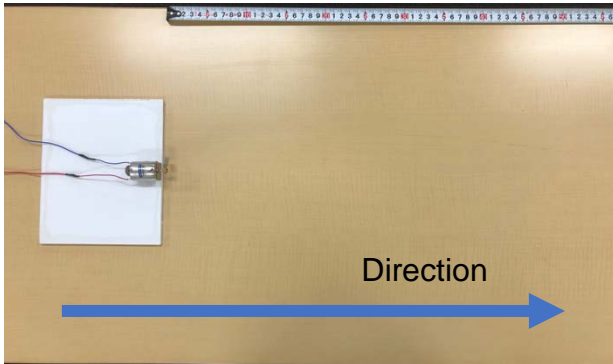


Fig. 7 Experimental environment of rigid surface

4.1.2 実験方法

モータの設置位置と個数の違いによる走行性能の違いを調べる。電圧は $1.5V$ で行う。時間は $15sec$ で行い、その際の開始位置からの距離と旋回角度を計測する。計測回数はモータの回転方向の組み合わせにつき各 10 回行うものとする。

今回の実験は、以下の三通りの場合で行う。

- (i) モータが一つの場合(図 8)
- (ii) モータが二つで平行に並べた場合(図 9)
- (iii) モータが二つで直線上に並べた場合(図 10)

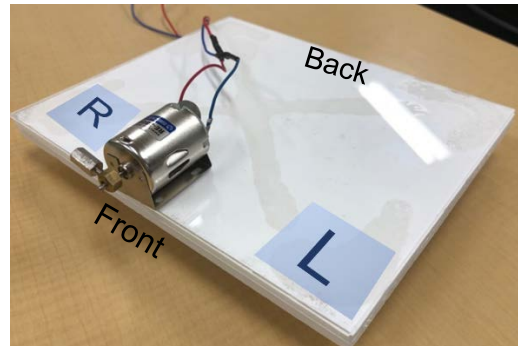


Fig. 8 Single motor

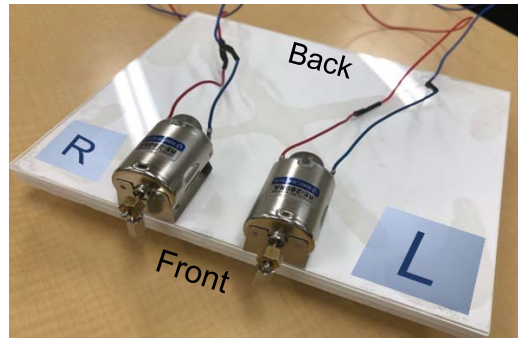


Fig. 9 Motor's position: Parallel

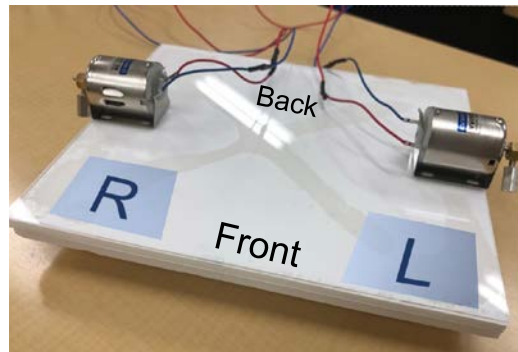


Fig. 10 Motor's position: Straight

4.1.3 実験結果

図 11-13 にそれぞれの場合の実験結果を示す。縦軸が角度(deg)、横軸が距離(cm)である。角度は反時計回りを正とする。

(i) の場合では、全ての結果において機体は旋回した。また、機体の旋回方向はモータの回転方向に依存していた。

(ii) の場合では、モータの回転方向と機体の旋回方向の間に関連は見られたものの、移動量が少なく大きな違いは見られなかった。前進することは少なく、多くの場合は後退するという結果になった。

(iii) の場合では、回転方向による挙動の違いが大

大きく見られた。旋回に関しては可能であるが前進、後退を伴う運動をする結果となった。

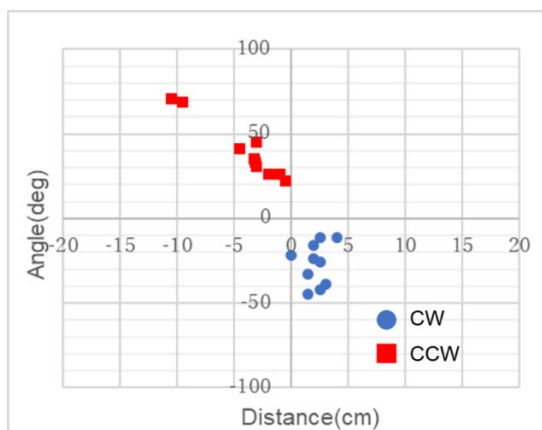


Fig. 11 Result (Single motor)

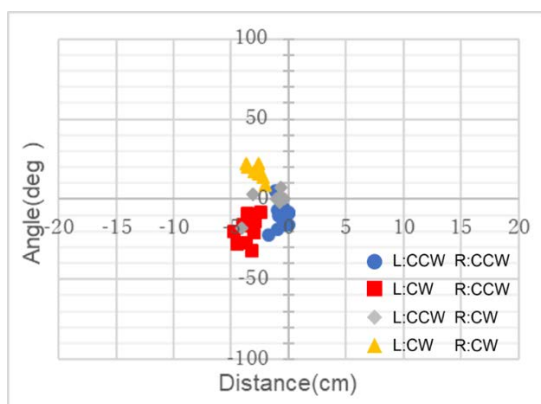


Fig. 12 Result (Motor's position: Parallel)

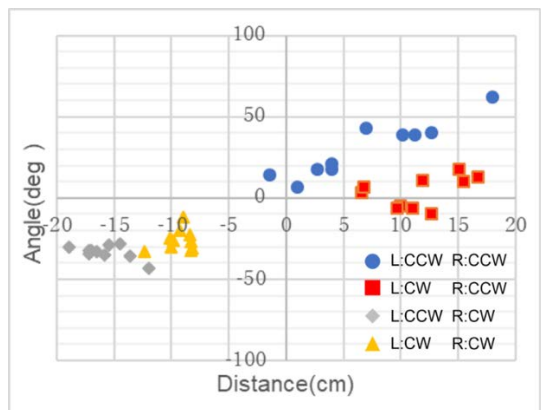


Fig. 13 Result (Motor's position: Straight)

4.1.4 考察

(i)の実験結果からモータを回転させた際の機体の旋回方向が、3節で述べたモータの旋回方向と同じであった。このことから、推察通り図 14(①)のようにモータから機体にかかる力が働き、旋回したと言える。

(ii)の実験結果から移動量が少なく他の設置方法

と比べモータからの力の影響が小さいと考えられる。これはモータの回転方向が左右で異なる場合には図 14(②)のように力がかかり、相殺されたものと予想される。また、モータの回転方向が左右で同じ場合には、モータが一つの場合よりも大きく旋回すると予想できる。しかし、そのような結果にならなかった。これは、同期現象が関係していると言える。例えばバラバラに動くメロノームが、ひもで吊るされた水平に動く台の上で同期するのも同じ現象である。メロノームの同期は重りと接地した面との作用反作用により生じるが、同期するまでの時間が長く、実験時間の15secでは同期するに至らなかったからだと考えた。^[3]

(iii)の実験結果から図 14(③)のように機体に力が働くことで効率的に推進力を得られたため前進と後退を制御できたとと言える。旋回する際には、二つのモータから作用線が平行で逆向きの力がかかる。この一対の力は理想的な場合には偶力であるため、旋回したと考えた。

以上の結果から(iii)の場合が優れた配置であると言える。

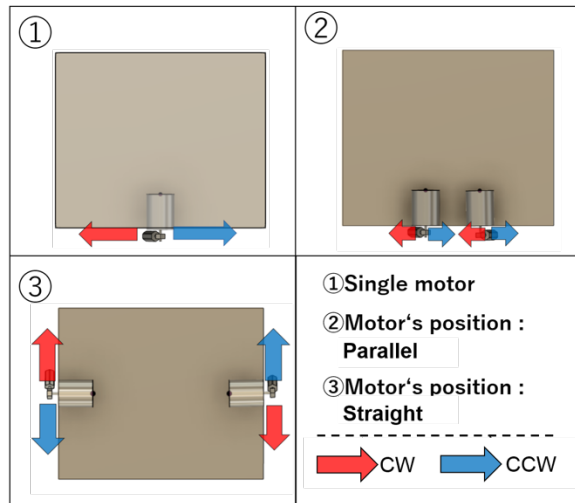


Fig. 14 Force from motors depending on motor's position

4.2 軟弱地盤上での実験

この実験は軟弱地盤上で行い、底面形状を付けた場合と付けない場合の差異を明らかにする。機体にかかる力の実験結果からモータを直線上に配置した場合が良いと分かったため、この設置方法を採用する。

4.2.1 底面形状

底面形状を用いて、軟弱地盤上での挙動を安定させることを目的とする。

砂は振動に励起されて流動化することが知られている。^[4] このことから、砂を流体として考えて砂を流すような流線形の底面形状で実験を行うことを考えた。今回使用した底面形状は図 15 に示す。

流線形の底面形状を前方に採用し、図 16 のように進行方向にある砂から受ける抵抗力を減らすことで、進行方向への推進力を取り出そうと考えた。

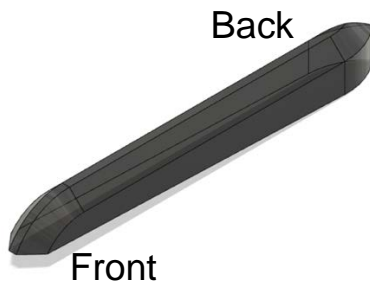


Fig. 15 Shape of bottom

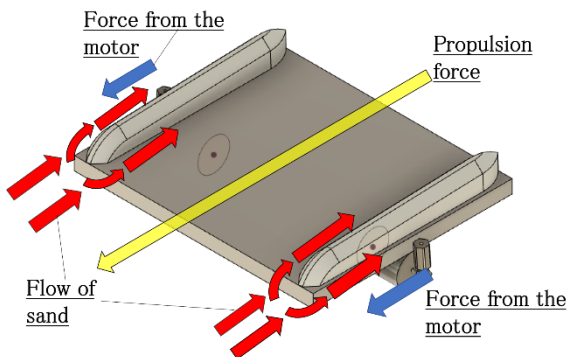


Fig. 16 Sand flow and propulsion

4.2.1 実験条件

月面上のレゴリスを模するために、軟弱性質の珪砂 5号を使用した。実験環境を図 17 に示す。

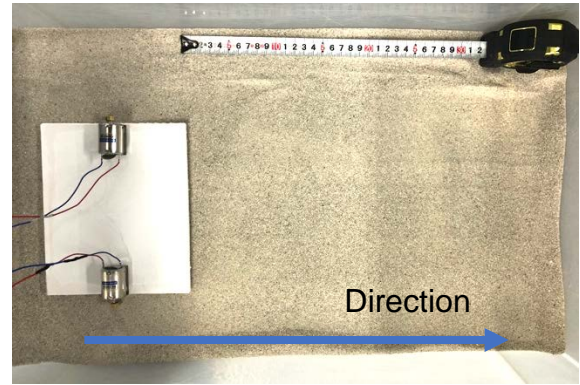


Fig. 17 Experimental environment on soft soil

4.2.2 実験方法

底面形状を付けない場合と、付けた場合の比較実験を行う。前述のようにモータは二個で直線上に並べた場合を使用する。実験は電圧 1.5V で行う。時間は 15sec で行い、その際の開始位置からの距離と旋回角度を計測する。計測回数は左右のモータの回転方向の組み合わせにつき各 10 回行うものとする。

4.2.3 実験結果

図 18, 19 にそれぞれの場合の実験結果を示す。縦軸が角度(deg)、横軸が距離(cm)である。角度は反時計回りを正とする。

(i) 底面形状がない場合では、モータの各回転方向における機体の挙動に、関係性が見られなかった。さらに、4.1 で行なった実験の結果とは大きく異なったため、剛体面の動きを再現することができなかった。

(ii) 底面形状がある場合では、モータの各回転方向により前進、後退、旋回の動きが明確に分かれており、挙動が規則的であった。前進する時よりも後退する時の方が、旋回した角度が小さくより直線的な運動をした。

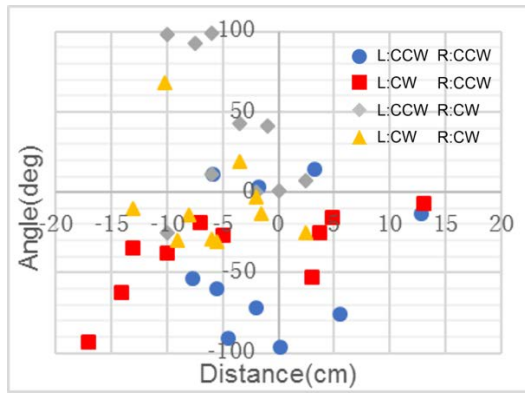


Fig. 18 Result (Bottomless)

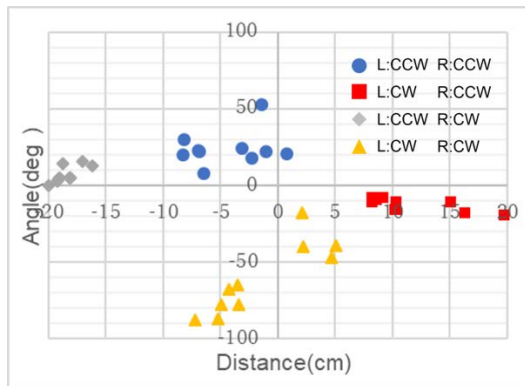


Fig. 19 Result (Bottom)

4.2.4 考察

(i) 底面形状がない場合では、砂のせん断による滑りを大きく受ける結果と言え、特に機体の高さ以上の砂が進行方向にある場合に滑りが起きた。その様子を図 20 に示す。

(ii) 底面形状がある場合では、進行方向に対しより推進力が得られた。これは機体の前方にあった砂が底面の側面部に流れることで、左右への移動が抑制されたためであると考えた。

4.1.3 節で述べた偶力が底面形状の補助により左右のモータから等しくかかったため大きく回転したと言える。

また、左右のモータの回転方向によって前進、後退、旋回の動きが操作できるため、より正確な制御が可能になったと言える。

結果より、予想と反して前進時に比べ後退時の方が、走行距離は長くなっていた。そこで、前進時と後退時の砂の流れを観察したところ、底面の前方は流線型であったため砂を主に底面形状の下側へと流したのに対し、後方は砂を底面形状の側面側へと流してい

た。このことから、砂を下に流すよりも側面に流す方が安定して進むのではないかと考えた。

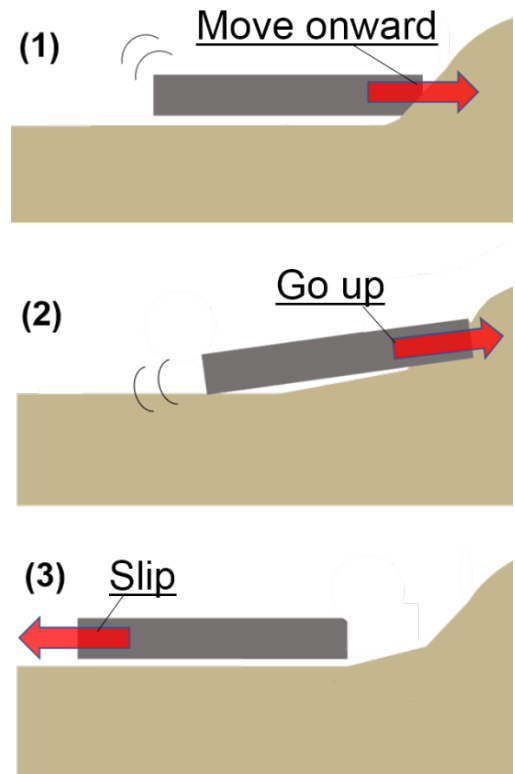


Fig. 20 Slip on soft soil

5. 今後の展望

5.1 斜面登坂に関して

今回の提案では全て0degで実験を行ったが、斜面登坂性能も求められる。実際に10deg程度の斜面を登ることは確認できた。しかし、月面の走行は現在の底面形状では困難であると言える。その対策として、重心の位置を機体後方にすると垂直抗力が機体後方に偏り、大きな摩擦力が生じることでより大きな推進力を得ることができ登坂性能が向上すると考える。よって、重心移動機構の搭載を検討する。

5.2 計測機器を含めた全体設計

図 21 に LuViX の完成モデルを示す。このモデルはカメラとアンテナを搭載することで、地形を探索しランダと通信することができる。しかし、振動の影響でセンサやカメラに悪影響を及ぼす可能性が危惧される。その対策として、振動抑制装置を取り付け、機体内部の振動を抑制することで機器への影響を減らす必要がある。

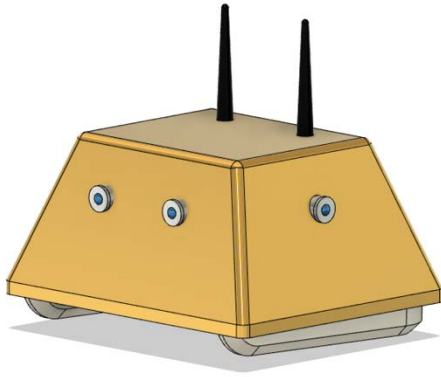


Fig. 21 LuViX's predictive model

6. 結言

課題として挙げていた制御性については、偏心モータを直線上に並べた配置を用いることで解決することができた。砂の上での挙動についても底面形状を取り付けることで安定させて走行することが可能であることが分かった。底面形状は今回、流線形に注目して実験を行なったが、実験の結果と考察からも分かるようにより最適な形状が存在すると言える。

従来の車輪型、クローラ型のローバでは駆動部が露出することでレゴリスが隙間に侵入し、走行不能となることがある。しかし、振動は媒質から媒質へ伝わる現象であるから、振動源を内部に入れても走行可能である。このため、故障のリスクが低くなる。また、今回提案する LuViX は駆動部分が簡素なため小型かつ軽量にできることが利点である。

以上より、LuViX は今までとは異なった移動機構を搭載しており、この機体が小型月面探査ローバの先駆けになることを切に願っている。

7. 参考文献

- [1] マイクロマシン技術研究開発プロジェクト|財団法人マイクロマシンセンター
<http://www.mmc.or.jp/research/mmmproject/archive/overview/index.html>
(2019年6月20日閲覧)
- [2] ファイバースコープ調査|ジオメンテナンス株式会社
<http://www.geo-m.jp/contents/method/fibersc>

ope/

(2019年6月13日閲覧)

- [3] バラバラに動くメトロノームが徐々に同期する不思議な現象|sign

<http://sign.jp/06169972>

(2019年10月30日閲覧)

- [4] 芝浦工業大学 新技術説明会|新技術説明会

https://shingi.jst.go.jp/list/shibaura-it/2019_shibaura-it.html

(2019年10月22日閲覧)