

将来の月探査ミッションのための跳躍機構を有する探査ローバの設計検討

坂本康輔^{*1} 大槻真嗣^{*2} 久保田孝^{*2}

^{*1} 早稲田大学 ^{*2} JAXA 宇宙科学研究所

†k_sakamoto@ac.jaxa.jp

1. 背景

月・惑星環境での表面移動

- レゴリスに覆われている

圧縮変形しやすく、車輪の沈み込みやすさによるスタックが生じやすい



©NASA

スタック事例

- アポロ月面車(LRV)・・・宇宙飛行士により引き出された
- ルノホート・・・クレータ近辺で車輪が沈み込んだ
- 火星探査車(MER)・・・斜度のある地形でスタック

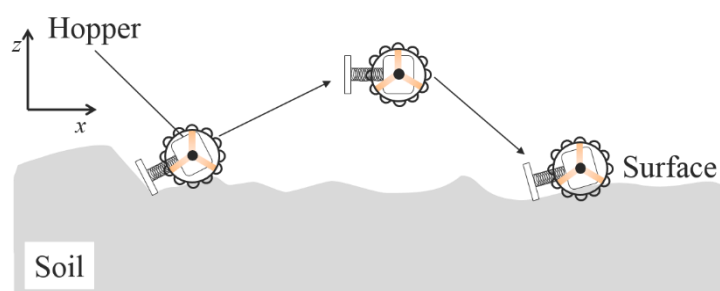
その他、月の縦孔や急斜面、崖などの不整地面など探査困難な地形は数多く存在している

移動手段の改善

- 車輪の性能の改善
- それ以外の移動方式
 - 固定翼飛行・・・障害物回避性能は高い。再浮上に難あり
 - 回転翼飛行・・・大気が薄く揚力の獲得が困難(月:ほぼ真空, 火星:地球の1/100)
 - 地中移動・・・自己位置推定が困難

月惑星のように重力が小さい場所では車輪型よりも跳躍型のほうが移動効率がよい

2. 跳躍型移動方式



跳躍移動による期待

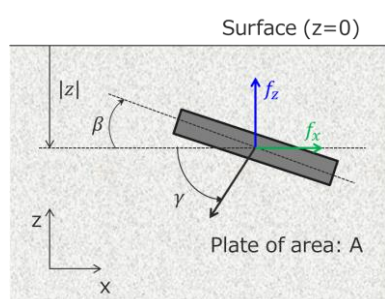
- スタックからの脱出
- 小さいローバで長距離移動ができる
- 低重力では車輪型よりも移動効率がよい

月・惑星環境を考慮した設計

限られたエネルギーで長距離を走行するために移動機構の最適化が必要。特に、レゴリス特性を考慮した最適化設計が求められる。

3. 軟質地盤を考慮したモデル

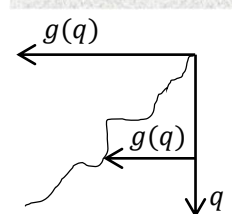
RFT=Resistive Force Theory



粒状媒体内を移動する微小平板に働く反力 $F_{RFTz,x}$ を計測。反力は沈下量 z と移動角度 β, γ に依存する

$$F_{RFTz,x} = \zeta \int \alpha_{z,x}(\beta, \gamma) z dA$$

⇒砂を移動する際の反力がどの程度得られるのかを推定できる



地盤依存パラメータ(SF)は ζ のひとつのみ

移動機構の接地部分の形状を関数として表現することで任意の形状に適用可能

従来モデルの圧力-沈下量関係式

$$p(h) = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) h^n$$

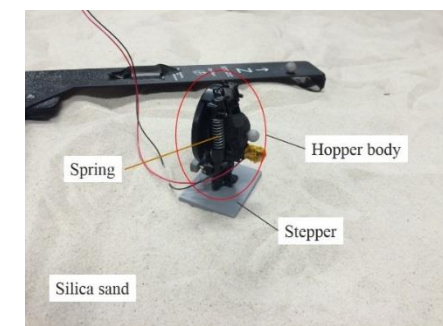
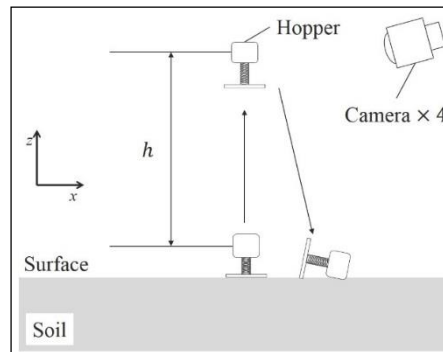
- 圧力 $p(h)$ を計測
- 沈下量 h と代表長さ b に依存
- 地盤依存のパラメータは k_c, k_ϕ, n の3つ

5. まとめ

- RFTを用いて跳躍型探査ローバの最適設計を行いその実現可能性がみえてきた
- RFTによるモデルと実験を比較し、誤差を含むもののその妥当性を確認した
- 伊豆大島裏砂漠にてSFを測定し、有用なデータを取得した

4. 実験概要

鉛直方向の跳躍高さの計測

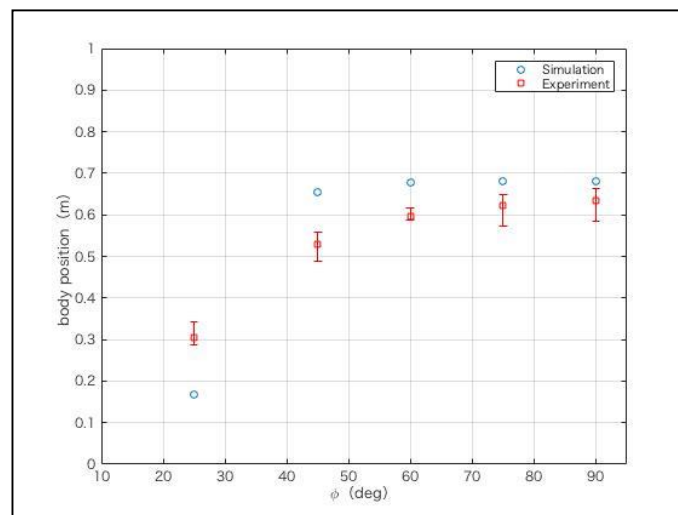


本体質量	[kg]	0.106
バネ定数	[N/m]	1.02×10^3
跳躍脚面積	[m ²]	4.8×10^{-3}
珪砂SF(ζ)	[-]	2.00 ± 0.05
初期縮み	[cm]	3.00

- ばねをモータで巻き取り解放した際の反力で跳躍する
- 実験で用いた平板の角度は、25, 45, 60, 75, 90 [deg]

シミュレーションと比較することで理論の有用性を確認する

実験値(鉛直高さ)とシミュレーションの比較



- 各平板で8回の跳躍を行い、その平均を取った。
- 平均値をプロットし、その標準偏差をエラーバーで示した

誤差

- 最大で13.5[cm]
- 砂表面の凹凸や埋まった部分を引き抜く際の摩擦が原因と考えられる。

跳躍脚角度が小さくなるほど跳躍高さの減少率が増加する傾向が一致した

⇒RFTは移動機構の大まかな傾向を把握できる

参考. 自然地形のスケールングファクタ

- 伊豆大島裏砂漠
- 火山噴出物(スコリア)で覆われている

断面図image	分布	SF
スコリア 細粒砂	表層にスコリアの層が露出しているが少ない	10以上
スコリア 細粒砂	表層にある程度スコリアで掘り進めると砂の層が出てくる	5-10
スコリア	層の殆どがスコリアで、隙間に砂が侵入していることがある	2-5



伊豆大島 楡形山東部 (34° 43' 49", 139° 25' 12")

- スコリアは1~1.5[cm]程度
- 部分により細粒砂が存在
- 硬い地盤ほどSFが大きい
- 柔らかい地盤ほどSFが小さい

月惑星のSF

- 火星のSF・・・0.206
- 月のSF・・・0.658

判明している従来の地盤パラメータ k_c, k_ϕ, n より導出

6. 今後の課題

- モデルの改良
- 地形形状・土壌特性に対しロバストな設計を行う
- 跳躍時の姿勢制御
- RFTの適用範囲の定量化