

# P-178 SLIM 着陸機のシミュレーションによる耐転倒性の検討

能見公博, 大島広紀 (静岡大), SLIM 着陸脚分科会 (JAXA), SLIM WG

## 概要

SLIM (Smart Lander for Investigating Moon) は, ピンポイント着陸技術を研究し, それを小型探査機で月面にて実証する構想である. 小型探査機の着陸を従来の降りやすい場所に降りる着陸から, 降りたいところ降りる着陸へと転換を目指している.

SLIM 着陸機の脚配置は, 従来の四脚着陸機 (通常案) と初めの一脚接地時に回転力を発生させない新しい脚配置 (横倒し案) が提案されている. それぞれの着陸挙動を明らかにするために, 汎用機構解析・動力学解析ソフトウェア ADAMS [MSC. Software Corporation] を用いて着陸シミュレーションを実施し, 更なる耐転倒性向上を検討する.

## 1. SLIM 解析モデル

SLIM<sup>1)2)</sup>は, 小型探査機を月面にピンポイント着陸させることを目指している. 着陸地点が平坦でなく, 転倒しやすい環境である可能性もあるため, 転倒しにくい機体形状, および着陸方法が求められる. 図1に汎用機構解析・動力学解析ソフトウェア ADAMS 上で構築した<通常案>, <横倒し案>のモデルを示す. 機体は剛体を剛結合して作成している. 月面は一つの平板剛体で作成している. <通常案>, <横倒し案>の詳細については後に記述する.

SLIM は着陸時の衝撃緩衝を目的として発泡アルミを使用する計画である. 発泡アルミはその構造を工夫することにより, ある値以上の力が作用すると潰れていく特性を持つ<sup>3)</sup>. この特性を表現した緩衝機構を脚先端に取り付ける.

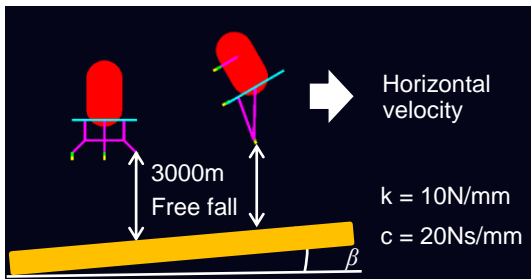


図1. ADAMS による SLIM モデル

## 2. SLIM 着陸機の形状 (脚配置)

### 2-1. 通常案

図2に通常案を示す. 着陸機の脚番号を図のように定義する. 通常案の総重量は146kgとする. 図3に通常案の着陸挙動を示す. 脚1→脚2,3同時→脚4の順に脚が接地する着陸を1-2-1着陸, 脚1,2同時→脚3,4同時の順に脚が接地する着陸を2-2着陸と定義する.

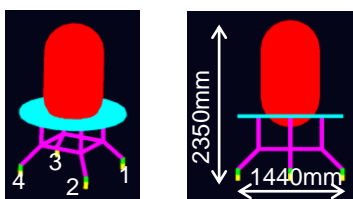


図2. 通常案

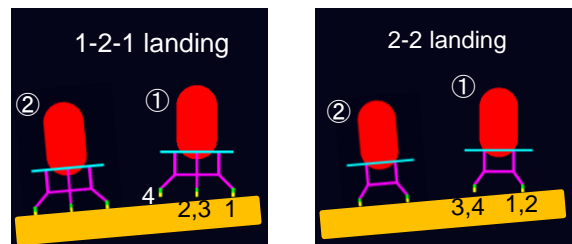


図3. 通常案の着陸挙動

### 2-2. 横倒し案

図4に横倒し案を示す. 横倒し案の脚の名称を図のように定義する. 通常案では, 初めに接地する脚への接地力が, 転倒へとつながる機体の回転が発生させていた. 横倒し案では, 初めに接地する脚の接地力作用線が重心近くを通る姿勢で着陸することで, 回転を抑制する. 横倒し案の総重量は132kgとする. 図5に横倒し案の着陸挙動を示す.



図4. 横倒し案

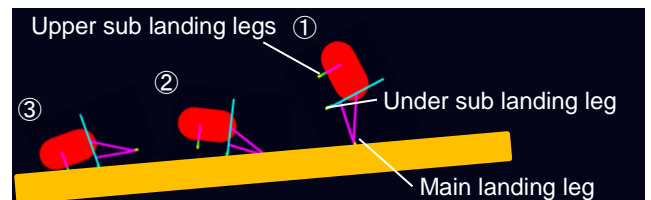


図5. 横倒し案の着陸挙動

## 3. 着陸シミュレーション

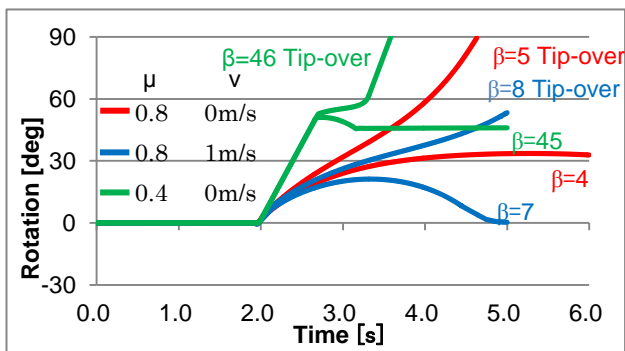
### 3-1. 通常案

着陸面の斜度を1度刻みで変化させ, 摩擦係数と横速度を変化させた. 図6に結果を示す. 図中に転倒した時の斜度とそれより1度小さい斜度での機体の回転角度を示している.

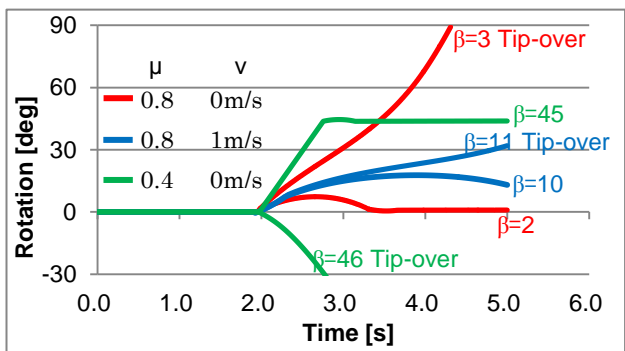
横速度 1m/s の時, 1-2-1 着陸, 2-2 着陸の両方で横速度が

ない場合よりも大きな斜度に着陸できている。これは図7に示すように、横速度により、摩擦力が変化し、接地力作用線が質量中心に近づき、機体の回転力が抑制されるためと考えられる。1-2-1 着陸よりも 2-2 着陸の方が大きな斜度に着陸できる結果となっている

摩擦係数 0.4 の時、1-2-1 着陸、2-2 着陸の両方で、摩擦係数 0.8 の場合より大きな斜度に着陸できている。これは最後に接地する脚が斜面下方向に滑ることで、機体の回転が抑えられるためと考えられる。2-2 着陸の時、機体の回転角度が負方向に進んでいる時、シミュレーションでは、初めに着地した脚が斜面下方向に滑り、右側に転倒していた。



(a)1-2-1 着陸



(b)2-2 着陸

図 6. 機体の回転角 (通常案)

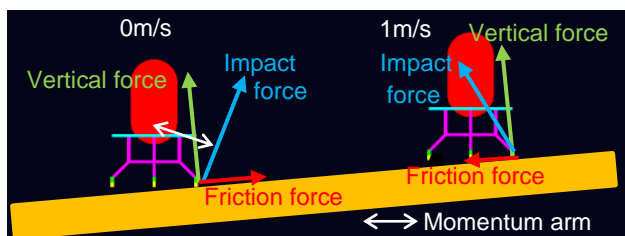


図 7. 横速度と転倒性

### 3-2. 横倒し案

着陸面の斜度を 1 度刻みで変化させ、上補助脚 (Upper sub landing legs) の位置を変化させた。図 8 のように、脚の位置を変化させた形状を定義する。図 9 に結果を示す。図中には転倒したときの斜度とそれより 1 度小さい斜度での機体の

回転角度を示している。

横倒し案の元の形状 <Original> では、着陸脚 (Main landing leg) 接地時の回転速度増加はわずかであるが、重力の影響により回転速度が増加し、着陸面斜度 0 度でも転倒した。<Above> では接地力作用線が重心から離れることにより、上補助脚接地時の回転抑制力が大きくなり、7 度まで転倒しなかった。<Left> では、着陸終了時まで下補助脚 (under sub landing leg) は接地せず、上補助脚ですべての衝撃力を受け止めている。その場合は 24 度で転倒した。

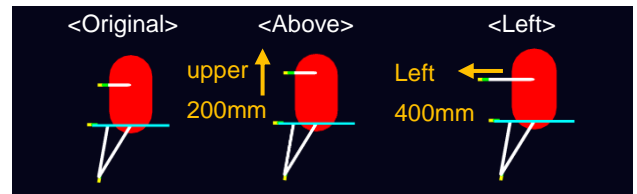


図 8. 横倒し案の形状

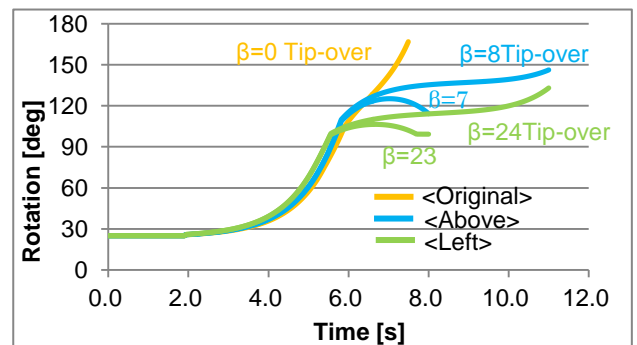


図 9. 機体の回転角 (横倒し案)

### 4. 結論

本稿では、汎用機構解析ソフトウェアを用い、SLIM をモデルとした着陸シミュレーションを実施した。通常案では、横速度を 0m/s から 1m/s、摩擦係数を 0.8 から 0.4 とした時、耐転倒性が向上した。

横倒し案の元の形状では、0 度でも転倒する結果だったが、脚の位置を変化させることで耐転倒性を向上させることができた。

### 参考文献

- 1) 澤井秀次郎, 水野貴秀, 福田盛介, 中谷幸司, “小型探査機による月惑星探査の意義”, 第 54 回宇宙科学技術連合講演会 (2010), 静岡, No.1A08.
- 2) 水野貴秀, 澤井秀次郎, SLIM WG, “小型月実験機 (SLIM) の検討概要”, 第 11 回宇宙科学シンポジウム (2011), 相模原, S3-12
- 3) 真杉美穂, 石川太一, 北菌幸一, 佐藤英一, 沢井秀次郎, “落下試験による発泡アルミニウム製着陸脚の性能評価”, 第 55 回宇宙科学技術連合講演会 (2011), 松山, No.1A08