

制御可能な脚機構を用いた月惑星探査着陸船の安全なタッチダウンに関する検討

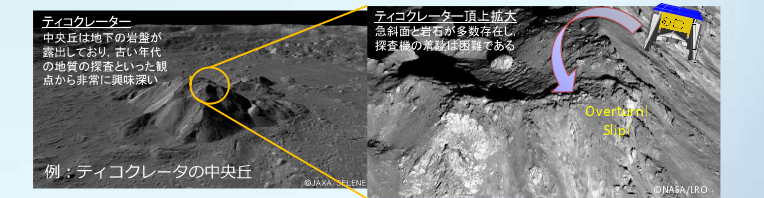
○前田 孝雄*(東京大学), 大槻 真嗣(宇宙航空研究開発機構), 橋本 樹明(宇宙航空研究開発機構)

*takao.maeda@ac.jaxa.jp

1. 着陸困難な地形への安全な着陸

将来探査したい場所 ≠ 着陸に適した地形
急峻で危険な地形へのタッチダウン

傾斜や障害物による転倒の恐れ
転倒防止には着陸脚機構の性能が大きく寄与するが、従来のハニカムクラッシュの様なパッシブな衝撃吸収機構では地形に対して十分なロバスト性が得られない

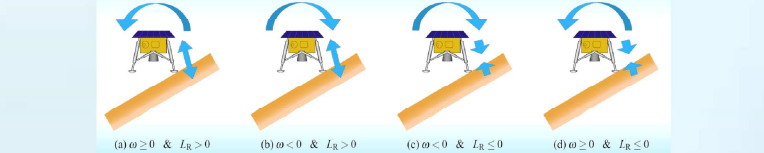


未知地形に対しロバストな転倒防止性能を持つ着陸脚機構が必要

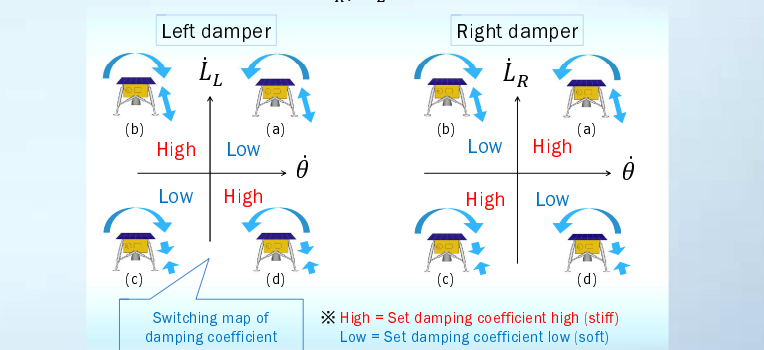
着陸脚の高性能化
アクティブ制御着陸脚
アクティブ着陸脚を用いた着陸時の転倒防止制御の提案

2. タッチダウン時の運動パターンとコントローラ提案

タッチダウン時の運動パターン
傾斜地へのタッチダウン
探査機が最も倒れやすい平面(2脚が透視される平面)で考える機体の運動と脚の収縮パターンは4種類に分類される



これら4種の条件下でそれぞれ脚の減衰係数を切り替える
コントローラ提案
4種類の運動パターンに基づくフィードバック切り替え制御
機体角速度 $\dot{\theta}$ と脚の収縮速度 $\dot{L}_R, \dot{L}_L$ に基づき左右独立で制御



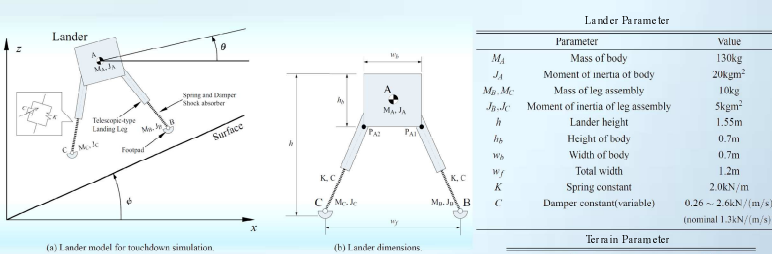
タッチダウン時の運動パターンに基づく転倒防止制御則
着陸船の運動パターンに応じたBang-Bang型の制御則
脚のダンパ減衰係数をHigh-Lowで切り替え
右脚・左脚は独立制御

5. まとめ

- ▶ 着陸脚機構にアクティブに特性を制御できる機構の導入を提案し、タッチダウン時の転倒を回避する方法を提案した
- ▶ タッチダウン時の運動パターンに基づく衝撃吸収機構の制御法を提案した

3. シミュレーションモデル

着陸船のシミュレーションモデル
二次元平面内に限定したモデルによる解析
着陸船本体と左右の脚による三剛体系
地面の接触判定はバネダンパ系によるペナルティ法
垂直方向にはバネダンパ、水平方向はクーロン摩擦
各剛体を拘束条件で接続した微分代数型の運動方程式で表現



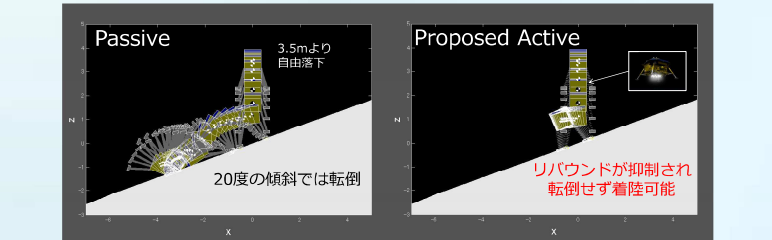
運動方程式: 拘束条件付微分代数型

$$\begin{bmatrix} M & \Phi_q^T \\ \Phi_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ \gamma \end{bmatrix}$$

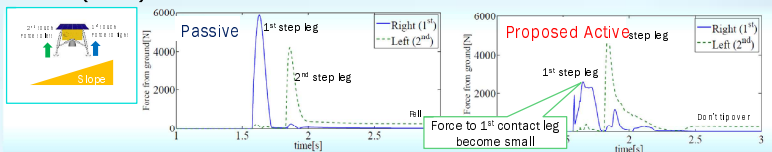
M : 質量行列
 q : 一般化速度
 Φ_q : 拘束条件式のヤコビアン
 F : 外力ベクトル
 λ : ラグランジュの未定乗数
 γ : Φ_q の時間微分

4. 着陸シミュレーション

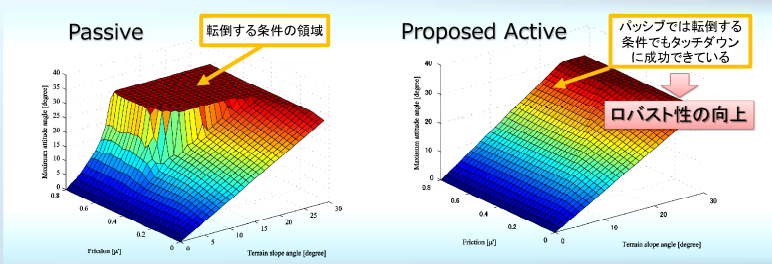
傾斜地への着陸例
20度の傾斜へ着陸する場合
従来のパッシブ着陸脚と提案するアクティブ着陸脚での比較



地面反力の比較
タッチダウン時に機体が地面から受ける反力をコントロールできる
一脚目(山側)の脚から伝わる力のピーク低減が着陸船の転倒防止に有効



地面の傾斜と摩擦に対するロバスト性
着陸地点の傾斜と摩擦係数に対する着陸船の姿勢の乱れの最大値をプロット
地面の摩擦係数が大きい条件下での着陸性能が大きく改善されている



- ▶ 動力学シミュレーションにより提案手法の有効性を示した
 - ▶ 着陸地点の地形・表面特性に対するロバスト性に関して検証し、提案手法の有効性を示した
 - ▶ 今後は3次元的な解析と実験により実機への適用課題について検証する
- This document is provided by JAXA.