

惑星探査機の着陸における衝撃応答制御機構の研究 - 傾斜地への着陸 -

Study on Shock Response Control Mechanism for Landing of Planetary Exploration Spacecraft -Landing on the Ground with Slope-

原 進(名大) 伊藤 良介(名大) ○大槻 真嗣 (ISAS/JAXA) 山田 陽滋(名大) 久保田 孝 (ISAS/JAXA) 橋本 樹明 (ISAS/JAXA) 松久 寛(京大) 山田 啓介(京大)



Susumu HARA, Nagoya University Ryosuke ITO, Nagoya University ○ Masatsugu OTSUKI, ISAS/JAXA Yoji YAMADA, Nagoya University
Takashi KUBOTA, ISAS/JAXA Tatsuaki HASHIMOTO, ISAS/JAXA Hiroshi MATSUHISA, Kyoto University Keisuke YAMADA, Kyoto University



背景・目的

惑星探査機の月面着陸問題

着陸地からの大きな衝撃

- 衝撃振動を励振
- リバウンド
- 回転方向のゆれ

抑制対象

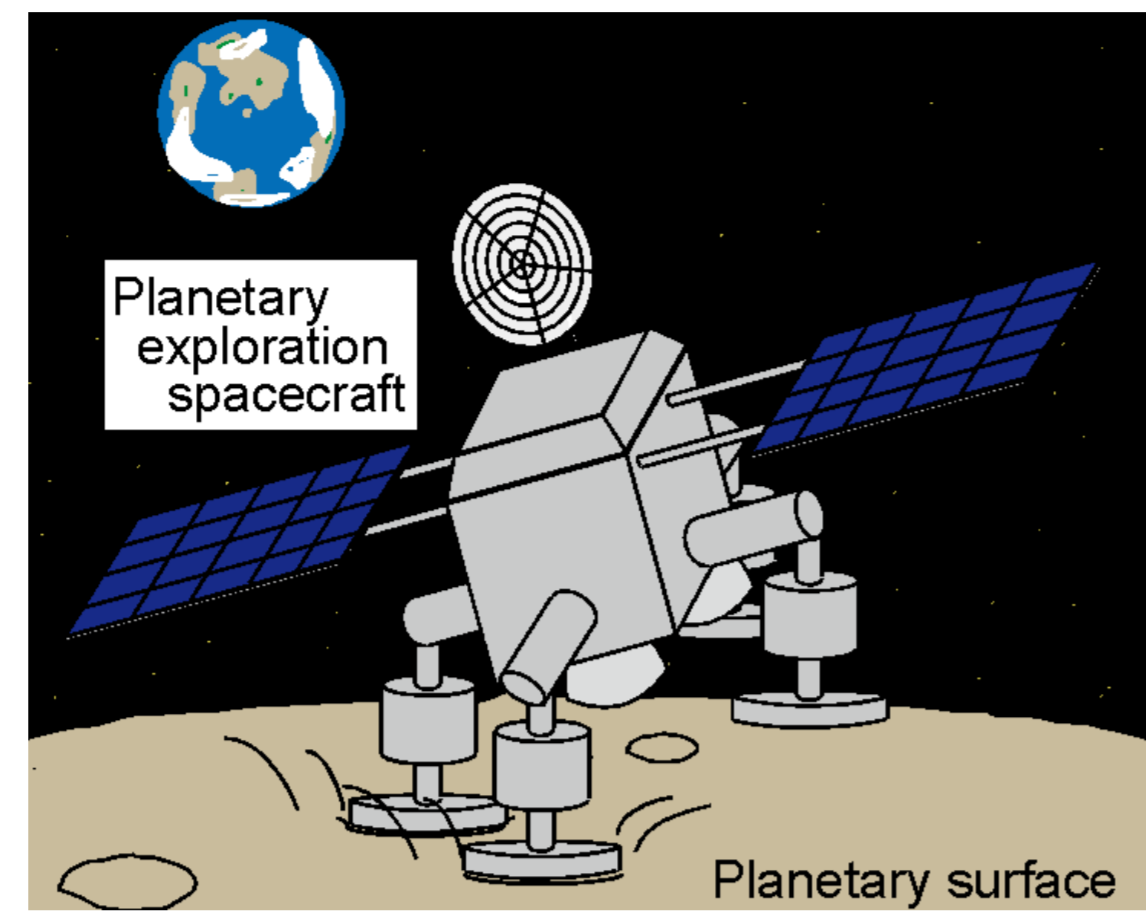


Fig. 1 Landing of the planetary exploration spacecraft

- 傾斜地/段差地の場合

横滑り/転倒の恐れ

代表的な着陸技術 … 塑性変形を利用したハニカムクラッシュ機構
→ 再利用不可能な機構
特性の不明な着陸地や、着陸脚の非同時着地での**ロバスト性**が十分か？
→ 極付近・未知の領域への探査を想定

再利用でき、ロバストな制御が期待できる手法はないか？

着陸脚に**AMEID**を用いて衝撃応答の影響を制御する機構の提案

運動量交換型衝撃吸収ダンパ (MEID: Momentum Exchange Impact Damper)

玉突き**の原理**と同等な衝撃振動制御機構

- 後方のダンパに運動量を変換することで対象物の振動を抑制

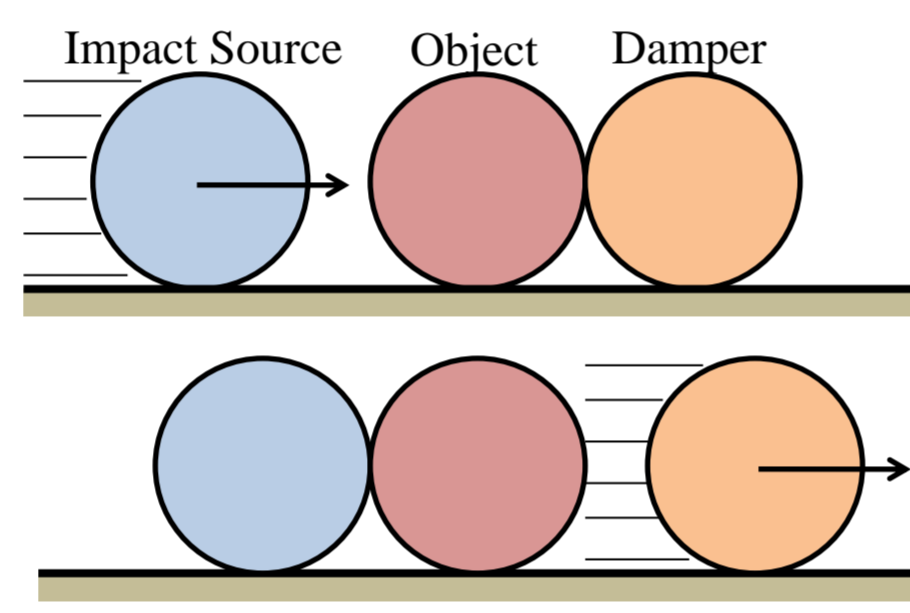


Fig. 2 Conceptual diagram of MEID

- MEID
 - PMEID (パッシブ機構からなる)
 - AMEID (PMEID+アクチュエータ)

アクチュエータを用いたアクティブ制御

効率のよい運動量交換
ロバストな振動制御

着陸モデル

惑星探査機の着陸モデル

- 2脚による着陸を仮定 → **2次元3自由度** (並進・回転) の解析

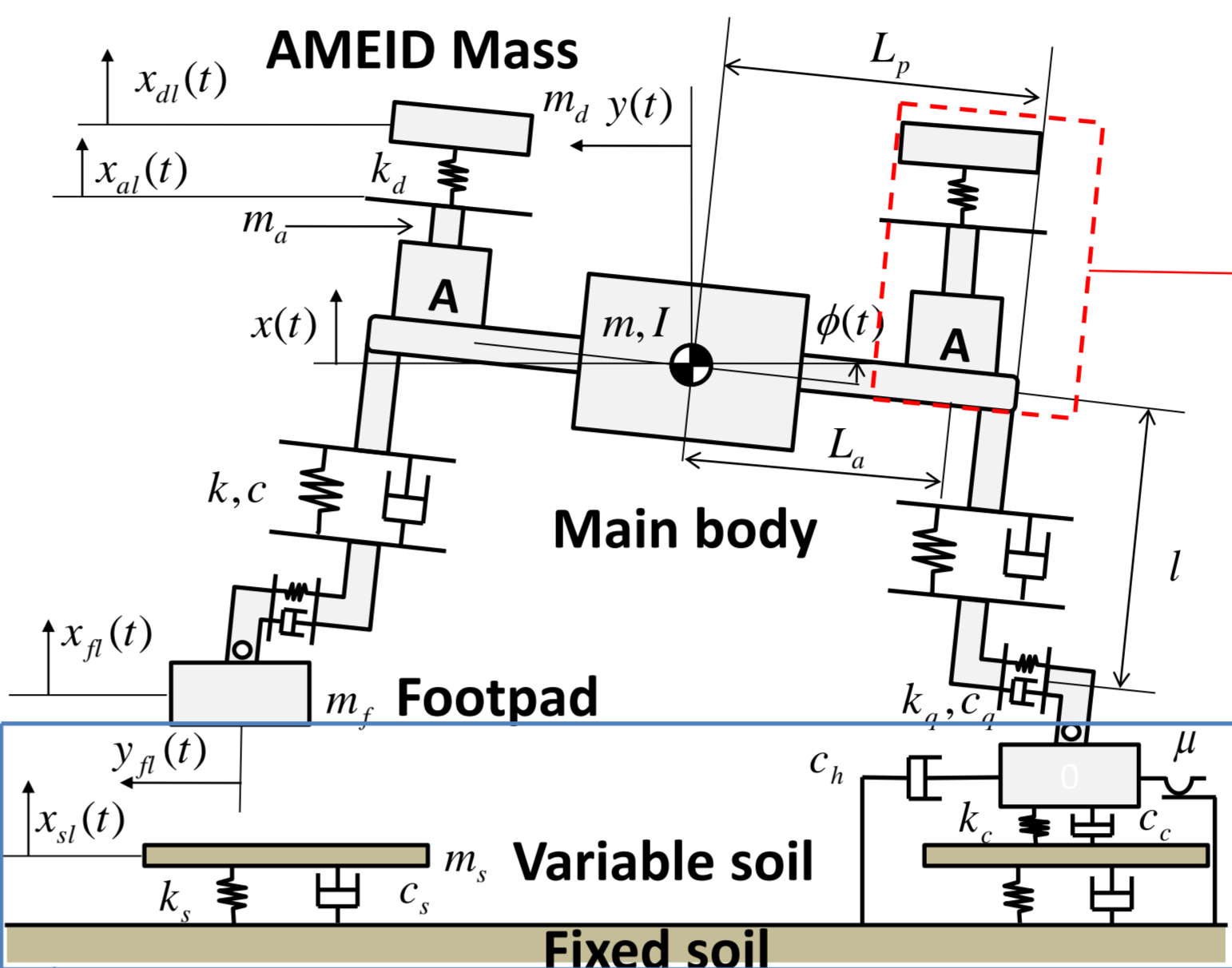


Fig. 3 Landing model with AMEID

着陸機の構成

- 肩部に振動制御機構を搭載
- MEIDなし・PMEID・AMEID

について性能を比較

- 着陸脚は、軸方向に伸縮するばね、ダッシュポットにより機体に力を伝達
- フットパッドが砂面と水平に接地できるようにリンクを用いて固定

振動制御機構

PMEID

- 構成
- ばね+質量
- ばねで質量に力を伝達
- ダンパに運動量を変換

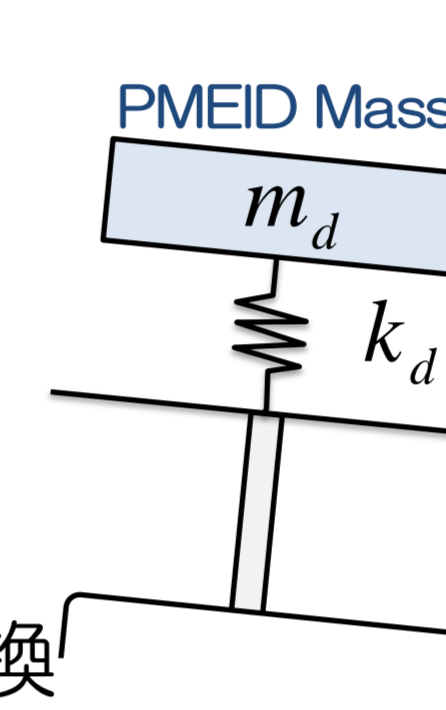


Fig. 4 Mechanism of PMEID

AMEID

- 構成
- ばね+質量
- +アクチュエータ

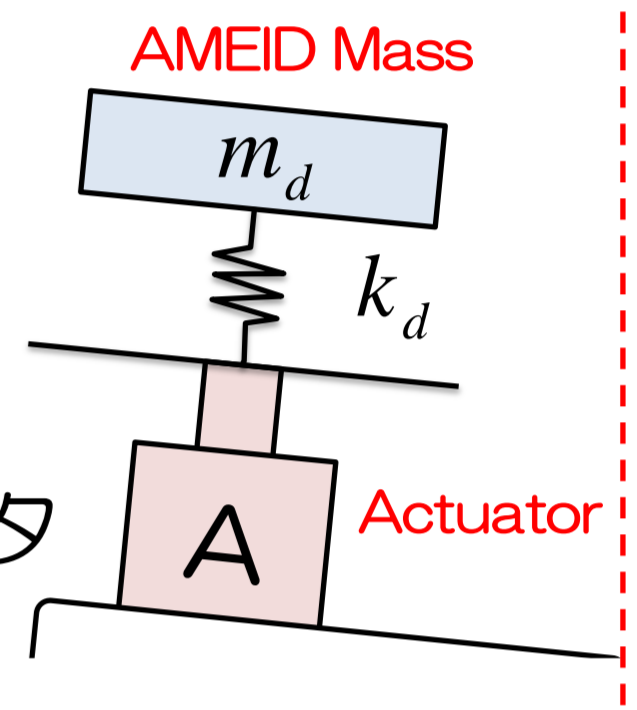


Fig. 5 Mechanism of AMEID

砂の特性

- 垂直方向は片効きのばね・ダッシュポットを仮定
- 水平方向の砂の抵抗力を、粘性減衰+Coulomb摩擦で近似
- 着陸地は、**等間隔に分布する**砂面を仮定し

段差地

- 段差部…高さh
- 水平部…高さ0

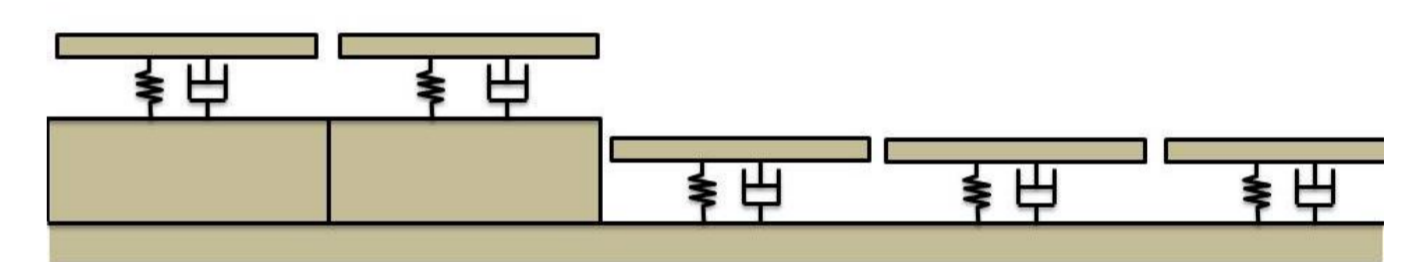


Fig. 6 Model of the soil with steps

傾斜地

- 傾斜 (傾斜角… θ)
- に沿った砂面分布

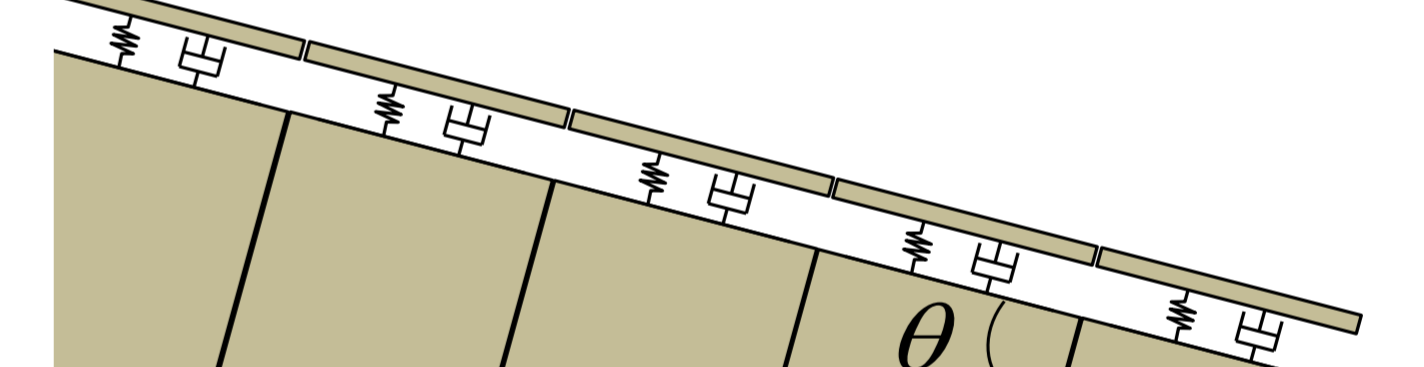


Fig. 7 Model of the soil with slope

状態方程式: $\dot{x}(t) = f[x(t)] + Bu(t) + dg$ を導出し、シミュレーション

- $x(t)$: 状態変数ベクトル
- f : システムを表わすベクトル関数
- d : 重力の影響を表わすベクトル
- $u(t)$: 入力ベクトル
- B : 入力に対する行列
- g : 重力加速度

シミュレーション結果・まとめ

シミュレーションシステムの設計

- 1/6 G相似則に基づく、1/6スケールの実験機を想定
 - 重力加速度 … 月面1/6 G ↔ 地上1 G
 - 機体質量 … 実機1 t ↔ 実験機4.8 kg (1/216倍)

- AMEIDに対する制御系設計 … デジタル制御

離散時間最適レギュレータ問題を適用し、両足同時着地時 (ピッチ角0) のシステムに対し制御系を設計

→ 段差/傾斜のような片脚着地時と同じ制御器を利用

昨年度の結果 (2010年宇宙科学シンポジウム, 61st International Astronautical Congress)

- ① 水平面への自由落下 … リバウンド制御性能の比較

最大リバウンド量

- MEIDなし 96 mm
- PMEID 10 mm
- AMEID 5 mm

良好なリバウンド抑制

- ② 段差地への自由落下 … 転倒防止性能の比較

最大ピッチ角応答

- MEIDなし 88° → 発散 → 転倒
- PMEID 56°
- AMEID 51° → 収束が早い

転倒防止可能

シミュレーション条件

- ① 水平面への自由落下
高度 0.5 m (フルスケールでは3 m)
- ② 段差地への自由落下
高度 0.5 m (//)
段差 35° 相当の段差
- ③ 傾斜地への自由落下
高度 0.5 m (//)
傾斜角 30° 相当の段差

シミュレーション結果

- ③ 傾斜地への自由落下 … 横滑り防止性能の比較

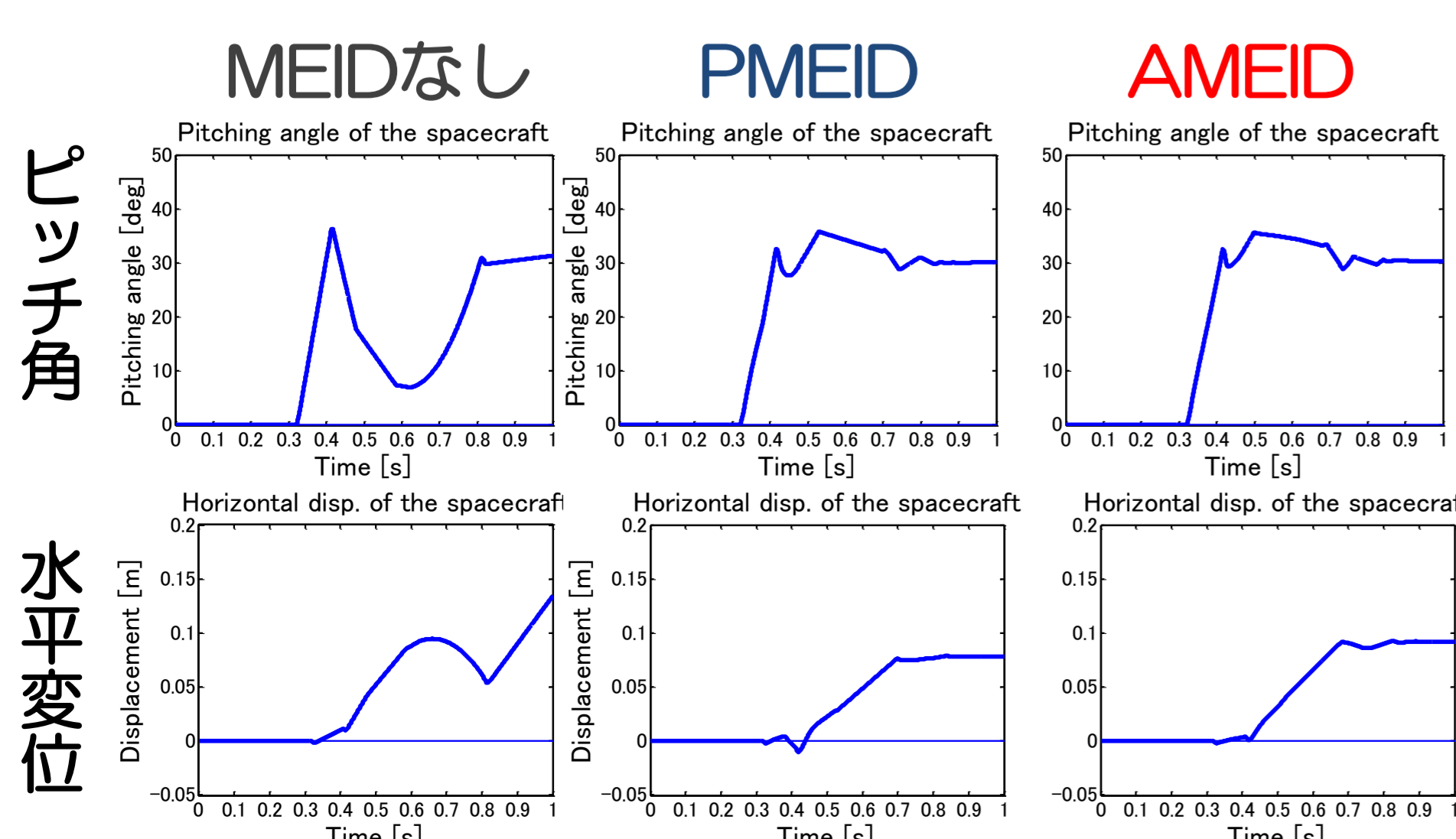


Fig. 8 Results of the simulations of the landing to surface with slope

ピッチ角応答

- MEIDなし 変動→大
- PMEID 変動→小
- AMEID 変動→小

最大横滑り量 (平衡時)

- 158.1 mm
- 78.7 mm
- 92.5 mm

抑制可能

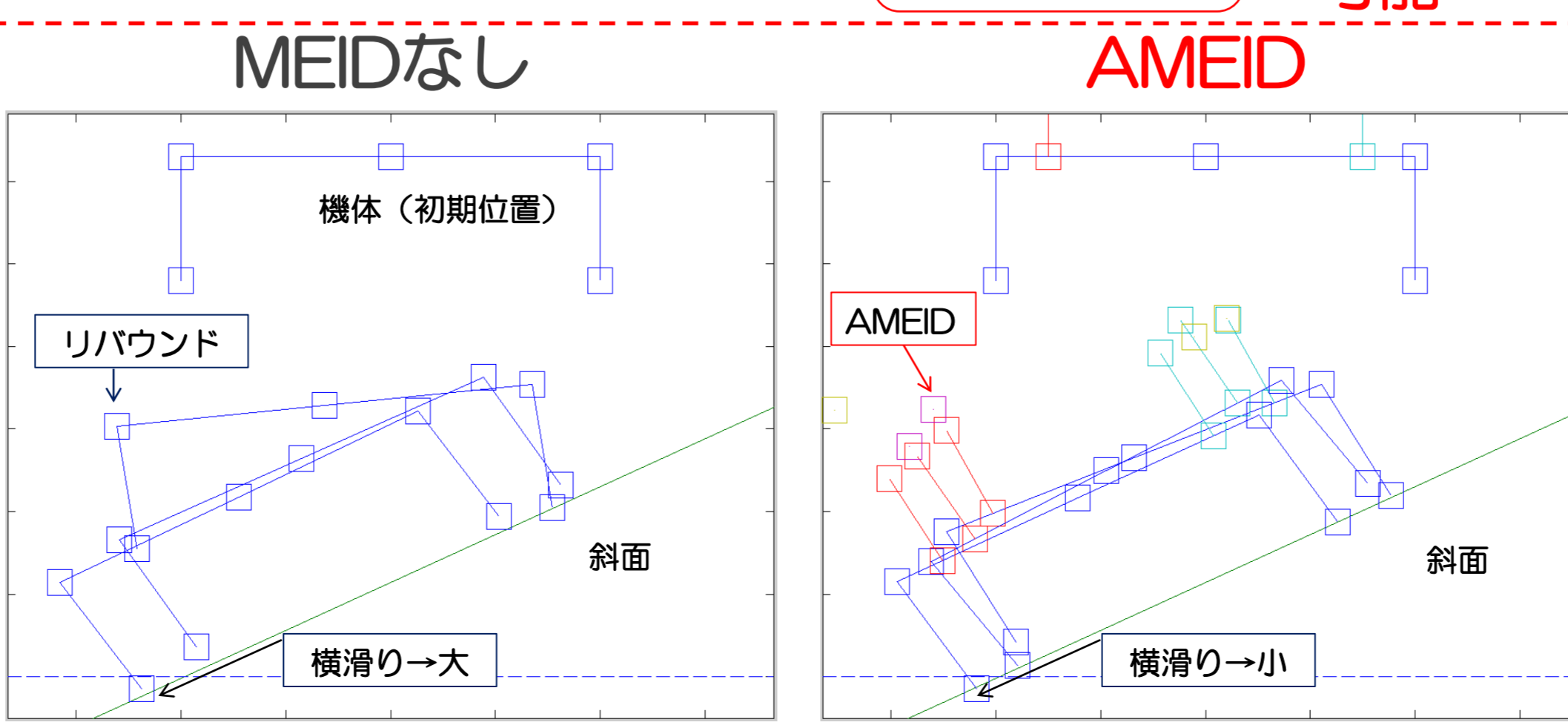


Fig. 9 Locus of the landing to surface with slope

まとめ

- MEID機構を用いた、惑星探査機の着陸時の衝撃の影響を抑制する機構を提案した
- MATLAB®を用いたシミュレーションにより、本研究で提案する機構による衝撃応答制御の有用性を示した
- 特に、傾斜地への着陸の際の**横滑り**に注目しMEIDで良好に抑制できることを示した
- アクチュエータを用いてアクティブに制御する**AMEID**の抑制性能が良好であった
- 今後、実験的な検討により有効性を確認する