

# MEID 機構による月惑星探査機の着陸応答制御

## 1. はじめに

月惑星探査機の着陸問題において、地面から受ける衝撃力にともなう機体の応答への影響は大きい。月面着陸においては、今後険しい地形への着陸も想定されている。このような場合、段差などの障害により、不安定な着陸を余儀なくされる可能性があるが、機体の転倒は防がねばならない。このような厳しい条件を前提とした、信頼性の高い着陸技術の開発は重要な課題である。この問題に対し、運動量交換型衝撃吸収ダンパ (Momentum Exchange Impact Damper: MEID) を用いた機構により応答を制御する研究について紹介する。なお、詳細については文献<sup>(1)</sup>を参照されたい。

## 2. MEID 機構と月惑星探査機モデル

MEID は、図 1 で表される玉突き原理の原理でたとえられる。運動量を吸収させる質量を有する部分をダンパと呼ぶ。MEID には、ばねやダッシュポットなどのパッシブ要素からなる PMEID と、アクチュエータを用いる AMEID がある。AMEID の場合、ダンパの速度を能動的に大きくする高効率な運動量交換により、良好な制御性能が期待できる。

本研究では、システムを二次元 3 自由度の問題として扱うため、図 2 のような 2 脚によるモデルで解析を進める。このモデルは、機体本体、着陸脚、衝撃応答制御機構から構成される。着陸脚はパッシブ機構を含んでおり、下方に剛体と仮定したフットパッドを搭載している。このような着陸脚を、本研究ではパッシブ脚と呼ぶ。また、MEID 機構は探査機の肩部に搭載される。MEID は、質量とばねから構成される 1 自由度振動系を仮定している。AMEID 中のアクチュエータには、直流ボイスコイルモータを考

る。機体が着陸する砂面のモデルは、下向きに片効きの 1 自由度振動系を仮定している。機体と砂面との接地は、フットパッド下部の接触ばね、ダッシュ

ポットを介して行われるものとする。砂面からの水平方向の抵抗力は、片効きの粘性減衰と Coulomb 摩擦を仮定している。

## 3. AMEID 制御系設計

AMEID 制御系設計では、非線形状態方程式を線形化したシステムに基づいて設計を行う。なお、実機の計測器等の制約を考慮して、砂に関わる変数を適宜消去した縮小システムに対して制御系を設計する。本研究においては、制御はごく短時間かつ離散時間系を前提に行われる。具体的には、どちらか片側の脚が砂面に触れたタイミングで両側のアクチュエータが同時に動作開始する。そのときの動作開始からそれぞれのダンパ質量が離れるまでの時間区間のみ制御する。ここでは、離散時間最適レギュレータ問題を解くことで制御系を設計する。機体本体の垂直方向の変位と制御入力電圧それぞれの 2 乗に対して適当な重み係数を与えて解いた。

## 4. シミュレーションによる検討

月面着陸を念頭においた地上試験を想定し、1/6 相似則を考慮したシミュレーションを行った。探査機の初期高さは 0.5m とする。35° 相当の段差がある着陸地への機体の水平落下を条件としてシミュレーション結果を示す。パッシブ脚のみを用いた機体 (図 3) と AMEID を用いた機体 (図 4) の応答を比較すると前者が転倒してしまうのに対して、後者は転倒しない。

## 5. おわりに

月惑星探査機の着陸問題に対して MEID 機構を適用した制御に関する研究を紹介した。アクチュエータを用いる AMEID 機構により、機体の転倒が防げることを示した。

本研究の知見は月惑星探査機に留まらず、衝撃をとまなう一般機械の制御問題にも応用が期待される。

(原稿受付 2012 年 4 月 7 日)  
[原 進 名古屋大学]

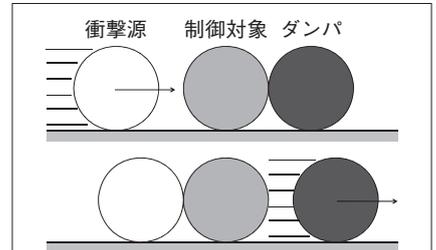


図 1 玉突きの原理

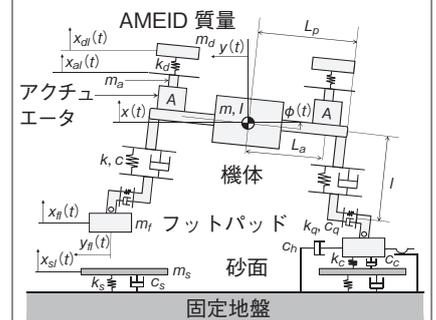


図 2 月惑星探査機のモデル (AMEID の場合)

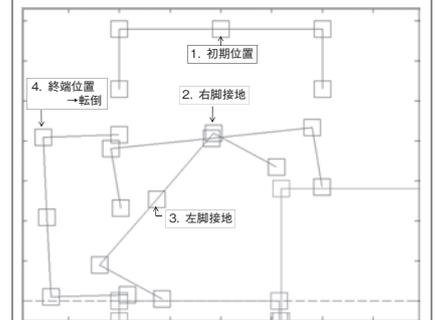


図 3 パッシブ脚のみの場合の応答

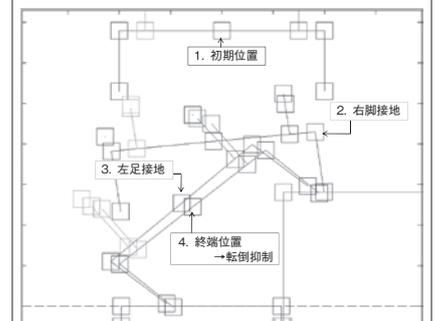


図 4 AMEID を用いた場合の応答

## ● 文 献

- (1) Hara, S., Ito, R., Otsuki, M., Yamada, Y., Kubota, T., Hashimoto, T., Matsuhisa, H. and Yamada, K., Momentum-Exchange-Impact-Damper-Based Shock Response Control for Planetary Exploration Spacecraft, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 34-6 (2011), 1828-1838.