

SLIM 小型月着陸機のための着陸航法誘導手法とシミュレータ開発



© JAXA/NHK

坂東信尚 (ISAS/JAXA)、上野誠也、樋口丈浩 (横浜国大)、外本伸治 (九州工大)、
福田盛介、澤井秀次郎 (IASA/JAXA)、SLIM ワーキンググループ

月小型着陸実験機 SLIM(Smart Lander for Investigating Moon) のピンポイント着陸のためのシーケンスの概要と現在進めているシミュレータ開発について報告する。

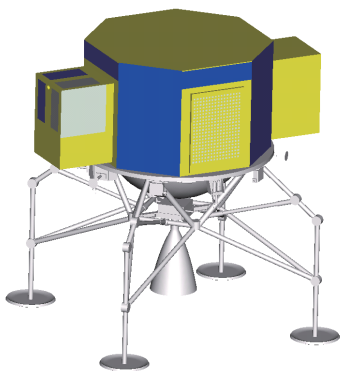
シーケンスの概要

a) 動力降下フェーズ

動力降下フェーズは、高度 100km×15km の月周回軌道から月周回軌道速度をほぼゼロにすることが主目的であり、終端時には着陸ポイント上空に誘導されていることが求められる。また、動力降下フェーズでは大きな増速度量が必要とされるので、着陸質量を最大化する軌道を設計し、そのような軌道に沿って誘導することが重要である。誘導に必要な機器を簡素化することと、終端時に着陸ポイント上空に高精度に誘導するという、2つの要求を満たすために、動力降下フェーズの前半では慣性航法装置を主たる航法機器として誘導し、動力降下フェーズの後半では地表面画像の情報を加味した誘導を行う。

b) 垂直降下フェーズ

垂直降下フェーズでは、動力降下フェーズで生じた垂直方向の誘導誤差を吸収し、さらに月面上で着陸の障害になるような障害物を検知・回避し、軟着陸するためのフェーズである。



現在検討中の SLIM 概観図

シミュレータ開発の必要性

小型探査機によるピンポイント着陸を実現させるためには、着陸航法誘導制御手法の検討も必要であるが、重量や電力などの搭載条件が厳しいことから、センサ構成やハードウェア制約によるピンポイント着陸性能評価が重要である。そこで、以下のような項目を比較検討するために月着陸シミュレータを開発する。

a) 着陸に最適な軌道プロファイルの検討

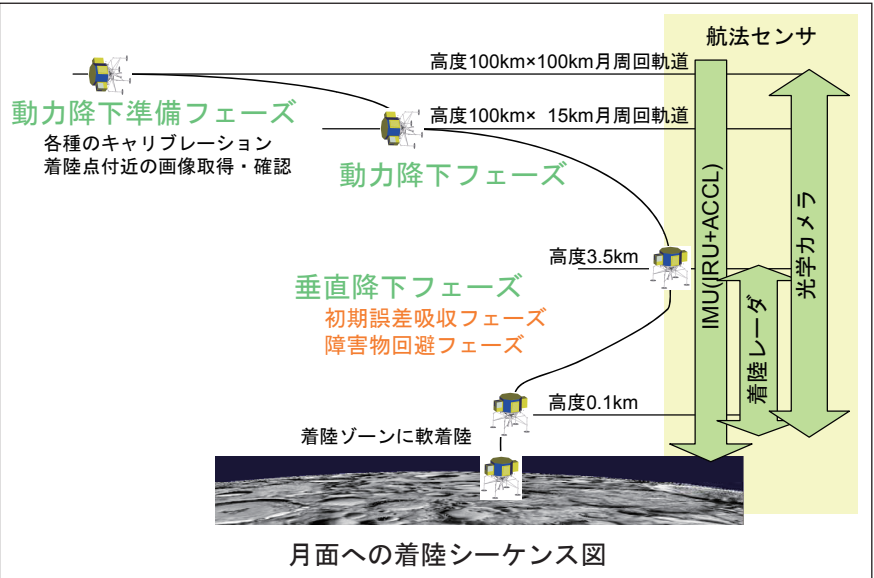
b) 着陸航法誘導制御手法の検討

上記はノイズや外乱に対するピンポイント性能評価を含む。

c) 搭載センサの種類によるピンポイント性能評価

d) サンプリングタイム、センサ読み込みタイミング

などのハードウェア制約によるピンポイント性能評価



シミュレータ開発にあたって

様々な着陸航法誘導制御手法を同じ条件で比較検討するために、本シミュレータは基本的にオープンソースで開発・配布し、立場が異なる研究者間でも十分な議論ができる環境を提供する。また、将来的に容易に機能拡張できるように C 言語によってシミュレータを記述し、使用するユーザへの負担を減らすために、コンパイラや version 管理はフリーウェアにより開発を進める。

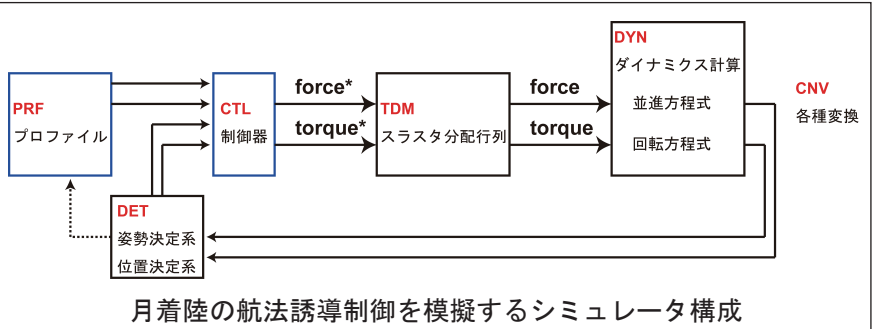
シミュレータは右図のようなブロック線図をコード化し、各ブロックに対応する機能を各ディレクトリに記述するような構成となっている。着陸航法誘導制御手法を開発するユーザはブロック線図上の青四角で囲まれた" PRF " と" CTL " 部を変更することによって、各々の手法を検討することが可能となっている。また、ユーザ間、プロジェクトユーザ間での秘匿情報がある場合にも機能ごとの obj ファイルによって容易に配布することが可能である。

設定条件

- シミュレータ開発に必要な各設定条件を以下に示す。
- スラスタ構成 - 500N スラスタ 1 基、3N スラスタ 8 基
- 月重力ポテンシャル - 下式に記述される重力ポテンシャルを使用し、各パラメータは" SGM100i " を使用する。

$$U(r, \lambda, \varphi) = \frac{GM}{r} \sum_{l=0}^{l_{max}} \left(\frac{a_e}{r} \right)^l \sum_{m=0}^l \bar{P}_{l,m}(\sin \varphi) \cdot (\bar{C}_{l,m} \cos m\lambda + \bar{S}_{l,m} \sin m\lambda)$$

r : 半径、λ: 経度、φ: 緯度、ae : 基準半径
P_{l,m}: ルジャンドル陪関数、C_{l,m}, S_{l,m}: 球面調和関数の係数



シミュレータ構成 (ソース)

- main.c
- main.h
- data_mem.h - データ交換用構造体定義ヘッダファイル
- /PRF - 姿勢 & 並進のプロファイルを記述
- /CTL - 姿勢 & 並進の制御器を記述
- /TDM - スラスタ分配則を記述
- /DYN - 姿勢 & 並進の運動方程式を記述。4 次の Runge-Kutta 法により数値積分を行う。
- /CNV - 変数の各種変換を記述
- /DET - 姿勢 & 並進の決定系を記述

開発環境など

- Cygwin - ver.1.5.25-15
- gcc - ver.3.4.4-999
- Subversion - ver.1.5 (バージョン管理)