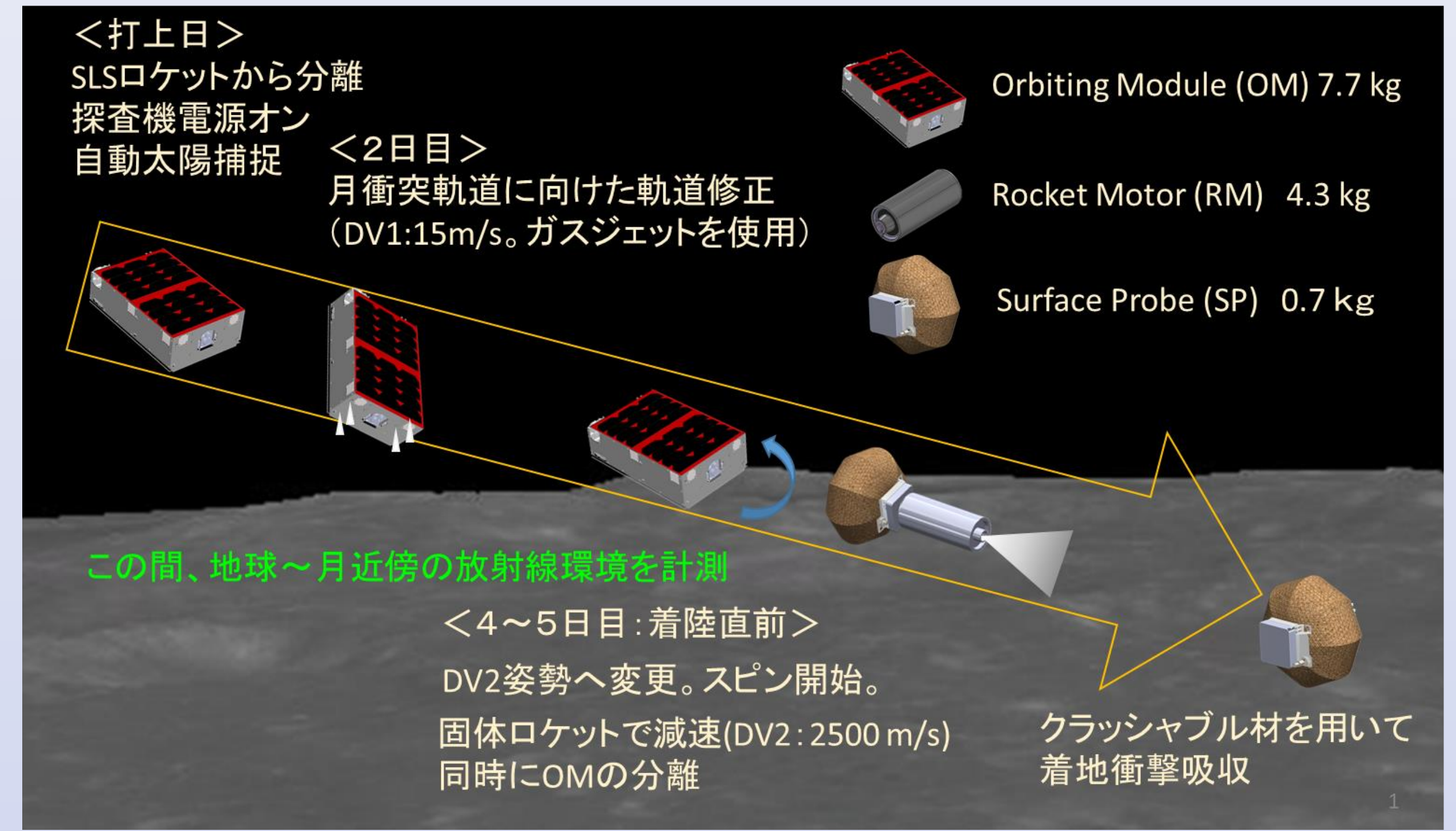


# 超小型月着陸機OMOTENASHIの運用計画

○平澤 遼, 橋本 樹明, 菊池 隼仁, 徳永 翔, 三好 好太, 中島 晋太郎, 廣瀬 史子, 森下 直樹, 坂東 信尚, 富木 淳史, 鳥居 航, 大槻 真嗣, 吉光 徹雄, 石毛 康夫

## OMOTENASHI 運用概要

2022年初旬にNASA SLS相乗りで打上げられる超小型月着陸機OMOTENASHIはロケット分離から約5日間で月面に到達するため、初期チェックアウト運用や軌道変更運用などを非常に短期間で実施する計画である。その際、CubeSatの限られたリソースで短期間運用を成立させる工夫が検討されている。本ポスターでは、OMOTENASHIの運用フローや運用制約に対する解決策について説明する。



### 太陽捕捉が最初の関門

ロケットのディスパンスーからの放出され、約30秒後に宇宙機の電源が入る何もしなければバッテリーが枯渇して死んでしまうため、SAPをいち早く太陽に向ける必要がある。OMOTENASHIは2つの太陽捕捉手段を持っており、状況に応じて使い分ける。

#### ①姿勢制御ユニット XACTによる自動補足

XACTにリアクションホイール、太陽センサ、IMU、スタートラッカが搭載されている。XACTが起動すると、自動的に太陽捕捉シーケンスが開始され、数分で太陽捕捉完了する。ただし、ロケット放出時の初期角速度がXACTで吸収できるレベル以下である必要がある。NASAとのI/Fによると、初期角速度の最大値は各軸10deg/sとなっているが、これはギリギリでXACTで吸収できない。

#### ②ガスジェットスラスタを使用したレートダンブ

XACTで制御できる角速度になるまで、スラスタでレートダンブするアルゴリズムを実装した。しかし、スラスタの初期調整前であるため、推力が不安定である可能性がある。そのため、少しずつ噴射して時間はかかるが最終的に必ず収束するように調整した。

### 初期チェックアウトを短時間で終わらせる

#### 三軸姿勢制御

XACTの制御モードを「太陽指向」から「三軸姿勢制御」に切り替える

#### スラスタ廃液運用

推力を安定化させるために、一番最初に少しだけ推薬を排出する廃液中はどの程度の推力が発生するか分からないため、大きな推力が発生した場合には宇宙機が回転してしまう。この場合は、廃液運用後にレートダンブを行う。

#### スラスタ推力測定

廃液が完了したスラスタの推力を軌道上で測定する。三軸姿勢制御状態でスラスタを噴射すると、スラスタ推力の分だけリアクションホイールの回転数が上がる。これを複数回測定することで推力を測定する。

#### DV1シーケンス確認

次パスから開始する軌道変更運用 (DV1) のテストを行う。特に、噴射中の消費電力や、推力アンバランスによる姿勢のブレを確認する。

### 軌道変更が月到達への重要ポイント

ロケット分離軌道のままでは月スイングバイ軌道になっている。そこで、ガスジェットスラスタで軌道変更を行う。必要DV量は約15m/s。噴射時間にすると90分程度であるが、以下の運用制約があるため、実際には16～28時間程度の時間をかけて行われる。

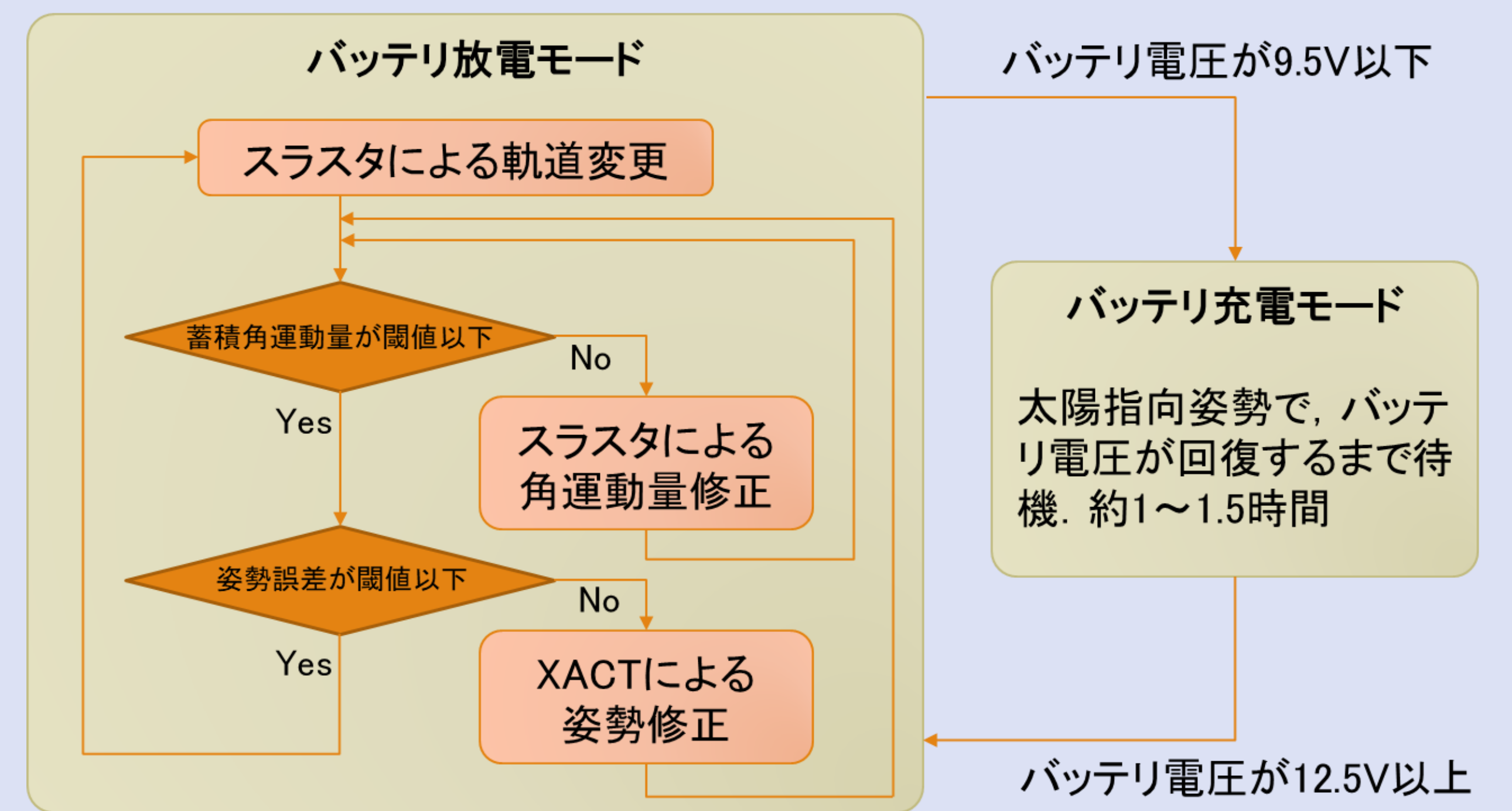
#### ☆軌道変更時に考慮される主な運用制約

①供給電力の制約でXACTとスラスタは同時運用できない。  
姿勢制御ユニットXACTによる姿勢修正と、スラスタによる軌道変更をフェーズ分けし、同時に行わないようにする。

②DV運用10～15分程度でバッテリーが枯渇する  
充電フェーズと放電フェーズを分ける。

③コマンド運用できない非可視時間がある  
すべて自動シーケンスで実行されるように搭載ソフトウェアをプログラミングする。

上記の運用制約を満たすうえで効率的に軌道変更運用を行う左記のアルゴリズムを開発した。また、これらは自作の姿勢ダイナミクスシミュレータと運用シミュレータを用いて動作検証を行った。



OMOTENASHIの軌道変更アルゴリズム

### 着陸シーケンスのアップリンク

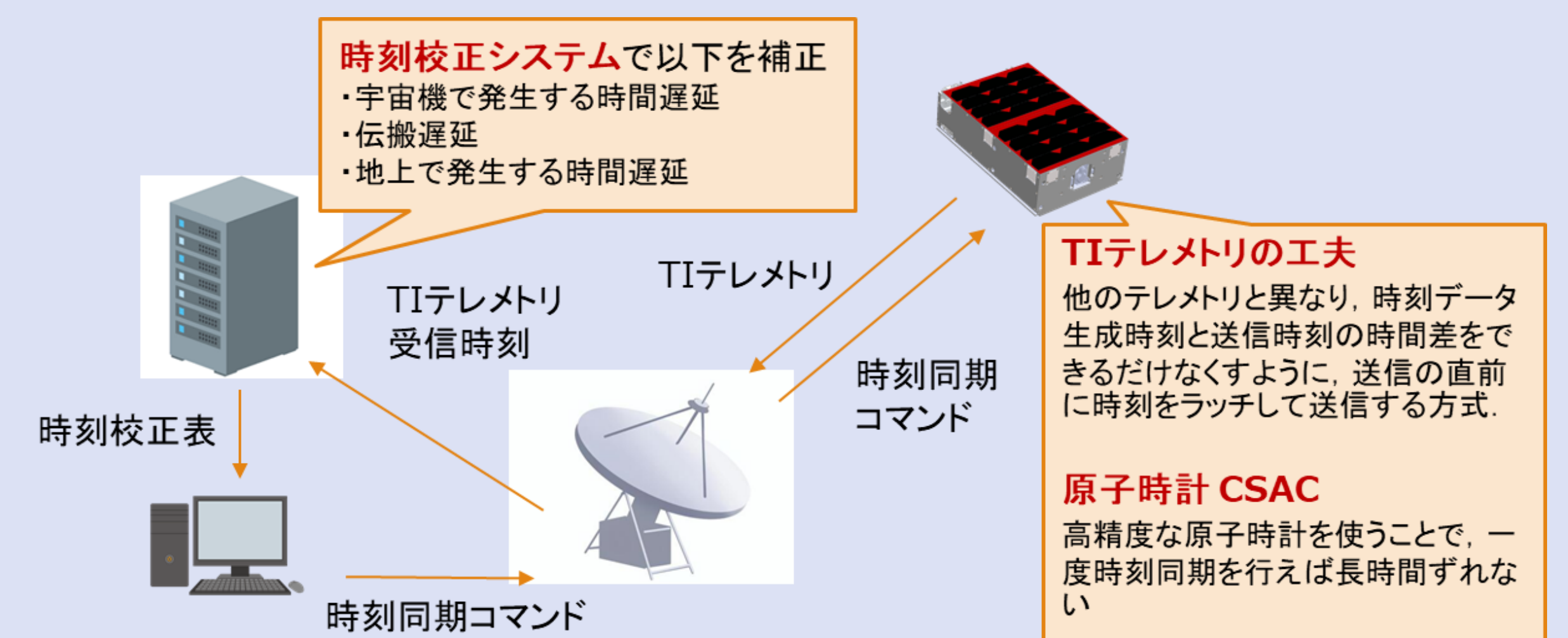
着陸シーケンスはストアドコマンドで実行される。ストアドコマンドとは、事前に時刻に紐づけて登録されたコマンドであり、通常のコマンドはアップリンクした瞬間に実行されるのに対して、ストアドコマンドは登録された時刻になって初めて実行される。

着陸シーケンスは以下の表の通りである。まず着陸姿勢に姿勢変更したのち、スピナップして安定性を保つ。その後、着陸モジュールであるSurface Probe (SP) を起動してOrbiting Module (OM) との連結を解除する。最後に固体モーターを点火して、着陸に向けた減速を行う。

点火時刻	姿勢マヌーバ	着陸姿勢。これ以降は発電できなくなる可能性がある
点火時刻-1240s	姿勢マヌーバ	着陸姿勢。これ以降は発電できなくなる可能性がある
点火時刻-780s	高速スピン開始	5Hzの高速回転で着陸時にスピン安定性を保つ
点火時刻-20s	SP ON	SPからのRF送信が始まる
点火時刻-0.1s	ピンブラー ON	OMとSPの連結を完全に解除する
点火時刻-0.0s	固体モーター点火	DV2開始

### 着陸精度を左右する時刻同期

宇宙機時刻(TI)とUTCの変換を精度よく行えるように、時刻同期を行う。月面着陸には50msec以下の絶対時刻精度が必要である。時刻同期にはC-SODAの時刻校正システムを使用する。



### ついに月面着陸

Orbiting Moduleのテレコマ運用としては、ストアドコマンドで実行されるシーケンスをテレメトリで確認するのみである。また、スピナップ後はテレメトリ受信も断片的になることが予想される。

一方、Surface Probeは起動後にUHF帯電波を発信する。着陸した瞬間の加速度によって送信電波の中心周波数が変動する変調方式を採用しており、周波数の変動で着陸の瞬間を確認できる。

