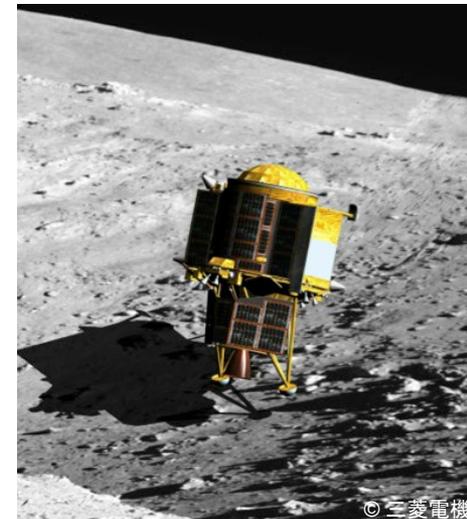




# 小型月着陸実証機 (SLIM) プロジェクトの概要

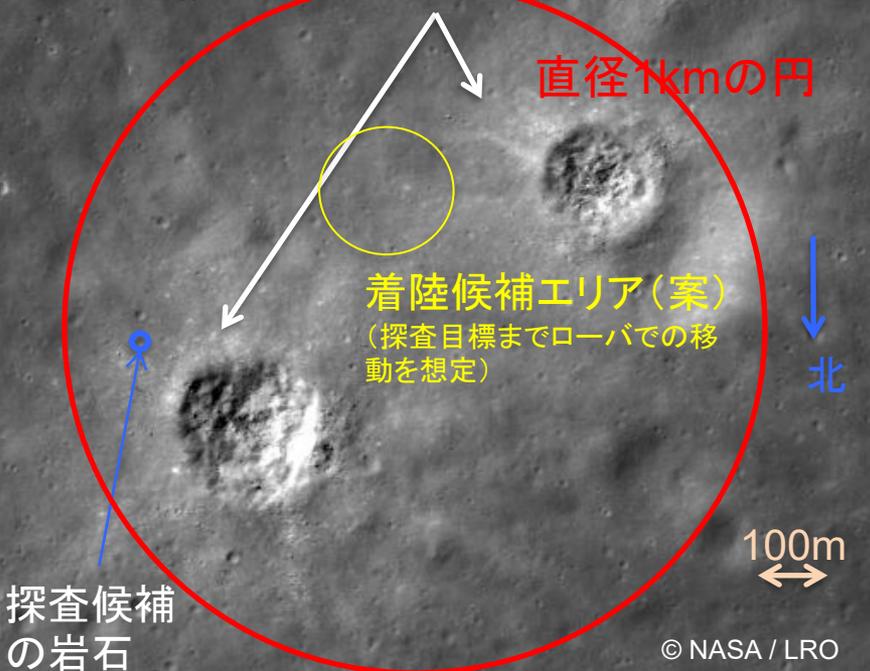
JAXA宇宙科学研究所  
宇宙機応用工学研究系 教授  
SLIM プロジェクトマネージャ  
坂井真一郎



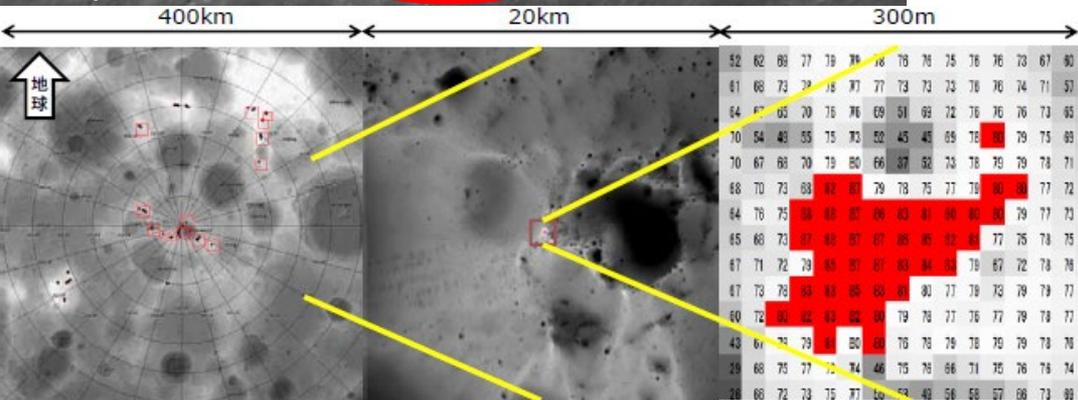


# 【ピンポイント着陸技術の必要性(1/2)】

フレッシュ(周囲が白っぽい)で、ある深さまで抉られたクレータ



- 月周回衛星「かぐや」「LRO」が高分解能な月面観測データを大量にもたらした結果、現在の月探査ミッションは、「あのクレータの隣のあの岩石」といった粒度で議論されるようになっている。
- このような岩石の“その場観測(組成分析など)”を実施するためには、近傍の平坦地を選んで探査機を着陸させる必要がある。



- 極域で水資源探査を行う場合も、日照率の高さなど、着陸して持続的な探査を行うために有利な場所は、非常に狭い領域に限定されると言われている。

南極400km四方の地形

20km四方の中心の赤い点が80% (年間300日)以上の日照域

300m四方の赤い領域(1辺20m)が80% (年間300日)以上の日照域



## 【ピンポイント着陸技術の必要性(2/2)】

- 一方で、月のような有重力天体にピンポイント着陸した例は、世界的にもこれまで見当たらない
  - ✓ 従来の代表的な月着陸機の着陸精度は、数km ~ 10数km.
  - ✓ 「はやぶさ」、「はやぶさ2」は精密なタッチダウンを実現しているが、小惑星の重力は月や地球と比べて数桁小さいため、ダイナミクスが全く異なる(ゆっくり接近し、必要があれば再上昇することも可能)。
- そのため、「小型の月着陸機により、ピンポイント着陸の技術実証を行うミッション」を実施することとなった
  - JAXA/宇宙科学研究所が推進中のSLIMプロジェクト



## 【SLIMミッションの概要／目的】

SLIM (Smart Lander for investigating Moon) は、以下の2つの目的を達成することで、将来の月惑星探査に貢献することを目指したJAXAプロジェクトである。

- <<目的A>> 月への高精度着陸技術の実証を目指す
  - ✓ 従来の月着陸精度は数km～10数km
  - ✓ SLIMでは100mオーダーを目指す
  - ✓ キーとなる技術は、「画像航法」および「自律的な航法誘導制御」
- <<目的B>> 軽量な月惑星探査機システムを実現し、月惑星探査の高頻度化に貢献する



## 【SLIMミッションの概要／成功基準】

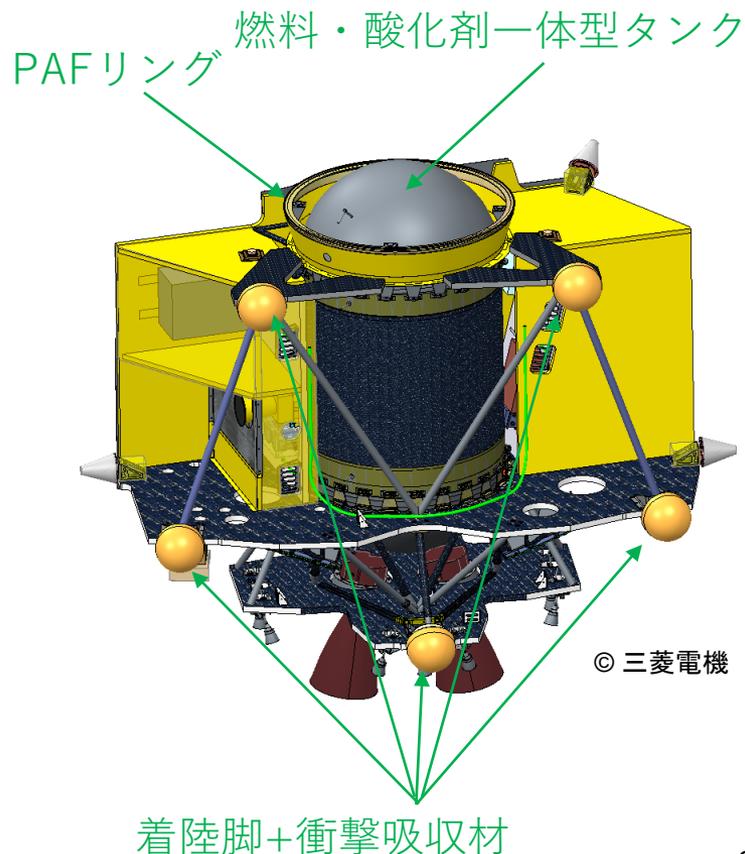
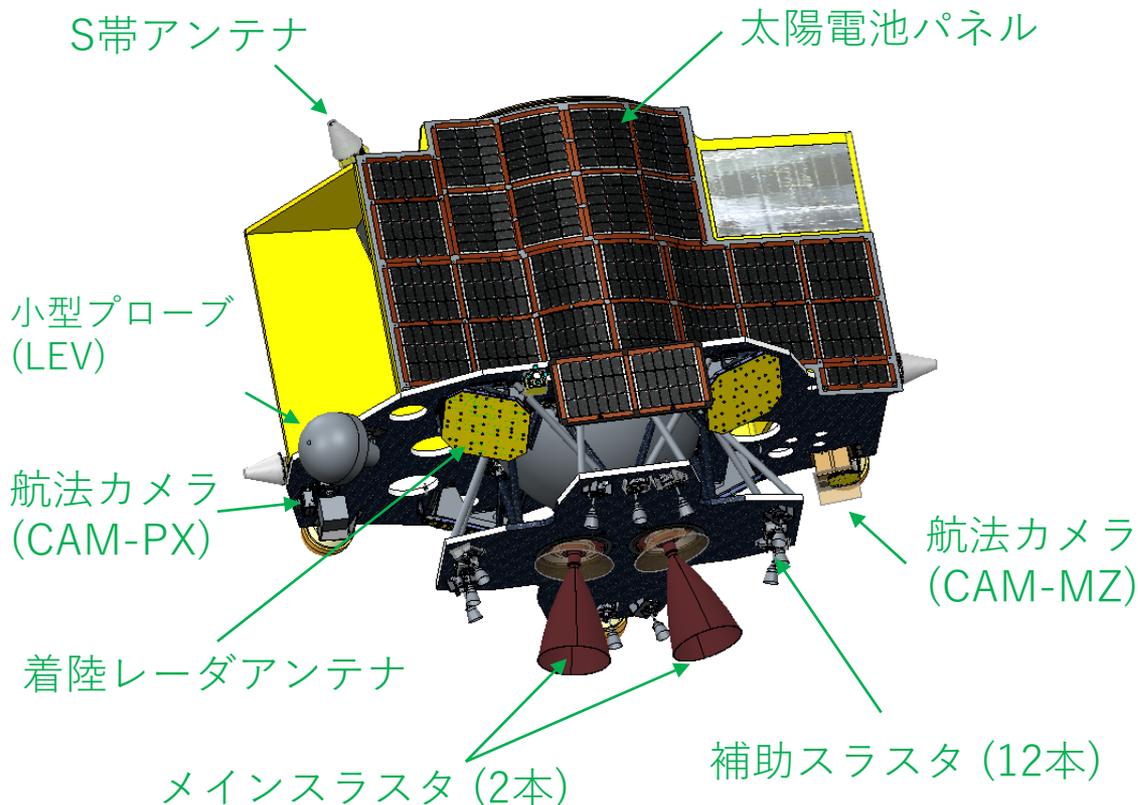
前掲の目的に対応して、成功基準を以下のように定めている

基準	内容
ミニマムサクセス	<p>小型軽量な探査機による月面着陸を実施する。それによって、以下の2項目を達成する。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>高精度着陸に必須の光学照合航法を、実際の月着陸降下を実施することで検証する</li><li>軽量探査機システムを開発し、軌道上動作確認を行う</li></ul>
フルサクセス	<p>精度100m以内の高精度着陸が達成されること。</p> <p>具体的には、高精度着陸航法系が正常動作し、誘導則に適切にフィードバックされ、着陸後のデータの解析により着陸達成に至る探査機の正常動作と着陸精度達成が確認されること。</p>
エクストラサクセス	<p>高精度着陸に関する技術データ伝送後も、日没までの一定期間、月面における活動を継続し、将来の本格的な月惑星表面探査を見据え、月面で活動するミッションを実施する。</p>



## 【 SLIMミッションの概要／探査機外観 】

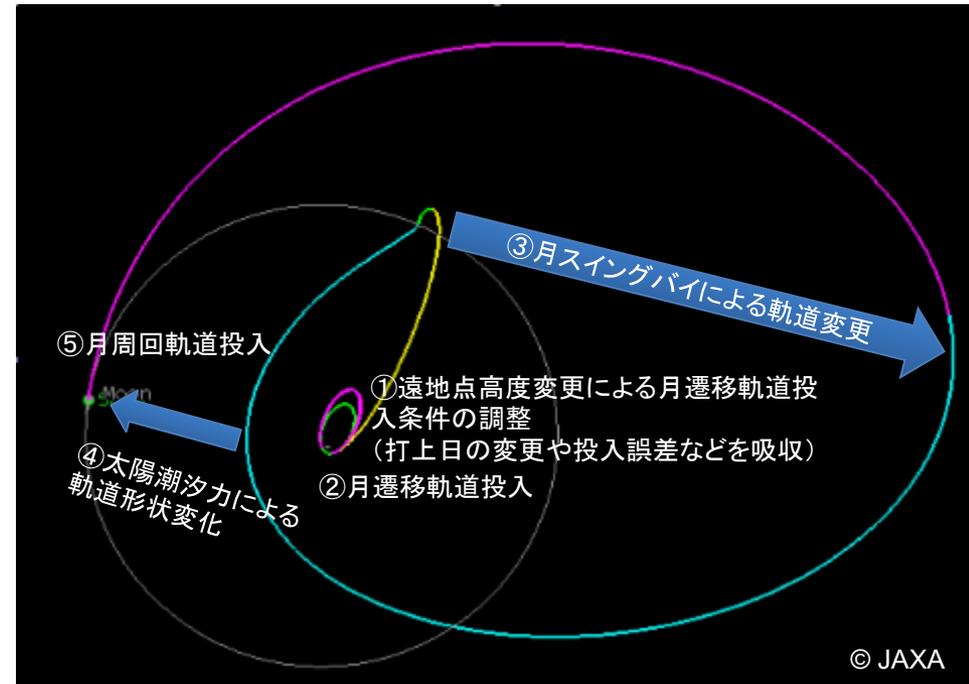
- 質量は、推薬なし: 200kg / 推薬充填時:約700-730kg
- サイズは、高さ:約2.4m、縦:約1.7m、横:約2.7m
- 軽量化のため燃料・酸化剤一体型タンクを採用しており、これが探査機主構造を兼ねている点が特徴の1つ





## 【SLIMミッションの概要／打上げ手段】

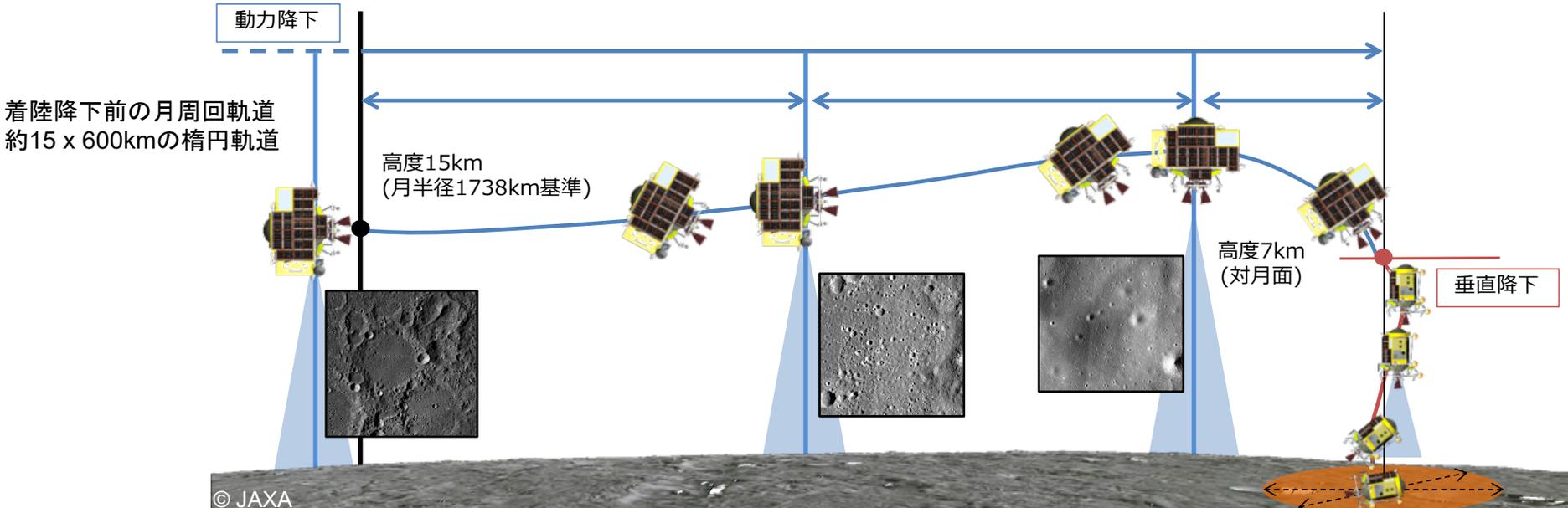
- 打上手段は「H-IIA相乗り」であり、同じ宇宙科学研究所で開発中の科学衛星「X線分光撮像衛星XRISM」と一緒に打ち上げられる計画。打上げ予定は2022年度。
- 長楕円軌道に分離投入後、自身の推進系で月へ向かって軌道変更を行う。
- そのため、消費推薬量の少ない軌道設計を採用している(その分、数ヶ月程度かけて月に到達する)
  - ・月周回軌道到着 : 打上げ後、3-4ヶ月
  - ・月周回期間 : 約1ヶ月
  - ・月着陸降下 : 打上げ後、4-6ヶ月





## 【SLIMミッションの概要／着陸シーケンス】

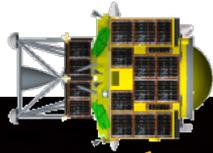
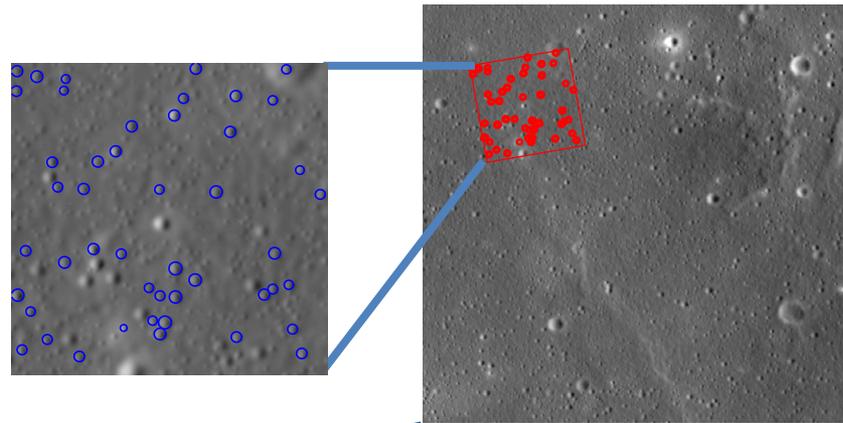
- 月周回軌道から着陸降下を開始、航法カメラによる画像航法を行って高精度に自身の位置を推定しながら、自律的な航法誘導制御により、月面上の目標地点に接近する。
- 目標地点上空からは、着陸レーダによる高度・地面相対速度の精密な計測も開始し、航法誘導に反映する。
- 着陸地点上空では画像ベースの障害物検出・回避を自律的に行い、危険な岩などを避けて着陸する。





## 【 SLIMミッションの概要／画像照合航法】

1. 撮影した画像を処理し、「どこがクレータか」を抽出する(クレータ抽出)



2. ありえる探査機位置を包含する広い領域の地図から、抽出されたクレータパターンと一致する場所を特定する(クレータマッチング)

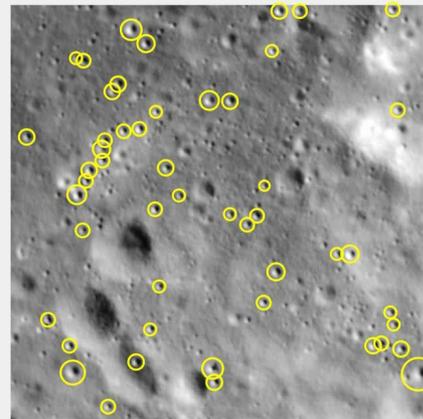


## 【 SLIMミッションの概要／画像照合航法 】

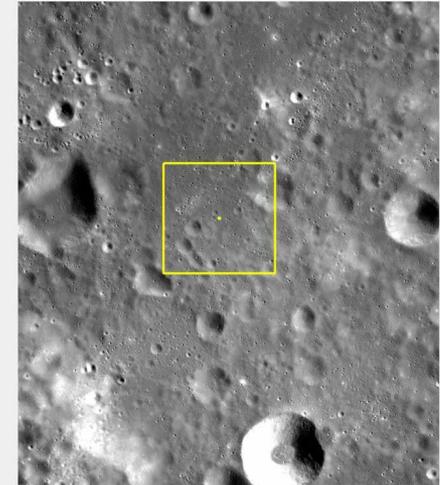
- 「画像照合航法」実現にあたっては、処理時間が重要な観点
  - ✓ 現状の宇宙用CPUは、地上用と比べておよそ1/100程度の能力
  - ✓ 宇宙用FPGA上でも数秒の処理時間で済む画像処理アルゴリズムを長年開発しており、実現の目処が得られている。



人が持っているカメラが  
とらえた画像



「画像照合」により特定  
された、カメラ撮像位置  
X:978.8 Y:1067.6 Scale:1.059



2018年 JAXA宇宙科学研究所  
特別公開におけるデモンストレーション

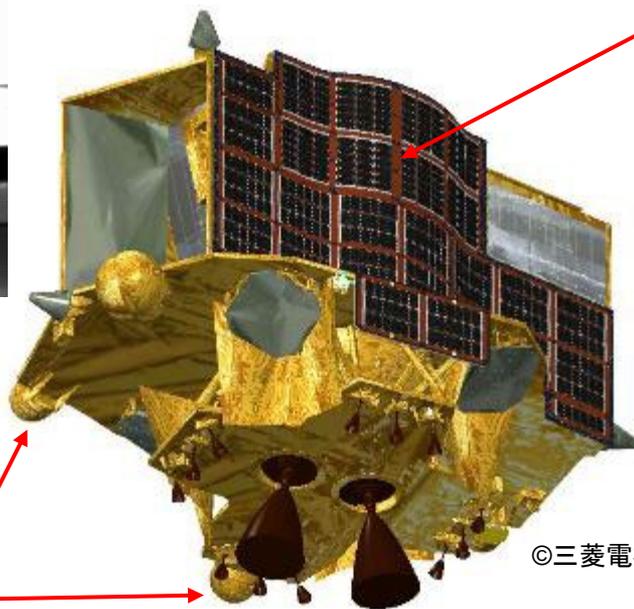
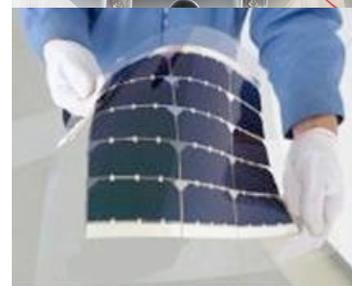
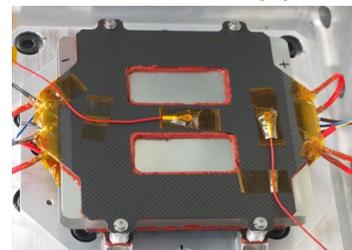


# 【 SLIMミッションの概要／小型軽量化のために 】

電源系：軽量な「SUSラミネートバッテリー」と「薄膜太陽電池セル」を採用



© JAXA

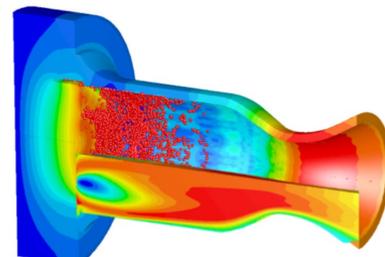


©三菱電機



着陸脚：関節方式ではなく、「ポーラス金属」が潰れることで、着地時のエネルギーを吸収する方式. 3Dプリンタで製造

メインエンジン：高効率で推力可変な「セラミックスラスタ」を採用



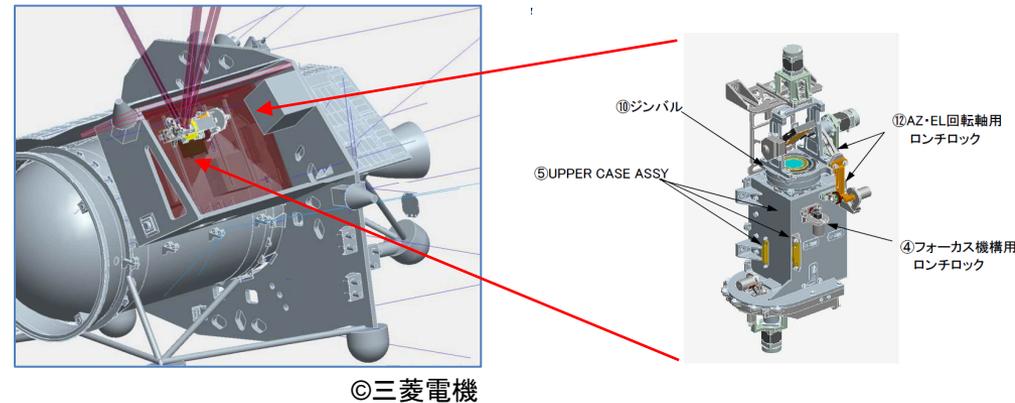
なお、酸化剤・燃料一体型タンクを主構造とする構造様式も、軽量化に大きく貢献している



## 【月面活動ミッション／概要】

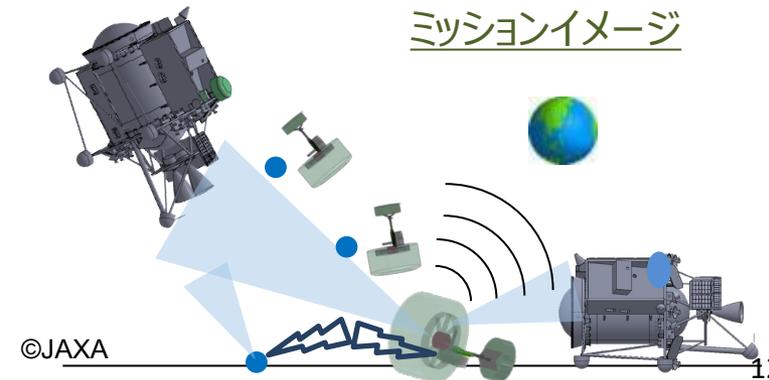
➤ 着陸成功後は、「分光カメラ」により、月マントル由来と考えられる物質の成分分析を行う予定(月起源解明が狙い)

- ✓ そのためには、狙ったクレータ近傍への着陸が必要 =ピンポイント着陸により初めて可能となる観測
- ✓ 成功基準としてはエクストラサクセスの1つ



➤ また、以下のような特徴を有する小型プローブを搭載する(※後ほど詳しく説明)。

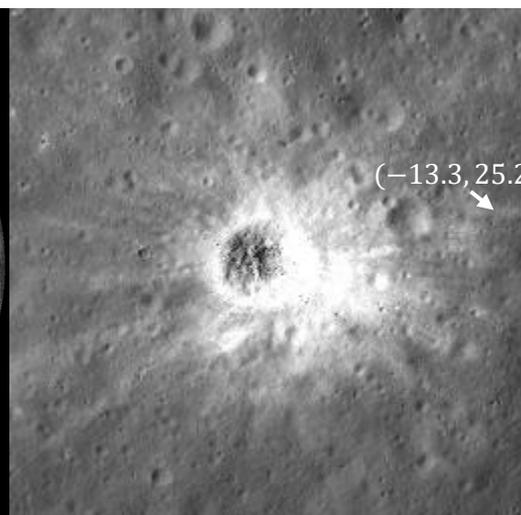
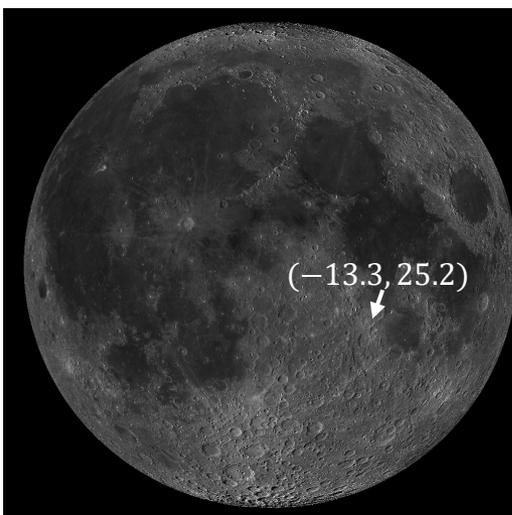
- 着陸後のミッション状況観測
- 着陸シーンの外部からの撮像 (静止画)
- 独立した通信系で地球との直接通信



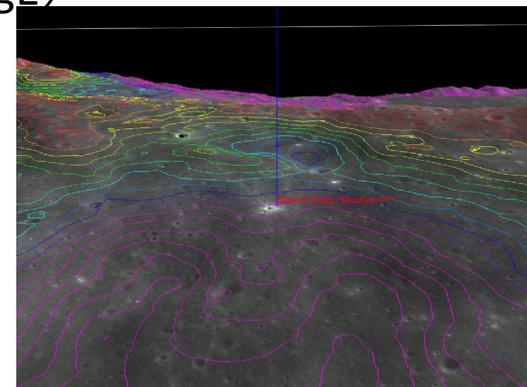


## 【月面活動ミッション／着陸目標地点の選定】

- 分光カメラの観測に適し、かつ着陸技術実証に適した地点として、「神酒の海」にあるSHIOLIクレータ近傍の地点を、着陸目標地点として選定した。
  - このように、「分光カメラ」が観測して成果が得られる対象は、月面上のごく限られた領域にしか分布していない。そのため、その観測は「ピンポイント着陸技術」があって初めて行えるものである。
  - 但し、これにより、クレータ近傍つまり斜面への着陸が必須となった。



“神酒の海”と呼ばれる低緯度地域に存在。斜度が15deg程度以下で概ね一定の地点(南緯: 13.3degS／東経: 25.2degE)



SLIM着陸地点

出典:NASA/LRO

(左:月全体における位置、右:拡大図)

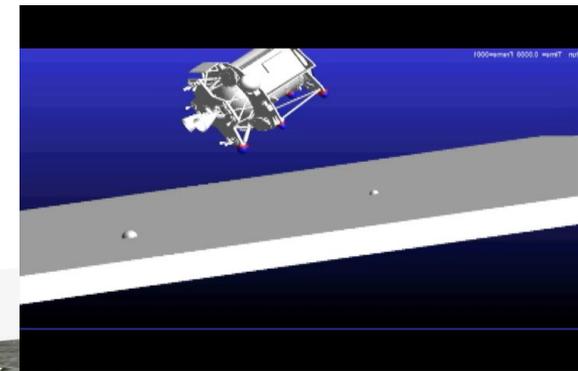
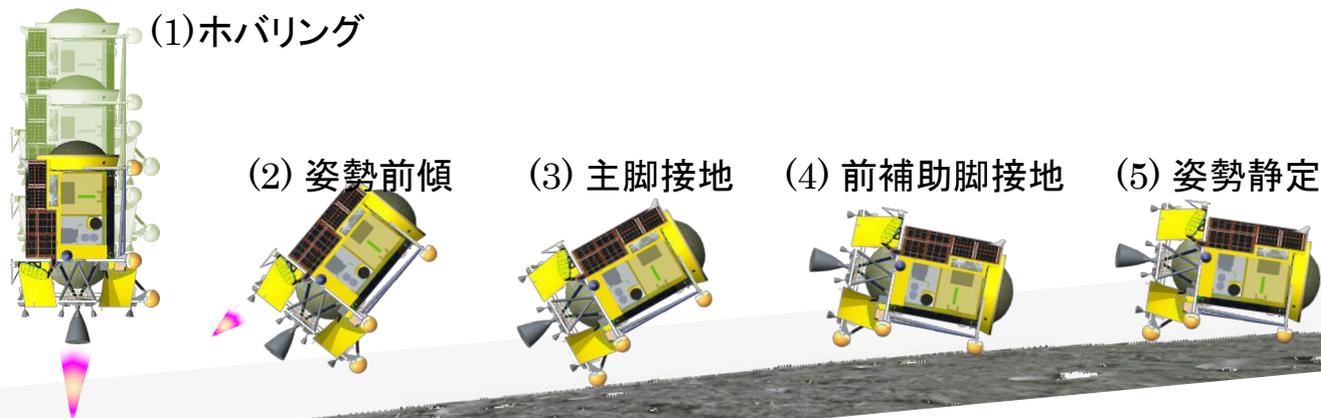
出典:JAXA/かぐや



## 【傾斜地着陸のために】

### 傾斜地に適した「二段階着陸」方式

- ✓ 着陸目標地点は前述の通りクレータ近傍に位置し、そのため付近一帯は斜度15[deg]程度の傾斜地となっている。
- ✓ 従って、SLIMのような小型軽量な機体で、このような傾斜地に安全に着陸することが重要となる。
- ✓ 科学・探査目的の高度化に伴い、今後はこのような地形への着陸が一般に求められるようになると考えている。
- ✓ 着陸シミュレーション等による検討を重ねた結果、SLIM規模の機体の場合、「二段階着陸方式」が耐転倒性に優れることが明らかにされている。



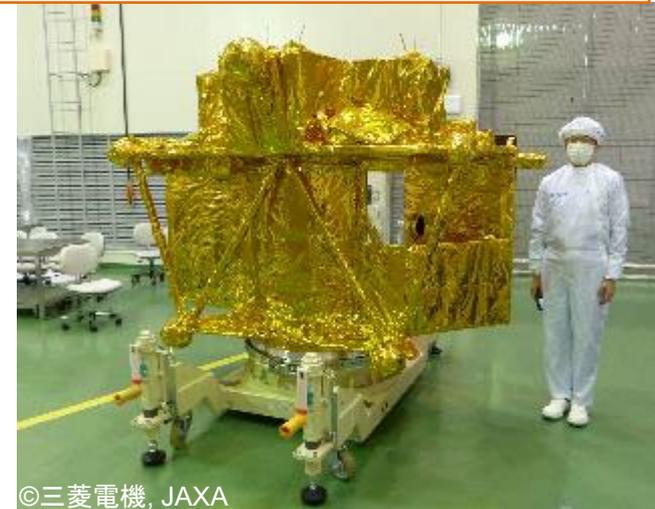


## 【SLIM探査機の開発状況】

### 提案までの経緯と現在の開発状況

- SLIMの源流は、「かぐや」(SELENE)の後継プロジェクトとして検討・提案された、SELENE-B計画に遡ることができる(2005年頃)。
- その後、SELENE-B提案を“スリム化”し、小型探査機による技術実証ミッションとしての「SLIM」検討が開始されている。
- 2012年2月、JAXA宇宙科学研究所が公募した「イプシロン搭載小型計画」に対し、「小型月着陸実証機(SLIM)計画」を提案した。
- 2016年4月、JAXAプロジェクトとして活動を開始した。

- その後、打上手段・打上時期の変更などを経ながら開発を進め、2019年度からは詳細設計を開始。
- 2021年度からは製作・試験、維持設計フェーズの開発を開始し、現在はフライトモデルを用いたシステム試験を実施中



©三菱電機, JAXA



# 【JAXA月惑星探査の中での位置づけ】

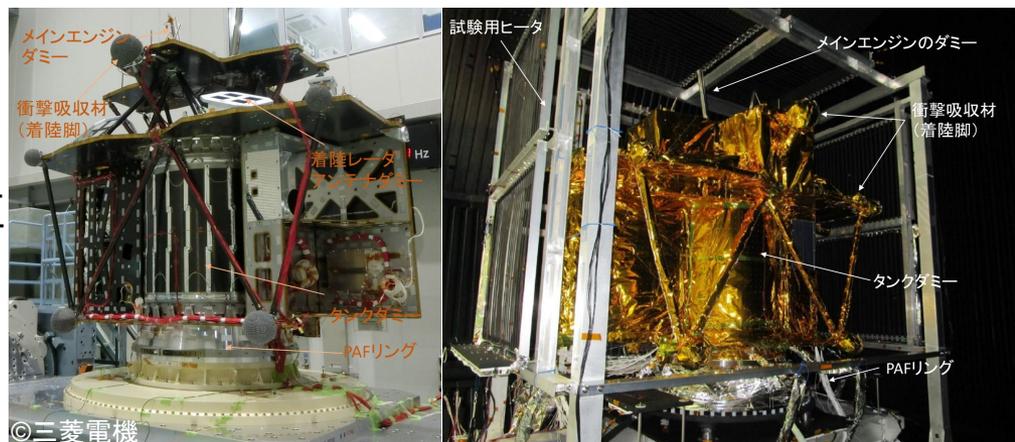
「SLIM」は技術実証機であり、ピンポイント着陸を初めとする技術が、火星衛星探査計画（MMX）や、月極域ミッション等に継承されていくことになる。





## 【付録: 広報関係の参考情報】

- ✓ 機械環境試験、熱真空試験で使用した試験用モデル (MTM、TTM) を組み立て、展示用モデルとして整備した (2021/9)
- ✓ 相模原市立博物館の企画展「相模原と月」(2021/9/14～) で展示された後、現在は、相模原キャンパスの探査交流棟に展示中。

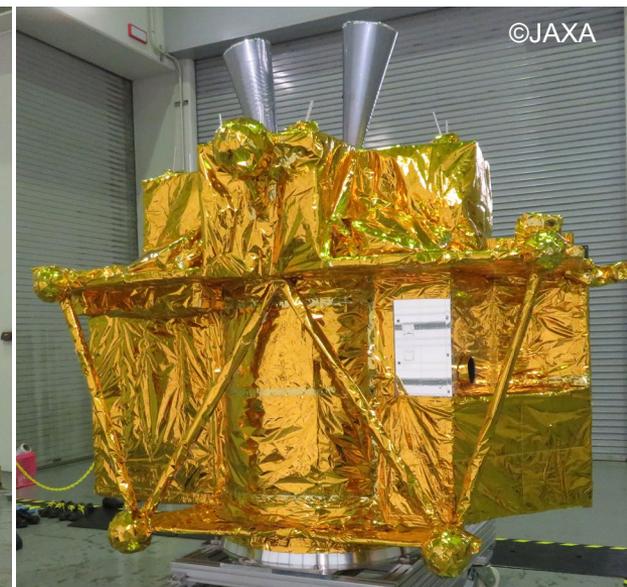


↓ 組み立て・整備

SLIMプロジェクトのホームページ：  
<https://www.isas.jaxa.jp/home/slim/SLIM/index.html>

Googleキーワード  
「ISAS SLIM」

©JAXA



©JAXA

展示用モデル (2021/9～)

「降りやすいところに降りる」から  
「降りたいところに降りる」時代へ

応援をお願いします

SLIM

Smart Lander for Investigating Moon

