

資料21-4

科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第21回)H27.6.3

小型探査機による高精度月面着陸 の技術実証(SLIM)について

平成27(2015)年6月3日
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所

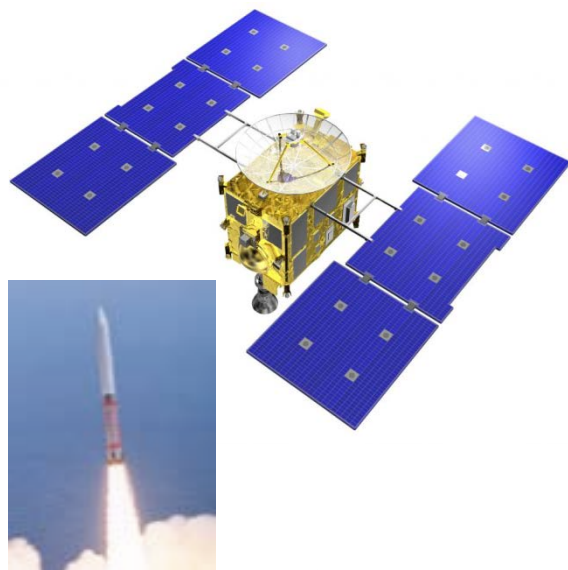
本日の報告内容

「宇宙科学・探査ロードマップ」(宇宙政策委員会の宇宙科学・探査部会(平成25年9月19日))に基づき、新宇宙基本計画(平成27年1月9日 宇宙開発戦略本部決定)において、「戦略的中型計画」「公募型小型計画」「多様な小規模プロジェクト群」の3カテゴリで戦略的な推進を行うこととされた。

この内、「公募型小型」計画の「1号機」として準備を進めている「小型探査機による高精度月面着陸の技術実証(SLIM)」についての検討状況を報告する。

Ⅲ. 今後の宇宙科学・探査プロジェクトの推進方策

宇宙科学における宇宙理工学各分野の今後のプロジェクト実行の戦略に基づき、厳しいリソース制約の中、従来目指してきた大型化の実現よりも、中型以下の規模をメインストリームとし、中型(H2クラスで打ち上げを想定)、小型(イプシロンで打ち上げを想定)、および多様な小規模プロジェクトの3クラスのカテゴリーに分けて実施する。



2000年代前半までの
典型的な科学衛星ミッション
M-Vロケットによる打ち上げ

戦略的に実施する中型計画(300億程度)

世界第一級の成果創出を目指し、各分野のフラッグシップ的なミッションを日本がリーダーとして実施する。多様な形態の国際協力を前提。

公募型小型計画(100-150億規模)

高頻度な成果創出を目指し、機動的かつ挑戦的に実施する小型ミッション。地球周回/深宇宙ミッションを機動的に実施。現行小型衛星計画から得られた経験等を活かし、衛星・探査機の高度化による軽量高機能化に取り組む。等価な規模の多様なプロジェクトも含む。

多様な小規模プロジェクト群(10億/年程度)

海外ミッションへのジュニアパートナーとしての参加、海外も含めた衛星・小型ロケット・気球など飛翔機会への参加、小型飛翔機会の創出、ISSを利用した科学研究など、多様な機会を最大に活用し成果創出を最大化する。

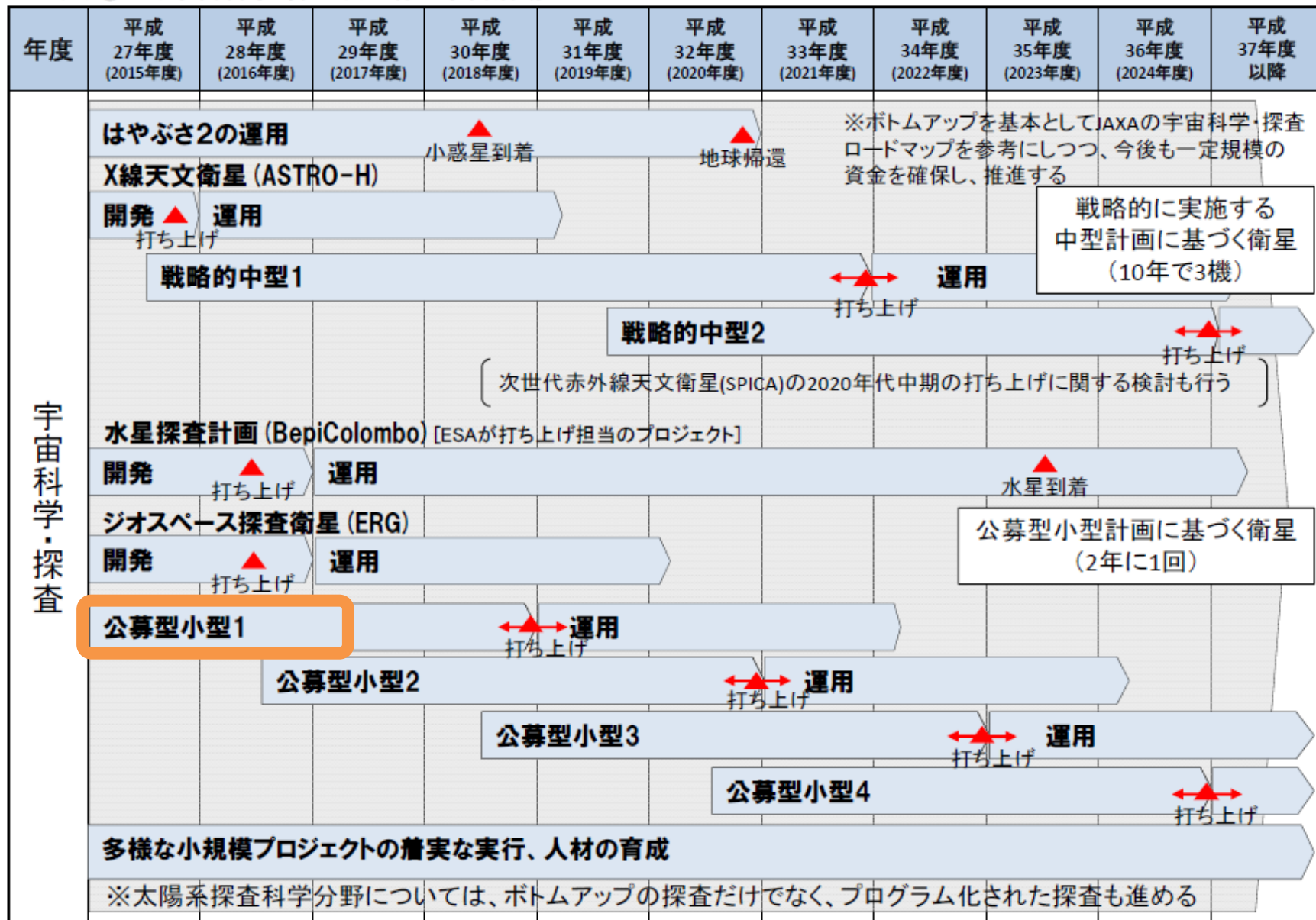
新「宇宙基本計画」本文

(平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定)

- 学術としての宇宙科学・探査は、今後とも世界的に優れた成果を創出し人類の知的資産の創出に寄与する観点から、ボトムアップを基本として JAXAの宇宙科学・探査ロードマップを参考にしつつ、今後も一定規模の資金を確保し、推進する。
- 今後10年間では、戦略的に実施する中型計画に基づき3機、公募型小型計画に基づき2年に1回のペースで5機打ち上げるとともに、多様な小規模プロジェクトを着実に実行する。具体的には、X線天文衛星 (ASTRO-H)、ジオスペース探査衛星(ERG)、水星探査計画(BepiColombo) 等のプロジェクトを進める。また、国際共同ミッションである次世代赤外線天文衛星(SPICA)の2020年代中期の打ち上げに関する検討も行う。さらに、現在 JAXA宇宙科学研究所(ISAS) において検討中のプロジェクトについては、検討結果を踏まえ、着実に進める。
- 太陽系探査科学分野については、効果的・効率的に活動を行える無人探査をボトムアップの議論に基づくだけでなく、プログラム化も行いつつ進める。プログラム化においては、月や火星等を含む重力天体への無人機の着陸及び探査活動を目標として、特に長期的な取組が必要であることから、必要な人材の育成に考慮しつつ、学術的大局的観点から計画的に取り組む。(文部科学省)

- 戦略的中型3機/10年, 公募型小型5機/10年
- その中で重力天体への無人機の着陸と探査を目標とする太陽系探査科学を「プログラム」化して実施

4. (2)① ix) 宇宙科学・探査及び有人宇宙活動



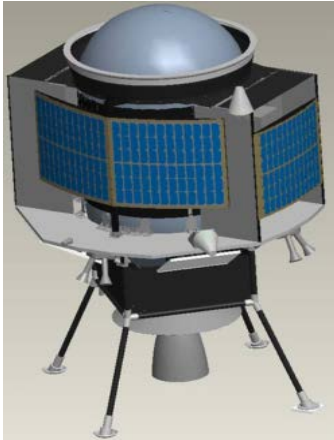
※以上すべて文部科学省

小型月着陸実験機(SLIM)の準備状況

1. 平成25年12月27日公募発出、平成26年2月28日締切。応募件数7件。
2. その内、2候補への絞り込みを行った後、JAXA宇宙科学研究所(以下、単に「宇宙研」)の支援による技術検討を深めた後、平成27年2月に宇宙研として「小型探査機による高精度月面着陸の技術実証(SLIM)」を選定した。
3. 現在、JAXAとしてより詳細な技術検討を実施するとともに、計画の精査を実施中である。

小型月着陸実験機(SLIM)

- ・将来月惑星探査で必須の「降りたいところに降りる」ための高精度着陸技術の習得
- ・月惑星探査を実現するためのシステム技術の習得



SLIMを実現する7つの先端技術

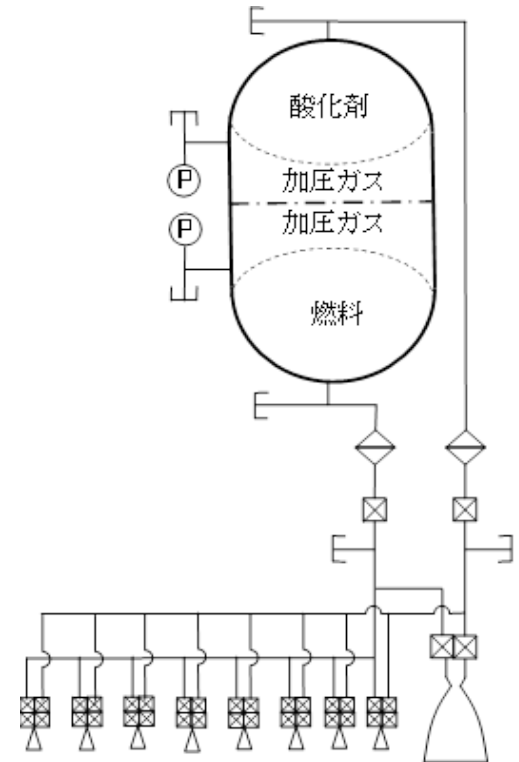
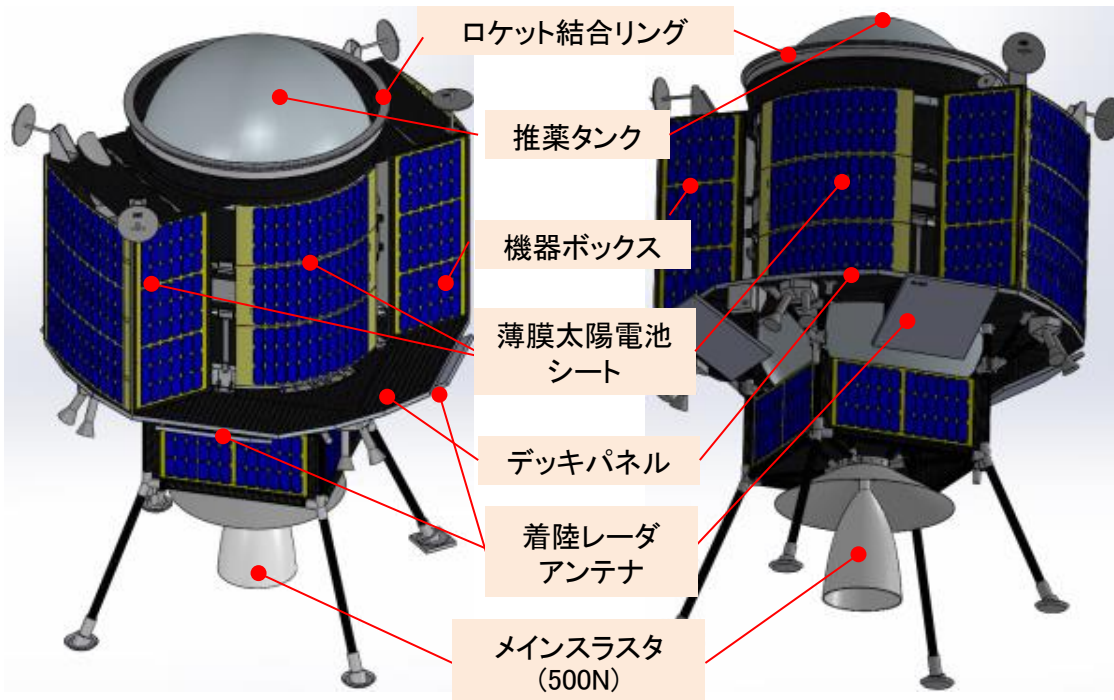
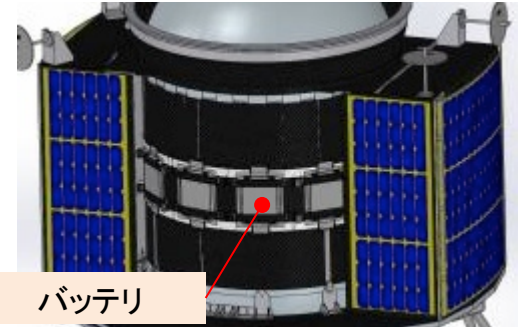
- ・着陸誘導制御系
- ・着陸衝撃吸収システム
- ・障害物検知手法
- ・画像照合航法
- ・先端電源系
- ・先進熱制御系
- ・タンクを主構体とする構造

- 従来の衛星・探査機設計とは一線を画す工夫・アイデアによる小型軽量化
- ・推進薬タンクが主構体を兼ねる構造
 - ・「宇宙機の省エネ化」「搭載機器の統合化」「電源のデジタル化・高性能化」
 - ・民間ベースの技術応用(デジカメの顔認識技術による月面クレータ分布検出)

工程表に基づく確実な実現のため、平成31(2019)年度の打上げを目指した開発スケジュールを検討しているところ

SLIM探査機システム概要

- ドライ質量は約120kg
(ウェット質量は約520kg、いずれも検討中)
 - 質量的には、小型衛星「れいめい」に推進系を付けたのと同様
 - 推進剤は、ヒドラジン (N_2H_4) / 四酸化二窒素 (MON-3)
- 推進系の質量割合が大きく、ロケット的な要素が強い探査機である



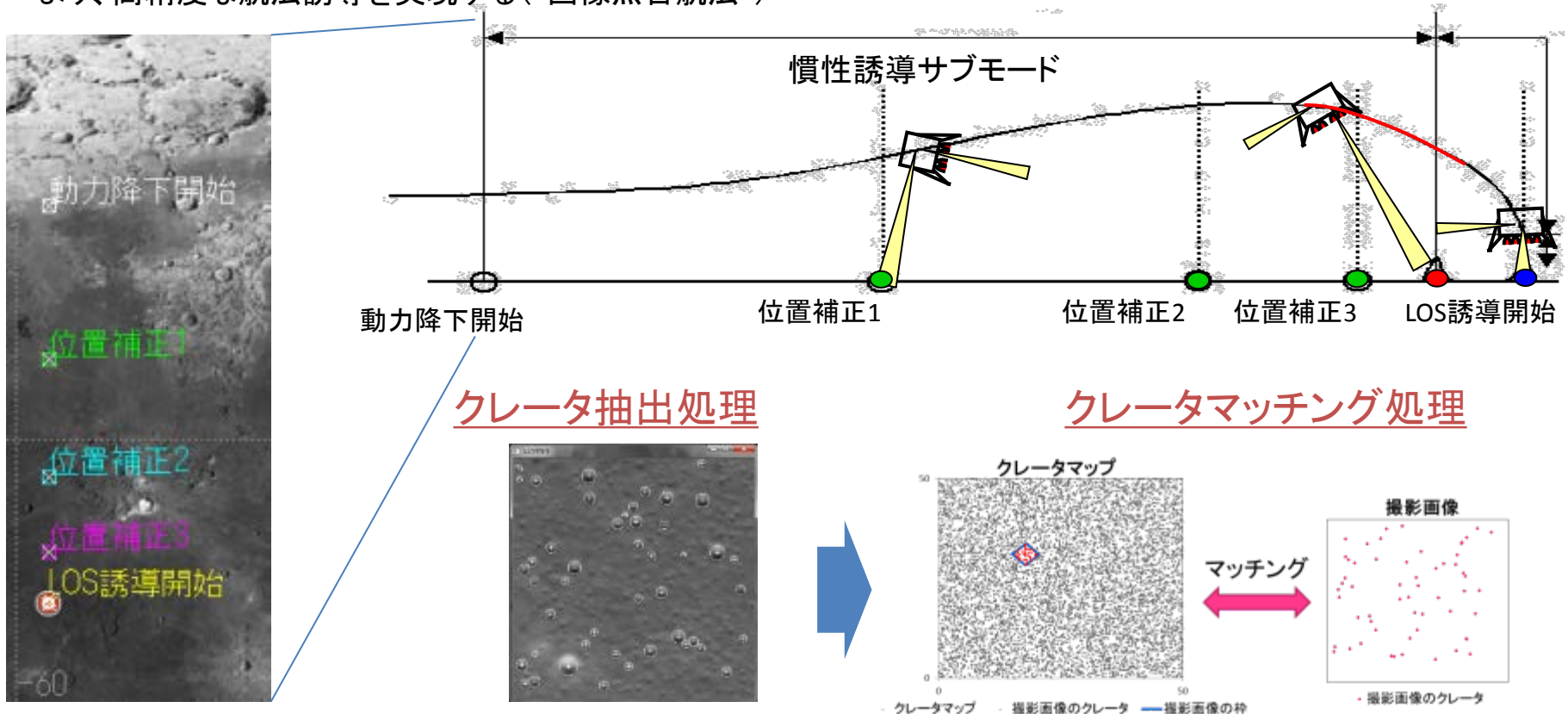
推進系構成図(案)

“ピンポイント着陸”実現へ向けて

～将来月惑星探査で必須の「降りたいところに降りる」ための高精度着陸技術の習得～

地上からの軌道決定と慣性航法で達成できるkm精度の着陸に対し、100m精度の着陸には、技術レベルが質的に異なる「画像航法」技術により、位置推定精度を高めることが必須である

- 動力降下中、探査機は決められた複数のポイントで月面を撮像
- 抽出したクレータ等と地図データベースを探査機上でリアルタイムに照合、現在位置を特定し、誘導に反映。これにより、高精度な航法誘導を実現する(“画像照合航法”)



他国の着陸技術の動向などについて

- 我が国は、小天体への高精度着陸は実現しており、その点では優位性を持つが、一方で重力天体への着陸は未達成である。重力天体への高精度着陸技術は、将来の深宇宙探査の基本インフラであり、自在性確保の観点からも我が国として早期に獲得すべき技術である。
- 諸外国で実施済みの重力天体着陸は、基本的には地上からの軌道決定と慣性航法を使用しているため、精度はkmオーダーに留まる。これに対して、SLIMでは、天体の地形を撮像した画像を利用することで位置推定精度を高め、1桁以上良い精度の実現を目指している。
- 同様の精度を目指す着陸技術については、米国の民間ベンチャーでも検討がされている。しかしながら、現実的に宇宙で使用できるロバスト性や軽量化を考慮しているという観点で、現状、SLIMが唯一の計画と自負している。

探査機名	実施国	打上年	着陸精度	質量(打上時)
過去の計画(抜粋)				
サーベイヤー1号	米国	1966	(アポロ実証機)	995.2kg
サーベイヤー7号	米国	1968	(アポロ実証機)	1039kg
アポロ11号	米国	1969	誤差楕円20km(downrange) x 5km(crossrange)	司令・機械船: 28.8t 着陸船: 15.2t
アポロ12号	米国	1969	誤差楕円13km(downrange) x 5km(crossrange) 結果は163m(ターゲット: Surveyor III)	司令・機械船: 28.8t 着陸船: 15.2t
ルナ9号	ソ連	1966	(“Luna-9,13はシンプルなナビゲーションだった”、	1538kg
ルナ13号	ソ連	1966	エアバッグによるランダ軟着陸)	1620kg
ルナ20号	ソ連	1972	(“Luna-18クラッシュ地点から1.8km”)	5727kg
嫦娥3号	中国	2013	(“予定していた虹の入江ではなく、やや東にずれ た雨の海北西部に着陸”)	3700kg
将来の計画(把握分)				
Astrobotic Griffin Lander (Google Lunar XPRIZE)	米国	2017(予定)	100m	2360kg
Resource Prospector Mission	米国	2019(予定)	100m(ミッション要求精度)	(不明)
ルナ25号(Luna Grob Lander)	ロシア	2016(予定)	30km	1450kg
ルナ27号(Luna Resurs Lander)	ロシア	2018(予定)	3km	2200kg
嫦娥4号	中国	2020まで(予定)	(不明)	3700kg
嫦娥5号	中国	2017(予定)	(不明)	(不明)
チャンドラヤーン2号	インド	2017(予定)	誤差楕円30km(downrange) x 15km(crossrange)	3200kg

注: ミッション内容、ロケット/IFが同一ではないため、単純な比較は困難であるものの、ロケットで月遷移軌道まで投入されず、その分の推薬が追加で必要となるSLIMが最も軽量であるのが特徴的。

国際宇宙探査シナリオ上の位置付け

- ISS・国際宇宙探査小委員会において、我が国が「主体的に貢献」する方針の下、「我が国のポストISSとしての国際宇宙探査の進め方」が議論されている。
- 我が国が主体的に参加するためには、技術的優位性が必須であり、重力天体への着陸経験がない我が国にとって、SLIMにより月面着陸を実証することが有効である。
- 他国に比べてより技術難易度の高い「ピンポイント着陸」を実証することで、我が国のプレゼンス向上につなげる。

我々の太陽系の総合的理解に向けて(試案)

JAXA宇宙科学研究所が運用・開発・検討を進める探査ミッション群(候補含む)



BepiColombo(2016-,ESA共同)
灼熱の水星の磁気圏

はやぶさ(2003-10)、はやぶさ2(2014-20)
始原的小惑星へ

JUICE(2022-, ESA主導)
巨大ガス惑星系の起源と
氷衛星地下海の形成解明

あかつき(2010-)
惑星気象学

SLIM(FY2019目標)
我が国初の月面着陸

ソーラ電力セイル(構想中)
木星軌道の、より始原的な小惑星へ

火星衛星サンプルリターン(構想中)
衛星起源の解明と火星環境史の理解へ

かぐや(2007-09)
月周回軌道から全球観測

參考資料

「宇宙科学・探査ロードマップ」策定に至る経緯

- ① (以前の)宇宙基本計画(平成25年1月25日宇宙開発戦略本部決定)において、「宇宙科学等のフロンティア」は3つの重点課題のひとつとして位置付けられた。また宇宙科学・探査の推進については、「一定規模の資金を確保し、世界最先端の成果を目指す」とされ、「一定の資金確保に当たっては、科学の発展や衛星開発のスケジュールに柔軟な対応が必要である」とされた。
- ② 日本の宇宙科学の実行は、大学共同利用によるコミュニティからの提案に基づいてプロジェクト実行を行う方法で機能してきた。この「一定規模」に係る適切な議論を行うために、従来蓄積された実績や生み出された成果に立脚し、かつ現状進められている研究・プロジェクト提案活動などに基づいて、中長期的な計画を戦略的に策定することが求められていた。
- ③ 宇宙科学・探査の今後の計画を俯瞰し、戦略性を持って今後の計画を策定するため、宇宙研の宇宙理学・工学委員会の下にタスクフォースを設置し、ロードマップを策定し提示した。これに基づいて宇宙研として、宇宙政策委員会 宇宙科学・探査部会(第7回:平成25年9月19日)に報告した。