

資料 56 - 6

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56回) R2 .5.19

宇宙科学ミッション 打上げ計画について

令和2年(2020年)5月19日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

國中 均

目次

1. X線分光撮像衛星(XRISM)開発状況及び打上げ時期変更について
2. 小型月着陸実証機(SLIM)開発状況及び打上げ時期変更について
3. 深宇宙探査技術実証機(DESTINY+)開発状況及び打上げ時期変更について

1. X線分光撮像衛星(XRISM)開発状況及び打上げ 時期変更について

- 2019年度より詳細設計フェーズを開始し、衛星バス/ミッション機器について、順次フライト品の製作・試験を実施中。
- 共同プロジェクトの相手であるNASAよりスラスタ噴射異常発生時対策の必要性の要請があり、ロバスト性向上に資すると判断するとともに信頼性確保最優先の方針から機能追加を行う。打上げ時期を2021年度から変更して2022年度を目指す。
- 現時点の開発スケジュール変更によるミッション意義/成功基準等は、当初計画から変更無い。
- ミッション機器の試験中に不明事象が発生しており、原因究明・対策検討中である。

年度	H30 (2018)	H31/R1 (2019)	現在 R2 (2020)	R3 (2021)	R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)
変更後 マイルストーン	▲ プロジェクト 移行	▲ 基本設計 審査(PDR)	▲ 計画変更審査 ▲ 詳細設計審査(CDR)		▲ 打上げ			
当初	衛星バス機器設計・製作・試験		衛星システムインテグレーション	フライト モデル試験	射場	運用		
	ミッション機器設計・製作・試験		ミッション機器試験等					
変更後	衛星バス機器設計・製作・試験		スラスタ噴射異常対策機能確認試験等					
		衛星システムインテグレーション		フライト モデル試験	射場	運用		
	ミッション機器設計・製作・試験		ミッション機器試験等					

スラスタ噴射異常対策(ロバスト性の向上)について

- 「ひとみ」異常事象に対しては、XRISMでは姿勢軌道制御系の信頼性向上やパラメータ管理の徹底等、様々な対策を取っている。また、「ひとみ」が軌道上で異常回転に至った最終要因であるスラスタ噴射異常については、FTAに基づき個々の要因に対して異常発生を防止する対策を講じることで、「スラスタ噴射異常を起こさない設計」としている。
- 今般「設計範囲内では想定できない要因」によりスラスタ噴射異常が発生した場合に対し、更に衛星のロバスト性を向上する対策を講ずる。
- スラスタの噴射による衛星の回転を監視し、設定した閾値を超えた場合にはスラスタの噴射を停止する機能を追加する。
- 本機能が動作しスラスタの噴射が停止した状態（姿勢制御を停止した状態）で長時間放置するとバッテリー枯渇のリスクがあることから、JAXAの地上局に加えNASAの地上局も追加することで不可視時間を削減し、衛星管制運用を強化する対策を併せて講ずる。

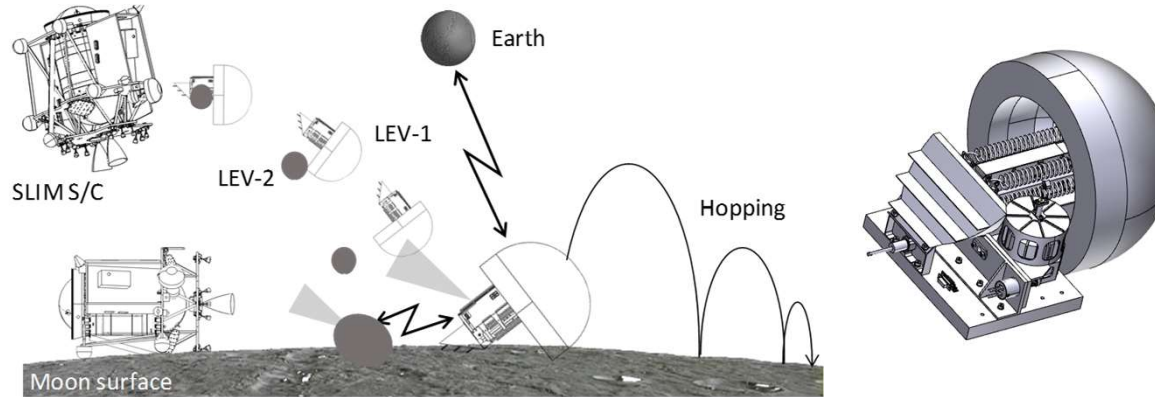
2. 小型月着陸実証機 (SLIM) の開発状況及び 打上げ時期変更について

- 基本設計フェーズの活動を完了し、2019年度初頭から、詳細設計フェーズの活動を開始している。詳細設計と併せて、開発モデルを用いた試験なども実施している。
- 詳細設計結果を踏まえて、現在、一連の詳細設計審査プロセスを順時進めている（現時点で60%程度の審査を完了）。
- 今後は、詳細設計完了を経て、2020年度後半からはフライト品の製造・試験を本格化していく予定。
- H-IIA相乗りのXRISM打上げ時期変更により、打上げを2021年度から変更し2022年度を目指す。これに対応して打上げウインドウ解析等を進めている。

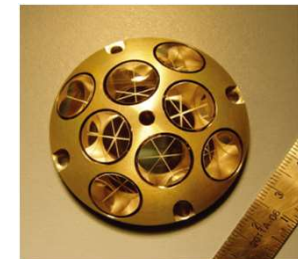
年度	28 (2016)	29 (2017)	30 (2018)	31/R1 (2019)	R2 (2020)	R3 (2021)	R4 (2022)
主要 マイルストーン	▲プロジェクト 移行		基本設計審査会 (PDR)	詳細設計審査会 (CDR)		▲ 打上	▲ 打上
探査機	基本設計			詳細設計	維持設計	運用	
					組立・ 機装	フライトモデル 総合試験	射場

(参考) 月面着陸後ミッションの検討状況

- ▶ **SLIM**の主目的は「小型着陸機によるピンポイント着陸技術実証」であるが、月面着陸成功後は、追加ミッションも実施する予定。
- ▶ 「マントル由来と考えられる岩石の成分分析（分光カメラ）」については、第43回宇宙開発利用部会（2018年8月2日）にてご報告したが、以下のオプションについても検討を進めている。
 - 小型プローブ（**LEV**）は、月表面移動技術や自律機能等の工学技術実証のために開発中の、質量**3kg**前後の小型ロボットである。
 - **SLIM**探査機の着陸状況観測に繋がる可能性もあり、搭載を検討している。



- 米国**NASA**との協力の一環として、**NASA**から小型リフレクタ（質量約**21g**）の搭載を打診されており、検討・調整を進めている。
- 月周回機からレーザ測距を行うことで、周回機の精密軌道決定や月の科学観測等に資すると考えられている。



3. 深宇宙探査技術実証機 (DESTINY+) 開発状況及び 打上げ時期変更について

ミッションの概要

理工一体ミッションであるDESTINY+が目指すもの

1. 小型深宇宙探査機技術の獲得 及び
2. 流星群母天体のフライバイ観測および惑星間ダストのその場分析

<工学ミッション>

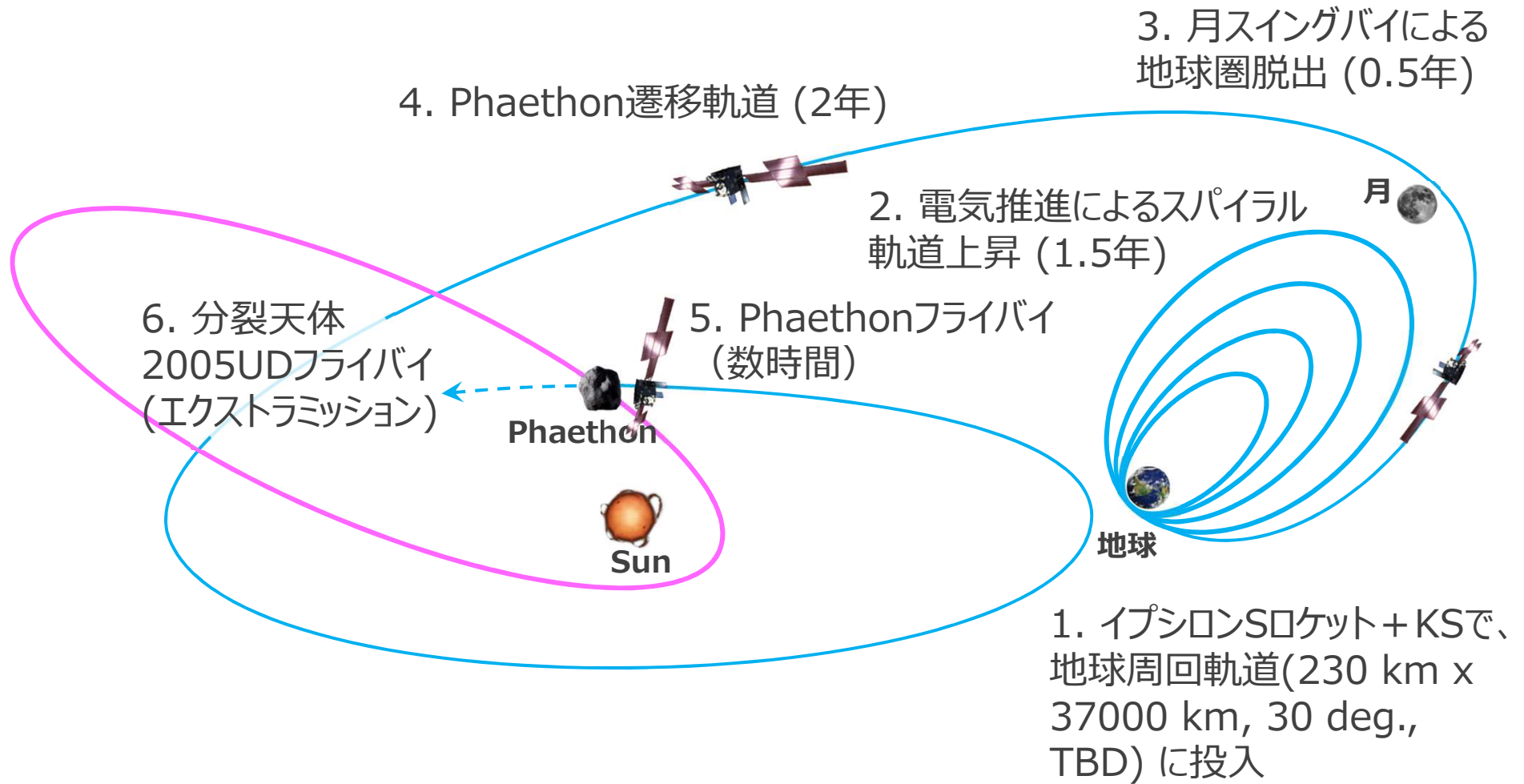
1. 電気推進の活用範囲の拡大
(航行能力倍増、重力天体周回・脱出対応)
且つ
2. 先進的なフライバイ探査技術の獲得
(近接高速フライバイ、マルチフライバイ)

<理学ミッション>

1. 地球外からの炭素や有機物の主要供給源たる
地球飛来ダストの実態解明
(組成・速度・到来方向の分析) 且つ
2. 地球飛来ダストの特定供給源であるふたご座
流星群母天体Phaethonの実態解明
(形状・地形・物質分布からダスト放出機構を探る)

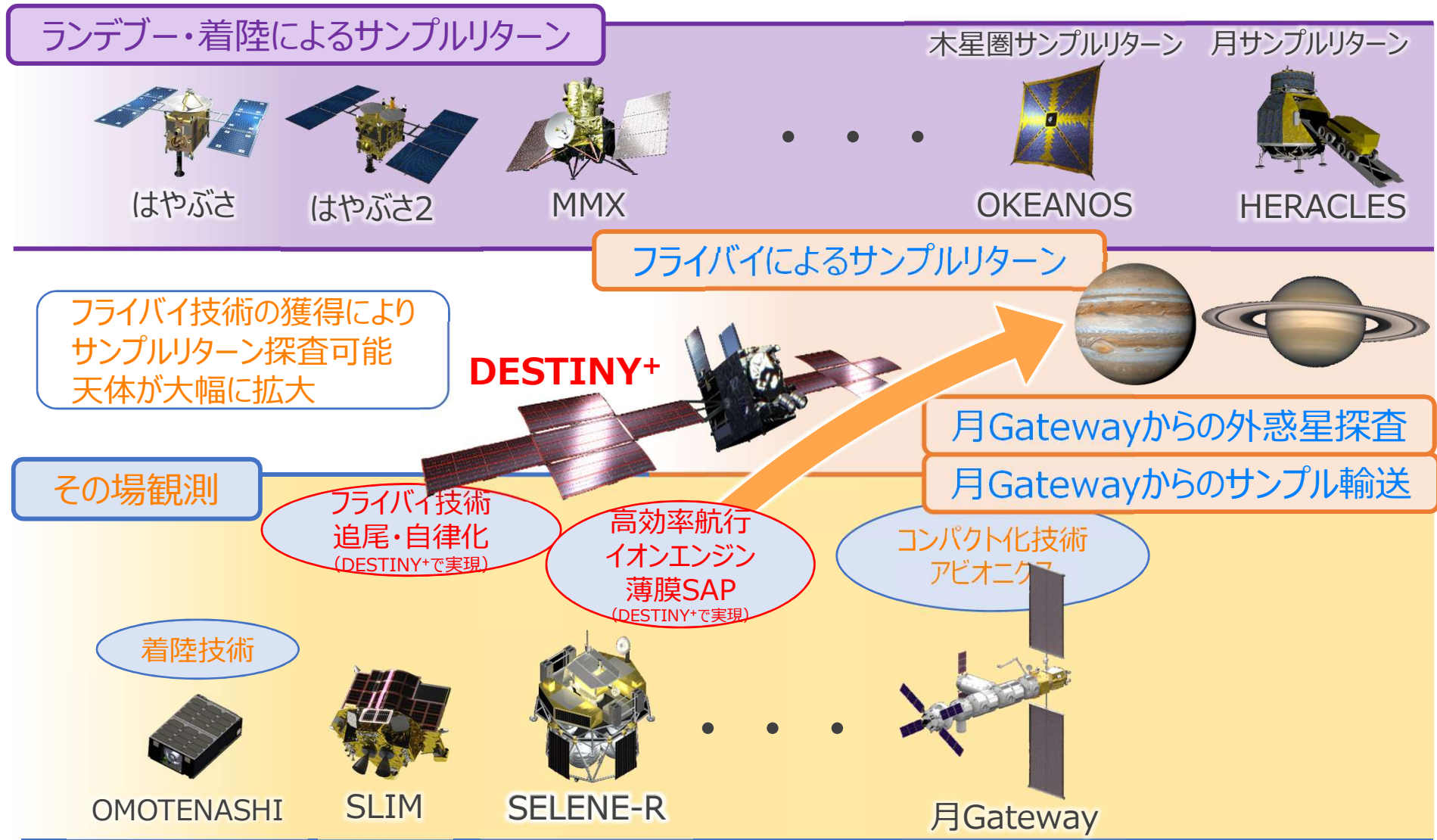


DESTINY+ ミッションプロファイル



地球周回低軌道から、電気推進により、深宇宙への探査に挑む初の探査機

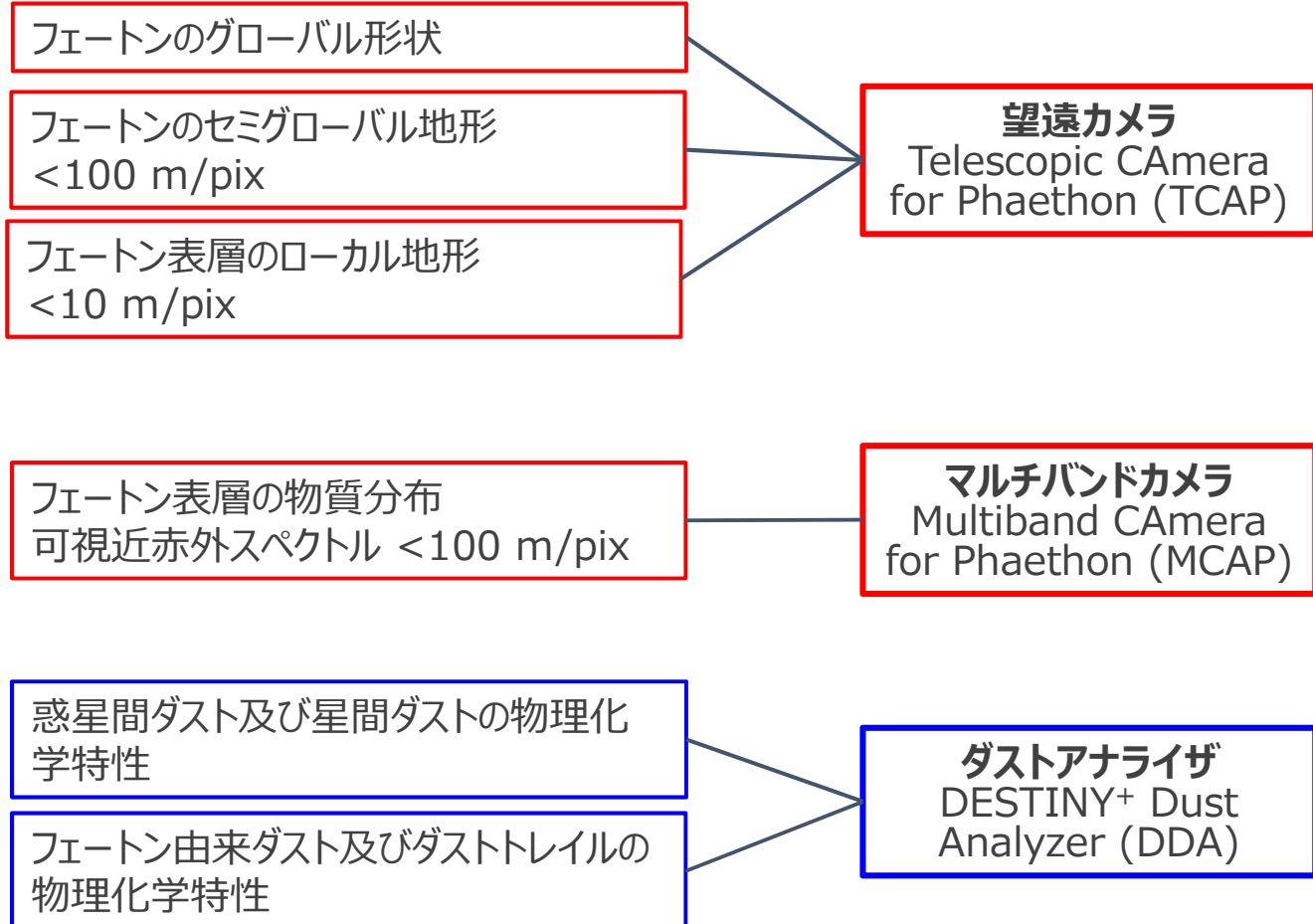
DESTINY+の技術開発結果がもたらす未来



小型ロケット+イオンエンジンで、太陽系探査の自由度を高め、高頻度での探査を可能とする

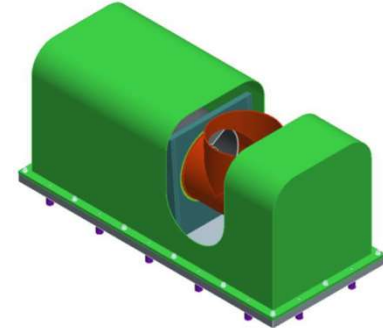


DESTINY+ 理学ミッション目標を実現する観測装置

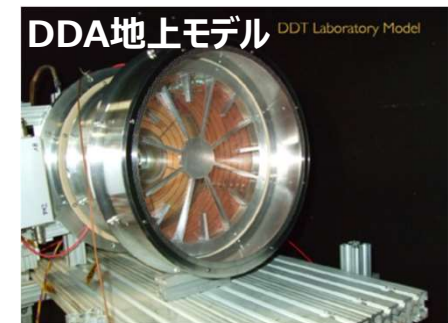
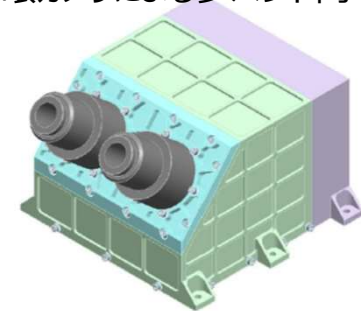


- ドイツとの国際協力によりシュツットガルト大が開発。
- カッシーニ搭載ダストアナライザ(CDA)の進化版.世界最高性能のダスト分析装置。
- 衝突電離型ダスト検出器 & 飛行時間型質量分析計により高速衝突ダストの質量分析可能。
- ダスト粒子毎の質量、速度、飛来方向、化学組成がその場で分析可能。

TCAP
駆動鏡を用いた追尾機能有り



MCAP
複眼カメラによる多バンド同時撮像

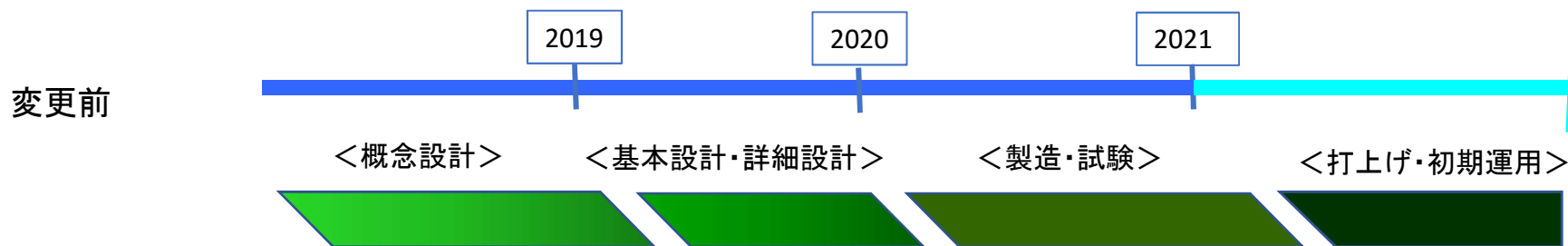


- 開発状況

探査機システム概念設計やクリティカル技術検討を進め、FY2019よりクリティカル技術であるイオンエンジン開発を開始。

- 以下の理由により、打上げ時期をFY2021からFY2024へ変更する。

- 主要観測機器であるダストアナライザ（ドイツ提供）において、ドイツの予算獲得スケジュールが遅れたこと、また観測の確実を期する為に、ドイツにてQM（認定モデル）の製造・試験、校正・検証の実施期間を追加したこと。
- はやぶさ2の運用を通して得られた知見（イオンエンジン熱設計関連）への対応が必要となったこと。



変更後

年度	R2 (2020)	R3 (2021)	R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)
主要 マイルストーン		基本設計審査会 (PDR)	詳細設計審査会 (CDR)		▲ 打上
探査機	概念/予備設計	基本設計	詳細設計	維持設計 組立・ 艀装	射場 運用 フライトモデル 総合試験

付録

X線分光撮像衛星 (XRISM)

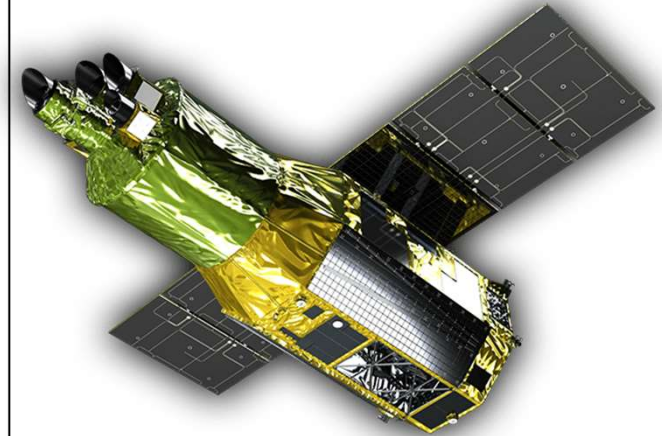
概要・目的

○ X線分光撮像衛星 (XRISM) は、不具合によるASTRO-H「ひとみ」※の喪失を受け、国内外の宇宙科学コミュニティ、宇宙関係機関等の要望を踏まえて、再発防止対策を確実に実施した上で、ASTRO-Hが目指していたサイエンスの早期回復を目指す。

○ 本衛星は、X線超精密分光による高感度観測を実現するミッションで、現代宇宙物理の基本的な課題である宇宙の構造と進化にかかる数々の謎の解明に挑む。また、宇宙の包括的理解には様々な波長での観測が必要であり、現在、大型地上天文台ALMA (ミリ波・サブミリ波)、Fermi衛星 (ガンマ線) が稼働、JWST (可視・近赤外) などの次世代軌道上衛星が計画されており、本衛星はX線領域においてこれらと伍して研究を行う能力と規模を有している。

○ さらに、現在、観測を行っているチャンドラ (NASA)、XMM-newton (ESA)等のX線天文衛星については、打上げから年月が経っており、2010年代はひとみの他にX線天文衛星の打上げ予定がないため、X線天文衛星の空白期間を避けるためには、早期の打上げが必要となる。

※. ASTRO-H「ひとみ」は、これまで世界のX線天文学を牽引してきた日本が主導する先進的な観測機器により、宇宙科学のフロンティアを拓く大型国際ミッション (米欧と協力) である。



期待される成果と効果

○ 宇宙の構造と進化にかかる数々の謎の解明：

宇宙最大の天体である銀河団は、衝突や合体を経て進化・発展しているものと考えられる。銀河団中の高温ガスの速度分散は、X線分光撮像衛星により初めて測定可能となる。これにより、数千万光年規模の宇宙史最大の現象である銀河団衝突によるエネルギー集中の様相が運動学的に解明できる。

○ 先端テクノロジーの開拓：

X線分光撮像衛星の最先端観測装置は、放射線検出器としても革新的なものであり、医療・生体計測での放射線利用の精密化・小線量化、半導体内の不純物微量分析など、幅広い範囲への応用が期待される。また、大型衛星の開発・国際協力に伴い、日本の宇宙産業技術の底上げがなされる。

主要諸元

打上げロケット：H-IIAロケット

主要諸元：質量：約2.3t

軌道：地球周回円軌道

(高度 約550km, 軌道傾斜角 31°)

主な観測機器：SXS、SXI

観測期間：3年

軟X線望遠鏡 (SXT-S)

軟X線望遠鏡 (SXT-I)



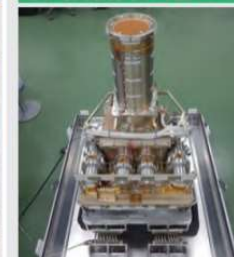
可視光の望遠鏡のレンズに対応するX線望遠鏡。ただし可視光の場合とは違い、1000枚以上の反射鏡を用いて、同心円状に200層以上並べた構造をしています。口径は45cm、焦点距離は5.6mです。

軟X線

軟X線分光検出器 (SXS)



軟X線撮像検出器 (SXI)



小型月着陸実証機 (SLIM)

目的

- **小型探査機による高精度月面着陸の技術実証を行い、将来の宇宙探査に必須となる共通技術**を獲得する。
 1. 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（他国の一桁上の精度を目指す）
 2. 月惑星探査を実現するためのシステム技術の習得（探査機バスシステムの軽量化）
- このため、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）や月面クレータ分布検出のために、民間技術（デジカメの顔認識技術）を応用したアルゴリズム開発を行う。

期待される成果と意義

- 将来の宇宙探査に必要な共通技術を獲得することにより、将来の国際宇宙探査・太陽系科学探査に貢献する。また、他国に比べ技術難易度の高い「ピンポイント着陸技術」を実証することで、我が国のプレゼンス向上につながる。
- 本計画は、宇宙基本計画（「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为目标として計画的に進める」）及び宇宙科学・探査ロードマップ（「太陽系探査科学分野は、将来の本格探査に備え、機動性の高い小型ミッションによる工学課題克服・技術獲得を行う」）の実現のための第一歩である。

計画概要

運用期間：

数ヶ月程度

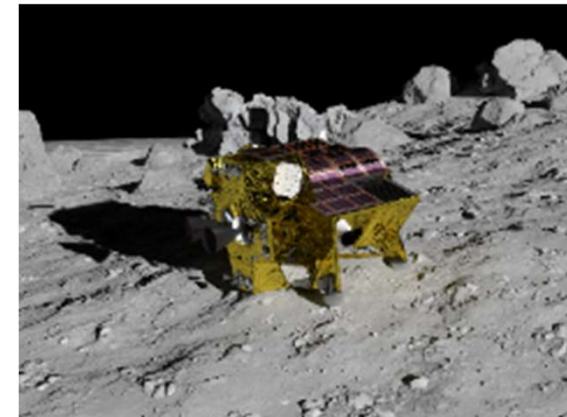
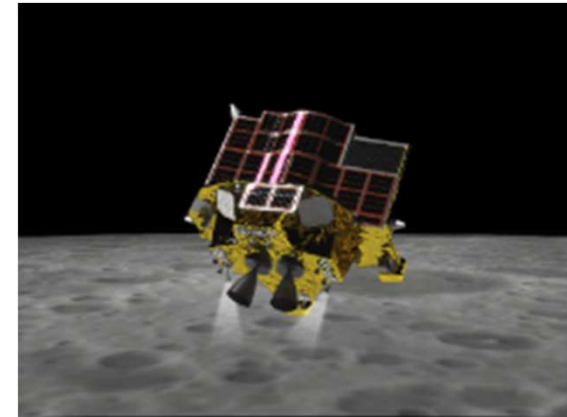
探査機重量：

約200kg（DRY質量）

約730kg（推進薬含む質量）

実施体制

宇宙科学研究所内にプロジェクトチームを置き、大学等の研究コミュニティの研究者と協力して実施する。また、各研究開発部門や、国際宇宙探査の検討チームと連携して実施する。

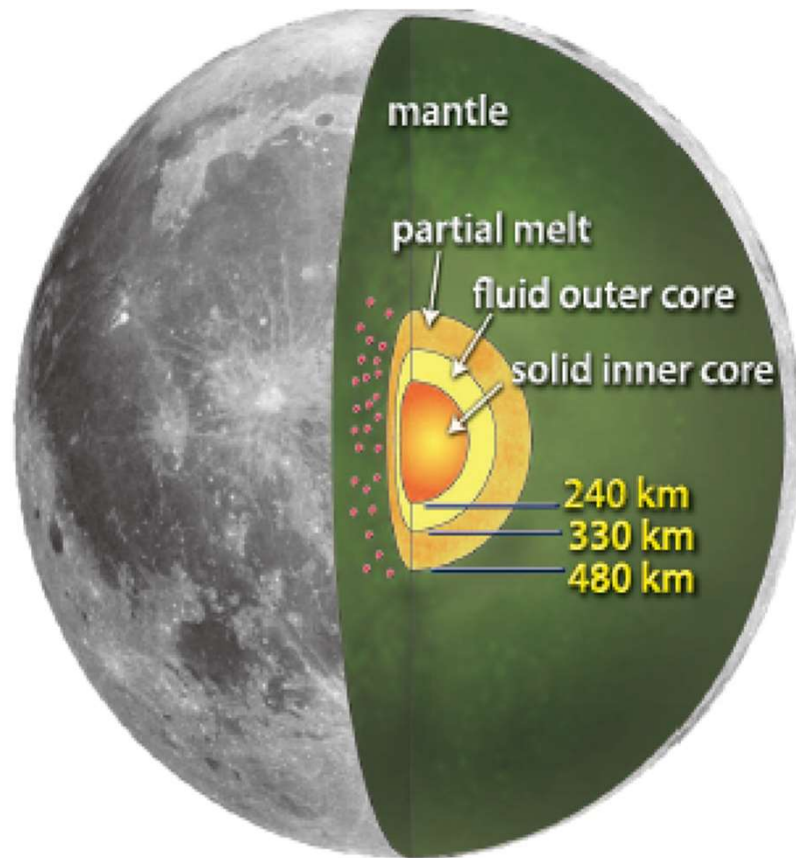


着陸イメージ

【付録】 SLIM分光カメラの科学目標と測定精度

(第43回宇宙開発利用部会 (2018年8月2日) ご質問への回答)

着陸候補地点 カンラン石地帯



(Weber et al., 2011)

<SLIM分光カメラの観測目的>

- 月全体の化学組成は、その90%以上の体積を占めるマントルの化学組成次第である
- しかし、これまでにマントルから直接もたらされた月試料は得られていない
- SLIMでは、「かぐや」で発見されたマントル由来物質（カンラン石を主成分とする岩石）である可能性が高い地点に着陸し、その場観測でその組成を得る

<求められる測定精度>

- これまでの研究では、月のマントルの $Mg\# = Mg/(Mg+Fe) \times 100$ (モル比) は80~90までの値で推定されているため (Fe量としては地球と同等から2倍までの範囲に相当する), MBCではおおよそ60~90までの間で±5程度でMg#を推定する (60は該当物質がマントル由来物質で無かった場合の想定) .

<分光カメラの測定精度>

- 地上実験で得られた反射スペクトルを用いたモデル計算から、分光カメラはMg#を60~90までの範囲で±5程度で識別でき、必要な観測データが得られることが確認できている。 (*詳細は次ページ)

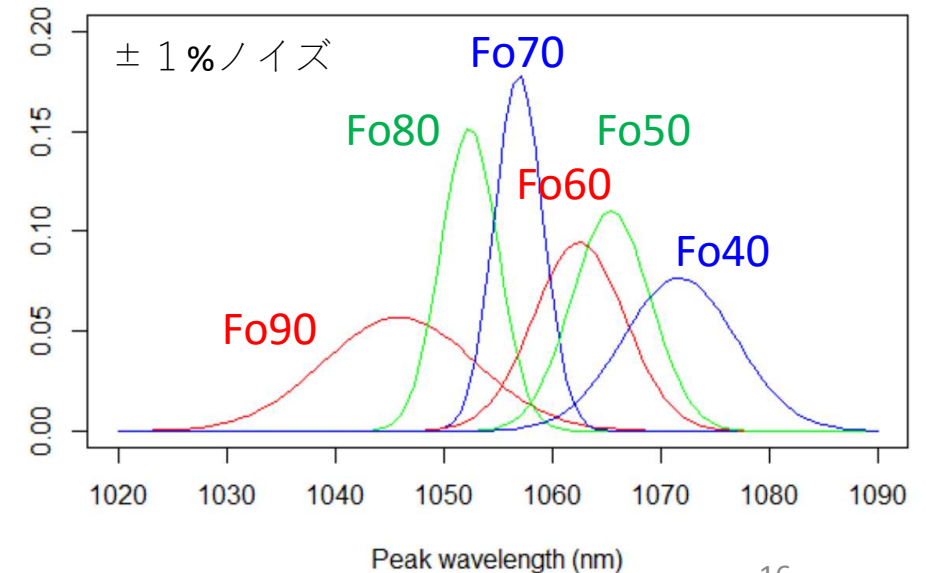
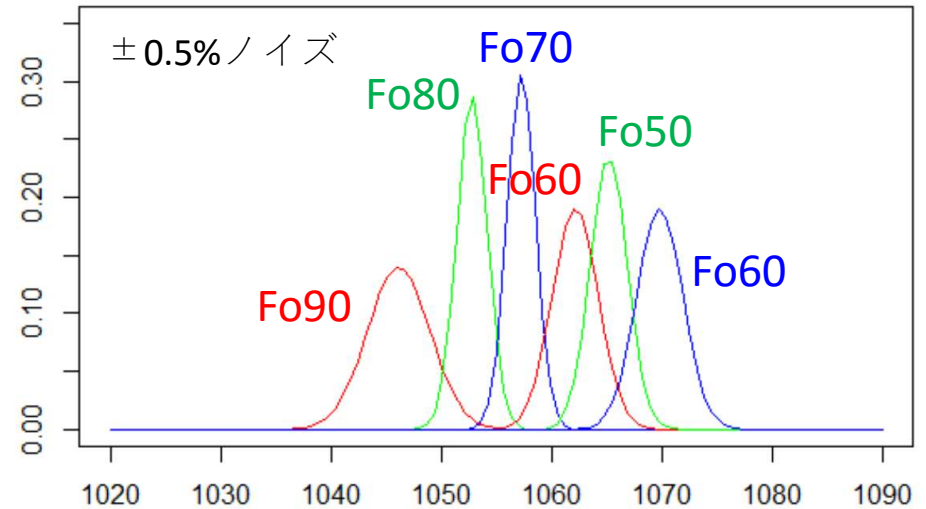
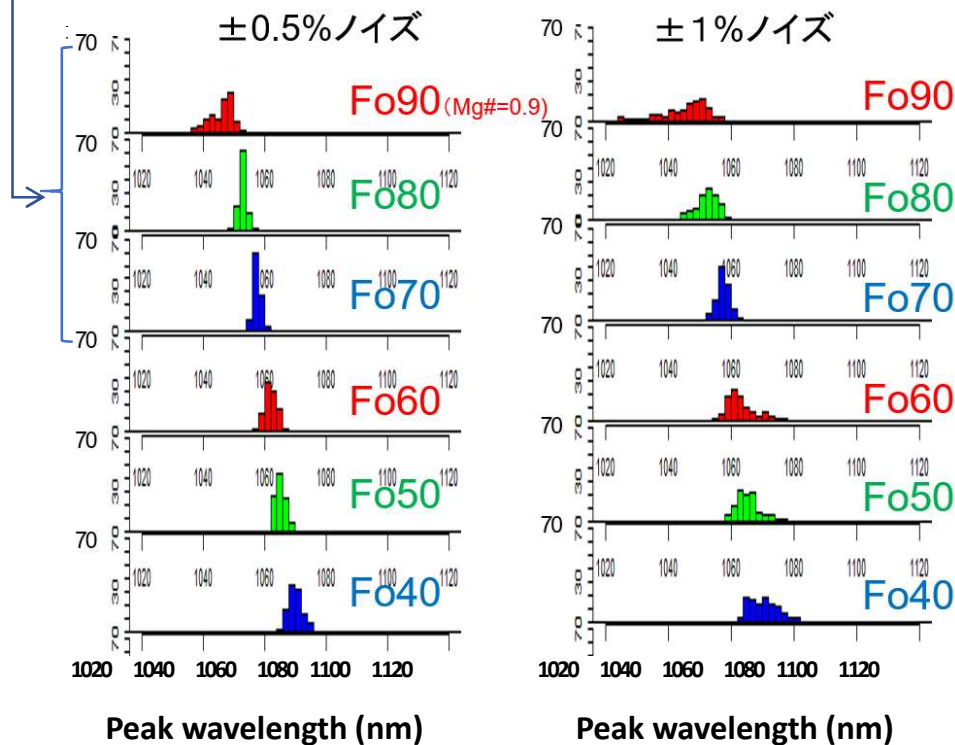
【付録】分光カメラの測定精度推定

(第43回宇宙開発利用部会 (2018年8月2日) ご質問への回答)

地上実験で得られたカンラン石の反射スペクトルを用い、ノイズを加えたモデル計算から、Mg#を60~90までの範囲で±5程度で識別できることが確認できる。

月マントルのMg#として想定される範囲

推定ピーク波長の頻度分布

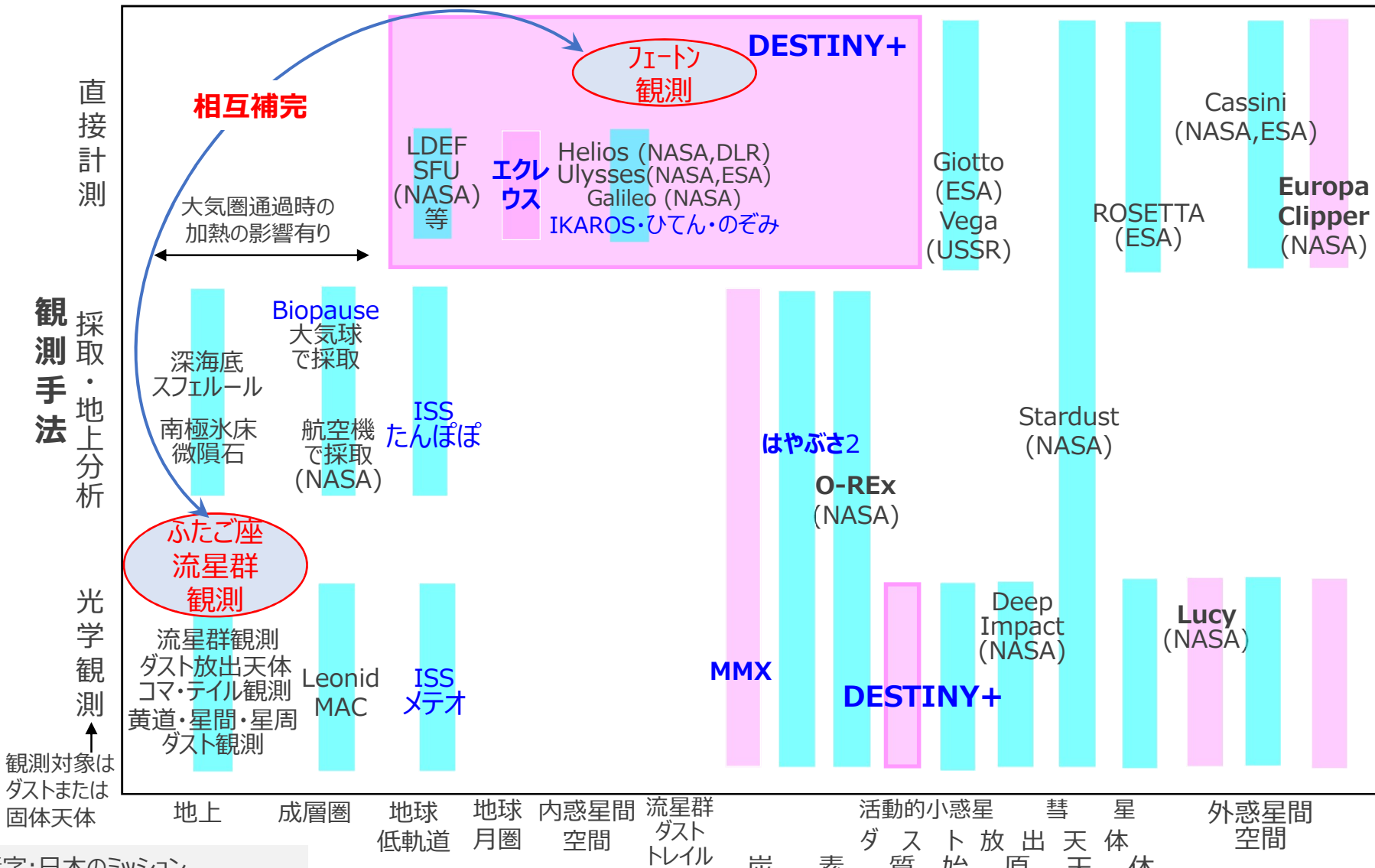


複数の画素 (場所) の情報を統計処理することによってピーク分離が可能

*分光カメラのノイズは上記仮定値程度の見込み

DESTINY+ 地球飛来ダスト研究におけるベンチマーク（一例）

DESTINY+は、地球飛来ダストの実態と起源の理解に必要であるダスト粒子毎の物理特性および化学組成の両方をダストの輸送経路の各地点（地球周回—惑星間空間—ダストトレイル—流星群母天体）において直接計測することが強みである。



青字:日本のミッション
 桃色:今後の探査で埋まる領域
 太字:運用中または開発中

地球飛来ダストの輸送経路での観測地点の増加