

深宇宙探査技術実証機 (DESTINY+) の開発状況について

2025月 8 月22日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

理事 藤本正樹

DESTINY+プロジェクトマネージャ 高島健

本日のご報告内容

- 深宇宙探査技術実証機DESTINY+ は小型深宇宙探査機技術の獲得と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を目指し、理工一体のミッションとして2021年6月28日に宇宙開発利用部会で審議・了承いただき、開発に着手。
- 令和6年度宇宙基本計画工程表（2024年12月）で打上げロケットをイプシロンSロケットからH3ロケット、打上げ年度が2025年度から2028年度へ変更となったことを受け、見直しを含む検討することになった。
- 本日は、DESTINY+ の検討結果、開発状況及び今後の予定について以下のとおり報告する。
 1. DESTINY+ 概要（ミッション概要、経緯）
 2. 開発状況について
 3. 成功基準（意義・価値）及びアウトカムについて
 4. 今後の予定



1. ミッション概要

理工一体ミッションであるDESTINY+の目的

1. 小型深宇宙探査機技術の獲得
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
2. 先進的なフライバイ探査技術の獲得

<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
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(3200) Phaethonの実態解明

DESTINY+が目指すフライバイ探査

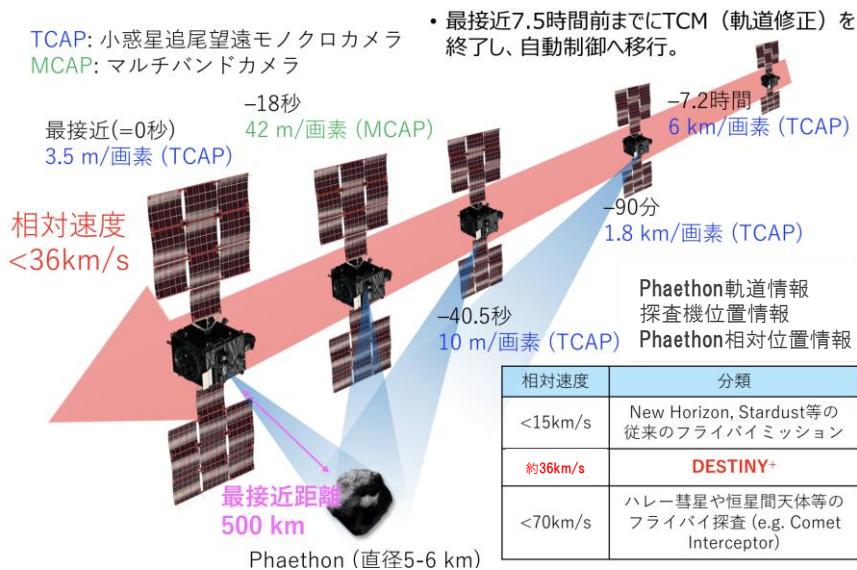


図1 フライバイ探査概要図

表1 主な搭載機器

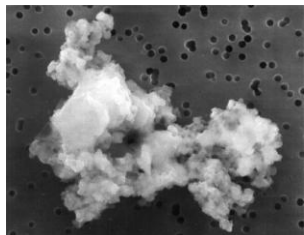
略称	名称	機器概要・観測対象・実証内容
TCAP	望遠カメラ Telescopic CAmera for Phaethon	駆動鏡を用いた追尾機能有の望遠カメラ (千葉工大と共同研究) <観測対象> Phaethonのグローバル形状 Phaethonのセミグローバル地形 <100 m/pix Phaethon表層のローカル地形 <10 m/pix
MCAP	マルチバンドカメラ Multiband CAmera for Phaethon	複眼カメラによる多バンド同時撮像カメラ (千葉工大と共同研究) <観測対象> Phaethon表層の物質分布 可視近赤外スペクトル <100 m/pix
DDA	ダストアナライザ DESTINY+ Dust Analyzer	ドイツとの国際協力によりDLR/シュットガルト大学が開発。ダスト粒子毎の質量、速度、飛来方向、化学組成のその場分析を行う <観測対象> 惑星間ダスト及び星間ダストの物理化学特性 Phaethon由来ダスト及びダストトレイルの物理化学特性
RTP	可逆展開ラジエータ Reversible Thermal Panel	軌道上で電力を用いない開閉型のラジエーター <実証内容> 軌道上での展開収納動作確認と熱制御系実証
DSM	放射線計測 Dosimeter	探査機の放射線環境の計測 <実証内容> 新規の薄膜太陽電池評価のための放射線環境をモニターする
MDP	ミッションデータ処理装置 Mission Data Processor	ミッション機器(DDA, TCAP, MCAP)および実証機器(DSM, RTP)のデータハンドリングをとりまとめる

1. ミッション概要

JAXA 深宇宙探査戦略におけるDESTINY+

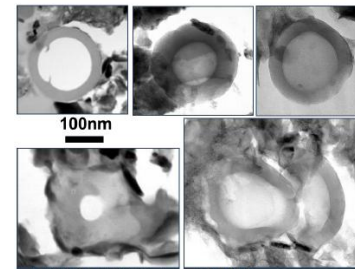
JAXA深宇宙探査全体の大目的

太陽系スノーラインより内側の惑星に水と有機物が持ち込まれた過程の理解



地球への有機物供給源としてのダストの意義

- 地球に飛来するダストは年間 4 万トン以上
- 隕石には稀な炭素質物質や有機物が豊富。
- 大気圏突入時の加熱を受けにくく、地上への有機物供給に有利。



Nakamura-Messenger et al. (2006)

DESTINY+ 理学ミッションの大目的

地球生命起源の外来仮説の実証のため、地球外からの有機物や炭素質物質の主要供給媒体と考えられる「**ダスト**」の実態を**輸送経路を辿り**調査する。



DESTINY+ 理学ミッションの目的

SMG1 地球飛来ダストの実態解明

SMG2 地球飛来ダストの特定供給源である流星群母天体の実態解明

1. ミッション概要

【DESTINY+の開発に係る経緯】

2021年6月28日	第61回宇宙開発利用部会でプロジェクト移行を承認・了承
2021年5月	プロジェクトチーム発足。基本設計を開始（打上げ予定は2024年度）
2022年10月12日	イプシロンロケット6号機打上げ失敗
2022年12月	総括基本設計審査会（総括PDR）実施
2023年7月14日	イプシロンSロケット第2段モータ地上燃焼試験において爆発事象が発生し、能代ロケット実験場「真空燃焼試験棟」が焼損
2023年12月	令和5年度宇宙基本計画工程表（2023年12月）にて打上げ年度を2024年度から2025年度に変更
2024年10月	総括PDRフォローアップ審査、及び計画変更審査（その1）（ISAS審査）を実施 （FY2024:12月 令和6年度宇宙基本計画工程表で打上げ予定2028年度、H3等に変更）
2024年11月26日	イプシロンSロケット第2段モータ地上燃焼試験において種子島で爆発事象が発生
2024年12月	宇宙基本計画工程表にて、打上げロケットをイプシロンSロケットからH3ロケット、打上げ年度を2025年度から2028年度に変更
2025年7月	打上げロケット・時期の変更の技術的検討等を踏まえ、JAXA内の計画変更審査を実施した。

2. 開発状況について

- JAXA内の計画変更審査において、①打上げ（ロケット・時期）、②ロケット変更に伴う探査機システム、③意義・価値の維持（成功基準の見直し）等について審査を行った。（2025年7月）
- 計画概要における主な変更点は下線部で示す。
 - ESAが開発しているRAMSESミッションとの相乗り打上げに向けた技術的成立性の目途が得られたため、相乗り打上げを前提とした開発とした。
 - イプシロンSロケットによるDESTINY+探査機の打上げに際し、探査機を軌道に投入するために開発することとしていたキックステージについては、H3ロケットへの変更に伴い、本プロジェクトの計画外と整理。ただし、今後の小型探査機による深宇宙探査にとっては必要不可欠な技術と認識しており、JAXA内の別組織にて開発は継続する。

表 2 DESTINY+計画概要

設計寿命	6.2年間
質量上限	483 kg（打ち上げ時、推薬含む） → <u>500kg程度（増加分は、ロケット変更に伴う構体補強、それに伴う燃料増加、バランスウェイトの追加等）</u>
打上げロケット・時期	<u>FY2026 イプシロンSロケット⇒FY2028 H3ロケット（H3-24形態 RAMSES/ESAとの相乗り）</u>
キックステージ	<u>なし（H3ロケット変更となったため）</u>
投入軌道	<u>スパイラル軌道⇒惑星間軌道直接投入</u>
姿勢制御方式	3軸制御（姿勢制御誤差 1arc-min以下）
通信周波数帯	X帯
太陽電池パドル 発生電力	設計寿命末期：2100W以上（動作点60V以上、太陽距離1.15 au、RDM=1.25）
電気推進	μ10イオンエンジン（ΔV 4km/s:後期運用含、最大推力40mN、比推力3000秒）
熱制御	従来型の熱制御に加えLHPを用いて、日照中のイオンエンジンからの排熱、日陰中の効率的な保温を行い、搭載機器を性能維持温度範囲内に制御
耐放射線性	約64krad（t=3mm Alシールド）

2. 開発状況について

- 2022年12月に総括基本設計審査会を実施し、現在詳細設計実施中。
- H3ロケット環境への適用に伴う探査機システムや一部コンポーネントの設計変更、軌道計画の見直しを実施。
- H3ロケット24形態かつESAミッションであるRAMSESとの相乗りを想定。
- RAMSESはApophisをランデブーしながら観測するミッションであることから、打上げ時期は2028年度が必須。

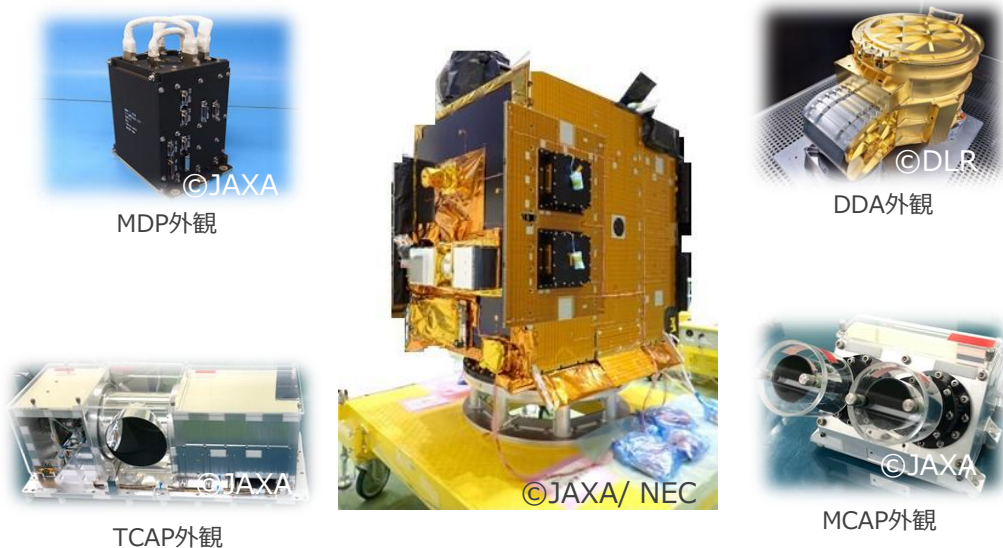


図2 探査機システム熱構造モデル及び搭載機器外観

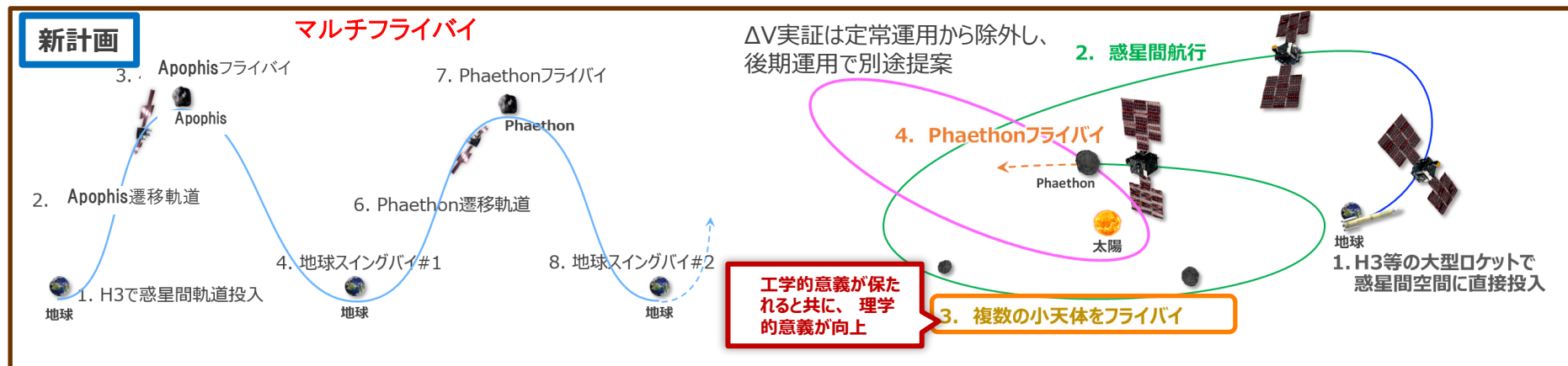
表 3 DESTINY+開発スケジュール

年度	R2 (2020)	R3 (2021)	R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)	R10 (2028)
マイルストーン	▼SRR	▼SDR	▼PDR				▼システムCDR	▼PQR/PSR	▼打上げ
探査機システム	概念/予備設計	基本設計		詳細設計			維持設計	射場	運用
							インテグレーション/システム総合試験		
実証・ミッション機器	EM設計/製造/試験	PFM/FM製造							
			FM試験						

3. 成功基準（意義・価値） 及びアウトカム

- H3ロケットへの変更に伴い、惑星間軌道への直接投入となったため、工学成功基準の前提であったスパイラル軌道上昇がなくなったことから、成功基準を見直し。Phaethonフライバイ時期（2030年度）の変更はなし。
- ✓ 工学ミッションの意義・価値は、探査能力の向上、マルチフライバイ、電気推進噴射姿勢自由度拡大のための熱設計実証とすることにより意義・価値を維持。
- ✓ 理学ミッションの意義・価値は、Phaethon以外の小天体周辺のダストの観測、Phaethon以外の小天体の地形と物質分布観測が追加となり、意義・価値を向上。
- ✓ 工学・理学の意義・価値に加え、2029年4月のApophis接近に伴い政策的・国際的な関心が高まっているプラネタリーディフェンス（地球防衛）活動に対し、Apophisフライバイ観測ができる運用計画となったことから貢献できる新たな可能性。

成功基準の見直し詳細は次頁以降に示す。



3. 成功基準（意義・価値）及びアウトカム

工学ミッションの成功基準の見直し

ロケット変更を受け、惑星間軌道に直接投入することに伴い、地球圏脱出（スパイラル軌道上昇と月スイングバイ）は実施できないことを踏まえた、成功基準の見直し案は下記のとおり。

成功基準（工学）の見直し方針：スパイラル軌道上昇削除による意義価値低下を補完すべく、エクストラであったマルチフライバイをフルサクセスに格上げし、高頻度なフライバイ探査能力獲得を掲げる。軌道上実証でなくなる項目の多くは基本的に地上試験で開発完了可能、もしくは軌道上実証できるため、計画変更による工学的意義の低下は限定的である。また、マルチフライバイをフルサクセスに格上げすることで、**工学ミッションとしての意義価値は下がらないと考える。**

ミッション目標	アウトカム目標	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
小型深宇宙探査 機技術の獲得 (MDR時点) Before	分野：深宇宙探査工学 目標：深宇宙航行・探査技術の小型化・高度化による、多様なミッションの創出 Before/After: これまでの我が国の深宇宙探査は中型計画による小惑星探査が主な手段であった。本ミッションで小型探査機による高度な深宇宙航行技術及びフライバイ探査技術を獲得することで、我が国の深宇宙探査計画に新たな切り口を加え、その機会を拡大することができる。	高性能電気推進航行機 惑星周回軌道で電気推進航行が可能な宇宙機を実現する。 (スパイラル軌道上昇運用終了時)	高度な軌道変換と航行能力の向上 電気推進を用いた高度な軌道変換により地球圏を脱出し、探査対象天体に到達する。 (小天体フライバイ完了時) フライバイ 地上/機上の航法により小天体にフライバイし、1000km以下の距離で観測可能状態を確立する。 (小天体フライバイ完了時)	マルチ・フライバイ 複数の小天体に1000km以下の距離で観測可能状態を確立する。 (2度目の小天体フライバイ完了時)
小型深宇宙探査 機技術の獲得 (見直し案) After	分野：深宇宙探査工学 目標：深宇宙航行・探査技術の小型化・高度化による、多様なミッションの創出 Before/After: これまでの我が国の深宇宙探査は中型計画による小惑星探査が主な手段であった。本ミッションで小型探査機による高度な深宇宙航行技術及びフライバイ探査技術を獲得することで、我が国の深宇宙探査計画に新たな切り口を加え、その機会を拡大することができる。	高性能電気推進航行機 惑星等の周回軌道で電気推進航行が可能な宇宙機を実現する。 (軌道上実証完了時)	高度な軌道変換と探査能力の向上 電気推進の運転条件を緩和し、自由度を拡大した惑星間での高度な軌道変換により、高頻度で複数の探査対象天体に到達する。 (地球スイングバイを用いて、1年程度の周期で複数の探査対象天体に到達時) オンボードによるフライバイ観測技術を獲得し、探査可能な小天体を広げる。 (オンボードフライバイ観測機能実証完了時) フライバイ 地上/機上の航法により小天体にフライバイし、1000km以下の距離で観測可能状態を確立する。 (小天体フライバイ完了時) マルチフライバイ 複数の小天体に1000km以下の距離で観測可能状態を確立する。(2度目の小天体フライバイ完了時)	化学推進を用いないフライバイを実現し、定常運用終了後にさらに2回以上の小天体フライバイが可能な推進剤を残す。 (定常運用終了時)

3. 成功基準（意義・価値） 及びアウトカム

理学ミッションの成功基準の見直し（1/2）

成功基準（理学）の見直し方針：計画変更による成功基準への影響は無く、工学ミッションでマルチフライバイをフルサクセスにしたことに伴い、理学ミッションの意義・価値向上（赤字部分を追加）。理学ミッション目標には成功基準への影響は無く、工学ミッションでマルチフライバイをフルサクセスにしたことにより、理学ミッションの意義価値は向上。

	アウトカム目標	ミニムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
SMG 1 地球飛来ダスト の実態解明	分野：宇宙固体物質科学 目標：固体微粒子を切り口とした惑星科学、天文学、宇宙環境分野のマルチスケールな学際的研究の発展 Before/After: これまでの太陽系内外の固体微粒子の理解は、地上あるいは特定の天体から回収された試料の分析、流星、惑星間・星間ダストの望遠鏡観測に基づいていた。両者から得られる知見には空間スケールの大きな隔たりがあった。前者のデータには地球大気突入やサンプル捕獲時の衝突による変成というバイアスがあった。本ミッションでは「惑星間空間でのダストその場分析」により、上記の課題を克服し、太陽系内外の固体微粒子の実態理解への突破口を提供し、固体微粒子のマルチスケールな理解により関連分野の学際的研究の発展と強化を目指す	惑星間航行中に 10個以上ダストを 観測すること。 （達成時期A）	惑星間ダストの観測（達成時期A） 惑星間航行中に、惑星間ダストの到来方向にダストアナライザを向け、30個以上のダストを観測し、ダストのフラックス、質量分布、速度、到来方向、化学組成をその場分析し、ダスト粒子の由来に制約を与える。 星間ダストの観測（達成時期A） 惑星間航行中に、星間ダストの到来方向にダストアナライザを向け、ダストの速度と到来方向から星間由来のダストを36個以上特定し、星間ダストのフラックス、質量分布、化学組成をその場観測し、1auまで流入する星間ダストに炭素や有機物が含まれるかを調べる。 Phaethon周辺ダストの観測（達成時期A） Phaethonからの距離の関数として、ダストの検出個数を調べ、Phaethon周辺のダスト粒子の空間数密度を求める。 Phaethon以外の小天体周辺のダストの観測（達成時期A） Phaethon以外的小天体からの距離に応じたダストのフラックスを計測する。	Phaethon周辺ダストの観測（達成時期A） Phaethonフライバイ時にダストの速度、到来方向からPhaethon由来のダストを特定し、それらの質量分布、化学組成を明らかにする。 ダストトレイルのダスト観測（達成時期A） ダストトレイル航行中にダストの速度、到来方向からダストトレイル由来と特定されるダストを特定し、ダストの質量分布、速度、到来方向、化学組成を明らかにする。 Phaethon以外的小天体周辺のダストの観測（達成時期A） ダストが観測された場合は、相対速度に応じて質量分布、化学組成を計測する。

（達成時期A：小天体フライバイ観測データダウンロード完了後1年程度）

3. 成功基準（意義・価値） 及びアウトカム

理学ミッションの成功基準の見直し（2/2）

	アウトカム目標	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
SMG 2 地球飛来ダストの特定供給源である流星群母天体の実態解明	分野：太陽系小天体科学 目標：小惑星Phaethonのフライバイによるマルチスケールな太陽系小天体の理解と地上研究に基づく知見の検証 Before/After: これまでの太陽系小天体は彗星と小惑星のいずれかに分類して理解されてきた。近年小惑星帯に彗星活動をする小天体や、太陽系外から高速で太陽系に侵入してくる小天体が相次いで発見されている。本ミッションでは、主要流星群の母天体であり、活動的小惑星と呼ばれる、彗星と小惑星の両方の特徴を持つ小天体である小惑星Phaethonをフライバイし撮像とダストその場分析を行うことにより、太陽系小天体の新たな知見を得ることを目指す。また、相対速度が大きいと、科学的意義が高いがサンプルリターンが困難な小天体の探査技術の獲得を目指す。	グローバル形状 (達成時期A) 一定の太陽位相角で5×5ピクセル以上に空間分解したPhaethonの輪郭とライトカーブを観測し、Phaethonのグローバル形状を明らかにする。	セミグローバル地形（達成時期A） 異なる太陽位相角で、Phaethonの日照域を50×50ピクセル以上に空間分解した画像からPhaethon日照域の詳細三次元形状を求め、セミグローバル地形を明らかにする。 表層のローカル地形（達成時期A） 異なる太陽位相角でPhaethonの日照域表層を10m/ピクセル以下に空間分解した画像から、Phaethon表層における、天体進化を特徴付ける以下の(1)から(3)のローカルな地形の有無の判別、及び地形の形状と分布を明らかにする。 (1)円状陥没地形 (2)分裂天体を生じた破断面 (3)太陽加熱による熱膨張と収縮で形成された地形 表層の物質分布（達成時期A） (a)550nmから紫外に向けてのスペクトル形状、(b) 550nmから長波長側の可視スペクトルの傾き、(c) 1μm付近の近赤外スペクトルの傾きに注目して、Phaethon表層の日照域を100m/ピクセル以下に空間分解して可視近赤外域の反射分光特性を地形と関連付けて調べ、以下の(1)から(3)のPhaethon 表層の不均質性と物質分布を明らかにする。 (1) 太陽加熱度差異による緯度方向の物質不均質 (2) 地上観測で報告された経度方向の物質不均質 (3) 高速自転による表層物質移動による緯度方向の物質不均質 Phaethon以外の小天体の地形と物質分布（達成時期A） Phaethon以外の小天体の地形と表層の物質分布を空間分解して観測する。	N/A

（達成時期A：小天体フライバイ観測データダウンロード完了後1年程度）

3. 成功基準（意義・価値）及びアウトカム

理学と工学の観点でのアウトカム（波及効果）に計画変更に伴う見直しはないが、
プラネタリーディフェンスへの貢献の新たな可能性

理学の観点

- ・ フライバイ探査の目標天体の地上観測との連携強化
掩蔽観測：天体サイズや形状の制約、軌道の検証
→ 一般のアマチュア天文家の地上観測への貢献
- ・ 測光観測：自転様式の精度向上、表面アルベド情報
- ・ 分光観測：反射特性から表層地質への制約
- ・ 偏光観測：表面粒度への制約
- ・ 活動的小惑星かつ流星群母天体の実態理解
（Phaethon）と地上研究との相補効果
- ・ DESTINY+の流星群母天体周辺ダストの組成分析による地上からの分光観測による流星群ダストの化学組成の検証

プラネタリーディフェンス（地球防衛）の観点

- ・ 地球近傍天体による潜在的な脅威への備えに貢献する地球防衛のための活動として、プラネタリーディフェンス（PD）が近年重要視されており、JAXAにもPDチームが本年4月発足。
- ・ 打上げロケットのH3への変更により、Apophisを定常運用期間中にフライバイ観測し、後期運用で継続された場合には2024 YR4も観測できる可能性もあり、プラネタリーディフェンスに資する小天体をプリカーサ的に探査することを検討。
- ・ 2029年4月のApophis接近に伴い政策的・国際的な関心が高まっているプラネタリーディフェンス活動に対し、マルチフライバイでの、ダスト観測、カメラによる分光・表面形状観測により、プラネタリーディフェンス活動に貢献の新たな可能性。

工学の観点

DESTINY+の技術開発がもたらす未来

▶ 電気推進技術（ $\Delta V < 4\text{km/s}$ ）

NEAs（near-Earth asteroids 地球近傍小惑星）からのサンプルリターンミッション（ $\Delta V < 3\text{km/s}$ ）

- ・ はやぶさ
- ・ はやぶさ2

将来：メインベルト以遠の小惑星・彗星からのサンプルリターンミッション（ $\Delta V > 5\text{km/s}$ ）
＝（戦略的中型クラスによる）
将来小天体探査ミッション

▶ 高速フライバイ探査技術

将来ミッションA：
恒星間天体フライバイ探査
（Comet Interceptorの先）

将来ミッションB：
複数探査機による小惑星マルチフライバイ探査（本格探査に向けた超小型Precursor）

将来ミッションC：
フライバイ・サンプルリターン

将来ミッションD：
外惑星天体フライバイ探査
（Kuiper Belt Object等）

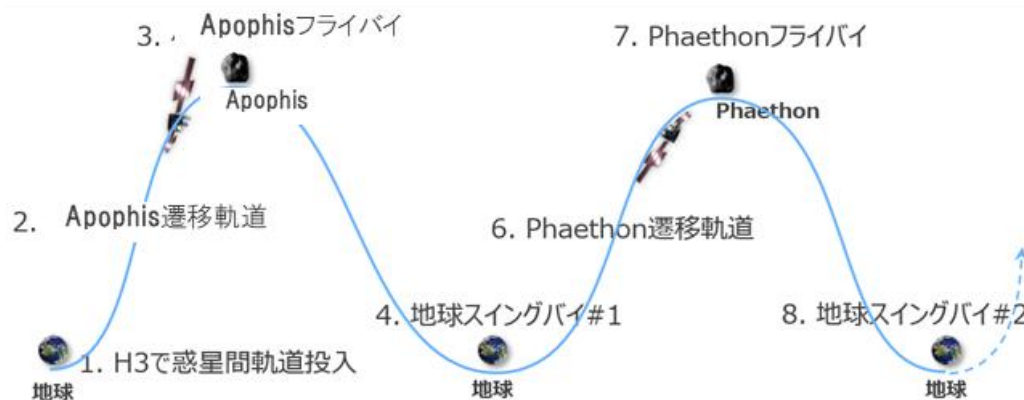


3. 成功基準（意義・価値） 及びアウトカム

プラネタリーディフェンスへの貢献の新たな可能性

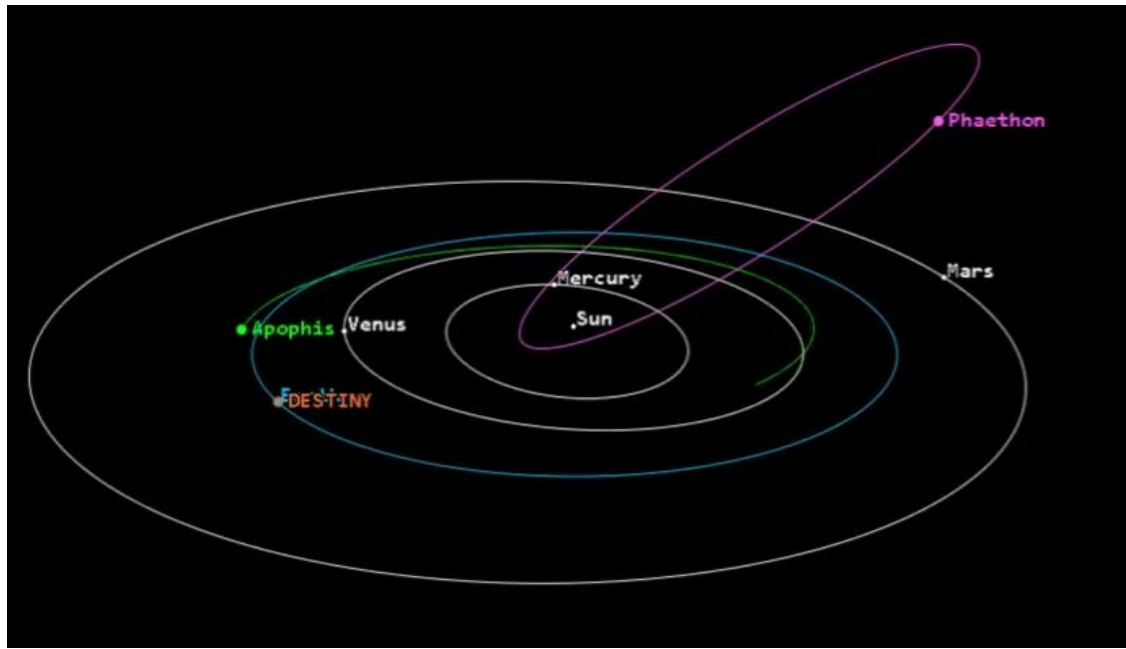
H3ロケットによるRAMSESとの相乗り機会が前提となったことで、新たなプラネタリーディフェンスへの貢献が可能となった。

- 定常運用でのマルチフライバイ実施（フルサクセスへ記載）
- プラネタリーディフェンスへの貢献として、特に注目を集めているApophisのフライバイ観測が実現可能な軌道をとることが可能となった。2029年度にDESTINY+は撮像を試みるとともに、Phaethonフライバイに向けた予行練習の機会としても活用する計画。なお、Apophisのフライバイ観測を実施後、Phaethonには当初通り2030年度にフライバイする予定。
- また、後期運用で運用継続となった場合に向けて、2024YR4含む小天体のフライバイ観測を毎年繰り返し行えるように、軌道計画の検討を進めている。



4. 今後の予定

- 探査機システムとしての総合試験を経て2028年度のH3ロケット24形態でのESAミッションRAMSESとの相乗り打上げを前提とし、H3ロケット環境への適用に伴う探査機システムや一部コンポーネント設計変更、軌道計画の見直し、リスク低減の為にフライト品を用いた事前噛合せ試験の追加等を今年度目途で実施。
- 打上げ後は、2030年のPhaethonフライバイに加え、2029年度のApophisフライバイの実施も目指す。



打ち上げ後のDESTINY+軌道イメージ