

S5-018

深宇宙探査技術実証機 DESTINY+

○西山和孝、豊田裕之、川勝康弘（ISAS/JAXA）、
船瀬龍（東大）、荒井朋子（千葉工大）、
DESTINY WG

宇宙科学・探査工程表と小型計画公募



4. (2)① ix) 宇宙科学・探査及び有人宇宙活動

平成28年度改訂案



※以上すべて文部科学省

深宇宙探査技術実証機DESTINY+ミッションコンセプト



- ・ 航行能力 倍増
総 ΔV : 5km/s
加速度 : $1.0e-4m/s^2$

- ・ 重力天体周りでも
航行可能

高性能深宇宙航行機



- ・ アビオニクス
の
・ 質量 半減
・ 電力・発熱・個数 削減

コンパクト・アビオ

Phaethon探査

- ・ 枯渇彗星
- ・ 流星群母天体



先進的フライバイ探査 (PROCYON mini)

- ・ 超近接フライバイ
- ・ フォーメーション・フライバイ
- ・ マルチ・フライバイ (エキストラ)

工学ミッションの目的・意義（概要）



本ミッションの目的は、宇宙工学を先導する航行・探査技術を獲得して、次代の深宇宙ミッションの発展に資することであり、具体的には以下に示す3点を目的とする。

EMO1 電気推進の活用範囲拡大

電気推進による宇宙航行技術を発展させ、電気推進の活用範囲を拓く。

EMO2 深宇宙探査機のポテンシャル向上

コンパクトなアビオニクスを実現し、宇宙機のポテンシャルを高める。

EMO3 小天体探査の機会拡大

先進的なフライバイ探査技術を獲得し、小天体探査の機会を広げる。

注) EMOは工学ミッションの目的（Engineering Mission Objective）を表す。

2013年9月に宇宙科学研究所から提示された「宇宙科学・探査ロードマップ」では、基本となる考え方として、以下に示すような「具体的な進め方」が提案されている。

- 1) イプシロンロケット高度化等を活用した低コスト・高頻度な宇宙科学ミッションを実現するべく、衛星探査機の小型化・高度化技術などの工学研究課題に取り組む。
- 2) 太陽系探査科学分野は、最初の約10年を機動性の高い小型ミッションによる工学課題克服・技術獲得と先鋭化したミッション目的を立て、10年後以降の大型ミッションによる本格探査に備える。

- 航行能力 倍増
 総 ΔV : 5km/s
 加速度 : $1.0e-4m/s^2$
- 重力天体周りでも
 航行可能

電気推進
 推力増強



はやぶさ2(推力30mN)

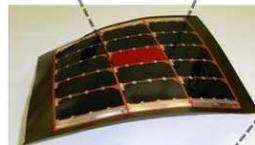


DESTINY+(推力40mN)

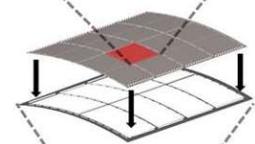
薄膜軽量
 太陽電池パドル
 出力質量比
 100W/kg以上
 従来の2倍



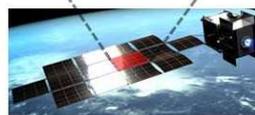
(a)薄膜太陽電池



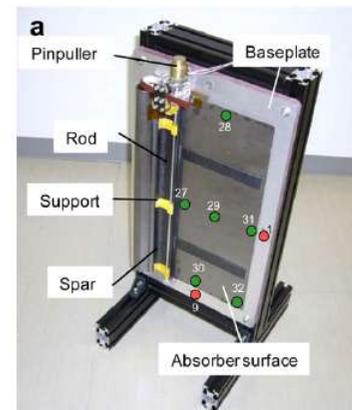
(b)ガラスタイプの
 スペースソーラーシート



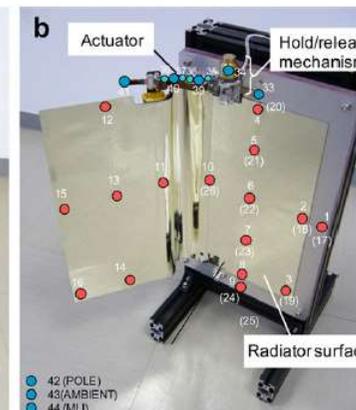
(c)曲面フレーム



(d)軽量パドル(一翼)



Stowed



Deployed

先端的熱制御デバイス
 可逆展開ラジエーター、ループヒートパイプ
 電気推進の集中発熱と広範囲の方向からの
 太陽光熱入力に対応

従来の深宇宙探査機に対し、アビオニクス機器（データ処理、通信、姿勢軌道制御系）の合計質量を1/2以下とし、電力・発熱・個数も削減する。

機器の統合化・集約化

- 高集積デバイス、高密度実装技術等を適用し、基板スライスをクレジットカードサイズ（1U, 90×60×10mm）に小型化。
- デジタル系は、可能な限り複数の基板スライスを1モジュールに集約。
- SpaceWireリンクで機能モジュール間を接続するシステムアーキテクチャは維持。

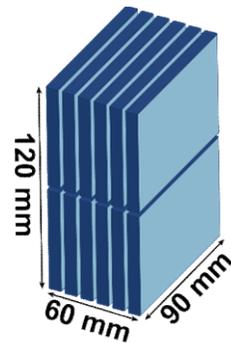
統合SMU

小型標準バス機器

機器名	質量
SMU	2.01 kg
TCIM	4.02 kg
DR	1.93 kg
SWR1	1.25 kg
合計	9.21 kg



統合



質量 1.04 kg

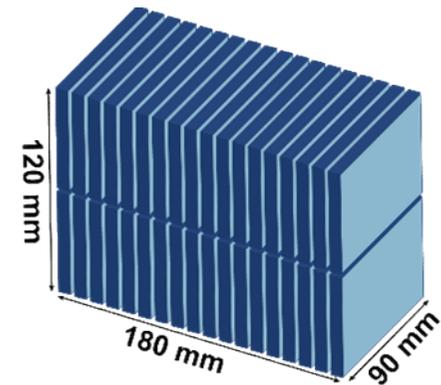
統合AOCU

小型標準バス機器

機器名	質量
AOCP	2.01 kg
SWR2	1.25 kg
ACIM6種※	12.07 kg
合計	15.33 kg



統合



質量 4.10 kg

※ : ACRWM, ACIRM, ACSTS, ASCDN, ACANA, ACVDI

「MEMSジャイロ」「GaN SSPA」「国産タイプS RW」「42Ah Li-ion電池」とともに採用を検討。

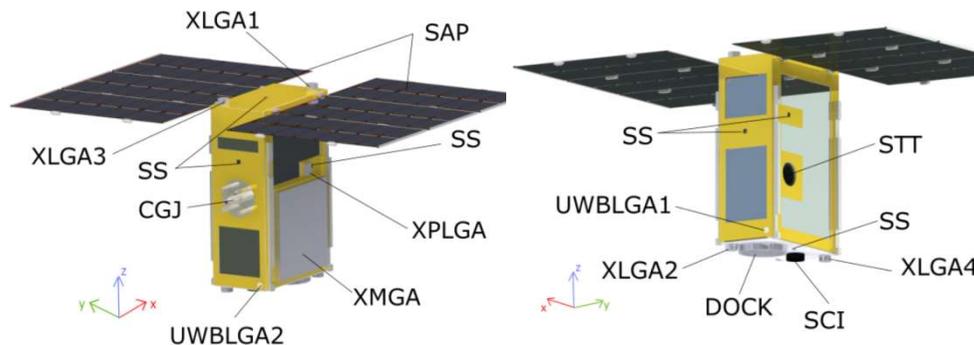
- ・超近接フライバイ
- ・フォーメーション・フライバイ
- ・マルチ・フライバイ(エキストラ)

単独で深宇宙探査機としての機能を一通り備えた超小型探査機。

熱・電力・通信・姿勢/軌道制御などのバス系に、理学ミッションのための観測機器も搭載。

重量：約10kg（分離機構含めて20kg以内）

サイズ：6U~8U（1U：10x10x10cmサイズ）



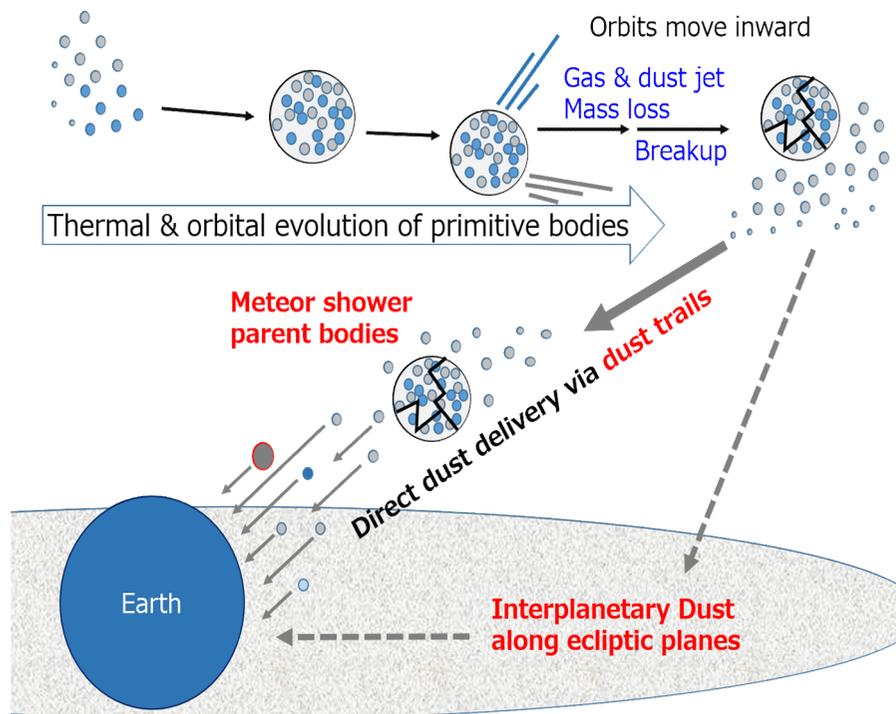
PROCYON mini外観図（SAP展開状態）

PROCYON(65kg, 2014)→EQUULEUS(14kg, 2018)→PROCYON mini(10~15kg, 2022)と段階的に軌道上実証を重ねることにより、確実な開発を実施する。

PROCYON mini機器構成

区分	区分		略称	搭載質量[kg]	容積[U]		
	大	小					
電源系	太陽電池パドル		SAP	1	0.85		
	パドル保持解放機構		HRM	2	-		
	二次電池		BAT	1	0.27		
	電力制御器・電力分配器		EPS	1	0.15		
熱系	ヒーター		HTR	1	-		
	電源制御素材		MLI/OSR	1	-		
姿勢系	スタートラッカ・航法カメラ		STT/NavCam	1	0.6		
	太陽センサ		SS	6	0.05		
	三軸ジャイロセンサ		SG	1	-		
	リアクションホイール		RW	3	1.0		
	コールドガスジェット		CGJ	1	1.8		
推進系							
ミッション系	サイエンス機器		SCI	1	1.0 - 2.0		
	ドッキング機構		DOCK	1	2.0		
C&DH系	Xバンド中利得アンテナ		XMGA	1	1.0		
	Xバンド低利得アンテナ		XLGA	1			
	Xバンド低利得パッチアンテナ		XPLGA	1			
	Xバンド増幅器		XSSPA	1			
	UWB低利得アンテナ		UWBLGA	1			
	Xバンド切り替え器		XSW	1			
	Xバンドトランスポンダ		XTRP	1			
	UWBトランシーバー		UTRX	1			
	Xバンドバンドパスフィルタ		XBPF	1			
	カプラ		XHYB	1			
	オンボードコンピュータ		OBC	1		0.06	
	構造系	構体		STR		-	0.9
	合計			OVA		9.68 - 10.68	5.85

大目的：地球に供給される有機物の主要供給媒体である「ダスト」の
輸送過程の解明



目的1：地球飛来ダストの実態と起源の理解

①惑星間ダスト(IDP)

- 黄道面に分布する不特定の彗星・小惑星由来
- 星間由来も多少あり

②流星群ダスト

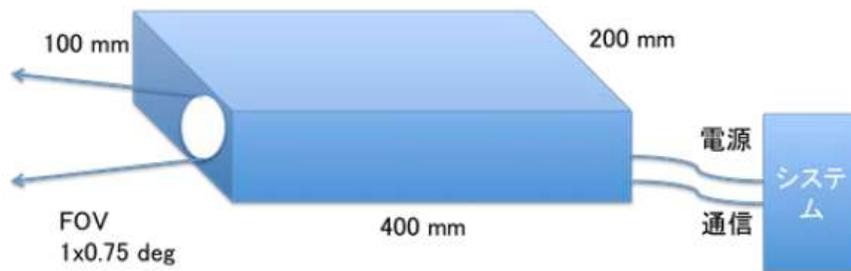
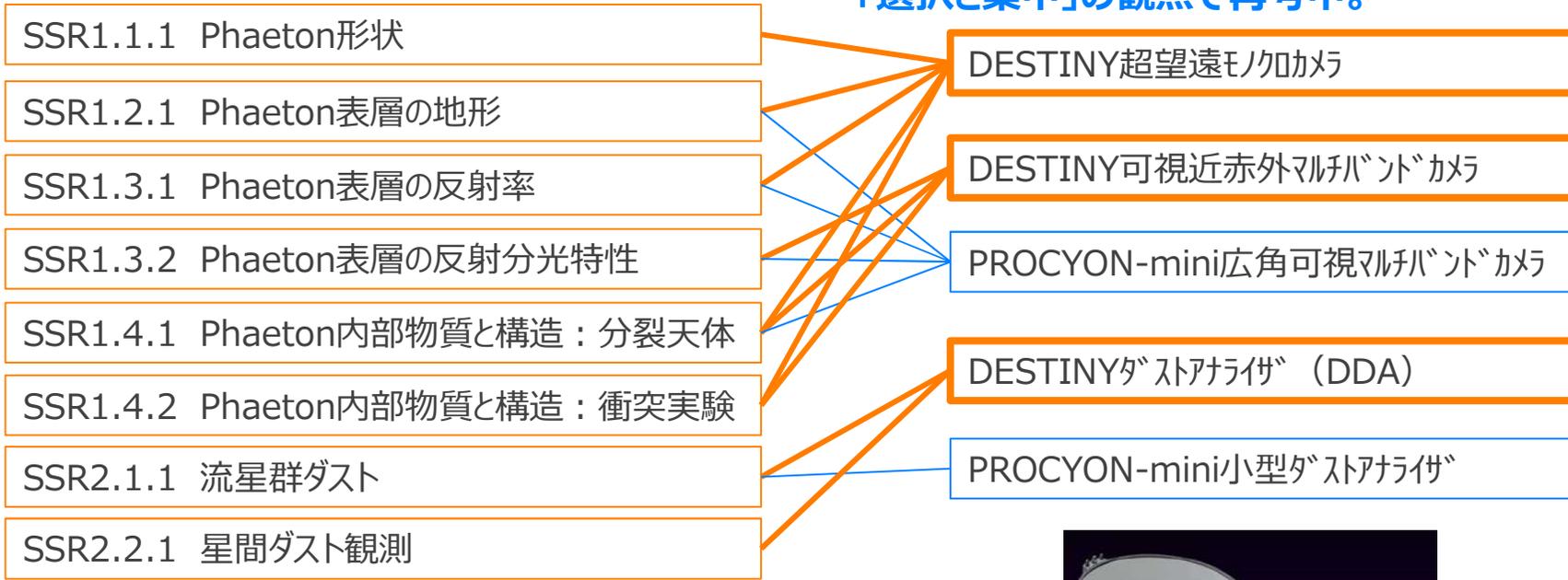
特定のダスト放出天体(流星群母天体) 由来の
ダストトレイル経由

目的2：流星群母天体(彗星、小惑星)からの ダスト放出機構の理解

- 小惑星からのダスト放出機構は不明。
- 探査標的はふたご座流星群母天体の小惑星
3200 Phaethon。

システム要求と観測機器の関係

PROCYON mini搭載観測機器については「選択と集中」の観点で再考中。



DESTINY超望遠モノカメラの概念図



DESTINYダストアライザ (DDA) の概念図

DESTINY+搭載機器の主要諸元

PROCYON mini搭載観測機器については「選択と集中」の観点で再考中。

機器名称	質量[kg]	主な機能・性能
超望遠モノocularカメラ	1.5	視野角: 1deg x 0.75deg、 空間分解能: 10 μ rad
可視近赤外マルチバンドカメラ	3	観測波長: 390~1550nmの4バンド、 空間分解能: 0.2mrad
ダストアナライザ (DDA)	5	測定項目: Dustの質量(10^{-16} ~ 10^{-6} g)、速度 ($<10\%$)、charge、flux、composition

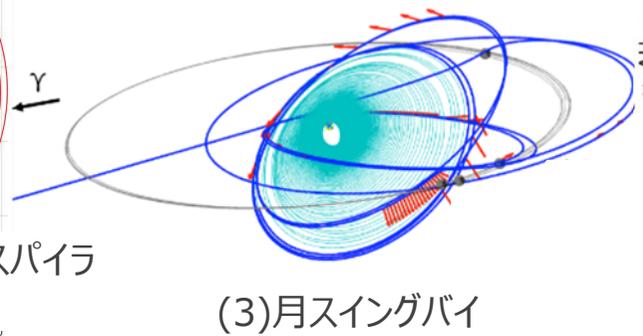
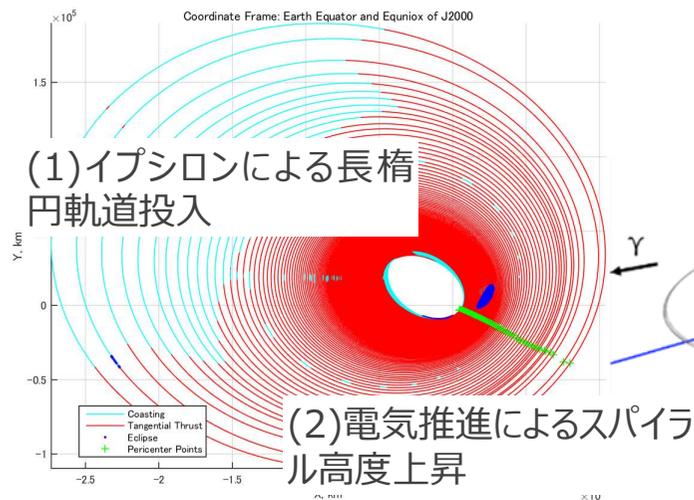
PROCYON-mini搭載機器の主要諸元

機器名称	質量[kg]	主な機能・性能
広角可視マルチバンドカメラ	1	観測波長: 700, 900nmの2バンド、 空間分解能: 距離50kmにおいて5m
小型ダストアナライザ (MDA)	0.8	測定項目: Dustの質量(10^{-16} ~ 10^{-6} g)、速度 ($<10\%$)、flux、composition

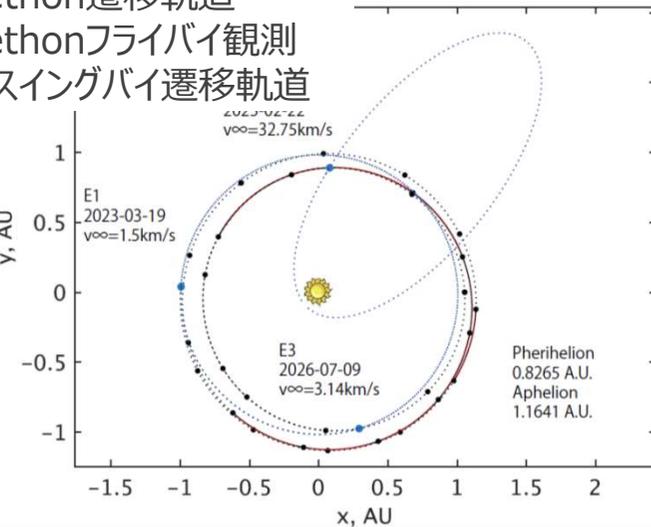
ミッションプロフィール



	期間	運用段階	運用イベント
(1)	約1ヶ月	イプシロンによる長楕円軌道投入	初期機能確認期間
(2)	半年~2年	スパイラル軌道上昇	放射線帯脱出、月作用圏到達
(3)	約半年	月スイングバイ	Phaethon遷移軌道への接続
(4)	約2年	Phaethon遷移軌道	遠日点通過
(5)	数日	Phaethonフライバイ観測	PROCYIN mini分離, 近接観測, ドッキング
(6)	半年~1年	地球スイングバイ遷移軌道	近日点通過
(7)	数日	地球スイングバイ	小惑星遷移軌道へ接続
(8)	TBD	小惑星遷移軌道	



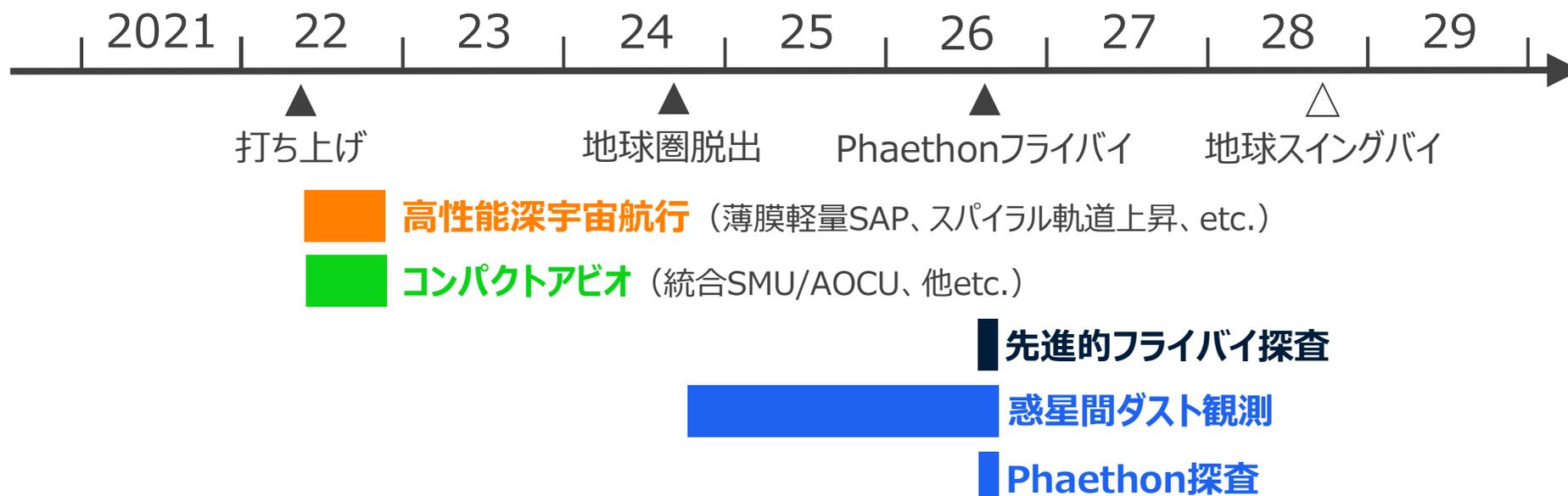
(4) Phaethon遷移軌道
 (5) Phaethonフライバイ観測
 (6) 地球スイングバイ遷移軌道



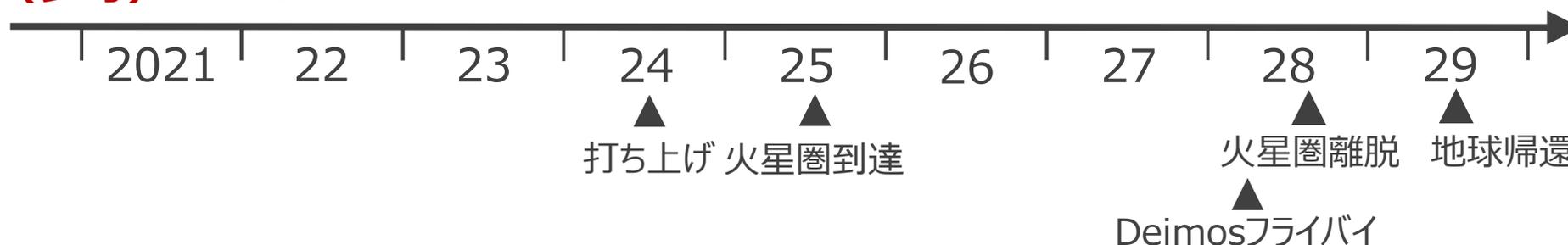


DESTINY+ 打上時期と成果創出時期

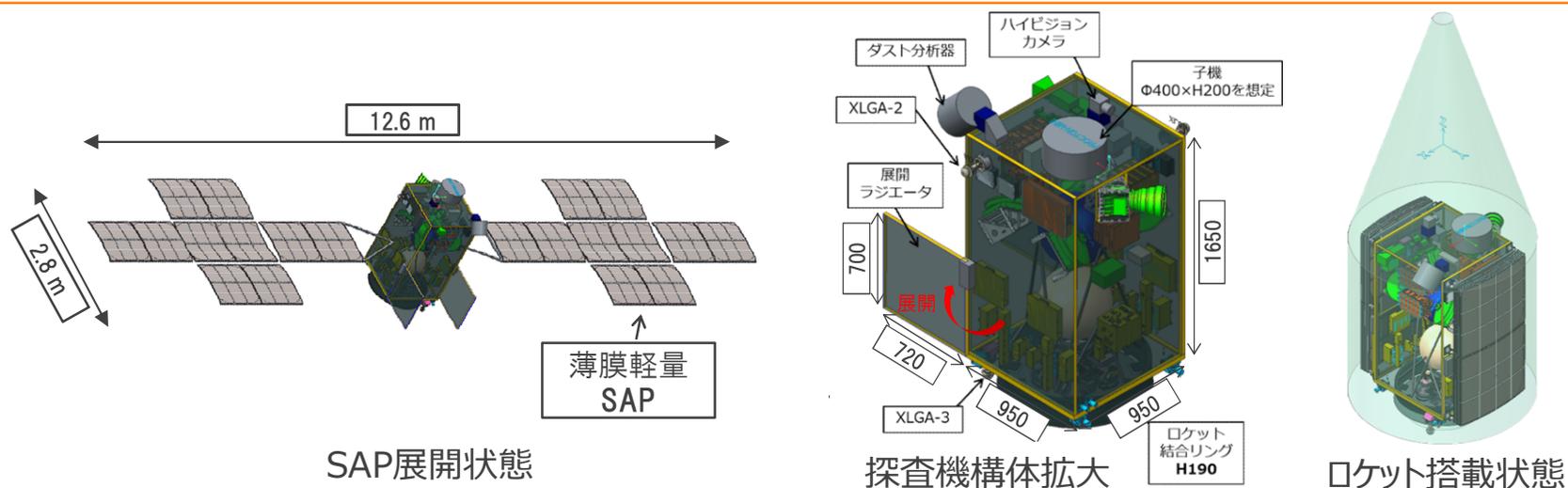
DESTINY+



(参考) MMX

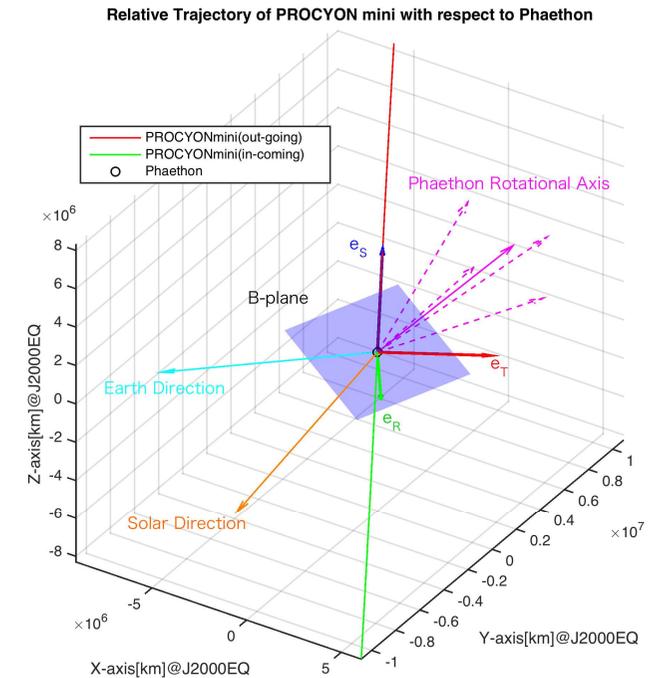
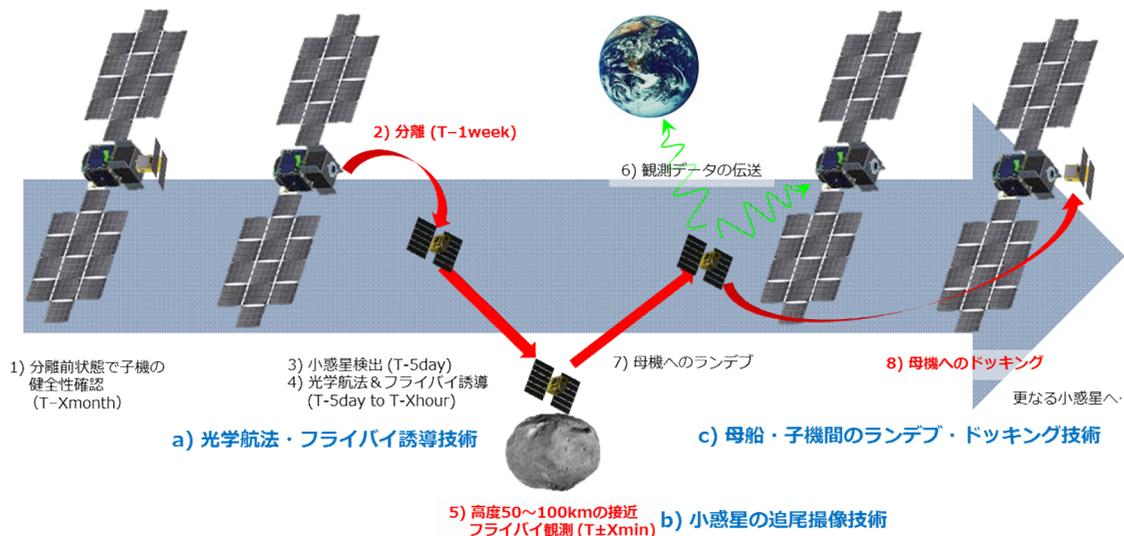


巡航機DESTINYのシステム設計



ミッション期間	4年以上
質量 (WET)	440 kg (うち、PMU推薬 60kg、RCS推薬 15.4kg)
打ち上げロケット	イプシロン+4段キックステージ
軌道	初期投入 (230km×52708km, 30.44°) ~月高度 (38万 km) ~Phaethon遷移軌道
姿勢制御方式	3軸制御 (誤差 < 1 arc-min.)
通信系	X帯 (親機 : GaN SSPA + 子機 : 低コスト通信機 で、ヘテロ冗長を構成)
太陽電池パネル	薄膜軽量SAP (出力/質量比 > 100W/kg (世界最高))、発生電力2.3kW@EOL
バッテリー	高性能Li-ion電池 42Ah×11直列
推進系	化学推進 (ヒドラジン 1液) + 電気推進 (μ10×4台)
熱制御系	先端的熱制御 (展開型ラジエタ, ループヒートパイプ)
耐放射線性	約30krad (t=3mm, Alシールド) 以上

小惑星PhaethonフライバイとPROCYON mini



超小型探査機PROCYON-miniを巡航機DESTINYより切り離し、小惑星Phaethonに対する光学航法、TCM、近接フライバイを実施する。フライバイにおいて小惑星を至近距離から光学観測し、さらにダスト検出器等の分析機器によるその場観測も実施する（検討見直し中）。

フライバイ観測終了後には、再度、巡航機DESTINYへランデブ・ドッキングし、次の探査対象天体へ向かい、同様の近接フライバイ観測を実施する。

Phaethonフライバイ時の幾何学的関係

- ・S-A-E角：54deg
 - ・フライバイ前無限遠でのS-A-P角：36deg
 - ・フライバイ前無限遠でのE-A-P角：89deg
- Phaethon-PROCYON miniの相対速度: 25 km/s
 最接近時の太陽距離: 1.08 AU
 最接近時の地球距離: 1.09 AU
 Phaethonに対する最接近距離: 50km
 フライバイ中の視線方向変化率: 最大27deg/s
 (S:太陽, A:小惑星, E:地球, P:探査機)

まとめ

- 深宇宙探査技術実証機DESTINY+を公募型小型計画の2号機に提案した。
(2016年1月末)
- 理工学委員会総合評価 (2016年6月末)

宇宙理工学委員会総合評価結果

現状のままでは推薦できない。ただし、計画の再検討の後、再評価 (Δ MDR) を行うことを推奨する。

DESTINY+については、**フライバイ時のサイエンス成果が不透明**なままであり、**枯渇小惑星フライバイミッション**として高いポテンシャルを持っているものの、**サイエンスの根幹にかかわる課題**が残っていることから、これら課題について速やかに検討の上、再度の評価(Δ MDR)を行うべきと考える。

- 上記の指摘に回答するための検討活動 (**理学ミッションシナリオの強化、親機によるフライバイ観測実現性の説明強化**) を行ってきており、2017年1～2月に理工合同の評価委員による評価 Δ MDRを受けるべく日程調整中である。