



深宇宙探查技術実証機 DESTINY+

2017年9月20日

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

DESTINY+概要



本ミッションは、以下に示すミッションを目的として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行うものである。

<理学ミッション>

- 大目的：地球生命の前駆物質の可能性がある地球外からの炭素や有機物の主要供給源と考えられている地球飛来ダスト及びその母天体の実態解明
 - 地球飛来ダストの実態解明(組成・速度・到来方向の分析)
 - 地球飛来ダストの特定供給源である流星群母天体フェイトンの実態解明(形状・地形・物質分布からダスト放出機構を探る)



<工学ミッション>

- 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)
- 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)

スケジュール (案) DESTINY+は、2018年度に開発移行し、2022年に打上げ予定。

	FY2016				FY2017				FY2018				FY2019				FY2020				FY2021				FY2022																				
	O	N	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O	N	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O	N	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O	N	D	1	2	3	4	5	6
					▲▲MDR				SRR▲▲				▲SDR								▲PDR								▲CDR (サブ、機器)				▲CDR (システム)								▲打上げ				
全体システム設計	概念検討				概念設計				基本設計				詳細設計				製造・試験				総合試験・射場作業				運用																				
全体システム試験																																													
搭載機器 (既存機器)																					▲長納期部品手配																								

工学ミッションの意義・目的と期待される成果



本ミッションの意義は、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2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 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。

期待される成果

小型高性能電気推進システムの開発、搭載機器の小型軽量化など小型高性能深宇宙探査機プラットフォームを技術実証することで、我が国が近い将来に様々な深宇宙探査を低コスト・高頻度で持続的に実施することが可能となる。

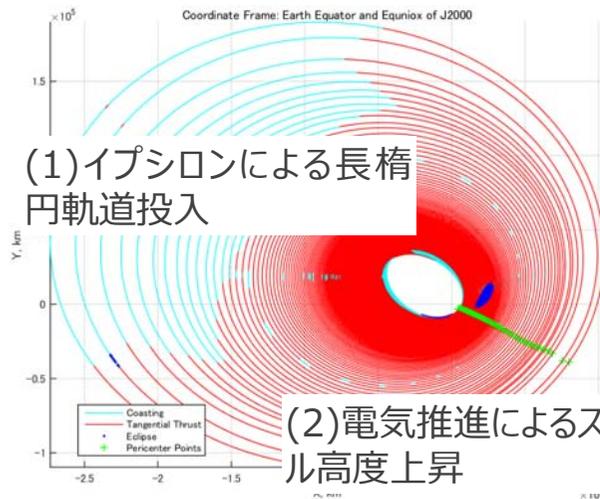
(現行ロケットでの例) 地球圏プラズマ撮像ミッション、黄道面外からの宇宙背景放射観測ミッション

(より大型のロケットでの例) 低コスト小型小天体探査ミッション、オービタ間の電波掩蔽による金星気候探査ミッション、火星気象衛星と火星航空機によるダスト輸送メカニズムの解明ミッション

DESNIY+ ミッションプロフィール

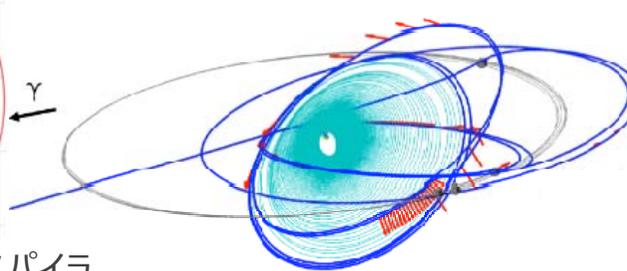


	期間	運用段階	運用イベント
(1)	約1ヶ月	イプシロンによる長楕円軌道投入	初期機能確認期間
(2)	約半年~2年	スパイラル軌道上昇	放射線帯脱出、月作用圏到達
(3)	約半年	月スイングバイ	Phaethon遷移軌道への接続
(4)	約2年	Phaethon遷移軌道	太陽距離(0.75~1.00au), 地球距離(~1.8au)
(5)	数日	Phaethonフライバイ観測	近接観測, 地球距離(1.7au)
(6)	約2年	地球スイングバイ遷移軌道	太陽距離(0.75~1.00au), 地球距離(~1.9au)
(7)	数日	地球スイングバイ	小惑星遷移軌道へ接続
(8)	TBD	小惑星遷移軌道	



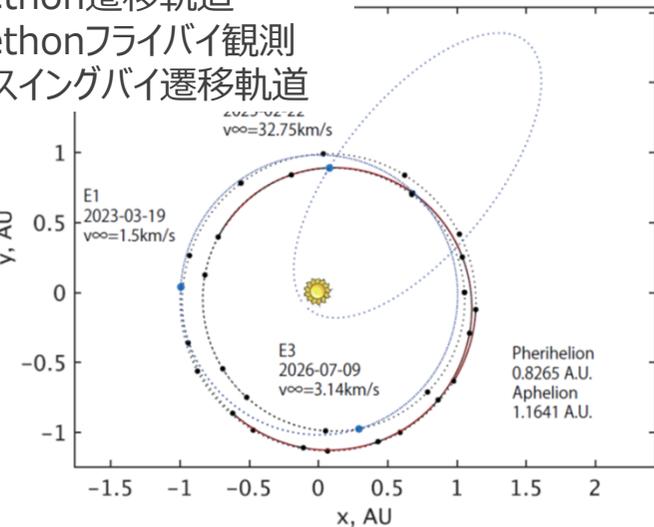
(1)イプシロンによる長楕円軌道投入

(2)電気推進によるスパイラル高度上昇



(3)月スイングバイ

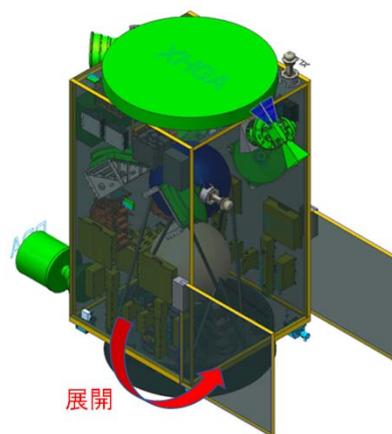
(4)Phaethon遷移軌道
(5)Phaethonフライバイ観測
(6)地球スイングバイ遷移軌道



探査機DESTINY+のシステム設計



SAP展開状態



探査機構体拡大



ロケット搭載状態

ミッション期間	4年以上
質量 (WET)	480 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×49913km, 30.42°) ~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)
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

重要技術



薄膜太陽電池

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

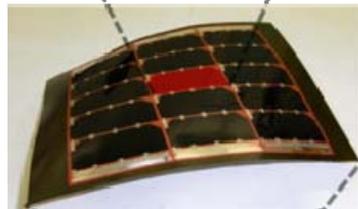
イオン
エンジン



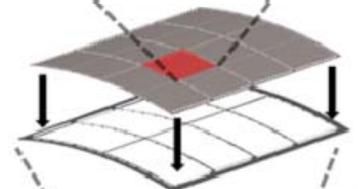
はやぶさ2 (推力30mN)



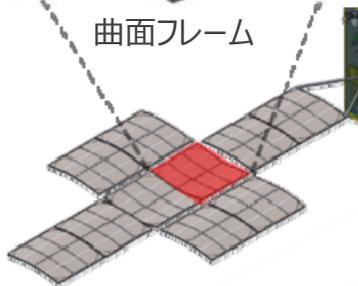
DESTINY+(推力40mN)
想像図



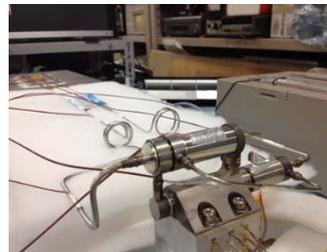
G-SSS



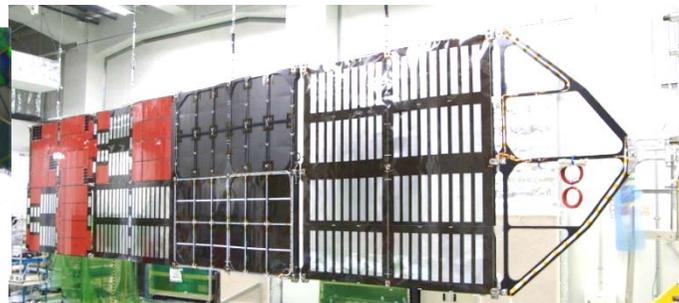
曲面フレーム



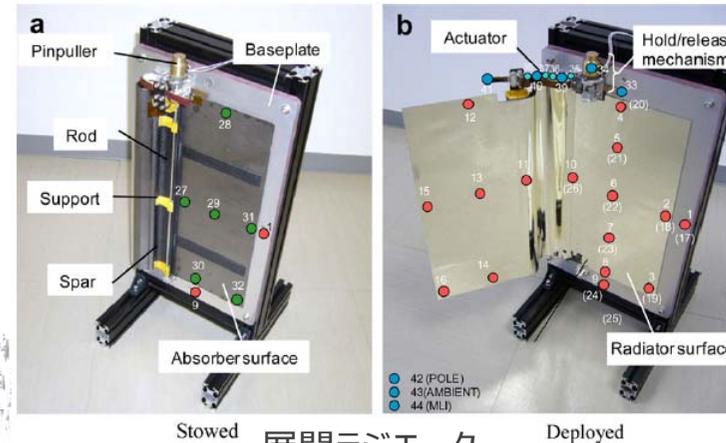
軽量パドル



ループヒートパイプ



メインパドル展開試験



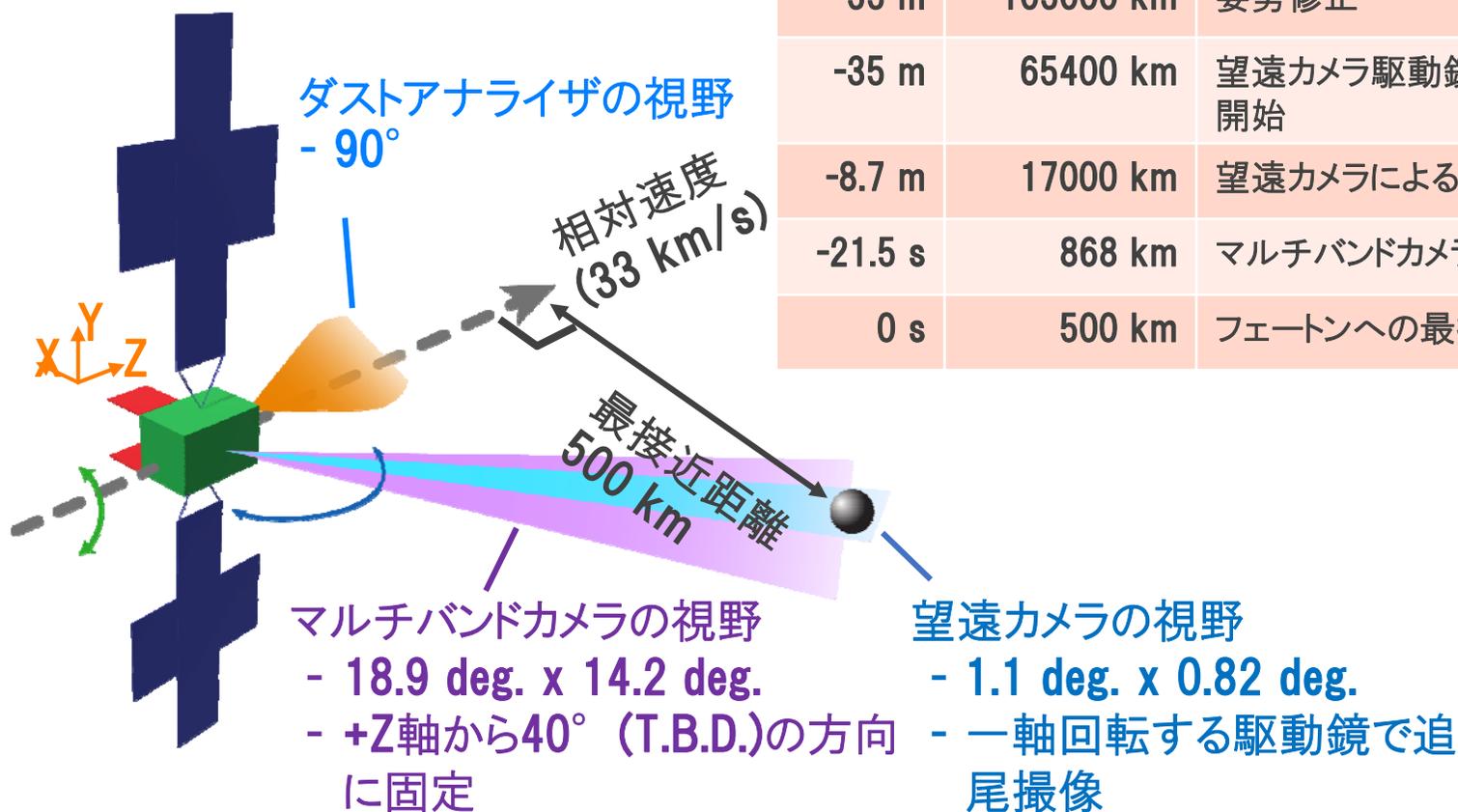
展開ラジエーター

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

小惑星フライバイ時の科学観測



Time	距離	イベント
-7.3 h	860000 km	ライドカーブ観測開始
-65 m	125000 km	フェートン検出(追尾用)
-55 m	105000 km	姿勢修正
-35 m	65400 km	望遠カメラ駆動鏡によるフェートン追尾開始
-8.7 m	17000 km	望遠カメラによる観測開始
-21.5 s	868 km	マルチバンドカメラによる観測開始
0 s	500 km	フェートンへの最接近



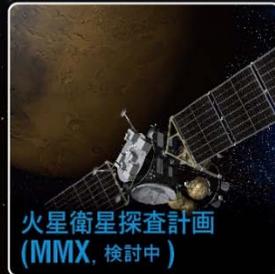
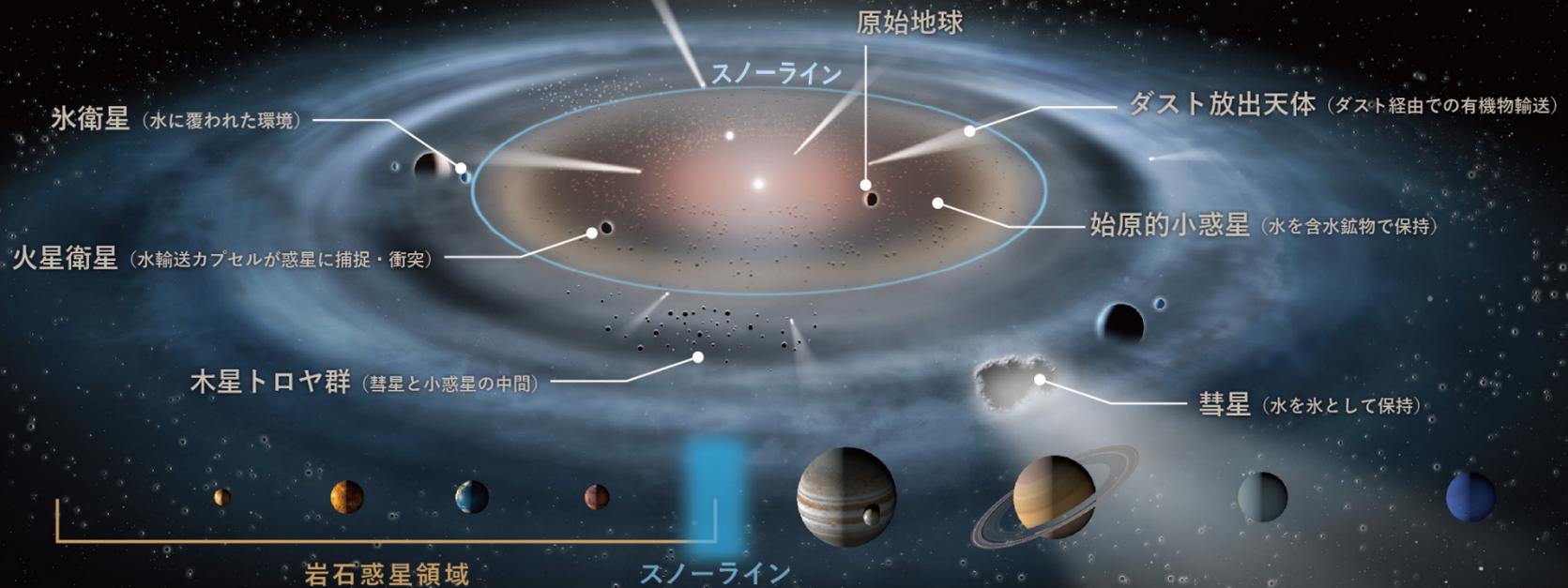
DESTINY+ 理学テーマ背景



始原天体には「有機物」と「水」が豊富にある。
それらが地球に輸送されることで、生命居住可能性が出現した。

ISASの小天体探査戦略

スノーラインの外で生まれた小天体。最初は凍った泥団子であり、その後、多様な姿に進化する
これらの天体が運ぶ水、有機物等の揮発性物質が、地球型惑星を生命居住可能にするために必須であった。
しかし、いつ、どの天体が、どのように水を原始地球に持ち込んだのか？



一連のミッションで、これらの問題を探求する

DESTINY+ 理学テーマ背景



始原天体には「有機物」と「水」が豊富にある。

それらが地球に輸送されることで、生命居住可能性が出現した。

生命居住可能性の前提条件を整える上で必須な「有機物」（炭素や窒素などの軽元素を固体の形で保持するもの）を地球にどう輸送するか？

『ダスト』は「有機物」を地球圏に輸送する最適の手段

では、われわれは惑星間空間に漂う『ダスト』のことを
どれだけ理解しているのか？

地球への有機物の主要供給源である「ダスト」



- ◆ 地球に飛来するダストは年間約 4 万トン(Love & Brownlee, 1993).
- ◆ 100ミクロン以上のダストは大気圏通過時に加熱の影響を受ける (溶融、蒸発).
- ◆ 加熱を免れた100ミクロン以下のダストは年間約2500トン地上に到達。
→ 飛来隕石量の約50倍に相当。

大気摩擦により効率的に減速するダストは有機物供給に有利。

- ◆ 炭素質隕石は稀である一方、地球高層大気で捕獲された惑星間ダストは最も始原的な特性を示す
 - 高炭素量：炭素質コンドライトの5 – 10倍
 - 有機物：不溶性多環芳香族炭化水素、低グラファイト化炭素

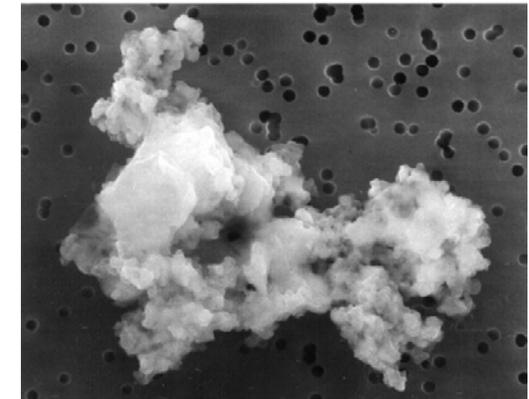


Image: NASA (FOV:10um)

- ◆ 惑星間ダストの起源は？
 - 短周期彗星の寄与？
 - 小惑星帯ダストバンドからの寄与？
 - 「活動的」小惑星からの寄与？

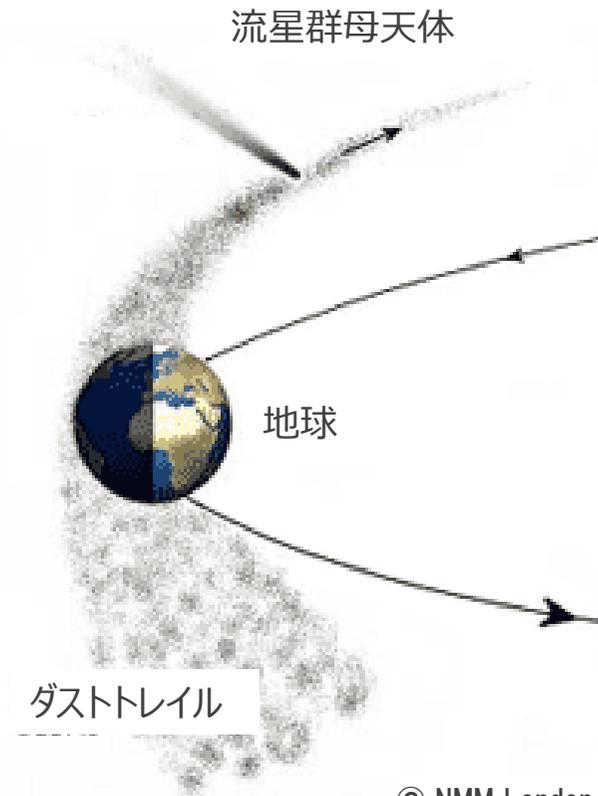
DESTINY+の科学的意義



地球への有機物輸送において鍵を握る惑星間ダストの探究を進める上で、特定されているダスト供給天体である「流星群母天体」の理解は不可欠である。

流星群母天体には彗星と活動的小惑星があるが、これまで探査がされていない「活動的小惑星」の実態を理解することは重要である。

また、流星群母天体は、地球軌道と交差する「地球衝突可能性天体」であり、スペースガードの観点でも実態の解明が必要である。

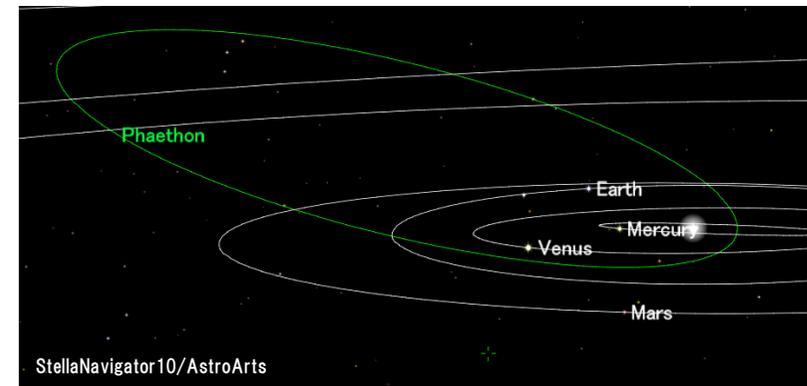


© NMM London
http://certificate.uol.ucl.ac.uk/modules/year_one/ROG/comets_meteors_meteorites/conWebDoc.13857_files/Comet-debris-200.gif
を改変

DESTINY+理学ミッションシナリオ



- 惑星間空間を航行中にダストのその場観測を行う。
- 小惑星フェートンが近日点に向かって接近中の降交点通過時にフライバイする。
- フェートン
 - ふたご座流星群母天体
 - 活動的小惑星
 - C型（炭素質）小惑星
 - 最大級の地球衝突可能性天体



- ① 惑星間ダストの全体像をダスト粒子毎の軌道特定、組成分析から明らかにする。
- ② 活動的小惑星の表層地形観測からのダスト放出機構を理解する。
- ③ 流星群として地球にダストを供給する、流星群母天体フェートンから放出されるダストの物理化学特性を明らかにする。

DESTINY+理学ミッションシナリオ



そもそも、原始太陽系円盤に、炭素（C）はどのような形でもたらされたのか：

～70%は（ガスではなく）星間ダスト経由であるという考えがあるが不確定要素が大きい。

DESTINY+：

惑星間空間を航行中のダスト分析において

④ 1 AUまで流入する星間ダストの組成分析も行い、太陽系起源物質の理解を深める。

観測機器候補



ミッション要求と観測機器の関係

SSR1.1 惑星間ダスト (IDP) の観測
SSR1.1.1 惑星間及び流星群ダストトレイルのダスト観測
SSR1.1.2 星間ダスト観測

SSR1.2 Phaethon周辺およびダストトレイルの観測

SSR2.1 Phaetonの形状観測

SSR2.2 Phaeton表層の地形観測

SSR2.3 Phaeton表層の物質分布観測

SSR2.4 Phaeton内部物質と構造の調査
SSR2.4.1 分裂天体(2005UD)フライバイ

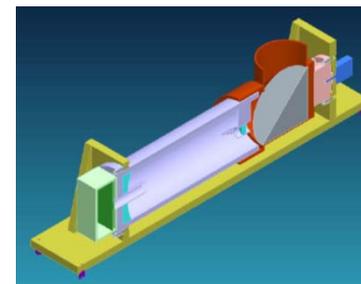
DESTINYダストアライザ (DDA)



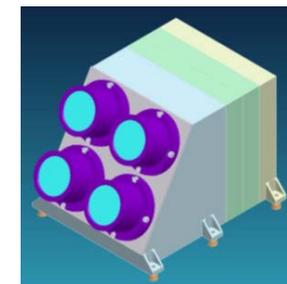
DESTINYダストアライザ (DDA) の概念図

DESTINY超望遠モノカメラ

DESTINY可視近赤外マルチバンドカメラ



超望遠モノカメラ

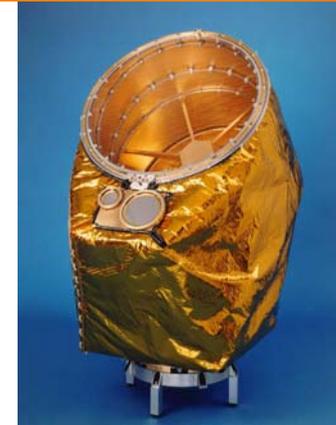


可視近赤外
マルチバンドカメラ

DESTINY+ダストアナライザ(DDA)



- ★ その場で質量分析ができる装置 サンプルリターンに匹敵
- ★ ダスト到来方向の同定 分析したダストの起源推定のための重要な情報
- ★ 高速衝突するダストの質量を分析することが可能 フライバイミッションに最適
- ★ これまでに無い大きな観測面積 短時間でのデータ収集可能
- ★ Cassini搭載Cosmic Dust Analyzer (CDA) のヘリテージを元に更なる改良
- ★ ダストアナライザ開発の実績と経験のあるドイツチームによる開発と提供



Cassini CDA



Europa clipper SUDA

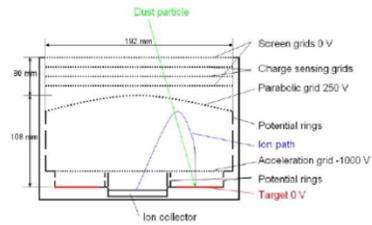


DDA

	CDA	DDA
検出器	ダスト分析器 + 電荷検出	ダスト分析器 + 軌道検出
測定可能項目	質量、速さ、電荷、流束、組成	質量、速さ、電荷、流束、組成、 到来方向
諸元		
質量範囲	10^{-15} g to 10^{-9} g	10^{-16} g to 10^{-6} g
速度範囲	2 to 40 km/s (10%)	5 to 100 km/s (<10%)
視野角	$\pm 28^\circ$	$\pm 45^\circ$
到来方向分解能	N/A	< 10°
有効面積	0.007 m ²	0.011 m ²
質量数分解能	$M/\Delta M > 20-50$	$M/\Delta M > 150$
電荷	2×10^{-15} to 5×10^{-13} C	$> 10^{-16}$ C

画像提供: シュトゥットガルト大学

Beyond CDA: Analyzer and trajectory sensor



- Dust speed (Trajectory Sensor)
- Dust trajectory (Trajectory Sen.)
- Dust mass (Trajectory Sensor)
- Dust charge (Trajectory Sensor)
- Dust composition (Mass Analyser)
- Dust flux

How to determine ISD,
is trajectory sensor necessary?

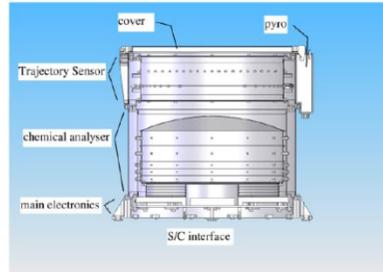


Fig. 6. Cross section of the Dust Telescope and its components.

M/dM >100 (very conservative,
to be improved by increasing
size of the instrument)

12

まとめ



- DESTINY+は理学と工学の連携による小型ミッションであり、理学ミッションの目的は
 - 惑星間ダスト（星間ダストを含む）の物理特性（速度、到来方向、質量分布）及び化学組成を太陽距離1天文単位におけるその場分析で明らかにする。
 - 活動小惑星におけるダストの生成・放出機構を地質観測で明らかにする。
 - Phaethonから放出されるダストの特性をフライバイ観測で明らかにする。
 - であり、工学ミッションの目的は
 - 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。
 - 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。
- である。