資料 42－3
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42回）H30.6.14

宇宙科学ミッション（MMX・DESTINY＋・JUICE）の検討状況について

平成30年6月14日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所所長・理事
國中 均

目次

1. はじめに
1.1　本日の報告内
1.2　各探査戦略における各プロジェクトの位置づけ
1.3　重力天体探査戦略におけるMMXの位置づけ
1.4　宇宙工学分野技術ロードマップイメージ
2. 戦略的中型計画MMXの開発研究の状況について
2.1　目的・意義
2.2　ミッションの概要
2.3　計画の検討状況
2.4　今後の予定
3. 公募小型計画DESTINY⁺の開発研究の状況について
3.1　目的・意義
3.2　ミッションの概要
3.3　計画の検討状況
3.4　今後の予定
4．多様な小規模計画JUICEの開発研究の状況について
4.1　目的・意義
4.2　ミッションの概要
4.3　計画の検討状況
4.4　今後の予定

1. はじめに

1.1 本日の報告内容

- 宇宙基本計画（平成28年4月1日 閣議決定）において、学術としての宇宙科学・探査は、「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。

- 宇宙基本計画工程表（平成29年12月12日、宇宙開発戦略本部決定）において、戦略的中型計画１の候補である火星衛星サンプルリターン計画（MMX）は平成31年度開発着手・同36年度打上げを目指し開発研究を継続すること、木星氷衛星探査計画（JUICE）への参画により特任助教(テニュアトラック型)の制度を導入することとされた。

- 本日は、上述のMMXとJUICEに加え、公募型小型計画2として準備を進めている深宇宙探査技術実証機（DESTINY^{+}）について、プログラム的な位置づけ（各探査戦略）を含めて検討状況をご報告する。

1．2　小天体探査戦略における各プロジェクトの位置づけ

　スノーラインの外で生まれた小天体は凍った泥団子（処女彗星）から多様な姿（始原的小惑星等）に進化した。そのいずれかの段階にあったものが何等かの方法で水・有機物等の揮発性物質を地球型惑星領域へと輸送したことが、それらの惑星を生命居住可能にするために必須であったと考えられている。いつ、どの進化段階にある天体が、どうやって水や有機物を原始地球に持ち込んだのかという問題に対し、 MMXとDESTINY ⁺では、それぞれ以下の側面から上記問題へのアプローチを試みる。

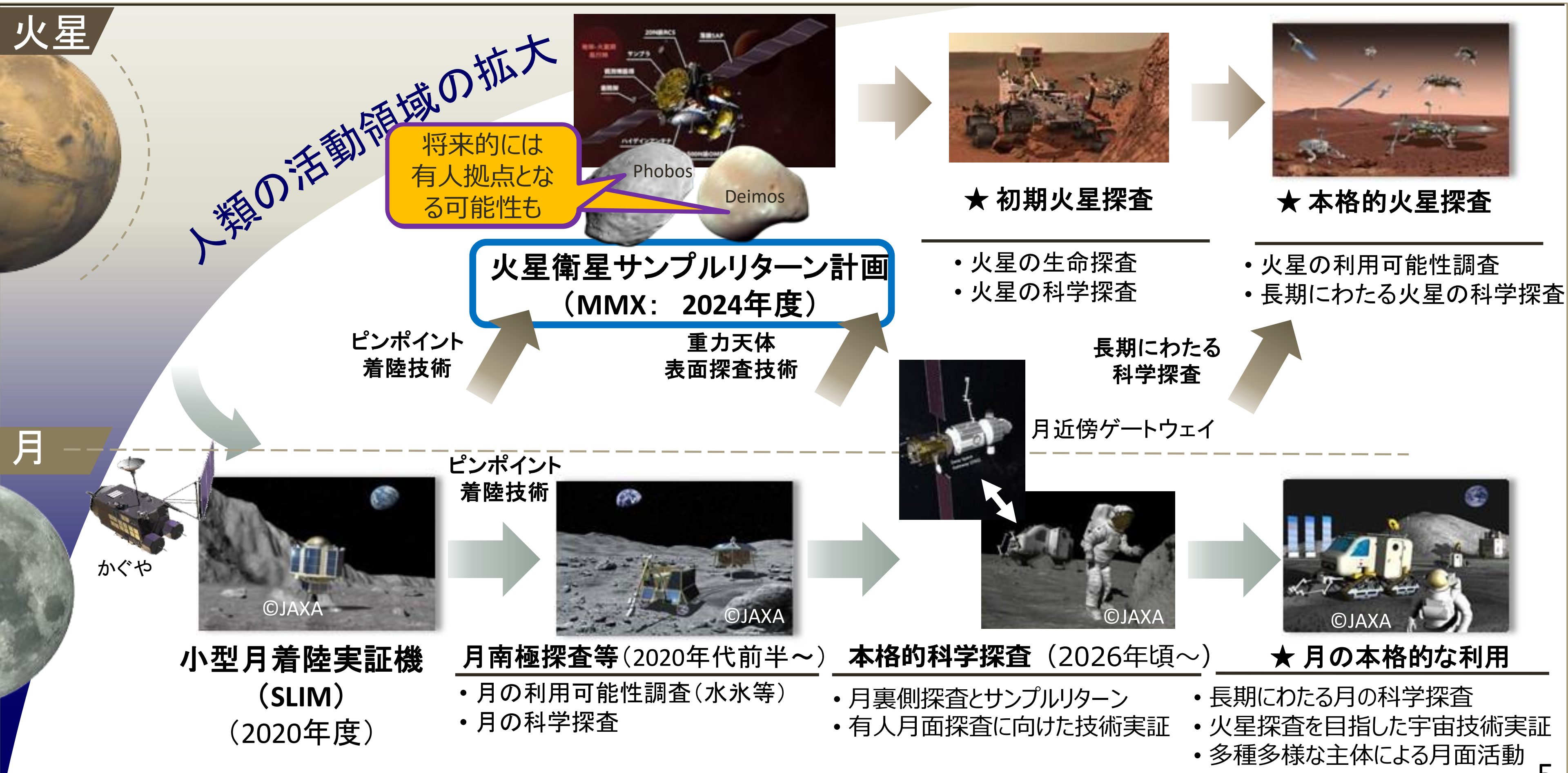
　火星衛星の形成には、火星の位置へと飛来した小天体が関わっていたと考えられる。MMXでは、火星衛星からサンプルリターンをすることで同位体組成を含めた詳細な分析を可能にし、火星衛星の起源（ジャイアントインパクト説、捕獲説）を判別する。そこから、地球型惑星領域の外縁に位置する火星軌道位置、すなわち太陽系の内側と外側を接続する領域（スノーライン近傍）における小天体の振舞いを読み解き、「水・有機物等揮発性物質の地球型惑星領域への輸送」における小天体の役割を明らかにする。

　地球の表層へと炭素等の軽元素をもたらした輸送経路として、惑星間空間を漂うダストは有力視されており、その供給源として彗星と活動的小惑星が考えられている。DESTINY⁺では、地球公転軌道位置、及び世界初の活動的小惑星近傍でダスト分析を行い、その化学組成を明らかにすることで天体から放出直後のものを含めて惑星間ダストの特性把握を試み、上述の「軽元素はダストが輸送した」という仮説の定量的な検証を行う。なお、地球公転軌道には、惑星間ダストだけでなく（恒）星間ダストの検出・分析も含まれるため、ダスト経由での分子雲から原始太陽系円盤への物質輸送も研究対象となる。探査対象天体は、ふたご座流星群の母天体である 3200 Phaethonである。

1．３　重力天体探査戦略におけるMMXの位置づけ

- 宇宙基本計画では『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。』とされており、JAXAとしては、下図の重力天体探査戦略を報告している。

「宇宙科学・探査に関する工程表の進捗状況について」（宇宙政策委員会 宇宙科学・探査小委員会、H29/8/18）より抜粋



1.4 宇宙工学分野技術ロードマップイメージ

将来の科学衛星や探査機を支える肝となるキー技術（クリティカル技術）の研究開発および実証を、戦略的に進める。メインミッションのオプション実験や海外ミッションへの参加要請などの様々な場を積極的に活用して研究や軌道上実証を行い、キー技術の成熟を図る。

技術アイテム ＼ 年代	2000	2010	2020	今後
小天体着陸技術	▲はやぶさ (S型小惑星)	▲はやぶさ2 (C型小惑星)	▲MMX（火星衛星）	
重力天体着陸技術			▲SLIM （±100m,月面中緯度） [▲月極域探査ﾐｯｼｮﾝ] ▲MMX（ 火星衛星）	
サンプルリターンカプセル技術	＊カプセル直径 ▲はやぶさ(40㎝)	▲はやぶさ2(40㎝)	[▲OKEANOS（高性能化）] ▲MMX（60㎝） [▲CAESAR（120㎝）]	
電気推進技術	▲はやぶさ(S型小惑星)	▲はやぶさ2 （C型小惑星）	▲DESTINY+ （地球周回軌道からの自力脱出）	[▲軌道間輸送機]
冷凍機技術 （検出器温度）		▲ASTRO-H ▲代替機 （100mK以下、寒剤有り）	[▲LiteBIRD] ▲SPICA （100mK以下、寒剤無し）	
高放射線環境下での観測技術		▲ERG (ﾊﾞﾝｱﾚﾝ帯) ▲Bepi (水星圏)	▲JUICE (木星圏)	

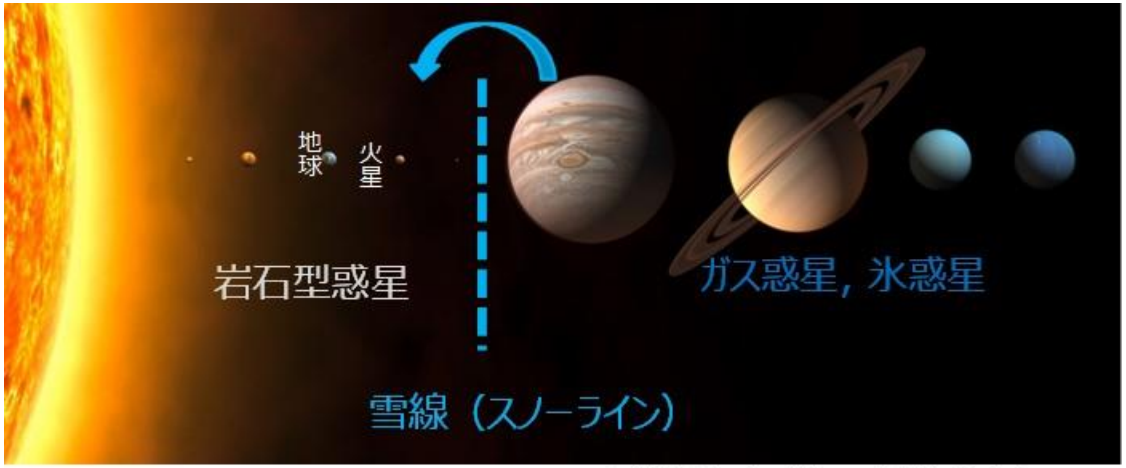
※ 括弧 [] 内は、構想検討中のミッション

2. 戦略的中型計画（MMX）の開発研究の状況について

2.1 ミッションの目的と意義

太陽系内での水・有機物の輸送

雪線の外から運ばれた水、有機物等の揮発性物質が地球型惑星領域を生命居住可能な環境に変えた。これらの物質輸送には、小惑星、彗星、その破片、塵が重要な役割を果たしたと推測される。

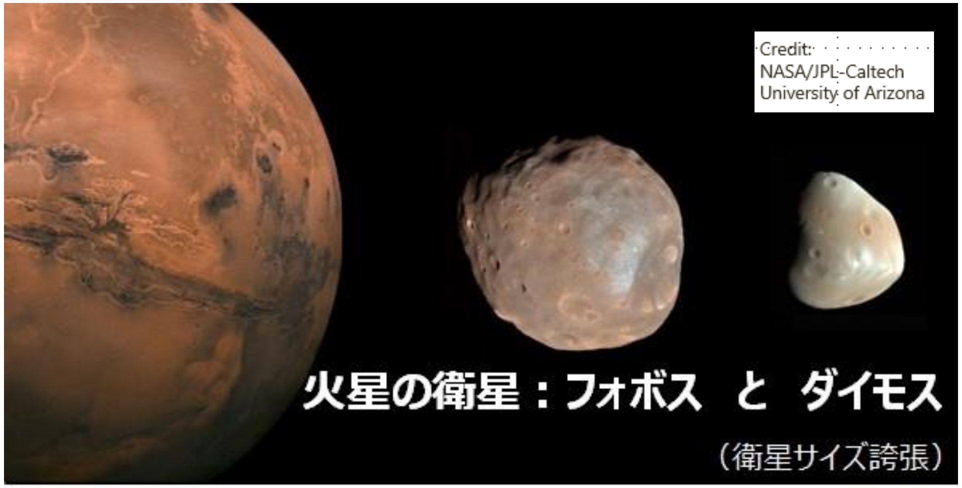


Credit: The International Astronomical Union/Martin Kommesser

初期太陽系の雪線周辺において小天体はどのように振舞ったのか？
それを確認するためには、我々は、どこへ行くべきか？

火星衛星：火星を周回する小天体
火星は氷が雪線の外側から内側へ輸送される最前線で、太古の小天体情報を保持している唯一の存在である。

火星衛星は、太陽系内での水の輸送を担ったカプセルではないか？



2.1 ミッションの目的と意義

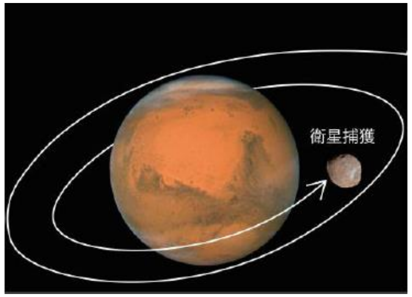
火星衛星の起源：太陽系内の水輸送カプセルか？

画像提供：
東京工業大学地球生命研究所
黒川宏之

火星衛星の起源はわかっていない。「捕獲小惑星説」と「巨大衝突説」の２つの説があるが、理論的には、どちらが優位とは言えない。

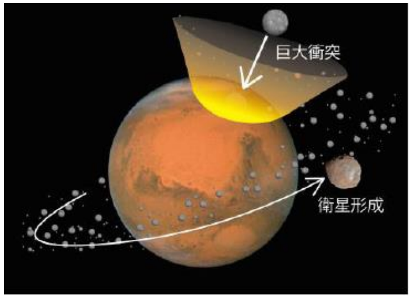
捕獲小惑星説であれば、雪線周辺における小天体の振舞いの解明に、巨大衝突説であれば、衝突過程の解明にそれぞれ繋がる。

捕獲小惑星説



もともと遠方に存在していた小惑星が、他天体との衝突などにより軌道が変わって火星周辺に飛来し、火星重力に捕まった、とする説。

巨大衝突説



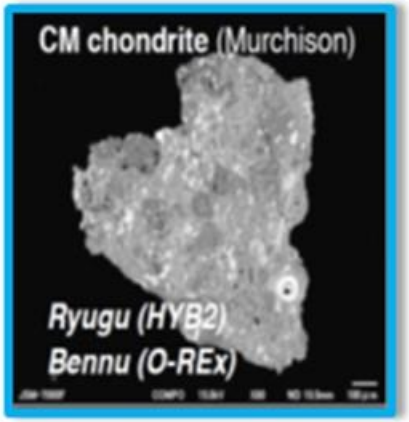
火星に大規模な天体衝突が生じ、その破片が火星軌道に散らばった後で、これらが再集積して形成した、とする説。

フォボス/ダイモスからのサンプルリターンの必要性

- 水・有機物質等の移動、天体への供給過程を解明するには、衛星物質起源及び年代の特定が必要不可欠である。
- そのためには、水・有機物の衛星物質の鉱物・化学・同位体組成を測定する必要があるが、測定に必要な精度の分析器は地上にしかなく、探査機へ搭載するための小型・軽量化には、多大なる年月及び費用を要するため、サンプルリターンを実施することが最も現実的かつ効率的である。

2.1 ミッションの目的と意義
火星衛星の起源の確認

①火星衛星から持ち帰ったサンプル中の高解像度の顕微鏡写真により，鉱物学的特徴から**捕獲起源**（始原的小惑星である炭素質コンドライト隕石）、**衝突起源**（ガラスなどの高温溶融物質を多数含む形態）を識別できる.

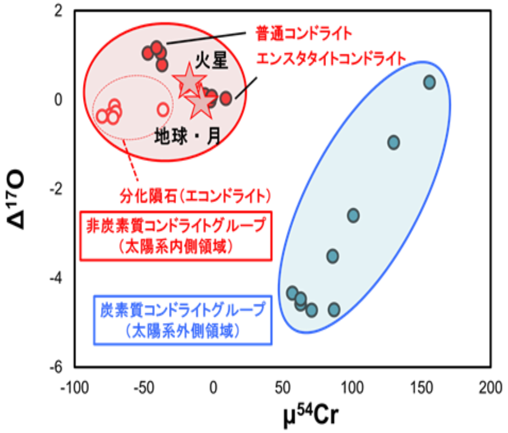


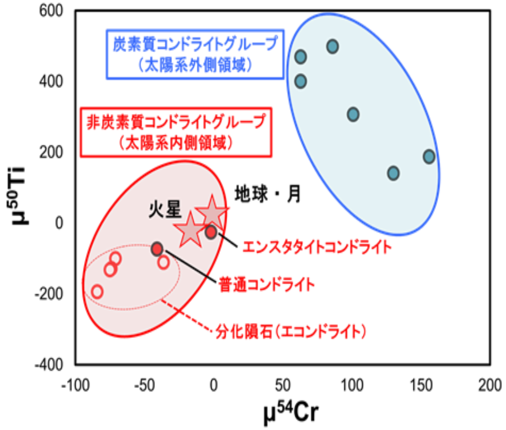
炭素質コンドライト隕石

高温溶融物質（ガラスなど）

捕獲起源　　衝突起源

②複数の同位体組成を組み合わせることによって、火星衛星の**由来「どこから」（スノーラインの外側・内側か，どのような隕石種・天体に近いか）**が推定できる.





①で得られた識別結果を用いて火星衛星の同位体比を求める。
これまでの知見により火星衛星の組成は炭素質コンドライト隕石（各図の青いグループ）に近いと考えられるため、捕獲起源であればこのグループ内にプロットされ，衝突起源であれば火星（図中の「火星」）との混合線上にプロットされると期待される。

海外の火星衛星探査の状況

- 火星衛星の調査は火星探査草創期から繰り返し行われているが、副次的なフライバイ観測にとどまる。フォボスを目指した探査はいずれも到達に失敗。火星衛星探査の検討は複数あるが、国外で実現見込みのあるものはない。

Viking 1号軌道船が1978年に撮像したフォボス:反射スペクトルから炭素質小惑星との近縁性が指摘された。またクレーター密度から、天体の年齢が太陽系年齢と同程度であることが示唆される。

2011年に打ち上げられたロシアのフォボス探査機Phobos-Gruntは打ち上げ直後の不具合により地球脱出に失敗。
現時点で、再打ち上げの見込みはたっていない。

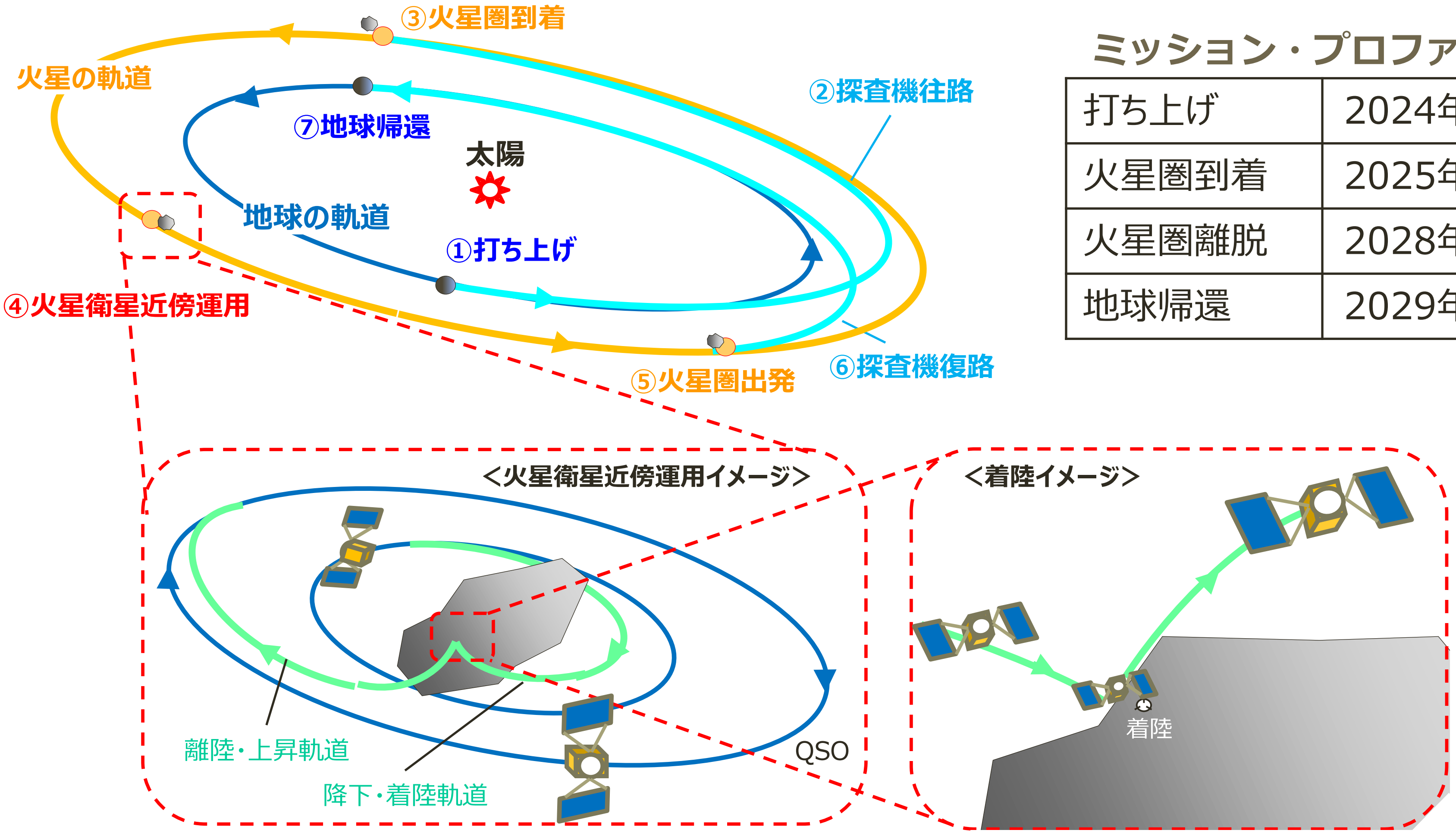
<u>**国外の最近の火星衛星探査検討状況**</u>

欧・露, Phootprint 計画 (ExoMars後継候補) フォボスサンプルリターン 検討中断中
米, PADME, PANDORA, MERLIN (Discovery プログラム候補)
火星衛星近接観測(all)＋ダイモス着陸(M), 2014AOに応募も不採択

2.2 MMX ミッションの概要

ミッション・プロファイル

- 惑星間の飛行期間（片道）は往路・復路とも1年弱。全ミッション期間は、火星衛星近傍での観測・運用期間を考慮し、約5年と想定している。2024年度の打上げをターゲットに検討を進めている。



ミッション・プロファイル

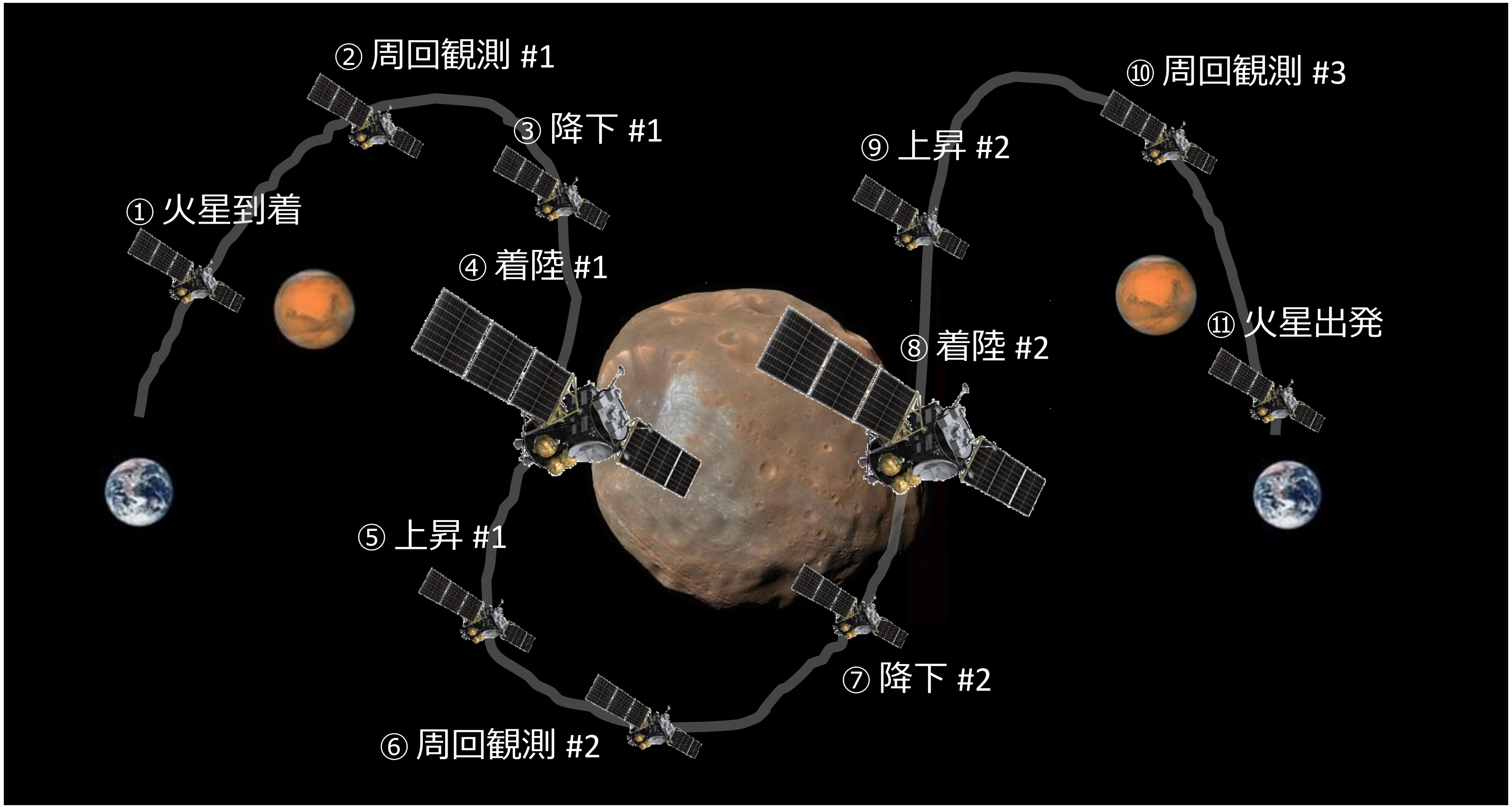
打ち上げ	2024年9月
火星圏到着	2025年8月
火星圏離脱	2028年8月
地球帰還	2029年9月

（以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある）

2.2　MMX ミッションの概要

火星衛星近傍での運用

火星衛星近傍では、衛星観測、衛星表面への着地、サンプリング等を実施する。運用プロセスを想定して、必要な運用期間を見積った結果、火星衛星近傍での滞在期間を約3年としている。



Credit（天体画像）：
NASA/JPL-Caltech
University of Arizona

火星衛星近傍でのミッションプロファイル

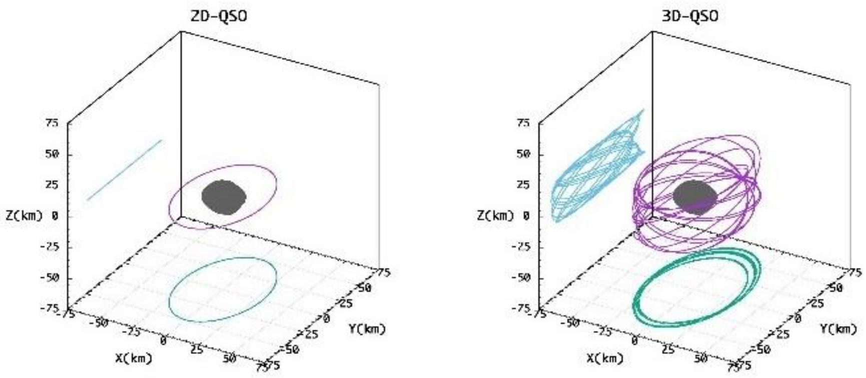
（以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある）

2.2 MMX ミッションの概要

衛星近傍運用・着陸運用

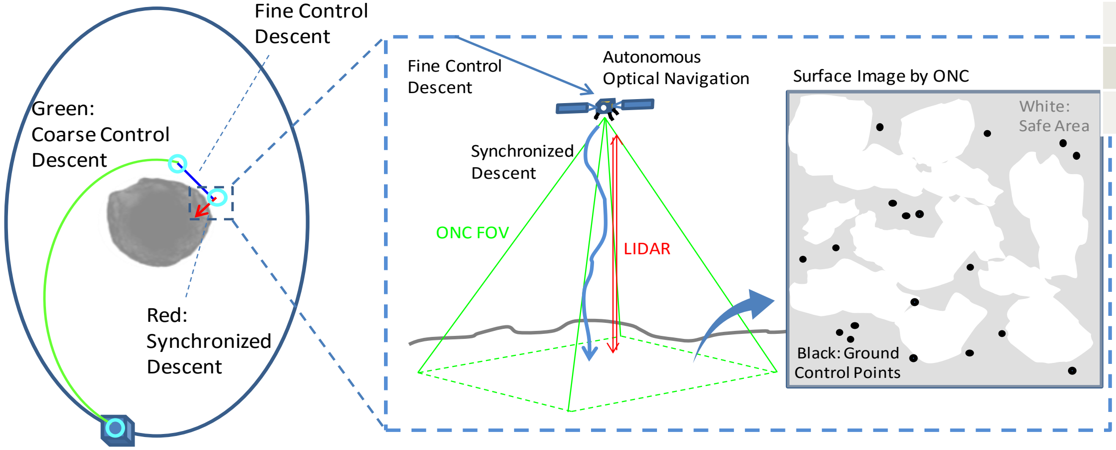
- フォボス近傍での観測運用、表面への着陸運用、サンプリング運用等の検討を進め探査機システムへの要求を整理している。地球から遠方で、短時間の内に必要な運用を安全に完了するため、自律化が重要である。

観測運用軌道（QSO）の例



d Martian moon

着陸降下運用の概要



着陸中の運用シーケンス例

No.	Phase	所要時間	高度
(0)	低高度周回	N/A	20km
(1)	降下開始ΔV	1min	20km
(2)	弾道飛行1	30min	20km→10km
(3)	TCM	1min	10km(TBD)
(4)	弾道飛行2	60min	10km→1km
(5)	Stop ΔV	1min	1km
(6)	水平速度・位置補正	90min	1km
(7)	垂直降下	20min	1km→50m
(8)	TM分離	1min	50m→40m
(9)	6自由度制御	20min	40m→10m
(10)	ホバリング	5min	10m
(11)	自由落下	5min	10m→1m

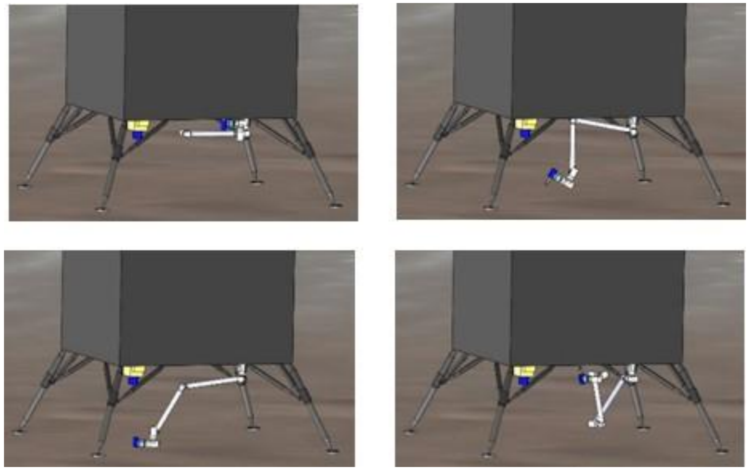
（以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある）

2.2 MMX ミッションの概要

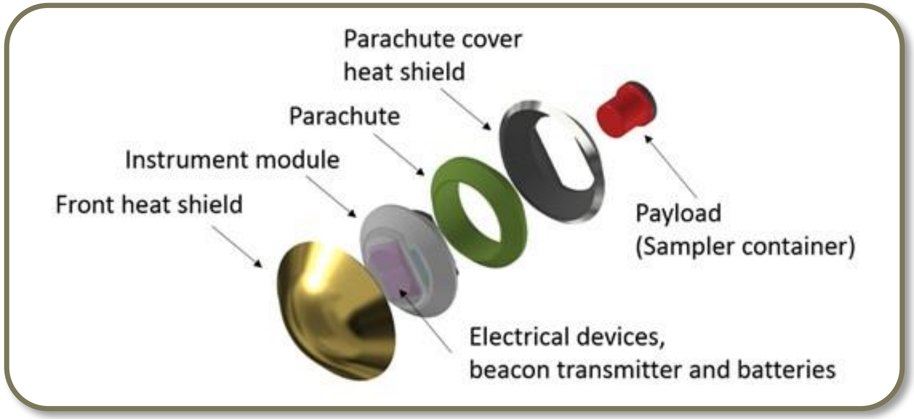
ミッション機器

- 高度なサンプリング要求に対応するためのサンプリング装置、サンプルリターンカプセルを搭載する。また、サンプル採取地点の選定や、周辺の
- 特性を把握するための観測機器も搭載する。

マニピュレータを用いたサンプリング



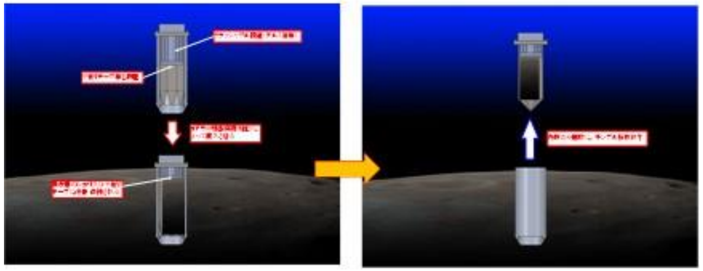
サンプルリターンカプセル



搭載観測機器

- 望遠単色可視カメラ
- 可視広角多色カメラ
- 近赤外分光計（＊1）
- ガンマ線・中性子線分光計（＊2）
- レーザ高度計
- イオン質量分析器
- ダストカウンタ

コアラー機構

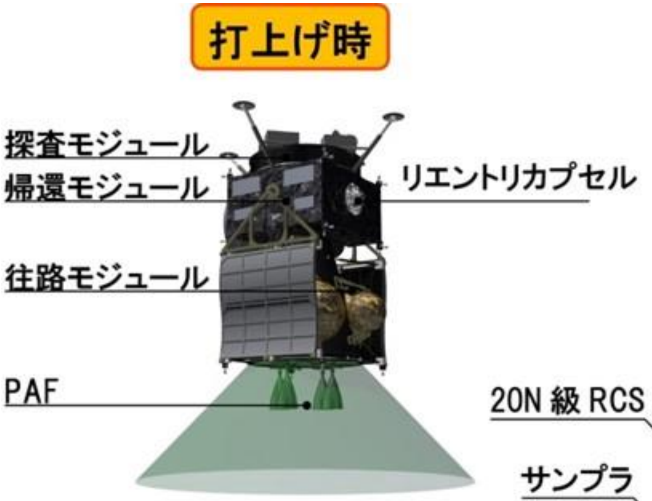


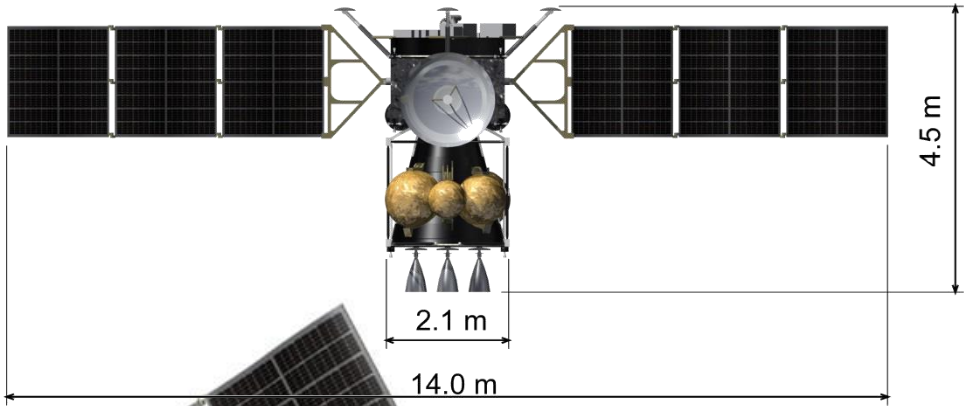
（以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある）

(*1) CNES提供予定。 (*2) NASA提供予定

探査機システム

- 探査機の主推進系としては、往路・復路とも化学推進系を採用する。大きな軌道速度を効率よく得るために、多段式の構成とする。





打上質量：3400kg

三段構成

帰還モジュール:	1350kg
探査モジュール:	150kg
往路モジュール:	1900kg

ミッション期間： 5年

（以上は検討の一例であり、今後、変更の可能性がある）

2.3　MMX 計画の検討状況

国際協力の検討・調整

科学成果の最大化およびコスト削減を目的として、各機関との国際協力調整を進めている。火星衛星探査に対する関心が国際的にも高いこと、およびはやぶさ初号機、２号機の国際協力実績も踏まえ、搭載ミッション機器の開発・運用、地上アンテナ局（DSN局等）による運用支援、回収サンプル分析等での国際協力を進める方針である。

CNESとは2017年4月に協力取決め（IA：Implementation Arrangement）を結び、近赤外分光計（MacrOmega）、フライトダイナミクス検討及び小型着陸機の搭載可能性検討を進めている。

NASAとは2017年9月に協力取決め（LoA：Letter of Agreement）を結び、ガンマ線・中性子分光計（MEGANE）、DSN支援、試験設備の提供他の幅広い協力可能性について検討を進めている。NASAチーフサイエンティストもMMXの2024年のタイムリーな打上げが極めて重要と位置づけている。

他にもDLR、ESAとの調整を進めている。

国際協力の見込みが得られれば、国際協力相手機関および／または国際協力相手国の宇宙機関との最終取決めを締結する予定である。

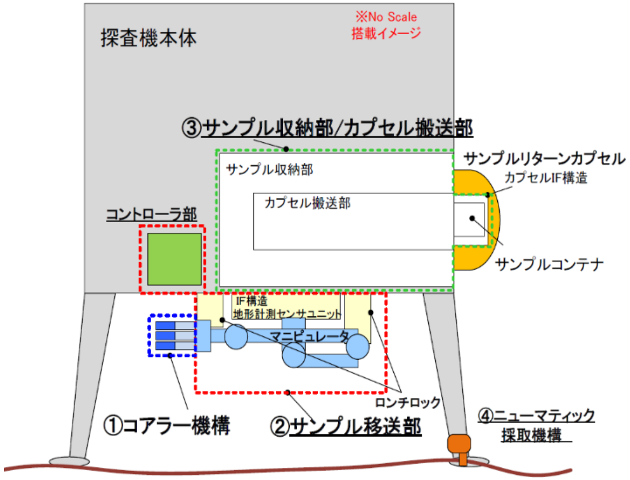
2.3 MMX 計画の検討状況

クリティカル技術

- 「機能」単位でミッション・クリティカリティと新規性を評価し、クリティカル技術を抽出している。ここで識別された技術は、技術の研究開発、早い段階からの試作・評価試験等を考慮した開発計画を検討している。

試料サンプリング装置

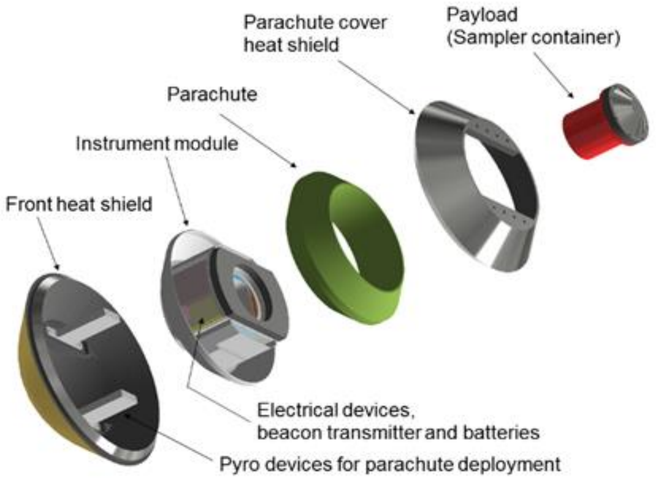
- ミッション要求から、「はやぶさ２」よりも大量のサンプルを採取できる方式として複数方式を検討・トレードオフした結果、マニピュレータ＋コアラー機構による採取方式をベースラインとした。



はやぶさ２で実績のある弾丸方式は要求採取量10g/回を満たすことが難しい。このため、地下のサンプルも採取できるコアラー方式と、探査機直下の地表から確実にレゴリス層を含むサンプルを採るためのマニピュレータを組合せたサンプリング装置を検討した。

再突入カプセル

- 概念検討の結果、搭載ペイロードの体積・重量の増加に伴い、「はやぶさ２」よりサイズアップ（直径50cm、重量30kg）するのが妥当と判断した。



カプセル概念検討結果

外形は「はやぶさ」カプセル相似形、ヒートシールド構造と空力減速システム（パラシュートシステム）は「はやぶさ」カプセルを踏襲。

2.3　MMX 計画の検討状況

開発研究フェーズのFY29実績とFY30計画

FY28調査研究フェーズにおける概念検討（ミッション定義に基づく要求仕様検討）結果によって出た複数のクリティカル技術について、開発研究フェーズのFY29に技術検討を実施し、一定の成果を得た。

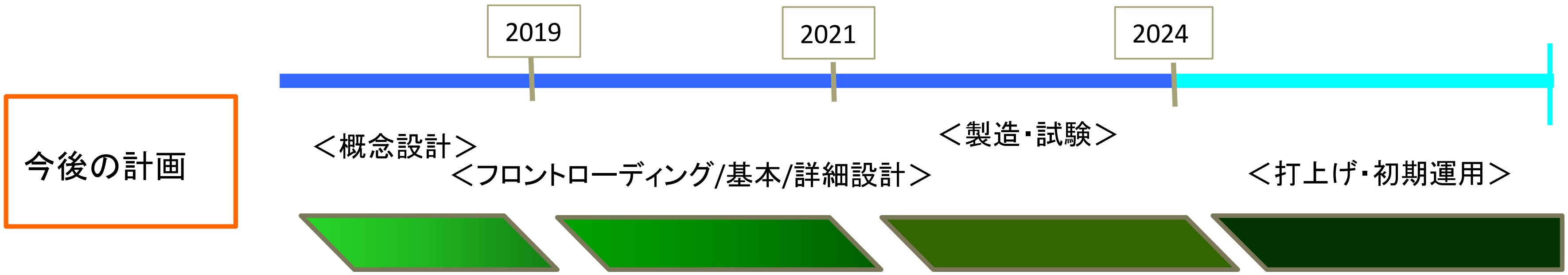
FY30には、要素試作品の製作・評価および探査機システムの成立性について引き続き検討を実施する。

	FY29	FY30
探査機システム	FY28に設定した要求仕様に基づき、探査機システムの予備設計を実施。 開発メーカ発注を含む技術検討を実施し、システム構成、開発・検証計画の策定、資金計画の見積を実施し、要求仕様の成立性を評価・確認。	新規性が高いシステム要求に対し、設計解の確度が低いものがある（高精度な航法誘導制御・着陸脚等）。 また、未だ洗い出されていない暗黙の機能・性能要求が顕在化する可能性がある（異常時対応方針等）。 よって、これらの新規技術について企業が開発完了までのリスクを見極めた上でコスト・スケジュールを予測し請け負えるレベルにするために、プリプロジェクトフェーズにおいて、「ヘビーなシステム検討（基本設計に準ずるレベルの内容）」を実施する。
試料サンプリング装置	FY28検討および部分試作評価の結果、複数案について、試料サンプリング装置の砂貫入機構、ロボットアーム、試料搬送機構について設計・製作の一部（部材調達等）を実施。	FY29で実施した設計を踏まえ、砂貫入機構、ロボットアーム、試料搬送機構について試作評価する。
再突入カプセル	FY28検討で挙げられた複数の組み合わせ候補について設計・製作の一部（部材調達等）を実施。	FY29で実施した設計に基づき、複数の組み合わせ候補について試作し、熱・衝撃耐性を評価する。

2.4 MMX 今後の計画

MMXは、既存の技術レベルや他の計画での実績に基づき、以下の予定で検討を進めている。

・2018年度　：　概念設計
・2019-2021年度　：　フロントローディング/基本/詳細設計
・2021-2023年度　：　機器の製造、試験
・2024年度　：　打ち上げ



３．公募小型計画DESTINY＋の開発研究の状況について

宇宙基本計画工程表の通り、公募型小型計画の具体化に向けた開発研究を進めている。

3.1　DESTINY+ ミッションの目的・意義（検討中）

本ミッションの目的・意義は、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であり、具体的には以下を目的とする。

流星群母天体フライバイおよび惑星間ダストのその場分析

ふたご座流星群の母天体、活動小惑星、地球衝突可能性天体である小惑星Phaethonのフライバイ観測を行う。また、地球に飛来するダストを地球近傍の惑星間空間及びダスト供給天体であるPhaethon近傍でその場測定し、地球飛来ダストの物理化学特性を明らかにする。

小型深宇宙探査機技術の獲得

小型ミッションによる深宇宙探査を実現するため、

・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。
・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。

政策的意義　科学ミッションの継続的創出によるイプシロンロケット打上げへのアンカーテナント

期待される成果

DESTINY+による観測で得られる情報に、地上望遠鏡での小惑星・黄道ダスト観測、地上や成層圏で回収されたダストや隕石分析、地上や国際宇宙ステーションでの流星観測の結果など関連分野の知見を総動員し、地球飛来ダストおよび地球飛来ダストの供給天体（流星群母天体）の実態を理解する。

小型高性能深宇宙探査機プラットホ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。

地球への炭素、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。

★モデルからの示唆 (Chyba & Sagan, 1992).

◆ 小天体衝突は総落下質量は圧倒的に大きいが、半径100m以上のものは

- ➢ 大気摩擦による減速が効かず、地表激突時に生じる高温により有機物の大部分が分解。
- ➢ 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。

★隕石、微隕石、惑星間ダストの地上研究及び彗星探査からの示唆

◆ 隕石に炭素質なものは稀。惑星間ダストは炭素質物質が豊富。

◆ 惑星間ダストは、太陽系で最も始原的な物質

- 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
- 星間ダストやプレソーラ粒子を含む
- 脆い構造

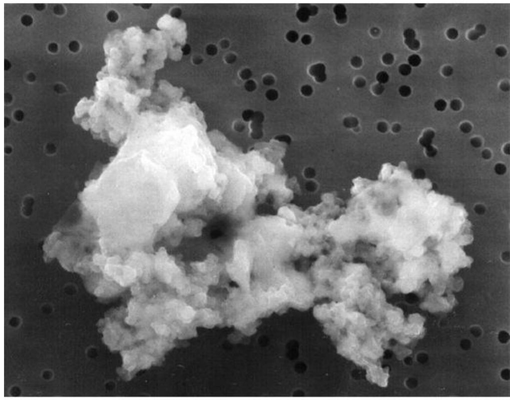
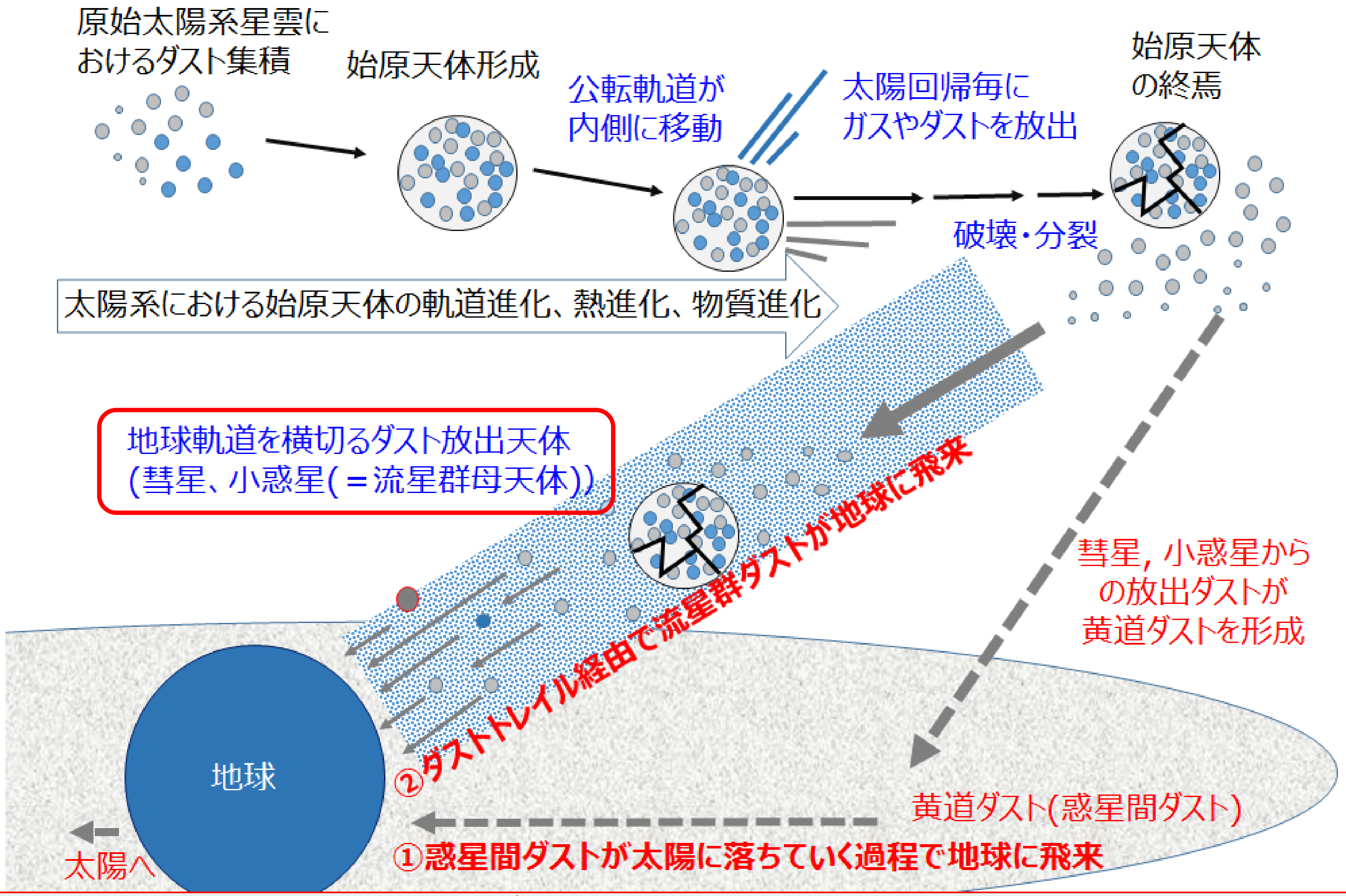


Image: NASA (FOV:10um)

3.1 DESTINY+ ミッションの目的・意義（検討中）

地球飛来ダストの輸送経路

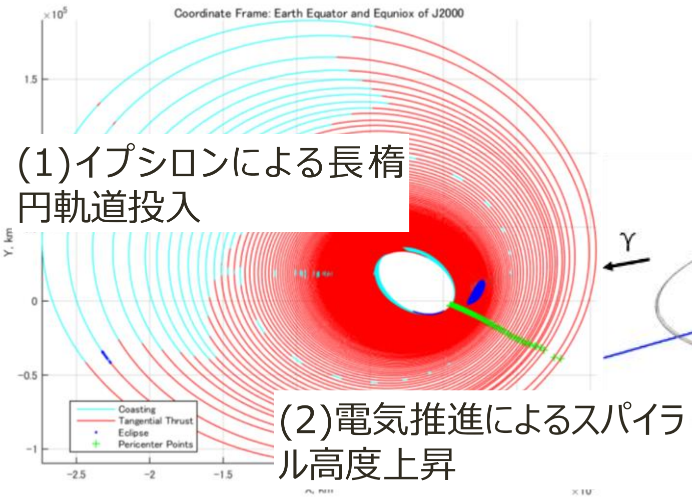


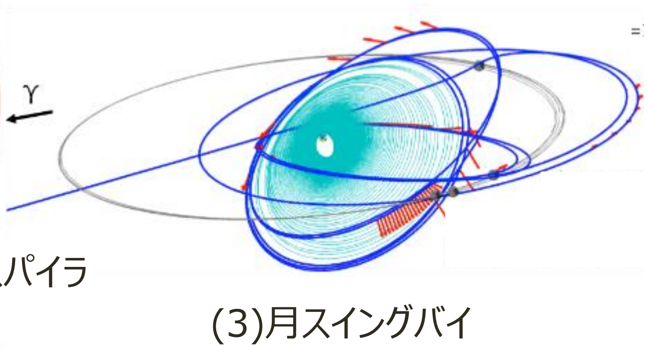
①様々な天体由来の惑星間ダストの全体像及び由来を明らかにしたい。
②1auに流入する星間ダストの化学組成(特に炭素、有機物存在度)を理解したい。
③流星群母天体である小惑星からのダスト放出機構を理解したい！

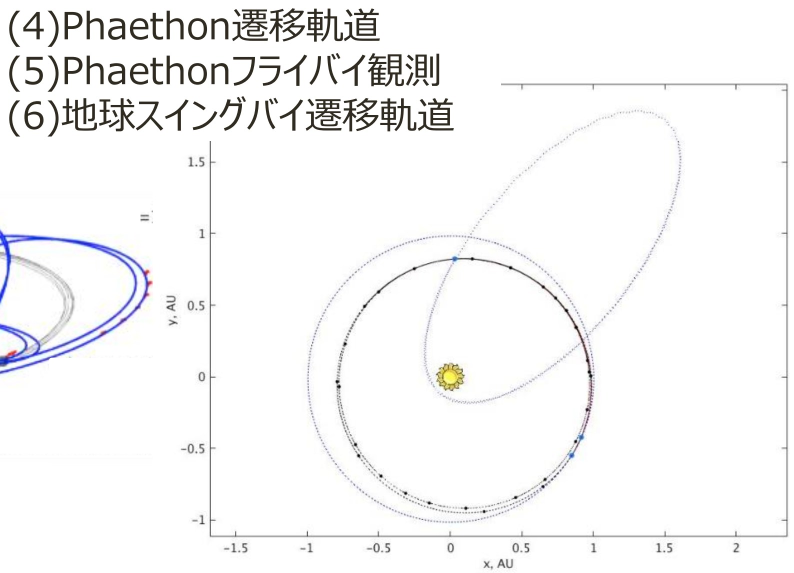
3.2 DESTINY⁺ ミッションの概要（検討中）

DESNIY+　ミッションプロファイル

	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1年半	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≒地球出発（1.0au）
(5)	数日	Phaethonフライバイ観測	近接観測
(6)	約2年	地球スイングバイ遷移軌道	近日点通過（0.75au）
(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	



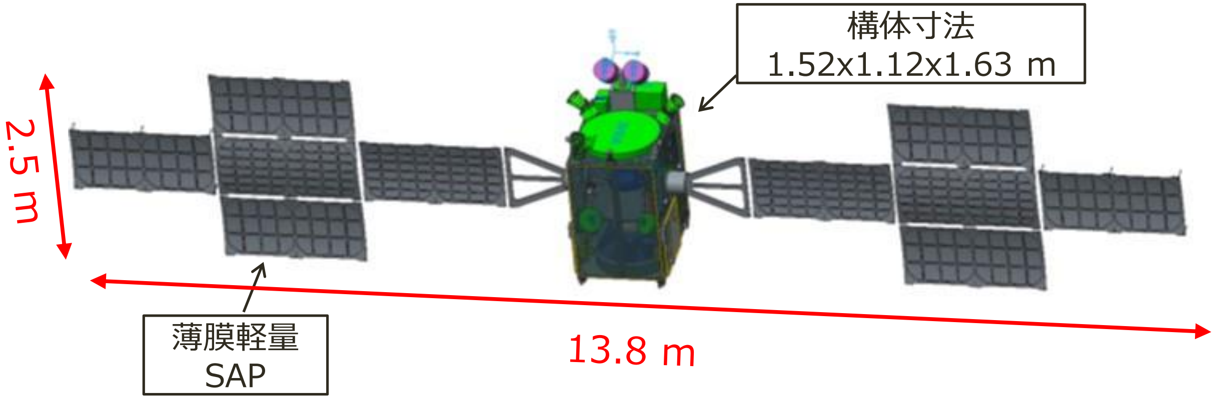




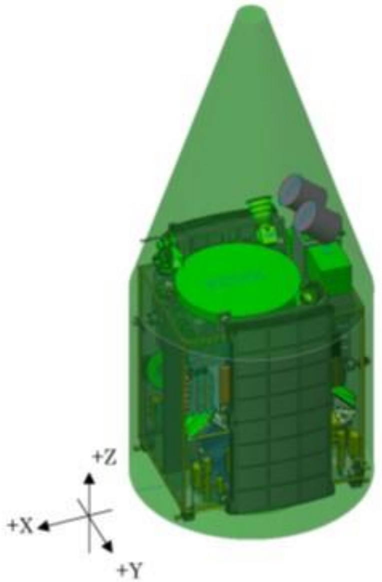
審査項目②システムの実現可能性および開発計画全体の妥当性

3.2 DESTINY+ ミッションの概要（検討中）

探査機DESTINY+のシステム設計



SAP展開状態

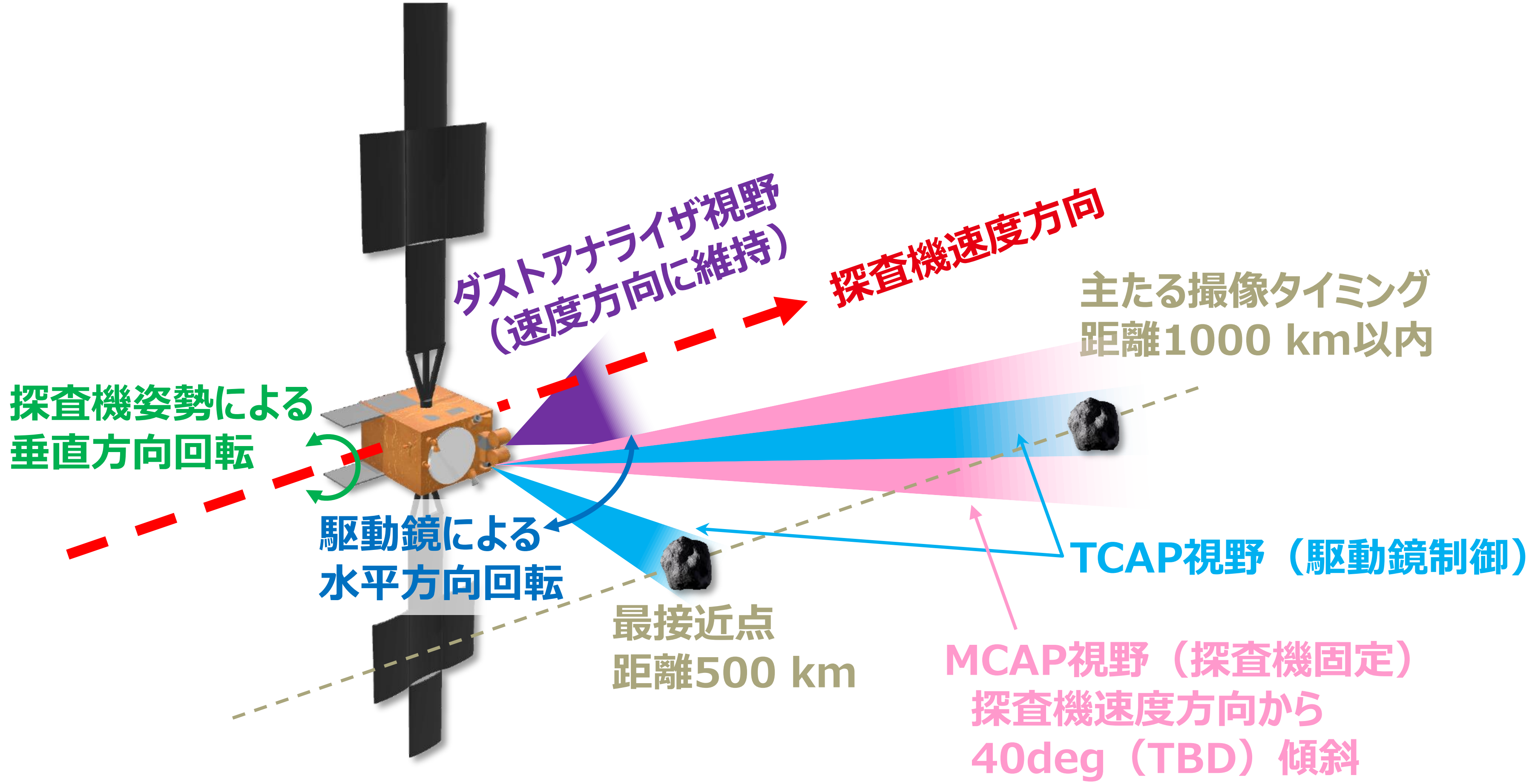


ロケット搭載状態

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×37000km, 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2.6kW@EOL
バッテリ	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（可逆展開ラジエタ, 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

Phaethonフライバイ時の姿勢・観測方法

- フライバイ前に探査機姿勢制御により相対軌道の垂直方向を制御
- TCAPはフライバイ時駆動鏡によりPhaethonを追尾撮像
- MCAPは主たる撮像タイミングでPhaethonが視野に入る角度で探査機に固定



DESTINY+についての DLR との調整状況

- DESTINY+の主要ペイロード機器となるダストアナライザを、Cassiniミッションで実績があり世界的な優位性のあるドイツからの提供可能性につき、DLRおよび機器開発を行うシュツットガルト大と、担当レベル、さらに理事レベルの協議を実施。
- 2017年9月20日のJAXA奥村理事長(当時)-DLRエーレンフロイント長官による共同声明において、DESTINY+へのダストアナライザ提供によるDLR協力可能性を明記。
- 2017年11月に実施取決め（IA: Implementation Arrangement）を結び、主要ペイロード機器の１つとしてダスト・アナライザーの搭載検討を進めている。
- 上記検討の結果、協力内容が確定次第、DLRとの最終取決めを締結する予定である。

DLRエーレンフロイント長官とJAXA奥村理事長(当時)による共同声明発表 (2017年9月20日)

3.3 DESTINY^{+} 計画の検討状況（検討中）

クリティカル技術

高性能深宇宙航行機：電気推進系

最大4km/s以上の増速能力

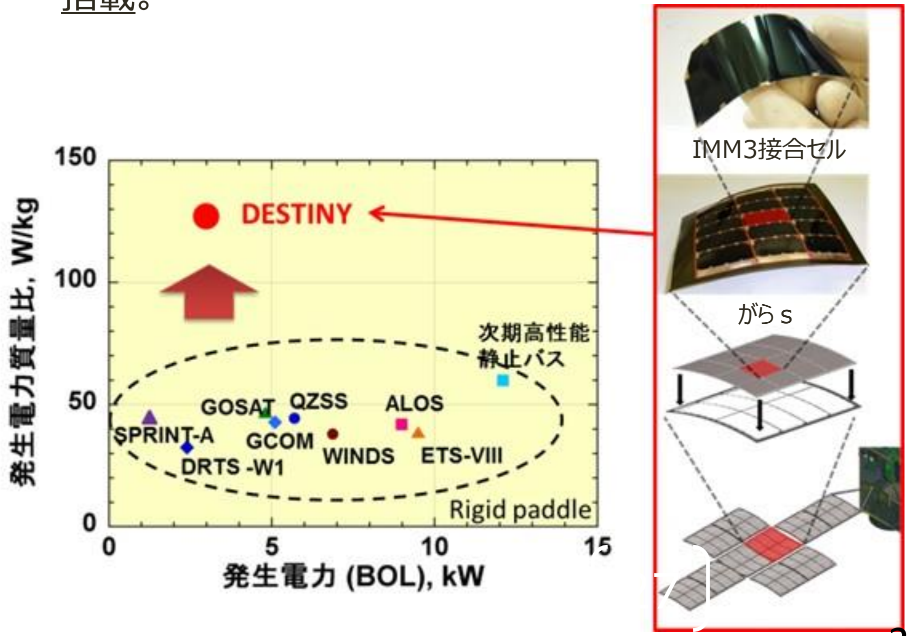
- 重力天体からの脱出/投入を含む自在な宇宙航行に必要な増速量。
- 化学推進系では実現困難（過去最大はMESSENGERの約2.6km/s）で、高比推力の電気推進系が必須。
- ISAS独自開発のμシリーズ イオンスラスタをトレードオフし、μ10を4台搭載し4台同時運転する構成を選定。

	はやぶさ２	DESTINY^{+}
スラスタ	μ10	μ10
運転(搭載)台数	3 (4)	4 (4)
推力 (mN)	30	40
比推力 (s)@MOL	3000	3000
探査機WET質量 (kg)	610	480
加速度($10^{-5}m/s^2$)	> 4.9	> 8.3
IES電力 (W)	1250	1670
IES発熱 (W)	510	620
IES質量 (kg)	66	64
Xe搭載量 (kg)	66	60

高性能深宇宙航行機：薄膜軽量SAP

世界最高の出力密度（W/kg）

- 高効率かつ薄膜構造で柔軟なIMM3接合太陽電池セルを直並列に接続してアレイシートを構成。
- アレイシートを軽量なフレーム構造で保持してパドルを構成。
- パドルの出力密度は100 W/kgを大きく超える。従来型パドルの2倍以上、世界最高レベルの性能を達成。
- NESSIEでの要素技術実証、革新的衛星技術実証での構造技術実証を経て、DESTINY^{+}で初めてバス機器として搭載。

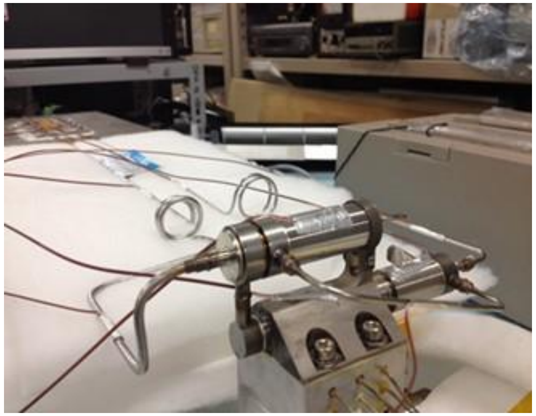


クリティカル技術

高性能深宇宙航行機

ループヒートパイプ（LHP）

- 高機能・自由度の熱制御・輸送デバイス
- 温度制御性や熱スイッチ性などの高機能熱輸送を可能にし，自由な熱輸送経路を構築できる特徴を持つ．従来の技術では実現できない高度な要求を低リソースで実現できるデバイスとして期待される技術

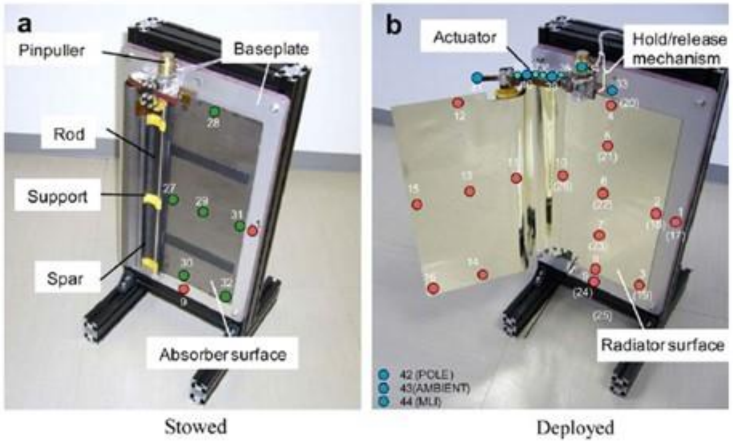


図：ループヒートパイプ

先端的熱制御デバイス

“可逆”展開ラジエター

- 可逆展開ラジエターは軽量化かつ受動的に放熱面の開閉が可能
- 最大でラジエター搭載面積の3倍の放熱面積の確保し，保温時にはラジエターを収納しヒータ電力を削減する
- 将来深宇宙探査や多様なミッションに応えられる拡張性の高い熱制御デバイス



図：可逆展開ラジエター

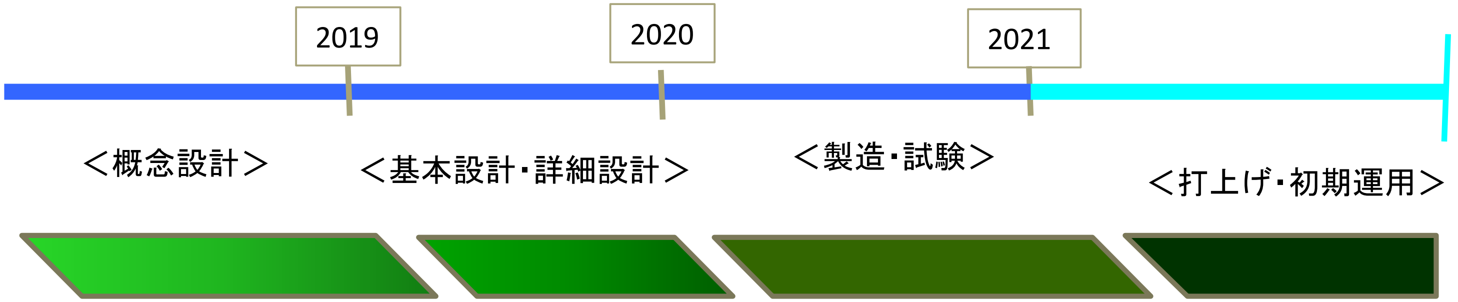
Hosei Nagano, Akira Ohnishi, Yuji Nagasaka, “Development of a lightweight deployable/stowable radiator for interplanetary Exploration“, Applied Thermal Engineering 31 (2011) 3322e3331

3.4 DETINY＋ 今後の計画（検討中）

DESTINY⁺は、既存の技術レベルや他の計画での実績に基づき、以下の予定で検討を進めている。

・2018年度：　概念設計
・2019年度：　基本/詳細設計
・2020年度：　機器の製造、試験
・2021年度：　システム試験、打ち上げ

今後の計画



4．多様な小規模計画JUICEの開発研究の状況について

4.1 JUICEの目的・意義

JUICE

惑星の成り立ちと生命の可能性をもとめて木星へ

Jupiter Icy Moons Explorer

木星氷衛星探査計画 ガニメデ周回衛星

ー全世界的木星探査ミッションへの小規模プロジェクトによる参加ー

惑星はいかにして作られたのか？

ミニ太陽系であり、宇宙にありふれた形態の巨大ガス惑星系の理解を通して

地球外生命を生み育む場所は、どこに？

普遍的で安定な生命居住環境である木星型氷衛星の理解を通して

太陽系で起きている環境の変動にはどのようなものがあるのか？

太陽系最強の加速器 木星磁気圏の理解を通して

4.1 JUICEの目的・意義

惑星探査における木星の重要性

木星は土星と共に巨大なガス惑星である。巨大ガス惑星は太陽以外の星の周囲にも見つかっている。

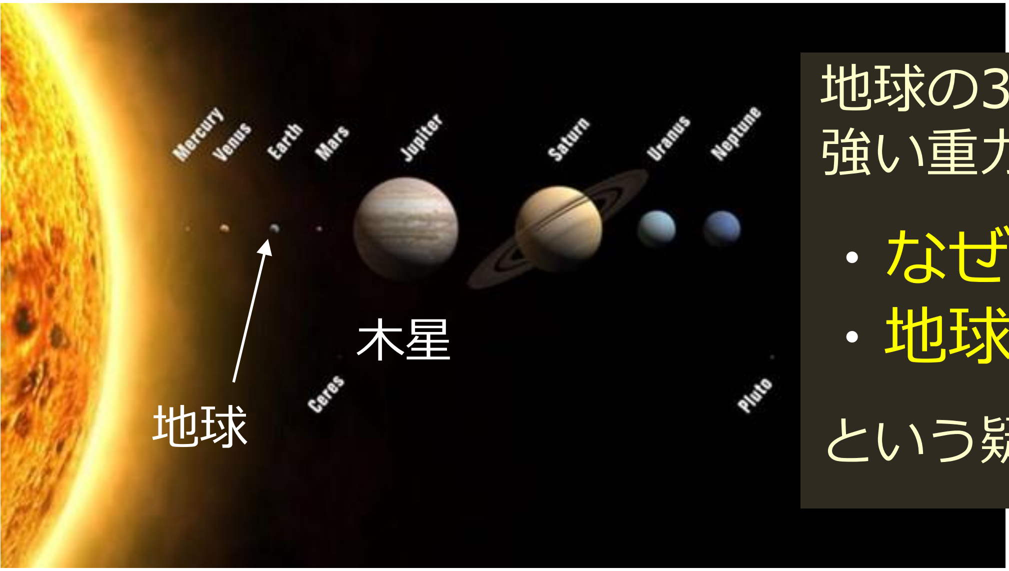
ガリレオ(木星)、カッシーニ（土星）のデータの集積により、巨大なガス惑星の周囲にある氷衛星における地下海への興味が高まっている。

氷衛星内部は海が存在し得る環境として、地球のように天体表層にある場合よりも安定な条件にあることがわかってきた。

系外惑星にも氷衛星は期待されることから、太陽系において氷衛星の世界を理解することが重要で、まずは、地下海があるという仮説を検証するべきである。

「木星の衛星たち」を調べることで我々の太陽系がどうできたのかを知る

なぜ木星？ —太陽系初期に地球や他の惑星の運命を決定した最重要惑星 ⇒「巨大ガス惑星」



地球の300倍以上の重さの木星は
強い重力で太陽系全体の惑星配置を決定

- なぜ、地球が今の位置に存在？
- 地球の海や生命の材料はどこから？

という疑問の答えが木星にある

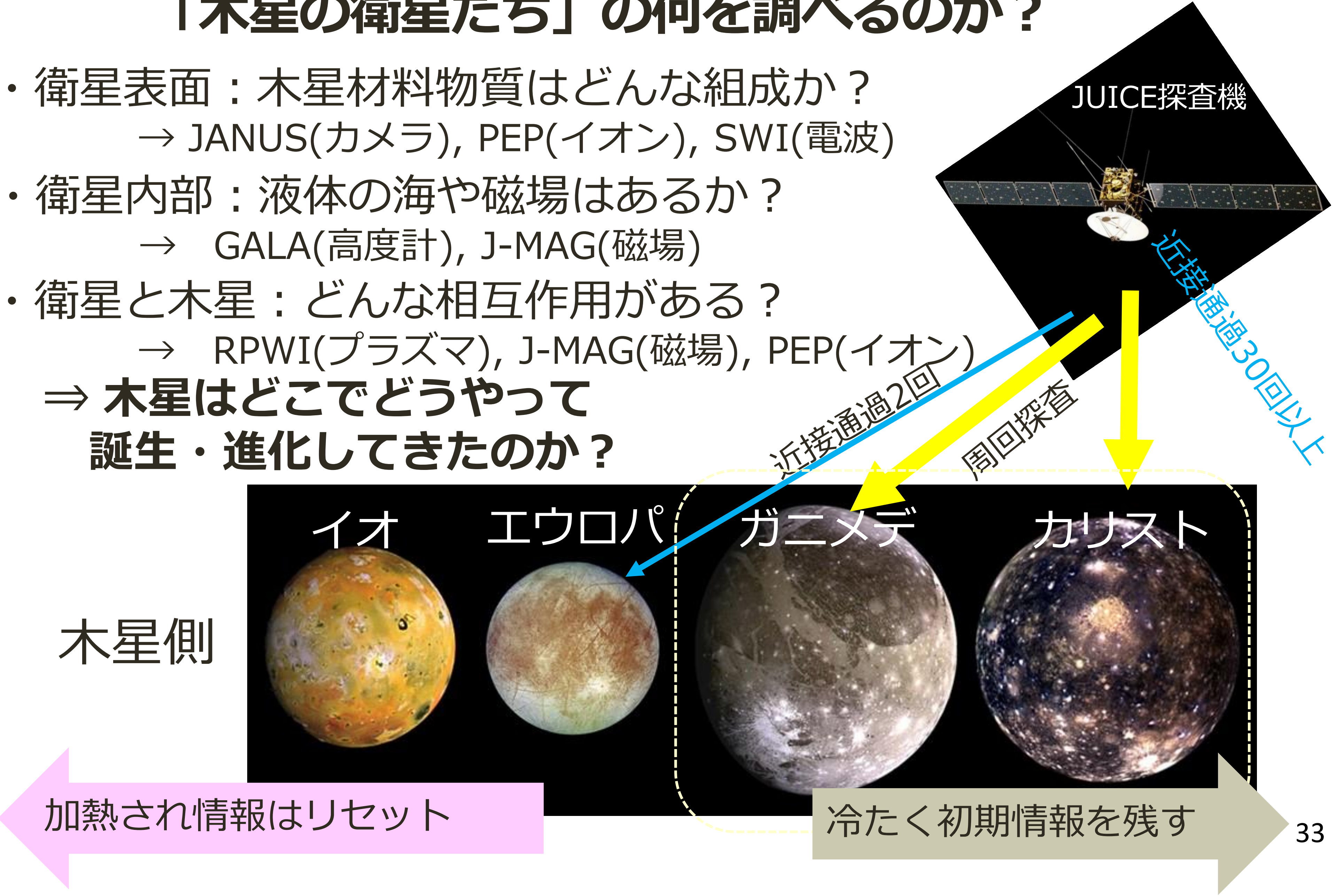
なぜ衛星を調べる？ －木星がどこでどうやってできたかを知る鍵はその材料物質。木星の衛星には当時の材料物質が“化石”のように残る

木星ではその材料物質は厚いガスの下にあり、直接調べることは難しい

「木星の衛星たち」の何を調べるのか？

- 衛星表面：木星材料物質はどんな組成か？
  → JANUS(カメラ), PEP(イオン), SWI(電波)
- 衛星内部：液体の海や磁場はあるか？
  → GALA(高度計), J-MAG(磁場)
- 衛星と木星：どんな相互作用がある？
  → RPWI(プラズマ), J-MAG(磁場), PEP(イオン)

⇒ 木星はどこでどうやって 誕生・進化してきたのか？

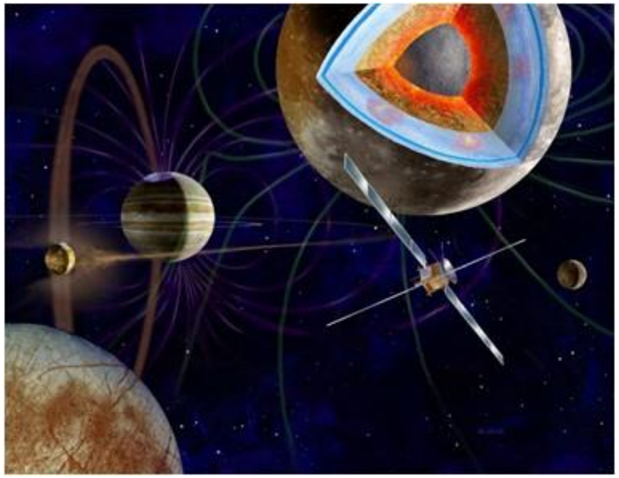


我が国が JUICE 探査へ参加する意義

JUICE は欧州主導の国際大型木星氷衛星探査計画（1000億円規模のLarge-program）であり、観測機器の一部開発･提供及びサイエンス共同研究等で優位性のある技術において貢献することで日本の存在感を世界に示す。

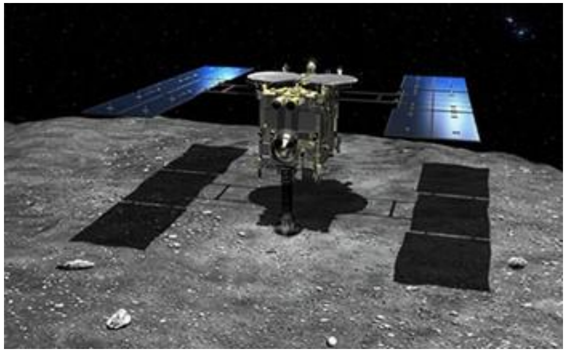
木星はどこでどうやってできたか？「起源の解明」
⇒ 太陽系のような惑星系は宇宙でどれだけ一般的か？
自然科学における最も根源的な問い 「起源」と「普遍性」の解明を日本がリードする

JUICE 探査



木星はどこでどうやってできたのか？

小天体SR探査



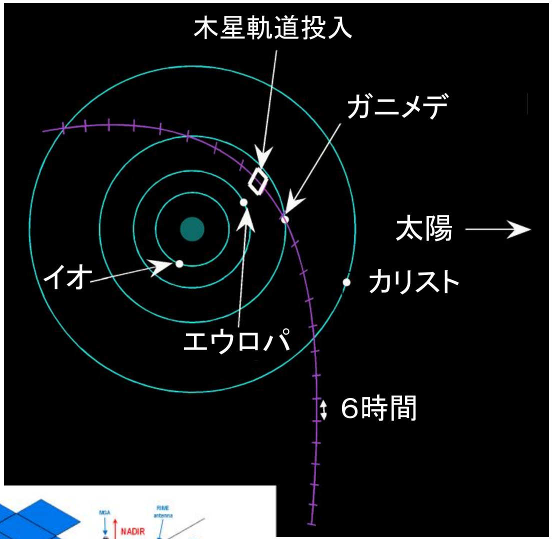
望遠鏡観測資源
系外惑星・円盤観測

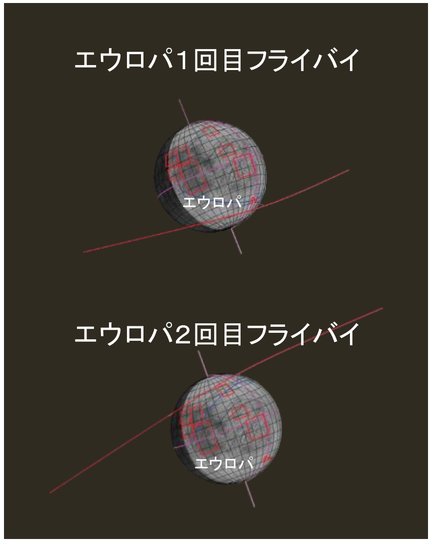
宇宙にどんな惑星系が存在？
地球への水・大気の供給源とその根本原因

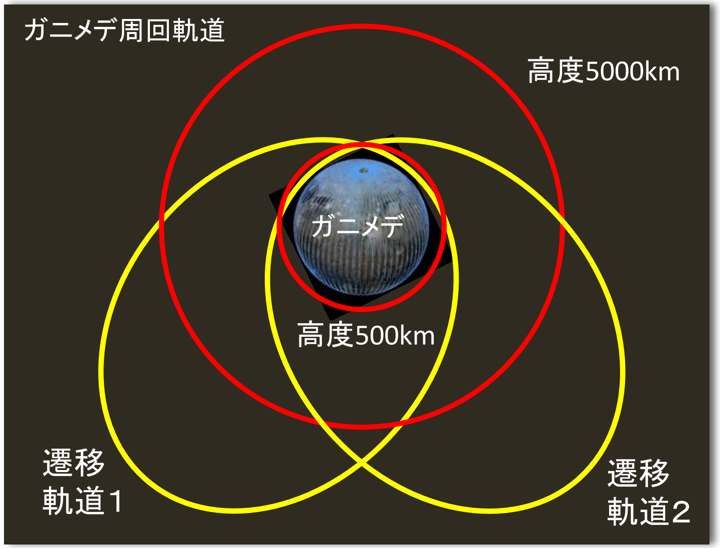
34

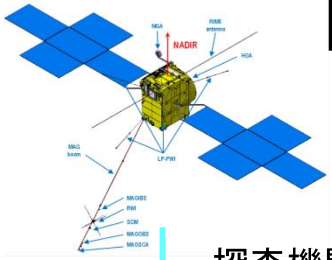
JUICE ミッション・タイムライン

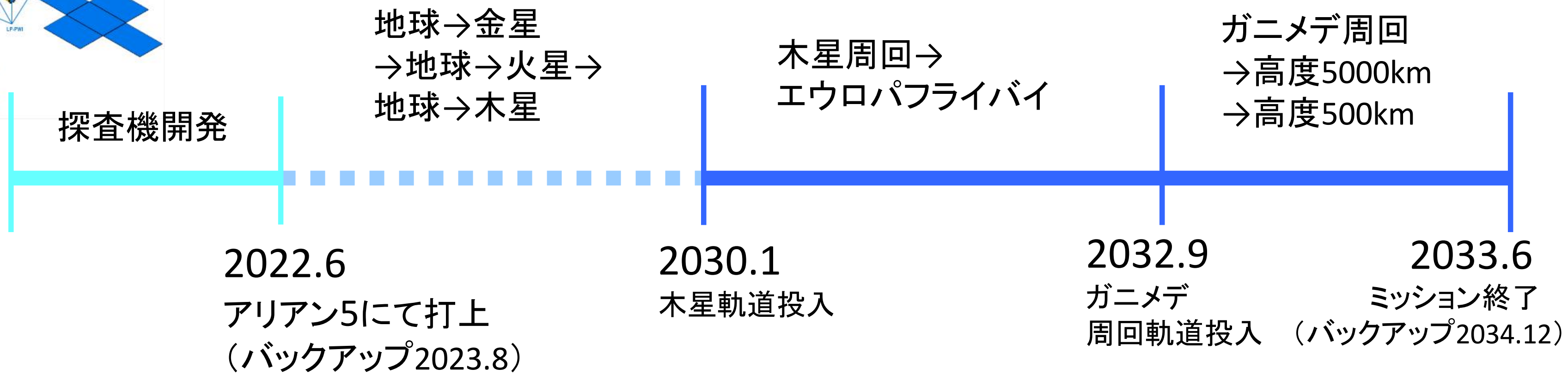
2022年にアリアン5にて打ち上げ、2030年に木星系到着、2032年にガニメデ周回軌道に投入し、約8か月後の2033年6月にミッションを完了する。世界初の氷衛星の周回機。











4.2 JUICEのミッション概要

JUICE　探査機の主要諸元

項目	諸元
姿勢制御方式	3-axis stabilised
電力	Solar Panels ：800W(EOM)
ハイゲインアンテナ	3.2 m Body fixed X & Ka Band
ダウンリンク	1.4Gbit/day 以上
軌道変換能力	約2700m/s
放射線レベル	240 krad/10mm Al solid sphere
ドライ質量	約2200kg
推進薬質量	約2900kg
全ペイロード質量	219kg
ペイロード電力	約180W

＜JUICE 探査機の設計制約＞

a. 太陽からの距離が大きい

b. 太陽電池の電力を使用する

c. 木星の厳しい放射線環境に曝される

ISASの参加項目：
- 黄：H/W提供 & Science参加
- 緑：Science参加
- 橙：NICTがH/W提供 & Science参加

JUICE　搭載の観測機器とISASの参加項目

JUICE搭載の全１１の観測機器の内、
ISASは３機器にハードウェア提供、２機器のサイエンス参加する。

	観測機器	内容	担当国	ISAS参加
1	JANUS	Camera system （カメラ）	イタリア	Science参加
2	MAJIS	Moon and Jupitor Imaging Spectrometer （可視・赤外分光）	フランス	なし
3	UVS	UV Imaging Spectrograph （紫外線分光器）	アメリカ	なし
4	SWI	Submilimeter wave Instrument （サブミリ波観測機器）	ドイツ	なし
5	GALA	GAnymede Laser Altimeter （レーザ高度計）	ドイツ	H/W提供 & Science参加
6	RIME	Radar for Icy Moons Exploration （氷衛星探査レーダー ）	イタリア	なし
7	J-MAG	A magnetometer for JUICE （磁力計）	イギリス	Science参加
8	PEP	Particle Environment Package （粒子環境パッケージ）	スウェーデン	H/W提供 & Science参加
9	RPWI	Radio and Plasma Wave Investigation （プラズマ波動および電波観測機器）	スウェーデン	H/W提供 & Science参加
10	3GM	Gravity & Geophysics of Jupiter and Galilean Moons z （木星・ガリレオ衛星の重力および地球物理学探査）	イタリア	なし
11	PRIDE	Planetary Radio Interferometer & Doppler Experiment （惑星電波干渉計およびドップラー実験）	オランダ	なし

4.2 JUICEのミッション概要

国際協力の状況

JUICE搭載の全11の観測機器のうち、ISASは3機器にハードウェア提供を行う。

- ドイツDLRのとりまとめるGALA(レーザ高度計)へのハードウェア提供について、開発および運用フェーズでの協力内容はほぼ固まったので、近日中にDLRとの協力取決めを締結予定

- スウェーデンSNSBのとりまとめるPEP(粒子環境パッケージ)およびRPWI(プラズマ波動および電波観測機器)へのハードウェア提供について、開発フェーズでの協力取り決めを2017年7月に締結済み。運用フェーズへの適用について協力取り決めを今後締結予定。

4.3 JUICE 計画の検討状況

ハードウェア開発状況　/　クリティカル技術

（1）RPWI（プラズマ波動および電波観測機器）=欧州PI：IRF-U（スウェーデン）
クリティカル技術
木星の高放射線環境における低ノイズ回路の開発である。
電源回路、増幅回路、基板設計等に主な開発要素がある。

（2）GALA（レーザ高度計）=欧州PI：DLR（ドイツ）
クリティカル技術
木星の高放射線環境における小型・高精度の受光系の開発である。
光検出器、光学部品、電源回路、増幅回路、基板設計等に主な開発要素がある。

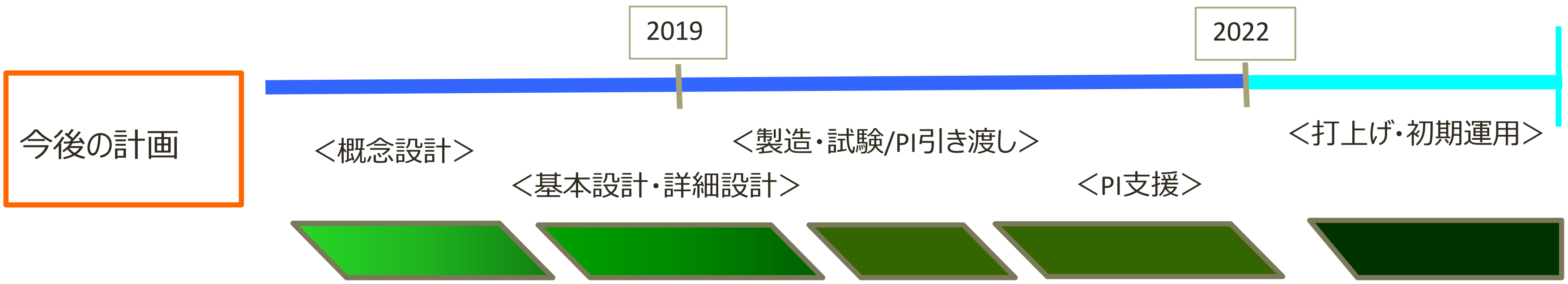
（3）PEP/JNA（粒子環境パッケージ/木星探査用中性粒子観測器）=欧州PI：IRF-K（スウェーデン）
クリティカル技術
RPWIと同様、木星の高放射線環境における低ノイズ回路の開発である。
時間計測回路、増幅回路、基板設計等に主な開発要素がある。

現状、欧州観測機器チームとの調整も完了し、
技術課題の克服に向けて順調に開発が進行している。

4.4 JUICE 今後の計画

JUICEは、既存の技術レベルや他の計画での実績に基づき、以下の予定で検討を進めている。

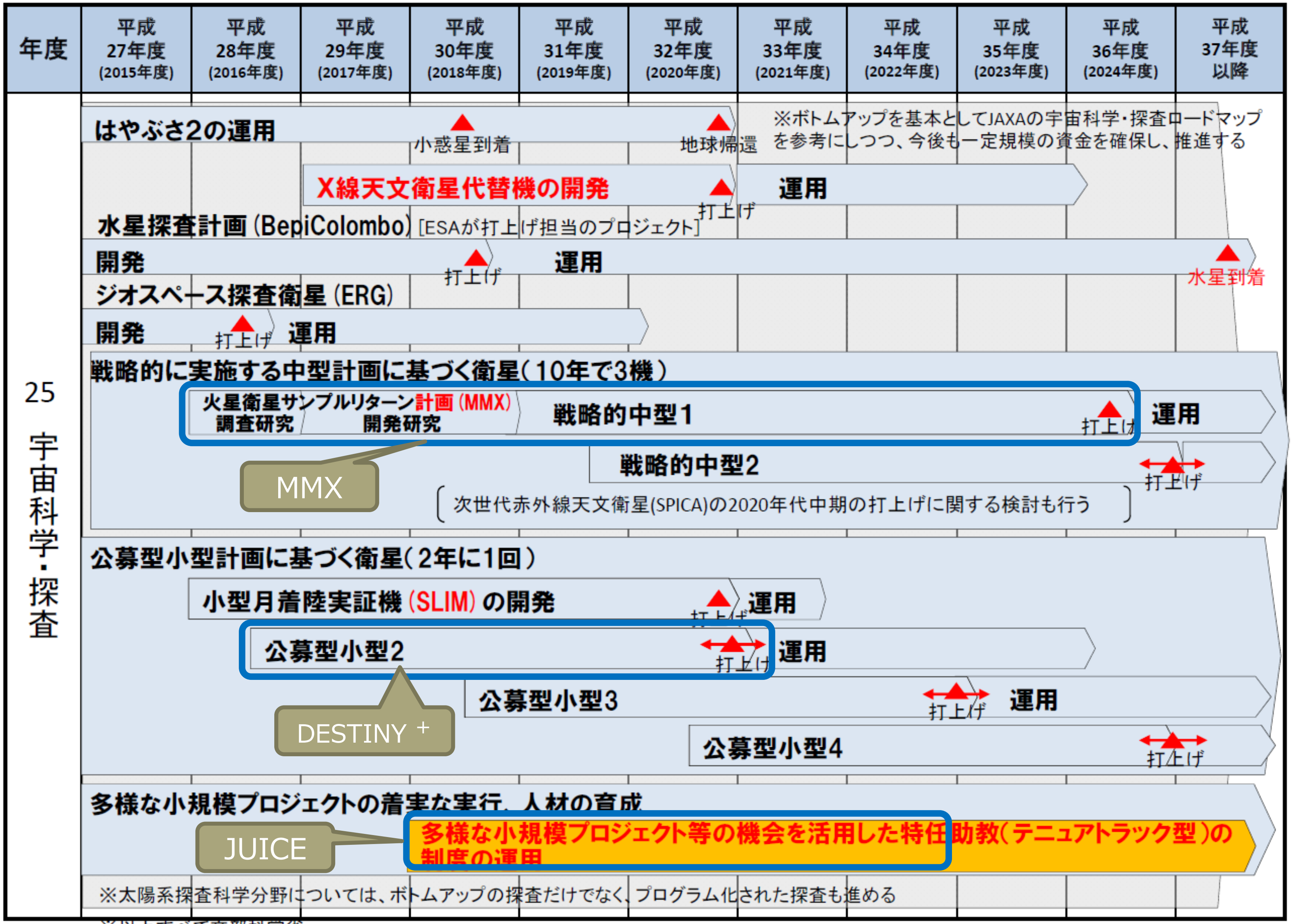
- ・2018-2019年度　：　概念/基本/詳細設計
- ・2019-2020年度　：　機器の製造、試験、
PI（欧州搭載機器開発チーム）への引き渡し
- ・2020-2021年度　：　PI支援（試験実施時の支援等）
- ・2022年度　：　PI支援、打ち上げ



（参考）　# 宇宙基本計画工程表※より抜粋

※平成29年12月12日、宇宙開発戦略本部決定

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

（参考）　宇宙基本計画工程表※より抜粋

※平成29年12月12日、宇宙開発戦略本部決定

25　宇宙科学・探査

成果目標

【基盤】 学術としての宇宙科学・探査について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とともに、我が国の学術研究と宇宙開発利用を支える人材を育成する。

平成29年度末までの達成状況・実績

■X線天文衛星代替機について、ASTRO－Hの運用異常の教訓を適用した上で、開発に着手した。

■戦略的中型計画1の候補である火星衛星サンプルリターン計画（MMX）の開発研究に着手した。戦略的中型計画2の候補について、平成31年度の選定へ向け、技術検討等を実施した。

■小型月着陸実証機（SLIM）について、平成32年度のH－ⅡAロケットによる打上げへの変更、科学意義の向上等のため見直し検討を実施し、基本設計を進めた。

■公募型小型計画2の候補を選定するとともに、平成34年度・同36年度の打上げを目指した公募型小型計画3・4の公募を実施した。

■人材育成の観点から、国際プロジェクトへの参加や小型・小規模プロジェクトの機会を活用した特任助教（テニュアトラック型）の制度検討を実施した。

平成30年度以降の取組

MMX

■X線天文衛星代替機について、平成32年度の打上げを目指し引き続き開発を進める。

■戦略的中型計画1の候補である火星衛星サンプルリターン計画（MMX）について、平成31年度開発着手・同36年度打上げを目指し、開発研究を継続する。また、戦略的中型計画2の候補ミッションの技術検討等を行い、ミッション意義・成立性等を踏まえ平成31年度に選定する。

■公募型小型計画に関して、小型月着陸実証機（SLIM）については、平成32年度の打上げを目指し開発を進めるとともに、公募型小型計画の具体化に向けた開発研究を進める。

DESTINY +

■欧州宇宙機関が実施する木星氷衛星探査計画（JUICE）への参画等、小型衛星・探査機やミッション機器の開発機会を活用し、特任助教（テニュアトラック型）の制度を平成30年度に導入する。

JUICE