

# 宇宙科学・探査の取り組み状況

令和2年(2020年)3月2日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所

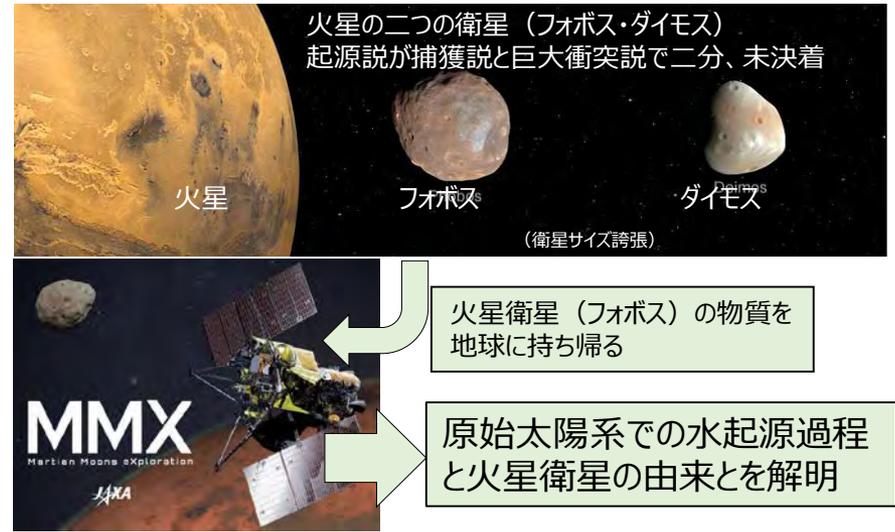
國中 均

# 1. 火星衛星探査計画(MMX)

# 1 - 1. 火星衛星探査計画 (MMX) 概要

## 目的

- 原始太陽系における「有機物・水の移動、天体への供給」過程の解明に貢献するため、火星衛星に含まれる含水鉱物・水・有機物などを解析することにより、水や有機物の存在を明らかにするとともに、火星衛星の由来を解明する。
- 人類共通の価値である国際宇宙探査、その主たる目標である火星圏に、日本独自・優位な小天体探査技術を武器として、大型国際共同ミッションを主導して取り組む。我が国が培ってきた探査技術を継承し、その発展に寄与する。火星衛星は、将来の火星本星における有人探査の拠点候補として重要な意義を持つ。



## 期待される成果と効果

- 火星の衛星が小惑星が捕獲されたものか、火星への巨大衝突で生じた破片が集合し形成されたものかを明らかにし、火星そして地球型惑星の形成過程に対する新たな理解像を得る。
- 火星衛星および火星表層の変遷をもたらすメカニズムを明らかにし、地球型惑星表層に液体の水が保持されるための条件を解明することで、惑星科学や宇宙での生命起源研究の発展につなげるとともに、火星衛星を含めた“火星圏”の進化史に新たな知見を加える。
- 宇宙工学を先導する航行・探査技術を獲得し、将来の高度かつ自在なミッションの創出に貢献する。

## 主要諸元

- 探査機構成：往路M・探査M・復路Mの3つのモジュールで構成
- 打上げロケット：H3ロケット
- 質量：目標 4000kg以下
- ミッション期間：約5年
- ミッション機器：試料回収機構、リモセン機器、その場観測機器の組合せ

## スケジュール

- 2016年度 調査研究
- 2017-18年度 開発研究
- 2019年度 フロントローディング
- 2020-21年度 基本／詳細設計
- 2021-23年度 機器製造、試験
- 2024年度 打上げ
  
- 2025年度 火星圏到着
- 2025-2028年度 火星衛星探査
- 2028年度 火星圏離脱
- 2029年度 地球帰還

## 科学的・国際的な位置付け

- 世界中の研究者は、どの小天体がいつどのように、水を原始地球に持ち込んだかを明らかにしようとしている※1。中でも火星衛星はスノーライン※2に近く、太古の小天体を現在まで保持している唯一の存在である。
  - ※1：約46億年前に太陽系が誕生してから、彗星と小惑星は38億年前まで地球への衝突を繰り返していた。また地球では40億年前に海が誕生していたことが、グリーンランドで発見された太古の花崗岩から分かっている。したがって彗星又は小惑星（あるいは両方）が地球の水の起源と考えられている。
  - ※2：水が蒸発／氷になる境界線。太陽から2.7天文単位（小惑星帯の辺り）。
- 国際宇宙探査の観点からは、世界初の火星圏往還（有人探査の必須技術）を果たすと共に、有人探査の軌道上拠点と目される火星衛星の詳細情報（地形・環境）を取得する。放射線環境計測で有人滞在技術にも貢献する。
- 火星衛星の調査は草創期から繰り返行われているが、副次的なフライバイ観測にとどまる。過去にロシアがフォボス探査計画したが打上げ失敗した（2011年）。現在、国外で実現見込みのある計画は他にない。

## 実施体制

- JAXAプロジェクトチーム
- NASA, ESA, CNES, DLR他からの国際協力

# 1 - 2. MMXの2019年度の進捗状況

- 技術提案方式（RFP）により、2019年度当初に探査機システム開発企業を選定した（三菱電機株式会社）。またミッション機器開発企業も同様に競争方式他で選定した。
- これら企業と共にMMXフロントローディングを実施した。これにより、技術的成立性と資金的成立性及び不具合による延期回避の見込みを立てることができた。
- 並行して、主な探査対象天体の検討を進めた。ミッション定義段階にて、惑星科学の観点からはフォボスの方が望ましいと評価していた。システム定義段階の諸検討を経て、その技術的実現性が確認できたことから、フォボスに確定した。
- JAXAは2020年2月からプロジェクトチームを発足。2020年2月19日、文部科学省宇宙開発利用部会（第53回）にJAXAプロジェクト移行審査結果を報告し、開発移行が審議・了承された。

宇宙基本計画工程表（2019年12月13日宇宙開発戦略本部会議改訂）

MMXは「25.宇宙科学・探査」「27.国際宇宙探査」の両方の施策に位置付けられた。

■ 2019年度末までの達成状況・実績

戦略的中型計画1の候補である火星衛星探査計画（MMX）について、2024年度打上げを目指し、フロントローディングを実施。

■ 2020年度以降の取組

火星衛星探査計画（MMX）について、2024年度の打上げを目指して開発を進める。

# 1 - 3. MMXフロントローディングについて

開発全体のリスク低減を目指し、新規性の高い重要技術について先行的に研究開発・実証を行うためMMXで初めて導入。開発移行後の技術/コスト/スケジュールリスクを抑制した、実現性の高い確実な計画として結実。

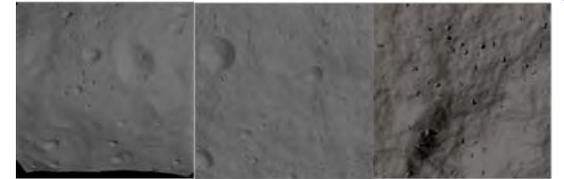
## MMXフロントローディング

### 1. 重力天体着陸・表面探査技術の開発

**往路モジュール開発:** 火星衛星周回軌道投入/脱出時の大きな軌道速度を効率よく得るための化学推進系などを検討する。

**着陸誘導機器の開発:** 火星衛星近傍での安全かつ確実な運用に必要な要素技術開発を行う。(例: 表面環境の不確定性が大きな微小重力天体への安全な着陸、平坦な表面を期待できる狭い範囲への誘導、探査機の位置特定のために必要な画像照合航法など)

**サンプリング装置の開発:** 砂貫入機構、ロボットアーム、試料搬送機構について設計・試作を行うとともに、試験評価を継続して実施する。



フォボス表面シミュレーション画像



コアラー試作・試験

### 2. ミッション部成立性確認

再突入力プセル及び搭載観測機器(各種カメラ・分光計他)について、設計・試作・試験及び成立性確認を行う。FY2018までの検討で抽出された課題を解決するとともに、検討結果を探査機システム構成に反映する。

### 3. 探査機システム成立性確認

FY2018までの検討で抽出された課題の解決と、ミッション部成立性検討の結果をシステム構成に反映した成立性確認を行い、システム・ベースラインに反映する。



探査機システム検討

# 1 - 4. 探査対象天体の選定：フォボス

## 惑星科学の観点からフォボスの方が望ましいとする根拠

1. フォボスの既存の観測データ量がダイモスに比べて圧倒的に多く、試料採取地点の事前制約に必要な情報が豊富なこと。
2. 既存の観測結果から、フォボス表面には赤と青の領域が存在するのに対し、ダイモスの表面には赤い領域のみが広がっているため、ダイモス試料だけでは青い領域の対応物質が同定できず、フォボスの起源判定が困難であること。
3. 衛星形成後に火星から飛来した物質（火星飛来物質）の濃度は、内側軌道のフォボスの方が外側のダイモスに比べて2桁以上豊富であると推定される(\*1)こと。

(\*1)一例として、兵頭 et al (2019) で、火星衛星の表土に含まれる火星由来の物質の量と質に関する理論研究がされている。

## 技術的実現性確認における主たる論点

1. より火星に近い軌道を公転するフォボスへの往復の方が、より多くの推進薬を必要とするが、それを考慮した場合でも探査機設計（質量）の成立性が確認できたこと。
2. 火星衛星（フォボス・ダイモス）からのサンプルリターンミッションを、はやぶさ2と同じレベルの惑星保護方針で実施することについて、国際的に合意(\*2)されたこと。

(\*2)2019年3月に、国際宇宙空間研究委員会（COSPAR）からJAXAの火星衛星探査計画に対し勧告。

# 1-5. 搭載ミッション機器 (1)

①MMXには、ミッション目的を達成するため、11の科学観測機器が搭載される。MMXを世界最高のミッションとするため、そのうちの4つは海外機関から提供され、経費の縮減にも寄与している。

名称	目的
望遠カメラ (TENGOO)	火星衛星全球の詳細・表面構造および採取地点周辺の地形の観測を行い物質分布、サンプル採取に必要な情報を取得する。
広角分光カメラ (OROCHI)	火星衛星全球表層の含水鉱物の観測およびサンプル採取地点周辺の物質を推定する。
レーザ高度計 (LIDAR)	火星衛星の全球地形情報を取得し、火星衛星の詳細な形状モデルを作成する。
火星周回ダストモニター (CMDM)	火星ダストリングを検出、あるいはダスト存在量の上限値を決定し、火星衛星軌道上でのダスト再集積現象を制約する。
イオンエネルギー質量分析器 (MSA)	火星および火星衛星起源イオン、太陽風イオンを観測し、それぞれの起源を選別し計測する。
ガンマ線・中性子線分光計 (MEGANE)	火星衛星表層から放出される中性子・ガンマ線を計測し、衛星表層の元素組成を決定する。
近赤外線分光装置 (MacrOmega)	火星衛星全球表層の近赤外分光観測を行い、鉱物・分子種（特に含水鉱物や有機物）の分布図を作成する。

強調項目は海外機関/国内他機関からの提供機器。

# 1-5. 搭載ミッション機器 (2)

名称	目的
サンプリング装置 (SMP)	火星衛星表面から深さ2cmに渡るまでのレゴリスを採取し、リターンカプセルに移送する。
ニューマチック採取機構 (P-Sampler)	空気圧による採取機構により、表層のレゴリスを素早く少量採取し、保持する。
サンプルリターンカプセル (SRC)	サンプリング装置によって得られた火星衛星表層サンプルを地球へ持ち帰る。
MMXローバ (MMX Rover)	火星衛星探査機本体より先に着地し、母船着陸・サンプル採取運用リスク低減のための表層レゴリスの各種物性取得、およびサイエンス観測の校正データ取得等を目的とするフォボス表面探査を行う。

## ②加えて、探査技術獲得を目的とする2つの機器を搭載する。

名称	目的
惑星空間放射線環境モニタ (IREM)	太陽高エネルギー粒子のエネルギースペクトルを取得し、被ばく線量評価手法を確立する。
高精細カメラ	高精細な火星衛星の撮影およびミッション可視化を行い、宇宙探査の運用性向上およびアウトリーチに貢献する技術を獲得する。

**強調項目**は海外機関/国内他機関からの提供機器。

# 1 - 6. 国際協力

MMXを世界最高のミッションとするため、欧米の主要宇宙機関と、搭載機器の提供を含む幅広い協力体制を構築。日本が主導する月・惑星探査ミッションとして、最大の国際共同ミッションとなる。

海外機関	協力案件
NASA (米国)	<ul style="list-style-type: none"><li>・ <b>ガンマ線・中性子線分光計 (MEGANE)</b></li><li>・ <b>ニューマチック採取機構 (P-Sampler)</b></li><li>・ 地上局支援 (管制、ミッションデータ受信)、他</li></ul>
ESA (欧州)	<ul style="list-style-type: none"><li>・ <b>深宇宙用通信機 (Ka帯)</b></li><li>・ 地上局支援 (管制、ミッションデータ受信)</li></ul>
CNES (フランス)	<ul style="list-style-type: none"><li>・ <b>近赤外線分光装置 (MacrOmega)</b></li><li>・ <b>MMXローバ (MMX Rover)</b> (DLRと共同)</li><li>・ 近接運用支援</li></ul>
DLR (ドイツ)	<ul style="list-style-type: none"><li>・ <b>MMXローバ (MMX Rover)</b> (CNESと共同)</li><li>・ 試験設備提供 (落下塔、微小重力模擬)</li></ul>

- ・ **強調項目**は搭載機器。
- ・ 各機関とも、この他に、参加科学者の活動を支援。