

資料43-1-2
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
ISS・国際宇宙探査小委員会
(第43回)

火星衛星探査計画

MMX

Martian Moons eXploration

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構 (JAXA)
火星衛星探査機プロジェクトチーム

質量：約4000kg
ミッション期間：約5年
打上げロケット：H3

2024年度打上げ

日本独自の火星圏探査MMX ~その意義・価値 3本の柱~

我が国が誇る小天体サンプルリターン技術を武器に、火星衛星の起源を明らかにすると共に、火星生命探査の一翼を担い、将来の有人火星探査にも寄与する。MMXは**日本独自の火星圏探査**である。

はやぶさ2からの発展 **生命と火星衛星の起源に迫るMMX**



©Akihiro Ikeshita

MMXは、はやぶさ2に続く、JAXAの小天体探査戦略の中核を担うミッション。火星の衛星フォボスのサンプルを採取し、火星衛星の起源を明らかにするとともに、太陽系の中で水・有機物が、どのようにして惑星に供給され、生命が誕生・居住可能な環境ができたのかを明らかにする。

NASAパーサヴィアランスより早く **火星サンプルを持ち帰るMMX**



Credit:
NASA JPL

フォボス表面には、隕石衝突により火星表面から吹き飛ばされたサンプルが、かなりの量、降り積もっていると考えられている。MMXは、フォボス自身のサンプルに加えて、火星表層からのサンプルを、NASA・ESA、および中国の計画よりも早く、2029年度に地球に持ち帰る。

フォボスは火星への橋頭保 **有人火星探査の先陣を切るMMX**



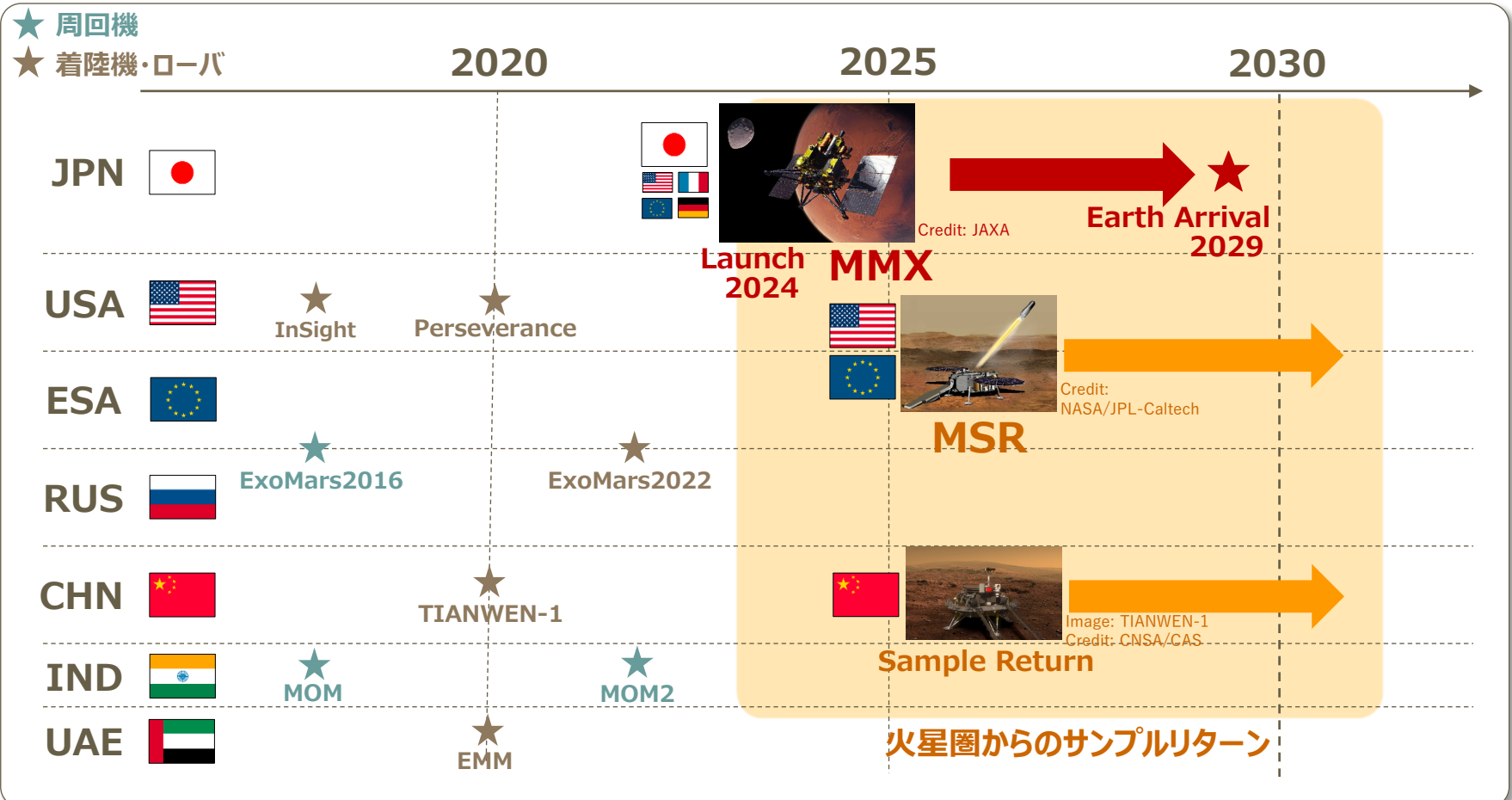
Credit:
NASA/JPL-Caltech
University of Arizona

MMXは、有人火星探査では必須となる火星圏への往復を果たす。また、有人火星探査の重要拠点と目されるフォボスの表面地形、地盤情報、表面・周辺環境を世界で初めて詳細に観測して、天然の宇宙ステーションとしての利用可能性を探る。

世界の火星圏探査とMMX

2020年度の米国、中国等による火星探査ラッシュも記憶に新しい、各国がしのぎを削る火星圏探査。日本はMMXを2024年度に打ち上げ、2029年度、**人類初の火星圏からのサンプルリターン**を実現する。

2020年代 世界の火星圏探査



国際宇宙探査におけるMMXの位置づけ

国際宇宙探査の文脈において、人類の活動領域を火星まで拡大していく流れの中で、MMXは、**日本における火星探査への取り組みの一番手に**位置づけられている。

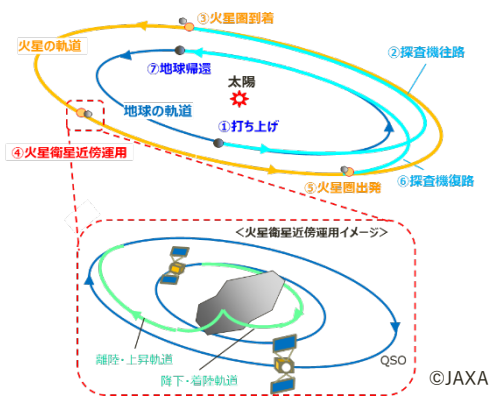


MMXでは、人類共通の価値である国際宇宙探査、その**主たる目標**である**火星圏**に、**日本独自・優位な小天体探査技術**を武器として、**大型国際共同ミッションを主導**して取り組む。我が国が培ってきた**探査技術**を継承し、その発展に寄与するとともに、この取り組みを**視覚的に世界と共有**する。

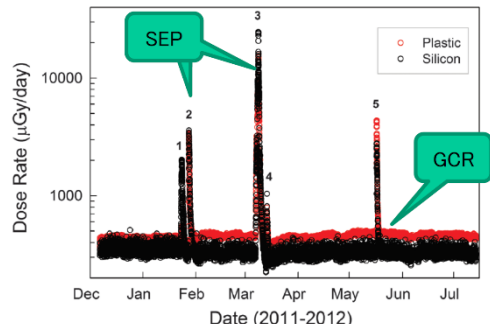
火星衛星探査：火星有人探査への布石

MMX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。放射線環境計測で有人滞在技術にも貢献(*)。

“MMXは火星の衛星フォボスとダイモスへの素晴らしいミッションである。NASAがMMXに協力したいと強く望む理由は、その絶大な科学的価値のみにあらず、MMXが火星有人探査計画におけるフォボスの位置づけを決める助けとなるから。私の展望では、フォボスは火星の宇宙ステーションになる可能性があるが、MMXがなければ、その決定を下す機会を持たない” — NASAチーフサイエンティスト：ジム・グリーン



Credit: NASA/JPL-Caltech University of Arizona



MSLでの放射線計測結果
※ C. Zeitlin, et al (2013) Measurements of Energetic Particle Radiation in Transit to Mars on the Mars Science Laboratory

世界初の火星圏往還
MMXは世界初の火星圏往還ミッションである。このことは、将来の国際協力による有人火星探査において有力な実績となる。

フォボスの詳細観測
MMXでは、搭載観測機器、着陸時情報、MMXローバ等を用いて、フォボスの表面地形、地盤情報、表面・周辺環境を詳細に観測する。

惑星間放射線環境モニタ (IREM)
有人火星探査にとってクリティカルな太陽フレア。IREMは、深宇宙での太陽高エネルギー粒子 (SEP) のエネルギースペクトルを計測する(*)。
(*)探査技術獲得目的の搭載機器による貢献

大型国際共同ミッション

宇宙科学ミッション、国際宇宙ステーション（ISS）で培ってきた海外機関との協調関係の上に、我が国の探査技術への信頼を連ね、MMXは、探査分野で日本が主導する最大級の国際共同ミッションとなっている。

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

- 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。

火星・火星衛星の高詳細映像による探査活動の発信

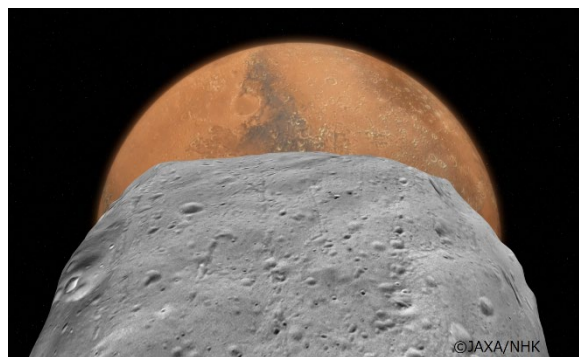
NHKとJAXAが共同開発するスーパーハイビジョンにより得られた火星、および火星衛星の映像を、大阪万博等のアウトリーチ機会を利用して国内外に発信することで、宇宙探査における我が国のプレゼンスを拡大する。



月探査衛星「かぐや」(2007年打上げ)により撮影された「満地球の出」の画像。2Kハイビジョン(水平1920画素)で撮影された画像は、年末の紅白歌合戦でも放映され、国民に大きなインパクトを与えた。



小惑星探査機はやぶさ2の、小惑星リュウグウへの着陸運用を、NHKがリアルタイムでデータ中継。実運用データを元に、スーパーハイビジョン品質でCG映像化しネット配信。



MMXが火星衛星フォボス近傍から撮影した火星、フォボスの想像図。NHKとJAXAが共同開発する8Kスーパーハイビジョンカメラ(水平7680画素)で撮影される人類未体験の画像は、国民の宇宙探査活動への理解を増進するとともに、世界に向けて、我が国の宇宙探査技術をアピールする機会となる。2025年に開催される大阪万博等のアウトリーチ機会を利用して国内外に発信していく。

プロジェクトの実施体制

我が国最大の探査計画となるMMXでは、計画の遂行、探査機システム、ミッション機器等の開発、サイエンス推進のため、海外宇宙機関、企業、サイエンスコミュニティ、他との幅広い協力・推進体制を構築している。

宇宙機関



企業



(何らかの役割を請け負う形で参加する企業。2021年1月時点。)

サイエンス・コミュニティ (サイエンスボードメンバーの所属機関)



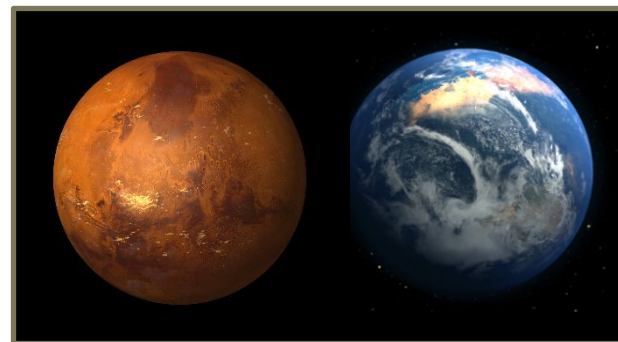
まとめ

- MMXは、火星衛星の起源を明らかにすると共に、火星生命探査の一翼を担い、将来の有人火星探査にも寄与する、**日本独自の火星圏探査**である。
- 日本はMMXを2024年度に打ち上げ、**2029年度、人類初の火星圏からのサンプルリターンを実現**する。
- 国際宇宙探査の文脈において、人類の活動領域を火星まで拡大していく流れの中で、MMXは**日本における火星探査への取り組みの一番手**に位置づけられている。
- MMX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。放射線環境計測で有人滞在技術にも貢献する。
- 宇宙科学ミッション、国際宇宙ステーション（ISS）で培ってきた海外機関との協調関係の上に、我が国の探査技術への信頼を連ね、MMXは、**探査分野で日本が主導する最大級の国際共同ミッション**となっている。
- 我が国最大の探査計画となるMMXでは、計画の遂行、探査機システム、ミッション機器等の開発、サイエンス推進のため、海外宇宙機関、企業、サイエンスコミュニティ、他との幅広い協力・推進体制を構築している。

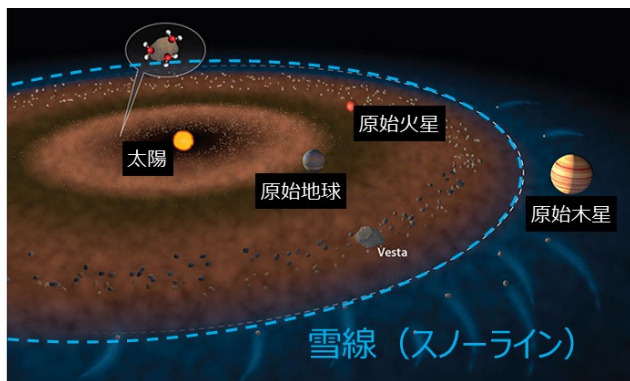
以降、補足説明資料

なぜ火星衛星なのか？

初期の太陽系、地球型惑星は、カラカラに乾いた状態で形成された。どのように地球型惑星に水が運ばれ、生命居住可能な環境を作り上げたのかは、惑星科学の最重要課題である。



原始火星（左）と水に富む太古の火星（右）



形成初期の太陽系

スノーライン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。

地球型惑星領域の入口にある火星、その周りには小惑星フォボスとダイモス。
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？



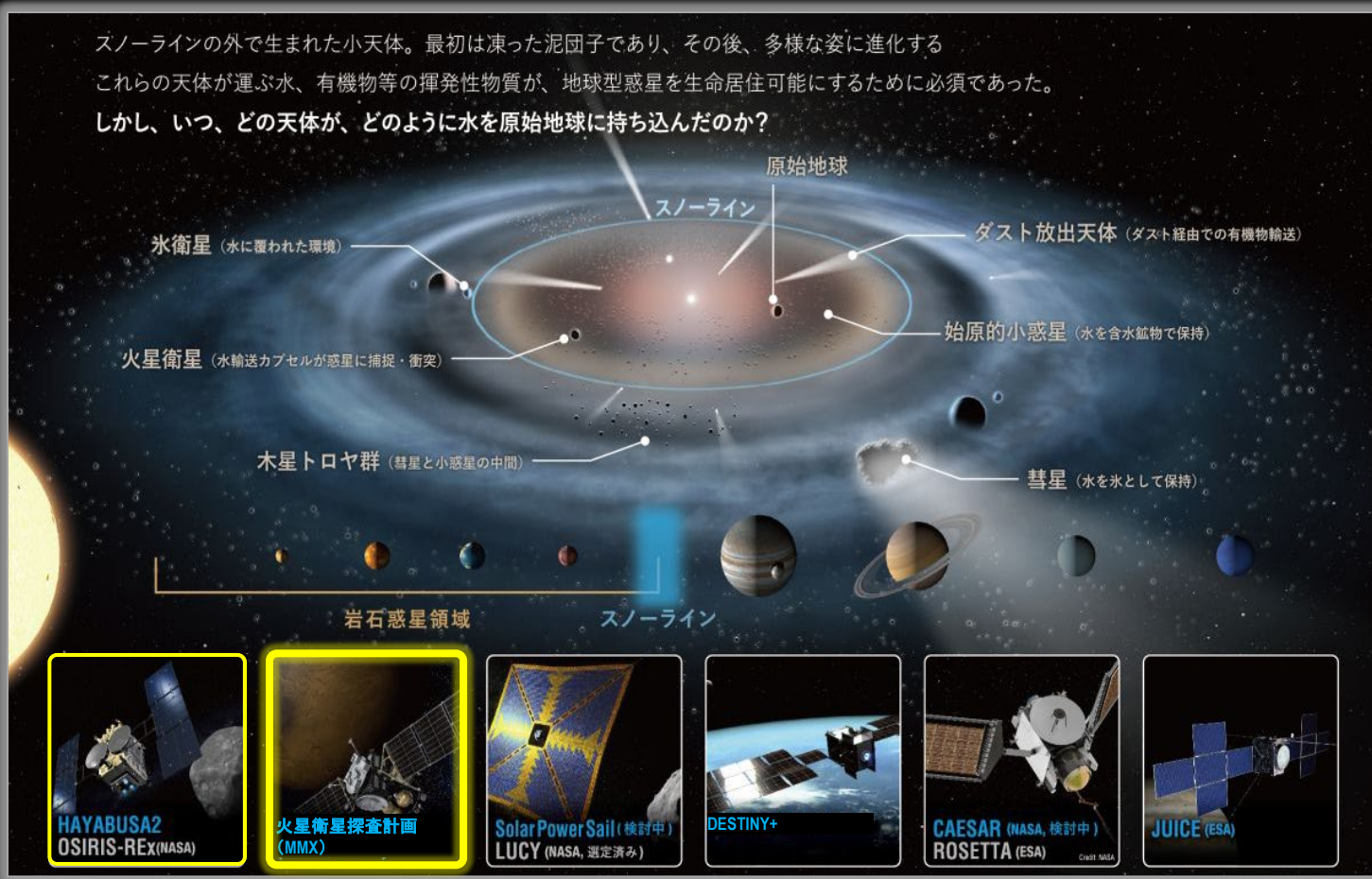
(衛星サイズ誇張)

火星の衛星：フォボスとダイモス

ISASの小天体探査戦略

定期的サンプルリターン

他国に依存しない自律的カプセル回収
世界に対し日本がサンプル分与/分析を主宰



2010年帰還
はやぶさ
S型小惑星



2020年帰還
はやぶさ2
C型小惑星



2029年帰還
MMX
フォボス (D型?)



2030年代



2040年代

小天体サンプルリターンのプログラム化

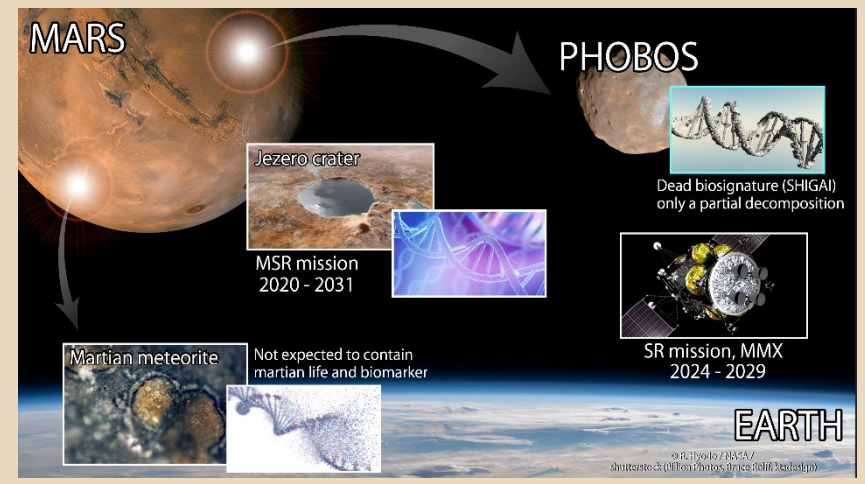
一連のミッションで、これらの問題を探求する

火星生命探査におけるMMXの役割

フォボス表面には、火星全表面からの全火星史に渡る火星表層物質が降り積もる。火星生命の痕跡を含みうる多様な火星物質を世界で初めて手に入れるMMXは、**火星生命探査**においても重要な役割を担う。

MMXが持ち帰る火星サンプル

- フォボスから採取する**サンプルの0.1%は火星から**飛来した物質。
- 火星表面の様々な地点・地質体から、様々な年代のサンプルが飛来。
(MSRが採取するサンプルとの違い)
- 火星生命探査で重要な役割を果たす堆積岩由来の物質も残存可能性。
(火星隕石との違い)



火星サンプル受け入れに向けた、サンプル分析技術 技術開発進行中!!

フォボスサンプルから火星サンプルを見つけ出す

光学顕微鏡観察による粒子形状情報と分光学的手法による化学・鉱物学的情報（ラマン分光や赤外分光など）を組み合わせるスクリーニング。候補粒子ごとに詳細な科学分析を実施して、火星粒子を識別。

火星サンプルから生命痕跡を見つけ出す

光学顕微鏡観察、分光学的分析等により有機物の濃集を識別。電子顕微鏡、放射光分析などの局所分析、クロマトグラフ、質量分析などの分子レベル分析を用い、濃集の形態学的特徴、多角的な化学情報を総合して生命痕跡の真偽を判断。

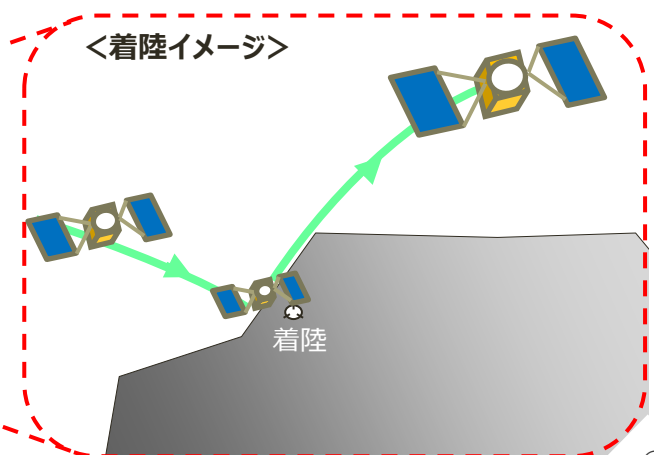
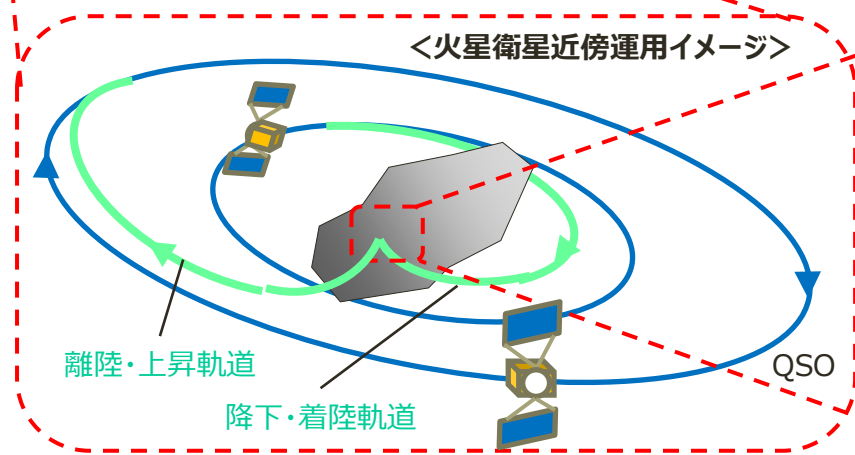
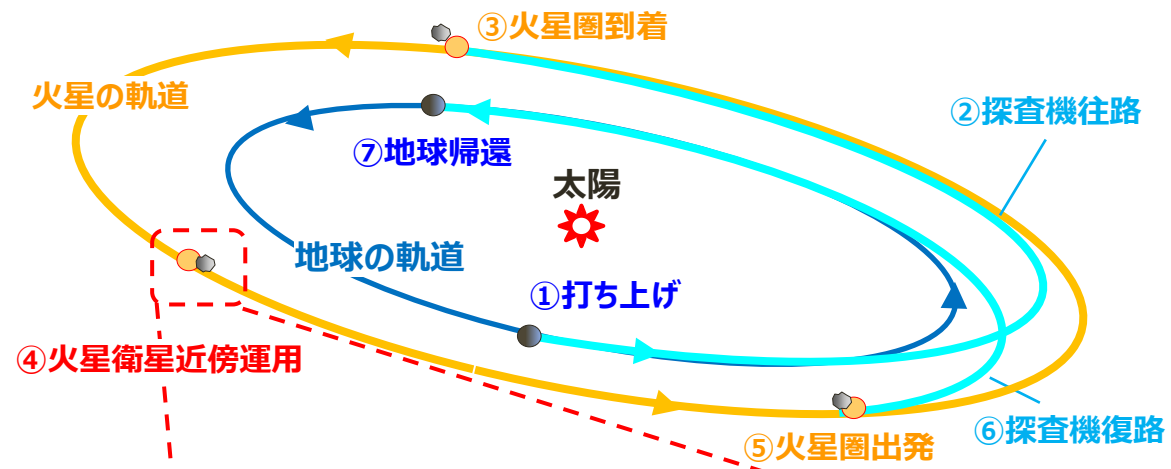
MMXは、火星生命探査における重要な科学的成果を挙げる可能性がある。

ミッション・プロフィール

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年度の打上げに向けて開発を進める。

ミッション・プロフィール

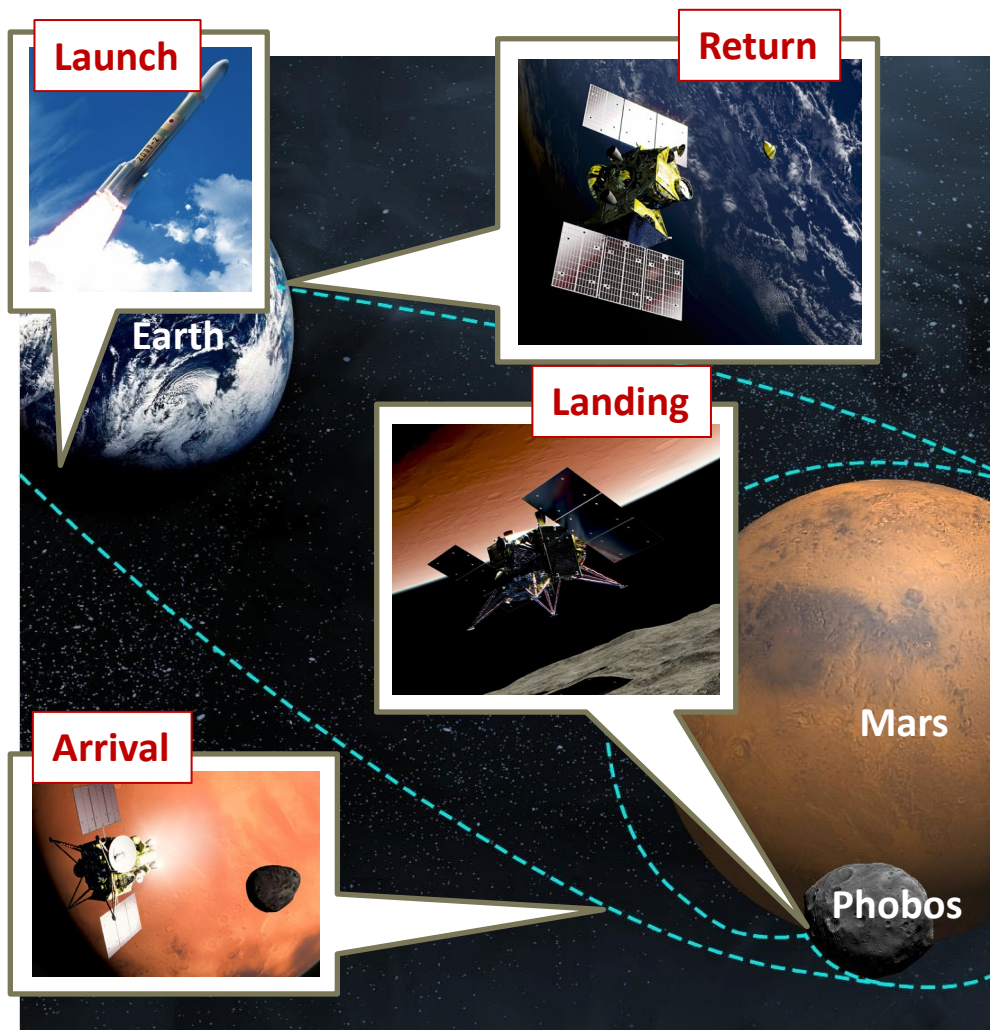
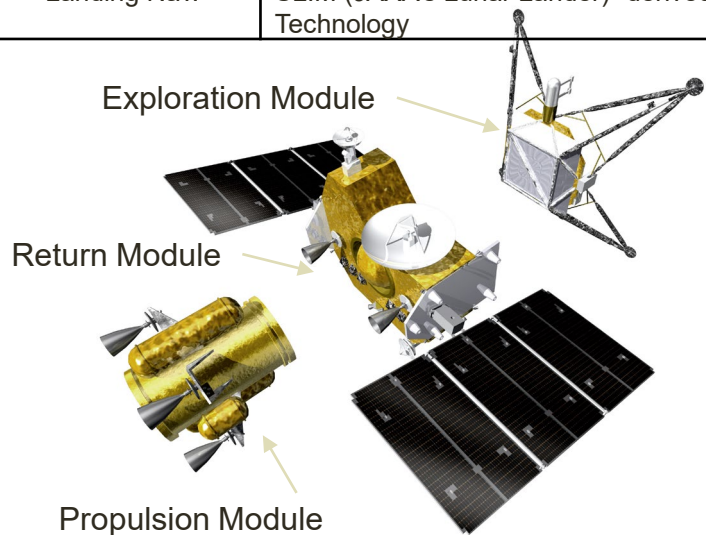
打ち上げ	2024年9月
火星圏到着	2025年8月
火星圏離脱	2028年8月
地球帰還	2029年9月



探査機システム

探査機システムの開発は三菱電機株式会社が担当する。化学推進系を主推進とする打上時質量4000kgの大型探査機で、大きな軌道速度を効率よく得るために、三段式の構成をとる。

Item	Spec.
Configuration	3 modules (Propulsion/EXploration/Return)
Launcher	H3-24L Launch Vehicle
Launch Year	FY 2024
Duration	Nominal 5 years (max. 6 years)
Weight	4,000 kg
Propellant	Prop. module : about 1,600kg Return module : about 1,050kg
Delta-V	about 5 km/s (total)
RF Link (at 2.7AU)	X-band : more than 32kbps Ka-band : more than 128kbps
Power	Super high efficiency thin-film solar cells
Landing Nav.	Image-based Navigation SLIM (JAXA's Lunar Lander) -derived Technology



搭載ミッション機器

ミッション目的を達成するため、11の科学ミッション機器が搭載される。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る。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。

リモセン観測・その場観測

TENGOO (望遠カメラ)

OROCHI (広角分光カメラ)

MIRS (近赤外分光装置)

MEGANE (ガンマ線・中性子線分光計)

LIDAR (レーザ高度計)

CMDM (ダストモニタ)

MSA (イオンエネルギー質量分析器)

Rover (ローバ)

サンプル採取・回収

SMP (サンプリング装置)

P-SMP (ニューマティック採取機構)

SRC (サンプルリターンカプセル)

探査技術獲得

IREM (惑星空間放射線環境モニタ)

SHV (高詳細カメラ)

強調項目は海外機関/国内他機関からの提供機器。