

火星/小天体・プラネタリーディフェンスに関する取組紹介

火星/小天体・プラネタリーディフェンスに関して状況認識、関連する取組・構想、関連する重要な技術開発（民間等の主体的な参画も得て進めるべき観点含む）等について紹介させていただきます。

令和7年（2025年）6月26日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所/国際宇宙探査センター（火星関係）

/プラネタリーディフェンスチーム



0.導入

1.火星関係

1.1.状況認識

1.2.関連する取組・構想等

1.3.関連する重要な技術開発

2.小天体・プラネタリーディフェンス関係

2.1.状況認識

2.2.関連する取組・構想等

2.3.関連する重要な技術開発

3.まとめ

0.導入

火星/小惑星について民間主体の活動のポテンシャルが高まりつつあり、
産学のリソース活用による我が国としての成果最大化を図ることが重要

より遠くへ

地球防衛

JAXA主体で取組むプログラム・技術開発

連携/支援・助言/成果活用

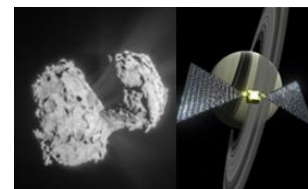


事業開発/技術開発加速



民間企業等主体で取組む事業開発・技術開発

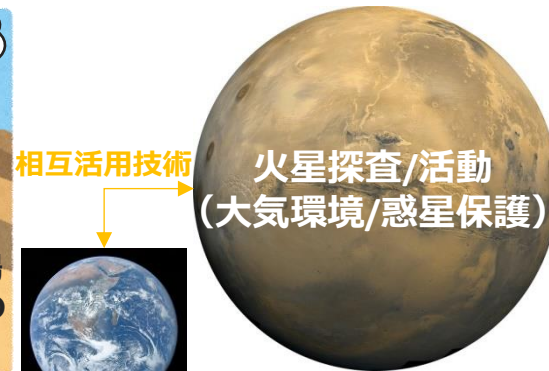
重要（キー）技術について我が国の民間企業等
の参画も得つつ段階的に開発・獲得



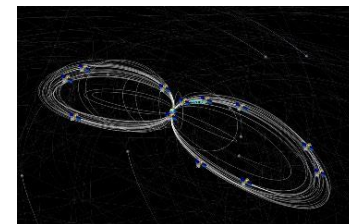
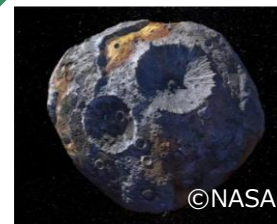
木星圏小天体（彗星）
・土星圏探査



プラネタリーディフェンス



地上産業発展



小惑星資源開発
事業化・産業化

様々な小惑星調査が重要

1. 火星関係

1.1.状況認識（火星関係）

- 内閣府宇宙政策委員会 宇宙科学・探査小委員会において「宇宙科学・探査の意義・価値及び今後の方向性・将来像」について検討を行う有識者ワーキンググループ（WG）が設置され、政府によるアルテミス計画の長期的戦略を念頭に火星本星探査の在り方について議論がなされた。この議論を踏まえ、宇宙基本計画（2023年6月閣議決定）において、2040年代のアルテミス計画を見据えた火星本星探査の検討を行うこととなった。

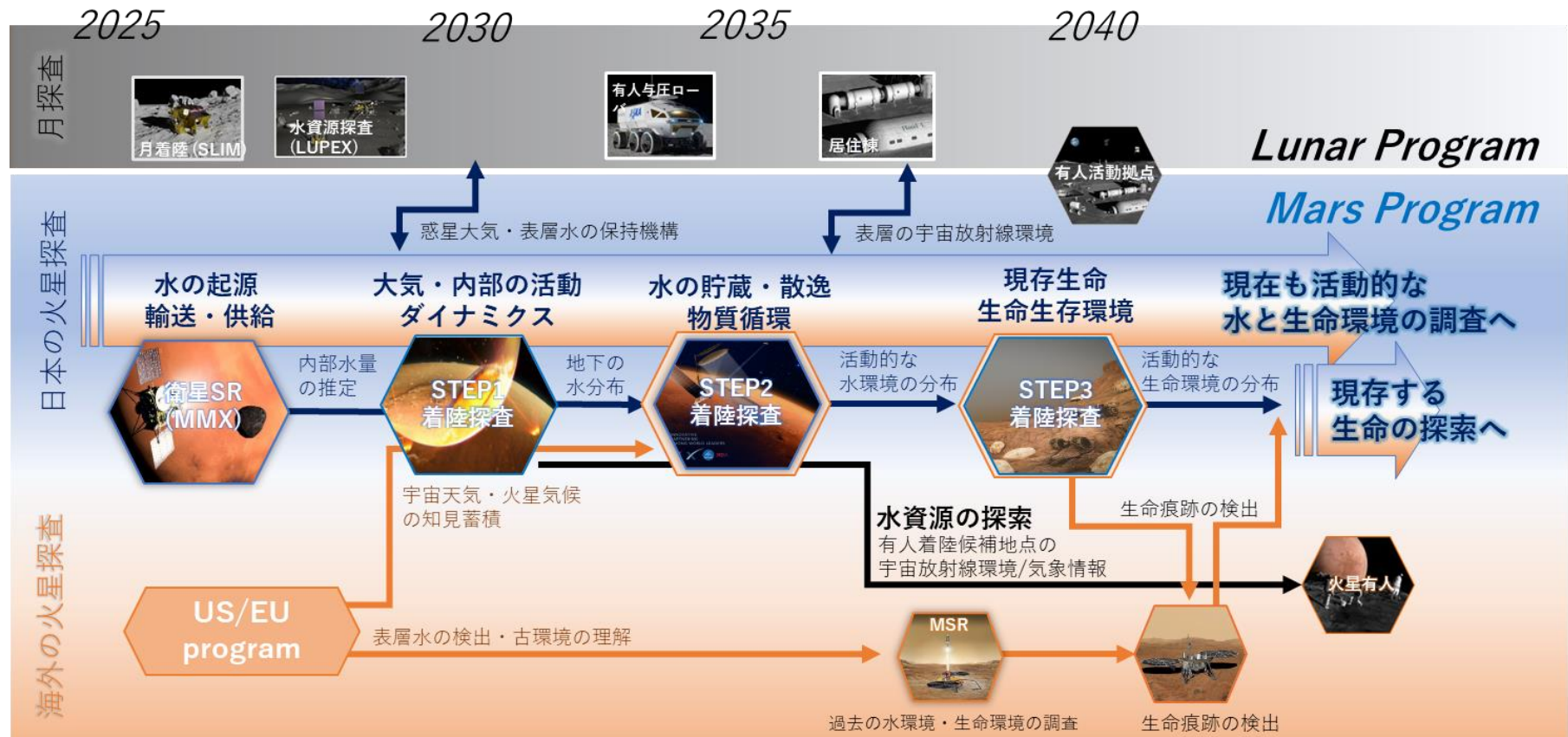
宇宙基本計画（(a)宇宙科学・科学探査【太陽系科学】抜粋）

同時に、アルテミス計画との連携を視野に、月及び火星について科学的成果の創出及び技術面での先導的な貢献を図る。（中略）火星本星の探査については、米国と中国による大規模な計画が先行する中、将来の有人探査に向けて、2030年代には国際的な役割分担の議論が開始される可能性があるため、2040年代までの長期的視点を持って、我が国が有利なポジションを得るために、産学のリソースを最大限に活用して、米中を始め他国が有していない我が国の独創的・先鋭的な着陸技術・要素技術等の発展・実証を目指すとともに、火星本星の探査に関する検討を行う。

- 海外動向として、米国では2025年3月にトランプ大統領が再任した演説において「火星に星条旗を立てるために米国人宇宙士を送り込む。」と言及。中国は国家戦略として火星探査に取り組み、着陸に成功したうえで、火星からのサンプルリターンを進めている状況。
- 上記政府方針や海外動向踏まえ、JAXAとしては工学的狙い・理学的狙いを見定め、アルテミス計画への貢献・連携を前提に、日本の強みを生かす火星本星着陸探査のプログラム化による段階的な実現に向けて、火星本星着陸ミッションタスクフォースを今年度から設置し、検討を加速しているところ。

1.2.関連する取組・構想等（火星関係/国際宇宙探査シナリオ）

- 前回の小委員会でご紹介したとおり、現在「日本の国際宇宙探査シナリオ（案）」を改訂中であるが、火星探査に関しては火星衛星探査計画（MMX）から連なる、日本の強みを生かす段階的（3ステップ）な火星本星着陸探査の実現に向けて検討を進めている。※次頁に詳細。
- このような段階的な火星探査を通じ、現在も活動的な火星で育まれてきた水・生命環境や気象・地質等の科学的解明に加え、現存するかもしれない火星生命の検出と、将来の有人探査に向けた技術実証を目指す。



1.3.関連する重要な技術開発（火星関係/火星本星着陸探査プログラム（案））

我が国の独創的・先鋭的な着陸技術・要素技術（キー技術）等の段階的な発展・実証に向けた戦略（案）

【Step1：～2030年頃までに】

- 自立的な**火星着陸（EDL）・運用技術（展開型エアロシェル、セミハードランディング、省電力通信・低温電源技術）**を「小型」で早期に獲得。**軌道間輸送機（OTV）**を活用し、火星圏を自在に飛行し、火星表面の好きな場所へ超小型着陸機・**小型探査ロボット**を「複数」送り、火星表面への輸送手段を確立
- 大型の探査機ではいけないような未踏の場所からの情報（画像など）を獲得することでその成果をアピール。**複数機でのネットワーク探査のデモンストレーション**も実施。小型・高性能な観測技術による**火星表面環境の分析（気象、大気、表層、磁気圏、地形等）に係る技術**開発・実証（Step1～3で高度化）。
- 火星着陸にあたって必須となる**惑星保護技術**の獲得。
- 民間・大学に火星探査機会を提供して、それらと連携したミッションを立て、**将来の本格的な火星活動にむけたコミュニティを醸成（我が国が火星探査クラブのすそ野を拡大）**

【Step2：～2035年頃までに】

- 国際火星探査計画への参画やピギーバックの機会を活用し、STEP1のEDL技術を高性能化する（展開エアロシェルの大型化、高耐熱化、**高精度着陸制御**など）。
- SLIMの技術を利用し、50kg級の逆噴射・軟着陸機（観測器は10kg程度）を搭載できる100kg級の大気圏突入機で、**軟着陸技術（ソフトランディング）**を実証・獲得。
- **火星表面で広域活動が可能な小型モビリティ技術**を実証・獲得。

【Step3：～2040年頃までに】

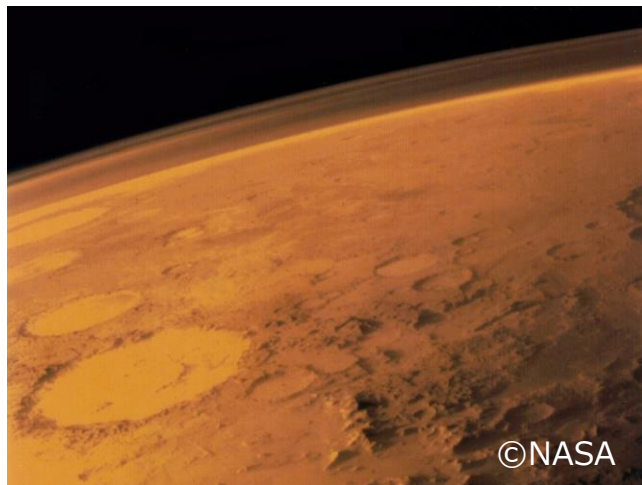
- STEP2までのヘリテージを活かしキー技術を確保することで、**国際宇宙探査における役割分担での我が国のプレゼンスを確保**するとともに、数百kg級の大気圏突入機を実現し、**火星生命の検出等の本格的な探査**を行う。

これらキー技術について、宇宙戦略基金の関連技術開発テーマや、月活動に係る技術の成果を最大限活用し、効率的・効果的な研究開発を進めることに加え、**火星は大気存在といった月よりも地球に近い環境を踏まえ、地上産業にも波及する技術の観点で、産業・大学の新たなプレーヤーを巻き込み（次頁～参考）、段階的な成果も得ながら、産官学がWIN-WINで火星活動に向けた我が国の産業基盤の強化・裾野拡大を図ることが重要。**⁶



1. 火星表面環境技術（例：気象センサー）

- 火星での現存生命の探査や有人探査を本格実施するためには、水の散逸過程の理解のみならず、現在の気象現象と水循環の理解が必要不可欠であり、輸送可能な質量の制約も踏まえ、**小型軽量・高性能・メンテフリーな気象センサーの開発が重要**。
- 我が国では、**気温・湿度・気圧・風速・風向等のデータを小型軽量な端末で取得可能なIoTセンサーを開発・サービス**提供している企業（例：[ウェザーニューズ社](#)）があり、このような技術を火星に転用するとともに、低電力・低温、放射線・砂嵐といった厳しい環境や、地球と比べて薄い大気（約1/100）での使用を想定することにより、**更なる高信頼化、小型軽量化、高感度化といったフィードバック**も考えられる。
- 火星用に開発されたメンテフリーの小型気象センサーは、山岳域や島嶼（とうしょ）・海洋域への設置を促進し、災害国である日本、そして温暖化に直面する地球規模での環境問題への対策への活用が見込まれるため、非宇宙産業の更なる参画に資すると考えられる。



火星大気の様子

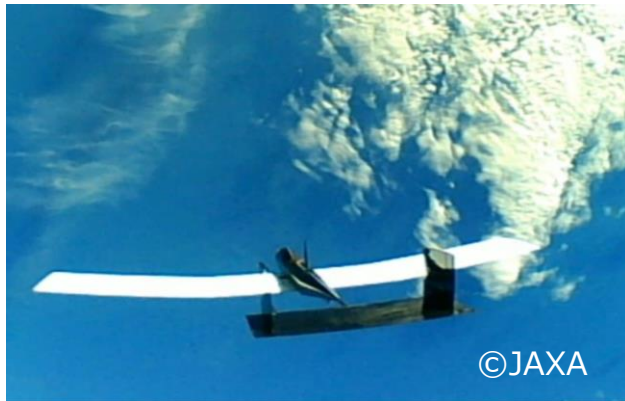


地上での小型・高性能気象IoTセンサー（例）



2. 火星表面探査用小型モビリティ技術（例：火星ドローン・航空機）

- 火山地域における還元剤や中緯度地域における地下塩水の出現場に近づき、ドローン・航空機のような大気環境を活かした飛行型を含む広域活動が可能な小型モビリティで予察的な地質観察を行うことで、火山地域であれば還元剤や地下水の地表付近への湧昇域の有無や、中高緯度であれば最もアクセスしやすい液体塩水の出現サイトを特定することが可能。火星航空機開発に意欲を見せる無人航空機ベンチャー企業も存在（例：筑波大学発ベンチャーAeroflex社）。
- 火星上では非GNSS環境の上、整地がないため、地表の撮影画像から着陸に適した地点を選定し着陸する技術開発が必要。このような画像航法技術は、GNSSが使えなくなるような有事等の航法として国土強靱化に繋がる技術展開が可能と考えられる。



大気球実験により実施した火星飛行機の高高度飛行試験（2023年）



火星探査用ドローン（イメージ）

3. 惑星保護技術（例：バイオバーデン（微生物）管理技術）

- 宇宙条約に基づく、地球由来の有機成分や微生物からの探査天体の保護および、地球外生命や生命由来物質からの地球生命圏の保護のため、国際宇宙空間研究委員会（COSPAR）が、惑星保護方針（Planetary Protection Policy）を保持し普及。
- MMXプロジェクト等とリンクして、現在JAXAでは培養に依存した従来法に基づく基盤技術（減菌、検査等）を着実に獲得しつつ、STEP1クラスの小型着陸機の惑星保護を実現できる「デモルーム」の設置を開始した。
- 一方、COSPAR惑星保護パネル委員会等において、バイオバーデン管理法（微生物限度試験）のアップデートが繰り返し議論されている。食品・医療・半導体分野等でも高水準な微生物管理・評価は課題であり、民間・国研等の参画を得て、以下のような技術開発が考えられる。

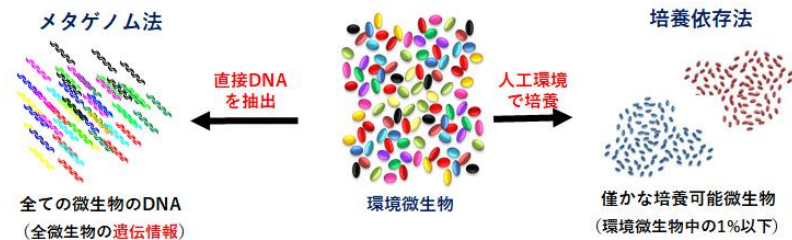
<質（種類・多様性）の評価>

- 培養後の微生物の迅速かつ高精度な同定法（例：MALDI-TOFMS法。島津製作所、AIST等が強みを持つ）
- 培養に依存しないメタゲノム手法による、低バイオマス環境における多様性評価（高感度化・高精度化による惑星保護への拡張。理研、JAMSTEC等が強みを持つ）

<量の評価>

- 培養に依存しない迅速かつ高精度な評価法（例：ATP法※、マイクロコロニー法）
- メタゲノム手法による定量的評価（国際的に見ても開発項目。タカラバイオ社といった優れた試薬・キットを販売している企業有り）

※参考：キッコーマン社との共同研究成果をもとにATPふき取り検査法がNASA Technical Handbook に掲載。

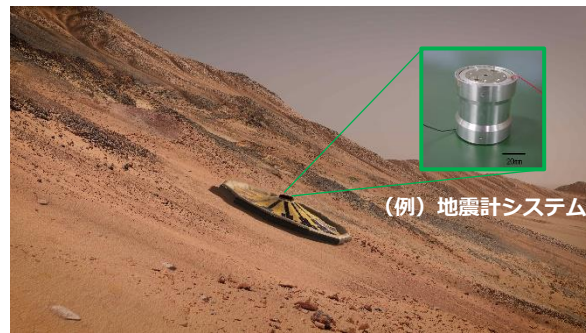


参考：火星本星着陸探査プログラム（案）STEP1 ミッションイメージ

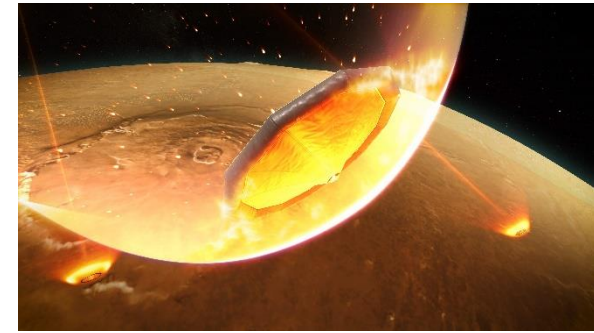
6) 複数地点への科学探査機器を輸送

7) 火星表面でのオペレーション実証と科学観測実施

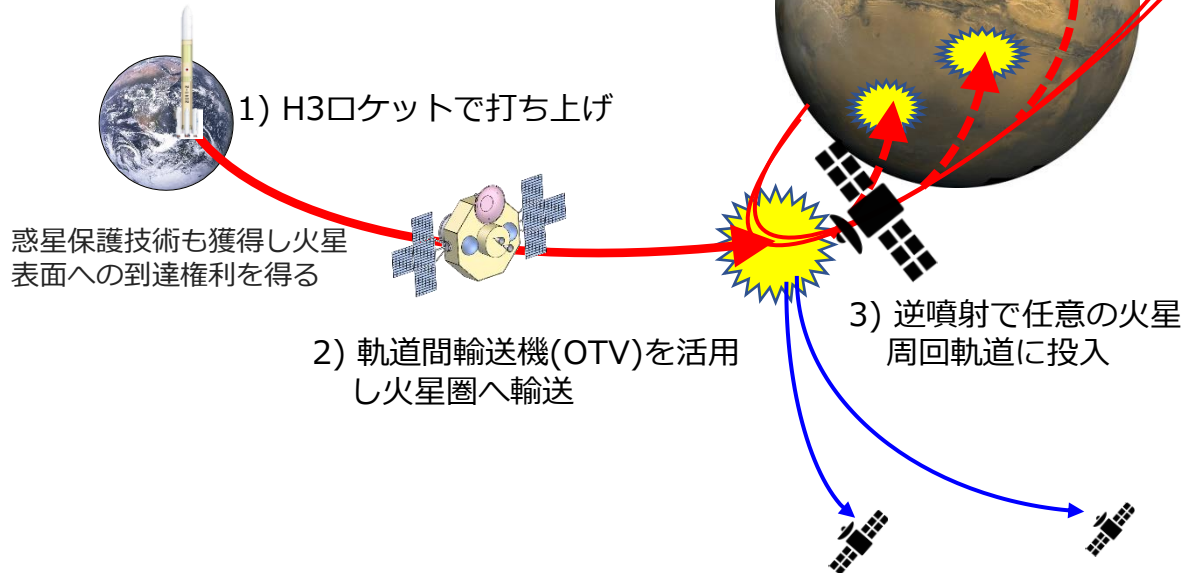
- 極域の場合：気象計あるいは磁力計を搭載（例）
 - 極域にこだわらない場合：タルシス火山への地震計設置（例）
- ※民間パイロード含めたによる火星表面ミッションを実施（例）



5) 複数回の火星表面への独自の火星用EDL技術実証



インフレータブルエアロシェル技術
による小型EDLモジュールを実現
(20~30kg x 2~4機)



4) OTVを活用し、民間等への機会提供も含め
ピギーバックとして搭載する複数の超小型
探査機を周回軌道上に放出
(MARS CUBE service)



民間単独で到達が困難な場所へは
JAXAプログラムでの輸送手段活用
が重要

2. 小天体・プラネタリーディフュゼンス関係

2.1.状況認識（小天体関係）

- 小天体探査は、太陽系の形成と進化を理解する上で重要な要素の一つであり、我が国では「はやぶさ」シリーズをはじめとした世界に誇る技術を有することから国際的な期待の高い分野である。
- 従来、宇宙科学の対象であった小天体探査が、近年の小天体地上観測の発展・小天体探査技術の成熟に伴い、「プラネタリーディフェンス」（＝小天体衝突から地球を守る活動）や「小天体資源開発」（＝小天体資源の利活用）といった新たな対象として注目されつつある。
- プラネタリーディフェンスに関しては、2023年に更新された米国の10カ年計画でもフィーチャーされており、2025年に地球衝突リスクが問題となった小惑星2024 YR4、2029年に地球に静止軌道近傍まで大接近するApophisなどの話題から、国際的な関心が高まっている。2027年には、小天体発見用の宇宙望遠鏡「NEO Surveyor」が打ち上げられ、今後小惑星発見数が益々増大することで、世間的な関心が加速することが予想されている。
- 小天体資源開発に関しては、「はやぶさ2」「OSIRIS-REx」によってC型小惑星における水資源価値が明らかとなり、米国を中心に小天体活動を推進する民間企業の動きが加速している（Astroforge、Karman+、Trans Astra、ExLabs等）。まだ、技術実証フェーズではあるものの、2機以上の衛星・探査機を打ち上げた企業もあり、今後の世間的な関心と相まって、民間主導の小天体活動が加速することが予想される。

2.2.関連する取組・構想等（小天体関係/小天体探査）

我が国の小天体探査は世界に先駆けた成果を創出し、フロントランナーとしての地位を築いている。

原始地球には、氷を含んだ小天体から、水や有機物がもたらされたと考えられるが、いつ、どの天体から、どのようにもたらされたのか明らかでない。「はやぶさ2」に代表される探査機技術など我が国の強みのある技術を計画的に推進することにより、世界をリードする研究力を一層強化することで、国際共同ミッションにも戦略的に参画し、一連の小天体探査ミッションを通じてこの問題を解明していく。



2.2.関連する取組・構想等（小天体関係/小天体探査）

- 小型探査機により、**より遠く（彗星、土星圏等）の探査を目指すプログラムをJAXAがリード**しつつ民間・大学の活力も得ながら取り組み、その成果は地球近傍の**小惑星等での民間の活動にも展開**。
- **民間の活動が活発化**することにより、探査機開発・運用の実績が我が国で蓄積され、**小型探査機の信頼性向上等、我が国の産業基盤の強化**にもつながる。

JAXA及び我が国の宇宙科学コミュニティを中心とした超小型探査プログラム

強み：超小型探査機の技術・実績・教訓を蓄積

より遠く・より自在性の高い深宇宙探査へ

2014年打上げ

超小型深宇宙探査機
PROCYON

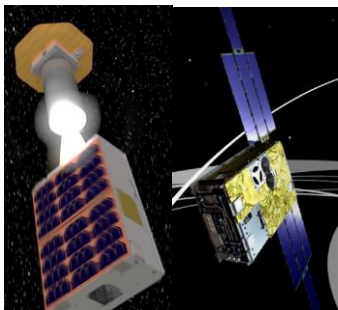


<計画の狙い>

- 日本初の超小型衛星の深宇宙進出技術実証
- 東京大学主体+JAXA（大学発技術）

2022年打上げ

超小型月探査機
OMOTENASHI/EQUULEUS



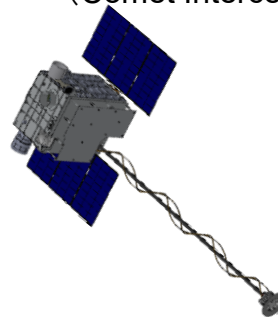
<計画の狙い>

- 海外の深宇宙打上げ機会への即応
- 超小型探査機の小型化、高度化
- JAXAインハウス+東京大学

【開発中】

2029年度打上げ予定

長周期彗星探査計画
（Comet Interceptor）



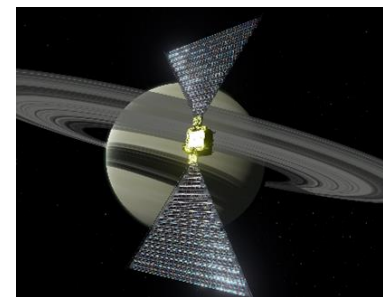
<計画の狙い>

- 海外ミッションへ超小型子機として参画
- プロジェクトマネジメントを超小型探査機規模に照らして効率化
- 新規企業との協働

【計画中】

2028年度打上げ予定

外惑星探査小型実験機
（OPENS-0）

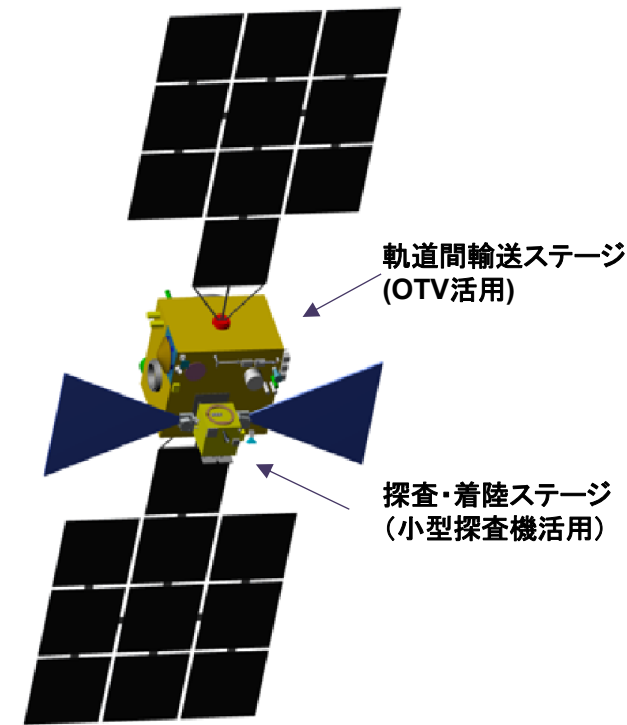
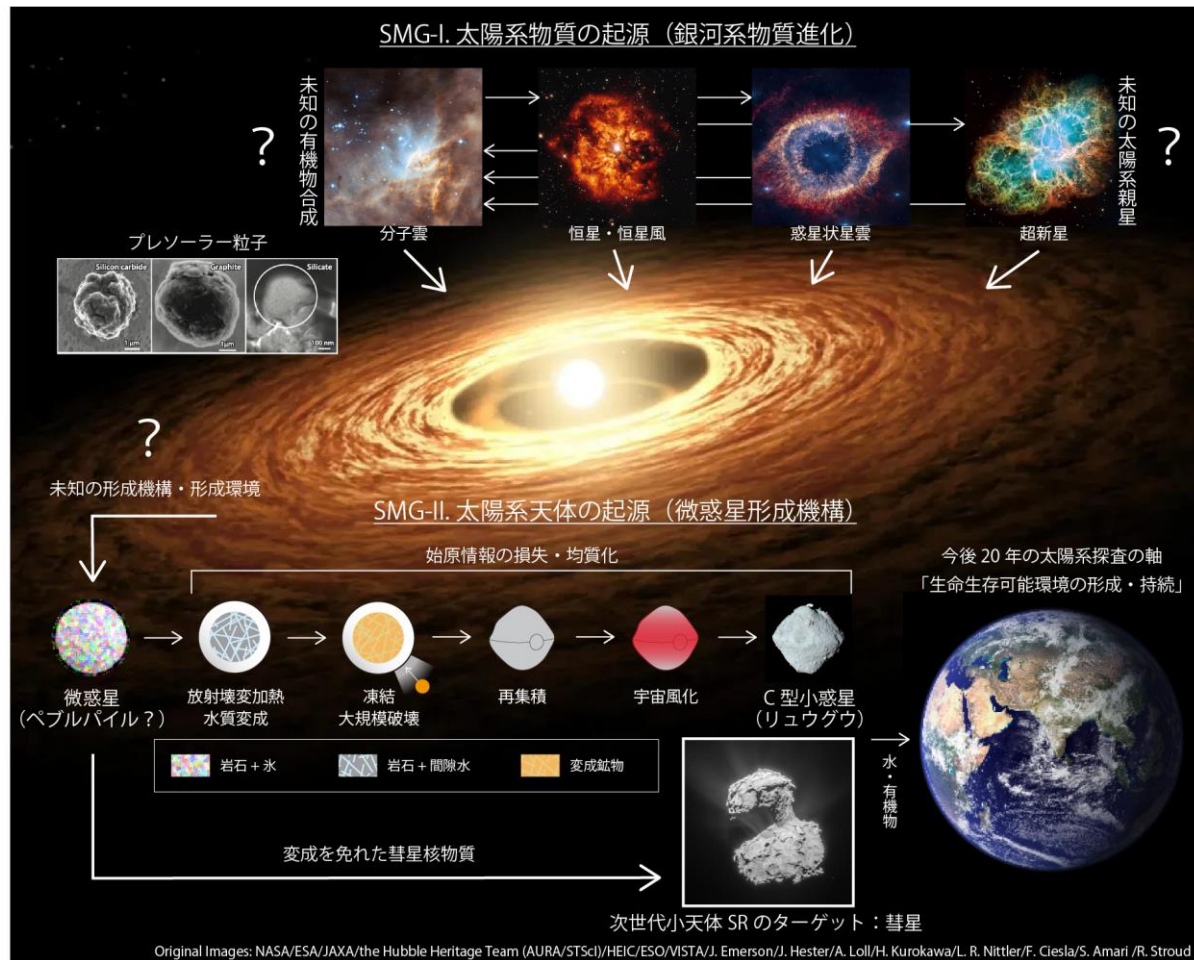


<計画の狙い>

- 外惑星超小型探査機技術の確立
- 日本単独の外惑星領域へ初挑戦
- 新たなシステムメーカーの開拓

2.2.関連する取組・構想等（小天体関係/小天体探査）

- JAXA戦略的中型計画の候補の一つとして、はやぶさ2・MMXに続く小天体サンプルリターン探査として、彗星からのサンプルリターンを目指す計画（次世代小天体サンプルリターン）を構想中。
- これまでのサンプルリターン探査含め、小天体への接近や、サンプリング・その場観測等、プラネタリーディフェンスや資源開発と技術的な親和性有り。



次世代小天体サンプルリターン
(イメージ)

2.2.関連する取組・構想等（小天体関係/プラネタリーディフェンス）

【プラネタリーディフェンスの概要】

小惑星や彗星のような天体が地球に衝突すると大きな自然災害となる

実
例

■2013年2月15日
チェリャビンスク隕石



(Web記事より)

- ・約17mの天体衝突によると推定
- ・南北180km、東西80kmにわたって建物に被害
- ・約1500人が負傷

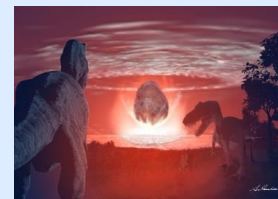
■1908年6月30日
ツングースカ大爆発



(Web記事より)

- ・50～60mの天体衝突によると推定
- ・約2000平方kmにわたって、樹木がなぎ倒された

■6550万年前
恐竜を含む生物の大絶滅



(©JAXA)

- ・約10kmの天体衝突によると推定
- ・恐竜を組む多くの生物種が絶滅
- ・地質年代が中生代から新生代に転換

地域的被害

地球規模の被害

このような災害を事前に防ぎたい
プラネタリー・ディフェンス
(スペースガード)

※活動は1990年代初めから始まる



そのためには:

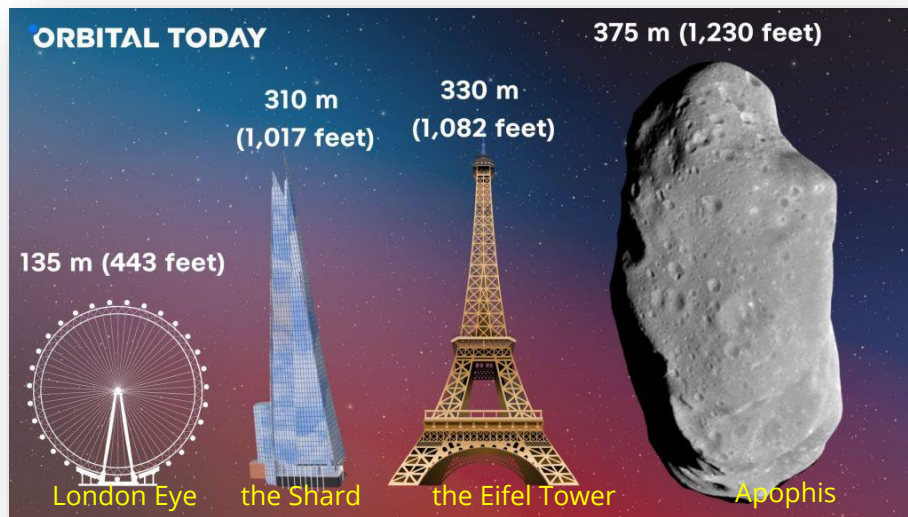
- ・地球接近天体の発見・追跡＝[観測]
- ・地球接近天体の素性解明＝[探査]
- ・天体の地球衝突回避・被害の最小化
＝[技術、国際協力、法的整備、人々の理解]

JAXAにおいて昨年度からプラネタリーディフェンスチームを設置。全社横断的な検討を実施中。

2.2.関連する取組・構想等（小天体関係/プラネタリーディフェンス）

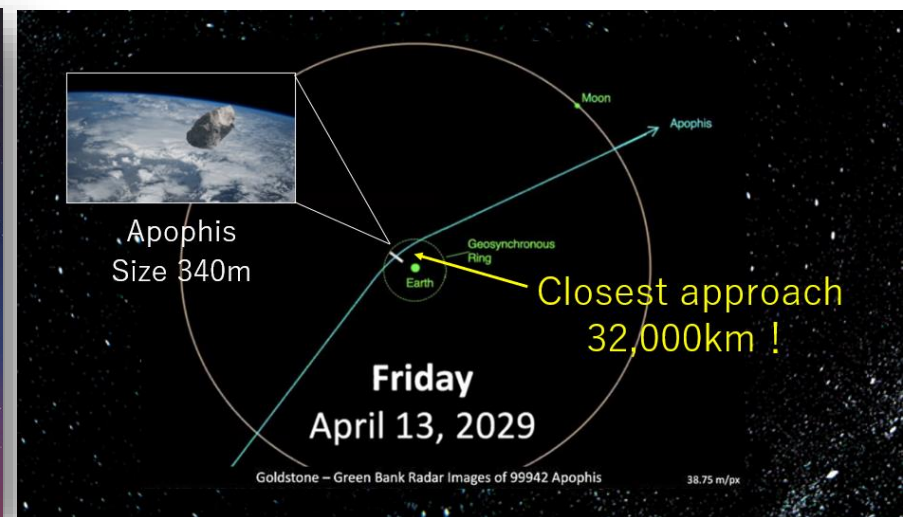
【小惑星 (99942) Apophisについて】

- **2029年4月13日(金)に地球最接近**（21:46UTC、地心から0.00025auまで＝地表から約32,000km）する小惑星として国際的に注目が高まっている
- 地球に衝突すると大災害となる**直径が340mの天体が静止軌道よりも近い距離を通過するのは観測史上初（一部地域では肉眼での観測が可能となるイベント）**
- 貴重なA p o p h i s 観測機会を踏まえ、各国の宇宙機関は本格的に検討を開始。
- 欧州宇宙機関（ESA）との将来大型協力にかかる共同声明(2024/11/20)にて、RAMSESへの協力可能性の検討を加速することに合意（熱赤外カメラと太陽電池パドルの提供及び可能な打上げ機会等が含まれる）



Apophisサイズ比較図

引用元：<https://orbitaltoday.com/2024/07/18/will-apophis-strike-earth-in-2029-esas-ramses-mission-to-track-the-dangerous-asteroid/>



Apophisの軌道

引用元：JPLWeb
https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/?sstr=Apophis&view=VOPC

宇宙戦略基金第一期技術開発テーマのSX研究開発拠点において、小惑星も含めた資源利用技術開発の拠点が採択。**宇宙資源利用に関する国内機運も高まりつつある。**



技術開発テーマ名

[SX 研究開発拠点](#)

実施機関名（代表機関）

国立大学法人東京大学

研究代表者名

宮本 英昭

技術開発課題の名称

月面開発のための宇宙資源開発拠点（牽引型）

技術開発課題の概要

東京大学に「宇宙資源センター（仮称）」を設置し、大学と民間企業群が協働して宇宙資源分野の独創的な技術開発を推進する。特に月面や小惑星における資源の探査から利用までを、一貫してパッケージ化した世界初の資源利用技術を開発し、低軌道実験や代表者が独自に獲得した月・小惑星等への輸送機会等を活かし実証を進める。海外市場の開拓にも取り組み、法務の視点を踏まえた研究成果の社会実装を円滑に進める仕組みを構築する。また、模擬土壌の開発・提供等を通じて非宇宙分野の研究者や企業の参入障壁を下げ、新たな人的流入を促進する。さらに社会人博士受入も含め科学技術のみならず、ビジネスや法律を含む高度人材育成にも注力し、宇宙市場の拡大と革新的な国際ビジネス創出を目指す。すでに宇宙資源開発拠点を有する海外組織とも密接に連携し、国際的な研究・教育ネットワークを強化する。

連携機関

慶應義塾大学、学習院大学、高砂熱学工業株式会社、栗田工業株式会社、横河電機株式会社、キーコム株式会社、ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社、株式会社たすく、株式会社 Midtown

2.3.関連する重要な技術開発（小天体関係）

- プラネタリーディフェンス（PD）と小天体資源開発について、共通的な技術が多い。我が国技術の活用例として、小惑星の物資輸送技術と小型/超小型探査機をフライバイ/ランデブーさせて観測する技術が考えられる。
- 小天体探査に関しては、国際的な我が国の立ち位置を踏まえて、継続的・定常的な活動の推進が求められていると同時に、**技術的な観点での成熟度が高まりつつある**。また、米国を中心に民間による小天体資源開発の動きが沸き起こり始めている。
- **PDや資源の観点で様々な小惑星の調査が必要となることも踏まえ、我が国においても民間・大学主導の取り組みを促進**するとともに、**強み（サンプルリターン等の小天体探査技術、小型/超小型探査機技術）**を活かすことで、**PDへの貢献や小天体資源開発といった新たな産業創出に繋げていくことが重要**。

1. Search, Detect & Track

- 小天体を発見・検出・追跡する【対象とする小天体のサイズは異なる場合があるが、資源探査と共通】

2. Characterize

- 小天体の物理的特性(大きさ、形状、組成、自転)を理解する【把握すべき情報は異なるが、資源探査と共通】

3. Plan & Coordinate

- 協力体制と連携し、脅威への効果的な対応策を検討する【PD特有】

4. Mitigate

- （来る脅威に備えて）小天体を衝突回避の技術を実証する【資源探査と似た技術が必要になる可能性もある。地球防衛では地球への衝突回避、資源探査では現地での抽出・精製等のロボティクスに加えて、小天体物資を輸送する技術】

5. Assess

- NEOの観測状況や脅威の評価を行う【PD特有】

NASAではPDに必要な5つの活動を下図のようにまとめている。



NASAのPlanetary Defense Coordination Officeによるプラネタリーディフェンス活動の概要

3.まとめ



- 火星/小惑星について民間主体の活動のポテンシャルが高まりつつあり、産学のリソース活用による我が国としての成果最大化を図ることが重要。関連する重要（キー）技術について我が国の民間企業等の参画も得つつ段階的に開発・獲得していくとともに、火星等の民間単独で到達が困難な場所へはJAXAプログラムでの輸送手段を民間等に活用いただくことが重要。また、PDや資源の観点では、様々な小惑星を調査することが必要であり、プレイヤーが増えていくことが重要。
- 我が国の実績や立ち位置を踏まえると、米中等のような大型ではなく、小型でありながらスマートなアプローチを追求することが、我が国らしさであり、勝ち筋の方向性ではないかと考える。また、小型というアプローチにより、機会が増えることで、産学、他国の新たなプレイヤーの敷居を下げ、裾野拡大に資するものとする。
- 我が国において宇宙戦略基金により産学での技術開発が加速する中、JAXAとしても、それらの成果を最大限活用しながら、アンカーテナントのシグナリングを踏まえつつ、火星、小天体・プラネタリーディフェンスに係るプログラムや対応について引き続き検討を進めて参りたい。
- 政府におかれては、これらプログラムや対応をJAXAが進めていく上で、JAXAの技術力強化や関連プログラムへの必要なリソースの手当の観点含め、官民双方の相互発展（スパイラルアップ）に向けた検討や取組を加速いただきたい。