

27回月惑星に社会を作るための勉強会
2023年1月23日



アルテミス計画の現状と今後について

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

佐々木 宏

- はじめに
- 米国のアルテミス計画
- 日本の政策的な動向
- JAXAの取り組み－ミッション
- JAXAの取り組み－民間連携
- JAXAの取り組み－科学連携
- 今後の方向性

はじめに

はじめに：国際宇宙探査の盛り上がり

第2回国際宇宙探査フォーラム (ISEF2)
2018年3月東京開催

- 人類の活動領域の拡大
- 新しい知識の獲得
(太陽系・生命の成り立ちの解明)
- 経済発展の促進・ビジネスの機会
- 先端技術の開発と応用
- パートナーシップ、若い世代の啓発

東京宣言より



- 40を超える国から閣僚/政府高官が参加して開催。
- 月・火星・その先の太陽系の探査活動が広く共有された目標であることを確認した。

今まで: 人類の宇宙活動の発展

人類は、およそ20年毎に宇宙活動が発展している

複数の宇宙活動の発展が始まる

1960
有人宇宙飛行の黎明期

1980
地球低軌道への
高頻度飛行・長期滞在

2000
地球低軌道での
持続的長期滞在

2020
地球圏外での長期滞在

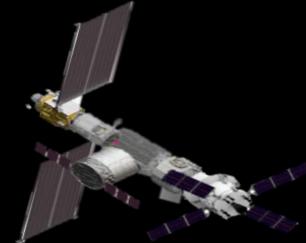
2040
火星有人探査?



スペースシャトル

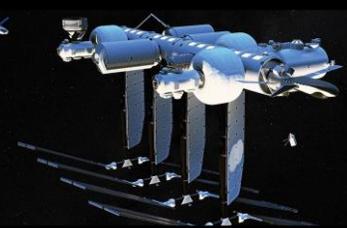


国際宇宙ステーション



ゲートウェイ

地球低軌道の民間利用



民間ステーション



月面持続的滞在



地球低軌道の利用発展



人類初宇宙飛行 アポロ月着陸



ミール



今まで: 人類の宇宙滞在

人類の滞在数は、格段に増加している

2020年代は大幅に増加が見込まれている

1960 1980 2000 2020 2040

有人宇宙飛行の黎明期

地球低軌道への
高頻度飛行・長期滞在

地球低軌道での
持続的長期滞在

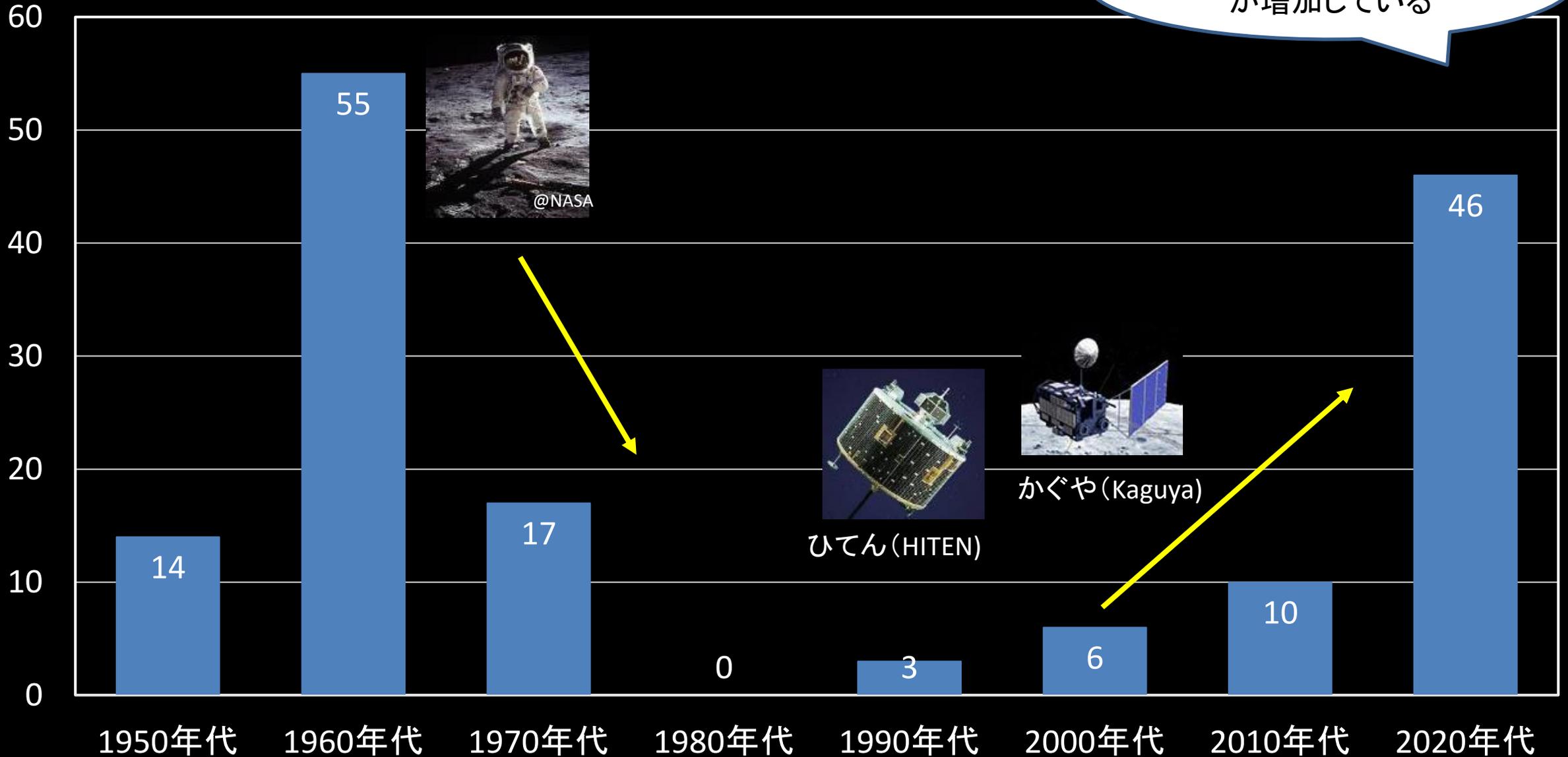
地球圏外での長期滞在
地球低軌道の民間利用

宇宙滞在平均人数



今まで：月探査ミッション数の流れ

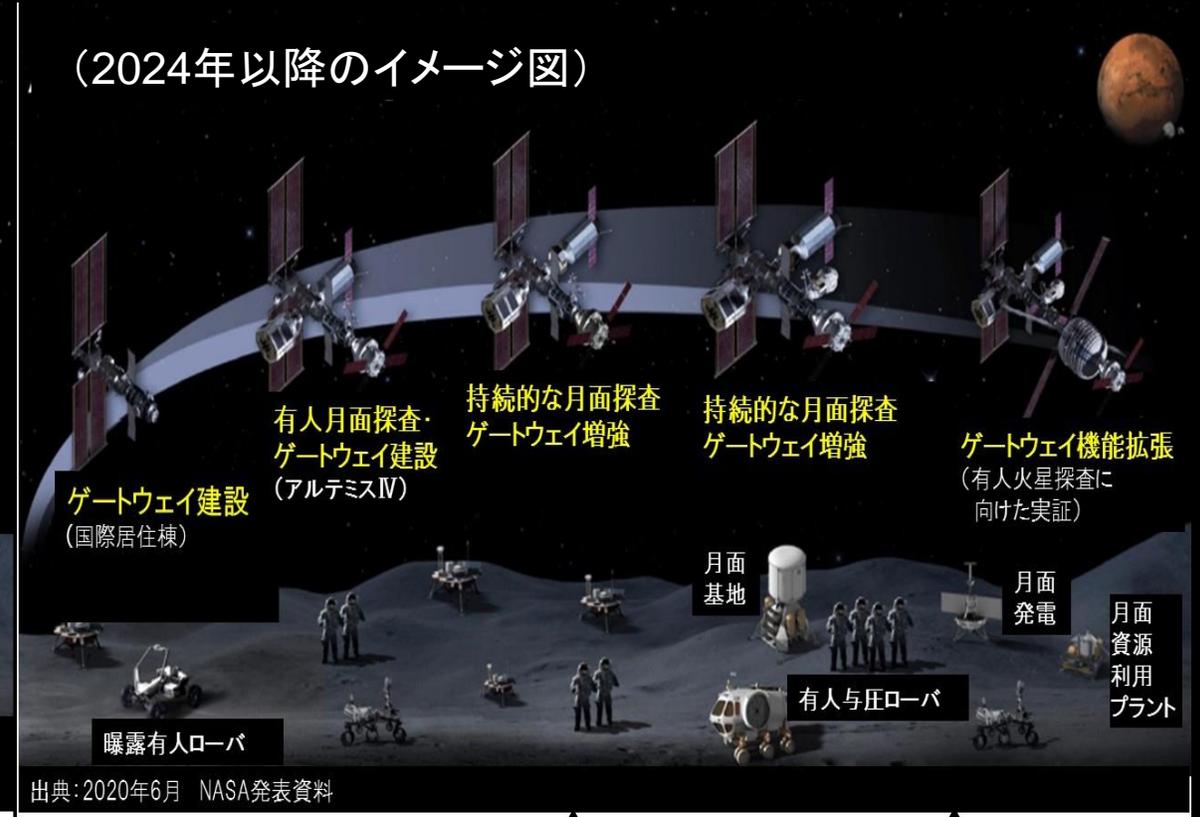
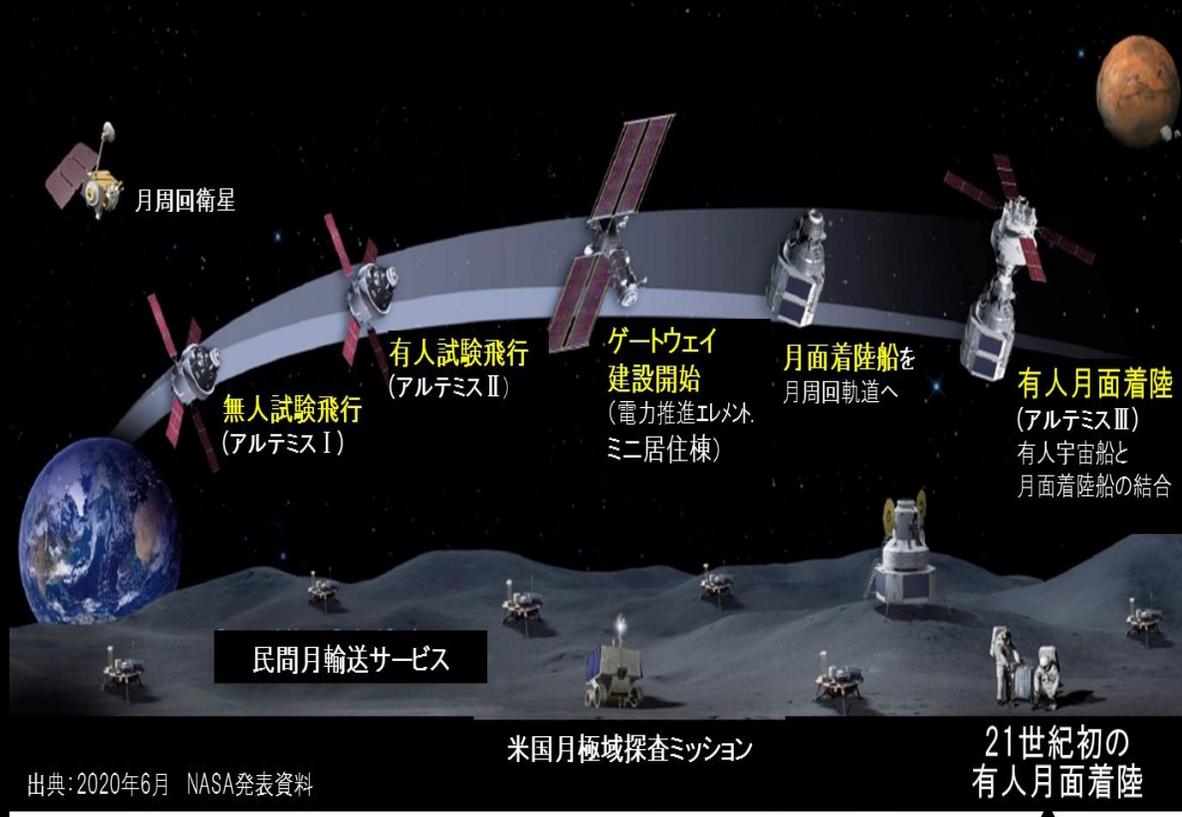
急速に月探査ミッション
が増加している



米国のアルテミス計画

米国アルテミス計画：概要

- アルテミス計画は、米国が提唱する月面への有人着陸に関するすべてのプログラムの総体。
- 月面探査だけでなく、2030年代に火星有人着陸を目標に掲げ、月面での持続的な探査活動を行う。
- 国際パートナーと産業界との連携を重視。日本、欧州、カナダを始めとする関係国が参加を予定。



米国アルテミス計画：計画立案の流れ



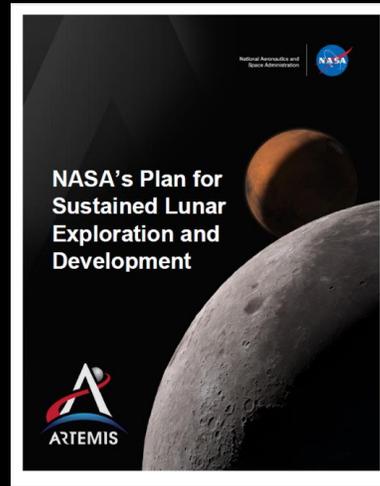
トランプ前大統領
有人月探査とその火星探査を指示
宇宙政策指令-1 (SPD-1)

2017年12月

ペンス前副大統領
2024年有人月着陸を発議
第5回国家宇宙会議



2019年3月



NASA
持続的な月探査計画発表

2020年4月



NASA
各国とアルテミス合意・
ゲートウェイMOUを締結

2020年7月



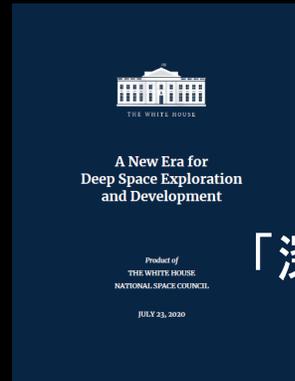
2020年10月～



バイデン大統領/ネルソン長官
アルテミス計画を維持を表明



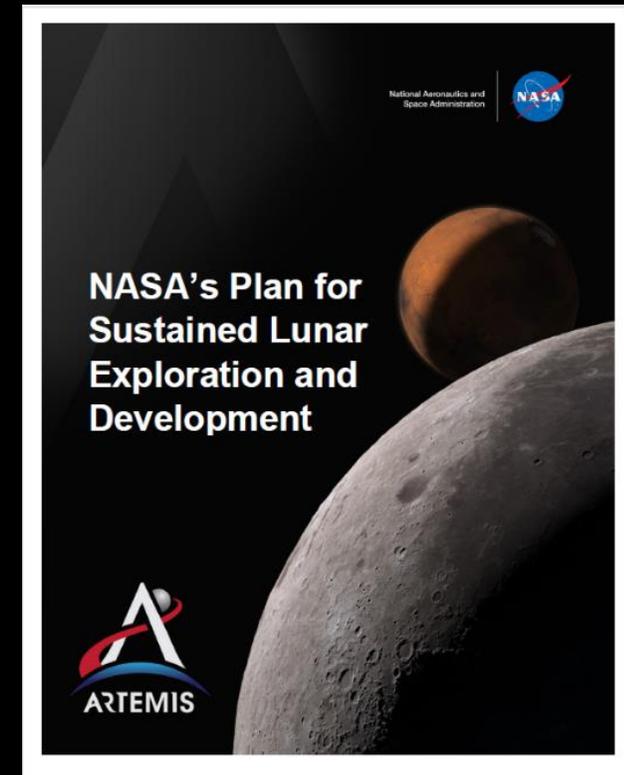
2021年



ホワイトハウス
「深宇宙探査・開発の
新時代」発表

米国アルテミス計画：NASA持続的月探査・開発計画

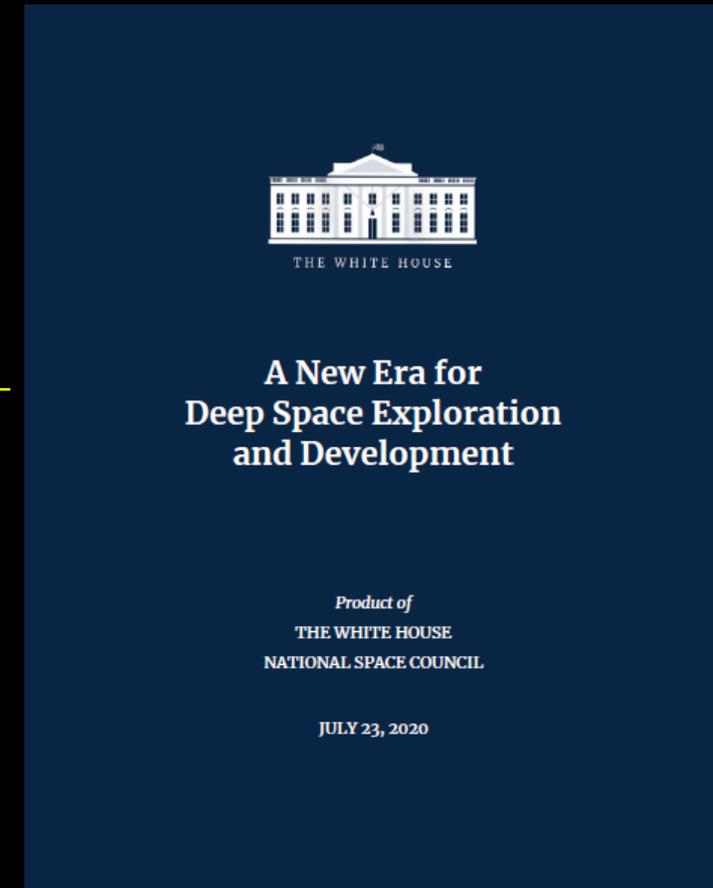
- NASAは2020年4月、「持続的月探査・開発計画：NASA’s Plan for Sustained Lunar Exploration and Development」を発表。
 - 有人探査の主要領域として、地球低軌道、月、火星を設定。技術的に密接な連携を意図。
-
- 低軌道の有人運用を民間に移管しながら、ISSを月・火星探査のためのテストベッドとして活用する等、低軌道活動の必要性も明示。
 - 2024年の月面着陸以降、有人火星探査ミッションに向けた準備として、持続的な月面活動を実現すべく、月南極域に有人活動拠点Artemis Base Campを建設。
 - Gatewayを活用した火星探査模擬ミッションやその場資源利用技術等の月面革新イニシアチブも促進。



NASAが公表した
“持続的月探査・開発計画”

米国アルテミス計画：NSpC：深宇宙探査・開発の新時代

- 2020年7月23日、米国国家宇宙会議(NSpC)は、探査戦略「**深宇宙探査・開発の新時代：A New Era for Deep Space Exploration and Development**」を発表。
- 主なテーマは、**“政府全体の取り組み(a whole-of-government approach)”**。
- 新たな探査時代にNASAだけでなく、**全関係府省が一丸となって取り組む重要性を強調**。持続的探査・開発の長期政策は安全保障、経済成長、科学の進歩や国際環境の安定化など永続的な国益に合致。
- 探査を促進するために取り組む重要な課題(領域)として、**①低軌道の商業化 ②月での持続的な活動 ③有人探査の火星への拡張**を挙げる。
- 政府の役割として、以下5項目を識別。**様々な意味での“持続性”(政治的、予算的、技術的等)の重要性を主張**。
 - ① 宇宙活動の長期的な持続可能性のために安全で予測可能な宇宙環境を促進
 - ② **宇宙における商業活動と産業の発展を支援**
 - ③ 新しい宇宙技術の研究開発を支援
 - ④ **商業及び国際的なパートナーとともに、宇宙探査及び宇宙開発に必要なインフラストラクチャ構築に協力**
 - ⑤ 公的および民間セクターなど米国の研究コミュニティによる高度な宇宙研究を支援



NSpCが公表した
“深宇宙探査・開発の新時代”

米国アルテミス計画：当面の取り組み



大型ロケット
SLS計画



有人宇宙船
Orion計画

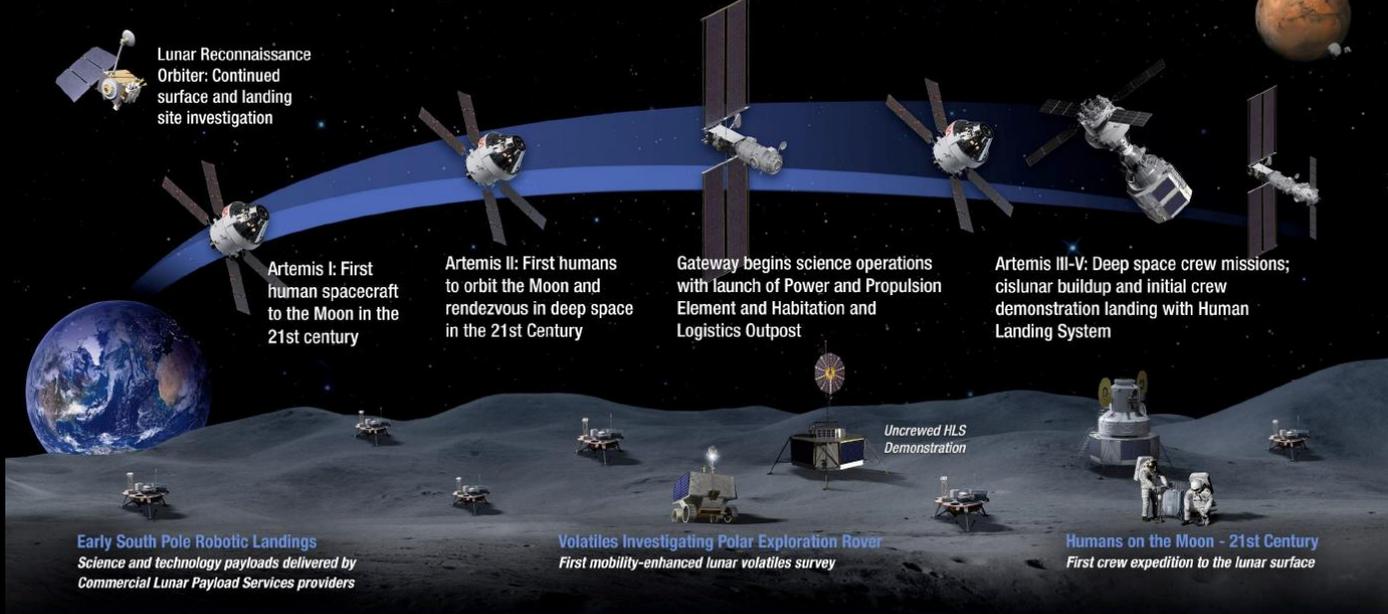


月周回有人拠点
GW計画



有人着陸機
HLS計画

Artemis: Landing Humans On the Moon



LUNAR SOUTH POLE TARGET SITE

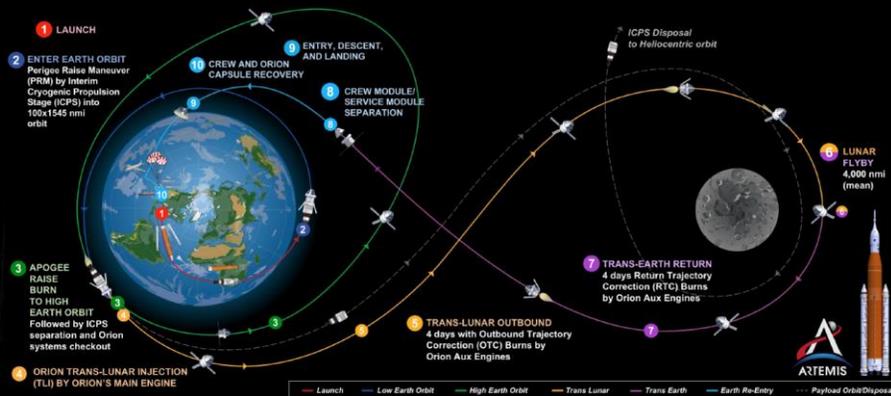
科学ミッション
CLPS計画



無人探査ミッション
VIPER計画



米国アルテミス計画：SLS計画/Orion計画



アルテミス1(2022年)
無人ミッション(技術実証)

アルテミス2(2024年予定)
有人ミッション

アルテミス3(2025年予定)
有人ミッション
有人月着陸機とドッキング

アルテミス1 打上げ
2022年11月16日

オリオン帰還
2022年12月11日



米国アルテミス計画:ゲートウェイ(GW)計画

[凡例] 輸送手段 モジュール等

Canada Arm 3 (ロボットアーム)

- CSA/MDA社が開発。
- 各モジュールに装備されるロボティクス用インターフェース機器提供

物資補給モジュール(NASA/JAXA)

HTV-XG/
Improved H-II
Transfer Vehicle
(JAXA)

Robotic Arm/
Gateway External
Robotic Systems
(CSA)

Logistics Module
(NASA)

Power and
Propulsion
Element
(NASA)

ESPRIT -
European
Refueling
Module
(ESA)

Airlock
(TBD)

Orion Spacecraft
(NASA)

エアロック

- NASAがモジュール形態を検討中。
- 2029年打上げ予定。

Habitation and
Logistics Outpost
(NASA, JAXA, ESA)

International
Habitation Module
(ESA, JAXA)

Orion有人宇宙船(NASA/ESA)

I-Hab (国際居住棟)

- ESAがインテグレーションを担当。
- JAXAは生命維持機能(ECLSS)や冷媒循環ポンプ、バッテリー、映像機器の提供。基本設計中。
- 2027年打上げ予定。

ESPRIT-RM (増強通信・燃料補給・観測モジュール)

- ESAが開発
- システム要求を設定中。2028年打上げ予定。

Human
Landing System

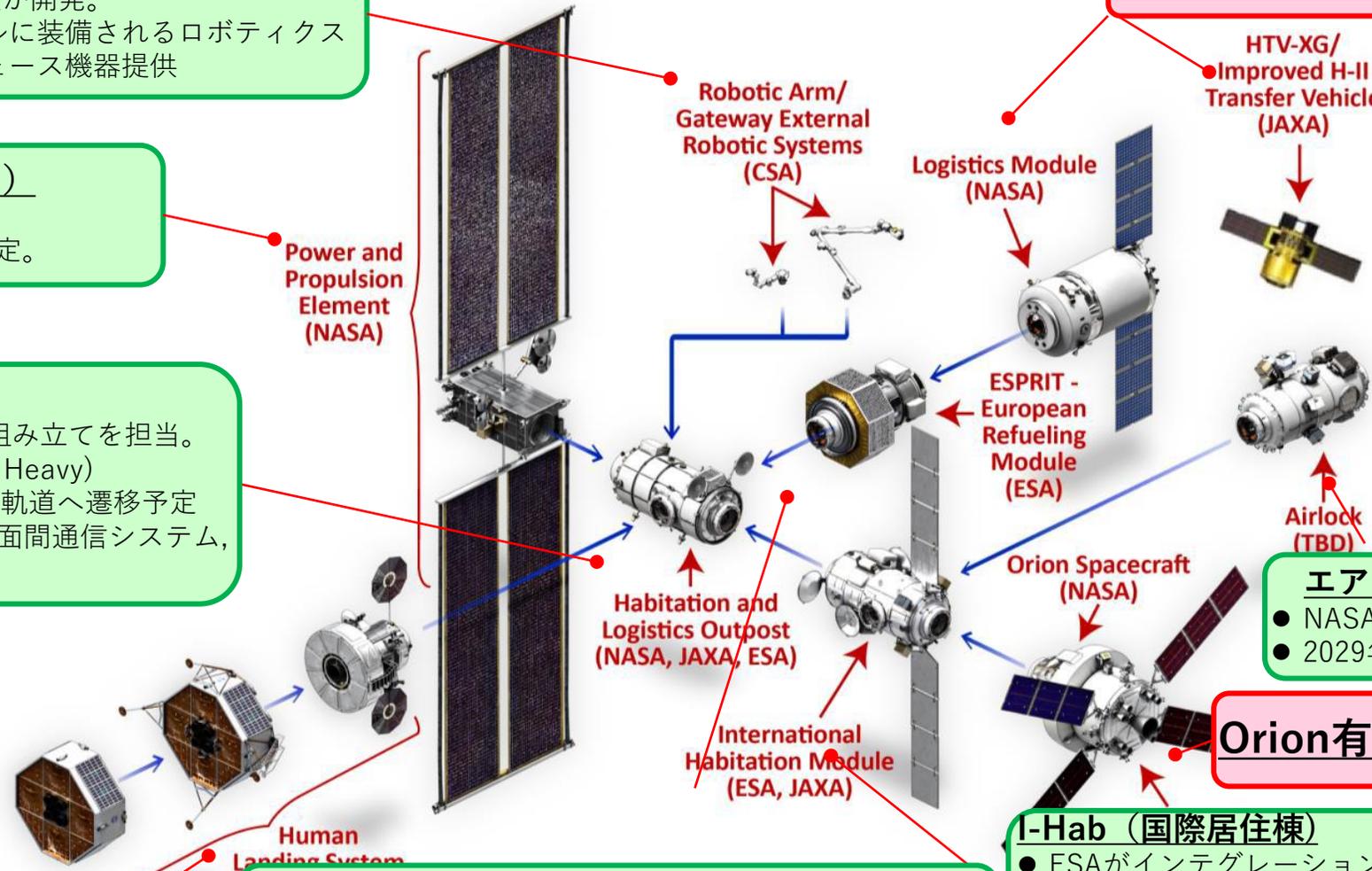
PPE (電力推進エレメント)

- MAXAR社が開発
- 2024年HALOと同時打上げ予定。

HALO (ミニ居住棟)

- NG社が開発。PPEとの地上組み立てを担当。SpaceX社が打ち上げ(Falcon Heavy)
- 打上げ後12ヶ月かけてNRHO軌道へ遷移予定
- GOJ:バッテリー, ESA:GW/月面間通信システム, CSA:ロボティクスI/Fを搭載

有人月離着陸船(NASA)



米国アルテミス計画:HLS計画



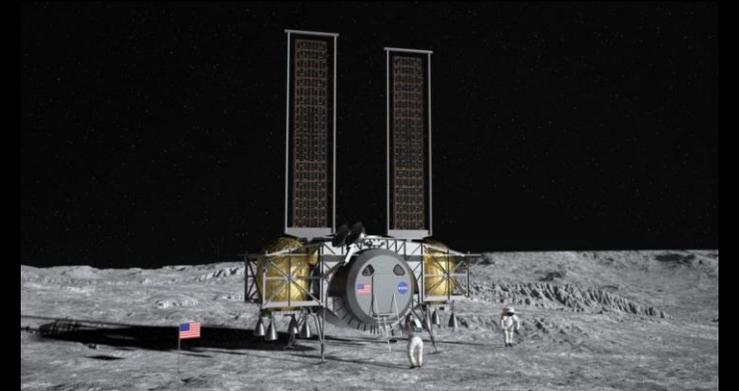
スターシップ(スペースX社)
引き続き他のシステムも候補となる

アルテミス3(2025年予定)
オリオン宇宙船とドッキング

アルテミス4(2027年予定)
ゲートウェイとドッキング



ナショナルチーム(ブルーオリジン社)



Dynetics社(ブルーオリジン社)

米国アルテミス計画 : Commercial Lunar Payload Service

NASA Science Mission Directorateが担当。

NASAが民間企業に観測機器やローバなどの月への輸送を有償で委ねるサービスである。参加できる企業は米国の企業に限定されている。

まず参加を認める企業を選定した後、個別にミッションを担当する企業を選定する。

参加企業

2018年選定(9社)

- ・Astrobotic Technology, Deep Space Systems, Draper, Firefly Aerospace, Intuitive Machines, Lockheed Martin Space, Masten Space Systems, Moon Express, Orbit Beyond

2019年選定(5社)

- ・Blue Origin, Ceres Robotics, Sierra Nevada Corporation, SpaceX, Tyvak Nano-Satellite Systems

打上げ予定

2023年

- ・Astrobotic、Intuitive Machines × 2、Masten Space Systems(*)

2024年

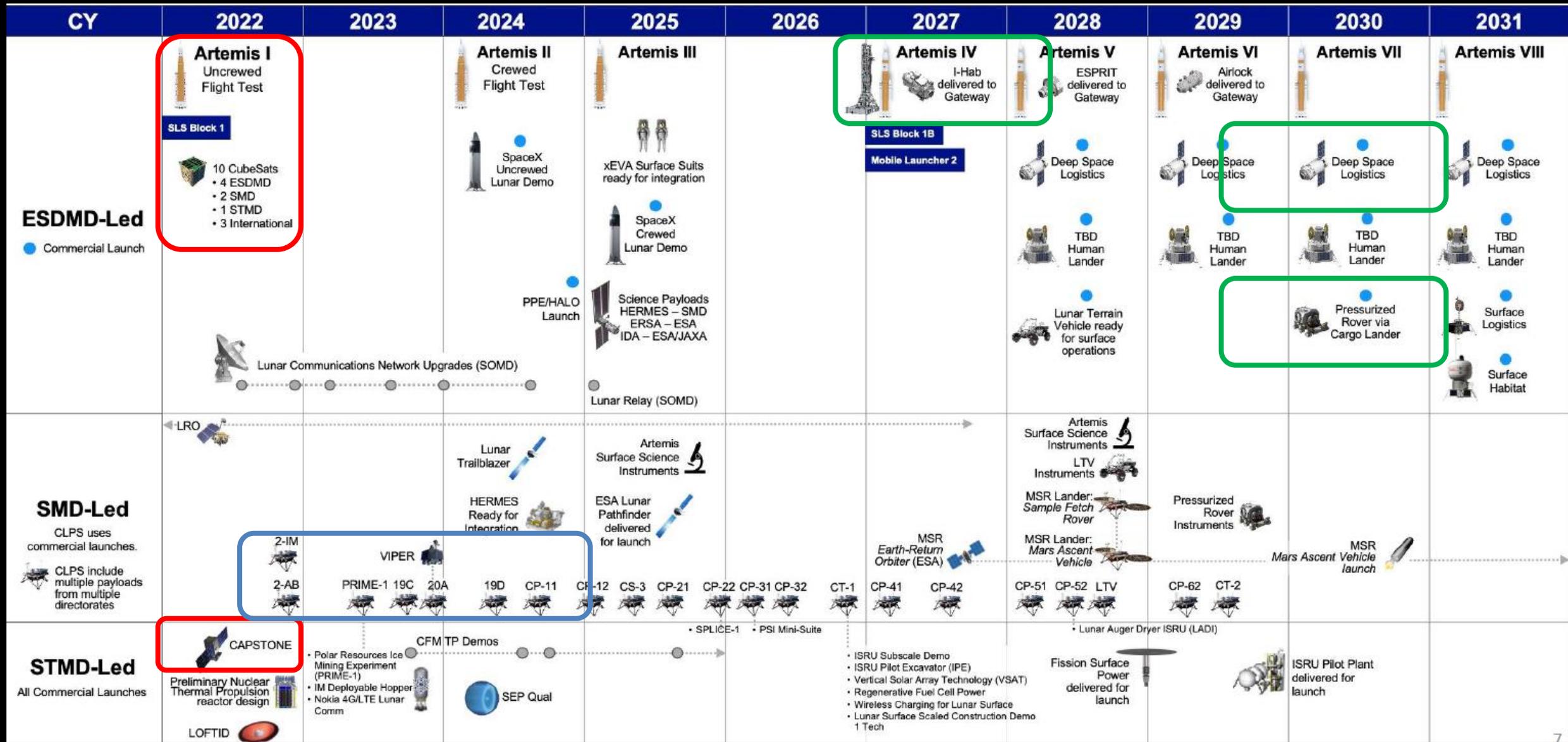
- ・Astrobotic、Firefly Aerospace、Intuitive Machines

2025年

- ・Draper

(*)倒産し、Astroboticsに買収

米国アルテミス計画：当面の打上げ計画



米国アルテミス計画：持続的な探査活動への展望

LUNAR SURFACE INNOVATION INITIATIVE



月面研究

EXPLORATION EXTRAVEHICULAR ACTIVITY SYSTEM



船外服

LUNAR TERRAIN VEHICLE



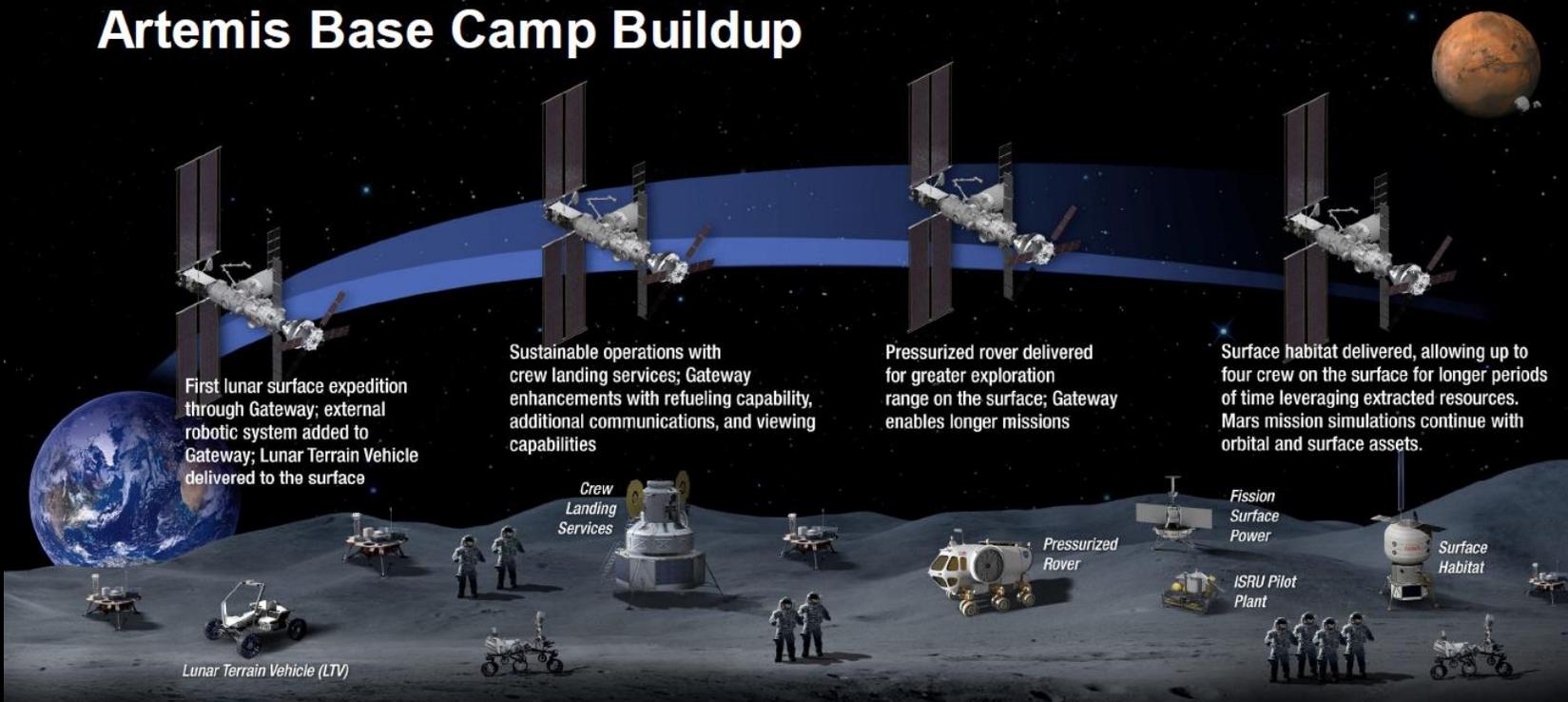
曝露ローバ

HABITABLE MOBILITY PLATFORM



与圧ローバ

Artemis Base Camp Buildup



First lunar surface expedition through Gateway; external robotic system added to Gateway; Lunar Terrain Vehicle delivered to the surface

Sustainable operations with crew landing services; Gateway enhancements with refueling capability, additional communications, and viewing capabilities

Pressurized rover delivered for greater exploration range on the surface; Gateway enables longer missions

Surface habitat delivered, allowing up to four crew on the surface for longer periods of time leveraging extracted resources. Mars mission simulations continue with orbital and surface assets.

Lunar Terrain Vehicle (LTV)

Crew Landing Services

Pressurized Rover

Fission Surface Power

ISRU Pilot Plant

Surface Habitat

SUSTAINABLE LUNAR ORBIT STAGING CAPABILITY AND SURFACE EXPLORATION

MULTIPLE SCIENCE AND CARGO PAYLOADS | U.S. GOVERNMENT, INDUSTRY, AND INTERNATIONAL PARTNERSHIP OPPORTUNITIES | TECHNOLOGY AND OPERATIONS DEMONSTRATIONS FOR MARS

LUNANET



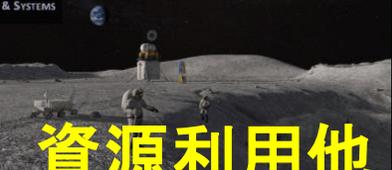
月面NW

LUNAR/MARS SURFACE POWER



原子力発電

LUNAR SURFACE INNOVATION INITIATIVE



資源利用他

FOUNDATION SURFACE HABITAT



居住技術

米国アルテミス計画 : Lunar Surface Innovation Initiative

NASA Space Technology Mission Directorateが設立。
アルテミス計画推進のため、月面での有人/ロボット探査、および火星での運用のための技術開発。
NASA の独自の活動と官民パートナーシップの組み合わせを通じて実施。

主な研究テーマ

- 月の資源利用
- 月の昼/夜サイクル中に持続可能な電力
- 超低温など極端な環境で機能する機械や電子機器
- 月ダスト対策
- 地表の掘削および建設
- 表面/地下のナビゲーション

月面イノベーションコンソーシアム

活動の一部として、学界、産業界、政府の専門家をチームとしたコンソーシアムを設立。
月面を新しい方法で探査するために必要な技術とシステムの構築を検討。
大学や企業が、月面探査の成功に必要な技術を開発および展開するための戦略を提案。
ジョンズ・ホプキンス応用物理研究所がNASA と協力して運営。

日本の政策的な動向

日本の政策的な動向：国際宇宙探査への参画



© 内閣府

国際宇宙探査への参画
について宇宙開発戦略本部
での総理指示



アルテミス合意
(日本を含む8か国が署名)



© JAXA

2019年10月

2020年7月

2020年10月

2020年12月



© MEXT

日米の月探査協力に関する
共同宣言(JEDI)

萩生田文部科学大臣-
NASA長官

Gatewayに関する
二国間協定に署名

日本政府-米国NASA

日本の政策的な動向：国際宇宙探査への参画

宇宙飛行士候補者募集



「月において有人活動などを行うアルテミス計画を推進し、2020年代後半には、日本人宇宙飛行士の月面着陸の実現を図ってまいります。」（岸田総理）



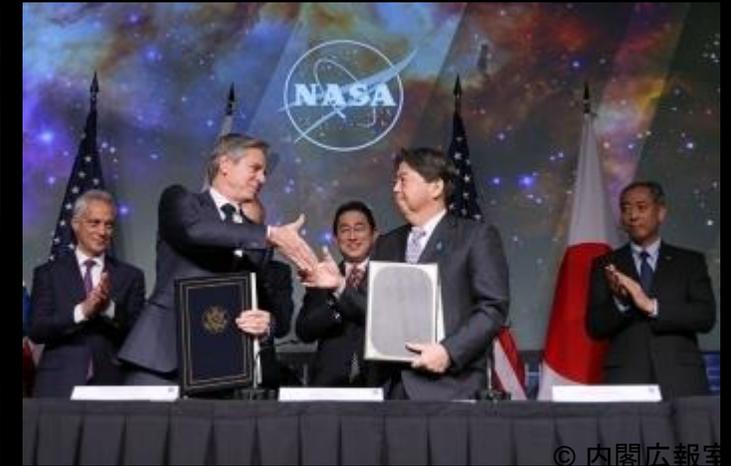
宇宙飛行士候補者募集 受付期間 2021年12月20日|月| - 2022年3月4日|金|

Gateway IA締結



2022年11月

日・米宇宙枠組協定締結



2023年1月

2021年12月

日本の政策的な動向：宇宙開発戦略本部会議決定

- 2019年10月18日に正式に国際宇宙探査の参画方針を決定し、協力項目について調整を進めることとなった。

「日本も、いよいよ月探査・宇宙開発に向けて新たな1ページを開きます。火星なども視野に入れ、月を周回する宇宙ステーションの整備、月面での有人探査などを目指す米国の新たな挑戦に、強い絆(きずな)で結ばれた同盟国として、これまで『きぼう』や『こうのとり』で培った我が国の強みをいかして参画することといたしました。その基本方針を本日、決定いたしました。」

今年、アポロ11号によって人類が初めて月面に大きな一歩を記してから半世紀。アポロ計画は、全世界の若者に、夢と希望を与えるものです。我が国も、米国を始め、幅広い国際協力の下、人類の新たなフロンティアの拡大に貢献してまいります。」

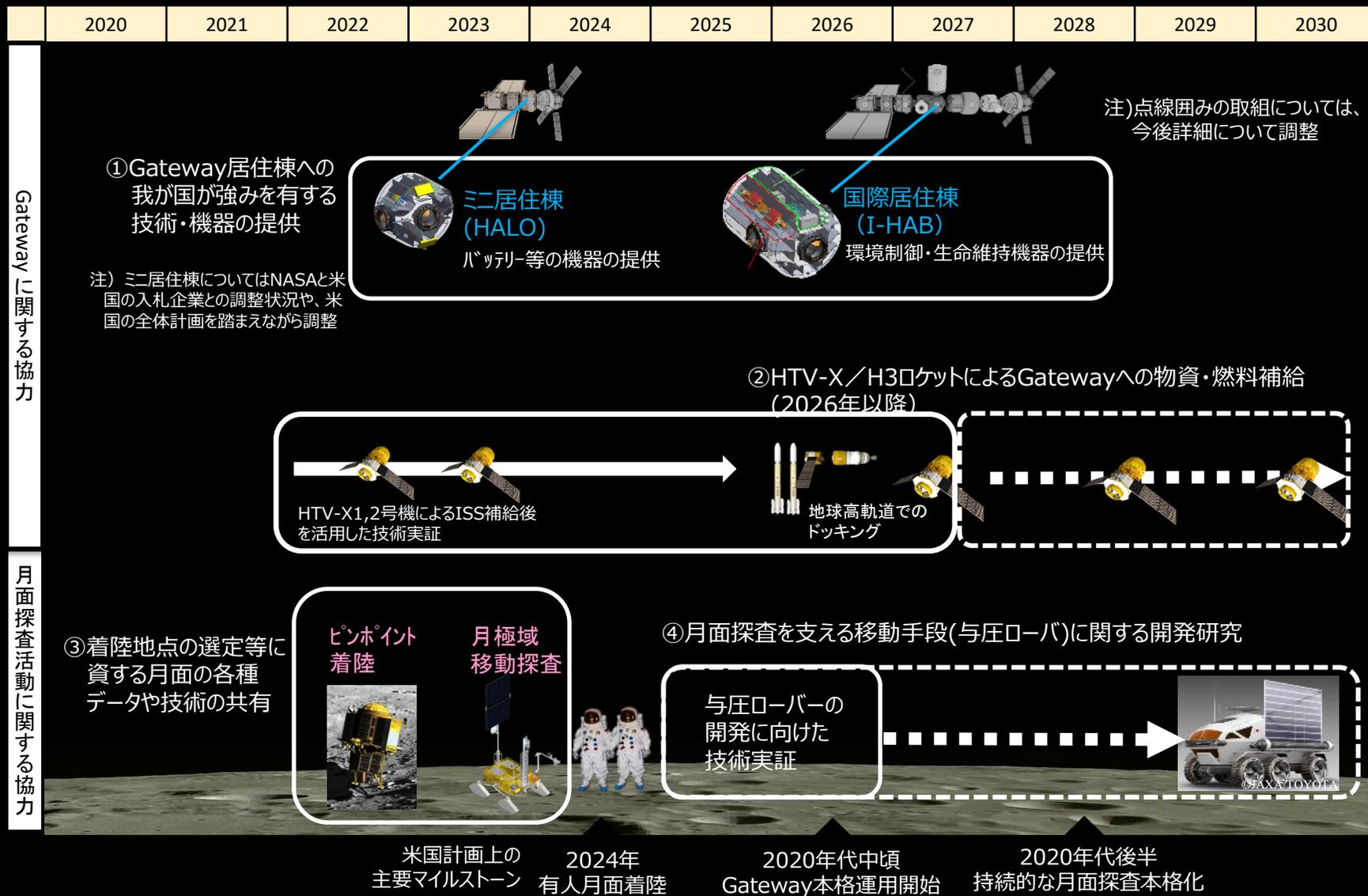
- 2021年12月28日に岸田総理大臣から日本人月面着陸の実現が示された。

「月において有人活動などを行う「アルテミス計画」を推進し、2020年代後半には日本人宇宙飛行士の月面着陸の実現を図る。」



日本の政策的な動向：月探査における協力取組方針イメージ

2020年7月10日、文科大臣-NASA長官間で、月探査協力に関する共同宣言(JEDI)に署名した。



日本の政策的な動き：宇宙基本計画

国際宇宙探査への参画

- 月は地球に最も近い天体であるため、輸送や通信に関して利点があり、地球以外で最初に人類の活動領域となる可能性を持つ天体である。特に重力天体への着陸・帰還技術、惑星表面探査ロボット技術等、今後の太陽系探査に向けて必要となる技術の獲得・実証において重要な場である。このような認識の下、持続的な月面探査の実現を目指すアルテミス計画への参画の機会を活用し、日本人宇宙飛行士の活躍の機会を確保する等、我が国の宇宙先進国としてのプレゼンスを十分に発揮しつつ、政府を挙げて、我が国にとって意義ある取組を戦略的・効率的に進めていく。
- 具体的には、ISS計画での経験を生かし、我が国が強みを有する分野（有人滞在技術や補給等）で参画し、月周回有人拠点「ゲートウェイ」の建設・運用・利用及び「ゲートウェイ」の活用に向けた技術実証に取り組み、深宇宙探査に必要な能力を獲得する。その際、地球低軌道向けの超小型衛星開発等で培われた大学等の技術を活用し、民間事業等とも協働しつつ、月・月以遠での持続的な探査活動に必要な基盤技術の開発・高度化を進め、国際宇宙探査を支える基盤の強化及び裾野の拡大を図る。
- 月の水資源の有無や採掘の難易度が計画への参画の在り方に大きく影響することから、水資源の存在が期待される月極域にピンポイント着陸し、我が国が主体的に今後の月面における探査等について検討できるよう、移動探査によって水資源に関するデータを独自に取得する。
- 水資源の態様等を踏まえ、「ゲートウェイ」の活用を含め、宇宙科学・探査の今後の20年を見据えた中での取組を検討し、広範な科学分野の参加も得て推進する。検討のテーマとしては、月における測位、通信、リモートセンシング、超小型探査機による多点探査、三次元探査、サンプルリターン、データサイエンス、天体観測等が候補となる。また、非宇宙産業を含む民間企業等の参画を得つつ、ゲートウェイや月面での移動手段を含む月面活動に必須のシステムの構築に取り組むこととし、要素技術の実証を先行させるなど、世界に先駆けた成果を段階的に発信する。

月探査活動への民間企業等の参画促進

- 今後の月探査活動に多様な民間企業の積極的な参画を得るため、月面を起点とした事業創出に関心を有する民間企業等が情報交換を行うためのコミュニティを構築し、参画意欲を喚起する。さらに、我が国の民間企業への裨益を目指した月探査活動に係る共通基盤技術について、民間企業と連携して技術開発を進める。

日本の政策的な動き：宇宙基本計画工程表

JAXAのミッションが10年のスパンで示されている

年度	令和2年度 (2020年度)	令和3年度 (2021年度)	令和4年度 (2022年度)	令和5年度 (2023年度)	令和6年度 (2024年度)	令和7年度 (2025年度)	令和8年度 (2026年度)	令和9年度 (2027年度)	令和10年度 (2028年度)	令和11年度 (2029年度)	令和12年度以降	
13 国際宇宙探査への参画とISSを含む地球低軌道活動	米国提案の国際宇宙探査計画(アルテミス計画)への参画[内閣府、文部科学省等]											
	ゲートウェイ居住棟への我が国が強みを有する技術・機器の提供						ゲートウェイの運用・利用					
	HTV-Xの開発			HTV-XによるISSへの物資輸送機会を活用した技術実証			HTV-X、H3によるゲートウェイへの物資・燃料輸送					
	車輪や走行系等の要素技術の開発研究・技術実証											
	月面探査を支える移動手段(有人と圧ローバ)に関する開発研究											
	着陸地点の選定等に資する月面の各種データや技術の共有											
	月極域探査機の開発 [文部科学省]						打上げ ▲ 運用					
	【再掲】小型月着陸実証機(SLIM)の開発 ▲ 打上げ 運用											
	月面での持続的な探査活動を見据えた産学官による先行的な研究開発等[内閣府、文部科学省等]											
	・ 将来の月面活動のビジョンの共有											
	将来の月面活動に必須となる分野(建設、測位・通信、エネルギー、食糧など)における要素技術の開発研究											
	アルテミス計画の機会を最大限活用した科学的成果の創出に向けた検討											
	広範な科学分野の参加を得た推進[内閣府、文部科学省等]											
	ISSを含む地球低軌道活動[内閣府、文部科学省等]											
	ISS・日本実験棟「きぼう」の運用・利用[文部科学省]											
宇宙環境利用を通じた知の創造・技術実証の場の提供												
【再掲】HTV-Xの開発			2025年以降のISSを含む低軌道活動の検討			HTV-Xの運用 ▲ 打上げ(2号機)			▲ 打上げ(1号機) ▲ 打上げ(3号機)			
ISS運用延長期間および2031年以降の地球低軌道活動の検討												
2025年以降の低軌道活動に向けた必要な措置												
(参考)ISSを含む地球低軌道における経済活動等の促進 [文部科学省]												
国際宇宙探査を支える基盤の強化及び裾野の拡大[文部科学省]												
大学、民間企業等と連携した要素技術の開発・高度化及び実証												
【再掲】火星衛星探査計画(MMX)開発[文部科学省] ▲ 打上げ 運用 ▲ 地球帰還												

月周回有人拠点機器提供。運用

HTV-Xによる補給

有人と圧ローバ
月極域探査機(LUPEX)
SLIM

先行研究開発
スターダスト計画
宇宙探査オープンイノベーション
科学利用

火星衛星探査計画(MMX)

日本の政策的な動向：JAXA関連予算（令和5年度概算要求）

アルテミス関連予算

月周回有人拠点

HTV-X補給（ISS補給、実証を含む）

月極域探査機(LUPEX)

宇宙探査オープンイノベーション

火星衛星探査計画(MMX)

有人と圧ローバ

【国際宇宙探査(アルテミス計画)に向けた研究開発等】 33,630百万円 (14,063百万円)

○月周回有人拠点

5,494百万円 (1,470百万円)

深宇宙探査における人類の活動領域の拡大や新たな価値の創出に向け、まずは月面での持続的な活動の実現を目指して、米国が構想する月周回有人拠点「ゲートウェイ」に対し、我が国として優位性及び波及効果が大きく見込まれる技術(有人滞在技術・バッテリー等)を開発し提供する。



月周回有人拠点

月面探査

○新型宇宙ステーション補給機(HTV-X)

19,125百万円 (8,520百万円)

宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)を改良し、宇宙ステーションへの輸送コストの大幅な削減を実現すると同時に、様々なミッションに応用可能な基盤技術の獲得など将来への波及性を持たせた新型宇宙ステーション補給機を開発。また、航法センサ及びドッキング機構システムの開発を通じて、深宇宙補給技術(ランデブ・ドッキング技術)の一つである自動ドッキング技術を獲得し、月周回有人拠点への補給を目指す。さらに、開発を通じて得られる遠隔操作、自動・自律化技術は、地上におけるリモート化社会の実現への貢献が見込まれる。



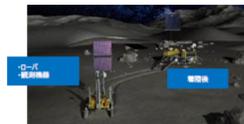
新型宇宙ステーション補給機(HTV-X)

【主なプロジェクト】

○月極域探査機(LUPEX)

1,520百万円 (1,740百万円)

月極域における水の存在量や資源としての利用可能性を判断するためのデータ取得及び重力天体表面探査技術の獲得を目指した月極域の探査ミッションをインド等との国際協力で行う。また、米国と月面着陸地点の選定等に資する月面の各種データや技術の共有を行う。



月極域探査のイメージ

○宇宙探査オープンイノベーションの研究

623百万円 (623百万円)

産学官・国内外から意欲ある優秀な研究者・技術者を糾合する「宇宙探査オープンイノベーション」を構築し、異分野研究者間の融合や、ユニークかつ斬新なアイデアの反映、宇宙探査と地上産業(社会実装)双方に有用な最先端技術シーズの掘り起こし・集約により、国際的優位性を持つハイインパクトな探査技術を獲得する。

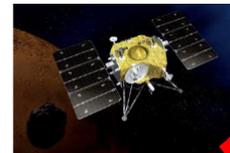


SLIMに搭載予定の変形型月面ロボット SCORA-Q (宇宙探査オープンイノベーション研究の一例)

○火星衛星探査計画(MMX)

3,852百万円 (217百万円)

火星衛星の由来を解明するとともに、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、日本独自・優位な小天体探査技術を活用し、火星衛星の周回軌道からのリモート観測と火星衛星からの試料サンプルの回収・分析を行う。2029年の世界初の火星圏往還を目指し、2024年打ち上げに向けて開発を進めている。



MMX探査機(イメージ図)

○有人と圧ローバ開発のフロントローディング

1,507百万円 (前年度は国際宇宙探査に向けた開発研究の内数で実施)

居住機能と移動機能を併せ持つ有人と圧ローバによって、探査領域の拡大、月南極域を中心とした持続的な活動を行う。システムの実現に向けた開発上のキー技術に関して、走行システム、再生型燃料電池や太陽電池展開収納機構等の要素試作試験を行い、本格的な開発に向けた事前実証を行い、確実なミッション立ち上げの準備を進める。

○国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の運用等

11,352百万円 (11,354百万円)

国際宇宙探査技術の獲得・蓄積や、科学的知見の獲得、科学技術外交への貢献等に向けて「きぼう」の運用を行い、日本人宇宙飛行士の養成、宇宙環境を利用した実験の実施や産学官連携による成果の創出等を推進。



日本の政策的な動向：関連事業

(参考) 宇宙開発利用推進費 実施中の他のプロジェクト



<プロジェクト概要>

●次期ひまわり技術開発【気象・総務】

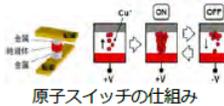
- 次期「ひまわり」での宇宙環境（宇宙天気）の観測機能搭載に向けた調査研究



衛星ひまわり

●革新的FPGAの研究開発【文科】

- 原子スイッチと呼ばれる次世代の半導体技術を活用した宇宙用チップの開発



原子スイッチの仕組み

●宇宙ロボットアーム・ハンド技術開発【経産】

- 軌道上サービスや月面での遠隔制御等を想定したロボット技術の開発



軌道上サービス

●小型コンステ要素技術開発【経産】

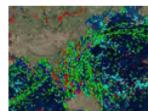
- 小型衛星用コンポーネント（推進装置、姿勢制御装置、デジタル電源装置）の技術開発



水イオン推進装置

●衛星データ等のAI分析技術【海保】

- 関係省庁共用システム（海しる）で稼働する衛星データ等を用いた不審船等のAI分析技術の開発



衛星データによる海洋監視

●月測位・通信技術【文科】

- 月での測位システム（月版GPS開発）や月-地球間（40万km）の光通信技術等の開発



月-地球間光通信

●月面無人建設技術【国交】

- 自律遠隔制御技術、低重力施工技術、レゴリス建材製造技術、簡易居住設備等の技術開発



自律遠隔施工

●月エネルギー技術【経産・総務】

- 水利用や送受電の構築に向けたシステム検討
- テラヘルツ波水探索、水電解などの要素技術開発



水電解装置

●月面食料供給システム開発【農水】

- 農作物や培養肉の生産、排泄物の再利用などの循環型食料生産システム等の技術開発

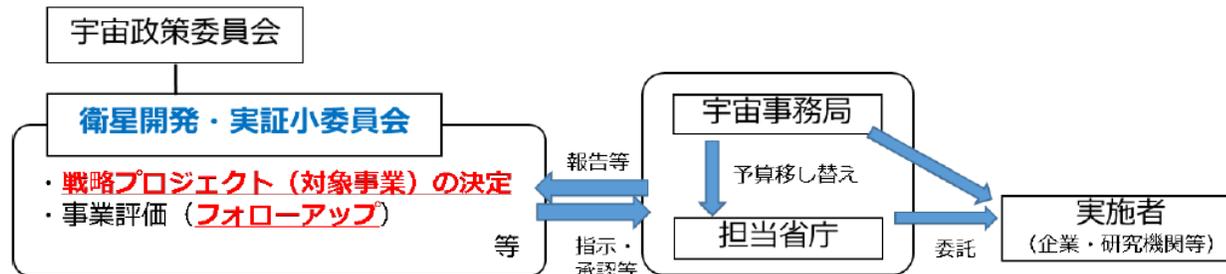


植物工場

JAXA外月探査関連予算

ロボティクス
測位・通信
無人建設
エネルギー
食料供給システム

<スキーム>



第96回宇宙政策委員会資料より

JAXAの取り組み—ミッション

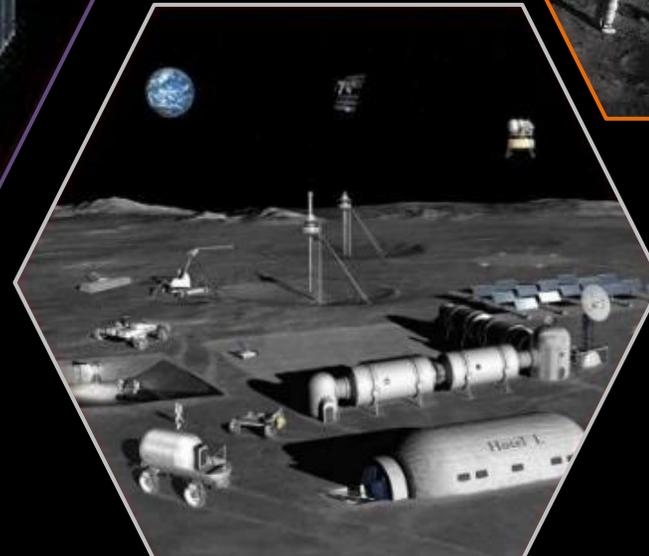
JAXAの取り組み：低軌道活動～国際宇宙探査へ

地球低軌道を
経済活動の場へ

月近傍拠点により
月面へのアクセスを
効率的に

月面を科学探査
等の多様な活動の
場へ

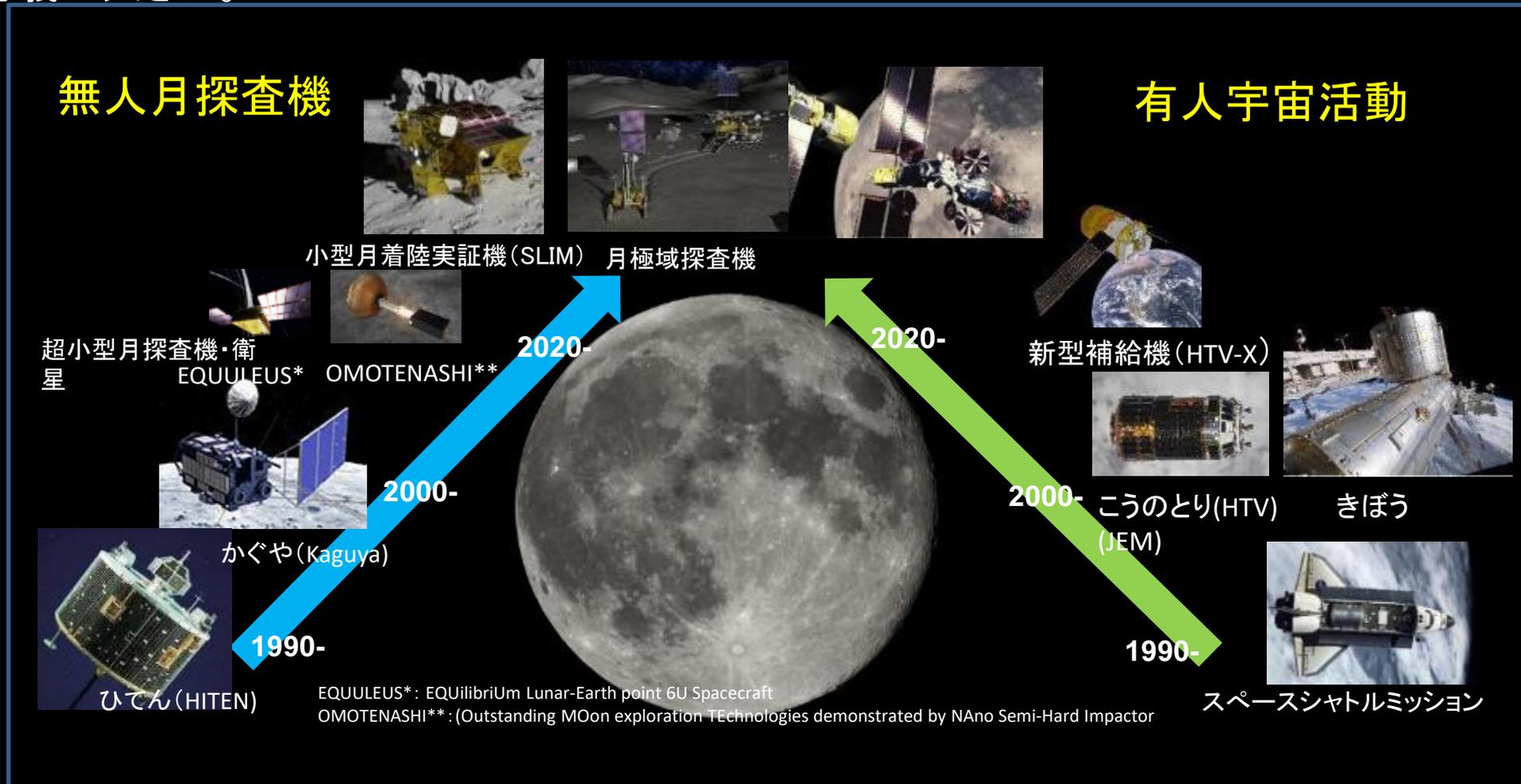
火星衛星を中心とした
科学探査の推進と
火星へのアクセス拠点化



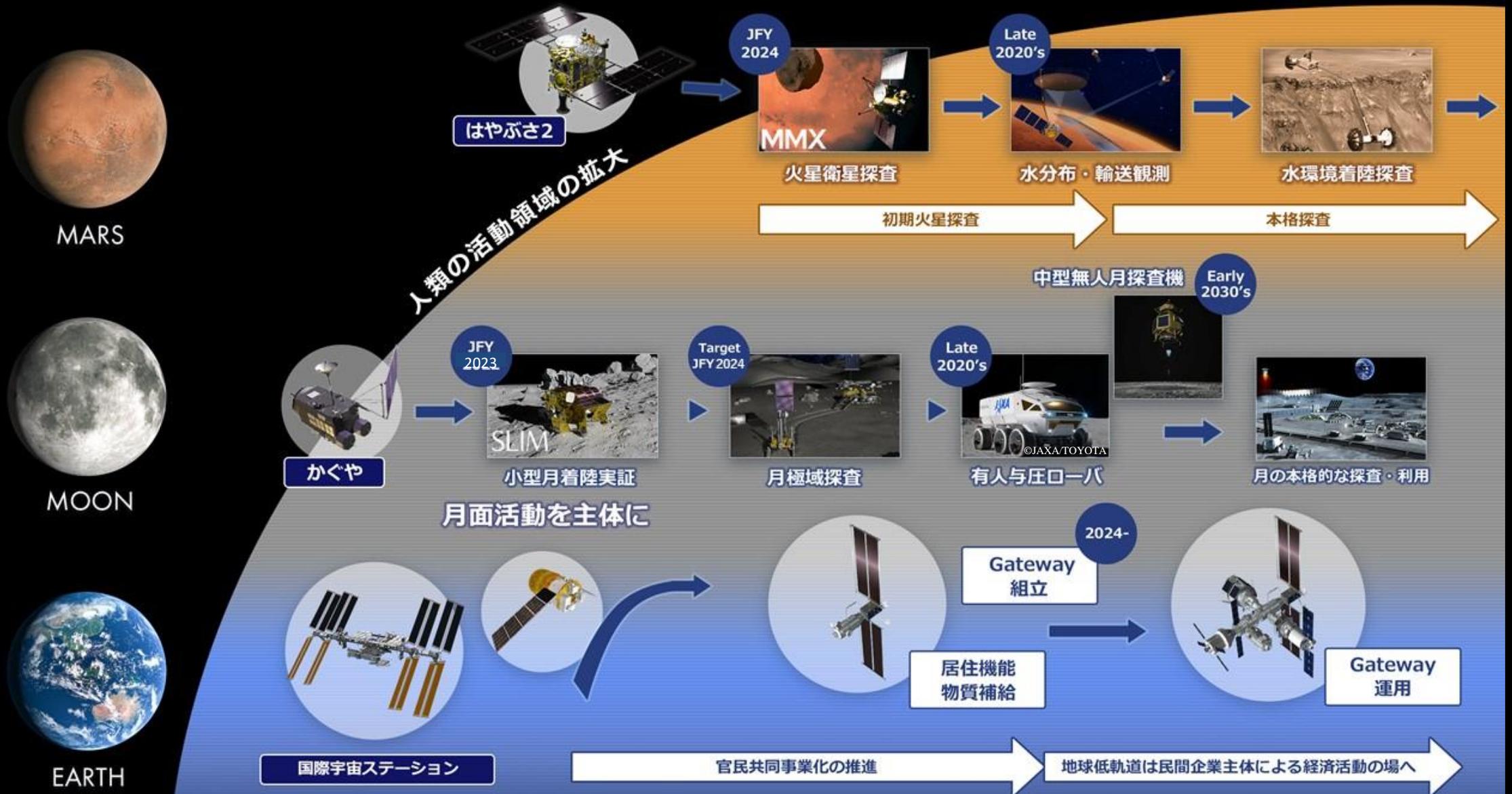
将来的に人類の活動領域を
火星へ拡大

JAXAの取り組み: 持続的な月探査への道のり

- 国際宇宙探査は、**知的資産の創出への貢献**、**人類の活動領域の拡大**を大目標とし、JAXAでは、科学探査やISSにおける有人宇宙活動で培った技術・知見を活かした月探査を計画中。
- 深宇宙探査に向けた技術実証、産業振興、教育・人材育成、国際協調・プレゼンスの確保の観点でも意義が大きい。



JAXAの取り組み：国際宇宙探査シナリオ



JAXAの取り組み：日本の参画（貢献候補）

- ① 有人拠点(Gateway): **開発フェーズ**
 - 生命維持/環境制御システム
 - ✓ CO2除去、微量ガス除去、酸素分圧制御等
- ② 物資輸送：地球→月周回拠点Gateway
 - 新型補給機HTV-X **開発フェーズ***
 - ✓ 2号機で自動ドッキング実証を計画。
- ③ 無人着陸・探査ローバ
 - 小型月着陸実証機(SLIM) **開発フェーズ**
 - ✓ 小型高精細の着陸実証
 - 月極域探査ミッション(LUPEX) **開発フェーズ**
 - ✓ 月極域(米国VIPERとは異なる地点)の水氷探査を行う
- ④ 有人与圧ローバ: **開発研究**
 - ✓ 居住機能と移動機能を併せ持つことで、探査領域を格段に拡大(2020年代後半の月面展開を目標)
- ⑤ 検討中のミッション **研究**
 - 通信・測位ミッション
 - 月着陸機(小型・中型)

※Gateway補給対応型のHTV-Xの研究開発を進めている。



Gatewayへの居住機能や物資輸送での参画



小型月着陸実証機(高精度着陸)



月極域探査ミッション(水氷探査を計画)



有人与圧ローバ(広域探査)

JAXAの取り組み—民間連携

JAXAの取り組み：民間連携ー持続的な探査から拡大へ



企業との共同研究

宇宙探査イノベーションハブ

J-SPARC

移動手段



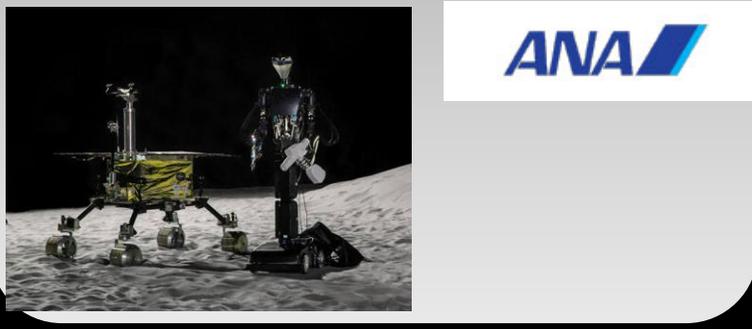
建設



食料生産



アバター(遠隔存在技術)



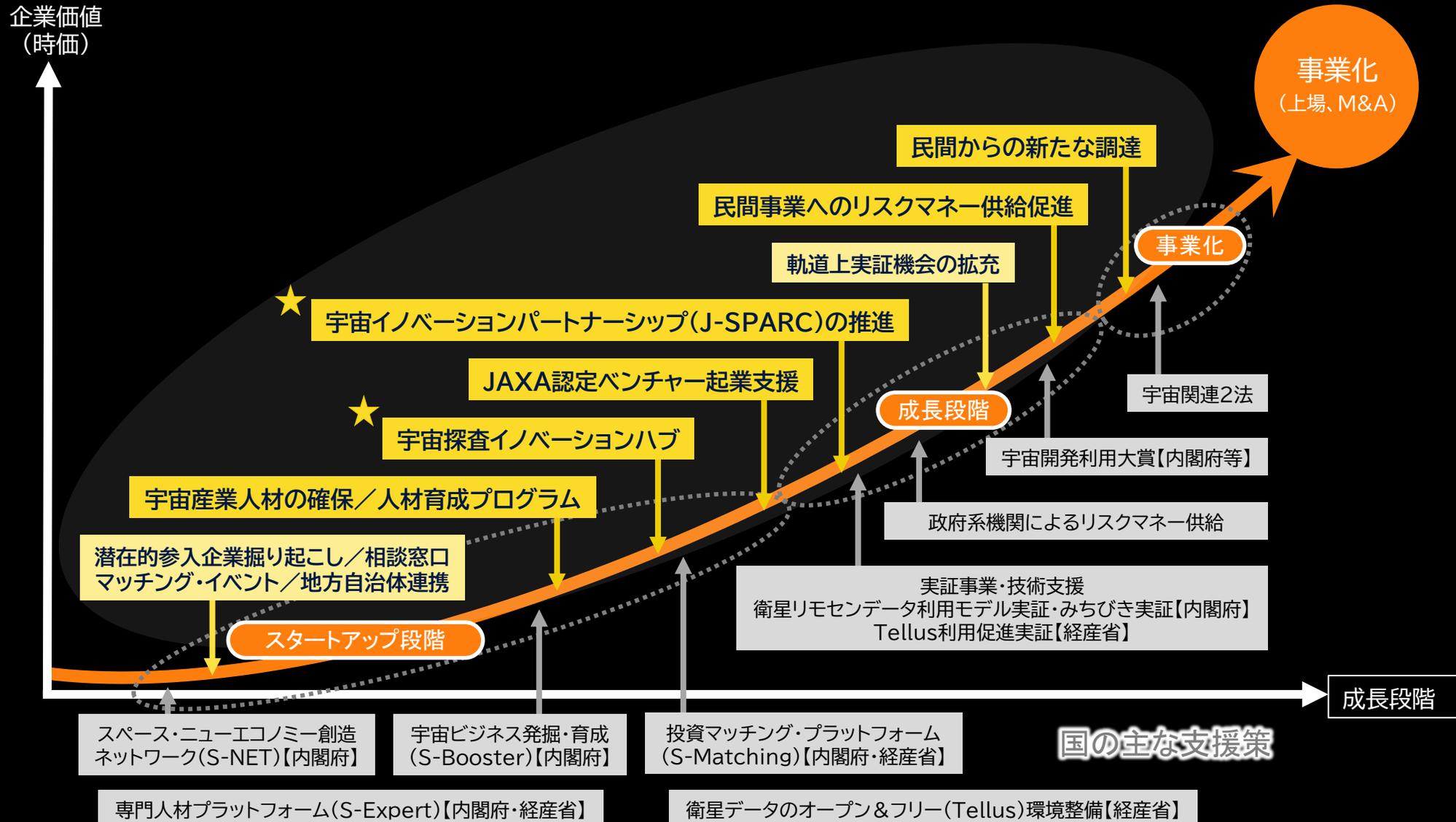
AVATER-Xには30以上の社・団体が参加。

食卓 (SPACE FOODSPHERE)



イノベーションハブには100以上の社・機関が参加。Space Food-Xには50程度の企業が参加。

JAXAの取り組み：民間連携－全体概要



JAXAの取り組み：民間連携－宇宙探査イノベーションハブ理念

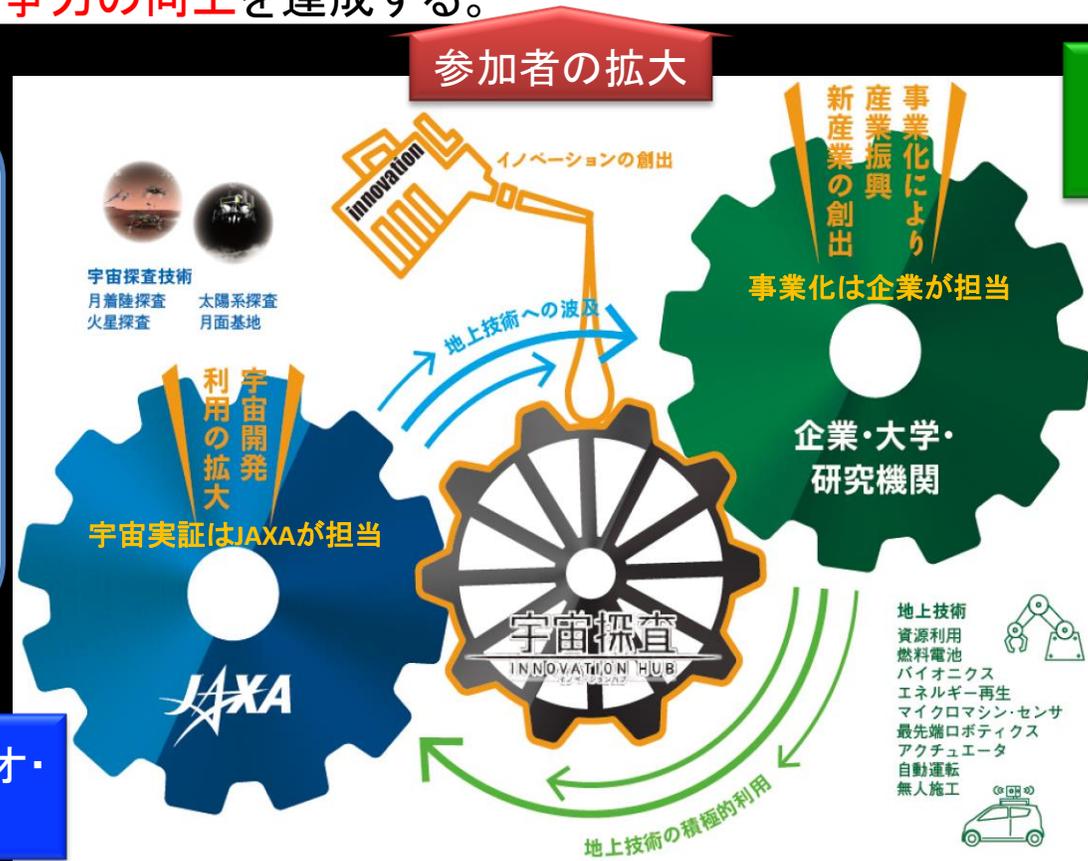
宇宙探査イノベーションハブは、JSTによるハブ構築支援を受けながら、従来の宇宙関連企業への発注型から、異分野融合によりイノベーションを創出し、宇宙探査をテーマとした宇宙開発利用の拡大と事業化を目指す新たな仕組みを構築してきた。

アウトカムとして、宇宙探査への参加者を拡大し、新たな技術に裏打ちされた宇宙探査シナリオ・ミッションを実現し、入り口から社会実装も考慮することにより社会課題の解決や産業競争力の向上を達成する。

宇宙探査事例

- ① 移動型探査ロボットによる広域探査
- ② 月面・火星基地の遠隔施工
- ③ 月面・火星基地用資材を現地で製造するシステム
- ④ 安全かつ効率的な有人宇宙探査のロボット技術活用

宇宙探査シナリオ・ミッションの実現



社会課題の解決
産業競争力向上

事業化事例

- ① 自動車、航空機(ドローン)分野の電化技術
- ② 無人化・自動化された建設・メンテナンス技術
- ③ 介護・医療分野の支援技術
- ④ 新たなプロセスによる資材製造技術
- ⑤ 生活を豊かにする技術

JAXAの取り組み：民間連携—取り組む課題イメージ

- ✓ 日本が得意とする技術を発展
- ✓ 将来の宇宙探査に応用
- ✓ 地上の産業競争力も向上



作る



- 水を使わないコンクリート
- 砂からの資源抽出(水や鉱物)
- 効率的な水電解
- 燃料(LH2・LO2)保存断熱タンク

建てる

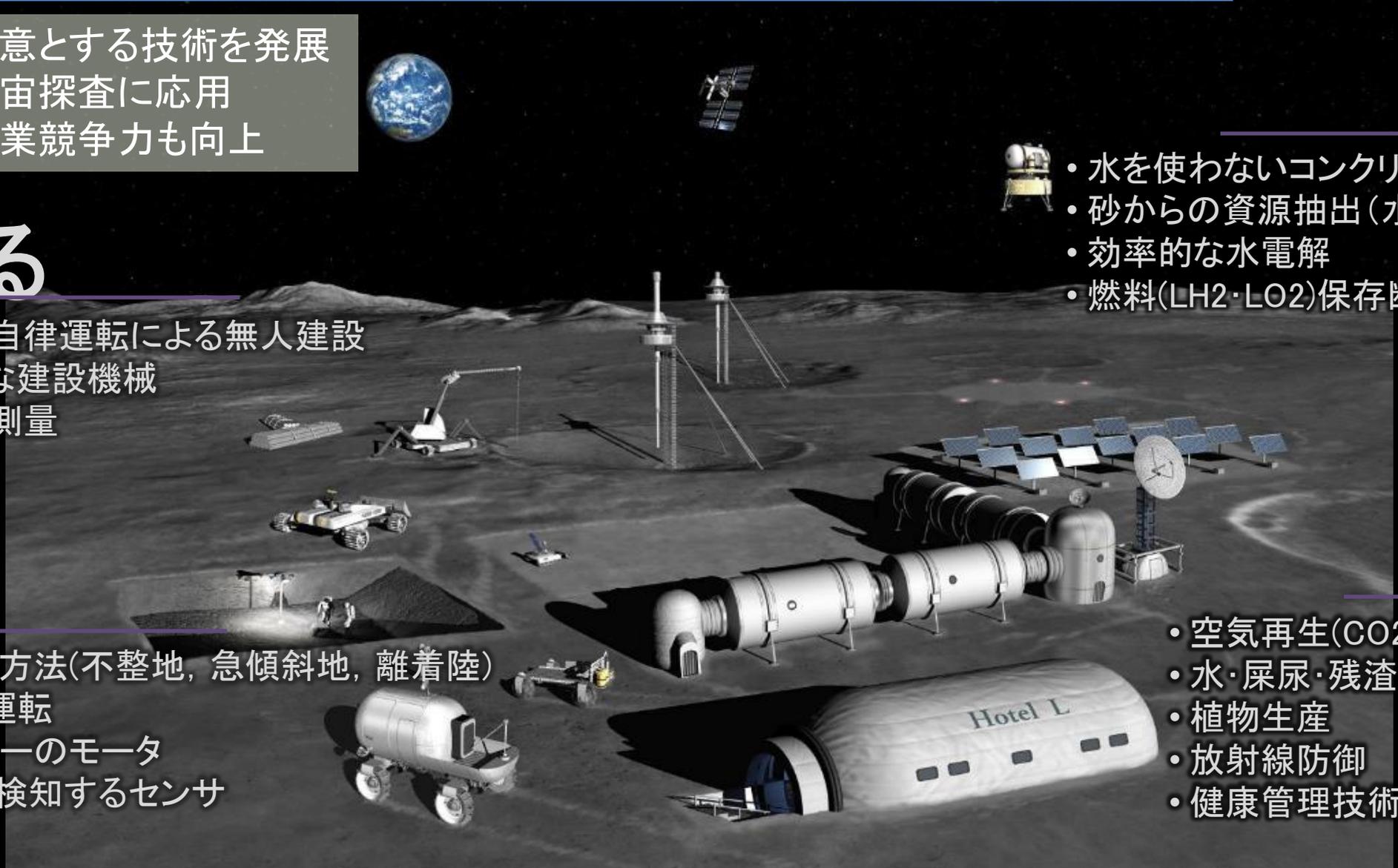
- 遠隔操作・自律運転による無人建設
- 軽くて大きな建設機械
- 自動測位・測量

探る

- 自在な移動方法(不整地, 急傾斜地, 離着陸)
- 自動・自律運転
- 小型高パワーのモータ
- 僅かな水を検知するセンサ

住む

- 空気再生(CO2分離・再利用)
- 水・尿尿・残渣処理
- 植物生産
- 放射線防御
- 健康管理技術



JAXAの取り組み：民間連携－宇宙探査イノベーションハブ成果例



砂地走破性向上 (株)日産自動車



超軽量建機(製品化)
タグチ工業(株)



持続可能な新住宅システム
(南極で実証中) ミサワホーム(株)



全固体リチウム
イオン電池
(ISS船外実験実施中)
日立造船(株)



アースオーガ掘削情報による
地盤推定
日特建設(株)



月面拠点の自動化施工
(地上実証実施) 鹿島建設(株)



クレジット：JAXA/SONY/タカラトミー/同志社大学
変形型月面ロボット
(月面ミッションに採用)
(株)タカラトミー, SONY(株)



固体化マリンレーダ
(製品化,はやぶさ2回収に採用)
(株)光電製作所



袋培養設備
月面農場
(軌道上実証実施)
(株)麒麟



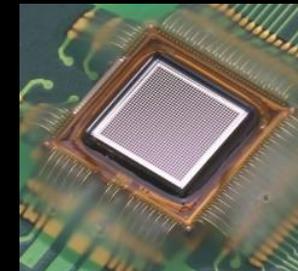
超小型高感度ガスクロマトグラフ
(地上用途向け製品化)
ボールウェーブ(株)

Collaborative Research Project on
"Small Optical Inter-Satellite Link"

- ✓ Latest Optical Disk Technologies from SONY
- ✓ Trusted Space Grade Engineering from JAXA



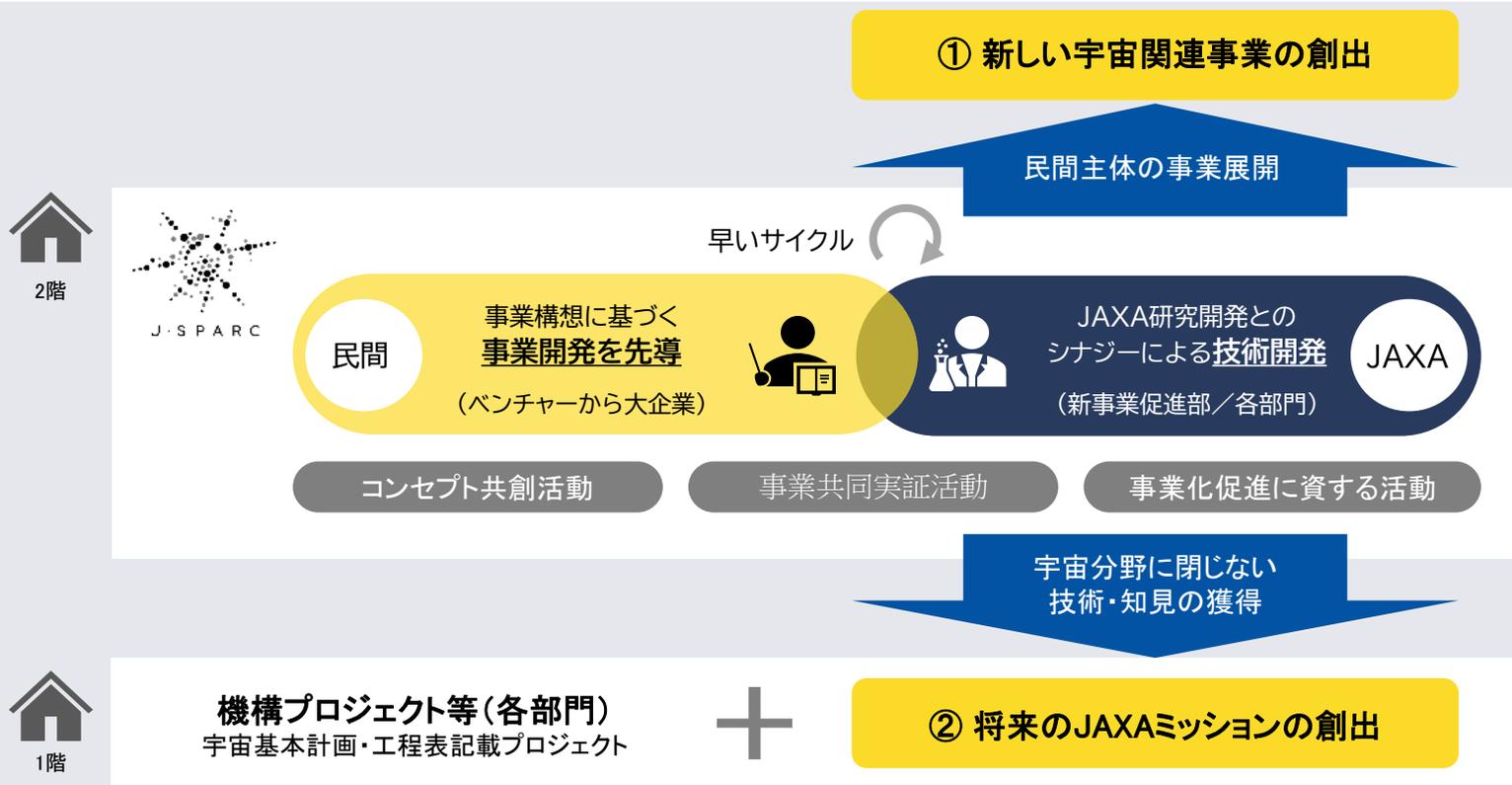
Up to 4500(km)
小型衛星用光通信モジュール
(軌道上実証実施) (株)ソニーCSL



二次元距離センサ
(HTV-Xに採用)
浜松ホトニクス(株)

JAXAの取り組み：民間連携－共創型研究開発プログラム(J-SPARC)

着実なJAXAプロジェクトと民間との共創プロジェクト両方を同時に進める「2階建て」構造



宇宙ビジネスを目指す民間事業者等から事業化に向けたコミットメントを得て、事業者等・JAXA双方がリソースを持ち寄り、共同で事業コンセプト検討や出口志向の技術開発・実証等を行い、**新しい技術を獲得、新しい事業を創出。**

2018年5月開始以降、300件以上の問い合わせがあり。現在、コンセプト共創8件、事業共同実証6件、事業化促進に資する活動4件の計18件について、14名の新事業促進部プロデューサーと各部門の共創メンバー総勢100名超による体制(2021年度末)で、**JAXA研究開発とシナジーを生み出す民間との共創活動を全社で展開中。**

JAXAの取り組み：民間連携－共創プロジェクト・活動例

これまでの共創プロジェクト・活動件数 **36** ※2022年7月末時点

- 他分野で実績ある自社技術を宇宙分野に持ち込み、顕在マーケットで競争力獲得を狙う案件
- 厳しい宇宙環境下の革新技術を獲得し、潜在マーケット開拓を狙う案件



ロケットや衛星のほか、衛星データや衣食住分野における宇宙と地上でのビジネス、市場創出活動まで幅広く

JAXAの取り組みーサイエンス連携

JAXAの取り組み：科学連携－基本的な考え方

アルテミス計画への参画により我が国の月面活動の機会が拡大していくことを念頭に、当該機会を活用して新たな知の創造につながる世界的な科学の成果を創出することを目指す。

他天体での活動も念頭に置いた技術実証を行うとともに、国際的な協力の下で段階的に進められる基盤整備に我が国の強みを活かして参画する。

アルテミス計画による月面活動の機会を活用した宇宙科学の推進に当たっては、月面活動の機会を活用し、アポロ計画に匹敵するインパクトをもって科学を大きくアップデートさせることを目指す。

月面天文台：大気や人間活動由来の電波に邪魔されない月面の特性を使い、地上では不可能な天体観測を行う。

月サンプル取得：早い段階で進化の止まった月本体が天体初期進化の記憶を保持していることに注目し、太陽系形成期や地球冥王代の様相の理解。

月震計ネットワーク：月の内部構造を把握し、天体進化の基本過程の理解

「月面活動に関する基本的な考え方」より抜粋。 宇宙政策委員会・基本政策部会第19回会合

JAXAでは、「月面における科学」等の実現へ向け、有人と圧ローバーを含むアルテミス計画での機会の活用とともに、独自の月探査促進ミッション(LEADミッション(ポストSLIM))を検討中であり、民間も含めた技術実証機会の確保、及び科学成果の創出等において連携にむけた活動を進めている。

JAXAの取り組み：科学連携－フィジビリティスタディ(FS)概要

1. FSテーマ募集の主旨：

アイデアレベルの提案を広く募り、フィジビリティスタディ (FS)を通じて、技術的な観点及びリソース(搭載質量や サイズなど)からの実現性の検討を行い、日本として実現が見込めるミッションの早期設定を行う。

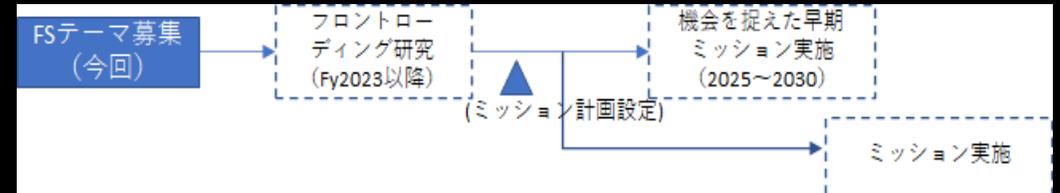
2. 募集課題

【課題A】持続的な月面探査と月面利用の拡大に不可欠な 月面環境情報(ground truth)の取得並びにそれに基づく環境予測モデル(予測方法)の構築

【課題B】世界をリードする成果の創出が期待される月面科学の3領域 (アポロ計画が現代の惑星科学を形作ったのと同程度な大きなインパクトを、日本が主導して宇宙科学にもたらす)

- ・ 月面からの天体観測(月面天文台)
- ・ 重要な科学的知見をもたらす月サンプルの選別・採取・地球帰還
- ・ 月震計ネットワークによる月内部構造の把握

※課題Bの3領域は内閣府宇宙政策委 宇宙科学・探査小委でのISAS報告 内容を踏まえたもの



3. フィジビリティスタディ(FS)の活動概要

以下の作業を1年程度、提案者チームを中心に実施

- ・ 提案されたアイデアの具体化(研究目標と期待される成果の再検証と最適化)
- ・ 実現性のあるリソースの検討
- ・ 技術的課題の洗い出しと解決策の検討
- ・ 研究体制の検討・構築
- ・ 全体研究計画(案)、マイルストーンの作成(想定資金計画の検討を含む)
- ・ 月面での科学に必要なキー技術の検討とそのフロントローディング活動計画
- ・ 科学からの有人と圧ローバー等への要求の検討

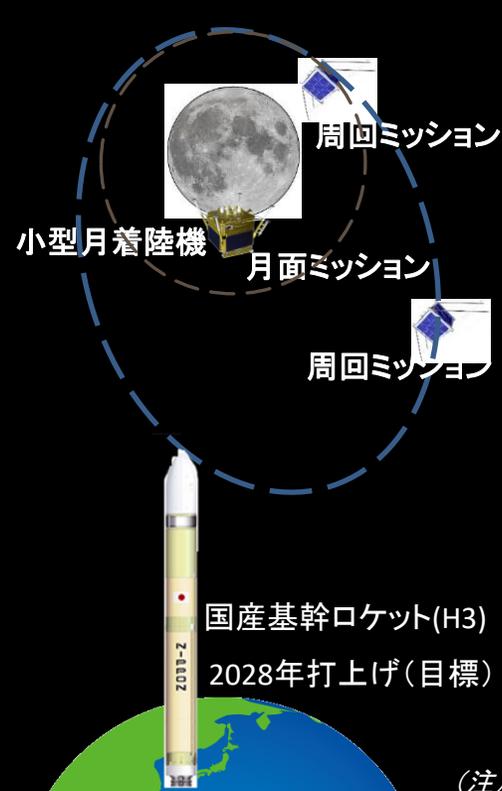
課題名		代表研究者
課題A	月面利用の拡大に向けた超小型・高機能な宇宙放射線環境の計測技術とリアルタイム被ばく線量評価システムの構築	名古屋大学 三好由純氏
課題A	マルチスケール月面誘電率計測のフィジビリティスタディによる月浅部地下探査新手法の検討	東京大学 宮本英昭氏
課題B	水資源探査とも連携した宇宙の暗黒時代に迫るガンマ線・低周波電波の月面天文台	理化学研究所 榎戸輝揚氏
課題B	第一級の月面科学を実現するためのシナリオと実現性の検討	JAXA/ISAS 佐伯孝尚氏ら

JAXAの取り組み：科学連携 一月探査促進ミッション(LEAD)

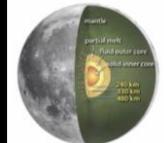
■ 月探査促進ミッション (LEAD : Lunar Exploration Augmentation and Demonstration)

世界的な科学成果の創出に向けた月面科学ミッションの早期実施と持続的な月探査活動に向けた先行的な要素技術の実証を行う。

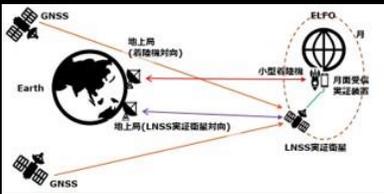
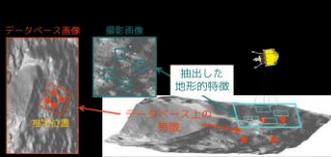
- ✓ 搭載ミッション (ペイロード) は国産基幹ロケットと小型月着陸機により月面・月周回軌道に輸送
- ✓ ペイロード輸送能力としては200~400kg程度を想定
- ✓ 搭載ミッション/小型月着陸機の実証ともに民間企業の積極的な参加を促進



月面科学ミッションの早期実施

月面天文台	サンプルリターン	月震計NW
		
月面走行技術、掘削技術		etc..

先行的な要素技術実証

月近傍測位技術実証	着陸技術実証
	
etc..	

(注) 図中の各ミッションは現時点の候補であり確定したものではない

今後の方向性

今後の方向性: JAXA月探査長期的ロードマップ



民間活動による持続的探査
Sustainable Exploration
(Private Utilization)

持続的探査インフラ整備
Sustainable Exploration
(Infrastructure Construction)

高信頼有人探査技術の実証
Technology Demonstration
High Quality Manned System

重力天体探査技術の実証
Technology Demonstration
ECLSS, Transportation, Lander,
Surface Exploration



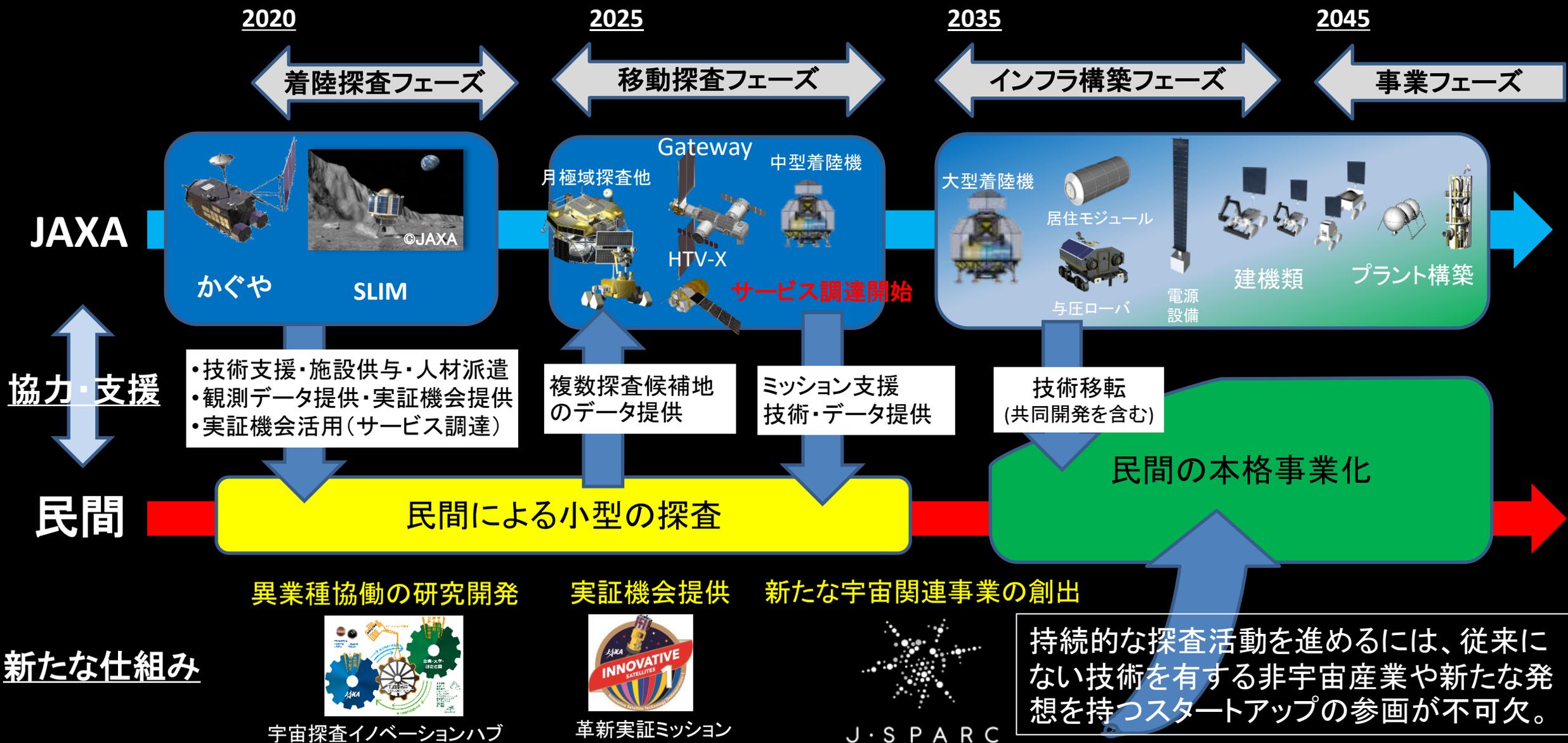
再使用離着陸機

推進薬プラント
©JAXA

有人離着陸機、有人ローバ、資源利用実証
©JAXA/TOYOTA

ゲートウェイ/SLIM/月極域探査機/HTV-X
©JAXA

今後の方向性：民間企業との連携取り組み(検討例)



今後の方向性：月探査・開発に関するコミュニティ

様々なコミュニティが構築され、月探査・開発に向けた議論が行われている。

産業界

科学界

月惑星に社会を作るための勉強会

月面産業ビジョン協議会

ローバ一月面社会勉強会

Moon Village Association

理工学委員会
国際宇宙探査専門委員会

SPACETIDE

フロンティアビジネス研究会

地球電磁気・地球惑星圏学会

探査ハブコミュニティ

航空宇宙工業会

日本惑星科学会

SJACニュースペース研究会

経団連

日本航空宇宙学会

国際宇宙産業展

宇宙惑星居住科学連合

今後の方向性: 持続的な月探査に向けて

JAXAが獲得してきた技術

宇宙輸送技術

無人探査技術

有人宇宙滞在技術



民間が得意とする技術

探る

作る

活動する

建てる

住む

国際協力による効率的な推進

学术界との連携

A space-themed background featuring a large, detailed view of the Moon on the left, the Earth in the center, and Mars on the right. The Milky Way galaxy is visible in the dark background.

ご清聴ありがとうございました

今後の方向性: 2030年代以降の月面活動イメージ

● 宇宙探査イノベーションハブの枠組みなど企業の参画推進野ほか、各省連携による将来の月面活動に必要な技術の研究開発などの計画されている。

