

# 「国際宇宙探査の動向とJAXAの取り組み」

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)  
国際宇宙探査センター事業推進室長  
永井 直樹

# 1. 宇宙探査活動の流れ： 有人宇宙開発の歴史

## 人類は、およそ20年毎に活動領域を拡げてきた

1960

有人宇宙飛行の黎明期



@NASA

人類初宇宙飛行 (ソ連) 月面着陸 (米国)

1980

地球低軌道への  
高頻度飛行・長期滞在



ミール (ソ連)



©NASA

スペースシャトル



2000

地球低軌道での  
持続的長期滞在

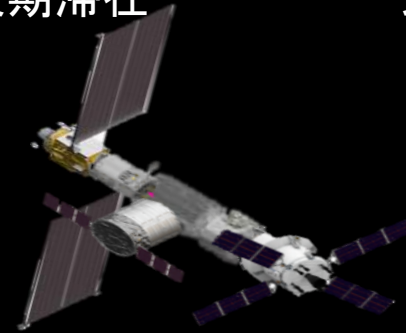


@NASA

国際宇宙ステーション (ISS) + 月周回有人拠点 (ゲートウェイ)

2020

地球圏外での  
長期滞在



2040

月面持続的滞在？  
又は火星有人探査



@JAXA

宇宙滞在平均人数

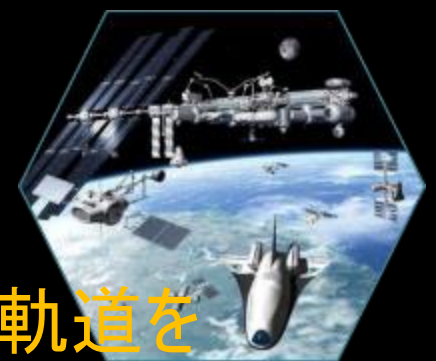
0.3人/日

2.4人/日

4.5人/日

# 1. 宇宙探査活動の流れ：より遠くへ、より活発に

より活発に  
(より持続的、自立的に)



地球低軌道を  
経済活動の場へ



月面を  
経済活動の場へ



2020



地球低軌道  
有人拠点

2030



月周回  
中継拠点

2040



月面に  
有人拠点  
構築開始

火星面に  
有人到達

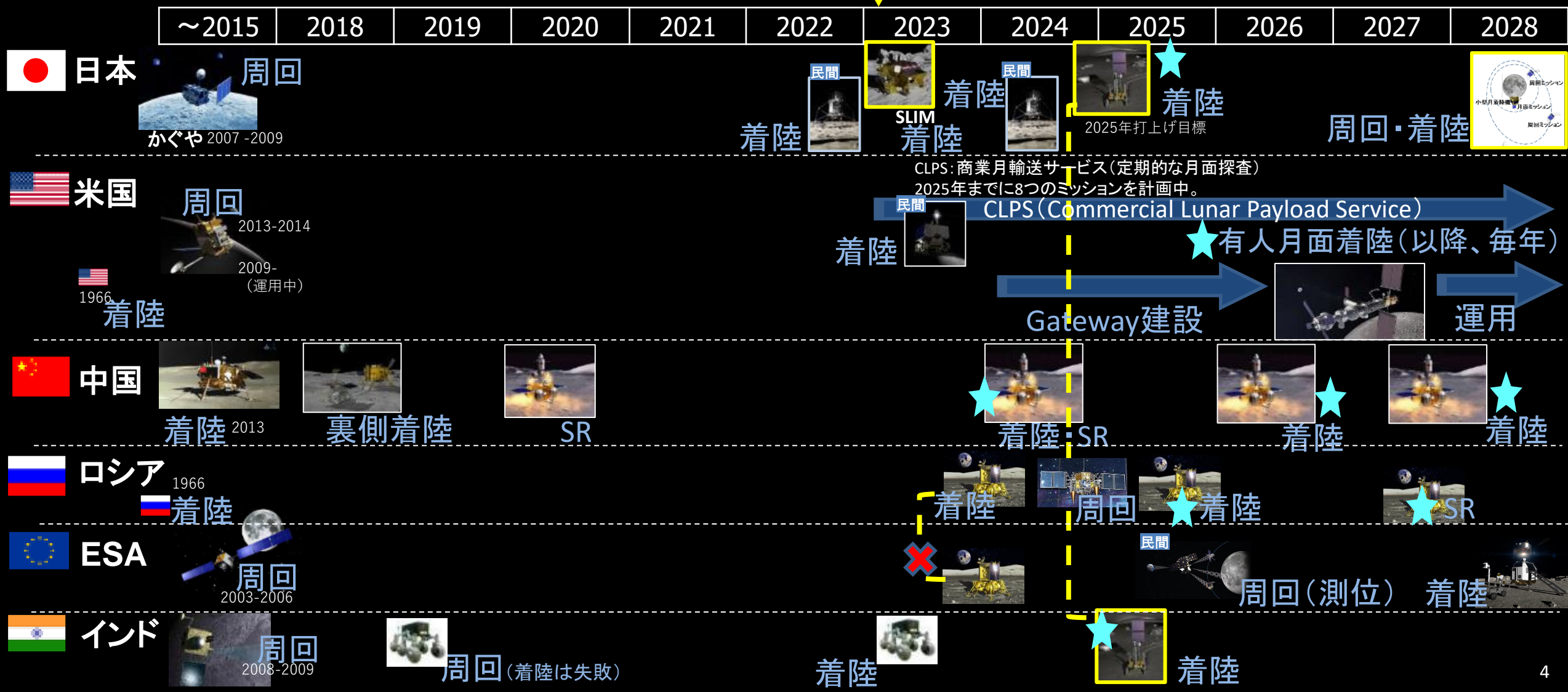
より遠くへ

# 2. 月探査をめぐる国際動向：各国の計画

★：月極域着陸ミッション  
 SR：サンプル回収ミッション



- 2018年以降、多くの国が月面探査ミッションを計画
- 2020年代前半には、日米露欧中印等が月極域への着陸探査を計画（月極域の水氷や高日照率域に高い関心）
- 米国/NASAはGatewayの建設と有人月面着陸ミッションを計画。 商業パートナーを活用した月への輸送サービスの調達（CLPS）も推進



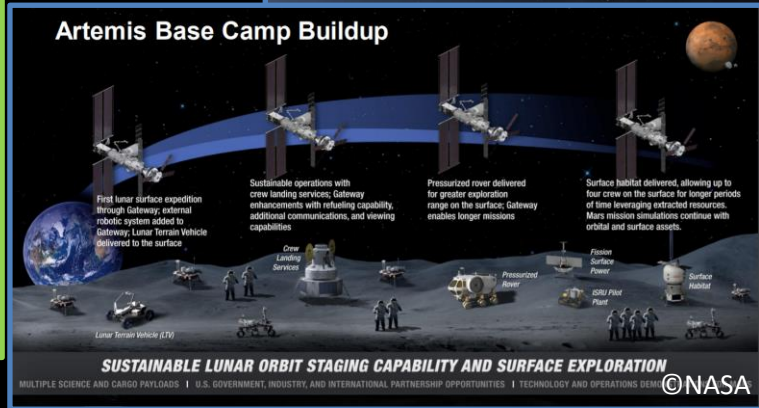
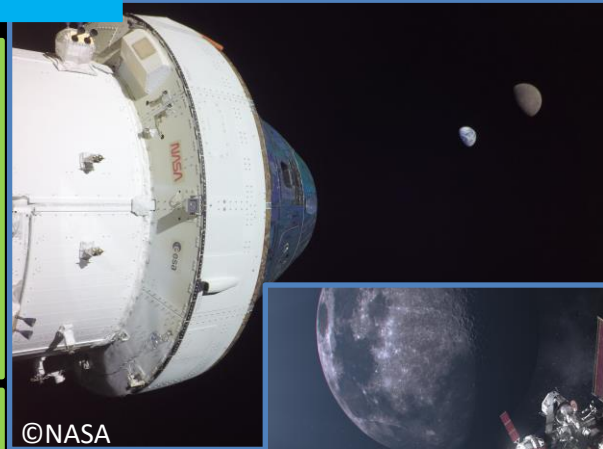
# 2. 月探査をめぐる国際動向：最近の動き

## 欧州

## 米国

## 中国

## ロシア



- ・ 月探査(嫦娥計画)の着実な推進
- ・ 2018年月裏側に着陸(嫦娥4号)
- ・ 2020年月サンプル回収(同5号)
- ・ 6,7号(2025/2026年頃)で月南極サンプル回収、調査
- ・ 8号(2030年頃)月面研究ステーション(ILRS)に向けた技術実証

- ・ LUNA(25~28)計画の推進(LUNA1~24は、1959~76に実施)
- ・ 中国と協働でILRS構築を検討

## 新興国



- ・ 月周回有人拠点の構築への協力
- ・ 月測位ネットワーク構築(Moonlight)
- ・ 将来の月面物資輸送に向けた離着陸船の検討

- ・ アルテミス計画の推進
- ・ 大型有人輸送機(SLS/Orion打上げ)成功
- ・ 2025年以降に有人月面着陸再開、将来の火星探査を見据えて月探査

インド、UAE、韓国等  
月面ミッションの挑戦

# 3. 米国アルテミス計画：概要



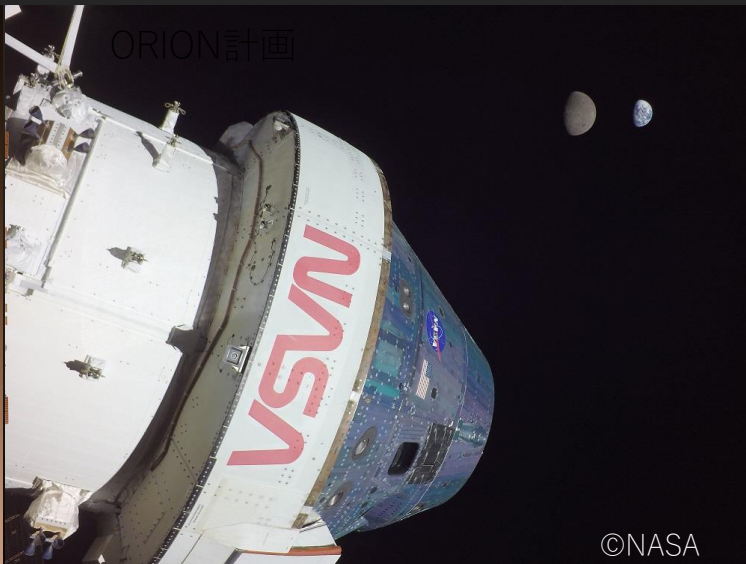
## ■ アルテミス計画は月面有人探査に関するすべてのプログラムを包含した総体

- ✓ Space Launch System (SLS) 計画
- ✓ Orion宇宙船計画
- ✓ 月周回有人拠点 (Gateway) 計画
- ✓ 有人着陸機 (HLS) 計画
- ✓ 商業月面ペイロードサービス (CLPS) 計画、等

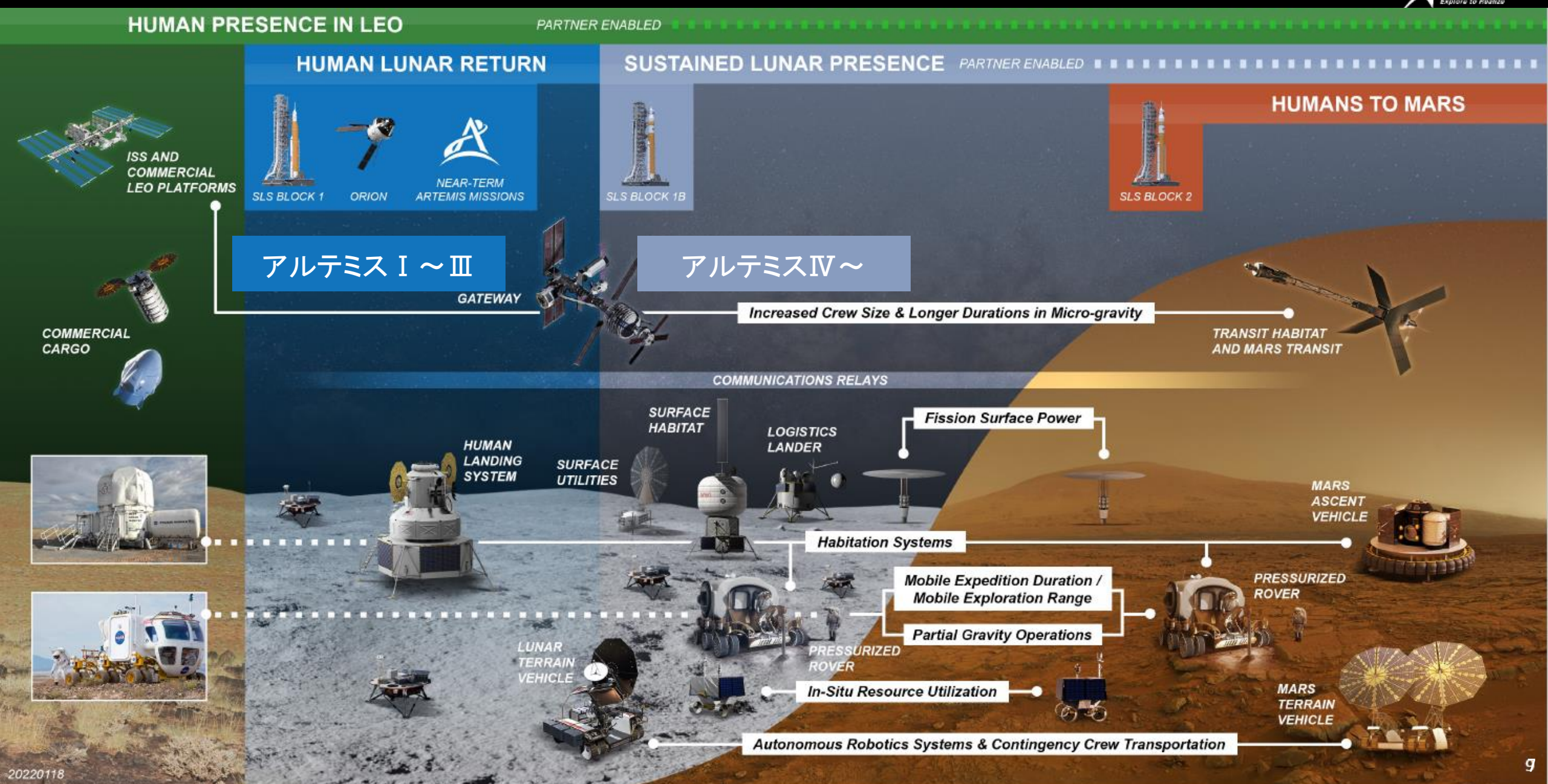
## ■ NASAは月面探査だけでなく、2030年代に火星有人着陸を目標に掲げ、月面での持続的な活動を通じて必要な技術を獲得しようとしている。



第5回国家宇宙会議で  
ペンス副大統領から発表



# 3. 米国アルテミス計画：NASAの月・火星探査ロードマップ



# 4. 国際協働シナリオ：各国宇宙機関の連携



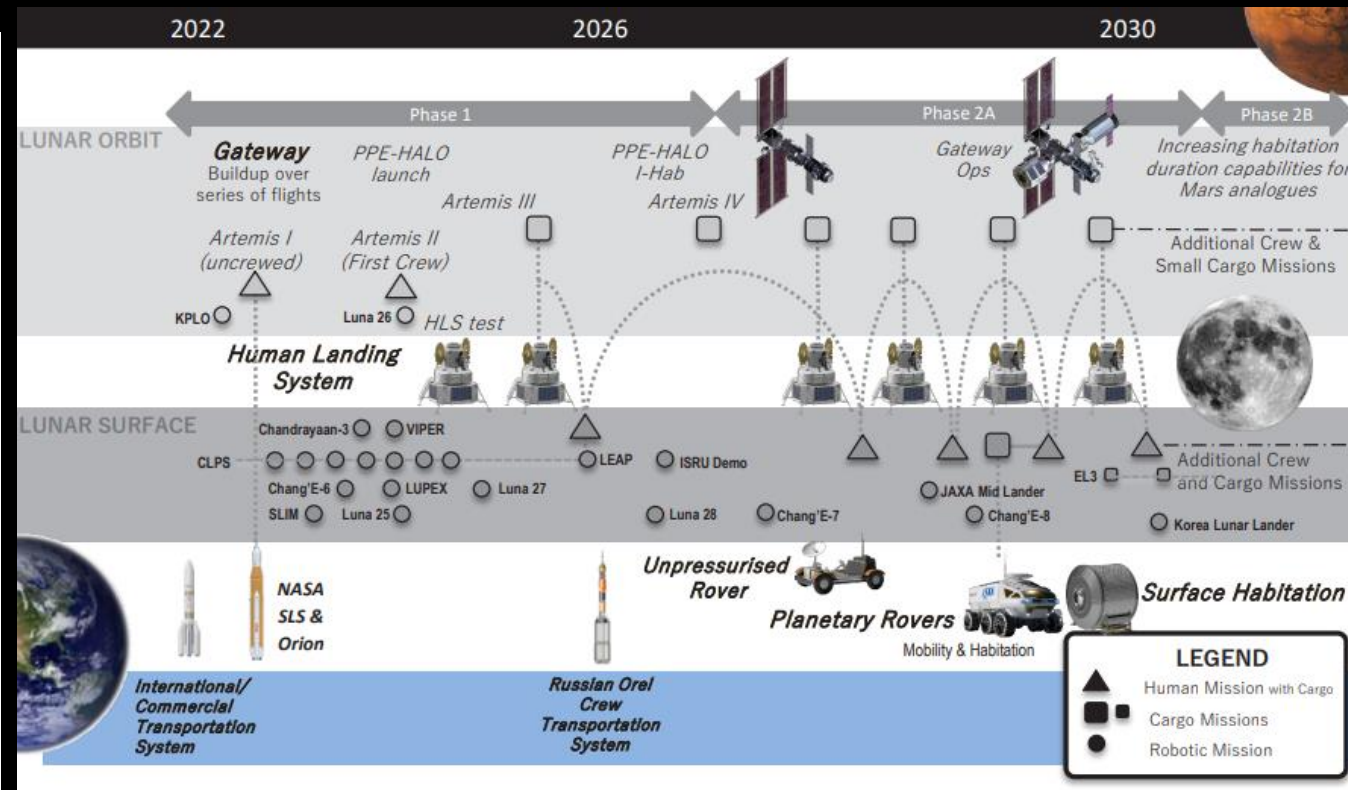
- 2007年、国際協働による宇宙探査に向けて、宇宙機関間でシナリオ検討、技術検討を開始。
- 2020年8月、有人月面探査に関するシナリオ“Global Exploration Roadmap (GER) Supplement”を公表（その後、定期的に更新を実施）

世界の27の機関が参加

2019年4月から2020年9月までJAXAが議長



最新のISECG月面探査ミッションシナリオ（2022年10月）



<https://www.globalspaceexploration.org/>

出典：Global Exploration Roadmap Supplement October 2022  
Fig.1 Updated ISECG Lunar Exploration Scenario



# 5. 日本の国際宇宙探査への取り組み



第2回国際宇宙探査フォーラム (ISEF2)を東京で開催(2018)



月周回有人拠点に関する 了解覚書の締結



アルテミス計画の推進  
日本人宇宙飛行士の月面着陸の実現  
(宇宙開発戦略本部)



月周回有人拠点 (GW)に関する実施取決め署名  
 ➢ 環境制御・生命維持装置の提供  
 ➢ 物資補給  
 ➢ 日本人宇宙飛行士のGW搭乗機会獲得



国際宇宙探査への参画方針の決定  
(宇宙開発戦略本部)



宇宙探査協力の指針となる実践的な原則作成に資する  
アルテミス合意に署名



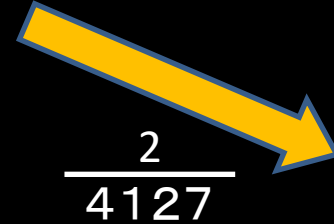
JAXA宇宙飛行士の募集開始



日・米宇宙協力に関わる枠組み協定に署名



日米の月探査協力に関する  
共同宣言 (JEDI)



JAXA宇宙飛行士候補者選抜

2019

2020

2021

2022

2023

# 6. JAXAの国際宇宙探査への取り組み

## JAXAの国際宇宙探査シナリオ(案)

### ● シナリオ(案)策定の目的

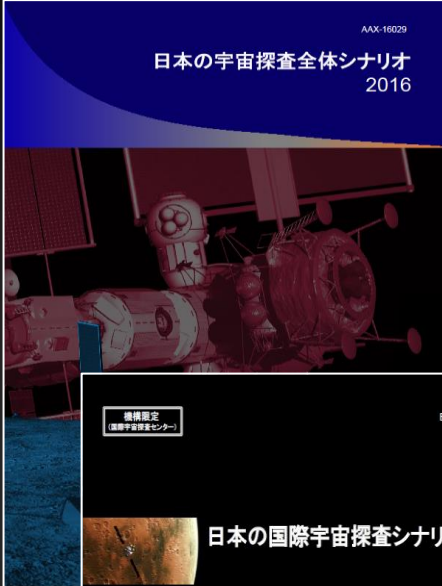
- ✓ 政府の国際宇宙探査政策／計画への提言を宇宙機関としてまとめること
- ✓ 国際宇宙探査は、人類の活動領域拡大を目的とし、有人火星探査を見据えた有人月探査を指す

### ● シナリオ策定経緯

- ✓ 2015年9月から検討作業を開始し、2016年度に初版、2019年度に第2版の報告書をまとめた
- ✓ JAXA ISAS、研究開発部門、輸送部門、有人部門、経営推進部などを含む全社的なチームにより検討を進めている
- ✓ トップダウン的なアプローチにより、全体システム構想やロードマップを導出することが目標
- ✓ 技術ロードマップは宇宙探査に関する先導研究のベースラインとしても活用
- ✓ 最新の国際情勢、国内の政策議論や研究の進捗などを踏まえて改定していくことを想定  
今回(2021年版)は、2回目の改定となる

JAXA ホームページで公開中  
<https://www.exploration.jaxa.jp/news/20220427.html>

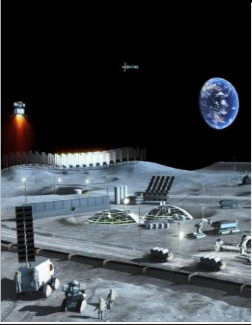
★ 2030年代中盤に有人月面基地の構築を想定して検討をしていますが、その建設方式・建設手段はまだまだ想定のレベルとなっています。皆様の技術や知見等をいただいで計画設定し、実現に向けて取り組むことが必要です。



2016年度版  
(全430頁)



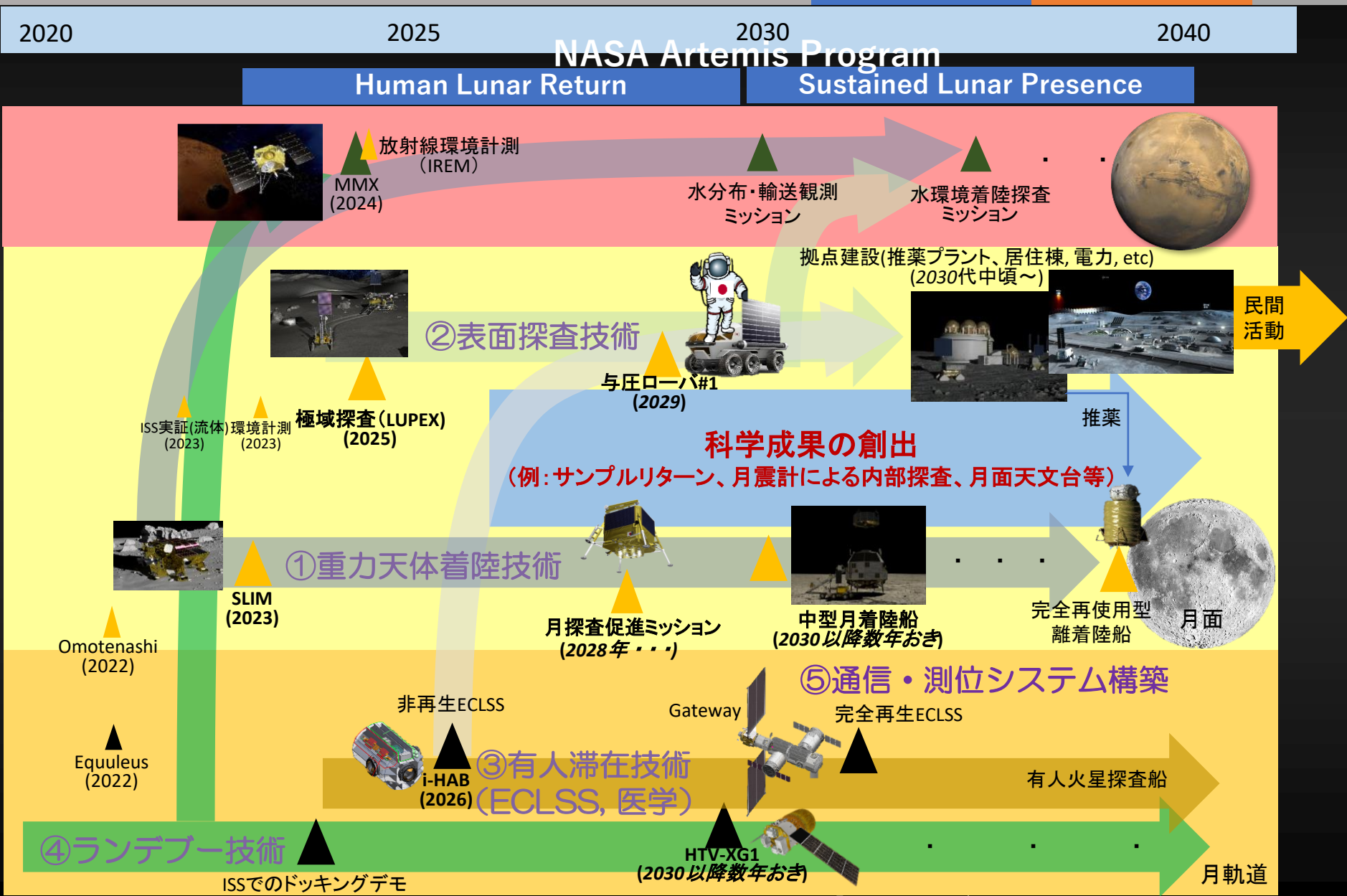
2019年版  
(全659頁)



2021年版  
(全761頁)



# 6. JAXAの国際宇宙探査への取り組み



※「斜字の打上げ年」は調整中であり、最速を示す。

# 6. JAXAの国際宇宙探査への取り組み

分科会作成「日本のアルテミス(案)2020」: 人類活動圏の拡大

20年以内に20-50名規模の有人月面基地を建設。その先の月面は民間主体の持続的な活動へ移行。JAXAは火星有人へ。

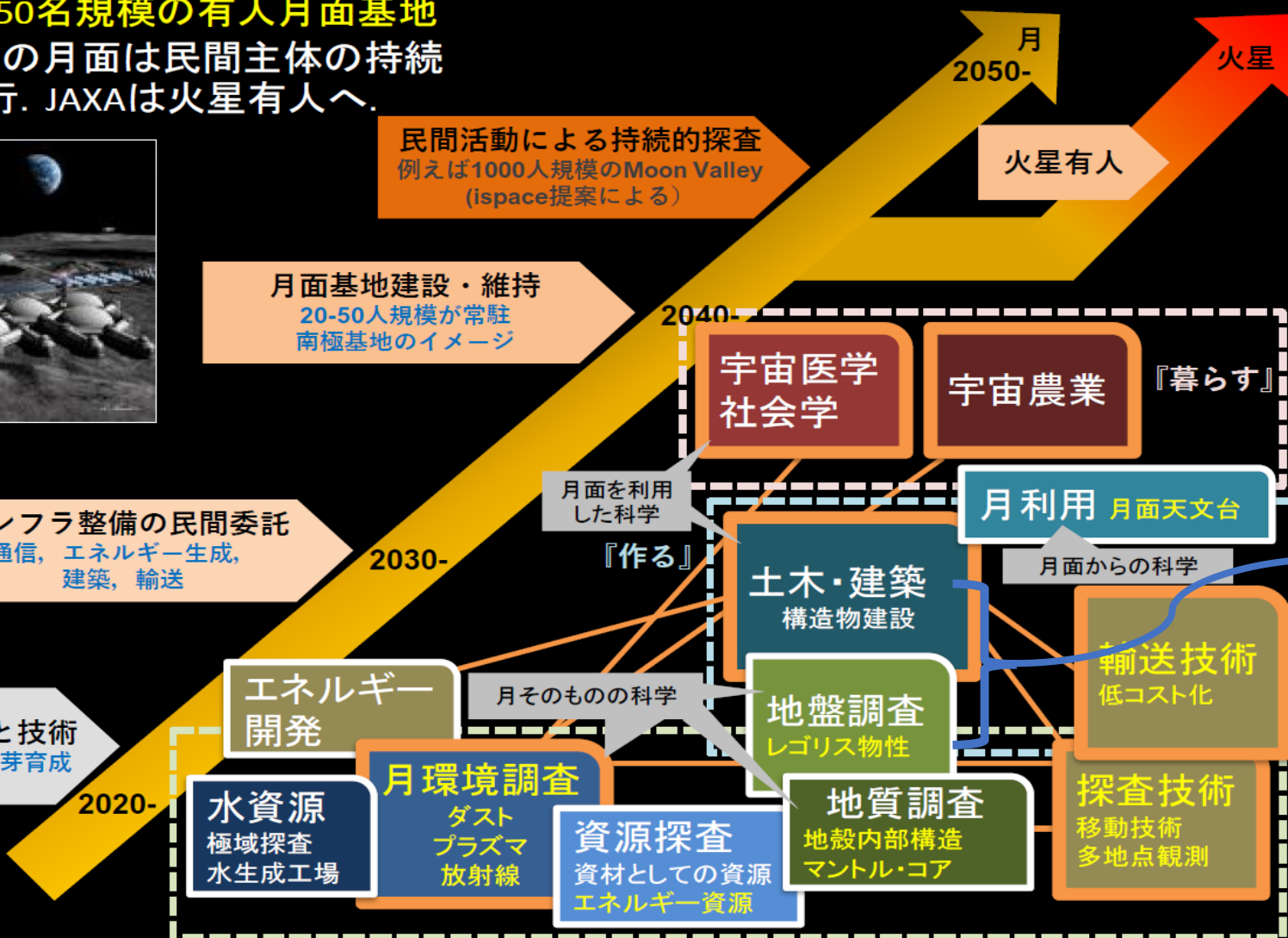


民間活動による持続的探査  
例えば1000人規模のMoon Valley (ispace提案による)

月面基地建設・維持  
20-50人規模が常駐  
南極基地のイメージ

インフラ整備の民間委託  
通信, エネルギー生成,  
建築, 輸送

重力天体探査の科学と技術  
理工連携/産学連携への萌芽育成



## 人類活動圏拡大のイメージ

国内のサイエンスコミュニティから広くヒアリングした結果をもとに、国際宇宙探査専門委員会分科会が作成



# (参考) 国際宇宙探査シナリオ (案) における有人月面基地構想



- 長期常駐拠点としての有人月面基地の目的
  - ① 1/6重力下での500日滞在実証(有人滞在、技術実証)
  - ② 資源利用による本格的な探査(燃料製造、現地物質の直接利用)
  - ③ 科学(調査・分析、整備・保守)
- 基地建設における実証の要件
  - ① 現地でのインフラ整備
  - ② 拡張性を備えた活動空間の構築
  - ③ 現地資源の活用

これらを見据え、以下の前提や制約条件を考慮して検討を進めてきている。

表 5.5-1 拠点建設の前提条件

項目	内容
構築期間	2035年頃に、月面に4人が長期間滞在可能な拠点が構築される。
中長期計画等	拠点の拡張性と合わせて検討。
拠点全体規模	約4km <sup>2</sup> (約2km四方)
拠点の構成	複数ゾーンから構成。具体的には、着陸ゾーン、居住ゾーン、サービスゾーン、観測ゾーン、ゾーン間道路の5種。
拠点の拡張性	増設可能な建設方式が不可欠。用途変更(スペース可変)を含めるかは要検討。
拠点建設方式	拡張性と効率を両立する方式を選定。モジュール方式、展開方式、組立方式、現地での建設方式、など。
現地調達可能な材料	物質: 岩石鉱物、レゴリス、噴出性揮発物質(火山性ガスなど)、非月物質(隕石など) エネルギー: 太陽光・熱、重力 人工物: 使用済みのランダ、タンクなど
月面環境	別途整理

表 5.5-2 拠点建設の制約条件

項目	内容
地上打上能力	70~130t
打上回数・頻度	年1回(年2回のうち無人1回と仮定)
最大寸法	フェアリングサイズ: Φ8m×L15m
月面輸送可能質量	10t程度/回
耐振動性	5G程度(打ち上げ時)
輸送時温度	別途整理
月面での温度	別途整理
構築期間	拡張を含め10年程度
耐用年数	構築から20年(廃棄せず保守・改修し延命する)
メンテナンス	〇年ごとに1回
クルータイム	建設時は年1回28日程度、4名
着陸精度	航法支援有り: ±10m、航法支援無し: ±100m
地球可視	地球との通信は常時確保
車両	基地内の人の移動は曝露車及び与圧車が利用可能。

## ■ゲートウェイの役割

- ✓ 月面へのアクセスや物資補給拠点としての機能
- ✓ 月-地球間の通信拠点としての機能
- ✓ 宇宙実験の研究室としての機能

## ■日本の役割(1)

ゲートウェイの生命維持/環境制御システム  
(CO<sub>2</sub>除去、微量ガス除去、酸素分圧制御等)

開発中

## ■日本の役割(2)

ゲートウェイへの物資補給

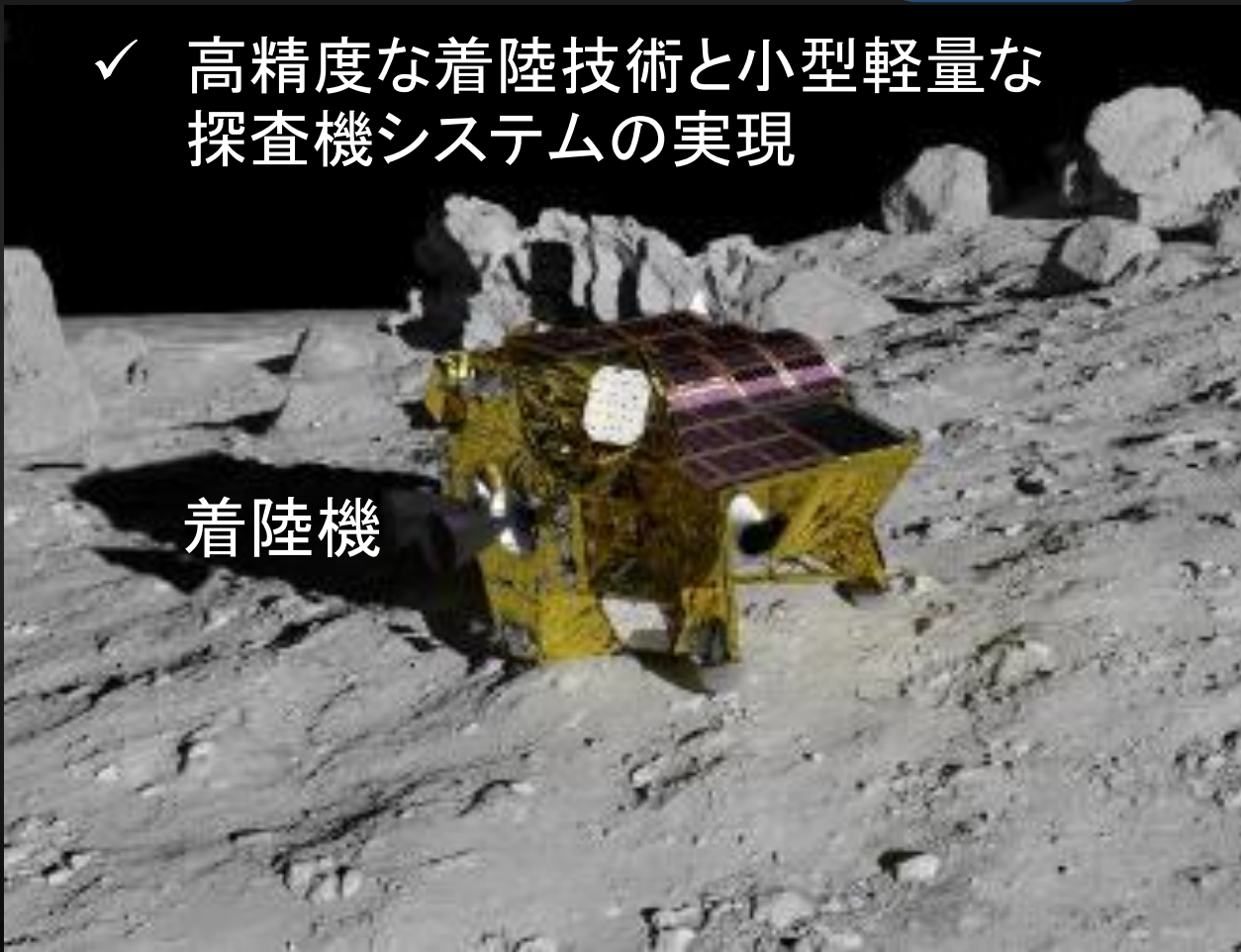
研究中

## SLIMプロジェクト （重力天体着陸）

開発中

- ✓ 高精度な着陸技術と小型軽量な探査機システムの実現

着陸機



## 月極域探査機（LUPEX）プロジェクト （表面探査）

開発中

- ✓ 月の南極域に着陸し、月面の水資源の存在量と資源としての利用可能性を調査

ローバー（月面車）



インド宇宙研究機関（ISRO）  
と共同で実施

- 搭載ミッション(ペイロード)は国産基幹ロケット(H3)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
- 搭載ミッション及び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



研究中

国産基幹ロケット(H3)  
2028年打上げ(目標)

## 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



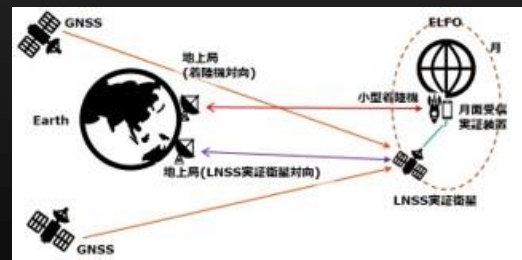
月震計ネットワーク



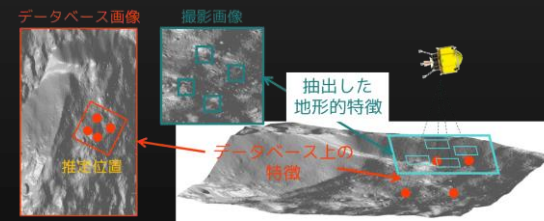
月面走行技術、掘削技術 etc..

## 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

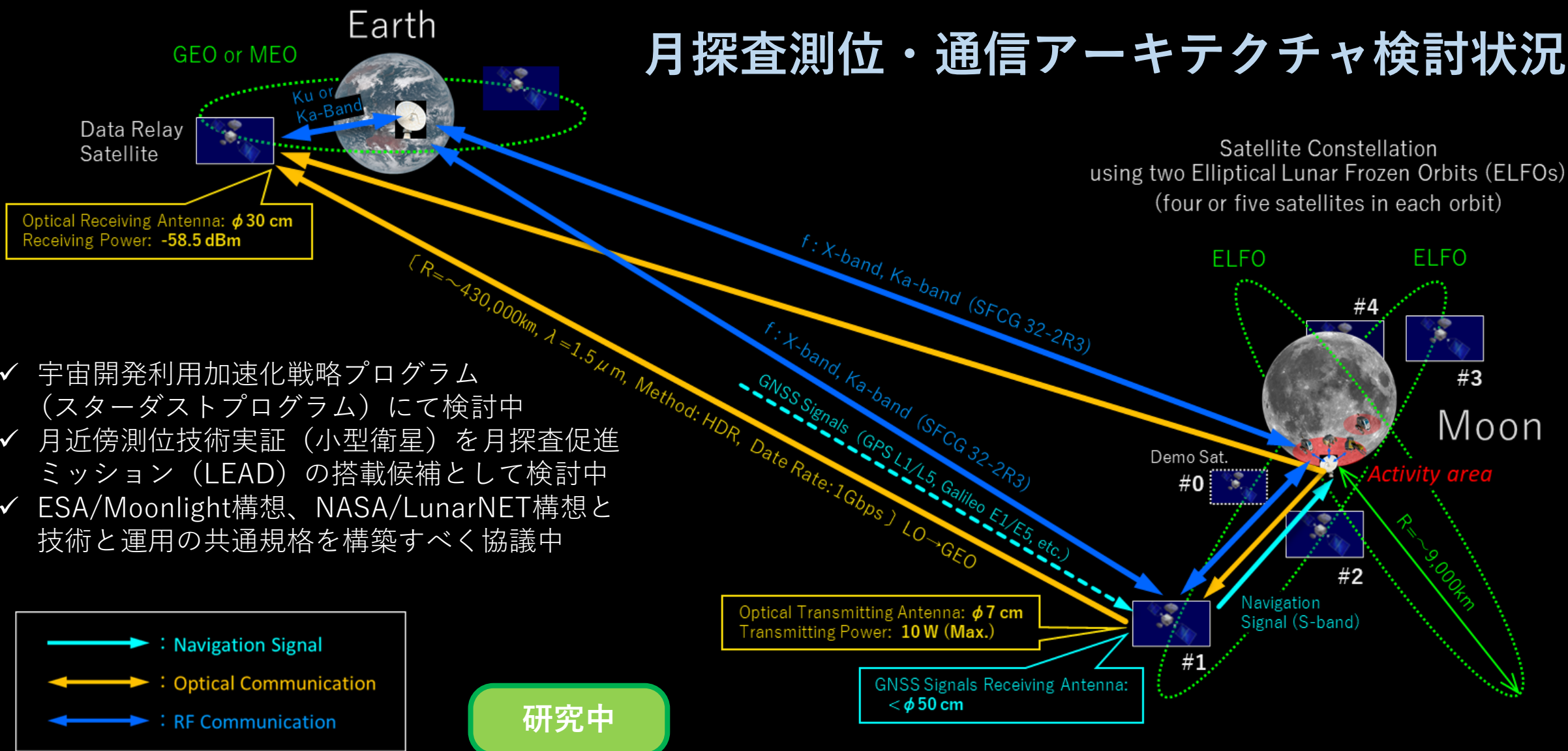


etc..

(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



## 月探査測位・通信アーキテクチャ検討状況



研究中

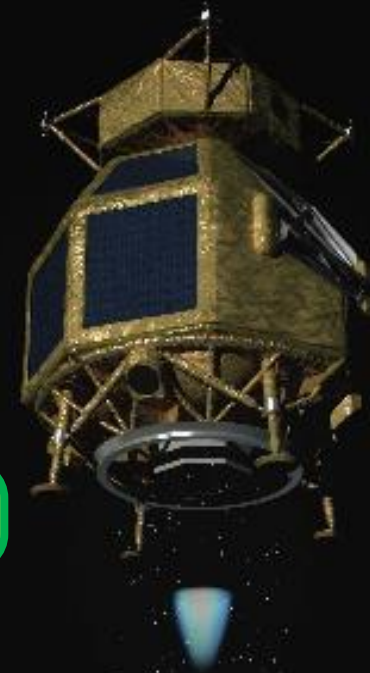
## 有人与圧ローバ

研究中

- ✓ 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）
- ✓ トヨタ社がシステムインテグレーション
- ✓ 月面走行技術、燃料電池開発研究等に取り組み中



©JAXA/TOYOTA



研究中

## 中型月着陸実証機

- ✓ 月面への物資輸送（3トン目標）によるアルテミス計画への貢献
- ✓ 基幹ロケット発展型での打上げを前提とした独自の中型月着陸実証機のコンセプト検討

# 7. 持続的な探査への取り組み： 産業界との連携



## JAXAが獲得してきた技術

JAXA'S Technology

宇宙輸送技術

Space Transportation

無人探査技術

Robotics Exploration

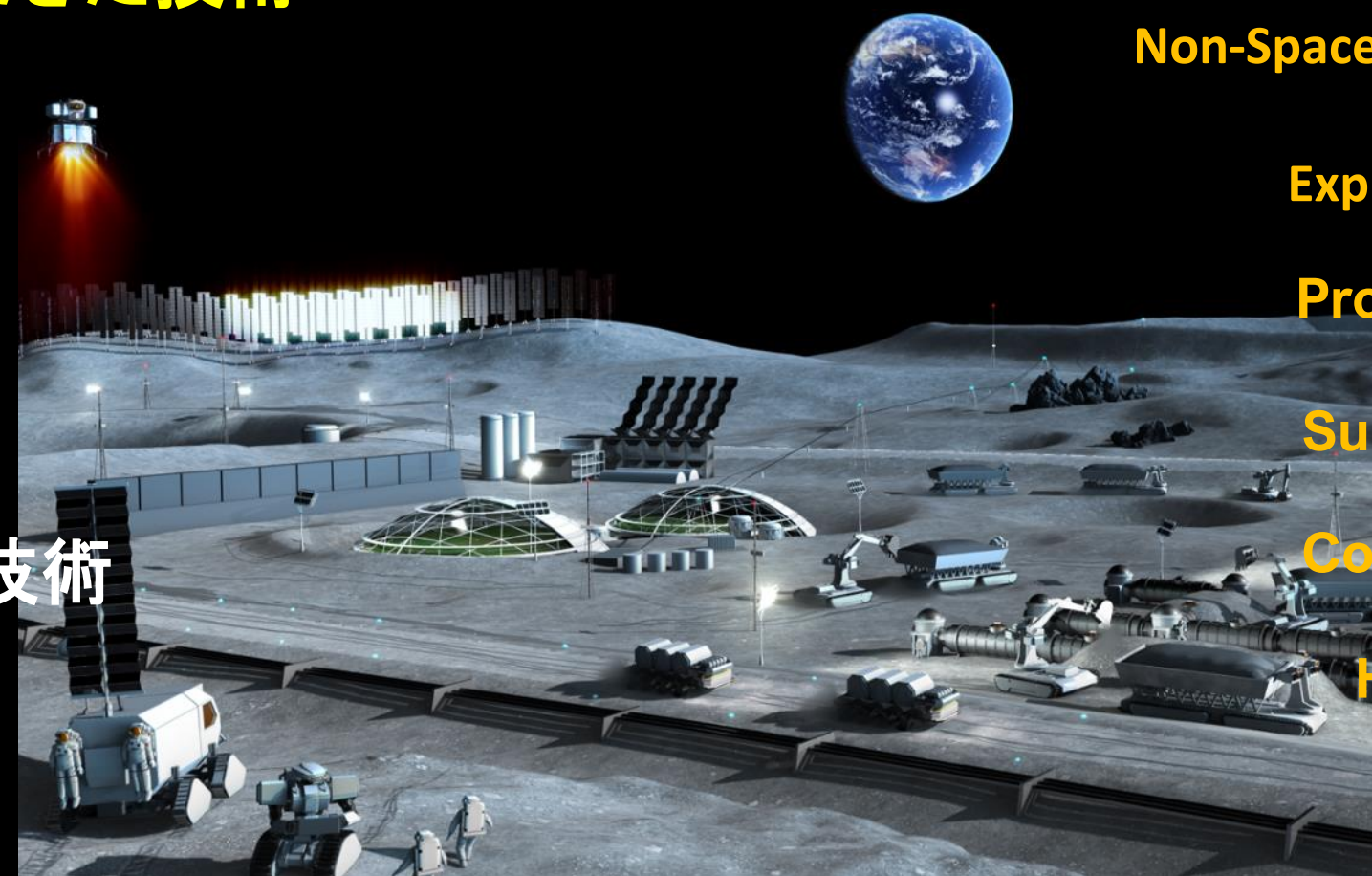
有人宇宙滞在技術

Human habitation

## 民間が得意とする技術

Non-Space Industry Technology

- Exploration 探る
- Production 作る
- Support 活動する
- Construction 建てる
- Habitation 住む



国際協力による効率的な推進

international Collaboration



宇宙探査イノベーションハブは、従来の宇宙関連企業への発注型から転換し、異分野融合によりイノベーションを創出するための新たな仕組みを構築している。



探査と事業の双方における成果創出を目指すDual Utilizationコンセプト

## 探る

- 着陸、移動する
- 自律(人工知能)で効率のよい探査をする
- 資源(水氷, 鉱物)を見つける、採取・分析する
- 多数の小型ロボットで協調探査する
- 惑星検疫技術を確立する

## 作る

- 水、燃料等を現地で生産する
- 現地から資源を抽出し、資材等を製造する(ISRU)
- 食料を省資源で生産する

## 共通技術

- 省電力、熱制御
- 通信、エネルギー

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

## 建てる

- 無人/遠隔/自動でスマートに建設する
- 小型軽量システムで地盤調査・掘削・整地する

## 住む

- 生命維持・環境制御を実現(ECLSS)
- 電力網を整備する
- 資源をリサイクルする

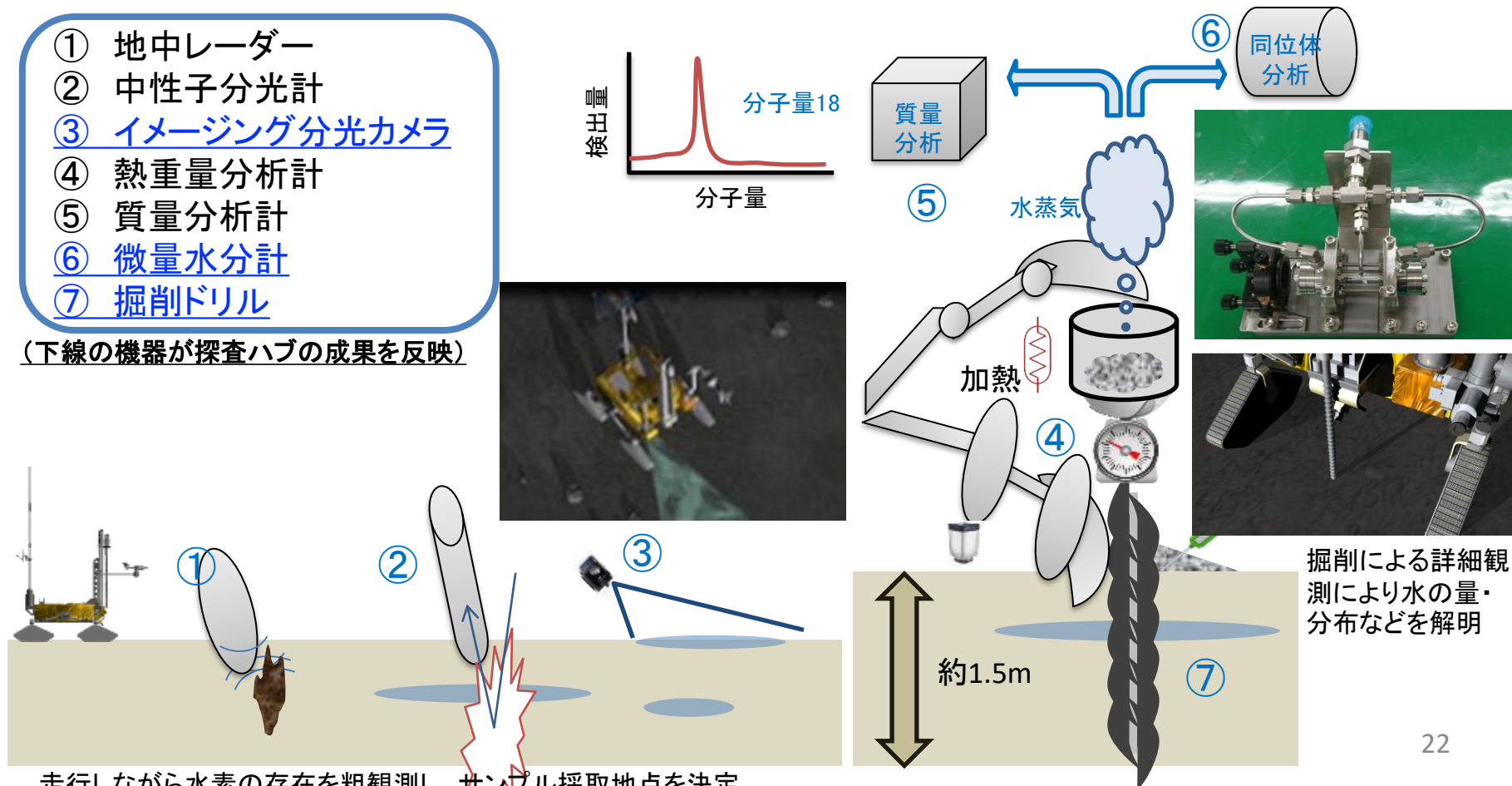
## 月極域探査プロジェクト(LUPEX)機器への適用

センテナリア、神栄テクノロジー、日特建設

- 探査ハブの共同研究成果は、国際宇宙探査における具体的なミッションへの適用も進展。
- 月極域探査ミッションにおいて、宇宙探査イノベーションハブにおける水氷センシング技術や地盤推定・掘削技術の研究成果を取り込んで、探査機器の検討を実施中。

- ① 地中レーダー
- ② 中性子分光計
- ③ イメージング分光カメラ
- ④ 熱重量分析計
- ⑤ 質量分析計
- ⑥ 微量水分計
- ⑦ 掘削ドリル

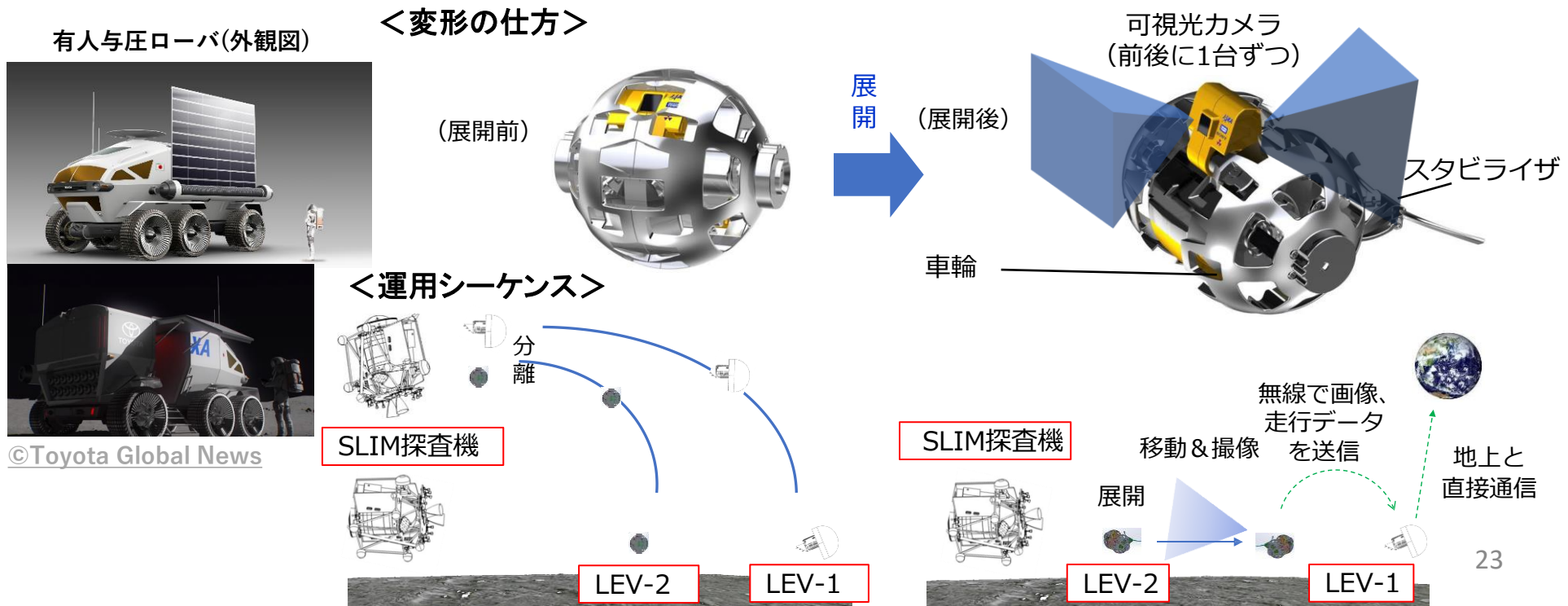
(下線の機器が探査ハブの成果を反映)



## 変形型月面ロボット (SORA-Q) の研究開発

タカラトミー(株)、ソニーグループ(株)、同志社大

- 玩具で用いられている機構、ノウハウを適用し、世界最小・最軽量（直径80mm、本体約250g）かつ超低コストの移動ロボットを開発
- 小型月着陸実証機“SLIM”の月面活動ミッションの一つとして搭載され、自動で起動。走行が可能な形態に変形してSLIM探査機から遠ざかるように移動、撮影を行い、写真も選別してLEV-1を経由して地上へ送る
- 国際宇宙探査の有人と圧ローバー開発のための月面走行に必要な走行性能評価データ取得ミッションに採用、2022年度中の打上げを予定



©Toyota Global News

# 7. 持続的な探査への取り組み: 2030年代後半以降の月面活動イメージ



宇宙業界

**月周辺小型衛星インフラ構築**  
・小型・超小型衛星を活用した測位・観測・通信インフラ構築を検討

**月周回ステーション (Gateway)**  
・月面アクセスの中継点としての活用

**月面離着陸船**  
・月面で生成された酸素、水素を利用して燃料を確保、再使用を検討

検疫

**ロケット**  
・H3改良型やイプシロンによる月への輸送

製造・電気業界

**月面探査 (無人) ロボ**  
・有人探査に先行して現地環境や土壌調査等を実施

通信業界

**月面通信塔・通信局**  
・通信事業者が、月・地球間通信インフラ構築や光通信技術などを検討中

エネルギー業界

**月面発電施設**  
・太陽電池デバイスや小型軽量・高効率電源技術を検討中

建設/プラント業界

**月面資源利用プラント**  
・無人遠隔施工技術や水素・酸素生成プラントなどを検討中

**月面への物資補給サービス**  
・ISSへの物資補給をベースに改良

建設・建機業界

**月面多目的建設機械**  
・1/6重力、真空環境で操作可能な、建設・建機システムを検討、無人遠隔施工技術を活用

**月面植物栽培**  
・先端農業関連企業や農林系大学が植物栽培システムや閉鎖系環境循環技術など検討

農林・食品業界

IT/観光/ゲーム業界等

**月面活動 (調査/観光/エンタメ)**  
・VR技術やソフトウェア技術を活用して調査補助、観光・エンターテインメントに活用する。

**船外活動技術 (宇宙服)**  
・アポロ、ISSでの技術をベースに、月面での船外活動に必要な技術の確立、運用を検討中

医療・健康業界

建築業界

**月面居住施設**  
・ISSでの経験を元に、医療・健康管理技術の研究を実施中  
・建設業者やハウスメーカーが、スマートハウス建築技術や軽量断熱材料研究などを検討中。  
・食品業者が保存食技術等で宇宙食開発を検討中

自動車業界

**月面有人と圧ロボ**  
・月面走行技術、燃料電池開発を検討中  
・長距離、長期間の居住滞在に向けたシステム運用を検討中



A detailed illustration of a lunar base. The scene is set on the moon's surface, with a large, blue and white Earth in the dark sky above. The base features various structures, including a large white building with a grid-like facade, several domes, and solar panels. There are also various vehicles, including a rover and a lunar lander, and several astronauts in spacesuits are visible. The lighting is a mix of the bright sunlight from the left and the ambient light from the base's own lights. The overall atmosphere is one of a busy, advanced space colony.

ご清聴ありがとうございました。

# 宇宙の広さをイメージ！

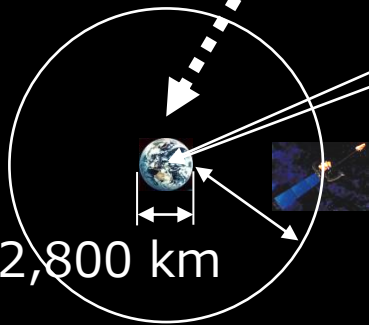
地球の大きさを4cm (ピンポン玉) とすると...

- ・ 月は、ビー玉くらいの大きさ
- ・ 距離は、  
月までおよそ1m  
火星までおよそ200m

国際宇宙ステーション (ISS)の高度  
360 km  
(新幹線で1時間ちょっと)

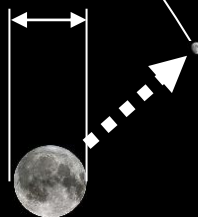


静止衛星の高度  
35,800 km  
(新幹線で5日)  
(ロケットで52分)



3,500km (地球の約1/4)

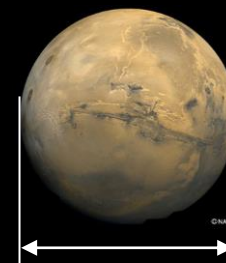
月まで  
384,400 km  
(新幹線で53日)  
(ロケットで9時間)



月の軌道

6,800km (地球の約半分)

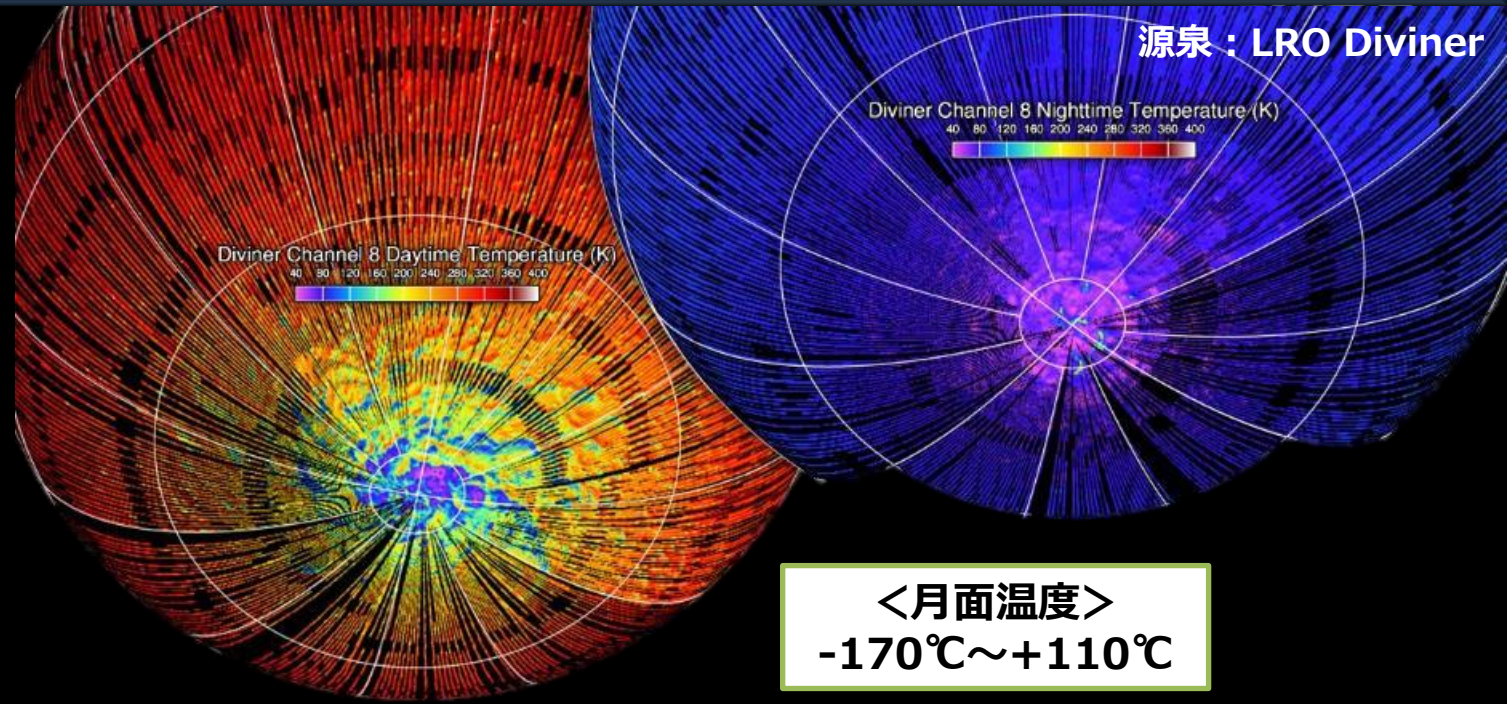
火星まで  
60,000,000 km  
※最近の最接近時  
(新幹線で20年以上)



(ロケットで14,000時間 (1.6年) 以上)

# 月面の環境

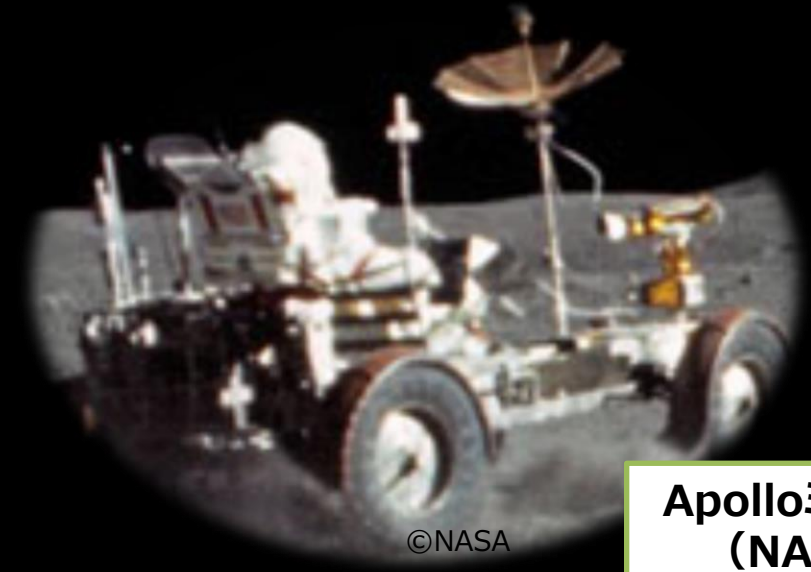
- ◆ 月の昼・夜の期間：14地球日
- ◆ クレータ、丘、急斜面
- ◆ レゴリス
- ◆ 1/6重力
- ◆ 宇宙放射線
- ◆ 極高真空： $10^{-12} \sim 10^{-15}$ 気圧
- ◆ 月面温度： $-170^{\circ}\text{C} \sim +110^{\circ}\text{C}$



＜月面温度＞  
 $-170^{\circ}\text{C} \sim +110^{\circ}\text{C}$



©NASA



©NASA

Apolloミッション  
(NASA)

# 火星の環境

- ◆ 火星の時間  
: 1日=約24時間39分、1年=687日
- ◆ クレータ、丘、急斜面、火山、流水地形  
オリンパス山(22,500m)
- ◆ レゴリス
- ◆ 1/3重力
- ◆ 宇宙放射線
- ◆ 大気圧:  $\sim 6.9 \times 10^{-3}$  気圧 (7mbar)
- ◆ 大気成分:  $\text{CO}_2$  (95%),  $\text{N}_2$  (3%),  $\text{Ar}$  (2%)
- ◆ 過去に大規模な大気の散逸
- ◆ 火星表面温度:  $-143^\circ\text{C} \sim +35^\circ\text{C}$  (平均  $-63^\circ\text{C}$ )

