

2024年9月4日

令和6年度 土木学会全国大会 研究討論会(18)建設用ロボット委員会

月面開発における土木の役割～建設ロボットの宇宙と地球のデュアルユースに向けて～



# 国際宇宙探査と 宇宙探査イノベーションハブの取り組み

川崎 治

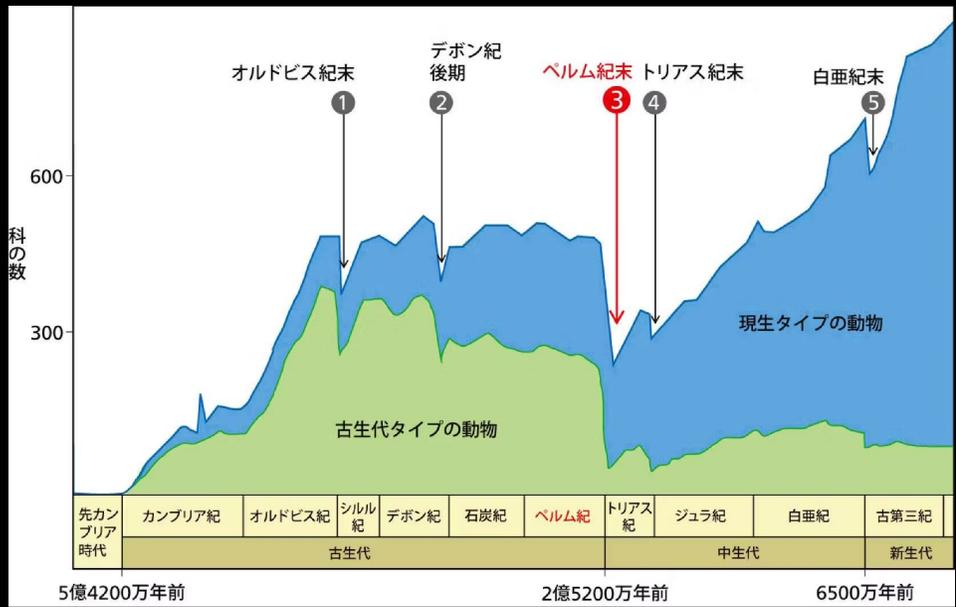
宇宙航空研究開発機構(JAXA)

宇宙探査イノベーションハブ副ハブ長

## 大量絶滅 人類の危機



<https://forbesjapan.com/articles/detail/50330>



<https://www.nikkei.com/article/DGXBZO58747510R20C13A8000000/>

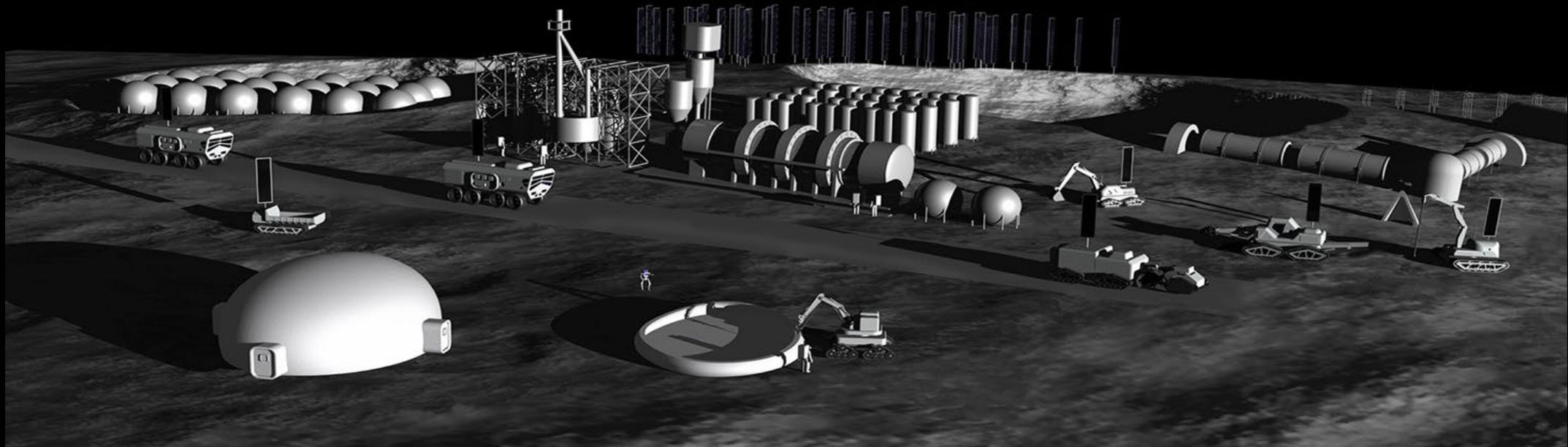
「その時」は明日ではないかもしれないが「確実に起こる」

「確実に起こる」ことに備えをしないのは、愚かなこと

## 人類の生存圏・活動領域の拡大

⇒ 地球低軌道から月、火星への進出

⇒ まずは経済圏化ができるかどうか





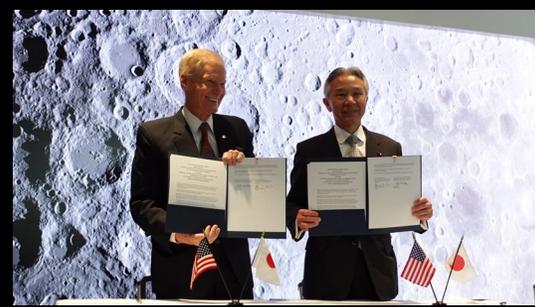
# 1.2 探査に向けた動向



## 日米協力の進展



2022年11月18日  
ゲートウェイ実施取決め署名及びISS運用延長表明



2024年4月、NASA-文科省間で与圧ローバーIA署名  
・日本からの与圧ローバの提供  
・日本人飛行士の月着陸機会 2回



2023年1月13日  
日・米宇宙協力に関する枠組協  
定署名

## 海外の取り組み

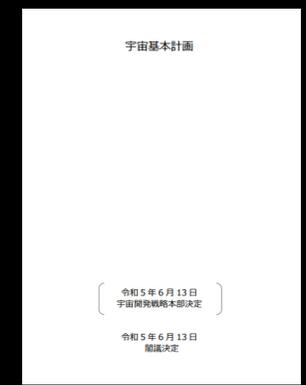


LunA-10  
10-year Lunar Architecture



2023年8月15日  
DARPA  
月面経済構築に向けた「10-Year Lunar Architecture (LunA-10) Capability Study」に参加  
する民間企業14社を発表

## 日本でも準備が進行



(4) 宇宙活動を支える総合的基盤の強化

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)
宇宙産業への参入促進及び事業化支援に向けた、関係府省庁・機関における連携									
13 技術									
産業									
人材									
社会									
国際									
その他									

2023年6月13日  
宇宙基本計画の改訂  
・技術戦略  
・資金供給機能強化

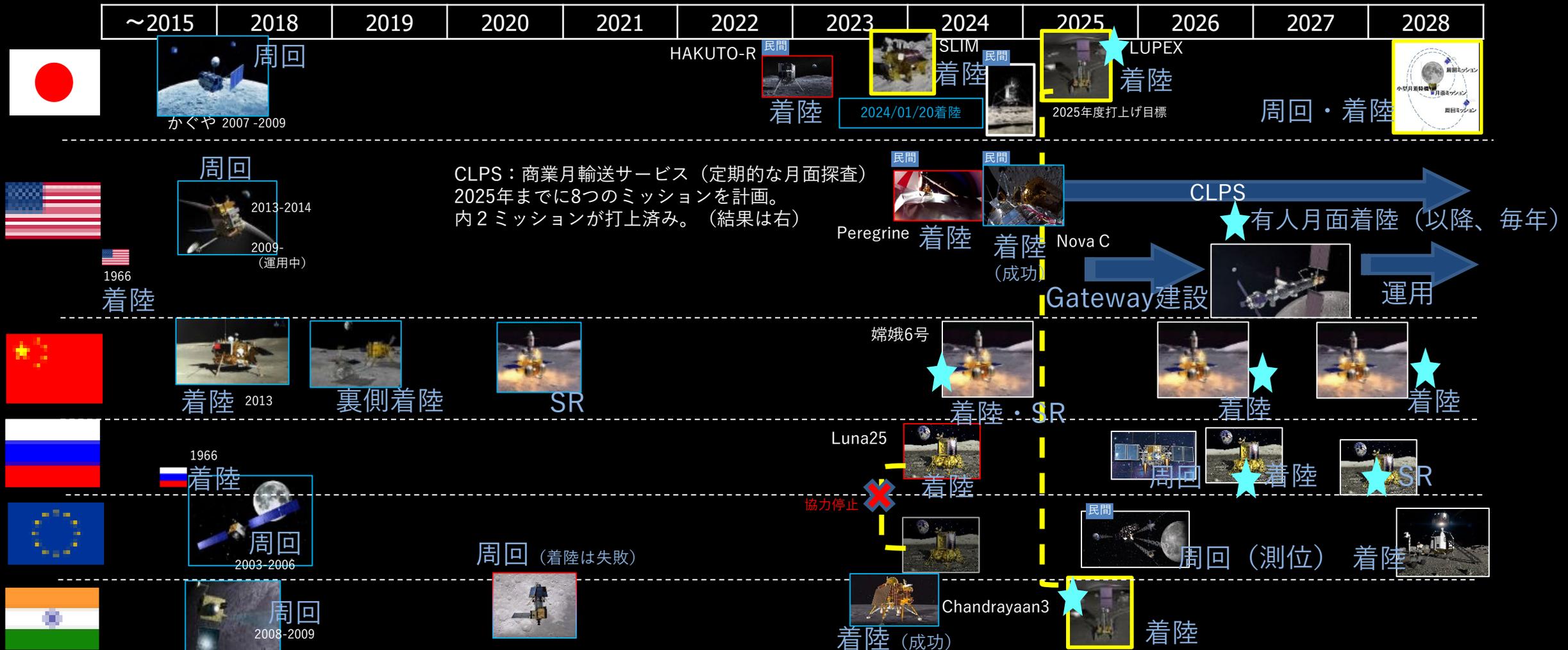
# 1.3 各国の計画



★ : 月極域着陸ミッション  
 SR : サンプル回収ミッション

## 月探査計画の増大、多くは極域ミッション

- 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

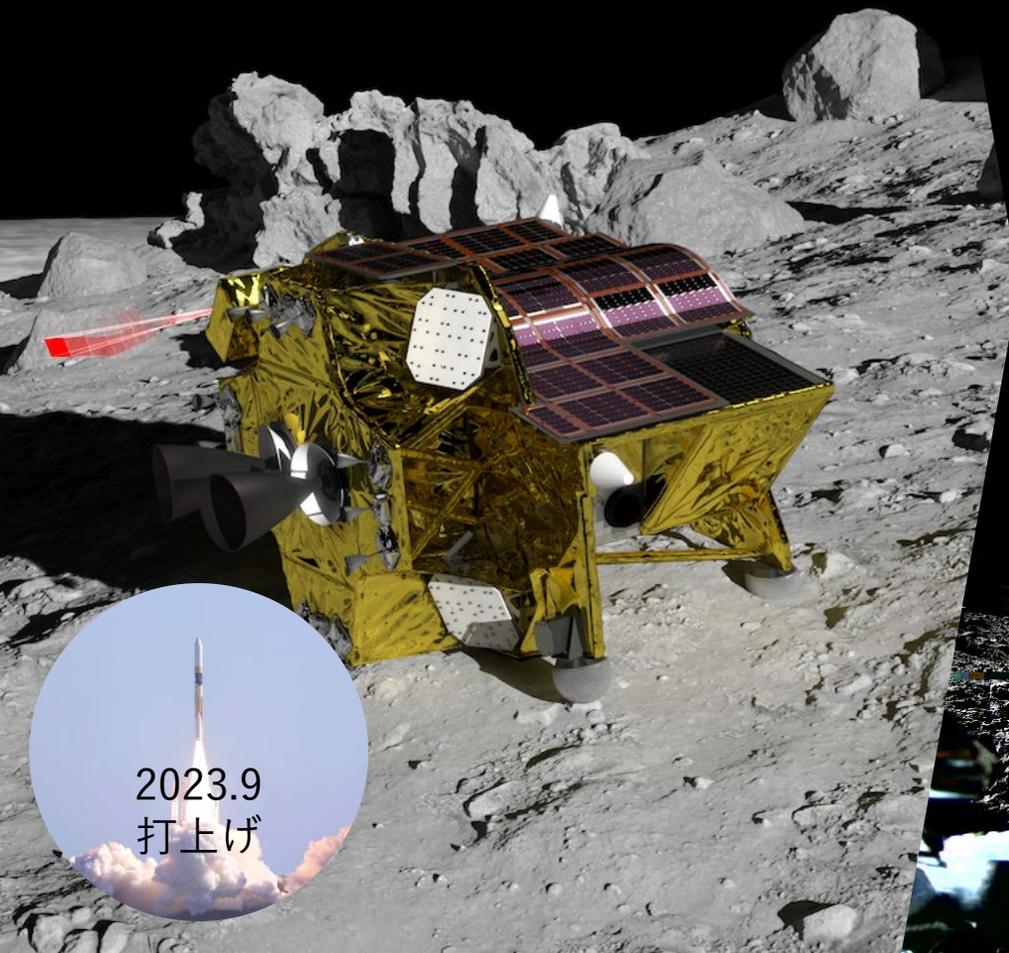


- 米国主導の『アルテミス計画』: 月面有人探査に関するすべてのプログラムを包含した総体
  - ✓ Space Launch System (SLS)計画
  - ✓ Orion宇宙船計画
  - ✓ 月周回有人拠点(Gateway)計画
  - ✓ 有人月面着陸機(HLS)計画
  - ✓ 商業月面ペイロードサービス(CLPS)計画 等
- NASAは月面探査だけでなく、火星有人着陸を目標に掲げ、月面での持続的な活動を通じて必要な技術を獲得しようとしている。



## 小型月着陸実証機(SLIM)

- 重力天体着陸技術
- 高精度な着陸技術と小型軽量な探査機システムの実現



2023.9  
打上げ

2024.1  
日本初  
月面着陸に成功

2024.5までに  
3度の越夜に成功



©JAXA/タカライトシステム/三菱グループ/同志社大学

## 月極域探査ミッション(LUPEX)



- 月の南極域の水資源の存在量と資源としての利用可能性を調査
- 月表面探査



FY 2025

開発中

# 2.2 月面有人探査

## 有人と圧ローバー

- 居住機能と移動機能を併せ持つことで月面探査範囲を飛躍的に拡大
- 有人・無人に関わらず、常に探査を実施
- 宇宙服無しで乗れる、世界初/唯一の月面モビリティ

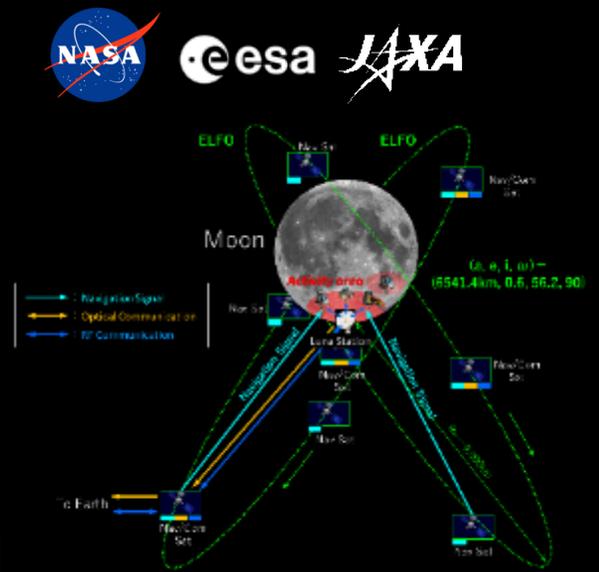


2024年4月、NASA-文科省間で与圧ローバーIA署名

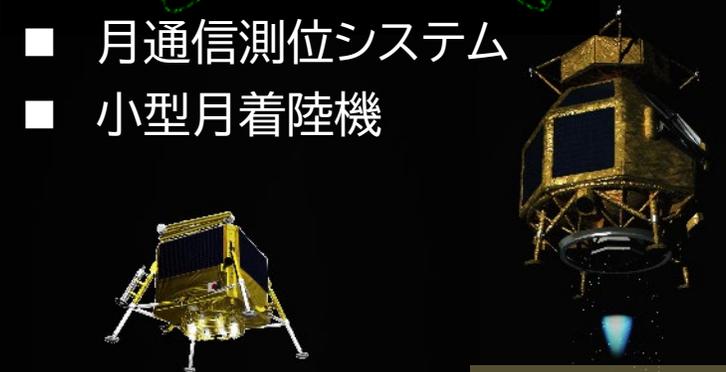
- ・ 日本からの与圧ローバの提供
- ・ 日本人飛行士の月着陸機会 2回



## 月探査促進ミッション (LEAD)



- 月通信測位システム
- 小型月着陸機



### 中型ランダー

- 月面への物資輸送 (3トン目標)

# JAXA×産業/商業

回収・往還技術

月通信・測位

自動車

建設・建機

有人宇宙滞在・  
拠点システム技術

宇宙環境利用・  
宇宙実験技術

製造

医療・健康

物資補給技術

月着陸技術

観光  
エンタメ

通信局  
インターネット

月資源開発技術

エネルギー技術

プラント

農林・食品

月資源利用技術

月表面探査技術

アパレル

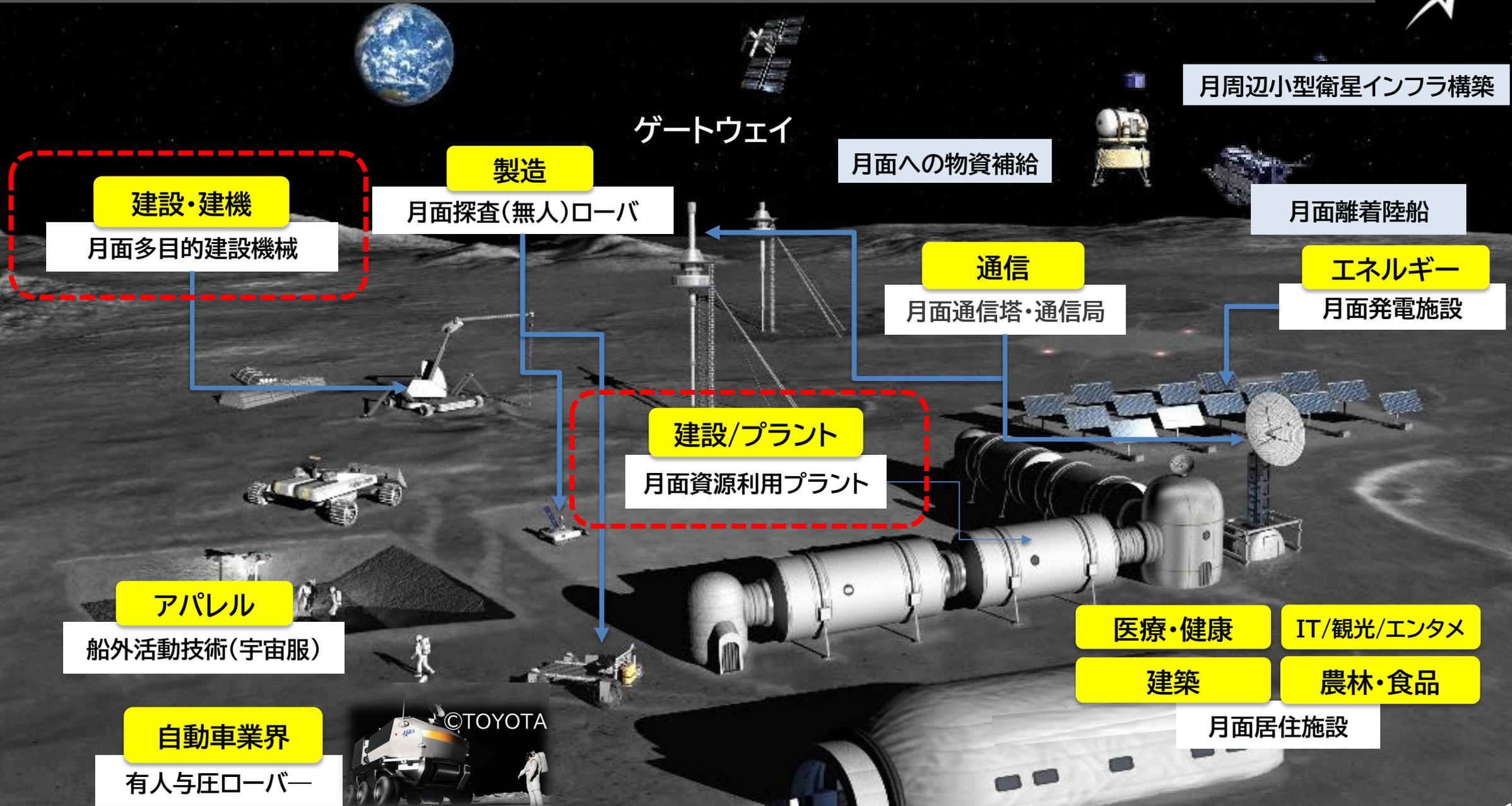
発電技術

インターネット

e.t.c...



# 3.1 産業界との連携 - 持続的な月面探査に向けて -



月周辺小型衛星インフラ構築

ゲートウェイ

月面への物資補給

月面離着陸船

**建設・建機**  
月面多目的建設機械

**製造**  
月面探査(無人)ローバ

**通信**  
月面通信塔・通信局

**エネルギー**  
月面発電施設

**建設/プラント**  
月面資源利用プラント

**アパレル**  
船外活動技術(宇宙服)

**医療・健康**    **IT/観光/エンタメ**

**建築**    **農林・食品**

**自動車業界**  
有人と圧ローバ

月面居住施設



宇宙探査イノベーションハブとは;

- 10年先を見据えた月・火星以遠をフィールドに、
- オープンイノベーションにより宇宙探査のためのキー技術を新しいプレーヤーと共に創出し、
  - 宇宙探査力と産業競争力を同時に向上させることを目的



次世代エネルギー  
(パワーノード&  
グリッド)

次世代モビリティ

ハビテーション

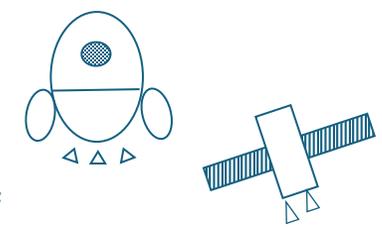
アセンブリ&  
マニユファク  
チャリング

# 3.2 宇宙探査イノベーションハブの取り組み

## 宇通探査イノベーションハブとは;

**JAXAの技術・人材**

- 宇宙技術
- 耐放射線
- 耐真空
- 耐熱環境
- 衛星システム技術等



**民間等の技術・人材**

- 地上技術
- 無人施工
- 自動運転
- アクチュエータ
- 最先端ロボティクス
- マイクロマシン・センサ
- エネルギー再生
- 資源利用 等

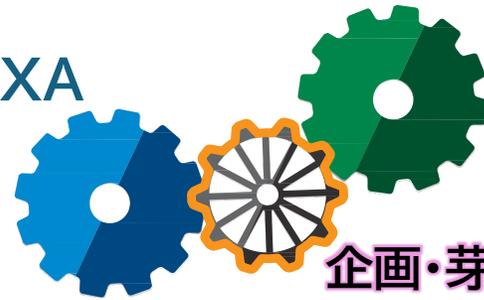


**探査ハブの事業**

**非宇宙産業・プレーヤの開拓**

萌芽的研究に取り組み、  
新たな技術の芽出しとプレーヤの開拓、基盤強化

JAXA      民間等



企画・芽出し

**オープンイノベーション型共同研究**

**企業の出口設計の支援**

研究卒業後の民間企業の出口を共同で検討

JAXAによる宇宙探査への適用と民間企業による事業化を目指した共同研究を推進

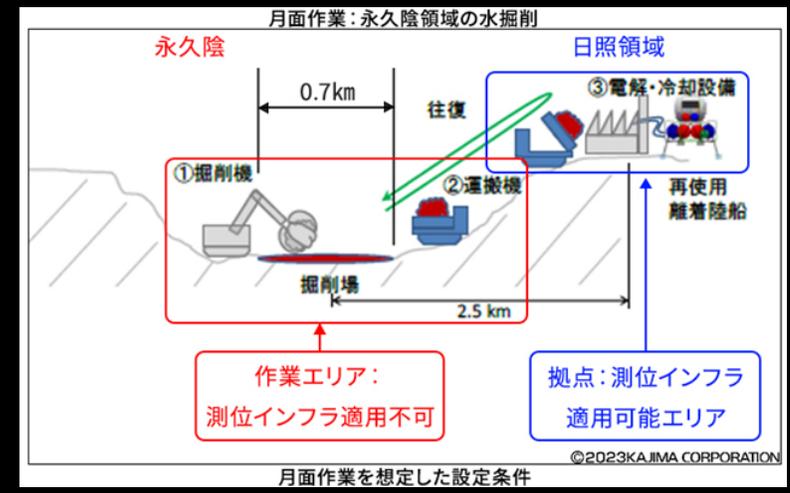
# 3.2 宇宙探査イノベーションハブの共同研究事例

## 第1回RFP 「遠隔操作と自動制御の協調による遠隔施工システムの実現」

鹿島建設、芝浦工業大学、電気通信大学、京都大学

■ 2016年から、鹿島建設の次世代建設生産システムA<sup>4</sup>CSELをベースに、複数の大学と共同で、月面拠点建設の実現と地上での展開・活用を目的とした**自動運転と遠隔操作による連携作業**について研究

■ JAXA相模原キャンパスを指令拠点とし、3台の自動・遠隔操作用に改造した建設機械を鹿島西湘実験フィールドに配置し、自動制御と遠隔操作のハイブリッド施工を実証。



「日本の国際宇宙探査シナリオ(案)」による月面での水を含む砂の掘削(水掘削)プロセス



探査ハブのRFP共同研究終了後、国土交通省のスターダストプログラム「宇宙無人建設革新技術開発推進事業」に参加

### 第6回RFP 「力制御機能を有した建設機械の研究開発」

ヤンマーホールディングス株式会社

- 建機に不意に大きな外力が発生した場合の損傷を回避する「力のいなし」動作、またバックホウ等ツールを対象にあてがいながら位置合わせを行う「力のならい」動作について、電動モータによる高精度のならい動作を実現しつつ、いなし動作も両立できるアクチュエータとその制御手法を2021年度及び2022年度に研究。



SEAを搭載した月面ローバ研究モデル

- 従来の油圧方式では実現が難しい力制御機能を、電動モータと減速機、バネで構成した新規開発のアクチュエータであるSEA (Series Elastic Actuator、直列弾性アクチュエータ)により実現。

本共同研究で開発したSEAについては、内閣府のムーンショット型研究開発事業(目標3「多様な環境に適応しインフラ構築を革新する協働AIロボット」)において開発した次世代作業機のプロトタイプへの実装にも成功



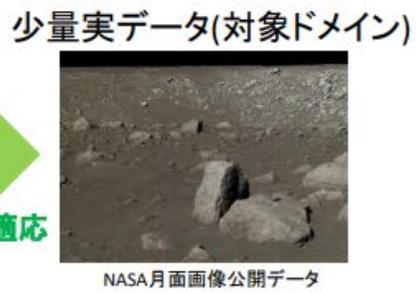
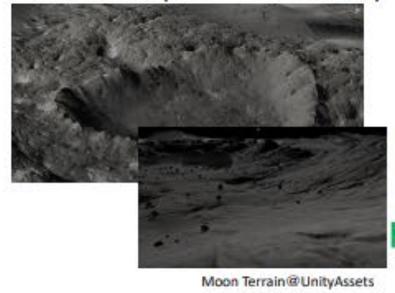
力制御技術を搭載した次世代作業機プロトタイプ

# 3.2 宇宙探査イノベーションハブの共同研究事例

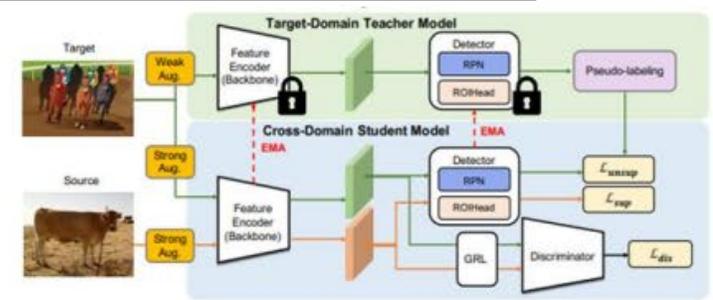
## 第8回RFP 「少量データ向けCG合成画像を用いた物体検出深層学習手法の試行」 パナソニックアドバンステクノロジー株式会社、株式会社諸岡

- 災害現場や宇宙環境では、環境認識のための学習データを事前に十分な量を集めることができない。
- 月面環境や災害現場等を模した大量のCG画像を事前に学習することで、現場では少量の学習データだけでも精度を低下させない物体検出深層学習手法を研究。
- 林業用作業機や月面ローバー向け障害物検知機能に向けて研究中。

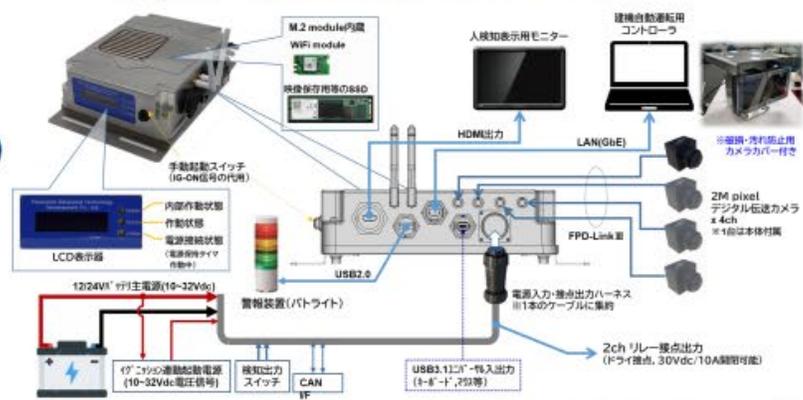
### ① 月面ユースケース CGデータ(ソースドメイン)



### ② 林業現場ユースケース CGデータ(ソースドメイン)



Adaptive Teacherの概要(論文より抜粋)



エッジAIモジュール(パナソニックアドバンステクノロジー製)



林業試験場での実証実験の様子



模擬月面環境での実証実験の様子

	mAP	Precision	Recall
模擬月面環境	89.4	0.762	0.908



『宇宙探査実験棟』  
月惑星表面を模擬した屋内実験場



400m<sup>2</sup>の『宇宙探査フィールド』  
珪砂と岩石模型により月惑星の表面地形を模擬



探査活動の一連の性能・機能確認や運用試験等を実施  
JAXAとの共同研究以外の外部からの利用(有償)も可能

ご清聴ありがとうございました。

