

月面推薬生成プラントの構想検討

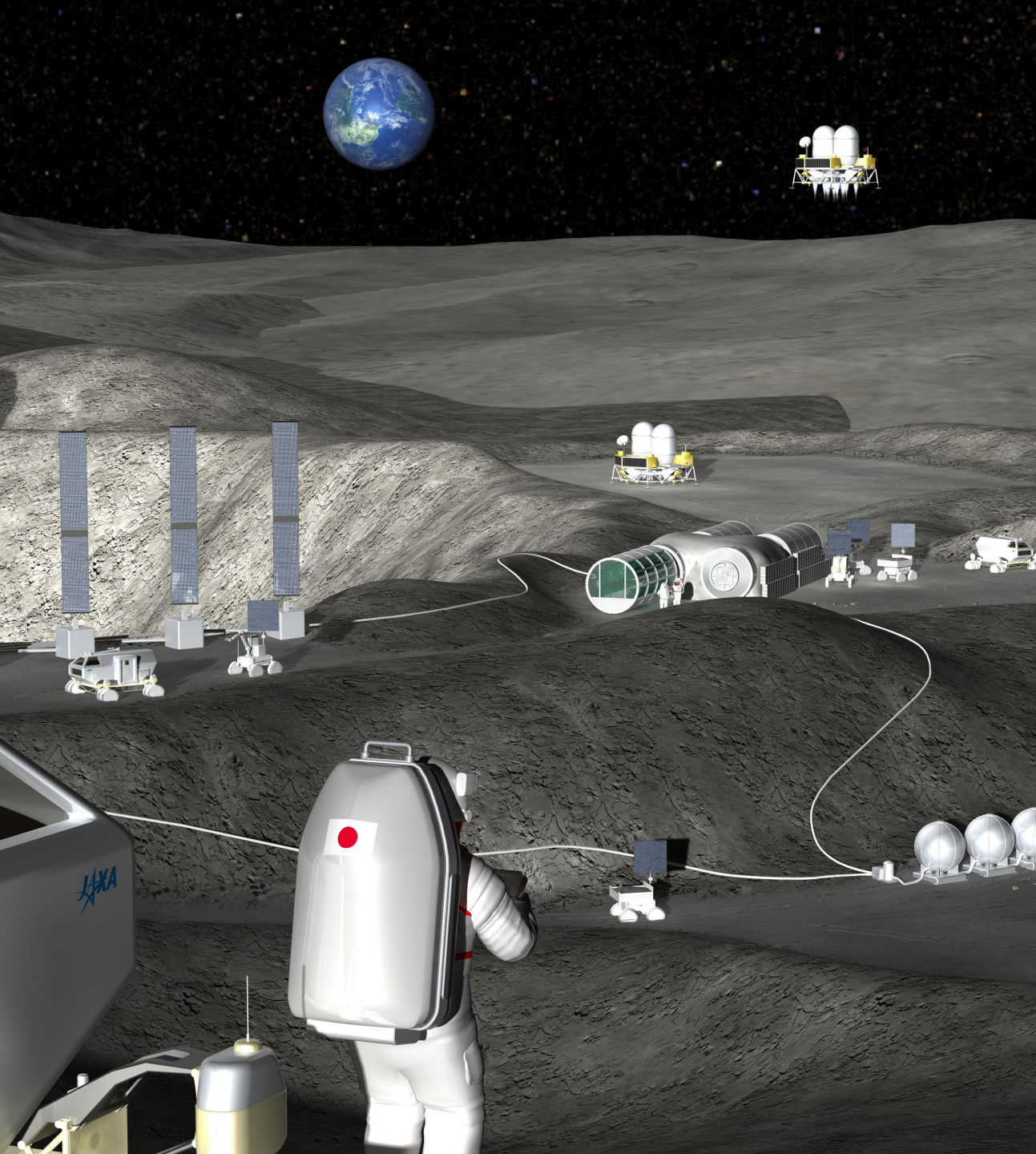
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）

国際宇宙探査センター 島田 潤

地上の建設技術

×

宇宙開発



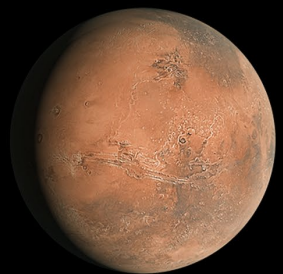
月面における水資源利用

月面の氷含有レゴリスを原料として
呼吸用酸素や宇宙船の燃料を月面で
製造する構想



目次

- ◇ 宇宙開発における水資源利用の位置づけ
- ◇ 月面推薬生成プラントの構想
～求められる建設技術の検討例～
- ◇ 今後の計画（案）



MARS

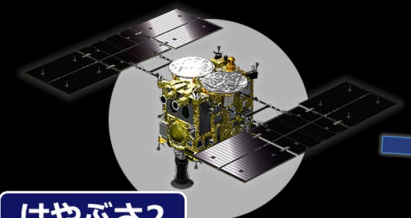


MOON



EARTH

人類の活動領域の拡大



はやぶさ2



MMX

火星衛星探査



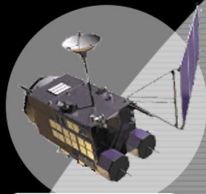
水分布・輸送観測



水環境着陸探査

初期火星探査

本格探査



かぐや



SLIM

小型月着陸実証

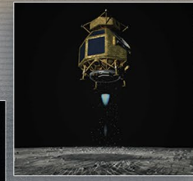


LUPEX

月極域探査



有人と圧ローバ

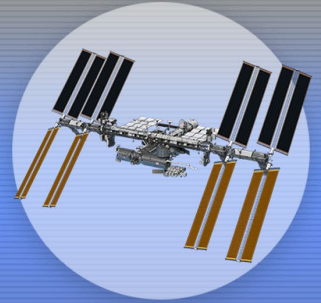


中型無人月探査機



月の本格的な探査・利用

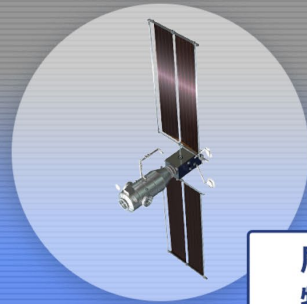
月面活動を主体に



国際宇宙ステーション

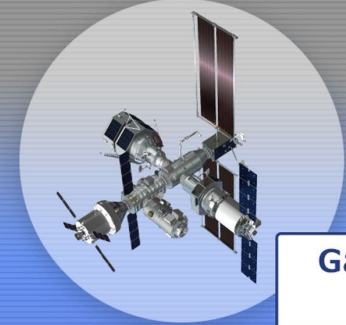


HTV-X



Gateway 組立

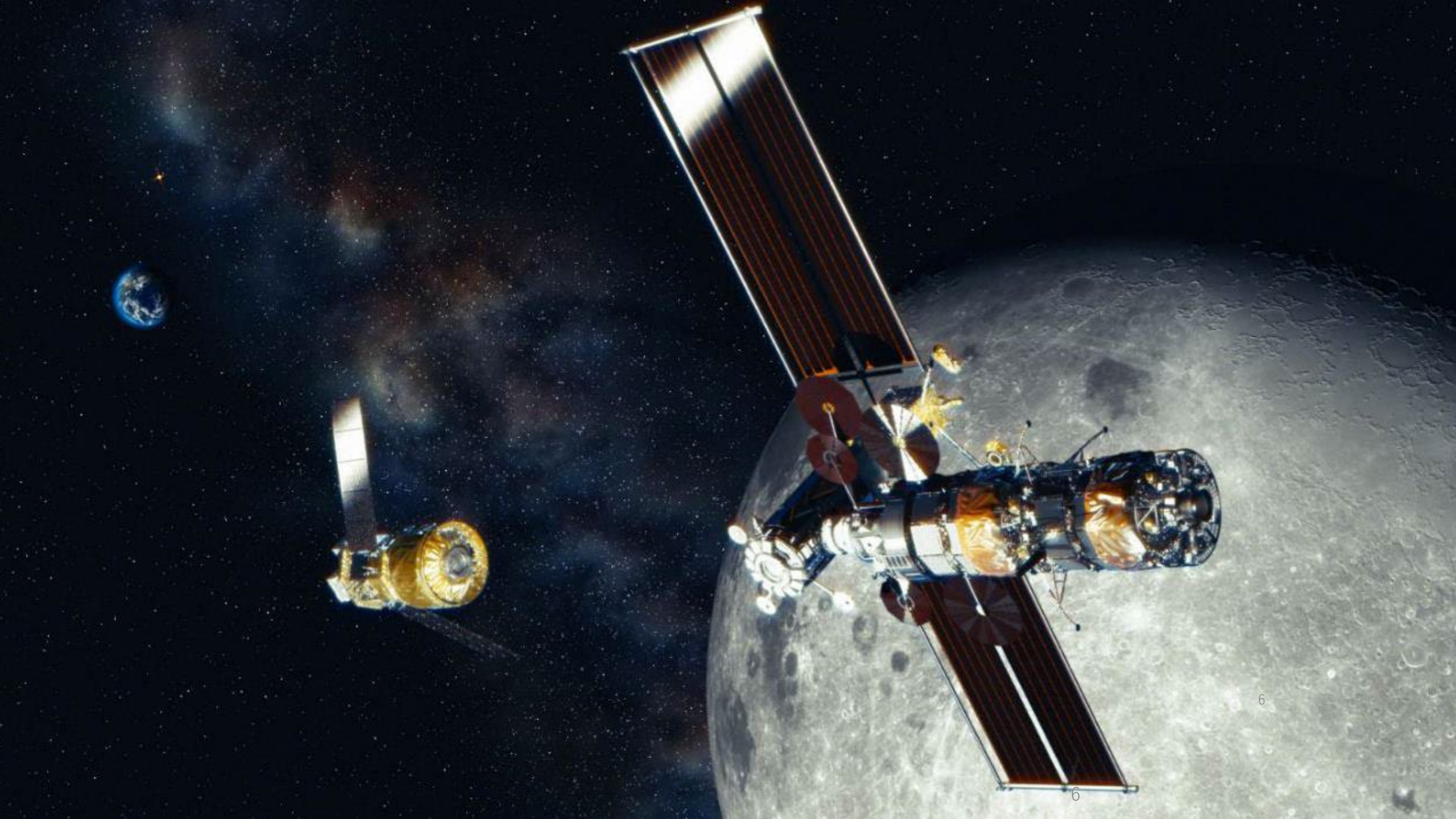
居住機能 物質補給



Gateway 運用

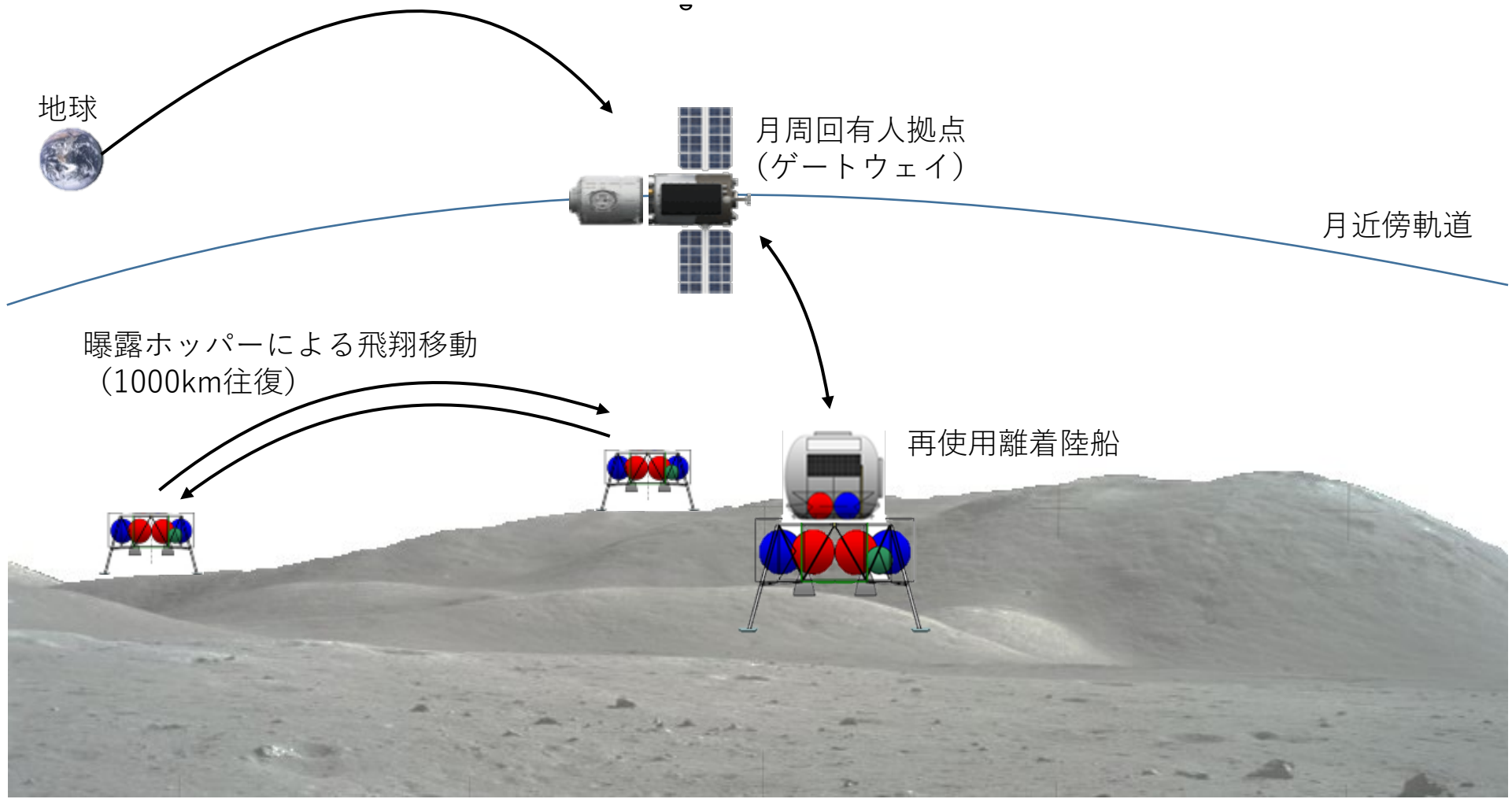
官民共同事業化の推進

地球低軌道は民間企業主体による経済活動の場へ



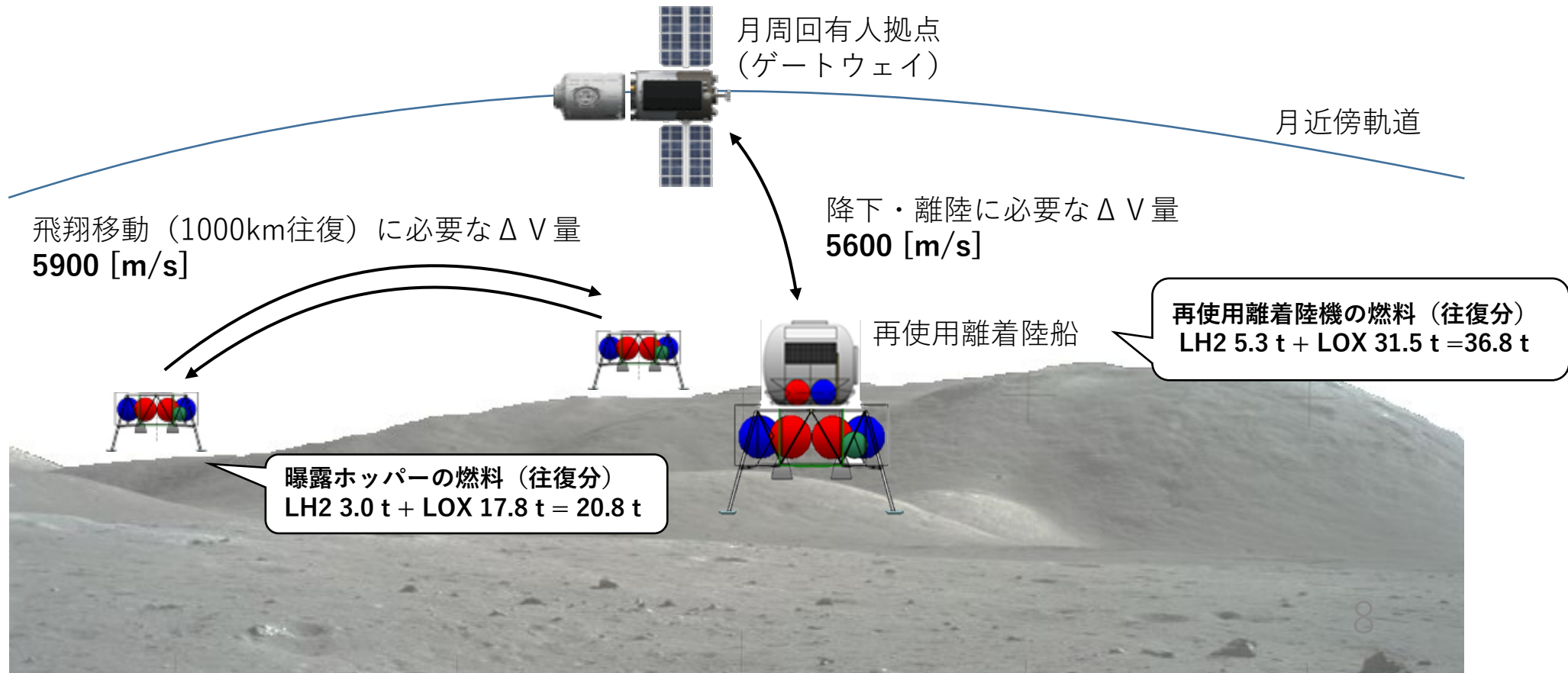


現状：地球から月面までの燃料輸送が必要！



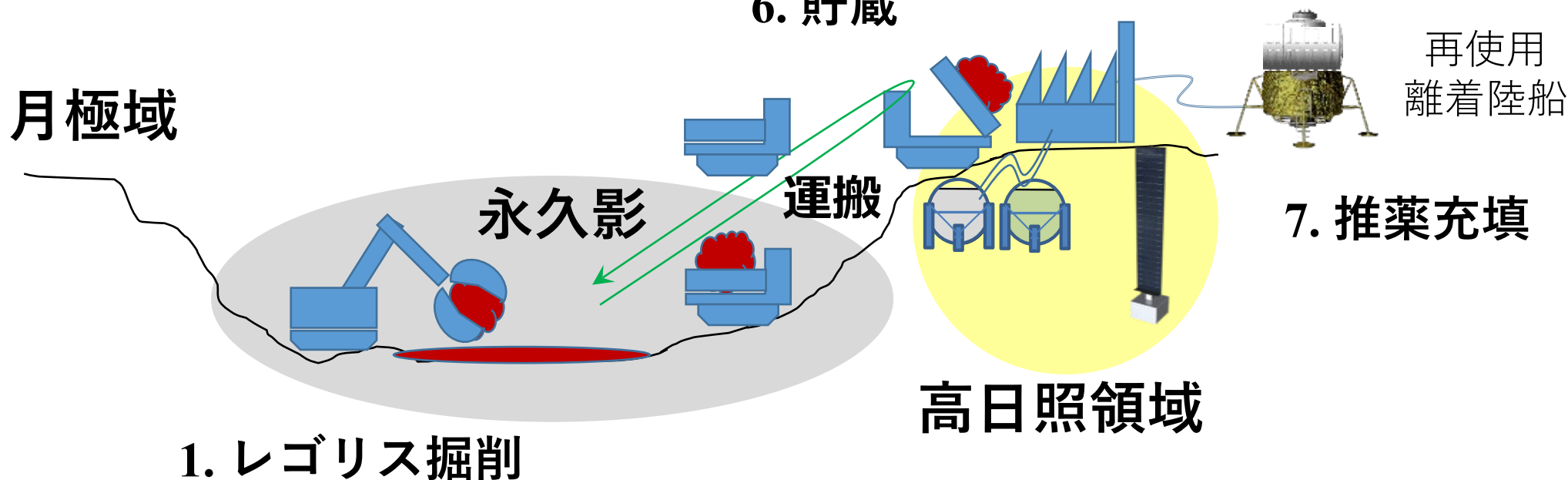


年間の推薬消費量: 57.6t
 (液体水素約8.3ton/年、液体酸素約49.3ton/年)



月面推薬生成プラント

2. 水抽出
3. 凝縮 & 精製
4. 電気分解
5. GOX/GH2液化
6. 貯蔵



※月極域のクレータ内で氷含有レゴリスを掘削し、プラントにて水抽出を行う場合の構成例

JAXAにおける検討状況

1. 要求策定

- 月面における水資源利用の構想やシステム要求案を「日本の国際宇宙探査シナリオ（案）」として公表。

2. 要素技術

- 宇宙探査イノベーションハブの共同研究枠組みにより、民間企業との要素技術に関する研究開発を推進。
- 先進的な宇宙ミッションやシステムの実現に向けた「先導する研究」の一環として研究開発を推進。

3. 全体システム検討

- 日揮グローバルとの連携協力協定に基づき「月面推薬生成プラントの構想検討」を実施し、技術課題の識別や運用シナリオを検討。（2021.6～2023.3）
- 公募型企画競争により選定した、日揮グローバル及び千代田化工建設との研究開発契約に基づき「パイロットプラントの概念検討」を実施中。（2023.12～）



前提条件 (例)

推薬生成量: 57.6 ton/year
 場所: 月南極域
 発電設備からの距離: 約20 km
 平均日照率: 50 %
 発電方式: 太陽光発電
 送電方式: 有線 (アルミ導体ケーブル)
 蓄電: 燃料電池



- 全体質量: 約30 ton ~ 約300 ton
 (発電/蓄電/送電設備を含む推算値)
 注) 上記の前提条件に対応する質量は約300 ton.
- プラント体積: 約33m³ ÷ 20ft.コンテナの積載容積
 (ラジエータを除く生産設備の目標値)
- 太陽光パネル面積: 約2,000 m²
- ラジエータ面積: 約300 m²



(参考) 20ft.コンテナ

項目	課題
計画立案	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工事計画の策定（有人作業の識別を含む） ・ 工事安全基準の策定 ・ 工事量の定量評価 ・ 工事量の最小化
地形地質調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査対象の自然環境パラメータの識別 ・ 地形地質調査範囲の設定
測量	<ul style="list-style-type: none"> ・ プラント建設地における測量の要否検討 ・ 非GNSS環境における地形測量
整地	<ul style="list-style-type: none"> ・ 整地の要否検討 ・ 平面度に対する要求設定
道路建設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 道路建設の要否検討

項目	課題
建設資材 輸送／ 現地製造	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建設資材の輸送方法（地球～月面） ・ 建設資材の輸送方法（月面～月面） ・ 建設資材の現地製造
基礎工事	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎工事の要否検討
建設機械等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建設機械等が必要な作業の識別 ・ 建設機械等の開発に必要な要素技術の識別 ・ 建設機械等の自動化・自律化検討 ・ 建設機械等の給電・充電方法 ・ 建設機械等の凍結対策 ・ 建設機械等のメンテナンス方法
通信関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 通信容量／通信レート要求の精査（地球局～月面間、月面エレメント間通信）
測位関連	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非GNSS環境における施工・運用の成立性 ・ 測位精度要求の見積



船への積載



海上輸送

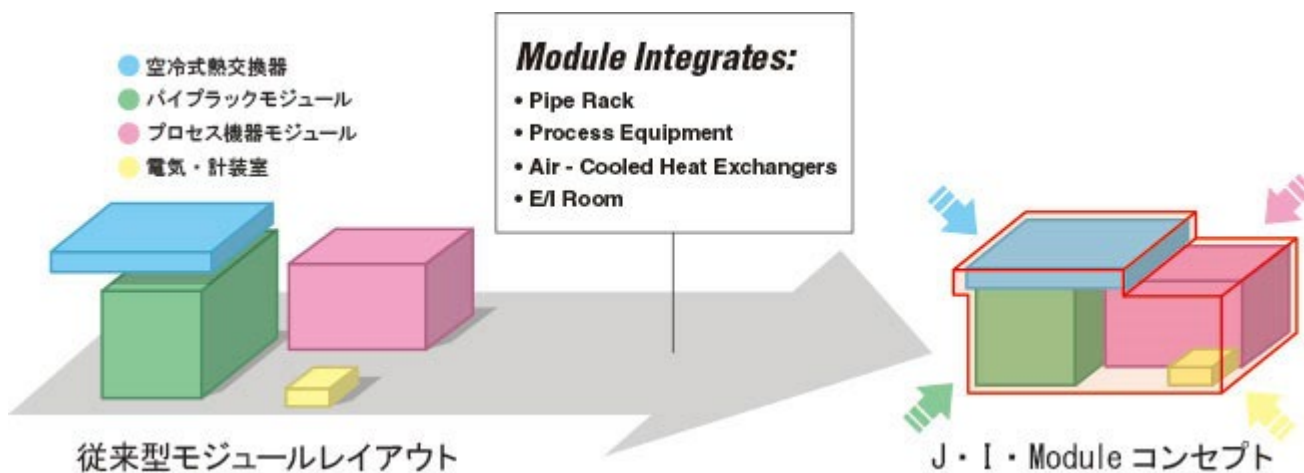


建設現場への輸送

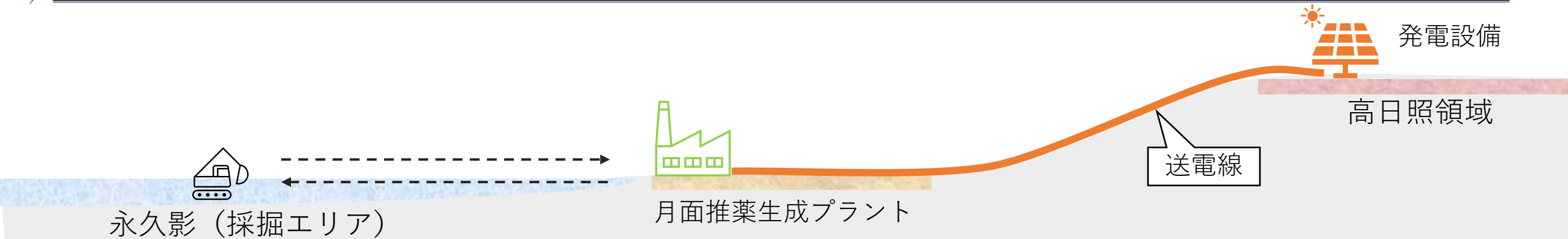


陸上輸送 (SPMT)

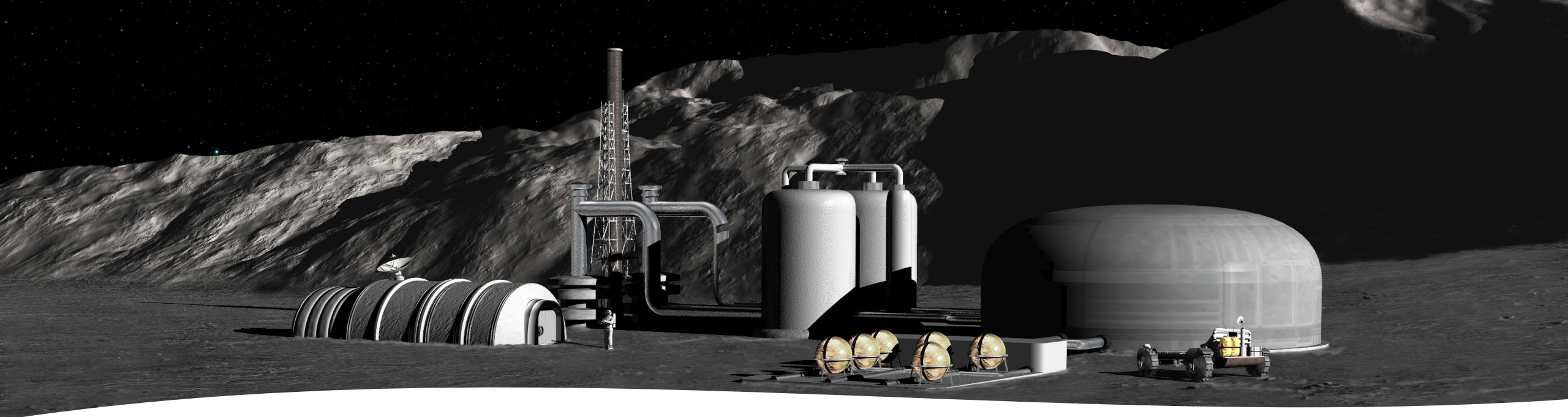
- ❑ 日揮グローバルはLNGプラント等の建設に「モジュール工法」を適用。プラントを複数のモジュールに分割して設計・製造し、最終建設地で一つのプラントに組み上げることで最終建設地での工事量を最小化。
- ❑ 月面推薬生成プラントの構築に「モジュール工法」を適用し、地上にてモジュールの組立・検査・試運転を実施し月面まで輸送し、プラント建設地で組み上げることで、月面での組立て作業の最小化が期待される。



SPMT (Self-Propelled Modular Transporter) / Mammoet



開発フェーズ 作業項目	月面実証 (2030年代前半を想定)	プラント開発初期段階 (2030年代後半を想定)	プラント定常運用段階 (2040年以降を想定)	備考
レゴリス掘削／運搬	採掘エリア付近での資源利用実証を想定	<ul style="list-style-type: none"> 採掘エリアから月面推薬生成プラントまでの長距離運搬 (最大20~30km程度) 		運搬は下記2ケースを想定。 i. 氷含有レゴリスの運搬 ii. 抽出後の水のみ運搬
プラント建設地の締固め	—	<ul style="list-style-type: none"> プラント建設地の締固め作業 (TBD) 		資材輸送用着陸パッドの締固め要否と合わせて要検討。
発電設備の建設	実証プラントにおける発電を想定	自走式または着陸機搭載型の発電設備を想定	自走式、着陸機搭載型または設置式の発電設備を想定。	設置式の場合、発電設備の設置作業あり。
送電線の敷設／接続	—	<ul style="list-style-type: none"> 送電線敷設、覆土、コネクタの接続作業 		将来的に無線エネルギー伝送技術の適用も要検討。
プラント構体及びサブシステム等の運搬／設置	ローバ搭載型または着陸機搭載型の実証形態を想定	<ul style="list-style-type: none"> 着陸機からプラント建設地までの運搬、荷下ろし プラント建設地における設置作業 		月面での工事量を最小化の観点より「モジュール工法」の適用可否を検討。
プラント設備への覆土	—	<ul style="list-style-type: none"> 覆土作業 (TBD) 		温度変化による影響緩和、デブリ防護等を目的とする。



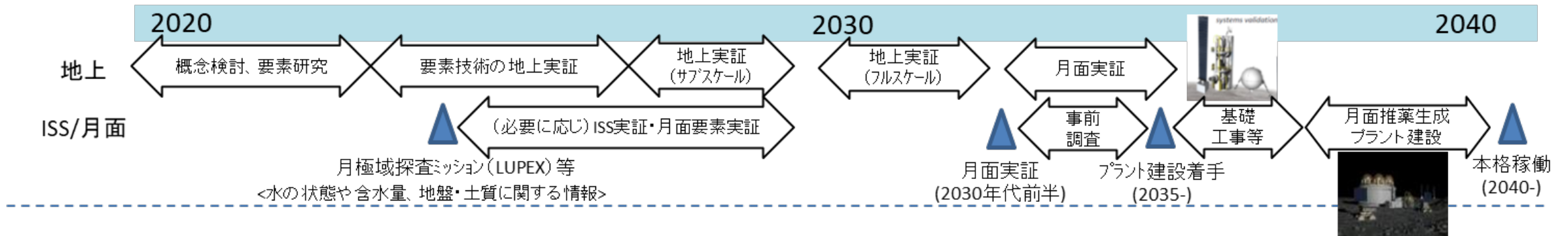
月面実証

- 2030年代前半に水資源利用に関する総合システム（サブスケール）の月面実証を行う。
- 氷含有レゴリスから水 (340 kg/year) や酸素 (150 kg/year) を製造。

月面推薬生成プラント

- 2030年代後半にプラント建設に着手し、2040年までに本格稼働を開始する。
- 氷含有レゴリスから液体酸素(49.3 ton/year) 及び液体水素 (8.3 ton/year)を製造。

注: 上記はJAXAと日揮グローバル株式会社との連携協力協定における構想検討時の想定であり、打上げ時期やプラント等の規模や計画については、今後の研究開発状況や国内外関係者との調整等により検討される。



❖ 全体システム

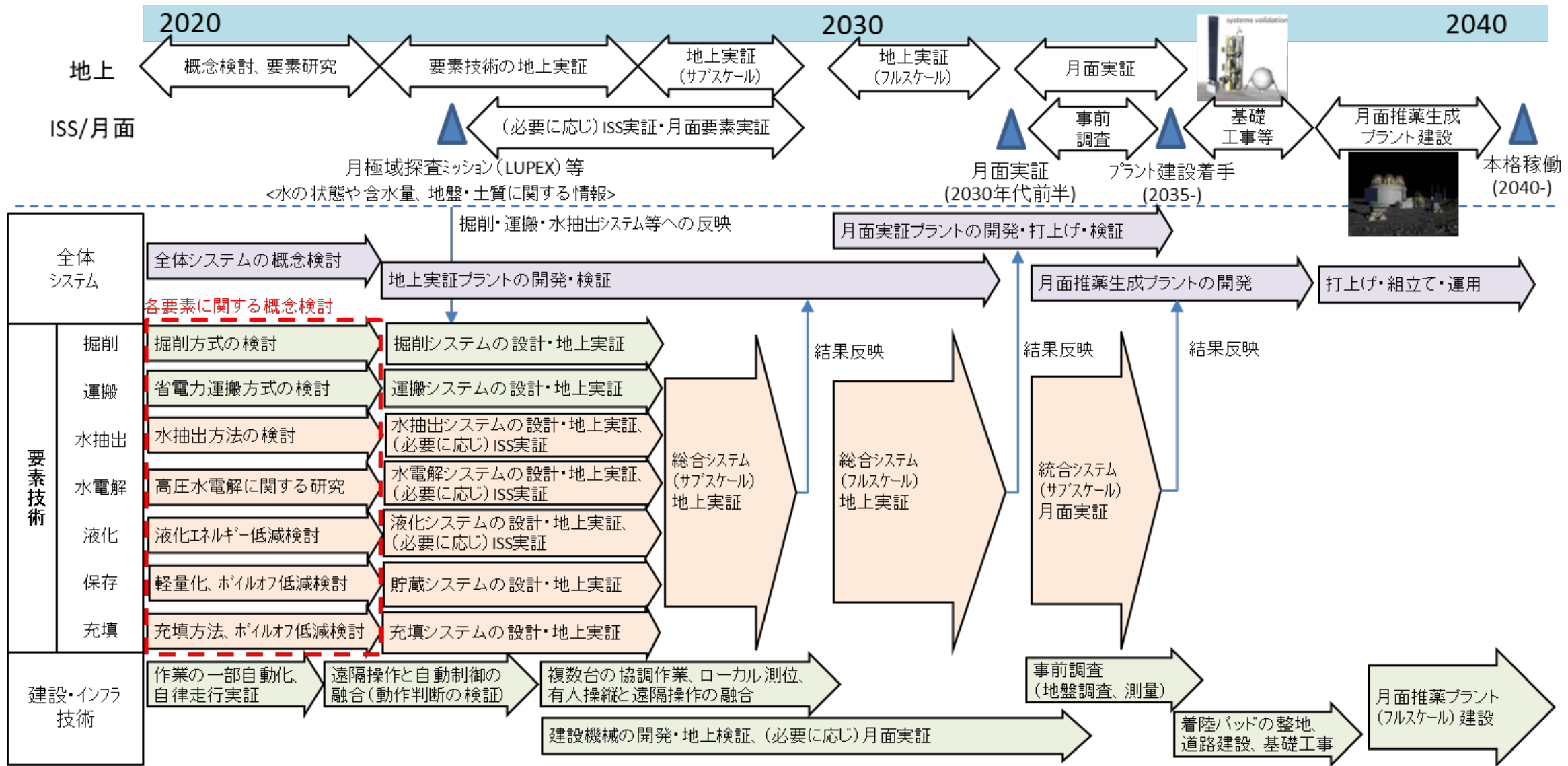
月面でレゴリスを掘削、プラントまで運搬、水を抽出した後に電気分解、得られた酸素及び水素を液化、タンクに保存、再使用離着陸機に推薬を充填する一連のシステムについて、地上のプラントメーカー等と連携しつつ、プラント全体システムの開発を行う。

❖ 要素技術

水資源利用における各要素（掘削、運搬、水抽出、水電解、液化、保存、充填）について技術検討を行う。特に、月面特有の自然環境（低重力、温度、真空等）が各構成要素に与える影響を評価し、必要に応じ、ISSや月面での実証を行い技術成熟度の向上を図る。

❖ 建設・インフラ技術

プラント建設地の事前調査、資材輸送用の着陸パッドの整地、着陸パッド～プラント建設地点間の道路建設、基礎工事が必要。地上の建設技術を最大限活用し、自動・自律化された建設機械の開発やプラント施工に取り組む。



月面推薬生成プラントの実現に向けた技術ロードマップ

