



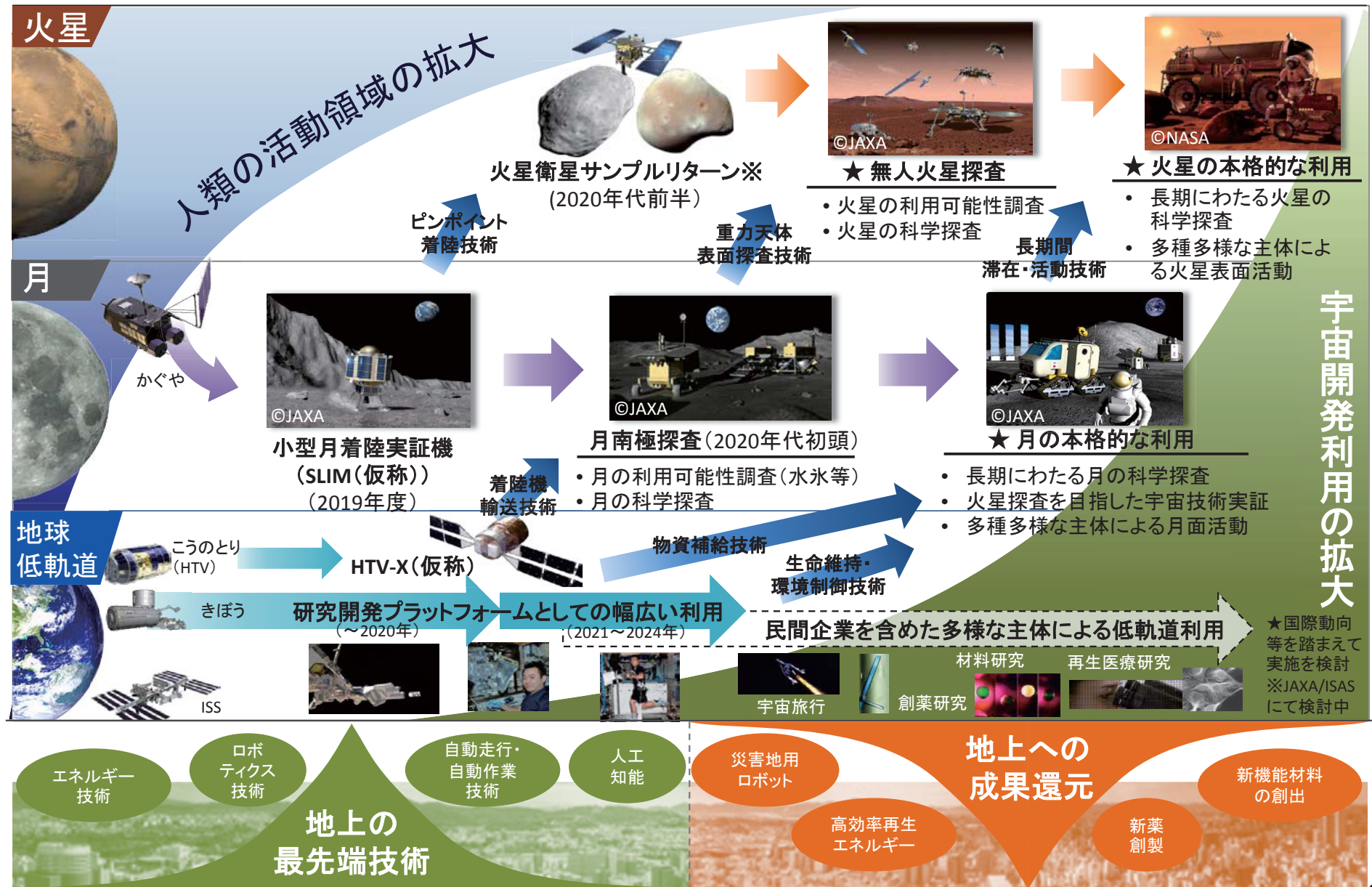
太陽系フロンティア開拓による人類の生存圏・活動領域拡大に向けた
オープンイノベーションハブ

月・火星での「地産地消」探査シナリオ

宇宙探査イノベーションハブ課題設定ワークショップ
フクラシア東京ステーション
2015/09/16

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
宇宙探査イノベーションハブ
星野 健

宇宙探査シナリオ (文部科学省ISS・国際宇宙探査小委員会 H27.6.25)



人類の活動領域・宇宙開発利用の拡大

- 人類の活動領域の拡大は、まず探検、次に開拓、最終的に定住と進めてきた。
- 現在の有人宇宙探査は探検段階から開拓段階に進みつつあると考えられる。



探検の時代



開拓の時代



定住の時代



今はこのステップ

【転載禁止】JAXA宇宙探査イノベーションハブ
「課題設定ワークショップ」説明資料ダウンロード版 平成27年9月

次のステップに向けての課題



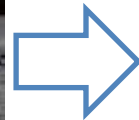
- 地球とつながる「へその緒」を少しずつ切るため、「全補給型」から脱却した「地産地消型」探査の実現を目指す。



アポロ

現地調達： なし
再利用： なし

必要なものはすべて運んだ。電力も燃料電池であり、酸素と水素を運んだ。



宇宙ステーション

現地調達： 電力
再利用： 空気、水の一部

モジュールを地球から輸送して建設。電力は地産地消を実現。空気と水を一部再生している。



目指す姿

現地調達： ≒100%
再利用： ≒100%

燃料、建材、空気、水、食料を含む地産地消と再利用を目指す。

解決手段： 現地の物質を最大限利用し再利用する。

各国の動向 米国



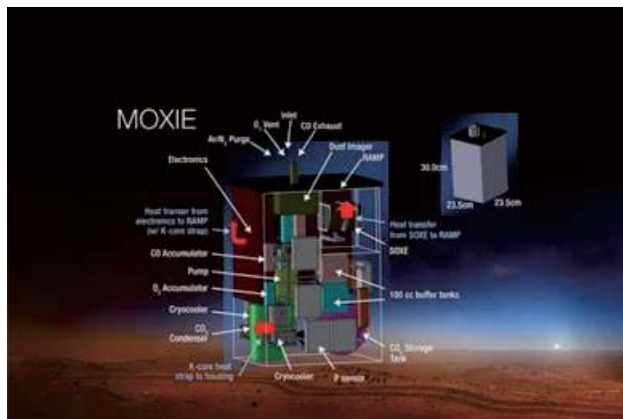
- 資源利用や拠点自動建設の研究を精力的に実施しており屋外フィールドでの実証なども実施している。
- また、月面実証 (Resource Prospector) や火星実証 (Mars2020) の計画も検討されている。
- ISRU (現地資源利用) 技術が実用化されるまで有人着陸探査を待つ方針。



Resource Prospector (Credit: NASA)
2020年ごろ水氷の存在調査や酸素抽出実証を計画



月資源利用実証 (Credit: NASA)



Mars2020のMOXIE (Credit: NASA)
2020年ごろ大気中からの酸素製造実証を計画

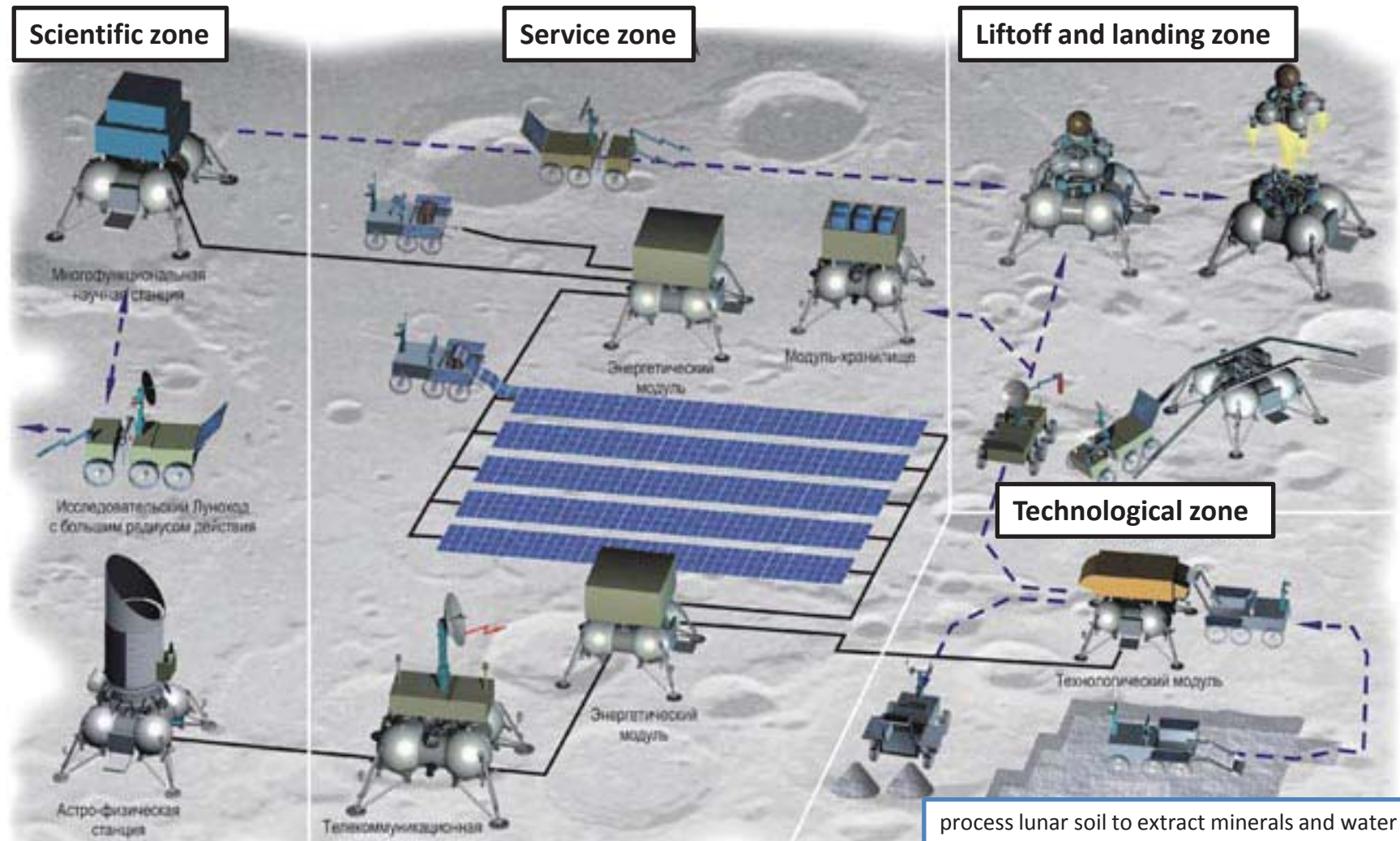


月の土壌を使った拠点建設 (Credit: NASA)
【転載禁止】JAXA宇宙探査イノベーションハブ「課題設定ワークショップ」5
説明資料ダウンロード版 平成27年9月

各国の動向 ロシア



- 月資源利用実証を行うLuna-Resurs(月資源という意味)の探査機の打ち上げを複数計画している。



【転載禁止】 JAXA宇宙探査イノベーションハブ「課題設定ワークショップ」
説明資料ダウンロード版 平成27年9月

process lunar soil to extract minerals and water

Credit: NPO Lavochkin 、枠内文字追記JAXA

各国の動向 ESA



- 前述のロシアの探査機と連携するとともに、3Dプリンタ技術を用い、レゴリスから月面基地を自動建設する研究などを積極的に実施している。



3Dプリンタ技術を使った拠点建設計画と実証実験 (Credit: ESA)

【転載禁止】JAXA宇宙探査イノベーションハブ
「課題設定ワークショップ」説明資料ダウンロード版 平成27年9月

JAXAの目指す「地産地消型」探査



◆ 目的

「すべて運ぶ」から、「現地で調達する」「再利用する」というパラダイム転換により、持続可能な探査を可能とする。

◆ チャレンジする課題

必要な物資を地球からの輸送コストに比して効率的に生産できるシステムを構築する。

◆ アプローチ

- JAXAだけでは不可能。
- 日本が得意とする地上技術を最大限に活用し、宇宙探査技術に革新を起こし世界をリードすることを目指す。
※自動車技術、自動建設技術、省エネルギー、リユース・リサイクル技術、資源精製技術 等

利用できる物質の比較



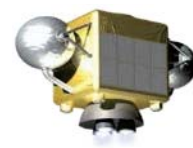
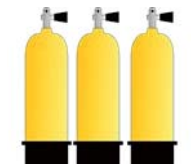
- 周回探査 ≠ 地球 ≡ 月 ≡ 火星

	地球	周回探査 (ISS)	月表面探査	火星表面探査
重力	9.8 m/s ²	≒0	1.62 m/s ²	3.71 m/s ²
日照周期	24時間	1時間31分	708時間	24時間39分
大気圧	101kPa	10 ⁻⁵ Pa	夜 10 ⁻¹⁰ Pa 昼 10 ⁻⁷ Pa	0.7-0.9 kPa
大気組成	N ₂ 78.1% O ₂ 21.0% Ar 0.93% CO ₂ 0.038% H ₂ O 約1%	O 85% (原子状酸素)	Ar, He, Na, K, H ₂ (極微量)	CO ₂ 95.3% N ₂ 2.7% Ar 1.6% O ₂ 0.13% CO 0.07% H ₂ O 0.03%
物質	地殻の成分 O ₂ 49.5% Si 25.8% Al 7.56% Fe 4.7% Ca 3.39%	無	表土の成分 O ₂ 42% Si 21% Fe 13% Ca 8% Al 7%	表土の成分 O ₂ 45% Si 20% Al 12% Fe 11% Ca 4%

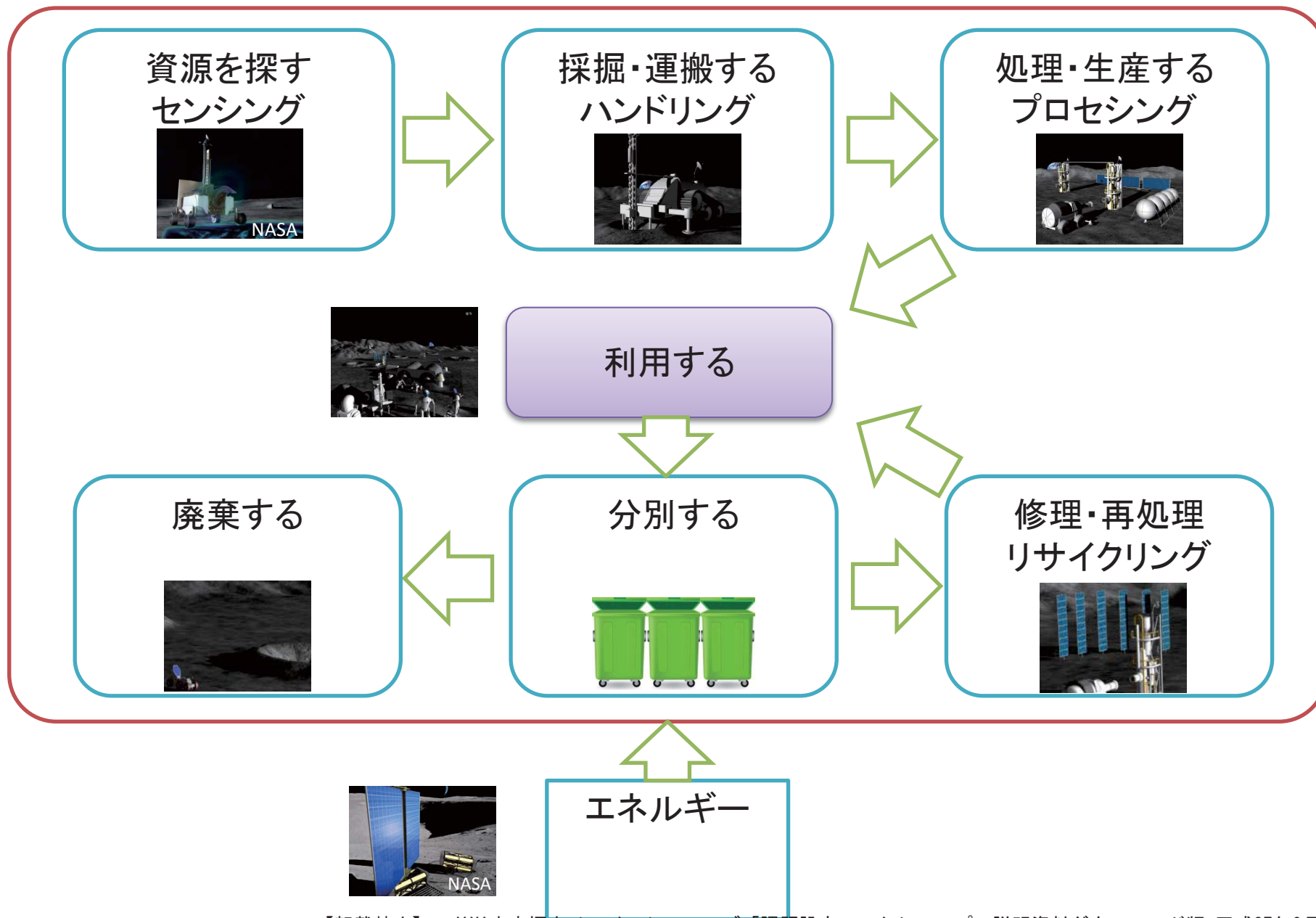
必要な物質



利用先	用途	利用可能性資源
建造物	離着陸ポート、道路・橋梁 居住モジュール、調査観測施設 生産プラント、エネルギープラント	焼結レゴリス、セラミック(ガラス)、整形岩石、鉄、アルミ、チタン、マグネシウム 等
生活	呼吸用ガス、飲料水、生活用水 食料生産に必要な物資	水、水素、酸素、窒素、炭素、ナトリウム、カリウム、リン、鉄 等
機械類	太陽電池 探査機・ローバ・観測機器の補修部品	シリコン、鉄、アルミニウム、チタン、ニッケル 等
推進剤	再使用着陸機、離陸機 表面移動体燃料	水素、酸素、アルミ、メタン
発電燃料	原子力発電 核融合発電	ヘリウム3、ウラン、トリウム



必要な技術



- 考え方

- まず、存在量と形態を効率的に探る必要がある。
- 月と火星の土壌は似ているため、土壌からの物質生産は月で検証し火星へ。
- 月には大気がないため、大気からの物質生産は火星で実証する。
- 優先度は、質量インパクトが大きく、また、容易なプロセスに取り組み、徐々に複雑なプロセスに取り組む。

2015	2020	2025	2030	2035	2050~
------	------	------	------	------	-------



可能性
調査
(地面)

建造物素材
水、燃料、酸素

生活物資
金属



可能性
調査
(大気)

建造物素材
水、燃料、酸素

生活物資
金属

設定課題例： システムレベル



- 自動走行し水の存在量、吸着ガス量、レゴリスの組成等を観測するシステム。
- 月での資源利用
 - レゴリスから酸素を1kg/dayの割合で製造できるシステム。
 - レゴリスからブロック等の構造物を作るシステム。
 - 有人拠点からの廃棄物をリサイクルするシステム 等。
- 火星での資源利用
 - 大気中の二酸化炭素から、酸素やメタンの製造技術を実証するシステム。
 - 地中のドライアイスや水氷を用いた推進剤の製造技術を実証するシステム 等。

※地上技術と完全に一致するものは少ない？ 共通点として以下のサブシステムか？

- センサ、プラント、ハンドリング、移動、エネルギー供給

設定課題例： 要素技術レベル



- 資源センサー
 - 地中の水・メタン検知、鉱物・元素組成の調査
- 資源処理化学プラント
 - 酸素製造、金属製造 など
- 資源処理物理プラント
 - 焼結、溶融、熱処理 など
- 効率的なハンドリング機器
 - 採掘機、分離機、搬送機械、貯蔵 など
- 共通技術としての、移動技術、エネルギー技術

※個々の技術は地上技術と類似性が高い

設定課題例： 基礎知識レベル



- 資源分布の新たなセンシング原理
- 物質の月・火星上の分布
 - 分布計測とデータベース化はJAXAの仕事
- 資源抽出のための新たな化学プロセス
 - 酸化物の還元
 - 合成、分解、精錬
- 資源抽出のための新たな物理プロセス
 - 分級、分離
 - 焼結
 - 吸着ガスの加熱脱着

※物質分布以外、地上技術と類似性が高い

おわりに



- 「地球外の資源を使う」ことは、人類およびその文明・文化の進化の中で、大きな一歩であると考えています。
- また、持続的探査の実現のため、隔離された世界に人間の活動空間を構築し、省資源・再利用・循環型のシステムを実現することは、地上の資源、エネルギー、環境問題解決のテストベッドとして大いに貢献すると考えます。

