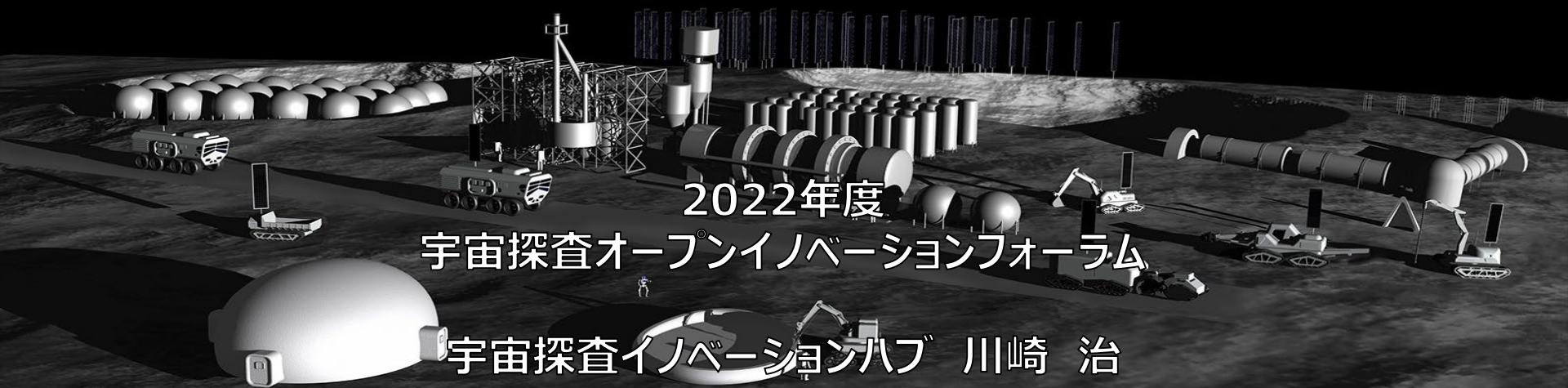


# 宇宙探査

イノベーションハブ

INNOVATION HUB

「国際宇宙探査シナリオ」「月の三科学」への貢献と将来の新しいミッションの創造



2022年度  
宇宙探査オープンイノベーションフォーラム

宇宙探査イノベーションハブ 川崎 治

【事業化】及び【社会課題の解決】

宇宙探査イノベーションハブのオープンイノベーション事業による探査技術の進展と企業の事業課題を解決

【技術シーズ】

【火星以遠の探査】

探査のための新技術の芽出し・新しいミッションコンセプトの創出に寄与する技術

【月面の本格的な探査】

技術課題・技術ギャップの解消に寄与する技術



アルテミス計画

月の三科学

## 国際宇宙探査の動向

- JAXA国際宇宙探査センターより「日本の国際宇宙探査シナリオ(案) 2021」(令和4年3月)を公開中  
<https://www.exploration.jaxa.jp/news/20220427.html>
- 国際宇宙探査協働グループ(ISECG)が発行した国際宇宙探査ロードマップ(GER)にアルテミス計画動向及び日本のサイエンスコミュニティの月・火星の科学の検討進捗等を踏まえた総合シナリオ
  - 国際宇宙探査における目標
  - 全体アーキテクチャ
  - 環境データ分析
  - 科学・技術の各ロードマップ
  - 具体的ミッション



# 月の三科学

## • 月震計ネットワーク

- 月面の全球(裏側含む)へ多数の月震計の配置、長期間の計測による月内部構造の把握

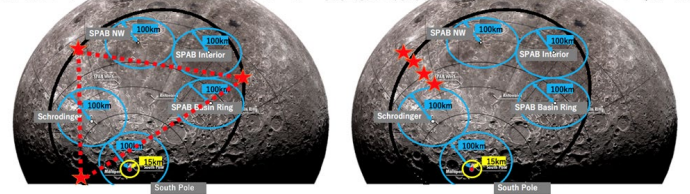
## • 月サンプルの採取・選別・地球帰還

- 月の形成ひいては地球地殻の形成や太陽系巨大ガス惑星軌道変化に関する知見をもたらす、複数の衝突盆地露頭サンプルの採取、その場分析、持ち帰り

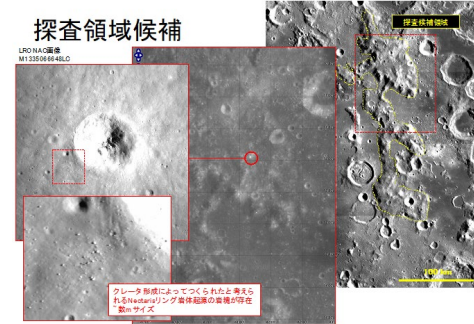
## • 月面からの天文観測(月面天文台)

- 大気や人間の活動起因の擾乱のない月面裏側で波長1-40MHz帯の電波干渉計による観測(宇宙最初期の情報を得る中性水素21cm線の観測)

配置案1: アポロ観測網を越えるネットワーク 配置案2: 月深部構造にフォーカスしたアレイ (50~100km間隔)



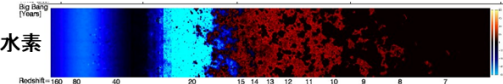
探査領域候補



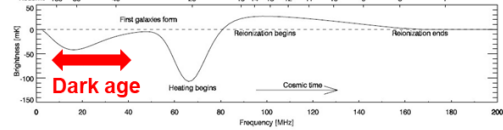
クレータ形成によってつぶされたと考えられるNeotarusリング帯体組織の残存が確認されています

宇宙年齢 1000万年 1億年 2.5億年 5億年 10億年 → 現在(138億年)

宇宙の中性水素

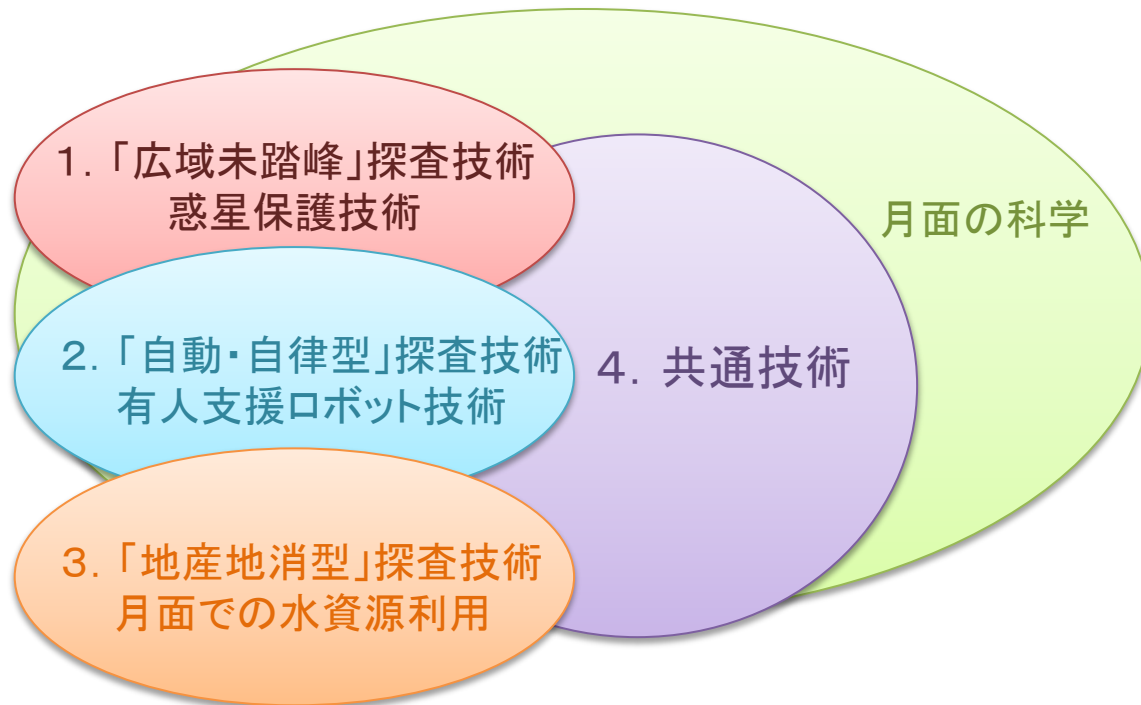


中性水素の信号  
(グローバル)

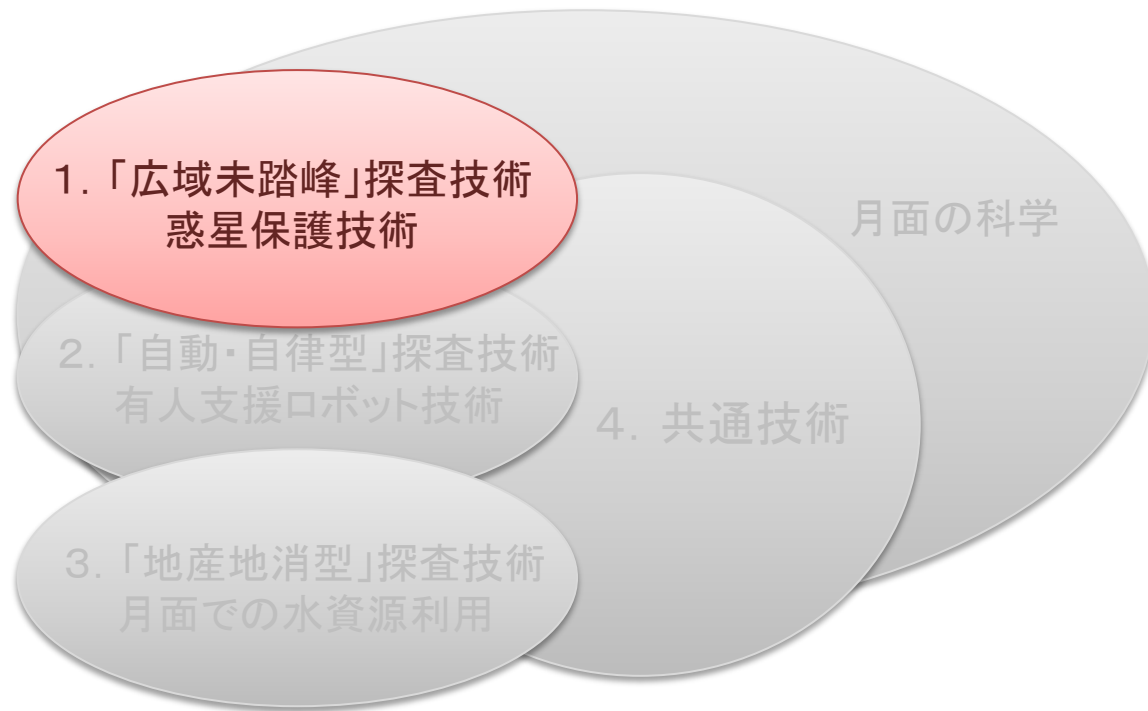


# 「国際宇宙探査シナリオ」「月の三科学」への貢献し 将来の新しいミッションの創造となる技術課題領域

4つの技術領域及び比較的近い将来に向けて重点的に取り組む課題



# 「国際宇宙探査シナリオ」「月の三科学」への貢献し 将来の新しいミッションの創造となる技術課題領域



- ◆ 目的  
月、火星他、太陽系内の探査対象へ到達し、自在に移動・踏破する。調査・分析のために現地へ搬送できる装置を実現し、革新的な探査を可能にする。
- ◆ チャレンジする課題  
重力天体へ位置を変え繰り返し離着陸できる推進系技術、太陽系内航行の技術、不整地・急斜面・立坑等における走行/移動の技術、各種分析装置の小型化・軽量化など、必要な要素技術を開発する。
- ◆ アプローチ  
地上における、車両の走行制御技術や流体制御技術、IoT技術、産業・医療用分析装置などをもとに、シミュレーションによる環境適応の検討も踏まえて、高性能化、小型・軽量・低リソース化を含む宇宙仕様化に取り組み、地上模擬フィールド等での実証から宇宙実証も視野に入れた研究開発をおこなう。

- スロットリング可能な推進系  
(流量調節・電磁弁・ポンプ、燃焼器)
- 人工知能・リアルタイム地形把握  
(少ないリソースでの画像解析・理解、行動立案)
- その場検出・その場分析技術の小型軽量化  
(電磁波、質量、成分等の分析器)
- 月極域や拠点での長期滞在のための環境適応システム
- 小型無線給電システム
- 故障検知・診断・再構成、自己修復

## ◆ 目的

天体着陸を含む各種生命探査や民間探査機における宇宙市場開拓が続々と計画される中、**惑星保護技術の向上**は必要不可欠である。惑星保護における主要な技術のうち、

① **滅菌バリデーション**

② **バイオバーデン管理**

について、過去に火星着陸探査を実施したことがない**我が国はこれらの技術を保持していない**。

◆ 国際ルールを満たす水準まで探査機の汚染レベルを低減する滅菌・除菌法、及び、その検証・評価法に関する基盤要素技術の確立、各種要素技術を組み合わせた効率的な惑星検疫システムの構築が必要となる。

## ◆ チャレンジする課題

各種技術の**滅菌・除菌効果、腐食特性を比較**し、生体分子でも分解できるような除菌システム、従来知見が不十分であったウイルスやアレルゲンについても適正な不活化が行えるような**滅菌・除菌システムの構築**を行う。

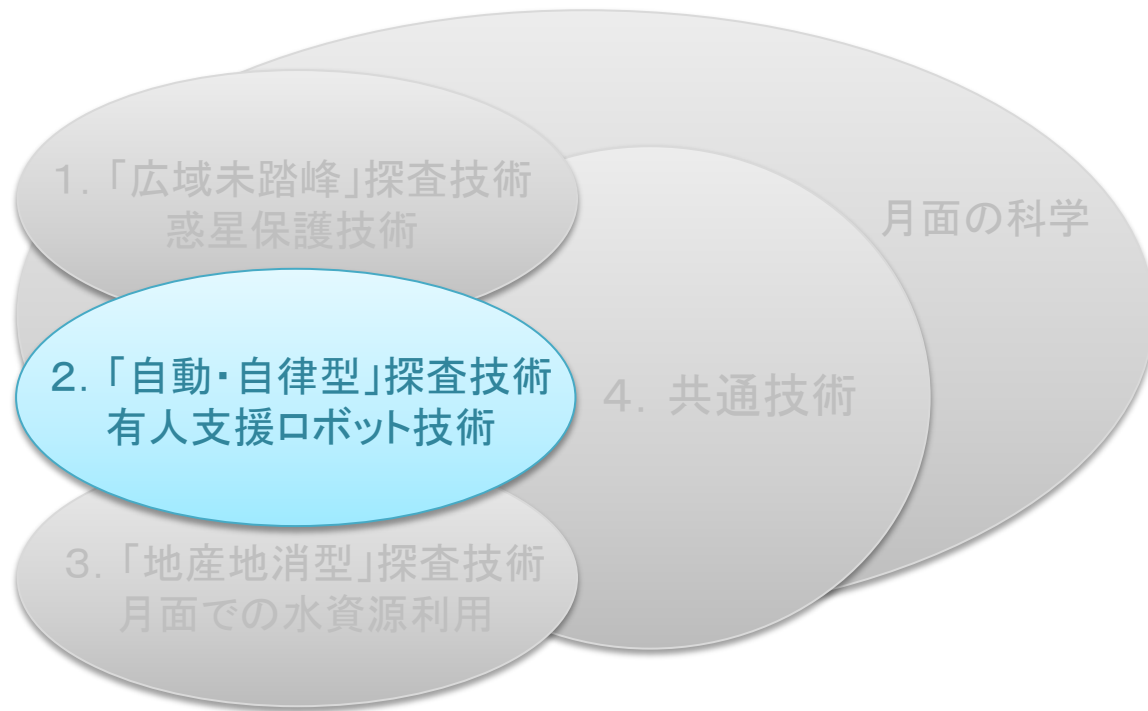
さらに、その**評価・検証手法も併せて開発**を進める。

評価法は、極微量の細胞の検出、休眠状態の細胞の検出、鉱物などの非細胞との判別などにおいて、高感度であることが望ましい。

- ポータブルな滅菌技術
- 超小型探査機向けの滅菌技術



# 「国際宇宙探査シナリオ」「月の三科学」への貢献し 将来の新しいミッションの創造となる技術課題領域



## ◆ 目的

地球からの指令型探査から脱却する「自動・自律型」探査技術を獲得し、自ら機能するシステムや、人と共生し身体的・精神的な負担を軽減し、なおかつ安全な自律的システムで、宇宙技術に革新を起こす。

## ◆ チャレンジする課題

世界トップクラスである我国のロボット技術や自動車技術、物流技術などを高度化・宇宙仕様化してAI技術と連携させることで、人による作業の代替・自動化、探査機システムや拠点システムの自律的な運用などを目指す。

## ◆ アプローチ

地上で既に実現されている技術をベースとし、軽量化、低消費電力化、耐環境性向上、高性能化などの高度化を行い宇宙で適用できる仕様とする。無人化や自動化、状況認識・適応・行動立案などにAI技術を活用する。模擬フィールドやアナログサイトで技術実証を行い、最終的には宇宙実証を目指す。

- 人工知能・リアルタイム地形把握  
(少ないリソースでの画像解析・理解、行動立案)
- 環境適応システム
- 故障検知・診断・再構成、自己修復  
(以上、広域未踏峰ともオーバーラップする技術)
- 自動運転
- 無人測量
- GUI、AR/VR 技術を活用した人との協調

- ◆ 国際宇宙ステーション(ISS)や将来有人探査(Gateway: 月近傍拠点や月面、火星探査)における将来の有人宇宙活動へ向け、人が効率的、安全に活動するため自動化・自律化技術の適用を目指す。

### 宇宙飛行士の作業代替(マニピレーション)

- ①小リソースな自動制御技術
- ②通信遅延下での遠隔操作技術
- ③人の動作の模倣学習
  - 計算負荷の低い深層学習アルゴリズム
  - GUI、AR/VR、力触覚予測フィードバック

### 作業効率化(荷物管理)

- ①作業効率を高める物品管理手法
- ②微小重力下で物品紛失を防ぐ技術
  - 自動倉庫、RFID、配置最適化
  - 軽量、高収納率な搭載構造
  - 画像認識・紛失検知・革新的固定/収納方法

### 補給品の運搬(移動技術)

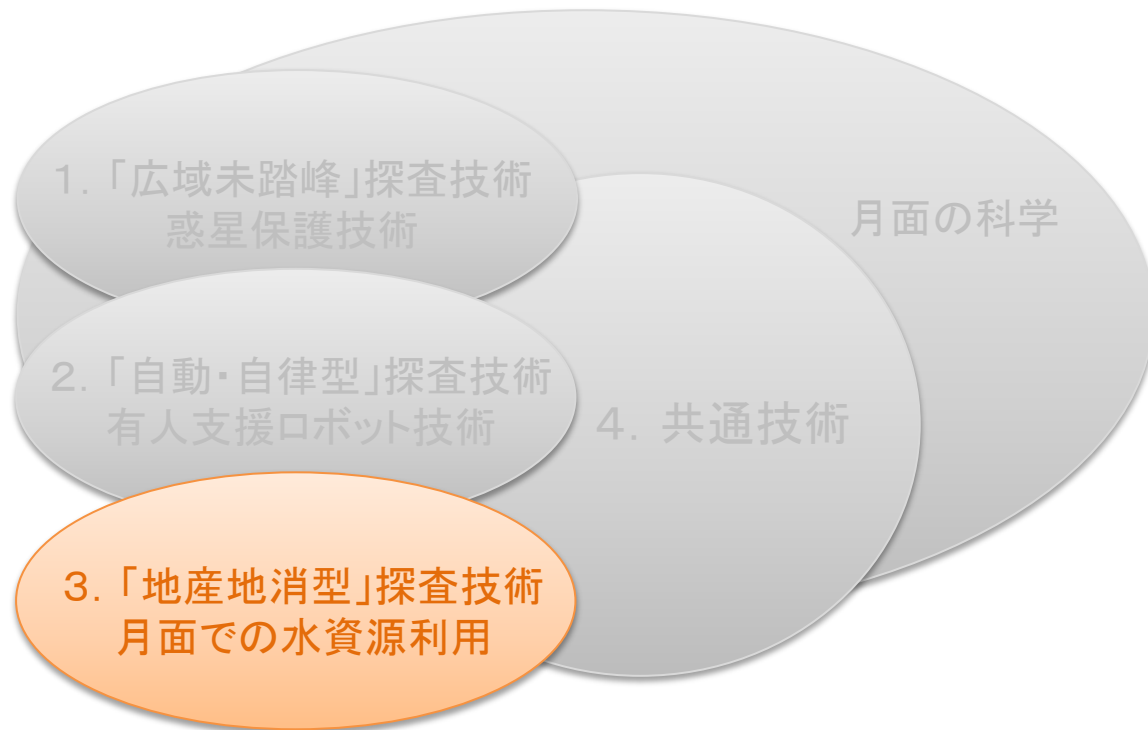
- ①重量・重心の異なる各種荷物の運搬
- ②小リソースでロバストなSLAM/経路計画
  - 重力/無重力両方で飛行できるドローン
  - 把持ポイントを伝い歩く多脚ロボット/ハンド
  - 低負荷な3次元経路計画

### 共通技術

- ロボットの軽量化・省リソース化
- 軽量・高出力なアクチュエータ
  - 軽量・不燃性な構体材料
  - 軽量・高エネルギー密度で安全性の高いバッテリー
- 人協調技術
- 周辺の人・ものに危害を与えない制御手法
  - 音声認識等のクルーI/F
  - 人間・機械協調によるウェルビーイング



# 「国際宇宙探査シナリオ」「月の三科学」への貢献し 将来の新しいミッションの創造となる技術課題領域



## ◆ 目的

「すべて運ぶ」から「**現地で調達する**」「**現地で製造・加工する**」「**再利用する**」というパラダイム転換により、従来に比べ輸送効率の高い持続可能な探査を可能とする。現地調達のために月・火星での**資源の分布、存在量、形態を観測する資源探査システムを構築**する。

## ◆ チャレンジする課題

日本が得意とする省エネルギー、リユース・リサイクル技術、資源精製技術等を応用し、**必要な物資を効率的かつ無人で生産できるシステムを構築**する。

## ◆ アプローチ

◆ 地下の水氷(揮発性物質)や鉱物等検知技術、ハンディ化、可視化



月の表土(レゴリス)



水抽出

低品位原料の資源化・製品製造

- ◆ 分離分級、選別、精錬、濃縮
- ◆ 固化造形(AM等)

リユース・リサイクルシステム

- ◆ CFRPやチタンなどの効率的再利用
- ◆ 閉鎖循環システム

水資源利用

- ◆ 低エネルギー液化
- ◆ 電力供給効率化
- ◆ 貯蔵システム軽量化・材料適合性

その他... 現地生産システム

- ◆ 植物栽培・生産技術(ロボット・モニタリング技術)
- ◆ 養殖システム、飼育システム



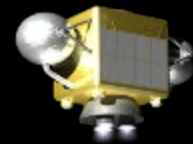
ブロック



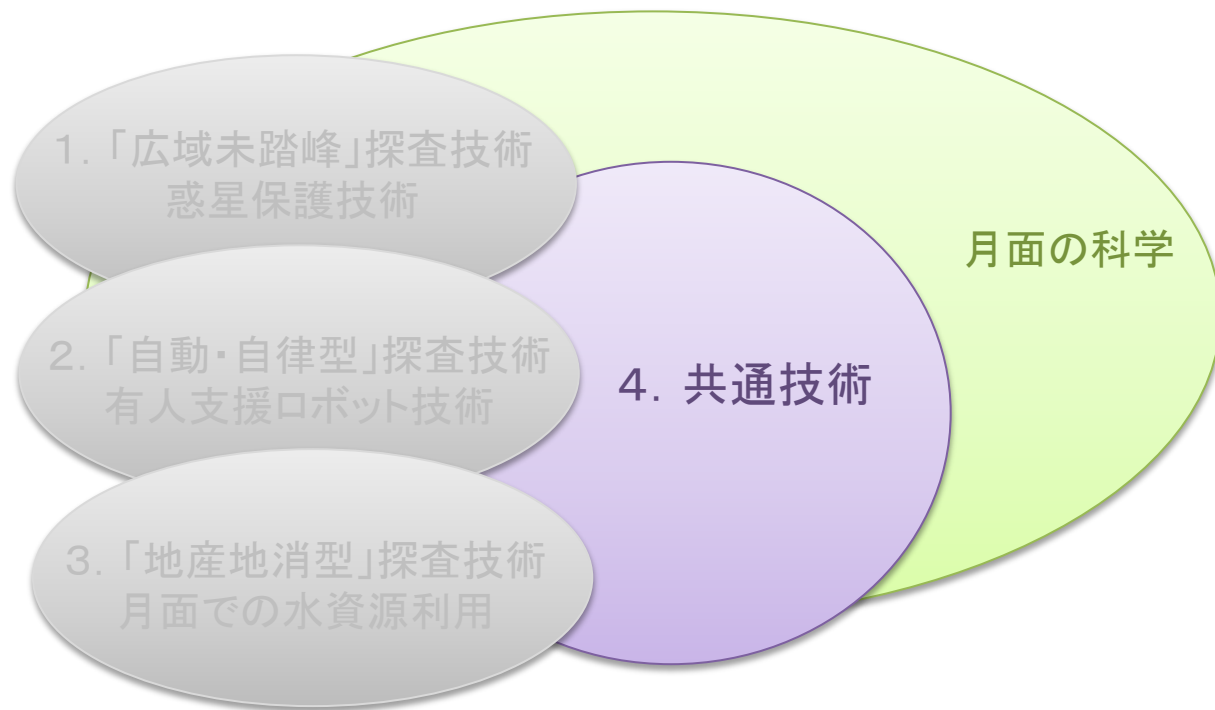
金属素材



燃料(水素・酸素)



# 「国際宇宙探査シナリオ」「月の三科学」への貢献し 将来の新しいミッションの創造となる技術課題領域



- ◆ 宇宙探査シナリオに貢献するとともに民生用途としても広く応用可能な共通技術の提案を求めます。

### ①エネルギー・循環技術

主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術、「地産地消型」探査技術、月面の科学

例

- **低電力・省電力化技術** (広域未踏峰、自動・自律型)
- 革新的発電デバイス・システム、**熱電発電**、エネルギーハーベスティング (広域未踏峰、月面の科学)
- **高効率無線電力伝送 (磁界による近距離・遠距離及びレーザーによる遠距離)** (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)
- **高エネルギー密度の蓄電デバイス** (広域未踏峰、地産・地消型、月面の科学)
- エネルギー源の創出(水素・酸素・石油・石炭・天然ガス・原子力・水力・風力等)とその宇宙応用(地産地消型)
- エネルギーの循環(回収・貯蔵・再生産・搬送・廃棄)(地産地消型)
- エネルギーの蓄積(コージェネレーションシステム、給湯・貯湯・冷凍等技術)(地産地消型)

### ②原動機・装備品技術

主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術

例

- **耐環境性に優れたモータ・エンジン・タービン**等電動機・熱機関・流体機械技術、電動モータを中心としたこれらの冷却技術 (広域未踏峰、自動・自律型)
- 各エネルギーを力学的(機械的)エネルギーに変換する原動機技術(広域未踏峰、自動・自律型)
- 簡易な原理や構造で信頼性高く、真空中で利用できる湯ある・空圧等アクチュエータ技術(広域未踏峰、自動・自律型)
- 締結・動力伝達・液/気体輸送・密封・緩衝等機械要素技術(広域未踏峰、自動・自律型)

- ◆ 宇宙探査シナリオに貢献するとともに民生用途としても広く応用可能な共通技術の提案を求めます。

### ③材料・構造技術

#### 主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術、「地産・地消型」探査技術

#### 例

- CNTやナノファイバー・CFRP、CFRTPなどを利用した高強度で軽量の素材(広域未踏峰)
- 衝撃吸収材料、**自己修復材料**、超軽量材料、**多機能・傾斜機能材料**(広域未踏峰、自動・自律型)
- 金属材料(高比強度・高疲労強度・耐熱性・耐寒性・可撓性)、窯業・土石(ガラス・セラミック・コンクリート)(広域未踏峰、自動・自律型)
- 製造技術(生産加工技術・3Dプリンタ技術・表面処理・熱処理・接合・非破壊検査などの特殊工程技術)(地産・地消型)
- **材料のリサイクル技術** (地産・地消型)

### ④移動・輸送技術

#### 主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術、月の科学

#### 例

- **地形・位置の画期的な同定技術を応用した移動技術**(広域未踏峰、自動・自律型)
- **物資の形態(梱包・固体・液体・ガス)に応じ距離に最適化した輸送技術**(広域未踏峰、自動・自律型)
- 月・火星上の飛行技術(広域未踏峰、自動・自律型、月の科学)
- 人の輸送(自動車・航空機・鉄道・船舶等地上輸送技術の月・火星への応用)(広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)



- ◆ 宇宙探査シナリオに貢献するとともに民生用途としても広く応用可能な共通技術の提案を求めます。

## ⑤通信技術

主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術、月の科学

例

- **画期的な通信ネットワーク技術** (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)
- 超小型、超省電力通信技術 (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)

## ⑥耐環境技術

主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術、月の科学

例

- **高熱伝導・大気中/真空中を問わない断熱・高密度蓄熱・環境依存型放熱・加熱・冷却・熱輸送技術** (広域未踏峰、月面の科学)
- 防塵・除塵・耐摩耗技術 (広域未踏峰、月面の科学)

- ◆ 宇宙探査シナリオに貢献するとともに民生用途としても広く応用可能な共通技術の提案を求めます。

⑦ センサ技術 主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術、「地産・地消型」探査技術、月面の科学

- |   |   |
|---|---|
| 例 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>小型高精度な速度・加速度・姿勢センサ</b> (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)</li> <li>• <b>超高感度・高ダイナミックレンジな電磁波センサ</b> (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)</li> <li>• <b>小型・軽量な化学・物理分析装置の技術</b> (広域未踏峰、地産地消型、月面の科学)</li> <li>• 高精度・高機能光学カメラ (広域未踏峰、地産地消型、月面の科学)</li> </ul> |
|---|---|

⑧ 人工知能、AI、VR/AR、GUI技術、またそれを支える計算機・半導体技術

主な適用先

「広域未踏峰」探査技術、「自動・自律型」探査技術、月面の科学

- |   |  |
|---|--|
| 例 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>自律システムの構築及び安全性・信頼性を向上させるAI手法、自己診断技術</b> (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)</li> <li>• <b>VR/ARを用いた探査シミュレーション技術</b> (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)</li> <li>• <b>クルーの省力化、動作の模倣学習</b>に資する技術 (自動・自律型)</li> <li>• <b>少ないリソースで高パフォーマンスの計算技術、計算機技術、半導体技術</b> (広域未踏峰、自動・自律型、月面の科学)</li> </ul> |
|---|--|

⑨ 生活関連技術

- |   |   |
|---|---|
| 例 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 月・火星等で生産可能な衣服、靴等のアパレル関連技術</li> <li>• 月・火星等での消費財、洗濯、清掃、入浴等理容衛生関連技術</li> <li>• 月・火星等での生活に必要な電化製品等装備品関連技術</li> <li>• レジャー、娯楽、スポーツ、エンターテインメントに関する技術</li> </ul> |
|---|---|

## ◆ 「月面の科学」を支えるのに特に必要な共通技術

### ①輸送技術

#### 冷却技術

- ・ 再生冷却、高効率熱交換、内部流路加工

#### 噴射器技術

- ・ 流量可変噴射器、小型軽量アクチュエータ、高精度変位制御

#### 電動ポンプ

- ・ キヤンドポンプ、電動ポンプ、高効率モータ制御、流体圧損低減

#### 流量調整技術

- ・ 流調調整バルブ、キャビテーションベンチュリー、小型軽量アクチュエータ

#### 各種国産バルブ

- ・ 推進薬適合性、小型軽量バルブ

#### 推進薬適合性技術

- ・ 耐薬品シール材料、耐酸化コーティング、耐摺動、摩耗コーティング

#### 推進系高性能化技術

- ・ 軽量貯蔵、非透過製容器

### ②越夜・越昼技術、電源技術

- ・ RHU(熱制御)・RTG(発電)

### ③走行技術

- ・ 急斜面移動システム

### ④ロボティクスを活用した表面探査技術

- ・ 投擲などを実現するロボットアーム/各種エンドエフェクタ
- ・ 洞窟探査システム
- ・ 群ロボットシステムや崖下など難易度の高い地形を探査するための単一ロボットではないバディロボットシステム
- ・ 粉塵に強い着脱式機構
- ・ 着陸機サービスモジュール

### ⑤建設技術

- ・ 太陽電池タワー

### ⑥中継局技術

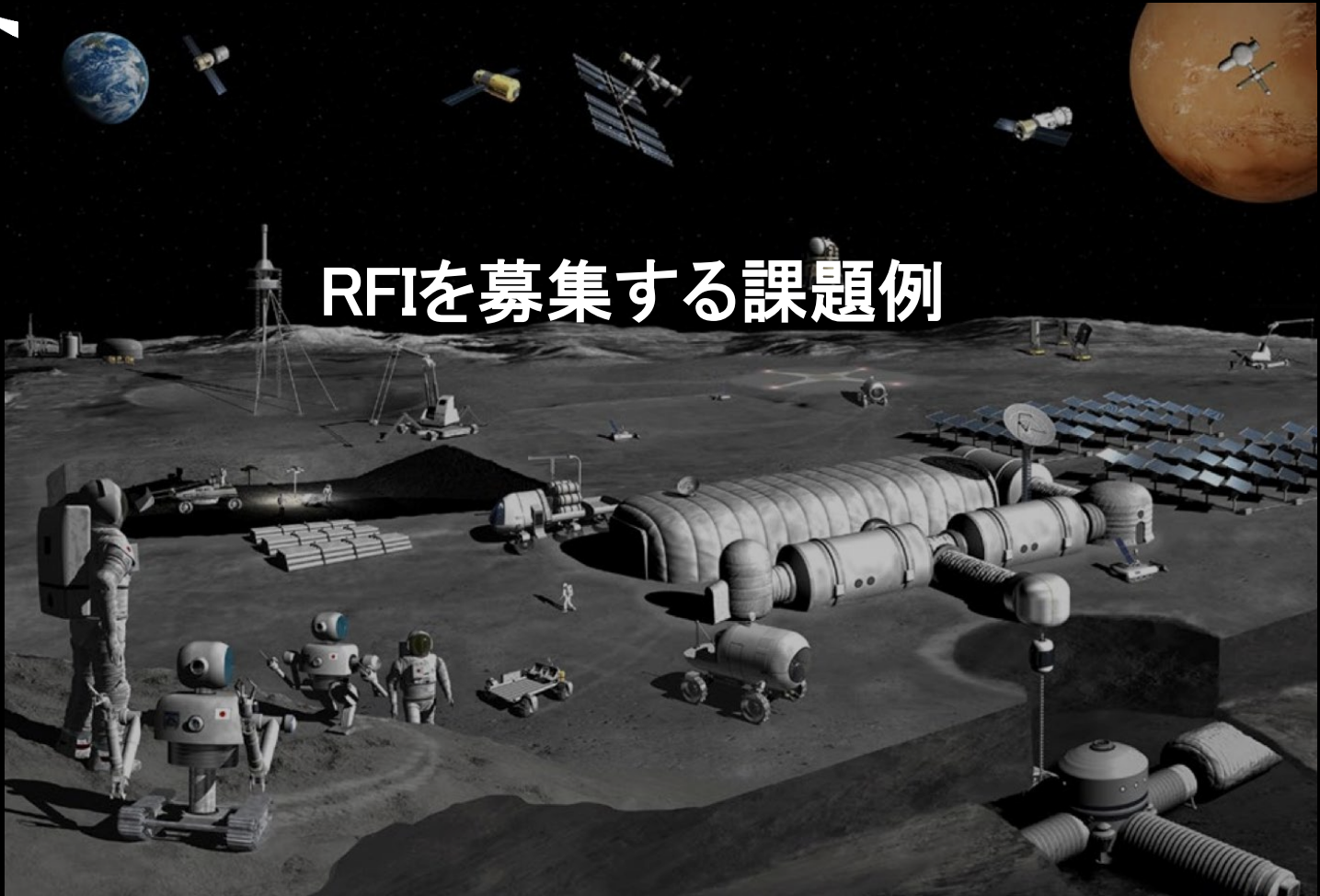
- ・ 光通信(月面-中継局)
- ・ 時刻同期

### ⑦観測技術

- ・ 月震系パッケージ
- ・ 干渉計パッケージ

## ◆ 「月面の科学」を支えるのに特に必要な共通的技术

④ロボティクスを活用した表面探査技術	
	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 投擲などを実現するロボットアーム/各種エンドエフェクタ</li><li>・ 洞窟探査システム</li><li>・ 群ロボットシステムや崖下など難易度の高い地形を探査するための単一ロボットではないバディロボットシステム</li><li>・ 粉塵に強い着脱式機構</li><li>・ 着陸機サービスモジュール</li></ul>
⑤建設技術	
	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 太陽電池タワー</li></ul>
⑥中継局技術	
	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 光通信(月面-中継局)</li><li>・ 時刻同期</li></ul>
⑦観測技術	
	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 月震系パッケージ</li><li>・ 干渉計パッケージ</li></ul>



# RFIを募集する課題例

## ロボット・ローバのためのエネルギー管理システム

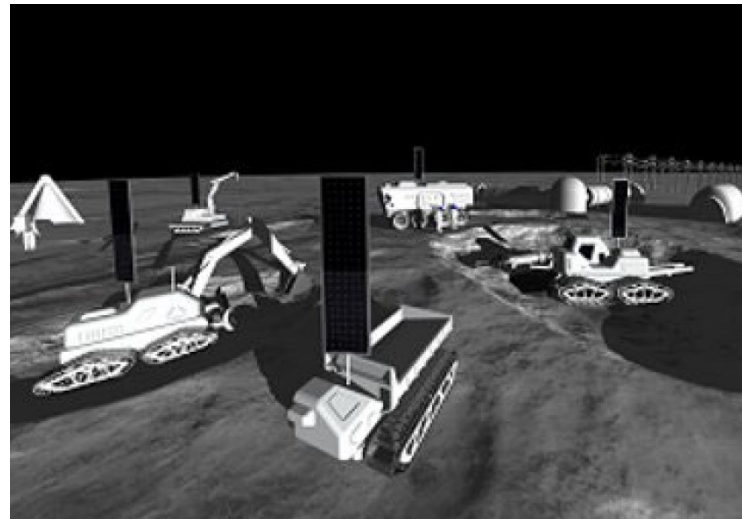
- 背景
  - 効率的な探査のため、ロボット・ローバの探査範囲・センサ動作の計画を太陽電池発生電力やバッテリー残量に照らして自律的に運用することが重要
- 課題
  - クレータ底や立坑など、日陰での探査後のバッテリー切れの前に日照領域あるいは無線給電ステーションへ自律的に到達する必要がある
  - 月面や火星などの未知環境ではロボットの移動距離・障害回避とバッテリー残量を精度良く予測するのが難しい
  - 複数の小型ロボットで協調探査する際の探査計画全体最適化
- 解決策として求める技術(案)
  - 人工知能等を用いて太陽電池・バッテリーの状態に車両状況や外部環境を考慮した移動探査を効率よく実施できるエネルギー管理システム
- 地上応用技術(例)
  - 電気自動車向けエネルギー管理システム、電気自動車向け自動給電技術



複数台ロボットによる分散協調探査

## 高精度物理シミュレータを使った月面自動建設動作の学習

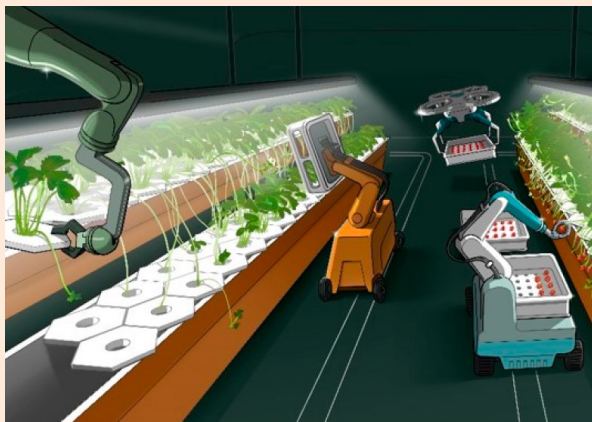
- 背景
  - 月面上で建設機械の自動建設動作(地盤調査・整地・掘削・モジュール設置・覆土など)の学習データ収集が困難なため、シミュレーションによる事前学習が重要である
- 課題
  - シミュレータの物理モデルの精度が低いと、シミュレーション環境と実機環境の差が大きくなる問題がある
- 解決策として求める技術(案)
  - 高精度な物理シミュレータ(土壌・地質特性・重力・気圧・センサ情報など)を用いた月面自動建設動作の学習
- 地上応用技術(例)
  - 土木建設での自動建設機械の開発



月面上での建設機械による自動建設

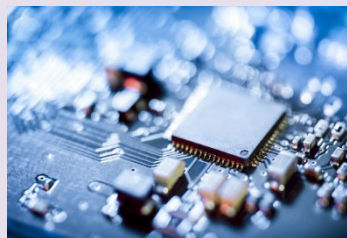
その他の課題例と求める技術(人工知能関連)

月面農場の自動化による省力化  
(自動栽培・成熟判定・  
収穫管理・自動収穫)

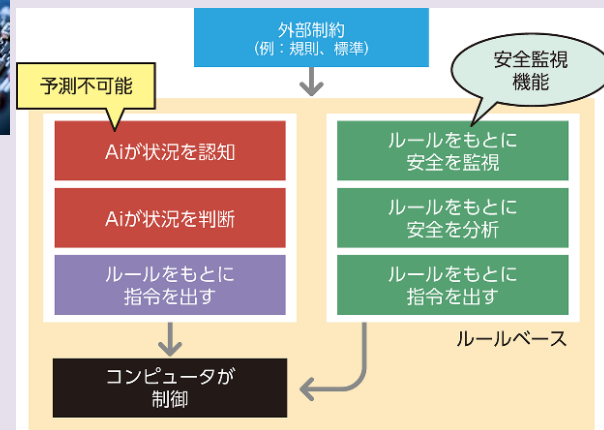


自動栽培収穫ロボット

信頼性を実現するAIアーキテクチャ



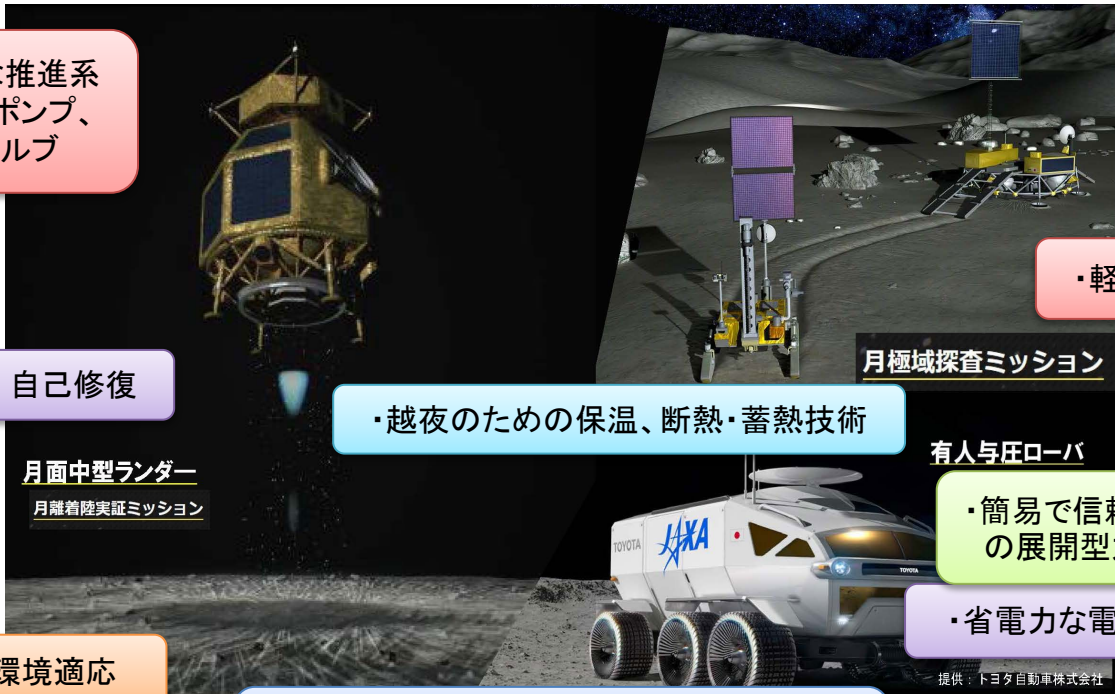
低消費電力高速処理AIチップ



ルールベースからAIによる動的認知  
(Ex: マニピレータのKeep Out Zoneの設置が不要)



# 国際宇宙探査シナリオに関する課題例



・スロットリング可能な推進系  
→噴射器技術、電動ポンプ、  
流量調整技術、バルブ

・故障検知・診断・再構成、自己修復

・越夜のための保温、断熱・蓄熱技術

・軽量の構造材料

・拠点での環境適応

・簡易で信頼性の高い構造で軽量の展開型太陽電池、ラジエータ

・省電力な電源、コンバータ、部品

・人工知能・リアルタイム地形把握  
・少リソースでの画像解析・理解、行動立案

提供：トヨタ自動車株式会社

## 月面の科学に関する課題例

### 急斜面移動システム

- アンカリング+テザー伸展により懸垂下降 & クライミングを実現する。



### 自動走行システム

- AI+各種センサで障害物を回避しながら目的地まで走行する。
- SLAMにより走行したエリアの地図を作成する。
- Gateway or 地上で情報処理することで消費電力を抑制する。

### 着陸機用サービスモジュール

- 付属ロボットアームによる簡易作業や付属センサによる簡易その場観測を行う。
- ローバ等への補充電(無線送電など)やローカルネットワークを提供する。