



# 第12回研究提案募集(RFP)募集課題

2024年7月 宇宙探査イノベーションハブ

# システム型

研究資金:最大1億円、研究期間:最長3年程度

## 【目標】

発電システム、送電システム（無線給電を含む）、ストレージシステムを結合した電力供給システムを構成し、推薬プラントやローバなど最終的なユーザに対し給電サービスを実現する。小規模な給電実証から始め、2035年頃以降に300kW程度（推薬プラントで持続的な月面活動ができるレベル）までスケラブルに拡大する。

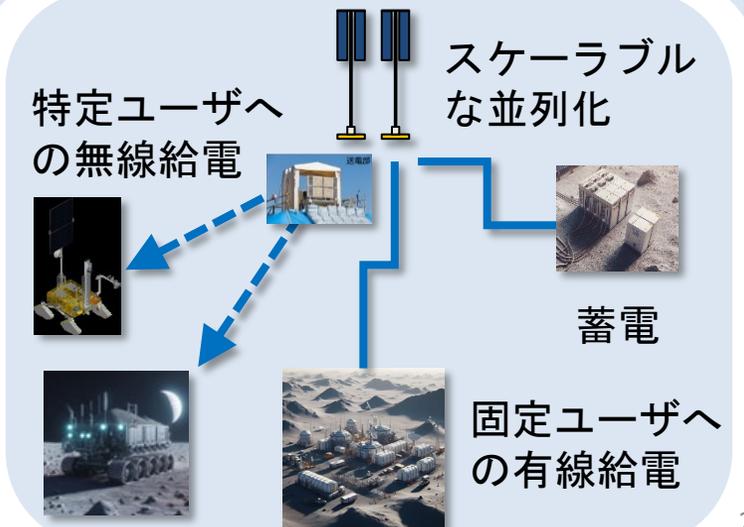
## 【募集課題と位置づけ】

「JAXA宇宙探査イノベーションハブ「Moon to Mars Innovation」情報提供要請（RFI）募集」にて提示した「①タワー型スマート太陽電池システム」及び「④探査モビリティと組み合わせる無線給電システム」に沿い、以下の2件をシステム型として募集する。

- (1) 月面固定型スマート太陽電池タワーシステム
- (2) 24GHz高効率大電力伝送システムに適用するスイッチングコンバータ及び高効率受信アンテナアレイと受電電力最大合成の研究

## 【意義価値】

(1) 及び (2) を統合したものとして作り上げることでエネルギーインフラストラクチャの基本である電力供給システムの基本形が完成する。研究の出口としてはJAXAプロジェクト化、宇宙戦略基金へのテーマ化、国プロへの発展などにより月面での技術実証を目指す。なお24GHz帯の無線電力伝送については、将来のは地上ビジネス化も期待できる。



### 【課題概要】

Aシステム型／次世代エネルギー領域

#### ・最終的な目標

実施中のRFP10「地球と宇宙で使える24GHz高効率大電力伝送システム(WPT)及び新規GaN系整流素子の開発」で創出する高効率整流技術と整合させつつ、24GHz帯高効率・軽量WPTシステム構築のため、高効率デバイスを適用したコンバータの検討、アンテナと整流器の高効率な結合、受電部電力出力の合成技術等を導入し、試作を含むフェージビリティを検証する。

#### ・現状と解決すべき課題

RFP10では24GHz帯高効率整流技術の創出と無線電力伝送システム全体の基本構成の確立が見込まれる。宇宙・月面での実用化に向け、システム全体の高効率化・軽量化の課題に取り組む。特に送電系のDC→RF効率的な変換や非理想的な負荷条件での効率低下の課題に着目し、上記技術による変圧・電力合成技術を導入する。また、整流器を直接アンテナに結合するレクテナ技術を導入し、受電系の高効率化を実現する。

### 【共同研究における目標】

最終的に月面での距離100m、伝送効率5%の技術獲得を目指し、以下の仕様のBBM相当の試作を含みシステムの原理確認をするとともに実証へ向けた課題を明確にする。

周波数: 24GHz帯、電力: 数10W級、送信電力密度: 20mW/cm<sup>2</sup>級、送電局質量面積比: 5g/cm<sup>2</sup>級、受電局質量面積比: 1g/cm<sup>2</sup>級

### 【JAXA側の共同研究分担内容(予定)】

- 月面運用を想定したフルスケール無線電力伝送システムのシステム設計
- スケールダウン試作機の仕様検討、システム設計の協力
- 月面運用を想定した運用環境の解析検討、材料等制約の設定
- スケールダウン試作機およびフルスケールモデルの全体性能評価

### 本研究の位置づけ



【研究資金／期間】 総額4000万円以下／36か月以内

## Aシステム型／次世代エネルギー領域

### ・最終的な目標

太陽エネルギーを電気に変換し、月及び将来的には火星探査で電力を必要とする機器・ミッションに対して、ニーズ・優先順位に合わせた必要に応じて送電・蓄電するスマートなシステム・サービスの構築を目指す。

### ・現状と解決すべき課題

10年～20年後の本格的な月から火星への探査において共通的なインフラとなる電力供給システムの検討が必要である。安定した電力を高利用効率・高自由度で供給し、システムの拡張において省力であるためには、軽量の構造の発電機能に加えて電力量や電力需要・優先順位に合わせた蓄電や有線/無線での送電先をインテリジェントに制御できる機能を持つ「スマート太陽電池タワー」のシステムが強く求められる。

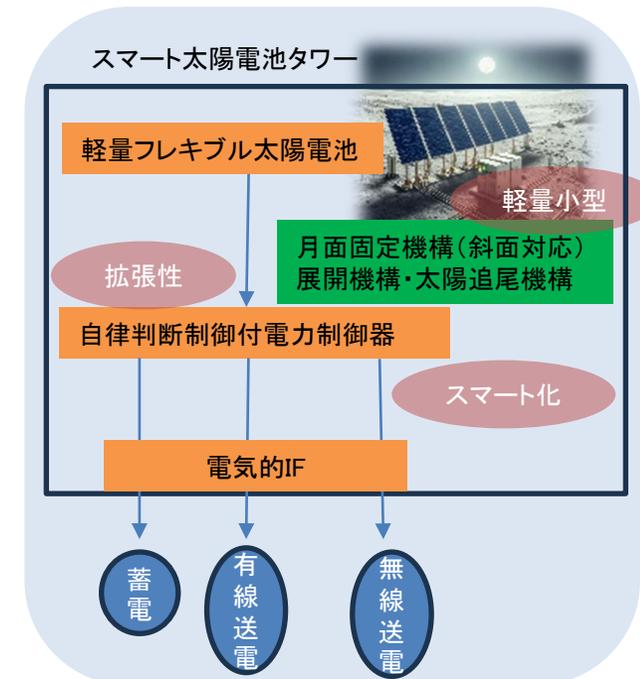
### 【共同研究における目標】

研究終了時点で以下の太陽電池タワーの構造設計・電気設計・IF検討・BBMモデルの試作・評価を目指す。

- 供給電力量: 数kW (タワーの並列接続により数10kW, 数100kWへ拡張可能)
- 機構: 月面固定機構 (斜面設置も考慮)、展開機構 (高さ10m程度)、太陽追尾機構
- 重量効率: 太陽電池アレイ単体 150W/kg以上、支持構造・展開機構含めて80W/kg以上
- スマートシステム化: タワー拡張性 (電力融通)、有線・無線送電・蓄電 (電力供給先) の自律判断制御

### 【JAXA側の共同研究分担内容 (予定)】

- 宇宙適用にあたっての太陽電池タワー構造及び機構部の小型軽量化及び材料選定の設計協力
- 発電機能 (太陽電池) に関する仕様検討、ペロブスカイト太陽電池の採用を視野に入れたインタフェース条件の検討
- スマート電力制御の仕様設定・実現方法の設計協力・評価、無線電力伝送システムとの結合を視野に入れたインタフェース条件の検討



【研究資金／期間】 総額7000万円以下／36か月以内

# ゲームチェンジ型

研究資金:最大1000万円、研究期間: 1~2年

## 【目標】

「日本の国際宇宙探査シナリオ（案）」に沿って月面無人/有人ローバを支える表面移動・作業に貢献できる技術を火星探査への適用も視野に入れ研究し、技術蓄積を進める。

## 【募集課題と位置づけ】

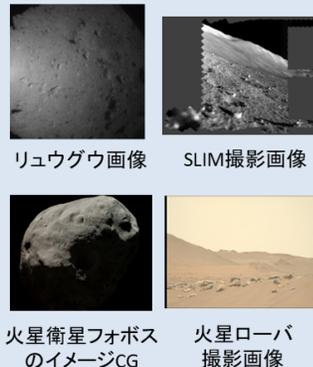
「JAXA宇宙探査イノベーションハブ「Moon to Mars Innovation」情報提供要請（RFI）募集」にて提示した「③AI搭載による高精度で安全な自動・自律運転システム技術」に沿い、以下の2件をゲームチェンジ型として募集する。

- (1) 月面/火星探査ローバーや深宇宙探査機での高精度・低消費電力・リアルタイムな自己位置推定技術
- (2) 生成AIによる自然言語インタラクションを通じた複数台ロボットの協調行動生成

## 【意義価値】

カメラ1台のみで実現でき、さらに月面/火星探査ローバー及び深宇宙探査機まで統一的に扱える自己位置推定フレームワークフレームワーク (AI機械学習モデルを再学習するだけで対応でき、ソフトウェアとハードウェアは共通) が実現できる。

月面/火星探査機の自己位置推定



現場ごと・日ごとに大きく変わりを路面状態や想定していない事故などに対して、人の素早い柔軟な状況判断による遠隔指示を理解しつつ臨機応変で自律的な協調行動できる複数台ロボットの自動制御が可能となる。

月面推薬生成プラントの複数台の建設機械やレゴリス運搬機の遠隔操作と自動制御の融合

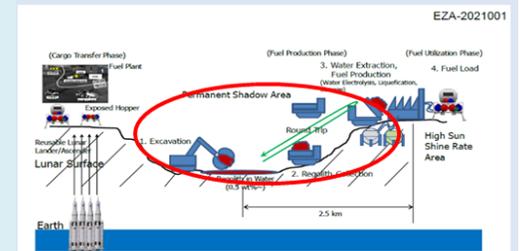


図 7.2-57 推薬生成プラントの運用コンセプト

【課題概要】

Bゲームチェンジ型／次世代モビリティ領域

・ 最終的な目標

日本の国際宇宙探査シナリオ（案）で示されるような推薬生成プラントをはじめ、拠点の建設において建機や運搬機を地上から遠隔操作する際に、人の素早い柔軟な状況判断による遠隔指示を理解しつつ臨機応変で自律的な協調行動できる複数台ロボットの自動制御を実現する。

・ 現状と解決すべき課題

複数台ロボットの遠隔操作において、動作の事前定義だけでは、状況に応じて大きく変わりうる路面状態や想定していない事故などに対して、人が柔軟に素早く判断する遠隔指示に臨機応変に対応することは困難である。また追加のロボットが既存の他のロボットと協調して自律動作することにも困難がある。

【共同研究における目標】

(1)最新の生成AIによる自然言語インタラクションを通じた複数台ロボットの最適協調行動生成技術の開発

人間との会話(自然言語によるハイレベルな目的提示、継続的なインタラクション)を通じて複数台ロボットの動作プログラムを動的にAIに生成させる技術(事前に設計した動作プログラムから状況に合わせて最適な動作プログラムを選択ではなく、0から新しく動作プログラムを動的に生成)を開発する。

(2)相模原キャンパス宇宙探査フィールドで複数台ロボット(3台以上)のデモ実証

複数台のレゴリス運搬機でのユースケースを想定し、一定の動作後想定していなかった事故が起きた際に、人間との会話を通じて急遽派遣されてきた追加支援のロボットが他のロボットと協調して自律動作することを実証する。

【JAXA側の共同研究分担内容(予定)】

(2)デモ実証のシナリオ作成とデモ評価方法の策定。また、本技術の宇宙適用先の具体化。

【研究資金／期間】 総額 5 百万円以下／12か月以内

月面推薬生成プラントの複数台の建設機械やレゴリス運搬機の遠隔操作と自動制御の融合

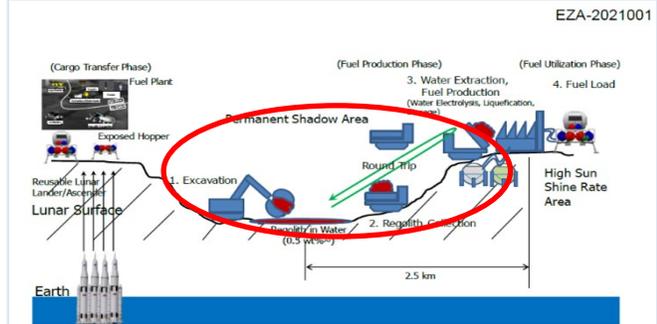


図 7.2-57 推薬生成プラントの運用コンセプト

【課題概要】

・最終的な目標

最新のAI技術を用いることで、GPSも必要無くカメラ1台のみで実現しさらに月面/火星探査ローバー及び深宇宙探査機まで統一的に扱える自己位置推定(緯度経度方位情報等)のフレームワーク(AI機械学習モデルを再学習するだけで対応でき、ソフトウェアとハードウェアは共通)を実現する。

・現状と解決すべき課題

現在の探査機の自己位置推定では、天測航法/慣性計測装置(IMU)/地形マッチング/周回衛星ナビゲーション/地上管制との通信など情報の組合せにおいて人手でカスタマイズが必要な点に様々な課題がある。

【共同研究における目標】

(1)天体上空からの撮像画像の位置特定

クレーターのような特徴的な形状が無い地形や異なる解像度・種類に対して精度が高い画像マッチング技術により、小惑星リュウグウ画像を用い、数百メートル以上上空で撮像した画像(緯度経度情報が精度良く付与されている)とそれ以下の高度で撮像した画像(緯度経度情報が精度良く付与されていない)同士の画像マッチングを行う。目標(目安):上空数百メートル以下で誤差5m/数度以下。

(2)着陸後の月面/火星ローバーの位置特定

月着陸機SLIMが着陸後撮影した画像と月面の数値標高モデル(DEM)でシミュレーションされた画像同士のマッチングを行いSLIMの着陸地点推定を評価する。また、火星探査ローバー(マーズ2020)の着陸後撮影した画像と火星のDEMのシミュレーション画像を用いて同じ評価を行う。目標(目安):誤差10m程度。

(3)低消費電力エッジAIチップ上でのリアルタイム自己位置推定処理

(1)(2)で構築したモデルを市販の低消費電力エッジAIチップに圧縮等で最適化し搭載する。目標(目安):消費電力数W以下。

【JAXA側の共同研究分担内容(予定)】

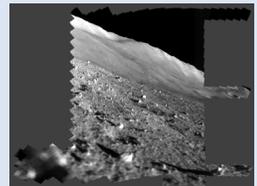
上記(1)で使用する緯度経度情報を付与した小惑星リュウグウ画像の準備、上記(2)で使用する月面火星DEMからのシミュレーション画像作成と月面/火星探査ローバーのカメラ画像の準備。

【研究資金/期間】 総額1000万円以下/24か月以内

月面/火星探査機の自己位置推定



リュウグウ画像



SLIM撮影画像



火星衛星フォボスのイメージCG



火星ローバ撮影画像

## 【目標】

本RFPでは月面でのレゴリスのその場加熱により水を取り出すサーマルマイニングにおいて水と共に放出されることが期待されるガス成分に着目し、その分離回収技術を研究・開発する。これにより月面でのエネルギー生産への資源供給に繋げる。

## 【募集課題と位置づけ】

月面環境における必要材料の抽出に関わる一つの要素技術の獲得を目指し、以下をゲームチェンジ型として募集する。

(1) 月面サーマルマイニングに向けた低温ガス吸着回収技術の開発

## 【意義価値】

月面におけるその場製造（ISRU）やエネルギー資源の抽出に関する技術開発を目指したものであり、将来の多様な活動に関わる基礎技術と位置づけられるとともにアセンブリ&マニュファクチャリングの技術領域において重要な要素の一つとなる。特に、今回の研究は抽出が容易では無いガス成分の取出を目指しており、今後の月面での活動において必要かつ重要な材料の提供に繋がりを、ARTEMISプログラムはじめ「日本の国際宇宙探査シナリオ（案）」に貢献が期待される技術となりうる。



月面における未来の  
サーマルマイニング装置例

Bゲームチェンジ型／アセンブリ&マニファクチャリング領域

【課題概要】

・ 最終的な目標

月面でのレゴリスのその場加熱により水を取り出すサーマルマイニングにおいて、水と共に放出されることが期待されるH<sub>2</sub>、CO、<sup>3</sup>Heなどの分離回収技術を開発する。放出されたガス中に含まれる水蒸気を凝縮器によって回収後、残ったガスを分別回収、利用する月面でのエネルギー生産を目指す。

・ 現状と解決すべき課題

レゴリス中には水の他にH<sub>2</sub>S、H<sub>2</sub>、CO、NH<sub>3</sub>など様々なガス分子が含まれることが報告されている。本研究においてはサーマルマイニングによって取り出されたHeガス分子を選択的に取り出すシステムを研究する。

【共同研究における目標】

(1) 細孔径分布を各ターゲット分子にあわせて高度に制御した吸着剤の開発

極低圧でHeを吸着することができる活性炭の細孔径を理論計算にて決定し、その最適細孔径を有する吸着剤を開発する。吸着量は4mmol/g以上 @4.2 K and 10<sup>-6</sup> atmを目標とし、吸着剤の熱伝導率は0.1 W/m・K以上を目安とする。また、吸着剤は軽量、かつ熱伝導性に優れ、温度変化等に安定なものを目指す。なお吸着パネルの最適温度等のパラメータがある場合はそれも併せて明確にする。

(2) 開発した吸着剤の性能の実証評価

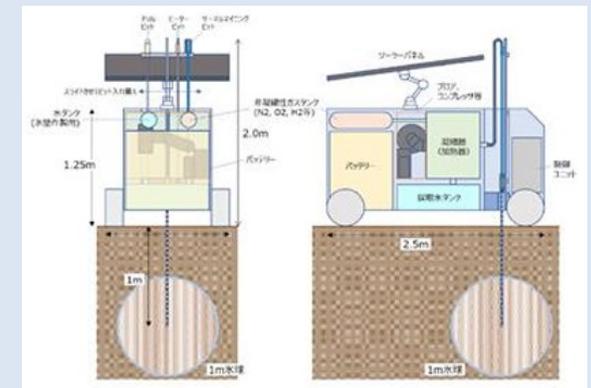
4Heを使用して性能を実証評価する。

【JAXA側の共同研究分担内容】

- 月面での実装に向けた制約条件の提供および宇宙実証の検討

【研究資金／期間】 総額1千万円以下／24か月以内

可搬型サーマルマイニングシステム



## 【目標】

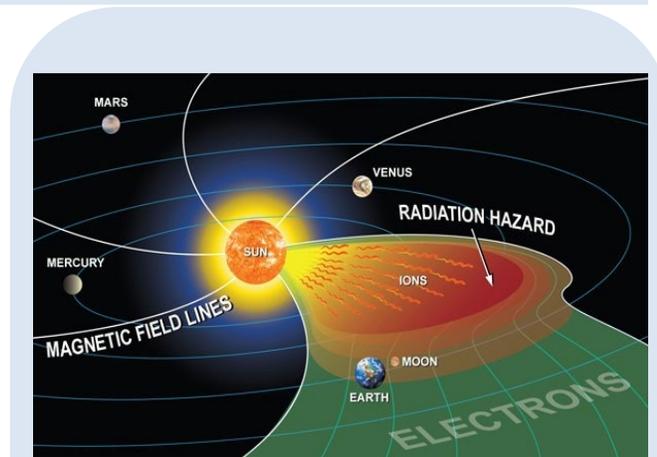
本RFPでは、国際宇宙探査に必須な地球磁気圏外の月・火星環境の大規模な太陽高エネルギー粒子（Solar Energetic Particle; SEP）発生予測および影響予測が可能な基礎技術の検討を行い、月・火星探査に必要な宇宙天気予測技術の獲得に向けた課題を識別する。

## 【募集課題と位置づけ】

ハビテーション領域に識別する技術分野（①ヘルスケアサイエンス、②環境モニタリング、③居住空間構築、④資源・物質循環、⑤食料生産）に沿い、以下をゲームチェンジ型として募集する。  
「AIを適用した月・火星探査に向けた宇宙天気予測技術の開発」

## 【意義価値】

月面から将来的には火星を目指した探査活動では、SEPの発生予測とその影響予測情報が必要であり、宇宙天気予測システムは必要不可欠である。各宇宙機関でどこも確立できていないSEPの発生予測技術の研究により、月・火星探査に向けた宇宙天気予測技術の獲得が可能となる。さらに、月・火星を含む深宇宙での活動領域の任意位置におけるSEP影響を予測や警報システムなどを構築し、民間探査ミッションや宇宙事業者向けサービスの実施形態など事業化検討を行うことが可能となる。



太陽フレアに伴う高エネルギー粒子（SEP）のスペクトルの形状や強度により、宇宙飛行士への被ばく線量や搭載機器への影響は大きく変化する。

### 【課題概要】

### B. ゲームチェンジ型／ハビテーション領域

#### ・ 最終的な目標

国際宇宙探査に必須な、地球磁気圏外の月・火星環境での大規模な太陽高エネルギー粒子（Solar Energetic Particle; SEP）発生予測および影響予測を可能とする技術の研究を行い、月・火星探査に必要な宇宙天気予測技術を構築する。

#### ・ 現状と解決すべき課題

月周回および月面拠点活動、また惑星間空間の航行において、SEPの発生を事前予測することは、あらゆる有人・無人探査において人体や宇宙機への安全確保を行うための重要かつ喫緊の課題である。これまでの宇宙天気は、地磁気圏内の太陽活動変動に伴う地磁気嵐や太陽嵐の「事象周知」しかできておらず、SEP発生予測は行えていなかった。

### 【共同研究における目標】

#### (1) AIを適用したSEP発生予測技術の構築と予測可能領域の拡大検討

過去の地磁気圏内・外のSEP観測データ(50件以上)をAIに導入し、気象衛星・磁気圏外探査機等の太陽高エネルギー粒子事象の発生確率および発生条件との比較を行う。

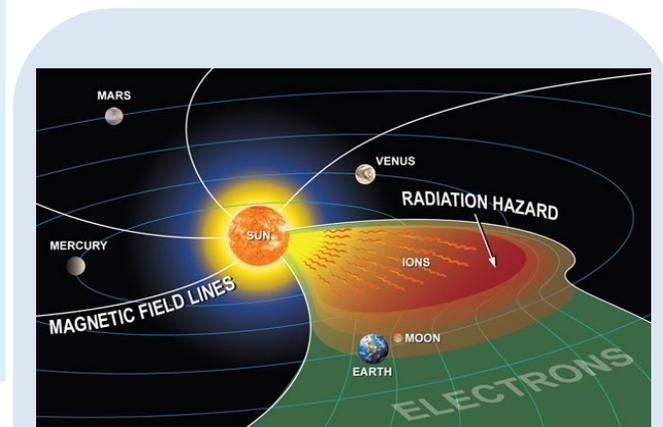
#### (2) Artemis計画搭載予定の放射線リアルタイムモニタリングを導入した予測精度の向上

Artemis計画搭載予定のJAXA放射線リアルタイムモニタリングデータをAIで活用するためのIF検討を行う。その際、必要に応じて、月・火星宇宙天気予測に必要なデータ取得に向けた設計への提案を行う。月周回軌道のリアルタイム時系列データを導入し、30%以内の回帰予測精度の達成を目標とする。

### 【JAXA側の共同研究分担内容(予定)】

- ・Artemis計画搭載予定のJAXA放射線リアルタイムモニタリング装置仕様の情報提供
- ・月周回軌道等をはじめとする放射線リアルタイムデータに関する情報提供

【研究資金／期間】 総額1000万円以下／24か月以内



太陽フレアに伴う高エネルギー粒子（SEP）のスペクトルの形状や強度により、宇宙飛行士への被ばく線量や搭載機器への影響は大きく変化する。