

次世代エネルギー(パワーノード&グリッド) 研究活動状況

2025年2月20日

2024年度宇宙探査オープンイノベーションフォーラム

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

杉原 アフマツト清志 (宇宙探査イノベーションハブ)

次世代エネルギー領域 研究シナリオ

□宇宙探査イノベーションハブ 次世代エネルギー領域の目標

発電システム、送電システム(無線送電、有線送電)、蓄電池システム(再生型燃料電池含む)を結合し電力供給システムを構成し、推進プラントやローバーなど最終的なユーザー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年以降に300kW程度までスケラブルに拡張する。

□目標実現に向けた研究シナリオ

- 小規模な電力供給網の構築に向けて、電力発生源としてのタワー型スマート太陽電池システムと電力を遠方のユーザーに届けるための小型軽量・高効率なマイクロ波無線送電システムを探査ハブ研究における主要システムと位置づけ、上記システム実証に必要な周辺技術(熱マネジメント技術、蓄電池等)を獲得しながら早期月面実証を目指していく。
- 2020年代後半には小型の月面実証機会があることも想定されることから、小型軽量の移動分散型太陽電池システム、有線送電、電力マネジメント技術の要素技術を獲得していく。
- 将来の大規模給電システムの実現に向けて、近距離非接触送電や長距離送電のためのレーザー送電システム、熱エネルギー再利用システムなどの革新的技術を獲得していく。
- 全研究テーマに共通して、持続的開発のために宇宙事業性の確保を重視し、ユーザーのニーズに合致させるために月面での運用を想定した開発、ならびに小型・軽量化や高効率化を図り、技術的優位性のある研究開発を行っていく。
- 探査ハブ研究にて獲得した技術と宇宙戦略基金やスターダストプログラム等の他のプログラムにて獲得される技術を融合・拡張して300kW程度の月面電力インフラ構築を目指していく。

小型軽量
太陽電池システム

- ① タワー型スマート太陽電池システム
- ② 活動範囲拡大に向けた小型軽量な移動分散型太陽電池システム

小型軽量・高効率無線
送電システム

- ③ 小型軽量・高効率なマイクロ波無線送電システム
- ④ 長距離送電を可能とする小型軽量・高効率レーザー送電システム
- ⑤ 小型軽量・高効率な近距離非接触送電システム

小型軽量な蓄電システム

- ⑥ 小型軽量な蓄電システム

月面熱制御システム

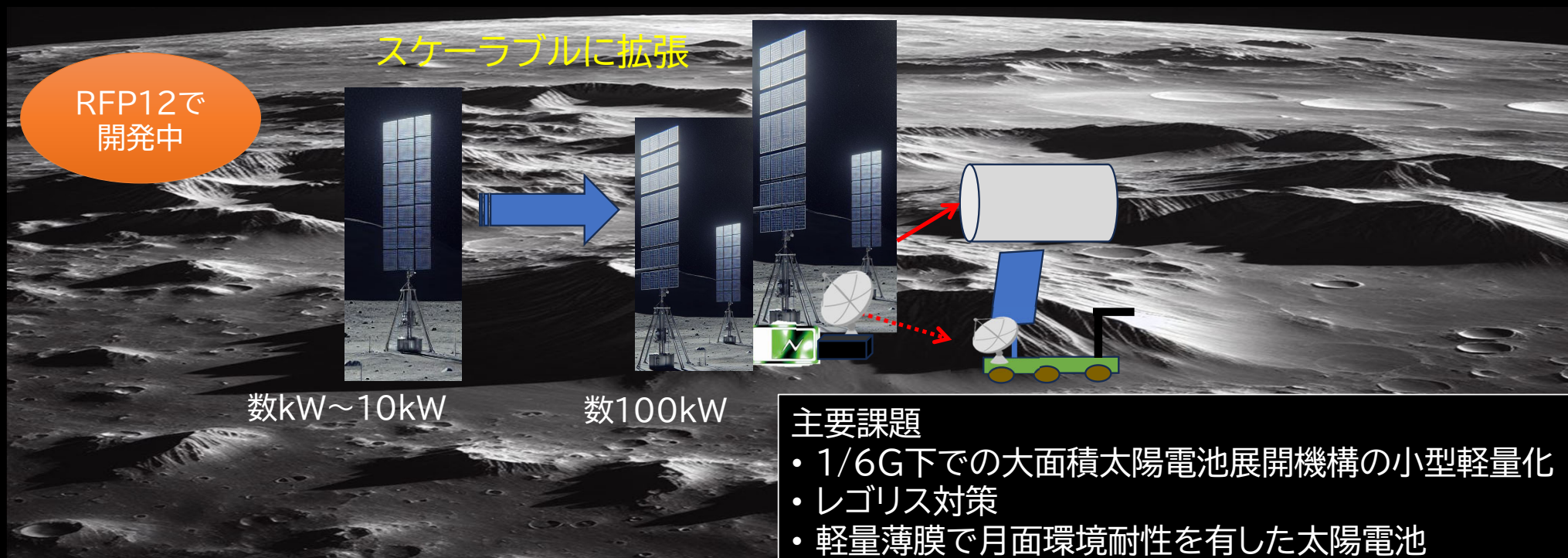
- ⑦ 越夜時の低温・日照時の高温環境に対応する熱マネジメントシステム
- ⑧ 高効率な熱エネルギー再利用システム

月面電力マネジメント
システム

- ⑨ 電源供給フリーなシステム稼働状況モニタリングシステム
- ⑩ 配電方式の最適化およびスマート電力制御・マネジメントシステム

① タワー型スマート太陽電池システム

- 電力発生源として月面エネルギーインフラ構築初期から必要になる重要システム
- 輸送時はコンパクトに収納し、現地到着後に軽量・大面積の太陽電池を約10mの高さに展開する小型軽量のシステム構築を目指す
- 日照中は太陽追尾して最大電力を発電し、ユーザに有線や無線送電にて電力供給(数kW~10kW)を行う(スマート電力制御・電力分配機能を兼ね備える。日陰中は日照中に充電した蓄電池からの電力供給)
- 太陽電池タワーを並列接続することによって需要増加に合わせた電力供給の実現を目指す



【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: 太陽エネルギーを電気に変換し、月・火星探査で電気を必要とする機器・ミッションにニーズ・優先順位に合わせて必要な電力を送電・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年後・20年後の本格的な月・火星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。安定した電力を利用効率や自由度高く拡張に対して省力で供給するシステムを構築するには、発電機能だけではなく、発電した電力量や電力需要・優先順位に合わせて蓄電や有線/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含めた「スマート太陽電池タワー」としてシステム化が必要である。

【共同研究における目標】

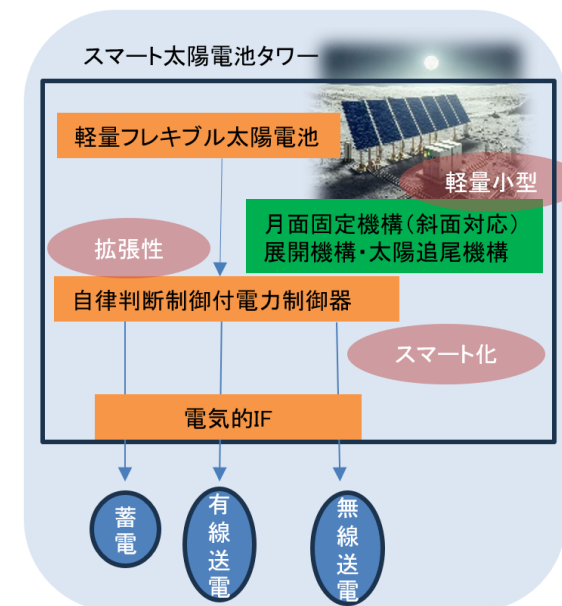
研究終了時点で以下の太陽電池タワーの構造設計・電気設計・IF検討・BBMモデルの試作・評価を目指す。

- 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

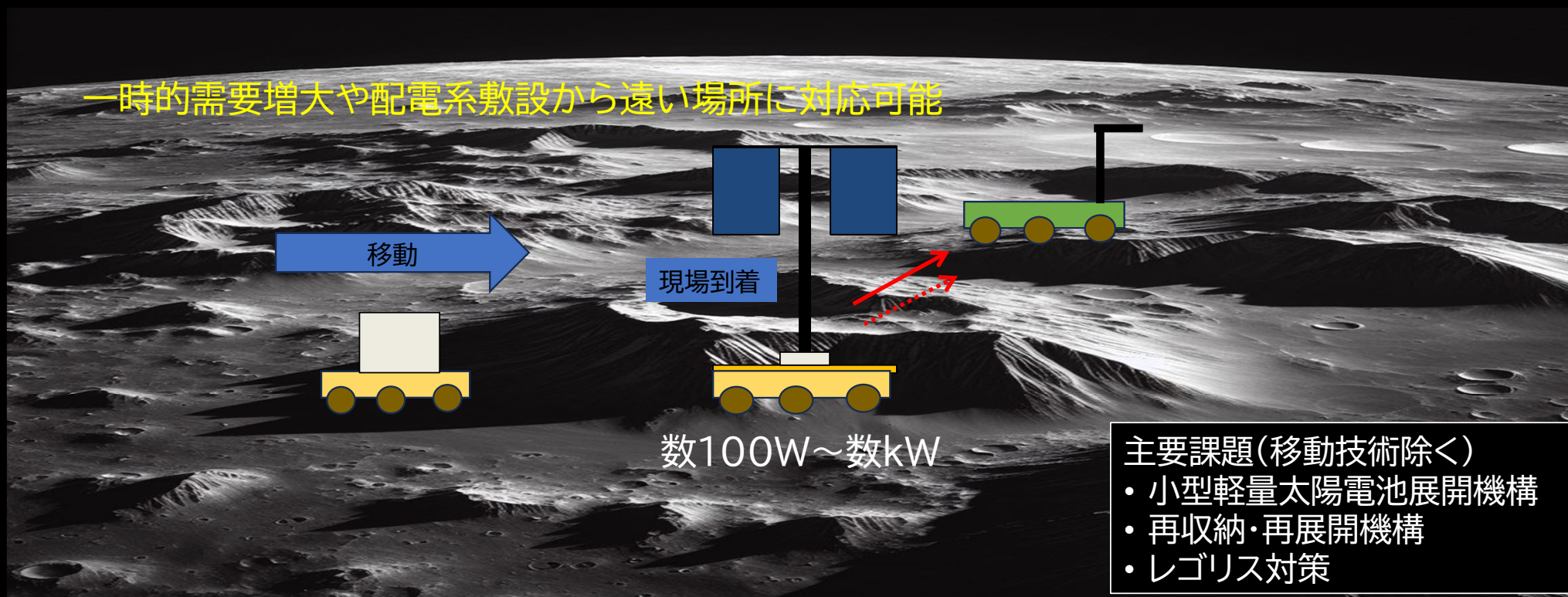
【JAXA側の協力内容】

- 宇宙適用における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IF条件の検討
- スマート電力制御の仕様検討・実現方法検討・評価、無線電力伝送システムとの結合を視野に入れたIF条件の検討

【研究資金／期間】 総額7000万円以下／36か月以内

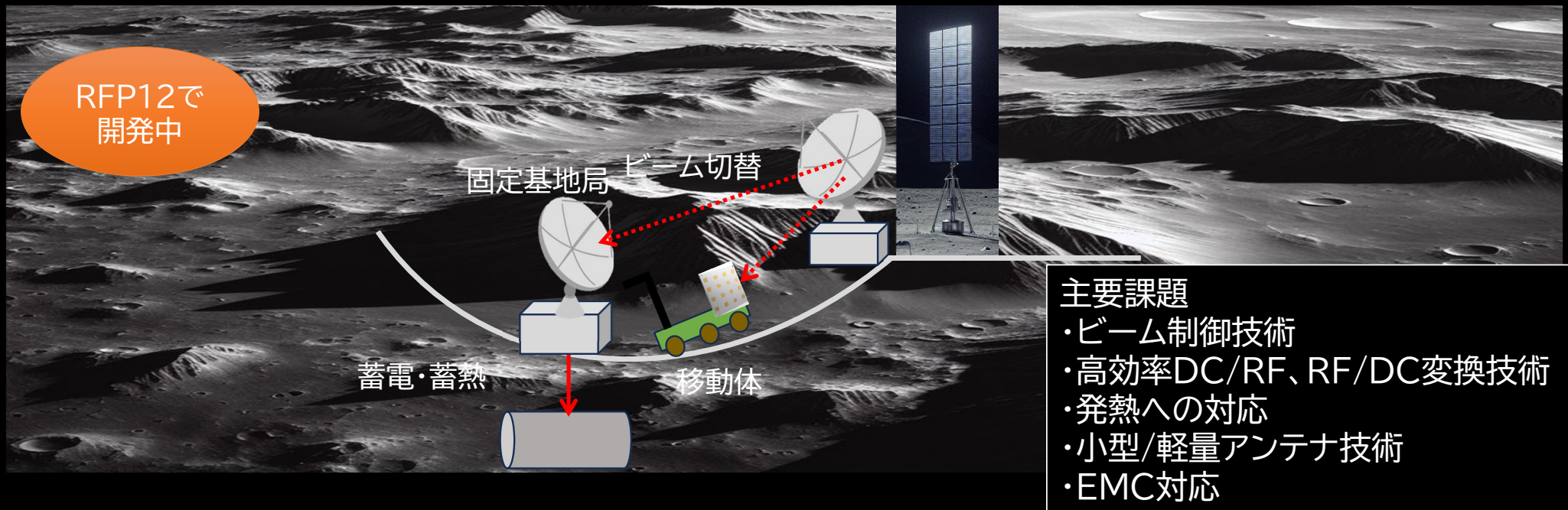


- ・ 月面探査の活動範囲拡大、電力供給網の冗長性確保を可能とする自律移動可能・分散配置可能な太陽電池システム
- ・ 運用性向上のため太陽電池の再収納・再展開技術が可能(移動中は蓄電池を使用)な、小型軽量なシステム構築を目指す ※移動技術はモビリティ領域と連携
- ・ 数100Wの小型・小電力タイプ～数kW級の中型・中電力タイプを想定
- ・ ケーブル接続(～100m)または、近傍無線給電(磁界や電界結合)によりユーザーに給電を行う



③小型軽量・高効率なマイクロ波無線送電システム

- ・ 極域永久影や縦穴内等日照が見込めない領域の探査・活動に必須となる重要技術
- ・ 日照条件が良い地点に設置した太陽電池タワー等で発電した電力をマイクロ波を用いて無線送電する。
レーザー給電と比較しビーム効率以外の伝送効率に優れ、大電力化も容易
- ・ 地上における高周波ワイヤレス送電技術やSSPSで培った宇宙用送電技術を活用して、小型軽量で高効率な24GHz無線送電システムの構築を目指す
- ・ 効率・アンテナサイズを考慮して数kmの距離までへの対応を想定
- ・ 固定基地局への送電に加え、高精度ビーム制御技術を獲得し移動体への送電も可能とする
- ・ 100m数10W級の近距離・小電力の実証から数km数kW級への拡張の実現を目指す



【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：RFP10で創出する高効率整流技術を活用し、高効率デバイスとコンバータ、整流器一体型レクテナ、受電部電力合成技術を導入した24GHz帯高効率・軽量WPTシステムのフィージビリティを試作検証する。
- ・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】

距離100m、伝送効率5%の月面技術実証を目指し、以下の仕様のBBM品を製作する。

周波数:24GHz帯、電力:数10W級、送信電力密度:20mW/cm²級、
送電局質量面積比:5g/cm²級、受電局質量面積比:1g/cm²級

システムの要素技術を提供するプレイヤーを本研究でチームにまとめ、要素技術の仕様・目標値は以上システム仕様を満たす範囲内で設定する。

【JAXA側の協力内容】

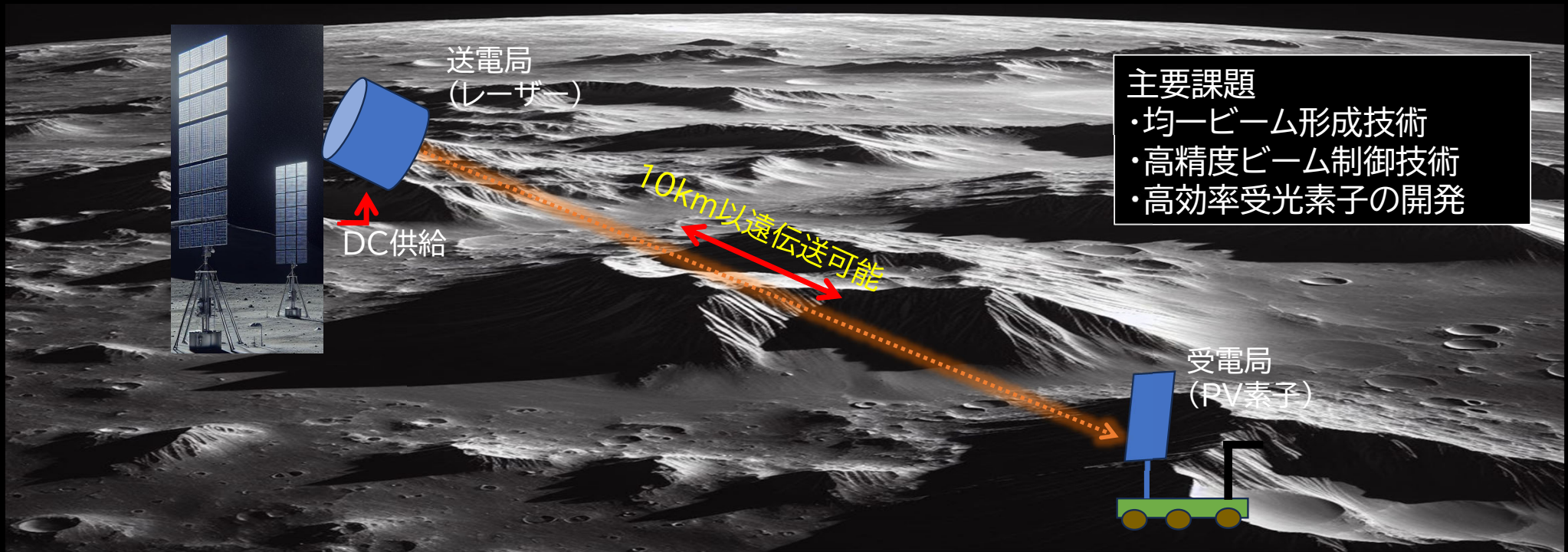
- 月面運用を想定したフルスケール無線電力伝送システムのシステム設計
- スケールダウン試作機の仕様検討、システム設計の協力
- 月面運用を想定した運用環境の解析検討、材料等制約の設定
- スケールダウン試作機およびフルスケールモデルの全体性能評価

【研究資金／期間】 総額4000万円以下／36か月以内

本研究の位置づけ

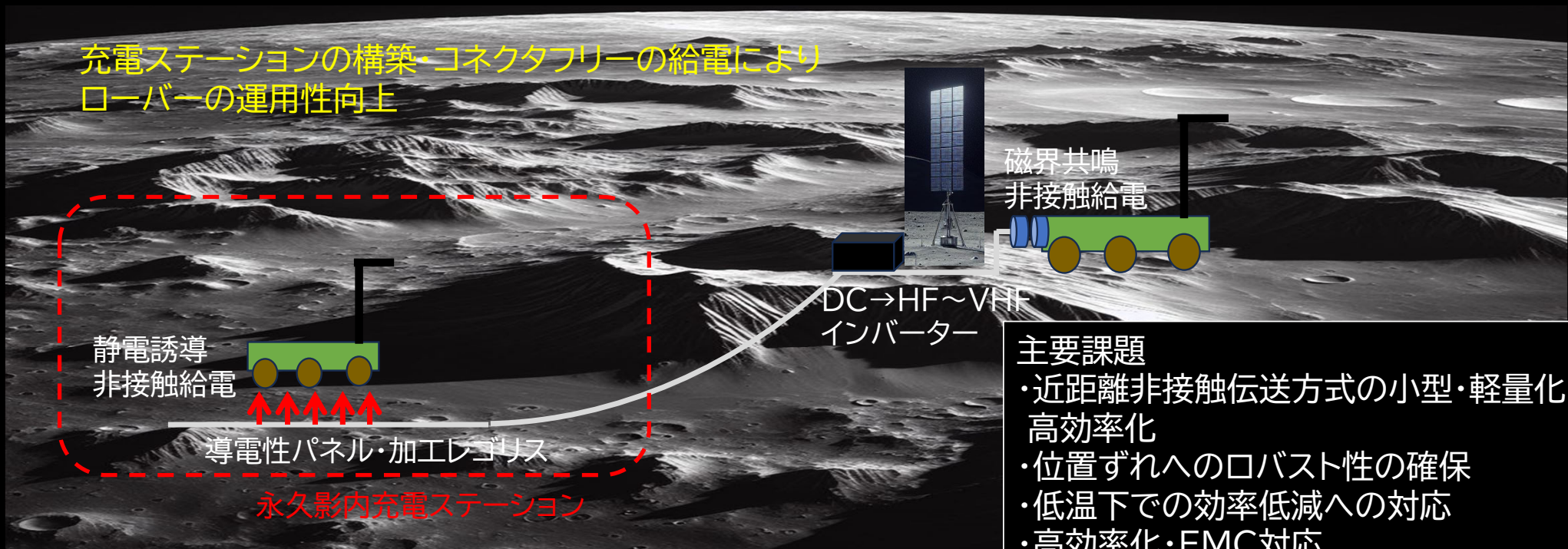


- ・ マイクロ波送電は送電ビームの広がりが大きく、現実的なアンテナサイズでは10km以遠への送電には適さないが、**レーザー送電はビーム広がり小さく、小型軽量に月面活動範囲の本格的拡大が可能とするシステム**
- ・ 受光部に送電ビーム波長に適した太陽電池を採用することで、太陽電池が本来の役割に加えて、レーザー送電システムの受光部の役割を果たすことも可能
- ・ 大電力・長距離のレーザー送電システム構築に向けて、**小型軽量で高効率なDC/光変換、光/DC変換技術等の要素技術を獲得し、将来のシステム構築への貢献を目指す**



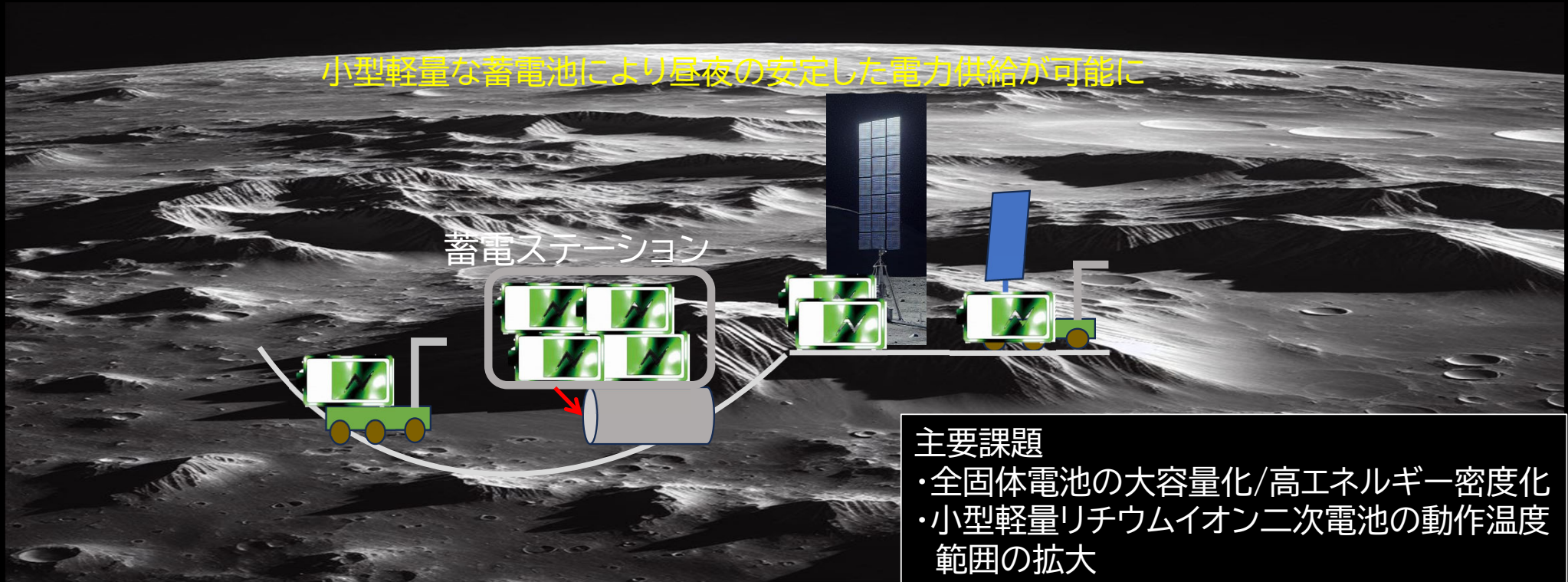
⑤小型軽量・高効率な近距離非接触送電システム

- 永久影内のローバ等の充電ステーションをISRUを用いて軽量小型に構築可能なシステム
- 電力源として蓄電池を搭載したロボットの簡易な充電が可能であり、走行中にも充電できるシステムを構築した場合には、充電のための休止期間を省略可能
- 近距離非接触送電技術の獲得により、ダスト対策が課題であるコネクタを用いた有線接続が不要になる
- 電磁誘導・磁界共鳴・静電誘導方式など地上用途に開発が進んでいる技術を活用し、小型軽量・高効率な非接触送電システムの構築を目指していく



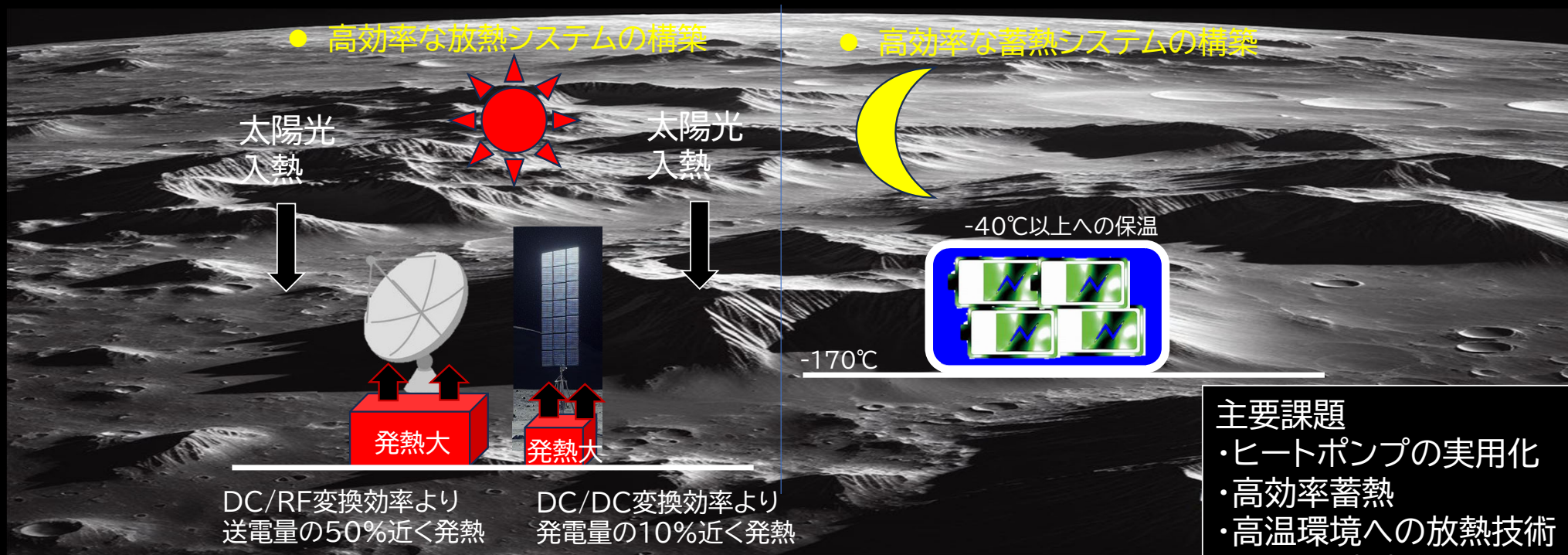
⑥小型軽量な蓄電システム

- 月面において昼夜の安定した電力供給に必要不可欠となる重要システム
- 越夜時の電力供給を目的とした蓄電ステーションだけでなく、ローバー等の移動体や各太陽電池タワー、無線電力伝送(受電システム)などへの配置が考えら、出力特性、寿命特性、動作温度範囲への要求は搭載システムにも依存するが、輸送コストを考慮して高エネルギー密度な蓄電池(目標:250Wh/kg)が必要となる
- 熱制御システムによる温度制御が容易になるよう広い動作温度範囲が求められる



⑦越夜時の低温・日照時の高温環境に対応する熱マネジメントシステム

- 月面の越夜時の低温(-170°C 以下)・日照時の高温(100°C 以上)下においても各システムの機器を適切な温度に制御する必要不可欠なシステム
- 越夜時においては、例えば、動作下限温度が -40°C 程度と予想される蓄電池の保温が必要不可欠であり、MLIでの断熱に加えて効率的な保温システムが必要となる。
- 日照時においては、例えば、無線電力伝送や電力制御器等において電力変換損失により発生する熱を効率的に排熱/再利用するシステムが必要となる(⑧熱再利用システムと連携)

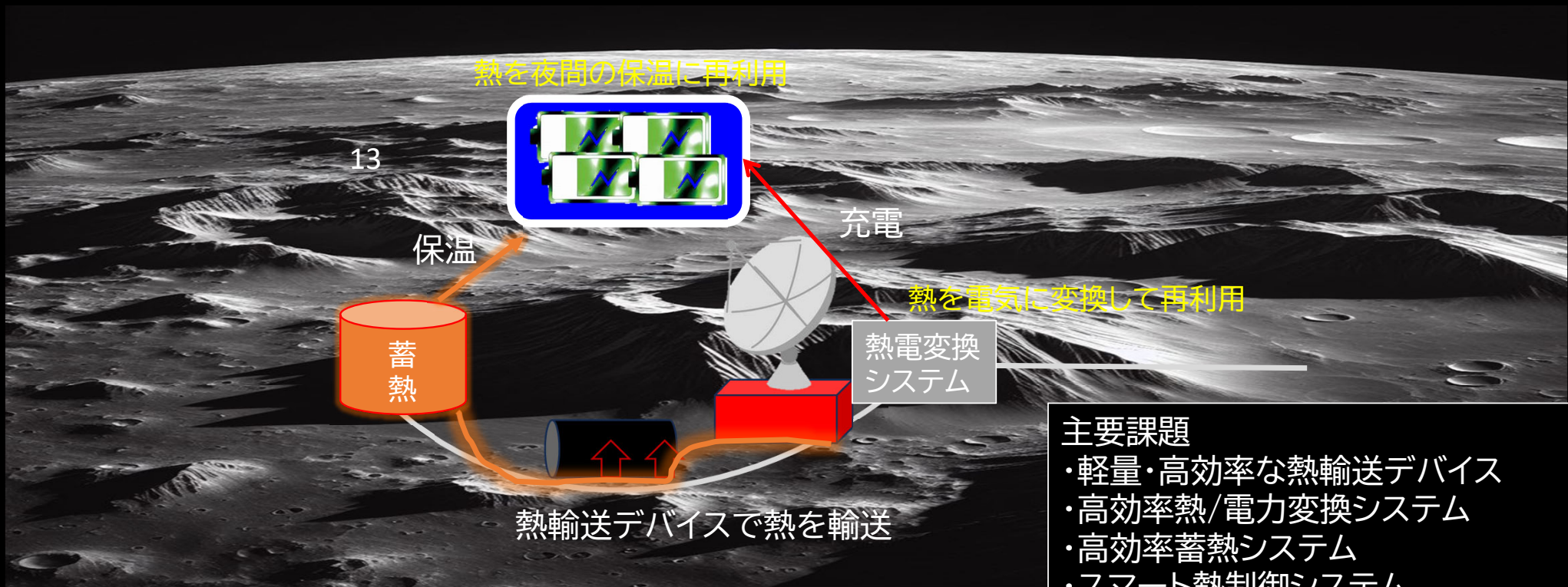


主要課題

- ヒートポンプの実用化
- 高効率蓄熱
- 高温環境への放熱技術
- スマート熱制御システム

⑧高効率な熱エネルギー再利用システム

- 機器の発熱または日照中の太陽光エネルギーを回収し、熱または電気として再利用することで、**省電力化・越夜時の電力確保を可能とするシステム**
- 機器運転時に発生する少量の発熱(数10℃～数100℃)を熱輸送デバイス(ヒートパイプやヒートポンプ等)で輸送し蓄熱して活用することや、熱電変換システムにより電力として活用することで省電力化や⑦熱マネジメントシステムへの貢献が期待できる

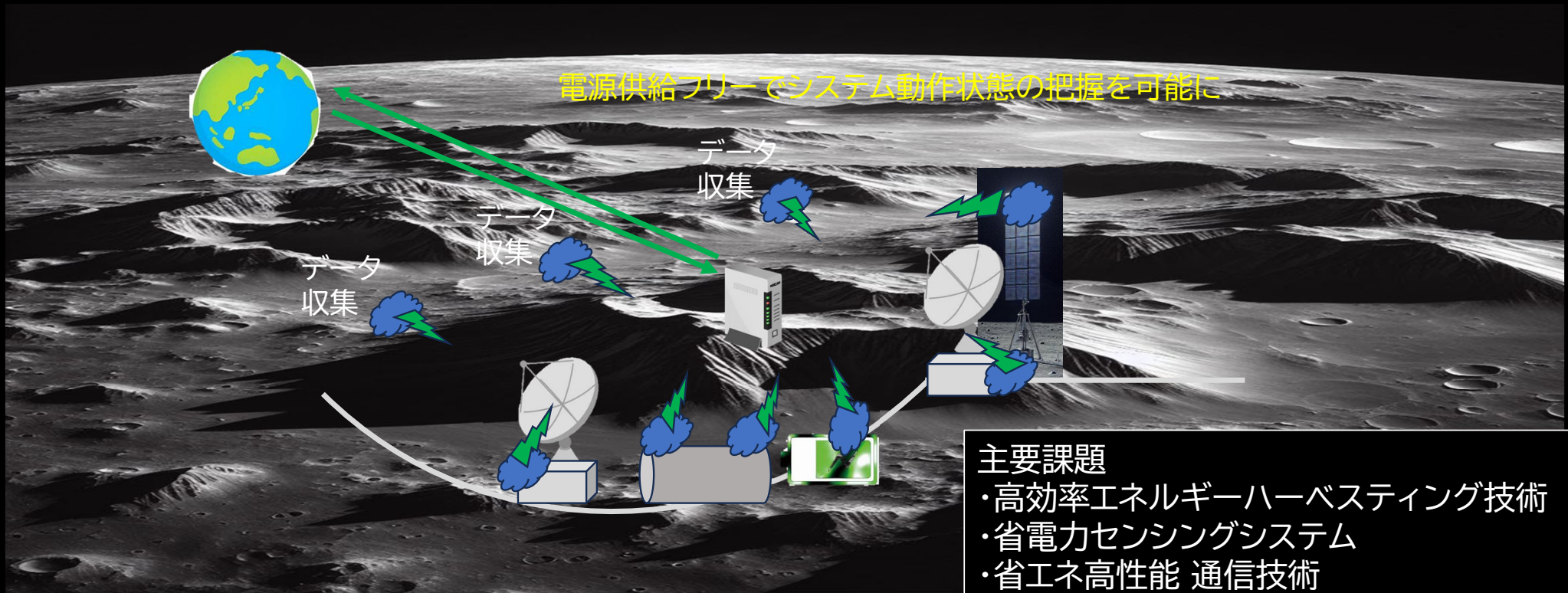


主要課題

- ・軽量・高効率な熱輸送デバイス
- ・高効率熱/電力変換システム
- ・高効率蓄熱システム
- ・スマート熱制御システム

⑨電源供給フリーなシステム稼働状況モニタリングシステム

- ・ 月面上のシステム動作状況や環境を把握するため、振動型マイクロ発電機や熱電変換デバイス、小型太陽電池と小型蓄電池を用いて、電源供給フリーで多地点の温度・振動・加速度等の計測を可能とするシステム
- ・ 得られたデータをBluetooth等の通信技術を用いてコンピュータにて集約し、システムの動作状況や周辺環境の把握に貢献する
(⑩と連携し、データを用いて安全・効率的な電力マネジメントに貢献)



月面電力 マネジメントシステム

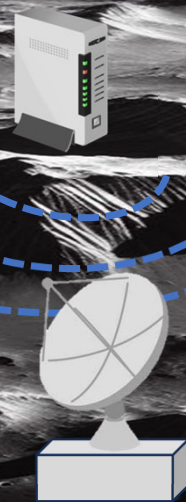
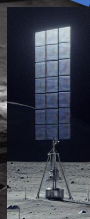
⑩配電方式の最適化およびスマート電力制御・マネジメントシステム



- 給電システムの全体最適化のため、**交流/直流の選択及び供給電圧による設備重量の最適化を図った上で**、推薬生成プラントなどの大型システムへの安定かつ効率的な電力供給を可能とする電力マネジメントシステム
- 小型軽量低損失な有線送電や高効率電力制御分配器、ダスト対応コネクタ等を用いてシステムを構築する必要がある
- 中央監視制御ではなく、各機器・サブシステムによる**分散・協調制御**を行いながら、スケーラブルな拡大を目指す

最適な供給電圧/直流・交流の選択により、安定かつ効率的な電力供給の実現

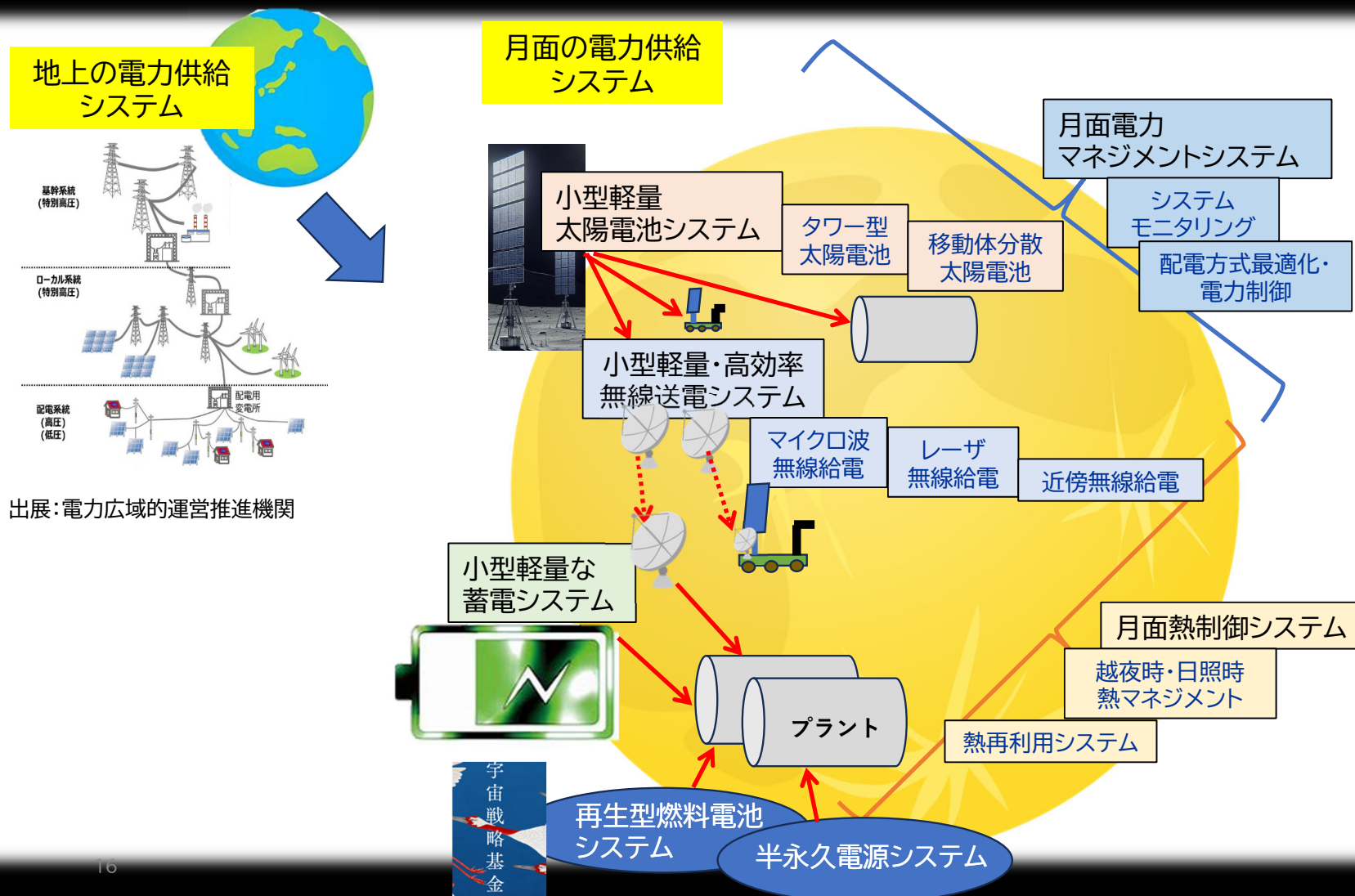
100V or 400V or 1000V?
DC or AC ?



主要課題

- ・小型軽量有線システム
- ・スマート電力制御システム
- ・簡易拡張可能電力IF
- ・ダスト対策コネクタ
- ・電力需要/発生電力予測/機器発熱等を考慮したスマート電力マネジメントシステム

月面の電力供給システムの構成とアーキテクチャの関係



上記テーマに限らず情報提供の提出をお待ちしております。



Together, to the Next Stage