

次世代エネルギー（パワーノード&グリッド）アーキテクチャ領域

将来の月・火星探査における次世代エネルギーに関するアーキテクチャ領域の技術提案を求めます。

エネルギーに関するサービス提供は最終的なユーザに対する電力の供給を目的として、発電システム、ストレージシステム、送電システム、またこれらを結合した全体の運用システムから構成されます。

エネルギーシステムの全体構成は、地球上の電力送電インフラストラクチャと自ずとトポロジ的な類似性を有することから、これらに関する既存の地上技術の応用を基本とし、加えて探査のために重要な高信頼性やメンテナンスフリー性、かつ軽量化を進める技術提案を求めます。また地球上と異なる点として、限られたエネルギーを可能な限り損失無く利用するための熱利用（蓄熱及び熱/電力変換）や熱回収を中心としたエネルギーハーベスティング利用をエネルギーシステムの一部として構成するイノベティブな技術提案を求めます。

具体的には以下の課題を解決する技術提案を求めます。なお、共通的に月面特有の温度環境（昼：120degC～夜：-170degC）や重力環境（地球表面の約 1/6）への対応、レゴリスに対する防塵の考慮を含みます。

① タワー型スマート太陽電池システム

・ 概要

月や火星での本格的探査に向けて太陽エネルギーを電気エネルギーに変換する太陽電池タワーを研究します。アルテミス計画における月の極域探査での活用を最初の目標に、輸送時はコンパクトに収納しておき、現地に到着後大面積な太陽電池を 10m 程度の高さに展開する展開機構、また太陽方向への回転追尾機構を装備します。太陽電池は重量効率と展開性を考えて薄膜太陽電池による伸縮できる構造として高いエネルギー密度を実現するとともに、太陽電池タワーを並列に接続することによって需要に合わせた電力供給を可能とする拡張性を有することとします。また太陽電池タワーに無線電力送電システムを付加し、下記⑧、⑩及びエッジコンピューティングとの組み合わせを視野に入れ、特定のユーザに自在に電力を供給することも可能とします。また将来的には通信機能や測距機能などスマート太陽電池システムとして拡張性を考慮するものとします。本タワー型太陽電池の基本技術は②に示す移動型の太陽電池にも適用できることを目指します。

・ 提案を求める技術

- ・ 供給電力規模：数 kW～10 kW 程度
- ・ 重量効率：太陽電池アレイ単体：150W/kg 以上かつ支持構造・展開機構を含む場合：80W/kg 以上
- ・ 展開機構・支持構造：目的地までの収納時は極力小型化でき展開時は高さ 10m 程度に太陽電池を展開できる技術。また傾斜地においても垂直に展開できる機構技術
- ・ 簡易な方法による並列化によりスケラブルに電力規模が増大できる技術

② 移動分散型太陽電池システム

概要

発電箇所からユーザまでは、必ずしも配電ケーブルやパワーコンディショナの敷設など重量や活動時間のリソース消費を考慮して最適化されているわけではありません。またスケラブルに拡大する探査活動においては特定のユーザで需要が一時的に増大することが考えられます。このため①の「多目的タワー型スマート太陽電池システム」が定置・展開型であることに對し、電力を供給するための移動型の太陽電池システムを構築します。

提案を求める技術

- ・ 太陽電池の支持構造・展開機構に加え、必要に応じて移動に備えて再収納できる機構技術
- ・ 車輪もしくはクローラを有する移動構体と安定して結合しつつ展開時には直立できる機構技術
- ・ 供給電力規模：数 kW～10kW 程度、太陽電池出力のダウンコンバートのための DC/DC 回路技術
- ・ 負荷への磁界や電界結合による非接触給電もしくは宇宙飛行士の作業を介したケーブル接続を前提とした給電技術
- ・ 100m 程度のケーブル：自律的な展開・収納機構技術（ケーブル重量：AWG#12 相当 3 芯で 0.2kg/m 以下）

③ 探査モビリティシステムと組み合わせるエネルギーハーベスティングを利用したセンシング及び推論システム

概要

科学探査のローバに限らず、拠点や推薬生成プラントの構築候補地の事前調査、資材輸送用の着陸パッドの整地、道路整備、基礎工事等に使用される探査モビリティシステム（建機等）は無入遠隔操縦もしくは自律作業による運用が見込まれますが、これらの動作状況や環境を把握することは重要です。

振動型マイクロ発電機や小型太陽電池等により小電力にて温度、振動、加速度等を計測するとともに、エッジコンピューティングを活用してローバ走行や建機動作の制御支援を行うシステムを研究します。

提案を求める技術

- ・ エネルギーハーベスティング技術
- ・ 省電力コンピューティングあるいはエッジ AI 技術、またこれを活用したシステム支援技術

④ 探査モビリティと組み合わせる無線給電システム

概要

月面において水を含む岩石の掘削は永久影と呼ばれる太陽光の当たらない領域での活動が見込まれます。このような永久影内で活動する探査機のエネルギーはバッテリーに依拠しますが、バッテリーの充電のために日照領域まで移動することは効率が悪いので、永久影内での充電技術が必要です。一つには日照領域から RF もしくはレーザを用いた無線給電が考えられますが、探査機個体への各個充電のためには電力及びビームフォーミングの観点から大きな課

題があります。このため、永久影内に蓄電システムを有する充電ステーションを設け、充電ステーションに対しては RF もしくはレーザーによる無線給電によって常時給電するとともに、永久影内の探査機は充電ステーションとの随時の往復により充電する運用が考えられます。このため充電ステーションと探査機の給電方法として磁界や電界を用いた近傍無線給電を研究します。

また、小型の探査機から中型の探査機までスケラブルに適用できる幅広い温度範囲で高いエネルギー密度を有する電池の研究を行います。

- **提案を求める技術**

- ・ 電源及びバッテリーからの磁界/電界を用いた近傍無線給電技術
- ・ 給電機器の自動位置合わせ技術
- ・ 月面の幅広い温度範囲で 250Wh/kg のエネルギー密度を持つ 20Ah 程度のバッテリー開発技術

⑤ 越夜のための蓄熱システム及び熱/電力変換システム

- **概要**

活動拠点の近傍にて日照時に太陽光エネルギーを熱として蓄熱し、日陰時に放熱することにより重要な探査機器を保温するための蓄熱・放熱システムを研究します。

放熱時の熱輸送方法及び輸送先で熱を逃がさないための断熱技術も研究します。また、取り出した熱を電力として利用する熱/電力変換技術を研究します。

- **提案を求める技術**

- ・ 250Wh/kg 以上のエネルギー貯蔵が見込める蓄熱/放熱システム技術
- ・ ヒートパイプ等熱輸送技術
- ・ 輸送後の熱の月面環境からの断熱技術
- ・ 熱/電力変換技術、特にスターリングエンジンの高信頼化や高効率な熱電変換素子技術

⑥ 有人エリアのための熱回収・蓄熱及び再利用システム

- **概要**

地上の工場でも設備から排出される熱を有効活用する技術が進んでいます。地上の工場排熱は温水や蒸気など活用しやすいものが多いですが、探査拠点においても大規模電力消費機器（レーザー送電機器や推薬生成プラント等の機器）の発熱ロスを回収する技術を研究します。回収した熱は有人エリアの環境制御に利用することを目標とします。なお、熱回収に加え、⑤の蓄熱技術と併用することによるエネルギーの向上も検討に含めます。

- **提案を求める技術**

- ・ コージェネレーションの応用化技術
- ・ ヒートポンプ技術

⑦ 推薬製造プラントのためのパワーコンディショナ及び蓄電システム

- **概要**

月利用における重要活動である推薬生成（水抽出、凝縮、精製、電気分解、液化）におい

ては、設備を安定的に稼働させるために受電した電力の変動に備えた蓄電システム、また効率の良いパワーコンディショナ（DC/DC 変換、また電力インフラストラクチャとのインタフェースによっては AC/DC 変換）が必要です。定常的な月面活動における推薬生成に必要な電力は「日本の国際宇宙探査シナリオ（案）2021」では約 200kW と見込まれることから、小規模なパイロットプラントからスケラブルに拡張できるプラントの電力設備の研究を行います。

- **提案を求める技術**

- ・ 既存の宇宙用 Li-ion バッテリと安全性に優れる全個体電池に関する以下の技術
 - ・ 高エネルギー密度化研究
 - ・ 重量/運用性/安全性/コストのトレードオフによる電力設備評価技術

⑧ RF による高効率な無線電力送電のためのスイッチングコンバータ

- **概要**

探査ハブでは第 10 回研究提案募集（RFP）において「地球と宇宙で使える 24GHz 高効率大電力伝送システム及び新規 GaN 系整流素子の開発」を実施していますが、特に送信側の損失を低減させるために必要となる高効率な 24GHz 帯のスイッチングコンバータ技術を研究します。

- **提案を求める技術**

- ・ GaN 等を用いたスイッチングコンバータ回路
- ・ スケラブルに kW 級まで取り扱い電力を増やせる設計技術

⑨ レーザ無線給電のハイパワー化を支える要素技術

- **概要**

日照地点から遠距離にある永久影内の大きな電力ユーザ（④の充電ステーションを含む）に電力を供給できる技術としてレーザ無線給電は有望ですが、「ハイパワー化」にあたっての目下の課題である、高密度な発熱の対策、また活性光ファイバや半導体レーザの耐放射線性向上を中心に、近距離での実証から最終的には数 km 以上の距離において 100W 以上を給電する技術を獲得することを目標に研究を行います。研究は、課題に対する要素技術の原理検証を目的とした宇宙におけるシステム的な技術実証を早期に行うことを念頭として進めます。

- **提案を求める技術**

- ・ 軽量排熱技術（半導体素子部にて 40W/cm² 程度以上）
- ・ 素子・デバイスのナノ構造による熱制御技術（高効率熱光変換、熱輻射促進、等）
- ・ 活性光ファイバの放射線照射による変色や透過損失増加の低減技術
- ・ 真空中光学部品固定用の低アウトガス・耐放射線性接着材料
- ・ 高出力・高ビーム品質・高効率の白色／青色レーザ技術（100W 超級、M2~1）
- ・ 青色レーザの光電変換用太陽電池パネル

⑩ 配電方式の物理的最適化及び電力マネジメントシステム

- **概要**

アルテミス計画をはじめとする探査拠点においては、発電システム（例えば太陽電池タワー群）から電力ユーザ（例えば、特に電力を要する推進生成プラント）までの給電システムの全体最適化が必要です。高電圧にて電力を供給すれば配電系の重量は大きく減り、交流電力は高圧化が容易です。一方、交流電力による配電は最終的に直流への変換が必要なためインバータを必要とします。よって本研究では電力伝送距離に対する交流/直流及び供給電圧による設備重量の最適化をパラメータスタディします。

また近年は工場やプラント等で様々なエネルギー最適化のマネジメントシステムが存在します。探査拠点では管理サーバを中心とした中央監視制御ではなく機器やサブシステムがスケラブルに拡張できるとともに全体が協調して求められる需要に応じて最適な状態に導くロバストなシステムが求められます。

- **提案を求める技術**

- ・ 交流/直流両方に対する容量に応じた重量効率の知見と軽量化技術
- ・ 耐熱及び耐放射線性を有するケーブルの軽量化技術
- ・ 分散システムが全体誘導アルゴリズムに従って全体を最適な状態に自律的に運転を行う技術