

宇宙探査

イノベーションハブ

INNOVATION HUB

次世代モビリティ領域の紹介

「Moon to Mars Innovation」情報提供要請(RFI)募集説明会

2024年4月15日(月)

宇宙探査イノベーションハブ 山崎雅起



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



月探査シナリオに関する課題例

・ピンポイント着陸のための画像航法(高速画像マッチング)

・故障検知・診断・再構成、自己修復

・未知環境での環境適応

・不整地走行

・低消費電力

月極域探査ミッション

有人与圧ローバ

月面中型ランダー

月離着陸実証ミッション

・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

・越夜のためのエネルギーマネジメント

TOYOTA

探査ハブが募集してきたAIロボティクス技術

- 目的
人が活動することが難しい環境において、**自律的に判断し自ら機能するシステム**や**安全な自律的システム**で宇宙探査に革新を起こす。
- チャレンジする課題
我国のロボット技術や自動車技術、物流技術などにAI技術を連携させて、無人化・自動化、環境認識・行動計画、信頼性・安全性などの技術開発に取り組めます。

中テーマ	小テーマ		関連キーワード
(1) AI (機械学習) 未知環境や屋外環境にて自律的行動計画をたて、環境に適応して探査を行う。	①	環境認識・行動計画	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地形・障害物・物体認識、地図生成、自己位置推定 ・ 行動計画、エネルギー管理 ・ 複数台ロボットの分散協調のための群制御技術、マルチエージェントシステム
	②	学習データ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 少量データ向け深層学習 ・ 学習および教育に関わる技術（シミュレータなど人工データ構築、ドメインランダム化） ・ ビッグデータ解析・低消費電力高速AI処理に有効な要素技術
	③	信頼性・安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自律システムの信頼性を向上させる技術 ・ 故障検知予測、自己修復技術

11(探る)	自動運転の大規模走行環境に向けた NeRF による高品質センサシミュレーション技術
10(共通)	アナログニューロモルフィック回路を用いたセンサ向け超低消費電力高速エッジAI学習チップ
10(探る)	画像から土の粒度を推定する技術の開発
9(共通)	長期間移動可能型ロボットへ向けた最適電力マネジメントシステムの研究
8(建てる)	未踏オフロード環境における車両挙動予測技術の研究
8(探る)	少量データ向けCG合成画像を用いた物体検出深層学習手法の試行
6(探る)	路面情報に基づくSLAM技術と動的経路生成のための組込実装技術の研究
4(探る)	複数小型ロボットを用いた確率的環境探査システム
4(探る)	分散協調型ロボットによる製造工場等の物品供給システムの開発研究
4(探る)	群 AGV (Automated Guided Vehicle) の開発
4(建てる)	ロードヘッダ／掘削機械の自律的動作を実現する AI、IoT 技術を用いた制御方式研究
3(探る)	異種・複数小型ロボットを用いた確率的領域誘導による環境探査システムと要素技術の検討
3(探る)	超高感度マルチカメラや深層学習を利用した高付加価値vSLAM技術の研究開発
3(探る)	テクスチャレスシーンのためのロバストなVisual SLAMの研究
3(建てる)	効率的なバケット採掘のための地盤情報取得技術
1(建てる)	遠隔操作と自動制御の協調による遠隔施工システムの実現
1(探る)	超分散ロボット群による三角測量に基づく自己位置推定と地図生成
1(探る)	環境適応型不整地自律走行プラットフォームの研究
1(探る)	RTソリューション技術に基づく合体変形型移動ロボットの環境認識移動知能化技術の研究開発

パナソニック アドバンステクノロジー株式会社、株式会社諸岡

背景

近年、様々なシーンで深層学習による物体検出モデルが活用されているが、災害現場や宇宙環境のような容易にデータを収集できない場所への適応では、十分な量の教師データを用意する事が出来ず、AIが必要な性能を発揮しづらいという問題がある



参考:災害現場写真一般web公開

課題

月面では、探査車が搭載センサをリアルタイムに解析しながら安全な移動を妨げる物体や地形を避ける必要がある。しかし環境認識のための学習データを事前に十分な量集める事は難しい



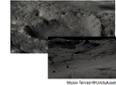
参考:NASA LPI resource

本研究での取り組み

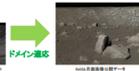
シミュレータにより月面環境や災害現場等を模したCG画像を生成しソースドメインとして構築、少量の災害現場や月面の撮影データを対象ドメインとして、半教師あり学習、敵対的学習を実施しドメイン適応を行うことで、**少量の教師データでも精度を低下させない物体検出・深層学習手法**を試行する

① 月面ユースケース

CGデータ(ソースドメイン)



少量実データ(対象ドメイン)



ドメイン適応

② 林業現場ユースケース

CGデータ(ソースドメイン)



ドメイン適応



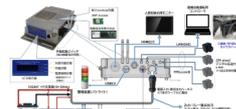
Adaptive Teacherの概要(論文より抜粋)



車載カメラ(Panasonic製)



岩石 検知結果



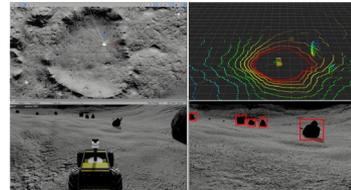
エンジンモジュール(パナソニックアドバンステクノロジー製)



林業試験場での実証実験の様子

今後の予定

自動化が遅れている林業用作業機向け安全支援装置の試作を進め、市場適応性を評価する。将来的には、**月面作業車向け環境認識装置への応用**を目指し、シミュレーション技術、AI技術、LIDAR-SLAM技術とのフュージョン、自動運転技術の高度化を進める



顧客・応用先

- ◆ オフロードにて作業車両を運用し、オペレータ不足に直面する事業者
 - 土木建設・鉱山、林業、不整地運搬など

提供価値・技術ポイント

- ◆ 自律車両を短時間で新しい現場へ導入可能に
 - オフロード環境は現場ごと・日ごとに路面状態大きく変わり、車両挙動の不確実性が高い
 - 保守的に運用すると作業が非効率となり、逆に走行リスクを過少評価すると事故に繋がる
 - 挙動予測を行うことで、安全・効率的な走行制御や運用を行えるが、精度良い予測には現場・日ごとにデータ取得と予測モデル学習が必要
- 本技術は、このようなデータ取得・学習のコストを軽減し、短時間で予測モデルを現場適応させて車両を安全かつ効率的に自律運用可能とすることを目指している

これまでの取り組み

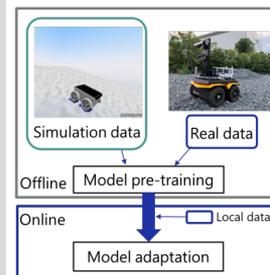
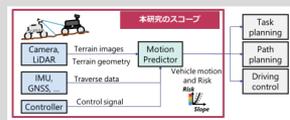
- ◆ アルゴリズム検討
 - 自己教師付き学習により走行データと画像を関連付けてモデル学習することで、カメラやLiDARのみでは予測困難な路面状態に応じた走行挙動の予測を可能に
 - 転移学習によりシミュレーションデータから事前学習した予測モデルを現場適応することで、現場でのデータ取得・学習コスト低減
- ◆ 走行実験・シミュレーション
 - 小型UGV実機とシミュレータを用いたデータ収集とアルゴリズム評価

今後の計画

- ◆ 自然地形・月面を模擬した環境にて実証
- ◆ 建設車両などの走行予測制御へ適用し、技術実証を進めるとともに、事業性を検討



好ましくない走行挙動の例



長期間移動可能型ロボットへ向けた最適電力マネジメントシステムの研究

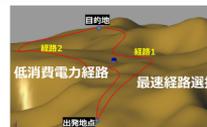
トヨタテクニカルディベロップメント株式会社 ・ 大阪大学

 未知の地帯でも路面環境をリアルタイムに学習し
 最適な経路探索と電力マネジメントシステムを確立

背景・目的

未知の地帯では傾斜や摩擦などの路面状態を事前に取得することはできないため、目的地までの電費予測が困難である。

本研究では未知な路面を走行しながら**リアルタイムに学習する**事で、目的地までの移動時間と消費電力を最小化する**最適電力マネジメントシステムを確立することを目的とする**。



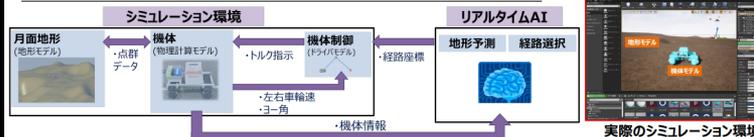
概要

- ① **シミュレーション環境** 機体/月面モデルを作成し、電力消費を評価可能なシステム環境の開発
- ② **リアルタイムAI** 機体に搭載したデバイス上でリアルタイムに処理するアルゴリズムの開発

研究内容

① シミュレーション環境

- **リアルタイムAIと連携し電力消費を考慮したシミュレーション環境を構築**



② リアルタイムAI

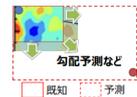
- **動的システムモデリング**

・機体の動きを予測する動的システムモデルを作成



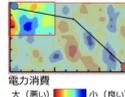
- **地形予測モデリング**

・広域の地形を予測する地形予測モデルを作成



- **経路探索**

・消費電力が最小となる経路を探索



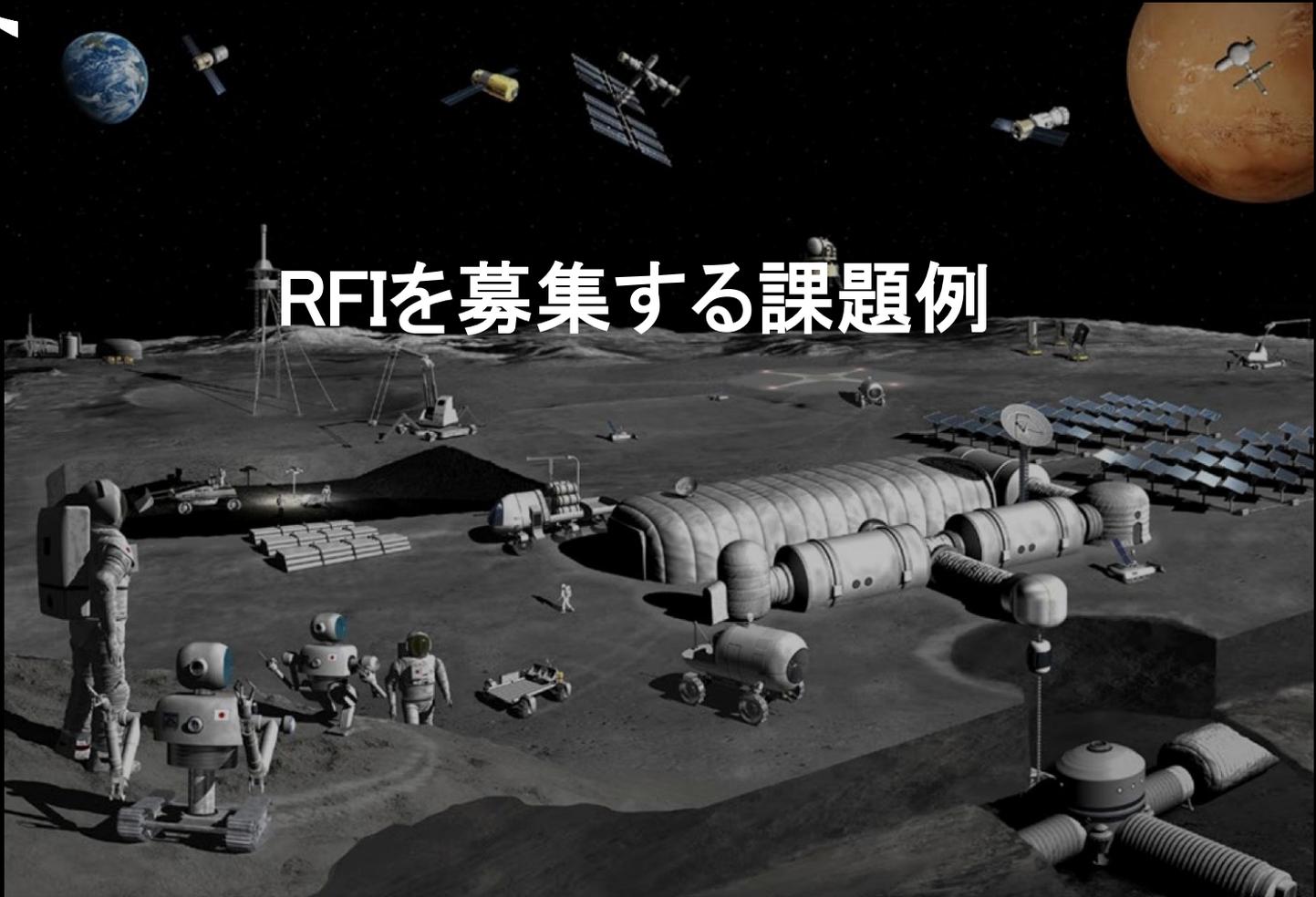
研究中

最適経路をリアルタイム予測し続ける事で電力消費を最小化する

今後の予定

【実機評価】・リアルタイムAI機能を実機へ搭載したフィールド評価によるシステム検証

【応用展開】・ドローンや災害救助用ロボットなど風や路面状況が変化する一般産業分野での応用展開



RFIを募集する課題例

- 月面モビリティシステムとして、移動・運搬サービスを提供する
- 小型・少数・近距離のモビリティシステムによる探査(調査、観測等)から、将来の月面上の物資と人の輸送に繋がるようなサービス拡張を目指す



■ 概要

月面拠点の構築等のための資材や物資の移動・運搬。また月面拠点近傍で作業している宇宙飛行士や、月面着陸機から有人と圧ローバー等への食糧や物資の運搬等。その他、レゴリス(月面の砂)の移動・運搬等。

■ 国際宇宙探査シナリオ(案)の例

運搬機のレゴリス搭載能力として2.0[t/台]、月面上の運搬時の速度として往路移動(積載時)2[km/h]・往路移動(非積載時)4[km/h]、運搬距離として2.5km程度、運搬機の台数3台などが想定

提案を求める技術

高効率な物資(資材、物資、食料、レゴリスなど)運搬機構ハードウェア(積込み、移動、積卸し)

複数台の物資運搬機を統合した全体運用システム

スマート化技術(高出力小型アクチュエータ、高性能小型センサ)

ハードウェア(車体、駆動システム、作業機械、走行機械、構成要素部品等を含む)からソフトウェアまで含めた月面環境を考慮した最適設計・宇宙仕様化

材料(超軽量・高剛性など)

■ 概要

有人と圧ローバーや大型ローバー等が到達できない、月面の中央丘峰、縦孔底、洞窟等の危険地域や未踏峰領域について、複数の小型探査機による分散協調により100km四方の探査や調査を目指す。有人と圧ローバーや民間を含む月面着陸機と連携することにより、より効率的に月面の地形や環境調査、資源探索、サンプリングを行う。

■ 国際宇宙探査シナリオ(案)の例

月表面から掘削深さ(最大1.5m程度)までの水氷関連データ取得が望まれている。

提案を求める技術

月火星着陸時の小型ロボット放出機構(遠距離)

小型ロボット分散協調探査技術(群知能、群行動技術、自己組織化技術など)

小型探査ロボット用スマートセンサ(水、氷、鉱物資源等)

月火星表面の中央丘峰、クレータ内、縦孔底、洞窟、極域等の革新的移動技術(可変構造型ロボット技術、飛行移動体UAV 技術など)

電力供給や通信困難な地下領域の探査や太陽のあたらない永久影の中の移動探査

有人と圧ローバーが月面で活躍する時代を見据えて、有人と圧ローバーや民間を含む月面着陸機等と連携して崖・堅穴・山岳等の厳しい環境を探査するシステム

地盤調査や計測に必要なロボティクスに関わる技術

地形のマッピング、モデリングに関わる技術

地盤調査や計測データに基づいた環境適性判断アルゴリズム

低重力環境でのレゴリスのサンプリングや物資のハンドリングに必要なロボティクスに関わる技術

地形変化のリアルタイムシミュレーション 等



③AI搭載による高精度で安全な自動・自律運転システム



■ 概要

将来の月探査および火星へも発展可能な自動・自律運転型の次世代モビリティシステムの構築を目指します(次の移動候補の位置は遠隔操作で指示されるが、その後の移動は自動・自律運転で走行する)。

■ 国際宇宙探査シナリオ(案)の例

月面の作業車両/有人と圧ローバーの走行仕様として、最大斜度20-25 度程度・障害物乗り越え性能30cm 程度・最高速度15km/h 程度の走行性能に加え、地上遠隔操作と自動運転の連携を目指している。

提案を求める技術

走行機構技術(不整地走行、登坂、長距離走行)

アクティブセンシング技術

AI 技術を使った環境認識(地形・障害物・物体認識など)

LNSS システムを活用した高精度(cm 級)位置同定、地図形成・利用、ナビゲーション

AI 技術を使った行動計画(地図構築・SLAM、自己位置推定、経路生成、行動計画、ナビゲーションなど)

AI 学習データ生成(シミュレータなど人工データ構築、生成AI、ドメインランダム化など)

低消費電力高速AI 処理に有効な要素技術(計算機ハードウェア、分散処理など)

AI 技術の信頼性向上(自動・自律システムの信頼性を向上させる技術)

複数のモビリティ利用における安全な自動・自律運転

自動・自律制御に必要なロボティクス・AI に関わる技術(ソフトウェア)

地上遠隔操作と自動自律制御の融合に必要なロボティクス・AI に関わる技術(ソフトウェア)

自動制御、遠隔操作に関わるシミュレーション、デジタルツイン技術 等

■ 概要

モビリティシステムが長期生存するため、電力の確保および故障に対してロバストであると同時に自己修復が可能なシステム(例えば、走行系車輪故障時に残された可動部を利用した移動機能の再獲得、あるいは、センサや計算機システム故障時の機能継続・修復等)の構築を目指します。

このため、モビリティシステム自身が故障診断・検知・修理を行い、エネルギーシステムとの協調も考慮した電力確保が必要。

※次世代エネルギー(パワーノード&グリッド)との連携は別途次世代エネルギーRFIシートを参照

■ 国際宇宙探査シナリオ(案)の例

有人と圧ローバーの無人運用の走行では移動距離要求1000[km/year]などが考えられている。

提案を求める技術

高効率無線電力伝送充電システム

低電力・省電力化技術(エネルギーマネジメントシステムなど)

故障診断・検知予測、自動管理点検・機器のモニタリングに必要なロボティクスに関わる技術

自己修復技術、保守整備に必要なロボティクスに関わる技術

トータル無人管理・点検・修理に関わるシミュレーション、デジタルツイン技術 等

● 募集事項

①次世代探査コンセプトの提案、及び②システム／要素レベルの技術提案の情報提供を受け付けております。情報提供にあたっては、月から火星へと段階的に発展する探査活動を念頭に、(Scalability)、(Commonality)、(Interoperability)、(Evolvability)といった観点を踏まえて情報提供をお願いいたします。

①次世代探査コンセプトの提案【締切:6月7日(金)】

- コンセプトの概要、実現方法、アプローチ
- 従来の概念にとらわれない革新的なアーキテクチャ／システムアイデア
- 上記に関連づく、研究テーマ、技術
- 宇宙事業化構想(可能な場合、投資意欲、アプローチ、時期など)

②システム／要素レベルの技術提案【締切:5月8日(水)】

- 個別システムの実現方法、必要な要素技術(研究テーマ候補)
- 宇宙事業化構想(可能な場合、投資意欲、アプローチ、時期、研究開発状況等)
- 募集領域:次世代エネルギー、次世代モビリティ、その他自由提案

● 留意事項

情報提供にあたっては、下記を参考／念頭にご提案をお願いします

- ・ 日本の国際宇宙探査シナリオ
- ・ 次世代探査コンセプト領域ごとの全体イメージ及び当面の個別目標



宇宙探査イノベーションハブHP
情報提供要請(RFI)



応募お待ちしております！



Technology Advancing Node for SpAce eXploration