

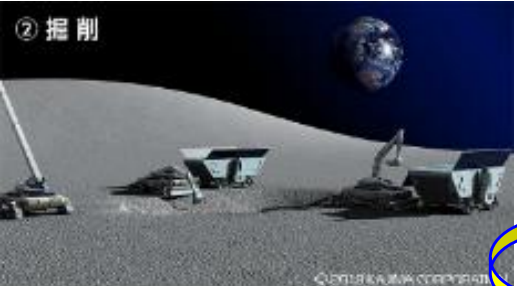
本プロジェクトは、宇宙政策委員会 衛星開発・実証小委員会(第8回;2021.7.5)において、宇宙開発利用加速化戦略プログラム(スターダストプログラム)として決定された。府省連携の官学の有識者からなる「宇宙を目指す建設革新会議」を設置し、研究開発推進方を審議し、一般公募及び審査を行い、技術研究開発を推進している。

プロジェクト番号：R3-01	宇宙無人建設革新技術開発	主担当庁：国土交通省 連携省庁：文部科学省 (事業期間6年程度)
----------------	---------------------	--

背景・必要性

- 宇宙利用探査において世界に先駆けて月面拠点建設を進めるためには、遠隔あるいは自動の建設技術(無人化施工等)は、重要な要素。我が国では、これまで風水害・火山災害を克服するため無人化施工技術が培われ、国際的にも強みを有する。
- 近年、激甚化する災害対応・国土強靱化に加え、人口減少下において、無人化施工技術の更なる高度化と現場への普及は喫緊の課題。(国交省では令和3年4月、インフラDX総合推進室を発足し、本省・地方・研究所が一体で無人化施工等を推進)
- この建設技術を、アルテミス計画等を通じて月面環境に係るノウハウを有する文部科学省と連携して、月面拠点建設へ適用するための技術開発を進めるとともに地上の事業へ波及させる。

(月面無人化施工イメージと地上の無人化施工)




↑

高度化

↓

Spin off



H28熊本地震(施工現場と操作室)

各省の役割

- 国土交通省： 無人建設(無人での施工、建材製造、建築等)の開発・現場適用検証、事業展開推進
- 文部科学省： 専門的知見の提供及び技術的助言

事業の内容

- 月面開発に資する無人建設技術(施工、建材製造、建築等)の開発を重点化・加速化するため、月面と地上のノウハウを集結。
- 地上の建設事業で導入・開発されている無人建設技術を、月面拠点建設に適用するため、地上建設への展開も考慮しつつ、優先的に開発すべき技術・水準を明確化し、集中投資を図る。
- その際、無人建設に係る各種技術の水準、達成見込みを的確に見極めるために、実験室、試験場、建設現場で実証を行う。

(施策イメージ)

宇宙建設革新プロジェクト(イメージ)

概ね10年後の月での建設を目指して、地球での建設技術の革新を進めます

Construction on Moon



【本プロジェクト研究開発実施者：代表者及び共同実施者、全35者（重複込み）】

令和8年度(2026年度) 研究開発一覧(継続)

技術分類		技術研究開発名称	実施者 (○代表者、共同実施者)
技術Ⅰ： 無人建設 (自動化・ 遠隔化)	施工 (掘削、積込等)	建設環境に適応する自律遠隔施工技術の開発－次世代施工システムの宇宙適用	○鹿島建設 宇宙航空研究開発機構、芝浦工業大学
	施工 (敷均し等)	自律施工のための環境認識基盤システムの開発及び自律施工の実証	○清水建設 ボッシュエンジニアリング
	施工 (測位)	月面適応のためのSLAM自動運転技術の開発	○大成建設 パナソニックアドバンステクノロジー
	施工 (全体システム)	トータル月面建設システムのモデル構築	○有人宇宙システム
	建設機械・施工	デジタルツイン技術を活用した、月面環境に適応する建設機械実現のための研究開発	○小松製作所
	測量・調査	月面の3次元地質地盤図を作成するための測量・地盤調査法	○立命館大学 芝浦工業大学、東京大学大学院、横浜国立大学、港湾空港技術研究所、基礎地盤コンサルタンツ、ソイルアンドロックエンジニアリング
	輸送(調査)	索道技術を利用した災害対応運搬技術の開発	○熊谷組 住友林業、光洋機械産業、加藤製作所、工学院大学
基礎(調査)	回転切削圧入の施工データを利用した、月面建設の合理的な設計施工プロセスの提案と評価	○技研製作所	
技術Ⅱ： 建材製造	月資源を用いた拠点基地建設材料の製造と施工方法の技術開発	○大林組 名古屋工業大学、レーザー技術総合研究所	
技術Ⅲ： 簡易施設建設		月面インフラタブル居住モジュールの地上実証モデル構築	○清水建設 太陽工業、東京理科大学
		月面における展開構造物の要件定義及び無人設営検討の技術開発	○大林組 宇宙航空研究開発機構、サカセ・アドテック
		月の極域および縦孔での滞在開始用ベースキャンプの最少形態と展開着床機構の開発	○東京大学 九州大学、竹中工務店、宇宙航空研究開発機構

実施Stageは全てR&D・・・Research & Development 技術研究開発【複数年度間】

○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化) - 施工(掘削、積込等) ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

建設環境に適応する自律遠隔施工技術の開発 - 次世代施工システムの宇宙適用

実施者

代表者: 鹿島建設株式会社
共同実施者: 宇宙航空研究開発機構、芝浦工業大学

【ねらい・概要】

月面で自律遠隔施工を実現するためには事前の模擬試験やシミュレーションが不可欠。

重力、土質条件の他、地上と月面では環境の差異が大きい。このため、効率的な開発には月面仮想環境下での自律遠隔施工を模擬した試験による課題検討～実証検証が重要。

月面で自律遠隔施工を実現するためには多くの開発成果の相互利用が必要となるため、各成果を反映させるためのプラットフォームの構築が望まれる。

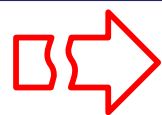
本プロジェクトでは、まず地上模擬試験を実施し、それを仮想空間上で再現可能なシミュレーションプラットフォームを開発する。さらにプラットフォームを月面施工検討用に拡張することで、月面の大規模施工シミュレーションを実現する。

本成果を地上の自律自動化施工システムに活用する。

【実施イメージ】

自律遠隔施工技術を宇宙適用するためのシミュレーション・プラットフォーム

自律遠隔施工の地上模擬



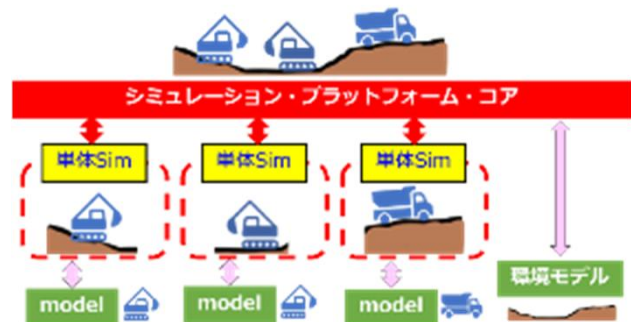
Gap :
 ・重力
 ・土砂物性
 ・大気影響
 ・...

月面での実施

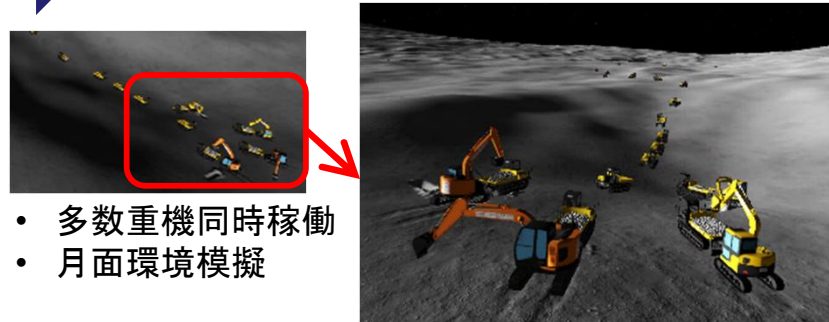


将来的に月面施工デジタルツインの構築

シミュレーション・プラットフォーム



月面大規模施工シミュレーション



・多数重機同時稼働
 ・月面環境模擬

○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化)ー施工(敷均し等) ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

自律施工のための環境認識基盤システムの開発及び自律施工の実証

実施者

代表者: 清水建設株式会社
共同実施者: ボッシュエンジニアリング株式会社



【ねらい・概要】

月面での建設活動においては、通信遅延により地球からの信号は数秒単位の遅れが生じる。このような環境下で安全に作業を実行するためには、地球側での判断を極力少なくした自律施工が必要と考えている。本技術開発では、**建機搭載型のデバイスを用いて、人工知能(AI)により建機側の判断範囲を広げ、自律分散型に近い施工を可能とするシステムを構築し実証する。**

【内容・ポイント】

敷均し厚さ、エリア等の単純な指示のみで、**人工知能が作業箇所までの走行経路や敷均し作業の経路を生成**するため、より高度な自律施工が可能となる。環境認識システムの基盤ができることで、他建機への展開も可能となり、自律施工建機の多様化につながる。

【実施イメージ】

月面施工を想定した自律施工システムの検討及び実証

地球からの遠隔操作には**通信遅延や帯域幅の制限といった大きな課題が伴う**。この課題を克服し、月面での自律的な建設作業を可能にする基盤技術の確立が課題となっている。本提案は、月面建設における自律施工技術の開発と、特に**通信制約下での実用性を検証**することを目的とする。

○月面施工を想定した自律施工システム構成の検討

遠隔施工システムと自律施工技術を組み合わせ、地球と月の間の通信量を低減しつつ、必要な施工精度を維持できるような自律施工システムを検討する。

○低容量通信によるブルドーザの無人遠隔施工の実証

検討したシステム構成に基づき、月と地球間の通信制約がある中でのブルドーザによる敷均し施工の自律制御が可能であることを実証する。低容量通信での自律施工技術を確立することで月面での建設作業の実現可能性を高める。



【月面】 月面での無人建設施工へ展開



例: 月面基地 施工段階
(清水建設)



例: 月面居住モジュール
(清水建設/太陽工業/東京理科大学)

○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化) ○ステージ: R&D(実現可能性検証)

技術研究
開発名称

月面適応のためのSLAM自動運転技術の開発

実施者

代表者: 大成建設株式会社
共同実施者: パナソニックアドバンステクノロジー株式会社



【ねらい・概要】

無人建設を目的として建設機械を制御するためには、正確に機械の位置情報を得る必要がある。測位衛星システムがない月面環境で位置情報を取得するため、環境情報を活用するLiDAR-SLAM技術と人工的な特徴点を活用するランドマークSLAM技術を統合したハイブリッドSLAMに轍検知機能を加え、月面環境に適応可能な自動運転技術の構築を目指す。

【実施イメージ】

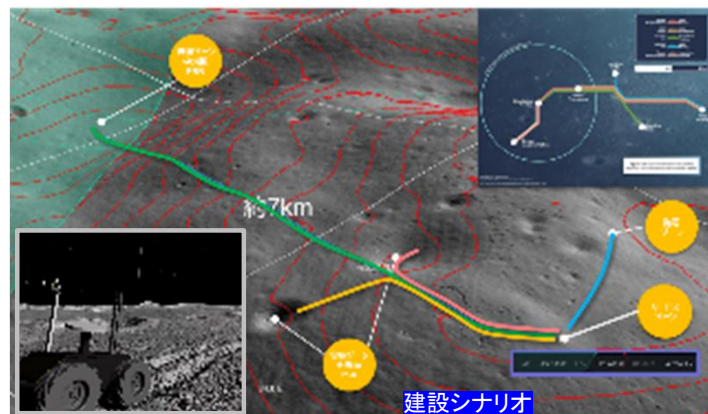
ハイブリッドSLAMに轍検知(トレース)機能を付加し、運送タスクに特化した高いロバスト性と運用性を向上



実証実験@JAXA 宇宙探査実験棟

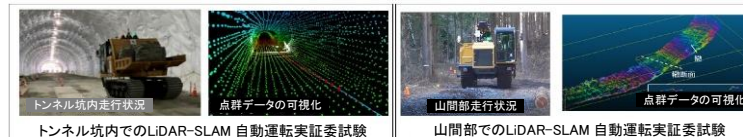
実験用探査ローバ

月面建設の予め探査済みの長距離ルート、先行車の轍を線路のようにトレースする事で実現



仮想月面に轍を生成し、月極域での照明環境を模擬した環境で轍検知機能の適応性を評価する。

【地球上での応用イメージ】



【月面での実用イメージ】



【内容・ポイント】

R7までの実証実験にて、模擬月面環境へのSLAM自動運転技術の適応の実証に加え、予め探査済みのルートを往復するタスクに特化した轍トレース技術の実証が出来た。継続して轍トレース技術の適応性を高め、運用性を向上する。

○技術分類: 技術 I 無人建設(自動化・遠隔化)ー施工(全体システム) ○ステージ: R&D (技術研究開発)

技術研究
開発名称

トータル月面建設システムのモデル構築

実施者

有人宇宙システム株式会社



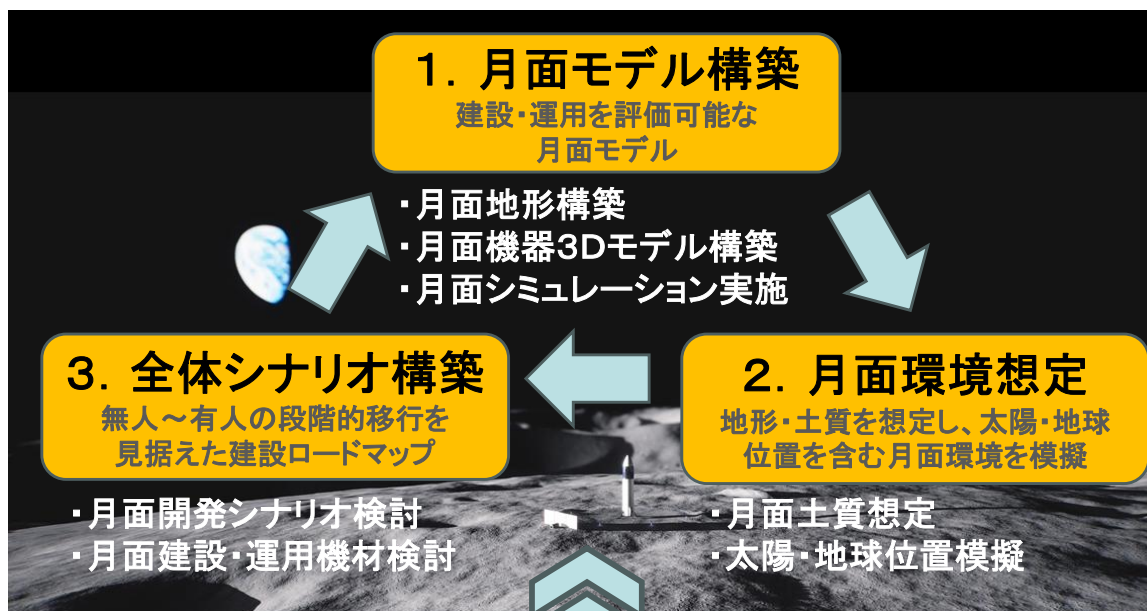
【ねらい・概要】

実際の資源採掘場所、着陸候補地を想定して、月面モデルを構築。
機材の輸送、施工、組立、起動、運用の自動化に必要なシミュレーション機能を検討し、月面シミュレータ開発を進め、無人月面建設に貢献する。

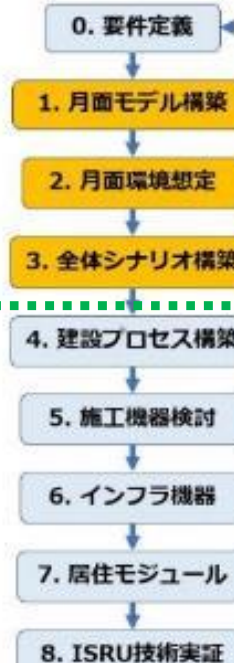
【内容・ポイント】

デジタルツイン環境で利用し得る月面シミュレータを開発し、実際の地形を考慮したシミュレータ環境で①月面モデル構築、②月面環境想定、③全体シナリオ構築を繰り返し検討し、運用を想定したモデル構築を行い、月面建設の要件定義を明確にする。

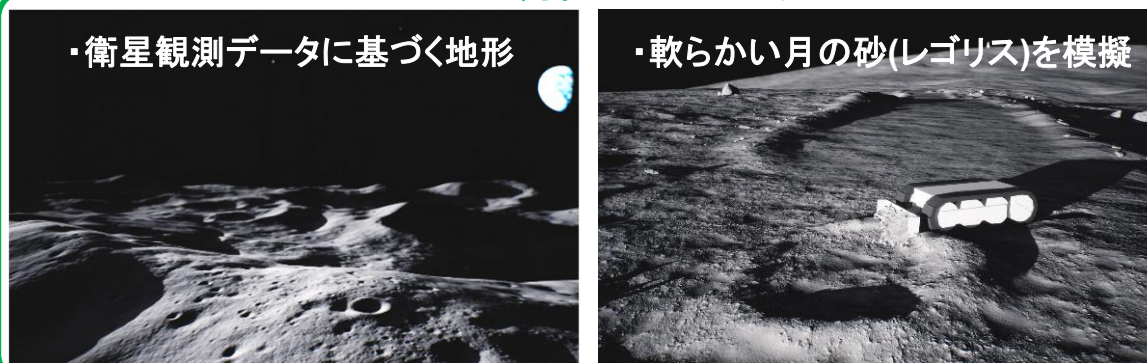
【実施イメージ】



実施内容



JAMSS月面シミュレータ



○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化) — 建設機械・施工 ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

デジタルツイン技術を活用した、月面環境に適応する建設機械実現のための研究開発

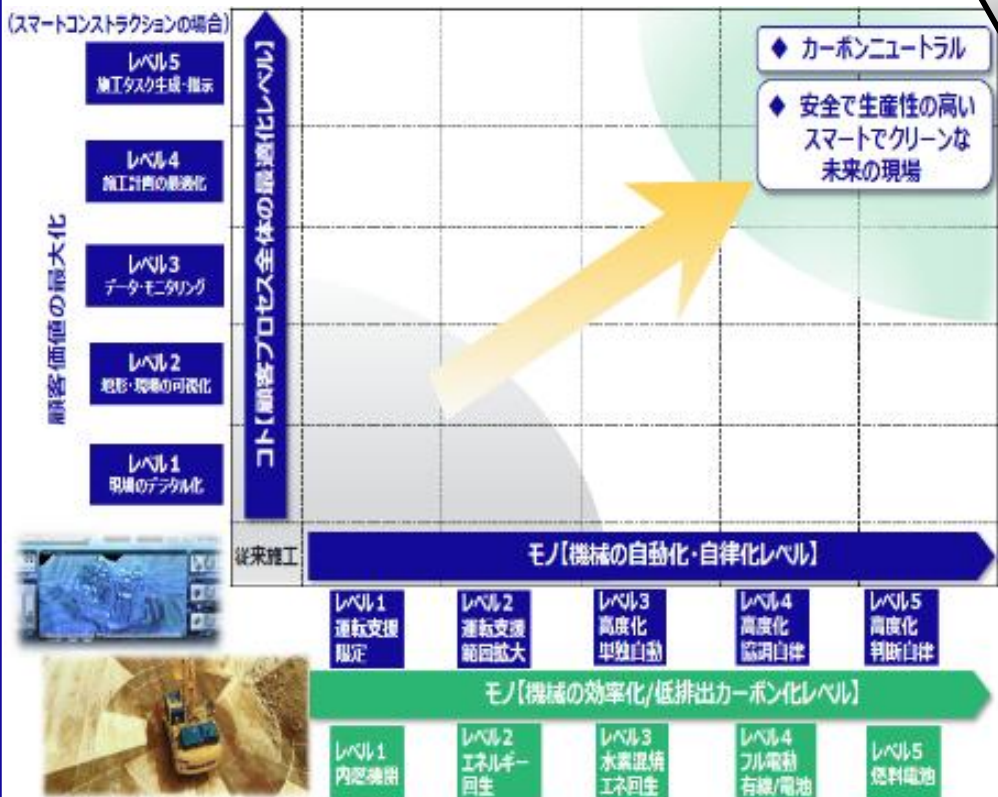
実施者

株式会社 小松製作所

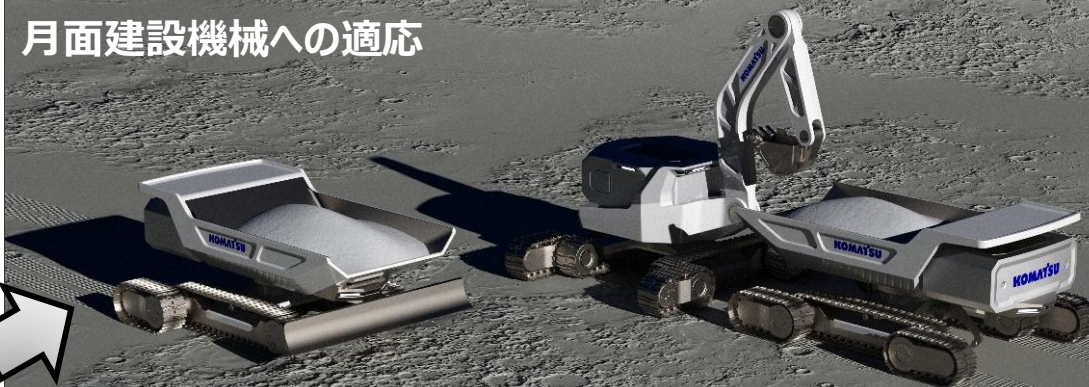


未来の現場へのアプローチ

電動化および自動化・自律化による安全で環境にやさしい高効率な建機<モノ>の進化と、現場のデータや施工計画を含むすべてのプロセスをデジタル化によりつなぎ、施工全体を最適化する<コト>の進化で、「安全で生産性の高いスマートでクリーンな未来の現場」を創造する。



月面建設機械への適応

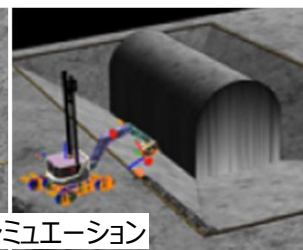
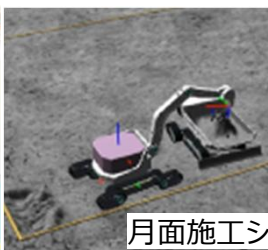


【ねらい・概要】

月面では現物へのアプローチが困難なため、現場環境や実機を精度良くサイバー空間に再現する「デジタルツイン技術」が非常に重要となる。過年度に作成したシミュレータを活用して、月面無人建設の実現性を検証するとともに、月面建機の実現に向けてより具体的に品質・耐久性を検討し、その実現性を検証する。また、本R&Dで得られた知見を地上の建機や施工の高度化に活用する。

【2026年度の内容・ポイント】

- ① 掘削試験機を使用して、より妥当性の高い土質パラメータの同定方法を検討して土質パラメータを更新し、より詳細なシミュレーションによる月面無人建設の実現性の検証を実施する。
- ② 検討した月面建機について、小型プロトタイプ of 構想を策定する。



○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化) - 測量・調査 ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

月面の3次元地質地盤図を作成するための測量・地盤調査法

実施者

代表者: 学校法人立命館

共同実施者: 芝浦工業大学, 東京大学大学院, 横浜国立大学, 港湾空港技術研究所,
基礎地盤コンサルタンツ(株), ソイルアンドロックエンジニアリング(株)



【ねらい・概要】月探査・基地建設に向けた測量・地盤調査法～施設設計法の構築

- 月面地盤は未解明な点が多く, 多くの不確実性 (地質・地盤リスク) が残されている。
- 宇宙シナリオ (構想) を計画・設計 (技術論) に落とし込むためには「調査」が必須。
- 月探査・基地建設には, 月面の地形・地盤調査、地質・地盤リスクアセスメント／マネジメントが必須。

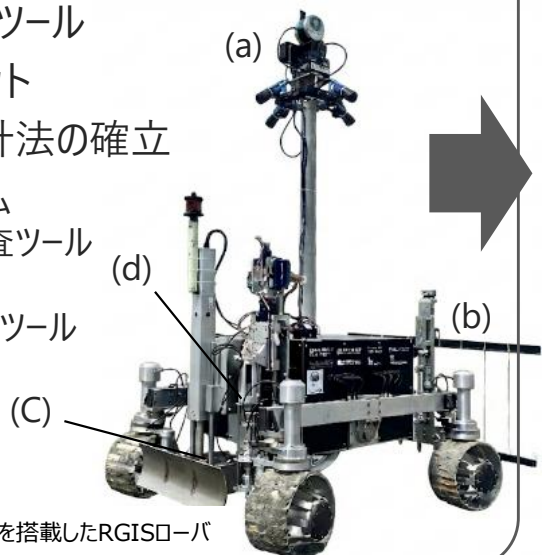
【内容・ポイント】

- 無人ロボットによる地形・地質・地盤データの取得からデータの活用 (設計) までを一気通貫する地盤工学スキームの体系化を目指す。
- 月面の不確実性を考慮した信頼性設計の在り方を検討し, 着陸機や探査ローバ等の探査リスクの低減に向けた調査ストラテジーを提案する。

RGIS: 月面無人地盤調査システム

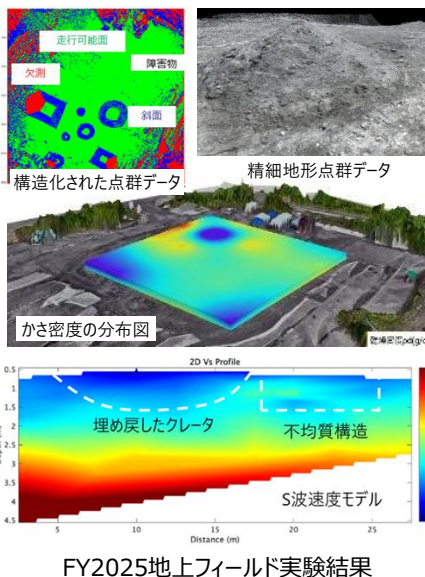
- ① 非GNSS環境における測位・地形測量
- ② 月面地盤調査ツール
- ③ 無人調査ロボット
- ④ 調査・施設設計法の確立

- (a) 測位・測量システム
- (b) アクティブ地震探査ツール
- (c) RI密度計
- (d) 载荷・せん断試験ツール



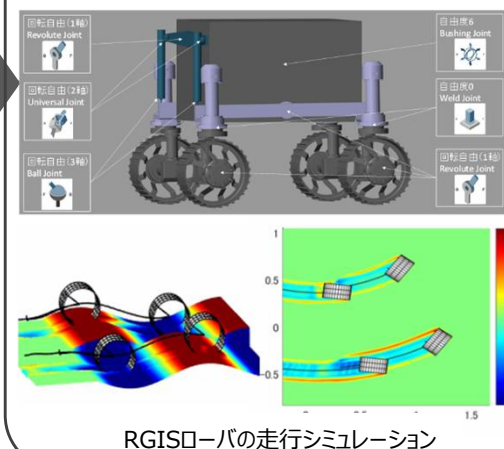
3次元地質地盤図

マッピング／モデリング／GIS



データ活用

地盤解析・シミュレーション
信頼性解析・性能設計
月面土工BIM/CIMモデル



○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化)ー輸送(調査) ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

索道技術を利用した災害対応運搬技術の開発

実施者

代表者: 株式会社熊谷組

共同実施者: 住友林業株式会社、光洋機械産業株式会社、株式会社加藤製作所、学校法人工学院大学



【ねらい・概要】

重要な課題である月面におけるクレータ内部や洞窟内への物資投入や採掘資源の運搬は、運搬路のリスクを軽減し、**作業環境対応に優れた自動化技術が必要となる。**

本開発では、安定した物資運搬である索道技術を災害対応に活用することで、**月面での洞窟内への物資投入や月面永久影と日照域との連続運搬システム**の開発に向けた技術研究開発を行う。

【内容・ポイント】

災害発生時に迅速に効率的な運搬を可能とする技術は、インフラ等の早期復旧など、社会的に必要性が高い技術といえる。

地上では、**架線集材の索道技術に、架設資材を改良した簡易支柱と可搬性の高いウインチを開発し、遠隔化・自動化の制御により、インフラ等の早期復旧が可能となる技術の開発を目標としている。**

災害対応

災害時の応急復旧対策として、法面保護などに土のうは頻繁利用されているが、その運搬は人力によるものが多く、多大な労力が必要となり迅速性に欠けている。



簡易支柱およびウインチを用いた屋内実証試験



実証実験イメージ

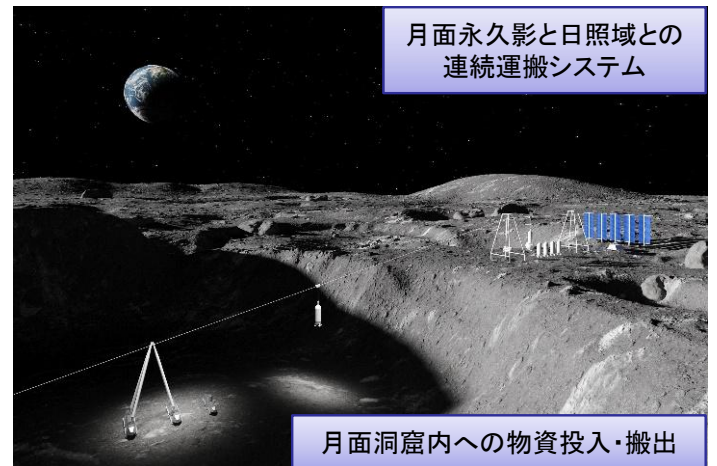
課題解決

日本独自案

月面への適用



クレータ内部の永久影の資源採取、運搬だけではなく、環境変化の少ない月面空洞の調査や基地建設への資材運搬を可能とする。



月面永久影と日照域との連続運搬システム

月面洞窟内への物資投入・搬出

○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化) - 基礎(調査) ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究 開発名称	回転切削圧入の施工データを利用した、月面建設の合理的な設計施工プロセスの提案と評価
実施者	代表者: 株式会社 技研製作所



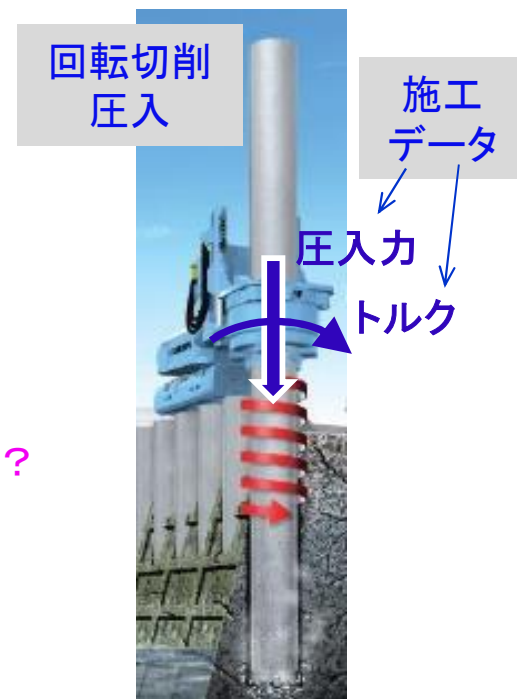
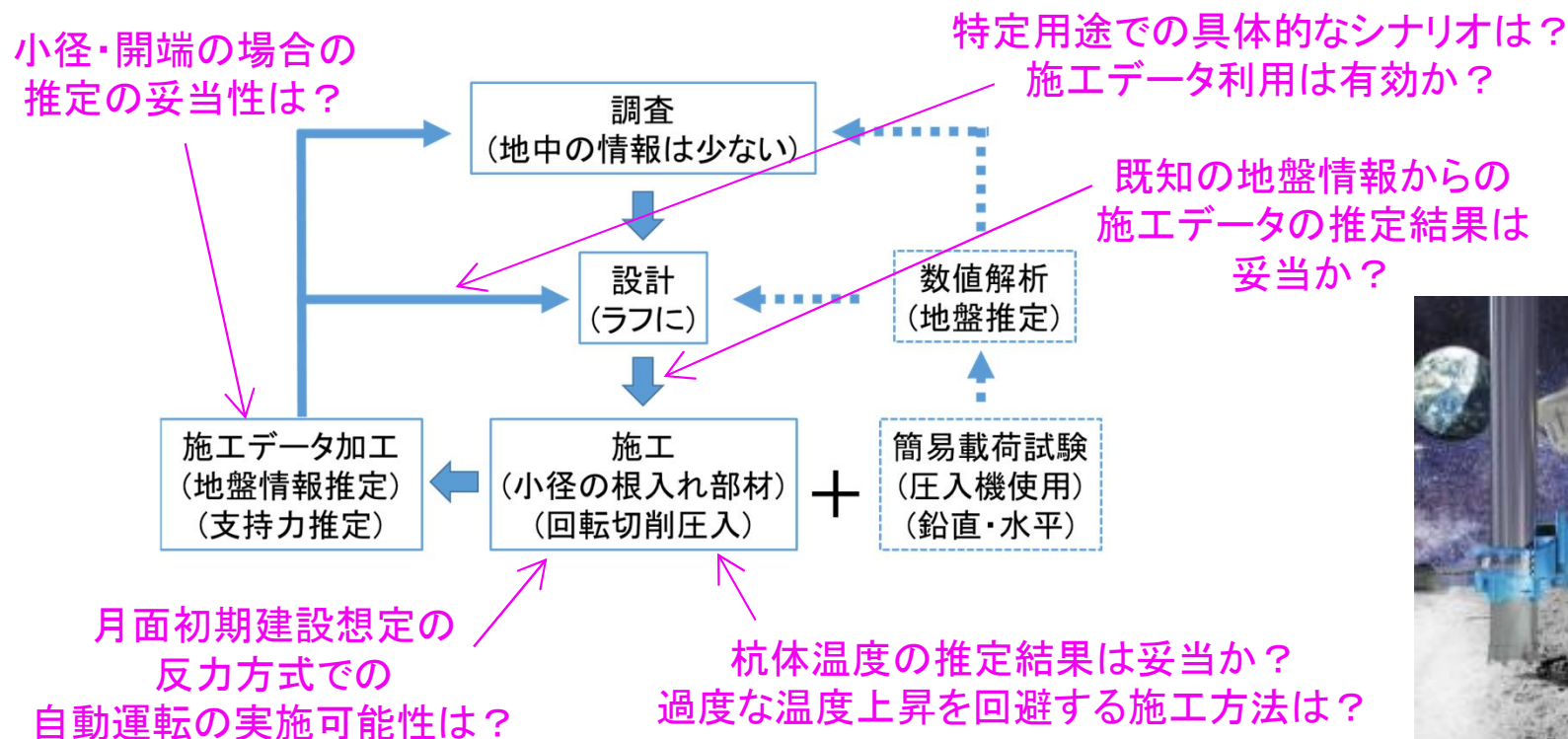
【2022~2026年度全体でのねらい】

施工時情報を利用して設計施工を合理化する技術の確立と、月面適用性の確保

【2022~2026年度全体での内容・ポイント】

- ✓ 施工データ利用技術(地盤推定・支持力推定・自動運転)の妥当性検証(実証試験)
- ✓ 圧入機による簡易的载荷試験の試行(実証試験)
- ✓ 月面を想定した設計施工のケーススタディー

【2026年度の実施予定内容】



○技術分類: II 建材製造 ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

月資源を用いた拠点基地建設材料の製造と施工方法の技術開発

実施者

代表者: 株式会社大林組
共同実施者: 名古屋工業大学、レーザー技術総合研究所



【ねらい・概要】

月探査活動の拠点基地建設のための建設材料を、地球からロケットで運搬するためには莫大な費用を要する。そこで、**月レゴリス(表土)を原料**とし、**マイクロ波やレーザー等で加熱**して、**焼成物を現地**で製造し、これを**建設材料に利用**する技術のR&Dを実施する。

【内容・ポイント】

レーザーやマイクロ波等による加熱製造技術の**品質や製造効率の改善**を進めるとともに、真空や低重力などの**月面環境での適用可能性**を検証する。**連続製造**や**自動施工**の検討にも取り組む。無機繊維などの**焼成物以外の材料**についても開発を進める。本技術開発の**地上利用**や**類似技術に対する優位性**を明確にする。

【実施イメージ】

月模擬砂

試験には月の模擬砂を使用。
海の模擬砂



高地の模擬砂



マイクロ波を用いた建設材料の製造システムの開発

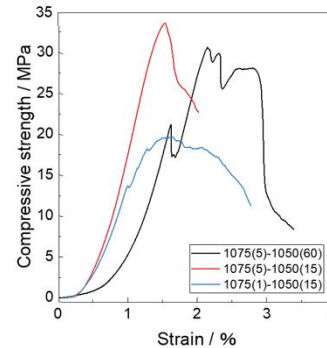
加熱条件最適化による微構造の制御、焼成物の品質向上、パラボリックフライトによる低重量での製造検証、及び、多孔質体作製と熱的特性評価等を進めている。

高真空下でのマイクロ波製造試験

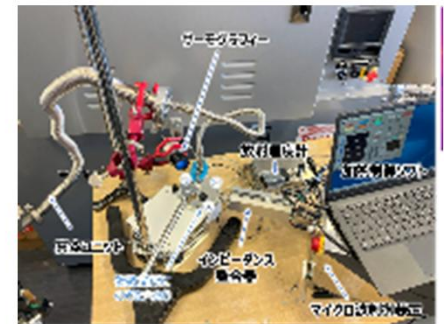


マイクロ波高真空加熱試験

加熱条件最適化による機械的強度向上



パラボリックフライト試験用装置の開発



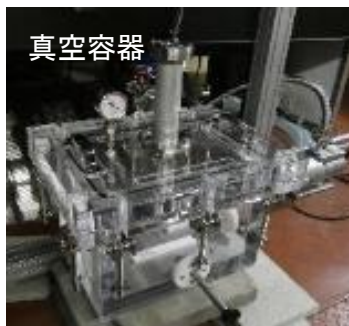
レーザーを用いた建設材料製造システムの開発

形状多様化の検討、曲げ強度改善、真空中での積層造形の検討、真空・低重力での粉体搬送技術の開発等を進めている。

CAMを使用した多様な形状の造形物の製造



真空中でのレーザー積層造形試験装置

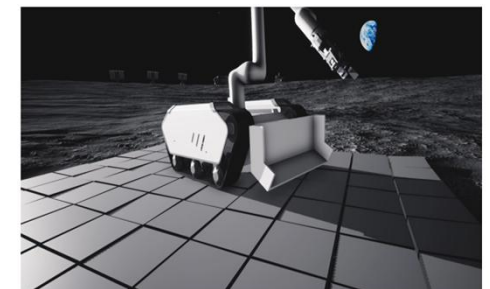


1/6g, 真空中での遠心力による粉体搬送シミュレーション



建設材料の自動施工システムのコンセプト確立

月面におけるブロック舗装等自動施工のシミュレーション・制御技術の開発を進める。



○技術分類: III 簡易施設建設 ○ステージ: R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

月面インフレータブル居住モジュールの地上実証モデル構築

実施者

代表者: 清水建設株式会社
共同実施者: 太陽工業株式会社、学校法人東京理科大学



【ねらい・概要】

月面へ持っていけるモノの重量や寸法はロケットに搭載可能な範囲に限定されるため、畳んで運び現地で展開し大きな空間を作れば、一度の輸送でより多くの居住モジュールを輸送でき、輸送コスト削減に繋がる。本技術開発では**膜構造**を利用し、**畳んで運んで現地で展開できる**月面インフレータブル(膨張型)居住モジュールの地上実証モデル構築を目指す。

【内容・ポイント】

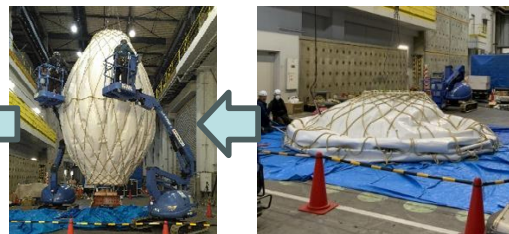
月面居住の実現には高真空、厳しい昼夜温度差など月特有の環境に耐える素材や構造で居住空間を作る必要がある。これまでに**膜構造の構造解析モデル**や**高強度膜材の膜構造基本設計**、状態把握や形状制御のための**自律分散型モニタリング・制御システム**などの開発を進め、フルスケールの模型製作や地上実証モデルの展開試験で実証モデル構築の課題を抽出してきた。今年度は地上実証モデルの加圧試験を実施し、実証モデルを評価する。



月面インフレータブル居住モジュール (将来像 想像図)

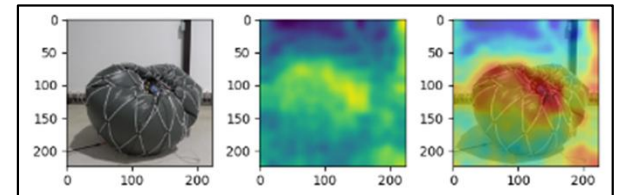
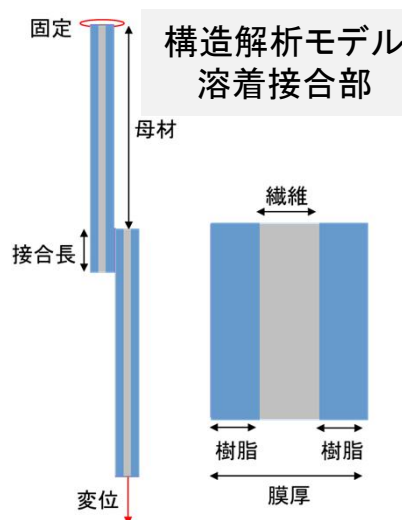
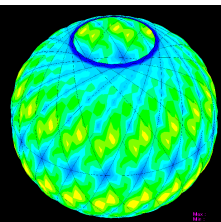


フルスケール地上実証モデル

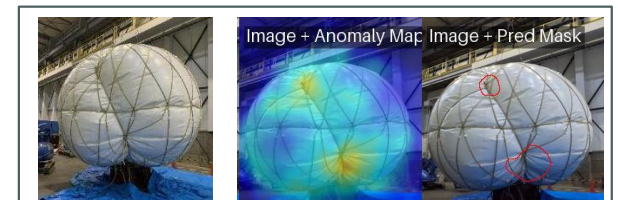


地上実証モデルの展開過程

定常運用時応力解析による設計



1/4 スケールモデルによる検知



フルスケールモデルによる検知


モニタリングによる異常展開検知


○技術分類：Ⅲ 簡易施設建設 ○ステージ：R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

月面における展開構造物の要件定義および無人設営検討の技術開発

実施者

代表者：  株式会社大林組

共同実施者：  宇宙航空研究開発機構、  サカセ・アドテック

【ねらい・概要】

初期段階の月面基地建設では、資材輸送量の削減と現地建設作業の省力化が望ましい。

本開発では、FS性の確認できた各種の自動展開構造技術の中から、無人・有人の各探査フェーズにおける需要をもとに、**要求性能や設置方法を明確にしつつ、最も効果的な対象構造を選択して自動展開・無人設営のR&Dを実施する。**

【内容・ポイント】

非与圧構造の防護シェルターや発電・蓄電ユニット等のインフラ機器ならびに与圧が必要な居住モジュールについて、将来的な**月面等宇宙開発における活用**の可能性と提案する技術研究開発が実現した際の**社会的効果**、あるいは類似技術に対する優位性の確認を含めた**技術的革新性**を明確にする。

【非与圧型構造の検討】

令和七年度は従来の1/6から1/2までサイズを上げたBBMモデルで展開機構の検証ならびに耐荷重性試験を行った。合わせて座屈の構造解析を行い、実験の保守性を確認した。また、実機相当長さのCFRP製双安定性ブーム製作用設備を新たに準備した。

令和八年度は、タワー試作機に傾斜地から垂直展開可能な制御機能を付加する他、実大の12m長伸展ブーム1本を試作、物性評価を行い、数学モデルを検討の上、構造解析を行う。

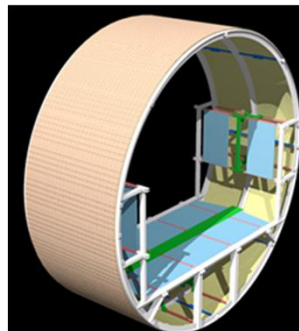
【与圧型構造の検討】

令和七年度は概念設計に必要な情報として調査主体で仕様膜材、展開機構、防護性能を絞り込み、昨年度のBBMに加えて3D CAD上で展開機構の動作確認を行った。

令和八年度は、月面居住モジュールに対する各種条件を明確にしたうえで、概念設計を完了する。

【共通の検討】

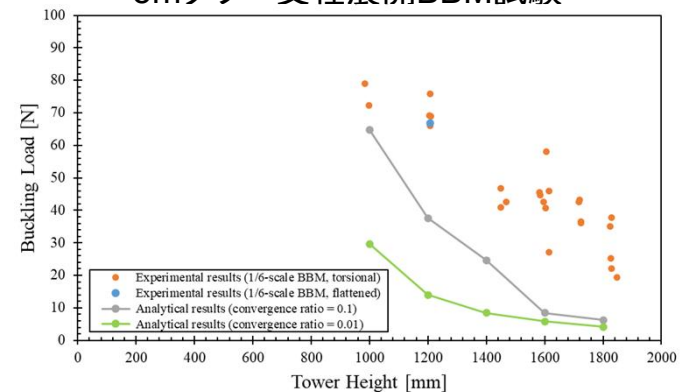
輸送から設置、維持管理までのシナリオ・タスク分析とフィードバックを行い、これらを現実化するための要求性能や規模(サイズ、重量等)の条件をフィードバックした設計を完了する。



改良型与圧モジュール断面図



5mタワー支柱展開BBM試験



タワーの座屈試験と解析の関係

○技術分類：Ⅲ 簡易施設建設 ○ステージ：R&D(技術研究開発)

技術研究
開発名称

月の極域および縦孔での滞在開始用ベースキャンプの最少形態と展開着床機構の開発

実施者

代表者： 東京大学
共同実施者：九州大学、竹中工務店、宇宙航空研究開発機構



【ねらい・概要】

月の「極域」や「縦孔」に滞在を開始し拠点となる「ベースキャンプ」を「最少」の構築物で素早く設営する「展開着床機構」を開発する。長期滞在への「実証」自動建設や各探査の「支援」ともなる。予備探査のため「小型実証機」も構想する。

【内容・ポイント】

「滞在部」「発電部」「栈橋部」を組み合わせモジュールを構成する。搬送を少なくするために折り畳んでおきパッシブな制御で半自動で展開着床させる。「花柄ディンプル」を散りばめた外皮と内蔵高床と「非平坦地」への接地脚の同時展開、リフトを吊る「張弦構造」、「ハサミムシの翅」を模したソーラーパネルといった展開機構が小型モックアップで検証されており実大規模の設計へ移行していく。滞在モジュールの狭隘部は「高密度緑化」で活用する。

