

下記プロジェクトは、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。その後、府省連携の官学の有識者からなる「無人建設革新技術開発推進協議会」を設置し、8月2日より1か月間の一般公募及び審査を行い、次頁以降に示す技術研究開発(10件)を選定した。

プロジェクト番号：R3-01

## 宇宙無人建設革新技術開発

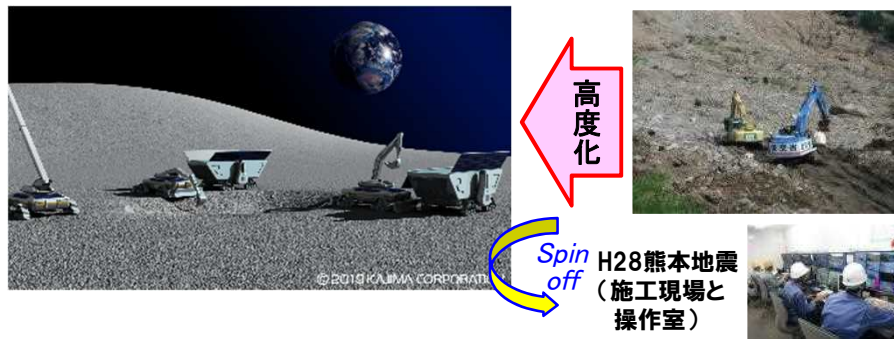
令和3年度配分額：国交省 1.2億円

主担当庁：国土交通省  
 連携省庁：文部科学省  
 (事業期間5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。

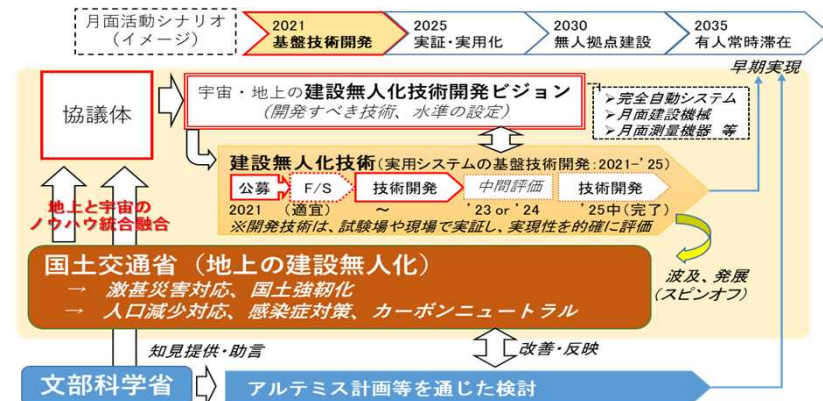
(月面無人化施工イメージと地上の無人化施工)



### 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)



### 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

### 留意点

- 協議体で技術開発ビジョンを策定し、それをもとに、民間企業等へ開発を公募。実現可能性等をF/Sで検証。
- 開発成果について、地上を含む幅広い分野における競争力ある技術として、波及、実用を目指すこと
- 月面での宇宙科学活動での利用も見据え、宇宙科学の専門家の参画の下、そのニーズを踏まえたプロジェクト運営を進めること

## 令和3年度(2021年度) 技術研究開発一覧

8月2日より1か月間の一般公募を行い、無人建設革新技術開発推進協議会による審査を経て、次に示す技術研究開発(10件)を選定した。

技術分類		Stage	技術研究開発名称	実施者 (○代表者、共同実施者)	No.
技術Ⅰ： 無人建設 (自動化・ 遠隔化)	測量・調査	F/S	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、九州大学、海上・港湾・航空技術研究所、アジア航測	1
	調査・施工		重力に依存しない杭圧入技術/インプラント工法 <sup>®</sup> の宇宙空間での適用可能性に係る調査	○技研製作所	2 ※
	施工(輸送)		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	3
	施工 (掘削、積込等)	R&D	建設環境に適応する自律遠隔施工技術の開発 一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	4
	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	5
	建設機械・施工	F/S	月面建設機械のデジタルツイン技術構築	○小松製作所	6 ※
技術Ⅱ： 建材製造		F/S	月資源を用いた拠点基地建設材料の製造と施工方法	○大林組	7
			6軸3Dプリンタによる高強度CFRP建材の製造	○早稲田大学 東京理科大学	8
技術Ⅲ： 簡易施設建設			膜構造を利用した月面インフレーターブル居住モジュールの実現可能性検討	○清水建設 太陽工業、東京理科大学	9
			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	○大林組	10

### Stage

F/S・・・Feasibility Study 実現可能性の検証 【1年度間】

R&D・・・Research & Development 技術研究開発 【最長5年度間】

※ 実施者による同時記者発表がなされております。  
(各社HPをご覧ください)

○技術分類: I 自動・遠隔施工ー地形・地質の調査 ○ステージ: F/S(フィージビリティ:実現可能性検証) ●No. :1

技術研究 開発名称	<h2>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</h2>	
実施者	代表者: 学校法人立命館 共同実施者: 芝浦工業大学、九州大学大学院、港湾空港技術研究所、アジア航測株式会社	



**【ねらい・概要】**

月面基地建設の実現には、地上の建設プロセスと同様に、**事前に月面の地形や地質・地盤特性の調査が不可欠**。

本調査では、**地盤工学**、**ロボット工学**、**測量学**、**資源工学**など多彩な分野の先端技術を融合して、**月面の測量・地形図作成と地質・地盤調査を同時に行い、3次元地質地盤図を作成するための無人調査システム**の開発に向けたF/S研究を行う。

**【内容・ポイント】**

地質・地盤データの取得からデータ管理・可視化(3次元地質地盤図)、そのデータ活用(シミュレーション・設計)までを**一貫通貫する地盤工学スキームの体系化**を目指す。

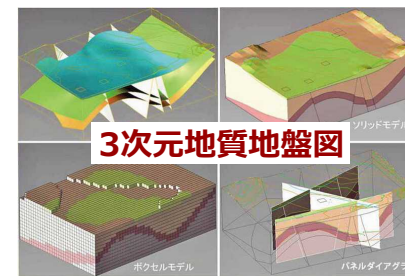
F/Sでは、右図の①～④の要素技術を検討し、**それらを統合したシステムの要件**を明確にする。

**【実施イメージ】**

**持続的な探査・基地建設に向けた地盤工学スキーム**

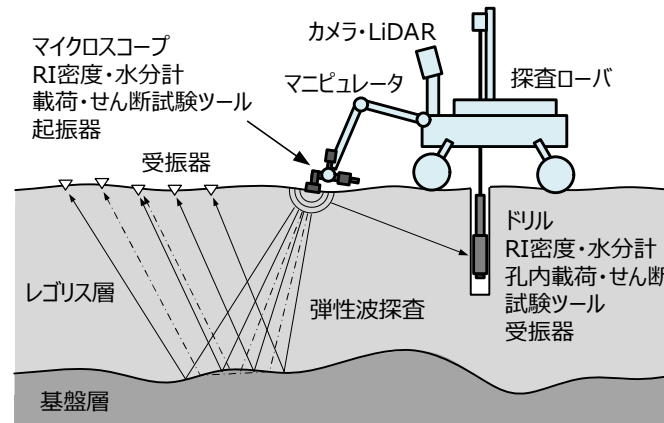
月面の地形・地盤調査 ➡ 月面の地質・地盤リスクマネジメント

- ① 非GNSS環境における地形測量
- ② 月面で使える地質・土質調査ツール
- ③ 無人試験を実現するロボットアーム
- ④ 取得データの活用技術



- 空間データ基盤
- ・マッピング
  - ・モデリング
  - ・GISなど

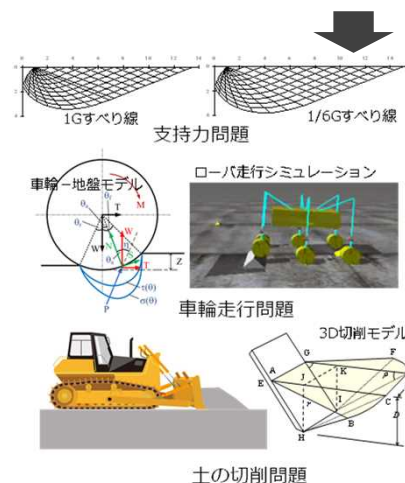
**ローバ搭載月面地盤調査システム**



●地形・地質・土質データ

微地形、レゴリス層厚、レゴリス土質特性


全地連・JACIC「3次元地盤モデル作成の手引き」より



●データ活用

- ・構成則・地盤解析
- ・探査機シミュレーション
- ・建設施工シミュレーション
- ・月面土工BIM/CIM
- ・信頼性設計など

○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化)ー調査・施工 ○ステージ: F/S(フイージビリティスタディ:実現可能性検証) ●No. :2

技術研究 開発名称	重力に依存しない杭圧入技術/インプラント工法®の宇宙空間での適用可能性に係る調査	
実施者	代表者: 株式会社 技研製作所	



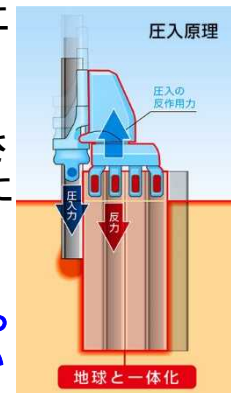
2017年に对外発表した  
当社が考える月面開発のインプラント工法®を用いた  
建設イメージの一例。【特許第6792447号】

【背景】

重力が地球の1/6となる月面では、安定性を機械重量に依存した大型建設機械の利用が難しい。一方、発射台や基地などの**建設物を月面に支持・固定する杭打ち技術**は宇宙開発で需要が想定される。

【圧入原理とインプラント工法®】

「**圧入原理**」とは、既に地盤に打ち込まれた杭材の引抜抵抗力を利用して機械を安定させ、次の杭材を地盤に貫入する原理のこと。**コンパクトな機械で大きなエネルギーが得られ、重力に依存しない杭施工が可能**となる。



圧入原理により、杭材を地中深くに圧入し、杭材と地盤を一体化させる工法が「**インプラント工法®**」である。

【実現可能性検証F/S】

- ①月面空間における圧入工法の適用範囲と考え方の整理および提言。
- ②月面空間で無人圧入施工を行う場合の課題の抽出。
- ③圧入施工データを活用した設計・施工技術の月面への適用性の検証。

○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化)ー施工(輸送) ○ステージ: F/S(フィージビリティスタディ:実現可能性検証) ●No. :3

技術研究 開発名称	<h1>索道技術を利用した災害対応運搬技術の開発</h1>		
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の水資源探査では、クレータ内部等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。**

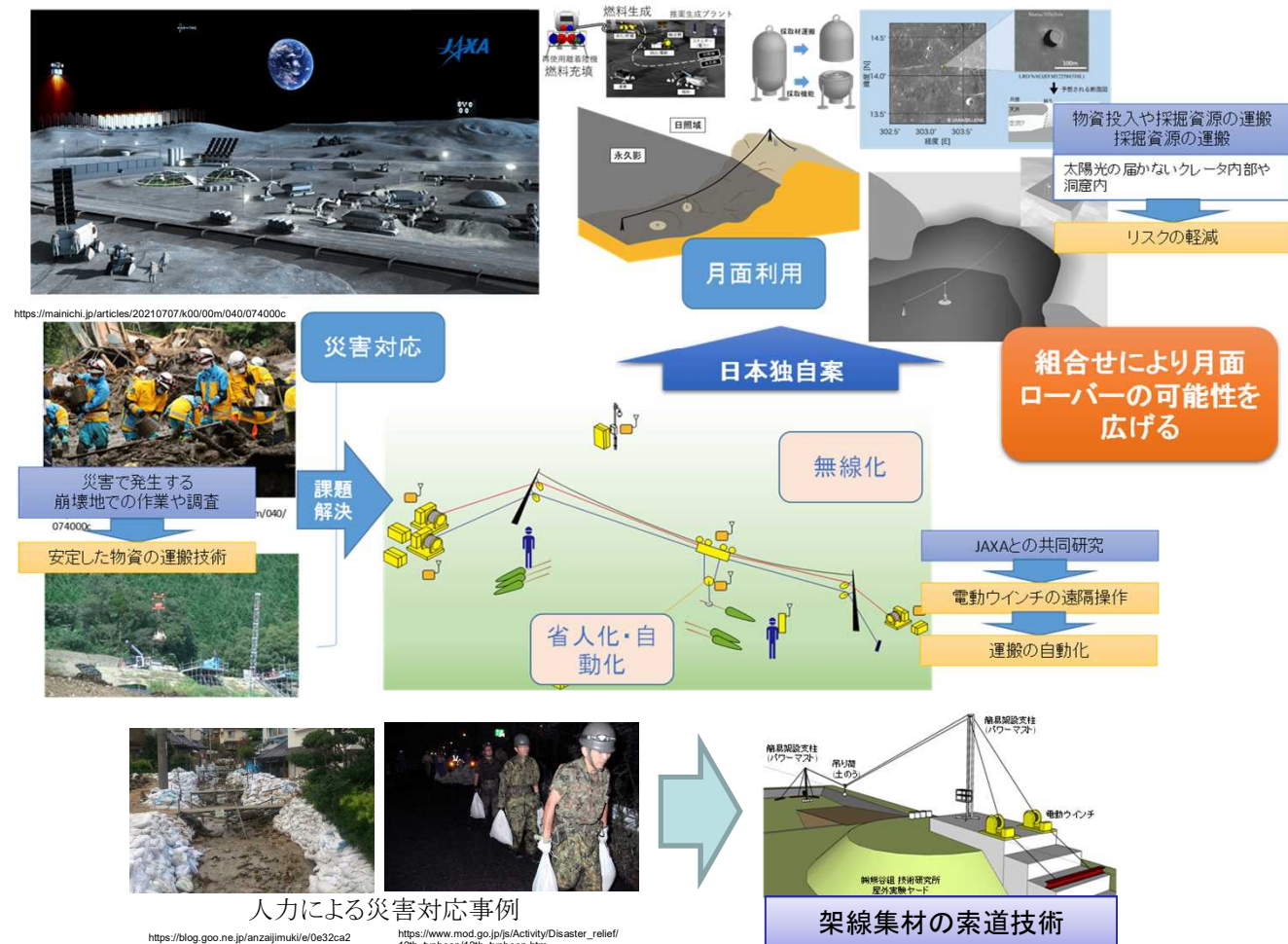
本調査では、安定した物資運搬である索道技術を災害対応に活用出来ることを実証することで、**月面での洞窟内からや月面永久影と日照域との連続運搬システム**の開発に向けたF/S研究を行う。

**【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を開発し、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。

**【実施イメージ】**



<https://mainichi.jp/articles/20210707/k00/00m/040/074000c>

<https://blog.goo.ne.jp/an-zaijimuiki/e/0e32ca2ac68e949502ac09c7452952f69>

[https://www.mod.go.jp/js/Activity/Disaster\\_relief/12th\\_typhoon/12th\\_typhoon.htm](https://www.mod.go.jp/js/Activity/Disaster_relief/12th_typhoon/12th_typhoon.htm)

<https://blog.goo.ne.jp/an-zaijimuiki/e/0e32ca2ac68e949502ac09c7452952f69>

[https://www.mod.go.jp/js/Activity/Disaster\\_relief/12th\\_typhoon/12th\\_typhoon.htm](https://www.mod.go.jp/js/Activity/Disaster_relief/12th_typhoon/12th_typhoon.htm)

○技術分類: I 無人建設(自動化・遠隔化)ー施工(掘削、積込等) ○ステージ: R&D(技術研究開発) ●No.:4

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。

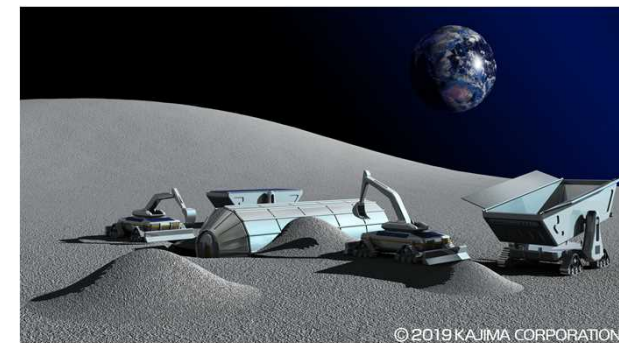
**【実施イメージ】**

**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**

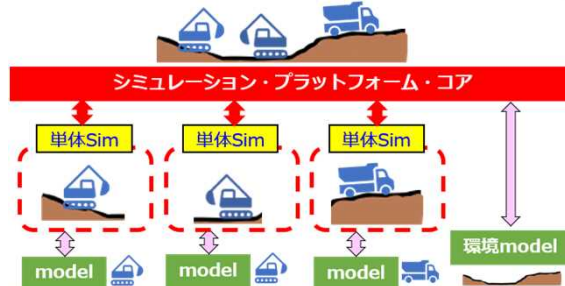


将来的に月面施工デジタルツインの構築

これまでの成果【①▶②▶】を踏まえ、月面で想定される施工条件・課題を地上模擬試験で検討

- ・測位インフラのない環境の施工
- ・通信遅延下の掘削機の遠隔操作
- ・複数台掘削機の連携

**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**

モジュール化されたプラットフォームを拡張することで、以下に対応

- ・100台規模まで機械同時稼働
- ・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) ●No. :5

技術研究 開発名称	<b>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</b>	
実施者	代表者: 清水建設株式会社 共同実施者: ボッシュ株式会社	 

**【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なる。本技術開発では、**人工知能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。**

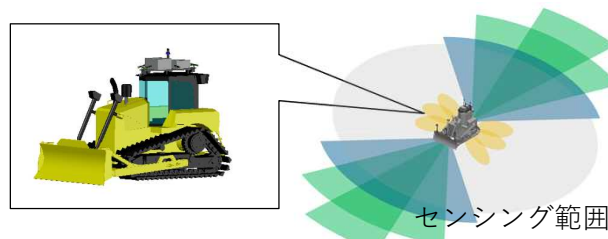
また、月のような特殊な環境における認識システムを構築する手法の確立を目指す。

**【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。

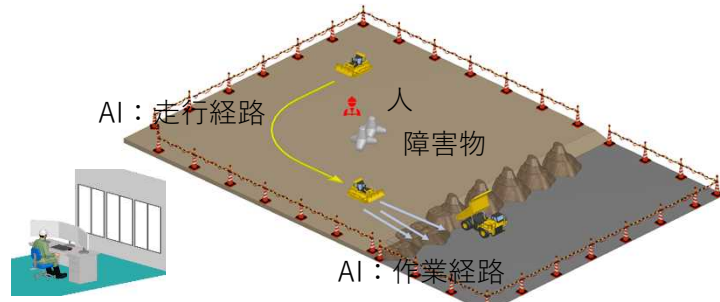
**【実施イメージ】**

**【地上】**  
無人建設技術の高度化につながる  
自律施工システムの開発・実証



センシング範囲

イメージ例：環境認識システム



AI：走行経路      人 障害物  
AI：作業経路

イメージ例：盛土工の自律施工

環境認識システムで認識された地形や障害物にもとづき、ブルドーザー自身が人工知能により走行経路や作業経路を生成しながら、材料の敷均しを自律的に施工する。

**【シミュレーション】**  
点群データによる物体検知技術

**【月面】**  
月面での無人建設施工へ展開



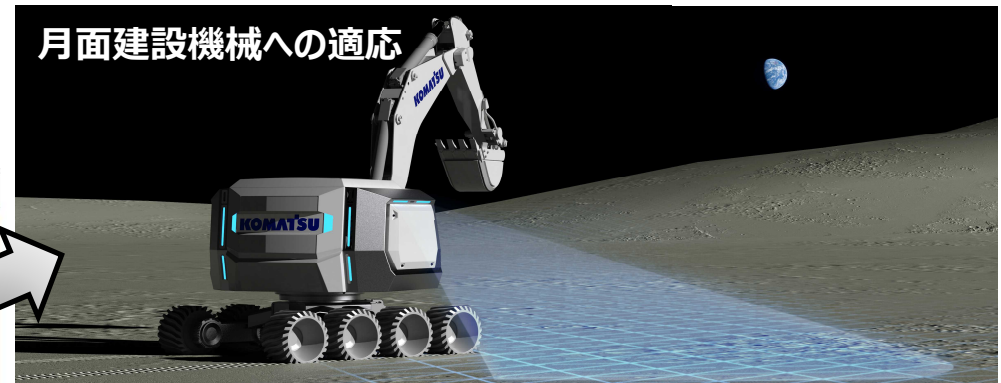
例：月面基地 施工段階 (清水建設)



例：月面基地建設 (清水建設)

○技術分類: I 自動・遠隔施工ー建設機械・施工 ○ステージ: F/S(フイージビリティ:実現可能性検証) ●No.:6

技術研究 開発名称	月面建設機械のデジタルツイン技術構築	
実施者	株式会社 小松製作所	<b>KOMATSU</b>



#### 【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。本F/Sは、将来の月面建設機械の基盤技術である**精度の高い「デジタルツイン技術」の構築可能性を検証**するものである。

#### 【内容・ポイント】

- ① サイバー空間上に油圧ショベルを作成・動作させ、地球上の実機との挙動と比較することにより、シミュレータの精度を検証する。
- ② サイバー空間を月面環境に設定し、シミュレータ上の車体挙動を確認することにより、月面建設機械の課題を抽出する。

#### 【実施イメージ】


シミュレータ画像  
サイバー空間上の建機の挙動

↔

実際の建機の挙動



○技術分類: II 建材製造 ○ステージ: F/S(フィージビリティスタディ:実現可能性検証) ●No.:7

技術研究 開発名称	<h1>月資源を用いた拠点基地建設材料の製造と施工方法</h1>	
実施者	代表者: 株式会社大林組 共同実施者: なし	

**【ねらい・概要】**

月での**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には莫大な費用を要する。そこで、**月レゴリス(ソイル)を原料**に、太陽光発電等をエネルギー源として活用し、**レーザーやマイクロ波等で加熱し、焼成物を現地で製造し、これを建設材料に利用**する技術の適用可能性の検討を行う。

**【内容・ポイント】**

**建設材料の種類や用途**を調査し、想定される用途での**材料の要求性能**を整理する。月レゴリスを原料として、加熱・焼成により建設材料を**製造する技術**を調査し、室内での**製造・施工試験**により、現状技術での**要求性能の達成レベル**を検証する。これにより、今後の**技術開発の課題**を明確にする。

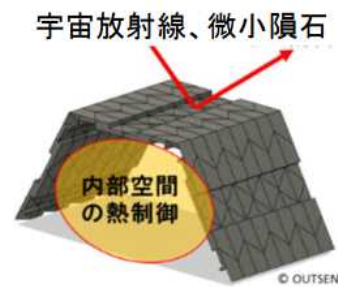
**【実施イメージ】**

月面着陸機の発着場の舗装(図出典: JAXA)



**建設材料の用途例**

シェルター構造のパネル材 (図出典: OUTSENSE)



溶岩チューブ内部の亀裂等の修復 (図出典: JAXA)

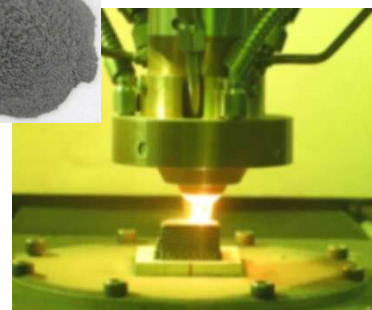


**建設材料の製造方法例**

月模擬砂



レーザー積層造形法



レーザー積層造形物

マイクロ波加熱法



マイクロ波焼成物

[詳細はコチラをクリック](#)

○技術分類: II 建材製造—高強度CFRP建材 ○ステージ: F/S(フィジビリティスタディ:実現可能性検証) ●No.:8

技術研究 開発名称	<b>6軸3Dプリンタによる高強度CFRP建材の製造</b>		
実施者	代表者: 学校法人早稲田大学 共同実施者: 東京理科大学		 

**【ねらい・概要】**

月環境で使用される高強度な建材の製造を目的としてCFRPの添加が検討されている。3Dプリンタを用いることで、CFRP建材製造は容易である。しかし、3Dプリンタに起因する問題として、積層痕の発生と構造体の面剥離と低強度という点が指摘されていた。積層痕が構造物の表面に存在しなければ、解決できることなので、6軸の3Dプリンタを開発する。

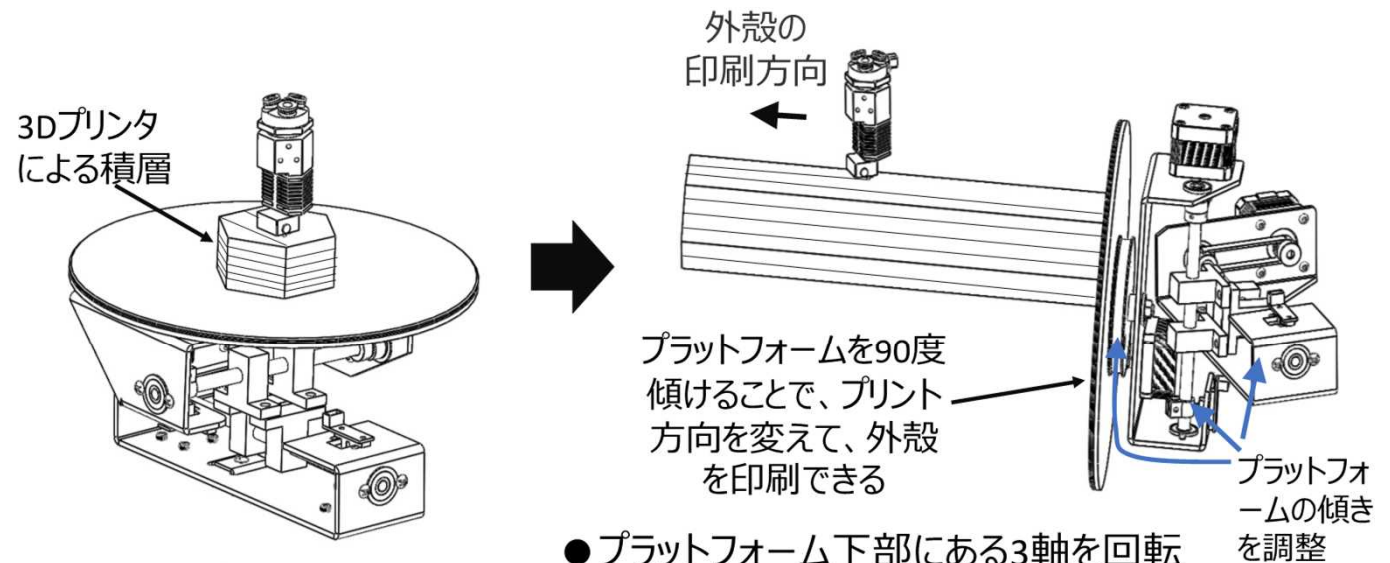
**【内容・ポイント】**

右図のような6軸3Dプリンタを開発する。コア部の積層痕と外殻の積層痕の方向を変えることで、強度の大幅な向上を目指す。

また、宇宙構造物では大型の建材が必要なことから1mの長さの梁を本3Dプリンタで製造する。

**【実施イメージ】**


長さ1mの高強度CFRP梁を6軸3Dプリンタで作る



●通常の3Dプリンタと同様にコア部分のプリントを行う。

●プラットフォーム下部にある3軸を回転させることで、プラットフォームの傾きを変え、印刷の方向を変更可能

○技術分類: Ⅲ 簡易施設建設-膜構造 ○ステージ: F/S(フィージビリティスタディ:実現可能性検証) ●No.:9

技術研究 開発名称	<b>膜構造を利用した月面インフレーターブル居住モジュールの実現可能性検討</b>			
実施者	代表者: <b>清水建設株式会社</b> 共同実施者: 太陽工業株式会社、東京理科大学	Today's Work, Tomorrow's Heritage <b>SHMZ</b> SHIMIZU CORPORATION	<b>MakMax</b> 太陽工業株式会社	 TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE since 1881

**【ねらい・概要】**

月面へ持っていける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モジュールを輸送でき、輸送コスト削減に繋がります。本検討では膜構造を利用した畳んで運べて現地で展開できる月面インフレーターブル(膨張型)居住モジュールの実現可能性を検討します。

**【内容・ポイント】**

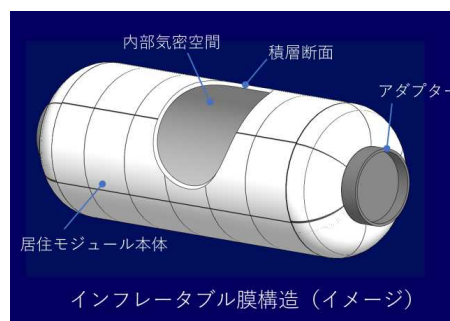
月面は高真空、厳しい昼夜温度差など特有の環境であり、それらに耐える素材や構造で作る必要があります。内部に人が暮らせる環境を維持しつつ、環境に耐える膜構造はどのようなものになるのか、検討を進めます。

**スペースコロニー  
デモンストレーションモジュール**  
(東京理科大学-JAXA-清水建設)  
2019年



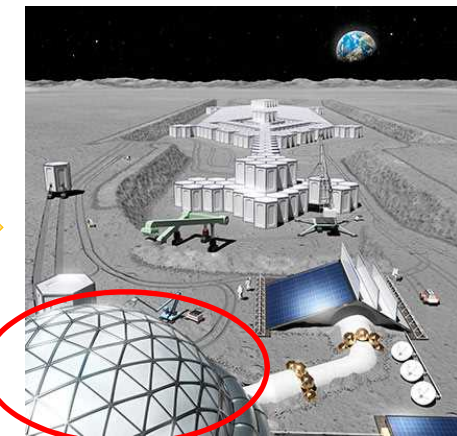
将来の月面インフレーターブル居住モジュールを模擬しコンセプトを提示

**【今回の検討範囲】  
月面インフレーターブル  
居住モジュール  
(地上実証モデル)**




月面環境で実際に使用可能な月面インフレーターブル居住モジュールの地上モデルを検討

**【将来像】  
月面での実証を進め  
月面拠点施設として利用**



例: 月面基地建設 (清水建設)

○技術分類: III 簡易施設建設 ○ステージ: F/S(フィージビリティスタディ:実現可能性検証) ●No. :10

技術研究 開発名称	<b>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</b>	
実施者	代表者: 株式会社大林組	

**【ねらい・概要】**

初期段階における月面基地建設では、軽量コンパクトな資材の輸送と現地での建設作業量の省力化が望ましい。

本調査では、各種の**自動展開構造技術**を活用して、**無人・有人の各探査フェーズ**における需要を明確にしつつ、初期月面基地における**自動展開・無人設営の要件を整理し、実施可否**について検討する。

**【内容・ポイント】**

与圧が必要な居住モジュールに加え、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**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、あるいは技術的革新性**を明確にする。

**【実施イメージ】**

