JSASS 宇宙ビジョン 2050 を達成するための宇宙科学技術ロードマップ
人間が定住する月拠点建設へのロードマップ【2019 年度・2021 年度増補】
【建設（有人拠点としての観点から)】補足資料

本文 P21-22 で言及した「建設」の技術ロードマップの一部は、本項に示すような「最終的に構築される宇宙建造物」とその機能を想定することで、有人拠点建設に必要となる技術的検討事項の抽出を行うことで策定した。以下、その詳細について紹介する。

1. コンセプト

・月面基地は，人が生活や活動をするための様々な機能を集約したものであり，その用途により望ましい形態は異なる。ここでは，月の縦孔と地下空洞の利用を前提とし，月面活動を支えるインフラや，長期滞在における人の心理面へも配慮した月面地下基地の考え方の例を示す。

（1）月の縦孔・地下空洞を利用した基地のコンセプト

・月面基地には 2 通りの役割（図 1）が考えられる。月表面での短期間の探査活動を支える「閉鎖・集中型」の基地と，月地下空洞内の安全で長期滞在が可能な「開放・交流型」の居住空間である。これらは相互補完的な関係にあり，人の生活に変化とバランスをもたらすことができる。

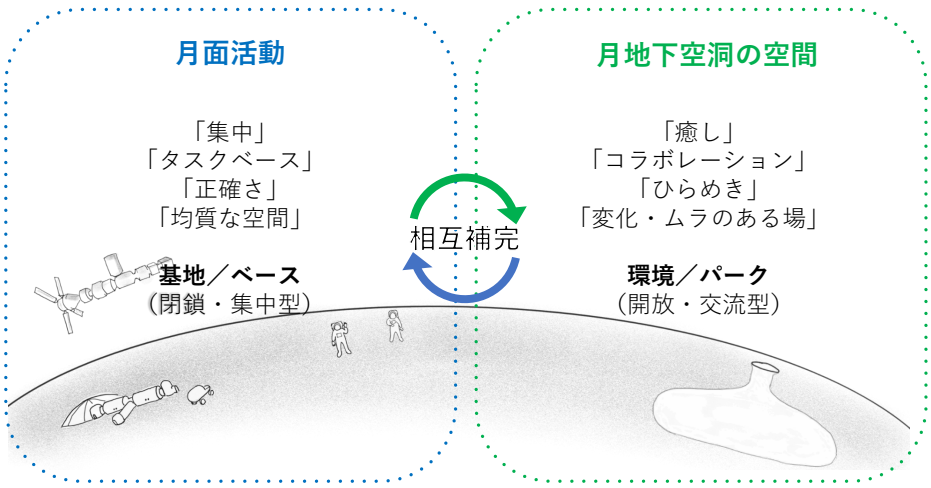

図 1　月地下空間のコンセプト

・月地下の空洞（溶岩チューブ）内部は，宇宙放射線や飛来物の危険がなく，軽量な材料で大規模な居住空間の構築が可能である。
・基地の内部空間は，人の居住エリアは圧力を 0.7～1 気圧とし，植物栽培エリアなどはさらに圧力を低くすることで，必要な空気量を減らすことができる。
・長期間の滞在では多様な空間を内在した大空間の構築が望ましい。大空間の中に居住モジュールを構築することで，宇宙服なしで部屋から出られる屋外ができ，昼夜や季節の変化も再現できる。

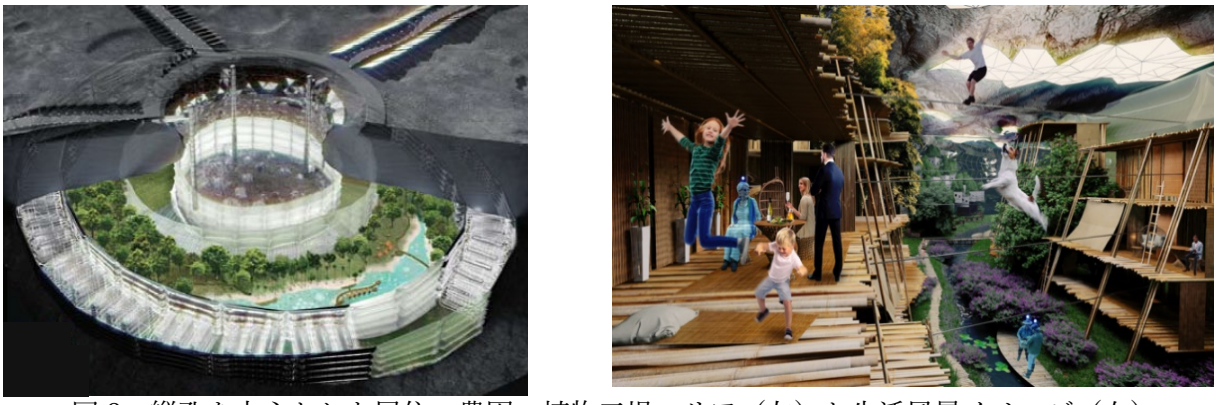

図２　縦孔を中心とした居住・農園・植物工場エリア（左）と生活風景イメージ（右）

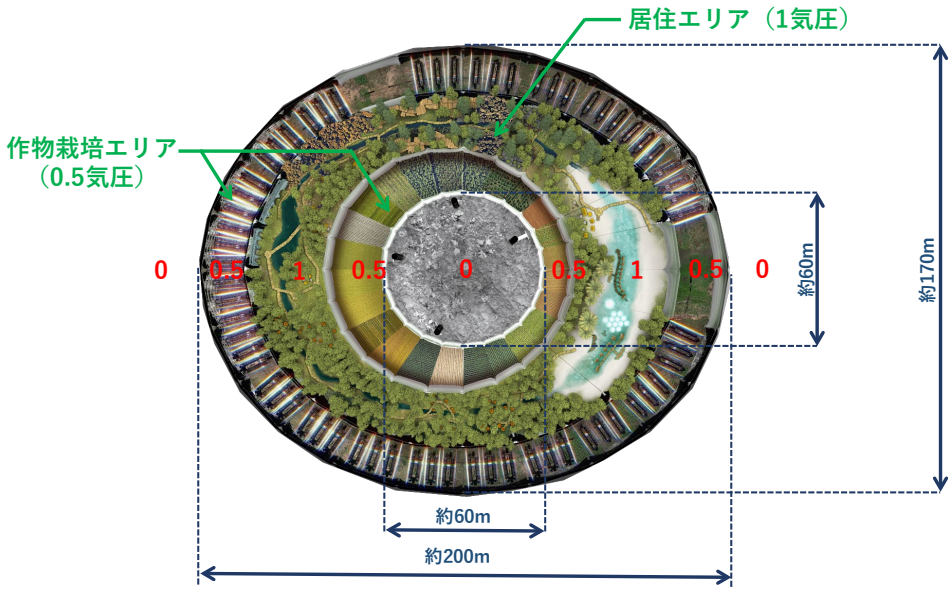

図３　月地下の平面ゾーニング（3 層の円環状の空間）

・縦孔は地下と地上をつなぐ動線であり，月面探査フィールドでもある。
・将来隣接する月面基地との連絡方向を考慮した配置計画とする。

（2）栽培を楽しめる農園，光合成と食料生産に特化した植物工場

・農園は縦孔に隣接し，日の光を感じ，土とふれあい，収穫を楽しめる空間であり，ストレス軽減も期待される。
・「月の高地」の斜長岩は，土壌改良剤として使われ，吸水性・保水性に優れ Ca，Al，Si に富む。「月の海」の玄武岩は植物が好む無機栄養成分の大半を含有し，農地に最適な土質で吸水性・保水性には劣る。これら「月の高地」と「月の海」の土を混合し，地球からの添加物として不足している作物栽培に必要元素（C，H，O，N，P，K，S 等）を添加すれば農地の土を作ることができる。
・植物工場は，食料の高効率な生産を担う他，光合成による CO_2・O_2 の調整機能も期待される。

（3）電力・熱の確保（エネルギー）

・複数の原理の異なるエネルギー源の確保により，リスクの低減を図る。
・月の地下空間表面温度は，約-20℃と安定しており，月面（120～-170℃）との温度差は大きく，この温度差を利用した温度差発電が考えられる。

・昼の電力でレゴリスブロックを積み上げ蓄電し，夜にブロックを降ろして発電する重力エネルギー発電が考えられる。
・太陽光発電パネルの一部を集熱兼用として月面で熱容量の大きい水に蓄熱して温熱源とし，居住空間内の暖房用に配管，搬送する。
・縦孔周壁で太陽光集光ミラーによる集熱や，光ダクトを用いた光・熱の輸送も内部環境の形成に有効と考えられる。

（4）照明計画

・居住空間には，人のサーカディアンリズムを考慮し地球と同じ 24 時間周期の明るさ，気温の変化が望ましいと考えられる。月の昼間は，縦孔から太陽光を安全な形で採光し，農園では自然光と人工照明と組み合わせた明るい空間をつくる。
・夜間は照明電力が節約できるので, エネルギーマネジメントを考慮したスケジュール計画が望ましい。

（5）地上設備

・縦孔エレベータ（人，物資運搬。動力の確保）
・エネルギーインフラ（太陽光発電，太陽熱集熱，重力エネルギー発電，蓄電技術，送電技術）
・交通インフラ（道路，照明，ロケット発着場等）
・通信インフラ（地球との交信，地上基地との交信）

（6）月面用建設技術

・低反力の掘削技術等の地盤工事，シャフト構築や構造物の安全な設置，舗装等
・3D プリンタによりレゴリス等の現地材料を建築部材として加工できる技術
・軽量な空間構築材料（インフレータブル構造，展開パネル構造等）

2. 地下への月面基地建設の検討事項

月面基地の建設を考えるにあたり検討が必要な事項の一例を示す。

（1）月面基地の役割・機能（建築＋インフラの全体計画として）

・居住（初期探査から，規模拡大し長期滞在までを想定）
・月科学の研究拠点
・資源採取，現地での資材製造
・火星への中継基地（物資補給，要員滞在）

（2）機能を実現するための技術

・空間構築（構造，材料）
・環境調整（温度，湿度，気圧，風速，空気組成，光環境等）
・エネルギー供給（太陽電池，燃料電池，太陽熱，熱融通等）
・物質循環（食物，上水・中水・下水，炭素等）
・全体制御・モニタリング（安全性，環境情報，エネルギー需給，物質収支）

（3）総合的な建築計画

・安全の確保（シールド，破損時の隔離，ユーティリティのバックアップ）
・居住スペースと大空間の空間・環境計画
・動線計画，避難対策等

（4）物質循環型　月面都市計画

・基地の配置：単独，複合，遠隔地
・物質・資源循環のエコシステム構築（循環型 ECLSS）
・エネルギーインフラとの接続
・宇宙船発着場（噴射による砂，石の飛散防止の舗装）

（5）縦孔へのアプローチ

・クレーン（物資輸送）
・エレベータ（ロープ式，自走式（宇宙エレベータの技術））

（6）月面探査による情報収集

・月面・縦孔内部の支持地盤の情報（支持力を得られる強固な地盤）
・縦孔周辺の地盤の強度（崩落しないか。地下空洞に補強は必要か。）
・縦孔内部・周辺の環境情報（温度，放射線等），物性情報（岩石の組成，熱物性等）
・地下空洞（溶岩チューブ）の立体形状