

P-125 月火星の縦孔・地下空洞探査 (UZUME) 計画のシステム検討



河野功、春山純一、西堀俊幸、大槻真嗣、嶋田和人、岩田隆浩、桜井誠人、山本幸生、若林靖史 (JAXA)

UZUME計画とは?

日本人がSELENE観測データにより、日本人が発見した月の縦孔とそれに続く地下空洞を世界で初めて直接探査する計画
 UZUME—Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon (Mars etc.) Exploration (古今未曾有の日本の月(火星、...)地下世界探査)

月の縦孔・地下空洞の基地としての有用性

月の縦孔・地下空洞は、月の表面と比較して、放射線に対して安全、隕石等に対して安全、温度が安定している等、「あなのまま」基地となりうる様々な優位性を有する。
 NASAの最新レポートにも「放射線と両極端の熱環境を避けるため、溶岩洞窟の中を想定」と記載。(下記、「lava tubes」がUZUME研究会が研究対象としている地下空洞の事)

	放射線	隕石	温度	建設資材	その他
月表面	厳しい フレア時最大 4200mSv	隕石衝突や、 飛散物による 危険性あり	変動大きい -170~110℃	球殻と遮蔽厚 が必要	左記の特性のため、 数mの穴を掘る必要 がある。
縦孔・ 地下空洞	安全 上記より 数桁低い	安全	ほぼ定常で安定 -20~30℃	フタと機密シー ルのみでよい。	高い密封性、堅固 な床面、無塵等の 利点も有する。

Establish Crew Outpost

Following completion of the ISRU production facility, and the arrival of the large reusable lunar lander, the site is ready for the delivery of habitats, and other infrastructure needed for the permanent crewed lunar base. The ELA is designed to launch a Bigelow BA-330 expandable habitat sized system via either a Falcon Heavy or Vulcan LV to LEO, which is then transferred from LEO to low-lunar orbit (LLO) by leveraging in-space propellant transfer in LEO. The large reusable lunar lander will then rendezvous with the habitat, and other large modules, in LLO and transport them to the surface of the Moon. These modules would be moved by robotic systems from the designated landing areas to the crew habitation area selected during the scouting/prospecting operation. The modules could be positioned into lava tubes, which provide ready-made, natural protection against radiation and thermal extremes, if discovered at lunar production site. Otherwise, the robotic systems will move regolith over the modules for protection. Additionally, the robotic systems will connect the modules to the communications and power plant at the site.

UZUME計画の理学/工学ミッション

理学ミッション(☞ P-124「月火星の縦孔・地下空洞探査 (UZUME) 計画の理学的意義・基地利用構想」)

- 日本人がSELENEで発見した月の縦孔を世界初の直接探査し、月・火星の縦孔・地下空洞の様々な科学的課題の解決に資する観測データを収集する。
- 月面基地として有望な縦孔・地下空洞の環境を調査。

工学ミッション(下図)

- 日本人が発見した月の縦孔を、日本が得意なロボット技術で、世界初の探査。
- クレータ底や、火星の峡谷底等、急峻な地形を踏破して探査する技術の開発。
- 火星や小惑星等で、地球の理学者に代わって、理学的な観測・調査を行う遠隔操作型代理科学者技術の開発。

	2020年(目標) UZUME-1号	2025年(目標) UZUME-2号	2030年(目標) UZUME-3号
理学ミッション	初の月の縦孔・地下空洞探査(技術実証主体) 縦孔地下空洞地形横孔の有無「露頭」観察 地下空洞環境(放射線、温度)	月の縦孔・地下空洞からの試料回収(実・理学ミッション) 縦孔壁面、底面等の「露頭」からの試料回収 鉱物分析 水の有無	初の火星の縦孔・地下空洞探査(実・理学ミッション) 縦孔・地下空洞地形横孔の有無 水、生命の痕跡の探索
工学ミッション(代理科学者技術)	平面二足歩行 垂直降下 遠隔基礎作業(捕獲等)	垂直降下/上昇 試料採掘、打砕 観測装置による観測	試料採掘、研磨 観測装置による観測、分析

日本人が発見した月の縦孔を降り【世界初】の地下世界の直接探査

縦孔接近/緩降下や未知の孔底での歩行等の高低差のある地形を踏破して探査する技術の実現
→未知環境移動技術、垂直移動技術の開発
→将来の火星の峡谷底、地下空間の探査など

未知環境移動技術、垂直移動技術は、極域、中央丘等の探査にも必要

宇宙ロボットが先に探査して、安全確認する事により、宇宙飛行士による探査の先駆けとなる。
→有人探査の未知を拓く

科学者の代替としての探査、遠隔操作型代理科学者の実現

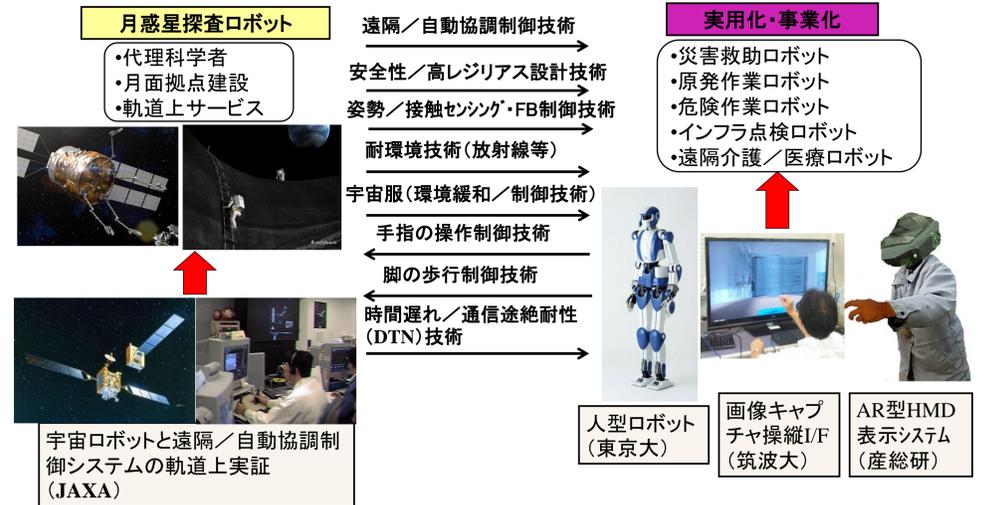
日本が世界に誇るロボット技術を結集しスーパーテレグジスタンスロボット技術の開発
→災害救助ロボット、遠隔介護/医療ロボット等へのスピリアウト

月面基地として最有力候補である縦孔・地下空洞の環境を科学的に調査
→国際協力による月面基地建設を理学/工学面より主導

サンプル採取、分析等の高度な調査作業の実施
→遠隔操作型代理科学者宇宙飛行士支援ロボットの段階的な開発

月惑星代理科学者開発戦略

ETS-VII等のJAXAの宇宙ロボットや遠隔操縦/自律制御協調制御システムの開発成果に、日本が世界に誇る産学官のロボット技術、最先端の型人型ロボット技術(東京大)、操縦I/F(筑波大)、表示システム(産総研)を組み合わせ、大きな通信時間遅れや、未知の環境などの条件下でも、地上の操作者に忠実に作業ができる遠隔操作型のテレグジスタンスロボット等の革新的なロボット探査技術を実現し、将来の国際宇宙探査における優位性を獲得する。
 この技術を、JAXAは月惑星探査ロボットや軌道上サービスロボット開発につなげ、民間は今後必要となる災害救助ロボットや、遠隔介護/遠隔医療ロボット等の実用化につなげる。



未知環境を踏破する探査ロボットの移動機能

月の縦孔・地下空洞探査に限らず、中央丘や極域を含む広域探査を実現するために、我が国の最先端のロボット技術を活用して、未知の環境に対応して、種々の移動手法を選択可能なロボットを開発する。
 整地では二足歩行を行うが、不整地では四足歩行や、障害物を除去して移動し、急な斜面ではロープや梯子を昇降して移動する。遠距離は、ロボットがロープを操縦して移動する。
 これまでできなかった事ができるロボットが次々に開発されているが、これらに共通するのは、足だけでは移動が困難な状況では、手(道具)を補助の移動手段として利用する事である。

網渡りするロボット
 車を運転するロボット
 はしごを降りるロボット
 不整地では四足歩行するロボット
 障害物を取り除いて移動するロボット

赤字は、共同研究している東大 稲葉研の保有する技術。
 稲葉研は、SCHAFT(DARPAの災害救助ロボットコンテストで優勝)の母体となった研究室で、現在JAXONの研究開発中。

未知環境で作業する探査ロボットの機能

月面などの未知の環境(操作対象の特性が事前にはわからない)において、種々の作業を実施可能なロボットを開発する必要がある。
 箸のような操作でも四指で可能であるが、4 out of 5の冗長性を考慮して、五指とする。
 各指関節を地球からの操作で思い通りに動かすために、モーションキャプチャ型入力装置と、AR型HMD表示装置を使った操縦システムにより、テレグジスタンスロボットを遠隔操縦する。

