

# 月面探査車“YAOKI”の開発と将来展望

株式会社ダイモン  
取締役 CSO  
山口慶剛



## 1. はじめに

地球にもっとも近い天体である月は、古来より、詩歌や物語、さらには季節の変わり目を告げる行事などに登場し、日本では文化的、精神的なシンボルとして深く根付いている。また、十五夜だけでなく十六夜、立待月、居待月など、様々な表情をみせてくれるこの美しく神秘的な天体は、人々の心をひきつけてきた。

月はその成り立ちから地球とは深い関係がある。諸説あるものの「太陽系形成の初期に地球に火星程度の大きさの天体が衝突した結果」（玄田英典「徹底比較！月の起源」『日本惑星科学会誌』Vol. 19, No. 2, 2010年）という衝突説が有力な学説といわれている。

月に対する人類の関心は、古くから文学の世界にも多大な影響を与えてきた。特に、フランスの作家、ジュール・ベルヌが発表した長編小説の2部作『地球から月へ』（1865年）、『月を周って』（1870年）のような作品は、科学技術の可能性を大胆に描き出し、実際の宇宙探査に対する夢と想像力を多くの人々に授けることとなった。この小説は、実際の月面到達の約1世紀前に書かれ、後の宇宙探査の先駆けともなった。

そして、1969年7月20日、アポロ11号による人類初の月面着陸は、これらの夢や想像を現実のものとした。この歴史的な瞬間は、人類の宇宙に対する視野を大きく広げ、宇宙開発時代の幕開けを告げた。さらに、約四半世紀前の2007年9月14日には日本の月周回衛星「かぐや」が打ち上げられ、世界で初めていくつかの縦孔を月面上で発見し\*1、月への新たな探査の可能性を示した。これは、月の地下環境や資源に関する重要な発見であり、人類の月への関心を再び高めるきっかけとなった。

このような歴史的な背景を踏まえ、米国では「人類を再び月へ」というスローガンの

\* 1 『人類はふたたび月を目指す』（春山純一著、光文社新書、2020年）p.136

もと、2026年には2人の宇宙飛行士を月に送り込むアルテミス計画が立案された。この計画は、月面への再着陸だけでなく、持続可能な探査基地の建設や、火星やさらなる深宇宙への探索を目指している。月は地球からもっとも近い天体であることから、そうした宇宙探査の拠点としての重要かつ潜在的な価値を有している。この計画の進展にともない、人類の宇宙に対する探究心を新たな次元へと導くものとなると期待されている。

## 2. 月面開発時代の到来と「プロジェクト YAOKI」

21世紀に入り、宇宙開発は新たな局面を迎え、特に月面開発は、これまでの宇宙探査と比較して、その規模と意義において顕著な進展を遂げている。NASAのアルテミス計画は、2024年までに再び人類を月面に送り込むことを目指しており、国際的な協力の下、月面基地の構築、持続可能な探査技術の確立、さらなる深宇宙探査の足掛かりを築くことを目的としている。この壮大な計画の中で、日本も重要な役割を担っており、日本の月面探査計画は、国際的なプロジェクトとして進行中であり、特に、小型探査車の開発においても先駆的な取り組みを行っている。

株式会社ダイモン(以下、当社)の「プロジェクト YAOKI(ヤオキ)」(以下、本プロジェクト)は、NASAのアルテミス計画の先陣となる月面探査ミッションの一つとして、2019年に選定された。

本プロジェクトは、当社が中心となって進めており、小型軽量で革新的な2輪の月面探査車「YAOKI」の開発を行っている。YAOKIは、その名が示すとおり(「七転び八起き」の精神を表現)、非常に柔軟かつ耐久性のある探査車であり、これは月面という過酷な環境下での様々なミッションを可能にする設計となっている(図1)。

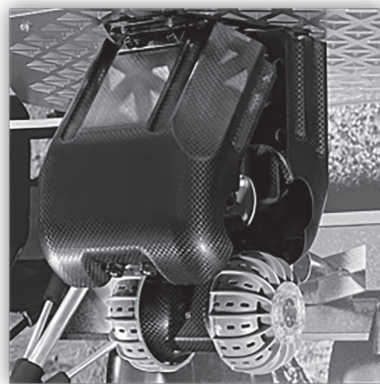


図1  
YAOKI 概観(左)と  
収納ケースから  
離脱する YAOKI  
イメージ図(右)

YAOKI の開発は、単に新型の探査車を造ること以上の意味をもっており、月面の詳細な探査や資源の探求、さらには将来的な月面基地建設への貢献も目指している。この探査車 YAOKI は、米国の Intuitive Machines 社や同じく米国の Astrobot Technology 社といった月面着陸機を開発している宇宙開発企業との連携のもと、アルテミス計画の一環として月面へ送られる計画となっている（図 2-1、図 2-2）。

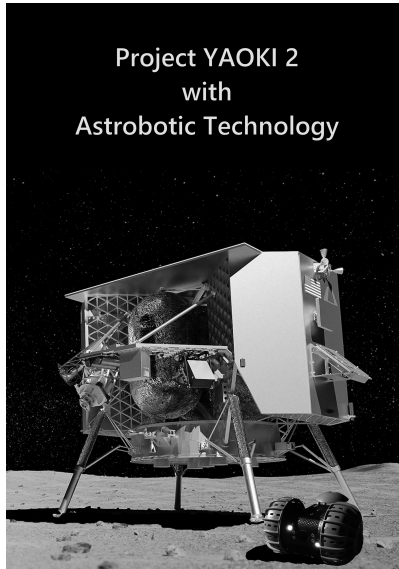
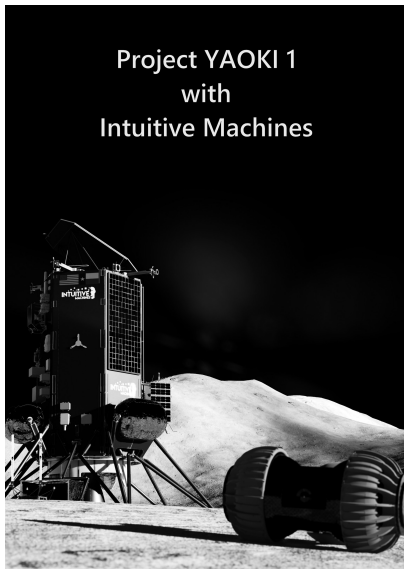


図 2-1 (左)  
Intuitive Machines 社の月  
面着陸機 Nova-C と YAOKI

図 2-2 (右)  
Astrobot Technology 社  
の月面着陸機 Peregrine  
のイメージ図

YAOKI の実用性と潜在的な可能性が認められたことから、これらの企業との契約締結にいたっており、現在もさらなる新規契約の締結についていくつかの企業と交渉している。

本プロジェクトの大きな目標の一つは、月面上での持続可能な活動の基盤を築くことにある。YAOKI はその小型軽量かつ予期せぬ複雑な地形においても高度な走行性を担保している構造設計により、月面での安定した科学的調査や資源探査を可能にしている。さらに、将来的には人間が月面で活動する際のサポートや、月面基地の建設など、より大規模なプロジェクトへの貢献も視野に入れている。

アルテミス計画の月面探査に YAOKI が参画できたことで、宇宙開発における日本の技術力と革新性を示す象徴となることも期待している。小型軽量でありながら機動性が高く、衝撃や転倒にも高い耐性を有している YAOKI は、未来の宇宙探査の新たな標準となる可能性も秘めている。本プロジェクトで小型探査車が月面で行う活動が、人類の月に対する理解を深め、新たな発見への扉を開く契機となることを願ってやまない。

### 3. 月面探査車 YAOKI の概要

プロジェクト YAOKI の中核を成す月面探査車「YAOKI」は、その革新性と機能性でアルテミス計画の中でも注目されている宇宙探査車の一つである。YAOKI の最大の特徴はその小型軽量性である。重量はわずか約 500g と、従来の月面探査車と比較して格段に軽量である。この小型化は、月への輸送コストの削減に直結し、複数機の同時運用を現実的なものとしている。また、YAOKI の設計は障害物への耐性を重視しており、月面の複雑な地形や厳しい条件下でも高い機動性を発揮する。これは、100G に相当する大きな衝撃に耐えうる構造によって実現されている。

YAOKI の開発においては、従来の探査車との比較において、2 輪という駆動機構を採用し、一段と進んだ小型軽量化を実現した新規性、革新性から、特許も取得済みである\*<sup>2</sup>。探査車の構造は、月面の不均一な地形を効率的に移動するために特別に設計されている。2 輪の駆動機構は、独自の特許技術に基づいており、優れた機動性と安定性を提供している。さらに、YAOKI は球形の車輪を採用した上で、車体が上下対称性を有した形状のため、転倒しても継続走行が可能であり、あらゆる方向に移動もできる。この「七転び八起き」のコンセプトは、月面における探査車としての信頼性を高める重要な要素の一つである。

本プロジェクトには当社の株主や技術パートナーからの強力な支援をいただいている。例えば、株主でもある株式会社 UCHIDA の特殊な CFRP 成型技術で YAOKI の収納ケースの軽量化と高強度化を実現している。YAOKI の車体には、三菱ケミカル株式会社のシアネートエステル系の炭素繊維プリプレグを採用することにより、軽量で高い耐熱性と強度を両立することができた。

YAOKI の環境試験は九州工業大学の超小型衛星試験センターの設備を活用し、同大工学研究院宇宙システム工学研究系の趙孟佑教授の研究室の助言もいただいている。同大の超小型衛星試験センターでの YAOKI の振動試験のセットアップを図 3 に示す。さらに、月面上での地球の重力 1G と比較して 6 分の 1G の環境下で行われる走行実験は、株式会社

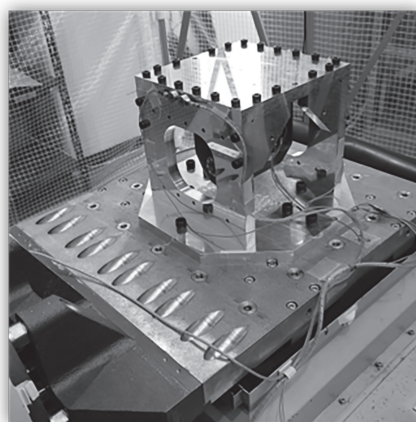


図 3 九州工業大学での振動試験

\* 2 特許第 7293527 号「無人探査車」(2023 年 6 月 12 日登録)

植松電機および株式会社桂川精螺製作所の協力を得て実施している。

YAOKI の主なミッションは、月面の詳細な地形や地質の調査、さらには潜在的な資源の探索を目標としている。これを実現するために、YAOKI には初期ミッションでは機能を絞った CCD カメラの搭載を予定しているが、将来的には先進的なセンサーや撮影装置を搭載していく計画である。先進的なセンサー類としては、高解像度カメラ、地質分析を可能にする各種センサー、さらには 3D マッピングを行うレーザー装置などが含まれている。これらの装備は、月面での詳細な探査とデータ収集を可能にし、月の環境理解を深めることに大きく貢献していくものと期待している。

YAOKI も宇宙ビジネスのリスクヘッジとして「月保険 (Lunar Insurance)」\*<sup>3</sup> を掛けている。月面探査は未知のリスクと対峙するミッションであることから、保険の対象と補償について当社のミッションを十分に精査した上で、東京海上日動火災保険株式会社が国際宇宙保険市場の主要プレーヤーである英国 Beazley PLC と共同でこの「月保険」を開発した。

また、YAOKI は地球からの遠隔操作が可能で、月面着陸機を経由した回線で、地球と月の距離の分だけタイムラグがあるものの、ほぼリアルタイムでのデータ送信や指示の受信が行える。これにより、探査車の操作やデータ分析が地球から直接行われ、より迅速かつ効果的な探査が可能になる。さらに、将来的には自律走行機能の実装も計画されており、これによってさらなる探査の効率化と精度の向上が期待されている。

本プロジェクトの中核を成す YAOKI は、未知の月面環境における人類の探求心を具現化した存在となり、その小型軽量かつ機動性および走行ロバスト性の高い特性を活かして、月面探査の新たな地平を切り開くことが期待される。

---

#### 4. 月面探査事業

プロジェクト YAOKI の核心部分である月面探査事業は、単なる探査を超えた多角的な目的を持っている。初期のミッションでは、単機および複数機の YAOKI を使用して月面の広範囲にわたる画像データを収集し、これをもとに月面の地図を作成する。この地図は、今後の月面探査や資源開発、さらには将来的な月面基地建設において、貴重な基礎データとなることが期待されている。

\* 3 「月保険」は東京海上日動火災保険株式会社が使用している略称で、保険の開発にあたっては「人工衛星保険」を活用している。

さらに、日本の月周回衛星「かぐや」によって発見された縦孔の探査も本プロジェクトの重要な目標の一つである。これらの縦孔は、直径、深さともに数十メートル以上に及び、溶岩チューブなどのような地下のマグマの発生や移動をともなう火成活動に起因する空洞につながっていることがわかってきた。こうした縦孔からつながっている地下空洞は、月面上と比べて大きな遮蔽効果が期待されることから、放射線被曝や隕石衝突の影響を受けにくいばかりでなく、日照日陰にともなう温度変動が少ない場所が存在する可能性が高い。

そのため、将来の月面基地候補として有利な条件を備えていると考えられる。YAOKIは、これら縦孔の詳細な調査とデータ収集を行い、月面のより深い秘密を解き明かす役割を担っている。図4は月面および縦孔探査を含めた月面での探査事業のイメージ図である。

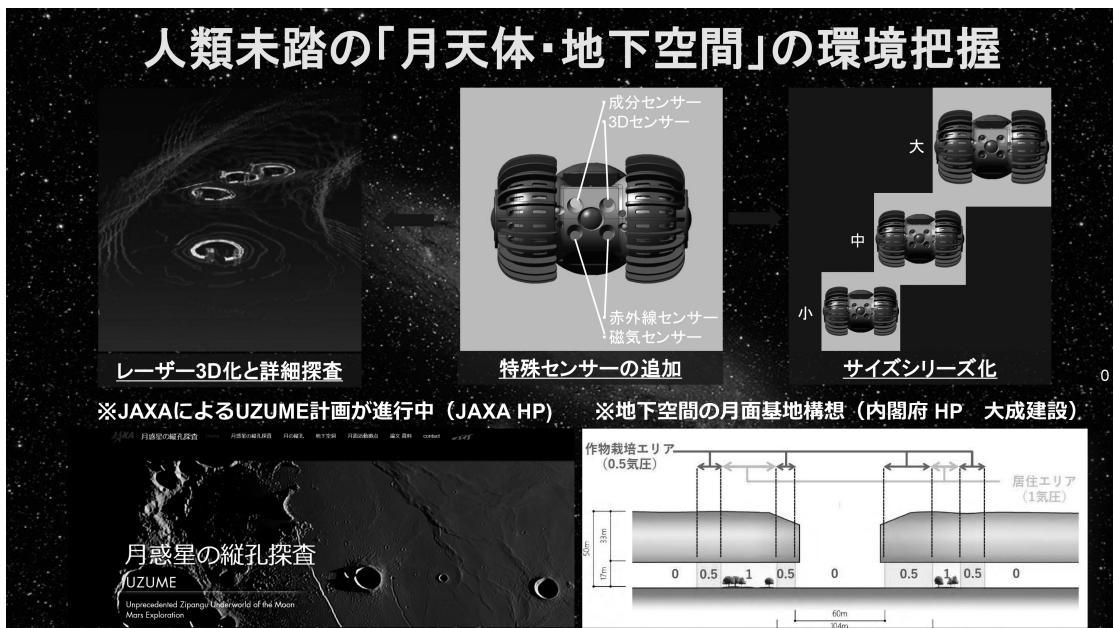


図4 月面探査車 YAOKI の月面探査

将来的に YAOKI に搭載していく先進的な科学計測機器により、月面の地質、鉱物資源、さらには月の南極に可能性が示唆されている水資源の存在について調査を進めていく。これらの情報は、月面での持続可能な活動の実現、さらには将来の深宇宙探査への足掛かりとして非常に重要である。

この月面探査事業は、地球上での応用研究にも貢献できると期待している。例えば、

月面で収集されたデータは、月の環境や資源に関する新たな知見を提供し、地球の資源問題や環境保護の観点からも価値ある情報となりえるものと考えている。また、月面探査の活発化にともなう宇宙開発関連技術の進歩は、地球上での様々な技術革新にも寄与し、人類の生活の質の向上に貢献する可能性を秘めている。

YAOKIの地上での活用可能性としては、災害時の人命救済、廃炉点検、そして老朽化した橋梁・道路などの大型建造物や各種配管などの社会インフラの定期点検が挙げられる。

本プロジェクトにおける月面探査事業は、その実施によって、宇宙探査のみならず、地球環境の理解や未来の宇宙活動に向けた新たなステップを踏み出すことになる。月面での活動において、今後、多機能化が必要となった場合は4輪駆動への発展も視野に入れているものの、月面への第一歩を2輪という特殊な形状とし、極限まで小型軽量化を試みたYAOKI開発の革新的な取り組みは、今後の月面開発において重要なマイルストーンとなるであろう。

---

## 5. 将来展望

プロジェクト YAOKI の将来展望は、単なる月面探査技術の進展を超え、宇宙開発の新しいパラダイムを築くことである。このプロジェクトが描くビジョンは、国家間の競争を超えた、持続可能で協力的な月面利用を含んでいる。本プロジェクトの成功は、月を地球のきょうだい星として、科学のおよび商業的に活用する道を拓くことになるものと期待する。

月面の資源、特に南極で発見された水の存在は、将来的な月面基地の建設において非常に重要な意味を持つ。水は人類が月で活動していく生命維持のためだけでなく、電気分解により水素を生成するなど、ロケット燃料としても使用可能であり、月が深宇宙探査の跳躍点として機能することを可能にする。

月面基地は人類が他の惑星への長期探査を行うための試験場としても重要である。こうした基地は、火星やその他の天体への人類の到達という長期的な目標に向けた重要なステップとなる可能性を秘めている。

また、荒唐無稽ではなく地球防衛の観点からも、月の戦略的な重要性は増している。恐竜の絶滅をもたらしたとされる巨大隕石の落下のような、地球に対する大きな脅威に対して、月を監視・警戒の前線基地とすることも想定されている。実際、2017年5月には、国際宇宙航行アカデミー（IAA）主催の第5回地球防衛会議が日本科学未来館で

開催され、JAXA や NASA、ESA をはじめ各国の専門家およそ 200 人が集まり、小惑星の衝突から地球を守るための話し合いが行われている\*<sup>4</sup>。そのため、月からの地球観測は、地球の安全を守る上で極めて重要な役割を果たすことになるであろう。

さらに、本プロジェクトは、宇宙開発技術の地球上での応用にも貢献する可能性も期待されている。月面で得られた知見は、地球の環境問題解決や新たな技術開発のヒントを提供するかもしれない。例えば、厳しい環境下の月面での資源採掘技術は、地球上の資源採掘の効率化や環境負荷の軽減に寄与する可能性がある。また、過酷な月面環境での生命維持システムの開発は、地球上の持続可能な生活環境構築に役立つ新技術の創出にもつながっていく可能性もある。

本プロジェクトが、月面探査をとおして宇宙開発の新たな地平を切り開き、その成果が人類の月を起点とした火星および深宇宙に対する理解を深め、未来の宇宙活動に資するものであるために、当面は YAOKI の機能、性能の向上を目指していきたい。

\* 4 出典：PDC 5th IAA Planetary Defense Conference 2017(<http://planetary.jp/PDC/>)