

2023年5月26日

株式会社 ispace

## ispace、民間月面探査プログラム「HAKUTO-R」ミッション1 成果報告を発表 着陸時の問題及び次のミッションへ向けた改良点を特定

株式会社 ispace（東京都中央区、代表取締役：袴田武史、以下 ispace）は、民間月面探査プログラム「HAKUTO-R」ミッション1のランダー（月着陸船）による、2023年4月26日（日本時間）に実施した着陸シーケンスに関して、日本橋にあるミッションコントロールセンター（管制室）で得られたフライトデータの解析を完了いたしました。その結果、当社のランダーが計画された着陸シーケンス中の全ての減速運用を完了し、計画通り秒速1m以下の降下速度かつ垂直状態で月面高度約5kmにまで接近したこと、また、月面への軟着陸には至りませんでした。その原因を特定の上、後続するミッション2及びミッション3に向けた改良点の特定を完了したことをお知らせいたします。

2023年4月26日0時40分頃（日本時間）、月面からの高度約100km地点から着陸降下を開始したランダーは、計画された着陸シーケンスの終盤、姿勢を月面に対して垂直状態にして、秒速1m以下の降下速度で月面高度約5kmにまで接近しました。ランダーの動作としては、着陸予定時刻であった1時43分頃まで当社の期待通りであったことが確認されています。

一方で、ランダーの高度測定においては異常が生じており、実際の月面高度約5kmに対して、ランダー自身が自己の推定高度をゼロ（月面着陸）と判断していたことが判明しました。その後もランダーは低速での降下運用を続けたものの、月面着陸の確認に至らず、推進系の燃料が尽きた時点でランダーの姿勢制御を含む動力降下制御が止まり、ランダーは月面に自由落下をしたと考えられます。

ランダーが高度推定を誤った要因としては、ソフトウェアが当社の期待通りに動作しなかったことが考えられます。着陸予定地に向けてランダーが航行中、クレーターの縁に当たる高さ約3kmもの大規模な崖の上空をランダーが通過した際、ランダー搭載のセンサーによる測定高度が急激に上昇したことが確認されました。フライトデータの解析によれば、この際、測定高度の数値と事前にランダーに設定された推定高度の数値に想定以上の大きな乖離が発生したことから、ランダーのソフトウェアがこの乖離の原因をセンサー側の異常値と、誤って判断した模様です。その後はセンサーによる測定高度の情報がソフトウェアによって遮断され、結果的にランダーのソフトウェアによる高度測定の誤りに繋がったと考えております。本来、このフィルタ機能（推定高度からの乖離が著しく大きい測定高度データを採用しない機能）は、センサーにハードウェア上の不具合等が発生し、誤った高度が計測された場合などに、ランダーの安定運用を維持するために設計されたものでした。

この誤りが生じた背景の1つとして、当社は2021年2月にミッション1のCritical Design Review (CDR)を最終完了した後、着陸地点の変更を行っております。プログラム全体の管理を行う当社はミッションに対して全責任を負う立場にあり、この変更による影響を考慮に入れる等、ミッション成功に向けて必要と考えられる可能な限り全ての検証を行っておりました。しかしながら、最終的に航行ルート上で想定される月面上の環境が当社のソフトウェアへ及ぼす影響の範囲を適切に認識し、必要十分に設計へ織り込むことができなかったと考えられます。着陸前に多くのシミュレーションを行いましたが、この変更によって生じる問題を発見するまでの十分な検証には至りませんでした。

以上がミッション1における月面着陸の解析結果に関するご報告となります。当社としてはランダーとの通信の回復が引き続き見込まれないことから、これをもちましてミッション1のマイルストーンであるSuccess9（月面着陸の完了）およびSuccess10（月面着陸後の安定状態の確立）について達成できず、顧客のペイロードについても着陸後の運用は不可能と最終判断いたしました。今回の解析結果により、ランダーが軟着陸に至らなかった原因がソフトウェアにあり、特に着陸直前の段階にあることが判明したため、今後ミッション2、ミッション3に向けては基本的にソフトウェアの改修、及び事前に想定シミュレーションを行う範囲を拡大させることで、ミッションの精度を一層向上させることを目指します。

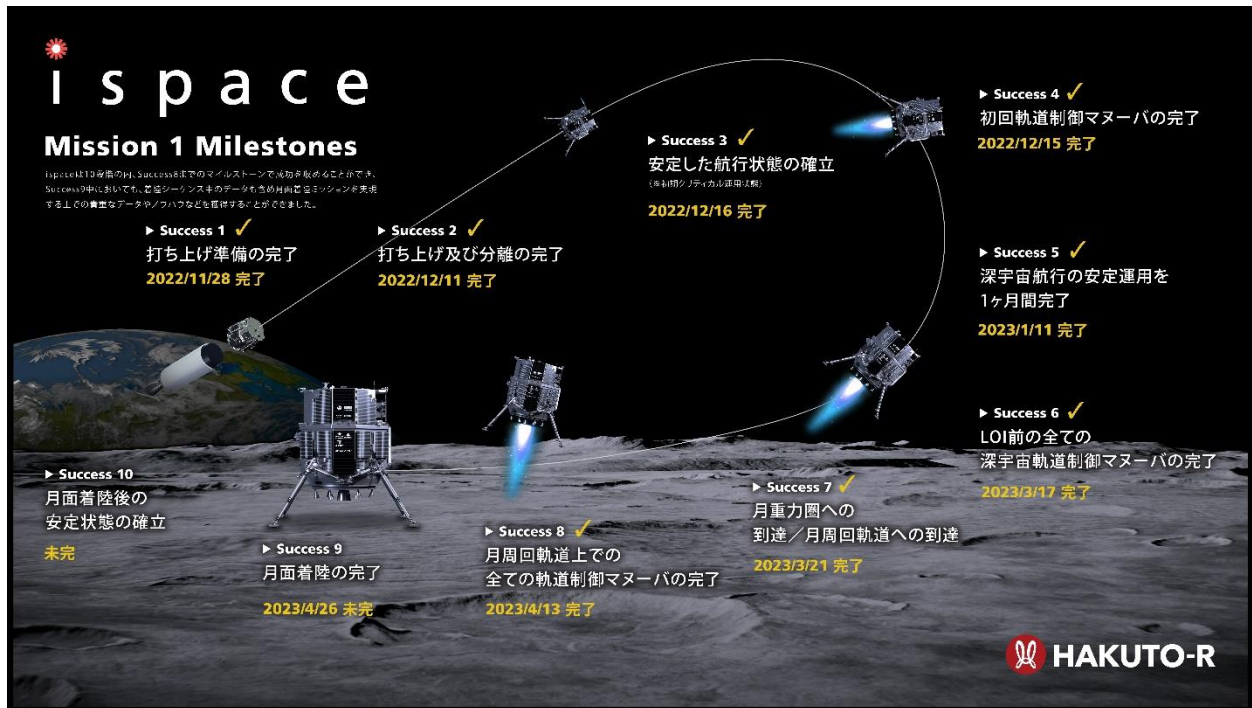
ランダーのハードウェアに関しては、ミッション1マイルストーンのSuccess1から8の成功を踏まえ、負荷の高いロケットの打ち上げ時や長期間の深宇宙航行を経た後もランダーに損傷が確認されず、過酷な環境に耐え得る構造設計が実証できたと考えられること、また複数回の軌道制御マヌーバを通して良好なパフォーマンスを実現できたことから、特段の大きな改修等を必要とせず、ミッション2においてもミッション1と同様のシリーズ1のモデルにて運用可能と考えております。その他、熱設計や通信、電力に関しても計画通りの機能性をミッション1で実証しましたが、獲得されたデータからの分析に基づき、ミッション2においては更なる効率的な運用を実現できると考えております。現時点でミッション2（2024年予定）及びミッション3（2025年予定）の打ち上げ時期に関しては特段の変更はございません。

#### ■ 株式会社 ispace 代表取締役 CEO & Founder 袴田 武史のコメント

「顧客の皆様、パートナー・株主の皆様、そして世界中から応援頂いた多くの皆様等、全てのステークホルダーの方々の期待に十分に答えることができなかったことを、私たちとしても強く残念に感じております。特定された課題と真摯に向き合い、改善に向けたあらゆる努力を惜しまない覚悟です。ミッション1では、我々が開発したランダーは月面着陸の直前まで達しており、多くの技術的信頼性を実証することができました。また着陸時の問題の特定や次に向けた改善策も、極めて明確です。これらはすべて今後のミッションの成熟度を向上させる上で重要な要素であり、かつ弊社がご提供するサービスに競合優位性をもたらすものだと考えております。

私たち ispace の従業員は皆、ミッション1で達成できたことを誇りに思い、大変ポジティブに、後続するミッション2、ミッション3に向けた取り組みを開始しています。私たちはミッション1で得られた貴重な知見を、確実に次の進化に繋げます。それこそが、すべてのステークホルダーの皆様へお約束した当社のコミットメントであり、当社の責務だと信じています。“Never Quit the Lunar Quest” この精神の下、私たちは歩み続けます。」

■ ミッション1マイルストーン詳細



	マイルストーン	マイルストーン毎のサクセスクライテリア
Success 1 (完了)	打ち上げ準備の完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>● シリーズ1ランダーの全ての開発工程を完了。</li> <li>● 打ち上げロケットへの搭載が完了。</li> </ul>
Success 2 (完了)	打ち上げ及び分離の完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ロケットからランダーの分離が完了。</li> <li>● ランダーの構造が打ち上げ時の過酷な条件に耐えられることを証明し、設計の妥当性を確認するとともに、将来の開発・ミッションに向けてデータを収集。</li> </ul>
Success 3 (完了)	安定した航行状態の確立 (※初期クリティカル運用状態)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ランダーと管制室との通信を確立し、姿勢の安定を確認するとともに、軌道上で安定した電源供給を確立。ランダーの基幹システムおよび顧客ペイロードに不備がないことを確認。</li> </ul>
Success 4 (完了)	初回軌道制御マヌーバの完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 初回の軌道制御マヌーバを実施し、ランダーを予定軌道へ投入するとともに、主推進系、誘導制御系の動作を確認。</li> </ul>
Success 5 (完了)	深宇宙航行の安定運用を1ヶ月間完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1ヶ月間にわたるノミナルクルーズと軌道制御マヌーバを行い、ランダーが安定して深宇宙航行が可能であることを実証。</li> </ul>

Success 6 (完了)	LOI 前の全ての深宇宙軌道制御マヌーバの完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 太陽の重力を利用した全ての深宇宙軌道制御マヌーバを完了し、月周回軌道投入マヌーバの準備を完了。ispace の深宇宙におけるランダー運用能力と、航行軌道計画を実証。</li> </ul>
Success 7 (完了)	月重力圏への到達／月周回軌道への到達	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最初の月周回軌道投入マヌーバによるランダーの月周回軌道投入の完了。ランダーとペイロードを月周回軌道に投入する能力を実証。</li> </ul>
Success 8 (完了)	月周回軌道上での全ての軌道制御マヌーバの完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 着陸シーケンスの前に計画されている全ての月軌道制御マヌーバを完了。</li> <li>● ランダーが着陸シーケンスを開始する準備ができていることを実証。</li> </ul>
Success 9 (未完)	月面着陸の完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 月着陸を完了させ、今後のミッションに向けた着陸能力を実証。</li> </ul>
Success 10 (未完)	月面着陸後の安定状態の確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 着陸後の月面での安定した通信と電力供給を確立し、顧客のペイロード運用能力を実証。</li> </ul>

マヌーバ＝推進システムなどのアクチュエーターを制御し、航空機・宇宙機の姿勢・位置を変えること

LOI＝月周回軌道投入（Lunar Orbit Insertion）

#### ■株式会社 ispace (<https://ispace-inc.com/>)について

「Expand our planet. Expand our future. ～人類の生活圏を宇宙に広げ、持続性のある世界へ～」をビジョンに掲げ、月面資源開発に取り組んでいる宇宙スタートアップ企業。日本、ルクセンブルク、アメリカの3拠点で活動し、現在200名以上のスタッフが在籍。2010年に設立し、Google Lunar XPRIZE レースの最終選考に残った5チームのうちの1チームである「HAKUTO」を運営していました。月への高頻度かつ低コストの輸送サービスを提供することを目的とした小型のランダー（月着陸船）と、月探査用のローバー（月面探査車）を開発。民間企業が月でビジネスを行うためのゲートウェイとなることを目指し、月市場への参入をサポートするための月データビジネスコンセプトの立ち上げも行っています。

SpaceX の Falcon 9 を使用し、2022年12月11日にミッション1のランダーの打ち上げを完了し、2024年にミッション2の打ち上げを行う予定です。ミッション1の目的は、ランダーの設計及び技術の検証と、月面輸送サービスと月面データサービスの提供という事業モデルの検証及び強化です。ミッション1で得られたデータやノウハウは、後続するミッション2へフィードバックされます。更にミッション3では、より精度を高めた月面輸送サービスの提供によってNASAが行う「アルテミス計画」にも貢献する計画です。

ispace technologies U.S., inc. は、2025年<sup>i</sup>に月の裏側に着陸予定のNASAのCLPS（Commercial Lunar Payload Services）プログラムに選出されたドライバー研究所のチームの一員です。ispace と ispace EUROPE S.A. (ispace Europe) は2020年12月に、NASA から月面で採取した月のレゴリスの販売に関する商取引プログラムの契約を獲得しました。ispace Europe はESA のPROSPECT（月面での水の抽出を目的としたプログラム）の科学チームの一員に選ばれています。

#### ■HAKUTO-R (<https://ispace-inc.com/jpn/m1>)について

HAKUTO-R は、ispace が行う民間月面探査プログラムです。独自のランダー（月着陸船）とローバー（月面探査車）を開発して、月面着陸と月面探査の2回のミッションを行います。SpaceX の Falcon 9 を使用し、2022年にミッション1（月面着陸ミッション）のランダーの打ち上げを完了し、2024年<sup>iii</sup>にミッション2（月面探査ミッション）の打ち上げを行う予定です。

HAKUTO-R のコーポレートパートナーには、日本航空株式会社、三井住友海上火災保険株式会社、日本特殊陶業株式会社、シチズン時計株式会社、スズキ株式会社、高砂熱学工業株式会社、株式会社三井住友銀行、SMBC 日興証券株式会社、S k y 株式会社に参加しています。

<sup>i</sup> 2023年5月時点の想定

<sup>ii</sup> 2023年5月時点の想定

<sup>iii</sup> 2023年5月時点の想定