月面を跳ねる「まいど2号」の挑戦

大阪工業大学　谷口　浩成

1. 町工場の技術と学生の情熱を結集！「まいど1号」が宇宙へ運んだもの

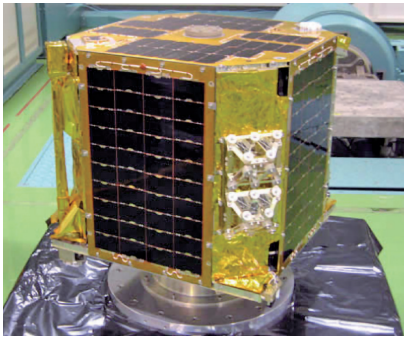


図1. 打ち上げ前の小型人工衛星「まいど1号」（写真提供：宇宙開発協同組合SOHLA）

みなさんは、「まいど1号」という名前の人工衛星を聞いたことがありますか？2009年1月23日、鹿児島県の種子島宇宙センターからH-2Aロケットに乗って、ひとつの小さな人工衛星が宇宙へと飛び立ちました。それが、宇宙開発協同組合（SOHLA）や大学が力を合わせて作り上げた小型人工衛星「まいど1号（SOHLA-1）」です（図1）。大きさはおよそ50cm角、質量は約50kgです。地上約660kmの太陽同期軌道を周回し、約9か月にわたって運用されました。「不景気な世の中を、町工場の高い技術と夢で明るくしたい！」という熱い思いから始まったこのプロジェクトの成功は、小学校や中学校の教科書・副読本にも掲載され、日本中の子どもたちや、ものづくり現場に大きな勇気と感動を与えました。

まいど1号の機体、配線、制御装置などには、町工場の加工技術と、大学・研究機関の設計技術が生かされました。大学の学生も設計会議や振動試験、熱真空試験、打ち上げ後の運用に参加しました。太陽センサや雷観測用センサ、展開ブーム、小型カメラなどを宇宙で試し、衛星の側面に取り付けられたモニタカメラは、宇宙から見た九州・四国・紀伊半島などの美しい日本列島の撮影に成功しました。企業と大学が一緒に宇宙機を設計し、試験し、運用する経験を地域に残したことも、大きな成果でした。この「地域の技術を集めて宇宙へ挑む」という考え方が、次のまいど2号へつながります。

人工衛星には、発電、通信、姿勢制御、温度管理など、異なる役割を持つ装置が詰め込まれています。一つの装置が優れていても、全体として正しく動かなければミッションは達成できません。まいど1号の開発では、専門の異なる人たちが設計を持ち寄り、打ち上げ時の激しい振動や宇宙の温度環境を想定して確認しました。この経験は、後に別の宇宙機を考えるときにも使える共通の土台になりました。

2．新プロジェクト「まいど2号」

「2号」と聞けば、まいど1号に続く人工衛星を想像するかもしれません。しかし、まいど2号は地球の周りを回る人工衛星ではなく、月面で活動するロボットです。月まで運ばれた後、月の地面を移動し、周囲の様子を調べる小型の探査ロボットを目指しています。2017年、「次は、地球の周りを回る人工衛星ではなく、月の上で活躍する新しいロボットを作ろう！」――こうして始まったのが、「まいど2号」プロジェクトです。

SOHLAの皆さんから共同研究の誘いを受け、大阪工業大学では形状記憶合金を使った跳躍装置の研究を始めました。2025年の大阪・関西万博では、その試作機が展示されました（図2）。研究の現在地を正確に言えば、まいど2号は月への打ち上げが決まった完成機ではありません。地上で装置を動かし、跳び方や着地後の姿勢、向きを変える方法を一つずつ確かめている研究用ロボットです。月面で本当に働くには、真空、放射線、大きな温度差、細かな砂などを想定した試験がさらに必要です。



図2．大阪・関西万博に展示された月面跳躍移動ロボット「まいど2号」EXPO2025万博モデル（写真提供：宇宙開発協同組合SOHLA）

月面探査では、大きな一台のロボットにすべての仕事を任せる方法だけでなく、小さなロボットを複数送り、それぞれが別の場所を調べる方法も考えられます。一台が入れない狭い場所へ別の機体を送り込めれば、探査の範囲を広げられます。小型で簡素な跳躍装置には、そのような分散しながら探査を支える役割も期待できます。

3．月の探査を跳躍式ロボットで実現を目指す理由

現在、世界中が再び「月」を目指しています。アメリカを中心とする「アルテミス計画」では、人類が再び月面に着陸し、持続可能な基地を作ろうとしています。中国の探査機「嫦娥（じょうが）」も月からのサンプル持ち帰りに成功するなど、月探査は空前の盛り上がりを見せているのです。月には、将来の宇宙活動に欠かせない資源や、生命・太陽系の歴史を解き明かすヒントが眠っていると考えられています。

月面を探査するには、広い場所を移動するロボット（探査機）が必要です。これまで月面で使われてきた探査機は、車（車輪）やキャタピラ（クローラー）で進むタイプが主流でした。車輪式の探査機は、平らな場所を長く移動するには

優れた方法ですが、急な斜面、大きな岩、クレーターの縁などでは進みにくくなることがあります。小さなロボットが障害物を跳び越えられれば、車輪だけでは近づきにくい場所を調べられる可能性があります。

月の重力は地球のおよそ6分の1です。同じ速さで飛び出しても、月ではより高く、より遠くへ跳べます。一方で、空気がほとんどないため、パラシュートで減速することはできません。跳躍は便利ですが、飛び出す向きと速さを決め、着地後に倒れても次の動作へ移れる設計が欠かせません。月面では日なたと日陰の温度差も大きく、レゴリスと呼ばれる細かな砂は機械のすき間へ入り込みます。地球で一度うまく跳べたからといって、そのまま月で使えるわけではありません。跳躍方式を選ぶことは、地形だけでなく、質量、電力、熱、砂への対策を同時に考えることでもあります。

4. まいど2号の技術・形状記憶合金

まいど2号の特徴は、モーターの代わりに形状記憶合金をアクチュエータとして使うことです。アクチュエータとは、エネルギーを動きに変える装置です。電気で回るモーターや、食べ物のエネルギーで縮む人の筋肉も、働きから見ればアクチュエータの仲間です。形状記憶合金は、変形させても適切な温度で加熱すると、あらかじめ覚えさせた形に戻ろうとする金属です。私たちの装置では、細い線をコイル状にした形状記憶合金に電流を流して加熱し、縮む力を利用します（図3）。小さくて軽い形状記憶合金コイルは、比較的大きな力を取り出せるため、質量を抑えたい小型探査機に適しています。歯車を何段も組み合わせたモーター機構に比べると、構造を単純にできることも利点です。ただし、形状記憶合金は加熱するとすぐ縮む一方、元の長さへ戻すには冷やす時間が必要です。地球上では周囲の空気が熱を運びますが、真空の月面では空気による冷却が期待できません。軽さと力の利点を生かすには、熱の出入りまで含めた設計が必要になります。加熱と冷却を繰り返すと、動く量や発生する力が少しずつ変わることもあります。そのため、何度加熱すれば性能が変化するのか、どの温度まで上げれば安定して縮むのかを確かめます。細い金属のコイルですが、材料、巻き数、長さ、加熱時間の選び方が、ロボットの一跳びを左右します。

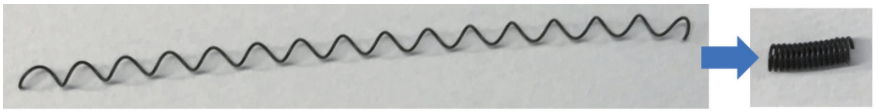


図3．コイル状にした形状記憶合金を変形状態から加熱すると、記憶状態に縮む。このときに生じる変位（動く量）や力を使って、跳躍に必要なばねを動かす。

跳躍には、ばねへエネルギーを蓄え、一気に解放する方法を使います。ところが、形状記憶合金だけで強いばねを引こうとすると、途中で動かなくなりました。形状記憶合金は縮むにつれて力が小さくなるのに対し、ばねは伸ばすほど元へ戻ろうとする力が大きくなるからです。動かす側の力が減り、相手の抵抗が増えるため、そのままでは最後まで引けません。そこで取り入れたのがトグル機構（図4）です。二本のリンク（棒）を折り曲げた状態から伸ばしていくと、一直線に近づくほど、ばねを押す力を大きくできます。膝（ひざ）を軽く曲げた状態からまっすぐ伸ばすとき、最後にグッと強い力が出ますよね？ トグル機構も同じで、まっすぐ伸び切る直前に「力を何倍にも増やす」ことができるのです。形状記憶合金の力をトグル機構へ伝え、強いばねへエネルギーを蓄えます。最後にロックを外すと、ばねが一気に戻り、機体が跳び上がります。このロボットには、ばねを動かすための形状記憶合金、機構を元へ戻すための形状記憶合金、跳躍のきっかけをつくる形状記憶合金を使っています。役割を分けることで、エネルギーを蓄える動作と解放する動作を順番に行います。どの部品をいつ加熱するかという制御も、機械の形と同じくらい重要です。

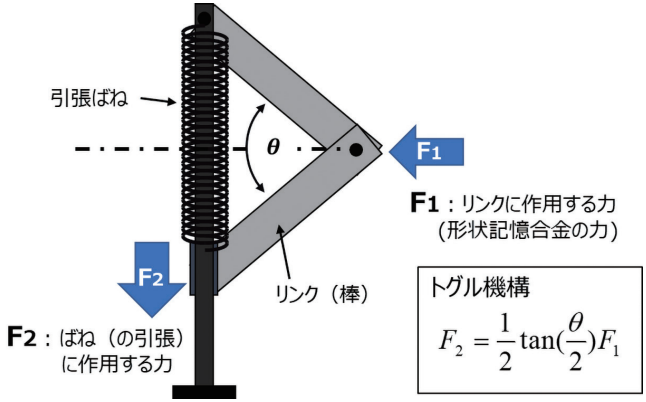


図4．形状記憶合金アクチュエータによって発生する力F_1をトグル機構によってF_2に増幅させて、引張ばねを伸ばす。

一度跳べても、着地した姿勢が悪ければ次へ進めません。そこで、外側を球形の脚で囲み、どの面で着地しても起き上がれる機体を試作しました。成功する向きと失敗する向きを調べ、重心の位置、脚の形、ばねを解放する方向を見直しています。失敗の記録も、次の形を決める大切なデータです。月面では、装置を小さく軽くすることが重要です。しかし、軽さだけでは探査できません。転倒しても動けること、砂が入り込んでも作動すること、何度も同じ力を出せることが必要です。試作機の形が変化してきたのは、実験で見つかった問題をロボットへ

反映させて修正してきた結果です（図5）。

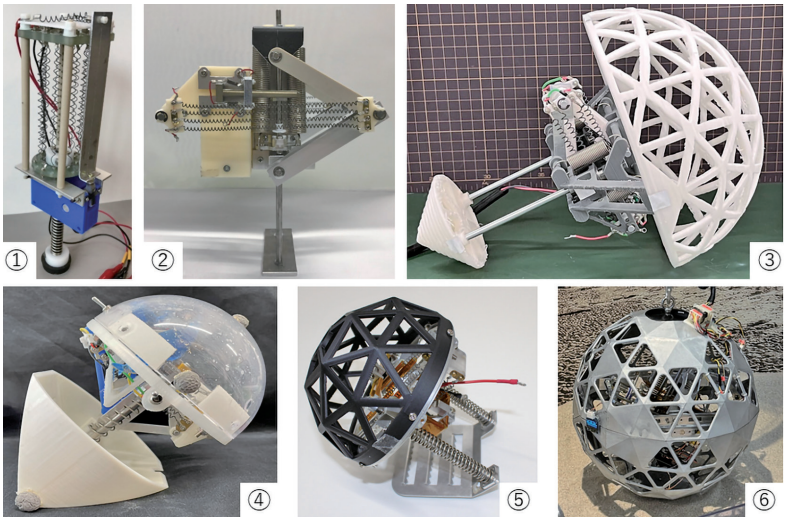


図5．これまで開発してきた跳躍機構および跳躍ロボット
① 2017年跳躍機構モデル１。
② 2018年跳躍機構モデル２。ここでトグル機構を導入。
③ 2020年試作モデル１。頭部、脚部を追加。
④ 2023年試作モデル２。脚部形状検討用。
⑤ 2024年試作モデル３。⑥2025年EXPO2025万博モデル。

5．月の環境を利用して動かす未来

形状記憶合金は電流で加熱できますが、熱で動く材料なら、月面の温度変化そのものを利用できないでしょうか。次に検討しているのは、太陽光による加熱と、遮光後の放射冷却を組み合わせた長周期の移動です。放射冷却とは、物体が赤外線として熱を宇宙へ放出し、温度が下がる現象です。構想では、形状記憶合金のコイルと、元へ戻すためのばねを並列に配置します。日なたで形状記憶合金が温まり、収縮してばねを変形させます。次に機構が日陰へ入り、熱を宇宙へ放出して冷えると、バイアスばねの力で元の状態へ戻ります。この温度の往復を移動へ変換できれば、駆動用電力をほとんど使わず、ゆっくりと長期間動く探査ロボットにつながります。

月の昼と夜は地球より長いため、これは高速移動の方法ではありません。限られたエネルギーで長く観測する小型機や、複数の機体を広い範囲へ配置する用途に向いています。実現には、太陽光を効率よく受ける形、影をつくる方法、宇宙へ熱を逃がす表面、温度変化に耐える材料を一体で設計しなければなりません。熱を受けるだけでなく、どう冷やすかが重要です。まずは、地上で光の強さと加

熱時間を変え、形状記憶合金の温度、収縮量、ばねに蓄えられる力を測ります。次に、真空中でどれほどの時間をかければ冷えるかを調べます。得られた値から一回の動作に必要な時間と移動量を見積もり、月面の昼夜や日陰の条件に合う機体を設計します。

6．名前を受け継ぎ技術を次へ

まいど1号とまいど2号は、姿も活動場所も異なります。1号は地球を周回した人工衛星、2号は月面を移動することを目指すロボットです。それでも、地域の企業と大学がそれぞれの技術を持ち寄り、試作と実験を重ねる点は共通しています。まいど2号では、形状記憶合金、トグル機構、ばね、着地脚、熱設計を結び付け、月面で役立つ移動ロボットをつくろうとしています。

研究は、最初の予想どおりに進むことばかりではありません。ばねを引けない、着地後に起き上がれない、冷えるまで時間がかかる。そこで「あれ、なぜだろう」と立ち止まり、原因を探り解決方法を考え、次の試作へ反映します。まいど1号が地域に残した宇宙開発の経験を受け継ぎながら、まいど2号は月面を一歩ではなく、一跳びずつ目指しています。この研究には、材料の性質を調べる人、熱の流れを考える人、機構を設計する人、実験結果から動きを予測する人が必要です。まいど1号が多くの企業や大学の力を一つの衛星へまとめたように、まいど2号も異なる分野の知恵をつなぐことで、月面で働く姿へ近づいていきます。

みなさんも、身の回りの疑問や不思議に出会ったとき、「なぜかな？」「こうすればできるかも！」と柔らかい頭で考えてみてください。その好奇心と挑戦する心が、未来の宇宙開発や科学の新しい扉を開く鍵になるはずです。

[参考文献]

1） 宇宙開発協同組合SOHLA「まいど1号について」、https://sohla.com/maido.html

2） 大久保博志、「『まいど1号』の開発と運用（関西発の小型衛星開発）」、精密工学会誌、77巻1号、33-36頁、2011年

著者紹介　谷口　浩成（たにぐち ひろなり）



1975年生まれ。東京農工大学大学院工学研究科修了。博士（工学）。2024年より大阪工業大学ロボティクス＆デザイン工学部ロボット工学科教授。専門はソフトロボティクス。形状記憶合金を活用した月面探査ロボット「まいど2号」や、空気圧を活用した小児用動力義手、リハビリ支援装置などの医療・福祉ロボットの研究開発を行う。