

# 月面レゴリス地盤力学情報獲得のための 小型光学式触覚センサの開発

研究背景・目的 / Research Background and Objectives

## ① SLIM

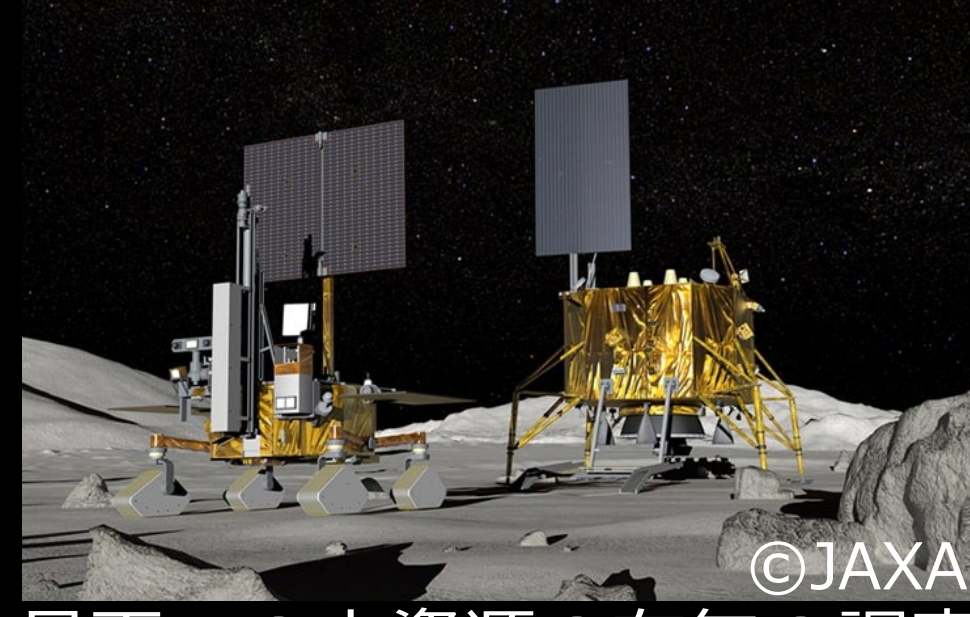


「降りたい場所に降りる」  
高精度着陸技術の実証

### 加速する月面開発

日本の小型月着陸実証機 SLIM によるピンポイント着陸の成功は、月面探査の歴史を降りやすい場所に降りるから降りたい場所に降りるへと塗り替えました。現在、ミッションの焦点は、月極域の水を追う LUPEX や、トヨタ自動車と JAXA が開発を進める有人と圧ローバー による長距離移動探査へと大きくシフトしています。

## ② LUPEX



月面での水資源の有無の調査

## ③ 与圧ローバー



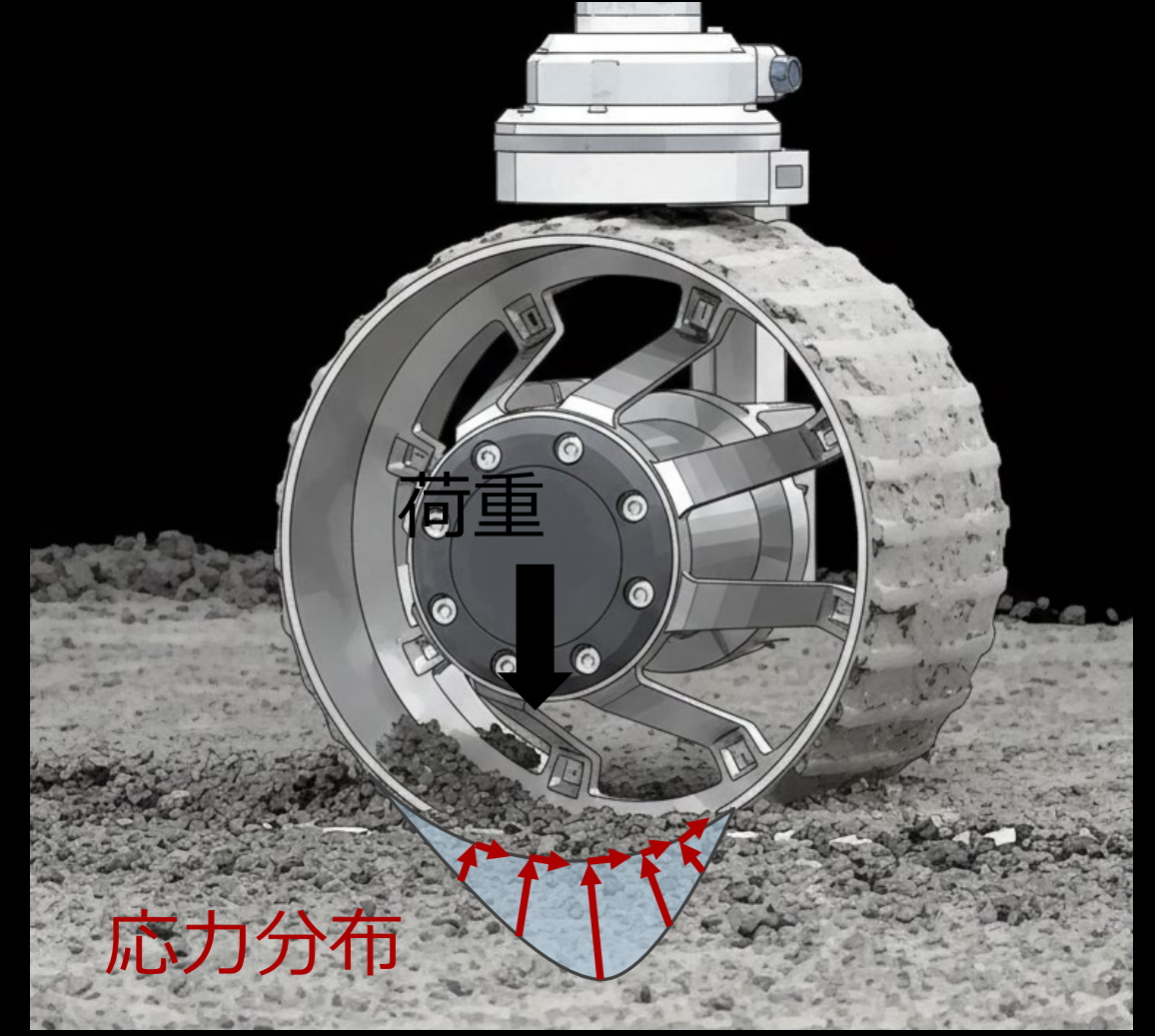
宇宙飛行士の長期移動拠点

### 車輪のスタックというリスク

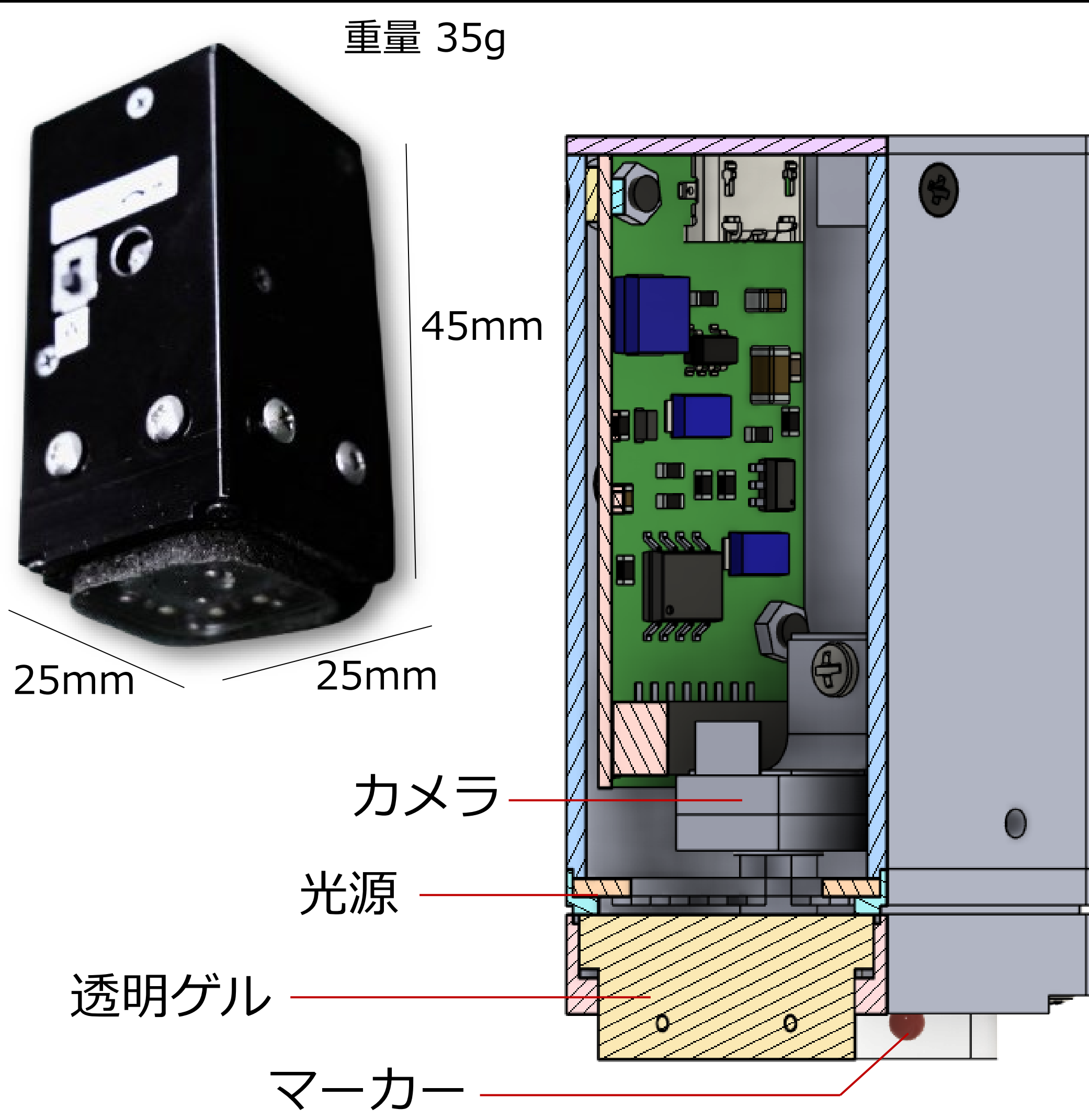
月面を覆うレゴリスと呼ばれる微細な岩石片は、詳細な土質物性が未だ多くの謎に包まれています。この未知の月面では、予期せぬ車輪のスタックを招く可能性があります。安全な走行を実現するためには、車輪が砂から受ける力をリアルタイムで把握し、走行力学に基づいた高度な自律走行制御を行う必要があります。

### 宇宙の過酷さに耐える力を計測するセンサ

過酷な月面環境下で、車輪の応力を正確に捉える小型光学式触覚センサを開発。カメラによる視覚情報を力覚情報へと変換する手法により、放射線ノイズの影響を受けやすい従来の電気特性による力覚センサの課題を克服し、「**世界が欲するレゴリス特性の直接的な計測**」を実現します。



## 手のひらサイズの小型光学式触覚センサ / Compact Optical Tactile Sensor



開発した小型光学式触覚センサ

### ■ 光学式触覚センサの動作原理

本センサは、受圧部となる透明ゲルの変形をカメラで撮影し、画像処理によって力を推定する計測システムです。接触によってゲル内部のマーカが移動する様子を捉え、その変位量から弾性力学モデルを用いて、垂直荷重およびせん断力を算出します。物理的な変化を計測するため、宇宙空間の放射線ノイズに依存しない安定した計測が可能です。

### ■ 宇宙探査に最適化された3つの主要コンポーネント

#### ✓ 超小型カメラ

宇宙での使用実績：小惑星探査機で採用されたアサヒ電子研究所製カメラを搭載

#### ✓ 低アウトガスで非移行性を持つゲル

低アウトガス性：

つくば宇宙センターでの試験をクリアした、真空下でも揮発しにくい「αGEL」を採用  
多層構造：

柔軟なゲルの表面に、数十μmの硬質ゲルを薄層コーティング

相反する課題の解決：

ゲルの粘着性によるレゴリス付着を防ぎつつ過酷な摩擦に対する耐久性と、応力を正確に伝える柔軟性を両立

#### ✓ アルマイト加工マーカ

無機材料の採用：ガス発生源となる塗料を避け、直径2mmのアルミニウム球をゲル内部に糞の目状に配置



## 計測結果 / Measurement Results

### 実用的な計測範囲：

最大 **5.3 N** までの荷重に対応

### 低誤差の実現：

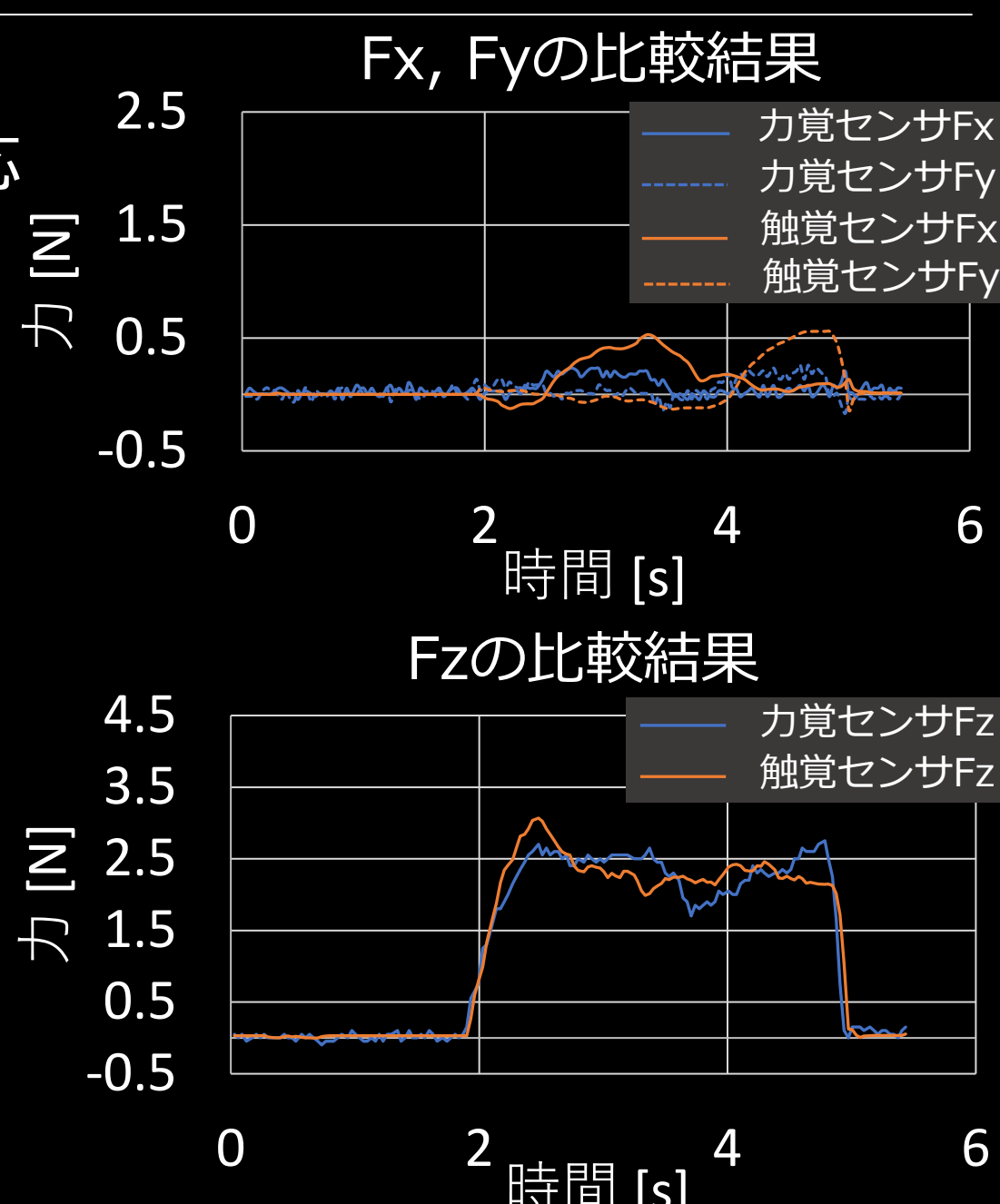
微小な荷重変動 (0.2N前後) をトレース

### 高感度検知：

五円硬貨 (3.7g) を捉える微細な高感度検知

### 地表を観測する機能：

力を測るだけでなく、接触しているレゴリスの粒径分布や地盤テクスチャを観測可能に



## 成果 特許・論文 / Patents and Papers

### 特許

#### 【知的財産権の出願】

特願2025-282181, 光学式触覚センサ, 宇宙機, 及び宇宙探査ローバ

### 論文

#### 【国際学会への投稿】

JpGU-AGU Joint Meeting 2026, "Development of a Space Compatible Optical Force Sensor Based on a Camera"

#### 【2025年度卒業論文】

"真空環境における光学式触覚センサのための低アウトガス・非移行性ゲルの検討"