



LEV-2 (SORA-Q) について



2024/02/09

宇宙探査イノベーションハブ

平野 大地



LEV-2とは？

- 超小型の変形型月面ロボット
月面における超小型ロボットの探査技術を実証する
SLIM探査機の着陸状況や着陸点周辺に関する情報を取得する

スペック

直径 約80mm

質量 約250g

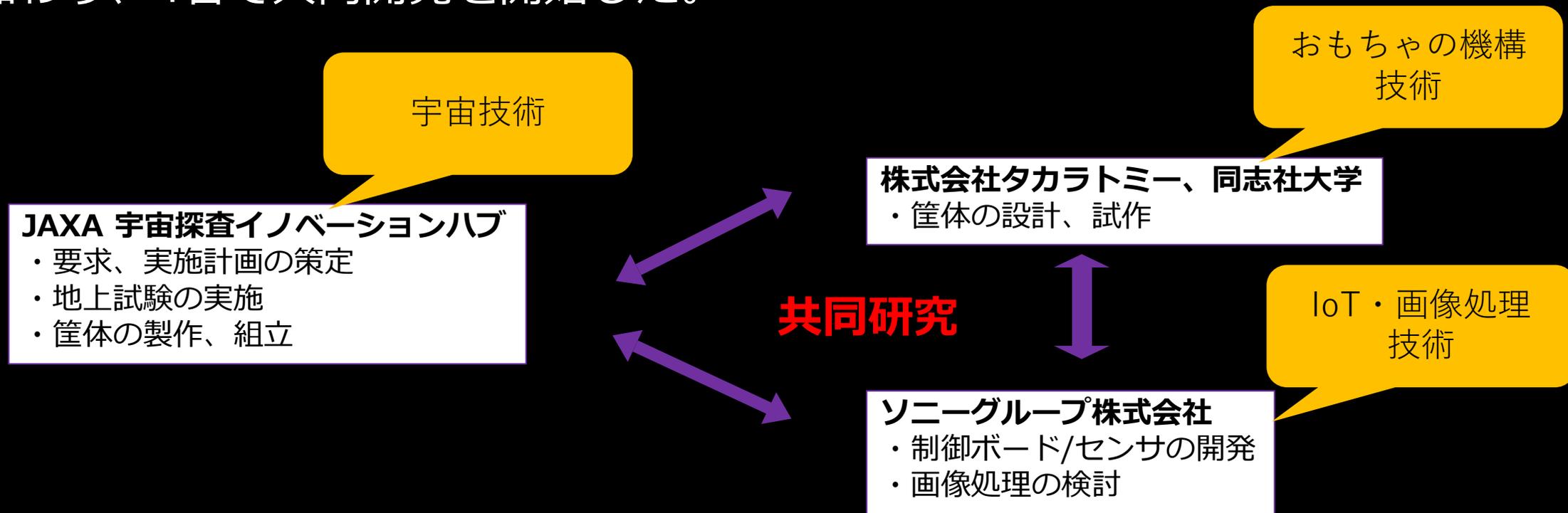
カメラ 前後1台ずつ





開発の経緯・体制

- 2015年に行われたJAXA宇宙探査イノベーションハブ 第1回研究提案募集（RFP）に株式会社タカラトミーが応募。研究テーマ名は「**小型ロボット技術 制御技術**」。2016年から共同研究を開始。
- その後2019年にソニーグループ株式会社が、2021年に同志社大学が加わり、4者で共同開発を開始した。



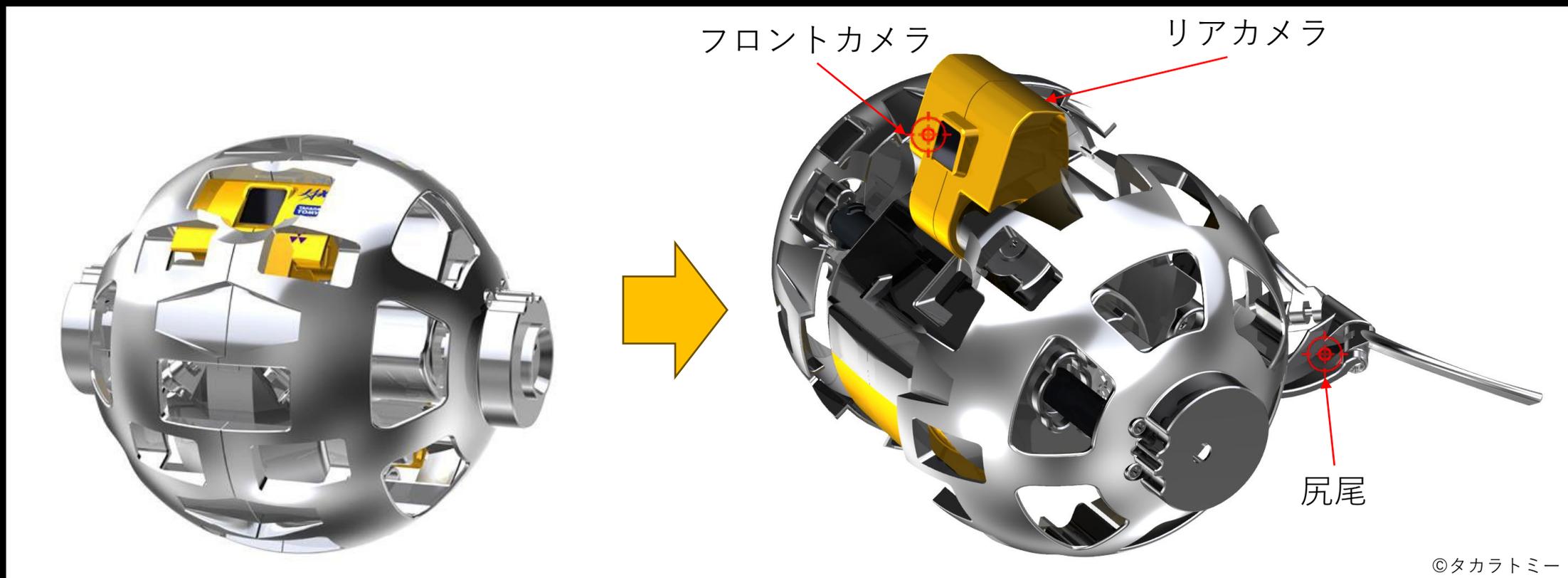
共同研究の実施体制



LEV-2の主な機能



- 車輪を展開してカメラと尻尾を出すことで走行・旋回モードに変形できる。
- 前後のカメラでSLIMおよび周辺環境を撮影でき、画像処理で画像内のSLIMを検出できる。
- SLIM検出結果を用いた自律制御により、SLIM周辺を走行することができる。
- 無線通信が可能で、LEV-1に取得データを送信することができる。





LEV-2の起立・旋回



- 逆さまになっても起き上がれる
- 車輪を逆向きに回転させて左右に旋回できる



LEV-2のカメラ・画像処理

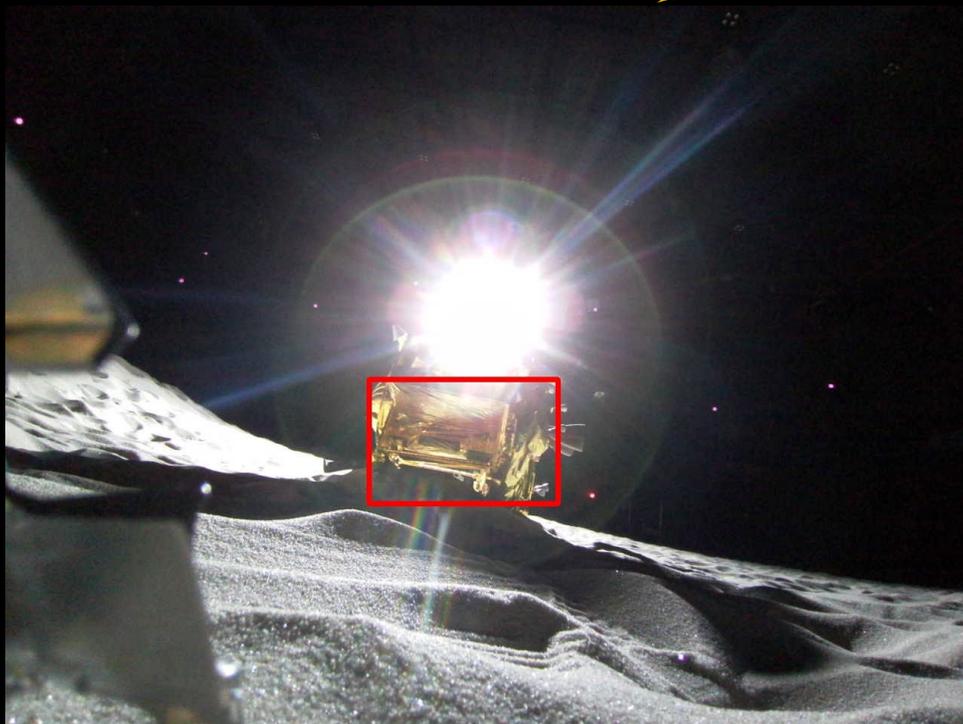


- カメラ2台でSLIMを撮影する
- 画像処理でSLIMを検出する
 - SLIMとの距離や向きを計算する
 - 地上に転送する画像を自動で選ぶ

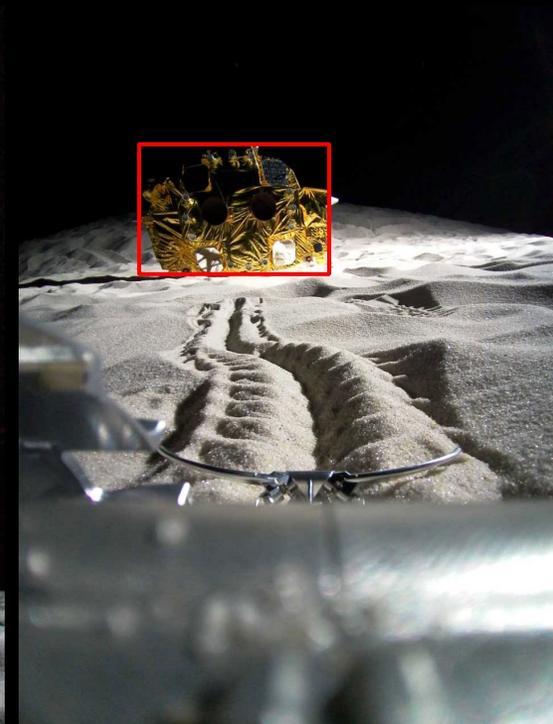
探査実験棟の
フィールドを利用



©JAXA



©JAXA



©JAXA

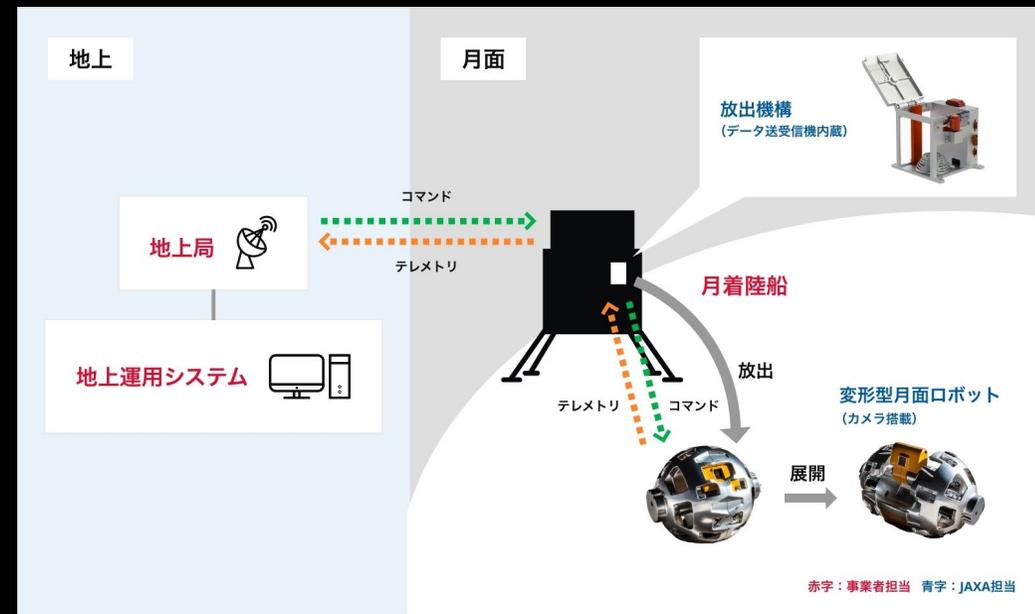
LAMPEミッションのタイムライン



- 2022/12/11 : ispace M1打ち上げ(SpaceX Falcon9)
- 2023/03/21 : M1ランダーの月周回軌道投入に成功
- 2023/04/26 : 月面軟着陸に失敗



©ispace

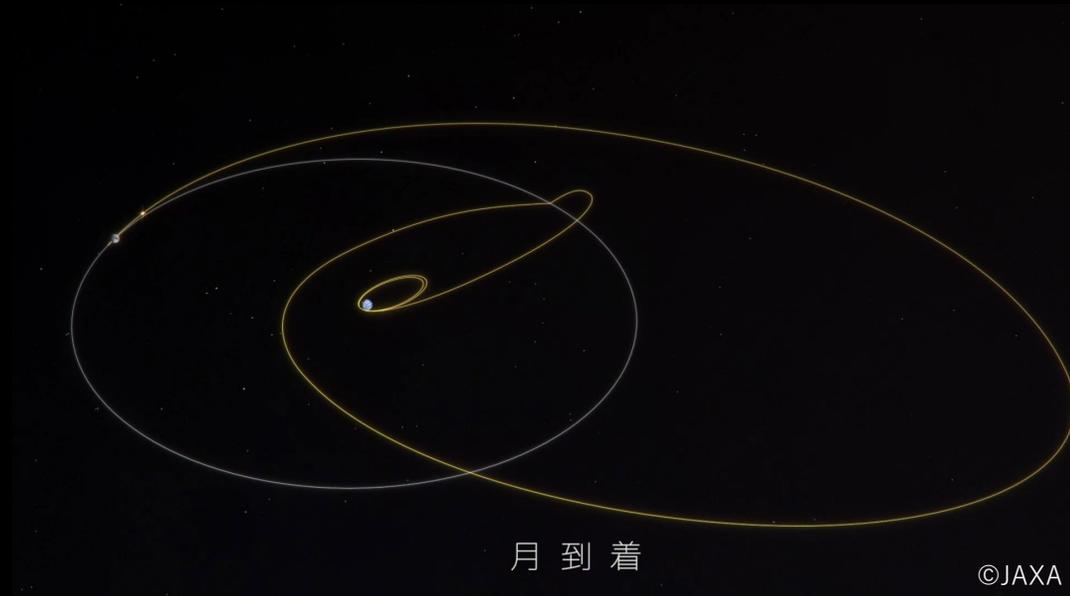


©JAXA

SLIMミッションのタイムライン



- 2023/09/07 : SLIM打ち上げ (H-IIAロケット47号機)
- 2023/12/25 : 月周回軌道投入に成功
- 2024/01/20 : 月面着陸・LEV-1/LEV-2の放出に成功
- 2024/01/25 : LEV-2が撮影した月面画像を公開



LEV-2がフロントカメラで撮影した画像



©JAXA/タカラトミー/ソニーグループ(株)/同志社大学

LEV-2がフロントカメラで撮影した画像



パケットロスが発生
(原因は調査中)



LEV-2の左車輪

LEV-2の右車輪

LEV-2の画像から確認できたこと



ID	事象	確認できたこと
1	<ul style="list-style-type: none">LEV-1経由でLEV-2撮影データが地上に転送された	<ul style="list-style-type: none">LEV-1/LEV-2間の無線通信が正常に動作LEV-1/地上間の通信も良好
2	<ul style="list-style-type: none">LEV-2が収納状態から想定通り変形した	<ul style="list-style-type: none">LEV-2が正常にSLIMから分離・放出されたLEV-2が月面で展開・駆動した
3	<ul style="list-style-type: none">LEV-2が複数枚を撮影し、選定・送信した画像にSLIMが写っていた画像内のSLIMを正しく検出していた	<ul style="list-style-type: none">LEV-2の画像処理アルゴリズム（SLIM検出および画像選定）が正しく機能した

- LEV-1およびLEV-2が日本初の月面探査ロボットになり、世界初の完全自律ロボットの月面探査、世界初の複数ロボットによる同時月面探査を達成
- LEV-2は世界最小・最軽量の月面探査ロボットとなった

開発で苦労したところ①



- ロボットの小型軽量化
 - SLIM搭載するために小型化・軽量化が必須であった。
 - 小型化すると月面の走行性能が落ちるジレンマがあった。
→タカラトミーさんのおもちゃで培った変形機構を応用して解決!
(輸送時はコンパクトにして、月面着陸後に大きく展開)
→さらに、車輪の偏心回転を採用することで走行性能がアップ!
 - 小型で高性能な制御ボードやカメラが必須であった。
→ソニーさんの高性能・低消費電力な制御ボードSPRESENSE™を採用して解決!
→これでロボットの自律制御・通信が可能になった。

開発で苦労したところ②



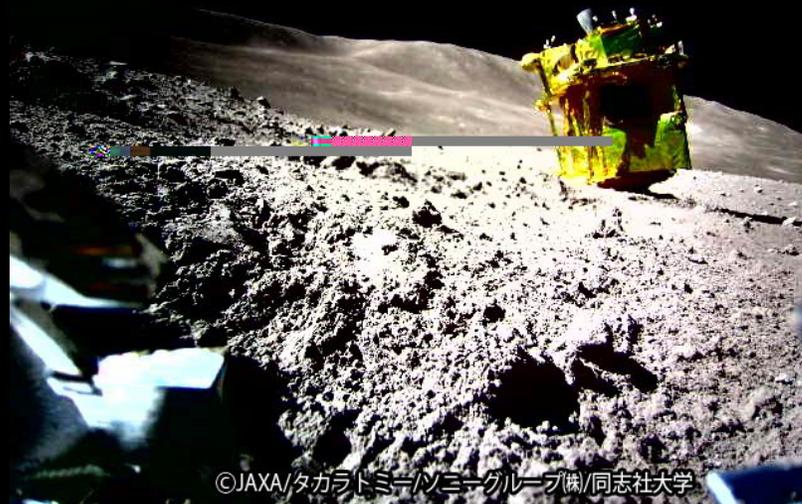
- ロボットの自律制御
 - SLIMに不具合があって通信できないことを想定し、LEV-2は地上からのコマンド操作が一切ない完全自律制御を採用した。
 - SLIMの着陸状態を撮影するために、カメラ画像からSLIMを検出するアルゴリズムを開発した。
 - SLIMの色彩に着目し、**ソニーさんの画像処理技術で解決！**
 - 検出した位置・サイズからSLIMの相対位置・姿勢を推定、地上に送信する画像を自動で選定できるようになった。

これまで宇宙で使われていなかった地上技術をうまく活用することでLEV-2はミッションを成功させることができた。共同研究先の技術力のアピールにも成功した。

開発者の狙い「宇宙を身近に」



- リアルティのあるデータを取りたかった
 - データ量の少ないグレースケールではなく、あえてカラー画像を選択
 - 可能な限りきれいに写真を撮るために試験を繰り返してパラメータを調整
- 結果として **インパクトのある画像の取得に成功した**
(一般の人にも月面着陸の現実感を持ってもらうことができた)
- 画像データに欠損部分があるが、あえてそのまま公開
(宇宙開発の難しさも同時に感じてほしい)



開発者の狙い「宇宙を身近に」



- SORA-Q Flagship Model (おもちゃ版) の販売
 - これまで実スケールの模型・おもちゃは少なかった
 - 実際に手に取って操作できる月面探査の模擬体験を提供した
- 様々な人に **宇宙開発を身近に感じてもらうことができた**
(子供たちがワクワクして宇宙や科学技術に興味を持ってくれば最高)



まとめ



- 探査ハブの宇宙実証事業として実施
 - LEV-2を宇宙仕様化してSLIMに搭載した
 - 共同研究先の事業にも貢献した
- LEV-2は地上の技術を活用した変形型月面ロボット
 - 月面で変形・展開することで走行性能を向上
 - 小型軽量・消費電力の制御ボードやカメラを採用
 - 画像処理でSLIMを検出し、自律制御・画像選定を実施
- SLIMが写った月面画像の取得に成功
 - SLIMミッションデータを補強した
 - 超小型ロボットの画像処理・自律制御に関する技術実証に成功した

最後に



- 関係各位から頂いたご協力に改めて感謝いたします。
- 今回得られたデータ・知見は今後の宇宙開発に活用します。
- 引き続きご協力のほどよろしく申し上げます。

ロボットの機能・設計に関する論文：

D. Hirano et al., “Transformable Nano Rover for Space Exploration”,
IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), Accepted.