



TOHOKU
UNIVERSITY

MINERVA-II 2 ロボバ2 分離運用について

2019年9月24日(火)
東北大学教授 吉田和哉
大学コンソーシアム



TOHOKU
UNIVERSITY

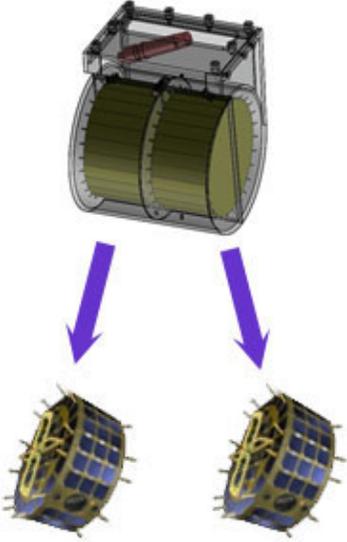
はやぶさ 2 搭載 小型ローバ・ランダ



2018年9月投下済

今回投下予定

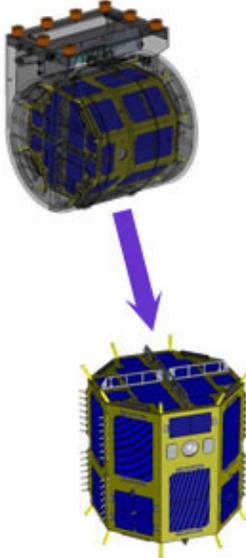
MINERVA-II1



Rover1A **Rover1B**

By JAXA

MINERVA-II2

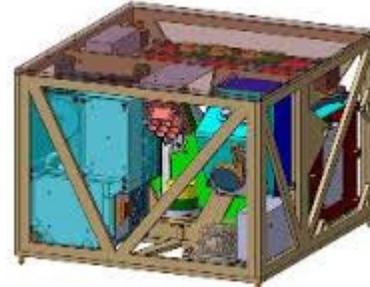


Rover2

By 大学コンソーシアム

2018年10月投下済

MASCOT



By DLR/CNES



MINERVA-II2ローバ2の現状と 分離運用の目的

- 機上での動作チェックでは、はやぶさ2とローバ2との間で通信を確立することはできるものの、ローバ2データ処理系を正常に起動することができない。この状況は現在も同じである。
- ローバ2の分離運用において科学的成果を目指すために、はやぶさ2チーム、米国コロラド大、九工大、東北大にて検討を行った。
- 当初予定の着地後の表面移動・撮像ではなく、やや高めの高度にてローバ2を分離し、リュウグウを複数回周回させてから着地することを目指す。周回運動の様子をはやぶさ2から観測することができれば、リュウグウの重力場をより詳しく知ることが期待できる。



TOHOKU
UNIVERSITY

ローバ2分離・周回運用の意義

- リュウグウの重力モデルの精度向上に貢献するサイエンスデータを取得
- 小惑星に小型人工物を軌道周回させることで、軌道周回化技術を蓄積

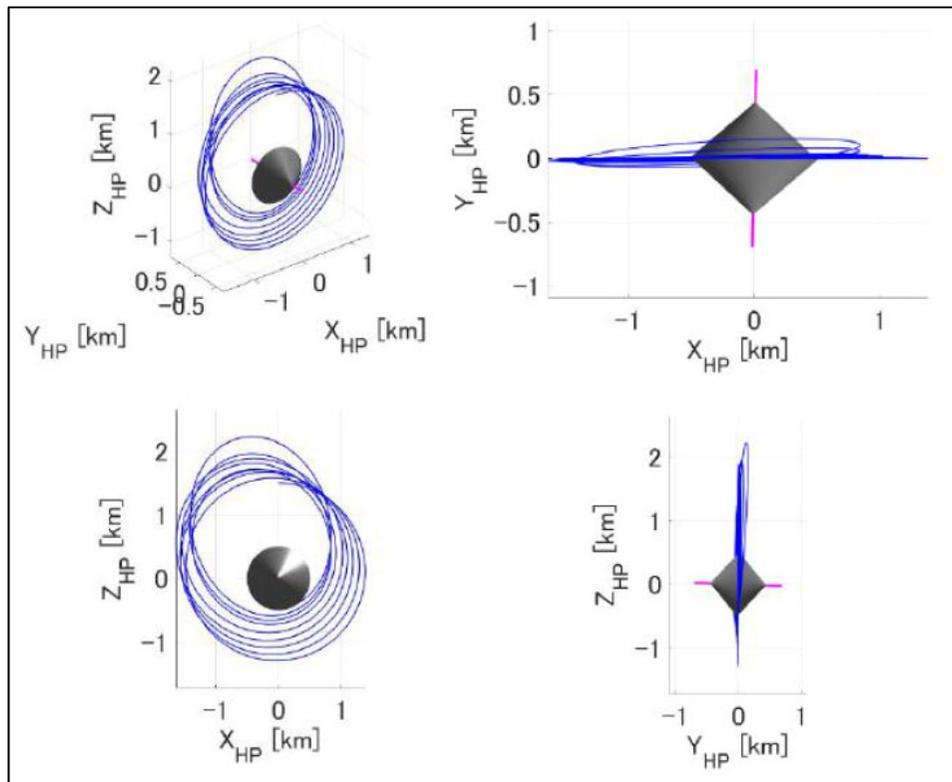
分離・周回運用計画

- リュウグウ表面から高度約1kmで分離
- 赤道上空からリュウグウ自転方向に向けて分離
- 分離後の運動を、ONC-W1&W2およびONC-Tにより光学撮像を試みる

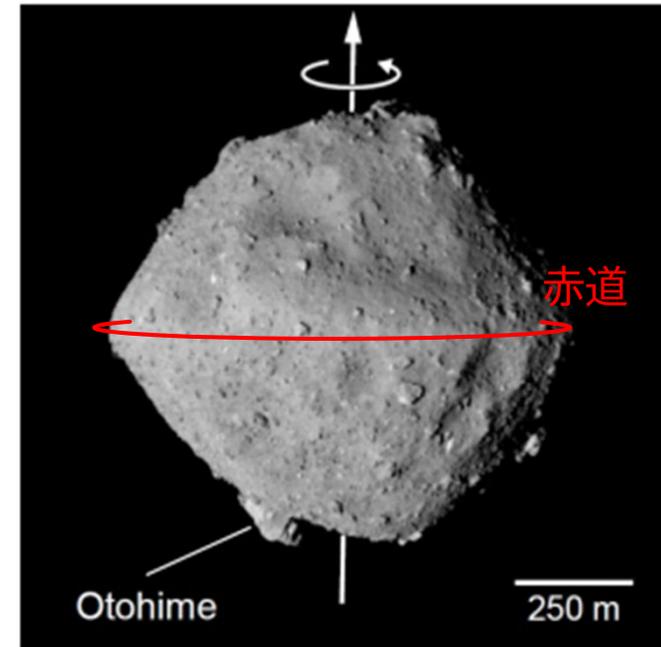
投入軌道に関する予測値



項目	種類・値
軌道種類	赤道軌道
軌道寿命(予測)	約5日(±数日)
周回数(予測)	約8回(±数回)
周期(1周期目)(予測)	約17時間(±数時間)



HP座標系からみたローバ2投入ノミナル軌道 ©JAXA



小惑星リュウグウの自転軸と赤道 ©JAXA



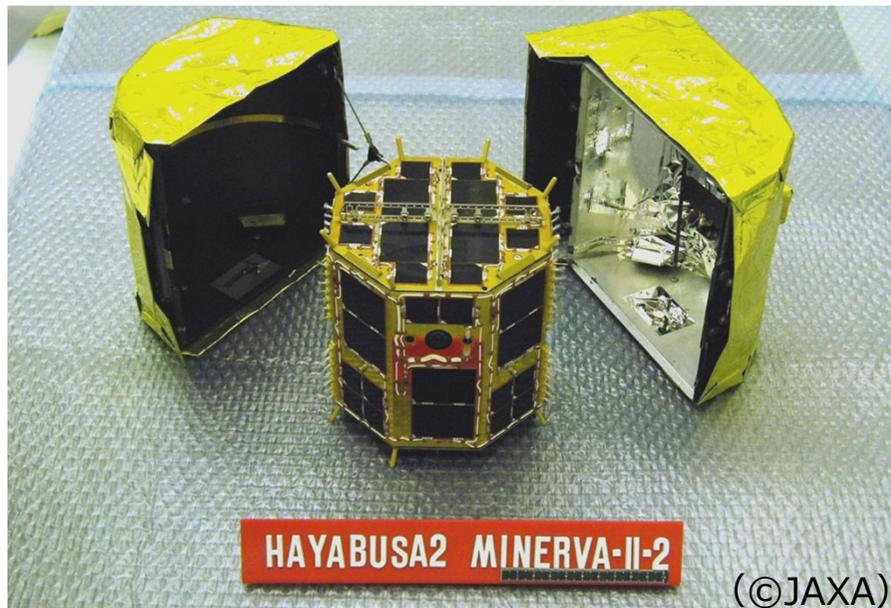
ローバ2のリュウグウ接地およびその後の運用

- ローバ2のリュウグウ接地速度は 0.5 m/s 程度。これは地上で高さ約1.5cmの高さから落下させた場合と同程度。接地衝撃によりローバが破損する可能性は低い。
- ローバ2の本来の実験項目である
 - 偏心モータによるマイクロホップ移動（東北大）
 - 板ばねを用いた弾性力反動移動（大阪大）
 - 永久磁石を用いた劇力反動移動（東京電機大学）
 - MICAMカメラ（東京理科大学）については、データ処理系が復活しない限り実施することはできない。
- バイメタルを利用した反動移動機構（山形大学）については、リュウグウ上の日照・日陰による温度変化により、ローバが移動する可能性がある。しかし、移動の状況を確認することが困難。



TOHOKU

MINERVA-II2



MINERVA-II2外観 ©MINERVA-IIコンソーシアム

ROVER2の仕様

- サイズ: 直径15 [cm]×高さ14.5 [cm]
- 質量: 877 [g]
- 消費電力: 平均 2 [W]
- 表面移動: ホッピング移動
- ミッション: 自律的に移動探査

ROVER2の移動アクチュエータ

- 偏心モータによる繊毛式マイクロホップ機構
- 永久磁石式内部撃力型ホップ機構
- バイメタル式環境駆動型ホップ機構
- 板バネ式弾性エネルギー解放型ホップ機構

ROVER2の搭載センサ

- 撮像カメラ (2台): 小惑星表面の近接画像取得
- 温度センサ (6個): 小惑星表面の温度計測
- 加速度センサ (2個): 衝突着地時の検出
- フォトダイオード (6個): 太陽方向検出 (姿勢センサ)

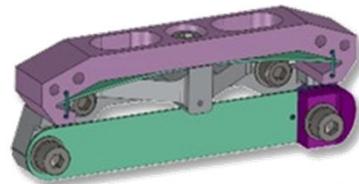


TOHOKU
UNIVERSITY

複合型移動アクチュエータ

環境依存型座屈機構

- 非モータ駆動：温度変化で動作
- バイメタルによる座屈力を利用

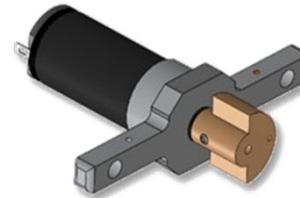


27.5 g

山形大学

偏心モータ型 マイクロホップ機構

- DCモータ駆動
- 遠心力を利用した微小な連続ホップ移動
- 繊毛束を構造的に利用

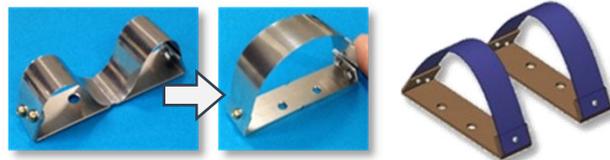


東北大学

24.4 g

板バネを用いた弾性エネルギー 解放型撃力発生機構

- 非モータ駆動：蓄えた座屈力の解放で動作

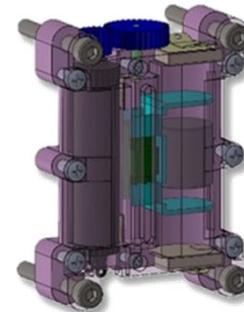


7.0 g

大阪大学

永久磁石型撃力発生機構

- DCモータ駆動
- 永久磁石の磁力の平衡をずらし、内部で衝突力を発生



東京電機大学

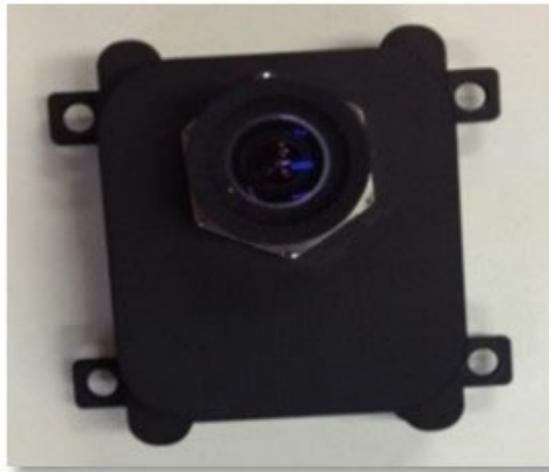
29.2 g

MICAMカメラ (東京理科大学)



基本特性

- VGA/SXGAの画像を取得可能
- カラーCMOCイメージャ
- 広角レンズ (水平 125.3° , 垂直 97.7°)
- 焦点距離: 遠方 (10cm) , 近接 (1cm)
- 単体質量: 39g



(参考) MINERVA-II2ローバ2の開発の経緯



1. はやぶさ2プリプロジェクト段階(2007年～2010年)でのミッション検討において、外部評価委員の意見をもとに、はやぶさ初号機の小惑星探査ロボットMINERVAの工学的挑戦をより広く大学等も含めて行える枠組みを検討。
2. MINERVA後継機の検討にあたり、2011年4月に日本機械学会、日本のロボット研究者のメーリングリスト、大学宇宙工学コンソーシアム(UNISEC)、ISAS工学委員会月惑星表面探査技術(STEPS)ワーキンググループ等の関係者に活動への参加を広く呼びかけ、それに呼応した研究者により「コンソーシアム」を結成。
3. 2012年、プロジェクト移行審査にて、MINERVA後継機はJAXAが開発するMINERVA-II1と、「コンソーシアム」が開発するMINERVA-II2の構成とすることが決定。(MINERVA-II2の開発状況や、はやぶさ2質量リソースの状況で可能であれば搭載する「オプション機器」として了承。)
4. 2013年、「コンソーシアム」内にてローバ2の設計・開発体制の検討を行い、東北大学が代表になることを決定。(実質的な開発に着手)
5. 2014年9月1日、JAXAと東北大学の間で「小型表面探査ロボット(MINERVA-II2)のはやぶさ2への搭載等にかかる協定」を締結。
6. 2014年12月3日、はやぶさ2打上げ

(参考：2018年11月8日発表)
MINERVA-II2（ローバ2）の状況



TOHOKU
UNIVERSITY

1. はやぶさ2打ち上げ後、機上にて動作チェックを行い（2014年12月、2015年6月、2017年10月）、はやぶさ2とローバ2との間で通信が確立していることを確認している。
2. しかしながら、ローバ2データ処理系の動作不安定によりローバ2の内部状態に関するテレメトリデータ（HKデータ含む）の取得には至っていない。これは、打ち上げ前の試験でも同様の事象が起きている。分離後の動作状態について検討を行ってきたが、復旧の可能性が厳しい状況である。
3. ローバ2の分離運用（2019年7月頃を予定）を通して有意義な成果を得る運用計画について、JAXAの協力を得て、大学コンソーシアムにて検討を進めている。