



TOHOKU  
UNIVERSITY



国立大学法人  
九州工業大学



山形大学  
Yamagata University

# MINERVA-Ⅱ2 ローバ2 分離運用結果

2019年10月28日（月）

東北大学 教授 吉田 和哉

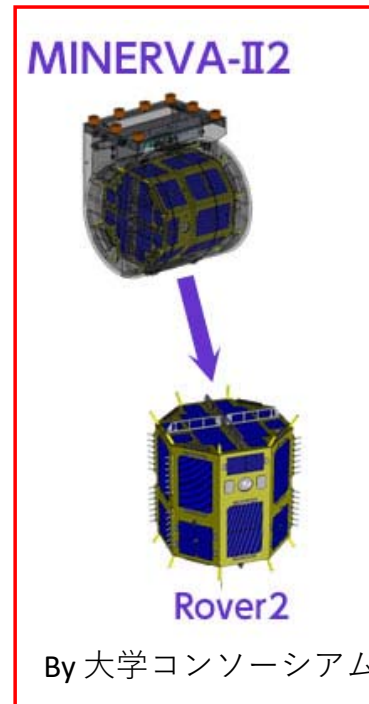
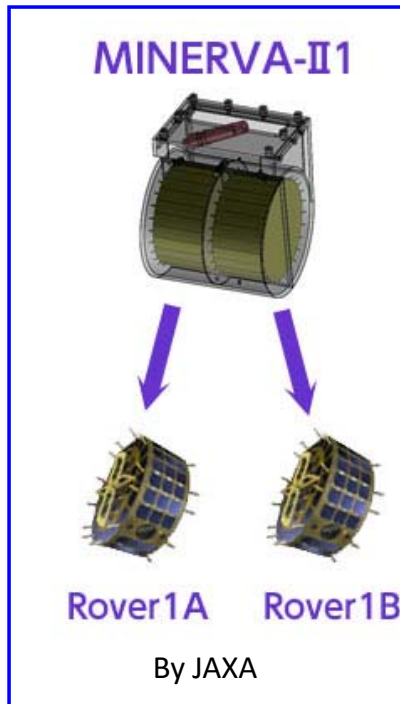
九州工業大学 准教授 永岡 健司

大学コンソーシアム

# はやぶさ2搭載 小型ローバ・ランダ



2018年9月投下済 2019年10月3日分離



2018年10月投下済



(©JAXA)

# MINERVA-II2(ローバ2)分離直後の ONC-W2画像(連続写真)

初公開



分離時刻：  
2019年10月3日  
00:57 JST  
(探査機時刻)

(画像のクレジット: JAXA、東北大・山形大・大阪大・東京電機大・東京理科大・九工大・千葉工大、産総研、立教大、東京大、高知大、名古屋大、明治大、会津大)



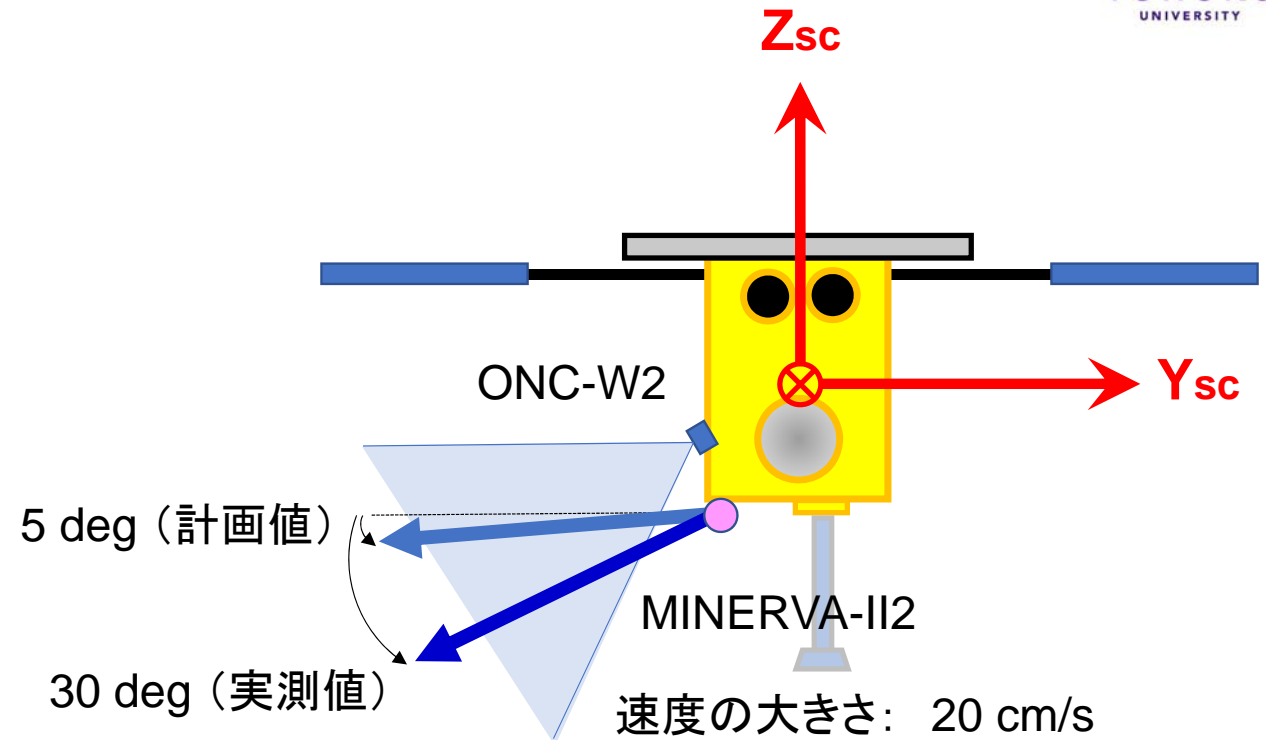
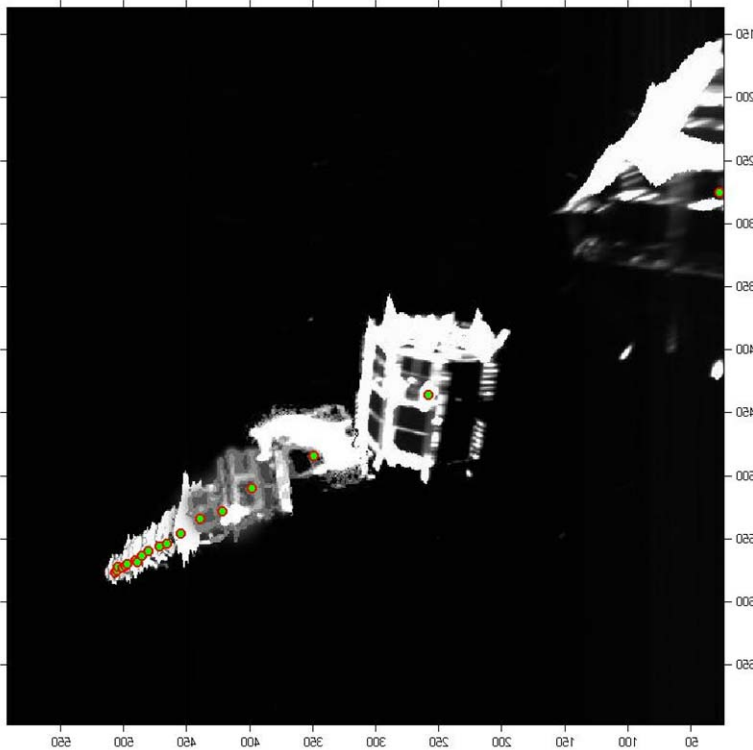
動画  
6倍速

(画像のクレジット: JAXA、東北大・山形大・大阪大・東京電機大・東京理科大・九工大・千葉工大、産総研、立教大、東京大、高知大、名古屋大、明治大、会津大)



TOHOKU  
UNIVERSITY

# 分離直後のONC-W2連続写真の 画像解析に基づく、分離速度の推定



分離速度の推定値(探査機座標系) :  $V_x, V_y, V_z = (0.02, -0.17, -0.10)$  [m/s]

(画像のクレジット: JAXA、東北大・山形大・大阪大・東京電機大・東京理科大・九工大・千葉工大、産総研、立教大、東京大、高知大、名古屋大、明治大、会津大)



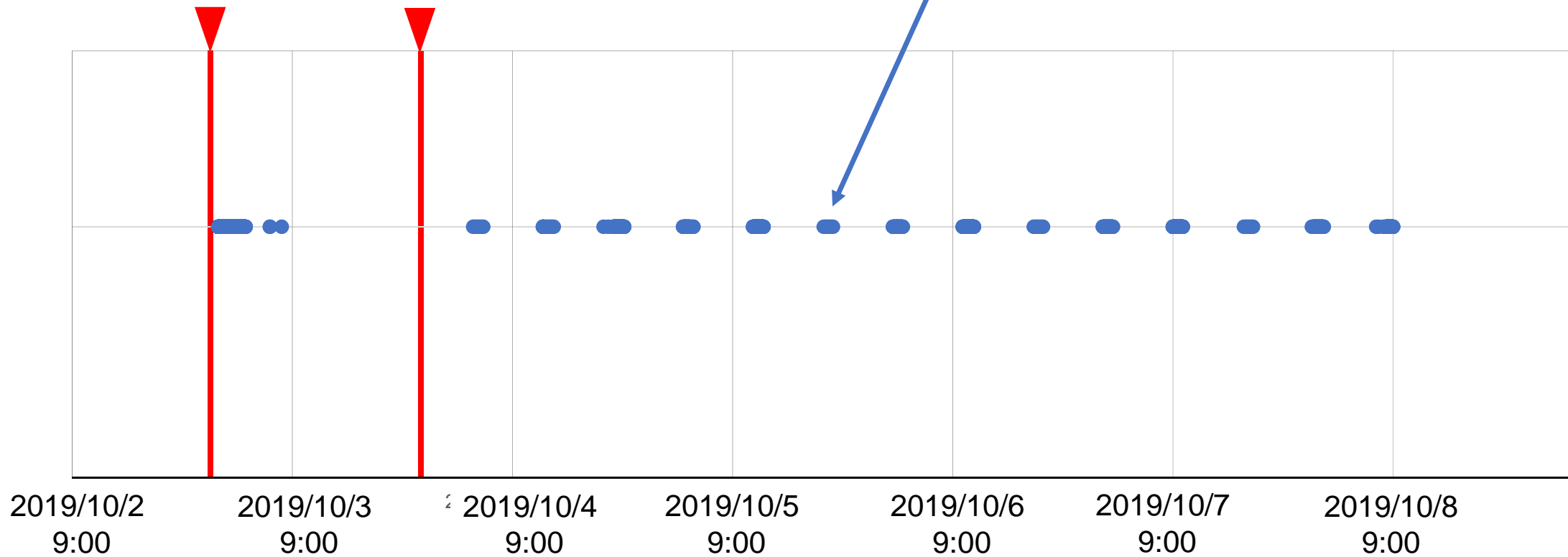
TOHOKU  
UNIVERSITY

# MINERVA-II2(ローバ2)分離後の通信状況

分離時刻：  
2019/10/3 0:57

着地推定時刻：  
2019/10/3 23:10 頃

通信ON



日本時間 (JST), 探査機時刻で表示

# MINERVA-II2(ローバ2)分離後の通信状況



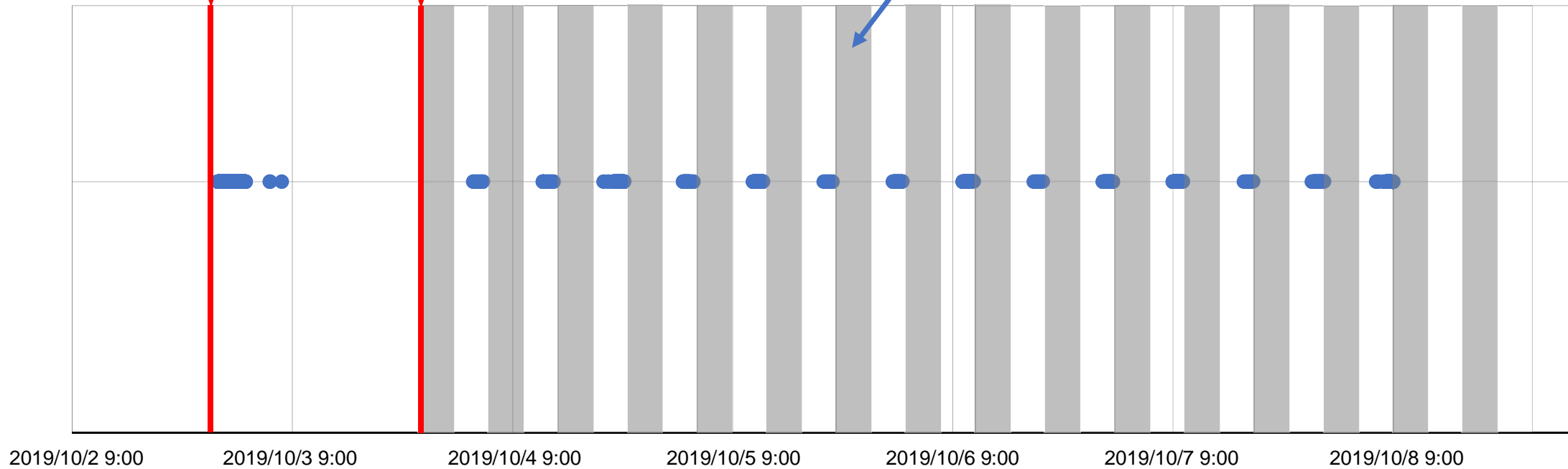
TOHOKU  
UNIVERSITY

分離時刻：  
2019/10/3 0:57

着地推定時刻：  
2019/10/3 23:10 頃

日陰(夜)を灰色で表示

日本時間 (JST), 探査機時刻で表示



着地推定時刻以降、リュウグウ表面上の日照・日陰パターン(周期7.6時間)と通信 ON-OFFのパターンが一致。確実にリュウグウ上に着地していると考えられる。

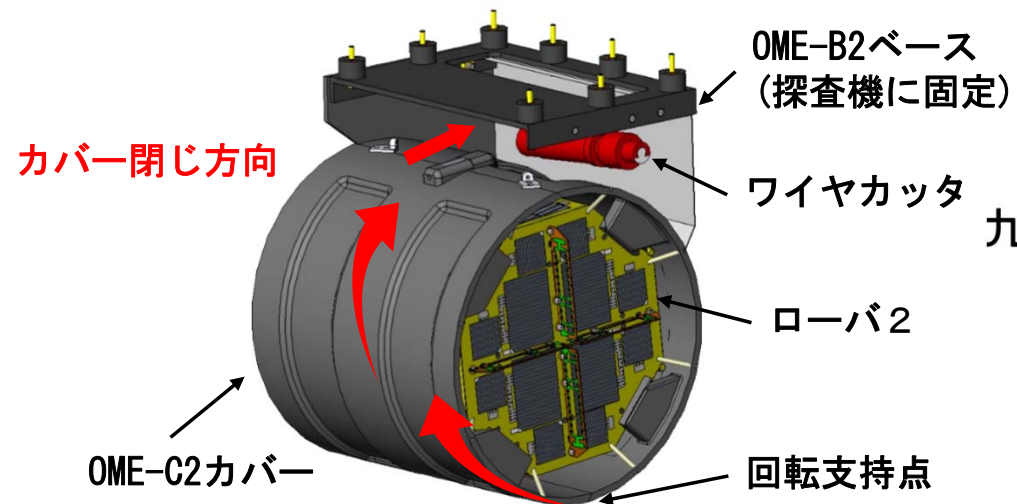
# ローバ2 分離方向

## ローバ2 分離方向の結果

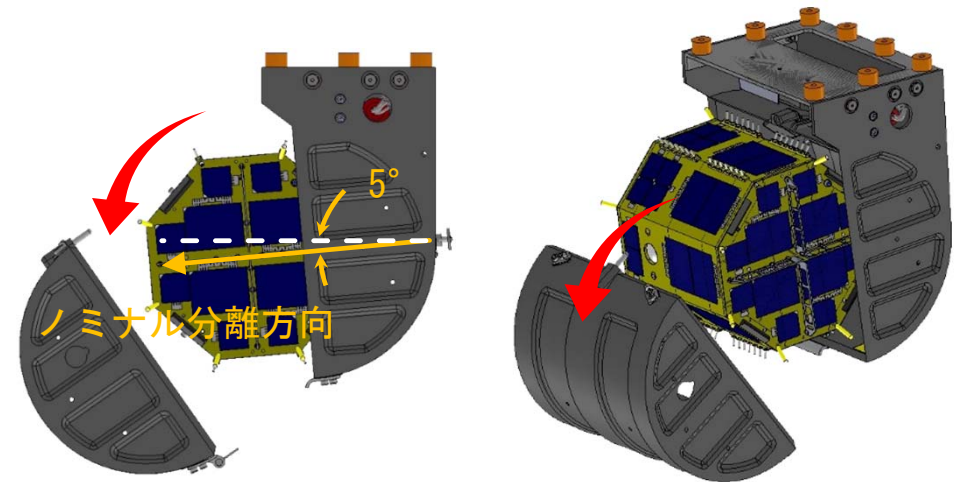
- ローバ2 分離方向のノミナル設計値は水平から下斜め5度以下の方向
- 画像解析に基づくローバ2 の実際の分離方向は水平から下斜め約30度の方向

## 分離方向誤差の要因と将来への知見

- 打ち上げ時の誤開放を防ぐために、FMではOME-C2カバーの閉塞を管理するネジトルクの締結値を大きくした。
- 締結トルクが大きくなったことにより、結果として下向きに押し出す力が大きくなった。
- 将来への知見として、今回のように放出方向や速度に精度を要求する場合には、締結トルクなどの変動を受けない分離機構を工夫することが必要。



ローバ2 収納状態 (断面図)



ローバ2 分離状態



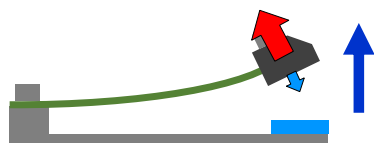


# 環境駆動型移動機構(山形大学)

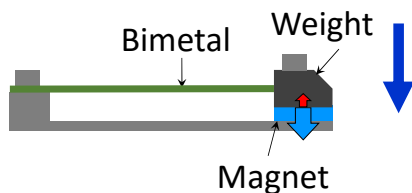
## 跳躍(ホッピング)の動作原理

### 磁石ラッチ型

日照: 温度上昇  
約 40 °C で動作

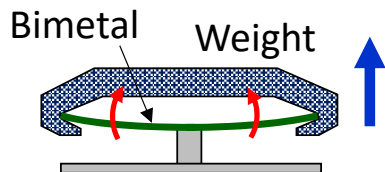


日陰: 温度低下  
(約 0°C で元に戻る)

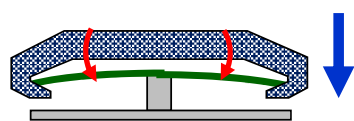


### 座屈型

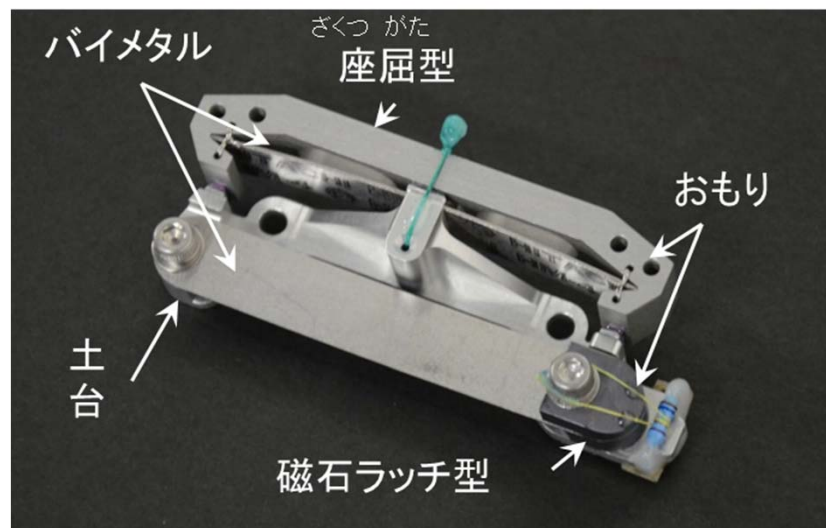
日照: 温度上昇  
約 90 °C で動作



日陰: 温度低下  
(約 40°C で元に戻る)

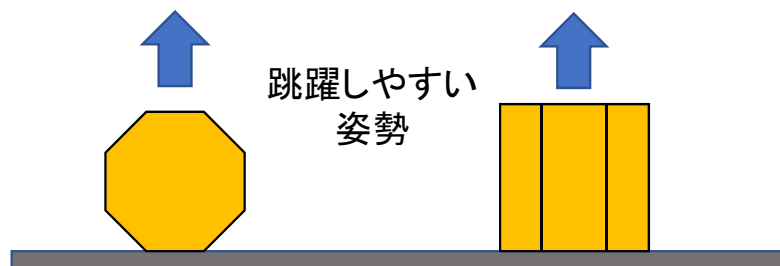


バッテリーなどのエネルギーを使わず  
周囲の温度変化だけで動く  
長期間繰り返し動作が可能



(画像のクレジット  
山形大学)

単体では跳躍しない姿勢があるので  
90度ずらして配置



磁石ラッチ型

座屈型

想定最大跳躍高さ

約 20 cm

約 35 cm

## 分離計画修正案 (9月24日記者説明会)

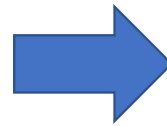
## 分離運用の成果

### 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



- リュウグウから高度約1kmでローバ2を分離し、リュウグウの周回軌道に投入することに成功。(約1.25周回で表面着地)
- 分離後の運動の ONC-W1 & W2 および ONC-T による光学撮像に成功。(ローバ2の運動解析に利用)
- 通信のON-OFF状況により、リュウグウ表面への着地を確認。(分離・着地後通信を確認。測距信号を確認。)
- 得られたデータを詳細に解析することにより、分離機構および軌道運動について、さらに知見を深めることが可能。

## MINERVA-II2(ローバ2)の名前について

### MINERVA(ミネルバ・ラテン語)

音楽・詩・医学・知恵・商業・製織・工芸・魔術を司るローマ神話の女神

Rover 1A:

HIBOU(イブー):みみずく(フランス語)

Highly Intelligent Bouncing Observation Unit

Rover 1B:

OWL(アウル):ふくろう(英語)

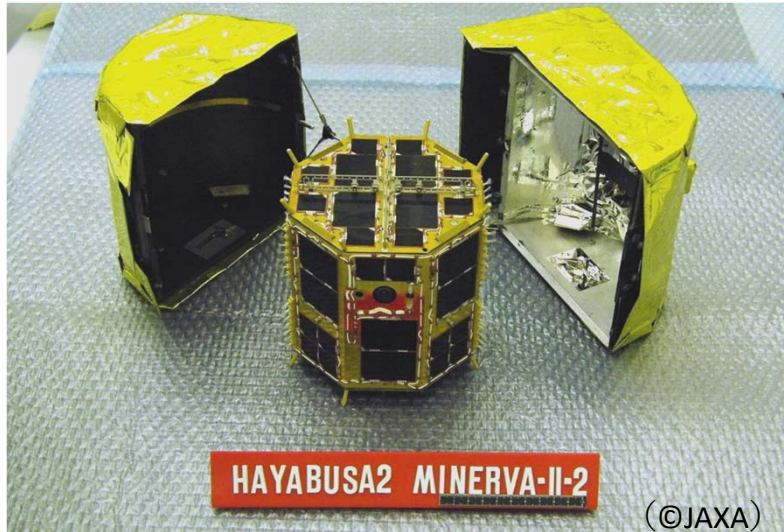
Observation unit with intelligent Wheel Locomotion

Rover 2:

ULULA(ウルラ):ふくろう(ラテン語)

University-made Landing Unit for Locomotion on Asteroid

# 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

- 偏心モータによる織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

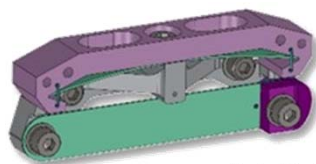
## ROVER2の搭載センサ

- 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)

# 複合型移動アクチュエータ

## 環境駆動型機構

- 非モータ駆動: 温度変化で動作
- バイメタルを利用



27.5 g

山形大学

## 板バネを用いた弾性エネルギー解放型撃力発生機構

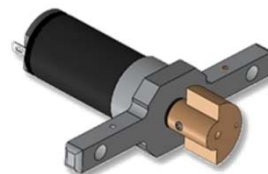
- 非モータ駆動: 蓄えた座屈力の解放で動作



7.0 g

大阪大学

## 偏心モータ型 マイクロホップ機構

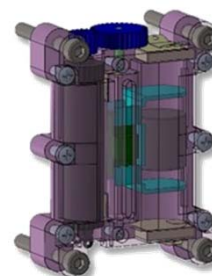


- DCモータ駆動
- 遠心力を利用した微小な連続ホップ移動
- 繊維毛束を構造的に利用

東北大学

24.4 g

## 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CMOSイメージャ
- 広角レンズ (水平 $125.3^\circ$ , 垂直 $97.7^\circ$ )
- 焦点距離: 遠方 (10cm), 近接 (1cm)
- 単体質量: 39g



(画像のクレジット: 東京理科大学)

## (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