



小惑星探査機「はやぶさ2」の 運用状況

2018年11月8日

JAXA はやぶさ2プロジェクト



本日の内容



「はやぶさ2」に関連して、

- ・TD1-R3運用の報告
- ・BOX-C運用の報告
- ・合運用について
- ・その他(DPS、リュウグウ形状模型など)

について紹介する。

また、大学コンソーシアム代表の東北大学からローバ2 (MINERVA-II 2) について説明する。



目次

0. 「はやぶさ2」概要・ミッションの流れ概要
1. プロジェクトの現状と全体スケジュール
2. TD1-R3運用報告
3. BOX-C運用報告
4. 合運用
5. DPSでのプレスコンファレンス
6. リュウグウ形状模型
7. その他
8. 今後の予定

TD1-R3 : タッチダウン1リハーサル3(3回目のリハーサルに相当)

BOX-C運用: ホームポジション(高度約20km)からホバリングによって降下させる運用

DPS: Division for Planetary Sciences of the American Astronomical Society(米国天文学会の惑星科学部門: 惑星関係では世界で最も大きな会合の1つ)



「はやぶさ2」概要

目的

「はやぶさ」が探査したS型小惑星イトカワよりも始原的なタイプであるC型小惑星リュウグウの探査及びサンプルリターンを行い、原始太陽系における鉱物・水・有機物の相互作用を解明することで、地球・海・生命の起源と進化に迫るとともに、「はやぶさ」で実証した深宇宙往復探査技術を維持・発展させて、本分野で世界を牽引する。

期待される成果と効果

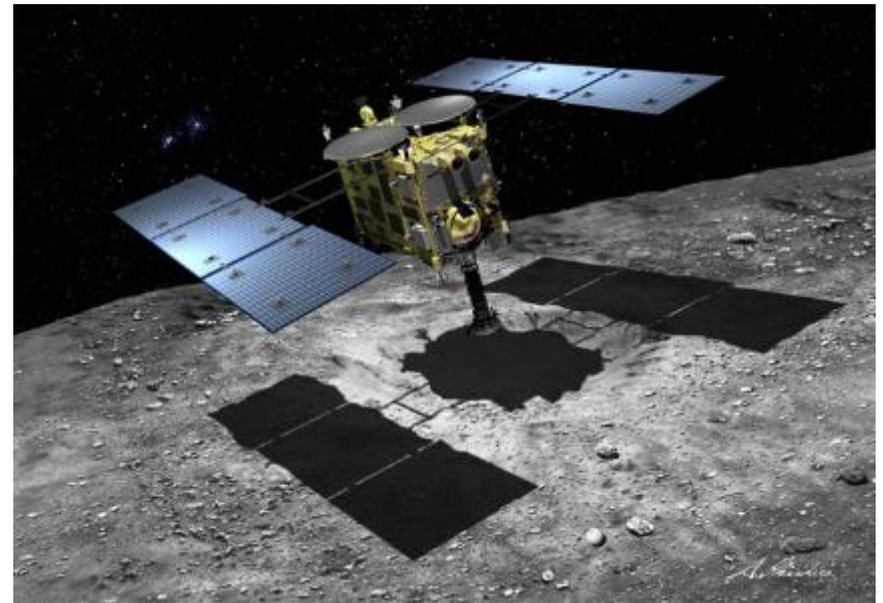
- ・水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。
- ・衝突装置によって生成されるクレーター付近からのサンプル採取という新たな挑戦も行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。
- ・太陽系天体往復探査の安定した技術を確立する。

特色:

- ・世界初のC型微小地球接近小惑星のサンプルリターンである。
- ・小惑星にランデブーしながら衝突装置を衝突させて、その前後を観測するという世界初の試みを行う。
- ・「はやぶさ」の探査成果と合わせることで、太陽系内の物質分布や起源と進化過程について、より深く知ることができる。

国際的位置づけ:

- ・日本が先頭に立った始原天体探査の分野で、C型小惑星という新たな地点へ到達させる。
- ・「はやぶさ」探査機によって得た独自性と優位性を発揮し、日本の惑星科学及び太陽系探査技術の進展を図るとともに、始原天体探査のフロンティアを拓く。
- ・NASAにおいても、小惑星サンプルリターンミッションOSIRIS-REx（打上げ:平成28年、小惑星到着:平成30年、地球帰還:平成35年）が実施されており、サンプルの交換が取り決められていることに加えて科学者の相互交流が行われており、両者の成果を比較・検証することによる科学的成果も期待されている。



(イラスト 池下章裕氏)

「はやぶさ2」主要緒元

質量	約 609kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)6月27日
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在期間	約18ヶ月
探査対象天体	地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

主要搭載機器

サンプリング機構、地球帰還カプセル、光学カメラ、レーザー測距計、科学観測機器(近赤外、中間赤外)、衝突装置、小型ローバ



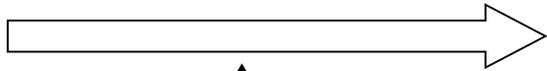
ミッションの流れ概要



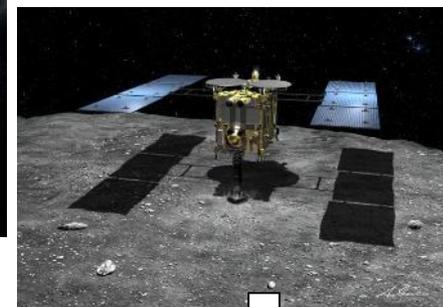
打上げ
2014年12月3日



小惑星到着
2018年6月27日



▲
地球スイングバイ
2015年12月3日

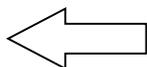


リモートセンシング観測によって、小惑星を調べる。その後、小型ローバや小型着陸機を切り離す。さらに表面からサンプルを取得する。

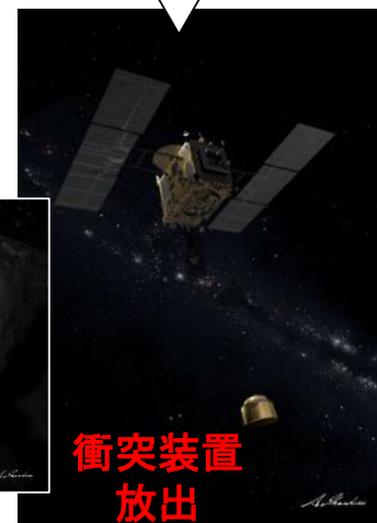
地球帰還
2020年末ごろ



小惑星出発
2019年11-12月



人工クレーター
の生成



衝突装置
放出

サンプル分析

安全を確認後、クレーターにタッチダウンを行い、地下物質を採取する。

衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレーターを作る。

(イラスト 池下章裕氏)



1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

現状:

- 10月23日から25日にかけてタッチダウンのための3回目のリハーサルであるTD1-R3を行った。10月25日に高度約13mでターゲットマーカを分離、「はやぶさ2」自体は高度約12mまで降下し、ターゲットマーカを追跡する機能確認を行った。
- 10月27日から11月5日にかけてBOX-C運用を行い、11月1日には高度約2.2kmまで降下した。ターゲットマーカの撮影を試み、成功した。

全体スケジュール:





2. TD1-R3運用報告

目的

以下のことを行うことで、低高度での航法誘導制御の精度を確認する。

- LRF(レーザ・レンジ・ファインダ)による計測値を探査機の制御にフィードバックする。
- 条件が満たされれば、ターゲットマーカを切り離す。
- 切り離したターゲットマーカを追跡する。

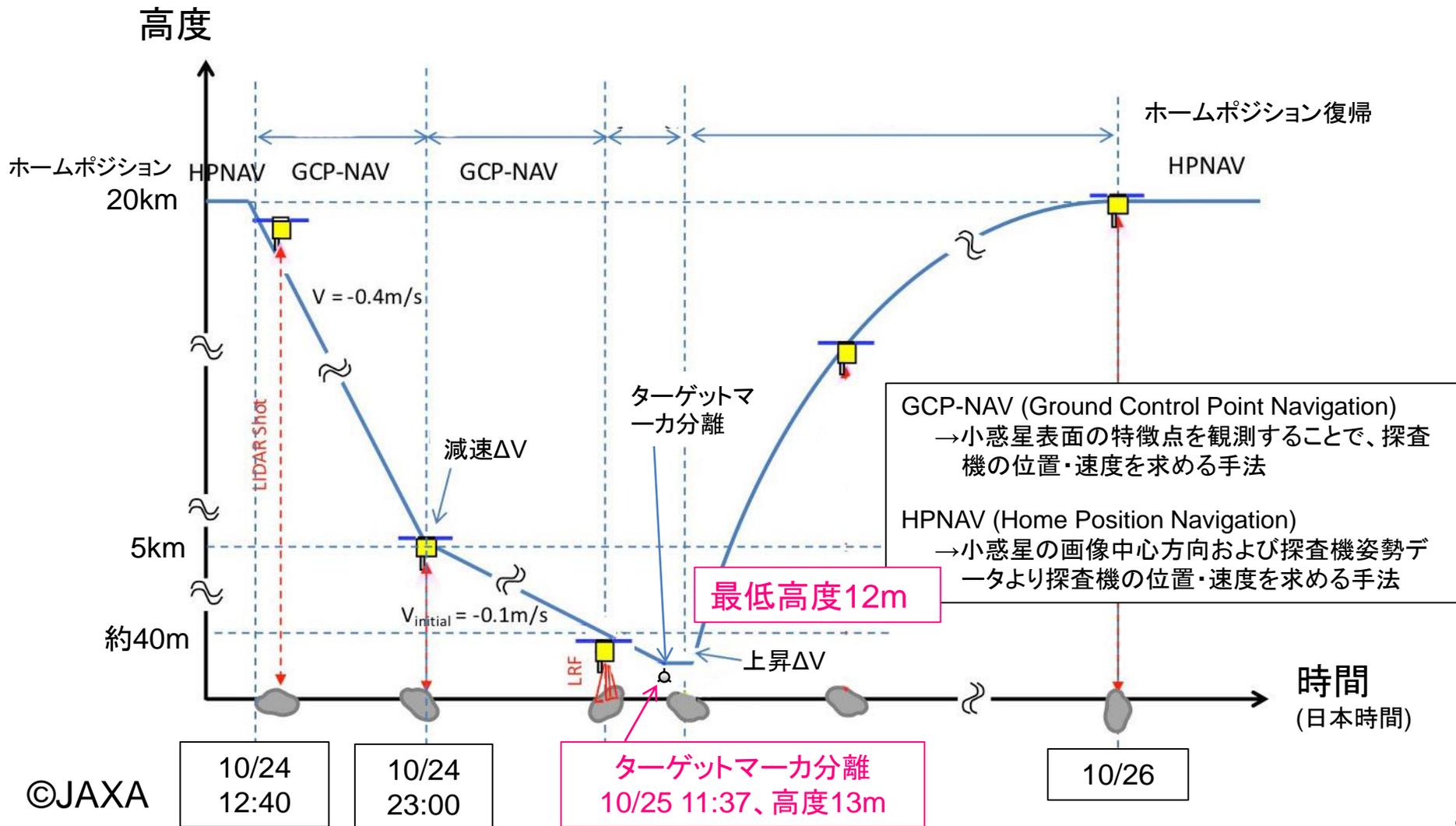
結果

- 高度12mまで降下：航法誘導の精度：15.4 m
(L08-Bの中心からターゲットマーカまでの距離)
- LRF(レーザ・レンジ・ファインダ)による6自由度制御に成功
- ターゲットマーカ分離および追跡に成功



2. TD1-R3運用報告

TD1-R3の実際の進捗

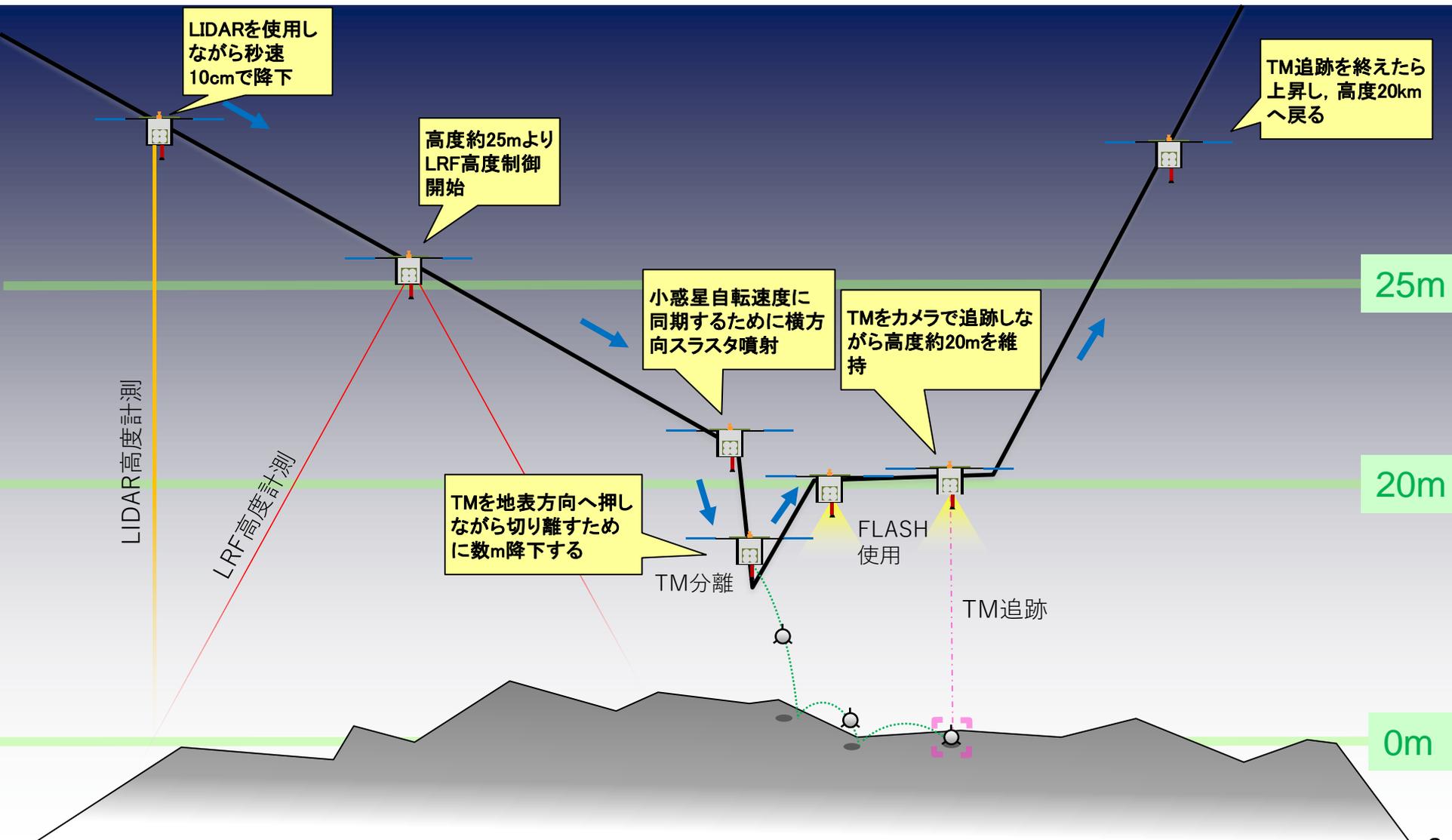




2. TD1-R3運用報告



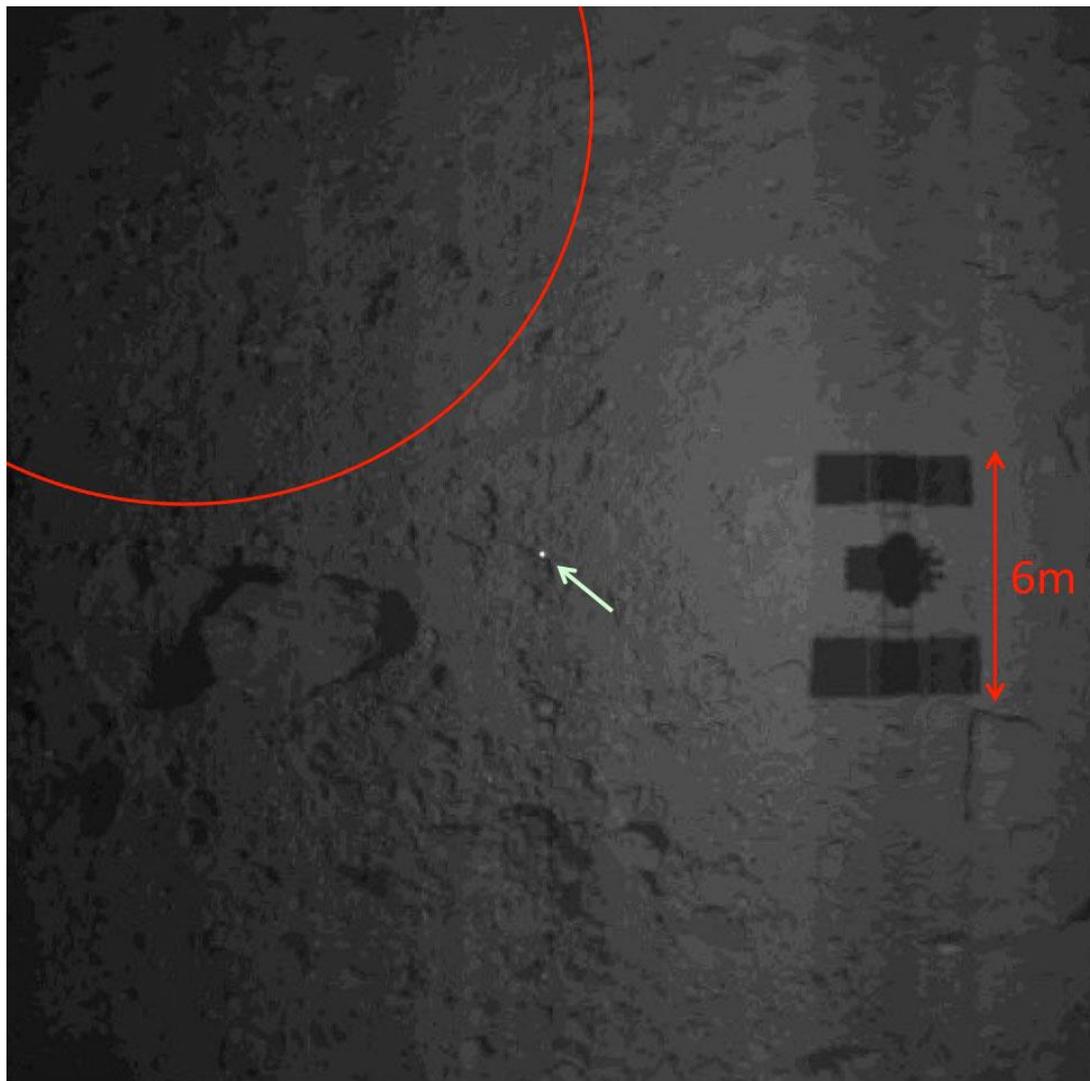
TD1-R3 低高度シーケンス





2. TD1-R3運用報告

リュウグウ表面に静止したターゲットマーカ



TD1-R3実施時に広角の光学航法カメラ(ONC-W1)で撮影されたリュウグウ表面の画像。

この画像は、ターゲットマーカがリュウグウ表面に着地後に撮影された。矢印の先の白い点がターゲットマーカであり、赤い丸はタッチダウン候補地点である L08-Bの領域(直径約20m)を示す。

撮影日時10月25日11:47(JST)

撮影高度:約20m

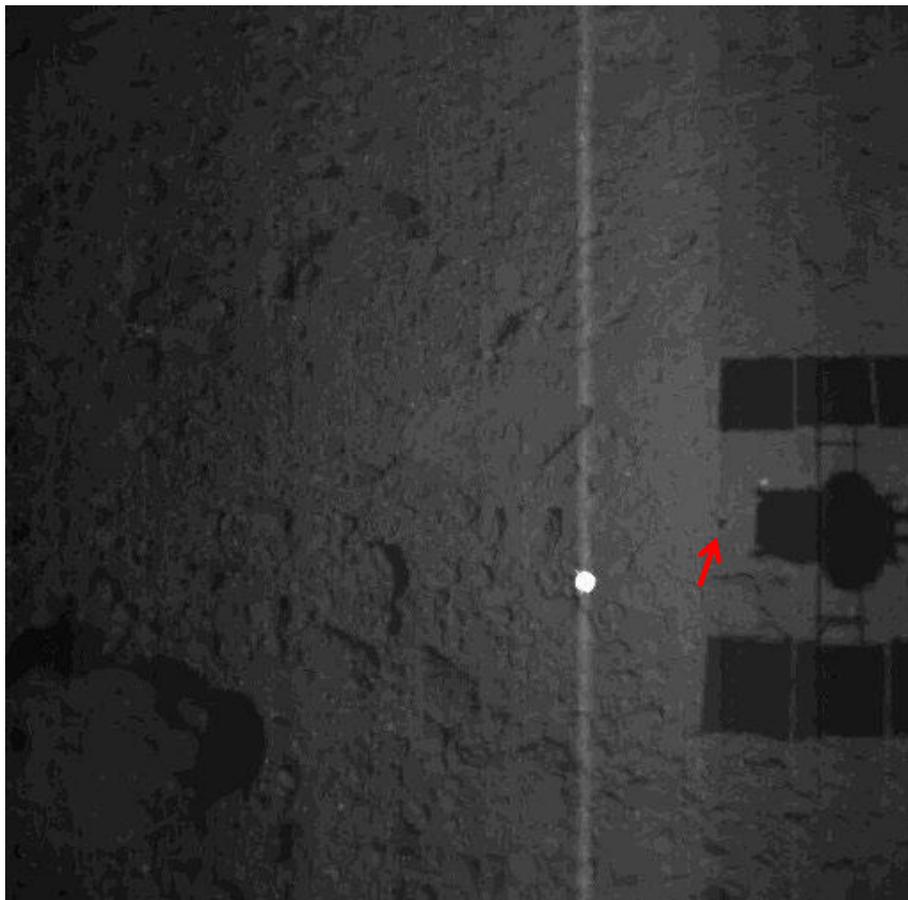
(画像クレジット:JAXA)



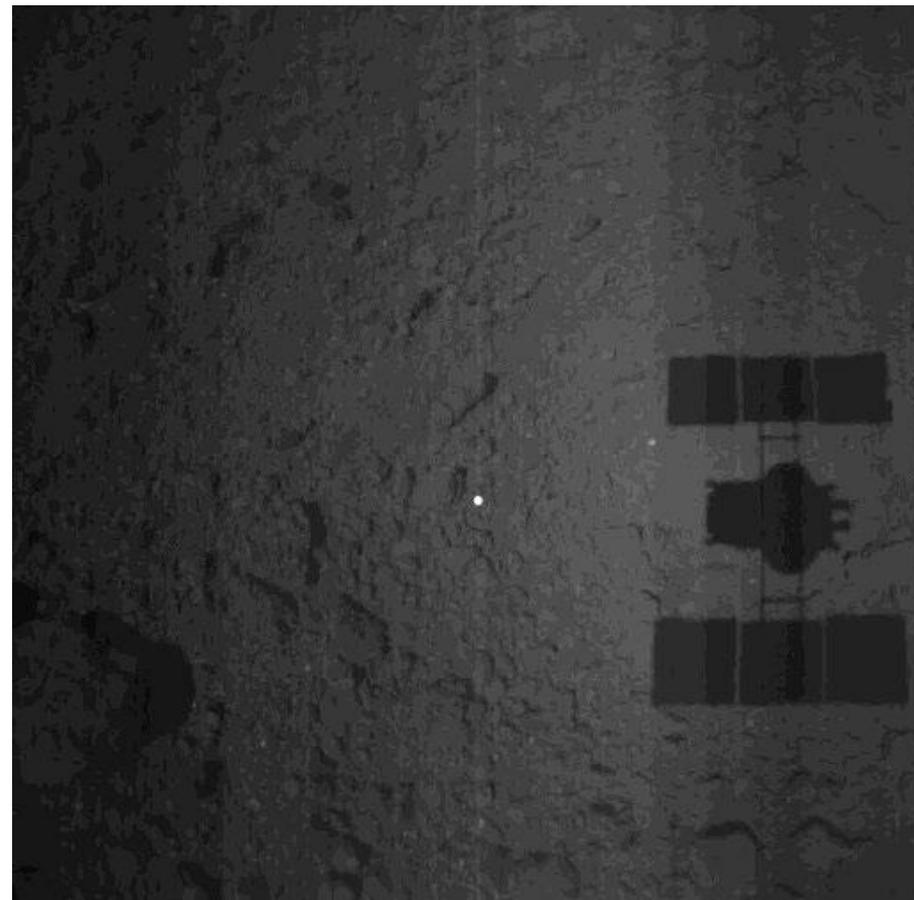
2. TD1-R3運用報告

降下中のターゲットマーカの画像(ONC-W1で撮影)

初公開



撮影日時10月25日11:38(JST)
撮影高度:約12m
(矢印の先の黒い点はターゲットマーカの影)



撮影日時10月25日11:39(JST)
撮影高度:約12m
(画像クレジット:JAXA)

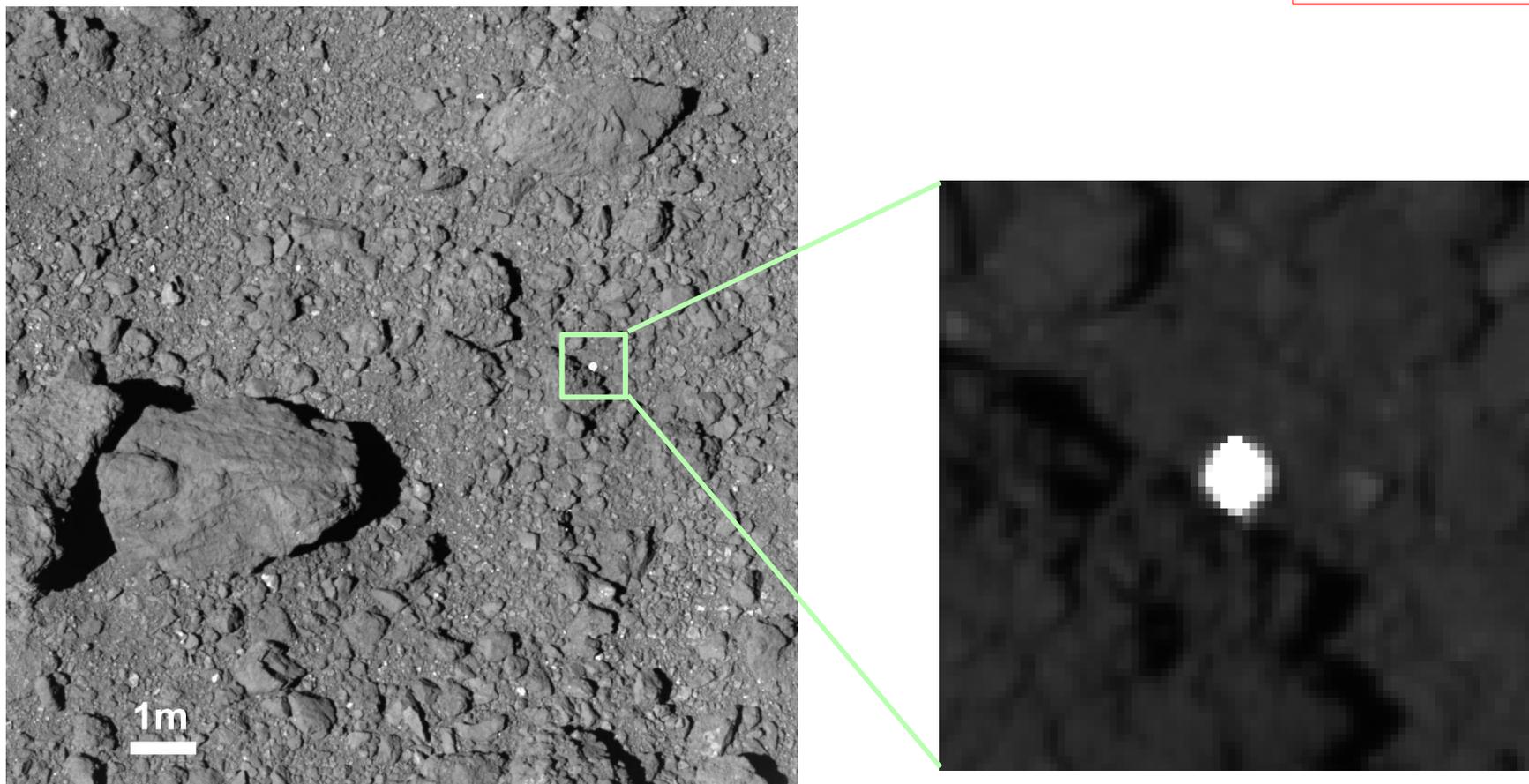


2. TD1-R3運用報告



ターゲットマーカ周辺をONC-Tで撮影

初公開



望遠の光学航法カメラ(ONC-T)で撮影したターゲットマーカの周辺。2018年10月25日、11:50頃(日本時間)に高度100m付近から撮影。

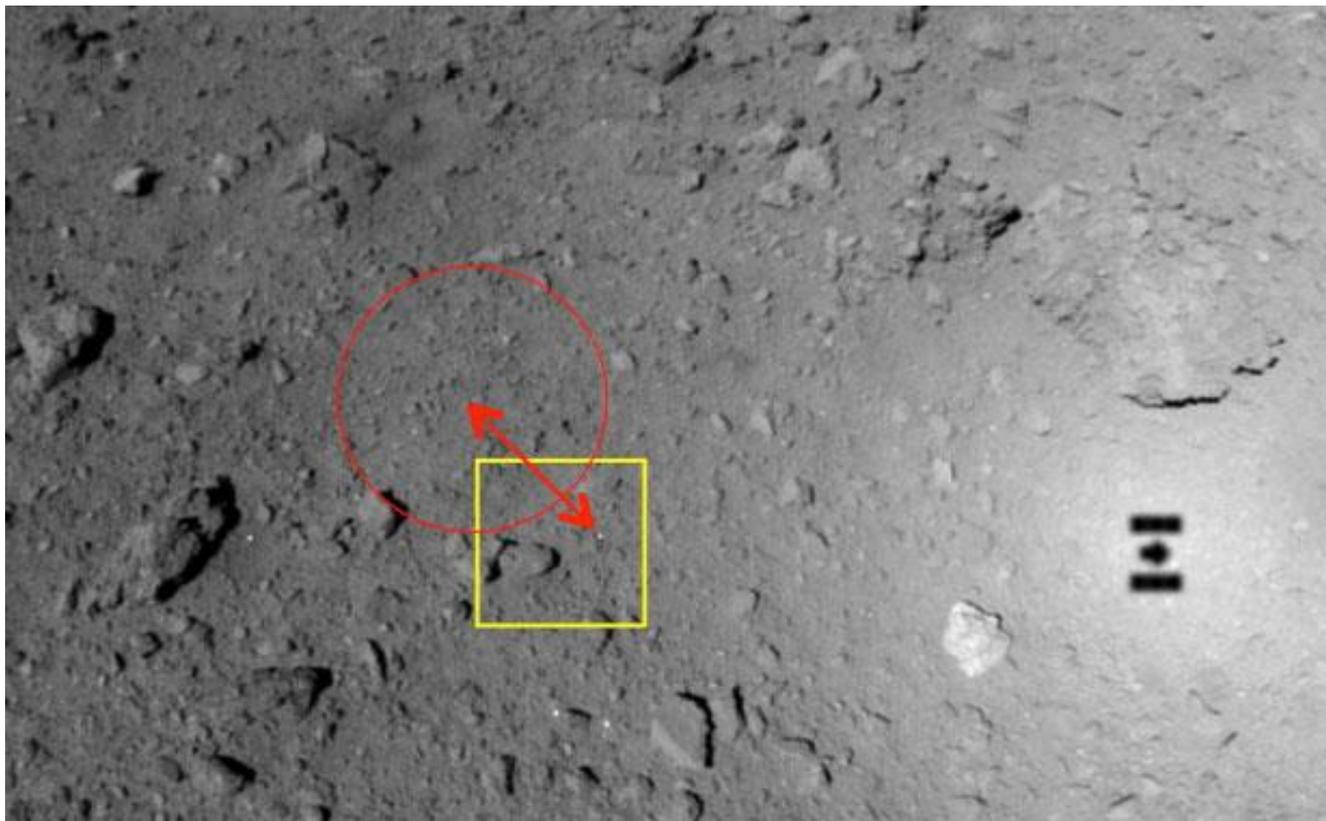
(画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研)



2. TD1-R3運用報告

ターゲットマーカ周辺をONC-W1で撮影

初公開



広角の光学航法カメラ(ONC-W1)で撮影したターゲットマーカの周辺。2018年10月25日、11:50頃(日本時間)に高度100m付近から撮影。黄色の四角は前ページの望遠の光学航法カメラ(ONC-T)の撮影範囲で、赤い丸がL08-Bの領域である。L08-Bの中心からターゲットマーカまでの距離(矢印の長さ)が15.4mである。

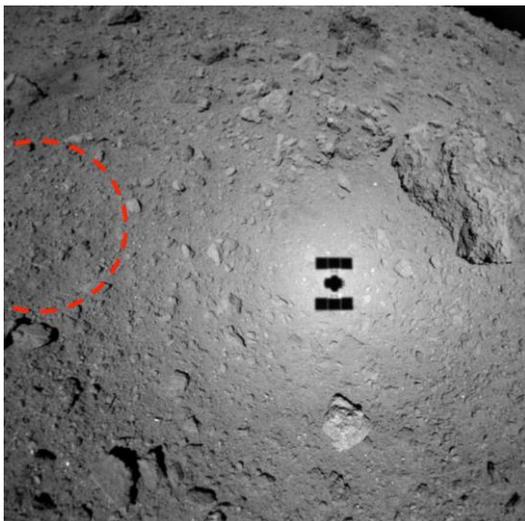
(画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研)



2. TD1-R3運用報告

参考：L08-B周辺のようす（TD1-R1-Aで撮影）

（動画）



↑ 高度約47mにおいて広角の光学航法カメラ（ONC-W1）で撮影。撮影時刻は、2018年10月15日、22:45（日本時間）。

→ 広角の光学航法カメラ（ONC-W1）によって撮影されたリュウグウの連続画像。撮影時刻は、2018年10月15日、22:08～22:53（日本時間）。最初の探査機の高度は約240m、最低高度は22:45のときで約47m、最後の高度が約370mである。



01/41 UTC 2018-10-15 13:08:42

(c) JAXA, U. of Tokyo, Kochi U., Rikkyo U., Nagoya U., ChibaTech, Meiji U., U. of Aizu, AIST

（画像クレジット：JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研）



2. TD1-R3運用報告

星の王子さまに会いに行きませんかミリオンキャンペーン2

キャンペーンについて

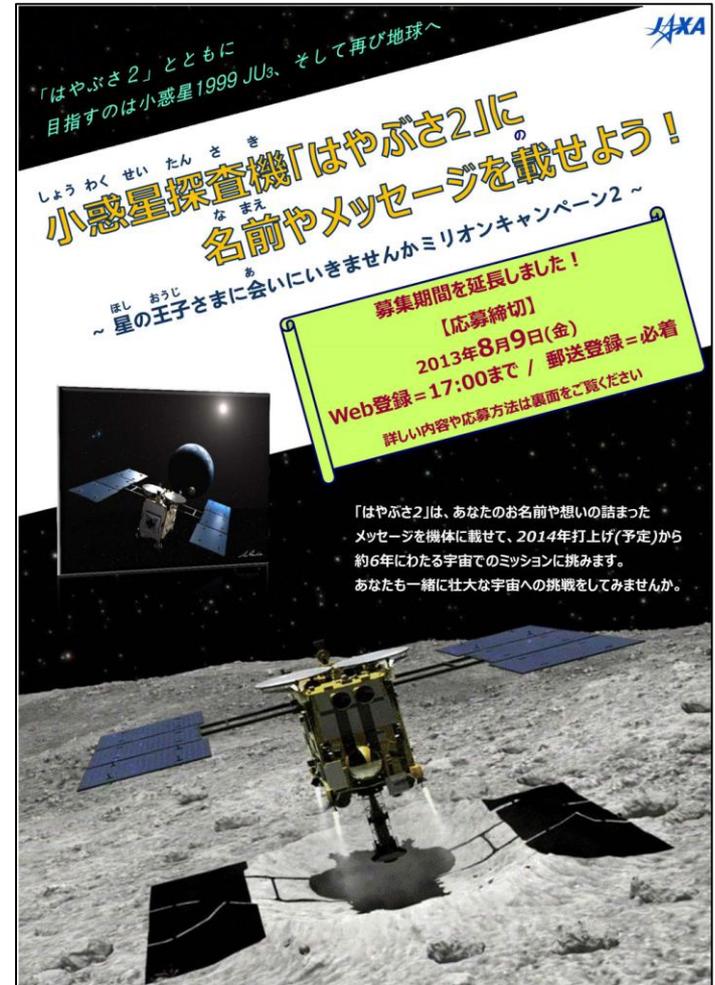
期間: 2013年4月10日-2013年8月9日

内容:

1. ターゲットマーカに名前を記載したシートを入れた。
2. リエントリカプセルに、名前、メッセージ、イラスト、写真のファイルをセーブしたメモリチップを入れた。

	登録数	地域別内訳	
		日本	海外
ターゲットマーカ	183,174	123,661	59,513
リエントリカプセル	226,800	170,279	56,521
合計	409,974	293,940	116,034

約18万名のお名前をリュウグウに届けることができました。



(画像クレジット: JAXA)

2. TD1-R3運用報告

ターゲットマーカに搭載した名前シートの搭載過程

①



皆様ご応募いただいたお名前を印字したフィルム。同じ形状のものが2枚あり、皆様のお名前は2枚に分けて配置されています。

②



ボール状の形状をしたターゲットマーカの芯の部分をフィルムでくるんでいきます。

③



2枚のフィルムでくるんだ後、野球のボールの縫い目と同じような位置をテープで貼り合わせていきます。

④



ターゲットマーカの外側のシート、フラッシュを反射する素材で出来ています。

⑤



ターゲットマーカをシートの中に入れ、隙間が空かないように糸で縫い合わせていきます。

⑥

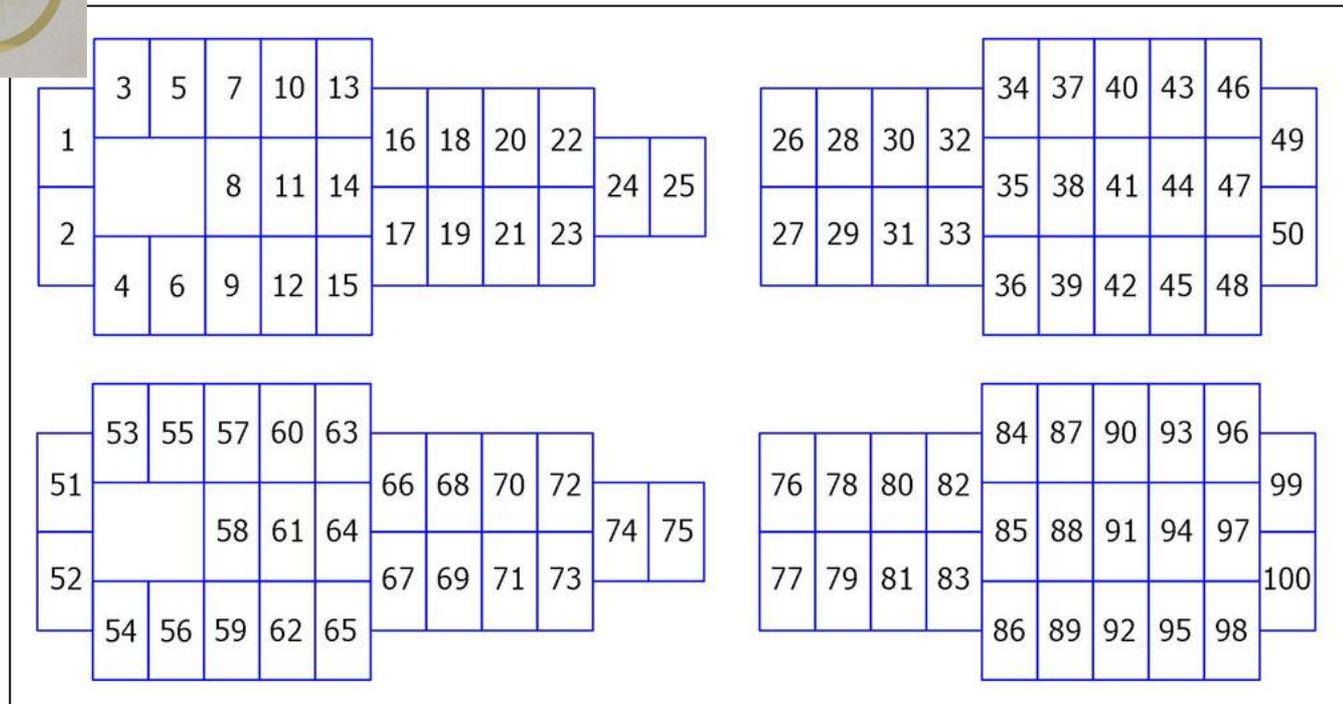
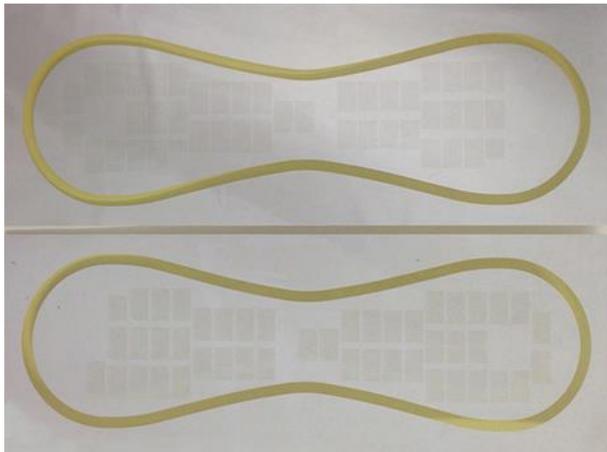


完成品。全部で5個のターゲットマーカーが「はやぶさ2」に搭載されていて、すべてのターゲットマーカーに同じように皆様のお名前が印字されています。



2. TD1-R3運用報告

ターゲットマーカに搭載した名前シート



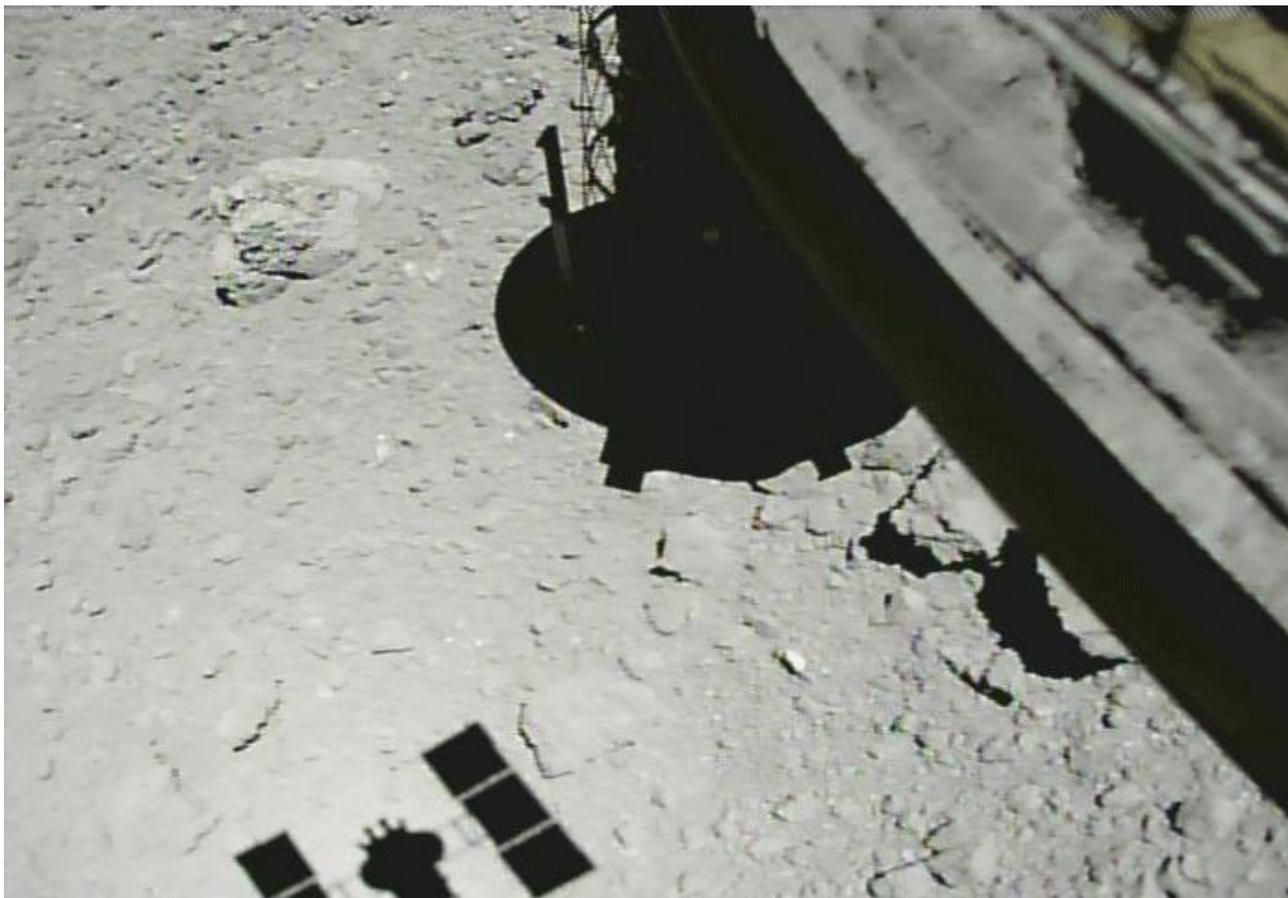
(画像クレジット: JAXA)



2. TD1-R3運用報告

小型モニタカメラが撮影した画像

(動画)



TD1-R3)において、小型モニタカメラ(CAM-H)で撮影された画像。2018年10月25日、11:47(日本時間)に上昇を開始した直後(高度約21m)から5秒毎に撮影。上昇速度は約52cm/s。(画像クレジット:JAXA)

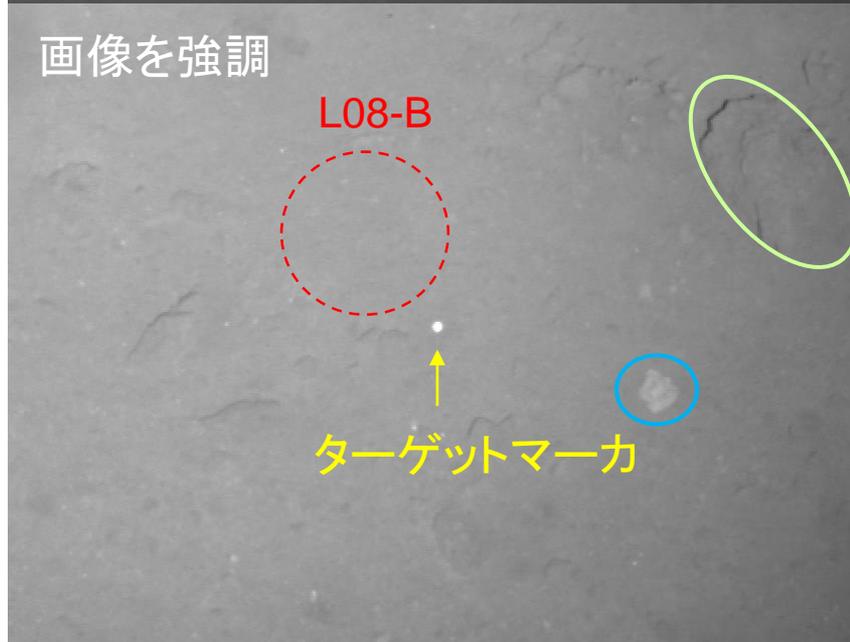
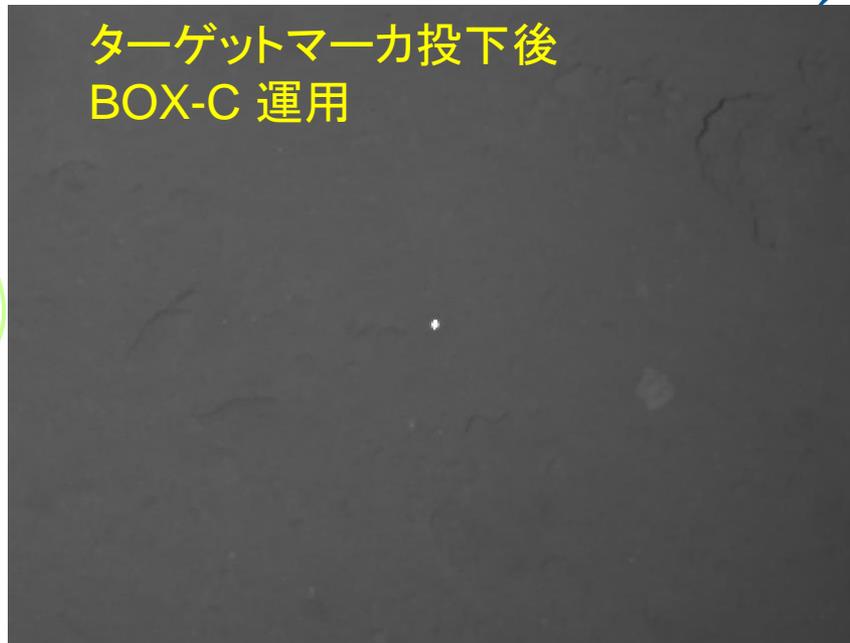
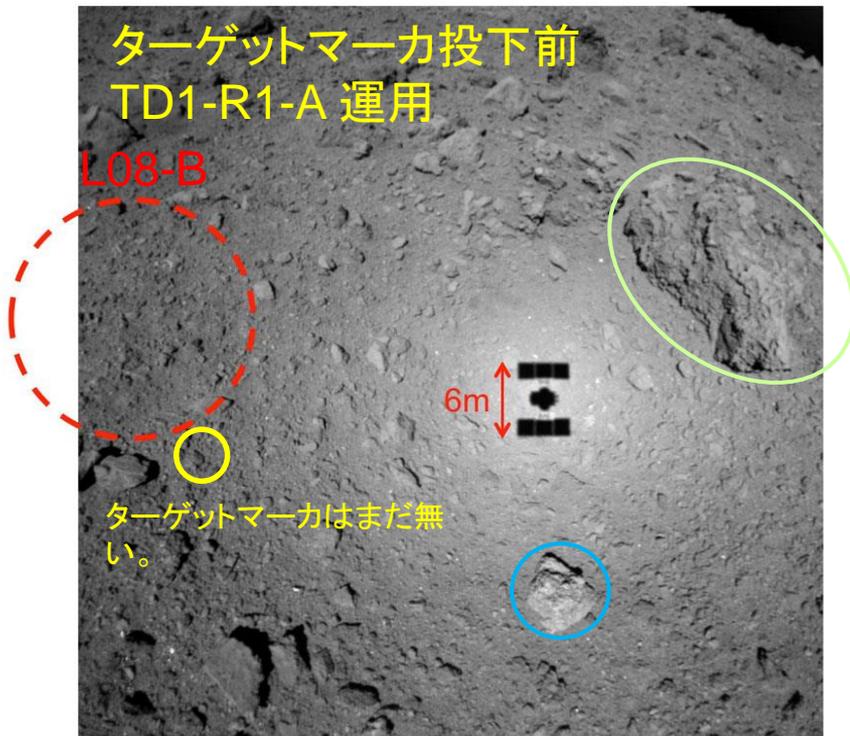


3. BOX-C運用

- 10月27日から11月5日にかけて、ホームポジション(高度約20km)からホバリング高度を下げる運用を行った。これは2回目のBOX-C運用となる。
- 10月30日には、BOX-C1と呼んでいる高度5.1kmまで降下し、レーザ高度計や光学航法カメラでの観測を行った。
- 11月1日には、BOX-C2と呼んでいる高度約2.2kmまで降下し、ターゲットマーカの撮影を試みて、撮影に成功した。



3. BOX-C運用



[左] 広角の光学航法カメラ(ONC-W1)による撮影
2018/10/15 22:45 (JST)
高度: 47 m

[右] 望遠の光学航法カメラ(ONC-T)による撮影
2018/11/01 11:17 (JST)
高度: 2.4 km

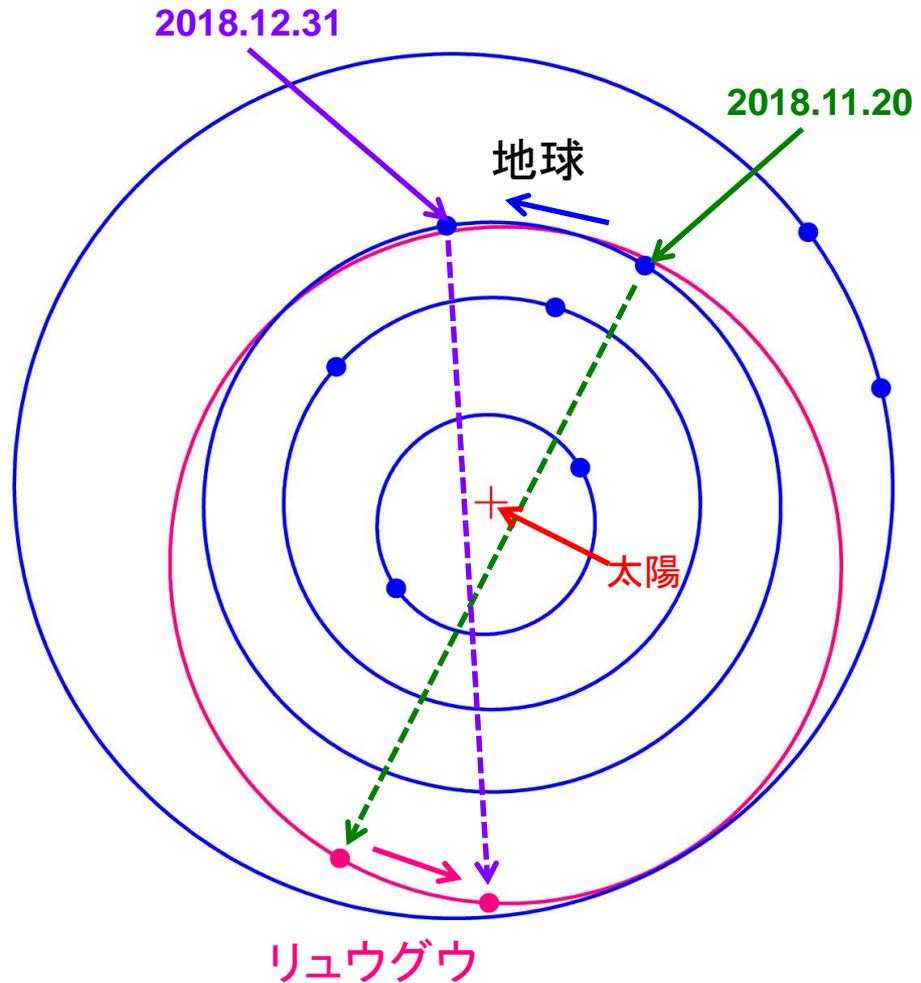
(画像クレジット: JAXA, 東京大, 高知大, 立教大, 名古屋大, 千葉工大, 明治大, 会津大, 産総研)



4. 合運用

合運用とは...

- 深宇宙探査機の運用における「合」とは、地球から見たときに探査機が太陽とほぼ重なる方向にある場合のことを指す。(天文学の「合」と同意)
- 合となると、太陽が放射する電波によって探査機との通信が確保できなくなる。
- 合の期間はクリティカルな運用は行わない。
- 「はやぶさ2」では合の期間は2018年11月下旬から12月末まで。



地球とリュウグウの位置関係



4. 合運用



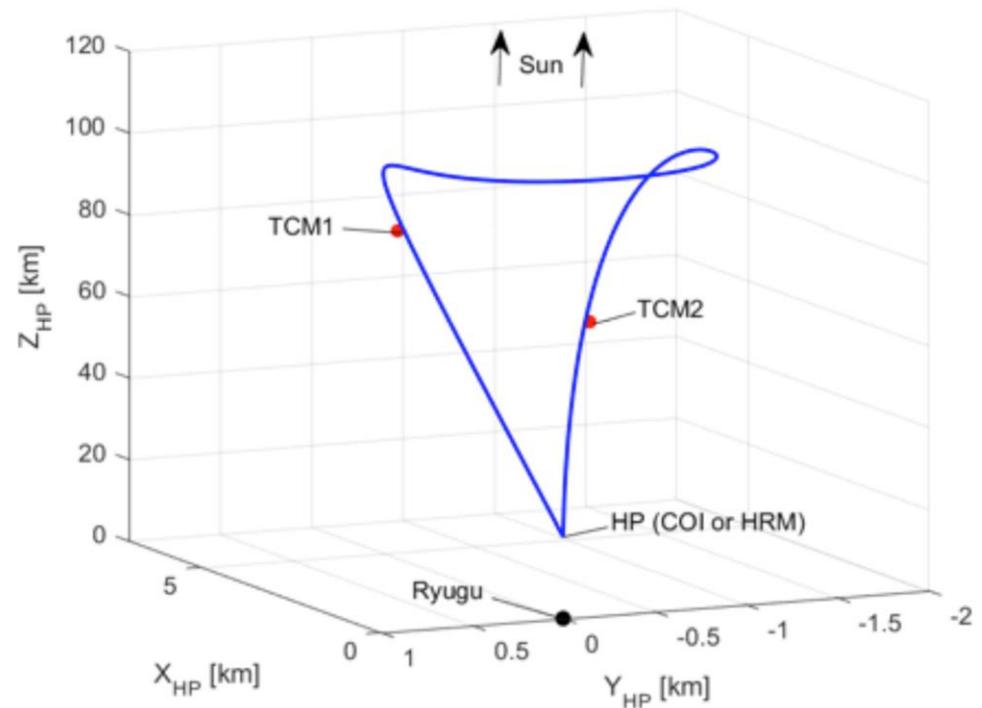
合運用における軌道と軌道制御

軌道制御

名称	日付
COI	2018/11/23
TCM1	2018/11/30
TCM2	2018/12/25
HPR	2018/12/29

COI : Conjunction Orbit Insertion
(合運用軌道投入)
TCM : Trajectory Correction Maneuver
(軌道補正)
HPR : Home Position Recovery
(ホームポジション復帰)

軌道が複雑な形をしているのは、太陽潮汐力、小惑星重力、太陽光圧が影響した結果である。



ホームポジション座標系における合運用遷移軌道



4. 合運用

合運用の詳細

(1) 準備期間(2018/11/18-2018/11/29)

探査機は、2018年11月23日に、COI地点において、合運用遷移軌道に投入される。SEP角(太陽-地球-探査機がなす角)は6度から3度まで減少するが、通信はまだ可能である。2日間にわたって広角の光学航法カメラ(ONC-W1)で観測を行い、軌道制御(TCM1)を2018年11月30日に行う。合の後は太陽、地球、小惑星の位置関係が鏡像のように反転するのに対応するために180度の姿勢回転制御を合期間に入る前にう。

(2) 合期間(2018/11/30-2018/12/21)

この期間ではSEP角が3度以下となり、探査機との通信が難しくなる。軌道制御は行わないが、探査機との通信は試みられる。太陽の周囲を調べるための貴重な機会となる。

(3) 復帰期間(2018/12/22-2019/01/01)

合期間の後の復帰の期間であるが、2日間の観測の後、2018年12月25日に軌道制御(TCM2)が行われる。2018年12月29日にホームポジション復帰制御(HPR)が行われて、探査機はホームポジションに戻る。



5. DPSでのプレスコンファレンス



DPS = Division for Planetary Sciences of the American Astronomical Society (米国天文学会の惑星科学部門、惑星の分野では世界最大の学会の1つ、期日・場所: 10月21-26日、ノックスビル(Knoxville), USA)

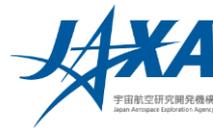
- 「はやぶさ2」のプレスコンファレンス: 10月25日12:15~13:15(日本時間 10月26日、01:15~02:15)
- 情報: <https://aas.org/meetings/dps50/2nd-media-advisory>
- タイトル: Hayabusa2 Explores Asteroid Ryugu
- 登壇者(敬称略): 藤本正樹(JAXA)、藪田ひかる(広島大)、巽瑛理(東大)、Deborah Domingue (Planetary Science Institute)、Lucille Le Corre (Planetary Science Institute)、Ralf Jaumann (German Aerospace Center)

※DPSでの「はやぶさ2」スペシャルセッション

- ・ 10月25日(ポスター発表13件)、10月26日(口頭発表9件)



5. DPSでのプレスコンファレンス



説明の概要(説明順)

- 藤本正樹: Hayabusa2 Project (はやぶさ2プロジェクト)
 - ・プロジェクトの進捗の概要、リュウグウの観測の概要
- Ralf Jaumann: MASCOT: Decent, Landing and on-Asteroid Activity (MASCOT: 分離、着陸そして表面での運用について)
 - ・MASCOTの着陸および取得データについての紹介
- 巽瑛理: Ryugu's surface seen from Hayabusa2's remote-sensing observations (「はやぶさ2」のリモートセンシング機器観測によるリュウグウの表面)
 - ・光学航法カメラで撮影したリュウグウ表面の特徴について
- Deborah Domingue: Ryugu's surface seen from Hayabusa2's remote-sensing observations (「はやぶさ2」のリモートセンシング機器観測によるリュウグウの表面)
 - ・表面が非常に岩が多いこと、月にあるようなレゴリスはないこと
- Lucille Le Corre: Asteroid Ryugu imaged at high resolution (高解像度で見たリュウグウ)
 - ・表面の詳細地形モデルを作成
- 藪田ひかる: Landing site selection to provide key scientific and engineering findings from proximal operations and material sampling (近傍運用と物質採取から検討した理学・工学の重要な発見をもたらすための着地点選定)
 - ・着地点選定のプロセスと結果



5. DPSでのプレスコンファレンス

DPSのプレスコンファレンスの様子



2018年10月25日@ノックスビル

© Shantanu P. Naidu



6. リュウグウ形状模型

- JAXA宇宙探査イノベーションハブが作成した簡易版の形状模型を公開
- 「はやぶさ2」サイエンスチームがリュウグウの精密な形状モデルを作成中
- 論文掲載時に公開予定



6. リュウグウ形状模型



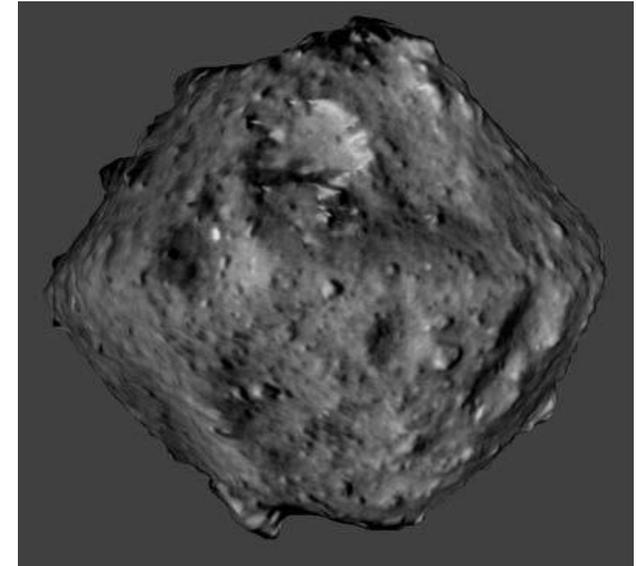
JAXA宇宙探査イノベーションハブによるリュウグウ簡易形状模型のデータ公開

- 宇宙探査イノベーションハブの共同研究(課題名:探査ロボットのための画像による自己位置推定と環境地図作成、2組各2社:株式会社コンセプト、株式会社モルフォ、株式会社アイヴィス、株式会社ビュープラス)では、画像情報のみを用い、リュウグウの三次元形状復元を行った。
- これにより得られたリュウグウの三次元模型を、「簡易形状模型」としてデータファイルを公開する。**(簡易模型であるため、科学や工学目的に使用することはできない)**

【公開URL(宇宙探査イノベーションハブのホームページ)】

http://www.ihub-tansa.jaxa.jp/ryugu_mokei.html

- 簡易形状模型は、「はやぶさ2」ホームページ「これがリュウグウ 3Dで見る全体像」で公開された動画ファイル(望遠の光学航法カメラ(ONC-T)6/23撮影 距離約40km)を用いている。



リュウグウ簡易形状模型

頂点数:157,500

三角パッチ数:52,600

ファイルサイズ:4MB、FBX形式

協力:はやぶさ2プロジェクト

クレジット:JAXA宇宙探査イノベーションハブ/コンセプト/モルフォ/アイヴィス/ビュープラス

※データファイルは、3次元表示ツールで閲覧したり、3Dプリンタによる模型出力が可能です。



7. その他

■リュウグウの地名について

- IAU (国際天文学連合) の Working Group for Planetary System Nomenclature に名称案を提案し、現在、審査の結果待ち

■ OSIRIS-REx による小惑星 Bennu 撮影について

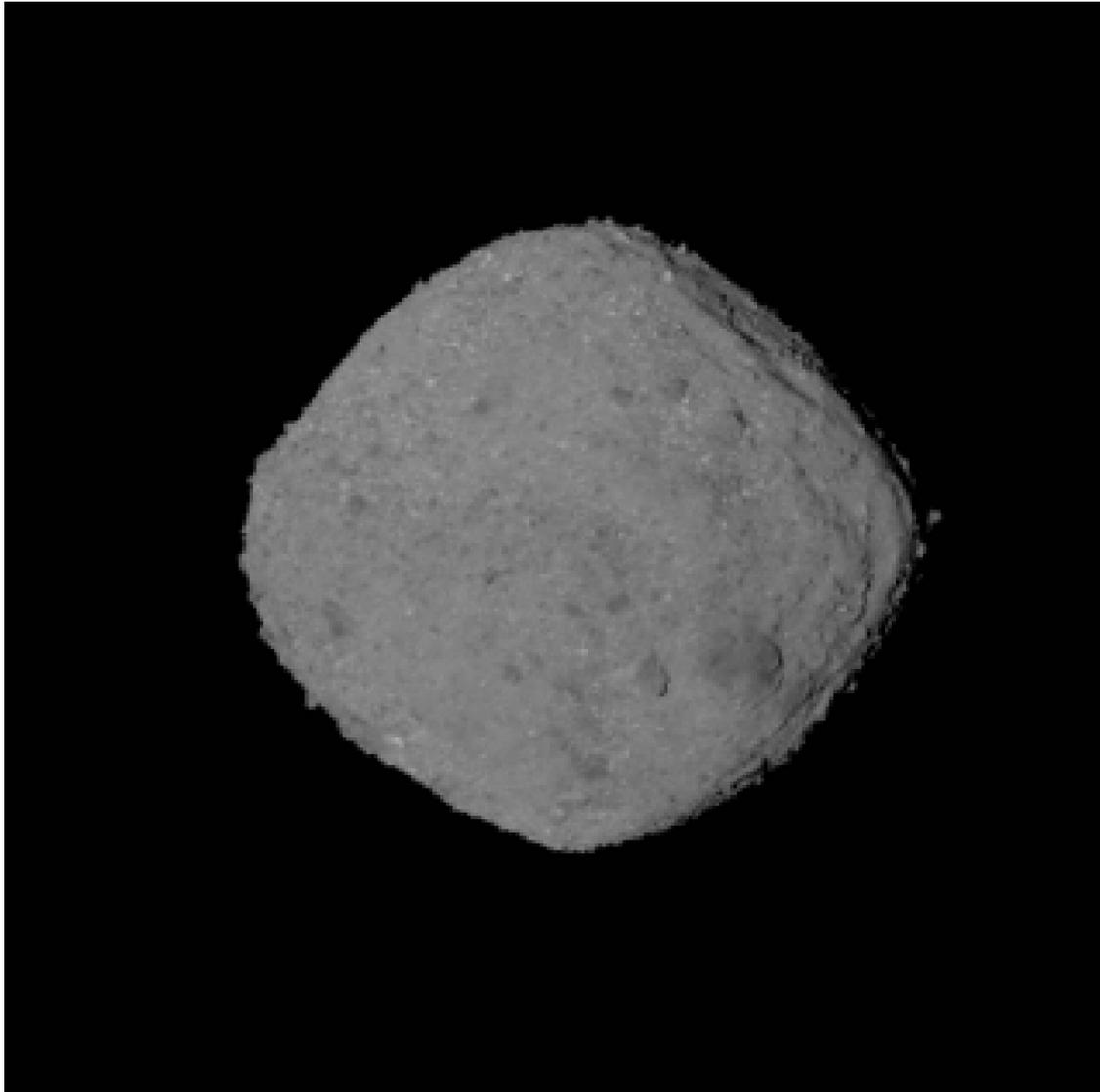
- OSIRIS-REx によって小惑星 Bennu の撮影が成功したが、その形状はリュウグウに似ているものであった。



7. その他

(動画)

参考：小惑星Bennu



Bennu Full Rotation at 200 Pixels

- 4時間11分で自転
- 2018年11月2日
- PolyCam camera
- 10度毎に撮影
- 距離122 miles (197 km)
- Credit: NASA/Goddard/
University of Arizona



8. 今後の予定



■ 運用の予定

- 11月下旬～12月：合運用

■ 記者説明会等

- 12月 6日(木) 13:30～16:00(目安) 記者懇談会@相模原
- 12月13日(木) 11:00～ 記者説明会@お茶の水

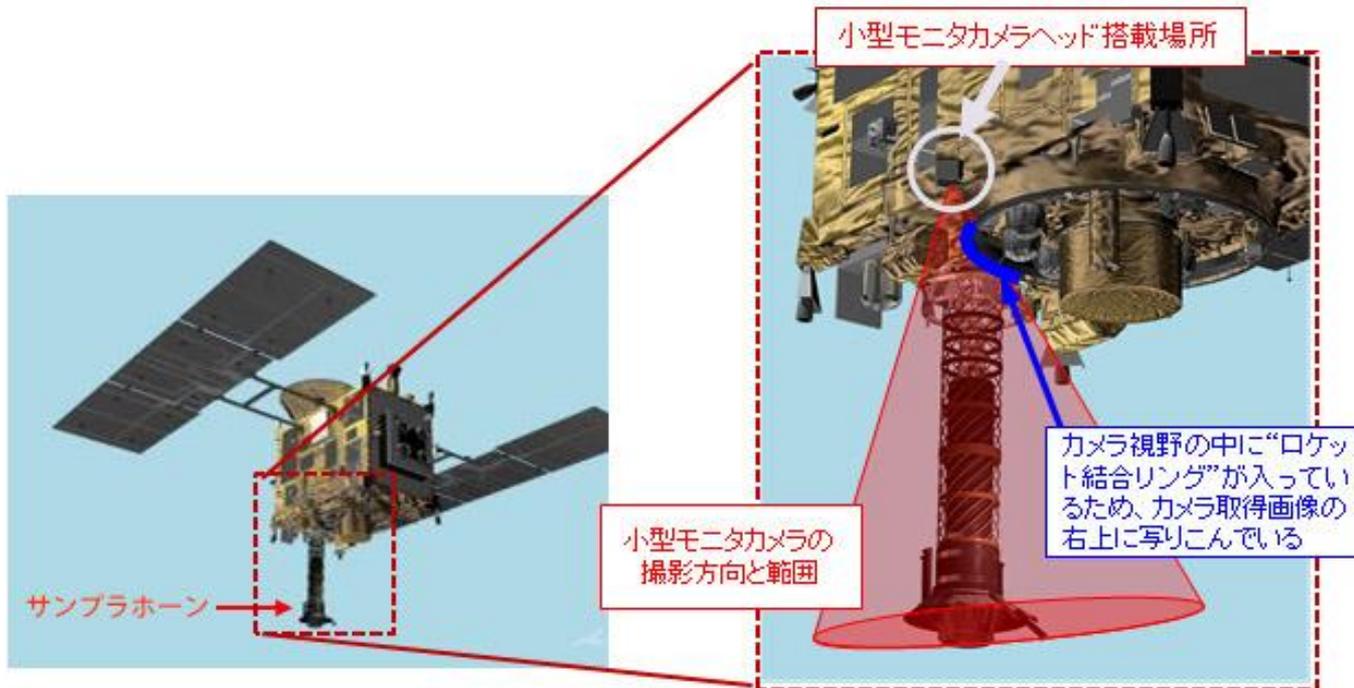


参考資料



小型モニタカメラ (CAM-H)

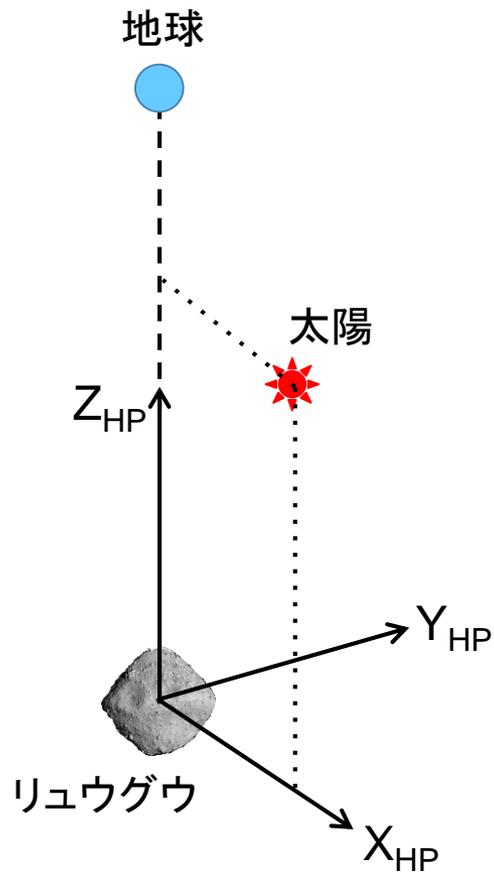
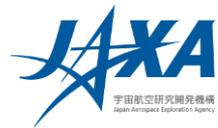
- 寄附金により製作・搭載されたカメラ
- サンプラホーンを撮影



(©JAXA)

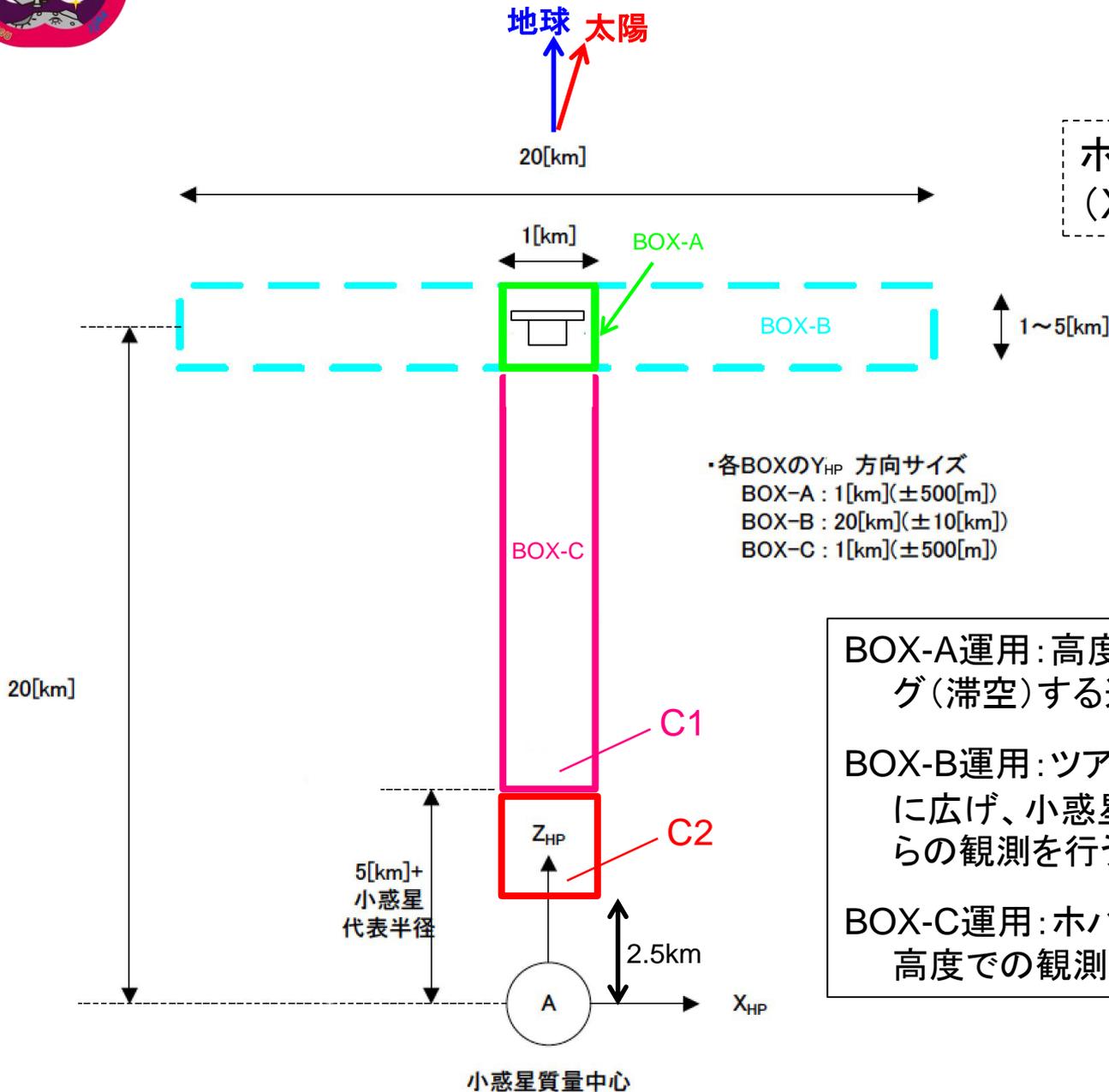


ホームポジション座標系





BOXの定義



ホームポジション座標系
 (X_{HP}, Y_{HP}, Z_{HP})
 (参考資料参照)

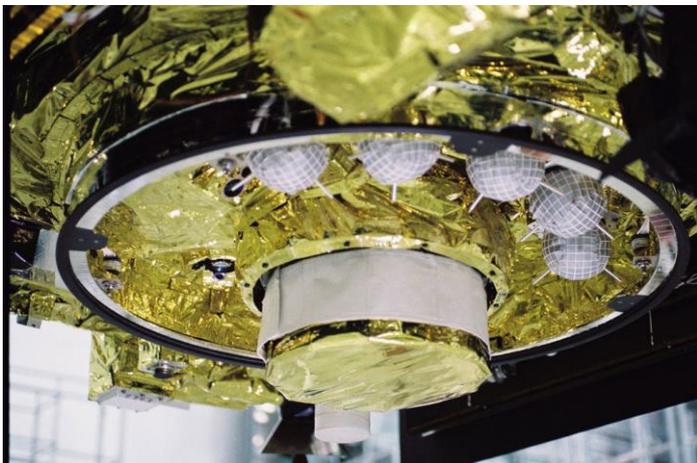
BOX-A運用: 高度20km付近に留まりホバリング(滞空)する運用。定常運用の基本。

BOX-B運用: ツアー観測。ホバリング領域を横に広げ、小惑星正面から少しずれた方向からの観測を行う運用。

BOX-C運用: ホバリング領域を縦に広げ、低高度での観測を可能とする運用。



ターゲットマーカ



- 本体(ボール)の大きさ: 直径約10cm
- 表面には再帰性反射フィルム
- 4本の棒: 転がり防止
- 内部にはポリイミド小球が多数

- 最初に分離するもの: B
- 分離の順序: B→A→E→C→D
- ターゲットマーカの内部には、一般の人からプロジェクトに寄せられた名前が書かれたシートを搭載

