

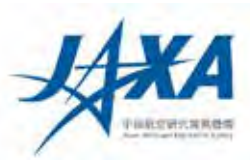
小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2019年7月25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、

- ・第2回タッチダウン運用の結果

について紹介する。



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. 第2回タッチダウン運用について
3. 第2回タッチダウン運用での取得画像
4. 第2回タッチダウン地点の名称
5. 今後の予定

・参考資料



「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始的なタイプである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出来る。

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。



「はやぶさ2」主要精元 (イラスト 池下章裕氏)

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	令和2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



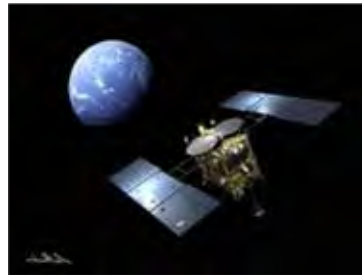
ミッションの流れ概要



打ち上げ
2014年12月3日



地球スイングバイ
2015年12月3日



リュウグウ到着
2018年6月27日



MINERVA-II1分離
2018年9月21日



MASCOT分離
2018年10月3日



リュウグウ出発
2019年11月~12月

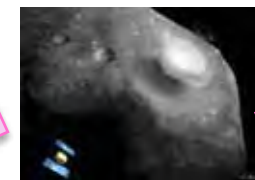


2019年7月11日

終了 →



2回目のタッチダウン



衝突装置
2019年4月5日

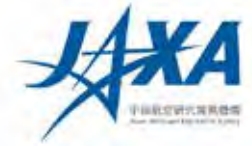
2019年2月22日



1回目のタッチダウン

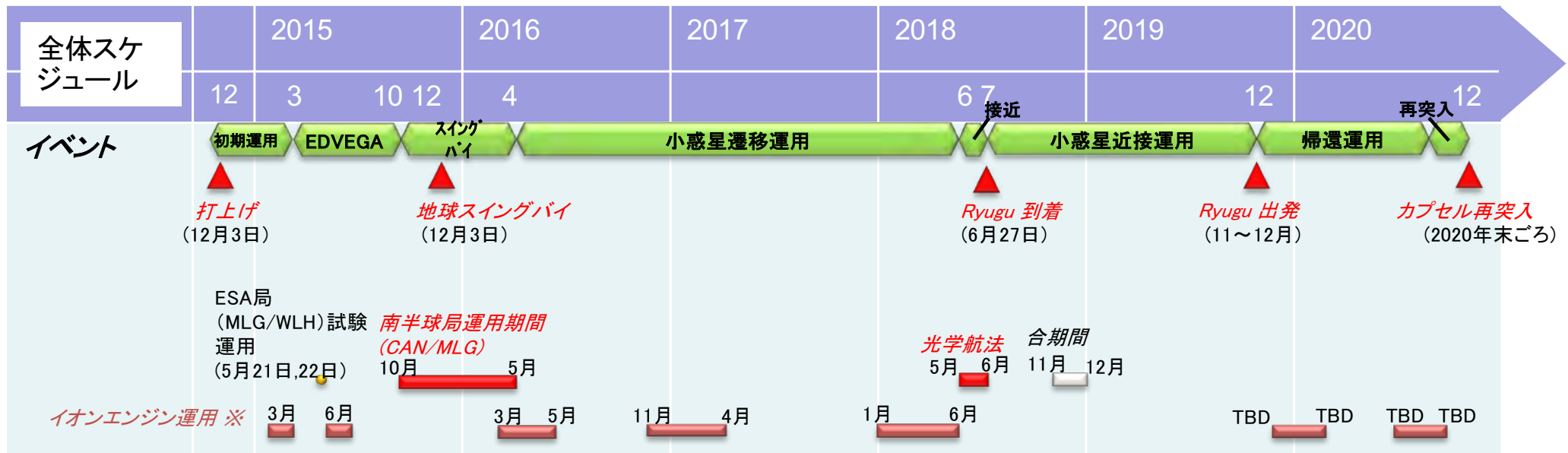
地球帰還
2020年末ごろ

(画像クレジット: 探査機を含むイラストは 池下章裕氏、他はJAXA)



1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

- 現状：
- 2回目のタッチダウン運用を7月9日から11日にかけて実施。
 - タッチダウンは無事に実施され、「はやぶさ2」は7月12日にリュウグウ中心から約20kmにあるホームポジションに戻った。
 - BOX-C運用(7/20~31)を実施中。最低高度は、7/25~27で約5km。
- ※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にする運用(クリティカル運用ではない)





2. 第2回タッチダウン運用について



- 第2回タッチダウン運用: 2019年7月9日～11日
- タッチダウン日時: 2019年7月11日、10:06:18(探査機上、日本時間)
- タッチダウン場所: C01-Cb(ターゲットマーカ投下領域)
- PPTD-TM1Aで投下したTM-Aをターゲットとしたピンポイントタッチダウンを実施
- タッチダウンの検知はサンブラホーンの変形に伴うLRF-S2測距値変動による
- タッチダウンの位置精度は、60cm



2. 第2回タッチダウン運用について



初公開

小型モニタカメラ(CAM-H)による画像。
タッチダウン前後に撮影されたもの。(10倍速の動画)

撮影時刻

2019年7月11日

始め 10:03:54(高度約8.5m)

終わり 10:11:44(高度約150m)

※撮影間隔は0.5秒～5秒



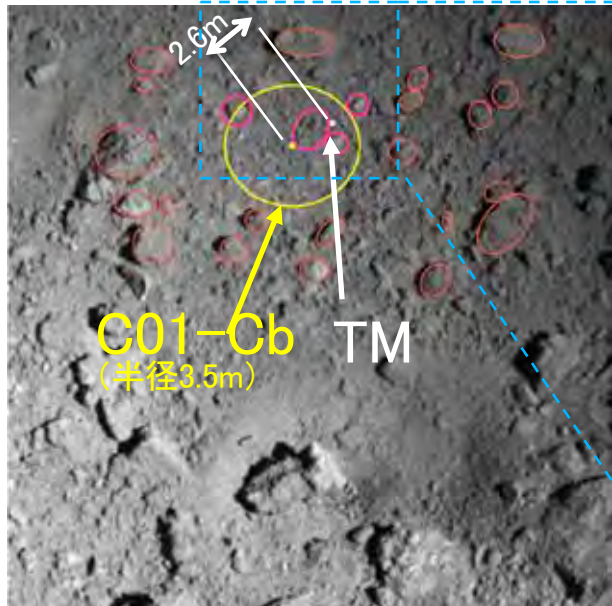
(画像のクレジット: JAXA)



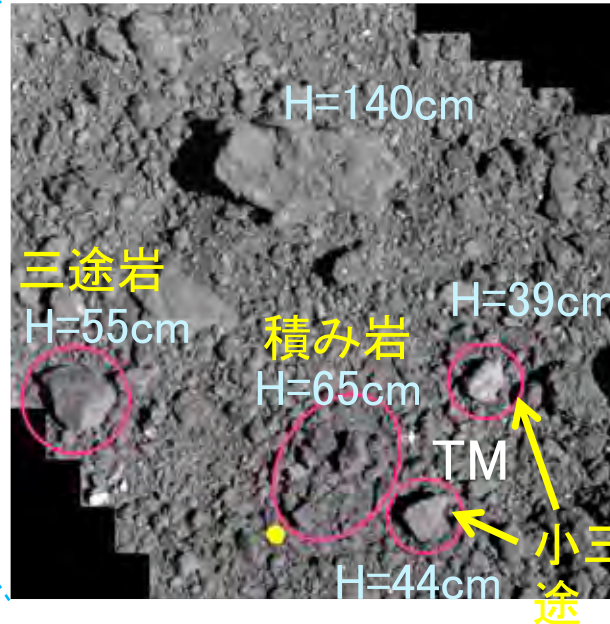
2. 第2回タッチダウン運用について



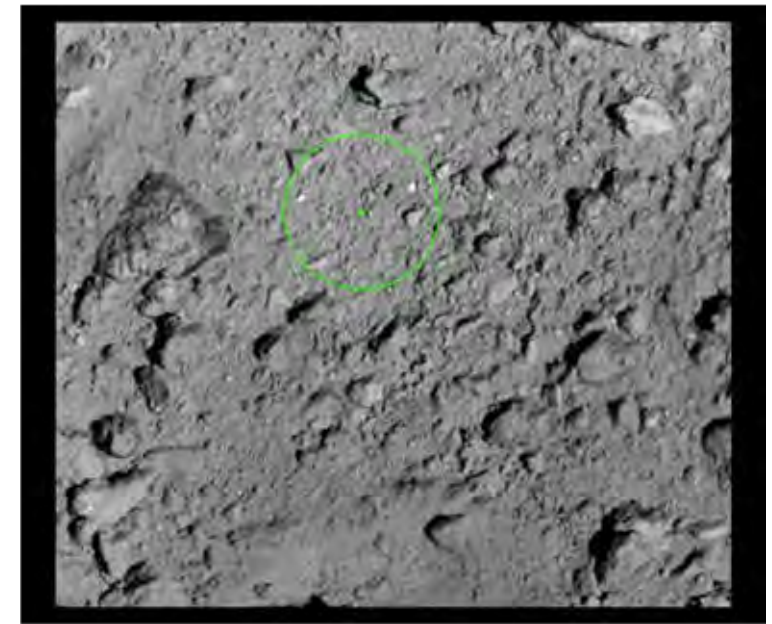
PPTD-TM1画像



PPTD-TM1B画像



(動画)



TM=ターゲットマーカ

(左の画像では、TMはその位置を描き込んだものである。中央の画像ではTMは撮像したものである。)

(画像のクレジット: 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)

Hは推定された高さの最大値

※岩の名称はニックネームであり、正式な名称ではない。

タッチダウン候補地点付近のDEM (Digital Elevation Map)

(画像のクレジット: 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、神戸大、産業医大)



2. 第2回タッチダウン運用について



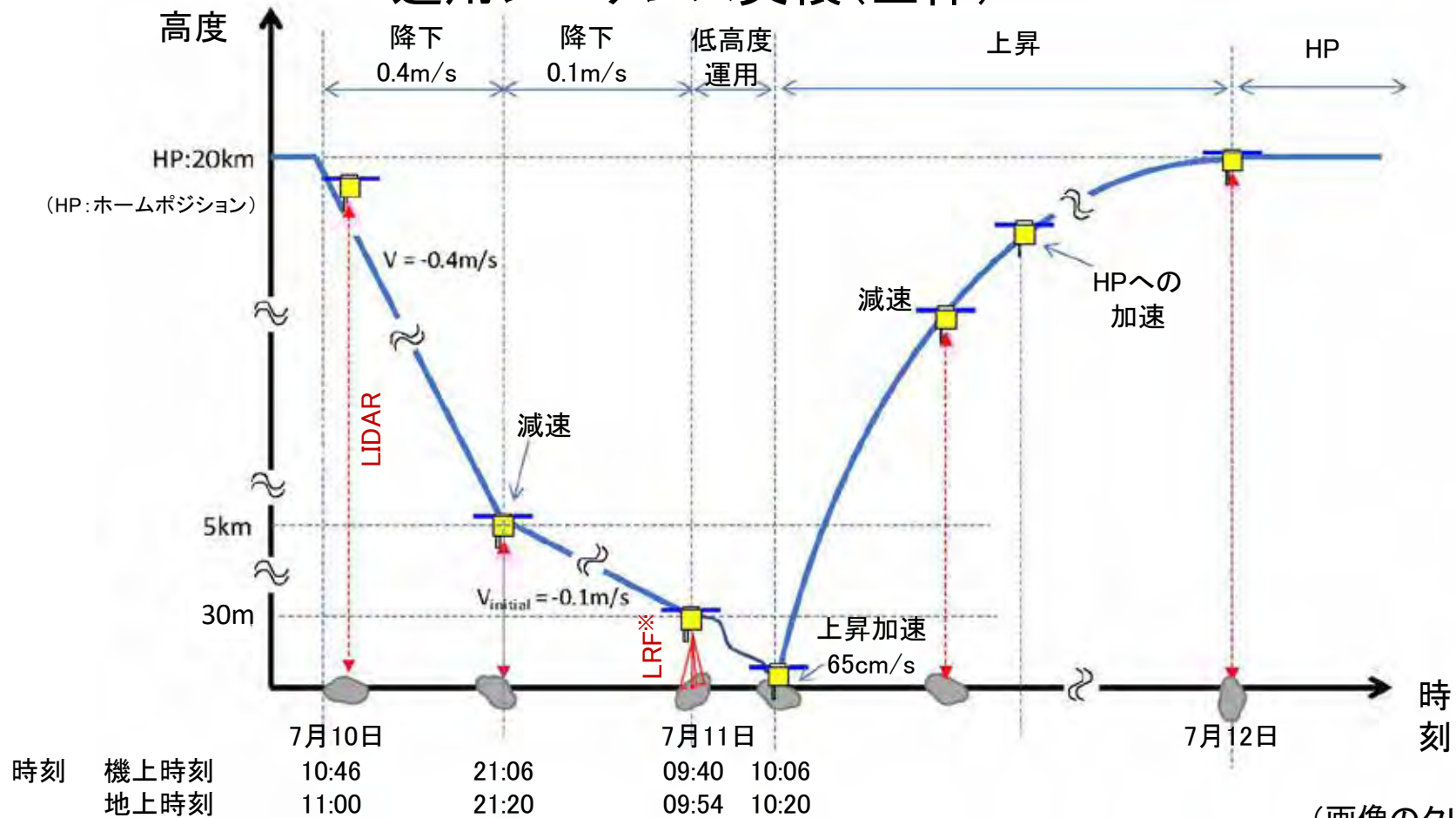
第2回タッチダウンの課題（第1回との違い）

- ① 広角の光学航法カメラONC-W1の光学系が曇ったため、TM捕捉開始高度を低くする(45m → 30m)必要が生じた。
 - TMが狭くなったONC-W1の視野に入るようにGCP-NAV誘導精度への要求が高くなった。
 - GCP-NAVの誘導精度実績で対処
- ② ONC-W1の光学系が曇ったためTMの輝度が低下した。
 - 画像の中のTM以外の輝点をTMと誤判断する確率が高くなった。
 - TM認識時間の閾値を変更することで対処
- ③ LRFの光学系が曇ったため、測距可能距離が低下した。
 - LRF使用開始高度を1回目タッチダウンの時(28m)よりも低く(17m)した。
結果として降下シーケンス全体が低高度側にシフト、探査機の安全対策に工夫を要した。
 - タイムアウトを適用
- ④ LRFの光学系が曇ったため、測距誤差が大きくなった。
 - 測距誤差は予測可能だったので搭載ソフトウェアで測距値の補正を実施した。
 - 結果としてLRF測距精度に問題は生じなかった。

TM: ターゲットマーカ
GCP-NAV (Ground Control Point Navigation) → 小惑星表面の特徴点を観測することで、探査機的位置・速度を求める手法
LRF: レーザレンジファインダ



2. 第2回タッチダウン運用について 運用シーケンス実績(全体)



(画像のクレジット: JAXA)



2. 第2回タッチダウン運用について

運用シーケンス(低高度)



示されている時刻は、2019年7月11日の機上、日本時間の実績値。

※①～⑥は「はやぶさ2」が次のシーケンスに進んでよいかの自律判断実施時刻

(画像のクレジット: JAXA)



2. 第2回タッチダウン運用について



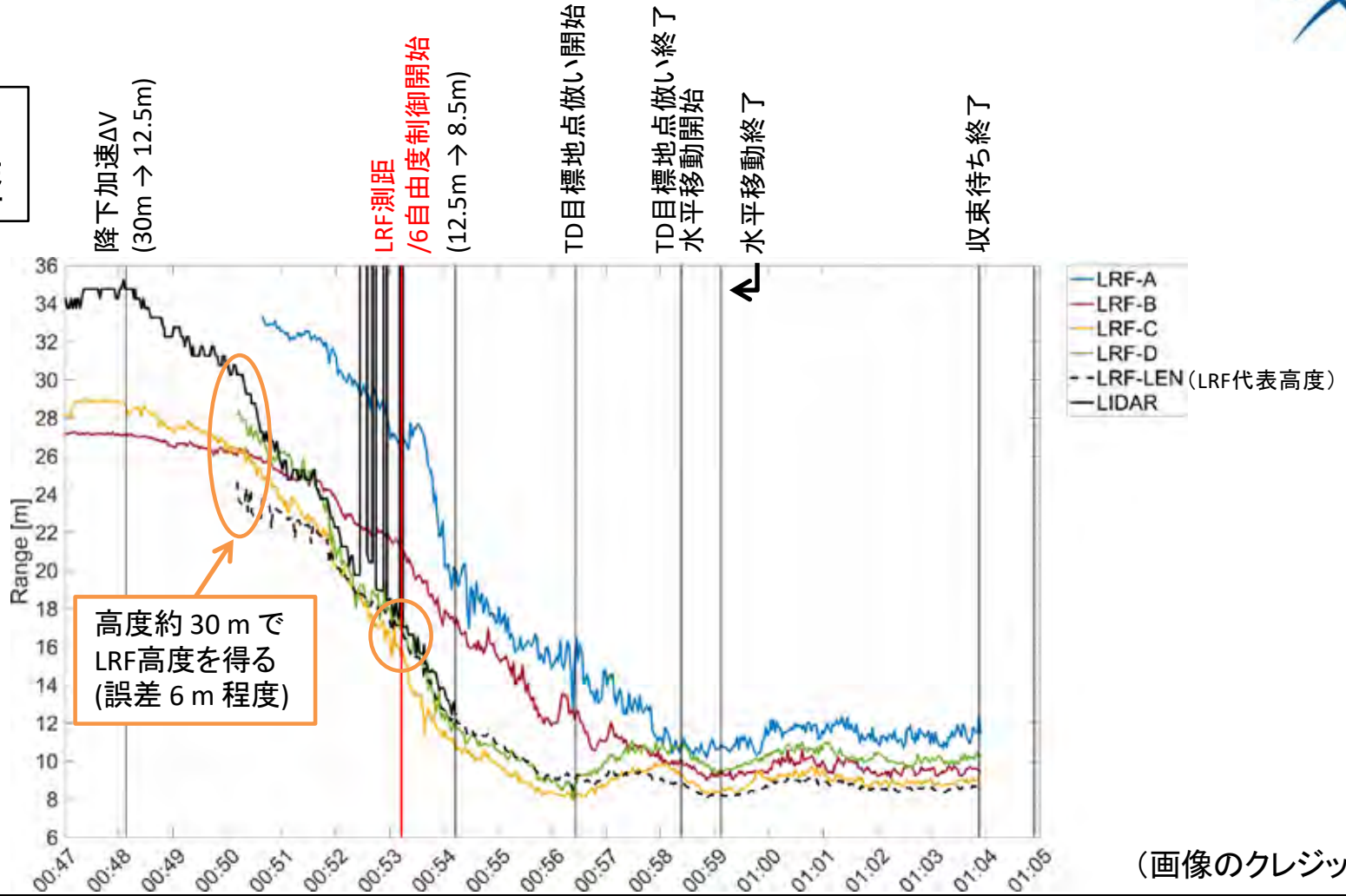
項目	地上時刻（機上時刻） 日本時間	判断項目
Gate 1	7月10日 09:58	降下開始の可否判断終了(@20km)
Gate 2	7月10日 21:36	降下継続の可否確認終了(@5km)
Gate 3	7月11日 09:04	最終降下判断(GO/NOGO 判断) 終了
HGA→LGA	7月11日 10:01 (09:47)	アンテナ切り替え
Gate 4	7月11日 10:01	LGA切り替え確認終了
TD2	7月11日 10:20 (10:06)	タッチダウン
LGA→HGA	7月11日 10:39 (10:25)	アンテナ切り替え
Gate 5	7月11日 11:10	探査機状況確認終了
Gate 6	7月11日 14:46	ホームポジション復帰判断
	7月12日 10:50 (10:37)	ホームポジション復帰



2. 第2回タッチダウン運用について



フライトデータ
LIDAR/LRF履歴

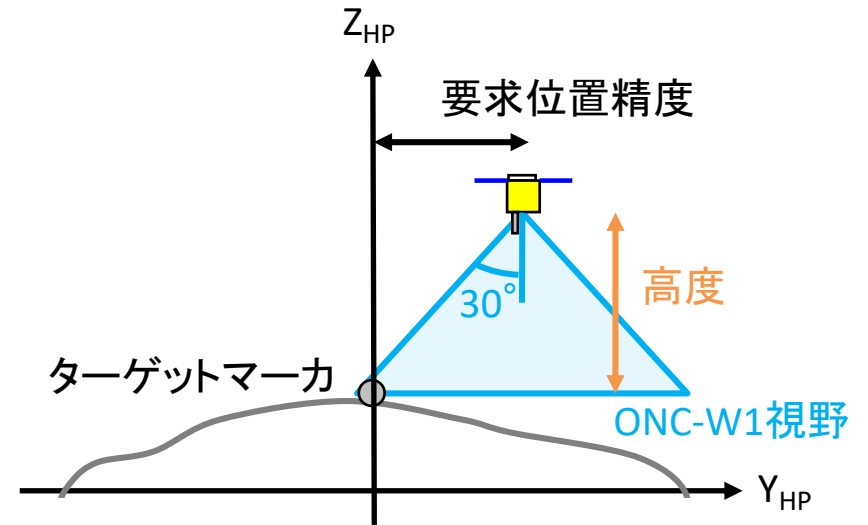
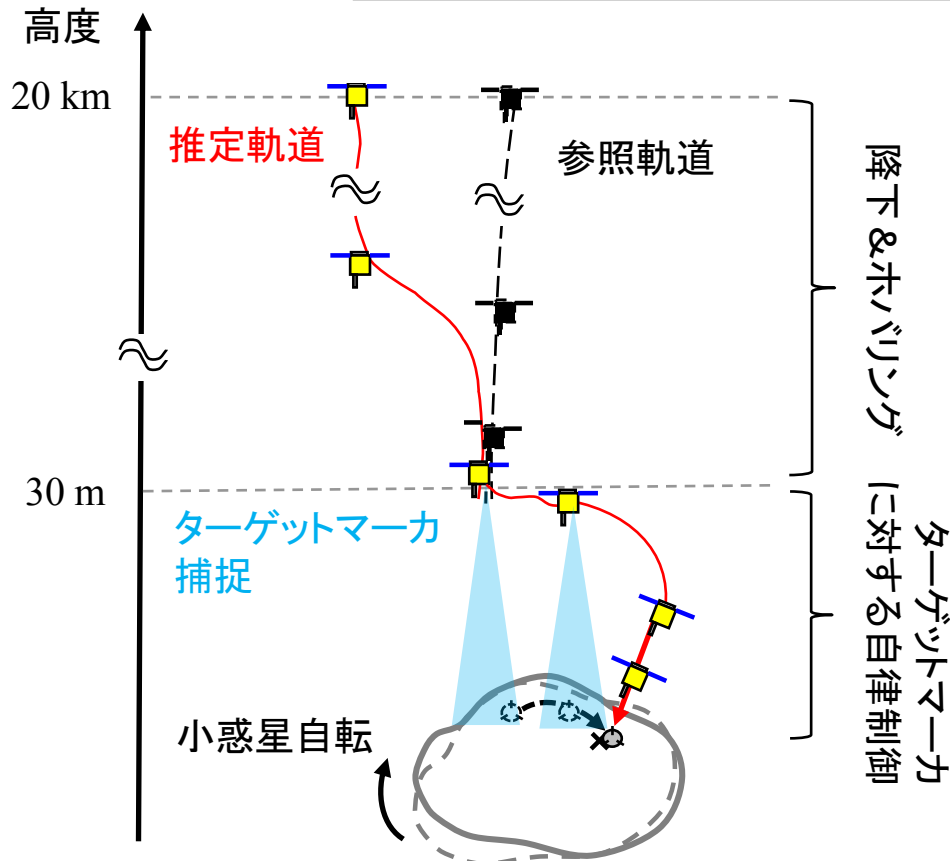


(画像のクレジット: JAXA)



2. 第2回タッチダウン運用について

ターゲットマーカ捕捉のために要求された位置精度



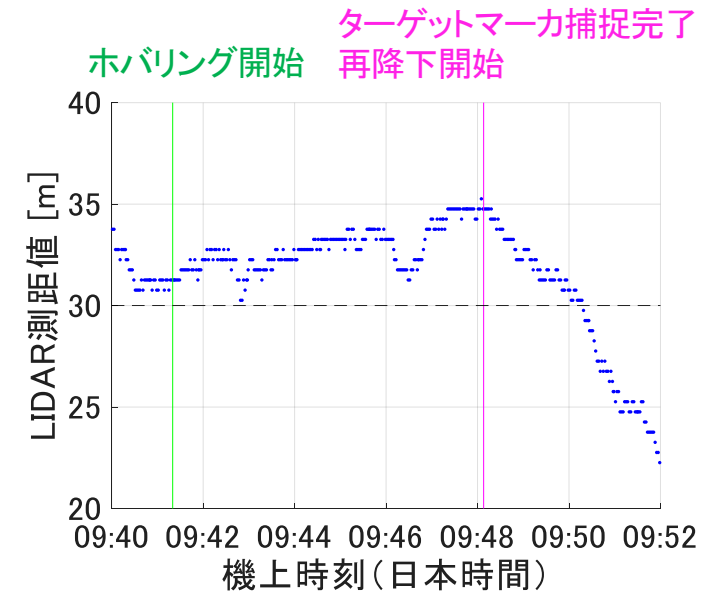
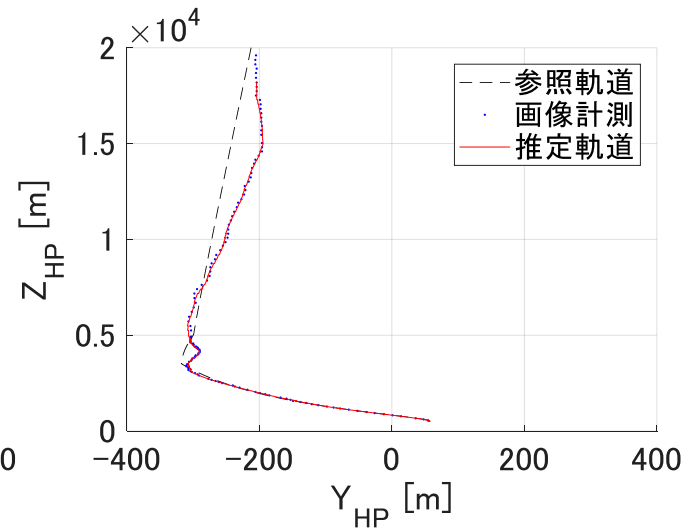
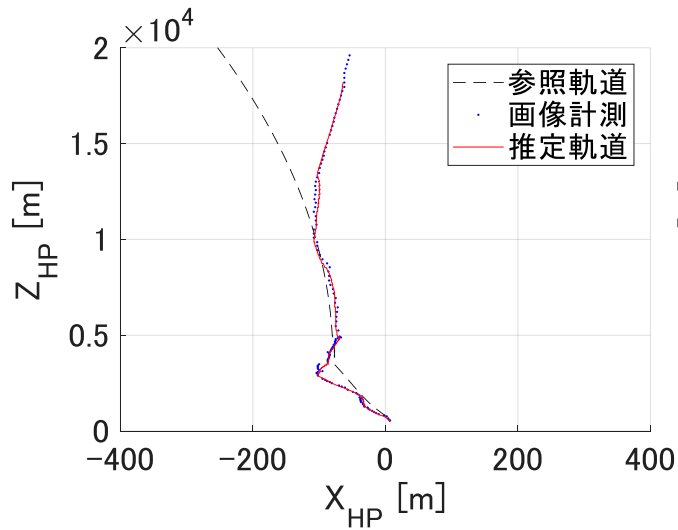
高度	要求位置精度	備考
30 m	$\tan(30^\circ) * 30 = 17 \text{ m}$	高度が計画通りの場合
20 m	$\tan(30^\circ) * 20 = 11 \text{ m}$	高度が10m低い場合



2. 第2回タッチダウン運用について



結果(降下軌道・ホバリング高度)



水平方向(X、Y方向)の最終位置誤差は3m以下、高度方向(Z方向)の最終位置誤差は5m以下と推定され、ターゲットマーカ捕捉に成功した。



2. 第2回タッチダウン運用について



カメラの受光性能低下対策とターゲットマーカ追尾

2月の第1回タッチダウンによって光学航法カメラ(ONC-W1)の受光性能が低下

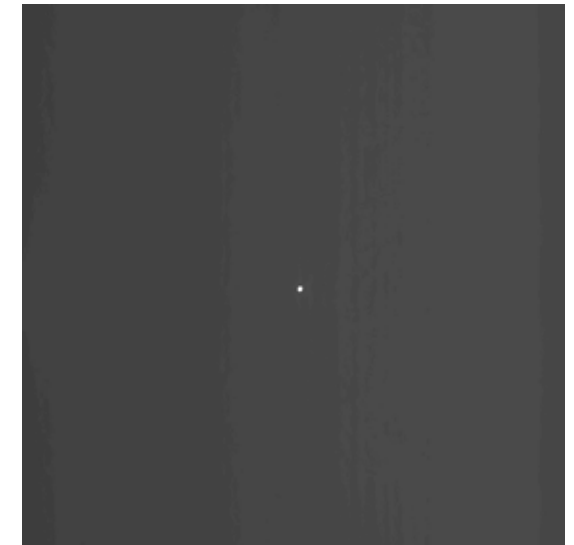
→低高度において安全・確実にターゲットマーカを捕捉・追尾できるように、画像処理のパラメータ(画像を白と黒の2階調に2値化する際の閾値)を調整した。

これにより、より暗いターゲットマーカでも認識できるようになるが、同時に探査機の周囲の浮遊物(チリなど)や地表の明るい岩をターゲットマーカと見間違えやすくもなる

→そこで、過去の運用で取得した画像を元にターゲットマーカおよび浮遊物等の動きの傾向を割り出し、前後のフレーム間での動きを考慮してその他のパラメータ(ターゲットマーカを捕捉するまでの時間の閾値、対象とする領域の広さなど)をさらに微調整した。

→本番では浮遊物がある中でもターゲットマーカだけを安定して追尾できた

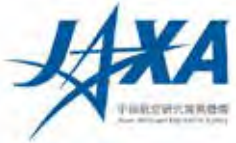
高度8.5m付近で追尾中の
ターゲットマーカ像
(地上で輝度調整済)



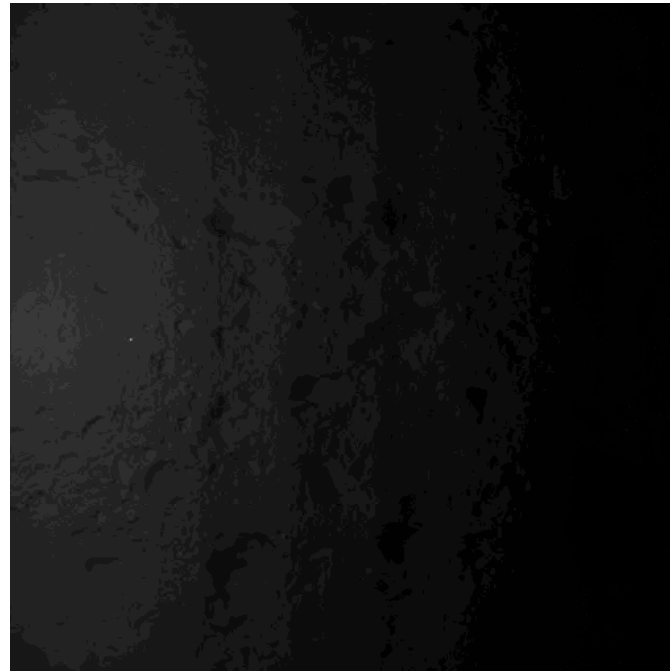
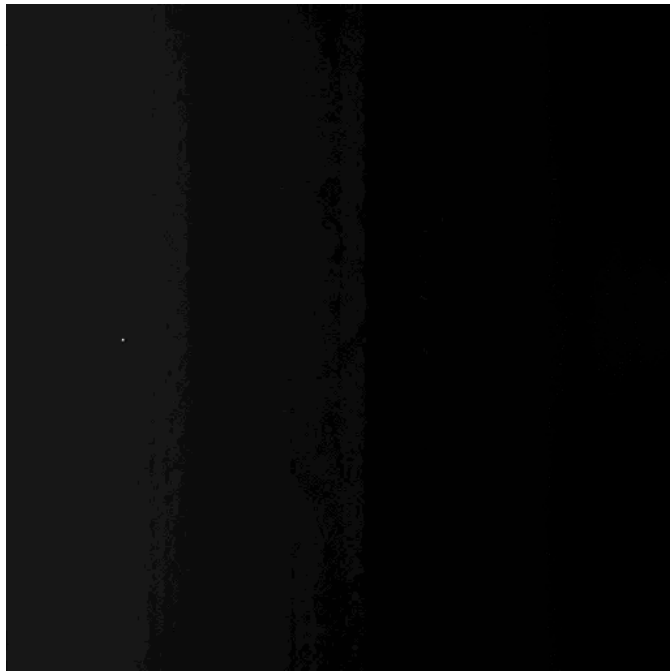
(画像のクレジット: JAXA)



2. 第2回タッチダウン運用について



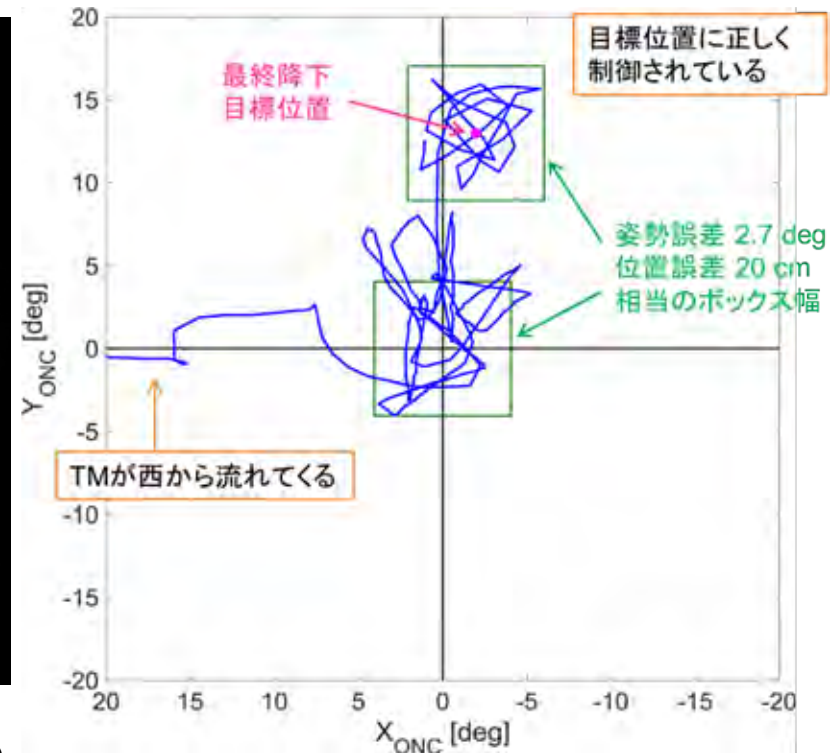
DBT/NBT画像とターゲットマーカ追尾



DBT (Differential Bright object Tracking)
: 探査機が実際に計測に使用した画像

NBT (Normal Bright object Tracking)
: 実際の計測には使用しなかった類似画像(参考)

(動画: 20倍速)



(画像のクレジット: JAXA)

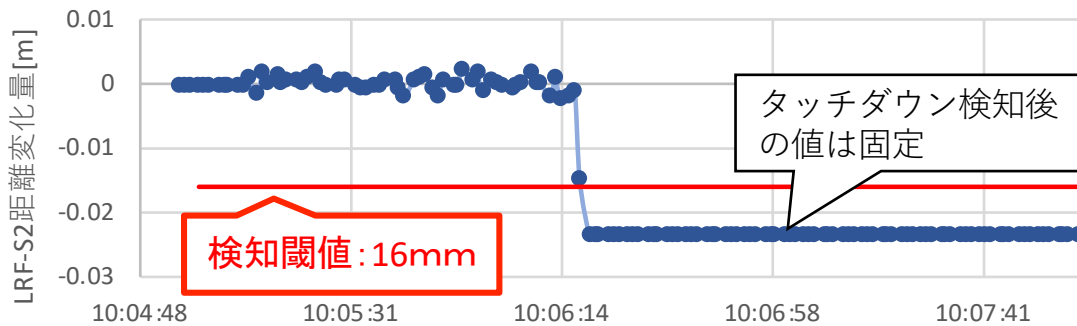


2. 第2回タッチダウン運用について



8.5m以下最終降下・タッチダウン時探査機挙動

- 高度8.5mでタッチダウンのための最終降下 ΔV を実施。最終降下 ΔV 後50秒後以降からタッチダウン検知が有効になる。その後、小惑星表面へのタッチダウンとなった。サンプルホーン先端の距離を測るLRF-S2の距離変化を検知してタッチダウンの判定がなされた。
- タッチダウン検知後、プロジェクトイル3を発射するシーケンスを実施し、サンプル採取シーケンスを実施した。上昇 ΔV により探査機は小惑星表面から離脱した。
- 最終降下 ΔV によってサンプルホーンの振動が発生するため、不要なサンプルホーン振動を発生させないようシーケンスを工夫している。
- タッチダウン時には探査機挙動予測に基づき、ホルダー等への探査機衝突を防止するためにY軸周りにヒップアップを実施している。



機上時刻 (日本時間)
タッチダウン検知前後のLRF-S2の動き

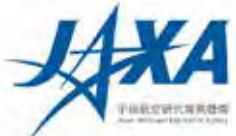
(画像のクレジット: JAXA)

最終降下からの運用シーケンス

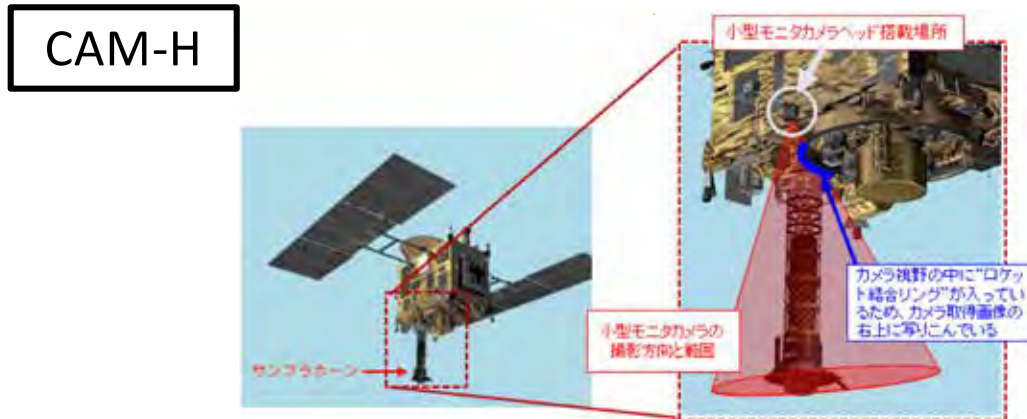
時間[秒]	機上時刻 日本時間	イベント
-60		最終姿勢制御開始
0	10:04:55	最終降下 ΔV 開始
15		RW姿勢制御開始 (サンプルホーン振動防止策)
50		タッチダウン検知判定開始
約70		姿勢収束
82-84	10:06:17-19	タッチダウン検知
82-84	10:06:17-19	サンプリング運用 (プロジェクトイル発射など)
82-84	10:06:17-19	上昇 ΔV 開始
94		RCS姿勢制御移行



2. 第2回タッチダウン運用について



- LRF-S2はサンブラホーン先端に取り付けられている反射板に向かってレーザを発射している
- 距離と光度値を計測している



CAM-Hで撮像されたLRF-S2のレーザ光
(第2回タッチダウン時)

(画像のクレジット: JAXA)

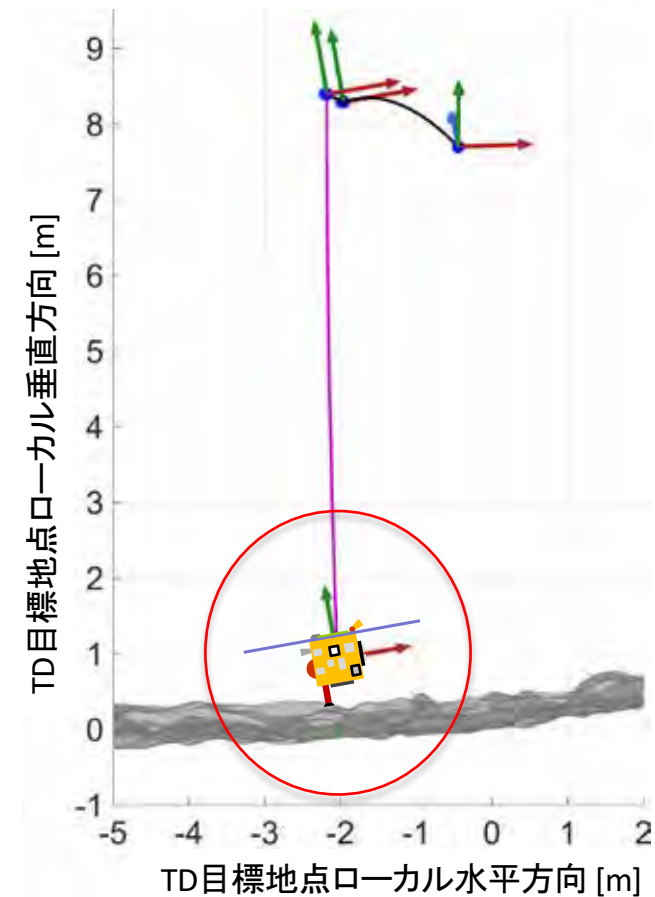


2. 第2回タッチダウン運用について



8.5m以下最終降下・タッチダウン時探査機挙動

- 第2回タッチダウンにおいてもボルダー等と探査機との接触を防ぐためにヒップアップ姿勢を採用している。
- ヒップアップでは地形表面に倣う姿勢に加えて探査機Y軸周りに10度回転させた姿勢を目標姿勢としてタッチダウンさせている。



(画像のクレジット: JAXA)

運用計画時のノミナルタッチダウン姿勢

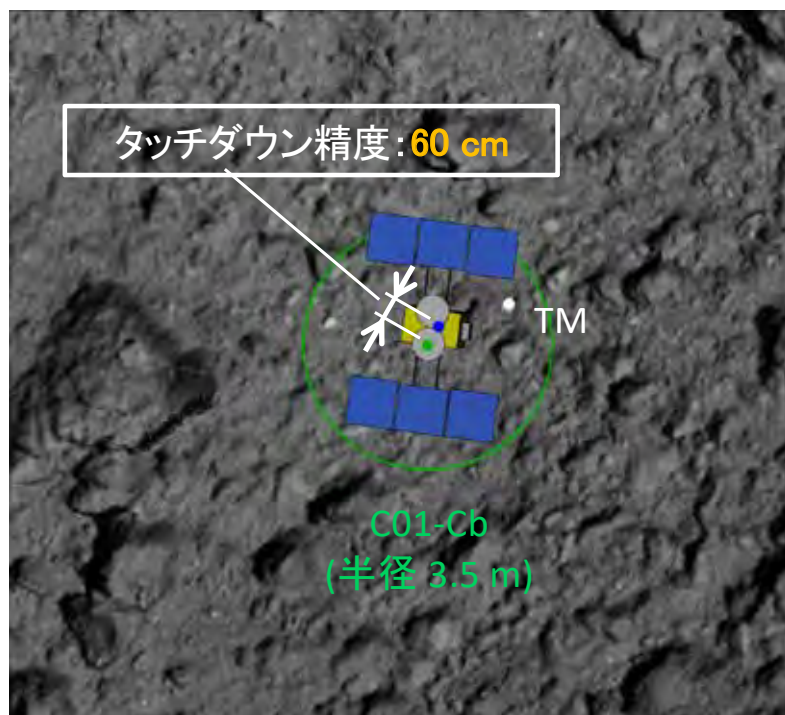


2. 第2回タッチダウン運用について

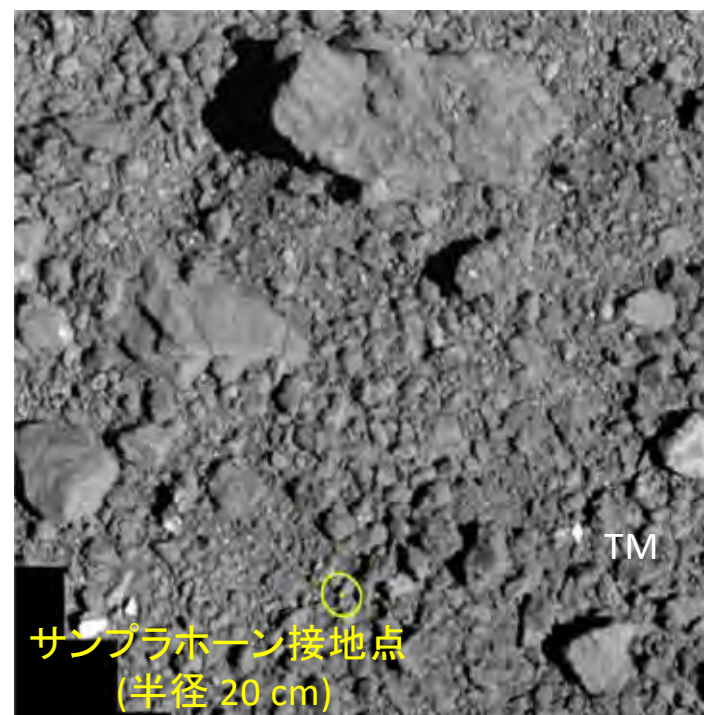


第2回タッチダウン精度とサンプルホーン接地点

第2回タッチダウン精度



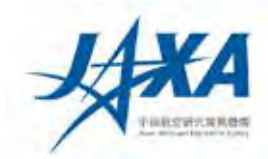
サンプルホーン接地点



(画像のクレジット: 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)



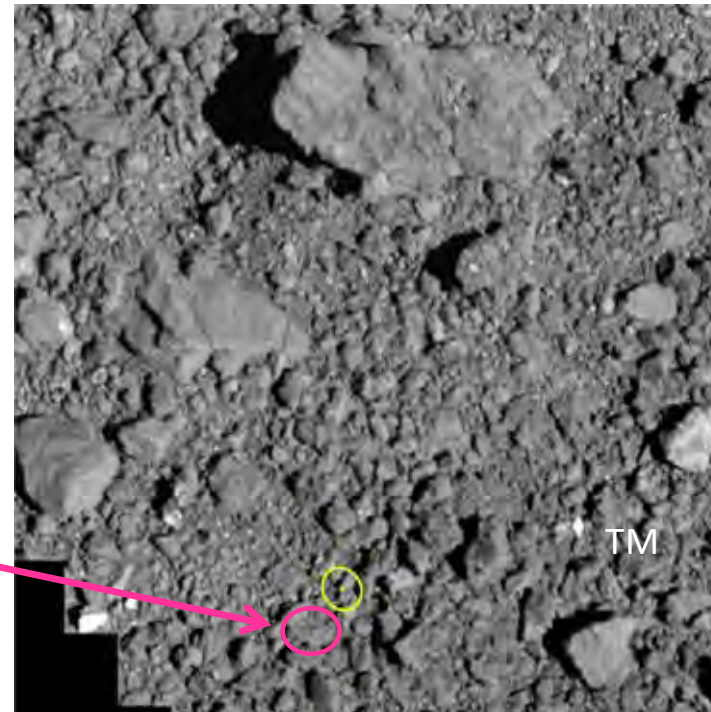
2. 第2回タッチダウン運用について



第2回タッチダウンサンプルホーン接地点

サンプルホーン接地点

CAM-H画像



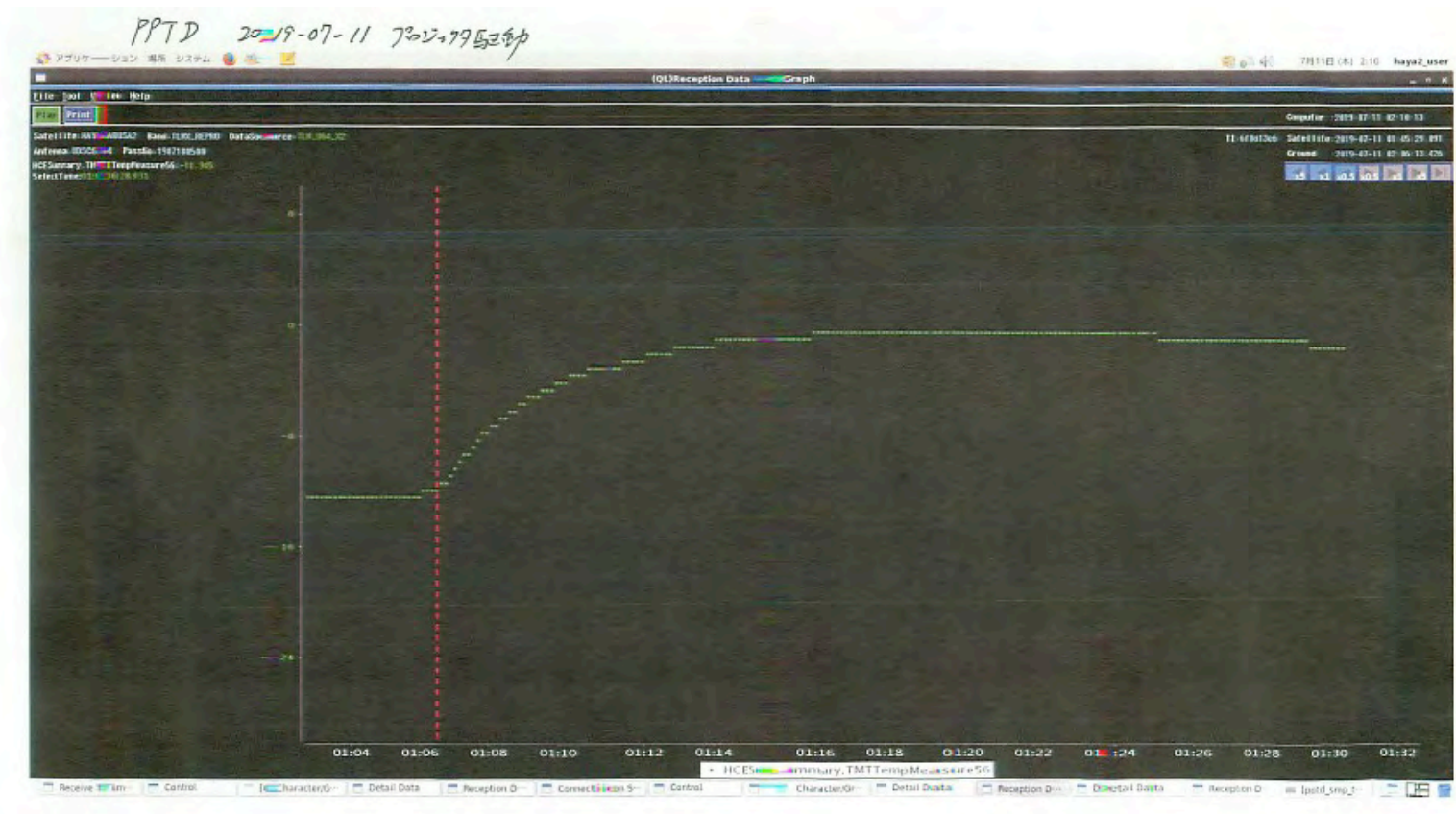
CAM-H画像と整合的

(画像のクレジット: JAXA)

(画像のクレジット: 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. 第2回タッチダウン運用について プロジェクトの温度変化



(画像のクレジット: JAXA)

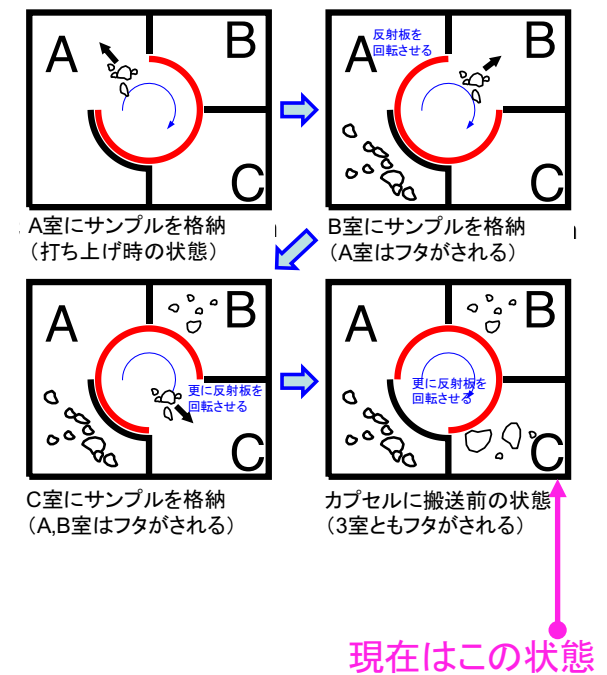


2. 第2回タッチダウン運用について



キャッチャ室の閉鎖について

- A室は、1回目のタッチダウン直後(2月22日)に閉鎖した。
- その後、B室が開放状態であったが、6月24日の運用でB室を閉鎖した。(B室開放中に合計7回の降下運用を実施)
- その後、C室が開放状態であったが、第2回タッチダウン終了後、7月11日 14:10(機上、日本時間)にC室を閉鎖した。(13:40に上昇速度を2cm/sだけ減速した。→サンプルラホーン先端の折り返しのところにサンプルがあれば採取できる可能性あり)



(画像のクレジット: JAXA)



3. 第2回タッチダウン運用での取得画像



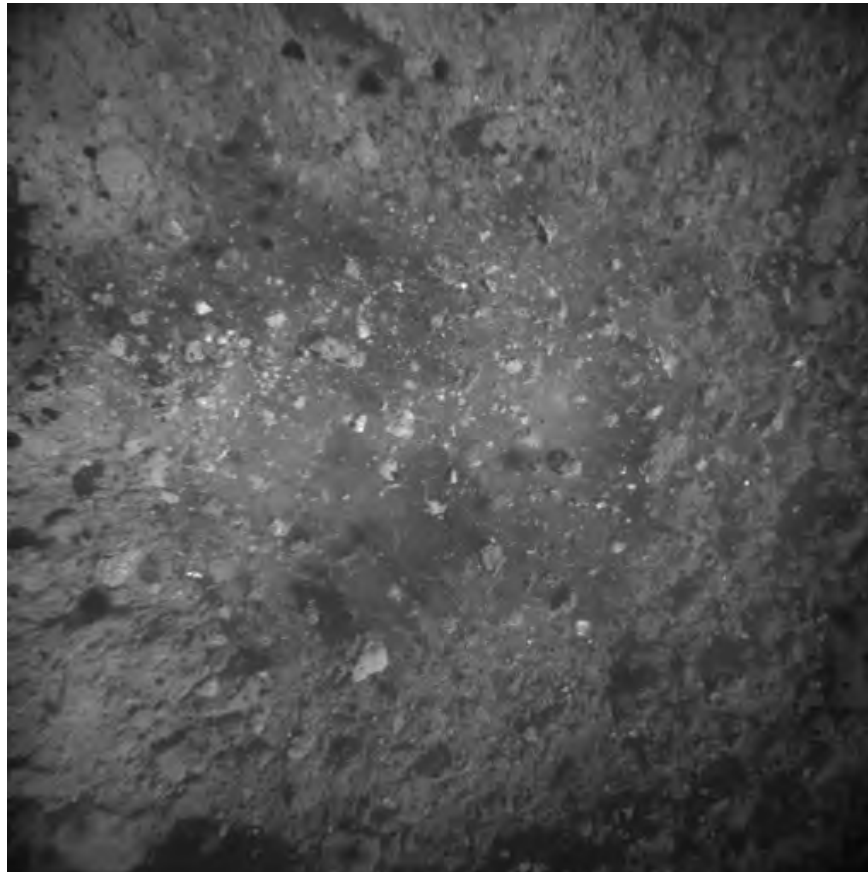
ONC-W1による撮影

撮影時刻

2019年7月11日

10:06:32 (機上、日本時間)

高度: 約8m



(画像のクレジット: 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)



3. 第2回タッチダウン運用での取得画像



ONC-W1による撮影

撮影時刻

2019年7月11日

10:08:53 (機上、日本時間)

高度: 約90m



(画像のクレジット: 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)



3. 第2回タッチダウン運用での取得画像

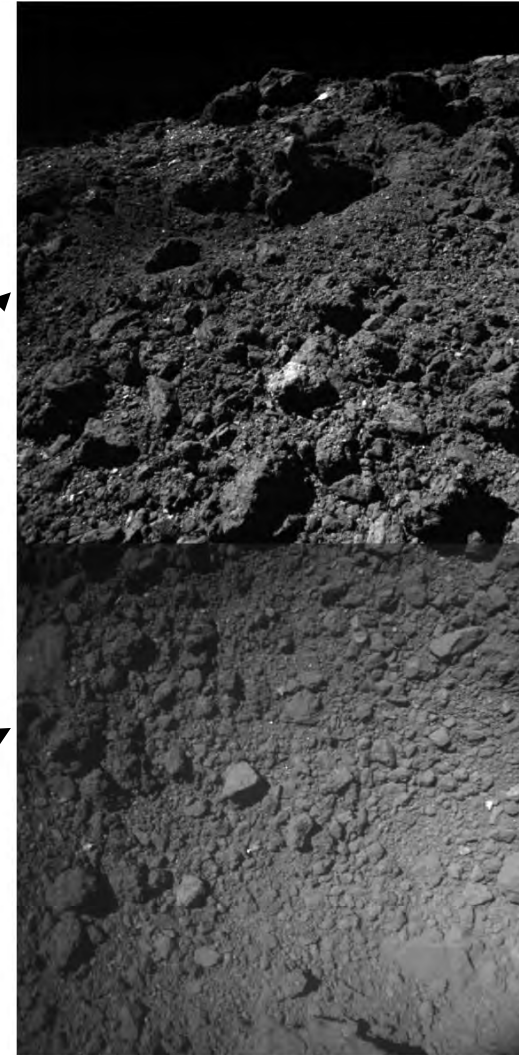


初公開

第2回タッチダウン 最終降下時
高度8mのONC-W1/W2合成パノ
ラマ画像

ONC-W2 2019/07/11 10:04:58
(機上、日本時間)

ONC-W1 2019/07/11 10:04:57
(機上、日本時間)



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

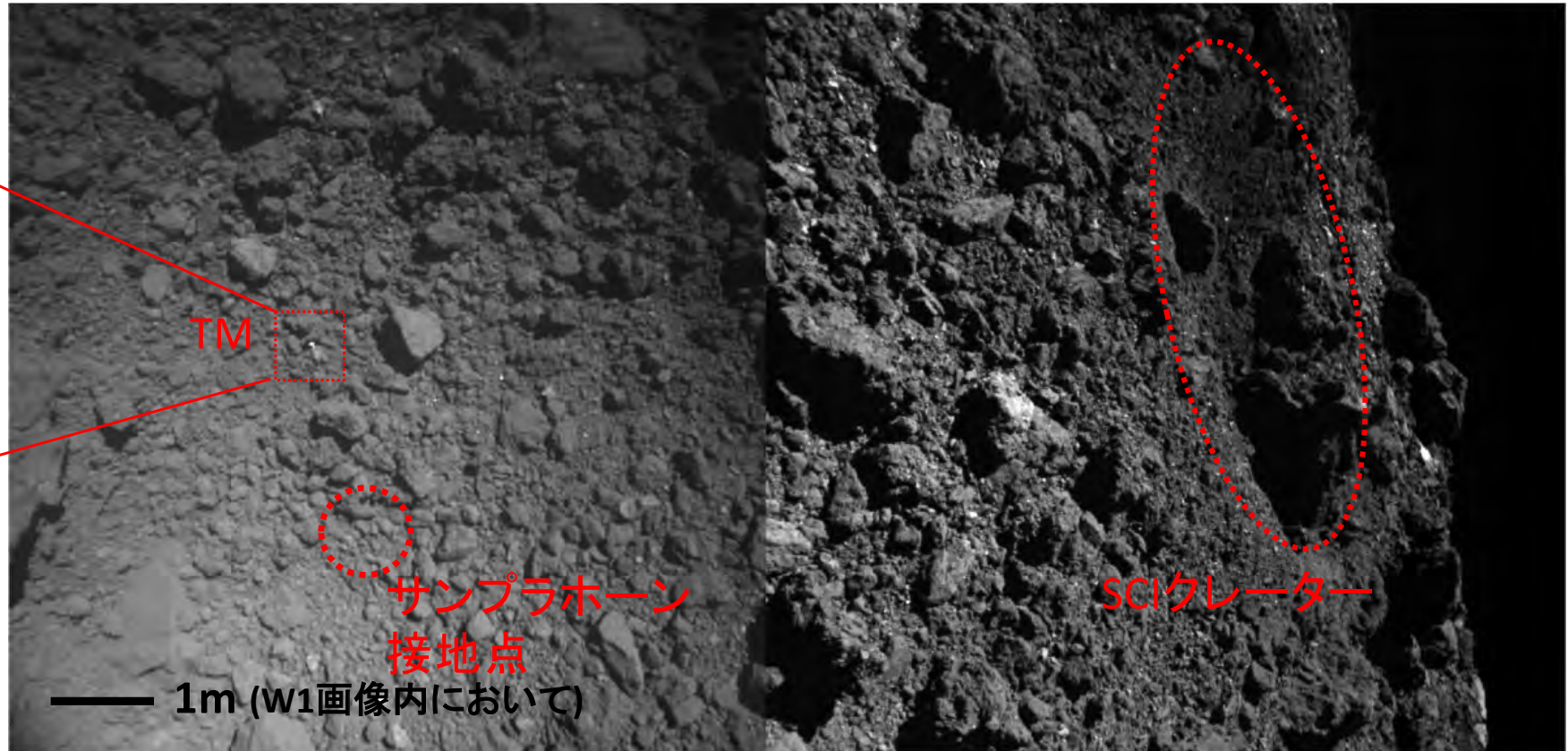
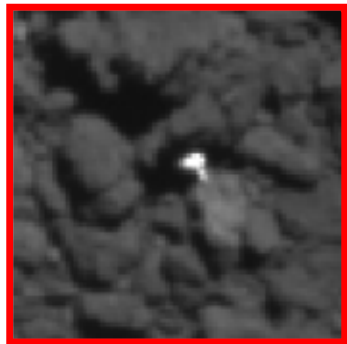


3. 第2回タッチダウン運用での取得画像



説明図

第2回タッチダウン最終降下時高度8mのONC-W1/W2合成パノラマ画像

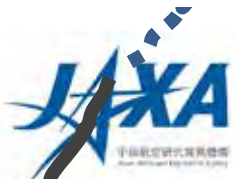


ONC-W1 2019/07/11 10:04:57 (機上、日本時間) ONC-W2 2019/07/11 10:04:58 (機上、日本時間)

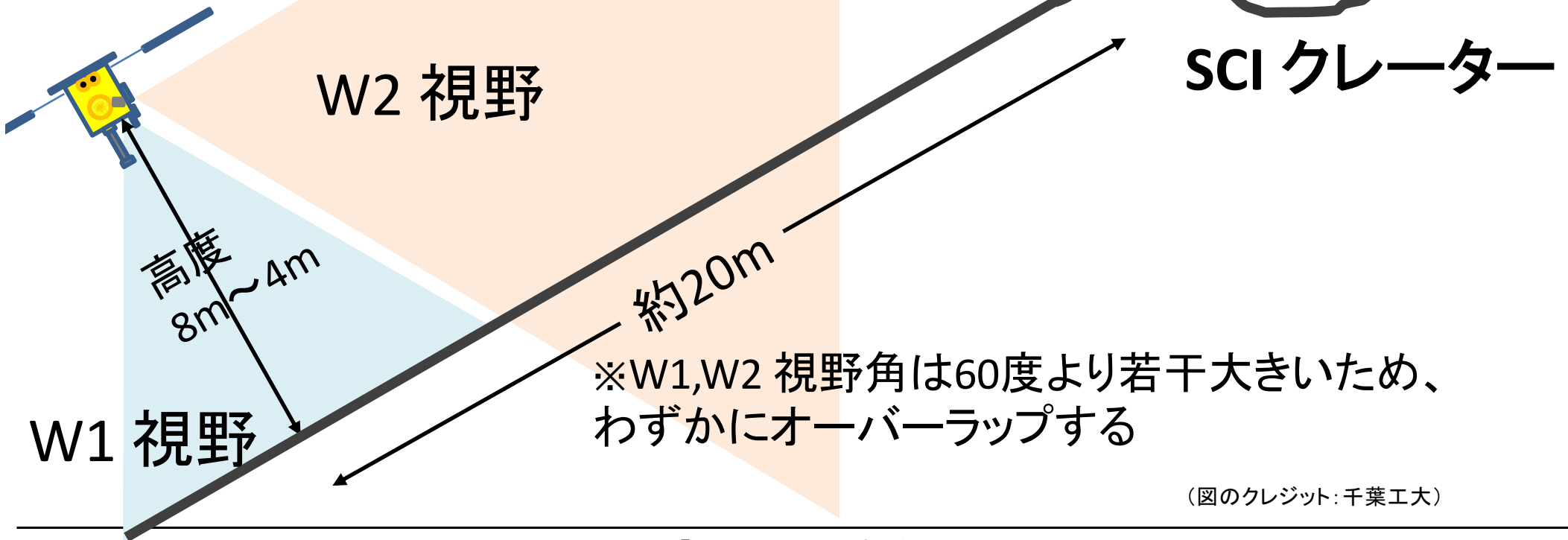
(画像のクレジット: JAXA、千葉工大、東京大、高知大、立教大、名古屋大、明治大、会津大、産総研)



参考: W1/W2撮像時幾何学関係模式図



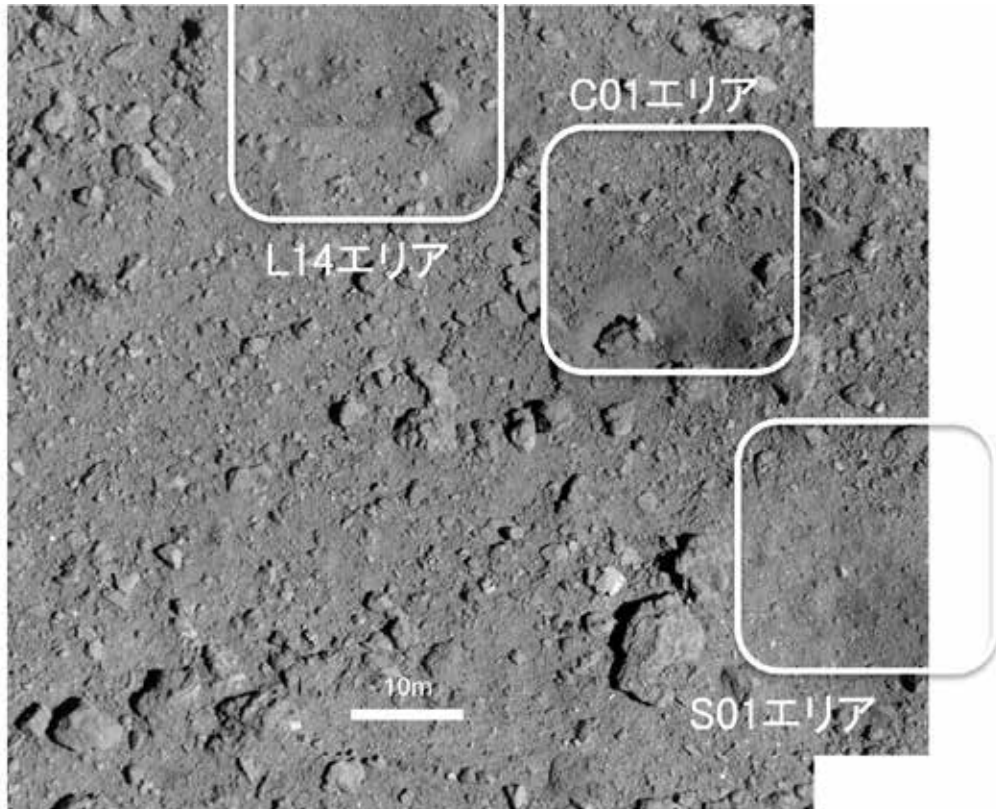
- ONCは高度8.5m の最終降下まで、TM捕捉撮像に専念。
- 高度8.5mからの最終降下開始後、高度8m, 4.7m, 4.2m (計画値)の各高度で、W1とW2のセットで撮像を実施した。



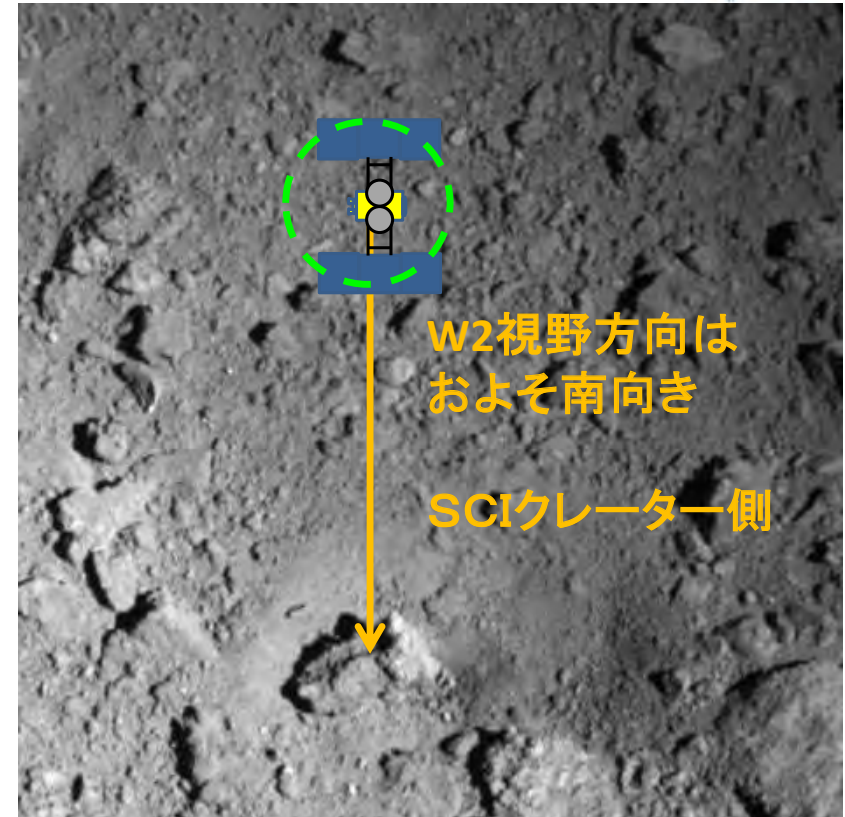
(図のクレジット: 千葉工大)



参考:C01 領域付近位置関係



PPTD-TM1 2019/05/16
高度約0.5kmと約0.6kmからの撮影



PPTD-TM1

(図のクレジット: 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. 第2回タッチダウン地点の名称



第2回タッチダウン地点の名称は
うちでのこづち
とする。

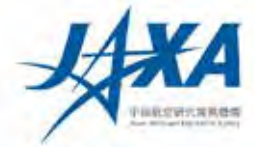
理由：日本の昔話にちなんで、めでたく宝物がでてくるものであるため。ここから採取したサンプルからは、科学的な成果がたくさん生まれることを期待したもの。



(画像のクレジット: 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)



5. 今後の予定



■ 運用の予定

- 7月20日から31日にかけてBOX-C運用を行う。最低高度は7月25日から27日に約5km。

■ 記者説明会等

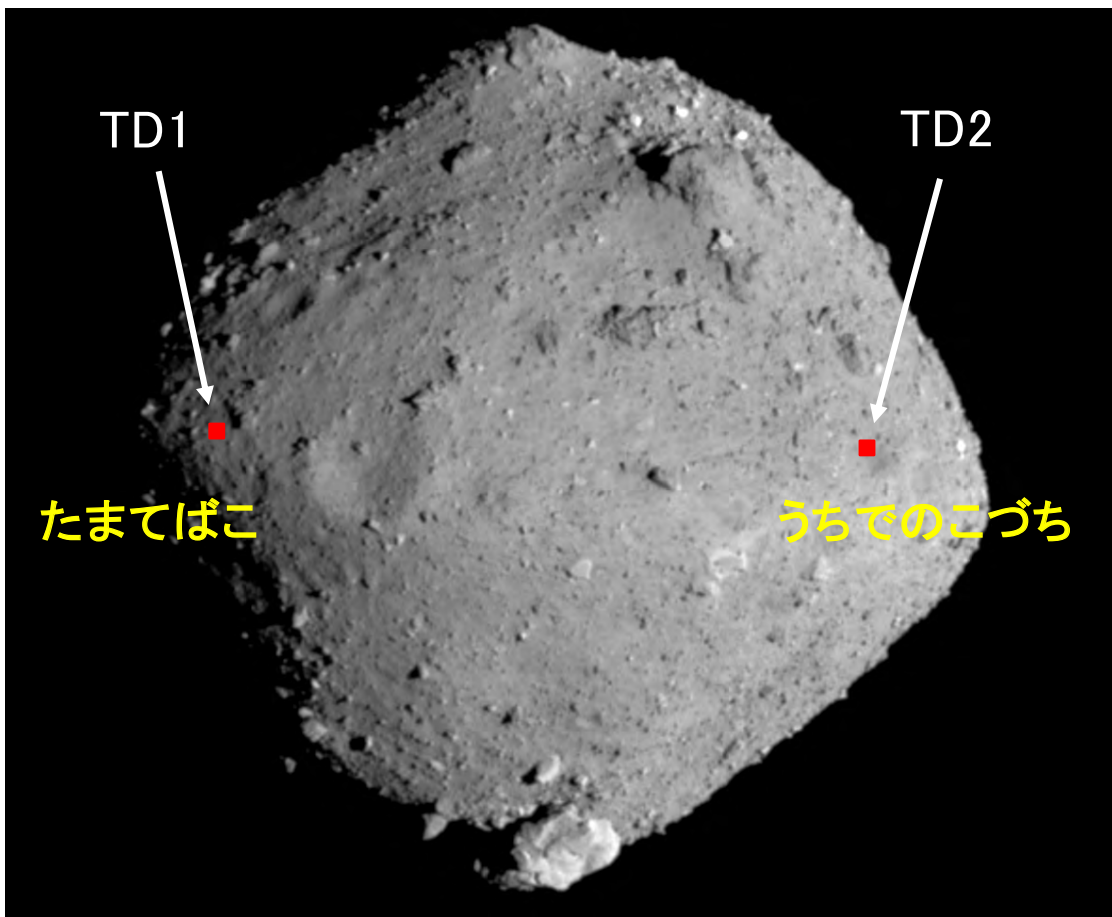
- 8月22日(木) 15:00～16:00 定例記者説明会@東京事務所



参考資料



1回目 (TD1) と2回目 (TD2) のタッチダウンの場所について

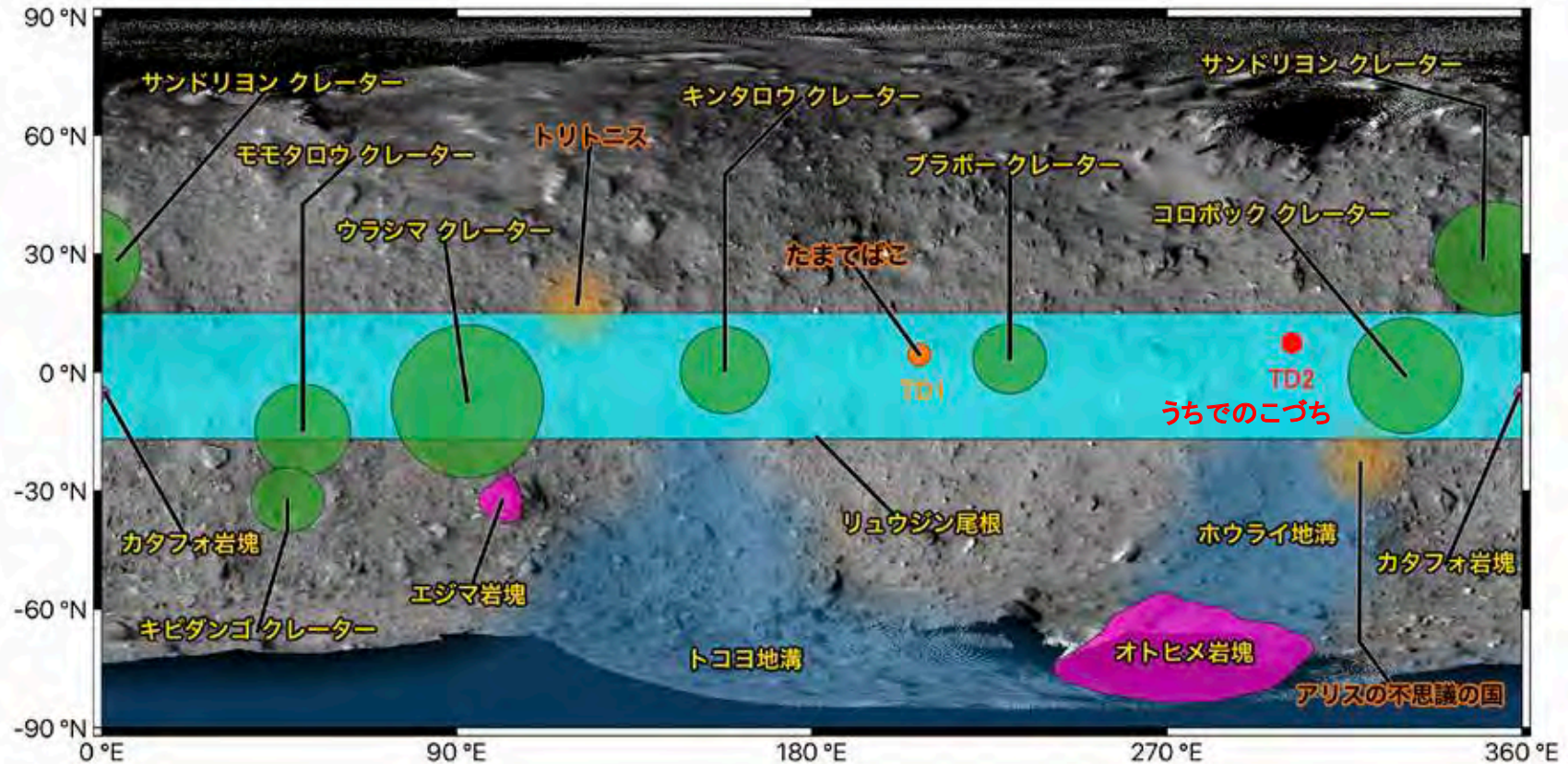


2019年5月20日
ホームポジション
から撮影

(画像のクレジット: 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)



1回目 (TD1) と2回目 (TD2) のタッチダウンの場所について



注:トリトニス(MINERVA-II1の着陸地)、アリスの不思議の国(MASCOT着陸地)、たまたまぼこ(1回目のタッチダウン地点)はニックネーム(愛称)で、国際天文学連合(IAU)に認められた地名ではない。他の地名はIAUで認められた正式名称である。

(画像のクレジット:JAXA)



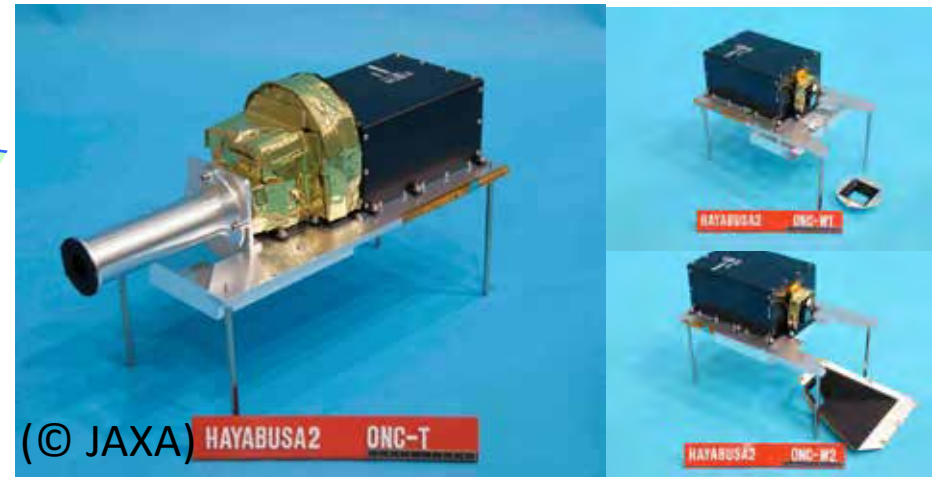
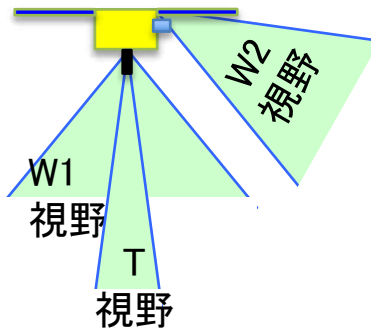
光学航法カメラ(ONC)

ONC: Optical Navigation Camera

目的: 探査機誘導と科学計測のために
恒星と探査小惑星を撮像する。

科学観測項目:

- 探査小惑星形状・運動の観測
直径、体積、慣性主軸方向、章動運動
- 表面地形の全球観測
クレーター、構造地形、礫、レゴリス分布
- 表面物質の分光特性の全球観測
含水鉱物分布、有機物分布、宇宙風化度
- 試料採取地点付近の高解像度撮像
表面粒子の大きさ、形状、結合度、不均一性
サンプル弾痕や接地痕の観測

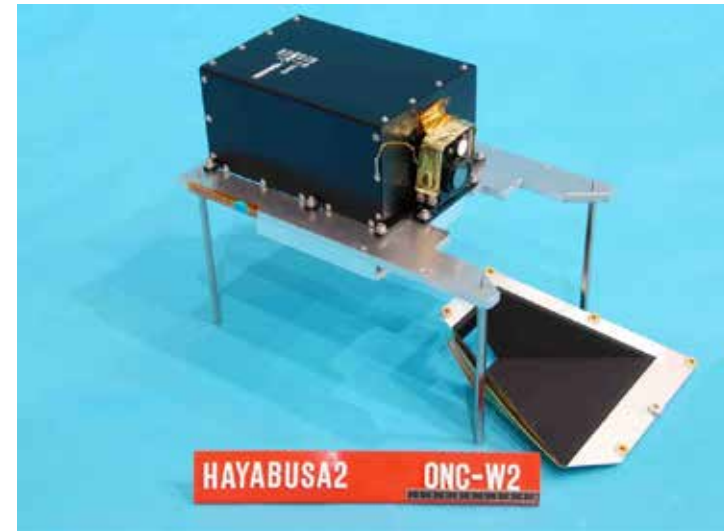
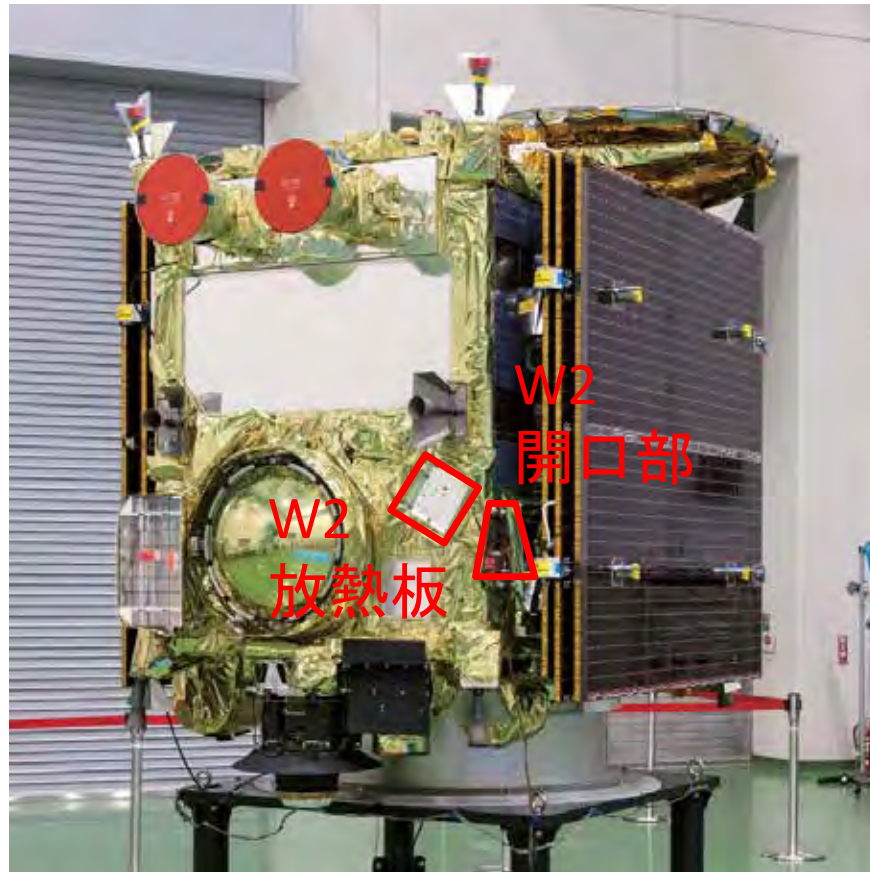


	ONC-T	ONC-W1	ONC-W2
検出器	二次元 Si-CCD (1024 x 1024 ピクセル)		
視野方向	直下 (望遠)	直下 (広角)	側方 (広角)
視野角	6.35° × 6.35°	65.24° × 65.24°	
焦点距離	100m ~ ∞	1m ~ ∞	
空間分解能	1m/pix @ 高度10km 1cm/pix @ 高度100m	10m/pix @ 高度10km 1mm/pix @ 高度1m	
観測波長	390, 480, 550, 700, 860, 950, 589.5nm, および Wide	485nm ~ 655nm	

- 探査小惑星の素性解明
 - 含水鉱物や有機物の分布、宇宙風化、巨礫
- サンプル採取地点選定
 - 小惑星どこから試料採取すべきかの基本情報
- サンプルの産状把握
 - 試料採取地点の高分解能の撮像



ONC-W2 取り付け位置



- 側面に配置。斜め下方撮影可能
 - スイングバイ時の地球撮像
 - MASCOT 分離時撮像
 - SCI 運用復帰時リュウグウ探索

(画像のクレジット: JAXA)