



2018年の小惑星リュウグウ到着にむけて 小惑星探査機「はやぶさ2」の近況

2018年4月19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、

- ・現状(探査機運用・訓練)
- ・スケジュール
- ・リュウグウ初観測
- ・広報、アウトリーチ活動

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. 小惑星リュウグウの初観測
3. イオンエンジン運用
4. ミッションスケジュール(暫定版)
5. 運用訓練
6. 広報・アウトリーチ
7. 今後の予定



「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・有機物の相互作用の解明することで、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)
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

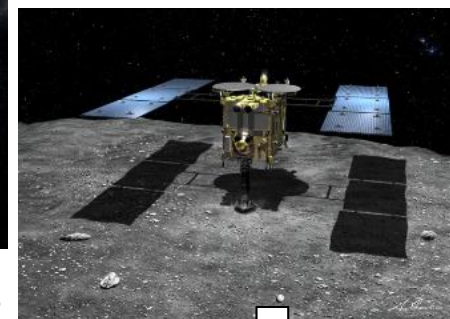


▲
地球スイングバイ
2015年12月3日

小惑星到着
2018年6-7月



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



サンプル分析

(イラスト 池下章裕氏)

小惑星出発
2019年11-12月



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。



人工クレーターの生成



衝突装置放出

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。

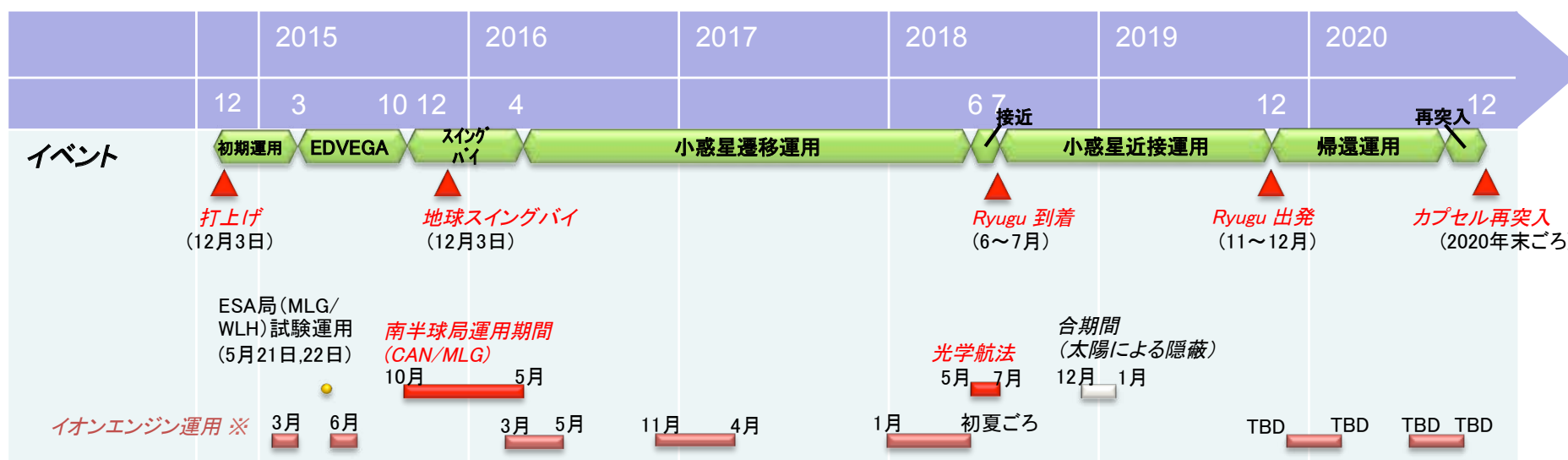


1. プロジェクトの現状と全体スケジュール

現状:

- リュウグウ-探査機間の距離は本日(4月19日)現在約26万km。
- 第3期イオンエンジン運転中。運用時間は約2428時間であるが、そのうちの約1674時間を終了(2018年4月17日現在)。
- リュウグウ到着は6月21日~7月5日の予定。
- 小惑星到着時の運用に向けて、運用訓練を実施中。

全体スケジュール:





2. 小惑星リュウグウの初観測



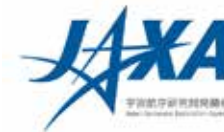
- 2018年2月26日、搭載カメラ ONC-Tで、小惑星リュウグウの撮影に成功
- この日は、リュウグウ観測のために条件がよい＝探査機の姿勢を大きく変更しないで、ONC-Tの視野にリュウグウを入れることができる
- 探査機とリュウグウの間の距離は約130万km

ONC-T: 望遠の光学航法カメラ



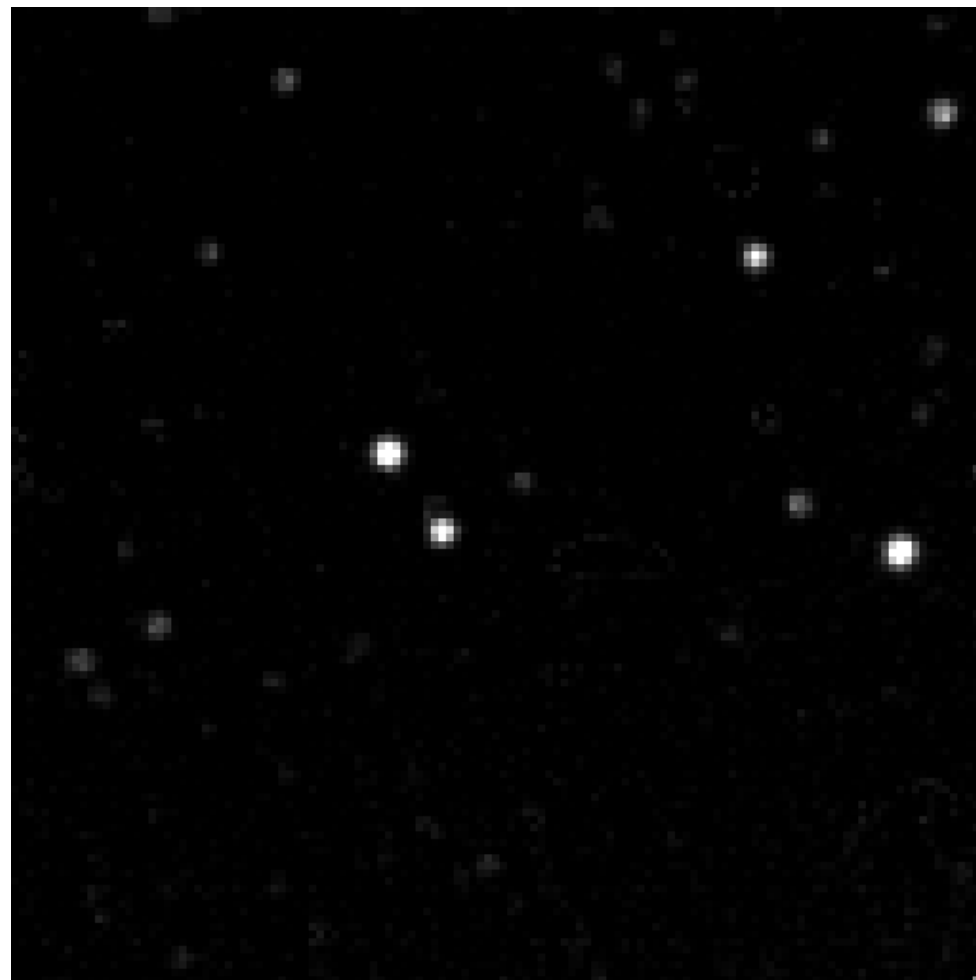


2. 小惑星リュウグウの初観測



(動画)

- 2018年2月26日12時頃から19:27時頃(日本時間)にかけて撮影された18枚の写真を連続的に示したもの
- 中央付近で左から右にわずかに動いている天体がリュウグウ
- 個別の画像に一瞬だけ見える像はノイズ
- 写真の画角は0.8度



2018年2月26日

(ONCチーム: 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)

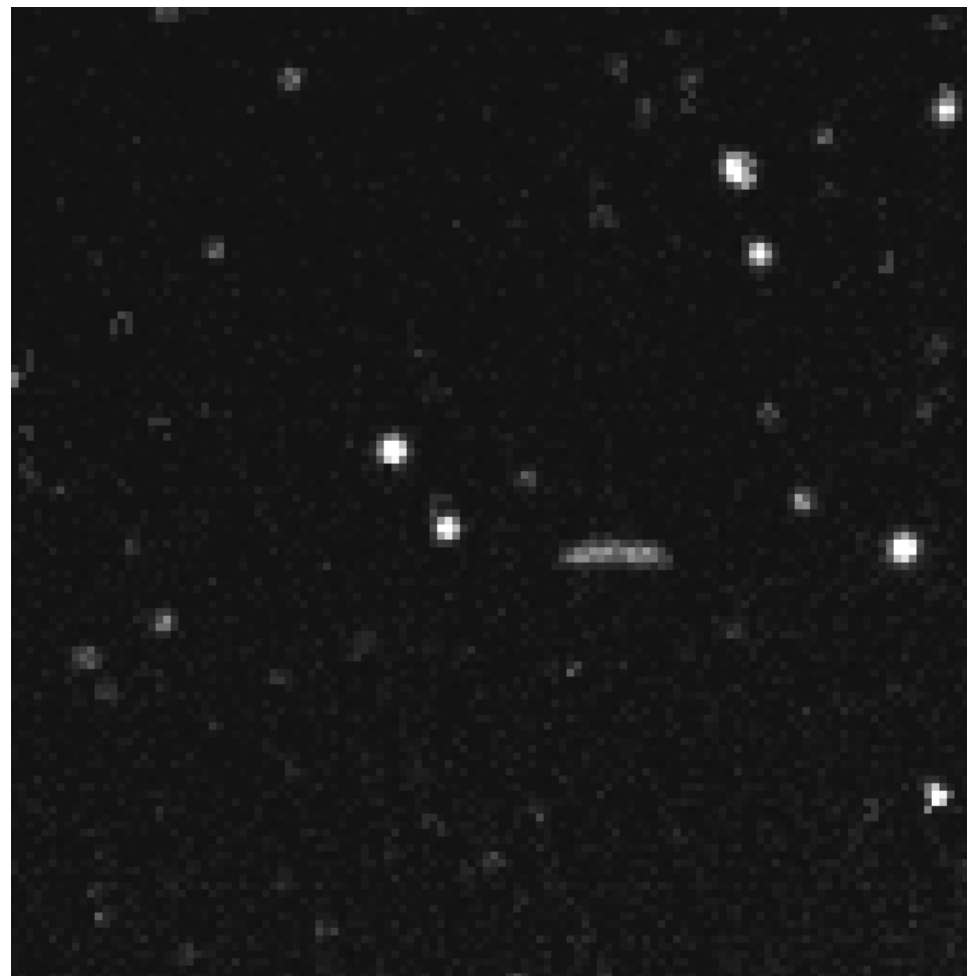


2. 小惑星リュウグウの初観測



(動画)

ノイズを取り除く前の画像

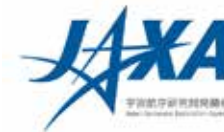


2018年2月26日

(ONCチーム: 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)



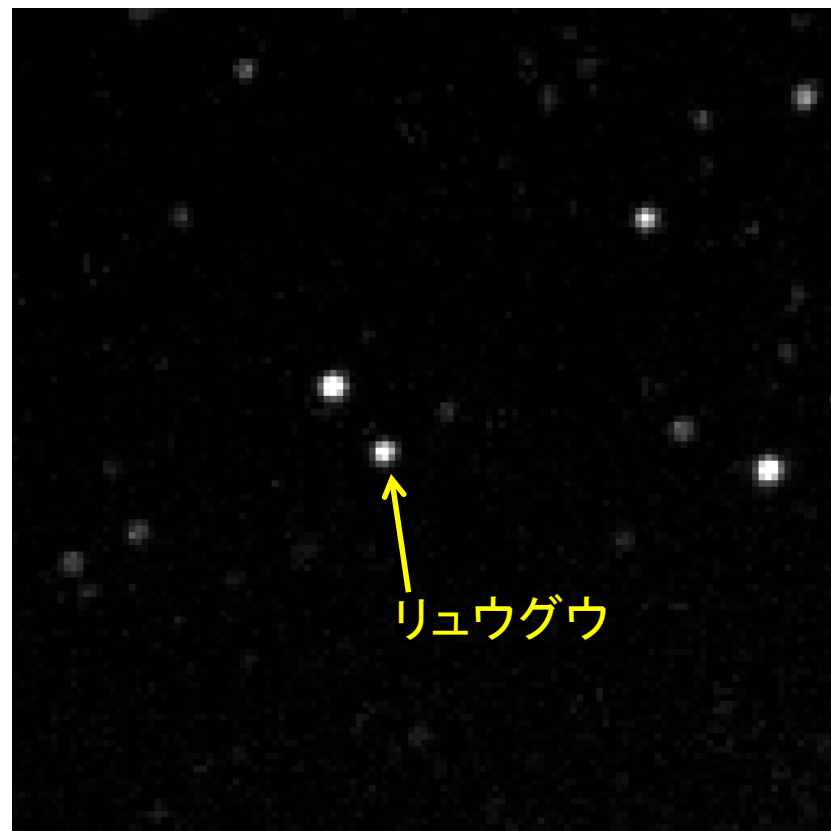
2. 小惑星リュウグウの初観測



ノイズを取り除く前の画像



ノイズを取り除いた後の画像





2. 小惑星リュウグウの初観測



カラー合成を行った写真



- ・b, v, wバンドを青緑赤で表示して合成した。
- ・天体の色の違いは表面温度の違いを示す。
- ・リュウグウについて得られた色は、C型小惑星と調和的である。
➡ リュウグウが有機物や水を持っている可能性を支持する結果である。

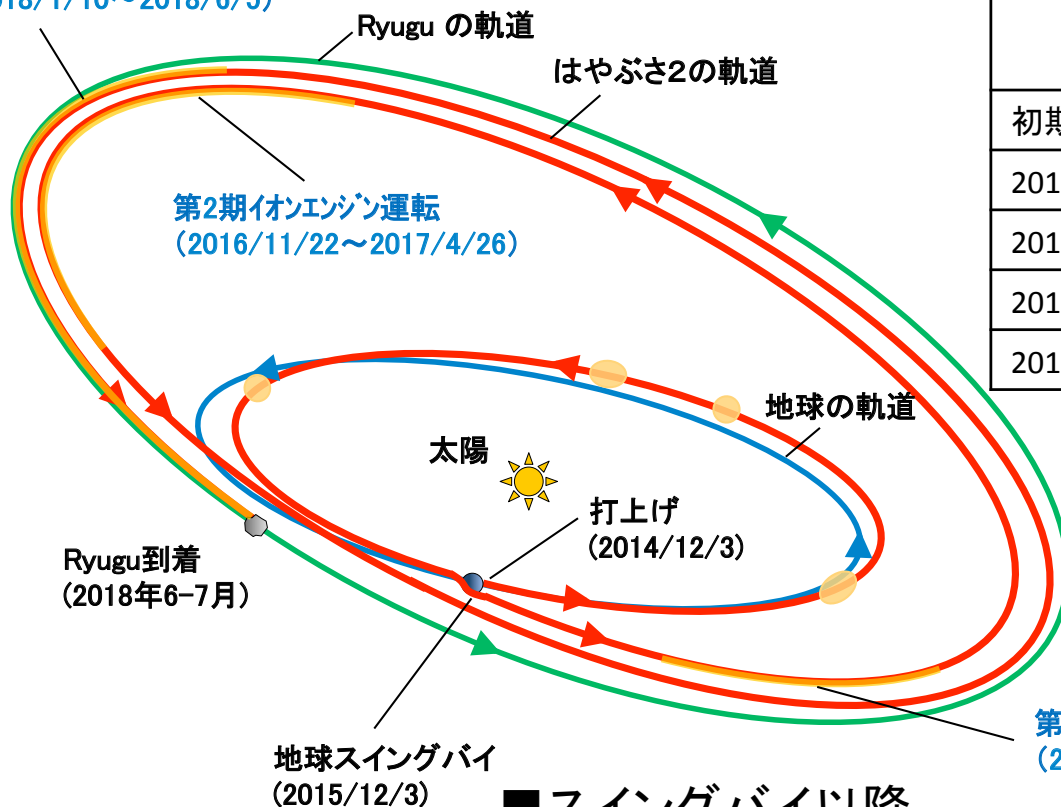
撮影時刻: 2018年2月26日19:37から 2月27日8:45(日本時間)



3. イオンエンジン運用

往路におけるイオンエンジン運転のまとめ

第3期イオンエンジン運転
(2018/1/10~2018/6/5)



■スイングバイ以前

期間	名称	台数	増速 m/s	運転 時間
初期機能確認	IES動作試験	-	-	-
2015/3/3-21	IES動力航行1	2	44	409 h
2015/5/12-13	IES最大推力試験	3	4	24
2015/6/2-6	IES動力航行2	2	11	102
2015/9/1-2	IES動力航行3	2	1.3	12

IES: イオンエンジンシステム

第1期イオンエンジン運転
(2016/3/22~5/21・追加噴射含む)

■スイングバイ以降

(※・・・計画値)

期間	名称	台数	増速 m/s	運転 時間
2016/3/22~2016/5/21	第1期イオンエンジン運転	3(一部2台)	127	798 h
2016/11/22~2017/4/26	第2期イオンエンジン運転	3(一部2台)	435	2558
2018/1/10~2018/6/5	第3期イオンエンジン運転	2→3	389.1※	2428※

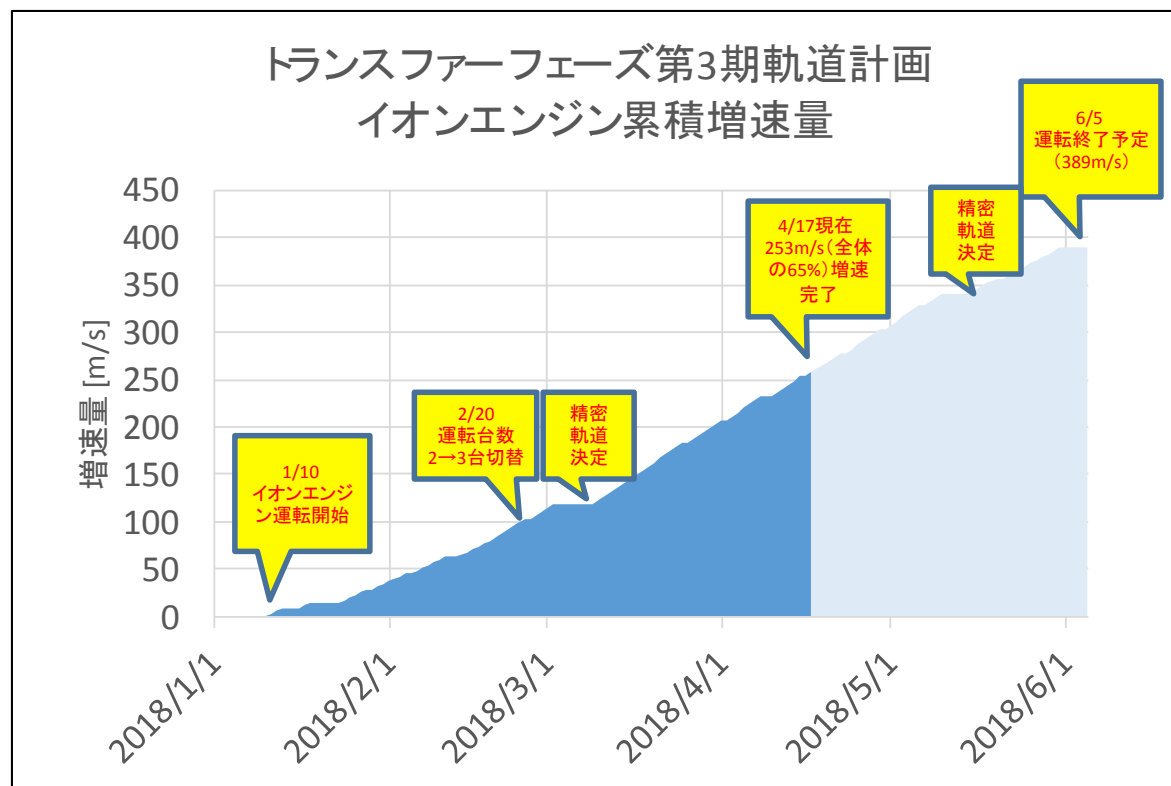


3. イオンエンジン運用

第3期イオンエンジン運転の状況

- 2018年1月10日から
運転開始(2台)
- 2018年2月20日からは
3台運転
- 4月17日現在での状況
 $\Delta V = 253.0 \text{ m/s}$
運転時間 = 1674時間

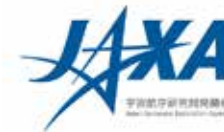
ΔV : 増速



項目	増速量	運転時間	備考
第3期IES ΔV 計画値(全体)	389.1m/s	2428hr	2018/1/10～2018/6/5
第3期IES ΔV 実績値(現在まで)	253.0m/s	1674hr	2018/1/10～2018/4/17

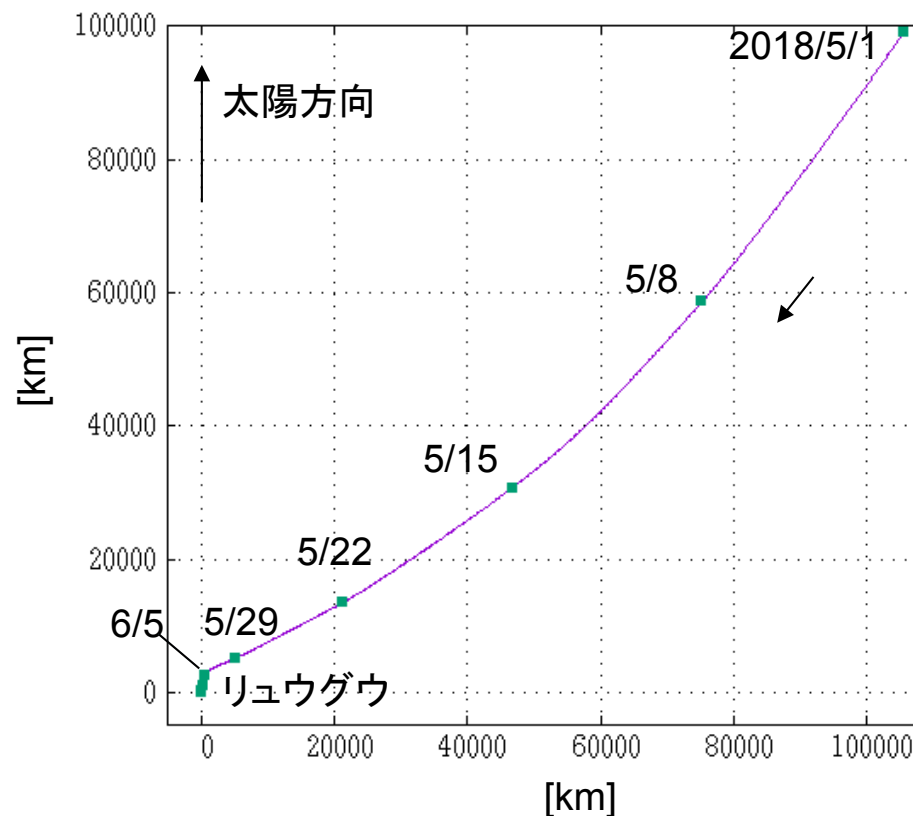


3. イオンエンジン運用



軌道計画(今後の予定)

- 6/5にイオンエンジン
運転終了(予定)
- それ以降, RCS(化学
推進系)によってアプ
ローチ
- 到着予定日は6/21~
7/5の間



リュウグウへの接近の様子

小惑星を満月の状態で観測できるように、
太陽方向から接近する。



4. ミッションスケジュール(暫定版)



年	月日	事項	状況
2018	1月10日	第3期イオンエンジン運転開始	済み
	6月5日	イオンエンジン運転終了	計画
	6月5日	小惑星接近誘導開始(距離2500km)	計画
	6月21日～7月5日	小惑星到着(高度20km)	予定
	7月末	中高度観測1(高度5km)	予定
	8月	重力計測降下(高度1km)	予定
	9月～10月	タッチダウン運用スロット1	予定
	9月～10月	ローバ投下運用スロット1	予定
	11月～12月	合運用(通信不可の期間)	予定
2019	1月	中高度観測2(高度5km)	予定
	2月	タッチダウン運用スロット2	予定
	3月～4月	クレーター生成運用	予定
	4月～5月	タッチダウン運用スロット3	予定
	7月	ローバ投下運用スロット2	予定
	8月～11月	小惑星近傍滞在	予定
	11月～12月	小惑星出発	予定

このスケジュールは、リュウグウ到着後様々な要因で変更される可能性がある。
状況が「済み」以外は、確定しているわけではないことに注意。



5. 運用訓練



■ LSS (Landing Site Selection : 着陸点選定) 訓練

小惑星の表面上から、限られた時間・大人数で、技術的・科学的観点で、小惑星への母船の着陸・ローバーの投下・クレーターの生成地点を決めることができるかの訓練

■ RIO (Real-time Integrated Operation : 実時間統合運用) 訓練

小惑星への着陸や近接降下などのクリティカルな運用について、探査機シミュレータを使って、リアルタイムの運用練度を高める訓練

※ LSS訓練については前回の記者説明会にて報告
RIO訓練については本日報告



5. 運用訓練

RIO訓練(実時間統合運用訓練)の目的

ミッションフェーズでの運用を事前に経験し、運用者の運用スキルを向上しておくことにより、クリティカル運用でのリスク低減・ミッション成功率の向上を目指す。

●降下運用等の特殊運用の運用者トレーニング

- クリティカル運用のノミナルケースにおける現場での動きの確認
- GCP-NAV等のGNCツールオペレータのスキル向上
- コンティンジェンシーケースの監視と対応
- 運用者としての心構えの準備
- JAXA・メーカ双方の参加によるチームビルディング

●地上系ツール検証

- I/F(インターフェース)確認
- ツール改修項目の抽出(使い勝手等の確認)

●実運用へのフィードバック

- 手順書修正項目の抽出
- コンティンジェンシープランのブラッシュアップ

GCP-NAV:

Ground Control Point
Navigation

GNC:

Guidance, Navigation,
and Control

航法誘導制御



5. 運用訓練

RIO訓練の種類

TRIO (RIO 訓練ドライランとしての JAXA 内訓練)				実施回数
No.	枠組み	内容	実施時期	
1	ドライラン1	ハードウェアシミュレータ(HIL)検証手順の流用による姿勢軌道制御系(AOCS)を中心とした JAXA 内訓練	2017 年 1～6 月	10 回
2	ドライラン2	画像生成装置の導入により画像フィードバック機能を活用した JAXA 内訓練	2017 年 7～2018 年 5 月	10 回

RIO (リアルタイム訓練本番)				実施回数
No.	枠組み	内容	実施時期	
1	小規模	クリティカル運用の GNC 関連ツールの使い方を学ぶための訓練	1 巡目: 2017 年 10～12 月 2 巡目: 2018 年 1～5 月	3 回
2	中規模	クリティカル運用のうち、特定のケースを想定して行う訓練		11 回
3	大規模	主要な降下運用を通して実施する, 本番さながらの 24 時間訓練		9 回

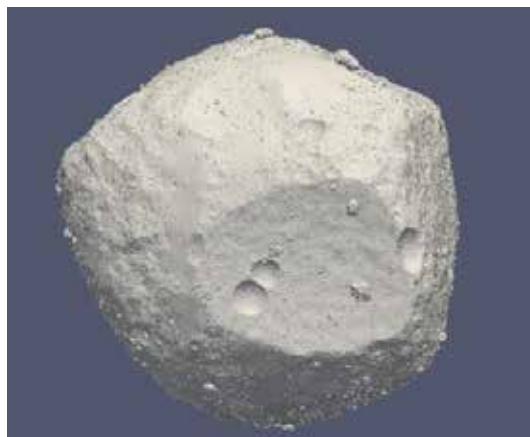
合計	43 回
----	------

※今後5月までにさらに4回のRIO訓練を行う予定(合計47回)



5. 運用訓練

仮想の小惑星リュウグウ(リュウゴイド)



形状モデル: 三浦昭(宇宙研)

368,955,296ポリゴン

熱モデル: 田中智(宇宙研)

331,832ポリゴン

地質モデル: 中村智樹(東北
大)／本田理恵(高知大)他

高度: 20km



高度: 5km



高度: 1km

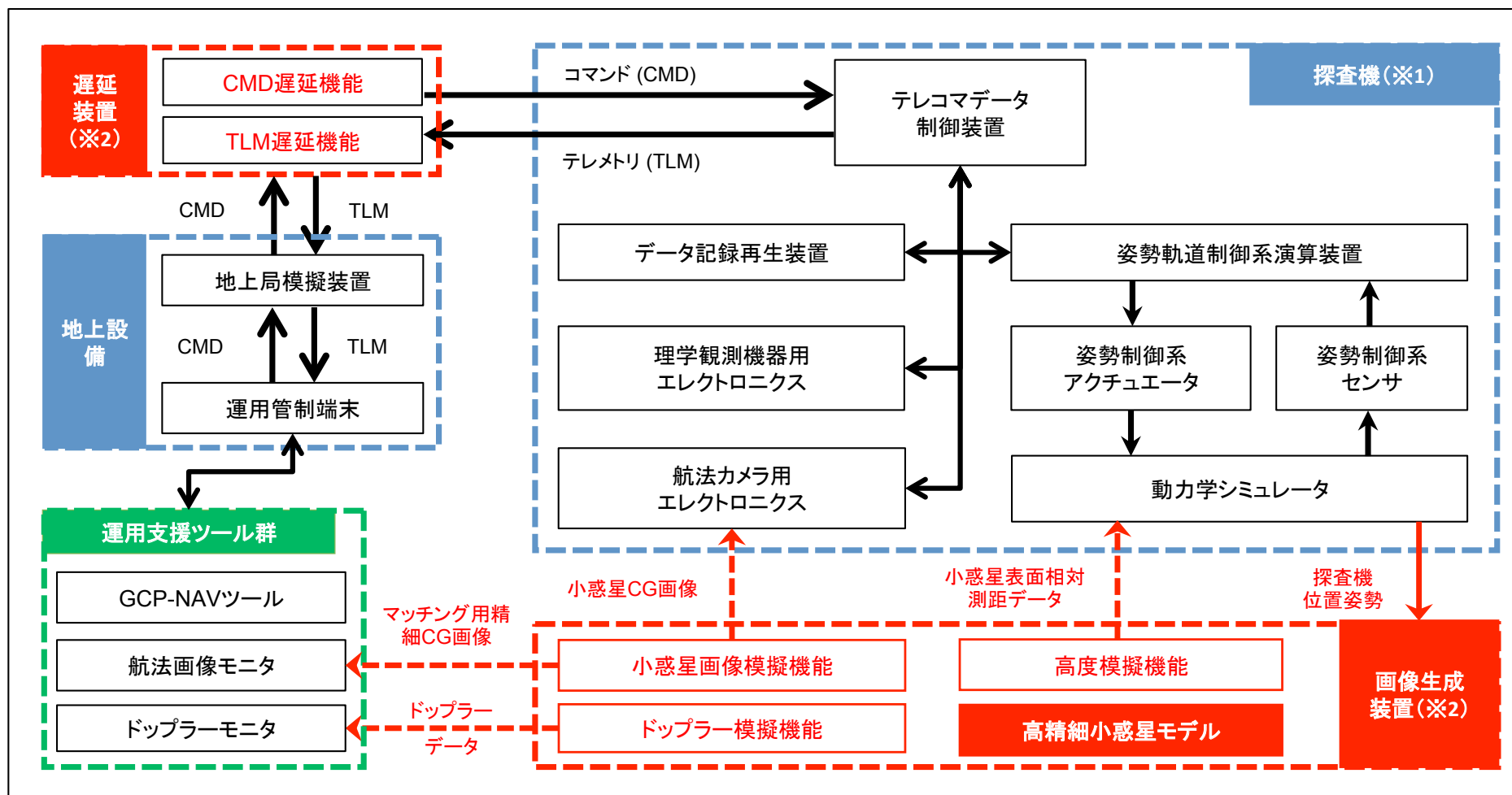


広角の光学航
法カメラ(ONC-
W1)を想定した
小惑星のCG
(画角60度)



5. 運用訓練

はやぶさ2ハードウェアシミュレータの構成図 (HIL: Hardware In the Loop)



※1: 開発時に制作したEM品等を活用し、実機と電氣的に等価なシステムを構成。各種SWについても実機と同一の設定が可能
な他、実機に上げるSWの検証試験もサポート。未実装機器はバスコマンドモニタ装置にて状態のみ模擬。

※2: 運用環境のリアリティの観点では、インハウス開発した「画像生成装置」「伝搬遅延装置」の効果が絶大。訓練効果の大幅な向上に繋がった。



5. 運用訓練

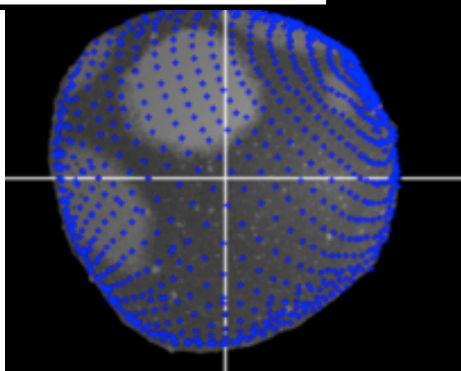


GCP-NAV: 画像を用いた地上からのフィードバック制御

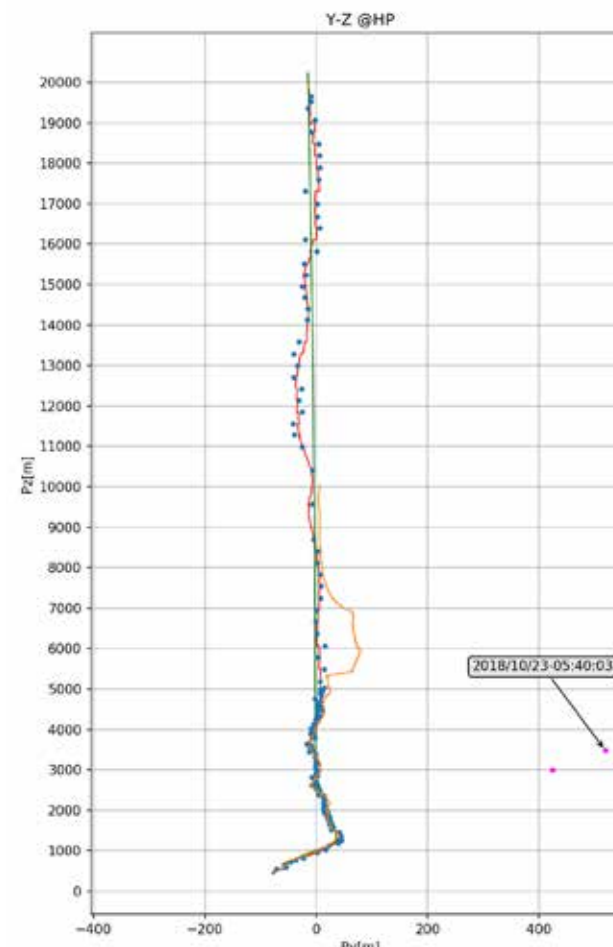
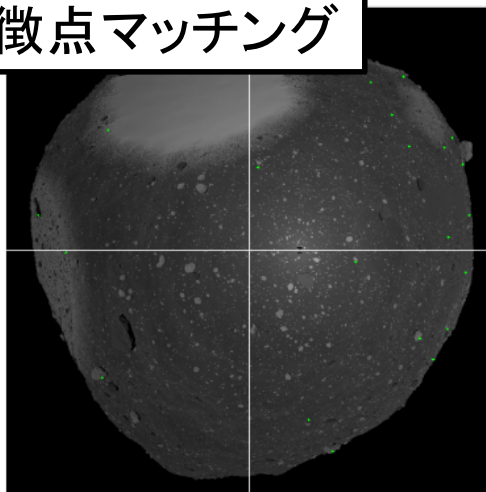
GCP-NAV: 事前に作成した小惑星モデル(輪郭・特徴点)のデータベースと、探査機から送られてくる画像のマッチングによって探査機の位置を推定し、制御コマンドを送信する。



輪郭マッチング



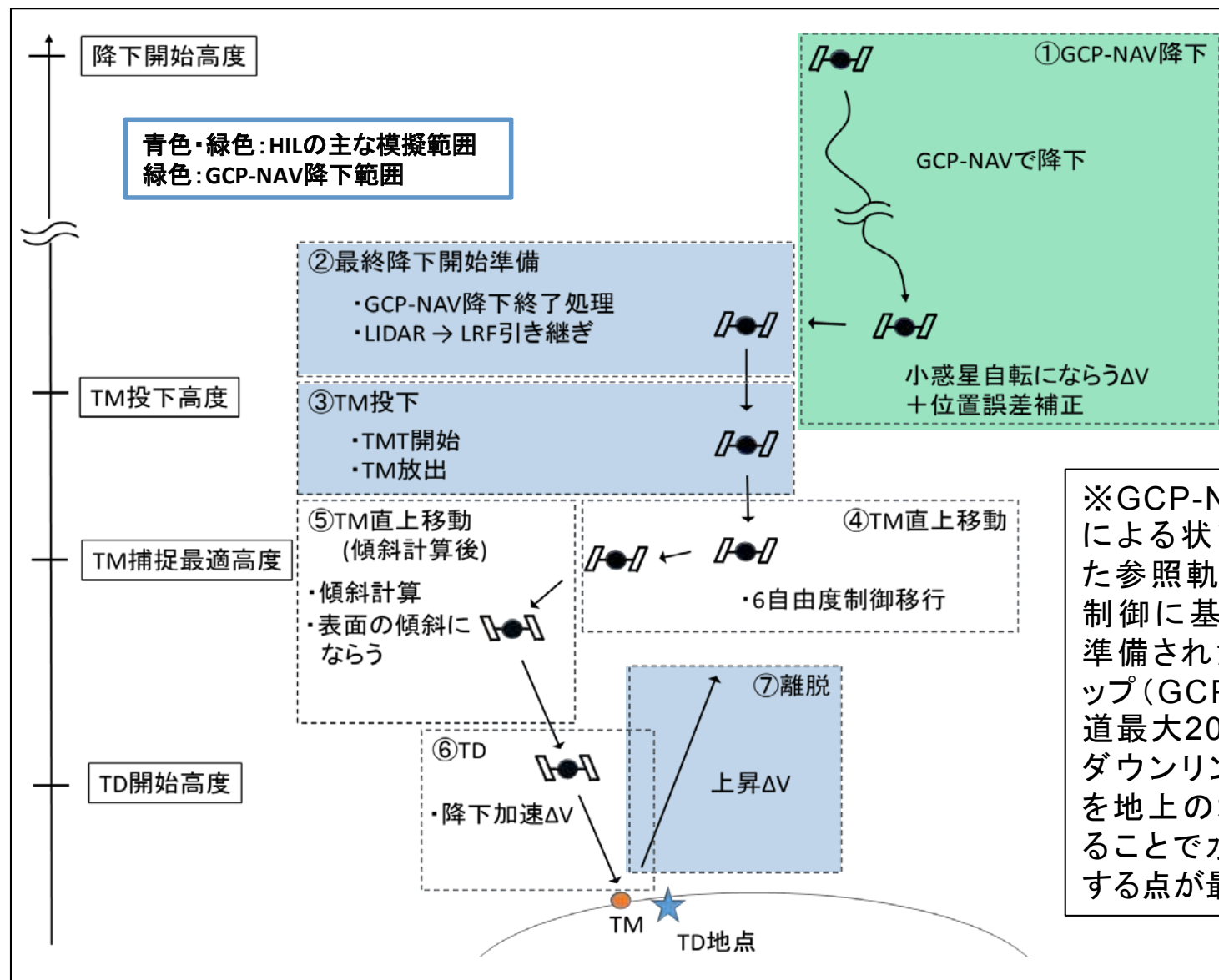
特徴点マッチング





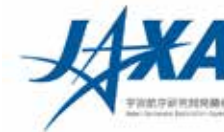
5. 運用訓練

小惑星近傍で想定される降下運用



GCP-NAV:
Ground Control Point
Navigation
TM:
Target Marker
TMT:
Target Marker
Tracking
TD:
Touch Down

※GCP-NAV降下:カルマンフィルタによる状態推定と事前に計画された参照軌道に対するフィードバック制御に基づく航法誘導手法. 予め準備された小惑星表面の特徴点マップ(GCPデータベース)に対し, 片道最大20分の時間遅れ環境下にてダウンリンクされた航法カメラ画像を地上のオペレータがマッチングすることで水平方向の航法値を算出する点が最大の特徴.



5. 運用訓練

コンテンジェンシー(不測の事態)を想定

RIO訓練にコンテンジェンシーを組み込むことで、不測の事態への対応能力向上を目指す

➤ コンテンジェンシー(コンテ)の種類

- 1) サクラコンテ ……例) サブから「スラスタ温度異常」とコール
- 2) なりきりコンテ ……例) 「コマンド端末フリーズ」を装う
- 3) シミュレータコンテ ……例) シミュレータ上でIRUへノイズ混入

※「リアルなコンテ」も

例1)「TD後IRU異常」→「通信喪失」→「IRU系統切り替えCMD」→「SH移行の是非を論議」→「ノーマル姿勢復旧」

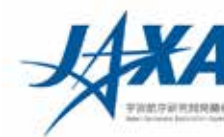
例2)「小惑星起伏起因で誘導精度悪化」→「着陸点誤差最悪値 速報値30m」→「PMからPS及びLSS工学担当へ評価仰ぐ」→「安全性・理学成果支障なし」→「着陸Go判断」



良質な失敗の経験を積むことが、手順書の成熟と運用メンバーの自信に繋がっている。

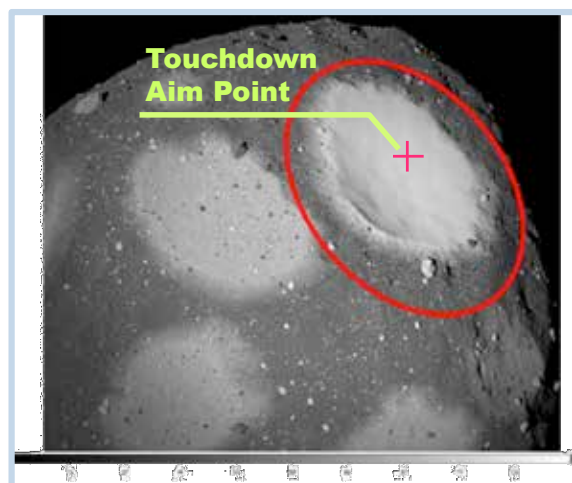


5. 運用訓練

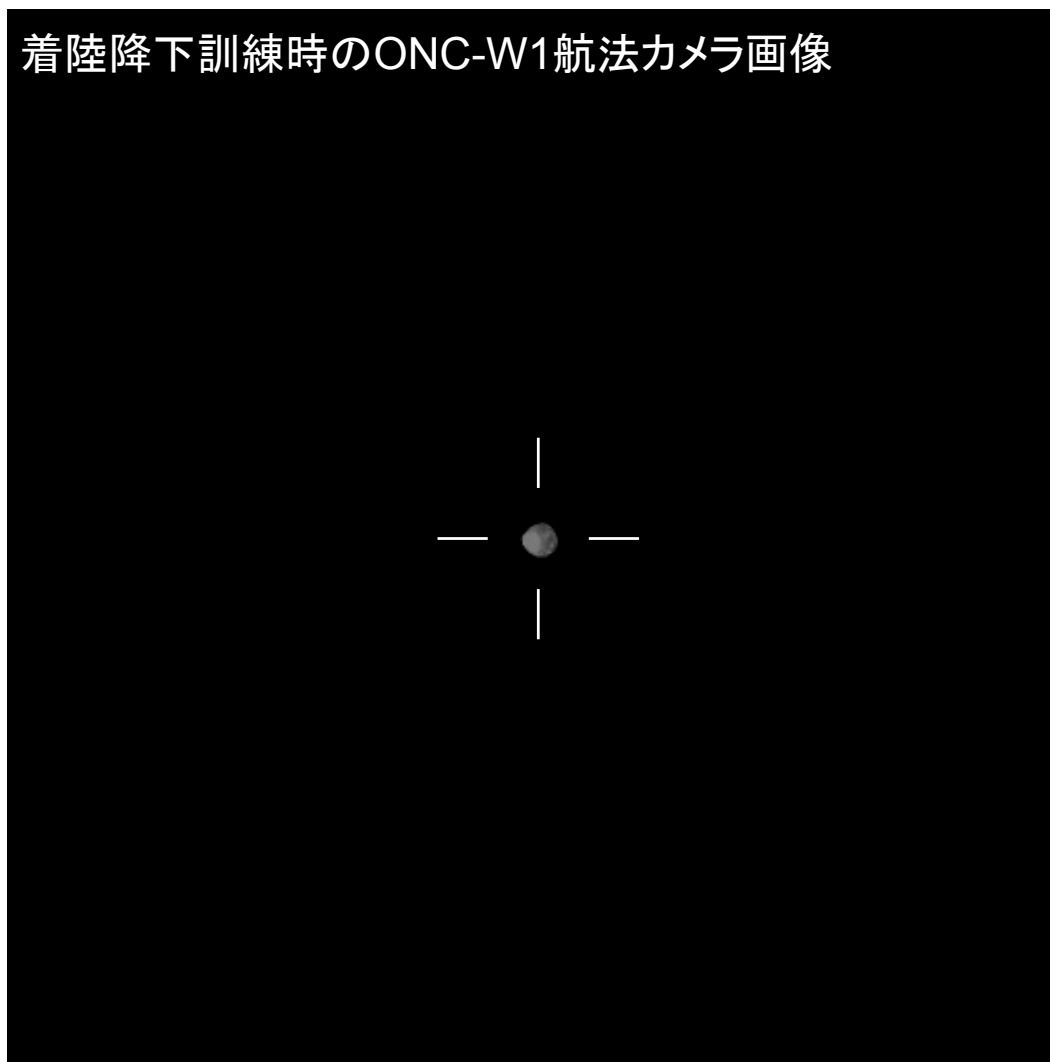


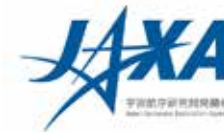
RIO訓練の例

(動画)



着陸降下訓練時のONC-W1航法カメラ画像





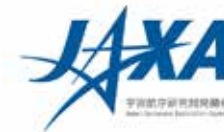
5. 運用訓練

RIO大規模訓練の様子



<http://www.isas.jaxa.jp/gallery/>

<http://www.isas.jaxa.jp/gallery/feature/haya2rio/>

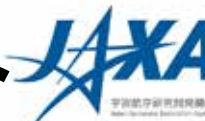


6. 広報・アウトリーチ

- アウトリーチイベント
 - “小惑星リュウグウ” 想像コンテスト
 - はやぶさ2トークライブ
- 運用状況の公開
 - 「はや2NOW」(<http://haya2now.jp/>)
- その他のコンテンツ公開
 - 打ち上げから到着までの動画
 - こちはや 漫画版
- 外部対応
 - デアゴスティーニ社「はやぶさ2を作る」
<https://deagostini.jp/hy2/>



“小惑星リュウグウ” 想像コンテスト



いろいろな組織にノードとなって
もらい作品を集めていただく

トピックス

“小惑星リュウグウ” 想像コンテスト、
始まりました



ノード(日本):

1. はまぎん こども宇宙科学館
2. 大分市関崎海星館
3. 日本宇宙少年団
4. 相模原市立博物館
5. 倉敷科学センター
6. SciNeth(サイネス)
7. 東芝未来科学館、東京国際科学フェスティバル
8. デアゴスティーニ・ジャパン
9. 豊橋市視聴覚教育センター
10. 明石市立天文科学館
11. 岡山県生涯学習センター人と科学の未来館サイピア
12. 多摩六都科学館
13. とよた科学体験館
14. 千葉市科学館
15. 佐賀県立 宇宙科学館<<ゆめぎんが>>
16. ローソン
17. ロボフェス2018(夢見る株式会社)
18. 会津そらの会

ノード (外国)

海外1：フランス

CNES (フランス国立宇宙研究センター)

<https://cnes.fr/en>

海外2：スリランカ

Sri Lanka Astronomical Association

<https://www.facebook.com/srilankaastronomicalassociation/>

海外3：イスラエル

Asteroid Day Israel and the Israeli
Astronomical Association

海外4：スペイン

Instituto de Astrofisica de Andalucia -
CSIC

海外5：ウガンダ

Space and Astronomy Uganda

海外6：インド

Astronomy Club India

※この他、タイ、オーストラリア、ガーナ、メキシコ、
中国（香港）などから問い合わせあり



はやぶさ2トークライブ



- 2016年2月21日のから2018年4月7日まで、合計14回開催。
- 2ヶ月に1度、相模原市立博物館にて「はやぶさ2」に関するいろいろな話題について紹介
- ネット中継、手話通訳、要約筆記等も行う
- 第14回(2018年4月7日)で終了したが、今後はミッションの状況に応じて報告を行うもの(仮称:トークライブ・シーズン2)を検討



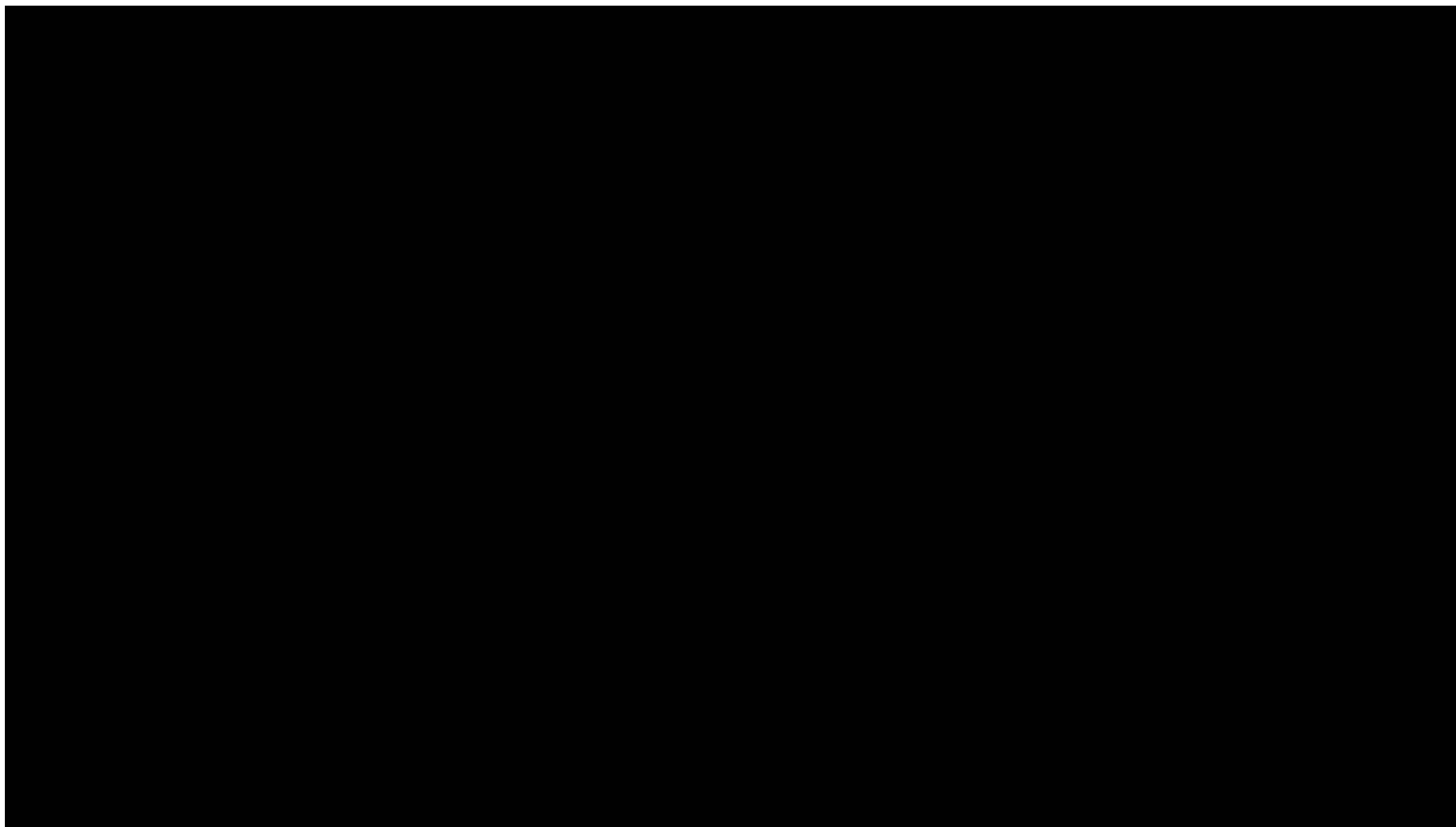


打ち上げから到着までの動画



(暫定版)

(動画)





こちはや 漫画版



「こちはや」(こちら「はやぶさ2」運用室)

- 技術的、科学的な事項を解説するWeb記事
- より親しみをもちてもらうため漫画版を開始





7. 今後の予定



ミッション:

- 小惑星到着前の主要な運用訓練は2018年5月で終了
- 2018年5月からは光学航法によりリュウグウに接近
 - 5月はSTT(スタートラッカ)による撮像
 - 6月はONC-T(望遠の光学航法カメラ)による撮像
- 2018年6月5日にイオンエンジンの運転を終了予定
- 2018年6月21日～7月5日にリュウグウ到着



7. 今後の予定



報道機関対応、情報公開:

6月上旬～

- ・ 定例記者説明会の実施(2週間に1回程度、東京事務所)
- ・ リュウグウ画像のウェブ公開(適宜、目安として週1回程度)

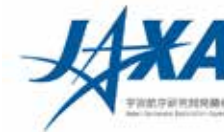
小惑星到着時(6月末～7月上旬)

- ・ 記者会見

ローバ(ミネルバII)投下運用時、タッチダウン運用時等

- － ライブ中継:内容については調整中
- － プレスセンターの設置(相模原)

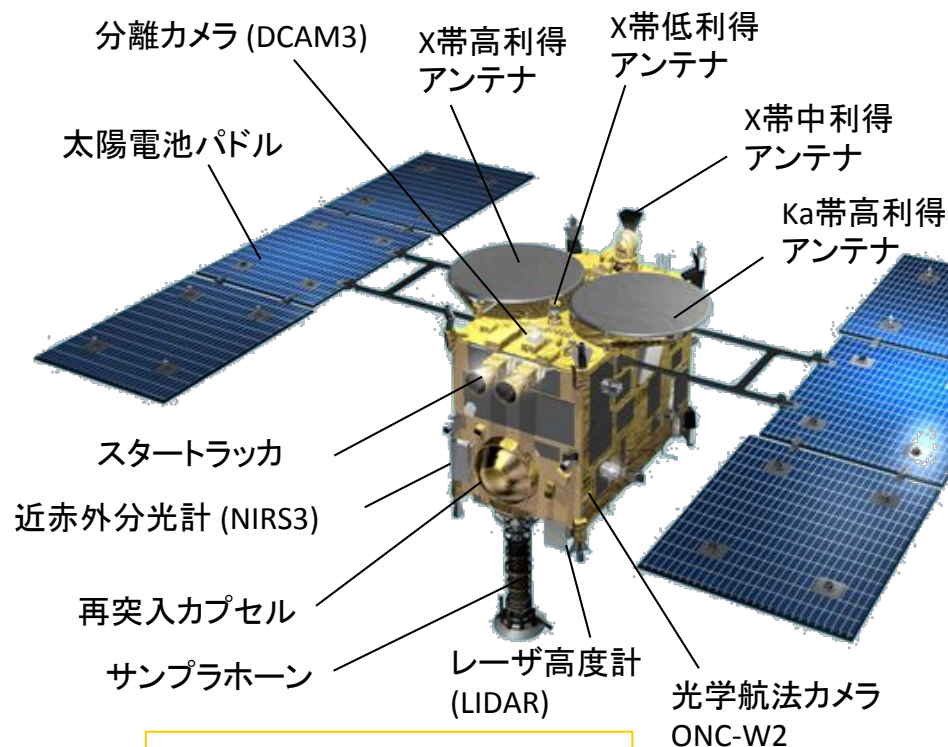
※ミッションスケジュールは暫定



参考資料



探査機概要



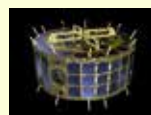
小型着陸機・ローバ

MASCOT



DLRとCNES製作

ミネルバ2



II-1A



II-1B



II-2

II-1 : JAXA MINERVA-II チームによる

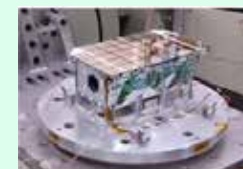
II-2 : 東北大およびミネルバ2コンソーシアムによる



光学航法カメラ
ONC-T



レーザ高度計
LIDAR

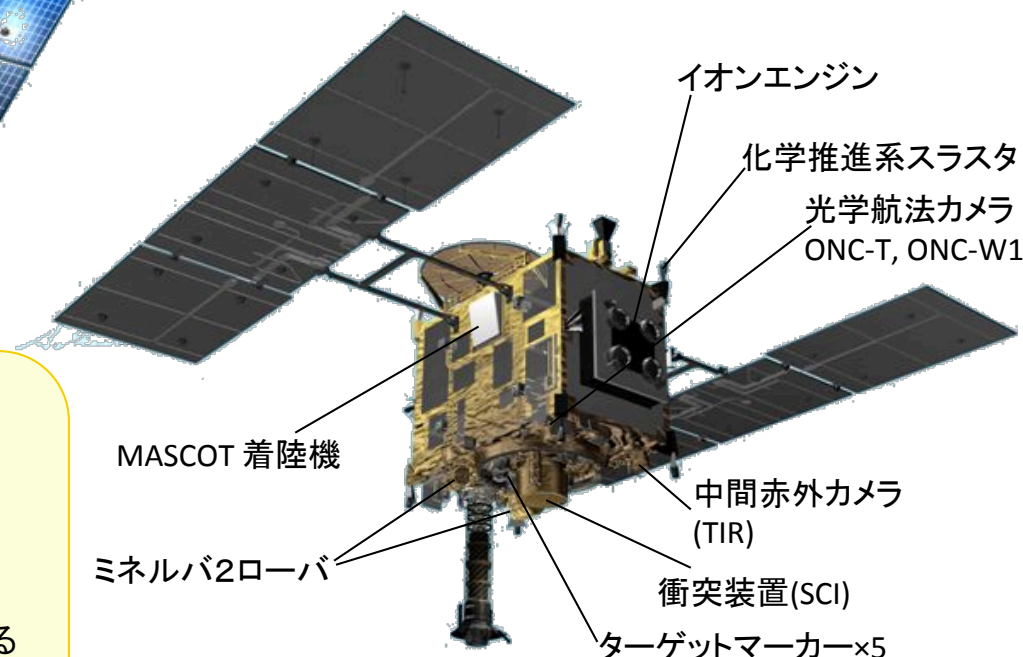


近赤外分光計
NIRS3



中間赤外カメラ
TIR

科学観測機器



大きさ: 1m×1.6m×1.25m (本体)
太陽電池パドル展開幅6m
重さ : 609kg (燃料込み)



リモートセンシング機器



光学航法カメラ(ONC)



ONC-T(望遠) ONC-W1,W2(広角)

科学観測や航法のための写真を撮影する

中間赤外カメラ(TIR)



8~12 μ mでの撮像: 小惑星表面温度を調べる

近赤外分光計(NIRS3)



3 μ m帯を含む赤外線スペクトル: 小惑星表面の鉱物の分布を調べる

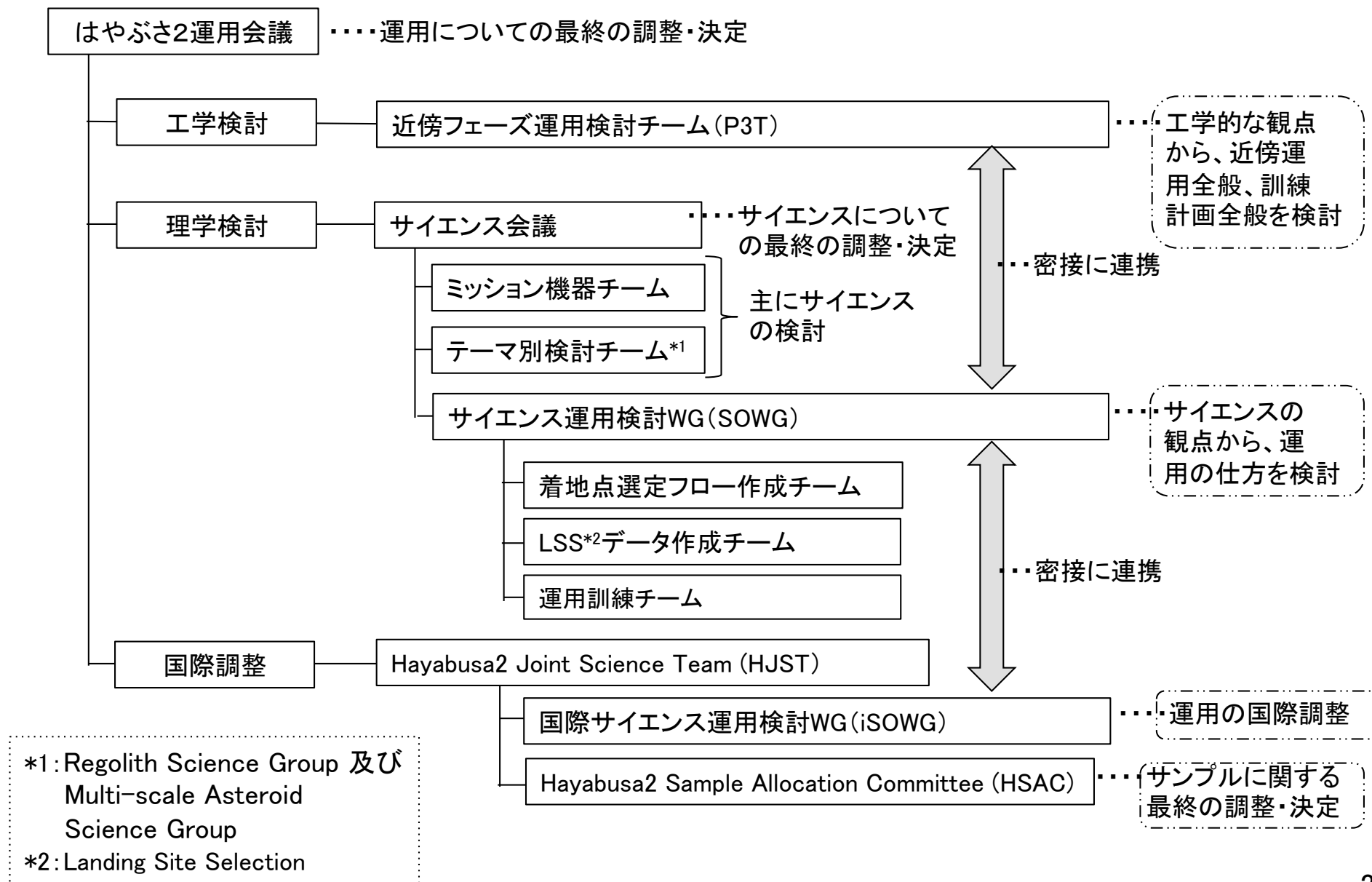
レーザ高度計(LIDAR)



30m~25kmの範囲で、小惑星と探査機間の距離を測定する



小惑星近傍運用検討の体制



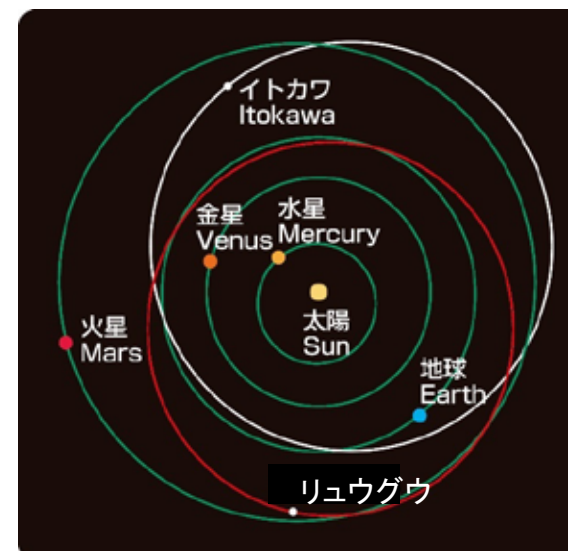


小惑星リュウグウについて

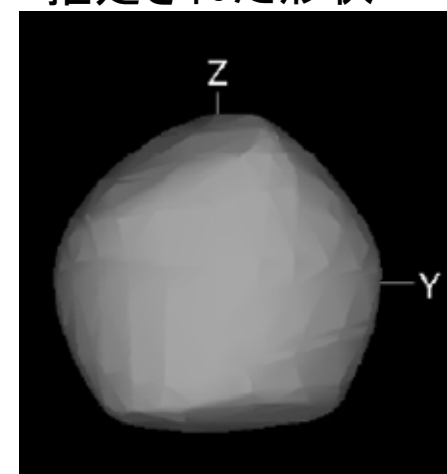


名称	: Ryugu(リュウグウ)
確定番号	: 162173
仮符号	: 1999 JU3
	1999年5月に発見された小惑星
大きさ	: 約900 m
形	: ほぼ球形
自転周期	: 約7時間38分
自転軸の向き	: 黄経 $\lambda = 310^\circ \sim 340^\circ$ 黄緯 $\beta = -40^\circ \pm \sim 15^\circ$
反射率	: 0.05 (黒っぽい)
タイプ	: C型(水・有機物を含む物質 があると推定される)
軌道半径	: 約1億8千万km
公転周期	: 約1.3年
密度・質量	: 現時点では不明であるが、 $0.5\text{--}4.0\text{g/cm}^3$ の密度を仮定している。 質量は $1.7 \times 10^{11}\text{kg} \sim 1.4 \times 10^{12}\text{kg}$ 程度。

リュウグウの軌道



推定された形状



(T. Mueller氏による)