

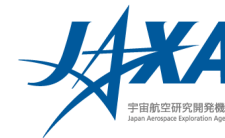
小惑星探査機「はやぶさ2」搭載ローバ MINERVA-II 1の分離運用について

2018年9月21日

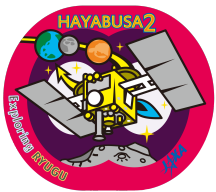
JAXA はやぶさ2プロジェクト



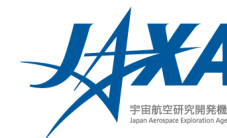
目次



- 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. MINERVA-II1分離運用について



「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

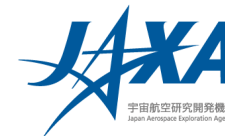
質量	約 609kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)6月27日
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在期間	約18ヶ月
探査対象天体	地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

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

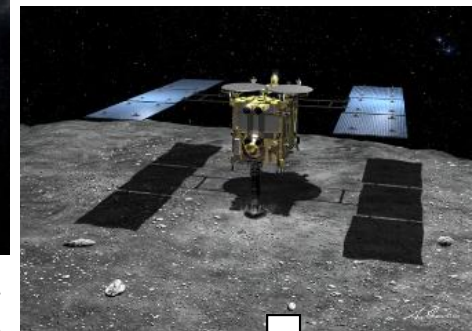


小惑星到着
2018年6月27日



▲
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



サンプル分析

(イラスト 池下章裕氏)

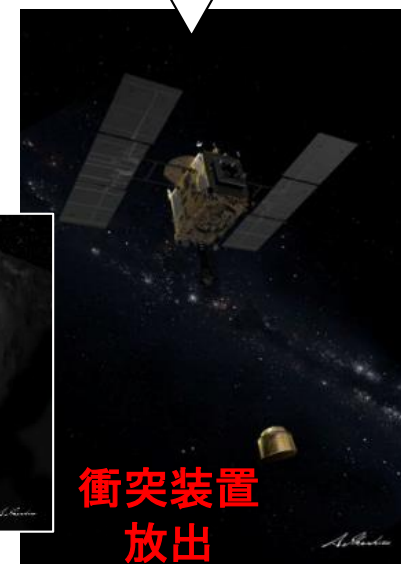
小惑星出発
2019年11-12月



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。

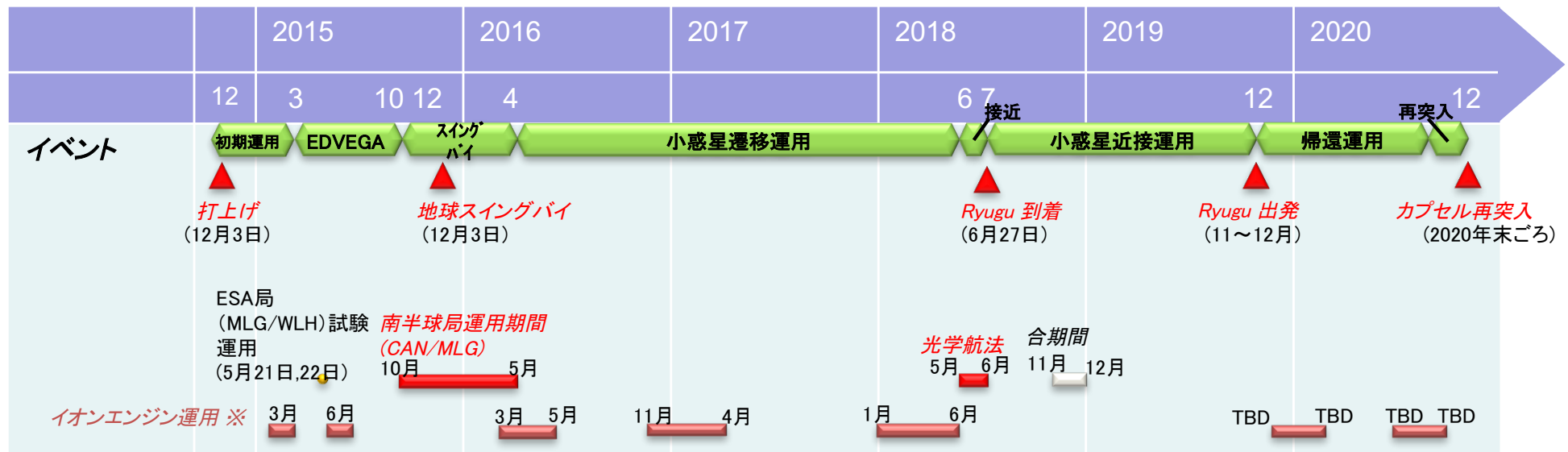


1. プロジェクトの現状と 全体スケジュール

現状:

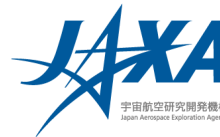
- 最初のタッチダウンのための1回目のリハーサル(TD1-R1)は、9月10日から12日にかけて行われた。LIDARによる測距値が正常な値でなくなったため、高度600m付近まで降下した後上昇した。
- 上記の原因が解明されたので、MINERVA-II 1およびMASCOTの分離運用は予定どおりに行うこととし、9月19日から21日にかけてMINERVA-II 1の分離運用を行っている。

全体スケジュール:





2. MINERVA-II1分離運用について

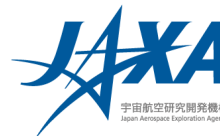


運用概要

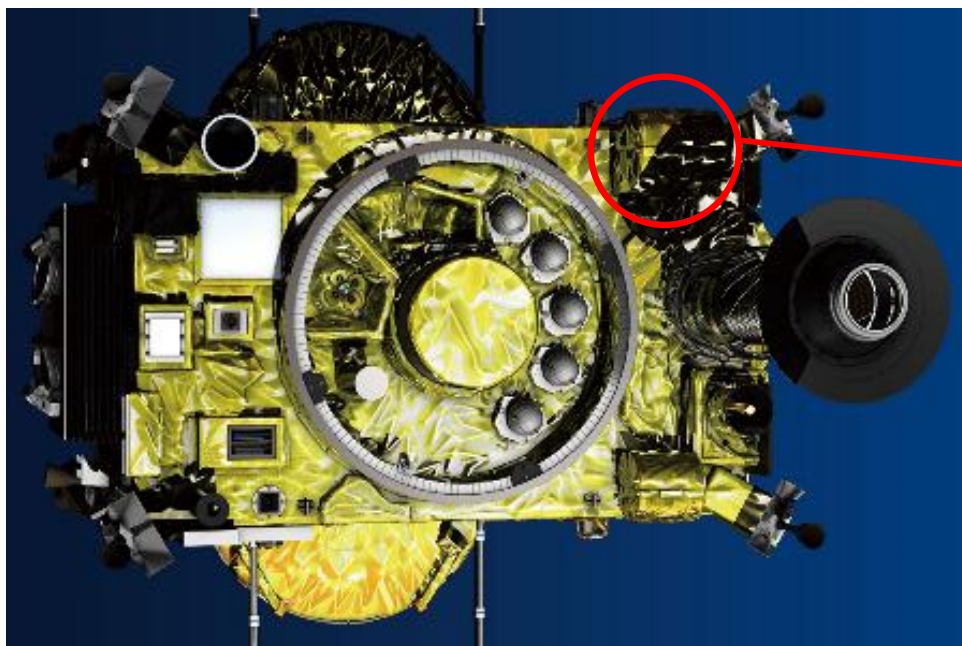
- MINERVAII-1分離運用は、小惑星探査機「はやぶさ2」が搭載するローバ(Rover-1A,1B)を小惑星上空約50-60mにて分離、着地点選定プロセスにて定められた領域付近へ着地させることを含む、以下を目的としている。
 1. ローバ1A/Bの分離
 2. LIDAR NEARモードでの測距確立(低高度域での設定妥当性と健全性確認)
- 併せて、以下を行う予定
 - － 小惑星表面の観測
 - － 探査機の誘導精度の確認



2. MINERVA-II1分離運用について



MINERVA-II1は、「はやぶさ」に搭載したMINERVA（ミネルヴァ）の後継機



(©JAXA)

＜協力メーカ、大学、団体など＞
愛知工科大学、会津大学、アドニクス、
アンテナ技研、エルナー、セシアテクノ、
東京大学、東京電機大学、デジタルスパイス、
日東光学、マクソンジャパン、DLR、ZARM

MINERVA-II1(Rover-1A, Rover-1B)



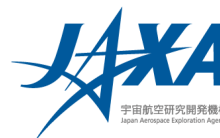
分離機構

JAXA製作

- 分離機構を含む総質
MINERVA-II1：2.5kg
- MINERVA-II1には2つの探査ローバを搭載



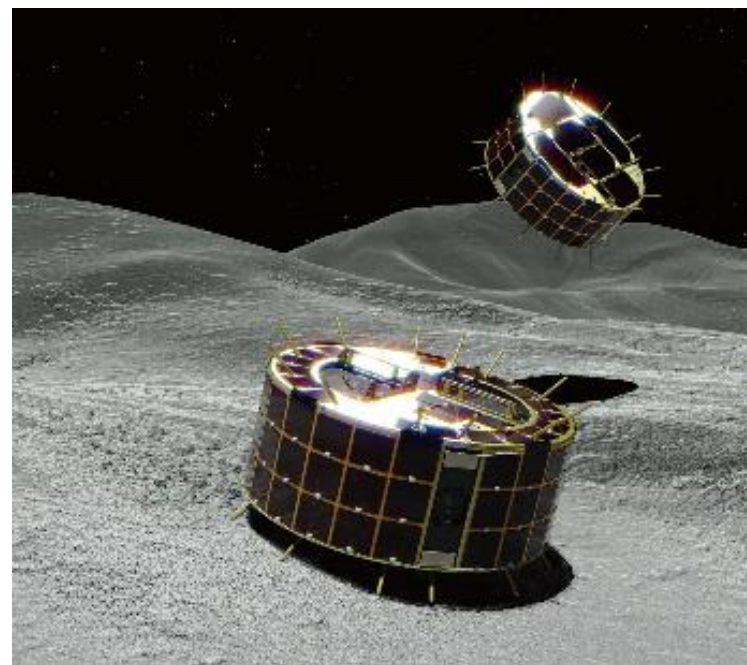
2. MINERVA-II1分離運用について



小惑星探査ロボット「MINERVA-II1」

Micro Nano Experimental Robot Vehicle for Asteroid
the Second Generation

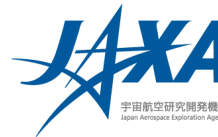
- ホッピングメカニズム
- 未知環境適応能力
- 小型・軽量・低消費電力
- 自律探査行動
- 科学観測（表面ステレオ画像・温度計測）



(©JAXA)



2. MINERVA-II1分離運用について

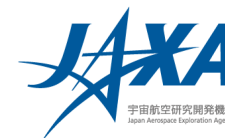


MINERVA-II1 Roverの仕様

大きさ	正十六角柱 直径: $\phi 180$ [mm] 高さ: 70[mm]
重量	1A:1,151[g], 1B:1,129[g]
駆動部	直流モータ 1個
搭載センサ	カメラ4個(1A), カメラ3個(1B) 光センサ, 加速度計, 温度計, ジャイロ
通信速度	32k[bps] (max)



2. MINERVA-II1 分離運用について



MINERVA-II 1分離の主要なスケジュール

時刻 UTC (世界時)	時刻 JST (日本時間)	探査機速度 cm/s	HP高度 m	直下点高度 m	事項
9/19 00:00	9/19 09:00	0	20,000		臼田局開始
9/19 08:10	9/19 17:10				マドリッド局開始
9/19 16:00	9/20 01:00				ゴールドストーン局開始
9/20 00:00	9/20 09:00				臼田局開始
9/20 04:10	9/20 13:10				降下開始確認
9/20 05:10	9/20 14:10	-40	20,000		降下開始
9/20 07:10	9/20 16:10				キャンベラ局開始
9/20 08:10	9/20 17:10				マドリッド局開始
9/20 10:00	9/20 19:00		13,000		
9/20 15:30	9/21 00:30	-10	5,000		降下減速ΔV
9/20 16:00	9/21 01:00				ゴールドストーン局開始
9/20 18:30	9/21 03:30		4,000		
9/21 00:00	9/21 09:00				臼田局開始
9/21 00:00	9/21 09:00		2,000		
9/21 00:10	9/21 09:10			1,500	
9/21 03:00	9/21 12:00			500	
9/21 03:40	9/21 12:40			250	
9/21 04:00 ~04:30	9/21 13:00 ~13:30			およそ60	MINERVA-II 1 分離
9/21 04:00 ~04:30	9/21 13:00 ~13:30	+50		およそ60	分離後上昇 ΔV
9/21 05:40	9/21 14:40	TBD			HP復帰上昇 ΔV
9/21 07:20	9/21 16:20				キャンベラ局 開始
9/21 08:10	9/21 17:10				マドリッド局 開始
9/21 16:00	9/22 01:00				ゴールドス トーン局開始
9/22 00:00	9/22 09:00				臼田局開始

現時点で予定されているおおよそのスケジュールは、左の表のようになります。探査機の安全性を優先して運用をしますので、状況によってはスケジュールが変更になることがあります。ご了承ください。

・注意

時刻: おおよその予定時刻(10分刻み)を示す。運用の都合により変更になる可能性がある。探査機に関する時刻は機上時刻となるので、その確認は電波伝搬時間の約17~18分後になる。

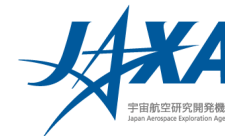
・探査機速度: 小惑星に相対的な速度(小惑星に接近する方がマイナス、遠ざかる方向がプラス) 速度制御を行った時のみ数値を示す。速度制御の後は、リュウグウ等の引力の元で速度が変化する。

・HP高度: リュウグウ中心からの距離。

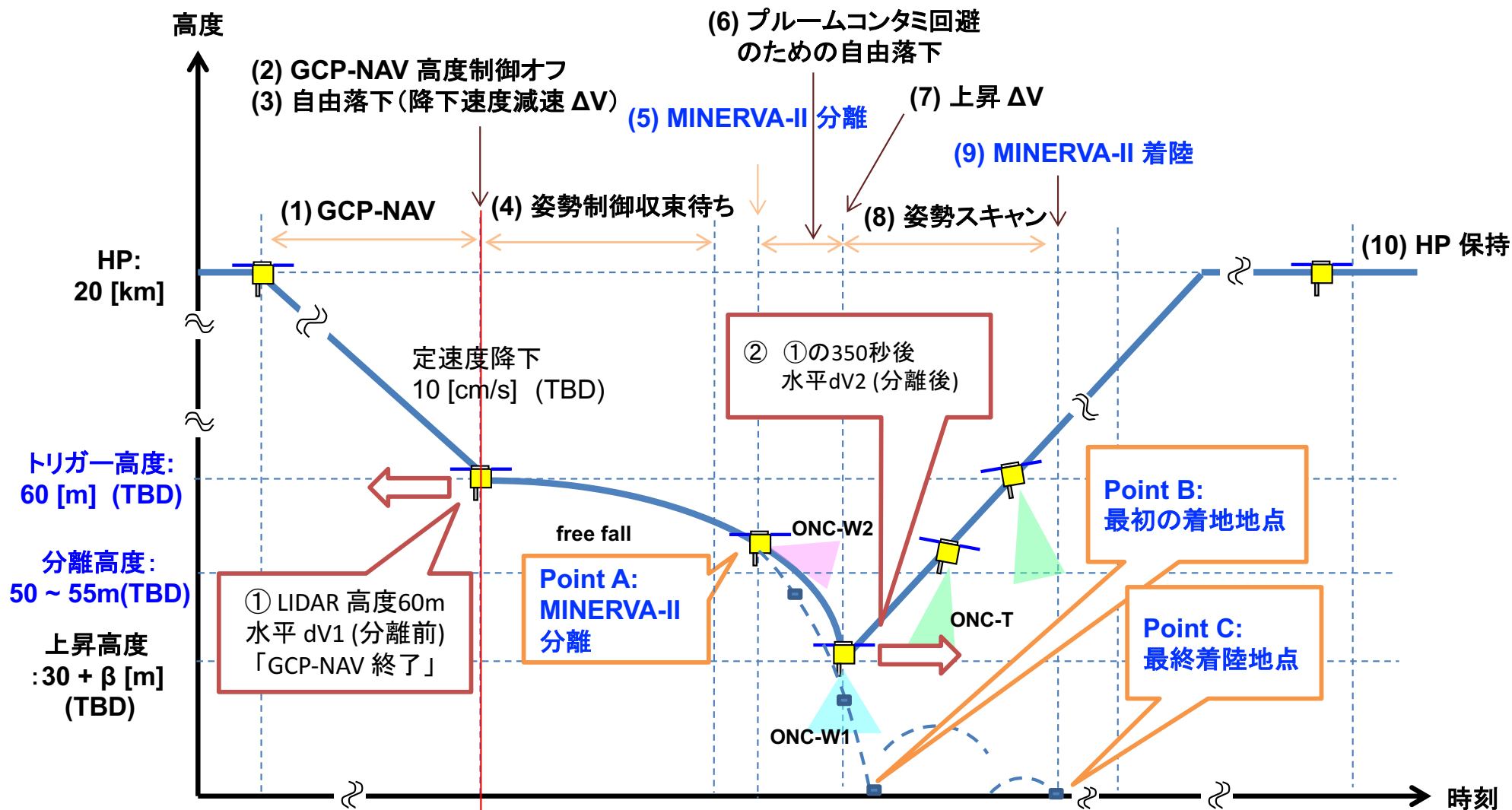
・直下点高度: リュウグウ表面からの高さ。



2. MINERVA-II1分離運用について



分離運用シーケンス



(© JAXA)

高度60m
予定時刻

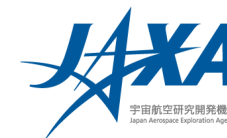
HP: ホームポジション(小惑星中心からの距離20km) 11



参考資料



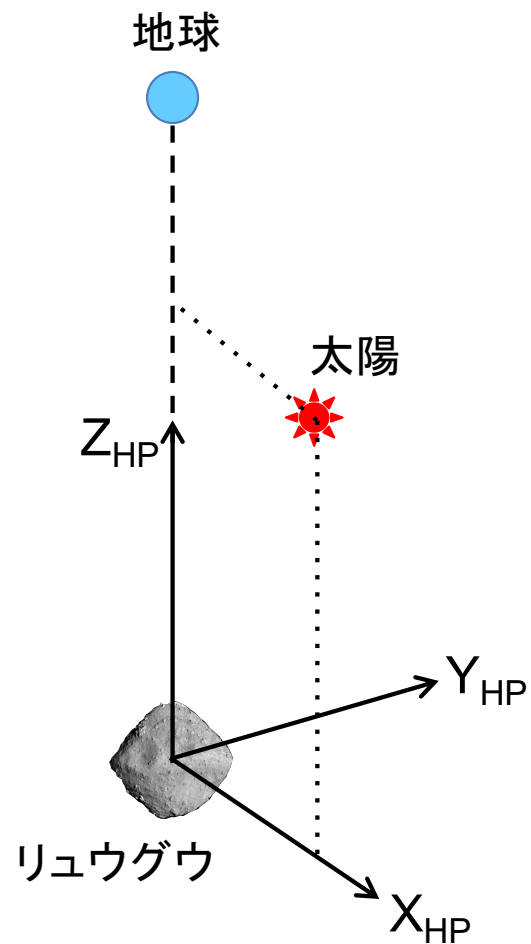
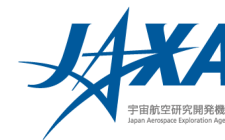
参考：資料P10図の用語解説



- dV , ΔV : デルタ・ブイ, 探査機を加速すること
- free fall: 自由落下のこと。積極的に速度制御をせずに、リュウグウの引力に引かれるまま落下する。
- GCP-NAV: Ground Control Point Navigation, 降下運用時の画像誘導航法運用ツール
- HP: ホームポジション
- LIDAR: レーザ高度計
- ONC-T: 望遠の光学航法カメラ(探査機下面に設置)
- ONC-W1: 広角の光学航法カメラ(探査機下面に設置)
- ONC-W2: 広角の光学航法カメラ(探査機側面に設置)
- 姿勢スキャン: MINERVA-II 1を撮影するために探査機の姿勢を変更する。
- 定速度降下: ほぼ一定の速度で降下する。最初は秒速40cmほど、高度5kmくらいからは、秒速10cmほどの速度になる。
- トリガー高度: この高度になると探査機の速度制御を行う。
- プルームコンタミ回避のための自由落下: 図中に示されている期間は、探査機のスラスタを噴かずにMINERVA-II 1が自由落下する。スラスタのガスがMINERVA-II 1に当たるのを避けるため。

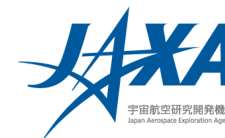


ホームポジション座標系





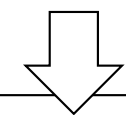
MINERVA-IIの着地候補地点選定



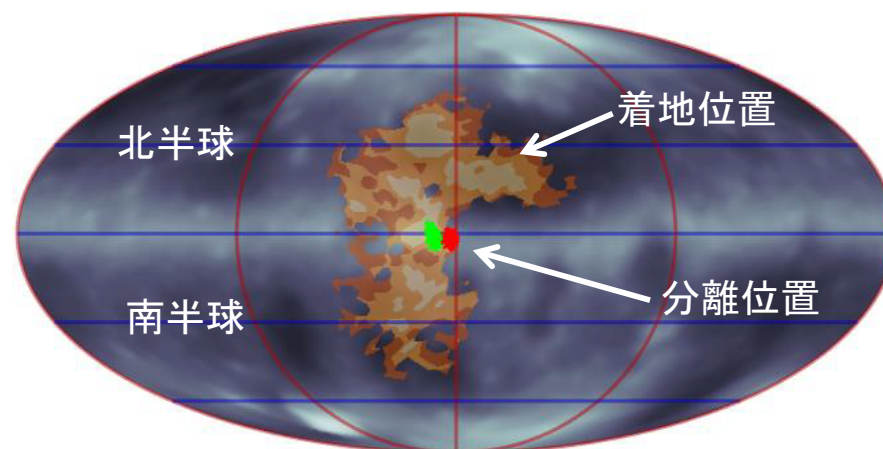
MINERVA-IIの着地点選定の条件:

- ☐ 着地する場所がタッチダウン予定地と重ならないこと
- ☐ 着地する場所がMASCOTの着地予定地と重ならないこと
- ☐ 分離後の探査機高度が30mより低くないこと
- ☐ 地上局との通信が確保できること
- ☒ 「はやぶさ2」探査機との通信が確保できること
- ☒ 温度が高くない領域で、陰となる領域が少ないこと

- ↓
- ・赤道付近はリッジ(尾根)となっているため、赤道付近に分離すると着地点が南北に大きく広がってしまう。
 - ・南半球に分離した場合、探査機高度が30mより低くなる可能性がある。



- ・赤道から北半球側に100m以上離れたところに分離する

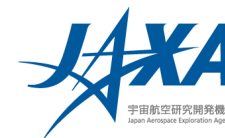


(©JAXA)

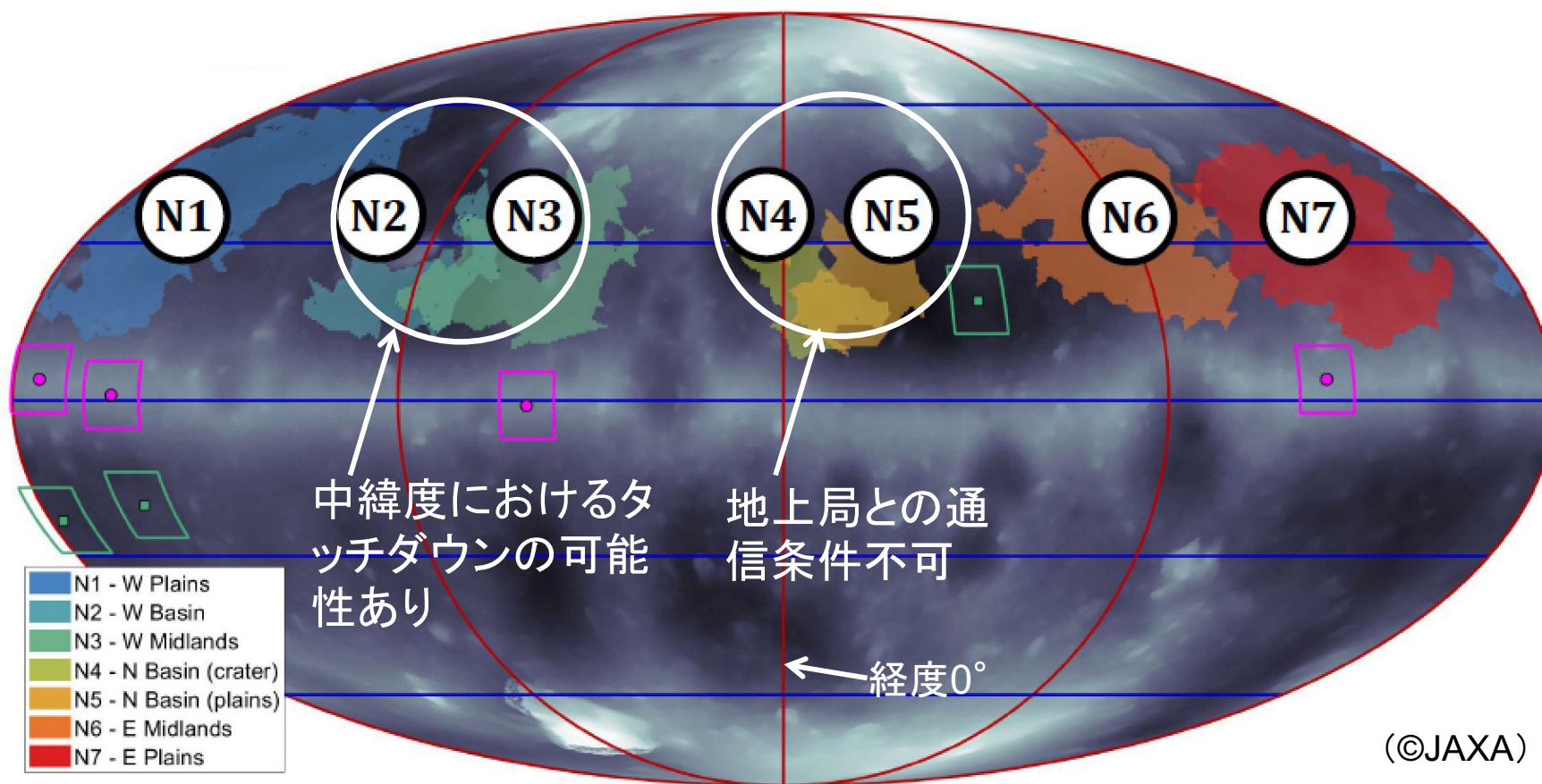
赤道付近に分離すると、着地点が南北に広がってしまう



MINERVA-IIの着地候補地点選定

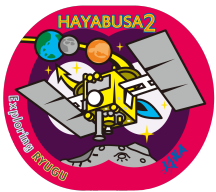


MINERVA-IIの着地点候補：北半球で検討

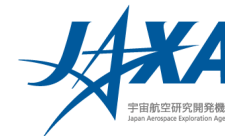


- ・タッチダウン・MASCOTの着地点と重ならないことを確認
- ・ONC-Tによる観測可能性等も考慮

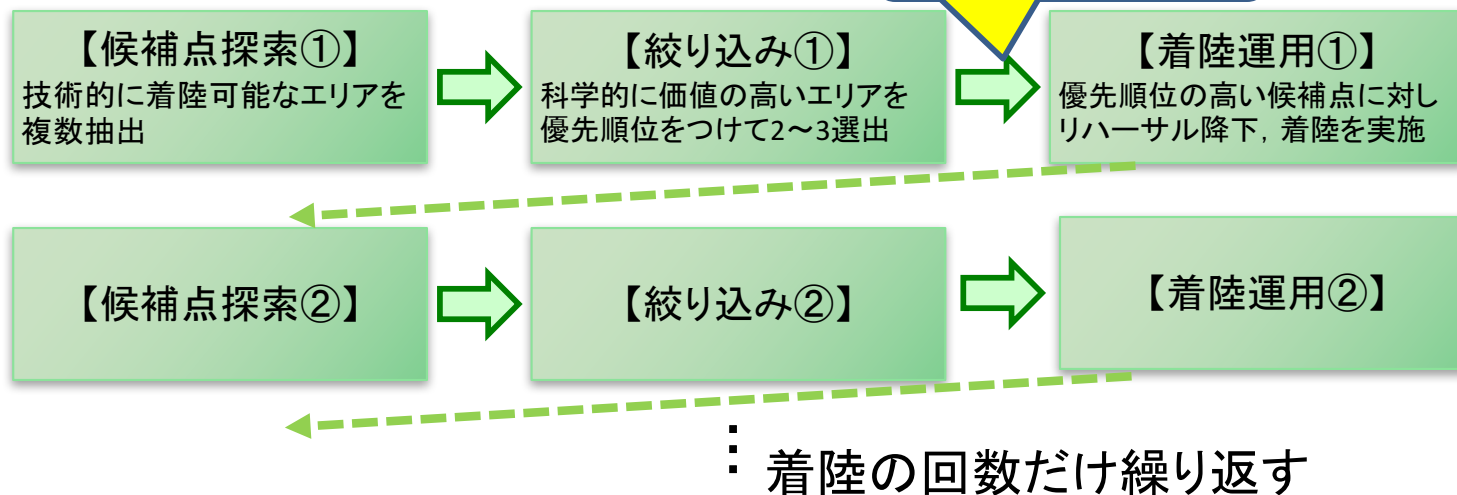
候補地：N6 > N1 > N7



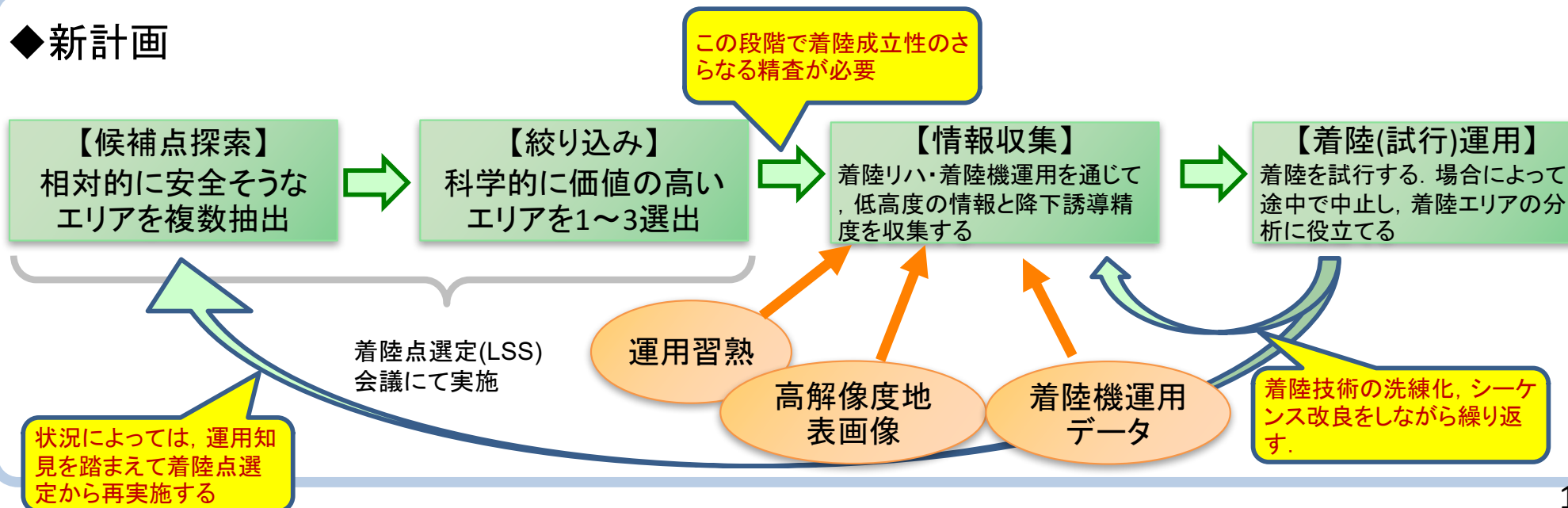
着陸実現に向けた戦略



◆当初計画



◆新計画

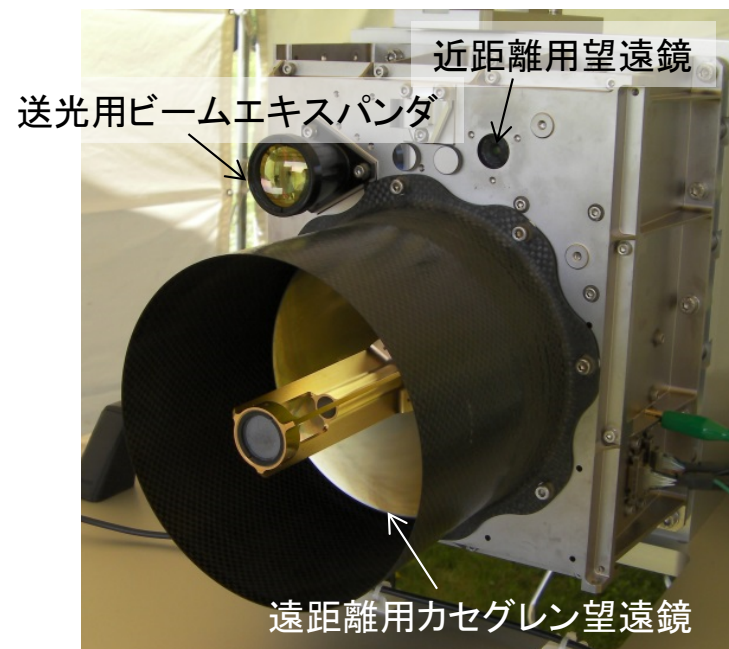




レーザ高度計 (LIDAR)

LIDAR: Light Detection And Ranging

- ・パルス方式のレーザ高度計。
- ・対象天体に向けて波長 $1.064 \mu\text{m}$ のパルスYAGレーザを発射し、レーザ光の往復時間を測定することにより、高度を測定する。
- ・「はやぶさ2」のLIDARは、距離30m～25kmで測定することが可能である。
- ・LIDARは対象天体への接近、着陸時に用いられる航法センサであるとともに、形状測定、重力測定、表面特性測定、ダスト観測に用いられる科学観測機器でもある。
- ・また、トランスポンダ機能も備えており、地上LIDAR局との間でSLR(Space Laser Ranging)実験を行うことができる。



レーザ高度計エンジニアリングモデル

科学目標

- ・ 探査小惑星の地形・重力場の観測
- ・ 表面各地点のアルベド分布の観測
- ・ 小惑星周囲に浮遊するダスト観測



- ・ 小惑星の形状・質量・空隙率とその偏り
- ・ 小惑星表面のラフネス
- ・ ダスト浮遊現象