

資料57-4

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

宇宙開発利用部会

(第57回) 2020. 7. 21

宇宙科学探査ミッション進捗報告(はやぶさ2)

はやぶさ2地球帰還計画 および拡張ミッションの検討状況

2020年7月21日

宇宙航空研究開発機構

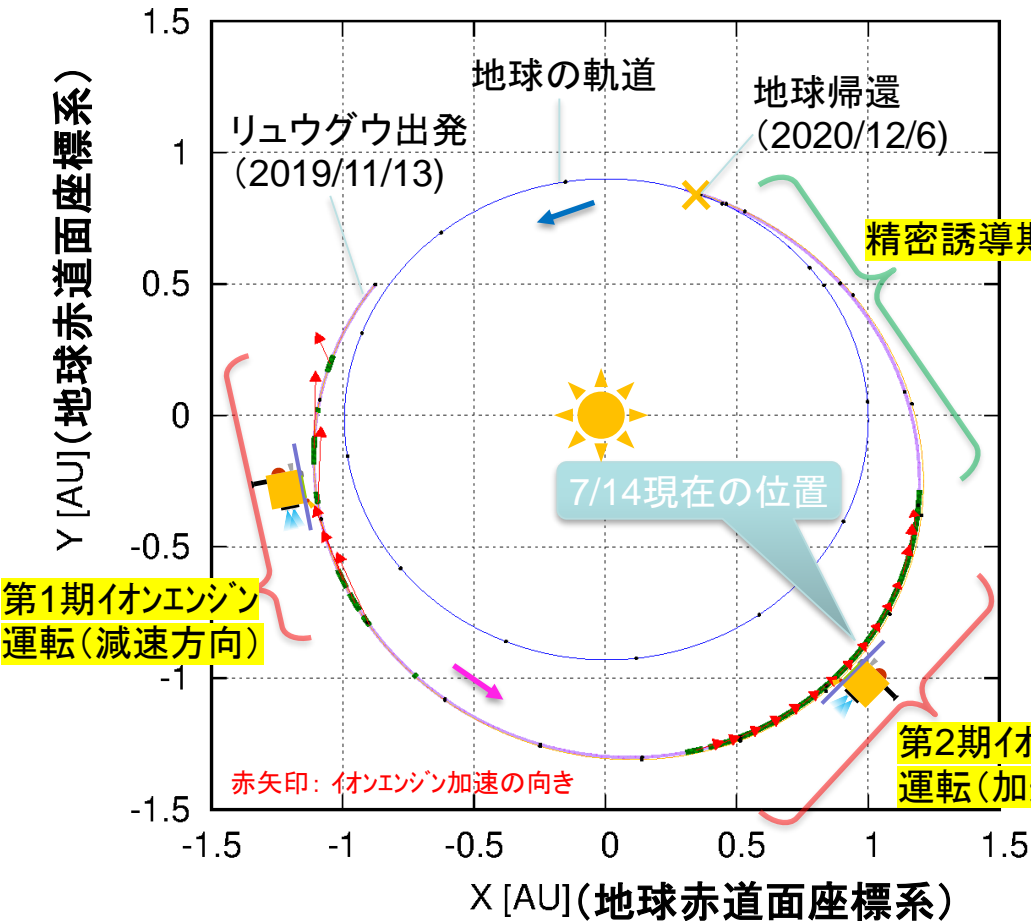
宇宙科学研究所

地球帰還日の決定について

- 「地球帰還日」は、2020年12月6日（日本時間・豪州時間）
 - JAXAは宇宙物体の豪州への着陸許可 (Authorisation of Return of Overseas Launched Space Object: AROLSO) を申請している。
 - AROLSOの取得に向けた作業を、豪州宇宙庁とJAXAが緊密な協力のもと実施中である。
 - この度、その作業が進捗し、地球帰還日を確定するに至ったため、豪州宇宙庁とJAXAの共同声明が発出された。
 - 本共同声明に沿って作業を進めることで、AROLSOが取得でき、上記の日付に地球帰還することが確定となる。

回収計画策定にあたっては、文科省・在豪日本大使館・税関・相模原市等に多大なご協力を頂いている。今後も引き続きご協力方よろしくお願い致します。

探査機の飛行状況

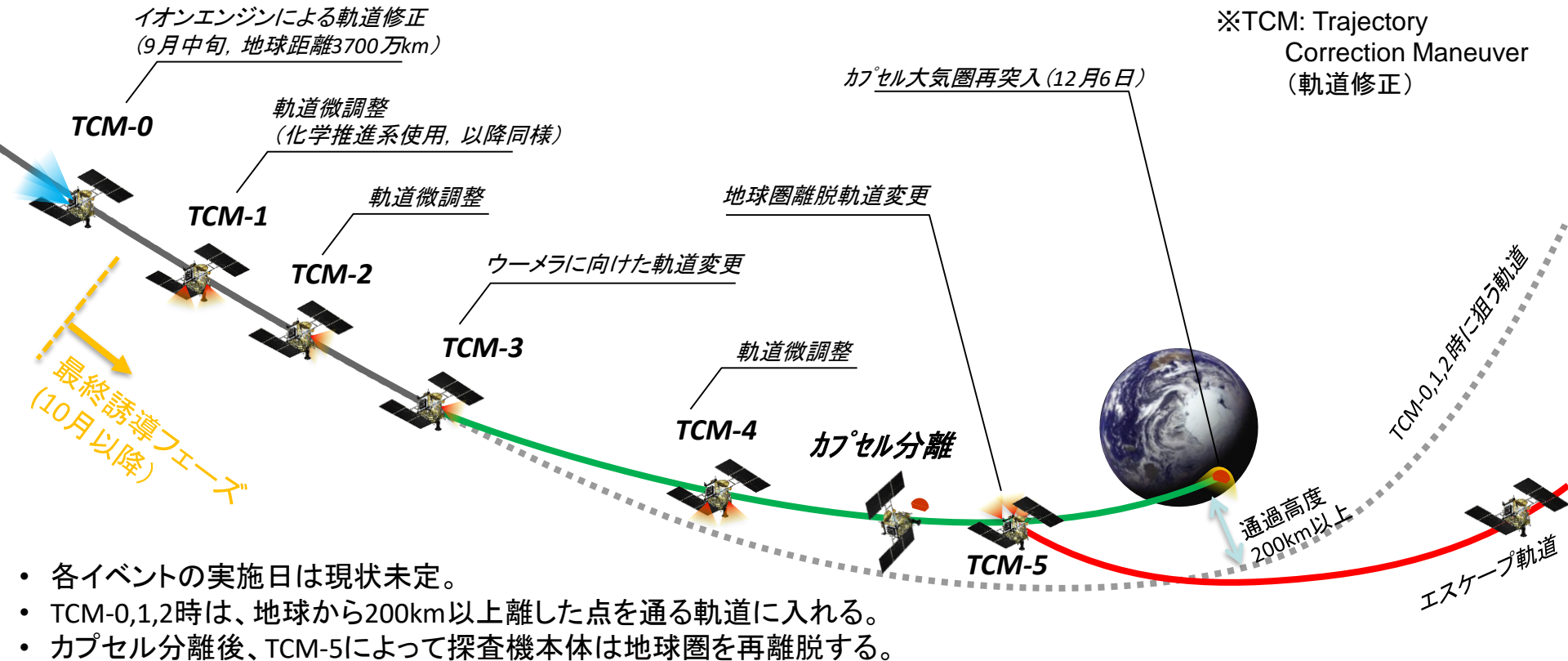


7/14現在の軌道

地球距離	9200万km
太陽距離	2.0億km
リュウグウの距離	404万km
飛行速度	23.9km/s
総飛行距離	49.2億km (残り3.2億km)
復路イオンエンジンノルマ	63%達成

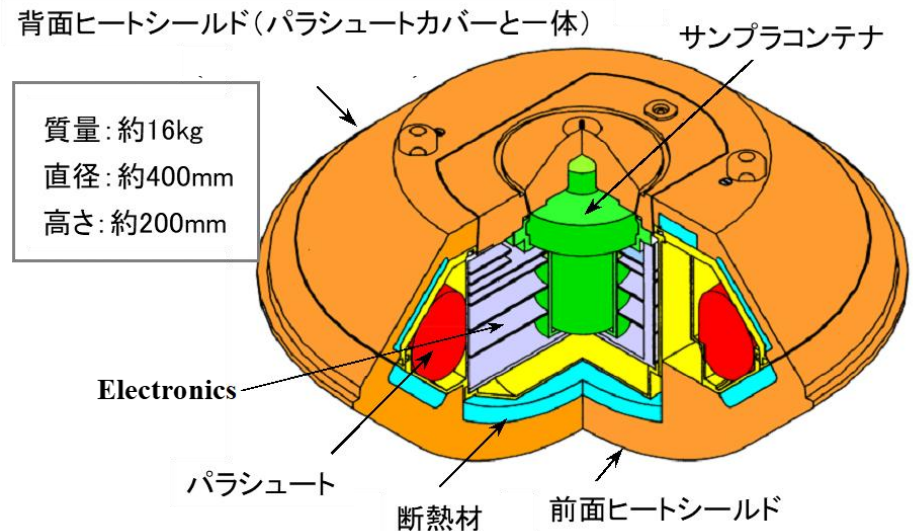
(画像クレジット: JAXA)

地球帰還に向けた探査機の運用計画



再突入カプセルの概要

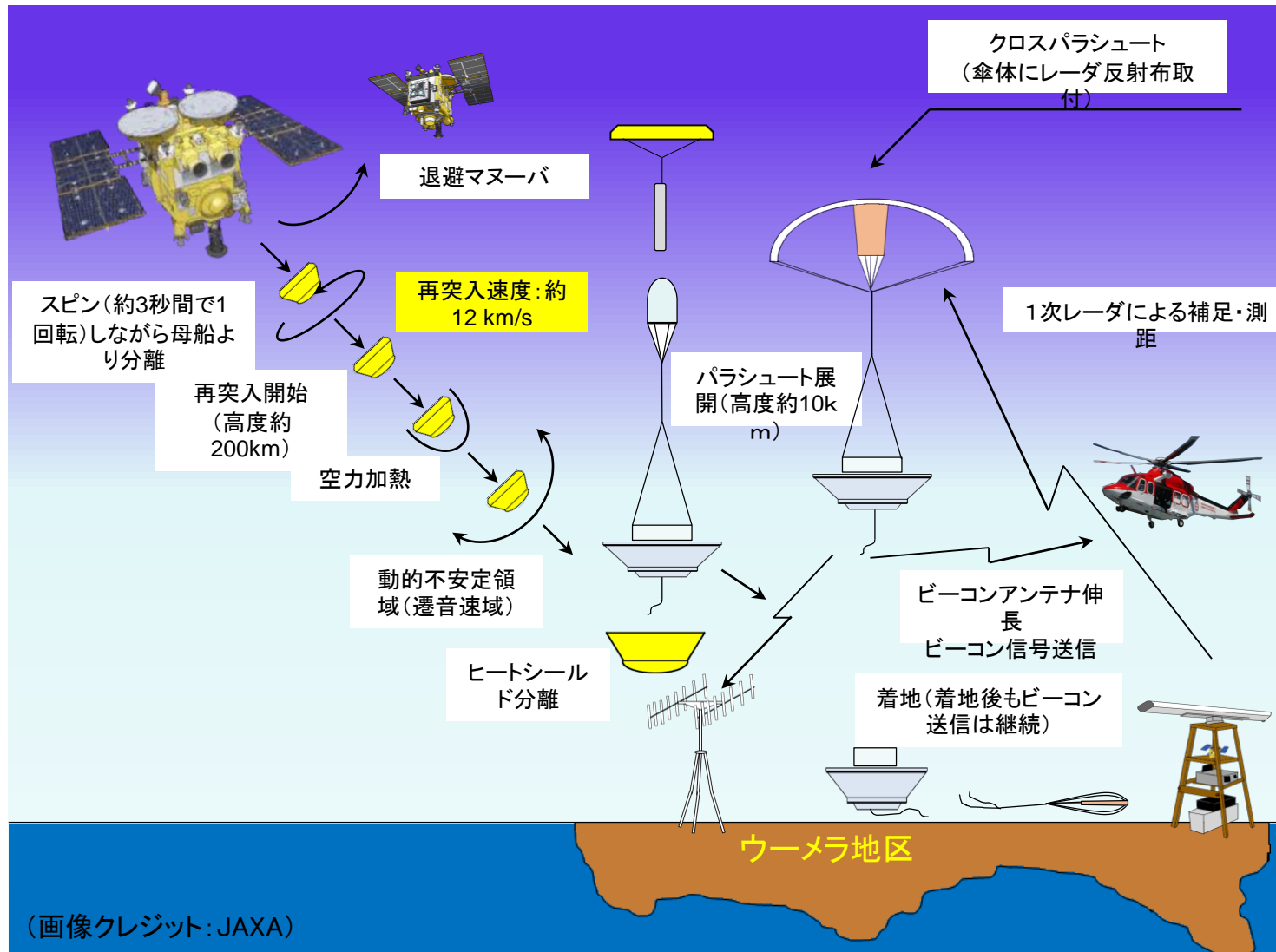
- ・はやぶさ2ミッションの一番最後に、小惑星のサンプルを封入したコンテナを内部に搭載したカプセルが、秒速12kmで地球大気に再突入し、地上で回収される。
- ・カプセルは、約3秒間で1回転するスピンをしながら母船から切り離され、大気との衝突で非常に高温になって(専門的には、14MW/m²という空力加熱回廊を通過し)、高度約10kmでパラシュートを開いて、同時に位置探索のためのビーコン電波を出しながら緩降下・着地する。
- ・基本設計は「はやぶさ初号機」とほぼ同様。
- ・初号機に搭載されていなかった飛行環境計測モジュール(REMM)が新たに搭載され、飛行中の加速度・回転速度・内部の温度を計測する予定である。



再突入カプセル 飛行の概要

再突入の飛行シーケンス

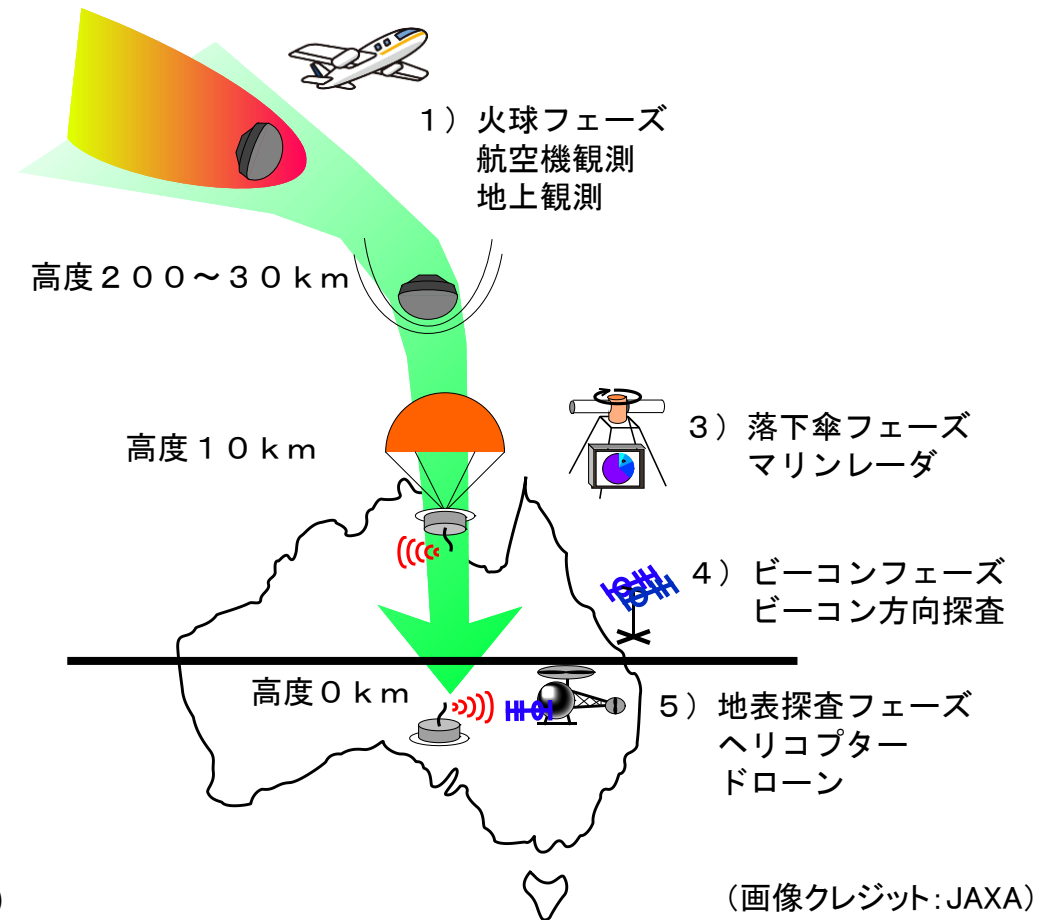
- 大気圏突入 → ヒートシールド分離 → パラシュート開傘 → ビーコン発信 → 着陸
- 着陸地点: オーストラリア ウーメラ地区



(画像クレジット: JAXA)

再突入カプセル 回収オペレーション計画

- 探索 (火球フェーズ)
 - 光学観測(地上)
光跡を数局で計測(三角測量の原理)
 - 光学観測(航空機)
光跡を雲上から計測(天候の影響を受けない)
- 探索 (落下傘フェーズ)
 - 方向探索(ビーコン)
ビーコンを計5局★¹で受信(三角測量の原理)
 - 方向探索(マリンレーダ) ★²
方向と距離を計測可。
- 探索 (地表探査フェーズ)
 - 方向探索(ヘリコプター)
着地後のビーコンをヘリコプターで探索
 - ドローン ★²
上空から空撮。画像解析で識別。
- 輸送
 - 安全化処理、分解
 - カプセル内のガス採取 ★²、輸送 (日本へ)



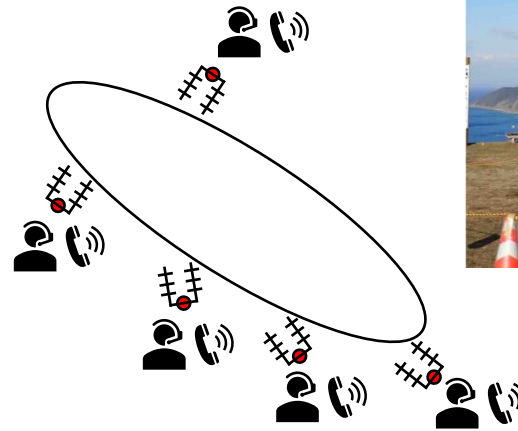
★1...はやぶさ初号機では4局

★2...はやぶさ初号機ではなかった点

再突入カプセル回収作業(1/4)

方向探索 (Direction finding system: DFS)

- パラシュート開傘後、カプセルはビーコン信号を発信しながら降下、着地する。
- 着地予想エリア周囲に、アンテナを5局配置し、ビーコン信号源の方向を探索する。
- アンテナ局同士は、数十～百km離れ、通信網もないため、衛星電話を用いて、方向を本部に報告する。
- 本部で各方向を入力し、5局が示す方向の交点が信号源(三角測量の原理)。
- カプセルが着地後は地上のアンテナでは受信できない。着地後は、ヘリコプターに搭載のアンテナで上空より探索する。



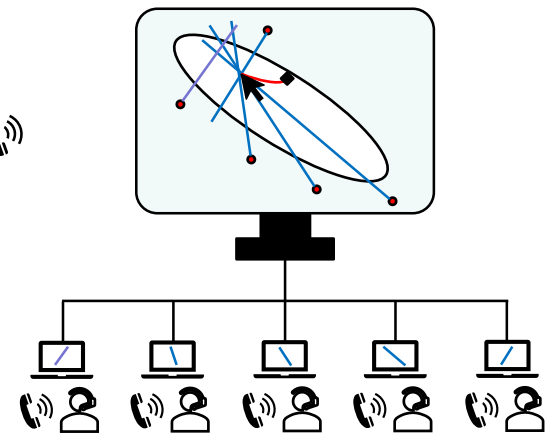
方向探索概念図

上図: 着地予想エリア。アンテナ局(5局)でビーコンを受信する。

右図: 各アンテナが受信した方位を集計



方向探索用アンテナ



(画像クレジット: JAXA)

再突入カプセル回収作業(2/4)

光学観測(Optical observation)

- パラシュートが開傘しなかったり、ビーコン信号を受信できなかった場合のバックアップ。
 - 光学観測(地上):
[Ground Observation System \(GOS\)](#)
 - 光学観測(航空機):
[Airborne Observation](#)
- 大気圏突入時の光跡を複数地点で観測し、観測された方位、仰角から、突入軌道および着地点を推定する。
- 悪天候の場合には地上から観測できないため、航空機による観測も実施する。



光学観測(地上)の様子



光学観測カメラシステム

(画像クレジット: JAXA)

再突入カプセル回収作業(3/4)

マリンレーダシステム (Marine Radar System: MRS)

- 4局のマリンレーダを用いて探索する。
- ファンビームアンテナを水平方向に回転動作させ、パラシュートからの反射波の方位と距離を測定する。
- 着地予想エリア全域はカバーできないが、エリア中央部を探索する。
- ビーコン発信機に異常があった場合のバックアップとなる。



マリンレーダシステム

(画像クレジット: JAXA)

再突入カプセル回収作業(4/4)

ドローン(Drone)

- 有翼無人機(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)を用いて、カプセル着地予想エリアの空中撮影を行う。
- 決まったエリアの撮影を行う必要があり、隙間なく連続撮影を行うのにドローンのプログラム航法が適している。
- 撮像した画像に対して、高速カプセル認識処理を行いカプセルを特定する。
- ヘリコプターが飛行困難になった場合や、DFSやMRSでは発見ができなかった場合のバックアップとして対応する。



有翼無人機(UAV)

(画像クレジット: JAXA)

再突入カプセル回収計画

経緯・関連情報

■経緯

- 2018/4月 はやぶさ2追跡管制隊 カプセル回収班発足
- 2018/11月 カプセル回収に関する同意書締結
- 2018/12月 現地調査@豪州/ウーメラ
- 2019/8月 豪州/ウーメラにて回収することを公表
- 2019/8月 着陸許可の申請文書提出、調整継続
- 2019/12月 回収リハーサル@豪州/ウーメラ
- 2020/7月 はやぶさ2の帰還日公表

※豪州への着陸許可 (Authorisation of Return of an Overseas Launched Space Object: AROLSO) の取得が、地球帰還の条件。

■海外関係機関

- 豪州宇宙庁 (Australian Space Agency)
カプセル着陸許可に関する審査・支援、豪州各省庁との調整窓口
- 豪州国防省 (DOD: Department of Defence)
ウーメラ管理区域の管理、回収作業に対する支援
- 米国NASA: 航空機観測支援

再突入カプセル回収計画

新型コロナウイルス関連事項

現状では、

- 新型コロナウイルス対策として、豪州は海外からの入国を原則禁止。
- 日本／豪州間の国際線は殆どが運休。

このような状況下で日豪宇宙機関の共同声明が出せるに至ったことは大きな前進。

- はやぶさ2地球帰還の科学的・社会的価値は極めて高い。またリュウグウサンプル獲得の学界からの期待は非常に大きい。
- 地球帰還・カプセル回収作業は、日豪両国の深化にとって価値が高い。また、計画実現に向けて豪州政府からの積極的な支援が得られている。
- 豪州および日本両国の新型コロナウイルス対策に適合した回収作業計画が可能。

新型コロナウイルス対策のため、通常より制約の大きい中での地球帰還の実施となる。

- 豪州での作業に際し、日豪間のより緊密な連携。
- 最小限の現地作業人員での回収オペレーションの実施。

拡張ミッションの活動内容(検討中)

活動項目	活動内容
1) はやぶさ2の地球帰還後の運用	はやぶさ2の宇宙アセットを有効活用し、新たな技術と科学を創出する。地球帰還完了後、宇宙に残存する探査機本体により、深宇宙長期航行技術に資する技術的・科学的知見の獲得を目指す。また、最終的に新たな太陽系天体への到達を目指す。目標天体到達までの所要飛行期間は10年前後に及ぶ見込み。
2) はやぶさ2の成果を活用した科学国際競争力の増強	<p>はやぶさ2がリュウグウで創出した科学技術成果を最大限活用し、我が国の科学国際競争力の強化に資する活動を補強する。</p> <p>具体的には、次のとおり。</p> <p>①はやぶさ2／OSIRIS-RExサンプルの共同科学分析活動の拡充</p> <p>②OSIRIS-RExサンプルをわが国で受け入れるキュレーション設備の整備</p> <p>③はやぶさ2科学成果の国際的なビジビリティの増強</p>

【参考】「宇宙基本計画」(令和2年6月30日閣議決定)より抜粋

- 「はやぶさ」、「はやぶさ2」で培った独自の深宇宙探査技術を始め、世界的に高い評価を受けてきた我が国の実績と技術力をベースに、引き続き長期的な視点を持って取り組む。
- 我が国の強みであるサンプルリターンについては、事後の迅速なサンプル分析等のフォローアップが的確に実施できる体制を整備。
- 国際社会との協力の下、我が国がリーダーシップを発揮し、大規模自然災害等の地球規模課題の解決に貢献する。

「はやぶさ2の地球帰還後の運用」の検討状況

- 探査機の残存アセット(燃料等)により2030年前後までに到達できる天体を探索した結果として、ランデブー可能な候補小天体が2つ見出された。
- 抽出された2天体についてミッション設計の成立解を得ている。ただし、当初設計を超えた長期飛行を行うこと、当初設計範囲を超えた環境にはやぶさ2を晒すことになることから、運用の技術的成立性をプロジェクトにて精査中。
- 並行して、ISAS宇宙理工学委員会にて、評価委員会を設置して評価が実施された結果、プロジェクトから提案された2シナリオについて、ミッションの理工学的意義・価値が認められた。
- プロジェクトによる最終的な技術評価ののち、2シナリオの中から確実性の高い方を選定し、今後JAXAとして組織決定を行った上で正式な計画として提案をする。

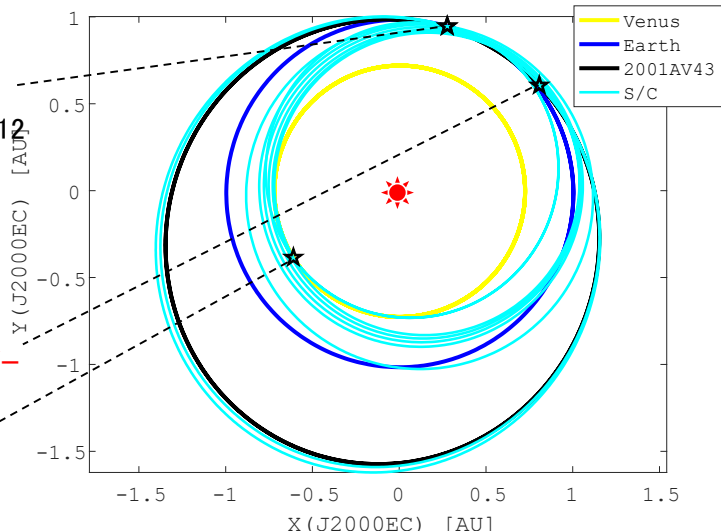
〈ミッションシナリオ選定スケジュール(見通し)〉

	2019	2020												
実施主体	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O	N	D	
はやぶさ2プロ		技術成立性検討(熱解析等)									9/B シナリオ選定			
理工学委員会	12/M 評価委員会設置申請	理工学委員会評価期間					シナリオ最終選定							
		評価委員会			3/E 評価結果(答申)		5/E 理工学委員会 結論							
探査機運用	イオンエンジン第1期運転				地球指向		イオンエンジン第2期運転					リエントリフェーズ		

「はやぶさ2の地球帰還後の運用」の概要(1)

- 地球帰還後のはやぶさ2の状況
 - はやぶさ2は、地球圏離脱後、軌道制御能力 $\sim 1.7\text{km/s}$ 相当を残して深宇宙飛行を継続
 - 探査機の所期の目的は全て達せられており、挑戦的な軌道上運用技術を磨く稀有な機会
 - 他の小天体を目指せる場合、新しいミッションを仕立てるより遥かに良いコストパフォーマンスで、新たな科学成果を創出し得る
- 以下の3点をミッションの目標として設定する
 - 太陽系長期航行技術の進展
 - Fast Rotator天体探査の実現
 - Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得
- これらの意義を獲得し得るシナリオとして、2案を並立提案する。最終的には成立性・価値が高いいずれか一方を選択することとする。

EVEEAシナリオ 総加速量 1.45km/s
(Earth→Venus→Earth→Earth→Asteroid)

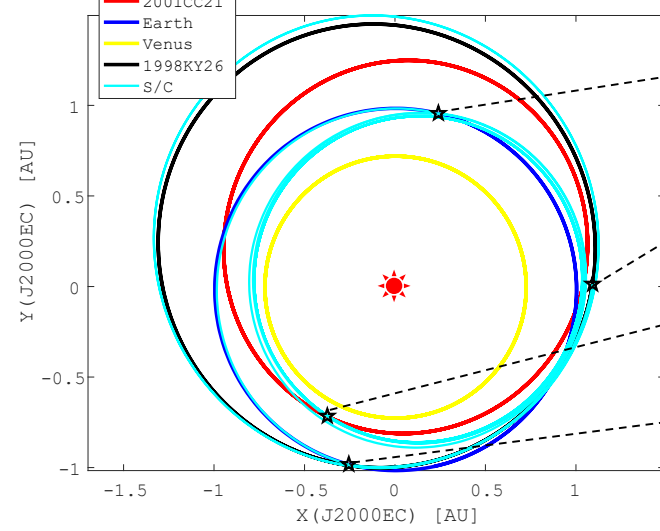


2020/12
後期運用開始
2025/12, 2026/12
地球スイングバイ

2029/11
2001AV43ランデブー

2024/8
金星スイングバイ

EAEAAシナリオ 総加速量 1.09km/s
(Earth→Asteroid→Earth→Earth→Asteroid)



2020/12
後期運用開始
2027/12
地球スイングバイ

2031/7
1998 KY26ランデブー

2026/7
2001CC21フライバイ

2028/6
地球スイングバイ

「はやぶさ2の地球帰還後の運用」の概要(2)

(1) 太陽系長期航行技術の進展

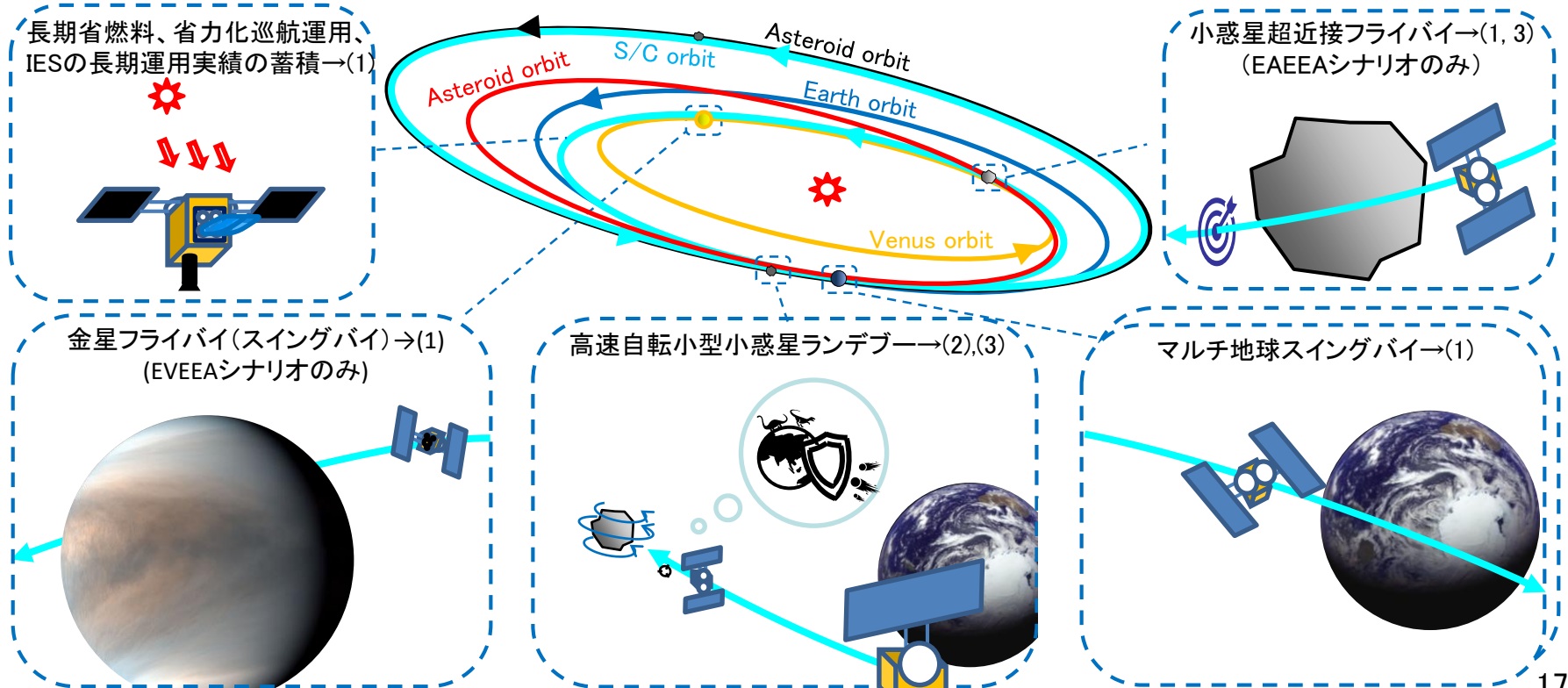
より自在な、より遠方への探査を目指す上で必要な、我が国特有のイオンエンジンの長期運用技術、太陽系マルチスイングバイ技術、探査機の長期維持技術等を段階的に獲得し、超長期航行の礎をつくる

(2) 高速自転小型小惑星探査の実現

より小さな(直径 < 100 m)高速自転天体をRyuguと比較観測することで、「地球軌道付近への物質供給過程を検証して地球初期物質進化への小惑星の寄与を明らかにする」という、メインミッションの科学目的の1つを深化させる

(3) Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得

100~1000年の頻度で衝突して、都市を壊滅させるおそれのある、数十mサイズの小天体を近接探査、観測し、構造や強度を明らかにすることで、地球衝突時の振る舞いが推定できる。またそのような天体近傍での活動技術を磨くことができる。



参考

「はやぶさ2の成果を活用した科学国際競争力の増強」の活動内容 (検討中)

①はやぶさ2／OSIRIS-RExサンプルの共同科学分析活動の拡充

はやぶさ2／OSIRIS-RExが持ち帰る2天体の試料は人類の財産であり、日米の科学者が相互協力することにより、2つの試料から得られる科学成果を最大化することを目指す。本項目は、そのための日本側の活動。海外へ提供するはやぶさ2試料に対して、日本の科学者が分析活動を支援・共同実施する。また、はやぶさ2試料分析の知見をもとに、OSIRIS-REx試料の初期分析作業を日本の科学者が支援・共同実施する。

②OSIRIS-RExサンプルをわが国で受け入れるキュレーション設備の整備

NASAとの協定で、OSIRIS-RExの試料を我が国が受領することになっている。その受入施設の整備を行うことにより、複数天体のサンプル分析を総合的に分析できる能力を獲得する。

③はやぶさ2科学成果の国際的なビジビリティの増強

はやぶさ2の科学データを定常的に公開するシステム(検索機能・オンライン解析機能の充実化を含む)の開発と運用を行う。またNASAとの科学でデータ取り扱いに関する調整、OSIRIS-RExを含む海外研究者のデータ利用促進等の国際連携活動を行う。

OSIRIS-RExサンプルリターン探査での国際協力

- ・ 試料回収まで(担当:NASA)
 - 対象天体からの試料採取および地球帰還支援、およびキュレーション施設までの移送
- ・ キュレーション(担当:NASA)
 - キュレーション施設(JSC/NASA)でのコンテナ開封から分類、カタログ作り
 - はやぶさ2キュレーションメンバーのJSCへの派遣
 - ISASキュレーション施設へのBennu試料の受け入れおよびキュレーション
- ・ 初期分析(担当:OSIRIS-REx サイエンスチーム)
 - ミッション目的を達するために必要な分析
 - 日本からOSIRIS-RExへのサイエンティストの派遣
 - 日本側配分試料の初期分析
- ・ サンプルの保管・配分(担当:NASA)
 - ミッション目的を超えたサイエンス(国内・国外に平等に機会を与え、国際競争によりミッション価値を高めることに貢献)

日本の協力部分

*JSC : Johnson Space Center