

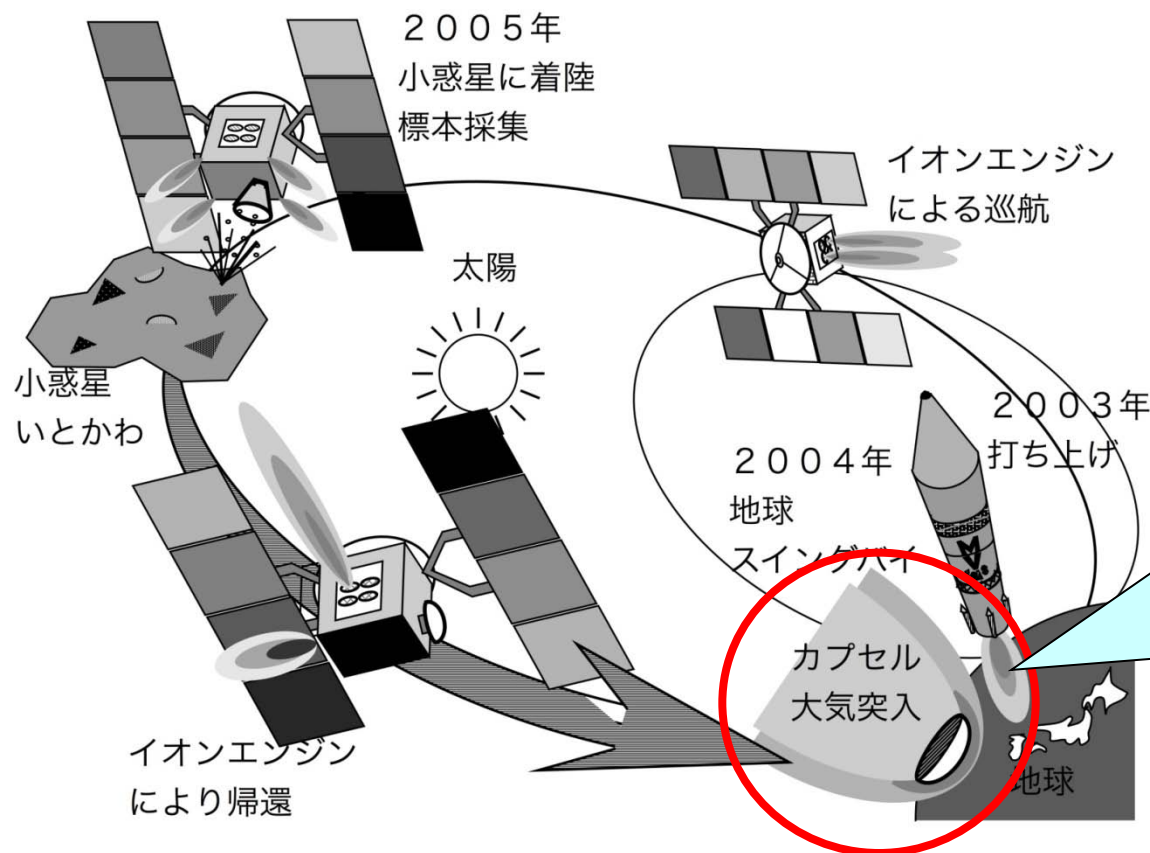
「はやぶさ」試料回収カプセルの 再突入に係る計画について

平成22年3月31日

宇宙航空研究開発機構
月・惑星探査プログラムグループ

1. はじめに

- 平成15年5月9日、鹿児島宇宙空間観測所からM-Vロケットにより「はやぶさ」は深宇宙投入された後、平成17年秋に小惑星への到着／着陸／離陸を経て、現在地球へ帰還中。（平成22年6月に豪州砂漠地帯にカプセル着地予定）
- 今回、はやぶさ探査機のイオンエンジンによる第2期軌道変換の終了に伴い、一連の作業に係る計画について報告する。



地球外縁部からリエントリーカプセルの着地目標地点である豪州の砂漠地帯へのはやぶさ誘導、試料回収カプセル分離／着地／回収

今回の報告範囲

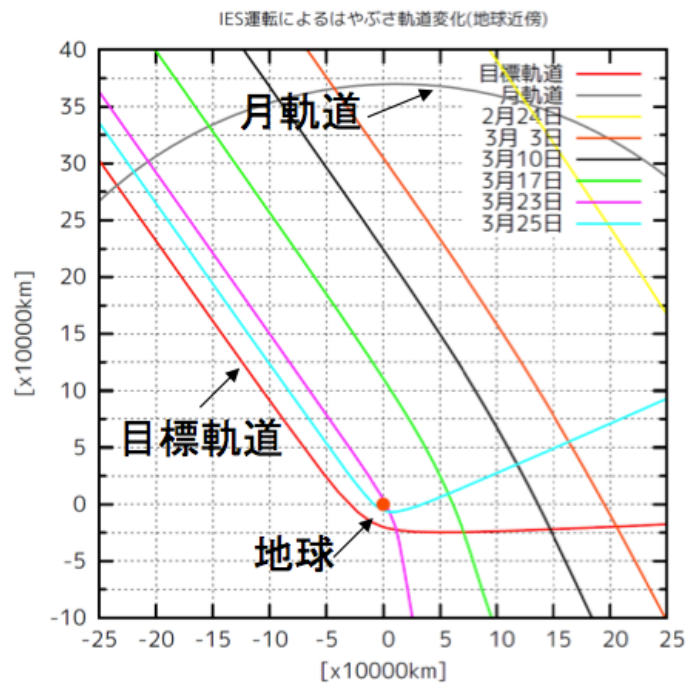
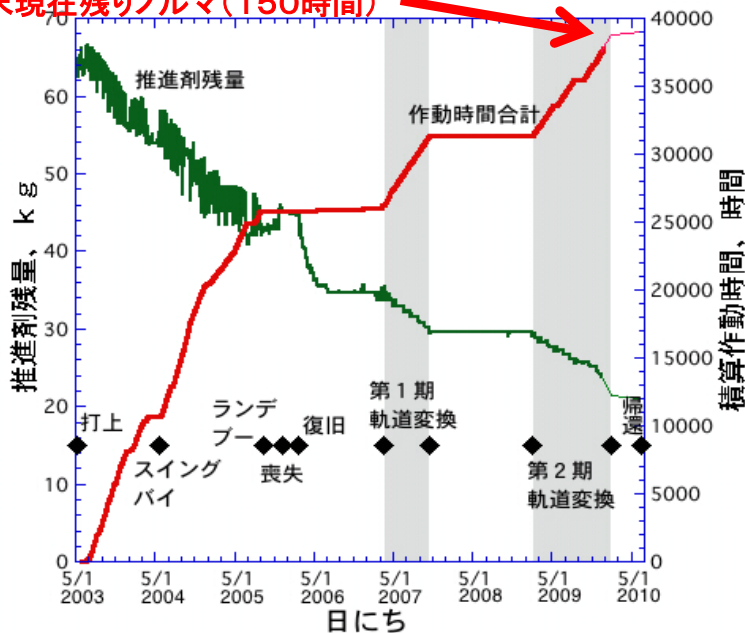
2. はやぶさ探査機の経緯

- ・ 2003.5.9 打ち上げ(M-Vロケット5号機)
- ・ 2003.5~7 イオンエンジン稼動開始
- ・ 2003.9 イオンエンジン1000h稼動
- ・ 2004.5 地球スウィングバイ
- ・ 2005.8 イトカワとランデブー
- ・ 2005.9~11 イトカワの科学観測成功
- ・ 2005.11 サンプル採取のためのタッチダウン
- ・ 2005.11 離陸後、科学エンジンからの燃料漏洩と、同エンジン機能が復旧不能
- ・ 2005.12 燃料等のガス噴出によると思われる外乱により姿勢を喪失、地上局との通信が途絶
- ・ 2006.1 ビーコン信号を受信
- ・ 2006.2 低利得アンテナを介してテレメトリデータが復調
- ・ 2006.3 中利得アンテナにて、テレメトリデータ取得
- ・ 2006.3 正確な探査機の位置・速度が3ヶ月ぶりに推定
- ・ 2007.2 リアクションホイール1台を駆動して三軸姿勢制御を再開
- ・ 2007.4~10 第1期軌道変換
- ・ 2009.11 イオンエンジン(スラスタD)が異常を検知し自動停止したため、イオンエンジンA中和器とイオンエンジンBイオン源の同時運転開始
- ・ 2010.3.27 イオンエンジンによる地球外縁部への軌道変換完了
- ・ 2010.6 地球引力圏到達(予定)

3. はやぶさ探査機の経緯（現状）

平成22年3月27日にイオンエンジンによる第2期軌道変換を完了し、地球外縁部へ到達する軌道への投入に成功した。以降は、精密軌道修正を行い、豪州への着陸を目指す。

3月末現在残りノルマ(150時間)



過去には以下の事象の経験とその対策を実施

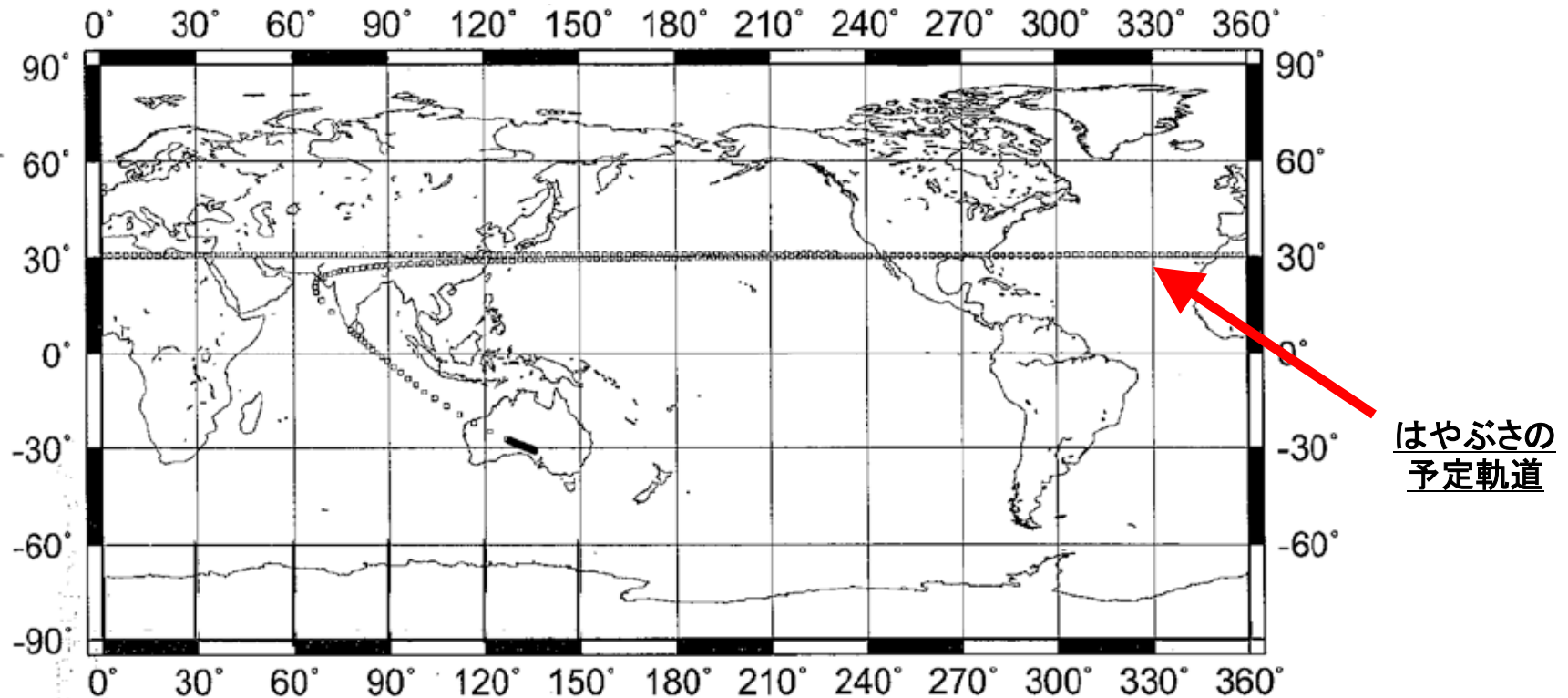
技術項目	状況	対応策
姿勢制御	リアクションホイール3台中2台故障	リアクションホイール1台とイオンエンジンにより3軸姿勢制御を維持
軌道制御	化学推進故障	イオンエンジンにより代替
電源	バッテリー故障	太陽電池電力のみを使用
イオンエンジン	イオン源A、中和器B、中和器D故障	中和器A＋イオン源B及びスラスタCが稼働可能、推進剤残量23kg

4. 再突入飛行計画の概要

着地予定区域は他国(オーストラリア)内の人口非稠密の陸地に設定されており、a) 軌道決定誤差、b) 軌道変更誤差、c) 風や大気密度の分散、e) カプセル空力係数の不確定性等を考慮して着地点分散を評価している。

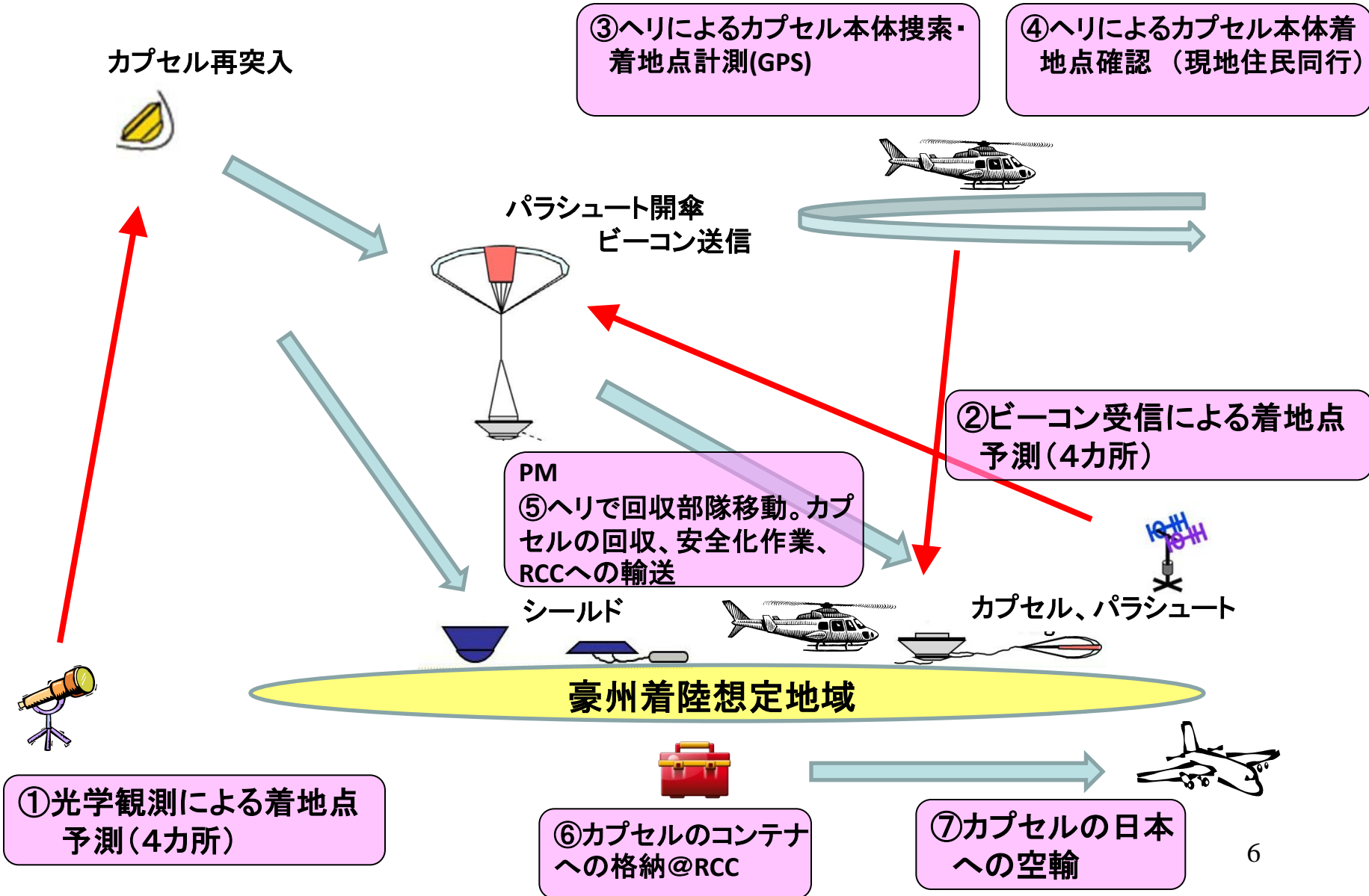
当該地域には遊牧民キャンプが複数点在し、その分布が年ごとに、また季節によっても変化するため、地球帰還時点において最良となる着地点中心を協議の上決定することでオーストラリア政府が基本合意している。

(今回もあらためて確認している)



カプセル着地予定区域

5. カプセル回収作業のシーケンス

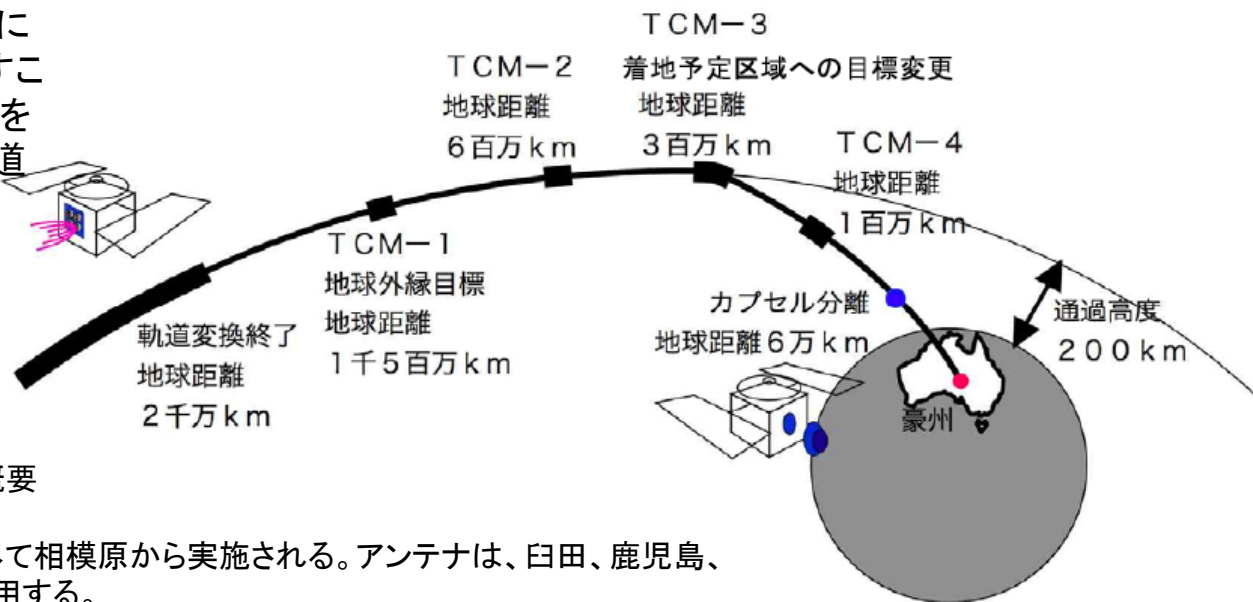


6. 再突入飛行計画の概要

6-1 飛行経路 (1/3)

【はやぶさ探査機地球帰還運用の概要】

本計画は、次節に述べるとおり、探査機を一旦地球外縁部を通過する軌道に誘導する。続いて所定の条件を満たすことを確認し、豪州政府安全官より許可を得て、着陸想定地域へ再突入する軌道へ変更を行う。



最新の軌道計画に基づいた軌道誘導の概要
(検討中のものであり確定ではない)

はやぶさ小惑星探査機の運用管制はすべて相模原から実施される。アンテナは、臼田、鹿児島、DSN (Goldstone、Madrid、Canberra) を利用する。

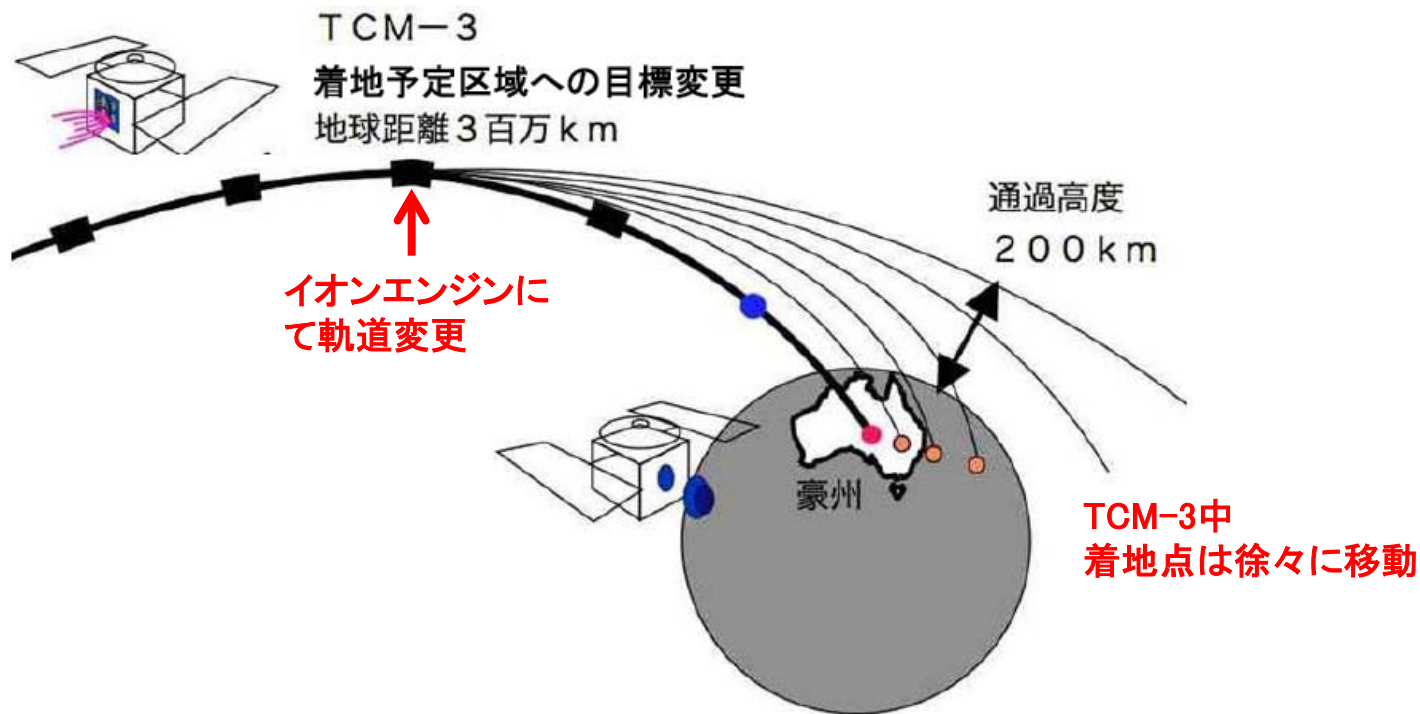
- 3月27日 イオンエンジンによる第2期軌道変換終了。
- 再突入60日前まで TCM-0 地球外縁部への初期誘導
- 再突入42日前 TCM-1、地球外縁部への誘導
- 再突入21日前 TCM-2、地球外縁部への誘導
- 再突入9日前 TCM-3、豪州への誘導(地球リム通過→豪州着陸想定地域へ)
- 再突入3日前 TCM-4、豪州への誘導(着陸想定地域への詳細誘導)
- 再突入1日前 カプセル昇温
- 再突入3時間前 10:00 (UTC) 電源切り替え、カプセル分離、カプセル撮影
- 再突入 14:00 (UTC) カプセル着地、はやぶさ本体消滅

6. 再突入飛行計画の概要

6-1 飛行経路 (2/3)

【大気圏突入後の監視】

探査機は当初、200km高度を通過する軌道に入り、TCM-3にて、目標点を着陸想定地域に変更する。この時、イオンエンジン(1台)を20時間程度運用する。イオンエンジン噴射に伴い着地点は、東方海上から豪州内陸へ移動する。カプセルは着陸想定地域に対して、西側から接近し着地する。



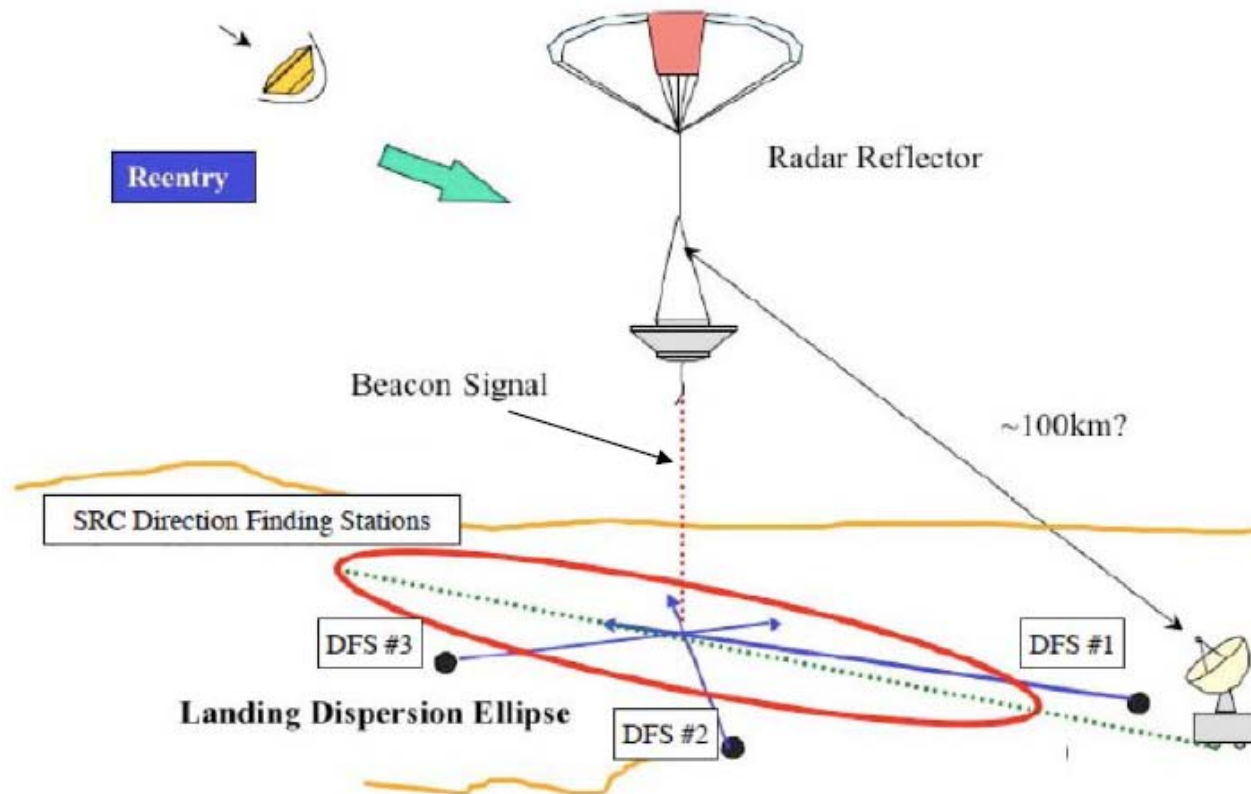
6. 再突入飛行計画の概要

6-1 飛行経路 (3/3)

【大気圏突入後の監視】

リエントリーカプセルは、地球に速度12km/s、角度12度で大気圏に突入する。高度約10kmでパラシュート開傘、前面および背面ヒートシールド分離し、ビーコンを放射しながら緩降下する。予測される着地点は、長手方向約200km、幅約20kmの楕円領域である。

カプセルの着地までこの領域への人員の立ち入りは許されていない。(このため、領域外側に探索班を配置する)



6.再突入飛行計画の概要

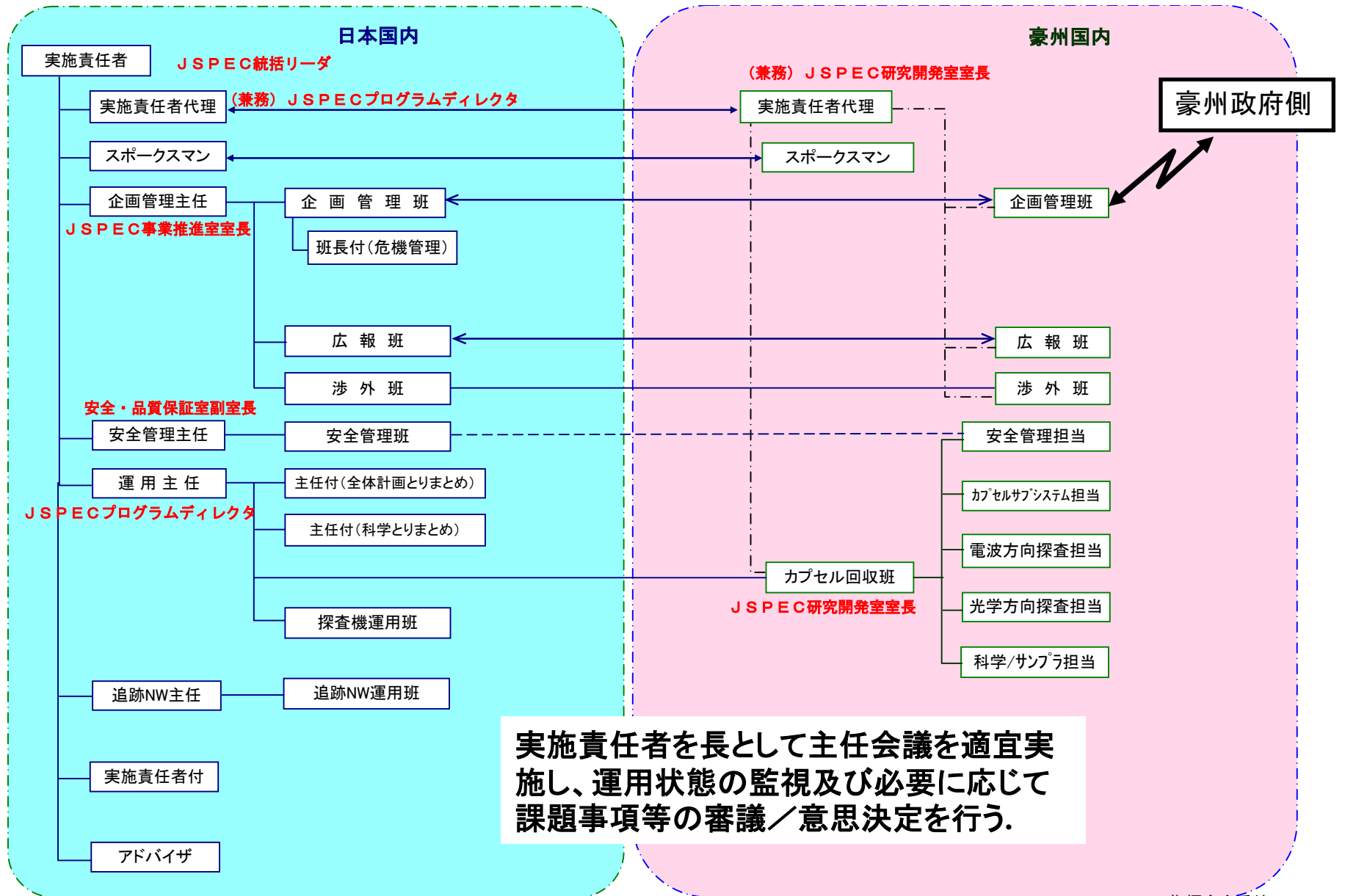
6-2 再突入の実施条件

TCM-3における、着陸想定地域への再突入飛行に際しては、以下の条件を考慮して可否判断を行う。

- ① 再突入軌道誘導マヌーバ前に、飛行位置及び姿勢の妥当性が確認できること。
 - ・計画した軌道に沿って飛行を継続していること。
 - ・マヌーバシーケンス前姿勢が確立できたこと。
- ② 姿勢制御系機器が動作・制御できていること。
- ③ 推進系(イオンエンジン等)の状態が再突入運用を達成するに足ると判断できること。
- ④ 豪州側CRSO (the Commonwealth Return Safety Officer) へイベント情報を提供し、CRSO側での安全判断が可であること。

その他、上記①～③に関連した機能が最低限維持できていること。

7. 実施体制（案）



「はやぶさ」試料回収カプセル再突入・回収運用隊 体制図

指揮命令系統
 現地指揮命令系統
 危機管理対

8. その他

再突入に係る安全対策については、化学推進系が故障により使用できないため、イオンエンジンを使用することになったが、平成15年の宇宙開発委員会での判断の範疇であり、問題ない。なお、イオンエンジンを使用するため、カプセル分離直後に化学推進を用いて母船を惑星間軌道に離脱することができなくなり、母船も再突入することとなったが、もともと母船が再突入する場合も想定し審査されている。

また、カプセル分離を含めた再突入シーケンスの開始に際しては、姿勢異常や通信断絶等の場合には自動的にセーフティモードに入り、シーケンスを中断する。イオンエンジンの不調・推力不足の場合には追加の噴射(TCM-3後にTCM-3'の追加等)や予備のイオンエンジンへの切り替えを実施する時間的余裕を十分有している。更に、TCM-3履行中の通信断絶等の不具合に対応するため、母船が自動的に姿勢変更し、イオンエンジンまたはキセノンガスジェットにて退避シーケンスを実施することができる。

9. まとめ

「はやぶさ」は、イオンエンジンによる軌道変換を終了し、現在順調に運用中である。本年6月の地球帰還に向け、地上準備作業を進めている。

付-1. 再突入飛行の安全対策

【TCM-3運用時のコンティンジェンシー対策】

想定される不具合	想定される事象	被害の度合い	発生の可能性	対策1	対策2	対策後の発生の可能性
(1) 地上局の運用不可	豪州着陸想定地域への誘導失敗	最悪の場合、第三者の死亡、第三者の財産の喪失等	ほとんど発生しない	主運用局である臼田局64mANTの他に内之浦34mANTの確保	NASA深宇宙ネットワーク(DSN)の運用支援を確保済	ほとんど全く発生しない
(2) イオンエンジンの不調				イオンエンジンの推力不足の場合、噴射時間を延長(TCM-3の補完としてTCM-3'を必要により実行予定)	2台目イオンエンジンへの切り替え	
(3) 地上局との通信系システムの不調				冗長構成である通信システムの他系への切り替え	地球近傍のため、低利得A~C、中利得A/B ANTが使用可	

(注) 現在「はやぶさ」には、イオンエンジン用キセノンガスが約23kg残っており、TCM-3後、時間をかけて噴射し続けることで、惑星間軌道への離脱は可能。

平成15年での評価から変更はなく、最終的に安全は確保できる。