

宇宙ステーション補給機(HTV)技術実証機 の運用結果概要について



2010年 4月22日

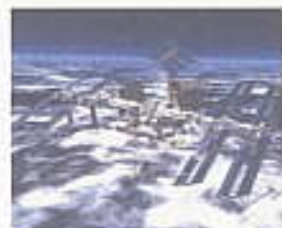
宇宙航空研究開発機構
HTVプロジェクトマネージャ 虎野吉彦





HTV技術実証機運用タイムライン実績

ISSタイムライン



HTVタイムライン



軌道離脱マヌーバ



SSRMS: 宇宙ステーションロボットアーム
EP: 曝露パレット JEM: 日本実験棟



HTV技術実証機 運用管制結果の概要

- 9月11日(金)午前2時01分46秒(日本標準時)に、種子島宇宙センターからH-IIBロケット試験機により打ち上げられた。
- ロケット分離後、国際宇宙ステーション(ISS)に接近するための位相調整マヌーバ、高度調整マヌーバ等を計画通り実施し、9月18日(金)午前4時51分、宇宙飛行士(ニコル・ストット)が操作するISSのロボットアーム(SSRMS)により把持された。
- 同日午前7時26分、SSRMSでISSの第2接合部(ノード2)下部(地球側)に結合。



SSRMSがHTVのグラブルフィクスチャーに接近する様子



SSRMSによる把持



ISSの第2接合部へ結合





HTV技術実証機 運用管制結果の概要(続き)

- 9月19日(土)午前3時23分、HTV与圧部のハッチを開け、同日午前3時25分、宇宙飛行士が与圧部内に入室。
- 9月22日(火)より与圧部内の貨物を取り外してISSへの運び込みを実施。
- 9月23日(水)に曝露パレットをSSRMSにより非与圧部から取り出し、SSRMSから「きぼう」ロボットアーム(JEMRMS)にハンドオーバー後、JEMRMSによりきぼうの船外実験プラットフォーム(EF)へ取付け。
- 9月24日(木)にHREP*1とSMILES*2の船外実験装置をEFの所定の位置に取り付け。
- 9月25日(金)に空の曝露パレットをHTV非与圧部に収納。

*1)沿岸海域用ハイバースペクトル画像装置及び大気圏/電離圏遠隔探査システム実験装置(NASA)

*2)超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(JAXA/NICT)



ISS進行方向(Fwd)



与圧部内部の状況



SSRMSからJEMRMSへ曝露パレットのハンドオーバーの状況





HTV技術実証機運用管制結果の概要(続き)

(日時は全て日本時間)

- 10月20日(火)までにすべての与圧カーゴ(約3.6トン)のISSへの搬出を完了し、10月29日(木)までに728kgの廃棄物資と896kgの空ラック、併せて1,624kgをHTV与圧部に搬入した。
- 10月31日(土)午前0時02分に、宇宙ステーションロボットアーム(SSRMS)によりISSの第2接合部(ハーモニー)から取り外され、同日午前2時32分、SSRMSから放出された。
- 11月2日(月)午前5時53分に最終軌道離脱マヌーバを実施し、同日午前6時26分に大気圏に再突入し、所定の海域に落下したと推定される。



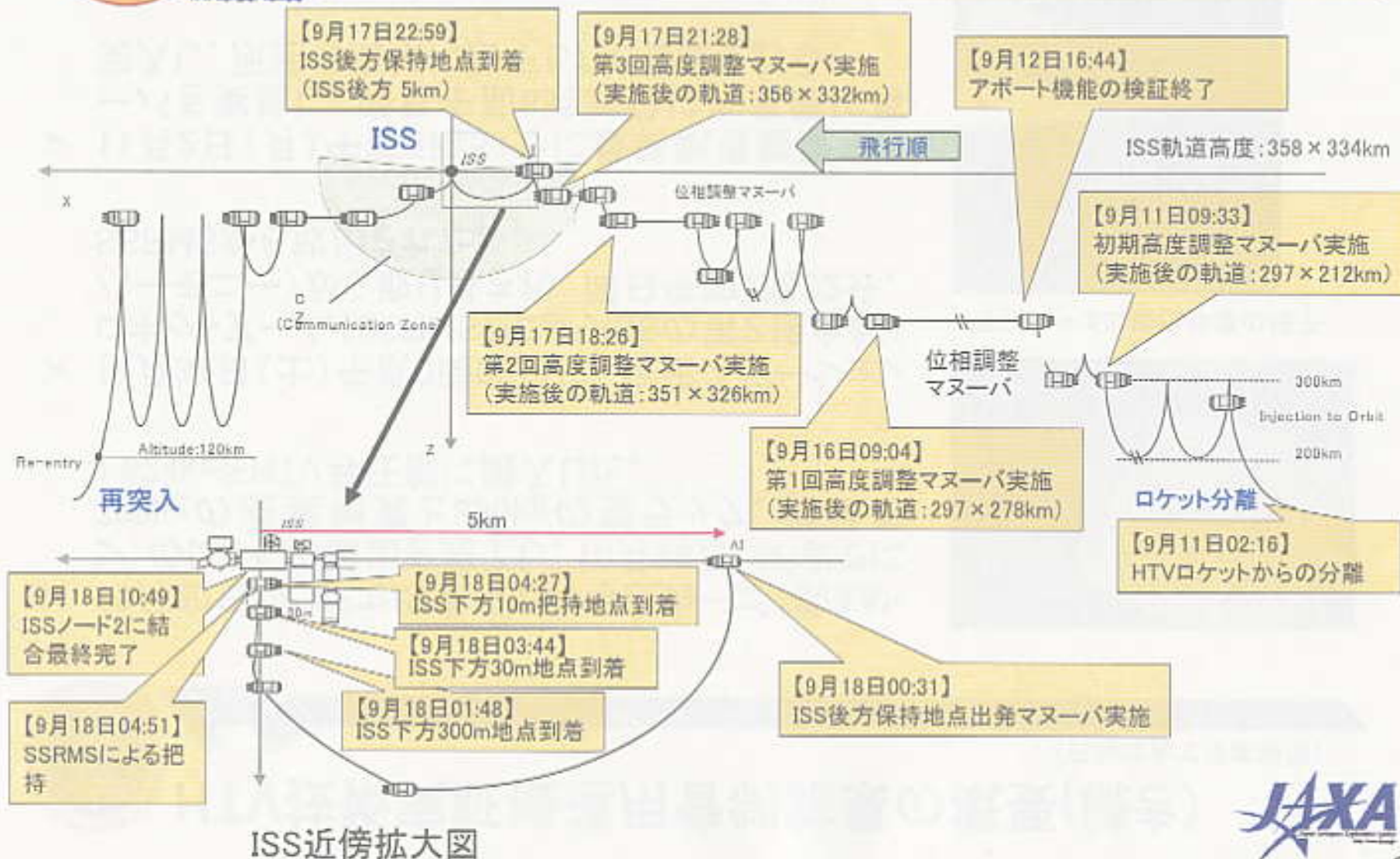
与圧カーゴの搬出作業の様子



ISSからの離脱の様子



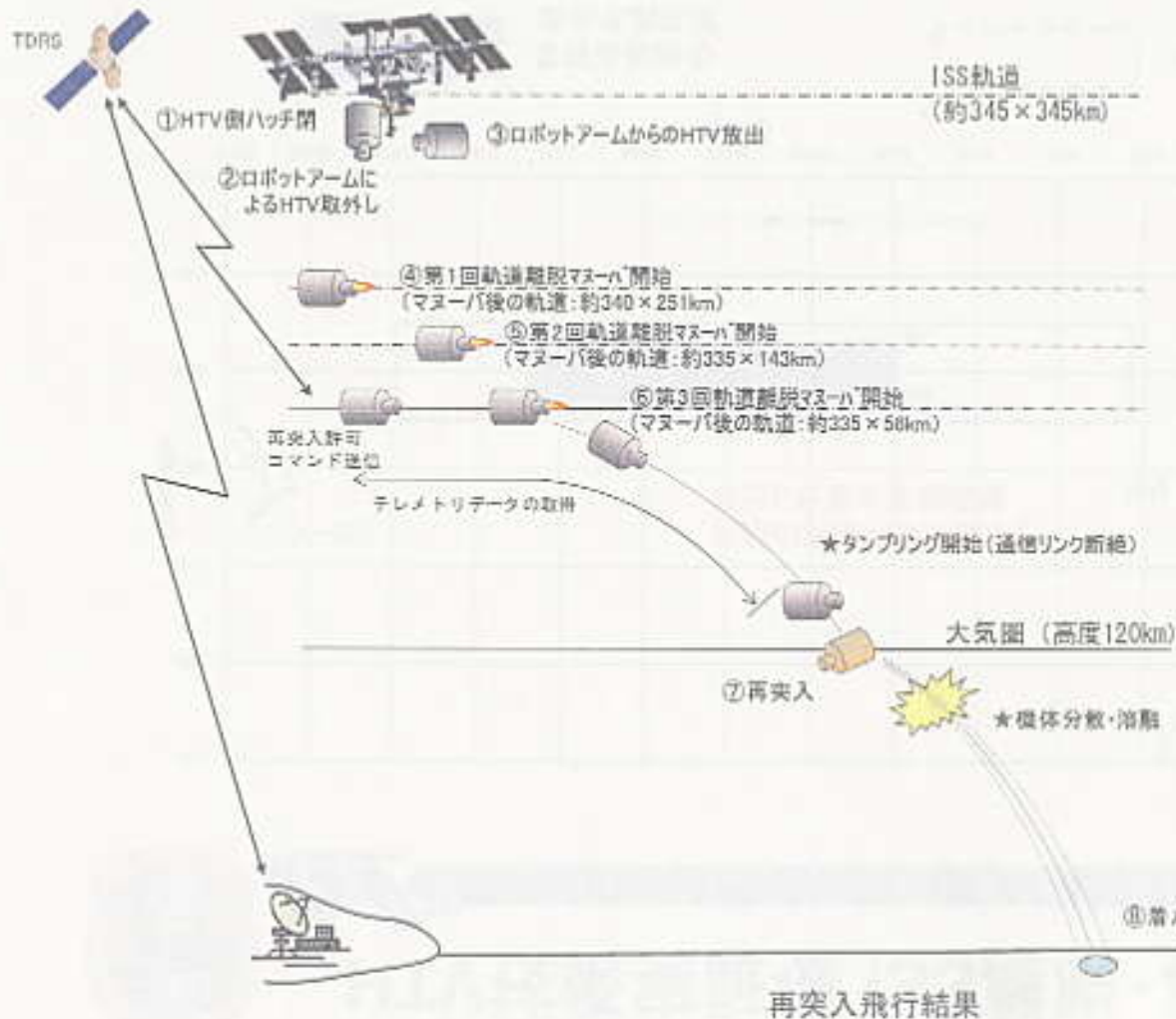
HTV技術実証機 ISSランデブ飛行結果





HTV技術実証機 ISS離脱・再突入結果

(日時は全て日本時間)



イベント実施結果

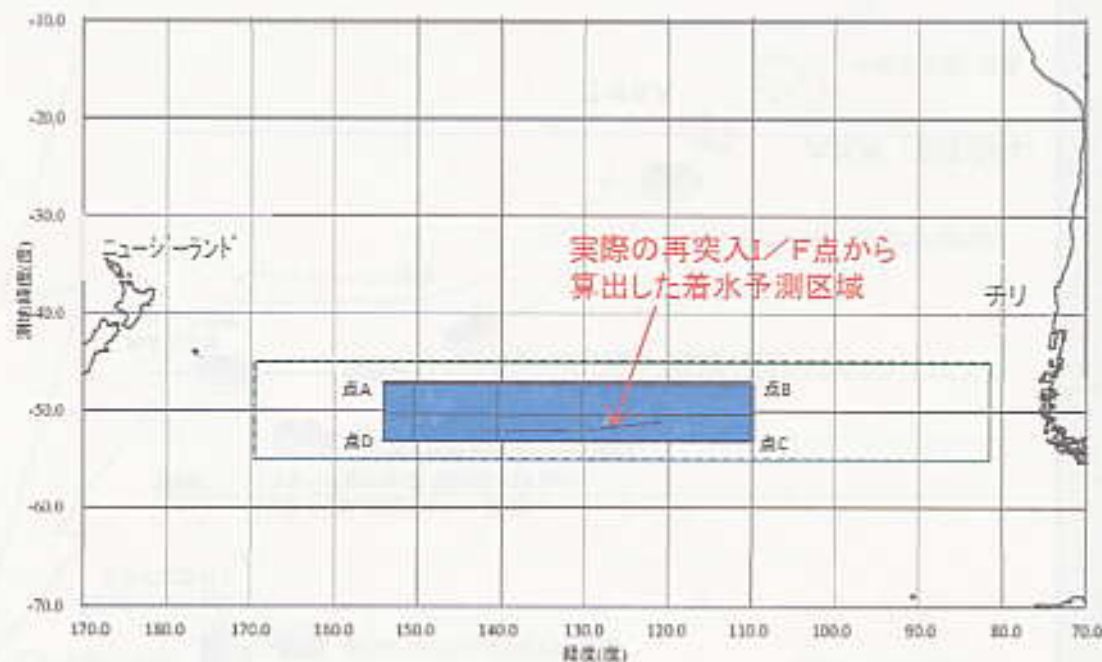
イベント	計画日時*1	実績
①HTVハッチ閉	10/30 2:00	10/30 2:32
②SSRMSによるHTV取り外し	10/31 0:00	10/31 0:02
③SSRMSからのHTV放出	10/31 2:30	10/31 2:32
④第1回軌道離脱マヌーバ	11/1 23:55	11/1 23:55
⑤第2回軌道離脱マヌーバ	11/2 1:25	11/2 1:25
⑥第3回軌道離脱マヌーバ	11/2 5:53	11/2 5:53
⑦再突入インタフェース点	11/2 6:26	11/2 6:26
⑧着水(推定)	11/2 6:38~6:58	11/2 6:38~6:58

*1 スペースデブリ回避措置後の計画(p13参照)






HTV技術実証機 ISS離脱・再突入結果(続き)



➤ 実際の再突入I/F点(高度120km)から算出した着水予測区域は、事前に計画(通報)していた着水予測区域の十分内側となっている。

 : 事前通報時の着水予測区域

 : 着水予定区域(平成21年7月安全部会にて報告済)

(A: 西経153.5度、南緯47度
B: 西経109.5度、南緯47度
C: 西経109.5度、南緯53度
D: 西経153.5度、南緯53度)

(西経169.5度、南緯45度
西経 81.5度、南緯45度
西経 81.5度、南緯55度
西経169.5度、南緯55度)



ISSでのハザード評価と運用結果(1/2)

- ISS近傍において、下表にて識別されたハザードは発生せず、準備した制御機能が動作することはなかった。ただし、計画通りISSから離脱した場合デブリと衝突する可能性があったため、1周回離脱するタイミングを遅らせることで、回避した。

ハザード [基本指針項番]		HTV			結果	「きぼう」 (参考)
		近傍運用 フェーズ	係留 フェーズ	離脱 フェーズ		
火災	火災 [5. (2)、10. (3)、11. (1)、11(2)]		○		発生なし・特記事項なし	○
減圧	減圧 [4. (1)ウ、11. (1)イ]		○		発生なし・特記事項なし	○
汚染	推進薬の船外搭乗員への付着による船内の汚染 [4. (3)、6. (1)]		●		発生なし・特記事項なし	
	船内空気汚染 [4. (2)イ、5. (2)ア]		○		発生なし・特記事項なし	○
	ガラス破片飛散による搭乗員の傷害 [10. (1)]		○		発生なし・特記事項なし	○
衝突	HTVのISSへの衝突 [6. 7. 8. 10. (4)]	●		●	発生なし	
	浮遊物のISSへの衝突 [4. (3)]		○		発生なし・特記事項なし	○
	ロボットアーム暴走による衝突				発生なし・特記事項なし	○
	隕石／デブリの衝突(注1) [4. (1)ア、5. (2)イ]		○		HTVへのデブリの衝突を回避するため、離脱タイミングを変更してデブリを回避した。	○
	回転体の搭乗員への衝突 [10. (1)]		○		発生なし・特記事項なし	○
爆発	推進薬システムの爆発 [5. (1)、5. (2)ウ、6. (1)]	●	●	●	発生なし・特記事項なし	
	電池セルの破裂 [8]	●	●	●	発生なし・特記事項なし	
	加圧機器の破裂				発生なし・特記事項なし	○

○:「きぼう」でも識別されたハザード ●:HTV特有のハザード



ISSでのハザード評価と運用結果(2/2)

ハザード [基本指針項目]		HTV			結果	「きぼう」 (参考)
		近傍運 用 フェーズ	係留 フェーズ	離脱 フェーズ		
構造破壊	打上・帰還時荷重による構造破壊				発生なし・特記事項なし	○
	軌道上荷重による構造破壊 [4. (2)ア、5. (1)]		○		発生なし・特記事項なし	○
	過加圧による構造破壊 [5. (1)]	○	○	○	ISS遠方にて、減圧デモを正常に実施。*)	○
	負圧による構造破壊				発生なし・特記事項なし	○
電気・電磁	感電 [10. (1)ウ]		○		発生なし・特記事項なし	○
	電波放射による搭乗員の傷害、機器故障 [4. (2)イ]		○		発生なし・特記事項なし	○
	電磁干渉 [4. (2)イ]	○	○	○	発生なし・特記事項なし	○
	水の漏洩				NA	○
	搭乗員の宇宙放射線の被曝				NA	○
人間工学	船外活動搭乗員の船内帰還不能				NA	○
	船内活動搭乗員の緊急時退避不能 [10. (1)エ、10. (3)、11. (2)ウ]		○		発生なし・特記事項なし	○
	高温表面への接触 [4. (1)ウ、10. (1)イ]		○		発生なし・特記事項なし	○
	鋭利端部への接触 [10. (1)ア]		○		発生なし・特記事項なし	○
	挟み込み [10. (1)ア]		○		発生なし・特記事項なし	○
	騒音 [4. (2)イ]		○		発生なし・特記事項なし	○
ソフトウェア	ソフトウェアの故障 [9. (2)、10. (2)ア、10. (2)ウ]	○	○	○	問題なし	○

*) 今回の飛行ではハザードな事象が発生していないが、次号機以降に向けて軌道上検証が必要な減圧機能の確認をISS離脱から再突入までの間において実施し、正常作動を確認した。

○: 「きぼう」でも識別されたハザード

●: HTV特有のハザード





再突入に係る安全基準と運用結果(1/2)

➤再突入に係る安全基準に従い、適切な訓練・関連機関への計画通りの通知、および運用を実施した。着水予想区域内へ着水したと判断できた。

項番	基準項目	適合性評価結果	実施結果
I	目的・適用	—	—
II	保安及び防衛対策	N/A	N/A
III	地上安全対策	N/A	N/A
IV	飛行安全対策	以下に示す通り、適切な方策を講じている。	N/A
	1 打上げ時の落下物等に対する安全対策	N/A	N/A
	2 打上げ時の状態監視、飛行中 断等の安全対策	N/A	N/A
	3 再突入機の再突入飛行の安全対策	HTV技術実証機の着水予想区域は他国の排他的経済水域外(公海上)に設定した着水予定区域内としており、陸地及びその周辺海域にないことを満足している。	左記のとおり、着水予想区域に着水できた模様。
	(2) 飛行経路の設定	HTV技術実証機の軌道離脱マヌーバに異常が生じた場合でも稼力人口稠密地域を避けるよう、陸域から離れた公海上に着水する経路としている。	不具合もなく、問題なく実施。
	(3) 再突入飛行の可否判断の実施	判断に必要な①軌道、位置、姿勢/②姿勢制御系機能/③推進系機能の各種テレメトリに係る通信機能の検証は完了しており、これらのデータから再突入飛行の実施の判断を適切に行うことが可能である。	不具合もなく、問題なく実施。
	4 航空機及び船舶に対する事前通報	HTV技術実証機の再突入に関し、国内及び関係国の関係機関に対し、航空機及び船舶の安全確保に必要な情報を適切な時期に通知する予定である。	計画とおり、適切に通知し、問題なし。
	5 軌道上デブリの発生の抑制	HTV技術実証機には衛星の展開部品に相当する部品は無く、破片の放出も無い。	問題なし。



再突入に係る安全基準と運用結果(2/2)

項番	基準内容(必要部抜粋)	適合性評価結果	実施結果
V	安全管理体制	以下に示す通り、適切な安全管理体制が整備されている。なお、HTV技術実証機の再突入に関し、機構への委託者は無い。	問題なし。
	1 安全組織及び業務	HTVの運用体制において安全確保に責任を有する組織を設置しており、また本体制は安全上のあらゆる問題点について責任者まで報告される仕組みとなっている。 再突入運用についても、この枠組みの中で実施する計画である。	HTV運用及び再突入運用において、適切に責任者への報告がなされ、問題なし。(リアルタイムな連絡、定期的報告)
	2 安全教育訓練の実施	HTVの運用管制については、ISSへの接近及び離脱運用も含めて各種故障を模擬した運用シミュレーション訓練を実施している。運用シミュレーションにはJAXAの運用管制班の他、必要に応じてNASAの運用チームも参加し、運用時の情報伝達、指揮系統の確認の他、異常時の対応も含めた総合的な訓練を実施している。 また、安全確保に係る事項についてはフライトルール等により明文化し周知徹底している。	左記の訓練どおり、運用を実施し、安全確保を明文化したフライトルールを厳守した。運用の変更の際には、ISSプログラムの変更手順に従い、実施し、問題なし。
	3 緊急事態への対応	緊急事態への即応については通常の運用体制で対応可能である。また、事故発生時の体制は既に確立している。	緊急事態はなく、問題なく実施された。
VI	その他安全対策実施に当たっての留意事項	HTV技術実証機の再突入に当たっては、関係法令を順守すると共に予め手順書で規定した手順に沿って安全を確認しつつ実施する予定である。また、再突入に係る機能を冗長化する等、ISSの知見も踏まえ安全確保に万全を期している。	不具合はなく、問題なし。





特記事項

(日時は全て日本時間)

- HTV技術実証機の運用に於いて、ハザード発生につながる事象は発生せず、安全上の問題は無かった。次に示す3件の特記事項についてもそれぞれ適切にハザード制御を実施した。
 - スペースデブリ(COSMOS 2421)がISSに接近することが判明し、HTVへの影響を評価した。その結果、HTV離脱後にアボート(緊急離脱マヌーバ)が発生した場合に、スペースデブリがHTVに衝突する可能性があることが判明したため、その回避措置として、HTVのISSからの離脱時刻を当初計画より90分程度(1周回程度)遅らせた。
 - デブリの飛来は想定しており、NASA並びにJAXAのデブリ専門部門の支援体制を構築しており、適切に対応できた。
 - 再突入準備中に3つのCPUがエラーとなる事象が発生した。全てのCPUをリセットし、更にCPUのリセットに伴い必要となったプログラムのアップロード及び変数領域のデータ(航法誘導制御系)の再設定を行い、復旧した。

本事象は、飛行運用に使用するGPS時刻の週番号が更新された際、CPUにロードされているRVFS(ランデブーソフト)内のGPS航法処理部に演算処理時間オーバーエラーが発生し、故障判定プログラムがCPUを故障と診断したため発生した。詳細検討の結果、本事象はある確率で発生することが判明したのでこれを防ぐため、同プログラムの改修と再検証試験を実施し、2号機以降は問題ないことを確認した。

 - 3つのCPUがエラーを起こす故障は想定しており、今回は設計通りIOCに自動切替えが行われた。CPUが3つ同時にエラーを起こした場合、安全確保に必要な姿勢維持等のロジックは、冗長系として稼働状態で待機しているIOC(2系統)により実行される。従って、ミッション継続には問題ない。この機能については地上試験において確認していた。



特記事項(続き)

- また、もともとISS接近中のクリティカルなフェーズを想定してGPUのエラーに対するハザード制御を設定しており、仮に同様のエラーが接近中に発生していたとしても安全確保 (ISSへの衝突防止) という観点で問題は起こらなかったと考えている。

□ 最終接近ランデブ飛行中、9番スラストのインジェクタ温度が上限近くまで上昇する事象が発生した。上限を超えることを回避するために、遠隔操作にて主系と冗長系を交互に切替えを行いながら飛行を継続した。

- HTVは、ISS下方300m地点で待機の姿勢をとるために、スラストの短秒時噴射を継続的に長時間行う運用を行った。本運用を完全には模擬していない噴射パターンの地上燃焼試験データによりスラストの温度予測を行ったことが原因と推定している。
- 上記推定原因を確認するため、技術実証機でのスラスト噴射パターンを再現し、かつスラストの長秒時運用のデータを取得する地上燃焼試験を6月に実施する予定である。試験結果を踏まえ、2号機の運用計画に反映する。

9番スラスト



4番スラスト