



安全5-2-5

宇宙ステーション補給機(HTV)2号機の 再突入に係る安全評価について

平成22年11月2日

宇宙航空研究開発機構



目 次

1. はじめに
2. HTV2号機の主要諸元
3. 評価基準に対する評価結果
4. HTV2号機の再突入計画
 - 4.1 再突入までの運用計画
 - 4.2 再突入の実施条件
 - 4.3 再突入の飛行経路と着水予想区域
 - 4.4 航空機及び船舶に対する通報
5. 安全管理体制
 - 5.1 組織及び業務
 - 5.2 安全教育訓練の実施状況
 - 5.3 緊急事態への対応
6. その他安全対策実施に当たっての留意事項

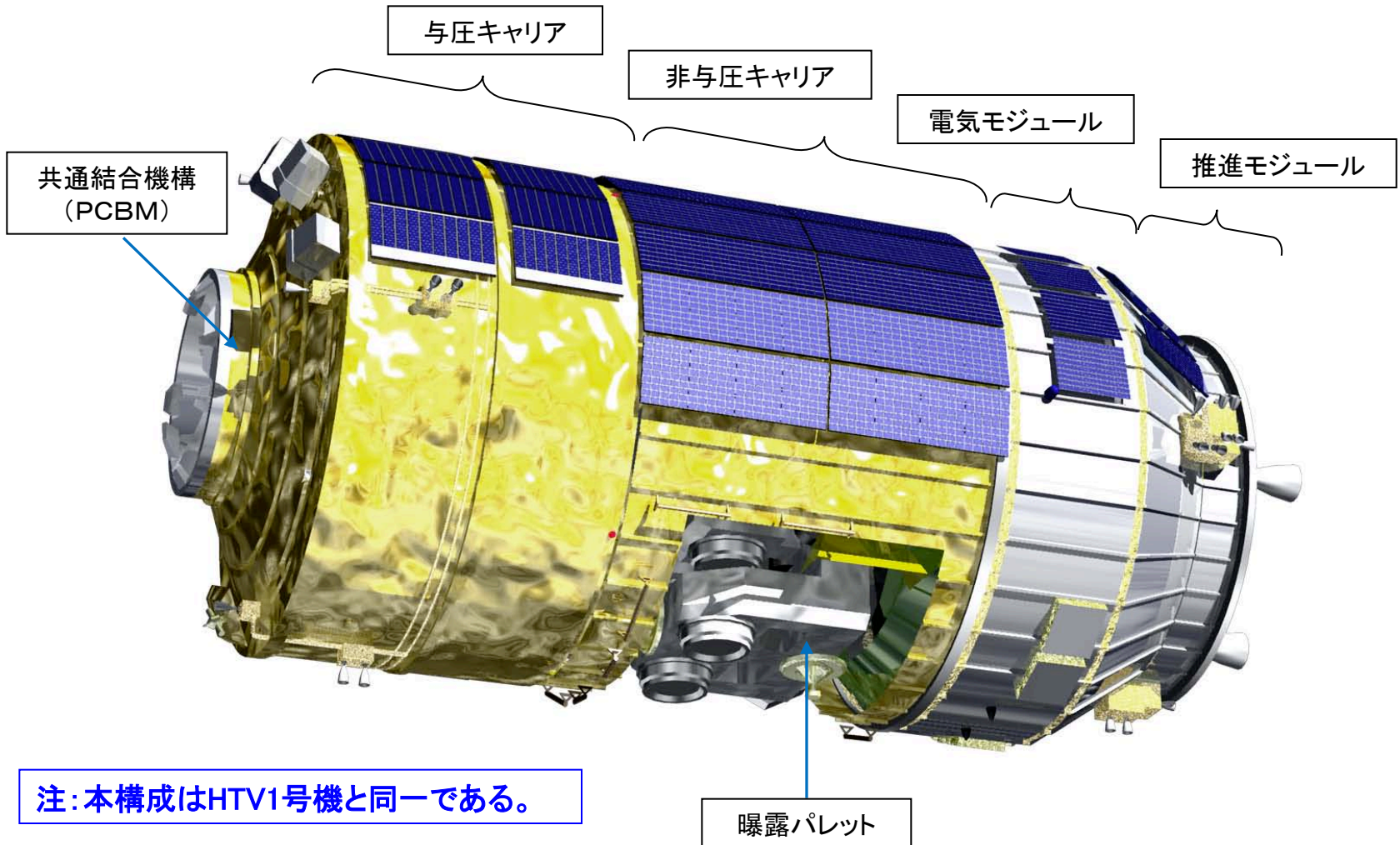


1. はじめに

- 宇宙ステーション補給機 (HTV) の打上げ及び再突入に係る安全評価については、平成17年10月の宇宙開発委員会において、以下の基準により調査審議されることとなった。
- 「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全評価基準」 (平成16年12月)
- 今回、HTV2号機の再突入に関する各種安全評価結果の妥当性確認が完了したため報告する。
- なお、打上げ時の安全評価についてはH-IIBロケットの飛行安全計画及び地上安全計画に含めて報告する。



2. HTV2号機の主要諸元(1/5)





2. HTV2号機の主要諸元(2/5)

項目	HTV2号機の諸元
名称	宇宙ステーション補給機(HTV)2号機
形状・寸法	ISSとの結合のため端面に共通結合機構(PCBM)を有し、側面に曝露パレット取り出しのため大開口部を有する円柱形高さ約10.0m × 直径約4.4m (非与圧開口部:2.5m × 2.96m)
システム構成	<p>◆ 与圧キャリア</p> <p>与圧維持機能、空調機能、熱制御機能、ISSからの電力伝送機能、通信データ処理機能、補給作業支援機能を有する。主な搭載カーゴについては6ページに示す。一部カーゴはレイトアクセス時に搭載する。</p> <p>【HTV1号機からの主な変更点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スタンドオフ構造の削除によるカーゴ搭載性の向上、及びそれに伴う空調ダクト等の配置見直し ・船内灯4式の内、2式に日本製のLED照明を採用 ・HTV補給ラック(HRR)の搭載量向上
	<p>◆ 非与圧キャリア</p> <p>非与圧カーゴを搭載した曝露パレットの搭載、引出し、挿入に必要な空間と機能を有する。曝露パレットへの電力供給機能、再挿入時のカメラによるクルー操作支援機能、並びに航法灯を有する。</p>
	<p>◆ 電気モジュール</p> <p>航法誘導制御系、通信系、データ処理系、電力系、太陽電池パネル系、熱制御系、構造系、計装系から構成される。初期軌道投入後、航法誘導制御系はISSへの接近に必要な推進系の駆動信号を生成する。通信系、データ処理系はTDRS経由もしくはISS経由のコマンド信号を受信して各部へ配信し、テレメトリ信号の送信を行う。電力系は太陽電池、二次電池、一次電池及びISSからの電力を各機器へ供給する。キャリア監視制御・推進系監視制御機能を有する。</p> <p>【HTV1号機からの主な変更点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一次電池搭載台数の削減(11台→7台)及び高効率化 ・誘導制御ソフトウェア(RVFS)及び航法センサソフトウェア(SIGI SW)を改修(改善) ・近傍通信装置B系(PLS-B)に国産のトランスポンダを搭載



2. HTV2号機の主要諸元(3/5)

項目	HTV2号機の諸元 (続き)
システム構成(続き)	<p>◆ 推進モジュール 推進薬 燃料 : MMH(モノメチルヒドラジン) 最大搭載 918kg (HTV2搭載予定量:869kg) 酸化剤: MON3(四酸化二窒素) 最大搭載 1,517kg (HTV2搭載予定量:1,435kg) メインスラスタ 4基 500N ミニマムパルス200msec RCSスラスタ 28基 120N ミニマムパルス30msec 加圧ガス: GHe</p> <p>【HTV1号機からの主な変更点】 ・地球指向側RCSスラスタインジェクタの温度センサを、耐熱温度が高い白金センサに変更</p> <p>◆ 曝露パレットI(FM)型 搭載カーゴは6ページによる。</p> <p>【HTV1号機からの主な変更点】 ・カーゴの取付け機構(2式)をNASA開発品に変更 ・上記に伴う電装系の簡素化</p>
宇宙ステーション軌道	軌道高度 : 350km~460km 軌道傾斜角 : 51.6度 周期 : 約90分
質量	打上げ時全備質量:最大16.5トン、補給カーゴ質量:最大6.0トン
ミッション時間	係留まで:約7日、係留期間:約30日、離脱・再突入:約1日
ロンチウィンドウ	ウィンドウ幅を設定しない。設定時刻に打ち上げる。



2. HTV2号機の主要諸元(4/5)

項目	HTV2号機の諸元 (続き)
搭載カーゴ (非与圧)	Flex Hose Rotary Coupler (FHRC) ○ISS外部に設置されている放熱用ラジエータとアンモニア冷却ラインを接続する回転機構の一部(NASAの貨物) Cargo Transfer Container (CTC) ○船外の分電盤交換部品等を搭載したコンテナ(NASAの貨物)
搭載カーゴ (与圧)	カーゴ移送バック(CTB)／HTV補給ラック(HRR) ○CTBは直方体のソフトバッグであり、内部に衣類、食料、日用品、消耗品などの貨物を収納する ○HRRはCTBを収容して与圧キャリアへ搭載される 飲料水コンテナ(CWC-I) ○専用の打上げ梱包がされた状態でHRRへ搭載する(NASAの貨物) KOBAIROラック ○半導体材料の結晶成長などを行うための実験装置 多目的実験ラック ○大型のワークボリュームやワークベンチを有し、燃焼実験や水棲生物実験等、他種多様な科学実験機会をユーザに提供する
接近・係留・離脱及び再突入運用に係る主要変更点	【HTV1号機からの主な変更点】 ・HTV1号機で実施したデモフライトの削除 ・R-bar上Hold点の変更(300m→250m) ・曝露パレットからカーゴを外す作業をISSのロボットアームで実施(HTV1では「きぼう」のロボットアームで実施) ・タンブリングの取りやめ



2. HTV2号機の主要諸元(5/5)

HTV1号機からの変更点等が接近・係留・離脱フェーズの安全に与える影響については、以下の安全審査等を通して全て評価済みである。これらの審査の結果に基づき、HTV2号機の接近・係留・離脱フェーズにおける安全性は、平成21年6月に安全部会にて審議した安全対策の範囲内で確保されていると判断している。

- ✓ JAXA有人安全審査会：平成22年6月7日
【結果】ハザードレポート全件承認
- ✓ NASA SRP：平成22年6月28日～30日
【結果】ハザードレポート全件承認
- ✓ JAXA安全審査委員会：平成22年8月3日
【結果】承認



3. 評価基準に対する適合性評価結果(1/4)

表1 「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全評価基準」に対する適合性評価結果(1/4)

項番	基準内容(必要部抜粋)	HTV1号機評価結果	HTV2号機
I	目的・適用	—	
II	保安及び防御対策	N/A	
III	地上安全対策	N/A	
IV	飛行安全対策 ロケットによる人工衛星等の打上げに伴い発生する落下物等及びロケットの飛行、及び再突入機の再突入飛行に対する安全対策、並びに航空機及び船舶の安全確保について、以下に示すとおり、適切な方策を講じることが必要である。	以下に示す通り、適切な方策を講じている。	
	1 打上げ時の落下物等に対する安全対策	N/A	
	2 打上げ時の状態監視、飛行中断等の安全対策	N/A	
	3 再突入機の再突入飛行の安全対策 再突入飛行に関しては、以下に示す適切な方策を講じることにより、安全を確保すること。 (1) 正常飛行時の再突入着地予想区域の設定 正常飛行時の着地予想区域は以下のいずれかを満たすこと。 ① 陸地及びその周辺海域にないこと ② 陸地及びその周辺海域に設定する場合には、当該国の了解を得ること	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①を満足している。	同左 【本資料4.3項】



3. 評価基準に対する適合性評価結果(2/4)

表1 「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全評価基準」に対する適合性評価結果(2/4)

項番	基準内容(必要部抜粋)	HTV1号機評価結果	HTV2号機
	(2) 飛行経路の設定 再突入飛行中の再突入機に不具合が発生したことによる着地点分散域については、人口稠密地域から可能な限り離れて通過するよう飛行経路を設定すること。	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極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。	同左 【本資料4.3項】
	(3) 再突入飛行の可否判断の実施 再突入飛行に際しては、次の情報等により再突入飛行の実施の可否を判断すること。 ① 軌道、位置、姿勢 / ② 姿勢制御系機能 / ③ 推進系機能	HTV技術実証機の左記基準に規定された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。	同左 【本資料4.2項】
	4 航空機及び船舶に対する事前通報 ロケット打上げ及び再突入機の再突入飛行に際して、航空機及び船舶の航行の安全を確保するため、打上げ前及び再突入飛行前の適切な時期に必要な情報が的確に通報されるよう措置すること。	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。	同左 【本資料4.4項】
	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。	同左



3. 評価基準に対する適合性評価結果(3/4)

表1 「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全評価基準」に対する適合性評価結果(3/4)

項番	基準内容(必要部抜粋)	HTV1号機評価結果	HTV2号機
V	<p>安全管理体制 地上安全対策、飛行安全対策を確実に遂行するため、以下のとおり、適切な体制が整備されていること。 なお、機構が委託に応じてロケットの打上げ及び再突入機の再突入に係る業務を行うときは、委託者及びその関係者が実施する作業並びに機構との責任分担を明確にするとともに、機構において委託者及びその関係者を含めた安全管理体制を確立すること。</p>	<p>以下に示す通り、適切な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。</p>	<p>同左</p>
	<p>1 安全組織及び業務 専ら安全確保に責任を有する組織を整備し、これが緊密な通信手段により有機的に機能するように措置すること。 また、安全上のあらゆる問題点について、打上げ及び再突入飛行の責任者まで報告される体制を確立すること。</p>	<p>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。</p>	<p>同左 【本資料5.1項】</p>



3. 評価基準に対する適合性評価結果(4/4)

表1 「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全評価基準」に対する適合性評価結果(4/4)

項番	基準内容(必要部抜粋)	HTV1号機評価結果	HTV2号機
	2 安全教育訓練の実施 ロケットの打上げ及び再突入機の再突入飛行作業に携わる者への安全教育・訓練を実施するとともに、安全確保に係る事項の周知徹底を図ること。	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。	同左 【本資料5.2項】
	3 緊急事態への対応 打上げ作業期間中に事故が発生した場合等の緊急事態等に的確に即応するための体制を確立すること。	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。	同左 【本資料5.1項／5.3項】
VI	その他安全対策実施に当たっての留意事項 個々のロケットの打上げ及び再突入機の再突入飛行に係る安全対策実施に当たっては、関係法令を遵守する他、手順書等に基づき安全を確認しつつ実施するとともに、過去におけるロケットの打上げ及び再突入機の再突入の経験等と打上げ及び再突入に関する最新の技術的知見を十分に踏まえて必要な措置をとり、安全確保のため万全を期すること。	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。	同左 【本資料6項】

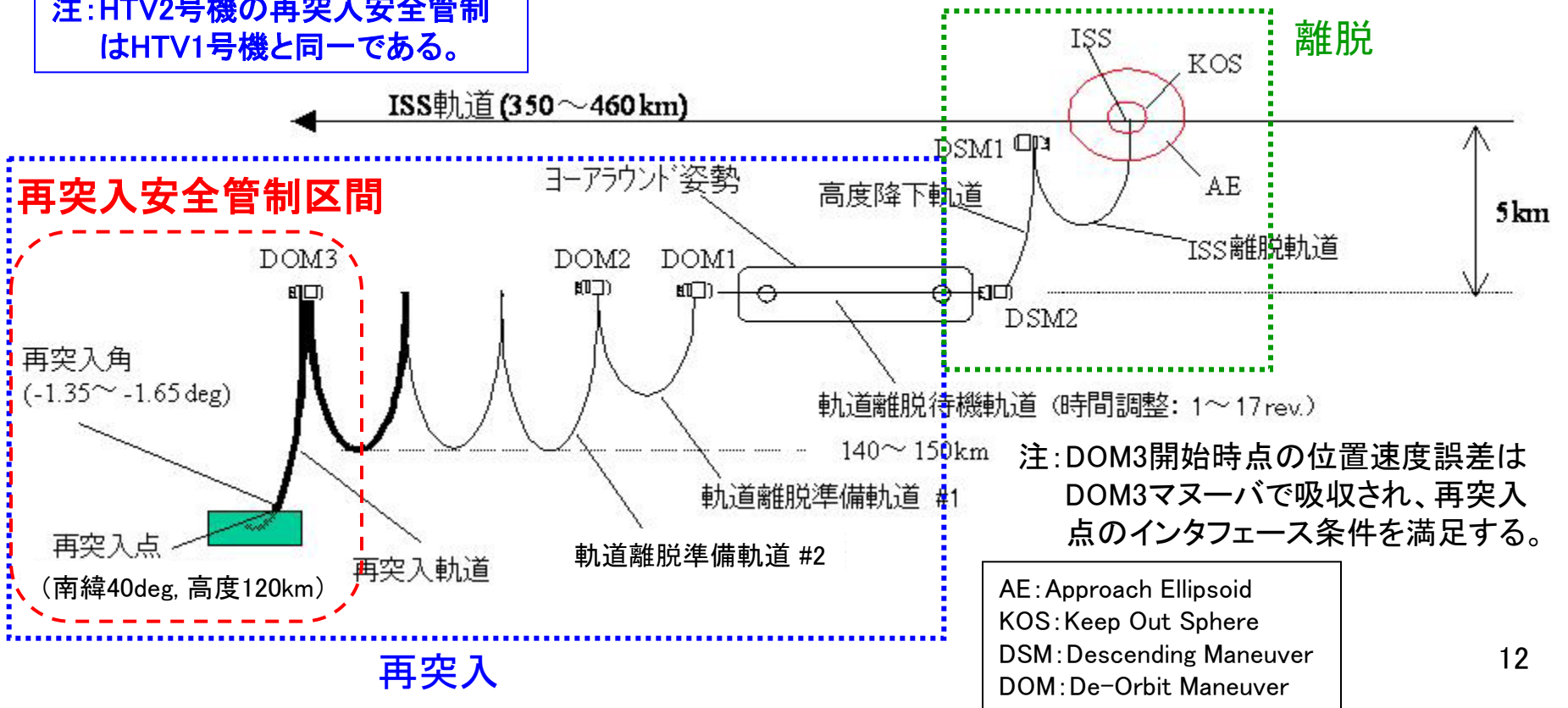


4. HTV2号機の再突入計画

4.1 再突入までの運用計画(1/3)

HTV2号機の再突入の際は、ISSからの軌道離脱待機後2回の軌道離脱準備マヌーバを経て再突入の安全管理に移行する。安全管理区間では、それまで実施していたテレメトリデータ等による監視に追加して、HTV再突入安全監視設備(ROE)によるリアルタイムの軌道監視を行う。

注:HTV2号機の再突入安全管理はHTV1号機と同一である。





4. HTV2号機の再突入計画

4.1 再突入までの運用計画(2/3)

HTV2号機の打上げからISSへの飛行・係留・離脱及び再突入までの運用計画を以下に示す。

イベント	打上げ後経過時間	周回数	中継衛星
①打上げ	0分	0	—
②HTV2 分離/ TDRS初期捕捉	約16分	0	TDRS-W
③2軸姿勢確立	約56分	0	TDRS-E
④3軸姿勢確立	約01時間26分	1	TDRS-Z
⑤初期高度調整マヌーバ(PM1)	約7時間32分	5	TDRS-Z
⑥第1回高度調整マヌーバ(HAM1)	約5日19時間29分	93	TDRS-W
⑦第2回高度調整マヌーバ(HAM0)	約6日21時間4分	110	TDRS-Z
⑧第3回高度調整マヌーバ(HAM2)	約7日0時間7分	112	TDRS-Z
⑨ISS後方保持点(AI)到着(T1)	約7日0時間53分	113	TDRS-W
⑩SSRMS (ISSロボットアーム)による把持	約7日6時間30分	116	TDRS-E
⑪ISS結合	約7日11時間30分	—	—
⑫ISS離脱	約35日10時間36分	0	TDRS-E
⑬軌道離脱準備マヌーバ#1 (DOM1)	約36日4時間6分	12	TDRS-W
⑭軌道離脱準備マヌーバ#2 (DOM2)	約36日5時間37分	13	TDRS-W
⑮再突入マヌーバ(DOM3)	約36日10時間5分	16	TDRS-Z/W
⑯再突入インタフェース点(高度120km)	約36日10時間34分	16	—

再突入
フェーズ

※上記時間は、今後ISS軌道の変更により前後する。

※③～⑮の中継衛星については、変更の可能性がある。



4. HTV2号機の再突入計画

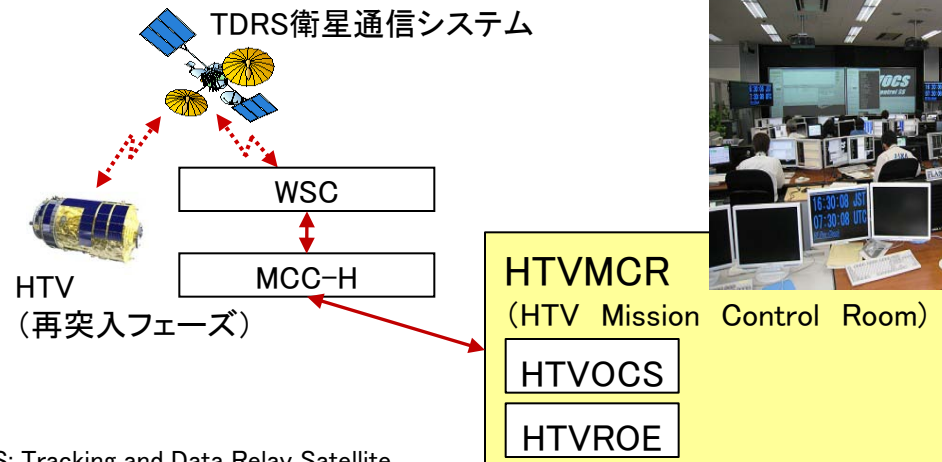
4.1 再突入までの運用計画(3/3)

再突入時の監視及びコマンド発行に必要なTDRSとの通信リンクについては、実際の再突入時の軌道や条件(以下)を考慮して可視性を確認済みである。

- (1)ISS高度460/407/350kmのそれぞれの場合に対して、着水予定区域の西側・東側に着水する両再突入軌道について確認
- (2)機体質量16500kg;メインスラスタ2基運用ケース
- (3)姿勢制御誤差を考慮し、「TDRSに対するアンテナ上下角75deg以上で可視」という前提条件を設定

評価結果

軌道離脱マヌーバおよびその開始5分前～終了70秒後における区間において、1局のTDRSのみで可視区間が設定できることを確認した。



TDRS: Tracking and Data Relay Satellite
WSC: White Sands Complex
MCC-H: Mission Control Center - Houston
HTVOCS: HTV運用管制システム
HTVROE: HTV再突入安全監視設備

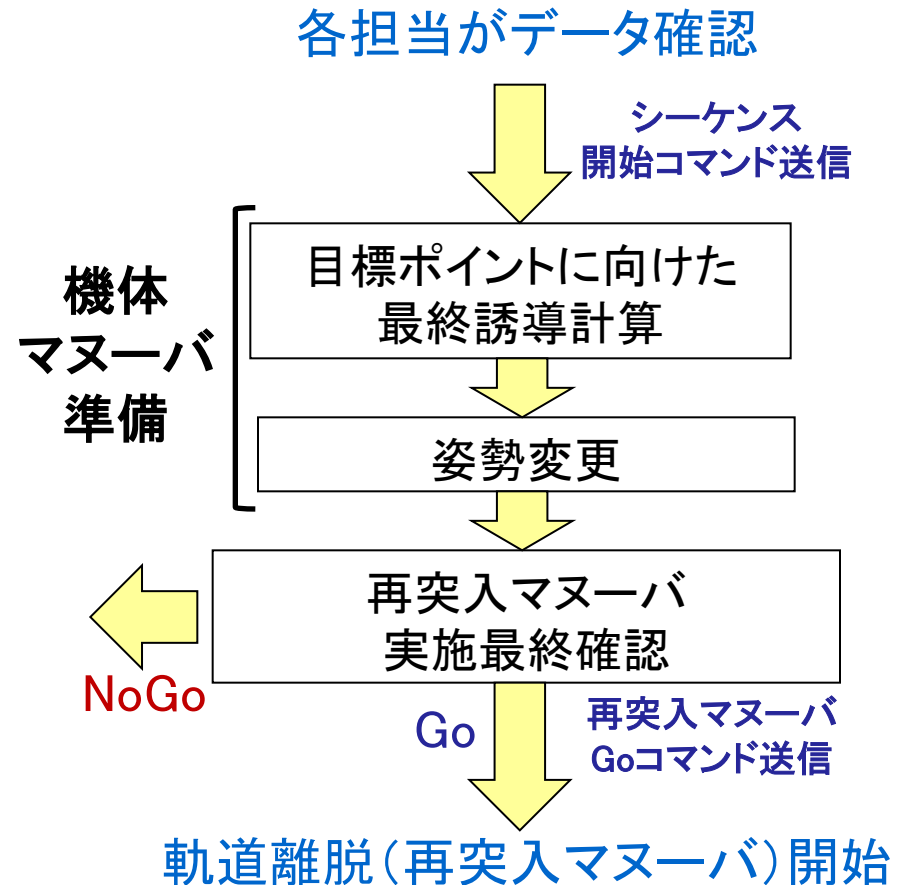


4. HTV2号機の再突入計画

4.2 再突入の実施条件

HTV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続けていること。
 - ・ マヌーバ前姿勢が確立できたこと。
- ② 航法誘導制御系（GNC、姿勢制御機器）が最低限の機能を果たしている状態であること。
- ③ 推進系（推力及び再突入時に使用する機器等）が最低限の機能を果たしている状態であること。



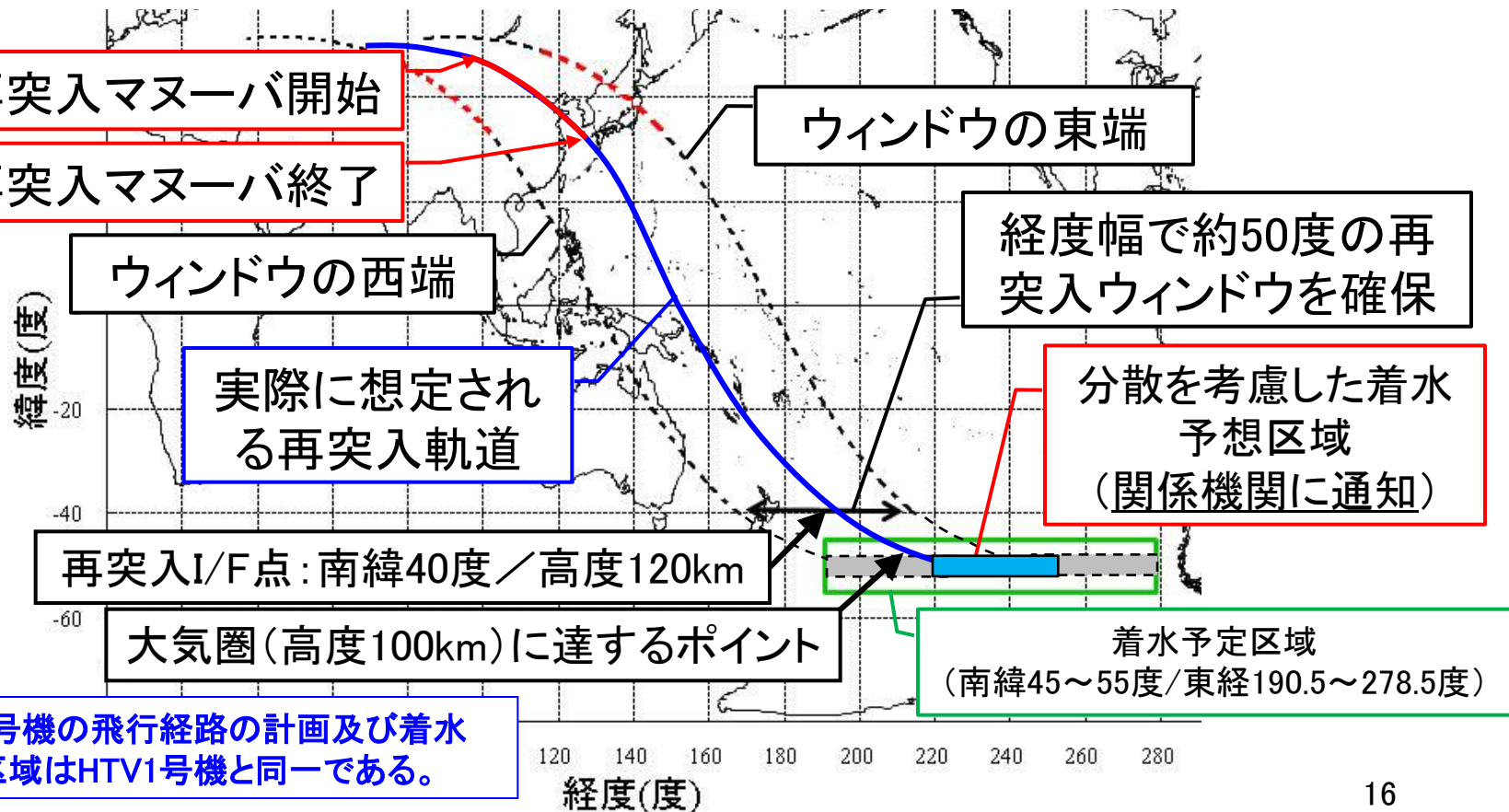
注: HTV2号機の再突入の実施条件や手順はHTV1号機と同一である。



4. HTV2号機の再突入計画

4.3 再突入の飛行経路と着水予想区域

- HTVの再突入経路は最終的にISSから離脱する際の条件(機体質量、推力及び離脱時のISS高度等)を踏まえて以下のウィンドウに入るように設定する。
- 飛行経路がウィンドウの西端に近い場合でも大気圏(高度100kmと想定)に進入した段階で海上となるように計画している。





4. HTV2号機の再突入計画

4.4 航空機及び船舶に対する通報

【航空機】

- 4.3項に示した着水予定区域は日本の国土交通省が所管する領域外であるため、ノータムの通知及び調整は直接影響国（ニュージーランド及びチリ）の関係機関に行う予定である。

【船舶】

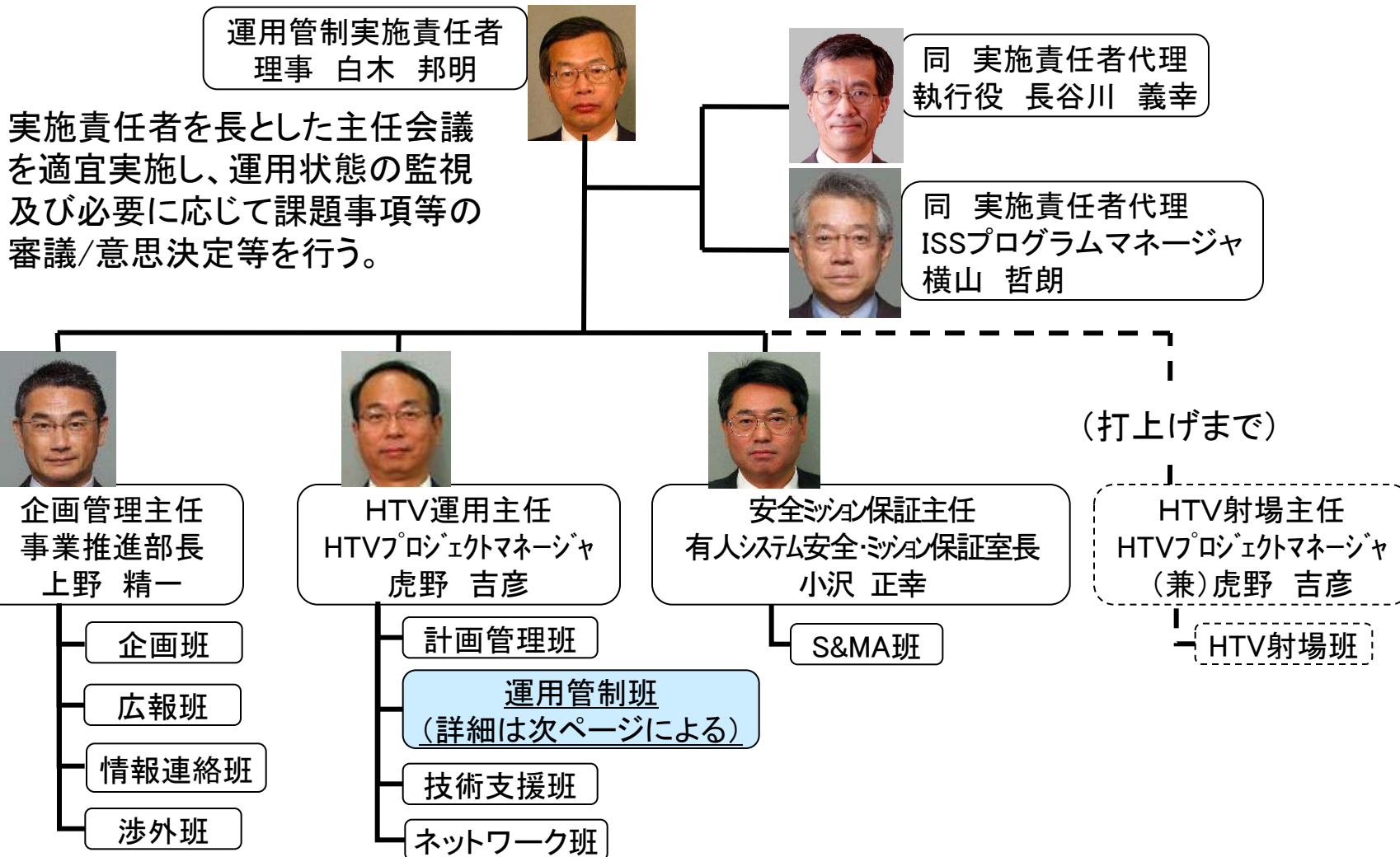
- 海上保安庁が行う日本航行警報及び水路通報のため、必要な情報を所定の手続きに従って海上保安庁に通知する予定である。
- 4.3項で示した着水予定区域はチリとニュージーランド当局の所管であるため、両国関係当局が実施するNAVAREA航行警報（インマルサットによる情報配信）のために、5日以上前に両国当局に情報通知を行う予定である。

注：航空機及び船舶に対する通報手続きはHTV1号機と同一である。



5. 安全管理体制

5.1 組織及び業務(1/2)

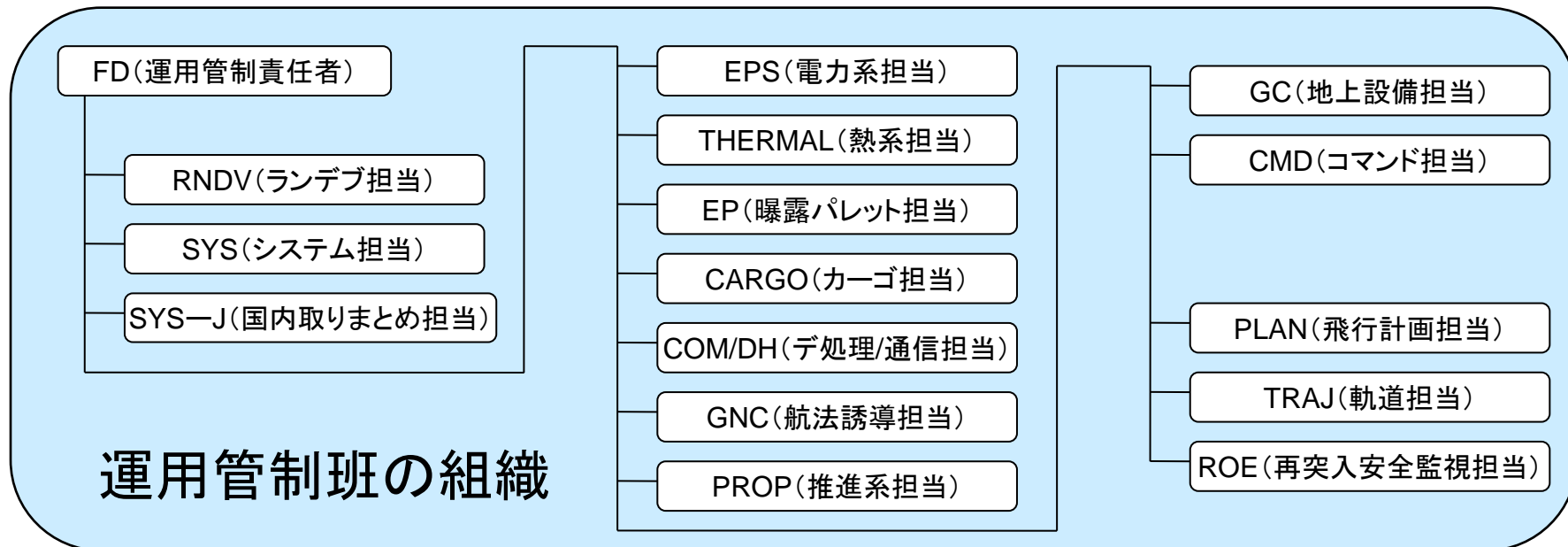


HTV2号機 運用管制体制



5. 安全管理体制

5.1 組織及び業務(2/2)



- 運用管制要員になるためには、各ポジションでの役割に応じた所定の訓練及び試験等をクリアし、認定を受ける必要がある。
- 認定には、HTVや地上システムに関する知識だけでなく、担当するシステムがインタフェースするISSシステム等に係る幅広い知識、また英語も含むコミュニケーション能力等が要求される。

注: HTV2号機の運用管制班はHTV1号機と同一の構成である。



5. 安全管理体制

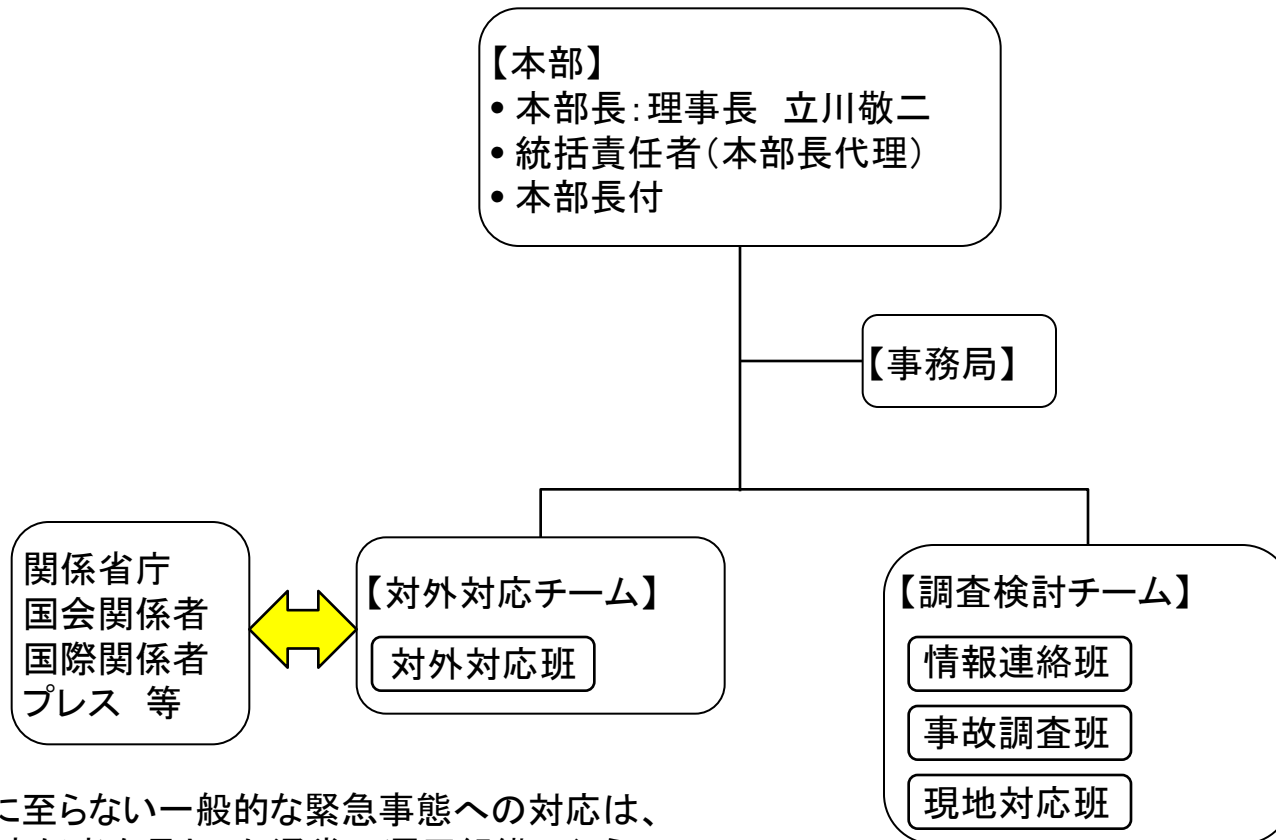
5.2 安全教育訓練の実施状況

- 約9割の人員がHTV1ミッション経験者である。1割の新人は全員決められた教育・訓練を経て認定された者である。
- HTV1ミッション以降も、技量維持や新人訓練のために各種故障の模擬も含めた運用シミュレーション訓練を継続している。
＜HTV1ミッション以降の訓練実績(平成22年11月2日時点)＞
飛行訓練: 国内訓練8回、日米合同訓練13回。計21回(全29回の予定)
係留訓練(参考): 国内訓練32回、日米合同訓練5回。計37回(全て完了)
- ISSへの接近、離脱及び再突入のいずれ運用においても飛行訓練の内容自体に大きな差異は無く、全ての飛行訓練が再突入運用の訓練としても有効である。また、再突入フェーズに特化した追加訓練も含め今後も飛行訓練を継続する予定である。



5. 安全管理体制

5.3 緊急事態への対応



事故に至らない一般的な緊急事態への対応は、実施責任者を長とした通常の運用組織で行う。

事故対策本部体制

注: 本体制はHTV1号機と同一である。



6. その他安全対策実施に当たっての留意事項

HTV2号機の再突入の安全対策実施に当たっては、以下を留意する。

■法令、条約等の遵守

再突入実施にあたっては以下の基準、条約等を遵守する。

✓ 宇宙開発委員会基準

ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全評価基準

✓ 宇宙条約第7条

他の当事国、その自然人、法人に与える損害についての国際的責任

✓ 宇宙損害責任条約第2条

打上げ国は、自国の宇宙物体が地表において引き起こした損害又は飛行中の航空機に与えた損害の賠償につき無過失責任を負う

■手順書に基づく再突入の実施

再突入の実施に必要な手順については、その内容を予め手順書化し、5.2項で示した訓練等で十分な確認を行う。

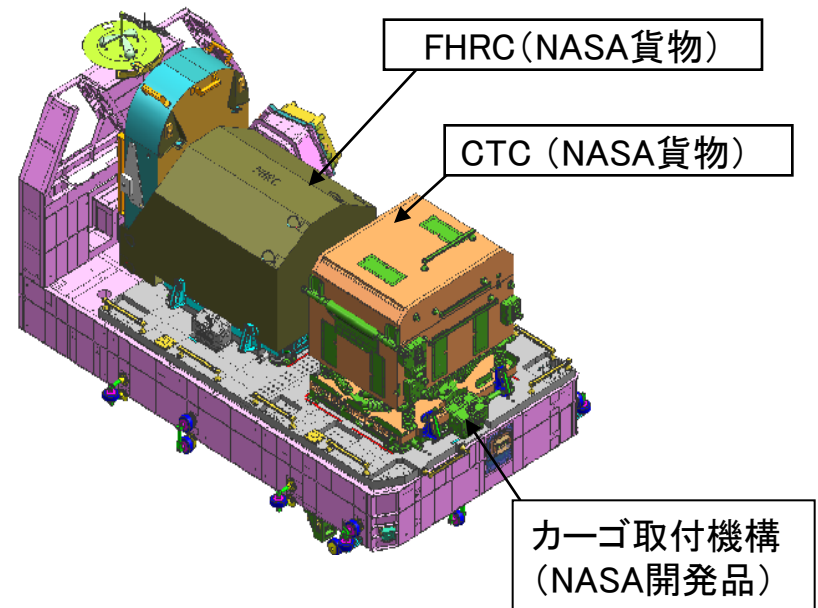
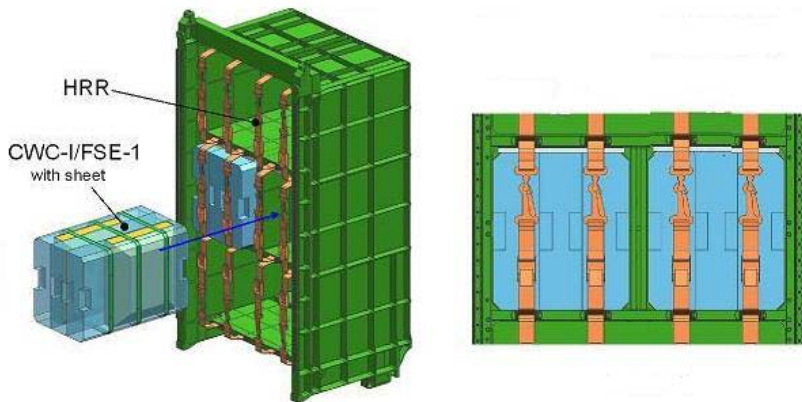
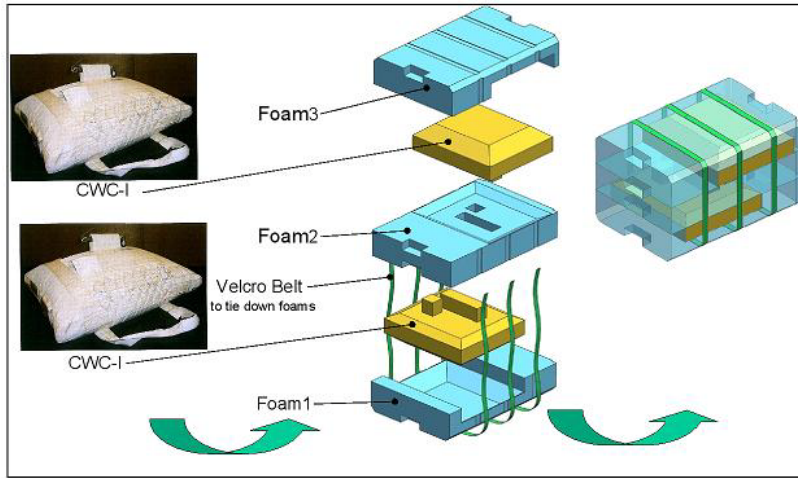
■経験及び最新の知見に基づく措置

再突入に必要な機能については冗長性を有する等、ISSに関する知見も踏まえ安全確保のために万全を期している。

注：本ページに示す事項は全て
HTV1号機と同一である。



補足:HTV2号機の主な搭載カーゴ

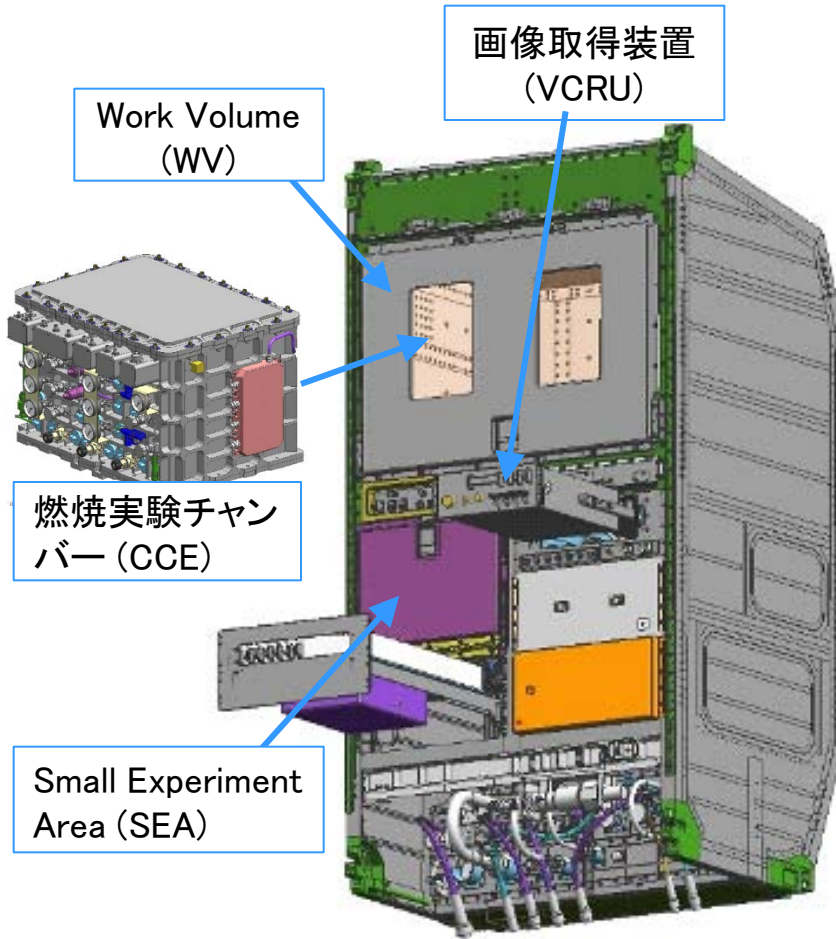


曝露パレット搭載品

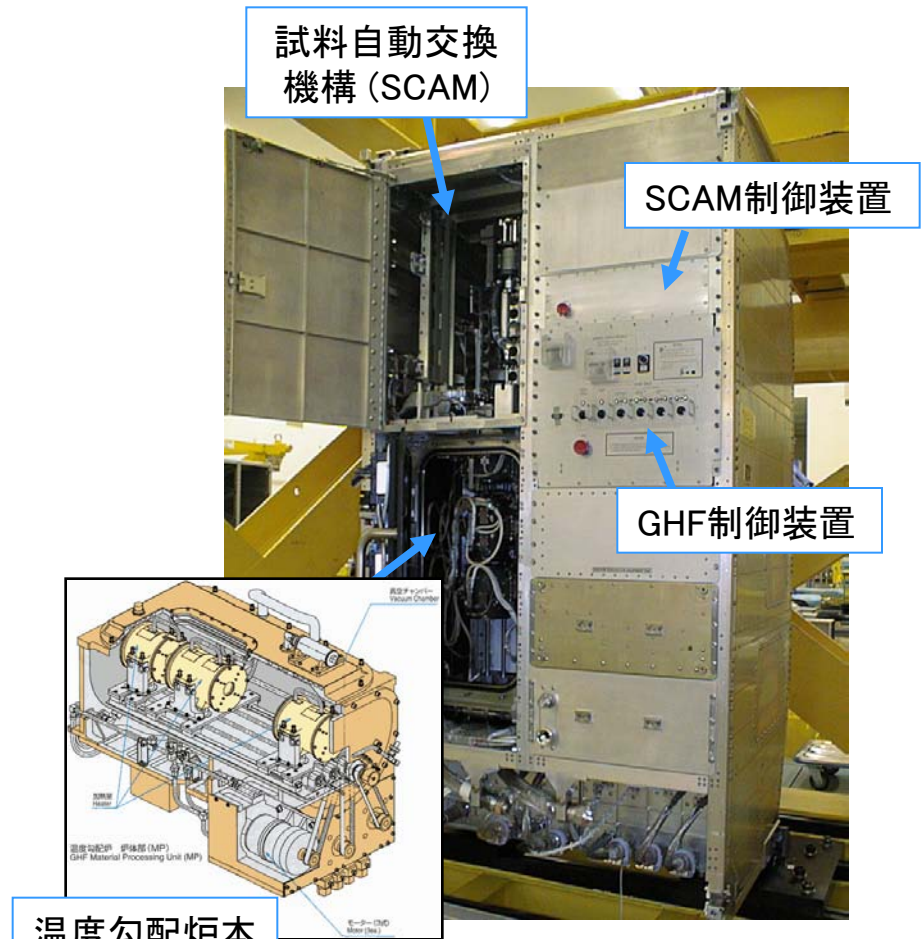
飲料水コンテナ(CWC-I):NASA貨物



補足: HTV2号機の主な搭載カーゴ



多目的実験ラック
(別途安全部会で審議予定)



KOBAIROラック
(別途安全部会で審議予定)