



(付録3)

宇宙ステーション補給機 「こうのとり」4号機(HTV4)の 再突入に係る安全評価について

平成25年6月20日

独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

HTV: H-II Transfer Vehicle

| |
|----------------------------------|
| 説明者 |
| 有人宇宙ミッション本部 有人システム安全・ミッション保証室 |
| 室長 小沢 正幸 |



目 次

- はじめに
- JAXA安全評価による安全性確認結果
- HTV4号機の再突入計画
 - 再突入までの運用計画
 - 再突入の実施条件
 - 再突入の飛行経路と着水予想区域
 - 航空機及び船舶に対する通報
- 安全管理計画
 - 組織及び業務
 - 安全教育訓練の実施状況
 - 緊急事態への対応
- その他安全対策実施に当たっての留意事項
- 結論



1. はじめに

- 宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)の打上げ及び再突入に係る安全評価については、これまで宇宙開発委員会(平成24年7月に廃止)において、「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」により調査審議されてきた。
- 平成24年9月6日の宇宙開発利用部会において、上記を踏襲した以下の評価基準が定められた。

「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全対策の評価基準」

また、平成25年4月4日の宇宙開発利用部会において調査・安全小委員会が設置され、同小委員会に対して、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)のISS近傍での運用(接近、係留、離脱フェーズ)と再突入に当たってJAXAが行う安全対策の妥当性について調査検討するよう付託された。
- 今回、HTV4号機の再突入計画について、JAXAにおける各種安全評価による安全性確認が完了したため、その安全対策の評価基準への適合性について評価をお願いします。

2



2. JAXA安全評価による安全性確認結果(1/5)

JAXAは、HTV4号機の再突入に関する安全対策について、以下に示す安全審査においてその妥当性を確認した。

JAXA有人安全審査会:平成 25年 5月 9日
【結論】承認

JAXA安全審査委員会:平成 25年 5月 28日
【結論】承認

これらの審査において確認された安全対策の「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全対策の評価基準」に対する適合性評価を次ページ以降に示す。

3



2. JAXA安全評価による安全性確認結果(2/5)

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

| 項番 | 基準内容(必要部抜粋) | HTV4号機 | 前号機までの評価結果 |
|-----|---|---|------------|
| 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 | 【本資料3.3項】 HTV4号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 |



2. JAXA安全評価による安全性確認結果(3/5)

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

| 項番 | 基準内容(必要部抜粋) | HTV4号機 | 前号機までの評価結果 |
|----|--|--|------------|
| | (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。 | 【本資料3.3項】 HTV4号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 |
| | (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 | 【本資料3.2項】 HTV4号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 |
| | 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。 | 【本資料3.4項】 HTV4号機の再突入に関し、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 |
| | 5 軌道上デブリの発生の抑制 | HTV4号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 |



2. JAXA安全評価による安全性確認結果(4/5)

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

| 項番 | 基準内容(必要部抜粋) | HTV4号機 | 前号機までの評価結果 |
|----|--|---|------------|
| 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。</p> <p>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、HTV4号機の再突入に関し、機構への委託者は無い。</p> | 同左 |
| | <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>【本資料4.1項】 HTV4号機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> | 同左 |

6



2. JAXA安全評価による安全性確認結果(5/5)

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

| 項番 | 基準内容(必要部抜粋) | HTV4号機 | 前号機までの評価結果 |
|----|--|--|------------|
| | <p>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。</p> | <p>【本資料4.2項】 HTV4号機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。</p> | 同左 |
| | <p>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。</p> | <p>【本資料4.1項/4.3項】 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。</p> | 同左 |
| VI | <p>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。</p> | <p>【本資料5項】 HTV4号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。</p> | 同左 |

7

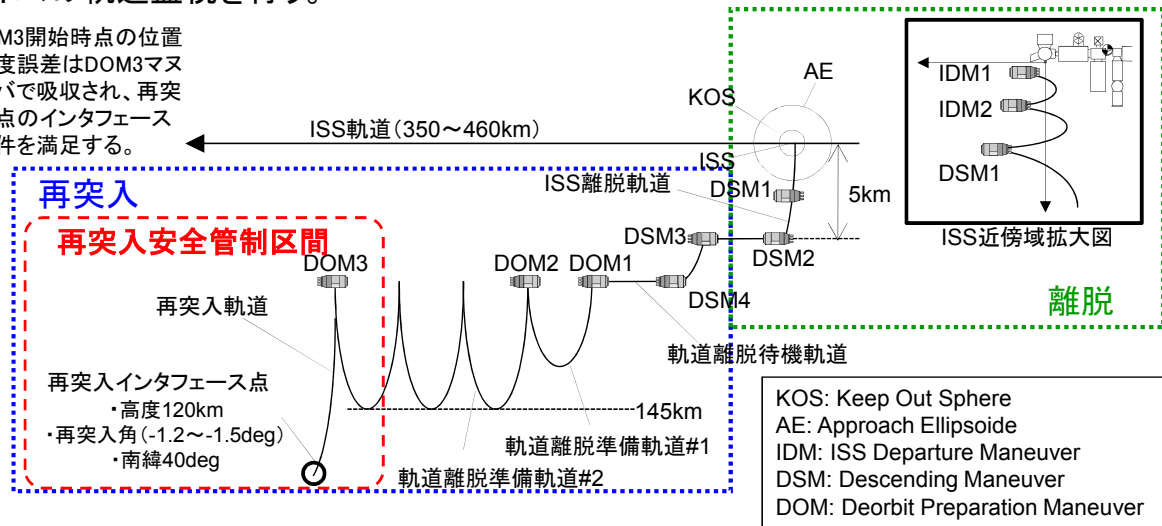


3. HTV4号機の再突入計画

3.1 再突入までの運用計画(1/3)

- HTVは、ISSへの物資輸送を完了するとISSから離脱し、軌道制御しながら大気圏へ再突入し、計画された海域に落下する。これは軌道上のデブリ抑制の観点からも重要である。
- 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制に移行する。安全管制区間では、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: DOM3開始時点の位置
速度誤差はDOM3マヌーバで吸収され、再突入点のインタフェース条件を満足する。



3. HTV4号機の再突入計画

3.1 再突入までの運用計画(2/3)

HTV4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(概算) | 中継衛星 |
|-------------------------|-------------|---------|--------|
| ①打上げ | 0分 | 0 | |
| ②HTV4分離/TDRS初期補足 | 約15分 | 0 | TDRS-W |
| ③2軸姿勢確立 | 約55分 | 0 | TDRS-E |
| ④3軸姿勢確立 | 約1時間25分 | 0 | TDRS-Z |
| ⑤初期高度調整マヌーバ(PM1) | 約7時間33分 | 5 | TDRS-Z |
| ⑥第1回高度調整マヌーバ(HAM1) | 約3日22時間50分 | 63 | TDRS-Z |
| ⑦第2回高度調整マヌーバ(HAM0) | 約5日7時間15分 | 84 | TDRS-Z |
| ⑧第3回高度調整マヌーバ(HAM2) | 約5日10時間21分 | 86 | TDRS-E |
| ⑨ISS後方保持点(AI)到着(T1) | 約5日11時間7分 | 87 | TDRS-W |
| ⑩SSRMS(ISSロボットアーム)による把持 | 約5日17時間7分 | 91 | TDRS-Z |
| ⑪ISS結合 | 約5日22時間7分 | - | - |
| ⑫ISS離脱 | 約35日20時間12分 | 0 | TDRS-E |
| ⑬軌道離脱準備マヌーバ#1(DOM1) | 約40日2時間43分 | 68 | TDRS-W |
| ⑭軌道離脱準備マヌーバ#2(DOM2) | 約40日4時間13分 | 69 | TDRS-W |
| ⑮再突入マヌーバ(DOM3) | 約40日8時間42分 | 72 | TDRS-Z |
| ⑯再突入インタフェース点(高度120km) | 約40日9時間8分 | 72 | TDRS-W |

再突入フェーズ

- ※ISS結合までの経過時間は、打ち上げ前のISS軌道に合わせて最終的に更新される予定。
- ※ISS離脱から再突入までの経過時間は、ISSの運用状況に合わせて見直される可能性がある。
- ※中継衛星については、HTVの運用計画の変更により、見直される可能性がある。



3. HTV4号機の再突入計画

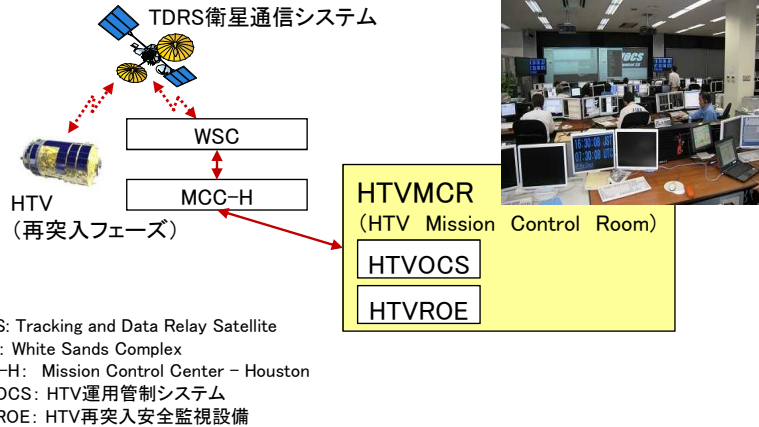
3.1 再突入までの運用計画(3/3)

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;メインスラスト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。

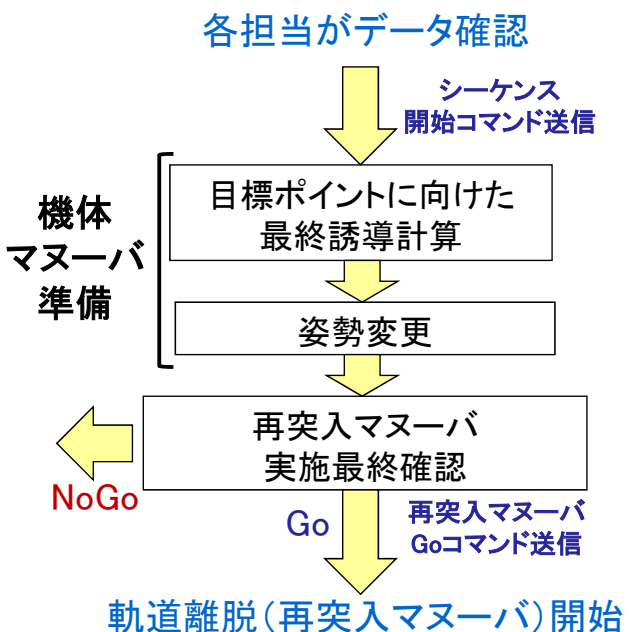


3. HTV4号機の再突入計画

3.2 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)が再突入に必要な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)が再突入に必要な最低限の機能を果たしている状態であること。



※上記①～③の確認には、TDRS衛星間通信システム及び地上管制システムを使用することにしており、これらの確認は打上げ前に実施される予定。

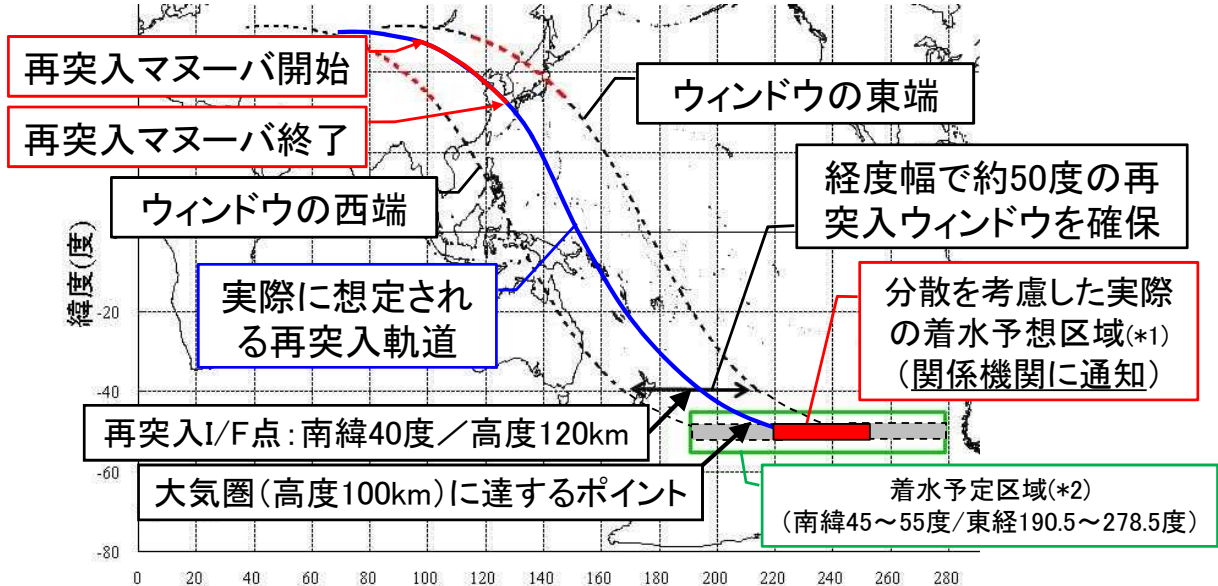
GNC: Guidance Navigation and Control



3. HTV4号機の再突入計画

3.3 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。



(*1) 打上げ後、実際のISS離脱軌道情報に基づき確定 (*2) 排他的経済的水域及び人の住む島を含まない区域 12



3. HTV4号機の再突入計画

3.4 航空機及び船舶に対する通報

【航空機】

- 3.3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、着水予想区域の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】

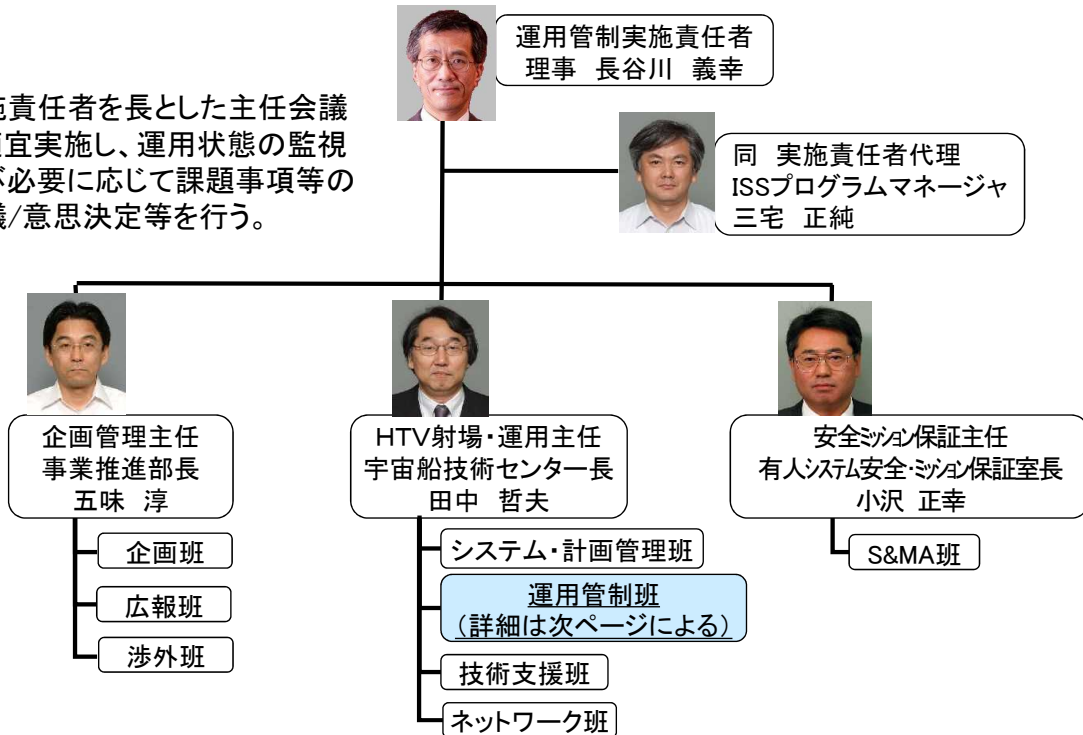
- 海上保安庁が行う日本航行警報及び水路通報のため、必要な情報を所定の手続きに従って海上保安庁に通知する予定である。
- 3.3項で示した着水予定区域はチリとニュージーランドの関係機関の所管であるため、両国関係機関が実施するNAVAREA航行警報(インマルサットによる情報配信)のために、5日以上前に両国機関に情報通知を行う予定である。



4. 安全管理計画

4.1 組織及び業務(1/2)

実施責任者を長とした主任会議を適宜実施し、運用状態の監視及び必要に応じて課題事項等の審議/意思決定等を行う。

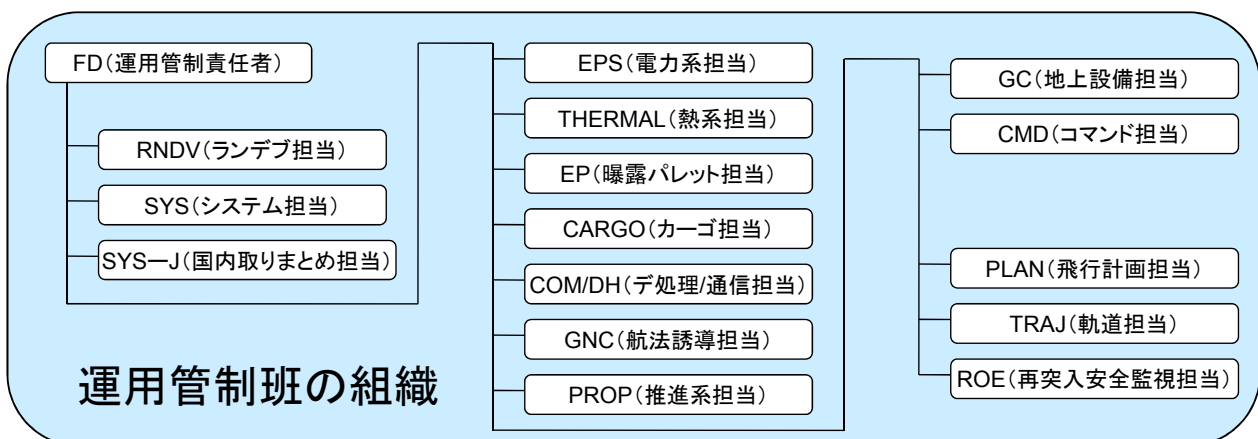


HTV4号機 運用管制体制



4. 安全管理計画

4.1 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。



4. 安全管理計画

4.2 安全教育訓練の実施状況

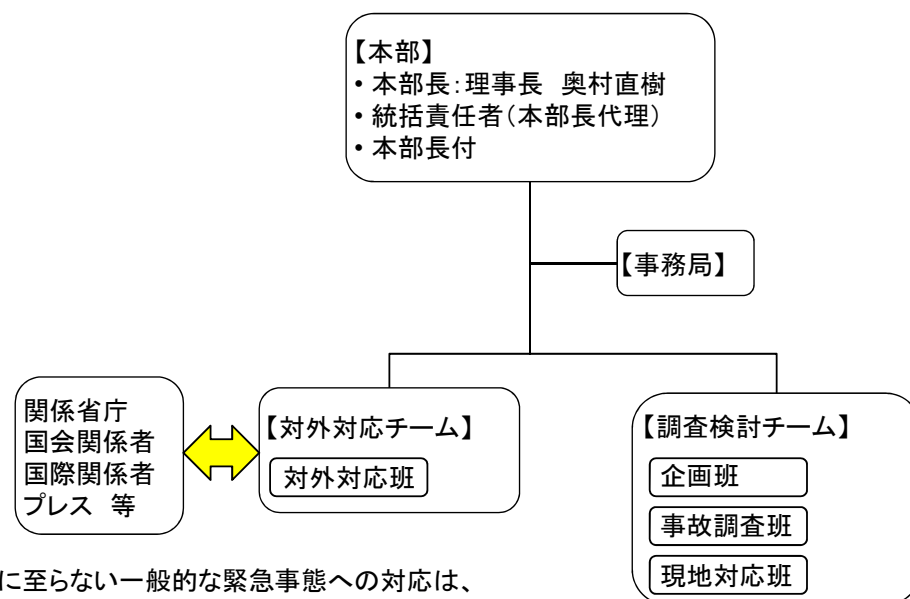
- 約8割の人員がこれまでのHTVミッション経験者である。2割の新人は全員決められた教育・訓練を経て認定された者である。
- HTV4ミッションに向けて、技量維持や新人訓練のために各種故障の模擬も含めた運用シミュレーション訓練を継続している。
 <HTV3ミッション以降の訓練実績(平成25年5月24日時点)>
 飛行訓練:国内訓練10回、日米合同訓練6回。計16回(全22回の予定)
 係留訓練(参考):国内訓練4回。(全11回の予定)
- ISSへの接近、離脱及び再突入のいずれの運用においても飛行訓練の内容自体に大きな差異は無く、全ての飛行訓練が再突入運用の訓練としても有効である。また、再突入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。

16



4. 安全管理計画

4.3 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

17



5. その他安全対策実施に当たっての留意事項

HTV4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。

(1) 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。

- ・ 宇宙開発利用部会基準
ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全対策の評価基準
- ・ 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

(2) 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、4.2項で示した訓練等で十分な確認を行う。

(3) 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。



6. 結 論

JAXAは、宇宙ステーション補給機「こうのとり」4号機 (HTV4)に関する安全審査を終了し、各種安全評価結果が安全対策の評価基準に合致していると判断した。