資料31-1-3

宇宙ステーション補給機「こうのとり」7号機（HTV7）の再突入に係る安全評価について

平成30年5月18日

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構

説明者
有人宇宙技術部門 有人システム安全・ミッション保証室
室長 白井　達也

HTV: H-Ⅱ Transfer Vehicle

目　次

1. はじめに
2. JAXA安全評価による安全性確認結果
3. HTV7号機の再突入計画
   3.1 再突入までの運用計画
   3.2 再突入の実施条件
   3.3 再突入の飛行経路と着水予想区域
   3.4 航空機及び船舶に対する通報
4. 安全管理計画
   4.1 組織及び業務
   4.2 安全教育訓練の実施状況
   4.3 緊急事態への対応
5. その他安全対策実施に当たっての留意事項
6. 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、平成28年6月14日に同部会において最新版への改定が行われた。

  「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27年4月9日の宇宙開発利用部会（第8期）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、HTV7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する。

2.　JAXA安全評価による安全性確認結果(1/5)

JAXAは、HTV7号機の再突入に関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 30年 4月16日
【結論】承認

JAXA安全審査委員会：平成 30年 5月 7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。

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)	HTV7号機の適合性評価結果	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	N/A
Ⅲ	地上安全対策	N/A	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	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 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3.1項/3.2項/3.3項】** 小型回収カプセルの回収運用に伴い、HTV7号機および小型回収カプセルの着水予想区域は南鳥島周辺に設定した。日本および米国の排他的経済水域内に着水予想区域が設定されるが、適切に外部通報を出すことで了解が得られているため、②を満足している。	HTV6号機までは日本および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を満足していた。

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)	HTV7号機の適合性評価結果	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】** HTV7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】** HTV7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】** HTV7号機および小型回収カプセルの再突入に関し、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。	小型回収カプセルを除き同左
	5 軌道上デブリの発生の抑制	小型回収カプセルは再突入マヌーバ完了後に放出され、HTVの着水予想区域内に落下する。HTV7号機とともに地球に再突入するため、軌道上デブリとならない。	小型回収カプセルを除き同左

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)	HTV7号機の適合性評価結果	前号機までの評価結果
V	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。	以下に示す通り、適切な体制が整備されている。なお、HTV7号機の再突入に関し、機構への委託者は無い。	同左
	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。	**【本資料4.1項】** HTV7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。	同左

2.　JAXA安全評価による安全性確認結果(5/5)

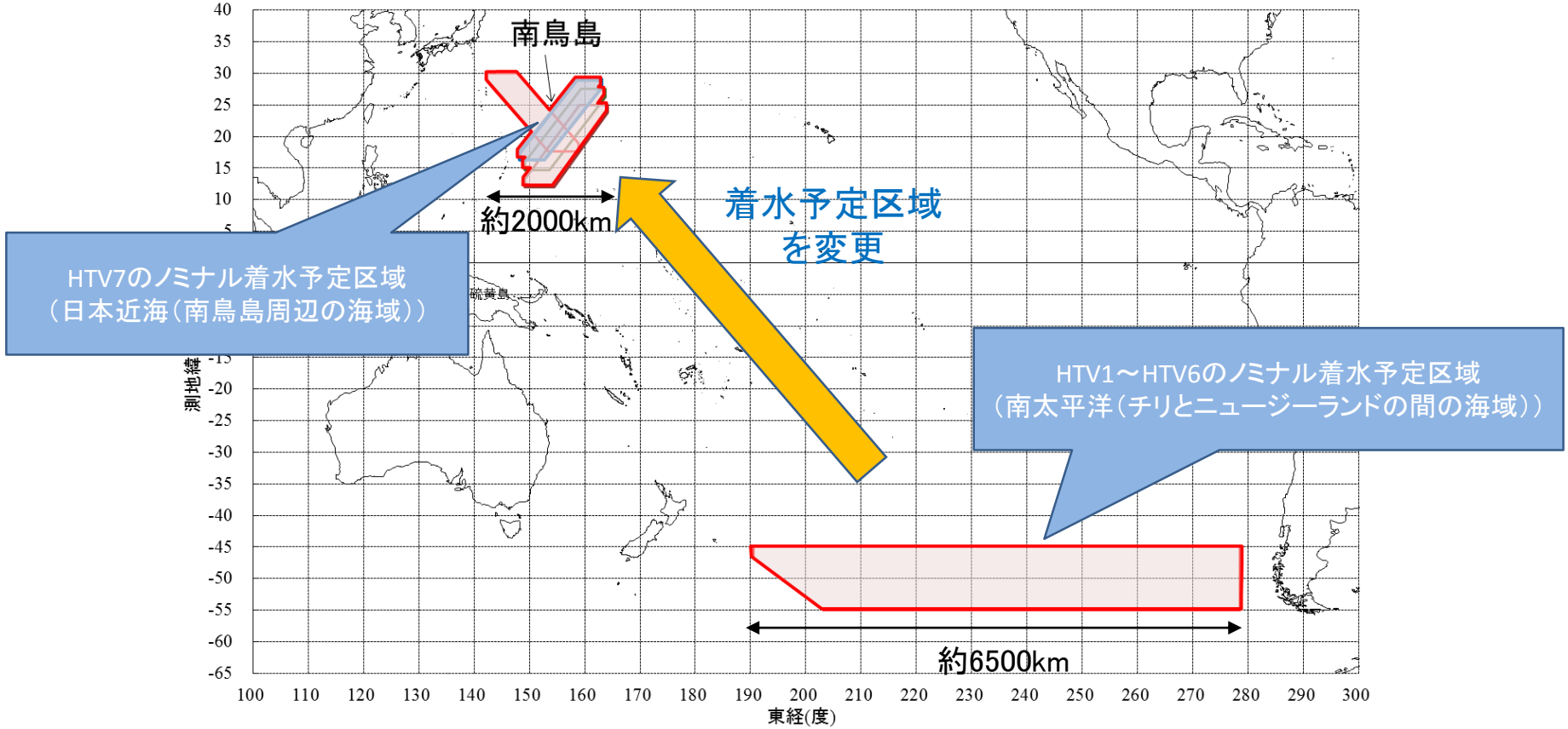
表1「ロケットによる人工衛星等の打上げに係る安全対策の評価基準」に対する適合性評価結果(4/4)

項番	基準内容(必要部抜粋)	HTV7号機の適合性評価結果	前号機までの評価結果
	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。	**【本資料4.2項】** HTV7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。	小型回収カプセル放出ミッションの運用訓練を除き同左。
	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。	**【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。	同左
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。	**【本資料5項】** HTV7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。	同左

3. HTV7号機の再突入計画

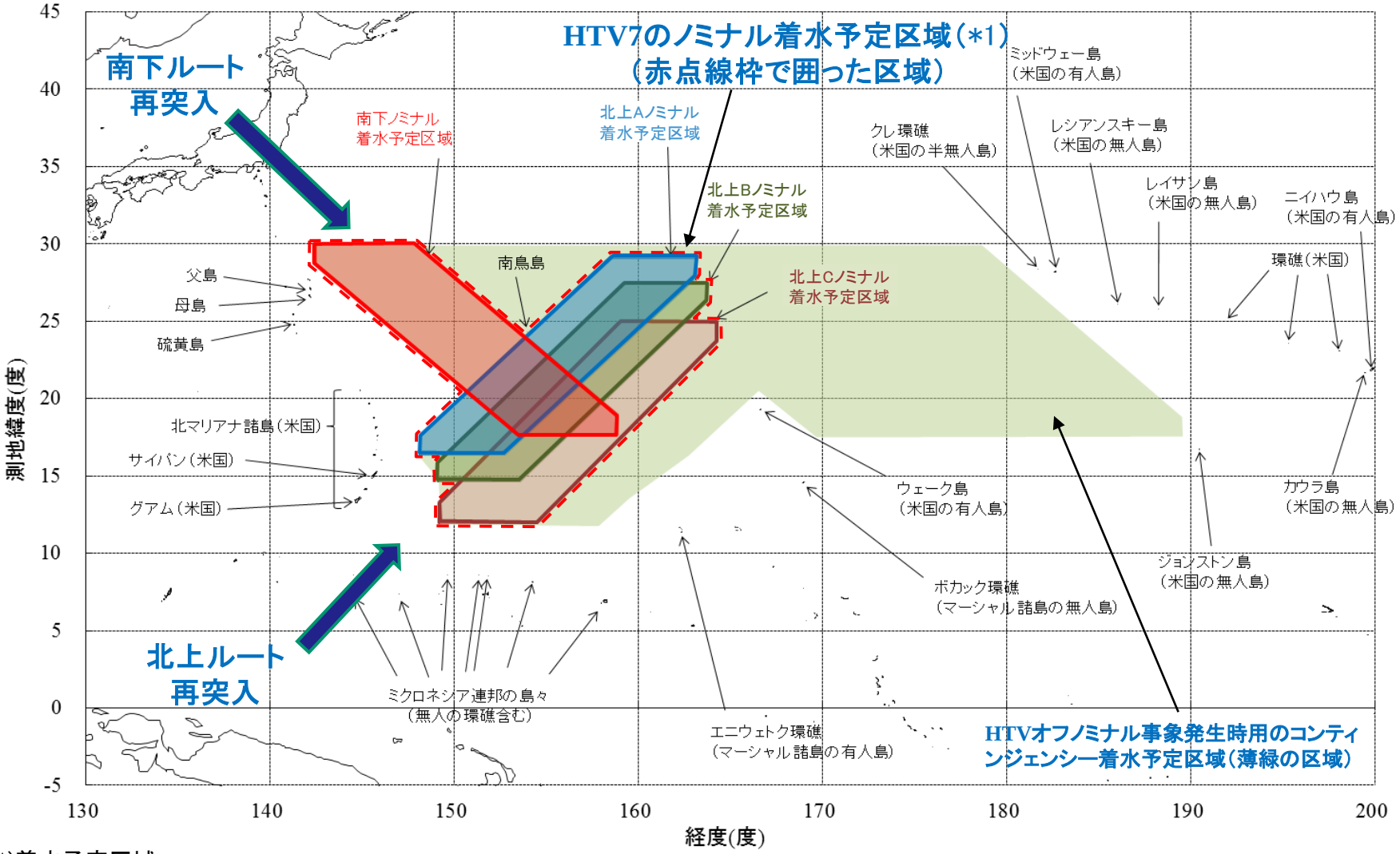
3.1 再突入までの運用計画(1/4)

- HTV7では小型回収カプセルの搭載及び回収を実施する。これに伴い、着水予定区域を、従来号機と異なり南鳥島周辺に設定する。
- 着水予定区域は、「IV項 3. 再突入機の再突入飛行の安全対策」の基準に従い陸地から十分離して設定しているため、HTV7では、周囲の島との位置関係から従来号機よりも狭くなっている。
- 南鳥島についても、着水予定区域を陸地から一定距離離して設定している。なお、同島には、少人数の特定可能な政府関係者のみが滞在しており、落下に関する情報提供を適切に実施可能である。



3. HTV7号機の再突入計画

3.1 再突入までの運用計画(2/4)



(*1)着水予定区域:
HTVの破片および小型回収カプセルを落下させることが可能な区域。本区域の内側にノータム等の外部通報を行う区域(着水予想区域)を設定する。

3. HTV7号機の再突入計画

3.1 再突入までの運用計画(3/4)

HTV7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	打ち上げ後経過時間	周回数(概算)
①打上げ		–
②HTV分離/TDRS初期捕捉	約15分	0
③2軸姿勢確立	約55分	0
④3軸姿勢確立	約1時間25分	0
⑤初期高度調整マヌーバ(PM1)	約7時間35分	5
⑥第1回高度調整マヌーバ(HAM1)	約1日19時間45分	29
⑦第2回高度調整マヌーバ(HAM0)	約3日5時間15分	52
⑧第3回高度調整マヌーバ(HAM2)	約3日8時間20分	54
⑨ISS後方保持点(AI)出発	約3日9時間10分	54
⑩SSRMS(ロボットアーム)による把持	約3日13時間05分	57
⑪ISS結合	約3日17時間35分	–
⑫ISS離脱	約49日17時間15分	0
⑬軌道離脱準備マヌーバ#1(DOM1)	約50日20時間30分	75
⑭軌道離脱準備マヌーバ#2(DOM2)	約50日22時間00分	76
⑮再突入マヌーバ(DOM3)	約51日02時間30分	79
⑯再突入インタフェース点(高度120km)	約51日03時間00分	79

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結合から離脱までの経過時間は、ISSの運用状況に合わせて見直される可能性がある。

3. HTV7号機の再突入計画
3.1 再突入までの運用計画(4/4)

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。

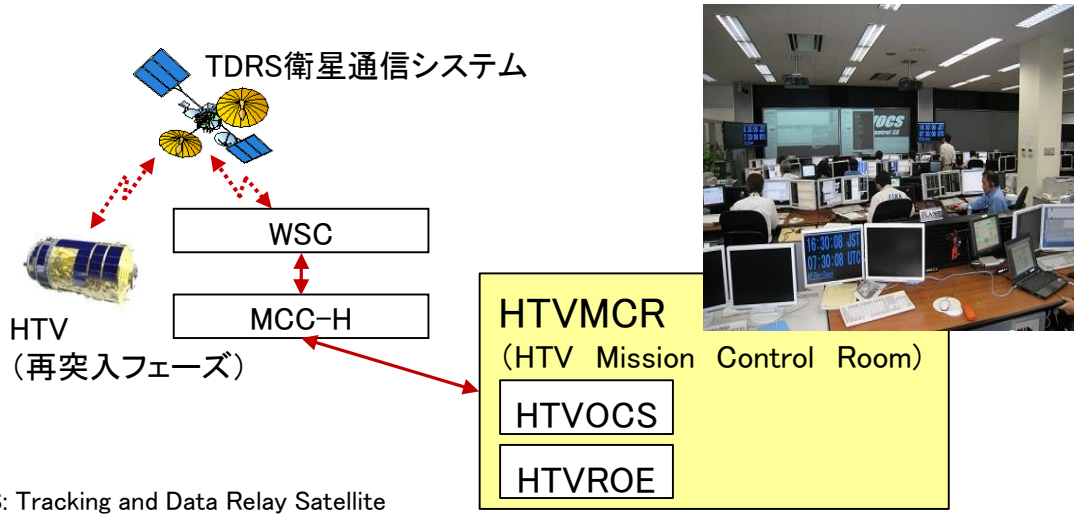
(1)再突入待機軌道385kmに対して、着水予定区域の西側・東側に着水する両再突入軌道について確認

(2)機体質量14618.5kg;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80deg以上で可視」という前提条件を設定

評価結果

軌道離脱マヌーバの開始時および終了時にTDRSの可視区間を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

3. HTV7号機の再突入計画
3.2 再突入の実施条件

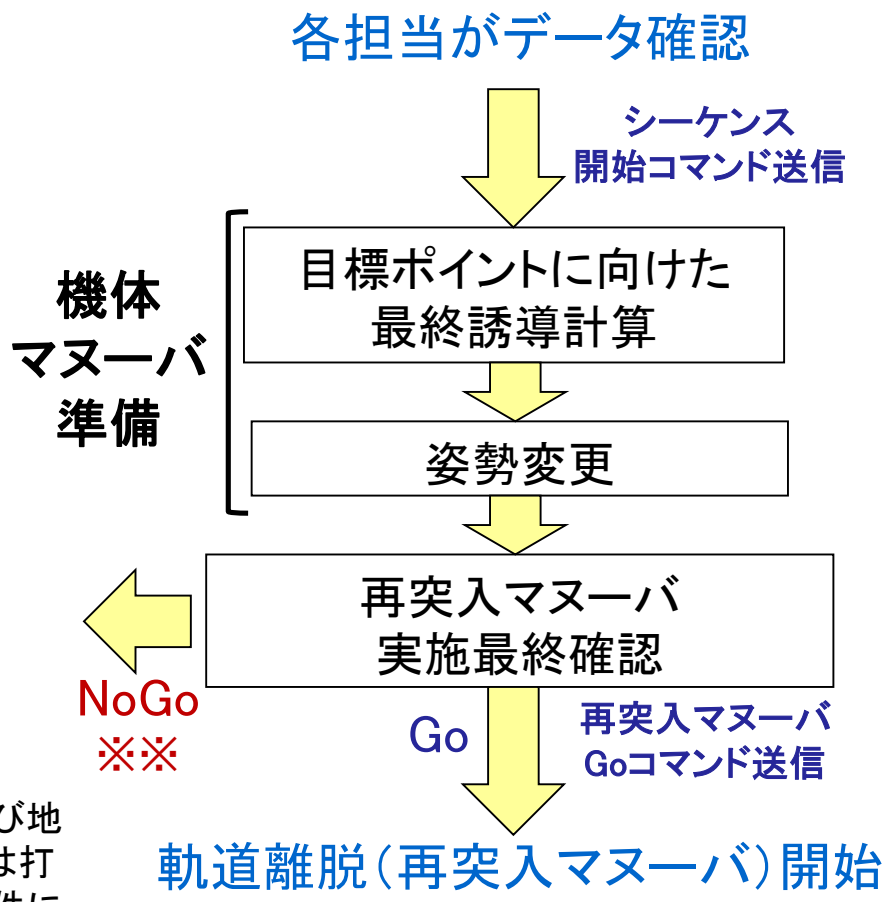
HTVの再突入飛行に際しては、以下の条件を考慮して可否判断を行う。※

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うる状態であること。

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うる状態であること。

※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。なお、着水予想区域の気象条件についてはISS離脱時に考慮される。
※※NoGoの場合、トラブルシュートを実施した上で再突入軌道計画を再設定する。



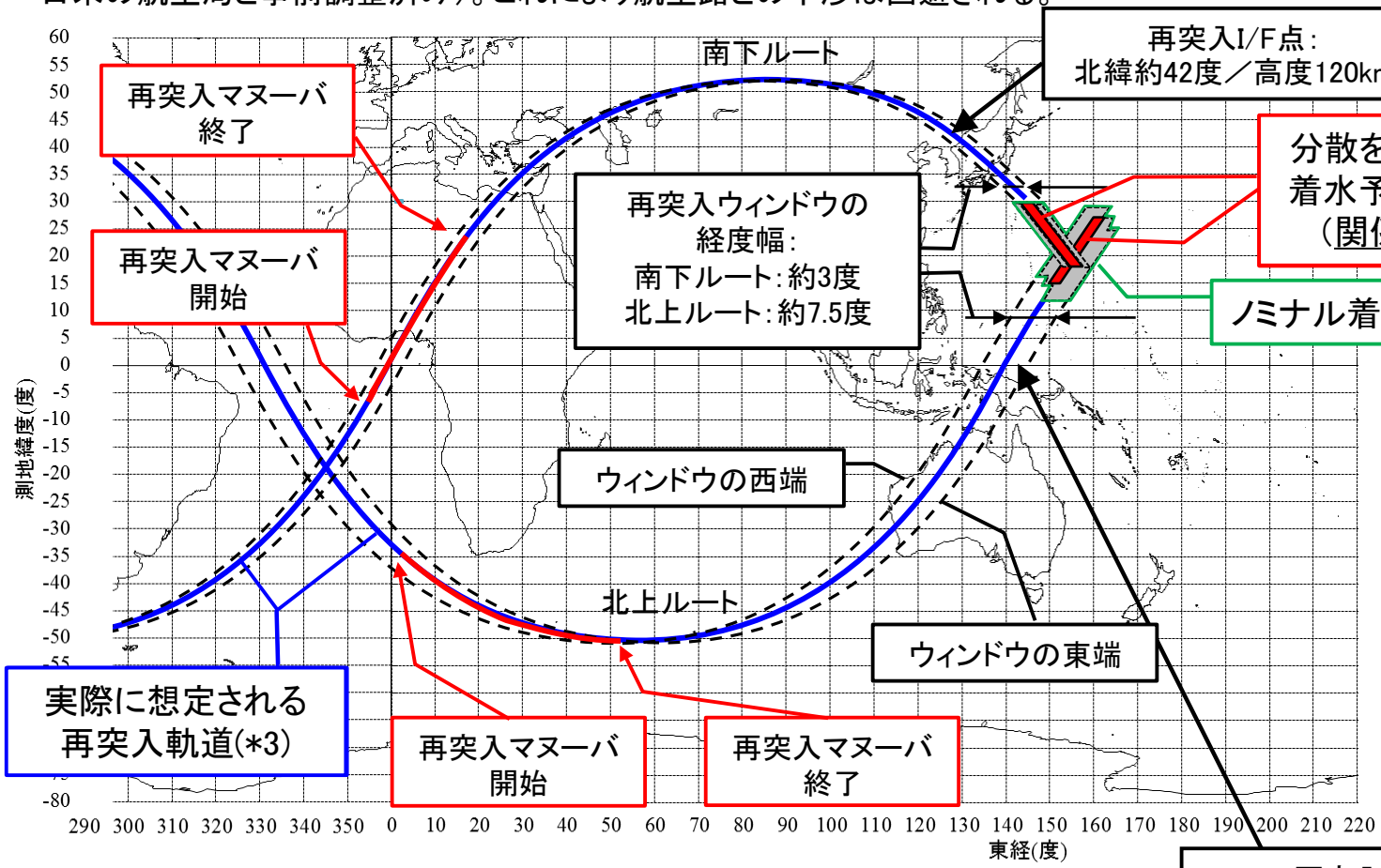
GNC：Guidance Navigation and Control

3. HTV7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）および軌道離脱マヌーバ実施までの軌道予測誤差等を踏まえて、再突入軌道が着水予定区域の経度幅の範囲に入るように計画する。

・航空機の安全航行のため、着水予想区域については3.4項に基づき外部通報を行う（HTV7の着水予定区域についても、日米の航空局と事前調整済み）。これにより航空路との干渉は回避される。



(*1)着水予定区域：
HTVの破片および小型回収カプセルを落下させることが可能な区域。本区域の内側に着水予想区域を設定する。

(*2)着水予想区域：
再突入予定日において実際に予想されるHTV軌道に基づき設定されるHTVの破片および小型回収カプセルの落下範囲を包絡する区域。本区域を元に関係機関に通知を行う。

(*3) 再突入予定日に応じて、南下ルートか北上ルートかどちらか一方に決まる。

3. HTV7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、日本の国土交通省航空局および米国の連邦航空局が所管する領域内であるため、着水予想区域のノータムの通知及び調整はこれらの機関に対し行う予定である。

【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米国の関係機関の所管を含むため、米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日以上前に米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)

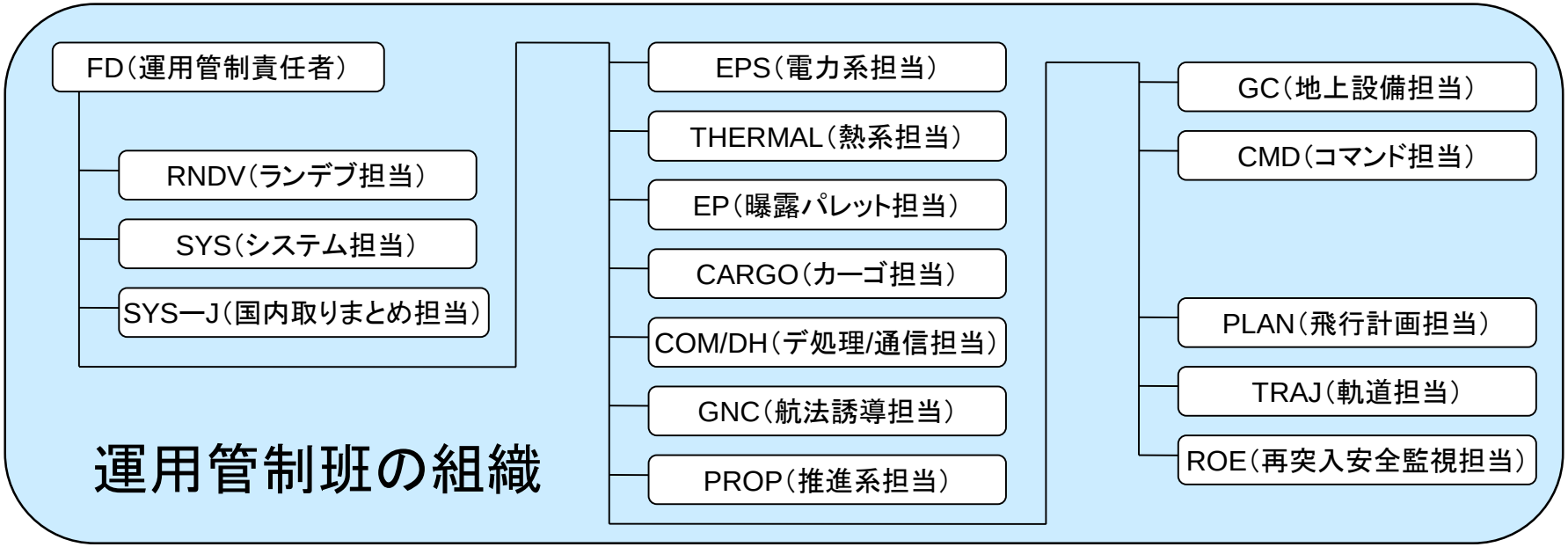
実施責任者を長とした主任会議を適宜実施し、運用状態の監視及び必要に応じて課題事項等の審議/意思決定等を行う。

- 運用管制実施責任者 理事 若田 光一
  - 同 実施責任者代理 ISSプログラムマネージャ 筒井 史哉
  - 企画管理主任 事業推進部長 上森 規光
    - 企画班
    - 広報班
    - 渉外班
  - HTV射場・運用主任 HTV技術センター長 植松 洋彦
    - システム・計画管理班
    - 運用管制班 (詳細は次ページによる)
    - 技術支援班
    - カプセル班
    - ネットワーク班
  - 安全ミッション保証主任 有人システム安全・ミッション保証室長 白井 達也
    - S&MA班

HTV7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5／6の人員がこれまでのHTVミッション経験者である。1／6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。

- HTV7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。

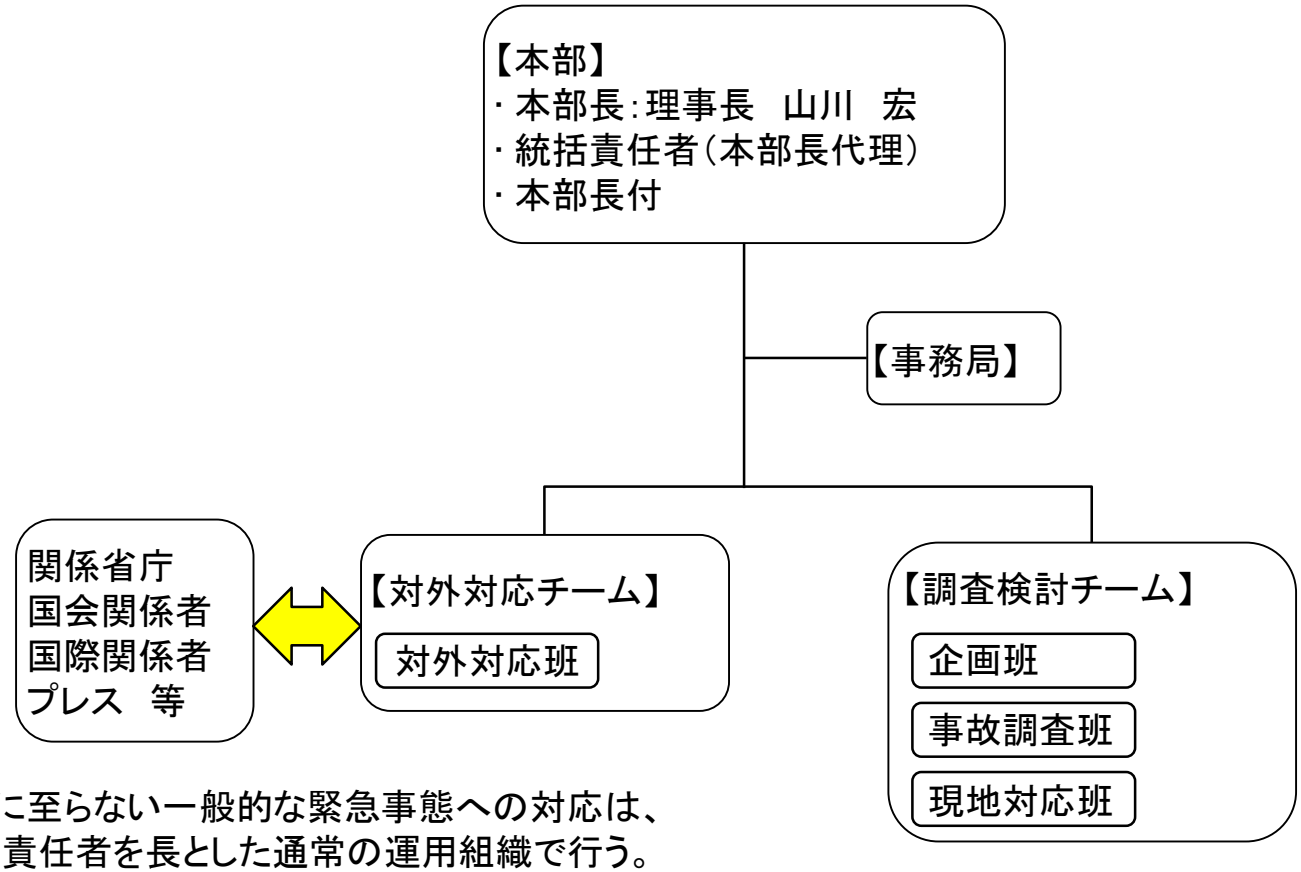
  ＜HTV6ミッション以降の訓練実績（平成30年5月18日時点）＞

  飛行訓練：国内訓練12回、日米合同訓練5回。計17回（全27回の予定）

  係留訓練（参考）：国内訓練7回。（全10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訓練(全3回)も含め今後も飛行訓練を継続する予定である。

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

5. その他安全対策実施に当たっての留意事項

HTV7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」7号機（HTV7）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。