



宇宙ステーション補給機 (HTV) に関する安全検証結果について

平成21年5月18日

平成21年6月4日 A改訂

平成21年6月12日 B改訂

宇宙航空研究開発機構



目 次

1. はじめに
2. HTVに対する安全審査の経緯
3. 安全審査体制
4. 安全解析の方法
5. JAXA及びNASAにおける審査経緯
6. ハザード制御の有効性の確認
7. 安全設計・検証結果
 - 7.1 基本指針に対するハザードの分類
 - 7.2 HTVに関するハザードの識別
 - 7.3 「きぼう」と同様なハザード制御の検証結果
 - 7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果
 - (1) 推進薬の船外クルーへの付着による船内の汚染
 - (2) HTVのISSへの衝突
 - (3) 推進薬の爆発
 - (4) 電池の破裂ハザード
8. 運用への準備等
9. 結論



1. はじめに

- 宇宙ステーション補給機 (HTV) の国際宇宙ステーション (ISS) に関する安全解析は、ISSへの接近、ISSへの係留を経て、ISSからの離脱に至る軌道上運用を対象として実施されている。
- 打上げ時及び再突入時の安全検証については別途報告を予定している。

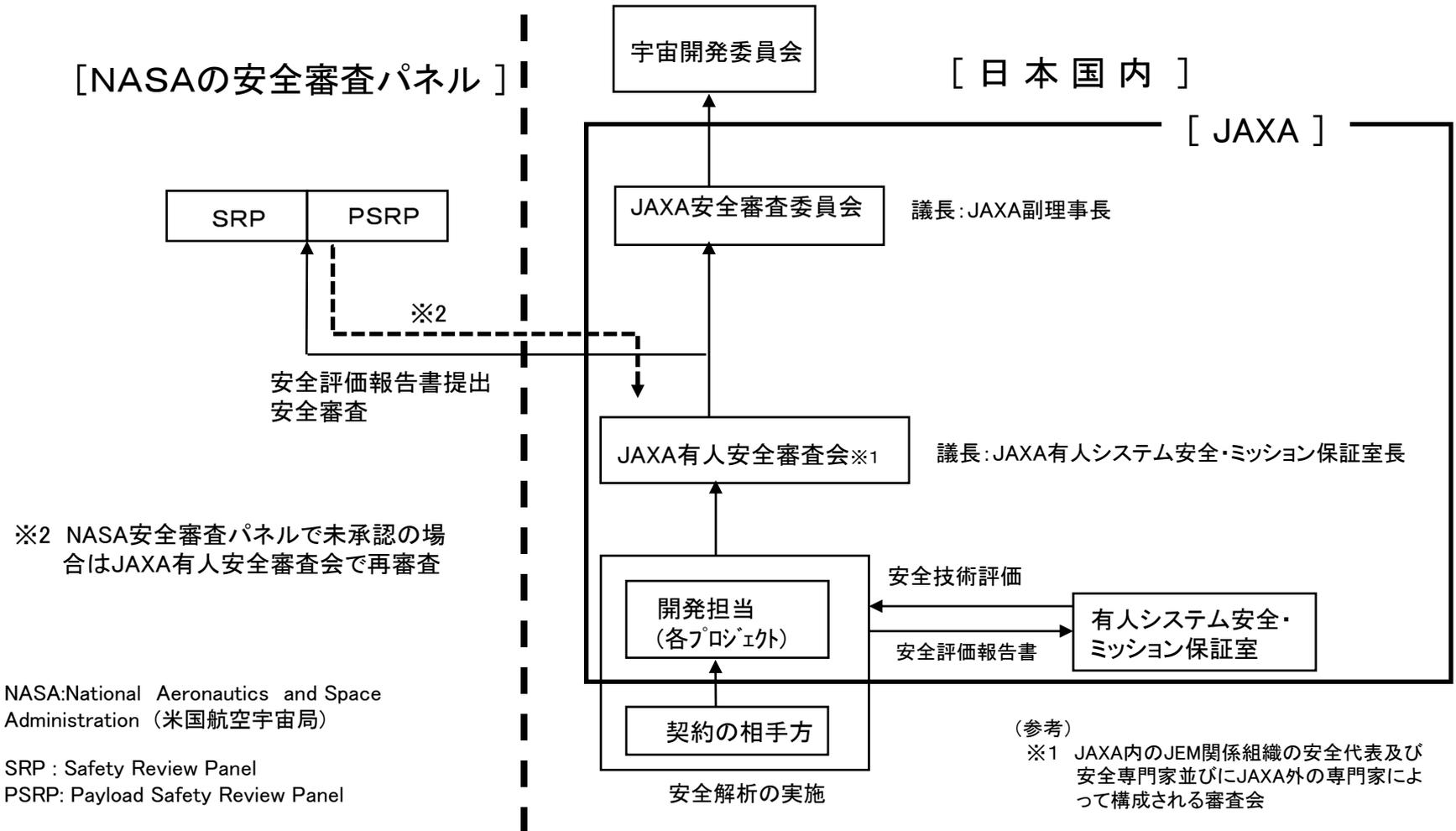


2. HTVに対する安全審査の経緯

- 宇宙ステーション補給機 (HTV) の安全対策について総合的かつ系統的に調査審議するために、宇宙開発委員会安全部会において平成17年10月に「宇宙ステーション補給機 (HTV) に係る安全評価のための基本指針」が策定された。
- 詳細設計の中で設定されたHTVのハザード制御方法については平成19年4月に実施された安全部会において、その妥当性が審議された。
- 上記審議の結果、HTVの詳細設計終了段階における安全対策は「宇宙ステーション補給機 (HTV) に係わる安全評価のための基本指針」に規定する要件を満たし、所要の対策が講じられており妥当である、との評価を受けた。
- 今回HTVに識別されたハザードの制御方法に対する検証が完了したので、その結果について報告を行う。



3. 安全審査体制





4. 安全解析の方法 (1/2)

- 安全解析は、直接あるいは間接的に搭乗員に被害を与えるハザードを考慮し、対策をとることで、搭乗員の死傷を未然に防止する手法である。
- 安全解析では、FTA (Fault Tree Analysis: 故障の木解析) 等を用いてハザードを網羅的に識別し、それらの原因を抽出して、それぞれに制御方法を設定し、制御方法の妥当性を検証する。

- ハザードとは、事故をもたらす要因が顕在又は潜在する状態をいう。
- ハザードの被害の度合いは、以下のようなカテゴリーに分類している。

【被害の度合い】

I カタストロフィック

能力の喪失に至る傷害又は致命的な人員の喪失となり得る状態

II クリティカル

重度な人員の傷害・疾病をもたらす状態

III マージナル

軽度な人員の傷害・疾病をもたらす状態



4. 安全解析の方法 (2/2)

JAXAはハザードを網羅的に識別し、その制御方法を設定し、判断の妥当性を検証する一連の作業を行っている。

安全審査	安全審査のタイミング	安全審査の目的
フェーズ 0	概念設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> 1. ハザード識別法、識別結果の確認 2. 適用すべき安全要求の識別結果の確認
フェーズ I	基本設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基本設計における全ハザード及びハザード原因の識別結果の確認 2. ハザード制御方法の妥当性の評価 3. 検証方法の確立が妥当かの評価
フェーズ II	詳細設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> 1. 詳細設計における全ハザード及びハザード原因の識別結果の確認 2. ハザード制御方法が設計上実現されていることの確認 3. 検証方法の詳細が設定されていることの確認
フェーズ III	認定試験終了時	<ol style="list-style-type: none"> 1. 製品が全ての安全要求に合致していることの確認 2. 検証が終了したことの確認 3. A/Iがすべてクローズしていることの確認



[JAXA及びNASA]

[宇宙開発委員会]



5. JAXA及びNASAにおける審査経緯

HTVについては、平成21年5月にJAXA安全審査委員会を終了した。

JAXA有人安全審査会、NASA安全審査パネル及び安全審査委員会実績

システム	フェーズ0/I			フェーズII			フェーズIII		
	JAXA審査	NASA審査	安全審査委員会	JAXA審査	NASA審査	安全審査委員会	JAXA審査	NASA審査	安全審査委員会
HTV (技術実証機)	平成11年2月 ～ 平成15年2月	平成12年3月 ～ 平成15年6月	平成14年7月 ～ 平成17年6月 (指針策定前)	平成16年12月 ～ 平成18年2月 ～ 平成18年12月	平成18年4月 ～ 平成19年2月	平成19年3月	平成20年10月 ～ 平成21年3月	平成20年12月 ～ 平成21年3月	平成21年5月



6.ハザード制御の有効性の確認

- (1) 開発メーカー、HTVプロジェクトチーム、有人システム安全・ミッション保証室及び有人安全審査会がそれぞれの立場からハザード制御の妥当性及びそれらの検証を実施し、評価を行った。
 - ① 開発メーカー及び開発担当プロジェクトは、設計、製造を行う立場から安全検証を実施した。
 - ② 運用に依存するハザード制御については、HTVプロジェクトチームの運用担当部門が、運用制御合意文書により運用実現性に合意した。
 - ③ 有人システム安全・ミッション保証室は、解析結果等の評価、開発メーカーの体制の監査・評価、運用制御合意文書等の安全検証データを評価した。
 - ④ JAXA有人安全審査会は、①～③の内容を個々に審査した。
- (2) NASAは、ISS全体の安全責任を担うため、設計及び検証結果を審査した。
- (3) その後、JAXA安全審査委員会でJAXAとして包括的に安全を審査した。



7. 安全設計・検証結果

7.1 基本指針に対するハザードの分類

- (1) HTVによって起こりうるハザードをFTAを基に抽出し、個々のハザードに対して、原因の抽出、制御方法の設定と検証を行った。JAXA/NASAの安全審査会により、ハザードの識別、制御及び検証の妥当性を確認した。HTVのFTA概要をそれぞれ付図-1に示す。
- (2) 上記で識別したハザードに対して以下の2つに分類し、基本指針項目への対応を行った。分類結果を7.2項に示す。
 - :「きぼう」でも識別されたハザード
 - ・ 7.3項には、「きぼう」と同様なハザード制御を用い、その有効性を検証した事項を示す。
 - :HTV特有のハザード
 - ・ 7.4項には、HTV特有のハザード制御を用い、その有効性を検証した事項を示す。
- (3) 基本指針に対する全体設計・検証結果を付表-1に示す。



7. 安全設計・検証結果

7.2 HTVに関するハザードの識別(1/2)

ハザード [基本指針項番]		HTV			「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)]		○ 7.3項①		○
減圧	減圧 [4. (1)ウ、11. (1)イ]		○ 7.3項②		○
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)]		● 7.4項(1)		
	船内空気汚染 [4. (2)イ、5. (2)ア]		○ 7.3項③		○
	ガラス破片飛散による搭乗員の傷害 [10. (1)]		○ 7.3項④		○
衝突	HTVのISSへの衝突 [6、7、8、10. (4)]	● 7.4項(2)		● 7.4項(2)	
	浮遊物のISSへの衝突 [4. (3)]		○ 7.3項⑤		○
	ロボットアーム暴走による衝突				○
	隕石／デブリの衝突(注1) [4. (1)ア、5. (2)イ]		○ 7.3項⑥		○
	回転体の搭乗員への衝突 [10. (1)]		○ 7.3項⑦		○
爆発	推進薬システムの爆発 [5. (1)、5. (2)ウ、6. (1)]	● 7.4項(3)	● 7.4項(3)	● 7.4項(3)	
	電池セルの破裂 [8]	● 7.4項(4)	● 7.4項(4)	● 7.4項(4)	
	加圧機器の破裂				○

○:「きぼう」でも識別されたハザード

●:HTV特有のハザード

注1:HTVは、打上げあるいは離脱時、隕石／デブリに衝突しない飛行経路を予め決定し飛行させるとともに、単独飛行中ISSに到着するまでは、必要により衝突回避のための軌道変更を行う。



7. 安全設計・検証結果

7.2 HTVに関するハザードの識別(2/2)

ハザード [基本指針項番]		HTV			「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				○
	軌道上荷重による構造破壊 [4. (2)ア、5. (1)]		○ ^{7.3項⑧}		○
	過加圧による構造破壊 [5. (1)]	○ ^{7.3項⑧}	○ ^{7.3項⑧}	○ ^{7.3項⑧}	○
	負圧による構造破壊				○
電気・電磁	感電 [10. (1)ウ]		○ ^{7.3項⑨}		○
	電波放射による搭乗員の傷害、機器故障 [4. (2)イ]		○ ^{7.3項⑩}		○
	電磁干渉 [4. (2)イ]	○ ^{7.3項⑪}	○ ^{7.3項⑪}	○ ^{7.3項⑪}	○
	水の漏洩				○
	搭乗員の宇宙放射線の被爆				○
人間工学	船外活動搭乗員の船内帰還不能				○
	船内活動搭乗員の緊急時退避不能 [10. (1)エ、10. (3)、11. (2)ウ]		○ ^{7.3項⑫}		○
	高温表面への接触 [4. (1)ウ、10. (1)イ]		○ ^{7.3項⑬}		○
	鋭利端部への接触 [10. (1)ア]		○ ^{7.3項⑭}		○
	挟み込み [10. (1)ア]		○ ^{7.3項⑮}		○
	騒音 [4. (2)イ]		○ ^{7.3項⑯}		○
ソフトウェア	ソフトウェアの故障 [9. (2)、10. (2)ア、10. (2)ウ]	○ ^{7.3項⑰}	○ ^{7.3項⑰}	○ ^{7.3項⑰}	○

○:「きぼう」でも識別されたハザード

●:HTV特有のハザード



7. 安全設計・検証結果

7.3 「きぼう」と同様なハザード制御の検証結果

－ 「きぼう」と同様な制御方法により対応した事項を以下に示す。いずれも検証作業が適切に行われたことを確認した。検証結果の概要を以下に示す。

ハザードタイトル	被害の度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項目
火災	I (カタストロフィック)	① 非金属材料の燃焼により火災が発生し、船内活動搭乗員の死傷に至る。	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 非金属材料には難燃性の材料を選定する。 ヒータまたは電子機器の温度をモニタし、異常時に電力を遮断することで過熱を防止する。 	<ul style="list-style-type: none"> 不燃性・難燃性材料を使用していることを、材料識別及び使用リスト(MIUL)で確認した。 適切な熱設計・故障検知分離システムが適用されていることを、解析・試験で確認した。 	5. (2) 10. (3) 11. (1) 11(2)
減圧	I (カタストロフィック)	②HTVの船内と船外間のシール部、または排気弁からの空気の漏洩により、船内が減圧し、船内活動搭乗員の死傷に至る。	【2故障許容設計】 <ul style="list-style-type: none"> シール部は2重とし、排気弁の意図しない開放を防止するため、2つのスイッチを設ける。 万が一漏洩したとしても、搭乗員が退避する時間が確保できる設計とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 2重シールを用いていることを検査にて確認した。また、排気弁の2つのスイッチが有効であることを試験にて確認した。 漏洩時に搭乗員が退避する時間を確保できることを解析にて確認した。 	4. (1)ウ 11. (1)イ
汚染(推進薬による汚染を除く) ・船内汚染 ・ガラス・他	II (クリティカル)	③非金属材料からのオフガスにより船内空気が汚染され、搭乗員の健康を阻害する。	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 構造・内装・搭載機器等に使用される非金属材料は、オフガス発生量の少ない材料を選定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 部品・機器・ラックレベルでオフガス試験を実施した。 また、HTVモジュールレベルのオフガス試験を、射場にて実施する計画である。(8章 HTV 検証ログ-4参照)。 	4. (2)イ 5. (2)ア
		④ガラスの破片、地上での組み立て時に船内残留する金属片により搭乗員の目・肺への障害に至る。	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> ガラス機器は、破片が飛散ないように封入設計とする。また初入室時にはゴーグルを装着する手順とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ガラス機器は適切に封入されていることを検査で確認した。 また、初入室時の手順書を確認した。 	10. (1)



7. 安全設計・検証結果

7.3 「きぼう」と同様なハザード制御の検証結果

「きぼう」と同様な制御方法を用い、その有効性を検証した事項（つづき）

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項目
衝突(HTVのISSへの衝突を除く) ・浮遊 ・デブリ ・回転体	I (カタストロフィック)	⑤HTVの分離機構の意図しない動作により機器が放出し、他のISS機器へ衝突し、居住モジュールの破損による搭乗員の死傷にいたる。	【2故障許容設計】 ・分離機構のアクチュエータに3つのスイッチを設け、意図しない時期に機構が動作することを防止する。	・機能試験によりスイッチの健全性を確認した。 ・射場で分離機構を再組み立てした後、スイッチ機能が正常であることを再確認する。 (8章 HTV 検証ログ-2, 4参照)	4. (3)
		⑥隕石・スペースデブリがHTVと圧キャリアへ衝突すると船内活動搭乗員への致命的な事象にいたる。またHTV圧力容器への衝突は、容器破裂による破片の発生やHTV自体の姿勢異常等の原因となりISSへの衝突ハザードを引き起こす。	【リスク最小化設計】 ・直径1cm以下のデブリは、一次、二次構造壁やバンパによる貫通防御対策を行う。(推進モジュールの圧力容器の防御も含む) ・直径10cm以上のデブリに対しては、ISSの軌道制御により衝突回避する手順(フライトルール)とする。 ・直径1～10cmのデブリに対しては、衝突により与圧モジュールをデブリが貫通した場合、搭乗員は安全なモジュールへ退避する。	・バンパが装着されていることを検査にて確認し、要素試験にてバンパが有効であることを確認した。また推進モジュールの圧力容器が構造壁等で覆われていることを確認した。 ・ISSの軌道にデブリが確認された場合にはISSの軌道制御により衝突回避する手順となっていることを(フライトルールにて)確認した。 ・衝突により与圧モジュールをデブリが貫通した場合、搭乗員は安全なモジュールへ退避する手順であることを(フライトルールにて)確認した。	4. (1)ア 5. (2)イ
		⑦キャビンファンの破損により生じた破片が飛散し、搭乗員の死傷に至る。	【リスク最小化設計】 ・ファンは、ハウジング等により、破片の飛散を防止する。	・ファンは、ハウジング等により、破片の飛散を防止していることを検査にて確認した。	10. (1)



7. 安全設計・検証結果

7.3 「きぼう」と同様なハザード制御の検証結果

「きぼう」と同様な制御方法を用い、その有効性を検証した事項（つづき）

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項目
構造破壊 ・軌道上荷重 ・過加圧	I (カタスト ロフィッ ク)	⑧軌道上荷重(リブーストや 圧力による荷重)等により 構体や把持構造が損傷す ると、その結果引き起こさ れる減圧や衝突ハザード 等が搭乗員に致命的な影 響を与える。	【リスク最小化設計】 ・打上げ・軌道上の定常運用における全 ての荷重モードに対し十分な剛性・静強 度・疲労強度を持つよう設計する。 ・H-IIBとの共振を防止するため、規定の 剛性・強度を持つよう設計する。 ・耐熱性・耐食性・耐応力腐食性・耐電食 性等を考慮し、過去の実績のある構造 材料を選定する。 ・与圧構造の許容圧力を超えないように、 適切な熱制御を行う。	・構造解析に使用した構造数学 モデルは、試験を実施し、ハー ドウェアとの相関性を確認し た。また構造部材は疲労解析 を行い十分な疲労寿命を有す ることを確認した。 ・PFMモデルを用いて、静荷重 試験を実施した。 ・材料識別使用リスト(MIUL)に より構造材料を評価した。 ・熱解析により最悪条件でも許 容圧力を超えないことを確認 した。	4. (2)ア 5. (1)



7. 安全設計・検証結果

7.3 「きぼう」と同様なハザード制御の検証結果

「きぼう」と同様な制御方法を用い、その有効性を検証した事項（つづき）

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項目
感電・電磁放射 ・感電 ・電波放射 ・EMI	I (カタストロフィック)	⑨搭乗員が高電圧表面に触れることにより感電し、搭乗員の死傷にいたる。	【リスク最小化設計】 ・高電圧露出表面のない設計とし、また適切な接地を行う。	・高電圧露出表面のないこと、また適切に接地されていることを検査にて確認した。	10. (1)ウ
		⑩HTVからの意図しない電波放射により船外活動用宇宙服の誤動作をに至る。	【リスク最小化設計】 ・船外活動を行う搭乗員に対し、HTVアンテナからの安全距離を考慮したキープアウトゾーンを設定する。	・HTVアンテナに対し、キープアウトゾーンが設定されていることを(フライトルールにて)確認した。	4. (2)イ
		⑪ISSからの電磁波による電磁干渉により、安全上の機器が誤動作する。またHTVから発せられる電磁波により、ISS或いは他装置の安全上重要な機器が誤動作する。	【リスク最小化設計】 ・ISS或いは他装置の放射・伝導電磁環境にマージンを加えた環境に対し、誤動作しないように設計する。発生する放射・伝導による電磁波が、ISS或いは他装置が許容できる電磁環境レベルより十分に低くなる設計とする。	・電磁干渉試験(放射・伝導雑音試験及び放射・伝導感受性試験)により、要求値内であることを確認した。 ・関連機器は、射場で再度ボンディングされるため、射場でボンディング抵抗を計測する。 (8章 HTV 検証ログ-3参照)	



7. 安全設計・検証結果

7.3 「きぼう」と同様なハザード制御の検証結果

「きぼう」と同様な制御方法を用い、その有効性を検証した事項（つづき）

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項目
不適切な人間工学設計(船内搭乗員退避不能、鋭利な端部、突起物、騒音) ・退避不能 ・エッジ ・挟み込み ・騒音	I (カタストロフィック)	⑫減圧、火災等の発生時に船内搭乗員の退避路、HTVの隔離ができず、搭乗員の死傷に至る。	【リスク最小化設計】 ・搭乗員の退避に必要な経路は、ISS共通基準に基づく設計とする。また警告・警報は隣接モジュールの機能に依存できる設計とする。	・検査により退避に必要な通路のサイズ等であることを確認した。また、隣接モジュールの警告・警報音がHTV内でも認識可能であることを解析により確認した。	10. (1)エ 10. (3) 11. (2)ウ
		⑭船内搭乗員：装置の鋭利端部・突起物により、船内活動搭乗員の皮膚の裂傷に至る。 船外搭乗員：装置の鋭利端部・突起物により、船外活動中の搭乗員の手袋、衣服に穴が開き、搭乗員の死傷に至る。	【リスク最小化設計】 ・ISS共通の安全標準に基づき、装置は許容できない鋭利端部・突起物がない設計とする。	・面取りや突起防止に関する共通の要求に合致していることを現品検査により確認した。	10. (1)ア
		⑮船内搭乗員：装置の隙間に搭乗員が挟み込まれ、指等の障害に至る。 船外搭乗員：装置の隙間、または可動機構に搭乗員が挟み込まれ、船内へに帰還できず、死傷に至る。	【リスク最小化設計】 ・機器の隙間は、ISS共通基準に基づく大きさとする。また、可動機構の意図しない動作により搭乗員が挟み込まれないよう、キープアウトゾーンを設定する。	・検査により、機器の隙間を確認した。また、キープアウトゾーンが手順書に記述されていることを確認した。	
		⑯船内の過度の騒音により、搭乗員の難聴に至る。	【リスク最小化設計】 ・船内の騒音レベルは、ISS共通基準に基づく許容レベル以下となるように設計する。	・船内の騒音レベルは、許容レベル以下であることを確認した。	4. (2)イ



7. 安全設計・検証結果

7.3 「きぼう」と同様なハザード制御の検証結果

「きぼう」と同様な制御方法を用い、その有効性を検証した事項（つづき）

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項目
不適切な人間工学設計(高温/低温部への接触) ・高温	II (クリティカル)	⑬装置の高温部または低温部に搭乗員が触れ、火傷または凍傷を負う。	【1故障許容設計】 ・外部環境の最悪条件下において、実験装置内のいかなる機器の1故障によっても、最大搭乗員が許容できる外表面温度となる設計とするように設計する。 ※船外活動員に対する許容外表面温度:-117~112℃ ※船内活動員に対する許容外表面温度:-18~49℃	・ヒータのオン故障等の故障が発生した場合を想定し、熱試験により熱解析モデルを検証し、そのモデルを用いて最高/最低温度を解析し、要求値以内であることを確認した。	4. (1)ウ 10. (1)イ
ソフトウェア	I (カタストロフィック)	⑰HTVの飛行管制や分離機構等の制御等を行うソフトウェア機能の誤動作は、飛行中のHTVや誤放出された物体がISSに衝突する原因となる。	【故障許容またはリスク最小化設計】 ・機能喪失がハザードとなる場合には、独立した複数の機能(コマンド等)を搭載する。 ・不意な起動がハザードとなる場合には、危険な機能の起動に対し複数のインヒビットを設ける。	・ソースコードの審査、ソフトウェア単体試験、シミュレータによる試験により機能を確認した。また、開発部門とは独立した部門による独立評価を実施した。 ・また、検証後のフライトソフトウェア、フライトハードウェアに搭載し、システムとしての機能試験(7.4(2)項参照)等を実施した。	9. (2) 10. (2)ア 10. (2)ウ



7. 安全設計・検証結果

7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果

HTVに特有なハザード制御として識別された以下の項目に対し、検証結果を次ページ以降で説明する。

- (1) 推進薬の船外クーラーへの付着による船内の汚染
- (2) HTVのISSへの衝突
- (3) 推進薬システムの爆発
- (4) 電池セルの破裂

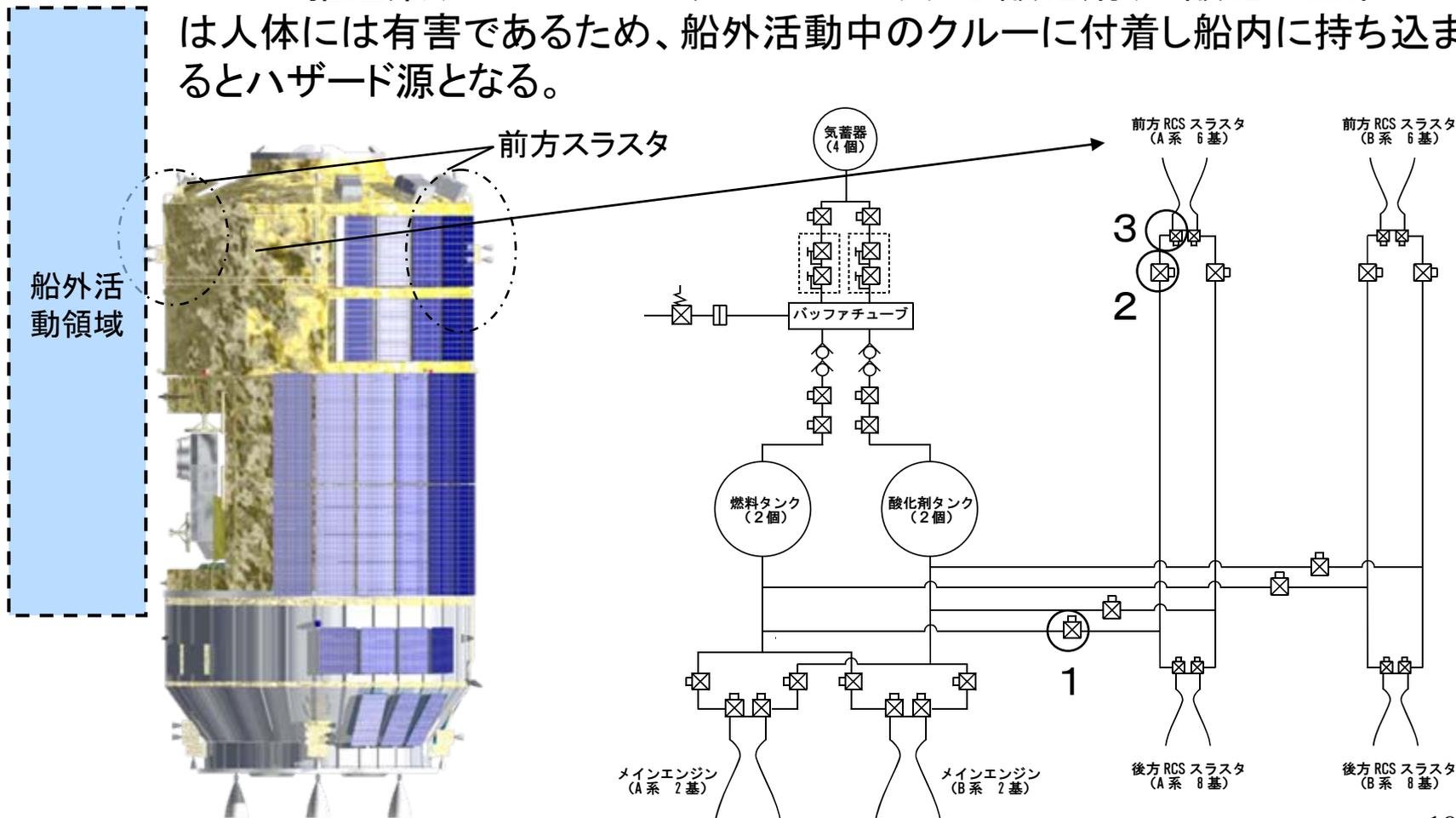


7. 安全設計・検証結果

7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果

(1) 推進薬の船外クーラーへの付着による船内の汚染 (1/2)

HTVの推進薬(モノメチルヒドラジン:MMH)及び酸化剤(四酸化二窒素:NTO)は人体には有害であるため、船外活動中のクーラーに付着し船内に持ち込まれるとハザード源となる。





7. 安全設計・検証結果

7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果

(1) 推進薬の船外クルーへの付着による船内の汚染(2/2)

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項 目
推進薬の船外クルーへの付着による船内の汚染	I (カタストロフィック)	HTVの推進薬燃料(モノメチルヒドラジン:MMH)、酸化剤(四酸化二窒素:NTO)共に人体には有害であるため、宇宙飛行士の推進薬への接触は、推進系を有するHTV固有のハザードとなる。即ち、HTVから大量に推進薬が漏洩した場合、一部が宇宙服に付着し、船内に持ち込まれる可能性がある。	【2故障許容設計】 a. 前方スラスト設置近辺は船外活動が想定されるため、バルブを3重に設置し、大量漏洩を避ける。 b. 船外活動中に不意のスラスト開放指令を出さないよう、制御系を停止させる。	a1. バルブが図面通り(リークパスに対して3重に)施工されていることを製品検査で確認した。 a2. バルブ単品及び配管システムの漏洩性能試験により、規定を超えた漏洩が無いことを確認した。 a3. 射場において推進系ラッチバルブ動作及び継手部リークチェックを実施する。(8章 HTV 検証ログ-1参照) b. 船外活動中にバルブの制御を停止させることが運用手順に反映されることを(フライールールにて)確認した。	4. (3) 6. (1)



7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

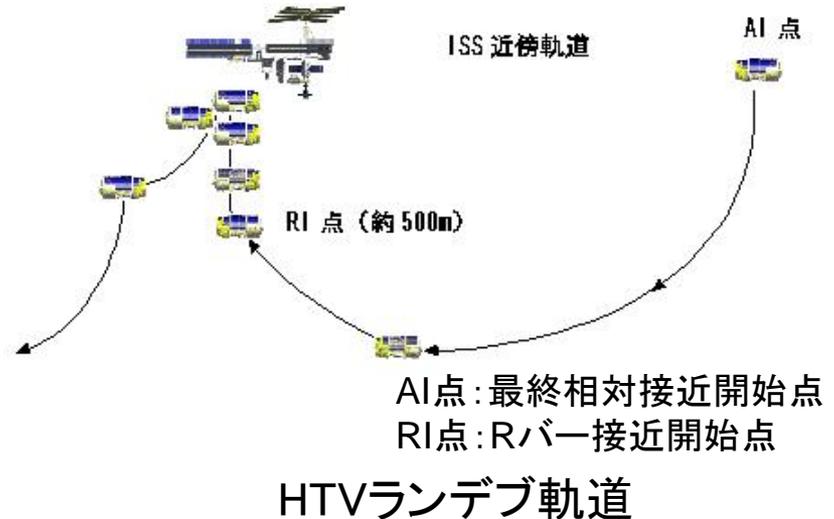
(2) HTVのISSへの衝突 (1/12)

ハザード制御の概要

HTVがISSに衝突しISSを損傷することで船内の空気が抜け、搭乗員の死傷に至る可能性がある。

ISS周囲(右図参照)において、マヌーバ量の過不足によりISSに衝突する軌道に入る危険性がある。また、ISSの近傍においては、不意な噴射実行、不意な噴射停止も、衝突の要因となり得る。その結果、衝突を生じる要因として以下が識別された。

- ①誘導制御系の故障
- ②センサ系の異常
- ③推進系の故障
- ④推進系配管の凍結による破損による漏洩
- ⑤電源系異常
- ⑥ISSロボットアーム把持領域の不適切な設定
- ⑦HTV近傍域通信システムとのリンク遮断



HTV側機器の故障

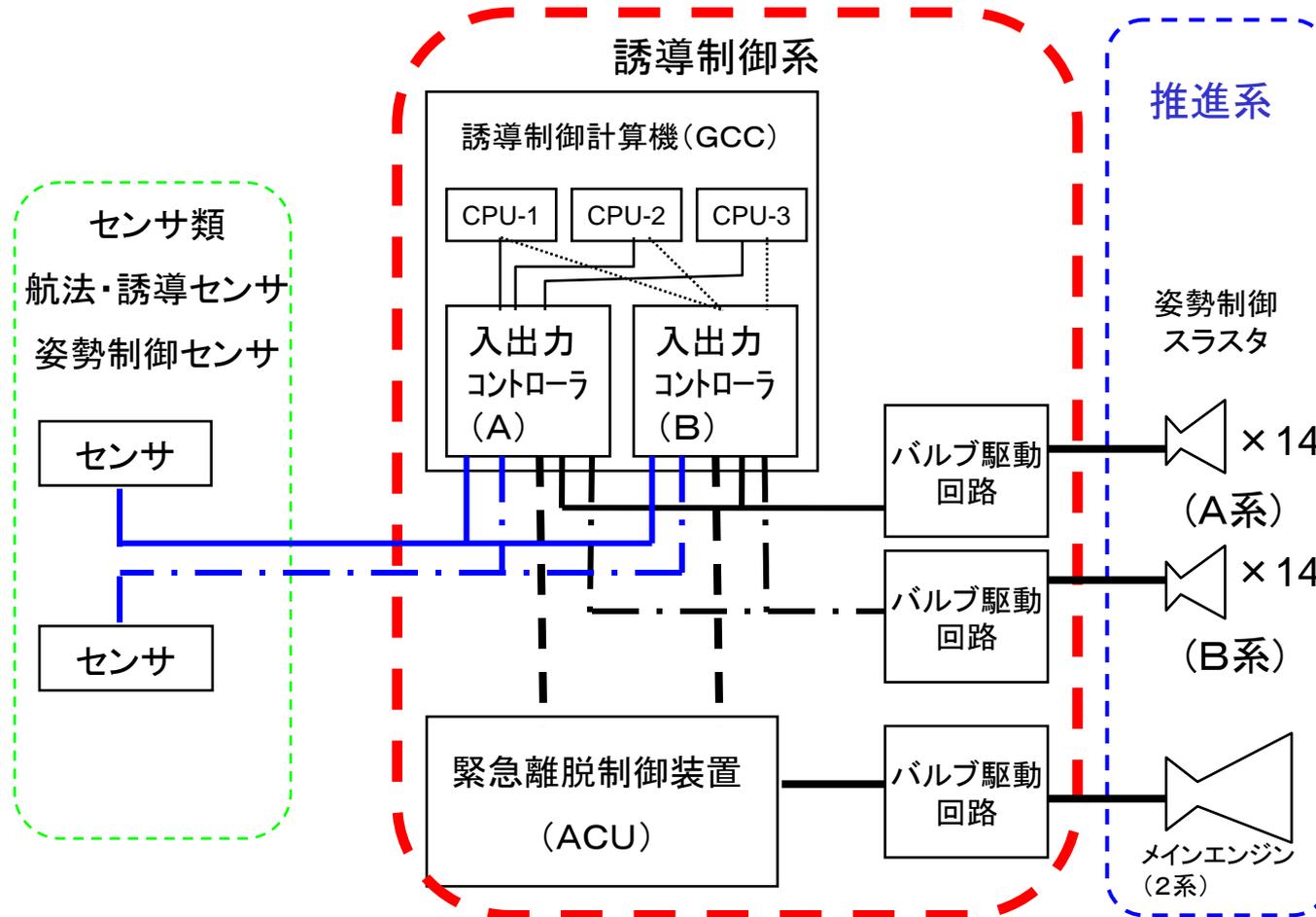


7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (2/12)

①誘導制御系/②センサ系/③推進系の異常・故障に対する検証結果



誘導制御系/センサ系/推進系の構成



7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (3/12)

①誘導制御系/②センサ系/③推進系の異常・故障に対する検証結果
フェーズⅡで設定された検証方法に対し以下の検証結果を得た。

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応 項目
原因①: 誘導制御系の故障					
HTVのIS Sへの衝 突	I (カタス トロフィ ック)	HTVがISSに 衝突しISSを損 傷することで船 内の空気が抜 け、搭乗員の 死傷に至る可 能性がある。	<p>【2故障許容設計】</p> <p>a. 誘導制御計算機はセンサからの情報を基に、推進系の制御に必要な計算を実施する。誘導制御計算機は3つのCPUからの出力を比較し、一つのCPUだけ情報が異なる場合には他の2つの情報を正として制御を継続する。また、2台の入出力コントローラのうち1台が故障しても、他系で処理が行える。</p> <p>b. 誘導制御計算機内でさらに1つのCPUが異常となった場合、または2台目の入出力コントローラも故障した場合(2故障時)には緊急離脱を実施する。</p>	<p>a1. 製造工程、図面及び製品検査を実施し、誘導制御計算機の品質が良好であることを確認した。</p> <p>a2. ソフトウェアを組み合わせた機器単体レベルの試験を実施し、故障検知機能が適切に機能することを確認した。</p> <p>b. サブシステム及びシステムレベルの試験を実施し、適切に緊急離脱系に切り替えが実行されることを確認した。</p>	7 10. (4)



7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (4/12)

①誘導制御系/②センサ系/③推進系の異常・故障に対する検証結果 (つづき)

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対 応項目
原因②: センサ系の異常					
HTVのISSへの衝突	I (カタストロフィック)	HTVがISSに衝突しISSを損傷することで船内の空気が抜け、搭乗員の死傷に至る可能性がある。	【2故障許容設計】 a. 誘導制御に必要なセンサは、すべて2個以上設置されるため、1故障許容設計となっている。ランデブーセンサ1故障時には、PROXを用いたISSに対する相対的な位置や、ISSからカメラを用いて測定した距離データとの比較等を用いて運用を継続する。 b. 2故障目が発生した場合、すなわちセンサの入力の健全性が確保されない場合は、誘導制御計算機から緊急離脱制御装置に切り替わり、緊急離脱する。	a1. 図面及び製品検査等により、センサ単体の品質が良好であることを確認した。 a2. センサ1故障後でも誘導制御できることを試験で確認した。 b. ①のb項に含めて検証した。	7 10. (4)
原因③: 推進系の故障					
HTVのISSへの衝突	I (カタストロフィック)	HTVがISSに衝突しISSを損傷することで船内の空気が抜け、搭乗員の死傷に至る可能性がある。	【2故障許容設計】 a. ランデブー飛行/ISS近傍運用では姿勢制御系統にて接近する。姿勢制御系統を構成するバルブ・推進系の圧力、温度センサ等の機能部品が故障した場合、別系統に切り替える。(1故障許容) b. 更に、別系統も故障した場合(2故障時)は、メインエンジン系に切り替え、緊急離脱機能により緊急離脱を実施する。(2故障許容)	a1. バルブやスラスト等の性能がシステム要求に適合できることを試験で確認した。 a2. 単体の品質が良好であることを製造工程及び製品の検査等で確認した。 b. ①のb項に含めて検証した。	6. (2) 10. (4)

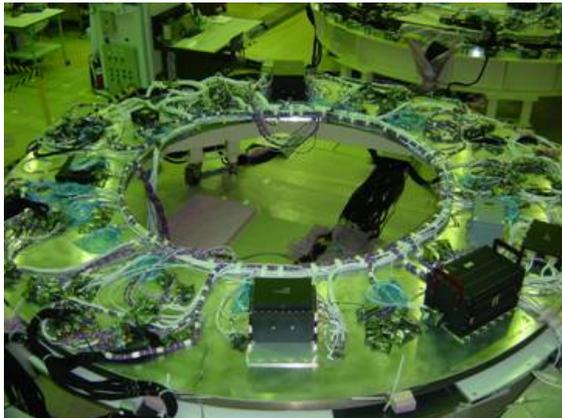


7. 安全設計・検証結果

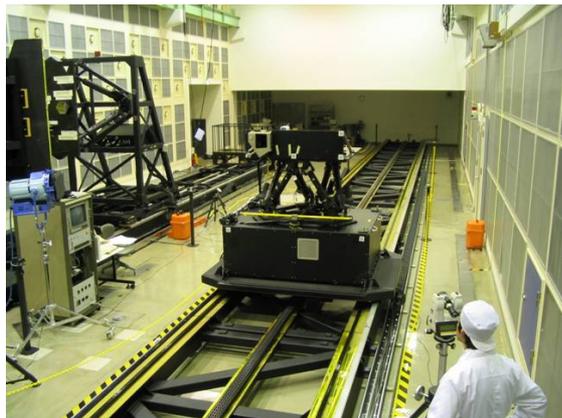
7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (5/12)

①誘導制御系/②センサ系/③推進系の異常・故障に対する検証結果 (つづき)



電気系システム試験



航法誘導制御系試験

アビオニクス系は、すべてのシステムを制御するとともに、自動的に故障を検知して分離しリカバリする機能を有していることから、以下を含む非常に多くの検証試験を実施した。

- ・故障検知/リカバリに関するソフトウェア/ハードウェア試験 (評価ケース選定の考え方について次ページに示す)
- ・ISSへの軌道安全を保障するための軌道分散解析
- ・電力系及びデータ処理系による技術試験
- ・通信系によるアンテナパターン試験
- ・バスシステム統合試験
- ・モジュール間の電氣的IF試験
- ・環境試験

また、HTVが自動ランデブーを行うにあたり、最も重要なシステムの一つである航法誘導制御系に対しては、筑波宇宙センターのランデブ・ドッキングシステム開発試験設備(RDOTS)において、ランデブセンサ(RVS)の試験等、各種技術試験を実施した。

なお、これらの試験では実際にフライトに供されるソフトウェアを使用し、システム機能全体の妥当性を確認した。 25



7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (6/12)

①誘導制御系/②センサ系/③推進系の異常・故障に対する検証結果 (つづき)

緊急離脱評価ケースの組み合わせ

		1故障目								
		①誘導制御系	②センサ系					③推進系		
		誘導制御計算機	加速度センサ	ジャイロ	地球センサ	GPS	ランデブセンサ	バルブ制御装置	スラスタ	
2故障目	①誘導制御系	誘導制御計算機	○	○	○	○	○	○	○	
	②センサ系	加速度センサ	○	緊急離脱が適切に実行されることの検証では、本表に示される機器の故障等の組み合わせを全て考慮した。					○	○
		ジャイロ	○						○	
		地球センサ	○						○	
		GPS	○						○	
	ランデブセンサ	○	○	○	○	○	○	○		
	③推進系	バルブ制御装置	○	○	○	○	○	○	○	
		スラスタ	○	○	○	○	○	○	○	



7. 安全設計・検証結果

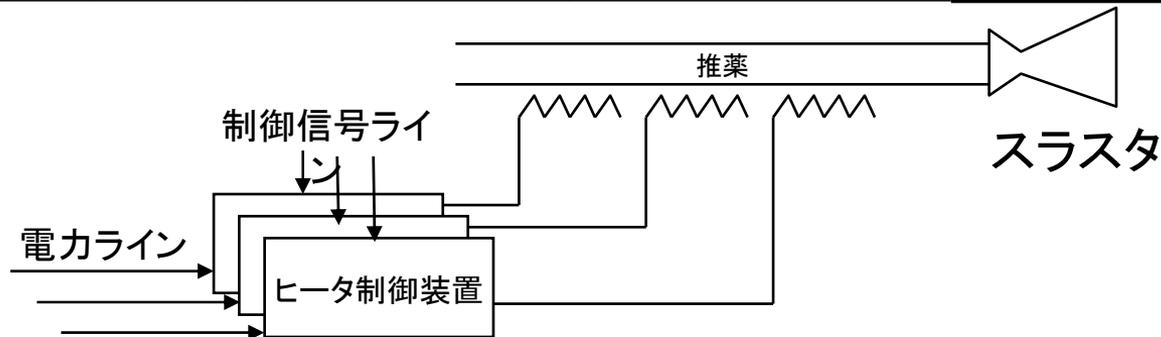
7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (7/12)

④推進系配管の凍結による破損による漏洩に対する検証結果

フェーズIIで設定された検証方法に対し以下の検証結果を得た。

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応 項目
原因④: 推進系配管の凍結による破損による漏洩					
HTVのISSへの衝突	I (カタストロフィック)	HTVがISSに衝突しISSを損傷することで船内の空気が抜け、搭乗員の死傷に至る可能性がある。	【2故障許容設計】 a. 姿勢制御系統、メインエンジン系統が繋がっている主要な配管／バルブ／推進薬タンクへのヒータ3重化の施工により、2故障許容設計とする。	a1. 熱解析により、ヒータ1系統の凍結を防止できることを確認した。 a2. 製品検査等により、ヒータの品質に問題が無いことを確認した。 a3. システム試験、熱真空試験等により、ヒータシステムが適切に機能することを検証した。	6



推進薬供給配管へのヒータ施工



7. 安全設計・検証結果

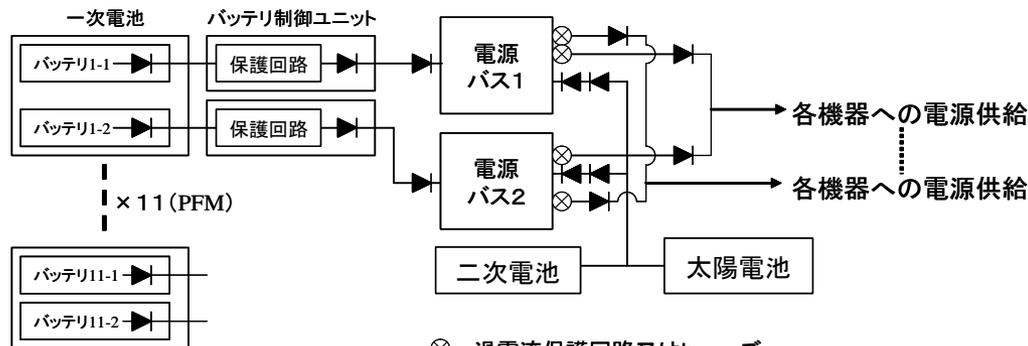
7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (8/12)

⑤ 電源系異常に対する検証結果

フェーズIIで設定された検証方法に対し以下の検証結果を得た。

ハザードタイトル	被害の度合い	ハザード内容	安全設計(制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応項目
原因⑤: 電源系異常					
HTVのISSへの衝突	I (カタストロフィック)	HTVがISSに衝突しISSを損傷することで船内の空気が抜け、搭乗員の死傷に至る可能性がある。	【2故障許容設計】 a. 単独飛行中は、太陽電池及び二次電池並びに一次電池からの供給電力で飛行する。一次電池の個数は、2故障許容となる数を搭載する。	a1. 一次電池の容量が十分なマージンを有していることを解析で確認した。 a2. 電池を含む電力系の素材等が有人宇宙機の要求に適合していることを確認した。 a3. 製品検査等により電池やハーネス等の品質に問題が無いことを確認した。 a4. バッテリーの性能が良好であることを単体試験で確認した。 a5. 電源系統に異常が発生した場合に冗長系への切り替えが実行されることをシステム試験で確認した。	8



⊗ : 過電流保護回路又はヒューズ



7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (9/12)

⑥ ISSロボットアーム把持領域の不適切な設定に対する検証結果 フェーズIIで設定された検証方法に対し以下の検証結果を得た。

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対応 項目
原因⑥:ISSロボットアーム把持領域の不適切な設定					
HTVのISSへの衝突	I (カタストロフィック)	HTVがISSに衝突しISSを損傷することで船内の空気が抜け、搭乗員の死傷に至る可能性がある。	<p>【リスク最小化設計】</p> <p>HTVは、ISSロボットアームによる把持可能領域に規定どおりISSと相対的に停止したことを確認後、位置・姿勢制御機能を完全停止し、ISSロボットアームにより捕獲される。所定の把持可能領域以外で把持された場合、最悪の状態ではHTVはISSロボットアームを損傷させ、結果的にISSに衝突する可能性が生じるため、以下のハザード制御を行う。</p> <p>a. 姿勢やセンサの誤差を考慮した把持領域を設定する。</p> <p>b. ロボットアームでの把持が行えない場合には、HTVの制御機能を起動してHTVが姿勢制御を実施し、漂流を防止する。</p>	<p>a1. NASA、カナダと協力しての把持領域の妥当性を解析で確認した。</p> <p>a2. 個々の部品の開発試験、性能確認により、システム設計の妥当性を検証した。</p> <p>a3. 製造工程の検査、図面確認等による品質検査によりセンサ等適切に製造されたことを確認した。</p> <p>b. HTVの起動が適切に実行できることを試験で検証した。</p>	7. (3)



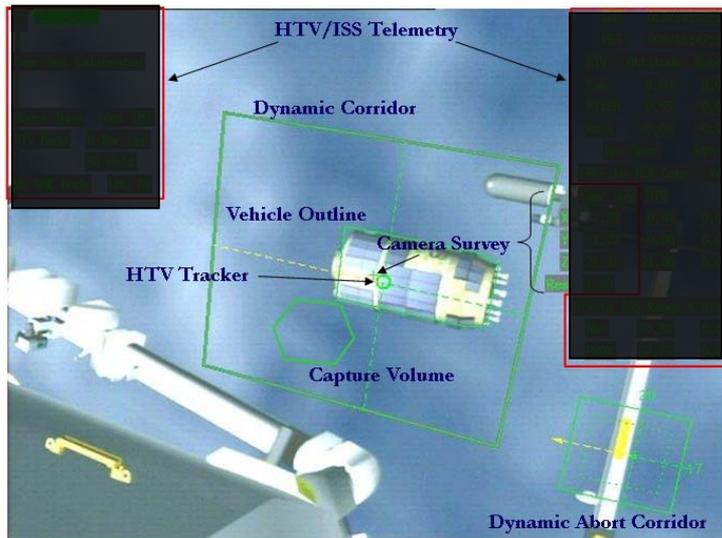
7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (10/12)

⑥ ISSロボットアーム把持領域の不適切な設定に対する検証結果 (つづき)

宇宙飛行士はHTVが正しい把持領域にあることを確認した上でロボットアームを操作しHTVを捕獲するが、この際に使用する確認装置については、実際に使用する宇宙飛行士の操作性も含めて検証を実施している。





7. 安全設計・検証結果

7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (11/12)

⑦ HTV近傍域通信システムとのリンク遮断に対する検証結果

フェーズⅡで設定された検証方法に対し以下の検証結果を得た。

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対 応項目
原因⑦: HTV近傍域通信システムとのリンク遮断					
HTVのISSへの衝突	I (カタストロフィック)	HTVがISSに衝突しISSを損傷することで船内の空気が抜け、搭乗員の死傷に至る可能性がある。	<p>【2故障許容設計】</p> <p>HTVは、ISS近傍運用段階になると「きぼう」に設置されたPROXとの通信を実施しながら接近をする。PROX側、HTV側ともに各機器は冗長化されているため、1故障時には接近を継続する。</p> <p>その場合、バックアップとして衛星間通信衛星とのリンクを確保することによって、PROX通信システムの機器が2重故障を起こしても通信手段を失うことはない。</p> <p>なお、HTV側で2故障を検知した時は自動で接近を中止し、緊急離脱を行う(2故障許容)</p>	<p>a1. 個々のコンポーネントの製造工程の検査、図面確認等により品質に問題ないことを確認した。</p> <p>a2. 機能試験により性能に問題ないことを確認した。</p> <p>a3. 通信・伝送性能の確認として以下の試験を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> - きぼうに搭載するPROXコンポーネントとHTVに搭載する通信・データ処理系との間で通信試験を実施し、問題なく通信できることを確認した。また、故障状態を模擬して系統切り替えできることを機能試験で確認した。 - 通信・伝送系統の全体の確認として、NASA側の協力の下、NASAの地上局やISS側の通信装置を模擬した設備を用いて、HTVとの全体的な系統試験(END-TO-END試験)を実施し良好な結果を得た。 	7. (3)

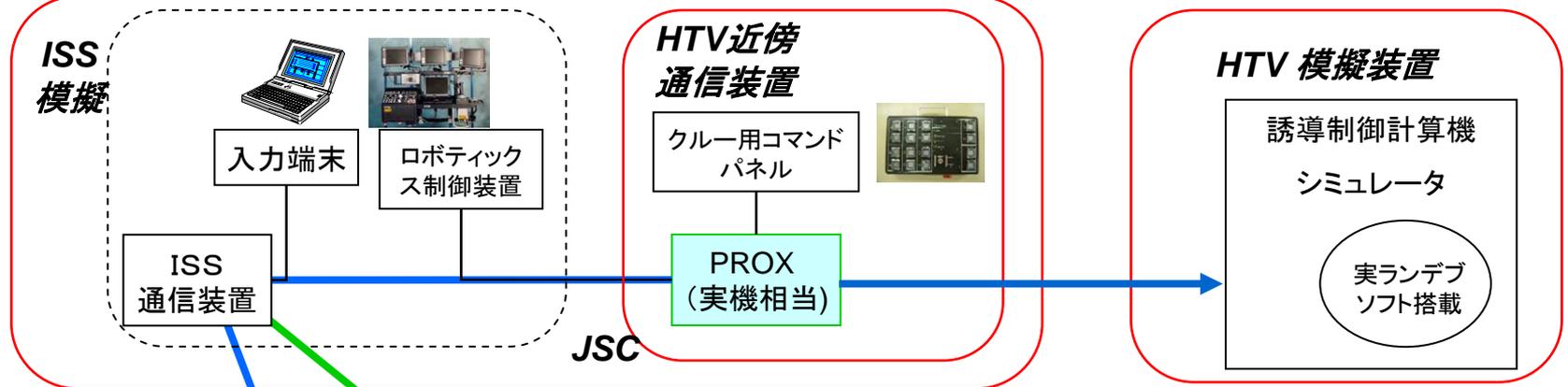


7. 安全設計・検証結果

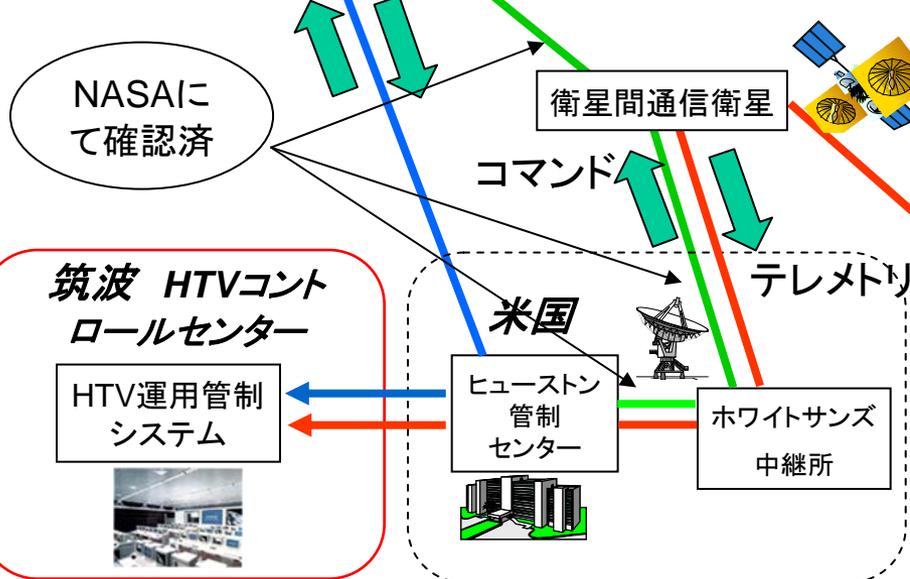
7.4 制御の検証結果

(2) HTVのISSへの衝突 (12/12)

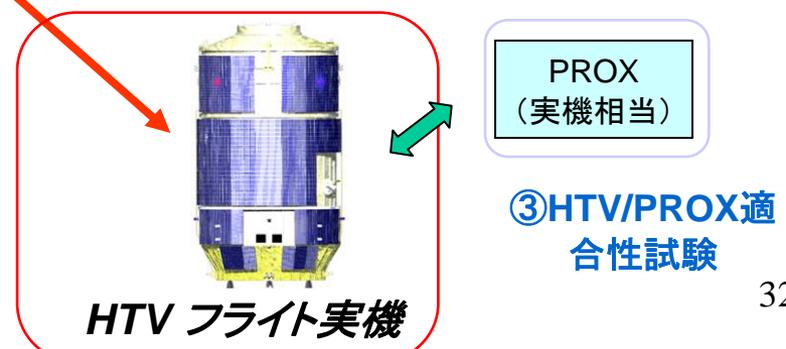
⑦ HTV近傍域通信システムとのリンク遮断に対する検証結果



②ISS経由での通信リンクのEnd-to-End試験



①TDRS直接リンクのEnd-to-End試験





7. 安全設計・検証結果

7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果

(3) 推進薬システムの爆発 (1/2)

ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の 対応項目
推進薬シ ステムの爆発	I (カタスト ロフィッ ク)	HTVの推進 系の設計圧よ り高圧に至る 場合には、最 悪、爆発に至 り、ISSへの 構造破壊を引 き起こし、宇 宙飛行士が 死傷する可能 性がある。	原因: 推進系の過大な加圧		
			<p>【2故障許容設計】 ヘリウムガスの燃料/酸化剤タンクへの供給配管までに2直列の調圧弁を持つ。さらにこの調圧弁が故障した場合には、遮断弁を閉めることで2故障許容としている。これにより、ISS近傍におけるヘリウムガス系の故障に起因する推進系の過加圧を防ぐ。なお、この時点では遮断弁の下流配管のガスだけで飛行に十分なヘリウムガス圧力は確保している。一方、遮断弁の上流側に破裂板を設置することで、上流の過加圧が生じないようにしている。</p>	<p>フライト品については、製造工程の検査、図面確認、製品検査による品質検査を実施し、品質に問題が無いことを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バルブ類の性能試験 ・耐圧試験 	<p>5. (1) 5. (2)ウ 6. (1)</p>
			原因: ヒータシステムの故障による異常加熱		
			<p>【2故障許容設計】 ヒータに設置されている温度センサが規定の温度以上になると、ヒータ制御装置内の二つのスイッチ及びその上流のデータ中継装置がヒータへの電力供給を停止する。</p>	<p>ヒータ制御装置の機能試験において模擬異常データを入力した時に、電力供給停止機能が適切に作動することを確認した。射場でヒータ制御機能を再度確認する。 (8章 HTV 検証ログ-1参照)</p>	<p>5. (1) 5. (2)ウ 6. (1)</p>

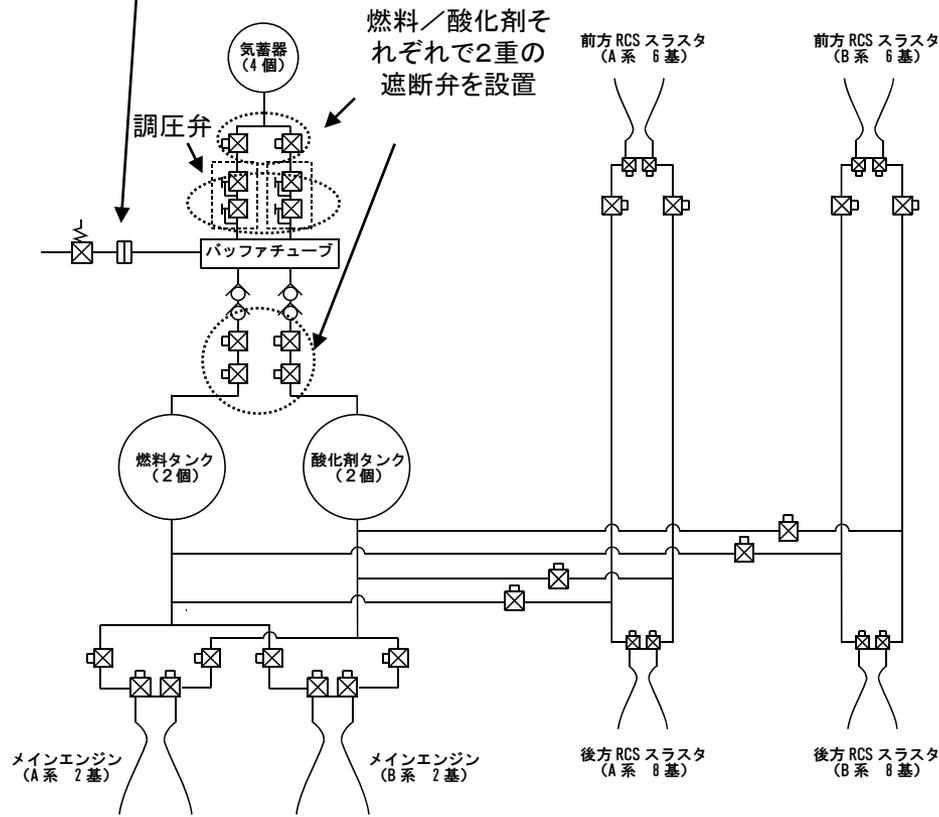


7. 安全設計・検証結果

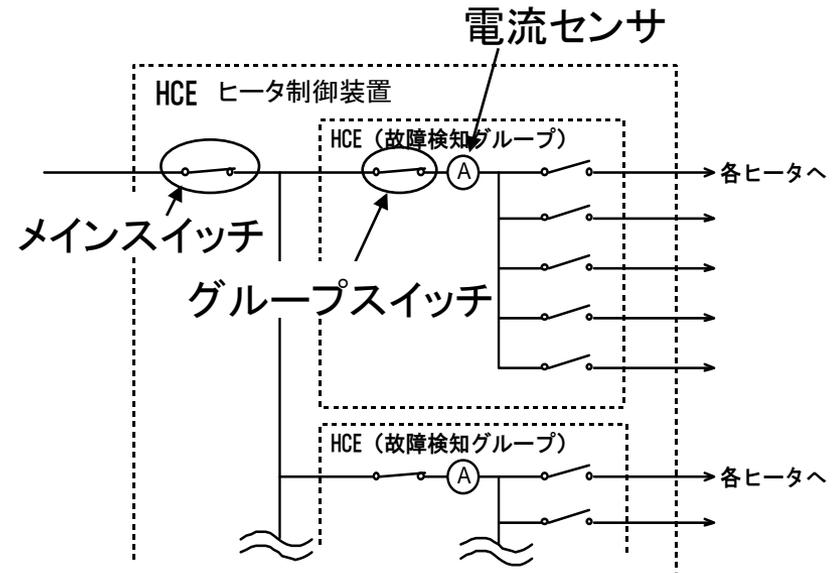
7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果

(3) 推進薬システムの爆発 (2/2)

(参考)更に破裂板を有して過加圧を防止している。



推進系の過加圧防止対策



飛行中のセルフチェック機能により、一時的にグループ全部のヒータをOFFする。その際、電流が流れていたら故障と認定し、ヒータを切る。

ヒータ制御異常検知手段



7. 安全設計・検証結果

7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果

(4) 電池セルの破裂 (1/2)

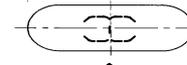
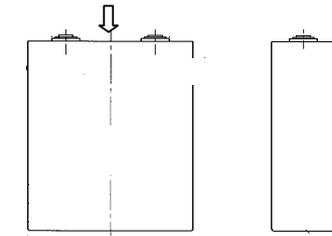
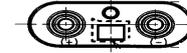
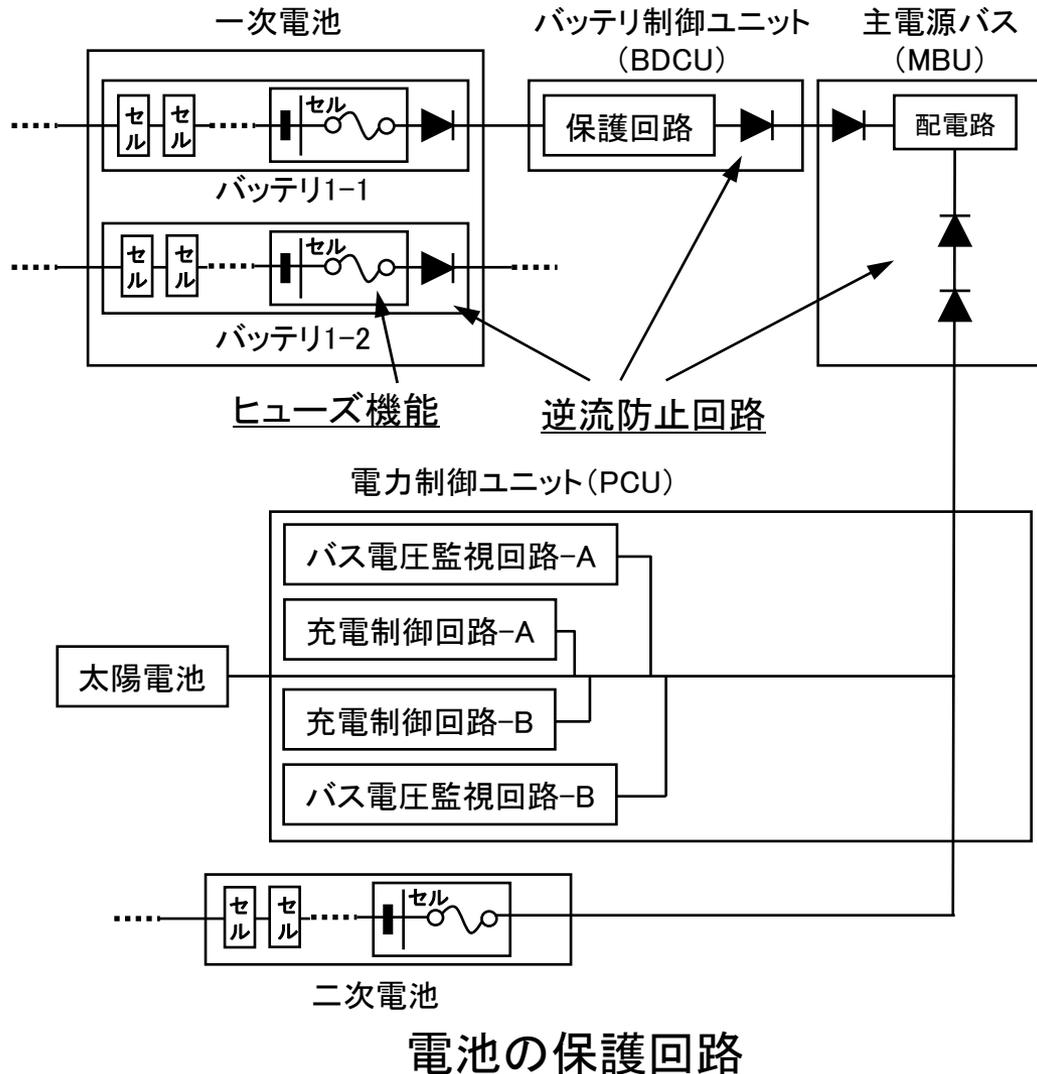
ハザード タイトル	被害の 度合い	ハザード内容	安全設計 (制御方法)	検証方法及び結果	指針の対 応項目		
電池セル の破裂	I (カタスト ロフィ ック)	電池の不適切な設計による破裂は、HTVの構造破壊を引き起こし、その結果、宇宙服を破損することで、船外活動中の宇宙飛行士が死傷する可能性がある。	原因: 配電経路における短絡に起因する電池温度の上昇に伴う内圧上昇				
			【リスク最小化設計】 個々の電池セルは、過大な電流が流れたときに溶断して電流を遮断するヒューズ機能を内部に有する。 また、一次電池の放電を行うバッテリー制御ユニットは、過電流を検出して電流を遮断する保護回路を有する。	個々の電池セルに対し、材料と工程の管理を行うとともに、製造における品質検査を実施した。また保護回路が適切に作動することを機能試験で確認した。	8		
			原因: 逆電圧や過充電等の不適切な電圧制御				
			【2故障許容設計】 一次電池に対しては、多段の逆流防止回路により逆電圧を防止する。 二次電池については、充電回路やバス電圧監視機能を冗長化する。	図面確認、製品検査により品質に問題がないことを確認した。 試験により逆電圧や過充電の防止機能が適切に作動することを確認した。	8		
原因: 容器の不適切な耐圧設計							
		【リスク最小化設計】 構造的な安全設計は、電子機器のような故障とは異なるため、使用圧力に対して適切な安全率を確保した容器設計を行う。 また、万が一の内圧上昇時に圧力リリーフを行うためのラプチャ(破断)機構を設置して容器の破裂を防ぐ。	設計段階で実証試験(ラプチャ機能確認)を実施した。 フライトに使用する電池に対しては材料の管理・製造工程の管理等の品質検査を行い適切な品質を有していることを確認した。	8			



7. 安全設計・検証結果

7.4 HTVに特有なハザード制御の検証結果

(4) 電池セルの破裂 (2/2)



⇨ : 圧力リリーフ用破断部



圧力リリーフ状態

電池の圧力リリーフ機能



8. 運用への準備等 (1/2)

(1) 運用制御合意文書の運用への反映

- ・ ハザード制御手段として、地上要員あるいは搭乗員の操作(運用)を用いる場合には、運用制御合意文書にその制御手段を記載して管理する。
 - NASAが運用を担当する場合にはNASAが運用制御合意文書に基づいて、運用手順や運用上の取り決めに反映する。
 - HTVに対するコマンドや状態監視を制御手段としている場合には、JAXAのHTV運用担当が運用制御合意文書に基づいて、運用手順や運用上の取り決めに反映する。
- ・ 運用手順や運用上の取り決めについては、運用実施部門とは独立したJAXA運用安全担当及びNASA内の運用安全担当が、運用開始前までにその妥当性を評価する。

(2) 安全検証追跡ログによる管理

- ・ 種子島宇宙センターにおいてフライト品について安全を確認すべき項目を安全検証追跡ログ(SVTL: Safety Verification Tracking Log)に整理した。安全検証追跡ログを次ページに示す。



8. 運用への準備等 (2/2)

HTVの主な安全検証追跡ログ

	検証項目	内容	参考
1	推進系の点検	打上げ前に推進系ラッチバルブ動作、ヒータ制御機能及び継手部のリークチェック等を実施し、安全制御の有効性を再確認する。	7.4項(1) 7.4項(3)
2	機構系動作確認	非与圧キャリア及び曝露パレットの把持機構が正しく取り付けられ、誤放出の原因が除去されていることを打上げ前に確認する。	7.3項⑤
3	ボンディング・グラウンディング計測	機体の最終打上げコンフィギュレーションにおいて、非与圧キャリア・曝露パレット間、曝露パレット・ペイロード間のボンディング・グラウンディングが適切であることを確認する。	7.3項⑪
4	最終コンフィギュレーションの確認	機構系のクリアランス、ラックやクルー支援具の搭載状況の確認等、最終的な機体組立状態の確認を行い、ハザード源が潜在するような不適切な状態がないことをチェックする。	7.3項③ 7.3項⑤



9. 結 論

JAXAは、HTVに関し、JAXA内安全審査及びNASA安全審査を終了し、安全制御が有効であり安全指針に合致したことを確認した。



付図-1 HTVハザードFTA



付図-1 HTVハザード FTA (1/3)

クルー/ISSの損失

クルーの損失

船内活動員の損傷

火災

7.3項①

減圧

7.3項②

汚染

推進薬の船内持ち込み

7.4項(1)

オフガス等による空気汚染

7.3項③

ガラス破片の飛散

7.3項④

衝突

回転体の搭乗員への衝突

7.3項⑦

不適切な電気設計

感電

7.3項⑨

不適切な人間工学設計

緊急退避不能

7.3項⑫

高温表面への接触

7.3項⑬

鋭利端部への接触

7.3項⑭

挟み込み

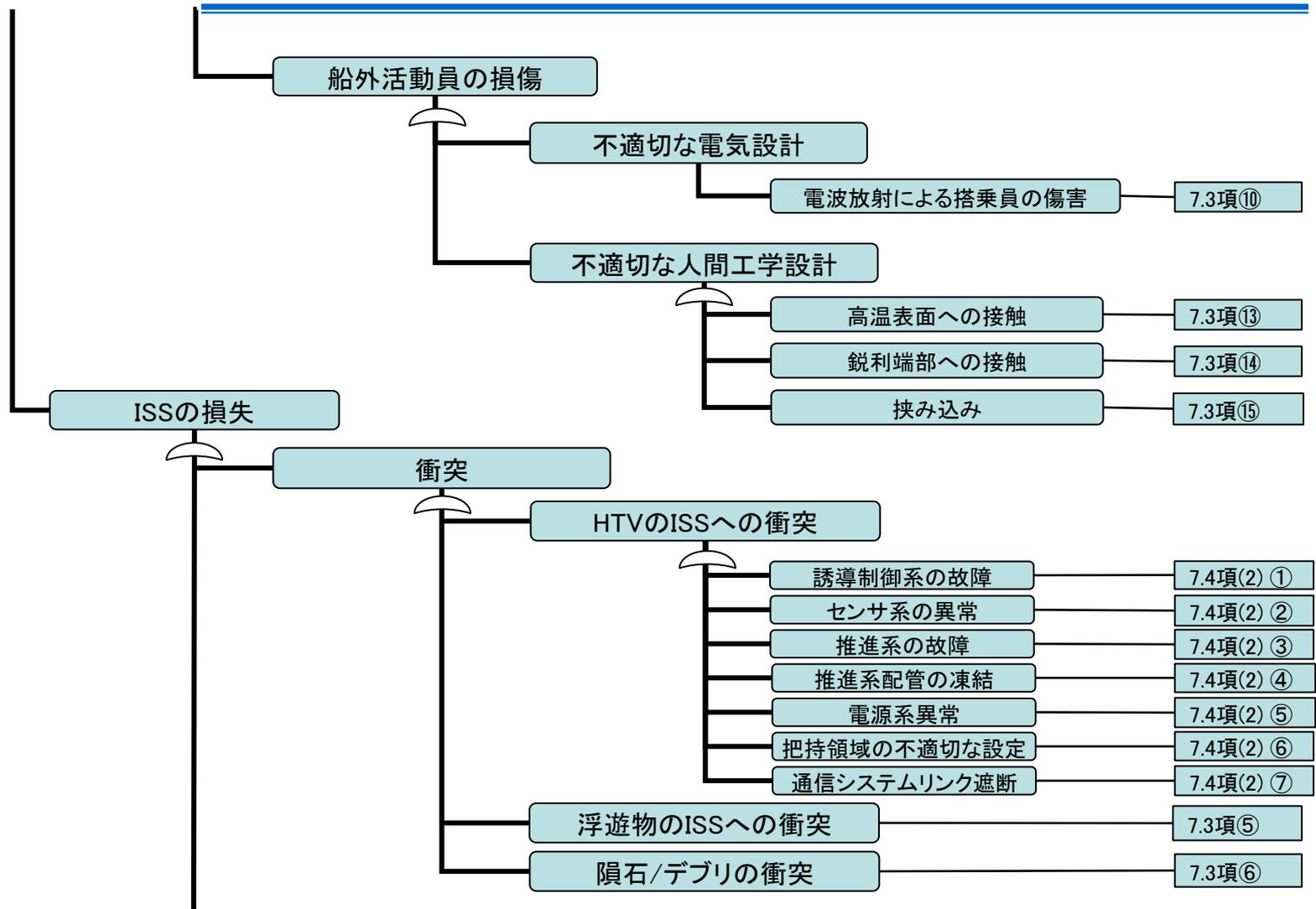
7.3項⑮

騒音

7.3項⑯

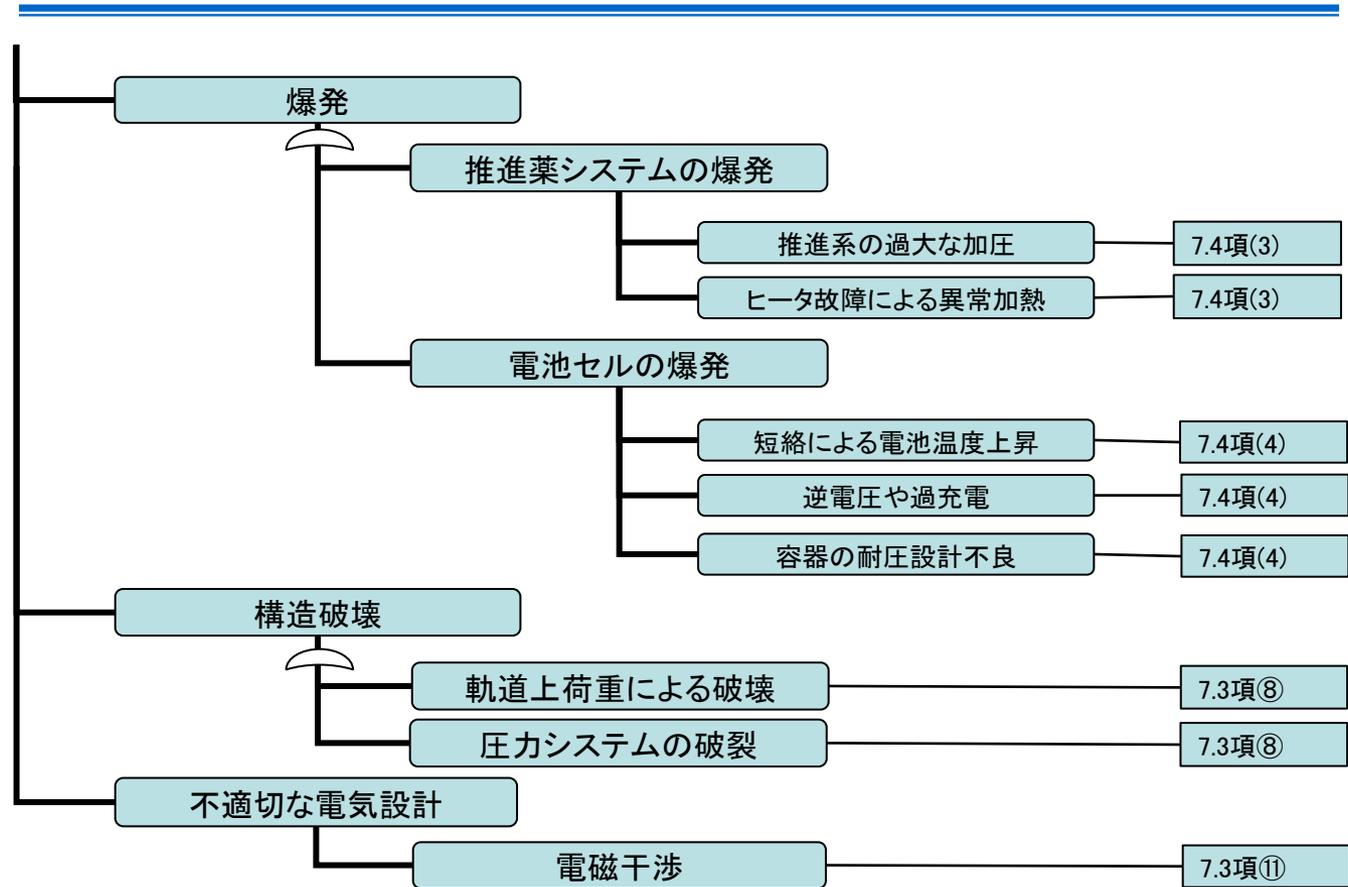


付図-1 HTVハザード FTA (2/3)





付図-1 HTVハザード FTA (3/3)



項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
1. 目的及び位置付け	<p>本指針は、宇宙開発委員会として、宇宙ステーションの全体計画との整合性をとりつつ、<u>宇宙ステーション補給機（以下、「HTV」という。）の宇宙ステーションへの接近・係留・離脱に係る安全確保を図ることを目的とする。</u></p> <p>また、本指針は、安全部会においてHTVの安全対策について総合的かつ系統的に調査審議する際の指針と位置付ける。</p>	<p>本指針に基づき、<u>HTVの宇宙ステーション(ISS)への接近・係留・離脱に係る安全確保</u>を図るため、指針の各項目の要求事項に対応して、HTVの安全設計結果を示す。</p>		
2. 適用範囲	<p>本指針は、HTVの開発及び運用の各段階において行う安全評価に適用することとし、各段階において新たに必要となる事項等については、適宜追加、改訂を行うこととする。</p> <p><u>また、HTVにより輸送・補給される搭載物の安全については、搭載物の内容に応じて、必要があれば、別途調査審議を行うこととする。</u></p> <p><u>なお、HTVの打上げ及び再突入については、「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」に基づき、安全評価のための調査審議を行うこととする。</u></p>	<p>HTVの開発及び運用の安全に関し、以下のように宇宙開発委員会安全部会に報告する。</p> <p>①詳細設計終了時に「HTVに係る安全評価のための基本指針」に基づき、安全設計結果について安全部会に報告する。</p> <p>②開発終了時に（平成20年予定）ハザード制御の妥当性検証結果について、安全部会に報告する。</p> <p><u>搭載物に関しては、詳細が確定するのが打上げの半年から1年前であるため、確定した搭載物の内容に応じて、必要であれば、JAXAによる安全解析及び審査の結果を報告する。</u></p> <p><u>なお、HTVの打上げ及び再突入の安全については、「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」に基づき、H-II/Bの飛行計画の審議時に報告する。</u></p>		
3. 基本的な考え方	<p>HTVの安全確保のため、以下の基本的な考え方に従って十分な安全対策を講じ、リスクを可能な限り小さくすることとする。</p> <p>(1) 安全確保の対象</p> <p>宇宙ステーションは、人間をその構成要素として含むシステムであり、搭乗員の死傷を未然に防止するため、安全確保を図ることとする。</p> <p>(2) 安全確保の方法</p> <p>HTVの開発及び運用においては、すべてのハザードを識別し、以下の優先順位に従ってハザードを制御し、残存ハザードのリスクを評価することとする。</p> <p>ア ハザードの除去</p> <p>ハザードについては、可能な限り除去する。</p>	<p>(1)安全確保の対象</p> <p>本指針の対象は、ISSへの接近・係留・離脱における安全確保であり、JEMと同様に搭乗員の安全確保を図る。</p> <p>HTVにおいては、直接搭乗員に被害を与えるハザード(注)、及び安全に関わるシステムに被害を与えることにより間接的に搭乗員に被害を与えるハザードを考慮し、搭乗員の死傷を未然に防止するための安全確保を図っている。</p> <p>(注)ハザードとは、事故をもたらす要因が顕在又は潜在する状態をいう。</p> <p>(2)安全確保の方法</p> <p>ISSの安全に関する基本思想(NASA安全要求)と整合させる。</p> <p>HTVは、以下に示す基本フローに従い安全設計を行っている。</p> <p>A.ハザードの識別</p> <p>a.対象システムの理解</p> <p>安全設計を実施する前提として、①対象システム、②運用、③ミッション、</p>	<p>(ハザード制御の基本となるものであり、具体的な設計対応は以下の項を参照。)</p>	

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計／検証結果 (2/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>イ リスクの最小化設計 故障許容設計、適切な部品・材料の選定等により、リスクが最小となるようにする。</p> <p>ウ 安全装置 異常が発生したとしても被害を最小限にするように、安全装置を付加する。</p> <p>エ 警報・非常設備等 異常が発生した場合には、警報が作動し、また、万一緊急の措置を要する事態に至った場合には、緊急警報が作動して、搭乗員に異常を知らせる。さらに、異常の発生に備えて、非常設備及び防護具を備える。</p> <p>オ 運用手順 リスクが最小となるような運用手順を整備する。</p> <p>カ 保全 適切な予防保全により、異常の発生頻度を小さくする。</p>	<p>④環境条件、⑤他のシステムとのインタフェース等を十分に理解する。</p> <p>b. ハザードの識別 対象となるシステム及びその運用に係る予測可能な全てのハザードを、安全解析によって識別する。ここでは、対象となるハードウェア、ソフトウェア、運用、誤操作等のヒューマンエラー、インタフェース、環境条件等を考慮して、体系的かつ論理的に解析を行う。 また、解析に当たっては、故障の木解析（FTA）、故障モード及び影響解析（FMEA）を活用して、ハザードを抽出する。</p> <p>c. ハザード原因の識別 識別したハザードの原因を識別する。ハザード原因の識別に際しても、対象となるハードウェア、ソフトウェア、運用、誤操作等のヒューマンエラー、インタフェース、環境条件等を考慮して、体系的かつ論理的に解析を行うとともに、FTAやFMEA等の解析ツールを活用する。</p> <p>d. ハザードの被害の度合い及び発生頻度 HTVシステムにおいては、搭乗員の死傷、ISSシステムの喪失、／損傷等の被害の度合いに応じて、以下のレベルを設定している。 Ⅰ：カタストロフィック（致命的）ハザード Ⅱ：クリティカル（重大）ハザード Ⅲ：マージナル（軽微）ハザード また、ハザードの発生頻度を以下のように4段階に分類し、識別している。 A：Probable（プログラム中に発生する） B：Infrequent（プログラム中に発生する可能性がある） C：Remote（可能性はあるが、プログラム中に発生するとは考えられない） D：Improbable（プログラム中に発生する可能性は極めて小さい）</p> <p>B. ハザードの除去・制御</p> <p>a. ハザードの除去・制御方法の検討 ハザードについては、可能な限り除去する。 除去できない場合には、次の優先順位でハザードの制御を行う。 ①ハザードの最小化設計 ②安全装置 ③警報・非常設備等 ④運用手順 ⑤保全</p> <p>b. ハザード制御方法の検討 設定されたハザードの制御方法の有効性を、以下のいずれか、あるいは組み合わせによって確認する。 ①試験 ②解析 ③検査 ④デモンストレーション</p> <p>C. 残存ハザードのリスク評価 ハザードの制御方法の検証結果を評価して、残存ハザードのリスクが十分低いレベルに制御されていることを確認する。残存ハザードのリスクは、被害の度合い及び発生頻度のマトリクスで評価する。</p>		

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計/検証結果 (3/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(3) 有人活動の特殊性への配慮 <u>HTVの宇宙ステーションへの接近・係留・離脱においては、宇宙ステーションの搭乗員による有人活動が行われるため</u>、自然環境及び誘導環境から搭乗員及び安全に関わる機器を保護するために、十分な構造上の強度、寿命等を有するとともに、安全に関わるシステムの故障（誤操作を含む。）に対する適切な許容度の確保、容易な保全等ができるようにする。 また、火災、爆発、危険物等による異常の発生の防止並びに外傷、火傷、感電等の傷害及び疾病の発生の防止を図るとともに、緊急対策に十分配慮する。</p>	<p>(3) 有人活動の特殊性への配慮 HTVは、有人活動の特殊性に配慮した設計を行っている。4項以降に、個々の設計の内容を示す。</p>		<p>関連ハザードレポート</p>
<p>4. 宇宙環境対策</p>	<p>HTVは、宇宙における自然環境並びに打上げ時及び軌道上における誘導環境から搭乗員及び安全に関わるシステムが保護されるようにしなければならない。このため、以下のような対策を講じる必要がある。</p> <p>(1) 自然環境からの保護 ア 隕石・スペースデブリ 隕石・スペースデブリの衝突により、HTVの安全に関わるシステムが損傷し、搭乗員が危険な状態とならないよう、可能な限り防御すること。 なお、万一隕石・スペースデブリがHTVに衝突し、HTVの安全に関わるシステムが損傷した場合には、HTVから宇宙ステーション本体への回避により、搭乗員の安全確保を図ること。</p>	<p>(1) 自然環境からの保護 ア 隕石・スペースデブリ 隕石・スペースデブリの衝突により、HTVの安全に関わるシステムが損傷し、搭乗員が危険な状態とならないよう、次の通りの防御対策をとっている。</p> <p>① 直径1cm以下のデブリ等 HTVと圧キャリア及び推進モジュールにはデブリバンパ等を設置し、デブリ等の貫通を防ぐ設計としており、衝突試験により、デブリバンパ等の有効性を確認している。</p> <p>② 直径10cm以上のデブリ等 直径10cm以上のデブリ等は米国のレーダ網で追尾して得られる軌道情報を基に、<u>HTVは、打上げあるいは離脱時、隕石/デブリに衝突しない飛行経路を予め決定し飛行させるとともに、単独飛行中ISSに到着するまでは、必要により衝突回避のための軌道変更を行う。</u> また、HTVがISSに係留している間は、NASAがISS軌道制御を行うことでデブリ等の衝突を回避する。</p> <p>③ 直径1~10cmのデブリ等 この範囲のデブリ等は、上記②に示すレーダ監視による軌道変更という対応がとれない場合がある。<u>HTV単独飛行中に万ーデブリ等が衝突した場合、HTVの健全性を確認し、飛行継続の可否を判断する。また、ISSに係留する前は、ISSロボットアームでHTVを保持した状態で、ISSのカメラによりHTV側の結合機構にデブリ等との衝突による損傷がないことを目視検査する。</u> 係留中、HTVと圧キャリアのハッチが開放された状態で、万一、デブリ等が衝突してHTVの与圧壁を貫通した場合、与圧壁の構造上、HTVと圧キャリアが破壊することはない、HTVと圧キャリア</p>	<p>(1) 自然環境からの保護 ア メテオロイド、スペースデブリ メテオロイド（流星物質）、スペースデブリ（宇宙機システムから発生する人工物体）以下「デブリ」という。）の衝突により、HTVの安全に関わるシステムが損傷し、搭乗員が危険な状態とならないよう、次のとおり可能な限りの防御対策をした。</p> <p>①直径1cm以下のデブリ バンパによる貫通防御対策が実施されていることを検査にて確認した。</p> <p>②直径10cm以上のデブリ 事前に地上観測結果を使用して、デブリの存在・軌道要素を把握し、衝突の危険性がある場合は、ISSの軌道制御により衝突回避する手順となっていることを、手順書（フライトルール）にて確認した。また、HTVは、打上げあるいは離脱時、隕石/デブリに衝突しない飛行経路を予め決定し飛行させるとともに、単独飛行中ISSに到着するまでは、必要により衝突回避のための軌道変更を行う手順となっていることを、手順書（フライトルール）にて確認した。</p> <p>③直径1~10cmのデブリ HTV単独飛行中に万ーデブリ等が衝突した場合、HTVの健全性を確認し、飛行継続の可否を判断する。また、ISSに係留する前は、ISSロボットアームでHTVを保持した状態で、ISSのカメラによりHTV側の結合機構にデブリ等との衝突による損傷がないことを目視検査する。これらが手順となっていることを、手順書（フライトルール）にて確認した。 衝突により与圧モジュールをデブリが貫通した場合、搭乗員は隣のステーション本体側モジュールに回避しハッチを閉める。HTVは、ISSが急減圧を検知した場合に、警告</p>	<p>HTV-0009 隕石/デブリとの衝突</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計／検証結果 (4/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>イ 宇宙放射線 HTVの安全に関わる機器は、放射線による誤動作、故障及び性能劣化を可能な限り生じないこと。 また、搭乗員が搭乗期間中に受ける放射線の被曝量をモニターすること。</p> <p>ウ 高真空、微小重力等 HTVは、高真空、微小重力、電磁波、プラズマ、高温・低温、原子状酸素等の環境に対して、搭乗員の安全及び安全に関わる機器の正常な動作を確保できること。</p>	<p>内の空気が漏洩することが確認されている。その場合、ISSが圧力減少を検知し、搭乗員は緊急避難機へ避難する。その際、可能な限りモジュール間のハッチを閉じて避難する。</p> <p><u>デブリ等がHTVを貫通しない確率(非貫通確率: PNP Probability of No Penetration)は、10cm以下の全てのデブリ等に対して0.9977(年1回の飛行を想定し10年間で計300日の運用期間を前提)がISSの構成要素として配分されている。</u>HTVでは、ISS共通の解析ツールを用い、実際のデブリ貫通試験の結果を反映したパラメータを使用することでPNPを評価している。</p> <p>なお、現在までのISSあるいはスペースシャトルの運用実績からは、デブリ等が貫通したという報告はない。現在、直径10cm以下のデブリについても認識できるよう、地上観測能力の向上、データベース充実に向けて米国で検討が進んでいる。</p> <p>イ 宇宙放射線 ISSが運用される高度約400km、軌道傾斜角51.6度の軌道においては、搭乗員及び機器は、太陽系外から飛来する鉄等の重粒子成分を含む銀河宇宙線、太陽フレアで発生する太陽放射線、地球磁気圏に定常的に捕捉されている捕捉放射線により被曝する。 このため、軌道上の搭乗員については、ISSでは造血器官(深さ5cmの線量当量)に対する被曝が年間400mSv(40rem)を超えないことが設計要求とされている。 HTVと圧キャリアは、外壁にアルミを使用し、外壁の外側にはアルミ製のデブリバンパ、多層断熱材が設置され、また、HTVと圧キャリア内の外壁内側には機器や物資を搭載したラック、艙装品が設置され、放射線の遮蔽に寄与している。 これらの対策により、HTVと圧キャリア内の搭乗員に対する被曝量は、ISS設計要求値内に抑えられることを解析により確認している。なお、運用に当たっては、太陽フレア等の突発的な現象に備え、太陽活動の観測やISS船内・船外における宇宙放射線計測を実施し、搭乗員の被曝量を定常的に把握する計画となっている。さらに、搭乗員個人の被曝量を計測・記録し、宇宙放射線被曝のリスクを容認可能なレベルに保つため、搭乗期間及び船外活動(EVA: Extra Vehicular Activity)の期間を適切に管理することにより、生涯に受ける総被曝量及び一定期間内に受ける臓器・組織の被曝量を制限する計画となっている。 また、HTVの安全に関わる機器については、これらの放射線による誤動作、故障及び性能劣化を生じないよう、耐放射線部品、放射線シールド、ソフトウェア改善(エラー検出訂正等)等、対策を講じ、HTVとしての耐放射線性を評価・確認している。</p> <p>ウ 高真空、微小重力等 ①高真空 HTVと圧キャリアは、搭乗員が高真空の環境に曝されないよう、ISS本体側による圧力制御によって内部圧力を維持する設計となっている。</p>	<p>を受けた後3分以内にハッチ閉鎖及びIMVバルブの閉鎖等のHTVの隔離と、搭乗員の退避が可能な設計となっていることを確認した。</p> <p>イ 宇宙放射線 HTVは、外壁にアルミを使用し、外壁の外側にはアルミ製のデブリシールド、多層断熱材が設置され、また、圧部内の外壁内側には機器を搭載したラック、艙装品が設置され、放射線の遮蔽に寄与している。 これらの対策により、HTV内の搭乗員に対する被ばく量は、ISS設計要求値内に抑えられることが解析により確認されている。</p> <p>HTVの安全に関わる機器については、放射線による誤動作、故障及び性能劣化を生じないよう、放射線による経年劣化を起こしにくい電線被覆や、重粒子により酸化被膜を破壊され難いアルミキャップ式の半導体を使うなど、耐放射線部品、放射線シールド、ソフトウェア改善(ビット反転によるエラー検出訂正等)等、可能な限りの対策を講じ、HTVとしての耐放射線性が評価・確認されている。</p> <p>ウ 高真空、微小重力等 ①高真空 HTVは、搭乗員が高真空の環境に曝されないよう、ISS本体側の全圧制御による内部圧力を維持する設計となっていることを、ISSとのインタフェース管理仕様書(IC</p>	<p>関連ハザードレポート</p> <p>HTV-0004 シールドバルブからの空気漏洩</p>

赤字+下線: JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線: JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト: HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計／検証結果 (5/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>また、与圧部に設置される安全に関わる機器は、減圧に耐え、再加圧後正常に動作すること。</p> <p>(2) 誘導環境からの保護 ア 打上げ時の誘導環境 構造及び安全に関わる機器は、打上げ時における振動、加速度、音響、圧力等の誘導環境について、打上げ機搭載時の諸条件に耐えられること。</p>	<p>曝露環境に設置される機器は、高真空中に曝されるため、地上との気圧環境の差異を考慮した設計とされており、環境試験により、高真空下での耐環境性が確認されている。(減圧・再加圧については、11(3)を参照)</p> <p>②微小重力 微小重力下での物体の浮遊による搭乗員への衝突や挟み込みを防止するため、HTVに持ち込まれる、又は取り外される機器は、仮置き時に拘束器具が取付け可能で、搭乗員による取扱いの作業手順が適切に設定されている。 また、微小重力下で搭乗員が作業を行う場合には、自身の足を固定できるよう、適切な箇所に足部固定具が設置可能となっている。</p> <p>③プラズマ 軌道上の太陽光線、高速荷電粒子の衝突により発生するプラズマは、機器を帯電させ、機器の性能劣化・故障を引き起こす恐れがあるため、機器・構造物・熱制御材等に対し、電気的接地の確保・帯電防止が行われている。</p> <p>④高温・低温 搭乗員が地上に比べて厳しい軌道上の熱環境に曝されないよう、HTV与圧キャリア内部では、ISSにより、搭乗員が軽装で活動できる温度環境が提供される。 また、軌道上の熱環境により機器の性能劣化・故障が生じないように、打上げから全運用範囲にわたって、各機器の温度を許容温度範囲内に保つため、多層断熱材による保温、ヒータによる加熱等の対策が講じられている。</p> <p>⑤酸素原子 紫外線により解離生成される酸素原子は、有機材料・金属の表面の材料特性を変化させるため、影響を受ける部分に対しては、適切な材料の選定、表面処理、多層断熱材等による防護対策が講じられている。(電磁波については、4(2)イ(ウ)を参照)</p> <p>(2) 誘導環境からの保護 ア 打上げ時の誘導環境 HTVの構造・機器は、打上げ時の誘導環境に基づいて、H-11B ロケット内のHTVの搭載を考慮した振動・加速度・音響・圧力等の諸条件に対して、構造破壊・劣化等を起こさないよう、設計マージンが確保されている。</p>	<p>D)に規定されていることを確認した。HTVは、搭乗員滞在時はハッチを開放することで、ISS本体側の全圧制御に依存する運用となっていることを確認した。 曝露環境に設置される機器は、高真空中に曝されるため、地上との気圧環境の差異を考慮した設計とされており、環境試験により高真空下での耐環境性が試験にて確認されている。</p> <p>②微小重力 微小重力下での、物体の浮遊による搭乗員への衝突や挟み込みを防止するため、HTVに持ち込まれ又は取り外される機器は、シートトラック/テザーを設けることで、交換作業中に固定できる設計としていることを図面、実機検査にて確認した。なお、小型機器は、バッグに収納するか、ベルクロで固定するように、作業手順が適切に設定されていることを確認した。 また、微小重力下で搭乗員が作業を行う場合には、自身の足を固定できるよう、適切な箇所に足部固定具が設置可能となっていることを、IVAにおいては図面で確認した。</p> <p>③プラズマ 軌道上の太陽光線、高速荷電粒子の衝突により発生するプラズマは、機器を帯電させ、機器の性能劣化・故障を引き起こすおそれがあるため、機器・構造物・熱制御材等に対し電気的接地の確保・帯電防止が行われている。これは打ち上げ前に各電気的結合部の抵抗を測定することで確認している。 また軌道上で交換される煙検知器は、電気的結合部を冗長または表面処理等の追加対策を施すことで対応している。</p> <p>④高温・低温 搭乗員が地上に比べて厳しい軌道上の熱環境に曝されないよう、HTVの内部では、ISS本体側と換気を行うための空気循環ファン等により、搭乗員が軽装で活動できる温度環境が提供できることを、受入試験にて確認している。 宇宙空間との熱の授受、最低・最高温度等を解析により、多層断熱材による保温、ヒータによる過熱等の対策が、十分であることを検証した。なお、HTV実機の熱平衡試験を実施し、予測温度を検証している。</p> <p>⑤酸素原子 紫外線により解離生成される酸素原子は、有機材料の表面の材料特性を変化させるため、酸素原子により影響を受ける部位に対しては、ISS共通の材料選定基準(実績のある材料又は部材を使用するか、適切な表面処理を施す)に従って、原子状酸素を考慮した使用材料を選定していることを確認している。</p> <p>(2) 誘導環境からの保護 ア 打上げ時等の誘導環境 HTVの構造・機器は、打上げ時の誘導環境に基づいてH-11B内のHTVの搭載位置に応じた振動・加速度・音響・圧力等の諸条件に対して、構造破壊・劣化等を起こさないよう、以下のように設計、検証されている。詳細は5項に示す。 ・剛性設計</p>	<p>HTV-0013 接触面温度異常</p> <p>HTV-0005 構造破壊</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計／検証結果 (6/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>イ 軌道上の誘導環境 (ア) 雰囲気空気 酸素濃度、二酸化炭素濃度、一酸化炭素濃度、気圧等の環境については、宇宙ステーションの機能を利用して制御するため、HTV内及びHTVと宇宙ステーション間で適切な換気が実施できること。また、HTV内でこれらについての異常が発生した場合には、異常の発生を宇宙ステーションに通知し、搭乗員に知らせることができること。 <u>さらに、HTVの宇宙ステーションへの結合前には、これらについての異常がないことを確認できること。</u></p>	<p>イ 軌道上の誘導環境 (ア) 雰囲気空気 ①酸素等の濃度 HTVと圧キャリアは、空気の浄化機能を持たないため、酸素濃度、二酸化炭素濃度、一酸化炭素濃度等の制御はISSの機能に依存している。 係留フェーズでは、隣接するノード2とHTV間のハッチを開放し、HTV内の空気循環ファンにてノード2の空気をHTVに導入するとともに、HTV内部の空気の循環を行っている。HTVと圧キャリアに導入された空気の、一部はHTVと圧キャリア中を再循環し、大部分はハッチを経由してノード2へ環流する。 係留中にハッチを閉じてHTVを隔離している際には、クルーが立ち入る可能性がないことから、HTVと圧キャリア内の空気を循環しない。</p> <p>②気圧 係留中でハッチを開放している際、HTVと圧キャリア内部の圧力はISS全体の圧力制御の一環で制御されている。 ハッチを閉じてHTVをISSから隔離した状態では、HTVと圧キャリア内圧をモニターし、空気圧力が所定の値を上回ったら、2系統のペントリリーフバルブによって与圧空気を宇宙空間へ排出する。</p> <p>③温度・湿度 <u>HTVと圧キャリア内の温度・湿度の制御はISSの機能に依存している。</u></p> <p>④気流等 HTVと圧キャリア内部では、微小重力下において特定の場所に空気の滞留が生じないように、空気循環ファンの容量、吹き出し口・吸込み口の位置、面積、形状、方向等を最適化して空気の流れの均一化を図っている。</p> <p>⑤結合前の異常確認 <u>HTVは、打上げ直前にHTVと圧キャリア内の空気組成を分析し、適切な組成であることを確認する。また、HTVがISSに係</u></p>	<p>・強度設計 ・疲労強度設計 イ 軌道上の誘導環境 (ア) 雰囲気空気 ①酸素等の濃度 HTV内空気は、ISS本体側で酸素分圧の制御、二酸化炭素・有毒ガス等の除去が行われることを、ISSとのICDに規定されていることを確認した。 ISS本体において二酸化炭素・酸素及び窒素分圧の異常等が検知された場合、ISS内に警告・警報が発せられることを、ISSとのICDに規定されていることを確認した。 HTVと圧部ではISS本体との空気換気のため1つのファンを設置しており、HTVと隣接するモジュール間の通風換気が可能な設計となっていることを通風量の測定により確認した。また、このファンはキャビン内には空気攪拌用のファンをかねている。ファン停止時には、クルー退避までは、CO2濃度が危険なレベルにならないことを解析で確認している。 なお、火災発生時には消火剤としてCO2が噴霧される。この消火剤が放出された場合は、CO2濃度が上昇するが、HTV内の空気循環により一時的なものであることを確認している。</p> <p>②気圧 軌道上運用でISSの内圧は1気圧に維持される。 通常運用時、HTVとISS本体を隔てるハッチは開放されており、HTV内の急激な減圧はISS本体で検知され、ISS全体に警告・警報(警告音と警告灯)されることを、ISSとのICDに規定されていることを確認した。なお、HTVは警告・警報機能を隣接するモジュールの機能に依存している。</p> <p>③温度、湿度 HTVの温湿度は、ISSの環境制御機能に依存しており、HTVの空気循環ファンにより、HTV内の温湿度維持に必要な換気を隣接モジュールとすることできることを解析にて確認している。</p> <p>④気流等 HTV内の搭乗員が滞在するキャビン内では、微小重力下において特定の場所に気体の滞留が生じないように、ファン容量・回転数・ディフューザ仕様(形状・吹き出し面積・方向・絞り量等)を最適化して人工的に適切な空気流を発生させる。無重力を考慮し、空気循環が適切であることを解析、及び可能な限り対流を抑えた空気循環試験をしている。また、ファン停止時には、クルー退避までは、CO2濃度が危険なレベルにならないことを解析にて確認している。ファン故障時は、HTV制御系及びISS側に検知し、クルーは退避する。</p> <p>⑤結合前の異常確認 HTVは、打上げ直前にHTVと圧キャリア内の空気組成を分析し、適切な組成であることを確認する計画である。ま</p>	<p>HTV-0002 大気汚染</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針]に対するHTV安全設計/検証結果 (7/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(イ) 汚染 有害物質は、使用しないことを原則とするが、使用することが避け難い場合は、搭乗員の安全に影響を与えないこと。 なお、一旦発生したものの低減は、宇宙ステーション本体の機能に依存するが、大量の有害物質が発生した場合には、一旦与圧部内の空気を宇宙空間へ排出できること。</p> <p>(ウ) 振動、音響、電磁波 HTVの機器が発生する振動、音響及び電磁波は、搭乗員及び安全に関わる機器に影響を与えないこと。 また、安全に関わる機器は、宇宙ステーションより発生するこれらの環境に十分耐えられること。</p>	<p><u>留される前には、HTVと圧キャリア内の気圧が規定値内であることを確認する。</u></p> <p>(イ) 汚染 <有害物質の放出防止> HTVにおいては、ISS計画で規定された材料選定基準に従って、使用する材料が選定されており、有毒・危険な化学物質・材料は使用されていない。 構造・内装・搭載機器等に使用される非金属からのオフガスについては、製造・試験段階で必要に応じて部品・機器・ラックレベルで、真空環境下での加熱によるガス抜きが行われ、オフガス発生量をISSで設定される基準レベル内に抑える。 <制御> ISS本体において搭乗員に影響を与えることが想定される放出物質の監視・警報発出・制御が行われる。 HTVと圧キャリア内で汚染が発生し、緊急処置が必要となった場合、搭乗員は隣接するモジュールに避難し、ハッチを閉じHTVを隔離する。 また、汚染をISS本体側で除去できない場合には、HTVと圧キャリア内の空気を宇宙空間へ排出して汚染物質を除去する。(4(3)軌道上環境等の保全、11(1)ウ 汚染を参照。)</p> <p>(ウ) 振動、音響、電磁波 <振動> 振動源となり得る回転機器としては、空気循環ファンがあるが、当該ファンから発生する振動は、ISSの微小重力環境に影響を及ぼさないよう抑制されているため、人体あるいは搭載機器に影響を与えるレベルではない。 ISSでは、ISSの軌道変更等から加速度が生じるが、打上げ時の振動環境に比較して小さく、搭乗員、HTV、搭載機器等に影響を与えない程度であることが確認されている。</p> <p><音響> 空気循環ファン、空調ダクト、バルブ、ノズル等から音を発するが、ISS計画では、搭乗員に快適な環境を提供できるよう、騒音に対する設計基準が設定されており、HTVにおいても当該基準を適用して設計されている。</p>	<p>た、HTVがISSに係留される前には、HTVと圧キャリア内の気圧が規定値内であることを確認する手順が設定されていることを手順書にて確認した。</p> <p>(イ) 汚染 <有害物質の放出防止> HTVにおいては、ISS計画で規定された選定基準(HTVのポリウムを考慮して、各物質ごとの人体に対する許容量が定められている)に従って使用する材料が選定されていることを確認している。 構造・内装・搭載機器等に使用される非金属からのオフガスについては、必要に応じて部品・機器・ラックレベルでオフガス試験を実施し、オフガス発生量がISSで設定される基準レベル内であることを確認している。</p> <p><制御> HTVでは、特定の毒物等による汚染源を有していないため、汚染源を持つ実験装置等の搭載物が必要な制御を行うこととなるが、このことを考慮して、HTVは以下のように設計・検証されている。 HTVの与圧部内で汚染が発生し、緊急処置が必要となった場合、搭乗員は隣接するモジュールに避難し、ハッチ及びモジュール間のバルブを閉じる能力を持つことを機能試験にて確認している。 また、汚染をISS本体側で除去できない場合には、与圧部内の空気を宇宙空間へ排出して汚染物質を除去する能力として、船外とのHTVキャビン間に排気バルブが有効であることを、機能試験にて確認している。クルー退避路、警告警報装置の適切な設計となっていることを解析、機能試験で確認している。なお、HTV隔離のため、ハッチはISS共通品を使用していることを確認している。</p> <p>(ウ) 振動、音響、電磁波 <振動> HTVシステムの空調用ファンから発生する振動は、微小重力実験に影響を及ぼさないよう抑制されているため、発生する振動については人体・搭載機器に影響を与えるレベルではないことを運転試験により確認している。 ISSでは、ISSの軌道変更等から加速度が生じるが、これらの荷重にHTVの構造が耐えることを解析にて確認している。なお、この荷重は、打上げ時の振動環境に比べて小さいことを確認しているため、搭乗員・HTV・搭載機器に影響を与えない。</p> <p><音響> 空調ダクト、ノズルから発生する騒音が、ISS計画における騒音に対する設計基準以下であることを解析、試験にて確認している。 なお、一部規定を満足しないが、短時間のHTV内の搭乗員活動を考慮すると許容可能であることを解析にて確認している。</p>	<p>HTV-0002 大気汚染</p> <p>HTV-0015 騒音</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計／検証結果 (8/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(3) 軌道上環境等の保全 宇宙空間における不要な人工物体となるものの発生については、合理的に可能な限り抑制するように考慮すること。このため原則として、固体の廃棄物及び短時間に気化しない液体の廃棄物を軌道上に投棄しないこと。</p>	<p><電磁波> ISSの各機器、地上レーダ、スペースシャトル、ソユーズ、プログレス、ATV、人工衛星等から電磁波が発生するが、ISS計画では電磁干渉によって機器に誤動作等を引き起こさないよう、電磁波を生じる側と受ける側の双方に対して規定が設けられている。HTVにもこの規定が適用され、機器レベルからシステム全体にわたって、試験により電磁適合性が確認される。</p> <p>(3) 軌道上環境等の保全 HTVは、軌道上で放出しなければならない固体の廃棄物を持たない。 <u>また、機器の故障時には、HTVの推進薬が船外に漏洩する可能性があるが、短時間に気化するものである。</u></p>	<p><電磁波> ISS計画では、電磁干渉によって機器に誤動作等を引き起こさないよう、電磁波を生じる側と受ける側の双方に対して規定が設けられている。 HTVにもこの規定が適用され、機器レベルからシステム全体にわたって、試験により電磁適合性(EMC)が確認される。</p> <p>(3) 軌道上環境等の保全 HTVは、廃棄物は持ち帰るかあるいはHTV自身で投棄するため、軌道上で放出しなければならない固体の廃棄物を持たない。積み荷等の誤放出に対しては、3つのインヒビットにより結合機構の不意の動作が防止できていることを試験で確認した。 また、機器の故障時には、HTVの推進薬が船外に漏洩する可能性があるが、スラストバルブの意図しない開放に対しては3つのインヒビットにより制御していること試験で確認し、バルブシールから漏洩する少量の推進薬は短時間に気化することを要素試験にて確認している。</p>	<p>HTV-0017 電磁放射</p> <p>HTV-0010 浮遊物のISSへの衝突</p> <p>HTV-0003 推進薬漏洩による汚染</p>
<p>5. 構造及び材料</p>	<p>(1) 構造 HTVの構造は、搭乗員及び搭載機器を宇宙環境から保護するとともに、安全に支持するため、十分な余裕度を持って設計・開発されなければならない。このため、以下のような対策を講じる必要がある。 ア 設計 不測の事態において一つの構造部材が損傷しても、搭乗員を危険な状態に陥らせないこと。 また、圧力容器(与圧部構造体を含む。)は、リークビフォアラブチャ又は安全寿命設計であること。</p>	<p>(1) 構造 ア 設計 <荷重条件> ①飛行荷重 打上げ・軌道上・帰還の定常運用における全ての荷重モードに対して、十分な剛性・静強度・疲労強度を持つよう設計され、その結果は解析及び強度試験によって検証され、十分な安全性を持つことが確認されている。 ②構造損傷 搭乗員の過失等、不測の原因によりHTVの構成機器等に構造損傷が生じた場合にも、搭乗員・HTVが直ちに危険な状態に陥ることのないよう、構造損傷を受けていない残りの構造で、制限荷重まで耐える設計となっている。 <圧力容器の設計> HTV与圧キャリア隔壁を含む圧力容器は、破裂の危険性に対し十分な安全性を確保するため、次の対応が取られている。 ①最大設計圧力(MDP: Maximum Design Pressure) 圧力システムを構成する機器(圧力解放機構、減圧弁、温度制御装置等)の考えられる2つの故障を想定した場合の、最悪の到達圧力をMDPとして設定し、さらにMDPに所定の安全係数を乗じた圧力に対して必要十分な強度を持たせた設計としている。(安全係数については、イ 強度及び剛性を参照) ②リークビフォアラブチャ HTV与圧キャリア隔壁については、破壊靱性値の高い材料と運用圧力における適切な応力を選ぶことにより、リークビフォアラブチャ設計(容器に許容値を超える長さの亀裂が発生した場合でも、亀裂が貫通してリークが発生することで圧力を下げ、破裂を起こさ</p>	<p>(1) 構造 ア 設計 <荷重条件> 具体的な設計内容は「イ 剛性・強度」の項に示す。</p> <p><圧力容器の設計> HTV構造を含む圧力容器は、破裂の危険性に対し十分な安全性を確保するため、次の対応を行う。 ①最大設計圧力(MDP: Maximum Design Pressure) 圧力システムを構成する機器(圧力解放機構、減圧弁、温度制御装置等)の考えられる2つの故障を想定した場合の、最悪の到達圧力をMDPとして設定し、さらにMDPに所定の安全係数を乗じた圧力に対して必要十分な強度を持たせた設計であることを、設計解析及び耐圧試験等で確認している。(安全係数については、イ 強度及び剛性を参照) ②リークビフォアラブチャ HTV与圧キャリア隔壁については、破壊靱性値の高い材料と運用圧力における適切な応力を選ぶことにより、リーク</p>	<p>HTV-0005 構造破壊</p> <p>HTV-0006 正圧による構造破壊</p> <p>HTV-0007 爆発</p>

赤字+下線: JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線: JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト: HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計／検証結果 (9/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>イ 強度及び剛性 HTVの構造は、打上げ時及び軌道上において想定される環境条件の下で、十分な強度及び剛性を有し、運用期間に対し十分な疲労寿命を有すること。</p>	<p>ない設計)としている。</p> <p>イ 強度及び剛性 <剛性> ①有害な変形の防止 HTVには、H-IIB ロケットによる打上げ、軌道上荷重 (ISSの軌道変更等) による荷重が負荷されるため、運用中の最大荷重に対し、次の剛性を持つように設計されている。 (ア) 複合環境下で、結合部を含め構造物に有害な変形が生じない (イ) 変形によって構体の接続部品間の接触・干渉を生じない ②有害な共振の防止 打上げ・軌道上運用において、HTVとH-IIBロケット、HTVとISSの間での共振により、過大な荷重が加わり、有害な変形・破壊を起こすことのないようにHTVは設計されている。</p> <p><静荷重強度> HTVの構造は、HTV飛行運用中の荷重の中で予想最大荷重である制限荷重に、安全率(降伏・終極安全率)を乗じた、降伏・終極荷重に対し、温度等を複合した環境条件の下で、降伏・破壊を生じないように設計されている。</p>	<p>ピフォアラプチャ設計(容器に許容値を超える長さの亀裂が発生した場合でも、亀裂が貫通してリークが発生することで圧力を下げ、破裂を起こさない設計)としていることを解析にて確認した。</p> <p>イ 強度及び剛性 <剛性> ①有害な変形の防止 HTVには、H-IIB ロケットによる打上げ、軌道上荷重 (ISSの軌道変更等) による軌道上荷重が負荷されるため、運用中の最大荷重に対し、次の剛性を持つように設計した。 (ア) 複合した環境条件の下で、結合部を含め構造物に有害な変形が生じない (イ) 変形によって構体の隣接部品間等の接触・干渉を生じない ②有害な共振の防止 打上げ・軌道上運用において、HTVとH-IIBロケット、HTVとISSの間での共振により、過大な荷重が加わり、有害な変形・破壊を起こすことのないようにHTVは設計した。</p> <p>これらは、以下のように構造解析、試験で検証した。 解析に使用した構造数学モデルは、構造検証モデルでモーダルサーベイ試験を実施し、ハードウェアとの相関性があることを確認した。搭載機器レベル等の、ランダム振動、音響振動に敏感な部位に対しては、振動試験を実施して確認した。 またPFMモデルを用いて、静荷重試験を実施した。 インタフェース荷重の検証として、設計の進捗に合わせて軌道上柔結合解析が行われており、HTVの構造設計の条件が包絡されていることを確認した。これは打ち上げ前までに最終的な確認を行う。</p> <p><静荷重強度> HTVの構造は、打ち上げ、着陸、軌道上荷重の中で予想最大荷重である制限荷重に安全率(打ち上げ・着陸時に対しては降伏1.0倍・終極安全率1.25倍、軌道上荷重に対しては降伏1.1倍・終極安全率1.5倍)を乗じた降伏・終極荷重に対し、温度等を複合した環境条件の下で降伏・破壊を生じないよう設計している。 これらは、以下のように検証した。 構造解析を実施した。解析に使用した構造数学モデルは、構造検証モデルでモーダルサーベイ試験を実施し、ハードウェアとの相関性があることを確認した。またPFMモデルを用いて、検証を実施した。 なお、一部の機器は静荷重試験を実施しない代わりに、安全率を大きく(2.0倍)とった検証を行った。 インタフェース荷重の検証として、設計の進捗に合わせて柔結合解析が行われており、HTVの構造設計の条件が包絡されていることを確認した。これは打ち上げ前までに最終的</p>	<p>関連ハザードレポート</p> <p>HTV-0005 構造破壊</p> <p>HTV-0006 正圧による構造破壊</p> <p>HTV-0007 爆発</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針」に対するHTV安全設計／検証結果 (10/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(2) 材料 材料については、可燃性、臭気・有害ガス発生、腐食、応力腐食割れ等の特性を十分考慮して使用すること。</p>	<p><疲労強度> ①寿命 HTVの構造には安全寿命設計が適用され、機械的、熱的負荷サイクルに安全率を乗じた負荷サイクルを受けても構造破壊が生じないよう設計されている。 ②安全率 ISS全体では4.0が共通的要求であり、HTVにもこの要求を適用している。 ③疲労寿命の確認 該当部分の破損が、搭乗員・HTV・ISSに重大な影響を与えるHTVの構造要素(フラクチャ・クリティカル・アイテム)は、非破壊検査を実施し、欠陥が許容される範囲内であることを確認することになっている。</p> <p>(2)材料 ア 可燃性・有害ガス発生に対する考慮 火災防止、搭乗員の健康傷害防止のため、HTVと圧キャリア内の非金属材料には不燃性・難燃性で、有害ガスの発生が極めて少ない材料が使用されている。</p> <p>イ 破壊靱性に対する考慮 デブリの衝突等によって不測の損傷を受けた場合でも致命的破壊に至らないよう、HTVと圧キャリア外壁等には高い破壊靱性を持つ構造部材が使用されている。</p> <p>ウ 流体適合性に対する考慮 <u>構成材料は、推進系に使用している燃料及び酸化剤への化学的耐性を考慮して選定されている。</u></p> <p>エ その他の材料特性 宇宙環境と有人活動という特殊な条件の中で、材料劣化を防止するため耐腐食性・耐応力腐食性・耐電食性等を考慮して構造材料が選定されてい</p>	<p>な確認を行う。</p> <p><疲労強度> ①「寿命 HTVの寿命は全運用サイクルを考慮して評価しているが構造設計は最も厳しい荷重が負荷される打上時が評定となる。新規設計要素である主構造部分は静荷重試験で強度の確認を行い、安全寿命設計の結果についても十分な余裕があることを確認した。 ②安全率 HTVの構造には安全寿命設計が適用され、機械的・熱的負荷サイクルにISSの規定である安全率4.0を乗じた負荷サイクルを受けても構造破壊が生じないよう設計した。 ③疲労寿命の確認 設計寿命の検証として、その破損が、搭乗員・ISS・HTV・搭乗員に重大な影響を与えるHTVの構造要素(フラクチャ・クリティカル・アイテム)は、非破壊検査及び亀裂進展解析を実施し、欠陥が許容される範囲内であることを確認した。</p> <p>(2)構成材料 ア 可燃性・ガス発生に対する考慮 火災防止、搭乗員の健康障害防止のため、HTVと圧キャリア内の非金属材料には難燃性で、ガスの発生が極めて少ない材料が使用されていることを確認している。これは、以下のようなISS共通の基準に従い選定し、使用されていることを、材料選定時の評価、組み付け時の検査にて確認している。 ・可燃性：材料レベルでの可燃性試験において規定値以上の可燃伝播が生じない材料(実績の無い材料は、試験を行い評価している)であるか、機器に搭載された状態で機器筐体により火炎伝播が防止されるように使用される材料。 ・オフガス：HTVのボリュームを考慮して、各物質ごとに人体に対する許容量以下となるように、非金属材料の使用量を制限するか、機器レベル等でオフガス試験を実施して、ガス発生量が許容値以下であることを確認する。</p> <p>イ 破壊靱性に対する考慮 デブリの衝突等によって不測の損傷を受けた場合でも致命的破壊に至らないよう、与圧部外壁等には高い破壊靱性値(部材に潜在する初期欠陥が壁面に沿って進展しないような特性を持つ材料を、壁厚を考慮して選定)を持つ構造部材が使用されていることを、検査にて確認している。</p> <p>ウ 流体適合性に対する考慮 構成材料は、推進系に使用している燃料及び酸化剤への化学的耐性を考慮して選定されていることを検査にて確認している。</p> <p>エ その他の材料特性 宇宙環境と有人活動という特殊な条件の中で、材料劣化を防止するため、耐腐食性・耐応力腐食性・耐電食性等を考慮</p>	<p>関連ハザードレポート</p> <p>HTV-0001 火災</p> <p>HTV-0002 大気汚染</p> <p>HTV-0009 隕石／デブリとの衝突</p> <p>HTV-0007 爆発</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分

青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容

黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計/検証結果 (11/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
6. 推進	<p>HTVは、自ら推進系を有し、宇宙ステーションに接近・係留・離脱するシステムであることから、推進薬の漏洩・爆発、推進系の予期せぬ作動・停止等が起こらないよう必要な対策を講じること。</p>	<p>る。</p> <p>推進系はそれぞれ2系統のメインエンジン系統と姿勢制御系統から構成される。</p> <p>(1)推進系の漏洩・爆発</p> <p>ア 推進系の耐圧設計</p> <p>圧カシステムの構成部品は、適切な材料の選定、MDP及び安全率の設定、フラクチャコントロール、適切な溶接等により推進系機器の耐圧設計を行っている(5(1)を参照)。</p> <p>イ 推進薬の漏洩防止</p> <p>配管継ぎ手からの推進薬の漏洩を防止するため、実績のある金属シールを使用する。</p> <p>また、配管等の凍結により配管に亀裂が生じ、推進薬が漏洩することを防止するために、2系統の姿勢制御系それぞれに独立したヒータを設置し温度制御を実施する。</p> <p>ウ 推進薬の混合防止</p> <p>①燃料・酸化剤タンク上流での燃料と酸化剤の混合防止</p> <p>燃料及び酸化剤蒸気が、それぞれを蓄積するタンク上流にあるヘリウム加圧ガス系統で混合し、爆発することを防止するため、遮断弁を2つずつ有している。</p> <p>②推進系の過熱防止</p> <p>連続通電による過熱を防止するため、3系統の異常モニター及びヒータ電力遮断機能を有している。</p> <p>(2)予期せぬ作動・停止の防止</p> <p>ISSの近傍では、HTVは姿勢制御系統を用いて接近する。姿勢制御系統を構成する、バルブ、圧力センサ、温度センサ等の機能部品が故障した場合には、別系統に切り替えて飛行を継続する。さらに、切り替わった姿勢制御系が、故障した場合には、メインエンジン系統に切り替えて緊急離脱を行う。</p>	<p>して、過去の実績のある材料から選定するか、適切な表面処理をすること等の基準に従って、HTV構造材料が選定されていることを検査にて確認している。</p> <p>(1)推進薬の漏洩・爆発</p> <p>ア 推進系の耐圧設計</p> <p>圧カシステムの構成部品は、適切な材料の選定、MDP及び安全率の設定、フラクチャコントロール、適切な溶接等により推進系機器の耐圧設計を行った(5(1)を参照)。</p> <p>イ 推進薬の漏洩防止</p> <p>配管継ぎ手からの推進薬の漏洩を防止するため、実績のある金属シールが使用されていることを検査及び試験にて確認した。</p> <p>また、配管等の凍結により配管に亀裂が生じ、推進薬が漏洩することを防止するために、2系統の姿勢制御系それぞれに独立したヒータを設置し温度制御されていることを試験で確認した。</p> <p>ウ 推進薬の混合防止</p> <p>①燃料・酸化剤タンク上流での燃料と酸化剤の混合防止</p> <p>燃料及び酸化剤蒸気が、それぞれを蓄積するタンク上流にあるヘリウム加圧ガス系統で混合し、爆発することを防止するため、遮断弁を2つずつ有している検査及び試験にて確認した。</p> <p>②推進系の過熱防止</p> <p>連続通電による過熱を防止するため、3系統の異常モニター及びヒータ電力遮断機能を有している検査及び試験にて確認した。</p> <p>(2)予期せぬ作動・停止の防止</p> <p>ISSの近傍では、HTVは姿勢制御系統を用いて接近する。姿勢制御系統を構成する、バルブ、圧力センサ、温度センサ等の機能部品が故障した場合には、別系統に切り替えて飛行を継続する。さらに、切り替わった姿勢制御系が、故障した場合には、メインエンジン系統に切り替えて緊急離脱を行う。これらは、シミュレーション等を用いた設計解析及び試験で確認した。</p>	<p>HTV-0003 推進薬漏洩による汚染</p> <p>HTV-0007 爆発</p> <p>HTV-0008 ISSへの衝突</p>
7. 誘導・制御	<p>HTVは、宇宙ステーションに接近・係留し物資補給を行うとともに、宇宙ステーションの廃棄品を搭載後、離脱する無人の軌道間輸送機であることから、宇宙ステーションへの衝突が起こらないよう必要な対策を講じること。</p> <p>このため、HTVは宇宙ステーションへの接近・離脱において、安全な経路を確保すること。</p> <p>また、万一HTVが宇宙ステーションに衝突する恐れが発生した場合には、HTVは宇宙ステーションから安全に衝突回避できる機能を有すること。</p>	<p>(1)HTVの飛行経路</p> <p>HTVは、H-IIBロケットによってISS軌道より低い軌道に投入された後に、メインエンジンを使用して徐々にその高度を上げながらISSに後方から接近していく。HTVが故障してもISSへ衝突しないよう、常に、ISSから少し離れた地点を目指し接近していく。飛行中に異常が発生した場合には、自動的に、あるいは常時モニターを行う地上からの指令により、接近を中断する。</p> <p>ISS近傍に到達した段階で、HTVの故障によりISSに衝突する可能性が生じた場合、自動であるいはISS搭乗員又は地上要員からのコマンドにより、HTVの接近を中断するか、あるいは安全な位置に移動する。</p>	<p>(1)HTVの飛行経路</p> <p>HTVは、H-IIBロケットによってISS軌道より低い軌道に投入された後に、メインエンジンを使用して徐々にその高度を上げながらISSに後方から接近していく。HTVが故障してもISSへ衝突しないよう、常に、ISSから少し離れた地点を目指し接近していく。飛行中に異常が発生した場合には、自動的に、あるいは常時モニターを行う地上からの指令により、接近を中断する。</p> <p>ISS近傍に到達した段階で、HTVの故障によりISSに衝突する可能性が生じた場合、自動であるいはISS</p>	<p>HTV-0008 ISSへの衝突</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針」に対するHTV安全設計／検証結果 (12/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
		<p>(2)誘導制御系の冗長設計 <u>HTVの誘導制御系は、誘導制御計算機と緊急離脱制御装置で構成されている。誘導制御の基本となる誘導制御計算機は3つのCPUと2つの入出力コントローラで構成されており、3つのCPUが同時に演算を行い、結果を比較しながらHTVの姿勢／位置を制御している。3つのCPUからの出力を入出力コントローラで多数決で比較するため、CPUの1台が故障しても飛行は継続できる。3つのCPUの内2台が故障した場合には、緊急離脱を実施する。また、入出力コントローラも、1台が故障しても他の1台で処理を継続できる。入出力コントローラが2台とも故障した場合には、緊急離脱制御装置により緊急離脱を実施する。</u></p> <p>誘導制御系は、航法・誘導用にGPS受信機及びランデブセンサ、姿勢制御用に慣性ジャイロセンサ及び地球センサというように、それぞれ異なる2種類のセンサを2個ずつ(慣性ジャイロセンサのみ3個)装備することで冗長系を構成している。センサ1故障時には、残ったセンサを使用して飛行を続行し、同一種類のセンサが2つ以上故障した場合は、緊急軌道離脱を実施する。</p> <p>(3)データ通信系の冗長設計 <u>HTVは自動制御に加えて、ISS搭乗員あるいは地上からコマンドを打つことによっても制御できるようにするため、通信を確保することが重要である。HTVはISS近傍ではJEM内に設置した近傍域通信システム(PROX)を介してISSとの通信を行う。PROXは2系統構成で、1系統故障時には残りの系統を用いて飛行を継続し、2系統とも故障した場合には、ISSへの接近を取りやめて緊急離脱を行う。</u></p> <p><u>ただし、係留あるいは離脱のためにISSロボットアームによる把持あるいは解放操作を行う直前にPROXが1系統故障した場合には、データ中継衛星を介した衛星間通信を確立したのちロボットアームの運用を開始する。</u></p>	<p>搭乗員又は地上要員からのコマンドにより、HTVの接近を中断するか、あるいは安全な位置に移動する。</p> <p>HTV軌道解析により飛行経路が、上記の対応が可能であることを確認した。フライト機器の機能については、システムレベルの機能試験により確認した。また地上からの運用についての検証は、11(4)を参照。</p> <p>(2)誘導制御系の冗長設計 HTVの誘導制御系は、誘導制御計算機と緊急離脱制御装置で構成されている。誘導制御の基本となる誘導制御計算機は3つのCPUと2つの入出力コントローラで構成されており、3つのCPUが同時に演算を行い、結果を比較しながらHTVの姿勢／位置を制御している。3つのCPUからの出力を入出力コントローラで多数決で比較するため、CPUの1台が故障しても飛行は継続できる。3つのCPUの内2台が故障した場合には、緊急離脱を実施する。また、入出力コントローラも、1台が故障しても他の1台で処理を継続できる。入出力コントローラが2台とも故障した場合には、緊急離脱制御装置により緊急離脱を実施する。</p> <p>誘導制御系は、航法・誘導用にGPS受信機及びランデブセンサ、姿勢制御用に慣性ジャイロセンサ及び地球センサというように、それぞれ異なる2種類のセンサを2個ずつ(慣性ジャイロセンサのみ3個)装備することで冗長系を構成している。センサ1故障時には、残ったセンサを使用して飛行を続行し、同一種類のセンサが2つ以上故障した場合は、緊急軌道離脱を実施する。</p> <p>これら機能は、システムレベルの機能試験により確認した。</p> <p>(3)データ通信系の冗長設計 HTVは自動制御に加えて、ISS搭乗員あるいは地上からコマンドを打つことによっても制御できるようにするため、通信を確保することが重要である。HTVはISS近傍ではJEM内に設置した近傍域通信システム(PROX)を介してISSとの通信を行う。PROXは2系統構成で、1系統故障時には残りの系統を用いて飛行を継続し、2系統とも故障した場合には、ISSへの接近を取りやめて緊急離脱を行う。</p> <p>ただし、係留あるいは離脱のためにISSロボットアームによる把持あるいは解放操作を行う直前にPROXが1系統故障した場合には、データ中継衛星を介した衛星間通信を確立したのちロボットアームの運用を開始する。</p> <p>これらは通信系の電波リンク試験、通信系の図面解析及び機能試験により確認した。</p>	

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針」に対するHTV安全設計／検証結果 (13/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
8. 電力	<p>HTVの安全に関わるシステムのエネルギー源は電源であることから、運用期間を通じて安全に関わるシステムへ電力が供給できるよう必要な対策を講じること。</p>	<p>HTVの電源系は、太陽電池、リチウムイオン電池、電力制御ユニット、バッテリー制御ユニット等から構成される。飛行中は50Vの電力を各機器へ供給し、係留中はISSから120Vの電力を受電し各機器へ供給している。</p> <p>飛行中の日照期間では、太陽電池パネルで発生した電力を、電力制御ユニットで制御することにより、各負荷へ供給すると同時に余剰電力をリチウムイオン電池に蓄積する。飛行中の日陰期間ではリチウムイオン電池に蓄えられた電力を負荷へ供給する。</p> <p>係留中に使用されるISSからの120V電源供給ラインは、2系の冗長構成となっている。また、係留中にISSから給電が停止した場合には、リチウムイオン電池からの電力供給が可能である。</p> <p>地絡により電源系が全損しないようにバスを2重化し、過電流保護装置や逆流防止装置を設けることにより、機器への配電が停止することがないようにしている。</p> <p>また、電池からの電力を各機器に配電するバッテリー制御ユニットを冗長化することにより、電池の故障においても配電が停止することがないようにしている。</p> <p>さらに、配電経路の短絡防止により電池温度の上昇を防止するとともに、逆電圧や過充電の防止のための電圧制御、あるいは電池容器の耐圧設計により、電池の破裂を防止している。</p>	<p>HTVの電源系は、太陽電池、リチウムイオン電池、電力制御ユニット、バッテリー制御ユニット等から構成される。飛行中は50Vの電力を各機器へ供給し、係留中はISSから120Vの電力を受電し各機器へ供給している。これらを図面の検査、システム試験にて確認した。</p> <p>飛行中の日照期間では、太陽電池パネルで発生した電力を、電力制御ユニットで制御することにより、各負荷へ供給すると同時に余剰電力をリチウムイオン電池に蓄積する。飛行中の日陰期間ではリチウムイオン電池に蓄えられた電力を負荷へ供給する。係留中に使用されるISSからの120V電源供給ラインは、2系の冗長構成となっている。また、係留中にISSから給電が停止した場合には、リチウムイオン電池からの電力供給が可能である。これらは、電力リソース解析、システム試験における機能試験等により確認した。</p> <p>地絡により電源系が全損しないようにバスを2重化し、過電流保護装置や逆流防止装置を設けることにより、機器への配電が停止することがないようにしている。また、電池からの電力を各機器に配電するバッテリー制御ユニットを冗長化することにより、電池の故障においても配電が停止することがないようにしている。これらを図面の検査、機器の機能試験にて確認した。</p> <p>さらに、配電経路の短絡防止により電池温度の上昇を防止するとともに、逆電圧や過充電の防止のための電圧制御、あるいは電池容器の耐圧設計により、電池の破裂を防止している。これらを図面の検査、機器または電池等の部品の機能試験にて確認した。</p>	<p>HTV-0008 ISSへの衝突</p> <p>HTV-0007 爆発</p>
9. 安全・開発保証	<p>搭乗員の安全に影響を及ぼすシステムについては、安全性並びに安全性を確保するための信頼性、保全性及び品質保証を十分考慮しなければならない。このため、以下のような対策を講じる必要がある。</p> <p>(1) 安全性 安全に関わるシステムについては、適切な故障許容（誤操作を含む。）を確保すること。</p>	<p>(1) 安全性 ハザードが、システム・機器の故障・誤動作や搭乗員の誤操作に起因する場合には、原則としてフォールトトレランス（故障許容）設計がとられている。</p> <p>ア ハザードの被害の度合いとフォールトトレランス数 原則として、各ハザードの被害の度合いに応じて次のフォールトトレランス設計とされている。</p> <p>① カタストロフィックハザード 2 フォールトトレランス（システム・機器の故障又は誤操作により搭乗員への傷害を引き起こさない設計）</p> <p>② クリティカルハザード 1 フォールトトレランス（単一のシステム・機器の故障又は誤操作により搭乗員への傷害を引き起こさない設計）</p>	<p>(1) 安全性 HTVシステムは、左記に従い、安全性設計を行った。 識別されたハザードに対する安全設計の概要、検証の概要を、別添表の安全設計・検証の概要例に示す。</p>	<p>ハザード全般</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分

青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容

黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計/検証結果 (15/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>を確保すること。</p> <p>エ 自動機能に対するオーバーライド 安全に関わるシステムの自動機能については、状況に応じて搭乗員及び地上操作によるオーバーライドができること。</p> <p>(3) 保全性 ア 機能中断の防止 安全上連続的に運用する必要のあるシステムは、重要な機能の中断なく保全できること。</p> <p>イ 危険防止 保全作業については、船外活動の最小化、粉塵等の発生の最小化、流体の放出の最小化、最適な防護措置等が行われること。 また、保全に伴う機器の取付け及び取外しは、安全かつ容易にできること。</p>	<p>処置を行う必要が有る。 このため、安全に関わるHTVシステムの自動制御機能は、軌道上の搭乗員からのコマンドによって安全側への制御を行うことが可能である。</p> <p>エ 自動機能に対するオーバーライド 安全に関わるHTVシステムの自動制御機能は、軌道上の搭乗員、地上要員のいずれかのコマンドによっても安全側への制御を行うオーバーライドが可能である。 なお、意図せぬオーバーライド防止のため、オーバーライドコマンドは、搭乗員あるいは地上からの独立した2つの動作が必要とされている。</p> <p>(3) 保全性 ア 機能中断の防止 HTVは、1機当たりの運用期間が45日程度であることから、<u>保全作業は考慮されていないが、JEMに搭載されている近傍域通信システム(PROX)は、保全性を考慮して、ユニット単位で交換可能な設計を採用している。</u></p> <p>イ 危険防止 <u>HTVの場合、計画された船外活動は必要としない設計としている。船内活動による保全作業はPROXと圧機器に対する保全のみ</u>であり、以下の対応をとっている。 ①粉塵等の発生の最小化 軌道上での保全作業に関して、粉塵等を発生する加工作業等は行わない計画である。</p> <p>②流体放出の防止</p>	<p>存することなく、安全化のための処置を行うことが可能としており、安全に関わるシステムについては、手動操作するもの(バルブ、ハッチ等)を除き、HTV内、宇宙ステーション本体及び地上管制のいずれからのコマンドによっても安全化処置が可能なることを試験により確認した。</p> <p>エ 自動機能に対するオーバーライド 安全に関わるHTVシステムの自動機能は、軌道上の搭乗員、地上要員のいずれでもオーバーライドが可能であり、意図せぬオーバーライド防止のため、オーバーライド・コマンドは、搭乗員の独立な2つの動作が設定されていることを、機能試験により確認した。 なお、不注意な操作が事故を引き起こす潜在的な機能に対してインヒビットをオーバーライドする場合には、各インヒビット毎に安全のための必要条件を搭乗員または/及び地上要員が確認しながらインヒビットを解除する手順とすることを確認した。</p> <p>(3) 保全性 保全作業は、軌道上交換ユニット(ORU)毎に行われ、打上げ前に地上で作業性、作業時間を確認するためにクルーによる評価も含めて、デモンストレーションを実施し作業の実効性を確認した。それぞれのORU毎に保全に必要な保全時間等のデータについてはORUデータとしてまとめられている。</p> <p>ア 機能中断の防止 HTVは、1機当たりの運用期間が45日程度であることから、保全作業は考慮されていないが、JEMに搭載されている近傍域通信システム(PROX)は、保全性を考慮して、ユニット単位で交換可能な設計を採用している。 PROXは、故障時も機能停止することがないように冗長構成としている。また、HTVがISSへ接近する前に、PROXの健全性を確認する手順を設定し、必要な場合は機器を交換する計画である。万が一、HTVがISSへ係留中に1系統に故障が生じた場合でも、他方の1系統で運転を行い、最低限の機能を止めることなく保全作業可能なことを試験により確認している。</p> <p>イ 危険防止 HTVの場合、計画された船外活動は必要としない設計としている。船内活動による保全作業はPROXと圧機器に対する保全のみであり、以下の対応をとっている。 ①粉塵等の発生の最小化 軌道上での保全計画に、粉塵を発生させるような加工作業を含んでいないことを確認した。さらに地上での組立、製造中に発生する可能性のある粉塵については、十分に洗浄、清掃することによって、軌道上での飛散を防いでいる。 また、与圧部内の浮遊する粉塵等の微粒子については、空気調和装置に取り付けられたフィルタ(HEPAフィルタ)により除去されることを確認した。</p> <p>②流体放出の防止</p>	<p>関連ハザードレポート</p> <p>ハザード全般</p> <p>ハザード全般</p> <p>ハザード全般</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針」に対するHTV安全設計／検証結果 (16/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(4) 品質保証</p> <p>安全に関わるシステムの機能、性能等を確認するため、製造管理及び十分な検証を行うとともに、その記録を保存すること。</p> <p>また、HTVの安全確保に必要なデータは、その効率的蓄積・利用に資するために、問題報告・是正処置・予防処置、部品情報、材料・工程情報等についてデータベース化を図ること。</p>	<p>保全時の流体放出防止のため、熱制御系の水配管には、クイックデイスコネクタ(QD)を採用している。</p> <p>③防護措置</p> <p>保全作業時の安全を確保するため、露出表面温度が許容温度を超える箇所にはカバー、電気コネクタへの保護キャップ、鋭利端部への保護カバー等が設けられている。</p> <p>④機器取付け及び取外しでの安全</p> <p>軌道上交換ユニット(ORU)が無重力状態でハンドレール、シートトラック、ベルクロ等を利用して一時的に固定して保管することができる等、保全に伴う機器の取付け・取外しを安全かつ容易にする設計としている。</p> <p>コネクタは、識別、結合・分離操作が容易にでき、誤った挿入・脱着ができない構造となっており、確実なロック機能を有している。</p> <p>ORU間の連結配管・ワイヤー・ケーブルは、取外し等のために長さに余裕を持たせている。</p> <p>(4) 品質保証</p> <p>安全の要求を含む、機能・性能等を満足していることを確認するため、部品・材料レベル、コンポーネントレベル、サブシステムレベル、システムレベルの各段階において、試験・解析・検査・デモンストレーションにより十分な検証が実施されることとなっている。</p> <p>また、HTVシステムの構成品が仕様書の要求に合致していることを確認するため、製造工程が管理され、製造時に得られたデータを含む製造作業の記録が保存される。</p> <p>なお、これらのデータは、JEM等のデータとともにS&PAデータ交換システムに登録されており、JEM等のデータをHTVの設計に活用するとともに今後の不具合防止に役立てている。</p> <ul style="list-style-type: none"> 問題報告及び是正処置データ 材料及び工程技术データ 電気、電子、電気機械(EEE)部品データ FMEA/クリティカルアイテムリスト(CIL)データ ORUデータ ハザード関連データ(ハザードレポート) 	<p>HTVシステムの与圧キャリア内には、流体を含むシステムはない。また、曝露空間に偽装される推進薬系は保全の必要ない設計とした。JEM内に搭載されるPROXには、QDが用いられていることを検査で確認した。</p> <p>③防護措置</p> <p>保全作業時の安全を確保するため、通常露出している箇所のみならず、パネル内の接触する可能性のある機器に対しても、表面温度、鋭利端部、電撃に対するカバーの設置、接触可能性を実機検査により確認した。</p> <p>また、パネル内機器に対して露出表面温度が許容温度を超える箇所については、熱解析結果による電源遮断後の冷却時間の設定、電気ショックに対する適切な手順設定を実施することを確認した。</p> <p>④機器取付け及び取外しでの安全</p> <p>PROXのORUが無重力状態で浮遊することが無いように、ハンドレール、シートトラック、ベルクロ等を利用して一時的に固定して保管することができることを図面、実機検査、クルーによる評価を実施し確認した。</p> <p>保全時の作業については、十分な空間がある、ORUへの電線・ケーブル等が取り外し等のために長さ、配置に問題のないことを、図面、実機確認、デモンストレーションにより確認した。</p> <p>コネクタは、識別、着脱操作が容易にでき、誤った挿入ができないようにスクープブルータイプ(コネクタの先がある角度で他のコネクタのインサートの範囲に入り込んでもコンタクトを曲げることがない構造)のコネクタの使用、隣り合わせのコネクタに対し交換嵌合キー/キー溝を持ったタイプのコネクタを使用することを、部品リスト、実機検査により確認した。</p> <p>(4) 品質保証</p> <p>安全の要求を含む、機能・性能等を満足していることを確認するため、部品・材料レベル、コンポーネントレベル、サブシステムレベル、システムレベルの各段階において、試験・解析・検査・デモンストレーションによる検証を実施し、各設計段階において、審査会等を開催し、各種記録類、解析書、試験データ、評価結果等のエビデンスの確認を通して、検証の妥当性を確認した。</p> <p>また、HTVシステムの構成品が仕様書の要求に合致していることを確認するため、製造会社において製造工程が管理され、製造時に得られたデータを含む製造作業の記録がHTVの運用期間中保存されている。さらに宇JAXAでは、審査、監査等を行い、製造会社におけるデータ管理等の確認を実施してきた。</p> <p>なお、これらのデータのうち、次の安全確保に必要なデータの効率的な蓄積・利用を図るため、データベース化を目的としてJEM S&PA データ交換システム(SPADEシステム)を構築し、データの入力を行っており、関係者によるデータ検索、閲覧が可能である。</p>	<p>関連ハザードレポート</p> <p>ハザード全般</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分

青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容

黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計／検証結果 (17/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
10. 人間・機械系設計	<p>HTVは、本格的な有人宇宙活動を行う場へ提供するものであり、安全確保を図る上で人的要因を十分考慮しなければならない。このため、以下のような対策を講じる必要がある。</p> <p>(1) 搭乗員の保護</p> <p>搭乗員が触れる可能性のある部分は、適切な丸みを持たせるとともに、破損しても破片が飛散しないようにする等、外傷、火傷、感電等が生じないようにすること。</p> <p>また、足部固定具、取っ手等は、荷重に十分耐えられること。</p>	<p>(1) 搭乗員の保護</p> <p>構体・機器による外傷・火傷・感電等の傷害からHTV内の搭乗員を保護するため、以下の対策が講じられている。</p> <p>ア 外傷の防止</p> <p>①回転機器に対する防護</p> <p>ファン等の回転機器は、ハウジング等により覆い、不意の接触による外傷の防止が図られている。</p> <p>また、回転機器自体は、破壊した場合、破片が飛び散らないよう、安全化設計が行われている。</p> <p>②鋭利端部・突起物に対する防護</p> <p>ISSの要求値に従って、構造・装置の角・鋭利端部に丸みを持たせる等の処置が行われ、性能の維持等のため取り除けない鋭利端部・突起物にはカバー等適切な保護が施されている。</p> <p>③巻き込み・挟み込みに対する防護</p> <p>機器は、搭乗員が引っかかることのないような配置・大きさ・形状を考慮した設計とされ、ハッチ等搭乗員が挟まれる可能性のある機構は、警告表示により注意喚起されている。</p> <p>さらに、可動部を持つ機器は、不意に動作しないようにインヒビットを設けるとともに、緊急停止が可能な設計となっている。</p>	<p>5. 人間・機械インタフェース設計</p> <p>(1) 搭乗員の保護</p> <p>構体・機器による外傷・火傷・感電等の傷害からHTV内外の搭乗員を保護するため、以下の対策を講じた。</p> <p>ア 外傷の防止</p> <p>① 回転機器に対する防護</p> <p>与圧部キャリア内に使用されているファンの回転機器は、搭乗員が不意に接触しないように、ハウジングにより覆われていることを、設計図面、製造図面、フライトハードウェアの検査を行い、確実にハウジングにより接触防止がなされていることを確認した。</p> <p>また、ファンの回転部位については、破壊し飛び散ることが無いように、使用材料の選定、寿命試験により確認、回転数制御されることを機能試験により確認した。</p> <p>② 鋭利端部・突起物に対する防護</p> <p>搭乗員が接触する可能性のある与圧内外の構造・装置については、ISS共通の安全要求に従って、角・鋭利端部に丸みを持たせる設計が行われており、設計図面、製造図面に反映され、製造中に発生する可能性のあるバリ等の有無も含めて最終的にフライトハードウェアに対し、目視、触診、Rゲージ等による検査を行い搭乗員に対する保護を確認した。</p> <p>船外活動については、宇宙服へのダメージを与えないことを検証するために、接触する可能性のある部位全てに対し、目視、綿手袋により触診によりハードウェア検査とともに、疑わしい箇所に対する宇宙服を模擬した専門の試験片(Swatch Patch)を擦り付けてその損傷を確認する検査を行い確認した。また、構造上安全確保のために特別対応が必要となる箇所(太陽電池パドル)については、カバーの設置、適切な手順の設定を行うことを確認した。</p> <p>③ 巻き込み・挟み込みに対する防護</p> <p>搭乗員が触れる可能性のある機器については、引っかかることのないように、ISS共通の安全要求に従って、穴、すきまに対する設計が行われており、設計図面、製造図面に反映され、最終的にフライトハードウェアに対する検査を行い搭乗員に対する保護を確認した。</p> <p>また、結合機構等で搭乗員が挟まれる可能性のある部位に</p>	<p>HTV-0011 破片の飛散</p> <p>HTV-0014 鋭利端部／突起物への接触、及び巻き込み／挟み込み</p>

赤字+下線： JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線： JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト： HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針]に対するHTV安全設計/検証結果 (18/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(2) 誤操作等の防止 安全に関わるシステムについては、搭乗員及び地上要員の誤操作及び操作忘れの発生を防止するため、可能な限り自動化すること。 また、HTVの内部装飾、機器の操作手順、視野等については、誤操作等の生じにくいよう十分配慮すること。</p>	<p>イ 火傷の防止 露出部の表面は、火傷や凍傷を生じない温度範囲（与圧キャビン内にあり連続的な接触のある箇所の温度は4℃～45℃）となるように設計され、この温度範囲を超える機器は、ラックパネル、クローズアウトパネル等により直接の接触を防止し、又は警告ラベルにより搭乗員の注意を喚起する。</p> <p>ウ 感電の防止 電気設備は、短絡・接触不良等による感電を防止するため、電力リード線・接点・端子・コンデンサ等の露出を避け、また、電気機器は感電を防止するための適切なボンディング・接地・絶縁が行われている。 電力ラインのコネクタは、搭乗員による装着時の感電等の防止のため、コネクタ上流に電流遮断機能を装備するとともに、ピンが露出しないタイプのコネクタを用い、コネクタの接地の確保が行われている。</p> <p>エ 作業等の安全 足部固定具（フットレストレイント）、取っ手（ハンドレール）等の移動支援具は、荷重に十分耐えられるように適切な安全率（1.5）を持った構造設計が行われ、搭乗員の移動・作業場所を考慮した適切な位置に配置されている。</p> <p>(2) 誤操作等の防止</p> <p>ア 自動化 搭乗員及び地上要員の誤操作・操作忘れの防止等のため、軌道離脱シナジスのストアードコマンド化（指定時刻に指定コマンドを実施する機能）等、自動化が図られている。</p>	<p>ついては、キープアウトゾーンを設定する等、挟み込みを防止するための対応が手順に盛りこまれることを確認した。</p> <p>イ 火傷の防止 露出部の表面は、火傷や凍傷を生じない温度範囲（与圧区域内にあり連続的な接触のある箇所の温度は4℃～45℃）にあることを熱解析により確認した。 さらに与圧内壁にあるヒータについてもヒータコントローラにより温度要求内に制御されることを熱解析、機能試験を実施し確認した。 同様に、船外活動についても、EVA グローブの実力を考慮した要求が設定されており、機器故障時の最悪時においても温度要求を逸脱することがないことを熱解析により確認した。</p> <p>ウ 感電の防止 電力ラインについては、短絡・接続不良等による漏電を防止するため、電力リード線・接点・端子・コンデンサ等が露出していないことを実機検査にて確認した。電線・ケーブルについては、ISSの要求に従った被覆のされている部品を選定していることを部品リスト、実機検査により確認した。また、電気機器の接地が行われていることを確認するために、ハードウェアに対して絶縁抵抗試験、ボンディング・グラウンディング抵抗測定を実施した。 電力ラインのコネクタは、搭乗員による着脱時の感電防止のため、コネクタ上流に電流遮断機能をもたせており、軌道上での手順書への遮断手順の反映を図面、解析、機能試験により確認した。コネクタは、上流側にはソケットタイプの使用、スクープブルーフタイプの使用、着脱時にピンが露出しないようにハウジングをもったタイプのコネクタの使用、コネクタの適切な接地を部品リスト、図面、実機確認により確認した。 船外活動による電力コネクタのアクセスについても、熔融金属(Molten Metal)の飛散による宇宙服への損傷を防止する観点から上記同様の設計を実施し、解析、試験、フライトハードウェアの検査により確認した。</p> <p>エ 作業等の安全 搭乗員の移動支援具は、シートトラックに足部固定具（フットレストレイント）、取っ手（ハンドレール）が取り付けられるようになっていることを図面、実機検査により確認した。 また、支援具は搭乗員による荷重に十分耐えられるように安全率(1.5)を持つことを強度解析による確認した。</p> <p>(2) 御操作の防止 搭乗員の誤操作及び操作忘れを防止するため、HTVシステムは搭乗員とのインタフェースを十分確保した設計を行った。</p> <p>ア 自動化 誤操作の発生を低減するとともに、搭乗員の負担を軽減することにより、誤操作が発生する可能性を少なくするように自動化が可能であることを機能試験により確認した。</p>	<p>HTV-0013 接触面温度異常</p> <p>HTV-0012 電気ショック</p> <p>HTV-0016 退避不能</p> <p>ハザード全般</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針」に対するHTV安全設計／検証結果 (19/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
<p>(3) 共通化 安全に関わるシステムについては、可能な限り国際的に共通化を図ること。</p>	<p>イ 内部装飾 搭乗員の誤認を避けるため、室内の装飾、銘板、ラベル、マーキングに対し、次のような配慮がなされている。 ① 内部装飾全体は、搭乗員に上下左右の方向感覚を持たせること。 ② データ表示、操作手順表示、マーキングは、英語又は国際標準シンボルを使用し、日本語等他の言語を使用する場合には、併記すること。</p> <p>ウ 機器の操作手順 ① ハザードを発現させる可能性のあるコマンド(ハザードコマンド)は、搭乗員又は地上要員が安全のための必要条件を満足していることを確認した後に発信されることとなっている。</p> <p>② 安全上重要なシステム・装置は、独立したインヒビットにより保護されている。</p> <p>エ 視野等 搭乗員の作業・操作・表示機器確認に支障がないように、十分な照明(特に指定がない限り、白色光で108Lux以上)が確保されている。</p>	<p>イ 内部装飾 搭乗員の誤認を避けるため、室内の装飾、銘板、ラベル、マーキングに対し、次のような配慮がなされている。 ① 内部装飾全体は、搭乗員に上下左右の方向感覚を持たせること。 ② データ表示、操作手順表示、マーキングは、英語又は国際標準シンボルを使用し、日本語等他の言語を使用する場合には、併記すること。</p> <p>ウ 機器の操作手順 ① ハザードを発現させる可能性のあるコマンド(ハザードコマンド)は、搭乗員又は地上要員が安全のための必要条件を満足していることを確認した後に発信されることとなっている。</p> <p>② 安全上重要なシステム・装置は、独立したインヒビットにより保護されている。</p> <p>エ 視野等 搭乗員の作業・操作・表示機器確認に支障がないように、十分な照明(特に指定がない限り、白色光で108Lux以上)が確保されている。</p>	<p>イ 内部装飾 ① HTVの内部装飾全体は、上下左右に方向性を持たせ、搭乗員に適切な視覚の手がかりを与えるような設計となっていることを実機にて確認し、クルーによる評価を実施し確認した。 ② データ表示、操作手順表示及びマーキングについては、英語又は国際標準シンボルを使用した表記がされていることを図面、実機検査により確認した。</p> <p>ウ 機器の操作手順 ①ハザード・コマンド(ハザード制御に関連するコマンド)については、搭乗員又は地上要員は安全のための必要条件を満足していることを確認した後、コマンドを発信することを、試験、手順への反映により確認した。特に地上からのハザード・コマンド送出に関しては、地上システム(OCS)において、2-Step アクションの処理を行うこと、OCSデータベースにハザード・コマンドリストが反映されていることを机上確認。OCSでの動作試験、OCSとシミュレータとの組合せ試験により確認した。 ②安全上重要なシステム・装置については、独立したインヒビットが設定されていることを、機能試験により確認した。また、それぞれのインヒビットの確認については、手順に反映されることを確認した。</p> <p>エ 視野等 搭乗員の作業面では、作業及び操作、表示機器の確認に支障がないように、GLA(General Light Assembly)があり、十分な照度を確保されていることを、照度解析、図面、実機検査により確認した。</p> <p>(3) 共通化 ISS 全体の安全に関わるHTVの構成要素(ハードウェア・ソフトウェア・インタフェース)は、原則としてISS構成要素との間で共通化(全く同一であること)、標準化(設計標準、設計基準等を適用すること)されていることを確認した。 この共通化・標準化には、次の通り、特に直接搭乗員の安全に関わる表示・警告・警報の統一、避難・非常操作・緊急処置等に関わる手順・対応の統一が重点的に含まれている。 ① 警告・警報 共通化：音声端末、警告・警報パネル、ラベル、マーキング 標準化：警告・警報のクラス分け ② 火災検知／消火システム 共通化：煙センサ、可搬式消火器 ③ その他 共通化：ハッチ、ハンドレール、足部固定具、取っ手、等々 標準化：配管、配線等識別用シール、銘版、等々</p>	<p>ハザード全般</p> <p>ハザード全般</p> <p>ハザード全般</p> <p>HTV-0001 火災</p> <p>HTV-0016 退避不能</p>

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針」に対するHTV安全設計／検証結果 (20/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p><u>(4) 異常等への対処</u> <u>HTVにおいて異常等が発生した際の搭乗員及び地上要員による安全に関わる対処については、適切な指揮・命令系統の下で運用されるシステムとなるよう十分配慮すること。</u></p>	<p>(4)異常等への対処 <u>飛行中は、組織化された地上の管制チームがHTVの状態を監視し、必要であれば、地上からのコマンドでISSへの接近を中断する。ISSへの係留あるいは離脱のために、HTVがISSの極近傍を飛行している際は、搭乗員が目視監視し、必要であれば手動で接近を中断する。</u></p>	<p>(4)異常等への対処 飛行中は、組織化された地上の管制チームがHTVの状態を監視し、必要であれば、地上からのコマンドでISSへの接近を中断する。ISSへの係留あるいは離脱のために、HTVがISSの極近傍を飛行している際は、搭乗員が目視監視し、必要であれば手動で接近を中断する。この運用が可能となるように、HTVの状態を地上でモニターできる機能があることをシステム試験にて確認し、異常時の手順が管制チームの手順書に記載されていることを確認した。</p>	<p>HTV-0008 ISS への衝突</p>
11. 緊急対策	<p>火災、減圧、汚染等の異常が発生し、緊急を要するときにおいても、搭乗員の安全に重大な影響が及ばないようにしなければならない。このため、以下のような対策を講じる必要がある。</p> <p>(1) 緊急警報 緊急警報は、人命に脅威となるような異常を識別でき、安全に退避できるよう緊急、確実に通知できること。 また、人命への脅威に関する緊急警報は、異常を発見した搭乗員が警報ボタン等により手動で警報を発出できること。</p>	<p>(1) 緊急警報 HTVには緊急警報を発出する機能はないが、人命に脅威となる火災、減圧等の異常の発生は直ちに宇宙ステーション側に通知され、宇宙ステーションの警告・警報システムを通じて搭乗員に通知するようになっている。</p> <p>ア 火災 煙センサが空気循環配管中に設置されており、火災発生が検知されるとISSの警告・警報システムに通知され、ISS全体に警告・警報が発出される。また、火災が発生すると、空気循環ファンの電源を停止することにより火災源に対する酸素の供給を抑制し、火災の拡大を防止する。</p>	<p>(1) 緊急警報 HTVには緊急警報を発出する機能はないが、人命に脅威となる火災、減圧等の異常の発生は直ちに宇宙ステーション側に通知され、宇宙ステーションの警告・警報システムを通じて搭乗員に通知するようになっていることをISSとのインタフェース管理仕様書(IOC)に規定されていることを確認した。</p> <p>ア 火災 (a) 空気循環配管中に、煙センサが配置されていることを流体系統図で確認した。煙検知器はHTVがISSへ結合した跡に組みつけられる手順となっていることが手順書に記載されていることを確認した。 (b) 煙センサで火災発生が検知されると、ISSの警告・警報システムに通知されることをシステム試験で確認した。 (c) 消火区画は、区画毎に可搬式消火器とインタフェース可能な消火用ポートを有していることを構築図及び可搬式消火器のADPで確認した。 (d) 管制システムの機能により火災検知後に自動又はマニュアルで火災検知区画内への電源供給及び循環空気流を停止できることを、システム試験及びフライトソフトウェア単体試験で確認した。</p> <p>(注) (a) 不燃性・難燃性材料を使用していることを、材料識別及び使用リスト(MIUL)で確認した。 (b) 適切なサイズの電線を使用していることを、下記で確認した。 (i) 配線設計(ワイヤサイズ、バンドル数)解析 (ii) 電力回路設計(過電流遮断特性)解析 (iii) 電力遮断特性試験 (c) リレー・スイッチは、ハーメチックシールタイプを使用していることを、図面及び検査(ABCL)で確認した。 (d) 適切な熱設計・故障検知分離システムが適用されていることを、下記で確認した。 (i) システム、サブシステムの熱解析又は熱サイクル試験</p>	<p>HTV-0001 火災</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針」に対するHTV安全設計／検証結果 (21/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(2) アクセス 非常設備、防護具、安全上重要な手順書等は、緊急時においても、搭乗員が容易に取り出して使用できるように保管すること。 また、通路は、搭乗員が安全かつ速やかに脱出・避難できること。</p>	<p>イ 減圧 ISSに係留中はハッチを開状態にしており、HTVと圧キャリア内の圧力制御はISSの機能に依存している。よって、HTVと圧キャリア内の減圧は、ISS本体により常時監視され、設定圧以下・設定減圧速度以上になると、ISS内に警告・警報が発せられ、搭乗員は緊急避難機に退避する。その際、可能な限りハッチを閉じて退避する。</p> <p>ウ 汚染 HTVと圧キャリア内の二酸化炭素・酸素分圧の異常値をISSが検知した場合には、ISS内に警告・警報が発せられる。</p> <p>(2)アクセス ア 非常設備、防護具 <u>ISSに係留後、非常設備として可搬式消火器が、防護具として可搬式呼吸器がそれぞれ1式ずつISS側より移設され、HTVと圧キャリアの入り口付近の所定の場所に設置される。</u>また、これらの設置場所は、容易に識別できるように表示されている。なお、HTVのミッションを終了した後は、離脱前にこれらの可搬式消火器及び可搬式呼吸器をISS側へ返却する。</p> <p>イ 安全上重要な手順書 軌道上で必要となる安全上重要な手順書は、軌道上で搭乗員がアクセスできる電子ファイル媒体及び文書として保管・掲示される。</p> <p>ウ 通路 搭乗員の移動・作業を容易にするため、通路にハンドレール、フットレストレイント等が設置される。また、ラックの転倒・移動時でも、直径81cm以上の通路が確保される構成となっている。</p>	<p>(ii) FDIR 解析 (iii) 機器及びヒータのワーストケース熱解析</p> <p>イ 減圧 (a) ISS 文書で「キャビン圧はISS本体により常時監視され、設定圧以下・設定減圧速度以上となると、ISS内に警告・警報が発せられる。」ことを確認した。なお、本件の検証責任はNASA側にあり、その検証結果はJAXAも審査メンバーである、NASA安全審査で審議されることになっている。 (b) HTVと船内と船外との間のシール部は2重とし、船外排気用の排気弁には意図しない開放を防止するため2つのインヒビットを設けた。2重シールを用いていることを検査にて、排気弁のインヒビットは試験にて確認した。また、万が一漏洩したとしても、搭乗員が退避する時間が確保できることを解析にて確認した。</p> <p>ウ 汚染 (a) ISS 文書で「HTVのキャビン内の空気は、ガスサンプルラインを通しISS本体の環境監視装置(ARS: Air Revitalization System)に送られ分析・監視され、汚染物質、二酸化炭素・酸素分圧の異常等が検知された場合には、ISS内に警告・警報が発せられる。」ことを確認した。なお、本件の検証責任はNASA側にあり、その検証結果はJAXAも審査メンバーである、NASA安全審査で審議されることになっている。</p> <p>(2) アクセス ア 非常設備、防護具 ISSに係留後、非常設備として可搬式消火器が、防護具として可搬式呼吸器がそれぞれ1式ずつISS側より移設されることが手順書に記述されていることを確認し、これらが設置される場所が、HTVと圧キャリアの入り口付近に確保されていることを検査にて確認した。</p> <p>イ 安全上重要な手順書 軌道上で必要となる安全上重要な手順書は、軌道上で搭乗員がアクセスできるよう電子ファイル媒体、文書として保管・掲示されることになっており、特にタイムクリティカルな手順書については、決められた場所に置くことになっていることを確認した。なお、最終的な手順書は打上げ3ヶ月から1ヶ月前までの間に準備される。</p> <p>ウ 通路 (a) 搭乗員の移動及び作業を容易にするため、通路にハンドレール、フットレストレイント等が、ISSの要求に従い設置されていることを艤装図、IVAトランスレーション解析で</p>	<p>HTV-0004 シール／バルブからの空気漏洩</p> <p>HTV-0002 大気汚染</p> <p>HTV-0001 火災</p> <p>ハザード全般</p> <p>HTV-0016 退避不能</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード

付表-1 宇宙ステーション補給機(HTV)に係る安全評価のための基本指針に対するHTV安全設計/検証結果 (22/22)

項目	HTVに係る安全評価のための基本指針	HTVの安全設計結果	HTVの安全検証結果	関連ハザードレポート
	<p>(3) 減圧及び再加圧 火災、汚染等の異常が発生した場合には、与圧部内の空気を排出するため、減圧及び再加圧ができること。 また、再加圧後に搭乗員が与圧部内に入る前に安全の確認ができること。</p>	<p>なお、電源喪失時のHTVと圧キャリア内の照明喪失に備えて、退避のためのハッチ開口部が容易に識別できるように蓄光テープがハッチの上下に設置されている。</p> <p>(3) 減圧及び再加圧 HTVに火災・汚染等の異常が発生した場合には、ハッチ等を閉鎖して、ISS本体から隔離した後、HTVと圧キャリア空気を排気弁により宇宙空間に排出して減圧し、続いて均圧弁を開くことにより、ISS本体のキャビン空気を取り込んで再加圧できるよう設計されている。 また、HTVの起動・再起動に際しては、搭乗員がHTV内に移乗する前に、ISS本体側から与圧環境の安全の確保に必要な最小限の機能を立ち上げることが出来るシステム構成となっている。</p>	<p>確認した。 (b) 電源喪失時のHTVと圧キャリア内の照明喪失に備えて、退避のためのハッチ開口部が容易に識別できるように蓄光テープがハッチの上下に設置されていること、及びラックの転倒・移動時の作業領域の空間確保が、ISSの要求通りであることを、艙装図及び視認性デモンストレーションで確認した。 (3) 減圧・再加圧 (a) 減圧 モジュール隔離状態で、船外排気開始から10分以内に与圧部の酸素分圧が6.9Kpaまで減圧できること及びモジュール隔離状態で船外排気開始から24時間以内に、与圧部を通常運用開始から2.8Kpaまで減圧できることを解析(排気弁単体性能がモジュールの容積に対して妥当であること)及び試験(排気弁単体性能の確認)で確認した。 (b) 再加圧 モジュール間均圧機能を有している均圧弁操作で、再加圧性能は可能であることを、均圧・再加圧性能解析で確認した。 (c) 起動・再起動 搭乗員がHTV内に移乗する前に、ISS本体側から与圧環境の安全の確保に必要な最小限の機能(電力供給系・空気調和装置・モジュール間通風換気・火災検知系等)を立ち上げることが出来るシステム構成であることをシステム試験にて確認した。また、初期起動後、搭乗員の入室前に内部環境の安全化確認のため、与圧部内キャビン圧力モニタ及びガスサンプリングの機能を有していることを艙装図で確認した。</p>	<p>ハザード全般</p>
<p>12. 安全確保体制</p>	<p>HTVの安全確保に関わる活動については、開発及び運用の担当部門から独立した部門においても行うこと。 また、安全上のあらゆる問題について、開発及び運用の責任者まで報告される体制を確立すること。 さらに、HTVの開発及び運用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>安全・開発保証活動のための体制については、HTVの開発・運用の担当であるHTVプロジェクトチーム等から独立した安全・ミッション保証部門である「有人システム安全・ミッション保証室」において、方針・要求事項の設定、その履行状況の評価、必要な勧告が行われている。 また、安全上の問題については、開発・運用の責任者まで報告される体制が確立されている。 さらに、JAXAにおいて、HTVの開発・運用に携わる者への安全教育・訓練が実施されるとともに、安全確保に係る事項の周知徹底が図られている。</p>		<p>ハザード全般</p>

赤字+下線：JEMに係る安全評価のための基本指針と比較し、HTVに係る安全評価のための基本指針の内容が異なる部分
 青字+下線：JEMの安全設計と比較し、HTVに固有な内容
 黄色ハイライト：HTV特有のハザード