

国際宇宙ステーション(ISS)に提供する ISS構成要素及び搭載物の安全確認について

【審査対象(HISUI)※】

2019年10月31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

※ ISS搭載型ハイパースペクトルセンサ(HISUI:Hyperspectral Imager SUite)

1. 目的
2. 審査対象
3. 安全解析の概要
4. 基本指針※に対するHISUIの適合性評価結果
5. 結論

付表-1 「国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)に係る安全対策の評価のための基本指針」に対する安全検証結果

※ 基本指針: 「国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)に係る安全対策の評価のための基本指針」

1. 目的(1/2)



JAXAによる有人安全審査プロセスの文部科学省による認証を維持するため、JAXAが実施したISS搭載型ハイパースペクトルセンサ(HISUI:Hyperspectral Imager SUite)に対する安全審査の結果を示す。

JAXAにおけるHISUIの有人安全審査は、下記の通り実施し、2019年10月に終了した。

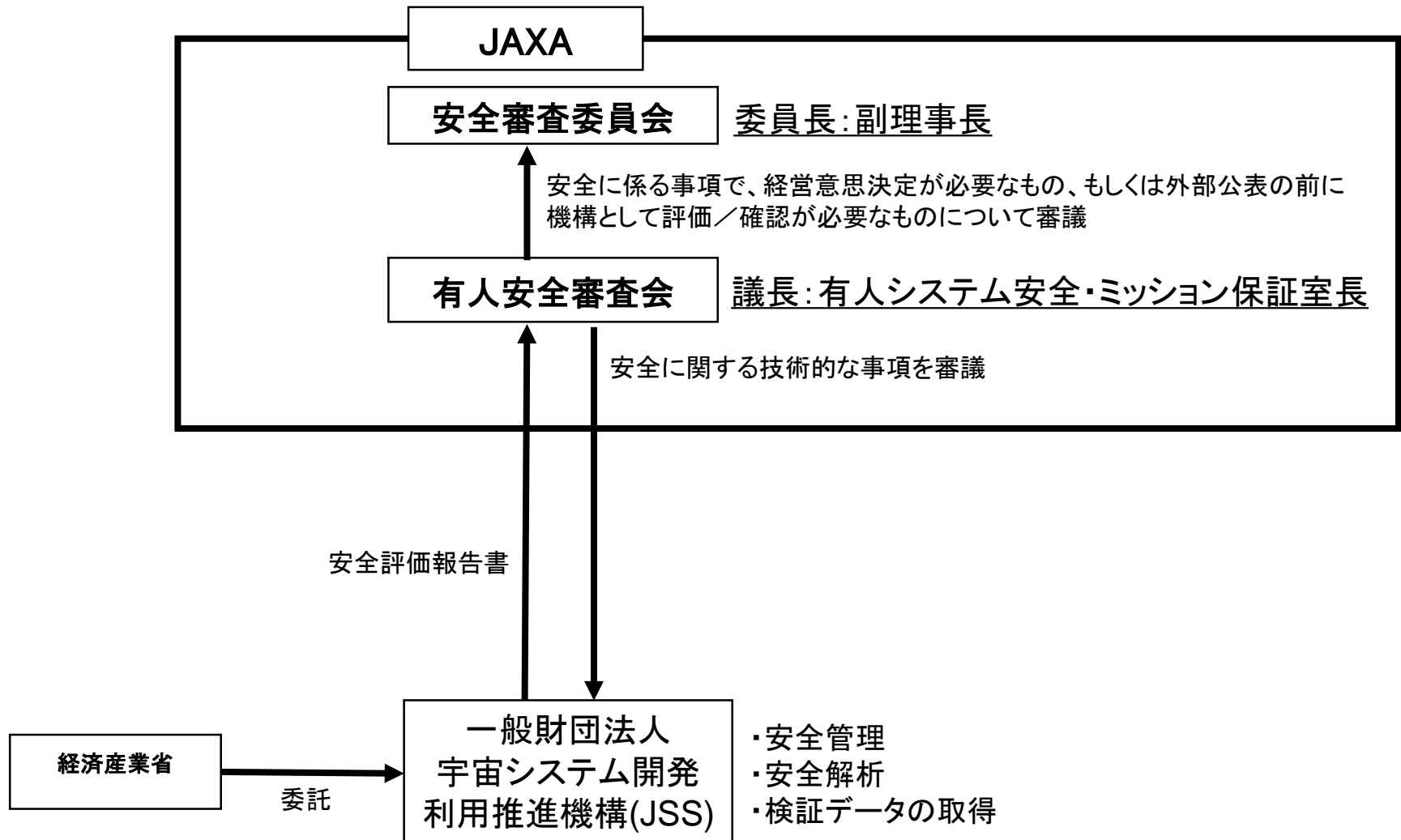
フェーズ0/1	有人安全審査会	2017年5月25日
フェーズ2	有人安全審査会	2018年10月30日
フェーズ3	有人安全審査会	2019年8月8日
	安全審査委員会	2019年10月18日

JAXA有人宇宙技術部門の有人安全審査会においてHISUIの安全評価結果について確認した。

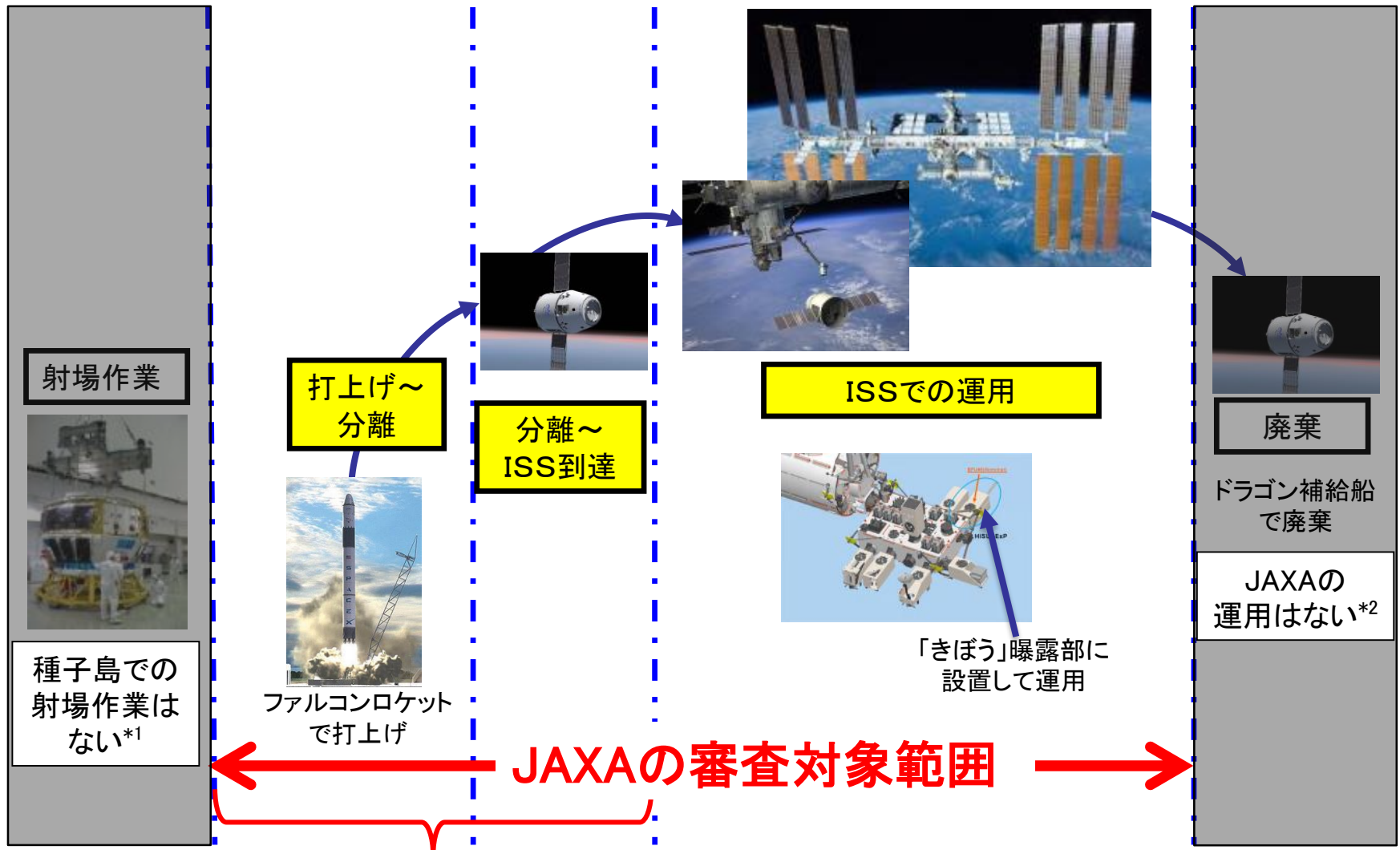
また、JAXA安全審査委員会にて、有人安全審査会の審査結果及び、文部科学省による「国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)に係る安全対策の評価のための基本指針」に対する適合性について確認した。

本資料では上記の結果について、報告する。

2. 審査対象 HISUIの安全審査体制



2. 審査対象 対象フェーズ



*1: ケネディ宇宙センターでの射場作業は米国が審査する

有人安全審査会はISSへのSafe on arrival (構造等が健全な状態でISSに到着させること)の観点から評価している。

*2: ドラゴン補給船での廃棄は米国が審査する

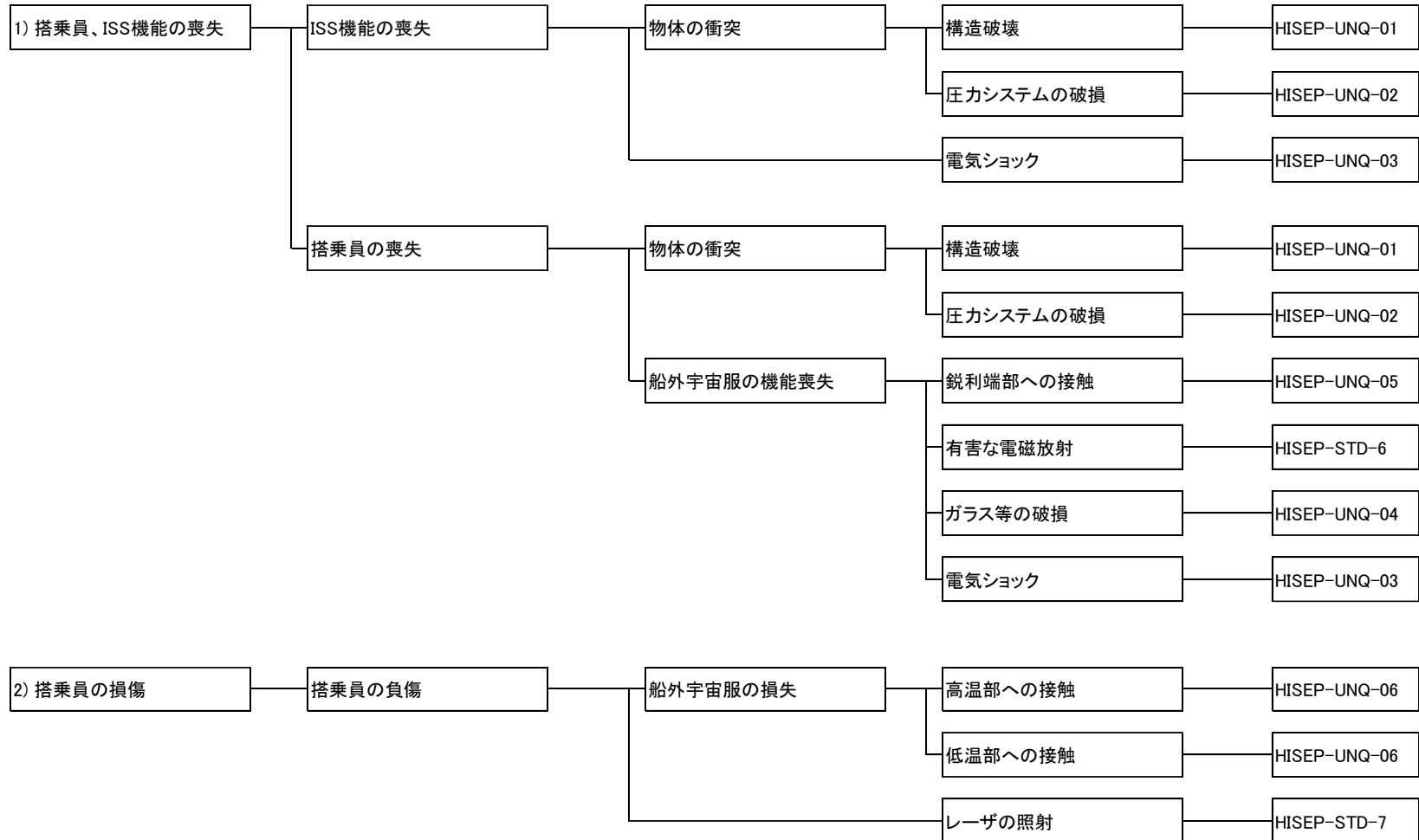
3. 安全解析の概要 ハザードの識別 FTA



ハザードの識別は、FTA (Fault Tree Analysis、下図参照)を使用して、トップ事象が

1) 搭乗員、ISS機能の喪失、2) 搭乗員の負傷に至るハザードを識別した。

その結果、8件のハザードが識別された。ハザードのリスク表については、添付3を参照。



3. 安全解析の概要 ハザード識別結果



識別した8件のハザードは以下の通り。

- ①【標準ハザード】過去の経験をもとに標準化されたハザードの制御・検証がひな形にされたもの。
- ②【ユニークハザード】標準化された方法以外で制御・検証するもの。

番号	ハザード	対象
① STD-6	有害な電磁放射	機器全般
STD-7	レーザの照射	ジャイロレーザ
HISUI-UNQ-01	構造破壊	打上げ～軌道上荷重全般
HISUI-UNQ-02	圧力システムの破損	能動温度制御システム、冷凍機
HISUI-UNQ-03	電気ショック(船外)	給電用コネクタ
② HISUI-UNQ-04	ガラス等の破損(船外)	スタートラッカのレンズ、 ハイパーセンサの光学ガラス
HISUI-UNQ-05	鋭利端部への接触(船外)	船外搭乗員接触箇所
HISUI-UNQ-06	高温・低温部への接触(船外)	MLIで覆われていない部分

3. 安全解析の概要 標準ハザードの検証結果(1/2)



ハザード原因に対して制御/検証手段が適切に設定され、検証結果が妥当であることを確認した。

標準ハザード番号	タイトル	想定されるハザード	制御	検証結果
STD-6	電磁適合性	電子機器から発生する電磁波によって、船外宇宙服の機能に影響を与える可能性がある。	電磁適合性(EMC)要求に適合した設計とする。	電磁適合性試験を実施し、規定を満足する結果であることを確認した。
STD-7	レーザーによる搭乗員の損傷	ジャイロレーザーで使用するレーザーが高出力の物であった場合、搭乗員に照射されて損傷を受ける可能性がある。	レーザー機器のクラス分けで出力の弱いClass1のレーザーを選定する。	フライト品の設計結果により、Class1のレーザーが使用されていることを確認した。

3. 安全解析の概要(ユニークハザードの検証結果) HISUI-UNQ-01 / 構造破壊



【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(ISS機能の喪失、搭乗員の喪失)

- ・ 打上げおよび軌道上運用中の加速度荷重によりHISUIが構造破壊を起こし、それらが浮遊し、ISSあるいは船外活動中の搭乗員と衝突し、搭乗員の喪失に至る可能性がある。

【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計、運用手順

ハザード原因	制御	検証結果
不適切な構造強度	軌道上荷重及び船外活動中の搭乗員による荷重等に対して正の安全余裕を有する構造設計を行う。	各構造部材が正の安全余裕を持つこと、通常の船外活動中の作業で受入可能な強度であることを強度解析、試験により確認している。
不適切な材料選定	安全要求を満足する材料を使用する。	材料使用リストを審査し、安全要求を満足し、構造材として適切な材料を使用していることを確認している。
材料の疲労	安全要求に基づいたフラクチャコントロールを行う。	構造破壊を引き起こす可能性がある構造部材を識別し、その構造部材が問題ないことを解析、試験で確認している。
不適切な締結具の使用	認定された締結具を使用する。	認定された締結具を使用していることを保証書で確認した。
締結具の緩み	a. 緩み止め付きの締結具を使用する。 b. トルク管理を行う。	a. 緩み止め付きの締結具を使用していることを図面と製造検査記録で確認している。 b. 地上組立時にトルク管理が実施されていることを製造記録で確認している。
不適切な製造／組立	組立工程の管理を行う。	製造検査記録に問題ないことを確認している。

3. 安全解析の概要(ユニークハザードの検証結果) HISUI-UNQ-02/圧カシステムの破損



【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(ISS機能の喪失、搭乗員の喪失)

・ バス部の能動温度制御システムの圧カ系あるいはハイパーセンサの冷凍機の圧カシステムが破裂し、破片等がISSあるいは船外活動中の搭乗員と衝突し、搭乗員の喪失に至る可能性がある。

【制御方法、検証方法】: 故障許容設計、リスク最小化設計、運用手順

ハザード原因	制御	検証結果
不適切な構造強度	圧カストレスの影響を考慮し、正の安全余裕を持つ配管等を使用する設計とする。	圧カストレス解析の実施、圧カ試験およびリーク試験を実施し、適切な設定であることを確認している。
亀裂等の進展	安全要求に基づいたフラクチャコントロールを行う。	亀裂等により構造破壊を引き起こす可能性がある構造部材を識別し、その構造部材が問題ないことを解析、試験で確認している。
不適切な材料選定	安全要求を満足する材料を使用する。	材料使用リストを審査し、安全要求を満足し、構造材として適切な材料を使用していることを確認している。
過加圧	<ul style="list-style-type: none"> a. ISS電力供給異常による過加圧を防止 b. ドラゴン補給船電力供給異常による過加圧を防止 c. リリーフバルブの使用 d. フィルタによる目詰まり防止 e. 冷却液注入手順の確立 f. 温度モニタ g. アクキュレータの冗長化 	<ul style="list-style-type: none"> a. ISSに適合した設計であることを確認している。 b. ドラゴン補給船に適合した設計であることを確認している。 c. 過加圧より低い圧力で作動するリリーフバルブを使用していることを確認している。 d. 目詰まり防止用フィルタが使用されていることを確認している。 e. 試験で冷却液を注入できることを確認した。また、注入量が適切であることを試験結果で確認している。 f. 運用手順が、運用制御合意文書^{注)}に反映されていることを確認している。 g. アクキュレータが3個使用され、2故障許容であることを確認にしている。
不適切な製造/組立	組立工程の管理を行う。	製造検査記録に問題ないことを確認している。
デブリの衝突	デブリ衝突による損傷確率の算出	デブリ衝突による損傷確率を算出し、デブリ衝突による圧カシステムの破壊が起きるリスクが低いことを確認している。

注) 運用制御合意文書: 運用制御内容を装置開発担当部門から手順書を作成する運用部門に申し送るための文書

3. 安全解析の概要(ユニークハザードの検証結果) HISUI-UNQ-03/電気ショック(船外) (1/2)



【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(ISS機能の喪失、搭乗員の喪失)

・ 給電用コネクタに意図せぬ電気が流れることやモルテンメタル(電気による金属の溶融)の発生により、ISS機能の喪失の可能性あるいは船外活動中の搭乗員がコネクタに接触して搭乗員の喪失に至る可能性がある。

【制御方法、検証方法】: ハザード除去、故障許容設計、リスク最小化設計、運用手順

ハザード原因	制御	検証結果
不適切なワイヤ選定	安全要求を満足するワイヤを使用する。	部品使用リストを審査し、適切なワイヤを使用していることを確認している。
不適切な保護装置選定	安全要求を満足する電源遮断装置を使用し、フライト品に対して試験で確認する。	回路設計と部品使用リストを審査し、適切な電源遮断装置を使用していることを確認した。また、フライト品に対する試験結果を確認し、試験に合格していることを確認している。
絶縁不良	安全要求に基づいたボンディング/接地設計を行う。	回路設計を審査し、ボンディング箇所と接地の仕方が適切であることを確認している。また、露出している部位の抵抗値を測定し、試験に合格していることを確認している。
モルテンメタル発生	<ul style="list-style-type: none"> a. 通常運用時に通電しているコネクタが露出しないようにする b. サバイバル運用時に通電する可能性があるコネクタに電流が流れないようダイオードによる逆流防止と上流電源の遮断をする。 c. サバイバル運用時に通電する可能性があるコネクタに接触禁止区域を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> a. 通常運用時に露出したコネクタに電流が流れない設計であることを確認している。 b. ドラゴン補給船との電力コネクタに逆流を防止するダイオードが2つ(故障許容)組み込まれていることを確認している。また、上流電源を遮断する運用手順が、運用制御合意文書^{注)}に反映されていることを確認している。 c. ドラゴン補給船との電力コネクタに接触禁止区域を設定し、その運用手順が、運用制御合意文書^{注)}に反映されていることを確認している。

注) 運用制御合意文書: 運用制御内容を装置開発担当部門から手順書を作成する運用部門に申し送るための文書

3. 安全解析の概要(ユニークハザードの検証結果) HISUI-UNQ-03/電気ショック(船外) (2/2)

「きぼう」からの電力供給
コネクタのカバー



カバー閉状態



カバー開状態

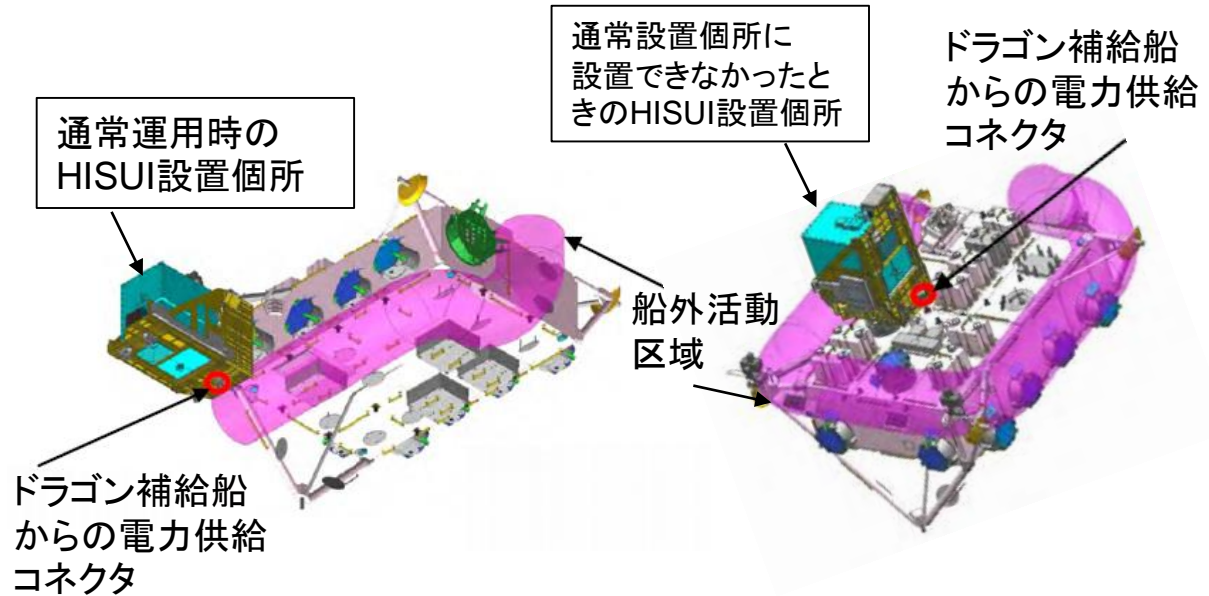
「きぼう」からの電力供給コネクタは船外活動中の宇宙飛行士が接触しないよう、カバーを閉じることができる。

「きぼう」からの電力供給は通常時とサバイバル運用時で電力供給ラインが異なる。

通常運用時はドラゴン補給船用の電力供給コネクタに電流は流れない設計。

サバイバル運用時はドラゴン補給船の電流供給コネクタから電流が流れる可能性があるため、以下の対策によりハザード発生の可能性を下げている。

- ・ダイオードの組み込み
- ・上流電源の遮断
- ・接触禁止区域の設定



補足:そもそもHISUI近傍で船外活動する計画はなく、ハザードが起きる可能性は低い。 12

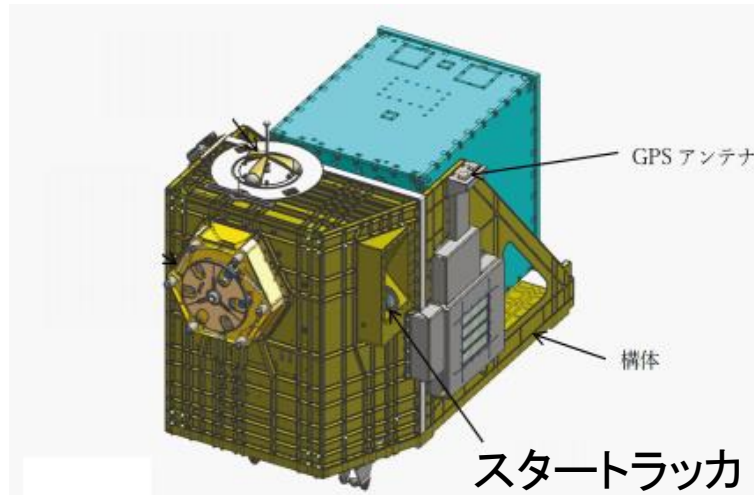
3. 安全解析の概要(ユニークハザードの検証結果) HISUI-UNQ-04／ガラス等の破損(船外)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(ISS機能の喪失、搭乗員の喪失)

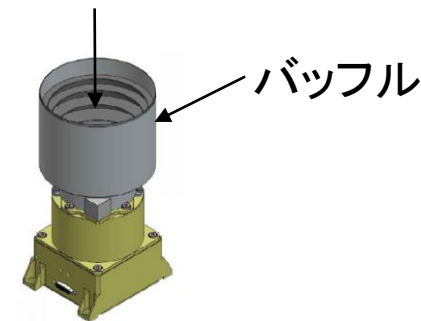
- ・ スタートラッカのレンズあるいはハイパーセンサの光学ガラスが破損し、船外活動中の搭乗員の船外宇宙服を損傷することにより、搭乗員の喪失に至る可能性がある。

【制御方法、検証方法】: 故障許容設計、リスク最小化設計、運用手順

ハザード原因	制御	検証結果
不適切な構造強度	軌道上荷重及び船外活動中の搭乗員による荷重等に対して正の安全余裕を有する構造設計を行う。	各構造部材が正の安全余裕を持つこと、通常の船外活動中の作業で受入可能な強度であることを強度解析、試験により確認している。
レンズの露出	<ul style="list-style-type: none"> a. スタートラッカのレンズが露出しないようバツフルを設ける b. ハイパーセンサの光学ガラスを船外活動中の搭乗員が接触できないよう構造体内部に配置する。 	<ul style="list-style-type: none"> a. 図面およびフライト品でスタートラッカのレンズが露出しないようバツフルが設けられていることを確認している。 b. 図面とフライト品でハイパーセンサの光学ガラスが構体内部に配置されていることを確認している。



バツフル内のレンズを見ることはできるが、接触できない



スタートラッカ

3. 安全解析の概要(ユニークハザードの検証結果) HISUI-UNQ-05／鋭利端部への接触(船外)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(搭乗員の喪失)

- ・ 船外活動中の搭乗員が鋭利端部に接触し、船外宇宙服を損傷することにより、搭乗員の喪失に至る可能性がある。

【制御方法、検証方法】: ハザード除去、運用手順

ハザード原因	制御	検証結果
不適切な設計	a. 安全要求に従い、鋭利端部のない設計にする。 b. 鋭利端部を取り切れない箇所については搭乗員が接近しないように接触禁止区域を設定する。	a. 図面でスタートラッカのバッフル内部とハイパーセンサの冷却器とフード以外に鋭利端部が無いことを確認している。 b. 機器の特性上、スタートラッカ内部は鋭利端部が残るため、できる限り面取りをした上で接触禁止区域を設定し、その運用手順が、運用制御合意文書 ^{注)} に反映されていることを確認している。
不適切な製造／組立	組立工程の管理を行う。	製造検査記録を確認し、スタートラッカのバッフル内部とハイパーセンサの冷却器とフード以外に鋭利端部が無いことを確認している。

注) 運用制御合意文書: 運用制御内容を装置開発担当部門から手順書を作成する運用部門に申し送るための文書

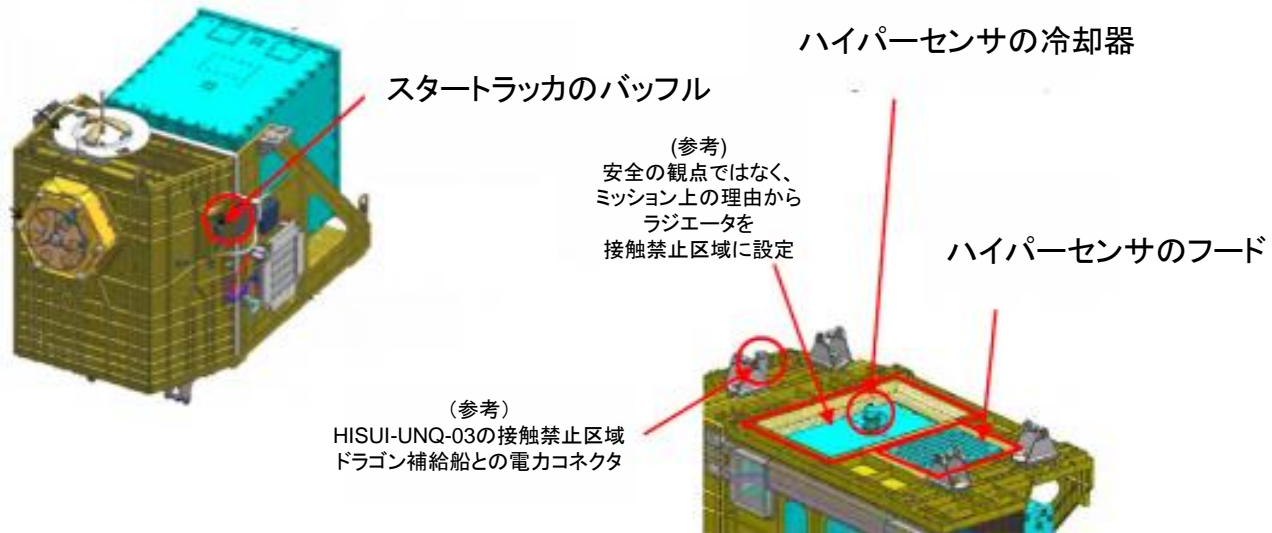


図: 接触禁止区域を設定した箇所

3. 安全解析の概要(ユニークハザードの検証結果) HISUI-UNQ-06／高温・低温部への接触(船外)

【想定されるハザード】: クリティカルハザード(搭乗員の損傷)

- ・ 不適切な熱設計により、船外活動中の搭乗員が高温部あるいは低温部に接触した際に搭乗員が損傷する可能性がある。

【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計

ハザード原因	制御	検証結果
不適切な熱設計	ヒータが故障したケースを想定し、船外活動中の搭乗員が接触する箇所で温度異常が発生しない設計とする。	温度異常が最悪となるケースのヒータ故障を想定した熱解析を実施し、安全要求を満足する温度範囲に入っていることを確認している。
不適切な製造／組立	組立工程の管理を行う。	製造検査記録に問題ないことを確認している。

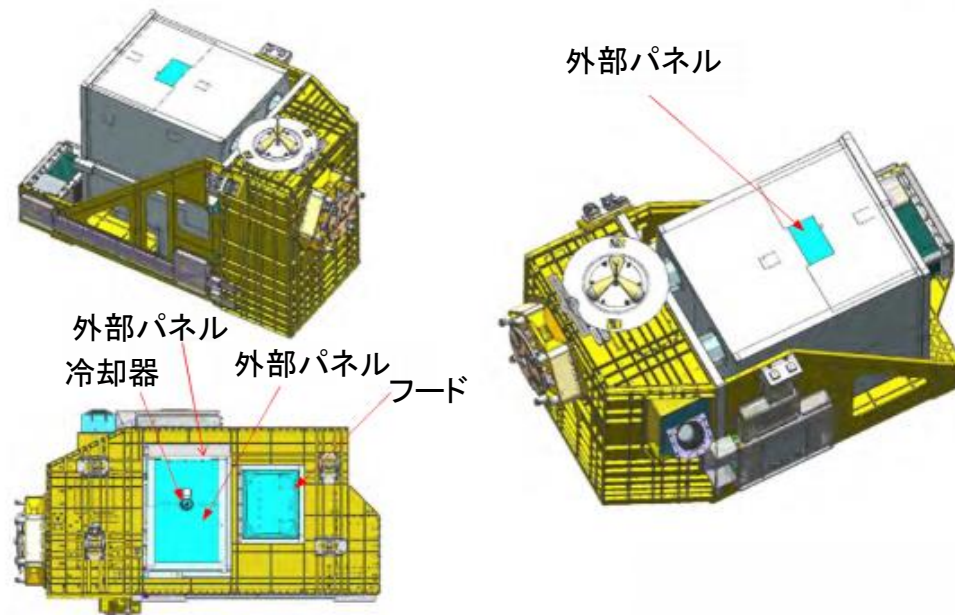


図: 熱解析で温度異常が最悪となる箇所

4. 基本指針に対するHISUIの適合性評価結果(1/7)



「国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)に係る安全対策の評価のための基本指針」に対する評価結果を示す。詳細は付表-1参照。

基本指針項目	HISUIの適合性評価結果	関連項目
1. 目的及び位置付け	基本指針に基づきHISUIの安全性を確認した。	全項目
2. 適用範囲	JAXAの有人安全審査プロセスの文部科学省による認証を維持するため、HISUIの安全性確認結果を宇宙開発利用部会 調査・安全小委員会に報告する。	全項目
3. 基本的な考え方 (1)安全確保の対象 (2)安全確保の方法	<p>HISUIに対して識別された以下のハザード8件に対するハザード制御を定め、その検証結果が妥当であることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 有害な電磁放射 • レーザの照射 • 構造破壊 • 圧力システムの破損 • 電気ショック(船外) • ガラス等の破損(船外) • 鋭利端部への接触(船外) • 高温・低温部への接触(船外) 	ハザード識別結果(P.7)

4. 基本指針に対するHISUIの適合性評価結果(2/7)



基本指針項目	HISUIの適合性評価結果	関連項目
3. 基本的な考え方 (3) 有人活動の特殊性への配慮	有人活動の特殊性に配慮した設計を行っている。	なし
4. 宇宙環境対策 (1) 自然環境からの保護 ア 隕石・スペースデブリ	デブリ衝突による損傷確率を算出し、デブリ衝突による圧力システムの破壊が起きるリスクが低いことを確認している。	HISUI-UNQ-02
イ 宇宙放射線	部品、材料に関して放射線照射試験や解析評価を行い、耐放射線性があることを確認している。	なし
ウ 高真空、微小重力等	熱真空試験を行い、高真空下での耐環境性を確認している。 軌道上の熱環境により、機器の性能劣化・故障が生じないこと、船外活動中の搭乗員が許容できる外表面温度になることを熱解析により確認している。	HISUI-UNQ-01 HISUI-UNQ-02 HISUI-UNQ-06

4. 基本指針に対するHISUIの適合性評価結果(3/7)



基本指針項目	HISUIの適合性評価結果	関連項目
4. 宇宙環境対策 (2) 誘導環境からの保護 ア 打上げ時の誘導環境	HISUIは、打上げ輸送機の振動・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、検証されている。	HISUI-UNQ-01
イ 軌道上の誘導環境 (ア) 雰囲気空気	適用外	なし
(イ) 汚染	適用外	なし
(ウ) 振動、音響、電磁波	HISUIの機器から発生する振動、音響は他の機器に影響を与えるレベルではない。 HISUIの機器から発生する電磁波は周りの機器への影響がなく受入可能であることを電磁適合性試験、解析で確認している。	STD-6
(3) 軌道上環境等の保全	HISUIは軌道上で固体または液体の廃棄物を投棄しない。	なし

4. 基本指針に対するHISUIの適合性評価結果(4/7)



基本指針項目	HISUIの適合性評価結果	関連項目
5. 構造 (1)設計	搭乗員・搭載機器を宇宙環境から保護し、安全に支持するため、HISUIの打上げ・軌道上等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・静荷重強度を持つよう設計され、その結果は解析及び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。	HISUI-UNQ-01 HISUI-UNQ-02
(2)剛性及び強度 ア 剛性	HISUIは、打上げ荷重、軌道上荷重に対して十分な剛性を持つことを解析、試験により検証している。	HISUI-UNQ-01
イ 静荷重強度 ウ 疲労強度	HISUIは、打上時静荷重の影響を解析により評価を行い、構造強度が十分な安全余裕を有していることを確認している。	HISUI-UNQ-01
(3)構成材料	構成材料に適切な材料を選定している。 また、デブリ衝突による損傷確率を算出し、デブリ衝突による圧カシステムの破壊が起きるリスクが低いことを確認している。	HISUI-UNQ-01 HISUI-UNQ-02

4. 基本指針に対するHISUIの適合性評価結果(5/7)



基本指針項目	HISUIの適合性評価結果	関連項目
6. 安全・開発保証 (1) 安全性 (2) 信頼性 ア システムの独立性	安全に関わるシステムについては、他のシステムの故障の影響を可能な限り受けないように設計している。	なし
イ 故障検知	適用外	なし
(2) 信頼性 ウ 自律性の確保 エ 自動機能に対するオーバーライド	適用外	なし
(3) 保全性 ア 機能中断の防止	HISUIは保全作業を行わない。	なし
イ 危険防止	HISUIは保全作業を行わない。また、HISUIはロボットアームにより設置されるため、搭乗員の船外活動を必要としない。	なし

4. 基本指針に対するHISUIの適合性評価結果(6/7)



基本指針項目	HISUIの適合性評価結果	関連項目
6. 安全・開発保証 (4) 品質保証	安全上重要な機能について性能等を満足していることを確認するため、サブシステム、システムレベルの段階において、試験・解析・検査による検証を実施し、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。	なし
7. 人間・機械系設計 (1) 搭乗員の保護	レーザ機器のクラス分けで出力の弱いClass1のレーザを選定されている。 感電防止のため、適切な部品を選定し、ボンディング/接地の確認を行った。また、船外活動中の搭乗員が接触した際にハザードとなる可能性がある箇所に対しては、接触禁止区域による運用制約を課した。 脆性材料で露出する部位(ガラス等)は、振動試験で耐環境性を確認した。 鋭利端部はISS安全要求に従った設計を行いフライトハードウェアに対する検査を実施されている。	STD-7 HISUI-UNQ-03 HISUI-UNQ-04 HISUI-UNQ-05
(2) 誤操作等の防止	適用外	なし
(3) 共通化	適用外	なし

4. 基本指針に対するHISUIの適合性評価結果(7/7)



基本指針項目	HISUIの適合性評価結果	関連項目
8. 緊急対策 (1) 緊急警報	適用外	なし
(2) アクセス	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いる。	なし
(3) 減圧及び再加圧	適用外	なし
9. 安全確保体制	安全・開発保証活動のための体制については、一般財団法人 宇宙システム開発利用推進機構(JSS)から独立したJAXA安全・開発保証部門である「有人システム安全ミッション保証室」において、安全に関する技術的な事項を審議した。	審査体制(P.4)

5. 結論

1. 各フェーズにおける有人安全審査会において、ハザードの識別、制御方法の設定、検証結果を審査し、安全解析が適切に実施されていることを確認した。
2. 有人安全審査会の結果を安全審査委員会で審議し、了承された。
3. HISUIは「国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)に係る安全対策の評価のための基本指針」に適合していることを確認した。

以上により、JAXAは「HISUI」が安全要求を満足していると判断し、安全審査を完了した。

なお、今後SpX-19(Space-Xドラゴン補給船19号機)での打上げを予定している。

添付1 : 適用文書及び審査文書

添付2 : 略語集

添付3 : リスク表

付表-1 : 「国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)に係る安全対策の評価のための基本指針」に対する安全検証結果

(1) 適用要求

- SSP 51700

Payload Safety Policy and Requirements for the International Space Station

(2) 審査文書

- JSS19IS-TS-015

Phase III Flight Safety Assessment Report for Hyperspectral Imager SUite (HISUI)

添付2. 略語集

略語	正式名称	和訳
EMC	Electro Magnetic Compatibility	電磁適合性
EVA	Extra-Vehicular Activity	船外活動
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis	故障モード及び影響解析
FTA	Fault Tree Analysis	故障の木解析
HISUI	Hyperspectral Imager SUlte	ISS搭載型ハイパースペクトルセンサ
ISS	International Space Station	国際宇宙ステーション
IVA	Intra-Vehicular Activity	船内活動
JAXA	Japan Aerospace eXploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JEM	Japanese Experiment Module	日本実験棟
MIUL	Material Identification and Usage List	材料使用リスト
MLI	Multi Layer Insulation	多層断熱材
S&MA	Safety and Mission Assurance	安全及びミッション保証

添付3. リスク表

リスクが高いため許容できない

発生の可能性を下げる



		発生の可能性				
		A	B	C	D	E
被害の度合い 被害の度合いは 変わらない	I	Red	Red	Red	UNQ-1,2,3,4,5	STD-6
	II	Red	Red	Yellow	STD-7 UNQ-6	Green
	III	Red	Yellow	Green	Green	Green
	IV	Green	Green	Green	Green	Green

ハザードレポート作成の範囲

ハザードレポート不要

被害の度合い

被害の度合い	用語	説明
I	カタストロフィック	打上機/ISSの喪失、致命的な人員の傷害となり得る状態
II	クリティカル	打上機/ISS機器の損傷や人員の傷害となり得る状態
III	マージナル	要員の軽度の人的被害、ISS機器の軽度の損傷、または軽度の環境への影響をもたらす状態
IV	ネグリジブル	要員の軽度の人的被害やISS機器の軽度の損傷、または軽度の環境への影響をもたらさない程度

発生の可能性

発生の可能性	説明
A	しばしば発生する。
B	たまに発生する。
C	まれに発生する。
D	ほとんど発生しない。
E	ほとんど全く発生しない。