

国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM)  
実験装置に関する安全検証結果について  
(温度勾配炉ラック, 多目的実験ラック)  
(安全7-1-3から改訂されたページのみ抜粋)

平成22年12月20日 改訂

平成22年12月3日

宇宙航空研究開発機構

JEM : Japanese Experiment Module (「きぼう」はJEMの愛称)

## 5. 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ための手段である。
- 安全解析では、FTA (Fault Tree Analysis: 故障の木解析)、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)、2FTマトリクス及びISS標準ハザードレポート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

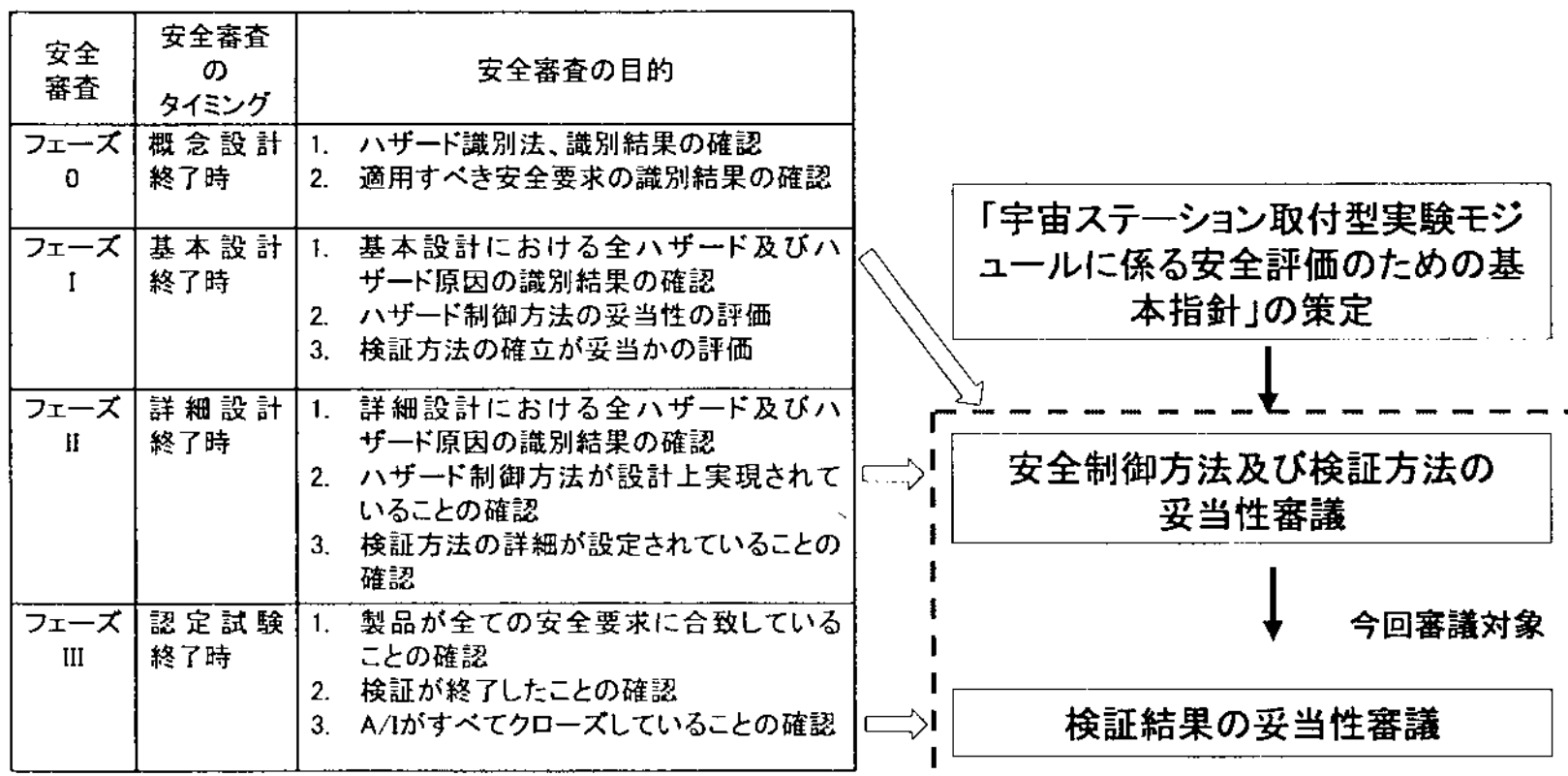
重度な人員の傷害・疾病をもたらす状態

#### III マージナル

軽度な人員の傷害・疾病をもたらす状態

## 5. 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。



[ JAXA及びNASA ]

[ 宇宙開発委員会 ]

## 8. 安全設計・検証結果

### 8.2 ISS共通的な制御方法により検証した事項

- ISS共通的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。

	ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)に係る安全評価のための基本指針関連項目
①	環境空気汚染 (クリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部品・機器・ラックレベルでオフガス試験を実施した。</li> </ul>	4.(2)誘導環境からの保護
②	電磁干渉による機器の誤作動 (クリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ISS或いは他装置からの電磁波による電磁干渉により、実験装置の安全上の機器が誤動作する。</li> <li>・温度勾配炉ラック或いは多目的実験ラック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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>	4.(2)誘導環境からの保護
③	圧力系の破裂(カタストロフィックハザード)	<p>ガス配管系統の破裂による破片が、きぼうに衝突することによる損傷や、搭乗員に衝突することにより、搭乗員の死傷に至る。</p>	<p>【リスク最小化設計(耐圧設計)/故障許容設計(圧力リリーフ機能)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・温度勾配炉ラックの炉体部/配管部及び、多目的実験ラックの燃焼実験チャンバー/配管部の耐圧設計については最大設計圧力(MDP)にISS共通の安全率を設けて、必要十分な強度を持たせた設計とする。</li> <li>・温度勾配炉炉体部や多目的実験ラック燃焼実験チャンバーのMDPを超えないためにレギュレータ及びリリーフバルブを設け、リークビフォアラプチャの設計としている(8.3項②、8.4項②参照)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配管については、MDPの4倍の強度に、温度勾配炉炉体部、燃焼実験チャンバーについてはMDPの2.5倍の強度に耐えることを強度解析により検証し、さらにMDPの1.5倍の圧力試験を実施し破裂がないことを確認した。</li> <li>・レギュレータ/バルブの機能試験を実施した。</li> </ul>	5.(1)設計 6.(3)安全性

# 8. 安全設計・検証結果

## 8.2 ISS共通的な制御方法により検証した事項

ISS共通の制御方法により対応した項目(つづき)

	ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)に係る安全評価のための基本指針関連項目
④	打上げ、上昇、軌道上時の構造破壊、クルー操作時に発生させる荷重による装置の破壊(カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> <li>打上げ荷重及び軌道上での準静的荷重による構体の破壊や把持構造の損傷によりISSやH-IIB/HTV、「きぼう」を損傷し搭乗員に重大な影響を与える。</li> <li>クルー操作時に発生する荷重により実験ラック、実験装置が破壊する。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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・静強度・疲労強度を持つよう設計する。</li> <li>運用中の最大荷重または装置とH-IIB/HTV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。</li> <li>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。</li> <li>クルー操作による荷重については、ISS要求に規定される荷重(クルーの手の操作によって生じる荷重(50lbf)、不意な蹴飛ばしによる荷重(125lbf))にも構造破壊が起こらないように設計する。注) 燃焼実験チャンバーのワークベンチへの取り出し時はテザー等で固定できる設計となっている。ワークポリュームへの挿入時は、運用手順に把持部を持ちながら作業することを手順書に規定している。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>構造検証モデルを用いて、静荷重試験を実施した。</li> <li>材料識別使用リスト(MIUL)により構造材料を評価した。</li> <li>クルー荷重に対して、構造解析を実施し、安全余裕が正であることを確認した。</li> </ul>	<p>4.(1)自然環境からの保護</p> <p>4.(2)誘導環境からの保護</p> <p>5.(1)設計</p> <p>5.(2)剛性及び強度</p> <p>5.(3)構成材料</p>
⑤	火災(可燃性材料の使用)(カタストロフィックハザード)	非金属材料の燃焼により火災にいたり、船内活動搭乗員の死傷に至る。	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>非金属材料には難燃性の材料を選定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	5.(3)構成材料
⑥	回転機器の飛散(カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> <li>回転機器の破壊により破片が飛散し、船内活動中の搭乗員へ衝突し、死傷に至る。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>回転機器が飛散しても、金属筐体で覆われている設計とした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>図面検査により確認した。</li> </ul>	7.(1)搭乗員の保護
⑦	鋭利な端部、突起物への接触、回転体への巻き込み(船内活動員に対してクリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>回転機器に巻き込まれてクルー負傷する</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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・突起物或いは隙間がない設計とする。</li> <li>温度勾配炉のドアを解放した状態で先行ビデオ撮影(初期検証)時は、クルーはラックに接触しない運用制御とする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>面取り及び隙間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。</li> <li>手順が運用制御合意文書に規定されたことを確認した。</li> </ul>	7.(1)搭乗員の保護

## 8. 安全設計・検証結果

### 8.2 ISS共通的な制御方法により検証した事項

ISS共通の制御方法により対応した項目(つづき)

	ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)に係る安全評価のための基本指針関連項目
⑧	ガラスの破損	ガラスの破片による搭乗員の目・肺への障害に至る。	【リスク最小化設計】 ガラス機器は、破片が飛散しないように封入設計とする。(該当は温度勾配炉ラックのみ)	・図面検査により確認した。	7.(1)搭乗員の保護
⑨	高温/低温部への接触 (船内活動員に対してクリティカルハザード/船外活動員に対してカタストロフィックハザード)	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。(* 温度勾配炉ラック/多目的実験ラックについては低温部はない。)	【1故障許容設計】 ・温度勾配炉ラック前面パネルを除き、外部環境の最悪条件下において、実験装置内の機器の故障によっても、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。 ・ただしラック内の空冷ファン停止時にはラック前面パネルの一部が50℃程度上昇するため、搭乗員に触らないように注意喚起する手順を設定する。 ※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、「きぼう」からの冷却水停止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。 ・注意喚起については、手順が運用制御合意文書に規定されたことを確認した。	7.(1)搭乗員の保護 6.(3)安全性
⑩	電力系の損傷 (カタストロフィックハザード)	・電力系統の地絡により、JEMまたはISSの安全上重要な機器に損傷を与える。 ・不適切な電力線サイズの選定により加熱し火災に至る。 ・不適切な接地設計により高電圧部を形成し、搭乗員が感電する。	【リスク最小化設計】 ・地絡電流を遮断する保護装置を設置する。 ・高電圧露出表面のないような接地設計とする。 ・電力系統の適切な絶縁処理と、適切な電力線のサイズを選定する。	・電力線のサイズ、電流遮断保護装置を図面及び検査で確認した。 ・関連機器が適切に接地されていることを接地抵抗を計測した。	5.(3)構成材料 6.(2)信頼性 7.(1)搭乗員の保護



## 8. 安全設計・検証結果

### 8.2 ISS共通的な制御方法により検証した事項

ISS共通の制御方法により対応した項目(つづき)

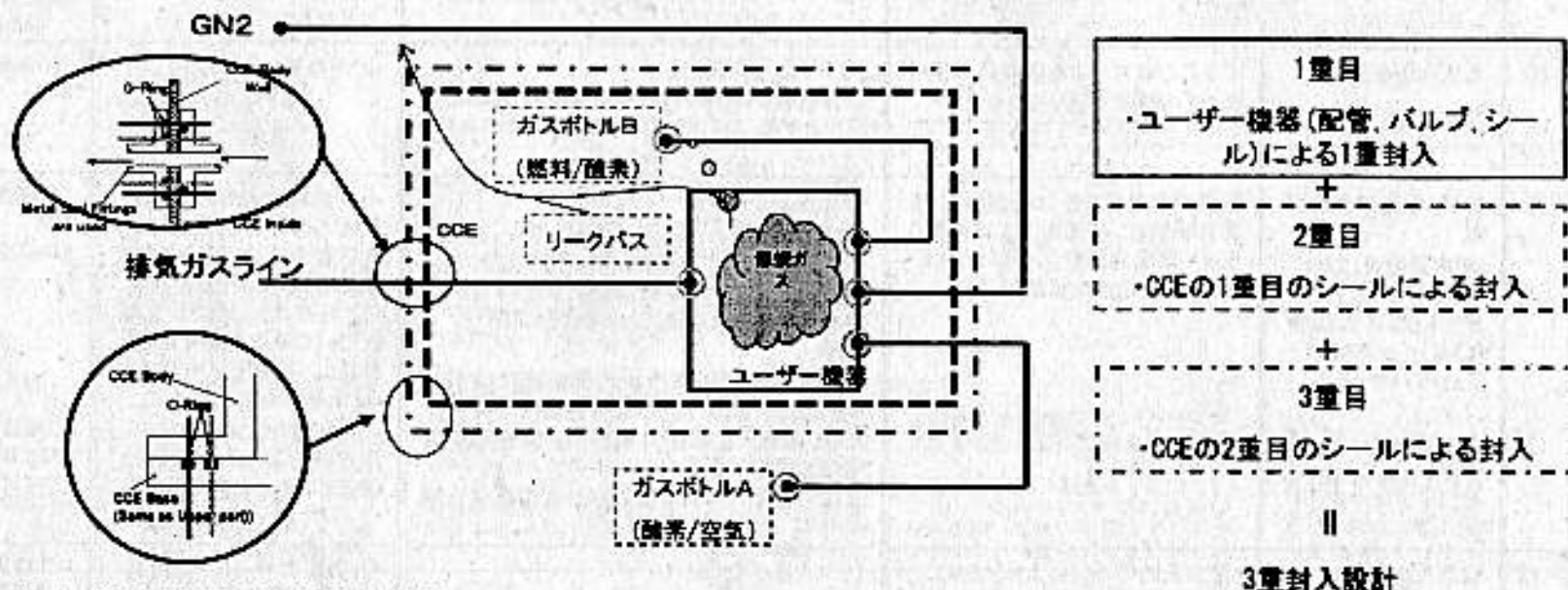
	ハザード内容 及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の 検証方法及び検証結果	宇宙ステーション 取付型実験モ ジュール(JEM)に 係る安全評価の ための基本指針 関連項目
⑪	感電(コネクタ脱着) (カタストロフィックハ ザード)	搭乗員が電力コネクタの脱着時に 高電圧表面に触れることにより感 電し、搭乗員の死傷にいたる。	【リスク最小化設計】 ・コネクタの上流はソケットタイプとし、また適 切に接地した。 ・高電圧のコネクタを脱着する場合は上流の スイッチを遮断する手順とした。	・コネクタのタイプを図面、 現品検査により確認した ・高電圧コネクタ(32V以上) を脱着する場合の手順が 運用制御合意文書に反映 されていることを確認した。	7.(1)搭乗員の 保護 6.(3)安全性
⑫	退避経路への障害 (カタストロフィックハ ザード)	・ラック表面の搭載物が船内実験 室内の退避経路を塞ぐことによ り、減圧もしくは火災時に、搭乗員 が隣接するモジュールへの退避が 遅れる。	【リスク最小化設計】 温度勾配炉ラックの試料交換機構のドア、多 目的実験ラックのワークベンチの展開時 でも、ISSが規定する最小退避経路(縦127cm x 横183cm)を確保する。	・図面により最小退避経路 が確保されることを確認し た	8.(2)アクセス

## 8.4 多目的実験ラックに特徴的な制御方法により検証した事項

### ② 燃焼ガス漏洩による空気汚染

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- 燃焼実験チャンバー(CCE)内の燃焼ガス(毒性物質)が漏洩し、キャビン内空気を汚染する。



【制御方法/検証結果】: 故障許容設計

制御	検証
<ul style="list-style-type: none"> <li>CCEで2重封入を持ち、加えてユーザー機器(実験供試体側)で1重封入を行うことをインタフェース管理文書で規定し、計3重封入設計とする。</li> <li>NASAが規定する毒性レベル2(JSC-28895 Guidelines for Assessing the Toxic Hazard of Spacecraft Chemicals and Test Materials)に基づくまでの燃焼ガスを扱う実験が行えるように3重封入が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>図面検査、現品検査及び圧力試験により確認した。</li> <li>軌道上では、クルーが実験開始前や実験終了後(CCEの蓋を開ける際)に圧カシステムのリークチェックを行う手順が運用制御合意文書に反映されていることを確認した。</li> </ul>