

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 (超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES))

平成21年5月18日

平成21年6月4日 A改訂

宇宙航空研究開発機構

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

SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder

目次

1. はじめに	2
2. 経緯	3
3. 宇宙開発委員会における安全審議状況	4
4. 安全審査体制	5
5. 安全解析の方法	6
6. JAXA及びNASAにおける審査経緯	8
7. ハザード制御の有効性の確認	9
8. 安全設計・検証結果	10
9. 運用への準備等	20
10. 結論	21
付図-1 SMILES ハザードFTA	
付表-1 基本指針に対する全体検証結果	

1. はじめに

国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」(JEM) に搭載される日本の実験ペイロードである超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES) の安全検証が完了したので報告する。

ISS : International Space Station

JEM : Japanese Experiment Module

SMILES : Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder

2. 経緯

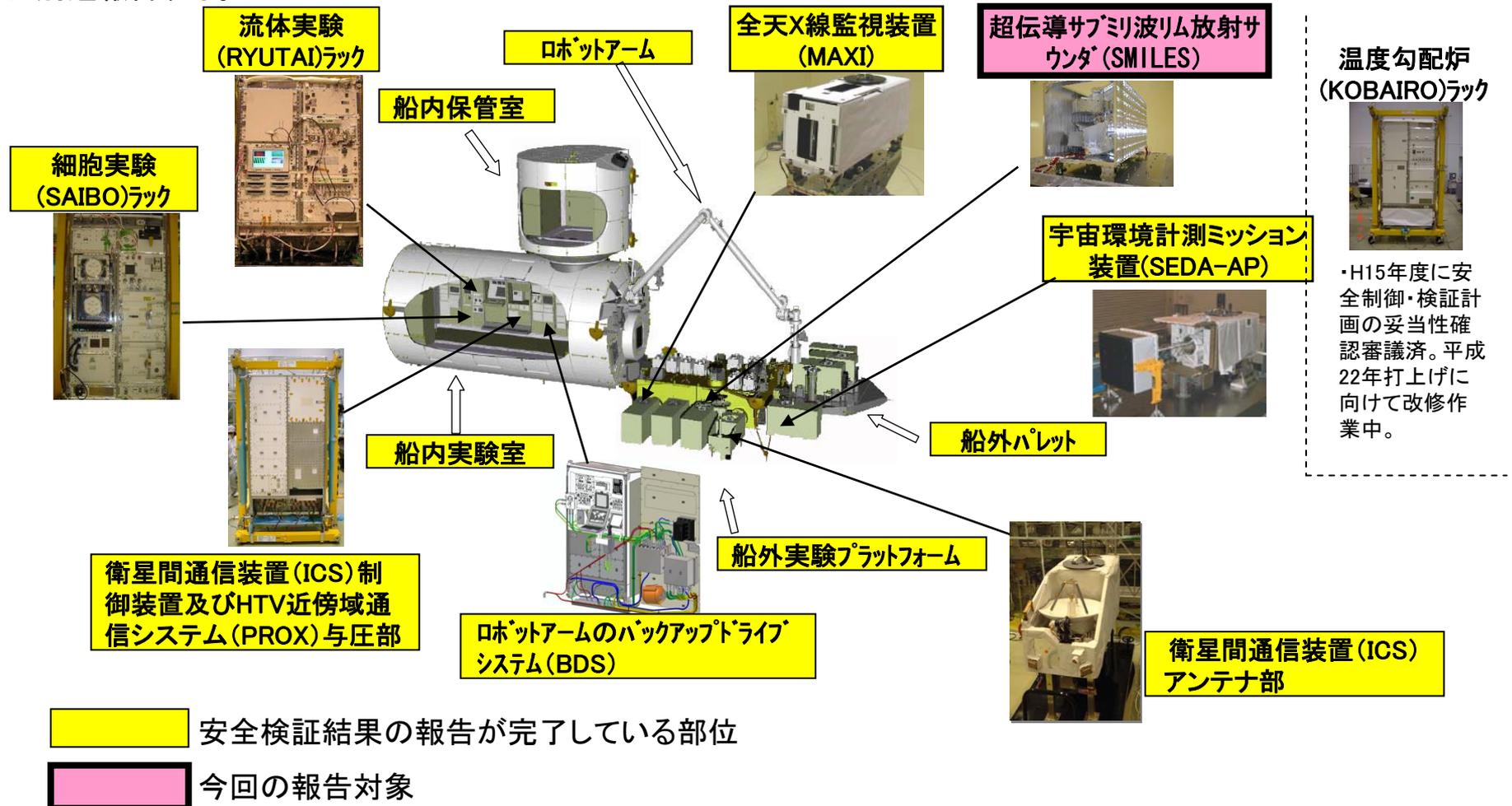
- 宇宙開発委員会の安全評価部会は、平成8年4月に「宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)に係る安全評価のための基本指針」(以下「基本指針」という)を取りまとめ、宇宙開発委員会に了承された。
- 基本指針に基づき、宇宙開発事業団(NASDA 当時)はJEMの安全設計について報告し、平成11年7月の安全評価部会で審議、了承された。その結果は「国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告)」(以下「JEM安全設計(報告)」という)として取りまとめられ、宇宙開発委員会に報告・了承された。
- NASDA(当時)は、JEM安全設計(報告)のとおりJEM主要構成要素(ICS及びBDSを除く)の検証が終了したことを受け、平成14年12月に「国際宇宙ステーションの日本の実験棟の安全対策(報告)」(以下「JEM安全対策(報告)」という)として安全部会に報告し、この結果を安全部会は、宇宙開発委員会に報告した。
- NASDA(当時)は、実験装置であるSAIBOラック、SEDA-AP及びRYUTAIラックの安全設計について、JEM基本指針に基づき、それぞれ平成13年12月、平成15年7月に安全部会に報告した。
- JEM安全対策(報告)時に製造が未完了であったICS、BDS、PROX、SAIBOラック及びRYUTAIラックの安全検証結果については平成19年1月に、MAXI、SEDA-APの安全検証結果については平成20年9月に安全部会に報告した。
- 今般、JEM安全対策(報告)時に製造が未完了であったSMILESについて、安全検証が完了したので、その結果について報告する。

NASDA: National Space Development Agency of Japan
ICS: Inter-orbit Communication System
BDS: Backup Drive System
PROX: HTV Proximity Communication System

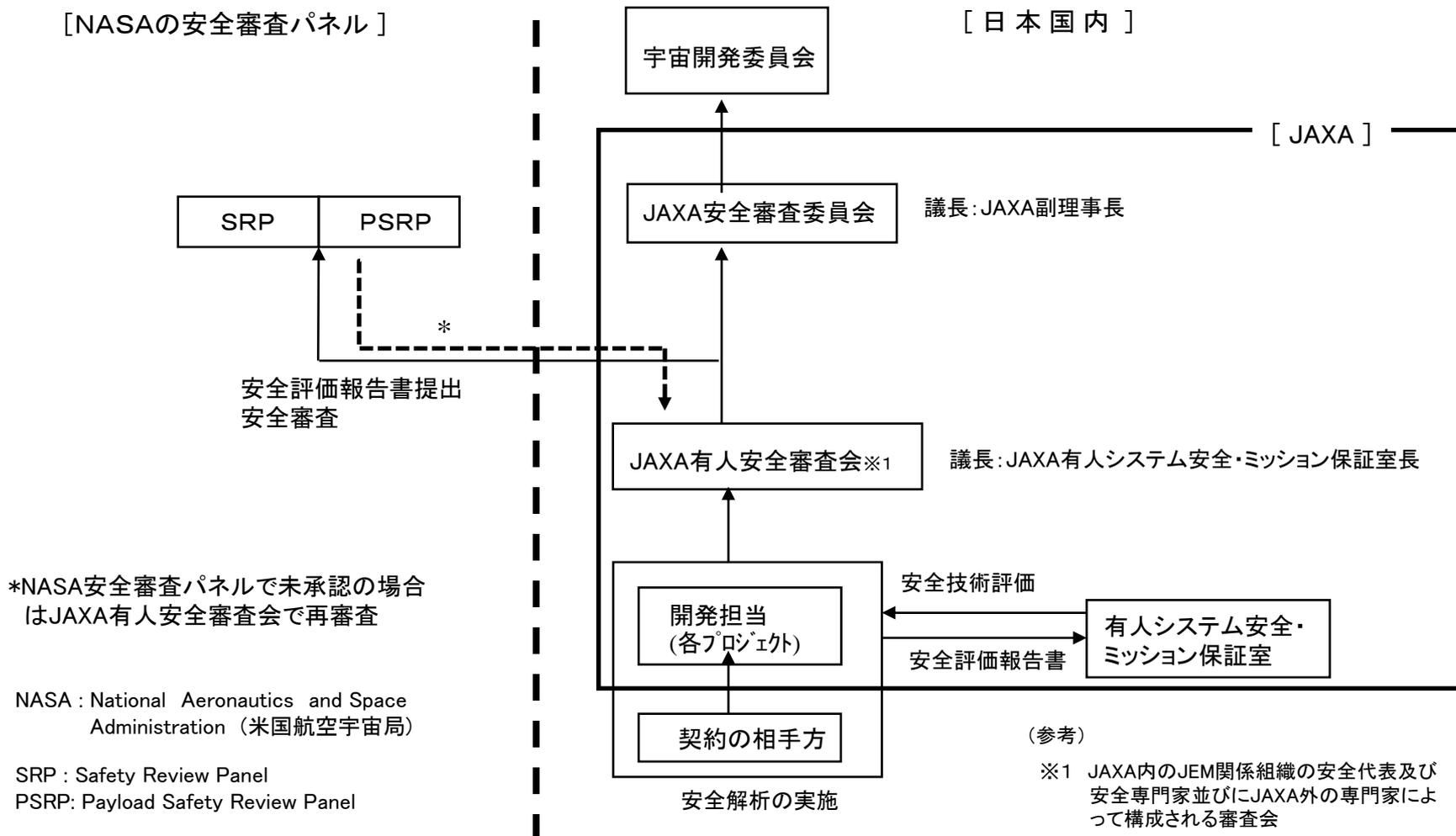
SEDA-AP : Space Environment Data Acquisition equipment-Attached Payload
MAXI : Monitor of All-sky X-ray Image

3. 宇宙開発委員会における安全審議状況

今回の報告対象は、下記の太枠で示した要素である。JEMシステム（船内実験室、船内保管室、ロボットアーム、船外パレット、船外実験プラットフォーム）及びJEM第1次利用の実験装置のうち流体実験ラック、細胞実験ラック、MAXI、SEDA-APについては安全検証結果を報告し了承されている。温度勾配炉ラックについては、検証作業が完了した後に別途報告する。



4. 安全審査体制



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

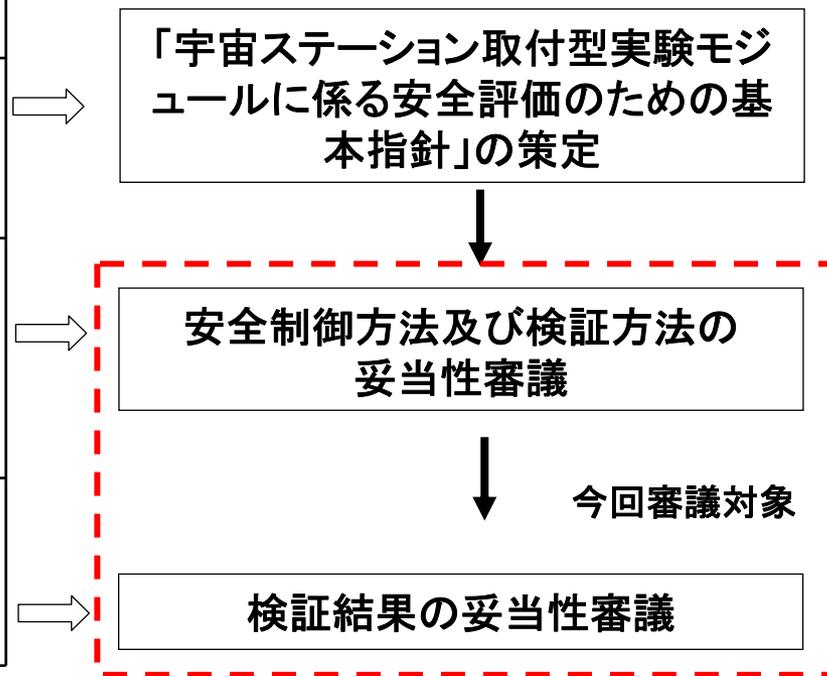
III マージナル

軽度な人員の傷害・疾病をもたらす状態

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。

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



6. JAXA及びNASAにおける審査経緯

- SMILESについては、平成21年5月までにJAXA有人安全審査会、NASA安全審査パネル、JAXA安全審査委員会を終了した。

表6-1JAXA有人安全審査会、NASA安全審査及び安全審査委員会パネル実績

装置	フェーズ0/ I		フェーズⅡ		フェーズⅢ	
	JAXA審査	NASA審査	JAXA審査	NASA審査	JAXA審査	NASA審査
SMILES	平成13年12月 平成14年 7月 平成14年 8月	平成14年9月	平成20年2月	平成20年4月	平成21年1月	平成21年4月
	<u>JAXA安全審査委員会</u> <u>平成21年5月</u>					

7. ハザード制御の有効性の確認

- (1) 開発メーカ、JEM運用プロジェクトチーム、宇宙環境利用センター、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、宇宙環境利用センターの運用担当部門が、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。

8. 安全設計・検証結果

8.1 基本指針に対するハザードの分類

- (1) SMILESによって起こりうるハザードをJEM全体システムの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。SMILES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、基本指針の項目への対応を行い制御方法により、以下の3つに分類した。分類結果を表8-1に示す。
 - a. 一般的事項に属する項目
 - ・「きぼう」の安全を確保するための基本的な活動として、軌道上に打上げられるすべての機器に適用される事項であり、SMILESにも適用される事項
 - b. JEMまたはISSの機能により制御される事項
 - c. SMILESのハザード制御として対応した事項
 - ・ 8.2項には、ISS共通の制御方法を用い、その有効性を検証した事項を示す。
 - ・ 8.3項には、SMILES特有の制御方法を用い、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。

8. 安全設計・検証結果

表8-1 基本指針に対するハザード制御方法の分類

JEM基本指針	一般的事項	JEM又はISS機能により制御する事項	ISS共通の制御方法により検証した事項	SMILESに特徴的な制御方法により検証した事項	クルーへのハザード	システムへのハザード
1. 目的及び位置づけ	—	—	—	—	—	—
2. 適応範囲	—	—	—	—	—	—
3. 基本的考え方	—	—	—	—	—	—
(1)安全確保の対象	○					
(2)安全確保の方法	○					
(3)有人活動の特殊性への配慮	○					
4. 宇宙環境対策	—	—	—	—	—	—
(1)自然環境からの保護(隕石・スペースデブリ/宇宙放射線/高真空/微小重力等)		○				
(2)誘導環境からの保護			○ 電磁干渉 (8.2項①)			○
(3)軌道上環境等の保全	○					
5. 構造	—	—	—	—	—	—
(1)設計			○ 圧力システムの破裂(8.2項②)		○	○
(2)剛性・強度			○ 構造破壊 (8.2項③)			○
(3)構成材料			○ (圧力システム(8.2項②)/構造破壊(8.2項③)に含む)			
6. 安全性・開発保証	—	—	—	—	—	—
(1)安全性			○ 電力系統の地絡時の過電流による損傷 (8.2項④)	○ 可動機器の船外活動員への衝突(8.3項(1))	○	○
(2)信頼性	○					
(3)保全性			○			
7. 人間・機械系設計	—	—	—	—	—	—
(1)搭乗員の保護			○ 鋭利な端部、突起物(8.2項⑤)(恒星センサ、コールドスカイ終端部以外) ○ 高温/低温部への接触 (8.2項⑥)	○ 鋭利な端部、突起物(恒星センサ、コールドスカイ終端部) (8.3項(2)) ○ ガラス破損による鋭利な端部(恒星センサ) (8.3項(3)) ○ レーザ照射(電波分光系) (8.3項(4))	○	
(2)誤操作等の防止		○				
(3)共通化	○					
8. 緊急対策	—	—	—	—	—	—
(1)緊急警報		○				
(2)アクセス		○				
(3)減圧及び再加圧		○				
9. 安全確保体制	○					

8. 安全設計・検証結果

8.2 ISS共通の制御方法の適用とその検証結果

- ISS共通の制御方法を用い、その有効性を検証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。

	ハザード内容及び危険度	想定されるハザード	制御方法	検証結果	関連指針項目
①	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"> 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。 SMILES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。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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、JEMシステム及びSMILES機器に対する安全性への影響がないことを確認した。 	4.(2)項
②	圧カシステムの破裂 (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> SMILES冷却配管システムの破裂による破片が、ISSやJEMに衝突することによる損傷や、船外活動中の搭乗員に衝突することにより、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"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却系配管については、MDPの4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。 SMILESの冷媒(フッリナート)の充填に関わる確認作業は射場において行われた。(9章検証ログSMILES-1参照) 材料識別使用リスト(MIUL)により構造材料を評価した。 	5.(1)項 5.(3)項

8. 安全設計・検証結果

8.2 ISS共通の制御方法の適用とその検証結果

ISS共通の制御方法を用い、その有効性を検証した事項(つづき)

	ハザード内容及び危険度	想定されるハザード	制御方法	検証結果	関連指針項目
③	<p>打上げ、上昇、軌道上及び下降時の構造破壊</p> <p>(カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 構体の破損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。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 打上げ・軌道上・帰還・着陸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。 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。 耐熱性・耐食性・耐力腐食性・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。 	<ul style="list-style-type: none"> 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SMILESの構造パネル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。 構造検証モデルを用いて、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。 	<p>5.(2)項</p> <p>5(3)項</p>
④	<p>電力系統の地絡時の過電流による機器損傷</p> <p>(カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 電力系統の地絡電流により、JEMまたはISSの安全上重要な機器に損傷を与える。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 地絡電流を遮断する保護装置を設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>6.(1)項</p>

MIUL : Material Identification Usage List

8. 安全設計・検証結果

8.2 ISS共通の制御方法の適用とその検証結果

ISS共通の制御方法を用い、その有効性を検証した事項(つづき)

	ハザード内容	想定されるハザード	制御方法	検証結果	関連指針項目
⑤	<p>鋭利な端部、突起物 (恒星センサ/コールドスカイ終端部以外)</p> <p>(カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。ガラス部品については直接接触しない位置に配置する。ただし、SMILESの恒星センサのバッフル部及びコールドスカイ終端部の鋭利な端部への制御方法は、8.3項(2)に示す。また、SMILES恒星センサのガラス部品への制御方法についてはそれぞれ、8.3項(3)に示す。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	7.(1)項
⑥	<p>高温/低温部への接触</p> <p>(カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 装置の高温部または低温部に搭乗員が触れ、船外活動服の損傷または火傷または凍傷を負う。 	<p>【2故障許容設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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2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。 <p>※船外活動員に対する許容外表面温度：-117～112℃</p>	<ul style="list-style-type: none"> ヒータのオン故障、JEMからの電力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。 	7.(1)項

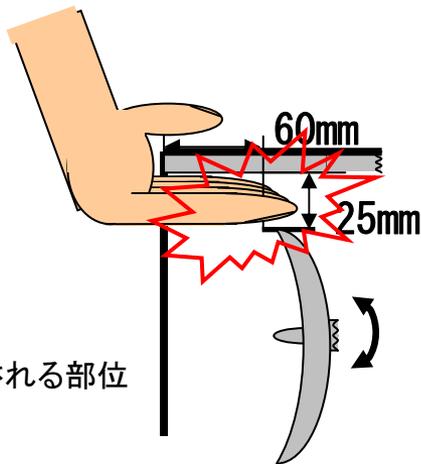
8. 安全設計・検証結果

8.3 SMILES特有の制御とその検証結果

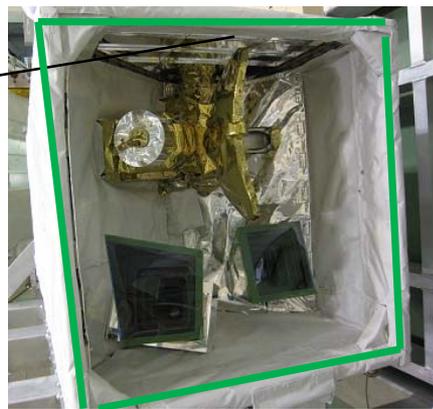
(1) 可動機器の船外活動員への衝突(1/2)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

SMILESのアンテナが意図せずに作動し、アンテナと筐体の隙間に船外活動員の手を挟み込む。



挟み込みが懸念される部位



SMILES開口部



Keep Out Zone:

クルーがこの枠の内部に立ち入ってはいけない区域

【制御方法、検証結果】: 故障許容設計

制御	検証
船外活動員がアンテナの近傍で活動している場合には、誤作動をしないように電源2箇所を遮断する。	<ul style="list-style-type: none"> • 図面、現品検査及び試験にて電源を遮断できる設計であることを確認した。 • 運用制御合意文書に、船外活動前には電源が遮断されることが記載されていること確認した
アンテナが何らかの異常で作動しても、船外活動員の手が挟み込まれないよう、衝突する可能性がある区域を立ち入り禁止区域 (Keep out Zone)とし、手順書上に明記する。	<ul style="list-style-type: none"> • Keep Out Zoneが運用制御合意文書*に記載されていることを確認した。 ※アンテナ部に警告 ラベルの貼り付けを実施するとサブミリ波の受信特性が変わることから 実施できない。

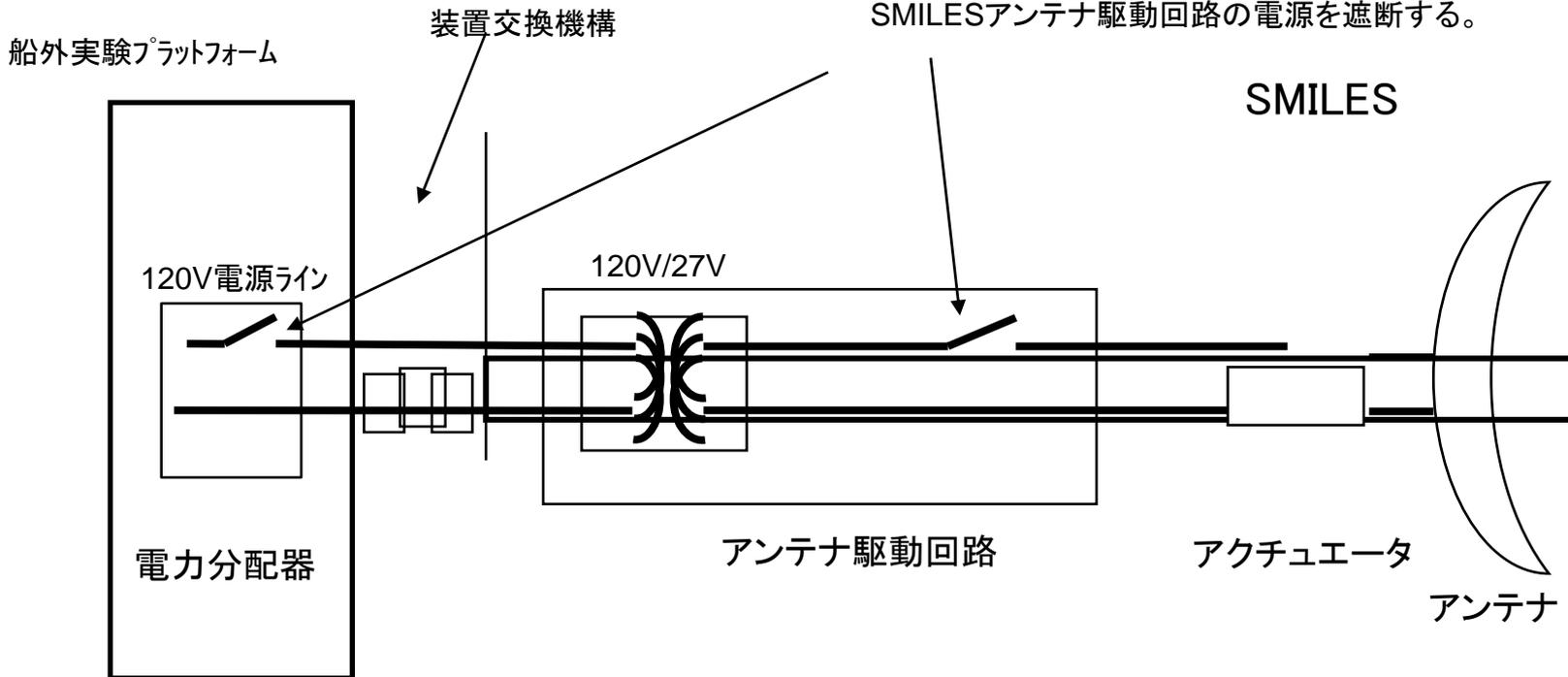
注) 運用制御合意文書: 運用制御内容を装置開発担当部門から手順書を作成する運用部門に申し送るための文書

8. 安全設計・検証結果

8.3 SMILES特有の制御とその検証結果

(1) 可動機器の船外活動員への衝突(2/2)

船外活動が近傍で行われるときには、船外実験プラットフォームの電力分配器のスイッチ及びSMILESアンテナ駆動回路の電源を遮断する。



SMILESのアンテナ誤作動防止

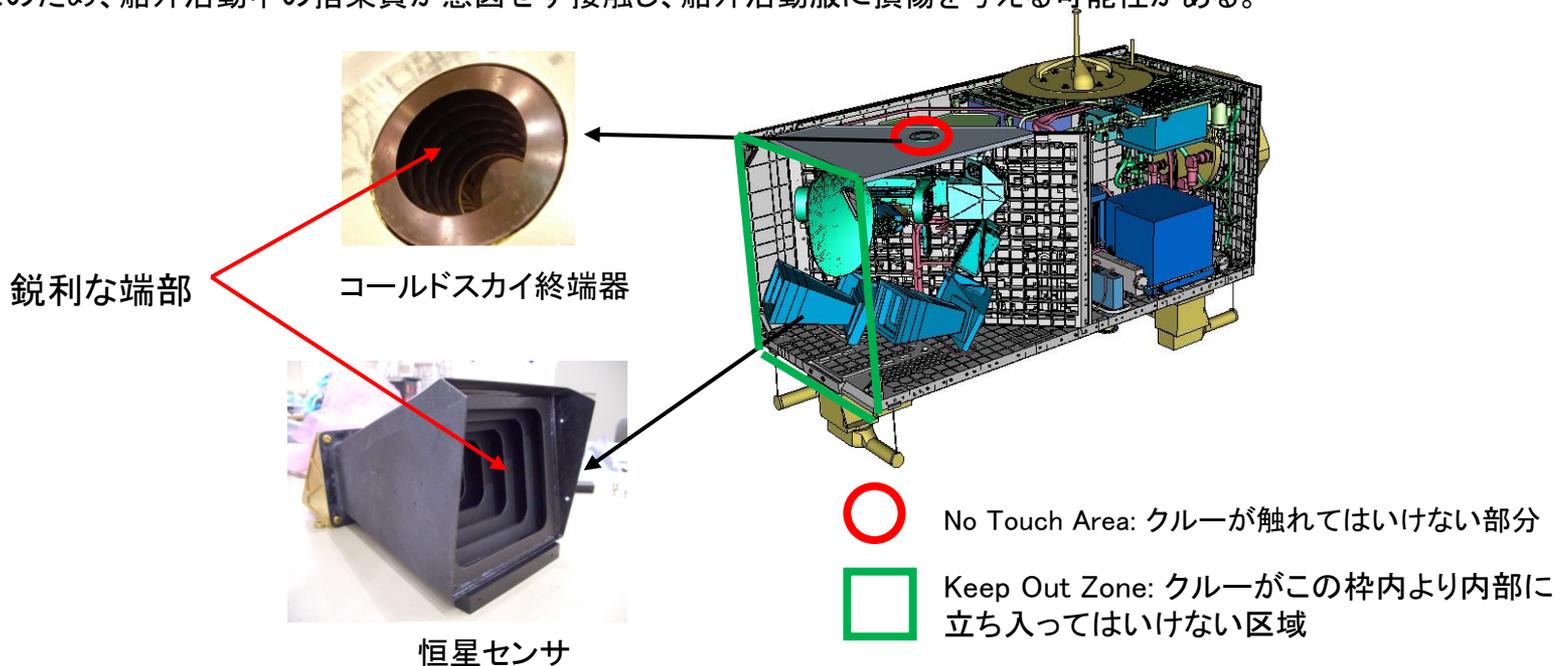
8. 安全設計・検証結果

8.3 SMILES特有の制御とその検証結果

(2) 鋭利な端部による船外活動員の損傷

【想定されるハザード】:カタストロフィックハザード

恒星センサ及びコールドスカイ終端部には、精度上の要求からISS要求に適合できない鋭利な端部を有するバツフルが取り付けられる。このため、船外活動中の搭乗員が意図せず接触し、船外活動服に損傷を与える可能性がある。



【制御方法、検証結果】:リスク最小化設計

制御方法	検証結果
船外活動員及び地上運用担当者の手順書に、恒星センサ及びコールドスカイ終端部の周囲はNo Touch Area及びKeep Out Zoneとして、触れてはいけないことを明記する。	•Keep Out Zone及びNo Touch Areaが運用制御合意文書(注)に記載されていることを確認した。※恒星センサ、コールドスカイ終端部周辺の放熱板には熱制御用の塗装が施してあり、警告ラベルの貼り付けを実施すると熱特性が変わることから実施できない。

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

8. 安全設計・検証結果

8.3 SMILES特有の制御とその検証結果

(3) ガラス破損による船外活動員の損傷

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

恒星センサ内のガラス品が破損し、破損したガラスに船外活動員が触れることにより、船外活動服が損傷し、内部酸素が漏洩し、死傷に至る。



ガラス部位

恒星センサ内部

【制御方法、検証結果】: リスク最小化設計

制御方法	検証結果
恒星センサのガラス部は船外活動員が接触できない位置に配置する。	<ul style="list-style-type: none"> ガラス部が船外活動員からは接触できない位置に配置されていることを図面及び現品検査により確認した。

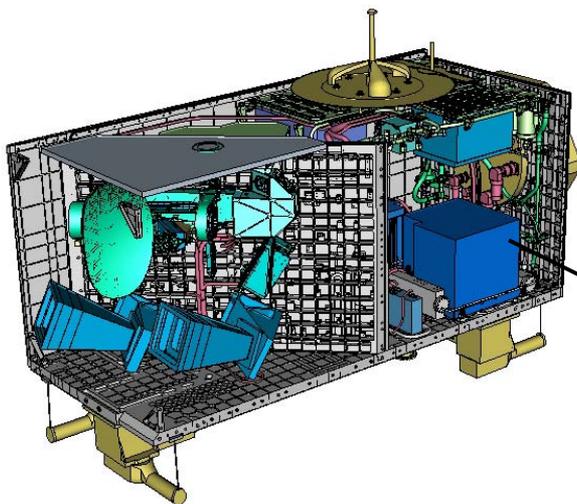
8. 安全設計・検証結果

8.3 SMILES特有の制御とその検証結果

(4) レーザー照射による船外活動員の損傷

【想定されるハザード】

電波分光系内のレーザー光が船外活動中の搭乗員に照射され、目に障害を与える。



多層断熱材



【制御方法、検証結果】

制御方法	検証結果
電波分光系の外部は多層断熱材で覆われレーザー光が外部に漏洩しないように封入する。	<ul style="list-style-type: none"> • 図面及び現品検査により封入されることを確認した。

9. 運用への準備等

(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。
 - 実験装置の操作や監視を制御手段としている場合には、実験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

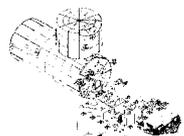
- ・ 種子島宇宙センターにおいてフライト品について安全を確認すべき項目を安全検証追跡ログ（SVTL: Safety Verification Tracking Log）に整理し、確認は終了した。

SMILESの安全検証追跡ログ

番号	内容	参考
SMILES-1	冷媒（フロリナート）の充填作業	8.2項②

10. 結 論

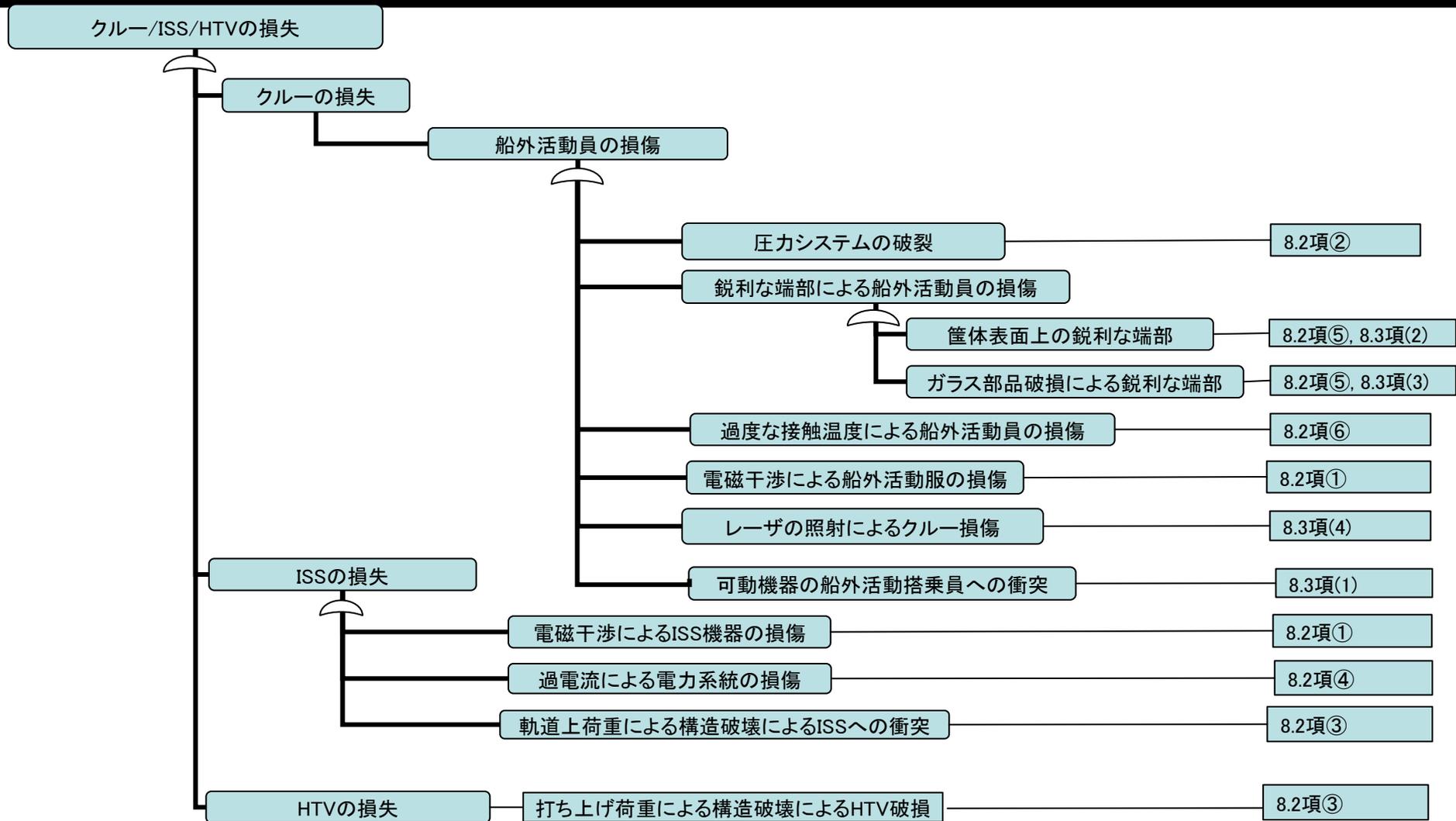
JAXAは、SMILESに関し、JAXA内安全審査及びNASA安全審査を終了し、安全制御が有効であり安全指針に合致したことを確認した。

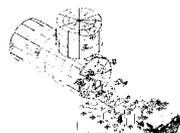


付図-1

SMILES のハザードFTA

付図-1 SMILESハザード FTA





付表-1

基本指針に対する全体設計・検証結果

注記) 表中の色枠の意味は以下のとおりである。

黄色: 8. 2項 (ISS共通的な制御方法により検証した事項) に関するハザードレポート

青色: 8. 3項 (SMILESに特徴的な制御方法により検証した事項) に関するハザードレポート

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (1/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
<p>3.基本的な考え方 JEM 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.基本的考え方</p>	<p>1.基本的考え方 (ハザード制御の基本となるもの)</p>
<p>(1)安全確保の対象 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>(1)安全確保の対象 JEM においては、以下に述べるとおり、直接搭乗員に被害を与えるハザード(事故をもたらす要因が顕在又は潜在する状態)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が考慮され、搭乗員の死傷を未然に防止するための安全確保が図られている。</p>	<p>一般的事項 (左記のとおり実施している)</p>
<p>(2)安全確保の方法 JEM 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 ハザードについては、可能な限り除去する。</p> <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>(2)安全確保の方法 JEM においては、有人活動の特殊性を配慮して安全設計を行うことを基本的考え方とし、次のとおり、ハザードを識別し、優先順位に従い、ハザードの制御、残存ハザードのリスク評価が行われている。</p> <p>ア ハザードの識別 対象となるシステム及びその運用について、ハードウェア、ソフトウェア、運用・誤動作等のヒューマンエラー、インターフェース、環境条件等を考慮して、予測可能なすべてのハザード及びその原因が故障の本解析(FTA)・故障モード影響解析(FMEA)を活用した安全解析により識別されている。</p> <p>イ ハザードの除去・制御 ハザードについては可能な限り除去するが、困難な場合には、①リスク低減設計、②安全装置、③警報・非常設備等、④運用手順、⑤保全の優先順位でハザードの制御が行われる。</p> <p>設定されたハザード制御の有効性は、①試験、②解析、③検査、④デモンストレーションのいずれか、あるいは組み合わせによって確認される。</p> <p>ウ 残存ハザードのリスク評価 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され、十分低いレベルに制御されていることが確認される。</p>	<p>一般的事項 (左記のとおり実施している)</p>
<p>(3)有人活動の特殊性への配慮 JEM は、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>一般的事項 (左記のとおり実施している)</p>
<p>4.宇宙環境対策 JEM 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</p>	<p>2.宇宙環境対策 JEM 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するシステムを保護するため、以下の対策が講じられている。</p>	<p>2.宇宙環境対策 SMILES 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するシステムを保護するため、以下</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (2/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
<p>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>の対策が講じられている。</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、JEM 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 JEM に衝突した場合には、JEM から宇宙ステーション本体への退避により、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 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、JEM 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がとられている。</p> <p>(注)ISS では、安全上重要な与圧モジュール(船内実験室、船内保管室)の構造については、全体で配慮する必要があるため、デブリ衝突時にモジュール壁を貫通しない確率(非貫通確率:PNP, Probability of No Penetration)が規定されており、JEM の与圧部(船内実験室)と補給部与圧区(船内保管室)とを合わせた PNP 要求値は、0.9738/10 年となっている。</p> <p>①直径 1cm 以下のデブリ スタッフィング入りハンパ(米国 NASA で提案されたセラミック材/炭素複合材料 (Nextel/Kevlar)からなるスタッフィング(充填材)を外側ハンパと与圧壁の間に設置したハンパ)による貫通防御対策が実施されている。</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。</p> <p>③直径 1~10cm のデブリ 衝突により与圧モジュール(船内実験室、船内保管室)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退避しハッチを閉めることとしている。デブリ貫通による与圧モジュール(船内実験室、船内保管室)損傷直径とステーションの与圧モジュール(船内実験室、船内保管室)全体の減圧時間の関係は別表(略)に示すとおりである。</p> <p>なお、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努力がなされており、ISS/JEM 運用までに、国際的協力の下、デブリによる搭乗員の危険を低下させることが期待されている。 <関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0009 隕石/デブリとの衝突</p>	<p>(1)自然環境からの保護 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
<p>イ 宇宙放射線 JEM 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>イ 宇宙放射線</p> <p>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、機器及び搭乗員は、太陽系外から飛来し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ばくする。</p> <p>このため、JEM 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、可能な限りの対策を講じ、JEM としての耐放射線性が評価・確認されている。</p> <p>また、与圧モジュール(船内実験室、船内保管室)内の搭乗員については、ISS では造血器官(深さ 5cm の線量当量)に対する被ばくが年間 400mSv(40rem)を越えないことが設計要求とされている。 JEM の与圧部(船内実験室)・補給部与圧区(船内保管室)は、外壁にアルミを使用し、</p>	<p>イ 宇宙放射線</p> <p>SMILES として検証する必要がある事項は、SMILES の部品材料に対する耐放射線性である。 SMILES 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、可能な限りの対策を講じ、SMILES としての耐放射線性が評価されている。</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (3/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	<p>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、与圧部(船内実験室)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。</p> <p>これらの対策により、与圧部(船内実験室)・補給部与圧区(船内保管室)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>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、搭乗員の被ばく量を定常的に把握する計画となっている。</p> <p>さらに、搭乗員個人の被ばく量を計測・記録し、宇宙放射線被ばくのリスクを耐容・容認可能なレベルに保つため、搭乗期間及び船外活動(EVA)の期間を適切に管理することにより、生涯に受ける総被ばく量及び一定期間内に受ける臓器・組織の被ばく量を制限する計画となっている。</p> <p>今後は、銀河宇宙線に含まれる鉄等重粒子イオン被ばくや、その外壁等におけるフグメンテーション等による 2 次放射線被ばくの影響、人体内の臓器毎の線量の評価方法等についても研究が進められる予定となっている。</p> <p><関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0020 過度の電離放射線(JEM 隔壁による制御)</p>	
<p>う 高真空、微小重力等</p> <p>JEM 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>また、与圧部(船内実験室)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>う 高真空、微小重力等</p> <p>①高真空</p> <p>与圧部(船内実験室)・補給部与圧区(船内保管室)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。</p> <p>曝露環境に設置される機器は、高真空に曝されるため、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、6(3)参照。)</p>	<p>う 高真空、微小重力等</p> <p>①高真空</p> <p>曝露環境に設置される SMILES 機器は、高真空に曝されるため、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を熱真空試験により確認されている。(減圧・再加圧については、6(3)参照。)</p>
	<p>②微小重力</p> <p>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、JEM に持ち込まれ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、搭乗員による取り扱いの作業手順が適切に設定されている。</p> <p>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、適切な箇所足固定具が設置可能となっている。</p>	<p>②微小重力</p> <p>微小重力下で搭乗員が作業(JEM ロボットアーム故障時の SMILES からの取り外し等)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、船外活動(EVA)に対しては 1G 試験および水中シミュレーションで確認した。</p>
	<p>③プラズマ</p> <p>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氣的接地の確保・帯電防止が行われている。</p>	<p>③プラズマ</p> <p>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、SMILES 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氣的接地の確保・帯電防止が行われている。これは打ち上げ前に各電氣的結合部の抵抗を測定することで確認している。また軌道上で機器を交換する場合は、電氣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</p> <p>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、与圧部(船内実験室)・補給部与圧区(船内保管室)の内部では、JEM の環境制御機能により、搭乗員が軽装で活動できる温度環境が提供される。</p> <p>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、打上げから全</p>	<p>④高温・低温</p> <p>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、また船外活動搭乗員が許容できる外表面温度(-117~112℃)以下であること、或いは許容できる熱伝導率があることを保障するため、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、冷</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (4/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	運用範囲にわたって、各機器の温度を許容温度範囲に保つため、多層断熱材による保温、冷却ループによる冷却、ヒータによる加熱等の対策が講じられている。	却ループによる冷却、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、実機の熱平衡試験を実施し、予測温度を検証している。
	<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、(2)イ③(ウ)参照)</p> <p><関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0005 減圧 NASDA-1JA/1J-0011, NASDA-2JA-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上) NASDA-1JA/1J-0023 隔離/退避不能 NASDA-1JA/1J-0026, NASDA-2JA-0026 不適切な船外活動(EVA)移動支援具</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、有機材料を使用していないことを確認した。</p>
(2)誘導環境からの保護	(2)誘導環境からの保護	(2)誘導環境からの保護
<p>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、スペースシャトル搭載時の諸条件に耐えられること。</p>	<p>ア 打上げ時の誘導環境 JEM の構造・機器は、打上げ時の誘導環境に基づいてスペースシャトル内の JEM 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設計マージンが確保されている。</p>	<p>ア 打上げ時等の誘導環境 SMILES の構造・機器は、打上げ及び着陸時の誘導環境に基づいて H-IIB ロケット内の JEM 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 3 項に示す。 ・剛性設計 ・強度設計 ・疲労強度設計</p>
<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、宇宙ステーション本体の機能に依存するが、JEM においても異常を搭乗員に知らせること。 また、搭乗員の安全に影響を及ぼさないよう、温度、湿度及び気流を適切に制御するとともに、微生物及び微粒子を適切に除去すること。</p>	<p>イ 軌道上の誘導環境 ①雰囲気空気 <関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0004 環境空気悪化(温度、湿度、空気組成)</p>	<p>イ 軌道上の誘導環境 ①雰囲気空気</p>
	<p>(ア)酸素等の濃度 JEM 内循環空気は、通常時、JEM と隣接するモジュール間に設置されたファンでの通風換気により ISS 本体に送られ、ISS 本体側で酸素分圧の制御、二酸化炭素・一酸化炭素等の除去が行われる。 これらの成分の監視は、ISS 本体において行われ、二酸化炭素・酸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、JEM 内の搭乗員にも知らされる。 JEM においては、与圧部(船内実験室)では供給側と排出側に各々 1 つのファンを設置しており、片側が停止しても JEM 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。補給部与圧区(船内保管室)では 1 つの循環ファンで与圧部(船内実験室)と通風換気しており、ファン停止時には与圧部(船内実験室)に退避する。 なお、与圧部(船内実験室)・補給部与圧区(船内保管室)のファンの故障は検知することができ、ファンの停止等により搭乗員に危険が及ぶ場合は、隣接するモジュールに退避</p>	<p>(ア)酸素等の濃度 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (5/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	する。	
	(イ)気圧 軌道上運用でISSの内圧は1気圧に維持され、平常時はISS本体から通風換気によりJEMに空気が送られ、JEM内の圧力及び空気成分が制御される。 通常運用時、JEMとISS本体を隔てるハッチは開放されており、JEM内の急激な減圧はISS本体で検知され、JEM内に警告・警報される。	(イ)気圧 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	(ウ)温度、湿度 JEMの温湿度は、独立した2台の空気調和装置によって制御され、1台が停止しても、他の1台の運転により、温度・湿度を基準内に制御できる設計である(与圧部(船内実験室)内で温度 18.3~26.7℃、湿度 25~70%の範囲で設定可能)。	(ウ)温度、湿度 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	(エ)気流等 JEM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。 なお、微粒子・微生物は、空気調和装置組み込みのフィルタ機能により、除去される。	(エ)気流等 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
(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(船内実験室)内の空気をJEMの外に排出すること。	②汚染 〈関連ハザードレポート〉 NASDA-1JA/1J-003 NASDA-2JA-003 環境汚染空気	②汚染
	(ア)有害物質の放出防止 JEMにおいては、ISS計画で規定された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。	(ア)有害物質の放出防止 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	(イ)制御 ISS内では、搭乗員・実験動物からアンモニア等の代謝生成物が放出されるため、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。 JEMの与圧部(船内実験室)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、ハッチを閉じる。 汚染をISS本体側で除去できない場合には、与圧部(船内実験室)内の空気を宇宙空間へ排出して汚染物質を除去する((3)軌道上環境の保全、6(1)汚染参照)。	(イ)制御 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
(ウ)振動、音響、電磁波 JEM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。	③振動、音響、電磁波 〈関連ハザードレポート〉 NASDA-1JA/1J-0025、NASDA-2JA-0025 電磁干渉による機器誤動作 NASDA-ICS-0025 電磁干渉による機器誤動作	③振動、音響、電磁波

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (6/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	NASDA-ICS-0027 電波放射	
	(ア)振動 JEMシステムの冷却水用ポンプ・真空排気用ポンプ・空調用ファン等の各種回転機器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、人体・搭載機器に影響を与えるレベルではない。 ISS では、スペースシャトルのドッキング、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べて小さく、搭乗員・JEM・搭載機器に影響を与えないと考えられる。	(ア)振動 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	(イ)音響 振動と同様に、真空排気用ポンプ・空調用ファン等の各種回転機器、空調ダクト、ハルブ、ノズルから音響が発生するが、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、JEM にもこれを適用している。	(イ)音響 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	(ウ)電磁波 ISS の各機器、地上レーダ、スペースシャトル、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。 JEM 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。	(ウ)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。 SMILES 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)を確認した。 <関連ハザードレポート> STD-SMILES- 8.1 電磁干渉
(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。	3)軌道上環境等の保全 スペースデブリの発生は ISS に対するハザードとなるため、JEM は、構成要素・軌道上交換ユニット等の機器を不意に放出せず、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よう設計されている。 <関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0011 NASDA-2JA-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上) NASDA-ICS-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上)	(3)軌道上環境等の保全 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 また、SMILES は、軌道上で放出しなければならない固体または液体の廃棄物を持たない。
5.構造 JEM 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、十分な余裕度をもって設計・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。	3.構造 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、JEM の構造には、以下のような対策が講じられている。	3.構造 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、SMILES の構造には、以下のような対策が講じられていることを検証している。
(1)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(船内実験室)構造体及び補給部与圧区(船内保管室)構造体を含む。)は、リフトオフアブチャ又は安全寿命設計であること。	(1)設計 ア 構造設計 ①飛行荷重 打上げ・軌道上・帰還・着陸等の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 搭乗員の過失等の不測の原因により JEM の構成機器・ハル等に構造損傷が生じ	(1)設計 ア 構造設計 具体的な設計内容は(2)剛性・強度の項に示す。

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (7/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	<p>た場合にも、JEM・搭乗員が直ちに危険な状態に陥ることのないよう、残りの構造で制限荷重まで耐える設計となっている。</p>	
	<p>イ 圧力容器の設計 与圧部(船内実験室)・補給部与圧区(船内保管室)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、次の対応が取られている。</p> <p>①最大設計圧力(MDP:SMILESmum Design Pressure) JEM は、MDP(ガスの漏洩、圧力リリーフ機能損失等、圧力上昇の原因として考えられる故障が 2 重に発生した時の最大の圧力)に安全率を掛けた圧力に対し、必要十分な強度を持たせた設計とされている。(安全率については(2)剛性・強度参照。)</p> <p>②リークビフォアラブチャ 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、破裂を起こさない設計)としている。</p> <p><関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0006 与圧部(船内実験室)の破裂 NASDA-1JA/1J-0007 NASDA-2JA-0007 圧力システムの破裂 NASDA-1JA/1J-0008 負圧による構造破損 NASDA-1JA/1J-0010 NASDA-2JA-0010 打上げ/上昇/下降時の荷重による構造破損 NASDA-1JA/1J-0024 NASDA-2JA-0024 軌道上での荷重による構造破損</p>	<p>イ 圧力容器の設計 SMILES に対しては冷却配管系統 MDP (2 段スターリング 1.44MPa、JT 回路系 1.93MPa) および排熱系統 MDP (1.57MPa) に適切な安全率を乗じて耐圧試験を行っている。</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-SMILES-2、3 圧力システムの破裂</p>
<p>(2)剛性及び強度 ア 剛性 JEM 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、有害な変形を生じないこと。 また、スペースシャトル搭載時に要求される最低振動数要求を満足すること。</p>	<p>(2)剛性・強度 ア 剛性 ①有害な変形の防止 JEM には、スペースシャトルによる打上げ・着陸荷重と ISS のリフト・ドッキング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設計されている。 (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</p> <p>②有害な共振の防止 打上げ・着陸時、軌道上運用時において、JEM とスペースシャトル、JEM と ISS 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に設計されている。</p>	<p>(2)剛性・強度 ア 剛性 SMILES には、打ち上げ、着陸、ISS のリフト・ドッキング等による軌道上荷重が負荷されるため、運用中の最大荷重または SMILES と ISS/H-IIIB 間での共振を考慮し、次の剛性を持つよう設計した。 (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</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、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。 インターステーションの検証として、SMILES の打上げキャリアである HTV 曝露パレットの設計の進捗に合わせて柔結合解析が行われており、その結果に SMILES の構造設計が包絡されていることを確認した。</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-SMILES-1 構造破損</p>
イ 静荷重強度	イ 静荷重強度	イ 静荷重強度

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (8/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
<p>JEM の構造は、打上げ時及び軌道上において想定される最大の荷重に対して、十分な強度を有すること。</p>	<p>JEM の構造は、JEM 飛行運用中の打上げ・着陸荷重、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(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設計されている。</p>	<p>SMILES 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(打ち上げ時に対しては降伏 1.0 倍・終極安全率 1.4 倍、軌道上荷重に対しては降伏 1.25 倍・終極安全率 2.0 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。</p> <p>これらは、以下のように検証した。 構造解析の実施した。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があることを確認した。また構造検証モデルを用いて、静荷重試験を実施している。 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。 インタース荷重の検証として、SMILES の打上げキャリアである HTV 曝露パレットの設計の進捗に合わせて柔結合解析が行われており、その結果に SMILES の構造設計が包絡されていることを確認した。これは HTV 曝露パレットとして、打ち上げ前までに最終的な確認を行う。</p> <p><関連ハザードレポート> 同上</p>
<p>ウ 疲労強度 JEM の構造は、長期の運用に対して、十分な疲労寿命を有するか、又は疲労寿命に対する十分な余裕をもって交換できること。</p>	<p>ウ 疲労強度</p>	<p>ウ 疲労強度</p> <p><関連ハザードレポート> 同上</p>
	<p>①寿命 JEM の計画運用期間は 10 年であるが、運用期間が延長された場合も考慮し、JEM の構造の設計寿命は、15 年と設定されている。 JEM 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。</p>	<p>①寿命 SMILES の計画運用期間は 2 年であるが、運用期間が延長された場合も考慮した。また、地上での試験・輸送等の荷重履歴を考慮した寿命を設定している。</p>
	<p>②安全率 ISS 全体に対して寿命安全率 4.0 が共通要求事項であり、JEM にもこの要求事項を適用している。</p>	<p>②安全率 SMILES 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。</p>
	<p>③疲労寿命の確認 その破損が、スペースシャトル・ISS・JEM・搭乗員に重大な影響を与える JEM の構造要素(フラクチャークリティカル・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となっている。</p>	<p>③疲労寿命の確認 設計寿命の検証として、その破損が ISS・JEM・搭乗員に重大な影響を与える SMILES の構造要素(フラクチャークリティカル・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>(3)構成材料 構成材料については、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>(3)構成材料</p> <p><関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0001 NASDA-2JA-0001 火災 NASDA-1JA/1J-0003 NASDA-2JA-0003 環境空気汚染 NASDA-1JA/1J-0007 NASDA-2JA-0007 圧力システムの破裂 NASDA-1JA/1J-0010 NASDA-2JA-0010 打上げ/上昇/下降時の荷重による構造破損 NASDA-1JA/1J-0024 NASDA-2JA-0024 軌道上での荷重による構造破損</p>	<p>(3)構成材料</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-SMILES-1 構造破損 UNQ-SMILES-2.3 圧力システムの破裂</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (9/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	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、与圧部(船内実験室)内の非金属材料には不燃性・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。	ア 可燃性・ガス発生に対する考慮 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	イ 破壊靱性に対する考慮 テ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(船内実験室)外壁等は高い破壊靱性値を持つ構造部材が使用されている。	イ 破壊靱性に対する考慮 SMILES の構造材料は、ISS で認められている材用を使用していることを材料使用識別リストにて評価した。
	ウ 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 JEM 構造材料が選定されている。	ウ 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、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、SMILES 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。
6.安全・開発保証 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、安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。	4.安全性・信頼性等	4.安全性・信頼性等
(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。	(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、原則としてフォルトトレランス(故障許容)設計がとられている。 ア ハザードの被害の度合いとフォルトトレランス数 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ルトトレランス設計とされている。 ①カタストロフィックハザード: 27フォルトトレランス(システム・機器の故障及び搭乗員の誤操作のいかなる2つの組み合わせによっても搭乗員に対する致命傷を引き起こさない設計) ②クリティカルハザード: 17フォルトトレランス(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) イ 冗長設計とインビッド設計 フォルトトレランス設計として、次の2つの手法がとられている。 ・ある機能の喪失が事故に到る場合 :冗長設計 ・ある機能の意図しない動作が事故に到る場合 :インビッド設計	(1) 安全性 SMILESシステムは、左記に従い、以下のような安全性設計を行った。 電力系の短絡が原因で、JEM システムの安全上重要な機器に影響を与えないように、適切に過電流保護を設置した。 また、アンテナの意図しない動作によるEVA搭乗員の挟み込みとなるため、電源2箇所を遮断するとともに、アンテナ近傍を立ち入り禁止区域(Keep out zone)として運用制御合意文書*に記載されていることを確認した(8.3 項 (1)参照)。 <関連ハザードレポート> STD-SMILES-11 電力系損傷 UNQ-SMILES-4 挟み込み(可動機器の船外活動員への衝突)
(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すること。 また、冗長系は、可能な限り互いに分離して配置すること。	(2)信頼性 ア システムの独立性 電力・通信制御・熱制御・環境制御系統等の安全に関わるシステムは、1 系統が故障した場合でも他方の 1 系統のみで安全な運用を確保できるよう、各系統が冗長設計(並行運転又は待機冗長)され、かつ、冗長系の各要素は物理的に独立している。 また、火災・テブリア衝突等の損傷を想定しても 2 系統が同時に使用不能とならないよ	(2) 信頼性 ア システムの独立性 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (SMILES では安全上冗長系を要求される系はない)

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (10/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	<p>う、独立した 2 系統の主要機器は別々のラックに装着され、冗長機器の配置・リソース経路を分離し、故障の伝搬を防止するよう設計されている。</p> <p><関連ハザードレポート> 全般</p>	
<p>イ 故障検知 安全に関わるシステムの故障は、可能な限り自動的に検知され、地上要員に通報されるとともに、緊急を要するもの等必要なものは、搭乗員にも通報されること。</p>	<p>イ 故障検知 搭載する JEMコントロールプロセッサ(JCP)によって、各機器のセンサ等からのデータを周期的に収集し、JEM 内の故障を検出・同定して、所定の回復手順を自動的に実行することにより、必要最小限の JEMシステム及び搭乗員の安全性を維持する機能(故障検知・分離・回復(FDIR)機能)を有している。</p> <p>JCP の周期的診断や各個別制御装置の自己診断によって、処置を要する故障が検知された場合、故障機器が遮断され又は警告・警報が発せられ、処置が促される。</p> <p>なお、JCP は自己診断機能を有しており、JCP 自体に処置を要する故障が検知された場合、待機冗長の JCP を自動的に立ち上げ、切り換える。</p> <p><関連ハザードレポート> 全般</p>	<p>イ 故障検知 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (SMILES は安全上冗長系を要求される系はない。)</p>
<p>ウ 自律性の確保 安全に関わるシステムについては、地上管制が受けられない場合においても搭乗員の安全を確保すること。</p>	<p>ウ 自律性の確保、自動機能に対するオーバーライド 地上管制との通信が途絶えた状態で、火災・減圧・汚染等の緊急事態が発生した場合には、軌道上搭乗員が地上に依存することなく、安全確保の処置を行う必要がある。 このため、安全に関わる JEM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らのコマンドによっても安全側への制御を行うこと(オーバーライド)が可能とされている。 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、搭乗員による独立な 2 つの動作が必要とされている。</p> <p><関連ハザードレポート> 全般</p>	<p>ウ 自律性の確保、自動機能に対するオーバーライド SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (SMILES は通信途絶が安全上問題となる機能はなく、また安全上オーバーライドを要する機能はない。)</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、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>上記に含む</p>	<p>上記に含む</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>(3)保全性 ISS の保全作業は、船内活動・船外活動・ロボットアーム操作により、基本的に軌道上交換ユニット(ORU)毎に機器・部品の交換が行われる。</p> <p>ア 機能中断の防止 JEM の安全に関わるシステムは、冗長構成となっているため、保全時に 1 系統を停止させた場合でも、他系統で運転を行い、最低限の機能を確保しつつ、保全作業が可能である((2)信頼性参照)。</p> <p><関連ハザードレポート> 全般</p>	<p>(3) 保全性 ISS の保全には、船内活動(IVA)、船外活動(EVA)及びロボットアーム操作(EVR)の 3 種類がある。これらの活動に要する搭乗員の作業時間は貴重なリソースであるため、宇宙ステーション全体として保全時間が割り当てられる。</p> <p>ア 機能中断の防止 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (SMILES では安全上冗長系を要求される系はない)</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</p>	<p>イ 危険防止 ①船外活動の最少化 搭乗員の船外活動を極力少なくするため、曝露部(船外実験ハレット)上面の機器の</p>	<p>イ 危険防止 ① 船外活動の最小化 SMILES は JEM ロボットアームで船外パレットに移設される設計となって</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (11/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
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。	保全作業は、与圧部(船内実験室)内からマニピュレータを使用したロボティクス作業によって行われる。	いる。緊急時を除き、定期的な保全を目的とした船外活動は不要な設計となっている。
	②粉塵等の発生の最少化 軌道上での保全作業では、粉塵等を発生する加工作業は行わない計画である。	② 粉塵等の発生の最少化 SMILES では、保全作業は計画されていないため適用外とする。
	③流体放出の防止 保全時の流体の放出防止のため、熱制御系の水ループ機器等のインタフェースには、クイックテイスコネクタ(QD)を使用している。	③ 流体放出の防止 流体放出に対しては、保全時の流体放出防止のため、熱制御系の水ループ機器等のインタフェースには、クイックテイスコネクタ(QD)を使用していることを、図面、実機検査により確認した。 さらに、ループに使用する配管等に流体適合性のある材料を選定し、溶接継ぎ手、金属1重シールまたは2重弾性シールを採用した。
	④防護措置 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。	④ 防護措置 5 項(1)イのとおり、接触面温度は要求内であること確認した。
	⑤機器取付け及び取外しでの安全 ORU が無重力状態でハンドレール、シートラック、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など、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。 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。 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。 <関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0002 水の漏洩 NASDA-1JA/1J-0003 NASDA-2JA-0003 環境空気汚染 NASDA-1JA/1J-0011 NASDA-2JA-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上) NASDA-1JA/1J-0016 NASDA-2JA-0016 電気ショック NASDA-1JA/1J-0017 NASDA-2JA-0017 接触面温度異常	⑤ 機器取付け及び取外しでの安全 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
(4)品質保証 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。 また、JEM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、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。	(4)品質保証 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。 また、JEMシステムの構成部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。 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)が構築	(4) 品質保証 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。 また、SMILESシステムの構成部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 SMILES の運用期間中保存されている。さらに宇宙航空研究開発機構では、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。 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

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (12/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	されている。 ・JEM 問題報告及び是正処置データ ・JEM 材料及び工程技術データ ・JEM 電気、電子、電気機械(EEE)部品データ ・JEM FMEA/クリティカルアイテムリスト(CIL)データ ・JEM ORUデータ ・JEM ハザード関連データ(ハザードレポート)	ム (SPADEシステム)を構築し、データの入力を行っている。現在、以下の関連データがまとめられており、関係者によるデータ検索、閲覧が可能である。 ・デビエーション・ウェイハールリスト ・材料及び工程技術データ ・電気、電子、電気機械(EEE)部品データ ・MIUL,MUAデータ ・安全審査議事録、アクションアイテム ・安全性評価報告書
7.人間・機械系設計 JEM は、我が国初めての本格的な有人宇宙活動を提供する場であり、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。	5.人間・機械インタフェース設計	5. 人間・機械インタフェース設計
(1)搭乗員の保護 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など、外傷、火傷、感電等が生じないようにすること。 また、足部固定具、取っ手等は、荷重に十分耐えられること。	(1)搭乗員の保護 構体・機器による外傷・火傷・感電等の傷害から JEM 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。 <関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0013 NASDA-2JA-0013 回転機器への接触又は回転機器破損による破片の衝突 NASDA-1JA/1J-0016 NASDA-2JA-0016 電気ショック NASDA-1JA/1J-0017 NASDA-2JA-0017 接触面温度異常 NASDA-1JA/1J-0018 NASDA-2JA-0018 鋭利端部及び突起物 NASDA-1JA/1J-0019 NASDA-2JA-0019 切断/挟み込み NASDA-1JA/1J-0026 NASDA-2JA-0029 不適切な船外活動(EVA)移動支援具	(1) 搭乗員の保護 構体・機器による外傷・火傷・感電等の傷害から JEM 内外の搭乗員を保護するため、以下の対策を講じた。 SMILESにはリング電波分光系内からのレーザービームの漏洩を防止するため封入設計となっていることを、図面及び現品検査で確認した(8.3項(4)参照)。 <関連ハザードレポート> UNQ-SMILES-7 レーザー照射
	ア 外傷の防止 ①回転機器に対する防護 ファン、ホップ等の回転機器は、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。 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。	ア 外傷の防止 ① 回転機器に対する防護 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	②鋭利端部・突起物に対する防護 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。	② 鋭利端部・突起物に対する防護 搭乗員が接触する可能性のある SMILES 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。 機器の性能上、構造上、安全確保のために特別対応が必要となる箇所(締結具を醸装する必要がある保管庫のラック取り付け部)については、搭乗員に外傷を与えないことを実機検査により確認した。 上記によることができない部位についてはクルーがアクセスしないように、クルーによるアクセスの方法について、搭乗員の手順書へ反映されることを確認した。 特に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

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (13/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
		<p>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を行い確認した。</p> <p>恒星センサ及びコールドスカイ終端器の鋭利端部については、船外活動員が接触しないよう、それぞれKeep Out Zone、No Touch Areaと設定し、運用制御合意文書に記載されていることを確認した(8.3 項 (2)参照)。</p> <p>恒星センサのガラス部品については、船外活動員が接触できない位置に配置されていることを、図面及び現品検査により確認した。(8.3 項 (3)参照)。</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-SMILES-6 鋭利端部及び突起物(恒星センサ及びコールドスカイ終端部) UNQ-SMILES-6 鋭利端部及び突起物(恒星センサ及びコールドスカイ終端部以外) NCR-SMILES-1 恒星センサバフフル部及びコールドスカイ終端器の鋭利端部</p>
	<p>③巻き込み・挟み込みに対する防護 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。 さらに、可動部を持つ機器は、不意に稼働しないようにインヒットが設けられているとともに、緊急停止が可能な設計となっている。</p>	<p>③ 巻き込み・挟み込みに対する防護 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>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°C~45°C)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、クロス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>イ 火傷の防止 船外活動(EVA)グローブの実力を考慮した要求が設定されておりヒータのオン故障、JEM からの電力停止等の故障等の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及び熱真空試験にて確認した。2(1)ウ④項 高温・低温を参照。</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-SMILES-5 接触面温度異常</p>
	<p>ウ 感電の防止 電気設備は、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、搭乗員による装脱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もたせるとともに、ピンが露出しないタイプのコネクタの採用、コネクタの接地の確保が行われている。 船外活動による電力ラインのコネクタは、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、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。</p>	<p>ウ 感電の防止 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (船外活動による電力ラインのコネクタは、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、対応する必要がある。SMILES で該当するコネクタは、JEM とインタフェースする装置交換機構のコネクタであり、JEM システム側で対応されている。JEM システム側の制御に SMILES が整合するように、コネクタが選定されていることを確認した。)</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (14/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	<p>Ⅰ 作業等の安全 足場固定具(フットレスト)、取っ手(ハンドル)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>Ⅰ 作業等の安全 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (足場固定具は ISS 共通機器を使用する)。</p>
<p>(2)誤操作等の防止 安全に関わるシステムについては、搭乗員の負担を軽減するとともに、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、JEM 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>(2)誤操作の防止 <関連ハザードレポート> 全般</p>	<p>(2) 誤操作の防止 搭乗員の誤操作及び操作忘れを防止するため、SMILES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 搭乗員の誤操作・操作忘れの防止などのため、JEMRMS(ロボットアーム)コンソール電源投入時のアビオニクスファン・煙検知器の自動的始動等、可能な限りの自動化が図られている。</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、地上からのコマンドにより運用可能であることを機能試験により確認した。</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。 ①JEM の内部装飾全体は、搭乗員に上下左右の方向感覚を持たせるような設計とされている。 ②配線束・流体配管は、両端及び 1m(非圧領域は 5m)間隔でその機能が識別でき、また、ハルプの開閉状態が容易に確認できるようにされている。 ③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ボルを使用し、日本語等他の言語を使用する場合には、並記することとされている。</p>	<p>イ 内部装飾 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (SMILES は曝露空間で運用される。)</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(ハザードス・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、発信されることとなっている。 ②安全上重要なシステム・装置は、独立したインビットにより保護されている。</p>	<p>ウ 機器の操作手順 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>エ 視野等 ①JEMRMS(ロボットアーム)によるパイロット等の受け渡しは、搭乗員が JEM 与圧部(船内実験室)内の JEMRMS(ロボットアーム)コンソールの TVカメラ、モニターを通して確認しながら遠隔操作で行われる。 ②搭乗員の作業面では、作業・操作・表示機器確認に支障がないように十分な照明(特に規定がない限り、白色光で 108Lux 以上)が確保されている。</p>	<p>エ 視野等 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
<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>(3)共通化 ISS 全体の安全に関わる JEM 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、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)が図られている。 この共通化・標準化には、次のとおり、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・緊急処置等に関する手順・対応の統一、安全確保の</p>	<p>(3) 共通化 ISS 全体の安全に関わる SMILES 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。 具体的には、SMILES のロボティクスまたは EVA に係るインタフェース</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (15/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	<p>面から重要な保全方法の統一が重点的に含まれている。</p> <p>①警告・警報等 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:警報のクラス分け</p> <p>②火災検知/消火システム 共通化:煙センサ、可搬式消火器</p> <p>③マニピュレータ(ロボティクス) 共通化:親アームの被把持部、把持機構、ハンドコントローラ、ラップトップコンピュータ(ハードウェアのみ) 標準化:ラップトップコンピュータの表示</p> <p>④その他 共通化:ハッチ、ハンドレール、足部固定具、窓組立 等 標準化:配管・配線等識別用シール、銘板 等</p> <p><関連ハザードレポート> 全般</p>	<p>は、他の JEM システムと同様なインタフェースを持つことを確認した。</p>
<p>8.緊急対策 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>6.緊急対策 火災・減圧・汚染の発生等の緊急時においても、搭乗員の安全に重大な影響が及ばないようにするため、以下の対策が講じられている。</p>	<p>6.緊急対策</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十分早く発信できること。 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 JEM ではワークステーションラック及び RMSラックの 2 箇所に設置されている ISS 共通の警告・警報パネルによって、3 段階の緊急度に応じ、Emergency(Class1)、Warning(Class2)又は Caution(Class3)が発せられる。 Class 1 である火災・減圧・汚染に対しては、センサ検知による自動起動又は搭乗員若しくは地上要員による起動が可能であり、各ハザードに固有の警報音と点滅ライトで、警告・警報を発するシステムとなっている。</p> <p><関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0001 火災 NASDA-1JA/1J-00023 隔離/退避不能</p>	<p>(1)緊急警報 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>ア 火災 火災検知区域(RMSラック、実験ラック、空調装置入り口、補給部と圧区(船内保管室)(船内保管室)循環ファン出口等)毎に煙センサが配置され、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、消火区画は、区域毎に可搬式消火器による二酸化炭素放出のためのポートが設けられ、区画に対応した電源遮断及び循環空気停止を可能としている(注)。</p> <p>(注)JEM は、不燃性・難燃性材料の使用による燃焼抑止、適切な太さの電線の選定による過熱防止、ハーメチックシールタイプによる電氣的発火防止設計、適切な熱設計・故障検知分離システムの適用による過熱防止設計等により、火災発生リスクを最小化した設計となっている。</p>	<p>ア 火災 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>イ 減圧 キャビン内の減圧は、ISS 本体により常時監視され、設定圧以下・設定減圧速度以</p>	<p>イ 減圧 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (16/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
	上となると、ISS 内に警告・警報が発せられ、急速な減圧時には自動的に真空排気系の遮断弁が遮断される。	(SMILES は曝露空間で運用される。)
	ウ 汚染 JEM のキャビン内の空気は、ガスサンプリングラインにより ISS 本体の環境監視装置に定期的に送られて分析・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。	ウ 汚染 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
(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。	(2)アクセス 〈関連ハザードレポート〉 全般	(2)アクセス
	ア 非常設備、防護具 非常設備として、可搬式消火器が与圧部(船内実験室)2 箇所及び補給部与圧区(船内保管室)(船内保管室)1 箇所に備えられ、また、防護具として可搬式呼吸器が可搬式消火器使用前に装着できるように消火器から 91cm 以内に設置され、これらの保管場所は容易に識別できるよう表示される。	ア 非常設備、防護具 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
	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、文書として保管・掲示される。	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。
	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、フットレスト等が設置される。 また、電源喪失時に備えて、非常用電源による非常灯が設置されるほか、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。	ウ.通路 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。 (SMILES は曝露空間で運用される。)
(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(船内実験室)及び補給部与圧区(船内保管室)(船内保管室)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、JEM の起動に際し、搭乗員の JEM への移乗前に安全の確認ができること。	(3)減圧・再加圧 JEM 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、キャビン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、JEM の起動・再起動に際しては、搭乗員が JEM 内に移乗する前に、ISS 本体側から電力供給系・水ループ・JCP・システムネットワーク・空気調和装置・モジュール間通風換気(IMV)・火災検知系・ガスサンプリングライン・警告・警報ハル等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のできるシステム構成となっている。 〈関連ハザードレポート〉 NASDA-1JA/1J-0005 減圧	(3)減圧・再加圧 SMILES に対しては該当機能がないため適用外とする。
9.安全確保体制 JEM 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	7.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、JEM の開発・利用・運用の担当である JEM プロジェクトチーム等から独立した安全・開発保証部門である「宇宙ステーション安全・	7.安全確保体制 一般的事項 (左記のとおり実施している)

付表-1 基本指針に対する全体設計結果 (17/17)

JEM 基本指針(平成 8 年)	【参考】国際宇宙ステーションの日本の実験棟(JEM)の安全設計について(報告) (平成 11 年 7 月 7 日)	SMILES 安全検証結果
<p>行うこと。 また、安全上のあらゆる問題点について、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、JEM 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>信頼性管理室」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・検討される体制が確立されている。 さらに、JAXA において、JEM 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>	