

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性確認について
(CALET 調査審議結果)

平成 27 年 7 月 2 日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会

目 次

1. 概要
2. 調査審議の方法
3. 調査審議の結果

参考 1 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会 委員名簿

参考 2 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会 調査・安全小委員会 委員名簿

参考 3 平成 27 年度 国際宇宙ステーション (ISS) に日本が提供する ISS 構成要素及び搭載物に係る安全性について

付録 1 国際宇宙ステーション (ISS) に提供する実験装置 (高エネルギー電子、ガンマ線観測装置 (CALET)) に関する安全審査結果について

1. 概要

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という。）では、日本が国際宇宙ステーション（以下「ISS」という。）に提供する全てのISS構成要素及び搭載物（以下「要素・搭載物」という。）について、個別に安全審査を実施している。

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会宇宙開発利用部会（以下「宇宙開発利用部会」という。）では、JAXAが実施している安全審査が適切であることを確認するため、調査審議を行った。本資料は、その調査審議の結果を取りまとめたものである。

2. 調査審議の方法

宇宙開発利用部会及び宇宙開発利用部会が設置した調査・安全小委員会は、以下の日程で調査審議を行った。

- ・平成27年6月9日 調査・安全小委員会（第14回）
- ・平成27年7月2日 宇宙開発利用部会（第22回）

調査・安全小委員会は、JAXAから示された資料をもとに、JAXAが実施した具体的な要素・搭載物^(※)に係る安全審査の方法や結果等が所定の安全審査のプロセスや考え方に則しているかを、「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（平成24年9月6日 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 宇宙開発利用部会）」（以下「評価指針」という。）に照らして、調査審議を行った。

宇宙開発利用部会は、調査・安全小委員会における調査審議結果についての報告を受け、たうえで、調査審議を行った。

(※) 今回の調査審議では、今後の打上げ予定時期と、提供する要素・搭載物が有するハザード種の数や特殊性、新規性等を総合的に検討し、「高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)」に係る安全審査の方法や結果等を調査審議した。

3. 調査審議の結果

JAXAが実施した「高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)」に係る安全審査の方法や結果等について、安全確保の考え方、安全審査プロセス、ハザード^(※)及びハザード原因の抽出手法、抽出されたハザード及びハザード原因への対処の観点から調査審議した結果、JAXAが実施した「高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)」に係る安全審査の方法や結果等は妥当であると評価する。また、このことから、JAXAが実施している安全審査のプロセスや考え方は適切に機能していると判断する。

(※) 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。

(参考 1)

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 宇宙開発利用部会 委員名簿

(五十音順)

(委員)

部会長代理	佐藤 勝彦	自然科学研究機構長
部会長	白石 隆	政策研究大学院大学長／日本貿易振興機構アジア経済研究所長

(臨時委員)

青木 節子	慶應義塾大学総合政策学部教授
井川 陽次郎	読売新聞東京本社論説委員
柴崎 亮介	東京大学空間情報科学研究センター教授
白井 恭一	慶應義塾大学法学大学院講師(非常勤)／元東京海上日動火災保険株式会社航空保険部部長
鈴木 真二	東京大学大学院工学系研究科教授
高橋 德行	トヨタ海運株式会社代表取締役社長
永原 裕子	東京大学大学院理学系研究科教授
林田 佐智子	奈良女子大学大学院自然科学系教授
藤井 良一	名古屋大学太陽地球環境研究所教授
星出 彰彦	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構有人宇宙技術部門宇宙飛行士運用技術ユニット宇宙飛行士グループ技術領域リーダー
松尾 亜紀子	慶應義塾大学理工学部教授
安岡 善文	東京大学名誉教授
横山 広美	東京大学大学院理学系研究科准教授
吉田 和哉	東北大学大学院工学研究科教授
米本 浩一	九州工業大学大学院工学研究院教授

(参考2)

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会 調査・安全小委員会 委員名簿

(五十音順)

	飯田光明	国立研究開発法人産業技術総合研究所環境安全本部 安全管理部審議役
主査代理	折井武	衛星設計コンテスト実行委員会 会長
	門脇直人	国立研究開発法人情報通信研究機構執行役兼経営企画 部長
	鈴木和幸	電気通信大学大学院総合情報学専攻教授
	田村圭子	新潟大学危機管理室教授
主査	中島俊	帝京大学理工学部航空宇宙工学科教授
	野口和彦	横浜国立大学大学院環境情報研究院教授
	馬嶋秀行	鹿児島大学大学院医歯学総合研究科教授
	松尾亜紀子	慶應義塾大学理工学部教授
主査代理	渡邊篤太郎	元独立行政法人宇宙航空研究開発機構執行役

平成27年度 国際宇宙ステーション(ISS)に 日本が提供するISS構成要素及び搭載物に係る 安全性について

平成27年6月9日

文部科学省
研究開発局
宇宙開発利用課

(参考3)

1. ISS構成要素と搭載物の安全性に係る責任・役割分担

ISSに提供するISS構成要素や搭載物の安全性に関し、(1)米国航空宇宙局(NASA)と日本国政府との責任・役割の分担、(2)日本国における文部科学省とJAXAとの責任・役割分担は、NASAと日本国政府間の了解覚書(MOU)を踏まえて、以下のとおりとされている。

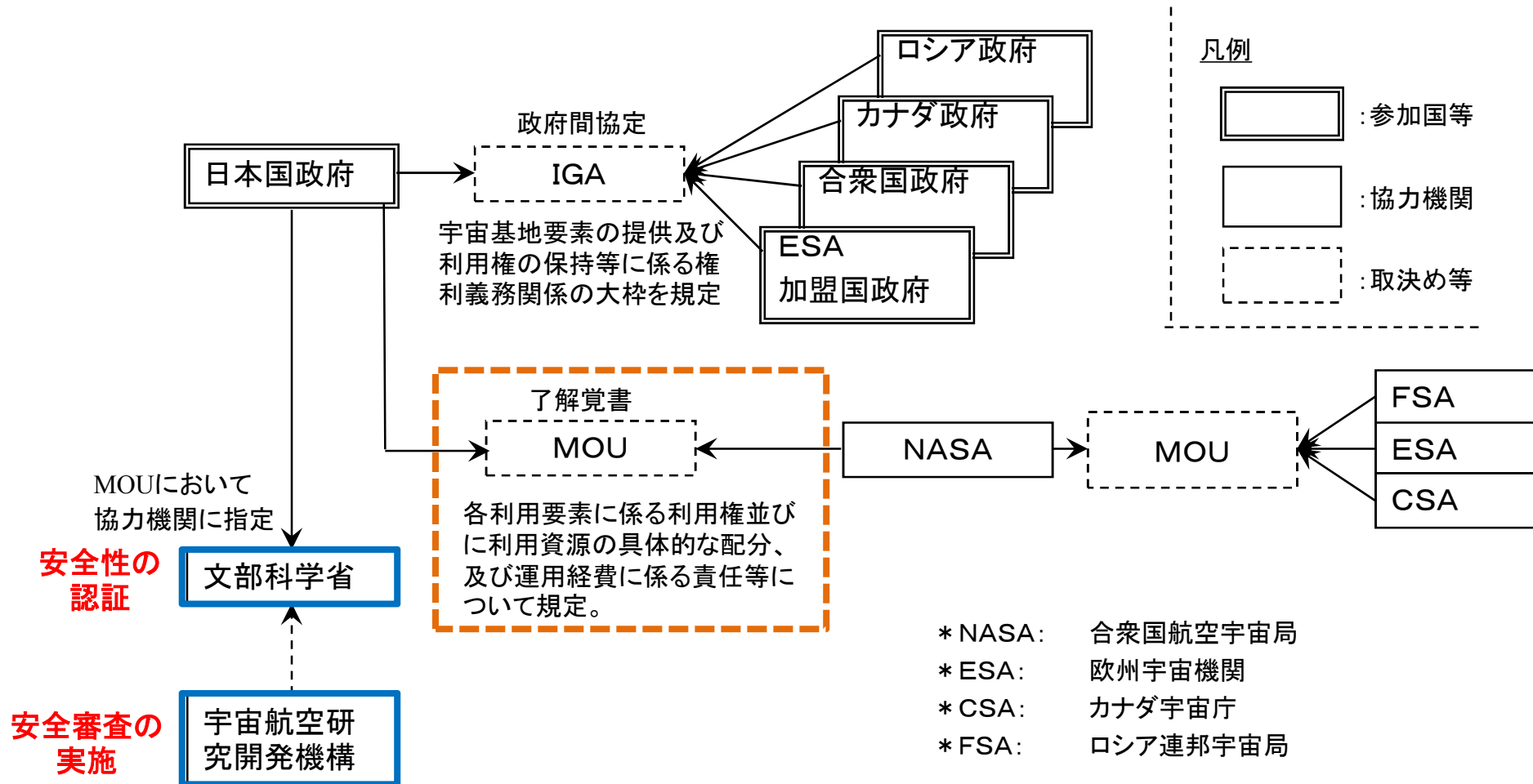
(1) NASA

- ① ISSの全体的な安全要求の設定、
及び日本が設定する安全要求が、ISSの全体的な要求に適合することの確認
- ② 日本が行う安全審査の支援
- ③ ISS全体及びISSの構成要素や搭載品が安全要求を満足していることの認証

(2) 日本国(文部科学省、JAXA)

- ① 日本が提供する要素や搭載物に関する安全要求の設定 <JAXA>
(NASA設定の全体的な安全要求を満足するよう設定、NASAが確認)
- ② 日本が提供する要素や搭載物に対する安全審査の実施 <JAXA> (NASAが支援)
- ③ 日本が提供する要素や搭載物が安全要求を満足していることの認証 <文科省>

1. ISS構成要素と搭載物の安全性に係る責任・役割分担



2. 日本国内における安全性の認証の具体的な実施方法

(1) JAXAは、日本が提供する全ての要素や搭載物に対して、個別に安全審査を実施

(2) 宇宙開発利用部会／調査・安全小委員会は、

➤ 年に1回程度、JAXAが実施する安全審査のプロセスが適切であることについてのチェックを実施

➤ このプロセスのチェックは、打上げ予定の具体的なISS構成要素や搭載物について、安全審査の方法や結果等の妥当性を評価することで実施

※ 平成27年度は、打上げ予定時期と、提供要素・搭載物が有するハザード種の数や特殊性（ユニークハザード数）、新規性等を総合的に検討し、高エネルギー電子、ガンマ線観測装置（CALET）にて実施する。

➤ この評価は、安全対策の評価のための基本指針(※)に照らして実施

※「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」(平成24年9月6日 宇宙開発利用部会決定)： NASAや日本のISS構成要素及び搭載物に関する安全要求との整合性をとりつつ、ISS構成要素等の安全対策について調査審議する際の指針

(3) 文部科学省は、JAXAが実施する安全審査結果と宇宙開発利用部会／調査・安全小委員会が実施する妥当性確認をもって、日本が提供する要素及び搭載物の安全性を認証

国際宇宙ステーション(ISS)に提供する実験装置 (高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)) に関する安全審査結果について

平成27年6月9日
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構

CALET: CALorimetric Electron Telescope

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 上森 規光

(付録1)

1. 目的
2. 審査対象
3. 審査経緯
4. 審査結果
5. 安全解析の概要
6. 結論

1. 目的

JAXAによる安全審査プロセスを実際のシステムに適用した事例として、JAXAが行った「高エネルギー電子、ガンマ線観測装置」(CALET)に対する安全審査の結果を示す。

2. 審査対象 CALET概要 (1/5)

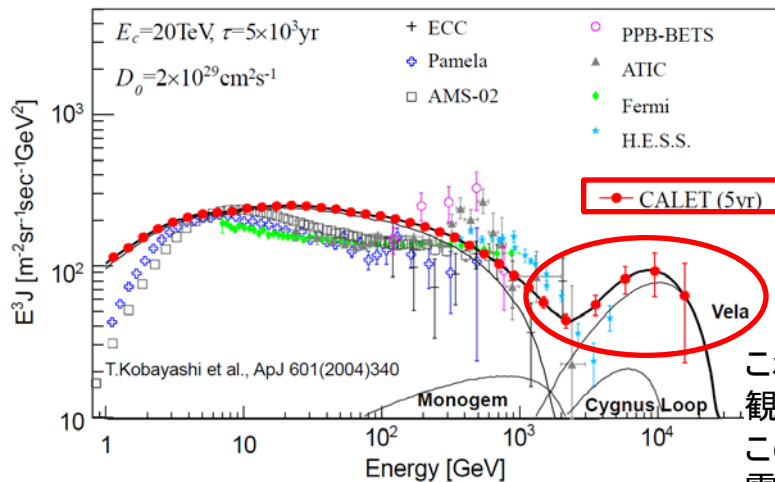
CALET開発によって獲得される高エネルギー電子観測技術と期待される成果

(期待される成果)

●宇宙物理学、素粒子物理学で説明が急がれている、①高エネルギー宇宙線の起源解明、②暗黒物質の正体解明に資する情報を世界に提供し、科学の発展に貢献する。

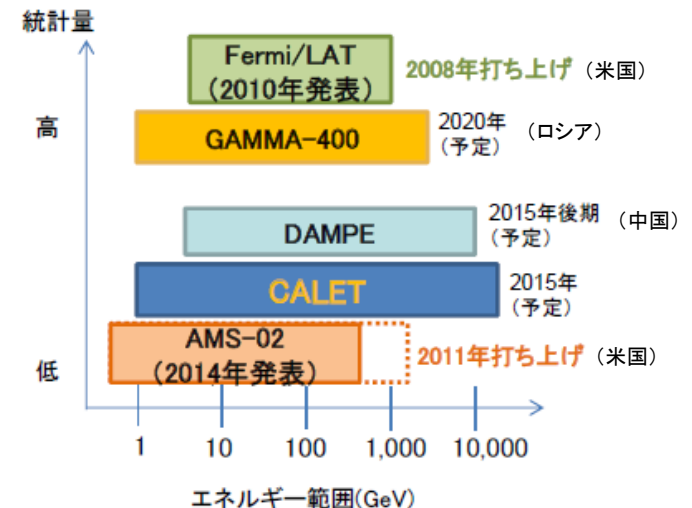
(ベンチマーク)

- 2015年に、世界初となるテラ電子ボルト(TeV)以上の高エネルギーの宇宙線・ガンマ線の観測を開始し、宇宙線天文台として高エネルギー宇宙現象や暗黒物質等の解明に貢献することを目指す。
- 暗黒物質の探索に関し、既に観測を開始しているFermi/LATやAMS-02は、高エネルギー帯(TeV領域)の観測は困難であるが、CALETは20TeVまでの電子・ガンマ線観測が可能である。
- 暗黒物質の存在及び質量(エネルギー)については、理論に基づいて想定されており、CALETでは電子のエネルギーを計測することによって、暗黒物質の存在を示唆する情報を世界に提供できる可能性がある。



これまでほとんど
観測されたことのない
このエネルギー領域の
電子の観測を実現する

電子密度のエネルギー分布



世界の宇宙線観測性能との比較

2. 審査対象 CALET概要 (2/5)

(外部からの評価)

- 国内外の宇宙線研究者から早期実現を求められている。

(役割分担)

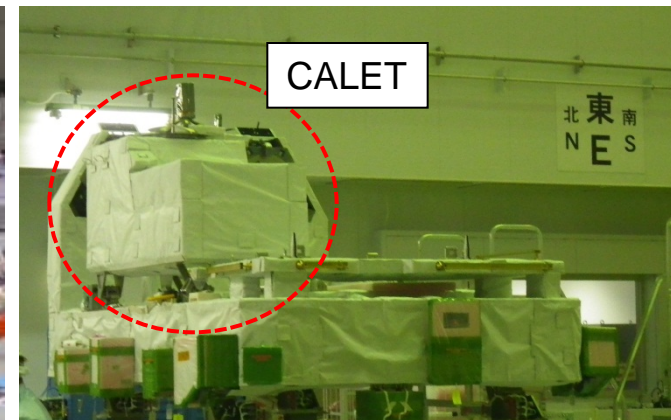
- JAXAは、気球での宇宙線観測 (bCALET) に用いられていた技術をベースに、1) 宇宙機化、2) 高エネルギー粒子の高精度測定に向けた大規模化、及び 3) その軌道上運用を担当し、2015年度に打上げ予定のHTV-5に搭載する計画。
- 国内研究者は、CALET開発にかかる技術支援を行い、運用開始後は、観測データの解析を行い、サイエンス成果を創出する。
- NASA、ASIとは、JAXAと協定を締結し、それに基づき、米国・イタリアの研究者による技術支援や、フライトハードウェア (高電圧電源機器等) の提供を受けている。



CALET外観

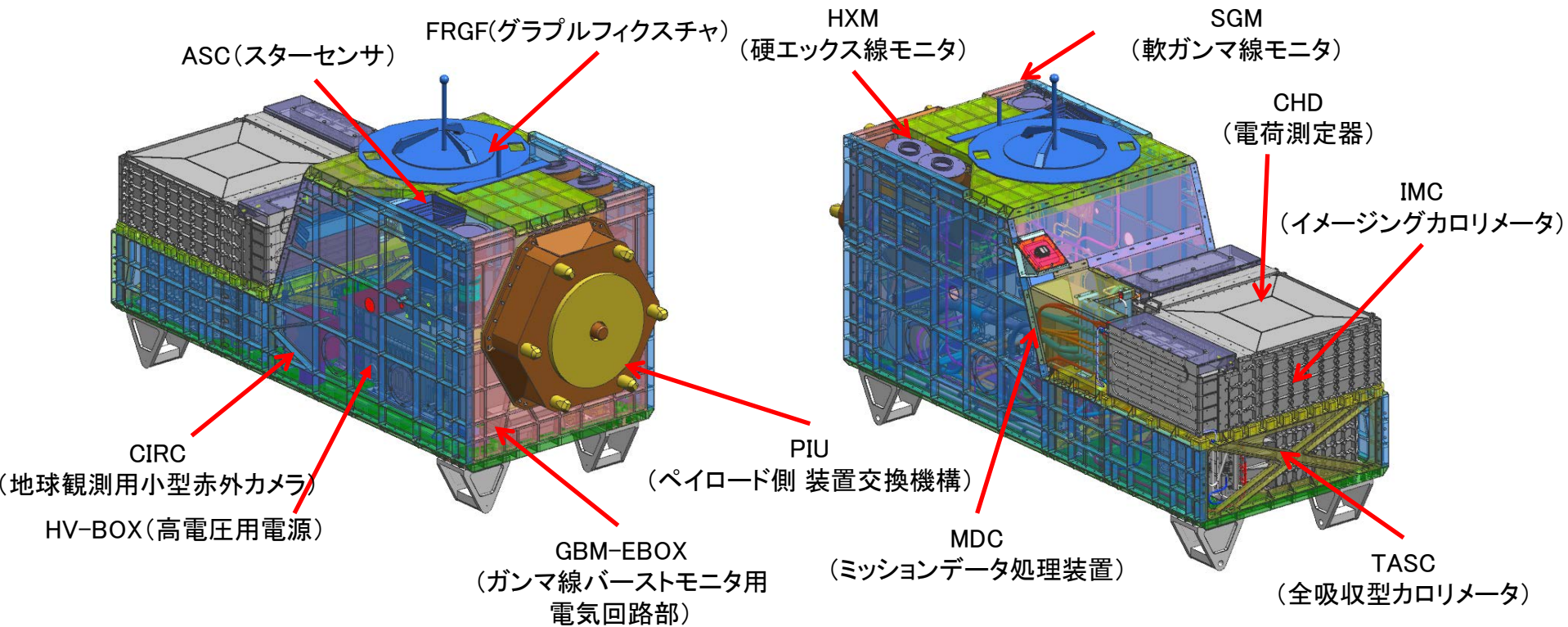


CALET (断熱材を外した状態)



HTV/曝露パレットに
搭載されたCALET

2. 審査対象 CALET概要 (3/5)



項目	仕様
用途	<ul style="list-style-type: none"> 高エネルギー領域での宇宙線観測を実現するため、カロリメータ等により、粒子の種類、到来方向、及びエネルギーの測定等を行う。
打上時質量	650 [kg]以下
装置形状、寸法	1,000(高さ) × 800(幅) × 1,850(奥行) [mm]

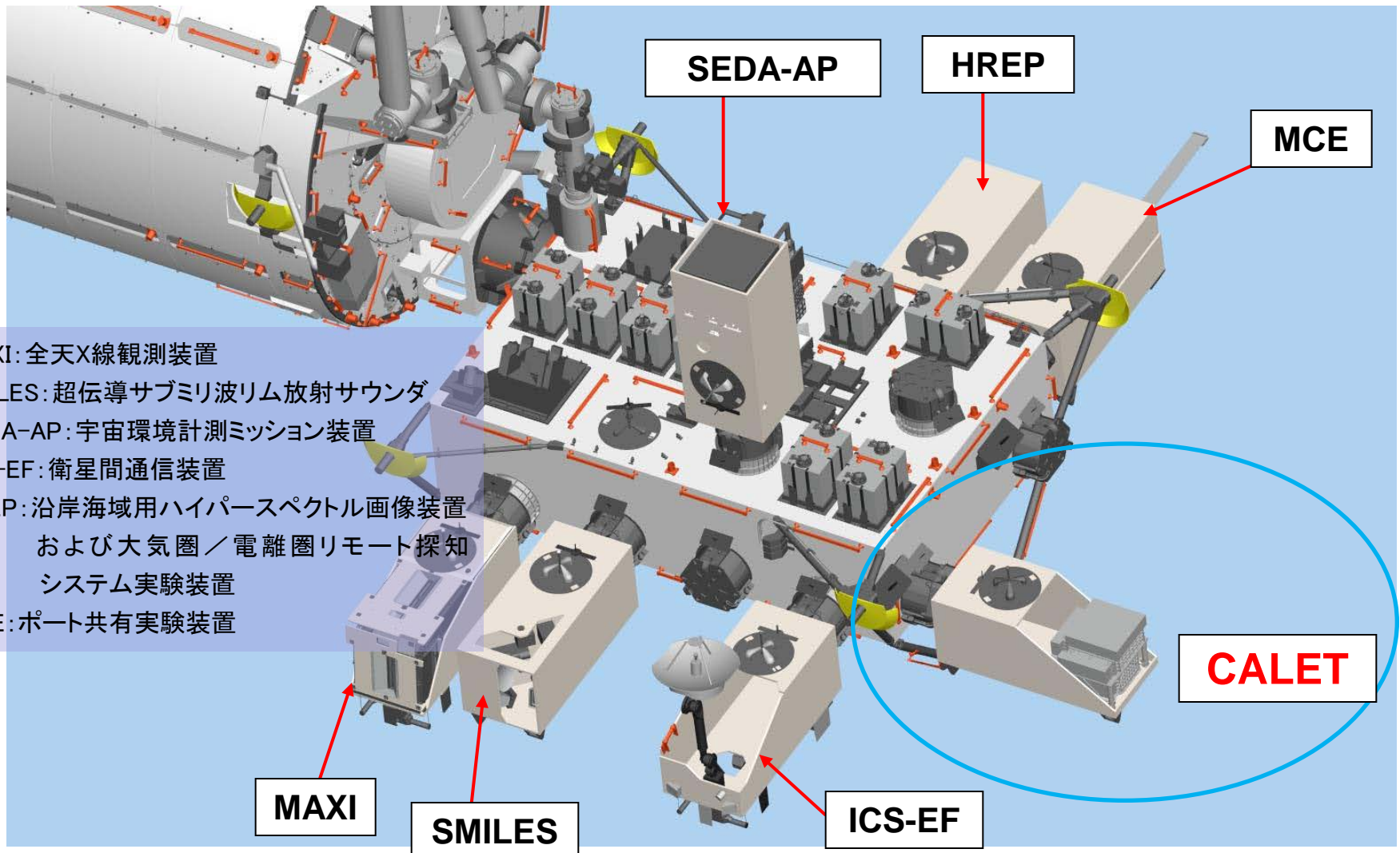
2. 審査対象 CALET概要 (4/5)

安全設計に関わる仕様

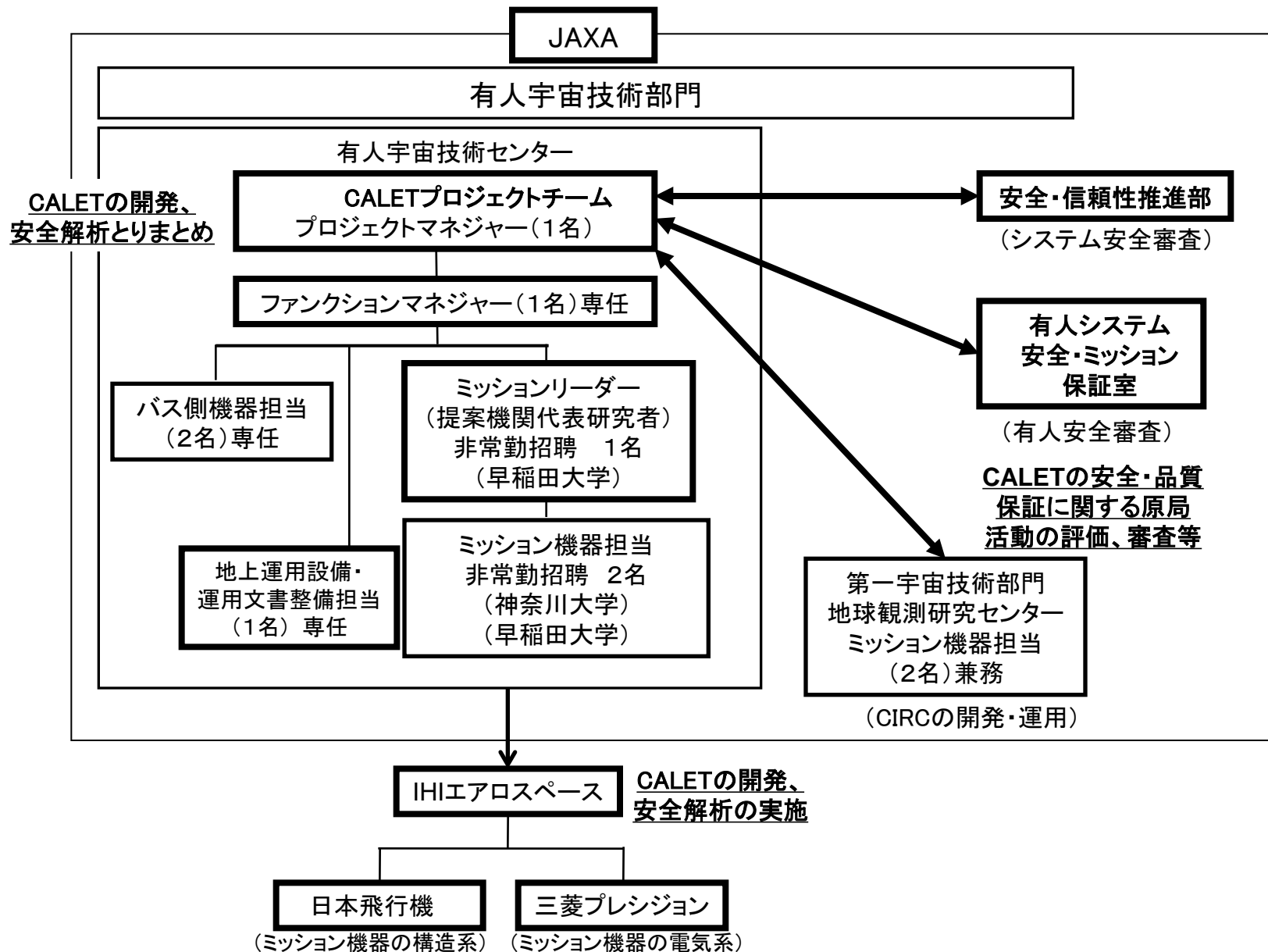
項目	概要	仕様
構造系	主構造	アルミ合金板構造
電力系	消費電力	最大 650 [W]
船外活動 インタ フェース	スターセンサ(ASC) バッフル内の鋭利 端部(シャープエッジ)	宇宙飛行士の船外活動(EVA)に対しては、接触禁止 エリア(NTA:No Touch Area)を設定することにより、 宇宙飛行士の不意の接触を防止。
	脆性材料 (レンズ、シンチレータ 等)	万が一破損した場合でも、飛散防止のため封入設計。 封入が不可能な箇所は、接触禁止エリアの設定 及び 一時的なカバーで保護。
熱制御系	機器の排熱	きぼう船外実験プラットフォームからのフロリナートの 循環による冷却 ・最大設計圧を超えないようアキュムレータの冗長系 を設置

2. 審査対象 CALET概要 (5/5)

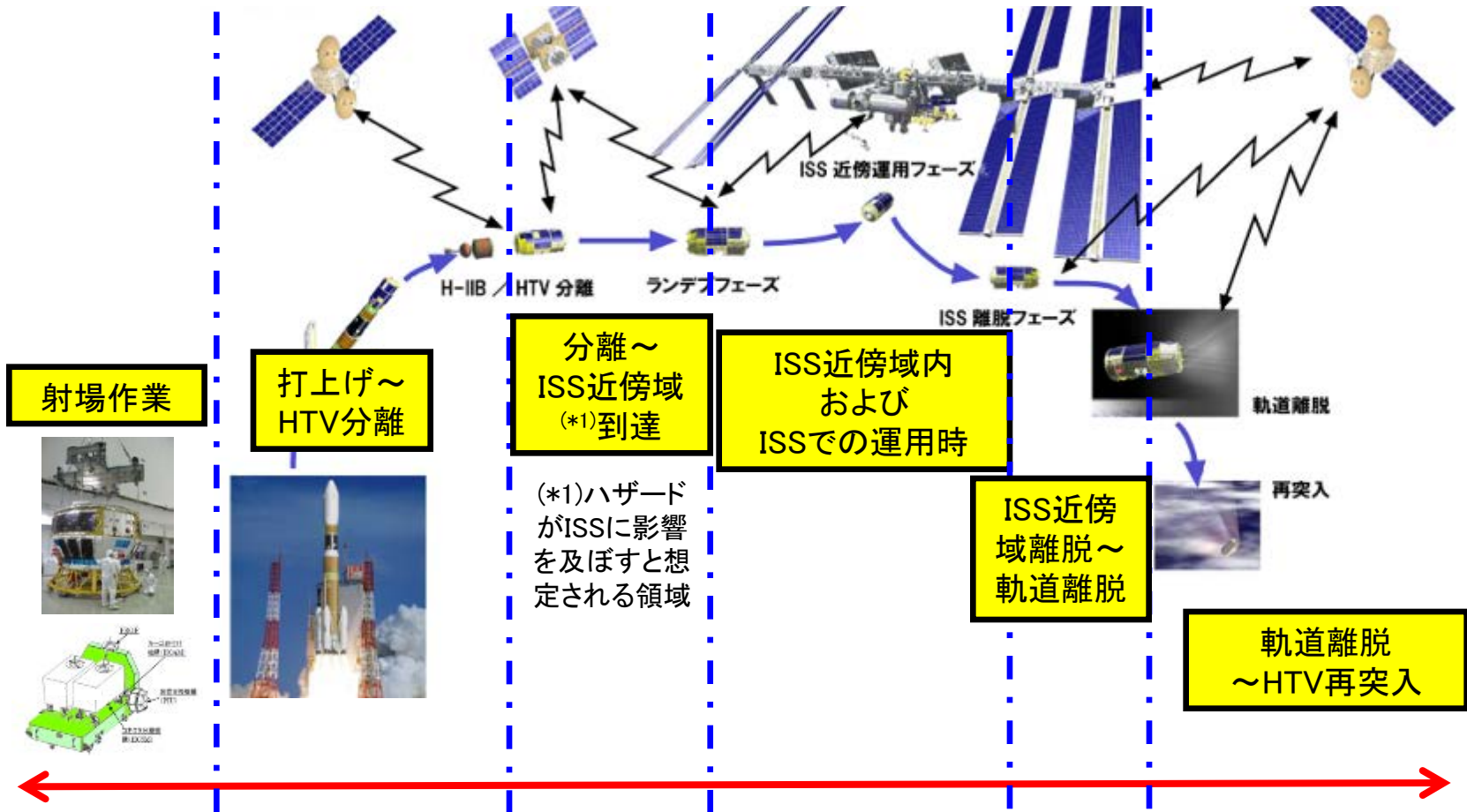
船外実験プラットフォーム上の搭載位置



2. 審査対象 安全管理体制



2. 審査対象 対象フェーズ



1. CALETにおけるJAXAとNASAの責任分担

ISS近傍域内でのHTV運用はJAXAとNASAが共同で実施する。その他はJAXAが実施する。

2. 関連するインタフェース

CALETは、打上げ時のHTV/曝露パレットとのインタフェース、ISS運用時のきぼうロボットアーム、きぼう船外実験プラットフォームとのインタフェースを有する。これらも審査対象に含む。

3. 審査経緯(1/2)

JAXAは、CALETに関する有人安全審査会及び安全審査委員会を、下記の通り実施し、平成27年3月に終了した。

(有人安全審査会、安全審査委員会の役割、メンバーを、添付1に示す)

	有人安全審査会	安全審査委員会
フェーズ0/1 (基本設計終了時)	平成23年3月4日 平成23年6月2日	平成23年6月14日
フェーズ2 (詳細設計終了時)	平成24年7月4日	平成25年1月29日
フェーズ3 (認定試験終了時)	平成27年3月3日	平成27年3月30日

各フェーズにおける審査事項は、添付3の安全解析の手順を参照。

3. 審査経緯(2/2)

安全審査における主な指摘事項と安全制御への反映

No.	対象フェーズ	指摘事項	安全制御への反映
1	フェーズ1	スターセンサ(ASC)のバッフル内部にあるシャープエッジに対する安全制御が不十分である。	<ol style="list-style-type: none">1. ミッション上、許容可能な範囲でシャープエッジを除去する。2. 残ったシャープエッジに対しては、宇宙飛行士に対する接触禁止エリアを設定し、アクセスを禁止する。 (詳細は、UNQ-CAL-04を参照)
2	フェーズ1	硬X線モニタ(HXM)で使用している脆性材料の破損に対する安全制御が不十分である。	宇宙飛行士が硬X線モニタに近づく場合には、一時的なカバーを取り付ける。 (詳細は、UNQ-CAL-06を参照)

4. 審査結果

- (I) 各フェーズ毎に有人安全審査会を開催し、下記を確認した。
1. ハザード及びハザード原因が適切に識別されていること(フェーズ0/1以降)
 - ✓ 標準ハザード及びユニークハザードの識別は、FTA(添付2)及び標準ハザードリスト等を元に識別した。
 - ✓ 識別されたハザードを、5項に示す。
 2. 識別された全てのハザード原因に対して、ハザード制御方法が適切に設定されていること(フェーズ2以降)
 - ✓ 安全解析の概要を5項に示す。
 3. ハザード制御方法が適切に検証されていること(フェーズ3)
 - ✓ 検証結果を5項に示す。
- (II) 各フェーズにおける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。
- (III) 「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CALETの安全検証結果を付表-1に示す。
CALETは本基本指針に適合していることを確認した。

以上により、「高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)」の安全審査を完了し、安全要求を満足していることを確認した。

5. 安全解析の概要

5.1. 識別されたハザード(1/2)

識別された標準ハザードを以下に示す。

	標準ハザード	結果
1	打上げ荷重による構造破壊	UNQ-CAL-01で評価(5.3項参照)
2	シールを有する圧力機器の破損	[該当なし]
3	通気口を有する機器の破損	UNQ-CAL-01で評価(5.3項参照)
4	鋭利端部への接触、挟み込み	UNQ-CAL-04で評価(5.3項参照)
5	ガラス等の破損	UNQ-CAL-06で評価(5.3項参照)
6	火災(可燃性物質の使用)	[該当なし]
7	船内空気の汚染(使用材料からのオフガス)	[該当なし]
8	電磁適合性	検証結果が妥当であることを確認した(5.2項参照)
9	電池の破裂/漏えい	[該当なし]
10	高温/低温部への接触	UNQ-CAL-05で評価(5.3項参照)
11	電力系の損傷	検証結果が妥当であることを確認した(5.2項参照)
12	発火源の有無	[該当なし]
13	回転機器(循環ポンプ、ファン)の破損	[該当なし]
14	電力コネクタ着脱時の感電	[該当なし]
15	搭乗員退避時の障害	[該当なし]
16	毒性物質の意図しない放出	[該当なし]

5. 安全解析の概要

5.1. 識別されたハザード(2/2)

以下に示す6件のユニークハザードを識別した。
ユニークハザードは、製品に特徴的な制御が必要となるハザード。

No.	ユニークハザード	結果
UNQ-CAL-01	構造破壊	検証結果が妥当であることを確認した。 内容は、5.3項を参照。
UNQ-CAL-02	圧力系の破裂	(同上)
UNQ-CAL-03	高電圧部位への接触による感電	(同上)
UNQ-CAL-04	鋭利端部(シャープエッジ)への接触	(同上)
UNQ-CAL-05	高温/低温部への接触	(同上)
UNQ-CAL-06	ガラス等の破損	(同上)

5. 安全解析の概要

5.2. 標準的な制御方法により検証した事項

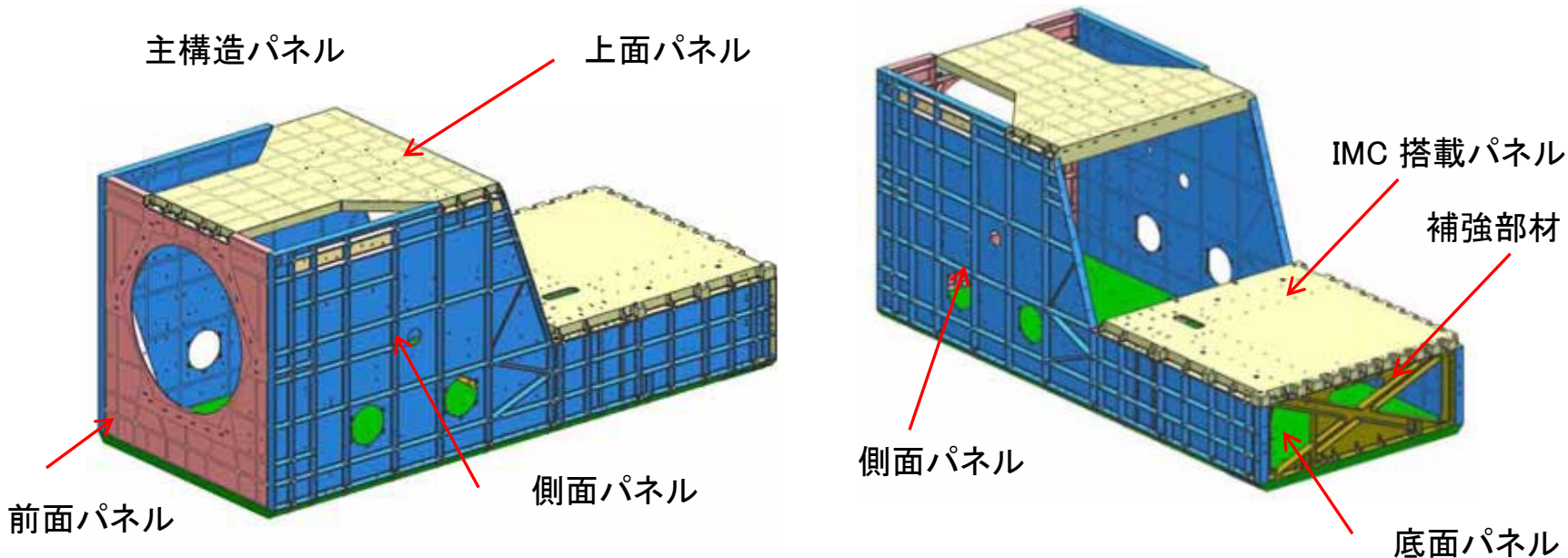
標準 ハザード 番号	タイトル	想定されるハザード	制御	検証
8	電磁適合性	電子機器から発生する電磁波によって、周りの機器に影響を与え、ハザード制御機能を喪失する。	電磁適合性(EMC)要求に適合した設計とする。	電磁適合性(EMC)試験を実施し、要求を満足することを確認した。
11	電気系の損傷	電気回路の短絡による機器の損傷。 電線の破損による有害物の発生、火災。	電気回路が適切な保護回路、ワイヤサイジングを有する設計とする。	電気回路が要求を満足することを図面および試験で確認した。

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-CAL-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(主構造および搭載機器の構造破壊)

- 打上げ中の準静的加速度及び減圧環境による差圧、さらに軌道上運用中の準静的加速度により構造破壊を起こし、破損した部位がHTVもしくはISSと衝突し、損傷させる。
- 打上げ振動により、搭載機器固定ボルトが緩み、機器が浮遊することによりCALET構造体等に衝突し破損させる。



【制御方法、検証方法】

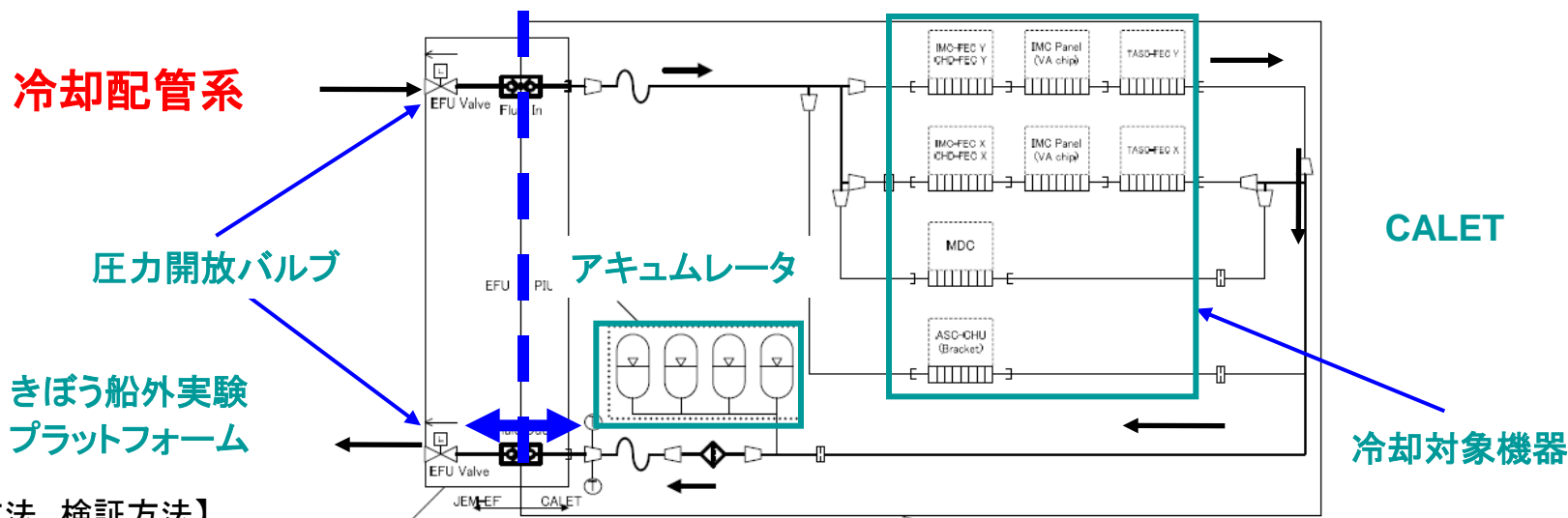
制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> ・打上げ時の静荷重に対して適切な安全係数を持つ構造設計を行う ・打上げ中に差圧荷重が発生する機器に対して、適切に排気(ベント)できるように開口部を持つ ・搭載機器の固定ボルトが打上げ時の振動により緩まないよう設計する 	<ul style="list-style-type: none"> ・強度解析を確認した ・減圧時の圧力解析を確認した ・音響振動試験を確認した
<ul style="list-style-type: none"> ・ISS要求に基づいたフラクチャコントロールを行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・フラクチャコントロール計画及び結果を承認した
<ul style="list-style-type: none"> ・ISS要求を満足する材料を使用する 	<ul style="list-style-type: none"> ・材料リストの審査(MIUL)及び材料使用合意書(MUA)を承認した

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-CAL-02: 圧力系の破裂

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(圧力系の破裂によるISSの損傷/宇宙飛行士の死傷)

- CALET内の冷媒の膨張等による圧力上昇によって、CALET冷却配管系の破裂に至り、破片等によりISSやHTVの損傷、または船外活動中の宇宙飛行士の死傷に至る。



【制御方法、検証方法】

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> •ISS要求に基づいたフラクチャコントロールを実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> •フラクチャコントロール計画及び結果を承認した
<ul style="list-style-type: none"> •腐食、構造強度の観点でISS要求に適合する材料を使用する 	<ul style="list-style-type: none"> •材料リストの審査(MIUL)及び材料使用合意書(MUA)を承認した
<ul style="list-style-type: none"> •冷媒の熱膨張による配管の破裂に対して、アキュムレータ(4式)及び圧力開放バルブにより、2故障許容設計を構成し、最大設計圧力(MDP)に対して安全余裕を持った強度設計を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> •耐圧試験によりCALET冷却配管系が十分な強度を持つことを確認した •アキュムレータ、圧力開放バルブの組み合わせにより、CALET内のどのような2故障ケースによっても、圧力上昇を防止し、MDPを超えないことを解析により確認した
<ul style="list-style-type: none"> •アキュムレータ及びCALET配管内の冷媒の量が不適切な量にならないように管理する。 	<ul style="list-style-type: none"> •CALET冷却配管系が封じ切により破裂しないように、船外実験プラットフォームからの取り外し時に温度を確認する手順を、運用制御合意文書へ反映した

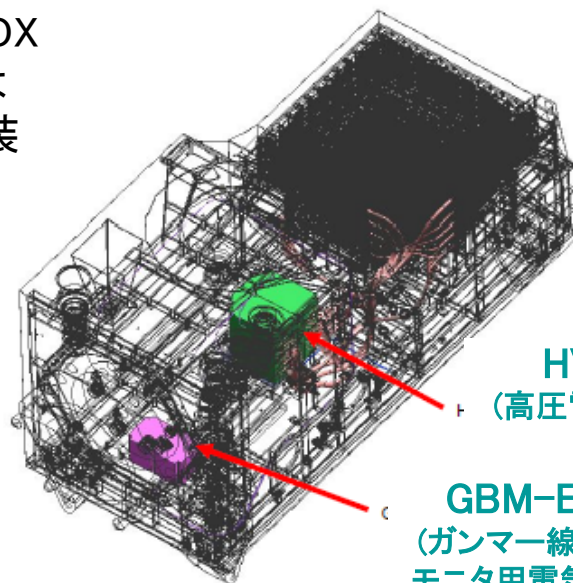
5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-CAL-03: 高電圧部位への接触による感電

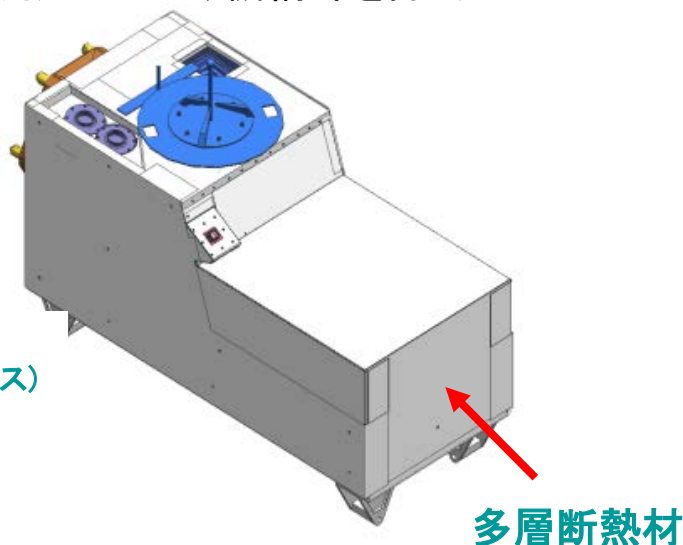
【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(高電圧部位への接触による宇宙飛行士の死傷)

- 船外活動中に、高電圧部位(HV-BOX:最大870VDC、GBM-EBOX:最大1250VDC)への不意な接触により、宇宙飛行士が感電し死傷に至る。

- HV-BOX, GBM-EBOX (ハーネスを含む)は CALET構体内に艤装



- CALET全体を断熱材で覆う (観測用センサ、機構部を除く)



【制御方法、検証方法】

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> • 漏電防止のためISS要求に従った接地設計を行う 	<ul style="list-style-type: none"> • 適切な配線設計を行っていることを確認した • 規定の接地抵抗値内であることを確認した
<ul style="list-style-type: none"> • 高電圧部位のCALET内部への設置、さらに断熱材で覆うことにより、宇宙飛行士がアクセスできない設計にする 	<ul style="list-style-type: none"> • 封入設計がなされていることを現品検査により確認した

5. 安全解析の概要

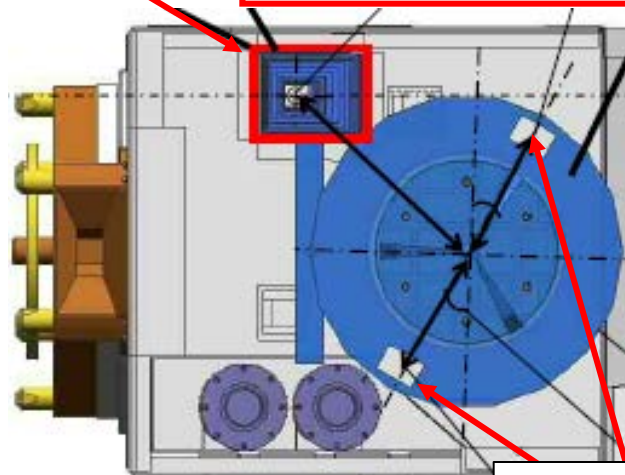
5.3. UNQ-CAL-04: 鋭利端部(シャープエッジ)への接触

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(鋭利端部への接触による宇宙飛行士の死傷)

- CALETに搭載されたスターセンサ(ASC)のバッフルは、観測上の要求から鋭利な端部を除去できない。このスターセンサは、船外活動時に宇宙飛行士がアクセスする可能性のあるFRGF(ロボットアーム把持機構)に近い位置に設置されている。このため、船外活動中の宇宙飛行士の不意な接触により、船外活動スーツを損傷し、宇宙飛行士の死傷に至る可能性がある。

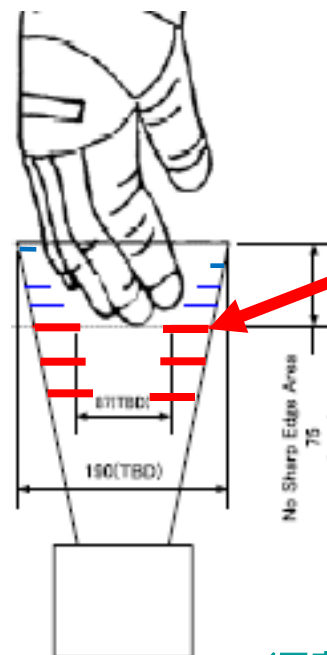
スターセンサ

バッフル搭載場所
表面を接触禁止エリアとして識別



FRGFリリースポルト

【制御方法、検証方法】



ミッション上鋭利端部
を除去できない箇所



スターセンサ

(写真はMAXIに搭載したスターセンサの写真)

制御	検証結果
<p>・残った鋭利端部に対して、スターセンサ開口部を接触禁止エリア*1に設定し、運用制約を課すことで、宇宙飛行士やISSへの被害を低減する(非適合報告書(NCR-CAL-01)を起草し処置)</p>	<p>・スターセンサ開口部へのアクセスを禁止する運用制約を運用制御合意文書へ反映した</p>

*1: このスターセンサはMAXI、SMILESで搭載実績がある。どちらも接触禁止エリアを設定することで対応している。

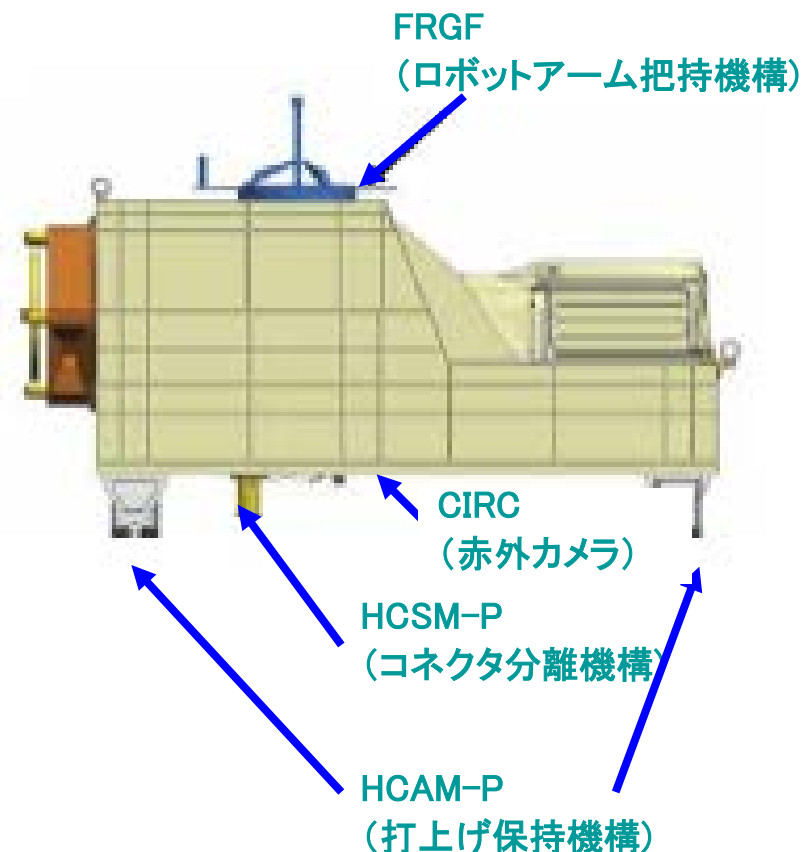
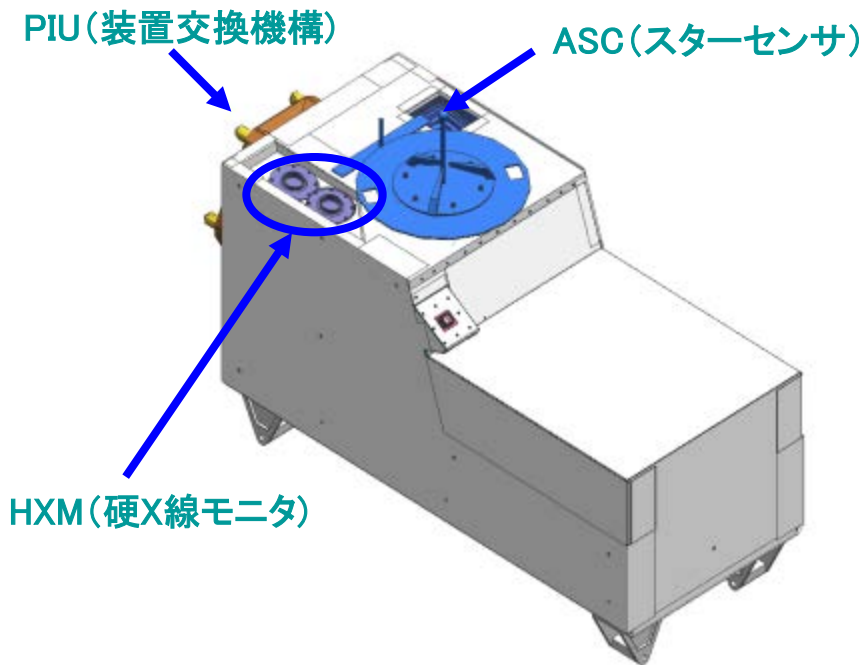
5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-CAL-05：高温/低温部への接触

【想定されるハザード】：クリティカルハザード(高温/低温部への接触)

- 船外活動中の宇宙飛行士が高温/低温部位に接触することにより、宇宙飛行士の傷害に至る可能性がある。

※断熱材で覆われていない機器を図示している。



【制御方法、検証方法】

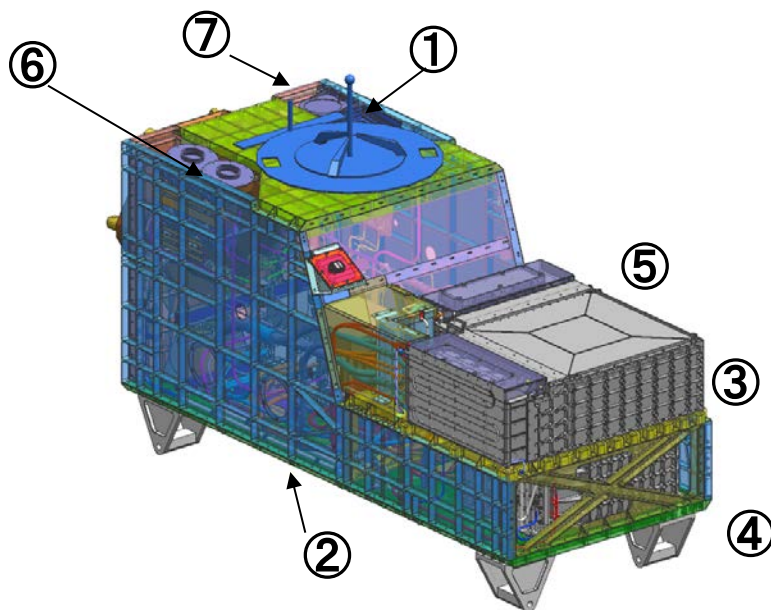
制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> • 船外活動中の偶発的な接触で許容される表面温度(-118℃～113℃)、あるいは熱伝導率(51.64W)以下とする。 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱解析により、要求値を満足することを確認した

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-CAL-06 : ガラス等の破損 (1/2)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(破片の飛散)

- ガラスや結晶体等の脆性材料部品が破損し、浮遊した破片や破損箇所への接触により、機器の損傷、船外活動スーツの損傷、船外活動中の宇宙飛行士の死傷に至る可能性がある。



	機器名	脆性材料を使用している部品
①	スターセンサ Advanced Stellar Compass (ASC)	カメラレンズ
②	地球観測用赤外カメラ Compact InfraRed Camera (CIRC)	カメラレンズ
③	イメージングカロリメータ Imaging Calorimeter (IMC)	光電子増倍管 (MaPMT)
④	全吸収型カロリメータ Total Absorption Calorimeter (TASC)	光電子増倍管 (PMT)、タングステン酸鉛単結晶 (PWO)
⑤	電荷測定器 CHarge Detector (CHD)	光電子増倍管 (PMT)
⑥	硬X線モニタ Hard X-ray Monitor (HXM)	光電子増倍管 (PMT)、LaBr3(Ce)結晶
⑦	軟ガンマ線モニタ Soft Gamma-Ray Monitor (SGM)	光電子増倍管 (PMT)、ビスマスゲルマニウムオキサイド結晶(BGO)

【制御方法、検証方法】

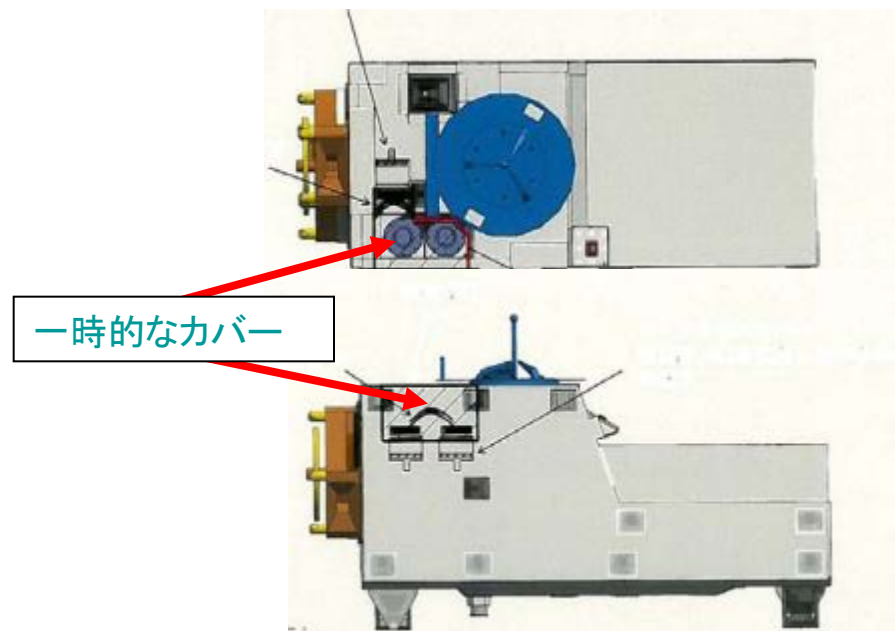
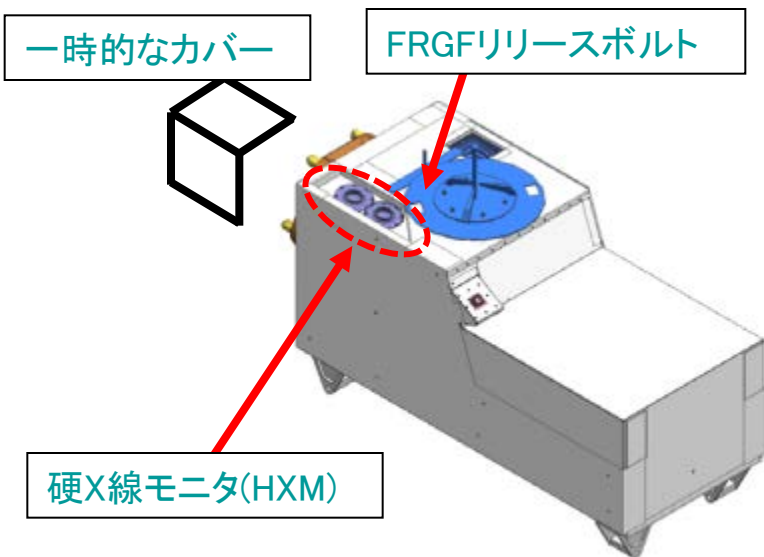
制御	検証
<ul style="list-style-type: none"> • カメラレンズ (ASC、CIRC) は打上げ時の振動、軌道上荷重、熱環境に耐える設計を行うとともに、接触禁止エリアを設定し、宇宙飛行士の接触を防止する (非適合報告書(NCR-CAL-02)を起草し処置) 	<ul style="list-style-type: none"> • 構造解析、振動試験により十分な強度を持つことを確認した • 運用制約を運用制御合意文書へ反映した
<ul style="list-style-type: none"> • カメラレンズ以外の脆性材料部品は金属ケースで封入する設計を行う 	<ul style="list-style-type: none"> • 図面及び現品検査により、金属ケースに封入されていることを確認した

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-CAL-06 : ガラス等の破損 (2/2)

きぼうロボットアームによるCALETの移設時にきぼうロボットアームが故障した場合、船外活動によりFRGFの取り外し作業を実施する。この時、宇宙飛行士はFRGFのリリースボルトにアクセスする。CALETの硬X線モニタ(HXM)はFRGFリリースボルトの近くにあるため、ハザードの制御として接触禁止エリアの設定だけでは不十分である。

このため、NASA EVAチームと調整し、上記船外活動が発生した場合には、硬X線モニタ(HXM)に一時的なカバーを取り付けることとした。



制御

- ・船外活動でFRGFを取り外す作業が発生した場合には、硬X線モニタ(HXM)に一時的なカバーを取り付ける。
(非適合報告書(NCR-CAL-02)を起草し処置)

検証結果

- ・運用制約を運用制御合意文書へ反映した

6. 結論

JAXAは、「高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET)」について、JAXAの安全審査を完了し、安全要求を満足していることを確認した。

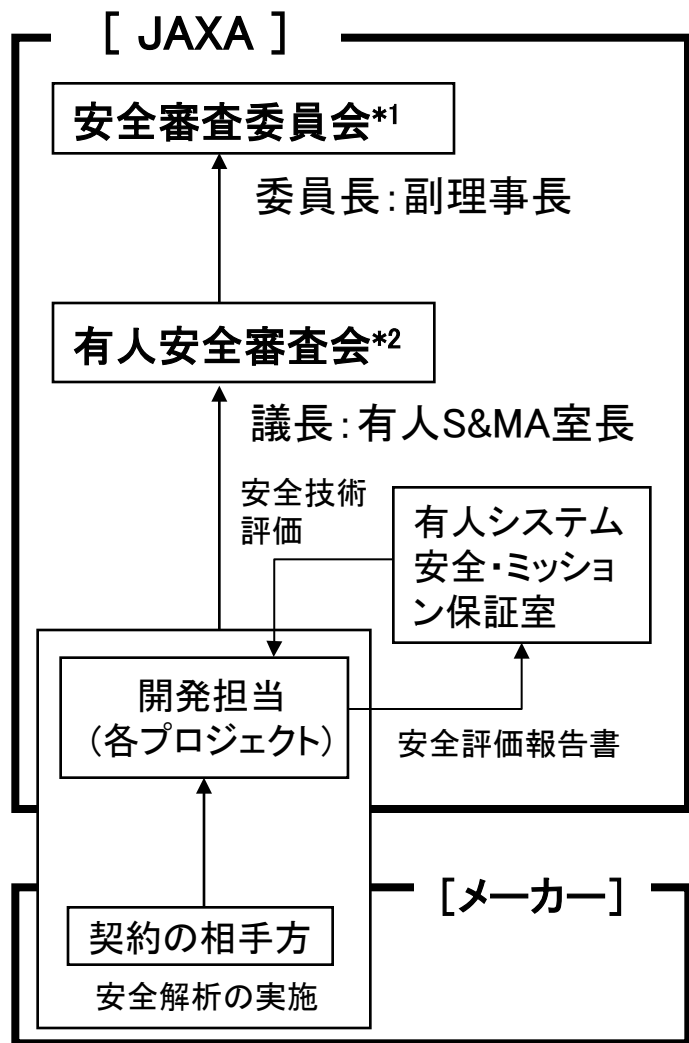
添付1 : 安全審査委員会と有人安全審査会

添付2 : ハザード識別 (FTA)

添付3 : 安全解析の手順

添付4 : 適用文書及び審査文書

付表-1 : 安全評価のための基本指針に対する安全検証結果



*1. 安全審査委員会

安全に係る事項で、経営意思決定が必要なもの、もしくは外部公表の前に機構として評価／確認が必要なものについて審議する場。

- ✓ 委員長: 副理事長
- ✓ 副委員長: 信頼性統括
- ✓ 委員: 常勤理事、監事等

*2. 有人安全審査会

安全に関する技術的な事項を審議する場。実験装置及び一部のシステム品については、NASA安全審査パネルから審査権限が委譲されている。

- ✓ 議長: 有人S&MA室長
- ✓ 副議長: 有人S&MA主幹
- ✓ 委員: 有人宇宙技術部門の長、安全・信頼性、構造、電気などの専門家

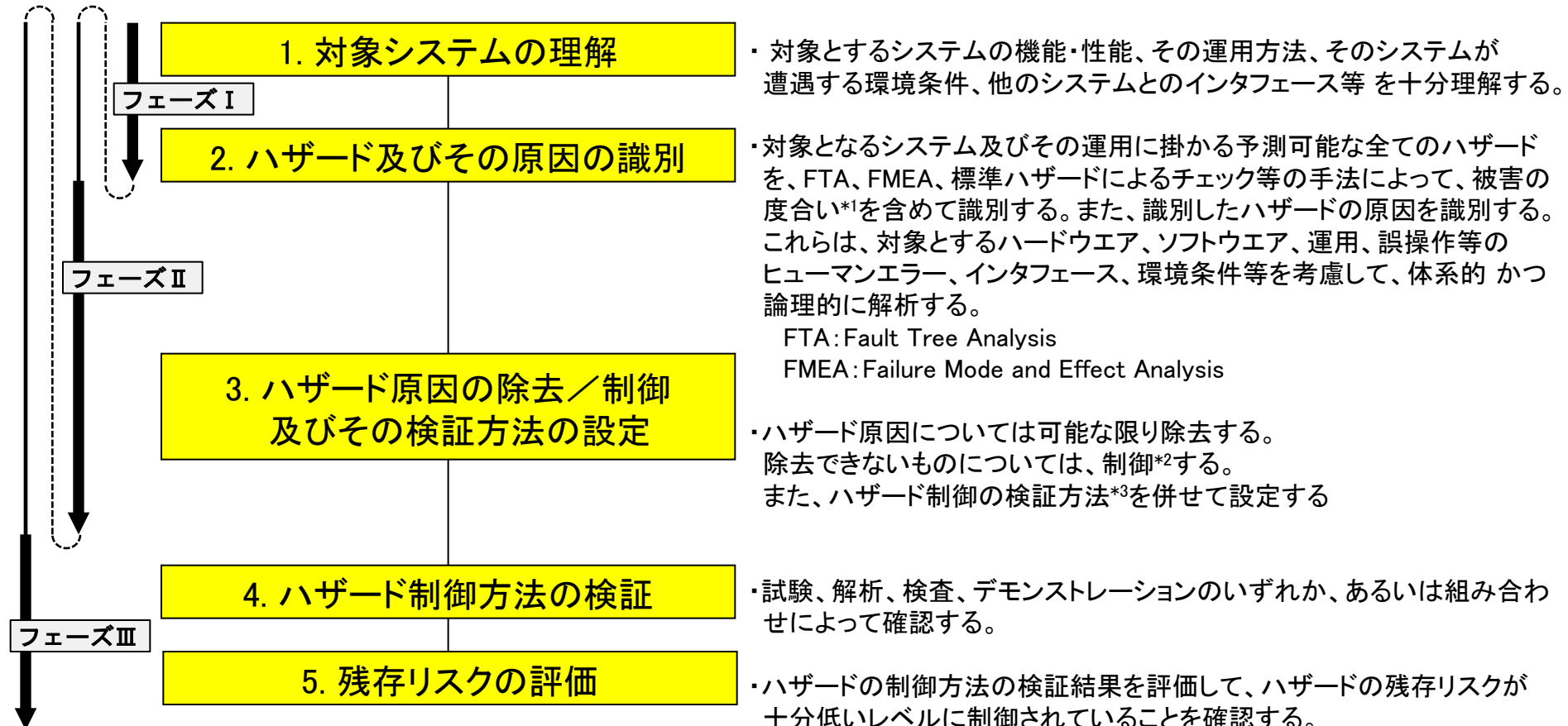
添付2. ハザード識別 FTA (1/2)



添付2. ハザード識別 FTA (2/2)

EVAクルーの傷害	EVAクルーの高温部への接触	制御装置の異常	UNQ-CAL-05
		ヒータ制御の故障	UNQ-CAL-05
		不適切な取付	UNQ-CAL-05
		機器/コンポーネントの故障	UNQ-CAL-05
		冷媒のリーク	UNQ-CAL-05
		断熱材の損傷	UNQ-CAL-05

添付3 安全解析の手順



*1; 被害の度合い
カタストロフィック(2故障許容設計相当)
打上げ機/ISSの喪失、致命的な人員の傷害となり得る状態。
クリティカル(1故障許容設計相当)
打上げ機/ISS機器の損傷や人員の傷害となり得る状態。

*2; 制御
ハザードの影響の発現の可能性を下げる設計あるいは運用の仕組み。

*3; 検証方法
その仕組みが有効に機能することを試験、解析、検査、デモンストレーションなどにより確認すること。

(1) 適用要求

- ・ SSP 51700: Payload Safety Policy and Requirements for the International Space Station
- ・ JMR-002: ロケットペイロード安全標準

(2) 審査文書

- ・ JDX-2014462 Calorimetric Electron Telescope (CALET) Flight Safety Assessment Report for Phase III

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (1/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 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木解析(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>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 CALET 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>(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等への退避により、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 スタッキング入りハンパ(米国 NASA で提案されたセラミック材/炭素複合材料(Nextel/Kevlar)からなるスタッキング(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。</p> <p><関連ハザードレポート></p>	<p>(1)自然環境からの保護 CALET に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (2/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
<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 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。 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。 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、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。 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。 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。 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。 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ラックメンテナンス等による 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>イ 宇宙放射線 CALET として検証する必要がある事項は、CALET の部品材料に対する耐放射線性である。 CALET を構成する部品及び材料のうち、放射線の影響が懸念されるものについては、放射線による誤動作、故障及び性能劣化を生じないよう、適切なシールドの設置、放射線照射試験による耐性確認、トータルドーズ及びシングルイベントに対する解析評価等、可能な限りの対策を講じ、CALET 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 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。 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>ウ 高真空、微小重力等 ①高真空 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。 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>ウ 高真空、微小重力等 ①高真空 曝露環境で使用される CALET の機器は、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、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。</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、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。 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>②微小重力 CALET 近傍において、微小重力下で搭乗員が作業(JEM ロボットアーム故障時の CALET の取り外し等)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 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、CALET 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。</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、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。 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。 参考:(JEMシステムでの制御方法) 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、船内実験室・船内保管室の内部では、JEM の 2 台の空気調和装置等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、冷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、与圧部(船内実験室)については、要素試験により、また、補給部与圧区(船内保管室)については、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>④高温・低温 CALET は、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(-118~112℃)以下であること、或いは許容できる熱伝導率であることを保証するため、多層断熱材による保温、ヒータによる加熱等の対策が十分であることを熱解析により検証した。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>
	<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) <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 CALET に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (3/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
	NASDA-ICS-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上)	
(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、打上げ輸送機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 CALETは、打上げ時の誘導環境に基づいてHTV内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 ・強度設計 ・疲労強度</p> <p>CALETにはベントポートを有する機器があるが、最大差圧に対する強度を持たせた設計としている。</p> <p><関連ハザードレポート> CAL-01 構造破壊</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</p> <p><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する。</p>	<p>(ア)酸素等の濃度 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>(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。</p>	<p>(イ)気圧 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>(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)。</p>	<p>(ウ)温度、湿度 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>(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。</p>	<p>(エ)気流等 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
<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(船内実験室)内の空気をJEMの外に排出すること。</p>	<p>②汚染</p> <p><関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-003, NASDA-2JA-003 環境汚染空気</p> <p>NASDA-ICS-0003 環境空気汚染</p>	<p>②汚染</p>
	<p>(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。</p>	<p>(ア)有害物質の放出防止 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>(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・警報発生・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)。</p>	<p>(イ)制御 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (4/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
<p>(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。</p>	<p>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 NASDA-ICS-0027 電波放射</p>	<p>③振動、音響、電磁波</p>
	<p>(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ないレベルではない。 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。</p>	<p>(ア)振動 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>(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、バルブ、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。</p>	<p>(イ)音響 CALETに対しては該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>(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。</p>	<p>(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。 CALETにもこの規定が適用され、電磁適合性(EMC)試験により、誤動作等の問題が無いことを確認している。 <関連ハザードレポート> STD-CAL-8.1 電磁適合性</p>
<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期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>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期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)</p>	<p>(3)軌道上環境等の保全 CALET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。</p>
<p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>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の搭載機器であるCALET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。</p>
<p>(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、リーク・フォアラブ・チャ又は安全寿命設計であること。</p>	<p>(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・パネル等に構造損傷が生じた場合にも、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>(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。 <関連ハザードレポート> CAL-01 構造破壊 CAL-06 飛散材料の破損 NCR-CAL-02 飛散材料の強度不足</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。 ①最大設計圧力(MDP:SMILESmum Design Pressure) JEMは、MDP(ガスの漏洩、圧力リーフ機能損失等、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。) ②リーク・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・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。 <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 負圧による構造破壊 NASDA-1JA/1J-0010 NASDA-2JA-0010 打上げ/上昇/下降時の荷重による構造破壊 NASDA-1JA/1J-0024 NASDA-2JA-0024 軌道上での荷重による構造破壊</p>	<p>イ 圧力容器の設計 ①最大設計圧力(MDP:Maximum Design Pressure) CALETは、MDP(圧力リーフ機能損失等、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)に対し、配管・継ぎ手及びQD部に対しては終極安全係数4.0、その他機器に対しては終極安全係数2.5の安全率を適用した設計としている。また、MDPの1.5倍の圧力による耐圧試験により検証している。 ②リーク・フォアラブ・チャ CALETとJEMのインターフェース部には圧力開放バルブを有しており、リーク・フォアラブ・チャ設計となっている。 <関連ハザードレポート> CAL-02 圧力システムの破裂・漏洩</p>

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (5/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
	NASDA-ICS-0007 圧力システムの破裂 NASDA-ICS-0010 打上げ/上昇/下降時の荷重による構造破壊 NASDA-0024 軌道上での荷重による構造破壊	
(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、打上げ輸送機搭載時に要求される最低振動数要求を満足すること。	(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 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よう設計されている。	(2)剛性・強度 ア 剛性 CALET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により検証している。 <関連ハザードレポート> CAL-01 構造破壊
イ 静荷重強度 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。	イ 静荷重強度 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。	イ 静荷重強度 CALET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た。また、軌道上静荷重に対する構造強度の評価として、安全率を降伏1.5倍、終極1.875倍として解析による検証を行った。 また、飛散材料類の強度に関しては、解析及び振動試験による確認、封入設計を行い、クルー荷重を負荷しないよう、搭乗員の手順書へ注意喚起が反映されることを確認した。 <関連ハザードレポート> CAL-01 構造破壊 CAL-06 飛散材料の破損 NCR-CAL-02 飛散材料の強度不足
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。	ウ 疲労強度	ウ 疲労強度 <関連ハザードレポート> CAL-01 構造破壊
	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。	①寿命 CALETの設計寿命は、地上保管最大2年、軌道上運用2年以上(目標5年)と設定している。
	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。	②安全率 CALET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 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。	③疲労寿命の確認 CALETでは、その破損がHTV/ISS/JEM/搭乗員に重大な影響を与える構造要素(フラクチャークリテカル・アイテム)は、非破壊検査及び亀裂進展解析を実施し、欠陥が許容できる範囲内であることを確認した。
(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。	(3)構成材料 <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壊 NASDA-1JA/1J-0024 NASDA-2JA-0024 軌道上での荷重による構造破壊 NASDA-ICS-0001 火災 NASDA-ICS-0003 環境空気汚染 NASDA-ICS-0007 圧力システムの破裂 NASDA-ICS-0010 打上げ/上昇/下降時の荷重による構造破壊 NASDA-ICS-0024 軌道上での荷重による構造破壊	(3)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、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 CALET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 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(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 CALETに対しては、該当機能がないため適用外とする。
	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JEM構成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、CALETの構成材料が選定されていることを検査にて確認している。 <関連ハザードレポート> CAL-01 構造破壊

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (6/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
<p>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、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>4.安全性・信頼性等</p>	<p>4.安全性・信頼性等</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: 1フォールトトランス(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>イ 冗長設計とインヒット設計 フォールトトランス設計として、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 インヒット設計</p>	<p>(1) 安全性 CALET は、左記に従い、安全性設計を行った。</p>
<p>(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。</p>	<p>(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。</p> <p>また、火災・テプリ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>(2) 信頼性 ア システムの独立性 電力系については保護回路を設置し、地絡による過電流が生じても伝播しない設計としている。 内部には高電圧になる部分(HV-BOX:約870VDC、GBM-EBOX:約1,250VDC)があり、適切な電気設計(ワイヤーサイズ、ボンディング、グラウンディング)とEVAクルーが触れない部位に設置する設計としている。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-CAL-11 電力系の損傷 CAL-03 高電圧部位への接触による感電</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 CALET に対しては、該当機器がないため適用外とする。</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 CALET に対しては、該当機器がないため適用外とする。</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 CALET に対しては該当機能がないため適用外とする。</p> <p>ア 機能中断の防止 CALET に対しては該当機能がないため適用外とする。</p>

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (7/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
<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>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。</p>	<p>イ 危険防止 ① 船外活動の最小化 CALET は、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。</p>
	<p>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。</p>	<p>② 粉塵等の発生の最少化 CALET は、軌道上での保全作業は計画されていないため、適用外とする。</p>
	<p>③流体放出の防止 保全時の流体の放出防止のため、熱制御系のウォーターポンプ機器等のインタフェースには、クイックディスコネクタ(QD)を使用している。</p>	<p>③ 流体放出の防止 CALET は、軌道上での保全作業は計画されていないため、適用外とする。</p>
	<p>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。</p>	<p>④ 防護措置 CALET は、軌道上での保全作業は計画されていない。 緊急船外活動により、CALET と JEMRMS の分離を行う場合には、硬 X 線モニタ(HXM)に一時的なカバーを取り付けて、クルー荷重から保護する。</p> <p><関連ハザードレポート> CAL-06 ガラス等の破損 NCR-CAL-02 飛散材料の強度不足</p>
	<p>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。</p> <p><関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0002 水の漏洩 NASDA-1JA/1J-0003 環境空気汚染 NASDA-1JA/1J-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上) NASDA-1JA/1J-0016 感電 NASDA-1JA/1J-0017 接触面温度異常</p> <p>NASDA-ICS-0002 水の漏洩 NASDA-ICS-0003 環境空気汚染 NASDA-ICS-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上) NASDA-ICS-0016 感電 NASDA-ICS-0017 接触面温度異常</p>	<p>⑤ 機器取付け及び取外しでの安全 CALET に対しては、該当機能がないため、適用外とする。</p>
<p>(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。</p>	<p>(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)</p>	<p>(4) 品質保証 安全上重要な機能については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。</p>
<p>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。</p>	<p>5.人間・機械インタフェース設計</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 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。</p>	<p>(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。</p> <p><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 感電 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</p>	<p>(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。</p>

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (8/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
	NASDA-ICS-0016 感電 NASDA-ICS-0017 接触面温度異常 NASDA-ICS-0018 鋭利端部及び突起物 NASDA-ICS-0019 切断/挟み込み	
	ア 外傷の防止 ①回転機器に対する防護 ファン、ポンプ等の回転機器は、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 CALET 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 CALET 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。また、搭乗員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。 飛散材料のうち、露出する部位(カメラレンズ及び硬X線モニタ(HXM))は、打上げ及び軌道上環境に耐える設計であることを構造解析及び振動試験により確認した。また、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。 上記以外の機器については、封入設計がなされていることを図面検査により確認した。 <関連ハザードレポート> CAL-04 鋭利端部への接触 CAL-06 飛散材料の破損 NCR-CAL-01 星姿勢計パッフル部の鋭利端部 NCR-CAL-02 飛散材料の強度不足
	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ピ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。	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いることを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。 <関連ハザードレポート> CAL-04 鋭利端部への接触
	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℃)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。	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温度、または熱伝達率要求を逸脱することがないことを熱解析にて確認した。 <関連ハザードレポート> CAL-05 高温/低温部への接触
	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、溶融金属(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、スクープフルタイプの使用、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。	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フライトハードウェア検査にて確認した。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、フライトハードウェアの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。 <関連ハザードレポート> STD-CAL-11 電力系の損傷 CAL-03 高電圧部位への接触による感電
	エ 作業等の安全 足部固定具(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。	エ 作業等の安全 CALET に対しては、該当機能がないため適用外とする。
(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。	(2)誤操作の防止 <関連ハザードレポート> 全般	(2) 誤操作の防止 CALET に対しては、該当機能がないため適用外とする。
	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ンクスファン・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。	ア 自動化 CALET に対しては、該当機能がないため適用外とする。

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (9/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
	<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(非与圧領域は 5m)間隔でその機能が識別でき、また、ハルブ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ンボルを使用し、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 CALET に対しては、該当機能がないため適用外とする。</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・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、独立したインピットにより保護されている。</p>	<p>ウ 機器の操作手順 CALET 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)によるペイロード等の受け渡しは、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 CALET 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・緊急処置等に関わる手順・対応の統一、安全確保の面から重要な保全方法の統一が重点的に含まれている。 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 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マニピュレータ(ロボットアーム) 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 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 <関連ハザードレポート> 全般</p>	<p>(3) 共通化 CALET の安全に関わるシステムは、原則として ISS 構成要素との間で共通化、標準化されている。</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。 <関連ハザードレポート> NASDA-1JA/1J-0001 NASDA-2JA-0001 火災 NASDA-1JA/1J-00023 隔離/退避不能</p>	<p>(1)緊急警報 以下参照</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、補給部与圧区(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)。 (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 CALET 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。</p>	<p>イ 減圧 CALET に対しては、該当機能がないため適用外とする。</p>
	<p>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</p>	<p>ウ 汚染 CALET に対しては、該当機能がないため適用外とする。</p>

付録1 付表-1 基本指針に対する安全検証結果 (10/10)

JEM 基本指針	【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)	高エネルギー電子、ガンマ線観測装置(CALET) 安全検証結果
	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。	
(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 CALET 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。
	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 CALET に対しては、該当機能がないため適用外とする。
(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・警報パネ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 CALET 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。	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・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。	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、CALET プロジェクトチームから独立した安全・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、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、装置の開発・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。