

国際宇宙ステーション(ISS)に提供する実験装置 (液滴群燃焼実験供試体(GCEM)) に関する安全審査結果について

平成26年12月19日
独立行政法人
宇宙航空研究開発機構

GCEM:
Group Combustion Experiment Module

説明者
有人宇宙ミッション本部 有人システム安全・ミッション保証室
室長 上森 規光

目次

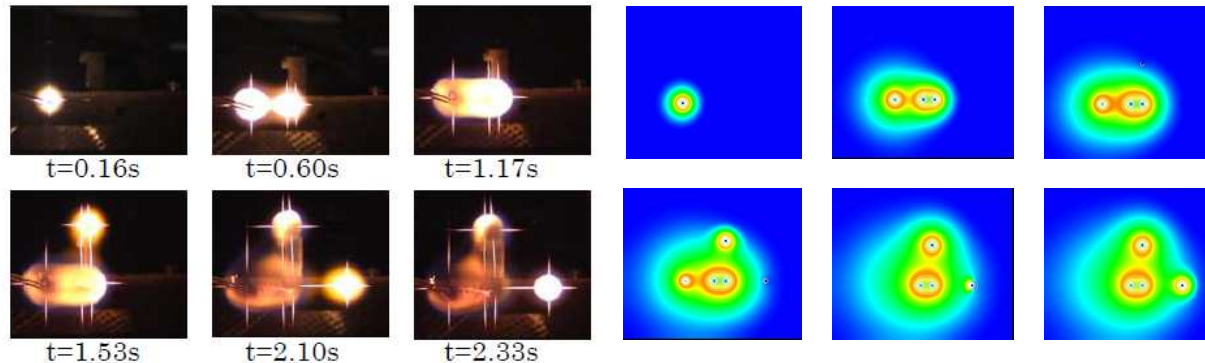
1. 目的
2. 審査対象
3. 審査経緯
4. 審査結果
5. 安全解析の概要
6. 結論

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が行った液滴群燃焼実験供試体(GCEM)に対する安全審査の結果を示す。

2. 審査対象 GCEM概要 (1/5)

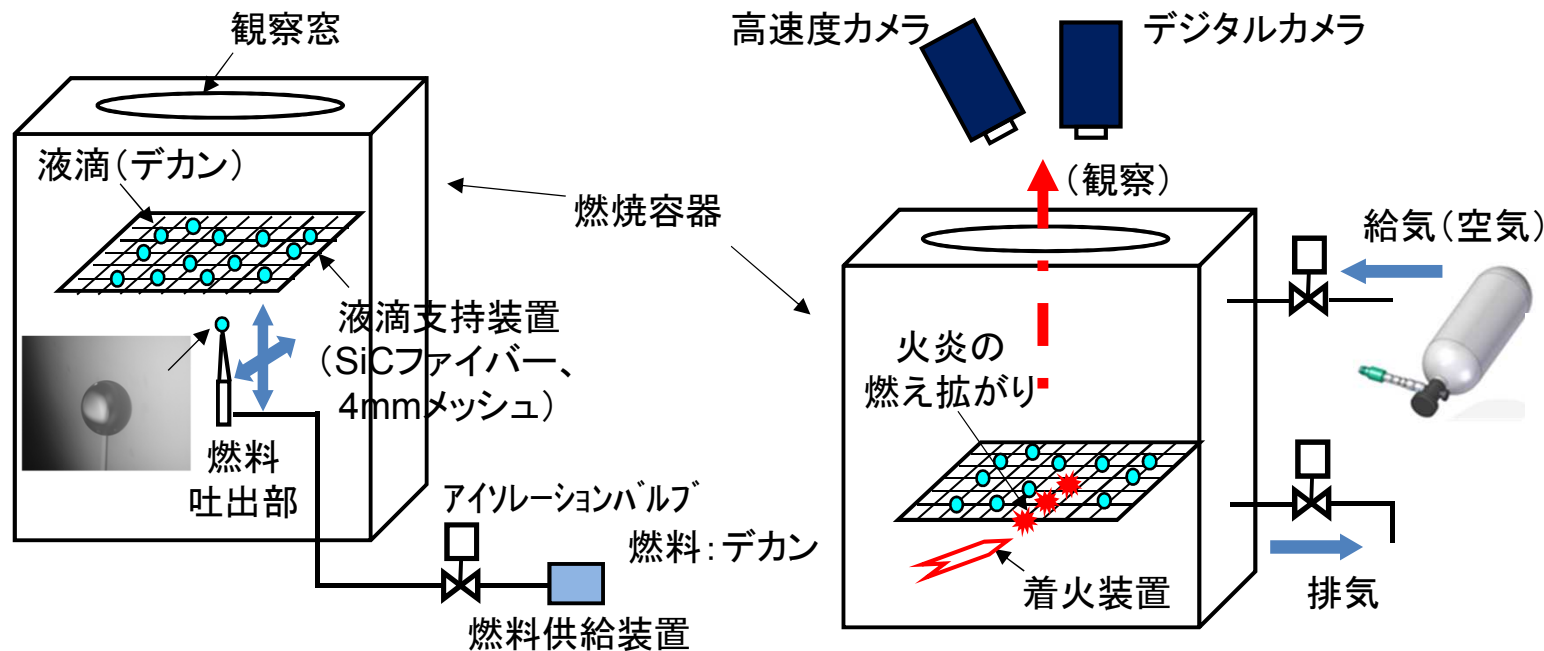
実験目的: 微小重力下における2次元配置された液滴間の火炎燃え拡がりに関する仮説を検証する。



本実験の波及効果

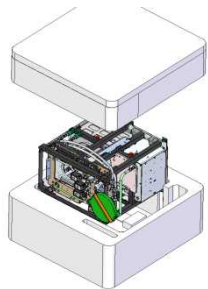
- 噴霧燃焼の効率的かつ高精度な数値シミュレーション手法の構築
- エンジン等の開発における数値シミュレーションの活用範囲拡大

航空機実験により観察された微小重力下における液滴群の火炎燃え拡がり挙動(左)と数値シミュレーション結果(右)の比較

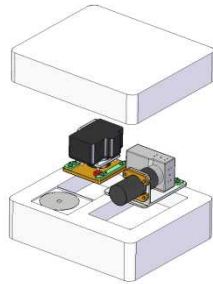


GCEMの原理、コンセプト

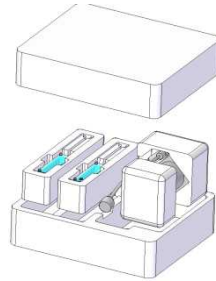
2. 審査対象 GCEM概要 (2/5)



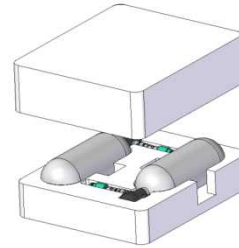
梱包#1



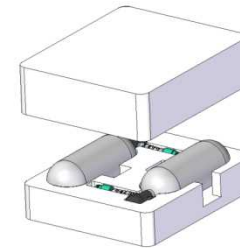
梱包#2 (1x)



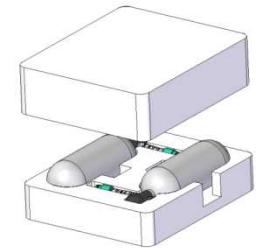
梱包#3 (1x)



梱包#4 (1x)



梱包#5 (1x)



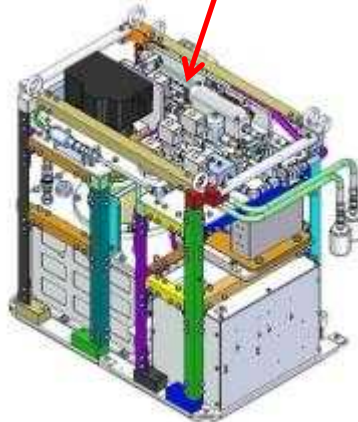
梱包#6 (1x)

打上げ時のコンフィギュレーション (質量 計約100kg)

GCEMはMSPRIに設置して運用
運用時以外はCTB*1に入れて保管

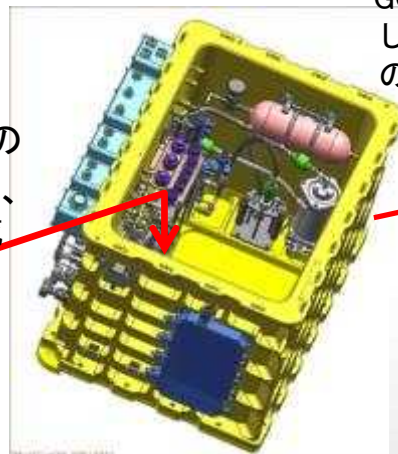
今回の審査対象

燃料シリンジ
ユニットをGCEM
本体に設置



液滴群燃焼実験供試体
(GCEM) 本体
(549 x 351 x 515 mm)

GCEM本体の
組み立て後、
CCEに搭載



燃焼実験チャンバ(CCE)
(855 x 675 x 540 mm)

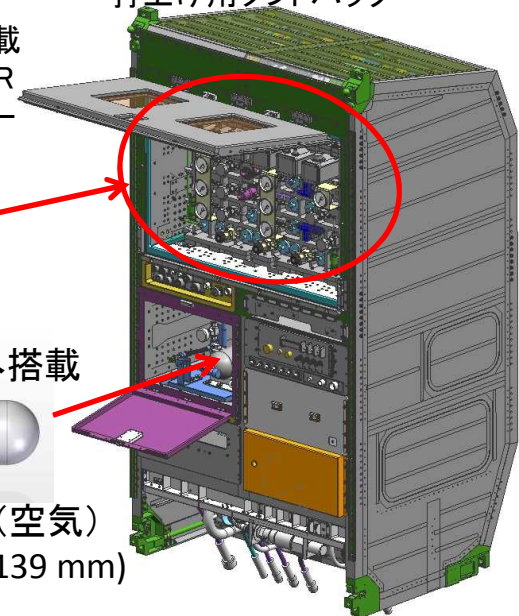
GCEM本体を搭載
したCCEをMSPR
のワークボリュー
ムに搭載



MSPRへ搭載

ガスボトル(空気)
(393 x 158 x 139 mm)

*1: Cargo Transfer Bag
打上げ用ソフトバッグ



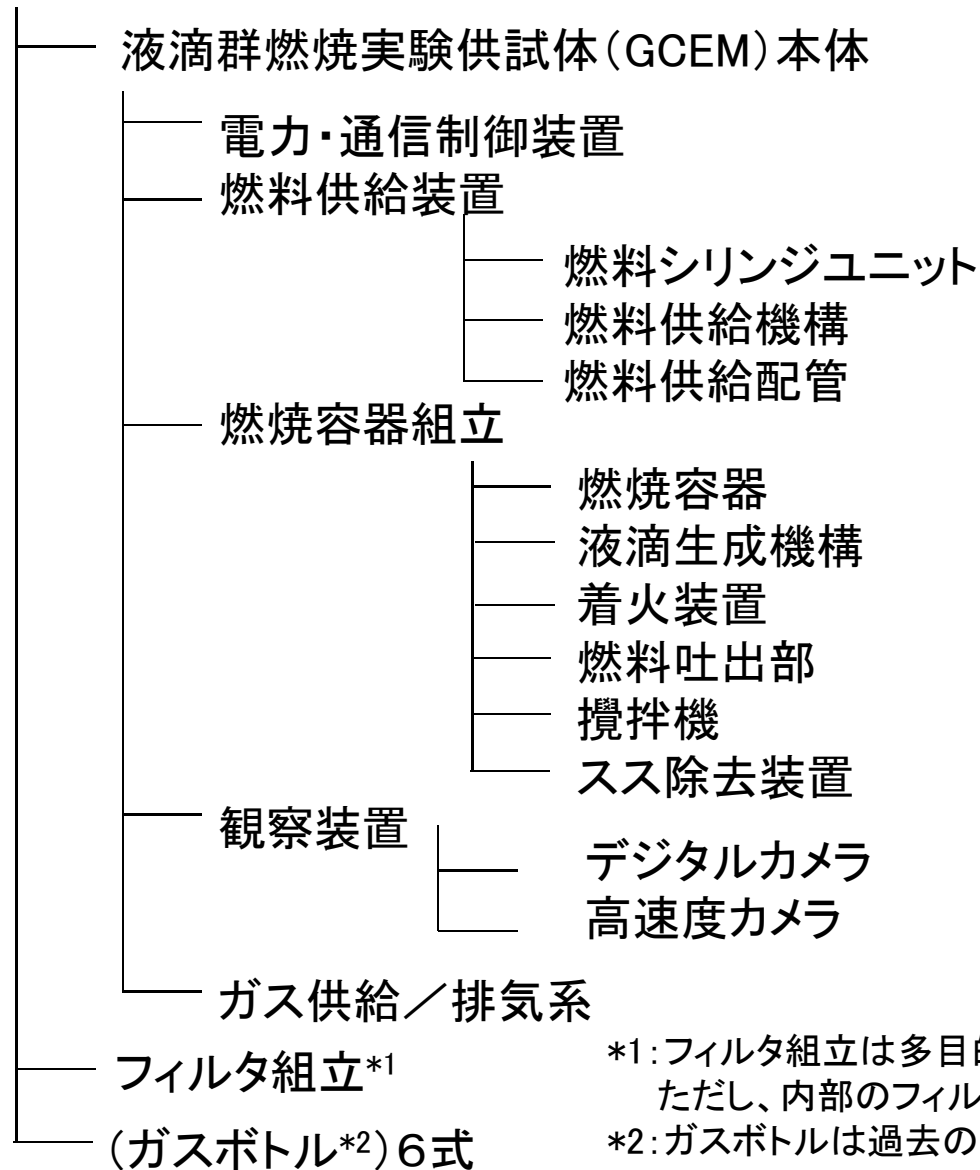
多目的実験ラック(MSPR)

GCEMの燃焼実験チャンバ(CCE)/多目的実験ラック(MSPR)への搭載手順

2. 審査対象 GCEM概要 (3/5)



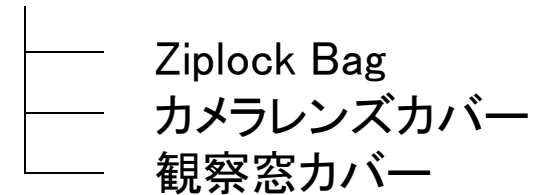
●液滴群燃焼実験供試体(GCEM)



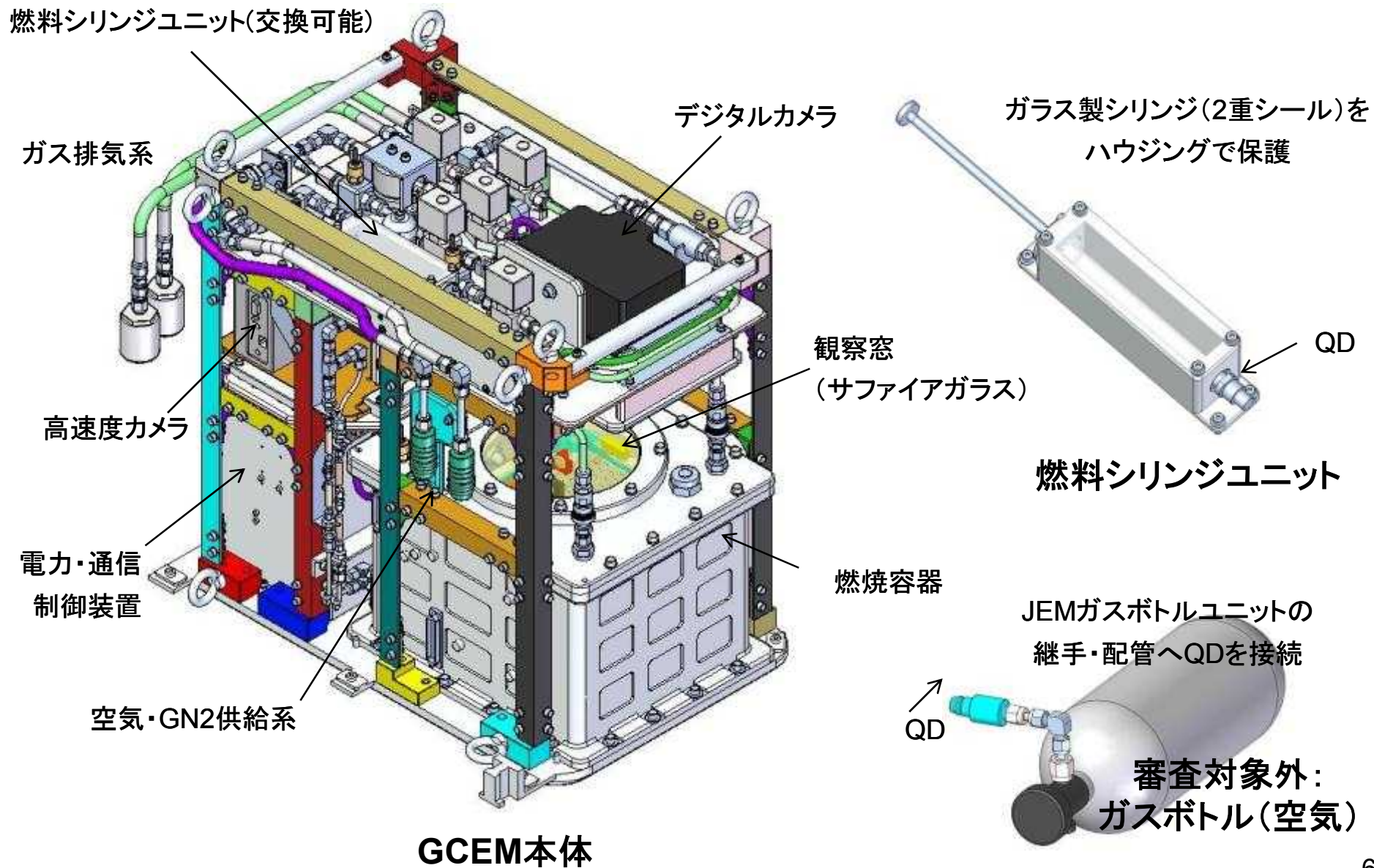
*1: フィルタ組立は多目的実験ラック(MSPR)の構成品で審査対象外。
ただし、内部のフィルタはGCEMの構成品であり審査対象品。

*2: ガスボトルは過去のプロジェクトで承認済のため審査対象外。

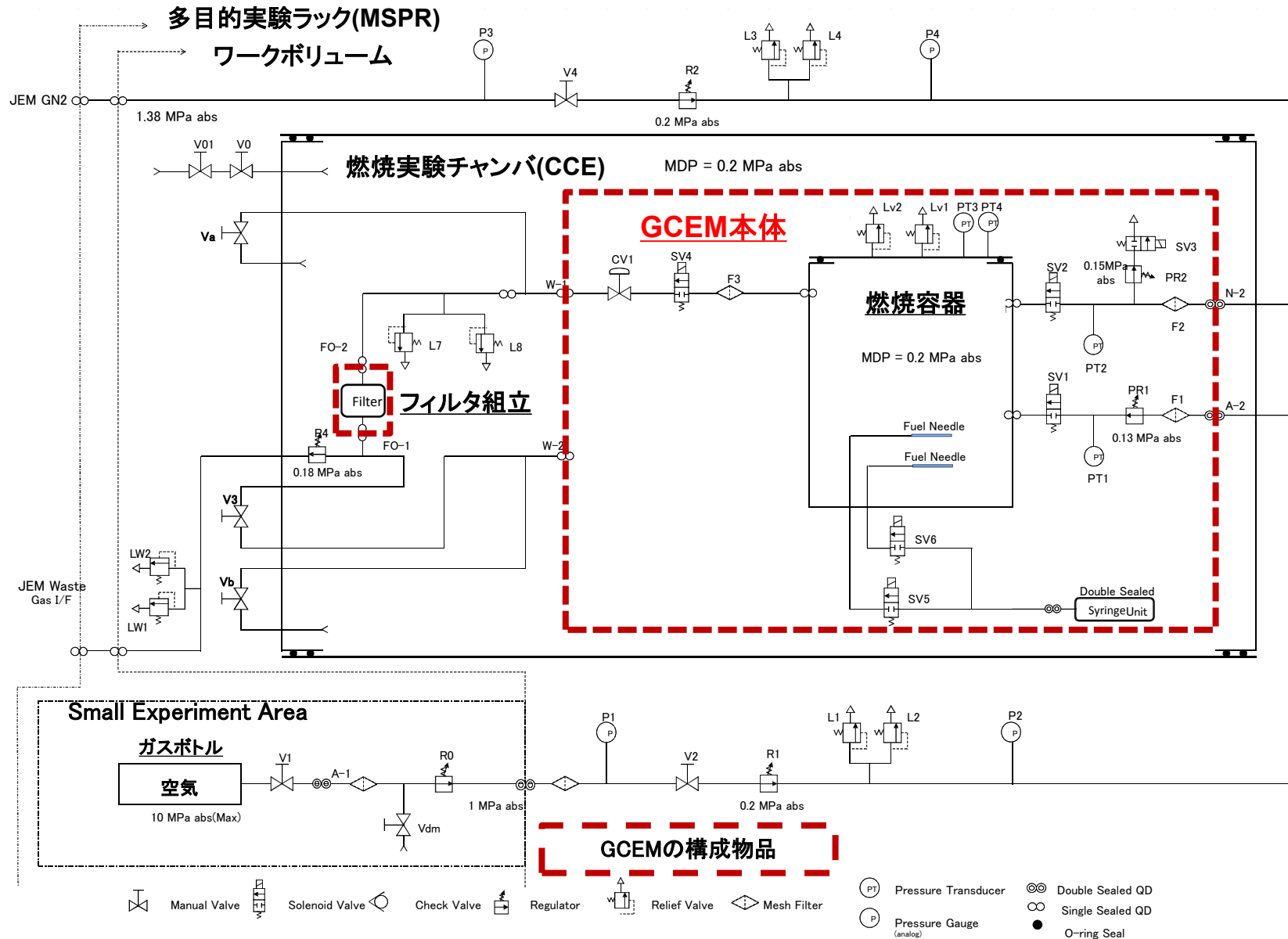
●サポート器具(FSE)



2. 審査対象 GCEM概要 (4/5)



2. 審査対象 GCEM概要 (5/5)

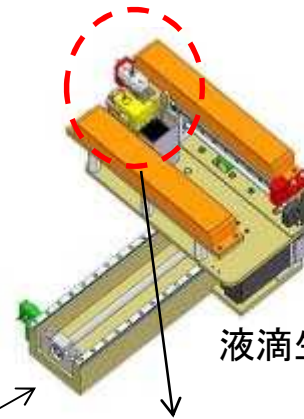
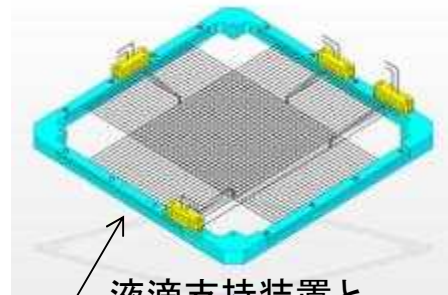


GCEMガス給排気系統図

2. 審査対象 GCEM概要 (参考)

30X30本のSiCファイバー
($\phi 14 \mu\text{m}$) 格子および1本
の直線SiCファイバー
($\phi 79 \mu\text{m}$) が張られている。

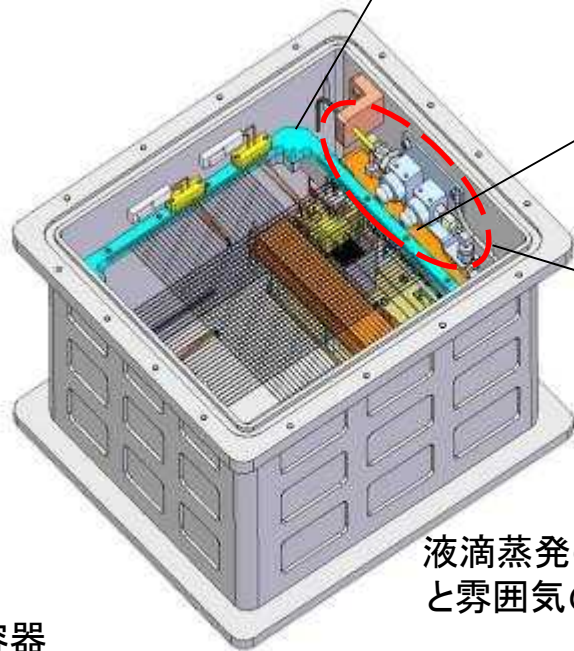
SiCファイバー格子(線)上
に燃料液滴を生成・支持し、
着火装置により端の液滴に
着火する。



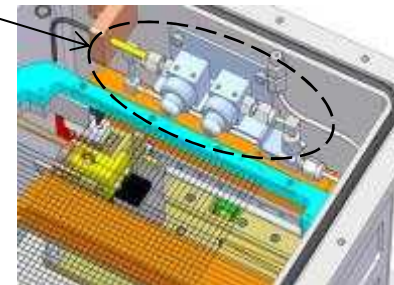
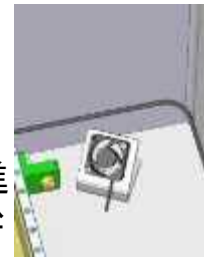
XYZ軸方向に移動可能なス
テージ。Z軸には燃料吐出部
(ガラス管)があり、液滴支持
装置上に液滴を生成する。



燃料吐出部



燃焼容器



2個のノズルからGN2を
吹き付け、SiCファイバー
上のススを除去する。

(観察窓を有する上蓋を外した状態。
実際の軌道上運用では外さない。)

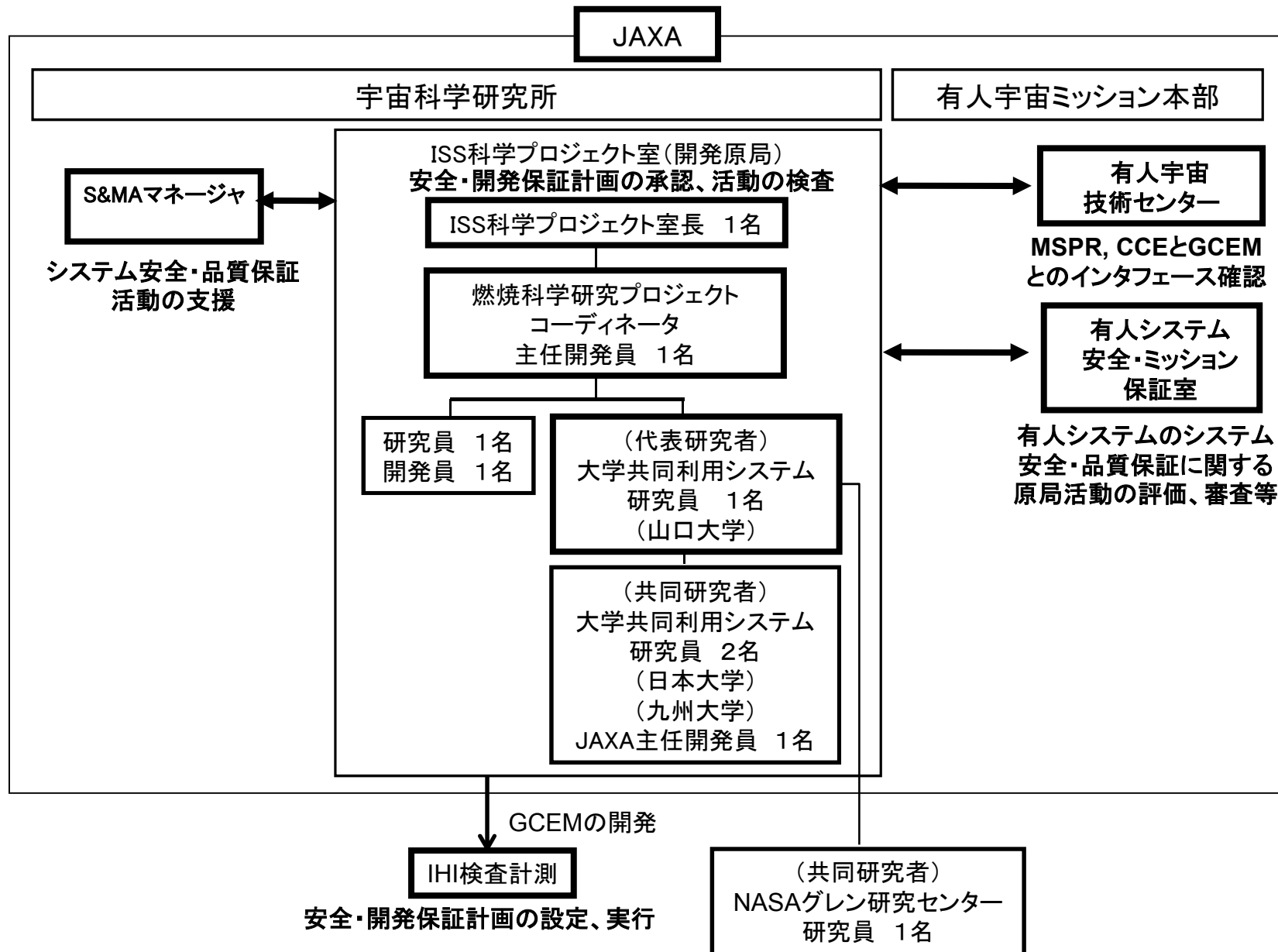
燃焼容器及び燃焼容器内機器

2. 審査対象 主要緒元

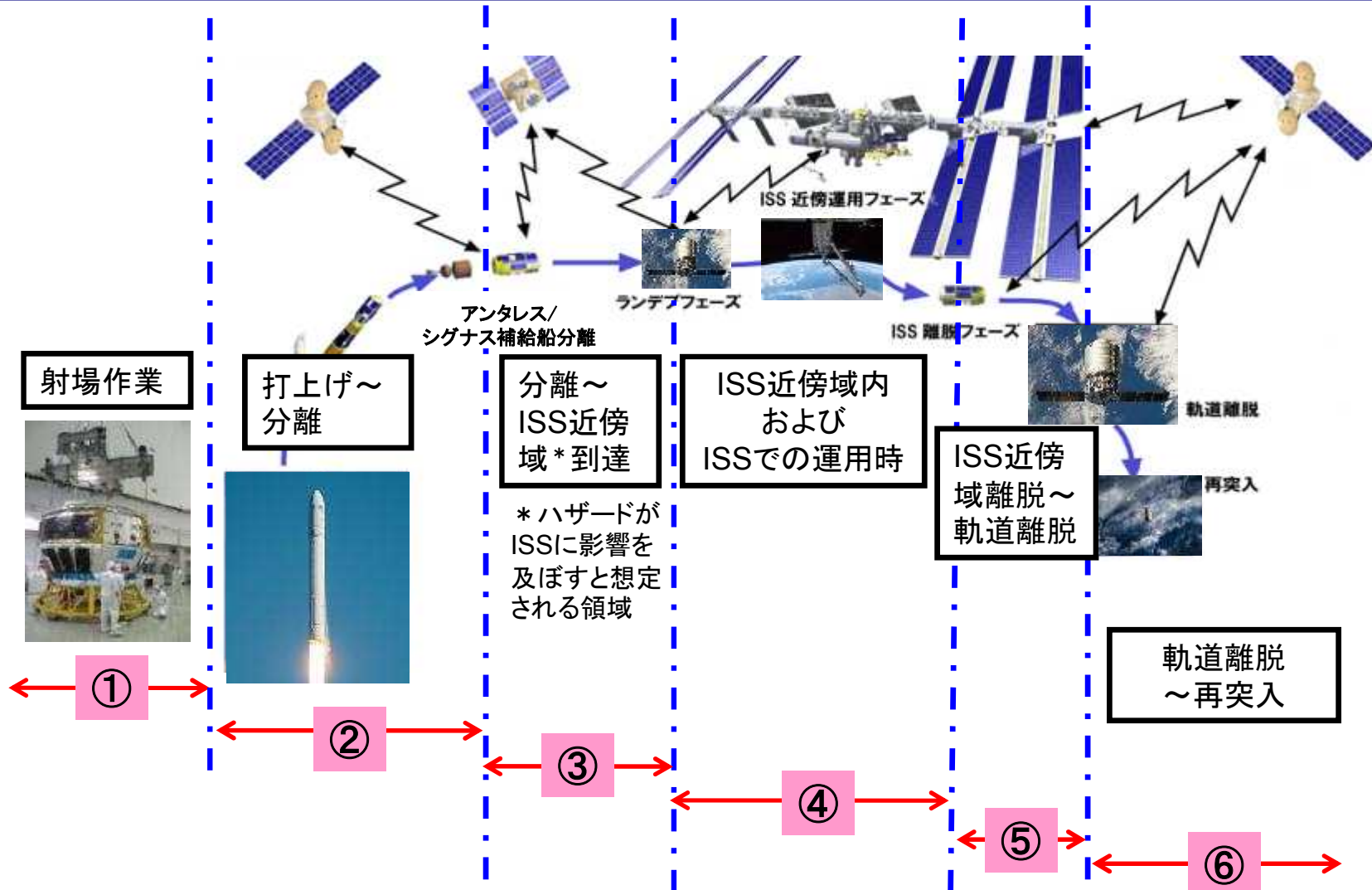


寸法	549 × 351 × 515 mm (GCEM本体) 393 × 158 × 139 mm (ガスボトル)
軌道上質量	約67 kg (GCEM本体、ガスボトル、フィルタの合計)
最大消費電力	約120 W
燃焼容器	282 × 235 × 205 mm (内寸法)、内容積12.1 L (内部搭載物除く)
燃料	正デカン (C ₁₀ H ₂₂)、内容積9.5 mLのシリンジに2重封入
液滴生成・支持	3軸方向に移動可能なガラス管の先端から燃料を吐出し、SiCファイバー上に液滴を付着支持することにより液滴群を生成
雰囲気制御	ガスボトルからの空気供給、ISSからのGN ₂ 供給により、燃焼容器内に酸素濃度17～21 ± 1%の実験用雰囲気を生成 (実験時の圧力は全て1気圧)
ガス排気	フィルタハウジング (CCE支給品) 内に吸着剤を充填したフィルタAssyを通じ、ガス排気ラインに排気
液滴径計測	SiCファイバー上に生成された燃料液滴をLEDバックライト撮影する。 50 μm以上の空間分解能を持つ。
燃焼挙動観察	燃料液滴群の燃焼画像を毎秒約30コマでフルハイビジョン撮影 (空間分解能250 μm以上)
液滴移動挙動観察	燃え広がる火炎に対する液滴の移動挙動を毎秒1000コマで高速度撮影 (空間分解能23 μm以上)
気体温度分布計測	SiCファイバ発光を利用し、火炎近傍の気体温度分布を間接計測
雰囲気温度計測	計測範囲0 °C～100 °C、計測頻度10 Hz
雰囲気圧力計測	計測範囲0～200 kPa abs、計測頻度100 Hz

2. 審査対象 安全管理体制

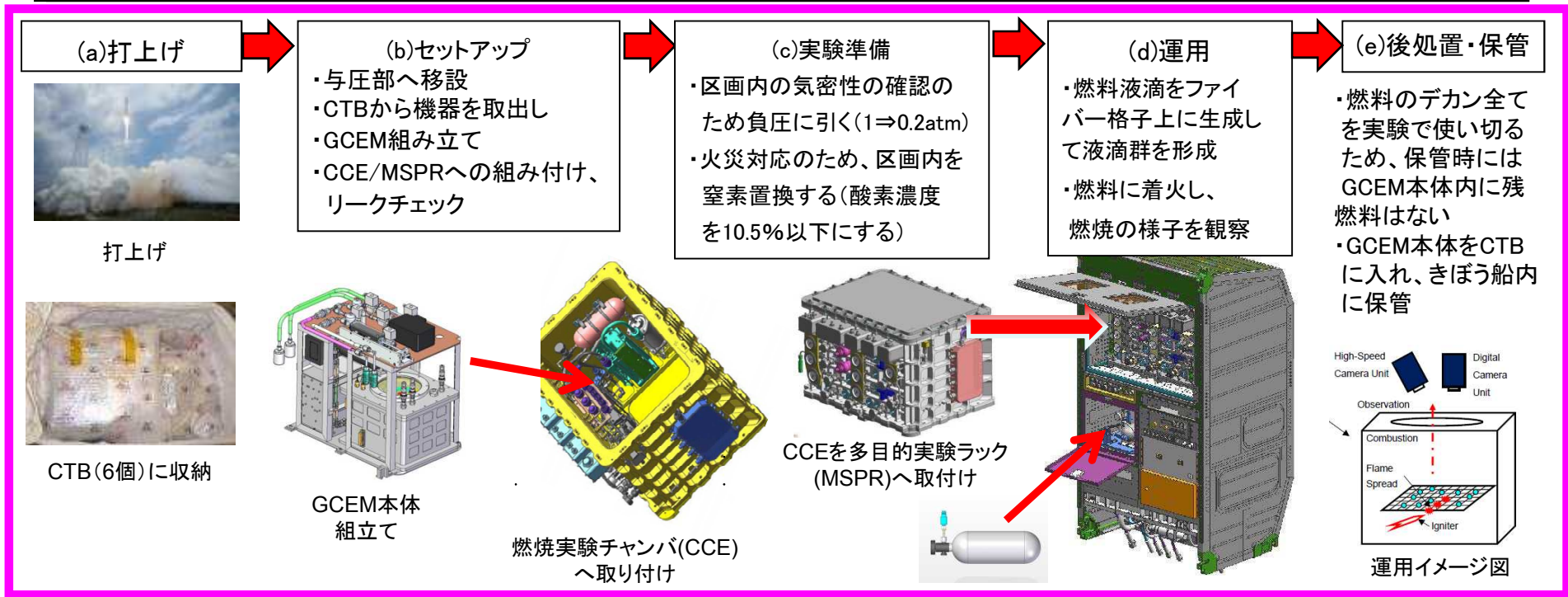


2. 審査対象 対象フェーズ



- ① GCEMでは射場作業は計画していない。
- ② 打上げ機は、HTV、シグナス(Orb)、ドラゴン(SpX)全てに対応できる設計としており、全ての包含した条件で安全審査を実施している。JAXA安全審査時にはシグナス(Orb)で打上げ予定と報告したが、シグナス打上げ事故が発生したため、打上げ機をHTVに変更する方向で調整中。

2. 審査対象 GCEMの運用フロー



対象フェーズ	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
識別されたハザード			STD-10:高温部への接触, STD-8:電磁適合性, STD-11:電力系の損傷, STD-13:回転機器の破損 UNQ-5:圧力系の漏洩・破裂, UNQ-3:火災		
			STD4:シャープエッジ, UNQ-6:排気ラインからのキャビンエアの漏洩による窒息		
	UNQ-1:ガラス破損, STD-9:電池の破裂／漏洩, UNQ-4:打上げ荷重／軌道上荷重による構造破壊, STD-6:可燃性材料, STD-7:オフガス, STD-3:ベントポートを有する機器の破損, UNQ-2:ハザードな材料漏洩による汚染(デカン, フィルタ材)				

3. 審査経緯(1/2)



JAXAはGCEMI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26年8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24年5月10日	平成24年10月16日
フェーズ2 (詳細設計終了時)	平成25年1月31日	平成25年4月16日
フェーズ3 (認定試験終了時)	平成26年6月10日	平成26年8月18日

各フェーズにおける審査事項は、添付4の安全解析の手順を参照。

3. 審査経緯(2/2)

各フェーズ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0/1	湿式コンデンサの使用に対する安全解析の不足	湿式コンデンサから固体コンデンサに変更した。
2	フェーズ0/1	電線の安全要求の不適合	安全要求を満足するよう、電線のサイズを大きくした。
3	フェーズ2	火災制御における、安全制御の独立性の不足	燃料突出部がカバーで覆われていることの確認を、他の安全制御と独立するよう、MSPR側で実施するようにした。 (UNQ-GCEM-03を参照)
4	フェーズ2	燃焼容器の観察窓の健全性の確認	搭乗員がGCEMをCCEから取り出す前に、燃焼容器の観察窓の破損がないことを画像で確認する安全制御を追加した。 (UNQ-GCEM-01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について、安全審査委員会で審議・了承。
- (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GCEMの安全検証結果を付表-1に示す。
GCEM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、JAXAとしての液滴群燃焼実験供試体(GCEM)の安全審査プロセスを完了した。

なお、本GCEMは、NASAペイロード安全審査パネルから、JAXA有人安全審査会への審査権限が移譲された対象であるため、NASAペイロード安全審査の対象とはならない。

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 (輸送用バッグにて打ち上げられるものが対象)	UNQ-GCEM-04で評価(5.3項参照)
2	シールを有する圧力機器の破損	UNQ-GCEM-05で評価(5.3項参照)
3	通気口を有する機器の破損	検証結果が妥当であることを確認した(5.2項参照)。
4	鋭利端部への接触、挟み込み	同上
5	ガラス破損	UNQ-GCEM-01で評価(5.3項参照)
6	火災(可燃性物質の使用)	検証結果が妥当であることを確認した(5.2項参照)。
7	船内空気の汚染(使用材料からのオフガス)	同上
8	電磁適合性	同上
9	電池の破裂/漏えい	同上
10	高/低温部への接触	同上
11	電力系の損傷	同上
12	発火源の有無	UNQ-GCEM-03で評価(5.3項参照)
13	回転機器(循環ポンプ、ファン)の破損	検証結果が妥当であることを確認した(5.2項参照)。
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	UNQ-GCEM-02で評価(5.3項参照)

5. 安全解析の概要

5.1. 識別されたハザード(2/2)



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。

以下のユニークハザードを識別した。

No.	ユニークハザード	結果
GCEM-01	ガラスの破損	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。
GCEM-02	危険材料による汚染	同上
GCEM-03	火災	同上
GCEM-04	打上げ・軌道上荷重による構造破壊	同上
GCEM-05	圧力システムの破裂・漏洩	同上
GCEM-06	排気ラインからのキャビンエアの漏洩による窒息	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(1/3)



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
3	通気口を有する圧力機器の破損	通気口を有する容器に圧力変化が起きた際に圧力差により容器が破損する。	容器の内部エネルギーを、3,063 foot-pounds以下にする。	規定値以下であることを確認した(電力・通信制御ユニットで、1,914 foot-pounds)。
4	鋭利端部への接触、挟み込み	鋭利な物やとがったものに接触することで、搭乗員が負傷する。	鋭利端部がない設計とする。	図面検査、フライトハードウェアの検査により確認した。
6	火災(可燃性物質の使用)	可燃性物質を使用していた場合、「きぼう」内で火災が発生する恐れがある。	適切な材料プロセス(JAXA宇宙ステーションプログラム材料及び工程要求書)に従った材料選定を行う。	材料使用リスト(MIUL; Material Identification and Usage List)を審査し、承認した。

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(2/3)



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
7	船内空気の汚染(使用材料からのオフガス)	機器からのオフガスが搭乗員に危害を与える恐れがある。	適切な材料プロセス(JAXA宇宙ステーションプログラム材料及び工程要求書)に従った材料選定を行う。	材料使用リスト(MIUL; Material Identification and Usage List)を審査し、承認した。
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。	電磁適合性試験(EMC)を実施し、要求を満足することを確認した。
9	電池の破裂／漏えい	セルやバッテリーケースの破裂・破片の飛散、毒性物質や火災の発生により、搭乗員の死傷に至る。	電池に異常がないことを試験で確認する。	試験・検査(電圧測定、外観検査、リーク試験)を実施し、電池に異常がないことを確認した。

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(3/3)



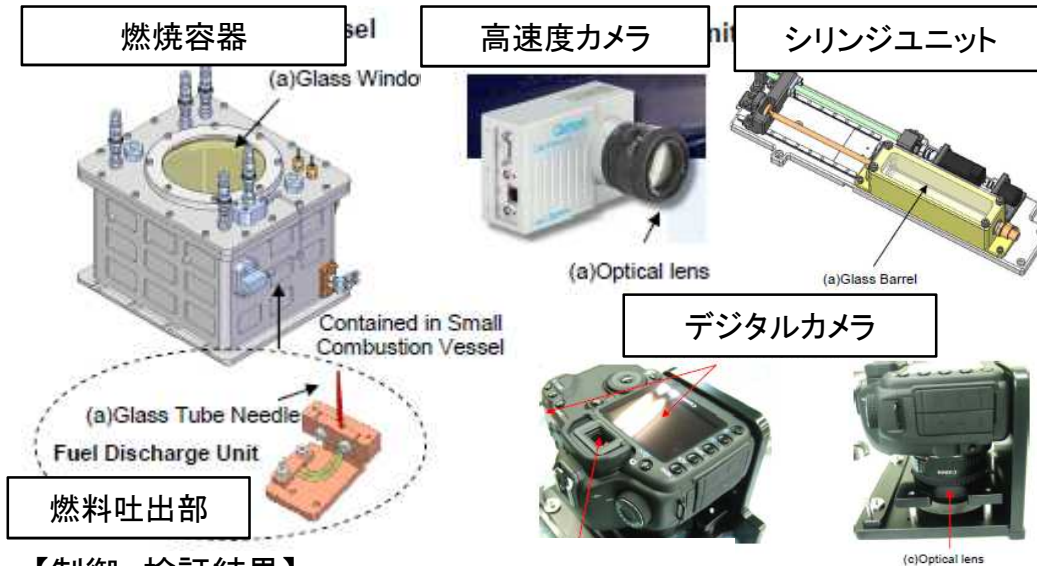
標準 ハザード 番号	タイトル	想定されるハザード	制御	検証
10	高／低温部への接触	高温部或いは低温部との接触により、搭乗員が負傷する。	機器の表面温度が規定の温度範囲(-18～+49℃)になる設計とする。	熱解析及び測定結果から、規定の温度範囲に入ることを確認した。
11	電気系の損傷	電気回路の短絡による機器の損傷。電線の破損による有害物の発生、火災。	電気回路が適切な保護回路、ワイヤサイジングを有する設計とする。	電気回路が要求を満足することを図面および試験で確認した。
13	回転機器(循環ポンプ、ファン)の破損	機器の故障により回転体が飛散することで搭乗員が負傷する。	回転体を筐体の中に閉じ込める。規定の回転エネルギー(直径:200mm、回転数:8,000rpm)以下とする。	回転体が筐体の中にあり、かつ規定の回転エネルギー以下であることを確認した。

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-GCEM-01 : ガラスの破損

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(搭乗員の死傷)

・GCEMには多くのガラス部品が艤装されており、それらが破損した場合は搭乗員に影響を及ぼす可能性がある。



構成品	封入手段				
	打上時	組立	運用時	取外	保管時
燃焼容器	保護カバー	目視確認	CCE本体	・画像確認 ・リーク確認	硬質保護カバー
デジタルカメラ	保護カバー, ジップロック	目視確認	CCE本体	— ※1	ジップロック
高速度カメラ	保護カバー, ジップロック	目視確認	CCE本体	— ※1	ジップロック
シリンジユニット	保護ケース, 保護カバー, ジップロック	目視確認	CCE本体	— ※1	ジップロック
燃料吐出部	燃焼容器	—	燃焼容器	—	燃焼容器

※1: 運用時に負荷はかからない

【制御、検証結果】

制御	検証結果
想定される荷重に対して耐性のある設計を行う	・ 観察窓の強度試験(プルーフ試験) で確認した ・ 振動試験で確認した
ガラス部品に対してフラクチャコントロールを適用	フラクチャコントロール計画及び結果が承認された
ガラス部品を封入する設計	図面及び現品検査で確認した
封入手段がないフェーズは運用制御を設定 <組立時> 搭乗員はカメラ等に付いている保護カバーを取り出す前に、ガラスの破損がないことを確認する。 <取り外し時> 地上要員は、搭乗員がGCEMをCCEから取り出す前に燃焼容器の窓の破損がないことを画像で確認。また、リーク試験で燃焼容器の窓の破損がないことを確認する。	運用制約は運用制御合意文書に反映した。 *)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

上記の運用制約は安全審査の結果を受けて追加した。

5. 安全解析の概要

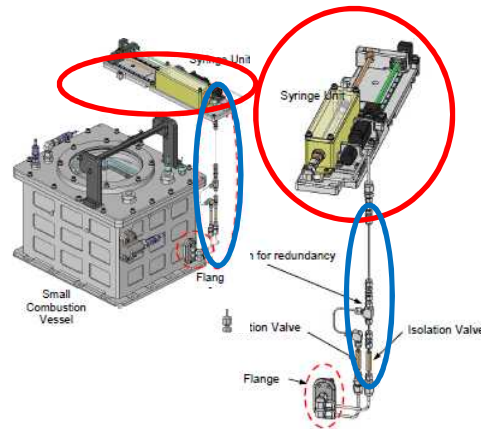
5.3. UNQ-GCEM-02: 危険材料による汚染



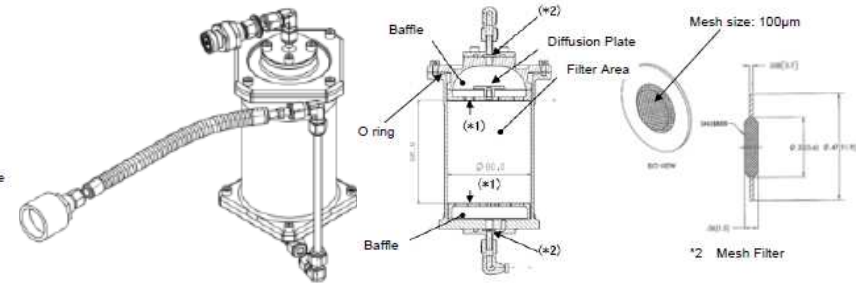
【想定されるハザード】: クリティカルハザード(燃料: デカン及びフィルタ材の漏洩による搭乗員の負傷)
 ・シリンジユニット/燃料供給ライン/燃焼容器やフィルタ本体からの毒性物質の漏洩により船内活動搭乗員を負傷させる

※燃料: デカンの毒性評価結果
 液体時: Toxic Hazard Level (THL)=1
 (2重封入が必要)
 気体時: Toxic Hazard Level (THL)=0
 (1重封入が必要)

燃料である液体のデカンは以下の順路で燃焼容器へ供給される
 ①シリンジユニット
 ②燃料供給ライン(配管)



※フィルタ材(ゼオライト)は容器に充填させて排気系統に設置
 毒性評価結果
 Toxic Hazard Level (THL)=1 (2重封入が必要)



【制御、検証結果】

制御	検証結果
<p>■燃料(デカン)の漏洩 【打上～実験前(GCEM組立)】 ・シリンジユニットの2重シールで封入 【実験時】 ・各2重シールで封入 (シリンジユニット、燃料供給ライン、CCE) 【実験後(GCEM取出し)】 ・燃焼容器の1重シールで封入 ・配管内の残留デカン(液体)を回収する ・燃焼容器内の残留デカンの気化(排気) ・燃焼容器のリーク確認(注1)</p>	<p>・図面、現品検査により確認した ・漏洩試験/耐圧試験で封入性を確認した ・機能試験により動作を確認した ・材料適合性を評価した ・運用制約を運用制御合意文書に反映した</p> <p>*)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</p>
<p>■フィルタ材の漏洩 【打上～実験前(GCEM組立)】 ・フィルタ本体の1重シール及びジップロックバックで封入 【実験時】 ・フィルタ本体の1重シール及びCCEの2重シールで封入 【実験後(GCEM取出し)】 ・フィルタ本体の1重シール及びジップロックバックで封入</p>	<p>【ジップロックによる封入手段がない場合(組立・取出時)】 ・フィルタ本体のメッシュ(100um)で排出防止 ・作業時は保護具(ゴーグル等)を着用する</p>

注1 : リーク確認で漏洩が確認された場合は、CCE内をガス置換する(排気、GN2供給)

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-GCEM-03: 火災

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード (ISS・JEMの損傷／搭乗員の死傷)

漏洩した燃料に意図せず着火することにより火災を引き起こし、ISS・JEMもしくは搭乗員を損傷／死傷させる。



図1. 燃料供給ユニットからの燃料漏れ(CCE内)による火災

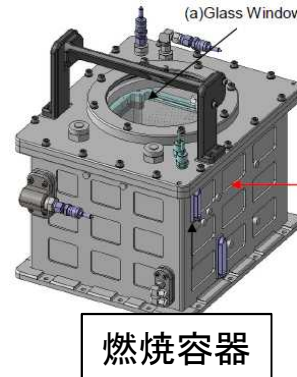


図2. 燃料吐出部からの燃料漏れ(燃烧容器内)による火災

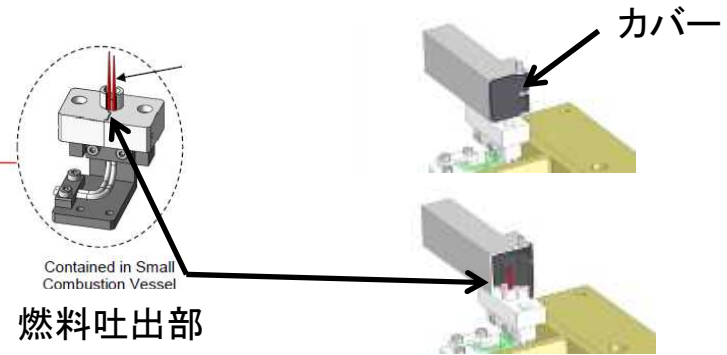


図3. 燃料吐出部の残燃料への意図しない着火による火災

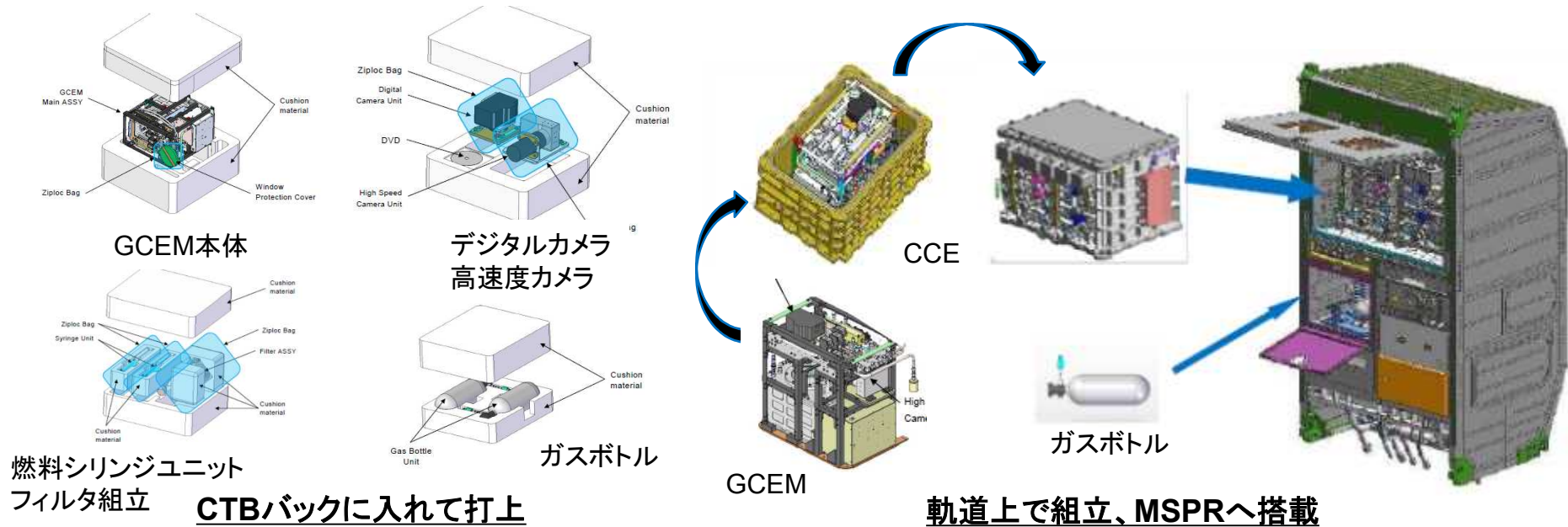
【制御、検証結果】

制御	検証結果
<p>【燃料供給ユニットからの燃料漏れ(CCE内)による火災、図1】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CCE内を窒素置換により酸素濃度を10.5%以下に下げる。 ・CCE内への空気供給を遮断する。 ・異常時にはGCEM内のサーモスタットで高温を検知して電源を落とす。 	<ul style="list-style-type: none"> ・窒素置換時の酸素濃度を解析で確認した ・窒素置換機能を試験で確認した ・液滴生成機構の動作を機能試験で確認した ・デカンの当量比を解析で確認した ・運用制約を運用制御合意文書に反映した
<p>【燃料吐出部からの燃料漏れ(燃烧容器内)による火災、図2】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デカンの量が可燃限界濃度以下になるように制限する。 ・液滴生成機構の3軸全てが初期位置に戻らないと、着火装置を起動できない。 ・燃料吐出部がカバーで覆われないと、着火装置を起動できない。 ・バルブを閉にし、燃烧容器内への空気供給を遮断する。 	<p>*)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</p>
<p>【燃料吐出部の残留燃料への意図しない着火による火災、図3】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・隙間を消炎距離以下にして、火炎伝播を防止する。 ・液滴生成機構の3軸全てが初期位置に戻らないと、着火装置を起動できない。 ・燃料吐出部がカバーで覆われないと、着火装置を起動できない。 ・バルブを閉にし、燃烧容器内への空気供給を遮断する。 	<p>左記の赤字部は、安全審査の結果を受け、制御を見直した。</p>

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-GCEM-04: 打上げ・軌道上荷重による構造破壊

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード (ISS、JEMの損傷／搭乗員の死傷)
 ・打上げ中の静加速度/振動荷重及び減圧環境による差圧荷重、さらに軌道上運用中の荷重により構造破壊を起こし、船内活動搭乗員や機器に有害な影響を与える。



【制御、検証結果】

制御	検証結果
打上げ環境及びクルー荷重に対して適切な安全係数(降伏1.25, 終局2.0)を有する構造設計を行う	強度解析、振動試験により確認した
ISS要求に基づいたフラクチャコントロールを行う	フラクチャコントロール計画及び結果が承認された
ISS要求を満たす材料を使用する	材料リストの審査(MIUL)が承認された
保管時は保護カバー付CTBに入れる(運用制御)	運用制御合意文書に反映した
標準ファスナの使用、緩み止め付きファスナの使用	フライト品検査、振動試験、品質記録で確認した

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

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-GCEM-05: 圧力システムの破裂・漏洩

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(ガス系の破裂によるISSの損傷/搭乗員の死傷)

クリティカルハザード(ガス系からの漏洩によるISSの損傷/搭乗員の負傷)

・GCEM内のガスシステムの破裂によるISSやJEMの損傷や、破片の船内活動中の搭乗員への衝突により、搭乗員の死傷に至る。また、ガスシステムからの窒素ガスの漏洩により機器の損傷、船内活動搭乗員の負傷に至る。

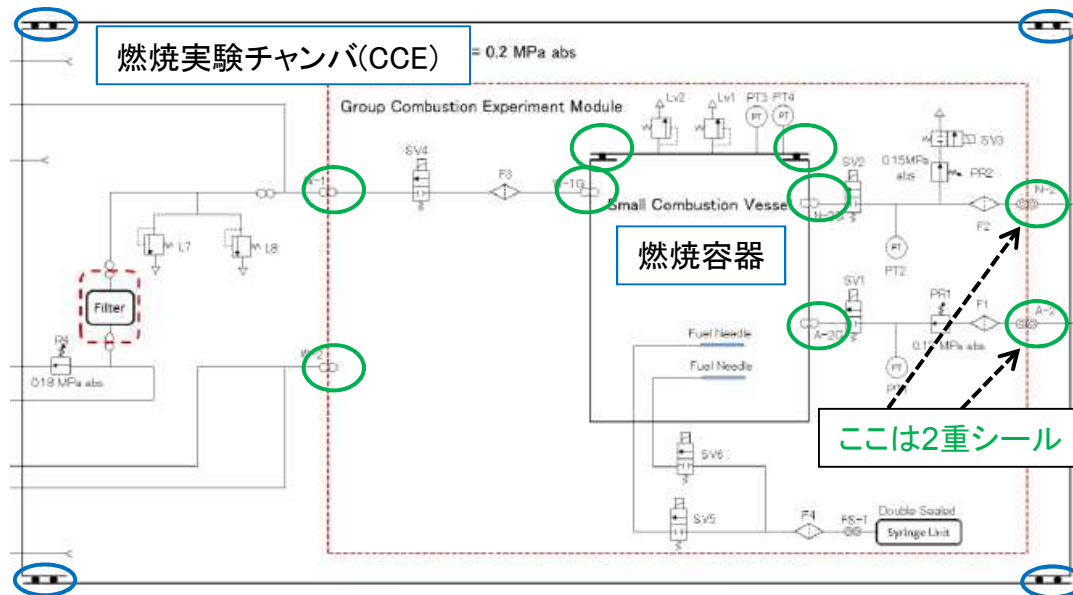


図1. ガス系統図(一部)

ハザード: 窒素ガスの漏洩

<GCEM側の設計対応> 赤枠内

- ・配管部を含め圧力系は1重あるいは2重シールによる封入設計
- ・適切な強度設計(特にガラス窓)

<MSPR/CCE側の設計対応>

・CCEは2重シールによる封入設計

接合部にはメタル・2重ラバーシールを設ける。

CCEは2重封入設計とする

- ・適切な強度設計

<きぼう側の設計対応>

・キャビンファンによる対流による拡散

・ファン故障時には、警報が鳴り搭乗員を退避させる

【制御、検証結果】

制御	検証結果
圧力系の配管(接合部を含む)/燃焼容器/ガラス窓の破裂に対して、最大設計圧力(MDP)に適切な安全係数を設けて、必要十分な強度を持たせた設計	<ul style="list-style-type: none"> ・配管系統は、MDPの配管・接合部は4倍、燃焼容器は2.5倍、ガラス窓は5倍の強度に耐えることを強度解析により検証した。 ・配管系統は耐圧試験を実施し、破裂・漏洩がないことを確認した
接合部からの窒素ガスや燃料の漏洩に対して、適切な封入手段を持つ設計	<ul style="list-style-type: none"> ・上記圧力試験によりシール部から漏洩がないことを確認した。 ・燃料とシールの適合性を解析により確認した。

5. 安全解析の概要

5.3. UNQ-GCEM-06: 排気ラインからのキャビンエア漏洩による窒息

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード (ISS、JEMの損傷/搭乗員の死傷)

- ・真空排気系の配管継手部等からの漏洩により、船内が減圧して搭乗員の死傷に至る。

ハザード: 真空排気系の漏洩による減圧

<GCEM側の設計対応> 赤枠内

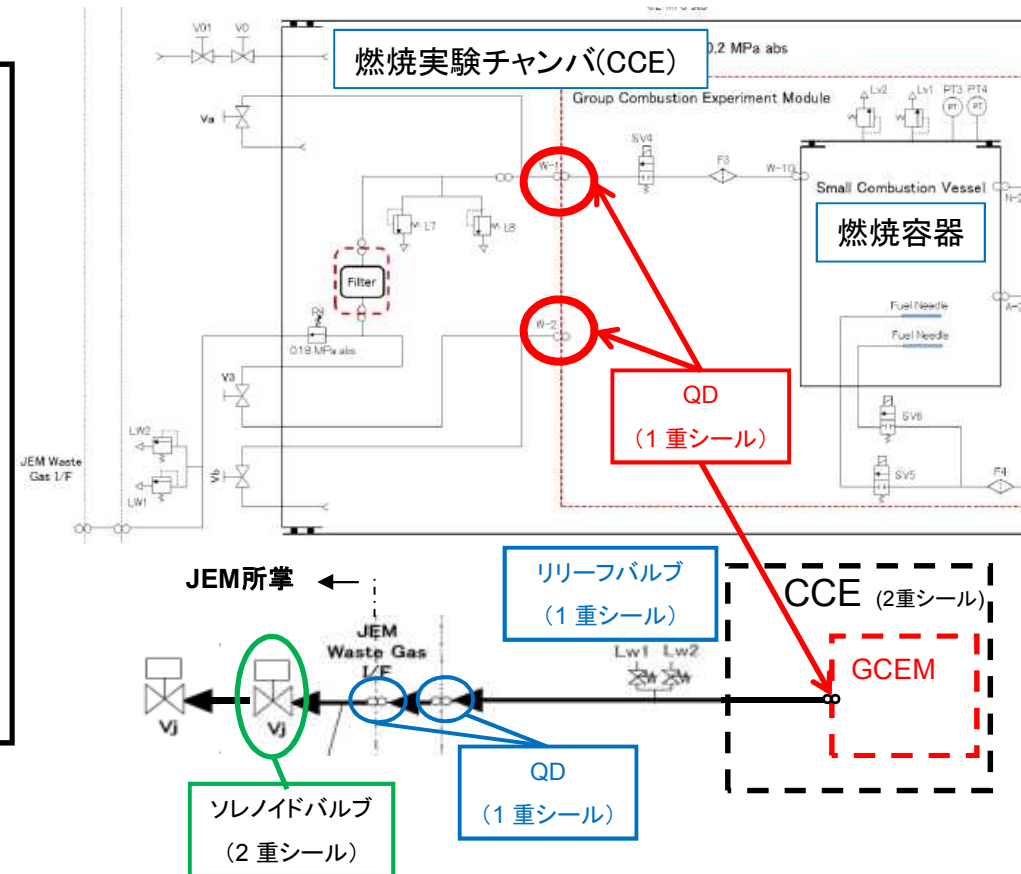
- ・排気ラインとの接合部は1重シールによる封入設計
- ・軌道上で圧力系統の組み立て後、リークチェックで気密性を確認する

<MSPR/CCE側の設計対応>

- ・真空排気系は1重以上のシールを持つ設計
- ・軌道上で圧力系統の組み立て後、リークチェックで気密性を確認する

<きぼう側の設計対応>

- ・「きぼう」は船内減圧時にラック側のバルブを遠隔操作で閉鎖する
- ・万が一漏洩したとしても、搭乗員が退避する時間が確保できる設計



【制御、検証結果】

制御	検証結果
真空排気系は1重以上のシールを持つ設計	<ul style="list-style-type: none"> ・真空排気系は1重以上のシールを用いていることを検査で確認した ・軌道上で圧力系統を組み立てた後、リークチェックで気密性を確認する

6. 結論

JAXAは、液滴群燃焼実験供試体(GCEM)について、JAXA内の安全審査を完了し、安全検証は完了したと判断した。

添付

添付1 : 安全審査委員会と有人安全審査会

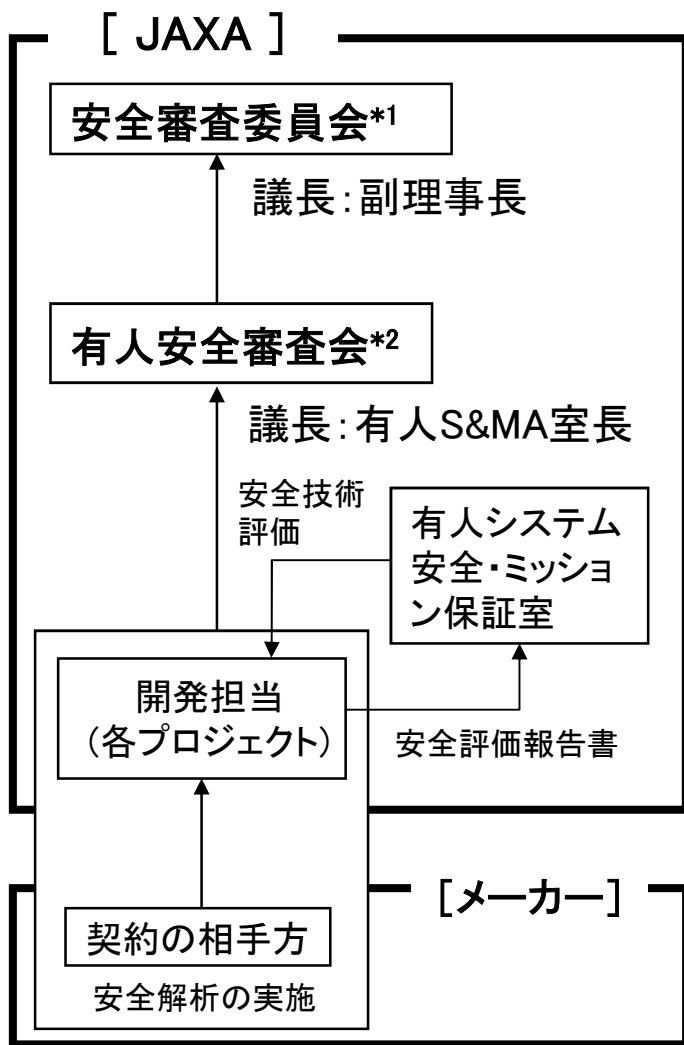
添付2 : ハザード識別 (FTA)

添付3 : 安全検証追跡ログ(SVTL)

添付4 : 安全解析の手順

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

添付1. 安全審査委員会と有人安全審査会



*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。

- ✓ 議長: 副理事長
- ✓ 副議長: 信頼性統括
- ✓ 委員: 常勤理事、経営企画部長、各本部の本部長等

*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。

- ✓ 議長: 有人S&MA室長
- ✓ 副議長: 有人S&MA主幹
- ✓ 委員: 関連部門の長、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)

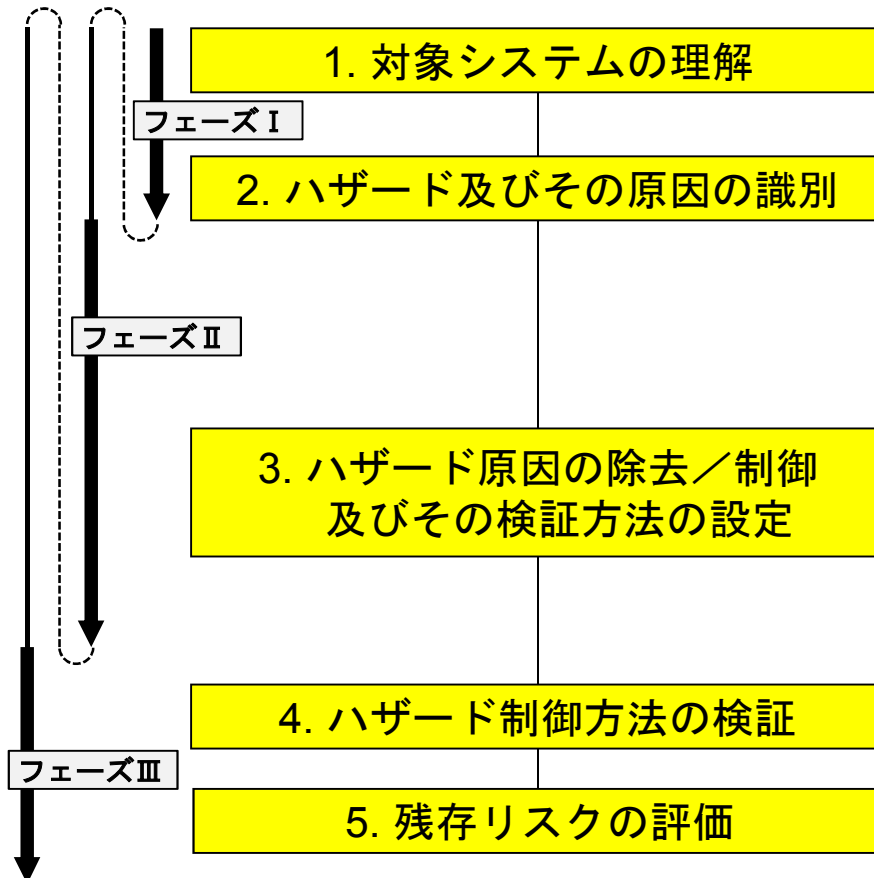


添付3. 安全検証追跡ログ(SVTL)



番号	検証内容	クローズ予定日
1	CTB(打上げ用ソフトバッグ)への梱包状態を検査で確認する	2015年2月20日
2	デカンの充填後にシリンジユニットの目視検査を行う	2015年2月20日

添付4 安全解析の手順



- ・対象とするシステムの機能・性能、その運用方法、そのシステムが遭遇する環境条件、他のシステムとのインタフェース等、を十分理解する。
- ・対象となるシステム及びその運用に掛かる予測可能な全てのハザードを、FTA、FMEA、標準ハザードによるチェック等の手法によって、被害の度合い*1を含めて識別する。また、識別したハザードの原因を識別する。これらは、対象とするハードウェア、ソフトウェア、運用、誤操作等のヒューマンエラー、インタフェース、環境条件等を考慮して、体系的かつ論理的に解析する。
FTA : Fault Tree Analysis
FMEA : Failure Mode and Effect Analysis
- ・ハザード原因については可能な限り除去する。除去できないものについては、制御*2する。
また、ハザード制御の検証方法*3を併せて設定する
- ・試験、解析、検査、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する。
- ・ハザードの制御方法の検証結果を評価して、ハザードの残存リスクが十分低いレベルに制御されていることを確認する。

*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。

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (1/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 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。</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。</p> <p>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 GCEM 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 メテオロイト、スペースデブリ メテオロイト(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。</p> <p><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 GCEM は打上げから軌道上運用の全てのフェーズにおいて与圧区画内にあり、隕石やスペースデブリに曝されることがない。</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とする。</p>	<p>イ 宇宙放射線 ISS が運用される高度約 400km、軌道傾斜角 51.6 度の軌道においては、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</p>	<p>イ 宇宙放射線 GCEM は宇宙放射線を考慮した部品選定を実施している。</p>

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (2/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
と。	<p>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。</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。</p> <p>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。</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ラ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>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 GCEM は打上げから軌道上運用の全てのフェーズにおいて与圧区画内にあるため、高真空に曝されることがない。</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り付け可能で、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 微小重力下での船内作業においては、物体の浮遊による搭乗員への衝突を防止するため、GCEM の機器は、バックに収納するか、機器に固定するように、作業手順が適切に設定されていることを確認した。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-3 ベントホールを有する機器の減圧による構造破壊 UNQ-GCEM-04 構造破壊</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 GCEM は打上げから軌道上運用の全てのフェーズにおいて与圧区画内にあるため、プラズマに曝されることがない。</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。</p> <p>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 台の空調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 GCEM は打上げから軌道上運用の全てのフェーズにおいて与圧区画内にあるため、高温・低温に曝されることがない。</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)</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>NASDA-ICS-0011 固定されていない機器との衝突(軌道上)</p>	<p>⑤酸素原子 GCEM は打上げから軌道上運用の全てのフェーズにおいて与圧区画内にあるため、原子状酸素に曝されることがない。</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、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 GCEM 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 3 項に示す。 ・剛性設計</p>

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (3/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
		<p>・強度設計 ・疲労強度</p> <p>GCEM にはベントポートを有する機器があるが、ベントポートの開口面積から、きぼうの緊急減圧時に差圧が発生することはない、機器の破壊によるきぼうや搭乗員の損傷は起こりえない設計としている。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-3 ベントホールを有する機器の減圧による構造破壊 UNQ-GCEM-04 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 GCEM には酸素等を制御や監視する機能は要求されていない。</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 減圧に対しては、適切なシールによりそれを防ぐ設計としている。 <関連ハザードレポート> UNQ-GCEM-06: 排気ラインからのキャビンエア漏洩による窒息</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 GCEM には温度、湿度を制御する機能は要求されていない。</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、ファン容量・回転数・テイクオフ仕様(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 GCEM には JEM 内の気流を制御する機能は要求されていない。</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 GCEM は ISS 計画で規定された選定基準(JEM のボリュームを考慮して、各物質ごとの人体に対する許容量が定められている)に従って使用する材料が選定されていることを確認している。 GCEM に使用される非金属からのオフガスについては、必要に応じて部品・機器レベルでオフガス試験を実施し、オフガス発生量が ISS で設定される基準レベル内であることを確認している。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-7 環境空気汚染(オフガス)</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 汚染源の漏洩に対して、汚染源の種類に応じた封入設計がとられている。例えば、毒性物質の汚染として、燃焼燃料のタンクは2重封入が必要であり、燃料の入ったシリンジ及び燃料容器への供給ラインは2重シールによる封入設計としている。シリンジ交換や GCEM 取出時は一時的に封入手段がなくなるが、搭乗員が保護具(ゴーグル、手袋)を着用して作業する運用制御により対処することを確認している。 また、GCEM では実験コントローラやカメラのタイマ用としてリチウムボタン電池を使用しており、その破裂ハザードに対しては減圧試験により電解液の漏洩がないことを確認している。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-9 電池の破裂/電解液の漏洩 UNQ-GCEM-02: 毒性物質の漏洩による汚染</p>
<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</p> <p><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</p> <p>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るレベルでは</p>	<p>(ア)振動 GCEM の攪拌ファン等の各種回転機器から発生する振動は、人体・搭載機器に影響を与えるレベルではないことを解析により確認している。</p>

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (4/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
	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。	ISS では、ISS の軌道変更等から加速度が生じるが、これらの荷重に GCEM の構造が耐えることを解析にて確認している。
	(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、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。	(イ)音響 GCEM の攪拌ファン等の各種回転機器から発生する騒音が、ISS 計画における騒音に対する設計基準以下であることを解析、試験にて確認している。
	(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。 GCEM 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-GCEM-8.1 電磁干渉による機器の誤作動
(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 GCEM は、HTV で投棄するため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、JEM の搭載機器である GCEM 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、リークビフォアラプ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。	(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> STD-GCEM-3 ベントホールを有する機器の減圧による構造破壊 UNQ-GCEM-04 構造破壊
	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リークビフォアラプチャ 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、リークビフォアラプチャ設計(容器に許容値を超える長さの亀裂が発生した場合でも、亀裂が貫通してリークが発生することで圧力を下げ、破裂を起こさない設計)としている。 <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 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	イ 圧力容器の設計 ①圧力(MDP:Maximum Design Pressure) GCEM の圧力系機器(窒素ガス供給ライン、燃焼容器)は、MDP(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)に対し、配管・継ぎ手及び QD 部に対しては終極安全係数 4.0、圧力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リークビフォアラプチャ GCEM はリーフバルブを有しており、リークビフォアラプチャ設計となっている。 <関連ハザードレポート> UNQ-GCEM-05 圧力システムの破裂・漏洩
(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 のリブ・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に設計されている。	(2)剛性・強度 ア 剛性 GCEM 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> STD-GCEM-3 ベントホールを有する機器の減圧による構造破壊 UNQ-GCEM-04 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 GCEM 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 1.25 倍、終極 2.0 倍として解析による検証を行った。

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (5/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
		<p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-3 ベントホールを有する機器の減圧による構造破壊 UNQ-GCEM-04 構造破壊</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> UNQ-GCEM-04 構造破壊</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 GCEM の計画運用期間および構造の設計寿命は、2 年 6 カ月と設定した。連続運用は想定しておらず、トータル実験日数は約 50 日である。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 GCEM に対しては、軌道上運用時に発生する負荷サイクルは微小であるため、構造寿命の安全率は適用外とする。ただし、長期運用中に発生しうる構造材の腐食、応力腐食割れに対しては、材料選定段階での評価を行い問題のない材料を使用した。</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 GCEM 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、欠陥が許容でき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壊 NASDA-1JA/1J-0024 NASDA-2JA-0024 軌道上での荷重による構造破壊</p> <p>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</p>	<p>(3)構成材料</p>
	<p>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。</p>	<p>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、GCEM の非金属材料には難燃性で、ガスの発生が極めて少ない材料が基本的には使用されていることを確認している。これは、以下のような ISS 共通の基準に従い選定し、使用されていることを、材料選定時の評価、組み付け時の検査にて確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・可燃性：材料レベルでの可燃性試験において規定値以上の可燃伝播が生じない材料(実績の無い材料は、試験を行い評価している)であるか、機器に搭載された状態で機器筐体により火災伝播が防止できるように使用される材料であること。 ・オガス：JEM のボリュームを考慮して、各物質ごとに人体に対する許容量以下となるように、非金属材料の使用量を制限するか、機器レベル等でオガス試験を実施して、ガス発生量が許容値以下であること。 <p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-6 火災(可燃性材料の使用) STD-GCEM-7 環境空気汚染(オガス)</p>
	<p>イ 破壊靱性に対する考慮 テフ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。</p>	<p>イ 破壊靱性に対する考慮 GCEM は打上げから軌道上運用の全てのフェーズにおいて与圧区画内にあり、隕石やスペースデブリに曝されることがない。</p>
	<p>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。</p>	<p>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、GCEM の構造材料が選定されていることを検査にて確認している。</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-GCEM-04 構造破壊</p>
<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ールトトレランス数 原則として、各ハザードの被害の度合いに応じて次のフォールトトレランス設計とされている。</p> <p>①カタストロフィックハザード： 27フォールトトレランス(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)</p> <p>②クリティカルハザード： 17フォールトトレランス(単一のシステム・機器の故障又は誤操作により搭乗員への傷害を引き起こさない設計)</p> <p>イ 冗長設計とインビッド設計 フォー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。</p>	<p>(1) 安全性 GCEM は、左記に従い、安全性設計を行った。</p>

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (6/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
(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>【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)</p> <ul style="list-style-type: none"> 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>(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・デブ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。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-11 電力系の損傷</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>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 GCEM の故障検知機能は GCEM 及び GCEM を搭載する燃焼実験チャンバ、多目的実験ラックで実現し、GCEM の安全を維持していることを確認した。例えば、異常な温度上昇による火災ハザードに対し、サーモスタットで検知し多目的ラックで電源遮断を行う。</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-GCEM-03 火災 UNQ-GCEM-06 排気ラインの漏洩による与圧部の漏洩</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>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 GCEM に対しては、緊急時は多目的実験ラックで電源を遮断できるため、GCEM では適用外とする。</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>エ 自動機能に対するオーバーライド 上記に含む</p>	<p>エ 自動機能に対するオーバーライド 上記に含む</p>
(3)安全性 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>(3)安全性 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) 安全性 GCEM は安全上連続的に運用する必要のあるシステムではない。</p> <p>ア 機能中断の防止 GCEM は安全上連続的に運用する必要のあるシステムではない。</p>
イ 危険防止 保全作業については、船外活動の最小化、粉塵等の発生を最小化、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>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 船外活動の最少化 GCEM に関わる船外活動はない。</p>
	<p>②粉塵等の発生を最少化 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 粉塵等の発生を最少化 GCEM は、軌道上での保全作業は計画されていない。</p>
	<p>③流体放出の防止 保全時の流体の放出防止のため、熱制御系の水ループ機器等のインターフェースには、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 GCEM は、流体放出防止のためガス排気系統のインターフェースには、クイックディスコネクタ(QD)を使用している。なお、GCEM の圧力系機器の破裂、漏洩によるハザードを防ぐために適切なシール設計、適切な安全係数による耐圧設計、搭乗員による運用制御により対処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-GCEM-05 圧力システムの破裂・漏洩</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 GCEM は、軌道上での保全作業は計画されていない。</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 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)</p>	<p>⑤ 機器取付け及び取外しでの安全 保全時の作業については、十分な空間があり、電線・ケーブル等が取付け及び取外等のために長さ、配置に問題の無いことを、図面、フライトハードウェアの検査により確認した。 機器取付／取出作業で毒性物質である燃料(テカン)及びフィルタ材(真空排気系に使用)の封入手段が一時的に無くなり搭乗員は毒性物質に曝されるが、保護具を着用して作業する運用制御により対処されていることを確認した。 GCEM のコネクタ着脱は、燃焼実験チャンバが多目的実験ラックから外れた状態で実施するため通電はなく、安全に着脱可能であることを確認した。また、燃焼実験チャンバは多目的実験ラックの電源を遮断して安全に着脱可能な設計である。</p> <p><関連ハザードレポート></p>

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (7/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
	NASDA-1JA/1J-0016 NASDA-2JA-0016 感電 NASDA-1JA/1J-0017 NASDA-2JA-0017 接触面温度異常 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	STD-GCEM-10 高温/低温部への接触 UNQ-GCEM-02 危険材料による汚染 ●STD-MSPR-14 感電(コネクタの脱着)
(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)	(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。
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合であり、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 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 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	(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。
	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。	イ 外傷の防止 ① 回転機器に対する防護 GCEM に使用されているモータ等の回転機器は、搭乗員が不意に接触しないように、ハウジングにより覆われていることを図面、フライトハードウェアの検査により確認した。 <関連ハザードレポート> STD-GCEM-13 回転機器の飛散
	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 GCEM 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。 ガラス機器に対しては封入設計がなされていること、搭乗員による運用制御により対処されていることを確認した。 <関連ハザードレポート> STD-GCEM-4 鋭利な端部、突起物への接触 UNQ-GCEM-01 ガラス破損
	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。	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。 また、GCEM の HTV からきぼう内への移送時については、輸送用バッグに入れられているため適用外である。
	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 露出部の表面は、火傷や凍傷を生じない温度範囲(GCEM は与圧区域内にあり連続的な接触のある箇所の温度は許容温度(0℃~45℃)にあることを熱解析により確認した。 <関連ハザードレポート> STD-GCEM-3、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持たせるとともに、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。	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、ボンデン

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (8/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
	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。	ゲ・グラディング抵抗測定を実施した。 〈関連ハザードレポート〉 STD- GCEM -11 電力系の損傷
	E 作業等の安全 足部固定具(フットレストレイント)、取っ手(ハンドレール)等の移動支援具は、荷重に十分耐えられるように適切な安全率(1.5)を持った構造設計が行われ、搭乗員の移動・作業場所を考慮した適切な位置に配置されている。	E 作業等の安全 GCEM は移動支援具を必要としない。
(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
	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ピオクスファン・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 GCEM は可能な限りの自動化が図られている。
	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、バ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、日本語等の言語を使用する場合には、並記することとされている。	イ 内部装飾 GCEM の表示は ISS 標準に従っている。
	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、独立したインヒットにより保護されている。	ウ 機器の操作手順 GCEM にはハザード・コマンドはない。
	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。	エ 視野等 GCEM に関わる船外活動はない。
(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。	(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	(3) 共通化 ISS 全体の安全に関わる GCEM 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。
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。	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。	6.緊急対策
(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。	(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	(1)緊急警報 以下参照
	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	ア 火災 漏洩した燃料(テカン)への意図しない着火を防止するため、火災の 3 大要素について以下の対策が講じられており、機能性試験や燃料の燃料の当量比解析、搭乗員による運用制御により対処されていることを確認した。 酸素:窒素置換により酸素濃度を下げる。バルブ操作により空気の供給を遮断する。

付表-1 基本指針に対する GCEM 安全検証結果 (9/9)

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)	液滴群燃焼実験供試体(GCEM) 安全検証結果
	<p>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、ハッチ・メック・ケーブル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>着火源:サーモスタットで異常温度を検知して、電源を遮断する。 着火装置は燃料を吐出する液滴生成機構が初期位置に戻らないと起動しない。 材料:燃料(テカン)の量は、可燃限界濃度以下になるよう使用量を制限する</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-GCEM-03 火災</p> <p>火災検知に対しては JEM 及び多目的実験ラックの機能に依存しているため適用外である。</p> <p>また、GCEM は以下、火災発生リスクを最小化した設計となっていることを確認した。 (a)不燃性・難燃性材料を使用していることを、材料識別及び使用リスト(MIUL)で確認した。 (b)適切なサイズの電線を使用していることを、下記で確認した。 (i)配線設計(ワイヤサイズ、バンドル数)解析 (ii)電力回路設計(過電流遮断特性)解析 (iii)電力遮断特性試験</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 真空排気系の漏洩による与圧部の減圧に対して、真空排気系は1重以上のシール構造であることを図面、フライト品検査で確認した。また、地上でのリーク試験で真空排気系機器に漏洩が無いことを確認している。また、GCEM 組立後の気密性については、軌道上のチェックアウトでリークが無いことを確認する。</p> <p><関連ハザードレポート> UNQ-GCEM-06 排気ラインの漏洩による与圧部の漏洩</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。</p>	<p>ウ 汚染 毒性物質である燃料(テカン)及びフィルタ材(真空排気系に使用)に対して、毒性物質の種類に応じた封入設計がとられていることを図面、フライト品検査で確認した。GCEM 取付/取出作業で一時的に封入手段がなくなり搭乗員は毒性物質に曝されるが、保護具を着用して作業する運用制御により対処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-GCEM-02 危険材料による汚染</p>
<p>(2)アクセス 非常設備、防護具、安全上重要な手順書等は、緊急時においても、搭乗員が容易に取り出して使用できるように保管すること。 また、通路は、搭乗員が安全かつ速やかに脱出・避難できること。</p>	<p>(2)アクセス</p> <p><関連ハザードレポート> 全般</p>	<p>(2)アクセス</p>
	<p>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。</p>	<p>ア 非常設備、防護具 GCEM には非常設備、防護具はない。</p>
	<p>イ 安全上重要な手順書 軌道上で必要となる安全上重要な手順書は、軌道上で搭乗員がアクセスできる電子ファイル媒体、文書として保管・掲示される。</p>	<p>イ 安全上重要な手順書 軌道上で必要となる安全上重要な手順書は、軌道上で搭乗員がアクセスできる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。</p>
	<p>ウ 通路 搭乗員の移動・作業を容易にするため、通路にハンドレール、フットレスト等が設置される。 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。</p>	<p>ウ 通路 GCEM は、干渉することなく移設が可能である。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-GCEM-15 障害物による退避経路の妨害</p>
<p>(3)減圧及び再加圧 火災、汚染等の異常が発生した場合には、与圧部(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。</p>	<p>(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</p>	<p>(3)減圧・再加圧 GCEM は JEM の減圧・再加圧に対応した設計としている。</p>
<p>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。</p>	<p>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。</p>	<p>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、装置開発である ISS 科学プロジェクト外室から独立した安全・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。</p>