

資料 19-2-1

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
調査・安全小委員会
(第19回) H27.1.16

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
(GCEM 調査審議結果)
(案)

平成 26 年 1 月 16 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 26 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 (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

1. 概要

独立行政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26年12月19日 調査・安全小委員会（第12回）
- ・平成27年1月16日 宇宙開発利用部会（第19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、「液滴群燃焼実験供試体 (GCEM)」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「液滴群燃焼実験供試体 (GCEM)」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「液滴群燃焼実験供試体 (GCEM)」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 | 柘植 綾夫 | 公益社団法人科学技術国際交流センター会長、 元日本工学会会長 |
| | 渡辺 美代子 | 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー・ダイバーシティ推進室長 |

(臨時委員)

| | |
|--------|------------------------|
| 青木 節子 | 慶應義塾大学総合政策学部教授 |
| 浅島 誠 | 独立行政法人日本学術振興会理事 |
| 井川 陽次郎 | 読売新聞東京本社論説委員 |
| 井上 一 | 明星大学理工学部総合理工学科常勤教授 |
| 柴崎 亮介 | 東京大学空間情報科学研究センター教授 |
| 鈴木 真二 | 東京大学大学院工学系研究科教授 |
| 中谷 一郎 | 愛知工科大学工学部教授 |
| 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 | 名古屋大学理事・副総長 |
| 安岡 善文 | 東京大学名誉教授／情報・システム研究機構監事 |
| 横山 広美 | 東京大学大学院理学系研究科准教授 |
| 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)

| | | |
|------|--------|---------------------------------|
| 主査代理 | 飯田 光明 | 独立行政法人産業技術総合研究所環境安全管理部審議役 |
| | 折井 武 | 元日本ロケット協会会長 |
| | 門脇 直人 | 独立行政法人情報通信研究機構執行役／経営企画部長 |
| 主査 | 黒崎 忠明 | 元HIREC株式会社社長 |
| | 首藤 由紀 | 株式会社社会安全研究所代表取締役所長 |
| | 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 | 向井 利典 | 独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 名誉教授 |
| | 渡辺 篤太郎 | 元宇宙航空研究開発機構執行役 |

平成26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26年12月19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。

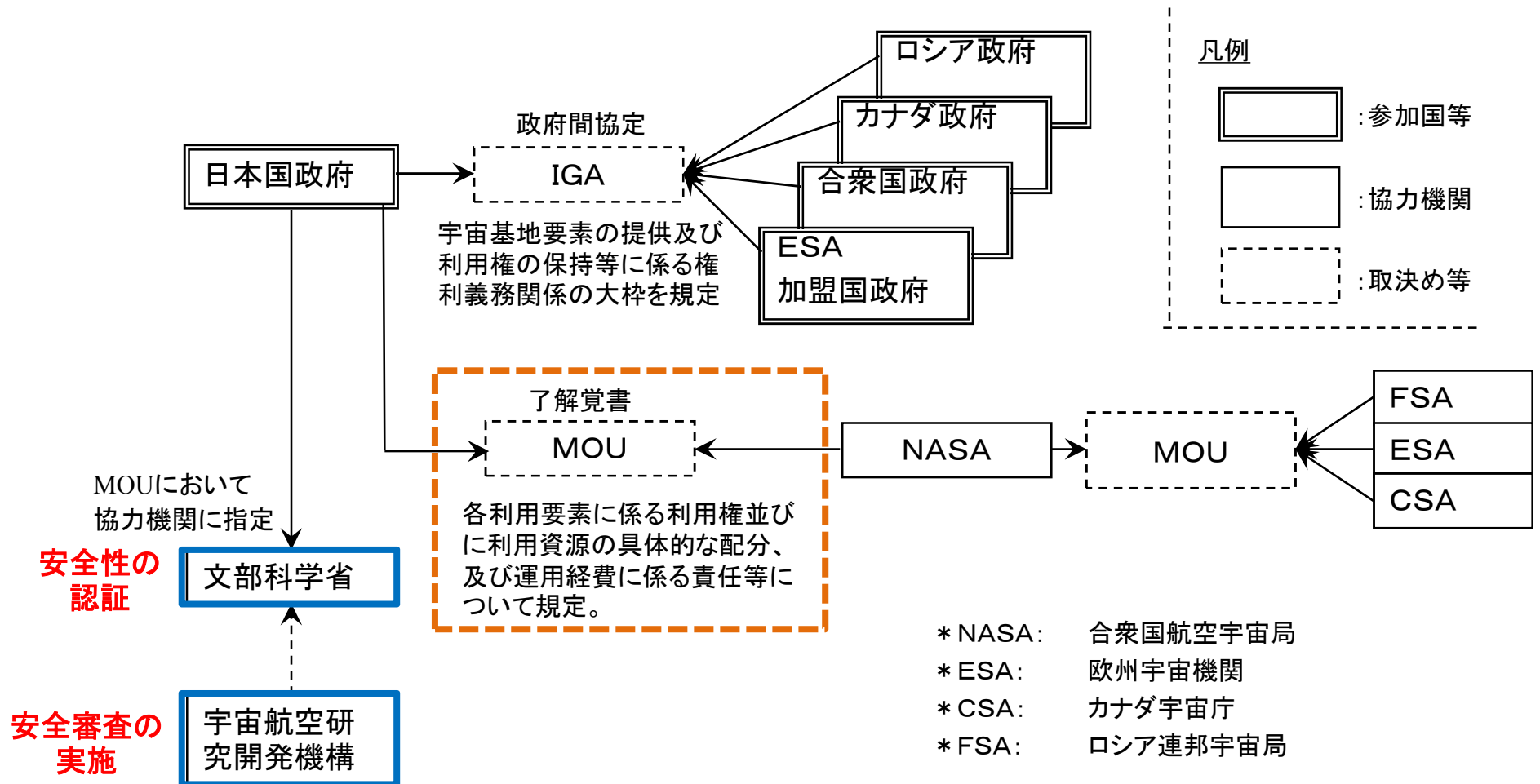
(1) NASA

- 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26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)、燃焼装置である新規性等を総合的に検討し、液滴群燃焼実験供試体
(GCEM)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 (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 |

(付録1)

目次

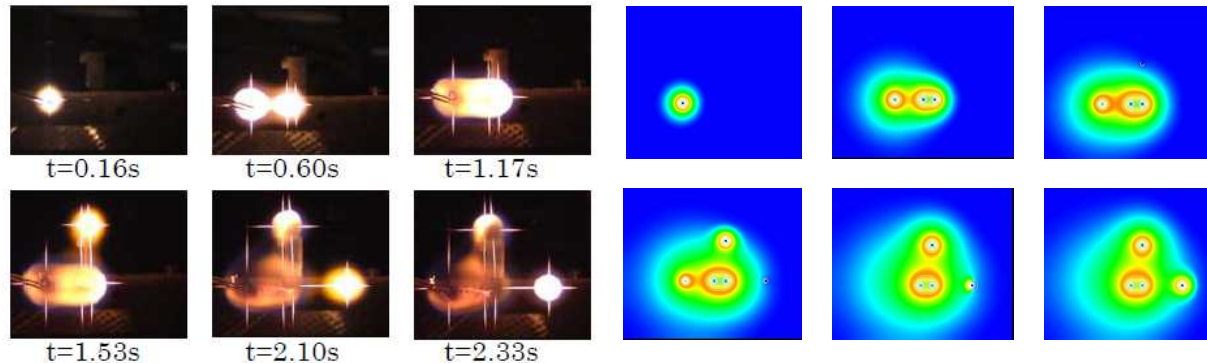
1. 目的
2. 審査対象
3. 審査経緯
4. 審査結果
5. 安全解析の概要
6. 結論

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)

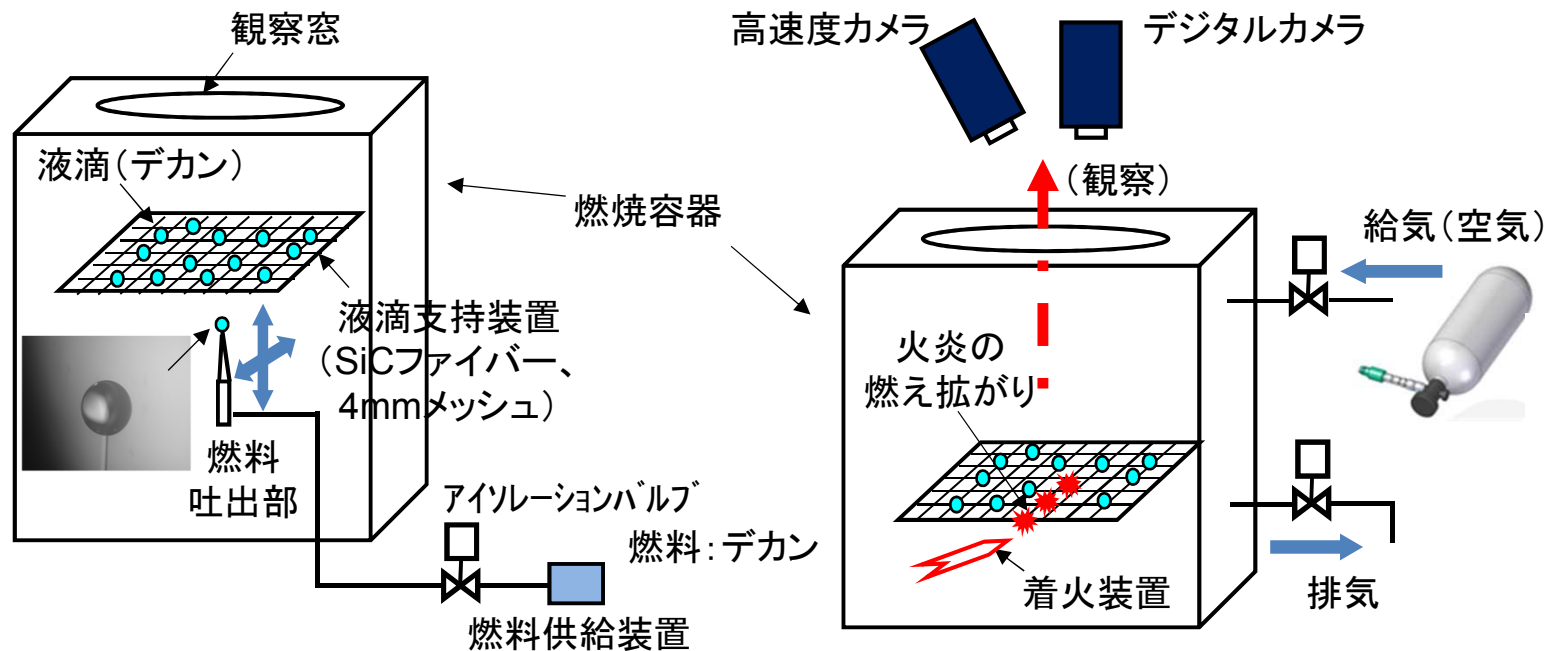
実験目的: 微小重力下における2次元配置された液滴間の火炎燃え拡がりに関する仮説を検証する。



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

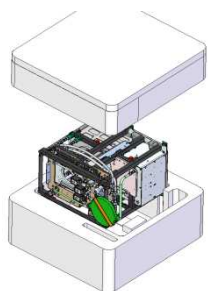
航空機実験により観察された微小重力下における液滴群の火炎燃え拡がり挙動(左)と数値シミュレーション結果(右)の比較



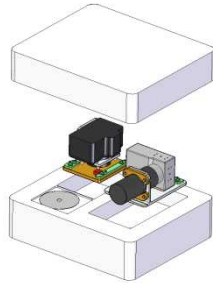
実験では、燃料のデカンを全て使い切る。保管時にはGCEM本体内に残燃料はない。

GCEMの原理、コンセプト

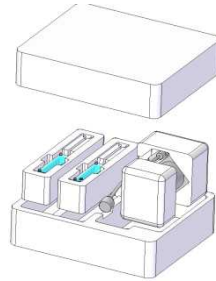
2. 審査対象 GCEM概要 (2/5)



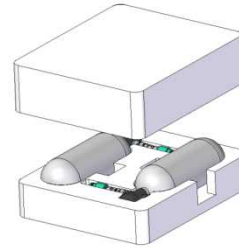
梱包#1



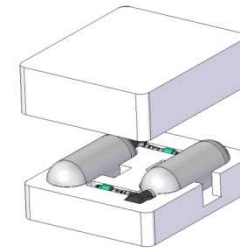
梱包#2 (1x)



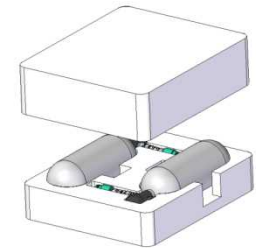
梱包#3 (1x)



梱包#4 (1x)



梱包#5 (1x)



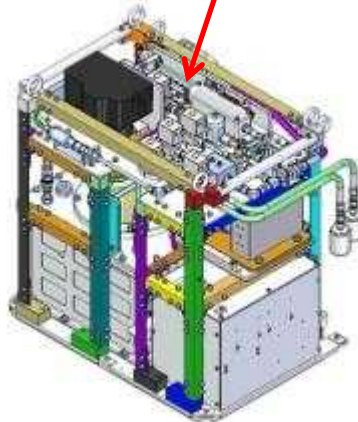
梱包#6 (1x)

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

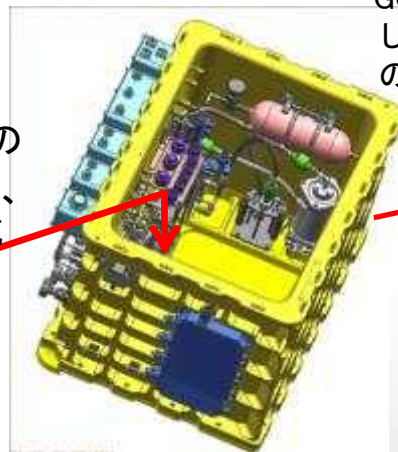
今回の審査対象

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)

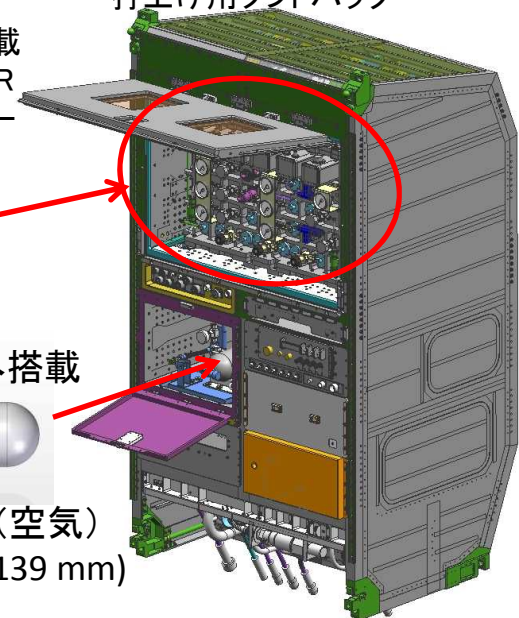
GCEM本体を搭載
したCCEをMSPR
のワークボリュー
ムに搭載



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



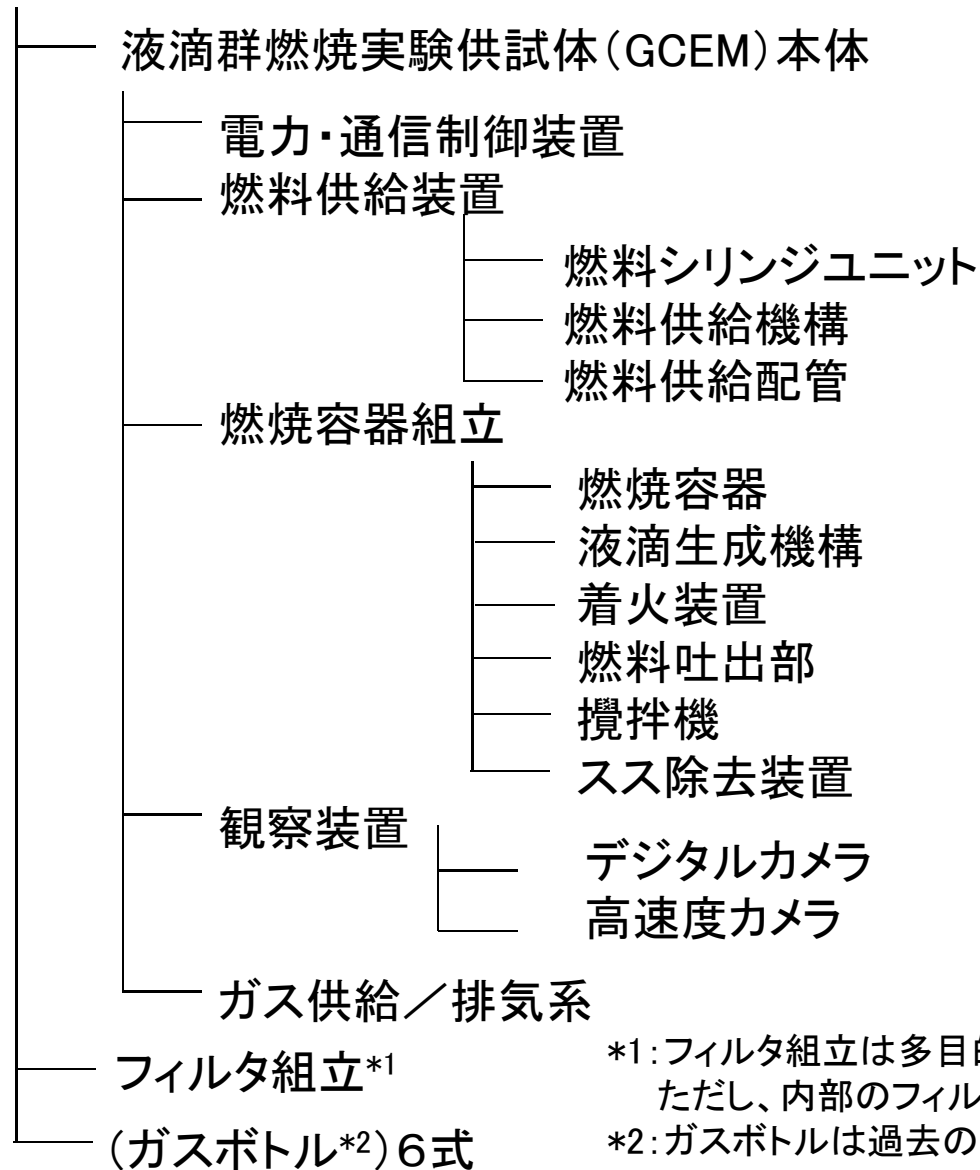
多目的実験ラック(MSPR)

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)



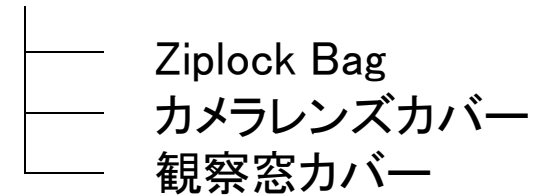
●液滴群燃焼実験供試体 (GCEM)



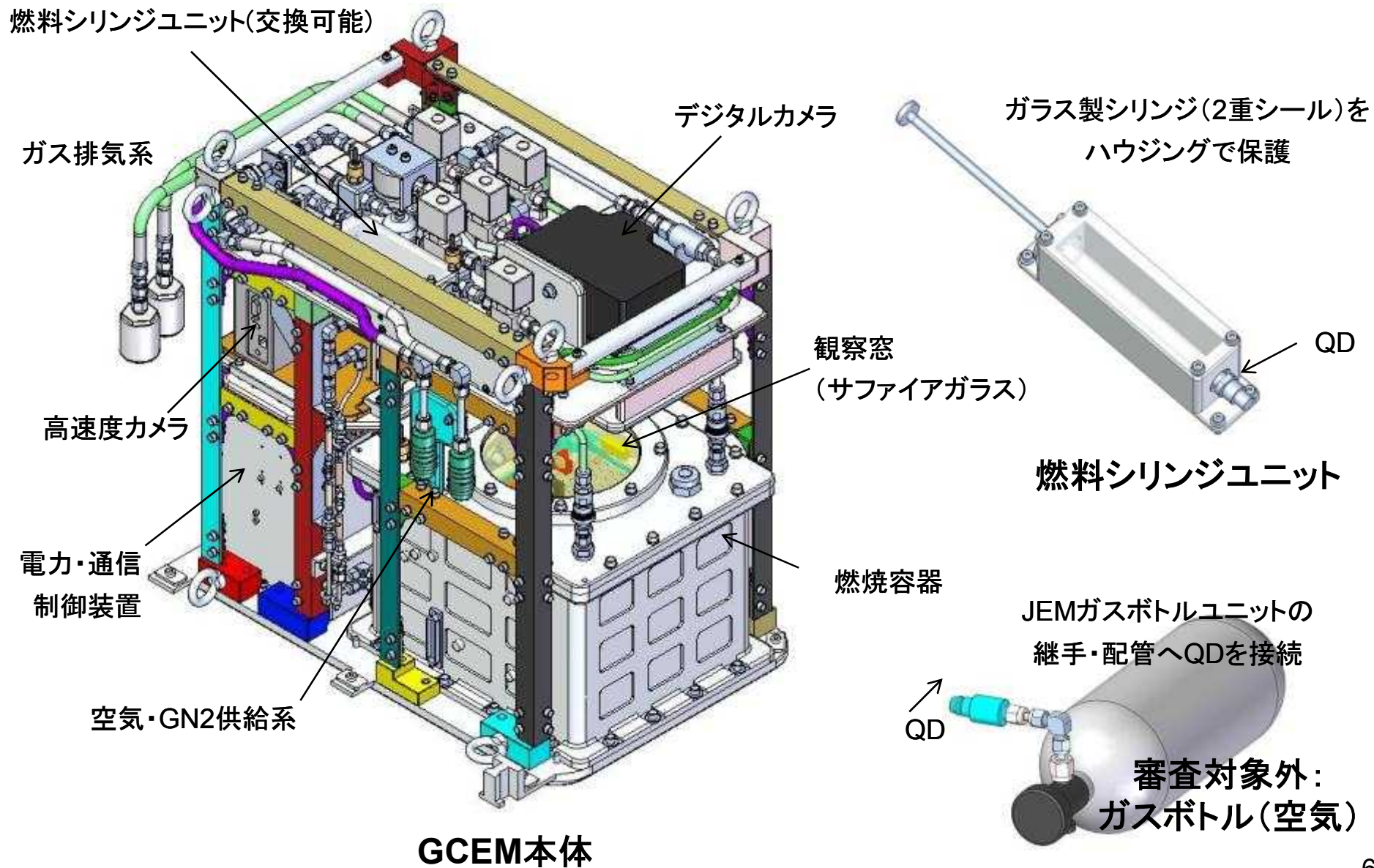
*1: フィルタ組立は多目的実験ラック(MSPR)の構成品で審査対象外。
ただし、内部のフィルタはGCEMの構成品であり審査対象品。

*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。

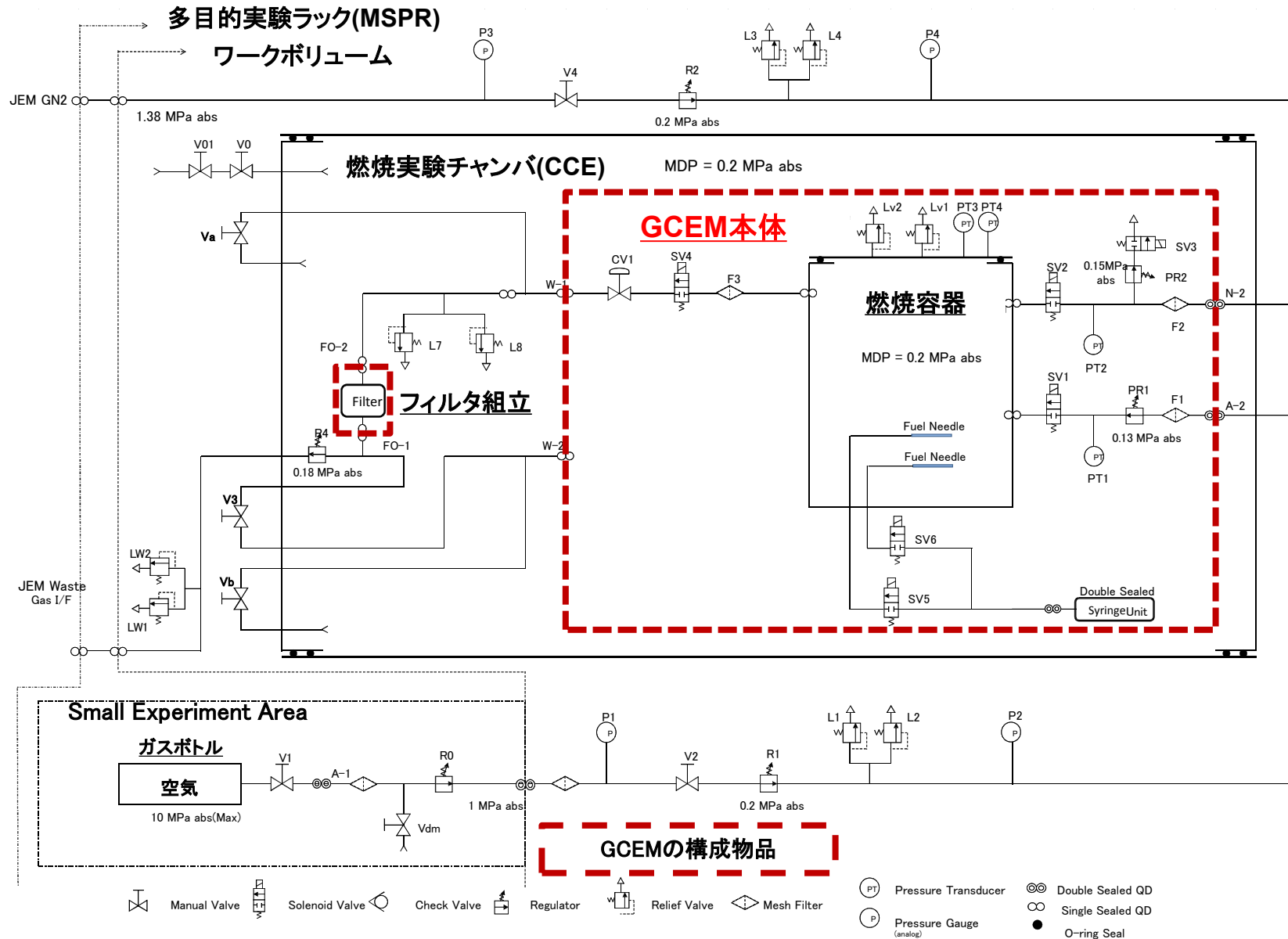
●サポート器具 (FSE)



2. 審査対象 GCEM概要 (4/5)



2. 審査対象 GCEM概要 (5/5)

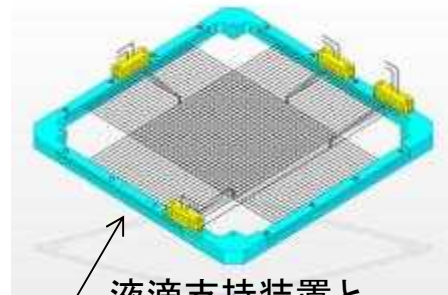


GCEMガス給排気系統図

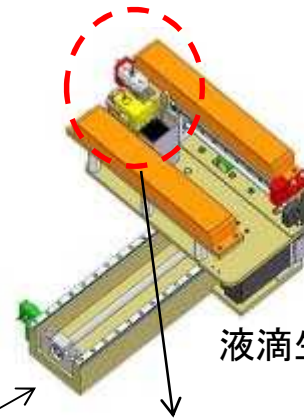
2. 審査対象 GCEM概要 (参考)

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。



液滴支持装置と
着火装置



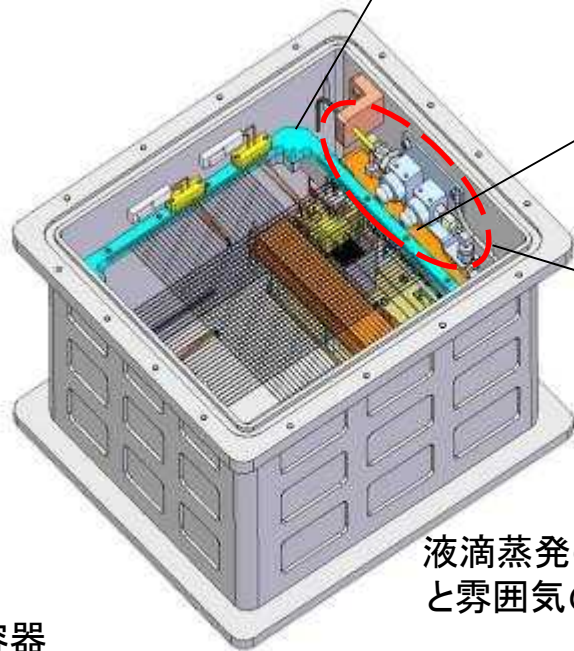
液滴生成機構

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

ガラス管(予備1本)
先端から燃料を吐出す
る。

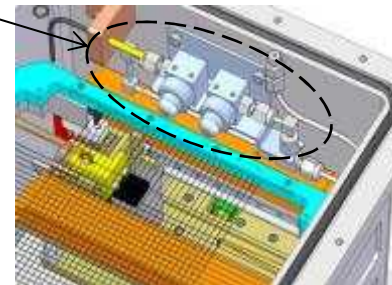


燃焼容器

液滴蒸発の促進
と雰囲気の攪拌



攪拌器



スス除去装置

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。)

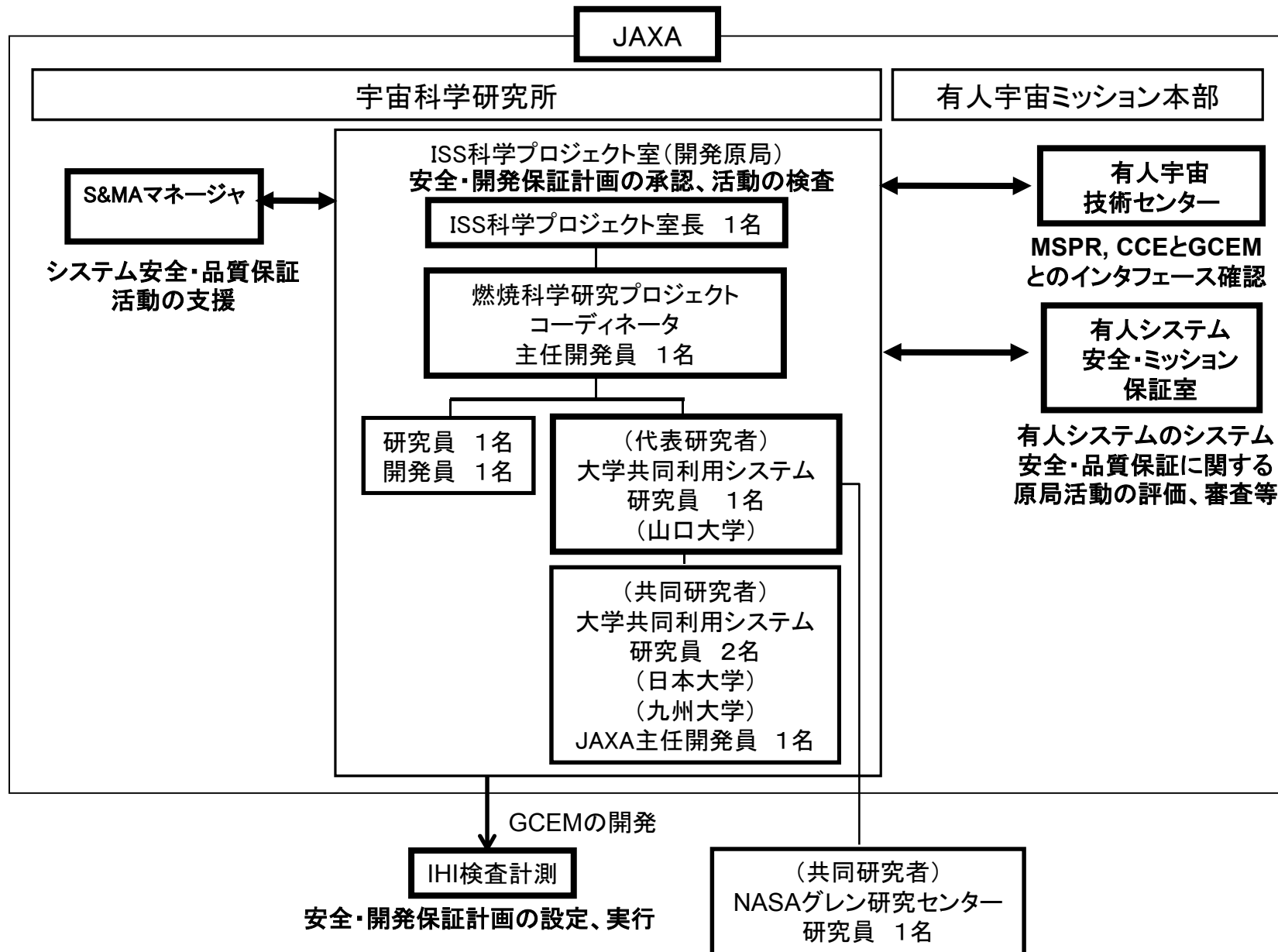
燃焼容器及び燃焼容器内機器

2. 審査対象 主要緒元

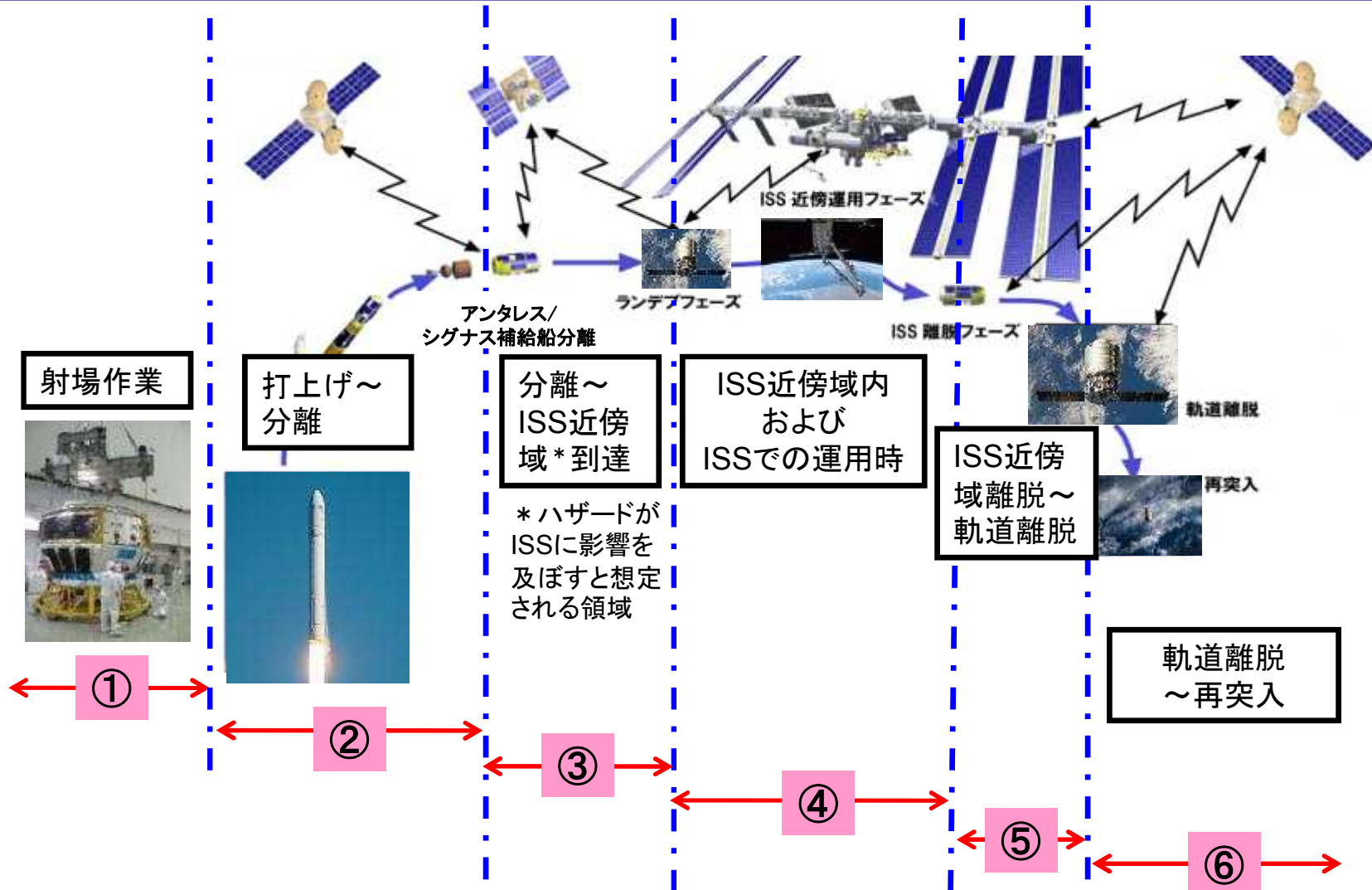


| | |
|----------|--|
| 寸法 | 549 × 351 × 515 mm (GCEM本体) 393 × 158 × 139 mm (ガスボトル) |
| 軌道上質量 | 約67 kg (GCEM本体、ガスボトル、フィルタの合計) |
| 最大消費電力 | 約120 W |
| 燃焼容器 | 282 × 235 × 205 mm (内寸法)、内容積12.1 L (内部搭載物除く) |
| 燃料 | 正デカン (C ₁₀ H ₂₂)、内容積9.5 mLのシリンジに2重封入 |
| 液滴生成・支持 | 3軸方向に移動可能なガラス管の先端から燃料を吐出し、SiCファイバー上に液滴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GN2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じ(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



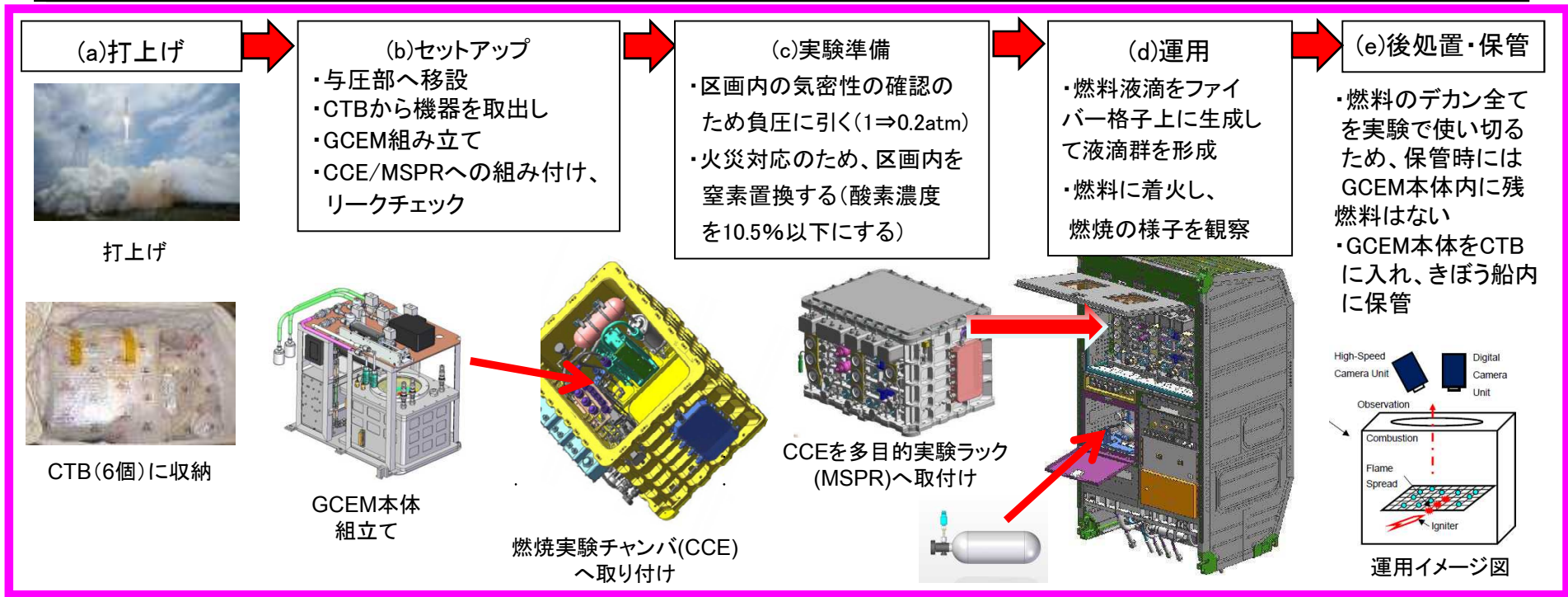
2. 審査対象 対象フェーズ



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)



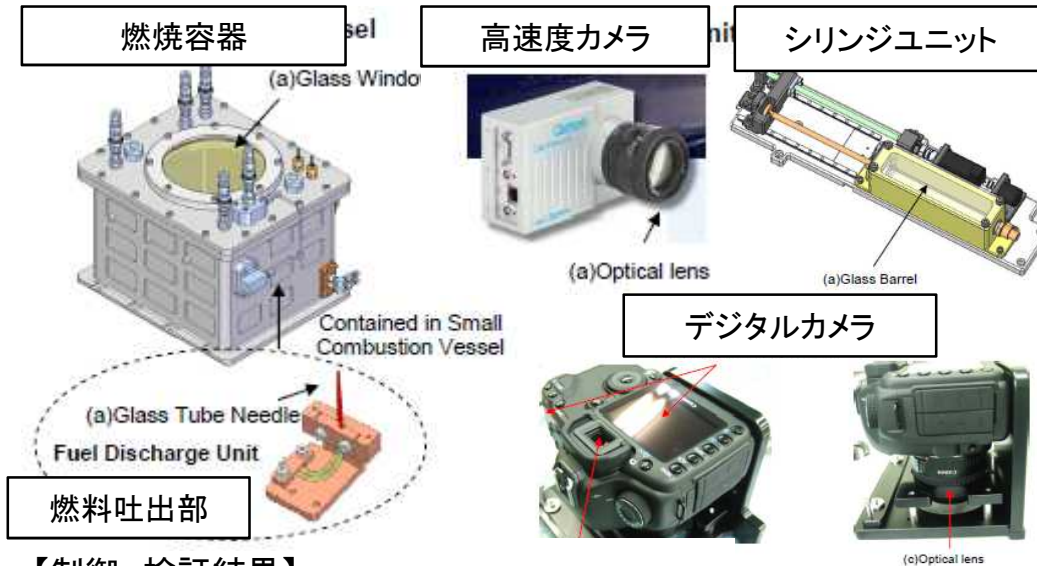
| 標準 ハザード 番号 | タイトル | 想定されるハザード | 制御 | 検証 |
|------------------|--------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------|
| 10 | 高／低温部への接触 | 高温部或いは低温部との接触により、搭乗員が負傷する。 | 機器の表面温度が規定の温度範囲(-18～+49℃)になる設計とする。 | 熱解析及び測定結果から、規定の温度範囲に入ることを確認した。 |
| 11 | 電気系の損傷 | 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

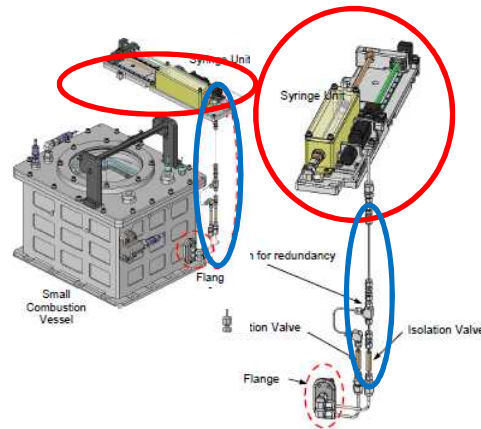
5.3. UNQ-GCEM-02: 危険材料による汚染



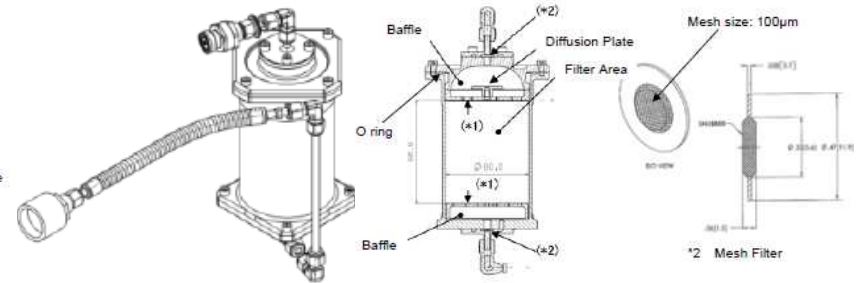
【想定されるハザード】: クリティカルハザード(燃料: デカン及びフィルタ材の漏洩による搭乗員の負傷)
 ・シリンジユニット/燃料供給ライン/燃焼容器やフィルタ本体からの毒性物質の漏洩により船内活動搭乗員を負傷させる

※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

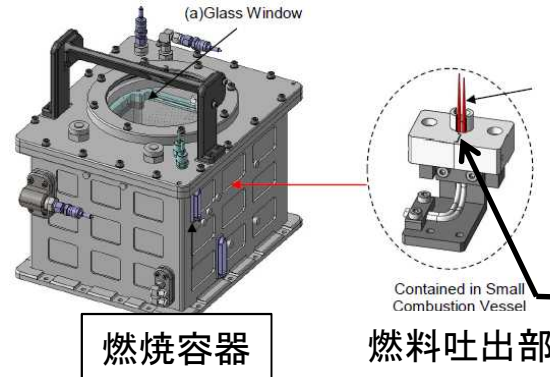


図2. 燃料吐出部からの燃料漏れ(燃焼容器内)による火災

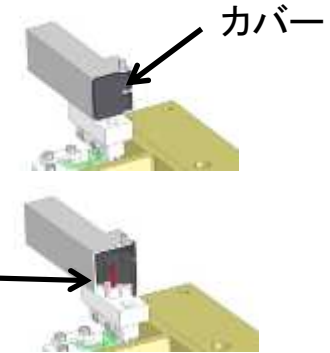


図3. 燃料吐出部の残燃料への意図しない着火による火災

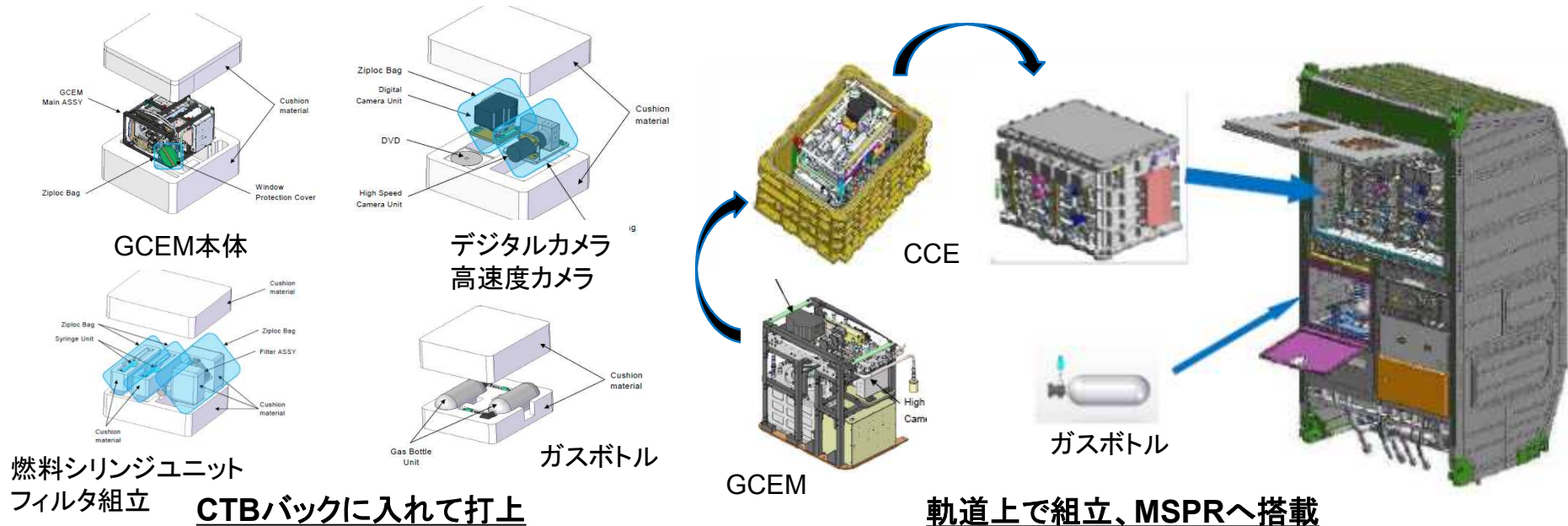
【制御、検証結果】

| 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(燃焼容器内)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、燃焼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、燃焼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。

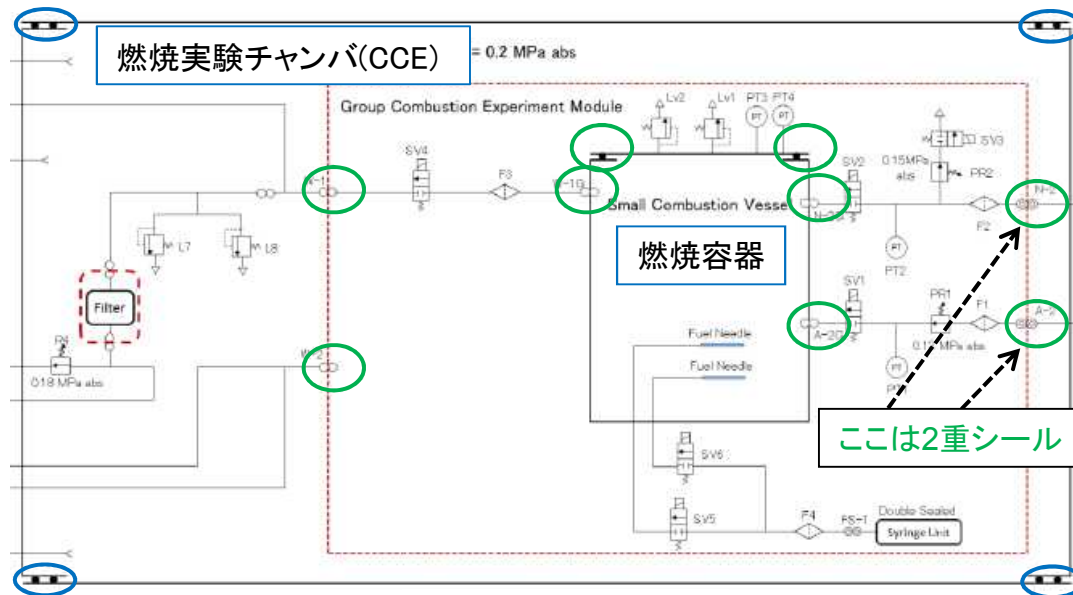


図1. ガス系統図(一部)

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

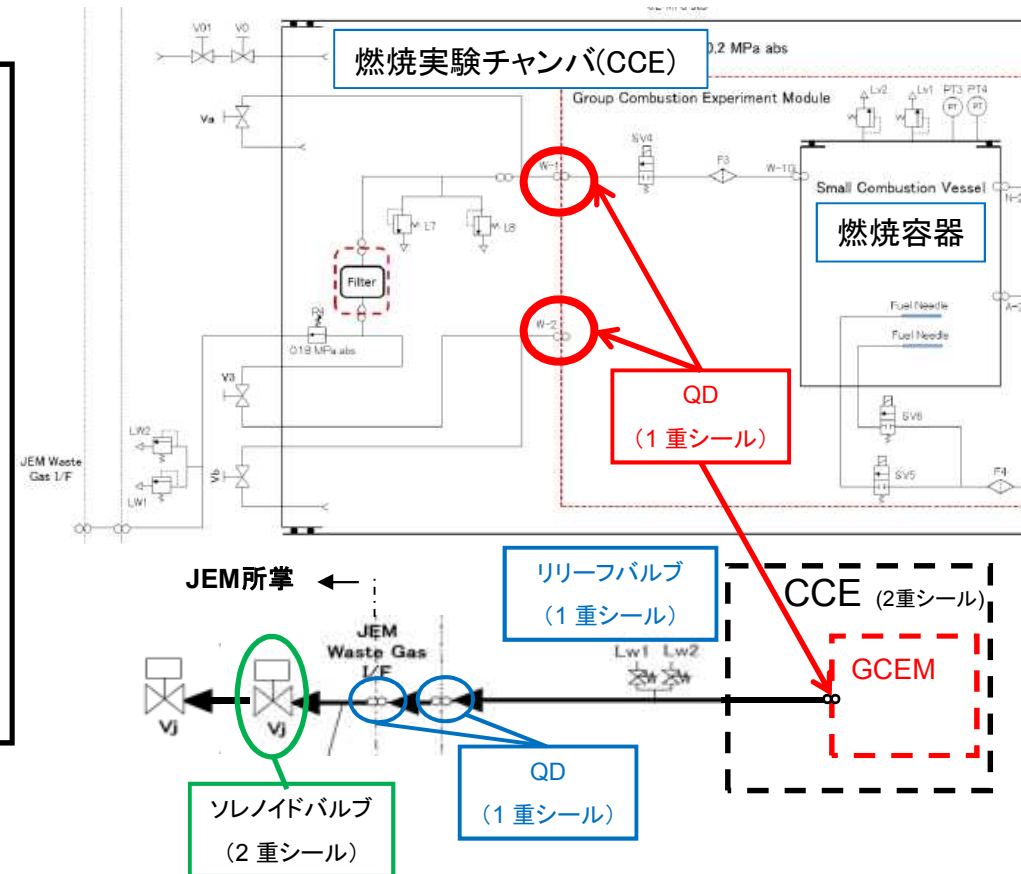
- ・排気ラインとの接合部は1重シールによる封入設計
- ・軌道上で圧力系統の組み立て後、リークチェックで気密性を確認する

＜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

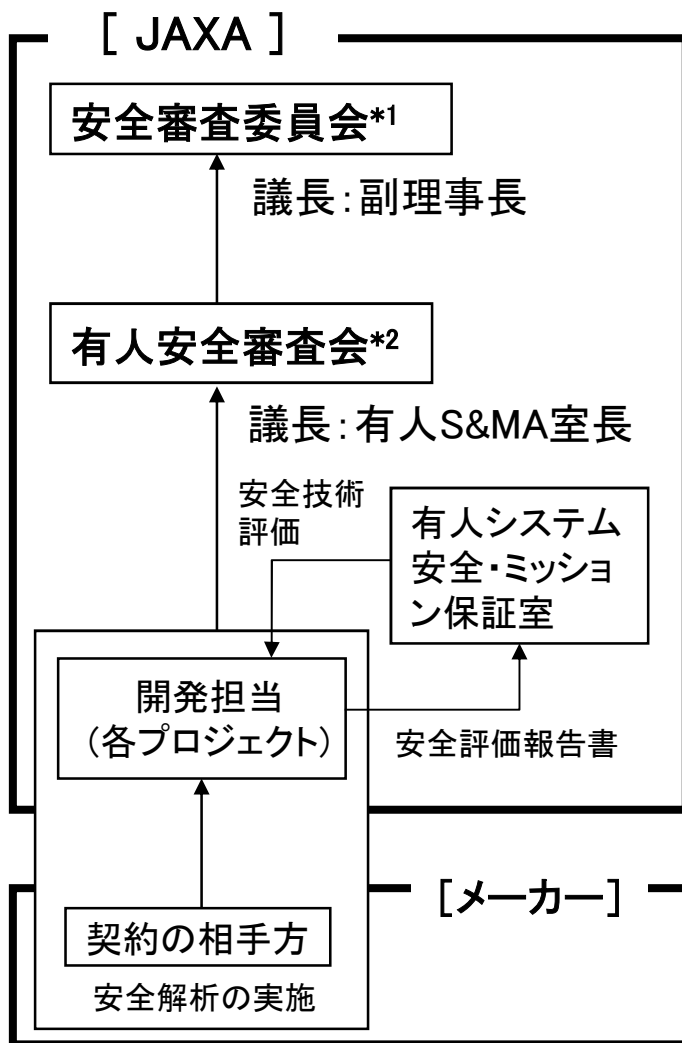
添付2 : ハザード識別 (FTA)

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。

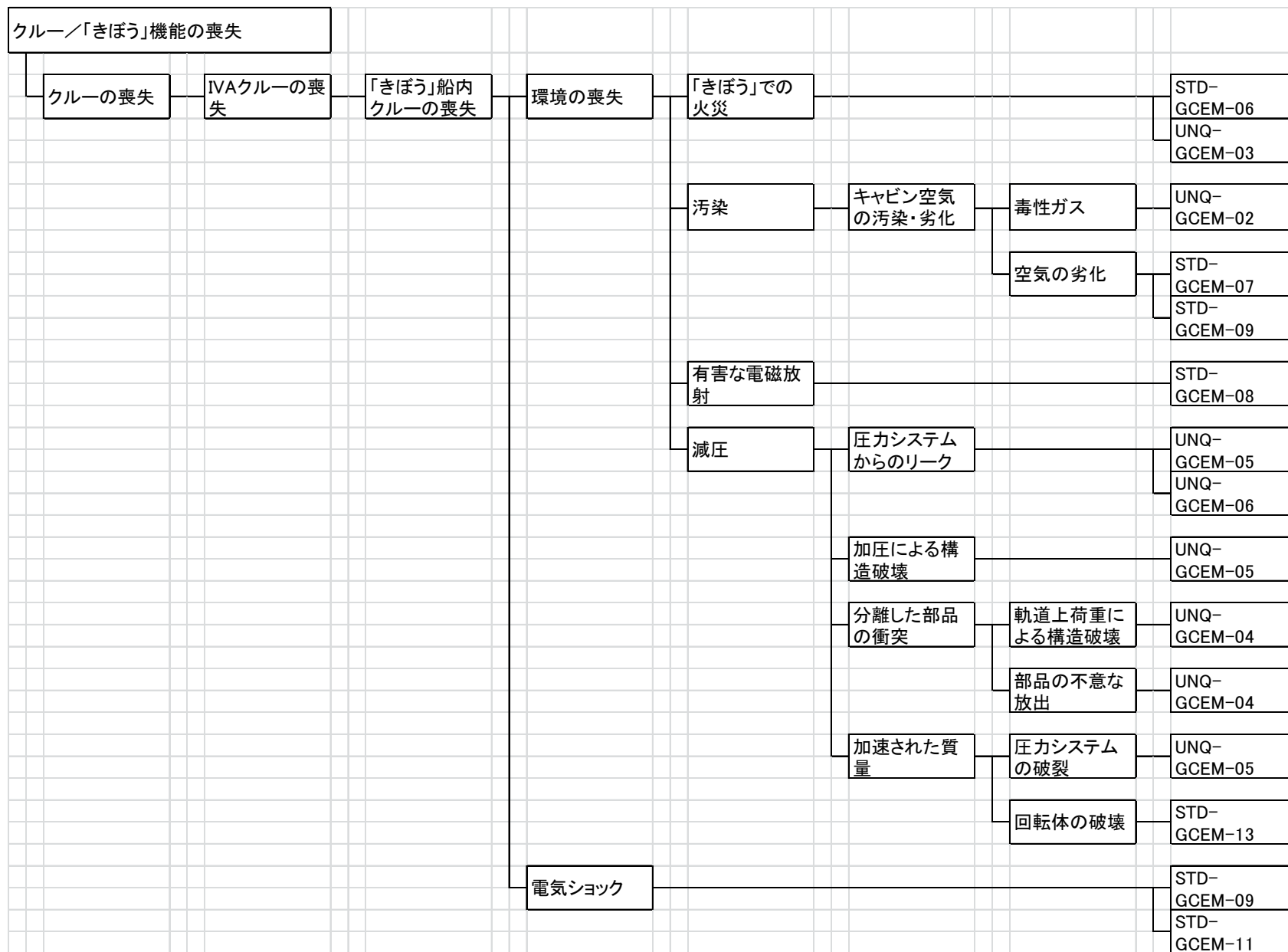
- ✓ 議長: 副理事長
- ✓ 副議長: 信頼性統括
- ✓ 委員: 常勤理事、経営企画部長、各本部の本部長等

*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)

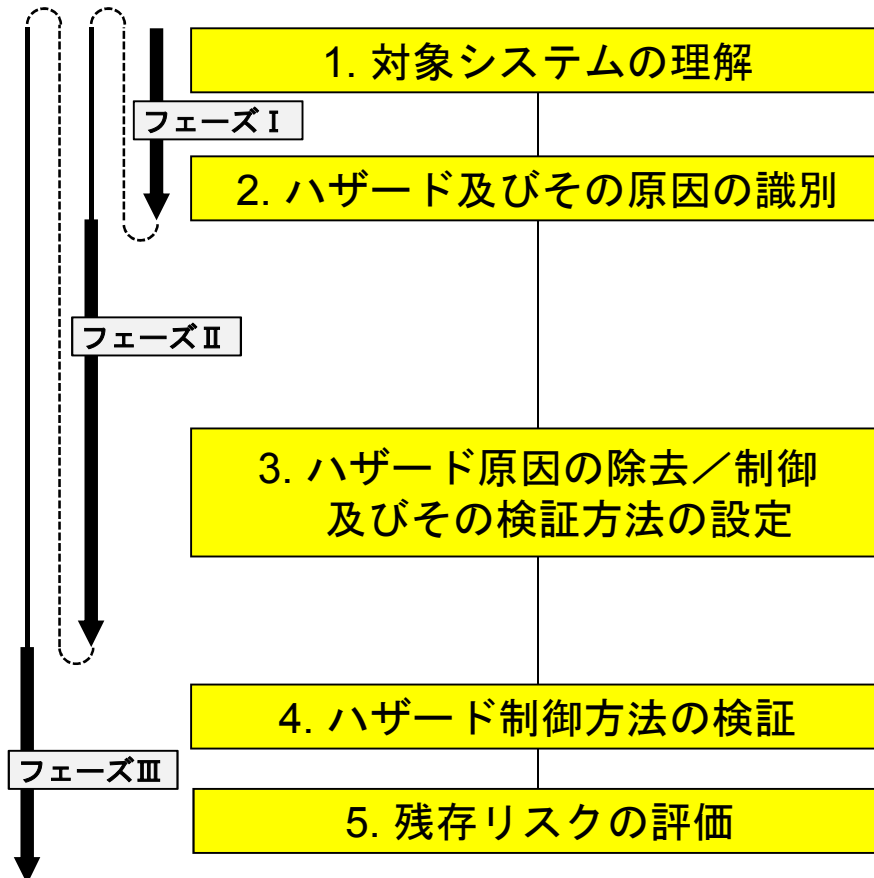


添付3. 安全検証追跡ログ(SVTL)



| 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。