

国際宇宙ステーションの日本の実験棟
「きぼう」(JEM)の実験装置
(温度勾配炉ラック、多目的実験ラック)
に係る安全評価について

質問に対する回答

平成22年12月20日

宇宙航空研究開発機構

【本資料の位置付け】

本資料は、平成22年12月3日（金）に開催された第7回安全部会における国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」（JEM）実験装置（温度勾配炉ラック、多目的実験ラック）の説明に対する構成員からの質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の回答をまとめたものである。

● 目次

質問番号	質問タイトル	ページ
1	今回審議対象	3
2	安全解析の考え方	4
3	用語	6
4	温度勾配炉打ち上げ遅れ	7
5	設計審査と安全審査のスケジュール	8
6	文書パッケージ	11
7	真空排気ラインが故障した場合の制御	16
8	毒性レベル2	17
9	人の動作による装置破壊のハザード	19
10	燃焼実験チャンバーの火災	21
11	高濃度酸素の漏洩による火災	23
12	電力線、信号線	24
13	重量物の取扱い	26
14	多目的実験ラックの民生機器	29

【質問番号1】 今回審議対象

【質問内容】

安全 7-1-1 において下記の観点で調査審議することを求めている。

- (1) JAXA による安全確保の考え方、安全審査プロセス、課題抽出の手法等が妥当であるか
- (2) 上記の安全審査プロセスにおいて抽出された課題への対処の方向性が妥当であるか

これらは(1)はフェーズ0/I、(2)はフェーズII/IIIに対応した要求のように思われる。

しかし安全 7-1-3 の P7 では今回の審議対象はフェーズII/IIIとしていて、宇宙開発委員会の要求にこたえてはいない。また、同図でフェーズ0/Iから右方向へ出てい⇒で宇宙開発委員会の作業内容が何を云おうとしているのかははっきりしない。搭載実験装置であることから、安全審査はまとめて一度に報告しても問題ないと思うが、報告は今回のように限った内容では、不十分である。

【資料の該当箇所】 安全 7-1-3 7 ページ

【回答者】 JAXA

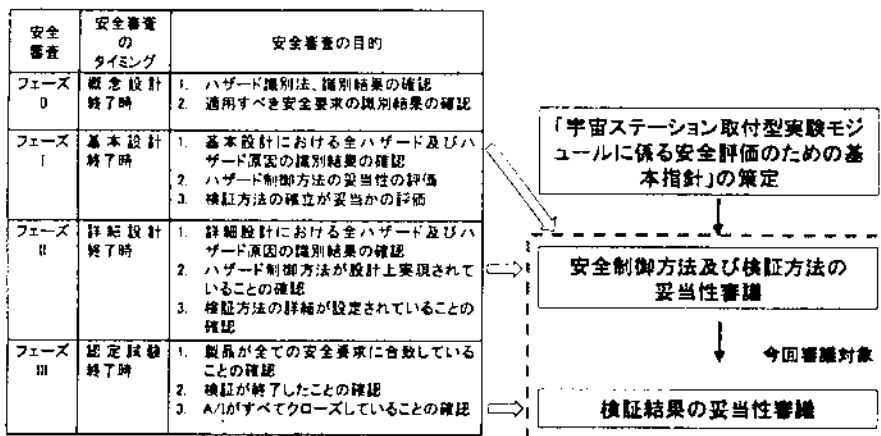
【回答内容】

- ・ 上記(1)の項目のうち、安全確保の考え方、安全審査プロセスについては全フェーズ共通のプロセスですので、特にフェーズ 0/I に限定されたものではないと考えております。
- ・ 課題抽出については、御指摘のとおりフェーズ 0/I で行われる作業です。
- ・ なお、表中のフェーズ 1 から図示している⇒については、以下の通り修正いたします。



5. 安全解析の方法 (2/2)

JAXAはハザードを網羅的に識別し、その制御方法を設定し、判断の妥当性を検証する一連の作業を行っている。



[JAXA及びNASA]

[宇宙開発委員会]

【質問番号2】安全解析の考え方

【質問内容】

- ・安全解析は、直接あるいは間接的に～手法である。
 - ・安全解析では、FTA等を用いて～検証する。
- の文章を見直し、考え方を整理して示す。

【資料の該当箇所】安全7-1-3 6ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

P6の内容下記の通り修正いたします。

現)

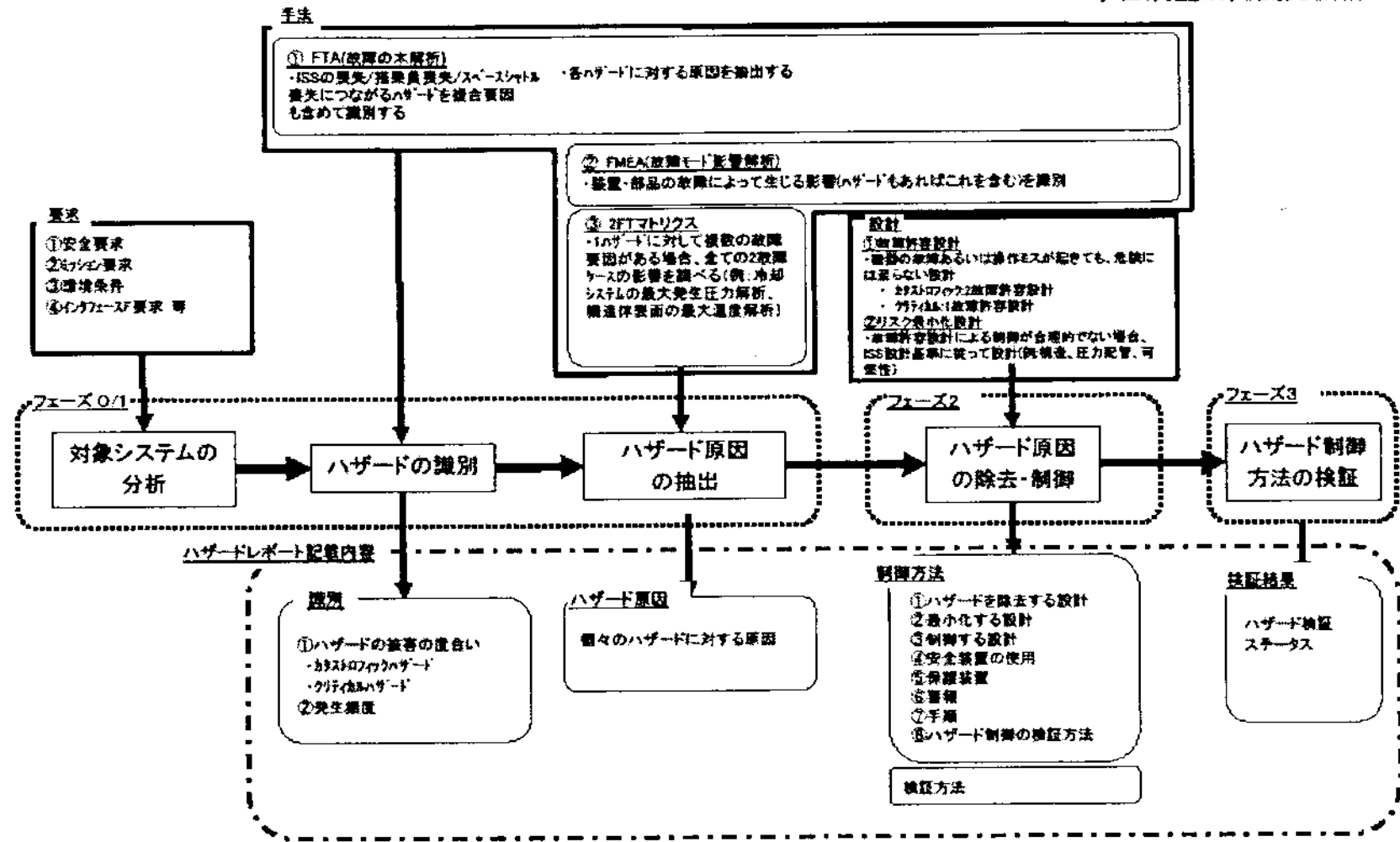
- ・安全解析は、直接あるいは間接的に搭乗員に被害を与えるハザードを考慮し、対策をとることで、搭乗員の死傷を未然に防止する手法である。
- ・安全解析では、FTA (Fault Tree Analysis : 故障の木解析) 等を用いてハザードを網羅的に識別し、それらの原因を抽出して、それぞれに制御方法を設定し、制御方法の妥当性を検証する。

修正案)

- ・安全解析は、直接あるいは間接的に搭乗員に被害を与えるハザードを考慮し、対策をとることで、搭乗員の死傷を未然に防止するための手段である。
- ・安全解析では、FTA (Fault Tree Analysis : 故障の木解析)、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)、2FTマトリクス及びISS標準ハザードレポート等を用いてハザードを網羅的に識別し、それらの原因を抽出して、それぞれに制御方法を設定し、制御方法の妥当性を検証する。

なお、安全解析を含め安全設計の流れについては平成20年第2回安全部会にて報告させていただきました資料をご参照ください。

安全設計の流れ



【質問番号3】用語

【質問内容】

安全 7-1-3 P13-P15 は Hazard Report 中の Description of Hazard, Hazard Causes, Hazard Control, Safety Verification Methods, Status of Verification を整理したものと思われるが、P13-P15 の表は左から右に「ハザード内容及び危険度」、「想定されるハザードの原因」（現表では「想定されるハザード」中に原因が書かれているものもある）、「ハザード抑制とその有効性の検証方法」、および「検証結果」とカラムで整理すれば良かったのではないかと。

Hazard Control をハザード制御と直訳しているのは、気にかかる。抑制あるいは低減が適していると思われるし、検証は採用された抑制方法が有効であったのかどうかを内容としているはずである。

【資料の該当箇所】安全 7-1-3 13～15 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

- “危険度”については「ハザード内容」に含めておりますが、安全検証資料 7-1-3 P6 では「被害の度合い」と表現しておりますので、これに表記を合わせることにいたします。
- “原因”について「想定されるハザード」に記載しておりますので、ご指摘の通り「想定されるハザード」→「想定されるハザードとその原因」へ訂正致します。
- “ハザード抑制”については、JAXA 内では用語として「ハザード制御」と統一しており、SAC の「国際宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)に係る安全評価のための基本指針」でも「ハザードを制御」とされております。ご指摘の主旨は理解いたしましたが、用語として統一させていただきたくお願いいたします。
- “ハザード制御の有効性の検証方法”について、「検証結果」に記載されておりますため、「検証結果」→「ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果」へ訂正致します。

【質問番号4】 温度勾配炉打ち上げ遅れ

【質問内容】

半導体材料の結晶成長は日本に多くの研究者がいて、早期の打ち上げが望まれていたのではないかと思われる。遅れれば装置自体が陳腐化してしまう懸念もあったと思う。温度勾配炉の打ち上げが大幅に遅れたのは安全上の問題があったのではないだろうか？

実際、温度勾配炉のフェーズⅢ審査は平成16年8月に有人安全審査会、9月にNASA審査パネルが開催されているが、最終的な安全審査会は開かれていない。有人安全審査会等は開催されたが、クローズしていなかったためにGOがかからず、打ち上げることが出来なかったのではないかと思うものである。

【資料の該当箇所】

【回答者】 J A X A

【回答内容】

平成16年に実施した有人安全審査会は、スペースシャトルによる打ち上げを前提とした安全解析結果に基づき実施し、ハザードレポートは全件承認されました。その後、JEMや実験装置の打ち上げ計画が見直され、打ち上げ機がHTVへ変更となったことから一旦長期保管することとしました。平成21年から保管解除後の消耗品の交換等の再整備を実施したため、今年22年に再整備後の健全性を確認するために追加安全審査を行いました。

【質問番号5】設計審査と安全審査のスケジュール

【質問内容】

多目的実験ラックについて、設計審査と安全審査のスケジュールを示し、安全審査の結果が設計に反映されていることを示す。

【資料の該当箇所】安全7-1-3 8ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

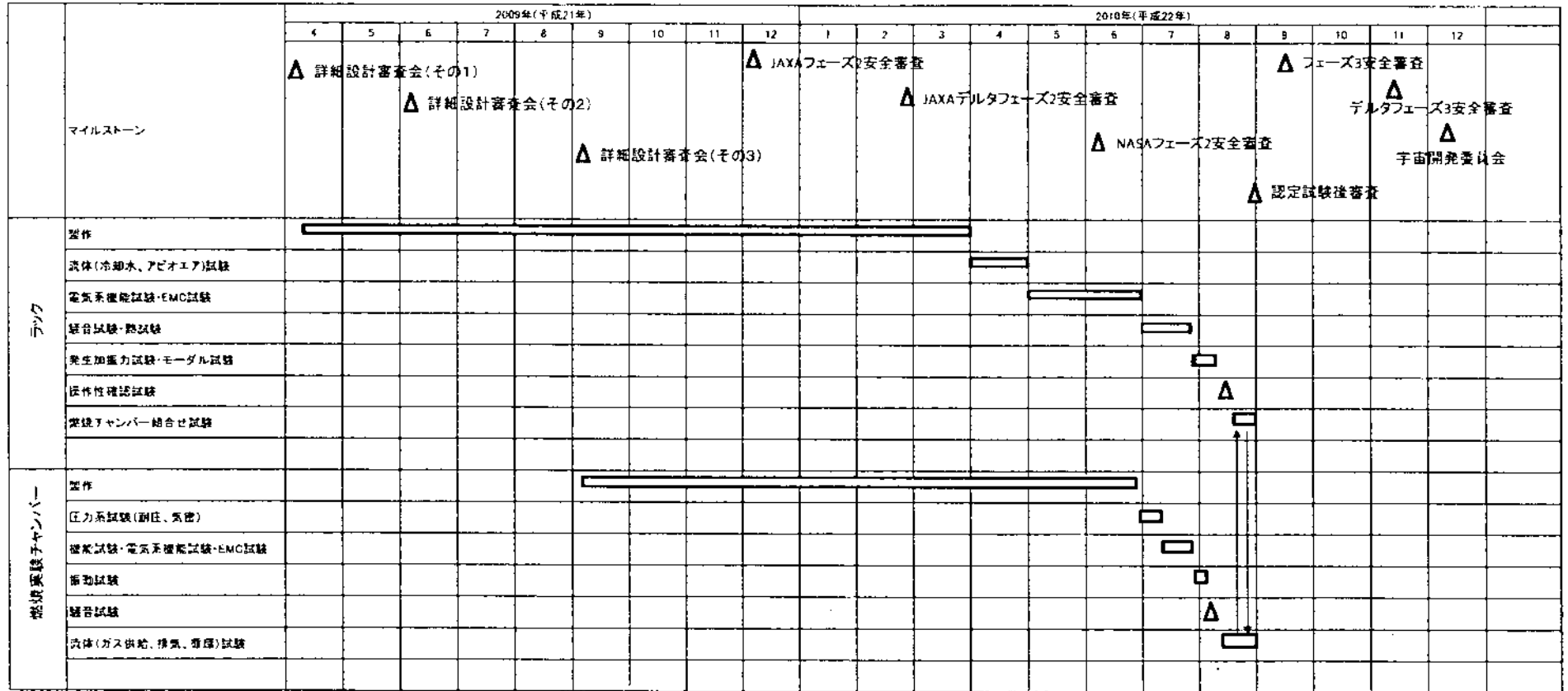
詳細設計以降の設計審査、安全審査のスケジュール、審査会での主な指摘とその処置を示します。次表に示す通り、安全審査の結果は適切に設計へ反映できています。

なお、フェーズ2安全審査の指摘により設計変更した結果は、認定試験後審査会で審査されています。フェーズ3安全審査の結果で設計への反映事項はありませんでした。

時期	審査会名	主な指摘と処置結果
平成21年3月25日	詳細設計審査会 (その1) ※ラック構体およびワークボリューム一次構造について審査	(指摘) 打上げ重量が超過している。 (処置結果) ワークベンチ等を軽量化すると共に、重量を精査し要求を満足するようにした。
平成21年6月4日	詳細設計審査会 (その2) ※ラックシステムについて審査	(指摘) 電気計装系の設計方針、絶縁接地システムを明確にすること。また、十分なビデオノイズ対策を実施すること。 (処置結果) (1) 多目的実験ラックの電気計装系の設計方針および絶縁接地システムを整理し、設計仕様書、実験装置とのインタフェース仕様書等、関連する文書に明記した。 (2) 電磁ノイズの侵入経路と電磁フィルターの設計結果を示し、ビデオノイズの低減対策として問題ないことを確認した。
平成21年9月2日	詳細設計審査会 (その3) ※燃焼実験チャンバーについて審査	(指摘) 燃焼実験チャンバーの操作性を考慮しチャンバー構体の形状を適正化すること。 (処置結果) 燃焼実験チャンバーのモックアップを製作し操作性を確認した。その結果を反映し、チャンバー構体の形状を見直した。
平成21年12月8日、9日	JAXA フェーズ2安全審査	(指摘) 燃焼実験チャンバー内の不慮の火災を避ける目的で、チャンバー内へ持ち込める燃料や酸素の量が制限されているが、持ち込み量が実験要求を満足して

		いない。 (処置結果) 燃料、酸素量を制限するのではなく、燃烧実験前に燃烧実験チャンバー内の空気を窒素置換することで、不慮の火災が発生しないように変更した。
平成 22 年 2 月 24 日、25 日	JAXA デルタフェーズ 2 安全審査	(指摘) QD(Quick Disconnect) やシールの軌道上での漏洩確認方法を明確にすること。 (処置結果) 漏洩確認方法を検討しハザードレポートに文書化した。今後、運用手順書に記載する。
平成 22 年 6 月 9 日～11 日	NASA フェーズ 2 安全 審査	(指摘) 燃烧実験チャンバー内の酸素フィルター(ステンレス製)が発火する可能性があるため、可燃性試験を行い必要な対策を実施すること。 (処置結果) 酸素フィルターの可燃性試験の結果、発火することが判明したため、ニッケル製のフィルターに交換等の対策を実施した。
平成 22 年 8 月 31 日	認定試験後審査会	(指摘) 不具合報告書がクローズしていないものがあるので至急クローズすること。 (処置結果) 不具合対策会議で都度不具合処置方針を決定しているので実質的な処置は本審査会前に済んでいた。射場出荷までに全不具合報告書をクローズした。
平成 22 年 9 月 13 日、14 日	フェーズ 3 安全審査	(指摘) 伝熱に必要な押し付け力を発する押付機構を製作し押し付け力を確認すること。また、材料リスト、フラクチャーコントロール報告書の文書処置を行うこと。 (処置結果) 改良型の押付機構を製作し、必要な押し付け力が出ることを確認した。また、材料リスト、フラクチャーコントロール報告書の文書処置を終えた。
平成 22 年 11 月 5 日、19 日	デルタフェーズ 3 安 全審査	(指摘)特になし

また、審査会とフライト品の製作試験スケジュールは添付資料に示す通りです。本年 6 月に開催された NASA フェーズ 2 安全審査の結果、酸素フィルターを不燃性のニッケル製のフィルターに交換する等の設計変更を行い、非常に短期間ではありましたが多目的実験ラックとして必要な試験は全て行っており、すべての検証を終了させることができました。



【質問番号6】文書パッケージ

【質問内容】

フェーズⅢ有人安全審査会に提示された標記のリストを提示してください。(文書名のみ)

【資料の該当箇所】安全7-1-3 8ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

(1) 各フェーズ3安全審査会に提示されました文書パッケージ名称を記載致します。

[温度勾配炉ラック]

平成16年8月: JDX-2004098 Safety Assessment Report for JAXA number 1 Rack Assembly

平成22年8月: JDX-2010332 Safety Assessment Report for JAXA number 1 Rack Assembly

平成22年11月: JDX-2010332A Safety Assessment Report for JAXA number 1 Rack Assembly (Payload Hazard Report/GHF Checkout-1:Contact of Rotating Equipment 追加)

尚、温度勾配炉ラックは、「ラック構体(Rack1-*)」、「温度勾配炉(GHF-*)」、「水冷ポンプ(WPP-*)」のハザードレポートを作成しております。

[多目的実験ラック]

平成22年9月: 67C-Z-22-043 C

Multi Purpose Small Payload Rack Flight Safety Assessment Report for Phase 3

平成22年11月: 67C-Z-22-043 D

Multi Purpose Small Payload Rack Flight Safety Assessment Report for Phase 3
(STD-6, 7, MULTI-RACK-1, 7, 12, 13, 14 改訂版)

また各フェーズ3安全審査会で審議されたハザードレポート一覧を次ページへ記載致します。

【温度勾配炉ラック】ハザードレポート一覧

HR 番号	ハザード内容
Rack 1-1	構造破壊
Rack 1-2	船内空気の汚染(使用材料からのオフガス)
Rack 1-3	感電
Rack 1-4	圧力システムの破裂
Rack 1-5	火災(可燃性物質の使用)
Rack 1-6	電力系の損傷
Rack 1-7	電磁適合性
Rack 1-8	シャープエッジ(鋭利な端部)による損傷
Rack 1-9	減圧による窒息
Rack 1-10	高温部への接触
GHF-1	構造破壊
GHF-2	回転機器への接触
GHF-3	船内空気の汚染(使用材料からのオフガス)
GHF-4	船内空気の汚染(実験排気ガスの漏洩)
GHF-5	ガラス破損
GHF-6	感電
GHF-7	圧力システムの破裂
GHF-8	火災(可燃性物質の使用)
GHF-9	電力系の損傷
GHF-10	電磁適合性
GHF-11	シャープエッジ(鋭利な端部)による損傷
GHF-12	高温部への接触
GHF-13	減圧による窒息
GHF-Checkout-1	初期チェックアウト時のビデオ観察中の回転部への接触
WPP-1	感電
WPP-2	電力系の損傷
WPP-3	電磁適合性
WPP-4	シャープエッジ(鋭利な端部)による損傷
WPP-5	船内空気の汚染(使用材料からのオフガス)
WPP-6	火災(可燃性物質の使用)
WPP-7	回転機器への接触
WPP-8	構造破壊
WPP-9	高温部への接触
WPP-10	圧力システムの破裂

【多目的実験ラック】ハザードレポート一覧

HR 番号	ハザード内容
STD-1	打上げ/帰還時の構造破壊
STD-4	ガラス破損
STD-6	船内空気の汚染(使用材料からのオフガス)
STD-7	電磁適合性
STD-9	電池の破裂/漏えい
STD-11	電力系の損傷
STD-13	回転機器への接触
STD-14	感電
STD-15	クルー退避時の障害
MULTIRACK-1	構造破壊
MULTIRACK-3	感電
MULTIRACK-7	圧力システムの破裂
MULTIRACK-9	減圧による窒息
MULTIRACK-10	高温部への接触
MULTIRACK-12	燃焼ガス漏洩による空気汚染
MULTIRACK-13	燃焼実験チャンバー内の火災
MULTIRACK-14	高濃度酸素の漏洩による火災

注1) STD-**: 標準HRとして識別されたもの。番号の記載がないものは多目的実験ラックには適用されない要求を意味する。

注2) MULTIRACK-**: ユニークHRとして識別されたもの。番号の記載がないものは、審査の結果、不要とされ欠番となったことを示す。

(2) フェーズIII安全審査前に確認した検証文書リストを下記に示します。

①温度勾配炉ラック

ID	文書名
1	GHF-MP耐振動環境性評価報告書
2	SCAM耐振動環境性評価報告書
3	GHF-CE/SCAM-CE振動試験試験結果報告書
4	GHF-MP(PFM)構造解析コリレーション報告書
5	GHF-CE構造解析書
6	SCAM(PFM)構造解析コリレーション報告書
7	GHF-MP/SCAM構造評価解析書
8	インタフェース追加検証要求に基づくペイロードフロントパネル構造解析書
9	Fracture Control Summary Report
10	製造記録
11	リコンフィギュレーションアイテムのフェールセーフ解析
12	GHF-MP保全計画書
13	GHF-CE保全計画書
14	SCAM保全計画書
15	SCAM-CE保全計画書
16	安全性設計解析書
17	全体組立試験報告書
18	SCAM-CE単体試験報告書
19	GHF-CE単体試験報告書
20	SCAM単体試験報告書
21	MP単体試験報告書
22	SCAM衝撃力に対するカートリッジの影響解析
23	GHF Rack Water pressure system MDP analysis
24	GHF-MP部品材料構成品リスト
25	GHF Rack Gas pressure system MDP analysis
26	MP/CE組合せ試験報告書
27	ソフトウェア改修試験結果報告書
28	GHF-CE部品材料構成品リスト
29	SCAM部品材料構成品リスト
30	SCAM-CE部品材料構成品リスト
31	ハーネス部品材料構成品リスト
32	電線タイラップ解析書
33	インタフェース追加検証要求に基づく熱解析書
34	温度勾配炉搭載ラック組立PFM試験・検査報告書
35	Structure Verification Plan for HTV Launch
36	HTV打上げ条件 構造解析書
37	質量特性解析書
38	#1 Rack ADCL/ABCL
39	安全性解析書
40	ラック積装品強度評価解析書
41	MIUL(Material Identification Usage List)
42	ラック積装品フラクチャコントロールサマリーレポート
43	HTV打上げ条件フラクチャコントロール報告書
44	ラック積装品Fastener Control Status Report
45	PI M試験・検査報告書
46	ラック積装品ABCL/ADCL
47	2次冷却水系アキュムレータ充填量解析書
48	射場輸送前確認試験報告書
49	運用解析書
50	#1 Rack Assembly Outfittings Verification Report
51	ラック積装品フラクチャコントロールプラン
52	ラック積装品質量特性解析書
53	リハービッシュ後検証報告書
54	Wire Derating Analysis Report
55	FMC Analysis Report
56	GHF Operation Procedure Requirements
57	WPP製造記録
58	ラック積装品プロトフライト試験報告書(冷却水ポンプパッケージ)
59	WPP Drawing
60	WPP Maintenance Analysis Report
61	WPP Operational Control Matrix
62	WPP Design Analysis Report
63	Pump/Controller PQR Package
64	MUA (Material Usage List)
65	MIUL(Material Identification Usage List)
66	WPP Structural Analysis Report
67	Rack Integration Fastener Control Plan
68	PUMP Drawing
69	WPP Structure Verification Plan
70	WPP Fracture Control Analysis Report
71	WPP Fracture Control Summary Report
72	WPP Thermal Analysis Report
73	QD ADP
74	音響試験報告書
75	WPP MDP Analysis
76	Accumulator drawing
77	Evaluation of the Accumulator function for thermal expansion/contraction of coolant

②多目的実験ラック

ID	文書名
1	Inspection report for HTV2 cargo items (Utilization)
2	MSPR (Multipurpose Small Payload Rack:多目的実験ラック) Drawing
3	MSPR Inspection Report
4	MSPR Inspection Report
5	MUA (Material Usage Agreement)
6	Flammability Test Report
7	Offgas Test Plan
8	Offgas Test Result
9	MILU (Material Identification Usage List)
10	Inspection report
11	EMC Test
12	EP-Form
13	Current Limiter Function Test
14	Inspection Report
15	Chassis Fault Analysis
16	Design of wire protection and sizing
17	AAA specification
18	Connector specification
19	Emergency translation path
20	VSCU Harnesses between MSPR and RYUTAI RACK do not obstruct emergency
21	Structural Verification Plan
22	Structure Analysis Results Report
23	MSPR Model Survey Test Report
24	CCE Vibration Test Report
25	Structure Analysis Results Report of Vented Container
26	Standard Operation Procedures
27	Inspection of Launch Lock Fasteners as launch configuration
28	Fastener Control Plan
29	Certification of Fasteners
30	Fixation Force Compression Analysis Report
31	Fixation Load Test Report
32	Mechanical Safety Verification Plan
33	Tether Strength Analysis
34	MSPR drawing
35	Operation Record List
36	MSPR PFM Test Report
37	DCU PFM Inspection Record
38	Design analysis report on cooling water lines
39	Pressure proof test reports on cooling water lines
40	Drawings/As-Built Standard Operation Records
41	Maximum Design Pressure Analysis Report
42	Flight Configuration Inspection Record
43	Inspection Report on filled water volume
44	Inspection Report of temporary accumulator installation
45	Fracture Control Status Report
46	CCE Thermal Analysis Report
47	Cooling water flow rate adjustment
48	DCU Thermostat Test Report
49	Design analysis report
50	Leak Test Report
51	Material Compatibility Report
52	Fracture Control Plan
53	Fracture Control Summary Report
54	Negative Pressure leak test Report
55	Leak test Report at Vacuum condition after vibration test in negative Pressure
56	Wire design drawing
57	Thermal analysis to determine maximum temperature
58	MSPR Thermal Analysis Report
59	VSCU Thermal Analysis report
60	DCU Function Test Report
61	VCRU Function Test Report
62	Review of material compatibility report
63	Inspection Report of as-built hardware
64	Inspection Records Cleanliness Inspection
65	CCE High Concentration O2 Compatibility Analysis Report
66	DCU Test and Inspection Report
67	Test Report on Bonding/grounding measurement
68	Inspection Record on Electrical Insulation
69	CCE Thermal Test Report
70	Development Specification of CCE Fixation Mechanism
71	Fixation Load Analysis on CCE Fixation Mechanism
72	Fixation Load Test Report
73	CCE design drawing
74	Inspection of the production record
75	Electrical system design schematics
76	MSPR Function Test Report
77	JEM to MSPR Interface Software Testing report
78	User Restriction Analysis Report
79	Oxygen Concentration Analysis
80	Inspection of Flight Hardware

【質問番号7】真空排気ラインが故障した場合の制御

【質問内容】

真空排気ラインが故障した場合の制御について示す。

【資料の該当箇所】安全7-1-3 18ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

(ギロチン破断のリスクについて)

- 真空配管設計の材質については、ISS 共通要求である MSFC-HDBK-527 (Material Selection List for Space Hardware System) に規定された応力腐食割れにもっとも強い材質であるステンレス鋼 (CRES321 等) を使用しており、ISS 環境下において使用される場合には、応力腐食割れの可能性はほとんどありません。
- 真空配管の内外圧力差は、常時約 1atm であり、応力的にも繰り返し応力が発生する場所ではないため、破断の可能性はありません。
- 炉内は真空かつ炉壁は冷却水により冷却されています。また、ガス温度が 45℃以下になってから真空排気します。そのため、真空配管に対し熱的な負荷がかかることはありません。
- 真空配管はラック内に艀装されているため、宇宙飛行士の取扱で真空配管が損傷することはありません。

以上により、ギロチン破壊にいたるリスクは極めて小さいため、故障モードとして考える必要はないと判断しています。(唯一想定される、突然の配管破損に至るモードとしては、隕石等がきぼうに衝突し、配管に直撃するモードが考えられますが、隕石に対しては、ISS による姿勢制御、きぼう外壁にパンパー等により対処がなされており(安全1-1-2 付表-1 (1/15) 基本指針 4 項(1)に対する対処方法を参照)。

(炉体または継ぎ手部からのリークのリスクについて)

- 継ぎ手部等からリークに対しては、実験開始前に真空度を計測した上で実験を開始する手順としておりますので、リークが生じたまま実験を行うことはありません。
- なお、継ぎ手等のシール故障により真空配管からの漏洩が発生したとしても、真空に引かれているため真空配管内は負圧を維持します。

(試料ガスカートリッジからのリークのリスクについて)

- 実験試料カートリッジ内で発生したガスの全量が炉体内に漏洩した場合でも、実験試料の蒸気圧が 1Pa 以下であり、船内の気圧 1atm と比べて非常に低いことから、リークにより試料ガスが船内側に漏洩することはありません。
- なお、試料カートリッジは金属製であり、溶接によって封入されています。

【質問番号 8】 毒性レベル 2

【質問内容】

NASA が規定する毒性レベル 2 というのは連邦規則 173.115 Class2 Division2.3 を意味するものなのだろうか？

最初に行う実験で発生するガス名と LC₅₀ 値は？

【資料の該当箇所】 安全 7-1-3 22 ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

- 毒性レベルは ISS 共通要求 JSC26895 Guidelines for Assessing the Toxic Hazard of Spacecraft Chemicals and Test Materials に規定されたレベルを意味します。レベルは下記の 5 段階が設定されており、NASA の毒性評価チームに試料組成および使用量を申告し、レベルが決定されます。なお、この毒性レベルの決定にあたっては、LC50 (Lethal Concentration) の値は参考していないことを NASA 毒性チームに確認しました。

毒性レベル/ 被害の度合い	内容	封入要求	備考
0 (被害なし)	人体への影響なし	気体、液体以外は封入不要	
1 (クリティカル)	わずかな痛みが 30 分以上継続する	2 重封入設計が必要。	気体、液体等については、マスクやグローブ等の保護用具で防護可能。
2 (カストロフィック)	中程度痛みが長期間継続する	3 重封入設計が必要	固形物や不揮発性液体で封入設計による対処可能なもの。
3 (カストロフィック)	クルー機能の長期間の喪失 (失明等)	3 重封入設計が必要。	固形物や不揮発性液体で封入設計による対処可能なもの。
4 (カストロフィック)	同上	3 重封入設計が必要。	ガス、揮発性液体等封入設計で対応が難しいのもの。中和剤等の準備が必要。

- 最初に多目的実験ラックに使用される実験試料はデカン (化学式: CH₃(CH₂)₈CH₃) で、搭載量は約 10ml です。毒性レベルは 1 と判定されています。製品安全データシートによると LC50 値は 72300mg/m³/2H (マウス) です。
- 温度勾配炉ラックに使用される実験試料はシリコンとゲルマニウムの化合物で、搭載量は合計約 20g です。毒性レベルは 0 と判定されています。製品安全データシートによるとシリコンについては LD50 値 (Lethal Dose) が 3160mg/kg (RAT)、ゲルマニウムについては TDLo (Toxic Dose Lowest : 最小中毒量) は 58mg/kg/26 週間 (男性 経口投与) です。

- 安全 7-1-3 22 ページに注記として以下を追記します。
(修正案)

* NASA が規定する毒性レベル 2 (JSC-26895 Guidelines for Assessing the Toxic Hazard of Spacecraft Chemicals and Test Materials に基づく) までの燃焼ガスを扱う実験が行えるように 3 重封入が必要。

【質問番号9】人の動作による装置破壊のハザード

【質問内容】

人の動作で装置を破壊するハザードに対する制御方法・検証結果について、構造破壊のハザードの対応の中で明確にする。

【資料の該当箇所】安全7-1-3 14ページ④

【回答者】JAXA

【回答内容】

人の動作で装置を破壊するハザードに対しては以下の対応を取っております。

- クルーが通常作業において荷重を与える箇所（ドアの開閉等）に対しては、クルーが手動(50lb)による発生しうる荷重に対して構造解析を行い破壊がないことを確認する。
- クルーが通常作業において、意図せず接触する可能性があるような箇所（ラックの表面等）については、クルーによるキック荷重（125lb）に対して構造解析を行う。

ただし、燃焼実験チャンバーのような、計画的に固定部品を取外した際に浮遊する可能性があるものに対しては、一般設計要求としてテザー等により浮遊させない設計としており、さらに物品の移動時には決められた把持部をもってクルーが移動させる手順が定められております。宇宙飛行士が取扱手順が問題ないことをフライト品を用いて確認しており、また、運用手順書に確認された手順を記載します。そのため、特にハザードとしては識別しておりません。

上記を8-2④に追記いたします。

現)

④	打上げ、上昇、軌道上時の構造破壊 (カタストロフィックハザード)	構体の破損や把持構造の損傷によりISSやH-IIB/HTV、「きぼう」を損傷し搭乗員に重大な影響を与える。	【リスク最小化設計】 ・ 打上げ・軌道上等の定常運用における全ての荷重モードに対し十分な剛性・静強度・疲労強度を持つよう設計する。 ・ 運用中の最大荷重または装置とH-IIB/HTVとの共振を防止するため、規定の剛性・強度を持つよう設計する。 ・ 耐熱性・耐食性・耐応力腐食性・耐電食性等を考慮し、過去の実績のある構造材料を選定する。	・ 構造解析に使用した構造数学モデルは、試験を実施し、ハードウェアとの相関性を確認した。また構造部材は疲労解析を行い十分な疲労寿命を有することを確認した。 ・ 構造検証モデルを用いて、静荷重試験を実施した。 ・ 材料識別使用リスト(MIUL)により構造材料を評価した。
---	-------------------------------------	---	--	--

修正案)

<p>④</p>	<p>打上げ、上昇、軌道上時の構造破壊、クルー操作時に発生させる荷重による装置の破壊 (カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・打上げ荷重及び軌道上での準静的荷重による構体の破損や把持構造の損傷によりISSやH-IIB/HTV、「きぼう」を損傷し搭乗員に重大な影響を与える。 ・クルー操作時に発生する荷重により実験ラック、実験装置が破壊する。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・打上げ・軌道上等の定常運用における全ての荷重モードに対し十分な剛性・静強度・疲労強度を持つよう設計する。 ・運用中の最大荷重または装置とH-IIB/HTVとの共振を防止するため、規定の剛性・強度を持つよう設計する。 ・耐熱性・耐食性・耐応力腐食性・耐電食性等を考慮し、過去の実績のある構造材料を選定する。 ・クルー操作による荷重については、ISS要求に規定される荷重（クルーの手の操作によって生じる荷重(50lbf)、不意な蹴飛ばしによる荷重(125lbf)）にも構造破壊が起こらないように設計する。 <p>注) 燃焼実験チャンバーのワークベンチへの取り出し時はテザー等で固定できる設計となっている。ワークポリュームへの挿入時は、運用手順に把持部を持ちながら作業することを手順書に規定している。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・構造解析に使用した構造数学モデルは、試験を実施し、ハードウェアとの相関性を確認した。また構造部材は疲労解析を行い十分な疲労寿命を有することを確認した。 ・構造検証モデルを用いて、静荷重試験を実施した。 ・材料識別使用リスト(MIUL)により構造材料を評価した。 ・クルー荷重に対して、構造解析を実施し、安全余裕が正であることを確認した。
----------	--	---	---	--

【質問番号 10】 燃焼実験チャンバーの火災

【質問内容】

運用中に過熱や発煙が発生した場合、電力の供給を遮断するとパンフレットにあり、過熱についてはサーモスタットの機能試験で確認したとあるが、発煙についてはどのような制御で、その検証結果はどうだったのか？

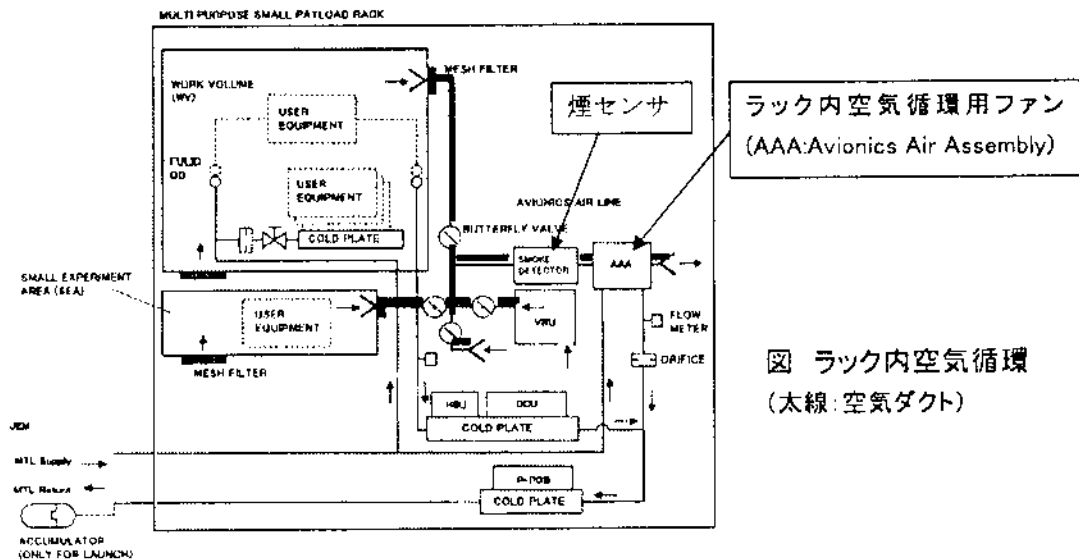
【資料の該当箇所】 安全 7-1-3 25 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

(制御方法)

- 多目的実験ラックは煙センサを有しており、当該センサで発煙を検知します。
- ラック内の空気は、ラック内空気循環用ファンにより循環していますが、煙センサは、ラック内空気循環用ファンの吸引孔近くのダクト内に設置され、ラック内の発煙を検知します。(下図参照)
- 当該センサは、国際宇宙ステーションで共通的に使用されている機器であり、温度勾配炉ラックや軌道上の実験ラック（細胞実験ラック、流体実験ラック）にも搭載しています。
- 当該センサで発煙を検知した場合、自動できぼうの電力分配器が遮断され、多目的実験ラックへの給電は自動で遮断されます。
- なお、燃焼実験チャンバー内の空気はチャンバー内に密封されるため、煙センサで検知することはできません。そのため、燃焼実験チャンバー内は試料ごとに決まっている可燃限界酸素濃度以下の窒素雰囲気とし、燃焼実験チャンバー内で発生したとしても鎮火するようにしています。



(検証結果)

- 「きぼう」とのインタフェース検証
 - (1) 「きぼう」の打ち上げ前に、温度勾配炉ラックと細胞ラックを「きぼう」に取付け組合せ試験を実施しましたが、ラックからの煙検知信号を「きぼう」が受信できること、また「きぼう」の煙検知レベルを変更することにより当該ラックの煙検知信号に基づき煙検知することを確認しました。
 - (2) 「きぼう」は、煙検知したとき、当該ラックへの電源を遮断することを、「きぼう」単体で確認済みです。
 - (3) これらの組み合わせで、実験ラックが煙検知した場合、ラックへの電源供給が自動で遮断されることを検証しました。
- 煙検知機能
 - (1) 煙検知機能は、煙センサ単体で確認済みです。
 - (2) 多目的実験ラックの煙センサは、温度勾配炉ラック等と同じですので「きぼう」とのインタフェースは上記のとおり確認済みです。
 - (3) 多目的実験ラックの機能試験で、煙センサのテレメトリを確認し機能上の問題がないことを確認済みです。
- ラックの各区域の空気流量が、規定通り（ワークボリューム 61kg/hr 以上、小規模実験エリア 24.4kg/hr 以上）、配分されていることを確認しました。

【質問番号 11】高濃度酸素の漏洩による火災

【質問内容】

全量酸素が漏れた場合でも、酸素濃度が30%を超えないよう、搭載酸素量を制限するとのことだが、30%の設定根拠は何か？資料の表面積と相関があると考えられるが、表面積が大きい場合は、30%以下でも火災を起こす場合があるのではないかと

比

【資料の該当箇所】安全7-1-3

26ページ ^{×試験} 比

【回答者】JAXA

【回答内容】

● 知見の有効利用

- (1) 「きぼう」与圧実験室へ搭載する物品は、一部*を除き酸素濃度30%の可燃性試験に合格したものを使用しております。「きぼう」の最大酸素濃度は24.1%ですが、ISSエアロックの最大酸素濃度が30%に設定されていることから、「きぼう」に持ち込む材料であっても酸素濃度30%下での可燃性試験を課しています。このため、JAXAに、酸素濃度30%環境下での可燃性に関するデータが蓄積されています。
- (2) 開発を効率化させること、また燃焼実験ユーザーがより容易に多目的実験ラックを利用できるようにするため、可燃性試験に既に合格した材料をできる限り使用できる方針としました。
- (3) 以上の方針で、多目的実験ラックにおいては、全量酸素が漏れた場合でも30%以下となるように設定し、材料に関わる知見を有効利用できるようにしました。
*ビニール材質など実験運用に必要な可燃性材料については例外として、使用周辺域に発火源がないことを条件に使用を認めています。また金属部品等明らかに可燃性を有しない材料については、可燃性試験は省略されます。

● 可燃性試験

樹脂製等の可燃性が疑われる部品・材料については30%酸素雰囲気内で強制的に着火させても火災が燃え広がらず、自己消火性があることを試験又はNASAの材料データベースにて確認しました。

- 一般的にはご指摘通り、試料の単位質量あたりの表面積が大きいほど発火しやすくなると考えられますが、上記の可燃性試験に用いる試料は、実際に使用される試料寸法を模擬したもので実施しておりますので、表面積の影響は無視できると考えております。

【質問番号 12】 電力線、信号線

【質問内容】

ラックについては寿命5年でその後はメンテナンスすることにより維持すると報告されていた。直近は問題ないと考えるが、想定寿命後は例えば放射線、振動等により配線の劣化が起こり、これにより安全性が損なわれることが懸念される。両ラックとも軌道上でメンテナンスを行うとすると、その範囲も限られてしまうと思うが、これらの軌道上の安全性を確保するためのメンテナンスに関して、設計時に配慮はされているのだろうか？

スペースシャトルでは断線が多く発生し、シャトルの打ち上げを一時止めたことがある。

【資料の該当箇所】 安全7-1-2 12ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

・ 保全

- (1) 両実験ラックで使用される部品の中で使用にともなう劣化もしくは経年劣化が明らかな部品(クイックディスコネクタや電子コンポーネント等)については、有効寿命品目として管理しています。ノミナル3年の運用が終了した段階でそれぞれの部品について残存寿命を評価し、必要に応じて機器の交換等の保全を行うことにより5年間を実現する計画です。
- (2) また上記の他、燃焼実験チャンバーの天板シール等の消耗品については、実験毎に健全性を確認し、必要に応じ交換する予定です。
- (3) 5年後計画後の運用についても、同様の保全により、安全上問題ないことを確認し、可能な限り機能を維持することを前提とした設計に配慮しています。

・ 放射線

- (1) 実験ラックの安全に関わる機器については、放射線による誤動作、故障及び性能劣化を生じないように、放射線による経年劣化を起こしにくい電線被覆を使うなど、部品選定時に耐放射対策を講じております。
- (2) 両ラックは与圧部に取り付けられるため、放射線(トータルドーズ)に関して、与圧壁による遮蔽効果を見込めます。
- (3) 与圧壁(アルミニウム製、11.3mm)と筐体(アルミニウム製、1.0mm)ですので、ISSの放射線環境を定義している"Space Station Ionizing Radiation Design Environment"(SSP30512)によりますと、多目的実験ラック内のトータルドーズは10年間で420(rad)となります。配線の被覆はテフロン製であり、 $10^4 \sim 10^5$ (rad)の耐性を有しますので、この環境に対し十分余裕を持っており問題となりません。

・ 振動

- (1) 基本的に両ラックは打上げ時のみ振動環境に晒されますので、スペースシャトルと異なり1回のみ印加となります。配線部分は曲げR等、適切にルーティングおよび固定され、かつラック内は鋭利な端部を無くしていますので、打上げ時に断線するリスクは非常に低いです。
- (2) 打上げ後、初期検証を実施しますので、万が一断線していても確認することができます。

- 以上より保全是機器単位で行うこととしており、配線の交換は計画していません。
- なお、電源遮断はいつでも起こり得るため、不意の電源遮断時でも安全であることを確認しています。そのため万が一断線した場合でも安全上問題ありません。

【質問番号 13】重量物の取扱い

【質問内容】

重量物の取扱いの安全設計・安全検証について示す。

【資料の該当箇所】安全 7-1-3

【回答者】JAXA

【回答内容】

- ISS においては 1 フィート立方以上の容積をもつ移動可能機器（ラック等から外して使用する可能性が機器）については、取っ手をつけることが要求されています。
- 燃焼実験チャンバーにも前面に取っ手が付いており、ワークボリュームからの取り出し、取り付け時にはクルーはその取っ手を持ちながら移動させるため、挟み込み等のハザードの危険性は少ないと考えております。
- ワークボリュームの間口：幅 900mm×高さ 600mm に対し、燃焼実験チャンバーは 幅 860mm×高さ 540mm であり、ワークボリュームへ取付ける際の最小クリアランスは、上・下・左右 20mm 以上確保されております。ただし、クリアランスに対し燃焼実験チャンバーのサイズが大きいため、ワークボリュームへの取付け中に接触する可能性があります。クリアランスが狭い分、よりゆっくりした操作でワークボリュームとの位置関係を把握する必要があり、クルー操作によって燃焼実験チャンバーが高速で他の部材にぶつかる危険性は低いものと考えております。クルーは地上試験により燃焼実験チャンバーの操作を訓練を実施済みであり、特にクルーからも接触に関わる危険性は指摘されませんでした。
- クルーが発生し得る力により、燃焼実験チャンバに与えられる速度は、以下に示すとおり 0.34[m/s] 程度であると考えられ、ワークボリュームから引き出す操作時等、他の機器への衝突についてもクルーにより十分回避できると考えております。

【計算根拠】

WV から引き出す際、クルー荷重 50[lbs] (=22.7[kgf]) により CCE に与えられる速度は、引き出すのに掛かる時間を $t = 3$ [sec] とすると、

クルー荷重 $F = m \times a$ より、 $a = F / m = 22.7 / 200 = 0.114$ [m/s²]

∴ CCE に与えられる速度 $V = V_0 + a \times t = 0 + 0.114 \times 3 = 0.34$ [m/s]

となります。

- 仮に燃焼実験チャンバがワークボリュームと接触した場合を想定した場合でも、クルーが発生し得る力は、高々 50[lbs] (=22.7[kgf]=224[N]) (LMT) (出典 SSP50005 ISS Flight Crew Integration Standard) となります。これに対しワークボリュームはもともと CCE 押付機構により壁面で力を受ける構造となっており、1578 [N] の力(クルー操作荷重の約 7 倍)を受けた場合でも、降伏荷重時で最小 M.S は $MSy = 8.0$ 、終極荷重時で最小 M.S が $MSu = 6.2$ と、十分な強度が確保されていることを構造解析により確認しております。

次頁の添付図 安全 7-1-3-1 参照。

また、前述したように燃焼実験チャンバーとワークボリュームのクリアランスが 20mm 程度であるため、CCE のコーナーがワークボリューム壁面に集中荷重が掛かるような

角度で当たることはなく、ワークボリューム内壁が損傷する可能性は十分低いと考えております。

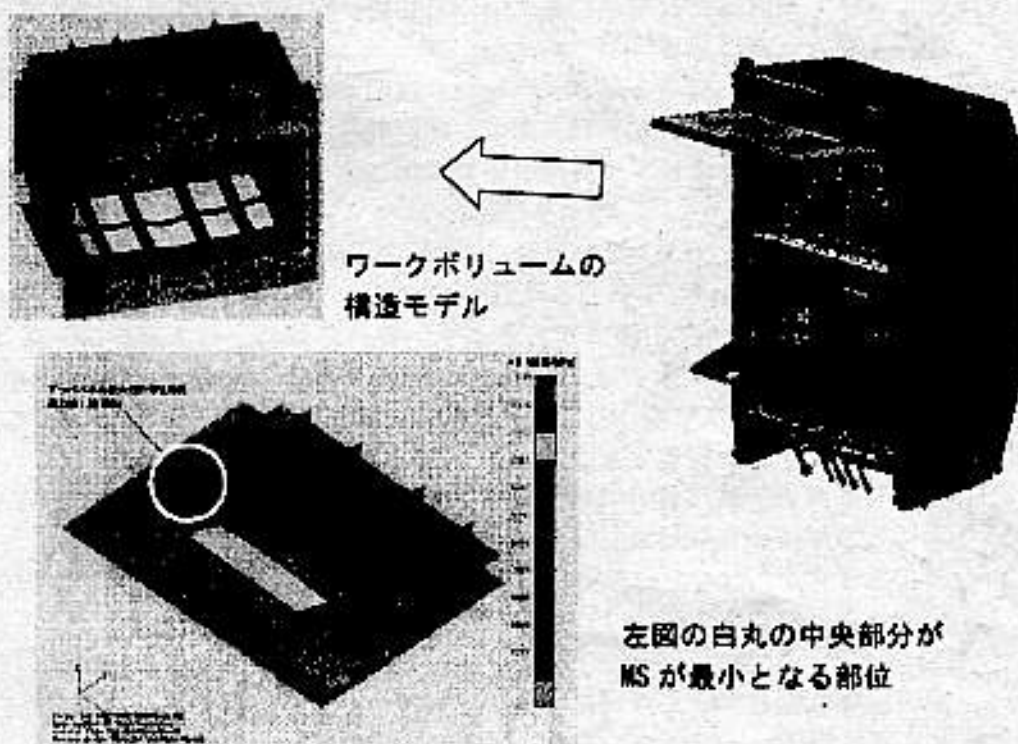
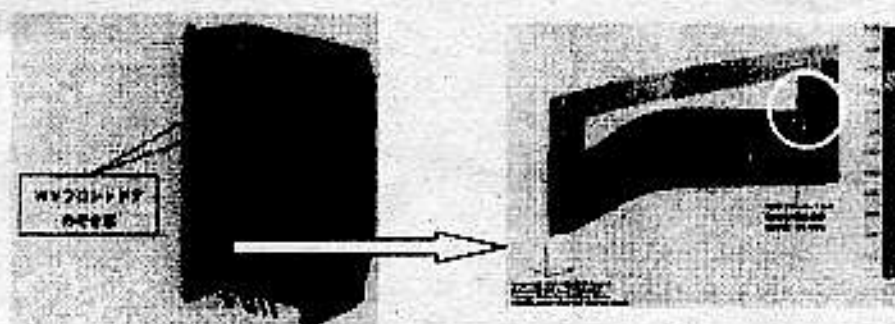


図 安全 7-1-3-1

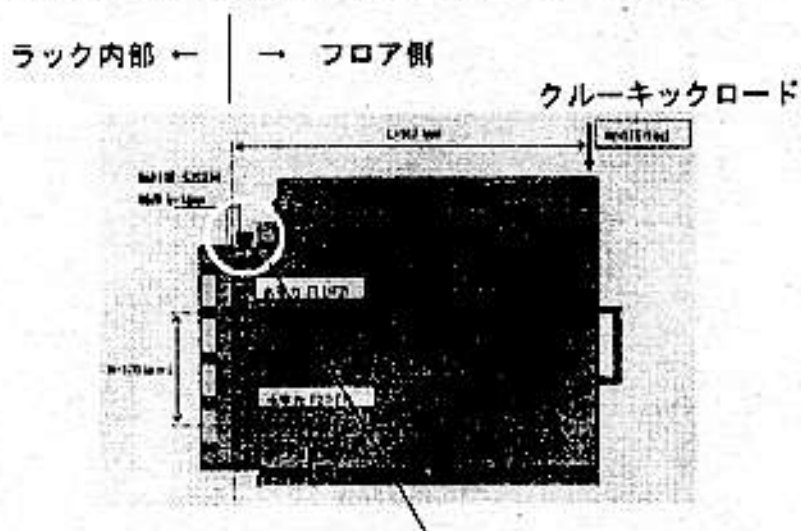
- その他、多目的実験ラックの各フロントパネルに対し、クーキックロードとして175[lbs] (終極)の負荷(クー操作荷重の3.5倍)が掛かった場合の構造解析を行っております。図7-1-3-2参照。
その結果、最大応力はDCU(DC/DCコンバータ)のフロントパネルにおいて発生し、最小M.SはMSy = 0.54、終極荷重時で最小M.SがMSu = 0.23であり、この結果からクー操作荷重50[lbs]に対して十分な強度を持っていると考えております。
また、ポリイミド樹脂製のワークボリュームフロントドアのぞき窓のMSは0.93となります。



上図の白丸の中央部分がMSが最小となる部位(DCUフロントパネル)

図 安全 7-1-3-2

- ワークベンチは摩擦ヒンジの角度変化により力を逃がすことができるため、縦方向のクルー荷重に対しては問題ありません。横方向については、上記のフロントパネルと同様の解析の結果 $MSu=11.9$ であり、問題ありません。図 安全 7-1-3-3 参照。



キックロードの水平力によりヒンジ軸の剪断応力が生ずる

図 安全 7-1-3-3

- 多目的実験ラック以外の JEM 内ラックについても、同様にクルーキックロードに対し十分な強度余裕を有しているか、特殊な機能部品については適切な運用上の処置がなされており、クルーの適切な操作により破損等の問題はないものと考えております。

【質問番号 14】 多目的実験ラックの民生機器

【質問内容】

「民生機器の多くは宇宙ステーション搭載に対する騒音・電磁放射の要求に対して十分ではありません。多目的実験ラックは実験装置が発する騒音・電磁放射を緩和し、民生機器を利用した実験装置の開発を支援します」とある。

- 1) 民生機器に対してはインターフェース条件を緩めている印象であるが、特別に用意されたインターフェースガイドラインは存在するのか？
- 2) 民生機器を使う場合、ラック内においては相互の電磁放射は緩和されない（例えば貫通ポートを通して）のではないのか？
- 3) JSC11123(ちょっと古い Payload Safety Guideline, SEPAC 時に使用)によると harsh and unpleasant working environment は Associated Hazard に含まれていて、民間機器の騒音はこれに該当すると思われるが、如何か？

【資料の該当箇所】 多目的実験ラックパンフレット 3ページ

【回答者】 J A X A

【回答内容】

御質問 1) について

多目的実験ラックは、搭載実験装置に対し標準インタフェース仕様書を設定しており、その中で、騒音や電磁放射に関わる要求を規定しています。実験装置は当該標準インタフェース仕様書を満足するように設計します。

御質問 2) について

- 実験装置に対する電磁放射、騒音の要求は、ISS 共通要求を適用していますが、ISS 共通要求を超過する場合でも、ラックによる遮蔽効果を考慮しラック全体で ISS 共通要求を満足すればよいこととしています。
- ご指摘のとおり、ラック内の実験装置間の電磁干渉が考えられますが、実験装置の感受性および放射性によります。多目的実験ラックは、フライト品を模擬した地上モデルを製作することにしており、当該地上モデルを使用して、実験装置相互の電磁干渉が発生しないか確認することになります。

ご質問 3) について

- JSC11123はスペースシャトルに搭載する場合の適用文書であり、多目的実験ラックと温度勾配炉ラックには適用されません。騒音要求としては実験ラック全体（搭載機器含める）ではNC-40レベルが要求されています。
- 多目的実験ラック単体は、NC40を満足しています。また、搭載実験装置に対しては、上記の通り、実験装置単体でNC40もしくはラックによる遮蔽効果を考慮しラック全体でNC40を満足するように要求しています。
- 温度勾配炉ラックについては、一部真空ポンプの影響により逸脱しております。ただし、きぼう全体としてはシステム機器、実験ラック機器をすべて統合した状態でNC-52の騒音レベルを満足すればよいこととされており、きぼう全体としてはこのレベルを満足することを確認しております。