

国際宇宙ステーションの日本実験棟
「きぼう」(JEM)の実験装置
(ポート共有実験装置、水棲生物実験装置)
に係る安全評価について

質問に対する回答

平成24年1月23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24年1月10日(火)に開催された第1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(ポート共有実験装置、水棲生物実験装置)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。

● 調査審議の観点1(安全確保の考え方)に関連する質問
該当なし

● 調査審議の観点2(安全審査プロセス)に関連する質問

2-1	安全解析の方法について	3ページ
2-2	NASA による審査について	5ページ
2-3	回転機器の飛散に対する制御について	6ページ
2-4	コンフィギュレーション管理について	9ページ

● 調査審議の観点3(課題抽出の手法)に関連する質問

3-1	SIMPLE 伸展マストの復元について	11ページ
3-2	AQH における pH 調整について	12ページ
3-3	SIMPLE IEM の無重力空間での想定外の伸展について	13ページ
3-4	SIMPLE IEM 展開の地上試験について	16ページ

● 調査審議の観点4(抽出された課題への対処の方向性)に関する質問

4-1	「シールを有する機器の減圧による破壊」の試験による検証について	17ページ
4-2	毒性レベルについて	19ページ
4-3	品質保証について	21ページ

● その他の質問

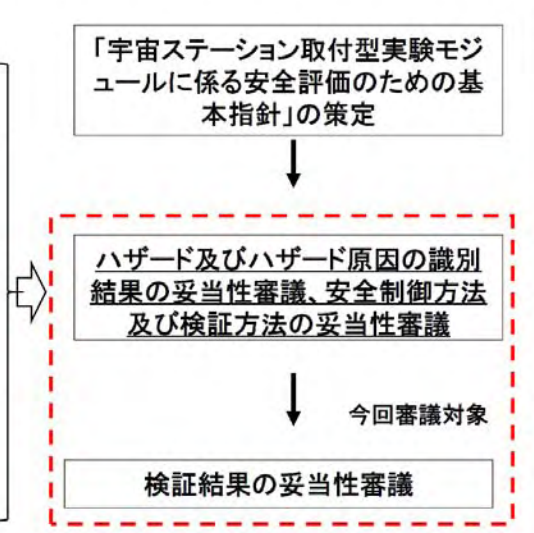
5-1	SIMPLE IST の目的について	22ページ
5-2	AQH 運用フローについて	23ページ
5-3	NASA 審査ペイロード(SCAN)の安全対策の確認について	24ページ



5. 安全解析の方法 (2/2)

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

安全審査	安全審査のタイミング	安全審査の目的
フェーズ 0	概念設計終了時	1. ハザード識別法、識別結果の確認 2. 適用すべき安全要求の識別結果の確認
フェーズ I	基本設計終了時	1. 基本設計における全ハザード及びハザード原因の識別結果の確認 2. ハザード制御方法の妥当性の評価 3. 検証方法の確立が妥当かの評価
フェーズ II	詳細設計終了時	1. 詳細設計における全ハザード及びハザード原因の識別結果の確認 2. ハザード制御方法が設計上実現されていることの確認 3. 検証方法の詳細が設定されていることの確認
フェーズ III	認定試験終了時	1. 製品が全ての安全要求に合致していることの確認 2. 検証が終了したことの確認 3. A/Iがすべてクローズしていることの確認



[JAXA及びNASA]

[宇宙開発委員会]

【質問番号2-2】 NASAによる審査について

【質問内容】

平成22年9月以降は実験装置の安全審査権限がNASAから委譲されているとある。REXJではその後の10月、SIMPLEでは平成23年2月にNASAでの審査が行われているが、その内容は何だったのかとNASAで審査をしなくてはならなくなった理由は？

【資料の該当箇所】

安全 1-1-3 P8

【回答者】JAXA

【回答内容】

平成22年10月のSIMPLEの追加安全審査では、平成21年11月にNASAと共同で実施した安全審査で要処置事項となったスタンダードハザードレポート1件(2項目(シャープエッジ、電力系損傷)に関する審査を行いました。

平成23年2月にREXJの追加安全審査では、同様に平成21年11月のNASAとの共同審査で要処置事項となったスタンダードハザードレポート1件(7項目(ベントポート機器破損、鋭利端部、ガラス、電磁干渉、高温/低温接触、電力系の損傷、回転機器))、ユニークハザードレポート4件(構造破壊(REXJ本体)、構造破壊(アーム)、打上げ固定機構故障、HANDによる挟み込み)に関する審査を行いました。

なお、審査権限委譲後のNASA審査実施については、平成21年11月に実施したNASAとの共同審査のフォローアップを行う必要があったことから実施したものです。

【質問番号2-3】 回転機器の飛散に対する制御について

【質問内容】

回転機器の飛散は MCE、AQH ともカタストロフィックハザードに指定されている。船外、船内の違いはあるが、前者でのハザード制御方法は、モータの運動エネルギーが規定値以内になるよう設定するとしているのに対し、後者ではモータを金属筐体で覆うこととしている。検証方法も異なっている。違いはどうして出てくるのか。

さらに、安全 1-1-3 付-9 の基本指針に対する全体設計・検証結果の表では、MCE では金属により覆われていることを、設計図面、製造図面、フライトハードウェアの検査で確認した。また、ファン等の回転部位について破壊し飛び散ることのないように使用材料の選定、機能試験により確認したとある。

安全 1-1-4 付-10 で AQH においては、ハウジングにより覆われていること、また、ドアを開けるまでは電源が切られていることを、設計図面、製造図面、フライトハードウェアの検査を行い確実にハウジングにより接触防止がなされていることを確認した。また、ファン等の回転部位については破壊し飛び散ることがないように使用材料の選定、寿命試験により確認、回転数制御されていることを機能試験により確認したとされている。

本文と付表で表現が異なっていて、その違いがどうしてできたのか説明願いたい。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-3 P15

安全 1-1-4 P15

【回答者】JAXA

【回答内容】

回転機器の飛散のハザードに対しては、①金属筐体等で覆われた封入設計であること、及び、②回転機器の運動エネルギーが規定値以下であること、の 2 つの制御・検証方法が要求されます。MCE、AQH とも 2 つを満足しておりますので表記を統一します。

また、安全 1-1-4 付-10 の「ハウジング」については、金属筐体と同じ意味ですので表記を統一します。

上記を反映して、安全 1-1-3 P15 及び 付-9、安全 1-1-4 P15 及び 付-10 を以下のとおり修正します。



8. 安全設計・検証結果

8.2 ISS共通の制御方法の適用とその検証結果



ISS共通の制御方法を用い、その有効性を検証した事項(つづき)

ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	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関連項目
⑦ 回転機器の飛散(カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> モータ(REXJ, IMAP-GLIMS, HDTV-EF)の破損により、破片等により船外クルーを損傷させる 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 ISS共通の安全標準に基づき、回転機器(モータ等)の運動エネルギーが規定値以内であり、金属筐体等で覆われる封入設計とする 	<ul style="list-style-type: none"> 回転機器が金属筐体で覆われていることを図面及び現品検査により確認した。 回転機器の仕様を確認し運動エネルギーが規定値以内であることを確認した。 	7.(1)搭乗員の保護
⑧ 鋭利な端部、突起物への接触(カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 装置の鋭利な端部・突起物により、船外活動中の搭乗員の手袋、衣服に穴が開き、搭乗員の死傷に至る。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 ISS共通の安全標準に基づき、装置は許容できない鋭利な端部・突起物或いは隙間がない設計とする。 封入設計にできないガラス部品については接触禁止エリアを設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 面取り及び隙間に関する共通の要求に合致していることを現品検査により確認した。 SIMPLEについては一部接触禁止エリアの設定により制御した。 	7.(1)搭乗員の保護
⑨ ガラス破損(カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> REJ/SIMPLEのカメラのレンズが破損し、破片により船外搭乗員に穴が開く、搭乗員の死傷に至る。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 レンズはカバーにより封入させる 	<ul style="list-style-type: none"> 図面検査、振動試験 IMAP-GLIMS, HDTV-EFのカメラレンズについては接触禁止エリアの設定により制御した。 	7.(1)搭乗員の保護
⑩ 高温/低温部への接触(カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 装置の高温部または低温部に搭乗員が触れ、船外活動服の損傷または火傷または凍傷を負う。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 外部環境の最悪条件下において、最大搭乗員が許容できる外表面温度となる設計とするように設計する。 ※船外活動員に対する許容外表面温度:-118~113℃ 	<ul style="list-style-type: none"> ヒータの故障、JEMからの電力停止等の故障が発生した場合を想定し、熱試験により熱解析モデルを検証し、そのモデルを用いて最高/最低温度を解析し、要求値以内であることを確認した。 SIMPLE/MCEについては、Heat Rate及び船外グローブの損傷温度以下であることを確認した。 	6.(3)安全性 7.(1)搭乗員の保護

15

安全 1-1-3 付-9

ア 外傷の防止

① 回転機器に対する防護

ボート共有実験装置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、金属筐体により覆われていることを、設計図面、製造図面、フライトハードウェアの検査で確認した。また、回転機器が、破壊し飛び散ることが無いことを、使用材料の選定、機能試験により確認した。

回転機器の仕様を確認し、運動エネルギーが規定値以内であることを確認した。

<関連ハザードレポート>

STD-IMAP-GLIMS-13 回転機器の飛散(8.2 項⑦)

STD-REXJ-13 回転機器の飛散(8.2 項⑦)

STD-HDTV-13 回転機器の飛散(8.2 項⑦)

なお、⑨の修正箇所は質問番号2-4の回答によるものである。



Japanese Experiment Module



8. 安全設計・検証結果

8.2 ISS共通的な制御方法により検証した事項

ISS共通の制御方法により対応した項目(つづき)

	ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	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関連項目
⑧	高温/低温部への接触 (船内活動員に対してクリティカルハザード)	・装置の高温部または低温部に搭乗員が触れ、火傷または凍傷を負う。(※水棲生物実験装置については低温部はない。)	【リスク許容設計】 ・外部環境の最悪条件下において、実験装置内の機器の故障によっても、搭乗員が許容できる外表面温度となる設計とするように設計する。 ※船内活動員に対する許容外表面温度:-18~49℃	・AQH内部の制御機器故障後(1故障後)であっても最高温度46℃であることを確認した。	6.(3)安全性 7.(1)搭乗員の保護
⑨	感電(コネクタ脱着) (カタストロフィックハザード)	・搭乗員が電力コネクタの脱着時に高電圧表面に触れることにより感電し、搭乗員の死傷にいたる。	【リスク最小化設計】 -コネクタの上流はソケットタイプとし、また適切に接地した。 ・高電流(3A以上)のコネクタを脱着する場合は上流のスイッチを遮断する手順とした。	・コネクタのタイプを図面、現品検査により確認した ・高電流コネクタを脱着する場合はラックの電源を遮断する手順が運用制御合意文書に反映されていることを確認した。 ・一部接地抵抗要求を逸脱した箇所については上位機器及びAQHに影響がないこと(感電がないこと)を解析により確認した。	6.(3)安全性 7.(1)搭乗員の保護
⑩	回転機器の飛散 (カタストロフィックハザード)	・回転機器の破損により破片が飛散し、船内活動中の搭乗員へ衝突し、死傷に至る。	【リスク最小化設計】 ・ISS共通の安全標準に基づき、回転機器(ファン、ポンプ、モータ)の運動エネルギーが規定値以内であり、金属筐体等で覆われる封入設計とする	・回転機器が金属筐体で覆われていることを図面及び現品検査により確認した ・回転機器の仕様を確認し運動エネルギーが規定値以内であることを確認した。	7.(1)搭乗員の保護
⑪	鋭利な端部、突起物への接触、 (船内活動員に対してクリティカルハザード)	・装置の鋭利端部・突起物により、船内活動搭乗員の皮膚の裂傷に至る。	【リスク最小化設計】 ・ISS共通の安全標準に基づき、装置は許容できない鋭利端部・突起物或いは隙間がない設計とする。	・面取り及び隙間に関する共通の要求に合致していることを現品検査により確認した。	7.(1)搭乗員の保護

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

安全1-1-4 付-10

<p>ア 外傷の防止</p> <p>① 回転機器に対する防護</p> <p>水棲生物実験装置に使用されているファン、ポンプ、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、金属筐体により覆われていることを、設計図面、製造図面、フライトハードウェアの検査で確認した。また、回転機器が、破壊し飛び散ることが無いことを、使用材料の選定、機能試験により確認した。</p> <p>回転機器の仕様を確認し、運動エネルギーが規定値以内であることを確認した。</p> <p><関連ハザードレポート> STD-AQH-13 回転機器の飛散(8.2 項⑩) STD-ESHAQH-13 回転機器の飛散(8.2 項⑩)</p>

【質問番号2-4】 コンフィギュレーション管理について

【質問内容】

仕様を逸脱してMR 処理され、その結論として仕様が緩和されている項目(安全関連のみ)があれば、リストアップしてください。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-3

安全 1-1-4

【回答者】JAXA

【回答内容】

MCE 及び AQH で MR 処置された項目のうち安全関連の MR 処置は以下のとおりです。

	内容	処置結果
MCE	(1) EMC伝導雑音試験(CE07)時にスペックアウト	評価の結果、上位機器及びMCEに影響がないことを確認し、そのまま使用。
	(2) EMC伝導雑音試験(CE03)時にスペックアウト	評価の結果、上位機器及びMCEに影響がないことを確認し、そのまま使用。
AQH	(1) 飼育水系統からの水リーク	リーク部の分解点検、再締め付けにより復旧。
	(2) EMC電磁試験(RE02)時にスペックアウト	制御部のシールド強化により処置し、要求を満足した。
	(3) 接地抵抗値がスペックアウト	一部は、表面処置方法を変更して処置し、要求を満足した。 一部は、上位機器およびAQHに影響がないこと(感電を生じないこと)を確認し、そのまま使用。

上記を反映し安全1-1-3 P14及び安全1-1-4 P15を下記のように修正します。

なお、ISSでの安全要求においては、EMC試験でスペックアウトしたものでも、ハザードに至らないとJAXAが評価した結果をTIA(Tailoring Interpretation Agreement)という様式で、NASA EMEP (Electromagnetic Effects Panel)に送付しNASAも問題無いと評価した場合は、スタンダードハザードレポートで取り扱うプロセスとなっております。



8. 安全設計・検証結果

8.2 ISS共通の制御方法の適用とその検証結果



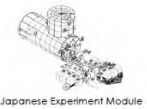
ISS共通の制御方法を用い、その有効性を検証した事項(つづき)

ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	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関連項目
④ 電池の破裂/電解液の漏洩 (クリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> HDTV-EF内のボタン電池が真空中で破裂し、周辺で作業中の船外服を損傷させる 漏洩した電解液が船外服に付着し船内を汚染する。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 ISS共通の規定に従い、真空試験を満足する電池を使用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 真空試験の結果、破裂等損傷がないことを確認した。 	4.(2)誘導環境からの保護 7.(1)搭乗員の保護
⑤ 電磁干渉による機器の誤作動 (クリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> ISS或いは他装置からの電磁波による電磁干渉により、MCEの安全上の機器が誤動作する。 MCEから発せられる電磁波により、ISS或いは他装置の安全上重要な機器が誤動作する。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 ISS或いは他装置の放射・伝導電磁環境にマージンを加えた環境に対し、誤動作しないように設計する。 発生する放射・伝導による電磁波が、ISS或いは他装置が許容できる電磁環境レベルより十分に低くなる設計とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 電磁干渉試験(放射・伝導雑音試験及び放射・伝導感受性試験)により、JEMシステム及びMCE機器に対する安全性への影響がないことを確認した。 射場で取り付けるMCEのサイドパネルのボンディング/グラウンディング計画については安全検証追跡ログで管理する。 なお、電磁干渉試験で一部要求を逸脱した箇所については、上位機器及びMCEに影響がないことを解析により評価した。 	4.(2)誘導環境からの保護
⑥ 電力系の地絡時の過電流による機器損傷 (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 電力系統の地絡電流により、JEMまたはISSの安全上重要な機器に損傷を与える。 不適切な接地設計により高電圧部を形成し、船外搭乗員が不意に接触した場合感電する。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 電力系統の適切な絶縁処理と、適切な電力線のサイズを選定する。 地絡電流を遮断する保護装置を設置する。 	<ul style="list-style-type: none"> 電力線のサイズ、電流遮断保護装置を図面及び検査で確認した。 	6.(2)信頼性

MIUL : Material Identification Usage List

14

なお、⑩の修正箇所は質問番号2-3の回答によるものである。



8. 安全設計・検証結果

8.2 ISS共通的な制御方法により検証した事項



ISS共通の制御方法により対応した項目(つづき)

ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	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関連項目
⑧ 高温/低温部への接触 (船内活動員に対してクリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 装置の高温部または低温部*に搭乗員が触れ、火傷または凍傷を負う。(*水棲生物実験装置については低温部はない。) 	<ul style="list-style-type: none"> 【1故障許容設計】 外部環境の最悪条件下において、実験装置内の機器の故障によっても、搭乗員が許容できる外表面温度となる設計とするように設計する。 ※船内活動員に対する許容外表面温度:-18~49℃ 	<ul style="list-style-type: none"> AQH内部の制御機器故障後(1故障後)であっても最高温度46℃であることを確認した。 	6.(3)安全性 7.(1)搭乗員の保護
⑨ 感電(コネクタ脱着) (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 搭乗員が電力コネクタの脱着時に高電圧表面に触れることにより感電し、搭乗員の死傷にいたる。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 コネクタの上流はソケットタイプとし、また適切に接地した。 高電流(3A以上)のコネクタを脱着する場合は上流のスイッチを遮断する手順とした。 	<ul style="list-style-type: none"> コネクタのタイプを図面、現品検査により確認した 高電流コネクタを脱着する場合はラックの電源を遮断する手順が運用制御合意文書に反映されていることを確認した。 一部接地抵抗要求を逸脱した箇所については上位機器及びAQHに影響がないこと(感電がないこと)を解析により確認した。 	6.(3)安全性 7.(1)搭乗員の保護
⑩ 回転機器の飛散 (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 回転機器の破損により破片が飛散し、船内活動中の搭乗員へ衝突し、死傷に至る。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 ISS共通の安全標準に基づき、回転機器(ファン、ポンプ、モータ)の運動エネルギーが規定値以内であり、金属筐体等で覆われる封入設計とする 	<ul style="list-style-type: none"> 回転機器が金属筐体で覆われていることを図面及び現品検査により確認した 回転機器の仕様を確認し運動エネルギーが規定値以内であることを確認した。 	7.(1)搭乗員の保護
⑪ 鋭利な端部、突起物への接触 (船内活動員に対してクリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 装置の鋭利端部・突起物により、船内活動搭乗員の皮膚の裂傷に至る。 	<ul style="list-style-type: none"> 【リスク最小化設計】 ISS共通の安全標準に基づき、装置は許容できない鋭利端部・突起物或いは隙間がない設計とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 面取り及び隙間に関する共通の要求に合致していることを現品検査により確認した。 	7.(1)搭乗員の保護

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

15

●調査審議の観点3（課題抽出の手法）に関連する質問

【質問番号3-1】 SIMPLE 伸展マストの復元について

【質問内容】

SIMPLE の伸展マストについて、キック荷重が加わってもマスト自体は復元するとの説明があったが、復元する際に船外活動中の宇宙飛行士に再接触して姿勢を崩す等、影響を与えることはないのか。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-3 P20

【回答者】JAXA

【回答内容】

キック荷重によるマストの変形には、弾性変形とマストが折れる(挫屈)変形があり、両モードについてフライトモデル同等品を供試体とした試験を行っています。

試験の結果、マストが折れる前の復元力は、0.81lbf(3.6N:計測値)でした。また、キック荷重によってマストが折れ曲がった場合(80度付近まで)を想定した試験では、残留剛性による復元力によって、約6-7秒かかってもとの位置の手前11mm(マストの先端部分においてもとの位置から手前11mm—完全に元の位置には戻りません)の位置に戻ることが確認されました。

キック荷重によってマストが折れ曲がってから復元する時の反力については、オーバーシュートもなく静かに止まる(速度ゼロ)ことから、元の位置に戻ったときの反力は速度ゼロとして、折れ曲がる前の復元力0.81lbfより低い値として良いと言えます。

以上により、マストが復元する際の反力は 0.81lbf 以下と十分弱いため、宇宙飛行士の姿勢を崩すようなことにはならず、ご質問いただいた SIMPLE の伸展マストの変形状態からの復元は、ハザードとは識別しておりません。該当ハザードレポートは NASA 安全審査パネルにも提示されており、特に指摘は受けておりません。

【質問番号3-2】 AQHにおける pH 調整について

【質問内容】

水棲生物実験装置の pH 調整はどのように行うのか。pH 調整に化学物質を使うのであれば、その化学物質が曝露するハザードに対する安全対策はどうなっているのか。また、pH 調整に化学物質を用いることで水質環境が変化するが、水棲生物への影響の有無を確認しているのか。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-2 P17

【回答者】JAXA

【回答内容】

本装置の飼育水水質維持は硝化バクテリアを用いた生物処理により行っており、最終産物である硝酸の蓄積によりpHは徐々に低下します。このため、飼育実験中は飼育水のpHをセンサにより常時モニターしています。pHが7以下になると、硝化バクテリアの活性が低下し水質維持に影響することから、pHが7に近づいた時点でシリンジに充填して搭載した炭酸水素ナトリウム溶液を、装置の飼育水交換ポートから飼育水循環系に注入し、飼育水のpHを0.5以下の範囲で上昇させることでpH調整を行います。

pH調整用の炭酸水素ナトリウム水溶液については、毒性レベル0(1重封入要求)と判定、毒性のハザードに該当しないと評価されています。シリンジに保管し、必要時に飼育水交換ポートから注入する操作について、装置全体システムを含め1重のプロテクトが確保されるため、安全上問題ありません。

飼育水循環系に注入した炭酸水素ナトリウム溶液が、直接、飼育水槽や生物フィルタに流入することがない位置に装置の水注入ポートを配置するとともに、注入後すぐに循環ポンプを運転することにより溶液が飼育水循環系で均一となるよう運用しており、地上におけるメダカの長期飼育実験においても影響を与える水質環境の変化は認められないことを、確認しています。

【質問番号3-3】 SIMPLE IEMの無重力空間での想定外の伸展について

【質問内容】

「将来は、大型の宇宙発電衛星や月面タワーへの応用が期待できます」とある。インフレーター構造物は確かに簡便な大型宇宙構造物建造に利点ありと思うが、展開時には例えば二つ折り^{注)}になった際の想定外方向への飛び出し、それに続く本体構造物への打撃を起こす Inherent なリスクが存在する。

質問者は15年ほど前に、インフレーターチューブの二次元展開の試験をしたことがあり、展開時に安全上の問題が存在することを経験した。「この実験では、インフレーター構造を実際の宇宙環境のもとで長期間運用することで実用性を実証するとともに、今後の宇宙構造物への適用のための基礎データを集めることを目的としています。」と記述されているが、この実験では、安全な展開、安全でない展開についてどのような解析、試験が行われているか説明いただきたい。また、8.3項でMCE固有のハザードが取り上げられているが、驚いたことには、異常な方向への進展はハザードとして識別さえされていない。

注) 二つ折りの状態は簡単な思考実験によって容易に理解できる。質量Mを持つ物体(HUに相当)と衛星本体をインフレーターチューブで接続し、収納状態から気体をチューブに導入すると、物体は慣性力があるのでゆっくり動きだすのに対し、チューブは素早く進展し、二つ折り状態が実現される。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-2 P24

【回答者】JAXA

【回答内容】

(1) SIMPLE IEMにおける伸展機構について

IEM(Inflatable Extention Mast)の伸展機構は、インテイクパイプと呼ばれるφ約90mmの軽量の円筒を先端にもつインフレーターチューブが、窒素ガスによって膨らむ際、周囲を囲むステム材を引き出しながらステム材の拘束によって伸展軸方向に伸びてゆくものです。伸展方向は周囲を取り囲むステム材によって1方向に拘束されます。

このようにIEMはインフレーターチューブが単体で伸展するものではなく、インフレーターチューブをアクチュエータとして使って、3つのSTEM伸展材を組み合わせることで1本のマストを構成するTri-STEMと呼ばれる構造を伸展させるものです。インフレーターチューブは円筒状のインテイクパイプに装着しておいて、ガスを注入すると圧力が加わった分だけインフレーターチューブが伸びる構造です。

一方、STEM単体は、巻尺のように曲率(φ120mm)を有する帯(長さ1300mm以上)で、炭素繊維を特殊な方法で織りあげたものです。伸展前はドラムで巻き上げて縮めてあります。STEMは伸展の軸周りに120度おきに設置してあり、伸び始めとなる先端は3つを互いに結合してあり、円筒状を形成しています(Tri-STEM)。

インフレーターチューブはTri-STEM内部にあって、ガスを注入すると直進しながらTri-STEMの先端を伸展方向に押し出します。Tri-STEMは徐々に伸展方向に押し出されますが、この時スプールにまかれた3つのSTEMは連動して同時に繰り出されます。このSTEMの両脇には面ファスナ(ベルクロテープ)が取り付けられており、繰り出される3つのSTEMの両脇は繰り出されると同時に互いに接合され円筒状のマストを作り出します。

Tri-STEMはマスト形状になるとそれ自身を地上の重力場で横にした片持ち梁の状態でも数

メートル伸びていけるだけの高い剛性を作り出します。これによってこのインフレータブル構造は伸展軸と異なる方向への伸展が拘束され、伸展軸に沿ってぶれることなく安全に伸展することができます。

(2) 安全上の観点について

SIMPLE IEMでは、その伸展機構から想定される全ての伸展状況を想定し、ハザードの識別を行い、ハザードレポートにより制御方法／検証結果を含めて確認されております。なお、SIMPLE IEMの伸展機構では、ご指摘の異常な方向への伸展は起こり得ない事象(incredible)と識別しました。

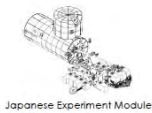
(3) その他（想定されるハザードについて）

IEMヘクルーによるキックロードが加わった場合、特に先端を横（伸展軸と直交する方向）にキックされた場合、マストは大きく曲げ変形を起こして構造的破壊に至り健全性を失うということが想定されました。

最悪ケースとして、マスト先端にキックロードが入って折れ曲がってしまう状態の荷重試験を行いました。マストは想定した通り折れ曲がり破損しますが、その後は復元力でほぼ最初の状態に回復しそれ自身がハザードになることはないことが確認されました。また折れ曲がってマスト部材が破損することによって破片が飛散するハザードに対しては、破片を外部に飛散させないためにマストにカバーを装着しており、破損しても、少しの破片も外部には飛散しないことを確認しています。

(4) 資料修正について

伸展マストについて、所定の方向に伸展することを試験により確認したことを明確にするため、安全1-1-3 P20を下記のとおり修正します。



8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項
 (2) 軌道上荷重による構造破壊 (3/3)
 (SIMPLE 伸展マストの構造破壊(複合材の強度不足))

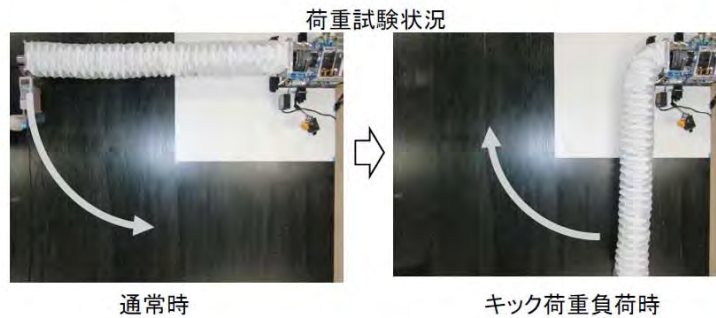


- 【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード
- 伸展マストには、ISS軌道上準静荷重が負荷される。
 - またMCEでは計画されたEVAはないものの、曝露部上の他の実験装置等の緊急時には近傍で船外クルーが接近する可能性があり、その際にクルーによる不意なキック荷重が負荷される可能性がある。
 - 伸展マストがクルー荷重や経年劣化により破断し、ISSやEVA中のクルーに衝突することにより、ISSの破損または船外クルーの死傷に至る可能性がある。

複合材に対する検証方法

①軌道上荷重
 →準静荷重試験(繰り返し荷重試験)

②クルー荷重 →キック荷重試験



【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> • 複合材を含めたインフレータブル構造の構造破壊に対して、安全係数2.0(終極)を適用した構造設計。 	<ul style="list-style-type: none"> • 軌道上準静荷重(0.2G)に対しては、繰り返し荷重解析/寿命試験 結果を確認した。 • クルー荷重に対しては、EVAキックロード荷重試験を行い復元性を確認した。 ※伸展マストについては伸展方向確認試験により、所定の方向に伸展することを確認した。
<ul style="list-style-type: none"> • 外力を受けた複合材が破損し宇宙空間に飛散しないように、機器をMLI(多層断熱材)で封入し飛散防止を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> • 静荷重解析/キックロード荷重試験を行い、MLIに損傷がないことを検査により確認した。

【質問番号3-4】 SIMPLE IEM 展開の地上試験について

【質問内容】

部会では、標記について動画の紹介があった。時間を短縮して紹介されていたので明確にはわからないが、伸展方向を一次元に拘束したようにも見え、無重力空間での模擬になっていないのではないかと。また、チューブが空気軸受けで浮上していたようにも見えなかったが、どのような実験装置であったのか、また、その狙いはどこにあったのか説明してほしい。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-2 P10

【回答者】JAXA

【回答内容】

IEMの構造については、質問番号3-3への回答をご参照ください。

部会でご覧頂いた動画は、IEM の伸展構造(Tri-STEM)の真空状態での動作を確認するもので、ご指摘のとおり無重力空間を模擬したものではありません。

本試験は、Tri-STEM を低真空に保てる透明チューブ内に保持し、Tri-STEM 先端に取り付けたブロック(*1)が透明チューブ内のガイド上を自由に移動出来るよう設置した後、透明チューブを排気(100 パスカル未満)し、Tri-STEM 内のインフレーターチューブに所定の窒素ガスを導入して、伸展時間、伸展速さ、伸展長さなど、1 気圧下では確認が困難な評価を実施したものです。

*1: 下部にベアリング状の小さな滑車が付いたブロック。Tri-STEM 先端の質量(*2)を模擬するダミーマス。

*2: Tri-STEM の先端には、カメラや構造特性を計測するセンサーが入った約 1.6kg の箱 (Hub-Unit という)が搭載される。

IEM の伸展構造(Tri-STEM)自身は、地上試験環境の重力下で、片持ち梁状態で支持が無くても数メートルの伸展が可能で高い剛性を有しており、地上試験では、横方向やねじれに対する保持がなくても伸展軸に沿って問題なく伸展することが確認されていますが、Tri-STEM 先端に取り付けたブロックは、伸展試験のダミーマスとして働くと同時に、Tri-STEM に対して重力方向に先端集中荷重をかけることになるため、これによる影響をキャンセルしなければ真空中の伸展特性を正確に評価することは出来ません。

そのため本試験においては、先端のブロック状の支えが自由に移動出来るガイドにブロックを乗せて伸展させています。ご指摘のとおり、これによりTri-STEMの伸展方向が制限されますが、本試験の目的から問題ない範囲と考えます。

●調査審議の観点4（抽出された課題への対処の方向性）に関する質問

【質問番号4-1】「シールを有する機器の減圧による破壊」の試験による検証について

【質問内容】

「シールを有する機器の減圧による破壊」について、ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果では、「強度解析により十分な安全余裕を有することを確認した。」とあるが、試験による検証は実施していないのか。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-3 P13

【回答者】JAXA

【回答内容】

対象機器であるIMAP/EUVIについては、地上で真空引きされた状態でMCEへ搭載されており、打ち上げ後は圧力差が緩和される方向への変化となります。従って、最悪条件としては地上での1気圧(負圧)になります。検証方法としては、内部を真空に引いた状態で振動試験を行い、構造として健全であることを確認しております。安全1-1-3における検証方法を強度解析と記述しておりましたが、試験により検証しておりますので、安全1-1-3 P13及び付-3を下記のとおり、訂正します。

また、安全1-1-3 P13の表中の対象機器はIMAP EUVIのみですので、表記を下記のとおり修正します。



Japanese Experiment Module

8. 安全設計・検証結果



8.2 ISS共通の制御方法の適用とその検証結果

ISS共通の制御方法を用い、その有効性を検証した事項を以下に示す。いずれも検証作業が適切に行われたことを確認した。検証結果の概要を以下に示す。

	ハザード内容及び被害の度合い	想定されるハザードとその原因	ハザード制御方法	ハザード制御の有効性の検証方法及び検証結果	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関連項目
①	打上げ、上昇、軌道上での構造破壊 (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。	・フライトモデルを用いたモーダル試験結果により補正された構造数学モデルにより、構造解析を行い、十分な剛性及び強度を有することを確認した。また構造パネルは疲労解析を行い十分な疲労寿命を有することを確認した。 ・材料識別使用リスト(MIUL)により構造材料を評価した。 ・クルーによるキック荷重への耐性が不足する箇所については接触禁止エリアを設定した。 ・射場で取り付けるMCEのサイドパネルの検査については安全検証追跡ログで管理する。	4.(2)誘導環境からの保護 5.(1)設計 5.(2)剛性・強度 5.(3)構成材料
②	シールを有する機器の減圧による破壊 (カタストロフィックハザード)	・打上げ時の圧力差によって、シール部を有する機器が破壊し、破片となり、HTVやISSを損傷させる。(対象: IMAP/EUVI)	【リスク最小化設計】 ・減圧試験を行い、シール容器が破損しないこと。	・シール容器内を真空状態に保持し、振動試験を行い容器が破損しないことを確認した。	4.(2)誘導環境からの保護 5.(1)設計 5.(2)剛性・強度 5.(3)構成材料
③	ベントポートを有する機器の減圧による破壊 (カタストロフィックハザード)	・打上げ時の圧力差によって、ベントポートを有する機器が破壊し、破片となり、HTVやISSを損傷させる。(対象: REXJ/HDTV/MCE)	【リスク最小化設計】 ・HDTV-EF、MCEについてはベントポートの開口面積解析により差圧は発生しない設計であることを確認する。 ・REXJについては減圧時の差圧に対して必要な強度を持たせた設計とする。	・HDTV-EF、MCE: 解析により十分差圧は発生しない設計であることを確認した。 ・REXJ: 減圧解析及び真空試験により強度を確認した。	4.(2)誘導環境からの保護 5.(1)設計 5.(2)剛性・強度 5.(3)構成材料

13

安全1-1-3 付-3

(2)誘導環境からの保護
<p>ア 打上げ時等の誘導環境</p> <p>ポート共有実験装置は、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。打ち上げ固定機構は、打ち上げ時の環境(振動・熱環境)や他の電力ラインから回り込みによる誤作動がないよう接地されていることを確認している。また、SIMPLEのIEM-HUは4つの打ち上げ固定機構で固定されており、打ち上げ荷重(安全係数:1.4)に対して2つでも安全余裕は正であることを確認している。詳細は本表3項に示す。またMCE、HDTV-EFについては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く、機器の破壊によるきぼうや搭乗員の損傷は起きない設計としている。REXJについては、減圧解析により最大差圧に対する強度を持たせた設計としている。IMAP/EUVIのシール機器については、減圧試験により強度を確認した。</p>

【質問番号4-2】 毒性レベルについて

【質問内容】

毒性レベルは共通要求 JSC26895 に従っているものと思われる。その要求ではそれぞれの毒性レベルに応じカラーコードが決められていて、容器などにはその表示が求められているのではないかと。資料 P20 のカラー表示もコードに連動しているようには見えない。

また、カラーコードを表記していない場合、これは JEM 基本指針 7(3)の要求に反していることにはならないか。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-4 P17, 20

【回答者】JAXA

【回答内容】

ご理解のとおり、毒性レベルはJSC26895により規定されており、それぞれのToxic レベルに対応した規定のシールを貼付することが要求されています。水棲生物実験装置に対しても要求どおり実施します。現在NASAに申請済みで、入手次第貼付する予定です。

なお、毒性物質に対する安全要求は、「漏れないこと」が要求となり、ハザードレポート上での制御方法は、封入設計となります。毒性ラベルの貼付は「万が一漏れた後」にクルーがその対象物質がどのくらい危険なものかを直接知るためのクルーインタフェース標準(SSP50005)からの要求であり、安全制御のためではないことはSSP50005(次ページ)のA項に規定され、安全審査の対象外であることもNASA安全審査パネルと合意しておりますので、ハザードレポート及び本報告書にも検証対象としてはおりません。

安全1-1-4 付-11には、ラベルの貼付が今後行うことの記述は漏れておりましたので、下記のとおり追記します。

安全1-1-4 付-11

(3) 共通化

ISS 全体の安全に関わる水棲生物実験装置の構成要素(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。

なお、毒性物質に接する器材に貼付する毒性表示ラベルは NASA から入手次第、打上げ前までに貼付する。

SSP 50005 International Space Station Flight Crew Integration Standard(抜粋)

9.5.3.1.13.1 Hazard Response Label Design Requirements

Hazard Response Labels are numerical and color-coded labels that correlate to crew emergency response procedures. The crew will follow these procedures if a hazardous substance release occurs on-board ISS. (See label examples in Figure 9.5.3.1.13.1-1). The Hazard Response Level of an item is determined per Flight Rule B13-157 in NSTS-12820.



A. Hazard Response Labels are for the crew's informational purposes only, and are not for safety control purposes.

Hazard Response Labels shall be obtained from the Decal Design and Production Facility and as listed in JSC-27260, (or developed as unique labels as approved by FCI/SF3.

B. All hardware assessed for hazards and determined to contain a hazardous substance per SSP 41000, Section 3.3.3.h shall be labeled as follows:

- 1) **Applicability:** Hazard Response Labels shall be applied to all hardware stowed or used for nominal operations, planned maintenance or contingency operations within the IVA pressurized volume or accessed via access panels. Examples of hardware that may be labeled include ORU's, valves, pumps, kits, power supplies, tools, canisters, hoses etc. Additional examples of IVA hardware can be found in SSP 50005, section 9.5.3.1.6.1.
- 2) **Label Placement:**
 - (a) Hazard Response Labels shall be located in a prominent visible location on the front face of the hardware, which is visible to the crew during its use or operation.
 - (b) Hazard Response Labels shall be applied to kits, containers, bags and their respective contents, at the stowage level for launch, to the outermost container (top assembly), and to any sub-packs, sub-containers, sub-components, or sub-kits. Application of the Hazard Response Label can be omitted from any sub-packaging layer if the Hazard Response Label on the hardware is visible through the packing and containment material (i.e. ziplocs).



FIGURE 9.5.3.1.13.1-1 HAZARD RESPONSE LABELS

【質問番号4-3】品質保証について

【質問内容】

安全検証結果の欄で

- 1) 「さらに宇宙航空研究開発機構では審査、監査を行い、製造会社におけるデータ管理等の確認を実施してきた」と記述されている。このうち、監査は何時に行われ、その際どのような指摘がされているか。
- 2) 「製造時に得られたデータを含む製造作業の記録が、温度勾配炉ラックの運用期間中保存されている」の記述で、温度勾配炉ラックは誤記である。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-4 付-9

【回答者】JAXA

【回答内容】

- 1) 監査結果については以下のとおりです。
 - ①明星電気(HDTV-EF製作会社)
 - ・実施時期:平成 18 年 2 月、平成 21 年 12 月、平成 23 年 1 月、平成 23 年 5 月
 - ②ウェルリサーチ(SIMPLE製作会社)
 - ・実施時期:平成 21 年 12 月
 - ③三菱重工業神戸造船所 (REXJ, AQH製作会社)
 - ・実施時期:平成 21 年 12 月、平成 23 年 3 月、
 - ④IHIエアロスペース(MCE製作会社)
 - ・実施時期:平成 22 年 1 月、平成 23 年 10 月
 - ⑤千代田アドバンスソリューション(AQH付属品製作会社)
 - ・実施時期:平成 22 年 1 月、平成 22 年 9 月、平成 23 年 4 月

また、主な指摘内容は以下のとおりです。

- ・ 設計変更管理、部品のトレーサビリティ管理、はんだ付け基準、清浄度管理等技術管理に関する事項
 - ・ 開発体制、下請け会社の管理、購買管理等マネジメントに関する事項
- 監査時の指摘事項については、処置が終了した時点で再度フォローアップ監査を実施し、処置の妥当性及び運用状況を確認してきました。

- 2) 「製造時に得られたデータを含む製造作業の記録が、温度勾配炉ラックの運用期間中保存されている」については、ご指摘どおり誤記ですので安全1-1-4 付-9を下記のとおり修正します。

安全 1-1-4 付-9

(4) 品質保証

安全の要求を含む、機能・性能等を満足していることを確認するため、部品・材料レベル、コンポーネントレベル、サブシステムレベル、システムレベルの各段階において、試験・解析・検査・デモンストレーションによる検証を実施し、各設計段階において、審査会等を開催し、各種記録類、解析書、試験データ、評価結果等のエビデンスの確認を通して、検証の妥当性を確認した。

また、水棲生物実験装置システムの構成部品が仕様書の要求に合致していることを確認するため、製造会社において製造工程が管理され、製造時に得られたデータを含む製造作業の記録が 水棲生物実験装置の運用期間中保存されている。さらに宇宙航空研究開発機構では、審査、監査等を行い、製造会社におけるデータ管理等の確認を実施してきた。

●その他の質問

【質問番号5-1】 SIMPLE IST の目的について

【質問内容】

IST (Inflatable Space Terrarium)は動植物の宇宙での生育を目標としていて、将来の宇宙利用を考えた時に重要な実験と思うし、あらかじめ安全上の確認をとっておこうとすることは理解できる。部会での説明では、デブリを恐れて実験装置内に格納された状態での宇宙実験と云う。この種の実験は Bigelow が Genesis を打ち上げ(1号機は2006年、2号機は2007年)ていて、長期の実験を継続している。このISTはこれらと比較してどのような特徴を有するのだろうか。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-2 P 10

【回答者】JAXA

【回答内容】

比較対象として挙げられたビゲローエアロスペースのジェネシスのように宇宙インフレーター構造は、大型で軽量の伸展構造や生物生存環境を宇宙空間で構築するなど将来的にも様々な用途が期待されています。SIMPLE内の空間を利用したIST実験は大型で大がかりなシステムではなく小型でよりシンプルな装置で植物実験(生物実験)を実施するのが特徴です。この小型でシンプルな装置で植物実験(生物実験)環境を提供できることが実証できれば、今後小型衛星を含む各種実験の機会をとらえた植物実験(生物実験)が容易で安価に提供できるなど、宇宙環境利用実験の活性化に発展する可能性を期待しています。

このように本実験の本質は宇宙空間での植物実験(生物実験)の環境をこの小型でシンプルな装置で維持することを実証するためのデータを確実に取得することにあります。デブリ対策は、想定するデブリに対して堅牢なカバー、あるいは衛星構造体、アルマジロのような鎧をまとうなど、対策はいろいろあると思いますが、この実験がデブリに対する評価まで目的としたものではないことをご理解いただければと思います。

ただしISTは完全にSIMPLE内で実験するのではなく、ISTの前面カバーを開いてIST前方を宇宙空間に曝露した状態で実験します。したがってデブリに対して完全防御の状態ではなく、万一デブリを含む何らかの要因で、ISTと圧部に穴が空いてもハザードにはならないことは評価、確認しております。

【質問番号5-2】 AQH運用フローについて

【質問内容】

AQH 概要では打上げ時だけではなく、帰還回収時についてもご説明いただきたい。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-2 P21

【回答者】JAXA

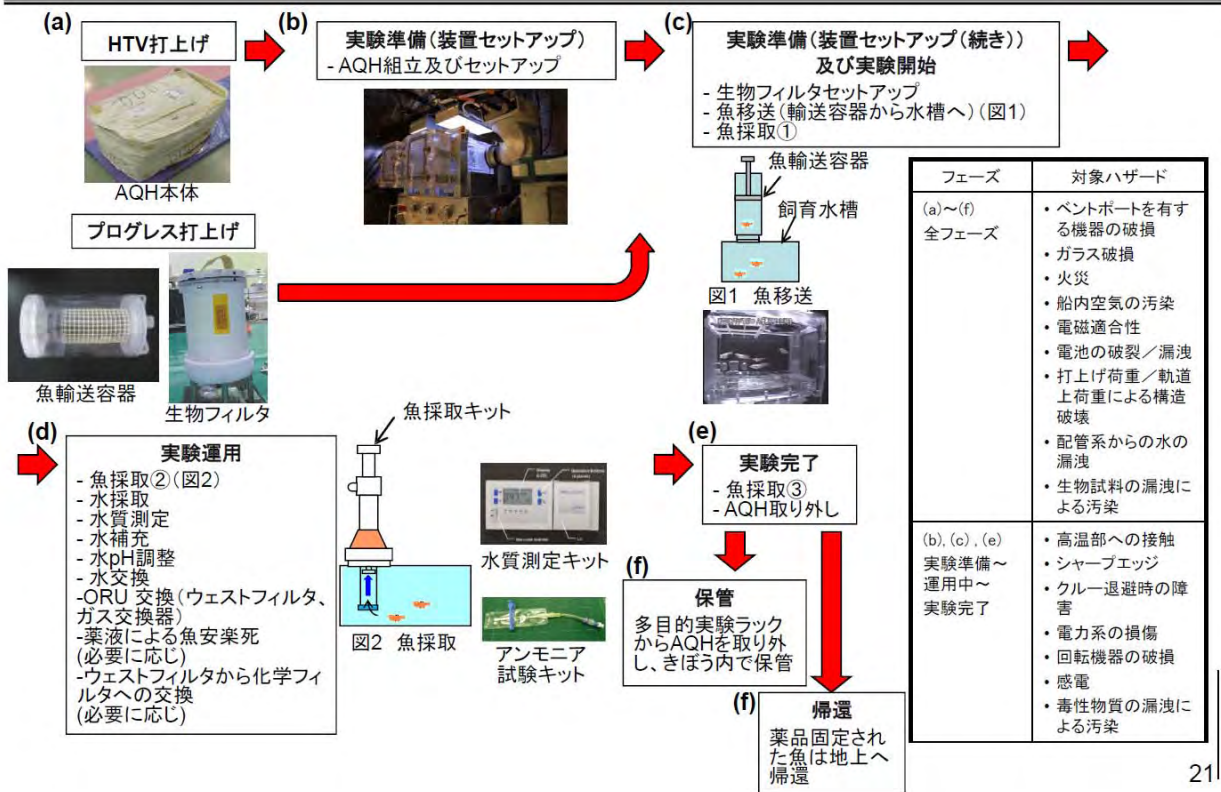
【回答内容】

薬品固定された魚が回収されることを示すため、安全 1-1-2 P21を下記のとおり修正します。

安全1-1-2 P21



4.3 AQH運用フロー



【質問番号5-3】NASA 審査ペイロード(SCAN)の安全対策の確認について

【質問内容】

HTV 曝露パレットに搭載される SCAN(NASA ペイロード)の安全対策は、どのように確認されているのか。

【資料の該当箇所】

安全 1-1-2 P6

【回答者】事務局/JAXA

【回答内容】

<NASA ペイロード(SCAN)の安全対策の確認について>

(JAXA回答)

国際宇宙ステーション(ISS)に提供する機器が、打上げから軌道上運用の全フェーズに亘って、クルーや ISS の喪失・損失につながるような事故を起こさないように安全対策が施されていることは、機器を提供する NASA が確認します。その確認のなかで、H-IIB/HTV から要求されるインタフェース条件に沿って、機器が ISS 到着する前に危険な状態にならないように安全対策が施されていることについても確認され、その結果、機器を HTV 曝露パレットに搭載して良いと判断されます。SCAN については、NASA 審査の結果(平成 23 年 10 月)、打上げ中に構造破壊等を起こさないと評価されたことを、JAXA として確認しました。

一方、JAXA は、NASA 装置が H-IIB/HTV からのインタフェース要求に合致し、打上げ中に HTV もしくは H-IIB の喪失に至るハザードがないことをシステム安全部会(議長: JAXA 安全信頼性推進部長)で審査します。SCAN については平成 23 年 12 月にシステム安全部会を行い、問題ないことを確認しました。

(事務局回答)

NASA が ISS に提供する機器の安全対策を確認する責任は、NASA にあります。

JAXA は、日本が ISS に提供する要素や搭載物が安全要求を満たしていることを確認するための安全審査を行い、安全部会は、その JAXA による安全審査について調査審議を行います。SCAN の安全性確認は、JAXA ではなく NASA によって行われていますので、その安全対策の妥当性の確認は、安全部会の対象としていません。