

(付録 4)

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

質問に対する回答

平成26年1月28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26年1月14日(火)に開催された第7回調査・安全小委員会における、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。

●安全確保の考え方に関する質問

1-1	鋭利端部への接触について	3ページ
1-2	基本指針に対する安全検証結果について	4ページ

●安全審査プロセスに関する質問

2-1	各フェーズでの安全審査者に参加される方の分野について	6ページ
-----	----------------------------	------

●ハザード及びハザード原因の抽出手法に関する質問

3-1	FMEAによるハザード識別	8ページ
3-2	標準ハザードと網羅性について	10ページ

●抽出されたハザード及びハザード原因への対処に関する質問

4-1	ラッチインジケータによる目視確認	11ページ
4-2	ExHAMまたはハンドホールドの構造破壊について	13ページ
4-3	熱解析結果の内容	15ページ
4-4	使用材料に関する記述方法	16ページ

3

【質問番号 1-2】基本指針に対する安全検証結果について

【質問内容】

付表 1(基本指針に対するExHAMの安全検証結果)の中で「該当機能がないため適用外とする」と記載されている項目があります。

例えば、8/10 の回転機器に対する防護では、該当機能(回転機能)がないので、理解できませんが、1/10 ページ、自然環境からの保護に関する項目「隕石・スペースデブリ」に対する記述は少し違和感があります。ここでは、搭乗員への直接的な被害リスクの回避策のみが対象とされているようですが、ExHAMが隕石・スペースデブリの衝突により破損→人工物体の発生(4/10 ページ、軌道上環境等の保全に違反)の可能性があるのではないのでしょうか。

また、宇宙放射線の影響に関しても同様ですが、この場合は、ミッション期間中の材料劣化による破損は発生しないでしょうから、安全上の問題は生じないと思います。しかし、この事は適用外とは違うので、別の適切な表現にすべきではないのでしょうか。

プラズマによる帯電防止についても、ExHAMは適切な防護策(ISS構造に接地)が採られていると記述すべきではないのでしょうか。

【資料の該当箇所】付表-1、該当するページは上記参照

【回答者】JAXA

【回答内容】

1. スペースデブリ

基本指針では「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～」と規定されています。

この指針の規定に対応して、付表-1の2列目「【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)」にあるように、安全上重要な与圧モジュールに対してはスペースデブリに対する要求(非貫通確率)を設定しており、下記の防御対策をとっています。

① 直径1cm以下のデブリ

バンパで防御。

② 直径10cm以上のデブリ

ISSの軌道制御により衝突回避。

③ 直径1～10cmのデブリ

デブリが貫通した場合、搭乗員は他のモジュールへ退避。

JEMの安全に関わるシステムでないExHAMIにはこの要求は適用しておらず、ExHAMとしての耐デブリ設計は行っていないため「適用外」としました。

なお、ご質問頂いた、「ExHAMがスペースデブリの衝突により破損し、p.4/10、(3)軌道上環境等の保全、に違反するのでは。」につきまして、ISS安全要求(SSP 51700)では、圧力容器などスペースデブリが衝突した時にハザードを発生する曝露実験装置に対して非貫通確率が要求されています。スペースデブリの衝突により発生する二次的なスペースデブリに対する要求はありません。

これは基本指針の「合理的に可能な限り抑制するように考慮すること」にも適合しております。

2. 宇宙放射線

1 項のスペースデブリと同様、ExHAM は JEM の安全に関わる機器ではないため、「適用外」としました。

なお、評価指針の規定の観点からExHAMの対応状況を説明しますと、ExHAMは電子機器を持っていないため、放射線による誤動作等はありません。また、ExHAMで使用している材料は金属材料であるため、放射線による材料の劣化は問題になりません。

3. プラズマ

これも同様に、基本指針の「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」という観点で、「適用外」としました。

なお、評価指針の規定の観点からExHAMの対応状況を説明しますと、ExHAMはハンドホールドに電氣的に接地する機能を持っており、適切な防護策をとっております。

ハンドホールドへの電氣的な接地は、資料7-1-3, p.8の「ボンディングアーム」を使用して行います。

○安全審査プロセスに関する質問

【質問番号 2-1】 各フェーズでの安全審査者に参加される方の分野について

【質問内容】

フェーズⅠ～フェーズⅢまでの審査会では、審査する方々がそれぞれ独立しているとの確認をさせていただきました。各フェーズでの審査は、安全審査の目的(視点)がそれぞれ異なってくる(審査項目、内容が違う)ので、審査される方々の視点(分野)も違ってきます。

そこで質問ですが、フェーズⅠなどの概念設計や基本設計では比較的幅広い分野の人材で構成したほうが良く、フェーズⅡでは比較的専門性の高い人材で、フェーズⅢでは決められた項目が確実に実施・検証されているか、といった視点で見ることに優れた人材(分野)で構成したほうが良いと思っています。

各フェーズでどのような考え方で審査する人を選択されているのでしょうか。次回その辺を補足して説明いただければ幸いです。

【資料の該当箇所】資料 7-1-2、p.6,17

【回答者】JAXA

【回答内容】

1月14日の調査・安全小委員会でのご説明が不十分でした。

有人安全審査会の審査員は基本的に固定しており、同じ審査員がフェーズⅠからフェーズⅢまでを通して審査します。

安全審査はハザードを識別し制御手段と検証方法が妥当かどうかを見るもので、フェーズが進むと、その詳細度が増してゆきますが、審査の視点は一貫しております。また、審査員は、経験を有する各部のシニア、および専門技術に詳しい専門家をバランス良く配置しておりますので(表1に審査員を示します)、なるべく各フェーズを一貫して審査してもらうのが良いと思っています。従って、フェーズに応じて審査員を変えてはおりません。

表1 有人安全審査会の審査員

	種別	分野	所属
	議長	全般	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
ISSプログラム関連部門 長または指名を受けたエ ンジニア	審査員	全般	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
	審査員	全般	有人宇宙ミッション本部 宇宙飛行士運用技術部
	審査員	全般	有人宇宙ミッション本部 有人宇宙技術センター
	審査員	全般	有人宇宙ミッション本部 宇宙船技術センター
	審査員	全般	有人宇宙ミッション本部 宇宙環境利用センター
	審査員	全般	宇宙科学研究所 ISS科学プロジェクト室
特定技術分野の専門家	審査員	システム安全	安全・信頼性推進部
	審査員	構造	構造フラクチャコントロールボード議長
	審査員	電気	日本宇宙フォーラム(元MHI)
	審査員	運用S&MA	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
	審査員	バッテリー	研究開発本部 電源グループ
	審査員	船外活動	NASA(必要に応じて依頼)
	審査員	毒性	NASA(必要に応じて依頼)
	審査員	機構	NASA(必要に応じて依頼)
	審査員	ソフトウェア	NASA(必要に応じて依頼)

○ハザード及びハザード原因の抽出手法に関する質問

【質問番号 3-1】FMEAによるハザード識別

【質問内容】

資料 7-1-4 では、FTA によるハザード識別と制御方法が記述されていますが、FMEA によるハザード識別は実施されたのでしょうか。

【資料の該当箇所】資料 7-1-2、p.9、資料 7-1-4 には該当する説明がない。

【回答者】JAXA

【回答内容】

FMEAによるハザードの識別も実施しております。FMEAで識別したハザードは、FTAで識別したハザードに含まれていました。これは、開発部門及び安全審査部門で確認しております。

【再指摘】

資料7-1-4で、具体的にどのハザードなのでしょうか。それが分かるように、FMEAによるハザード識別も(添付として)追加してください。

【回答】

FMEAの結果、ExHAMの不意な放出(UNQ-ExHAM-01)が識別されております。FMEAの結果を添付として追加します。

添付1 ;ハザード識別(3/4)

(2) FMEA (1/2)

品目	数量	機能	Critical Item	故障モード	原因	故障の影響		検知方法	発生時の処置	Category	分類した理由	対策
						Local	System					
シャフト/ナット	1	ラッチを開閉する プリロード機構を駆動する	NO	シャフト回転 不能	異物噛み込み 揺動部の固着	ラッチを開閉できない プリロードアームをハンド ホルドに押し付けでき ない	ExHAMをハンドホルド に固定できない ExHAMをハンドホルド から取り外せない	子アームの 回転数及 び電流リ ミット作動、 タッチインジ ケータ、プリロ ードインジケ ータ(値) 子アームの 故障と の分別不能	シャフトが回転しない 時は、ミッションの継 続を中止。 ラッチが中途半端に 掛かった状態で停止 した場合や、分厘時 に回転しなかった場 合はEVAが強制分離 機構でバックアップす る	3A	子アームが把持して いる限りはExHAMを 放出することはない	ExHAM-01 Control 1.2a, 1.2b-1, 1.2b-2 (プリロードメカニズムの一部とし て整理)
ラッチ機構	2	ハンドホルドを把持/解放 する	NO	把持不能/ 解放不能	シャフト部に異物噛み 込み シャフト部の焼き付き	ラッチを開閉できない	ExHAMをハンドホルド に固定できない ExHAMをハンドホルド から解放できない	把持時: タ ッチインジケ ータ 解放時: タ ッチインジケ ータ、子ア ームワーク 回転数、電 流リミット	把持不能時: 子ア ーム通過、EVAにて取 外し 解放不能時: 固定し たまま放置	3A	子アームが把持して いる限りはExHAMを 放出することはない	ExHAM-01 Control 1.1a, 1.1b
プリロード機構	1	軌道上荷重でのがたつきを 抑える 子アーム押込み後のZ軸回り 残留ミスマウントを修正 ボンディング機構の駆動	NO	バネ力が作 用しない	バネ破壊 (メカレターを適用する ことにより、破壊後も 荷重を受け持つため、 このモードは考慮せ ず。)	全バネ力が働かない と、プリロード力を作 用させることができ ない	ハンドホルドの固定が できない(ラッチでは把 持していても、構造とみな すことはできない) ハンドホルドに作用するプリ ロードを解放できない Z軸回りの残留ミスマウ ントを修正できない ボンディング機構を駆動で きない	—	圧縮バネが破壊して も荷重の低下はわず かなため、問題とな らない	3C	圧縮バネが破壊して も荷重の低下はわず かなため、問題とな らない	使用条件に対し十分なバネ強度 を確保する。圧縮バネを採用して いる
ボンディング機構	2	ExHAMとハンドホルド間のボン ディング	NO	ジャミング	異物噛み込み	ExHAM~R-ORU間のボ ンディングが取れない	帯電した場合に子アーム へ影響を及ぼす可能性 がある	—	冗長構成のため処置 不要	3C	帯電して子アームへ 影響があることを想 定 冗長構成	冗長構成
ラッチ解放機構	1	ExHAMを正常に固定できな かったり、或いは中途半端な 状態で取外しできなくなった 場合に、EVAによりラッチを 解放する	NO	ジャミング	異物噛み込み 揺動部の固着	ラッチを解放できない	ExHAMをハンドホルド から取り外せない	PGTで90度 回転できな い	ExHAM取外しを中断 し、テザー等にて浮 遊を防止する	3C	ExHAM取外しを中断 し、テザー等にて浮 遊を防止する	周囲をカバーしている 固体潤滑剤を適用

添付1 ;ハザード識別(4/4)

(2) FMEA (2/2)

品目	数量	機能	Critical Item	故障モード	原因	故障の影響		検知方法	発生時の処置	Category	分類した理由	対策
						Local	System					
プリロード解放機構	1	ラッチ解放機構/ボンディ ング解放機構作動前に、プリ ロード機構によるプリロード 力を解放する	NO	ジャミング	異物噛み込み 揺動部の固着	プリロードが解放できな い	ラッチ解放機構やボン ディング解放機構を作動 させることができます。EVA によるExHAM取外しがで きない	PGTで所定 の回転数回 転し、テザー 等にて浮遊 を防止する	ExHAM取外しを中断 し、テザー等にて浮 遊を防止する	3C	ラッチ機構/プリロ ード機構の故障時に使 用される機構であり、 単一故障はhazardに つながらない	周囲をカバーしている 固体潤滑剤を適用
RTLインジケータ	2	子アームによる押込み状態を 表示する	NO	ジャミング	異物噛み込み 揺動部の固着	子アームの押込み状態を 誤表示する	(押込み操作時) 誤ってRTL表示を出す と、結合できない状態で 結合動作を行う 誤ってNot RTL表示する と、押込み操作を何度も やり直すことになる (結合動作完了時) 結合がうまくいかなか った場合に誤ってRTL表 示すると、結合完了と誤判 断する 正常結合時にNot RTL表 示することはない	子アームの押 込み動作に 伴いNot RTL~RTL へ変化しな い時検知可 能 結合完了後 の誤表示は タッチイン ジケータで 検知可能 (結合動作完了時) 正常結合できなかつ たことはタッチインジケ ータで判別可能。誤り を適用し、最終的に 運用断念 安全化措置は不要	(押込み操作時) 誤ってRTL表示を出 した場合、左記の検 知方法で判別可能。 運用断念。 誤ってNot RTL表 示し続ける時は、押 付けを繰り返し、RTL にならない場合は運 用を断念する (結合動作完了時) 正常結合できなかつ たことはタッチインジケ ータで判別可能。誤り を適用し、最終的に 運用断念 安全化措置は不要	3A	RTLインジケータの 変化、またはタッチ インジケータとの 組合で判別 できるため、運用 断念すれば良く、ハ ザードではない	周囲をカバーしている 固体潤滑剤を適用
プリロードインジケータ	1	プリロードの作動状態を表示 する	NO	ジャミング	異物噛み込み 揺動部の固着	プリロードの作動状態を 誤表示する	ラッチ開時に誤ってプリロ ード完了と表示する場合は、 故障検知可能。 ラッチ閉時に誤ってプリロ ード完了と表示すると、結 合動作完了が判断でき ない。	タッチイン ジケータが 完了を示す 前に、プリ ロード完了 と表示する と検知可能	いずれの場合もミ ッション継続を断念す る。安全化措置は不 要。	3A	インジケータの故障が検 知できるか、或いは プリロード完了が判断 できない状態のた め、運用を断念す れば良く、ハザード ではない。	周囲をカバーしている 固体潤滑剤を適用
ラッチインジケータ	2	ラッチの開閉状態を表示す る	NO	ジャミング	異物噛み込み 揺動部の固着	ラッチの開閉状態を誤表 示する	ラッチ開時に誤ってラッチ 閉と表示すると、故障検 知が可能 ラッチ閉時に誤ってラッチ 開と表示すると、結合 動作完了を判断でき ない	プリロード インジケ ータがプリ ロード表示 前、ラッチ 閉と検知可 能	いずれの場合もミ ッション継続を断念す る。安全化措置は不 要。	3A	いずれの場合もミ ッション継続を断念す れば良く、ハザード ではない。	周囲をカバーしている 固体潤滑剤を適用
ツールフィクスチャ	1	子アームにて把持される	NO	—	—	—	—	—	—	—	—	製造元であるIAにおいてクリ ティカルアイテムがないことが解 析されている
エアロックアダプタ	1	子アーム取付部実験アダプ タ上でExHAMを固定する	NO	—	—	—	—	—	—	—	—	—

【質問番号 3-2】標準ハザードと網羅性について

【質問内容】

標準ハザードの項目は、1月14日の小委員会の際に多くの委員の質問にもあったが、特殊ケースの修飾語が付いている項目が多く、網羅性に関して“標準”というには違和感がある。実際、ほとんどのハザードはこれで網羅される旨の説明がありましたが、資料 7-1-4 の 5 ページによれば、ExHAMで対応があるのは 16 項目中 3 個のみで、該当なしが 10 個、関連したユニークな項目が 3 個となっており、別のユニークなものが 1 つある。

この標準ハザードの項目は国際間合意文書である SSP30599 に基づいているので、本小委員会の所掌を超えるが、その内容説明が簡略化されたために誤解が生じているのか、あるいは、網羅性を担保するものが別にあるのでしょうか。

【資料の該当箇所】資料 7-1-2、p.10、資料 7-1-4、p.5

【回答者】JAXA

【回答内容】

標準ハザードが定義された経緯からご説明します。

日本がスペースシャトルを利用した宇宙実験を開始した頃(1990年代)には、標準ハザードはなく、全てのハザードを個別にハザードレポート(現在のユニークハザードレポート)を起草していました。

多くの安全審査を進める中で、様々な機器に対して、共通的なハザードの制御、検証が多くあることがわかってきました。

そこで、NASAは、共通的なハザードを個別に審査するのではなく、「標準ハザード」としてハザードの識別、制御、検証を定型化し、審査の効率化を図ることにしました。これにより、ハザードは現在の「標準ハザード」と「ユニークハザード」の2種類に分類されました(日本では2004年頃から実験装置で標準ハザードを使用し始めました。JEMシステム品は既に従来の形式でハザードレポートを作成済だったため、標準ハザードは適用しませんでした。)

つまり、「標準ハザード」はもともと網羅性を目指して作られたものではなく、安全審査を効率的に実施するためのものです。

開発側にとっても、個別にハザードの制御・検証方法を設定する必要がなく、予め設定された選択肢から選べば良いので、負担が軽減されます。

ハザード識別の網羅性は、FTA、FMEA、標準ハザードなどの手法を組み合わせることで実施することにより担保しています。標準ハザードは主にチェックリスト的な使い方をしており、ハザードの識別の漏れを防ぐ手段の一つとしています。

○抽出されたハザード及びハザード原因への対処に関する質問

【質問番号 4-1】ラッチインジケータによる目視確認

【質問内容】

③制御では、プリロード機構及びラッチ機構の把持状態を表示するインジケータによる目視確認(運用制御)

とあります。これは、取り付け時に行ない、後は確認しないのでしょうか。定期的に確認するのでしょうか。それとも、1回確認すれば、その後は大丈夫と検証されているのでしょうか。

【資料の該当箇所】資料 7-1-4、p.8 5. 特徴的な制御方法により検証した事項

【回答者】JAXA

【回答内容】

上記インジケータの目視確認は取付時のみ実施します。その後の確認はしません。

これは、ExHAMをハンドホールドに取り付けた後は、以下に示す不意な放出を防ぐ制御があり、検証されているためです。取付後の不意な放出については、p.19、添付2 安全解析結果(2/4)の「ハンドホールド捕捉後のExHAMの不意な放出」に記載しております。このハザード原因に対しては、以下のハザード制御を用います。

1. ExHAMがハンドホールド捕捉後、20kgfのプリロードを加える。(図-1参照)
2. 2次緩み止め機構を適用する。(図-2参照)

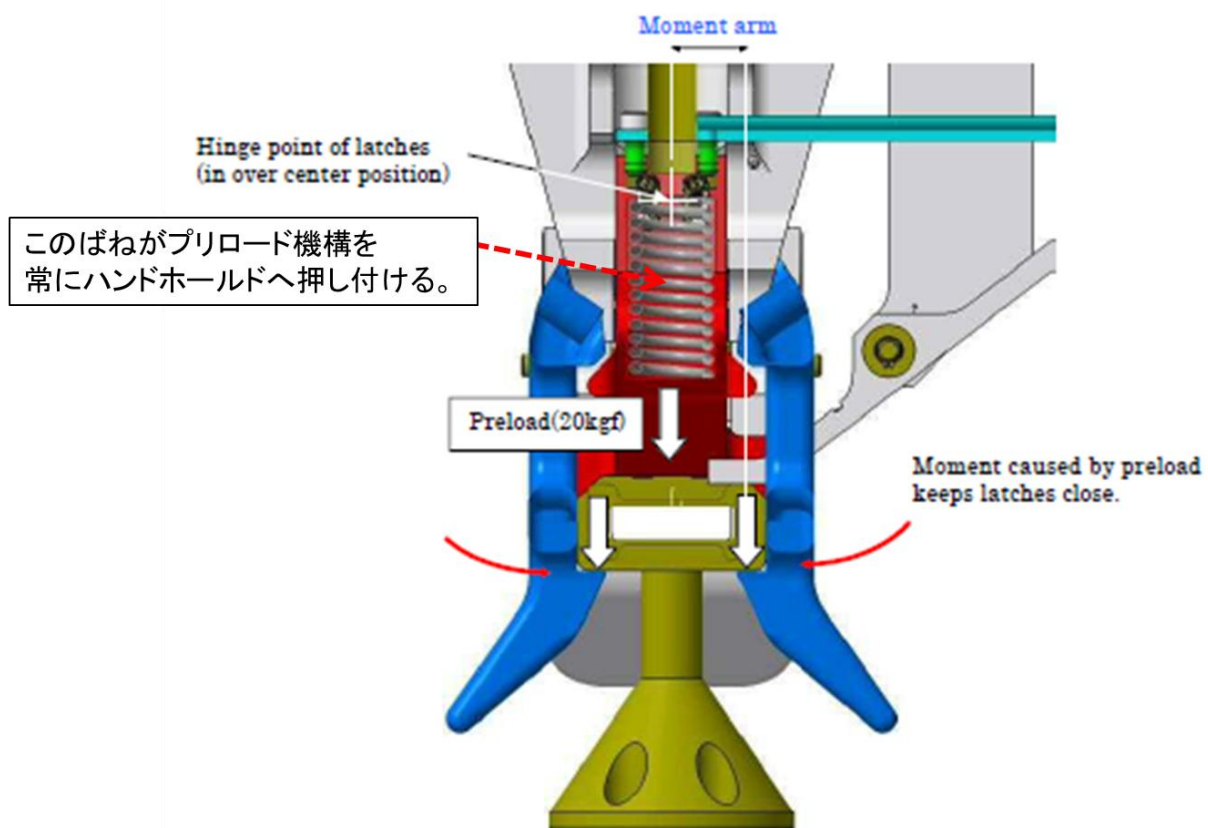
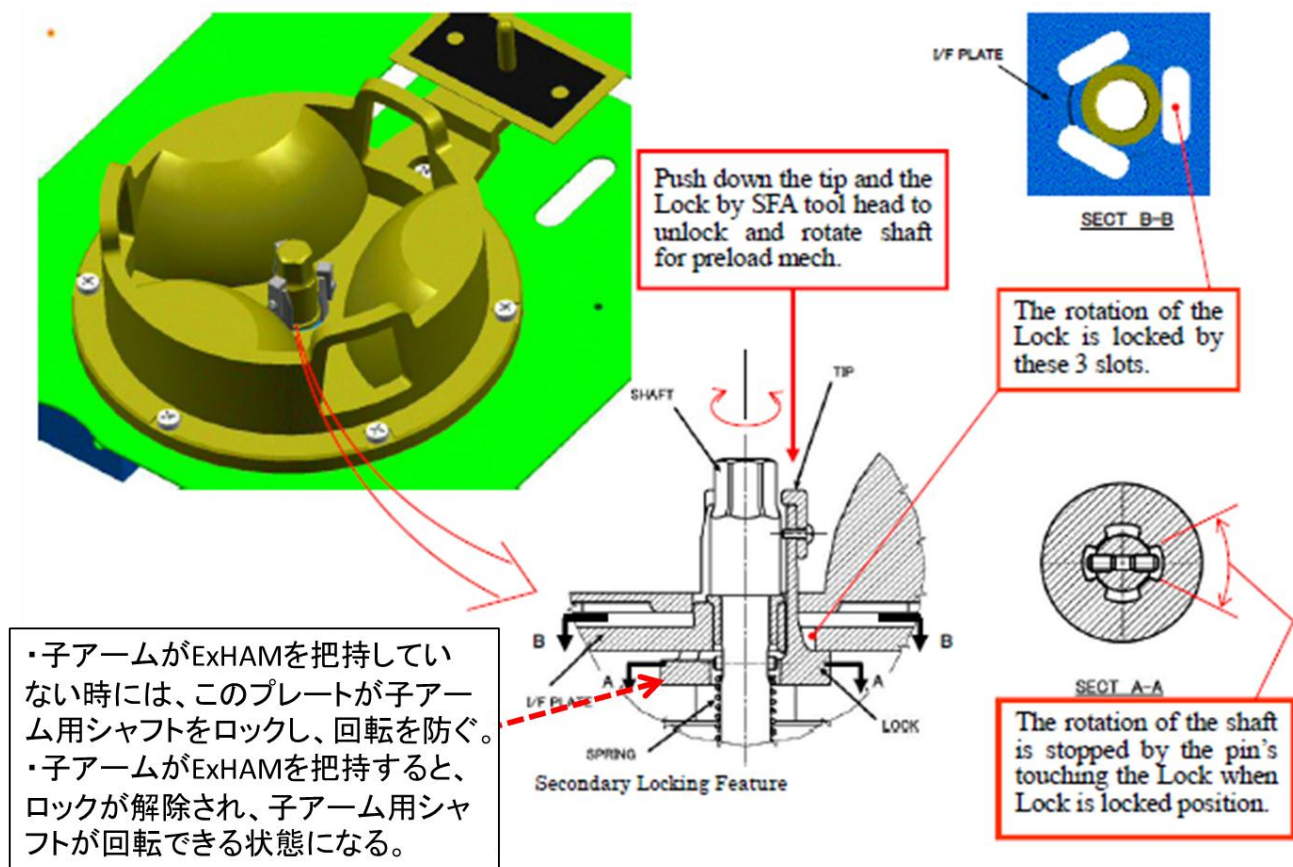


図-1 プリロード機構



図—2 2次緩み止め機構

【質問番号 4-2】ExHAMまたはハンドホールドの構造破壊について

【質問内容】

「キック荷重が付加された場合、破壊するのは2つあるブラケットの内の1つのみ。(ExHAMが外れて飛んでいくことはない。)」と説明されている。「ExHAMが外れて飛んでいくことはない。」と結論するためには、次の2つが確認されることが必要である。

- ・ブラケット1つは強度余裕があること(確認され説明されている)。
- ・キック荷重が加わってもラッチが外れないこと。

後者が確認されているから上記の通りの結論を導いているものと推測するが、説明資料の図では、ラッチ機構の詳細なメカニズムがわからないこと、文章による説明もないことから、資料では確認できない。この点について補足説明をお願いしたい。

【資料の該当箇所】資料 7-1-4、p.9, 10, 20 他

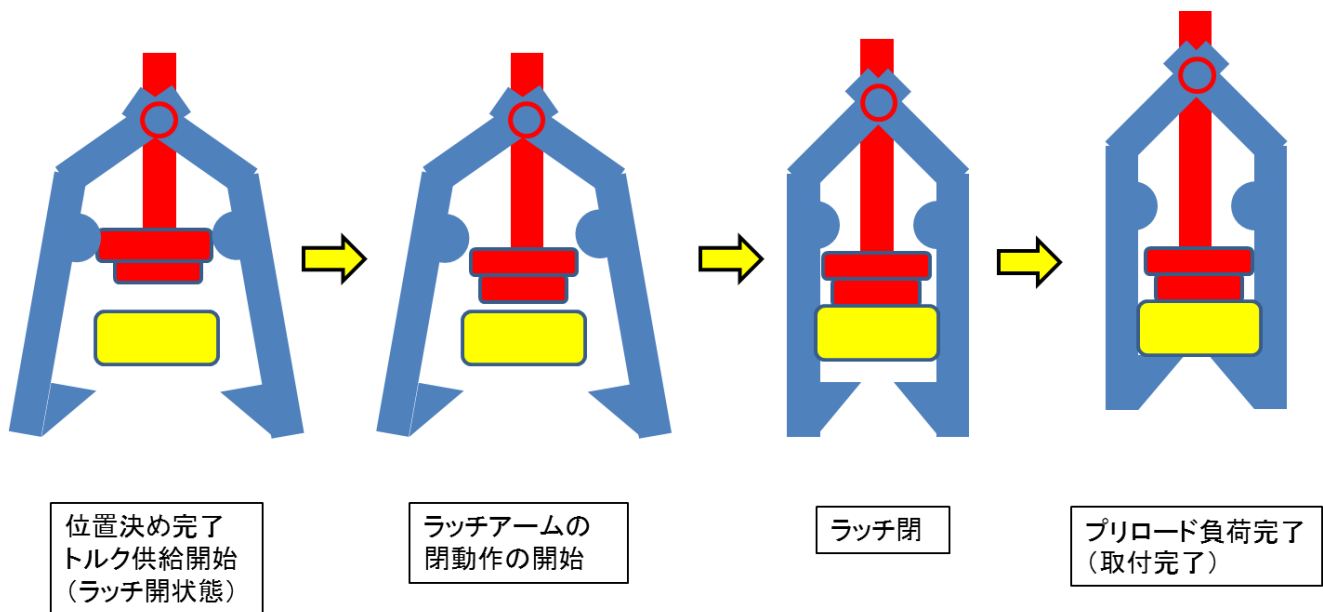
【回答者】JAXA

【回答内容】

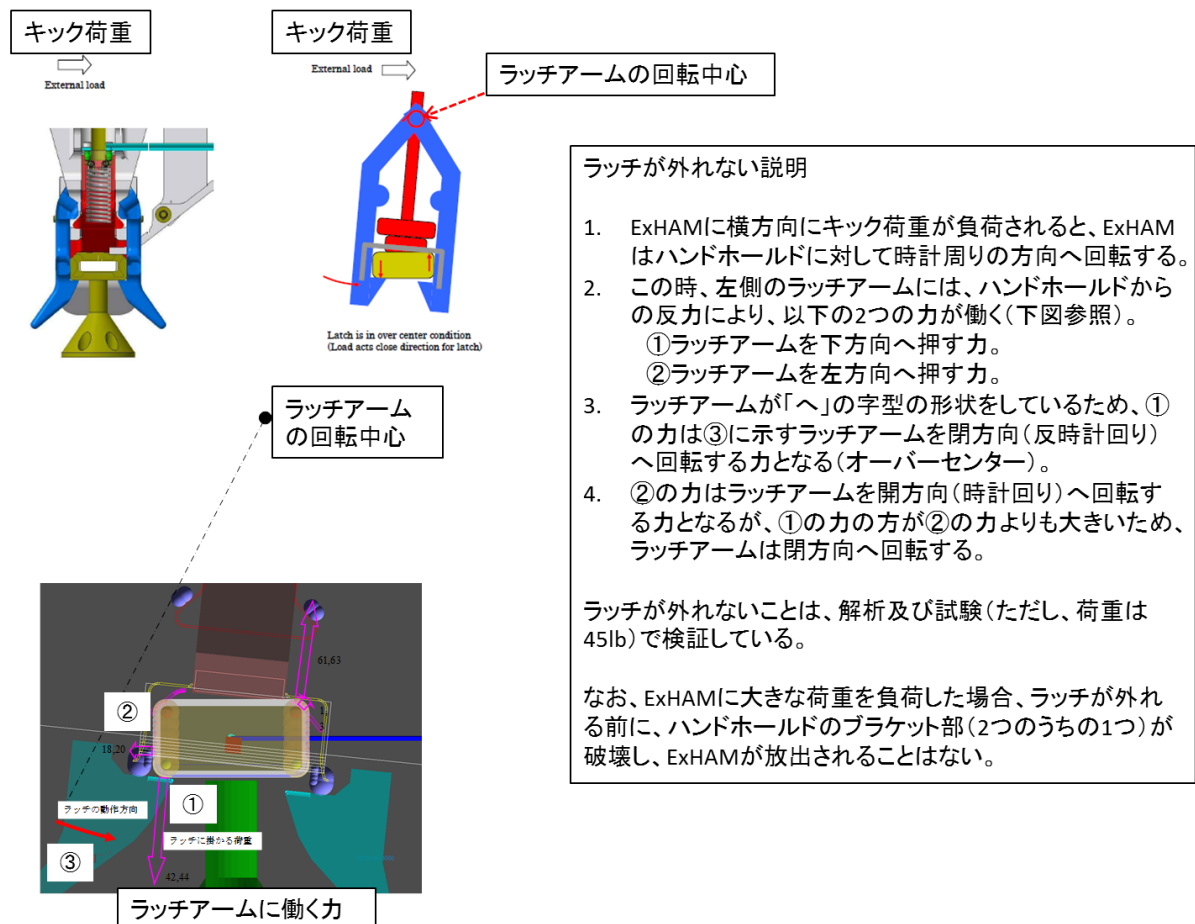
ExHAMの取付手順の詳細を説明します。図-1を併せてご参照ください。

1. ラッチアームが開の状態、子アームによりExHAMがハンドホールドを把持できる位置へ位置決めします。
2. ExHAMが所定の位置に位置決めされ、ラッチ動作を開始できることを、RTLインジケータを使用して確認します。
3. 子アームによりExHAMの子アーム用シャフトにトルクを供給します。これにより、子アーム用シャフトが回転し、プリロード機構が下方へ移動します。
4. ラッチアームはバネによりラッチアームが閉じる方向に負荷されています。プリロード機構とラッチアームの接触部がガイドとなっており、プリロード機構が下方へ移動することにより、ラッチアームが閉じる方向へ動作します。
5. プリロード機構が所定の位置まで下がると、ラッチアームがハンドホールドを挟み込みます。
6. ラッチアームが閉状態になったことを、ラッチインジケータを使用して確認します。
7. さらに子アームによりトルクを供給し、プリロード機構を下方へ下げます。
8. 必要なプリロードが負荷されていることを、プリロードインジケータを使用して確認します。
9. 以上でExHAMの取付が完了します。

ラッチ機構はオーバーセンター構造になっています。ExHAMをハンドホールドに取り付けた状態でキック荷重が負荷されると、ラッチは閉じる方向になります(図-2参照)。このため、ラッチが外れることはありません。



図—1 ExHAM の取付手順



図—2 ラッチ機構のオーバーセンター構造

【質問番号 4-3】熱解析結果の内容

【質問内容】

資料 7-1-4、11 ページの表で、上部に記述されている「熱解析結果を確認した」というのは何を確認したのでしょうか。例えば、待ち時間が適切な値になる事を確認したのでしょうか。

【資料の該当箇所】資料 7-1-4、p.11

【回答者】JAXA

【回答内容】

船外から船内(エアロック)へ持ち込んだExHAMの温度が、エアロック内で保管することでクルーの接触温度範囲(-18~+49℃)に入るまでに要する時間が最悪ケースで18.8時間であり、運用上実現可能な時間であることを確認しました。

【質問番号 4-4】使用材料に関する記述方法

【質問内容】

資料 7-1-4、7 ページ、No. 7(船内空気の汚染)に対する制御に関しては、付表-1 の 3/10 ページの「有害物質の放出防止」のように記述するのが適切と思う。

また、No.6 については、付表-1 の中に該当する項目がないが、同様。

【資料の該当箇所】資料 7-1-4、p.7、付表-1、p.3/10

【回答者】JAXA

【回答内容】

該当部は標準ハザードとして定型化された制御であり、標準ハザードに記載された制御方法を記載しております。

補足説明として、下記を追記させていただきます。

1. 船内空気の汚染 (No.7)

ISSで規定された選定基準(「きぼう」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を選定する。

非金属からのオフガスについては、少量かつ使用実績のある材料を用い、オフガス発生量をISSで設定される基準レベル内とする。

2. 火災 (No.6)

ExHAMIに使用する材料は、可燃性のレーティングが低い材料から選定する。

資料7-1-4, p.7の改訂案を添付します。

4. 標準的な制御方法により検証した事項

標準 ハザード 番号	タイトル	想定されるハザード	制御	検証
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。 ^{*1}	材料使用リスト(MIUL; Material Identification and Usage List)を審査し、承認した。
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クルー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。 ^{*2}	材料使用リスト(MIUL; Material Identification and Usage List)を審査し、承認した。
15	クルー退避時の障害	機器が障害となり、緊急時のクルーの退避を阻害する恐れがある。	クルーの緊急時の退避経路を阻害しないエンベロープとする。	ExHAMのエンベロープが規定値以内に収まることを確認した。

*1; ExHAMに使用する材料は、可燃性のレーティングが低い材料から選定する。

*2; ISSで規定された選定基準(「きぼう」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を選定する。非金属からのオフガスについては、少量かつ使用実績のある材料を用い、オフガス発生量をISSで設定される基準レベル内とする。