

# 国際宇宙ステーション(ISS)に提供する実験装置 (汎用宇宙曝露実験用ハンドレール取付機構 (ExHAM))に関する安全審査結果について

平成26年1月28日(A改訂)  
平成26年1月14日

独立行政法人  
宇宙航空研究開発機構

## A改訂内容

- ①標準ハザードの制御方法の補足説明を追記(p.7)
- ②ハザード識別としてFMEAを追加(p.4,15,18,19)

ExHAM;  
Exposed Experiment Handrail Attachment Mechanism

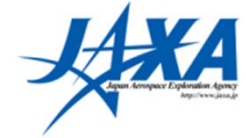
## 説明者

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

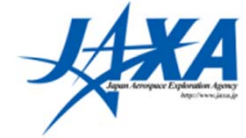
---



1. 目的
2. 審査経緯
3. 審査結果
4. 標準的な制御方法により検証した事項
5. 特徴的な制御方法により検証した事項
6. 結論

# 1. 目的

---



JAXAによる安全審査プロセス(資料7-1-2)を実際のシステムに適用した事例として、JAXAが行った汎用宇宙曝露実験用ハンドレール取付機構(ExHAM)に対する安全審査の結果を示す。

## 2. 審査経緯



JAXAは、ExHAM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25年4月に終了した。

	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23年9月30日	平成24年2月7日
フェーズ2 (詳細設計終了時)	平成24年8月21日	平成25年1月29日
フェーズ3 (認定試験終了時)	平成25年2月14日	平成25年4月16日

### 3. 審査結果(1/3)



(I) 有人安全審査会において下記を確認した。

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)
  - 識別されたハザードを次ページに、**ハザード識別**を添付1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)
  - 安全解析結果を添付2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4章及び5章に示す。

(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・了承した。

以上によりJAXAとしての、汎用宇宙曝露実験用ハンドレール取付機構(ExHAM)の安全審査プロセスを完了した。

### 3. 審査結果(2/3)－標準ハザード



識別されたハザード及びその審査結果を以下に示す。(安全解析結果の概要は添付2を参照。)

ハザード番号	標準ハザード*1	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)	ユニークHR:ExHAM-02で評価
2	シールを有する圧力機器の破損	該当なし
3	ベントポートを有する機器の破損	該当なし
4	鋭利端部への接触、挟み込み	ユニークHR:ExHAM-04で評価
5	ガラス破損	該当なし
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
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	該当なし
9	電池の破裂/漏えい	該当なし
10	高/低温部への接触	ユニークHR:ExHAM-03で評価
11	電力系の損傷	該当なし
12	発火源の有無(シャトル打ち上げの場合)	該当なし
13	回転機器(循環ポンプ、ファン)の破損	該当なし
14	電力コネクタ着脱時の感電	該当なし
15	クルー退避時の障害	検証結果が妥当であることを確認した
16	水銀による船内空気の汚染	該当なし

\*1;標準ハザード:標準化された方法で制御が可能なハザード。

### 3. 審査結果(3/3)－ユニークハザード



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。

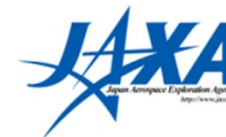
ExHAMは、以下の特徴を有するため、それに対応したユニークハザードを識別。

- ✓ 「きぼう」ロボットアームを使用して取付／取外しを行う。
- ✓ 船内及び船外の両方で運用する。

	ユニークハザード	結果
1	ハンドホールドからのExHAMの不意な放出 (UNQ-ExHAM-01)	検証結果が妥当であることを確認
2	ExHAM又はハンドホールドの構造破壊 (UNQ-ExHAM-02)	同上
3	高温/低温部への接触 (UNQ-ExHAM-03)	同上
4	鋭利端部への接触 (UNQ-ExHAM-04)	同上

上記ユニークハザードについて、5項で説明する。

## 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。 <sup>*1</sup>	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。 <sup>*2</sup>	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。



# 5. 特徴的な制御方法により検証した事項



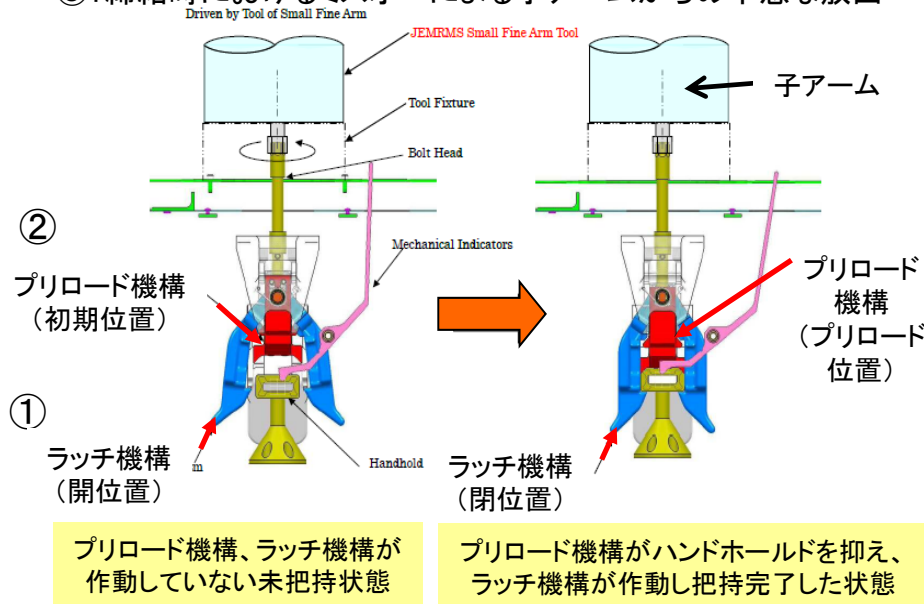
## UNQ-ExHAM-01: ハンドホールドからのExHAMの不意な放出

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

• ハンドホールドからのExHAMの不意な放出により、ExHAMが浮遊し、ISS、「きぼう」もしくはEVAクルーと衝突し損傷/死傷させる。

【ハザード原因】

- ①: 締結時におけるラッチ機構の故障
- ②: 締結時におけるプリロード機構のジャミング
- ③: 締結時におけるミスオペによる子アームからの不意な放出

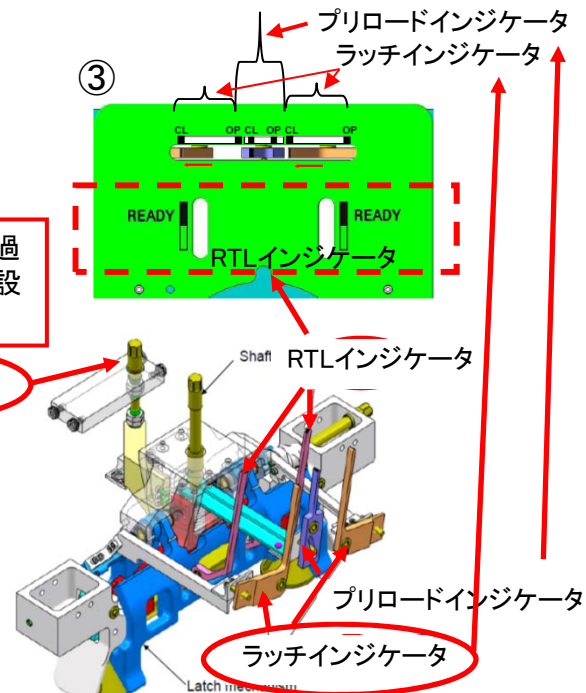


プリロード機構、ラッチ機構が作動していない未把持状態

プリロード機構がハンドホールドを抑え、ラッチ機構が作動し把持完了した状態

安全審査φ01の過程で、EVA対応設計に変更した。

EVAシャフト



【制御方法、検証方法】

ラッチインジケータは当初は1つだったが、安全審査φ01の過程で、2つに設計変更した。

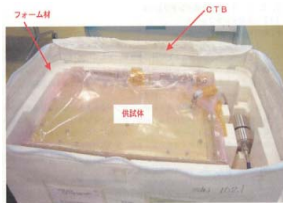
制御	検証
①-1, ②-1 ISS共通の要求に基づく機構設計 (1故障許容相当)	①-1, ②-1 解析及び試験結果(機能、ランダム振動、熱真空、寿命)を確認
①-2 ラッチ不良時には子アームによりラッチ機構を再解放し、その後船内へ持ち帰る (運用制御)	①-2, ②-2, ③ 運用制御合意文書を確認
②-2 プリロード機構のジャミング時は、EVAクルーによりプリロード機構を解放し、その後、船内へ持ち帰る (運用制御)	②-2, ③ 機構解析、機能試験、現品確認の結果を確認
③ プリロード機構及びラッチ機構の把持状態を表示するインジケータによる目視確認 (運用制御)	③ 視野解析結果を確認

## 5. 特徴的な制御方法により検証した事項

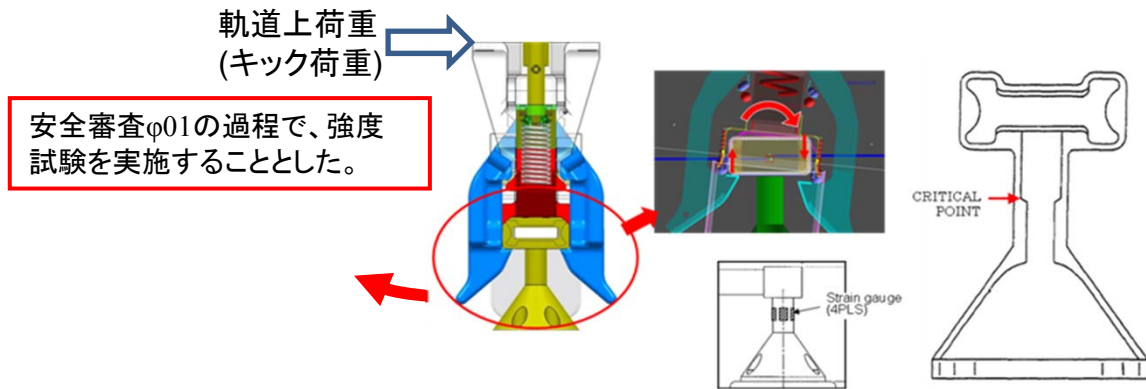
### UNQ-ExHAM-02: ExHAMまたはハンドホールドの構造破壊(1/2)

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

- 打上げ荷重/軌道上荷重の負荷によりExHAM、ハンドホールドもしくはハンドホールドインタフェースの構造破壊、ExHAMの把持開放によりそれらが浮遊し、ISS、「きぼう」もしくはEVAクルーと衝突し、損傷/死傷させる。



打上げ用バッグに梱包された状態で打ち上げられ、打上げ荷重を受ける



#### 【制御方法、検証方法】

制御	検証
<p>• ハンドホールド/ハンドホールドインタフェースの強度に関する強度解析、強度試験を行う。 EVAキック荷重に対しては、不適合報告書(NCR)の承認を得る(次ページ参照)。</p>	<p>• 構造解析及び強度試験結果を確認、構造検証計画を承認。不適合報告書(NCR)が承認されたことを確認。</p>
<p>• ExHAMの打上げ荷重に対して、安全係数1.5(降伏)、2.0(終極)を、軌道上荷重に対して、安全係数 1.25(降伏)、2.0(終極)を適用した構造設計を行う。 • ISS要求を満たす材料を使用する。 • フラクチャコントロール計画及びファスナコントロール計画を作成する。 • 軌道上で取り付けるファスナについては、トルク管理を手順書に記載する(運用制御)。</p>	<p>• 構造解析、現品確認の結果を確認、構造検証計画を承認、図面を確認。  • 材料リスト(MIUL)及び材料使用合意書(MUA)を承認。 • フラクチャコントロールステータスレポート/サマリレポートを承認、ファスナの図面確認、現品確認の結果を確認。 • 図面確認、現品確認、運用制御合意文書を確認。</p>

## 5. 特徴的な制御方法により検証した事項

### UNQ-ExHAM-02: ExHAMまたはハンドホールドの構造破壊(2/2)



宇宙飛行士の船外活動(EVA)中のキック荷重が負荷された場合、ハンドホールドのブラケットの強度余裕が負となり、要求を満足しない(詳細は添付5参照)。これについては、以下により受入可能と判断した。

#### ●受入根拠

- (1)ハンドホールドのブラケットは2つあり、破壊するのは1つのみ(ハンドホールドが破断しExHAMが外れて飛んでいくことはない)。
- (2)使用するハンドホールドはEVAクルーの移動経路ではない(図3-1)。
- (3)EVAクルーによるExHAMの解放時には、EVAクルーの姿勢から、キック荷重は負荷される恐れはない(図3-2)。
- (4)手順書でクルーに注意喚起する。

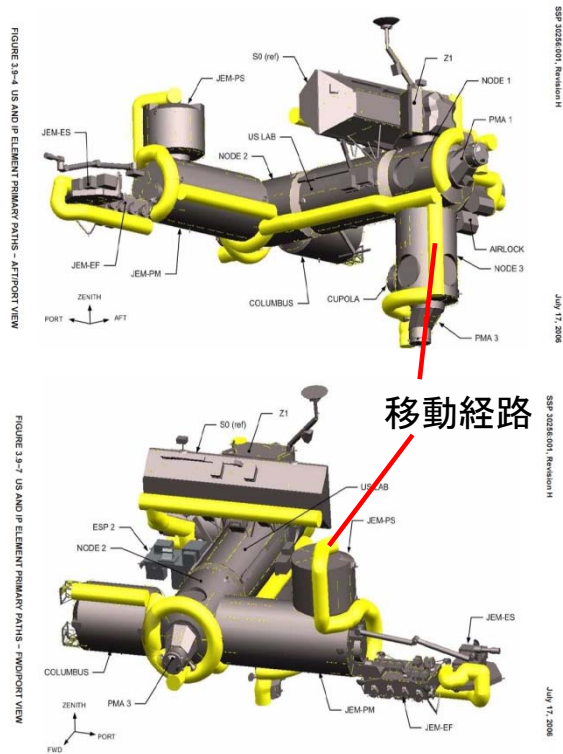


図3-1 EVAクルーの移動経路

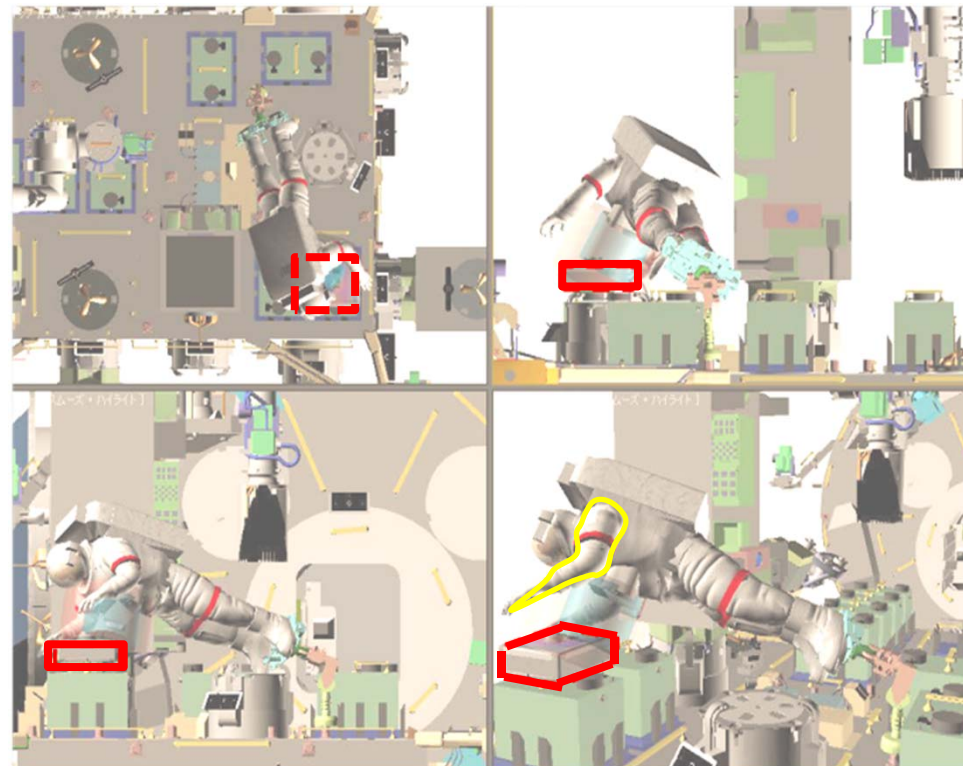


図3-2 ExHAMの解放時のクルー姿勢

## 5. 特徴的な制御方法により検証した事項 UNQ-ExHAM-03: 高温／低温への接触



【想定されるハザード】: クリティカルハザード(搭乗員の負傷)

- ExHAMの接触温度範囲超過により、クルーを負傷させる
- (1)クルーがExHAMを「きぼう」曝露部からエアロック経由で船内へ移送する際、軌道上環境によりExHAMがクルー接触温度範囲(IVA: -18°C~49°C、EVA: -118°C~113°C)を逸脱する
- (2)不適切な設計・製造によりクルー接触温度範囲を逸脱する

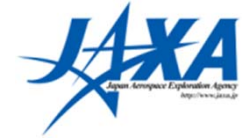
【制御方法、検証方法】:

制御	検証
<ul style="list-style-type: none"> <li>•ExHAMをエアロック経由で船内に移設する際に、ExHAMの温度がIVAクルー接触温度範囲内になる待ち時間を設定</li> <li>•IVAクルーはExHAMが許容温度範囲内になる待ち時間を過ぎてからハッチをオープンする(運用制御)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•熱解析結果を確認した</li> <li>•運用制御合意文書を確認した</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>•EVAで許容される表面温度範囲内であることを確認する。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・偶発的な接触: -118°C~+113°C</li> <li>・意図的な接触: -42.8°C~+62.6°C</li> </ul> </li> <li>・上記を満足しない場合、Heat rateが許容値以下であることを確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•熱解析結果の確認を行った。結果EVAボルトとマイクロコニカルフィッティングの温度が許容範囲を逸脱したが、Heat rateの解析結果、EVAボルトとマイクロコニカルフィッティング共に許容値以下であることを確認した</li> </ul>

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. 特徴的な制御方法により検証した事項 UNQ-ExHAM-04: 鋭利端部への接触(1/2)



- 【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード(ISS、「きぼう」の損傷/搭乗員の死傷)
- ExHAM外表面に鋭利端部があると、クルーが接触した場合、クルーを損傷させる

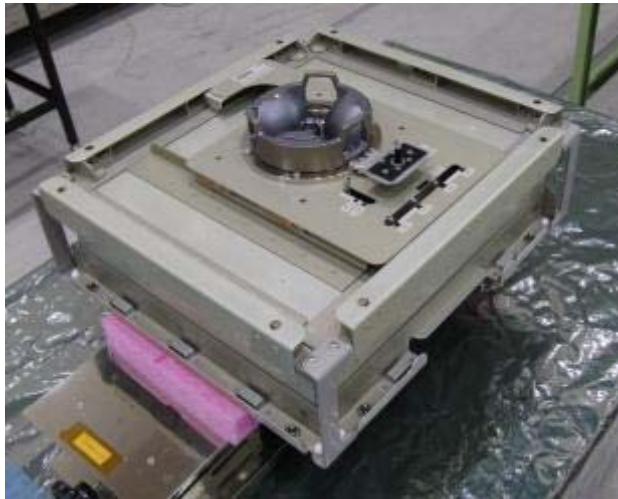


図1-1 ExHAM天頂部



図1-2 ExHAM下面部

### 【制御方法、検証方法】

制御	検証
<ul style="list-style-type: none"> <li>•ISS共通要求に基づく設計 (ラッチアームの鋭利端部については、次ページ参照)</li> <li>•ラッチアームの鋭利端部を接触禁止エリアとする(運用制御)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•図面確認、現品確認、強度試験及び寿命試験後の現品確認、接触試験、不適合報告書(NCR)が承認されたことを確認。</li> <li>•運用制御合意文書を確認。</li> </ul>

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. 特徴的な制御方法により検証した事項 UNQ-ExHAM-04: 鋭利端部への接触(2/2)

ラッチアームの一部が鋭利端部の要求を満足できない(図4-1)。これについては、下記により受入可能と判断した。

### ●受入根拠

- (1)ロボットアームによるExHAM取外し作業に失敗した場合のみ、クレーによる船外活動が必要になる。取り外されたExHAMはバッグに保管されるため、鋭利端部にクレーが触れるおそれはない。
- (2)ラッチアームの鋭利端部は、クレーの触れにくい位置にある(図4-1)。
- (3)鋭利端部をクレーの接触禁止エリアとして識別する(図4-2)。
- (4)ラッチアームの接触がハンドホールドに鋭利端部を生じさせないことを試験により確認している。

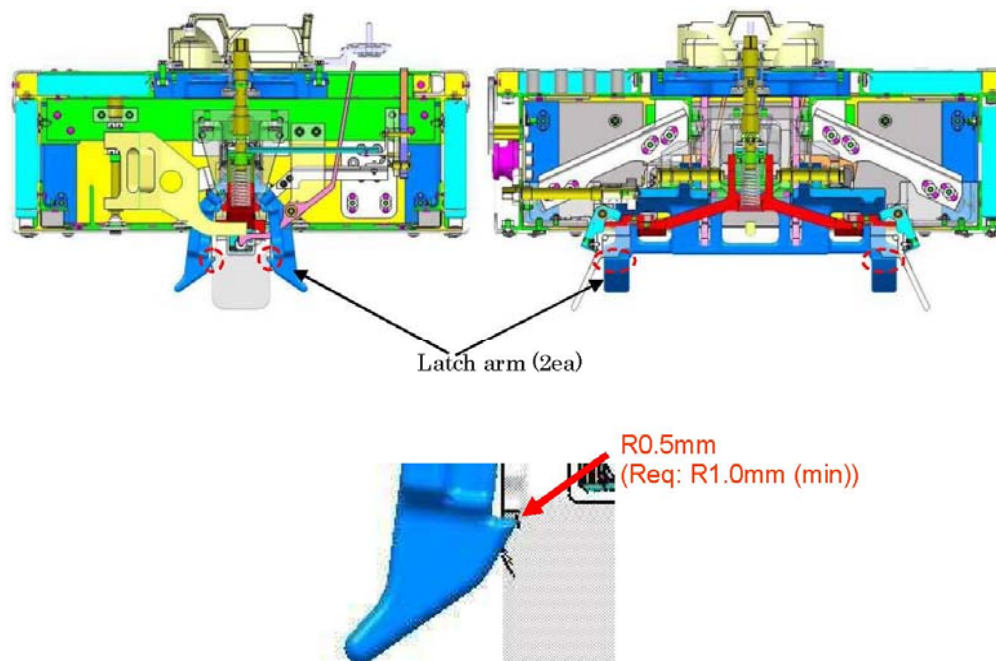


図4-1 鋭利端部

クレーの接触禁止エリアとして設定

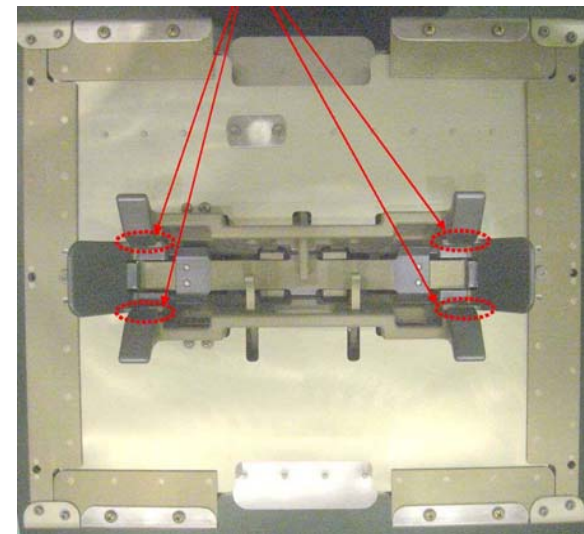
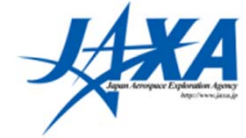


図4-2 接触禁止エリア

## 6. 結論

---



JAXAは、汎用宇宙曝露実験用ハンドレール取付機構 (ExHAM)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。