

Japanese Experiment Module



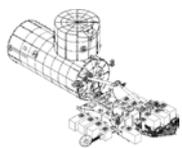
安全 1-1-3

# 国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM) 実験装置に関する安全検証結果について (ポート共有実験装置(MCE))

平成24年1月10日

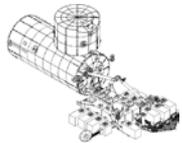
宇宙航空研究開発機構

JEM : Japanese Experiment Module (「きぼう」はJEMの愛称)  
MCE: Multi-mission Consolidated Equipment



# 目次

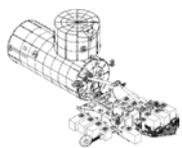
1. はじめに	2
2. 経緯	3
3. 宇宙開発委員会における安全審議状況	4
4. 安全審査体制	5
5. 安全解析の方法	6
6. JAXA及びNASAにおける審査経緯	8
7. ハザード制御の有効性の確認	9
8. 安全設計・検証結果	10
9. 運用への準備等	28
10. 結論	30
付表-1 基本指針に対する全体検証結果	
付表-2 JAXA有人安全審査会で審査したMCEハザードレポート	
付図-1 安全設計の流れ	
付図-2 MCE ハザードFTA	



# 1. はじめに

国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」(JEM) に搭載される日本の実験ペイロードであるポート共有実験装置 (MCE: Multi-mission Consolidated Equipment) の安全検証が終了したので報告する。

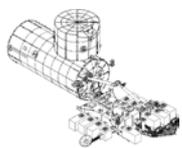
ISS : International Space Station  
JEM : Japanese Experiment Module



## 2. 経緯

- 宇宙開発委員会の安全評価部会は、平成8年4月に「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」(以下「基本指針」という。)を取りまとめ、宇宙開発委員会に了承された。
- 基本指針に基づき、宇宙開発事業団(NASDA 当時)はJEMの安全設計について報告し、平成11年7月の安全評価部会で審議、了承された。その結果は「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)」(以下「JEM安全設計(報告)」という)として取りまとめられ、宇宙開発委員会に報告・了承された。
- NASDA(当時)は、JEM安全設計(報告)のとおりJEM主要構成要素(ICS及びBDSを除く)の検証が終了したことを受け、平成14年12月に「国際宇宙ステーションの日本の実験棟の安全対策(報告)」(以下「JEM安全対策(報告)」という)として安全部会に報告し、この結果を安全部会は、宇宙開発委員会に報告した。
- NASDA(当時)は、実験装置である、流体実験(RYUTAI)ラック、細胞実験(SAIBO)ラック、SEDA-AP及び温度勾配炉ラックの安全設計について、JEM基本指針に基づき、それぞれ平成13年12月、平成15年7月に安全部会に報告した。
- JEM安全対策(報告)時に製造が未完了であった、ICS、BDS、PROX、SAIBOラック及びRYUTAIラックについて平成19年1月に、MAXI、SEDA-APについては平成20年9月、SMILESについては平成21年5月、温度勾配炉ラック及び多目的実験ラックは平成22年12月にそれぞれ安全検証結果を安全部会に報告した。
- 今般、ポート共有実験装置の安全検証結果について報告する。

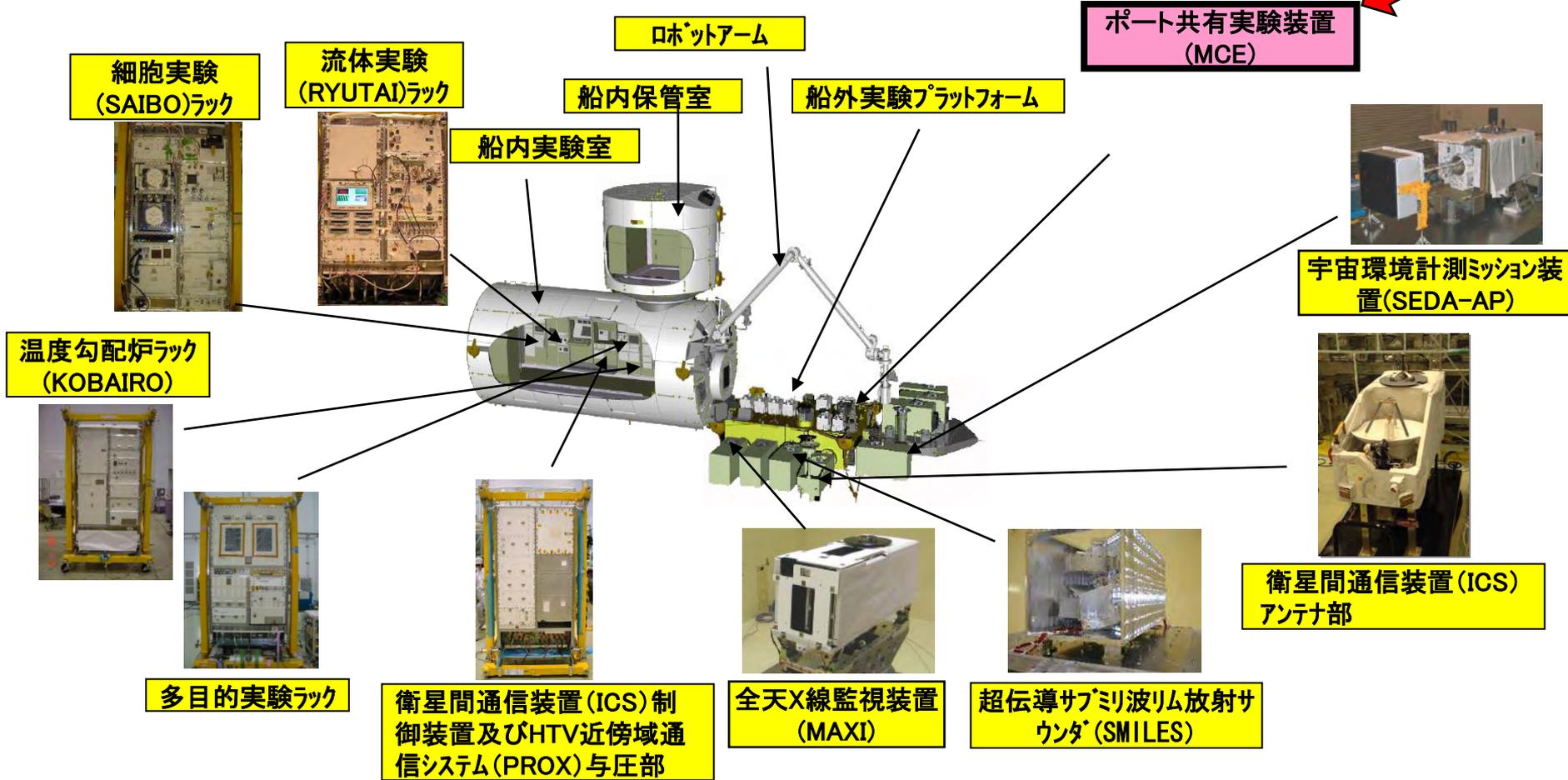
NASDA: National Space Development Agency of Japan  
ICS: Inter-orbit Communication System  
BDS: Backup Drive System  
PROX: HTV Proximity Communication System  
MAXI: Monitor of All-sky X-ray Image  
SEDA-AP: Space Environment Data Acquisition equipment - Attached Payload  
SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder  
HTV: H-II Transfer Vehicle



# 3. 宇宙開発委員会における安全審議状況

Japanese Experiment Module

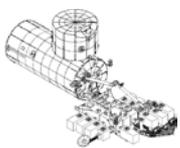
本資料の報告対象は、下記の太枠で示した要素である。JEMシステム(船内実験室、船内保管室、ロボットアーム、船外実験プラットフォーム、衛星間通信装置)及び実験装置である流体実験ラック、細胞実験ラック、MAXI、SEDA-AP、SMILES、温度勾配炉ラック、多目的実験ラックについては安全検証結果を報告し了承されている。



今回の報告対象



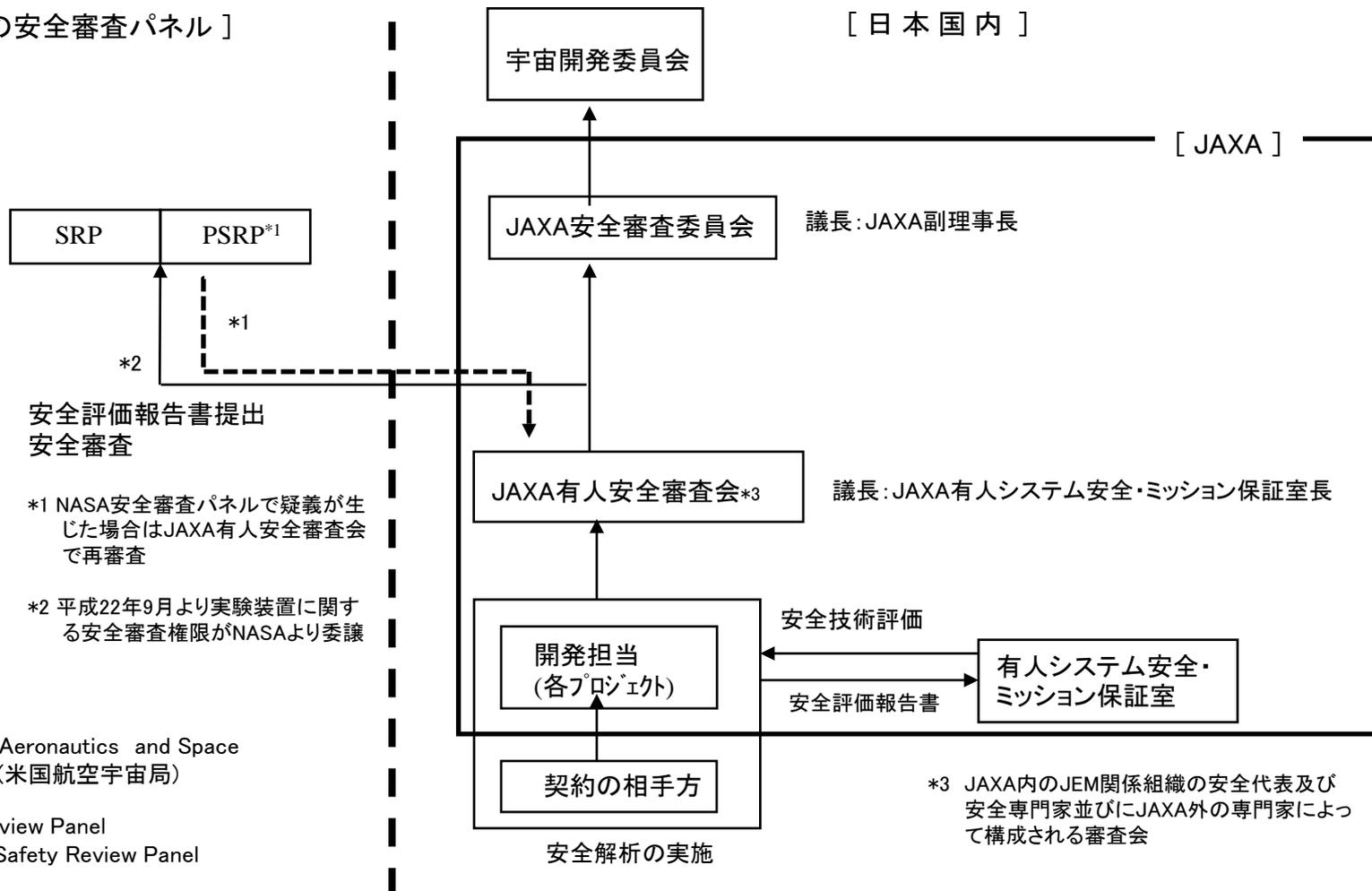
安全調査審議が完了している部位



# 4. 安全審査体制

[NASAの安全審査パネル]

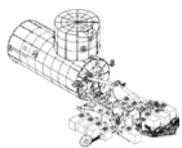
[日本国内]



NASA: National Aeronautics and Space Administration (米国航空宇宙局)

SRP: Safety Review Panel  
PSRP: Payload Safety Review Panel

図4-1 NASA及び日本国内における安全審査体制



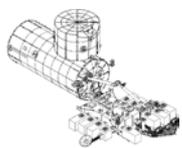
## 5. 安全解析の方法 (1/2)

- 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安全設計及び安全対策の前提となるプロセスである。
- 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(付図-1参照)。

- 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。
- ハザードの被害の度合いは、以下のようなカテゴリーに分類している。

### 【被害の度合い】

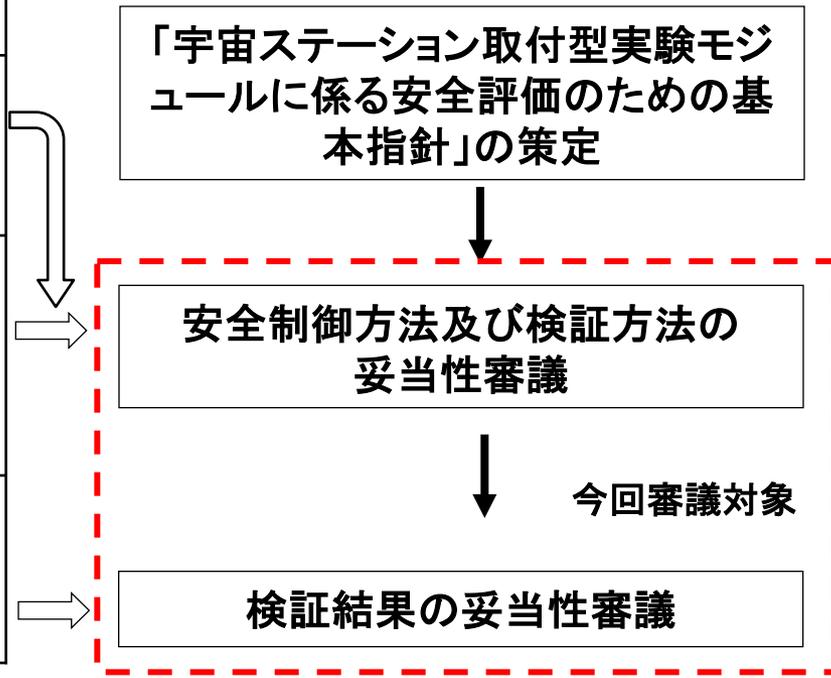
- I カタストロフィック(2故障許容設計相当)  
能力の喪失に至る傷害又は致命的な人員の喪失となり得る状態
- II クリティカル(1故障許容設計相当)  
重度な人員の傷害・疾病をもたらす状態
- III マージナル  
軽度な人員の傷害・疾病をもたらす状態



# 5. 安全解析の方法 (2/2)

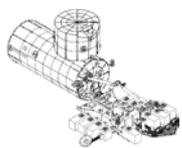
JAXAはハザードを網羅的に識別し、その制御方法を設定し、判断の妥当性を検証する一連の作業を行っている。

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	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ハザード識別法、識別結果の確認</li> <li>2. 適用すべき安全要求の識別結果の確認</li> </ol>
フェーズ I	基本設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>2. ハザード制御方法の妥当性の評価</li> <li>3. 検証方法の確立が妥当かの評価</li> </ol>
フェーズ II	詳細設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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</li> <li>3. 検証方法の詳細が設定されていることの確認</li> </ol>
フェーズ III	認定試験終了時	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 製品が全ての安全要求に合致していることの確認</li> <li>2. 検証が終了したことの確認</li> <li>3. A/Iがすべてクローズしていることの確認</li> </ol>



[ JAXA及びNASA ]

[ 宇宙開発委員会 ]



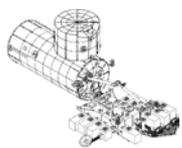
## 6. JAXA及びNASAにおける審査経緯

ポート共有実験装置は、平成23年12月までにJAXA有人安全審査会及びJAXA安全審査委員会を終了した。

表6-1 JAXA有人安全審査会/NASA安全審査パネル/JAXA安全審査委員会実績

装置	フェーズ0/I		フェーズII (REXJ/SIMPLE/IMAP-GLIMS/HDTV-EFはフェーズ0/I/IIとして実施)			フェーズIII		
	JAXA審査	NASA審査	JAXA審査	NASA審査	安全審査委員会	JAXA審査	NASA審査	安全審査委員会
REXJ	-	-	平成21年11月 平成22年5月 (追加審査) 平成23年1月 (追加審査2)	平成21年11月 平成23年2月 (追加審査)	平成23年5月	平成23年5月 平成23年9月 (追加審査)	なし*	平成23年12月
SIMPLE	-	-	平成21年11月 平成22年5月 (追加審査)	平成21年11月 平成22年10月 (追加審査)	平成23年5月	平成23年5月 平成23年9月 (追加審査)	なし*	平成23年12月
IMAP-GLIMS	-	-	平成21年11月	平成21年11月	平成23年5月	平成23年7月	なし*	平成23年12月
HDTV-EF	-	-	平成21年11月	平成21年11月	平成23年5月	平成23年7月	なし*	平成23年12月
ポート共有実験装置 (全体)	平成21年11月	平成21年11月	平成22年8月 平成23年1月 (追加審査)	なし*	平成23年5月	平成23年9月	なし*	平成23年12月

\*: 平成22年9月にJAXA有人安全審査会に審査権限が委譲されたためNASA審査は実施していない。

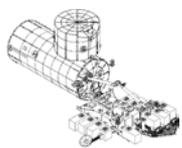


## 7. ハザード制御の有効性の確認

1. 開発メーカー、JEM運用技術センター、宇宙環境利用センター、有人宇宙技術部、有人システム安全・ミッション保証室及び有人安全審査会が、それぞれの立場からハザード制御の妥当性及びそれらの検証を実施し、評価を行った。
  - ① 開発メーカー及び開発担当プロジェクトは、設計、製造を行う立場から安全検証を実施した。
  - ② 運用に依存するハザード制御については、宇宙環境利用センターの運用担当部門が、運用制御合意文書により運用実現性に合意した。
  - ③ 有人システム安全・ミッション保証室は、解析結果等の評価、開発メーカーの体制の監査・評価、運用制御合意文書\*1等の安全検証データを評価した。
  - ④ JAXA有人安全審査会は、①～③の内容を個々に審査した。
2. NASAは、ISS全体の安全責任を担うため、設計及び検証結果を審査した\*2。
3. その後、JAXA安全審査委員会でJAXAとして包括的に安全を審査した。

\*1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

\*2 平成22年9月より実験装置に係る安全審査権限がNASAより委譲された。

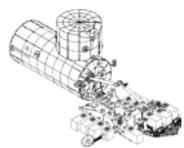


## 8. 安全設計・検証結果

### 8.1 基本指針に対するハザードの分類

- (1)ポート共有実験装置によって起こりうるハザードをFTAを基に抽出し、個々のハザードに対して、原因の抽出、制御方法の設定と検証を行った。JAXA/NASAの安全審査会により、ハザードの識別、制御及び検証の妥当性を確認した。ポート共有実験装置のFTA概要をそれぞれ付図-2に示す。
- (2)上記で識別したハザードに対して、基本指針の項目への対応を行い制御方法により、以下の3つに分類した。分類結果を表8-1に示す。
  - a. 一般的事項に属する項目
    - 「きぼう」の安全を確保するための基本的な活動としてポート共有実験装置にも適用される事項
    - ハザードには識別されず一般的な設計要求により検証した事項
  - b. JEMまたはISSの機能により制御される事項
  - c. ポート共有実験装置のハザード制御として対応した事項
    - 8.2項にISS共通的な制御方法により検証した事項を示す。
    - 8.3項にMCE(搭載ミッション機器含む)に特徴的な制御方法により検証した事項を示す。
- (3)基本指針に対する全体設計・検証結果を付表-1に示す。

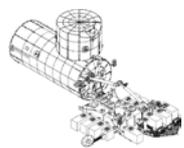
参考：JAXA有人安全審査で審査したハザードレポートの内容を付表-2に示す。



# 8. 安全設計・検証結果

## 表8-1 基本指針に対するハザード制御方法の分類

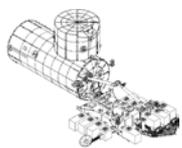
JEM基本指針	一般的事項	JEM又はISS機能により制御する事項	ISS共通の制御方法により検証した事項	REXJに特徴的な制御方法により検証した事項	SIMPLEに特徴的な制御方法により検証した事項	IMAP-GLIMSに特徴的な制御方法により検証した事項	HDTV-EFに特徴的な制御方法により検証した事項	MCE(バス機器)に特徴的な制御方法により検証した事項	クルーへのハザード	ISS/HTVへのハザード	
分類	a	b	c							-	-
1. 目的及び位置づけ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2. 適応範囲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3. 基本的考え方	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(1)安全確保の対象	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(2)安全確保の方法	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(3)有人活動の特殊性への配慮	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. 宇宙環境対策	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(1)自然環境からの保護	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ア 隕石・スペースデブリ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
イ 宇宙放射線	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ウ 高真空/微小重力等	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(2)誘導環境からの保護	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ア 打ち上げ時の誘導環境	-	-	○構造破壊(8.2①) ○シールを有する機器の減圧破壊(8.2②) ○ベントポートを有する機器の減圧破壊(8.2③)	○打上げ固定機構の故障による機器の衝突(8.3(1))	○打上げ固定機構の故障による機器の衝突(8.3(1))	-	-	-	○	○	
イ 軌道上誘導環境	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(ア) 雰囲気空気	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
(イ) 汚染	-	-	○電池の破裂/電解液の漏洩(8.2④)	-	-	-	-	-	○	○	
(ウ) 振動/音響/電磁波	-	-	○電磁干渉による機器の誤作動(8.2⑤)	-	-	-	-	-	-	○	
(3)軌道上環境等の保全	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5. 構造	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(1)設計	-	-	○構造破壊(8.2①) ○シールを有する機器の減圧による破壊(8.2②) ○ベントポートを有する機器の減圧による破壊(8.2③)	○打上げ固定機構の故障による機器の衝突(8.3(1)) ○アーム変形による他機器との衝突(8.3(2)) ○アームの破断後の浮遊(8.3(2))	○打上げ固定機構の故障(8.3(1)) ○伸展マストの構造破壊(8.3(2)) ○圧力系の破裂(8.3(4))	○クルー荷重による構造破壊(接触禁止エリアの設定)(8.3(7))	-	-	○	○	
(2)剛性・強度	-	-	同上	同上	同上	-	-	-	○	○	
(3)構成材料	-	-	同上	同上	同上	-	-	-	○	○	



# 8. 安全設計・検証結果

## 表8-1 基本指針に対するハザード制御方法の分類

JEM基本指針	一般的事項	JEM又はISS機能により制御する事項	ISS共通の制御方法により検証した事項	REXJに特徴的な制御方法により検証した事項	SIMPLEに特徴的な制御方法により検証した事項	IMAP-GLIMSに特徴的な制御方法により検証した事項	HDTV-EFに特徴的な制御方法により検証した事項	MCE(バス機器)に特徴的な制御方法により検証した事項	クルーへのハザード	ISS/HTVへのハザード	
分類	a	b	c							-	-
6. 安全性・開発保証	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(1)安全性	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(2)信頼性	-	-	○電力系の損傷(地絡による機器損傷)(8.2⑥)	-	-	○高電圧部への接触(8.3(6))	-	-	○	○	
(3)保全性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(4)品質保証	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7. 人間・機械系設計	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(1)搭乗員の保護	-	-	○回転機器の飛散(8.2⑦) ○鋭利な端部、突起物への接触(8.2⑧) ○ガラス破損(8.2⑨) ○高温/低温部への接触(8.2⑩) ○電力系の損傷(地絡による機器損傷)(8.2⑥) ○電池の破裂/電解液の漏洩(8.2④)	○EVAクルーの挟み込み(8.3(3)) ○高温/低温部への接触(8.3(5))	○鋭利な端部への接触(接触禁止エリアの設定)(8.3(7)) ○高温/低温部への接触(8.3(5))	○挟み込み(8.3(7)) ○高電圧部への接触(8.3(6)) ○レンズの破損(接触禁止エリアの設定)(8.3(7))	○レンズの破損(接触禁止エリアの設定)(8.3(7))	○高温/低温部への接触(8.3(5))	○	-	
(2)誤操作等の防止	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(3)共通化	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8. 緊急対策	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(1)緊急警報	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
(2)アクセス	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(3)減圧及び再加圧	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	
9. 安全確保体制	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

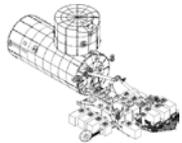


# 8. 安全設計・検証結果

## 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	<p>打上げ、上昇、軌道上での構造破壊</p> <p>(カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>材料識別使用リスト(MIUL)により構造材料を評価した。</li> <li>クレ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。</li> <li>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。</li> </ul>	<p>4.(2)誘導環境からの保護</p> <p>5.(1)設計</p> <p>5.(2)剛性・強度</p> <p>5(3)構成材料</p>
②	<p>シールを有する機器の減圧による破壊</p> <p>(カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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/GLIMS)</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>打上げ時の差圧に対してISS共通の安全率を設けて、必要な強度を持たせた設計とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<p>4.(2)誘導環境からの保護</p> <p>5.(1)設計</p> <p>5.(2)剛性・強度</p> <p>5(3)構成材料</p>
③	<p>ベントポートを有する機器の減圧による破壊</p> <p>(カタストロフィックハザード)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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)</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>HDTV-EF, MCE: 解析により十分な差圧は発生しない設計であることを確認した。</li> <li>REXJ: 減圧解析及び真空試験により強度を確認した。</li> </ul>	<p>4.(2)誘導環境からの保護</p> <p>5.(1)設計</p> <p>5.(2)剛性・強度</p> <p>5(3)構成材料</p>

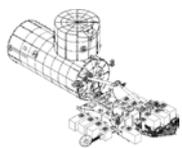


# 8. 安全設計・検証結果

## 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"> <li>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</li> <li>漏洩した電解液が船外服に付着し船内を汚染する。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>真空試験の結果、破裂等損傷がないことを確認した。</li> </ul>	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"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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測については安全検証追跡ログで管理する。</li> </ul>	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"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>地絡電流を遮断する保護装置を設置する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	6.(2)信頼性

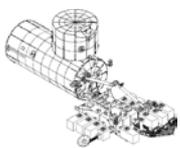


# 8. 安全設計・検証結果

## 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"> <li>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</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ISS共通の安全標準に基づき、モータの運動エネルギーが規定値以内となるように設定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モータの仕様を確認し規定値以内であることを確認した。</li> </ul>	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"> <li>装置の鋭利端部・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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	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"> <li>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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>レンズはカバーにより封入させる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>図面検査、振動試験</li> <li>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。</li> </ul>	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"> <li>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。</li> </ul>	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul> <p>※船外活動員に対する許容外表面温度：-118～113℃</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>SIMPLE/MCEI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。</li> </ul>	6.(3)安全性 7.(1)搭乗員の保護



### 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

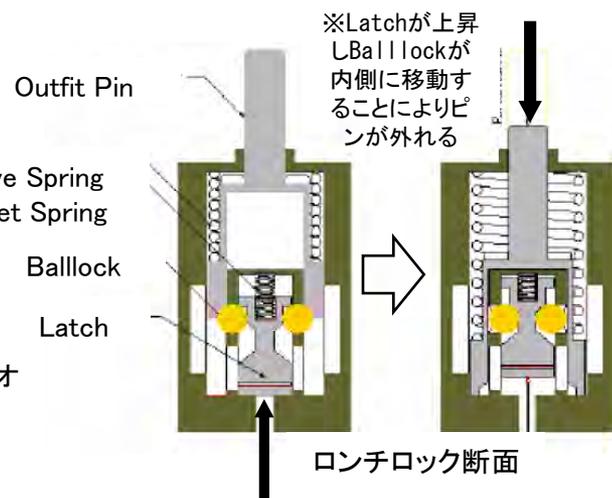
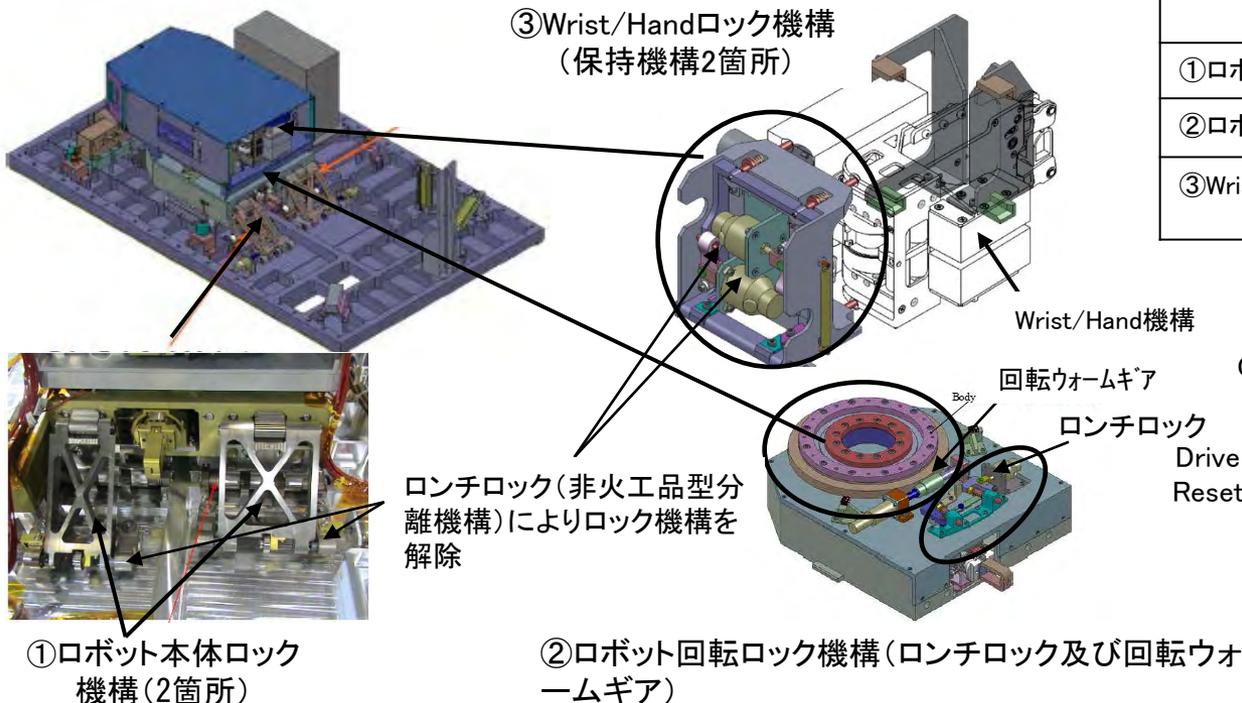
## (1) 打上げ固定機構(ロンチロック)の故障による機器の衝突 (1/2) (REXJの打上げ固定機構の故障による機器の衝突)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- 打ち上げ時に、ロンチロックが外れ、REXJ構造物が浮遊し、周囲の構造体(HTV/ISS構造等)へ衝突することにより破損に至る。

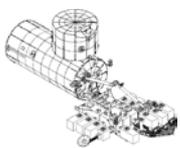
REXJ ロック機構の種類

機構	機構の役割
①ロボット本体ロック機構	ロボット本体を固定する機構
②ロボット回転ロック機構	ロボット回転部を固定する機構
③Wrist /Handロック機構	Wrist/Hand機構の飛び出しを防止する機構



【制御方法、検証方法】: 故障許容設計

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ロンチロック故障に対する1故障許容設計</li> <li>• ISS機構検証要求*に従う機構設計(*1つの機構で1故障許容相当と認められるための検証要求) (上記2つの条件を満足することにより2故障許容設計相当と見なされる)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 図面検査、機能試験により各ロック機構の性能を確認した。</li> <li>• 機構解析、構造解析、振動試験、熱真空試験等によりISS機構検証要求を満足することを確認した。</li> <li>• 射場にて実施するロンチロックの最終検査は安全検証追跡ログで管理する。</li> </ul>



## 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

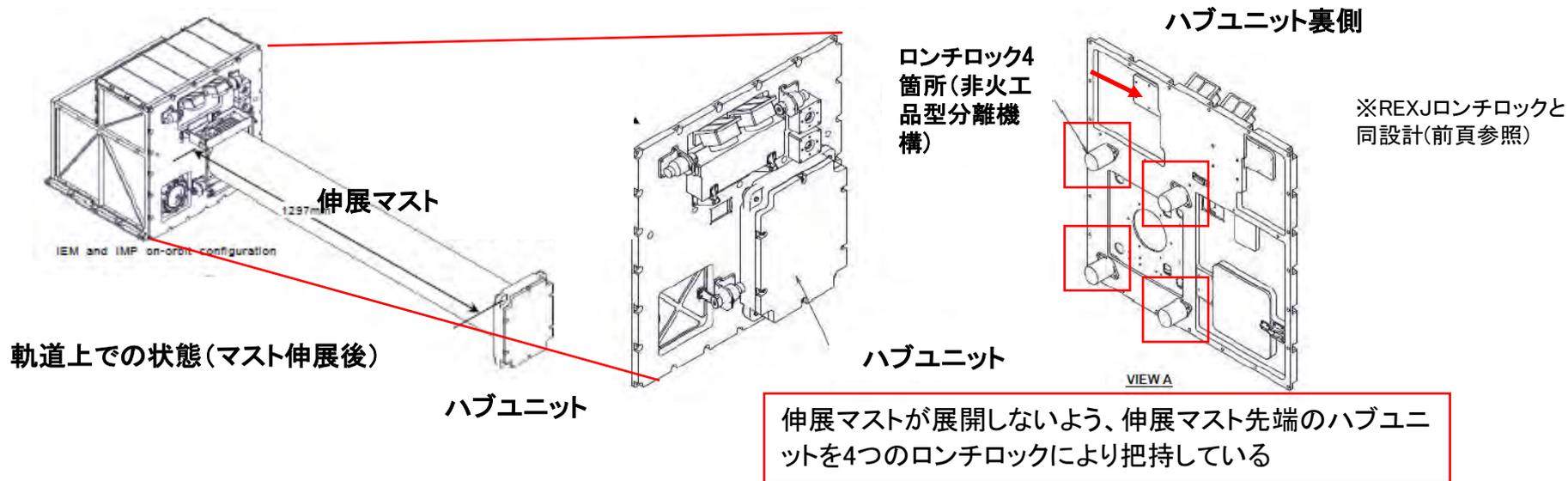
### (1) 打上げ固定機構(ロンチロック)の故障による機器の衝突 (2/2)

#### (SIMPLEの打上げ固定機構の故障による機器の衝突)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- 打ち上げ時に、ロンチロックが外れ、ハブユニットが浮遊し、周囲の構造体へ衝突することにより構造破壊に至る。

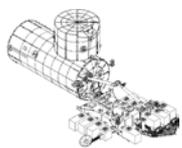
打上げ時の状態(マスト伸展前)



【制御方法、検証結果】: 故障許容設計

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>•ロンチロック故障に対する2故障許容設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•図面検査、機能試験によりロック機構の性能を確認した。</li> <li>•ロンチロックが2つ故障した状態でも打ち上げ荷重に安全係数1.4*を乗じた荷重に対してハブユニットの強度余裕(安全余裕が正)があることを解析により確認した。</li> <li>•射場にて実施するロンチロックの最終検査は安全検証追跡ログで管理する。</li> </ul>

\* SSP52005 (ISSペイロード構造要求)による機構故障を考慮した場合に適用する安全係数



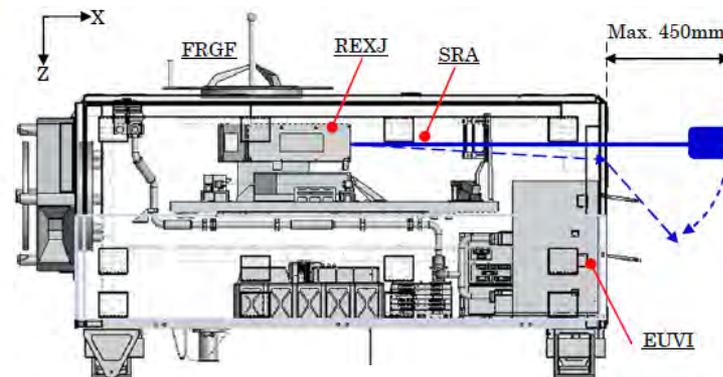
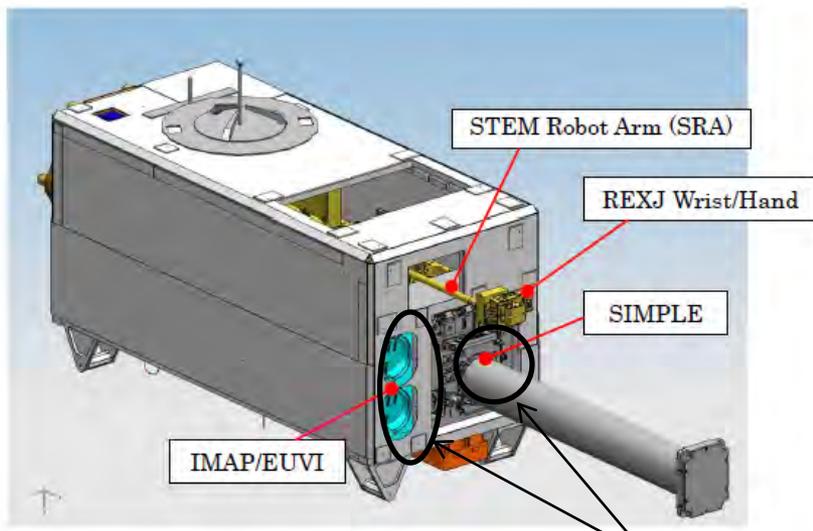
### 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

#### (2) 軌道上荷重による構造破壊 (1/3)

#### (REXJ アーム変形による他機器との衝突)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- 軌道上でロボットアームが伸展したまま戻せなくなった場合、軌道上荷重によってアームが変形し、IMAP/EUVIまたはSIMPLE IMP及び伸展マストと衝突した場合、それぞれの機器が破損し浮遊した破片が、ISSやEVA中のクルーと衝突する可能性がある。



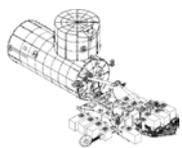
アーム変形の模式図

アームが衝突する可能性のある部位

【制御方法、検証結果】: リスク最小化設計

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>REXJの伸展部が変形した場合に衝突しうる機器 (IMAP/EUVI, SIMPLE) 及びREXJの Wrist/Handについて、安全係数 2.0*(終極)を適用した構造設計。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衝突されることが予測される機器 (GLIMSのIMAP/EUVI, SIMPLE IMP) は、構造解析により衝突荷重に対して強度余裕(安全余裕はいずれも正)を有することを確認した。</li> <li>SIMPLEマストとの衝突荷重は、キックロードが作用する荷重よりも小さいため、8.3(2)項の検証結果が適用される。</li> </ul>

\* SSP52005(ISSペイロード構造要求)による解析検証時に適用する安全係数



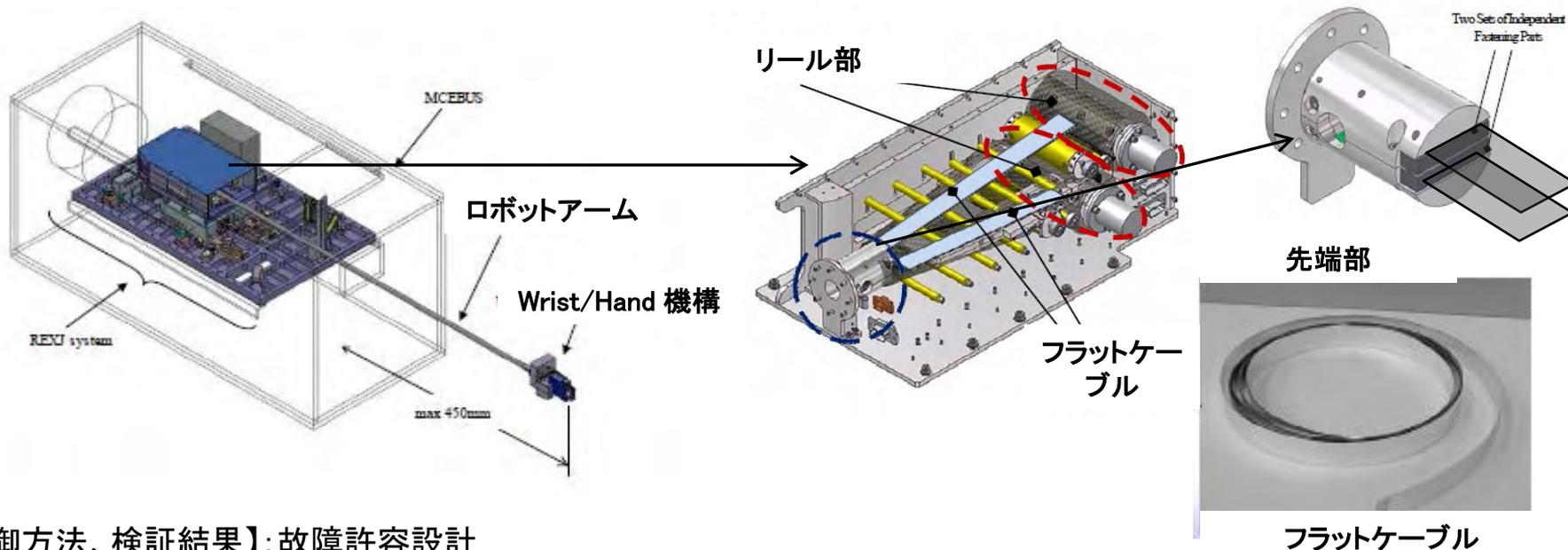
## 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

### (2) 軌道上荷重による構造破壊 (2/3)

#### (REXJ アームの破断後の浮遊)

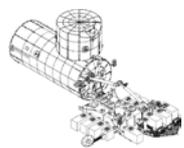
【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- 軌道上でロボットアームが伸展したまま戻せなくなった場合、軌道上荷重によってロボットアームが破断し、アーム先端のハンド等のREXJ構造物が浮遊後、周囲の構造体へ衝突する可能性がある。
- ロボットアームの内側にフラットケーブル(カメラ信号用及び電源用2本)を組み込ませることで、アーム破断時の冗長設計とする。



【制御方法、検証結果】: 故障許容設計

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロボットアーム内に2本のフラットケーブルを組み込み、故障許容設計とする。</li> <li>・フラットケーブルは、軌道上静荷重に対して安全係数 1.5*(終極)を適用した強度設計。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブルの強度試験により、十分な強度(安全余裕が正)を有することを確認した。</li> </ul>



## 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

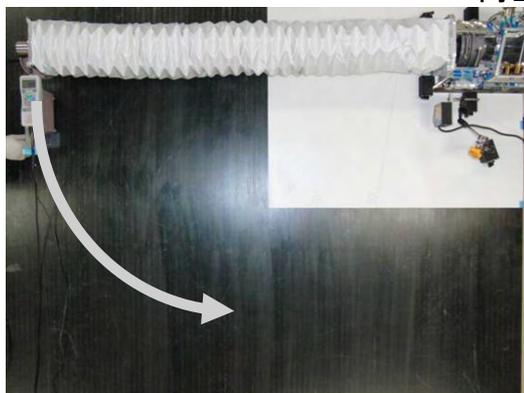
- 伸展マストには、ISS軌道上準静荷重が負荷される。
- またMCEでは計画されたEVAはないものの、曝露部上の他の実験装置等の緊急時には近傍で船外クルーが接近する可能性があり、その際にクルーによる不意なキック荷重が負荷される可能性がある。
- 伸展マストがクルー荷重や経年劣化により破断し、ISSやEVA中のクルーに衝突することにより、ISSの破損または船外クルーの死傷に至る可能性がある。

### 複合材に対する検証方法

#### ①軌道上荷重

→準静荷重試験(繰返し荷重試験)

②クルー荷重 →キック荷重試験



通常時

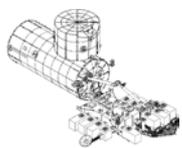
### 荷重試験状況



キック荷重負荷時

【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"> <li>• 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 軌道上準静荷重(0.2G)に対しては、繰返し荷重解析/寿命試験 結果を確認した。</li> <li>• 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。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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。</li> </ul>



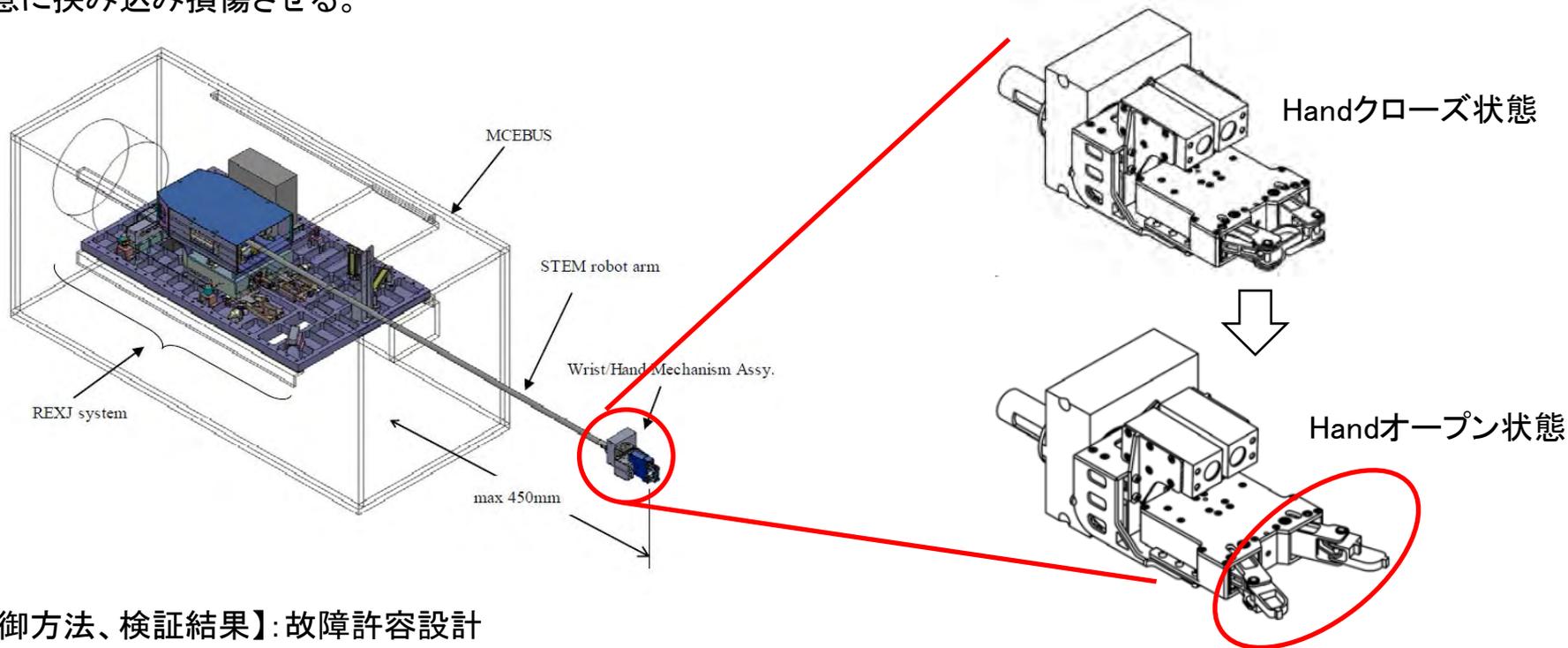
# 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

## (3) EVAクルーの挟み込み

### (REXJ Handの誤動作によるEVAクルーの挟み込み)

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

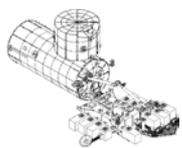
- ロボットアーム先端のHandの誤動作により、周辺でEVA中(注:MCEでは計画されたEVAはない)の船外活動スーツを不意に挟み込み損傷させる。



【制御方法、検証結果】: 故障許容設計

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handの外部伸展領域周辺にEVAクルーがアクセスする場合、ハンドへの電源供給停止(2箇所のスイッチをOFF)を行い、ハンドの誤動作を防止する</li> <li>• EVAクルーが接触することにより破損する可能性のある部位に対して予め接触禁止エリア(No Touch Area)を設定する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 電源供給停止を行う運用手順について、運用制御合意文書*への規定されたことを確認した。</li> <li>• 接触禁止エリアをEVAクルーの手順書に反映されることを運用制御合意文書に規定されたことを確認した。</li> </ul>

\* 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



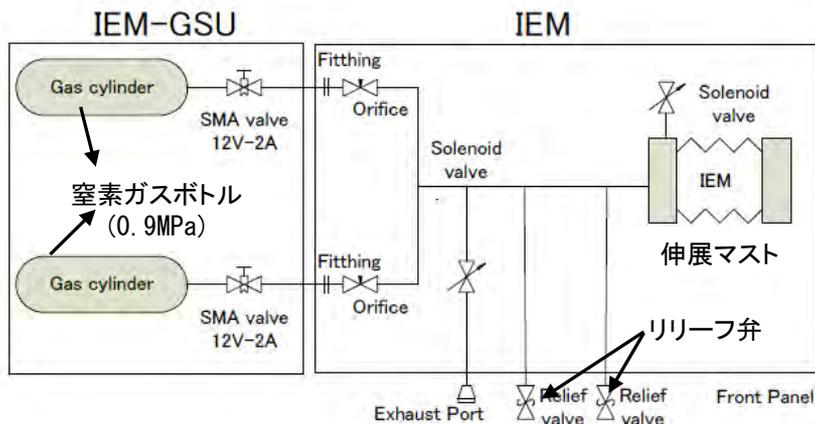
## 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

### (4) 圧力系(配管/チューブ)の破裂 (SIMPLE 配管/チューブの破裂)

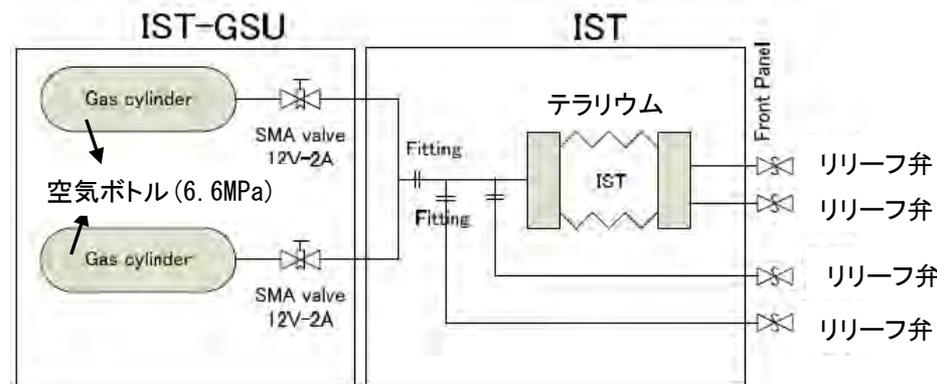
【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- SIMPLEのIEM及びISTがガス圧によって伸展中に、リリース弁の故障または伸展機構の故障により、配管圧力/チューブ内圧力が最大設計圧力よりも過大となり、配管/チューブ\*が破裂し、破片等によりISSやHTVの損傷、船外活動中の搭乗員の傷害に至る可能性がある。

\*チューブ材質: IEM:PET(ポリエチレンテレフタレート)PE(ポリエチレン) Composite, IST:アルミ蒸着フィルム/ベクトラン製チューブ)



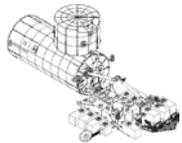
Inflatable Extension Mast (IEM) ガス系統図



Inflatable Space Terrarium (IST) ガス系統図

【制御方法、検証結果】:故障許容設計(配管及びチューブの最大設計圧力の設定に対して)/リスク最小化設計(配管/ボトルの耐圧設計に対して)/

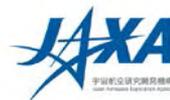
制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>•リリース弁の故障、マスト伸展機構、テラリウム伸展機構故障の2故障を考慮して設定された最大設計圧力に対して安全係数(最大4.0(終極))を適用した耐圧設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•構造解析により構造解析、耐圧試験により十分な強度をもつことを確認した。</li> </ul>



# 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

## (5) 高/低温部への接触

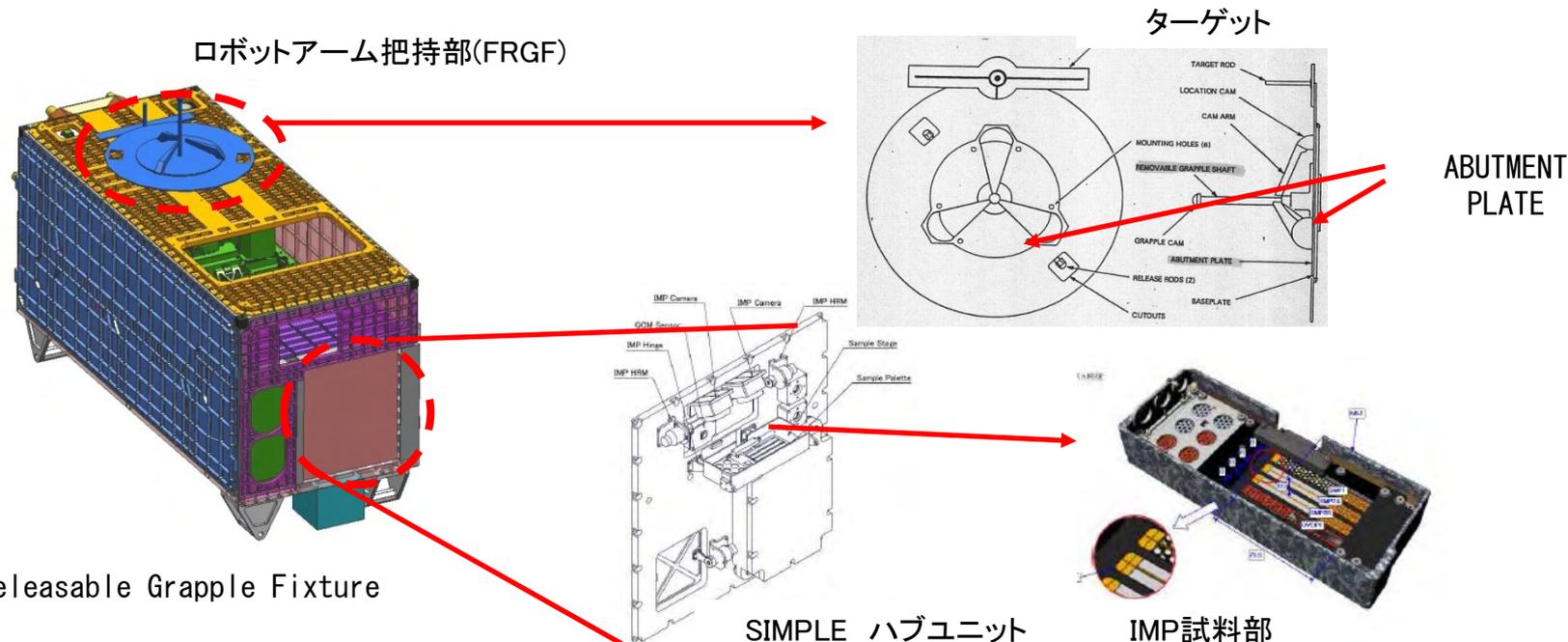
### (MCE 高/低温部位への接触)



Japanese Experiment Module

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

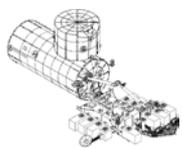
- 高温部位への接触により、EVAスーツが損傷し、クルーの死傷に至る可能性がある。



\*Flight Releasable Grapple Fixture

【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計

制御	検証結果
<p>(1)MCEの表面温度がEVA中にクルーが常時接触する場合に要求される温度範囲(-118℃~113℃)となるような熱設計とする</p> <p>(2)上記範囲に入らない場合は短時間の接触時の規定として認められるISS規定のHeat Rate(51.64W)以下とする。</p> <p>(3)さらに上記Heat Rateを超える場合は、短時間の接触時の表面温度が、船外グローブの損傷温度(177℃)以下とする。</p>	<p>(1)ベータ角等の最悪環境条件を考慮した熱解析により表面温度が、以下を除いて-118~113℃以内であることを確認した。</p> <p>(2)SIMPLEのIMP試料部(最高温度209℃)及びREXJのHand(最高温度138℃)についてはHeat Rateがそれぞれ7.7W及び40.4Wであることを確認した。</p> <p>(3)MCEのABUTMENT PLATE部(Heat rate 55W)については、最高温度が125℃以下であることを熱解析により確認した。</p>

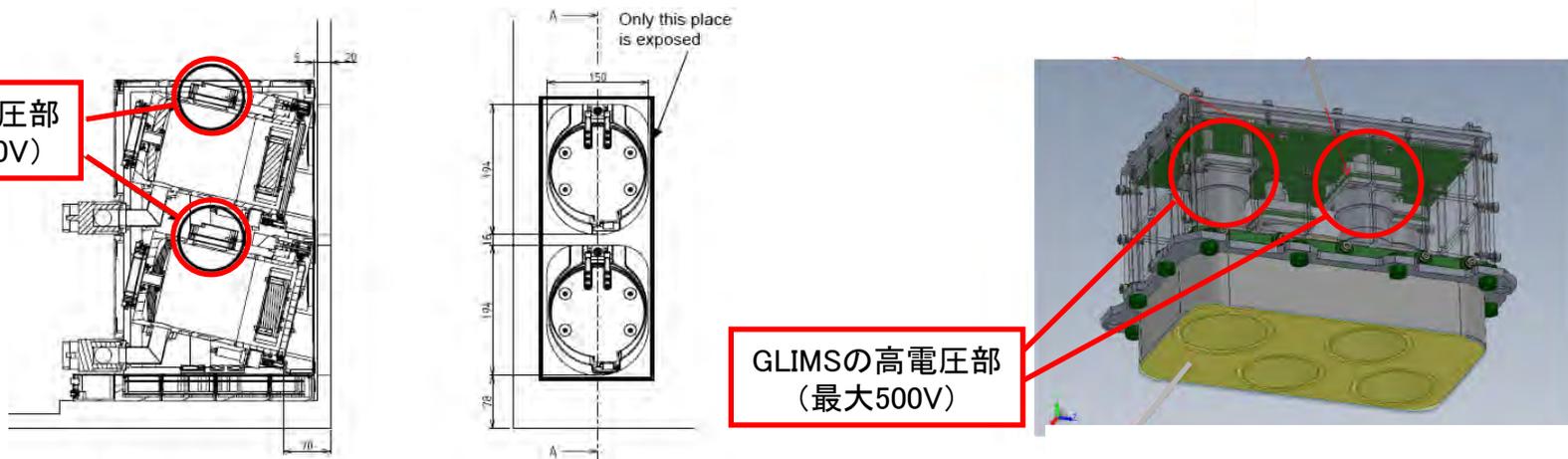


## 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項

### (6) 高電圧部への接触 (IMAP-GLIMS 高電圧部への接触)

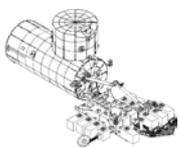
【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- EUVI, GLIMS内部には高電圧になる部分 (EUVI:最大-5000V, GLIMS:最大500V)があるため、船外活動中のクルーが誤って接触することにより、感電する可能性がある。



【制御方法、検証結果】: リスク最小化設計

制御	検証結果
<ul style="list-style-type: none"> <li>•適切な電気設計(ワイヤ設計、ボンディング・グラウンディング設計)を行う。</li> <li>•EVAクルーが触れない箇所に高電圧部を設置する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•ISS要求に従ったワイヤーサイズが選定されていることを解析にて確認した。</li> <li>•図面検査及びボンディング・グラウンディング抵抗計測により、適切に設計・接地されていることを確認した。</li> <li>•図面やフライト品検査により搭乗員が触れない部位にあることを確認した。</li> </ul>



# 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項 (7) MCE 接触禁止エリアの設定 (1/3)

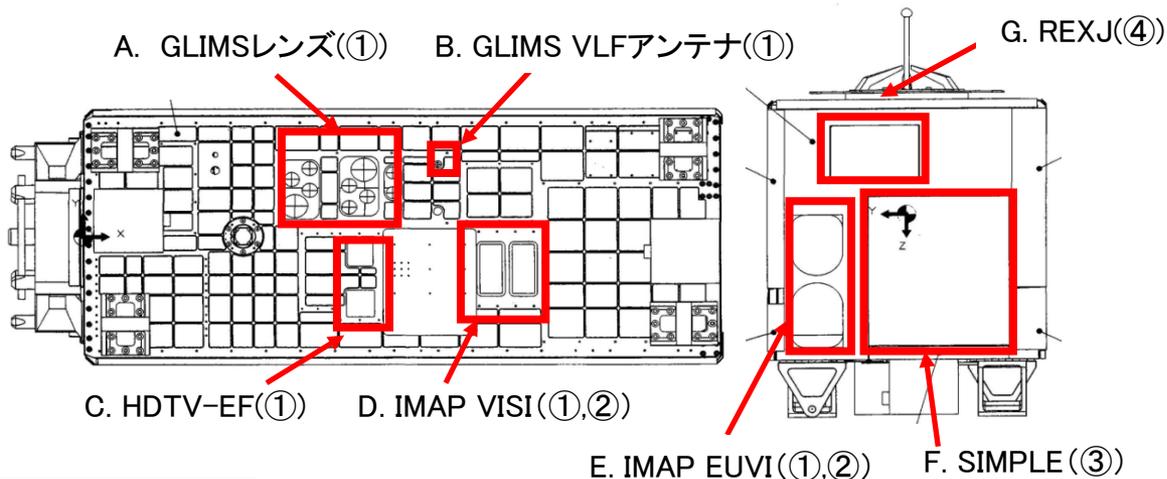
Japanese Experiment Module

【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- ポート共有装置の観測機器の一部に、①EVAキックロードに対して強度が不足するカメラレンズ、アンテナ等の構造物、②ISS要求を満たさない隙間箇所(クルーのグローブの挟み込み防止)、③シャープエッジ箇所、④挟み込み防止のため接触禁止エリア (NTA: No Touch Area)による運用制御が必要箇所が存在する。
- 船外クルーの接触防止のため、これらの箇所を接触禁止エリアとして規定し、運用による制御を行う。

【NTAの設定が必要な部位】

接触禁止エリア:NTA



MCE底面



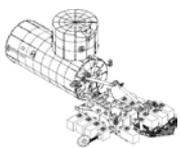
A. GLIMSレンズ



B. VLFアンテナ



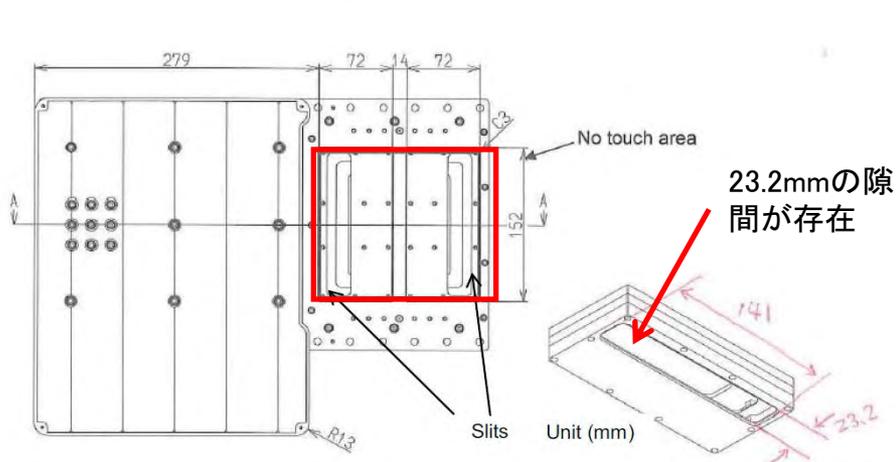
C. HDTV-EF



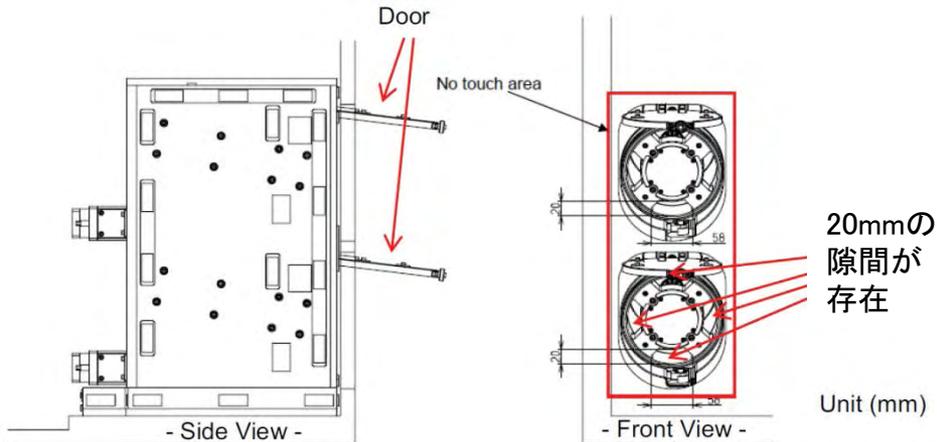
# 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項 (7) MCE 接触禁止エリアの設定 (2/3)

Japanese Experiment Module

※隙間に関するISS安全要求: 10mm~25.4mmの隙間は設けてはならないこと

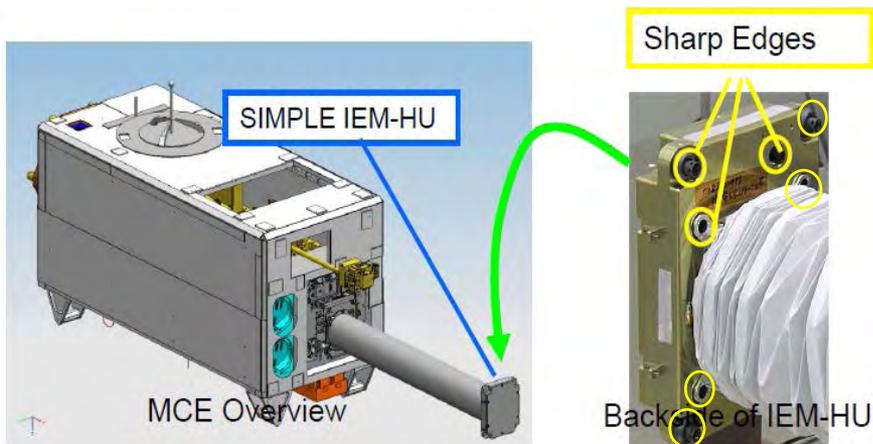


D. IMAP VISIの隙間部

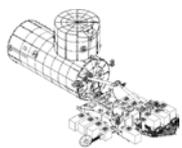


E. EUVIの隙間部

※シャープエッジに関するISS安全要求: 面取り0.2~0.3mm



F. SIMPLE IEM HU裏面のシャープエッジ部



## 8.3 MCEに特徴的な制御方法により検証した事項 (7) MCE 接触禁止エリアの設定 (3/3)

Japanese Experiment Module

### 【NTA (No Touch Area) の必要理由】

		安全上の理由			挟み込み防止	ミッション上安全要求を満足できない理由
		キックロードに対する強度不足	隙間要求を満足できない	シヤープエッジ要求を満足できない		
A	GLIMS レンズ	○				・観測性能上、外部カバー等がつけられないため。
B	GLIMS VLFアンテナ	○				・受信性能上、アンテナの強度を上げられないため。
C	HDTV-EF カメラレンズ	○				・観測性能上、外部カバー等がつけられないため。
D	IMAP VISI	○	○			・搭載スペースの制約上、筐体の強度を上げられないため。 ・観測性能上、隙間を拡大できないため。
E	IMAP EUVI ドア部	○	○			・搭載スペースの制約上、ドアの強度を上げられないため ・観測性能上、隙間を拡大できないため。
F	SIMPLE IEM HU裏面			○		・民生品を使用しているため追加加工が困難であるため
G	REXJ 開口部				○	・MCE内のスペースの制約上インヒビットを設ける機器が追加できないため。

NTA: No Touch Area: EVAクルー接触禁止エリア

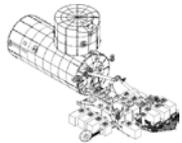
### 【NTAの設定までの経緯】

- ・ JAXAは、きぼう上及びHTV曝露パレット上での船外クルーの作業領域及び作業姿勢等を考慮した場合、不意に接触するリスクは非常に低いことが判断されることから、上記エリアを接触禁止エリアとして運用手順書に定義することにより制御できると判断した。
- ・ 本判断については、NASA EVA担当部署へも報告した結果、JAXAの判断に同意でき、従来通りの安全性を確保できることから、接触禁止エリアによる制御方法の承認を得た。
- ・ なお、NASAの船外活動訓練用水槽による実機大の模擬装置を用いた訓練も行い、NTAに接触することなく船外活動ができることを確認した。

### 【制御方法、検証結果】: リスク最小化設計

制御	検証
EVAクルーが接触することにより破損する可能性のある部位に対して接触禁止エリア (No Touch Area) を設定する	・ 接触禁止エリアをEVAクルーの手順書に反映されることを運用制御合意文書*に規定されていることを確認した。

\* 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



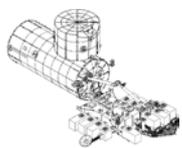
## 9. 運用への準備等 (1/2)

### (1) 運用制御合意文書の運用への反映

- ハザード制御の中で、運用により制御を行うものは、運用によるハザード制御として運用制御合意文書にまとめて管理し、NASAの運用によるものはNASA、実験装置の運用によるものは実験運用担当が運用手順や運用上の取り決めに反映する。
- 運用手順や運用上の取り決めは運用実施部門と独立したJAXA運用安全担当及びNASA内の運用安全担当が運用開始前までに妥当性を評価する。

### (2) 安全検証追跡ログによる管理

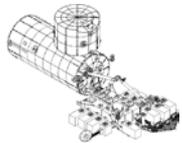
- 種子島宇宙センターで打上げ直前に最終検証を行うものは、安全検証追跡ログ(SVTL: Safety Verification Tracking Log)に識別し、今後JAXAにより管理する。安全検証追跡ログを次ページに示す。



## 9. 運用への準備等 (2/2)

### 【ポート共有実験装置安全検証追跡ログ】

番号	検証内容	完了時期
MCE-1	MCEサイドパネル取り付け後のボンディング抵抗計測(射場作業)	2012年2月
MCE-2	MCEサイドパネル取り付け後の最終目視検査(射場作業)	2012年2月
REX-1	ロンチロックの最終確認(射場作業)	2012年2月
SIMPLE-1	ロンチロックの最終確認(射場作業)	2012年2月



## 10. 結論

JAXAは、ポート共有実験装置に関し、JAXA内安全審査を終了し、安全指針に合致したことを確認し、安全検証は完了したと判断した。