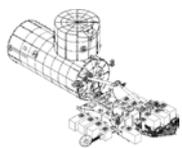


国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」(JEM) 小型衛星放出機構(J-SSOD)の安全検証結果について

平成24年3月16日

宇宙航空研究開発機構



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および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	24
10. 結論	25
11. 小型衛星に対する安全検証の確認について	26

付表-1 基本指針に対する全体設計・検証結果

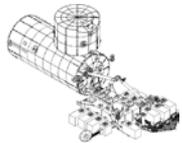
付表-2 JAXA有人安全審査会で審査したJ-SSODハザードレポート

付表-3 小型衛星で識別されるハザードレポート

付表-4 小型衛星に対する検証計画

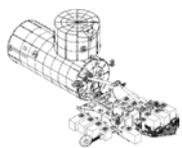
付図-1 安全設計の流れ

付図-2 J-SSOD 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) に搭載される小型衛星放出機構 (J-SSOD) およびそれを搭載する親アーム先端取付型実験プラットフォーム (MPEP) の安全検証が終了したので報告する。



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および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およ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ラックおよび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、温度勾配炉ラックおよび多目的実験ラックは平成22年12月、MCE、AQHは平成24年1月にそれぞれ安全検証結果を安全部会に報告した。
- 今般、小型衛星放出機構(J-SSOD)およびそれを搭載する親アーム先端取付型実験プラットフォーム(MPEP)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

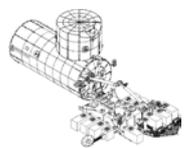
HTV: H-II Transfer Vehicle

MCE: Multi-Mission Consolidated Equipment

AQH: Aquatic Habitat

J-SSOD: JEM Small Satellite Orbital Deployer

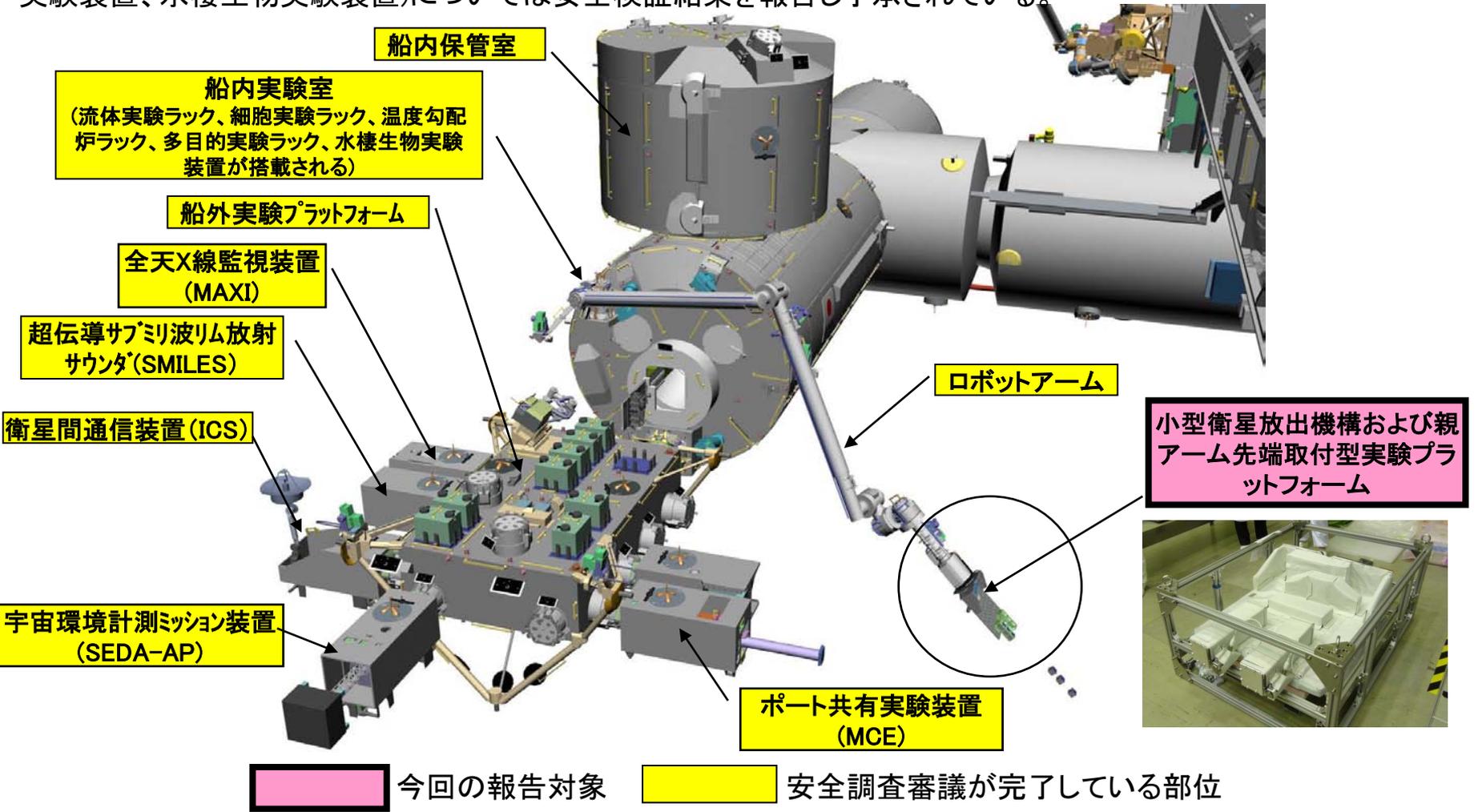
MPEP: Multi-Purpose Experiment Platform

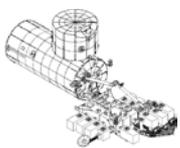


3. 宇宙開発委員会における安全審議状況

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)および実験装置(流体実験ラック、細胞実験ラック、全天X線監視装置、宇宙環境計測ミッション装置、超伝導サブミリ波リム放射サウンダ、温度勾配炉ラック、多目的実験ラック、ポート共有実験装置、水棲生物実験装置)については安全検証結果を報告し了承されている。

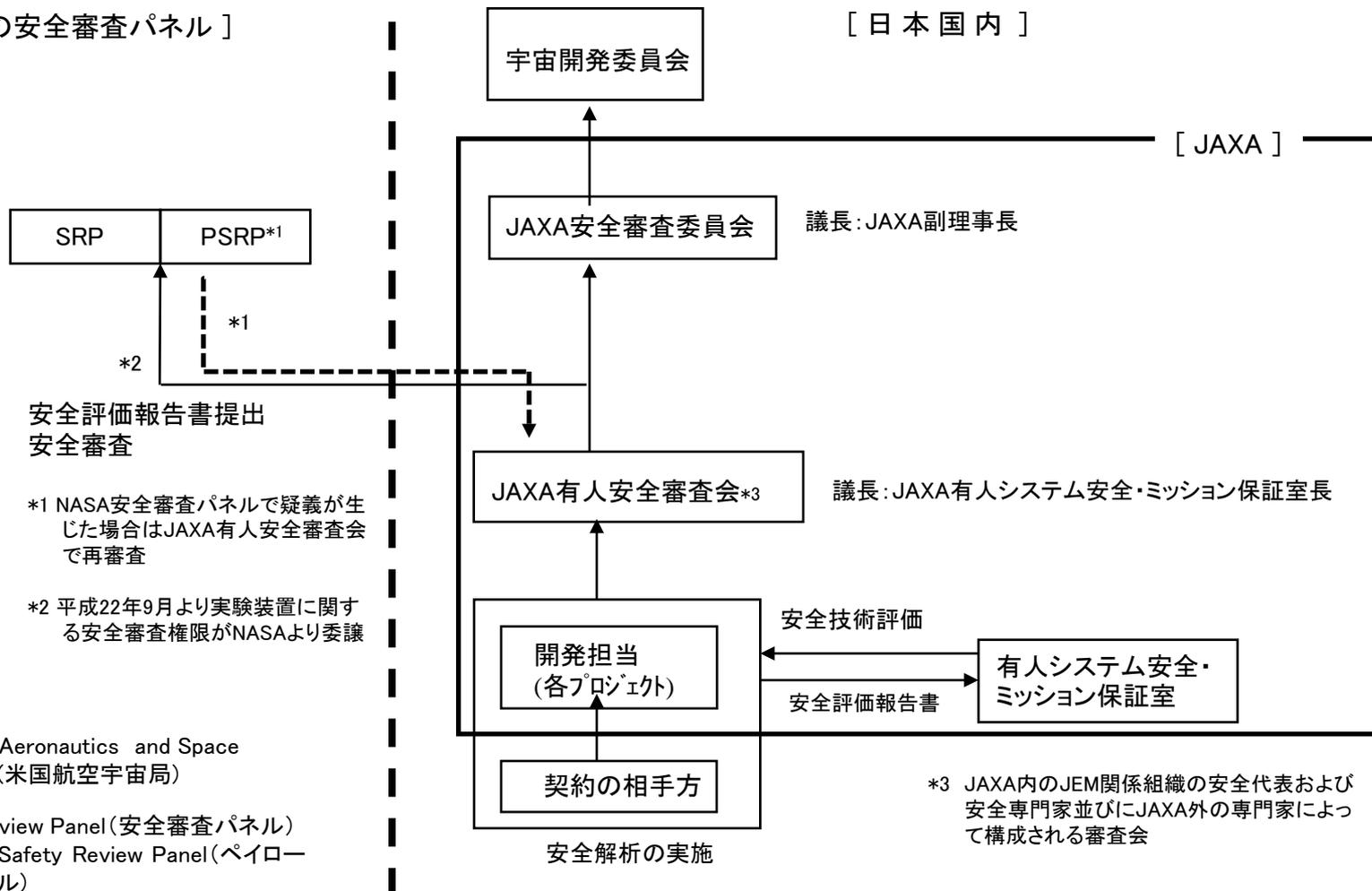




4. 安全審査体制

[NASAの安全審査パネル]

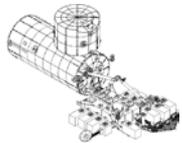
[日本国内]



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

SRP : Safety Review Panel (安全審査パネル)
PSRP: Payload Safety Review Panel (ペイロード安全審査パネル)

図4-1 NASAおよび日本国内における安全審査体制



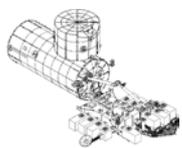
5. 安全解析の方法 (1/2)

- 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およ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: 故障モード及び影響解析)、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】

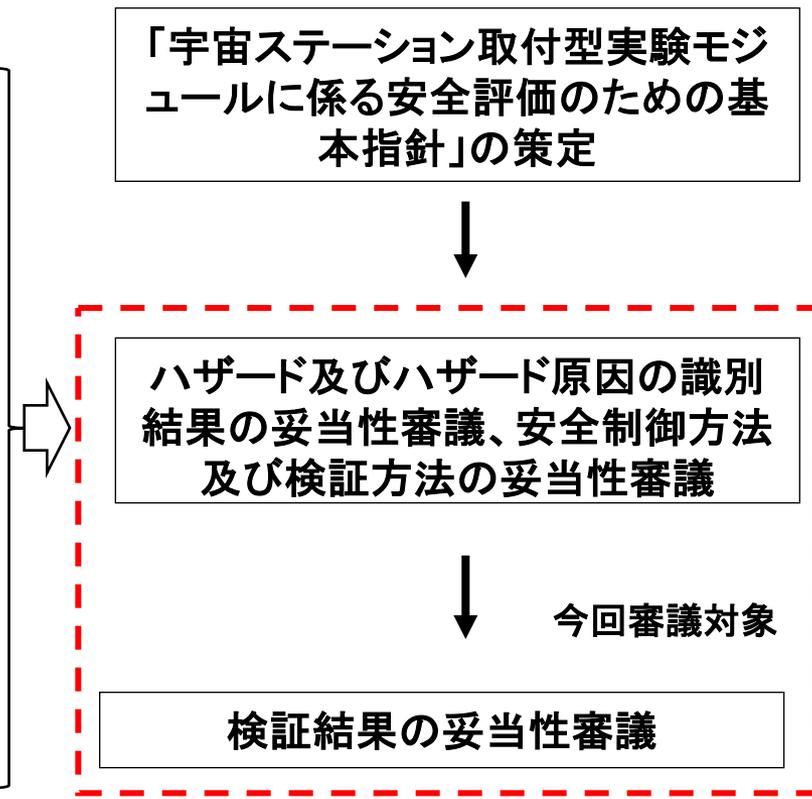
- I カタストロフィック(2故障許容設計相当)
能力の喪失に至る傷害又は致命的な人員の喪失となり得る状態
- II クリティカル(1故障許容設計相当)
重度な人員の傷害・疾病をもたらす状態
- III マージナル
軽度な人員の傷害・疾病をもたらす状態



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。

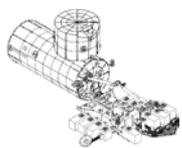
安全審査*	安全審査のタイミング	安全審査の目的
フェーズ 0	概念設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> 1. ハザード識別法、識別結果の確認 2. 適用すべき安全要求の識別結果の確認
フェーズ I	基本設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基本設計における全ハザード及びハザード原因の識別結果の確認 2. ハザード制御方法の妥当性の評価 3. 検証方法の確立が妥当かの評価
フェーズ II	詳細設計終了時	<ol style="list-style-type: none"> 1. 詳細設計における全ハザ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	<ol style="list-style-type: none"> 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]

*:ハザード内容及び制御方法が実績があるものについてはその内容が適切であればフェーズ審査をまとめて実施する場合がある。



6. JAXA及びNASAにおける審査経緯

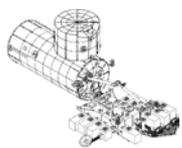
J-SSODおよびMPEPは、平成24年3月までにJAXA有人安全審査会及びJAXA安全審査委員会を終了した。

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			フェーズIII		
	JAXA審査	NASA審査*1	安全審査委員会	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
J-SSOD及びMPEP*2	平成23年 3月28日	平成23年 5月10日	平成23年 5月17日	平成23年 7月21日	平成23年 7月27日	平成23年 8月2日	平成24年 2月21日*2	平成24年 2月21日*2 平成24年 2月29日 (追加)	平成24年 3月6日

*1 J-SSODはJEMシステムのインフラの一部として恒久的に使用するため、ISSシステムの要求が適用となることからNASA SRP(安全審査パネル)の安全審査を受審した。

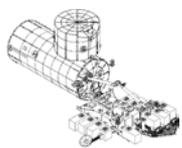
*2 MPEPはハザード内容及び制御方法について実績があるためにフェーズ0/I/II/III審査として実施した。



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、JEM運用技術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。
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

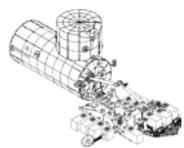


8. 安全設計・検証結果

8.1 基本指針に対するハザードの分類

- (1) J-SSODおよびMPEP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。J-SSOD及びMPEP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J-SSOD及びMPEP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. J-SSOD及びMPEP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J-SSOD及びMPEP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。

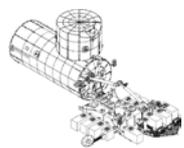
参考：JAXA有人安全審査で審査したハザードレポートの内容を付表-2に示す。



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

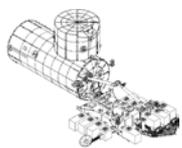
JEM基本指針	一般的事項	JEM又はISS機能により制御する事項	ISS共通の制御方法により検証した事項	小型衛星放出機構および親アーム先端取付型実験プラットフォームに特徴的な制御方法により検証した事項	クルーへのハザード	ISS/HTVへのハザード
分類	a	b	c		—	—
1. 目的及び位置づけ	—	—	—	—	—	—
2. 適応範囲	—	—	—	—	—	—
3. 基本的考え方	—	—	—	—	—	—
(1)安全確保の対象	○	—	—	—	—	—
(2)安全確保の方法	○	—	—	—	—	—
(3)有人活動の特殊性への配慮	○	—	—	—	—	—
4. 宇宙環境対策	—	—	—	—	—	—
(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/ベントポートを有する機器の減圧による破壊(8.2②)	—	—	○
イ 軌道上誘導環境	—	—	—	—	—	—
(ア) 雰囲気空気	—	○	—	—	—	—
(イ) 汚染	—	—	○環境空気汚染(オフガス)(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	○	—	—	○衛星のISS/クルーへの衝突(8.3(1))	○	○
5. 構造	—	—	—	—	—	—
(1)設計	—	—	○構造破壊(8.2①) ○シール/ベントポートを有する機器の減圧による破壊(8.2②)	—	○	○
(2)剛性・強度	—	—	○構造破壊(8.2①) ○シール/ベントポートを有する機器の減圧による破壊(8.2②)	—	—	○



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	一般の事項	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	小型衛星放出機構および親アーム先端取付型実験プラットフォーム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		—	—
(3)構成材料	—	—	○構造破壊(8.2①) ○シール/ベントポートを有する機器の減圧による破裂(8.2②) ○火災(可燃性材料の使用)(8.2③) ○環境空気汚染(オフガス)(8.2④) ○電力系の損傷(地絡による機器損傷)(8.2⑦)	—	○	○
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)(8.2⑦)	—	—	○
(3)保全性	—	—	○構造破壊(8.2①)	—	○	○
	—	—	○高温/低温部への接触(8.2⑥)	○実験プラットフォームの船内回収後の高温/低温部への接触(8.3 (3))	○	—
	—	—	○感電(コネクタ脱着)(8.2⑨)	—	○	—
(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(8.2⑧) ○高温部/低温部への接触(8.2⑥) ○電力系の損傷(地絡による機器損傷)(8.2⑦) ○感電(コネクタ脱着)(8.2⑨) ○引っ掛かり、挟み込み(8.2⑪) ○穴、隙間による拘束(8.2⑫) ○鋭利な端部への接触(8.2⑬)	○衛星のISS/クルーへの衝突(8.3(1)) ○接触禁止エリアの設定(鋭利な端部)(8.3(2)) ○実験プラットフォームの船内回収後の高温/低温部への接触(8.3 (3))	○	—
	(2)誤操作等の防止	○	—	○衛星のISS/クルーへの衝突(8.3(1))	○	○
(3)共通化	○	—	—	—	—	—
8.緊急対策	—	—	—	—	—	—
(1)緊急警報	—	○	—	—	—	—
(2)アクセス	○	—	○避難経路への障害(8.2⑩) ○クルー退避時の障害(8.2⑭)	—	○	—
(3)減圧及び再加圧	—	○	—	—	—	—
9. 安全確保体制	○	—	—	—	—	—



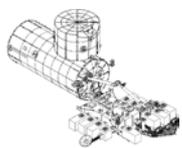
8. 安全設計・検証結果

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	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)	<ul style="list-style-type: none"> 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。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 打上げ及び軌道上での運用中に作用する荷重に対し、構造解析を行い、安全余裕が正であることを確認した。 材料識別使用リスト(MIUL)により構造材料を評価した。 	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 6.(3)保全性
②	シール/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)	<ul style="list-style-type: none"> 打上げ時の圧力差によって、シール部を有する機器(電気ボックス)、ベントポートを有する機器(分離機構)が破壊し、破片となり、HTVやISSを損傷させる。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> シールドコンテナ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。 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。 	<ul style="list-style-type: none"> 電気ボックスについては、強度解析により安全余裕が正となることを確認した。 分離機構については、解析により差圧は発生しない設計であることを確認した。 	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	火災(可燃性材料の使用) (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 非金属材料の燃焼により火災にいたり、船内活動搭乗員の死傷に至る。 	<p>【リスク最小化設計】</p> <ul style="list-style-type: none"> 非金属材料には難燃性の材料を選定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 不燃性・難燃性材料を使用していることを、材料識別及び使用リスト(MIUL)で確認した。 	5.(3)構成材料

MIUL : Material Identification Usage List

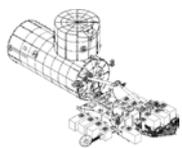


8. 安全設計・検証結果

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	環境空気汚染(オフガス) (クリティカルハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 非金属材料からのオフガスにより船内空気が汚染され、搭乗員の健康を阻害する。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 構造・内装・搭載機器等に使用される非金属材料は、オフガス発生量の少ない材料を選定する。 	<ul style="list-style-type: none"> オフガス試験を実施し、ISS要求を満足することを確認した。 	4.(2)誘導環境からの保護 5.(3)構成材料
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、衛星放出機構の安全上の機器が誤動作する。 衛星放出機構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。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 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・感受性試験)により、要求値内であることを確認した。 	4.(2)誘導環境からの保護
⑥	高温/低温部への接触 (船内:クリティカルハザード、船外: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。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 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。 ※ 船内搭乗員に対する許容外表面温度: -18~49℃ 船外活動員に対する許容外表面温度: -118~113℃	<ul style="list-style-type: none"> 外部環境の最悪条件下において、要求値以内であることを確認した。 電気ボックス及び分離機構の一部に要求値を超える箇所については、Heat RateがISSの規定以内であることを確認した。 親アーム先端取付型実験プラットフォームの船内回収時には接触許容温度内に入るまでエアロックに待機させることを運用制御とする(8.3(3)項)。 	6.(3)保全性 7.(1)搭乗員の保護

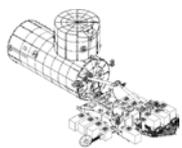


8. 安全設計・検証結果

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	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。 不適切な電力線サイズの選定により加熱し火災に至る。 不適切な接地設計により高電圧部を形成し、搭乗員が感電する。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 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。 関連機器が適切に接地されていることを接地抵抗を計測した。 	5.(3)構成材料 6.(2)信頼性 7.(1)搭乗員の保護
⑧	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(分離機構)の破損により、破片等により船内/船外クルーを損傷させる。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 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
⑨	感電(電源コネクタ脱着)(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、搭乗員の死傷に至る。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 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運用はないことを確認した。 	6.(3)保全性 7.(1)搭乗員の保護

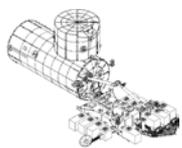


8. 安全設計・検証結果

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
⑩	障害物による退避経路の妨害 (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 衛星放出機構の船内及び船外の設置状態が、クルーの退避経路と干渉する。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 船内においては、ISSが規定する最小退避経路(縦127cm x 横183cm)を確保する。 船外においては、予め規定した移動退避経路と干渉しないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 図面および干渉解析により船内では退避経路が確保されること、また船外では移動経路と干渉しないことを確認した。 	8.(2)アクセス
⑪	引っ掛かり、挟み込み (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 機器の突起物や可動部により、船外活動中の搭乗員の手袋、衣服に穴が開く、可動部に挟み込まれなど搭乗員の死傷に至る。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> ISS共通の安全標準に基づき、機器は許容できない突起物或いは隙間がない設計とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 突起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
⑫	穴、隙間による拘束 (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 機器の穴や隙間により、船外活動中の搭乗員の手袋などが隙間に引っ掛かり拘束されるなど搭乗員の死傷に至る。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> ISS共通の安全標準に基づき、機器は許容できない穴や隙間がない設計とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 穴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
⑬	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。 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 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。 ただし、ISS要求を満足できない分離機構の一部(フックとカム)については、接触禁止エリアを設定した(8.3(2)項)。 	7.(1)搭乗員の保護
⑭	クルー退避時の障害 (カタストロフィックハザード)	<ul style="list-style-type: none"> 船内においてケーブル等がきぼうのハッチ等と干渉し、緊急退避時の障害となる、 	【リスク最小化設計】 <ul style="list-style-type: none"> 船内での運用コンフィギュレーションが緊急退避を妨害しないような設計とする 	<ul style="list-style-type: none"> きぼう船内でのコンフィギュレーションを図面により確認した。 	8.(2)アクセス



8.3 J-SSODおよびMPEPに特徴的な制御方法により検証した事項



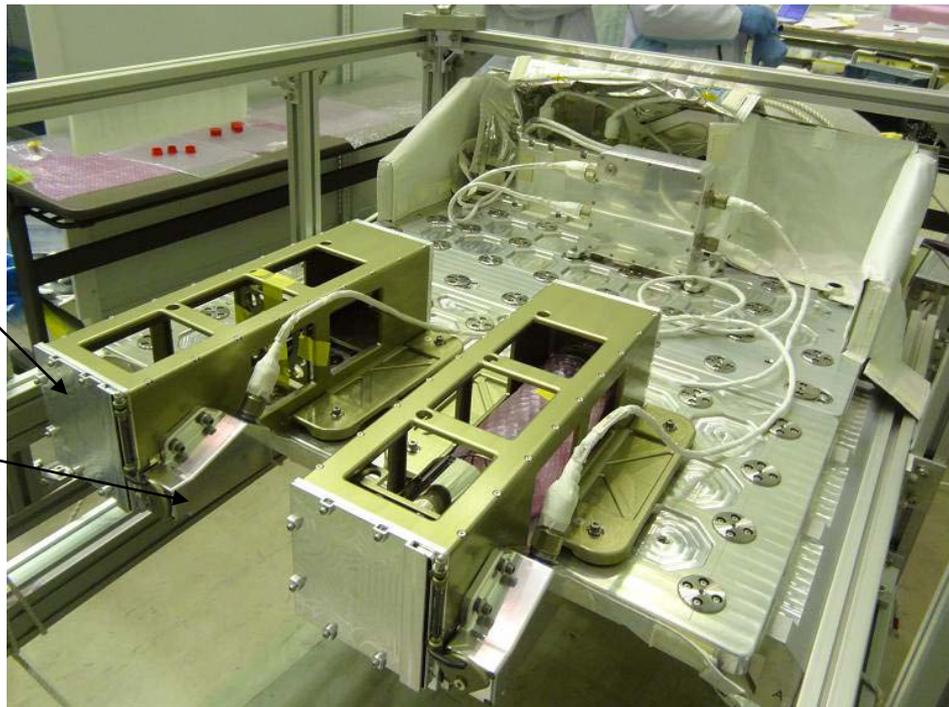
(1) 衛星のISS/クルーへの衝突 (1/5)

【想定されるハザード】: 船内:クリティカルハザード/船外:カタストロフィックハザード

- きぼう内でのチェックアウト中の分離機構の機械的な故障により、衛星が不意に放出され、船内クルーもしくはきぼう内機器を損傷させる。

J-SSODチェックアウト中は
分離機構の故障時の衛星
飛び出しに備えて
ロンチカバーを装着

分離機構

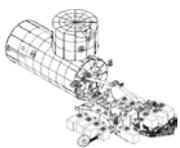


(図は衛星が搭載されていない状態)

【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計

制御	検証結果
(1)チェックアウト時は、小型衛星放出口にロンチカバーをつけることで誤放出を防ぐ設計であること。	(1)チェックアウト時の手順の運用制御合意文書*への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



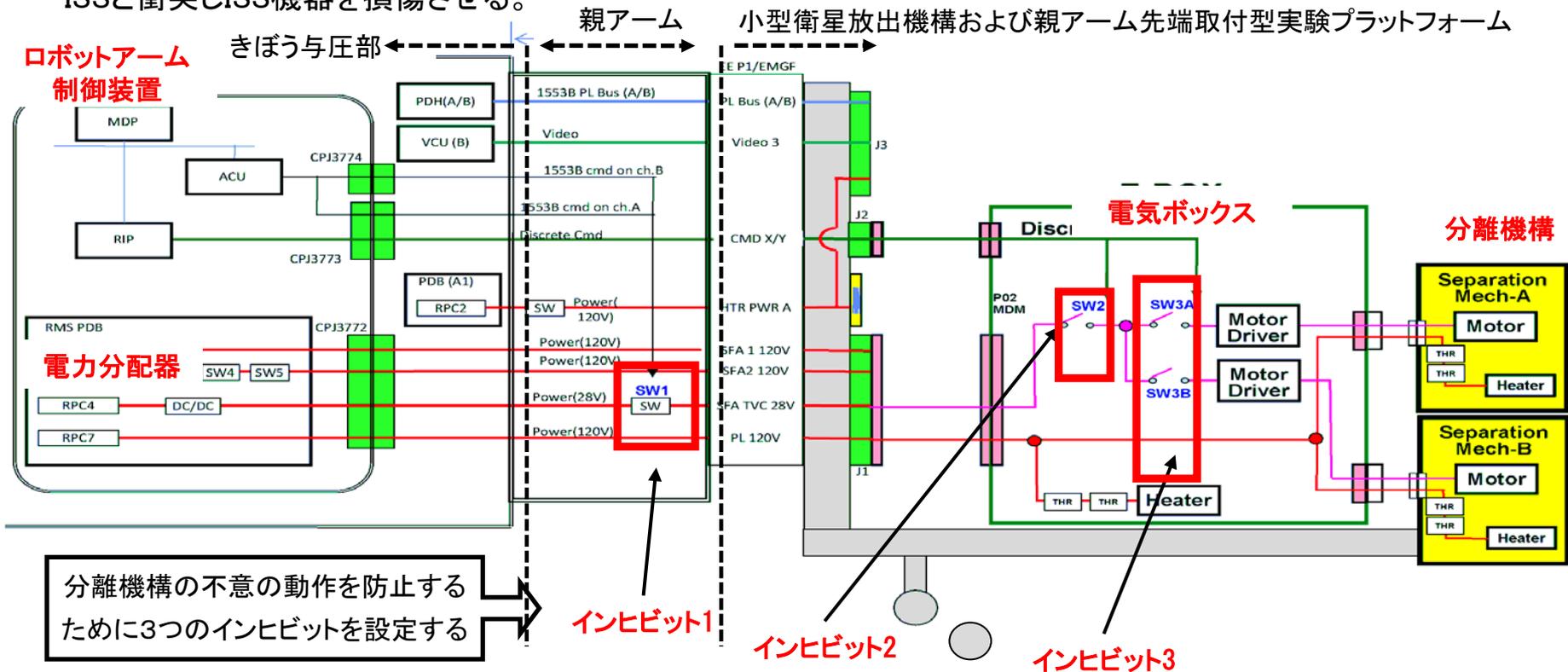
8.3 J-SSODおよびMPEPに特徴的な制御方法により検証した事項 (1) 衛星のISS/クルーへの衝突 (2/5)



Japanese Experiment Module

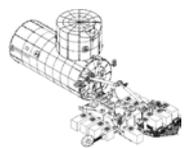
【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- ロンチカバー取り外し後のチェックアウト中に分離機構の電氣的な誤動作による衛星の不意な放出により、ISSと衝突しISS機器を損傷させる。



【制御方法、検証方法】: 故障許容設計

制御	検証結果
(1) 分離機構の誤作動の防止のため、インビット(電源スイッチ)を3箇所設ける。	(1) シミュレータと実機を組み合わせた条件でのインビットの機能試験結果を確認した。



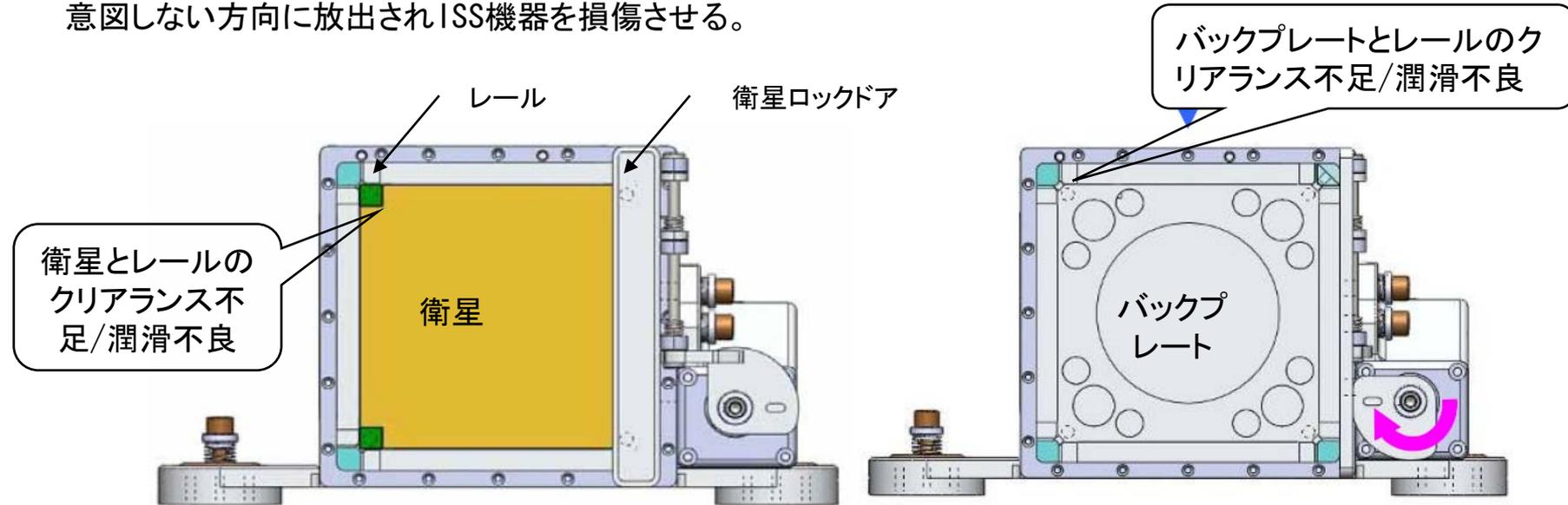
8.3 J-SSODおよびMPEPに特徴的な制御方法により検証した事項



(1) 衛星のISS/クルーへの衝突 (3/5)

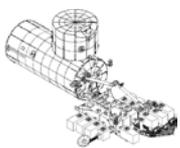
【想定されるハザード】: 船内:クリティカルハザード/船外:カタストロフィックハザード

- 衛星放出中に摺動部(衛星/レール間)の干渉(クリアランス不足/潤滑不良)により、放出速度が不足し、衛星が意図しない方向に放出されISS機器を損傷させる。



【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計

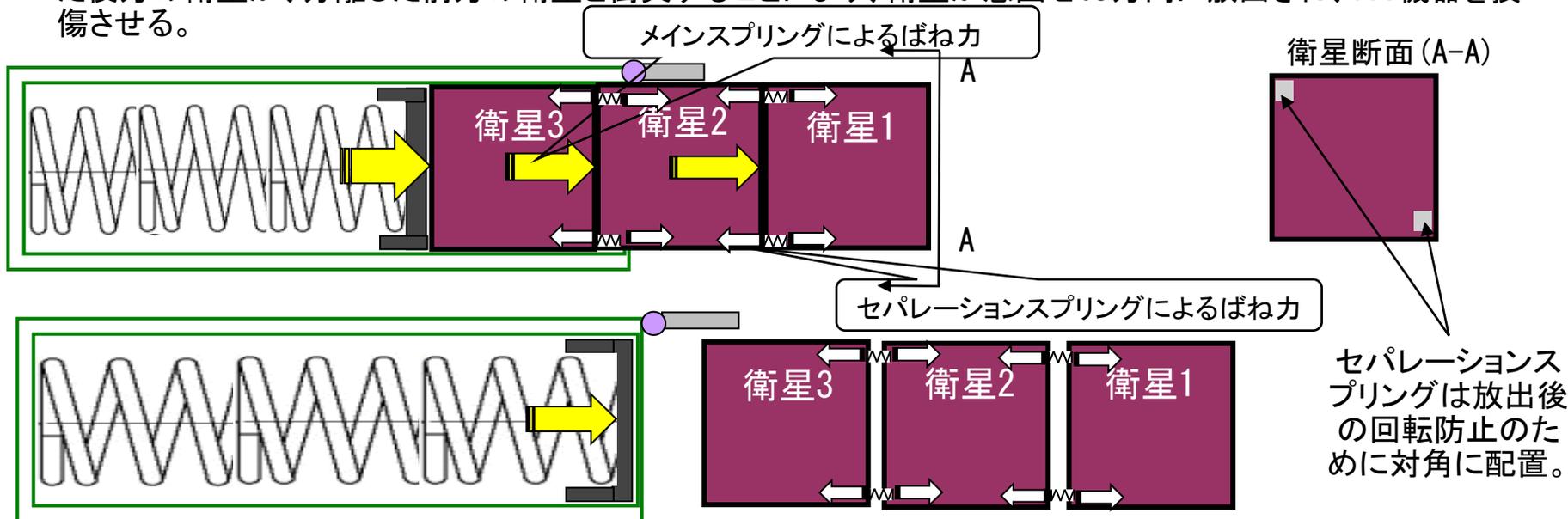
制御	検証結果
<p>(1)摺動部には適切なクリアランス設定と固体潤滑設計を行う。</p>	<p>(1)誤差解析および検査により、J-SSODは要求に従って精度で組み上がっていることを確認した。また現品検査により所定の潤滑剤が塗布されたことを確認した。</p> <p>注1)衛星側がインターフェース通りに製作されることは別途確認する(11項参照)。また衛星搭後の最終形態の確認は安全検証追跡ログにより確認する。</p> <p>注2)衛星ロックドアが開く直前に電気故障により分離機構のカムが停止した場合、完全にドアが開かず不安定な状態になるリスクに対しては、可能性が非常に低いことをNASAとともに確認している。</p>



8.3 J-SSODおよびMPEPに特徴的な制御方法により検証した事項 (1) 衛星のISS/クルーへの衝突 (4/5)

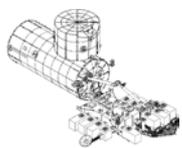
【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

- 放出中の衛星同士がケース内でセパレーションスプリング力により分離し、メインスプリング力により加速された後方の衛星が、分離した前方の衛星と衝突することにより、衛星が意図せぬ方向に放出され、ISS機器を損傷させる。



【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計

制御	検証
<p>(1) メインスプリングにより衛星を押し出す力を、セパレーションスプリングにより衛星を押し戻す力より大きくすることにより、セパレーションスプリングがケース内では伸びることができない状態とする。この状態を衛星3がケースを出るまで維持できるよう、メインスプリングおよびセパレーションスプリングのばね定数とストロークを設定する。</p> <p>(2) 衛星3がケースから出るまでメインスプリングのばね力を衛星に負荷できるように、メインスプリングの自然長をケース長より長くする。</p>	<p>(1) ケース内で衛星同士が分離しないことを、機構応答解析および機能試験により確認した。 注)衛星側に対しては、インタフェース管理文書にてJAXAの提供するセパレーションスプリングを使用することを要求する。(検証結果は衛星の審査時に確認予定)</p> <p>(2) 現品検査により、図面どおりのメインスプリングであること確認した。</p>

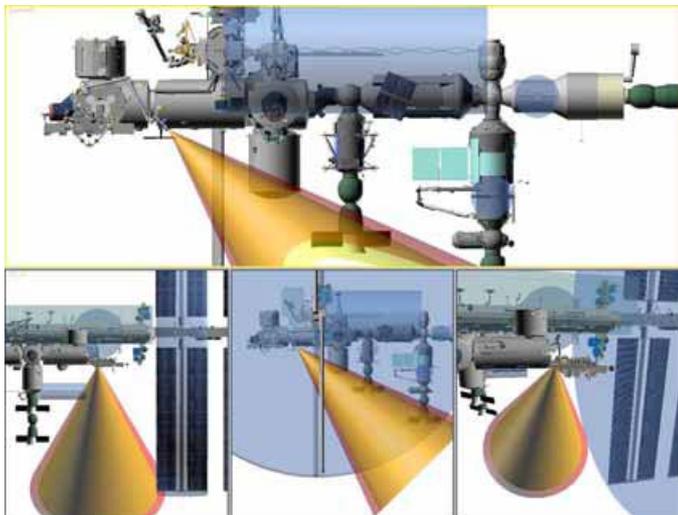


8.3 J-SSODおよびMPEPに特徴的な制御方法により検証した事項 (1) 衛星のISS/クルーへの衝突 (5/5)

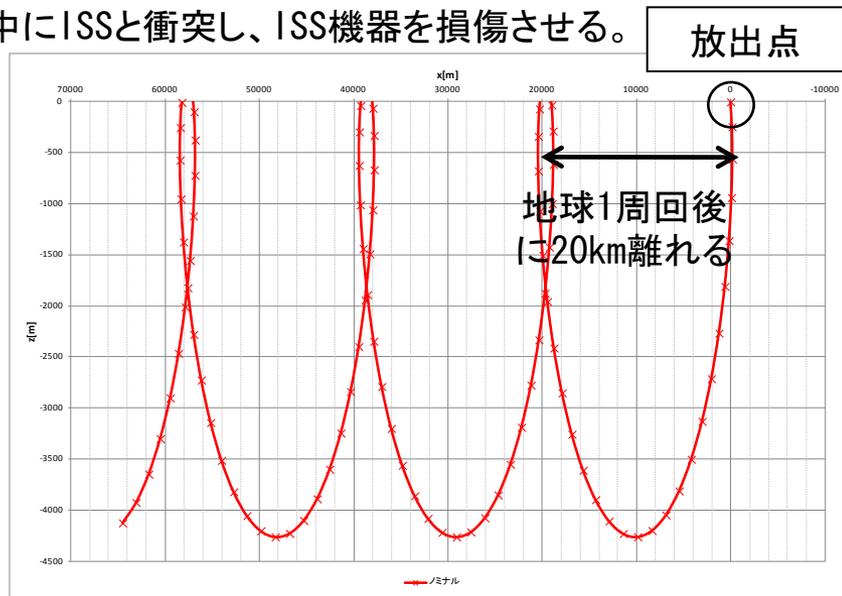


【想定されるハザード】: カタストロフィックハザード

「きぼう」から放出された衛星が放出直後および軌道周回中にISSと衝突し、ISS機器を損傷させる。



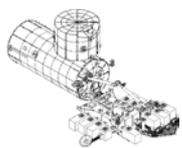
①放出先に障害物がないことの確認



ISSから放出後の水平距離
②衛星放出後の1周回後にISSからの相対距離

【制御方法、検証方法】: リスク最小化設計

制御	検証結果
<p>ISSからの以下の要求に適合させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) 放出直後のISSへの衝突を防ぐ。 (2) 放出された衛星が1周回後にISSを中心とする半径200mの球体外側にあるように、放出速度、弾道係数を設定する。 (3) 大気圏突入(高度120km)までの軌道周回寿命が25年以下となるよう、弾道係数を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 放出角度の誤差は、中心軸から5° 以内(許容角度 18°)であることを機構解析および機能試験により確認した。 (2) 弾道係数100 kg/m^2 (小型衛星に要求する最大値)の場合、1周回後のISSとの距離が半径200mの球体の外側にあることを軌道解析により確認した。 (3) 放出後から大気圏突入まで約250日(弾道係数100 kg/m^2, 高度400kmで放出した場合)であることを軌道解析により確認した。

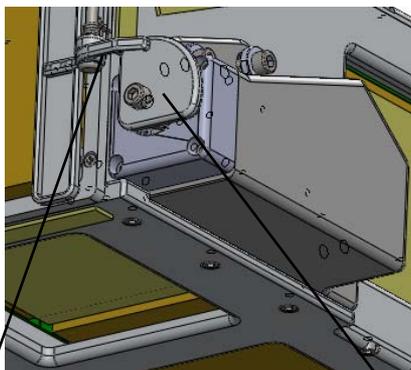


8.3 J-SSODおよびMPEPに特徴的な制御方法により検証した事項 (2) シャープエッジ等による接触禁止エリアの設定

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

- J-SSODの分離機構、機能上の必要性から船外クルーに対するISS要求(R1.5)および船内クルーに対する要求を満足できないシャープエッジ部位があり、船外服を損傷させる可能性がある。
- 船外クルーが接触することにより、衛星の表面の太陽電池パネル(ガラス材質)が破損し、シャープエッジ部位となる可能性がある。
- 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(NTA: No Touch Area)として規定し、運用による制御を行う。



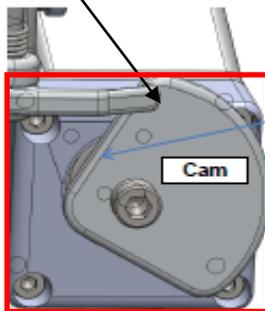
(要求R1.5)

R1

R0.5

(要求R1.5)

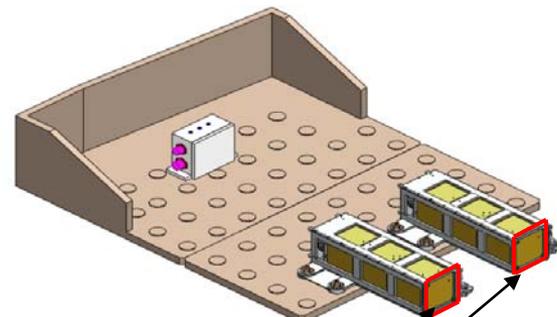
Hook



R1

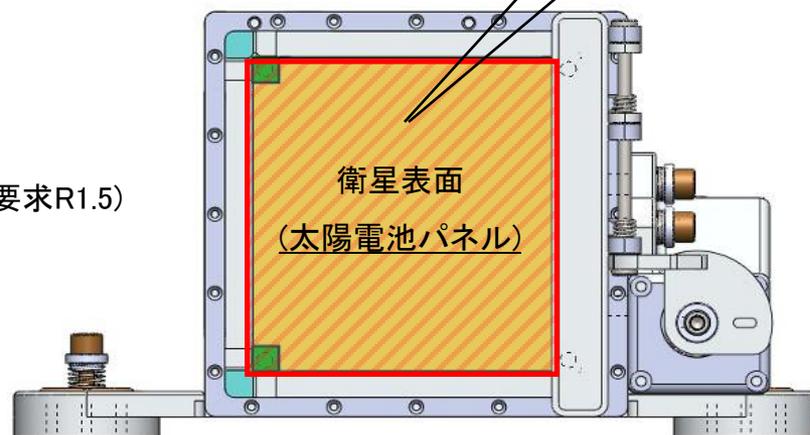
(要求R1.5)

Cam



衛星表面

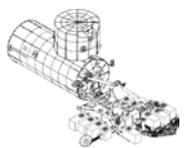
(太陽電池パネル)



【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"> • 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。 	<ul style="list-style-type: none"> • 接触禁止エリアが運用制御合意文書*に規定されたことを確認した。

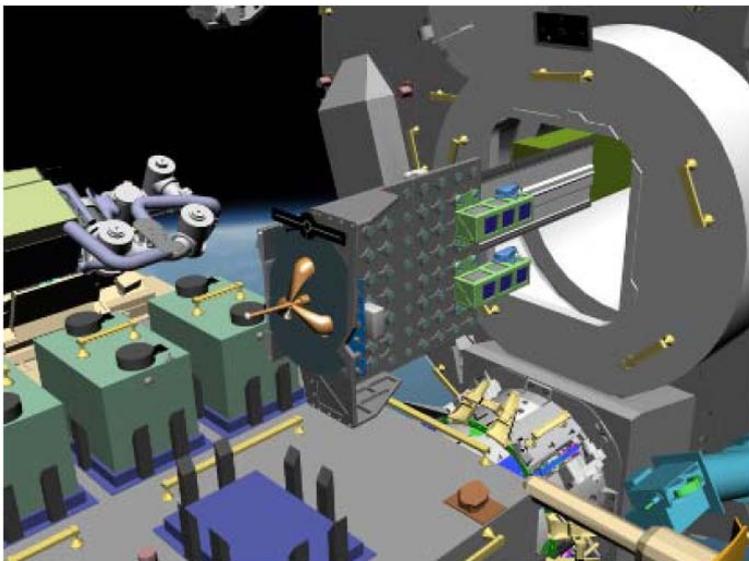
*運用制御合意文書: 運用制御内容を装置開発担当部門から手順書を作成する運用部門に申し送るための文書



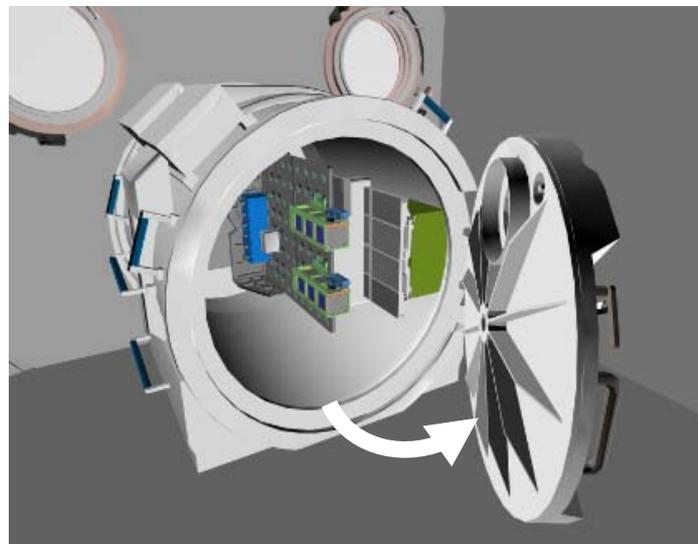
8.3 J-SSODおよびMPEPに特徴的な制御方法により検証した事項 (3)実験プラットフォームの船内回収後の高温/低温部への接触

【想定されるハザード】: クリティカルハザード

- ・衛星放出後、エアロックからの回収時に、エアロック内で親アーム先端取付型実験プラットフォームの表面温度が許容値(-18℃～49℃)内となる前に船内クルーが接触し、火傷または凍傷を生じさせる。



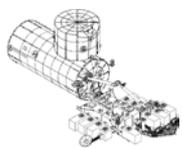
実験プラットフォームの回収



きぼう船内での験プラットフォームの取り出し

【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"> ・エアロック内でアーム先端取付型実験プラットフォーム表面が許容値内となるまでの時間を解析し、エアロック内での必要待機時間を手順に規定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・エアロック内でアーム先端取付型実験プラットフォームが許容値内となるまでの必要時間の解析については打上げ前までに実施するため、安全検証追跡ログで管理する。



9. 運用への準備等

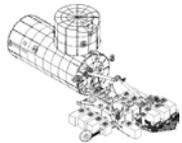
(1) 運用制御合意文書の運用への反映

- 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、JAXAシステムもしくは装置の運用によるものはJAXA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運用安全担当および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

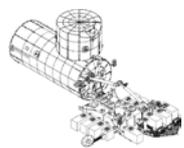
- 打上げ前に最終検証を行うものは、安全検証追跡ログ(SVTL: Safety Verification Tracking Log)に識別し、今後JAXAにより管理する。

番号	安全検証追跡ログ	処置予定
1	最終梱包状態を確認する(衛星の最終搭載態の確認含む)。	6月中旬
2	エアロック内で実験プラットフォームが常温となるまでの必要待機時間を解析する。	6月下旬



10. 結論

JAXAは、J-SSODおよびMPEP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。



11. 小型衛星に対する安全検証の確認について

- 小型衛星で現時点で識別されているハザード項目は、付表-3の通りである。
- これらの項目に対する検証結果は、従来通りJAXA内の安全審査により審査される予定であるが、ISS共通的な検証方法に基づき付表-4に従い検証される。