

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)

平成 1 1 年 7 月 7 日

宇宙開発委員会安全評価部会

はじめに

宇宙開発委員会においては、国際宇宙ステーション（ISS）の日本の実験棟（JEM）の安全確保を図るため、平成4年6月に「宇宙ステーション計画の安全に関する調査審議について」を決定し、安全評価部会に調査審議を付託した。

当部会では、JEMの安全確保のために考慮すべき事項について調査審議を行い、「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」を取りまとめ、平成8年4月に同委員会に報告した。

今般、「民生用国際宇宙基地のための協力に関するカナダ政府、欧州宇宙機関の加盟国政府、日本国政府、ロシア連邦政府及びアメリカ合衆国政府の間の協定」（IGA）及び「民生用国際宇宙基地のための協力に関する日本国政府とアメリカ合衆国航空宇宙局との間の了解覚書」（MOU）に基づくJEMの詳細設計に関する宇宙開発事業団（NASDA）及び米国航空宇宙局（NASA）における安全審査が終了したことから、平成11年4月より、NASDA筑波宇宙センターにおいてJEMのエンジニアリングモデル（EM）視察を行うとともに、同指針に基づきJEMの安全設計について調査審議を行ってきたが、その結果を取りまとめたので報告する。

今後は、JEM開発終了段階において、ハザード制御の実効性についてNASDAから報告を受け、JEMの安全確保についての確認を行うこととする。

- 目 次 -

1 . 基本的考え方	1
(1) 安全確保の対象	1
(2) 安全確保の方法	1
ア ハザードの識別	1
イ ハザードの除去・制御	1
ウ 残存ハザードのリスク評価	1
2 . 宇宙環境対策	2
(1) 自然環境からの保護	2
ア メテオロイド・スペースデブリ	2
イ 宇宙放射線	3
ウ 高真空、微小重力等	4
(2) 誘導環境からの保護	5
ア 打上げ時の誘導環境	5
イ 軌道上の誘導環境	5
(3) 軌道上環境等の保全	7
3 . 構造	8
(1) 設計	8
ア 構造設計	8
イ 圧力容器の設計	8
(2) 剛性・強度	9
ア 剛性	9
イ 静荷重強度	9
ウ 疲労強度	9
(3) 構成材料	10
ア 可燃性・ガス発生に対する考慮	10
イ 破壊靱性に対する考慮	10
ウ その他の材料特性	10
4 . 安全性・信頼性等	11
(1) 安全性	11
ア ハザードの被害度合いとフォールトトレランス数	11
イ 冗長設計とインヒビット設計	11
(2) 信頼性	11
ア システムの独立性	12
イ 故障検知	12
ウ 自律性の確保、自動機能に対するオーバーライド	12
(3) 保全性	13
ア 機能中断の防止	13
イ 危険防止	13
(4) 品質保証	14

5 . 人間・機械インタフェース設計	1 5
(1) 搭乗員の保護	1 5
ア 外傷の防止	1 5
イ 火傷の防止	1 5
ウ 感電の防止	1 5
エ 作業等の安全性	1 6
(2) 誤操作等の防止	1 6
ア 自動化	1 6
イ 内部装飾	1 6
ウ 機器の操作手順	1 6
エ 視野等	1 7
(3) 共通化	1 7
6 . 緊急対策	1 8
(1) 緊急警報	1 8
ア 火災	1 8
イ 減圧	1 8
ウ 汚染	1 8
(2) アクセス	1 9
ア 非常設備、防護具	1 9
イ 安全上重要な手順書	1 9
ウ 通路	1 9
(3) 減圧・再加圧	1 9
7 . 安全確保体制	2 0
8 . NASDAのJEMの安全対策に対する所見	2 1
(参考 1) 宇宙ステーション計画の安全に関する調査審議について	7 6
(参考 2) 宇宙開発委員会安全評価部会構成員	7 7
(参考 3) 安全審議プロセス、IGA・MOU (抜粋)	7 8
(参考 4) スペースデブリ問題：最近の動向	8 1
(参考 5) 宇宙放射線とその生体影響	9 1
(参考 6) 宇宙放射線被曝管理分科会中間報告	1 1 9

1. 基本的考え方

(1) 安全確保の対象

JEMにおいては、以下に述べるとおり、直接搭乗員に被害を与えるハザード（事故をもたらす要因が顕在又は潜在する状態）及び安全に関わるシステムに被害を与えることにより間接的に搭乗員に被害を与えるハザードが考慮され、搭乗員の死傷を未然に防止するための安全確保が図られている。

(2) 安全確保の方法

JEMにおいては、有人活動の特殊性を配慮して安全設計を行うことを基本的考え方とし、次のとおり、ハザードを識別し、優先順位に従い、ハザードの制御、残存ハザードのリスク評価が行われている。

ア ハザードの識別

対象となるシステム及びその運用について、ハードウェア、ソフトウェア、運用・誤動作等のヒューマンエラー、インターフェース、環境条件等を考慮して、予測可能なすべてのハザード及びその原因が故障の木解析（FTA）・故障モード影響解析（FMEA）を活用した安全解析により識別されている。

イ ハザードの除去・制御

ハザードについては可能な限り除去するが、困難な場合には、①リスク低減設計、②安全装置、③警報・非常設備等、④運用手順、⑤保全の優先順位でハザードの制御が行われる。

設定されたハザード制御の有効性は、①試験、②解析、③検査、④デモンストラーションのいずれか、あるいは組み合わせによって確認される。

ウ 残存ハザードのリスク評価

残存ハザードのリスクは、被害の度合い（表－1）及び発生頻度（表－2）のマトリクス（図－1）で評価され、十分低いレベルに制御されていることが確認される。

2. 宇宙環境対策

JEMは、宇宙における自然環境並びに打上げ時及び軌道上における誘導環境から搭乗員及び安全に関するシステムを保護するため、以下の対策が講じられている。

(1) 自然環境からの保護

ア メテオロイド、スペースデブリ

メテオロイド（流星物質）、スペースデブリ（宇宙機システムから発生する人工物体）（図-2、図-3及び図-4、以下「デブリ」という。）の衝突により、JEMの安全に関わるシステムが損傷し、搭乗員が危険な状態とならないよう、次のとおり可能な限りの防御対策がとられている（図-5）（注）。

（注）ISSでは、安全上重要な与圧モジュールの構造については、全体で配慮する必要があるので、デブリ衝突時にモジュール壁を貫通しない確率（非貫通確率：PNP、Probability of No Penetration）が規定されており、JEMの与圧部と補給部与圧区とを合わせたPNP要求値は、0.9738/10年となっている。

①直径1cm以下のデブリ

スタッフィング入りバンパ（米国NASAで提案されたセラミック材/炭素複合材料（Nextel/Kevlar）からなるスタッフィング（充填材）を外側バンパと与圧壁の間に設置したバンパ）による貫通防御対策が実施されている（図-6、図-7及び図-8）。

②直径10cm以上のデブリ

事前に地上観測結果を使用して、デブリの存在・軌道要素を把握し、衝突の危険性がある場合は、ISSの軌道制御により衝突回避する。

③直径1～10cmのデブリ

衝突により与圧モジュールをデブリが貫通した場合、搭乗員は隣のステーション本体側モジュールに退避しハッチを閉めることとしている。デブリ貫通による与圧モジュール損傷直径とステーションの与圧モジュール全体の減圧時間

の関係は、図－9に示すとおりである。

なお、現在、直径10cm以下のデブリについても認識できるよう、地上観測能力の向上、データベース充実に向けて努力がなされており、ISS/JEM運用までに、国際的協力の下、デブリによる搭乗員の危険を低下させることが期待されている（参考4参照）。

イ 宇宙放射線（図－10）

ISSが運用される高度約400km、軌道傾斜角51.6度の軌道においては、機器及び搭乗員は、太陽系外から飛来し鉄等の重粒子成分を含む銀河宇宙線、太陽フレアで発生する太陽放射線、地球磁気圏に定常的に捕捉されている捕捉放射線により被ばくする。

このため、JEMの安全に関わる機器については、これらの放射線による誤動作、故障及び性能劣化を生じないように、耐放射線部品、放射線シールド、ソフトウェア改善（エラー検出訂正等）等、可能な限りの対策を講じ、JEMとしての耐放射線性が評価・確認されている。

また、与圧モジュール内の搭乗員については、ISSでは造血器官（深さ5cmの線量当量）に対する被ばくが年間400mSv（40rem）を越えないことが設計要求とされている。

JEMの与圧部・補給部与圧区は、外壁にアルミを使用し、外壁の外側にはアルミ製のデブリシールド、多層断熱材が設置され、また、与圧部内の外壁内側には機器を搭載したラック、艀装品が設置され、放射線の遮蔽に寄与している。

これらの対策により、与圧部・補給部与圧区内の搭乗員に対する被ばく量は、ISS設計要求値内に抑えられることが解析により確認されている（表－3）。

なお、運用に当たっては、太陽フレア等の突発的な現象に備え、太陽活動の観測やISS船内・船外における宇宙放射線計測を実施し、搭乗員の被ばく量を定常的に把握する計画となっている。

さらに、搭乗員個人の被ばく量を計測・記録し、宇宙放射線被ばくのリスクを耐容・容認可能なレベルに保つため、搭乗期間及び船外活動（EVA）の期間を適切に管理することにより、生涯に受ける総被ばく量及び一定期間内に受ける臓器・組織の被ばく量を制限する計画となっている。

今後は、銀河宇宙線に含まれる鉄等重粒子イオン被ばくや、その外壁等におけるフラグメンテーション等による2次放射線被ばくの影響、人体内の臓器毎の線量の評価方法等についても研究が進められる予定となっている（参考5及び参考6参照）。

ウ 高真空、微小重力等

①高真空

与圧部・補給部与圧区は、搭乗員が高真空の環境に曝されないよう、ISS本体側の全圧制御による内部圧力を維持する設計となっている。

曝露環境に設置される機器は、高真空に曝されるため、地上との気圧環境の差異を考慮した設計とされており、環境試験により高真空下での耐環境性が確認されている。（減圧・再加圧については、6（3）参照。）

②微小重力

微小重力下での、物体の浮遊による搭乗員への衝突や挟み込みを防止するため、JEMに持ち込まれ又は取り外される機器は、仮置き時に拘束器具が取付け可能で（図-11）、搭乗員による取り扱いの作業手順が適切に設定されている。

また、微小重力下で搭乗員が作業を行う場合には、自身の足を固定できるよう、適切な箇所に足部固定具が設置可能となっている（図-12）。

③プラズマ

軌道上の太陽光線、高速荷電粒子の衝突により発生するプラズマは、機器を帯電させ、機器の性能劣化・故障を引き起こすおそれがあるため、機器・構造物・熱制御材等に対し電氣的接地の確保・帯電防止が行われている。

④高温・低温

搭乗員が地上に比べて厳しい軌道上の熱環境に曝されないよう、与圧部・補給部与圧区の内部では、JEMの環境制御機能（図-13）により、搭乗員が軽装で活動できる温度環境が提供される。

また、軌道上の熱環境により、機器の性能劣化・故障が生じないように、打上げから全運用範囲にわたって、各機器の温度を許容温度範囲に保つため、多層断熱材による保温、冷却ループによる冷却、ヒータによる加熱等の対策が講じられている。

⑤酸素原子

紫外線により解離生成される酸素原子は、有機材料・金属の表面の材料特性を変化させるため、影響を受ける部分に対しては、適切な材料の選定、表面処理、多層断熱材等による防護対策が講じられている。

(電磁波については、(2)イ③(ウ)参照)

(2) 誘導環境からの保護

ア 打上げ時の誘導環境

JEMの構造・機器は、打上げ時の誘導環境に基づいてスペースシャトル内のJEM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設計マージンが確保されている。

イ 軌道上の誘導環境

①雰囲気空気(図-13及び図-14)

(ア) 酸素等の濃度

JEM内循環空気は、通常時、JEMと隣接するモジュール間に設置されたファンでの通風換気によりISS本体に送られ、ISS本体側で酸素分圧の制御、二酸化炭素・一酸化炭素等の除去が行われる。

これらの成分の監視は、ISS本体において行われ、二酸化炭素・酸素分圧の異常等が検知された場合、ISS内に警告・警報が発せられ、JEM内の搭乗員にも知らされる。

JEMにおいては、与圧部では供給側と排出側に各々1つのファンを設置しており、片側が停止してもJEMと隣接するモジュール間の通風換気が可能な設計となっている。補給部与圧区では1つの循環ファンで与圧部と通風換気しており、ファン停止時には与圧部に退避する。

なお、与圧部・補給部与圧区のファンの故障は検知することができ、ファンの停止等により搭乗員に危険が及ぶ場合は、隣接するモジュールに退避する。

(イ) 気圧

軌道上運用でISSの内圧は1気圧に維持され、平常時はISS本体から通風換気によりJEMに空気が送られ、JEM内の圧力及び空気成分が制御される。

通常運用時、JEMとISS本体を隔てるハッチは開放されており、JEM内の急激な減圧はISS本体で検知され、JEM内に警告・警報される。

(ウ) 温度、湿度

JEMの温湿度は、独立した2台の空気調和装置によって制御され、1台が停止しても、他の1台の運転により、温度・湿度を基準内に制御できる設計である（与圧部内で温度18.3～26.7℃、湿度25～70%の範囲で設定可能、図-15）。

(エ) 気流等

JEM内の搭乗員が滞在するキャビン内では、微小重力下において特定の場所に気体の滞留が生じないように、ファン容量・回転数・ディフューザ仕様（形状・吹き出し面積・方向・絞り量等）を最適化して人工的に適切な空気流を発生させる。

なお、微粒子・微生物は、空気調和装置組み込みのフィルタ機能により、除去される。

②汚染（図-16）

(ア) 有害物質の放出防止

JEMにおいては、ISS計画で規定された選定基準に従って使用する材料が選定されており、有毒・危険な化学物質・材料は使用されていない。

構造・内装・搭載機器等に使用される非金属からのオフガスについては、製造・試験段階で必要に応じて部品・機器・ラックレベルで、真空環境下での加熱によるガス抜きが行われ、オフガス発生量をISSで設定される基準レベル内に抑える。

(イ) 制御

ISS内では、搭乗員・実験動物からアンモニア等の代謝生成物が放出されるため、ISS本体において搭乗員に影響を与えることが想定される放出物質の監視・警報発出・制御が行われる。

JEMの与圧部内で汚染が発生し、緊急処置が必要となった場合、搭乗員は隣接するモジュールに避難し、ハッチを閉じる。

汚染をISS本体側で除去できない場合には、与圧部内の空気を宇宙空間へ排出して汚染物質を除去する（（3）軌道上環境の保全、6（1）ウ汚染参照）。

③振動、音響、電磁波

（ア）振動

JEMシステムの冷却水用ポンプ・真空排気用ポンプ・空調用ファン等の各種回転機器から発生する振動は、微小重力実験に影響を及ぼさないよう抑制されているため、人体・搭載機器に影響を与えるレベルではない。

ISSでは、スペースシャトルのドッキング、ISSの軌道変更等から加速度が生じるが、打上げ時の振動環境に比べて小さく、搭乗員・JEM・搭載機器に影響を与えないと考えられる（図－17）。

（イ）音響

振動と同様に、真空排気用ポンプ・空調用ファン等の各種回転機器、空調ダクト、バルブ、ノズルから音響が発生するが、ISS計画では、搭乗員に快適な環境を提供できるよう、騒音に対する設計基準が設定され（図－18）、JEMにもこれを適用している。

（ウ）電磁波

ISSの各機器、地上レーダ、スペースシャトル、人工衛星等から電磁波が発生するが、ISS計画では、電磁干渉によって機器に誤動作等を引き起こさないよう、電磁波を生じる側と受ける側の双方に対して規定が設けられている。

JEMにもこの規定が適用され、機器レベルからシステム全体にわたって、試験により電磁適合性（EMC）が確認される。

（3）軌道上環境等の保全

スペースデブリの発生はISSに対するハザードとなるため、JEMは、構成要素・軌道上交換ユニット等の機器を不意に放出せず、固体の廃棄物及び短期間に気化しない液体の廃棄物を軌道上に投棄しないよう設計されている。

3. 構造

搭乗員・搭載機器を宇宙環境から保護し、安全に支持するため、JEMの構造には、以下のような対策が講じられている。

(1) 設計 (図-19)

ア 構造設計

①飛行荷重

打上げ・軌道上・帰還・着陸等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され、その結果は解析及び強度試験によって検証され、十分な安全性を持つことが確認されている(表-4、表-5及び図-20)。

②構造損傷

搭乗員の過失等の不測の原因によりJEMの構成機器・パネル等に構造損傷が生じた場合にも、JEM・搭乗員が直ちに危険な状態に陥ることのないよう、残りの構造で制限荷重まで耐える設計となっている。

イ 圧力容器の設計

与圧部・補給部与圧区構造を含む圧力容器は、破裂の危険性に対し十分な安全性を確保するため、次の対応が取られている。

①最大設計圧力(MDP: Maximum Design Pressure)

JEMは、MDP(ガスの漏洩、圧力リリーフ機能損失等、圧力上昇の原因として考えられる故障が2重に発生した時の最大の圧力)に安全率を掛けた圧力に対し、必要十分な強度を持たせた設計とされている。(安全率については(2)剛性・強度参照。)

②リークビフォアラプチャ

破壊靱性値の高い材料と運用圧力における適切な応力を選ぶことにより、リークビフォアラプチャ設計(容器に許容値を超える長さの亀裂が発生した場合でも、亀裂が貫通してリークが発生することで圧力を下げ、破裂を起こさない設計)としている(図-21)。

(2) 剛性・強度

ア 剛性

①有害な変形の防止

JEMには、スペースシャトルによる打上げ・着陸荷重とISSのリブースト、ドッキング等による軌道上荷重が負荷されるため、運用中の最大荷重に対し、次の剛性を持つよう設計されている。

(ア) 複合した環境条件の下で、結合部を含め構造物に有害な変形が生じない

(イ) 変形によって構体の隣接部品間等の接触・干渉を生じない

②有害な共振の防止

打上げ・着陸時、軌道上運用時において、JEMとスペースシャトル、JEMとISS間での共振により、過大な荷重が加わり、有害な変形・破壊を起こすことのないに設計されている。

イ 静荷重強度

JEMの構造は、JEM飛行運用中の打上げ・着陸荷重、軌道上荷重の中で予想最大荷重である制限荷重に安全率（降伏・終極安全率）を乗じた降伏・終極荷重に対し、温度等を複合した環境条件の下で降伏・破壊を生じないように設計されている（表－6）。

ウ 疲労強度

①寿命

JEMの計画運用期間は10年であるが、運用期間が延長された場合も考慮し、JEMの構造の設計寿命は、15年と設定されている。

JEMの構造には安全寿命設計が適用され、機械的・熱的負荷サイクルに安

全率を乗じた負荷サイクルを受けても構造破壊が生じないように設計されている。

②安全率

I S S 全体に対して寿命安全率 4. 0 が共通要求事項であり、J E M にもこの要求事項を適用している。

③疲労寿命の確認

その破損が、スペースシャトル・I S S・J E M・搭乗員に重大な影響を与える J E M の構造要素（フラクチャ・クリティカル・アイテム）は、非破壊検査を実施し、欠陥が許容される範囲内であることを確認することとなっている。

（3）構成材料

ア 可燃性・ガス発生に対する考慮

火災防止、搭乗員の健康障害防止のため、与圧部内の非金属材料には不燃性・難燃性で、ガスの発生が極めて少ない材料が使用されている。

イ 破壊靱性に対する考慮

デブリの衝突等によって不測の損傷を受けた場合でも致命的破壊に至らないよう、与圧部外壁等には高い破壊靱性値を持つ構造部材が使用されている。

ウ その他の材料特性

宇宙環境と有人活動という特殊な条件の中で、材料劣化を防止するため、耐腐食性・耐応力腐食性・耐電食性等を考慮して J E M 構造材料が選定されている。

ア システムの独立性

電力・通信制御・熱制御・環境制御系統等の安全に関わるシステムは、1系統が故障した場合でも他方の1系統のみで安全な運用を確保できるよう、各系統が冗長設計（並行運転又は待機冗長）され、かつ、冗長系の各要素は物理的に独立している。

また、火災・デブリ衝突等の損傷を想定しても2系統が同時に使用不能とならないよう、独立した2系統の主要機器は別々のラックに装着され、冗長機器の配置・リソース経路を分離し、故障の伝搬を防止するよう設計されている（図-23、図-24、図-25、図-26及び図-27）。

イ 故障検知

搭載するJEMコントロールプロセッサ（JCP）によって、各機器のセンサ等からのデータを周期的に収集し、JEM内の故障を検出・同定して、所定の回復手順を自動的に実行することにより、必要最小限のJEMシステム及び搭乗員の安全性を維持する機能（故障検知・分離・回復（FDIR）機能）を有している（表-9、図-28、図-29及び図-30）。

JCPの周期的診断や各個別制御装置の自己診断によって、処置を要する故障が検知された場合、故障機器が遮断され又は警告・警報が発せられ、処置が促される。

なお、JCPは自己診断機能を有しており、JCP自体に処置を要する故障が検知された場合、待機冗長のJCPを自動的に立ち上げ、切り換える。

ウ 自律性の確保、自動機能に対するオーバーライド

地上管制との通信が途絶えた状態で、火災・減圧・汚染等の緊急事態が発生した場合には、軌道上搭乗員が地上に依存することなく、安全確保の処置を行う必要がある。

このため、安全に関わるJEMシステムの自動制御機能は、軌道上の搭乗員、地上要員のいずれからのコマンドによっても安全側への制御を行うこと（オーバーライド）が可能とされている（図-31）。

なお、意図せぬオーバーライド防止のため、オーバーライドコマンドは、搭

乗員による独立な2つの動作が必要とされている。

(3) 保全性

I S Sの保全作業は、船内活動・船外活動・ロボットアーム操作により、基本的に軌道上交換ユニット（O R U）毎に機器・部品の交換が行われる。

ア 機能中断の防止

J E Mの安全に関わるシステムは、冗長構成となっているため、保全時に1システムを停止させた場合でも、他システムで運転を行い、最低限の機能を確保しつつ、保全作業が可能である（図-32）（（2）信頼性参照）。

イ 危険防止

①船外活動の最少化

搭乗員の船外活動を極力少なくするため、曝露部上面の機器の保全作業は、与圧部内からマニピュレータを使用したロボティクス作業によって行われる（表-10及び図-33）。

②粉塵等の発生の最少化

軌道上での保全作業では、粉塵等を発生する加工作業は行わない計画である。

③流体放出の防止

保全時の流体の放出防止のため、熱制御系の水ループ機器等のインタフェースには、クイックディスコネクタ（Q D）を使用している。

④防護措置

保全作業時の安全を確保するため、露出表面温度が許容温度を超える箇所にはカバー、電気コネクタへの保護キャップ、鋭利端部への保護カバー等が設けられている。

⑤機器取付け及び取外しでの安全

O R Uが無重力状態でハンドレール、シートトラック、ベルクロ等を利用し

で一時的に固定して保管することができるなど、保全に伴う機器の取付け・取外しを安全かつ容易にする設計としている。

コネクタは、識別、結合・分離操作が容易にでき、誤った挿入・脱着ができない構造となっており、確実なロック機能を有している。

ORU間の連結配管・ワイヤー・ケーブルは、取外し等のために長さに余裕を持たせている。

(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り十分な検証が実施されることとなっている。

また、JEM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保存される。

なお、これらのデータのうち、次の安全確保に必要なデータの効率的な蓄積・利用を図るため、データベース化を目的としてJEM S&PAデータ交換システム（SPADEシステム）が構築されている。

- ・ JEM問題報告及び是正処置データ
- ・ JEM材料及び工程技術データ
- ・ JEM 電気、電子、電気機械（EEE）部品データ
- ・ JEM FMEA／クリティカルアイテムリスト（CIL）データ
- ・ JEM ORUデータ
- ・ JEM ハザード関連データ（ハザードレポート）

5. 人間・機械インタフェース設計

(1) 搭乗員の保護

構体・機器による外傷・火傷・感電等の傷害からJEM内の搭乗員を保護するため、以下の対策が講じられている。

ア 外傷の防止

①回転機器に対する防護

ファン、ポンプ等の回転機器は、ハウジング等により覆い、不意の接触による外傷の防止が図られている。

また、回転機器自体は、破壊した場合、破片が飛び散らないよう、安全化設計が行われている（図-34）。

②鋭利端部・突起物に対する防護

ISSの要求値に従って、構造・装置の角・鋭利端部に丸みを持たせる等の処置が行われ（図-35）、性能の維持等のため取り除けない鋭利端部・突起物にはカバー等適切な保護が施されている。

③巻き込み・挟み込みに対する防護

機器は搭乗員が引っかかることのないような配置・大きさ・形状を考慮した設計とされ、ハッチ等搭乗員が挟まれる可能性のある機構は、警告表示により注意喚起されている（図-36）。

さらに、可動部を持つ機器は、不意に稼働しないようにインヒビットが設けられているとともに、緊急停止が可能な設計となっている。

イ 火傷の防止

露出部の表面は、火傷や凍傷を生じない温度範囲（与圧区域内にあり連続的な接触のある箇所は4℃～45℃）となるように設計され、この温度範囲を超える機器は、ラックパネル、クローズアウトパネル等により直接の接触を防止し、又は警告ラベルにより搭乗員の注意を喚起する。

ウ 感電の防止

電気設備は、短絡・接続不良等による漏電を防止するため、電力リード線・接点・端子・コンデンサ等の露出を避け、また、電気機器は、感電を防止する

ための適切なボンディング・接地・絶縁が行われている。

電力ラインのコネクタは、搭乗員による装脱着時の感電等の防止のため、コネクタ上流に電流遮断機能をもたせるとともに、ピンが露出しないタイプのコネクタの採用、コネクタの接地の確保が行われている。

エ 作業等の安全

足部固定具（フットレストレイント）、取っ手（ハンドレール）等の移動支援具は、荷重に十分耐えられるように適切な安全率（1.5）を持った構造設計が行われ、搭乗員の移動・作業場所を考慮した適切な位置に配置されている（図－37）。

（2）誤操作の防止

ア 自動化

搭乗員の誤操作・操作忘れの防止などのため、JEMRMSコンソール電源投入時のアビオニクスファン・煙検知器の自動的始動等、可能な限りの自動化が図られている。

イ 内部装飾

搭乗員の誤認を避けるため、室内の装飾、銘板、ラベル、マーキングに対し、次のような配慮がなされている。

- ① JEMの内部装飾全体は、搭乗員に上下左右の方向感覚を持たせるような設計とされている。
- ② 配線束・流体配管は、両端及び1m（非与圧領域は5m）間隔でその機能が識別でき、また、バルブの開閉状態が容易に確認できるようにされている。
- ③ データ表示・操作手順表示・マーキングは、英語又は国際標準シンボルを使用し、日本語等他の言語を使用する場合には、並記することとされている。

ウ 機器の操作手順

- ① ハザードを発現させる可能性のあるコマンド（ハザードス・コマンド）は、搭乗員又は地上要員が安全のための必要条件を満足していることを確認した後、発信されることとなっている。
- ② 安全上重要なシステム・装置は、独立したインヒビットにより保護されてい