



スペースデブリ発生防止標準

2023年4月27日 E改定

宇宙航空研究開発機構

免責条項

ここに含まれる情報は、一般的な情報提供のみを目的としています。JAXA は、かかる情報の正確性、有用性又は適時性を含め、明示又は黙示に何ら保証するものではありません。また、JAXA は、かかる情報の利用に関連する損害について、何ら責任を負いません。

Disclaimer

The information contained herein is for general informational purposes only. JAXA makes no warranty, express or implied, including as to the accuracy, usefulness or timeliness of any information herein. JAXA will not be liable for any losses relating to the use of the information.

発行

〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

宇宙航空研究開発機構 安全・信頼性推進部

JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency)

目次

1. 総則	1
1.1 目的	1
1.2 範囲	1
1.2.1 適用範囲	1
1.2.2 テーラリング	2
2. 関連文書	2
3. 定義	3
3.1 用語の定義	3
3.2 略語の定義	5
4. 要求事項	5
4.1 基本 requirements	5
4.2 デブリ発生防止管理	5
4.2.1 概要	5
4.2.2 組織	5
4.2.2.1 スペースデブリ発生防止管理組織	5
4.2.2.2 宇宙機運用管理組織	6
4.2.3 管理計画書	6
4.2.3.1 デブリ発生防止管理計画書	6
4.2.3.2 宇宙機運用管理計画書	6
4.3 ライフサイクルの各フェーズにおける管理	6
4.3.1 概念検討、概念設計、計画決定フェーズにおける管理	7
4.3.2 設計フェーズにおける管理	7
4.3.3 運用フェーズにおける管理	7
4.3.4 廃棄フェーズにおける管理	7
5. デブリ低減策の計画及び実行	7
5.1 正常な運用で分離する物品の制限	7
5.1.1 機器・部品やその破片の分離抑制	7
5.1.2 火工品、固体モータからの燃焼生成物等の発生の抑制	8
5.2 軌道上破砕の防止	8
5.2.1 運用終了後の内部エネルギーによる破砕の防止	8
5.2.2 宇宙システムの運用中の破砕の防止	10
5.2.2.1 設計の確実性	10
5.2.2.2 宇宙機の運用中の監視	10
5.2.2.3 不具合発生時のデブリ対策	10
5.2.3 軌道物体との衝突による破砕の防止	10

5.2.3.1	運用軌道の選定	10
5.2.3.2	軌道が把握できる物体との衝突の回避	10
5.2.3.3	衝突回避能力の付与	11
5.2.3.4	地上からの視認性の向上	11
5.2.3.5	デブリやメテオロイドが衝突して完全なる破砕を招く確率の評価	11
5.2.4	意図的破壊行為の原則的禁止	11
5.3	運用終了後の宇宙システムの保護軌道域からの排除	11
5.3.1	基本要件	11
5.3.1.1	設計時の対応	11
5.3.1.1.1	運用終了・延長判断要領の作成	11
5.3.1.1.2	廃棄作業計画書の作成	12
5.3.1.1.3	廃棄機能の付与	12
5.3.1.1.4	廃棄マヌーバ用資源の確保	12
5.3.1.1.5	廃棄機能の信頼度	12
5.3.1.1.6	廃棄作業に用いる品目の残寿命管理	13
5.3.1.1.7	機器の健全性の評価手段と緊急対応方法の整備	13
5.3.1.1.8	デブリ等の衝突の影響の評価及び防御設計	13
5.3.1.2	宇宙機の運用中の対応	13
5.3.1.2.1	廃棄作業に用いる作動寿命品目の残寿命評価	13
5.3.1.2.2	廃棄マヌーバ用資源の管理	13
5.3.1.2.3	廃棄作業に必要な機器の健全性の評価と緊急時対応	14
5.3.1.2.4	運用期間の終了・延長の判断	14
5.3.1.3	廃棄計画の確認と実行	14
5.3.2	地球静止軌道域に対する運用終了後の処置	14
5.3.3	地球低軌道域に対する運用終了後の処置	15
5.3.4	地球12時間周期軌道域に対する運用終了後の処置	16
5.3.5	月周回軌道、火星周回軌道に対する運用終了後の処置	16
5.3.6	安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点に対する運用終了後の処置	16
5.4	地球再突入／落下に対する要求	16
5.4.1	地上安全の確保	16
5.4.2	落下予測及び情報の公開	17
5.4.3	搭載物による地上環境汚染の防止	17
付属書1	危険面積と傷害予測数の計算式	18
1.	危険面積	18
2.	傷害予測数	19
付録-1	個別プロジェクトに関する補足事項	20

1. 総則

1.1 目的

スペースデブリ発生防止標準は、ロケットによる宇宙機の打上げ、軌道投入、軌道上運用、運用終了後の各段階において、地球周回軌道、月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点でのスペースデブリ（以下「デブリ」という。）の発生を最小限に抑制すること、打上げた宇宙機自身が安易にデブリとなることを最大限に防ぐこと、更にデブリとなったロケットや宇宙機が人的被害を発生させないよう最大限に努力することを目的に、ロケット及び宇宙機（以下「宇宙システム」という。）の計画段階、設計段階、運用段階、運用終了段階において考慮すべき事項について規定するものである。

本標準で主眼とする対策は以下の4点である。

- (1) 宇宙システムの正常な運用で地球周回軌道に放出する物体を最小限とすること。月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点についてもこれに準ずること。
- (2) 運用中および運用終了後の宇宙システムが地球周回軌道、月周回軌道で破砕して大量のデブリを発生させることを未然に防ぐこと。
- (3) 運用終了後の宇宙システムが利用価値の高い地球低軌道保護域、地球静止軌道保護域と接触する期間を短縮すること。地球12時間周期軌道域、月周回軌道域、火星周回軌道域、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点についてもこれに準ずること。
- (4) 地球低軌道保護域から除去した宇宙システムの地球への落下により人的被害および地球の環境汚染を発生させないこと。

注：JMR-003Eでは地球周回軌道に加えて、アルテミスアコードへの対応として、月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点をデブリ発生を最小限に抑制すべき領域として追加したが、5章については現状対応しうる部分のみ要求として追加している。

1.2 範囲

1.2.1 適用範囲

本標準は、JAXAが開発する宇宙システム及びそれらのコンポーネントで、地球周回軌道（特に、低軌道保護域及び静止軌道保護域）、月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点と干渉する恐れのあるものに適用する。ただし、宇宙ステーション等別に国際的取り決めがある事項については当該取り決めを優先する。

注1：ISO 24113では、デブリ低減管理の対象となる地球軌道を、「地球を一つの焦点とする有界及び非有界ケプラー軌道、並びに地球を二体問題の一体とするラグランジュ点軌道」としている。ただし、「低軌道等／静止軌道保護域との干渉確率が無視できる非有界ケプラー軌道は考慮しなくて良い」と注記を与えている。

注2：月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点については長期間に亘って残置される物体を対象とする。

本標準は、JAXA及び宇宙システムの開発契約の相手方（以下「契約の相手方等」という。）に適用する。

本標準は、適用する宇宙システムのミッション保証が十分に確保されることを前提に、デブリ問題の観点から追加すべき要求事項、推奨事項を定義するものである。

1.2.2 テーラリング

この標準の要求事項は、テーラリングして適用することができる。ただし、テーラリングについては安全・信頼性推進部と調整し、必要に応じて安全審査委員会の審議を受けなければならない。

また、テーラリングの結果はデブリ発生防止管理計画書等に記載しなければならない。

テーラリングの根拠には以下のものがある。

- (1) 本標準が制定された時点で既に開発が進展している宇宙システムの開発プロジェクトについては、時期的に可能な範囲に適用する。
- (2) 技術的・経済的実現性、信頼性への影響、海外の動向、その他デブリ対策に関連する条件を総合的に判断し、現実的に可能な範囲に適用する。

1.3 他の契約要求事項との関係

この標準の要求事項と、調達仕様書等の要求事項との間に相違がある場合は調整する。

また、この標準の要求事項は、他の標準書等の要求事項と重複して実施する必要はない。契約の相手方は、重複する要求事項については4.2.3項のデブリ発生防止管理計画書において他の標準との関係を述べ、互いに補完し合うものであることを明記しなければならない。

2. 関連文書

(1) 適用文書

- ① JERG-0-047：再突入機の再突入飛行に係る安全基準
- ② JMR-004：信頼性プログラム標準
- ③ JERG-2-144：微小デブリ衝突耐性評価標準
- ④ JERG-0-001：宇宙用高圧ガス機器技術基準
- ⑤ JMR-014：惑星等保護プログラム標準
- ⑥ JERG-2-026：軌道上サービスミッションに係る安全要求
- ⑦ 人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン（内閣府宇宙開発戦略推進事務局）第6.3.4項

(2) 参考文書

以下の文書は本書を理解する上で参考になる。

- ① ISO-24113：Space debris mitigation requirements
- ② JMR-003-HB001：スペースデブリ発生防止対策 設計・運用マニュアル（宇宙機編）
- ③ JMR-003-HB002：スペースデブリ発生防止対策 設計・運用マニュアル（ロケット編）
- ④ Space debris mitigation guidelines of COPUOS, UN Office for Outer Space Affairs, 2010
- ⑤ IADC-01-0.2, IADC Space Debris Mitigation Guidelines, (revision 2, March 2020)

3. 定義

3.1 用語の定義

本標準で使用する用語の定義を以下に示す。

(1) 宇宙機

宇宙で一連のタスク、機能を能動的・受動的に果たすために設計されたシステム。別途定義するロケットは除く。

(2) 宇宙システム

宇宙機及び宇宙機打上げ用ロケットなどの宇宙でミッションを遂行するシステムの総称である。

(3) 運用終了

宇宙機については、後期利用フェーズが無い場合は定常運用フェーズを終了した時点、後期利用フェーズがある場合は廃棄作業へ移行する時点である。打上げロケットについてはペイロード分離後、廃棄作業へ移行する時点である。

(4) 回収

宇宙往還機あるいはその他の手段により宇宙システムを軌道上で捕獲し地球上で回収すること。

(5) 軌道環境の保全

軌道環境を積極的に利用しつつ、最大限に保護すること。

(6) 偶発的破砕発生率

5.2.2項で規定する偶発的破砕発生率は、破砕を発生させる構成要素の故障率と運用期間の積である。デブリやメテオロイドの衝突のような外部要因による破砕は除く。

(7) 衝突回避能力

運用中に、接近注意報が出された軌道物体との衝突を回避できる能力である。典型的には軌道変更能力である。

(8) スペースデブリ

地球周回軌道、月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点にある無用な人類起源の物体。宇宙システムから分離する付属品、破砕により発生する破片、運用終了後の宇宙システムなどが含まれる。

(9) スラグ

固体推進薬の燃焼、溶融の過程で発生した燃焼残渣がモータ外へ排出されたもの。

(10) 正常な運用で分離する物品

宇宙システムの正常な運用に伴って設計上計画的に軌道上に分離・放出される、締結具保護具、下部フェアリング等、その他の物品。ただし、経年劣化により剥離・分離する塗料等は含まない。

(11) 早期落下

宇宙システムを速やかに地球に向けて降下させて軌道から除去すること。

(12) 廃棄作業

運用終了時に軌道環境の保全のために求められる、保護軌道域からの退避、破砕防止処置、停波などの一連の操作である。

(13) 廃棄成功確率

運用終了時に要求される破砕防止処置及び保護軌道域からの離脱を成功裏に遂行できる確率である。

(14) 廃棄段階

運用終了後、廃棄作業が完了する時点までを言う

(15) 破砕

宇宙機等が軌道周回中に、内部エネルギーによる化学的爆発又は機械的破裂あるいは他の物体との衝突による機械的破砕等によりデブリを発生する現象をいう。

経年劣化等によるシステムの一部の離脱、剥離、落下中の空力破壊は含まない。

注：本標準では、破砕現象のうち、原形をとどめないほどに粉碎して多量の破片を発生する現象を便宜上「完全なる破砕」と呼ぶ。

(16) 保護軌道域

現状で特に利用頻度が高く、保全すべきと識別される軌道域である。具体的には以下に示す地球低軌道保護域、地球12時間周期軌道域および地球静止軌道保護域である。

- a. 地球低軌道保護域：高度2,000 km以下
- b. 地球12時間周期軌道域：高度19,100 km以上、23,500 km以下の軌道域
- c. 地球静止軌道保護域：静止軌道高度±200kmかつ緯度：±15度以内

(17) メテオロイド

宇宙に存在する自然起源の粒子。主として小惑星か彗星を起源とする。

(18) 有効寿命

品目が有効に使用できる期間（耐用期間）。すなわち、品目が、最初の使用から、故障率が著しく増大し、使用が不適切な状態になるまでの期間。

(19) 自然落下

軌道上物体が大気抵抗により自然に地球に向けて落下すること。意図的に減速させて行う早期落下や、落下時刻や破片分散域を管理する制御再突入とは区別する。

(20) 落下危険度

宇宙からの落下物が溶融せずに地球上へ衝突した場合の、地球上に与える危険性の尺度である。具体的な評価指標としては、落下物の面積と地表の人間が占める面積を考慮して算出する危険面積、これをもとに算出する傷害を受けるおそれのある人の総数（以下「傷害予測数」という。）である。危険面積及び傷害予測数の算定式を付属書に示す。

(21) ロケット

宇宙機打上げ用ロケットを指す。なお、打上げ後に、目標軌道に乗る上段機体を軌道投入段と表現する。

3.2 略語の定義

本標準で使用する略語の定義を以下に示す。

- (1) GEO(Geostationary Earth Orbit)：静止軌道
- (2) GTO(Geostationary Transfer Orbit)：静止軌道への遷移軌道
- (3) LEO(Low Earth Orbit)：低軌道

4. 要求事項

4.1 基本要件事項

契約の相手方等は、宇宙システムの開発・運用を計画・実行するに際しては、JAXAと協議の上、デブリの発生を最小限にとどめるための効果的な対策を立案し、実行しなければならない。

このための活動には以下の各項を含めなければならない。

- (1) 宇宙システム及び関連する地上システムを含む総合システムの開発計画の検討におけるデブリ発生防止への配慮。
- (2) 宇宙システムの設計、製造フェーズにおけるデブリ発生防止の努力。
- (3) 宇宙システムの打上げから軌道投入までのフェーズにおけるデブリ発生防止の努力。
- (4) 宇宙システムの運用フェーズ及び運用終了後の廃棄フェーズにおけるデブリ発生防止の努力。
- (5) 宇宙システムの運用中に不具合が発生した場合のデブリ発生防止の努力
- (6) 上記の(1)～(5) までの努力を各開発及び運用フェーズに的確に反映するための管理体制の整備。

4.2 デブリ発生防止管理

4.2.1 概要

JAXAにおける開発、運用のそれぞれの段階で責任を有する組織(以下「プロジェクト組織等」という)及び契約の相手方は、効果的なデブリ発生防止対策を設計段階、運用段階で確実に計画し、実行し、その結果について審査を受けるための組織的かつ計画的な管理を行うこと。

4.2.2 組織

4.2.2.1 スペースデブリ発生防止管理組織

プロジェクト組織等及び契約の相手方等は、この標準で要求する個々のデブリ発生防止対策を適切に検討、計画、実行するための責任ある組織を構築しなければならない。この指名された組織又は個人は、

この責任を果たすために必要な権限と資源等を持ち、その作業の状況をプロジェクトの長等に報告しなければならない。

4.2.2.2 宇宙機運用管理組織

宇宙機の運用管理に関しては、プロジェクトの長の下に、適切な組織体制と業務配分に基づく運用管理体制を構築して運用管理を行うこと。

運用管理には、ミッション遂行に必要な種々の管理に加えて、対外情報管理、要員管理（要員訓練、勤務管理等）、宇宙機の安全及びアベイラビリティ管理、情報セキュリティ管理を含む。

4.2.3 管理計画書

4.2.3.1 デブリ発生防止管理計画書

プロジェクト組織等は、安全・信頼性推進部と協議の上、この標準を適用した実行可能なデブリ対策計画を立案し、文書化すること。この計画は、必要に応じて安全審査委員会の審議を受けなければならない。

契約の相手方は、JAXAが提示するデブリ対策計画を受けて、以下を含むデブリ発生防止管理計画書を作成し、JAXAの承認を得なければならない。

- (1) 本標準にて列挙した個々のデブリ発生要因について、その対策の立案、評価審査、実施に係わる組織上の責任と機能を記載したもの。
- (2) 本標準に対してテーラリング事項がある場合は、その内容・根拠について記述したもの。
- (3) デブリ発生要因毎の対応作業に関して、作業内容とスケジュールを記述したもの。
- (4) この標準の要求を満足させるために作成する文書、適用文書などの関連文書等のリスト。

4.2.3.2 宇宙機運用管理計画書

プロジェクト組織等は、宇宙機の運用を管理するための種々の計画を文書化すること。これには「人工衛星の管理に係る許可に関するガイドライン」（内閣府宇宙開発戦略推進事務局）の6.3.4項が要求する以下の体制に関わる文書、図表を含むこと。

- ① 運用管理体制
- ② 異常時対応体制
- ③ 情報セキュリティ管理体制

4.3 ライフサイクルの各フェーズにおける管理

宇宙システムの開発に当たっては、開発ライフサイクルの初期から、軌道環境の保全を重要な要素としてシステムの概念を構築し、それぞれの開発フェーズでそれを実現させなければならない。このため、それぞれのフェーズ毎に公式な審査を受けると共に、評価の裏付けとなる解析条件等を提示すること。

なお、ライフサイクルの最終フェーズに「廃棄段階」を明確に位置付け、軌道環境に与える影響を最小とする方策を盛り込まなければならない。

4.3.1 概念検討、概念設計、計画決定フェーズにおける管理

宇宙システムの開発にあたっては、1.1項の目的に配慮したシステム概念、システム構成、ミッション、打上方式、運用軌道、運用方法、廃棄方法を検討し、5項に定めるデブリ対策を実現するように配慮すること。

また、宇宙システムの故障はそれ自身のミッション遂行能力の喪失にとどまらず、軌道環境の悪化に繋がることに配慮して適切なシステム安全・信頼性・品質プログラムを計画しなければならない。

ミッション要求の定義においては、ミッション目的が軌道環境及び他の運用中の宇宙システムに与える悪影響がないように配慮すること。

4.3.2 設計フェーズにおける管理

宇宙システムは、運用中にデブリを発生する可能性及び当該システム自身がデブリ源となる可能性を最小限にとどめるよう設計されなければならない。詳細設計審査までにはデブリに関連する設計要求が満足されていることを確認しなければならない。

4.3.3 運用フェーズにおける管理

初期運用、定常運用及び後期利用（廃棄段階については次項に記載する）はデブリ対策に配慮して実施しなければならない。また、以下に配慮すること。

- (1) 宇宙機の開発担当組織は、推進剤量推定精度、推進剤搭載量、軌道変更要領（目標とする静止軌道からの移動距離等）、その他の要求値又は設計値を、宇宙機の引き渡し時に運用文書に含めて運用側に伝達しなければならない。
- (2) ロケットの飛行経路の決定にあたっては、ペイロード分離後の軌道投入段の廃棄方法（残留推進剤排出、軌道変更マヌーバ等を含む）を実現するために、適切な飛行経路、関連するイベントなどを決定すること。
- (3) 宇宙機の運用中は残留推進剤量を把握し、運用終了時点での軌道変更操作を実行するために必要な推進剤を確保し得る時点で、運用終了の判断を行わなければならない。残留推進剤量の把握は、設計情報として移管された推定手順に基づき、宇宙機の状態を注意深く監視して行うこと。

4.3.4 廃棄フェーズにおける管理

廃棄段階へ移行した後に、保護軌道域からの排除、残留エネルギーの除去等のデブリ対策を実施すること。

5. デブリ低減策の計画及び実行

5.1 正常な運用で分離する物品の制限

5.1.1 機器・部品やその破片の分離抑制

- (1) 打上げ後に地球周回軌道に残るロケット関連の物体（ロケット軌道投入段及びその他のペイロード支持構体等）は、原則としてペイロード1機の場合は1個までとする。ペイロードが複数の場合は2個までとする。
- (2) 分離後地球周回軌道に残る宇宙機関連の物体（締結具、静止衛星用キックエンジン等）は技術的、経済的に重大な問題が無い限り放出しない設計とすること。放出せざるを得ない場合は、5.3

項に合致した方法で廃棄すること。月周回軌道、火星周回軌道、安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点においては、ミッション要求とコストが許容する範囲で放出しない設計を推奨する。

- (3) 計画的に物体を分離・放出するミッション（テザーミッション、親宇宙機から子宇宙機を分離するミッション等）の場合、放出物体の面積／質量比、軌道寿命、放出方向、放出速度等の特性から有人宇宙システム等を含む他の宇宙機への衝突リスク（他の物体との軌道の干渉の大小等）を評価し、それらに対して重大な支障を及ぼさないための手段（放出条件を含む。）を示すこと。また、分離・放出物は5.3項に合致した方法で廃棄すること。なお、テザーについては、マルチストランドテザーを採用する等デブリ／メテオロイドの衝突により容易に切断しない構造とすること、用済み後に収納し衝突リスクを低減させること、を推奨する。

注：本要求は、宇宙機と一部が連結された状態で機器等が分離・放出される場合を含む。

5.1.2 火工品、固体モータからの燃焼生成物等の発生の抑制

- (1) 火工品（固体ロケットモータは除く）は、最大長さで1mmを超える燃焼生成物及び破片類を地球周回軌道に放出しないように設計・使用しなければならない。
- (2) 固体ロケットモータは、地球静止軌道保護域及び地球低軌道保護域に1 mm以上のスラグを放出しないように設計・運用しなければならない。

注1：この要求の主たる目的は、固定モータが燃焼末期にスラグを地球低軌道・静止軌道保護域に放出するような運用を制限することである。スラグはそのサイズ、分布量、軌道寿命を考えれば、宇宙機の運用に潜在的ハザードを与えている。特に衝突リスクを長期間に亘って与え得る比較的高い高度に放出された場合は問題となる。

注2：地球低軌道保護域においてこの要求に適合見込みの無い場合、現状取り得る最善策を実施した段階で、放出されるスラグの軌道寿命中における他の物体への衝突リスクが受け入れ可能かどうか詳細評価を行う。

注3：月・惑星、その他長楕円軌道投入ミッション等で、地球静止軌道域への干渉が懸念されるとしてもその干渉が一時的な場合については、個別に配慮する。

5.2 軌道上破碎の防止

以下の軌道上破碎を防止すること。

- (1) 運用終了後の、内部エネルギーによる破碎
- (2) 運用中の、内部エネルギーによる破碎
- (3) 運用中の、軌道物体との衝突による完全なる破碎
- (4) 意図的破壊行為

5.2.1 運用終了後の内部エネルギーによる破碎の防止

地球周回軌道、月周回軌道にて用済み後の宇宙システムが破碎してデブリを発生することを未然に防止するために偶発的破碎の可能性が合理的に排除された設計を目指し、廃棄段階での最終マヌーバ終了後又は回収前に、偶発的破碎の原因を極力排除しなければならない。計画していた再突入が実施できな

かった場合は残留エネルギーを適切な時期に排出すること。

具体的には以下を実施すること。

(1) 残留液体推進剤及び高圧流体に関する処置

用済み後の宇宙システムは、軌道変更マヌーバにおいて、液体推進剤及び高圧流体を破砕の原因とならないまでに使いきるか、排出すること。あるいは残留流体による破砕の可能性がないことを解析的に検証すること。このため、設計上は以下に配慮すること。

- ① 二液式推進剤のタンク及び配管系は、自己着火性推進剤の組み合わせの場合は特に、一部部品等の不具合が推進剤の混合及び燃焼を招かないように設計すること。自己着火性の燃料と酸化剤の組み合わせを共通隔壁で仕切る構造の共通タンクは、隔壁の破壊が二液の混合／爆発を引き起こすため爆発事例が多く、採用すべきではない。強いて採用する場合は少なくとも共通隔壁の二液接触防止策を強化し、JERG-0-001「宇宙用高圧ガス機器技術基準」に従って、逆圧に対する座屈強度を保証し、廃棄時も逆圧にならないシーケンスを採用すること。
- ② 運用終了後、軌道変更マヌーバを完了した時点で、タンク／配管類に残留する推進剤を排出すること。二液式推進系で両方の推進剤が排出できない場合は、自己反応性の高い推進剤を優先的に排出すること。
- ③ 排出処理が不可能な場合は、入熱を考慮しても破裂の危険性が無い十分な安全性を持たせるか、内圧の上昇を制限するための手段を設けること。
- ④ 排出系統は凍結によって排出が妨げられないよう設計すること。

(2) バッテリーの破砕防止処置

バッテリーは、異常な内圧の上昇と構造的破壊を引き起こさないよう、電氣的・機械的に適切な設計・製造が行われたものを適用すること。

運用終了時点で充電回路を遮断すること。

また、可能ならばバッテリー内圧の上昇を制限するための手段を設けてバッテリーの破裂とそれに起因する機体の損傷を未然に防止できる設計とすること。

(3) 指令破壊系

火工品は太陽光等による温度上昇を考慮し、自然不発火保証温度に対して十分な余裕を確保すること。

指令破壊受信器は指令破壊の実行の可能性が無くなった時点で速やかに誤爆を防止する処置を行うこと。

(4) ヒートパイプ等

減圧できない圧力機器は、軌道上寿命期間の入熱を考慮して、破裂の危険性のない十分な安全率を有すること。

(5) ホイール等の回転機器

ホイール等の回転機器は運用終了後に停止するものであること。

5.2.2 宇宙システムの運用中の破砕の防止

5.2.2.1 設計の確実性

宇宙システムが地球周回軌道、月周回軌道で運用中に破砕事故に至る不具合を起こさないよう適切な信頼性・品質管理がなされていることを設計審査等で確認すること。

原則として、宇宙システムの運用中の偶発的破砕発生率が0.001以下であること。

5.2.2.2 宇宙機の運用中の監視

宇宙機の運用管制においては、デブリの大量発生に結びつく恐れのある推進系、バッテリー系、姿勢制御系等の異常の発生の監視を手順に含め、異常検知時には速やかな対策を採り得る体制を維持しなければならない。地上から少なくとも以下の計測項目について監視すること。

- (1) 推進残量を把握するためのタンク圧力、温度等
- (2) バッテリーの異常を監視するためのパラメータ（温度、起電圧等）
- (3) 姿勢制御系の異常を監視するためのパラメータ

5.2.2.3 不具合発生時のデブリ対策

運用中の宇宙機に不具合が発生し、破砕を招く恐れがある場合、あるいは運用継続能力が失われると判断した場合は、回復の見込みがない限り、残留エネルギー源の除去、早期落下、又は保護軌道域からの排除を検討し、可能な範囲で実施すること。ただし、保護軌道域からの排除操作が破砕を誘発する恐れがある場合は排除操作は実施しない。

5.2.3 軌道物体との衝突による破砕の防止

5.2.3.1 運用軌道の選定

地球静止軌道の宇宙機同士は、衝突による破壊の問題等を考慮して常に適切な相対距離を確保するよう運用を計画すること。

他の地球周回円軌道の宇宙機については、他の宇宙機との接近／衝突リスクの低減に配慮して軌道を選定すること。

ランデブ、ドッキング又はその他の共同ミッションを実施する場合には、JERG-2-026「軌道上サービスミッションに係る安全要求」に従うこと。

5.2.3.2 軌道が把握できる物体との衝突の回避

衝突回避能力を有する宇宙機は、運用中および廃棄マヌーバ計画段階において、他の宇宙物体と衝突する可能性を可能な限り評価し、衝突リスクが無視できない場合は、衝突を回避すること。

この衝突回避活動のためには、接近監視サービスを行う機関との連携が望ましい。

注：ロケットの打上げに際しては、別に定める基準にて、ロケット本体、ロケットから分離した宇宙機及び其の他の分離物と、軌道上の有人宇宙システムが衝突しないように打上げ時刻を調整することが求められている。

5.2.3.3 衝突回避能力の付与

地球静止軌道で運用する宇宙機には衝突回避を行う能力を付与しなければならない。

その他の宇宙機にも可能な限り衝突回避能力を付与することが望ましい。

5.2.3.4 地上からの視認性の向上

地上からの視認性を高めて軌道決定精度を向上させることが接近解析及び衝突回避の精度向上に有効である。このため、特に潜在的に視認性に問題が生ずるシステムについては、光学的あるいは電波的反射・発信手段を付与することを検討すること。

5.2.3.5 デブリやメテオロイドが衝突して完全なる破砕を招く確率の評価

- (1) 宇宙機の開発初期（例えば概念設計フェーズ）に、軌道、サイズ、質量、機数等を決定する際には、宇宙機の運用中にスペースデブリやメテオロイドが衝突して宇宙機が原型をとどめないほどの完全なる破砕が発生する確率を評価し、これを考慮すること。

注1：完全なる破砕を生ずるデブリ等が監視可能なサイズであるならば、衝突回避能力が付与された宇宙機については、確率の評価は不要とする。

注2：質量100kg以下の宇宙機、および地球静止軌道で運用する宇宙機については原則として確率の評価は不要とする。ただし、コンステレーションや超大型宇宙機等の破砕発生リスクが大きいミッションについては評価を要する。

- (2) 宇宙機の高圧容器や推進剤タンクがデブリやメテオロイドによって完全なる破砕を発生する確率を評価し、要すればそれらの配置や防御設計に配慮すること。

5.2.4 意図的破壊行為の原則的禁止

軌道上で宇宙システムの破壊を実施してはならない。

5.3 運用終了後の宇宙システムの保護軌道域からの排除

5.3.1 基本要件

運用終了後の宇宙システムは、地球低軌道・静止軌道保護軌道域との干渉を抑え、かつ5.2.1項に沿って破砕の可能性を最小限に抑えることが要求される。その廃棄成功確率は、0.9以上を目標とする。この目標は5.3.1.1項から5.3.4項の要求を遵守することで達成されると見なす。

5.3.1.1 設計時の対応

5.3.1.1.1 運用終了・延長判断要領の作成

宇宙機については、成功裏の廃棄作業の完遂を目指すことを目的に、運用終了・延長の判断要領を記載した運用終了・延長判断要領書を作成すること。

5.3.1.1.2 廃棄作業計画書の作成

宇宙機については、運用を終了する場合の軌道変更要領及び破砕防止処置など本書が要求する廃棄作業の実施計画について廃棄作業計画書に定めること。

注1：廃棄作業計画書には保護軌道域からの除去作業、破砕防止処置、その他停波（あるいは制御再突入最終コマンド発信）までの廃棄シーケンスを含めること。

注2：ロケットの廃棄シーケンスは、飛行計画書に記載される。

5.3.1.1.3 廃棄機能の付与

廃棄作業を実現するための機能を付与すること。

注：廃棄機能には5.3.2項及び5.3.3項の保護軌道域からの排除機能に加えて、5.2.1項の破砕防止操作を行う機能を含める。

5.3.1.1.4 廃棄マヌーバ用資源の確保

廃棄マヌーバ用資源は以下に沿って保証すること。

(1) 軌道変更用資源の確保

宇宙システムが所定の軌道変更を行えるように推進剤搭載量を設計で見込むこと。その際、打上げ時期の変更及びその他の要因による太陽活動の予測誤差による変化、推進系の性能誤差や推進剤量計測誤差に配慮した推進剤質量マージンを含めること。

注：長楕円軌道の軌道寿命の予測は太陽輻射圧力及び太陽と月の引力の影響を受けて大きな誤差を生む。この誤差を完全に含めて推進剤を準備することが現実的ではない場合は、低軌道保護域から25年以内に除去できる確率の目標値（例えば0.9程度）を定め、これを満足するように推進剤を見込むこと。この確率は廃棄成功確率とは別枠である。

(2) 電気推進系の電力の確保

電気推進系を用いる場合は、上記に準じた燃料の確保と合わせて、電力の管理を行うこと。

(3) 推進剤量計測・監視システムの設計

宇宙機は、残留推進剤量が常時把握可能で運用終了時期の判断が遅滞なく行える推進剤計測・監視手段を備えること。特に静止ミッションの場合は、この計測手段により軌道変更量の予測が適切な精度で行えるものであること。

5.3.1.1.5 廃棄機能の信頼度

宇宙機については、JMR-004「信頼性プログラム標準」に基づく信頼度予測の作業に関連して、計画した運用期間に引き続いて行う廃棄作業の終了時点における廃棄機能の信頼度を別途定める手法により評価すること。

注1: 計画した運用期間とは設計で保証された期間である。

注2: 運用終了から廃棄作業完了までの廃棄作業完了までの期間が十分短く信頼度に大きな影響を及ぼすことがない場合、運用終了時点の信頼度予測値を用いて評価してもよい。

注3: ロケットについてはJMR-004「信頼性プログラム標準」に基づく活動の中で評価する。

5.3.1.1.6 廃棄作業に用いる品目の残寿命管理

(1) 作動寿命を有する品目の管理

宇宙機の廃棄作業に用いる作動寿命を有する品目について、有効寿命を明確にし、仕様書等において宇宙機の運用期間として規定された期間に対して、マージンが適切に確保されていることを評価すること。

運用期間を延長する可能性がある場合には、このマージンに、運用期間延長による作動時間、作動サイクル数の増大分を含めること。

また、残寿命評価及び運用終了・延長判断のために運用中の作動時間、作動サイクル数の履歴を残す必要のある品目を識別し、作動履歴を管理するための手順を設けること。

(2) 経年劣化の管理

宇宙機の廃棄作業の可否に影響を与える経年劣化要素を識別し、有効寿命を明確にすること。運用期間を延長する可能性がある場合は、マージンが適切であることを評価すること。

5.3.1.1.7 機器の健全性の評価手段と緊急対応方法の整備

宇宙機の廃棄作業に必要な機器のうち、定期的に健全性を評価すべき品目を識別すること。

それらの機器について、健全性評価手順書を定め、監視項目を定め、計測手段を設けること。

監視項目については、その正常範囲を指定し、監視・評価する手順書を確立し、正常範囲を逸脱した場合の処置方法をあらかじめ定めておくこと。

5.3.1.1.8 デブリ等の衝突の影響の評価及び防御設計

宇宙機がデブリあるいはメテオロイドと衝突して廃棄作業が不可能になる確率を評価すること。

そのため、クリティカルな機器やケーブル等を識別し、当該確率が無視できない場合は、防御手段の付与、冗長設計あるいは配置の工夫に配慮すること。

当該確率の許容限界は、衝突確率推定技術や防御技術の現状を考慮して、ミッション毎に適切な値を設定すること。衝突リスクの評価及び防御設計に際してはJERG-2-144「微小デブリ衝突耐性評価標準」を参考とすること。

5.3.1.2 宇宙機の運用中の対応

5.3.1.2.1 廃棄作業に用いる作動寿命品目の残寿命評価

5.3.1.1.6項で手順を設定した品目に対して、運用中に作動履歴を記録し、残寿命を評価すること。

5.3.1.2.2 廃棄マヌーバ用資源の管理

化学推進系を用いる場合は、残留推進剤や必要に応じて加圧ガス等の資源の量を定期的に監視し、廃棄マヌーバに必要な資源が確保できるうちに運用の停止判断を行うこと。

電気推進系を用いる場合は燃料に加えて電力系の管理を行うこと。

必要な資源の量は運用期間の経過に応じて、太陽活動の変化や機器の劣化の影響などを受けて増減することに配慮して適時に見直すこと。

5.3.1.2.3 廃棄作業に必要な機器の健全性の評価と緊急時対応

5.3.1.1.7項で指定した健全性評価対象機器を監視・評価し、異常時には緊急処置手順に従うなど、適切に対処すること。

5.3.1.2.4 運用期間の終了・延長の判断

廃棄作業を確実に行うことの重要性に配慮し、適切な時期に運用を終了すること。

計画した運用期間を超えて延長する場合は、運用終了・延長判断要領書に従って5.3.1.2.1～5.3.1.2.3項の全ての項目を評価するとともに、特に次の事項について確認すること。

- (1) 運用中に発生した不具合の処置が引き続き有効であること、
- (2) 廃棄時期の変更に伴う廃棄マヌーバ計画の変更に対応した推進剤及び電力を保証すること、
- (3) 作動寿命並びに経年劣化を考慮し、残寿命の範囲内で延長すること、
- (4) 単一故障点に問題がないこと。特に、冗長系の片系が故障により機能を喪失した場合、その故障の推定原因や予兆の有無を考慮すること。
- (5) 運用中に廃棄機能の信頼度に影響を与えるコンフィギュレーションの変更等があった場合は、運用延長判断時を起点として、廃棄作業の終了時点又は次回運用延長判断時点における廃棄機能の信頼度を評価すること。

また、延長期間及び健全性の確認を行う定期的評価期間の時間間隔を定めること。再延長する場合も同様である。

5.3.1.3 廃棄計画の確認と実行

廃棄作業計画書を以下の観点で再確認し、これに基づいて実施すること。

- (1) 廃棄移動距離が最新の太陽活動等に基づいて決定されていること。
- (2) 廃棄マヌーバ実施後における残留流体の排出に伴う軌道変動を考慮して、廃棄軌道を設定すること。
- (3) 廃棄作業中、通信・コマンド機能が確保できること。可視時間に制約がある場合は、他機関の協力が得られるよう事前調整を実施すること。

5.3.2 地球静止軌道域に対する運用終了後の処置

- (1) 地球静止軌道近傍にて運用を終了する宇宙システムは、地球静止軌道上の宇宙機との衝突を避けるため、少なくとも以下の二つのいずれかを満足するような軌道に移動させること。
 - a. リオービット後の初期の離心率は0.003未満とすること。地球静止軌道高度上空の最低近地点高度 ΔH (km) は以下であること。

$$\Delta H = 235 + 1,000 \times C_R \times A / m \text{ [km]}$$

上式において

C_R : 太陽輻射圧係数

A : 宇宙機の有効断面積 (m²) (全表面積の25%)

m : 宇宙機の質量 (kg)

- b. 廃棄後の軌道のペリジ高度が静止高度より充分高く、長期的摂動力を考慮しても100年間地球静止軌道保護域と干渉しないこと。

- (2) 地球静止軌道近傍を通過する長楕円軌道 (GTO等) の宇宙システムは、遠地点高度が少なくとも100年間は静止高度より200km低い軌道域と干渉しないように計画すること。
- (3) 傾斜対地同期軌道(IGSO)の廃棄については、5.3.2項(1)の処置の他に、軌道傾斜角、離心率、昇交点赤経の特定の初期組み合わせにより、地球に再突入させる処置も選択できる。この場合、地球静止軌道保護領域および地球低軌道保護域の累積干渉期間を許容範囲内に抑えること。

5.3.3 地球低軌道域に対する運用終了後の処置

地球低軌道保護域を通過する宇宙システムについては、運用終了後の地球低軌道保護域滞在期間を可能な限り短くすること。

このため、自然落下する場合の軌道寿命や傷害予測数を求め、これを前提として、5.4項の地球再突入に対する要求に配慮しつつ、以下の(1)~(5)のいずれかあるいは複数の処置をとること。

軌道寿命は、月・太陽の引力、太陽活動の周期的変化、太陽輻射圧力等に起因する摂動効果を含めて計算する。

注1：長楕円軌道の寿命の推定には5.3.1.1.4項 (1) の注記に示す効果を含める。

注2：どの処置を採用するかは技術的、経済的な実現性を考慮して決めること。

なお、以下(3)~(5)にて要求する25年の算定開始時点は、システムの特성에応じて以下とする。

- ① 衝突回避能力を有する宇宙システムについてはミッション終了時点から25年以内とする。
- ② 衝突回避能力を有しない宇宙システムについては軌道投入時点から25年以内とする。
- ③ 地球低軌道保護域上空で運用を停止し、その後降下して当該保護域と干渉する宇宙システムについては当該保護域と干渉を開始すると予測される時点から25年以内とする。

(1) 回収

軌道上で捕獲して地上で回収すること。捕獲作業では分離物の発生がないこと。

(2) 制御再突入

地上の安全を保障する形態で、制御して再突入させること。

(3) 自然落下

大気抵抗により25年以内に自然落下する場合はそのまま放置してもよい。

(4) 軌道寿命の短縮

25年以内に自然落下する軌道へ移動すること。

(5) 展開物、テザー等による軌道寿命短縮

大気抵抗等軌道減衰効果を増強する手段により25年を満足させること。本方法を採用する場合、採用しない場合と比較して軌道寿命中の他物体との衝突確率が低下している等、軌道上環境のリスク低減に有意であることを示すこと。

5.3.4 地球12時間周期軌道域に対する運用終了後の処置

地球12時間周期軌道域で運用する宇宙システムは、運用終了後に当該運用域との干渉を避けるよう移動すること。

5.3.5 月周回軌道、火星周回軌道に対する運用終了後の処置

月周回軌道、火星周回軌道で運用する宇宙システムは、運用終了後、JMR-014「惑星等保護プログラム標準」に規定される太陽系天体に対する衝突回避要件に従って、その最終処置が実施される。

5.3.6 安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点に対する運用終了後の処置

安定な地球-月ラグランジュ点、安定な太陽-地球ラグランジュ点で運用する宇宙システムは、当該運用域との干渉を避けるよう廃棄することを推奨する。

5.4 地球再突入／落下に対する要求

5.4.1 地上安全の確保

宇宙システムについて、軌道寿命を短縮させる、あるいは自然落下に任せる場合は、地上の安全に考慮して以下の要求によること。(JMR-014「惑星等保護プログラム標準」の適用を受ける宇宙機等は当該標準に従うこと。)

- (1) 地球大気圏通過後の残存物（以下「残存物」という。）による落下危険度（傷害予測数）を打上げ前に予測すること。宇宙機またはロケットの傷害予測数は 1×10^{-4} 人未満とすること。

注1：本要求に適合見込みの無い場合は、現状取り得る最善策を実施した段階で予測される傷害予測数が受け入れ可能かどうか詳細に評価を行う。

注2：溶融率の高い構造の採用は、落下危険度の低減につながる。

注3：デブリ除去ミッション等、他物体と結合状態で再突入させる場合、結合状態での傷害予測数が上記基準を満たす必要がある。再突入時に結合状態でないミッションの場合はこの限りではない。

注4：意図的に再突入の直前で幾つかのパーツに分離するミッションの場合、関連する全てのパーツの傷害予測数の合計値が上記基準を満たす必要がある。

- (2) 宇宙機またはロケットの傷害予測数が 1×10^{-4} 人以上となる場合、JERG-0-047「再突入機の再突入飛行に係る安全基準」に従って制御して地球大気圏に再突入させること。

5.4.2 落下予測及び情報の公開

JAXAは、JAXAの運用する宇宙システムについて、得られる軌道情報と解析技術の対応する範囲で落下軌道及び落下日時等を予測し、JAXAが別途定める最新の要領に沿って公開する。

5.4.3 搭載物による地上環境汚染の防止

宇宙システムを地球に向けて落下させる場合は、落下物に放射性物質、有害物、その他の地上環境汚染物質が含まれていないか、又はその影響が許容されるものであること。

付属書1 危険面積と傷害予測数の計算式

1. 危険面積

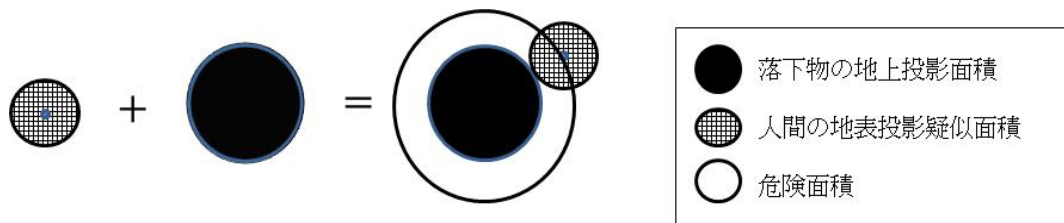
落下による危険面積(Ac)は、NASA方式を採用し、落下物の投影面積の周囲に人間の地表投影疑似円(0.36m²)を考慮したものである。これは落下物の投影面積の回りに、人間の地表投影疑似円の半径(33.8cm)分の面積を加えた面積となる。

以下に落下物が球体の場合及び多角形の場合の式を示す。

① 球体の場合

半径 r の落下物の投影面積 A_s と半径 r_h の人間の地表投影疑似円面積 A_h (πr_h²=0.36m²) より

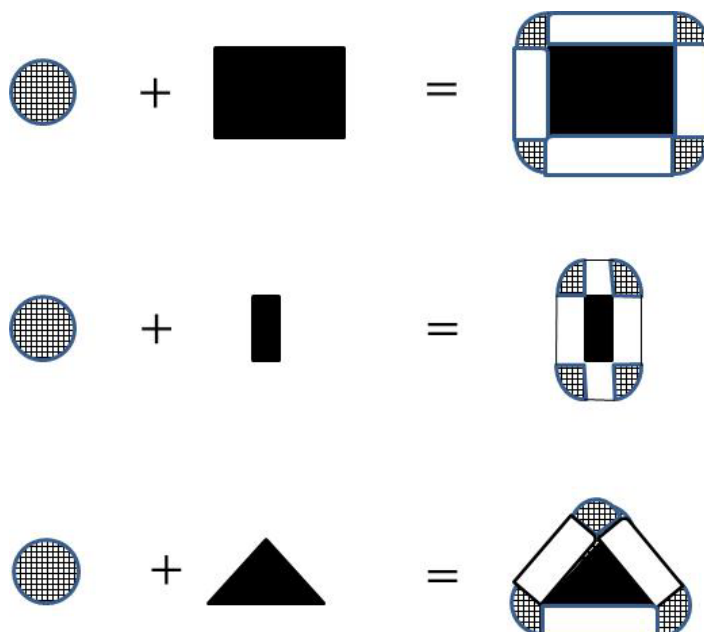
$$\begin{aligned}
 A_c &= \pi (r + r_h)^2 \\
 &= \pi \{ (A_s / \pi)^{0.5} + (0.36 / \pi)^{0.5} \}^2 \\
 &= (A_s^{0.5} + 0.6)^2
 \end{aligned}$$



② 多角形の場合の一般式

多角形の場合は以下の式で一般化する。

$$\text{(危険面積)} = \text{(落下物投影面積)} + (\text{落下物周囲長} \times r_h) + \text{(人の地表投影疑似円面積)}$$



2. 傷害予測数

傷害予測数（ E_C ）の算定式を以下に示す。

軌道傾斜角内について以下を計算すること。

$$E_C = A_C \sum_{i=\text{緯度帯}} \frac{P_i N_i}{A_i}$$

- E_C : 傷害予測数[人]
- A_C : 危険面積[m²]
- P_i : i 番目の緯度帯への落下確率[-]
- N_i : i 番目の緯度帯への入口[人]
- A_i : i 番目の緯度帯の面積[m²]

付録-1：個別プロジェクトに関する補足事項

(1) 宇宙科学・探査プロジェクトに関する補足事項

宇宙科学・探査プロジェクトに使用される固体ロケットモータにおいては、5.1.2項 低軌道保護域へのスラグ放出制限に適合するための固体ロケット技術は研究段階であるため、第4期中長期目標期間に開発に着手するプロジェクトについては本項の適用を猶予する。次期中長期目標期間については別途決定する。