

限定なし



人工衛星の衝突リスク管理標準

2022年 12月 27日 制定

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. 背景	1
1.3. 適用範囲	2
1.3.1. テーラリング	2
2. 関連文書	2
2.1. 準拠文書	2
2.2. 適用文書	2
2.3. 参考文書	2
3. 定義	3
3.1. 用語の定義	3
3.2. 略語の定義	4
4. 接近解析及び衝突回避運用の基本的な考え方	4
4.1. 開発時	4
4.2. 運用時	4
5. 一般要求事項	5
5.1. 基本要求	5
5.1.1. 衝突回避運用管理	5
5.1.1.1. 概要	5
5.1.1.2. 機構担当部署	5
5.1.1.3. 衝突回避運用管理計画書	6
5.1.2. 接近解析・衝突回避運用を実施する部署に対する要求	6
5.1.3. 接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署に対する要求	6
5.1.4. 危機管理室に対する要求	7
6. 詳細要求事項	7
6.1. 基本要求	7
6.2. 衝突リスク評価	7
6.2.1. 衝突リスク評価指標	7
6.2.2. 衝突リスクレベル	7
6.2.2.1. レベル 1 (MONITOR)	8
6.2.2.2. レベル 2 (URGENT)	8
6.2.2.3. レベル 3 (CRITICAL)	9
6.2.3. 衝突リスクレベルの遷移	10

6.3. 衝突リスクレベルに応じた対応	11
6.3.1. 軌道制御機能を有するプライマリ物体	11
6.3.2. 軌道制御機能の無いプライマリ物体	14
7. 問い合わせ窓口	16
ANNEX A. 衝突確率を用いた衝突リスク評価の効果	17
ANNEX B. 他宇宙機関の衝突回避判断基準との比較	18

1. 総則

1.1. 目的

本標準は、宇宙航空研究開発機構（以下、「機構」という。）の事業の一環として運用される（民間事業者への委託を含む）人工衛星と他の宇宙物体との衝突を回避することを目的とし、回避運用に責任を有する運用組織（以降、「機構担当部署（または事業者）」という。）が実施すべき作業について要求事項を規定するものである。ただし、本標準では、標準的かつ人工衛星に依らない統一的な要求事項についてのみ規定する。

1.2. 背景

本項では、本標準制定の背景について示す。

1957年にソビエト連邦がスプートニク1号を打ち上げて以来、軌道上には人工衛星が存在し始めた。ミッションを終了した人工衛星等の物体は長期間軌道上に存在し、今後の持続可能な宇宙開発を阻害する主要因の1つとして認識されている。プライマリ物体に対して大きさがセンチメートル規模のスペースデブリが衝突した場合にはプライマリ物体は部分的破壊あるいは完全破壊に至り、大きさがミリメートル規模のスペースデブリであっても衛星の運用上致命的な箇所に衝突した場合には運用中の衛星を機能停止させる威力を持つ。このような衝突事故は実際に発生しており、NASAにより纏められている（参考文書(12)）。

衝突事故を防ぐために各宇宙機関等は接近解析及び衝突回避運用を行なっている。NASAでは、接近解析及び衝突回避に関するベストプラクティスを定めた Handbook（参考文書(1)）が制定され、一般に公開されている。

機構においても、プライマリ物体に衝突する可能性のあるセカンダリ物体からプライマリ物体を守るために、追跡ネットワーク技術センターが接近解析（Conjunction Assessment）及び衝突回避（Collision Avoidance）運用の支援を実施している。追跡ネットワーク技術センターはスペースデブリの衝突リスクに関する管理要領（以降、「追跡 NW 管理要領」という。参考文書(2)(3)）を定め、2017年度以降、追跡 NW 管理要領に基づき、衝突リスクの指標として衝突確率を用いた接近解析及び衝突回避運用支援を実施しており、有効性を確認したところである。

他方、2019年の国連宇宙空間平和利用委員会にて「宇宙空間の長期持続性ガイドライン（以降、「LTS ガイドライン」という。）準拠文書(1)」が採択された。機構は LTS ガイドラインで採択された 21 項目のうち、「B.4 制御飛行中の全軌道フェーズにおける接近解析の実行（Perform conjunction assessment during all orbital phases of controlled flight）」の履行を示し、適切な衝突リスク管理を行うことが求められているところである。

機構が所有する人工衛星に対する物体の衝突リスクについては、顕在化した場合、機構に重大な影響を及ぼし、全機構的対応を要する危機に発展する恐れがある。機構が所有する人工衛星の衝突リスク管理のために、軌道上運用に携わる部・部門等が実施すべき標準的な要求事項について規定する必要があること、及び追跡 NW 管理要領の有効性に基づき、プラ

イマリ物体について統一的な基準を機構標準として定める。

1.3. 適用範囲

機構の事業の一環として地球周回軌道で運用される人工衛星に対し、ロケットから分離後、スクリーニングに必要な軌道精度が確認されて以降、停波されるまでの運用における衝突リスクを管理するため、本標準を開発・運用文書等に呼び出して適用すること。なお、必要に応じて契約の相手方等にも適用すること。

ただし、機構が人工衛星の運用管理を行わない場合においてはこの限りではない。

1.3.1. テーラリング

本標準の要求事項は、対象とするプライマリ物体並びにそこで扱われる情報の特徴・特性等諸条件を考慮して、要求事項を取捨選択及び修正して適用することができる。

必要に応じて、衝突回避運用を実施する部署（5.1.1.2 項参照）は、安全・信頼性推進部と協議の上、その内容を衝突回避運用管理計画書に記載し安全審査委員会の了承を受けることで、テーラリングすることができる。

2. 関連文書

2.1. 準拠文書

本標準のよりどころとする既存の規定や標準は以下のとおりである。

- (1) Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, *Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities*, 27 June 2018.
- (2) スペースデブリ情報管理に係る規則(追跡ネットワーク技術センター長決定第 16-1 号)
- (3) JMR-011, リスクマネジメントハンドブック

2.2. 適用文書

本標準の適用文書は以下のとおりであり、本標準の一部をなすものである。なお、原則最新版を適用すること。

- (1) JERG-2-026, 軌道上サービスミッションに係る安全基準
- (2) AAX-03014, 危機管理室業務マニュアル

2.3. 参考文書

本標準の参考文書は以下のとおりである。

- (1) NASA, *NASA Spacecraft Conjunction Assessment and Collision Avoidance Best Practices Handbook*, December 2020.
- (2) QNX-160020, スペースデブリ衝突リスクに対する管理要領（解説編）
- (3) QNX-160019, スペースデブリ衝突リスクに対する管理要領（本編）

- (4) QNX-160021, スペースデブリ衝突リスクの算出に使用する衝突確率
- (5) JJX-2011023, デブリ回避マヌーバ等に係る情報連絡対応
- (6) François LaPorte, “Operational Management of Collision Risks for LEO Satellites at CNES”, Space Operations Communicator, Vol. 5, No. 4, 2008.
- (7) J. Beaumet, "CNES operational feedbacks in collision avoidance for LEO satellites", ISSFD 2009.
- (8) T. Flohrer, V. Braun, H. Krag, K. Merz, S. Lemmens, B. Bastida Virgili, and Q. Funke, “Operational Collision Avoidance at ESOC”, Deutscher Luft- und Raumfahrt-kongress 2015.
- (9) H. Krag, K. Merz, T. Flohrer, S. Lemmens, B. Bastida Virgili, Q. Funke and V. Braum, “ESA’s Modernised Collision Avoidance Service”, SpaceOps 2016.
- (10) The Consultative Committee for Space Data Systems, Conjunction Data Message (Blue Book).
- (11) JERG-1-011, 人工衛星等打上げ用ロケットの飛行安全に関する基本要件
- (12) NASA, History of On-Orbit Satellite Fragmentations, 15th edition, July 2018.

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) 一次判断会議
衝突回避運用への移行を判断する会議。
- (2) 宇宙システム
人工衛星及び人工衛星打ち上げ用ロケットなどの大気圏外でミッションを遂行するシステムの総称である。
- (3) 最終判断会議
衝突回避制御実行の可否を決定する会議。
- (4) 衝突確率
プライマリ物体とセカンダリ物体が衝突する確率。衝突リスクの評価に用いられる。
- (5) プライマリ物体
本標準で衝突防止の管理対象とする、地球を周回する軌道で運用される人工衛星。
- (6) セカンダリ物体
プライマリ物体に衝突する可能性がある宇宙物体。
- (7) 接近解析
軌道暦の比較等により、プライマリ物体に対して近接接近するセカンダリ物体を識別し、その衝突リスクを定量化すること。
- (8) 衝突回避運用

衝突リスクレベル 1 への移行から衝突リスクレベル 2 または 3 の解除までの一連の運用を指す。

(9) 衝突回避制御

衝突リスクのあるセカンダリ物体を回避するための軌道制御を指す。

(10) 地球周回軌道

地球を中心天体とした軌道。

(11) 低軌道衛星

地球を周回する人工衛星のうち、地表面からの平均高度が 2000km 以下かつ離心率が 0.25 未満の軌道を周回するもの。

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) ISS (International Space Station) : 国際宇宙ステーション
- (2) TCA (Time of Closest Approach) : 最接近時刻

4. 接近解析及び衝突回避運用の基本的な考え方

4.1. 開発時

開発時において考慮すべきことを以下に示す。

- (1) ミッション検討時において、可能な限り接近頻度の高い軌道域を避けて運用軌道を設定すること。具体的には以下のような軌道との干渉を避けることが望ましい。
 - ・大規模コンステレーション衛星群の軌道
 - ・有人宇宙ステーションの軌道
- (2) (1)やミッションの重要度を踏まえ、衝突回避機能の付与について検討すること。
- (3) (2)の検討の結果、衝突回避機能を付与する場合は、衝突回避制御に要する推進剤を考慮すること。
- (4) 潜在的に視認性に問題が生ずるシステム（GPS 受信機非搭載の衛星、電波吸収特性の良い材質で覆われた衛星、テザー等進展物の端部、超小型衛星など）については、光学のあるいは電波的反射・発信手段を付与することで、軌道決定精度を向上させるために地上からの視認性を高めることを検討すること。

4.2. 運用時

プライマリ物体がセカンダリ物体と衝突するリスクを低減するために衝突回避運用を実施する。衝突リスクを低減するためには、プライマリ物体に衝突回避制御機能を付与することが望ましいが、衝突回避制御機能を有していない人工衛星もあるため、本標準では衝突回避制御機能の有無に関わらず、衝突リスクを把握するよう規定する。

準拠文書(3)によると、リスクを評価するために、「発生の可能性」と「想定される影響度」

の 2 項目を組み合わせることでリスクの大きさを求めることが規定されている。ただし、軌道が把握されている物体同士（いずれも物体半径が数 cm 以上）の衝突事象に関しては、一度衝突が発生した場合には、プライマリ物体の機能を損失するだけでなく、宇宙環境に深刻な影響を与えることから、リスク項目が発生した際の影響度はいずれの衝突の場合も許容レベルを超える。そのため、実質的には「発生の可能性（衝突確率）」のみの指標で、衝突リスクを評価すればよい。

ただし、静止衛星のように衝突確率によるリスク管理が必ずしもそぐわない場合は、接近解析・衝突回避運用支援部署と調整し、接近解析及び適切な相対距離を確保するなどによる衝突回避運用の方針を決めること。

5. 一般要求事項

5.1. 基本要件

5.1.1.2 項に示す機構担当部署は、接近解析及び衝突回避運用を計画・実行するに際しては、プライマリ物体がセカンダリ物体と衝突するリスクを最小化す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機構担当部署は以下の各項を含めなければならない。

- (1) プライマリ物体とセカンダリ物体の衝突リスクを低減する努力。当該努力を示すために 5.1.1 項に示す衝突回避運用管理を実施すること。
- (2) 上記(1)の努力を各運用フェーズに的確に反映するための管理体制の整備。当該管理体制の整備を実施するために、5.1.1 項に示す衝突回避運用管理に基づき、5.1.2 項から 5.1.4 項に示す要求を満たすこと。

5.1.1. 衝突回避運用管理

5.1.1.1. 概要

5.1.1.2 項に示す各機構担当部署は、効果的な接近解析及び衝突回避運用計画を打ち上げ前段階までに確実に計画し、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。

5.1.1.2. 機構担当部署

本標準の要求事項を履行するため、以下に示す各機構担当部署はプライマリ物体とセカンダリ物体の衝突リスク管理を行う担当者を配置すること。

(1) 衝突回避運用を実施する部署

衝突回避運用を実施する部署は、衝突回避運用を実施する担当者を配置すること。

衝突回避運用を実施する部署とは、基本的に衛星プロジェクトチームあるいは衛星利用運用センターを指す。

衝突回避運用担当者とは、衝突回避運用を実施する部署にて衝突回避運用を実施す

る担当者を指す。

(2) 接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署

接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署は、接近解析・衝突回避運用支援を実施する担当者を配置すること。

接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署とは、基本的に追跡ネットワーク技術センターを指す。ただし、別途、接近解析・衝突回避運用支援を実施する者が定められている場合はこの限りではない。

接近解析・衝突回避運用支援担当者とは、接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署にて接近解析・衝突回避運用支援を実施する担当者を指す。

(3) 危機管理室

危機管理室は衝突回避運用に関係する危機管理室員を配置すること。衝突回避運用に関係する危機管理室員とは、適用文書(2)で定義される、危機管理室内の接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署の対応担当者、衝突回避運用を実施する部署が属する部・部門等の担当者及び危機管理室長付を指す。

5.1.1.3. 衝突回避運用管理計画書

衝突回避運用を実施する部署は、接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署及び安全・信頼性推進部と協議の上、本標準を適用した実行可能な衝突回避運用管理計画書¹を作成し、安全審査委員会の承認を得ること。ただし、機構が運用管理を行わない場合においては5.1.1.2 項(2)を担当する部署の承認を以て変えることができる。

なお、衝突回避運用管理計画書には以下を含めること。

- (1) 本標準の要求事項への適合性。
- (2) セカンダリ物体との衝突回避運用に関わる一連の運用手順（接近情報の入手方法、接近解析タイムライン、衝突回避制御の実施方法等）。
- (3) 本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) 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。

5.1.2. 衝突回避運用を実施する部署に対する要求

衝突回避運用を実施する部署は以下に示す業務を履行すること。

- ・ 衝突回避運用を含む衛星運用に関する実施判断
- ・ 上記の実施判断に関する情報連絡
- ・ 衝突回避運用に関する衛星管制運用

5.1.3. 接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署に対する要求

接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署は以下に示す業務を履行すること。

¹ 従来の「スペースデブリ回避制御運用手順書」に相当する。

- ・ プライマリ物体に衝突する可能性のあるセカンダリ物体の識別と衝突リスクの算出
- ・ 衝突リスクの高い接近事象に関する情報連絡
- ・ 衝突回避制御の計画立案
- ・ 衝突回避運用に関する追跡ネットワーク設備の運用

5.1.4. 危機管理室に対する要求

危機管理室は以下に示す業務を履行すること。

- ・ リスク管理に係る情報の収集と状況の把握（衝突回避後の安全確認を含む）
- ・ 検知されたリスクについて、全機構的対応の判断（対応要と判断された場合は、対応策の協議・設定）

6. 詳細要求事項

6.1. 基本要素

5.1.1.2 項に示す機構担当部署は、セカンダリ物体との衝突リスクを最小化するために以下の実施が求められる。

- (1) 衝突リスク評価
- (2) 衝突リスクレベルに応じた対応

なお、低軌道衛星に関しては 6.2 項に従う運用を要求するが、低軌道衛星以外は別途個別に定めた最接近時刻における幾何学的距離等を用いたリスク評価手法に基づき運用を行うこと²。

6.2. 衝突リスク評価

6.2.1. 衝突リスク評価指標

衝突リスクを規定する指標として、軌道位置の誤差や物体の大きさを考慮して算出される「衝突確率」を原則使用すること。最接近距離や高度方向の分離距離は、衝突リスクを評価するための付帯情報として扱うこととする。なお、衝突確率の算出方法は参考文書(4)にて規定する。衝突リスクと衝突確率の関係は 4 項及び ANNEX A を参照。

6.2.2. 衝突リスクレベル

プライマリ物体とセカンダリ物体の衝突リスクに備えるために、下記に示す衝突リスクレベルに対応した衝突回避運用を実行する必要がある。衝突リスクレベルは、原則として、衝突確率と緊急度(TCA までの残時間)の 2 つのパラメータで定義する。

² 低軌道衛星以外では機構での衝突回避運用実績を積み、衝突回避運用手順が成熟した後に本標準に加えることを予定である。

6.2.2.1. レベル 1 (MONITOR)

プライマリ物体とセカンダリ物体の衝突リスクが高いことが検知されているが、TCA に至るまでに衝突回避制御を実施する時間が十分に確保されている状態。この衝突リスクレベルでは、接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署から衝突回避運用を実施する部署及び危機管理室に最新の接近状況を逐次報告し、各機構担当部署は衝突リスクの傾向に注視する必要がある。なお、軌道制御機能を有していないプライマリ物体であっても、下記の条件を満たしている場合には本衝突リスクレベルに該当する。

➤ レベル 1 の条件

- ・ タイミング：TCA から 5 日前³～TCA 後の運用パス
- ・ 衝突確率：1.0E-5 以上であること

6.2.2.2. レベル 2 (URGENT)

プライマリ物体とセカンダリ物体の衝突リスクが高く、衝突回避制御の準備を進め、要すれば衝突回避制御を実施すべき状態。この衝突リスクレベルでは、接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署から衝突回避運用を実施する部署へ最新の接近状況を逐次報告するとともに、衝突回避運用を実施する部署は衝突回避運用の準備と要すれば衝突回避制御を実施することにより、プライマリ物体の衝突リスクを低減させることを優先した対応をとる必要がある。接近情報（参考文書(10)）にセカンダリ物体運用者の連絡先が記載されている場合は、接近解析・衝突回避運用支援担当者は可能な限りセカンダリ物体運用者に連絡をとり、衝突回避運用の調整を行うこと。また、接近解析・衝突回避運用支援担当者が配信する逐次報告には、セカンダリ物体の軌道制御情報を含めること。

➤ レベル 2 の条件（軌道制御機能を有するプライマリ物体のみ）

- ・ タイミング：一次判断時刻（後述）～TCA 後の運用パス
- ・ 衝突確率：原則として、表 1 の通りとする。衝突回避運用を実施する部署による判断の結果、衝突回避運用の準備や実施がキャンセルされた場合であっても、本基準を満たしている場合には本衝突リスクレベルに該当する。

表 1 レベル 2 (URGENT) の定義

一次判断時刻（TCA から N 日前） ⁴	衝突確率
N ≤ 2	1.0E-4 以上
N > 2	1.0E-5 以上

³ TCA までの残時間が 120 時間を下回っている状態を指す

⁴ TCA までの残時間が N×24 時間を下回っている状態を指す

一次判断会議実施タイミングの設定指針

一次判断会議において衝突回避運用に移行した場合、衝突回避のための軌道制御の準備（衝突回避制御計画の立案、制御後軌道に基づく接近解析、運用パスの確保、コマンド計画の立案等）に要する時間は衝突回避運用を実施する部署毎に異なるため、これらを考慮した時刻に設定する必要がある。なお、表 1 の N に関する具体的な数値は衝突回避運用管理計画書（5.1.1.3 項）に記載すること。

衝突回避制御の実施判断基準（最終判断会議時点）

衝突回避制御の実施判断基準は表 2 の通りとする。なお、衝突回避制御の実施判断に際しては、下記の判断基準に加えて、当該時点のプライマリ物体の衛星システムの状態（衝突回避運用を実施することによるリスクが無いか）を考慮し、総合的に判断する必要がある。なお、衝突回避運用において目標とする衝突確率は衝突回避運用管理計画書（5.1.1.3 項）に記載すること。

表 2 衝突回避制御の実施判断基準

衝突確率	説明
1. 0E-3 以上	軌道制御機能を有するプライマリ物体は、ミッション運用の継続性よりも衝突回避制御の実施を優先すること
1. 0E-4 以上 1. 0E-3 未満	軌道制御機能を有するプライマリ物体は、ミッション運用の継続性を考慮したうえで可能であれば衝突回避制御を実施すること

最終判断会議実施タイミングの設定指針

最終判断会議後から衝突回避のための軌道制御を実行するまでの時間は衝突回避運用を実施する部署毎や利用可能な地上局のアサイン状況に異なる。また、最新の接近状況を用いて衝突回避制御の判断を行うため、可能な限り TCA に近い時刻に設定することが望ましい。最終判断会議はこれらを考慮した時刻に設定する必要がある。

6.2.2.3. レベル 3（CRITICAL）

プライマリ物体とセカンダリ物体の衝突リスクが非常に高いが、衝突リスクを低減させるための衛星運用（衝突回避制御等）が実施できない状態。この衝突リスクレベルでは、プライマリ物体の衝突リスクを低減させることができないため、真にリスクの高い状態であり、衝突回避運用を実施する部署は最大限の対応をとる必要がある。

- レベル 3 の条件（軌道制御機能を有するプライマリ物体）

- ・ タイミング：最終判断会議以降～TCA 後の運用パス
- ・ 衝突確率： $1.0E-3$ 以上であること
- ・ 衝突リスクを低減させるための衛星運用（衝突回避制御等）が実施できない場合に限る

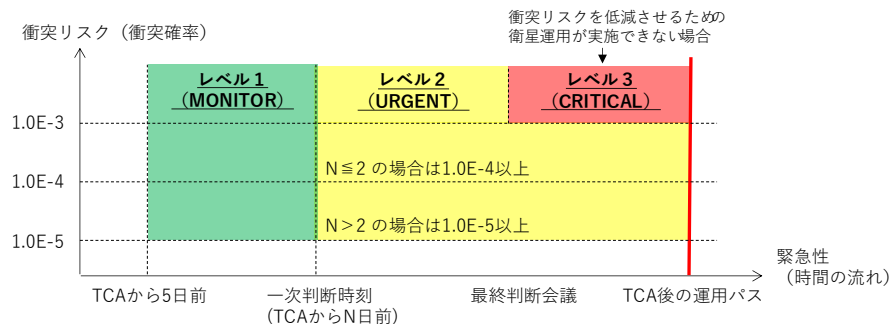
➤ レベル 3 の条件（軌道制御機能の無いプライマリ物体）

- ・ タイミング：TCA から 2 日前⁵～TCA 後の運用パス
- ・ 衝突確率： $1.0E-3$ 以上であること

6.2.3. 衝突リスクレベルの遷移

プライマリ物体の衝突リスクと緊急度に応じた衝突リスクレベルのマトリクスを図 1 に示す。軌道制御機能を有するプライマリ物体では、一次判断時刻を境にレベル 1 からレベル 2 に移行する。また、衝突確率が $1.0E-3$ 以上かつ衝突リスクを低減させるための衛星運用が実施できない場合にはレベル 3 に移行する。一方、軌道制御機能の無いプライマリ物体では、TCA から 2 日前の時点において衝突確率が $1.0E-3$ 以上の場合に限り、レベル 3 に移行する。

軌道制御機能を有するプライマリ物体の場合



軌道制御機能の無いプライマリ物体の場合

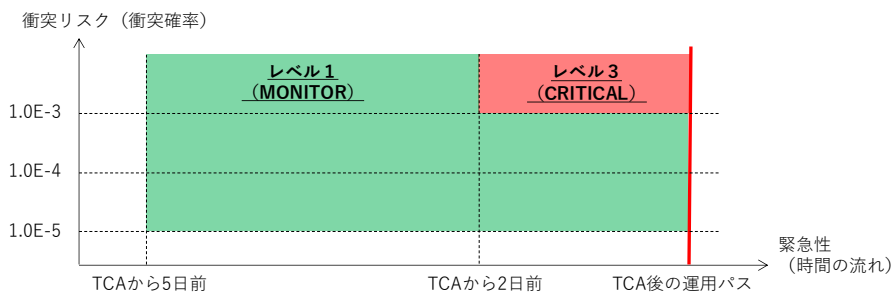


図 1 衝突リスクレベルの遷移図

⁵ TCA までの残時間が 48 時間を下回っている状態を指す

6.3. 衝突リスクレベルに応じた対応

6.2.2 で示した衝突リスクレベルに対応した衝突回避運用を実行し、かつ情報連絡も実行する必要がある。本項では、各衝突リスクレベルでの情報連絡フローと連絡すべき情報種別（発信者、発信先、発信内容、発信タイミング）を規定する。「通知」の手段は基本 E メールとし、「連絡」「調整」の手段は E メールに加え電話を利用する等、適切に対応するものとする。

なお、本標準では、機構担当部署間の連絡フローのみを記載しており、部署内（担当理事含む）への連絡手続きは、部署毎に設定された手順に従うこととする。また、危機管理室は、適用文書(2)に従い、必要な情報連絡を行うこととする。

6.3.1. 軌道制御機能を有するプライマリ物体

各衝突リスクレベルでの情報連絡フローを図 2 に示す。また、各衝突リスクレベルにて連絡すべき情報種別（発信者、発信先、発信内容、発信タイミング）を、以下の①～⑥に規定する。

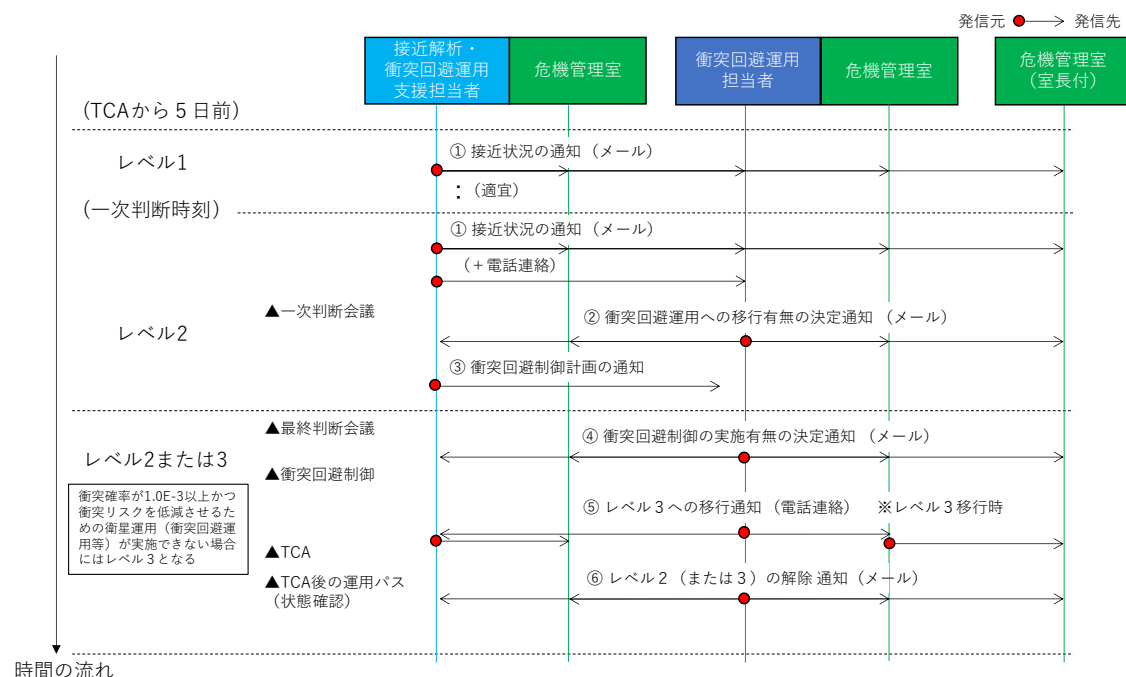


図 2 情報連絡フロー（軌道制御機能を有するプライマリ物体）

① 接近状況の通知

接近解析・衝突回避運用支援担当者は、衝突回避運用担当者及び危機管理室に、以下に示

す最新の接近状況を通知すること。情報のアップデートがあった場合には、原則、日勤帯にて通知を行うこと。

また、接近解析・衝突回避運用支援担当者は、衝突リスクレベル 2 の定義を満たす接近事象を検知した場合には、危機管理室の接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署の対応担当者にメールにて連絡すること（図 2 ①のメールに兼ね、危機管理担当者用の緊急時用携帯電話の宛先を追加する⁶）。加えて、衝突回避運用担当者に電話にて連絡するとともに、一次判断会議の日程調整を実施すること。

件名：【通知(または更新)】セカンダリ物体接近通知（プライマリ物体名×セカンダリ物体名 TCA 時刻）

- (1) セカンダリ物体 : OBJECT 番号、名称
- (2) 最接近時刻 : 年月日 時分秒 UTC
- (3) 相対日時 : ○日後
- (4) 衝突確率 : ○（単位無し）
- (5) 最接近距離 : ○ m
- (6) 高度方向分離距離 : ○ m
- (7) 軌道位置誤差 : プライマリ物体とセカンダリ物体それぞれ
- (8) その他 : 制御計画の有無、シミュレーションの実施結果等

② 衝突回避運用への移行有無の決定通知

一次判断会議後、衝突回避運用担当者は、接近解析・衝突回避運用支援担当者及び危機管理室に、衝突回避運用への移行有無の決定結果を通知すること。

件名：【通知】衝突回避運用への移行判断結果

- (1) 衝突回避運用への移行判断結果（GO／NOGO）
- (2) 移行判断の根拠
- (3) セカンダリ物体 : OBJECT 番号、名称
- (4) 最接近時刻 : 年月日 時分秒 UTC
- (5) 衝突確率 : ○（単位無し） ※省略可
- (6) 最接近距離 : ○ m ※省略可
- (7) 最終判断会議の開催日時（GO の場合）

③ 衝突回避制御計画の通知

接近解析・衝突回避運用支援担当者は、衝突回避運用担当者に、衝突回避制御の計画値を通知すること。なお、衝突回避制御計画が一次判断会議の時点で決定している場合には、本

⁶ 一度宛先に追加した後は、該当接近のリスクがなくなるまで宛先から外さないこと。

通知は不要とする。

件名：【通知(または更新)】衝突回避制御計画の発行（または更新）

- (1) 軌道制御時刻 : 年月日 時分秒 UTC
- (2) 軌道制御量 : ○ m/s
- (3) セカンダリ物体 : OBJECT 番号、名称
- (4) 回避後の最接近時刻 : 年月日 時分秒 UTC
- (5) 回避後の衝突確率 : ○ (単位無し)
- (6) 回避後の最接近距離 : ○ m

④ 衝突回避制御の実施有無の決定通知

最終判断会議の実施後、衝突回避運用担当者は、接近解析・衝突回避運用支援担当者及び危機管理室に、衝突回避制御の実施有無の決定結果を通知すること。

件名：【決定(または中止)】衝突回避制御の実施判断結果

- (1) 衝突回避制御の実施判断結果（決定／中止）
- (2) 実施判断の根拠
- (3) 軌道制御時刻 : 年月日 時分秒 UTC
- (4) 軌道制御量 : ○ m/s ※省略可
- (5) セカンダリ物体 : OBJECT 番号、名称
- (6) 回避後の最接近時刻 : 年月日 時分秒 UTC ※省略可
- (7) 回避後の衝突確率 : ○ (単位無し) ※省略可
- (8) 回避後の最接近距離 : ○ m ※省略可
- (9) 衝突回避の軌道制御の実施結果が確認できるタイミング（運用パスの時刻）

⑤ レベル3（CRITICAL）への移行通知

衝突リスクを低減させるための衛星運用（衝突回避制御等）が実施できないことが判明し、衝突リスクレベル3に移行する場合には、衝突回避運用担当者は、接近解析・衝突回避運用支援担当者と危機管理室の衝突回避運用を実施する部署が属する部・部門等の担当者にその旨を電話にて連絡すること。その後、接近解析・衝突回避運用支援担当者は危機管理室の接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署の対応担当者に、危機管理室の衝突回避運用を実施する部署が属する部・部門等の担当者は危機管理室（室長付）に、衝突リスクレベル3に移行する旨を電話にて連絡すること。電話連絡の際には、最接近後の状況確認ができるタイミング（運用パスの時刻）を併せて連絡すること。

⑥ レベル2（URGENT）またはレベル3（CRITICAL）の解除通知

衝突回避運用担当者は、接近解析・衝突回避運用支援担当者及び危機管理室に、衝突回避

制御の実施結果及び最接近時刻を経過した後のプライマリ物体の状態を通知すること。なお、衝突等の理由により、衝突リスクレベルを解除できない場合には、衝突回避運用担当者から危機管理室にその旨を連絡し、適用文書(2)に沿って対応すること。

件名：【通知】最接近後の状況確認結果（衛星名）

- (1) 衝突回避制御の実施結果
- (2) 最接近時刻を経過した後のプライマリ物体の状態
- (3) レベル2またはレベル3の危機管理体制を解除する旨

6.3.2. 軌道制御機能の無いプライマリ物体

各衝突リスクレベルでの情報連絡フローを図3に示す。また、各衝突リスクレベルにて連絡すべき情報種別（発信者、発信先、発信内容、発信タイミング）を、以下の①～④に規定する。

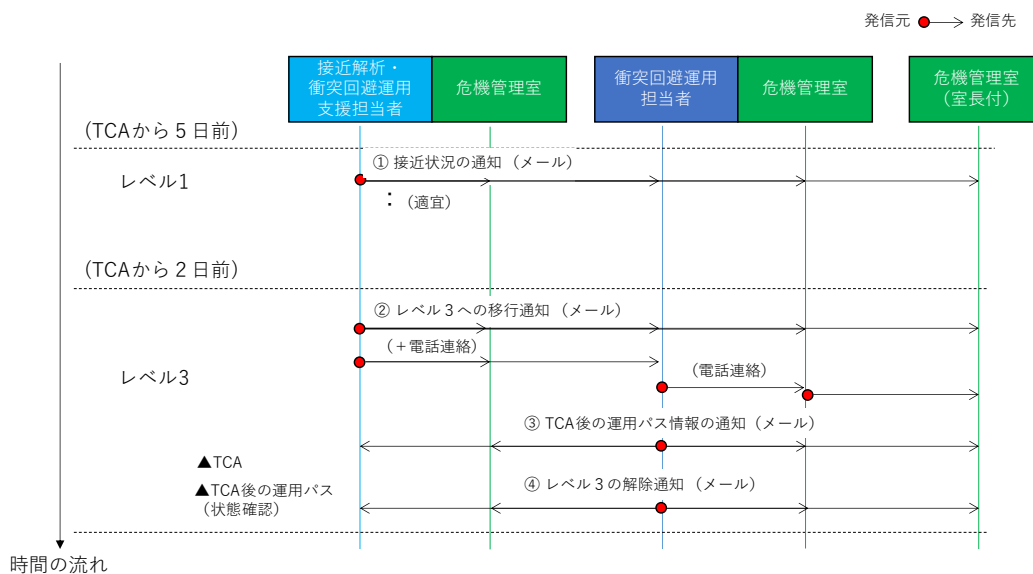


図3 情報連絡フロー（軌道制御機能の無いプライマリ物体）

① 接近状況の通知

接近解析・衝突回避運用支援担当者は、衝突回避運用担当者及び危機管理室に、最新の接近状況を通知すること。情報のアップデートがあった場合には、原則、日勤帯にて通知を行うこと。連絡する情報は6.3.1項①に準ずる。

② レベル3（CRITICAL）への移行通知

衝突リスクレベル3の定義を満たす接近事象を検知した場合には、接近解析・衝突回避

運用支援担当者は、衝突リスクレベル 3 に該当する接近が存在する旨を、最新の接近状況とともにメールにて衝突回避運用担当者及び危機管理室に通知すること。

また、接近解析・衝突回避運用支援担当者は、衝突回避運用担当者と危機管理室の接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署の対応担当者に電話にてその旨を連絡すること。その後、衝突回避運用担当者は危機管理室の衝突回避運用を実施する部署が属する部・部門等の担当者に、危機管理室の衝突回避運用を実施する部署が属する部・部門等の担当者は危機管理室（室長付）に、衝突リスクレベル 3 に移行する旨を電話にて連絡すること。

件名：【通知】衝突リスクレベル 3 への移行通知（プライマリ物体名×セカンダリ物体名 TCA 時刻）

- (1) レベル 3（CRITICAL）に該当する接近である旨
- (2) セカンダリ物体 : OBJECT 番号、名称
- (3) 最接近時刻 : 年月日 時分秒 UTC
- (4) 相対日時 : ○日後
- (5) 衝突確率 : ○（単位無し）
- (6) 最接近距離 : ○ m
- (7) 高度方向分離距離 : ○ m
- (8) 衝突回避運用が実施できない理由

③ TCA 後の運用パス情報の通知

衝突回避運用担当者は、TCA 後のプライマリ物体の状況を確認するための運用パスを確保し、プライマリ物体の状況確認用の運用パスに関する情報を、接近解析・衝突回避運用支援担当者及び危機管理室に通知すること。

件名：【通知】最接近後の運用パスについて（衛星名）

- (1) セカンダリ物体 : OBJECT 番号、名称
- (2) 最接近時刻 : 年月日 時分秒 UTC
- (3) 最接近時刻後の運用パス時刻と局名称

④ レベル 3（CRITICAL）の解除通知

衝突回避運用担当者は、接近解析・衝突回避運用支援担当者及び危機管理室に、最接近時刻を経過した後のプライマリ物体の状態を通知すること。なお、衝突等の理由により、衝突リスクレベルを解除できない場合には、適用文書(2)に沿って対応すること。

件名：【通知】最接近後の状況確認結果（衛星名）

- (1) 最接近時刻を経過した後のプライマリ物体の状態

(2) レベル3 (CRITICAL) の危機管理体制を解除する旨

7. 問い合わせ窓口

接近情報が記載された **Conjunction Data Message** (参考文書(10)) の **Metadata** セクションには、衛星運用組織への連絡先を記載する欄が存在する。外部組織との接近事象に関する問い合わせに対応するため、連絡先が接近情報に記載されるように接近解析・衝突回避運用支援を実施する部署は連絡先を **Conjunction Data Message** に記載されるように公開する。

以 上

ANNEX A. 衝突確率を用いた衝突リスク評価の効果

衝突リスクの発生の可能性を規定する指標の候補として、2016 年度までのスペースデブリ衝突回避運用においては、最接近時刻における接近距離や高度方向の分離距離が使用されていた。しかし、図 4 の(a)や(b)の例が示すように、たとえ最接近距離が小さくても、軌道位置の誤差の大きさが最接近距離に対して極端に大きい場合や小さい場合には、衝突リスクが小さいと判断できる場合があり、不必要な衝突回避運用を減らすことができる。

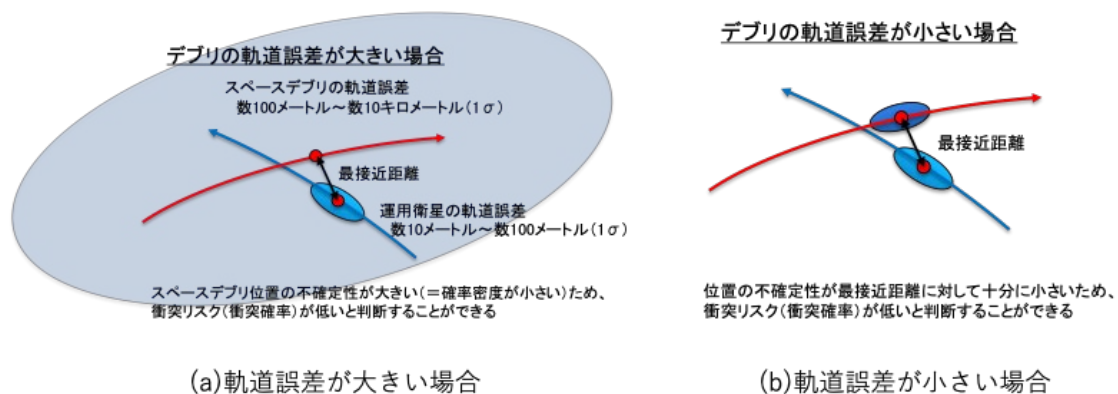


図 4 人工衛星（プライマリ物体）とスペースデブリ（セカンダリ物体）の軌道誤差と衝突リスクの関係

ANNEX B. 他宇宙機関の衝突回避判断基準との比較

他宇宙機関や ISS の衝突回避運用に関して、6.2.1 項及び 6.2.2 項で示した衝突確率の閾値がいくつか設定されているので、以下に例を示す。

- ISS における衝突回避制御の実施基準は、衝突確率が $1.0\text{E-}4$ 以上（赤信号レベル）の場合である。ただし、マヌーバ詳細計画作成後に衝突確率が $1.0\text{E-}4$ よりも小さくなった場合には、マヌーバよりも 2 周回前（約 3 時間前）であればフライトディレクタの合意のもとで中止の判断が行える。（参考文書(5)）
- NASA における衝突回避制御の実施基準は、衝突確率が $1.0\text{E-}4$ 以上、または最接近距離が **Hard-Body-Radius**（プライマリ物体とセカンダリ物体の半径の和）を下回る場合である。そして、回避運用を行う場合は、衝突確率を対数比で 1.5 倍（=衝突確率 $3.2\text{E-}6$ ）まで下げることが推奨している。この際、他物体との衝突確率が $1.0\text{E-}4$ を下回る必要がある。（参考文書(1)）
- CNES における衝突回避制御の実施基準は、「セカンダリ物体のレーダ観測が実施できており衝突確率が $1.0\text{E-}3$ 以上の場合」または「セカンダリ物体のレーダ観測は実施できていないが衝突確率が $1.0\text{E-}2$ 以上の場合」である。なお、最大衝突確率が $1.0\text{E-}4$ 以上でアラートを発信し、衝突確率が $1.0\text{E-}3$ 以上の場合に詳細解析を実施する。（参考文書(6)(7)）
- ESA における衝突回避制御の実施基準は、最終判断時点（通常は TCA-1 日以内）において、衝突確率が $1.0\text{E-}4$ 以上の場合である。この衝突確率の閾値は、「衛星運用期間中の衝突リスクの低減率」と「年間のアラート発出及び衝突回避制御の回数」のトレードオフから設定された値である。（参考文書(8)(9)）

上記の状況を鑑みると、各機関の衝突回避制御の実施判断においては、衝突確率が $1.0\text{E-}4 \sim 1.0\text{E-}2$ の範囲に閾値が設定されていることから、本標準において設定する衝突回避制御の実施判断基準（表 2）は国際的な基準とも整合する。