

限定なし



軌道上サービスミッションに係る安全基準

2019 年 12 月 5 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. 目的	1
2. 適用範囲	1
3. 用語の定義	2
4. 関連文書	4
4.1. 適用文書	4
4.2. 関連文書	4
5. 安全要求	5
5.1. 基本要求	5
5.2. 個別要求	5
5.2.1. 軌道、姿勢異常による衝突の防止	5
5.2.2. 電磁干渉及び光学的干渉による異常の防止	6
5.2.3. ロボティクス等の異常による衝突等の防止	6
5.2.4. 構造破壊の防止	6
5.2.5. 静電気放電による異常の防止	7
5.2.6. 熱による異常の防止	7
5.2.7. スラスタプルームや推進薬漏洩による異常の防止	7
5.2.8. サービス終了後のクライアント衛星からの分離、離脱不能の防止...	7
5.3. インタフェース要求への適合性	8
6. 本基準への適合性審査及び承認.....	8
Appendix A ミッション運用のベースライン.....	9
Appendix B 安全領域、接近経路の設定.....	11
Appendix C 運用手順の設定.....	13

1. 目的

本基準は、国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構（以下「機構」という。）が行うサービス衛星のクライアント衛星／ターゲットデブリ（総称して以下「ターゲット」という。）との接近、接触、結合を有する軌道上サービスが、他の人工衛星の管理に悪影響を及ぼす事象（衝突によるスペースデブリの発生等）を引き起こすことを防止するため、基本要求和として設定するものである。

なお、軌道環境の保全（スペースデブリ発生防止含む）及び安全に係る基本的な要求は、本書と重複しない範囲で「スペースデブリ発生防止標準」（JMR-003）に規定された関連基準に従うこと。

2. 適用範囲

本基準は、機構が行うサービス衛星のターゲットとの接近、接触や軌道上サービスのうち、以下の項目に該当する事項に適用する。

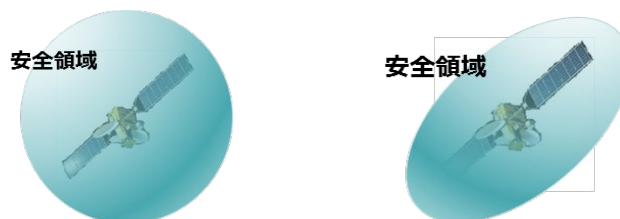
- (1) サービス衛星とターゲットが衝突することによるスペースデブリの発生
- (2) 接近、接触、結合を有する軌道上サービスにおけるサービス衛星とクライアント衛星の相互作用時の異常により、サービス衛星やクライアント衛星が有するスペースデブリ発生防止に必要な機能（例えば廃棄措置に必要な機器等をさす。以下「デブリ防止機能」という。）が喪失することによる軌道上環境の悪化

なお、サービス衛星及びクライアント衛星のミッション喪失は、本基準の対象外とする。

3. 用語の定義

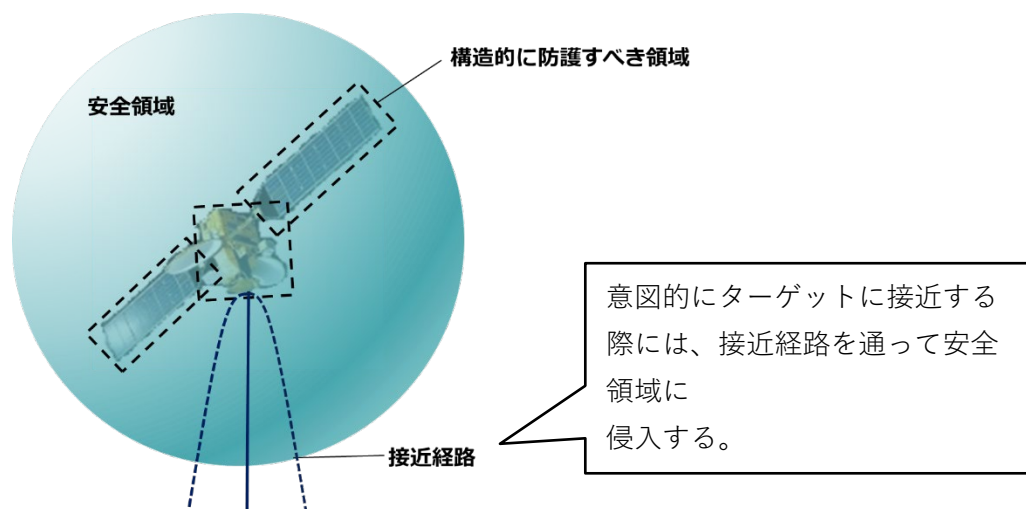
- スペースデブリ : 「スペースデブリ発生防止標準」(JMR-003) の定義を参照
[軌道上にある無用な人工物体。宇宙システムから分離する付属品、破砕により発生する破片、運用終了後の宇宙システムなどが含まれる。]
- サービス衛星 : 軌道上に既に存在している動作中の衛星へ補給、機能付加・交換、廃棄支援等のサービスや、機能を停止した衛星やスペースデブリを軌道から移動させ除去するサービス等を提供する衛星。宇宙ステーションへの補給船も含む。
- クライアント衛星 : サービス衛星によって補給、機能付加・交換、廃棄支援等のサービスを受ける、軌道上に既に存在している動作中の衛星。軌道上で運用中の衛星や宇宙ステーション等が該当する。
- ターゲットデブリ : サービス衛星によって軌道から移動させ除去するサービス等を受ける、軌道上に既に存在している機能を停止した衛星やスペースデブリ。
- 軌道上サービス : サービス衛星がターゲットに対し、補給、機能付加や廃棄支援等のために意図的に干渉する行為
- 安全領域 (K0Z : Keep Out Zone) : サービス衛星がターゲットに接近する際に意図しない侵入を禁止する領域。安全領域は想定される軌道、姿勢情報の精度等を考慮してターゲットを包含する領域にして設定される。

【安全領域の設定イメージ】 ※形状は問わない



- 接近経路 : サービス衛星がターゲットに接近するために意図して安全領域へ侵入する際に、ターゲットへの衝突を防止するために予め設定する経路。接近経路はターゲットの構造上、防護すべき領域（実際に衝突する可能性のある領域）に干渉してはならない。

○安全領域と接近経路



4. 関連文書

4.1. 適用文書

本文書に規定される範囲で以下の文書を適用する。適用文書は最新版を使用すること。

- (1) JMR-001 システム安全標準
- (2) JMR-003 スペースデブリ発生防止標準
- (3) 規程第 16-3 号 安全審査委員会規程

4.2. 関連文書

- (1) JERG-2-241 EMC 設計標準
- (2) JERG-2-320 構造設計標準
- (3) JERG-2-330 機構設計標準

5. 安全要求

5.1. 基本要件

4.1 項(1)に従って以下の対策を行う。

- (1) サービス衛星とターゲットの接近、接触、結合時の衝突による意図しないデブリの発生、およびデブリ防止機能の喪失をクリティカルハザード（重大な環境への影響）と位置づける。
- (2) サービス衛星、ターゲット、及び地上システムを統合したシステム全体に対するハザード解析を実施し、識別されたハザード・ハザード原因に対して、故障許容性を基本とした安全対策を行うこと。
- (3) 衛星の規模、軌道あるいは搭載物の特性等から、衝突によってより甚大な被害（有人宇宙物体への危害等）が想定される場合には、故障許容性の追加等を考慮すること。

5.2. 個別要件

以下の事項を参考にして、ハザード・ハザード原因を識別すること。なお、ハザード・ハザード原因の識別は、以下に限らず網羅的に実施し、識別された各ハザードに対して安全対策を検討すること。

5.2.1. 軌道、姿勢異常による衝突の防止

サービス衛星のターゲットへの接近、接触のための軌道、姿勢変更の際に、片方もしくは双方の軌道、姿勢の誤検知や過度／不十分なマヌーバ等が生じた場合、衝突による意図しないデブリの発生やデブリ防止機能の喪失等が起きる恐れがある。

- (1) サービス衛星のターゲットへの衝突有無を判定するために、軌道情報の精度等を考慮した安全領域を予め設定し、意図的な場合を除き当該領域に侵入しない軌道設計とすること。

ターゲットへの接近のために、サービス衛星が当該領域へ意図的に侵入する場合には、予め設定した接近経路を通して接近し、当該経路を逸脱しない軌道設計とすること。

（安全領域、接近経路の例は、Appendix B 参照）

- (2) サービス衛星やターゲットの軌道、姿勢の誤認識、過度／不十分なマヌーバ等による安全領域への意図せぬ侵入や接近経路の逸脱に対して、1 故障許容設計であること。
- (3) 衝突リスク低減のため、運用手順による安全対策を必要とする場合、判断ポイントや判断の条件を明確化しておくこと。運用手順による安全対策を確実に運用時に実行できるよう運用実施文書として文書化等すること（運用手順の設定の例は Appendix C 参照）。

5.2.2. 電磁干渉及び光学的干渉による異常の防止

サービス衛星とクライアント衛星の相互の電磁干渉及び光学的干渉により、片方もしくは双方の機能の一部が損なわれて、衝突やデブリ防止機能の喪失等が起きる恐れがある。

- (1) 機構等が設定した設計基準等（4.2 項(1)等）に基づき、クライアント衛星とクライアント衛星の相互の電磁干渉による影響評価を行い、サービス衛星、クライアント衛星の機能異常リスクを低減する設計を行うこと。
- (2) アクティブ型光波センサ等のレーザによりサービス衛星とクライアント衛星の恒星センサや太陽センサの受ける影響評価を行い、クライアント衛星、クライアント衛星の機能異常リスクを低減する設計を行うこと。

5.2.3. ロボティクス等の異常による衝突等の防止

サービス衛星のターゲットへのサービス実施時に、ロボティクス等の誤動作等により、衝突やデブリ防止機能の喪失等が起きる恐れがある。

- (1) サービス衛星のロボティクス等の誤動作による衝突等を防止するために、電氣的及び機械的異常による誤動作が生じないような 1 故障許容設計とすること。または、1 故障後の衝突荷重に対して有害な変形、破損等が生じない設計とすること。
- (2) ターゲットをサービス衛星のロボティクス等で把持、捕獲する際、軌道、姿勢情報の精度等を考慮した領域を設定し、サービス衛星のターゲットの把持、捕獲可否判断を行うこと。その際、センサの異常、誤認識、等の 1 故障でターゲットの不確実な把持、捕獲が生じないような設計とすること。
- (3) ターゲットをサービス衛星のロボティクス等で把持、捕獲する際、ロボティクス等の過度な動作等による把持点等の破壊が生じないような 1 故障許容設計、もしくは機構等が設定した設計基準等（4.2 項(3)等）に基づいた設計とすること。または、1 故障後の衝突荷重に対して有害な変形、破損等が生じない設計とすること。

5.2.4. 構造破壊の防止

サービス衛星のターゲットへの結合、把持、捕獲時や結合後に発生する荷重に対する不適切な構造設計、製造により、サービス衛星、ターゲットの構造が破壊し、衝突やスペースデブリ発生防止に必要な機能の喪失等が起きる恐れがある。

- (1) 機構等が設定した設計基準等（4.2 項(2)等）に基づき、軌道上サービス時や結合した状態で発生する荷重に対して、適切な構造設計、製造を行うこと。
- (2) 軌道上サービス時に発生する荷重に耐えることが出来ない箇所がある場合は、当該箇所を識別し、当該領域へ接触しない運用とすること。

5.2.5. 静電気放電による異常の防止

サービス衛星およびターゲットは、宇宙空間に晒されることにより帯電しており、接触時にその電位差に由来する静電気放電（ESD: Electrostatic Discharge）により片方もしくは双方の機能の一部が損なわれて、衝突やデブリ防止機能の喪失等が起きる恐れがある。

- (1) サービス衛星とターゲットが接触した際の ESD のリスク評価を行い、サービス衛星、クライアント衛星の故障リスクを低減する設計（適切なボンディング等）を行うこと。

5.2.6. 熱による異常の防止

サービス衛星およびターゲットの接触時に、高温、低温箇所への接触により片方もしくは双方の機能の一部が損なわれて、衝突やデブリ防止機能の喪失等が起きる恐れがある。

- (1) サービス衛星とターゲットが接触した際の温度差に伴う熱的授受等を考慮した熱的リスク評価を行い、サービス衛星、クライアント衛星の故障リスクを低減する設計を行うこと。この際、電氣的異常による高温、低温箇所が生じる場合や温度検知不能等の故障も想定すること。
- (2) (1)の評価の結果、その接触によりサービス衛星、クライアント衛星の故障リスクを低減できない可能性がある場合は、当該箇所を識別し、当該領域へ接触しない運用とすること。

5.2.7. スラスタプルームや推進薬漏洩による異常の防止

サービス衛星の推進薬漏洩によるクライアント衛星のセンサ汚染により、スペースデブリ発生防止に必要な機能の喪失等が起きる恐れがある。また、サービス衛星やクライアント衛星のスラスタプルームにより、過熱や意図せぬ荷重が発生し、サービス衛星やクライアント衛星の破損によるスペースデブリが生じる恐れがある。

- (1) サービス衛星やクライアント衛星の推進薬漏洩による過熱、センサ汚染や意図せぬ荷重等を防止するために、電氣的及び機械的異常による誤動作が生じないような 1 故障許容設計とすること。
- (2) サービス衛星とクライアント衛星のスラスタプルームによる相互のリスク評価を行い、サービス衛星、クライアント衛星の故障リスクを低減する設計を行うこと。

5.2.8. サービス終了後のクライアント衛星からの分離、離脱不能の防止

サービス衛星の分離、離脱機構の異常によるクライアント衛星からの分離、離脱不能により、計画した軌道変更不能、デブリとの衝突回避マヌーバ不能等のスペースデブリ防止機能の喪失等が起きる恐れがある。

- (1) サービス衛星の電氣的異常による分離、離脱機構への電力供給停止が生じないような 1 故障許容設計とすること。

- (2) 機構等が設定した設計基準等（4.2 項(3)等）に基づく等、サービス衛星の分離、離脱機構の機械的異常による分離、離脱不能が生じないような 1 故障許容相当の設計とすること。

5.3. インタフェース要求への適合性

5.1 項への適合性に加えて、サービス衛星とクライアント衛星／ターゲットデブリ間のインタフェース要求への適合性を担保すること。

6. 本基準への適合性審査及び承認

本基準への適合性については、4.1 項(3)で規定される安全審査委員会で審査・承認を行う。

Appendix A ミッション運用のベースライン

軌道上サービスには様々な内容が考えられる。ここでは、動作中のクライアント衛星（協力的ターゲット）に対して種々のサービス（軌道保持による寿命延長、燃料補給、観察、機器交換等）を提供するものを **On-Orbit satellite servicing (OOS)** と定義する。また、機能を停止した宇宙機であるターゲットデブリ（非協力的ターゲット）をその軌道から移動させ除去するものを **Active Debris Removal (ADR)** と定義する。あらかじめ捕獲用のインタフェースを具備してあるクライアント衛星を、その機能停止後に運用軌道から除去するミッション、いわゆる **End-Of-Life (EOL)** サービスも、ADR とミッション運用の内容が類似していることから、ADR の一部として整理する。

これらの OOS および ADR のそれぞれについて、リファレンスとして A.1 項および A.2 項でミッション運用のベースラインを示す。

A.1 On-Orbit satellite Servicing (OOS)

OOS のミッション運用ベースラインを図 1 に示す。

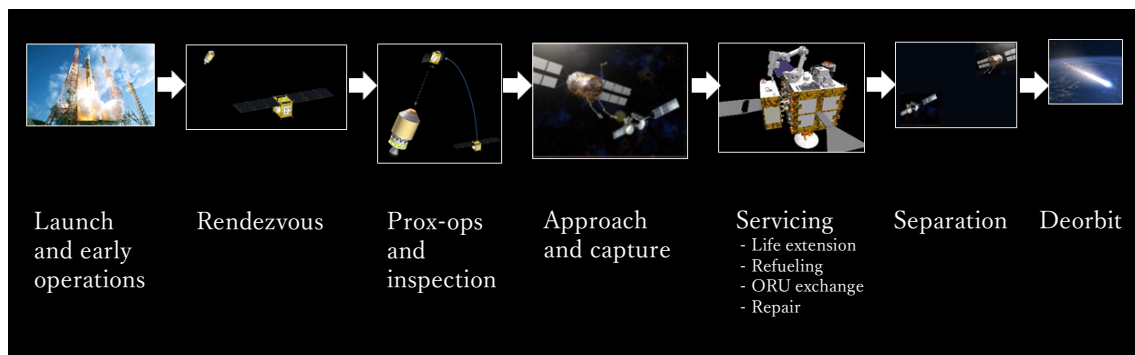


図 1 OOS のミッション運用ベースライン

- **Launch and early operations** フェーズ：打ち上げ、姿勢確立、初期チェックアウトを行う。
- **Rendezvous** フェーズ：絶対航法に基づいた誘導を行い、クライアント衛星に接近する軌道制御を行う。
- **Prox-ops and inspection** フェーズ：相対航法に基づいた誘導を行い、クライアント衛星に接近して、観察を行う。
- **Approach and capture** フェーズ：クライアント衛星に接近し捕獲する。
- **Servicing** フェーズ：クライアント衛星に対して各種のサービス（例：軌道保持による

寿命延長、推薬補給、ORU 交換、修理)を行う。

- Separation フェーズ：クライアント衛星から分離し、離脱する。
- (複数のクライアント衛星にサービスする場合、Rendezvous フェーズに戻る)
- Deorbit フェーズ：サービス衛星自身の軌道変更による廃棄処分を行う。

A.2 Active Debris Removal (ADR)

ADR のミッション運用ベースラインを図 2 に示す。

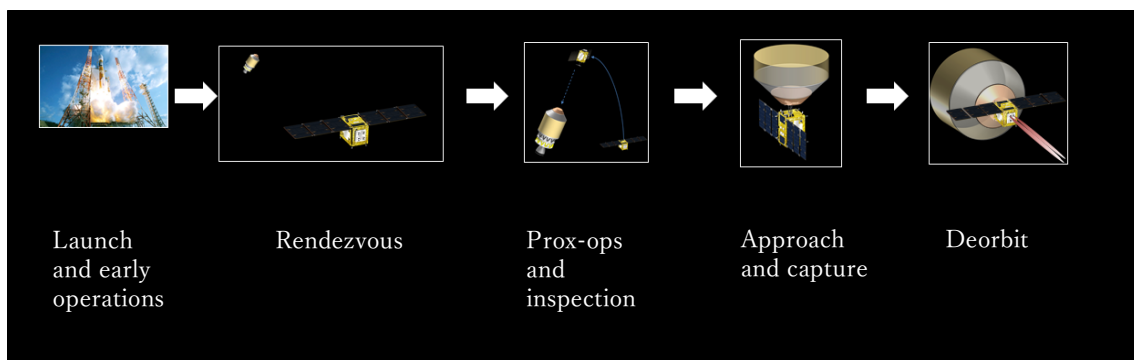


図 2 ADR のミッション運用ベースライン

- Launch and early operations フェーズ：打ち上げ、姿勢確立、初期チェックアウトを行う。
- Rendezvous フェーズ：絶対航法に基づいた誘導を行い、ターゲットデブリに接近する軌道制御を行う。
- Prox-ops and inspection フェーズ：相対航法に基づいた誘導を行い、ターゲットデブリに接近して、観察を行う。
- Approach and capture フェーズ：ターゲットデブリに接近し捕獲する。
- Deorbit フェーズ：ターゲットデブリの軌道変更による廃棄処分を行う。これが自身の軌道変更である場合も、ターゲットデブリのみの軌道変更である場合もある。
- (複数のターゲットデブリを除去する場合、Rendezvous フェーズに戻る)

Appendix B 安全領域、接近経路の設定

ここでは、Appendix A で定義したミッション運用のベースラインに基づき、安全領域、接近経路の設定の概念を示す。

Rendezvous、Prox-ops and inspection のフェーズにおいてターゲットに衝突しないことを判定するには、ターゲット形状そのものを衝突判定基準に用いるのではなく、その時点において想定される相対軌道情報の精度等を考慮してターゲットを中心とした安全領域を設定し、それを侵食するかどうかを判定基準とすることが実用的である。

なお、可能な限り、Passive Abort (PA) が安全な相対軌道とすることが望ましい。PA が安全であるとは、サービス衛星が機能を停止しても、その後の軌道がターゲットに衝突しないことである。

また、Approach and capture、Separation のフェーズにおいては、ターゲットの形状や捕獲用インタフェースの位置を考慮し、接近方向や接近軌道の許容範囲を制約する安全領域（コリドー (Corridor) や安全クリアランス (Safety clearance)）を設定し、接近経路を予め計画することで、それへの侵食を評価することで安全を管理することが実用的である。

この項では、安全領域の例として、Approach Ellipsoid (AE) / Keep-Out Sphere (KOS)、接近経路の例として、コリドー、安全クリアランスを示す。

(1) Approach Ellipsoid (AE)

AE は、ターゲットの重心を原点とし、長軸 (along-track 方向) と短軸 (radial および cross-track 方向) の長さの比率が 2:1 となる楕円体とする。

- A) 各フェーズにおける相対軌道情報の精度等を考慮して、適切な AE の大きさを設定する。
- B) AE に意図的に侵入するマヌーバを実施するまでは、サービス衛星が機能を停止しても、その後一定時間（例えば 24 時間など）にわたりターゲットに衝突しない軌道設計とする。

(2) Keep-Out Sphere (KOS)

KOS は、ターゲットの重心を原点とした球状の領域である。サービス衛星が AE に意図的に侵入するマヌーバを実施後は、KOS が安全領域となる。

- A) デブリの姿勢によらず衝突しない包絡領域およびマージンを考慮して、適切な KOS の

大きさを設定する。

- B) KOS に意図的に侵入するマヌーバを実施するまでは、サービス衛星が機能を停止しても、その後一定周回（例えば 4 周回など）にわたりクライアント衛星/ターゲットデブリに衝突しない軌道設計とする。

(3) コリドー / Corridor

コリドーは、KOS 内に侵入しターゲットに接近する際に通ることのできる領域である。ターゲットの BODY 座標系において定義される。

- A) 接近方向、制御精度、捕獲方法等を考慮して、適切なコリドー形状を設定する。
- B) KOS 内のコリドー外の領域への侵入は、アボート時を除き発生しないように設計する。
- C) コリドーの侵食が検知もしくは予測されたら、何等かの異常が発生していると判断し、速やかに Collision Avoidance Maneuver (CAM) が実施される設計とする。

(4) 安全クリアランス / Safety clearance

安全クリアランスは、捕獲状態において、サービス衛星とターゲットが接触しないように、それらの間に適切な空間を設けるための領域である。

- A) ターゲットの捕獲インタフェースまわりの構造を考慮して、適切な安全クリアランスを設定する。
- B) 捕獲状態において、サービス衛星の構造が、安全クリアランスを侵食しないようにする。

Appendix C 運用手順の設定.

ここでは、Appendix A、Appendix B で定義した内容に基づき、運用手順の設定の概念を示す。

ミッション運用シーケンスの進行に伴って重要なイベントを実施するにあたり、その実施の可否を確認する判断ポイントと判断の条件を明確化しておくこと、判断の分岐のそれぞれで行うアクションを明確化しておくことが、安全な運用を行うために必要である。それを文書化したものがフライトルールである。

- A) ミッション運用シーケンスにおける重要なイベントを識別し、判断ポイントを定義すること。ミッションにより内容は異なると考えられるが、以下に例を挙げる。
 - GO for Prox-ops : 相対航法の健全性を確認し、Rendezvous フェーズから Prox-ops and inspection フェーズに移行してよいかを判断する。
 - GO for Approach Initiation : AE に侵入する条件を満足していることを確認する。
 - GO for Final Approach : KOS に侵入する条件を満足していることを確認する。
 - GO for Capture : ターゲットを捕獲する条件を満足していることを確認する。
- B) 各判断ポイントにおける、判断の条件を定義すること。ミッションにより条件は異なると考えられるが、以下に例を挙げる。
 - サービス衛星の各サブシステム/コンポーネントのステータス（健全 or 故障）の組み合わせ。
 - 先の手順で主系に使う航法手段の誤差評価結果。
 - 位置誤差のコリドー逸脱有無。
- C) 各条件の判断の分岐の各々に対して、その後に行うアクションを定義すること。ミッションによりアクションの類型は異なると考えられるが、ランデブーミッションにおいて一般的なものを以下に示す。
 - GO : 先の手順に進む。
 - NO-GO : 先の手順に進まないが、アボートは実施しない。
 - ABT : 即座にアボートを実施する。
 - DLY : 不具合等の調査とインパクト評価の時間をとる。結果によっては不具合が解消されなくても手順を進められる可能性がある。
 - HLD : その位置を保持する。
 - RTRT : 後退し、相対距離をとる。

上記の A)～C)をまとめたフライトルールを文書化し、提示する。