

The logo is a large circular emblem with a purple outer ring containing the text 'FUKUSHIMA ROBOT TEST FIELD' in white. Inside the ring, there are various icons: a Japanese flag on the left, a map of Fukushima in the center, a red and white tracked vehicle on the right, and a yellow and blue robot on the bottom. The background of the inner circle is divided into green and blue sections.

安全確保措置検討のための
無人航空機の運航リスク評価ガイドライン

RTF-GL-0006

Edition 1.1 2022/12

公益財団法人福島イノベーション・コースト構想推進機構

福島ロボットテストフィールド

※本資料の営利目的での無断使用を禁止します

改定履歴

Edition No.	変更頁	変更内容	発行日
1.0	-	初版 JARUS SORA Edition 2.0 を参考 に作成。	令和 4 年 12 月 2 日
1.1	表紙、3、4、5、6、7、 8、9、10、11、12、13、 14、15、16、17、18、 19、20、21、22、23	<ul style="list-style-type: none"> ・注記の追記 ・誤記修正 ・用語の統一 ・文章表現の見直し 	令和 4 年 12 月 16 日

目次

1. はじめに.....	5
2. 本書の目的.....	5
3. 適用範囲.....	5
4. 参考文献.....	5
5. 用語の定義.....	6
6. 本書における「リスク」の概説.....	7
7. 評価を実施するために基本となるコンセプト.....	7
7-1. セマンティックモデル(運航概念図).....	7
7-2. ロバスト性.....	9
7-3. 総合リスクモデル.....	10
8. 役割と責任.....	10
9. 事前の確認事項.....	11
10. リスク評価プロセス概要.....	11
11. 運航のリスク評価.....	12
11-1. Step#1 CONOPS の説明.....	12
11-2. Step#2 地上リスクの把握.....	12
11-3. Step#3 空中リスクの把握.....	15
11-4. Step#4 運航に関わる安全目標の確認.....	19
11-5. Step#5 隣接するエリアの考慮.....	22
11-6. Step#6 評価結果に対する対応.....	22
12. まとめ.....	22
13. お問い合わせ.....	23
付録1 リスク評価作業シート	
付録2 総合リスクモデルについて	
付録3 CONOPS の説明に必要な確認事項	
付録4 地上リスク軽減策に対する安全性の水準と保証の水準	
付録5 戦術的対策の性能要件とロバスト性	
付録6 運航に係わる安全目標を達成するための安全性の水準と保証の水準	

<ガイドラインの作成にあたって>

本書は、(大)東京大学、(一社)日本産業用無人航空機工業会(JUAV)、(一社)日本 UAS 産業振興協議会(JUIDA)、(一財)総合研究奨励会日本無人航空機運航管理コンソーシアム(JUTM)、(一社)全日本航空事業連合会、国土交通省航空局から選出いただいた有識者の皆様のご協力のもと、福島ロボットテストフィールドが主催する作業部会において検討し作成いたしました。

1. はじめに

無人航空機は、空撮、農薬散布、インフラ点検、災害対応、測量等の幅広い分野においてその活用がなされています。さらに令和4年12月5日以降は、有人地帯における目視外飛行（通称レベル4飛行）が可能となり、有人地帯における物輸や、警備、より有効的な災害対応への貢献など更なる活用が期待されています。

一方で、無人航空機の飛行可能エリアや使用用途の拡大は、地上にいる人々や空域を共有する有人航空機に対するリスクもこれまで以上に増えるものと考えられ、これらのリスクに対処し、安全な運航を確実に実施することが今後の無人航空機産業の発展には不可欠なことと考えられます。

本書は、無人航空機の安全な運航を支援するため、運航形態に応じて想定されるリスクとそれに応じた安全目標を導くための評価手法を提供します。なお、本書はJARUS (Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned System) が発行し、主に欧州で使用されているリスク評価手法である”SORA (Specific Operation Risk Assessment)”を基に、日本の無人航空機制度との整合を図り作成しています。

本書は潜在するリスクを軽減するための評価手法を提供するものであり、本書を使用したことによる無人航空機の事故、怪我、損害に対する一切の責任を負うものではないことを予めご了承ください。

2. 本書の目的

本書は、無人航空機の運航者が計画する運航形態に対して想定されるリスクと、そのリスクに応じた安全目標を明確にするためのリスク評価手法及びその考え方を提供することを目的としています。

また、本書におけるリスク評価手法及び考え方は、日本における無人航空機の飛行ルールで規定されているカテゴリーⅡ飛行、カテゴリーⅢ飛行に必要とされる許可・承認申請を支援することも目的としています。

3. 適用範囲

本書は、カテゴリーⅡ飛行、カテゴリーⅢ飛行に必要とされる許可・承認申請を支援することを主目的としていますが、このカテゴリーに限るものではなく、無人航空機の全ての運航において適用することができます。

本書では、飛行エリアにおける無人航空機と人との衝突リスクである「地上リスク」と無人航空機と有人航空機の衝突リスクである「空中リスク」に対応するもので、以下の事象は評価対象には含まれていません。

- 無人航空機同士の空中衝突
- 事故が発生した場合に、無人航空機に搭載された貨物等による二次被害
- プライバシーと財務に関わる事項

4. 参考文献

- JARUS guideline on Specific Operations Risk Assessment (SORA) Edition 2.0 (2019/1/30)
- SAE ARP 4754A Guide lines for Development of Civil Aircraft and System
- EURO CAE ED-79A Guide lines for Development of Civil Aircraft and System
- JIS W 0141 無人航空機一用語

5. 用語の定義

本書で使用される主な用語を以下に示します。

表1. 用語の定義

用語	定義
CONOPS	Concept of operations の略。本書では、運航者が想定する運航計画をまとめた運航に関わる概念書として定義。
DAA	Detect and Avoid(衝突回避)の略。衝突またはその他の飛行を阻害する要因を検知し、回避を含む適切な行動をとる能力。
UTM サービスプロバイダー	無人航空機が飛行する空域の安全で効率的な飛行を支援するためのサービスを提供する組織。
運航	無人航空機を飛行させる行為全般。行為全般とは、飛行計画の立案、飛行に関連する者の配置及び管理、飛行時の安全確保のための行為、飛行中の関連機関との調整、飛行記録の管理、整備状況の確認、操縦者の訓練状況の確認などを含む。
運航者	運航者とは単一または複数の無人航空機の運航を行う者または団体。
管制区域	管制区域には航空法で定められる航空交通管制区、航空交通管制圏、航空交通情報圏、進入管制区及び特別管制空域を含む。
危害(Harm)	地上の第三者の致命的な怪我、空中の第三者の致命的な怪我及び重要なインフラへの被害に繋がる望ましくない事象。
脅威(Threat)	脅威を防ぐための対策(バリア)が行われない場合に、潜在的に危険な状態をもたらす状況。
航空局	国土交通省航空局。
操縦者	無人航空機を遠隔操作する者または自動操縦において無人航空機の飛行状況を把握し、必要に応じて飛行を変更させる指示を行う者。
戦術的対策	飛行中に有人航空機との衝突リスクを減らすことを目的とした対策。(飛行状況に対応した対策。)
戦略的対策	飛行前に有人航空機と遭遇する確率やリスクにさらされている時間を減らすことを目的とした対策や運用制限。(運航の前提条件や枠組みを工夫することによる包括的な対策)
ハザード	故障、不具合、外的事象、エラーまたはそれらの組み合わせに起因する潜在的に危険な状態。
無人航空機の最大寸法	無人航空機の設計上最大となる箇所の寸法。(例えば、固定翼航空機の場合は翼幅、回転翼航空機の場合はブレード直径、マルチローターの場合は最大寸法。)
リスク	ある事象の発生頻度(確率)とそれによる影響の重大性の組合せ。

リモートクルー	飛行の中で、運航に必要な役割を担当することが認められている人員。
ロバスト性	外的及び内的要因による危険な状況変化への対策が効果的であるかの水準。

6. 本書における「リスク」の概説

「リスク」という言葉は、様々に定義されています。最も簡単で分かりやすい定義の一つは、SAE ARP 4754A / EUROCAE ED-79A での「ある事象の発生頻度(確率)とそれによる影響の重大性との組合せ」という定義です。本書では、この「リスク」の定義を採用します。

本書では、参考としている JARUS SORA と同様に、技術(運航に係る機器・システム等は安全に利用できる状態か)・人(運航に係る人は、その職務を安全に実行できる状態か)・組織(運航に係る組織は安全に管理をされている状態か)をベストプラクティス(今までの慣行に基づく最善の事例)に基づいて具体的な運航のリスクを評価します。

ある事象の発生による影響は、何らかの種類の危害として分類されます。こうした危害の分類については、既に様々な文献で整理されています。この文書では、その影響が、短期的で、人命にかかわると考えられる危害(例: 無人航空機の墜落)に焦点を置きます。慢性的な影響を伴う事象(例: 長期間にわたる有害物質の排出)は、この文章での検討対象から除きます。本書で扱う危害(リスク)の分類(カテゴリー)は、次のとおりです。

- 地上にいる第三者への重大な怪我等
- 空中の第三者への重大な怪我等

※地上及び空中のリスクに加えて、重要なインフラに対するリスクも考慮される必要があります。この重要インフラに対するリスク評価の実施には、インフラの管理者との協力のもと実施する必要があります。

物の直接的な衝突が、数十ジュール程度のエネルギー量でも、人に対して重大な傷害を生じさせることは可能と考えられます。この文書で検討対象とする無人航空機のエネルギー量は、こうした水準よりも明らかに高いものです。

7. 評価を実施するために基本となるコンセプト

本項では、無人航空機の安全な運航の計画、リスク分析と評価及び運航の実施に当たって重要となる3つのコンセプトを以下に示します。

7-1 セマンティックモデル(運航概念図)

セマンティックモデルとは、本書で示すリスク評価の実施にあたり、その前提となる概念の理解を促進することを目的とし、運用のフェーズ、手順及びオペレーション空間を表す用語を標準化したモデルです。以下に示す表2がセマンティックモデルに関する用語であり、図1がセマンティックモデルを図示したものになります。無人航空機の運航を計画する際には、図1に示される概念を基にオペレーション空間を設定する必要があります。

表2. セマンティックモデルに関する用語

制御状態		制御喪失状態	
正常運航	異常事態 (望ましくない状態)	緊急事態 (復旧不可能な状態)	
標準運航手順	異常対応手順 (例: Return to Home、遠隔操作(手動操縦)、事前に設定した退避場所への着陸等)	緊急時対応手順 (例: 緊急着陸、飛行停止機能の有効化等)	
		緊急時対応計画 (制御喪失状態に起因する影響拡大防止のための計画)	
オペレーション空間			
地上リスク評価に際しての評価要素領域			
想定飛行空間	想定外飛行空間	リスク緩衝領域	隣接エリア
技術的制御が及ぶべき領域			
空中リスク評価に際しての検討対象領域			
想定飛行空間	想定外飛行空間	任意のリスク緩衝領域	隣接エリア
技術的制御が及ぶべき領域			



図1. セマンティックモデルの概念

セマンティックモデルの解説を以下に示します。

想定飛行空間: 想定飛行空間は、正常に運航されている無人航空機が飛行する範囲であり、無人航空機の飛行の目的や、機体やシステムの性能、環境に応じて設定されます。

想定外飛行空間: 想定外飛行空間は、機体や外部システムの異常・外乱等の影響で想定飛行空間から逸脱して飛行してしまうことに備える空間として設定される範囲です。

- オペレーション空間： オペレーション空間は、想定飛行空間と想定外飛行空間を合わせた空間です。
- 異常対応手順： 無人航空機のオペレーションは正常に制御できている正常運用時(normal operation)は、標準運航手順(standard operational procedure)に従って飛行を行います。機体や外部システムの異常や外乱の影響で想定飛行空間から逸脱してしまう恐れ、あるいは逸脱してしまった異常事態に陥った場合に直ちにとらなければならない手順です。想定外飛行空間は、異常対応手順により想定飛行空間へと復帰するために必要な空間を確保する必要があります。
- 緊急時対応手順： 緊急時対応手順は、オペレーション空間から万が一逸脱してしまった緊急事態において直ちにとるべき機体の制御に関わる手順です。緊急時には緊急時対応計画と共に使用されます。
- 緊急時対応計画： 緊急時対応計画は、機体の制御に関わる緊急時対応手順と併せて使用されるもので、事態が発生した場合に被害の加速や二次災害を抑制するためにとるべき対応を纏めたものです。
- 地上リスク緩衝地域： 地上リスク緩衝地域はオペレーション空間を逸脱した場合に、地上リスクを考慮すべきエリアになります。無人航空機の飛行における地上リスクの検討では、想定飛行空間、想定外飛行空間、さらに地上リスクに対する地上リスク緩衝地域を合わせた範囲を検討し、そのリスクを一定の範囲まで低減する対策を計画します。
- 空中リスク緩衝空域： 空中リスク緩衝空域は、オペレーション空間を逸脱した場合に空中リスクを考慮すべきエリアになります。無人航空機の飛行における飛行リスクの検討では、想定飛行空間、想定外飛行空間、さらに任意で空中リスクに対する空中リスク緩衝空域を合わせた範囲を検討し、そのリスクを一定の範囲まで低減する対策を計画します。
- 隣接エリア： 隣接エリアは、オペレーション空間(地上及び空中のリスク緩衝区域を含む)に隣接するエリアです。無人航空機が制御不能な状態で進入した場合に、高いリスクが想定される空域や地域が隣接する場合には、隣接領域に侵入しないための対策を検討する必要があります。

7-2. ロバスト性

ロバスト性とは、外的及び内的要因による危険な状況変化への対策が効果的であることの水準を示すものであり、無人航空機の運航の安全確保措置を計画するにあたり重要な概念です。

ロバスト性は、リスク評価の結果講じるべき「安全性の水準」(安全性の増加)と計画されている安全性の確保措置がどの程度確実に実施されているかを示す「保証の水準」(証明の方法)の双方を勘案して評価します。

- 例えば、第三者への衝突を抑える措置を計画する際、その措置の有効性に関わる衝突軽減の効果については安全性の水準、その措置が必要な際に機能するかについては保証の水準の双方で評価あるいは計画されるべきです。

安全確保措置に必要とされるロバスト性の水準は、いずれもその運航形態のリスクに応じて検討します。

本書では、リスクに応じて、低、中、高の3つの異なるロバスト性の水準を用います。

- 安全性の水準と保証の水準のうちのいずれか低い方に準じて、その安全確保措置は評価されます。例えば、中レベルの安全性の措置が、低レベルの水準で保証された場合には、その安全確保措置は低レベルと評価されます。

表3. ロバスト性レベルの決定

		保証の水準		
		低	中	高
水準 安全性の	低	「低」のロバスト性	「低」のロバスト性	「低」のロバスト性
	中	「低」のロバスト性	「中」のロバスト性	「中」のロバスト性
	高	「低」のロバスト性	「中」のロバスト性	「高」のロバスト性

7-3. 総合リスクモデル

リスク評価における総合リスクモデル(Holistic Risk Model)とは、無人航空機の運航に伴うリスクの軽減について、リスク、ハザード、脅威、運航に望まれる安全確保措置の一般的な枠組みで、本書はこの考え方に基づいています。総合リスクモデルの詳細な解説は付録2「総合リスクモデルの解説」に示します。

8. 役割と責任

運航者： 本書において、運航者は無人航空機の安全な飛行管理及びリスク評価について責任を持ちます。運航者は具体的な運航及びリスクについて評価を行うことで無人航空機の飛行が安全であることを示さなければなりません。

操縦者： 本書において無人航空機の操縦者は、飛行を開始してから終了するまで、当該飛行に関わるリスク管理上の全ての責任を有します。

航空局： 航空局は、無人航空機のカテゴリー II 及びカテゴリー III に分類される飛行の申請について公的な許可・承認権限を有する機関であり、申請のあった飛行に対して許可・承認を行います。また、運航者が空港等周辺や高度 150m 以上の飛行を行う場合は、空域を管轄する官署が調整を行います。

無人航空機の機体に対して航空局は、申請のあった無人航空機の型式の設計及び製造過程について安全基準及び均一性基準に適合すると認めると

きは、型式認証を行い、さらに型式認証を受けた者に対する監査も行うとともに、申請のあった無人航空機の安全基準に適合するかどうかを設計、製造過程及び現状について検査し、安全基準に適合すると認めるときは、機体認証を行います。

UTM サービスプロバイダー： UTM サービスプロバイダーから提供されるサービスは、安全に対する義務とリスク評価に対する運航者の適合性を支援することができます。

9. 事前の確認事項

- (1) 本書の利用に先立って、運航者は予定されている運航が航空法をはじめとする各種法令に違反するような飛行ではないことを確認する必要があります。
- (2) 飛行がカテゴリー I に分類されず、また航空局が提供している「航空局標準マニュアル」に該当しない CONOPS で運航する場合には、本書が示すプロセスによってリスク評価を実施し、当該飛行に関わる安全目標を明確にすることが必要です。

10. リスク評価プロセス概要

本書で示すリスク評価プロセスは以下の流れで実施します。各 Step の詳細は 11 項にて示します。

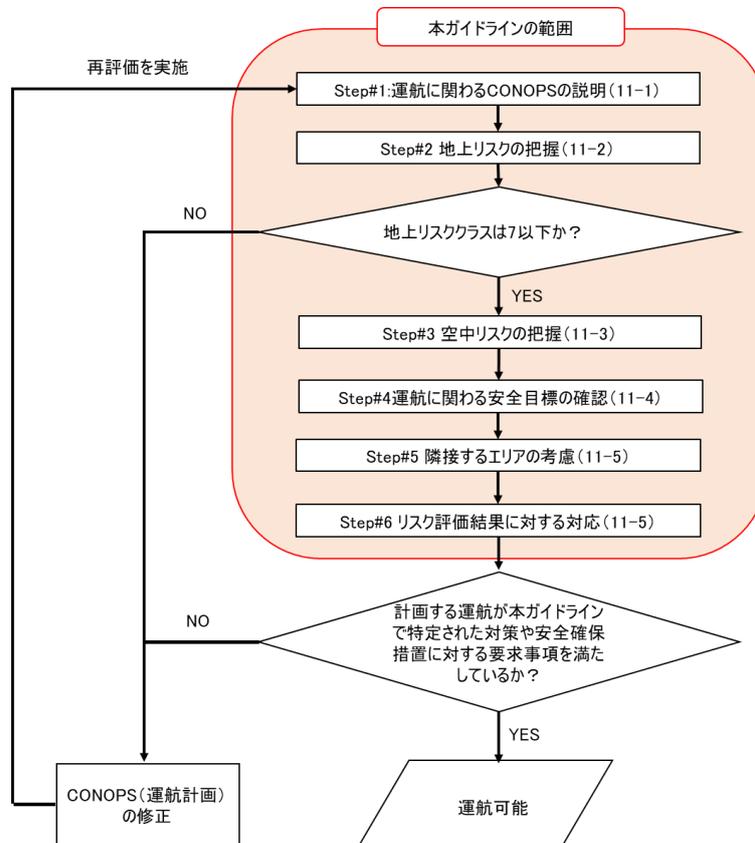


図2. リスク評価プロセス

11. 運航のリスク評価

11-1 項より、リスク評価の各 Step を示します。各 Step で評価した項目は、付録1「リスク評価作業シート」を用いて評価結果を示すことを推奨します。

11-1. Step#1 運航に関わる CONOPS の説明

本書ではリスク評価の最初のステップとして、運航者が計画する CONOPS を明確にする必要があります。運航のリスク評価を主眼とすると、CONOPS は「運航計画」と読み替えることができ、記載すべき事項は“5W1H”に倣って整理することができます。

- When(いつ): 運航日時
- Where(どこで): 運航地域／空域
- Who(だれが): 運航者／運航体制
- What(何を): 使用する無人航空機の情報
- Why(なぜ): 運航目的
- How(どのように): 飛行方法

本リスク評価を行うためには、運航者により作成された CONOPS に基づき、「運航体制に関する情報」と「運航に技術的な情報」を整理する必要があります(必要な情報は付録3参照のこと。)。ここで整理する情報は、リスク評価の結果要求される対策や安全確保措置のロバスト性の要求により適宜修正や変更の反映が必要となる場合があります。CONOPS の明確化は、リスク評価実施のためだけでなく、運航者の安全意識を高めるために重要な手続きです。

11-2. Step#2 地上リスクの把握

無人航空機の地上リスクとして、人との衝突リスクを本項では考えます。無人航空機は制御不能な状態に陥った時、人と衝突し、重大な障害を引き起こす可能性があります。

本ステップでは、運航者に、以下に示すアプローチで、計画する地上リスクの把握を行い、リスクにさらされる第三者の人数および衝突の際の人が吸収する衝撃を減らすための適切な努力の実施と、無人航空機の運航が制御不能になった場合に備えて設定する緊急時対応手順及び計画を求めます。

(1) 地上リスククラスの判定

本項では、運航者が計画する運航の定量的な地上リスクの把握のため、表4に示す判定表を用いて地上リスククラスの判定を行います。表4では、無人航空機の最大寸法と想定する運航形態の交点により地上リスククラスを決定します。

表4. 地上リスククラスの判定表

地上リスククラス				
無人航空機の最大寸法	1m/約 3ft	3m/約 10ft	8m/約 25ft	>8m/約 25ft
代表的な運動エネルギーの見積り	<700J 約 529 FtLb	<34KJ 約 25000FtLb	<1084KJ 約 800000FtLb	>1084KJ 約 800000FtLb
運航形態				
立入管理地域での目視内/目視外 [※] ¹ 飛行	1	2	3	4
低人口密度環境での目視内飛行	2	3	4	5
低人口密度環境での目視外飛行 ^{※1}	3	4	5	6
人口密集環境での目視内飛行	4	5	6	7
人口密集環境での目視外飛行 ^{※1}	5	6	8	10
集会上空における目視内飛行	7			
集会上空における目視外飛行 ^{※1}	8			

※1 目視外飛行には補助者ありの目視外飛行も含まれます。

- a) まず、飛行させるエリアにおける運航形態を特定します。
- b) ここで、飛行させるエリアとは、運航に際して、リスクに曝される領域です。飛行させるエリアは、セマンティックモデルで紹介した想定飛行空間 (flight geography) と想定外飛行空間 (contingency volume) により構成されるエリアと、少なくとも 1 対 1 ルール (リスク緩衝地域は想定飛行高度に比例させ、高度 50m であれば水平方向に 50m のリスク緩衝をとる) ※ を満たす地上リスク緩衝地域を合わせたエリアとします。
※場合によっては 1 対 1 ルールが不適切な場合もあります。また、安全機能などの利用によって 1 対 1 ルールよりリスク緩衝域が少なくても安全だと証明することも可能ですが、天候や、操作が動作に現れるまでの遅延、機体の性能、安全機能が動作した時の機体の挙動、ローター等の飛び出しなどの影響を踏まえる必要があります。
- c) 飛行させるエリアの設定の際には、緯度・経度・高度と時間からなる 4 次元から見た無人航空機の位置制御の性能を考慮する必要があります。特に、ナビゲーション機能の精度や飛行の技術的なエラー、地図など経路定義のエラーや時間遅れ (latency) を運航空間の決定の際に考慮する必要があります。
- d) 想定飛行空間 (flight geography) と想定外飛行空間 (contingency volume) について、この領域が立入管理地域であるか否かを確認します。
- e) 立入管理地域とは、その地域に、無人航空機運航のリスクを受容している関係者 (いる場合) のみがいる地域を指します。リスクを受容している関係者は、緊急時対応についての情報提供がなされており、その実施が可能です。
- f) 人口密度や管理体制の異なるエリアを飛行する場合には、一番高い人口密度の値、または管理されていない状態で設定します。
- g) 次に、使用する無人航空機の最大寸法と運動エネルギーの決定を行います。使用する無人航空機の最大寸法と代表的な運動エネルギーの見積りとの間で相違がある場合、運航者はその妥当性について示さなければならず、かつ厳しい方の列を選定します。(例えば、最大寸法が 1m であるが、運動エネルギーの計算の結果 700J よりも大きくなる場合は、<34KJ の列を選定しなければなりません。) 運動エネルギーの見積りを評価する場合、運航者は対気速度を用いて評価します。特に固定翼型の無人航空機の場合は、 V_{cruise} (設計巡航航速度) を使用し、他の形態の無人航空機では、Terminal Velocity (終端速度) を使

用します。また、特殊な設計の無人航空機（ジャイロコプター等）では、追加の検討が必要になる場合があります。終端速度を決定するために役立つガイダンスとして、米国の NASA Glenn Research Center が提供している以下のサイトがあります。

<NASA Glenn Research Center>

Terminal Velocity Interactive

URL: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/termvel/>

また、運動エネルギーは以下により計算します。

$$\text{運動エネルギー}K[\text{J}] = \frac{1}{2}mv^2$$

m : 無人航空機の質量[kg]

v : 巡航速度又は終端速度[m/s]

- h) 日本における、令和 4 年 12 月 5 日から施行の新制度開始当初に想定されるカテゴリーⅢ飛行は、表 4 における「低人口密度環境での目視内／目視外飛行」に該当します。

(2) 地上リスククラスの低減

地上リスククラスが1 違うということは 10 倍リスクが高い運航である、あるいは、地上リスクの低減に 10 倍の努力が必要であることを表します。本書では、リスクに曝される第三者の人数および衝突の際の人が吸収する衝撃を減らすための適切な努力を促すために、以下のアプローチを示します。以下に示すアプローチにより、表 4 で特定された地上リスククラスに対して、表 5 の項目の対策を行うことにより地上リスククラスを適切に調整することができます。表 5 は、地上リスクの軽減策とロバスト性に応じた地上リスククラスの調整数を示しています。なお、軽減策は M1 から順番に評価しなければなりません。

M1 から M3 の地上リスク軽減策に対するロバスト性を決定するための「安全性の水準」と「保証の水準」を付録 4 に示します。

表5. 地上リスクを軽減するための対策と地上リスククラスの調整数

軽減策の 評価順	地上リスクの軽減策	ロバスト性		
		低／なし	中	高
1	M1- 制御不能な状態となった際の無人航空機との衝突リスクに曝される人の数を減らす対策	0:なし※ -1:低	-2	-4
2	M2-無人航空機との衝突時のエネルギーを減らす手段	0	-1	-2
3	M3-制御不能な状態になった際に被害の拡大を抑制するための緊急対応計画の設定	1	0	-1

※M1 の軽減策においてロバスト性“なし”を選択できるのは、カテゴリーⅢ飛行が可能な場合に限りです。カテゴリーⅢ飛行では機体は第1種機体認証を取得していることから、制御不能な状態になる可能性が極めて低いと考えられます。

11-3. Step#3 空中リスクの把握

本項では、有人航空機との空中衝突に対するリスクを評価します。有人航空機との間に適切な間隔が維持できない場合、結果として有人航空機との衝突等、重大な事故を引き起こす可能性があります。

本書では、運航者が飛行の計画を行うにあたり、空中衝突リスクを検討するエリアの把握や、そのエリアでの有人航空機との間隔を維持する適切な措置のあり方についての理解及び可能な限りの対策の実施を求めます。

また、本書では、有人航空機に遭遇する確率を下げるために、「戦略的対策」と「戦術的対策」によるリスク低減が可能です。「戦略的対策」の例として、特定の時間帯または特定の境界内での運用が考えられます。(詳細は(2)による。)「戦術的対策」の例としては、衝突防止装置の搭載などの技術的な対策が挙げられます。(詳細は(3)による。)

「戦略的」とは事前に適切な対応を用意すること、「戦術的」とは、運用中にとりうる対応策とも言えます。

(1) 空中リスククラスの判定

空中リスクの把握のため、まず、飛行を検討しているエリアでの有人航空機に遭遇する確率を空中リスククラスとして定性的に分類・判定します。空中リスククラスは、以下の図3に示すフローチャートにより判定を行います。なお、空中リスクを検討するエリアは、図1で示したセマンティックモデルで紹介した想定飛行空間と想定外飛行空間により構成されるオペレーション空間です。

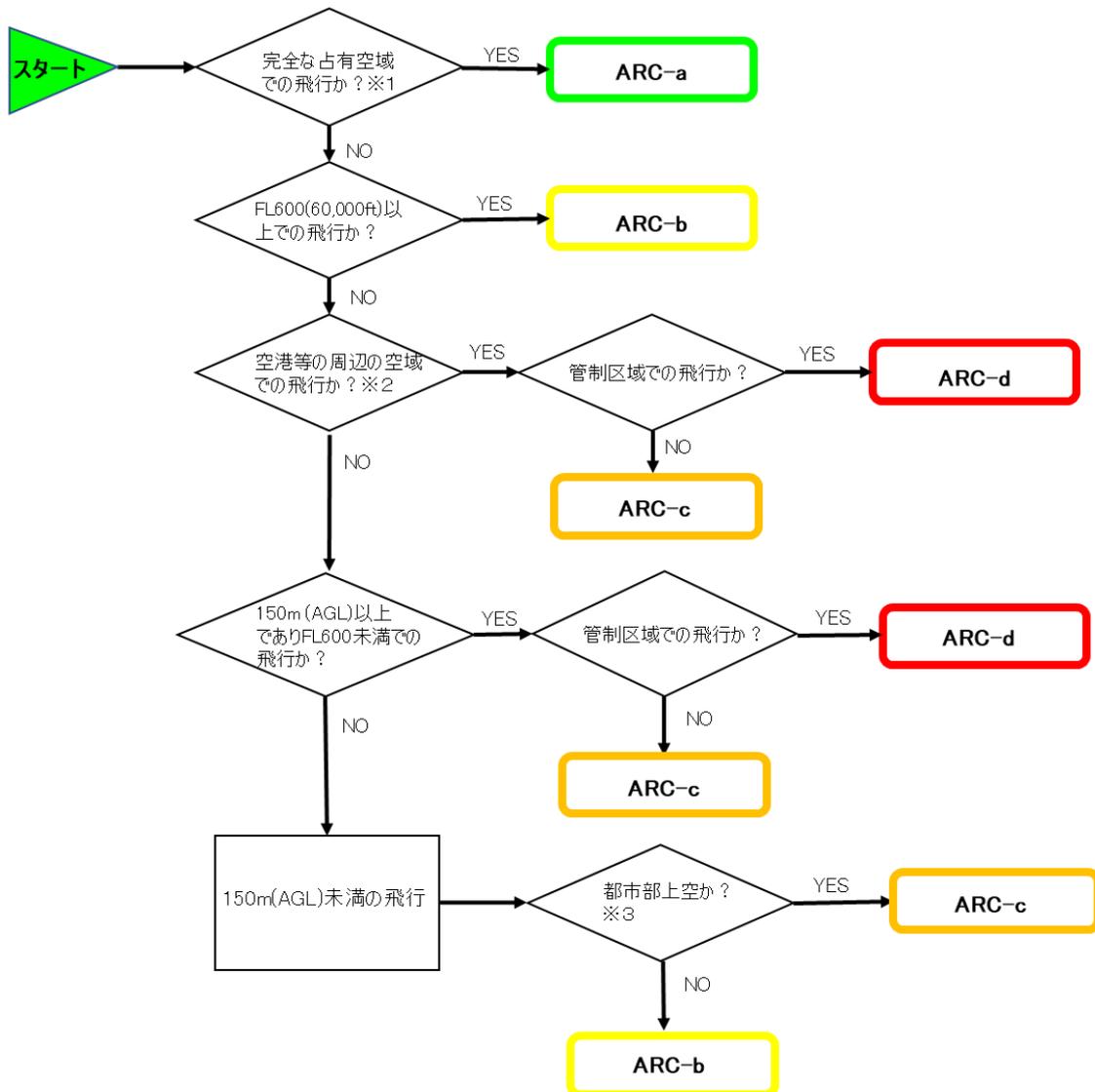


図3. 空中リスククラスの判定フローチャート

※1 完全な占有空域は、有人航空機との遭遇する確率がないかまたは非常に少ない空域であり、空中リスク軽減のために「戦術的対策」を必要としない空域です。日本では、無人航空機は150m未満での飛行を行うことが求められていますが、150m未満の空域であっても無人航空機専用の空域ではなく、有人航空機との遭遇する確率もあることから、この空域には該当しません。

※2 空港等の周辺の空域は、空港やヘリポート等の周辺に設定されている進入表面、転移表面若しくは水平表面又は延長進入表面、円錐表面若しくは外側水平表面の上空の空域、(進入表面等がない)飛行場周辺の、航空機の離陸及び着陸の安全を確保するために必要なものとして国土交通大臣が告示で定める空域です。(飛行するためには国土交通大臣による許可が必要です。)また、これに該当しない飛行場やヘリポートにおいては運航者が事前調査等を行い、離着陸や周辺空域での飛

行が頻繁に行われている場合にあつては空中リスクの観点から空港等の周辺の空域と同様に扱う必要があります。

※3 都市部上空は、警備、報道、人員輸送（遊覧等）等のためヘリコプターや小型飛行機の交通量が多く、空中リスクがそれ以外の地域よりも高くなると考えられます。ここでは、どの都市がここでの「都市部」に該当するかを定量的に決めることはできないため、飛行するエリアにおける空中の交通量を運航者が調査し該当／非該当を判断する必要があります。（定量的に決めることはできないものの、東京、大阪、名古屋等の大都市は該当するものと考えられます。）

各空中リスククラス（ARC）は以下に示すような空域です。

- ARC-a: 有人航空機との遭遇率が非常に低いと考えられ、衝突リスクが「戦術的対策」を追加しなくても許容される空域です。
- ARC-b: 有人航空機に遭遇する可能性は低いが無視できない空域であり、「戦略的対策」によりリスクの大部分に対処することができます。
- ARC-c: 有人航空機に遭遇する可能性が高い空域ですが、「戦略的対策」によりある程度のリスクに対処することができます。
- ARC-d: 有人航空機との遭遇する可能性が高い空域であり、「戦略的対策」が利用できる可能性が非常に低い空域です。

(2)「戦略的対策」を適用した空中リスククラスの低減（任意）

(1)で定性的に決定した空中リスククラスに対して、定量的な「戦略的対策」を適用することにより空中リスククラスを低減することができます。「戦略的対策」は、飛行前に有人航空機と遭遇する確率やリスクにさらされている時間を減らすことを目的とした対策や運用制限のことです。「戦略的対策」を適用した空中リスククラスの低減は必須ではなく任意です。

a) 運航者が、他の空域使用者に頼ることなく管理できる運航上の自主的制限による空中リスククラス低減対策

この対策は、有人航空機が飛行する時間や具体的な場所を踏まえて合理的に検討し、有人航空機との遭遇確率が(1)で評価した空中リスククラスよりも低くなることを目指します。例えば、空港周辺であるが有人航空機が運用されていない時間帯に飛行を行うことや、有人航空機が飛行することが到底考えられない建物に沿った飛行等が考えられます。

(1)における定性評価では空港周辺の飛行や、高度 150m以上の飛行は空中リスクが高いとされ空中リスククラスは「ARC-d」または「ARC-c」です。一方、日本の無人航空機の制度では、空港等の周辺の空域における飛行や 150m 以上の管制区や非管制区の飛行を行う場合には、航空局の空域を

管轄する部署と運航の許可を得るための調整が必要とされています。この運航許可が行われる際には、有人航空機と利用空域や時間帯が重複していないかなどの確認が行われており、当該飛行における空中リスクは極小化されていると考えられることから空中リスククラスは「ARC-b」に低減することも可能です。

(3)「戦術的対策」による空中リスクの軽減及び要求レベル

「戦術的対策」は飛行する空域の安全目標を達成するために必要な空中衝突の残留リスク※1を軽減するために必要とされます。「戦術的対策」は目視内飛行における「視認して回避する」の手段をとるか、飛行する空域の安全目標を達成するために、「視認して回避する」手段の代替手段を提供するシステム（「検知して回避」するための衝突回避システム）を必要とする場合があります。「戦術的対策」によるリスクの軽減は以下のような方法が考えられます。

- 無人航空機を目視内で飛行し有人航空機との衝突を回避する
- 外部的な手段をとって有人航空機との衝突を回避する方法
航空管制等のシステムを利用して有人航空機との間隔を維持する方法です。
- 衝突回避システムを利用した方法
無人航空機の機上や地上、あるいはその両方に存在する検知・回避システムを利用して有人航空機との衝突を回避する方法です。

「戦術的対策」は、これまでのステップで特定された空中リスククラスに応じて要求のレベル（低・中・高）が割り当てられます。

※1「残留リスク」とは、(1)で定性的に判定した空中リスクに対して、(2)の「戦略的対策」を適用した後に残留する空中衝突リスクのことです。

a) 目視内飛行（補助者あり目視外飛行を含む）における要求レベル

目視内飛行では、操縦者（補助者ありの目視外飛行では補助者）が無人航空機を目視範囲内に収めて飛行することで「視認して回避」することができるため、いずれの要求レベルも満たすことができます。

一方で、補助者ありの目視外飛行では、追加の要件として、補助者による目視及び補助者から操縦者への回避の指示が十分機能することの検証が必要です。加えて、補助者の指示から操縦者の判断と動作に関わる時間は通信の遅延を加味しても15秒以内であることが必要です。

また、運航者は、目視内飛行における衝突（コンフリクト）を防止する体系的な計画（スキーム）を文書化する必要もあります。この計画では、有人航空機の検出方法や有人航空機のトラフィックを回避する際の意味決定の基準を定義する必要があります。操縦者が補助者による検出に依存する場合には、その言葉の使用方法についての説明も必要です。

b) 目視外飛行における要求レベル

目視外飛行では、特定された空中リスククラスに対して表6に示す「戦術的対策」の性能要求レベルとその対策に対するロバスト性が必要になります。「戦術的対策」の性能要求レベルとロバスト性のレベルを満たすために必要な要件は付録5に示します。

表6. 「戦術的対策」のレベルとロバスト性の割り当て

残留空中リスククラス	「戦術的対策」の性能要求レベル	ロバスト性のレベル
ARC-d	高	高
ARC-c	中	中
ARC-b	低	低
ARC-a	要求なし	要求なし

11-4. Step#4 運航に関わる安全目標の確認

ここまでのステップを通して、計画する無人航空機の運航に関わる地上及び空中リスクを特定してきました。本項では、これまで特定してきた地上及び空中リスクに基づき、当該運航に推奨される安全目標(OSO)の安全性と保証のレベル(SAIL)を決定します。

(1) 安全性と保証のレベル(SAIL)の決定

特定された地上リスククラス及び空中リスククラスを用いて、表7を用いて安全性と保証のレベル(SAIL)を決定します。

表7. SAIL の決定

調整後の地上 リスククラス	残留する空中リスククラス			
	ARC-a	ARC-b	ARC-c	ARC-d
≤2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI
6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
>7	本リスク評価対象外			

(2) 運航に関わる安全目標(OSO)と SAIL 毎に求められるロバスト性の決定

(1)で決定された SAIL に基づき、当該運航に係わる安全目標に対するロバスト性を表8により決定します。

表8. 運航に関わる安全目標と SAIL 毎に求められるロバスト性

OSO 番号	運航に関わる安全目標	SAIL					
		I	II	III	IV	V	VI
ロバスト性							
技術的な問題							
OSO#01	運航者が十分な能力を持っていることかつ／または証明されていること	任意	低	中	高	高	高
OSO#02	無人航空機システムは十分な能力を持っている かつ／または 実績のある法人によって製造されたていること	任意	任意	低	中	高	高
OSO#03	無人航空機システムは十分な能力を持っている かつ／または 実績のある法人によって維持されること	低	低	中	中	高	高
OSO#04	無人航空機システムは、航空局が認めた設計基準に合わせて開発されていること	任意	任意	任意	低	中	高
OSO#05	無人航空機システムはシステムの安全性と信頼性を考慮して設計されていること	任意	任意	低	中	高	高
OSO#06	C3リンクの特性(例えば、性能、スペクトルの使用)が運航に適していること	任意	低	低	中	高	高
OSO#07	CONOPS との一貫性を確保するための無人航空機システム の検査(製品検査)がされていること	低	低	中	中	高	高
OSO#08	運航手順が定義され、検証され、遵守されていること(無人航空機システムの技術的な問題に対処するため)	低	中	高	高	高	高
OSO#09	リモートクルーは訓練を受けた現役で、異常および緊急事態(つまり、無人航空機システム の技術的な問題)を制御できること	低	低	中	中	高	高
OSO#10	技術的な問題から安全な復旧ができること	低	低	中	中	高	高
外部システムの機能低下							
OSO#11	無人航空機システムの運航をサポートする外部システムの劣化への対処手順が整備されていること	低	中	高	高	高	高
OSO#12	無人航空機システムは、無人航空機システム の運用をサポートする外部システムの劣化を管理するように設計されていること	低	低	中	中	高	高
OSO#13	外部サービスによってサポートされる無人航空機システム が運航に適合していること	低	低	中	高	高	高

ヒューマン・エラー							
OSO#14	運航手順が定義され、検証され、遵守されていること	低	中	高	高	高	高
OSO#15	リモートクルーは訓練を受けた現役で、異常および緊急事態を制御できること	低	低	中	中	高	高
OSO#16	リモートクルー同士が連携していること	低	低	中	中	高	高
OSO#17	リモートクルーは運航に適していること	低	低	中	中	高	高
OSO#18	ヒューマン・エラーに対して飛行エンベロープの自動保護機能があること	任意	任意	低	中	高	高
OSO#19	ヒューマン・エラーからの安全な回復ができること	任意	任意	低	中	中	高
OSO#20	ヒューマンファクターが評価されており、ミッションに対して適切なヒューマンマシンインターフェイス(HMI)が確立されていること	任意	低	低	中	中	高
不利な運航条件							
OSO#21	運航手順が定義され、検証され、遵守されていること	低	中	高	高	高	高
OSO#22	リモートクルーは、重大な環境条件を特定し、それを回避するように訓練されていること	低	低	中	中	中	高
OSO#23	安全な運用のための環境条件が定義され、測定可能であり、遵守されていること	低	低	中	中	高	高
OSO#24	無人航空機システムは悪条件下に対応できるように設計されていること	任意	任意	中	高	高	高

(3) ロバスト性を達成するために求められる「安全性の水準」と「保証の水準」

(2)で決定された運航に関わる安全目標(OSO)に対するロバスト性を達成するために必要とされる「安全性の水準」と「保証の水準」を付録6「運航に関わる安全目標に対する安全性の水準と保証の水準」に示します。運航者は、実施する運航が必要とされるロバスト性を満たしていることを確認し示さなければなりません。*

※OSO#02、#04、#05、#10、#12、#18、#20 及び#24 は、無人航空機の設計や製造で対処する対策であり運航者が対応することは困難だと考えられます。日本では、カテゴリーに応じた機体の認証制度(型式認証/機体認証)または飛行の許可・承認制度における機体の要件により機体の安全性を担保していることから、その担保されている範囲内で、これらを満たすことにより当該 OSO を満たしていると考えられることも可能です。

11-5. Step#5 隣接するエリアの考慮

これまでのステップでは、リスクを検討するエリアを設定し、そのエリア内における地上や空中のリスク及び安全確保措置を検討してきました。本項では、オペレーション空間に隣接するエリアについて評価を行います。

無人航空機が飛行するオペレーション空間は、無人航空機的设计や装備に関する特徴や CONOPS に関連する具体的なリスク(例: 雹、氷、雪、電磁干渉等)を考慮して設定され、万が一逸脱する際には緊急操作手順と緊急時対応計画を実施することになっています。ただし、オペレーション空間に隣接するエリアが、ARC-d に該当する空域や、空港周辺の空域、飛行が認められていない集会上空、あるいは人口集中地区における立入管理措置を講じたカテゴリー II 飛行及び地上リスククラスの低減のため M1 の軽減策を適用している場合等、オペレーション空間と比較して著しく地上や空中のリスクが異なる場合には、オペレーション空間からの逸脱の可能性について厳格に管理することが必要です。

上記の様に隣接エリアのリスクが高い場合、運航者は隣接エリアのリスクが高いことを認識するとともに、逸脱を防止するために考えられる最善の対策を検討し実施する必要があります。以下に示す対策は、逸脱を防止するために必要な対策ですが、これらに限定されるものではなく、運航者は考えられる最善の対策を実施することが必要です。

- オペレーション空間から逸脱する確率を 10^{-4} /Flight Hour 未満とする。
- 無人航空機システム及び運航をサポートする外部システムの単一故障によってオペレーション空間を逸脱しない。
- 開発エラーがオペレーション空間の逸脱に繋がるようなソフトウェア(SW)やエアボーンエレクトロニックハードウェア(AEH)は航空局が適切と認める業界標準または方法によって開発する。

11-6. Step#6 評価結果に対する対応

これまでのステップで評価されたリスクに対する要求事項に対して、運航者は自らの運航がその要求事項を十分満たしていることを確認し示す必要があります。各対策や安全目標を達成するため、運航者は本リスク評価の結果に基づき、安全確保措置として運航に関わる飛行マニュアルを作成することが推奨されます。

また、リスク評価の結果必要とされる対策や安全目標を達成できない場合は、運航方法や運航体制の変更を行う必要があるため、CONOPS の改定が必要となります。

12. まとめ

本書では、無人航空機の安全な運航の実現に必要な、十分な信頼性を得るために考慮すべきリスクの軽減対策と安全目標を導くための手法を提供してきました。ここで導きだされるリスク軽減対策や安全目標を達成することは安全な運航を実施するために必要最小限の事項だと考えられます。そのため、運航者は常に自らの運航に潜在するリスクを認識しそれに対処すべく最善策をとることが重要です。

13. お問い合わせ

本書に対するお問い合わせは、以下までお願いいたします。

<お問い合わせ専用メールアドレス: rtf-uasriskguideline@fipo.or.jp >

なお、お問い合わせをいただく場合には、所属、氏名、連絡先も含めていただけますようご協力をお願いいたします。