

ドローンの多数機同時運航の普及拡大に向けた 安全管理要件の策定

PwCコンサルティング合同会社

研究開発項目①(3)

2026年5月13日

ドローンの1対多運航を実現する適合性証明手法の開発

1. 事業概要説明

多数機同時運航の必要性

ドローンの社会実装には、事業性・運航効率の確立が不可欠である。その本質的課題は、単機運航に起因するリソース供給、コスト、時間の制約にあり、これを構造的に解消するためには、多数機同時運航への転換が不可欠である。

	As is (1:1運航)	To be (M:N運航)	効果
ドローンの社会実装には、持続可能な事業性・運航効率の確立が必要	■ オペレーター数に応じるためリソース制約が発生	■ 一人のオペレーターが複数機を運航	■ 需要に応じたリソース供給が可能
単機運航では、リソース供給・コスト・時間の制約がボトルネック	■ 人員増に比例してコストが増加	■ 少人数で複数機を運航	■ 人件費を含む運航コストを抑制
これらの制約を構造的に解消する要素の一つが、多数機同時運航	■ 即応性・同時対応力に限界	■ 複数地点・複数需要に同時対応	■ オンデマンド配送や広域調査等の即時ニーズに対応

米国で拡大する多数機同時運航

米国の商用ドローン事業者は、既に多数機同時運航の拡大フェーズに移行している。一方で、その安全性証明手法は各社個別に構築されており、統一的な枠組みや国際標準は未だ確立されていない。

米国事業者の状況

事業者

一人当たりの
運航台数

Wing¹

32機

zipline

40機

amazon
Prime Air

6機※

※Amazonのみ2024年時点の機体数



出所：Wingウェブサイト

現在の多数機同時運航の証明手法

- シミュレータと実フライトテストを組み合わせによる安全性の検証が主流
- 一部事業者においてはシミュレータのみでの機数増加を目指すなど、各社個別に異なる手法となっており、画一的な手法は存在していない



標準化動向（ASTM）

- 米国では目視外飛行の拡大を目的に、目視外飛行規則案（Part108案）を発表
- Part108案には多数機同時運航の要件の記載はあるものの、「業界標準の規格を適用し多数機同時運航を実施すること」に留まっている
- 業界標準（ASTM）においてまだその規格は存在しておらず標準整備が急がれる

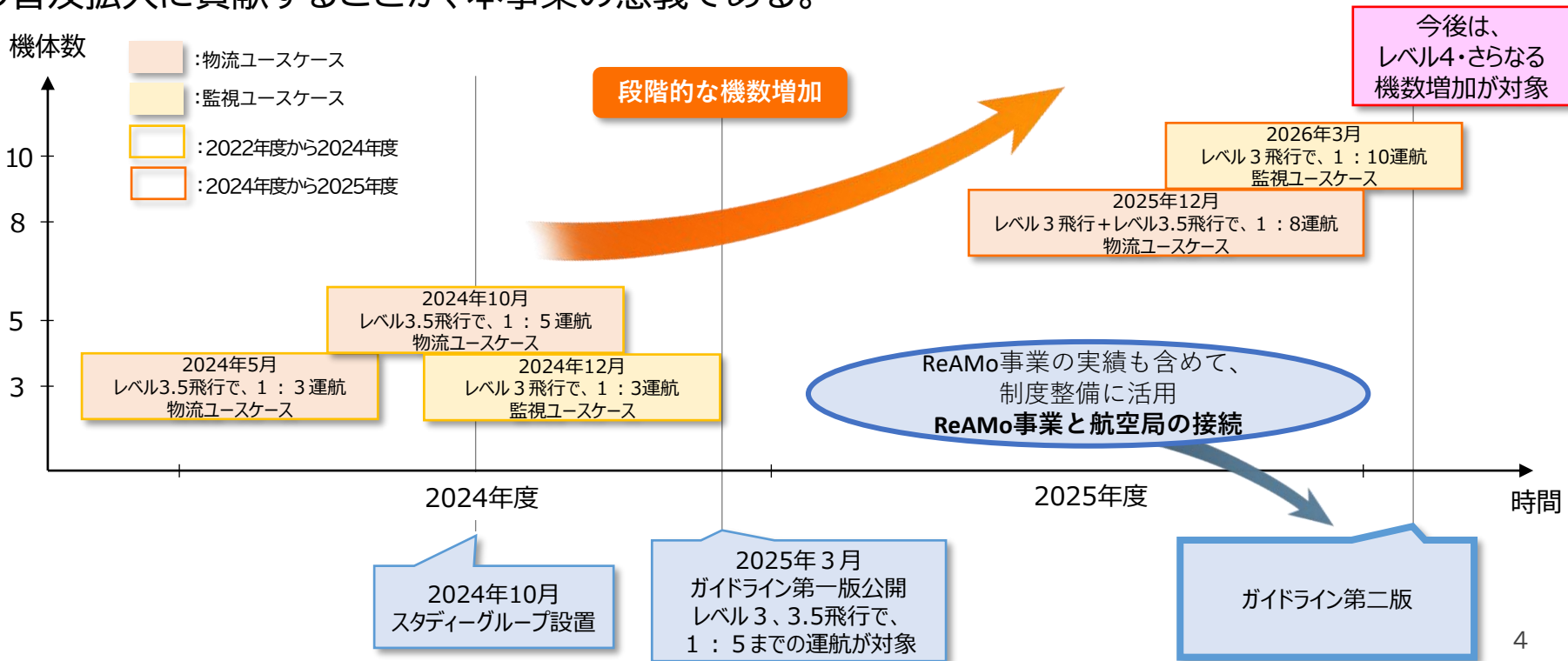
日本でも機体の自動化が進展し、多数機同時運航の需要が高まりつつあることから、日本における安全性の証明手法の確立が求められる

本事業の意義

我が国においても、多数機同時運航が実証実験から社会実装へ進む中、安全な多数機同時運航の普及拡大に貢献することが、本事業の意義である。

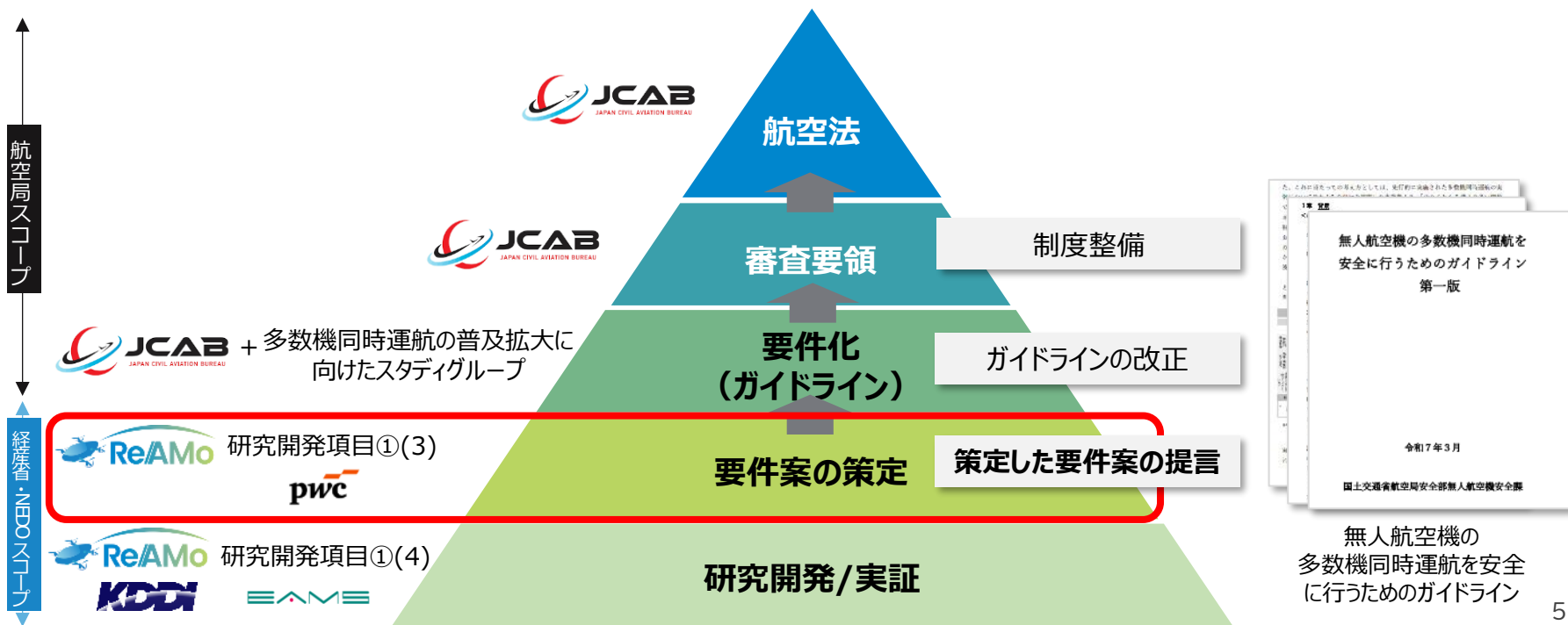
ReAMo事業内の多数機運航
研究開発の状況

航空局
の動向



本事業の目標

国際的な標準や評価手法が未確立な領域において、国内の運用実態や制度環境を踏まえた多数機同時運航の要件案を策定し、航空局への提言を通じてガイドライン改正や制度整備等に貢献する。



本事業の実施内容

国内外調査および関係機関との連携を通じて、多数機同時運航に係る要件の整理と定量的リスク評価手法の検討を行う。

実施事項

国内調査

多数機同時運航の国内事例やニーズ
について継続的な情報収集
⇒ 国内状況を把握

海外調査

事例、制度、標準化の机上調査
⇒ 日本における検討課題を明確化
将来的に必要なデータの検討

リスクアセスメント手法の体系化

プロセスを明確化して、体系的に整理
⇒ ユースケースに応じたリスクを
適切に評価

航空局連携

航空局と連携して検討
⇒ 要件案の方向性を合わせて、
要件案の内容の意見交換を重ねる

補助事業者との連携

①(4)事業者と連携して検討
⇒ 要件案策定に向けて、
必要な情報等の共有

航空局に提言等

要件案の策定（2025年度）

レベル3、3.5
多数機同時運航の要件案

要件案の策定（2026年度）

レベル4 多数機同時運航の要件案

定量的なリスク評価の検討 （2026年度）

安全目標値を達成するか試算
今後必要なデータの検討

対外向けの啓発活動

- ・多数機運航ガイドラインのウェビナー
- ・Crew Resource Management
に関する情報発信
- ・本事業の取組の発信

アウトプット

2. 昨年度(2025年度)までの取り組み内容と成果

多数機同時運航に対するニーズは顕在化しており、特に物流分野ではレベル4(第三者上空飛行)を前提とした運航が志向されている。しかし現状は制度・技術の制約によりレベル3.5に留まっている。加えて多数機同時運航の拡大には運航管理の高度化が一層重要である。

多数機同時運航のニーズ調査

業界が求めるドローン運航の方向性を確認するために、事業者へのヒアリング調査を実施した。

物流事業者	宅配事業者	■ 3社
	ドローン物流事業者	■ 3社 ※現在、ドローンによる物流事業を実施
点検・監視事業者		■ 3社

ニーズ調査結果

▼NEEDS (多数機運航は必要か)

- 調査対象の事業者のうち1社を除き、多数機同時運航が必要と回答
- 宅配事業者は1:10まで、ドローン物流事業者と点検・監視事業者は1:10を超える多数機同時運航が必要と考えている

▼AS IS (現状)

- 物流事業者はレベル4に対するニーズが高いものの、レベル4の実現時期が不透明であることから、現状はレベル3.5で実施
- 点検・監視事業者は、現状レベル3や3.5で対応できているものの、レベル4の必要性は感じている

▼TO BE (目指す姿)

- 操縦者個人ではなく、組織として運航管理体制を整えて、運航すべき
- 多数機同時運航のような高度な運航においては、運航管理体制が一層重要となる

▼HOW (実現方法)

- ニーズ調査を踏まえて、レベル3、3.5およびレベル4の両側から要件案を検討する

海外調査 米国事業者の運航見学 1/3

米国(Wing、Zipline、Skydio)における現地運航では、機体の高度な自動化により多数機運航が既に実現されており、論点は機数そのものから、複数エリアにおける運航監視・管理へと移行。また、有人航空機との衝突リスクを低減可能な空域を活用することで段階的に拡大。

	Wing	Zipline	Skydio
用途	<ul style="list-style-type: none"> 物流 	<ul style="list-style-type: none"> 物流 	<ul style="list-style-type: none"> 見学実施は警察用途
自動化	<ul style="list-style-type: none"> 人間による操作介入は基本的にLaunchのみ 	<ul style="list-style-type: none"> 人間による操作介入は基本的にLaunchのみ 	<ul style="list-style-type: none"> 警察用途の場合、GCSで操作するが自律衝突回避・自動化機能設計あり
操縦者機体比率	<ul style="list-style-type: none"> 1:16 (2024年度) → 1:32 (2025年度) 	<ul style="list-style-type: none"> 1:4 (2024年度) → 1:40 (2025年度) 	<ul style="list-style-type: none"> 1:8でWaiver取得しているものの、現時点での対応例は1:4が最大
地上リスク	<ul style="list-style-type: none"> 限定した運航概念 (ConOps) の範疇で機体とオペレータの統合的な対策の実施 (Part135運航) 	<ul style="list-style-type: none"> 限定した運航概念 (ConOps) の範疇で機体とオペレータの統合的な対策の実施 (Part135運航) 	<ul style="list-style-type: none"> 警察の用途においては公用途であることから通常の申請とは別扱い 民用途はパラシュートを活用した上で地上リスクについて安全ケースの中で定量的に説明を実施
空中リスク	<ul style="list-style-type: none"> 有人機：Mode C Veilと呼ばれる有人航空機の動向が把握できる場所で運航することでリスクを低減、ADS-B inの活用 無人機：UTMを活用 	<ul style="list-style-type: none"> 有人機：Mode C Veilと呼ばれる有人航空機の動向が把握できる場所で運航することでリスクを低減、ADS-B inの活用 無人機：UTMを活用 	<ul style="list-style-type: none"> 有人機：200ft以下・物件近接の運用により遭遇リスク減、協調型有人機の動態把握が可能なエリアではADS-B Inを併用 無人機：運航密度が高い場所においては調整方法について検討中

海外調査 米国事業者の運航見学 1/3(写真)

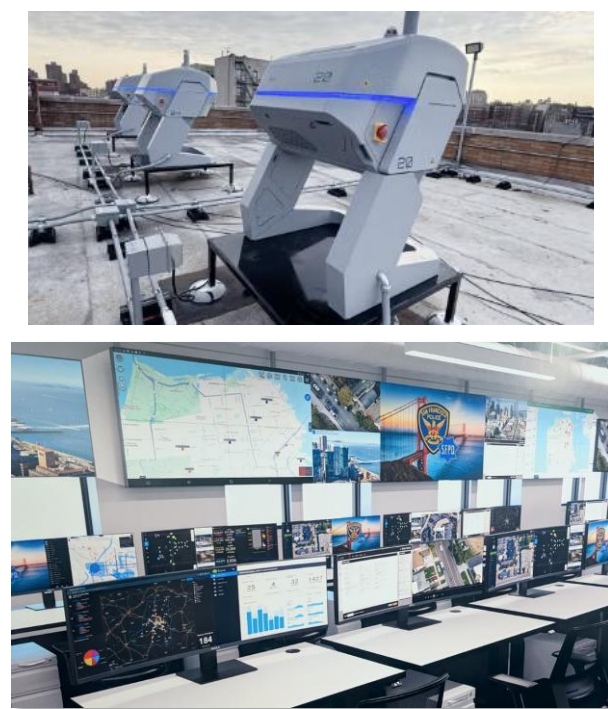
Wing



Zipline



Skydio



出所: Skydio, <https://www.skydio.com/dock>

出所: サンフランシスコ市警、「San Francisco Police Department Real-Time Investigation Center (RTIC) Assists in Over 500 Arrests, Historic Crime Drop 25-047」

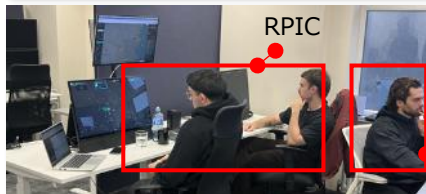
有人航空機との衝突リスクが低い空域を活用して運航を拡大するとともに、操縦者の関与は基本的に離陸時、配送時のみに限定され、インターフェースも必要最小限に設計されている。

遠隔操縦拠点



ベース

周辺に3か所あり、このベースでは5機駐機できる。概ね5分に1度のペースでドローンが離発着する

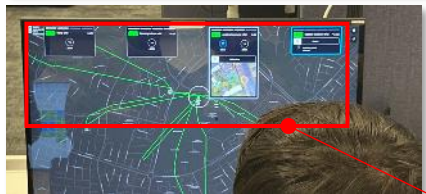


RPIC

遠隔操縦拠点

3名体制で運航を実施。フライトコーディネータが入ってきた注文をRPICに分配する

● フライトコーディネータ



GCS

1:4までの運航が承認されており、4機の制御画面が表示されている。カメラ映像は配送時のみ表示される

● 制御画面

空中リスク（有人機）に対する空域管理

MANNA



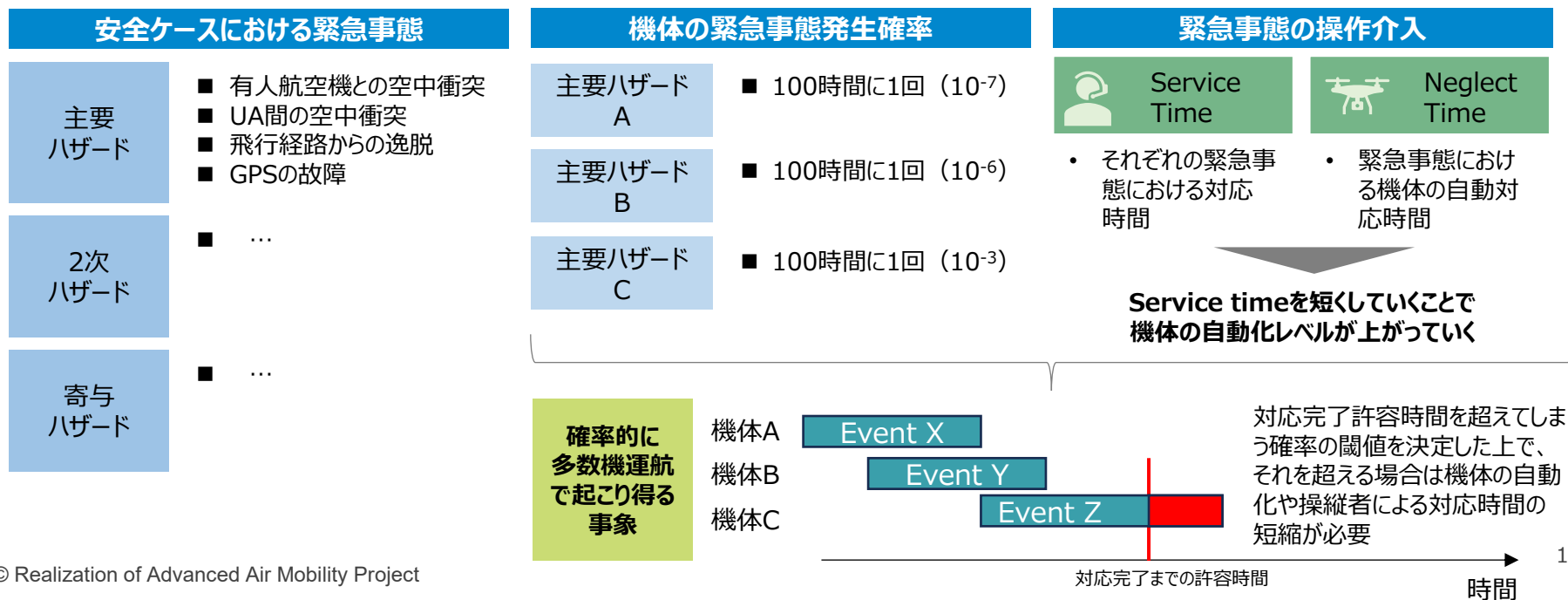
UAS Zoneの設定

- 管制空域内でUAS Zoneを設定し、UAS Zoneの中で運航
- 航空機がUAS Zoneに侵入する際はATCから連絡する体制構築
- 遠隔運航拠点にてADS-B inレシーバーを配備

考察

- 米国のドローン物流で活用されているような有人航空機にADS-B Out搭載を義務付ける空域（Mode C Veil相当）は、現時点で日本には存在しない
- 日本に同様の空域を新たに整備するには、制度整備や関係者調整に一定の時間を要する
- そのため、将来的な当該空域の整備を見据えつつも、当面はアイルランドや英国の事例（Manna、Wing）にならい、UAS Zoneの設定によって有人航空機の侵入を管理した空域を創出することで、国内における空中リスク低減を段階的に進めることが重要ではないか

NASAの多数機運航に関するWGでは、評価フレームワークの構築が議論されており、機体が不具合に陥る確率と操縦者の介入時間を基に、緊急事態が重なり対応が出来なくなる状況下になる閾値を決定することで、最大管理機数を定量的に導出する考え方が検討されている。



リスクアセスメント手法の体系化

レベル3、3.5について、過去の多数機同時運航の実証結果等から得られた知見を踏まえて、実績に基づいたリスクシナリオを整理し、要件案や運航リスクの検証に活用した。

実績に基づいたリスクシナリオ

- 直接関係者が多く、役割分担が不明確なとき、責任の所在が曖昧になり、作業の重複や抜け漏れが発生する
- 直接関係者が多いとき、情報伝達ミスや誤解により、操作ミスや安全性の低下が発生する
- 複数機体に対応するため操縦装置が複雑になり、操作ミスが発生する
- 同一の地域で、複数機体が同時にLTE通信を使用することにより、通信が切断する
- 上空の風を十分に考慮できておらず、バッテリーが想定以上に減少して、事前に定めていた着陸地点以外に着陸する
- 緊急着陸する際の経路上の障害物を把握できておらず、衝突する
- ドローン間の離隔距離が不十分であり、衝突する

活用



要件案

①組織における運航手順の要件

- 運航手順は、直接関係者の組織的な連携を前提とし、運航の各フェーズに応じた適切な用語や連絡手法を確立することで、確実かつ効果的なコミュニケーションが維持できていること

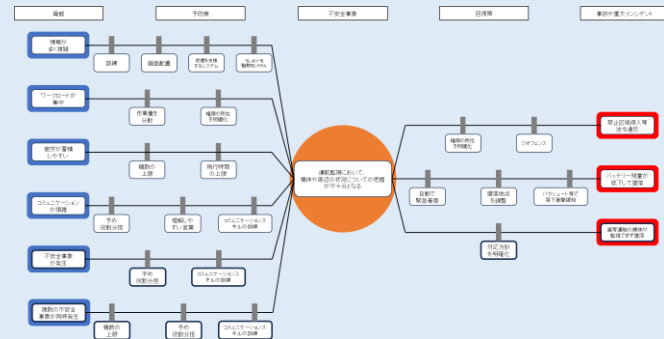
②運航システムの要件

- 運航状況の把握や運航判断を容易とするよう操作画面や監視画面の配置をする等、操縦者の負担軽減を図ること

③通信の要件

- とりわけ同一空域内で多数機同時運航を行う場合、安全な多数機同時運航に必要と考えられる通信環境（通信容量、電波強度、通信品質）の確認を行うこと。

運航リスクの検証



航空局連携および要件案の策定

航空局では、多数機同時運航の普及拡大に向けた制度整備が進められている。本事業で策定する要件案を、航空局(多数機同時運航の普及拡大に向けたスタディグループ)に提言して、制度整備に貢献することを目指す。



研究開発項目①(3)



多数機同時運航の普及拡大に
に向けたスタディグループ

要件案の策定

- 機体の要件
- 操縦者の要件
- 運航管理の要件
 - ①組織における運航手順の要件
 - ②運航システムの要件
 - ③通信の要件
 - ④運航監視の要件
 - ⑤不具合発生時の対応に関する要件

国内調査

- ニーズ調査結果

海外調査

- アイルランド事業者の運航見学結果

など

情報共有
提言



フィード
バック

ガイドラインの改訂

無人航空機の多数機同時運航を
安全に行うためのガイドライン
第二版

令和8年5月

国土交通省航空局安全部無人航空機安全課

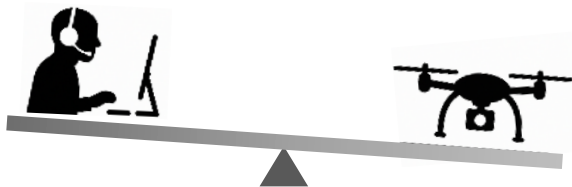
無人航空機の多数機同時運航を
安全に行うためのガイドライン
第二版

3. 今後の取り組み

レベル4(第三者上空)におけるリスクを伴う運航を対象に、多数機同時運航の実施に必要な要件の検討を行う。併せて、今後を見据えた定量的なリスク評価を検討し、今後必要となるデータの整理を行う。

基本的な考え方

- 多数機同時運航の実現可能性は、機体の自動化レベルと運航者の熟練度のバランスで決まる
- 特に重要なのは「監視」と「不安全事象発生時の対応」であり、自動化の進展に伴い、これらは機体側が担い、操縦者の対応は段階的に減少する



要件検討にあたって想定論点

- 安全性の総合評価は、定量的に行うべきか、あるいは定性的評価でも許容されるかを整理する必要がある。あわせて、定性評価をデータ不足の補完ではなく、未知のシナリオや人間要因を踏まえるリスクベース安全の一要素として位置づけ、その社会受容性を高めることが重要である
- 定性評価を認める場合は、求める範囲や水準を明確に定義すべきである
- 定量的評価を行う場合は、以下の点が主な論点となる
 - ✓ 緊急事態に至る機体の発生確率を算出できるか
 - ✓ 運航者による緊急時対応時間や人為的ミスの確率の導出にあたって、統計的に十分なサンプルを効率的に取得できるか（シミュレータの活用を含む）

定量的なリスク評価の検討方針

- 多数機同時運航では、一定の確率で高負荷な対応状況が発生することを前提とし、その際に操縦者が対応不能となる確率、あるいは人為的ミス (human error) により判断誤り、対応遅延、対応漏れ等が生じる確率を、どの水準まで許容するかを整理する必要がある
- 例えば、欧州では地上での致死確率 10^{-6} /飛行時間が安全水準の一例として示されており、これを踏まえ、当該水準から逆算して、操縦者の対応不能確率およびhuman errorに起因する対応失敗確率の許容水準を設定する考え方もできる

多数機同時運航を社会実装するための安全証明

レベル4(第三者上空)におけるリスクを伴う多数機同時運航の社会実装には、安全性を客観的かつ説明可能な形で示すことが不可欠である。定量的リスク評価は、国への安全証明、市民への説明、将来の制度化・標準化を支える基盤となる。

安全証明の必要性

- 多数機同時運航は、従来の単機運航よりも運航形態が複雑
- 安全性を経験則や個別対策だけで示すには限界
- レベル4(第三者上空)におけるリスクを伴う運航の社会実装には、第三者に説明可能な評価手法が必要

何をすべきか

- 制御喪失等の発生確率
 - 人口密度や曝露率
 - 致死率
- これらを組み合わせ、多数機同時運航の安全性を定量的に評価

何が実現できるか

- 国に対する安全性の客観的証明
- 市民・利用者に対する説明力の向上
- 許認可・審査・制度議論の根拠整備
- 将来の標準・ルール形成への接続