

CNC-WP5-2025-011

# 有人機と無人機のエアリスクとは その低減アプローチの国際動向

2026/2/16

JAXA 航空利用拡大イノベーションハブ

CONCERTOチーム

杉原 潤一、久保 大輔

# 1. エアリスクとは

## 2. エアリスク低減の考え方

# 1.1. 有人機と無人機のエアリスク低減（衝突防止）が課題

非管制区の低高度（150m AGL未満）空域では、有人機と無人機のエアリスク低減が課題となっている。

## 管制区

計器情報と管制指示の下で飛行するIFR機



## 非管制区



目視で安全確保して飛行するVFR機



## 無人機が多く飛行する低高度

有人機（VFR機）と無人機（ドローン）間のエアリスク低減が課題



目視外飛行する無人機



目視内飛行する無人機



# 1.2. リスクとは

ICAOではリスクを「ハザードが引き起こす結果に対して予想される確率と重大度」と定義しており、確率と重大度が高いほど高リスクとなる。

## リスク (Safety Risk)の定義

「ハザードが引き起こす結果 (consequences, outcomes) に対して 予想される確率と重大度」がリスク

ICAO Annex 19の定義：

*The predicted probability and severity of the consequences or outcomes of a hazard*

## 確率と重大度の関係

重大度や確率が高いほど高リスクとなる

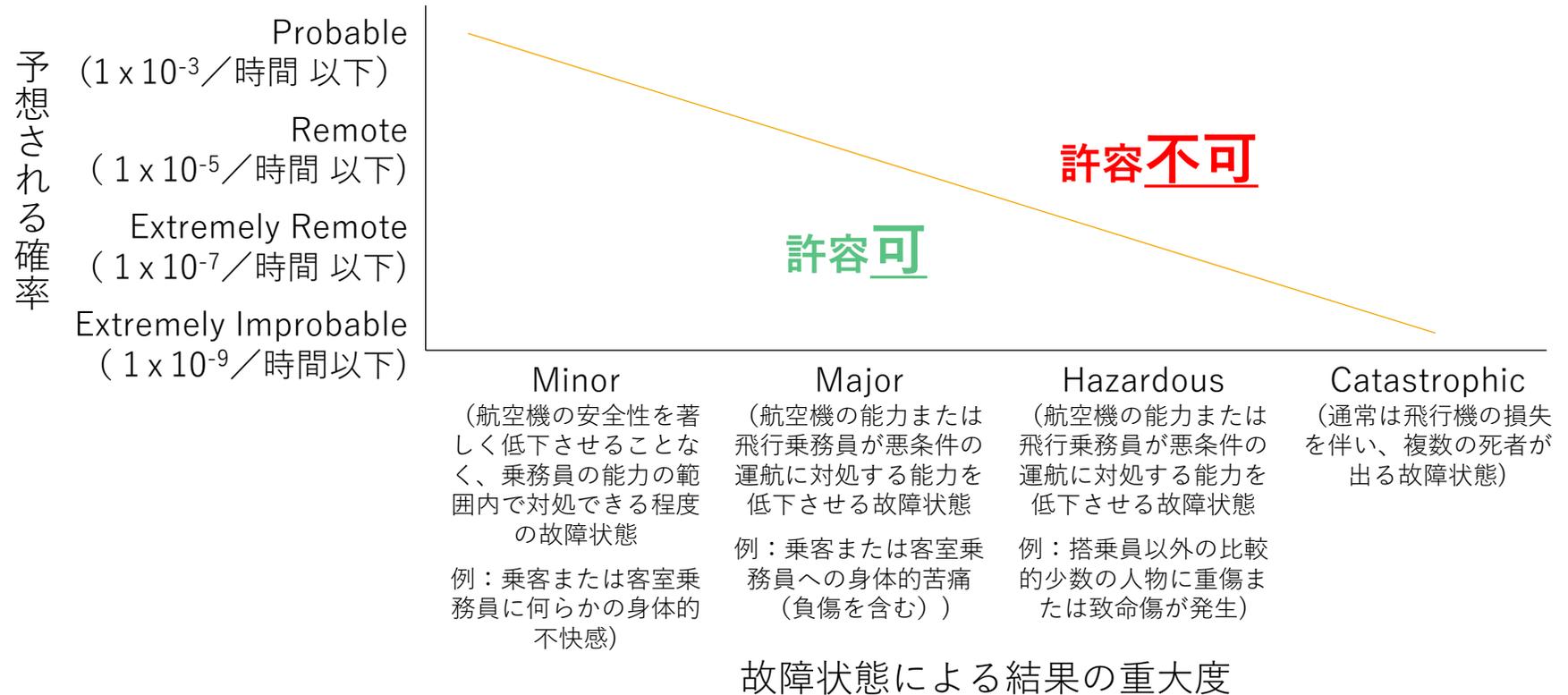
リスク	重大度				
	Negligible E	Minor D	Major C	Hazardous B	Catastrophic A
Frequent 5	5E	5D	5C	5B	5A
Occasional 4	4E	4D	4C	4B	4A
Remote 3	3E	3D	3C	3B	3A
Improbable 2	2E	2D	2C	2B	2A
Extremely improbable 1	1E	1D	1C	1B	1A

# 1.3. 目標安全度（大型飛行機の場合）

大型飛行機では、Catastrophicとなりうる個々の故障状態の発生確率を $1 \times 10^{-9}$  / 飛行時間以下とすることが目標となっている。

## 目標安全度

- 米国のAdvisory Circular (AC 25.1309-1B)と欧州のAMC 25.1309で大型飛行機の達成目標は共通
- Catastrophicとなる潜在的故障状態は $1 \times 10^{-9}$  / 飛行時間以下を達成している必要がある



参照： FAA “AC 25.1309-1B” [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC\\_25.1309-1B.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_25.1309-1B.pdf)

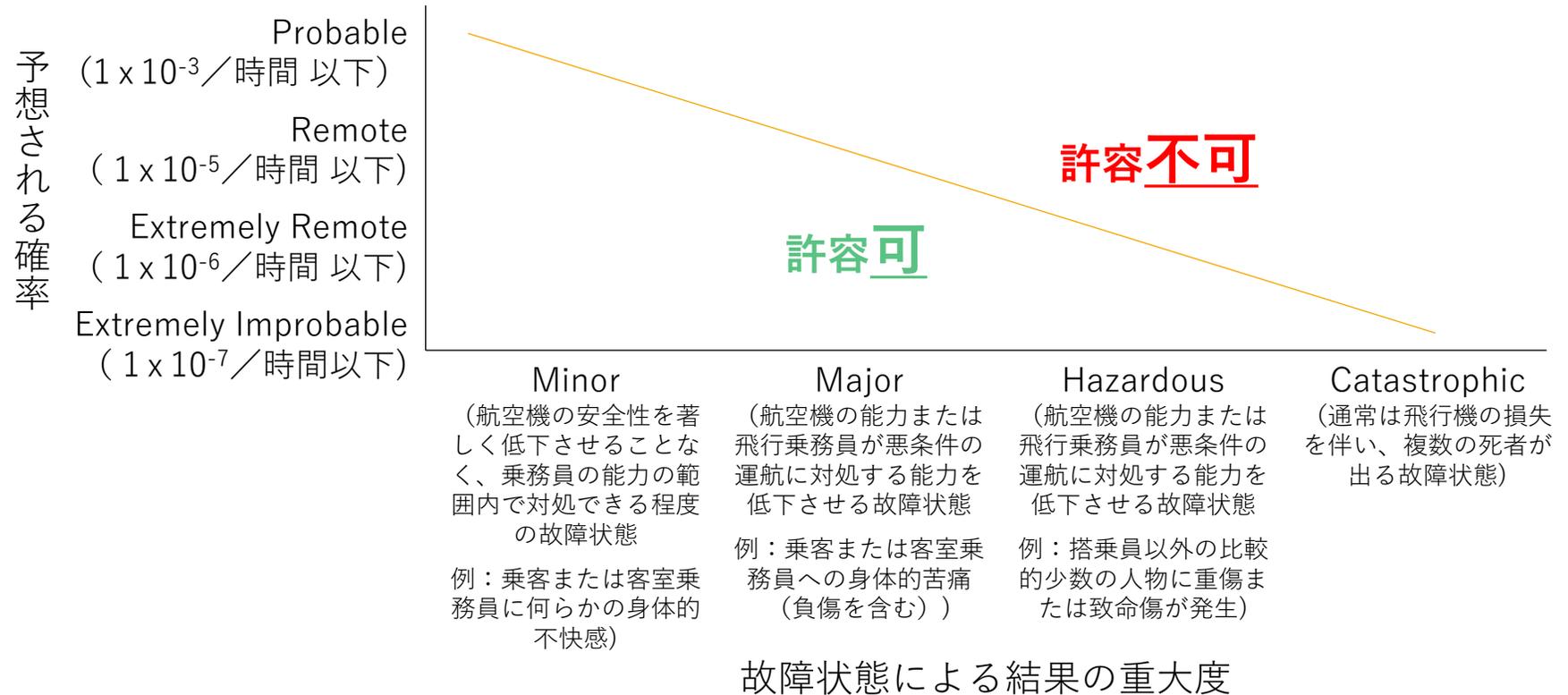
EASA “AMC 25.1309” <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-large-aeroplanes-cs-25?page=41>

# 1.4. 目標安全度（小型飛行機の場合）

小型飛行機（一般的にGeneral Aviation機（GA機）と呼ばれるクラス）では、Catastrophicとなりうる個々の故障状態の発生確率を $1 \times 10^{-7}$ ／飛行時間以下とすることが目標となっている。

## 目標安全度

- 米国のAdvisory Circular (AC 23.1309-IE)と欧州のCS-23 Amendment 6 and AMC & GM to CS-23 Issue 4で参照しているASTM F3230-20aにおいて、Level 2までの一般的にGeneral Aviation機と呼ばれる機体の達成目標は共通
- Catastrophicとなる潜在的故障状態は $1 \times 10^{-7}$ ／飛行時間以下を達成している必要がある



参照：FAA “23.1309-IE” [AC-23.1309-1E - System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes](#)

EASA “CS-23 Amendment 6 and AMC & GM to CS-23 Issue 4” [file:///C:/Users/jsugihara003/OneDrive%20-%20PwC/Downloads/easy\\_access\\_rules\\_for\\_cs-23\\_amendment\\_6\\_amc-gm\\_issue\\_4\\_pdf.pdf](#)

ASTM F44 “F3230-20a”

# 1.5. エアリスクとは

加盟国73カ国が無人機のガイダンスを検討しているJARUSにおいては、航空機との衝突や無人機同士の衝突がエアリスクと定義されているが、無人機同士の衝突の結果生じるのはグラウンドリスクと考えられている。

## 有人機の空中での衝突可能性

国際的な事故分類（36分類）から抽出



航空機同士の衝突（MAC）



鳥との衝突（BIRD）

## 無人機の空中での衝突可能性

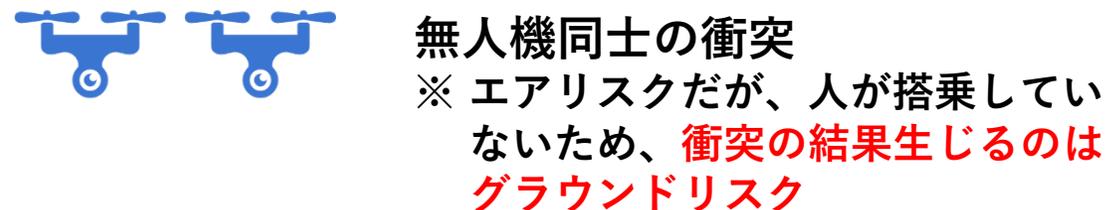
JARUS※<sup>1</sup>での定義



航空機との衝突  
※ **エアリスクに該当**



鳥との衝突  
※ リスク評価の対象外

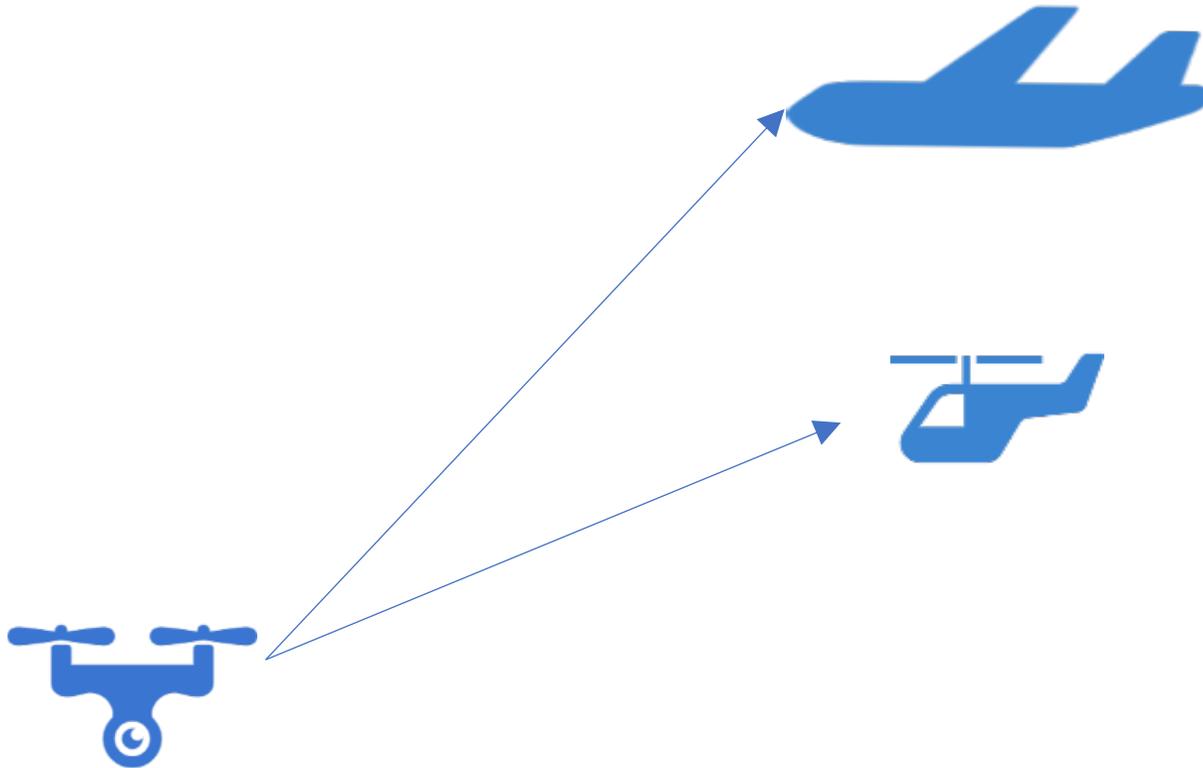


無人機同士の衝突  
※ エアリスクだが、人が搭乗していないため、**衝突の結果生じるのはグラウンドリスク**

※1 Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems  
参照：国土交通省航空局“事故の分類項目一覧” <https://www.mlit.go.jp/common/001225420.pdf>  
JARUS “SORA 2.5” [SORA-v2.5-Main-Body-Release-JAR\\_doc\\_25.pdf](https://www.mlit.go.jp/common/001225420.pdf)

無人機のエアリスクに関する安全目標は、対旅客機では $1 \times 10^{-9}$ 乗、対GA機では $1 \times 10^{-7}$ 乗代以下を目標としている。また、旅客機やGA機との衝突=死傷者の発生と位置付けており、やや保守的な設定となっている。

## 安全目標値 (Target Level of Safety (TLOS)) ※1



対旅客機  
衝突する確率  $1 \times 10^{-9}$ 台以下

対GA機  
衝突する確率  $1 \times 10^{-7}$ 台以下

- ※ いずれも前述のCatastrophicに対する達成目標と整合
- ※ 航空機との衝突=死者の発生と位置付けているが、実際はそうならない可能性もあり、やや保守的な設定

JARUSは、UASに関する規制の共通化や有用性の向上を目指し、推奨事項を提供すべく共同作業を行っている73か国の航空当局グループである。現在、エアリスクの定量化に向けて議論している。

## JARUSとは

- 日本を含む73か国の航空当局が加盟
- UASに関する規制の共通化や有用性の向上を目指し、推奨事項を提供するグループ
- あくまで推奨事項を扱うため、標準化機関ではない

## ICAOとの関係

- バーチャルな組織であるため、従来はICAOの会議には不参加
- 一方、Open/Specific/Certifiedといった運航カテゴリはICAOでも採用
- 2025年よりICAO総会にも招待されてより強固な関係に発展

## JARUSが策定したSORAとは

- Specific Operation Risk Assessment (SORA) は、Specificカテゴリの運航リスクを評価・管理するためのリスクベースの方法
- SORA2.0バージョンは翻訳・一部改訂されて日本の目視外・有人地帯上空飛行でも活用を推奨
- SORA3.0バージョンで、エアリスクの定量化を予定

1. エアリスクとは

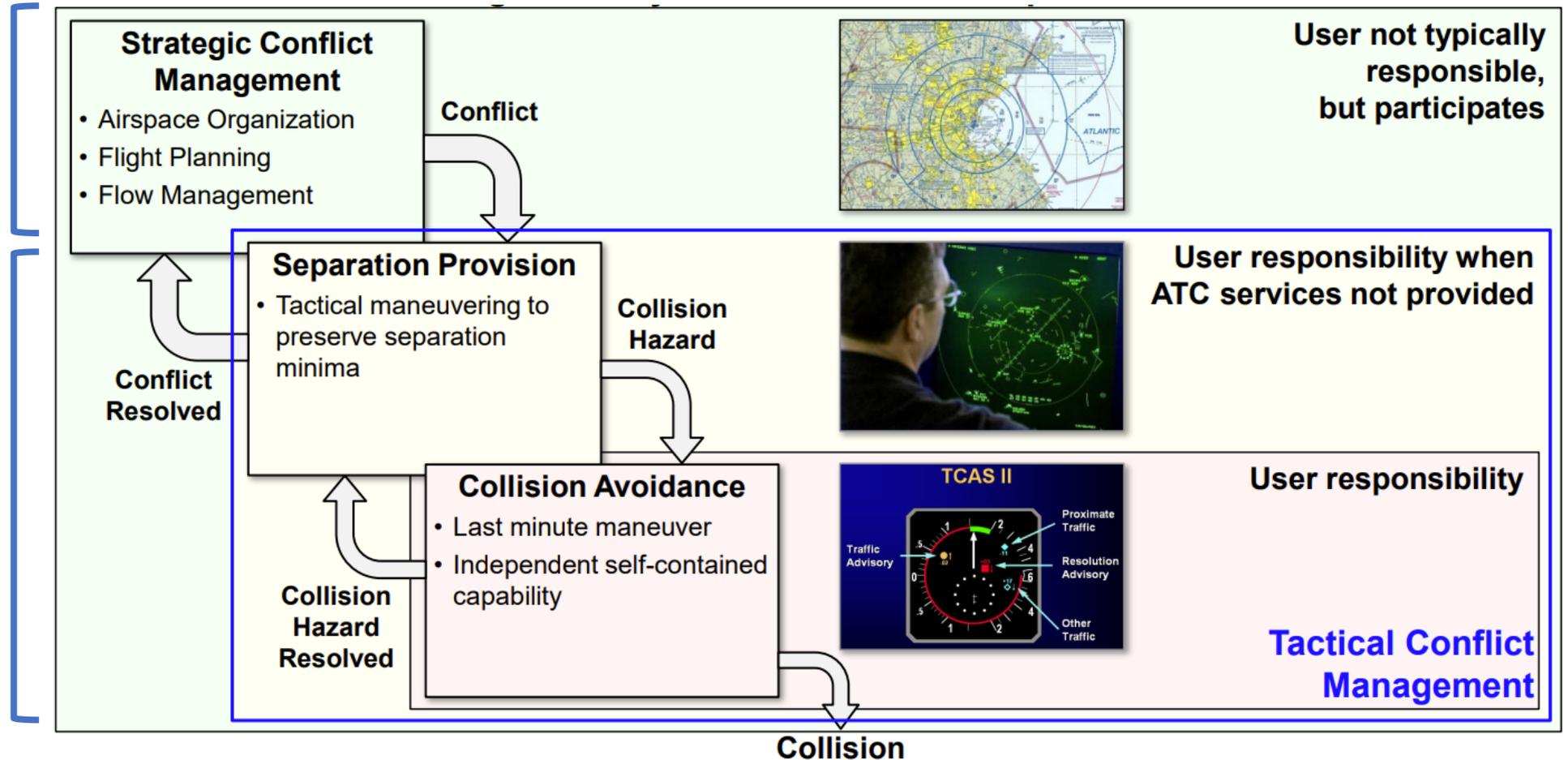
2. エアリスク低減の考え方

## 2.1. 旅客機等（IFR運航をする有人機）の衝突回避

IFR運航（旅客機等）では、主に飛行前での調整を意味するStrategic Conflict Management（戦略的衝突回避）と、飛行開始後のTactical Conflict Management（戦術的衝突回避）による多層的な対策で、衝突を防ぐ仕組みになっている。

主に飛行前に調整  
⇒ 戦略的衝突回避

飛行開始後に調整  
⇒ 戦術的衝突回避



## 2.2. 無人機と有人機のエアリスク低減のアプローチ

無人機では、有人機や無人機の遭遇率に応じて、戦略的・戦術的エアリスク低減策を講じることで、安全目標（TLOS）の達成を目指す。

### 戦略的衝突回避

### 戦術的衝突回避

#### 初期エアリスクの把握

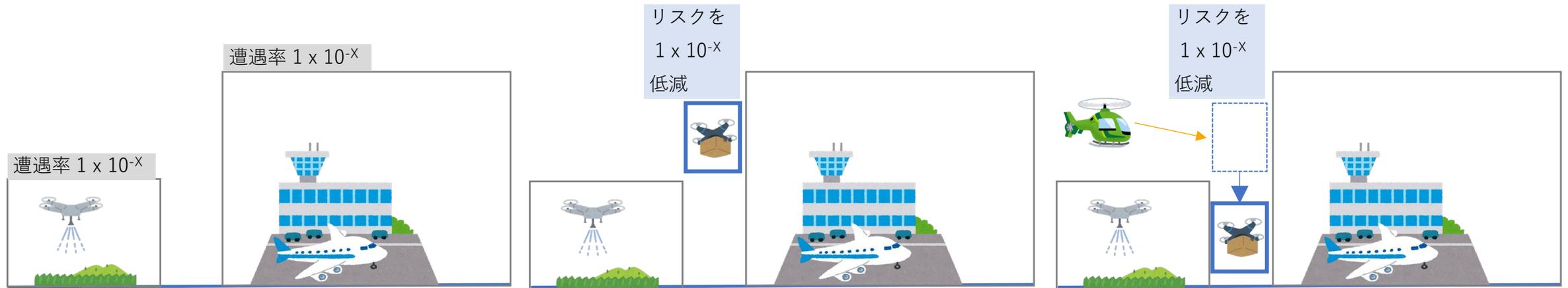
#### 戦略的エアリスク低減

#### 戦術的エアリスク低減

- 有人機や無人機との遭遇率が高い空域を把握
- 確率に応じて、運航可否や機体や運航者が低減しなければならないエアリスクを判断

- 運航する空域や時間を変更することでエアリスクを低減
- リスク低減手法が十分か確認

- 他の機体が近接しても回避することでエアリスクを低減
- リスク低減により安全目標（TLOS）を満たせるかを確認

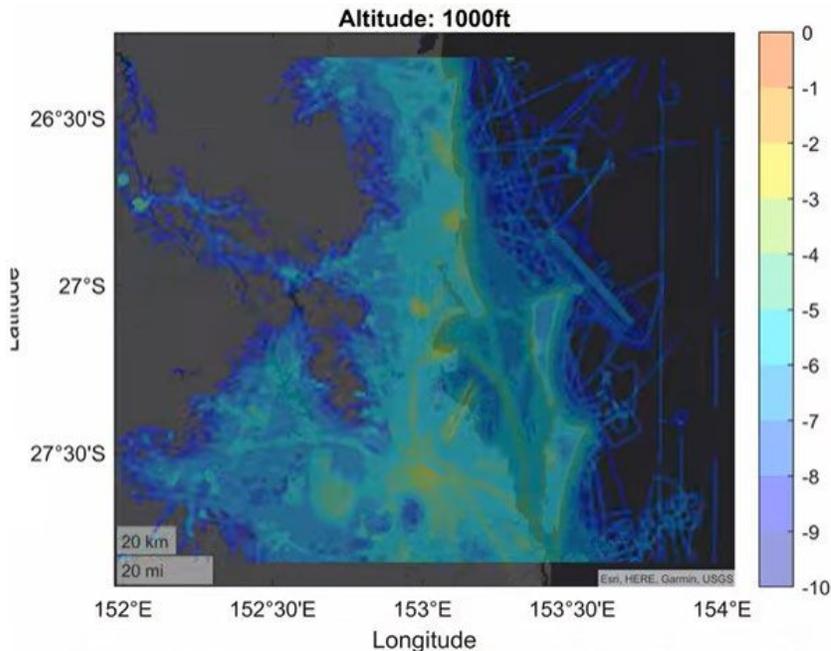


JAXAでは、無人機のエアリスク定量化を議論するJARUS等の動向を把握しつつ、初期エアリスクの把握や戦略的・戦術的エアリスク低減策実現に向けた研究を実施

## 2.3. 初期エアリスク（遭遇率）の把握、戦略的エアリスク低減

海外では豊富な運航データを用いて統計的に有人機遭遇率マップを構築する取り組み例（左下参照）がある。JAXAでは協力運航事業者保有情報によって一部の航空機運航による遭遇率分布を試行的に可視化（右下参照）。

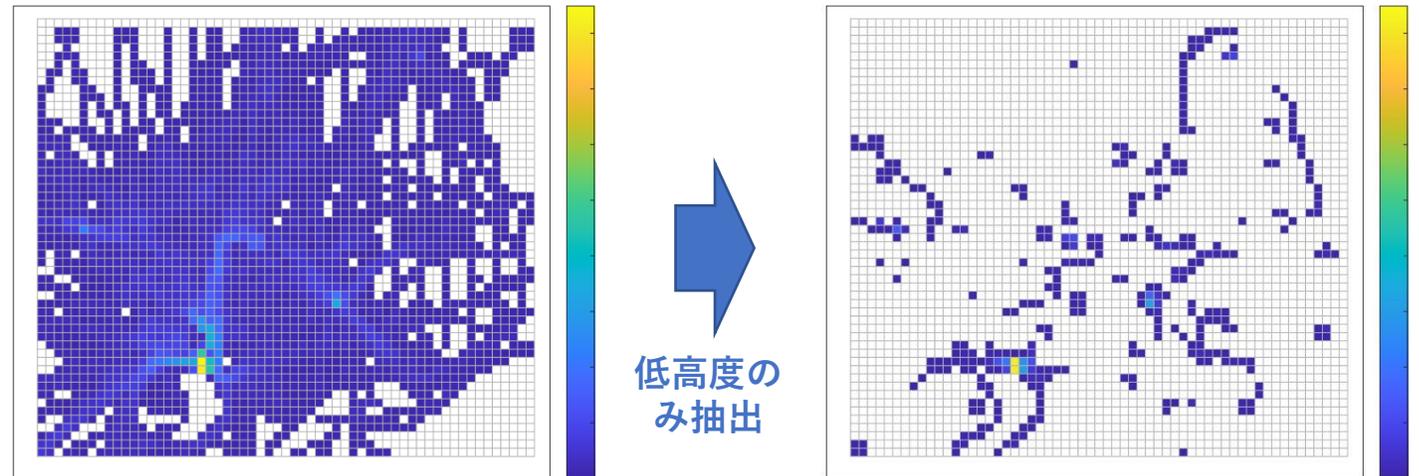
### 有人機遭遇率マップ例



海外での分析例（豪州）

<https://www.qut.edu.au/news?id=196491>

### JAXAによる遭遇率分布の試行



全高度を含む飛行頻度分布

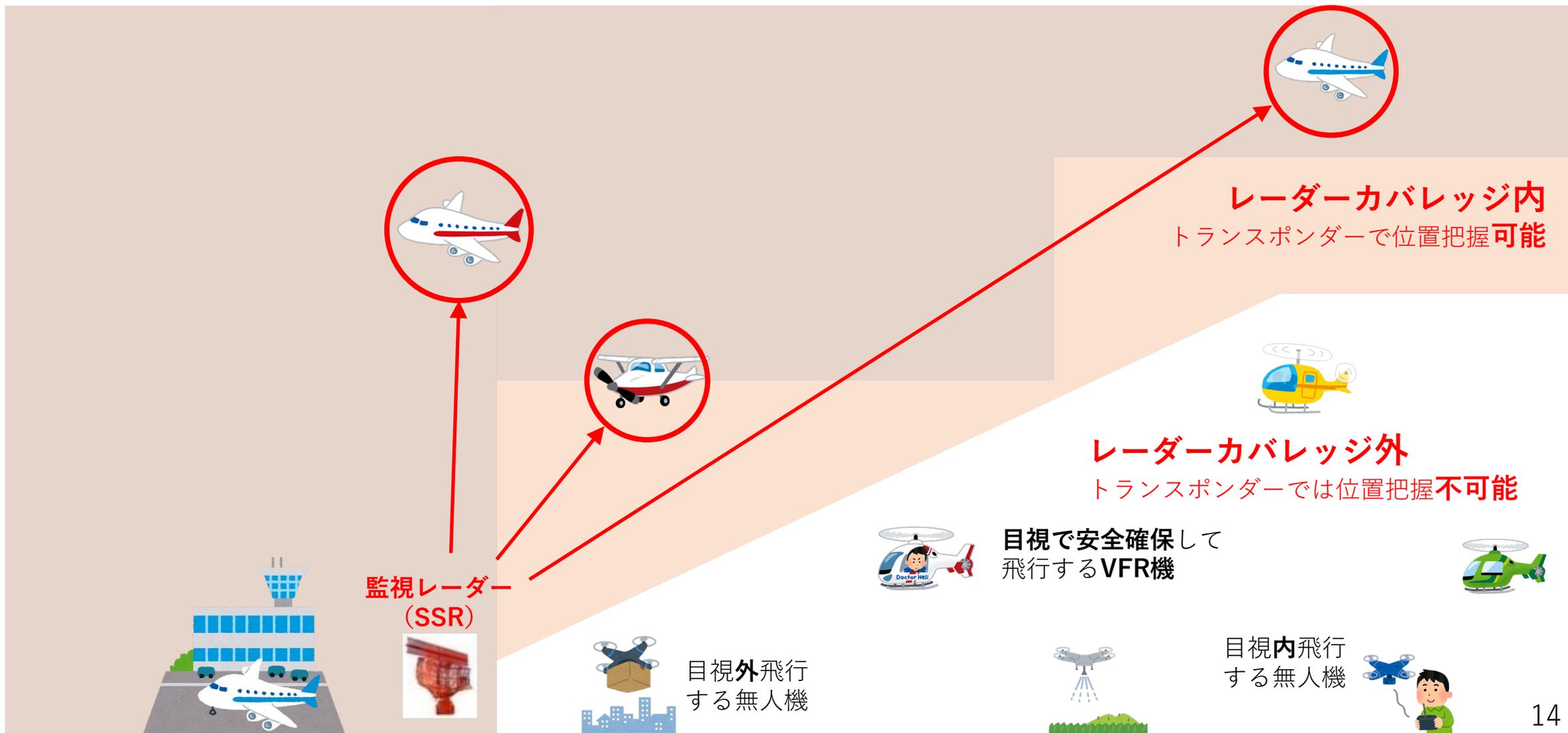
150m AGL以下の飛行頻度分布

注意）網羅的なデータではないため、全ての有人機の飛行を把握した結果ではないことに注意。

- 低高度（150m AGL以下）では遭遇率分布が分散的になっており、場外離着陸場や最低安全高度以下の運航との密接な関連があると想定される。
- 航空局殿からASRデータを用いた分析を開始しており、今後、範囲限定ではあるが網羅的な情報による分析と遭遇率分布実態把握を進める。

## 2.4. 戦術的エアリスク低減 (1/2)

トランスポンダー搭載機の場合、監視レーダーにより位置を把握できるが、特に低高度ではカバレッジ外となる場合もあるため、代替手段が必要となる。



現在は、戦略的エアリスク低減として、周辺の航空機の運航者への飛行予定周知・連絡体制整備、戦術的エアリスク低減として機上のカメラによる把握を実施することが多い。

## 戦略的エアリスク低減

- 飛行経路及びその周辺に関係する航空機の運航者（救急医療用ヘリコプターの運航者、警察庁、都道府県警察、地方公共団体の消防機関等）に対し飛行予定を周知
- 航空機の飛行の安全に影響を及ぼす可能性がある場合は、無人航空機を飛行させる者への連絡を依頼

## 戦術的エアリスク低減

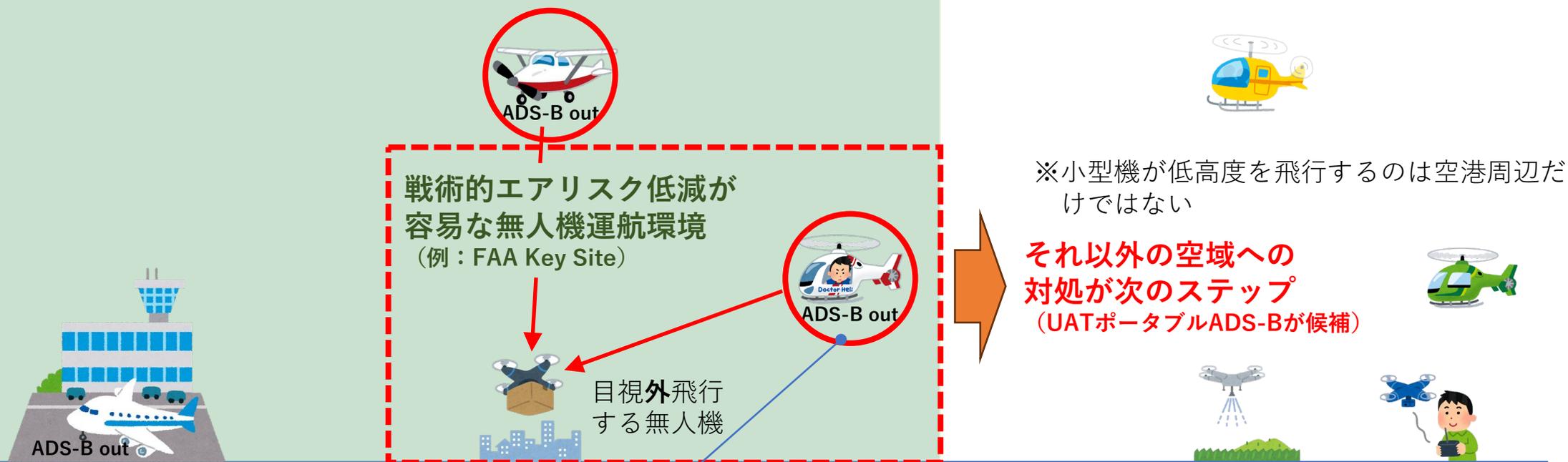
- 機体や地上に設置されたカメラ等により予定している飛行経路において他の航空機及び無人航空機の状況を随時把握

## 2.4. 戦術的エアリスク低減 (2/2)

例えば米国では2020年に小型機も含む有人機全てへの認証ADS-B★搭載が主要空域で義務化されている。そうした空域内では、大規模な無人機の日視外運航が実施され、戦術的エアリスク低減の経験を蓄積している。

### 米国の例

認証ADS-B義務化空域（大規模空港から半径55kmの範囲内）



### ★ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast、放送型自動従属監視) :

航空機がGPSで取得する自らの位置情報を、機体識別情報などと共にブロードキャストする監視技術。レーダーよりも高精度な位置情報を少ない地上インフラで取得可能。同受信機を搭載したドローンも増えている。

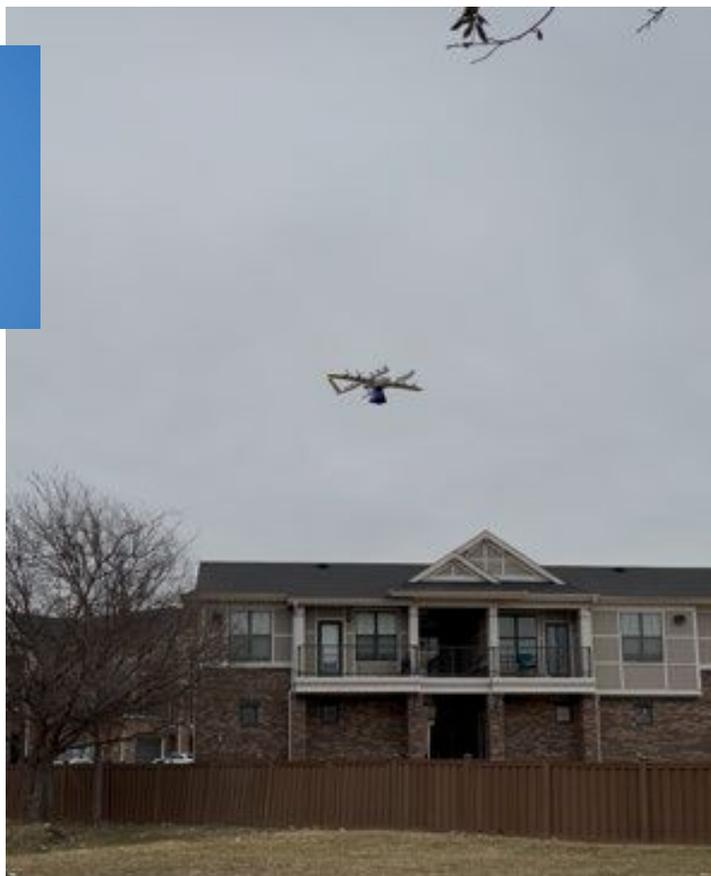
## 2.5. 米国ダラスでの実装

米国ダラスは、前述の認証ADS-B義務化空域となっており、有人機に対する自動化された戦術的リスク低減機能を有する機体によるデリバリーが開始されている。ダラスでの実績をもとに、全米への展開も始まっている。

Wing社によるデリバリーの様子



<https://wing.com/news/wing-and-pepsico-team-up-to-deliver>



Zipline社によるデリバリーの様子



<https://www.zipline.com/about/zipline-fact-sheet>

## 2.6. ADS-B等の義務化

無人機の目視外飛行の規制であるPart 108案では、全人口密度カテゴリー／空域クラスでADS-B in等の協調DAAを必須にしようとしている。合わせて有人機に携帯型e-Conspicuityデバイス装備を求める予定。

凡例

- : 戦略的衝突回避、非協調DAA、適合監視
- : 戦略的衝突回避、適合監視
- : 戦略的衝突回避

空域	人口密度				
	カテゴリー1	カテゴリー2	カテゴリー3	カテゴリー4	カテゴリー5
空域クラス B/C (空港周辺)	戦略的衝突回避 適合監視 <b>協調DAA</b> 非協調DAA			戦略的衝突回避 適合監視 <b>協調DAA</b> 非協調DAA	
空域クラス D /空港のために指定されたクラスE 空域区内 (飛行場周辺)	戦略的衝突回避 適合監視 <b>協調DAA</b>				
空域クラス G (非管制区)	<b>協調DAA</b>		戦略的衝突回避 <b>協調DAA</b>		

FAAは高度500ft未満で運航する有人機に携帯型のECデバイス装備を推奨予定（非装備⇒ドローンに対する進路権を失う）

- 対旅客機の $1 \times 10^{-9}$ 台以下、対GA機の $1 \times 10^{-7}$ 台以下をエアリスクの安全目標（TLOS）とする考えが普及
- 安全で効率的な戦略的衝突回避の手段として、初期エアリスクの把握と戦略的エアリスク低減の実装に向けた研究を各国が実施
- ADS-B等を使った戦術的なエアリスク低減が世界では実装開始
- 日本でも関係者間の連絡や機上カメラでの確認といった人手がかかり、効果も定量化しにくい手法だけではなく、リスクに応じて戦略的・戦術的エアリスク低減を自動化できる環境整備が必要
- ただし、必要な環境整備は他機体との遭遇率によって異なるため、現在の手法を否定するものではない