

# 状況認識向上・空中衝突リスク低減のための Electronic Conspicuity技術に関して

2026/1/20

JAXA 航空利用拡大イノベーションハブ

# 1. 有人航空機と無人航空機のエアリスク低減（衝突防止）が課題

## 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



## 無人航空機が多く飛行する低高度

有人航空機（VFR機）と無人航空機（ドローン）間のエアリスク低減が課題

目視で安全確保して飛行するVFR機



目視外飛行する無人機



目視内飛行する無人機

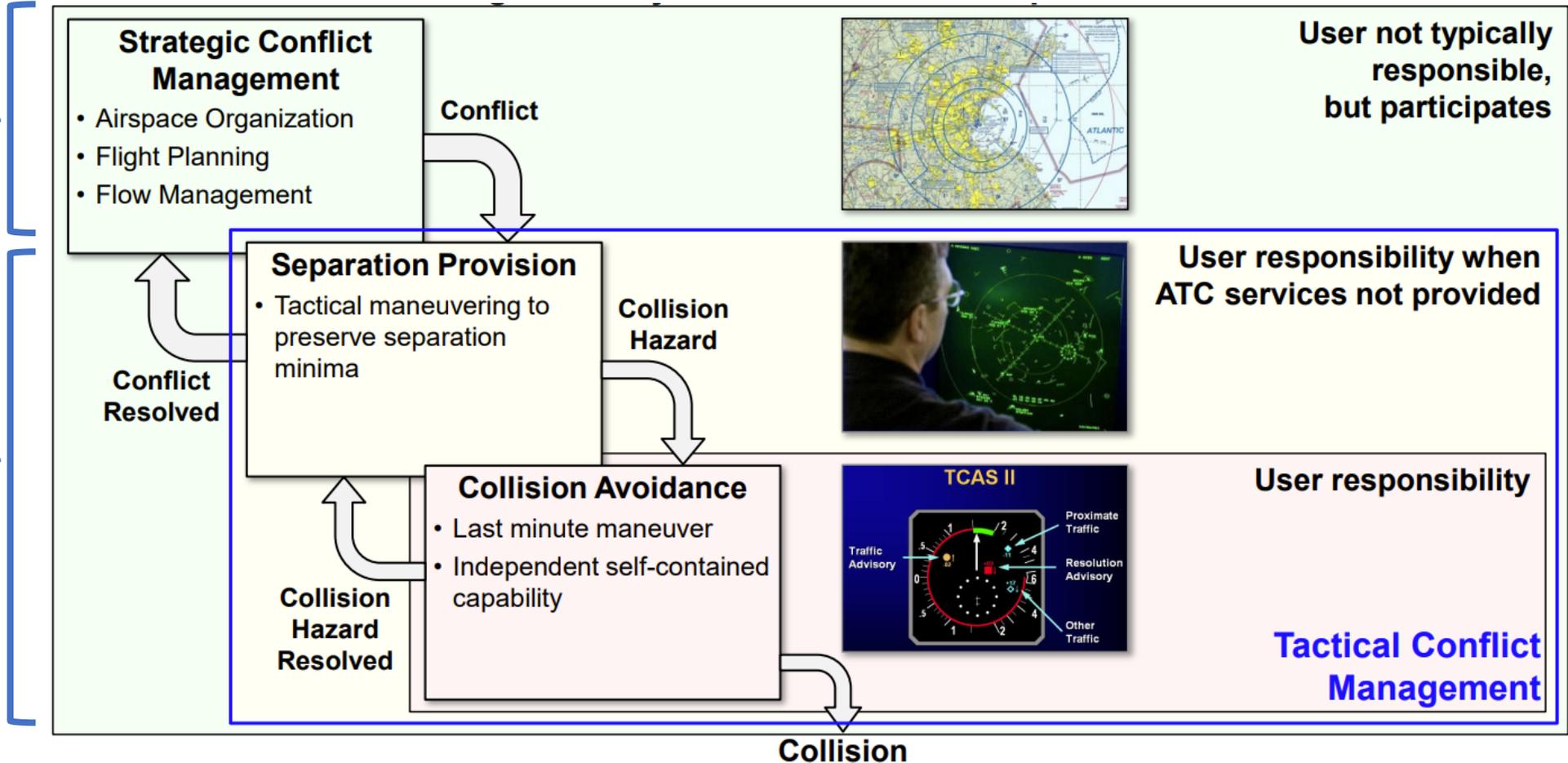


## 2. 旅客機等（IFR運航をする有人航空機）の衝突防止

飛行計画に基づく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（**戦略的干渉管理**）と、飛行開始後のTactical Conflict Management（**戦術的干渉管理**）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  
飛行経路を  
変更

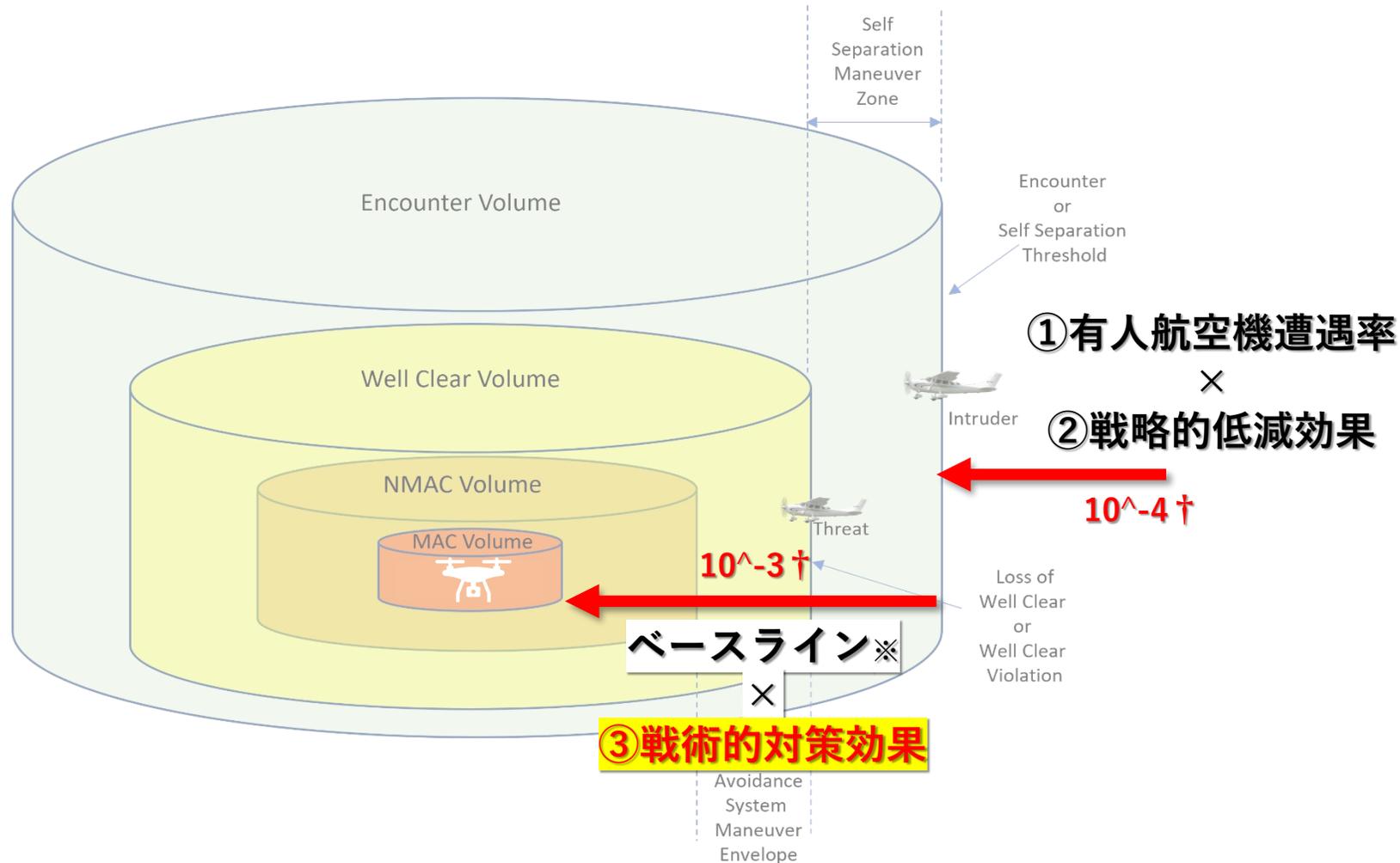
飛行開始後に  
飛行経路を  
変更



\*ICAO, Global Air Traffic Management Operational Concept, Doc 9854, 2005.

### 3. 無人航空機と有人航空機のエアリスク低減のアプローチ

$$\text{エアリスク} = \text{①有人航空機遭遇率} \times \text{②戦略的対策効果} \times \text{③戦術的対処効果}$$



➤ 考え方：初期遭遇率が低い場所でのドローン飛行であれば、戦略的低減や、戦術的対処手段への要求レベルは低い。一方で、初期遭遇率が高い場所の場合、戦略的対策や、戦術的対処に求められる要求が高くなる。

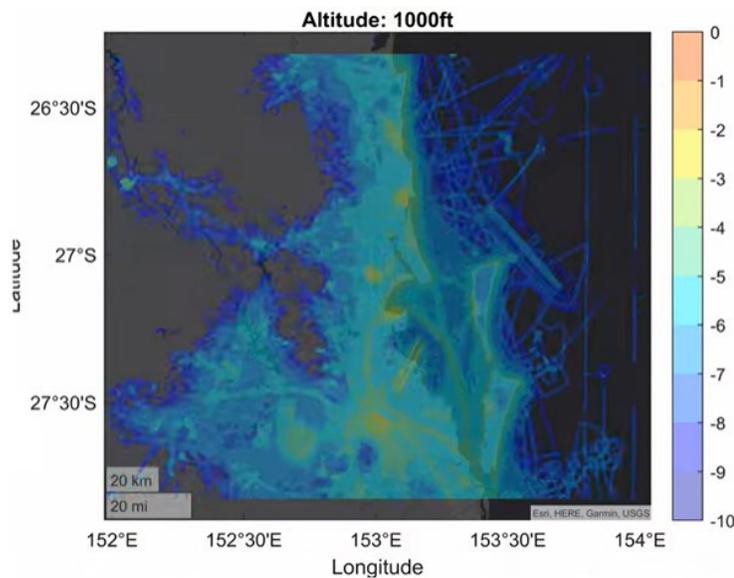
➤ 参考：JARUSのエアリスク定量化議論（JARUS WG-SRM、Air Risk TF）においては、達成すべきTLOS（Target Level of Safety）はTLOS =  $10^{-7}$ を前提として議論されている。

※何の対策をしなくとも、遭遇からMACに至る確率は一定程度小さい。

†注意）数値は議論中であるため、誤解を生じないように象徴的な値に置き換えてあります。あくまでもイメージとして捉えてください。

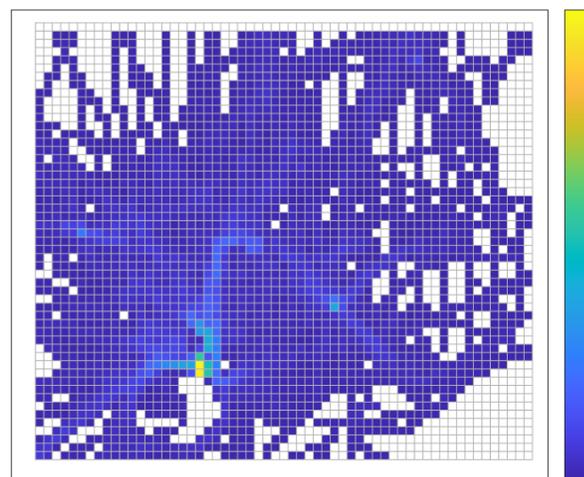
## 4.【参考】①有人航空機遭遇率 × ②戦略的対策効果

- 海外では豊富な運航データを用いて統計的に**有人航空機遭遇率**マップを構築する取り組み例（左下参考）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）。
- 特に低高度（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。（→②効果的な**戦略的低減策**への活用（研究課題））
- 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。



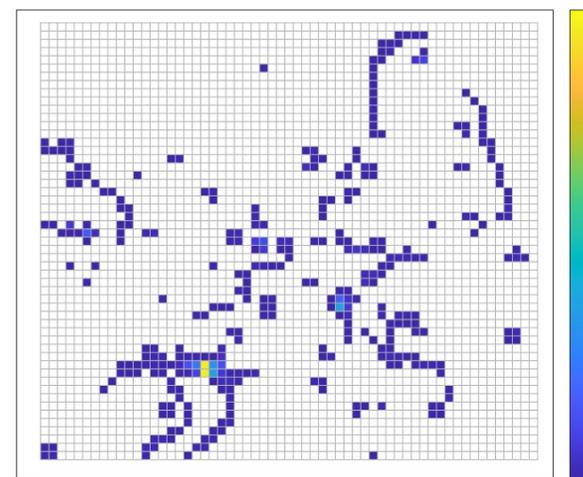
海外での分析例（豪州）

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



全高度を含む飛行頻度分布

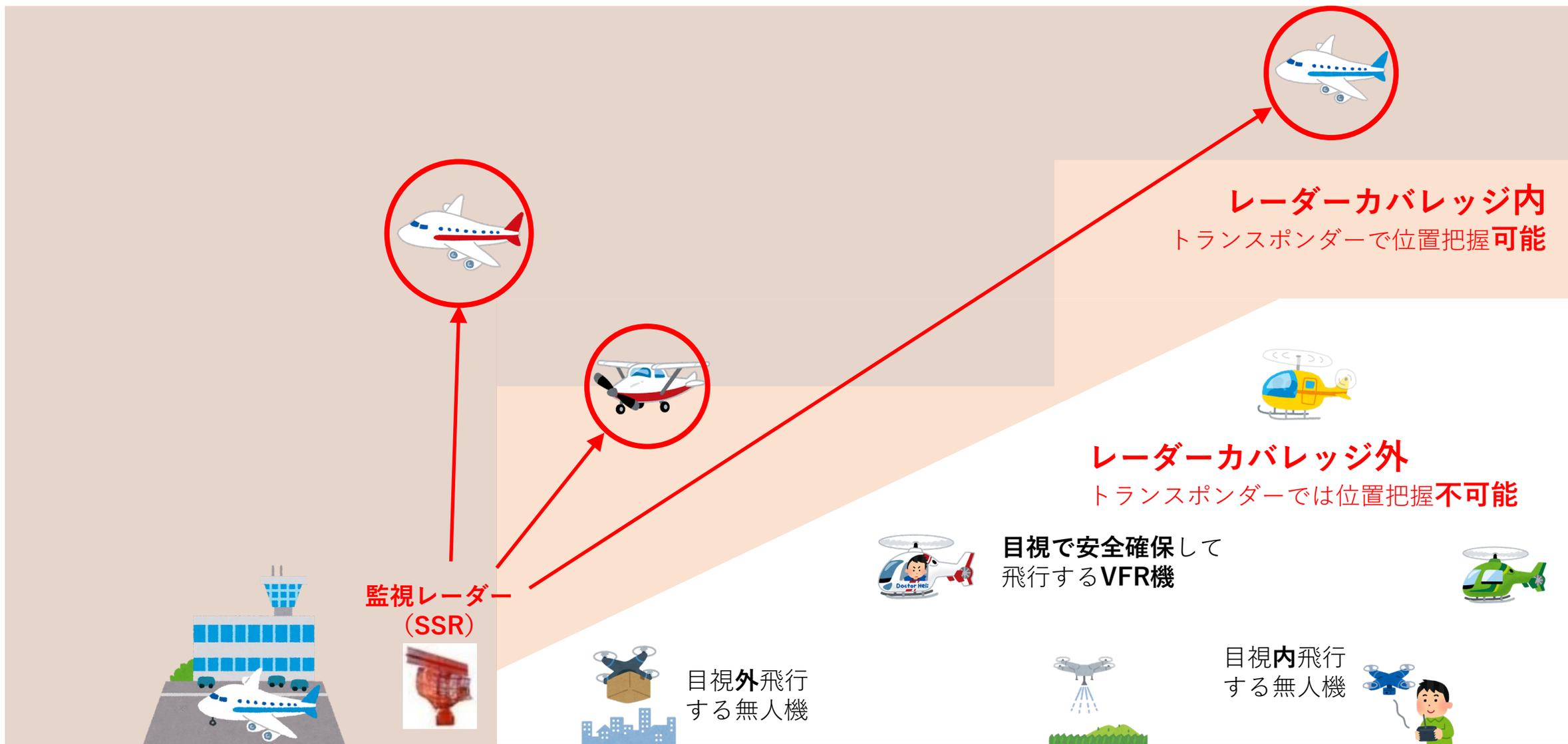
低高度のみ抽出



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、全ての有人航空機の飛行を把握した結果ではないことに注意。

# 5. ③戦術的対処：前提確認～低高度は見えていない



## 6. ③戦術的対処：有人機が見えている所ではドローンを飛ばし易い

- 例えば米国では2020年に小型機も含む有人航空機全てへの認証ADS-B★搭載が主要空域で義務化され、そのような空域内では主要空域では低高度のVFR機機も見える環境が整っている。
- 同環境内で、大規模な目視外ドローンの運航実証が進められており、運航ノウハウ知見が蓄積されている。
- その次のステップとして、現在の認証ADS-B義務化空域外への拡大が検討されている。  
⇒Electronic Conspicuity（後述、具体的にはUAT周波数のポータブルADS-B）を活用するアプローチ

### 米国の例



#### 認証ADS-B義務化空域



#### ★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。

エアリスク対処が容易な  
無人機運航環境  
(例：FAA Key Site)



※小型機が低高度を飛行するのは空港周辺だけではない

それ以外の空域への  
対処が次のステップ  
(UATポータブルADS-Bが候補)



目視外飛行  
する無人機



※米国では大規模空港から半径約55kmの範囲内等でADS-B搭載義務化

# 7.【参考】③戦術的対処：有人航空機動態把握技術のトレードオフ

	地上主体			機上主体				
	一次レーダー	トランスポンダ応用	搭載品認証有り	搭載品認証無し				
有人航空機の位置把握の主要なソリューション比較	<p>https://fortemtech.com/products/trueview-r30/</p>		<p>https://www.garmin.com/en-US/p/140939</p>	<p>写真はD-NET</p>	<p>https://uavionix.com/products/skyecho/</p>	<p>https://www.flarm.com/products/powerflarm/</p>		<p>https://www.starlink.com/business/direct-to-cell</p>
主要課題	地上整備コスト	地上整備コスト	機上搭載コスト	分オーダーの遅延、通信コスト	制度的な整理が必要	日本での周波数割り当て困難	通信カバレッジ	航空機適用の実証、通信コスト
技術と特徴	フェイズドアレー方式の固定式小型一次レーダーを複数配置してその情報を統合（ソフトウェア処理）して低高度を監視する仕組み。 <b>Counter UAS目的で研究開発が進んでいる。</b> 空港等の重要拠点での利用が進んでいる。広い面積をカバーするためには多数の配置が必要。	トランスポンダの信号を複数地点で受信することで、その到達時間差から発信源の位置を決定する方式。 <b>既存の小型航空機の90%以上を探知可能。</b> 空港レーダーの覆域以外では、質問信号を送信する必要。応答信号の数を増やすため、1090MHzの電波環境への影響。	<b>GPSで取得した位置情報を周囲に送信する仕組み。</b> 航空機のトランスポンダの追加機能。新型機は最初から搭載されている率が高いが、旧型機ではほぼ搭載されておらず、追加搭載は修理改造検査扱いとなるため、 <b>工賃と認証再取得費用が極めて高価。</b>	イリジウム衛星のショートバースト通信を使った動態管理システム。持ち込み品であり修理改造検査不要。 <b>衛星通信を用いるため、地上インフラに依存せず、全ての場所で通信可能。</b> 通信コストが高額な衛星通信において <b>最小限の情報を低頻度で送信する仕組み。</b> 分オーダーの遅延が発生。	現在利用可能な製品はuAvionix社のSkyecho2。 <b>従来のADS-Bと互換性がある位置情報を送信可能。</b> 持ち込み品なので、 <b>搭載（修理改造）コストが不要。</b> 航空認証品でない装置から航空周波数1090MHzを送信することに関する国内の法的な整理が必要（英国や豪州ではすでに制度化）。	FLARM（FlightとAlarmの混成語）はFLARM社の製品であり、欧州でグライダーから利用が広がった。 <b>世界で5万台以上が普及しており、ジェネアビ、グライダー、気球等で広く利用実績。</b> 特にグライダーではデファクト。 <b>860MHz帯は日本では携帯電話（プラチナバンド）で使われており、周波数取得が困難。</b>	通信速度が速く双方向であるため、動態情報の送信のみならず、任務情報の送受信も可能。運航者からの期待度が高い。検証実験が進んでいるが、通信可能なエリアは広くない可能性がある。人口が少ない僻地では圏外になる可能性があり、 <b>安全手段としての通信として検証が必要。</b>	<b>通信衛星コンステレーション等による広範囲への携帯通信サービス。</b> スマートフォンからの直接接続が近い将来に開始される。ショートメッセージからサービスが開始され、音声、IoT、データ通信とサービスが拡大されていく。 <b>衛星側の方式等、キャリア間の競争が行われている段階。</b>
コスト	機上装備は不要だが、地上が <b>大きなコスト。</b> 数千円/100km <sup>2</sup> オーダー。	機上追加装備は不要、地上が <b>大きなコスト。</b> 億円/100km <sup>2</sup> オーダー。	追加搭載は修理改造検査扱いとなり、 <b>搭載に千円オーダーのコスト。</b>	装置のコストと通信費を合わせて <b>年間約数十万円オーダー。</b>	装置は安価。無線局免許のコストが必要。初期費用 <b>数十万円オーダー。</b>	装置は安価。 <b>数十万円オーダー。</b>	装置は安価。 <b>数十万円オーダー。</b> 通信コストが課題。	
カバレッジ	10km程度	15km程度	数百km	無限	数十km、機体遮蔽が影響する方位は短くなる。	10km、機体遮蔽が影響する方位は短くなる。	無限（ただし圏外がある）	無限（ただし衛星数が揃うまで時間帯制限）
制度面	実用局周波数の割り当て	質問信号送信局の実用局許可	無し（実用化済）	無し（実用化済）	航空周波数の持ち込み品の制度上の位置づけ。	プラチナバンドの利用許可取得が困難。	上空利用の制度が進む。	航空機利用の制度上の位置づけ。

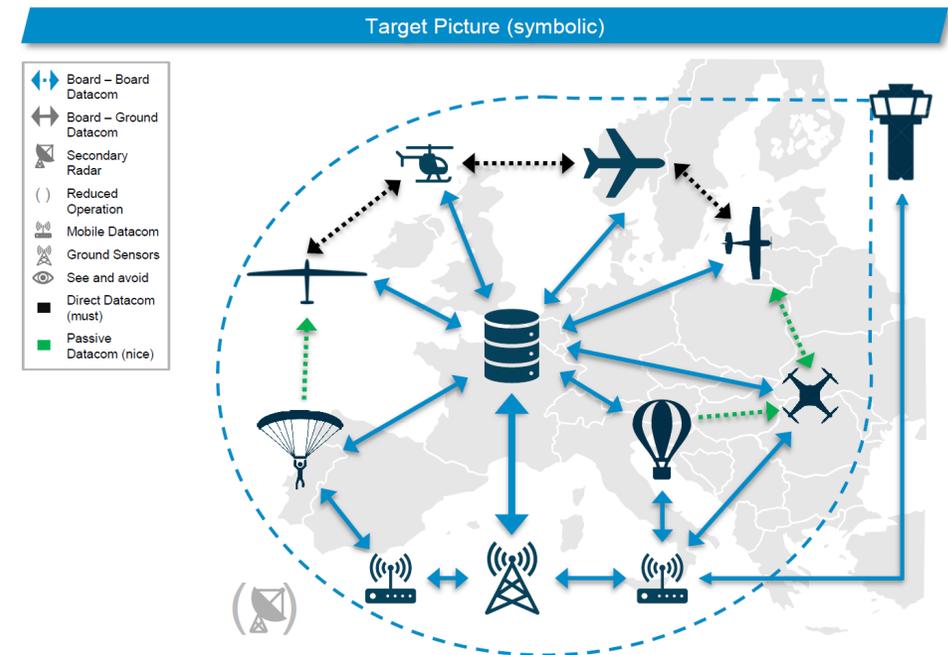
## Electronic Conspicuity (EC, 電子視認性)：

- 空域利用者が互いの視認性を確保するための、位置情報を送受信する機器による技術の総称  
(ADS-Bや、ADS-L※1、FLARM、Remote ID等を含む)
- ECは、他の航空機を自動的に検知できるようにすることで状況認識を向上させ、衝突事故を減らすことを目的として、元々は英国航空局等によって提案・開発された。欧州(EASA)や米国(FAA)でも同概念の導入議論がされている。
- ECは従来の監視技術の補助をする役割 (アドバイザー)として設計されている。
- 従来の認証ADS-B装置の追加搭載に比べて安価※2に運用可能であるため、協調的なDAA (Detect and Avoid) 環境を構築するための鍵となる低コストソリューションである。

※1: ADS-Liteの略、ADS-Bに準じた情報を共有する安価なECの一つの規格であり、具体的な通信メディアは860MHz帯SRD (日本の特定小電力類似) や携帯回線 (mobile) を含む。

※2: 認証ADS-Bの追加搭載は1,000万円オーダー、ECは30万円程度。

## Electronic Conspicuityのアプローチで将来目指している姿 (EASA案)



26 29.03.2023 | EASA | Interoperability of e-Conspicuity Systems | Initiation Workshop  
Confidential

EASA, “i-Conspicuity — Interoperability of Electronic Conspicuity Systems for General Aviation,” 2023.

## 9. 【参考】 ③戦術的対処：Electronic Conspicuityはアドバイザー

Equipment (descending order of capability)	ADS B IN <sup>5</sup>	TCAS	RPAS sense & avoid using ADS B	ATS surveillance inside radar & ADS B coverage	ATS surveillance outside radar coverage (but inside ADS B cover)
Transponder with IFR capable ADS-B OUT	Yes	Yes	Yes	ATC separation	ATC separation
Transponder with TABS position source; SIL <sup>6</sup> >1	Yes	Yes	Yes	ATC separation	ATC separation
Transponder with TABS position source; SIL =1	Yes	Yes	Yes	ATC separation	Situational awareness only
Integrated TABS; SIL>1	Yes	Yes	Yes	Situational awareness only	Separation possible (would depend on testing and validation)
Integrated TABS; SIL=1	Yes	Yes	Yes	Situational awareness only	Situational awareness only
EC device	Yes	No	Yes	Situational awareness only (limited range)	Situational awareness only (limited range)

**ECは、ATCセパレーションを目的とした従来の監視（ADS-B）とは異なり、状況認識向上を目的とした手段である。**

5 The capability of equipment in this column applies to certified equipment or equipment compliant with relevant technical standards. ‘Home-made’ or uncertified ADS-B IN equipment may vary in receiver performance.

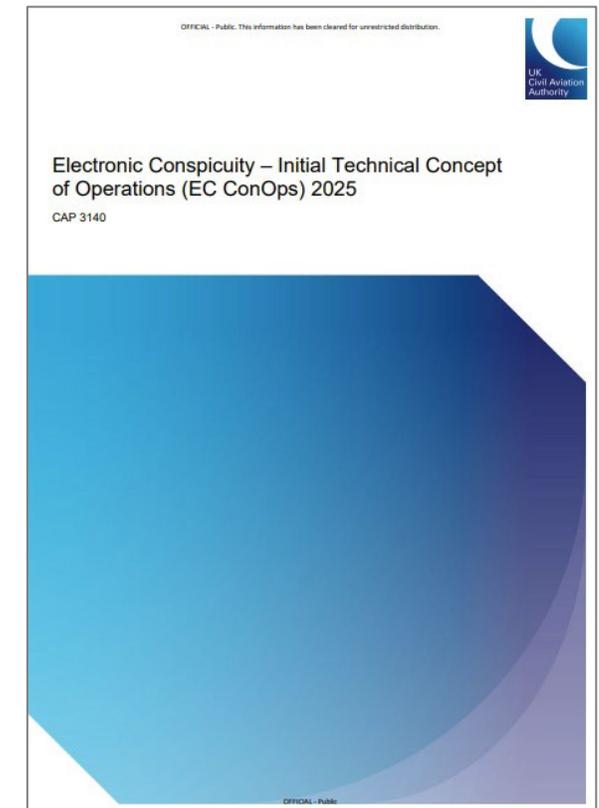
6 SIL means Source Integrity Limit. SIL is a numeric value between 0 and 3 that indicates the GNSS position source’s probability of exceeding the reported integrity value. It is one of the components of a standard ADS-B position message. A SIL number of 2 or 3 indicates that the GNSS position source information is suitable for ATC separation, while a SIL number of 1 indicates that the GNSS position source information is suitable for situational awareness only and is not suitable for ATC separation. SIL is a static (unchanging) value, normally specified by the equipment manufacturer and normally set by the installer at the time of equipment installation.

出典：CASA ADVISORY CIRCULAR AC 91-23v1.1, “ADS-B for enhancing situational awareness”

# 10. ③戦術的対処：英国が提案したElectronic Conspicuity

英国ではElectronic Conspicuityとして低コストで持ち込み可能なポータブルADS-Bデバイス（CAP 1391デバイス）を導入。搭載推奨と補助金により普及率5割超。2027年の本格導入（義務化空域等）を目指して運用コンセプトの議論を進めている。

- 2016年、低コスト・軽量で持ち運びも可能なElectronic conspicuity devicesの仕様（CAP 1391v1）を公表（2021年以v3に更新）
- 2025年7月、EC Concept of Operations（CAP 3140）を公表し、2025年～27年を試験段階、2027年以降を本格導入時期と位置付け
  - 特定空域で義務化するが、全国一律義務化は継続検討
  - 空域のリスクに応じて、有人航空機・無人航空機両方が“detect and be detected”を実現する構想
  - 試験段階では有人機-無人機間の戦術的衝突回避技術を試験
    - ✓ CAP 1391デバイスや認証ADS-Bを搭載した有人機と、受信端末を搭載した無人機が通信
    - ✓ 低出力978 MHz UATを介して無人機が有人機と通信

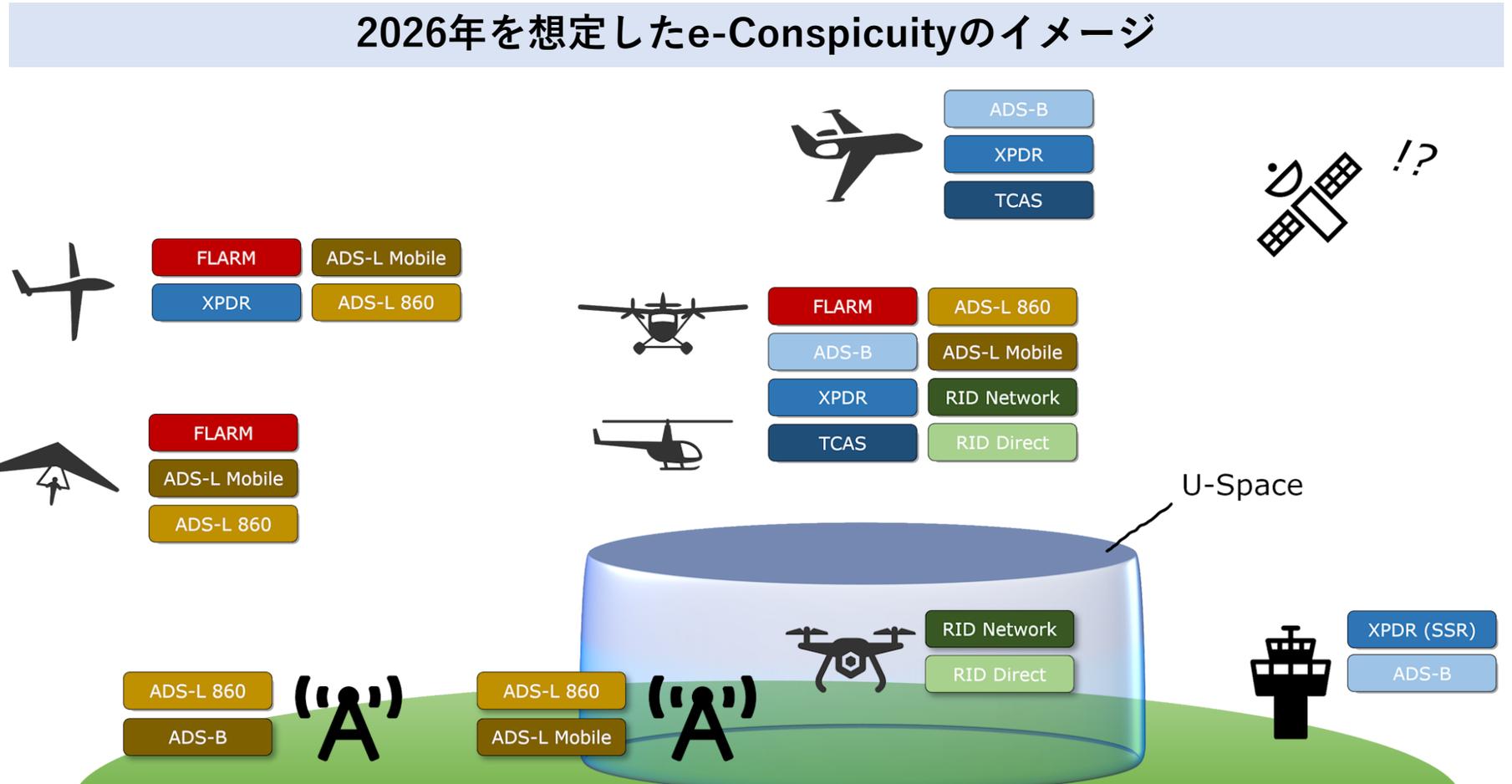


# 11.【参考】③戦術的対処：欧州におけるe-Conspicuity

欧州では、有人機と無人機の共存を確立する低高度空域であるU-Space内で電子視認性を必須とする規制を策定し、より適したプロトコル（ADS-L※）を公開した。

※: ADS-Liteの略、ADS-Bに準じた情報を共有する安価なECの一つの規格であり、具体的な通信メディアは860MHz帯SRD（日本の特定小電力類似）や携帯回線（mobile）を含む。

- 2022年、EASAは航空機の電子視認性（e-conspicuity）の概念を導入
- U-Space空域を飛行する管制サービスを受けていない有人機は、電子的に視認可能でなければならない  
（標準化飛行規則（SERA）6005(c)）
- ADS-Bより軽量・低コスト・低出力にした電子視認性のプロトコルとしてADS-Lを定義



参照：EASA “SERA.6005 Requirements for communications, SSR transponder and electronic conspicuity in U-space airspace” <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-standardised-european?page=14>  
 FLARM Technology AG “Electronic Conspicuity and ADS-L” <https://www.flarm.com/en/general-aviation/electronic-conspicuity-and-ads-l/>

# 12. ③戦術的対処：米国におけるElectronic Conspicuity議論

無人機が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>			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）

## ポータブルADS-Bの日本環境における評価 万博周辺への受信機配置と技術評価

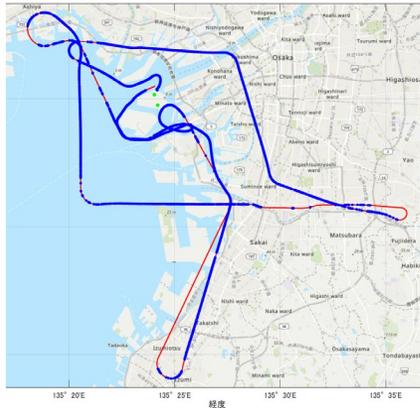
### ポータブルADS-B outデバイス



- 1090MHzで動態情報を発信
- バッテリにより単独で作動
- 英国では5割以上の普及率



JAXA実験用ヘリコプタ  
川崎式BK117C-2



## 民間事業機に搭載した運用実証を開始 （11条ただし書外での運航）



<https://flyteam.jp/registration/JA6512>



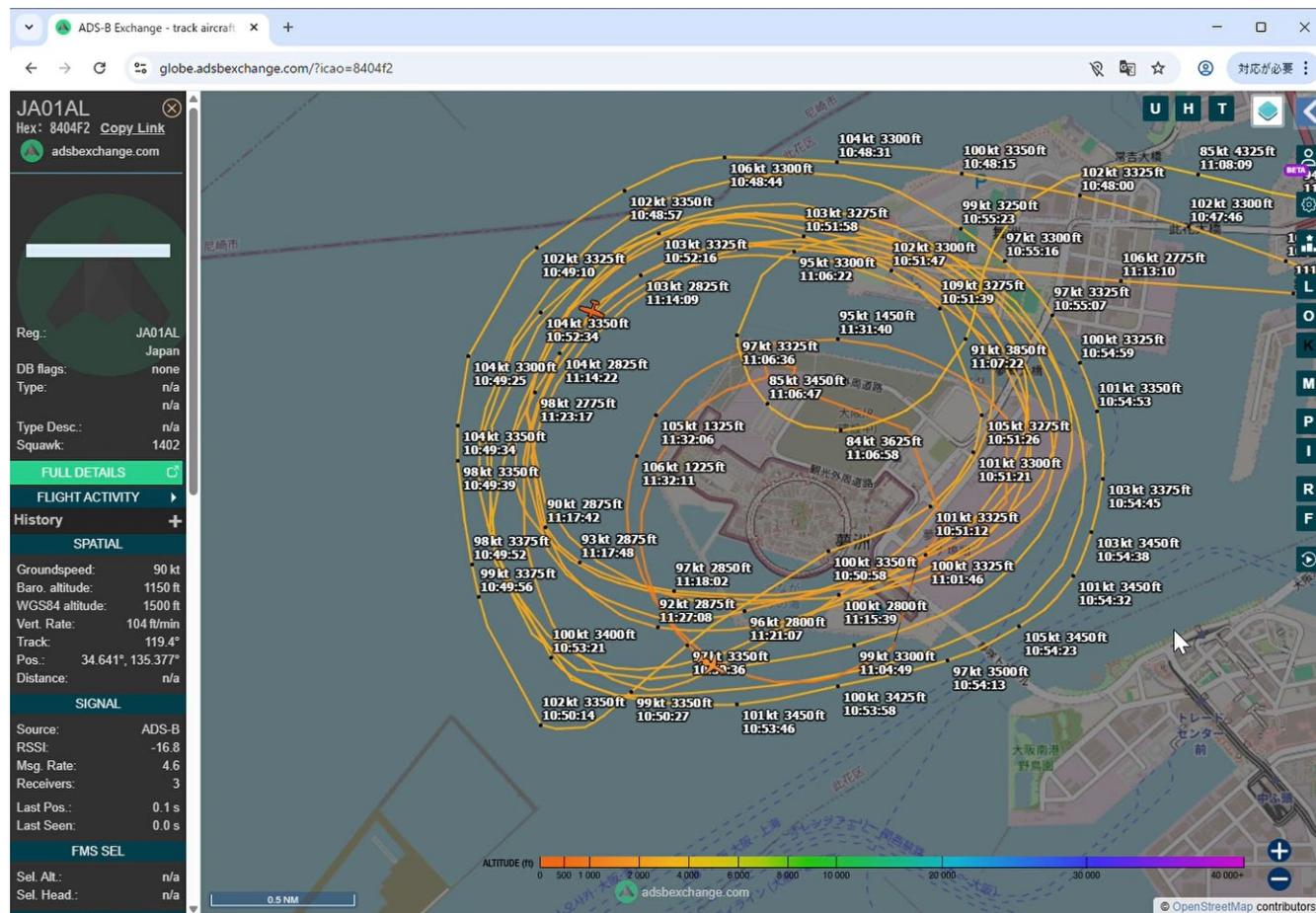
<https://flyteam.jp/photo/3933360>

JAXA実験用航空機によるポータブルADS-B評価実験は、航空法11条ただし書による飛行試験であったが、航空局との調整が進み、省令「携帯型電子機器から発射される電波に対する航空機の耐性確認要領（本邦航空機向け）」を基本として、追加の安全確認を事前に実施する等の条件下で、**11条ただし書の許可取得は要しないことになった。**

## 技術評価のためのJAXAの飛行実験

## 事業者の通常運航内での運用評価へ

## 万博会場周辺飛行時のポータブルADS-B受信状況（ADS-B受信の民間サービス活用例）



事業機による運用評価：

⇒ドローンと有人航空機の衝突リスク低減（戦術的なりリスク低減）をスケールアップに実現する環境整備に向けた、大きな前進となる。



今後の取り組み：無人航空機の運航シミュレーション環境と接続して評価試験を行い、安全対処の総合的なガイドラインを提案する

※出典）ADS-B Exchange

- 多くの無人航空機が飛行する低高度（対地高度150m未満）では有人航空機が見えていないのが現状である。特に無人航空機の日視外運航において、有人航空機との空中衝突防止は無人航空機運航拡大のための重要課題。
- 無人航空機と有人航空機の衝突リスクを低減して安全な運航を行うには、飛行前のリスク低減（遭遇率考慮、戦略的対策）と、飛行中の対策（戦術的対処）の両方が必要である。
- 飛行中の対策（戦術的対処）の具体的な実現手段として、Electronic Conspicuityを活用するアプローチが世界的（英国・豪州・欧州・米国）に検討、実装が進められている。
- 日本国内の小型航空機機数や周波数環境等から、英国で規格化されたポータブルADS-Bデバイスが、日本で活用可能なElectronic Conspicuityの有力候補と考えられる。JAXAでは飛行実験で実証を進めてきた。
- 更には、民間の有人航空機運航事業者の理解と協力も得られ、事業機の通常運航においてポータブルADS-Bデバイスの運用評価を行った。
- ADS-B受信も民間サービス活用の可能性を把握。
- 無人航空機運航者が同情報を活用してエアリスクを低減する具体的な手順（ガイドラン）の提案を行う予定。