

CNC-WP5-2025-012

事業運航する有人航空機でのポータブルADS-B 運用実証について

2026/2/16

JAXA 航空利用拡大イノベーションハブ

CONCERTOチーム

久保 大輔

戦術的対策（衝突回避）手段が必要

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

初期エアリスクの把握

- 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

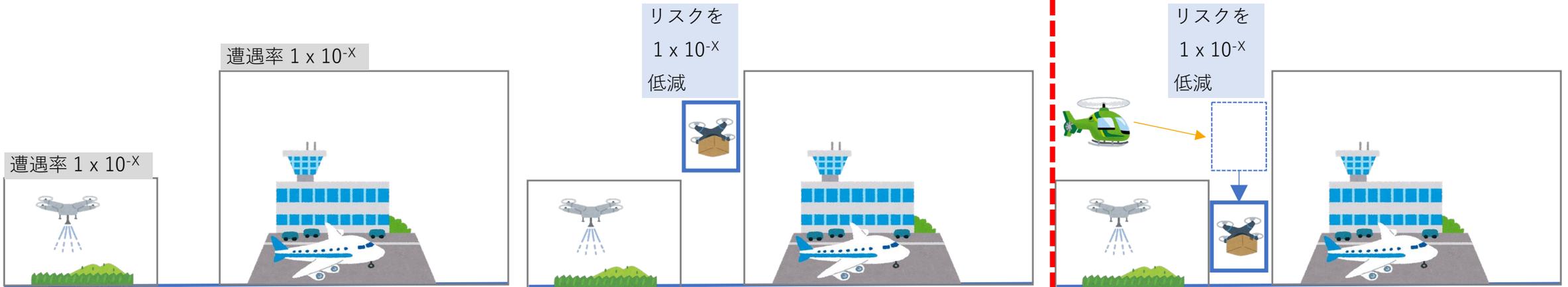
戦略的エアリスク低減

- 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

戦術的衝突回避

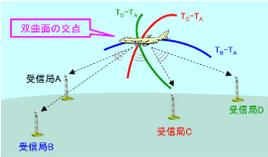
戦術的エアリスク低減

- 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



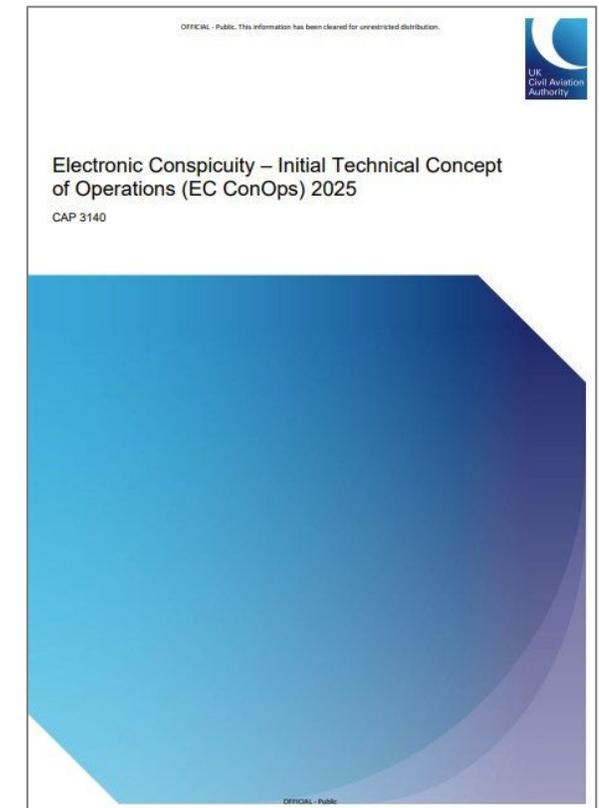
JAXAでは、無人機のエアリスク定量化を議論するJARUS等の動向を把握しつつ、初期エアリスクの把握や戦略的・戦術的エアリスク低減策実現に向けた研究を実施

【参考】有人航空機動態把握技術の比較整理

	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	カウンタードローン技術  https://fortemtech.com/products/trueview-r30/	MLAT 	認証ADS-B  https://www.garmin.com/en-US/p/140939	Foster CoPilot/D-NET  写真はD-NET	ポータブルADS-B  https://uavionix.com/products/skyecho/	Power FLARM  https://www.flarm.com/products/powerflarm/	携帯回線 	非地上系ネットワーク  https://www.starlink.com/business/direct-to-cell
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。 Counter UAS目的で研究開発が進んでいる。 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。 既存の小型航空機の90%以上を探知可能。 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。	GPSで取得した位置情報を周囲に送信する仕組み。 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、 工賃と認証再取得費用が極めて高価。	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。 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。 通信コストが高額な衛星通信において 最小限の情報を低頻度で送信する仕組み。 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。 従来のADS-Bと互換性がある位置情報を送信可能。 持ち込み品なので、 搭載（修理改造）コストが不要。 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。 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。 特にグライダーではデファクト。 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。	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 安全手段としての通信として検証が必要。	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。 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。 衛星側の方式等、キャリア間の競争が行われている段階。
コスト	機上装備は不要だが、地上が 大きなコスト。 数千円/100km ² オーダー。	機上追加装備は不要、地上が 大きなコスト。 億円/100km ² オーダー。	追加搭載は修理改造検査扱いとなり、 搭載に千円オーダーのコスト。	装置のコストと通信費を合わせて 年間約数十万円オーダー。	装置は安価。無線局免許のコストが必要。初期費用 数十万円オーダー。	装置は安価。 数十万円オーダー。	装置は安価。 数十万円オーダー。	装置は安価。 数十万円オーダー。 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。

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



【参考】 Electronic Conspicuityは状況認識向上を目的とした手段

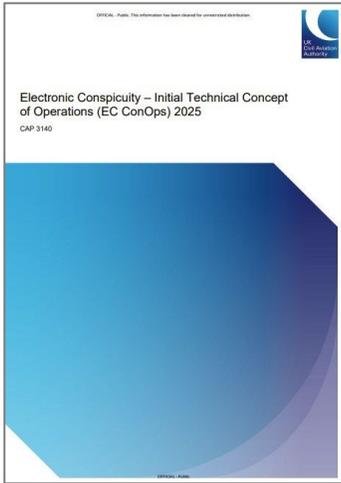
Equipment (descending order of capability)	ADS B IN ⁵	TCAS	RPAS sense & avoid using ADS B	ATS surveillance inside radar & ADS B coverage	ATS surveillance outside radar coverage (but inside ADS B cover)
Transponder with IFR capable ADS-B OUT	Yes	Yes	Yes	ATC separation	ATC separation
Transponder with TABS position source; SIL ⁶ >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)

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、**ECは状況認識向上を目的とした手段**である。
従来の監視手段の直接の代替えにはならないことに注意。

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”



uAvionix社製 SkyEcho2

- CAP1391の実装の一つ
- **全機能を内蔵して独立動作**
 - GPS受信機内蔵
 - 気圧高度計内蔵
 - 1090MHz送信アンテナ内蔵
 - バッテリー内蔵

英国航空局の技術規格
CAP1391
(ポータブルADS-B)



<https://uavionix.com/general-aviation/skyecho/>



<https://www.caa.co.uk/media/q12dey5h/cap2000-clued-up.pdf>



- **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**であり、個別に許可を得た飛行試験であった。
- **民間航空機使用事業者殿の協力**を得て、事業運航中にポータブルADS-B運用実証を行う計画を立案。**ただし、11条ただし書では実施出来ない。**
- 航空局殿と調整し、本運用実証に関しては、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★**。
 - 条件①「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」に従い、事前に**地上EMC試験を行って安全を確認**する。
 - 条件② **HIRF耐性がある機体に限定**する。
※将来的にHIRF耐性が無い機体もターゲットとなるが、まずは安全側に限定して実証拡大を優先。
 - 条件③ ポータブルADS-B装置は**機体装備品と32cm以上距離を離して設置**する（理由は次項）。
 - 条件④ 機長の視界を妨げない位置に設置する。
 - 条件⑤ 飛行中にポータブルADS-Bに起因すると思われる不具合等が発生した場合や、地上からADS-Bデータの信頼性に関わる報告等を受けた場合は、直ちにポータブルADS-Bの電源を切断する措置を行う手順を設定する。



出典)エアロトヨタ株式会社



出典)朝日航空株式会社

★上記条件は本運用実証に使用する航空機型式やポータブルADS-B装置の組み合わせを勘案して航空局と調整の下で設定されたものであり、本運用実証以外では別途個別調整が必要。

※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）<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001746210.pdf>

ポータブルADS-Bの電波出力は、対象装置から32cm距離を離すと、電界強度が高強度放射電界（HIRF: High-Intensity Radiated Fields）耐性基準値よりも小さくなる。

Max値：カテゴリB、D、F、G、L
HIRF 規則で規定された最重要システムの試験値

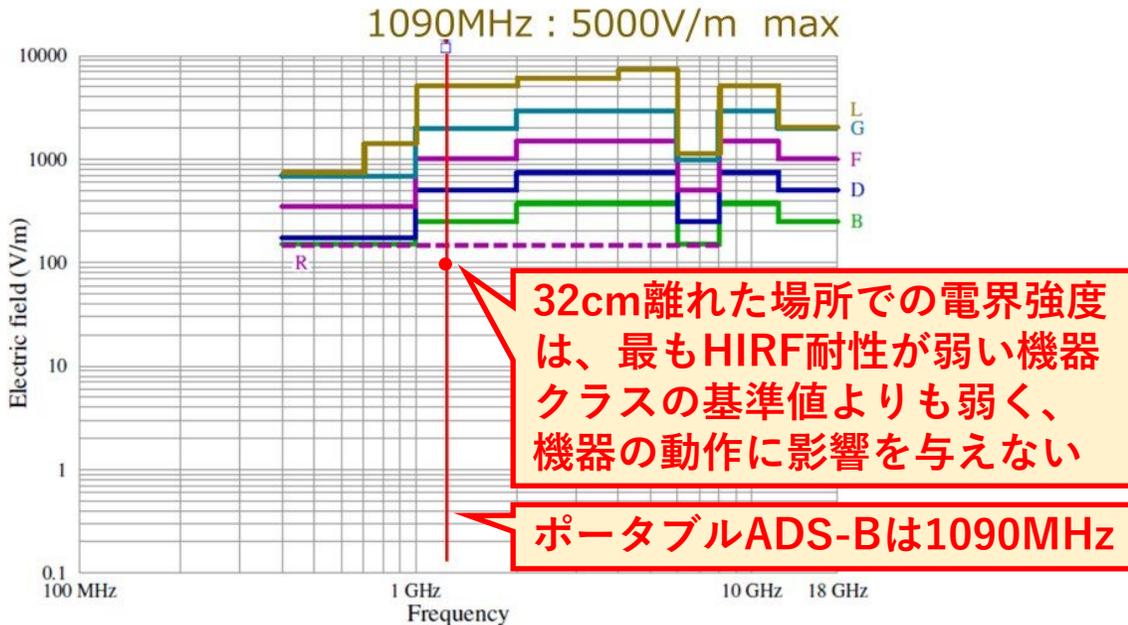


図 15: 放射サセプティビリティ試験レベル (PM)

出典：<https://www.emc-ohtama.jp/emc/doc/do160g-explained-part1.pdf>

- ポータブルADS-Bの放射：P = 20W（公称値）、d = 0.32m（仮定）、送信アンテナ利得 ≒ 2.15dBi (G_I=1.64)
- 電界強度を計算（下記式）すると E ≒ 98V/mとなる。つまり、**送信機から32cm離れるとE=100V/m（基準下限値）を下回る。**

自由空間中において、放射電力P[W]のアンテナから電波が発射された。この時、最大放射方向において距離d[m]離れた地点の電界強度E[V/m]は、次式で表される。

<絶対利得G_Iのアンテナの場合>

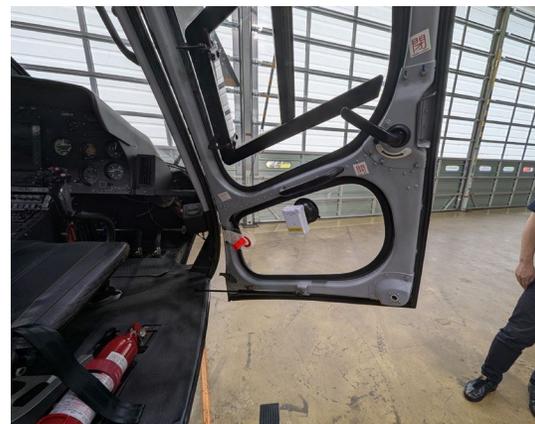
$$E = \frac{\sqrt{30G_I P}}{d} [V/m]$$

- 送信電力の実効値は11W程度。アンテナ利得も最大方向でも1.55dBiであり、上記計算は安全側になっている。

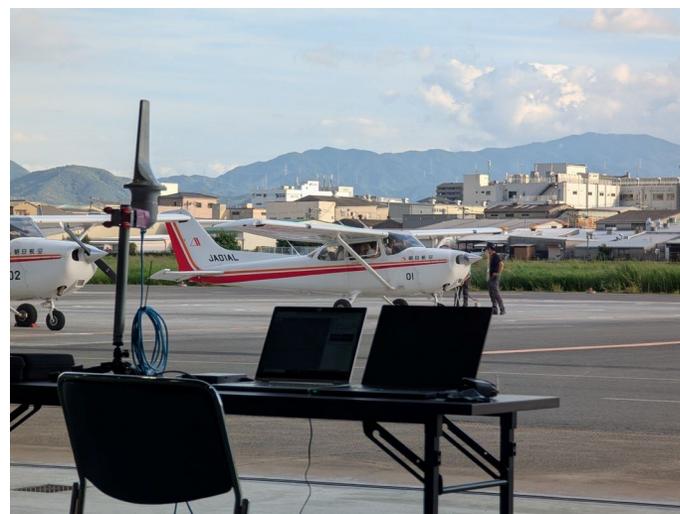
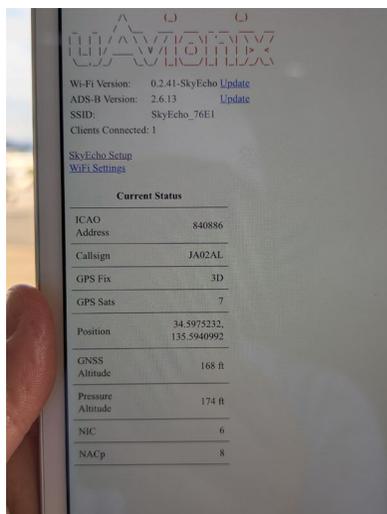
条件③④⑤：設置、EMC試験等



風防右端に設置。装備品からの距離が32cm以上になる位置。上部に樹脂部品があるがGPS受信への影響は問題無かった。



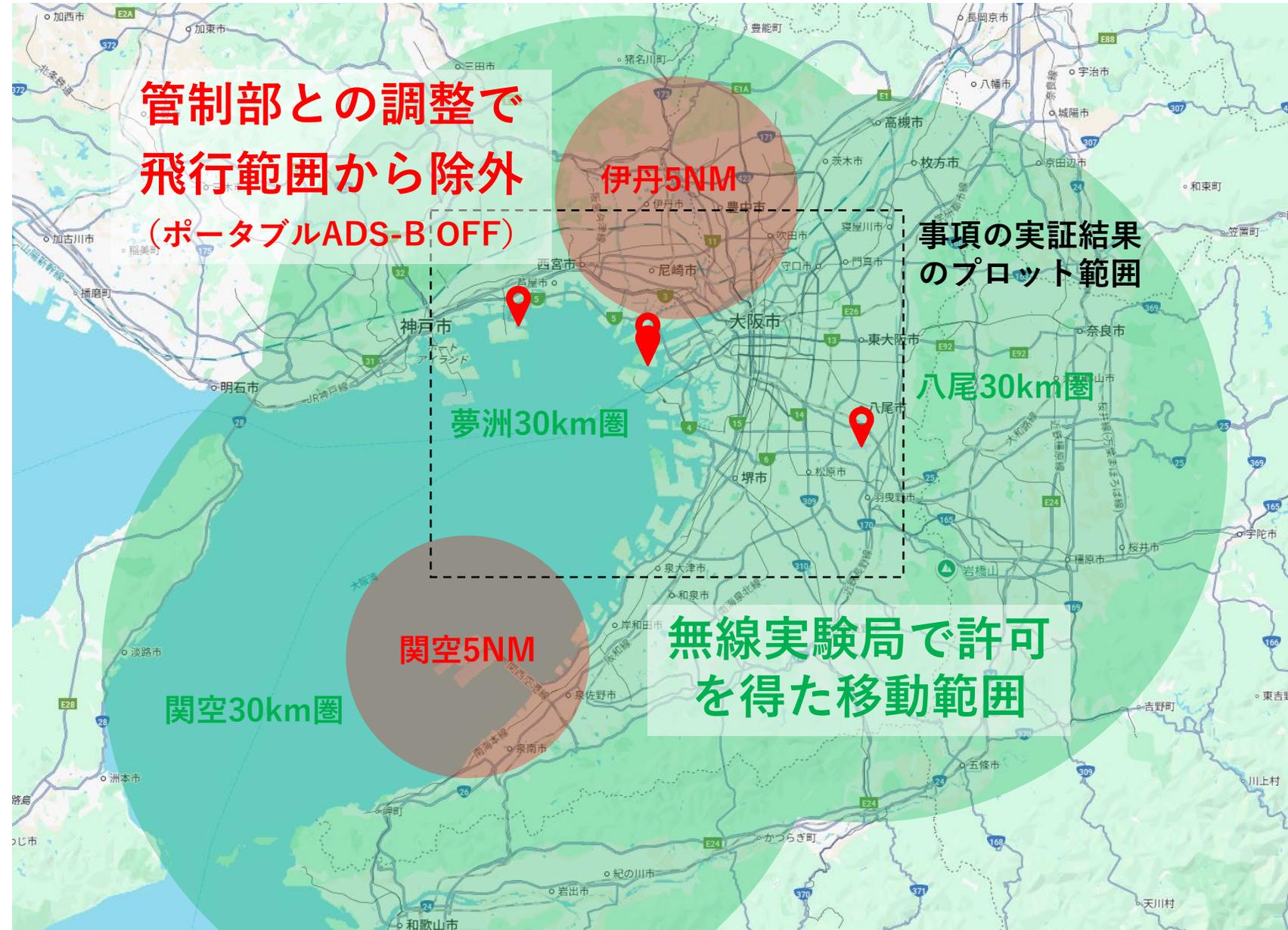
回転翼機への設置例（ドア下部の小窓）機長視界への影響を最小限にするため機長と相談して決定。機体左側への電波遮蔽は大となる。



EMC試験のための地上運転の様子。ADS-B受信機も立て、ポータブルADS-Bからの電波発射状況をモニタリング。格納庫の陰の位置に設置したADS-B受信機でも受信は良好だった。格納庫は採光窓も多く、電波的には遮蔽にはならない。

本実証実験でポータブルADS-B電波を発射可能な範囲

- 運航面の課題と対策に関しては**管制部との入念な事前調整を行い、影響可能性範囲を識別**。管制に影響懸念が無い範囲内での運用を行うこととした。
- 管制部との調整で識別された課題と対処：
 - 空港MLAT・空港WAMにはポータブルADS-Bが発信するDF-18が影響するため、同一機でのモードSトランスポンダとの共存において技術課題（1090MHz近接送信での電波干渉による誤解読等）により二重表示や非表示等が発生する可能性がある。
 - 本実証では**影響が考えられる空域（伊丹空港周辺・関西国際空港周辺）ではポータブルADS-BをOFFとする運用とした**。
- 本運用実証でATCに係る問題は発生しなかった。



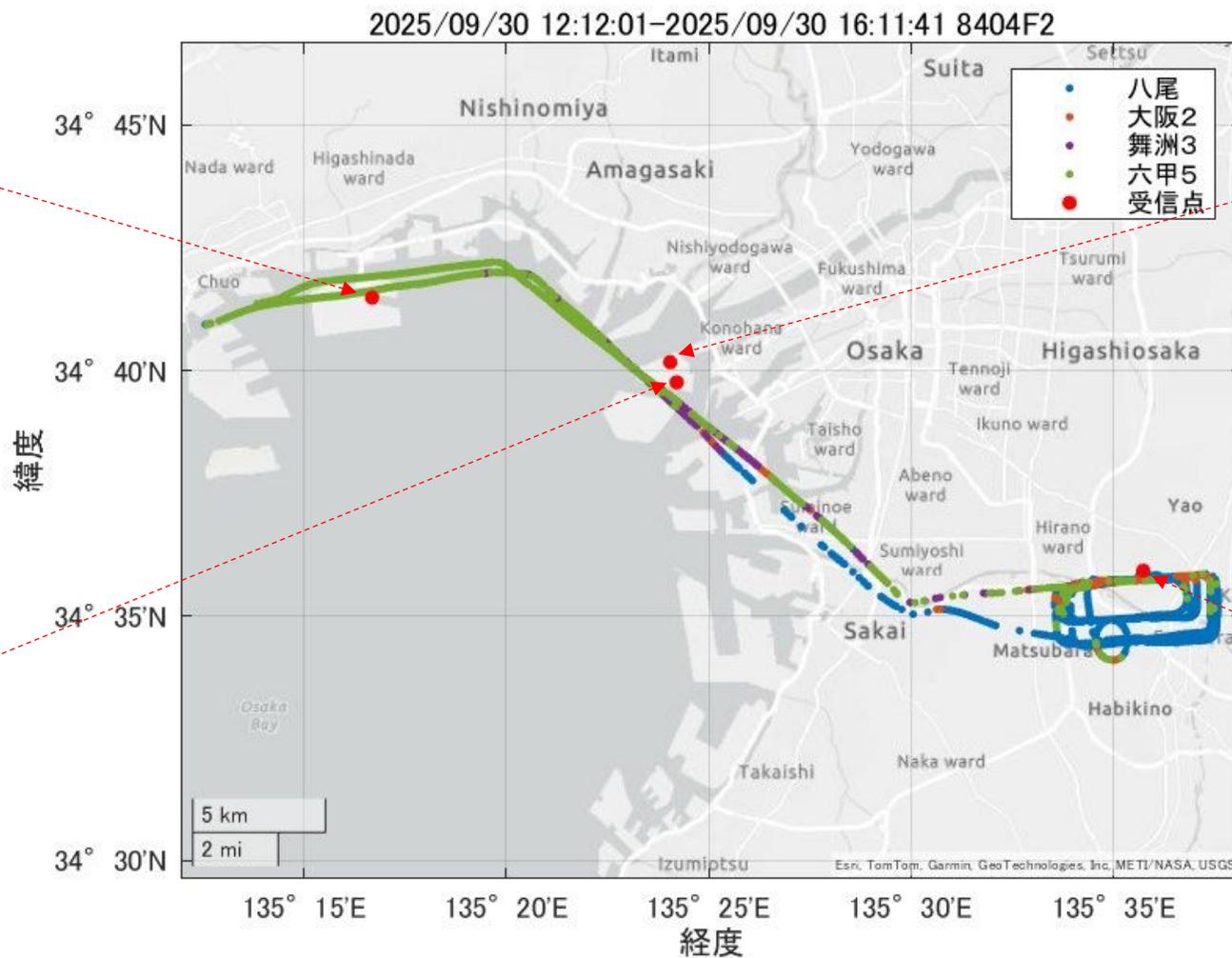
受信結果例①) JAXA設置の複数受信機による受信例



六甲アイランド
(左対岸が万博会場)



舞洲南側
(正面が万博会場)



舞洲北側
(右奥に大阪HP)

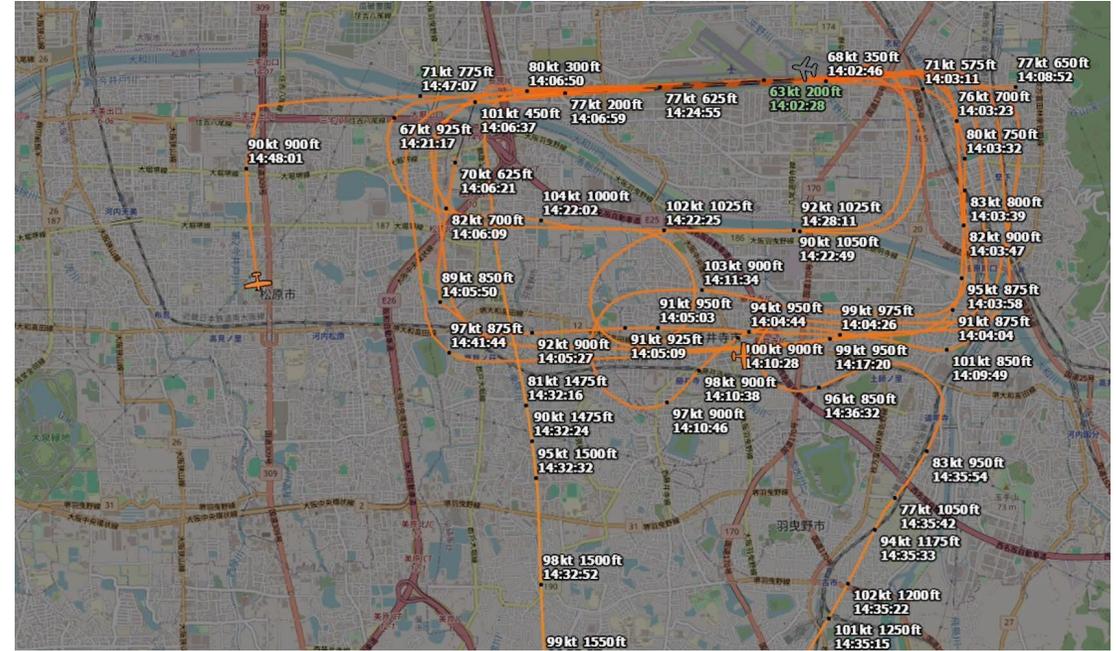
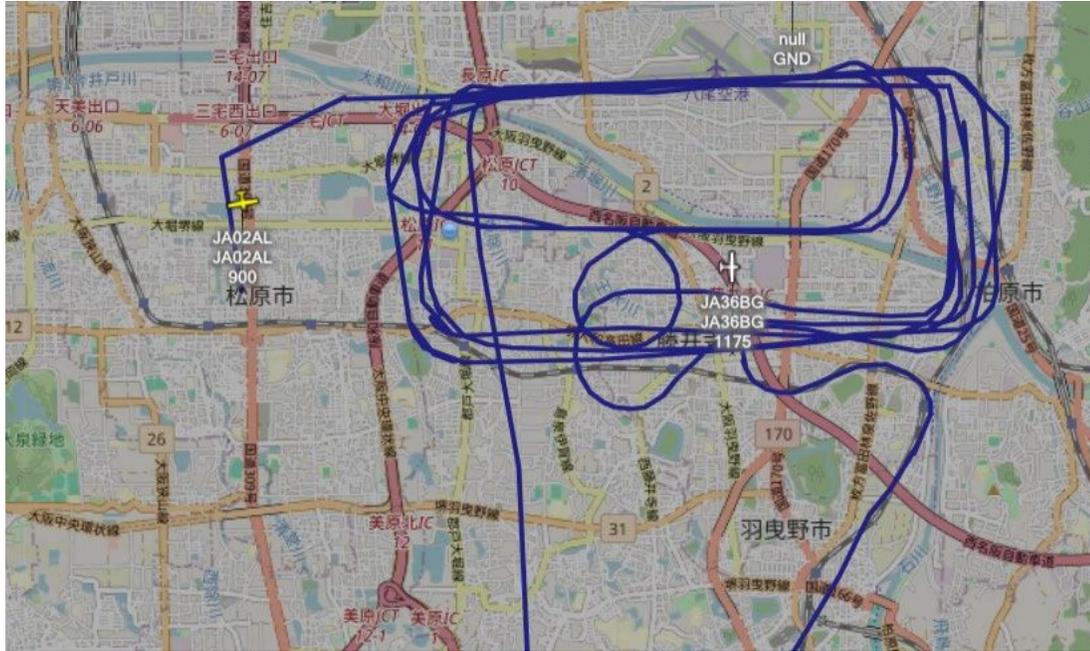


八尾空港
(左手に管制塔)

受信結果例②) 独自設置受信機と商用受信ネットワークの比較

JAXA開発受信機1台での受信結果

民間ADS-B受信サービスの受信結果



※出典) ADS-B Exchange (<https://globe.adsbexchange.com/>)

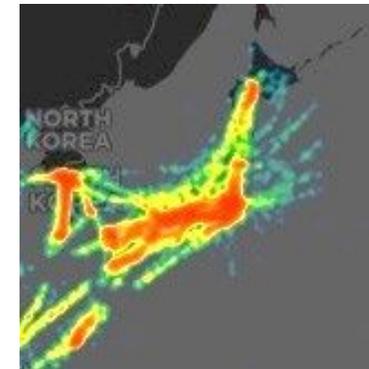


八尾空港に設置したJAXA ADS-B受信機

八尾空港に設置したJAXA ADS-B受信機で受信した情報を、オープンソースのVirtual Radar Server (VRS)で表示したもの。民間ADS-B受信サービスに比べて極低高度（空港滑走路上等）での受信状況が良い。アンテナが1台であるため、上空のカバレッジは民間サービスの方が良好。

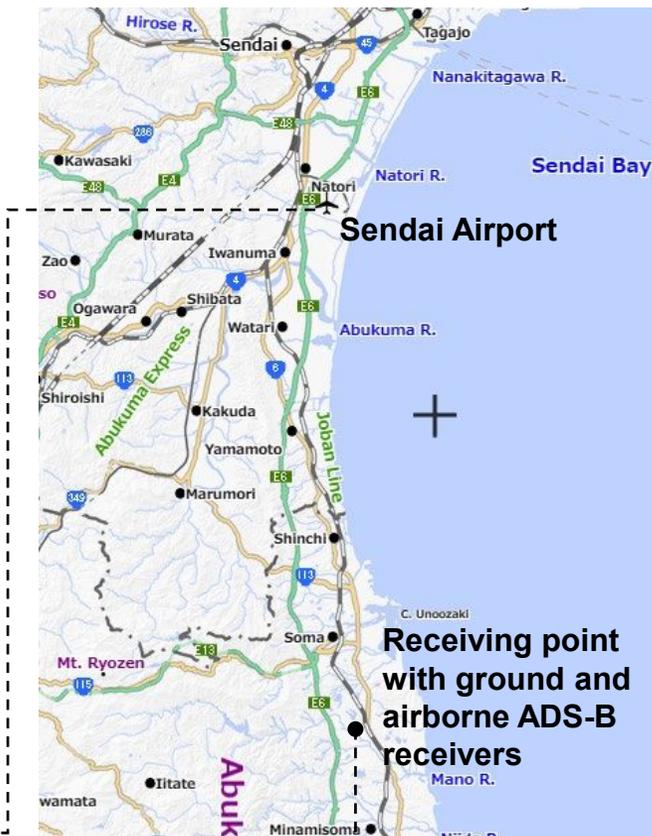
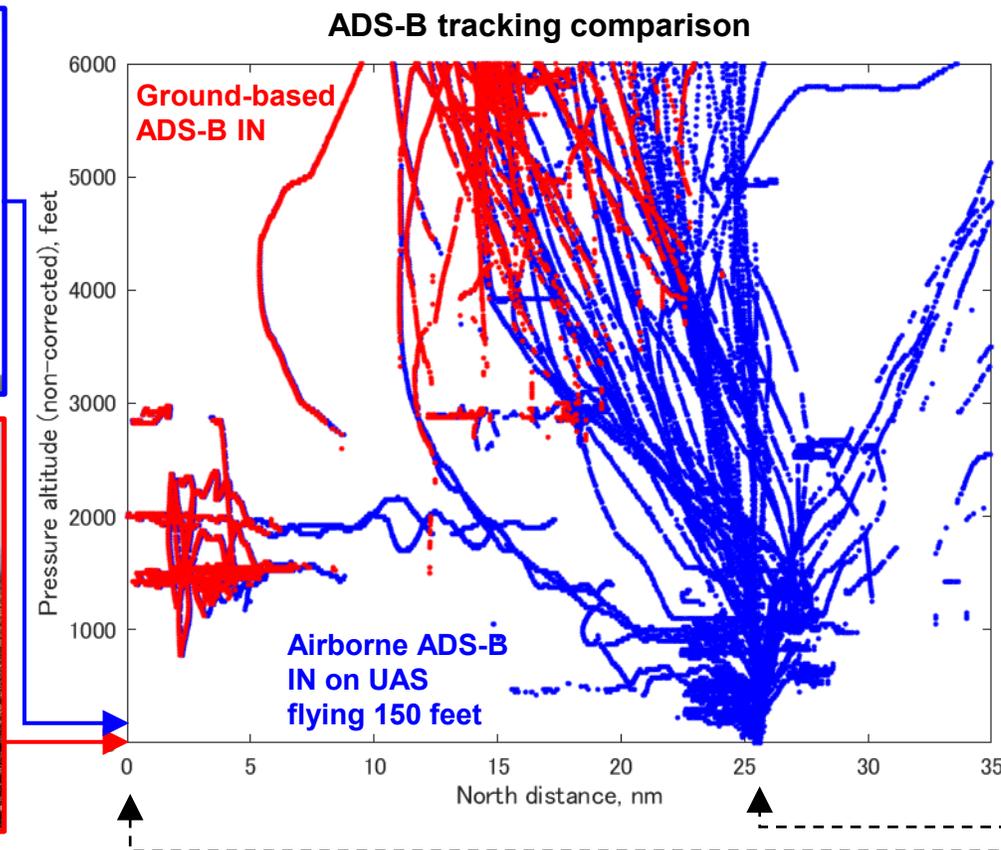


受信機の例
<https://store.adsbexchange.com/products/>



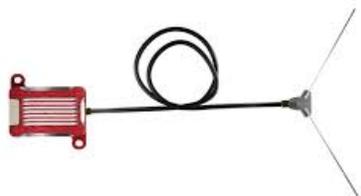
ADS-B Exchangeの日本周辺カバレッジ例同社Webサイトより。飛行密度も影響していることに注意。北日本は受信状況が良くない傾向と思われる。

参考) ドローン搭載ADS-B受信機は地上よりも見通し良好



※出典) Open Street Map

https://uavionix.com/uncrewed-aircraft-systems/pingrx-pro/?srsltid=AfmBOopc3flvuATCAdYB1wk9prTSaD109Z_B_Yr_LASQuqUfS8ASJOTZ



ドローン後付け用ADS-B受信機の例
(上記実験で使用)

<https://jp.robotshop.com/cdn/shop/files/cube-orange-standard-set-image1.webp?v=1720493652&width=750>



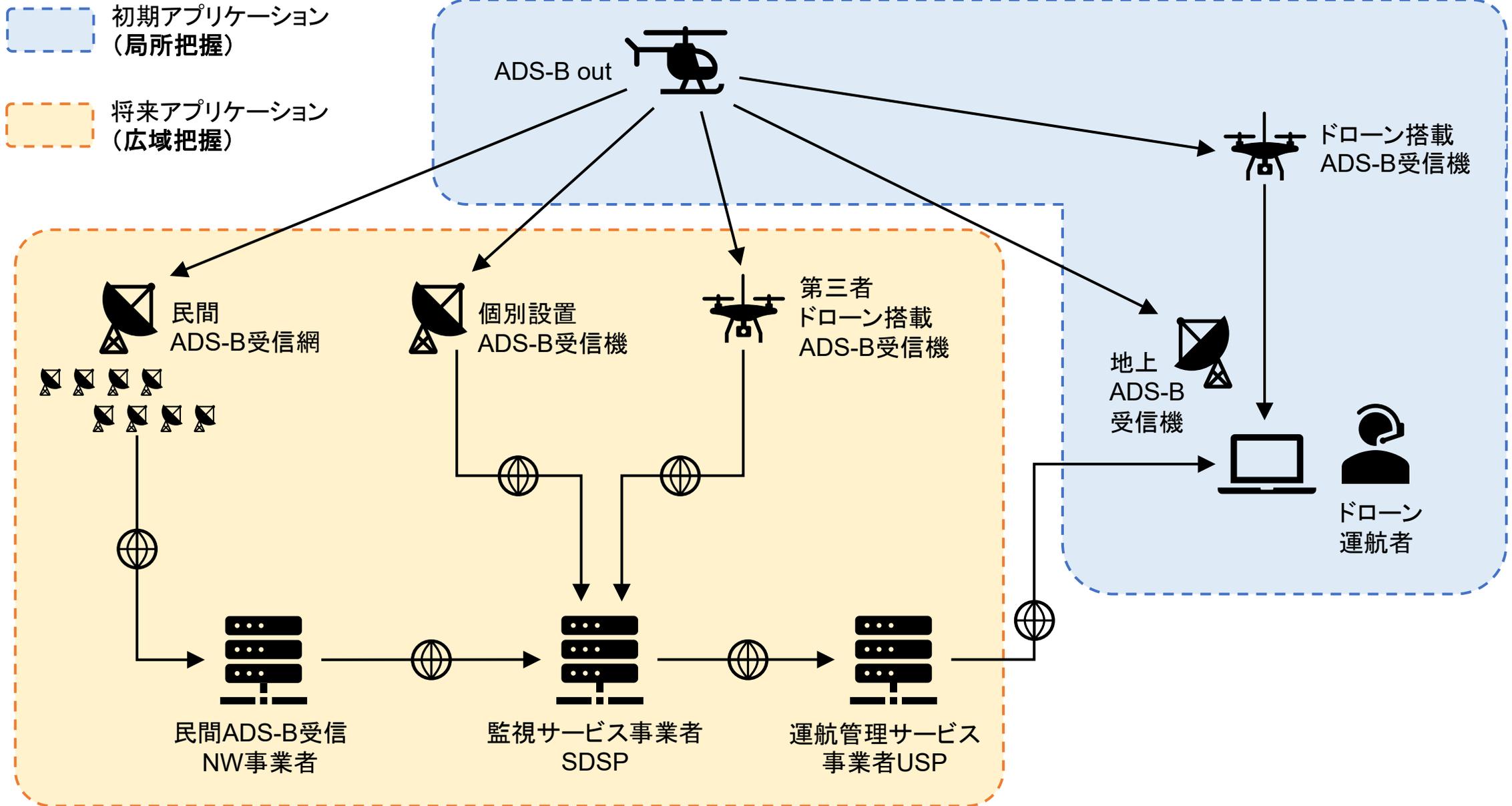
ドローンフライトコントローラ製品に
ADS-B受信機が内蔵されている例



<https://avweb.b-cdn.net/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/plcode116j1tssoct1166184ah236.jpg?width=998&height=494>

受信機はワンチップ化されており、内蔵であれば重量や寸法へのデメリットはほぼ無し

想定ADS-B受信のアーキテクチャ（局所把握から広域把握へ）



- 先行発表より
 - エアリスクの対処には、**飛行前のリスク低減（遭遇率低減）**と、**飛行中の衝突回避の両者が必要**。
 - 万博運航管理でも飛行前の関係者調整と、飛行中の対応の両方によって安全と効率的な運航を実現。
- 本発表では、飛行中の戦術的対策（衝突回避）手段としてのポータブルADS-Bの実装に向けた直近の取り組みを紹介。
 - 有人航空機動態把握手段の候補は多数あるが、JAXAではそのトレードオフ結果から**英国で技術規格化されたポータブルADS-Bを日本環境におけるEC手段の有力候補**と考え、その評価を行ってきた。
 - **民間運航事業者殿の無償協力を得て、事業運航中の運用実証**を実施した。
 - 電波を発する持ち込み品として運用するため、航空局殿と相談し、**HIRF耐性がある航空機で、地上EMC試験他、管制部との入念な調整**を経て**空域を限定して運用実証**を実施。
 - 既存の**民間ADS-B受信ネットワーク**（ADS-B Exchange等）の情報の有効性を確認。
- 短期的には無人航空機運航事業者が受信機を準備するが、将来は監視サービス／運航管理サービス事業者が網羅的な情報を提供するモデルを提案。

参考

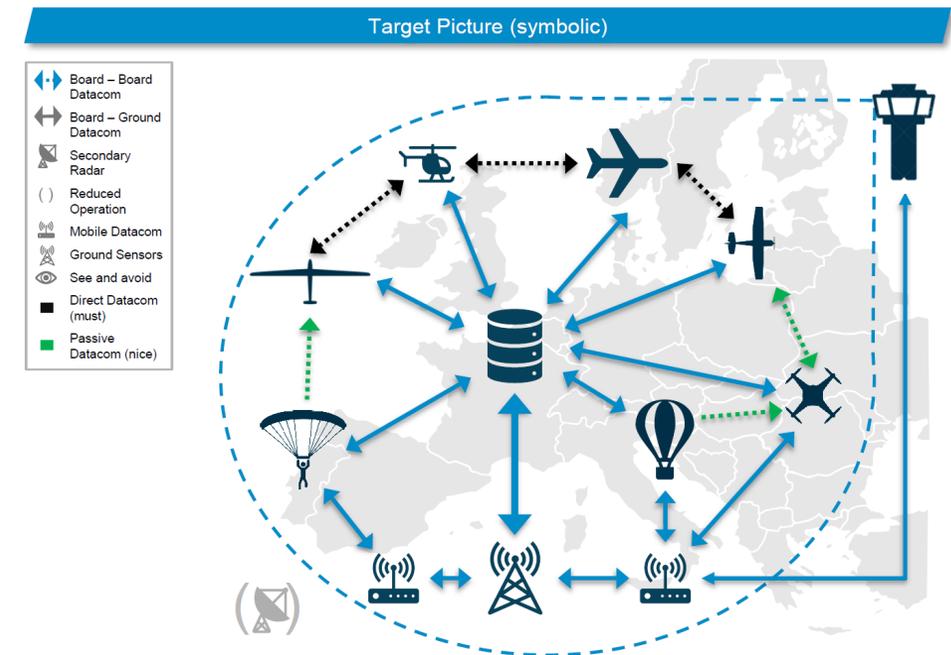
Electronic Conspicuity (EC, 電子視認性) :

- 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.