

情報通信審議会 情報通信技術分科会
電波有効利用委員会 報告（案）

諮問第 30 号

「社会環境の変化に対応した電波有効利用の推進の在り方」のうち
「無線局の免許制度等の在り方」
（空の利用拡大の進展段階に応じた電波利用政策の方向性）について

令和 8 年 4 月

情報通信審議会 情報通信技術分科会
電波有効利用委員会 報告（案）

目次

第1章 はじめに.....	4
第2章 航空分野における新たな飛行形態	5
2.1. 電波上空利用作業班の設置	5
2.2. 無操縦者航空機.....	6
2.3. 空飛ぶクルマ	11
2.4. ドローン（無人航空機）	15
第3章 上空利用の拡大を支える電波上空利用インフラ.....	19
3.1. 基本的考え方	19
3.2. 通信.....	20
3.2.1. 静止衛星	22
3.2.2. 低軌道周回衛星	23
3.2.3. 高高度プラットフォーム（HAPS）、衛星ダイレクト通信	24
3.2.4. 携帯電話	25
3.2.5. 地对空直接通信	26
3.3. 航法.....	26
3.3.1. GNSS.....	26
3.3.2. VOR/DME、TACAN	27
3.3.3. ILS.....	27
3.3.4. ドローンの航法	28
3.4. 監視、電子的視認性	28
3.4.1. PSR/SSR.....	29
3.4.2. ASDE、MLAT、WAM	29
3.4.3. ADS-B、電子的視認性、非協調型回避技術.....	29
3.5. 研究開発中の技術	31
3.5.1. 無線中継技術	31
3.5.2. 無線測位技術	32
3.5.3. 運航管理技術	33
第4章 国際動向と国際調和	34
4.1. 国際機関等における標準化の動向	36
4.1.1. 諸外国における上空での電波利用に関する主な考え方	36
4.1.2. ICAO における RPAS 向けの制御通信やその他システムの標準化動向	37

4.1.3. ICAO 以外の標準化機関における RPAS 向けの制御用通信（C 帯）に関する標準化動向	38
4.2. 諸外国における制度化動向	41
4.2.1. 米国における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向	42
4.2.2. 欧州における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向	46
4.2.3. 英国における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向	48
4.2.4. 中国における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向	51
4.3. 要素技術の研究開発動向	52
第5章 電波上空利用インフラの実現に向けた視点	55
第6章 実現に向けた環境整備	58
6.1. 通信・監視に関する新たなシステム	58
6.1.1. 上空での Ku 帯ブロードバンド衛星通信利用	58
6.1.2. 衛星ダイレクト通信、HAPS による端末の上空利用	60
6.1.3. 地対空直接通信	61
6.1.4. 携帯電話網の圏外地域での対応	63
6.1.5. 通信品質	64
6.1.6. 監視、電子的視認性	67
6.2. 手続・運用面における制度整備等	70
6.2.1. 海外展開・海外製品利用の簡素化	70
6.2.2. 無線従事者資格・人材育成	70
6.2.3. 制度に関するその他の要望等	72
6.3. 研究開発	74
6.4. 標準化等	75
6.4.1. 標準化	75
6.4.2. 国際動向	77
6.5. その他	78
第7章 ロードマップ	80

第1章 はじめに

航空分野において、空飛ぶクルマ（AAM：Advanced Air Mobility）や無操縦者航空機等、従来の航空機の枠に収まらない新たな飛行形態が出現しつつある。これらの新たな飛行形態は交通手段や物流の概念を根本から変革する可能性を有しており、その技術が新たな社会インフラの一翼を担うことが期待されている。これらの新しい飛行形態においては、機体から地上への飛行データの伝送が従来機より増加することや遠隔操縦の実施など、通信をはじめとする電波利用技術の役割の重要性が増しており、その安全かつ効率的な運用には、リアルタイムで高信頼な通信が不可欠である。

また、様々な分野で利用されているドローンについては、その利用範囲の拡大に伴い、飛行の長距離化・機体の大容量化等、飛行範囲の拡大を含む用途の拡大につながる開発が進められている。航空機に要求される安全基準及び運航精度とドローンに要求されるそれらは異なるものであるが、ドローンにおいても、用途と許容可能なコストに応じて、従来よりも低遅延で高信頼な通信手段を必要とする場面が増加するものと考えられる。

これらと時を同じくして、衛星コンステレーションや HAPS（High Altitude Platform Station：高高度プラットフォーム）といった航空分野で利用可能な新たな通信手段が出現しつつある。衛星コンステレーションは、地球を周回する多数の衛星によって構成されるネットワーク、HAPS は成層圏に展開される無人航空機や気球によって構成されるネットワークであり、これらの活用によりこれまで通信の利用が困難であった広大な地域で、高速かつ信頼性の高い通信を提供することが可能となる。また、通信以外にも監視・電子的視認性の分野で、より高度な位置把握や安全な飛行を実現するための新たなシステムが提案されている。

本作業班では、空飛ぶクルマについて空の移動革命に向けた官民協議会¹²（事務局：経済産業省製造産業局及び国土交通省航空局）のロードマップで示された2020年代後半（導入初期）、2030年代（成長期）、2040年代（成熟期）の各段階及びドローンに関する検討状況を踏まえて、新たな空の利用の進展を予測し、付随する課題を整理した上で、これらの技術革新を支える通信インフラの整備や、電波利用に関連する施策の検討を行った。本報告が安全で快適な未来の空の社会の実現に貢献するとともに、我が国における新たなイノベーションやビジネスの創出及び関連産業の発展に寄与することを期待するものである。

¹ 経済産業省 空の移動革命に向けた官民協議会：

https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/air_mobility/index.html

² 国土交通省 空の移動革命に向けた官民協議会：https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk2_000007.html

第2章 航空分野における新たな飛行形態

2.1. 電波上空利用作業班の設置

近年、航空分野では無操縦者航空機や空飛ぶクルマの実現に向けた検討が進み、航空機の遠隔操縦の実現やドローンの飛行範囲の拡大といった新たな飛行形態が出現しつつある。

また、新たな飛行形態の出現と時を同じくして、通信技術においても、衛星コンステレーション等のNTN（非地上系ネットワーク）を中心に、航空分野で利用可能な新たな通信手段が登場しつつある。

これを受け、電波有効利用委員会は、令和7年諮問第30号「社会環境の変化に対応した電波有効利用の推進の在り方」のうち「無線局の免許制度等の在り方」に基づき、令和7年10月、航空分野における電波の利用拡大を見据えた今後の電波利用政策の在り方及び航空分野の電波利用に関し優先して対応すべき政策課題について、専門的な見地から具体的なかつ集中的な検討を行うため、委員会の下に電波上空利用作業班を設置した。

(1) 第1回作業班（令和7年10月21日）

電波の上空利用をめぐる近年の動向や空飛ぶクルマの社会実装に関する取組について紹介するとともに、無操縦者航空機事業者の取組についてヒアリングを実施した。

(2) 第2回作業班（令和7年11月18日）

無操縦者航空機事業者及び通信事業者の取組についてヒアリングを実施した。

(3) 第3回作業班（令和7年12月16日）

ドローン事業者へヒアリングを実施するとともに、意見募集の結果について紹介した。

(4) 第4回作業班（令和8年1月20日）

研究開発機関へのヒアリング及び国際動向に関する検討を実施した。

(5) 第5回作業班（令和8年2月17日）

報告骨子(案)及びロードマップ(案)について検討した。

(6) 第6回作業班（令和8年3月17日）

報告(案)について検討した。

2.2. 無操縦者航空機

航空法上、「航空機」、「無操縦者航空機」、「無人航空機」の異なる用語が存在する。

航空機は人が乗って航空の用に供することができるものとされ、このうち、操縦者が搭乗せずに飛行可能な装置を有する航空機は「無操縦者航空機」とされる。

なお本報告では、無人航空機と無操縦者航空機のどちらを指すかが不明確な場合及び双方を指す場合は「無人機」と、無操縦者航空機を除く航空機を指す場合は「有人航空機」と記載している。



図1 無操縦者航空機³

国内重工業メーカーは、無操縦者航空機の初期のユースケースを山間地や無人地帯での物資輸送に設定し、飛行実証を通じた開発を進めている。

作業班において当該メーカーから、我が国は国土の約7割が山間地であることから、高度経済成長期に建設された鉄塔の改修に伴う物資輸送ニーズを見込んでいるとの説明があった。具体的な取組として、2021年度から長野県伊那市による「無人VTOL機物資輸送プラットフォーム構築事業」に参画し、山小屋への物資輸送のデモンストレーションを実施した事例が紹介された。

また、災害発生時の災害支援・復旧工事に向けたニーズとして、陸路が寸断された孤立集落への物資供給が挙げられ、孤立地域への物資輸送のデモンストレーションを実施した事例についても紹介された。

³ 出典：電波上空利用作業班（第2回）資料1-8

K-RACER 民間運用構想

- 山間地（無人地帯）での物資輸送を初期のユースケースとし、飛行実証を通して開発を推進中
- 2021年度から長野県伊那市殿の「無人VTOL機 物資輸送プラットフォーム構築事業」に参画
- 平時での定常的な物資輸送に加え、災害時には支援物資輸送へ活用できるよう関連団体と連携して対応準備中



図 2 民間運用構想⁴

また、別の国内重工業メーカーでは、民間用途向けに「中型無人機」と呼称する無操縦者航空機の機体を開発している。この機体はマルチコプター方式であり、物資輸送を主要目的とするものであって、人が搭乗することは想定していない。パワーユニットはハイブリッド方式であり、エンジンで発電しバッテリーを搭載してモーターで駆動する。ハイブリッド方式の採用は、200 キログラムのペイロード重量⁵と長距離飛行の実現を目的としたものである。

この機体はトラック等での運搬が可能であり、複数機を用いた重量物の運搬も想定している。荷物の積載方法として、吊下げによる方法、機体下スキッド間に搭載する方法、ウィンチによる自動リリース機構による方法を想定しており、様々なユースケースに対応する機能を追加している。現在は実証試験を行っているとの説明があった。

ハイブリッド方式を採用した機体は令和 7 年 4 月に初飛行を行った。先行してバッテリー駆動方式の機体を製造し、自動荷卸及びアームの折り畳みによる可搬性実証を行った。また、重量物輸送の実証や走行中のトレーラーへの自動着陸及び自動離陸の実証を実施している。

⁴ 出典：電波上空利用作業班（第 1 回）資料 1-8

⁵ 機体本体の重量を除いた搭載可能な重量

この社からは、ユースケースとして図 3 の通り災害時の物資輸送や山間部での工事資材運搬、物流網の支線物流としての利用が示された。同社は、トラックでの輸送が困難又は船舶での輸送が必要となるような地域への物資輸送を想定している。

想定ユースケース



- ◆ 小型ドローンに比べて、桁違いの重量物輸送
- ◆ ヘリに比べて、低コストで高頻度の輸送
- ◆ 半島や山越えなど、トラックで時間がかかるルートを経由せずに短時間で輸送



図 3 無操縦者航空機の想定ユースケース

国内航空会社は、機体メーカーと提携し、無操縦者航空機の日本社会への実装に向けた検討を進めている。

この航空会社は、無操縦者航空機の導入に際してニーズの特定、制度設計の促進、社会受容性の向上といった課題が存在すると認識し、これらの課題検討を加速すべく、地域連携を強化している。地方自治体と連携協定を締結し、実証飛行を通じた課題の抽出や社会受容性向上の取組を進めているところである。

国際民間航空に関する国際標準及び勧告方式（SARPs：Standards and Recommended Practices）を定める国際連合の専門機関である ICAO（International Civil Aviation Organization：国際民間航空機関）では、無操縦者航空機による計器飛行方式（IFR⁶）による運航の国際標準及び勧告方式について検討が進められている。国土交通省では、ICAO

⁶ 管制機関に承認された飛行計画にしたがうとともに常時管制機関の指示にしたがって飛行する方式。一般に IFR (instrument flight rules) と呼ばれる。

での検討も踏まえつつ、無人地帯を有視界飛行方式（VFR⁷）で運航する最大離陸重量 1 トン程度までの人の搭乗を想定しない無操縦者航空機の実現について、空の移動革命に向けた官民協議会にタスクフォースを設置して検討を進めている。このタスクフォースを通じて、商用運航のための手続きとして、耐空証明取得の際に、開発機による実証飛行を試験飛行等の許可で可能にする検討や、リスクベース要件での耐空証明取得に向けた制度整備を目指して検討が進められている。

また別の社からは、開発中の無操縦者航空機で使用する、機体動態情報、機体周辺映像や機体制御コマンドを伝送するための通信システムの例が紹介された（図 4）。この例では、携帯電話網と衛星通信を使用し、機体と地上側（GCS : Ground Control Station）と通信することで見通し圏外での遠隔操縦飛行を行っている。見通し圏内、すなわち潜在的に居住圏のような有人空間となる可能性が高い場所では近距離通信を併せて使用することで、更に冗長性を高めている。

K-RACERの通信方法

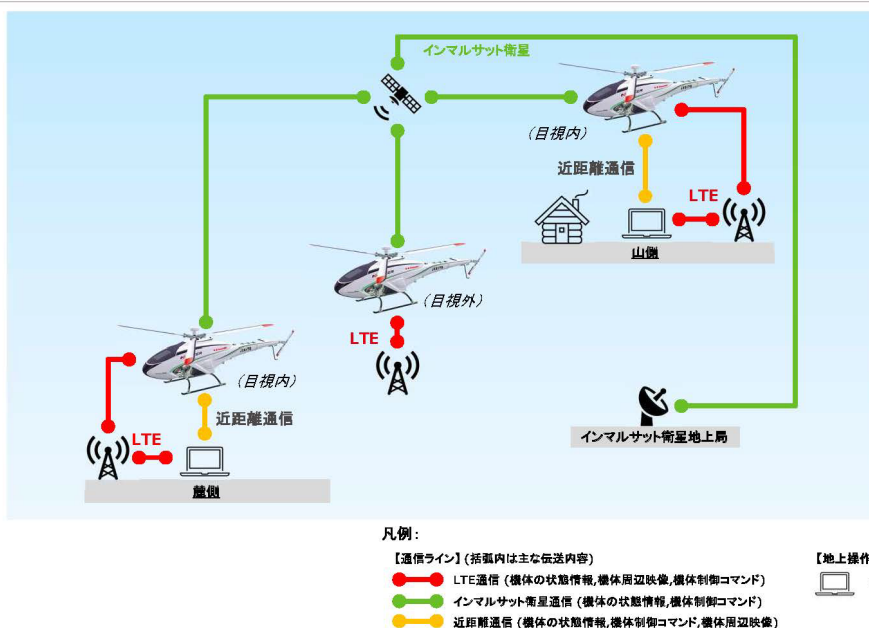


図 4 民間運用構想⁸

ある社は、携帯電話網の整備されていない地域及び災害時での運用において、現在は衛星通信サービスを使用している。この社からは、目視外飛行（操縦者から目の届かない範

⁷ 計器飛行方式以外の飛行の方式。一般に VFR(visual flight rules)と呼ばれる。

⁸ 出典：川崎重工業株式会社

囲での飛行) や高解像度動画伝送のため、より高速かつ低遅延・大容量の通信が必要であるとの意見が述べられた。

また別の社から、無操縦者航空機に求められる通信の特徴として、無操縦者航空機は操縦者が搭乗しないため、操縦者搭乗機の場合と比べて、新たに多様な通信が必要である点が指摘された(図5)。この社からは、今後、実用化の段階では、運航者、管制を含むサービスプロバイダー、離着陸場オペレーターとの間で、操縦者搭乗機の場合と比較して異なる形態での通信が発生し、運航を支えるとの想定が示された。

無操縦者航空機の運航に必要な通信機能(Wisk Aero社の例)

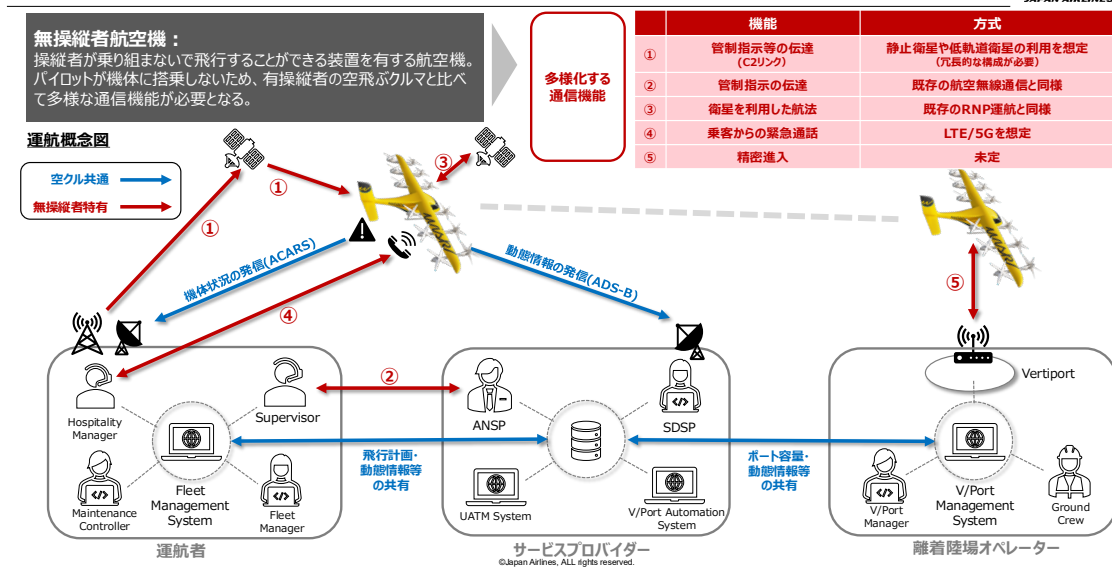


図5 無操縦者航空機の運航に必要な通信機能⁹

作業班では、衛星通信を活用して静止衛星と低軌道衛星の組合せで冗長的な構成を作り、操縦者と管制官との間の通信を伝達する構成例が紹介された。また、ある社からは、衛星を活用した精度の高い航法や、乗客の緊急時のコミュニケーション手段の確保の必要性が指摘され、後者についてはLTE/5Gを想定した通信が例に挙げられた。この社からは、地上からの電波を利用して精密進入を行うような、無操縦者航空機の特性に合わせたシステムの登場が想定されるとの見解も示された。

別の社からは、今後の通信方式の可能性として、低軌道衛星やHAPSによる低遅延通信の利用を期待する意見が述べられた。また、ある研究開発機関からは、機体間での通信も研究・一部運用されており、近距離での別機体との通信利用が検討されている旨が紹介された。

⁹ 出典：電波上空利用作業班（第2回）資料2-1

2.3. 空飛ぶクルマ

空飛ぶクルマは航空機に分類され、主として、電力を利用して垂直方向に離着陸するeVTOLを指す用語である。都市部での送迎、山間部や離島での移動手段、災害時の救急搬送などでの活用が期待されており、各国で開発が進行中である。

我が国では、空の移動革命に向けた官民協議会において、令和6年に空飛ぶクルマの運用概念（ConOps: Concept of Operations）第1版改訂Aを作成、令和8年に第2版を作成し、業界関係者に情報を提供し認識の共有を図っている。

令和7年8月に開催された空の移動革命に向けた官民協議会第11回会合において、空飛ぶクルマの「大阪・関西万博後の社会実装の実現イメージ」が示された。「2027年/2028年以降から一部先行する地域で商用運航がスタートし、その後、運航頻度の向上により導入地域が徐々に拡大、事業規模拡大による経済性の向上等により広域的なネットワークが形成されるという流れを想定」とされ、また、年代ごとの実用化の進展イメージも示されている。

2020年代後半：商用運航が一部先行する地域で開始

2030年代前半：運航頻度が高まり、導入地域が徐々に拡大

2030年代後半：運航頻度は更に高まり、より多くの人の日常的な移動手段として定着

2040年代：日常生活における自由な空の移動が当たり前の社会を実現

「空の移動革命に向けた官民協議会」第11回会合 資料2 大阪・関西万博後の社会実装の実現イメージについて（案）」で示された想定は以下のとおりである。

大都市圏においては、2020年代後半には大阪・関西万博終了後、2地点間運航が限定的に開始されることが想定される。また、遊覧飛行も限定的に開始され、空港アクセスに向けた取組として運用検証が進むと考えられる。

2030年代前半には、新たなバーティポートの整備により都市間運航が徐々に拡大し、遊覧飛行も拡大する。空港アクセスが一部で開始されると予想される。

2030年代後半には、大都市圏でより広範なネットワーク形成が進む。遊覧飛行や空港アクセスも拡大し定着することが想定される。

地方部においては、2020年代後半に一部で遊覧飛行や貨物輸送の実証が開始され、特に景勝地を一望する遊覧飛行が行われる。2030年代前半には観光地と空港とのアクセスや貨物輸送が開始され、2030年代後半には観光利用が定着し地域内運航が開始される。2040年代には自由な空の移動が当たり前となる社会実装が実現されると期待される。

また、公共的な利用として、2030年代前半から有人航空機における救急医療や災害対応など公的目的での導入が進む。具体的にはドクターヘリの補完として空飛ぶクルマの活用が期待される。

空飛ぶクルマはヘリコプターと比較し、電動推進である点、複数のプロペラを有し、機体重量が軽く低騒音である点が特徴として挙げられる。これにより、空飛ぶクルマの離着陸地点の多様化と静音性の向上が実現され、ヘリコプターの代替手段となり得る。更に、

パーティポートの設置・運営、不動産、保険、観光等の新たなビジネスの創出により、産業振興及び経済発展が期待される。また、機体開発や量産化に伴う経済効果も見込まれる。

また、経済産業省は、ReAMo（Realization of Advanced Air Mobility）プロジェクトを推進し、次世代空モビリティ（空飛ぶクルマ、ドローン）の実現に必要な性能評価手法及び運航管理技術の開発等を進めている。

ReAMo プロジェクトにおいては、空飛ぶクルマの機体から周囲に位置情報等を送信するADS-B（Automatic Dependent Surveillance – Broadcast：放送型自動位置情報伝送・監視）を利用した位置情報の提供等により、空飛ぶクルマとドローンが同一会場内で運航するための運航管理システムについて、大阪・関西万博で実証を行った。



万博における運航管理システム実証（ReAMoプロジェクト）

- 新たなエアモビリティドローンや空飛ぶクルマと既存の航空機との間での安全で効率的な運航を実現するため、ReAMoプロジェクトにおいて運航管理システム（UTM・UATM）を開発中。
- 万博では、**空飛ぶクルマとドローンが同じ会場内で運航するための運航管理システムを試験提供した。**

空飛ぶクルマ・ドローンの飛行空間の棲み分け

ドローンの飛行を不可とする空間（ジオフェンス）、ドローンの飛行が計画されている空間（ジオケージ）を設定。

リアルタイム位置情報提供（動態管理）

ドローンの識別情報と位置情報を発信するリモートIDと、空飛ぶクルマに搭載される位置情報システムADS-Bの信号を、万博会場に設置した低高度用受信機によって受信。接近等を把握することでドローン・空飛ぶクルマの安全運航に役立てる。



<https://drone-journal.impress.co.jp/docs/news/1187751.html>

図6 ReAMoプロジェクトにおける大阪・関西万博での実証¹⁰

国土交通省航空局は、大阪・関西万博での空飛ぶクルマの飛行・運航の実現を目指し、2023年度末までに制度整備を、2024年度末までに交通管理体制の整備を行った。

¹⁰ 出典：電波上空利用作業班（第1回）資料1-6

- 「無人航空機」は構造上人が乗ることのできないものと規定。
- 「無操縦者航空機」は人が乗って航空の用に供することができる能力を有するものとして、「航空機」に分類される。



図 7 無人航空機と無操縦者航空機の範囲¹¹

現在、国内外で空飛ぶクルマの開発が進められている。作業班では、米国の機体メーカーから、将来のビジネス構想、機体の開発状況、大阪・関西万博における実証、使用する無線システム等について紹介された。

空飛ぶクルマに搭載される無線システムは、機体の型式証明取得前の試験飛行における利用と、将来の商用運航における利用に大別される。大阪・関西万博における試験飛行では、型式証明取得前の試験機を使用することとし、試験機の無線局については実験試験局として4波を取得し、リアルタイムで機体の状態を地上のGCSにおいてモニタリングを行った。

機体には、標準的な航空無線機器を搭載したうえで、モニタリング等の通信において、冗長性を確保した高速無線データリンクを使用した旨の説明がなされた。なお、米国における空飛ぶクルマの試験飛行では、衛星通信サービスを用いた試みも行われている旨が紹介された。

¹¹ 出典：電波上空利用作業班（第1回）資料1-5



図 8 空飛ぶクルマ¹²

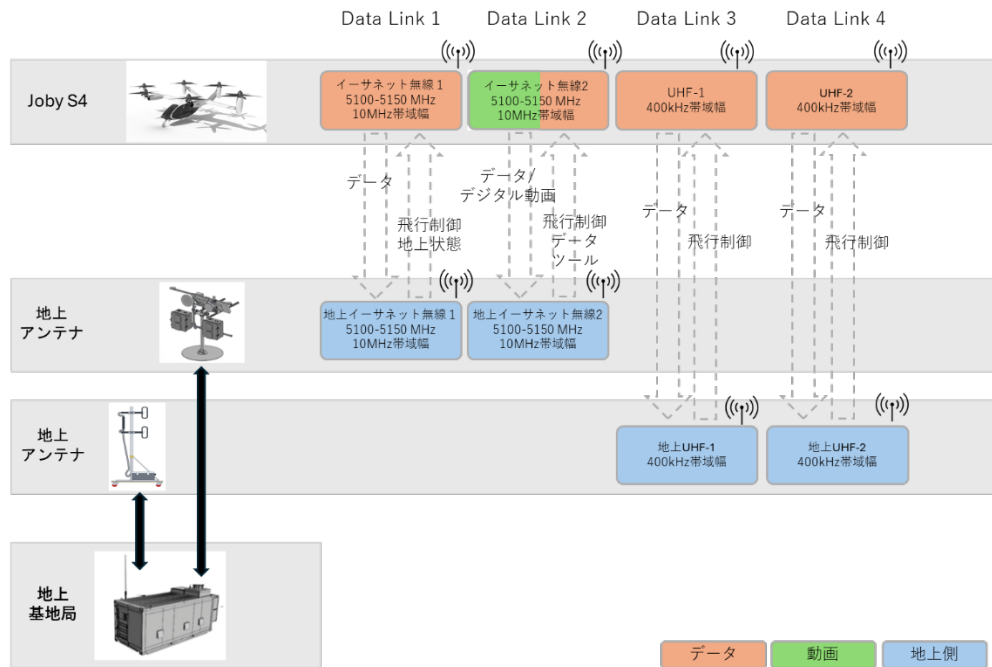


図 9 試験飛行で活用する無線リンク¹³

この機体メーカーは、空飛ぶクルマの商用運航において当面は、パイロットが搭乗しての操縦を想定しているが、搭載される無線設備については、標準的な航空機に搭載される無線機器（電波高度計、ATC トランスポンダ、VHF、GPS（Global Positioning System）受信機など）の使用を想定している。また、安全性にかかわる無線リンクとして、パイロットだけでは監視しきれない、それらの無線設備の機器の重要なデータを、地上からリアルタイムで監視する AMT（航空機モバイルテレメトリー）や、機体から地上に送られる映像のデータ、パイロットと地上との音声通信を想定している。また、旅客向けインターネットサービスの提供も想定している旨が紹介された。

¹² 出典：電波上空利用作業班（第1回）資料 1-7 より抜粋

¹³ 出典：Joby Aviation

この社からは、将来の遠隔操縦について、安全性に関わる無線リンクとして、冗長性、低遅延性、高リフレッシュレートをもつ C2 (Command and Control: 制御用) リンク、AMT、地上パイロット用の高解像度ライブ映像に加えて、バックアップ映像、地上パイロットの音声通信用リンクが必要との見解が示され、これらを携帯電話網と衛星通信を組み合わせて実現することを構想している旨が紹介された。

2.4. ドローン (無人航空機)

ドローンとは、一般に「無人航空機」を指す。航空法上の定義では、「無人航空機」とは「航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船であって、構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの (その重量その他の事由を勘案してその飛行により航空機の航行の安全並びに地上及び水上の人及び物件の安全が損なわれるおそれがないものとして国土交通省令で定めるものを除く。)」とされ、国土交通省令で 100 グラム未満のものを除くとされている。ドローンの長距離化・大型化に向けて国内でも機体開発や飛行実証が進められている。



図 10 ドローンの例¹⁴

あるドローン事業者は最大 250 キロメートルを飛行可能な大型 VTOL (垂直離着陸機) の開発を進めている。この VTOL ドローンは固定翼機でありながら、複数のプロペラを使用して垂直に離着陸できる。これにより、滑走路不要でどこからでも飛び立てる利便性と、固定翼機の長距離飛行能力を併せ持つ。現行モデルは電動・自動飛行で最大 70 キロメートルの飛行が可能である。

別のドローン事業者は、物流を主とした機体開発を行い、物流関連の実証実験を実施した。この機体は最大ペイロード 5.5 キログラムで 40 キロメートルの飛行が可能である。国

¹⁴ 出典：電波上空利用作業班 (第 1 回) 資料 1-4 より抜粋

土交通省に対して第一種型式認証を申請中であり、機体の量産を開始している。この事業者は米国市場でも小型機の展開を進めている。

ユースケースとして、自治体や中央省庁、インフラ企業などを主な利用者とした例が挙げられた。愛媛県宇和島市では、VTOL を導入して災害時の被害状況把握や固定資産台帳の整備に利用された。また、国土交通省九州地方整備局や福岡県県土整備部でも河川管理や災害時の状況把握で VTOL が活用されている。ローカル鉄道路線の点検効率化・自動化や、ドローン物流に向けた取組が進んでおり、2026 年後半の実用化を目指しているとされた。

将来的な社会インフラとして、ドローンポートの設置が提案され、通信事業者によって全国約 1000 箇所へのドローンポート設置が計画されている。これにより、平時・有事を問わずドローンを活用した社会課題の解決が提案されている。具体的ユースケースとして、平時においては海岸線パトロールや夜間警備、有事においては被災状況の確認や捜索活動が想定されており、既に石川県では常設のドローンポートを設置し、実証実験が進められている。

ドローンポート展開により多様に広がるユースケース

平時においてパトロールや夜間警備等のサービスを提供。有事においては、配備したドローンにより災害状況の一次確認や捜索活動を迅速化



図 11 ドローンポートユースケース¹⁵

ドローンでは様々な電波利用システムが使用されている。ドローンは主に GPS をはじめとする GNSS (Global Navigation Satellite System : 全球測位衛星システム) で自機の緯度・経度、高度といった位置情報を把握し、加速度計とジャイロ스코プを組み合わせた IMU (慣性計測装置) により姿勢・位置の変化を把握することで、安定した飛行を可能と

¹⁵ 出典：電波上空利用作業班 (第 2 回) 資料 2-4

している。また、操縦者からの操作、バッテリー残量などの機体の状態、搭載されるカメラ・LIDAR¹⁶などから得られる情報は 2.4GHz 帯/5.2GHz 帯の無線 LAN、携帯電話、ラジコン操縦用微弱無線などを通じて伝送されている。使用する電波の種類により免許や届出、技術基準適合証明等が必要となる。

これらのドローンが目視外飛行する場合、航空法において遠隔でカメラ映像等で機体の外の様子を監視できることや地上においてドローンの位置及び異常の有無を把握できることが求められているほか、設定した立入管理区画に人が立ち入らないことを確認するために機体に取り付けられたカメラを使用する例もあり、これらのための通信回線が必要¹⁷となる。作業班で示された例では 2.4GHz 帯無線 LAN と LTE の上空利用を組み合わせた目視外飛行を基本としており、飛行中は操縦・状況確認のため、リアルタイムで FPV（一人称視点）カメラ映像を LTE や無線 LAN を通じて確認できる。また、操縦用とは別にペイロードとして用途に合わせた各種カメラやセンサーを搭載可能であり、このための通信も必要とされる。

ある事業者からは、ドローンの飛行距離は飛躍的に伸びており、それに伴い通信の課題が顕在化していることが述べられた。また、過去には LTE の上空利用が認められたことにより、長距離飛行の展望が広がったことから、更に、低軌道衛星等の衛星通信の活用が進めば、国土の多くを山間部が占めるという特徴を持つ我が国でのドローン活用の幅が広がると考えられるとの見解が述べられた。

また、同事業者から、LTE の上空利用において顕在化した課題の具体的事例として、兵庫県豊岡市での実証実験において、LTE 通信範囲の外では遠隔操縦ができないためドローンを飛行させることができず、LTE 通信範囲内で物流ドローンの飛行経路を計画する必要が生じ、コストやリスク増に影響を及ぼした事例が示された。また、衛星通信の活用がこれらの課題を解決する可能性があり、設計・検討が進められており、災害時のような LTE が不安定な状況でも、衛星通信が安定した通信を提供できれば、被災状況の調査に大きく貢献するとの意見が述べられた。

別の事業者からは、目視外飛行を行う VTOL の運用において、安全運航のためには通信の冗長化が必要だとの意見が述べられ、LTE のカバレッジが弱い地域では低軌道衛星等の衛星通信を活用して通信の冗長性を高める構想が示された。

¹⁶ Light Detection And Ranging。レーザー光の反射情報により対象までの距離や対象物の形を測定する技術

¹⁷ 国土交通省「無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール」

https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html

衛星通信により最短距離で配達を行う事ができ、配達範囲の拡大と運用コスト削減に大きく貢献

- 日本郵便様と弊社で令和6年度に実施した実証実験は、実質的にLTEの圏内を選んで選定している
 - ルート選定にあたっては、事前にドローンの目視内飛行で飛行しLTEの上空電波状況の実測している
 - 安全確保のため機上のカメラ映像による監視が法律要件であり、映像伝送が可能な高速伝送が必要
- ⇒低軌道衛星コンステレーション衛星通信による高速で安定した通信があれば、最短距離で飛行が可能。
事前の電波調査も不要となりドローン物流のコストを飛躍的に下げることが可能

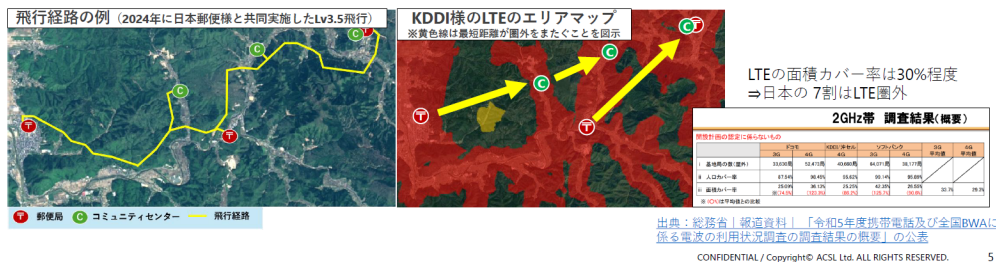


図 12 ドローン物流ユースケース¹⁸

また、別の事業者からは、今後、目視外飛行が広がりを見せることが想定され、更に、操縦者一人で複数の機体を同時に運航する多数機同時運航、他のドローンや空飛ぶクルマと連携した運航管理も視野に ReAMo プロジェクトで検討が進められている中で、通信の側面では、携帯電話網による通信範囲の限界や輻輳を補うため、低軌道衛星等の NTN の活用が提案された。

今後、ドローン市場においても国内に加え海外でも販売できる能力・規模を有するメーカーが残っていくことが想定され、海外市場への出荷を前提とした製造時の電波発射に必要な無線局免許手続きの緩和を求める意見が述べられた。特に、国によって使用できる無線システムや諸元（周波数・出力）が異なるため、海外向け仕様の製品を国内で試験する際に、国内で認められていないシステムの場合は実験試験局の免許取得に時間を要するなどの課題があるとの意見が示された。また、我が国では令和4年12月に目視外・補助者なし飛行（BVLOS）制度が導入されて世界的にも先進的な制度となっており、国内で得られた知見をもとに海外に先進的な製品を提供したいとする意見も述べられた。

¹⁸ 出典：電波上空利用作業班（第3回）資料3-4

第3章 上空利用の拡大を支える電波上空利用インフラ

航空分野における電波の利用拡大を見据えた今後の電波利用政策の在り方等の検討を行うに当たり、本章では現行の航空機に使用される無線システムについて紹介する。

3.1. 基本的考え方

航空分野で利用される無線技術は、主に Communication（通信）、Navigation（航法）、Surveillance（監視）の3つの分野に分類される。

Communication（通信）：航空機と地上管制官又は航空機同士の間での情報交換を可能にするもので、パイロットと管制官との間での飛行に関する指示の伝達、状況報告、緊急時の対応などの音声通信を行うものや、ACARS（Aircraft Communications Addressing and Reporting System）などを利用したテキストメッセージのやり取りを行うデータ通信が例として挙げられる。

Navigation（航法）：航空機が安全かつ正確に目的地に到達するために、自機の現在位置、方向、速度等の情報を提供する無線技術である。GPS等の人工衛星を利用して航空機の位置を特定するGNSSが例として挙げられる。

Surveillance（監視）：主として地上の管制や他の航空機が、飛行する航空機の位置、高度、速度、識別番号などをリアルタイムで把握するための無線技術である。航空機の位置情報や高度情報を得る二次レーダーのSSR（Secondary Surveillance Radar、後述）などの例がある。

航空機にはこれらの無線機器が搭載され、操縦者はこれらの無線・通信機器を使用し航空機を操縦する。



図 13 航空機に関連する主な無線システム¹⁹

3.2. 通信

有人航空機における通信は、重要度順に、航空交通業務通信 (ATSC)、運航管理通信 (AOC)、航空会社業務通信 (AAC)、旅客向け通信 (APC) の 4 つに分類される。上位 3 つの通信は ITU (国際電気通信連合) により航空機用に航空移動(R)業務 (AM(R)S) や航空移動衛星(R)業務 (AMS(R)S) として国際分配された以下の周波数帯を使用している。陸上では VHF 通信、洋上では衛星通信が主に利用されている。

HF 通信	2.8-22MHz
VHF 通信	118-137MHz
衛星通信 (管制用)	1.5/1.6GHz 帯

航空交通業務通信においては満たすべき遅延限度 (RCP) が定められ、各国の航空当局の関連機関によって通信品質がモニタリングされている。近年、飛行中の機体からメンテナンスデータを送信する需要が増加しており、特に VHF 帯の周波数利用がひっ迫している。

今後の有人航空機の通信では、航空情報共有基盤 (SWIM) の構築が進められており、航空機に IP アドレスを割り当てて大規模なクラウドネットワークを構成する計画がある。現状の通信速度は VHF 航空通信で数十 kbps、衛星通信でも数百 kbps 程度であり、旅客向け通信の方が高速であるという逆転現象が生じている。新たな動きとして、LTE や 5G、低

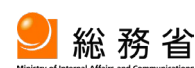
¹⁹ 出典：電波上空利用作業班 (第 1 回) 資料 1-4

軌道衛星通信などの公衆通信を航空通信に利用する HYCON (Hybrid Communication Networks) の規格化が国際的な民間標準化団体 (SAE) で進められている。

無人機への展開における主要な課題として、まず、制御用通信である C2 リンク (CNPC リンク) の重要性が挙げられる。操縦者が搭乗しない航空機においては、地対空通信が機体の耐空性に直結する。有人航空機では通信途絶時に機上の操縦者が対処できるが、無人機ではそれが不可能であり、事故が発生すれば周辺空域を飛行する有人航空機や地上に甚大な被害をもたらす可能性がある。

データ通信に用いられる通信技術としては、主に衛星系、地上系に大別され、以下の技術が導入されてきている。

上空利用可能な通信システム：衛星通信



- 無操縦者航空機、空飛ぶクルマ、ドローン・無人航空機で衛星通信が広く活用
- 利用用途、機器構成に応じ利用者がシステムを選択

システム名称	周波数帯	主な制限	無線設備規則の規定	備考
イリジウム	1618.25-1626.5MHz	PFD制限なし	○第45条の22 (航空機地球局) ○第49条の23 2号 (携帯移動地球局)	
インマルサット	1626.5-1660.5MHz	PFD制限なし	○第45条の20 (航空機地球局) ○第49条の24 (携帯移動地球局)	
Ku帯航空機地球局	14.0-14.5GHz	PFD制限あり 高度制限あり	○第45条の21 (航空機地球局)	・ ITU-R勧告M.1643を参考に検討
ヘリサット	14.0-14.4GHz	PFD制限あり	○第49条の24の3 (携帯移動地球局)	・ ITU-R勧告M.1643を参考に検討
スターリンク	個別：14.0-14.5GHz 包括：14.0-14.4GHz	PFD制限あり	○第49条の23の5 (携帯移動地球局)	・ 欧州での検討結果 (ECC Report 271) を参考に検討 ・ ECC Report 271では、高度3,000m以上であればPFD制限値を守ることが可能と記載
ワンウェブ	14.0-14.5GHz	PFD制限あり	○第49条の23の6 (携帯移動地球局)	・ 欧州での検討結果 (ECC Report 271) を参考に検討
Ka帯ESIM	29.5-30.0GHz	PFD制限なし	○第49条の23の4 (携帯移動地球局)	・ 電波天文との検討を実施し、高度10,000mについて60dBc [*] 、高度1,000mについて80dBcのスプリアス抑圧フィルタを使用すれば共用可能と結論

※dBc：搬送波電力を基準にした電力比

図 14 上空利用可能な通信システム (衛星通信) ²⁰

²⁰ 出典：電波上空利用作業班 (第 1 回) 資料 1-4

上空利用可能な通信システム：携帯電話等

- ドローンは、機体制御や画像伝送等のため電波を利用することが必要。我が国では、ドローンの利用ニーズを踏まえ、2.4GHz帯、5.2GHz帯、5.7GHz帯、携帯電話等をドローンで利用可能な無線システムとして制度化。
- 運用者は、ドローンの利用用途等を勘案し、最適な無線システムを利用。

無線システム名称/無線局種	周波数帯	(参考)※4 伝送速度	(参考)※4 通信距離	無線局免許	特徴、利用用途
ラジコン操縦用 微弱無線	73MHz帯等	5kbps	1km程度	不要	ホビー用途等で手軽に利用可能 産業では農業散布での利用が主体
特定小電力無線局	920MHz帯	～1Mbps	500m程度	不要※1	操縦用として利用
2.4GHz帯無線LAN (小電力データ通信システム)	2.4GHz帯 (2400～2483.5MHz)	～54Mbps	1km程度	不要※1	操縦・画像伝送等の用途で最も普及。 利用者が多いため混雑。
5.2GHz帯無線LAN (5.2GHz帯高出力データ通信システム)	5.2GHz帯	数十Mbps	数百m程度	不要※1※2	主に空撮、インフラ点検、測量等で利用
無人移動体 画像伝送システム	169MHz帯	～数百kbps	5km程度	要	主に空撮、インフラ点検、測量等で利用 (操縦・制御のバックアップ等に使用)
	2.4GHz帯 (2483.5～2494MHz)	～数十Mbps	10km程度	要	主に空撮、インフラ点検、測量等で利用
	5.7GHz帯	数十Mbps	5km程度	要	主に空撮、インフラ点検、測量等で利用
携帯電話 (4G/5G)	800MHz帯 等	数十Mbps	携帯電話の エリア内	※3	見通し外通信や遠隔運用が可能であり、 インフラ点検、物流、映像配信等で利用。 ただし、携帯電話のエリア外では利用不可。
ローカル5G	4.7GHz帯 28GHz帯	数Gbps	数百m程度	要	高精細映像伝送、イベント運営で利用。

※1 免許を要しない無線局については、無線設備が電波法に定める技術基準に適合していることを事前に確認し、証明する「技術基準適合証明又は工事設計認証」を受けた無線設備を使用する場合に限る

⇒ 右図の「技術マーク」が表示された無線設備のみ使用可能である。



※2 既存無線局との共用のため厳密に台数管理をすることがあることから登録局制度の対象

※3 携帯電話事業者の免許で運用

※4 法令に規定はなく、メーカー等のヒアリングによるもの

図 15 上空利用可能な通信システム（衛星通信）²¹

3.2.1. 静止衛星

国内静止衛星事業者は、航空機向けインターネット（IFC）の需要は映像ストリーミングの解禁により爆発的に増加し、2030 年に向けて成長が加速すると想定している。航空機向けの通信事業は、国内線を中心に利用帯域が増加しており、今後 10 年で更に拡大すると見込んでいる。

通信の大容量化と柔軟性向上を目指し、この事業者は次世代衛星としてフルデジタル衛星（SDS）を打ち上げ、従来衛星の数十倍の通信容量を持つ次世代衛星フリートの構築を計画している。SDS は高い柔軟性を持ち、軌道上でサービスエリアや伝送容量を変更可能である。将来的な自動運用に向けての取組も進んでいる。また、同事業者は様々な分野で無人機の需要拡大も見込んでいる。

²¹ 出典：電波上空利用作業班（第 1 回）資料 1-4

衛星通信の大容量化・柔軟性向上への対応



次世代衛星と既存衛星を組合せ、100Gbps超の次世代衛星フリート構築
各軌道権益の特性と衛星の特性を最大限生かした衛星配置により、競争力強化

フルデジタル衛星(SDS: Software-Defined Satellite)

- 従来衛星(数Gbps)の数十倍の通信容量
- 高い柔軟性(軌道上でサービスエリア・伝送容量・周波数を自由に変更できる)

<p>通信容量 30Gbps クラス</p> <p>©Airbus</p> <p>Superbird-9 (2027年打ち上げ予定)</p>	<p>通信容量 50Gbps クラス</p> <p>©Thales Alenia Space/E.Briot</p> <p>JSAT-31 (2028年打ち上げ予定)</p>
---	--

© 2023 SKY Perfect JSAT Corporation. All rights reserved.
This presentation is for informational purposes only. SPJSAT MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, IN THIS SUMMARY.

3

図 16 衛星通信の大容量化・柔軟性向上への対応²²

航空機・無人航空機等の移動体を追従することで特定の地点のみにビームを照射し、それ以外の地域では別のビームを利用できるようにする Follow me beam (追従ビーム) を活用したサービスにより、安定した通信を提供する計画が紹介された。

3.2.2. 低軌道周回衛星

米国企業による低軌道周回衛星通信サービスでは、8,000 機以上の衛星が稼働中であり、150 以上の国・地域において 800 万以上の顧客にサービスが提供されている。この企業から、ユースケースとして災害時のような緊急時対応が示され、ハリケーンや火災時にもインターネット接続を提供した実績があるとの紹介が行われた。

この事業者の ESIM (移動体地球局) は、航空機や船舶で利用されており、航空機向けのサービスは既に 1,350 機以上に接続され、世界 100 か国で認可を受けて、20 万フライト以上でサービスを提供している。衛星にはレーザーメッシュネットワークが搭載され、接続の継続性を確保している。

²² 出典：電波上空利用作業班 (第 2 回) 資料 2-3

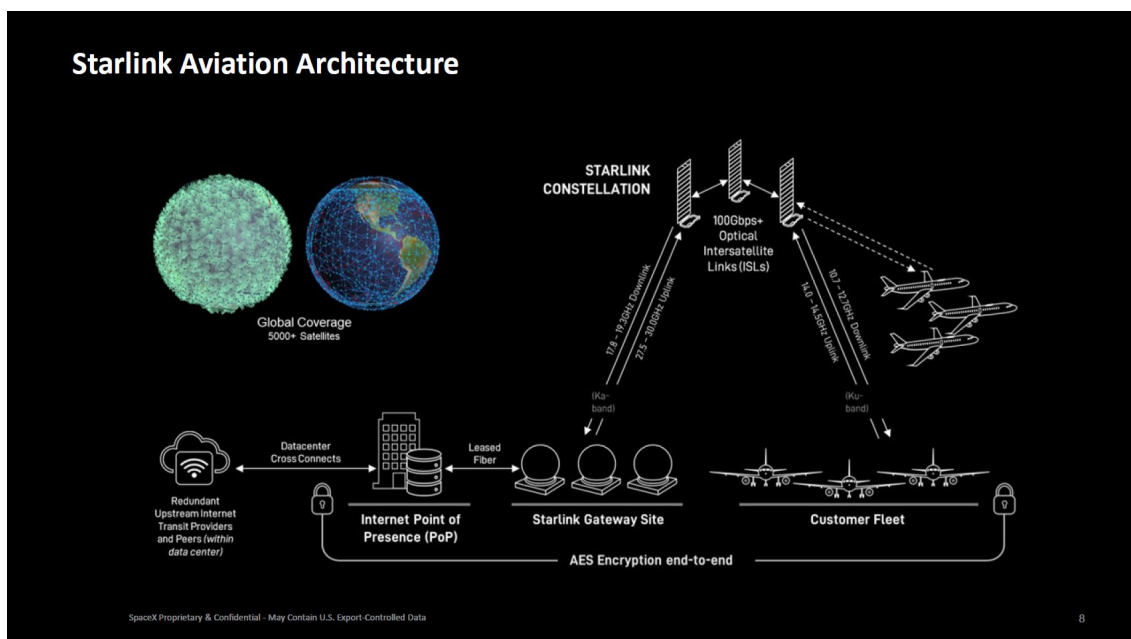


図 17 ある米国企業の航空通信構成²³

この事業者のシステム構成では、世界に 300 か所のゲートウェイサイトがあり、衛星とインターネットのバックホールとして使用されている。Ku 帯をユーザー端末側で使用し、Ka 帯をゲートウェイで使用している。

現在、我が国での航空 ESIM 運用には、無線局運用規則第 262 条の 2 により衛星から放射され地表面に到達する電波の強度 (PFD) の制限が設けられ、高度 3,000 メートル以下の ESIM 運用に制限がある。この事業者からは、航空 ESIM 用途について、保護すべき無線システムが同一の周波数帯に存在しない 14.4GHz 以下の周波数については、PFD 制限値への準拠を不要とすることが提案された。

米国や欧州では多くの航空会社が低軌道衛星通信を用いて無線 LAN サービスを提供しており、我が国でも航空機・ドローンを含む様々な利用例で高速大容量かつ低遅延のサービスの提供に対する期待が述べられた。

3.2.3. 高高度プラットフォーム (HAPS)、衛星ダイレクト通信

通常の旅客機が飛行する高度 10 キロメートル程度よりも更に高い 20 キロメートル程度の成層圏を飛行する無人航空機等に携帯電話基地局を搭載する HAPS (High Altitude Platform Station: 高高度プラットフォーム) の実用化に向けても検討が進められている。HAPS が陸上の携帯電話基地局と一体的に運用されることで、離島、海上、山間部を含め効率的にエリア化することが可能になると見込まれている。

²³ 出典：電波上空利用作業班 (第 3 回) 資料 3-5

HAPS は長期間成層圏に滞留しサービス提供を行い、その過程で我が国の国内外を含め広範な地域を飛行することが想定される。操縦は地上から遠隔で行われ、このため、地球規模での移動に対応し安定的に通信を提供できる C2 回線が必要となる。また、経由する空域に応じ管制と交信する必要がある。

また、HAPS の実用化に向けて、令和 7 年 7 月から情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会 HAPS 検討作業班で HAPS の技術的条件を検討し、その結果を受けて令和 8 年 4 月に無線局の制度整備が行われた。

同様に、通常地上に設置される基地局を衛星に搭載し地上の携帯電話端末と通信する衛星ダイレクト通信システムも実用化されている。衛星ダイレクト通信システムは、携帯電話端末が携帯電話に割り当てられた周波数（IMT 周波数）を使用して人工衛星と直接通信を行い、当該人工衛星を介して携帯電話網のコアネットワークに接続することで通信を実施（携帯無線通信と同様にコアネットワークが基地局を通じて携帯電話端末を制御）するもので、令和 6 年 12 月に制度改正が行われた。ドローン等の次世代空モビリティの運航範囲拡大、冗長性確保、低高度通信インフラの構築が可能になるとの期待から、通信事業者から衛星ダイレクト通信の上空での利用が要望された。

3.2.4. 携帯電話

サービスエリアが広く高速・大容量のデータ伝送が可能な携帯電話等をドローン等に搭載し、操縦や画像伝送等に利用したいとのニーズに対応するため、2016 年 7 月に「実用化試験局制度」が導入された。携帯電話システムは地上での利用を前提に設計されていることから、携帯電話をドローン等に搭載して上空で利用すると、同じ周波数の電波を用いる他の基地局と混信を生じ、地上の携帯電話の通信に影響を与えるおそれがある。そのため、地上システムに影響を与えないよう、上空利用時の送信電力制御機能を適用することを条件として使用を認める制度とされている。令和 2 年 12 月に LTE 方式の一部帯域について、令和 5 年 4 月に高度制限の撤廃及び 5 G 方式の導入並びに令和 7 年 5 月に 5 G 方式の一部帯域の利用を可能とする制度整備が実施された。現在、携帯電話事業者が整備するシステムにより、利用者がウェブ経由等の簡易な手続きで 1 週間程度で利用可能となる環境が実現されている。

携帯電話事業者が整備するシステムでは、ユーザー向けにはシミュレーターという形で、エリアごとの利用可能性をウェブアプリで確認する機能が提供されている。前述の上空利用時の送信電力制御機能を適用するとの条件に対応して、携帯電話事業者のシステムにおいて送信電力制御や周波数の制限がネットワーク側の機能として実現されている。

上空向けの携帯電話通信は、LTE 上空利用プランとして、ドローンのような無人航空機やその他の航空機に対して提供されている。

ヘリコプターによる情報伝送や映像伝送においても携帯電話網を利用した通信が利用されている例が紹介された。150 メートルを超えて数百メートルに達する高度での通信にお

いては、電波が届かないという事例も挙げられた。また、比較的低高度で電波が届く場合でも、特に都市部では地上に多くの基地局が存在し、これらの基地局は地上の利用者に最適化されたエリア構成となっているため、上空では電波干渉が多く、電波品質が低下することが確認されている。これにより、ヘリコプター特有の高度や都市部上空での干渉の多さが障害となり、通信の利用が難しいという課題が示された。

3.2.5. 地対空直接通信

ドローンは、機体制御や画像伝送等のために電波を利用することが必要であり、我が国では、ドローンの利用ニーズを踏まえてドローンで利用可能な無線システムを制度化してきた。

ドローン等に利用可能な地対空直接通信を行うシステムには、携帯電話システムのほか、図 15 のとおり、特定小電力無線、無線 LAN、無人移動体画像伝送システム等の様々なシステムがあり、ドローンの運用者は、ドローンの利用用途等を勘案してこれらの中から最適な無線システムを利用している。

3.3. 航法

航空機が安全かつ正確に目的地に到達するために、自機の現在位置、方向、速度を測定・算出し、進行方向を管理・維持するため航法システムが用いられる。電波を利用する航法システムとして、GPS 等の人工衛星を利用して航空機の位置を特定する GNSS、地上に設置した無線局から航空機に距離と方位の情報を提供する VOR (VHF Omnidirectional Range: 超短波全方向式無線標識) /DME (Distance Measuring Equipment: 距離測定装置)、TACAN (Tactical Air Navigation: 戦術航空航法装置)、着陸時の航空機に誘導電波を発射して滑走路への進入コースを指示する ILS (Instrument Landing System: 計器着陸装置) 等、様々なシステムが利用されている。

また、電波を用いない航法システムとして、ジャイロスコープと加速度計を使用して航空機の位置、速度、姿勢を計算する慣性航法装置も利用される。

3.3.1. GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム) は、地球上の任意の地点で高精度な位置、速度及び時刻情報を算出・取得するための衛星システムで、航空機の航法、位置特定、ルート計画に広く利用されている。

GNSS には我が国の準天頂衛星システム、米国の GPS、欧州連合の Galileo、ロシアの GLONASS、中国の BeiDou などの人工衛星を利用する。これらのシステムはそれぞれの国や地域によって運営されており、複数の衛星が地球の周回軌道に配置されている。

航空機はこれらのシステムに属する複数の人工衛星からの信号の到達時間を基に位置を計算する。GNSS は特に長距離飛行や海洋上空の航行において不可欠なツールであり、その利用により、航空機は安全かつ効率的に飛行することが可能になる。

3.3.2. VOR/DME、TACAN

VOR (VHF Omnidirectional Range: 超短波全方向式無線標識) は、地上の無線局から VHF 帯の周波数の電波を送信し、航空機が自機の方位情報を取得できるシステムで、特に航空機が空路を正確にたどるために使用される。VOR の無線局 (VOR 局) は 360 度全方向に電波を発射しており、航空機は自機が VOR 局から見てどの方位 (ラジアル) にいるかを知ることができる。これにより、パイロットは特定の VOR 局を基準にして自機の位置を確認したり、目的地までのルートを設定したりすることが可能になる。

VOR は見通し (Line of sight) での運用が基本で、山岳や地上障害物による影響を受けやすいが、比較的高い精度を持っており、長年にわたり航空航法の基本的な手段の一つとして利用されてきた。

DME (Distance Measuring Equipment: 距離測定装置) は、航空機が地上に設置された特定の地点までの距離を測定するためのシステムで、VOR や ILS と組み合わせて使用される。

航空機から地上の DME の無線局 (DME 局) に向けて UHF 帯の周波数の電波を発射し、その電波が DME 局で受信されると、DME 局は応答信号を航空機に送信する。航空機は送信から受信までにかかる時間を測定し、その時間を基に距離を計算する。この距離は地上の DME 局から航空機までの斜距離 (直線距離) として表示される。

DME は、航空機が現在の位置の確認や、特定の地点までの距離を知るために利用され、特に、VOR と組み合わせて使用することで飛行中のより正確な位置特定が可能になる。これは、計器飛行方式を採用している航空機にとって重要な情報源となり、飛行計画の実行や進入、着陸段階での精密な航法に貢献する。

TACAN (Tactical Air Navigation: 戦術航空航法装置) は、主に軍用機で利用される、航空機に対して地上の無線局 (TACAN 局) までの距離と方位を提供するシステムである。TACAN は、VOR と DME の機能を組み合わせたもので、より高精度な位置情報を提供できるように設計されている。民間航空機では一般的に使用されないが、一部の空港では民間航空機も TACAN 局の DME 機能を利用することができる。

3.3.3. ILS

ILS (Instrument Landing System: 計器着陸装置) は、航空機が悪天候や視界不良の条件下でも安全に着陸できるように支援するための航法システムである。滑走路の進入経路を

示すために地上に設置された一連の無線設備を使用し、航空機に対して正確な進入角度と方向を提供する。

ILS は主に以下の2つのコンポーネントで構成されている。

1. ローライザー (Localizer)

滑走路の延長線上に設置され、左右の方向（水平位置）を示す信号を送信する。ローライザーの信号により、パイロットは航空機が滑走路の中心線に対してどれだけずれているかを知ることができ、これにより、航空機は正確に滑走路の中心に向かって進入することができる。

2. グライドスロープ (Glide Slope)

滑走路の端付近に設置され、垂直方向（高度）の進入角度を示す信号を送信する。一般に3度の降下角度が設定されており、パイロットはこの信号を基に適切な降下率を維持して滑走路に進入する。

これらの電波を受信することで、航空機の計器は進入経路のずれを表示し、パイロットはその情報を基にコースを修正しながら着陸操作を行う。

ILS は、信頼性が高く、精度の高い進入支援を提供するため、多くの商業空港で使用されている。特に視界が悪い状況や夜間など、目視による進入が困難な場合において、ILS は安全な着陸を支える重要なシステムである。

3.3.4. ドローンの航法

ドローンが自機の位置や速度を把握するシステムとして、GNSS や加速度計とジャイロスコープを組み合わせた IMU、レーザーを使用して周囲の環境をマッピングする LIDAR 等、様々なものが利用されている。

また、衛星測位システムを補完する、UHF 帯の電波を使用する地上波方式測位システムについて、2025 年に情報通信審議会にて答申を受けて総務省で省令改正手続きが進んでいることが、作業班のヒアリングの場で紹介された。

3.4. 監視、電子的視認性

地上の管制や他の航空機が、飛行する航空機の位置、高度、速度、識別番号などをリアルタイムで把握・共有するための技術や設備は監視システムと呼ばれる。航空機の監視には、地上から電波を送信し航空機からの反射波を受信して位置を特定する PSR、地上から質問信号を送信し航空機に搭載された ATC トランスポンダから応答する信号を受信して位置情報や高度情報を取得する SSR、地上に配置された複数の受信機が航空機から発射され

る電波を受信し、その到達時間差を利用して航空機の位置を算出する MLAT（マルチラテレーション）及び WAM（広域マルチラテレーション）等、様々なシステムが利用されている。

3.4.1. PSR/SSR

PSR（Primary Surveillance Radar: 一次監視レーダー）は、地上のレーダーから電波を送信し、その電波が航空機の機体に反射されて戻ってくる信号を受信することで航空機の位置を特定する、一次レーダーである。航空機側が電波を発射しなくても検出可能であり、トランスポンダを搭載していない航空機や、故障している航空機も検出できる。

SSR（Secondary Surveillance Radar: 二次監視レーダー）は、航空機に搭載された ATC トランスポンダに対して質問信号を送信し、その信号を受信した航空機からの応答信号を受信することで、対象の航空機の位置情報や高度情報を得る、二次レーダーである。PSR と比較して位置情報の精度が高い、航空機の識別が容易であるなどの特徴を持つ。

PSR と SSR を組み合わせて使用されることも多い。

3.4.2. ASDE、MLAT、WAM

ASDE（Airport Surface Detection Equipment：空港面探知レーダー）は、空港の地上において航空機や車両の位置を監視する、24GHz 帯の電波を使用する一次レーダーのシステムである。

MLAT（Multilateration：マルチラテレーション）は、航空機の ATC トランスポンダから送信される信号（スキッタ）を複数か所で受信して、受信時刻の差から航空機等の位置を測定するシステムである。ASDE がカバーできない領域を監視することが可能で、主に ASDE と組み合わせて飛行場管制業務に使用される。

WAM（Wide Area Multilateration：広域マルチラテレーション）は、空港面を二次元的に監視する MLAT と同じ動作原理により、空港周辺の空域を三次元的に高精度に監視するシステムである。

3.4.3. ADS-B、電子的視認性、非協調型回避技術

ADS-B（Automatic Dependent Surveillance - Broadcast：放送型自動位置情報伝送・監視）は、SSR の質問信号を受信しない場合も ATC トランスポンダから定期的に周囲に位置情報等を送信する機能で、我が国では ATC トランスポンダの一機能として扱われている。

前項までのシステムは主として管制官が航空機の位置や速度等の情報を把握するために利用されるものである一方、ADS-B は航空機同士の相互監視によって周辺の航空機の位置の把握を可能とし、航空機の衝突リスクの低減につなげることも期待できる。

ドローンが多く飛行する高度 150 メートル以下では、ヘリコプター等との干渉が生じる可能性がある。衝突回避には多層の安全対策が必要であり、有人航空機の場合、飛行前の計画段階、飛行中の管制による間隔維持、機体による自律的回避の 3 段階がある。無人航空機の場合、国際的に SORA (Specific Operations Risk Assessment) というドローンの衝突リスク低減のためのアプローチが提言されており、飛行前の有人航空機との遭遇率低減と飛行中の衝突回避装置の組合せにより全体リスクを許容範囲に抑えるものとなっている。

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



図 18 有人航空機と無人航空機の衝突防止に関する課題²⁴

飛行中の衝突回避のためには有人航空機の位置把握が必要となる。

これに対し、非管制区域等で従来の監視技術を補助する役割として、小型のものを含む航空機等の空域利用者が相互にその存在を知らせ衝突の危険性を回避することを目的とした電子的視認性 (Electronic Conspicuity) の概念とそれを実現する機器が英国航空局等によって提案・開発され、それらを踏まえた制度の検討が欧州 (EASA: 欧州航空安全機関) や米国 (FAA: 米国連邦航空局) でも進められている。我が国でも、一部の事業者から ADS-B 等の航空機への搭載が提案されている。また、作業班の場では、実証実験の結果を踏まえたポータブル ADS-B の活用可能性も示された。

また、ドローンと有人航空機等の衝突回避技術には、ADS-B のような協調型の技術に加えて、レーダー等によって対象を検知しドローンが航空機等を回避する非協調型の技術もある。

この非協調型の衝突回避技術について、作業班の場で、NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) の DRESS (Drones and Robots for Ecologically Sustainable Societies

²⁴ 出典：電波上空利用作業班 (第 4 回) 資料 4-4

project) プロジェクトで研究開発を進め、ISO (国際標準化機構) で運用手順等の標準化を行った、小型ドローンに搭載可能なレーダーとカメラによる衝突回避システムが紹介された。

3.5. 研究開発中の技術

3.5.1. 無線中継技術

国内の研究開発機関では、上空利用の拡大に資する様々な研究開発が行われている。その一例として、山岳などの障害物により電波が遮断される環境下においても、中継ドローンを介して電波を中継することで無人航空機の目視外飛行を実現する「コマンドホッパー」と呼ばれる技術が開発されている。

920MHz 及び 169MHz の 2 周波数帯を使用し、無瞬断で最大 3 ホップの中継通信が可能であり、後者の場合、通信距離は 10 キロメートル以上を達成している。

実証事例としては、活火山における降灰観測、洋上監視、山小屋への物資配送、ダム の点検、電線・鉄塔のメンテナンスなどが実施されている。

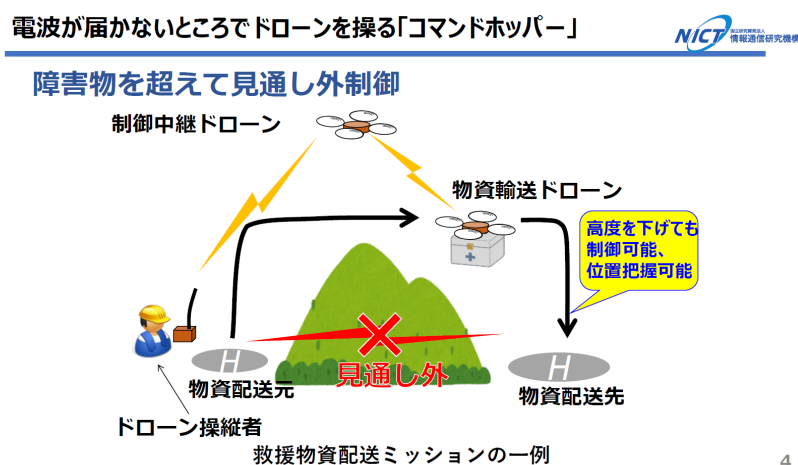


図 19 無人航空機の目視外飛行のためのコマンドホッパー²⁵

また、「ドローンマッパー」と呼ばれる機体間通信技術も開発されており、920MHz 帯を用いてドローン間の位置情報共有を行う。これにより 10 キロメートル圏内での動態情報の共有が可能となる。

更に機体間通信を利用した群飛行制御及び自律的な接近回避機能も研究が進んでいる。群飛行制御では先導機のみを操縦して、追従機は機体間通信を用いることで、飛行に必要

²⁵ 出典：電波上空利用作業班 (第 4 回) 資料 4-1

な周波数の縮減を可能としている。これらの技術により、周波数の有効利用と安全な飛行の両立を目指している。

3.5.2. 無線測位技術

航空機の位置情報を測位するシステムとして、地上波測位システムの開発が進められている。高精度三次元測位サービスを社会インフラとして提供することを目指し、GNSS が果たす役割を地上波から発信することで実現するシステムである。GNSS と比較して受信強度を最大 10 万倍まで高めることができ、屋内や地下、上空での利用が可能である。この技術は米国で開発されたものであり、我が国においても導入に向けて無線局の制度整備が進められている。この地上波方式は GNSS を補完し、安全性を確保する技術として位置付けられている。

今後の高度化に向けて、センチメートル級測位技術と準天頂衛星システムを地上局と接続し、準天頂衛星の縦ベクトルと地上波システムの横ベクトルを組み合わせることで、GPS と同等の効果を実現し、衛星との組合せにより上空利用にも対応可能であると示された。

JAXAとMetComの既存取組のご紹介 J-SPARC (宇宙イノベーションパートナーシップ)



MADDOCA-PPPとの時刻同期による地上波方式測位システムの精度・安全性向上

→ 準天頂衛星と地上波システムの組合せで、GPS補完を万全にする



MADDOCA: JAXAが開発した複数GNSS対応高精度軌道時刻推定を実現するソフトウェア
MADDOCA-PPP: MADDOCAにより生成された補強情報により、cm級測位を実現するための、高精度測位補強サービス

図 20 測位システムの精度向上に向けた取組の事例²⁶

²⁶ 出典：電波上空利用作業班（第4回）資料 4-3

3.5.3. 運航管理技術

民間企業でも研究開発の目標として、2030年代の多頻度・高密度運航、遠隔操縦、自動自律化に対応するハイブリッド通信システムの構築を掲げて研究開発が進んでいる。具体的には、LTE や衛星通信を活用した低コストな通信システムの開発、通信の冗長化による高信頼性の確保、暗号化・認証によるセキュアな通信、動的なリソース最適化技術の研究が進められている。

NECが目指す次世代空モビリティの社会実装

実用化による社会的効果



実用を期待されるユースケース

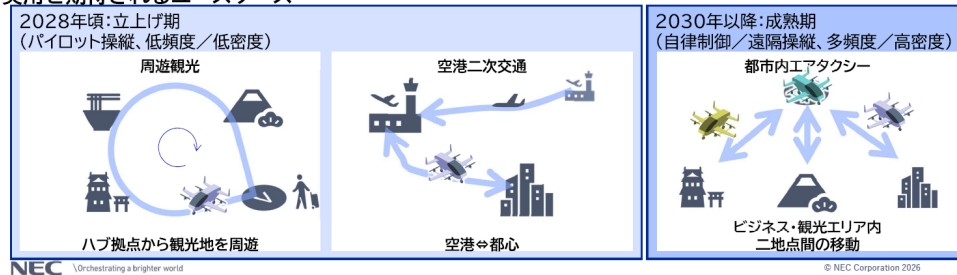


図 21 次世代空モビリティの想定されるユースケースの一例²⁷

NEDO の ReAMo プロジェクトにおいて通信グランドデザインの策定を推進しており、大阪・関西万博では ADS-B 受信網を構築し動態情報モニタリングサービスの実証を行った。

また、UTM（無人航空機運航管理）を用いた情報共有サービス、リアルタイム性を重視した大量運航対応システム、将来的な V2V（Vehicle to Vehicle）通信による衝突回避技術の研究開発が実施されている。

今後の課題として、電波干渉シミュレーション環境の構築、低高度空域向け電波制度の検討、国際標準化への準拠と貢献、AAM 機特有の通信要件に応じた環境整備が必要との見解が述べられた。

²⁷ 出典：電波上空利用作業班（第4回）資料 4-5

第4章 国際動向と国際調和

本章では、上空での電波利用に関連する諸外国や国際機関における制度化や研究開発の動向について概括する。

無人機に関連する用語の定義

ICAO における国際的な無人機の定義及び国内における無人機に関連する用語の定義について整理する。RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) は、遠隔操縦により運航される無人機システムであり、無人機システム (UAS) の一類型として位置付けられている。ICAO では、RPAS が有人航空機と同一の空域を安全に共有し、既存の航空交通管理体系に統合されることを前提として定義されている。

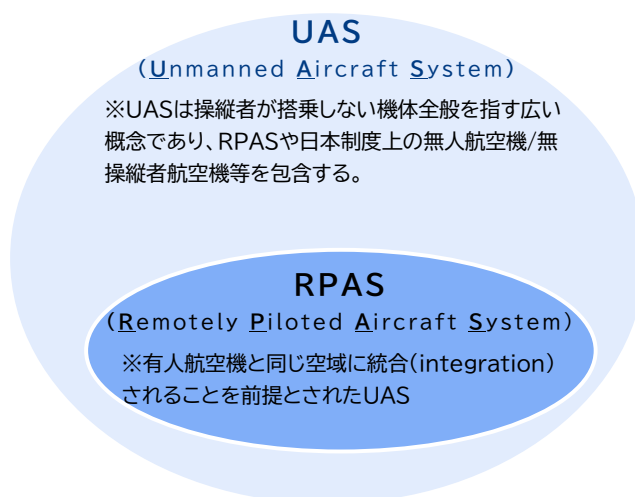


図 22 ICAO における UAS と RPAS との関係性²⁸

一方、我が国においては、無操縦者航空機は航空機の枠組みに包含されており、遠隔操縦により運航される空飛ぶクルマは、その一類型として整理されている。他方、無人航空機及び小型無人機は、航空機の枠組みとは別に位置付けられている。

²⁸ 出典：公開情報にもとづいて作成

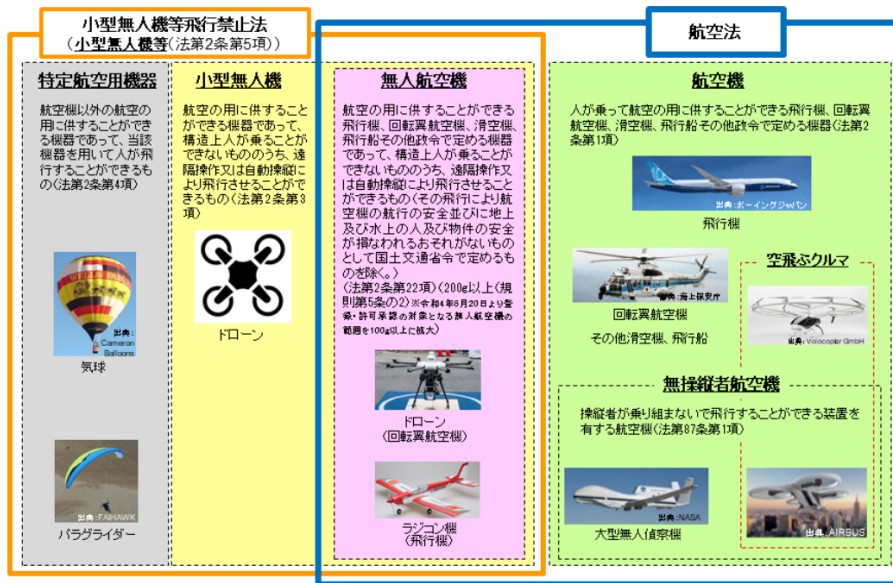


図 23 我が国における新たな空モビリティの関係性²⁹

国際標準化機関における RPAS システムの位置付けについて図 24 に整理する。特に RPAS は、国際運航を前提とする機体であり、複数国が関与する運航形態となることから、RPASの電波利用については国連機関において国際標準化の対象として検討が進められている。

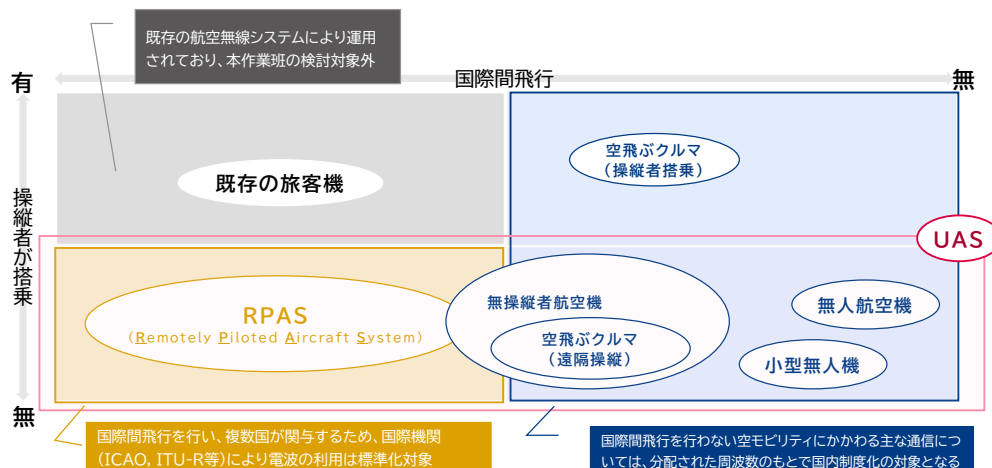


図 24 RPAS と我が国における新たな空モビリティ等の定義の関係性³⁰

²⁹ 出典：「空飛ぶクルマ」の試験飛行等に係る 航空法の適用関係のガイドライン

<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001472777.pdf>



³⁰ 出典：公開情報にもとづいて三菱総合研究所作成

4.1. 国際機関等における標準化の動向

4.1.1. 諸外国における上空での電波利用に関する主な考え方

機体のサイズや運航のリスクが異なる UAS について、今後利用可能になると想定される周波数に関し、国際標準化機関及び諸外国の主管庁における議論の状況を表 1 に整理する。なお、米国及び欧州における位置付けについては、現時点での検討動向を踏まえたイメージを示したものである。

表 1 機体のサイズや運航のリスクが異なる UAS で利用可能な周波数の考え方³¹

 ※機体サイズによる分類	25kg 未満	25kg 以上	旅客輸送可能なサイズ
 ※運航リスクによる分類	Open category	Specific category	Certified category
国際標準化機関における議論	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 主に自国内でのみ利用されるため、ICAO や ITU-R 等の国連機関で議論の対象外（航空法、電波法の両面） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ IFR 下での国際間飛行を行う無人機の標準化を前提とする ICAO や ITU-R にて議論対象外 ✓ RTCA/EUROCAE^(※ 1)等の標準化機関において航空バンドに限定されない周波数を用いたシステムを標準化中（携帯電話網、UHF 帯等） 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ICAO において RPAS 運用に向けた SARPs の策定、ITU-R において制御用通信や衝突回避レーダーの周波数特定について議論中 ✓ RTCA や EUROCAE 等の標準化機関において航空バンドを用いたシステム標準化中（C 帯/L 帯は完了、衝突回避は策定中）
諸外国における制度化の議論	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 欧米各国において、UAS 向けの周波数の特定済み ✓ 特に免許不要帯域（ISM 帯域）や携帯電話網の利用が主軸 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 欧米はじめ利用可能な周波数を検討している状況（一部制度化済） ✓ 免許不要帯域は利用困難 ✓ 航空の安全に資するため、SARPs/MOPS^(※ 2)等にて航空業界から承認された周波数の利用がベース 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ICAO 策定中の SARPs の完成後に制度化予定 ✓ 免許不要帯域は利用困難 ✓ 航空専用の周波数の利用がベース（一部の国において UAS 用の CNPC リンクとして C 帯を制度化済の状況）

³¹ 出典：公開情報に基づいて作成

		✓ 必要に応じて航空専用の周波数を利用	
--	--	---------------------	--

※1 RTCA（米）/EUROCAE（欧）：航空分野における技術基準（標準・ガイダンス）を策定する国際的な標準化団体

※2 MOPS：最低運用性能基準

4.1.2. ICAO における RPAS 向けの制御通信やその他システムの標準化動向

ICAO では、RPAS を既存の航空交通システム及び空域へ安全に統合することを目的として、グローバルな規制枠組みの策定が進められている。特に、RPASP（Remotely Piloted Aircraft Systems Panel）においては、遠隔操縦航空機システムの運航に不可欠な制御用通信に関し、国際標準及び勧告方式及び関連マニュアルの検討が行われている。

将来的に計器飛行方式条件下において国際間飛行を行う無人機の一類型である RPAS については、有人航空機と同一空域での運航を前提としていることから、その制御用通信には高い信頼性、可用性及び継続性が求められることが想定される。このため、ICAO においては、空域において満たすべき通信性能要求値が SARPs として定められる予定である。

これらの性能要求値に対応するため、SARPs に関連するマニュアルにおいては、この要求値を満たすことが可能な候補システムが整理されており、衛星通信システム及び地上通信システムの双方が対象として位置付けられている。

ICAO で検討対象となっている RPAS 向け制御用通信の構成図を図 25 に、各 RPAS 向け制御用通信システムの概要を表 2 に示す。

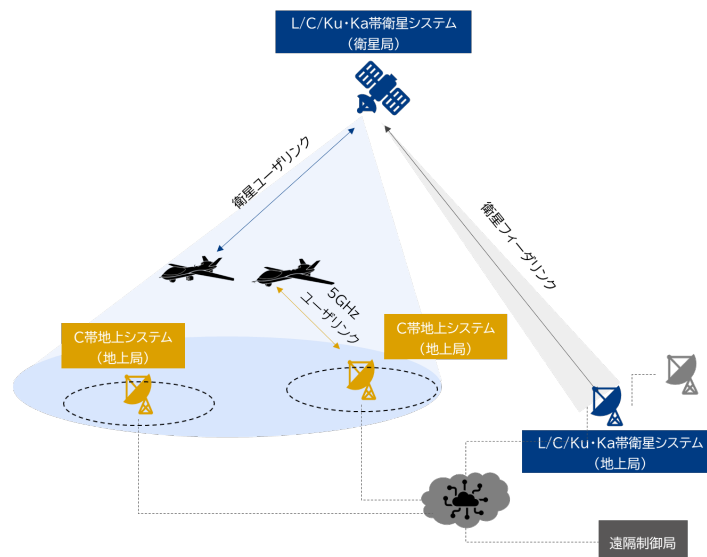


図 25 ICAO で検討対象となっている RPAS 向け制御用通信の構成図³²

³² 出典：公開情報に基づいて作成

表2 RPAS 向け制御用通信システムの概要³³

	周波数	無線業務	標準化状況
衛星システム	L 帯 (1525-1660.5MHz 帯) システム	航空移動衛星 (R) 業務	<ul style="list-style-type: none"> 従来から航空安全用途として各国にて制度化済み RTCA DO262、EUROCAE ED-243 等で標準化済み
	C 帯 (5030-5091MHz 帯) システム	航空移動衛星 (R) 業務	<ul style="list-style-type: none"> WRC-12 で RPAS 向けの制御通信の周波数として特定 EUROCAE WG-105 で MOPS 作成中
	Ku/Ka 帯 システム	固定衛星業務	<ul style="list-style-type: none"> 周波数特定に向けて WRC-23 議題 1.8 として検討されたが、未合意のまま、議論は中断された状況
地上システム	C 帯システム	航空移動 (R) 業務	<ul style="list-style-type: none"> WRC-12 で RPAS 向けの制御通信の周波数として特定 RTCA において MOPS 作成済 (DO-362)

4.1.3. ICAO 以外の標準化機関における RPAS 向けの制御用通信 (C 帯) に関する標準化動向

ICAO において検討が進められている RPAS 向け制御用通信に関し、C 帯の航空移動衛星 (R) 業務及び航空移動 (R) 業務を用いた運用を想定した標準化に対応するため、RTCA 及び EUROCAE において、最低運用性能基準 (MOPS) の策定に向けた議論が進められている。これらの検討は、ICAO で策定される SARPs に整合した形で、航空機搭載無線設備及び地上設備に求められる技術的要件を具体化することを目的としている。

また、ITU-R における作業部会の一つである WP5B は、GMDSS (全世界的な海上遭難・安全システム) を含む海上移動業務、航空移動業務、無線標定業務等を所掌する作業部会であり、本作業部会においては、RPAS 向け C 帯システムを含む各種無線システムについて、他の無線設備からの干渉に対する保護を確保する観点から、送受信機に関する技術特性や保護基準等を整理した新たな ITU-R 勧告草案の作成が進められている。

各機関間での役割や C 帯の標準化に向けた検討状況を図 26 に示す。

³³ 出典：公開情報に基づいて作成

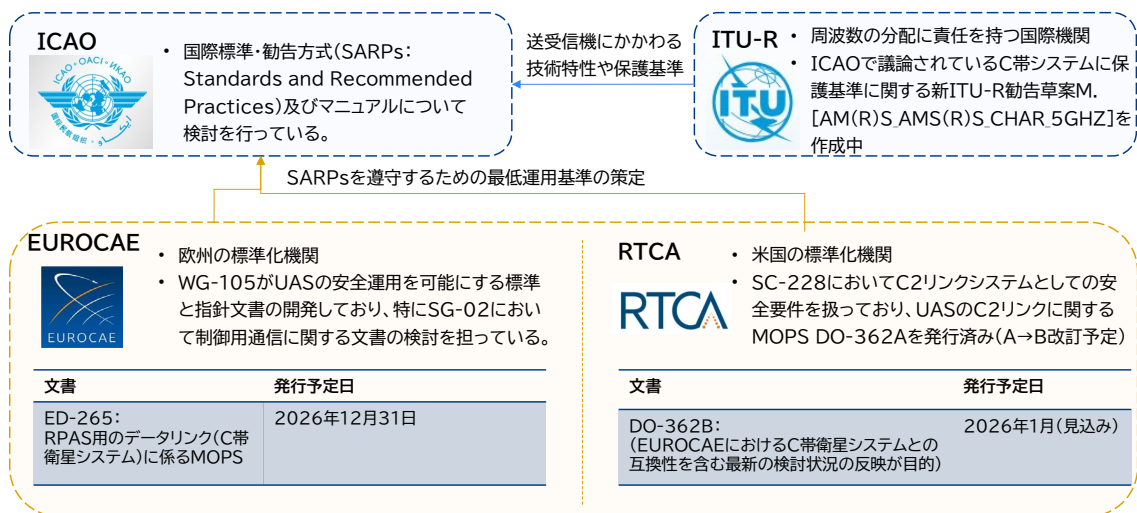


図 26 RPAS 向けの制御用通信 (C 帯) に関する標準化機関の関係性³⁴

また、RTCA 及び EUROCAE では C 帯における制御用通信に関する MOPS のみならず、その他の周波数における UAS 向けの制御用通信や衝突回避用レーダーの実装に向けた MOPS の作成が進められている。これらの検討は、ICAO において定められる運航及び安全に関する要求事項を具体的な適合手法として具現化することを目的としている。

RTCA における C 帯以外の標準化文書を表 3 に、EUROCAE における C 帯以外の標準化文書を表 4 に整理する。

表 3 RTCA における C 帯以外の標準化文書³⁵

種別	文書番号	概要	発行予定日
制御用通信	DO-XX (※未決定): Cellular Band C2 Link System MOPS	<ul style="list-style-type: none"> 型式証明済み UAS 向け C2 リンクにおける商用携帯電話網利用に関する MOPS グローバルに利用される携帯電話サービスに係る共通規格を策定する、EUROCAE WG-105 と共同で開発 	2026 年 1 月以降 (※当初 2025 年 10 月)
	DO-406: UHF Band C2 Link System MOPS	<ul style="list-style-type: none"> 新たな RPAS 向けの制御用通信利用のための周波数に関する MOPS 具体的には認証された UAS における C2 リンク用途として UHF 周波数帯の利用に関する標準を策定 2025 年に FCC より発行された、UAS 用の CNPC 利用拡大に関する 	未定

³⁴ 出典：公開情報に基づいて作成

³⁵ 出典：公開情報に基づいて作成

		NPRMにおいて450-470MHzを対象としていることに対応	
衝突回避	DO-365D : DAA MOPS	<ul style="list-style-type: none"> 既存航空機向けのACASを進化させたAAM機体向けの衝突回避レーダーACAS Xrの規格を追記 	2026年3月以降
	DO-396 : ACAS sXu	<ul style="list-style-type: none"> 小型UAS向けの衝突回避レーダーACAS-sXuの規格を追記 	2022年12月発行済み

表4 EUROCAEにおけるC帯以外の標準化文書³⁶

種別	文書番号	概要	発行予定日
制御用通信	ED-340 : MOPS for UAS Communications by Cellular Networks	<ul style="list-style-type: none"> 携帯電話網によるUAS通信に係るMOPS、RTCAとの共同で開発中の文書 	2026年6月30日
衝突回避	ED-329 : MOPS for Detect Avoid Traffic For RPAS in airspace Class A-G under IFR	<ul style="list-style-type: none"> IFRで飛ぶRPASが、Class A~Gのどの空域でも、他機を検知し衝突を回避できるために“最低限満たすべきDAA性能”を定義した文書 	2026年3月31日

WRC-23 議題 1.8 では、Ku/Ka 帯を用いた UAS 向け CNPC 通信に使用可能な周波数の特定に関する議論が行われた。

最終的に決議第 171 (WRC-19) は取り下げ、決議第 155 (REV.WRC-19) は“Suspend”とした上で、UAS CNPC に関する ICAO SARPs の発効を待ってから、将来会合 (WRC-27 を想定) において、議題 6 (urgent action) の下で、決議第 155 の扱いや WRC-31 に向けた AMS(R)S 周波数帯における UAS CNPC 利用に係る必要手続を検討することで合意された。

このため、WRC-23 においては、UAS 向け CNPC 通信に関する Ku 帯及び Ka 帯の周波数特定は実質的に行われなかった。

ITU-R における UAS 向け検知・回避 (DAA : Detect and Avoid) に関する標準化動向を整理する。ITU-R の WP5B においては、国際間飛行を行う RPAS を含む UAS を対象とした衝突回避システムに関する標準化の検討が進められており、特定の周波数帯の利用を想定した新たな ITU-R 勧告の作成に向けた議論が行われている。

UAS 向け DAA に関する検討は、主として ITU-R WP5B の WG5B-1 において実施されている。この作業部会においては、UAS 向け衝突回避システムの実装及び他無線システム

³⁶ 出典：公開情報に基づいて作成

との周波数共用を考慮しつつ、図 27 に示す 4 種類の文書について、既存勧告等の修正及び新規文書の作成が進められている。

	既存文書の改訂	新規文書の作成	
勧告文書関連	ITU-R改訂勧告草案 M.1638-1 <ul style="list-style-type: none"> 5,250-5,850MHzで動作するレーダーの技術的特性、保護基準について整理されている。 今後空域内での利用の増加が予想されるUASの出現に伴って、5,350-5,460MHzで動作する航空機上DAAレーダーに関する情報の追加が提案され、改訂作業が進められている。 	新ITU-R勧告草案 M.[24.45-24.65 GHz ARNS] <ul style="list-style-type: none"> 24.45-24.65GHzの航空無線航行業務で運用するレーダーの特性、保護基準について整理されている。 特に航空機とUASで搭載が可能なレーダーシステムの技術諸元及び保護基準の考え方が示されている。 	新ITU-R勧告草案 M.[M.[15.4-15.7 GHz ARNS] <ul style="list-style-type: none"> 15.4-15.7GHzの航空無線航行業務で運用するレーダーの特性、保護基準について整理されている。 特に航空機とUASで搭載が可能なレーダーシステムの技術諸元及び保護基準の考え方が示されている。
	本WGでは現時点で当該範囲に該当する文書の作成作業は行われていない。	ITU-Rハンドブック[HDBK STATUS.SPECTRUM.RPAS.DAA] <ul style="list-style-type: none"> RPAS向けの衝突回避レーダーの標準化に向けて各周波数の利用可能性の評価が実施されている。 特に国際的に統一的な周波数の利用の可能性があると結論づけられているのは15GHzのみであり、その他の周波数の利用にあたっては課題が残るとされている。(15GHzのみと結論づけることについては各国間で未合意) 	
勧告文書以外関連			

図 27 ITU-R WP5B における衝突回避レーダーに関する作業中文書

4.2. 諸外国における制度化動向

諸外国においては、無人航空機の用途やリスクに応じて、自国内利用を前提とした制度整備が進められており、運航、通信、周波数利用に関する取扱いは国・地域ごとに異なっている。

表 5 に諸外国における電波の上空利用に関する制度化動向の概要を示す。

表 5 諸外国における電波の上空利用に関する制度化動向の概要³⁷

	制度化状況概要
米国	<ul style="list-style-type: none"> 米国では、UASの安全なC2リンク確保に向け、CFR 47 Part 88 (2025年1月施行)により5030-5091 MHz帯を用いたCNPC運用を制度化し、RTCA DO-362A 準拠を義務付けるなど、技術基準と周波数利用の明確化を進めている。 あわせて、NPRMを通じて450-470 MHz帯の航空地上通信へのAM(R)S追加や全国免許化、データ通信の許可拡大など、UAS向けCNPC利用の拡張が検討されている。 更に、UAS/AAMの検知用途として24.45-24.65 GHz帯のレーダーの測位目的での運用拡大も提案されており、既存の航空無線航行レーダーとの共存を前提とした制度設計が議論されている。加えて、従来の800 MHz帯商業航空地上通信をAAM時代の通信基盤として活用する可能性も示されており、UASからAAMまでを視野に入れた多層的な上空電波利用制度の整備が進展している。
欧州	<ul style="list-style-type: none"> 欧州では、EASAが定める(EU)2019/947において、リスクの高いspecific及びcertifiedカテゴリのUASに対し、事前の運用リスク評価を義務付けている。同規則の適合手法(MoC)では、UASの制御用通信として5030-5091 MHz帯(航空移動業務)やLTE/5Gなどの利用可能性が示唆されている。一方、周波数割当や免許付与は加盟国当局に委ねられ、EUとして一律の指定は行われていない。

³⁷ 出典：公開情報に基づいて作成

	<ul style="list-style-type: none"> また、ETSI が策定した DECT-2020 NR は、高信頼な政府・産業用途向け無線として UAS 分野への適用が想定されている。これを受け、CEPT / ECC は ECC Rec(24)02 (2024 年) において、政府系 UAS の制御用通信として 1880-1900MHz / 1910-1920 MHz 帯の利用を推奨し、技術要件に加え運用密度や離隔距離などの条件を整理している。
英国	<ul style="list-style-type: none"> 英国では、従来 UAS は無線 LAN (2.4 / 5.7 GHz) やモデル航空機用 (35 MHz) の免許不要周波数での運用が認められてきたが、出力制限により長距離飛行には制約があった。これを受け、Ofcom は 2025 年に “Spectrum for Unmanned Aircraft Systems (UAS) license” の最新版を公表し、長距離飛行を伴う UAS 運用者向けの新たなライセンス制度の枠組みを整理した。 このライセンス制度の枠組みでは、利用可能な周波数帯や無線機器の種類に加え、機器が遵守すべき具体的な技術要件が明確化されている。多くの対象機器は既に航空機無線ライセンスの下で使用実績があるものであり、制度改正により、これらを UAS 用途へ拡張利用することが可能となった。
中国	<ul style="list-style-type: none"> 中国では、2024 年 3 月、中国中央政府は低空経済の振興を国家戦略として位置付けており、「一般航空装備の革新応用実施方針 (2024 年～2030 年)」を発表し、低空経済の構築に向けたロードマップが示されている。このロードマップにおいて、無人機を含む次世代航空技術分野について、以下の主要目標を定めている。 上記低高度での経済圏の構築のための電波利用に関する制度化も進められており、2024 年 1 月には「民用无人驾驶航空器无线电管理暂行办法」が発行、UAS に向けた周波数及びシステムの暫定的な特定が行われている。

4.2.1. 米国における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向

UAS 向け制御用通信に関する新たな規則として、米国では UAS の安全な制御用通信 (C2 リンク) の確保に向けた規制整備が進められている。具体的には、2025 年 1 月 8 日に施行された連邦規則集 (CFR) 47 Part 88 において、5030-5091 MHz 帯の一部を、UAS の安全な航行のための制御・非ペイロード通信³⁸ (CNPC) に利用することが定められた。

この周波数帯において電波を発射する無線設備については、RTCA DO-362A に定められた TDD 方式の CNPC リンクに関する技術基準への適合が義務付けられており、送信出力、帯域幅、スペクトルマスク等の技術的条件が規定されている。更に、FAA の技術標準指令 (TSO-C2113a) において、DO-362A の要求事項を採用することが明記されている。

米国における 5030-5091 MHz 帯の UAS 向け制御用通信の割り当て方針を図 28 に示す。

³⁸ 飛行に必須の通信。飛行に必須でない通信を「ペイロード通信」という。

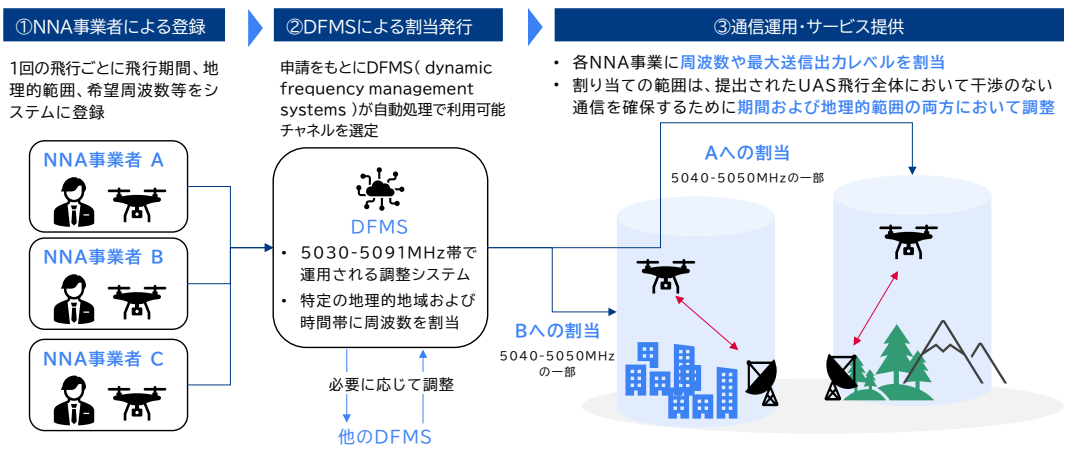


図 28 米国における 5030-5091 MHz 帯の UAS 向け制御用通信の割り当て方針³⁹

米国の規則案である NPRM (Notice of Proposed Rulemaking) に対して提出された各種コメントを踏まえ、短期的な対応としては、安全航行を目的とした制御用通信について、非ネットワーク型航空機 (NNA) のみに周波数を割り当てるのが適当であるとの判断が FCC (連邦通信委員会) より示された。具体的には、短期的には 5040-5060MHz、動的周波数管理システム (DFMS) が適用される中長期的には 5040-5050MHz 内での電波の利用が可能となる。一方で、ネットワーク型システム (NSS) を含む最終的なバンドプランについては、隣接する他の無線システムへの干渉影響に関する懸念への対応も含め、将来的に検討・決定することとされた。

また、DFMS の本格的な適用までには相当の期間を要することが見込まれていることから、それまでの経過措置として、暫定的な周波数調整手法が適用されることとされている。

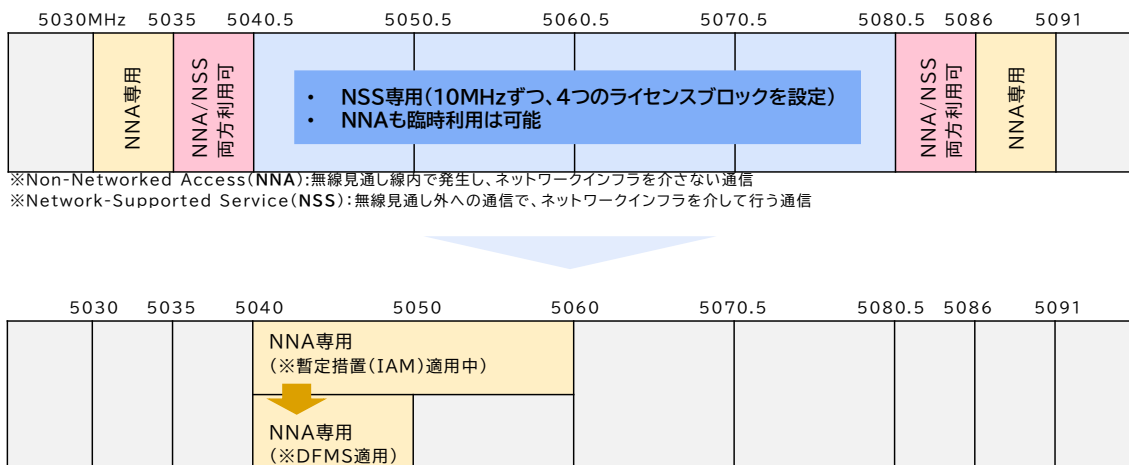


図 29 5030-5091 MHz 帯における UAS 制御用通信チャンネル提案⁴⁰

³⁹ 出典：公開情報に基づいて作成

⁴⁰ 出典：公開情報に基づいて作成

また、米国では 2025 年に FCC において、UAS 向けの制御・非ペイロード通信の利用拡大に関する検討が行われており、450–470 MHz 帯（航空地上通信用）に航空移動（R）業務を追加し、UAS 向けの通信、ナビゲーション及び位置特定等を含む CNPC 運用を認めることが提案されている。

具体的には、この周波数帯における利用について、現行の「航空移動陸上移動（音声）専用」の位置付けから、データ通信を含む運用への拡大や、全国一括ライセンスの導入による柔軟な運用形態の実現が検討されている。また、これらの制度整備と並行して、RTCA においても、関連する無線設備や運用に係る技術仕様の標準化に向けた検討が進められている。450–470 MHz 帯における新制度の概要を図 30 に示す。

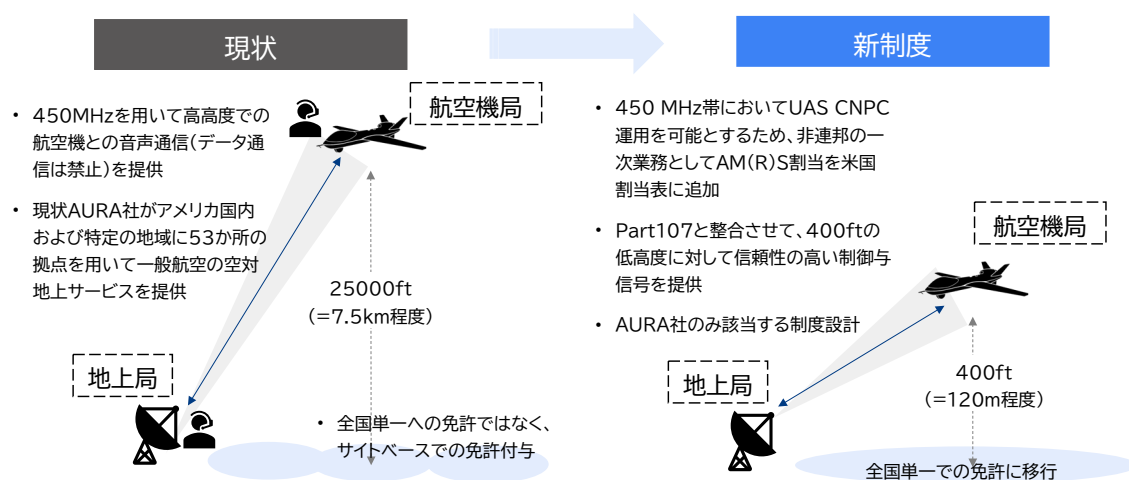


図 30 450–470 MHz 帯における新制度の概要⁴¹

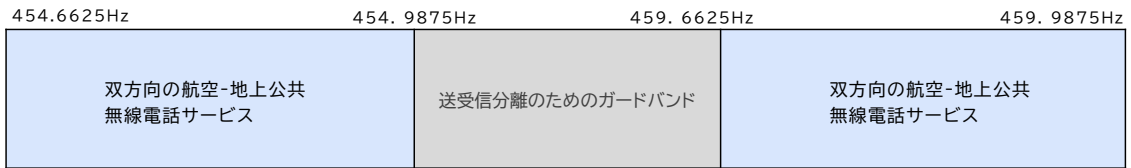
この新たな周波数帯については、UAS 向けの制御・非ペイロード通信（CNPC）に関する周波数の割当てが示されている。現在、米国の周波数割当表においては、454.6625–454.9875 MHz 及び 459.6625–459.9875 MHz の各帯域は、双方向の航空 - 地上公共無線電話サービスを提供することを目的として、公共用の陸上局及び移動局に割り当てられている。

これに対し、新制度案においては、454.6625–454.9875 MHz 及び 459.6625–459.9875 MHz の合計 650 kHz の帯域について、UAS 向け CNPC 運用を可能とするため、全国一括免許（nationwide license）として再構成することが提案されている。

450–470 MHz 帯におけるチャンネルプランを図 31 に示す。

⁴¹ 出典：公開情報に基づいて作成

現状のバンドプラン



NPRM案

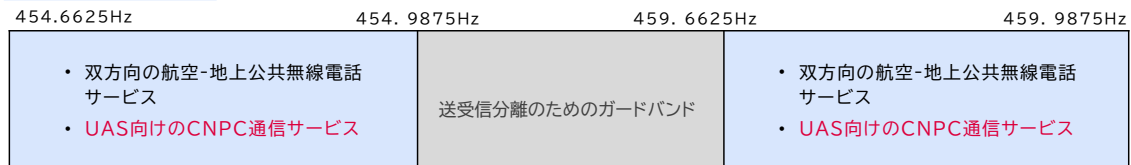


図 31 450-470 MHz 帯におけるチャンネルプラン⁴²

更に米国では、UAS 及び AAM の今後の利用拡大を見据え、ドローン等の検知を目的としたレーダーに関する新たな規則の整備も進められている。具体的には、FCC が、24.45-24.65 GHz 帯を用いて、UAS や AAM 機の検知を目的とするレーダー測位運用の拡大を図るための規則改正案を提案している。

これらの UAS 等の検知を目的とした無線測位業務用レーダーは、航空機搭載や地上設置の検知・回避（DAA）システムで使用される既存の無線航行用レーダーに対して、二次業務的な位置付けとされている。一方で、今後、AAM 等の利用促進に伴い、同帯域における無線航行用レーダーの利用が増加することも並行して想定されている。

このため、この周波数帯における無線測位業務用レーダーの導入に当たっては、既存の無線航行用レーダーとの共存や干渉影響に関する懸念についても整理が必要とされており、規則改正案に対して関係者からの意見提出が求められている。

図 32 に 24GHz 帯における無線測位業務レーダーの利用イメージと共用上の課題を示す。

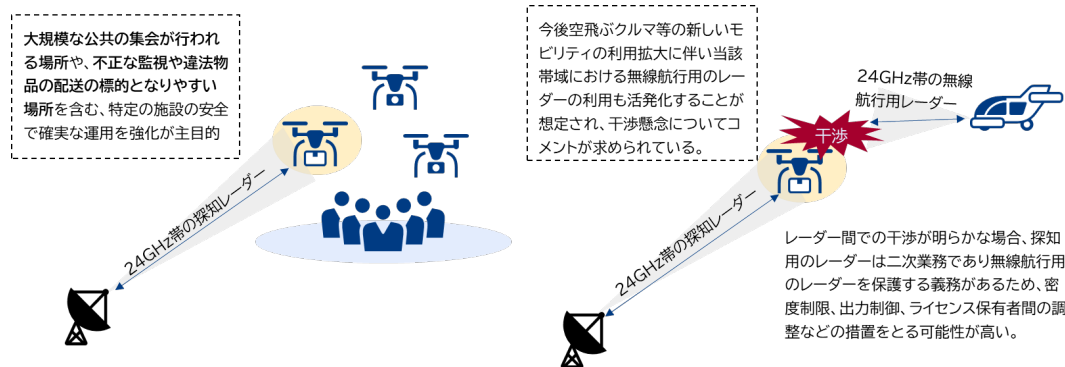


図 32 24GHz 帯における無線測位業務レーダーの利用イメージと共用上の課題⁴³

⁴² 出典：公開情報に基づいて作成

⁴³ 出典：公開情報に基づいて作成

また、米国では従来から、商業航空の地上通信システムが 800MHz（849–851 MHz 及び 894–896 MHz 帯）で運用されており、FCC 規則 Part 22 で規制されている状況であった。

今後、空飛ぶクルマ（操縦者搭乗）等の発展により、地域間を結ぶ新たな空路移動の拡大が見込まれており、商業航空向け地上通信システムは、空飛ぶクルマ（操縦者搭乗）を利用する乗客に対しても有益な通信基盤となる可能性があるとして FCC は考えている。

ユースケース例として、飛行中における通信接続性の確保により、乗客は接続便の運航状況の確認、到着後の地上交通手段の調整などが想定される。

4.2.2. 欧州における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向

欧州における UAS の制御用通信等に関する動向について整理する。欧州航空安全機関（EASA）が発行している UAS の運用に関する実施規則（EU）2019/947 においては、リスクの高い運航を行う「specific」及び「certified」カテゴリの UAS について、事前に運用リスク評価を実施することが求められている。

同規則に係る適合手法においては、リスク評価の手法が表 6 に示すように詳細に示されており、UAS の制御用通信に利用される通信システムとして、航空移動業務に割り当てられた 5030–5091 MHz 帯のほか、携帯電話網（LTE/5G）等の活用も選択肢となり得ることが示唆されている。一方で、具体的な周波数の割当てや無線局免許の付与については、各加盟国の規制当局の判断に委ねられており、EU 全体として周波数を一律に規定する枠組みとはなっていない。

表 6 Annex E to AMC1 to Article 11 における適合手法（C3 リンク関連）⁴⁴

完全性 (level of integrity)	完全性が低レベル (=許容される途絶等の要件が比較的緩い)	完全性が中レベル (=許容される途絶等の要件が中立)	完全性が高レベル (=許容される途絶等の要件が比較的厳しい)
閾値	✓申請者は、C3 リンクの性能、無線周波数スペクトル使用及び環境条件が、意図された運用を安全に実施するために十分であると判断する。	✓低レベルと同等	✓C2 リンクには免許対象の周波数帯の使用が必須。

⁴⁴ 出典：公開情報に基づいて作成

利用される無線システムの候補に関する記述	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 特定の条件下で免許不要周波数帯の使用が許容される場合がある。 ✓ (例：申請者が、UAS 機器が他の無線周波数スペクトル使用要件に準拠していることを示すことにより、要件への適合性を実証すること) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 運用内容によっては、非航空用周波数帯（例：携帯電話ネットワーク用免許帯域）の使用が許容されることもある。 ✓ 運用内容によっては、免許取得済み周波数帯の使用が必要となる場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 最低限の性能が確保される場合、航空用免許周波数帯域（例：携帯電話ネットワーク用免許帯域）に限定されない。 ✓ ただし、C2 リンク使用のため航空移動通信業務に割り当てられた帯域（例：5030～5091MHz）の使用を必要とする運用もある。いずれの場合も、免許周波数帯域の使用には認可が必要である。
----------------------	--	---	---

※C3 リンク：C2 リンクに安全な飛行に必要な通信用のリンク（Communication link）を加えたもの。

また、DECT-2020 NR は、ETSI（欧州電気通信標準化機構）の TC DECT により策定された無線インタフェース規格であり、従来のコードレス電話向け DECT を基盤としつつ、IoT や産業用途、並びにプライベート（自営）系ネットワークにおける高信頼通信を目的として拡張されたものである。

これを踏まえ、欧州電気通信委員会（CEPT/ECC）は、2024 年に ECC Recommendation (24)02 を発行し、緊急対応や警察運用等の政府系 UAS における制御用通信の用途として、1880-1900 MHz 帯及び 1910-1920 MHz 帯の利用を推奨している。

同勧告においては、DECT-2020 NR を用いた運用を想定し、必要な技術的要件に加え、他の無線システムとの共存を確保する観点から、最小離隔距離や運用密度等の運用条件についても整理されている。

DECT-2020NR 利用時の技術／運用条件を表 7 に、ECC Rec(24)02 の欧州での適用状況を図 33 に示す。

表 7 DECT-2020NR 利用時の技術／運用条件⁴⁵

技術／運用条件	具体内容
送信電力	<ul style="list-style-type: none"> • 送信電力 (EIRP) ≤ 24 dBm • ETSI TS 103 636-2 に記載されている送信機出力制御 (TPC) 又は同等の方法
チャンネルアクセス	DECT インスタント動的チャンネル選択 (iDCS)、ETSI TS 103 636-4 [9] に記載されている方法又は同等の方法

⁴⁵ 出典：公開情報に基づいて作成

定期任務時の運用範囲	政府の UAS の最大運用範囲は以下に制限されるべきである <ul style="list-style-type: none"> 都市部で 500 m 農村部で 1 km
重要任務時の運用密度	特定の地理的区域 (1 km ²) 内で同時に 最大 3 機 の政府 UAS を使用でき、この場合、政府 UAS の最大運用範囲は 500 m に制限されるべきである

※dBm : 1mW を基準とした電力の単位。1mW=0dBm。

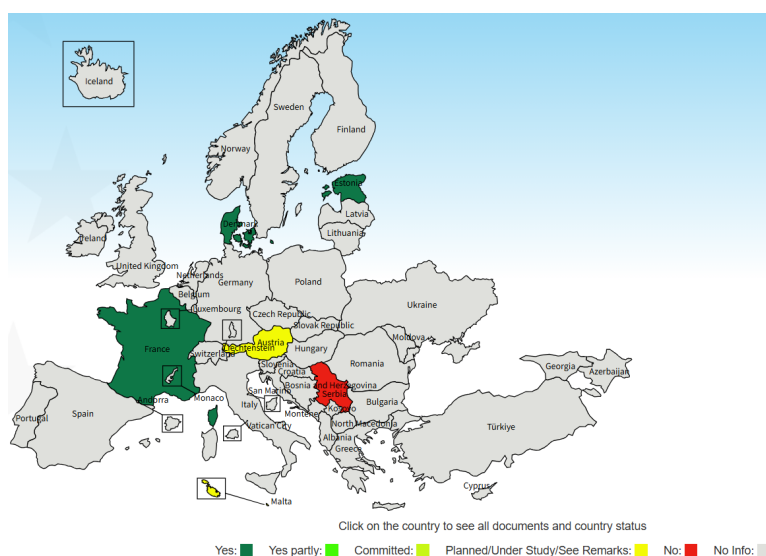


図 33 ECC Rec(24)02 の欧州での適用状況
(※フランス、デンマーク、エストニア等で実装済み) ⁴⁶

4.2.3. 英国における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向

英国での UAS 向け通信システム利用に関する動向を整理する。現在、英国における UAS の利用に当たっては、無線 LAN (2.4GHz/5.7GHz) 又はモデル航空機用 (35MHz) に指定された周波数を使用しており、既に英国当局の免許不要規制の下で許可されている。ただし、免許不要機器の出力制限により必要な飛行距離を提供できないため、長距離飛行には適していない。

英国 Ofcom は 2025 年において、“Spectrum for Unmanned Aircraft Systems (UAS) licence”の最新版を発行し、長距離飛行でサービスを行う UAS 運用者が取得可能な無線ライセンス制度の概要及び、取得に伴い利用可能な無線機器に関する情報が整理されている。

UAS 運用者に係る無線免許は、以下を含む様々な無線機器の使用許可を提供可能となる。なお、本免許に記載されている機器の使用に当たっては、CAA (Civil Aviation Authority)

⁴⁶ 出典 : Implementation status ECC/REC/(24)02 <https://docdb.cept.org/implementation/28612>

からの許可が必要となる場合や、一定の制限が課される場合がある。そのため、ドローンの運用に先立ち、関連するすべての許可を取得しておく必要がある。

- ・ **コマンド&コントロール**：遠隔操縦者が機体を制御し、航行コマンドを送信し、機体の発進、飛行、回収を制御可能となる通信
- ・ **データ中継**：UAS が映像やデータなどのペイロード通信を遠隔操縦者に送信可能とするための通信
- ・ **電子的位置通知**：他の利用者がUAS の位置や飛行経路を確認可能とするための通信
- ・ **衝突回避 (DAA)**：UAS が回避行動を取り、危険な物体（他のUAS など）を避けるための通信

UAS 運用者向けのライセンスでは、利用可能な無線機器と周波数、使用するために機器が遵守すべき具体的な技術要件が記載されている。UAS 運用者のライセンスでカバーされるほとんどの機器は、既に航空機無線ライセンスに基づき航空機での使用が認可されており、本規則修正により、これらの機器をUAS で使用することが可能となる。

UAS 運用者ライセンスにより利用が許可される無線機器を表 8 に示す。

表 8 UAS 運用者ライセンスにより利用が許可される無線機器⁴⁷

システム	周波数	遵守すべき要件
HF 帯通信システム	2.85-22MHz	<ul style="list-style-type: none"> ・ 航空無線通信士 (FRTOL) のライセンスが必要
VHF 音声通信システム	117.975-137MHz	<ul style="list-style-type: none"> ・ アナログ音声通信端末は、8.33 kHz 及び 25 kHz のチャンネル化に対応し、VHF データリンクモード 2 及び 4 は 25 kHz チャンネル化に対応 ・ 航空無線通信士 (FRTOL) のライセンスが必要
携帯移動端末	700MHz/800MHz/900MHz /1.8GHz/2.1GHz/2.3GHz/ 3.4-3.8GHz	<ul style="list-style-type: none"> ・ 申請者は、ユーザー機器 (UE) が接続するモバイルネットワークから、飛行中の使用について書面で許可を得る必要あり ・ 2500~2690 MHz (2.6 GHz 帯) におけるすべての飛行中 UE の送信は禁止
ATC トランスポンダ	1030/1090MHz	<ul style="list-style-type: none"> ・ トランスポンダの操作に関して、オン・オフの切り替え以外にオペレーターが操作を制御できない場合、FRTOL は不要
TCAS/ACAS	1030/1090MHz	—

⁴⁷ 出典：公開情報に基づいて作成

ADS-B	1090MHz	<ul style="list-style-type: none"> CAA が発行した最新バージョンの CAP 1391 に従って操作する必要あり UAS からの電波発射は 978MHz(UAT)が原則であり、1090MHz で動作する ADS-B の使用は CAA との個別の合意により認められる場合に限る
DME	960-1215MHz	<ul style="list-style-type: none"> 航空無線通信士 (FRTOL) のライセンスが必要
UAT (Universal Access Transceiver)	978MHz (UAT)	<ul style="list-style-type: none"> CAA が発行した最新バージョンの CAP 1391 に従って操作する必要あり RTCA DO-282B/C の性能基準に従って機能する ADS-B が該当する
衛星通信	<ul style="list-style-type: none"> 14-14.47GHz (Ku 帯) 1525-1660.5MHz (L 帯) 1980-2010MHz (S 帯) 27.5-27.8185GHz, 28.4545-28.8265GHz, 29.4625-30GHz (Ka 帯) 	<ul style="list-style-type: none"> Ku 帯について、衛星地上局は、Ofcom が発行する「衛星 (地球局ネットワーク)」ライセンスの下でのみ使用でき、地球局からの送信電力は EIRP 55 dBW を超えてはならないなどの技術的制約あり Ka 帯について、非静止衛星との通信は許可されていない。また、運用者は、そのユーザー機器 (UE) が接続する衛星ネットワークから空中での使用について書面による許可を得ている必要あり
2 GHz Complementary Ground Component (CGC)	1980-2010MHz	<ul style="list-style-type: none"> Inmarsat 又は Echostar が運用する衛星又は CGC に接続することのみ認可。 1つ以上の CGC に送信する際の送信電力について <ul style="list-style-type: none"> ✓ 高度 1000 メートル以上で運用する場合は、40 dBm EIRP が上限値 ✓ 高度 1000 メートル未満で運用する場合は、24 dBm EIRP が上限値
電波高度計	4200-4400MHz	-
気象レーダー	9300-9500MHz	-

※dBW : 1W を基準とした電力の単位。1W=0dBW。

4.2.4. 中国における空の利用拡大に伴う電波利用政策の動向

中国での UAS 向け通信システム利用に関する動向について整理する。2024 年 3 月、中国中央政府は低空経済の振興を国家戦略として位置付けており、「一般航空装備の革新応用実施方針（2024 年～2030 年）」を発表し、低空経済の構築に向けたロードマップが示されている。このロードマップにおいて、無人機を含む次世代航空技術分野について、表 9 に示す主要目標を定めている。

表 9 一般航空装備の革新応用実施方針（2024 年～2030 年）⁴⁸

～2027 年
無人化・自動化・知能化を技術的特徴とする新しい航空機が登場 <ul style="list-style-type: none"> • UAS・自動運航機の実用化が進展 • 都市空輸、物流配送、緊急救援等の分野で商業応用を開始 • 実証段階から限定的な事業化フェーズへ移行
～2030 年
知能化・グリーン化を特徴とする新航空モデルが確立 <ul style="list-style-type: none"> • 電動化・低炭素技術を前提とした産業構造が定着 • 短距離輸送、eVTOL による旅客輸送ネットワークが形成 • 無人機配送 NW、農業生産分野への本格的な利活用を実現 • 都市・地域インフラとしての定着段階

上記低高度での経済圏の構築のための電波利用に関する制度化も進められており、2024 年 1 月には UAS 向けの周波数及びシステムの暫定的な特定を行った「民用无人驾驶航空器无线电管理暂行办法」が発行されている。

この文書では、表 10 に示すように中国で UAS 向けに利用可能な周波数や具体システムが列挙されている。

表 10 中国にて UAS 向けに利用可能な周波数 ⁴⁹

周波数	電波の用途	補足情報
1430-1438MHz	映像・テレメトリの伝送用	公共用 UAS やヘリコプター専用
1438-1444MHz	映像・テレメトリの伝送用	民間の UAS 用
2400-2476MHz (2.4GHz 帯)	制御用 (C2)	ISM (無線 LAN 帯域) に該当し、使用に際して免許料等は不要

⁴⁸ 出典：公開情報に基づいて作成

⁴⁹ 出典：公開情報に基づいて作成

5725-5829MHz (5.8GHz 帯)	制御用 (C2)	
5040-5050MHz	制御用 (C2)	航空管制・無線航法用として保護
24-24.25GHz	衝突回避	—
衛星通信用の 周波数帯	制御用、映像・テ レメトリの伝送用	一般の衛星通信規則に従う
LTE・5G 帯 (例： 700MHz、2GHz 等)	制御用、映像・テ レメトリの伝送用	正規の SIM を用い基地局に接続す る形式

4.3. 要素技術の研究開発動向

UAS 向けの通信システムに関する諸外国における新技術開発の動向を表 11 に整理する。

表 11 諸外国における UAS 関連の通信にかかわる新技術開発⁵⁰

用途	企業名 (国)	周波数	システム 種別	実証・開発概要
制御用 通信	uAvionix 社 (米)	C 帯 (5030- 5091MHz)	地上 システム	<ul style="list-style-type: none"> 同帯域で複数ドローンの同時運用を可能にする周波数動的割当システム (Frequency Assignment Manager, FAM) を開発・実証している。 実証では、北部平原 UAS 試験場 (ノースダコタ州) の協力のもと 4 機のドローンを同時に飛行させ、同社開発の SkyLink5060 (機上局) / SkyStation5060 (地上局) からなる C 帯通信リンクと、クラウド型の SkyLine C2 管理システムによって、安全に周波数チャネルを自動割当して干渉なく制御用通信を提供可能なことを確認した。
	AURA Network Systems (米)	450MHz	地上 システム	<ul style="list-style-type: none"> 450 MHz 帯の全国免許を取得し、450MHz 帯域の長距離通信を生かした UAS 管制専用ネットワークを構築中である。
	Gotonomi (英)	LTE	地上+衛星	<ul style="list-style-type: none"> 携帯電話網 (LTE/5G) を基本にしつつ、圏外・海上・山間・災害時などで途切れやすい区間を衛星でバックアップする「ハイブリッド接続」を前提とした UAS 向け端末である。 欧州宇宙庁 (ESA) 主導、Viasat の ELERA 衛星ネットワークへの接続を可能とする。

⁵⁰ 出典：公開情報に基づいて作成

テレメ トリ伝 送	Droniq (独)	LTE (4G)	地上 システム	<ul style="list-style-type: none"> SIM+GPS 搭載「HOD」により、LTE 経由で位置情報を常時送信。ADS-B 受信情報も地上集約し、U-space 実証を実施している。
	Swisscom (スイス)	LTE (4G)	地上 システム	<ul style="list-style-type: none"> Matternet 医療ドローンで、セルラー通信による監視下 BVLOS 運航を実証。電波強度・ハンドオーバー評価を実施している。
衝突回 避	Sagetech Avionics (米国)	1090 MHz (ADS- B) 等	地上+機載	<ul style="list-style-type: none"> ACAS Xu (DO-386) 対応装置を開発中であり、ADS-B 等を入力に、自律回避ロジックの標準化・評価を実施している（通信そのものより機体技術が主）。
	Thales (仏)	レーダー系 (周波数非 公開)	地上 システム	<ul style="list-style-type: none"> パリ近郊 UAM 実証で、Detect-and-Avoid レーダー+クラウド UTM を提供。Vertiport 運用・管制連携を含む統合実証を実施している。

都市部における空飛ぶクルマへの適用を想定した無線システム等に関する検討も実施されている。2020 年には、NASA（米国航空宇宙局）より“Reliable, Secure, and Scalable Communications, Navigation, and Surveillance (CNS) Options for Urban Air Mobility (UAM)”と題する文書が発行されており、将来的に高度な運航を行う UAM（Urban Air Mobility）を対象として、信頼性及び安全性の高い通信・航法・監視（CNS）サービスを提供するための技術的アプローチについて情報を提供することを目的としている。

同文書においては、特定の運航形態を想定した UAM について、航空機運航を前提とし、現行技術として利用可能な CNS 技術に加え、将来的に導入が見込まれる CNS 技術を対象として評価が行われている。評価に当たっては、通信容量、可用性及び信頼性、精度、更新速度、航続距離、全天候対応性といった性能指標に加え、UAM の利用が想定される各種ユースケースへの適合性の観点から、UAM 向け CNS の機能要件を満たす能力について検討がなされている。

これらの評価結果を踏まえ、表 12 に示すように通信、航法、監視の各分野において、有望と考えられるシステムの可能性が整理されている。なお、通信分野において有望と評価された無線システムについて、表 13 に示すように VDL Mode3 や非静止衛星、5G 商用携帯電話網等が候補として列挙されている。

一方で、VDL Mode 2 については導入コスト、容量、遅延時間を勘案し、推奨されない。また、Bluetooth5 について、導入には多くの地上局の開設が必要な他、干渉懸念を考慮し、推奨されない結果となっている。

表 12 本文書において評価対象としている CNS 技術⁵¹

COMM	NAVIGATION	SURVEILLANCE - AIR	SURVEILLANCE - GROUND
<ul style="list-style-type: none"> • 5G Cellular • 5G Satellite Integration • Bluetooth • C Band • DME Whitespace • Laser Communications • LEO (Commercial) • VDL Mode 2 • VDL Mode 3 • UWB MIMO • Frequency Management 	<ul style="list-style-type: none"> • Barometric Pressure Altitude • Radar Altimetry • Altimetry with Broadcast References • GNSS only • GNSS + INS/IRS (FOG/MEMs) • GNSS + PNT Nav • GNSS + eLoran • GNSS + GBAS (LAAS) • GNSS + WAAS • GNSS + RF mapping • GNSS + SAR/ISAR • LIDAR • Machine Vision • IR • RF Beacon • Sensor Fusion 	<ul style="list-style-type: none"> • ACAS-X, TCAS • ADS-B (current) • UAT2 • Dedicated Short Range Communications • FLARM (European) • LIDAR • FMCW RADAR in GHz Range • K Band RADAR • Acoustic Detection • RF Detection • 5G Cellular 	<ul style="list-style-type: none"> • Advanced Doppler Range Gating Radar • Bistatic Radar • Army Ground Based Sense and Avoid • IR Sensing • Lasergate Monitoring • Machine Vision • Holographic RADAR • K Band FMCW RADAR • UWB MIMO • Mode C/S Multi-Lateration • Acoustic Detection • RF Detection • 5G Cellular

表 13 評価の結果有望と考えられる技術 (C : 音声通信)⁵²

TECHNOLOGY	RESEARCH NEEDS, DISADVANTAGES
VDL Mode 3	Appropriate bandwidth and FAA acceptance.
5G, Satellite Integration	Latency is a concern and may be inappropriate for some functions.
LEO (commercial)	May have dual function (communication and navigation enhancement).
C Band for C2	Consider but investigate whether bandwidth is sufficient for both UAS and UAM.
5G, Cellular	Prioritization, market case, and antenna pointing issues must be resolved. Capacity claims may be overstated.
VDL Mode 2	Not recommended. Cost, capacity, and latency were concerns.
DME Whitespace	Not recommended. Capacity is insufficient in largest U.S. urban environments.
Laser Communications	Not recommended. Not mature for UML-4. Suitable alternative for UML-6.
Bluetooth 5	Not recommended. Short range requires too many ground stations for viability; interference from nearby emitters limits the usability for flight-critical applications; a consideration for cooperative surveillance only if UAM speeds are low, e.g., 25 mph.

⁵¹ 出典 : Reliable, Secure, and Scalable Communications, Navigation, and Surveillance (CNS) Options for Urban Air Mobility (UAM)

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205006661/downloads/UAM%20CNS%20Final%20Report%2080GRC019D0017%20with%20App%20A%20B%20C%20v2.pdf>

⁵² 出典 : Reliable, Secure, and Scalable Communications, Navigation, and Surveillance (CNS) Options for Urban Air Mobility (UAM)

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205006661/downloads/UAM%20CNS%20Final%20Report%2080GRC019D0017%20with%20App%20A%20B%20C%20v2.pdf>

第5章 電波上空利用インフラの実現に向けた視点

今後、航空分野における上空の利用が拡大することに伴い、通信をはじめとする電波上空利用インフラの役割が不可欠となることが予想される。これらの新たな電波の上空での利用は、従来の航空分野にとどまらず、物流、警備・防災、都市交通、インフラ点検等、多種多様な産業分野への波及効果が期待されており、電波上空利用インフラの実現は、我が国の産業競争力の強化の観点で重要な課題である。電波上空利用インフラの実現に当たっては、中長期的な空モビリティの運航の変遷や通信機器等の技術進展、国際動向を見据え、国内事業者等からの要望をはじめとする短期的な通信インフラの実装ニーズを取り込んだ上で、実現に向けて段階的かつ戦略的に取り組むことが必要である。政策課題を体系的に整理し集約していく上で、一貫して取るべき視点を以下のとおり取りまとめた。

1. 安心・安全の確保（制度整備）

航空分野における安心・安全の考え方は、多くの要素から成り立っており、技術的側面、運用面、規制面、人的要因を総合的に考慮することが求められる。特に、空飛ぶクルマや無人航空機等の次世代空モビリティが展開していく中で、航空分野における上空の利用が今後高度化・高密度化する将来において、制御用通信や監視通信の信頼性・可用性の確保が、運航の前提条件となることが想定される。

このような状況を踏まえて、電波利用政策の観点では、航空分野における上空利用の高度化・高密度化を安全・円滑に実現するため、適切な時期に技術基準の整備等の必要な制度整備を実施していくことを目標とすることが適当である。

2. 最新技術の導入

電波上空利用インフラの高度化に当たっては、衛星通信、地上系無線、携帯電話網、空飛ぶクルマや無人航空機等の次世代空モビリティ専用の無線機器や、専用の通信方式等、複数かつ最新の通信技術を適切に組み合わせた柔軟なアーキテクチャの導入が重要となる。これらの技術は、成熟度や適用可能な運航形態が異なるため、単一の方式に依存するのではなく、用途やリスクに応じた適材適所の活用が必要である。また、安全・安心な通信を行うための主通信に対する冗長性の確保の観点でも重要である。

特に、実証実験やフィールド試験を通じて、最新技術を段階的に実環境へ導入し、技術成熟度を高めていく取組が不可欠である。こうした実証を通じて、通信品質、干渉影響、運用上の課題等を把握し、実装可能性を検証することにより、将来的な本格展開に向けた技術的裏付けを蓄積することが期待される。

このような状況を踏まえて、電波利用政策の観点では、航空分野における上空利用の高度化に将来必要となる電波利用技術の研究開発及び技術実証を計画的に進め、新たな無線技術の適切な時期における実用化を目標とすることが適当である。

また、他の無線局への混信の回避等必要な電波監理を確保しつつ不断に制度を見直すことで、電波利用技術の開発に必要な無線局免許手続き等の制度が民間における技術開発の阻害要因にならない環境を整備することを目標とすることが適当である。

3. 国際標準化

我が国における先進的な実証実験や技術開発の成果については、積極的に国際標準化の場へ発信し、国際的なルール形成に貢献していくことが重要である。国内での実運用や実証を通じて得られた知見を国際標準に反映させることで、国内で製造される輸出品の海外展開を後押しするとともに、海外製品の国内利用を円滑化し、国内産業の競争力強化につなげることが期待される。

一方で、空飛ぶクルマ等の次世代空モビリティに関する通信機器や通信方式、並びに高い信頼性が求められる航空機との通信に用いる周波数については、我が国独自の考え方のみで制度化を進めるのではなく、ICAO、ITU-R 等における国際標準との整合を確保することが不可欠である。

このような状況を踏まえて、電波利用政策の観点では、我が国が持つ技術的な知見や成果について国際機関等の場で情報発信して国際標準化に寄与すること、我が国の制度設計について ICAO、ITU-R 等における国際標準と整合したものとすることを目標とすることが適当である。

上に掲げた視点に基づいて整理した個々の政策課題に対応する際は、以下の点に留意する必要がある。

- 航空機に関する制度整備においては、無線設備を含む航空システムの設計においては製造事業者の知見が重要なため、海外アビオニクスメーカー等が参画して進む国際標準策定の動きとその内容を基にして検討することが必要である。
- 新たな無線システムの検討については、機体の規模、運航形態等に応じた航空システム側の安全レベルや、CNS、ペイロード通信等の通信用途に基づいて無線設備の技術的な性能要件を明確化する必要があると考えられる。
- 無線システムの制度整備、特に海外製品の国内利用に向けた制度整備を検討する際は、国内における電波の利用状況を踏まえ、既存無線システムとの周波数共有の在り方を含め丁寧な議論を行うことが求められる。
- 無操縦者航空機と無人航空機では、搭載を義務付ける設備や周波数割当の点で航空法上も電波法上も扱いが異なる点に留意する必要がある。
- 一般に、ベストエフォート型のシステムはコストが低く抑えられる一方で利用者増加による通信品質低下が起きやすいこと、帯域保証型のシステムはコストが比較的高い一方で通信品質低下が起きにくいことなど、通信品質とコストにはトレードオフの関係があることに留意する必要がある。

- 本報告は最新の情報に基づいて取りまとめたものであるが、次世代空モビリティに関する技術の進展や関係省庁の取組等を踏まえて、本報告及びロードマップを適時見直していくことが適当である。

第6章 実現に向けた環境整備

電波上空利用インフラの実現のための環境整備に向け、第5章の視点を基に取りまとめた政策課題と、その課題に関連して本作業班で出された主な意見及び政策課題に対する考え方を示す。

なお、空の利用拡大に伴う電波利用政策の在り方や優先して対応すべき政策課題について、令和7年10月10日（金）から同年11月10日（月）まで実施した意見募集に提出された意見については、以下において※を付している。

6.1. 通信・監視に関する新たなシステム

6.1.1. 上空でのKu帯ブロードバンド衛星通信利用

航空機・無人航空機に共通して、衛星通信のより広範な利用を望む意見があった。

現状のKu帯を利用する衛星通信端末の上空利用に対しては、国際制度や各国の例を考慮し、サービス提供事業者も検討に参画する形で制度化が行われた。

- Ku帯静止衛星：平成15年10月29日情報通信審議会答申、「Ku帯を用いた高速・大容量航.空移動衛星システムの技術的条件」
- Starlink：令和2年12月15日「高度500kmの軌道を利用する衛星コンステレーションによるKu帯非静止衛星通信システムの技術的条件」
- OneWeb：令和3年10月1日「非静止衛星を利用する移動衛星通信システムの技術的条件」のうち「高度1200kmの極軌道を利用する衛星コンステレーションによるKu帯非静止衛星通信システムの技術的条件」

現状、静止衛星・衛星コンステレーションを含め、Ku帯を利用する衛星通信端末の上空利用に対しては、他の無線局への干渉を防ぐ観点から端末を上空で利用した際に地上に到達する電波の強度の制限（PFD制限）が定められており、一定高度以下で利用できないことが課題となっている。

【主な意見】

（航空機に関するもの）

- 航空機地球局に適用される軸外輻射電力の許容値について、現行基準の妥当性の再評価及び、ITU-R S.524-9に準じた緩和の可能性の検討を要望。（川崎重工業※）
- 航空機地球局が設置された航空機が地上にあるとき及び高度3,000m未満を航行中のときの14.4GHzを超え14.5GHz以下の周波数の電波の送信制限の撤廃を要望。（スカパーJSAT）

（航空機、無人航空機に共通するもの）

- 14.0GHz から 14.4GHz 間の地上固定局はないが、隣接チャンネルとの検討も必要であり、同一の周波数帯に地上固定局がないからといって共用検討なしにすぐ認められるものではないだろう。(藤井主任)
- Starlink の用途によってはその信頼性を独自に十分検証する必要があるのではないか。(武市構成員)
- Starlink 衛星を用いた新たな通信サービスがすでに開始されているところであり、従来の衛星通信（インマルサット衛星、イリジウム衛星）に次ぐ新たな選択肢として、ドローンや空飛ぶクルマの運航での Starlink 衛星通信の移動基地局での利用に向けて、早期の法制度の整備促進、規制緩和も視野に入れた制度整備の検討を要望。(日本航空)
- 日本の領空上での移動体によるコンステレーション衛星通信サービスの利用の解禁を要望。(ANA ホールディングス※)
- 小型で大容量の通信が可能な Starlink などの低軌道衛星通信装置を地上（海上）から高高度まで利用できるように要望。(新明和工業※)
- 日本での Starlink の上空ユースの要望。(Joby)
- Starlink 通信の上空利用を要望。(三菱重工)
- 低軌道衛星通信はコスト面での優位性が指摘されているが、低高度で衛星を運用することによるカバー時間の短さや切替え時の瞬断といった特性と、目的との相性を十分に吟味する必要があり、航空用途におけるコストは地上用途ほど低廉ではない可能性がある。(河村構成員)

(無人航空機に関するもの)

- 衛星通信（Starlink 等）の移動中・上空利用の早期実現を要望。(エアロセンス)
- Starlink が移動中利用不可となっており、ドローン用途での規制緩和を要望。(ACSL)
- ドローンの目視外飛行（レベル 3・3.5）における通信安定性と安全性を確保するため、上空 LTE に依存しない衛星通信を主通信系とした操縦・映像伝送システムの早期実用化を要望。特に、上空 LTE は山間部で通信が成立しない区域が多く、また公開されているカバレッジ情報と実際の通信状況が一致しない事例も報告されていることから、これを補完する通信基盤の整備が不可欠である。(グリッドスカイウェイ※)
- ドローンの目視外飛行（レベル 3・3.5）の通信を、上空 LTE 依存から国内 NTN（Non-Terrestrial Networks）中心へ段階的に転換する制度整備を要望。(グリッドスカイウェイ※)
- 衛星通信について（コスト、通信レート）機体の飛行においては、1 日当たり 20 万円を超える費用がかかる場合もある。また、通信データレートが低く（最大 200kbps 程度）、飛行中の状況を把握するのが困難である。これらの解決として、低軌道衛星による通信があげられるが、現在は移動体への搭載（移動中の使用）はできない。災害時においても衛星通信は輻輳しにくいと言われており、災害対策のためにも必要不可欠な通信手段である。(JDRONE※)

- LTE 未整備エリアを踏まえ、衛星通信の活用が重点的に検討すべき課題である。(ACSL ※)

【考え方】

近年の衛星通信サービスの進展に伴い、各国の制度整備状況も踏まえつつ、上空や陸上での移動利用等、衛星通信端末のより広範な利用に向け検討を進めることが必要である。

6.1.2. 衛星ダイレクト通信、HAPS による端末の上空利用

これまで携帯電話はビル屋上や鉄塔上に設置された基地局と通信を行う形態が主であったが、通信技術の進展に伴い、衛星ダイレクト通信について制度整備されており、また、基地局機能を無人航空機等に搭載する HAPS についても令和 8 年 4 月に制度整備を実施した。これらの実現により、地上に設置された基地局と比較しより広範なエリアに携帯電話向け通信を届けることが可能となり、携帯電話端末を上空で使用する場合においても、より広範囲での利用が可能となる。

【主な意見】

(航空機、無人航空機に共通するもの)

- HAPS の活用には、サービス品質に関わる遅延 (Latency) 基準の設定、安定性・信頼性の確保、利用周波数帯における輻輳防止技術の開発が不可欠である。これらの技術的課題への解決に向けた取り組みを推進することを要望。(ANA ホールディングス※)

(無人航空機に関するもの)

- お客様が上空で利用される端末機器が通信を行う相手方として、地上の携帯電話基地局に加えて、衛星通信システム (低軌道衛星等) や HAPS 等の無線局を追加するよう要望。(NTT ドコモ)
- 上空利用の更なる発展に資する取り組みを推進することを目的に、上空における衛星直接通信の実現に向けた制度整備が進められることを要望。(KDDI)
- 衛星直接通信の上空利用に関する制度整備を早期に進めていただき、ドローンの社会実装とさらなる利活用促進に向けた環境整備を要望。(KDDI スマートドローン)
- 携帯電話回線が使用できない山間部や洋上遠方での安全運航を実現するために、HAPS による安定した C2 リンクを使用できる制度を確立するとともに、現状の技術的課題を解決することが必要であると考え。(中日本航空※)

【考え方】

現行の衛星ダイレクト通信の制度化時には携帯電話端末は地上での利用を想定して他の既存業務との共用検討が行われているが、端末を上空で利用した場合、どのような影響が

生じるのか確認を行って、衛星ダイレクト通信の上空での利用可能性を検討することが適当である。

HAPS は令和 8 年 4 月に制度整備されたところであり、他の携帯電話基地局の場合と同様に、HAPS と通信する携帯電話端末の上空での利用が可能である。

6.1.3. 地対空直接通信

ドローンに利用可能な地対空直接通信を行うシステムには、携帯電話システムのほか、特定小電力無線、無線 LAN、無人移動体画像伝送システム等の様々なシステムがある。近年、バッテリーの性能向上等によりドローンの飛行距離が伸びていることから、ドローンの地対空通信に関して、より遠距離での利用を望む意見があった。また、無操縦者航空機の活用も将来拡大することが予見されていることから、無操縦者航空機の制御用通信を行う無線局等の制度整備を望む意見があった。

【主な意見】

(航空機に関するもの)

- 5GHz 帯で確保(保留)されている「国際的に標準化された航空システム」用の周波数帯域の拡充を希望。無操縦者航空機は災害対応をはじめとした社会課題の解決に大きな期待が寄せられるプラットフォームであり、将来的に同一空域を複数の機体が運航する事も視野に入れると、C2 リンクのために 5GHz 帯で広い帯域を確保する事が急務であると考える。(中日本航空※)
- 運航の安全性の確保のためにも、5GHz 帯と同様に 400MHz 帯に無操縦者航空機等が占有あるいは優先使用できる周波数帯域の確保を希望。(中日本航空※)
- 現在、見通内通信には C バンド (5030-5091MHz) が国際的に割り当てられており、離着陸時の地上管制との通信に不可欠な周波数帯とされている。しかしながら、当該帯域が何らかの要因により使用不能となった場合の代替通信路については、現時点で具体的な周波数計画がなされていない。C バンドは航空無線 (音声通話) に用いられる周波数帯と比較して高く、空間損失が大きいいため、指向性の高いアンテナによる通信相手の追尾が必要となる。このような運用では、アンテナ駆動系の異常等により通信不能となる事態も想定される。ついては、緊急時に限り使用可能な無指向性アンテナでも十分な通信距離を確保できる、より低い周波数帯 (例: UHF 帯) のバックアップ通信路について、周波数割当ての検討を要望。(川崎重工業※)
- 既存航空機と共用する VHF 無線帯の通信チャネル不足は喫緊の課題であり、運航増加に伴う安全確保と効率的な運航継続に支障をきたす懸念がある。8.33kHz チャネル間隔への移行を加速し、周波数利用効率を最大化することの検討、及びインセンティブ措置の導入 (25kHz から 8.33kHz 対応機器への更新に対する経済的負担軽減) の検討を要望。(ANA ホールディングス※)

- これまで不適切な電波の上空利用が確認されていたところ、上空利用の拡大に伴い参入事業者の増加が予想されるため、携帯電話に限らず上空で利用される通信システム全般について、技術要件に加えて以下の運用・監督面での強化を要望。(エアロトヨタ※)
 - 事業者 (MVO/MVNO) に対する定期的な報告・監査制度の導入。
 - エンドユーザーへの使用条件・試験計画の周知義務と、問い合わせ窓口の整備・公開。

(航空機、無人航空機に共通するもの)

- LEO コンステレーションの上空利用に対する期待には同意しつつも、同時に課題もあり (万能ではない)、自営系無線の活用にももっと目を向けるべき (ハンドオーバによる通信切れ、将来の回線数増大による輻輳懸念 (特に災害時など)、ネットワークのコントロール拠点やサービスプロバイダーの拠点が海外であることの安全保障懸念、果たして C2 リンクをこれへの依存度をどこまで許容すべきか、など。)(松田構成員)
- 空飛ぶクルマ等が多数普及すれば、中心となる電波衛星等がなくても、インターネットのように多数の空飛ぶクルマ等の間で相互に電波通信を行って運航を制御することが考えられる。(個人※)

(無人航空機に関するもの)

- 策定すべき技術基準、需要増に対する制度対応として、上空利用通信帯域の割当の拡大 (6GHz、ミリ波など)、5.2GHz、5.8GHz 帯の限られた地域から全国への拡大、他システムとの電波共用が挙げられる。(ACSL※)
- ドローンの目視外飛行 (レベル 3・3.5) におけるコスト削減と飛行可能範囲拡大のため、5GHz 帯 (特に 5.725-5.850 GHz 帯) における周波数ホッピング技術を活用した中継ドローン機能の早期実用化を要望。(グリッドスカイウェイ※)
- ドローンと地上操縦者の直接通信について 5.8GHz 帯の開放について、これが可能になると、機体間での中継が可能となり、通信距離を延ばすことができ、また障害物がある環境においても通信途絶を回避する事が可能。高画質の映像もダウンリンクでき、使用用途が広がる為、制度の見直しを要望。(JDRONE※)
- 無人移動体画像伝送システムの技術的条件で送信機出力の制限の緩和を希望。(Space Compass※)
- ドローンと地上操縦者の直接通信に関し 2.4GHz 帯の出力増加に向けた制度設計について、操作 (基地局) 側と機体を直接通信する方式においては、現在 1W が最大出力である。現在、有事対応の為に、固定翼機で 30km を超える飛行 (=通信) が求められている。機体性能は満たしているが、通信がネックとなっている。これに対応できる出力を検証する為の実証実験の許認可や、実証フィールドの提供を要望。(JDRONE※)
- 2.4GHz の混信を踏まえ、5.7GHz/5.2GHz/5.8GHz 帯等の実利用促進が重点的に検討すべき課題である。(ACSL※)

- 5.2GHz 帯、5.8GHz 帯は海外と比べ制限多く国際整合化・規制緩和を要望。(ACSL)
- 無人航空機等における携帯電話端末利用に係る現行制度の電力制限緩和や新たな周波数割当の検討を要望。(Space Compass※)

【考え方】

既存無線システムの送信電力の増加や、新たな周波数帯への割り当てに当たっては、各国の動向も参考に、当該周波数帯における他の無線通信システムへの影響等を踏まえた検討が必要である。例えば上空からの EIRP（等価等方輻射電力）を増加することで、同時に使用可能なドローンの数が減少することに留意することが必要である。他の条件が同一であれば、ドローンから発射する電波の送信電力が 10 倍になれば同時に使用可能なドローンの数は二次元的に考えれば 1/10 になる。

5030-5091MHz 帯における無操縦者航空機の制御用通信については、ICAO において国際的な標準化に向けた検討が行われており、これを踏まえて検討することが適当である。また、他の周波数帯における通信利用に関しては、各国の動向も踏まえて、この周波数帯における他の無線通信システムへの影響等を踏まえた検討が必要である。

また、地域実証等を通じてニーズを把握しつつ制度検討等の取組を進めることも重要である。

6.1.4. 携帯電話網の圏外地域での対応

近年、バッテリーの性能向上等によりドローン等の飛行距離が伸びていることから、地上からの見通し外等遠距離での飛行が想定される。例えば、見通し外での飛行など地対空直接通信が届かないエリアを飛行する際は一般的に携帯電話網が使われているが、携帯電話網の圏外地域での飛行も見込まれることから、圏外地域での通信手段確保を望む意見があった。

【主な意見】

(航空機、無人航空機に共通するもの)

- 空飛ぶクルマ、ドローンを運航するにあたり、運航地域の電波状況を事前に調査する必要がある。官公庁にて各地域の電波状況を把握されているようであれば、二重調査の無駄を省くことができるため、情報公開を要望。(日本航空)
- 通信キャリアはマネタイズ面で圏外地域整備が困難であるので、初期費用に加え運用費まで含めた補助の検討、または利益に左右されない公的機関による整備が必要(アンリツ※)
- 航空機用 LTE 携帯電話サービスについて、携帯会社による上空(高度～3000m)での制度整備が必要。(Joby)

(無人航空機に関するもの)

- 圏外対策・ボトルネック解消策として、衛星通信解禁 (Starlink 等の移動利用) 、HAPS への対応、上空移動利用の許可、中山間地向け通信インフラ支援が挙げられる。(ACSL ※)
- 現場の通信確認は、試験飛行により接続可否を判断する定性的方法が一般的である。定量的な通信品質確認が安全飛行に寄与するため、その方法の制度化が必要。また、上空向け通信インフラ保守運用方法/役割が未定義であることが安全飛行に向けた課題であり、制度化が必要。(アンリツ※)

【考え方】

携帯電話網の圏外での電波上空利用の確保手段としては、6.1.1. や6.1.2. の衛星通信の利用拡大等が考えられる。

ユーザーが少ない中で上空専用の基地局を設置することには、設備構築上の課題があること、サービス提供に要する開発、設備構築及び運用等のコストをユーザー数で割ることになるため、民間事業者が提供するサービスに対する経済合理性に留意が必要である。

6.1.5. 通信品質

空の利用拡大に伴い、eVTOL 等の新たな機体等、従来の航空機に比べ多数の小型の機体の普及が見込まれる。また、遠隔操縦や将来的な完全自律運航を見据え、通信の断絶や遅延が生じない安定的な通信品質の確保を求める意見があった。一般的に、ある通信手段を同時に利用する者が増加すれば通信品質が低下することがあり、高品質の通信環境を確保するためには相応の費用が必要となる。

【主な意見】

(航空機に関するもの)

- eVTOL(空飛ぶクルマ)の社会実装は、機体の状態監視、リアルタイムな空域情報共有、遠隔操縦、そして将来的な完全自律運航を見据えると、現在の航空無線システムが想定していない「大容量」かつ「低遅延」の通信需要が新たに発生することが想定されるため、国土交通省と連携の上、通信の高度化を要望。(特に、Vertiport 周辺や都市部の低高度空域での通信容量と周波数のひっ迫が懸念される。)(ANA ホールディングス※)
- 無操縦者航空機の C2 リンクで通信するデータは、テレメトリ、機外監視カメラ映像データ、衝突回避に関するデータ等が想定され、通信容量も増加する。また、想定している飛行距離は最大 150km で、ドローン等に用いられる無線設備で対応が出来ない。大容量及び長距離通信に対応できる無線設備が利用できることを要望。(新明和工業※)

- 将来的な懸念材料の1つではあるが、都市部の VP (Vertiport: 空飛ぶクルマ専用の離着陸場) 等において eVTOL 運航が高頻度化した場合、ADS-B 等の eVTOL で用いる無線が飽和し使用に際し障害となるのではないか。(SkyDrive※)

(航空機、無人航空機に共通するもの)

- 現状、山間部や谷間部等でのドローンの運航に際して、静止衛星の通信が入りづらいことがある。また、将来、空飛ぶクルマ、ドローンが高頻度・高密度に運航する際には、衛星通信を利用する頻度やデータ通信量の増加が想定される。通信の断絶や遅延は運航の品質や安全に影響を及ぼすため、通信の安定性に係る更なる改善を要望。(日本航空)
- 携帯電話やスマートフォンの電波は、そもそも地上で使うために作られたもので、上空では地上と同様の通信の品質が保証されていない。上空での電波利用には、地上通信との干渉リスク、通信品質の不安定さ、制度面での未整備といった問題がある。(e ロボティクス※)
- 地上の携帯電話基地局はアンテナを地上向けに設計しているため、上空での利用は想定外の電波干渉を引き起こす可能性がある。(e ロボティクス※)
- ドローンや空飛ぶクルマは高速移動するため、端末が常に電波を探し続け接続が途切れやすい。結果として通信品質が安定しない。(e ロボティクス※)
- 4G・5G や Wi-Fi など既存の周波数を上空で利用すると、他の無線通信システムとの混信が懸念される。(e ロボティクス※)
- 遠隔操縦や自動飛行には安定した通信が不可欠だが、電波の途切れが事故リスクにつながる。(e ロボティクス※)
- 長距離・広帯域通信に対する要望について、今後、ドローンや空飛ぶクルマの数が増えていくと、全ての機体で長距離映像伝送しては、電波のひっ迫は必至という課題に注意を向けるべき。また、映像伝送に代わるエッジ AI 処理の積極的な導入も技術的・制度的に検討していくべきではないか。更に、必要な場所に最小限の電波を届けるという意味で、映像と C2 の分離、マルチホップ(地上中継・上空中継)も有効ではないか。(松田構成員)
- 免許不要バンドを増やすべき、との意見について、免許不要バンドは被干渉回避が保証されないことを認識すべき。(松田構成員)
- 操縦者が搭乗しない航空機において、制御用通信は有人航空機以上に機体の安全性に影響する。コストだけでなく、通信の信頼性、特性と目的の相性を吟味する必要がある(ベストエフォート型でよいのか?瞬断を許容するか?など)。運用に当たって、通信品質の指標をつくり、モニタリングするしくみが求められる。(河村構成員)
- 空対地間の信頼性確保について、低高度空域ではビル陰・地形・電波環境変動が大きく、安定した通信が難しく、単一通信方式依存はリスクが高いことが課題。LTE/5G・衛星・空対空メッシュなどマルチリンク化で冗長化し、通信品質モニタリング基盤を整備し、ダイナミックルーティングを実現することが必要。(日本電気)

- 都市部では雑多な無線局が存在し受信機の飽和や妨害が発生し得、ADS-B/レーダー/民間波と干渉が懸念される。耐干渉性の高い受信機設計（フィルタ/ゲイン制御）、地上局配置の最適化と電波マップ整備、シミュレーションと現地実証の標準プロセス化が必要。（日本電気）

（無人航空機に関するもの）

- UATM（都市型航空管理）を支える通信要件について、多機体・高密度運航を想定するとリアルタイム性・信頼性要件が高度化することが課題。QoS 管理・帯域予約・遅延保証を含む通信要件の標準化、地上・空域の状態共有を行う統合 SWIM 基盤の高精度化が必要。（日本電気）
- 低高度空域では民間 LTE、Wi-Fi、産業用無線、海上/航空無線が混在し、相互干渉や通信品質劣化リスクが増大。空域ごとの電波混雑マップ整備と混雑予測、優先制御やチャンネル割当のダイナミック運用が課題。（日本電気）
- 遠隔操縦に必要な通信として、高信頼・低遅延制御リンク、Mbps オーダの映像伝送、冗長化（地上回線/LTE + 衛星/HAPS）が挙げられる。（ACSL）
- 複数機/群制御に向けてさらなる通信帯域の拡大（6GHz 帯、ミリ波等）に向けた検討が重点的な課題である。（ACSL）
- LTE 通信について（コスト・安定性）衛星通信よりも費用は抑えられるが、操縦（基地局）側、機体双方に SIM が必要となる場合もあり、複数台機体を運用するとなると、総じてコストアップに繋がってしまう。上空プランを提供している通信事業者は、ドローン運用も行っており、自前のインフラを使い通信のコストが抑えられる事を考えると、市場競争力においても、通信インフラを持たない企業にとっては不利になってしまう。空中 LTE 参入の通信事業者も現状少ないと思われる為、参入障壁を減らす施策による市場価格の低価格化を望む。技術的な面においては、通信エリア内にもかかわらず通信できない場所もあり不安定である。（JDRONE※）
- 通信需要の広がりとして、FPV/HD 映像伝送は数 Mbps の通信レートが必要。（ACSL）
- 通信需要の広がりとして、遠隔制御+テレメトリは低遅延&冗長性の要求が見込まれる。（ACSL）
- 通信需要の広がりとして、群制御・複数機自動飛行は同時接続数拡大、通信データ量の増大が見込まれる。（ACSL）
- 運用に当たっては通信品質の具体的な指標を策定し、第三者がモニタリングする仕組みの構築が求められる。（河村構成員）
- 以下のユースケースと課題が想定される（ACSL）

分野	主な用途例	直面する電波課題
災害対応・空撮	災害現場確認、測量、自動巡回	2.4GHz 混信、山間部での LTE 圏外
インフラ点検	工場/プラント点検 危険区域監視	近距離映像伝送の安定性 干渉回避

警備	自動巡回、追跡	リアルタイム映像伝送 複数機運用時の帯域確保
物流	中山間地域配送 ラストワンマイル	LTE 非カバーエリア 冗長通信手段不足

【考え方】

無操縦者航空機等の安全な飛行のためには通信品質の安定が必要である一方、より空の利用拡大が進んだ際には、利用する通信回線次第ではひっ迫することが想定される。近年の衛星通信サービスの進展に伴い、上空での衛星通信端末のより広範な利用に向けた検討等を進めることが必要であるが、安全な飛行のためには、通信品質の確保のみならず、冗長性の確保に努め、かつ、万一の通信途絶時の対応についても併せて検討する必要がある。また一般に、高い品質の通信を利用するためには高額な通信費用が必要であるため、求める飛行の安全を確保するために必要な通信品質とその通信品質を実現するために必要なコストのトレードオフの観点も必要である。

6.1.6. 監視、電子的視認性

無人航空機、無操縦者航空機等が将来増加することが予見されており、従来の監視技術を補助する役割として、航空機等の空域利用者が相互にその存在を知らせ衝突の危険性を回避することを目的とした電子的視認性の概念とそれを実現する機器が英国航空局等によって提案・開発され、それらを踏まえた制度の検討が欧州（EASA）や米国（FAA）で進められている。我が国でも、一部の事業者から、ADS-B の無操縦者航空機等への搭載が提案されている。

航空機の監視には、地上から電波を送信し航空機からの反射波を受信して位置を特定する PSR、地上から質問信号を送信し航空機に搭載された ATC トランスポンダから応答する信号を受信して位置情報や高度情報を取得する SSR、地上に配置された複数の受信機が航空機から発射される電波を受信し、その到達時間差を利用して航空機の位置を算出する MLAT 及び WAM 等、様々なシステムが利用されている。

SSR の質問信号を受信しない場合も ATC トランスポンダから定期的に周囲に位置情報等を送信する ADS-B は、我が国では ATC トランスポンダの一機能として扱われているが、海外では ADS-B 単独での使用例がある。

【主な意見】

（航空機に関するもの）

- 衝突を避けるだけでなく、安全性を考慮するとヘリコプター側でドローンを検知できるだけでも安全性が上がると思う。（武市構成員）

- 安全性確保の観点から、eVTOL の運航エリアとなる低高度・混雑エリアにおける ADS-BIN/OUT の段階的な義務化を国土交通省と連携の上での検討を要望。義務化の範囲は、航空運送事業への影響や、小型無人機を含む無人航空機システム（UAS）の枠組みと整合性を図り、柔軟な制度設計を要望。（ANA ホールディングス※）
- ADS-B は、都市部運航における衝突回避（DAA : Detect and Avoid）へ活用することが期待されているが機体数増加による通信輻輳により、本来の機能に必要な通信品質が担保されないリスクがある。国土交通省と連携した上で、混雑エリアでの輻輳対策技術の研究開発を支援するとともに、ADS-B の高い安全要件を担保できる技術的対策の推進について検討を要望。（ANA ホールディングス※）
- 将来的（長期的）な無人・自律運航に必要な、機体の状態監視、フライトプランの動的更新、高精度な空域情報伝送等を可能とするため、現行の通信帯域では賅えない大容量・超低遅延のデータリンク環境が必要となることが想定されるため、大容量通信に関する技術開発への支援を強化し、常時安定して利用できる環境を整備することを要望。（ANA ホールディングス※）
- 航空法第 71 条の 2 に規定される操縦者の見張り義務をどのように実現するかが重要。現行の整理に倣う場合、機上の視界をリアルタイム送信する必要性が生じる可能性があるが、これを全ての UAS に適用すると周波数資源の観点から困難が予想される。現状では無人機向けに通信品質を客観的に評価・モニタリングする仕組みが十分に確立されておらず、機体規模に関わらないモニタリング体制が必要。（河村構成員）

（航空機・無人航空機に共通するもの）

- 動態情報の発信は、スプーフィング（なりすまし）問題も考えると現状では ADS-B だけではなくトランスポンダも必須と考える。ADS-B とトランスポンダについては、機体の位置を導き出す方法が異なり、仕組み上トランスポンダは場所を偽ることが難しい。通信システムの冗長性が重要である。（河村構成員）
- 使い次第では、ADS-B 送信機だけで問題ない状況もある。（吉田構成員）
- 新 ITU-R ハンドブック M. [HDBK_STATUS.SPECTRUM.RPAS_DAA]の作成に向けた作業文書において検討が進められているところであり、これらの動向も注視していく必要がある。（日本無線）
- 協調型衝突回避システムと共に、レーダーを使用した非協調型衝突回避システムは航行安全に重要。ISO 15964 で標準化された非協調型衝突回避システムに使用するレーダーの周波数割り当てが必要。（日本無線）

（無人航空機に関するもの）

- 安全確保・離発着自動化に必要な無線技術として、UTM 連携、リモート ID による無人航空機の認識、ADS-B 等による航空機の認識、飛行体はリモート ID か ADS-B のどちらかの実装の義務付けが挙げられる。（ACSL）

- 他機の位置情報把握手段としてのリモート ID の利用について、リモート ID の利用は搭載がすでに義務化されたデバイスの活用ができる利点が大きいが、通信可能距離が短い
ため、利用できる範囲に制約がある可能性がある（多数機群飛行や有人ヘリ相手など）。
（松田構成員）
- 衝突回避は、非協調型（レーダー）の周波数を確保すべきとの意見について、レーダー
のほか、協調型（機体間通信）が中型機に実装可能なレベルにあることにもっと目を向
けてもらうべきではないか（特に、リモート ID よりも長距離通信が可能な LPWA 方式
など）。（松田構成員）
- 他機の位置情報把握手段としての ADS-B の利用（ポータブル型を含む）について、空飛
ぶクルマや有人航空機への搭載義務化は望ましい方向。一方、ドローン側への搭載につ
いては、受信は可能でも送信は免許対象であること、ドローン（中小型を含む）への搭
載は ID の枯渇や通信混雑により有人航空機に悪影響の可能性のあることを認識してもら
う必要がある。（松田構成員）
- 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。特に無人航空機の目視外運航において、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である。（宇宙航空研究開発機構）
- 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。（宇
宙航空研究開発機構）
- 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。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。（宇宙航空研究開発機構）
- 航跡・識別情報について、低高度空域の情報共有や監視データが欠落し安全性を損なう
ことが課題。低高度領域における情報送受信網の構築、自動トラッキング方式（機上送
信・地上補完）の導入、出発前識別（Pre-ID）や ID 併記の標準化が必要。（日本電気）

【考え方】

無人航空機が航空機の位置情報を把握して回避する等の有人航空機、無人機間の飛行の安全を確保するための電波利用の在り方については、世界的な業界の動向を踏まえて、関係省庁と密接に連携しながら検討することが適当である。

6.2. 手続・運用面における制度整備等

6.2.1. 海外展開・海外製品利用の簡素化

ドローン事業者から、海外向け、国内向けの双方のドローンについて、製品製造時の飛行テストに必要な無線局開設を容易にできるようにしてほしいと望む意見があった。また、海外向けの機体開発に向けた無線機を国内で試験する環境がないことや、海外製無線設備を国内に導入するに当たり、新たに電気的特性データの取得を行う必要があるといった点が、製品開発に影響を及ぼしているという意見があった。

【主な意見】

- 海外製の無線機をテストする環境が国内になく、国内メーカーが海外仕向けの機体を開発する妨げになっている。飛行時に不可欠な技術であるので屋外の飛行で使えないのは致命的であるため、製品出荷のための海外向け無線利用の緩和を要望。(エアロセンス)
- 飛行制御用の電波高度計、衝突回避装置(レーダー)、トランスポンダについて、無人機向けの海外製製品の国内利用手続きの簡略化などを要望(実験試験局開設時の検査で海外メーカーで取得した電気的性能データを活用する等)。(新明和工業※)

【考え方】

製品の品質保証は、特に飛行を行う製品においては安全性に直結するものであり、慎重な対応が求められる。

一方、免許を取得せずに無線局を開設することで他の無線局に干渉を与えるおそれがあることに留意しつつ、無操縦者航空機やドローンの製造時等の無線局開設をより容易にするために取り得る手段を検討することが適当である。

6.2.2. 無線従事者資格・人材育成

我が国で海外メーカーの空飛ぶクルマの試験飛行を行う場合について、事業者から、機体の操縦は機体を製造するメーカーの操縦士が行うことが、習熟度の観点から合理的であり、また、機体のスペース等の問題で我が国の無線従事者の有資格者が外国人操縦士と同乗できない事例があることから、海外メーカーに属する外国人操縦士の無線従事者資格について、取得の柔軟化などの要望があった。

また、有人航空機では通信途絶時に機上の操縦者が対処できる一方、無操縦者航空機ではそれが不可能であり、また、無人航空機の目視外飛行ではカメラ映像等での機体外の監視を行っているため、今後の無操縦者航空機の実現や無人航空機の目視外飛行の進展に伴い、これらの機体の飛行に利用される無線設備が運航の安全性に及ぼす影響は高まってくると考えられる。

このような状況において、これらの無線設備を操作する人員の人材育成に関し、無線に関する知識や技能、無線システムを設計するためのスキル、それらの技能を評価する枠組みや、国際情勢に明るく機体の国際展開を推進できる人材が必要ではないかとの意見があった。

【主な意見】

(航空機に関するもの)

- eVTOLの社会実装と普及には、運航コストの抑制と関連人材の円滑な確保が不可欠であるため、無線通信資格のあり方について国土交通省と連携の上、以下の観点から合理化・緩和の検討を要望。(ANA ホールディングス※)
 - 資格要件の合理化： eVTOL の運航に関して運航者側の無線通信資格要件を既存の(商用の)航空機に適用されている資格と同等ではなく、eVTOLの特性に応じた緩和や資格取得の合理化(海外での無線資格による運用等)
 - 事業者の経済性への配慮：無線局の操作に無線資格を不要とする制度設計等を含めて、運航事業者の人材採用・育成コストを抑制し、eVTOLサービスの経済性を高める措置
- 将来的に無操縦者航空機に一般搭乗者が搭乗する場合、搭乗者と地上の対地通信手段についての検討を要望。(SkyDrive※)
- 2023年に空飛ぶクルマの試験飛行を実施した際に、限定的なスケジュールの中で落成検査の実施や外国人操縦士の本邦の無線従事者免許の取得が必要となったことから無線局免許申請を断念することになった。今後、飛行範囲・場所を拡大して試験飛行を実施する場合、同種の問題が生じる可能性があり、柔軟な運用を要望。(日本航空)
- 2040年代には空飛ぶクルマが日常生活に入り込んでいることも想定されるが、利用するユーザーが無線を使う可能性という視点も重要になるのではないか。(藤井主任)

(航空機・無人航空機に共通するもの)

- RF/プロトコルといった無線スキル、サービス全体を考慮したシステム設計スキル、それらの評価スキル、国際動向を調査/理解し国内展開出来るスキルが必要。(アンリツ※)
- 無線局に関わる人材の育成については、技術的スキルだけでなく、制度理解、倫理観、公共性への意識を持った人材の確保が重要です。教育機関や研修制度を通じて、技術者が制度設計や市民との対話にも関わられるような育成方針が望まれる。(個人※)

(無人航空機に関するもの)

- 無人移動体画像伝送システムと運用調整に係る整理を実施いただいたところ、ドローンについては事業者のみならず、一般の方の利用も進む中で、一層の社会普及を目指すにあたっては、無線局免許及び無線従事者資格を必要としない機器の更なる拡大を要望。(日本航空)

- ドローンの飛行までの手間（手続き）が多いことも課題。電波利用だけでも、従事者免許取得/無線局免許取得（5.7GHz 帯等）、JUTM による事前の飛行空域・時期の調整（5.2GHz/5.7GHz 等）が必要。結果、電波利用の手続きが必要ない 2.4GHz 帯に集中している。（ACSL※）
- 航空法や電波法に基づく規制は存在するものの、都市部での飛行、目視外飛行（BVLOS）、操縦者資格制度など、実運用に即した制度整備が求められている。特に、国家資格制度の導入により操縦者の技術水準は向上していますが、制度の周知や取得支援、更新制度の整備が必要。（個人※）

【考え方】

空飛ぶクルマを操縦する人員に求められる無線従事者の資格については、当該機体に搭載される無線局の免許に無線従事者の資格が紐づけられることから、無線局免許の在り方の検討も含め、検討する必要がある。具体的には、試験飛行の段階のものへの配慮や、サービス開始後の場面での要望を聴取し、要望の具体化に努め、制度改正も含めて、可能な対応を探っていく必要がある。

また、新たな航空技術及び通信技術に関する研究開発等を、民間企業や研究開発機関、高等教育機関との産官学連携を密にして進めることで、航空分野における新たな飛行形態に対応して無線に携わる人材に求められるスキルを持った人材育成の推進が求められる。

6.2.3. 制度に関するその他の要望等

空の利用拡大に伴う、eVTOL等の新たな機体の出現や無人航空機のより高い高度やより長距離の飛行を想定した様々な制度整備等の要望やコメントが寄せられた。

【主な意見】

（航空機に関するもの）

- 無操縦者航空機については、航空法上の航空機に搭載が義務付けられている無線設備と、その無操縦者航空機が新たに搭載する無線設備との干渉検討が必要になることが想定されるが、そのような場面では総務省の干渉検討と、航空機の耐空性や認証の2つの観点が出てくるのではないかと。（河村構成員）
- 旅客を乗せた無操縦者飛行は、有人航空の認証制度や安全性について見てきた専門家からすれば、難しいことと認識されており、当分先の話になると想定される。当分先という意味合いは、ICAOのRPASPでのマニュアルに、操縦者がいなくて旅客が乗ることは（文書の）対象としないと明言されている。（河村構成員）
- 既存の周波数をうまく活用することを主眼に研究開発を実施しても、専用の周波数帯域が少ないため、調整が必要であり安全性を考慮すると干渉がないようにする必要がある。専用の周波数帯域があると良いと考える。（松田構成員）

- 国交省の官民協議会「運航基準 WG」、「交通管理 TF」とも連携し、今後新たに義務付けられる必要装備品、既存の必要装備品の電波法上の立て付けの制度整備を要望。(ADS-B、PortableADS-B 等) (SkyDrive※)
- 短期の eVTOL(飛行距離が限定的)への VHF、トランスポンダ搭載について、飛行が局所的な遊覧事業も想定されており、航空法 60 条が適用される空域を飛行せず非搭載となる機体もあると思料する。適宜国土交通省とも連携の上、検討を要望。(SkyDrive※)
 - VHF 非搭載の場合の、ELT 等他の機体搭載の無線免許の種類は「航空機局」とならないと認識しているが、現行法の制度上「無線航行移動局」となるのか。「無線航行移動」の場合、通信の相手方として「航空機局」の既存機や管制施設との通信は問題ないのか。
 - VHF、トランスポンダを搭載する場合、飛行が局所的で有効到達距離に通信できる地上航法援助施設がない場合、設置時の総合試験や定期点検が成り立たない。平成 23 年総務省告示第 279 号に記載の「総合試験の方法」の見直しは不要か。
- 空飛ぶクルマが離着陸する非公共用のバーティポートや場外離着陸場についても、空飛ぶクルマとの間での安全運航に必要な情報の相互の授受のために、離着陸場管理者への飛行援助用航空局に係る無線局免許の付与を可能とするよう、周波数の再編等の対応を要望。(オリックス※)
- 航空用通信は国際的に目的を絞って割当てが行われているため、国内のみでの急速な周波数割当ては長期的な観点から問題が生じる可能性があり、慎重な検討が必要である。(河村構成員)

(無人航空機に関するもの)

- 飛行高度について従来は 150m 未満の利用に限定されていたが、近年は規制緩和が進みより高高度での利用が検討されている。(e ロボティクス※)
- 電波利用手続きに関して、JUTM による飛行調整の撤廃、免許制度の簡素化に向けた検討が重点的な課題である。(ACSL※)
- JUTM による飛行調整撤廃の意見について、JUTM は飛行調整はしていないこと、JUTM の運用調整がなければ混信が回避できず、現状では電波の有効利用も難しくなる、という問題の認識が極めて弱いように感じられる。(松田構成員)
- 既存電波制度は無人機・AAM に十分最適化されておらず、周波数使用の優先順位や保護が曖昧であることが課題。低高度空域向けの専用・優先帯域の確保、AAM 向け電波制度のロードマップ策定と政府・産業界の連携強化が必要。(日本電気)
- 将来技術への対応に関連し、AAM 台数増・自律化に伴い通信負荷は飛躍的に上昇しており、衛星との連携、OFDM 他、あらたな通信方式への対応、電波割当の最適化が必要。(日本電気)

- 開局申請が必要な通信機は、メーカーが出荷テストする際に全数開局申請が必要で、メーカーとユーザーが二重に開局し続けるのは負担・無駄が多いため、製造者向けの無線開局申請の緩和を要望。(エアロセンス)

【考え方】

上空での電波利用のための制度整備に向けては、寄せられた要望やコメントを踏まえて必要な検討を行う。

6.3. 研究開発

遠隔操縦や自動離発着技術の進展は、安全性と効率性の向上に直結するため、積極的な研究開発の推進が求められている。また、無人航空機に関しては、高速移動時の通信安定性、安全な遠隔操縦のための広帯域・低遅延技術、通信機器の小型・軽量化と共に、ジャミング（電波妨害）・スプーフィング（なりすまし）への対処が必要との意見があった。

【主な意見】

（航空機、無人航空機に共通するもの）

- 空の利用拡大における地域社会課題の解決に向けて、電波を用いた地域実証をより積極的・継続的に進める必要がある。(松田構成員)
- 遠隔操縦や自動離発着に関する通信技術の進展は、安全性と効率性の向上に直結するため、積極的な研究開発と標準化の推進を期待。(個人※)
- 技術開発においては、通信の標準化と機器供給の促進が不可欠である。特に中小事業者や自治体が参入しやすい環境整備を通じて、空域利用の民主化と地域活性化を図るべきである。(個人※)
- 技術開発段階での情報漏洩リスクへの対応は極めて重要である。日本では、技術保護に関する制度的な整備が十分とは言えず、開発現場における情報管理体制の強化が急務である。通信・制御・位置情報などの機密性の高い技術が多く含まれる空域利用においては、標準化前の仕様や未公開の設計情報が外部に流出することは、公共の安全性や国家の競争力を損なう可能性がある。これに対しては、アクセス制限、暗号化、契約上の保護条項の徹底など、制度的な技術保護政策の整備が必要である。(個人※)

（無人航空機に関するもの）

- 以下の無線通信技術の研究開発が必要。(アンリツ※)
 - 上空障害物が少ないことによる将来の移動高速化を見据えた、ドップラシフト等への耐性や提供サービスに応じたパフォーマンス定義など高速移動時の安定した無線技術。

- 高さ方向への空間拡大による 1 つの通信基地局に対する収容端末数増加を見据えた、多端末に対する安定した無線技術。
 - 安全な遠隔操縦実現のための映像伝送、自動運行システムとの常時接続、他機との直接通信などを見据えた広帯域/低遅延な無線技術。
 - 攻撃者による事故誘発や犯罪利用への対策として、スプーフィング/ジャミングに耐性のある無線通信技術。
 - 通信観点での飛行安全担保に資する、上空無線評価や品質 KPI 定義、安定運用方法。
 - ドローン航路 WG 資料にて記載があるように、TN/NTN/その他無線システムの最適組合せ。
- ドローンは既存航空機に比べて、機上に搭載できる通信機器の大きさ、重量には限りがある。ドローンで衛星通信機器を搭載できる機体（概ね最大積載量 10kg 以上の機体）は少なく、衛星を用いた精度の高い遠隔目視外飛行の実施は限定的である。通信機器の更なる小型化、軽量化の技術開発が進むような業界への働きかけを要望。（日本航空※）
 - 研究開発すべき領域として、自律・分散制御、群制御に適した無線通信技術（メッシュ等）、マルチリンク（LTE+衛星+2.4GHz/5GHz）等の無線の高信頼性技術、衛星通信による広域運航、都市空域における無線干渉や妨害への対応、5.2GHz 等周波数を他のシステムと共用する場合の干渉抑制技術・周波数共用技術、GPS のマルチパス、ジャミング、スプーフィングへの対応が挙げられる。（ACSL※）
 - 低空を飛行する有人航空機側で周辺を飛行するドローンの位置を把握したり、ドローン同士で位置情報を共有する手段として、距離の短いリモート ID 等に代わり、サブギガ帯の長距離無線方式（LPWA）による位置把握技術の開発・実証が NICT を中心に NEDO や JST 等の元で進められ、自律群飛行や自律衝突回避への利用効果も具体化してきている。（松田構成員）

【考え方】

新たな航空技術及び通信技術の進展に対応し、提案された意見も踏まえて、民間企業や研究開発機関、高等教育機関との産官学連携を深め、必要な研究開発・人材育成の推進が求められる。

また、研究開発成果の実装及び展開に当たっては、地域実証等を通じて課題の把握・解消を行って制度検討等の取組を進めることも重要である。

6.4. 標準化等

6.4.1. 標準化

無人航空機の機体の大型化・長距離化が進んでおり、無操縦者航空機においても、国際飛行を行う機体の登場が見込まれており、ICAO において、国際飛行を行う無操縦者航空機

(RPAS)に関する標準(SARPs)の検討が進められている。また、世界的な周波数利用の共通化は、システムの統一、設備導入の容易化、無線局免許手続きの簡素化にもつながる。ITUをはじめとした国際標準化機関で標準化を検討する動きがある。

【主な意見】

- 安全性や耐空性は基本的に航空機の設計で担保されていると考えている。設計においては製造事業者の知見が非常に重要であり、国内に製造事業者がいれば、議論や標準化を通じて担保されたものが作られるが、実際には欧米に製造事業者が多く、空飛ぶクルマ以上の大きな機体では、業界標準ができ、アビオニクスメーカーが参加して国際標準が作られるという流れがある。そのため、議論ができる国は独自に安全性を担保する国際標準を策定できるが、それ以外の国は国際標準を参照して安全を担保する法令を作っているのが実態である。(河村構成員)
- 近年はメーカーなどが先に進み、後から規格が追う感覚がある。ICAO の定義がないから進まないとは限らない。(吉田構成員)
- 無操縦者航空機等においても「相互運用性」という観点から世界各国で運用の共通化が図られると想定される。世界的な周波数利用の共通化を拠り所として、システムの共通化、設備導入のしやすさや無線局免許手続きの簡素化につながっていくと考えられるため、ITU などを含めた早急な制度作りが必要である。(中日本航空※)
- 通信機器や通信方式の標準化が進まないと、低空経済における次世代空モビリティの社会実装が進まない。(e ロボティクス※)
- 無人航空機の標準化の方向性として、5GHz 帯ドローン利用規格整備、群制御通信(メッシュ通信)方式、他システムとの電波共用の方式(DFS 等)が挙げられる。(ACSL※)
- 通信システム確定が先決で、3GPP のような既存の技術基準検討団体へのアドオンなどによる通信システム確定が必要。(アンリツ※)
- 国際標準化に追従する可能性について、ICAO/ASTM/ISO/RTCA などで標準化が急速に進行しており、国際会議への継続参加や国内仕様と国際仕様との整合を図り産業界の国際競争力強化が必要。(日本電気)
- 大型無人機・AAM のスケールアップについて、150kg 超級 AAM では電波・安全要件がドローンと大きく異なり、CNS の観点でも求める通信要求が異なるため、重量級 AAM 向け通信要件の独立標準の確立や ISO/ICAO レベルでの統合安全基準づくりへの参画、AAM での CNS 運用に関する基準作りが必要。(日本電気)
- セキュリティと電波の安全に関連し、機上データの盗聴・改ざんリスクや、通信妨害(Jamming)・なりすまし(Spoofing)リスクが存在する。暗号や PKI を含む強固なエンドツーエンド保護や Jamming 検知・耐性技術の標準化が必要。(日本電気)

【考え方】

我が国の開発した技術が国際標準として採用されれば、国際的に整合性のとれた技術基準を策定することができ、国内の周波数ひっ迫対策にも寄与するものと期待される。また、我が国の技術の普及が国際的にも促進され、国内技術分野における国際競争力の強化も図ることができる。

このため、関係する国際機関の会合に参加し、国際標準化により積極的に寄与することで我が国の技術の普及を国際的に促進し、国際競争力の強化を図ることが必要である。

6.4.2. 国際動向

国際的には欧州や米国が将来的な国際標準化の流れを主導しており、動向の注視が必要とされている。我が国特有の地域特性や法制度を考慮しつつ、国際制度との整合性を保った制度整備が求められる。

【主な意見】

(航空機、無人航空機に共通するもの)

- 制度の検討に当たっては、計画性を持って、国内だけでなくグローバルな整合性を考えるべき。今すぐ国内で新しい周波数を求めるのではなく、準備が必要である。(河村構成員)
- ReAMo プロジェクトにて国際動向調査が実施されており、連携すべき。(アンリツ※)
- 衛星通信や HAPS など非地上系ネットワークの利用が検討されている中、国際的な周波数調整が不可欠。(e ロボティクス※)
- 日本においても国際制度との整合性を図りつつ、地域特性や災害リスクを踏まえた制度設計が重要である。(個人※)

(無人航空機に関するもの)

- 欧州では 1880–1900 MHz/1910–1920 MHz 帯における DECT-2020NR 技術の利活用が検討対象となっている。DECT-2020NR は、低遅延・高信頼性・高セキュリティを備えた通信技術であり、無人航空機の制御用途において有効な選択肢となり得る。日本国内における電波の上空利用に関する制度設計・技術検討において、DECT-2020NR 技術についても検討の選択肢の一つとしての配慮を要望。(DECT フォーラム ジャパンワーキンググループ※)
- EUSPA より公表された上空利用に関する航空及びドローン利用者のニーズと要件に関する報告書には、ドローンの空域利用の高度化や、将来的な統合空域管理 (UTM/ATM) への要求など、具体的な技術的課題や市場の方向性が示されており、これらを参考とした検討することが有用と考える。このような国際的な需要動向を詳細に分析し、技術的対応の検討を進めるべき。具体的には、以下の点に焦点を当てて、ステークホルダーと共有し、将来のシステム設計や政策ロードマップに反映させるべき。(日本電気)

- 要件の抽出と適合性の評価：報告書で挙げられている「ユーザーニーズ」の中で、現在の技術やロードマップと整合性のある項目、または優先的に対応すべき項目の抽出。
- 国際標準への対応：欧州は、将来的な国際標準化の流れを先取りしている可能性が高いため、EUSPA がまとめた要求事項への対応について、国際市場における競争力強化につながるかの検討。
- 新たな技術機会の発掘：報告書に含まれる将来的なシステム（例：高精度測位、AIを活用した空域管理など）の要件に基づき、取り組むべき新たな技術開発テーマや共同研究の機会の発掘。

【考え方】

関係諸外国と緊密に連携を図りつつ、国際動向の詳細な分析を行い、国際的な協調のとれた制度を引き続き検討することが必要である。特に近年発展の進む NTN 分野では国際的な周波数調整が求められている。

6.5. その他

空の利用拡大に向け、これまでに記載した事項以外にも、例えば以下のような意見があった。

【主な意見】

- 国民の共有財産である電波を割り当てる場合、恩恵を受けるのが富裕層のみに限定されることのないようにすべき。（加保構成員）
- 着実な社会実装には費用と品質のバランス考慮が必要であり、産業界意見を如何に取り入れるか、建付も含めて検討が必要である。（アンリツ※）
- 都市部と過疎地で無線通信に求められる要件が異なるため、分けて検討すべき。（アンリツ）
- 空飛ぶクルマ、ドローン事業者が手頃な価格で衛星通信を利用できるよう、価格設定の見直しを含めた働きかけを要望。（日本航空）
- 防衛省における無人機の開発に際し、将来的な周波数割当てに関して支障が生じることのないよう、仮に公表を伴わない場合であっても、当該周波数帯の利用計画に防衛省機の無人機運用を含めた検討を要望。（川崎重工業）
- 無線モジュールとアンテナを切り離して認証できる仕組み、あるいは「同等アンテナ」概念を導入することが望まれる。アンテナ型式、利得、放射パターンが同等で、電波法上の基準（占有帯域幅、不要放射、EIRP など）を満たす場合には、再認証を不要とする制度設計が適切である。また、ケーブル長やコネクタの変更等についても、総合的な放

射特性への影響が軽微である範囲での変更を認める運用を明確化することで、製品ライフサイクル全体の効率化が期待できる。(エアロセンス)

- 人間が携帯電話を利用する場合も地表から 1m 数十 cm は浮いた場所で利用しているわけで、人間が利用する場合と同程度の高度で利用する場合には地上の利用と同等とみなし、通常の SIM が使えるような規制緩和を行うことを要望。(個人)
- 空の利用拡大に伴う電波利用政策の検討にあたり、技術開発の加速と制度設計の慎重な整備の両立が重要である。(個人)
- 地域ごとの電波環境評価や、住民との対話を通じた合意形成が求められる。(個人)
- 民間事業者が通信インフラや機器を提供する場合には、公共性と透明性を担保する制度的な枠組みが必要である。(個人)
- 技術基準の策定にあたっては、単なる性能要件だけでなく、公共性・倫理性・安全性を含めた包括的な視点が求められる。制度の柔軟性と安定性を両立させるためには、段階的な導入と事後評価の仕組みを整備し、必要に応じて制度の見直しが行えるようにすべき。(個人)
- 制度設計においては、市民の信頼を損なわないよう、情報公開と説明責任を徹底することを強く要望。特に、技術開発と制度整備の過程において、利用者や地域住民の声を反映する仕組みを整えることで、空域利用が社会に根付く基盤となると考える。(個人)
- いわゆる「ドローン」に該当する案だと思うが、何よりもまず、軍事的な利用が絶対に来ないように、憲法に基づいた制限を要望。国外では ドローンが殺戮・破壊に使用され、あろうことか 日本国内でも規定が無い事をいい事に米軍・自衛隊が運用を始めている。イスラエル製のドローン購入も問題になっている。平和外交でなく武力で何か解決する、というのが、とんでもなく間違いである事は、国外の戦争・虐殺を見て明らかである。どうかドローンが軍事利用されない様、きちんと規制し牽制を行って頂きたい。(個人)
- 空をもっと利用制限すべき。(個人)
- 遠隔操縦反対。(個人)

【考え方】

空の利用拡大に伴う電波政策の在り方の検討に当たっては、これらの観点も踏まえて検討を行うことが適当である。

第7章 ロードマップ

ドローンや空飛ぶクルマをはじめとする次世代の航空機が安全かつ高度に運用される社会の実現に向け、上空における電波利用の将来像と、それを支える制度・技術の整備計画をロードマップとして取りまとめた。

ここでは、2020年代後半の初期商用運航から、2040年代の自動・自律、高密度運航に至るまでを以下の3つのフェーズに分け、「制度整備」「技術開発」「標準化」の3つの視点から、将来展望を示している。

短期（2020年代後半）：初期商用運航

空飛ぶクルマによる有人運航が開始、小型無操縦者航空機による無人地帯での貨物輸送の開始、無人航空機による多数機同時運航の拡大

中期（2030年代）：高信頼性確保

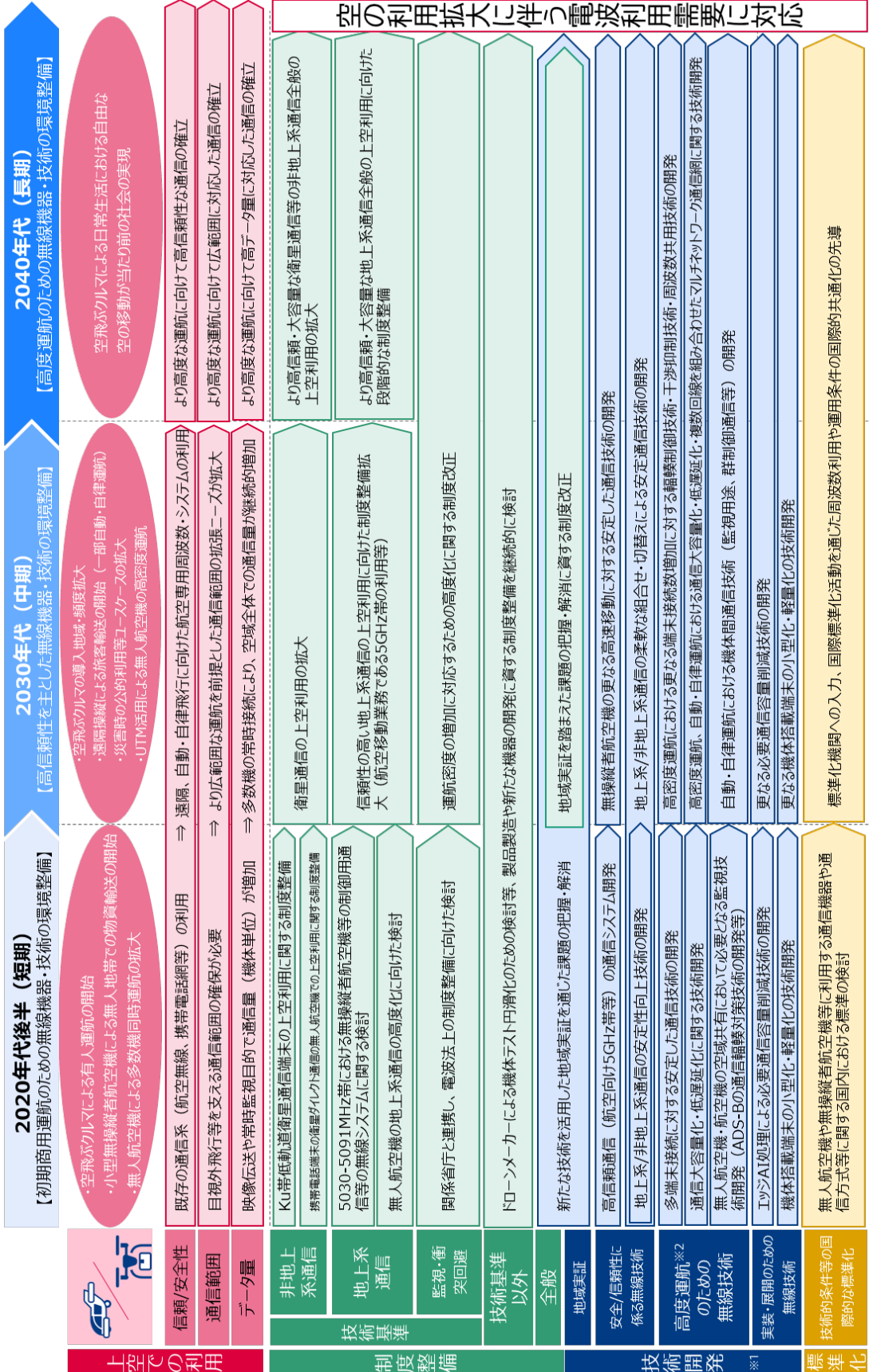
空飛ぶクルマの導入地域拡大・頻度拡大、遠隔操縦による旅客輸送（一部自動・自律運航）の開始、空飛ぶクルマの災害時の公的利用等ユースケースの拡大、UTM活用による無人航空機の高密度運航

長期（2040年代）：高度運航実現

高密度、自動・自律運航、就航率向上等の高度な運航（旅客輸送含む）が拡大

制度整備の側面では、主に着目する技術を非地上系通信、地上系通信、監視・衝突回避技術の3つに大別し技術基準の整備について展望を示した。また、技術基準以外の電波法に関連する制度整備についても必要な対応を示している。技術開発では、上空の利用拡大に伴い開発が想定される技術について年代ごとの進展を示した。標準化では、関連する国際機関での検討状況を念頭に、国内技術の提案や国際制度の国内制度への取込みなど必要な対応を示している。

空の利用拡大に向けた電波利用ロードマップ



※1 技術開発の項目は、民間及び海外の取組を含めて記載している

※2 高度運航：高密度運航、自動・自律運航を主に想定

※3 本ロードマップは、次世代空モビリティに関する技術の進展や関係省庁の取組等を踏まえて適時見直ししていくことが適当である

参考資料 1

諮 問 第 3 0 号
令 和 7 年 2 月 3 日

情報通信審議会
会長 遠藤 信博 殿

総務大臣 村上 誠一郎

諮 問 書

下記について、別紙により諮問する。

記

社会環境の変化に対応した電波有効利用の推進の在り方

諮問第30号

社会環境の変化に対応した電波有効利用の推進の在り方

1 諮問理由

我が国は、他の主要先進国に先駆けて人口減少・少子高齢化に直面しており、生産年齢人口が減少する中にあっても持続的な経済成長を実現するための生産性の向上に取り組むことが喫緊の課題である。また、令和6年能登半島地震などの大規模な災害が頻発する中、災害に強い強靱な社会システムを構築することも大きな課題である。

携帯電話に代表されるように、電波を使ったシステムやサービスは、すでに国民生活や経済活動に深く浸透しているが、自動運転やスマート農業、遠隔医療など、電波のより一層の活用を徹底して進めることで、平時・災害時を問わず、国民生活を便利で安全・安心なものにするとともに、地域の課題解決や新たな市場の創出を通じた経済成長の源泉となる可能性を持っている。

他方で、電波は有限の資源であり、電波の活用の進展に伴い電波資源は逼迫するため、電波の利用状況やニーズ、電波に関する最新の技術トレンドを踏まえて、周波数の割当てや周波数の移行・再編・共用を適正かつ効率的に実施するなど、電波法（昭和25年法律第131号）の目的である電波の公平かつ能率的な利用を確保することがますます重大となる。

このため、社会環境の変化に迅速かつ柔軟に対応し、電波の公平かつ能率的な利用を通じて国民生活の利便性向上、地域の課題解決及び持続的経済成長を実現するため、国が取り組むべき電波の有効利用の推進の在り方について包括的に検討することが必要である。

2 答申を希望する事項

- (1) 電波有効利用の推進に関する基本的方向性
- (2) 無線局の免許制度等の在り方
- (3) 周波数割当の在り方
- (4) 無線を利用したビジネス促進の在り方
- (5) 電波の利用環境の在り方
- (6) その他必要と考えられる事項

3 答申を希望する時期

令和7年夏頃目途

4 答申が得られたときの行政上の措置

今後の情報通信行政の推進に資する。

情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波有効利用委員会

構成員一覧

(令和8年4月1日現在 敬称略)

氏名		主要現職
主査委員	藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授
主査代理 専門委員	大谷 和子	株式会社日本総合研究所 執行役員法務部長
専門委員	太田 香	東北大学 大学院 情報科学研究科 教授
"	黒坂 達也	株式会社企 代表取締役 慶應義塾大学 X Dignity センター 副代表
"	猿渡 俊介	大阪大学 大学院 情報科学研究科 教授
"	瀧 俊雄	株式会社マネーフォワード 執行役員
"	中島 美香	中央大学 国際情報学部 教授
"	西村 真由美	公益社団法人全国消費生活相談員協会 常務理事
"	林 秀弥	名古屋大学 大学院 法学研究科 教授
"	矢入 郁子	上智大学 理工学部情報理工学科 教授
"	安田 洋祐	政策研究大学院大学 教授

情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波有効利用委員会
電波上空利用作業班 運営方針

1 検討事項

作業班は、以下の事項について検討する。

- (1) 航空分野における電波の利用拡大を見据えた今後の電波利用政策の在り方
- (2) 航空分野の電波利用に関し優先して対応すべき政策課題

2 作業班の運営

- (1) 主任は、作業班の議事を掌握する。
- (2) 作業班に主任代理を置くことができ、主任がこれを指名する。
- (3) 主任代理は、主任不在の時、その職務を代行する。
- (4) 作業班の会議は、主任が招集する。この場合、主任は、構成員にあらかじめ会議の日時、場所及び議題を通知する。
- (5) 主任は、必要があると認めるとき、作業班に必要と認める者の出席を求め、意見を述べさせ、又は説明させることができる。
- (6) 本作業班において検討された事項については、主任が取りまとめ、これを電波有効利用委員会に報告する。
- (7) 主任は、作業班の調査を促進させるため、アドホックグループを設置することができる。
- (8) アドホックグループのリーダー及び構成員は、主任が指名する。
- (9) その他、本作業班の運営に必要な事項は、主任が定めるところによる。

3 会議の公開等

会議は、次の場合を除き、公開する。

- (1) 会議を公開することにより当事者又は第三者の権利、利益や公共の利益を害するおそれがある場合。
- (2) その他、主任が非公開とすることを必要と認めた場合。

4 事務局

本作業班の事務局は、総務省総合通信基盤局電波部基幹・衛星移動通信課がこれに当たる。

情報通信審議会 情報通信技術分科会 電波有効利用委員会
電波上空利用作業班 構成員

(令和8年3月17日現在 敬称略)

役職	氏名	主要現職
主任	藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授
構成員	加保 貴奈	湘南工科大学大学院 工学研究科 電気情報工学専攻 教授
構成員	河村 暁子	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 主幹研究員
構成員	武市 昇	東京都立大学 システムデザイン研究科航空宇宙システム工学科 教授
構成員	土屋 武司	東京大学 大学院工学系研究科 教授
構成員	松田 隆志	国立研究開発法人 情報通信研究機構 ネットワーク研究所 ワイヤレスネットワーク研究センター ワイヤレスシステム研究室
構成員	吉田 宏昭	国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 航空利用拡大イノベーションハブ 主幹研究開発員
オブザーバー	古市 茂	経済産業省 製造産業局 航空機武器産業課 次世代空モビリティ政策室 室長
オブザーバー	山本 昂太郎	国土交通省 航空局 安全部 無人航空機安全課 無操縦者航空機企画室 室長
オブザーバー	菅 康博	国土交通省 航空局 交通管制部 マルチ航空モビリティ交通管制調整室 室長