

情報通信審議会 作業班

5.2GHz帯及び6GHz帯無線LAN作業班（第13回）2024.9.30

無人移動体画像伝送システムと運用調整のご紹介 (169MHz帯、2.4GHz帯、5.7GHz帯 ロボット用電波)

(一財) 総合研究奨励会

日本無人機運行管理コンソーシアム (JUTM)

JUTM:Japan Unmanned System Traffic & Radio Management Consortium

Contents

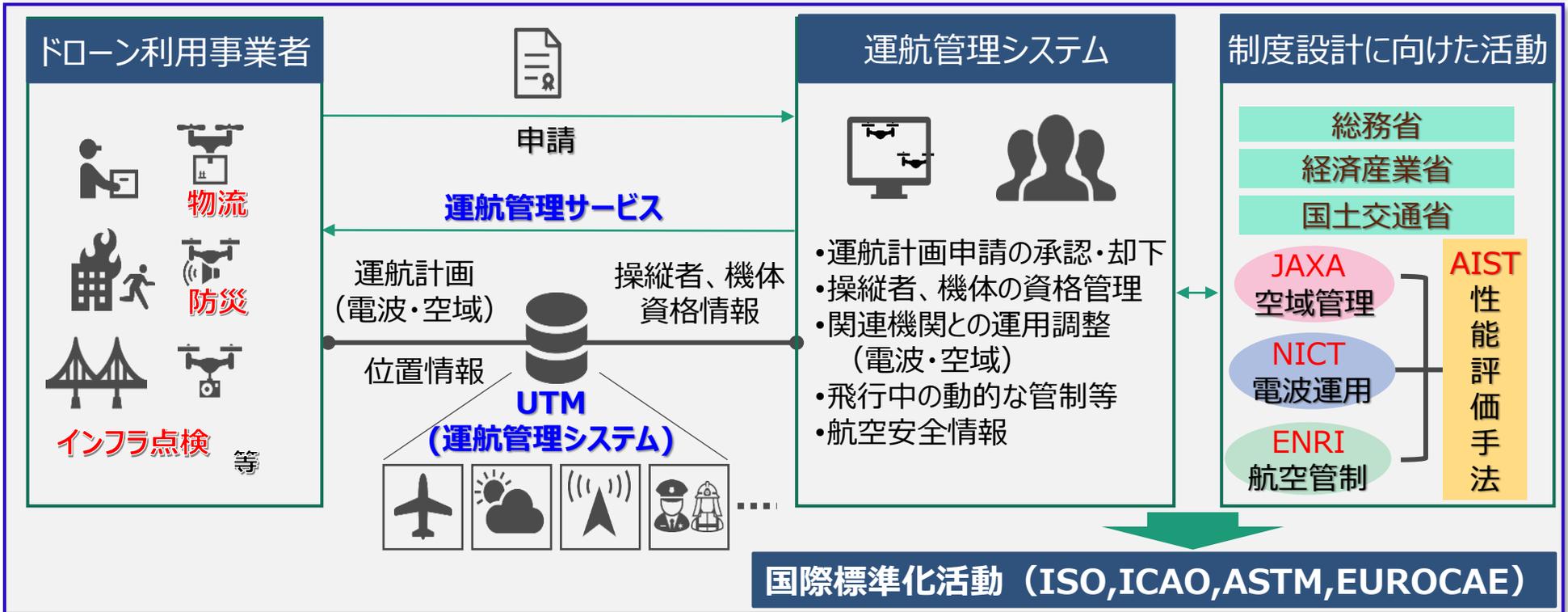
1. **日本無人機運行管理コンソーシアム・JUTMのご紹介**
2. ドローンの社会実装と電波利用
3. 無人移動体画像伝送システムの運用調整
4. 無人移動体画像伝送システム運用調整の高度化

1-1 日本無人機運行管理コンソーシアム (JUTM) の概要

■代表： 鈴木真二（東京大学名誉教授）

■2016年設立

- JUTMは陸海空無人機の社会実装に必要な施策を検討・情報発信するコンソーシアム
- ビジョン：「人とドローンが共生する未来社会」を創造して空の産業革命を推進する
- 目標：運航管理システムの国際標準化、DXへの対応、グローバルな産業競争力確立
- 活動：WG活動及びロボット用電波・無人移動体画像伝送システムの運用調整を実施
- 会員数:844者（正会員等142者,賛助会員580者,オブザーバ会員122者,R6年8月）



➤ 官民協議会、デジタル全総等のドローン政策動向に従い、社会実装に向けて電波調整WG、社会実装WG、国際標準・エコシステムWGが相互に連携して活動を推進

| | | 2024年度 | 2025年度 | 2026年度 | 2027年度 |
|---------------------------------|--------------------|---|-----------------|---|----------------------|
| 政策動向 | | UTMプロバイダ認定要件の検討 | UTMプロバイダ認定要件の策定 | 段階的に都市部へのレベル4飛行を実現 | |
| J U T M | 電波調整 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 運用調整システムの高度化及び無線局の狭帯域化による電波有効利用の促進 (デジタル全総との連携) ■ ドローンで利用する電波運用に係るアーキテクチャの検討 | | | ■ 都市部でのドローン高密度運航への対応 |
| | 社会実装 | <ul style="list-style-type: none"> ■ UIC2-J「デジタル全総と連携した社会実装の推進と課題抽出」 ■ 災害時ドローン活用「災害時ドローン運用の課題抽出と対応策の検討」 | | <ul style="list-style-type: none"> ■ 地域でのUTM社会実装とドローン・空飛ぶクルマ活用の推進 ■ 防災訓練でのドローン・UTMの活用推進 | |
| | 国際標準・エコシステム | <ul style="list-style-type: none"> ■ ISOでのUTM機能要件等の標準化 ■ UTMプロバイダ認定制度に向けた国内標準と人材育成の検討 | | <ul style="list-style-type: none"> ■ UTMサービスプロバイダ認定制度への対応 ■ 空飛ぶクルマの地域での実装推進 | |
| 連携協定等に基づく標準化、利活用と社会実装の推進 | | | | | |
| 福島ロボットテストフィールド | | <ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン「UTM及びI種機体社会実装の支援、災害対応などUTM活用訓練を支援」 ・ デジタル全総「技術検証に係るテスト環境を提供」 ・ 空飛ぶクルマ「飛行試験拠点としての活用・整備、研究・人材育成等の機能拡充」 | | | |
| デジタルアーキテクチャ・デザインセンター | | <ul style="list-style-type: none"> 「無人機に関する国際標準化・社会実装に向けた協力に関する覚書」 ・ 無人航空機の運航管理に関する国際標準化推進 ・ 無人航空機の実装に向けたアーキテクチャの具体化 | | | |

- JUTMは福島ロボットテストフィールドと連携してUTMを活用したビジネスにおけるユースケースを想定した数々の実証実験を実施。
- これらの実証実験を通じて得られた知見を基に、ドローンを安全に運航できる運航管理ルールや利活用推進のためのガイドラインなどの制度設計を推進。

【運航管理システム 基本機能の実証】

2016年度



- ・物流、農業、測量など複数事業者で空域を共有
- ・UTMを活用した災害対応、有人機と空域共有の実証

【運航管理システム の高度な活用】

2017年度



- ・世界初ドローン物流連携
- ・ドローンポート管理
- ・ドローン向け気象情報提供
- ・36者参加、19機のドローンが120フライト

【パブリックセーフティ他 ガイドライン策定】

2019年度



- ・警備分野における無人航空機の安全な運用方法に関するガイドライン策定に参加
- ・ガイドライン策定に当たっての実証実験に参加

【災害時のドローン 航空運用調整】

2021年度



- ・災害発生時にUTMを用いた航空運用調整に関するガイドラインを作成
- ・ガイドラインの検証を目的にUTMを活用した防災訓練を実施

Contents

1. 日本無人機運行管理コンソーシアム・JUTMのご紹介
- 2. ドローンの社会実装と電波利用**
3. 無人移動体画像伝送システムの運用調整
4. 無人移動体画像伝送システム運用調整の高度化

2-1 ドローンの社会実装に向けた関係省庁の施策の一例

【内閣官房新しい資本主義実現会議】⇒デジタル田園都市国家構想

- テレワーク・ドローン宅配・自動配送など、地方の課題を解決するため、地方からデジタルの実装を推進。
- 物流や保安、防災など様々な分野においてドローンを活用できる環境を整備
- 機体認証制度、操縦ライセンス等の制度設計を進め、来年度中にレベル4を可能とする。

【デジタル臨調】⇒ドローン申請ワンストップ化などの規制改革

- ドローン飛行に最も重要でかつ、手続きが明確化されている 航空法、電波法に係る申請手続きの連携によるドローン申請ワンストップ化を推進

【国土交通省航空局】⇒ドローンの社会実装に向けた環境整備

- 運航管理のルール検討、UTMサービスプロバイダの認定制度、航空局システムの改修

【経済産業省】⇒デジタルライフライン全国総合整備計画

- ドローン航路の整備によりドローンの安全かつ高速な運航をより簡便に実現
- 目視外の自動飛行による点検や巡視、物流の自動化などを普及させることを目指す

【岸田総理からIPAへの依頼文書】⇒ドローン等、自律移動ロボットのアーキテクチャ設計

- 年間500万フライトにより社会課題を解決する将来像の具体化とその実現に必要な運航管理システム、所有者認証の仕組み、標準通信規格の特定、データ連携基盤の具体化等

【総務省】⇒レベル4飛行実現に必要な通信の確立に向けた課題解決策を検討

- 5G用周波数、無線LAN等の上空利用実現に向けた技術的検討
- 無人移動体画像伝送システムの高度運用調整による電波利用効率の向上

- ◆ 飛行中は操縦者が機体の状況を把握するための通信を確保することが必須
- ◆ 自律飛行であっても非常時には強制的に機体制御を行う制御信号を送信する通信が必要

【航空局の目視外飛行飛行承認申請】⇒**無人航空機の機能・性能に関する基準適合確認書**

- 「一般」：無人航空機を飛行させる者が**燃料又はバッテリーの状態を確認**できること。
- 「遠隔操作の機体」：緊急時に機体が暴走しないよう、**操縦装置の主電源の切断又は同等な手段により、モーター又は発動機を停止**できること。
- 「自動操縦の機体」：常時、**不具合発生時等において**、無人航空機を飛行させる者が機体を安全に着陸させられるよう、**強制的に操作介入ができる設計**であること

- ◆ 飛行前に飛行エリアの飛行に影響のある電波環境に関する事前調査が必要

【航空局の許可承認を要する飛行】⇒**「航空局標準マニュアル」に示す手順で飛行**

- **電波障害等による操縦不能を回避**するために高圧線、変電所、電波塔及び無線施設等の上空やその付近での飛行を禁止

- ◆ 令和5年12月に制度化されたレベル3.5飛行では補助者の代替として機体カメラの映像伝送が必要

第三者が立ち入る可能性が低い場所において、レベル3.5飛行を実施する場合は、機体カメラで飛行経路下に第三者がいなかったことを確認することが条件

航空局「無人航空機の型式認証等における安全基準及び均一性基準に対する検査要領」の第一種・第二種機体認証等に係る安全基準のうち、電波利用に関連する事項

| 安全基準 | 内容（抜粋） |
|-----------------------------|---|
| 001 設計概念書(CONOPS) | <p>申請者は、型式認証を希望する無人航空機の我が国の空域における想定される運用（Concept of Operations: CONOPS）を定義し、航空局又は登録検査機関（以下「検査者」という。）に提出すること。CONOPSには、試験及び運用限界の値と範囲を決定するために十分に詳細な以下の説明を少なくとも含むこと。</p> <p>(f) 無人航空機の運用のために使用される無線通信機能（コマンド、コントロール及びコミュニケーション）</p> |
| 100 無人航空機に係る信号の監視と送信 | <p>無人航空機は、安全な飛行と運用の継続に必要なすべての情報を監視し、関連システム（AE）に送信するように設計されなければならない。その情報には、少なくとも以下を含むこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) すべてのエネルギー貯蔵システムのすべてのクリティカルパラメータの状態 (b) すべての推進システムのすべてのクリティカルパラメータの状態 (c) 飛行及び航法の情報（例えば、対気速度、針路、高度、位置等） (d) 緊急時の情報や状態を含む通信及び航法信号の強度並びに品質 |

[https://www.asims.mlit.go.jp/fsdb/a_circular.nsf/bc2af3923a3cb575492574fd002dd5df/74b7006b9d795b56492588b60038542d/\\$FILE/8-001.pdf](https://www.asims.mlit.go.jp/fsdb/a_circular.nsf/bc2af3923a3cb575492574fd002dd5df/74b7006b9d795b56492588b60038542d/$FILE/8-001.pdf)

| 安全基準 | 内容（抜粋） |
|---------------------|--|
| 120 緊急時の対応計画 | <p>(a) 無人航空機は、コマンド&コントロールリンク（以下「C2 リンク」という。）の喪失時に自動的かつ瞬時に予め定められた安全な飛行、ロイター飛行、着陸又は飛行中止を行うように設計されなければならない。</p> <p>(b) 申請者は、C2 リンクの喪失時に行うべき対応を設定し、それを無人航空機飛行規程に含まなければならない。</p> <p>(c) 無人航空機飛行規程は、性能低下により遠隔操作が保証できなくなる C2 リンクの最低性能要件を含まなければならない。C2 リンクの性能低下により最低性能要件を満たさない場合の離陸は、設計により防止されるか、無人航空機飛行規程に指定する運用限界により禁止しなければならない。</p> |
| 305 起こり得る故障 | <p>無人航空機は、単一の起こり得る故障によって機体の制御不能又は想定飛行範囲からの逸脱を生じないように設計されなければならない。これは、試験により実証されなければならない。</p> <p>(a) 起こり得る故障については、少なくとも以下の機器に関するものを考慮しなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> (2) C2 リンク (3) 全球測位衛星システム（GNSS） |
| 310 能力及び機能 | <p>(a) 無人航空機に求められる以下のすべての能力及び機能は、試験により実証されなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) C2 リンク喪失後のコマンド&コントロール機能の復旧能力 |

[https://www.asims.mlit.go.jp/fsdb/a_circular.nsf/bc2af3923a3cb575492574fd002dd5df/74b7006b9d795b56492588b60038542d/\\$FILE/8-001.pdf](https://www.asims.mlit.go.jp/fsdb/a_circular.nsf/bc2af3923a3cb575492574fd002dd5df/74b7006b9d795b56492588b60038542d/$FILE/8-001.pdf)

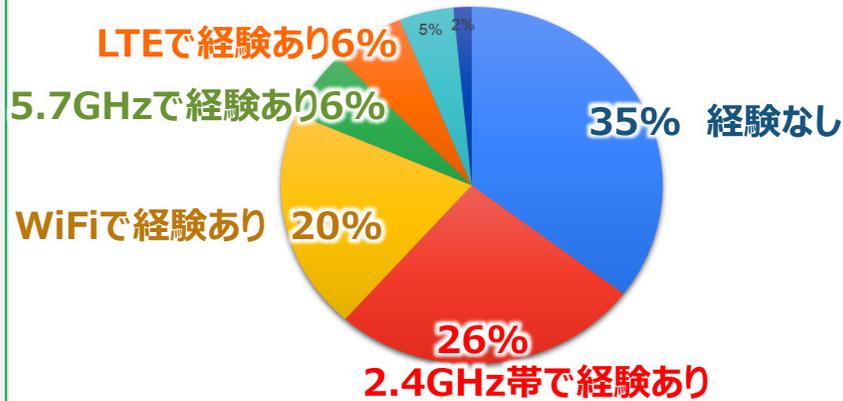
消防庁「消防防災分野におけるドローン活用の手引き」における電波運用の留意事項

| 項目 | 内容（抜粋） |
|---------------------|---|
| 電波運用に関して留意すべき事項 | <ul style="list-style-type: none"> ➤ 飛行前に飛行させるエリアの障害物や電波状況の確認，ホームポイントの設定位置，飛行プランについて，部隊内で共通認識を形成することが重要である。 ➤ 事前準備として送電線等の周辺では，飛行障害や通信障害が懸念されるため，管内の電波状況に関して事前の調査や情報収集は必須である。 ➤ 火災等において対象が中高層建物の場合，ビル風（剥離風，逆風，吹き上げ，吹き下ろし）や，付近の電波塔や5G アンテナによる電波干渉への注意が必要である。 |
| GPS，電波不感などのアクシデント事例 | <p>これまでに蓄積された消防本部における活用から以下の事例があり，注意が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 屋内訓練時，GPS モードが不能となり，壁に衝突 ➤ 屋外で遠距離飛行中，GPS 不感となり立木と接触，墜落 ➤ 操縦用の無線と近い周波数帯の電波（例：トラック無線，Wi-Fi など）や，送電線近傍で発生する電磁波の発生により制御困難 ➤ 山間部や高層ビル等が多い環境で GPS 信号の捕捉ができなくなり，一時的な制御不能（意図せず大きく旋回するなどの挙動） |

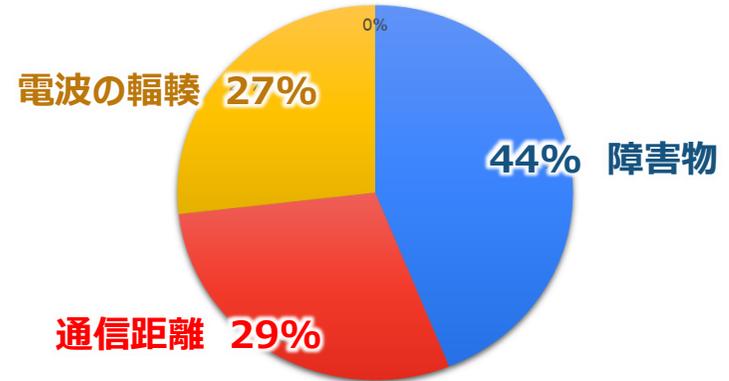
◆ 飛行に影響のある電波環境に関する情報取得が必要⇒電波環境情報の提供の仕組等が必要

https://www.fdma.go.jp/laws/tutatsu/items/040331_drone.pdf

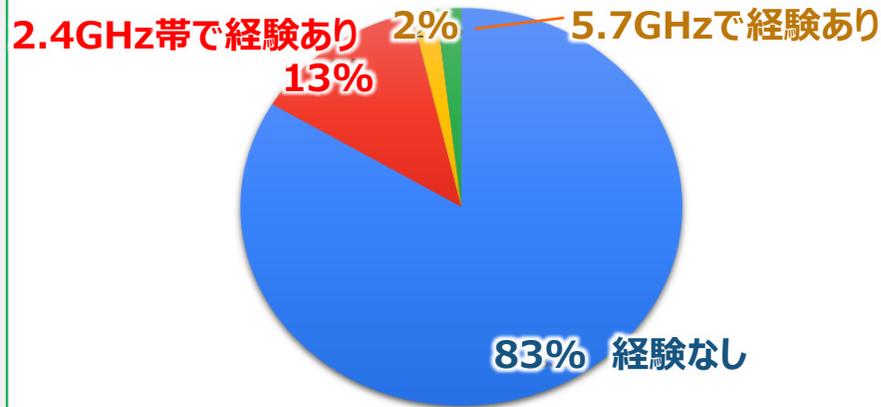
Q1 通信の途絶・制御不能の経験はあるか？



Q2 通信の途絶・制御不能の推定原因は？



Q3 無人移動体画像伝送システムの運用調整システムで申請・運用した際の混信経験は？



アンケート実施時期：令和4年1月
アンケート回答数：55

➤ 通信の途絶・制御不能はドローンの紛失、墜落につながる恐れあり⇒回避するための施策が必要

Contents

1. 日本無人機運行管理コンソーシアム・JUTMのご紹介
2. ドローンの社会実装と電波利用
3. **無人移動体画像伝送システムの運用調整**
4. 無人移動体画像伝送システム運用調整の高度化

➤ ドローンの利活用推進には電波の有効活用と干渉を防止する電波調整が不可欠

| 分類 | 無線局免許 | 周波数帯 | 最大送信出力 | 主な利用形態 | 備考 | 無線従事者資格 |
|----------------|-------|---------|-----------------|------------------------|---|--------------------------|
| 免許又は登録を要しない無線局 | 不要 | 73MHz帯等 | ※ 1 | 操縦用 | ラジコン用微弱無線局 | 不要 |
| | 不要※ 2 | 920MHz帯 | 20mW | 操縦用 | 920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用特定小電力無線局 | |
| | | 2.4GHz帯 | 10mW/MHz ※ 3 | 操縦用 画像伝送用 データ伝送用 | 2.4GHz帯小電力データ通信システム | |
| 携帯局 | 要 | 169MHz帯 | 10mW※ 4 | 操縦用 画像伝送用 データ伝送用 | 無人移動体画像伝送システム（2016年8月に制度整備） ⇒無線局を開設するには他の無線局との混信を防止する運用調整を行うことが条件 | 第三級陸上特殊無線技士 以上の資格 |
| | | 2.4GHz帯 | 1 W | 操縦用 画像伝送用 データ伝送用 | | |
| | | 5.7GHz帯 | 1 W | 操縦用 画像伝送用 データ伝送用 | | |

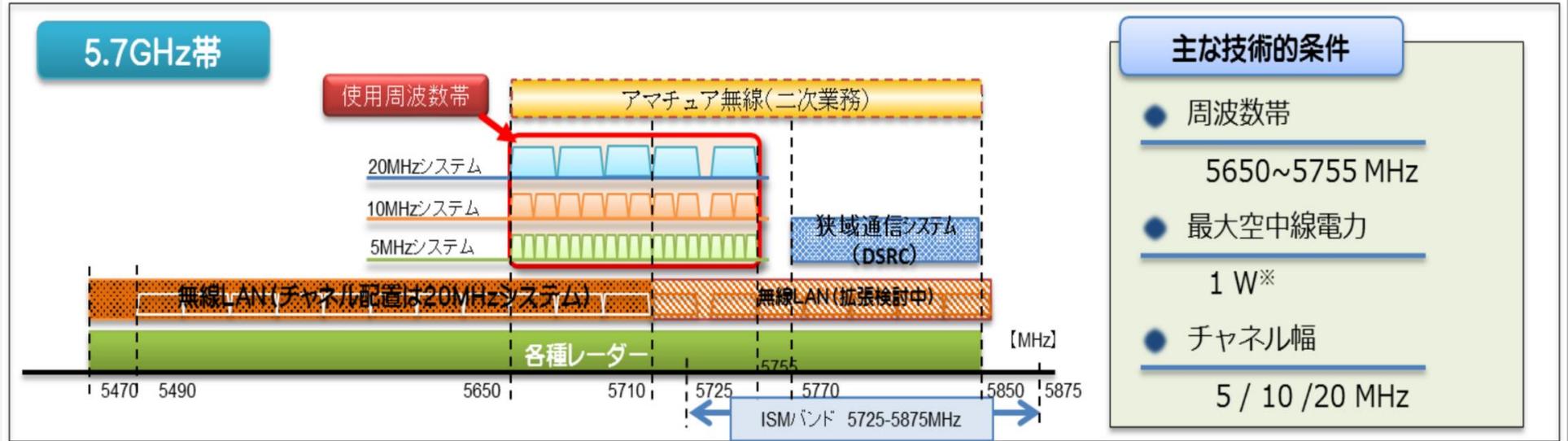
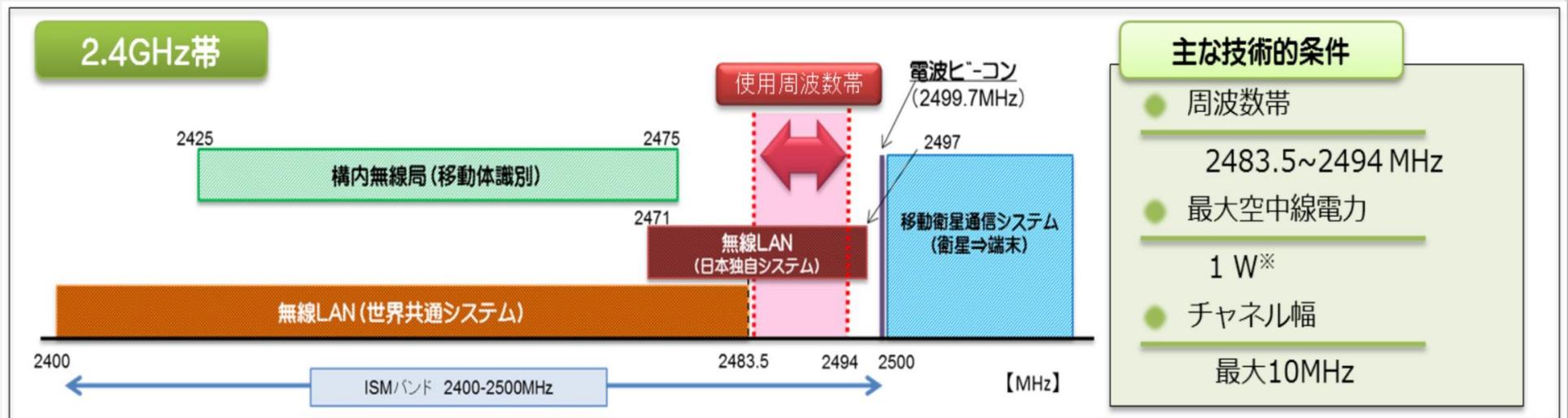
※1：500mの距離において、電界強度が200 μ V/m以下のもの。

※2：技術基準適合証明等（技術基準適合証明及び工事設計認証）を受けた適合表示無線設備であることが必要。

※3：変調方式や占有周波数帯幅によって出力の上限は異なる。

※4：地上から電波発射を行なう無線局の場合は最大1W。

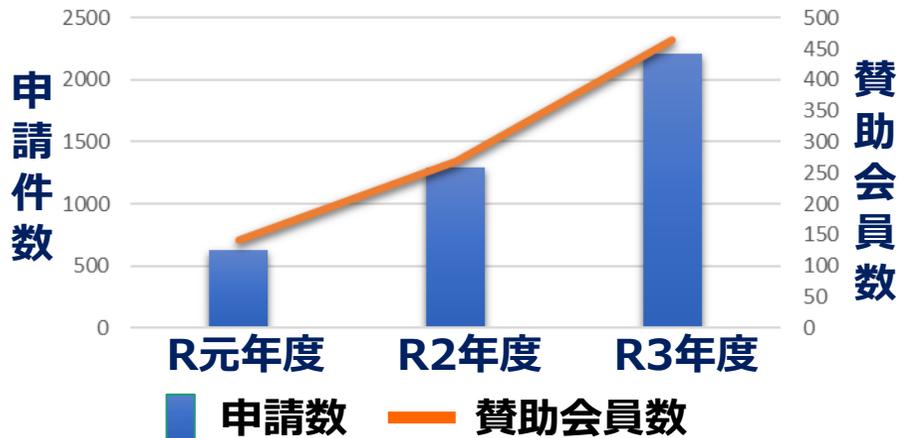
➤ ドローンの利活用推進には電波の有効活用と干渉を防止する電波調整が不可欠



<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>

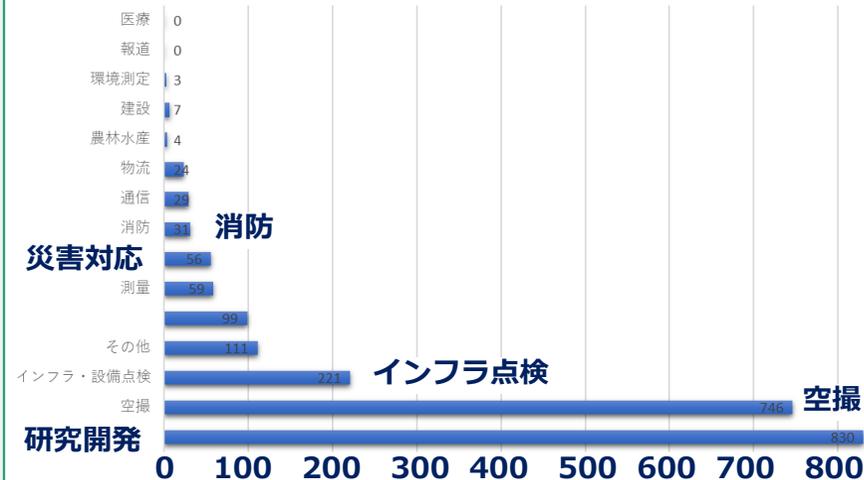
3-3 無人移動体画像伝送システムの利用状況

会員数と運用調整システム申請件数の推移



利用目的別の申請件数

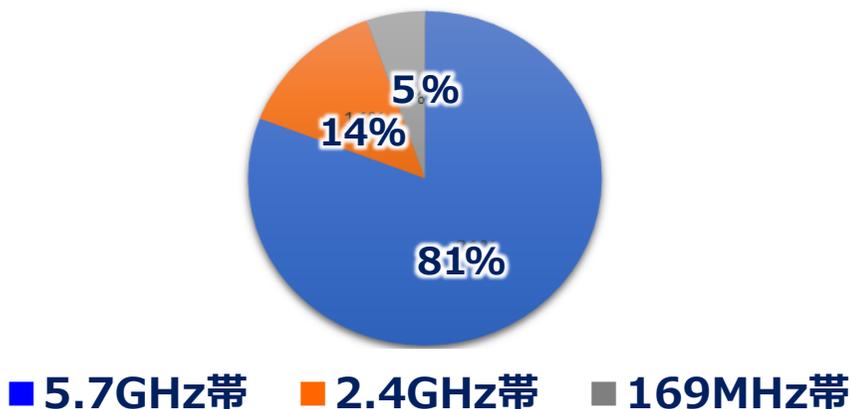
R3年度



R5年4月~12月の競願件数/申請件数：115件/1917件

周波数帯ごとの申請件数

R3年度



- 5.7GHz帯
 - 帯域幅20MHzの場合 ⇒ 5 Ch
 - 帯域幅10MHzの場合 ⇒ 10Ch
 - 帯域幅5MHzの場合 ⇒ 21Ch
- 2.4GHz帯
 - 帯域幅10MHzの場合 ⇒ 1Ch
 - 帯域幅5MHzの場合 ⇒ 2Ch
- 169MHz帯
 - 帯域幅300KHzの場合 ⇒ 1Ch
 - 帯域幅200KHzの場合 ⇒ 1Ch
 - 帯域幅100KHzの場合 ⇒ 4Ch

➤ Ch数の少ない周波数は利用頻度も少ない⇒電波の有効利用のためにはCh数増加が有効ではないか？

➤ 無人移動体画像伝送システム無線局免許人間の混信防止のための運用調整を実施

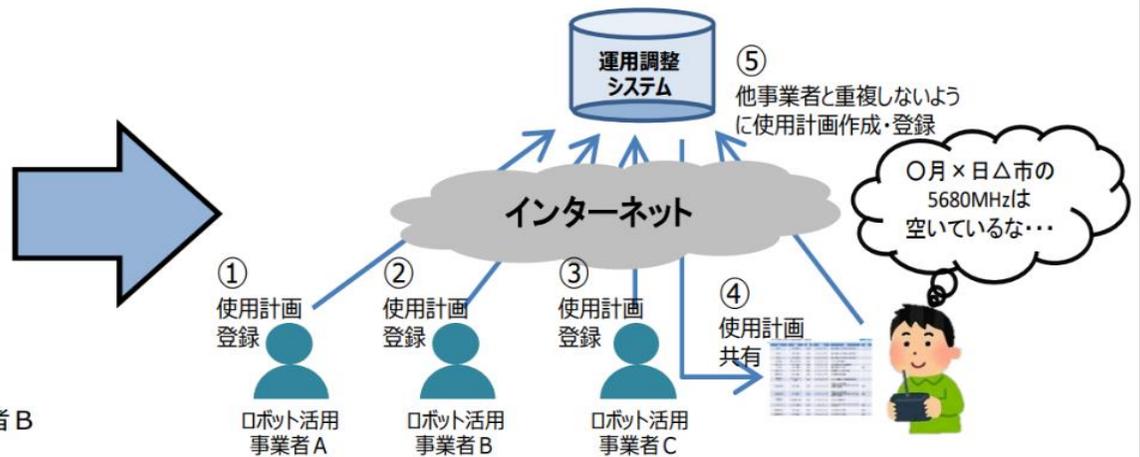
運用調整システムとは

JUTMでは、**ロボット用の電波（無人移動体画像伝送システム）の運用調整**を実施しています。ロボット用電波はWi-Fiなどのように無線機が動的に使用する周波数(ch)をユーザー間で自動で融通する仕組みがありません。そのためこのロボット用電波の使用前に、**事前にユーザー間で電波を使用する日時・地域・周波数の情報（使用計画）を共有**し、これらが重なる（干渉・混信する）場合は日時や周波数を変更するなど**融通（＝運用調整）**する必要があります。（169MHz, 2.4GHz, 5.7GHz）

運用調整システムとはこの**ロボット用電波利用のスケジューリング**を行うシステムです。



運用調整の仕組みがない場合の混信事例



運用調整システムで事業者間の電波使用計画を共有し、混信を防ぐ

➤ 無線局開設の時間・場所・電波諸元等を入力することにより免許人間の電波干渉を防止

1. JUTMのHPから運用調整システムにログイン



2. 利用月と県を指定して他の利用者の状況を確認



3. 開局する無線局の運用調整に必要なデータ入力

(1) 利用する無線機を登録/選定

| 免許番号 | 無線機 |
|-------|--|
| test1 | BODUK / HN1000T / アナログ / 11111111 無人機 送信出力：1.0W, 無人機 等価等方輻射電力：4.0W, 無人機 アンテナタイプ：2, 無人機 アンテナ利得：6dBi, 無人機 アンテナ最低受信感度：dBm, 地上局 アンテナ利得：7dBi, 地上局 アンテナ最低受信感度 |

5.7 GHz 帯

帯域幅 20 MHz

5745 Mhz 5720 MHz 5700 Mhz 5680 Mhz 5660 Mhz

帯域幅 10 MHz

5750 Mhz 5740 MHz 5725 Mhz 5715 Mhz 5705 Mhz 5695 Mhz

5685 Mhz 5675 Mhz 5665 Mhz 5655 Mhz

運用周波数、送信出力、等価等方輻射電力、アンテナタイプ・利得・最低受信感度等の入力

(2) 利用局パターンの入力

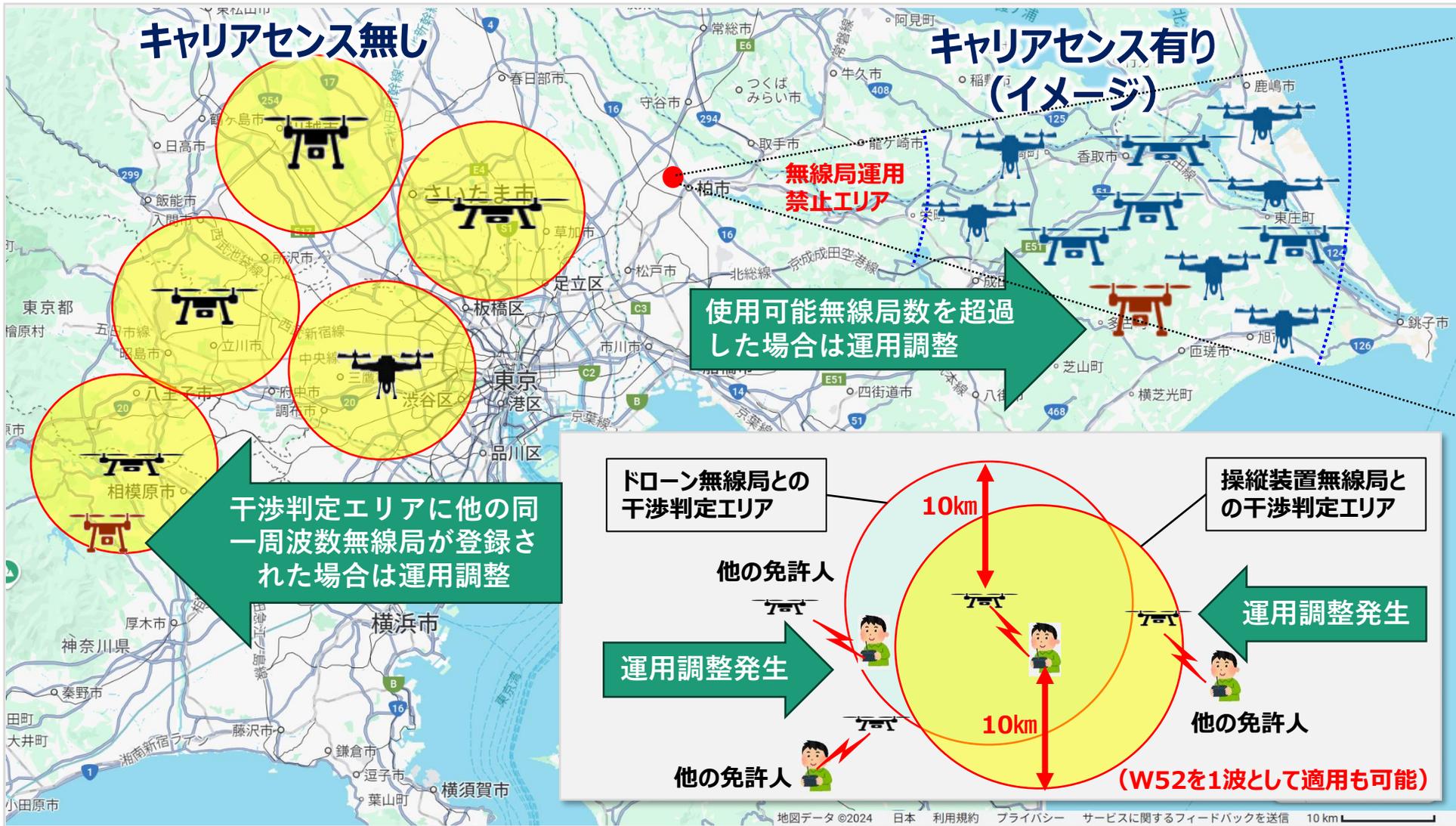
- 利用時間
- 利用目的
- 利用形態 (空中、陸上、海上等)
- 利用場所 (都道府県、市町村)
- 運航ルート (KLMファイル添付)
- 運航範囲 (地上局からの半径を入力)

4. 利用周波数が重複した場合は運用調整を実施
運用調整システムでは無線局出力に関係なく干渉距離を一律10kmとして干渉有無を判断

3-6 無人移動体画像伝送システムと無線LANの運用調整のイメージ

➤ U57の場合、同一周波数・同一時間に使用可能な無線局は半径10km範囲内で一律 1局

➤ 無線LAN等の場合、同一時間に指定エリアで使用可能な無線局数以下に管理（一例：Ch数以下）



Contents

1. 日本無人機運行管理コンソーシアム・JUTMのご紹介
2. ドローンの社会実装と電波利用
3. 無人移動体画像伝送システムの運用調整
4. **無人移動体画像伝送システム運用調整の高度化**

4 - 1 周波数の利用効率向上（狭帯域化によるCh数増加）

JUTM会員への狭帯域化に関する調査結果

| 区分 | 主な用途 | 帯域幅 | Ch数 | 備考 |
|---------|-------|--|---------------|---------------|
| 169MHz帯 | C | 現状 300KHz、200KHz、100KHz 狭帯域化 50KHzを追加 | 最大8Ch化 | 画像伝送は困難 |
| 2.4GHz帯 | AまたはB | 現状 5MHz、10MHz 狭帯域化 1MHzを追加 | 最大10Ch化 | 活性化にはCh数増加が必要 |
| 5.7GHz帯 | AまたはB | 現状 5MHz、10MHz、20MHz | 最大21Ch | 画像伝送に適する |

A : 画像伝送 B : 画像伝送+コマンド、データ、テレメトリ、認識ID等 C : コマンド、データ、テレメトリ、認識ID等

狭帯域化に関する検討例（2.4GHz帯の場合）

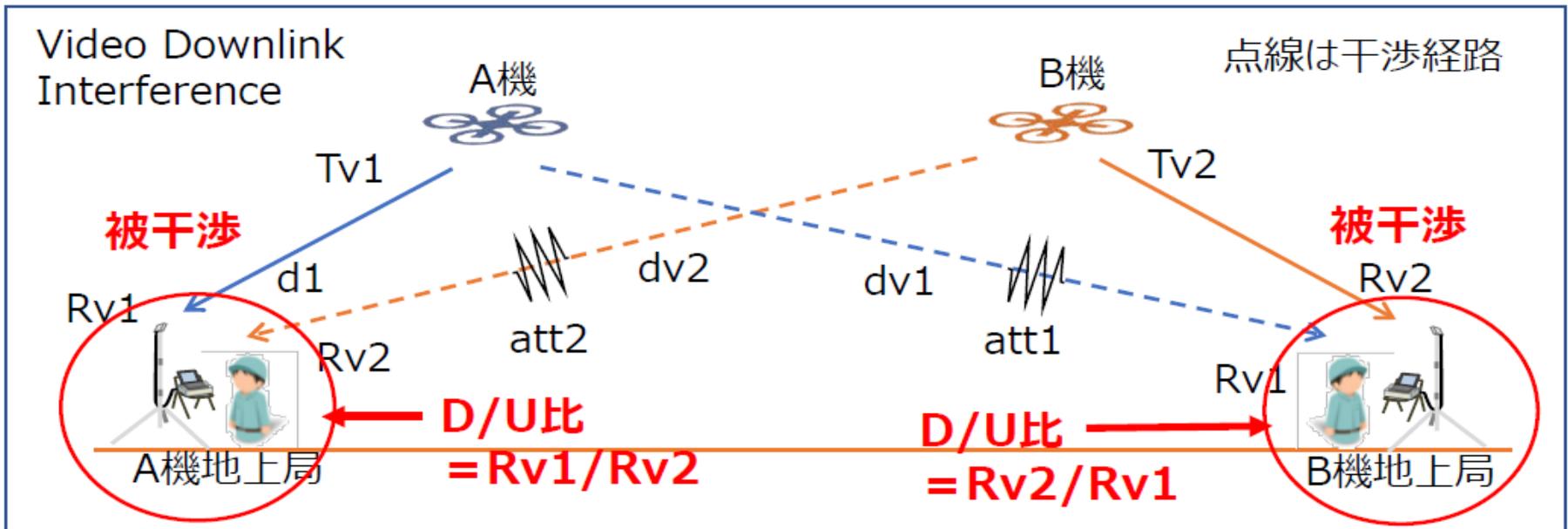
| Ch間隔 | 周波数（中心周波数） | 占有周波数帯幅許容値 | Ch数 |
|--------|--|---------------|-----------|
| — | 2488.5MHz | 9MHz | 1 |
| 5MHz | 2486MHz, 2491MHz | 4.5MHz | 2 |
| 1MHz | 2484MHz, 2485MHz, 2486MHz, 2487MHz, 2488MHz 2489MHz, 2490MHz, 2491MHz, 2492MHz, 2493MHz | 900kHz | 10 |
| 500kHz | 2484.00MHz, 2484.50MHz, 2485.00MHz, 2485.50MHz, 2486.00MHz 2486.50MHz, 2487.00MHz, 2487.50MHz, 2488.00MHz, 2488.50MHz 2489.00MHz, 2489.50MHz, 2490.00MHz, 2490.50MHz, 2491.00MHz 2491.50MHz, 2492.00MHz, 2492.50MHz, 2493.00MHz | 450kHz | 19 |

（169MHz帯については25KHz幅の狭帯域化により20Ch確保が可能か検討中）

年間2000件以上の運用調整システムへの申請に伴い運用調整を実施する頻度が増加 電波資源の公平かつ効率的な配分を目的に、運用調整システムの改善を検討。

- 電波資源の公平な配分のためのシステム変更 (一度に申請する周波数の制限等)
- 無線局運用位置の精緻化
- 無線局の出力に応じた電波伝搬範囲の評価 (現状は出力に関係なく一律10kmで設定)

A・Bともに画像ダウンリンクの場合



受信したい電波 (希望波 = Desired Signal) に対して邪魔をする電波 (妨害波 = Undesired. Signal) がどれだけのレベル (D/U 比) であれば受信できるかを把握

4-3 レベル4 飛行を実現するための運用調整システムの高度化

- 高度運用調整技術の実現により同一エリアで使用可能な無線局を倍増
- 高度運用調整・電波環境情報技術により電波が原因のドローンの墜落等事故を防止
- 各種システムとのデータ接続・デジタル活用によりデジタル田園都市構想実現に寄与



デジタル田園都市国家構想の実現

●電波伝搬シミュレータ

「三次元空間電波伝搬シミュレータ」(175m)

「無人航空機システムの周波数効率利用のための通信ネットワーク技術の研究開発」(H28～H30年度)

無線LAN上空利用への対応

無人移動体画像伝送システム 運用調整システム (JUTM整備)

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 5750 MHz | 5740 MHz | 5725 MHz | 5715 MHz | 5705 MHz | 5695 MHz |
| 5685 MHz | 5675 MHz | 5665 MHz | 5655 MHz | | |

都市部等上空の電波環境情報

「無人航空機の目視外飛行における周波数の有効利用技術の研究開発 (R1～R3年度)」

- a. 電波諸元・地形等考慮した電波伝搬特性
- c. 同一周波数の他の無線システムとの共用、使用不可エリア設定可能性
- d. 混信発生時の対応
- e. 短時間での混信検討
- 入力電波諸元の最適化
- b. 隣接周波数との周波数共用
- 電波運用に影響のある電波環境情報の提供

◆ ドローンが激増して周波数がひっ迫する場合は輻輳防止を図った無線LAN上空利用などが有効



**ドローンの社会実装には制御用通信として
「遅延が少なく切れない信頼性の高い通信」が不可欠です。**

**JUTMは将来のドローンの高密度運航を実現できるよう
電波運用の諸課題に取り組みますので、
引き続き高所からのご指導を賜りますようお願いいたします。**

(一財) 総合研究奨励会 日本無人機運行管理コンソーシアム (JUTM)
<https://iuttm.org/>