

地域ニーズに応じた自営等BWAの 高度利用に関する調査検討

【令和4年度・5年度報告書（概要版）】

令和6年7月

総務省 北海道総合通信局無線通信部電波利用企画課

本書の位置づけ、調査検討の背景・目的、主な検討項目

本書の位置づけ

この報告書（概要版）は、令和4年度及び令和5年度に当局において実施した「地域ニーズに応じた自営等BWAの高度利用に関する調査検討」の検討結果を、当局において2カ年度分の検討結果として取りまとめたものである。

背景・目的

自営等BWAは自己土地内の運用に限るという制約がありながら比較的安価で構築できる利点を有し、スマート農業や保守点検業務などの需要に応えるものとして期待されている。しかしながら実際の運用では既存システムである地域BWA、全国BWA、そして将来的な5G NR地域BWA、5G NR全国BWAとどう共存し構築していくかを調査することが喫緊の課題となっている。

主な検討項目

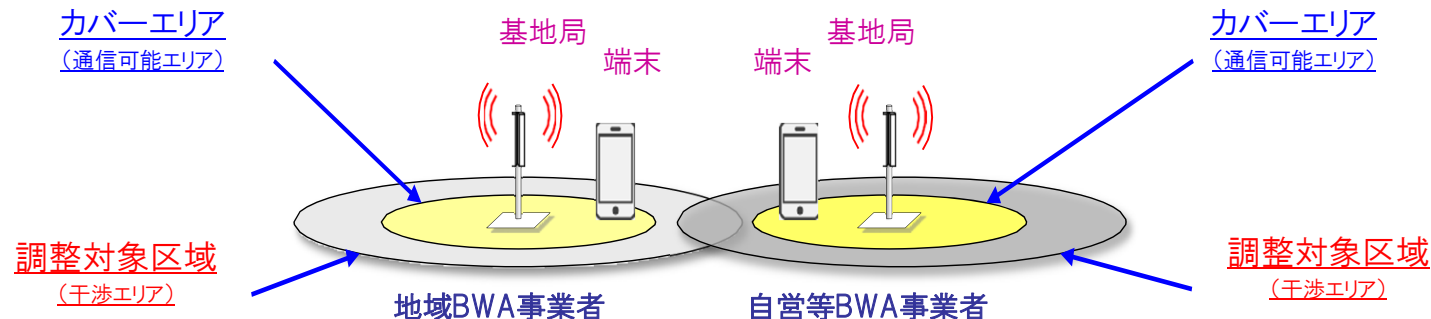
- 農業等での活用で想定される環境（圃場、森林、水上、および上空）の電波伝搬特性データ取得
- 高度利用（基地局の移設運用、端末の上空利用、準同期運用）の導入に向けた実証試験および調査
- 既存システム（地域BWA、地域WiMAX、全国BWA）及び5G NRとの周波数共用に関する条件検討
- 準同期運用の検討
- 新たな運用形態に対するニーズの調査・把握

1. 自営等BWA等に関する制度の現状

1 (1) 自営等BWA等に関する制度の現状

地域BWAとの干渉調整

- 1 自営等BWAと地域BWAのカバーエリアが重なる場合は免許不可。
- 2 自営等BWAと地域BWAの一方のカバーエリアともう一方の調整対象区域が重なる場合は干渉調整が必要。
- 3 自営等BWAと地域BWAの一方のカバーエリアともう一方の調整対象区域が重ならなければ干渉調整は不要。
- 4 自営等BWAと地域BWAの干渉調整については、具体的なルールが無いため、前記 2 については基本的に地域BWA事業者の合意が得られず、免許不可となっている。



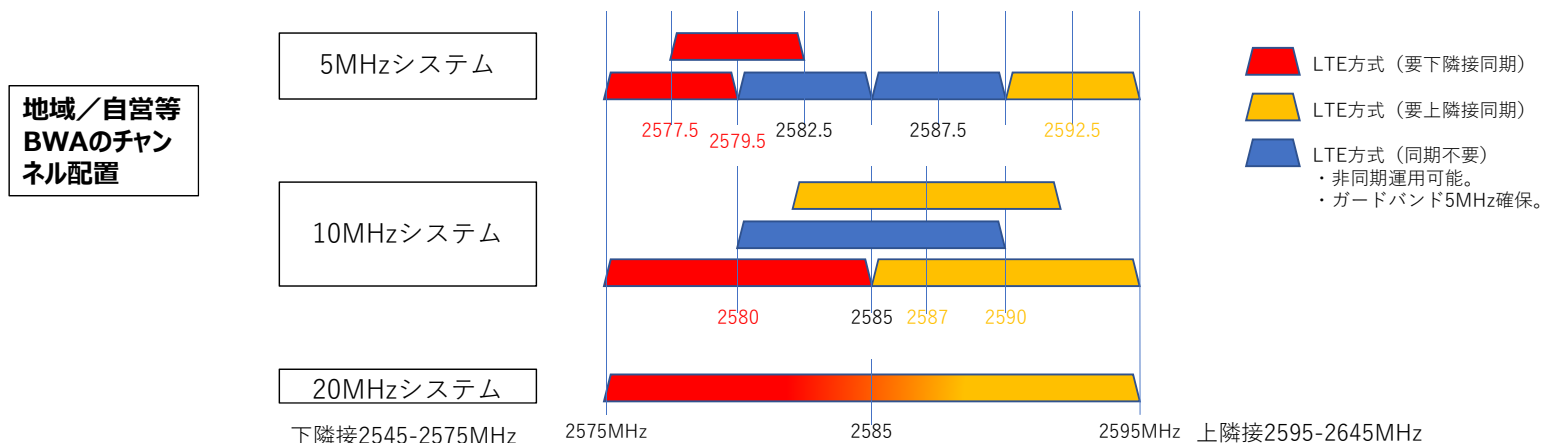
→前記 2 に関して、干渉調整に資する周波数共用条件を検討。

1 (2) 自営等BWA等に関する制度の現状

全国BWAとの干渉調整（同期、非同期（準同期））

- 1 自営等BWAの20MHzシステムについては、全国BWAと同期し、かつ、干渉調整が必要。
- 2 自営等BWAの10MHzシステム、5MHzシステムについては、全国BWAと5MHzのガードバンドを確保すれば非同期運用が可能だが、ガードバンドを確保できない場合は、確保できない側の全国BWAと同期し、かつ、干渉調整が必要。
- 3 全国BWA事業者との干渉調整は、全国BWA事業者が指定する『事業者間調整依頼書』により実施し、自営等BWAの免許申請前に『事業者間調整合意書』を入手する。

→非同期方式のうち干渉調整が容易な準同期方式に係る周波数共用条件を検討。

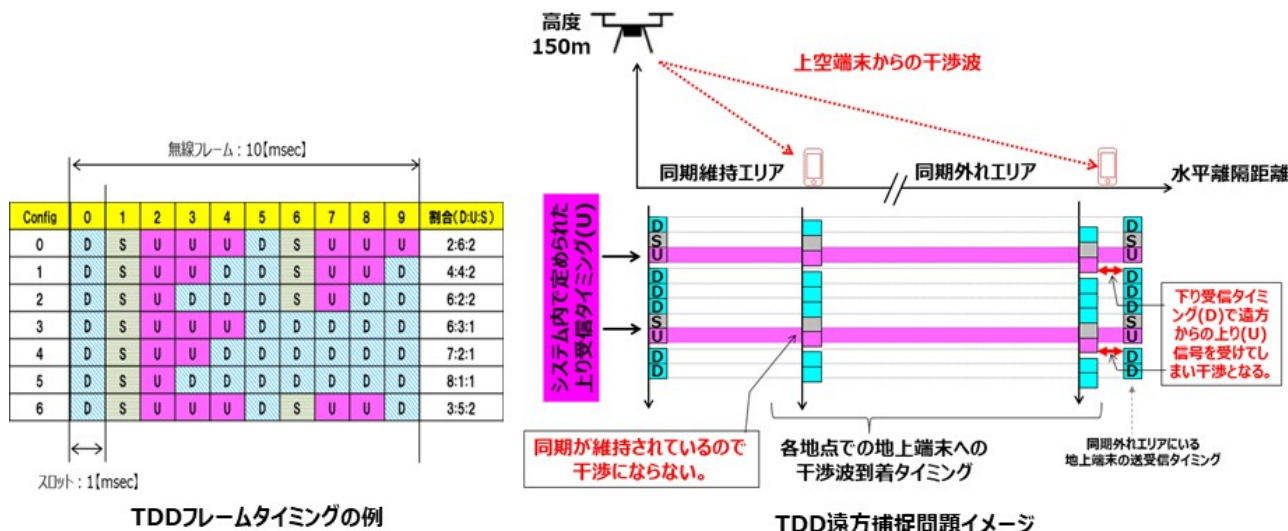


1 (3) 自営等BWA等に関する制度の現状

移動局の上空利用

- 1 携帯電話のFDD方式については、移動局の上空利用が可能。
- 2 携帯電話のTDD方式、BWA (TDD方式) については、遠方補足問題により移動局の上空利用は不可。

→上空利用に関して遠方補足問題を含めて周波数共用条件を検討。



1 (4) 自営等BWA等に関する制度の現状

基地局空中線の移設

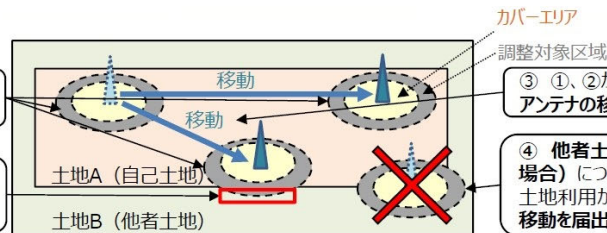
- 1 ローカル5Gについては、他者土地に係る電波強度が上がらなければ基地局空中線移設が届出で可能。
- 2 ローカル5Gについては、他者土地に係る電波強度が上がっても合意を得ていれば基地局空中線移設が届出で可能。
- 3 自営等BWAについては、基地局空中線移設に許可が必要。

→基地局空中線移設に関して、他者土地に影響を与えない手法を検討。

1. 具体的イメージ

① 免許申請時に、自己土地内の複数の地点で、干渉検討上問題がないことを予め確認。

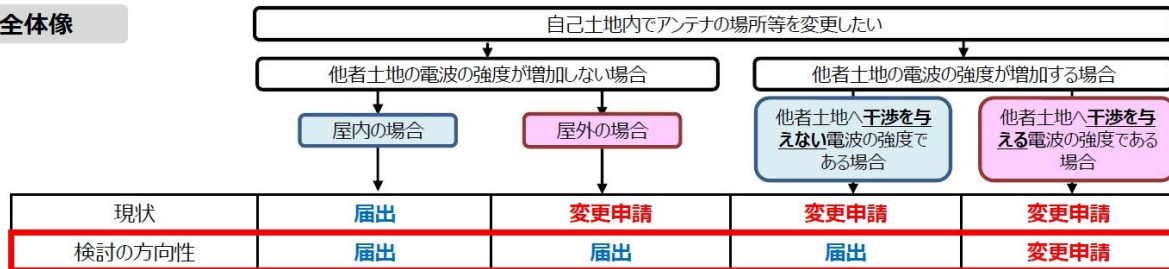
② ①に際し、調整対象区域が他者土地に存在する場合、当該土地の所有者等との事前の合意が必要。



③ ①、②がなされているならば、アンテナの移動は届出でよい。

④ 他者土地利用時（カバーエリアが他者土地に及ぶ場合）については、事後的に土地Bの所有者による自己土地利用が開始される可能性があることから、アンテナの移動を届出とすることは不適当。

2. 手続の全体像



2.利用環境ごとの電波伝搬特性調査

2 (1) 利用環境ごとの電波伝搬特性調査結果まとめ

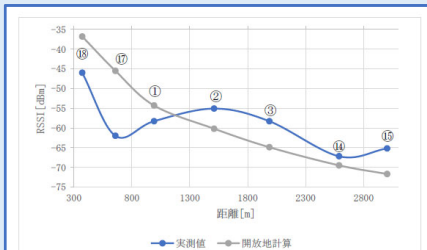
北海道雨竜郡沼田町において、自営等BWAを農業で使用したいというニーズがあり、環境条件（圃場、森林、水上、上空）ごとの電波伝搬特性（受信信号強度、伝送レート等）の測定を実施（測定期間：2022(R4)年9月～11月）

圃場(農作物を栽培するための場所)

- 伝搬特性は総務省「開放地」計算式に近似



受信電力測定例



水上(沼、湖)

- 波面反射によるマルチパスで受信レベル変動大
- 基地局に近いエリアでの減衰大
- 基地局から遠方のエリアは、開放地計算式で推定可能



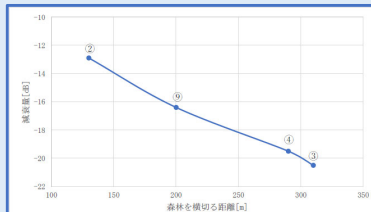
※ 水上のみ浦臼町鶴沼公園内で実施

森林

- 樹高約15mの森林内の伝搬：5.4dB/100m程度の減衰（植生の密度や季節による変動有）



受信電力測定例



上空

- 飛行中のドローン（高度50m・100m）を利用した測定を実施遠方捕捉（遠方遅延）干渉の評価
- 他基地局からの干渉が無ければ、地上より安定した通信（伝送レート、ハンドオーバー特性）が可能

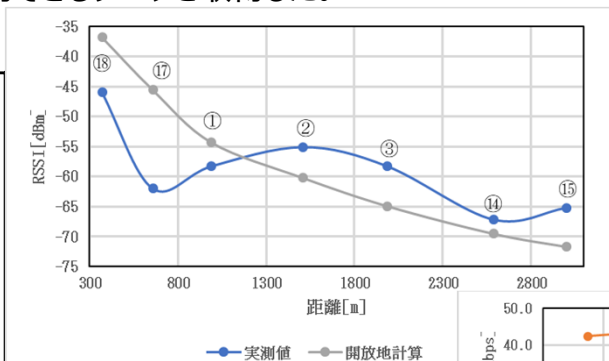


2 (2) ア 電波伝搬特性データの取得

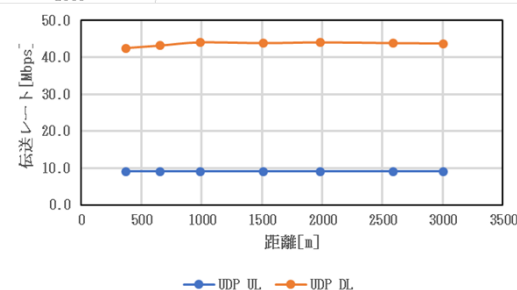
令和4年度の地域ニーズのヒアリングにおいて、環境条件（圃場、森林、水上、上空など）ごとの電波伝搬特性（受信信号強度、伝送レートなど）を測定し、自営等BWAのエリア設計に活用できるデータを取得した。

圃場の実証

- ・沼田町役場屋上設置の基地局から町内の圃場に向かって電波伝搬実験を実施。
 - ・圃場のため大地との反射はほぼ無く稲穂による減衰が予想されたが、開放地計算にほぼ近い結果となった。
 - ・UDP (User Datagram Protocol) 伝送レートでは、距離が増加してもダウンリンク、アップリンクともに一定。
- 開放地のため、基地局から最も離れた測定ポイント（約3km）でも-70dBm以上であり、距離によらず同じ変調でダウンリンクは64QAM、アップリンクは16QAMを維持しているためと推察される。



圃場のRSSI



圃場のUDP伝送レート

圃場のまとめ

- ・総務省計算式（※）によるカバーエリア（受信電力 -85dBm以上）は、開放地9km、郊外地2.4kmである。
- ・高規格道路手前の役場周辺のみ建物が散在し、その先は圃場が広がっている状況で、実測値のRSSIは1kmから先は開放地の計算式にほぼ沿った結果となった。
- ・以上から圃場は総務省計算式の開放地計算を使用することが妥当と考えられる。

※電波法関係審査基準（平成13年総務省訓令第67号）別紙2 第2 4 (17)自営等広帯域移動無線アクセスシステムの無線局 別紙(17)ー1 カバーエリア及び調整対象区域の算出法

2 (2) イ 電波伝搬特性データの取得

森林の実証

- ・沼田町役場屋上に基地局を設置し、約1km離れた森林方向へセクタアンテナを向けて電波を発射し、森林周辺9か所にてエリアテストを用いて受信レベルを測定した。
- ・森林は、樹高約15mで、まだ9月半ばのため葉が茂り密生した状態。

森林のまとめ

- ・樹高15mの密生した繁茂状態の森林における減衰量は5.4dB/100mであることが分かった。
基地局と移動局の間に密生した森林がある場合、総務省計算式の0.1km以上の距離においてk値をその距離に応じて計算することが妥当と推察する。
- ・減衰量の値は、植生の密度、葉の水分量、降雪時は枝への積雪の有無によって変動する。

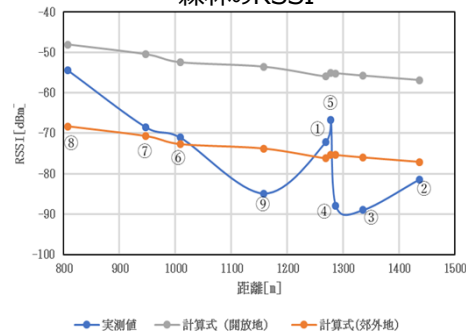
水上の実証

- ・公園内にある沼の一角に基地局を設置し、その周辺を移動局を移動させて複数のポイントにて測定した。（※基地局と最も離れたポイント：約200m、最も近いポイント：約20m）
- ・基地局との距離が200mに近づくほどダウンリンク伝送レートが上がった。
- ・瞬時地変動を勘案すると基地局から水辺までは約20mであり、水面のみならず陸地での反射も影響していると推察される。

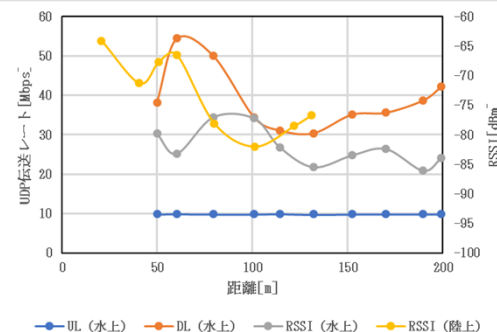
水上のまとめ

- ・水上を跨いで電波伝搬は波面反射の影響により受信電力が大きく変化すること及び基地局に近い方は陸上に比べて減衰が大きく、遠くなるにつれて陸上での値に近付き、結果として総務省計算式（開放地）の値にほぼ近づいてくる結果となった。
- ・水上での電波伝搬はマルチパスの影響で極端に受信電力が変化する可能性を考慮し、十分マージンを持った回線設計が必要である。

森林のRSSI



RSSIおよび伝送レートの距離特性



2 (2) ウ 電波伝搬特性データの取得

上空の実証

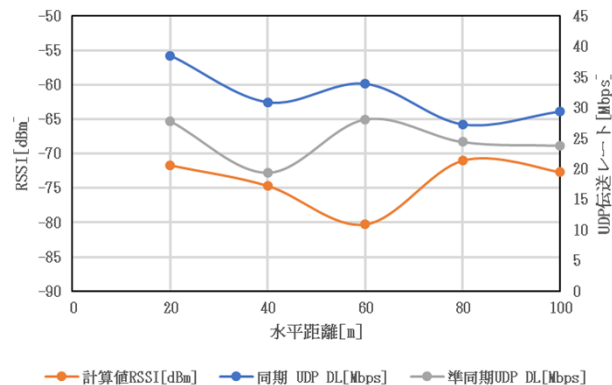
- ・ドローンに移動局を搭載し、上空高度50mと100mでホバリングさせて、基地局との間で同期と準同期の通信を実施。
- ・高度50、100mの各5つのポイント（水平距離20m間隔）にてデータ取得。
- ・移動局のRSSI測定値はエリアテストに比べて信頼性が劣るためUDP DL伝送レートをを用い、計算値の受信レベルと比較した。
伝搬損失は自由空間でのフリスの公式（※）を用いてアンテナ（基地局、移動局共）の仰角方向の指向減衰を考慮した。

※ フリスの伝達公式（Friis transmission equation、Friis transmission formula）
送電用アンテナが放射する電力と受電用アンテナが受け取る電力の関係を記述した公式。

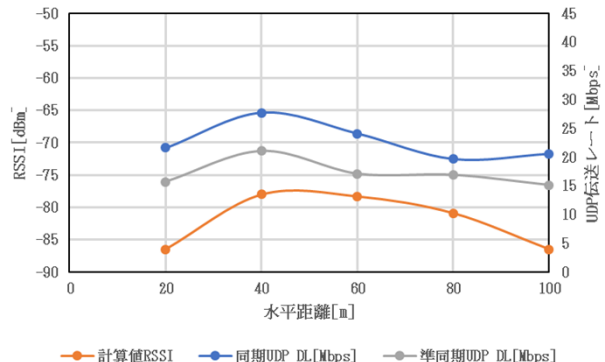
上空のまとめ

- ・高度50m、100mのいずれの高さ、準同期でも安定した伝送が可能であった。
- ・仰角方向でもある程度利得が得られているアンテナを用いることによって高度100mでも受信レベルは高く、安定した伝送レートが得られた。
- ・計算や実測値の結果からは、基地局とドローン搭載移動局との距離による減衰よりも、移動局のアンテナ仰角方向の指向性利得が重要であることが分かった。

ホバリング高度50mにおけるRSSIの距離特性



ホバリング高度100mにおけるRSSIの距離特性

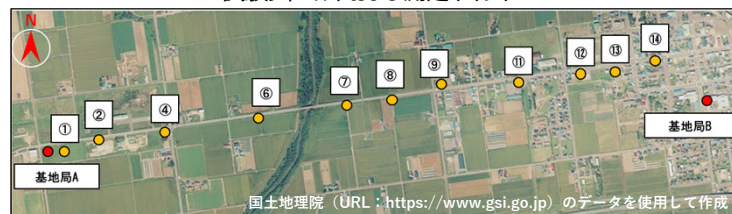


3. 既存システムへの影響検証

3 既存システムへの影響検証

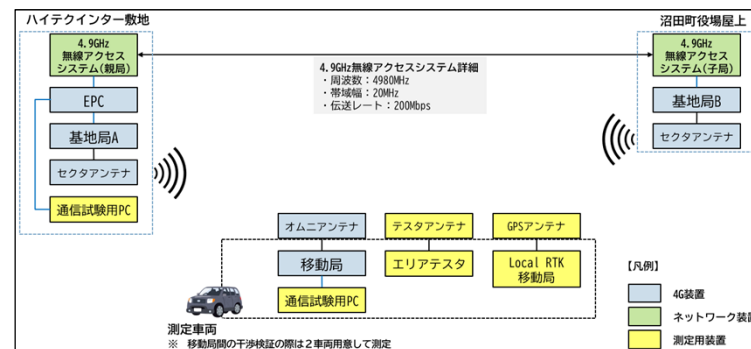
既存システム（地域BWA、全国BWA）への影響について干渉モデルを構築し、フィールド試験を実施
（測定期間：2022年9月～12月）

試験フィールドおよび測定ポイント



システム	基地局	カバーエリア/調整対象区域		
		20MHz	10MHz	5MHz
自営等 BWA 10W	基地局 A	1km/2.62km	1km/2.92km	1km/3.64km
自営等 BWA 5W		0.82km/2.02km	-	-
自営等 BWA 2W		0.63km/1.55km	-	-
地域 BWA	基地局 B	2.4km/5.92km	-	-
地域 WiMAX		-	2.4km/7.2km	-
全国 BWA		2.4km/5.92km	-	-

システム構成図



実験結果

- **地域 BWA 基地局（20MHz 幅）との干渉測定：**
自営等 BWA 基地局（20MHz 幅）が同期運用の場合、カバーエリアが重ならない場所では通信可能であったが、カバーエリアが重なる場所では、地域 BWA の通信可能距離が短縮した（1.9km）。準同期運用の場合は自営等 BWA は通信不可（干渉影響大）
- **全国 BWA 基地局（LTE 方式）との干渉測定：**
カバーエリアが重なっても両システムとも安定した通信が可能

4 .既存システムとの周波数共用条件の導出等

4 (1) 3つの新たな運用形態について

- 1 自営等BWA基地局の空中線を必要に応じて臨時に移設する運用
- 2 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用
- 3 精細な画像伝送のための準同期（上り回線の通信比率を通常より大きく確保）による運用

① 空中線の移設運用 (移設手順の簡素化)

＜無人トラクタ自動操舵＞



基地局

農地

空中線 (アンテナ)

移設

空中線 (アンテナ)

移設

上図は、1つの基地局でカバーできない広大な1の屋外の自己土地内において、自営等BWA基地局の空中線（アンテナ）を季節毎、作物毎に移設して利用するケースを想定したものです。

基地局の空中線（アンテナ）の移設運用ができる場合、1局分の小型基地局の費用で広大な畑をカバーできるため、設備負担が少なくなる事と、無線局の変更の事務手続きが軽減されます。

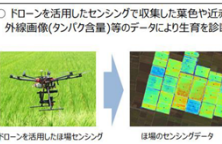
② 上空での運用 (ドローンによる運用)

＜工事現場の工事状況配信＞



出典：国土交通省北陸地方整備局
(ドローンを活用した建設業イメージアップの取組について)

＜生育状況モニタリング＞

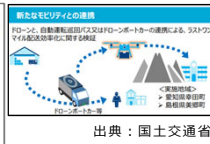


ドローンを活用した生育センシング

生育のセンシングデータ

出典：農林水産省 2023年9月 スマート農業の展開についてより

＜ドローンによるラストワンマイル配送＞

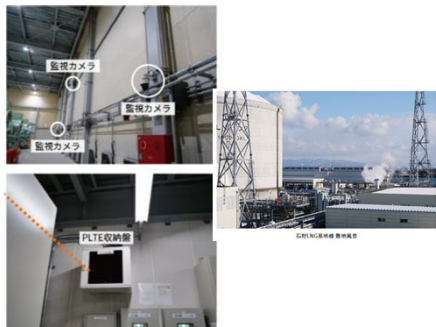


出典：国土交通省

上空運用と準同期運用ができる場合、リアルタイムで高精細な映像が確認出来る事により様々な作業が効率化されます。

③ 準同期方式による運用 (上り回線の通信量を拡大)

＜工場・プラントでの利用＞



出典：ハイテクインター株式会社ホームページ
(北海道ガス株式会社様導入事例「プライベートLTEを使ったガスプラント構内の映像監視システム」)

準同期運用ができる場合、監視カメラの増設や高画質化をすることで敷地内の安全確認や警備業務の範囲が拡張できます。

4 (2) ア 自営等BWA基地局の空中線を必要に応じて臨時に移設する運用

自営等BWA基地局の空中線移設（自己土地内）の際に他者土地への影響が増加しないための周波数共用条件の導出を行った。

・空中線移設による影響

本調査では、地域BWAエリアと隣接するエリアに自営等BWA基地局を設置し、その空中線移設による影響を測定した。

図上の地点Aは、そのセクタアンテナの向きから地域BWAからの影響により減衰している。地点Bは、地域BWAを背面にしたセクタアンテナとなっており、自営等BWA基地局は干渉の影響を受けない結果となった。

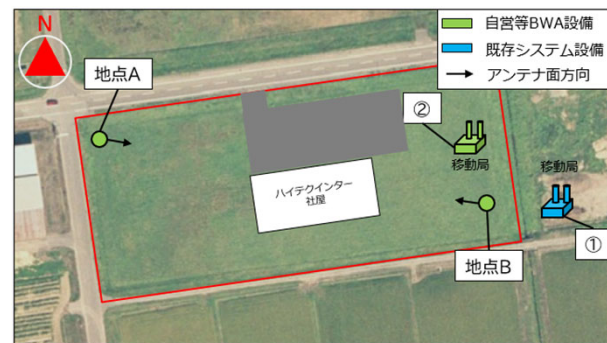
※自営等BWAとの干渉時、地域BWAの伝送レートはほぼ影響がない

・地域BWAおよび全国BWAとの干渉

そのため、図の地点Aと地点Bのように、自己土地内から電波が漏れないような空中線の向きで設置することで、移設後も自営等BWAのカバーエリア外の**既存システムへは影響を与えない**ことが分かった。

これは、**準同期運用**の場合も同様である。

図：空中線移設実証の設地イメージ



自営等BWAは自己土地内運用の観点から広範囲をカバーする地域BWA等に被干渉となる可能性が高い

移設運用の共用条件

一定の条件下（空中線の向きや電力等）で周辺の既存システムへの影響なく移設運用可能であることが分かった。

ただし、移設後の空中線の位置、高さ、指向方向、送信電力、カバーエリアを用いての事業者間調整が必要。

4 (2) イ 自営等BWA基地局の空中線を必要に応じて臨時に移設する運用

空中線移設における事業者間調整項目の変更案

移設時を踏まえた空中線の位置、高さ、指向方向、送信電力および移設した基地局のカバーエリアを含めたカバーエリア図を提示して事業者間調整を行うことが必要になると推察される。

・工事設計の変更案

	基地局	陸上移動局
方式	無線設備規則49条29	の無線設備
送信・受信周波数	2575-2595MHz	
占有帯幅・方式	20MHz	
キャリア数	1キャリア	
最大送信電力	xxW	200mW/20MHz
帯域外輻射レベル	技術基準に準拠	技術基準に準拠
副次的に発する電波等の限度	-47 dBm/MHz以下	-----
アンテナ利得	地点A:16 dBi以下 地点B:5dBi以下 地点C:16dBi以下	4dBi以下
給電線損失	地点A:1.0dBi以下 地点B:0dBi以下 地点C:1.0dBi以下	-----
アンテナチルト	0度	-----
アンテナパターン	図1	添付省略
地域/全国BWA基地局に関する離隔距離	xxm	xxm
地域/全国BWA移動局に関する離隔距離	xxm	xxm

新規追加(水色箇所)

離隔距離は以下の計算式にて求める。

- ・ $MCL = EIRP + \text{受信アンテナ利得} - \text{給電損失} - \text{許容干渉レベル}$
- ・ $\text{干渉量(所要減衰量)} = MCL - \text{伝搬損失} - \text{アンテナ指向減衰}$
- ・ $DU\text{比} = \text{希望波RSSI} - (\text{許容干渉レベル} + \text{干渉量})$

※許容干渉レベルは 基地局：-111.8dBm/MHzとする

※DU比は10dB、希望波の受信レベルは-71.5dBm (kTbfよりもSNR 30dB) とする

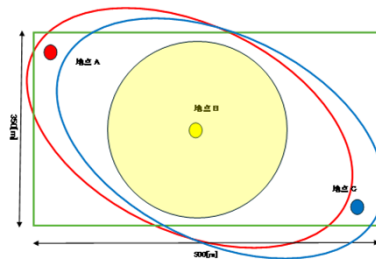
・設置場所の変更案

無線局名称	海拔高 (m)	地上高 (m)	緯度 (世界測地系)	経度 (世界測地系)	指向方向 (度)	併設の有無
きち1	地点A:XX 地点B:YY 地点C:ZZ	地点A:XX 地点B:YY 地点C:ZZ	地点A:XX/XX/XX 地点B:YY/YY/YY 地点C:ZZ/ZZ/ZZ	地点A:XX/XX/XX 地点B:YY/YY/YY 地点C:ZZ/ZZ/ZZ	地点A:XX 地点B:YY 地点C:ZZ	なし

移設する地点の高さ、緯度経度、指向方向を記載する。

・カバーエリア図の記載案

空中線位置	送信電力	種類	面方向	利得	給電線損失	カバーエリア
	[w]		TN[°]	[dBi]	[dB]	[m]
地点A	0.4	セクタ	120	16	1	450
地点B	0.1	オムニ	---	5	0	159
地点C	0.4	セクタ	300	16	1	450



移設後のカバーエリアを含めて提示する。

4 (3) ア 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用

自営等BWAにおける、自己土地内での上空利用（地上、上空間での通信）時に他者土地に存在する既存システムに与える干渉量等について検討を行い、周波数共用条件の導出を行った。

既存システムとの干渉影響

・自営等BWAは被干渉となる

自営等BWAは、地域BWAから常時被干渉となったため、上空においても同様の結果となり、地域BWAの出力を絞った場合（16W→2W）でも、水平距離40m、高度50mでわずかな通信が出来る程度という結果となった。

・地域BWAとの干渉

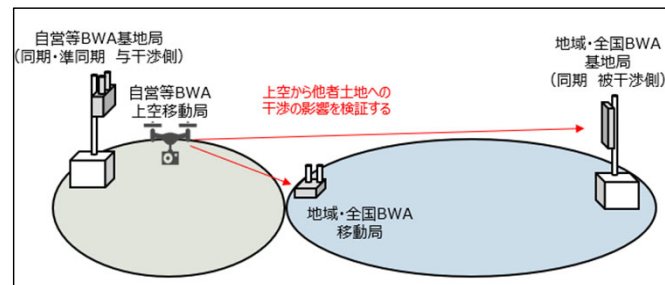
地域BWAカバーエリア内では、自営等BWAの上空利用はお互いに干渉影響を与えるため、長い離隔が必要である。また、**準同期運用**では同期に比べ、自営等BWAから地域BWAへの干渉影響が大きくなる。

※上空利用時は、被干渉による劣化が激しいが、地域BWAにも干渉も与えることが明らかとなった

・全国BWAとの干渉

全国BWAへの干渉影響は見られなかった。これは**準同期運用**の場合も同様である。準同期運用時は、全国BWAのダウンリンクへの干渉が予測されたが影響は生じなかった。

図：上空利用時の干渉影響検証のイメージ



※ 情報通信審議会の共用検討手法とは異なることに留意する必要がある。特に全国BWAとの共用検討に関しては、情報通信審議会の共用検討手法とは異なっており、参考の検討手法である。

既存システムとの共用条件

本実証実験の条件下においては

- ・地域BWAと隣接したエリアでは自営等BWAが被干渉となり運用は困難だが、一定の離隔があれば運用は可能。
- ・準同期の場合はさらに離隔が必要。
- ・全国BWAと隣接したエリアでは、全国BWAへの干渉影響なく運用可能。

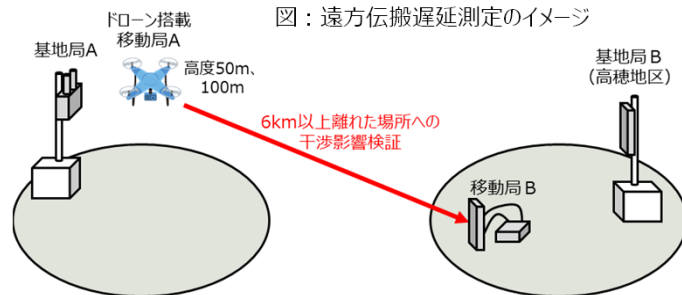
4 (3) イ 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用 = 遠方伝搬遅延 =

上空利用時における、ドローン搭載移動局の高度変化による遠方伝搬遅延の影響を測定した。 ※基地局、移動局は全て自営等BWA

上空運用時の遠方伝搬遅延

遠方伝搬遅延の測定

- ・基地局、移動局の設定
 - ・A地点：基地局Aとドローン搭載移動局A
(移動局A：最大0.2W。高度50m、100mにて送信)
 - ・B地点：基地局Bと移動局B
(基地局Bと移動局B間の距離は20m、80mの2地点で測定)
 - ・基地局A・移動局A、基地局B・移動局Bの各間にて通信を行う
 - ・A地点とB地点の距離は6.1kmにて設定
- ・測定項目
 - ・A側未発射、B側通信時の移動局Bの受信レベル
 - ・A側、B側共に通信時の移動局Bの受信レベル



遠方伝搬遅延の影響

ドローン搭載移動局（送信出力：最大0.2W）から6.1km離れた別の移動局への伝搬遅延の影響有無を検証した結果、影響はないと考えられる。

上空50m, 100mでは地上に比べて遠方まで電波は届くが、6.1kmの場合は干渉波の信号電力が下がり、別の移動局と対向する基地局カバーエリアの受信電力基準値（-85dBm）以下となるため問題ないと考えられる。

4 (3) ウ 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用 = 遠方伝搬遅延 =

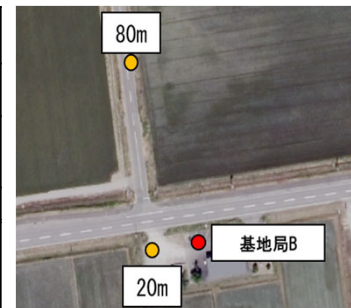
遠方干渉波を考慮した伝搬特性測定結果

(遠方移動局A (ハイテクインター社屋)、測定対象移動局B (高穂地区))

	基地局Bと移動局Bの距離20[m]					基地局Bと移動局Bの距離80[m]				
	エリアテスト			UDP		エリアテスト			UDP	
移動局A (最大0.2W)	RSSI	RSRP	SIR	UL	DL	RSSI	RSRP	SIR	UL	DL
高度[m]	[dBm]	[dBm]	[dB]	[Mbps]	[Mbps]	[dBm]	[dBm]	[dB]	[Mbps]	[Mbps]
50	-64.6	-90.6	31.5	9.9	52.3	-78.2	-107.5	16.7	9.9	55.1
100	-63.9	-90.3	31.1	9.9	35.2 (※1)	-80.3	-107.6	16.0	9.9	52.0
遠方からの干渉 無い時の数値 (※2)	-64.4	-91.4	30.6	9.8	42.4	-79.9	-107.2	16.9	9.9	51.3

※1：高度上昇しているが数値減少しているのはばらつきの範囲内と推定

※2：ドローン (移動局A) を飛行させず、ハイテクインター社屋側 (基地局A) は停波状態での、高穂地区側の移動局Bの伝送レート数値



基地局B、移動局Bの位置関係
(高穂地区)

4 (3) エ 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用＝遠方伝搬遅延＝

上空利用時、ドローン搭載移動局の送信電力を可変させることで、地域BWAおよび全国BWAに干渉影響が生じないか、水平距離を固定し、高度変更による影響を測定した。

上空運用時の遠方伝搬遅延

・遠方伝搬遅延の測定

遠方伝搬遅延の干渉影響を観測しやすくするため、図のように被干渉側移動局のアンテナを16dBiセクタアンテナとし、さらに、与干渉側システム(自営等BWA基地局)方向を向かせた。

※ 前年度実験際に測定できず、その時との利得差として+11dBiとした

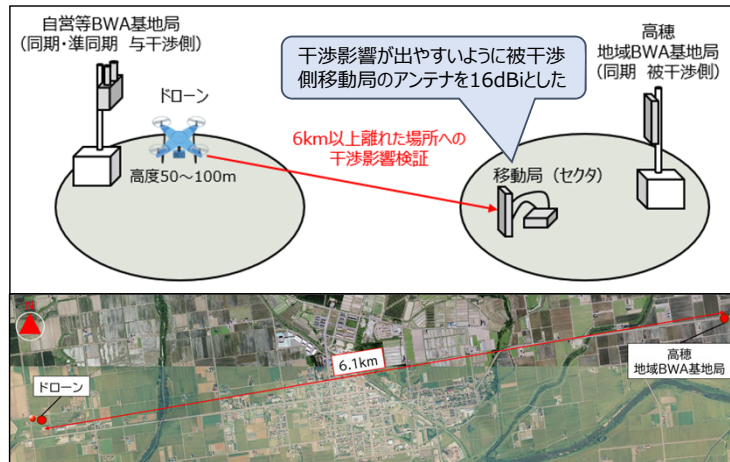
・遠方の既存システムへの影響

上空移動局の最大送信電力(P_{max})を可変させて試験を実施。

P_{max} を10dB低下させれば、遠方伝搬遅延の干渉影響が無くなることがわかった。

※ 移動局10台分相当

図：遠方伝搬遅延測定のイメージ



既存システムとの共用条件

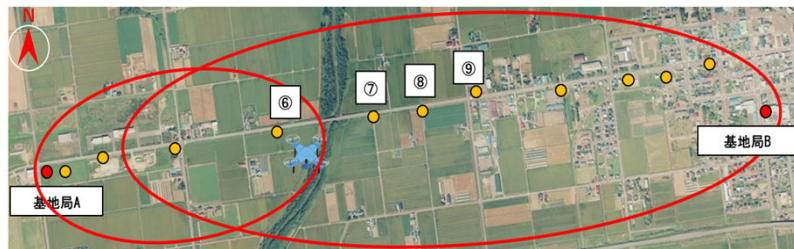
自営等BWAにおける自己土地内での上空利用時には、その利用する高度や水平距離、移動局台数を確認する。その高度・距離・移動局台数に応じて、利用状況に応じた P_{max} の可変が必要。そのため、上空利用時の移動局の高度、水平距離、台数、 P_{max} を用いての事業者間調整が必要。

4 (3) オ 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用=ハンドオーバ=

上空運用時のハンドオーバ

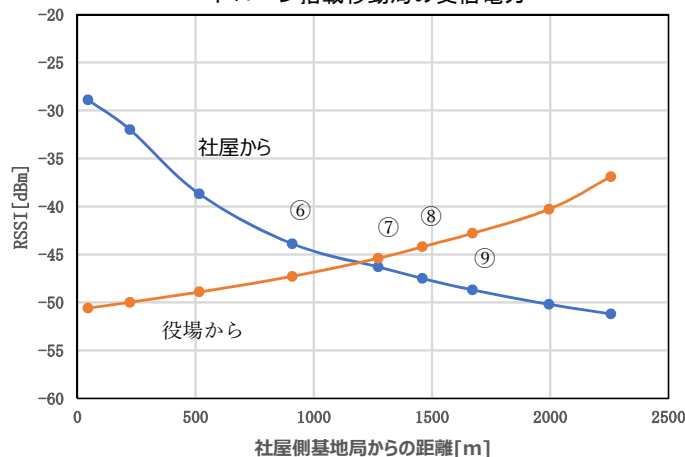
・基地局、移動局の設定等

- ・基地局A、B共にセクタアンテナ面方向を正対させ、ドローン搭載移動局を高度50m一定で、両基地局のカバーエリアがオーバーラップする付近を複数回飛行させた。
- ・ドローン搭載アンテナはコーン型オムニアンテナとし、どちらの基地局にも均等に電波が発射できる状態とした。
- ・上空では1回目の飛行でハンドオーバが完了した。ほぼ見通し内の通信となるためと推察する。(地上では2つの基地局間を一方方向に移動した場合でも、地形や建物などによる反射等の影響のためか、安定するまでにハンドオーバが複数回繰り返される現象があった。)



基地局Aおよび基地局Bのカバーエリア

ドローン搭載移動局の受信電力



基地局側、移動局側のアンテナパターンからその利得および上空50mの移動局までの距離から伝搬損失を計算し、ドローン搭載の受信電力を計算したもの。

ハンドオーバの結果

- ・ドローン搭載移動局を両基地局カバーエリア内の上空50mで行き来させて、ハンドオーバがスムーズに出来ることを検証した。
- ・片側が準同期の場合は干渉により、準同期側の通信自体が出来なくなりハンドオーバも出来なかった。
- ・上空利用は、基地局周辺では他基地局からの干渉が無ければ、同期・準同期ともに安定した通信が可能であった。

4 (3) カ 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用 = 【情通審での検討結果】 =

携帯電話の上空利用拡大に向けた共用検討と結果について

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報告

「新世代モバイル通信システムの技術的条件」のうち「携帯電話の上空利用拡大に向けたLTE-Advanced (FDD) 等の技術的条件等」について

【平成28年10月12日付け諮問第2038号】

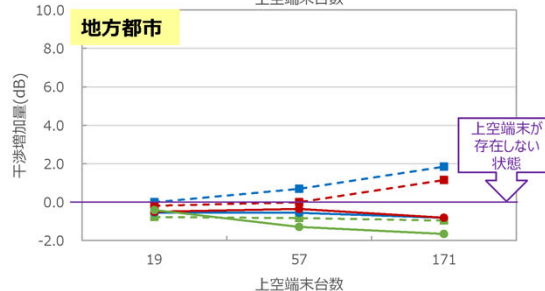
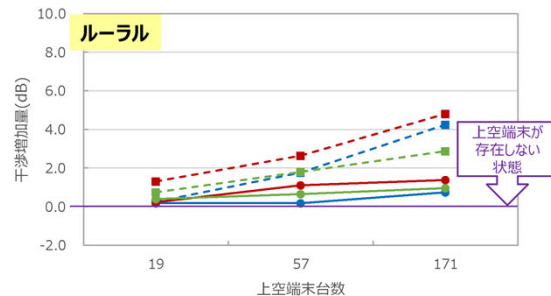
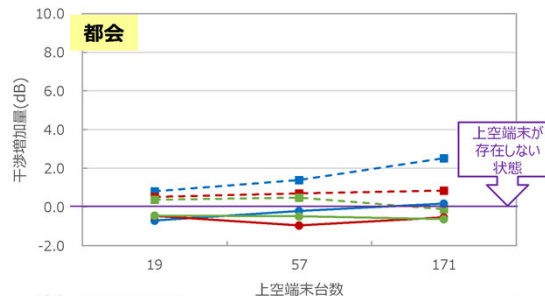
携帯電話の上空利用拡大に向けた共用検討

高度150m以上に向けた共用検討

- ・共用検討の条件
- ・対象システム：FDD-LTE、TDD-LTE
- ・対象周波数：TDD-LTE 2.5GHzほか
- ・高度：地表から150～1,500m
- ・机上検討（計算機シミュレーション） ほか

結果

上空端末用の送信電力制御を適用した場合（右図実線）は、送信電力制御の効果により、干渉増加量が抑えられていることが判る。



※グラフがマイナスになるのは、

- ・地上に比べて上空での干渉が減ること
- ・上空端末の存在なく地上端末のみが存在しているのが紫ライン。上空端末が存在したときの上空端末の干渉が地上と比べて減っているとマイナスに振れるが干渉は存在する。
- ・数値マイナスになるというわけではなく、地上より少ないという意味。相対的に少ないということ。

<情報通信審議会 情報通信技術分科会（第169回）議事録より抜粋>

4 (3) キ 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用

上空運用における事業者間調整項目の変更案

高度10m以上での飛行となる場合に、ドローン高度、ドローン搭載移動局総数、基地局制御による移動局最大送信電力値およびドローンの飛行経路などを提示して事業者間調整を行うことが必要になると推察される。

・工事設計の変更案

	基地局	陸上移動局
方式	無線設備規則49条29 の無線設備	
送信・受信周波数	2575-2595MHz	
占有帯域幅・方式	20MHz	
キャリア数	1キャリア	
最大送信電力	xxW	200mW/20MHz
帯域外輻射レベル	技術基準に準拠	技術基準に準拠
副次的に発する電波等の限度	-47 dBm/MHz以下	-----
アンテナ利得	地点A:16 dBi以下 地点B:5dBi以下 地点C:16dBi以下	4dBi以下
給電線損失	地点A:1.0dBi以下 地点B:0dBi以下 地点C:1.0dBi以下	-----
アンテナチルト	0度	-----
アンテナパターン	図1	添付省略
ドローン高度	-----	xxm
ドローン搭載移動局総数	-----	xx台
基地局制御による、 移動局最大送信電力値	-----	xxmW

・設置場所の変更案

無線局名称	海拔高 (m)	地上高 (m)	緯度 (世界測地系)	経度 (世界測地系)	指向方向 (度)	併設の有無	移動局の 上空運用
きち1	XX	XX	XX/XX/XX	XX/XX/XX	XX	なし	あり

新規追加(水色箇所)

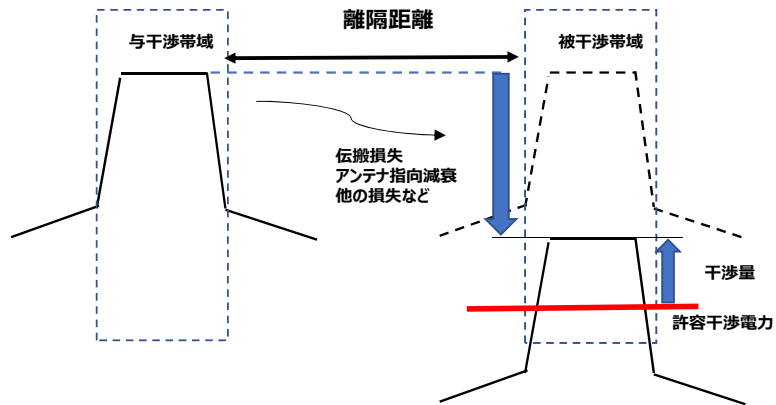
また、上空移動局の高度が10m未満の場合は、通常の事業者間調整と同様に電波法関係審査基準（拡張秦式）を用いて調整するのが妥当と推察される。

4 (4) ア 精細な画像伝送のための準同期による運用

自営等BWAの周波数帯（2575～2595MHz）に関して、既存システム（地域BWA、全国BWA）との周波数共用条件を導出

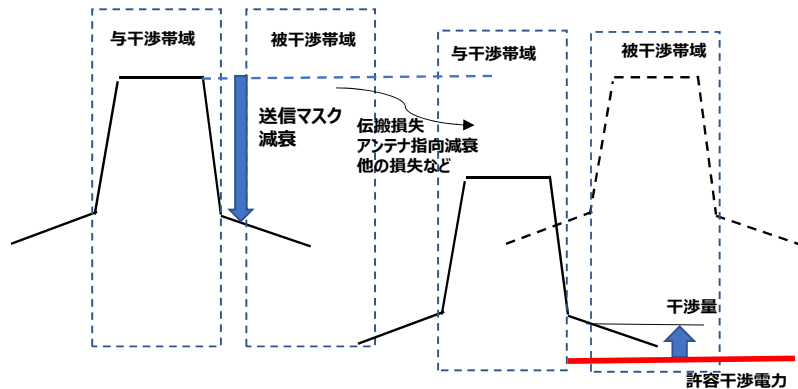
同一周波数帯システムとの共用

- 基地局同士が同期の場合の離隔距離、干渉特性評価
- 自営等BWA側を準同期とした場合の与干渉および被干渉特性評価



隣接チャンネル周波数帯を利用するシステムとの共用

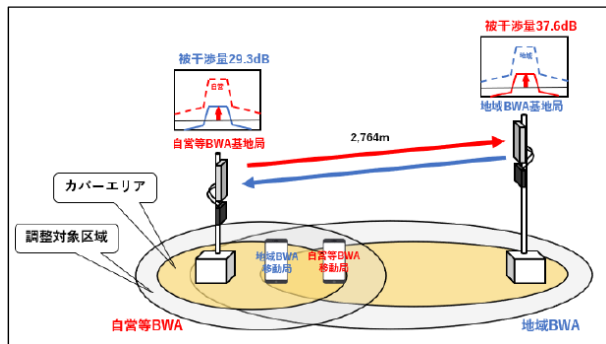
- ガードバンドの条件検討
- 自営等BWA側を準同期とした場合の与干渉および被干渉特性評価



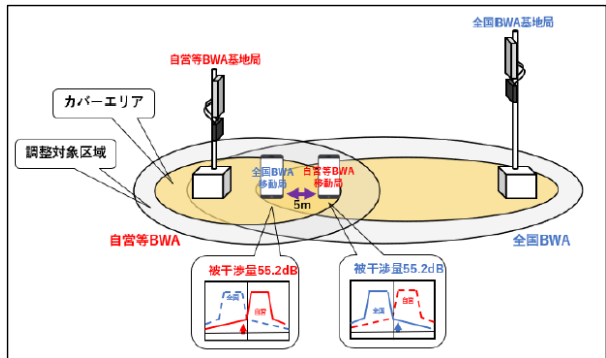
4 (4) イ 精細な画像伝送のための準同期による運用

自営等BWA（同期・準同期）と既存システム（地域BWA、地域WiMAX、全国BWA、5GNR地域BWA、5GNR全国BWA）との周波数共用に関して、基地局間、基地局（移動局）—移動局（基地局）間および移動局間の干渉量を評価

基地局間干渉評価（同一周波数帯）のイメージ例



移動局間の干渉評価（隣接チャンネル周波数帯）のイメージ例



同一周波数帯

本実証実験の条件下においては

- **自営等BWA同期：**
カバーエリアをオーバーラップさせなければ共用可
- **自営等BWA準同期：**
準同期の自営等BWA側基地局が干渉の影響を受けるため適切な離隔距離が必要

隣接チャンネル周波数帯

実証実験の条件下においては

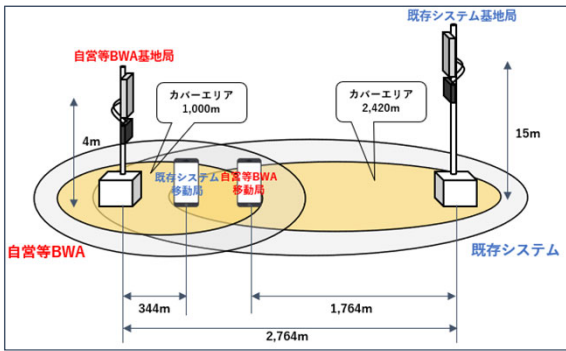
- **自営等BWA同期：**
カバーエリアをオーバーラップさせて共用可
- **自営等BWA準同期：**
カバーエリアをオーバーラップさせて共用可
ただし、全国BWA移動局が同システムの基地局から遠く、準同期の自営等BWA移動局との距離が近い場合には干渉発生

4（4）ウ 精細な画像伝送のための準同期による運用

既存システムとの周波数共用に関する計算結果の詳細

周波数共用計算の採用値

項目	隣接チャンネル漏洩電力	最大送信電力[dBm]/20MHz	アンテナ利得
4G基地局	6dBm/20MHz以下(-7dBm/MHz)	10W(40dBm), 16W(42dBm)	16
4G移動局	3dBm/20MHz以下(-10dBm/MHz)	200mW(23dBm)	4
5G基地局	6dBm/20MHz以下(-7dBm/MHz)	16W(42dBm)	16
5G移動局	3dBm/20MHz以下(-10dBm/MHz)	200mW(23dBm)	4



干渉モデルのイメージ

DU比および離隔距離の計算結果

与干渉	自営等BWA	地域BWA	自営等BWA	地域BWA	自営等BWA	地域BWA	自営等BWA	全国BWA	自営等BWA	全国BWA	自営等BWA	全国BWA	自営等BWA	全国BWA
	基地局	基地局	基地局	基地局	移動局	移動局	基地局	基地局	基地局	基地局	移動局	移動局	移動局	移動局
被干渉	地域BWA	自営等BWA	地域BWA	自営等BWA	地域BWA	自営等BWA	全国BWA	自営等BWA	全国BWA	自営等BWA	全国BWA	自営等BWA	全国BWA	自営等BWA
	基地局	基地局	移動局	移動局	基地局	基地局	基地局	基地局	移動局	移動局	基地局	基地局	移動局	移動局
干渉量[dB]	37.6	29.3	29.6	18.1	8.5	11.7	3.6	-6.7	-4.4	-17.9	-11.5	-8.3	55.2	55.2
準同期DU比[dB]	-10.3	-2.0	-16.1	-4.6	18.8	15.6	23.7	34.0	17.9	31.4	38.8	35.6	-41.7	-41.7
準同期離隔距離[km]	10.4~10.5	6.0~6.1	1.8~1.9	4.5~4.6	0.9~1.0	0.2~0.3	1.1~1.2	0.4~0.5	0.2~0.3	0.4~0.5	0.2~0.3	0.05~0.1	0.09~0.1	0.09~0.1
同期DU比[dB]	19.7	28.0	-16.1	-4.6	18.8	15.6	53.7	64.0	17.9	31.4	38.8	35.6	-11.7	-11.7
同期離隔距離[km]	1.4~1.5	0.8~0.9	1.8~1.9	4.5~4.6	0.9~1.0	0.2~0.3	0.1~0.2	0.05~0.1	0.2~0.3	0.4~0.5	0.2~0.3	0.05~0.1	0.04~0.05	0.04~0.05

4 (4) I 精細な画像伝送のための準同期による運用

実施概要

非同期運用の中でも同期方式の運用への影響を最小限に抑えることで比較的干渉調整の簡素化が可能な「準同期（TDD 方式）」にかかるフレーム構成を机上検討した。

同期方式のconfiguration2 と他のconfiguration を比較し、内容が異なっているサブフレームに着目し、基地局間干渉、自営等BWA基地局が被干渉の地域BWA・全国BWA移動局に与える干渉、自営等BWA移動局が被干渉の地域BWA・全国BWA基地局に与える干渉、また、自営等BWA移動局が被干渉の地域BWA・全国BWA移動局に与える干渉について、整理した。

・各Configurationにおける干渉影響について（青文字＝自営等BWAが干渉を受けるサブフレーム、赤文字＝自営等BWAが干渉を与えるサブフレーム）

Configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number										コメント
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U	サブフレーム3,4,8,9で干渉を受ける
1	5ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D	サブフレーム3,8で干渉を受ける。準同期方式として検討
2	5ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D	同期方式
3	10ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D	サブフレーム7で干渉を与えるため除外。
4	10ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	上り回線の通信比率を上げられないため初めから除外
5	10ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D	
6	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	サブフレーム3,4,8で干渉を受ける

提案する準同期方式

上り回線の通信比率を上げることが可能で、既存システムに与える干渉の影響が少ない
Configuration 1を準同期方式として提案する。

5. 自営等BWAの新たな運用形態に対する ニーズの調査・把握

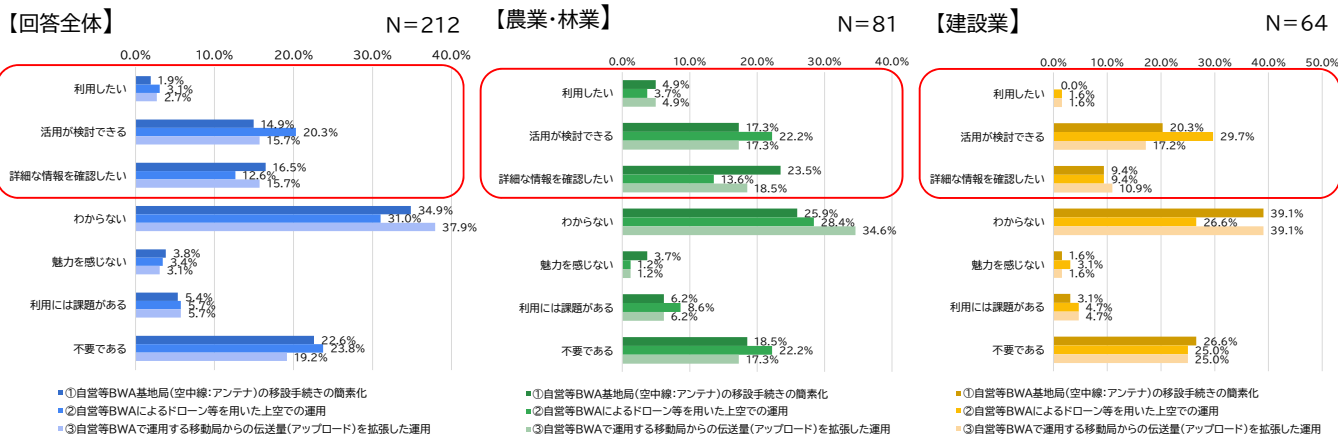
5 (1) 自営等BWAの新たな運用形態に対するニーズの調査・把握

ニーズ調査の実施

- 全国3,000機関を対象にアンケート調査を実施（※自営等BWAの利用の有無に限らず、今後、自営等BWAの利点を活かすことが、利用の見込みのある業種（農業・林業/建設業/製造業等）を選定）し、261件の回答を得た。
- アンケート調査から得られたニーズをもとに、ヒアリング調査を実施し、「3つの新たな運用形態」に想定されるユースケースとしてまとめた。

得られたニーズ

3つの新たな運用形態について利用ニーズを確認した。



※「利用したい」「活用が検討できる」「詳細な情報を確認したい」の合計を集計

	回答全体	農業・林業	建設業
①	33.3%	45.7%	29.7%
②	36.0%	39.5%	40.7%
③	34.1%	40.7%	29.7%

- 新たな運用形態は、いずれも需要が見込まれた。
- 農業・林業事業者は①（基地局の移設手続きの簡素化）への関心が高い傾向がある。
- 建設業事業者は②（ドローンを用いた上空利用）への関心が高い傾向がある。

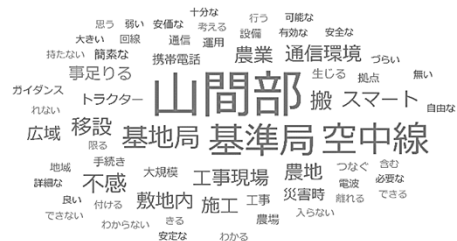
※「不要である」の回答について：8割以上が前段の項目にて、事業で無線ネットワークを利用する必要がない」と回答しており、自営等BWA等の無線利用者による新たな運用形態が不要、の回答ではない。

5 (2) 自営等BWAの新たな運用形態に対するニーズの調査・把握

具体的な活用イメージ

3つの運用形態について肯定的な回答を得たものから具体的な活用方法を確認した。それぞれ50件以上の自由意見を得たが、個別意見の恣意的な選定を避けるため、全回答を対象にテキストマイニングを実施し、とりまとめた。

① 自営等BWA基地局の空中線を必要に応じて臨時に移設する運用



自由回答50件から作成

【事業内での活用方法】

- ・不感地域の補完として（すべての業種）
- ・事業のスマート化のため（農業、建設業、製造業）

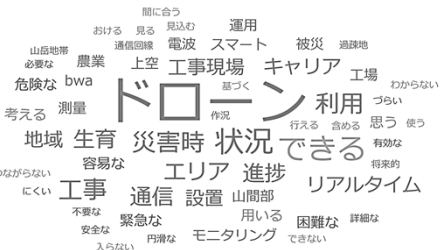
【活用が見込まれる環境や条件】

- ・山間部
- ・中山間部等の不感地域
- ・施設内
- ・他

【可能となる事業活動】

- ・畜舎内での環境データ取得
- ・ドローンによる自動作業
- ・工場内のレイアウト変更

② 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用



自由回答58件から作成

【事業内での活用方法】

- ・不感地域の補完として（すべての業種）
- ・事業現場の確認（農業、建設業、製造業）
- ・ドローンが必須な事業利用での運用改善（建設業、製造業）
- ・中継局としての活用
- ・防犯対策等の自動飛行による施設管理

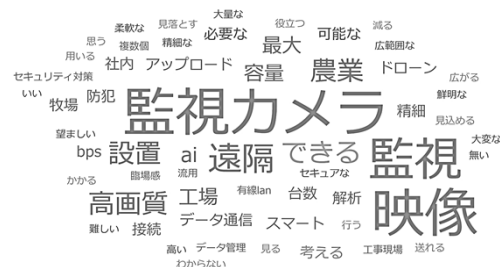
【活用が見込まれる環境や条件】

- ・工事現場
- ・海上
- ・農地
- ・災害現場
- ・他

【可能となる事業活動】

- ・牛の異常行動確認
- ・現場全域の俯瞰やデータ取得
- ・危険箇所の点検

③ 精細な画像伝送のための準同期（上り回線の通信比率を通常より大きく確保）による運用



自由回答51件から作成

【事業内での活用方法】

- ・重機等の遠隔操作
- ・施設・敷地内等の監視（農業、建設業、製造業）
- ・AI解析用データの取得
- ・IoT機器からの伝送量の拡大

【活用が見込まれる環境や条件】

- ・施設・敷地内
- ・農地
- ・他

【可能となる事業活動】

- ・犯等を目的とした監視
- ・現場写真からAIによる設計との差異分析
- ・工場ラインでの不良品検知
- ・遠隔操作作用データの送付

5 (3) 自営等BWAの新たな運用形態に対するニーズの調査・把握

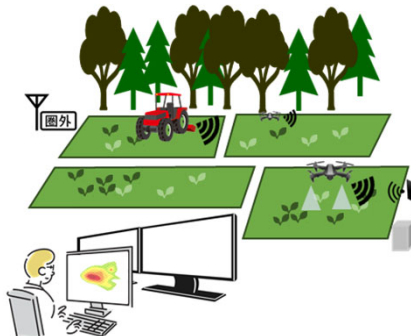
とりまとめたユースケース

結果概要

アンケート結果および、関連する各機関へのヒアリングの結果から、3つの新たな運用形態に関するユースケースをとりまとめた。

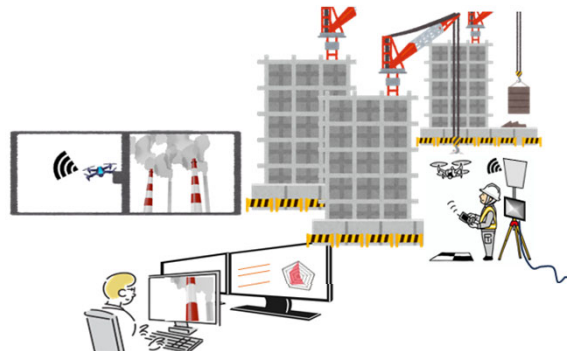
① 自営等BWA基地局の空中線を必要に応じて臨時に移設する運用

- ・自己土地の不感地域における一時的な短期間での利用
- ・自己土地内での定期的/不定期での移設
- ・他者土地での土地所有者からの作業依頼による利用
- ・山間部など、そもそも無線環境がない場所での活用



② 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用

- ・他者土地での土地所有者からの業務依頼による一時利用
- ・自己土地内の高所や危険エリアでの利用
- ・常設（移動も想定）での監視やモニタリング



③ 精細な画像伝送のための準同期（上り回線の通信比率を通常より大きく確保）による運用

- ・施設等の防犯・セキュリティ監視での運用
- ・遠隔操作に伴う、リアルタイム監視での利用
- ・3Dデータ等のやり取りに利用
- ・特殊な環境下で利用するIoT機器等での運用



5（４） 自営等BWAの新たな運用形態に対するニーズの調査・把握

【参考】

今回のアンケートおよびヒアリング調査から得た自営等BWAおよび規制等に対する要望や要請について、参考として記載する。

○活用促進に資する要望

- ・ 各ユースケースに対応した、利用判断に資するデータ取得と開示
- ・ 検討する運用形態に合わせた事業者間調整手順のシステム化
- ・ 短時間運用や、短期間かつその後廃止される運用時の無線局免許申請手続きの届出化
- ・ 自営等BWAから地域BWAや通信キャリア間でのローミング対応

○制度等への要望・要請

- ・ ドローン利用に対応した申請制度の構築
- ・ オンラインフォーム等や、申請内容に対する一時的な自動判断など、無線局免許申請のシステム化
- ・ 工事等での他者土地運用に対応した簡易な申請制度や、固定通信の利用限定の緩和
- ・ 無線局免許制度等の認知・理解の促進

○緩和への期待

- ・ 自己土地内での一時的な利用や、山間部など干渉対象のない場所を対象に、簡易的で短期間で許可の得られる無線局免許申請方法の検討

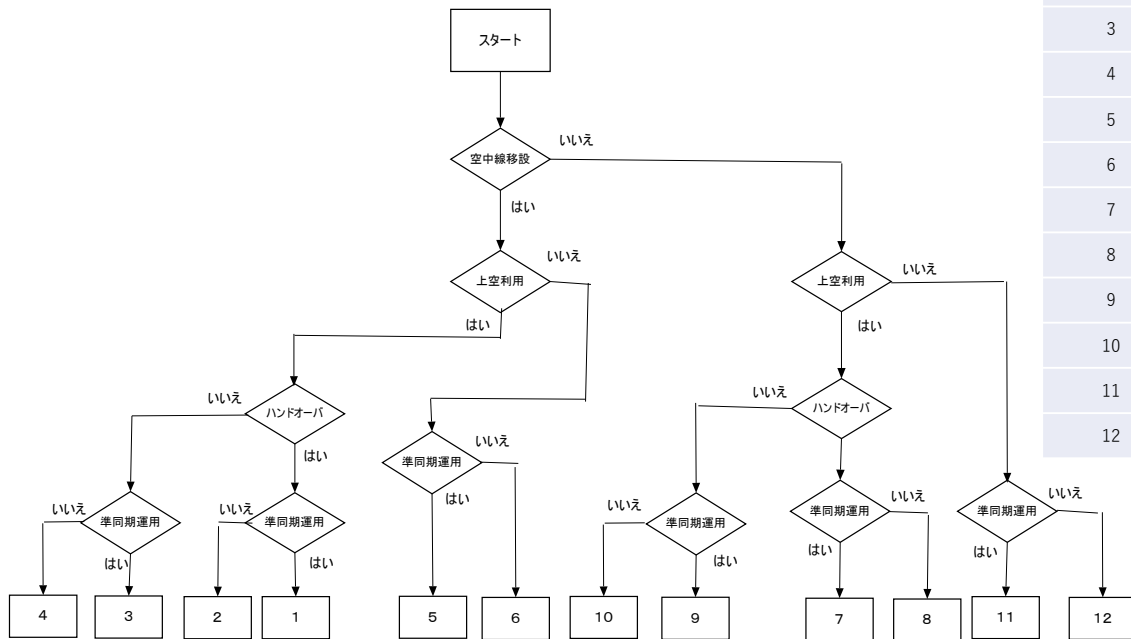
6 .周波数調整手順の検討・可視化

6 周波数調整手順の検討・可視化 1

周波数調整手順の検討・可視化のフロー

「新たな運用形態 1 ～ 3」の導入を念頭に運用形態ごとにフローチャートで場合分けし、それに沿ったフォーマットを提案する。
上空利用に於いてはハンドオーバーの有無でも場合分けを行った。

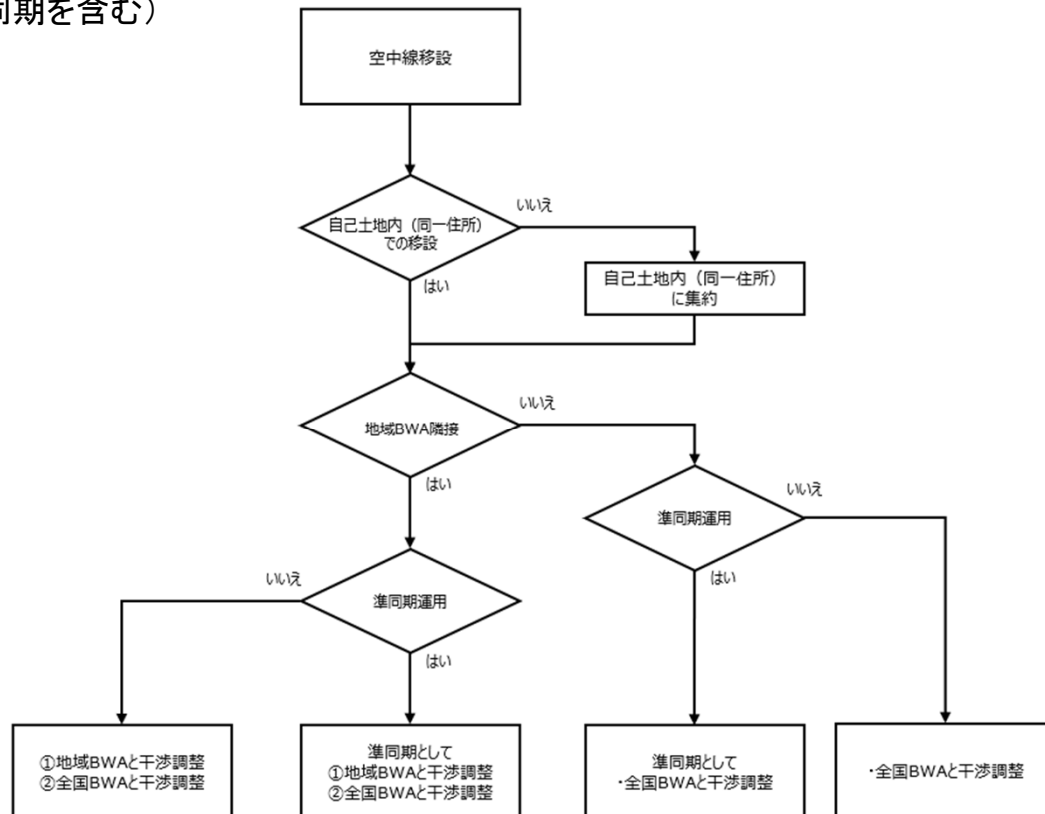
周波数調整手順のフロー



フロー結果 (最下部の数字)	空中線移設	上空利用	ハンドオーバー	準同期運用	同期運用のみ
1	○	○	○	○	
2	○	○	○		○
3	○	○		○	
4	○	○			○
5	○			○	
6	○				○
7		○	○	○	
8		○	○		○
9		○		○	
10		○			○
11				○	
12					○

6 周波数調整手順の検討・可視化 2

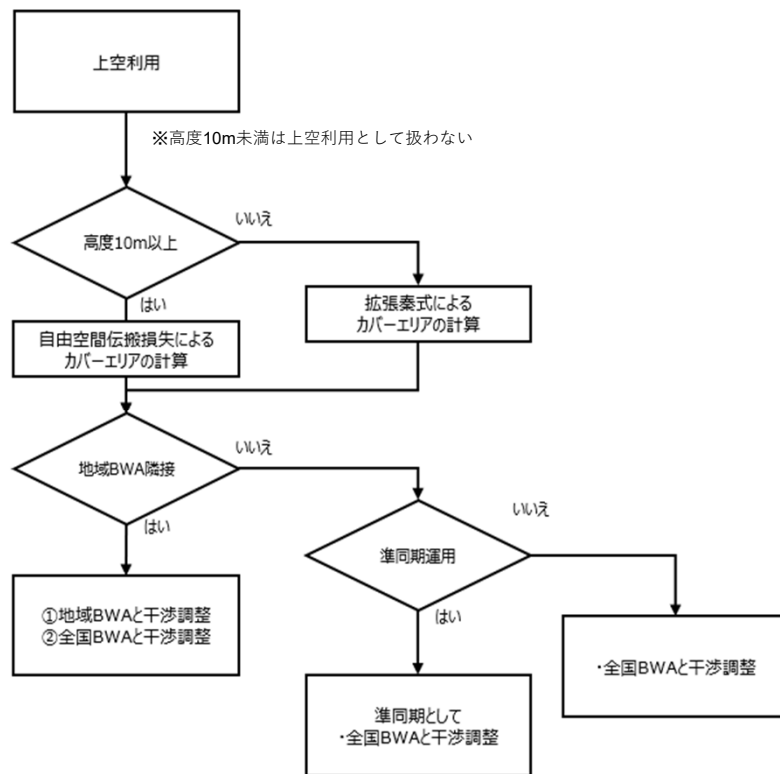
(1) 空中線移設（準同期を含む）



※ 干渉調整の際に移設場所でのカバーエリア図および、離隔距離を提示する。

6 周波数調整手順の検討・可視化 3

(2) 上空利用



※ 干渉調整の際にドローン高度、ドローン水平移動距離・基地局からの経路、ドローン搭載移動局総数、離隔距離又は移動局最大送信電力の減少値を提示する。

7. 実証実験・検討結果のまとめと考察

7 実証実験・検討結果のまとめ

(1) 自営等BWA基地局の空中線を必要に応じて臨時に移設する運用

実証内容	実証結果	考察等
● 既存システムに隣接するエリアに設置した自営等BWA基地局（移設運用）と移動局の間で通信を行い、伝送レートを測定することで既存システムとの干渉状況を検証した。 ● 利用環境ごとの電波伝搬特性調査（環境条件（圃場、森林、水上）ごとの電波伝搬特性（受信信号強度、伝送レート等）の測定を実施）	・ 自営等BWAは他の同一周波数帯に対して被干渉であるため、運用可能な敷地内において一定の条件下（空中線の向きや電力等）では、周辺の既存システム（全国、地域BWA）への影響なく移設運用可能であることを確認した。 ・ 基地局移設運用に関しては水上測定および遠方伝搬遅延測定の結果、移設運用可能なことが本実証実験の条件下においては実証された。	・ 基地局の免許申請時等に、あらかじめ、複数の空中線設置予定地点でカバーエリア及び調整対象区域を算出し、同一周波数帯及び隣接周波数帯の他の免許人との干渉調整を行い、合意済みの予定地点に空中線を移設する場合には、変更申請ではなく変更届の対象とすることが期待される。 <既にローカル5Gの変更申請手続きの簡素化は導入済み。>

(2) 自営等BWAをドローンに搭載した上空での運用

実証内容	実証結果	考察等
● 既存システムに隣接等するエリアに設置した自営等BWA基地局とドローン搭載自営等BWA移動局との間で通信を行い、伝送レートを測定することで干渉状況を検証した。 ● 利用環境ごとの電波伝搬特性調査（上空での電波伝搬特性（受信信号強度、伝送レート等）の測定を実施）	・ 地域BWAエリア以外では本実証実験の条件下においては運用可能（要合意） ・ 地域BWAと隣接したエリアにおいては、同期・準同期共に十分な離隔距離を置く必要があり、その設置環境によっては運用が困難な可能性がある。 全国BWAについては、同期・準同期共に問題がないと見込まれるが、全国BWA事業者との事業者間調整に係る合意が必要。 ・ 移動局の上空利用では、本実証実験の条件下においては遠方伝搬遅延の影響はなく、上空でも準同期を含め安定した伝送が可能。 ・ 上空でのハンドオーバは、本実証実験の条件下においては同期した基地局同士では、地上に比べ非常に安定したハンドオーバが可能。	・ あらかじめ移動局の上空利用を前提としたカバーエリア及び調整対象区域で干渉調整を行い、合意を得た場合には上空利用を可能とすることが期待される。 また、干渉影響などからドローンの運用高度を10m以上か否かで区切り、その高度域での扱いを変えることが期待される。 ・ 広大な圃場のセンシングにより育成状況が把握できるようになり農作業の軽減化が期待される。

7 実証実験・検討結果のまとめ

(3) 精細な画像伝送のための準同期（上り回線の通信比率を通常より大きく確保）による運用

実証内容	実証結果	考察等
●「準同期(TDD方式)」にかかるフレーム構成について机上での検証を行うとともに、移設運用時と上空運用時における準同期による運用についても干渉状況を検証した。 ●既存システムへの影響検証（既存システム（地域BWA、全国BWA）への影響について干渉モデルを構築し、フィールド試験を実施） ・周波数共用に関する具体的検討（自営等BWAの周波数帯（2575～2595MHz）に関して、既存システム（地域BWA、全国BWA）との周波数共用条件を導出） ・自営等BWA（同期・準同期）と既存システム（地域BWA、地域WiMAX、全国BWA、5GNR地域BWA、5GNR全国BWA）との周波数共用に関して、基地局間、基地局（移動局）—移動局（基地局）間および移動局間の干渉量を評価した。	・十分な離隔距離が必要 ・同一周波数帯の地域BWA、地域WiMAXとの共用に関しては、同期の場合を除いてカバーエリアの近接は運用困難なため、適切な離隔（相手方基地局及び移動局との距離を離す、指向性アンテナ面をずらすなど）が必要。 特に自営等BWAを準同期にした場合は、基地局間が近いとカバーエリア外でも自営等BWA側の基地局は地域BWA基地局から常に干渉を受けて通信そのものが不安定になり、場合によっては通信が途絶することがわかった。同期の場合は、カバーエリアをオーバーラップさせなければ本実証実験の条件下においては共用可能。 ・隣接周波数帯の全国BWAとの共用に関しては、自営等BWAを準同期にした場合を含め、カバーエリアをオーバーラップさせてもお互いに干渉せず、本実証実験の条件下においては利用可能。ただし、自営等BWAを準同期にして全国BWA移動局を自営等BWA移動局に近接させた場合、送信タイミングにより、全国BWA移動局に干渉を与えるため注意が必要。	・適切な離隔を行うことを前提に設計し、同一周波数帯のシステムに対しては、現行の電波法関係審査基準に基づき干渉調整を行うことが期待される。 上り回線を確保することで、伝送速度などの具体的な利用を想定したスペック表示が求められるが、実際に活用する上での自営等BWAと他規格（ローカル5G等）などの比較等を示すことなどが期待されている。