

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報告書

令和5年3月

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会

目次

はじめに	1
1 調査検討の概要	2
1.1 調査検討の背景	2
1.2 調査検討の目的	2
2 ユースケースの調査・把握	3
2.1 利用シーンのデモ	3
2.1.1 自営等 BWA を活用した自動操舵トラクタの走行デモ	3
2.2 農業従事者アンケートの結果	6
2.2.1 アンケート実施概要	6
2.2.2 アンケート実施結果	7
2.2.3 アンケート結果まとめ	8
2.3 構成員アンケートの結果	9
2.3.1 アンケート実施概要	9
2.3.2 アンケート実施結果	10
2.3.3 アンケート結果まとめ	11
3 自営等 BWA の利用環境に即した電波伝搬特性データの取得	12
3.1 圃場	12
3.1.1 測定機器・構成	12
3.1.2 測定期間	12
3.1.3 測定結果	13
3.1.4 まとめ	15
3.2 森林	16
3.2.1 測定機器・構成	16
3.2.2 測定期間	16
3.2.3 測定結果	17
3.2.4 まとめ	19
3.3 水上	20
3.3.1 測定機器・構成	20
3.3.2 測定期間	20
3.3.3 測定結果	21
3.3.4 まとめ	25
3.4 上空	26
3.4.1 測定機器・構成	26
3.4.2 測定期間	29
3.4.3 測定結果	29
3.4.4 まとめ	30
3.5 遠方伝搬遅延	31
3.5.1 測定機器・構成	31

3.5.2	測定期間	32
3.5.3	測定結果	32
3.5.4	まとめ	34
3.6	ハンドオーバー	35
3.6.1	測定機器・構成	35
3.6.2	測定期間	36
3.6.3	測定結果	37
3.6.4	まとめ	38
4	新たな運用形態による既存システムへの影響検証	39
4.1	測定場所	39
4.2	測定機器・構成	41
4.2.1	測定期間	42
4.3	自営等 BWA 基地局と地域 BWA 方式との干渉	43
4.3.1	自営等 BWA 基地局単体（同期）の距離特性	43
4.3.2	地域 BWA 基地局単体の距離特性	46
4.3.3	地域 BWA 基地局との干渉影響（同期）	48
4.3.4	自営等 BWA 基地局単体の UDP 距離特性（準同期）	50
4.3.5	自営等 BWA 基地局（準同期）と地域 BWA 基地局の干渉	51
4.4	自営等 BWA 基地局と地域 BWA の WiMAX 方式との干渉	52
4.5	自営等 BWA 基地局と地域 BWA の 5GNR 方式との干渉	52
4.6	自営等 BWA 基地局と全国 BWA の LTE 方式との干渉	53
4.7	自営等 BWA 基地局と全国 BWA の 5GNR 方式との干渉	59
5	新たな運用形態と既存システムの周波数共用条件の検討	60
5.1	干渉検討の方法	61
5.2	干渉検討の組み合わせ	61
5.2.1	同一周波数帯	62
5.2.2	隣接周波数帯	63
5.2.3	電波伝搬損失モデル	64
5.3	基地局－基地局	65
5.3.1	自営等 BWA 基地局と地域 BWA 方式との周波数共用条件	65
5.3.2	自営等 BWA 基地局と全国 BWA 方式との周波数共用条件	67
5.4	基地局－移動局	69
5.4.1	自営等 BWA 基地局と地域 BWA 移動局との周波数共用条件	69
5.4.2	自営等 BWA 基地局と全国 BWA 移動局との周波数共用条件	71
5.5	移動局－移動局	73
5.5.1	自営等 BWA 移動局と地域 BWA 移動局との周波数共用条件	73
5.5.2	自営等 BWA 移動局と全国 BWA 移動局との周波数共用条件	73
5.6	移動局－基地局	75
5.6.1	自営等 BWA と地域 BWA との周波数共用条件	75

5.6.2	自営等 BWA と全国 BWA との周波数共用条件	76
5.7	自営等 BWA 基地局と地域 BWA の WiMAX 方式との周波数共用条件	77
5.8	自営等 BWA 基地局と地域 BWA の 5G NR 方式との周波数共用条件	81
5.9	自営等 BWA 基地局と全国 BWA の 5G NR 方式との周波数共用条件	83
5.10	参考	85
5.10.1	同一周波数帯での準同期における通信不良	85
5.10.2	TDD	86
6	自営等 BWA の高度利用に必要な技術的条件等のとりまとめ	88
6.1	自営等 BWA の高度利用に関する課題とその対応について	88
6.1.1	実際の利用シーンや具体的なニーズについてのシステム要求条件	88
6.1.2	他のシステムとの周波数共用検討	88
6.2	周波数共用条件のまとめ	89
6.2.1	自営等 BWA と地域 BWA	89
6.2.2	20MHz 帯域幅 (自営等 BWA) と 10MHz 帯域幅 (地域 WiMAX)	91
6.2.3	隣接周波数帯	92
6.3	周波数共用に関する技術的条件のまとめ	94
7	調査検討のまとめ	99
7.1	電波伝搬特性データ	99
7.2	基地局移設運用	99
7.3	移動局の上空利用	99
7.4	準同期運用	100
7.5	まとめ	100
資料編	101
資料 1	調査検討会設置要綱	101
資料 2	作業班の設置について	106
資料 3	検討経過報告	108
資料 4	実証視察会	109
資料 5	参照文献等	111
用語集	112

はじめに

北海道におけるデジタルインフラについては、令和4年7月20日現在、光ファイバの世帯カバー率が99.87%（推計値）となるなど整備がされていますが、北海道の成長産業である農業の耕地は、その面積は全国の約4分の1を占めているものの、広大かつ非居住のエリアであるため、光ファイバのみならず携帯電話エリアもカバーされていないブロードバンド空白地帯が顕在化しています。こうした状況のなか、当該地域におけるスマート農業、山間地域などにおける災害対応やインフラ設備の保守点検業務といった地域のブロードバンド需要に応えられる無線システムの一つとして、自営等BWAに期待がよせられています。

自営等BWAは、令和元年12月に制度化され、同一周波数帯を用いる地域BWAが利用されていない場所かつ自己土地内の運用に限るという制約があるものの、高速伝送、強固なセキュリティで利用者が柔軟に比較的安価に構築できるシステムとなっています。

この自営等BWAの新たな運用形態として期待されるのが、無線局免許手続の簡素化やイニシャルコストを抑えるための基地局の移設運用、ドローン等による自営等BWA端末の上空利用、上り回線の通信比率を大きく取るための準同期運用であり、その導入を図るため「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会」を立ち上げて、検討を進めてきました。

この調査検討会により、同一周波数帯を利用する地域BWA及び隣接周波数帯を利用する全国BWAと、自営等BWAの新たな運用形態との共用が可能であることが明らかになりました。

本調査検討会の成果が、スマート農業の推進や災害対応、保守点検業務の効率化など、各種業務の高度化や効率化などに役立てられることを期待しています。

最後に、ご多忙な中、本調査検討会及び作業班に御参画いただきました構成員の皆様をはじめ、最新情報を御紹介いただいた講師の方々、実証試験に御協力いただいた関係者並びに本調査検討会に携われた全ての方々に対して心より感謝申し上げます。

令和5年3月

「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会」

座長 北海学園大学 工学部 電子情報工学科 教授 笹森 崇行

1 調査検討の概要

1.1 調査検討の背景

北海道では、携帯キャリアによる 4G/LTE がカバーされていない空白地帯が顕在化している。また、公共・福祉増進に資する地域 BWA 事業者、地域 WiMAX 事業者やキャリアによる全国 BWA 事業者も事業を展開している。さらに今後は 4G から 5G への動きが加速され、4G の地域 BWA、全国 BWA も 5G NR へと移行することが予想される。

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。

また、自営等 BWA を用いて圃場の作物を管理・栽培する際に、季節ごとの作業範囲に合わせて基地局を移設したい、工場内のレイアウト変更の際に基地局を移設したいとのニーズがある。この際、無線局免許手続を簡素化して欲しいという声が多く上がっている。上空利用についてはキャリアによる 4G/FDD では認められているが自営等 BWA では未だ法制上認められていない。さらに、近年、自営等 BWA を利用して圃場・工場・インフラ設備等で多くの監視動画の送信が実施されてきており、とりわけアップリンクの伝送レートを倍にできる準同期の要望が非常に多くなっている。こういった声に耳を傾け法制化するには、まずその実現妥当性・有効性を調査することが求められる。

1.2 調査検討の目的

自営等 BWA を利用するに際し、改めてそのユースケースの調査を行う。自営等 BWA を用いてスマート農業を具現化するための一例としてトラクタの自動操縦について実際どのような方法・問題があるか検討し実際に走行を実施する。さらには複数の農業従事者にアンケートも実施する。

自営等 BWA に期待される新たな運用形態（基地局の臨時移設、ドローン等による端末の上空利用、上り回線の通信比率を大きくとるための準同期運用）の導入の具現化、また、既存のシステム（同じ周波数帯を使用する地域 BWA 及び隣接帯域を使用する全国 BWA）との周波数共用条件の導出、さらに自営等 BWA の周波数帯に関して、環境条件（圃場、森林、水上、上空など）ごとの電波伝搬特性を測定し、自営等 BWA のエリア設計に活用できるデータを取得すること等を目的として調査検討を実施する。

2 ユースケースの調査・把握

2.1 利用シーンのデモ

スマート農業の活用例としては様々なものがあるが、今回は自営等 BWA を活用した利用シーンとして自動操舵トラクタにフォーカスして行った。

2.1.1 自営等 BWA を活用した自動操舵トラクタの走行デモ

【実施目的】 自営等 BWA の実際の利用シーンを想定したデモ環境を構築し、デモを見ていただき利用シーンやニーズについての情報収集を目的に実施。

【実施期間】 2022 年 9 月 29 日

【実施場所】 ハイテクインター北海道テストセンター敷地内（図 2.1-1 の通り）

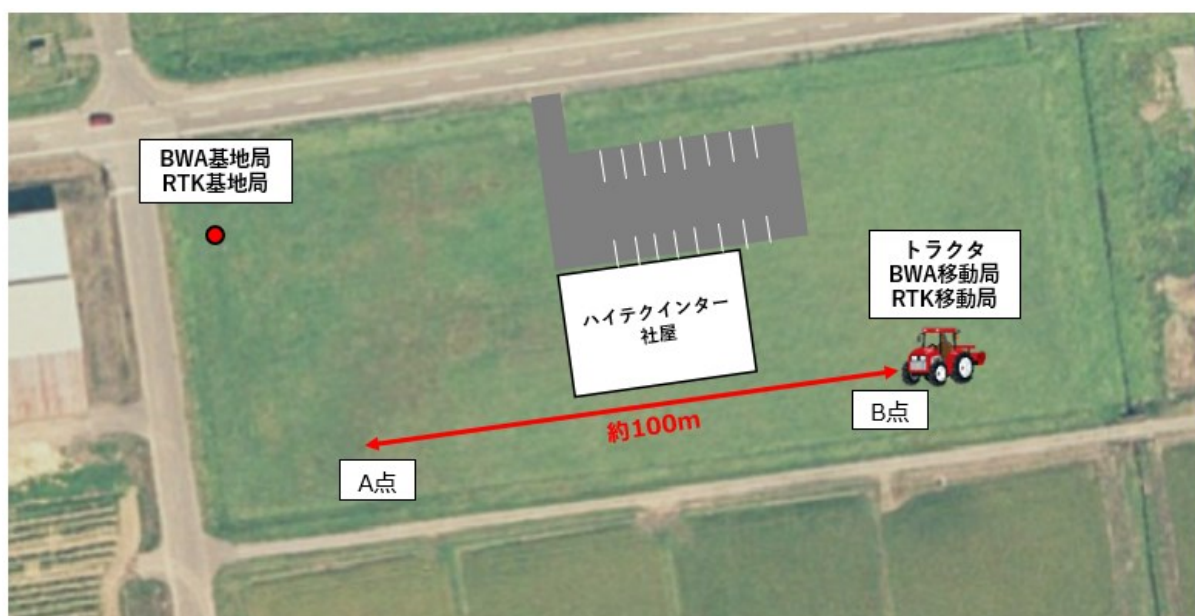


図 2.1-1 デモ敷地の全景とシステム配置

敷地内で 100m の距離を測定し、始点を A 点、終点を B 点として直線のロープを張り、ロープの上で自営等 BWA を用いた自動操舵システムが直線走行出来るかどうかデモする。

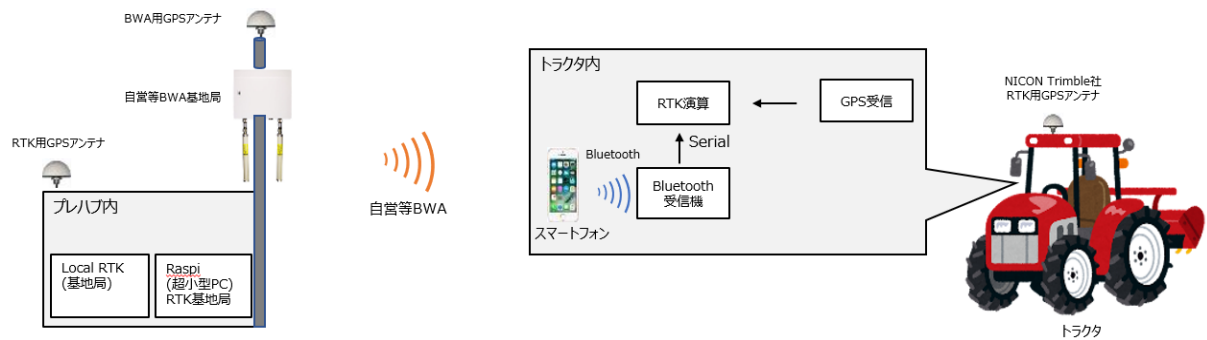


図 2.1-2 システムの概要

Android スマートフォンに自営等 BWA 用の SIM を挿入し、Bluetooth を介してトラクタ内に設置した受信機に接続する。受信機は BWA 電波に乗せた Local RTK の基地局情報をシリアル値に変換し、RTK 演算装置に送られる。トラクタのルーフには GPS 受信機を設置し、RTK 演算装置は Local RTK 基地局情報と合わせて RTK 演算し、トラクタの位置を数cmの誤差にて正確に算出する。

また、今回の実験にあたって、トラクタおよび自動操舵システムは株式会社北海道クボタ北竜営業所から借用した。

【実施結果】 自営等 BWA を介した Local RTK により、A 点～B 点を結んだ直線を誤差数 cm の精度で自動走行することが確認できた。



図 2.1-3 デモ走行時の精度と使用したトラクタ

デモ当日は沼田町役場の農業推進課から 2 名の見学があり、「田植え時期などの忙しい時期にこういったシステムを活用して省力化が図れるのは非常に良い。」とのコメントがあった。

デモの時期が稲刈り時期と重なったため、その他の農業従事者の見学は難しく、別途アンケートによる情報収集を図ることとした。

2.2 農業従事者アンケートの結果

2.2.1 アンケート実施概要

【実施目的】 沼田町内の農業従事者の中で無線システムを含むスマート農業への利用ニーズについて情報収集を行うことを目的に実施。

【実施期間】 2022年9月12日～10月20日

【調査対象】 沼田町内の農業従事者（回答数 11件/50件）

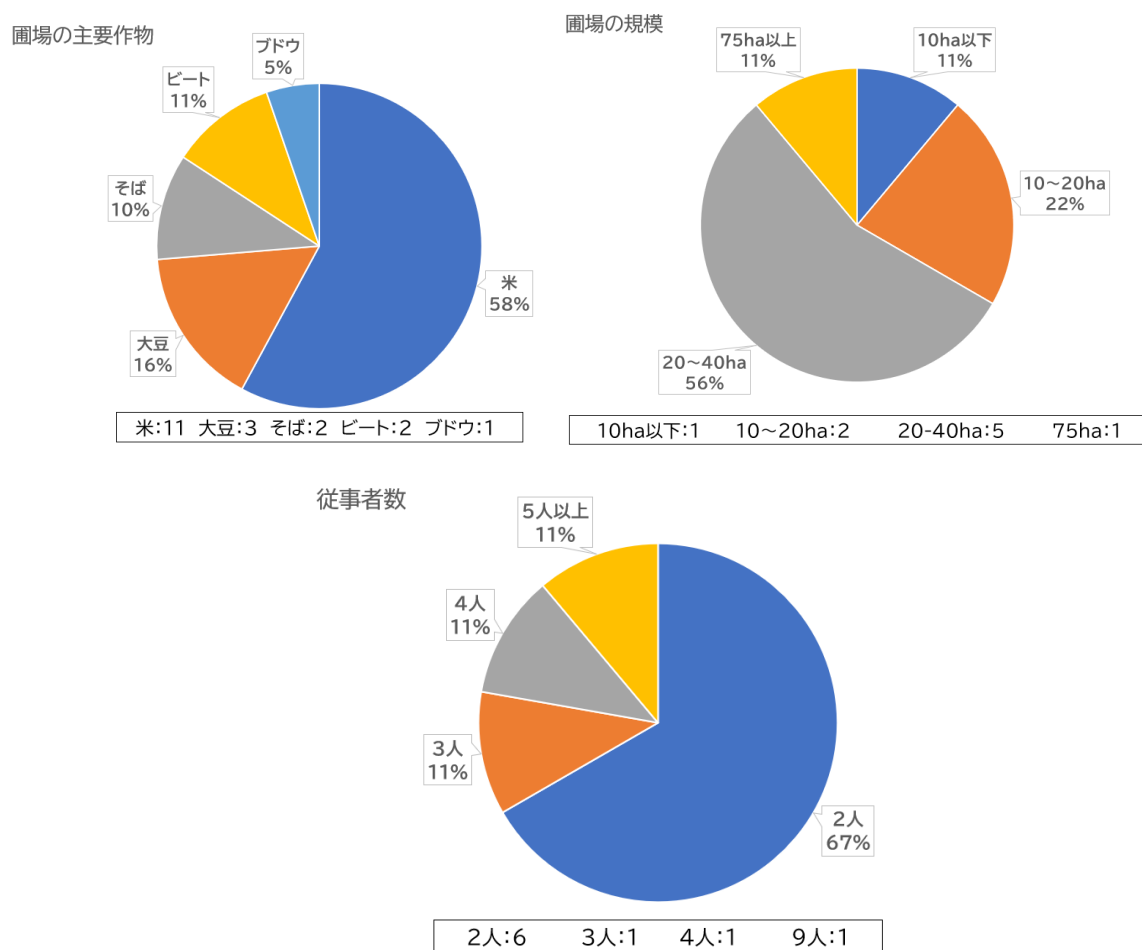


図 2.2-1 調査対象者の主要作物および規模

2.2.2 アンケート実施結果

調査結果の概要は以下の通り

1. スマート農業を導入したいと考えていますか？

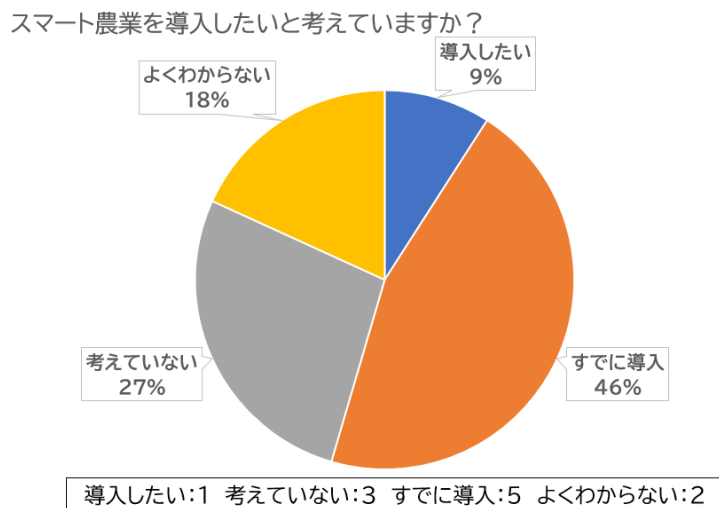


図 2.2-2 スマート農業の導入意向

2. 「導入したい」または「すでに導入している」と回答された方に伺います。

導入したい（している）スマート農業は何でしょうか？（複数回答可）

【導入したい】 自動操舵付トラクタ：4 GPS 田植機：2

【すでに導入】 農薬散布ドローン：3 カメラドローン：1

3. 「導入したい」または「すでに導入している」と回答された方に伺います。

【導入していない理由】 導入費用：4

【導入で大変だった事】 機器設定：1 ドローン操作 1

4. 「導入は考えていない」と回答された方に伺います。考えていない理由は何でしょうか？
【高齢・後継者不在】：2
【導入費用】：1

5. あなたの圃場に携帯電話の通じない地域はありますか？
【ある】：2 （悩み：GPS 補正信号が受信できない。）
【ない】：9

6. ドローンを活用して圃場の高精細な映像を上空からリアルタイムで確認出来るとしたら活用したいですか？
【活用したい】：4
【考えていない】：7 （理由：必要性がわからない、導入費用など。）

7. 農作業で一番のお悩みは何でしょうか？
【田植時の人手不足】：4
【腰痛】：1
【生産コスト】：1
【沼が6ヶ所あり作業不効率】：1

2.2.3 アンケート結果まとめ

農業従事者の中では繁忙期の人手不足や高齢化による課題から、スマート農業を導入したいというニーズがある一方で、導入費用や機器設定などが懸念されている。

自営等 BWA に期待される利用シーンとして、ドローンを活用して圃場の高精細な映像伝送についてのニーズがあることも分かった。

また、全国キャリアのサービスエリア外に圃場を持っている農業従事者からは、トラクタの自動操舵制御に必要な GPS 補正信号が受信できないという課題が上がっており、こういった課題には自営等 BWA の活用が有効であることを周知していくことが必要である。

2.3 構成員アンケートの結果

2.3.1 アンケート実施概要

【実施目的】 自営等 BWA の新たな運用形態に期待される利用シーンについて導入された場合に期待される利用ニーズや課題について情報収集を行うことを目的に実施。

【実施期間】 2022 年 9 月 26 日～10 月 5 日

【調査対象】 検討会構成員（回答数 7 件）

【調査項目】 以下の通り

- ・ 本調査開始前に、自営等 BWA という制度自体をご存じでしたか。
- ・ 自営等 BWA について、現状の制度にはどのような課題があるとお考えですか。
- ・ 自営等 BWA の導入に伴って発生する課題として、どのようなものが挙げられますか。
- ・ 自営等 BWA の新たな運用形態は、どのようなシーンに適しているとお考えですか。
- ・ ユーザーの立場に立った時にどのようなメリットが考えられますか。アイデアベースで結構ですのでご回答ください。
- ・ 農業分野における自営等 BWA のニーズについて、どのようなものが挙げられますか。

2.3.2 アンケート実施結果

調査結果の概要は以下の通り

【現状の制度に関する課題】

基地局の導入費用、管理/メンテナンス費用などコストに関する課題がある。その他に自営等 BWA 自体の認知度の低さと無線従事者資格、無線局開設申請などのハードルがあり、また、他免許人および他事業者との干渉調整、移設運用が認められていないことにより、農業従事者が所有する農地が散在しているケースでコストや変更申請への時間が多くかかることなどの課題がある。

【利用シーン】

全国キャリアのサービスエリア外の地域にて自動操舵装置、センサー類、カメラ映像伝送などスマート農業機器の通信が可能となり、さらにはそういった地域での緊急通報（事故時の通報、有害鳥獣による危害時の通報）など農業従事者の安全確保への利用も想定される。

また、全国キャリアでは上空の LTE /5G のサービスエリアの不感地域に対しては、自営等 BWA の上空利用を活かしたエリアカバーも想定できる。

【移設運用のメリット】

農地や工事現場などの作業場所が広く散在している場合、現状の制度では作業場所毎に基地局および免許が必要だが、移設運用手続きが簡素化されることで、設備投資コストの削減、圃場や工事現場などで作業進捗に合わせた通信エリアの変更を行え、辺境地の圃場におけるデータ転送や GPS 補正信号の受信、Wi-Fi ではカバーできない規模のエリア構築などへの活用が期待される。

現状の制度では基地局の移設は変更申請が必要で手続きに期間が必要であるため、移設運用が可能になれば大きなメリットとなる。

【上空利用のメリット】

ドローンからのセンシングデータ等のリアルタイム受信やほかの無線システムとの多重化による安全な飛行への貢献、より広い範囲での飛行などが期待される。

【準同期運用のメリット】

複数の防犯カメラの無線化や、クラウドへのデータアップロード、移動ロボットの遠隔操縦など主にアップロード通信が必要となる映像伝送分野での活用が期待される。

2.3.3 アンケート結果まとめ

自営等 BWA の移設運用は免許申請手続きの簡素化、基地局導入コストの削減など、自営等 BWA 導入に対するハードルを大きく下げることが期待できる。上空利用については全国キャリアサービスエリア外での飛行時やセンシングデータの利活用や安全面の強化のためのニーズがあることがわかった。また、準同期運用は映像伝送を行う場合にネックとなるアップロード通信の増速により、映像伝送を活用する様々なシステムでの利用拡大が期待できる。

これらより、スマート農業の導入および積極的活用などに向けた自営等 BWA の高度利用に関するニーズが明確になったと考える。

3 自営等 BWA の利用環境に即した電波伝搬特性データの取得

地域ニーズのヒアリングにおいて、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する。

なお、測定データは複数回の測定結果に基づいた平均値を記載している。また、圃場、森林などの各測定ポイントでの受信レベルは、移動局の高さ（海拔）により影響を受けるので各ポイントでの海拔を参考として記載している。

3.1 圃場

3.1.1 測定機器・構成

表 3.1-1 測定機器の一覧

無線局	型番	周波数	空中線電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局	RDL-6000	2585MHz	16W	20MHz	15m	セクタ 16dBi	1dB
	緯度		経度		海拔高	指向方向	
	43.80681		141.93319		67.3m	TN180°	
移動局	HWL-3501-SS	2585MHz	0.2W (最大)	20MHz	1.5m	オムニ 4dBi	0dB

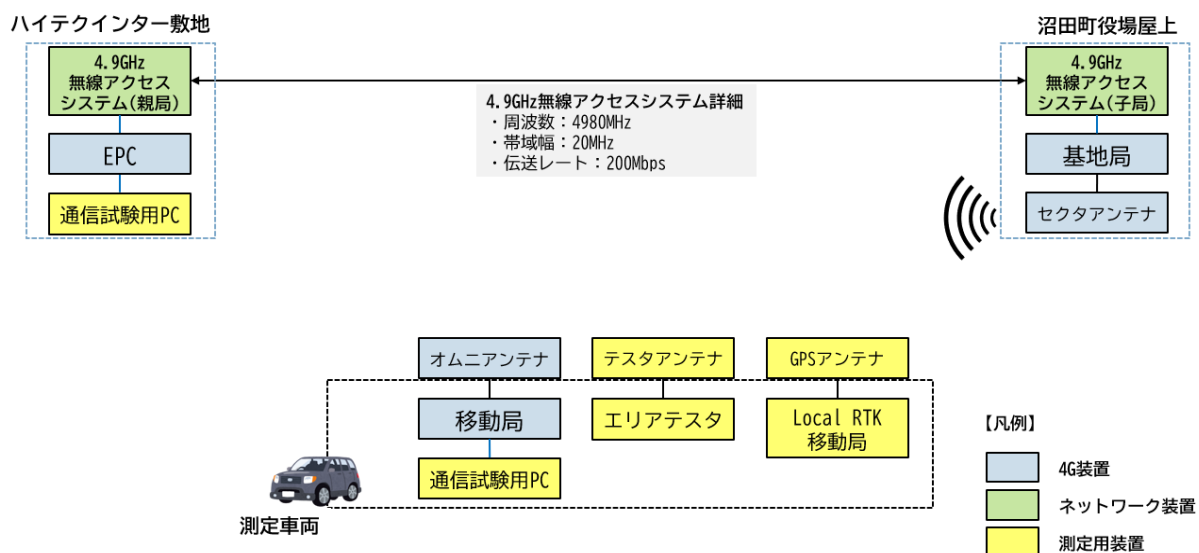


図 3.1-1 測定機器等の接続イメージ

3.1.2 測定期間

2022年9月14日～9月16日

3.1.3 測定結果



図 3.1-2 圃場の測定ポイント

表 3.1-2 測定ポイントの詳細

測定ポイント	基地局との 距離 [m]	北緯	東経	海拔高 (受信アンテナ) [m]
①	991	43.798876	141.927553	49.9
②	1509	43.794469	141.925348	49.5
③	1987	43.790768	141.922274	48.9
⑭	2588	43.787113	141.916006	48.8
⑮	3004	43.783525	141.914218	48.9
⑰	658	43.801051	141.935098	50.4
⑱	363	43.803753	141.934786	51.0

役場屋上に基地局を設置し、セクタアンテナを南側 (TN180°) に向けて電波を発射し、高規格道路を跨いだ圃場 (表 3.1-2 記載の 7 か所) にてエリアテストを用いて受信信号強度 (Received Signal Strength Indicator、以降 RSSI) を測定した。

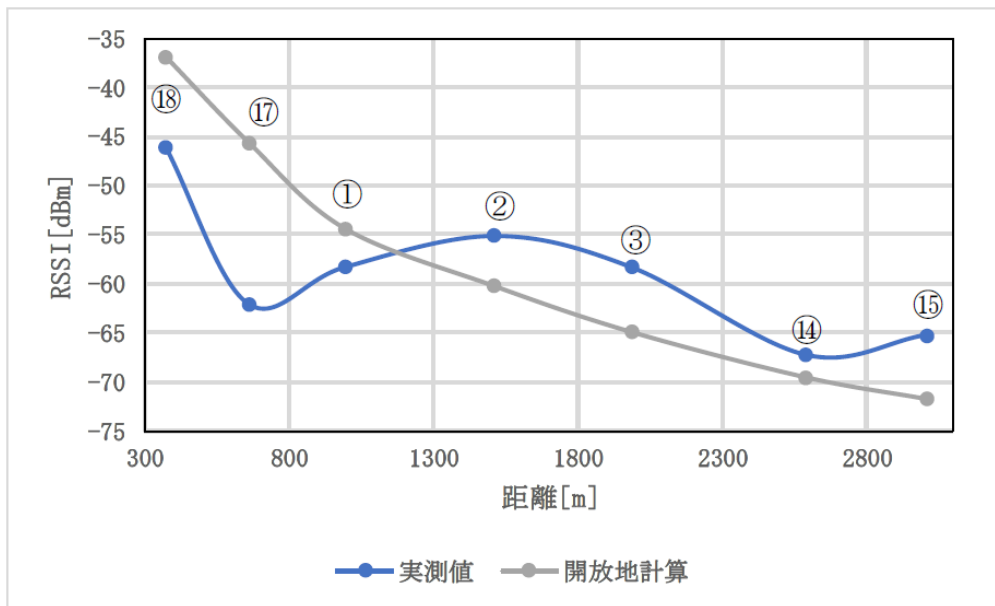


図 3.1-3 圃場の RSSI

地点⑱、⑰は高規格道路近くであり、地点⑱では道路に遮断され 10dB ほど計算値から低くなっているが概ね開放地計算通りとなっている。計算式は、アンテナ指向性の減衰を勘案してある。圃場は稲田であり時期は 9 月半ばで収穫前の時期である。風速は 0.1m/sec でほとんど無風状態であった。

圃場の為、大地との反射はほぼないものの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。

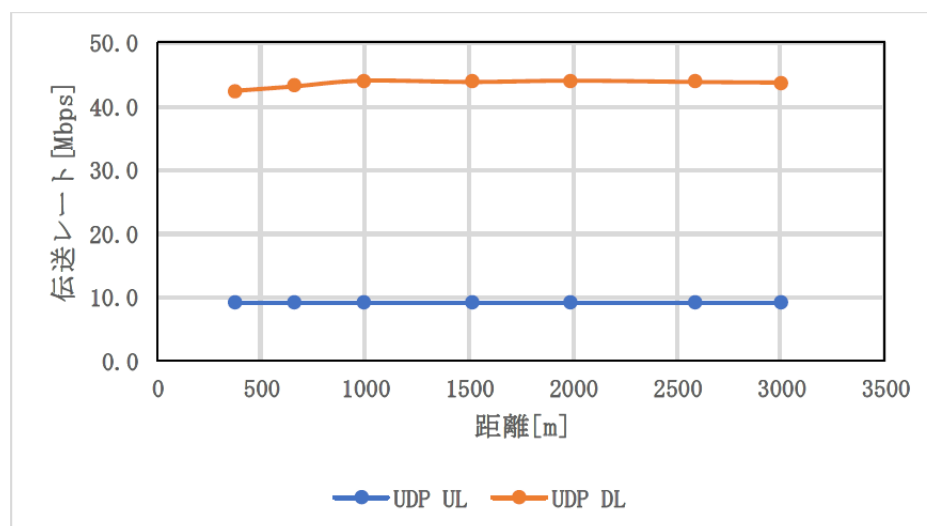


図 3.1-4 圃場の UDP 伝送レート

図 3.1-4 は、User Datagram Protocol (以降 UDP) 伝送レートで、距離が増してもダウンリンク (以降 DL)、アップリンク (以降 UL) とともに一定であった。これは受信レベルが開放地の為、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 を維持しているからと推察される。

3.1.4 まとめ

役場屋上の基地局から南側の圃場に向かって電波伝搬実験を行った。総務省計算式（参考資料—1）によるカバーエリア（受信電力 -85dBm 以上）は以下である。

- ・ 開放地：9km
- ・ 郊外地：2.4km

高規格道路手前の役場周辺のみ建物が散在し、高規格道路から先は圃場が広がっている。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。

3.2 森林

3.2.1 測定機器・構成

表 3.2-1 測定機器の一覧

無線局	型番	周波数	空中線電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局	RDL-6000	2585MHz	16W	20MHz	15m	セクタ 16dBi	1dB
	緯度		経度			海拔高	指向方向
	43.80681		141.93319			67.3m	TN350°
移動局	HWL-3501-SS	2585MHz	0.2W (最大)	20MHz	1.5m	オムニ 4dBi	0dB

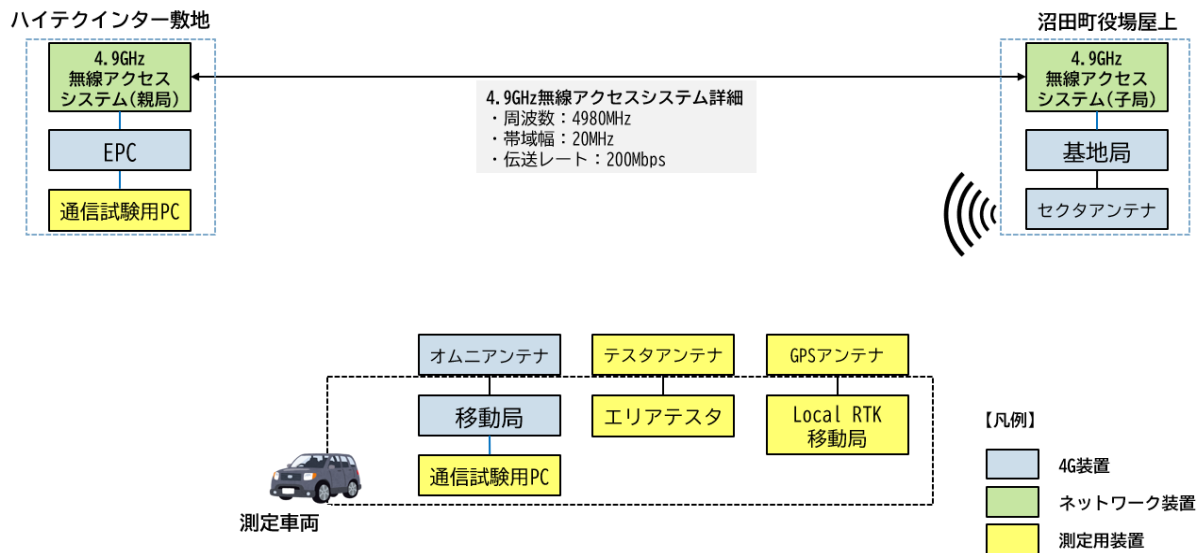


図 3.2-1 測定機器等の接続イメージ

3.2.2 測定期間

2022年9月14日～9月20日

3.2.3 測定結果



図 3.2-2 森林の測定ポイント

表 3.2-2 測定ポイントの詳細

測定ポイント	基地局との距離 [m]	北緯	東経	海拔高 (受信アンテナ) [m]
①	1268	43.816546	141.924959	63.1
②	1435	43.818781	141.926490	73.1
③	1334	43.818304	141.928394	71.7
④	1285	43.818235	141.930693	75.0
⑤	1275	43.818201	141.935155	80.4
⑥	1007	43.814779	141.927213	60.8
⑦	946	43.815063	141.930303	67.2
⑧	807	43.814044	141.932288	68.1
⑨	1155	43.817023	141.930468	70.0

役場屋上に基地局を設置し、セクタアンテナを北側に向けて電波を発射し、表 3.2-2 の 9 か所にてエリアテスト用いて受信レベルを測定した。森林は、樹高約 15m で、時期も 9 月半ばで葉も茂り、密生した状態である。

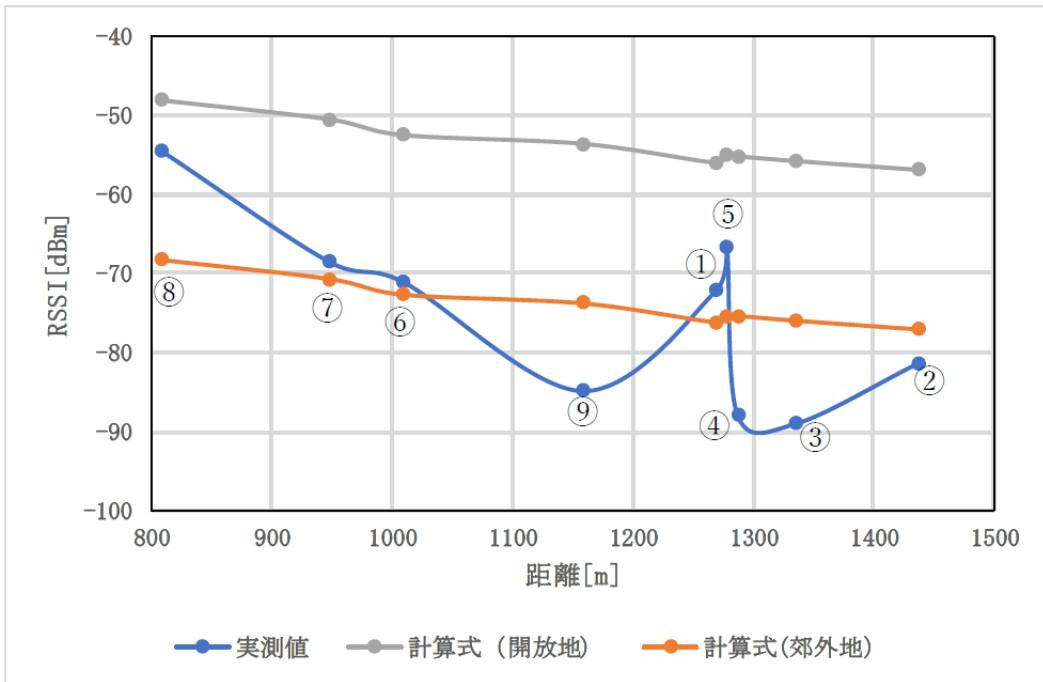


図 3.2-3 森林の RSSI

地点①、⑤、⑥、⑦、⑧は森林に係わらない場所で、⑥は窪地で見通しが無い。②、③、④、⑨は森林のため見通しが無い。

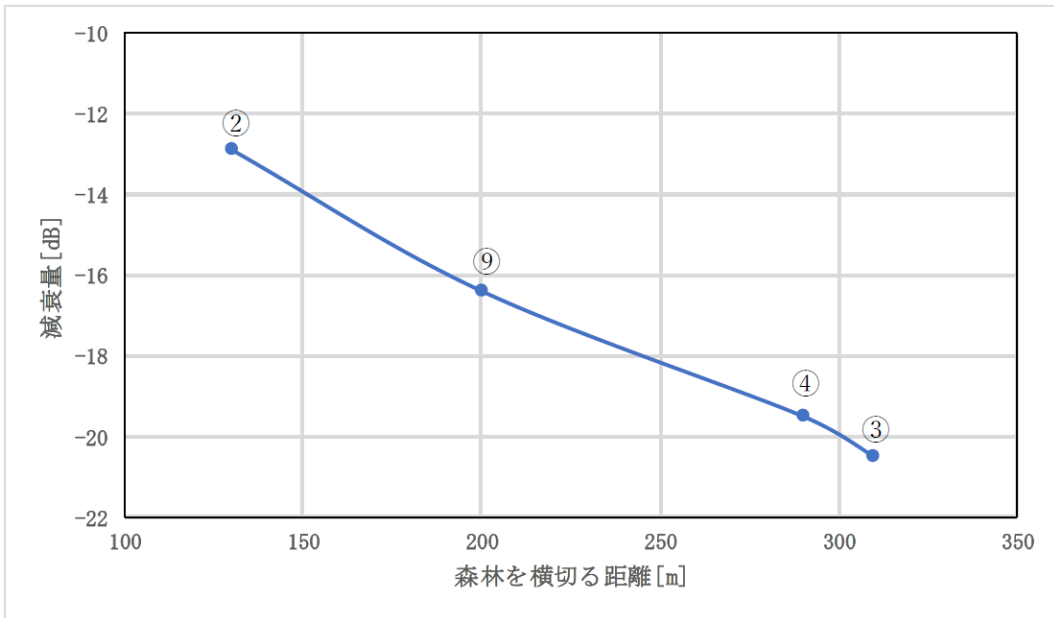


図 3.2-4 ⑦地点に対する減衰量比

図 3.2-4 は、森林の手前の地点⑦での受信レベルを基準に、森林の陰になる地点②、③、④、⑨各々の受信レベルとの比を表したものである。しかしこれは地点⑦からの距離による（自由空間による）伝搬損失を含んでいる。この損失を除いた樹木のための減衰を計算すると表 3.2-3 のようになり、100m あたりの平均減衰量は 5.4dB となる。

表 3.2-3 ⑦地点に対する樹木のための減衰量

地点	樹木減衰 [dB]	100m あたり [dB]
②	-6.5	-5.0
⑨	-13.3	-6.7
④	-14.8	-5.1
③	-15.2	-4.9

3.2.4 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—移動局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。

なお、減衰量の値は、植生の密度、葉の水分量、降雪時は枝の雪の有無によって変動する。

3.3 水上

3.3.1 測定機器・構成

表 3.3-1 測定機器の一覧

無線局	型番	周波数	空中線電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局	HNB-5100-BW	2585MHz	0.004W	20MHz	4m	オムニ 5dBi	0dB
	緯度		経度		海拔高	指向方向	
	43.44975		141.83686		19.5m	無指向	
移動局	HWL-3501-SS	2585MHz	0.2W (最大)	20MHz	1.5m	オムニ 4dBi	0dB

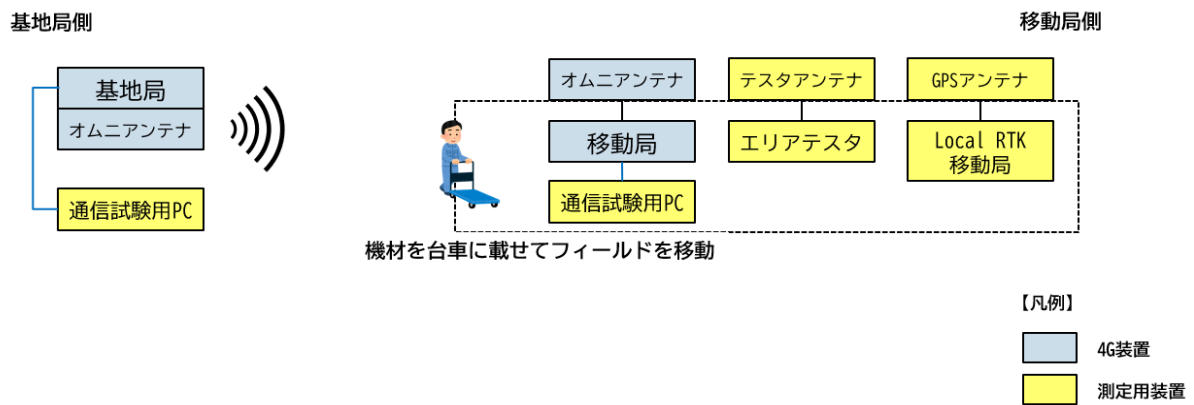


図 3.3-1 測定機器等の接続イメージ

3.3.2 測定期間

2022年10月21日

3.3.3 測定結果

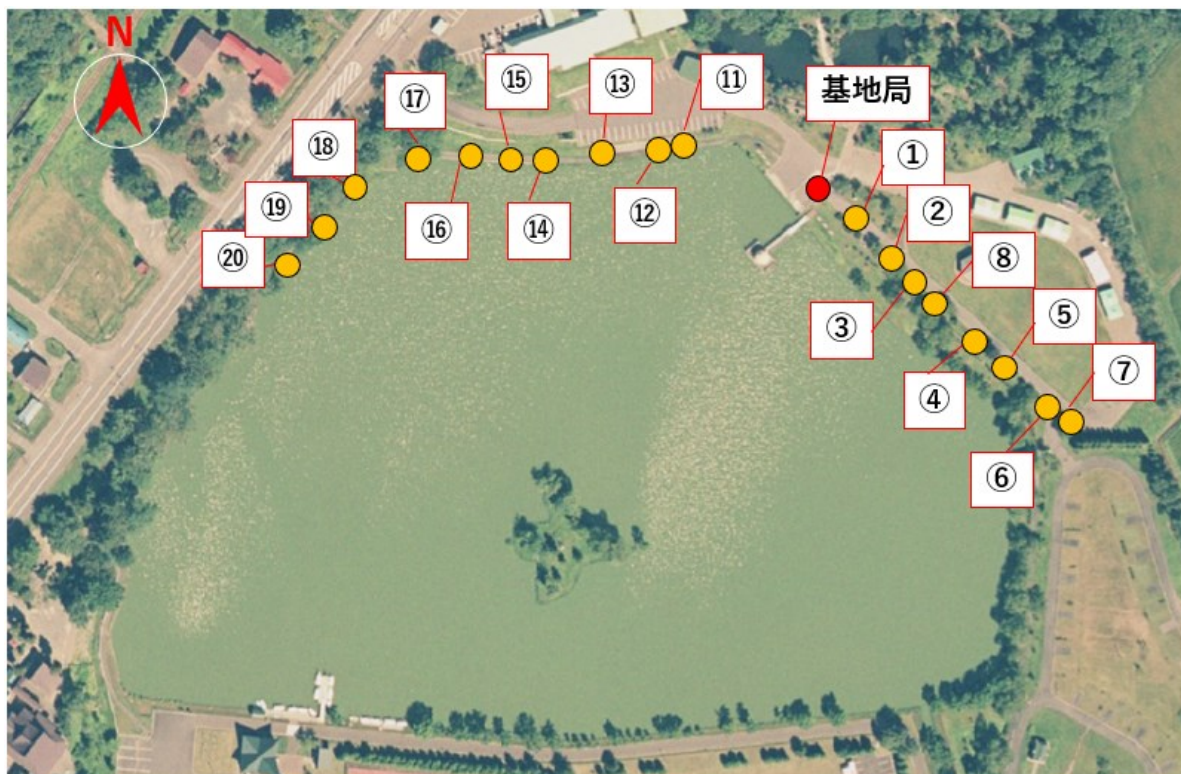


図 3.3-2 水上の測定ポイント (⑨、⑩は欠番)

表 3.3-2 測定ポイントの詳細

測定ポイント	基地局との距離 [m]	北緯	東経	海拔高 (受信アンテナ) [m]
①	21	43.449622	141.837041	17.8
②	41	43.449501	141.837223	18.1
③	60	43.449380	141.837401	17.9
④	80	43.449262	141.837583	17.9
⑤	101	43.449136	141.837779	17.8
⑥	122	43.449011	141.837971	17.7
⑦	131	43.448956	141.838055	17.7
⑧	51	43.449441	141.837318	17.9
⑪	50	43.449859	141.836260	16.4
⑫	61	43.449842	141.836124	16.7
⑬	80	43.449820	141.835882	16.7
⑭	101	43.449817	141.835616	16.8
⑮	114	43.449825	141.835451	16.8
⑯	132	43.449833	141.835232	16.9

⑰	152	43.449840	141.834984	17.0
⑱	170	43.449710	141.834760	17.0
⑲	190	43.449542	141.834537	17.1
⑳	199	43.449452	141.834435	17.1

場所は、北海道樺戸郡浦臼町黄臼内 鶴沼公園内である。沼の一角に基地局を設置し、移動局を移動させた。



図 3.3-3 基地局側の設営状況



図 3.3-4 移動局側の設営状況

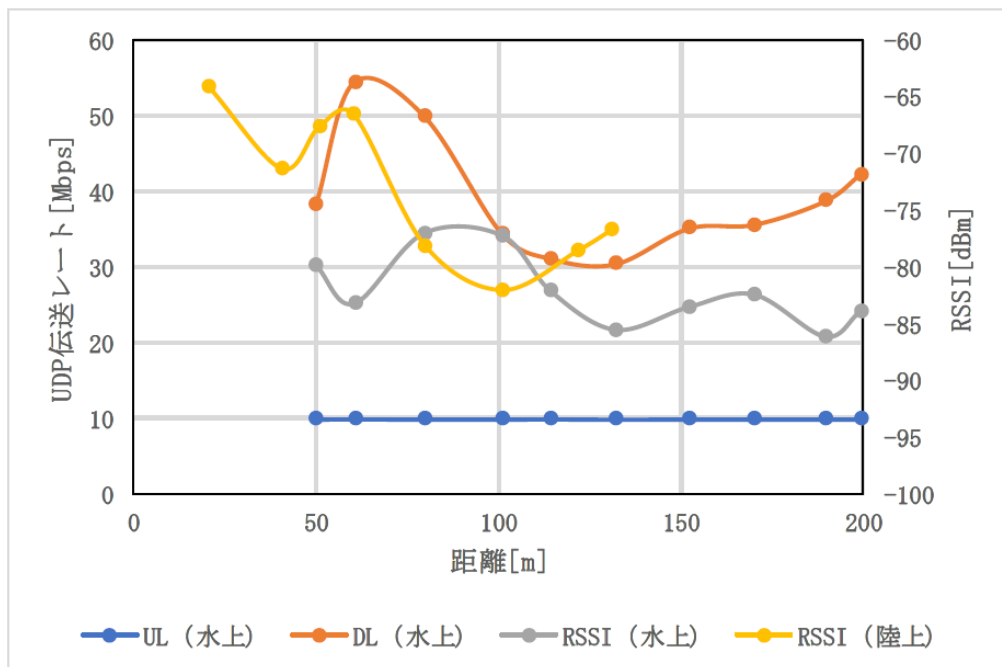


図 3.3-5 水上における RSSI および伝送レートの距離特性

上図において、RSSI については陸上の場合と比較して示している。

UDP DL の伝送レートを見ると、その距離特性が地点⑬付近までは水上ではなく陸上の RSSI に沿った形となっている。また、距離が 200m に近づくほど DL 伝送レートが上がっている。当日は、さざ波の為エリアテスタによる RSSI 値は不安定でありその平均値を取得した。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思われる。地点⑬を過ぎたあたりから水上での RSSI に沿った形となっている。



図 3.3-6 移動局から基地局側を望む

以上から水面が平面ではなく図 3.3-7 のようなイメージとなる。

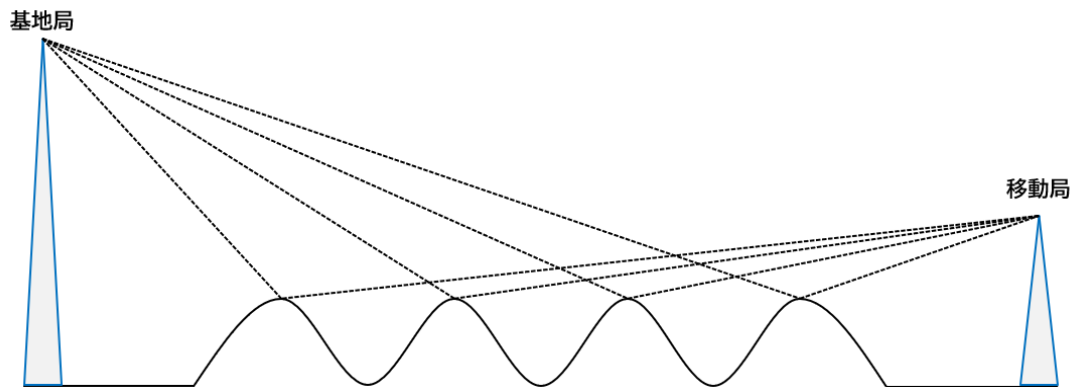


図 3.3-7 さざ波による反射の様子

水（淡水）の空気に対する屈折率 n は 1.33 で、入射角が増大するにつれ反射波の強度は増し、屈折波の強度は減衰する。水面が完璧な平面であれば、そのとおりだが、波があると図 3.3-7 のように移動局に到来する電波は波面による反射・散乱のため、複雑な経路（いわゆるマルチパス）を通り、到来波が delay-profile（遅延プロファイル）となることが予想される。波の下に向かった電波はほぼ水中で減少し、波の上の方で反射した成分のみが移動局に届くと推察される。

平面の場合、臨界角は 48.75° ($n=1.33$) で、地点⑫ (50.1m) から地点⑳ (199.3m) までの入射角は、基地局高さから距離から 83.7° から 88.4° なので、平面であれば全て反射することになる。しかし波の為そうはならない。

遅延プロファイルではいくつかの波が時間的に遅れるため周波数領域では広がる格好となる。約 30m の遅延が陸上と比べてあることから計算すると、

$$30 / (3 \times 10^8) = 0.1 \mu\text{sec}$$

の遅延が発生していることになる。

100m 超えたところから受信電力が開放地計算式に近づいてくるのは、波が穏やかになったことからと推察される。

以上から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。

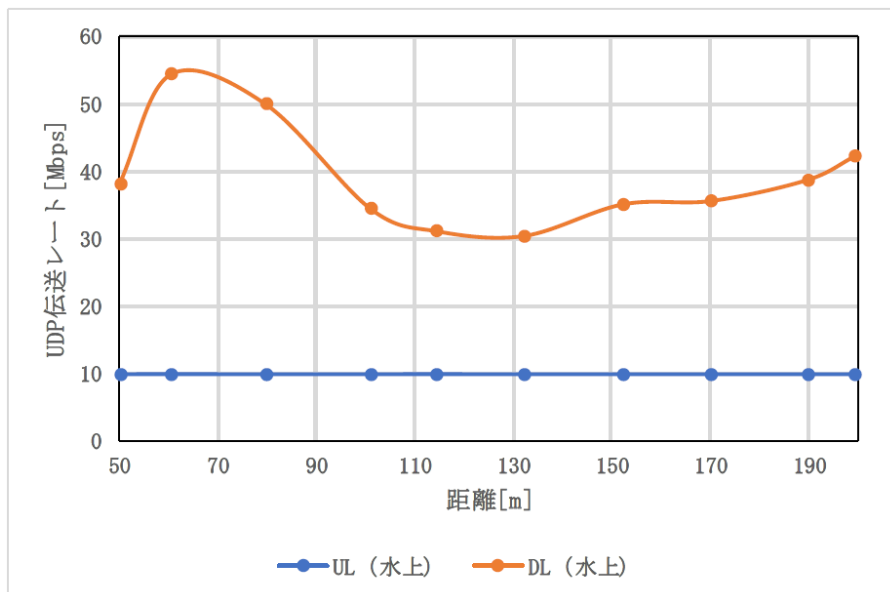


図 3.3-8 水上のUDP 伝送レート

UDP の伝送レートで、UL は SISO で元から伝送レートが低く安定して最大の 10Mbps が得られており、DL は受信レベルに沿った結果となった。

3.3.4 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。

また、十分なマージンを持った回線設計が必要である。

3.4 上空

3.4.1 測定機器・構成

表 3.4-1 測定機器の一覧

無線局	型番	周波数	空中線電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局	HNB-5100-BW	2585MHz	0.004W	20MHz	4m	オムニ 5dBi	0dB
	緯度		経度		海拔高	指向方向	
	43.80494		141.89890		59.2m	無指向	
移動局	HWL-3501-SS	2585MHz	0.2W (最大)	20MHz	1.5m	オムニ 4dBi	0dB

ハイテクインター敷地

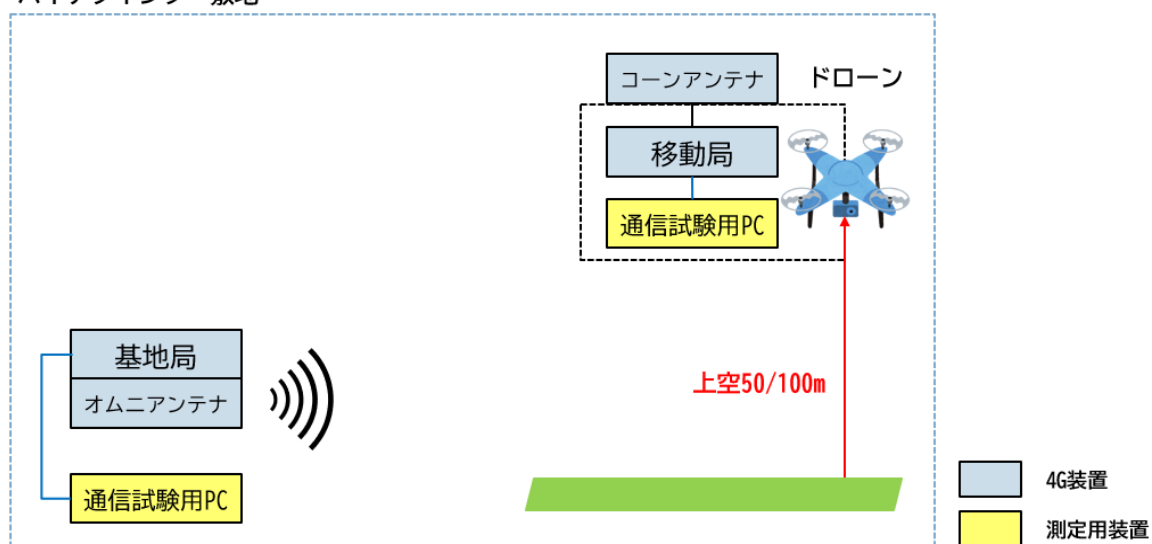


図 3.4-1 測定機器等の接続イメージ

ドローン：DJI Matrice300

サイズ：展開状態、プロペラは除く：810 × 670 × 430 mm (長さ×幅×高さ)

操縦：Wi-Fi 2400～2483.5MHz

搭載重量：2.7kg

最大飛行時間：55分



図 3.4-2 ドローン



図 3.4-3 ドローンに搭載した機材ボックス

ドローン機体の下部はセンサーがあるため機器を取り付けられず、移動局や、小型 PC、モバイルバッテリーなどを格納した青い BOX は機体上部に取り付けた。アンテナは仰角を広くするため利得が少し少ない 2dBi のコーン型を用いた。

機器との干渉を避けるためアンテナは一方向に据え付けたため、ホバリング後に基地局方向に向け、安定させた。アンテナが 180° 反対方向に向けたときとの受信レベルの差は約 10dB である。



図 3.4-4 上空の測定ポイント

基地局からの距離は 20m ステップである。

ハイテクインター敷地

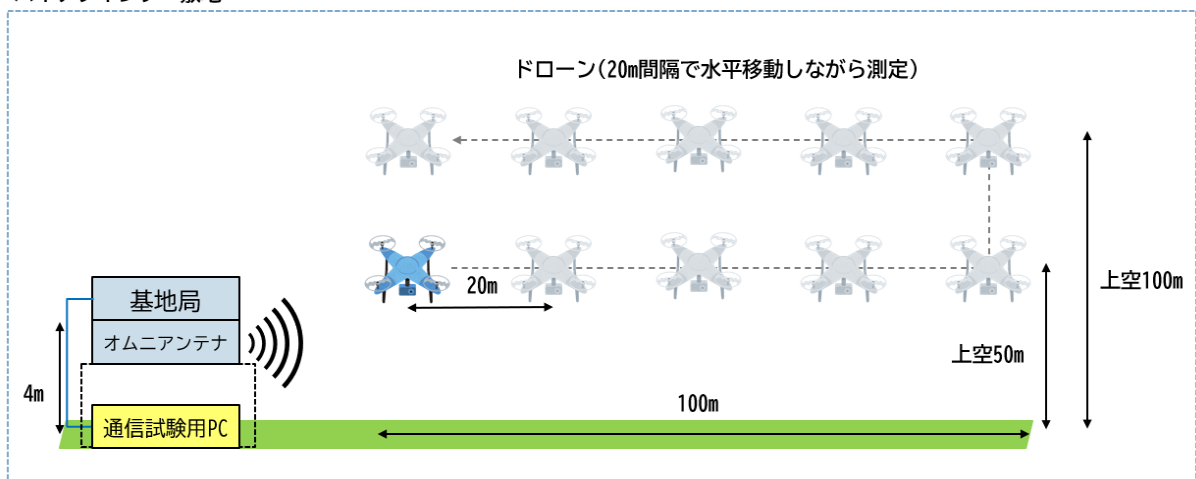


図 3.4-5 ドローン飛行のイメージ

まず、高度 50m でホバリングさせ、データ取得後に水平移動させ、5 ポイント終了後に 100m まで上昇させ、同様に 5 ポイントでデータ取得した。

3.4.2 測定期間

2022年11月14日～11月17日

3.4.3 測定結果

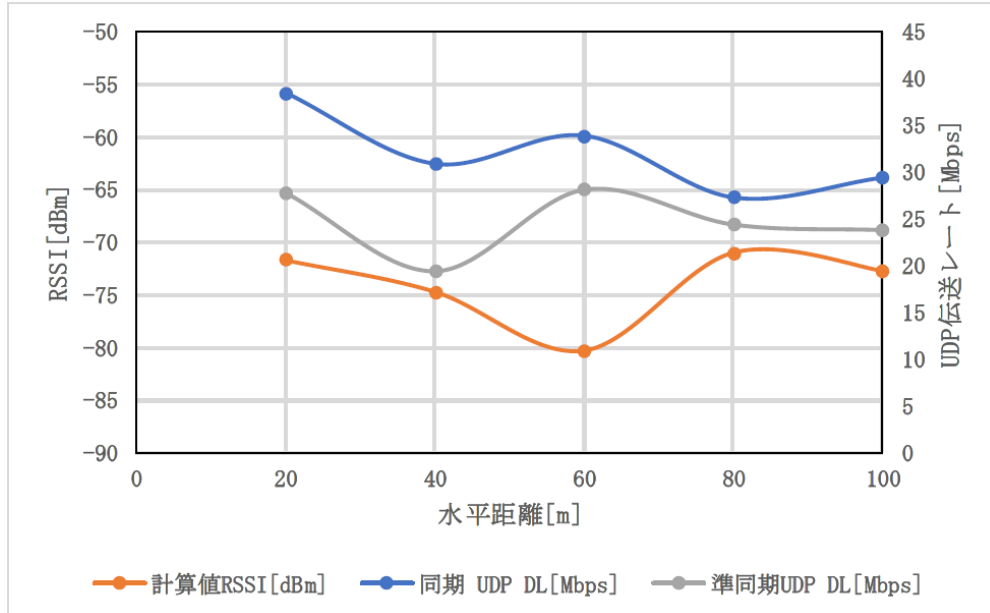


図 3.4-6 ホバリング高度 50m における RSSI 距離特性

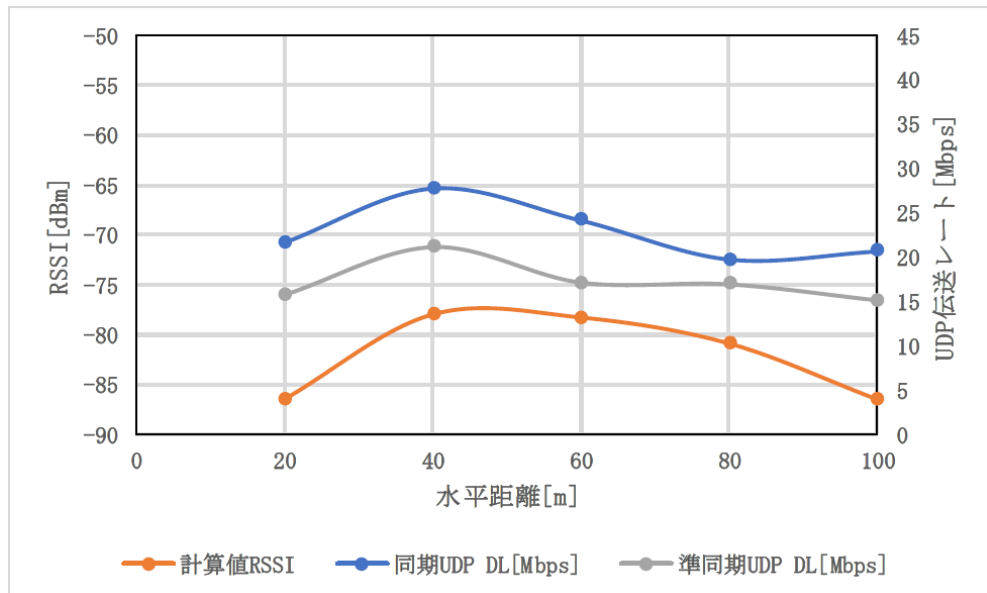


図 3.4-7 ホバリング高度 100m における RSSI 距離特性

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ので UDP DL 伝送レートを用い、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、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ている。100m は特性が良く合っているが、50m では計算値よりも 20m ずれている。これはホバリング時に風速 7～

10m でありかなり揺れていた影響と推察される。

いずれの高さでも、準同期でも安定した伝送が可能となっている。

また、UL 伝送レートは 50m、100m とともにすべてのポイントで同期は 10Mbps、準同期は 20Mbps で一定であった。

この水平距離では伝搬損失はさほど変わらないが、アンテナ（特に基地局側）の仰角方向の特性による利得変化が大きい。

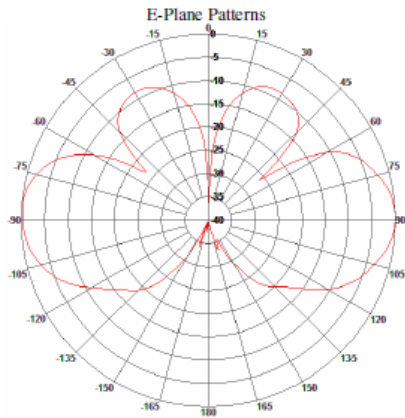


図 3.4-8 基地局側アンテナパターン

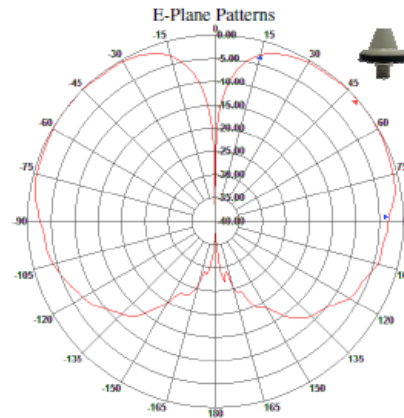


図 3.4-9 ドローン側アンテナパターン

図 3.4-8 と図 3.4-9 は左が基地局側オムニアンテナの、右はドローン搭載のコーンアンテナの垂直方向の指向特性でドローンには逆さまに据え付けている。

3.4.4 まとめ

ドローンに移動局を搭載し上空 50m、100m でホバリングさせ基地局と同期・準同期含めて通信させた。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。

また、計算や実測値の結果から基地局とドローンとの距離による減衰よりも搭載する移動局のアンテナの仰角方向の指向性利得が重要であることが分かった。

3.5 遠方伝搬遅延

3.5.1 測定機器・構成

表 3.5-1 測定機器の一覧

無線局	型番	周波数	空中線 電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局 A	HNB-5100-BW	2585MHz	0.004W	20MHz	4m	オムニ 5dBi	0dB
	緯度		経度		海拔高	指向方向	
	43.80494		141.89890		59.2m	無指向	
移動局 A (ドローン搭載)	HWL-3501-SS	2585MHz	0.2W (最大)	20MHz	50m/ 100m	コーン 2dBi	0dB
無線局	型番	周波数	空中線 電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
遠方基地局 B	HNB-5100-BW	2585MHz	0.004W	20MHz	4m	オムニ 5dBi	0dB
	緯度		経度		海拔高	指向方向	
	43.81441		141.97322		61.8m	無指向	
遠方移動局 B	HWL-3501-SS	2585MHz	0.2W (最大)	20MHz	1.5m	オムニ 4dBi	0dB
無線局	基地局との 距離[m]	緯度	経度		海拔高 (受信アンテナ) [m]		
移動局 A (ドローン搭載)	20m	43.804975	141.899150		-		
遠方移動局 B	20m	43.814391	141.972975		59.2		
	80m	43.815234	141.972786		59.3		

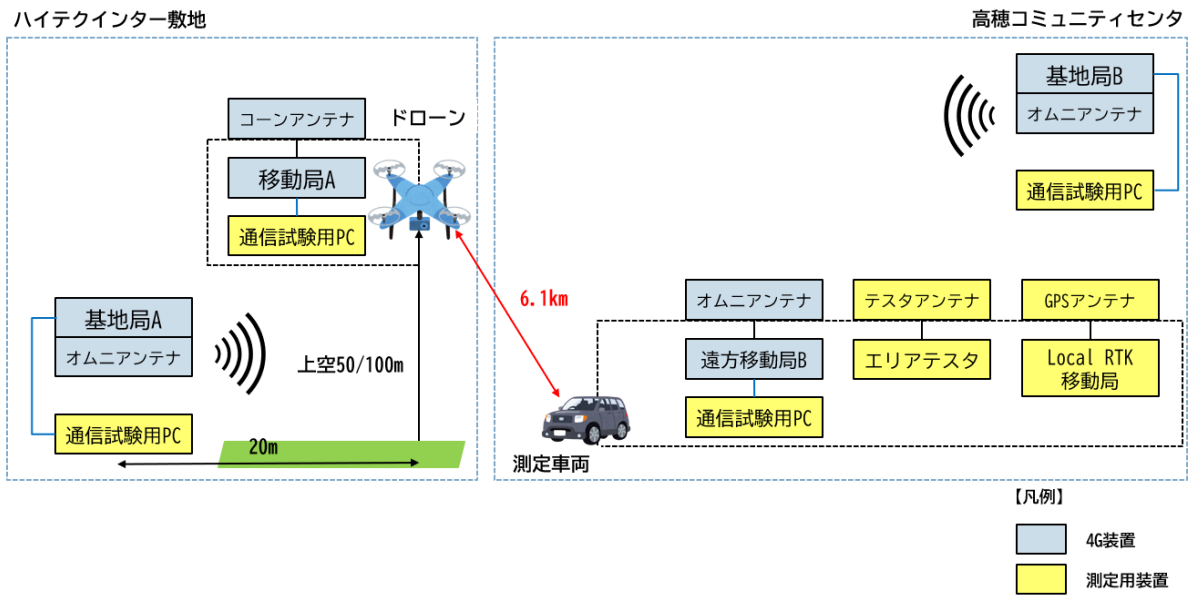


図 3.5-1 測定機器等の接続イメージ

3.5.2 測定期間

2022年11月16日

3.5.3 測定結果

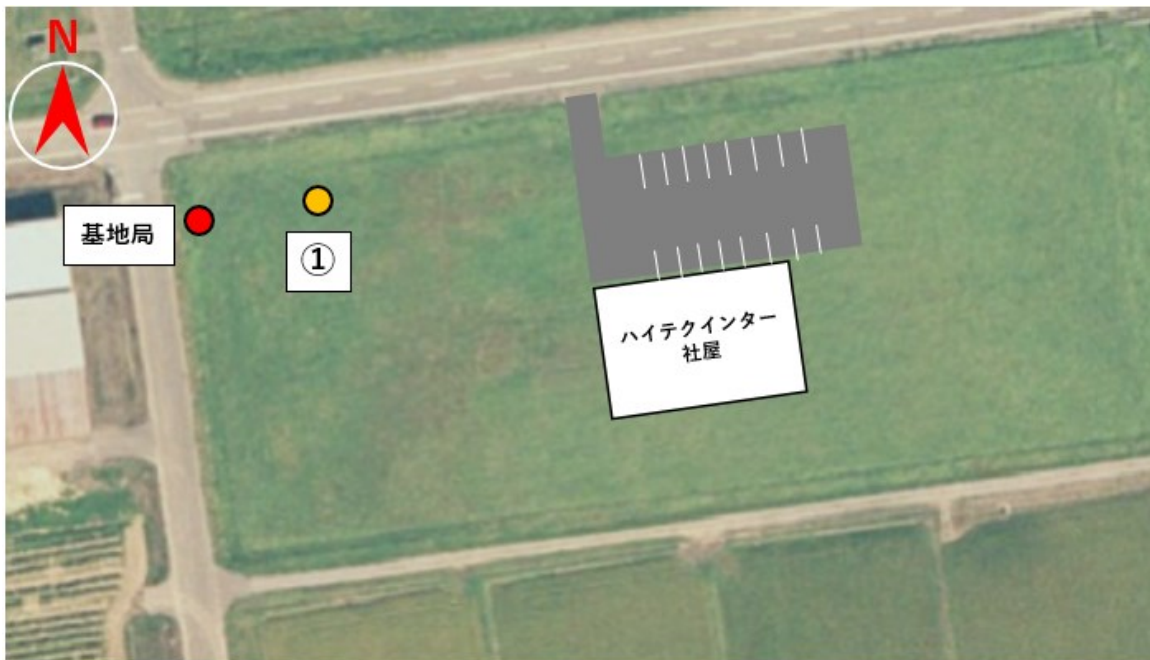


図 3.5-2 社屋側の基地局および移動局（ドローン）位置

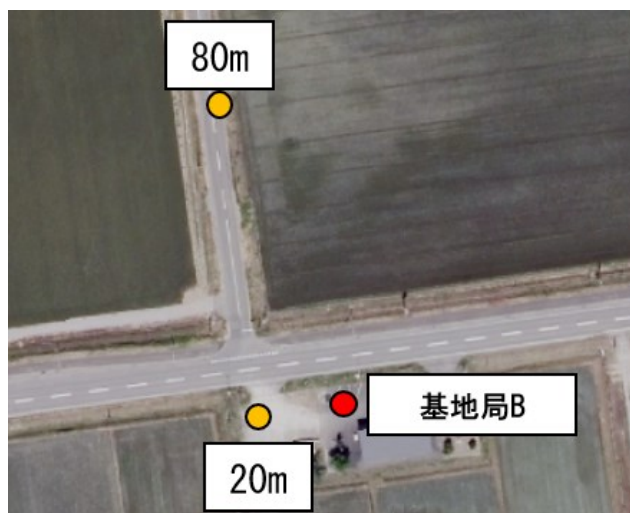


図 3.5-3 高穂コミュニティセンターの測定ポイント

社屋側基地局Aから 6.1km 離れた高穂コミュニティセンター敷地内に別の基地局Bを設置し、基地局Bから 20m 及び 80m 離れた場所に移動局Bを設置して RSSI、伝送レートに加え、基準信号受信電力(Reference Signal Received Power、以降 RSRP) および搬送波対干渉波比 (Signal-to-Interference Ratio、以降 SIR) を測定した。20m では移動局Bの送信電力が約 0dBm, 80m では約 20dBm となる。

まず、ドローンを飛ばさず、社屋側を停波状態で高穂の移動局B伝送レートを測定し、次に社屋側電波を放射し、ドローンを飛ばし、50m, 100m の高度で水平距離 20m 離れた基地局Aと通信させた。ドローンは、まず基地局A側と通信させ、問題ないことを確認して定点でホバリングさせアンテナを高穂センター方面へ向けた。高度 50m、基地局Aからの水平距離 20m (図 3.5-2、地点①) では計算式から RSSI -71.7dBm で、移動局Aはフルパワーにならないので基地局Aアンテナ端に 10dB 減衰器を接続した。100m では RSSI -86.5dBm の計算なので、減衰器を接続しなくてもフルパワーの 200mW となる。これらは予め室内ラボや地上でカップラ用いて移動局Aの送信出力と基地局Aからの受信レベルとの関係を測定した。

表 3.5-2 遠方干渉波を考慮した伝搬特性測定結果 (遠方移動局 : A、測定対象移動局 : B)

	基地局Bとの距離 20[m]					基地局Bとの距離 80[m]				
	エリアテスタ			UDP		エリアテスタ			UDP	
	RSSI	RSRP	SIR	UL	DL	RSSI	RSRP	SIR	UL	DL
移動局 A 高度	[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	-80.3	-107.6	16.0	9.9	52.0
遠方からの 干渉無し	-64.4	-91.4	30.6	9.8	42.4	-79.9	-107.2	16.9	9.9	51.3

表 3.5-2 から遠方伝搬遅延の影響はないと考えられる。100m で UDP DL が下がっているがバラツキの範囲と考えられる。

(遠方伝搬遅延と干渉波との関係については、参考資料—3 P.23 参照)

3.5.4 まとめ

ドローンに搭載した移動局の送信出力を最大の 200mW にして 6.1km 離れた別の移動局に伝搬遅延の影響があるか検証したが、影響はないと考えられる。確かに上空 50m, 100m では地上に比べ遠方まで電波は届くが、6.1km が十分遠方であるために干渉波の信号電力が下がるため、その場所の基地局のカバーエリアの受信電力基準値 (-85dBm) 以下となるので問題ないと考えられる。

3.6 ハンドオーバー

3.6.1 測定機器・構成

表 3.6-1 測定機器の一覧

無線局	型番	周波数	空中線電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局 A	RDL-6000	2585MHz	10W	20MHz	4m	セクタ 16dBi	1dB
	緯度		経度		海拔高	指向方向	
	43.80494		141.89893		59.2m	TN85°	
無線局	型番	周波数	空中線電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局 B	RDL-6000	2585MHz	16W	20MHz	15m	セクタ 16dBi	1dB
	緯度		経度		海拔高	指向方向	
	43.80681		141.93319		67.3m	TN265°	
移動局 (ドローン搭載)	HWL-3501-SS	2585MHz	0.2W (最大)	20MHz	50m	コーン 2dBi	0dB

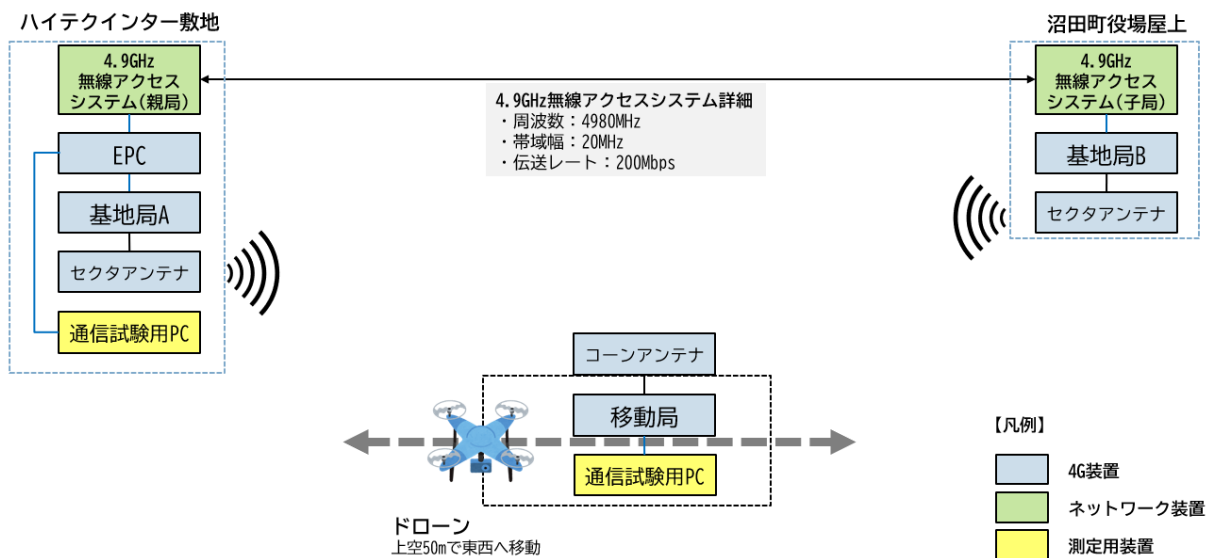


図 3.6-1 測定機器等の接続イメージ

基地局 A および基地局 B についてお互いのセクタアンテナ面方向を正対させ、高度 50m で図 3.6-2 のカバーエリアがオーバーラップする付近を東西に何回か飛行させた。ドローン高度は 50m 一定で、ドローン搭載アンテナはコーン型オムニアンテナで、ドローン上の BOX を北側に向け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。

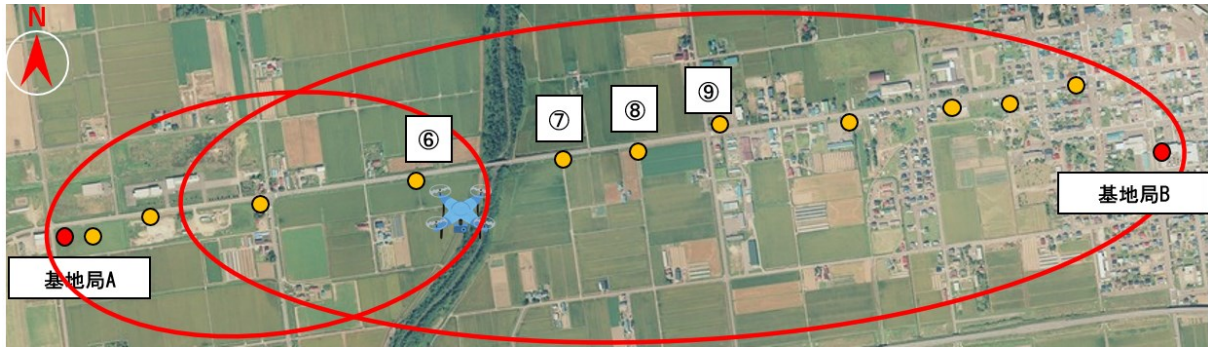


図 3.6-2 基地局 A および基地局 B のカバーエリア

3.6.2 測定期間

2022年11月17日

3.6.3 測定結果

図 3.6-1 に示したコアネットワーク（EPC）に記録されたハンドオーバー（ここでは X2 ハンドオーバー：X2-HO）のログについて抜粋を下記に示す。

日時	時刻	切り替え時間	Src eNB	Tget eNB	
17-Nov-2022	15:52:09.834913	X2-HO	10.102.81.60	10.102.81.61	開始
17-Nov-2022	15:52:09.835370	26ms X2-HO			終了
17-Nov-2022	15:52:16.755538	X2-HO	10.102.81.61	10.102.81.60	開始
17-Nov-2022	15:52:16.755998	114ms X2-HO			終了

地上では 2 つの基地局間を一方向に移動した場合でも、地形や建物などによる反射などの影響のためか、安定するまでにハンドオーバーが複数回繰り返される現象が見られた。一方、上空の場合には 1 回のみでハンドオーバーが完了した。ほぼ見通し内通信となるためと推察する。

図 3.6-3 は、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である。

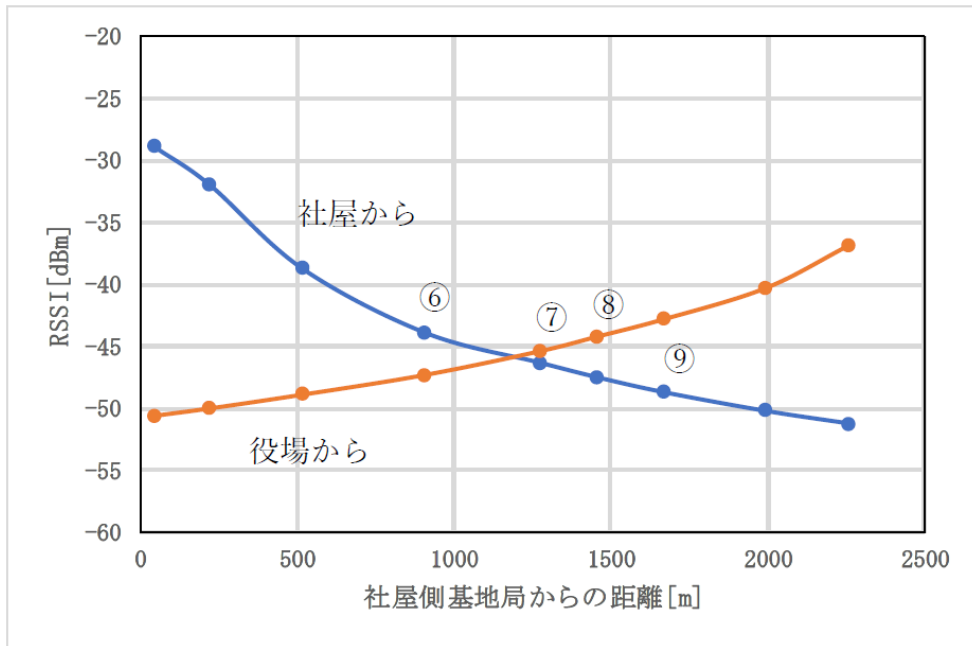


図 3.6-3 ドローン搭載移動局の受信電力

実際の同期同士のハンドオーバーは社屋側からでは地点⑨付近、役場側からは⑥と⑦の間付近であった。よって約3~5dBのヒステリシスを持ってハンドオーバーしていると推察する。

社屋側を準同期にした場合のハンドオーバーにおいては、社屋側との通信が安定せず（サブフレーム 3, 8 が常に役場側から干渉受ける）、途絶気味で、役場側（10.102.81.60）から社屋側（10.102.81.61）へ頻りに X2-H0 しようとした形跡のログは残るが、逆へのログは残っていない。この際、社屋側への ping は数秒かかっており、通信は途絶気味であった。よって、ハンドオーバーしたとは言えない。役場側に寄った際は安定して通信できていたが、その X2-H0 のログは得られなかった。

3.6.4 まとめ

地上 50m でドローンを行き来させてハンドオーバーが地上よりもスムーズに行われることが検証できた。しかし片側が準同期の場合は干渉の為、ハンドオーバーというよりも準同期側の通信自体が出来なくなるのでハンドオーバーも無理である。

以上、上空利用をまとめると、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る。なお、準同期が可能となれば、高速・高解像度な映像伝送の実現とそれによる活用分野の拡大が期待できる。

4 新たな運用形態による既存システムへの影響検証

新たな運用形態ごとに既存システムへの影響について干渉モデルを構築し、フィールド試験において RSSI/RSRP/SIR、伝送レートを測定した。

なお、測定データは複数回の測定結果に基づいて平均値を記載している。

4.1 測定場所

北海道雨竜郡沼田町域内とその郊外の国道 275 号線沿いの 11 か所に移動局を下記地図上に設置し、自営等 BWA 基地局はハイテクインター株式会社社屋敷地内の一角のプレハブ小屋屋上に設置した。

既存システム（地域 BWA、地域 BWA-WiMAX、全国 BWA）は自営等 BWA 基地局から約 2.8km 離れた沼田町役場屋上に設置。以下にその詳細を示す。

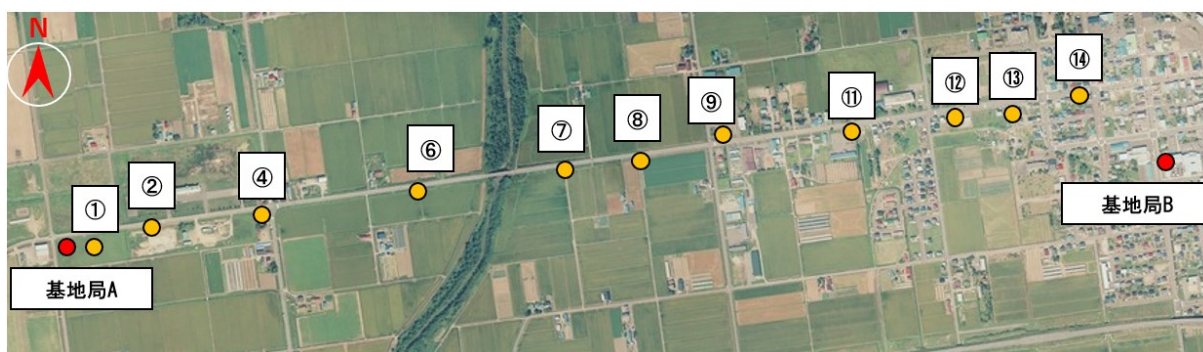


図 4.1-1 影響検証の測定ポイント（③、⑤、⑩は欠番）

表 4.1-1 各基地局におけるカバーエリアおよび調整対象区域

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	-	-

カバーエリア（所要受信電力）および調整対象区域（許容干渉レベル）の算出に当たって使用する受信電力の基準値は電波法関係審査基準からカバーエリアは-85dBm、調整対象区域は 20MHz が-98.8dBm、10MHz が-101.8dBm、5MHz が-104.8dBm とする。

表 4.1-2 測定ポイントの詳細

測定ポイント	基地局 A との距離 [m]	基地局 B との距離 [m]	北緯	東経	海拔高 (受信アンテナ) [m]
①	45	2,719	43.804897	141.899494	57.7
②	223	2,542	43.805296	141.901662	56.3
④	516	2,250	43.805629	141.905273	55.8
⑥	909	1,859	43.806172	141.910101	55.3
⑦	1,273	1,497	43.806639	141.914580	55.1
⑧	1,459	1,312	43.806873	141.916874	54.4
⑨	1,671	1,108	43.807352	141.919440	54.1
⑪	1,995	784	43.807452	141.923480	54.0
⑫	2,257	530	43.807728	141.926717	53.8
⑬	2,396	403	43.807943	141.928426	53.4
⑭	2,578	264	43.808305	141.930633	52.9

各移動局のポイントは Local RTK にて精度 10cm 以下とした。

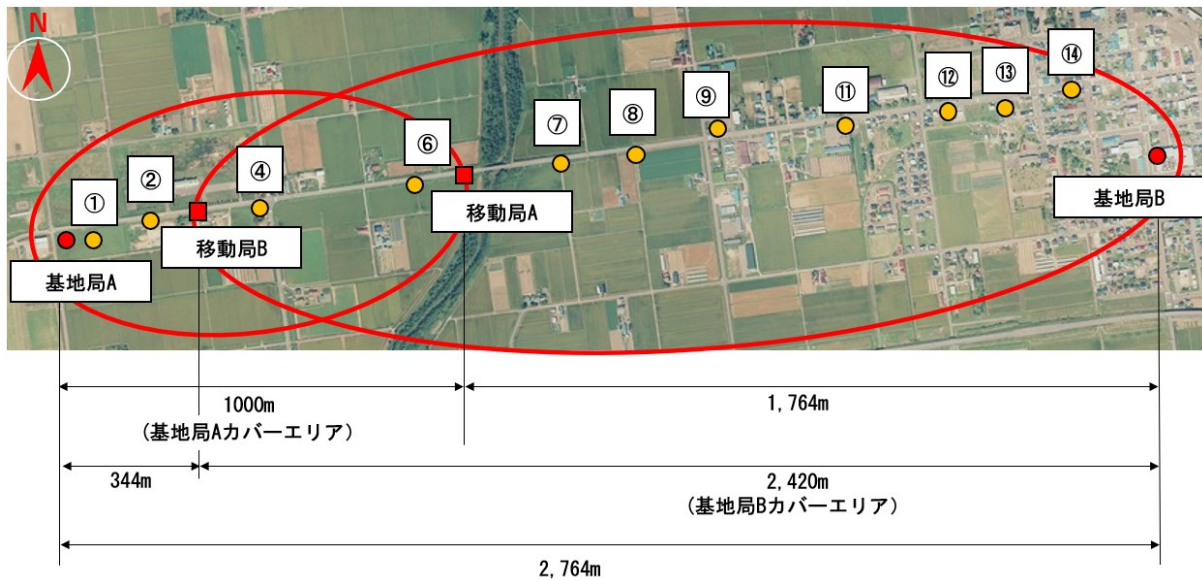


図 4.1-2 カバーエリア図

4.2 測定機器・構成

表 4.2-1 測定機器の一覧

無線局	型番	周波数	空中線電力	帯域幅	地上高	アンテナ	給電線損失
基地局 A	RDL-6000	2585MHz/ 2580MHz、2590MHz/ 2577.5MHz、2582.5MHz、 2587.5MHz、2592.5MHz	10W/5W/2W	20MHz/ 10MHz/ 5MHz	4m	セクタ 16dBi	1dB
		緯度	経度		海拔高	指向方向	
		43.80494	141.89893		59.2m	TN85°	
基地局 B	RDL-6000	2585MHz(地域 BWA) 2565MHz(全国 BWA) 2587MHz(地域 BWA WiMAX)	16W	20MHz (地域 BWA WiMAX は 10MHz※)	15m	セクタ 16dBi	1dB
		緯度	経度		海拔高	指向方向	
		43.80681	141.93319		67.3m	TN265°	
移動局	HWL- 3501-SS	2565MHz、2585MHz/ 2580MHz、2587MHz、2590MHz/ 2577.5MHz、2582.5MHz、 2587.5MHz、2592.5MHz	0.2W(最大)	20MHz/ 10MHz/ 5MHz	1.5m	オムニ 4dBi	0dB

※ 地域 BWA WiMAX は方式が TD-LTE とは異なり、本来は非同期と解釈しなければならない。

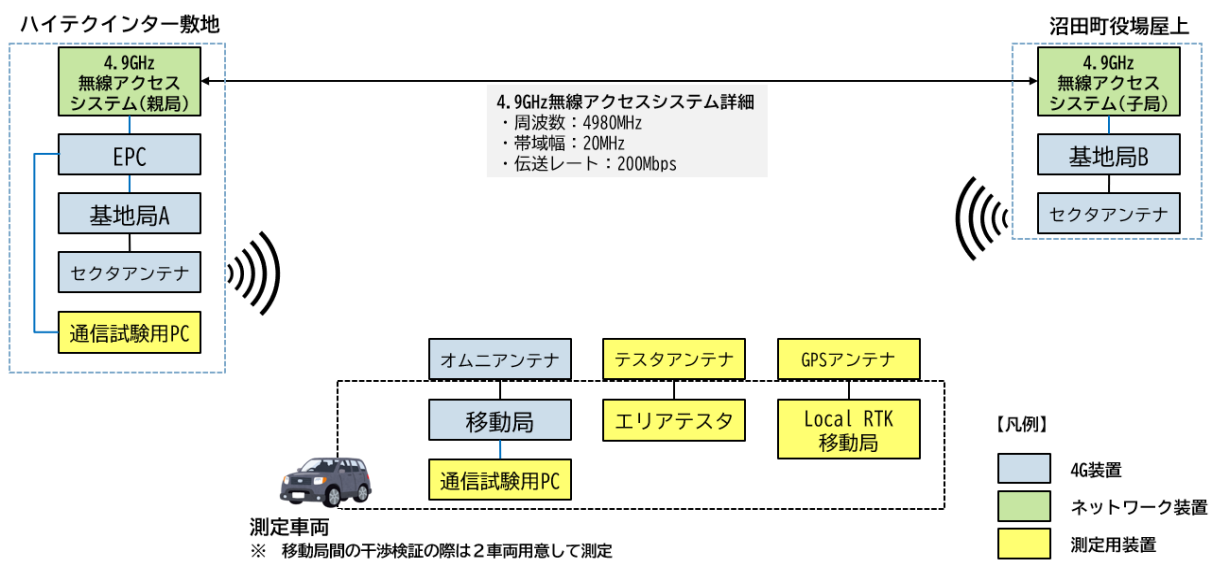


図 4.2-1 測定機器等の接続イメージ

4.2.1 測定期間

2022年9月21日～12月1日

4.3 自営等 BWA 基地局と地域 BWA 方式との干渉

4.3.1 自営等 BWA 基地局単体（同期）の距離特性

表 4.3-1 自営等 BWA 単体（同期）の距離特性データ

送信出力 [W]	測定 ポイント	エリアテスト [dBm]			UDP [Mbps]	
		RSSI	RSRP	SIR	UL	DL
10	①	-30.2	-56.7	33.8	9.31	50.4
	②	-37.8	-64.1	35.2	9.34	53.7
	④	-59.5	-85.2	33.7	9.33	58.0
	⑥	-69.4	-95.6	27.4	2.47	40.7
	⑦	-64.4	-90.9	31.2	9.35	46.0
	⑧	-79.1	-105.2	18.5	1.53	50.2
	⑨	-82.0	-108.6	15.7	2.19	41.4
	⑪	-86.8	-114.4	9.8	0.35	24.7
	⑫	-90.8	-121.2	3.0	-	-
5	①	-33.1	-59.6	34.4	9.31	54.8
	②	-42.9	-69.5	32.7	9.35	52.6
	④	-67.0	-93.8	29.7	9.34	48.7
	⑥	-71.5	-97.2	25.6	4.39	40.8
	⑦	-67.1	-93.4	29.6	9.35	45.9
	⑧	-82.2	-108.4	14.4	2.38	39.4
	⑨	-84.5	-111.8	11.8	2.38	38.5
	⑪	-89.8	-118.9	5.4	0.64	18.2
	⑫	-92.2	-126.7	-1.7	-	-
2	①	-37.1	-63.7	33.2	9.32	52.4
	②	-46.2	-72.2	35.0	9.34	54.3
	④	-71.0	-97.1	25.7	9.36	52.6
	⑥	-69.5	-95.8	27.5	9.30	46.2
	⑦	-71.3	-98.3	25.7	9.31	46.4
	⑧	-84.0	-111.5	12.5	1.79	29.8
	⑨	-88.3	-116.3	8.2	1.57	29.2
	⑪	-91.5	-123.2	1.1	-	-
	⑫	-92.5	-128.8	-5.3	-	-

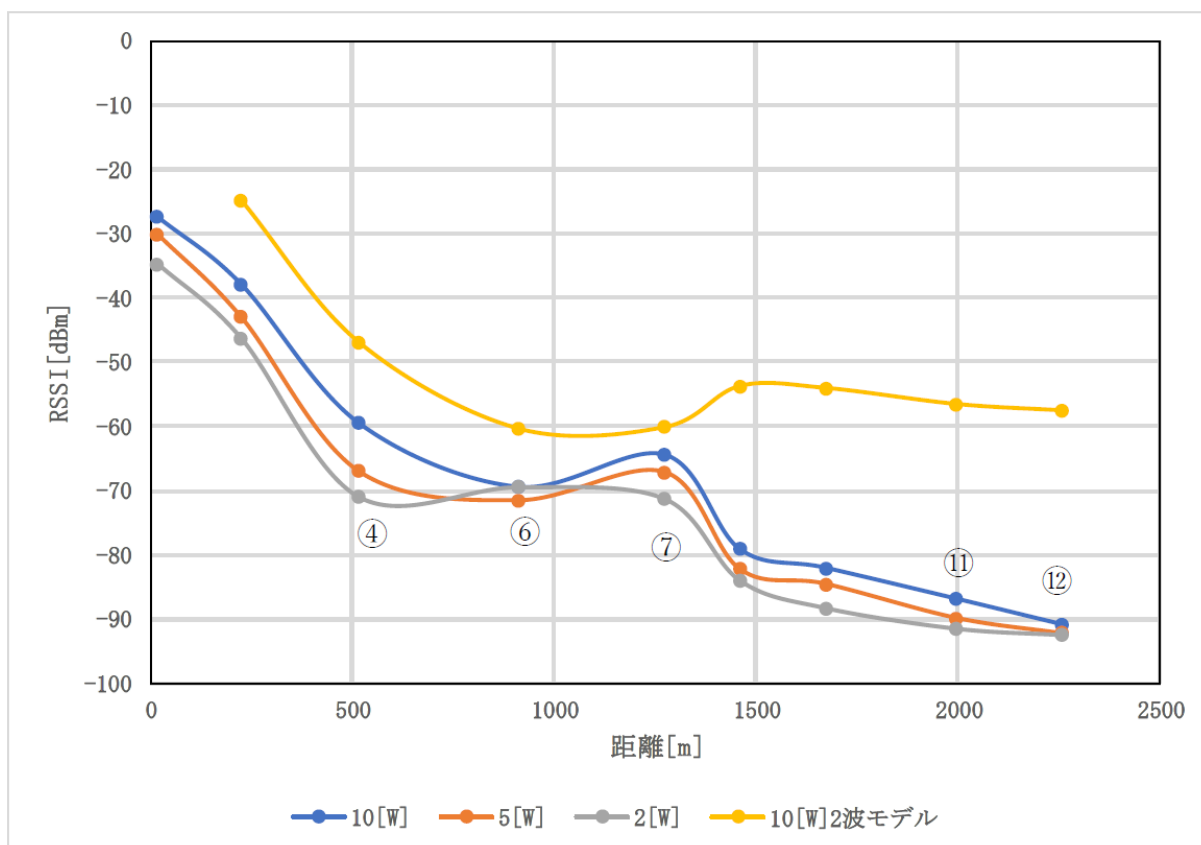


図 4.3-1 自営等 BWA 単体の RSSI 距離特性と 2 波モデルの比較

地点④、⑥、⑦でほぼ RSSI がフラットなのは大地との反射波と直接波との合成によるものと考えられる。この傾向はほぼ 2 波モデルから推察される。また、地点⑥以外では 10W, 5W, 2W とほぼ 3dB ずつ一様に減少している。既存基地局との干渉がない場合でも地点⑥付近ではマルチパスの影響か受信レベルが不安定になる現象が見られた。

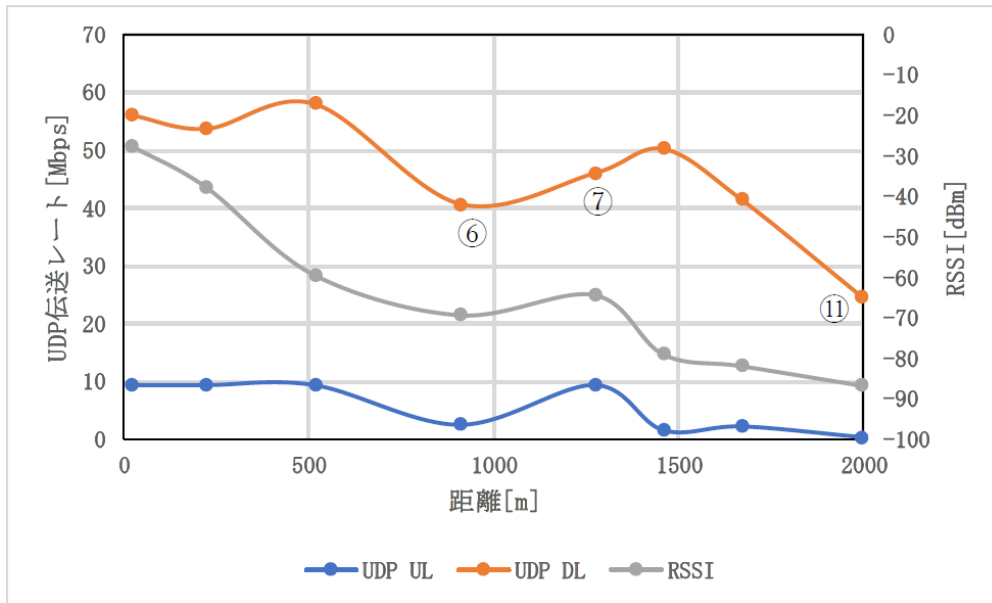


図 4.3-2 自営等 BWA 単体の UDP 伝送レート距離特性

上の図 4.3-2 は、10[W]出力での UDP 伝送レートの距離特性である。受信レベルが低い地点⑥で、伝送レートが UL、DL 共に低くなっているのが分かる。また、受信レベルが低い地点⑪ (RSSI: -90.8dBm, RSRP:-121.2dBm) では通信が出来ない圏外となった。

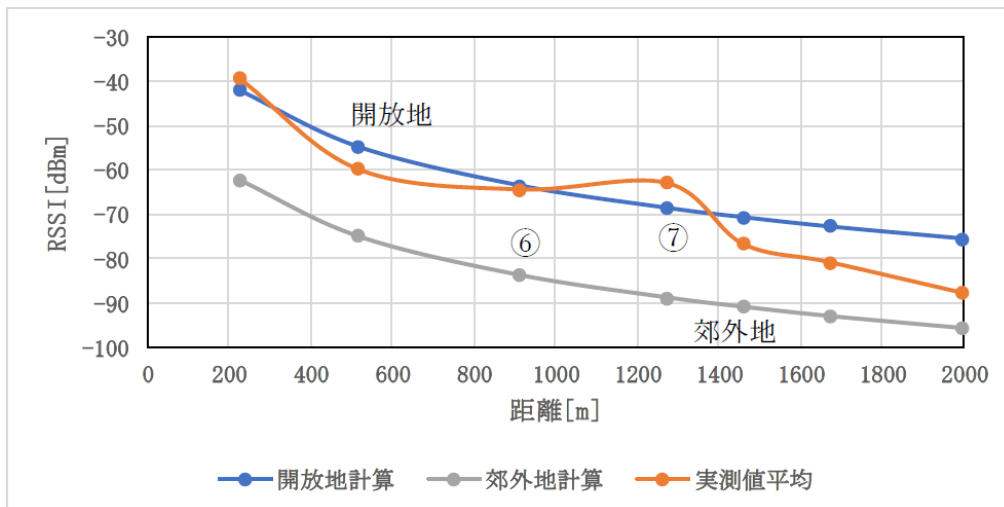


図 4.3-3 自営等 BWA 単体の RSSI と総務省計算式の比較

基地局 A (自営等 BWA) に近い場所は見通しが良い圃場で開放地計算式に沿う形となり、地点⑦を超えたあたりから低層住宅が増え、郊外地計算式に近づく。

4.3.2 地域 BWA 基地局単体の距離特性

表 4.3-2 地域 BWA 単体（同期）の距離特性データ

測定 ポイント	エリアテスト [dBm]			UDP [Mbps]	
	RSSI	RSRP	SIR	UL	DL
①	-78.3	-104.3	19.3	4.57	45.9
②	-75.7	-102.3	21.6	1.21	40.7
④	-73.7	-100.2	24.0	1.20	44.6
⑥	-71.5	-97.7	25.7	6.17	46.8
⑦	-77.7	-104.1	18.6	2.43	39.4
⑧	-72.8	-99.1	23.0	2.61	46.0
⑨	-69.8	-96.2	27.4	2.85	40.0
⑪	-59.4	-86.0	33.6	9.34	70.5
⑫	-54.2	-80.8	34.8	9.34	54.2
⑬	-56.8	-82.9	34.8	9.36	60.1
⑭	-54.3	-80.8	34.9	9.36	74.0

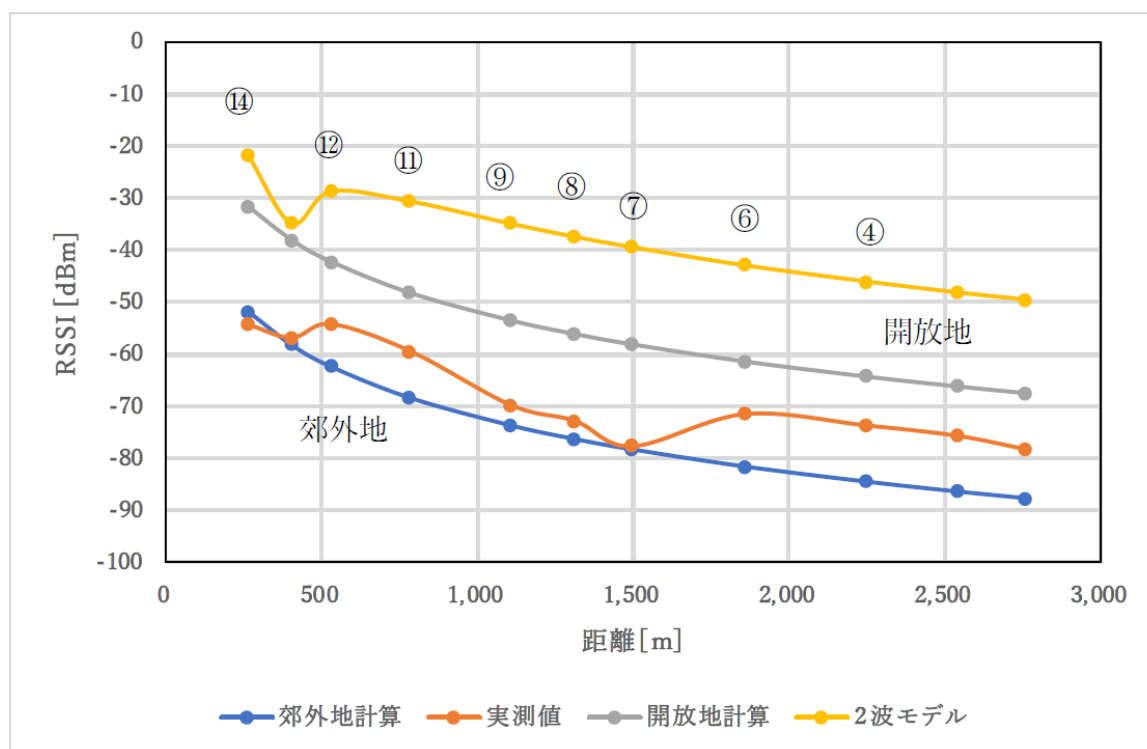


図 4.3-4 地域 BWA 単体 RSSI 距離特性

基地局 B(地域 BWA)からは、基地局 A(自営等 BWA)とは逆に地点⑦で受信レベルが下がり、地点⑥で上がっている。また、図 4.3-3~4 から言えることは、基地局 A 側は周りが圃場であり、基地局 B 側は郊外地なので、基地局 A 側は開放地計算に近づき、基地局 B 側は郊外地計算の結果に近づくことである。

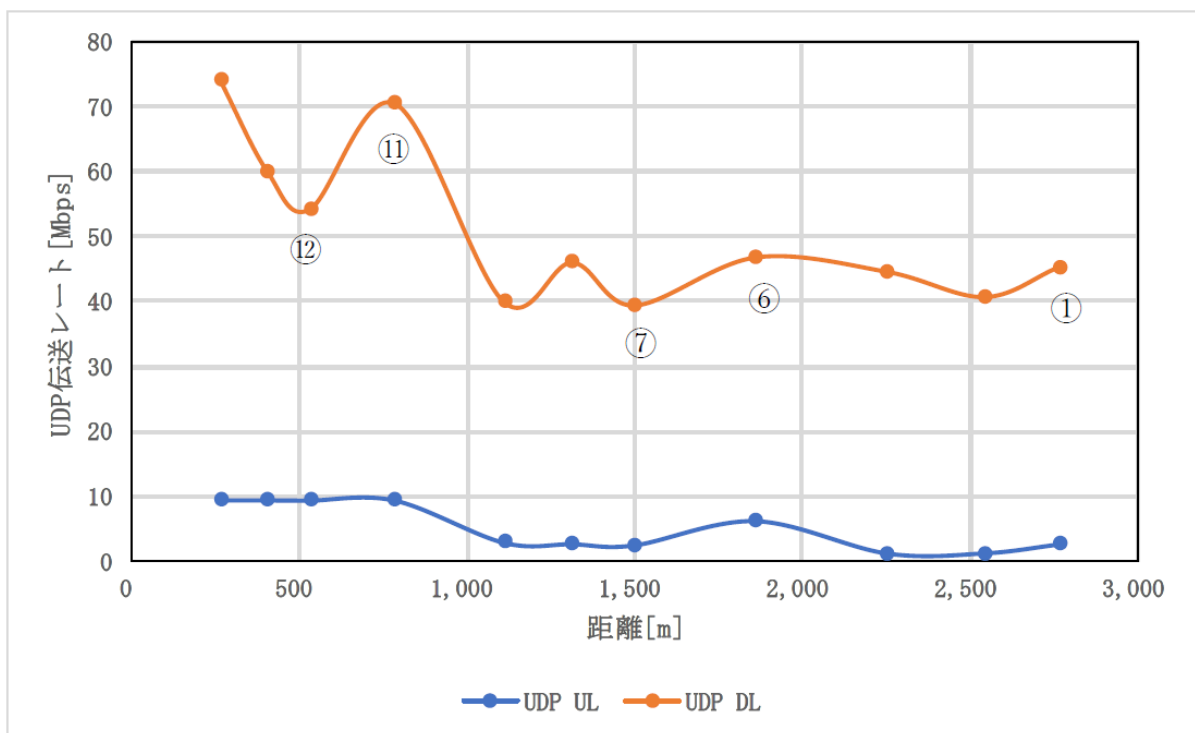


図 4.3-5 地域 BWA 単体 UDP 伝送レート距離特性

基地局 B(地域 BWA)では、図 4.3-5 から地点⑦で受信レベルが下がり⑥で上がっているが、その傾向が伝送レートに現れている。

4.3.3 地域 BWA 基地局との干渉影響（同期）

表 4.3-3 自営等 BWA（同期）と地域 BWA との干渉時の通信可能地点

自営等 BWA（同期）		基地局 B(地域 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)	基地局 A（自営等 BWA） からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)
帯域幅	中心周波数	地域 BWA（2575～2595MHz）	地域 BWA（2575～2595MHz）
20 MHz	2585 MHz	⑥(約 1.9km) 6.00/28.3Mbps	⑦(約 1.3km) 9.30/35.9Mbps
	2580 MHz	⑥(約 1.9km) 5.99/33.3Mbps	⑨(約 1.7km) 1.46/6.00Mbps
10 MHz	2590 MHz	⑥(約 1.9km) 6.08/28.7Mbps	⑧(約 1.5km) 1.33/5.78Mbps
	2577.5 MHz	⑧(約 1.3km) 0.63/24.3Mbps	⑨(約 1.7km) 0.56/0.50Mbps
5 MHz	2582.5 MHz	④(約 2.3km) 2.20/1.68Mbps	⑨(約 1.7km) 0.50/1.13Mbps
	2587.5 MHz	④(約 2.3km) 1.19/7.98Mbps	⑨(約 1.7km) 0.50/2.37Mbps
	2592.5 MHz	⑦(約 1.5km) 3.46/17.6Mbps	⑨(約 1.7km) 1.05/2.96Mbps

干渉が無い場合、基地局 B（地域 BWA）は①まで、基地局 A（自営等 BWA）は⑩まで通信可能だが、同期干渉があると通信可能な距離は最大で 7 割程度（2.7 km→1.9 km）に短縮した。これは表 6.3-1、項番 1～3 の同期 DU 比から基地局間同士の干渉ではなく、基地局—移動局間の干渉と推察する。

基地局 A 側はカバーエリアを越しても通信できているが、基地局 B 側はカバーエリアに到達するまえに通信出来なくなっている。（これらの理由は周波数共用条件の項を参照）

周波数共用のため、自営等 BWA 帯域幅を狭くしていくと自営等 BWA、地域 BWA とともに通信距離が延びることが分かる。基地局 A の自営等 BWA は基地局、移動局共に雑音帯域幅が 3dB、6dB 減りその分 SNR が改善され感度が良くなる。基地局 B は、干渉波の帯域自体が 1/2、1/4 となるので影響が減るからである。

表 4.3-4 自営等 BWA の送信出力変更による通信可能地点の変化

自営等 BWA (同期)		基地局 B(地域 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)	基地局 A (自営等 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)
帯域幅	送信電力	地域 BWA (2575~2595MHz)	地域 BWA (2575~2595MHz)
20MHz	10W	⑥(約 1.9km) 6.00/28.3Mbps	⑦(約 1.3km) 9.30/35.9Mbps
	5W	⑧(約 1.3km) 0.25/32.0Mbps	⑦(約 1.3km) 9.30/25.8Mbps
	2W	⑥(約 1.9km) 5.14/31.1Mbps	④(約 0.5km) 9.28/22.7Mbps

上の表 4.3-4 は、周波数共用条件のうち、離隔のひとつとして自営等 BWA の基地局の送信出力を 10W から 5W, 2W と変化させた場合である。

⑥、⑦地点は不安定な場所で、送信出力の差が出にくくなっており、これは地形によっては、送信出力を下げるのが必ずしも効果的でないことが分かる。

4.3.4 自営等 BWA 基地局単体の UDP 距離特性（準同期）

表 4.3-5 自営等 BWA 単体（準同期）の距離特性データ

測定 ポイント	エリアテスト [dBm]			UDP [Mbps]	
	RSSI	RSRP	SIR	UL	DL
①	-26	-52.6	33.6	19.1	43.9
②	-47.9	-74.1	35.5	19.1	52.6
④	-56.1	-82.5	34.8	19.1	52.5
⑥	-69.7	-96.1	27.1	19.0	34.0
⑦	-65.0	-91.7	30.9	19.0	33.9
⑧	-77.5	-104.4	20.4	5.74	29.7
⑨	-79.9	-106.2	18.1	5.60	32.8
⑪	-88.1	-116.5	7.3	0.59	18.4
⑫	-90.6	-120.5	1.7	0.37	12.7

準同期基地局の RSSI 距離特性は同期と変わらないことを確認している。

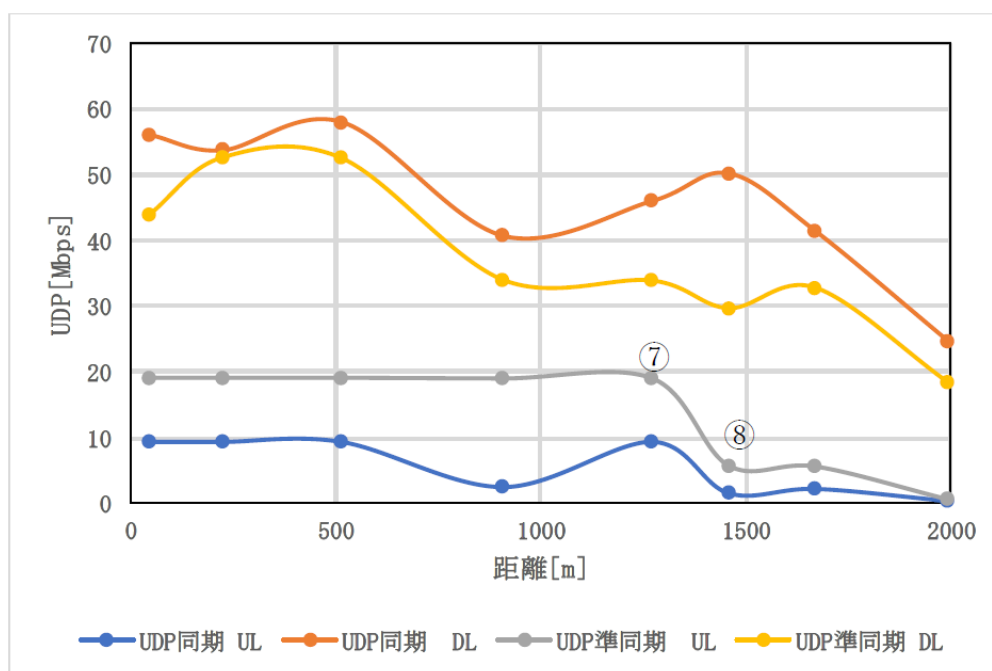


図 4.3-6 自営等 BWA 単体 準同期および同期 UDP 伝送レートの比較

図 4.3-6 は、同期、準同期基地局の単体での UDP 伝送レートで、ほぼその差は理論通りである。（DL の伝送レートが低いのは移動局や iPerf での測定で移動局や PC の能力によるものと思われる。）また、UL で⑦から⑧地点で急に下がっているのは基地局からの受信信号レベルが下がり変調が 16QAM から QPSK に変化し、かつマルチパスなどの影響があると推察する。

4.3.5 自営等 BWA 基地局（準同期）と地域 BWA 基地局の干渉

基地局 B から地域 BWA の基地局電波を放射し、干渉させた場合について示す。

表 4.3-6 自営等 BWA（準同期）と地域 BWA との干渉時の通信可能地点

自営等 BWA（準同期）		基地局 B(地域 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート(UL/DL)	基地局 A（自営等 BWA） からの通信可能地点および UDP 伝送レート(UL/DL)
帯域幅	中心周波数	地域 BWA（2575～2595MHz）	地域 BWA（2575～2595MHz）
20 MHz	2585 MHz	⑦(約 1.5km) 2.19/10.4Mbps	①でも不安定(約 0.04km) 測定不可
10 MHz	2580 MHz	⑦(約 1.5km) 5.35/16.4Mbps	①でも不安定(約 0.04km) 測定不可
	2590 MHz	⑦(約 1.5km) 2.68/21.5Mbps	①でも不安定(約 0.04km) 測定不可
5 MHz	2577.5 MHz	⑦(約 1.5km) 6.44/18.7Mbps	①で通信不可(約 0.04km) 測定不可
	2582.5 MHz	測定せず	測定せず
	2587.5 MHz	測定せず	測定せず
	2592.5 MHz	⑦(約 1.5km) 4.96/23.8Mbps	①で通信不可(約 0.04km) 測定不可

上の表 4.3-6 から、基地局 B（地域 BWA）は同期同士と同じく⑦地点まで通信できているが、準同期にした基地局 A は基地局直近の①でも通信がほとんどできておらず、特に周波数共用条件のひとつの対策である周波数帯域幅を減らしても効果がなく、5MHz ではより不安定になり通信が途絶している。

以上から、同じ周波数帯域で片側を準同期にした場合、準同期側は干渉の影響を強く受けるためか、カバーエリア内だけでなく場合によっては調整対象区域においても通信ができなくなる可能性があることが分かった。

その理由は、準同期側はサブフレーム 3, 8 で常に同期の地域 BWA 側から干渉を受けているからである。（参考欄の説明参照）

4.4 自営等 BWA 基地局と地域 BWA の WiMAX 方式との干渉

地域 WiMAX は自営等 BWA とはバースト長が異なり非同期と思われる。今回の実験は、地域 BWA 同期の帯域幅を 10MHz にし、中心周波数を地域 BWA と同じく 2587MHz としたものであり、参考程度と考える。

実験結果は基本的に地域 BWA と同じである。

4.5 自営等 BWA 基地局と地域 BWA の 5GNR 方式との干渉

地域 BWA の周波数帯域（自営等 BWA と同じ 2575～2595MHz）が 5GNR になった場合の干渉である。まず、5GNR のフレーム構成から考える。

「総務省ローカル 5G ガイドライン改訂版」では参考欄にあるように 4.6～4.9GHz 及び 28.2～29.1GHz 帯しかない。ここでは 4.6～4.9GHz 帯のフレーム構成と同じという条件で考える。

【同期】

この同期は 5GNR 基地局同士の同期のみならず、自営等 BWA 基地局との同期をも意味する。GPS を用いた同期であっても、D(Downlink), U(Uplink)のスタートが自営等 BWA では Time Offset が 3GPP TS36.133 にて $59872xTs$ として定義され、全国 BWA との事業者間調整でも合意条件となっている。これは 5G でも同じである。

しかし、フレーム構成が微妙に異なる。それでも S (Special Subframe)を無視すれば同一と考えられる。つまり、同期は先に述べた解釈が使える、その結果と同等なことが推察される。

詳細は、周波数共用条件の項を参照

【準同期】

周波数共用条件の項目を参照。

4.6 自営等 BWA 基地局と全国 BWA の LTE 方式との干渉

基地局 B を全国 BWA (2545~2575MHz の内、2555~2575MHz の隣接する 20MHz 帯域幅に設定) の同期基地局に設定し、同期・準同期の自営等 BWA との干渉を実験した。

表 4.6-1 全国 BWA 単体の距離特性データ

測定 ポイント	エリアテスト [dBm]			UDP [Mbps]	
	RSSI	RSRP	SIR	UL	DL
①	-78.2	-104.7	16.2	0.37	39.6
②	-77.1	-103.9	17.2	0.27	37.4
④	-72.8	-99.1	23.5	0.88	42.7
⑥	-69.2	-95.7	27.1	2.75	41.9
⑦	-76.7	-103.2	19.6	0.79	33.0
⑧	-75.7	-101.5	21.2	0.83	35.4
⑨	-70.3	-96.7	26.1	1.39	43.8
⑪	-62.1	-88.1	32.3	1.20	69.0
⑫	-53.6	-79.7	35.2	8.16	55.2
⑬	-59.7	-85.9	33.4	2.63	60.2
⑭	-54.9	-81.2	35.4	5.52	63.6

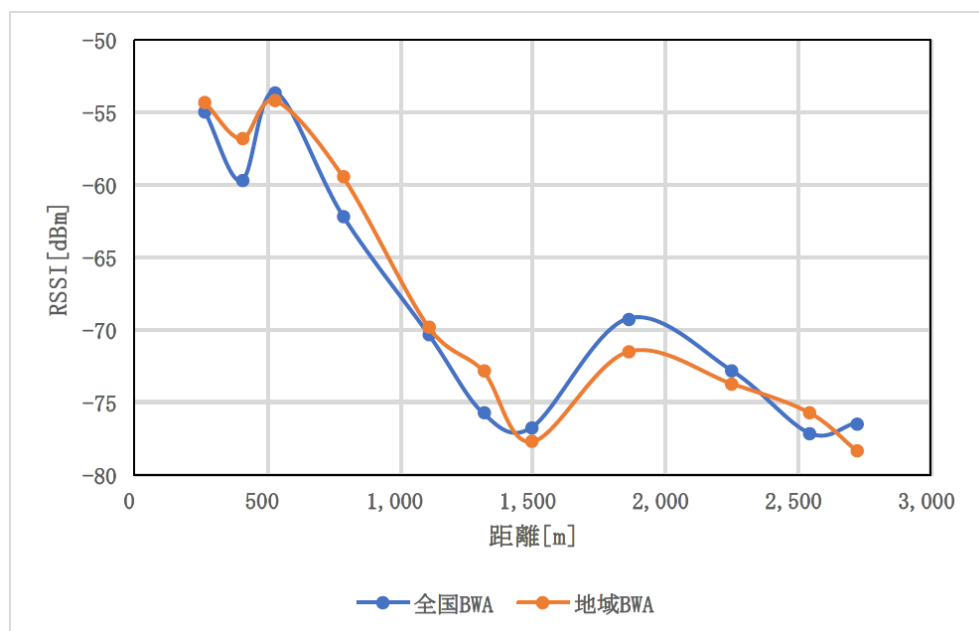


図 4.6-1 全国 BWA 単体の RSSI と地域 BWA 単体の RSSI との比較

図 4.6-1 は、RSSI 距離特性を地域 BWA (2575~2595MHz) と比較したもののだが、全国 BWA は 20MHz 低い方へ中心周波数をずらしたのみであり、結果はほとんど変わっていない。

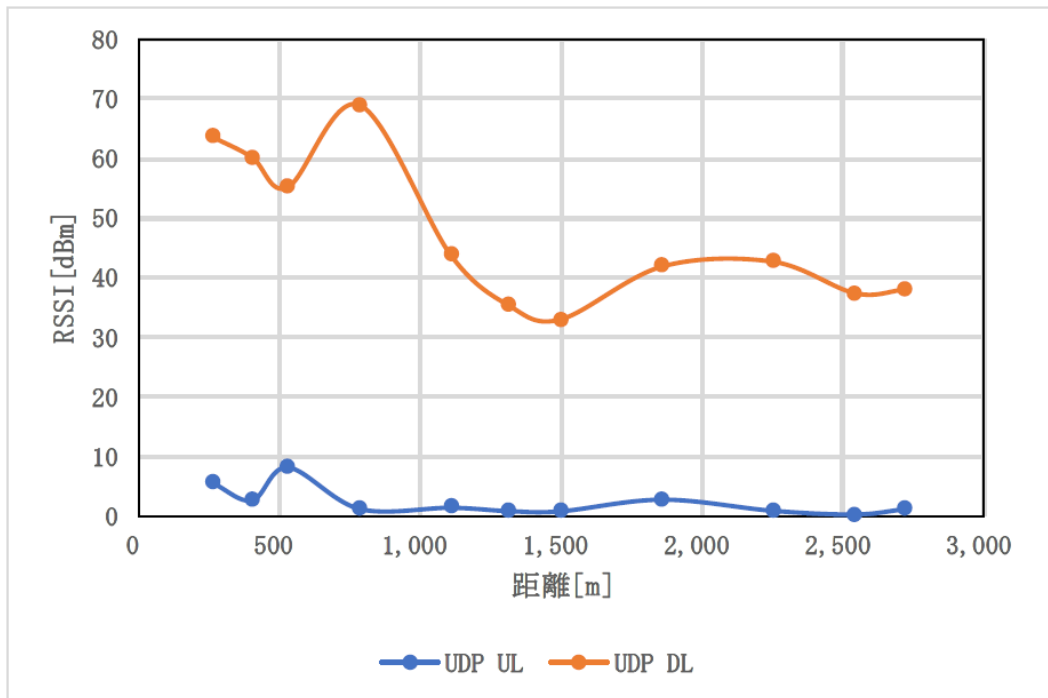


図 4.6-2 全国 BWA 単体の UDP 伝送レート

これは図 4.3-5 の地域 BWA UDP 距離特性と比較すると DL はほぼ同じだが UL が低めに出ている。これは基地局又は移動局の特性によるものと推察する。

表 4.6-2 自営等 BWA (同期) と全国 BWA との干渉時の通信可能地点

自営等 BWA (同期)		基地局 B(全国 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)	基地局 A (自営等 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)
帯域幅	中心周波数	全国 BWA (2555~2575MHz)	全国 BWA (2555~2575MHz)
20 MHz	2585 MHz	①(約 2.7km) 0.27/33.8Mbps	⑪(約 2km) 0.71/24.6Mbps
10 MHz	2580 MHz	①(約 2.7km) 0.54/24.3Mbps	⑪(約 2km) 0.84/8.47Mbps
	2590 MHz	①(約 2.7km) 1.58/46.6Mbps	⑪(約 2km) 0.38/4.90Mbps
5 MHz	2577.5 MHz	①(約 2.7km) 0.66/23.8Mbps	⑬(約 2.4km) 0.07/2.54Mbps
	2582.5 MHz	①(約 2.7km) 1.16/38.8Mbps	⑫(約 2.3km) 0.30/3.36Mbps
	2587.5 MHz	①(約 2.7km) 0.55/46.1Mbps	⑭(約 2.6km) 0.15/4.16Mbps
	2592.5 MHz	①(約 2.7km) 1.96/47.8Mbps	⑫(約 2.3km) 0.18/1.94Mbps

表 4.3-3 の地域 BWA (同一周波数帯域) と比較すると極めて大きな違いがある。まず、基地局 B(全国 BWA)に係る移動局との通信は、自営等 BWA 基地局の近傍の①地点でも通信が可能となっている。また、基地局 A の自営等 BWA に係る移動局は地点⑪、5MHz ではバラツキはあるが⑫から⑭地点まで通信可能となっている。

どちらも各カバーエリアを超えて安定した通信が可能となっている。

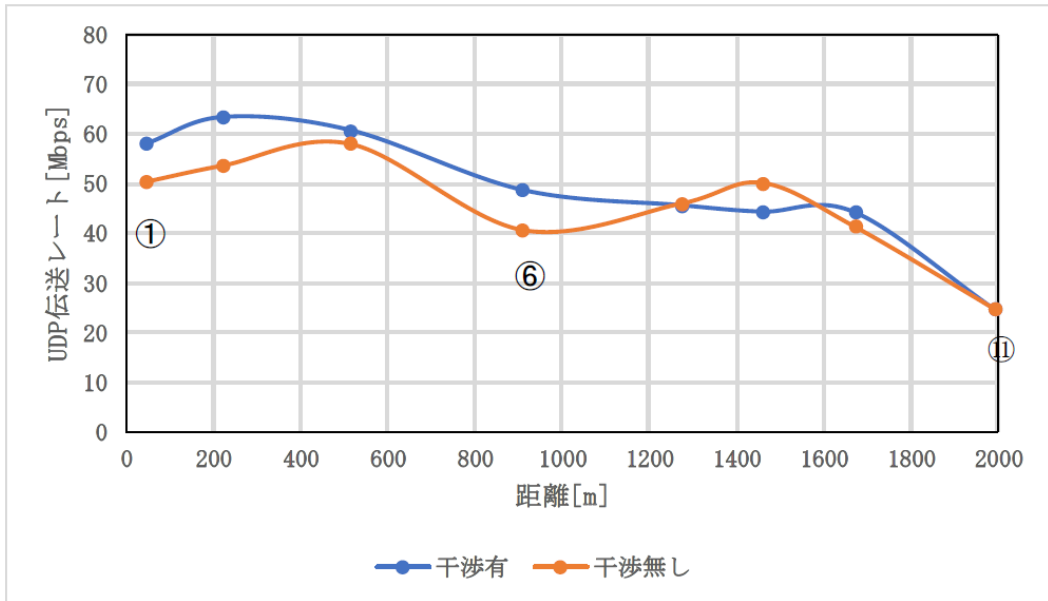


図 4.6-3 自営等 BWA の UDP DL 伝送レート(干渉有無)

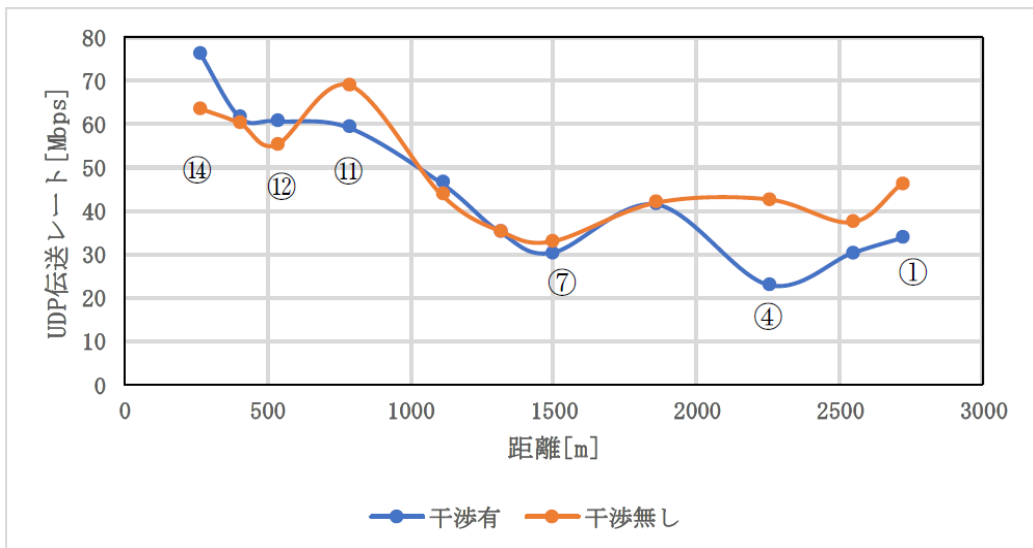


図 4.6-4 全国 BWA の UDP DL 伝送レート(干渉有無)

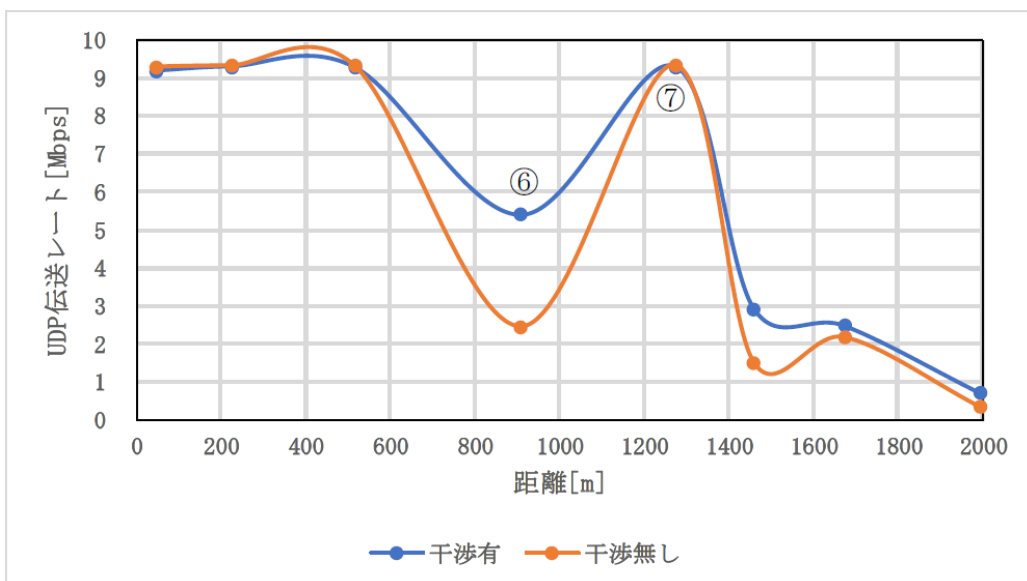


図 4.6-5 自営等 BWA の UDP UL 伝送レート(干渉有無)

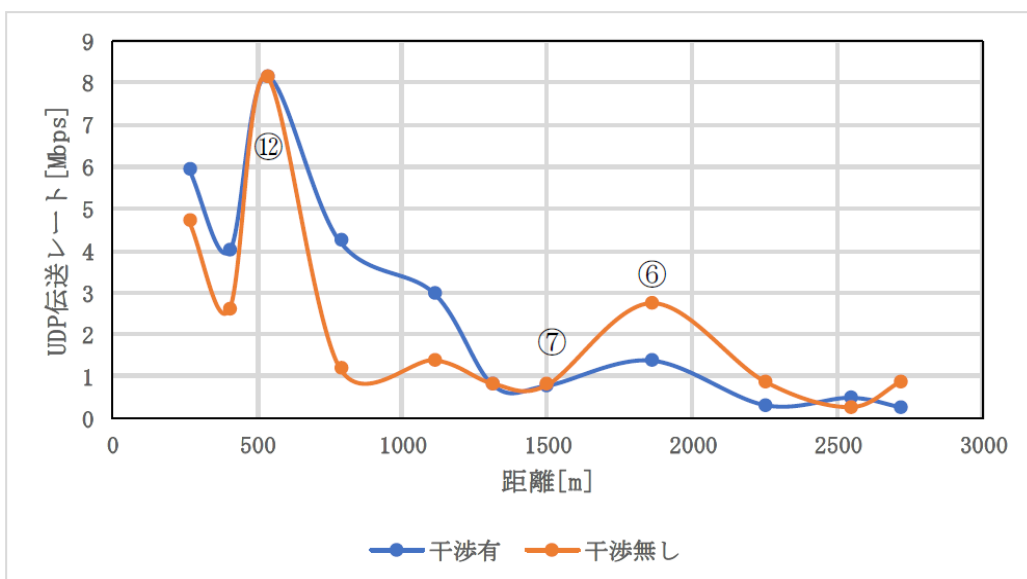


図 4.6-6 全国 BWA の UDP UL 伝送レート(干渉有無)

図 4.6-3～6 は干渉有が基地局 2 局とも電波を出している状態であり、干渉無は 1 局のみの状態である。

お互い同期での伝送レートは干渉有りの状況の方が高くなっている場合もあり、基地局 A(自営等 BWA)側も基地局 B(全国 BWA)側も影響が見られなかった。

次に自営等 BWA 基地局を準同期にした場合について報告する。

表 4.6-3 自営等 BWA (準同期) と全国 BWA との干渉時の通信可能地点

自営等 BWA (準同期)		基地局 B(全国 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)	基地局 A (自営等 BWA) からの通信可能地点および UDP 伝送レート (UL/DL)
帯域幅	中心周波数	全国 BWA (2555~2575MHz)	全国 BWA (2555~2575MHz)
20 MHz	2585 MHz	①(約 2.7km) 1.28/15.5Mbps	①①(約 2km) 0.44/15.0Mbps
10 MHz	2580 MHz	①(約 2.7km) 1.13/9.59Mbps	①①(約 2km) 0.43/3.05Mbps
	2590 MHz	①(約 2.7km) 0.97/36.3Mbps	①①(約 2km) 0.59/3.51Mbps
5 MHz	2577.5 MHz	①(約 2.7km) 0.46/11.2Mbps	①①(約 2km) 0.64/3.51Mbps
	2582.5 MHz	①(約 2.7km) 0.62/20.9Mbps	①①(約 2km) 0.99/5.65Mbps
	2587.5 MHz	測定せず	測定せず
	2592.5 MHz	①(約 2.7km) 1.47/49.8Mbps	①①(約 2km) 0.82/5.02Mbps

まず、基地局 B(全国 BWA)側は地点①まで通信が来ており、同期同士の場合と大きな違いはない。基地局 A(自営等 BWA)側は準同期の場合も相手基地局が全国 BWA の場合は、地点①まで通信できている。

次に、片方の基地局が準同期の場合の移動局間同士について説明する。参考欄の説明から、移動局がお互い近距離にあると、準同期側移動局がアップリンクの際(サブフレーム 3, 8)は、準同期でない移動局のダウンリンクに影響を与える。

表 4.6-4 移動局間干渉試験の組み合わせ表

組み合わせ表	測定番号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
移動局 A (自営等 BWA 準同期)	①	①	①	⑦	⑦	⑦	⑩	⑩	⑩
移動局 B (地域/全国 BWA)	①	⑦	⑩	⑩	⑦	①	①	⑦	⑩

表 4.6-5 カップラ用いた実測値

移動局送信出力 [dBm]

	①	⑦	⑩
自営等 BWA 移動局 (準同期)	-20	15	22
地域/全国 BWA 移動局 (同期)	22	15	10

移動局は表 4.6-4 の組み合わせで同時に UL, DL のデータを送信し、伝送レートが干渉を受けるか試験を行った。明確に干渉を受けたのは、表 4.6-4 測定番号 1 で、両移動局を準同期の基地局直近に設置し、移動局間を 5m ほどにした場合である。この時、移動局 A は最小送信出力、基地局 B は最大である。10MHz システムにおいて移動局 B が、単体で UDP DL 19Mbps なのが、移動局 A もデータ送ると 9Mbps に落ちた。表 4.6-4 測定番号 5, 9 ではこの現象は起きなかった。その理由について以下のように考える。

まず、基地局 B に近い地点⑩では役場基地局からの受信レベルが高く、少なくともサブフレーム 3, 8 以外の 4 個はまともに RS (Reference Signal) を復調でき、基地局 B のスケジューリングで、この移動局に RB (Resource Block) を割り当て、結果的にダウンリンクの伝送レートは保証される。仮に 2 個のサブフレームが干渉受けても隣接チャンネルなのでさほど影響しない。

これが地点①では基地局 B の受信電力が低く、元々 RS 復調による伝搬路推定が悪く変調も QPSK に下げられ、かつ移動局 A から 2 個のサブフレームが干渉を受けるのでその分ダウンリンクの伝送レートが下がったと思われる。移動局 A からの送信電力が弱いとはいえ、基地局 B からの電波と同レベルまたはそれ以上であれば隣接チャンネルでも影響を受ける。これについては周波数共用条件、技術的条件等の項目で説明する。

4.7 自営等 BWA 基地局と全国 BWA の 5GNR 方式との干渉

周波数共用条件の項目を参照。

5 新たな運用形態と既存システムの周波数共用条件の検討

周波数の共用に関しては、異なったシステム間でどのような干渉の形態があるかを把握する必要がある。そして共用・共存を図るためどのような方策が必要かを検討することになる。つまり、離隔距離を取ったり、指向性アンテナ面方向を変えたり、ガードバンドを設けたり、バンドパスフィルタの使用などである。サイトエンジニアリングでは干渉調整が個別で必要となり、できれば一律の技術的条件を決めて対処するのが望ましい。

以下、方式毎に周波数共用条件について解析を試みる前に干渉の形態について整理する。

【同一周波数帯干渉】

自営等 BWA と地域 BWA（及び地域 WiMAX）、さらに地域 BWA 5G NR との干渉で同期のみならず、準同期についても検討する。

【隣接周波数帯干渉】

自営等 BWA と全国 BWA、さらに全国 BWA 5G NR との干渉で同期のみならず、準同期についても検討する。

その他、近接周波数帯（全国 BWA でガードバンドがある場合）については今までの実験結果から特に問題となるとは考えられず、解析しない。また、屋内での干渉は検討しない。また、干渉計算は今回の実際のフィールドで使用した基地局、移動局の条件を適用する。

フレーム番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
同期	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
準同期	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D

図 5-1 検討を行った TDD-LTE の同期方式、準同期方式のフレーム構成

5.1 干渉検討の方法

離隔距離を求める手法として、基地局同士を 1:1 でアンテナ面を対向させる最悪条件による干渉計算を行う。また、アンテナ面方向をずらした離隔についても考察する。

5.2 干渉検討の組み合わせ

表 5.2-1 干渉検討の組み合わせ

自営等 BWA 基地局と影響を検証する既存システムの基地局

	地域 BWA	地域 WiMAX	地域 BWA5G NR	全国 BWA	全国 BWA5G NR
自営等 BWA	○	○	○	○	○
自営等 BWA 準同期	○	○	○	○	○

自営等 BWA 基地局と影響を検証する既存システムの移動局

	地域 BWA	地域 WiMAX	地域 BWA5G NR	全国 BWA	全国 BWA5G NR
自営等 BWA	○	○	○	○	○
自営等 BWA 準同期	○	○	○	○	○

自営等 BWA 移動局と影響を検証する既存システムの基地局

	地域 BWA	地域 WiMAX	地域 BWA5G NR	全国 BWA	全国 BWA5G NR
自営等 BWA	○	○	○	○	○
自営等 BWA 準同期	○	○	○	○	○

自営等 BWA 移動局と影響を検証する既存システムの移動局

	地域 BWA	地域 WiMAX	地域 BWA5G NR	全国 BWA	全国 BWA5G NR
自営等 BWA 準同期	--	--	--	○	○

※ 地域 BWA、地域 WiMAX、地域 BWA5G NR はカバーエリアを近づけて通信出来ないのを省略

5.2.1 同一周波数帯

被干渉局の許容干渉レベルに対する所要改善量を求め、その所要改善量がゼロとなる与干渉局との離隔（距離や指向性アンテナ方向）を求める。

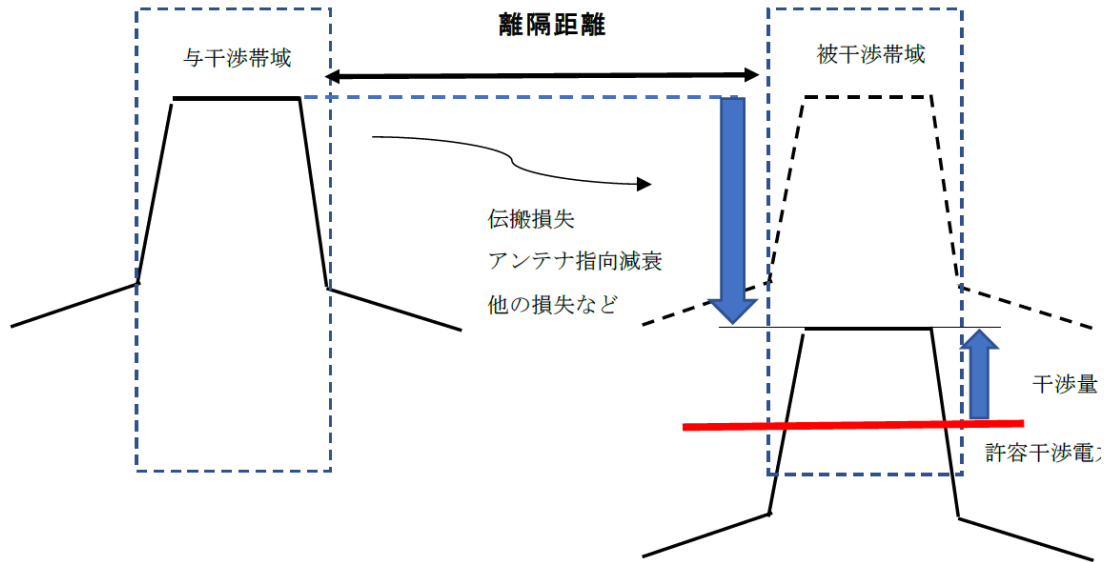


図 5.2-1 同一周波数帯の干渉

5.2.2 隣接周波数帯

ここではガードバンドがゼロの隣接周波数帯を考える。被干渉局の許容干渉レベルに対する所要改善量を求め、その共存条件を求める。具体的には帯域外漏洩電力の扱いが鍵となる。

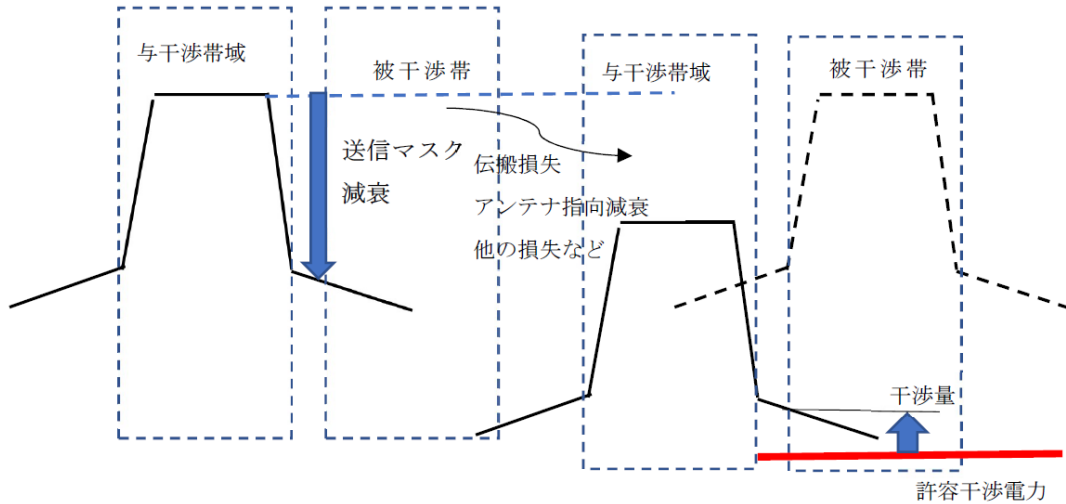


図 5.2-2 隣接周波数帯の干渉

【送信パラメータ】

- ・ EIRP 密度 [dBm/MHz]
- ・ 給電損失 [dB]
- ・ 送信マスク減衰 [dB]
- ・ その他、基地局、移動局各パラメータ、アンテナ利得

【伝搬路パラメータ】

- ・ 伝搬損失 [dB]
- ・ アンテナ指向減衰 [dB]

【受信パラメータ】

- ・ 受信アンテナ利得 [dBi]
- ・ 給電損失 [dB]
- ・ 許容干渉レベル [dBm/MHz] : 電波法関係審査基準から -98.8 dBm/20MHz (-111.8 dBm/MHz) とした
- ・ 干渉量(所要改善量) [dB]

【計算方法】

- ・ MCL (Minimum Coupling Loss) [dB] = EIRP + 受信アンテナ利得 - 給電損失 - 許容干渉レベル
- ・ 干渉量 [dB] = MCL - 伝搬損失 - アンテナ指向減衰

5.2.3 電波伝搬損失モデル

基地局間 : 拡張秦式

移動局－基地局間 : 拡張秦式

基地局－移動局間 : (電波法関係審査基準 別紙 (17) — 1)

移動局間 : (電波法関係審査基準 別紙 (17) — 1)

拡張秦式は参考資料—4による。

表 5.2-2 周波数共用条件計算の規格 (無線設備規則第 49 条の 29 及び第 49 条の 29 の 2 による)

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 [dBi]
4G 基地局	6dBm/20MHz 以下 (-7dBm/MHz)	40W (46dBm)	17
4G 移動局	3dBm/20MHz 以下 (-10dBm/MHz)	200mW (23dBm)	4
5G 基地局	6dBm/20MHz 以下 (-7dBm/MHz)	40W (46dBm)	17
5G 移動局	3dBm/20MHz 以下 (-10dBm/MHz)	200mW (23dBm)	4
項目	採用値		
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

5.3 基地局－基地局

5.3.1 自営等 BWA 基地局と地域 BWA 方式との周波数共用条件

【干渉結果】

表 5.3-1 自営等 BWA と地域 BWA の干渉結果

項目	自営等 BWA－地域 BWA				備考
	自営等 BWA 基地局		地域 BWA 基地局		
与干渉基地局	自営等 BWA 基地局		地域 BWA 基地局		
アンテナ高さ	4	m	15	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉基地局	地域 BWA 基地局		自営等 BWA 基地局		
アンテナ高さ	15	m	4	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	2764	m	2764	m	
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz	
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
給電線損失	1	dB	1	dB	
帯域幅	20	MHz	20	MHz	
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz	
受信アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
受信給電線損失	1	dB	1	dB	
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	168.8	dB	170.8	dB	
伝搬損失（郊外地）	130.2	dB	140.5	dB	
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
受信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
干渉量	37.6	dB	29.3	dB	

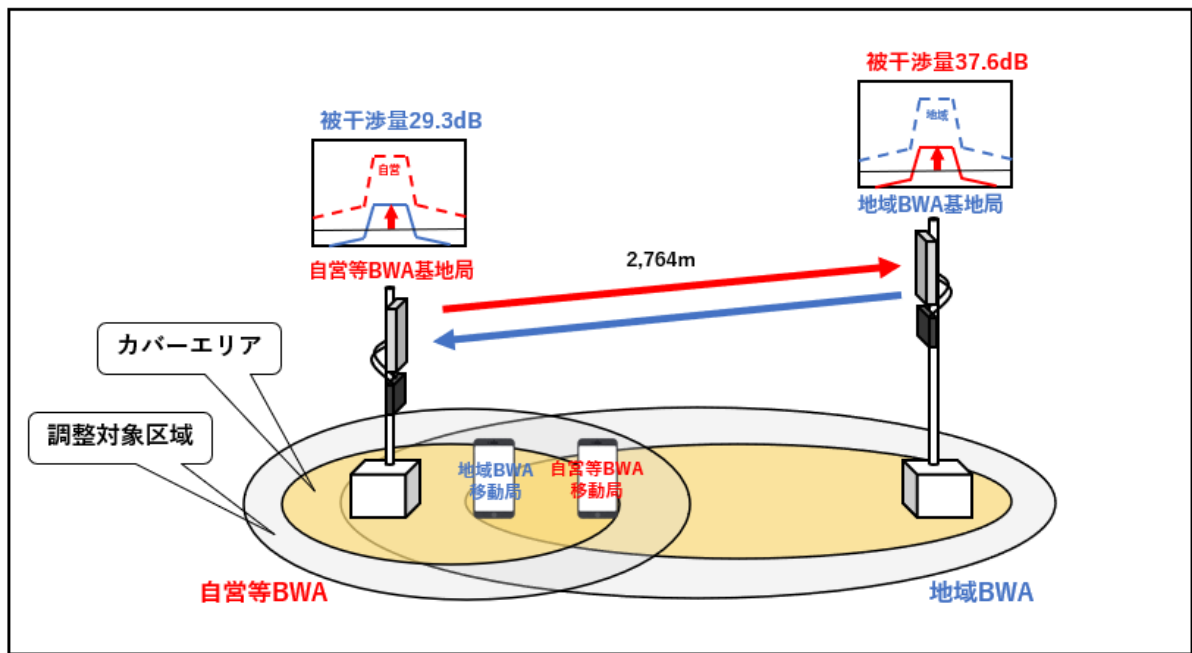


図 5.3-1 基地局間の干渉イメージ

基地局間は2,764mであり、各アンテナの高さが異なるので拡張秦式の伝搬損失は社屋側から役場側におけるものと、役場側から社屋側における伝搬損失が異なり、同一周波数帯では、社屋側での所要減衰量は29.3dB、役場側では37.6dB必要である。

同期同士の場合、その干渉量分お互いに干渉しあっているが、同期がとれているので、また基地局入力端のアンテナスイッチのアイソレーションがほぼ30dBあるので問題はないと推察する。

しかし準同期の場合、常に2個のサブフレームがこの干渉を受信系に影響しているので社屋—役場間の2,764mでは、ほぼ通信が出来ず、離隔を取らなければならない。

すなわち干渉量を考慮すると35kmの離隔をとらなければならない。(DU比10dBでは6.3項より、10.4km~10.5kmとなる。) もしくはアンテナ面をお互いにずらし、アンテナ指向減衰を得なければならない。

5.3.2 自営等 BWA 基地局と全国 BWA 方式との周波数共用条件

【干渉結果】

表 5.3-2 自営等 BWA と全国 BWA の干渉結果

	自営等 BWA－全国 BWA				備考
	自営等 BWA 基地局		全国 BWA 基地局		
与干渉基地局	自営等 BWA 基地局		全国 BWA 基地局		
アンテナ高さ	4	m	15	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉基地局	全国 BWA 基地局		自営等 BWA 基地局		
アンテナ高さ	15	m	4	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	2764	m	2764	m	
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz	
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
給電線損失	1	dB	1	dB	
帯域幅	20	MHz	20	MHz	
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz	
送信マスク減衰	-34	dB	-36	dB	ACLR: 6dBm 以下
受信アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
受信給電線損失	1	dB	1	dB	
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	134.8	dB	134.8	dB	
伝搬損失 (郊外地)	130.2	dB	140.5	dB	
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
受信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
干渉量	3.6	dB	-6.7	dB	

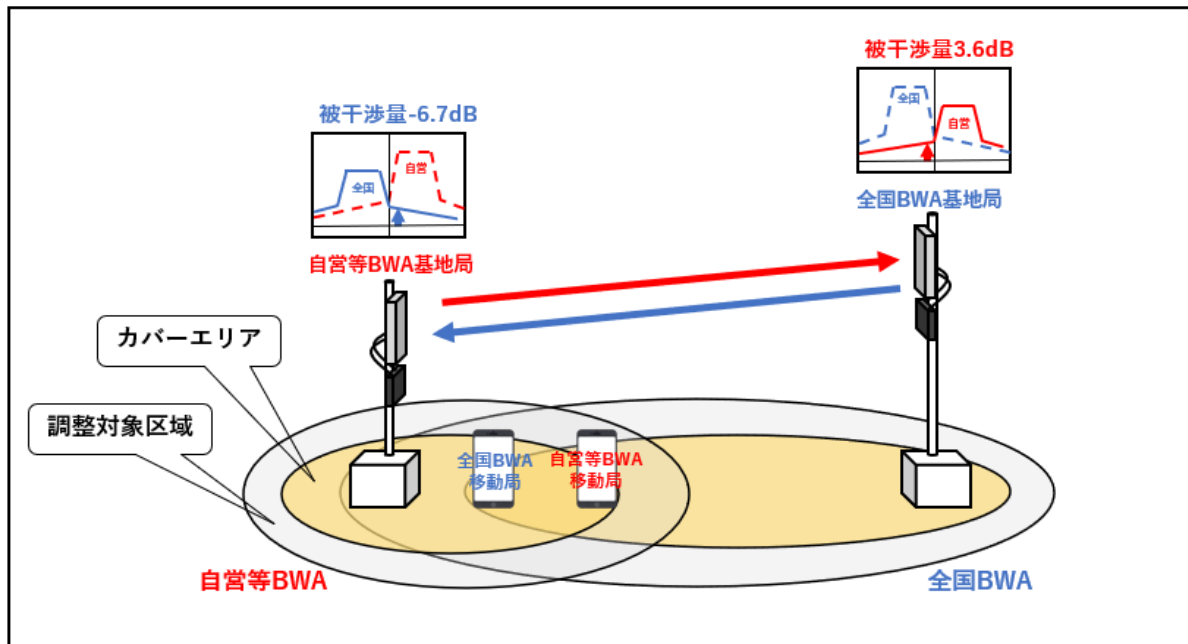


図 5.3-2 基地局間の干渉イメージ

隣接チャンネルの場合、送信マスク減衰が効いている。ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio: 隣接チャンネル漏洩電力比) は無線設備規則からの計算であり実際はさらにマージンがあると推察する。つまり、ガードバンドがなくても同期同士ではカバーエリアが重なっていても問題なく通信できることを表している。

しかし準同期では、注意が必要だが、社屋側の準同期自営等 BWA 基地局がサブフレーム 3, 8 で干渉受けるが、干渉量がマイナスなので問題ないと推察する。よって準同期でも社屋側は干渉を受けない。

5.4 基地局—移動局

5.4.1 自営等 BWA 基地局と地域 BWA 移動局との周波数共用条件

【干渉結果】

表 5.4-1 自営等 BWA と地域 BWA の基地局—移動局間の干渉結果

与干渉基地局	自営等 BWA—地域 BWA				備考
	自営等 BWA 基地局		地域 BWA 基地局		
アンテナ高さ	4	m	15	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉移動局	地域 BWA 移動局		自営等 BWA 移動局		
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	344	m	1764	m	
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz	
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
給電線損失	1	dB	1	dB	
帯域幅	20	MHz	20	MHz	
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz	
受信アンテナ利得	4	dBi	4	dBi	
受信給電線損失	0	dB	0	dB	
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	157.8	dB	159.8	dB	
伝搬損失 (郊外地)	127.7	dB	141.2	dB	
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
受信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB	
干渉量	29.6	dB	18.1	dB	

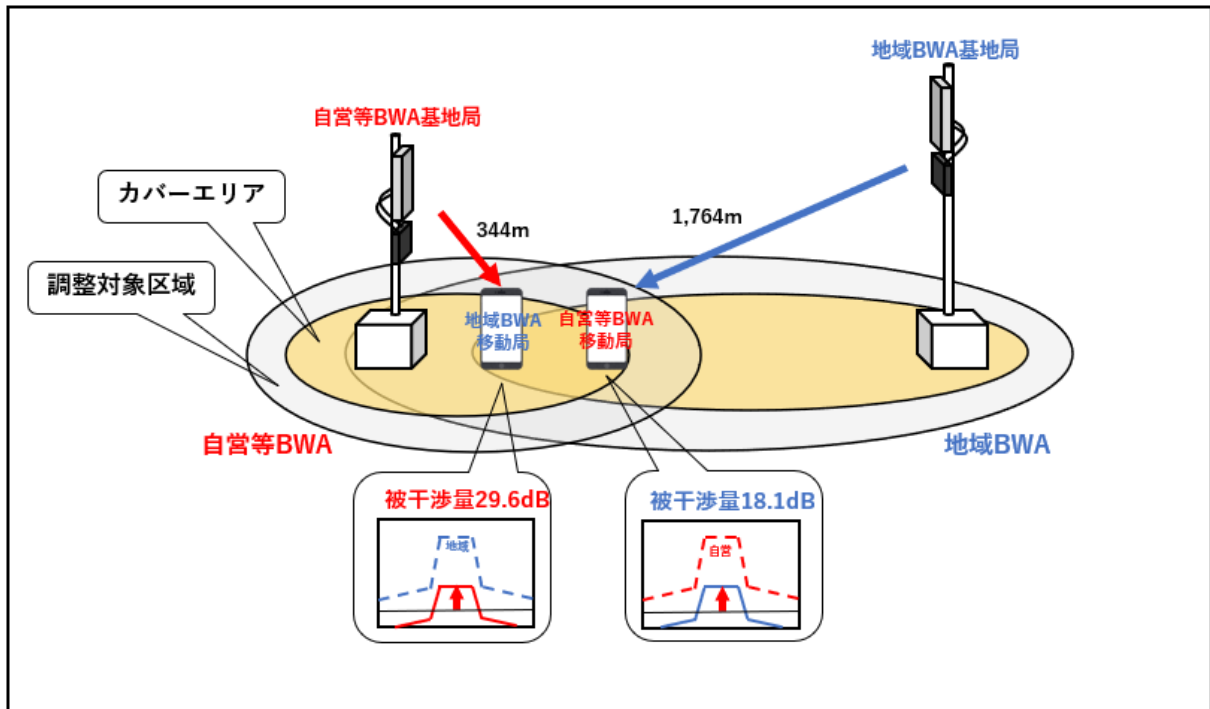


図 5.4-1 基地局ー移動局間の干渉イメージ

自営等（地域）BWA 移動局は、そのカバーエリア境界にあるものとする。

自営等 BWA 基地局——自営等 BWA 移動局：1,000m

地域 BWA 基地局 ——地域 BWA 移動局：2,420m

それぞれの移動局は、相手方からの干渉を常に受ける。その所要減衰量は、

自営等 BWA 側移動局：18.1dB

地域 BWA 側移動局：29.6dB

この意味するところは、同一周波数帯域で同期同士では、役場側（地域 BWA）の移動局は、そのカバーエリア境界（役場から 2,420m）では社屋側（自営等 BWA）基地局からの干渉が激しく通信できない。また、社屋側の移動局は、そのカバーエリア（社屋から 1,000m）では役場側基地局からの干渉で通信できない。つまり移動局は通信できるエリアが干渉により狭められることになる。

また、準同期では、社屋側、役場側ともに移動局が同期と変わることはないが、準同期側の社屋側基地局が常に地域 BWA の役場側から干渉を受け、通信が不安定になるか通信できない可能性がある。

5.4.2 自営等 BWA 基地局と全国 BWA 移動局との周波数共用条件

【干渉結果】

表 5.4-2 自営等 BWA と全国 BWA の基地局－移動局間の干渉結果

	自営等 BWA－全国 BWA				備考
与干渉基地局	自営等 BWA 基地局		全国 BWA 基地局		
アンテナ高さ	4	m	15	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉移動局	全国 BWA 移動局		自営等 BWA 移動局		
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	344	m	1764	m	
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz	
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
給電線損失	1	dB	1	dB	
帯域幅	20	MHz	20	MHz	
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz	
送信マスク減衰	-34	dB	-36	dB	ACLR: 3dBm 以下
受信アンテナ利得	4	dBi	4	dBi	
受信給電線損失	0	dB	0	dB	
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	123.8	dB	123.8	dB	
伝搬損失 (郊外地)	127.7	dB	141.2	dB	
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
受信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB	
干渉量	-4.4	dB	-17.9	dB	

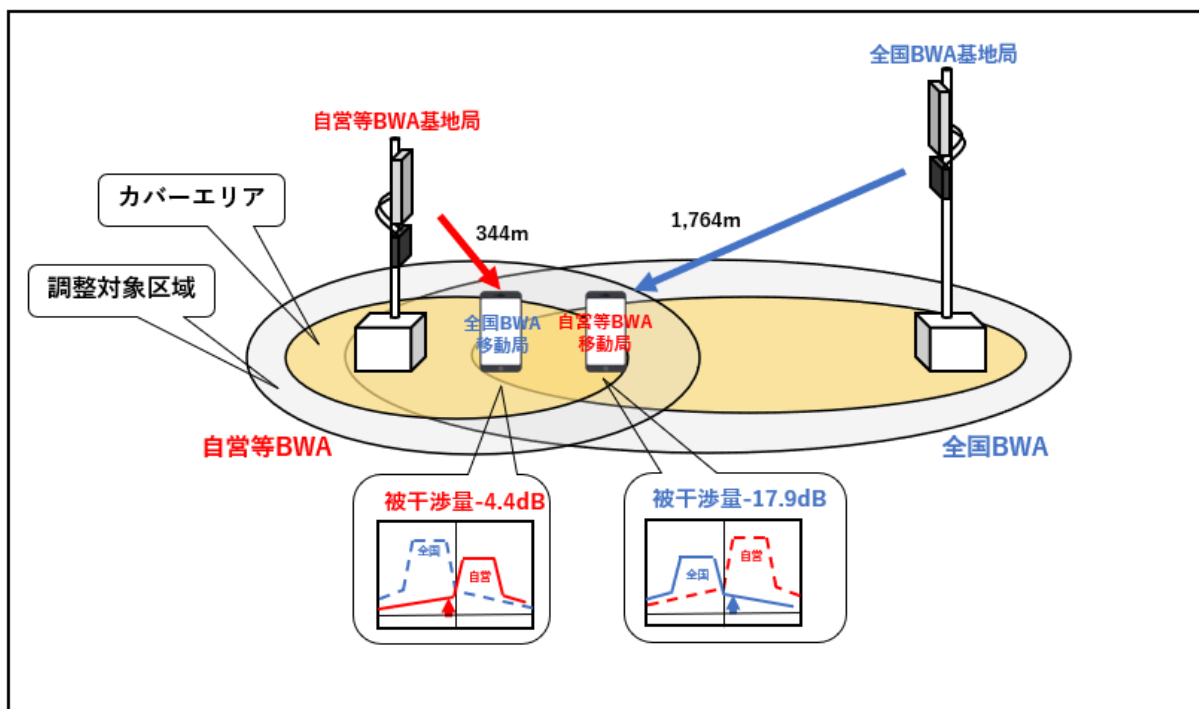


図 5.4-2 基地局－移動局間の干渉イメージ

自営等（全国）BWA 移動局は、そのカバリエリア境界にあるものとする。

自営等 BWA 基地局——自営等 BWA 移動局：1,000m

全国 BWA 基地局 ——全国 BWA 移動局：2,420m

それぞれの移動局は、相手方からの干渉を常に受ける。その所要減衰量は、

自営等 BWA 側移動局：-17.9dB

全国 BWA 側移動局：-4.4dB

5.5 移動局－移動局

5.5.1 自営等 BWA 移動局と地域 BWA 移動局との周波数共用条件

同一周波数帯で移動局同士が近接することはないと考えられるので省略する。

5.5.2 自営等 BWA 移動局と全国 BWA 移動局との周波数共用条件

【干渉結果】

表 5.5-1 自営等 BWA と全国 BWA の移動局間の干渉結果

与干渉基地局	自営等 BWA－全国 BWA				備考
	自営等 BWA 移動局		全国 BWA 移動局		
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉移動局	全国 BWA 移動局		自営等 BWA 移動局		
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	5	m	5	m	
空中線電力	10	dBm/MHz	10	dBm/MHz	
アンテナ利得	4	dBi	4	dBi	
給電線損失	0	dB	0	dB	
帯域幅	20	MHz	20	MHz	
EIRP	14	dBm/MHz	14	dBm/MHz	
送信マスク減衰	-20	dB	-20	dB	ACLR: 3dBm 以下
受信アンテナ利得	4	dBi	4	dBi	
受信給電線損失	0	dB	0	dB	
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	109.8	dB	109.8	dB	
伝搬損失	54.6	dB	54.6	dB	
送信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB	
受信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB	
干渉量	55.2	dB	55.2	dB	

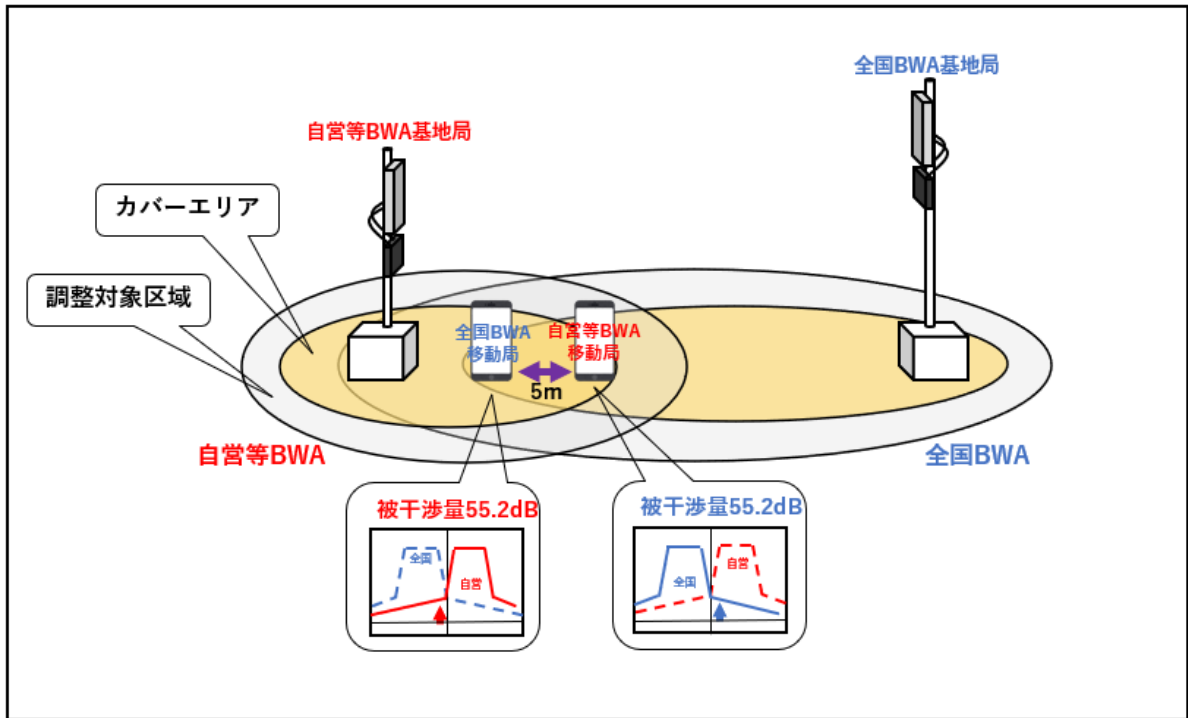


図 5.5-1 移動局間の干渉イメージ

これは両移動局が基地局から離れ、最大の送信出力 200mW の場合であり、また、許容干渉レベル $-98.8\text{dBm}/20\text{MHz}$ で通信することはなく通常のカバーエリア $-85\text{dBm}/20\text{MHz}$ を考える。すると干渉量 41dB 程になる。それだけ高い干渉波が同時にアップリンク送信した場合、同期では干渉をかなり受けるが移動局アンテナスイッチにより受信系に入るのは干渉量 11dB 程である。実際は、同時に電波を発射する確率、さらに移動局が近接する確率及び基地局との位置関係で最大送信電力を発射する確率を考慮しなければならない。

準同期の場合、準同期側移動局から同期側移動局の受信系へサブフレーム 3, 8 で常に干渉を与える。

5.6 移動局－基地局

5.6.1 自営等 BWA と地域 BWA との周波数共用条件

【干渉結果】

移動局の最大送信出力は 200mW (23dBm) であり、アンテナ利得は 4dBi max. なので基地局に与える干渉量は基地局－移動局に比べて少ない。

表 5.6-1 自営等 BWA と地域 BWA の移動局－基地局間の干渉結果

	自営等 BWA－地域 BWA				備考
	自営等 BWA 移動局		地域 BWA 移動局		
与干渉移動局	自営等 BWA 移動局		地域 BWA 移動局		
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉基地局	地域 BWA 基地局		自営等 BWA 基地局		
アンテナ高さ	15	m	4	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	1764	m	344	m	
空中線電力	10	dBm/MHz	10	dBm/MHz	
アンテナ利得	4	dBi	4	dBi	
給電線損失	0	dB	0	dB	
帯域幅	20	MHz	20	MHz	
EIRP	14	dBm/MHz	14	dBm/MHz	
受信アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
受信給電線損失	1	dB	1	dB	
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	140.8	dB	140.8	dB	
伝搬損失 (郊外地)	131.8	dB	128.6	dB	
送信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB	
受信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
干渉量	8.5	dB	11.7	dB	

5.6.2 自営等 BWA と全国 BWA との周波数共用条件

【干渉結果】

表 5.6-2 自営等 BWA と全国 BWA の移動局－基地局間の干渉結果

	自営等 BWA－全国 BWA				備考
	自営等 BWA 移動局		全国 BWA 移動局		
与干渉移動局	自営等 BWA 移動局		全国 BWA 移動局		
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉基地局	全国 BWA 基地局		自営等 BWA 基地局		
アンテナ高さ	15	m	4	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	1764	m	344	m	
空中線電力	10	dBm/MHz	10	dBm/MHz	
アンテナ利得	4	dBi	4	dBi	
給電線損失	0	dB	0	dB	
帯域幅	20	MHz	20	MHz	
EIRP	14	dBm/MHz	14	dBm/MHz	
送信マスク減衰	-20	dB	-20	dB	ACLR: 3dBm 以下
受信アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
受信給電線損失	1	dB	1	dB	
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	120.8	dB	120.8	dB	
伝搬損失 (郊外地)	131.8	dB	128.6	dB	
送信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB	
受信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
干渉量	-11.5	dB	-8.3	dB	

5.7 自営等 BWA 基地局と地域 BWA の WiMAX 方式との周波数共用条件

WiMAX の主な仕様を次に示す。(文献—1)

表 5.7-1 WiMAX の主な仕様

項目		値	単位	
中心周波数		2587	MHz	
帯域幅		10	MHz	
通信方式		TDD		
多重化方式		OFDMA, TDM 方式との複合		
変調方式	(基地局)	64(16)QAM, Q(B)PSK		
	(移動局)	16QAM, QPSK		
送信バースト 繰り返し周期		5m+/-10u	sec	
送信バースト長さ		DL	UL	msec
		3.65	1.35	msec
		3.55	1.45	msec
		3.45	1.55	msec
		3.35	1.65	msec
		3.25	1.75	msec
		3.15	1.85	msec
		3.05	1.95	msec
		2.95	2.05	msec
		2.85	2.15	msec
2.75	2.25	msec		
空中線電力	基地局	20 以下	W	
	移動局	200 以下	mW	
アンテナ利得	基地局	17 以下	dBi	
	移動局	2 以下	dBi	

注目すべきは送信バースト繰り返し周期と送信バースト長さである。

自営等 BWA 機器では送信バースト繰り返し周期が同期の Configuration 2 では 5msec でバースト長さはその構成 6D2U2S による。また、自営等 BWA では、3GPP 規格でフレーム送信開始タイミングがオフセット 59872xTs と規定されている。

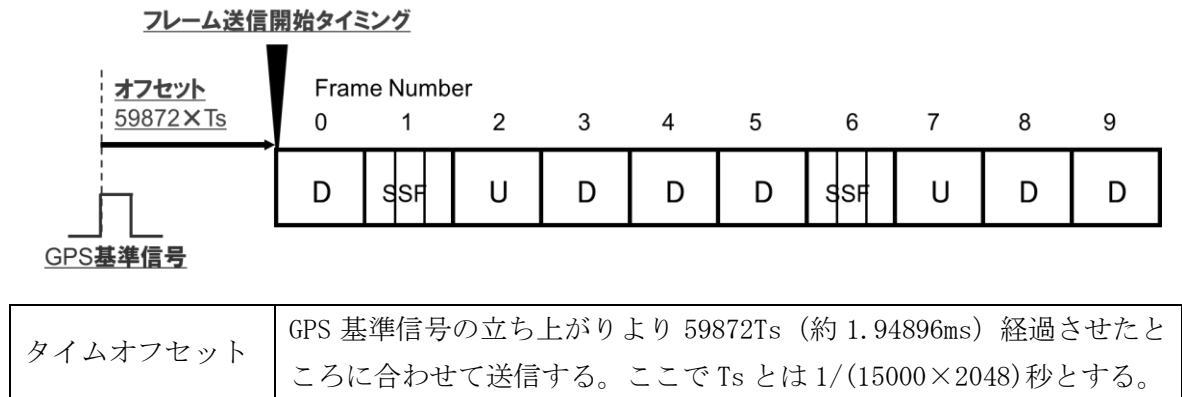


図 5.7-1 自営等 BWA のフレーム送信開始タイミング

また、同期では、DL/UL Configuration: 2として規定されている、(準同期は1)。以上から地域 BWA の WiMAX 方式は自営等 BWA にとって非同期として解釈する。

理論的には自営等 BWA と地域 BWA の干渉モデルを用いるが、地域 WiMAX 側が 10MHz なので許容干渉レベルを $-111.8 - 3 = -114.8\text{dBm}$ とする。

表 5.7-2 自営等 BWA と地域 WiMAX の基地局間の干渉結果

項目	自営等 BWA－地域 WiMAX				備考
	自営等 BWA 基地局		地域 WiMAX 基地局		
与干渉基地局	自営等 BWA 基地局		地域 WiMAX 基地局		
アンテナ高さ	4	m	15	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉基地局	地域 WiMAX 基地局		自営等 BWA 基地局		
アンテナ高さ	15	m	4	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	2764	m	2764	m	
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz	
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
給電線損失	1	dB	1	dB	
帯域幅	20	MHz	10	MHz	
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz	
受信アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
受信給電線損失	1	dB	1	dB	
許容干渉レベル	-114.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	171.8	dB	170.8	dB	
伝搬損失 (郊外地)	130.2	dB	140.5	dB	
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
受信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
干渉量	40.6	dB	29.3	dB	

自営等 BWA を同期・準同期にしても干渉は同じである。

地域 WiMAX 側基地局の干渉量は 40.6dB と非常に高い。これはアンテナ面を逆にしても難しく、自営等 BWA 基地局の送信出力を最低の 2W にする必要がある。もしくは基地局間を 38km 以上離さなければならない。

表 5.7-3 自営等 BWA と地域 WiMAX の基地局－移動局間の干渉結果

与干渉基地局	自営等 BWA－地域 WiMAX				備考
	自営等 BWA 基地局		地域 WiMAX 基地局		
アンテナ高さ	4	m	15	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
被干渉移動局	地域 WiMAX 移動局		自営等 BWA 移動局		
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m	
アンテナチルト角	0	deg	0	deg	
水平距離	344	m	1764	m	
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz	
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi	
給電線損失	1	dB	1	dB	
帯域幅	20	MHz	10	MHz	
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz	
受信アンテナ利得	4	dBi	4	dBi	
受信給電線損失	0	dB	0	dB	
許容干渉レベル	-114.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz	
MCL	160.8	dB	159.8	dB	
伝搬損失 (郊外地)	127.7	dB	141.2	dB	
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB	
受信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB	
干渉量	32.6	dB	18.1	dB	

5.8 自営等 BWA 基地局と地域 BWA の 5GNR 方式との周波数共用条件

まず、4G と 5G のフレームフォーマットを比較する。「参考」にあるようにいずれも 1 ラジオフレームは 10msec であり、サブフレームも 1msec 共通である。総務省ローカル 5G ガイドラインには 2.5GHz 帯の記述がないので 4.6~4.8GHz 帯のフレーム構成を用いることとする。但し帯域幅は 20MHz である。LTE では各サブフレームは 2 つのスロットからなり、DL から UL への切り替えは、各フレーム中の 2 番目のフレームで行なわれる。

5G ではサブキャリア間隔が 15KHz のみならず 30KHz, 60KHz もあり 1 サブフレームのスロット数が異なる。

ここではキャリア間隔が 30KHz の 1 サブフレーム 2 スロットの場合を考える。さらにタイムオフセットも 4G と同じ規格なので、サブフレーム構成が同じであれば「同期」と解釈できる。

まず、お互いが同期同士の場合である。

フレーム番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9								
4G同期	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D								
5G同期	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D

図 5.8-1 4G 同期と 5G 同期のフレームフォーマットの比較

簡単にするために S (Special Subframe) は無視すると同期同士では干渉の心配はない。

次に 4G 同期、5G 準同期の場合である。

これも S を無視すると、第 4, 9 サブフレームが異なり、基地局が近く干渉がある場合、5GNR 側が一方向的に干渉を 4G 側から受けることになる。

フレーム番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
4G同期	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D				
5G準同期	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U

図 5.8-2 4G 同期と 5G 準同期のフレームフォーマットの比較

次に 4G 準同期、5G 同期の場合である。

これは第 3, 8 サブフレームが異なり、基地局が近く干渉がある場合、4G 準同期側が一方向的に干渉を 5GNR 側から受けることになる。

フレーム番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9								
4G準同期	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D								
5G同期	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D

図 5.8-3 4G 準同期と 5G 同期のフレームフォーマットの比較

最後に 4G 準同期、5G 準同期の場合である。

これは第 3, 4, 8, 9 サブフレームが異なり、基地局が近く干渉がある場合、第 3, 8 サブフレームでは 4G 側が 5G NR 側から干渉を受け、第 4, 9 サブフレームでは逆に 5G NR 側が 4G 側から干渉を受けることになる。

フレーム番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
4G準同期	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D				
5G準同期	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U

図 5.8-4 4G 準同期と 5G 準同期のフレームフォーマットの比較

以上をまとめるとお互いが同期であれば干渉の心配はない。(もちろん、あまりに近いと干渉を受ける)

S (Special Subframe) の扱いだが、5G NR においては 4G と違ってその内容は 1 スロット 14 シンボルのうち、D (Downlink) は 6 シンボル以下、そして 4 つのガードバンドシンボルがあり、U (Uplink) は 4 シンボル以下となっており、詳細は事業者 (機器) によって異なることである。

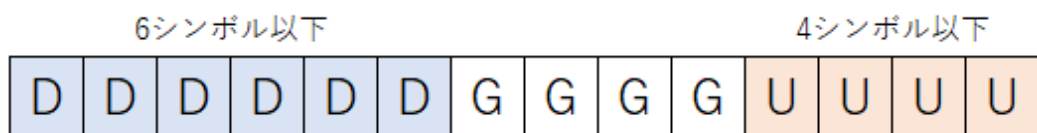


図 5.8-5 5G NR の Special Subframe のイメージ

4G の場合は SSF (例えば 7) を決めると D と U の時間が自動的に決まる。よって厳密には、S のところで多少なりとも同期同士でも干渉の可能性はある

その他の組み合わせは自営等 BWA 準同期の場合が参考になる。「自営等 BWA 基地局と地域 BWA 方式との周波数共用条件」の準同期の記述を参照。

5.9 自営等 BWA 基地局と全国 BWA の 5GNR 方式との周波数共用条件

5GNR は前項のところで、フレーム構成は同じとし、周波数が隣接チャンネル（20MHz 帯域幅）とする。

これは自営等 BWA（同期、準同期）と全国 BWA と同じ周波数共用条件を用いる。

S フレームを無視すると、お互いが同期以外は必ず干渉を受けるが、同一周波数帯ではないので、送信マスク減衰が期待できる。

表 5.9-1 自営等 BWA と全国 BWA の 5GNR の基地局間の干渉結果

自営等 BWA - 5G 全国 BWA				
与干渉基地局	自営等 BWA 基地局		5G 全国 BWA 基地局	
アンテナ高さ	4	m	15	m
アンテナチルト角	0	deg	0	deg
被干渉基地局	5G 全国 BWA 基地局		自営等 BWA 基地局	
アンテナ高さ	15	m	4	m
アンテナチルト角	0	deg	0	deg
水平距離	2764	m	2764	m
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi
給電線損失	1	dB	1	dB
帯域幅	20	MHz	20	MHz
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz
送信マスク減衰	-34	dB	-36	dB
受信アンテナ利得	16	dBi	16	dBi
受信給電線損失	1	dB	1	dB
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz
MCL	134.8	dB	134.8	dB
伝搬損失（郊外地）	130.2	dB	140.5	dB
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB
受信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB
干渉量	3.6	dB	-6.7	dB

4G 自営等 BWA 基地局における 5GNR 基地局からの干渉量は、送信マスクの為マイナスとなった。しかし、5GNR 基地局では 3.6dB 干渉量が多い。

表 5.9-2 自営等 BWA と全国 BWA の 5G NR の基地局－移動局間の干渉結果

	自営等 BWA－5G 全国 BWA			
与干渉基地局	自営等 BWA 基地局		5G 全国 BWA 基地局	
アンテナ高さ	4	m	15	m
アンテナチルト角	0	deg	0	deg
被干渉移動局	5G 全国 BWA 移動局		自営等 BWA 移動局	
アンテナ高さ	1.5	m	1.5	m
アンテナチルト角	0	deg	0	deg
水平距離	344	m	1764	m
空中線電力	27	dBm/MHz	29	dBm/MHz
アンテナ利得	16	dBi	16	dBi
給電線損失	1	dB	1	dB
帯域幅	20	MHz	20	MHz
EIRP	42	dBm/MHz	44	dBm/MHz
送信マスク減衰	-34	dB	-36	dB
受信アンテナ利得	4	dBi	4	dBi
受信給電線損失	0	dB	0	dB
許容干渉レベル	-111.8	dBm/MHz	-111.8	dBm/MHz
MCL	123.8	dB	123.8	dB
伝搬損失（郊外地）	127.7	dB	141.2	dB
送信アンテナ指向減衰	-0.5	dB	-0.5	dB
受信アンテナ指向減衰	0	dB	0	dB
干渉量	-4.4	dB	-17.9	dB

5.10 参考

5.10.1 同一周波数帯での準同期における通信不良

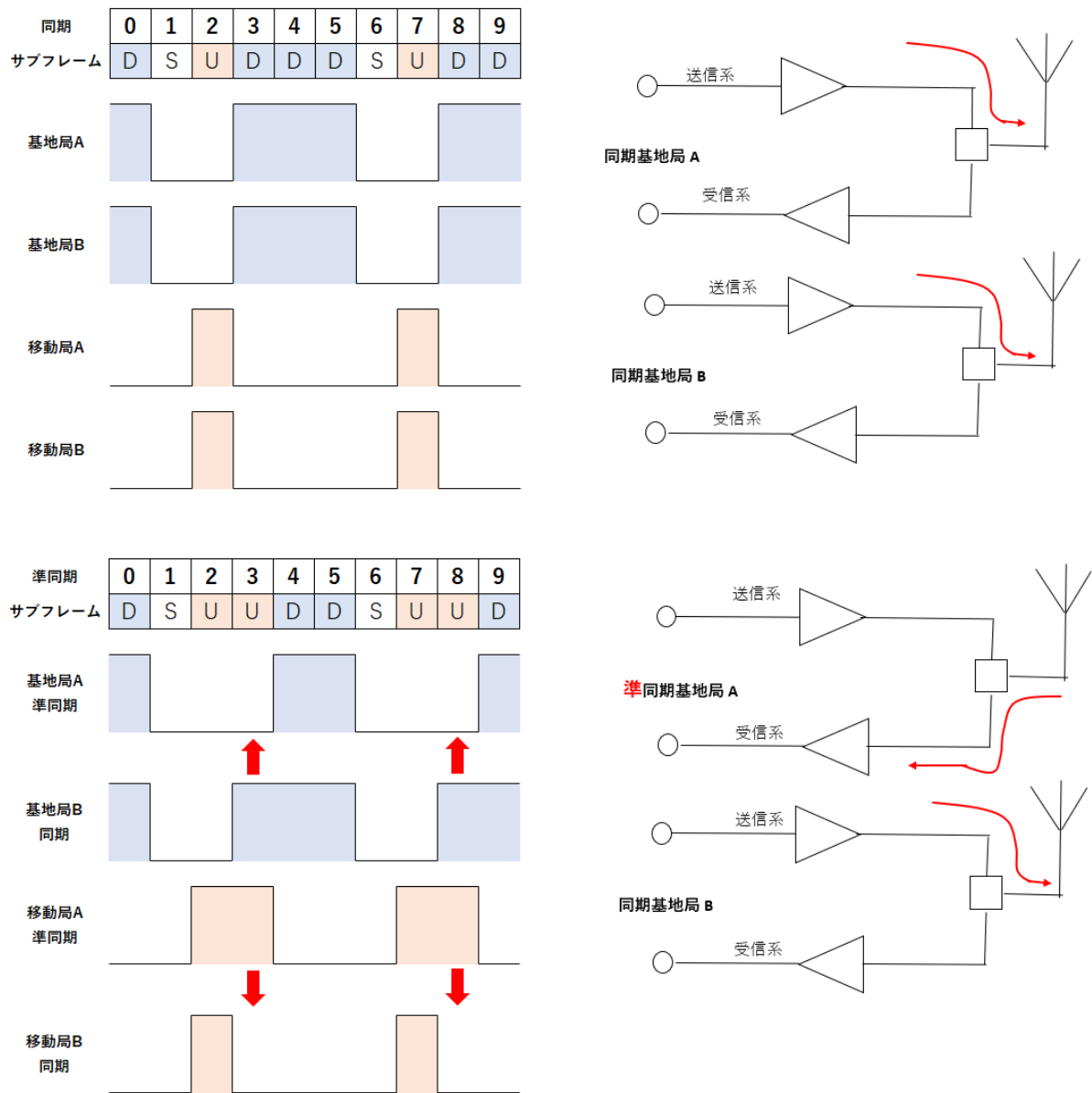


図 5.10-1 準同期と同期の干渉イメージ

基地局 A, B 共に同期 (3GPP 規格の Configuration 2: 6D2U2S) しているとする。この場合、各基地局のダウンリンク、アップリンクのタイミングは同じなのでたとえ干渉があっても基地局 A(B) の電波が基地局 B(A) の受信系に入ることはない。厳密には、RF 入力端のアンテナスイッチのアイソレーションや電源系からの漏れなどで限界がある。但し、端末は、他方の基地局のカバーエリア深く入ると、干渉の影響を受ける。

次に基地局 A のみ準同期とすると、相手基地局がダウンリンクで電波を出す際は、準同期基地局のサブフレーム No. 3 と 8 の受信系がオンとなり、常に干渉波を受信する。これは基地局同士の干渉で、もちろん基地局一端末間の干渉も考えられるが距離が遠ければ問題にはならない。問題は端末同士の干渉だが、これについては準同期自営等 BWA と全国 BWA との干渉のところで説明する。

5.10.2 TDD

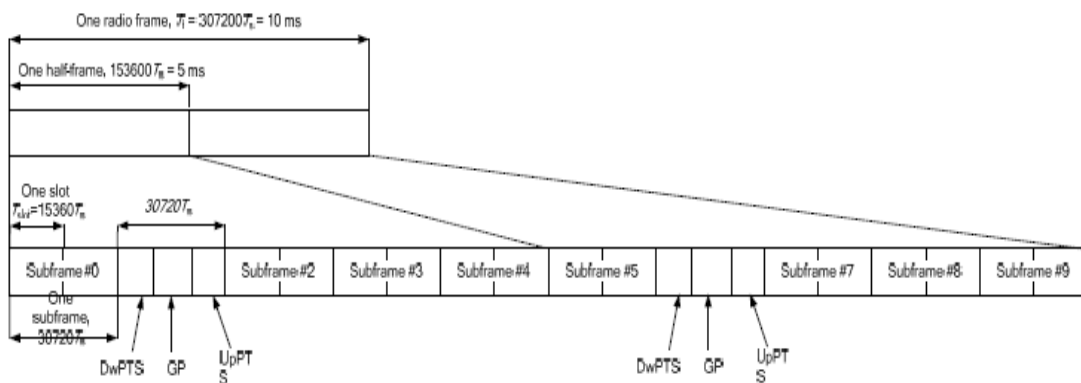


図 5.10-2 TDD

1 無線フレームは FDD と同じく 10msec で、これが 2 つのハーフ・フレームに分割される。

さらに各ハーフ・フレームは 5 つのサブフレーム (1msec) から構成される。そして各サブフレームは 2 つのスロットから構成される。

DL から UL への切り替えは、各ハーフ・フレーム中の 2 番目のサブフレームで行われる。切り替えが行われるサブフレームは DwPTS (Downlink Pilot Time Slot), GP (Guard Period), UpPTS (Uplink Pilot Time Slot) の 3 フィールドから構成される。

下の表に TDD における DL/UL の構成を示す。

表 5.10-1 TDD における DL/UL の構成

Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

またスペシャルサブフレーム (SSF) のタイムスロット数を下の表に示す。

表 5.10-2 SSF のタイムスロット数

Special subframe configuration	Normal cyclic prefix in downlink		Extended cyclic prefix in downlink		
	DwPTS	UpPTS	DwPTS	Normal cyclic prefix in uplink	Extended cyclic prefix in uplink
0	$6592 \cdot T_s$	$2192 \cdot T_s$	$2560 \cdot T_s$	$2192 \cdot T_s$	$2560 \cdot T_s$
1	$19760 \cdot T_s$				
2	$21952 \cdot T_s$				
3	$24144 \cdot T_s$				
4	$26336 \cdot T_s$	$4384 \cdot T_s$	$5120 \cdot T_s$	$4384 \cdot T_s$	$5120 \cdot T_s$
5	$6592 \cdot T_s$				
6	$19760 \cdot T_s$				
7	$21952 \cdot T_s$				
8	$24144 \cdot T_s$				

6 自営等 BWA の高度利用に必要な技術的条件等のとりまとめ

6.1 自営等 BWA の高度利用に関する課題とその対応について

6.1.1 実際の利用シーンや具体的なニーズについてのシステム要求条件

自営等 BWA は自己土地内利用の原則の中で、他のシステム（地域 BWA や地域 WiMAX 及び全国 BWA）との周波数共用について常に事業者間調整を求められる。その中で、相手基地局の位置や送信出力、アンテナ面方向が不明な中で合意を得なければならない。今回の実証実験で離隔がどの程度必要であるか等明確になった。

さらにマーケットからはとりわけアップリンクの伝送速度向上が要求されている。従って、準同期の場合、どういう問題があり、その対策はどうかについても明確にする。

6.1.2 他のシステムとの周波数共用検討

試験結果及び理論的考察から、お互いが同期の場合と相手が地域 WiMAX のような非同期、そして自営等 BWA が準同期の場合でかなり検討結果が異なる。

同一周波数帯での同期同士では、移動局が相手エリアに入っていくにつれ相手基地局から干渉を受ける。

相手が非同期では、お互いの基地局は常に相手基地局から干渉を受け、今回の場合、数 10km の離隔又は、所要減衰量を満たすようお互いのアンテナ面方向をずらし、指向性アンテナの利得減衰を得なければならない。

隣接周波数帯の場合、ガードバンド 0Hz でも送信マスク減衰のため、お互いの基地局からの干渉は、同期の場合、今回の実験ではほぼないかわずかである。また、相手エリアに入っても基地局—移動局間の所要減衰量はマージンあり、同じカバーエリア内で共用できると考えられる。

準同期の場合でも、カバーエリアが重ならないようにし、自己のカバーエリア内に限定すれば全国 BWA と共用できると考えられる。

6.2 周波数共用条件のまとめ

周波数共用条件の実験結果から各干渉モデルの離隔距離やアンテナ指向性減衰を以下に示す。干渉検討の諸元については、前項「周波数共用条件の検討」参照。

6.2.1 自営等 BWA と地域 BWA

希望波 (Desired Signal) に対し妨害波 (Undesired Signal) との比 (DU 比) がどの程度であれば通信が成立するかを検討する。

表 6.2-1 基地局間のアンテナ高さ組み合わせ

組み合わせ	送信アンテナ[m]	受信アンテナ[m]
1	4	15
2	15	4

基地局間伝搬損失 (拡張秦式郊外地計算)

基地局間距離 : 2,764[m]

$d \geq 0.1$ km の場合の伝搬損失は以下で与えられる。

陸上移動局高と基地局高に対する補正項

$$a(H_m) = (1.1 \log f - 0.7) \min(10, H_m) - (1.56 \log f - 0.8) + \max(0, 20 \log(H_m/10))$$

$$b(H_b) = \min(0, 20 \log(H_b/30))$$

(2-1) 市街地

$$L[\text{dB}] = [44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})](\log d)^a - a(H_m) - b(H_b) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\})$$

$$+ \begin{cases} 69.6 + 26.2 \log(150) - 20 \log(150/f) & \text{for } 30 < f \leq 150 \text{MHz} \\ 69.6 + 26.2 \log f & \text{for } 150 < f \leq 1500 \text{MHz} \\ 46.3 + 33.9 \log f & \text{for } 1500 < f \leq 2000 \text{MHz} \\ 46.3 + 33.9 \log(2000) + 10 \log(f/2000) & \text{for } 2000 < f \leq 3000 \text{MHz} \end{cases}$$

(2-2) 郊外地

$$L[\text{dB}] = L(\text{urban}) - 2 \{ \log[(\min\{\max\{150, f\}, 2000\})/28] \}^2 - 5.4$$

DU 比の計算

基地局感度 (Reference sensitivity level) :

調整対象区域レベル $-98.8 \text{dBm}/20 \text{MHz} = -111.8 \text{dBm}/\text{MHz}$ とする。

移動局感度 (Reference sensitivity level) :

カバーエリアレベル $-85 \text{dBm}/20 \text{MHz} = -98 \text{dBm}/\text{MHz}$ とする。

基地局 (及び移動局) での所望の希望波の受信レベル (十分 SNR が高く, 以下の条件を維持できる) を計算する。

基地局 : 64QAM, 2/3 コーディングレート

移動局 : 16QAM, 2/3 コーディングレート

$$\text{希望波の受信レベル}[\text{dBm}] = -174[\text{dBm}/\text{Hz}] + 10 \log(\text{NRB} * 180\text{K}) + 30 = -174 + 72.5 + 30$$

= -71.5dBm

(NRB: 1RB (Resource Block)で12サブキャリア (180KHz)、それが20MHz帯域では100割り当てられている)

30dBは、NF、実装のマージンに加え20dB kTB雑音より高く設定し、SNR30dBを目標とした値である。

基地局間同士では、

$$DU = -71.5 - (-98.8 + \text{干渉量}) \text{ [dB]}$$

移動局に於いては、

$$DU = -71.5 - (-85 + \text{干渉量}) \text{ [dB]}$$

準同期・非同期では以上であり、基地局間同士、移動局間同士の同期に於いては得られたDU比にアンテナスイッチ30dBを勘案し、

$$DU = -71.5 - (-98.8 + \text{干渉量}) + 30 \text{ [dB]}$$

移動局に於いては、

$$DU = -71.5 - (-85 + \text{干渉量}) + 30 \text{ [dB]}$$

また、スループットを維持できる目標のDU比は10dBとする。

同一周波数帯では、

$$DU = -71.5 - (-98.8 + 37.6) = -10.3 \text{ [dB]} \text{ 地域BWA 基地局側}$$

$$DU = -71.5 - (-98.8 + 29.3) = -2.0 \text{ [dB]} \text{ 自営等BWA 基地局側}$$

しかし、TDD同期の場合なので、干渉波が希望波を上回っても、各々の受信系はアンテナスイッチで守られ、アイソレーション約30dB考慮すれば、

$$DU = -10.3 + 30 = 19.7 \text{ [dB]} \text{ 地域BWA側}$$

$$DU = -2.0 + 30 = 28 \text{ [dB]} \text{ 自営等BWA側}$$

基地局間の同期同士では以上となる。

自営等BWAが準同期の場合、サブフレーム3,8に於いて常に地域BWA側から干渉を受け、DU比は干渉波が希望波より多く、これでは通信できない。

以上は基地局間の場合で、次は**基地局—移動局間**を考える。

同じく拡張秦式(総務省計算式 $H_m=1.5[m]$ 限定)を用いると、各々の移動局が、カバーエリア境界(-85dBm/20MHz)で考えると、その所要減衰量は

自営等BWA側移動局: **18.1dB**

地域BWA側移動局: **29.6dB**

従って、

$$DU = -71.5 - (-85 + 18.1) = -4.6 \text{ [dB]} \text{ 自営等BWA 移動局側}$$

$$DU = -71.5 - (-85 + 29.6) = -16.1 \text{ [dB]} \text{ 地域BWA 移動局側}$$

よって所望のDU比を得られない。

そのため何らかの方法で離隔をとらなければならない。この組み合わせは、お互いのカバ

一エリアが重なっているので、自営等 BWA の送信出力を 26dB 低下させる。もしくはアンテナ面をずらす。指向性減衰を 26dB 取るには、正対向から約 80° ずらすことが必要である。

自営等 BWA が準同期では、次の 6.2.2 項に準ずる考え方が使用できる。

6.2.2 20MHz 帯域幅（自営等 BWA）と 10MHz 帯域幅（地域 WiMAX）

地域 WiMAX は 10MHz 帯域幅（2582～2592MHz）非同期であり、基地局間では、

$$DU = -71.5 - (-98.8 + 29.3) = -2.0 \text{ [dB]} \quad \text{自営等 BWA 基地局側}$$

$$DU = -71.5 - (-98.8 + 40.6) = -13.3 \text{ [dB]} \quad \text{地域 WiMAX 基地局側}$$

基地局と移動局間では、

$$DU = -71.5 - (-85 + 18.1) = -4.6 \text{ [dB]} \quad \text{自営等 BWA 移動局側}$$

$$DU = -71.5 - (-85 + 32.6) = -19.1 \text{ [dB]} \quad \text{地域 WiMAX 移動局側}$$

以上から離隔を確保しないと通信が出来ない。自営等 BWA 側の送信出力を 30dB 分低下させる、もしくはアンテナ面を約 80° ずらすことが必要である。そうすれば、各々の移動局はカバーエリア内でも使用できる。

6.2.3 隣接周波数帯

ガードバンド 0Hz であるが送信マスク減衰が効いている。まず、基地局間では、

$$DU = -71.5 - (-98.8 + 3.6) = 23.7 \text{ [dB]} \quad \text{全国 BWA 基地局側}$$

$$DU = -71.5 - (-98.8 - 6.7) = 34.0 \text{ [dB]} \quad \text{自営等 BWA 基地局側}$$

しかし、**TDD 同期**の場合、各々の受信系はアンテナスイッチで守られ、アイソレーション約 30dB 考慮すれば、両基地局側共に十分な DU 比が得られる。

準同期でも通信に十分な DU 比が得られている。

以上は基地局間の場合で、次は**基地局—移動局間**を考える。

$$DU = -71.5 - (-85 - 17.9) = 31.4 \text{ [dB]} \quad \text{自営等 BWA 移動局側}$$

$$DU = -71.5 - (-85 - 4.4) = 17.9 \text{ [dB]} \quad \text{全国 BWA 移動局側}$$

よって所望の DU 比を得られており、カバーエリアがオーバーラップしていても通信が可能である。

最後に移動局—移動局間の干渉である。

距離 5m では干渉量が 55.2dB である。従って、

$$DU = -71.5 - (-85 + 55.2) = -41.7 \text{ [dB]} \quad \text{自営等及び全国 BWA 移動局側}$$

同期の場合は、

$$DU = -41.7 + 30 = -11.7 \text{ [dB]}$$

ここで距離を離れた場合の DU 比を求める。

表 6.2-2 距離を離れた場合の DU 比

距離[m]	郊外地伝搬損失[dB]	干渉量[dB]	DU 比[dB]	
			準同期	同期
5	54.6	55.2	-41.7	-11.7
10	60.6	49.2	-35.7	-5.7
20	66.7	43.1	-29.6	0.4
30	70.2	39.6	-26.1	3.9
40	72.7	37.1	-23.6	6.4
50	81.5	28.3	-14.8	15.2
60	88.7	21.1	-7.6	22.4
70	94.8	15	-1.5	28.5
80	100	9.8	3.7	33.7
90	104.7	5.1	8.4	38.4
100	117.3	-7.5	21	51

まず、同期の場合、約 40m 離れていれば所望の DU 比が得られ、準同期の場合は約 90m の離隔が必要なことが分かる。しかし、お互いの移動局が同時に 20MHz の帯域幅でアップリンクの

データを送信する確率、また近接する確率を考えれば実質的に自営等 BWA と全国 BWA のカバーエリアをオーバーラップさせても問題ないと思われる。しかし準同期の場合、自営等 BWA 移動局のサブフレーム 3, 8 から地域 BWA 移動局のダウンリンク伝送レートに干渉がある。よってカバーエリアをオーバーラップさせない範囲で使用する事が妥当と推察する。

6.3 周波数共用に関する技術的条件のまとめ

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、5G NR 地域 BWA、5G NR 全国 BWA）との周波数共用に関してそのお互いの基地局間、基地局（移動局）—移動局（基地局）間そして移動局間の干渉量を第 5 章で求めた。ここで技術的条件として各組み合わせでの DU 比を求め、離隔が必要かどうか共用可能かなどをまとめる。

表 6.3-1 地域 BWA との DU 比、離隔距離のまとめ

項番	1		2		3	
与干渉	自営等 BWA 基地局	地域 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	地域 BWA 基地局	自営等 BWA 移動局	地域 BWA 移動局
被干渉	地域 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	地域 BWA 移動局	自営等 BWA 移動局	地域 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局
干渉量 [dB]	37.6	29.3	29.6	18.1	8.5	11.7
準同期 DU 比 [dB]	-10.3	-2.0	-16.1	-4.6	18.8	15.6
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
同期 DU 比 [dB]	19.7	28.0	-16.1	-4.6	18.8	15.6
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

表 6.3-2 5G NR 地域 BWA との DU 比、離隔距離のまとめ

項番	4		5		6	
与干渉	自営等 BWA 基地局	5G 地域 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	5G 地域 BWA 基地局	自営等 BWA 移動局	5G 地域 BWA 移動局
被干渉	5G 地域 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	5G 地域 BWA 移動局	自営等 BWA 移動局	5G 地域 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局
干渉量 [dB]	37.6	29.3	29.6	18.1	8.5	11.7
準同期 DU 比 [dB]	-10.3	-2.0	-16.1	-4.6	18.8	15.6
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
同期 DU 比 [dB]	19.7	28.0	-16.1	-4.6	18.8	15.6
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

表 6.3-3 地域 WiMAX との DU 比、離隔距離まとめ

項番	7		8		9	
与干渉	自営等 BWA 基地局	地域 WiMAX 基地局	自営等 BWA 基地局	地域 WiMAX 基地局	自営等 BWA 移動局	地域 WiMAX 移動局
被干渉	地域 WiMAX 基地局	自営等 BWA 基地局	地域 WiMAX 移動局	自営等 BWA 移動局	地域 WiMAX 基地局	自営等 BWA 基地局
干渉量 [dB]	40.6	29.3	32.6	18.1	11.5	11.7
非同期 DU 比 [dB]	-13.3	-2.0	-19.1	-4.6	15.8	15.6
非同期離隔距離 [km]	12.7~12.8	6.0~6.1	2.3~2.4	4.5~4.6	1.2~1.3	0.2~0.3

表 6.3-4 全国 BWA との DU 比、離隔距離まとめ

項番	10		11		12		13	
与干渉	自営等 BWA 基地局	全国 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	全国 BWA 基地局	自営等 BWA 移動局	全国 BWA 移動局	自営等 BWA 移動局	全国 BWA 移動局
被干渉	全国 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	全国 BWA 移動局	自営等 BWA 移動局	全国 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	全国 BWA 移動局	自営等 BWA 移動局
干渉量 [dB]	3.6	-6.7	-4.4	-17.9	-11.5	-8.3	55.2	55.2
準同期 DU 比 [dB]	23.7	34.0	17.9	31.4	38.8	35.6	-41.7	-41.7
準同期離隔距離 [km]	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]	53.7	64.0	17.9	31.4	38.8	35.6	-11.7	-11.7
同期離隔距離 [km]	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

表 6.3-5 5G NR 全国 BWA との DU 比、離隔距離まとめ

項番	14		15		16	
与干渉	自営等 BWA 基地局	5G 全国 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	5G 全国 BWA 基地局	自営等 BWA 移動局	5G 全国 BWA 移動局
被干渉	5G 全国 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局	5G 全国 BWA 移動局	自営等 BWA 移動局	5G 全国 BWA 基地局	自営等 BWA 基地局
干渉量 [dB]	3.6	-6.7	-4.4	-17.9	-11.5	-8.3
準同期 DU 比 [dB]	23.7	34.0	17.9	31.4	38.8	35.6
準同期離隔距離 [km]	1.1~ 1.2	0.4~ 0.5	0.2~ 0.3	0.4~ 0.5	0.2~ 0.3	0.05~ 0.1
同期 DU 比 [dB]	53.7	64.0	17.9	31.4	38.8	35.6
同期離隔距離 [km]	0.1~0.2	0.05~0.1	0.2~0.3	0.4~0.5	0.2~0.3	0.05~0.1

表 6.3-1～5 から次のことが言える。

① 移動局が他のシステムの基地局に与える干渉は、基地局から受ける干渉に比べ少ない。

② 同一周波数帯における干渉

基地局間の干渉では同期の場合は DU 比が十分あり問題ないが、基地局—移動局間の干渉のために通信距離は狭まる。よってカバーエリアをオーバーラップさせなければ共用は可能なことが分かった。

自営等 BWA 側を準同期にした場合、自営等 BWA 側は地域 BWA 側（地域 WiMAX, 5G NR 地域 BWA）から常に干渉を受けるので十分離隔を取る必要がある。

また、カバーエリアの境界にある移動局は他システムの基地局から同期・準同期含め干渉を受けるため通信距離が狭まる。

（DU 比計算の基となる干渉量の計算は伝搬損失などが理論計算である。しかし実際のフィールドでは距離が遠くなるにつれ伝搬損失が必ずしも増えてはいない地点もある。しかし傾向として、干渉によりカバーエリアが狭まる。）

5G NR 地域 BWA との共用に関しては既存の地域 BWA との共用と同じ考えを用いるのが妥当である。

③ 隣接周波数帯

自営等 BWA 同期・準同期ともに全国 BWA（ガードバンド 0Hz）との共用は可能である。同期の場合はカバーエリアをオーバーラップさせて共用が可能で、準同期の場合は移動局同士が近接しなければ干渉の影響はない。よってカバーエリアをオーバーラップさせない範囲で使用する事が妥当と推察する。

5G NR 全国 BWA との共用に関しては既存の全国 BWA との共用と同じ考えを用いるのが妥当である。

7 調査検討のまとめ

北海道雨竜郡沼田町周辺及び浦臼町鶴沼公園にて約 3 ヶ月にわたり調査を実施した。時期的に 9 月の稲刈り前から調査開始し、雪が降り始める前に調査を終えることが出来た。

7.1 電波伝搬特性データ

電波伝搬特性の測定に関しては、圃場は開放地の計算式が使えること、樹木の葉が生い茂り、密生した森林では 5.4dB/100m を計算式に K 値として使用するのが妥当であること、水上では基地局高さと移動局との位置関係で陸上よりも減衰が激しく、波がある場合はマルチパスにより遅延が発生することが分かった。

7.2 基地局移設運用

基地局移設運用に関しては 3.3 項（水上測定）および 3.5 項（遠方伝搬遅延測定）で簡単に設置運用できることが実証できたので、圃場の飛び地や作付け時期の違いによる異なる圃場での運用において、容易に自営等 BWA システムの構築を進められる。農場や工場敷地内での基地局移設に関して簡易的な免許制度が望まれる。

電波法関係審査基準別紙 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のカバーエリア及び調整対象区域の定義に空中線設置予定地点を含めるように改め、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、電波法関係審査基準別紙 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 イ (ク)に基づき、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適当である。

7.3 移動局の上空利用

移動局の上空利用では、遠方伝搬遅延の影響はないこと、さらに 50m, 100m 上空でも準同期を含め安定した伝送が可能であることが分かった。ドローンの上空利用が可能であることが分かり、これにより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図れる。さらに準同期運用により 4K カメラによる映像伝送も可能と推察する。

上空でのハンドオーバーは、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ーが可能であることが分かった。

基地局の免許申請時等に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が可能となる方向性が示されたと推察される。

7.4 準同期運用

同一周波数帯の地域 BWA 及び隣接周波数帯の全国 BWA との周波数共用に関しては、実測データ、理論計算から以下の重要な結果が得られた。

- ・ 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困難であり、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）を取らなければならない。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共用は可能である。
- ・ 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、利用できることが分かった。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ので注意を要する。

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適当である。

隣接周波数帯の全国 BWA に対しては、電波法関係審査基準別紙 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 イ (ク) A の「隣接周波数帯を使用する無線局と同期していること」を「隣接周波数帯を使用する無線局と同期又は準同期していること」に改め、基地局の免許申請時等に電波法関係審査基準別紙 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 イ (ク)に基づき、あらかじめ準同期運用として干渉調整を行い、合意を得た場合には、準同期運用を認めることが適当である。

7.5 まとめ

本調査検討により、自営等 BWA の高度利用に関する期待の高まりと実現に向けた技術的条件などが明らかになった。さらに自営等 BWA の周波数帯に関し、環境条件（圃場、森林、水上、上空など）ごとの電波伝搬特性測定を実施し置局設計に資するデータを取得した。AI や IoT を活用したスマート農業などの実装に対し大きな寄与が期待される自営等 BWA の高度利用に関しては早急な法制化が望まれる。

資料編

資料1 調査検討会設置要綱

「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会」設置要綱

1 目的

北海道の成長産業である農畜産業の作業場や国立公園のような観光地は、広大かつ非居住のエリアであるが故に携帯キャリアによる4G/LTEがカバーされていないブロードバンド空白地帯が顕在化している。

自営等BWAは、同一周波数帯を用いる地域BWAとの両立を図りつつ自己土地内の運用に限るという制約ながらも、高速で安全性が高いシステムが利用者の仕様において比較的安価で構築できる利点を有し、スマート農業や防災、保守点検業務といった地域のブロードバンド需要に応えるものとして期待されている。

この自営等BWAに期待される新たな運用形態（基地局を臨時に移設した運用、ドローン等による自営等BWA端末の上空利用、上り回線の通信比率を大きく取るための準同期運用）の導入の具現化に向け、既存の周波数利用（同じ周波数帯を使用する地域BWA及び隣接帯域を使用する全国BWA）との周波数共用条件を導出するとともに、自営等BWAの周波数帯（2575～2595MHz）に関して、環境条件ごとの電波伝搬特性を測定し、自営等BWAの綿密なエリア設計に活用できるデータを取得することにより、当該周波数帯の更なる有効利用促進を目的として、総務省北海道総合通信局に「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会」を設置する。同検討会の概要は別紙1のとおり。

2 調査検討事項

- (1) 新たな運用形態に関する利用ニーズの調査
- (2) 利用環境に即した電波伝搬特性データの取得
- (3) 新たな運用形態と既存システムへの影響の検証
- (4) 周波数共用条件の検討
- (5) (1)～(4)を踏まえた技術的要求条件の取りまとめ

3 調査検討会の設置及び運営

- (1) 調査検討会の構成員は別紙2のとおりとする。
- (2) 調査検討会に座長及び副座長を置き、総務省北海道総合通信局長が予め指名する。
- (3) 座長は、調査検討会を招集し主宰する。
- (4) 座長は、必要に応じ構成員以外の関係者の出席を求め意見を聞くことができる。
- (5) 副座長は座長を助け、座長不在時にその職務を代行する。
- (6) 座長は、必要に応じ専門的な検討を行うための作業班を置くことができる。
- (7) 作業班に属すべき構成員及び当該事務を掌理する主査は座長が指名する。
- (8) 調査検討会及び作業班は、リモート会議等の方法により開催することができる。

(9) やむを得ない事情がある場合、構成員は座長の承認を得て代理の者を調査検討会に出席させることができる。

(10) その他、本調査検討会の運営に必要な事項は、座長が定めるところによる。

4 議事等の公開

(1) 調査検討会は、原則として公開とする。ただし、会議を公開することにより当事者若しくは第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害する恐れがある場合、その他の座長が必要と認める場合については、非公開とする。

(2) 調査検討会で使用した資料、及び議事要旨については原則として総務省北海道総合通信局のホームページに掲載し公開する。ただし、公開することにより当事者若しくは第三者の権利若しくは利益又は公共の利益を害する恐れがある場合その他の座長が必要と認める場合については、非公開とすることができる。

5 スケジュール

本調査検討会はその設置の日から令和5年3月までの間、開催する。

スケジュールの詳細は別紙3のとおり。

6 事務局

調査検討会の事務局は、総務省北海道総合通信局無線通信部電波利用企画課に置く。

附 則

この要綱は、令和4年9月6日から施行する。

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会の概要

【別紙1】

本検討会では、自営等BWAシステム^(※)をより便利に使っていただくための新たな運用（基地局の移設運用、上空運用、準同期運用）が可能になるよう実証試験や技術的検討を行います。

(※) 企業等が自らの建物や敷地内限定でネットワークを構築し利用する無線通信システム。Wi-Fiに比べて長距離の通信が可能です。

基地局の移設運用

例：広い畑で自営等BWAを利用したスマート農業を行うための費用を抑えたい。無線局免許手続きも簡素化したい。

【現状】 広い畑を無線でカバーする場合、大規模な基地局を建てたり、複数の基地局を設置しなければならず、費用が膨らんでしまいます。また、基地局の設置場所を変更する場合、その都度無線局の変更の手続きが必要です。



基地局を複数設置すると費用が膨らみ採算が取れないなあ。設置場所の変更の手続きも面倒だ。

【新たな運用】 基地局の移設運用が可能になると、1局分の基地局費用で済むため費用負担が少なくなり、無線局の変更の手続きも不要になります。可搬型基地局を利用すれば設置・移設費用も安く済みます。



基地局が1台で済むし、移設手続きも不要。費用が抑えられるのでこれなら採算が取れるわ。

移動局の上空運用

例：ドローンを使った空撮映像により、作物の生育状態をリアルタイムに確認したい。

【現状】 現在は、ドローンで撮影した映像を蓄積し地上に戻ってから映像を確認しています。



メディアを取り出してから確認するの時間がかる。すぐに確認できないので不便なあ。

【新たな運用】 上空運用が可能になると、撮影中の映像がリアルタイムに確認できるようになります。



リアルタイムに育成状態を確認。次の作業がすぐできるの効率的だわ。

準同期運用（カメラ映像など端末（移動局）からの伝送容量を拡張）

例：リアルタイムに作物の生育状況をより高画質映像で確認したい。

【現状】 現在は、フルHD映像が送れます。



細かな生育状況が確認できない。より高画質で確認したいなあ。

【新たな運用】 準同期運用が可能になると、より高画質な映像（4K映像）が送れるようになります。



生育の様子細部まではっきり見える。次の作業がすぐできるわ。

別紙2 構成員名簿

(氏名五十音順、敬称略)

	氏名	所属
	あさお のりひと 旦尾 紀人	ハイテクインター株式会社 代表取締役社長
	いなむら さかえ 稲村 栄	北海道総合通信網株式会社 取締役企画部長
	おだ かずひこ 織田 和彦	NEC ネットエスアイ株式会社 ビジネスデザイン統括本部 デジタルタウン推進本部 主席主幹
	かのう じゅんや 家納 淳也	ホクレン農業協同組合連合会 農業総合研究所 営農支援センター スマート農業推進課 考査役
	くろかわ さかえ 黒川 栄	株式会社NTTドコモ 北海道支社 ネットワーク部 建設企画担当課長
座長	ささもり たかゆき 笹森 崇行	北海学園大学 工学部 電子情報工学科 教授
	さとう ひらく 佐藤 拓	UQコミュニケーションズ株式会社 渉外部門
	さの ひろかず 佐野 弘和	ソフトバンク株式会社 渉外本部 電波政策統括室 制度開発室長
	たなか つかさ 田中 司	パナソニックコネクタ株式会社 現場ソリューションカンパニー 東日本社 東日本営業部 担当部長
	つつうら よしまさ 筒浦 良昌	北海道農政事務所 生産経営産業部 生産支援課長
副座長	ひかげ たかし 日景 隆	北海道大学 大学院情報科学研究院 メディアネットワーク部門 情報通信システム学分野 准教授
	まえの ひろゆき 前野 宏之	北海道 農政部 生産振興局 技術普及課 主幹 (スマート農業担当)
	まつなみ たかふみ 松波 聖文	日本無線株式会社 ソリューション事業部 事業企画開発部 専任課長
	やまだ せいや 山田 誠哉	北海道総合通信局 無線通信部長

【別紙3】
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 実施スケジュール(予定)

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
ユースケースの調査・把握			↑						
利用環境に即した電波伝播特性データの取得 (実験試験局開設)			↑						
既存システムへの影響検証 (実験試験局開設)				↑					
周波数共用条件の検討				↑					
自営等BWAの高度利用導入に必要な技術的条件の取りまとめ					↑				
調査検討会 ▲:調査検討会 △:作業班			▲① △①			△② ▲②		△③ ▲③	
報告書作成					↑	↑			↑
									中間報告書作成
									最終報告書作成

資料2 作業班の設置について

作業班の設置について

1 目的

本調査検討会の調査検討事項である、自営等 BWA の新たな運用形態と既存システムとの周波数共用条件、自営等 BWA の高度利用導入に必要な技術的条件等を取りまとめるため、本調査検討会設置要綱3(6)に基づき、本調査検討会の下に作業班を設置する。

2 作業班で扱う検討事項

- ・ 自営等 BWA の新たな運用形態に関する利用ニーズの調査
- ・ 自営等 BWA の利用環境に即した電波伝搬特性データの取得
- ・ 新たな運用形態による既存システムへの影響検証
- ・ 自営等 BWA の新たな運用形態と既存システムの周波数共用条件の検討
- ・ 自営等 BWA の高度利用導入に必要な技術的条件等の取りまとめ

[第1回会合] 具体的な調査検討方針・項目の確認

[第2回会合] 上記事項に係る調査検討結果の確認

⇒ 第2回調査検討会への中間報告

[第3回会合] 第2回調査検討会及び上記調査検討結果の確認

⇒ 第3回調査検討会への最終報告

3 作業班の体制

作業班の体制は調査検討会構成員及びその所属組織の中から選定し以下のとおりとする。

なお、必要に応じ、これ以外の構成員からの参加を妨げない。

(氏名五十音順、敬称略)

	氏名	所属
	おおた ひろゆき 太田 弘幸	北海道総合通信局 無線通信部 電波利用企画課長
	たなか ひろき 田中 宏樹	ハイテクインター株式会社 北海道開発テストセンター技術部長
主査	ひかけ たかし 日景 隆	北海道大学 大学院情報科学研究院 メディアネットワーク部門 情報通信システム学分野 准教授
	みやざき しんすけ 宮崎 伸介	日本無線株式会社 事業本部 ソリューション事業部 技術統括部 無線ネットワークシステムグループ グループ長
	やまなか ひろゆき 山中 寛幸	パナソニックオペレーショナルエクセレンス株式会社 技術部門 イノベーション推進センター 政策企画部 政策連携推進課

4 作業班の運営

- (1) 主査は作業班を主宰し、検討事項に係る審議取りまとめを行う。
- (2) 主査は、必要に応じ作業班構成員以外の関係者の出席を求め意見を聞くことができる。
- (3) やむを得ない事情がある場合、作業班構成員は主査の承認を得て代理の者を作業班に出席させることができる。
- (4) 作業班の運営事務局は（請負業者）が担い、審議スケジュール管理、開催案内その他必要な事項の連絡を行う。
- (5) 作業班の開催はメール又は web ツールによるリモート形式によることを基本とする。

資料3 検討経過報告

1 調査検討会の検討経過

会合	日程	議題
第1回	令和4年9月6日(火)	<ul style="list-style-type: none"> ・設置要綱(案)について ・座長及び副座長の指名について ・調査検討事項(案)について ・作業班の設置(案)について ・話題提供 「自営等BWAに係る現状について」総務省 「自営等BWAに係る活用状況と高度利用ニーズについて」ハイテクインター株式会社
第2回	令和5年1月18日(水)	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告書(案)について ・作業班の設置について(改正案) ・話題提供 「地域BWA推進協議会～総務省・情報通信審議会における活動状況～」地域BWA推進協議会
第3回	令和5年2月22日(水)	<ul style="list-style-type: none"> ・報告書概要版(案)について ・報告書(案)について

2 作業班の検討経過

会合	日程	議題
第1回	令和4年9月12日(月)	<ul style="list-style-type: none"> ・作業班の調査検討事項及びスケジュールの確認 ・調査検討事項に係る関連情報収集の進め方 ・調査検討事項に係る基本方針等の提案
第2回	令和4年12月9日(金)	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告書(案)について
第3回	令和5年2月10日(金)	<ul style="list-style-type: none"> ・報告書概要版(案)について ・報告書(案)について

資料4 実証視察会

検討会に対し本実証内容について周知することを目的として、実証フィールドである雨竜郡沼田町において視察会を実施した。

【実施日時】 2022年11月18日 13:00～15:00

【実施場所】 ハイテクインター北海道開発テストセンター
(〒078-2223 北海道雨竜郡沼田町北竜 995-30)

【参加人数】 計 15 名

【参加メンバー】 (所属五十音順、敬称略)

氏名	所属・役職
黒川 栄	株式会社NTTドコモ 北海道支社 ネットワーク部
坂東 哲也	株式会社NTTドコモ 北海道支社 ネットワーク部
石原 浩樹	総務省 総合通信基盤局 電波政策課 検定試験官
磯 寿生	総務省 北海道総合通信局 局長
山田 誠哉	総務省 北海道総合通信局 無線通信部長
太田 弘幸	総務省 北海道総合通信局 電波利用企画課長
堀川 良美	総務省 北海道総合通信局 電波利用企画課チーフ
松谷 真奈	総務省 北海道総合通信局 電波利用企画課
松波 聖文	日本無線株式会社 ソリューション事業部 事業企画開発部
宮崎 伸介	日本無線株式会社 ソリューション事業部 技術統括部 無線ネットワークシステムグループ ^o
澤田 幹	日本無線株式会社 北海道支社 ソリューション営業部
根本 寿浩	日本無線株式会社 ソリューション事業部 技術統括部 無線ネットワークシステムグループ ^o
稲村 栄	北海道総合通信網株式会社 企画部
日景 隆	北海道大学大学院情報科学研究院 准教授
家納 淳也	ホクレン農業協同組合連合会 農業総合研究所営農支援センター スマート農業推進課

【視察行程】

時刻	項目	内容	場所
13:00～13:05	集合	ハイテクインター 北海道開発テストセンター集合	駐車場
13:05～13:30	説明	実証試験の概要説明	会議室
13:30～14:00	見学	実証試験① 自営等 BWA の上空利用	フィールド
14:00～14:10	休憩	休憩	会議室
14:10～14:30	見学	実証試験② 自営等 BWA の準同期運用	フィールド
14:30～15:00	意見交換	質疑応答および意見交換	会議室



概要説明



準同期運用の実験視察



上空利用の実験視察

資料5 参照文献等

【出典】

本報告書に使用している地図は、地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工して使用している。

【参考資料】

- 1. 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)―1 カバーエリア及び調整対象区域の算出法
- 2. ローカル5G導入に関するガイドライン（令和4年3月最終改定）
(https://www.soumu.go.jp/menu_kyotsuu/important/kinkyu02_000473.html)
- 3. 令和元年度 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 報告資料148-5-2
(https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/bunkakai/02tsushin10_04000446.html)
- 4. 平成25年 情報通信審議会 携帯電話等高度化委員会報告 第4世代移動通信システム (IMT-Advanced) の技術的条件 資料16-4 P.53
(https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/keitai_koudoka/02kiban14_03000319.html)

【文献】

- 1. WiMAX 教科書 庄納編 2008年7月 インプレス R&D
- 2. 移動通信における電波伝搬 岩井著 2012年11月 コロナ社
- 3. 改定デジタル移動通信の電波伝搬基礎 唐沢著 2016年3月 コロナ社
- 4. 移動通信の基礎 奥村・進士監修 1986年 電子情報通信学会
- 5. 無線通信の電波伝搬 進士編著 平成4年 電子情報通信学会
- 6. 5G 教科書 服部、藤岡編著 2019年 インプレス
- 7. LTE for UMTS 2nd Edition 2011 H. Holma, A. Toskala Wiley
- 8. 電波研究所季報 Vol.17 No.88 Jan. 1971
- 9. M. hata “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”
IEEE Trans, VT29, No.3 1989
- 10. アンリツテクニカル No. 89 Mar. 2014
- 11. デジタル無線通信の変復調 斉藤洋一著 平成8年2月 電子情報通信学会

用語集

用語	説明
サイトエンジニアリング	無線サイトにて個別調整により干渉調整を行う作業。無線局相互間の離隔距離の確保や、アンテナ指向方向調整など。
サブフレーム	1 ラジオフレーム(10msec)を10個に分けてその1個をサブフレーム(1msec)という。
自営等 BWA	自営の設備を用いて自己の敷地内で行う自社専用の LTE ネットワーク
全国 BWA	日本全国での公衆向け高速データ通信 LTE ネットワークサービス
地域 BWA	市町村でデジタルデバイドの解消、公共の福祉増進に資する高速データ通信 WiMAX、LTE ネットワークサービス
2 波モデル	見通し内伝搬のなかで最もシンプルなもの直接波と平面大地の反射波による伝搬モデル。
リソースブロック	<p>周波数軸上では12サブキャリア（サブキャリア間隔は15kHz）を基本単位としている。12サブキャリアと時間軸上の1スロット分で囲まれた部分をリソースブロック（RB）といい、ユーザーへの割当はこの時間的に連続する2RB単位で行われる。</p> <p>12 サブキャリア (180kHz)</p> <p>15kHz 周波数</p> <p>7 シンボル スロット1 (0.5msec)</p> <p>1RB 12x7 = 84RE (Resource Element)</p> <p>スロット2 (0.5msec)</p> <p>時間</p>
ACLR	Adjacent Channel Leakage Ratio (隣接チャンネル漏洩電力比) 送信チャンネル帯域内の電力を基準とし、それに隣接する上側・下側のチャンネル帯域の電力との相対値

用語	説明
BWA	Broadband Wireless Access 地域広帯域移動無線アクセス 2.5GHz 帯の WiMAX や LTE を利用した無線通信サービス
DL/UL	DL (Down Link) ダウンリンク、 UL (Uplink) アップリンク 自営等 (地域、全国) BWA は 4G TDD システムであり、基地局から移動局への通信 (ダウンリンク) と移動局から基地局への通信 (アップリンク) を交互に行っている。
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power 等価等方放射電力 アンテナからある方向に放射されるエネルギーを等方性アンテナ (理想アンテナ) での送信電力に置き換えたもの
5G NR	5th Generation New Radio 3GPP が仕様策定した第 5 世代移動通信システム
iperf	ネットワークのパフォーマンスを測定するためのツール。
Local RTK	測位のなかで RTK (Real Time Kinematic) の方法の 1 つでローカル (ユーザーの近く) に基準局を置き、近くの移動局に補正情報を送る。基地局の初期投資は必要だが、工夫することで価格低減できる。移動局との距離である基線長は 10km までと言われている。また基地局から移動局まで送信する手段が必要である。技術の原理は主に下記のように波長の数の計算である。 たとえば、「みちびき」の L1 周波数 (1575.42MHz) の波長は、19.0425cm であり、これを 8 ビットの分解能で 1/256 にすると 0.74mm が最小分解能となる。実際には数 cm と言われている。 常に毎秒補正情報を送信し続けねばならず、一度途切れると収束に時間かかるので、インターネット (LTE, Wi-Fi など) 利用の際、遅延、干渉、レーダー検知などの恐れがあるものは使わない方が賢明である。 誤差を生ずる要因は電離層での遅延、対流圏での水蒸気による電波の屈折、地表の構造物での反射によるマルチパスなどがある。
LTE	Long Term Evolution 3GPP が仕様策定した第 3.9/4 世代移動通信規格

用語	説明
RS	<p>受信時に同期検波のためのチャンネル推定に使う基準信号。ダウンリンクでは6サブキャリアごとに各スロットのOFDMシンボルの1番目と5番目にマッピングされる。</p> <p>The diagram shows a subframe of 1ms duration, divided into two 0.5ms slots. The vertical axis represents 12 subcarriers (180 kHz). Red squares indicate the positions of Reference Signals (RS) at the first and fifth OFDM symbols of each slot for every sixth subcarrier.</p>
RSRP	<p>Reference Signal Received Powerの略称。 基地局からRS(Reference Signal)を受信すると途中の経路の干渉により復調後のシンボル点がある広がりを持って分布するがその平均電力。RSRPは1リソースエレメント(帯域15kHz)当たりのRSの受信電力である。RSは周波数的にも時間的にも偏らずに送信されており、トラフィック量にも左右されない。</p>
RSSI	<p>Received Signal Strength Indicatorの略称。 RSSIはRSが存在するOFDMシンボルにおいてLTEシステム帯域全体の電力を測定した値。</p>
SIR	<p>Signal to Interference Ratioの略称。 受信品質を表す指標の1つである。リソースブロックの15kHz帯域内に存在する干渉電力を分母とし、RSRPとの比をとる。</p>
SISO	<p>送受信アンテナがそれぞれ1つずつのシステム。</p>
3GPP	<p>The 3rd Generation Partnership Project 第3世代以降の移動通信システムの標準規格の仕様検討、調整を行う各国標準化機関によるプロジェクト</p>

用語	説明
UDP	User Datagram Protocol の略称。 コネクションレス型のプロトコルで、パケットごとに確認応答がなく、また再送制御がないので高速な通信が可能である。
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access IEEE が規格化した無線通信システム
X2-HO	基地局同士が X2 インターフェイス（基地局間インタフェース）を使用して直接、端末の情報をやりとりする。X2 ハンドオーバーは基地局同士が直接端末の情報を授受するため、コアネットワークの負荷を減らし、ハンドオーバーの時間を短縮可能である。

令和5年3月

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報告書

<事務局>

北海道総合通信局 無線通信部 電波利用企画課
〒060-8795 札幌市北区北8条西2丁目1-1
札幌第1合同庁舎
電話 011-709-2311 (内線 4624)