

無線 LAN における 5.6GHz 帯周波数の  
上空利用に関する調査検討  
報告書

令和 3 年 3 月

無線 LAN における 5.6GHz 帯周波数の  
上空利用に関する調査検討会

## まえがき

信越地域は、中山間地域である一方で広域な平野部が広がる地域でもあります。このような地域で広範囲な情報を収集するためには、上空からの鳥瞰的な情報収集が有効であると考えられます。上空からの情報収集は平時のみならず、災害発生時や復旧時においても有効な手段となります。

近年、上空からの情報収集手段として、小型無人航空機（ドローン）が多く活用されています。ドローンの利用には、上空から地上への情報の伝送があり、機体内部の蓄積型と無線回線を利用した無線伝送型がありますが、昨今ではリアルタイムで情報が収集できる無線伝送型へのニーズが高まっています。これらのニーズに応えるため、平成 28 年に無線伝送型に対応する 5.7GHz 帯等の無人移動体画像伝送システムが制度化されています。ただし、これらの利用には、無線局免許の取得や無線従事者の確保及び運用調整など利用するための準備が必要になります。

総務省では、平成 30 年に免許が不要で簡易な運用が可能である 5.6GHz 帯の無線 LAN を上空で利用することを検討し、とりまとめています。しかし、今後無人移動体画像伝送システムの普及が著しく増加することが予測されるため、無線 LAN が無人移動体画像伝送システムへ与える干渉の影響についての課題が残されました。

このため、5.6GHz 帯無線 LAN の上空利用に関して、残された課題に関する技術試験及びその利用可能性について検討を行うことにより、信越地域での電波利用による上空からの情報収集の利活用に寄与していくことを目的として本調査検討会を進めて参りました。

本報告書は、5.6GHz 帯無線 LAN の上空利用を総合的に考慮した技術的な検討成果をまとめたものであり、今後は本報告書に基づき、無人移動体画像伝送システムの安全な航行及び平時や災害時におけるリアルタイムで情報収集できる有効な手段として貢献できることを期待しております。

終わりに、本調査検討会にご参加いただき熱心に議論して頂きました構成員の皆様に対し、心より感謝申し上げます。

無線 LAN における 5.6GHz 帯周波数の  
上空利用に関する調査検討会  
座長 佐々木 重信

## 目次

第1章 調査検討の概要.....	1
1.1 調査検討の背景及び目的.....	1
1.2 調査検討体制.....	1
1.3 開催経過.....	2
1.4 調査検討項目.....	3
1.5 実施方法.....	3
1.5.1 動向調査.....	3
1.5.2 机上シミュレーションによる技術検討.....	4
1.5.3 屋内試験による影響評価.....	4
1.5.4 屋外試験による影響性評価.....	6
1.5.5 W56 上空利用の実現に向けた機能・条件の整理.....	6
第2章 W56 の上空利用に関する動向調査.....	7
2.1 国内の無線 LAN 導入状況.....	7
2.2 5GHz 帯無線 LAN の技術基準.....	11
2.2.1 国内における 5GHz 帯無線 LAN の技術基準.....	11
2.2.2 国外における 5GHz 帯の技術基準.....	15
2.3 上空における無線利用状況.....	18
2.3.1 国内の上空における無線利用状況.....	18
2.3.2 国外の上空における無線利用状況.....	23
2.4 W56 の上空利用に関する課題.....	25
第3章 W56 の上空利用実現に向けた机上シミュレーションによる技術検討.....	26
3.1 W56 と U57 の共用検討.....	26
3.1.1 システム諸元.....	26
3.1.2 電波伝搬モデルの検討.....	28
3.1.3 電波伝搬損失特性.....	29
3.1.4 受信感度及び所要 D/U.....	34
3.1.5 干渉の影響を避ける離隔距離の検討.....	37
3.2 W56 のキャリアセンス及び DFS の有効性検討.....	42
3.3 机上シミュレーション結果のまとめ.....	43
第4章 屋内試験環境における影響評価.....	44
4.1 試験概要.....	44
4.1.1 試験機の概要.....	44
4.1.2 試験項目.....	46

4.1.3	試験方法	46
4.2	試験結果	51
4.2.1	各無線機の送信波形と時間変動	51
4.2.2	受信感度測定	54
4.2.3	チャンネル干渉試験結果	55
4.2.4	許容干渉電力	60
4.2.5	キャリアセンス・DFS機能の確認	62
4.2.6	レーダー信号に対するDFS機能への妨害波の影響の確認	63
4.3	屋内試験結果のまとめ	64
第5章	屋外環境における影響性評価	65
5.1	試験概要	65
5.1.1	目的と試験項目	65
5.1.2	試験場所	66
5.1.3	試験状況	69
5.1.4	試験方法	74
5.2	試験結果	78
5.2.1	5.6GHz帯電波伝搬特性	78
5.2.2	チャンネル干渉試験	79
5.3	屋外実証試験のまとめ	83
第6章	W56の上空利用の実現に向けた機能・条件の整理	85
6.1	共用条件の検討	85
6.1.1	離隔距離算出パラメータ	85
6.1.2	実機データによる離隔距離の検討	86
6.2	機能の整理	89
6.2.1	キャリアセンス機能	89
6.2.2	DFS機能	90
6.2.3	その他の機能	90
6.3	運用条件の検討	90
6.4	機能・条件のまとめ	91
第7章	まとめ	92
7.1	前提条件	92
7.2	検討結果	92
7.2.1	干渉検討	92
7.2.2	運用の留意点等	98
7.3	総合とりまとめ	98

## 第1章 調査検討の概要

### 1.1 調査検討の背景及び目的

近年、上空からの情報収集手段としては、小型無人航空機（ドローン）が多く利用されており、平成 28 年 8 月には、ドローンを含む無人移動体画像伝送システムの伝送回線として、5.7GHz 帯等の使用が整備された<sup>1</sup>。しかし、本制度を利用するためには、無線免許の取得や無線従事者の確保及び運用調整が必要となる。

一方で、免許不要かつ簡易な運用が可能である無線 LAN システムについて、今後の利用増加を想定した使用周波数帯の拡張が検討されており、平成 30 年（2018 年）陸上無線通信委員会報告<sup>2</sup>で 5.6GHz 帯無線 LAN システム（以下「W56」という。）については上空利用に向けた方向性が示された。ただし制度化に向けた諸課題として、5.7GHz 帯無人移動体画像伝送システム（以下「U57」という。）との共用検討が残されており、制度化には至っていない。

本調査検討では、平成 30 年（2018 年）陸上無線通信委員会報告で課題とされた範囲の技術検証を実施し、W56 の上空利用に関して W56 と U57 間における干渉についての技術試験を行い、その利用可能性について検討を行うものである。これらの検討により、信越地域での電波利用による上空からの情報収集の利活用に寄与していくことを目的とする。

### 1.2 調査検討体制

本調査検討を進めるにあたり、学術経験者、無線機器メーカー及び業界団体代表者による「無線 LAN における 5.6GHz 帯周波数の上空利用に関する調査検討会」を設置した。開催趣旨を付属資料 1 に、設置要綱を付属資料 2 に、構成員名簿を付属資料 3 に示す。

---

<sup>1</sup> 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告「ロボットにおける電波利用の高度化に関する技術的条件」等,2016年3月22日

<sup>2</sup> 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告「5.2GHz 帯及び 5.6GHz 帯を使用する無線 LAN の技術的条件」,2018年2月13日

### 1.3 開催経過

本調査検討会の開催経過を以下に示す。

#### (1) 第1回調査検討会

- 日時： 令和2年8月28日（金）13時30分～16時20分  
場所： JA長野県ビル 特別会議室Iおよびオンライン会議  
議事： ① 調査検討内容について（案）  
② 調査検討スケジュール（案）  
③ W56の動向について（案）  
④ 机上検討について（案）  
⑤ 屋内試験について（案）  
⑥ 屋外実証試験について

#### (2) 第2回調査検討会（メール審議）

- 期間： 令和2年11月25日（水）～令和2年12月9日（水）  
議題： ① 机上検討について（案）  
② 屋内試験結果について（案）  
③ 屋外実証試験方法について（案）

#### (3) 公開試験

- 日時： 令和2年12月17日（木）  
場所： 信越総合通信局 会議室  
内容： W56からU57への干渉試験、キャリアセンス機能試験  
FPVドローンのデモンストレーション

#### (4) 第3回調査検討会（メール審議）

- 期間： 令和3年1月18日（月）～令和3年1月27日（水）  
議題： 屋外実証試験結果について（案）

#### (5) 第4回調査検討会

- 日時： 令和3年3月16日（火）14時00分～16時00分  
場所： オンライン会議  
議題： ① 報告書（案）について  
② 成果発表

## 1.4 調査検討項目

本調査検討における実施項目を以下に示す。

- (1) W56 の上空利用に関する動向調査
- (2) W56 の上空利用実現に向けた机上シミュレーションによる技術検討
- (3) 屋内試験環境による影響評価
- (4) 屋外における影響性評価
- (5) W56 上空利用の実現に向けた機能・条件の整理

まず、国内外の無線 LAN に関する技術基準や上空における無線利用に関する動向を調査し、今後の W56 の上空利用に関する需要について取りまとめる。

次に、伝搬環境ごとに電波伝搬モデルの検討を行い、検討されたモデルを用いたシミュレーションにより、W56 及び U57 相互間で、同一・隣接・次隣接チャンネルにおける干渉の影響を評価する。

さらに、屋内試験環境及び屋外の代表的なモデル環境において、W56 及び U57 相互間の干渉の影響等を評価する。

最後に、W56 の上空利用を円滑に行うために必要な機能及び条件について整理する。

各項目における実施方法は次項に示すとおりである。

## 1.5 実施方法

### 1.5.1 動向調査

情報収集はウェブや文献等を活用し、構成員からの情報提供を受けて最新の情報となるよう努めた。まず、我が国の無線 LAN の導入状況を調査した。次に、国内及び国外における無線 LAN 規格の技術基準及び上空での無線利用に関する動向について取りまとめた。最後に調査結果を用いて W56 の上空利用を円滑に行うために必要な課題を整理した。調査項目は表 1-1 に示す通りである。

表 1-1 調査項目

項目	内容
無線LANの導入状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内の無線LAN導入経緯</li> <li>・無線LAN利用状況の推移</li> </ul>
5GHz帯無線LANの技術基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内における無線LANの技術基準</li> <li>・ITU-Rの検討状況</li> <li>・各国における無線LANの技術基準</li> </ul>
上空における無線利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内の上空における無線利用状況</li> <li>・国内におけるドローン利活用のロードマップ</li> <li>・各国における5GHz帯の上空利用状況</li> </ul>

### 1.5.2 机上シミュレーションによる技術検討

W56 の上空利用実現に向けて、以下の通り机上シミュレーションによる技術検討を実施した。

#### ① 電波伝搬モデルの検討

各種伝搬環境を類型化して電波伝搬モデルを検討し、ドローンが最大高度 150m までの高さにあるときの電波伝搬損失をシミュレーションした。

#### ② W56 及び U57 の相互間における同一波、隣接チャンネル及び次隣接チャンネルにおける干渉評価

上記①で検討した電波伝搬損失式を用いて、W56 及び U57 相互間の各チャンネルの組合せに対して干渉波の受信電力を計算し、所要 D/U (3.1.4 項参照) から必要となる離隔距離を求めた。

#### ③ W56 キャリアセンス及び DFS 機能の有効性評価

U57 から W56 への干渉波電力が W56 のキャリアセンス<sup>3</sup>及び DFS 機能<sup>4</sup>が動作する値になる距離を上記①で検討した電波伝搬損失式を用いて求め、これらの機能の有効性を評価した。

### 1.5.3 屋内試験による影響評価

屋内試験環境において W56 と U57 との相互間におけるチャンネル干渉及び W56 のキャリアセンスと DFS 機能の有効性について以下の通り検証した。

<sup>3</sup> 送信を開始する前に他の無線局が同じチャンネルを使用していないか確認し、使用中であれば、送信を行わないことで干渉を回避する仕組み。

<sup>4</sup> Dynamic Frequency Selection の略。同じ周波数帯を使用するレーダーパルスを検出し、信号衝突を回避する技術。



① W56 と U57 とのチャンネル干渉検討

図 1-1 に W56 と U57 とのチャンネル干渉検討の試験系を示す。W56 と U57 間をアイソレータで接続することで、W56 と U57 との間で非対称な干渉条件を実現した。目的とする干渉側及び被干渉側のシステムに対応してアイソレータを切り替えた。W56 が被干渉側の場合にはパケットエラーレートを用いて干渉状態を判断し、U57 が被干渉側の場合には画像の乱れの有無によって干渉状態を判断した。

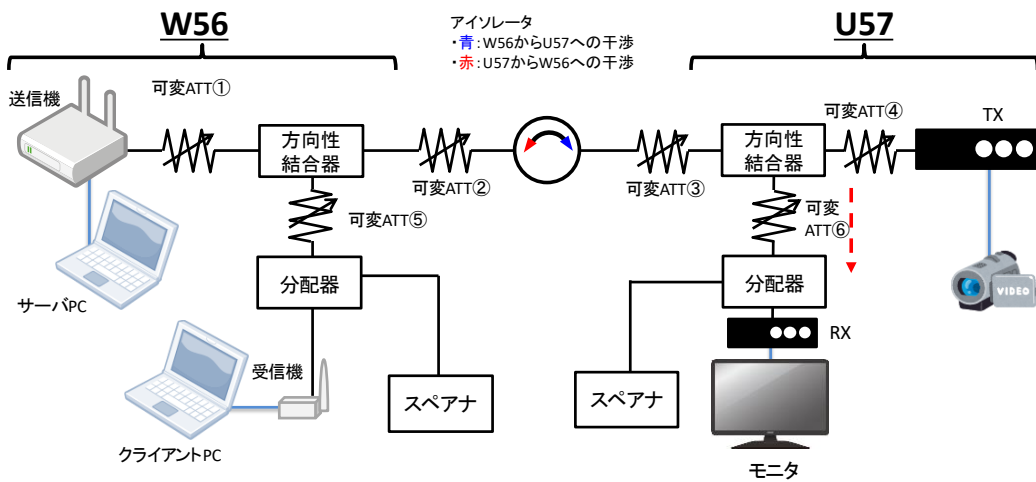


図 1-1 W56 と U57 のチャンネル干渉検討試験系

② W56 のキャリアセンス及び DFS 機能の有効性検討

図 1-2 に W56 のキャリアセンス及び DFS 機能有効性検討の試験系を示す。W56 と U57 間をサーキュレーターで接続し、U57 の妨害波が W56 に入力されるよう接続した。U57 からの妨害波のレベルと W56 から電波が発射されなくなる事との関係を確認した。

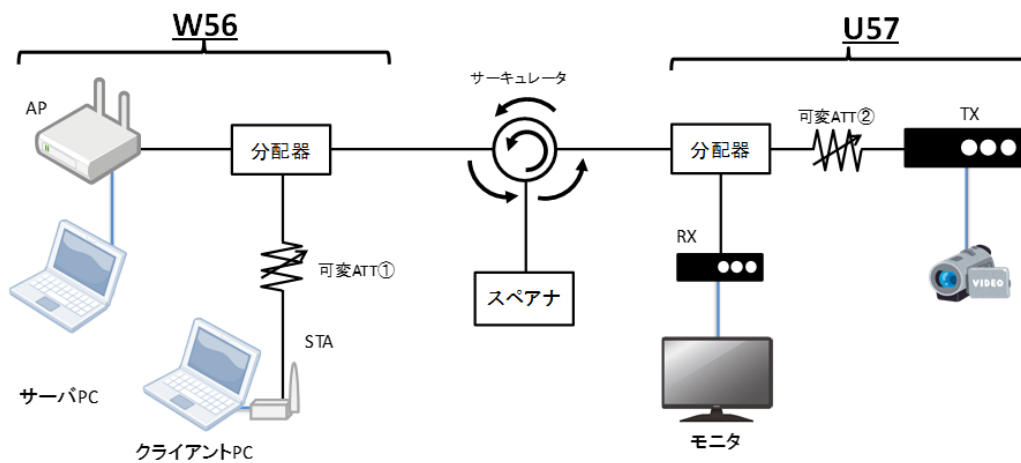


図 1-2 W56 のキャリアセンス及び DFS 機能有効性検討試験系

### 1.5.4 屋外試験による影響性評価

長野市内において代表的な屋外のモデル環境を選定し、同一波干渉、隣接チャネル及び次隣接チャネル干渉について試験を実施した。机上シミュレーション及び屋内試験から想定された離隔距離を確保するため、十数 km の見通しが確保できる場所を選定した。屋外試験の試験構成例を図 1-3 に示す。本試験構成は、W56 から U57 への干渉試験における試験構成の例である。与干渉側として W56 若しくは U57 の送信機をドローンに搭載して上空から送信し、被干渉側では有線接続により希望波を入力した。妨害波はアンテナにより受信し、スペクトラムアナライザを用いて希望波と妨害波との関係を明らかにできる構成とした。なお、ドローンの操縦には別の周波数を用いた。

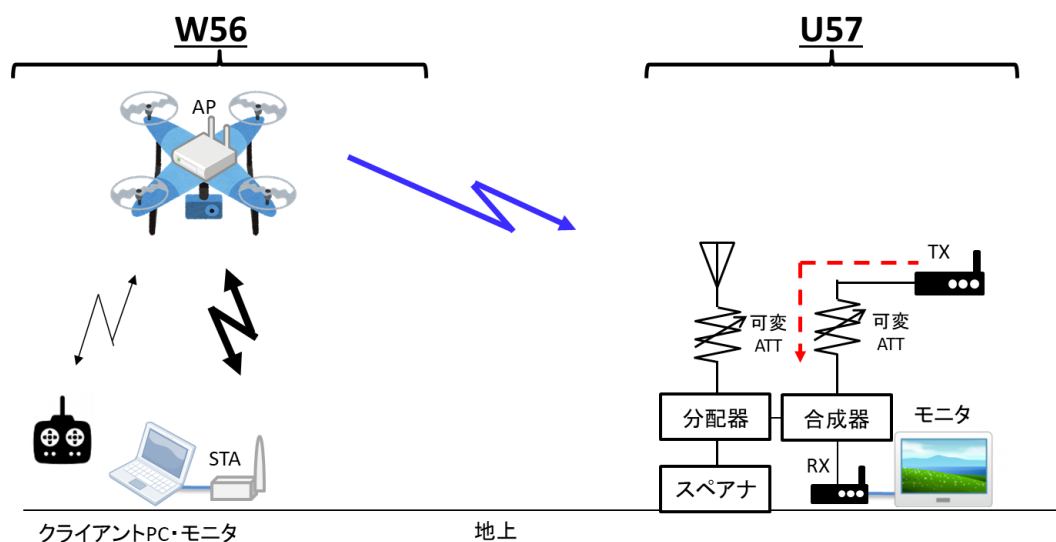


図 1-3 屋外試験の試験例 (W56 から U57 への干渉試験)

### 1.5.5 W56 上空利用の実現に向けた機能・条件の整理

1.5.1 項から 1.5.4 項までの実施項目を踏まえ、W56 の上空利用を円滑に行うために必要な機能・条件について整理した。機能・条件の検討項目を表 1-2 に示す。

表 1-2 機能・条件の検討項目

項目	検討内容
機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キャリアセンスの有用性</li> <li>・DFSの有用性</li> <li>・その他必要な機能</li> </ul>
離隔距離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・共用可能となる条件</li> </ul>
条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上空利用する際のW56の使用方法</li> <li>・上空利用の周知方法</li> <li>・運用方法</li> </ul>

## 第2章 W56 の上空利用に関する動向調査

### 2.1 国内の無線 LAN 導入状況

無線 LAN は、免許不要の無線システムとして国内外で急速に普及するとともに、国際標準化機構において、伝送速度の向上に向けた規格の改定が行われてきた。表 2-1 は国内における無線 LAN の導入経緯である<sup>5</sup>。国内では、1992 年 12 月に「小電力データ通信システム」として初めて 2.4GHz 帯無線 LAN が導入された。2000 年に入ると、家庭・オフィス内におけるインターネットアクセスのニーズが増加し、2000 年に 5.2GHz 帯、つづいて 2005 年に 5.3GHz 帯がそれぞれ屋内限定で開放された。2000 年代後半には、有線システムのブロードバンド化や公衆無線 LAN 等新たな利用形態が加わったことを背景に、屋内外で高速無線 LAN の実現が期待され、2007 年には屋外で利用可能な無線 LAN として 5.6GHz 帯が解放された。2010 年代に入ると、無線 LAN 機能を搭載したスマートフォンの普及等により、伝送速度のさらなる高速化が期待され、2013 年に次世代高速無線 LAN が導入された。また、今後も携帯電話等の移動通信トラフィックが増大する事が予測されており、電話回線のオフロード先とした無線 LAN としての利用等、屋外で利用できる周波数の拡大が検討され、2019 年に屋内利用に限定されていた 5.2GHz 帯が仰角制限等の条件付きで屋外でも利用可能とされた。その後、大量の無線 LAN 機器が高密度に配置された環境（スタジアムや空港など）における伝送速度の低下等が課題となり、2019 年には全体の伝送効率を向上させる次世代高効率無線 LAN が導入された。

---

<sup>5</sup> 情報通信審議会 陸上無線通信委員会 報告「次世代高効率無線 LAN の導入のための技術的条件」,資料 141-1-2, 2019 年 4 月 26 日

表 2-1 国内における無線 LAN の導入経緯

	システム名称	使用周波数帯	導入時期	最高伝送速度	備考
小電力データ通信システム	中速無線LANシステム	2.4GHz帯 (2471～2497MHz)	平成4年 (1992年)	約2Mbps	—
	高速無線LANシステム	2.4GHz帯 (2471～2497MHz)	平成4年 (1992年)	約11Mbps	—
	高度化小電力データ通信システム	2.4GHz帯 (2400～2483.5MHz)	平成11年 (1999年)	約11Mbps	802.11b
	5.2GHz帯小電力データ通信システム	5.2GHz帯 (5150～5250MHz)	平成12年 (2000年)	約54Mbps	802.11a 屋内限定
	2.4GHz帯小電力データ通信システム	2.4GHz帯 (2400～2483.5MHz)	平成13年 (2001年)	約54Mbps	802.11g
	5.3GHz帯小電力データ通信システム	5.3GHz帯 (5250～5350MHz)	平成17年 (2005年)	約54Mbps	802.11a 屋内限定
	5.6GHz帯小電力データ通信システム	5.6GHz帯 (5470～5725MHz)	平成19年 (2007年)	約54Mbps	802.11a
	高速無線LAN	2.4GHz帯 5.2/5.3/5.6GHz帯	平成19年 (2007年)	約600Mbps	802.11n
	次世代高速無線LAN	5.2/5.3/5.6GHz帯	平成25年 (2013年)	約6.9Gbps	802.11ac
	次世代高効率無線LAN	2.4GHz帯 5.2/5.3/5.6GHz帯	令和元年 (2019年)	約9.6Gbps	802.11ax
	5.2GHz帯高出力データ通信システム	5.2GHz帯	令和元年 (2019年)	約4.8Gbps	登録局制度の下で 屋外利用可能 仰角制限あり

無線 LAN は個人から公共まで幅広く利用されてきている。個人においては、スマートフォンやパソコン、家電製品等に無線 LAN 機能が実装されたことにより、利用数が増大している。図 2-1 に世帯における情報通信機器の保有状況の推移を示す<sup>6</sup>。図より、世帯においてスマートフォンやタブレット型端末の保有割合が増加しており、令和元年にはスマートフォンを保有する世帯が 8 割を超えたことがわかる。また、図 2-2 は年齢階層別インターネット利用状況の推移<sup>6</sup>であるが、令和元年に 6～12 歳の小児及び 60 歳以上の高齢層の利用割合が増加していることがわかる。今後はこれらの層の利用が更に増えていくと思われる。

<sup>6</sup> 総務省 令和元年通信利用動向調査の結果

[https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/200529\\_1.pdf](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/200529_1.pdf)

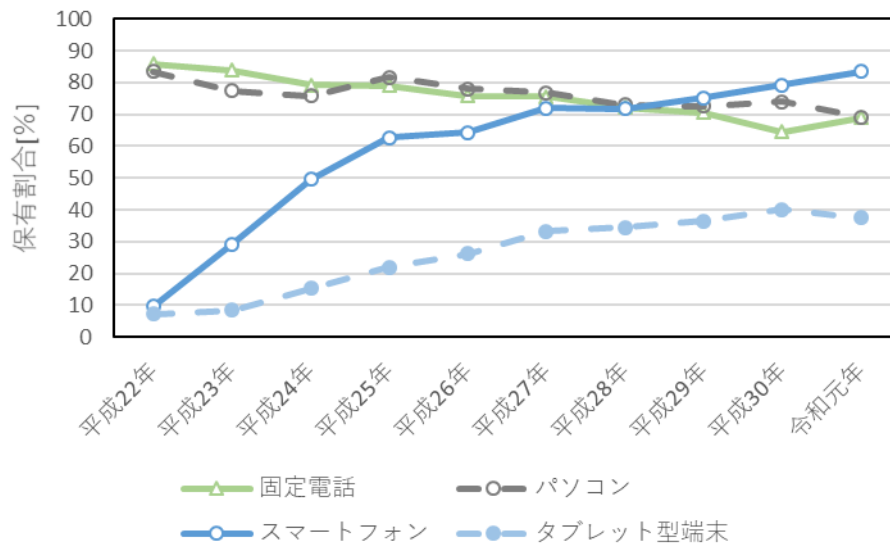


図 2-1 情報通信機器の保有状況（世帯）の推移

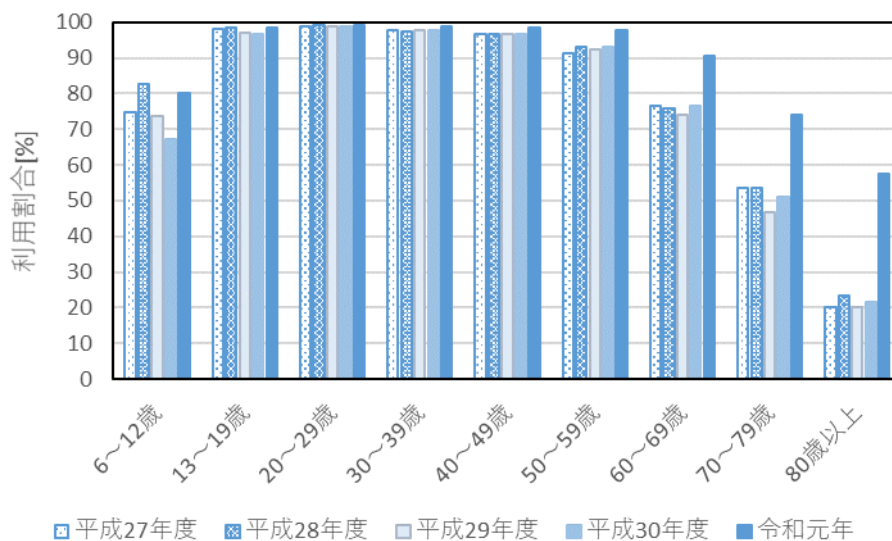
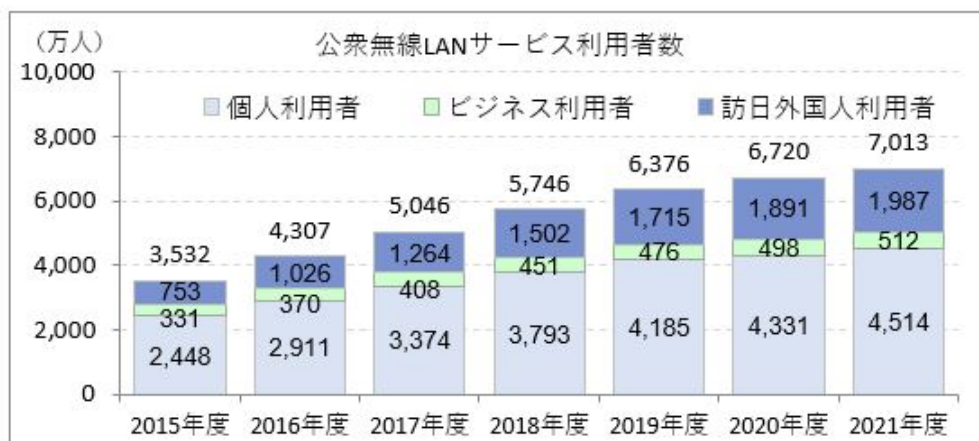


図 2-2 年齢階層別インターネット利用状況の推移

公共スペースにおいては、店舗や駅・空港、観光地など、人々が集まる様々な場所に公衆無線 LAN が普及している。図 2-3 に ICT 総研による公衆無線 LAN サービス利用者数を示す<sup>7</sup>。(2018 年時点。2018 年以降は予測値。) 図より、年々公衆無線 LAN の利用者数が増加しており、2018 年度の利用者数は前年比 14% 増、2021 年度には 2018 年度比 22% 増の 7,013 万人になると推計されている。また、図 2-4 には全国公立学校（小学校、中学校、義務教育学校、高等学校、中等教育学校及び特別支援学校）の普通教室における無線 LAN

<sup>7</sup> ICT 総研調べ <https://ictr.co.jp/report/20181012.html>

整備状況<sup>8</sup>を示す。図より、年々普及率が増加しており、令和2年3月時点の普及率は48.9%にまで達している事が分かる。文部科学省により、教育機関における「無線LAN整備率100%」という目標が掲げられている事や新型コロナウイルス感染症による教育のオンライン化のため、今後急速に無線LAN導入が促進されるものと思われる。そのほか様々な分野において利活用が進められており、今後も公共スペースにおける無線LANへの利用ニーズは高まる事が予測される。



\* 日本在住の個人・ビジネス利用者は各年度末(3月末時点)の利用者数。2018年度以降は予測値。

\* 日本在住の個人・ビジネス利用者の定義は1か月に1回以上利用するアクティブユーザー。

\* 訪日外国人利用者の定義は訪日時に1回以上利用したユーザーの年間合計数。

図 2-3 公衆無線LANサービス利用者数

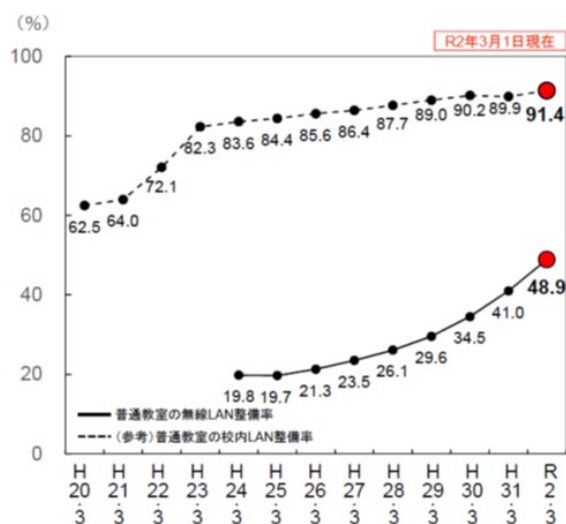


図 2-4 普通教室における無線LAN整備状況

<sup>8</sup> 文部科学省 令和元年度学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果 [https://www.mext.go.jp/content/20201026-mxt\\_jogai01-00009573\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20201026-mxt_jogai01-00009573_1.pdf)

次に、図 2-5 に無線 LAN 出荷台数の経年推移<sup>9</sup>を示す。ここで出荷台数とは当該年度における技術基準適合証明の数と工事設計認証の数の和を表している。図より、2.4GHz 帯無線 LAN 機器がここ数年で増加しており、ますます 2.4GHz 帯において干渉が厳しくなる事が予想される。また、平成 25 年に 802.11ac が導入された事から、平成 25 年度から平成 26 年度にかけて 5GHz 帯無線 LAN 機器が増加していることが分かる。令和元年には 802.11ax が新たに導入されたため、今後 5GHz 帯無線 LAN 機器の出荷台数が増加することも予想される。

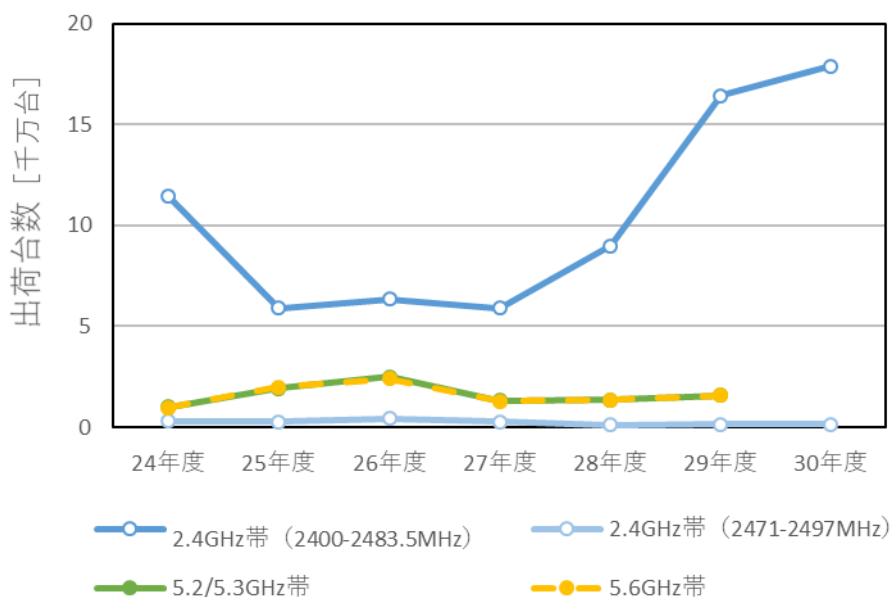


図 2-5 無線 LAN 出荷台数の経年変化

## 2.2 5GHz 帯無線 LAN の技術基準

### 2.2.1 国内における 5GHz 帯無線 LAN の技術基準

前項に述べたことを背景に、輻輳する 2.4GHz 帯と比べて干渉の影響が少なく、大容量通信に適した高速な 5GHz 帯無線 LAN への期待は大きいといえる。

現在の国内における 5GHz 帯無線 LAN の技術基準を表 2-2 に、他システムとの周波数共用状況を図 2-6 に示す。5GHz 帯無線 LAN は、その周波数範囲から 5.2GHz 帯無線 LAN (以下、W52 という。)、5.3GHz 帯無線 LAN (以下、W53 という。) 及び 5.6GHz 帯無線 LAN に分類される。W52 は衛星通信システムのフィードリンクと、W53 は気象レーダー及び地球探査衛星と周波数を共用しており、W52 及び W53 とともにこれらのシステムに干渉を与えないようこれまで屋内限定で利用されてきた。しかし、将来のトラフィック増に備えるため、5GHz 帯無線 LAN の既存の周波数帯における有効利用や周波数拡張が国内外

<sup>9</sup> 総務省 電波利用 HP <https://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/research/tool/index.htm>

で継続的に議論されており、なかでも 5GHz 帯無線 LAN で唯一 DFS の制約がなく、安定的な利用が見込める W52 の屋外利用及び高出力化に関する検討がされていた。2018 年 6 月には国内において条件付きでの W52 の屋外利用が認められ、W52 の最大 e.i.r.p.<sup>10</sup>が 200mW から仰角 8 度未満の条件付きで最大 1W まで認められた<sup>11</sup>。W53 及び W56 は各種レーダーの運用を妨げないため、DFS の具備が義務付けられている。また、W53 は屋内利用のみであり、W56 は従来から屋外でも利用が可能である。ただし、W56 は上空においては屋内と同等の遮蔽が得られる航空機内でのみ利用可能とされている。また、W53 の最大 e.i.r.p.は 200mW、W56 の最大 e.i.r.p.は 1W であるが、TPC<sup>12</sup>を具備しない場合は半分となる。そのほか、W56 は 2019 年 7 月に図 2-7 に後述する 144ch が解放され、周波数範囲が 5730MHz まで拡張された<sup>13</sup>。W56 は各種レーダー以外に、周波数の高い領域で無人移動体画像伝送システム及びアマチュア無線とも周波数を共用している

表 2-2 国内における 5GHz 帯無線 LAN の技術基準

	5.2GHz帯 (W52)	5.3GHz帯 (W53)	5.6GHz帯 (W56)
周波数	5150-5250MHz	5250-5350MHz	5470-5730MHz
最大空中線電力	200mW	200mW	200mW
最大e.i.r.p	200mW/1W <sup>※1</sup>	200mW <sup>※2</sup>	1W <sup>※2</sup>
使用場所	屋内/屋外 <sup>※1</sup>	屋内	屋内/屋外 (上空は航空機内のみ)
その他条件	キャリアセンス	キャリアセンス DFS	キャリアセンス DFS

※1: 「5.2GHz帯高出力データ通信システム」の技術基準適合証明等を取得した機器を使用。事前に「登録局」の手続きが必要。総務省告示第223号に示す「開設区域」内でのみ利用可能。  
 ※2: TPCを具備しない場合はこの半分とする。

<sup>10</sup> 等価等方輻射電力。アンテナに供給される電力と与えられた方向における送信アンテナの絶対利得との積。

<sup>11</sup> 電波利用ホームページ 無線 LAN の屋外利用について

[https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan\\_outdoor/index.htm](https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan_outdoor/index.htm)

<sup>12</sup> Transmission Power Control の略。通信環境に応じ送信出力を自動的に最大 3dB 低下させる機能。

<sup>13</sup> 電波法施行規則 無線設備規則 [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000635492.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000635492.pdf)



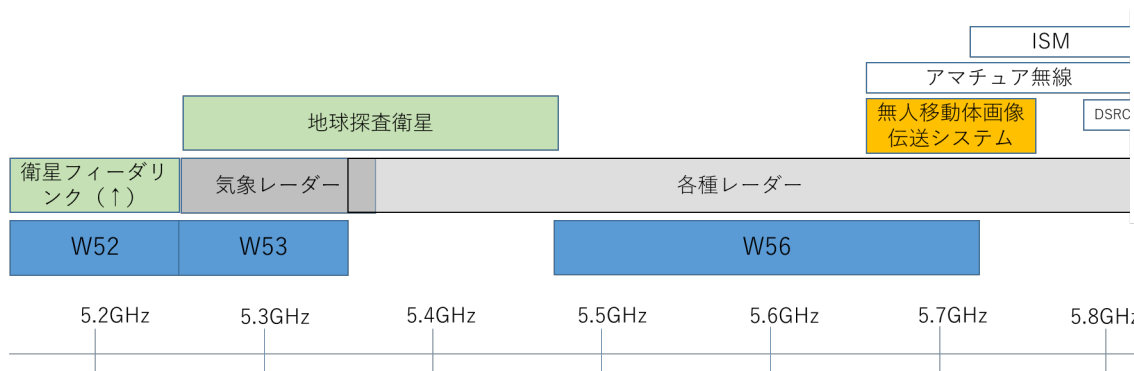
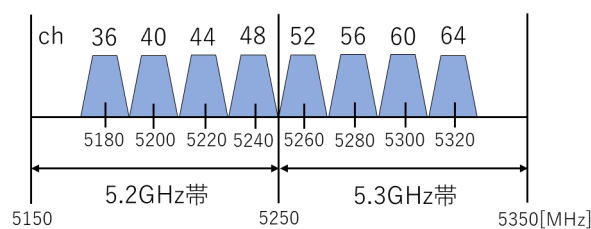


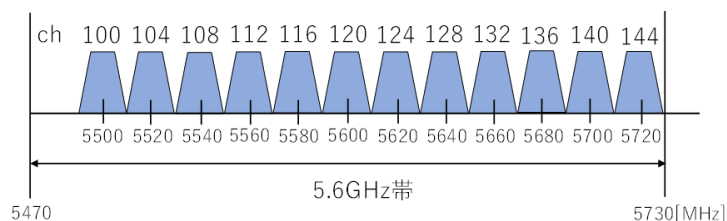
図 2-6 他システムとの共用状況

5GHz 帯無線 LAN のチャンネル配置は図 2-7 の通りである。1 チャンネル 20MHz 幅では W52 及び W53 は 4 チャンネルずつ、W56 は 12 チャンネルある。これらのチャンネルは、図 2-8 に示すように複数のチャンネルを束ねて一つの通信として扱い、スループットを向上させる事ができる(チャンネルボンディングという)。チャンネルボンディングにより、帯域を 40MHz、80MHz、160MHz として使用する事ができる。W52 や W53 の 80MHz 幅と W56 の 80MHz 幅を合わせて 160MHz とする事もできる (80MHz+80MHz という)。80MHz+80MHz の場合、W52/W53 と W56 のうち条件の厳しい基準に合わせるため、これまでは最大 e.i.r.p. が 200mW とされていたが、条件付で W52 の高出力化が認められた事により、W52 と W56 を合わせた 80MHz+80MHz の最大 e.i.r.p. は条件付きで 1W となる。また、144ch が解放された事により、20 MHz 幅のみならず 40MHz (1ch 分)、80MHz (1ch 分)、80MHz+80MHz (3ch 分) のチャンネルが増えた。一方、5GHz 帯においては帯域を広げることでレーダーの周波数と重なる確率が高くなることや、AP が多く設置される場所ではチャンネルが不足する事などから、これまでこの利点を生かしきれなかった側面もある。今後は 802.11ax で導入された BSS カラー<sup>14</sup>により、高密度環境での広帯域利用が促進されることが期待されている。

<sup>14</sup> キャリアセンスにより通信中の電波を検出したとき、カラーコードと呼ばれる識別子により、自身と関係あるものか否かを判定し、送信可否を判定する閾値や自身の出力を制御する技術



(a)5.2/5.3GHz 帯



(b)5.6GHz 帯

図 2-7 5GHz 帯のチャネル配置

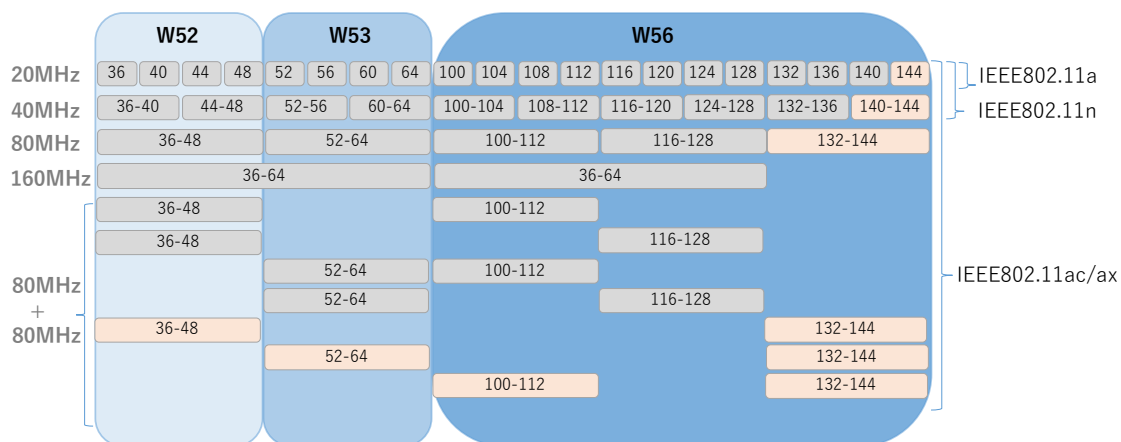


図 2-8 チャネルボンディング

このように、国内では 5GHz 帯無線 LAN について既存周波数の有効利用や周波数拡張が望まれ、W52 の屋外利用及び e.i.r.p.の 1W 化については制度化された。一方 W56 については、制度化された周波数の拡張以外に、使用場所を緩和する方向で上空でも利用可能とする議論が行われたが、無人移動体画像伝送システムとの共用について課題が残され、制度化には至らなかった。

## 2.2.2 国外における 5GHz 帯の技術基準

有限な電波資源を各国が公平かつ合理的に利用できるために、また国境を超える電波が他国の無線局に有害な混信を与えないようにするため、ITU 憲章において基本原則を規定するとともに、補足する業務規則である無線通信規則(RR:Radio Regulations)において細則を規定している。WRC(World Radiocommunication Conference)は、RR の改訂を行うことを目的として 3~4 年ごとに開催されている。RR に基づく 5GHz 帯で利用可能な無線システム及び RR の改訂状況は図 2-9 に示す通りである。2019 年にエジプトで行われた WRC-19 (163 ヵ国参加) では、第 5 世代移動通信システム用周波数の確保や航空・海上分野における新たな衛星通信サービスなど多くの議題が検討されたが、5GHz 帯無線 LAN についても議題があがり、W52 の屋外利用について検討された。すでに屋外解放を可能としている国々と同帯域の衛星フィードリンクへの影響を懸念する国々との間で調整が難航したが、最終的に日本案を基に微修正した形で合意され、RR の改訂が承認された。なお、W53 については改訂を提案する国がなく変更なし、W56 は議論対象外であった。また、次回 WRC-23 で予定されている議題に 5GHz 帯無線 LAN に関するものは含まれていない。

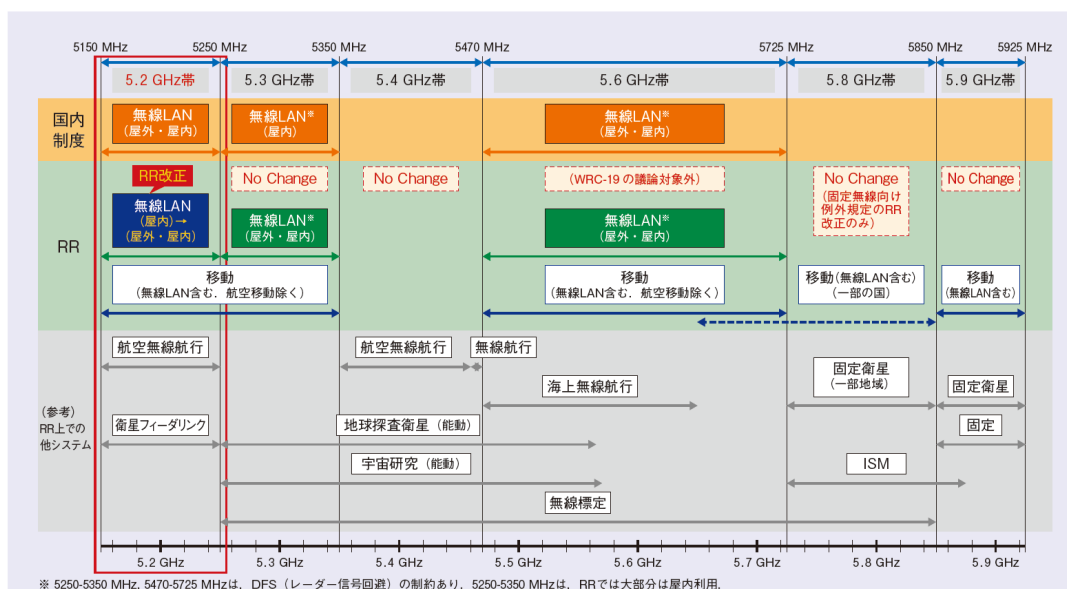


図 2-9 5GHz 帯で利用可能な無線周波数<sup>15</sup>

各国における 5GHz 帯の技術基準は表 2-3 に示す通りである。ここで (a) が米国、(b) が欧州、(c) がカナダ、(d) が韓国、(e) がインドについて示している。

米国では米国連邦通信委員会 (Federal Communications Commission : FCC) が 6GHz

<sup>15</sup> NTT 技術ジャーナル, WRC-19 ・ ITU-R における 5 GHz 帯無線 LAN 制約緩和の国際条約改正の取り組み, 2020 年 4 月

帯（5935MHz～7125MHz）を免許不要帯に割り当てることについて 2018 年 10 月からパブリックコメントを実施し、2020 年 4 月に本規則案を承認した。従来 6GHz 帯は米国では公共安全用通信システムや電力網の管理や監視に使用されていたため、既存のシステム利用者から強い差し止めの申し立てがあったが、2020 年 10 月に、米国裁判所はこの申し立てを却下した。新型コロナウイルス感染症危機の中、多くの国民が大量の帯域幅を消費し、Wi-Fi の需要増に応える結論となっている。

欧州でも同じくこの帯域について検討が行われており、5925～6425MHz について既存システムとの共用検討を実施している。

韓国では W52 は元々屋外利用が可能であるが、2018 年 6 月に最大空中線電力が 50mW から 200mW へ、最大空中線利得が 6dBi から 7dBi へ変更された。また、2018 年 12 月に 5710～5730MHz が無線 LAN 用に開放され、W56 の周波数帯が拡張された。また、インドでは 2018 年 10 月に 5.2/5.3/5.6/5.8GHz 帯（5150～5250MHz、5250～5350MHz、5470～5725MHz 及び 5725～5875MHz）が免許不要帯域として無線 LAN 用に開放された。

表 2-3 各国における 5GHz 帯の技術基準

(a) 米国<sup>2,16,17</sup>

周波数帯[MHz]	5150-5250	5250-5350	5470-5725	5725-5850	5850-5925	5935-7125
屋内限定	なし	なし	なし	なし	5850～5895を 免許不要とし、 5895～ 5925GHzをITS で利用する。	免許不要にす ることを発表。
最大 空中線電力	AP 1W STA 250mW	250mW または 11dBm+10logB	250mW または 11dBm+10logB	1W		
アンテナゲイン	6dBi (PtoMの場合)	6dBi	6dBi	6dBi (PtoMの場合)		
DFS/TPC	不要	必要	必要	不要		
キャリアセンス 方式	規定無し					
バースト長	規定無し					

B = 26 dB emission bandwidth [MHz]

(b) 欧州<sup>2,5,18</sup>

周波数帯[MHz]	5150-5250	5250-5350	5470-5725	5725-5925	5925-6425
屋内限定	あり	あり	なし	ITSとの共用技術を検討中。	EIRP200mW～ 250mWとし、屋 内限定利用で 検討中。高出 力や屋外利用 は免許制度を 検討中。
最大送信電力 (e.i.r.p.規定)	200mW	200mW	1W		
DFS/TPC	不要	必要	必要		
キャリアセンス	規定あり(ETSI標準)				
バースト長	1-10ms(ETSI標準)				

(c) カナダの 5.2GHz 帯 (5150-5250MHz) 高出力無線 LAN の技術基準

	屋外利用	屋内利用	固定利用(Point to point)
空中線電力	1W		
空中線利得	6dBi		23dBi
電力密度	17dBm/MHz		
空中線抑角制限	30度以上最大 e.i.r.p.125mW以下	—	30度以上最大 e.i.r.p.125mW以下
帯域外輻射	-27dBm/MHz(e.i.r.p.)		

<sup>16</sup> FEDERAL REGISTER Use of the 5.850-5.925 GHz Band

<https://www.federalregister.gov/documents/2020/02/06/2020-02086/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

<sup>17</sup> FCNEWS FCC ADOPTS NEW RULES FOR THE 6 GHz BAND, UNLEASHING 1,200 MEGAHERTZ OF SPECTRUM FOR UNLICENSED USE

<https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-363945A1.pdf>

<sup>18</sup> ETSI TR 103 319

[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/103300\\_103399/103319/01.01.01\\_60/tr\\_103319v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103300_103399/103319/01.01.01_60/tr_103319v010101p.pdf)

(d) 韓国<sup>5</sup>

周波数帯[MHz]	5150-5250	5710-5730
屋内限定	なし	
最大空中線電力	200mW	平成30年(2018年)12月に無線LAN用に開放され、5.6GHz帯無線LANの使用周波数が拡張された。
アンテナゲイン	7dBi	

(e) インド<sup>5</sup>

5150-5250	5250-5350	5470-5725	5725-5850
平成30年(2018年)10月に免許不要帯域として無線LAN用に開放された。			

## 2.3 上空における無線利用状況

### 2.3.1 国内の上空における無線利用状況

近年、上空で電波を利用するドローン等の利用ニーズが高まっている。これらに利用される国内の主な無線通信システムを表 2-4 に示す。現在はドローンの操縦・画像伝送には免許が不要な 2.4GHz 帯無線 LAN が最も広く使用されているが、ニーズの高まりに伴い、平成 28 年 8 月に 169MHz 帯、2.4GHz 帯、5.7GHz 帯における無人移動体画像伝送システムが整備された<sup>19</sup>。無人移動体画像伝送システムの利用には無線局免許が必要となり、運用するには JUTM<sup>19</sup>等が行う運用調整が必要となる。そのほか、ドローンに携帯電話を搭載して上空で利用するシステムが、実用化試験局の免許を受けることで試験的に導入されている<sup>20</sup>。

<sup>19</sup> 日本無人機運行管理コンソーシアム(Japan Unmanned System Traffic & Radio Management Consortium)。陸海空無人機で電波管理を含む検討を行う協会。

<sup>20</sup> 総務省 電波利用 HP, 無人航空機における携帯電話等の利用の試験的導入 <https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/uav/>

表 2-4 上空で電波を利用する主なシステム<sup>21</sup>

無線システム	周波数帯	送信出力	伝送速度	利用形態	無線局免許	備考
ラジコン操縦用微弱無線	73MHz帯等	※1	5kbps	操縦	不要	農業散布での利用が主体
無人移動体画像伝送システム	169MHz帯	10mW	～数百kbps	操縦 画像伝送 データ伝送	要※3	平成28年8月に産業利用として制度整備
特定小電力無線局	920MHz帯	20mW	～1Mbps	操縦	不要※2	操縦用として利用
携帯局	1.2GHz帯	1W	(アナログ方式)	画像伝送	要	空撮等の画像伝送利用
小電力データ通信システム	2.4GHz帯 (2400-2483.5MHz)	10mW/MHz (FH方式は 3mW/MHz)	200k～ 54Mbps	操縦 画像伝送 データ伝送	不要※2	ドローンの操縦・画像伝送等で最も広く使用されている無線システム
無人移動体画像伝送システム	2.4GHz帯 (2483.5-2494MHz)	1W	～数十Mbps	操縦 画像伝送 データ伝送	要※3	平成28年8月に産業利用として制度整備
無人移動体画像伝送システム	5.7GHz帯	1W	数十Mbps	画像伝送 データ伝送	要※3	平成28年8月に産業利用として制度整備

※1：500mの距離において、電界強度が200 $\mu$ V/m以下

※2：免許を要しない無線局については、「技術基準適合証明又は工事設計認証」を受けた無線設備を使用する場合に限る

※3：運用調整が必要

一方、無線 LAN に着目すると、上空利用状況は図 2-10 に示す通りである。現在上空で利用できる無線 LAN は 2.4GHz 帯のみであり、5GHz 帯無線 LAN はいずれの周波数帯も利用できない。ただし、航空機内は屋内と同等の遮蔽効果が得られるため、5GHz 帯無線 LAN も利用が可能である。

表 2-4 によると、2.4GHz 帯無線 LAN では最大 54Mbps、無人移動体画像伝送システムの伝送速度は数十 Mbps 程度であり、高速な 5GHz 帯無線 LAN を利用するメリットは大きいと考えられる。

<sup>21</sup> 総務省 HP ドローンで使用されている主な無線通信システム  
<https://www.mlit.go.jp/common/001154535.pdf>

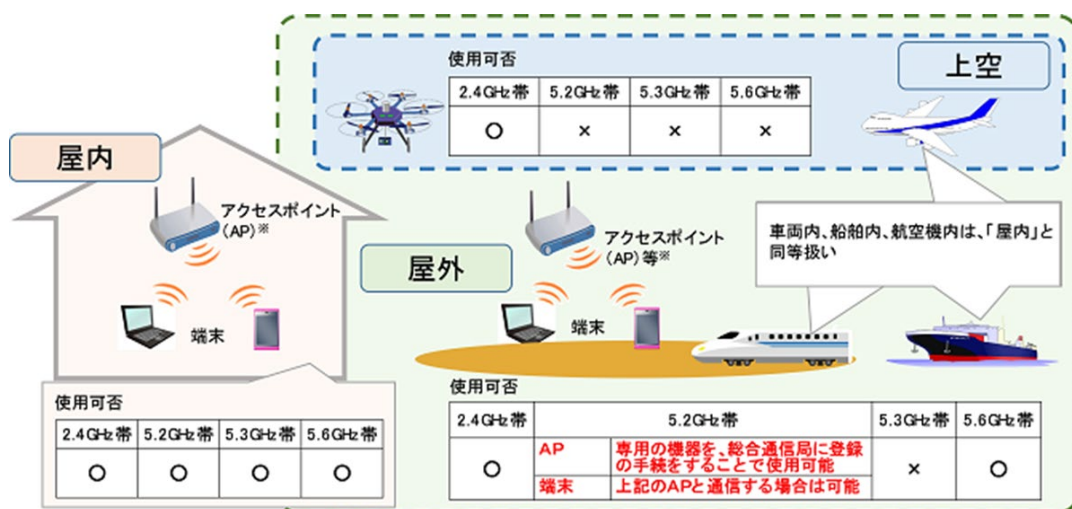


図 2-10 国内無線 LAN の上空利用状況<sup>22</sup>

ドローンの用途としては表 2-5 に示すものがあり、多岐にわたりドローンが期待されていることが分かる。図 2-11 には様々な分野におけるドローン等の利活用のイメージを示す。従来、数日かけて設置した足場や高所作業車を使用して実施されていた点検作業、長距離にわたるインフラ点検などの作業をドローン活用により削減することができる。また、従来では立ち入りの難しい場所も上空から計測でき、大量のデータを短時間で測量する事ができるため、国内でも測量ドローンの需要が高まっている。また、災害時の物資輸送や救助活動などにも活用が期待される。図 2-12 に示すように、インプレス総合研究所の「ドローンビジネス調査報告書 2020」によると、国内におけるドローンビジネスの市場規模は今後 5 年で約 3.3 倍となり、2025 年度には 6427 億円に達すると推計されている。

<sup>22</sup> :総務省電波利用 HP 無線 LAN の屋外利用について  
[https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan\\_outdoor/index.htm](https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan_outdoor/index.htm)



表 2-5 ドローンの用途<sup>23</sup>

大分類	小分類	大分類	小分類
農林水産業	農薬散布	空撮	商業空撮
	精密農業		観光空撮
	害獣対策		不動産空撮
	水産業		ニュース報道
	林業		イベント撮影
土木・建設	工事進捗	搬送・物流	通常搬送
	測量		緊急搬送
点検	橋梁	警備	施設警備
	トンネル・とう道		イベント監視
	ダム	倉庫工場	部品・商品搬送
	送電網		在庫管理
	基地局鉄塔	鉱業	鉱業
	ソーラーパネル点検	計測・観測	環境モニタリング
	屋根	保険	損害保険
	ビル壁面	エンタテインメント	ドローンレース
	下水道		イベント演出
	プラント	通信	基地局・中継局
	風力発電	公共	消防
	建築物設備		災害調査
	船舶	運搬	運搬
	天井・屋根裏空間	その他	その他

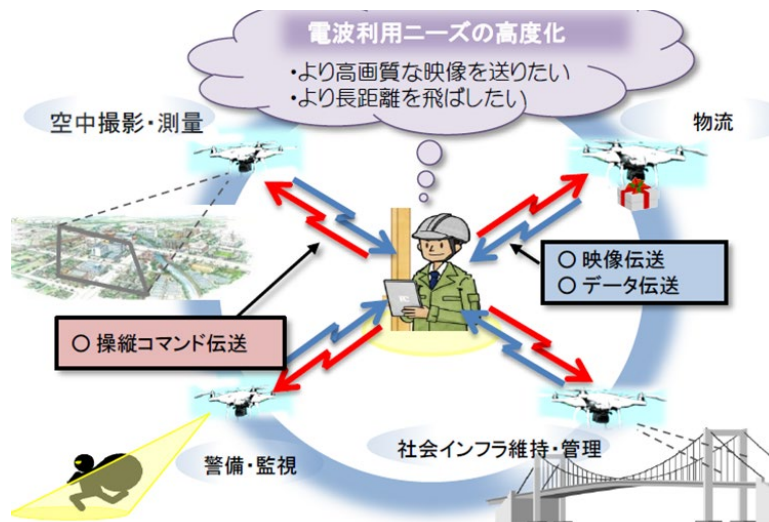
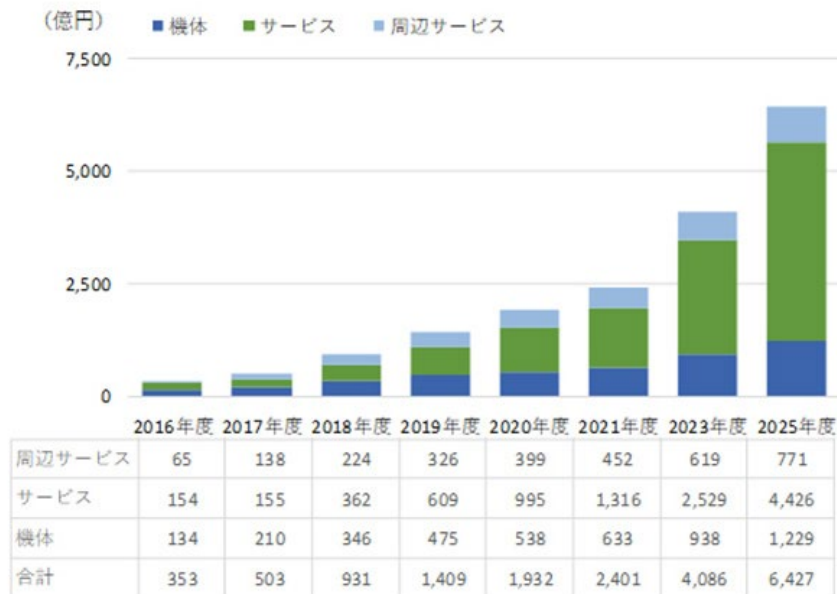


図 2-11 様々な分野におけるドローン等の利活用のイメージ<sup>21</sup>

<sup>23</sup> インプレス総合研究所「ドローンビジネス調査報告書 2020」



出所：『ドローンビジネス調査報告書2020』インプレス総合研究所

図 2-12 国内のドローンビジネス市場規模の予測

安全な運用を前提とした各分野でのドローンの活用が促進されるためには、データ容量の大きい高速通信や長距離通信のための通信システムや高い安全性をもつ機体の開発、法整備等が必要になる。図 2-13 に「小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会」が作成した「空の産業革命に向けたロードマップ 2020」を示す。図より、環境整備、技術開発、社会実装の観点から様々な検討が進められていることが分かる。現在国内では目視外の自動操縦飛行は禁止されているが、まずは 2021 年度までに無人地帯での目視外飛行が可能となるよう整備する事により離島や山間部への物流を可能とし、2022 年度には有人地帯での目視外飛行ができるよう整備する事により都市を含む地域での物流や警備を実現する流れである。

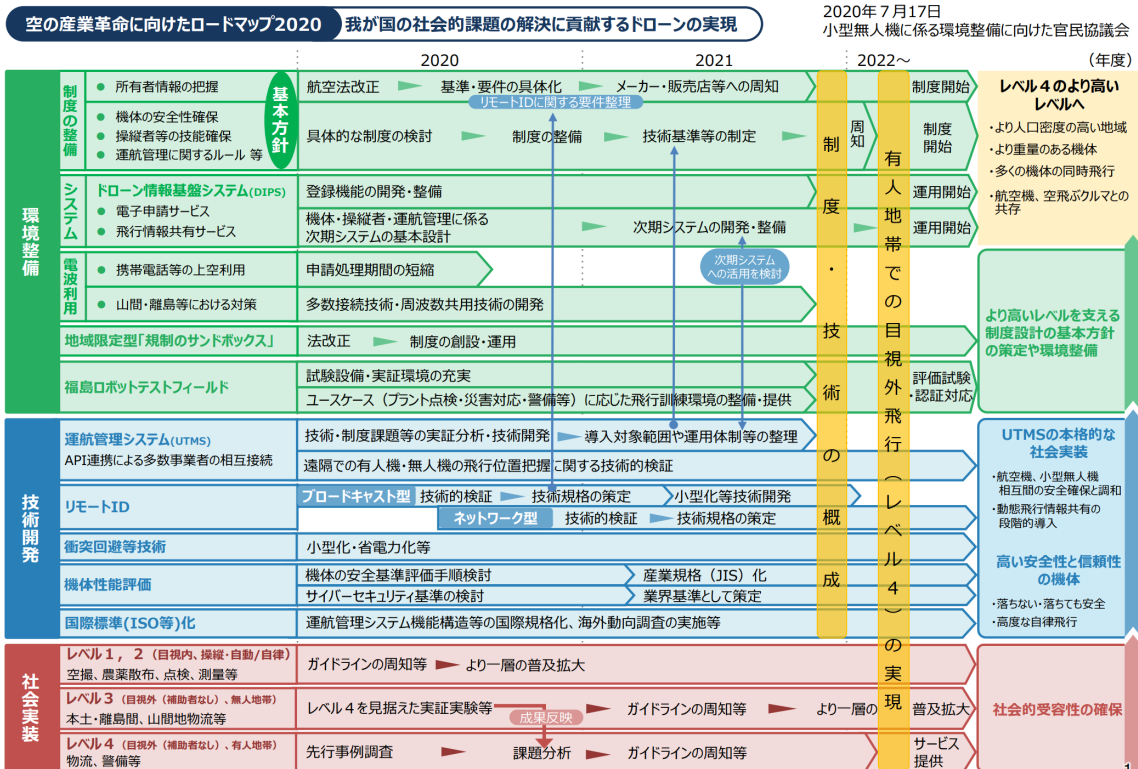


図 2-13 空の産業革命に向けたロードマップ 2020<sup>24</sup>

### 2.3.2 国外の上空における無線利用状況

日本及び国外において、ドローンや農薬散布用ヘリコプター等の無人航空機等が上空で使用している 5GHz 帯の条件を表 2-6 に示す<sup>21,25,26,27</sup>。国外では、ISM（産業科学医療）器機の使用に指定されている周波数帯を使用し、免許不要である。

<sup>24</sup> 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会「空の産業革命に向けたロードマップ 2020 ～我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現～」

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryoku14.pdf>

<sup>25</sup> CFR Title 47 Part 15 Subpart E <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/technologies-systems-and-innovation-division/rules-regulations-title-47>

<sup>26</sup> ECC Report 268 <https://www.ecodocdb.dk/download/efbd2f57-f227/ECCRep268.pdf>

<sup>27</sup> 信部無[2002]277号 <http://www.srrc.org.cn/article1362.aspx>

表 2-6 各国における 5GHz 帯の上空利用状況

	日本		米国	英国	中国
機関	MIC 総務省		FCC 連邦通信委員会	CEPT 欧州郵便電気通信 主管庁会議	SRRC 中国無線電信管理
周波数	5650-5755	5650-5850	5725-5850	5725-5850	5725-5850
無線局免許	携帯局/ 陸上移動局	アマチュア局	不要	不要	不要
無線従事者	第3級陸上 特殊無線技士	アマチュア 無線技士	—	—	—
送信電力	1W以下	2W以下	1W以下	25mW以下	500mW以下
備考	無人移動体 画像伝送システム	業務使用不可			

図 2-14 に世界におけるドローンの市場規模の推移を示す<sup>28</sup>。図によると、今後 5 年間で世界におけるドローン市場は約 2 倍の規模になると予測されている。なかでも欧米及びアジアにおける拡大が著しい。米国では連邦航空局 (FAA) が、民間 3 社に対してドローン配送サービスを開始するための規制空域の許可を与えた。中国では耐風性や防水性に優れたドローン物流システムが実用化されており、食料品や医薬品等の輸送に活用されている。カザフスタンでは新型コロナウイルス感染症による国境封鎖中にドローン警備が行われた。また、海外特有の長距離にわたるインフラの点検作業にドローンが用いられており、数千キロにわたる送電線などを自動で写真を撮影し、AI 分析を経て自動でレポートを作成するシステムが実用化されている。鉱山などでも安全対策としてドローンによる事前調査が行われている。そのほか、米国ではスキーヤー、サーファー等をドローンで牽引するシステムなども特許出願されている。

米国では、地上インフラのみの輸送手段では 2025 年に 1.2 兆ドルの損失に至ると予測しており、上空における輸送等の実現のため、NASA 及び連邦航空局 (FAA) が安全性とセキュリティに必要な技術開発や航空機の自動操縦、運航システムの構築、安全性分析ツールなどの研究を進めている<sup>29</sup>。

<sup>28</sup> DRONEII.COM 「Drone Market Size and Forecast 2020-2025」

<sup>29</sup> ワシントン国際問題研究レポート,空飛ぶクルマに関する全米科学・工学・医学アカデミーの研究レポート,2020年10月 <https://www.jttri.or.jp/document/2020/fujimaki05.pdf>

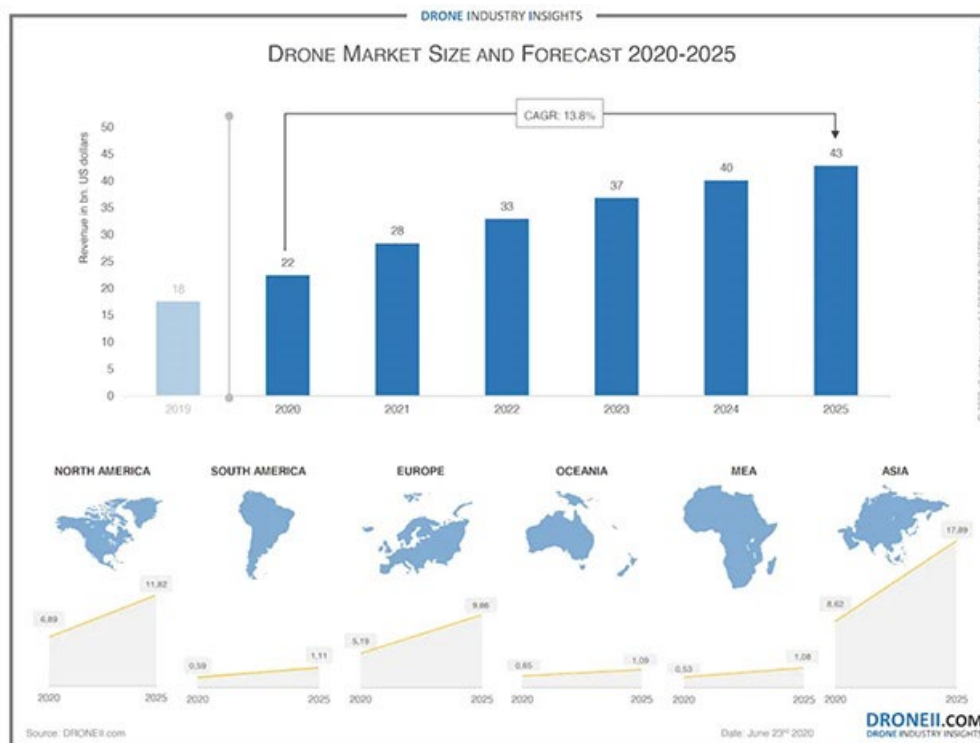


図 2-14 世界におけるドローン市場の推移

## 2.4 W56 の上空利用に関する課題

これまで述べたように、国内外において、上空における無人航空機等を利用した各種伝送の需要は高く、今後急速に拡大していくことが予測される。

国内においては、無人航空機が上空で利用可能となっている無線 LAN の周波数帯は 2.4GHz 帯のみであり、5GHz 帯では航空機内を除いて上空利用は禁止されている。しかし、2.4GHz 帯では、Bluetooth や ISM 機器等の共用により混雑していることなどから、屋外利用が可能となっている W56 を無人航空機等に利用したいというニーズがある。5GHz 帯は 2.4GHz 帯と比べて伝送帯域を広くする事で高速な伝送が可能であり、リアルタイムな画像伝送にも適している。また、免許不要で利用ができる事も 5GHz 帯利用の利点である。

一方で、W56 は DFS 機能の具備により、通信開始前やレーダー波を検知しチャンネル変更した場合に停波されるため、安全性の確保を考慮すると、上空でドローンを遠隔操作する手段としては回避されることが必要という課題がある。

そのほか、W56 と U57 とは図 2-6 に示すとおり周波数を共用している。U57 は W56 との干渉を避けるため、高い周波数から選択する事とされているが、今後 U57 の普及が進み、W56 と同一チャンネルの利用増加に伴う干渉確率の増加も見込まれる。さらに、W56 が U57 の干渉を受けている場合に DFS 機能が働くことについても確認が必要である。ここでは W56 と U57 との相互間における干渉の影響について机上シミュレーション及び実機を用いた評価試験等を行うことで明らかにする。

### 第3章 W56 の上空利用実現に向けた机上シミュレーションによる技術検討

#### 3.1 W56 と U57 の共用検討

##### 3.1.1 システム諸元

表 3-1 に W56 及び U57 のシステム諸元、図 3-1 に両システムの周波数配置を示す。表 3-1 より、U57 は W56 と異なり、空中線電力においてチャンネル帯域による規定はなく最大 1W である。また、U57 は免許を要する無線局であり、他の無線局に混信を与えない運用が義務付けられるため、キャリアセンス機能及び DFS 機能の具備の規定はない。図 3-1 に示したように、両システムは 5650MHz から 5730MHz までの周波数を共用している。

なお、調査検討における W56 の周波数範囲は、H30 年陸上無線通信委員会報告に基づく 5470～5725MHz であるが、机上シミュレーションにおいて考察が可能な場合、5470～5730MHz の周波数について参考まで実施する。

表 3-1 システム諸元

項目	5.6GHz帯無線LAN (W56)		無人移動体画像伝送システム (U57)
送信周波数	5490MHz～5730MHz		5650MHz～5755MHz
チャンネル帯域	20/40/80/160/80+80MHz		5/10/20MHz
空中線電力	システム	電力密度	1W以下
	20MHz システム	10mW/MHz 以下	
	40MHz システム	5mW/MHz 以下	
	80MHz システム	2.5mW/MHz 以下	
等価等方輻射電力	160MHz システム	1.25mW/MHz 以下	—
	20MHz システム	TPC具備: 50mW/MHz以下 TPCなし: 25mW/MHz以下	
	40MHz システム	TPC具備: 25mW/MHz以下 TPCなし: 12.5mW/MHz以下	
	80MHz システム	TPC具備: 12.5mW/MHz以下 TPCなし: 6.25mW/MHz以下	
送信空中線利得	—		6dBi以下
キャリアセンス機能	あり		なし
周波数利用における機能	DFS (Dynamic Frequency Selection)		なし

TPC (Transmission Power Control) : 通信環境に応じ送信出力を自動的に最大3dB低下させる機能

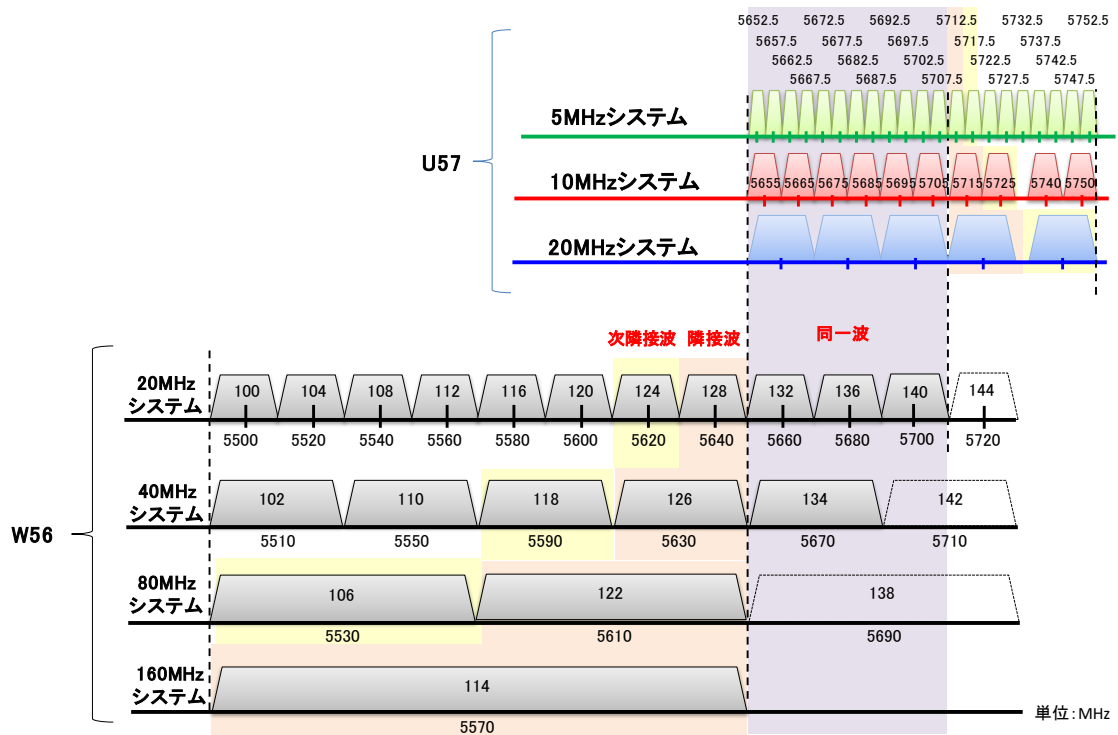


図 3-1 W56 と U57 の周波数配置<sup>30</sup>

<sup>30</sup> 検討対象となる同一、隣接、次隣接チャンネルの組合せ

### 3.1.2 電波伝搬モデルの検討

図 3-2 に伝搬路を代表的な 3 タイプに類型化して示す。(1)の平野部及び海上伝搬路では、直接波が受信電力の大部分を占めるが、反射面が滑らかな大地や水面の場合には強い反射波が受信点に到来する。(2)の都市部においては、建造物の影響が大きく、見通し内では直接波と建物による反射波が到来するが、見通し外では建物による反射波及び回折波が到来する。(3)の山間部では、見通しがとれないため、主に到来するのは回折波であると想定される。

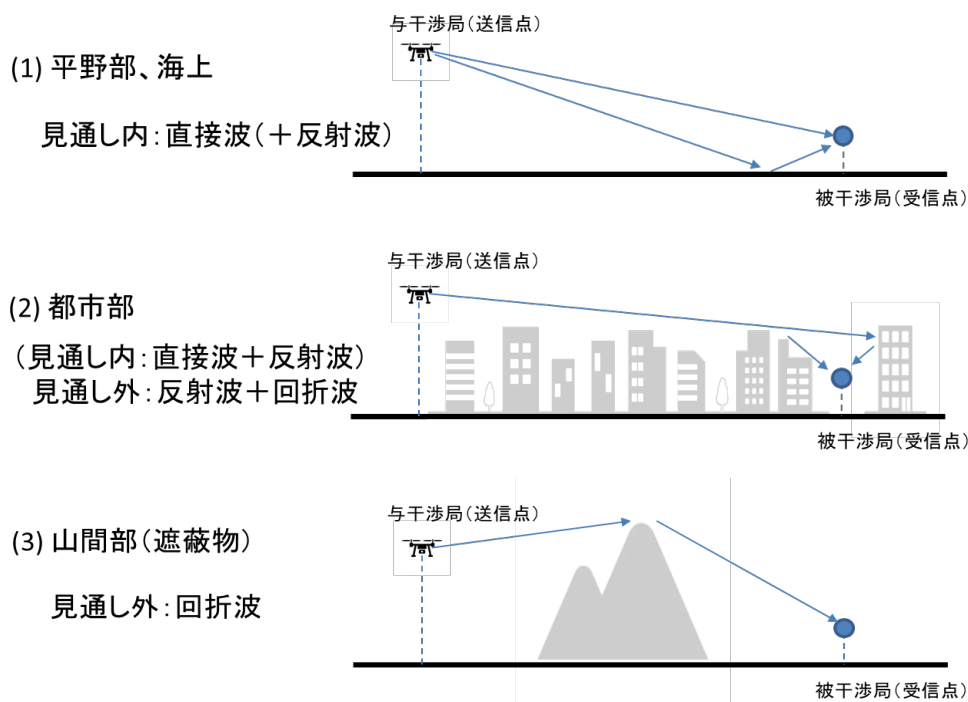


図 3-2 代表的な伝搬路

ここで、都市部における電波伝搬損失算出式としてはいくつかの候補がある。表 3-2 に都市部での代表的な電波伝搬損失算出式とそれぞれの適用条件を示す。表 3-2 より適用周波数に着目すると、5GHz 帯において有効な電波伝搬損失算出式は ITU-R P.1411 と拡張坂上式である。



表 3-2 電波伝搬損失算出式と適用条件<sup>31</sup>

	拡張式	拡張坂上(URSI-F)式	ITU-RP.1411-10 (08/2019)			
伝搬路条件	Over roof top	[Over roof top]	Over roof top			Below roof top
伝搬環境	①市街地 ②郊外地 ③開放地	[Urban, Suburban]	Suburban			Site-general model, LOS,NLOS
			Direct wave dominant region	Reflected wave dominant region	Diffraction wave dominant region	
送受信間距離	[0.1km] ~100km	100m~3,000m	10 m ~5,000m			~3,000 m
周波数	30MHz~3GHz	0.8~8GHz	0.8~38GHz			300MHz~3GHz
基地局ANT高	[30m]~200m	10m~100m	h1: 4~50m (=hr+Δh1[1~100m]) h2: 1~3m (=hr+Δh2[4~10m], Δh2<hr)			1.9~3.0 m
移動局ANT高さ	~200m	1.5~5m				1.9~3.0 m

以上から、図 3-2 に示した代表的な伝搬路について、適用する電波伝搬モデルを表 3-3 に示す。上空におけるドローンとドローンとの間の伝搬路は基本的に見通し内と考えられるため、平野部及び海上伝搬路と同じ伝搬モデルとする。なお、各電波伝搬モデルの算出式は付属資料 4 に示す。

表 3-3 適用する電波伝搬モデル

エリア	適用するモデル	備考
平野部、海上	自由空間損失	ドローン～ドローン間の場合も基本的に見通し内になるため、本タイプを適用 大地反射2波モデルでは平均値を使用
	大地反射2波モデル	
都市部	拡張坂上式	5GHz帯において有効な伝搬損失推定式から選択
	ITU-RP.1411	
山間部(遮蔽物)	ナイフエッジ回折モデル	個別に遮蔽の影響を計算する場合に適用

### 3.1.3 電波伝搬損失特性

図 3-2 で示したように、検討対象周波数は次隣接チャネルを含めて 5490MHz～5755MHz である。これは同一波の中心周波数 5680MHz に対して-3%～+1%の範囲である。いずれの電波伝搬モデルを用いても、電波伝搬損失の周波数による違いは 50km の自由空

<sup>31</sup> 富士通株式会社「カバーエリア及び調整対象区域の算出方法について」、新世代モバイル通信委員会ローカル 5G 検討作業班会合資料 10-3, 2020 年 1 月

間損失で最大約 0.4dB であり十分小さいので、W56、U57 とともに基本的に 5680MHz の周波数を代表として検討を行うこととした。

図 3-3 に、一例として周波数を 5680MHz、与干渉局高度（送信点）を 150m、被干渉局高度（受信点）を 1.5m とした場合の各電波伝搬モデルのシミュレーション結果を示す。なお、回折モデルにおける遮蔽物の高度は 150m、遮蔽物の位置は送受信点の中間点とした。

図 3-3 より、平野部及び海上伝搬路に適用するモデルでは、2 波モデルでの平均値は自由空間よりも電波伝搬損失が小さいことがわかる。都市部に適用するモデルでは、伝搬距離によらず ITU-R P.1411 が拡張坂上式よりも 15dB~20dB 伝搬損失が多い。また、伝搬距離約 1.5km 未満の近距離においては、見通し外の条件で計算している山間部（遮蔽物）の回折モデルでの電波伝搬損失が、全ての電波伝搬モデルの中で最大となる。

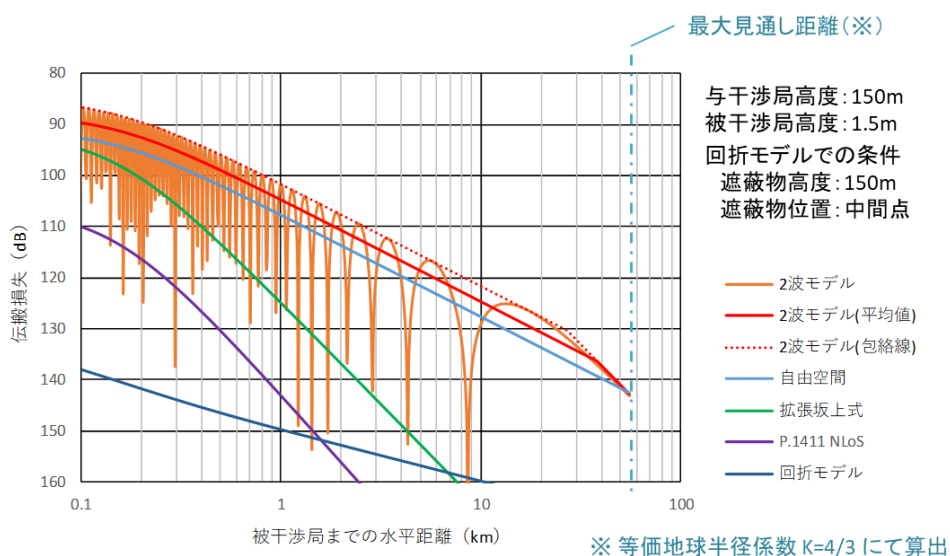


図 3-3 各電波伝搬モデルのシミュレーション結果の例

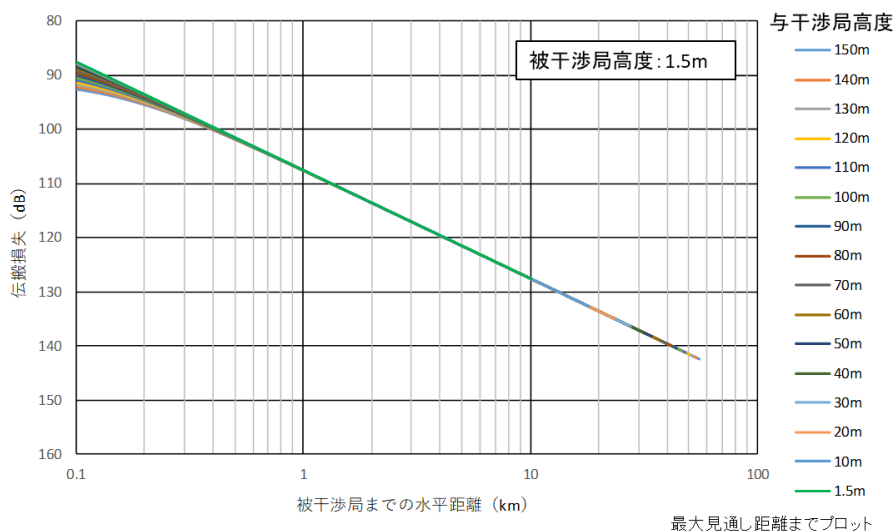
### 3.1.3.1 上空と地上間における電波伝搬損失（平野部、海上）

与干渉局高度（送信点）を変えたときのシミュレーション結果を示す。まず、平野部及び海上伝搬路における電波伝搬損失特性を図 3-4 に示す。ここで (a) は自由空間損失、(b) は 2 波モデルによる計算結果であり、ドローンと地上局間を想定し、被干渉局高度は 1.5m で一定として、与干渉局高度を 1.5m 及び 10m~150m (10m 間隔) と変化させて計算した。

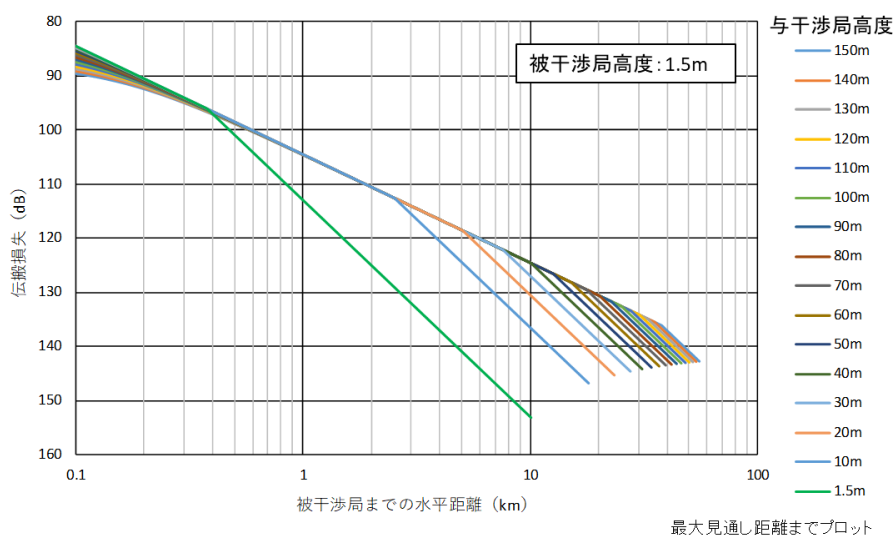
図 3-4 (a) より、近距離では与干渉局高度による伝搬距離の違いの影響が相対的に大きくなるが、水平距離が概ね 400m を超えるところでは、与干渉局高度の違いによる影響はほとんど無視できることが分かる。

図 3-4 (b) より、与干渉局高度が 1.5m のときのブレイクポイントは約 400m であり、与干渉局高度が上がるにつれてブレイクポイントが遠くなっていることが分かる。電波伝搬損失が最小となるのは、与干渉局高度が 1.5m におけるブレイクポイントの距離を境

に、水平距離の短い領域では与干渉局高度が 1.5m のとき、それ以上の水平距離の領域ではほぼ高度 150m のときの特性となる。



(a) 自由空間



(b) 2波モデル

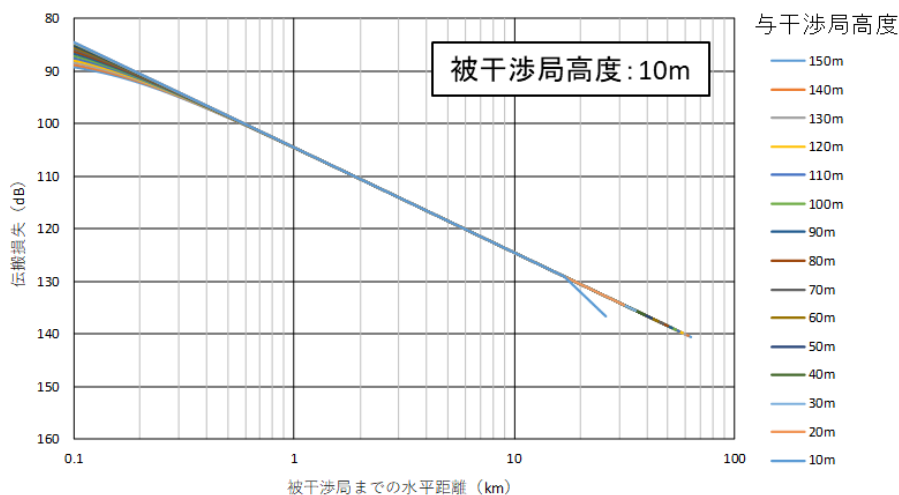
図 3-4 上空→地上における電波伝搬損失特性 (平野部、海上)

### 3.1.3.2 上空相互間における電波伝搬損失 (平野部、海上)

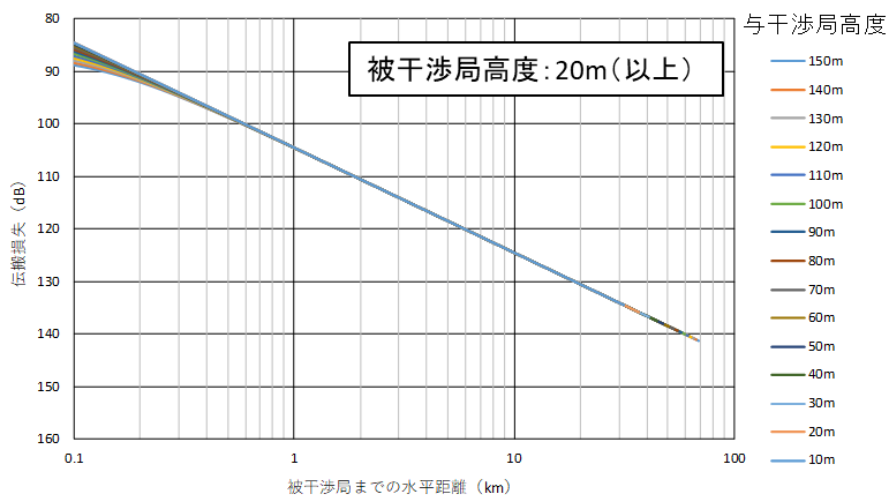
ドローン相互間を想定し、与干渉局高度及び被干渉局高度をともに 10m~150m (10m 間隔) として計算した電波伝搬損失特性を図 3-5 に示す。ここで (a) は、被干渉局高度を 10m で一定として与干渉局高度を変えた場合である。同様に被干渉局高度を 20m~150m (10m 間隔) として計算したがほぼ特性に変化は見られなかったため、(b) に被干渉局高度を 20m

としたときの特性を示す。グラフは等価地球半径  $k$  を  $4/3$  として計算した最大見通し距離までの値をプロットしており、以後の電波伝搬特性に関するグラフでも同様に計算した最大見通し距離までの値をプロットする。

与干渉局高度、被干渉局高度のどちらか一方が  $20\text{m}$  以上であれば、ブレイクポイントは全て最大見通し範囲外となり、水平距離が概ね  $300\text{m}$  を超えるところでは与干渉局高度の違いによる影響はほとんど無視できるといえる。



(a) 被干渉局高度 : 10m



(b) 被干渉局高度 : 20m (以上)

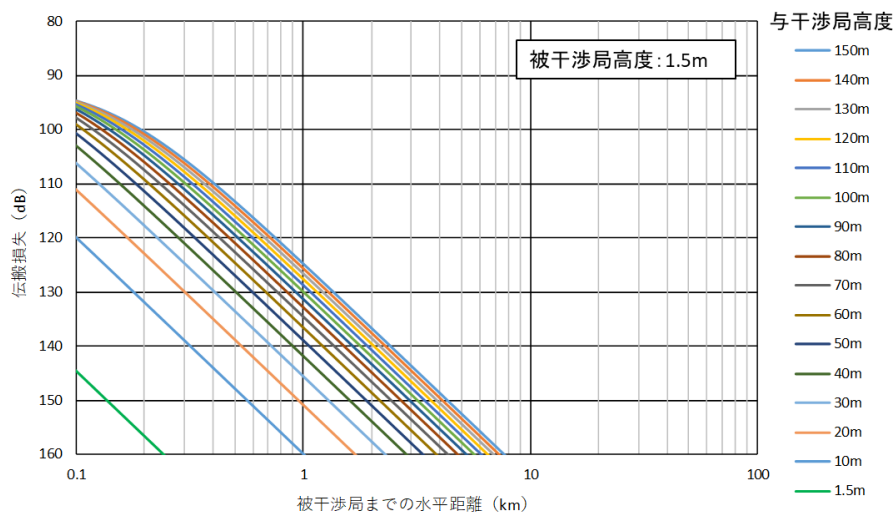
図 3-5 上空→上空における電波伝搬損失特性 (平野部、海上)

### 3.1.3.3 上空地上間における電波伝搬損失 (都市部)

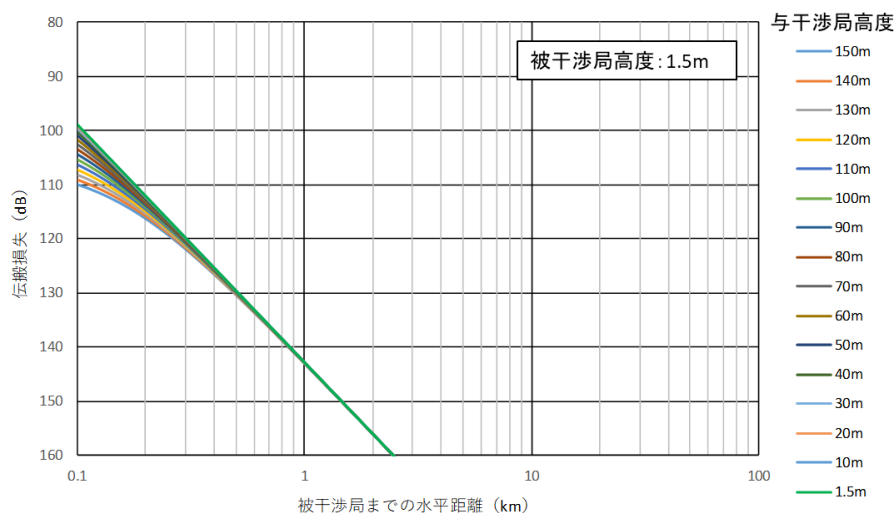
都市部における電波伝搬損失特性を図 3-6 に示す。ここで (a) が拡張坂上式、(b) が ITU-R P.1411 による計算結果である。いずれもドローンと地上局間を想定し、被干渉局高度を  $1.5\text{m}$  で一定とし、与干渉局高度を  $1.5\text{m}$  と  $10\text{m} \sim 150\text{m}$  ( $10\text{m}$  間隔) として計算した。

図 3-6 (a) より、拡張坂上式は、与干渉局高度が高くなると伝搬損失は小さくなることから、実施した計算条件の中では与干渉局高度が 150m のときに伝搬損失が最小となる。また、与干渉局高度が 50m より低い場合には高度の低下に伴い伝搬損失の増加が著しい。

図 3-6 (b) より、ITU-R P.1411 を用いると、近距離では与干渉局高度による伝搬距離の違いの影響が相対的に大きくなる。また、水平距離が概ね 400m を超えるところでは、与干渉局高度の違いによる影響はほとんど無視できる結果となった。



(a) 拡張坂上式



(b) ITU-R P.1411

図 3-6 電波伝搬損失特性 (都市部)

### 3.1.3.4 上空地上間における電波伝搬損失 (山間部)

山間部における電波伝搬損失特性の一例を図 3-7 に示す。ドローンと地上局間を想定し、被干渉局高度を 1.5m で一定、与干渉局高度を 10m~150m (10m 間隔) とした。ここでは

遮蔽物の高度は与干渉局高度と同じとし、遮蔽物の位置は与干渉局と被干渉局の中間点として計算した。図 3-7 より、同じ水平距離で比較すると、与干渉局高度及び遮蔽物高度が低くなるにしたがって伝搬損失が小さくなる傾向が表れている。

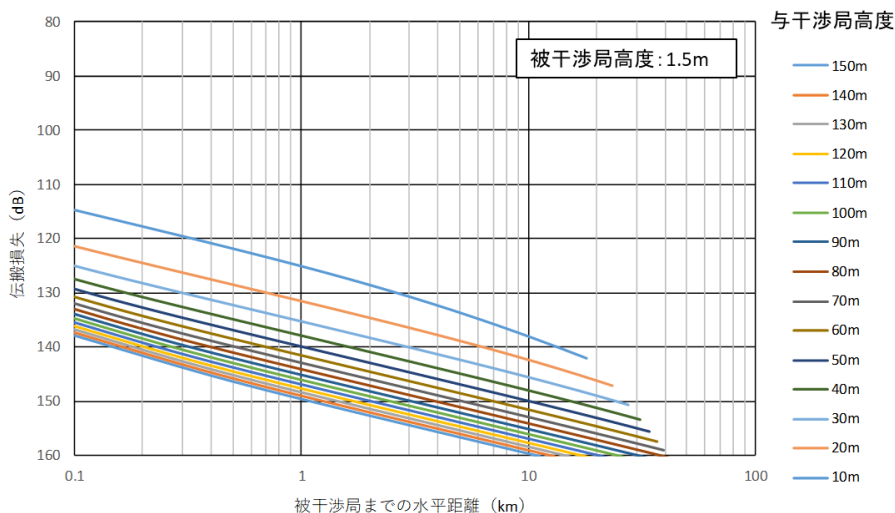


図 3-7 電波伝搬損失特性（山間部）

### 3.1.4 受信感度及び所要 D/U

これまでに示したシステム諸元や電波伝搬モデルを用いて、希望波（Desired Signal : D）に対する妨害波（Undesired Signal : U）の電力比（D/U 比）を計算し、同一チャネルや隣接チャネルにおいて所要改善量や離隔距離がどの程度必要かを求める。D/U 比の定義を図 3-8 に、レベルダイヤを図 3-9 に示す。D/U 比とは D の受信レベルから U の受信レベルを引いた値である。図 3-8 より、D と U が隣接チャネル配置では妨害波が希望波より高いレベルの場合でも許容可能となることがある。また、図 3-9 に示すとおり、受信感度に所要 D/U を加えた値を許容干渉電力といい、妨害波レベルと許容干渉電力との差分を所要改善量という。

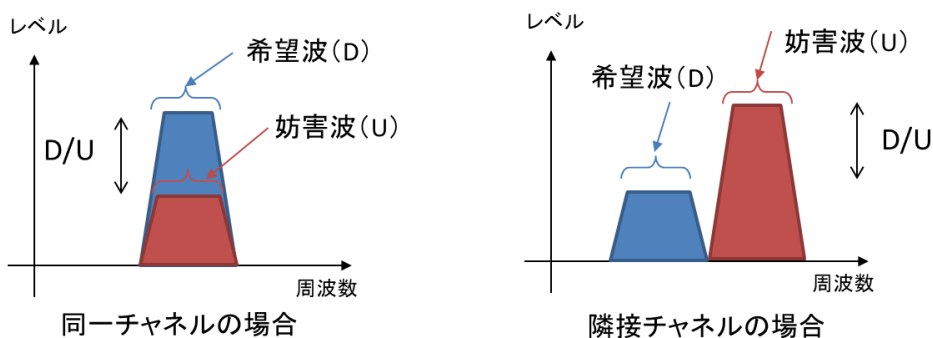


図 3-8 D/U 比の定義

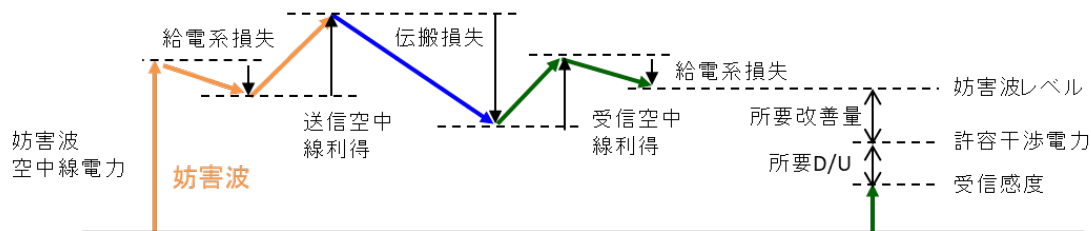


図 3-9 レベルダイヤ

表 3-4 に両システムにおける変調方式ごとの受信感度と所要 D/U の規格値<sup>2,32</sup>を示す。

表 3-4 受信感度・所要 D/U の規格値

変調方式 (coding rate)	U57受信感度(dBm)			W56受信感度(dBm)				所要D/U(dB)		
	5MHz	10MHz	20MHz	20MHz	40MHz	80MHz	160MHz	同一	隣接	次隣接
BPSK(1/2)	-88	-85	-82	-82	-79	-76	-73	10	-16	-32
BPSK(3/4)	-87	-84	-81	-81	-78	-75	-72	11	-15	-31
QPSK(1/2)	-85	-82	-79	-79	-76	-73	-70	13	-13	-29
QPSK(3/4)	-83	-80	-77	-77	-74	-71	-68	15	-11	-27
16QAM(1/2)	-80	-77	-74	-74	-71	-68	-65	18	-8	-24
16QAM(3/4)	-76	-73	-70	-70	-67	-64	-61	22	-4	-20
64QAM(2/3)	-72	-69	-66	-66	-63	-60	-57	26	0	-16
64QAM(3/4)	-71	-68	-65	-65	-62	-59	-56	27	1	-15
64QAM(5/6)	-70	-67	-64	-64	-61	-58	-55	28	2	-14
256QAM(3/4)	—	—	—	-59	-56	-53	-50	33	7	-9
256QAM(5/6)	—	—	—	-57	-54	-51	-48	35	9	-7
1024QAM(3/4)	—	—	—	-54	-51	-48	-45	38	12	-4
1024QAM(5/6)	—	—	—	-52	-49	-46	-43	40	14	-2

許容干渉電力は、表 3-5 に示す条件を用いて計算した。干渉量が最大となるよう、送受信の給電系損失は 0dB としている。W56 の e.i.r.p. は、過去の検討を踏まえて 200mW としたとき (Case 1) と、規格上の最大値である 1W としたとき (Case 2) の 2 通りを計算した。変調方式は最も感度が良い BPSK (1/2) とし、被干渉局の所望信号の帯域幅が干渉波帯域幅より狭い場合は、干渉波電力として被干渉局の所望信号の帯域幅に相当する部分の電力で計算した。各システムの組み合わせにおける計算結果を表 3-6 に示す。

<sup>32</sup> IEEE Draft Standard for Information Technology P802.11ax/D8.0, Oct 2020 の p.684 Table 27-51, p.685 Table 27-52

表 3-5 計算条件

	W56	U57
空中線電力	200mW	1W
e.i.r.p	Case 1: 過去の情報通信審議会答申の検討結果 <sup>2,3</sup> を踏まえ、200mWで計算(付属資料5参照) Case 2: 最大値の1Wで計算	4W
送信給電系損失	0dB	0dB
送信空線利得	Case 1: 0dBi Case 2: 7dBi	6dBi
受信空中線利得	2.14dBi	6dBi
受信給電系損失	0dB	0dB
変調方式	BPSK(1/2)	BPSK(1/2)

表 3-6 対象システムの組み合わせと許容干渉電力

共用対象システムの 組合せ				被干渉						
				W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi		
				20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム
与 干 渉	W 56	20MHz システム 空中線電力 =10mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	-98dBm -72dBm -56dBm	-95dBm -69dBm -53dBm	-92dBm -66dBm -50dBm
		40MHz システム 空中線電力 =5mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	-98dBm -72dBm -56dBm	-95dBm -69dBm -53dBm	-92dBm -66dBm -50dBm
		80MHzシステム 空中線電力 =2.5mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	-98dBm -72dBm -56dBm	-95dBm -69dBm -53dBm	-92dBm -66dBm -50dBm
		160MHz システム 空中線電力 =1.25mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— -72dBm —	— -69dBm —	— -66dBm —
	U 57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	-92dBm -66dBm -50dBm	-89dBm -63dBm -47dBm	-86dBm -60dBm -44dBm	— -57dBm -41dBm	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	-92dBm -66dBm -50dBm	-89dBm -63dBm -47dBm	-86dBm -60dBm -44dBm	— -57dBm -41dBm	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	-92dBm -66dBm -50dBm	-89dBm -63dBm -47dBm	-86dBm -60dBm -44dBm	— -57dBm -41dBm	—	—	—



### 3.1.5 干渉の影響を避ける離隔距離の検討

前項で求めた許容干渉電力から、図 3-10 に示す計算手順により離隔距離を計算した。まず、妨害波 e.i.r.p. を希望波帯域幅での電力に置き換え、受信アンテナ利得も加味した上で電波伝搬損失がないときの受信機に入力される妨害波電力を計算し、許容干渉電力との差（所要改善量）を算出する。次に、距離をパラメータとして該当するモデルでの電波伝搬損失が所要改善量と同じになるよう繰り返し計算を行い、収束した値を離隔距離とした。

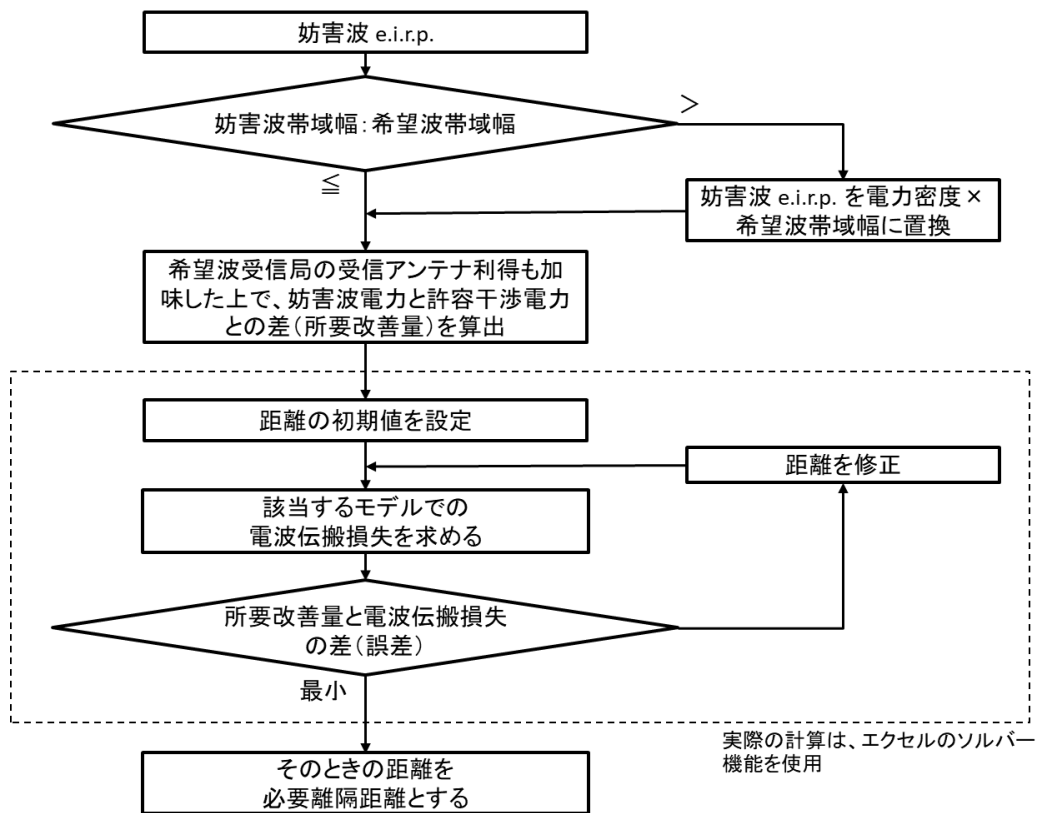


図 3-10 許容干渉電力から離隔距離の計算手順

離隔距離の計算例として、平野部及び海上に適用される自由空間モデルにおいて、W56(20MHz システム)から U57(各システム)へ干渉を与える場合の内訳を表 3-7 に示す。以降の離隔距離の計算結果を示す表には、煩雑を避けるためそれぞれの内訳は示さないが、表 3-7 と同様の処理を行った。

表 3-7 許容干渉電力から離隔距離の計算例

計算例: 平野部、海上(自由空間) W56(20MHzシステム)→U57(各システム)

	項目	W56 (20MHzシステム) →U57 (5MHzシステム)	W56 (20MHzシステム) →U57 (10MHzシステム)	W56 (20MHzシステム) →U57 (20MHzシステム)
妨害波	①空中線電力	10 mW/MHz	10 mW/MHz	10 mW/MHz
	②送信空中線利得	0 dBi(7dBi)	0 dBi(7dBi)	0 dBi(7dBi)
	③給電系損失	0 dB	0 dB	0 dB
	④希望波帯域幅の電力	17 dBm(24dBm)	20 dBm(27dBm)	23 dBm(30dBm)
希望波	⑤受信空中線利得	6 dBi	6 dBi	6 dBi
	⑥給電系損失	0 dB	0 dB	0 dB
許容干渉電力	同一	-98 dBm	-95 dBm	-92 dBm
	隣接	-72 dBm	-69 dBm	-66 dBm
	次隣接	-56 dBm	-53 dBm	-50 dBm
所要改善量 (※1)	同一	121 dB(128dB)	121 dB(128dB)	121 dB(128dB)
	隣接	95 dB(102dB)	95 dB(102dB)	95 dB(102dB)
	次隣接	79 dB(86dB)	79 dB(86dB)	79 dB(86dB)
離隔距離 (※2)	同一	4.72 km(10.6km)	4.72 km(10.6km)	4.72 km(10.6km)
	隣接	0.24 km(0.53km)	0.24 km(0.53km)	0.24 km(0.53km)
	次隣接	0.04 km(0.08km)	0.04 km(0.08km)	0.04 km(0.08km)

(※1) 所要改善量 = (妨害波レベル) - (許容干渉電力)  
 (④+②-③-伝搬損失+⑤-⑥) - (許容干渉電力)  
 (※2) e.i.r.p.200mwモデル、括弧内は1Wモデル

平野部及び海上に適用される自由空間モデルと 2 波モデルについて、W56 の e.i.r.p.が 200mW (Case 1) と 1W (Case 2) のときの必要離隔距離をそれぞれ表 3-8 と表 3-9 に示す。なお、計算結果の詳細は付属資料 6 に示す。

都市部に適用される拡張坂上式と ITU-R P.1411 の式について、W56 の e.i.r.p.が 200mW (Case 1) と 1W (Case 2) のときに計算した必要離隔距離をそれぞれ表 3-10 と表 3-11 に示す。なお、計算結果の詳細は平野部の場合と同様に付属資料 6 に示す。

山間部(遮蔽物)は遮蔽物の位置など一般論で言えないこともあり、ここでは一例として計算した結果を図 3-11 に示す。計算条件は図 3-11 の右側に示すように中間点に遮蔽物がある場合で、高さが同一で 20MHz システム同士とする。このときに、干渉波の受信電力が許容干渉電力である -92dBm になるための遮蔽物の高さに対する必要離隔距離の関係を図 3-11 の左側に示している。山間部(遮蔽物)は回折損失が大きく、自由空間モデルの場合などに比べて離隔距離が小さくなる。

表 3-8 必要離隔距離の計算結果（平野部、海上で Case 1 の場合）

Case1: W56のe.i.r.p.=200mW 自由空間/2波モデル

共用対象システムの 組合せ				被干渉						
				W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi		
				20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=10mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	4.72/6.67km 0.24/0.33km 0.04/0.05km	4.72/6.67km 0.24/0.33km 0.04/0.05km	4.72/6.67km 0.24/0.33km 0.04/0.05km
		40MHz システム e.i.r.p.=5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	3.34/4.72km 0.17/0.24km 0.03/0.04km	3.34/4.72km 0.17/0.24km 0.03/0.04km	3.34/4.72km 0.17/0.24km 0.03/0.04km
		80MHz システム e.i.r.p.=2.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	2.36/3.34km 0.12/0.17km 0.02/0.03km	2.36/3.34km 0.12/0.17km 0.02/0.03km	2.36/3.34km 0.12/0.17km 0.02/0.03km
		160MHz システム e.i.r.p.=1.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.08/0.12km —	— 0.08/0.12km —	— 0.08/0.12km —
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.68/0.96km 0.11/0.15km	9.56/13.5km 0.48/0.68km 0.08/0.11km	6.76/9.57km 0.34/0.48m 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.04/0.05km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.68/0.96km 0.11/0.15km	9.56/13.5km 0.48/0.68km 0.08/0.11km	6.76/9.57km 0.34/0.48m 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.04/0.05km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.68/0.96km 0.11/0.15km	9.56/13.5km 0.48/0.68km 0.08/0.11km	6.76/9.57km 0.34/0.48m 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.04/0.05km	—	—	—

表 3-9 必要離隔距離の計算結果（平野部、海上で Case 2 の場合）

Case2: W56のe.i.r.p.=1W 自由空間/2波モデル

共用対象システムの 組合せ				被干渉						
				W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi		
				20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=50mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	10.6/14.9km 0.53/0.75km 0.08/0.12km	10.6/14.9km 0.53/0.75km 0.08/0.12km	10.6/14.9km 0.53/0.75km 0.08/0.12km
		40MHz システム e.i.r.p.=25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	7.47/10.6km 0.37/0.53km 0.06/0.08km	7.47/10.6km 0.37/0.53km 0.06/0.08km	7.47/10.6km 0.37/0.53km 0.06/0.08km
		80MHz システム e.i.r.p.=12.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	5.28/7.47km 0.26/0.37km 0.04/0.06km	5.28/7.47km 0.26/0.37km 0.04/0.06km	5.28/7.47km 0.26/0.37km 0.04/0.06km
		160MHz システム e.i.r.p.=6.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.19/0.26km —	— 0.19/0.26km —	— 0.19/0.26km —
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.68/0.96km 0.11/0.15km	9.56/13.5km 0.48/0.68km 0.08/0.11km	6.76/9.57km 0.34/0.48m 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.04/0.05km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.68/0.96km 0.11/0.15km	9.56/13.5km 0.48/0.68km 0.08/0.11km	6.76/9.57km 0.34/0.48m 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.04/0.05km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.68/0.96km 0.11/0.15km	9.56/13.5km 0.48/0.68km 0.08/0.11km	6.76/9.57km 0.34/0.48m 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.04/0.05km	—	—	—

表 3-10 必要離隔距離の計算結果（都市部で Case 1 の場合）

Case1: W56のe.i.r.p.=200mW

拡張坂上式/ITU-R P.1411

共用対象システムの 組合せ				被干渉						
				W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi		
				20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=10mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.80/0.32km 0.11/0.08km 0.00/0.04km	0.80/0.32km 0.11/0.08km 0.00/0.04km	0.80/0.32km 0.11/0.08km 0.00/0.04km
		40MHz システム e.i.r.p.=5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.67/0.27km 0.06/0.07km 0.00/0.03km	0.67/0.27km 0.06/0.07km 0.00/0.03km	0.67/0.27km 0.06/0.07km 0.00/0.03km
		80MHz システム e.i.r.p.=2.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.56/0.23km 0.03/0.06km 0.00/0.03km	0.56/0.23km 0.03/0.06km 0.00/0.03km	0.56/0.23km 0.03/0.06km 0.00/0.03km
		160MHz システム e.i.r.p.=1.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.02/0.05km —	— 0.02/0.05km —	— 0.02/0.05km —
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.27/0.13km 0.02/0.06km	1.15/0.44km 0.21/0.11km 0.01/0.05km	0.96/0.38km 0.16/0.10m 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.00/0.04km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.27/0.13km 0.02/0.06km	1.15/0.44km 0.21/0.11km 0.01/0.05km	0.96/0.38km 0.16/0.10m 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.00/0.04km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.27/0.13km 0.02/0.06km	1.15/0.44km 0.21/0.11km 0.01/0.05km	0.96/0.38km 0.16/0.10m 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.00/0.04km	—	—	—

表 3-11 必要離隔距離の計算結果（都市部で Case 2 の場合）

Case2: W56のe.i.r.p.=1W

拡張坂上式/ITU-R P.1411

共用対象システムの 組合せ				被干渉						
				W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi		
				20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=50mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	1.21/0.46km 0.23/0.12km 0.02/0.05km	1.21/0.46km 0.23/0.12km 0.02/0.05km	1.21/0.46km 0.23/0.12km 0.02/0.05km
		40MHz システム e.i.r.p.=25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	1.01/0.39km 0.18/0.10km 0.01/0.04km	1.01/0.39km 0.18/0.10km 0.01/0.04km	1.01/0.39km 0.18/0.10km 0.01/0.04km
		80MHz システム e.i.r.p.=12.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.85/0.34km 0.12/0.09km 0.01/0.04km	0.85/0.34km 0.12/0.09km 0.01/0.04km	0.85/0.34km 0.12/0.09km 0.01/0.04km
		160MHz システム e.i.r.p.=6.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.07/0.07km —	— 0.07/0.07km —	— 0.07/0.07km —
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.27/0.13km 0.02/0.06km	1.15/0.44km 0.21/0.11km 0.01/0.05km	0.96/0.38km 0.16/0.10m 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.00/0.04km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.27/0.13km 0.02/0.06km	1.15/0.44km 0.21/0.11km 0.01/0.05km	0.96/0.38km 0.16/0.10m 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.00/0.04km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.27/0.13km 0.02/0.06km	1.15/0.44km 0.21/0.11km 0.01/0.05km	0.96/0.38km 0.16/0.10m 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.00/0.04km	—	—	—

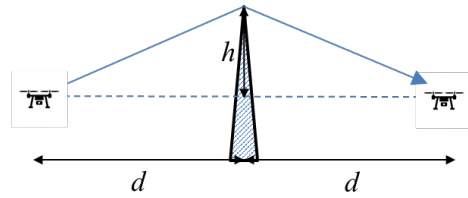
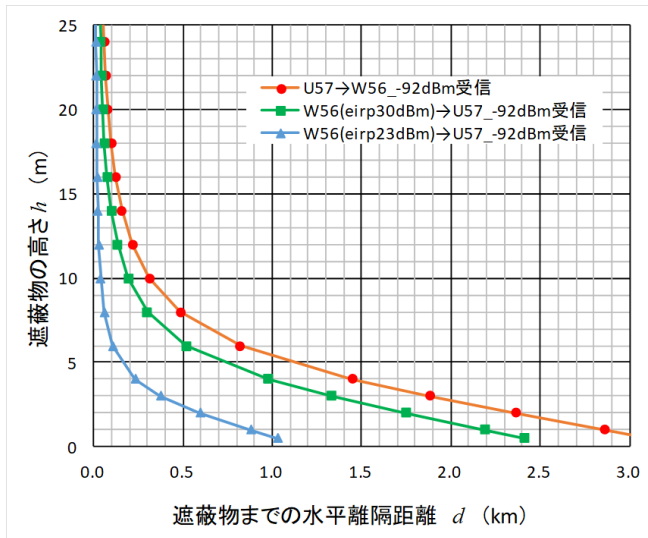


図 3-11 必要離隔距離の計算結果 (山間部 (遮蔽物))

### 3.2 W56 のキャリアセンス及び DFS の有効性検討

W56 にはキャリアセンス及び DFS 機能がある。これらの機能が U57 の信号で必ずしも動作するとは限らないが、仮に動作するとしたときの平野部における動作距離の計算結果を表 3-12 に示す。キャリアセンス発生距離<sup>33</sup>は、既に干渉が発生する距離となる。

表 3-12 キャリアセンス及び DFS の動作距離

項目		U57→W56同一チャンネル干渉	
		自由空間	2波モデル
U57	空中線電力(dBm)	30	
	空中線利得(dBi)	6	
	給電系損失(dB)	0	
W56	空中線利得(dBi)	2.14	
	給電系損失(dB)	0	
キャリアセンス閾値(※1)(dBm)		-72	
キャリアセンス発生距離(km)		1.3	1.9
DFS閾値(※2)(dBm)		-64	
DFS検出距離(km)		0.5	0.8
参考: 前項で算出したW56(e.i.r.p.=200mW)→U57の同一チャンネルでの離隔距離(km)		4.72	6.67

(※1) IEEE 802.11-2012, Annex D D2.5

(※2) 無線設備規則第四十九条の二十第三号ワ及び第四号のロの規定に基づく小電力データ通信システムの無線局の無線設備の技術的条件(平成十九年一月三十一日)(総務省告示第四十八号)

<sup>33</sup> 「ある方式の無線機 A から発せられる無線信号を、無線機 B がキャリアセンスした結果、閾値以上の受信電力が観測され送信を控える条件における無線機 A と B の最大離隔距離」を、当該方式に対する「キャリアセンス発生距離」と定義する。

### 3.3 机上シミュレーション結果のまとめ

平野部・海上、都市部、山間部（遮蔽物）の3タイプに類型化し、それぞれの電波伝搬モデルを検討して電波伝搬損失のシミュレーションを行った。W56とU57相互間の各チャンネルの組み合わせにおいて、受信感度と所要D/Uから干渉波の許容干渉電力を算出し、各モデルの電波伝搬損失特性を用いて必要離隔距離を求めた。必要離隔距離の最大値で考えた場合の距離は、表3-13のようになった。なお、山間部は個別に遮蔽損失を算出しており、距離特性となっていないため、対象外とした。

表 3-13 必要離隔距離の最大値

離隔距離		W56→U57		U57→W56
		e.i.r.p.=200mW	e.i.r.p.=1W	
平野部	同一	6.67km	14.9km	19.1km
	隣接	0.33km	0.75km	0.96km
	次隣接	0.05km	0.12km	0.15km
都市部	同一	0.80km	1.21km	1.37km
	隣接	0.11km	0.23km	0.27km
	次隣接	0.04km	0.05km	0.06km

またW56において、U57の信号でもW56の場合と同様に動作するとしたときの、キャリアセンス距離の計算値は平野部で1.3km（自由空間）／1.9km（2波モデル）となり、これは既に干渉が発生する距離となった。

## 第4章 屋内試験環境における影響評価

### 4.1 試験概要

#### 4.1.1 試験機の概要

表 4-1 に試験機の諸元を示す。(a) が W56 無線機器、(b) が U57 無線機器、(c) が U57 の送信側で使用したカメラ、(d) がその他の装置である。

W56 は上位シェアの無線 LAN チップベンダを具備するメーカーの既製品を用い、親機 (Access Point 以下、AP) 3 機種、子機 (Station 以下、STA) 2 機種 of 計 5 機種を用いた。U57 は利用数の多いシステムから選定し、アナログ 10MHz システム 1 機種、デジタル 20MHz システム 2 機種 of 計 3 機種を用いた。W56 については、チャンネル、変調方式及び符号化率を固定設定できるように、ACK を受信せずにパケットを連続的に送信する機能を具備するよう改造して実験試験局免許を取得した機器を使用した。また、有線接続を可能とするため、アンテナを取り外し可能な構造に改造した。

U57 の送信側で使用したカメラはアナログ無線機及びデジタル無線機に対応したものを選択した。なお、U57 デジタル②用のカメラは送信機と一体型である。

また、ドローンは屋内試験では使用せず、屋外試験において無線機等を搭載する箱を下部へ取り付け、試験に使用した。

表 4-1 試験機の諸元

(a) W56 無線機器

項目	AP1	AP2	STA1	STA2	AP3
メーカー	Netgear	ASUS	Intel	ECS	ELECOM
型番	R7800-100JPS	RT-AC67U	BOXNUC8I3BEH	LIVAQ2-4/64-W10	WRC-2533GST2
無線LANチップ	Qualcomm	Broadcom	Intel	Qualcomm	Mediatek
無線LAN	IEEE802.11ac対応				
送信周波数	5470MHz～5730MHz				
チャンネル帯域	20/40/80/160/ 80+80MHz	20MHz	20/40/80/160/ 80+80MHz	20MHz	20MHz
空中線電力	1.25～10mW/MHz以下				
消費電力	35W		90W	24W	13.2W
サイズ	285×185×50mm	218×45×148mm	110×51×112mm	70×70×34mm	141×37×160mm
重量	840g	650g	1090g	599g	380g
外観					



(b) U57 無線機器

項目	アナログ 10MHzシステム	デジタル 20MHzシステム①	デジタル 20MHzシステム②
メーカー	BODUK	BODUK	DJI
型番	HN1000T	HN800D-TR	Digital FPV System
送信周波数	5655/5675/5695/ 5715/5740MHz	5660/5680/5700/ 5745MHz	5660/5700/ 5745MHz
空中線電力	1W	800mW	150mW
電波型式	F3F	X7W	X7W
変調方式	FM	OFDM	—
送信機サイズ	62 × 41 × 20mm	94 × 55 × 22mm	44 × 38 × 14 mm
送信機重量	55g(本体)	106g(本体)	45.8g(本体)
外観			

(c) U57 の送信側で使用したカメラ

項目	アナログ10MHzシステム用	デジタル20MHzシステム①用	デジタル20MHzシステム②用
メーカー	BODUK	NAGAOKA	DJI
型番	2000TVL	M1034K	Digital FPV System
サイズ	25 x 25 x 25mm	59 × 41 × 25mm	27.4 × 21.1 × 20.1 mm
重量	15g	56g	-
外観			 ※送信機と一体型

(d) その他の装置

項目	ドローン	スペクトラムアナライザ	レーダー発生器
メーカー	A.L.I.	アンリツ	アンリツ
型番	Number ONE ST02	MS2721B	MG3710A
外観			

#### 4.1.2 試験項目

表 4-2 に屋内環境における試験項目を示す。

無線機器の受信感度測定として、W56 は受信機入力に対して PER<sup>34</sup>を測定し、PER=10% となる受信レベルを受信感度とした。IEEE 802.11ax ドラフト<sup>35</sup>において、受信感度を規定する際の基準品質として PER=10%を満足することが用いられており、これを採用した。PER 測定におけるパケット長は 1024 バイトである。また、U57 は市販品であり、データ通信用インタフェースがないため、映像を送信して試験を行った。U57 においては受信機入力に対する画像品質の判定を行い、画像が乱れる受信レベルを受信感度とした。W56 と U57 との相互間におけるチャネル干渉試験では、希望波レベルを受信感度から +3dB となる値に設定し、希望波に対する妨害波のレベルを変化させた場合における所要 D/U を測定した。そのほか、U57 に対する W56 のキャリアセンス及び DFS 機能の確認と、U57 による妨害波入力時における DFS 機能の確認を行った。

各試験項目の試験構成および試験手順を次項に示す。

表 4-2 試験項目

項番	試験項目	内容
1.	無線機器の受信感度	各無線装置の受信機入力対PER、画像品質の測定
2.	チャネル干渉試験(W56→U57)	希望波に対する妨害波のレベルを変化させた場合における所要D/Uの測定
3.	チャネル干渉試験(U57→W56)	希望波に対する妨害波のレベルを変化させた場合における所要D/Uの測定
4.	キャリアセンス・DFS機能の確認	U57に対するW56のキャリアセンス・DFS機能の確認
5.	妨害波入力時におけるDFS機能の確認	U57による妨害波入力時におけるDFS機能の確認

#### 4.1.3 試験方法

##### 4.1.3.1 受信感度測定

図 4-1 に受信感度測定における試験構成を示す。試験手順は以下の通りである。

###### 【試験手順】

- ①送信機と受信機とをアッテネータを介してケーブルで接続する。
- ②可変アッテネータを用いて受信機の入力レベルを調整し、W56 においては PER=10% となる受信レベル、U57 においては、映像が乱れる受信レベルを確認する。

<sup>34</sup> Packet Error Rate の略。送信したパケット数に対してエラーとなり、受信できなかったものの割合を示すもの。

<sup>35</sup> IEEE Std. P802.11ax/D8.0, p.684, "27.3.20.2 Receiver minimum input sensitivity"

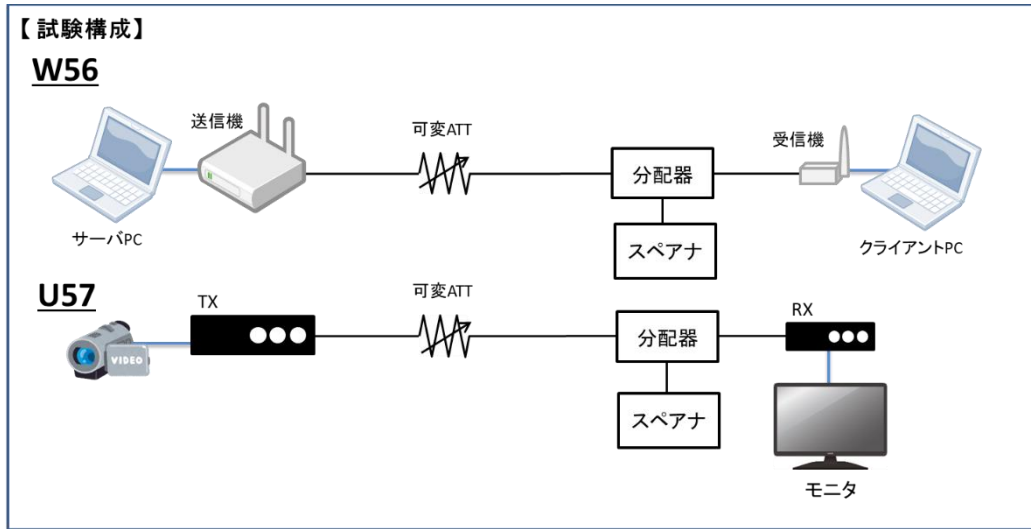


図 4-1 受信感度測定における試験構成

#### 4.1.3.2 チャンネル干渉試験 (W56→U57)

図 4-2 にチャンネル干渉試験 (W56→U57) における試験構成、図 4-3 にチャンネル干渉試験における試験構成外観写真を示す。試験手順は以下の通りである。

**【試験手順】**

- ①U57 の送信機 (以下、Tx) から映像を送信し、モニターに表示されることを確認する。
- ②Rx における希望波の受信レベルは受信感度+3dB となるよう、可変アッテネータで調整する。
- ③W56 を送信状態にし、U57 が干渉を受ける妨害波レベルを確認する。

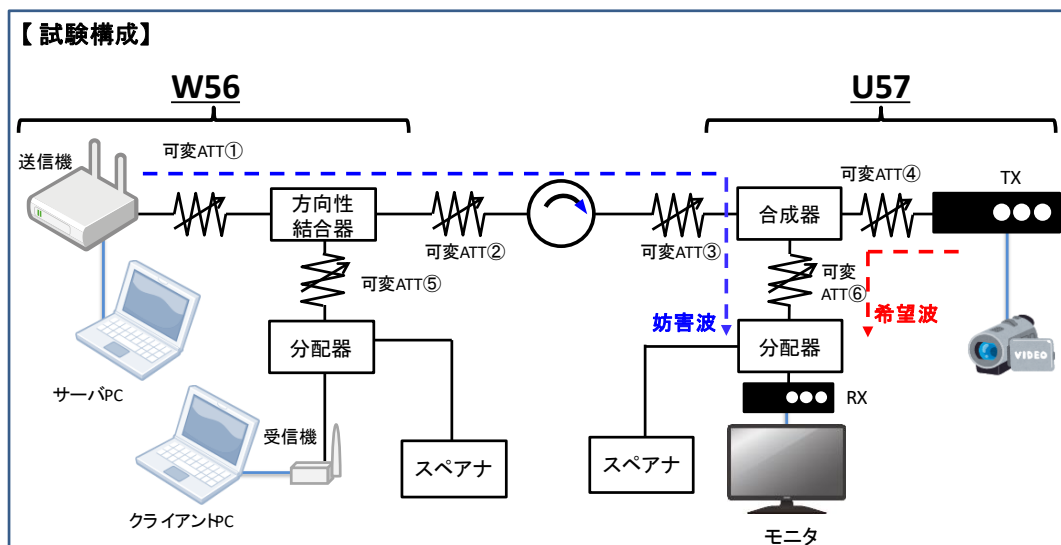


図 4-2 チャンネル干渉試験 (W56→U57) における試験構成

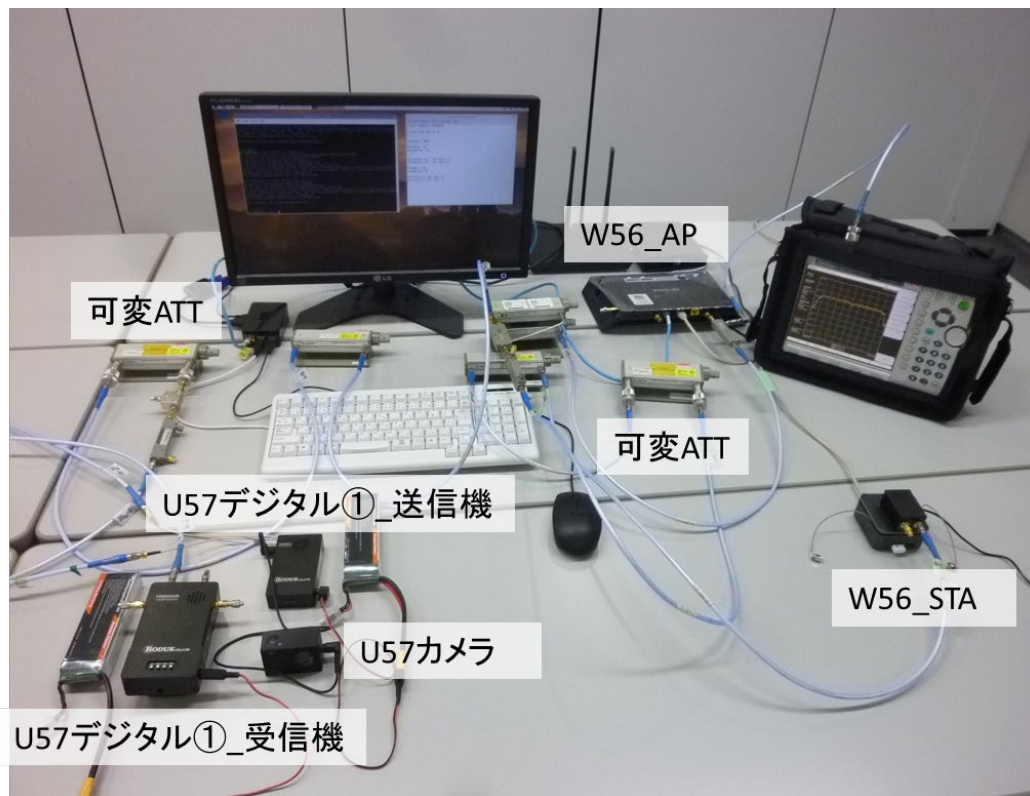


図 4-3 試験構成外観写真 (チャンネル干渉試験)

#### 4.1.3.3 チャンネル干渉試験 (U57→W56)

図 4-4 にチャンネル干渉試験 (U57→W56) における試験構成を示す。試験手順は以下の通りである。

**【試験手順】**

①W56 の送信機からパケットを送信し、受信機でパケットをキャプチャーして接続を確認する。

②受信機の受信レベルは受信感度+3dB となるよう可変アッテネータで調整する。

③U57 を送信状態にし、W56 が干渉を受ける (PER=10%) 妨害波レベルを確認する。

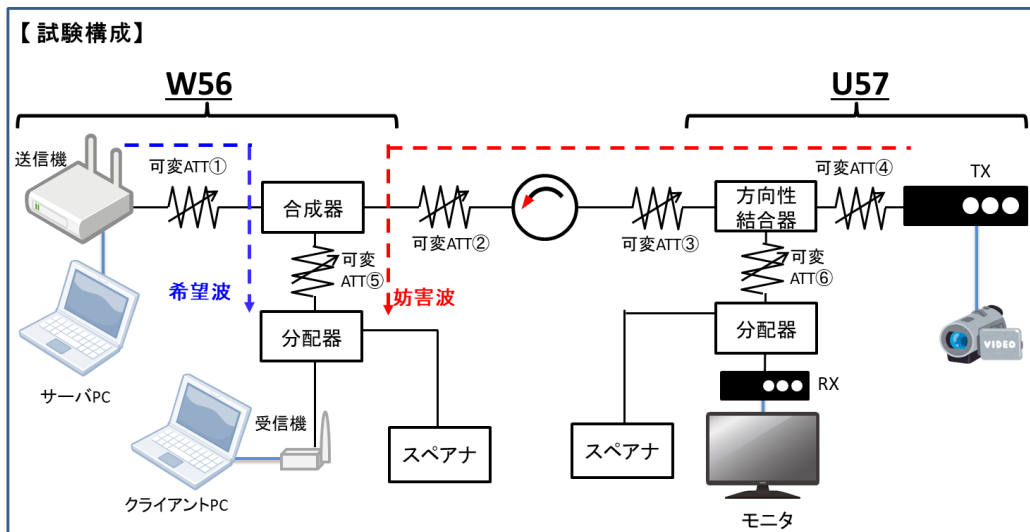


図 4-4 チャンネル干渉試験 (U57→W56) における試験構成

#### 4.1.3.4 キャリアセンス・DFS 機能の確認

図 4-5 にキャリアセンス・DFS 機能の確認における試験構成を示す。試験手順は以下の通りである。

##### 【試験手順】

- ①W56 の親機 (以下、AP) と子機 (以下、STA) の接続を確立 (高い受信レベル) し、パケットを送信する。
- ②W56 の AP から電波が送信されていることをスペクトラムアナライザで確認する。
- ③U57 の送信機 (Tx) から送信された信号が受信機 (Rx) で受信され、モニターに映像が表示されることを確認
- ④可変アッテネータ②を調節し、W56 の AP から送信されなくなる閾値を確認する。U57 からの入力レベルを記録する。
- ⑤可変アッテネータ②を調節し、W56 の AP から送信されなくなった状態から U57 の電波を停止後に同一チャンネルで 30 分間発射しないようになる閾値を確認する。U57 からの入力レベルを記録する。

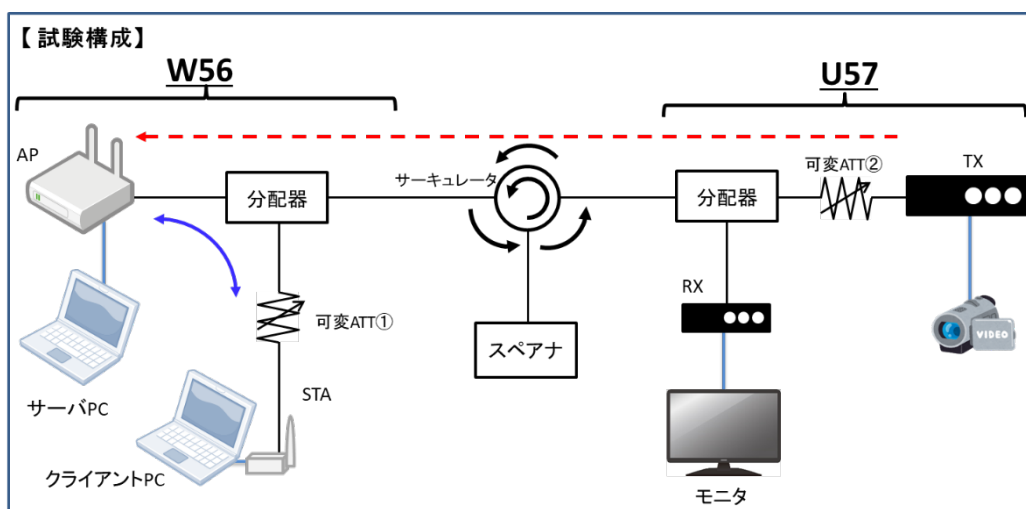


図 4-5 キャリアセンス・DFS 機能の確認における試験構成

#### 4.1.3.5 レーダー信号に対する DFS 機能への妨害波の影響の確認

図 4-6 に妨害波入力時におけるレーダー信号に対する DFS 機能の確認での試験構成を示す。試験手順は以下の通りである。

##### 【試験手順】

- ① W56 の AP と STA の相互間でパケットを送受信し、AP でパケットをキャプチャーして接続を確認する。
- ② U57 を送信状態にし、W56 の AP が干渉を受ける (PER=10%) よう可変アッテネータで妨害波のレベルを調整する。
- ③ レーダー信号発生器により、W56 の DFS の技術基準にあるレーダーパルスを発生させ、規定入力レベルで AP に入力する。
- ④ 疑似レーダーパルスの検出の有無をスペクトラムアナライザで確認する。レーダーパルスは任意のパタンを選択する。
- ⑤ ③④を 20 回繰り返す、検出確率を算出する。

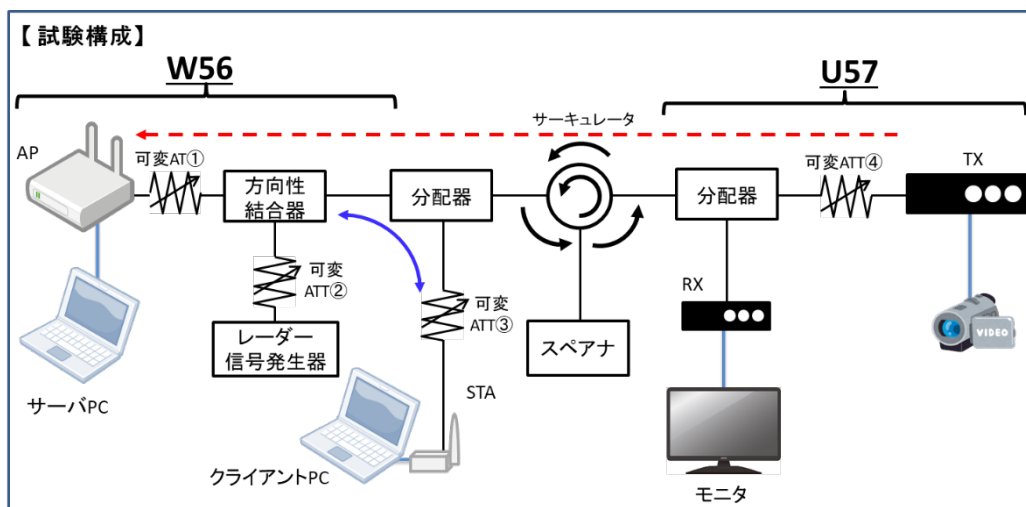
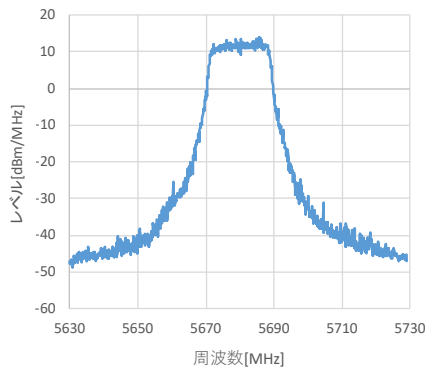


図 4-6 妨害波入力時における DFS 機能の確認

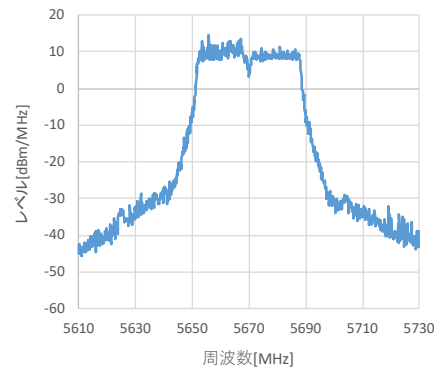
## 4.2 試験結果

### 4.2.1 各無線機の送信波形と時間変動

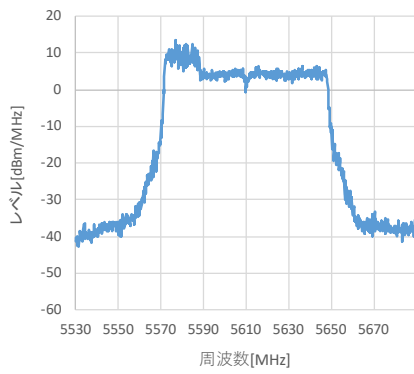
まず、各無線機の動作状態を確認するため、送信波形と時間変動を観測した。図 4-7 に W56 無線機の代表として AP1 の 20MHz、40MHz、80MHz、160MHz 各システムの送信スペクトラムを示す。U57 無線機の測定を含め、スペクトラムアナライザをマックスホールドにして測定している。図 4-7 (b) ~ (d) において周波数の低い領域で 20MHz にわたりレベルの高い傾向が見られるが、これは他の W56 無線機 (AP2、AP3、STA1、STA2) においても同じ結果であった。これは、周波数の低い 20MHz の領域でビーコンフレームを送信しているためである。図 4-8 に W56 無線機 (AP1) の送信時間変動を示す。スペクトラムアナライザを 0 スパンにして測定している。それぞれバースト的な送信になっていることがわかる。図 4-9 に U57 無線機の送信スペクトラムを示す。図 4-9 (a) のアナログ 10MHz システムは FM 変調であり、他のデジタルシステムと波形が異なり尖頭電力が高い。図 4-9 (b)、(c) と図 4-7 (a) W56 無線機を比べると、U57 無線機の方がチャンネルの切れが良く隣接チャンネルへの漏洩電力が少ない。図 4-10 に U57 無線機の送信時間変動を示す。図 4-10 (a) のアナログ 10MHz システムは連続波送信となっており、他のデジタルシステムはバースト的な送信になっている。



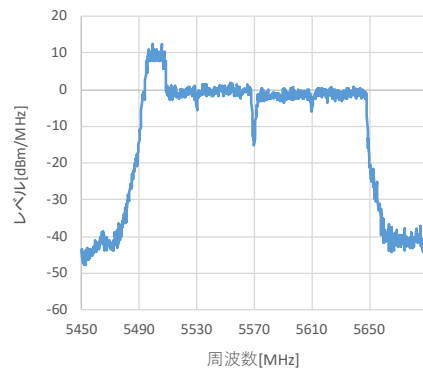
(a) 20MHz システム



(b) 40MHz システム

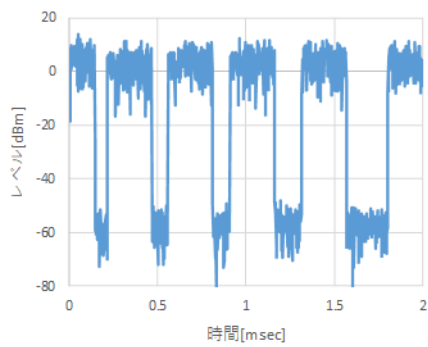


(c) 80MHz システム

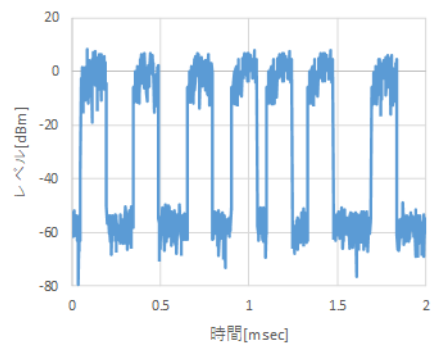


(d) 160MHz システム

図 4-7 W56 の送信スペクトラム (AP1)

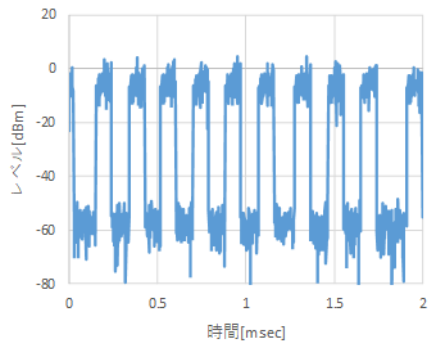


(a) 20MHz システム

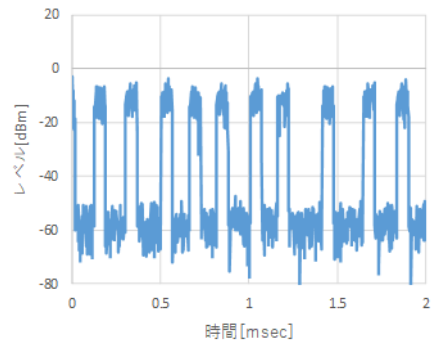


(b) 40MHz システム



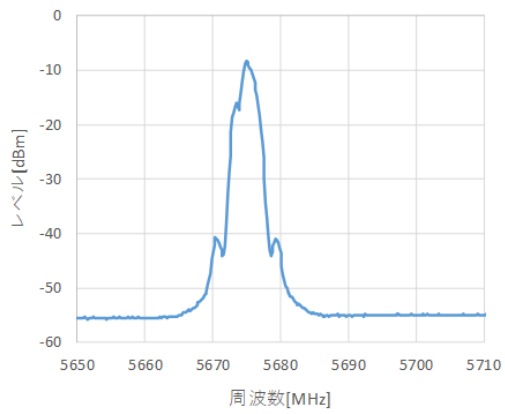


(c) 80MHz システム

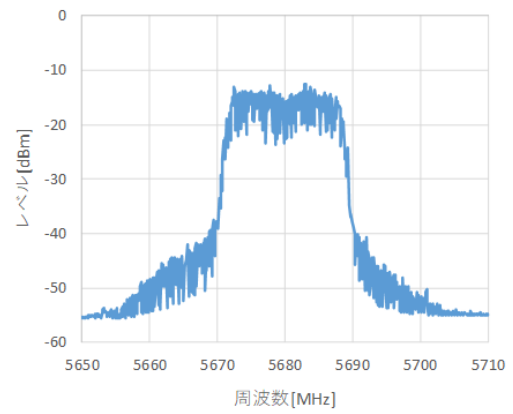


(d) 160MHz システム

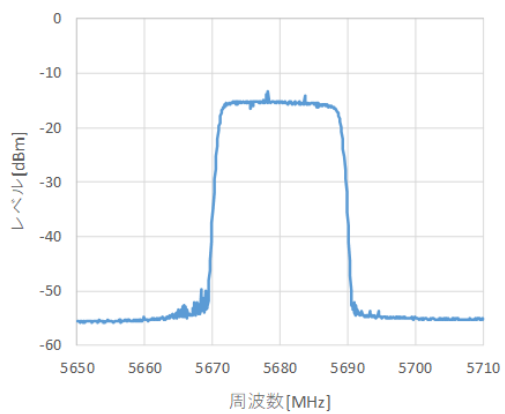
図 4-8 W56 の送信時間変動 (AP1)



(a) アナログ 10MHz システム

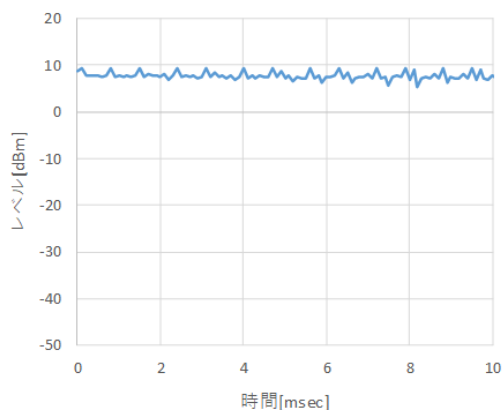


(b) デジタル 20MHz システム①

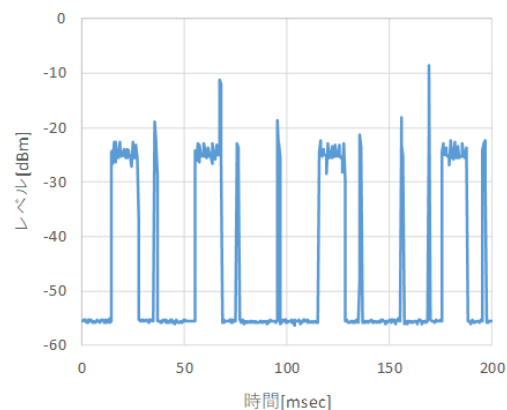


(c) デジタル 20MHz システム②

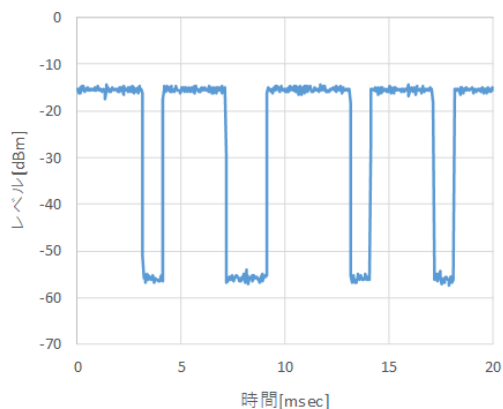
図 4-9 U57 の送信スペクトラム



(a) アナログ 10MHz システム



(b) デジタル 20MHz システム①



(c) デジタル 20MHz システム②

図 4-10 U57 の送信時間変動

#### 4.2.2 受信感度測定

表 4-3 に受信感度測定結果を示す。ここで (a) が W56 無線機の受信感度、(b) が U57 無線機の受信感度である。(a) には規格値<sup>32</sup>も併記する。表 4-3 (a) より、W56 において全体的に測定値は規格値と同等もしくは良好な値であった。規格値は最小限満足する条件であり、実機の方が規格値よりも感度が良いと考えられる。周波数帯域に着目すると、帯域が広がるに従って受信感度は悪くなり、16QAM で比較すると 20MHz では-75dBm であるのに対して 160MHz では-64dBm と 11dB の差が見られた。変調方式に着目すると、変調方式が高度になるほど受信感度が悪くなり、帯域 20MHz で比較すると BPSK で-83dBm であるのに対して、64QAM では-68dBm と 15dB の差が見られた。無線機間で比較すると、AP1 と STA2 の受信感度がその他の無線機と比べて良い結果となった。表 4-3 (b) より、U57 の受信感度は-81dBm～-88dBm であった。

表 4-3 受信感度

(a) W56 無線機の受信感度

W56 受信感度 [dBm]	STA1									
	20MHz				40MHz		80MHz		160MHz	
	BPSK	QPSK	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM
測定値	-83	-81	-75	-68	-67	-63	-64	-60	-64	-52
規格値	-81	-77	-70	-64	-67	-61	-64	-58	-61	-55

W56 受信感度 [dBm]	AP1		AP2		AP3		STA2	
	20MHz		20MHz		20MHz		20MHz	
	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM
測定値	-77	-68	-70	-66	-70	-63	-76	-68
規格値	-70	-64	-70	-64	-70	-64	-70	-64

(b) U57 無線機の受信感度

U57 受信感度 [dBm]	アナログ10MHz	デジタル20MHz①	デジタル20MHz②
	-87	-88	-81

#### 4.2.3 チャンネル干渉試験結果

##### 4.2.3.1 チャンネル干渉試験結果 (W56→U57)

図 4-11 に U57 の入力信号へ W56 から与えた干渉が発生した際の画像の変化を示す。上段の画像は干渉していない場合、下段の画像は干渉した場合を表している。画像は、パソコンのモニタに表示した時計をカメラで写し、U57 無線機で送信、受信してパソコンで記録したものである。無線機それぞれに異なるカメラが接続されているため、各無線機によって試験画像の見え方は異なる。U57 アナログにおいては干渉が起こると白線が現れ、U57 デジタル①では干渉が起こるとブロックノイズが発生した。U57 デジタル②では干渉が起こると線やブロックノイズが発生した。これらの変化を確認して被干渉画像の品質を判断した。

	U57アナログ	U57デジタル①	U57デジタル②
干渉なし			
干渉あり			
状況	白線が現れる	ブロックノイズが発生する	線やブロックノイズが発生する

図 4-11 各無線機における干渉発生時の画像比較

表 4-4 に被干渉画像の評価尺度を示す。上記に示したようにそれぞれの無線機に対応する画像の乱れの有無によって妨害を判断し、評価尺度 4 を許容可能とし、その際の D/U を所要 D/U とした。

表 4-4 被干渉画像の評価尺度<sup>36</sup>

評点	Impairment scale	妨害の尺度
5	Imperceptible	妨害がわからない
4	Perceptible, but not annoying	妨害がわかるが気にならない
3	Slightly annoying	妨害が気になるが邪魔にならない
2	Annoying	妨害が邪魔になる
1	Very annoying	妨害がひどくて邪魔になる

表 4-5 に U57 が W56 から干渉を受けた場合における所要 D/U の試験結果を示す。同一と次隣接においては、W56 と U57 とのいずれの組合せにおいても同等の試験結果となり、同一チャンネルでは所要 D/U が-1dB～3dB、次隣接チャンネルでは所要 D/U が-48dB～-43dB の範囲となった。隣接チャンネルでは U57 無線機による違いが見られ、アナログ無線機の所要 D/U が-8dB～-18dB であるのに対して、デジタル無線機の所要 D/U は-36～-38dB と 20dB 以上高い値であった。U57 のアナログ無線機は、デジタル無線機と比較して隣接チャンネルの妨害波からの影響を受けやすい傾向であるといえる。

<sup>36</sup> Recommendation ITU-R BT.500-14 Oct 2019

表 4-5 所要 D/U (W56→U57 干渉時)

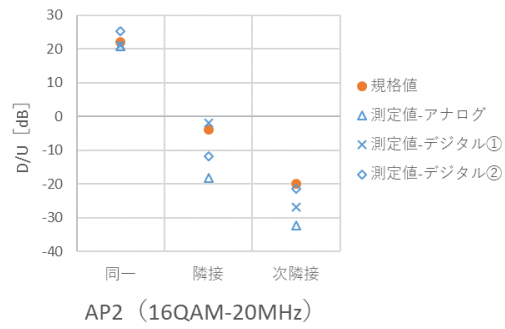
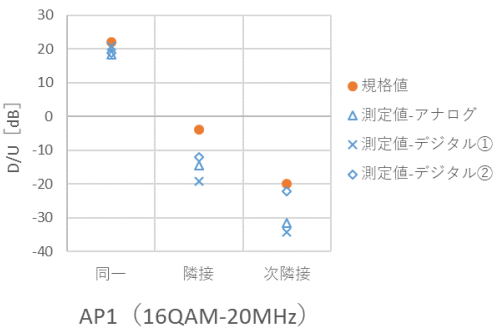
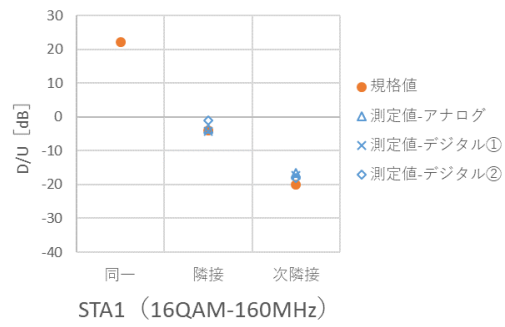
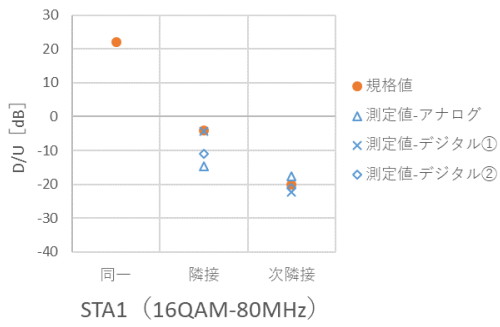
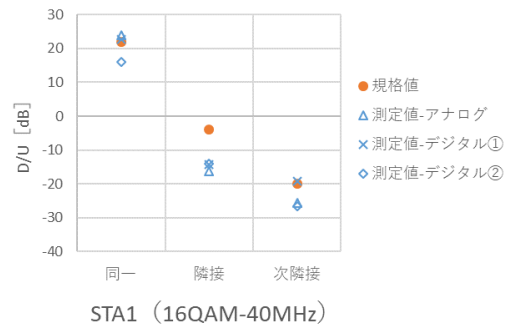
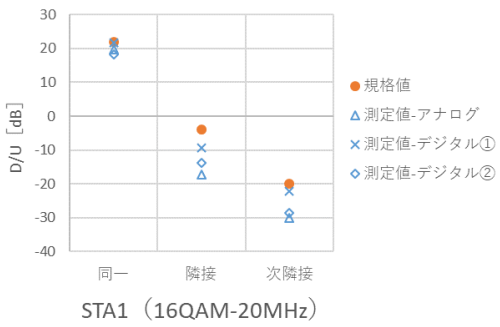
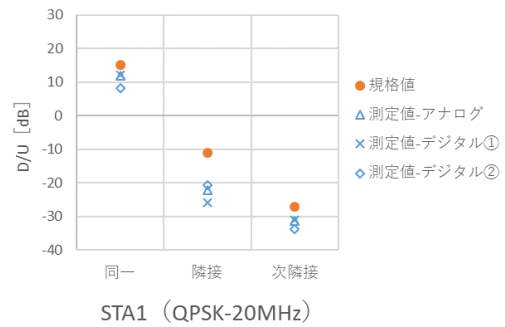
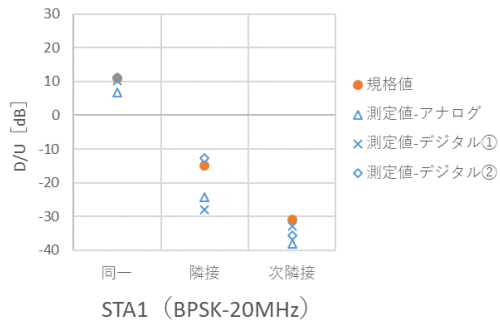
試験結果 所要D/U[dB]		妨害波: W56								
		20MHz			40MHz			80MHz		160MHz
		同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接	隣接	次隣接	隣接
希望波	アナログ 10MHz	1	-8	-43	-1	-12	-44	-14	-45	-18
	デジタル 20MHz①	0	-37	-47	0	-38	-46	-38	-46	-37
U57	デジタル 20MHz②	3	-37	-48	0	-38	-47	-36	-46	-36

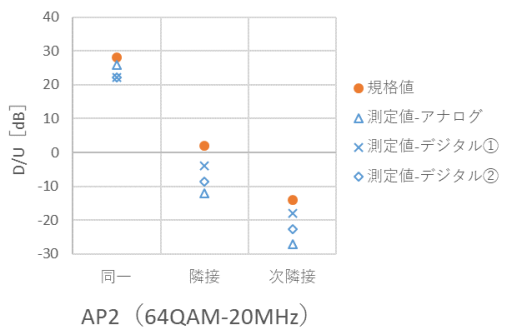
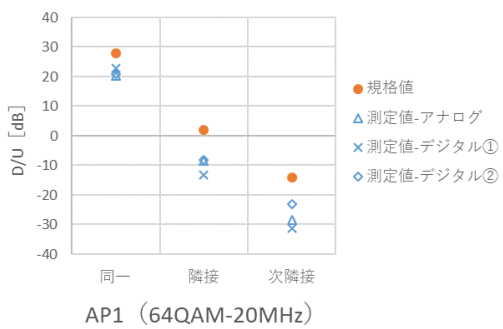
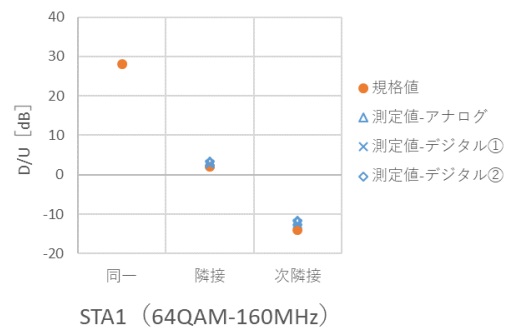
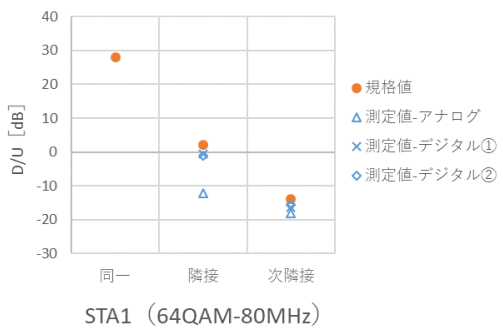
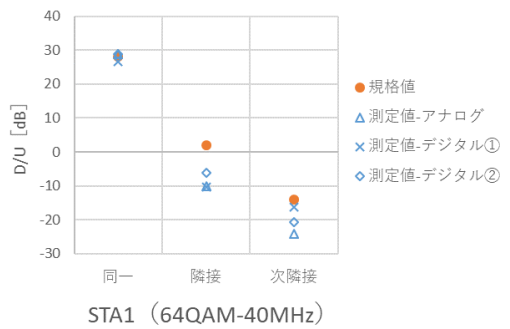
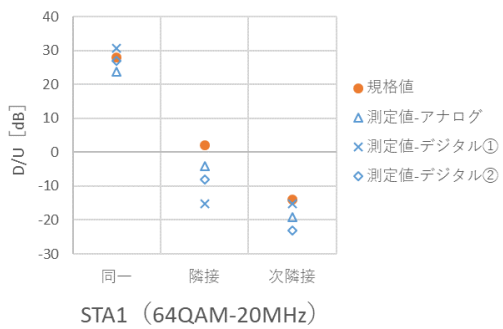
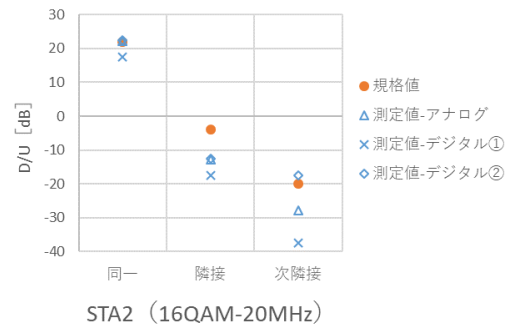
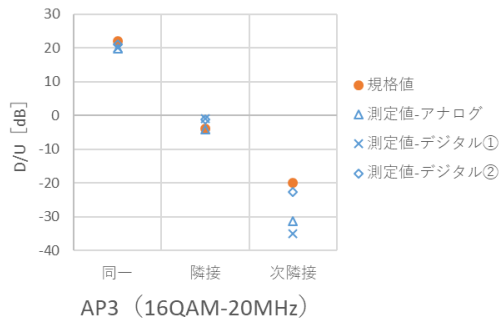
4.2.3.2 チャネル干渉試験 (U57→W56)

表 4-6 及び図 4-12 に U57 から W56 が干渉を受けた場合における所要 D/U の結果を示す。図 4-12 には規格値<sup>32</sup>も併記する。図 4-12 より、測定値は、規格値と同等もしくは小さい値であった。これは、規格値において想定されるスペクトラムマスクより、隣接・次隣接チャンネルへの漏洩電力が低く、影響を与えにくいためであると考えられる。

表 4-6 所要 D/U (U57→W56 干渉時)

試験結果 所要D/U[dB]			妨害波 U57									
			アナログ10MHz			デジタル20MHz①			デジタル20MHz②			
			同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接	
希望波 W56	STA 1	20MHz	BPSK(3/4)	7	-24	-38	10	-28	-33	11	-13	-36
			QPSK(3/4)	12	-22	-31	12	-26	-31	8	-21	-34
			16QAM(3/4)	20	-17	-30	22	-9	-22	18	-14	-29
			64QAM(5/6)	24	-4	-19	31	-15	-15	27	-8	-23
		40MHz	16QAM(3/4)	24	-16	-26	23	-14	-19	16	-14	-27
			64QAM(5/6)	29	-10	-24	27	-10	-16	29	-6	-21
		80MHz	16QAM(3/4)	-	-15	-18	-	-4	-22	-	-11	-21
			64QAM(5/6)	-	-12	-18	-	0	-16	-	-1	-16
	160MHz	16QAM(3/4)	-	-4	-17	-	-4	-17	-	-1	-18	
		64QAM(5/6)	-	3	-12	-	3	-12	-	3	-12	
	AP1	20MHz	16QAM(3/4)	18	-15	-32	21	-19	-34	19	-12	-22
			64QAM(5/6)	20	-9	-29	23	-13	-31	21	-8	-23
		20MHz	16QAM(3/4)	21	-18	-32	21	-2	-27	25	-12	-21
			64QAM(5/6)	26	-12	-27	22	-4	-18	22	-9	-23
		20MHz	16QAM(3/4)	20	-4	-31	20	-1	-35	21	-1	-23
			64QAM(5/6)	26	-2	-24	22	2	-32	26	-1	-12
STA 2		20MHz	16QAM(3/4)	22	-13	-28	17	-18	-38	22	-13	-18
			64QAM(5/6)	29	-11	-20	19	-12	-27	24	-9	-16





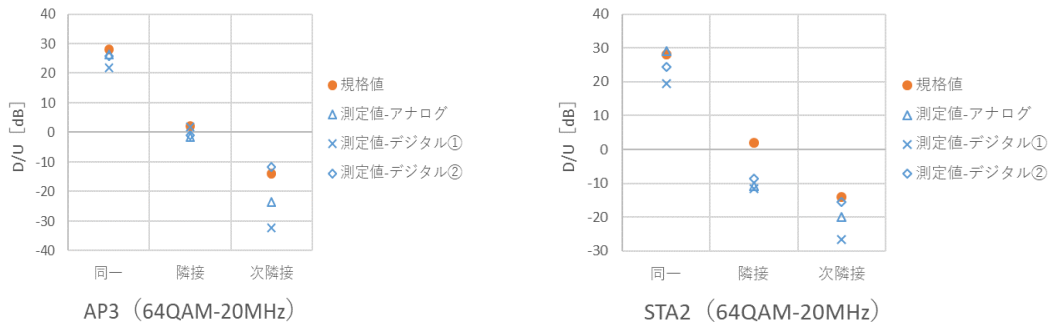


図 4-12 所要 D/U (U57→W56 干渉時)

#### 4.2.4 許容干渉電力

##### 4.2.4.1 許容干渉電力 (W56→U57 干渉時)

表 4-3 (b) で示した U57 の受信感度と表 4-5 で示した所要 D/U (W56→U57 干渉時) の測定結果から算出した与干渉信号に対する許容干渉電力を表 4-7 に示す。(a) に各無線機における測定結果を示し、(b) にシステム毎に最大値、平均値、最小値をまとめた結果を示す。許容干渉電力が低く、最も離隔距離が必要となることが想定されるのは、妨害波が W56 の 20MHz システムの場合である。

表 4-7 許容干渉電力 (W56→U57 干渉時)

(a) 各無線機

許容干渉電力 [dBm]		妨害波: W56								
		20MHz			40MHz			80MHz		160MHz
		同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接	隣接	次隣接	隣接
希望波 U57	アナログ 10MHz	-88	-79	-44	-86	-75	-43	-73	-42	-69
	デジタル 20MHz①	-89	-52	-42	-89	-51	-43	-51	-43	-52
	デジタル 20MHz②	-84	-44	-33	-81	-43	-33	-44	-35	-44

(b) システム毎まとめ

許容干渉電力 [dBm]		妨害波: W56									
		20MHz			40MHz			80MHz		160MHz	
		同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接	隣接	次隣接	隣接	
希望波 U57	アナログ 10MHz	-88	-79	-44	-86	-75	-43	-73	-42	-69	
	デジタル 20MHz	最大	-84	-44	-33	-81	-43	-33	-44	-35	-44
		平均	-86	-46	-35	-83	-45	-36	-47	-37	-47
		最小	-89	-52	-42	-89	-51	-43	-51	-43	-52



#### 4.2.4.2 許容干渉電力 (U57→W56 干渉時)

表 4-3 (a) で示した W56 の受信感度と表 4-6 で示した所要 D/U (U57→W56 干渉時) の測定結果から算出した与干渉信号に対する許容干渉電力値を表 4-8 に示す。(a) に各無線機における測定結果を示し、(b) にシステム毎に最大値、平均値、最小値をまとめた結果を示す。表 4-8 (a) より、許容干渉電力が低く、最も離隔距離が必要となることが想定されるのは、AP1 と STA2 の場合である。

表 4-8 許容干渉電力 (U57→W56)  
(a) 各無線機

試験結果 許容干渉電力[dBm]				妨害波 U57										
				10MHzアナログ			20MHzデジタル①			20MHzデジタル②				
				同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接		
希望波 W56	STA 1	20MHz	BPSK(3/4)	-90	-59	-45	-93	-55	-50	-94	-70	-47		
			QPSK(3/4)	-93	-59	-50	-93	-55	-50	-89	-60	-47		
			16QAM(3/4)	-95	-58	-45	-97	-66	-53	-93	-61	-46		
			64QAM(5/6)	-92	-64	-49	-99	-53	-53	-95	-60	-45		
		40MHz	16QAM(3/4)	-91	-51	-42	-90	-53	-48	-83	-53	-41		
			64QAM(5/6)	-92	-53	-39	-90	-53	-47	-92	-57	-43		
			16QAM(3/4)	—	-50	-47	—	-60	-42	—	-53	-43		
			64QAM(5/6)	—	-48	-42	—	-60	-44	—	-59	-44		
		160MHz	16QAM(3/4)	—	-61	-48	—	-60	-47	—	-63	-46		
			64QAM(5/6)	—	-56	-41	—	-55	-40	—	-56	-41		
			AP1	20MHz	16QAM(3/4)	-96	-63	-46	-98	-58	-43	-96	-65	-55
				64QAM(5/6)	-89	-60	-40	-91	-55	-37	-89	-60	-45	
	AP2	20MHz	16QAM(3/4)	-91	-52	-38	-91	-68	-43	-95	-58	-49		
		64QAM(5/6)	-92	-54	-39	-88	-62	-48	-88	-57	-43			
	AP3	20MHz	16QAM(3/4)	-90	-66	-39	-90	-69	-35	-91	-69	-47		
		64QAM(5/6)	-90	-62	-40	-85	-65	-31	-89	-62	-52			
	STA 2	20MHz	16QAM(3/4)	-98	-63	-48	-94	-59	-39	-99	-64	-59		
			64QAM(5/6)	-97	-57	-48	-88	-57	-42	-93	-60	-53		

(b) システム毎まとめ

許容干渉電力[dBm]			妨害波 U57					
			アナログ10MHzシステム			デジタル20MHzシステム		
			同一	隣接	次隣接	同一	隣接	次隣接
希望波 W56	20MHz	最大	-89	-52	-38	-85	-53	-31
		平均	-92	-58	-42	-91	-59	-41
		最小	-98	-66	-50	-99	-70	-59
	40MHz	最大	-91	-51	-39	-83	-53	-41
		平均	-92	-52	-40	-88	-54	-44
		最小	-92	-53	-42	-92	-57	-48
	80MHz	最大	-	-48	-42	-	-53	-42
		平均	-	-49	-44	-	-57	-43
		最小	-	-50	-47	-	-60	-44
	160MHz	最大	-	-56	-41	-	-55	-40
		平均	-	-58	-43	-	-58	-43
		最小	-	-61	-48	-	-63	-47

#### 4.2.5 キャリアセンス・DFS機能の確認

表 4-9 に各 W56 機器において U57 に対してキャリアセンス機能が動作する入力レベル及び DFS 機能が動作するかを確認した結果を示す。

U57 アナログ 10MHz システムにおいては、連続送信のため、W56 の送信は停止し続けた。U57 デジタル 20MHz システムにおいては、連続送信ではないために CSMA/CA<sup>37</sup>機能により衝突回避され、送信の停止は確認されなかった。なお、U57 アナログ 10MHz システムのキャリアレベルと比較するため、参考として無変調波を入力した際の試験結果も示す。表より、AP2 以外のキャリアセンスレベルは同等であり、平均値で -64dBm となった。また、U57 信号を -40dBm まで入れても DFS 機能は動作しなかった。このことから、DFS 機能は U57 信号では動作しない事が確認できた。

<sup>37</sup> Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance の略。同じチャンネルを流れる信号の衝突が発生しないように常に送信状況を監視している方式。各端末は、本方式により通信路が一定時間継続して空いている事を確認し、その後にデータを送信する。

表 4-9 W56 の U57 に対するキャリアセンス及び DFS 機能の確認

組合せ			妨害波(U57)のキャリアセンス作動レベル		DFS		
			U57アナログ10MHz	無変調波(参考)	U57		
W56	AP1	20MHz	-64dBm	-64dBm	動作せず		
		40MHz	-60dBm	-62dBm			
	AP2	20MHz	-70dBm	-73dBm			
		40MHz	-69dBm	-71dBm			
	AP3	20MHz	-62dBm	-64dBm			
		40MHz	-61dBm	-63dBm			
	STA1	20MHz	-64dBm	-63dBm		—	
		40MHz	-63dBm	-62dBm		—	
	STA2	20MHz	-67dBm	-63dBm		—	
		40MHz	-65dBm	-62dBm		—	
	平均値			-64dBm		-64dBm	

#### 4.2.6 レーダー信号に対する DFS 機能への妨害波の影響の確認

表 4-10 に妨害波入力時における DFS 機能の動作結果を示す。表には基準認証制度における技術基準<sup>38</sup>も併記する。表より、W56 無線機の種別及び U57 無線機の種別によらず、U57 信号を妨害波として入力した場合においても、レーダーパルスを検知により DFS 機能が動作した事がわかる。

表 4-10 妨害波入力時における DFS 機能の動作結果

検出率			妨害波なし	妨害波:U57		基準認証制度における技術基準
				アナログ10MHzシステム	デジタル20MHzシステム①	
W56	AP1	20MHz	20/20回	20/20回	20/20回	18/20回以上
		40MHz	20/20回	20/20回	20/20回	
	AP2	20MHz	20/20回	20/20回	20/20回	
		40MHz	20/20回	20/20回	20/20回	

<sup>38</sup> 特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則 別表第 45

証明規則第 2 条第 1 項第 19 号の 3、第 19 号の 3 の 2 及び第 19 号の 3 の 3 に掲げる無線設備の試験方法

### 4.3 屋内試験結果のまとめ

屋内試験で得られた結果は以下の通りである。

- ・ W56 と U57 の各機器について、受信感度の測定を行い、規格値と同等もしくは良好な値であった。規格値は最小限満足する条件であり、実機における受信感度は、規格値より、良いと考えられる。
- ・ W56 と U57 の組み合わせにおいて、チャンネル干渉試験を行い、所要 D/U は規格値よりも小さい値であった。規格値において想定されるスペクトラムマスクより、隣接、次隣接チャンネルへの漏洩電力が低く、影響を与えにくいためであると考えられる。
- ・ キャリアセンス・DFS 機能の確認試験を行い、各 W56 無線機においてキャリアセンス機能が動作する入力レベルを取得した。キャリアセンス機能が動作する最小入力レベルの-64dBm は、W56 の 20MHz システムにおける許容干渉レベルの-92dBm より 28dB 高い。W56 が U57 の信号を-64~-92dBm の範囲のレベルで受信した場合に送信動作を停止しないため、信号の衝突が発生し通信不可能となる。また、U57 信号を検知信号とみなした DFS 試験では、DFS 機能は動作しなかったため、干渉回避に有効ではないと考えられる。
- ・ U57 信号を妨害波として入力した場合においても、レーダーパルスの検知により DFS 機能が動作することが確認された。

## 第5章 屋外環境における影響性評価

### 5.1 試験概要

#### 5.1.1 目的と試験項目

W56 及び U57 相互間における干渉について検証するため、代表的な屋外のモデル環境で試験を実施した。また、離隔距離に対する妨害波の受信レベルを確認するため、5.6GHz 帯電波伝搬特性測定を実施した。スケジュール等を表 5-1 に、試験項目を表 5-2 に示す。また、屋外実証試験において使用した W56 及び U57 無線機器及び電波伝搬測定時の受信アンテナ特性を表 5-3 に示す。W56 においては屋内試験の結果から、許容干渉電力が低いために離隔距離が長くなり、最悪条件となることが想定される AP1 と STA2 を使用した。

表 5-1 スケジュール等

項目	詳細
期間	2020年12月 7日～12月11日 2020年12月14日～12月18日
場所	長野市内（詳細は次項に後述）

表 5-2 試験項目

項番	試験項目	内容
1.	5.6GHz帯電波伝搬特性	送受信間距離を変えた場合における受信レベルの測定
2.	チャンネル干渉試験(W56→U57)	希望波に対する妨害波のレベルを変化させた場合における所要D/Uの測定
3.	チャンネル干渉試験(U57→W56)	希望波に対する妨害波のレベルを変化させた場合における所要D/Uの測定

表 5-3 屋外実証試験において使用した機器

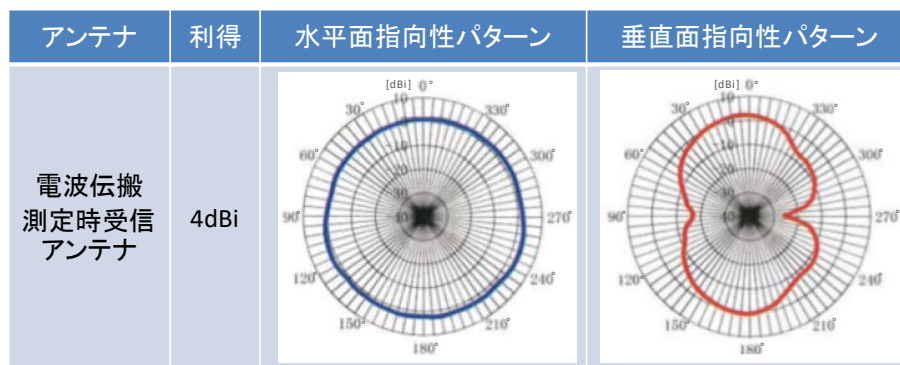
#### (a) W56 の無線機器

W56無線機	AP1	STA2
メーカー	Netgear	ECS
型番	R7800-100JPS	LIVAQ2-4/64-W10
無線LANチップ	Qualcomm	Qualcomm
送信周波数	5470MHz～5730MHz	
チャンネル帯域	20/40/80/160/ 80+80MHz	20MHz
空中線電力	1.25～10mW/MHz以下	

(b) U57の無線機器

U57無線機	アナログ 10MHzシステム	デジタル 20MHzシステム①	デジタル 20MHz②
メーカー	BODUK	BODUK	DJI
型番	HN1000T	HN800D-TR	Digital FPV System
送信周波数	5655/5675/5695/ 5715/5740MHz	5660/5680/5700/ 5745MHz	5660/5700/ 5745MHz
空中線電力	1W	800mW	150mW
電波型式	F3F	X7W	X7W
変調方式	FM	OFDM	—

(c) 電波伝搬測定時受信アンテナ特性



### 5.1.2 試験場所

図 5-1 に送信点とした試験場所を示す。ここで (a) が平野部の送信点、(b) が都市部の送信点である。平野部の送信点は、ドローンを飛行させることが可能で平地が続く場所として、長野市滑空場周辺を選定した。本試験では安全面に配慮し、人口集中地区においてドローンを飛行することは見合わせた。代替の手段として、都市部の送信点として長野駅付近の屋上駐車場を選定し、上空にドローンを位置させることを模擬した、駐車場の車両に無線機を設置し、送信点とした。



場所	長野市滑空場
住所	長野県長野市若穂綿内
緯度	36.632934
経度	138.255820
標高	339m

(a) 平野部送信点

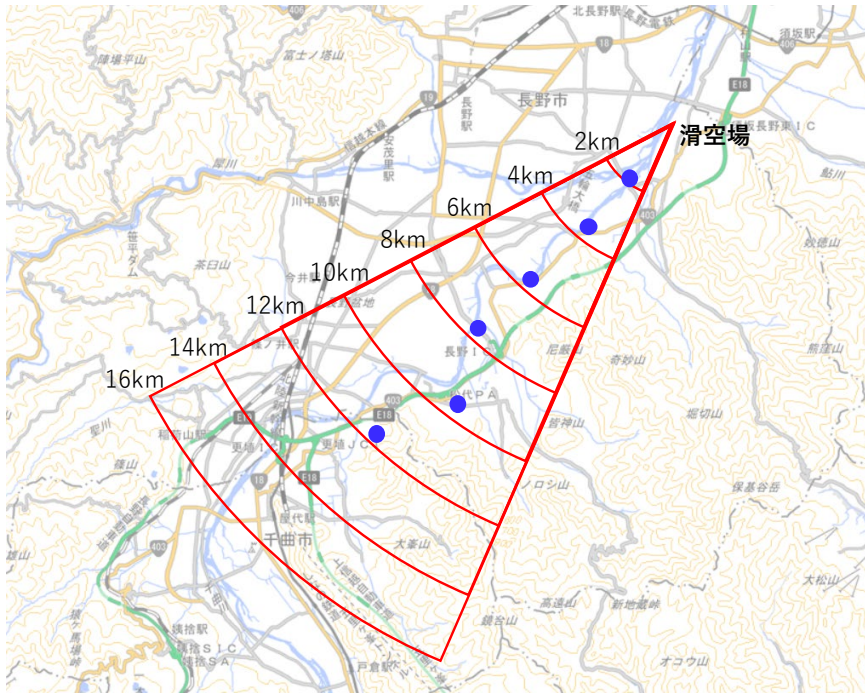


場所	長電長野パーキング
住所	長野県長野市南千歳1-17-7
緯度	36.645264
経度	138.189870
標高	362m
備考	7階建て屋上駐車場(地上高24m)

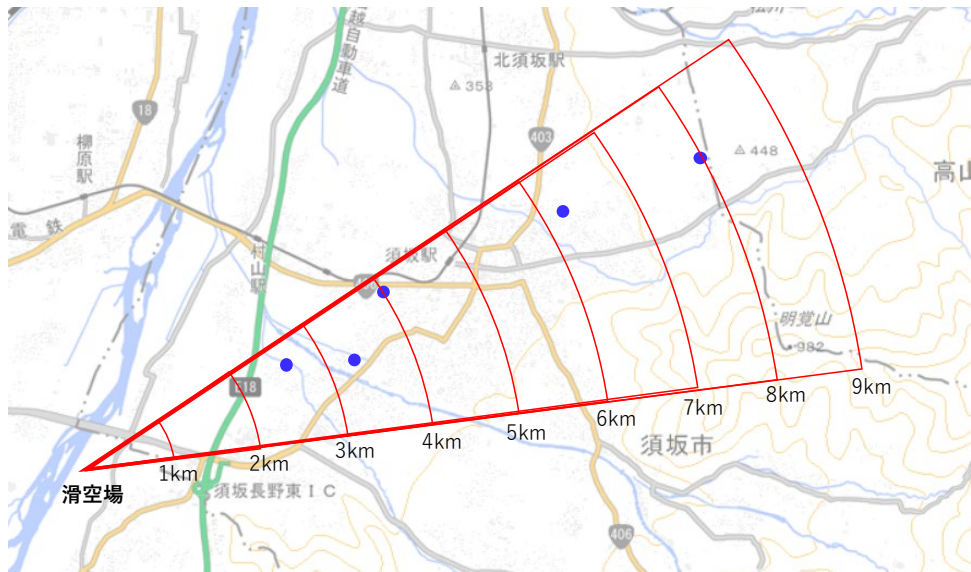
(b) 都市部送信点

図 5-1 試験場所 (送信点)

次に、図 5-2 に平野部の試験場所を示す。ここで (a) が平野部 (上空-地上)、(b) が平野部 (上空-上空) である。平野部 (上空-地上) では、長野市滑空場を送信点とし、滑空場内や河川敷等に受信点を設定した。勾配はなく、上空-地上を想定した試験を実施した。ドローンの高さを 50m 程度とし、地上受信点の位置を変えて試験を実施した。また、平野部 (上空-上空) では、長野市滑空場を送信点とし、須坂市方面に受信点を設定した。上り坂で 9km 移動すると滑空場から 150m の高度となるため、滑空場のドローンの高度を変え、上空-上空を想定した試験を実施した。



(a) 平野部（上空-地上）



(b) 平野部（上空-上空）

図 5-2 試験場所（平野部）

最後に都市部における試験場所を図 5-3 に示す。都市部では上空-地上間の干渉を想定し、屋上駐車場から妨害波を送信し、送信点から距離 50m~500m 程度の位置にある場所（駐車場など）を受信点とした。また、上空-上空間の干渉を想定し、屋上駐車場を受信点とした。





図 5-3 試験場所 (都市部)

### 5.1.3 試験状況

図 5-4～図 5-9 に試験状況を示す。ここで図 5-4 が無線機等、図 5-5 が平野部、図 5-6 が平野部において上空－地上を想定した場合の受信点、図 5-7 が平野部において上空－上空を想定した場合の受信点、図 5-8 が都市部、図 5-9 が都市部における受信点である。



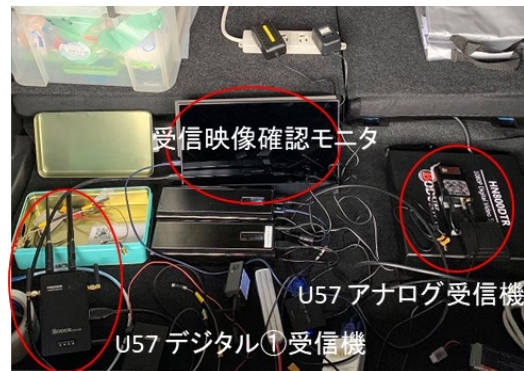
(a) W56 設置状況



(b) U57 アナログ設置状況

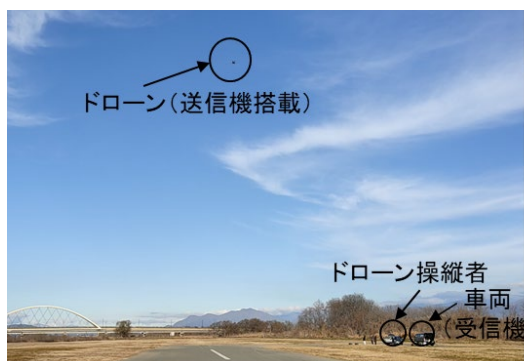


(c) アンテナ設置状況



(d) 受信機設置状況

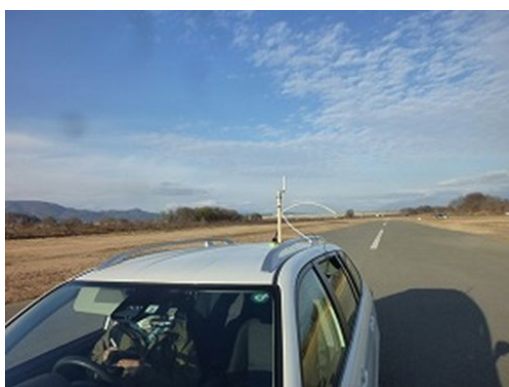
図 5-4 試験状況（無線機等）



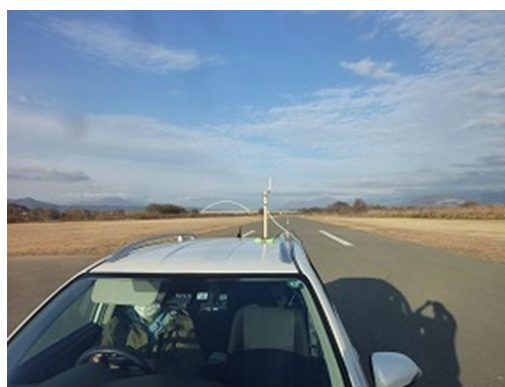
(a) ドローンの飛行状況



(b) ドローンから撮影した被干渉方面



(c) 送信点から 200m



(d) 送信点から 400m

図 5-5 試験状況 (平野部)



(a) 平野部 1-1



(b) 平野部 1-2



(c) 平野部 1-3



(d) 平野部 1-4

図 5-6 試験状況 (平野部受信点\_上空・地上)



(a) 平野部 2-1



(b) 平野部 2-2



(c) 平野部 2-3



(d) 平野部 2-4

図 5-7 試験状況 (平野部受信点\_上空-上空)



(a) 送信点周辺



(b) 送信点設置ビル



(c) 送信点屋上駐車場



(d) 送信点設置状況

図 5-8 試験状況 (都市部)



(a) 都市部 1



(b) 都市部 2



(c) 都市部 3



(d) 都市部 4

図 5-9 試験状況（都市部受信点）

#### 5.1.4 試験方法

##### 5.1.4.1 5.6GHz 帯電波伝搬特性測定

離隔距離に対する妨害波の受信レベルを確認するため、5.6GHz 帯電波伝搬特性測定を実施した。図 5-10 に試験構成、表 5-4 に測定パラメータを示す。送信は W56 及び U57 の試験機の中で最も空中線電力の高い U57 アナログ 10MHz システムを使用し、周波数は、同一波の中心周波数 5680MHz となるよう設定した。測定において、車両に搭載したスペクトラムアナライザで受信レベルを測定する。低いレベルの電波を受信するため、ローノイズアンプ（LNA）を使用する。送受信点間の距離を変え、10 秒間の平均受信レベルを取得する。

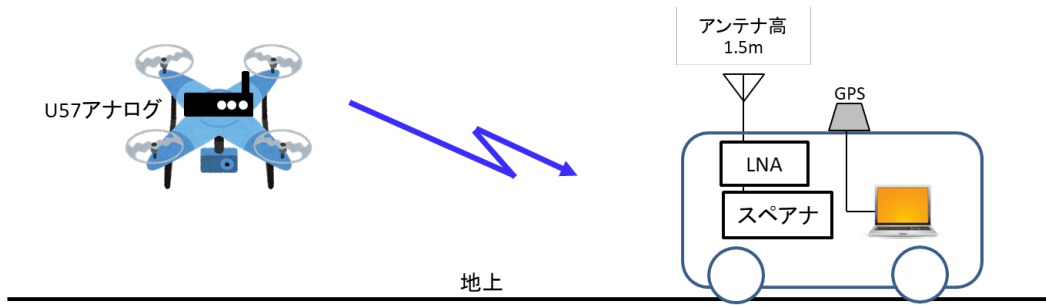


図 5-10 試験構成 (5.6GHz 帯電波伝搬特性)

表 5-4 測定パラメータ (5.6GHz 帯電波伝搬特性)

モデル環境	想定環境	送信点	送信高	受信点	受信高
平野部	上空→地上	滑空場	50m/100m	滑空場～千曲川河川敷	1.5m
	上空→上空	滑空場	50m～150m	須坂市方面	50～150m
都市部	上空→地上 (見通し外)	屋上駐車場	24m	周辺路上	1.5m
	上空→上空	屋上駐車場	24m	屋上駐車場	27m

図 5-11 に各モデル環境と想定環境について、測定場所のイメージ図を示す。平野部においては、ドローンに搭載した無線機から電波を送信し、地上受信点において受信レベルを記録する。都市部においては、屋上送信点から電波を送信し、地上や屋上受信点において、受信レベルを記録する。図中の●は受信点を示す。

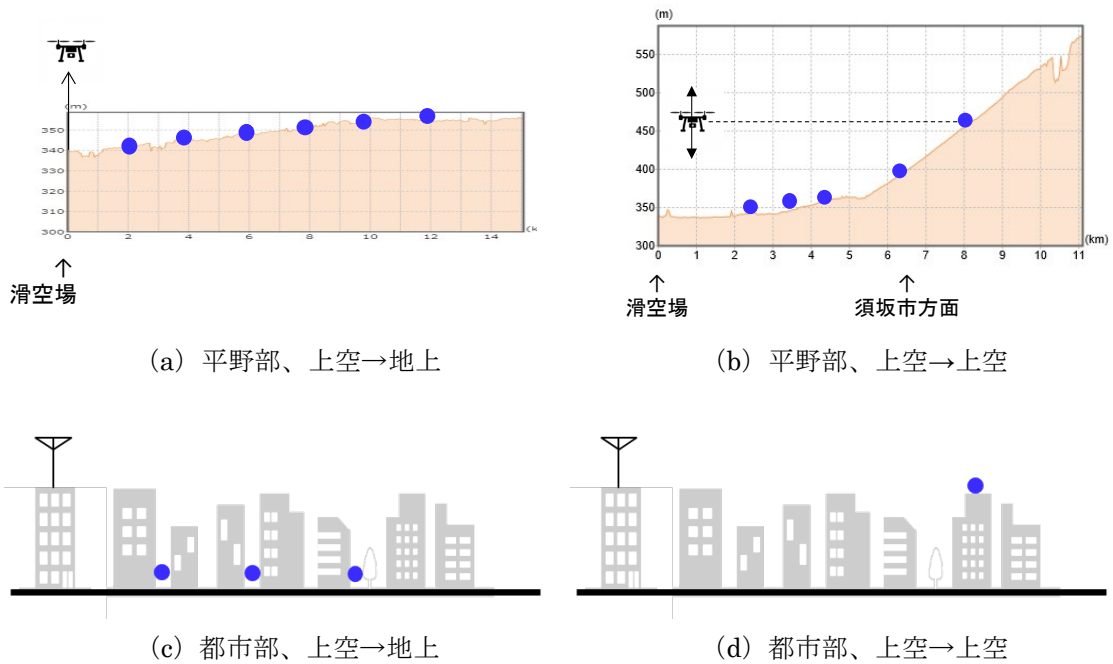


図 5-11 測定場所のイメージ

#### 5.1.4.2 チャンネル干渉試験 (W56→U57)

図 5-12 に W56 から U57 への干渉試験における試験構成、表 5-5 に試験の組合せを示す。デジタル 20MHz②の受信感度は、デジタル 20MHz①に比べて 7dB 高く、許容干渉電力は高い。これにより、デジタル 20MHz②の離隔距離は短くなり、最悪条件とはならないため都市部の試験を割愛した。妨害波である W56 は、送信出力が最も高く遠方まで届いて最悪条件となると考えられる BPSK 変調とする。

試験手順は以下に示すとおりである。

##### 【試験手順】

- ①U57 の Tx から送信された電波が Rx に受信され、モニタに画像が表示されることを確認する。
- ②U57 からの希望波の受信レベルは受信感度+3dB となるよう可変アッテネータで調整する。(環境雑音妨害波レベルより高い場合には、希望波のレベルを高くする。)
- ③W56 を送信状態にし、ドローンの位置や高度、可変アッテネータを変えて U57 の受信状態を確認する。
- ④U57 が干渉を受けた時刻を記録し、W56 の位置情報を記録する。
- ⑤U57 の送信を停止し、W56 からの妨害波の受信レベルを測定する。

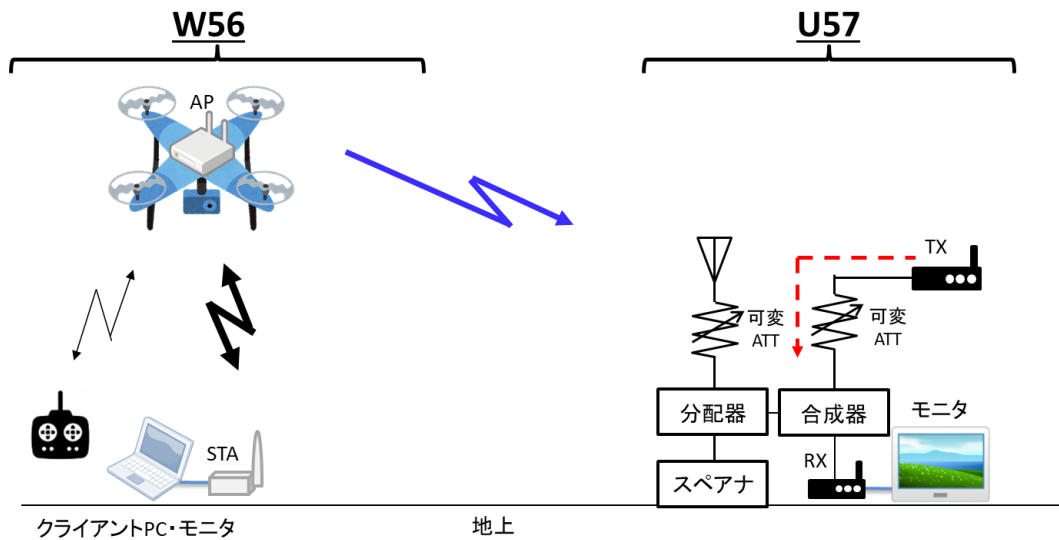


図 5-12 試験構成 (チャンネル干渉試験 (W56→U57))



表 5-5 試験組合せ (チャンネル干渉試験 (W56→U57))

組合せ		実施項目			
妨害波	希望波	平野部		都市部	
		上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)	上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)
W56 AP1 20MHz	U57 アナログ10MHz	○	○	○	○
	U57 デジタル20MHz①	○	○	○	○
	U57 デジタル20MHz②	○	○	—	—

#### 5.1.4.3 チャンネル干渉試験 (U57→W56)

図 5-13 に U57 から W56 へのチャンネル干渉試験における試験構成、表 5-6 に試験組合せを示す。希望波である W56 は、上空からの画像伝送を想定した変調方式で離隔距離が大きく最悪条件となると考えられる 16QAM を選定する。地上における干渉を想定した試験では、STA2 を受信とし、上空における干渉を想定する試験では AP1 を受信とし、逆の組合せは、割愛した。U57 デジタルの妨害波については、空中線電力が高く最悪条件となると推定されるデジタル 20MHz①を使用する。

試験手順は以下に示す通りである。

##### 【試験手順】

- ①W56のAPからパケットを送信し、STAでパケットをキャプチャーして接続を確認する。
- ②W56からの希望波の受信レベルは受信感度+3dBとなるよう可変アッテネータで調整する。(環境雑音が妨害波レベルより高い場合には、希望波のレベルを高くする。)
- ③U57を送信状態にし、ドローンの位置や高度、可変アッテネータを変えてW56の受信状態を確認する。
- ④W56が干渉を受けた時刻を記録し、U57の位置情報を記録する。
- ⑤W56の送信を停止し、U57からの妨害波の受信レベルを測定する。

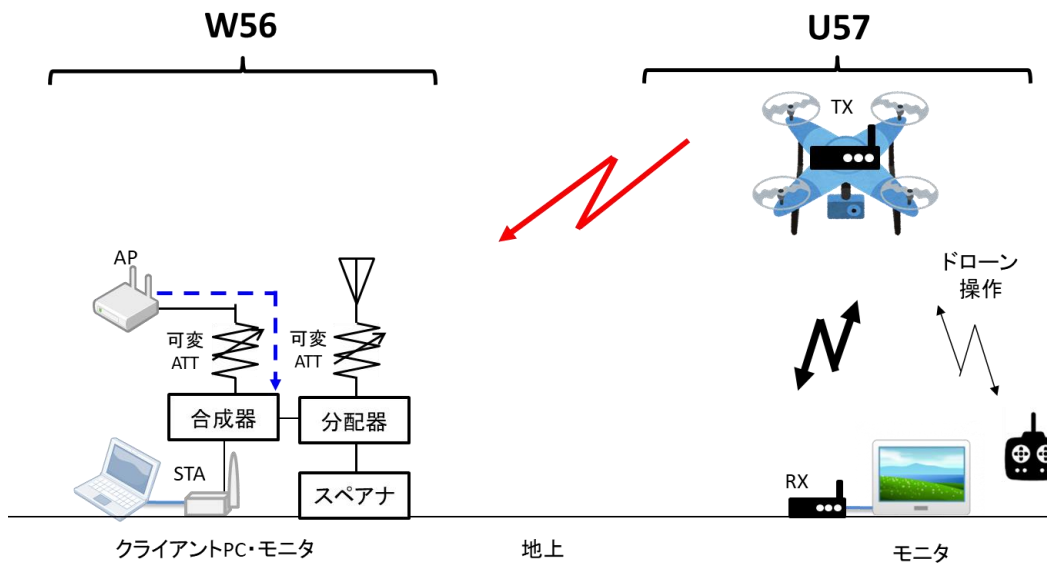


図 5-13 試験構成 (チャンネル干渉試験 (U57→W56))

表 5-6 試験組合せ (チャンネル干渉試験 (U57→W56))

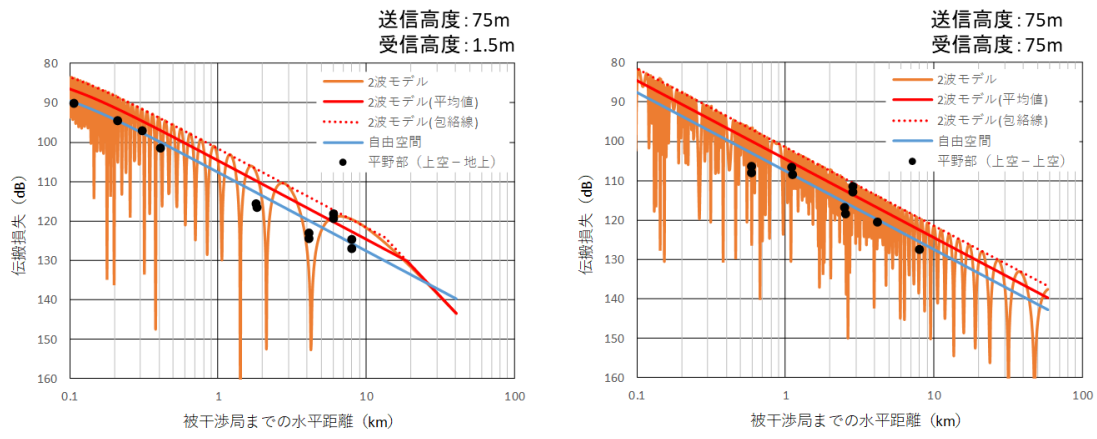
組合せ		実施項目			
妨害波	希望波	平野部		都市部	
		上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)	上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)
U57アナログ 10MHz	AP1 20MHz 16QAM	—	○	—	○
	STA2 20MHz 16QAM	○	—	○	—
U57デジタル 20MHz①	AP1 20MHz 16QAM	—	○	—	○
	STA2 20MHz 16QAM	○	—	○	—

## 5.2 試験結果

### 5.2.1 5.6GHz 帯電波伝搬特性

平野部における電波伝搬特性の測定結果を図 5-14 に示す。図中の●は測定結果である。また、大地反射 2 波モデル及び自由空間損失の計算結果を併記する。

図より、平野部においては、概ね 2 波モデルに近い傾向が見られた。

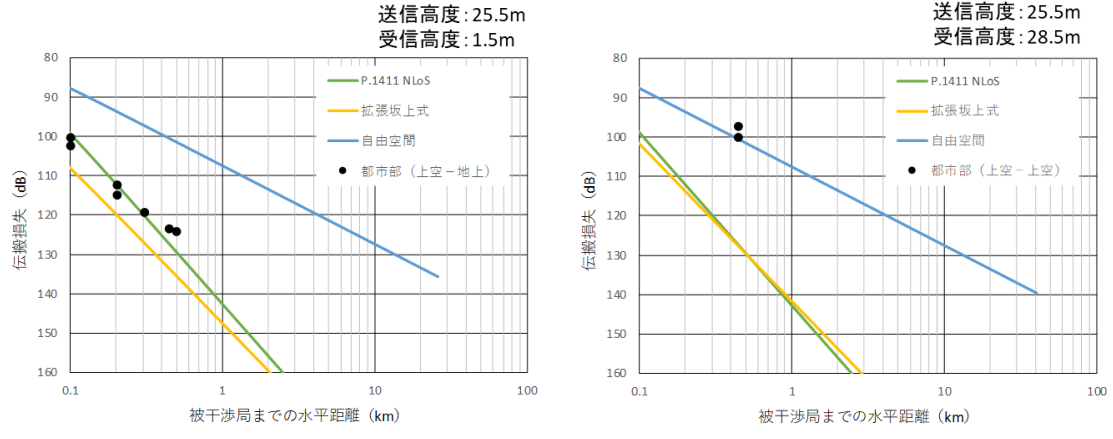


(a) 平野部、上空→地上 (b) 平野部、上空→上空

図 5-14 5.6GHz 帯電波伝搬特性 (平野部)

次に都市部における電波伝搬特性の測定結果を図 5-15 に示す。図中の●は測定結果である。また、ITU-R P.1411 及び拡張坂上式の計算結果を併記する。

図より、上空→地上の見通し外においては、概ね ITU-R P.1411 (NLOS) と近い傾向が見られた。また、上空→上空においては、概ね自由空間損失に近い傾向が見られた。これは、周囲に高いビルがなく、見通しに近い状況であったためと考えられる。



(a) 都市部、上空→地上 (b) 都市部、上空→上空

図 5-15 5.6GHz 帯電波伝搬特性 (都市部)

## 5.2.2 チャンネル干渉試験

### 5.2.2.1 受信感度

表 5-7 に屋外実証試験における受信感度の測定値を示す。表中には屋内試験結果を併記

する。なお、W56においては、上空側でAPを使用し、地上側でSTAを使用すると想定し、データを取得した。また、デジタル20MHz②については、平野部において屋内試験と同等の傾向が確認されており、都市部においても同様の結果が見込めること、デジタル20MHz①に比べて受信感度の電力が7dB高いために許容干渉電力は高く、離隔距離は短くなり、最悪条件とはならないため都市部の試験を割愛した。

全体的に屋外での測定値は屋内試験結果と同等であった。平野部と比較すると、都市部の方が1～2dB程度高い傾向があった。これは、周辺の環境雑音による影響が表れていると考えられる。

表 5-7 受信感度測定値（屋外実証試験）

システム		受信感度[dBm]				
		屋内試験結果	平野部		都市部	
			地上	上空	地上	上空
U57	アナログ10MHz	-87	-86.8	-86.8	-84.8	-84.8
	デジタル20MHz①	-88	-87.0	-88.0	-86.8	-86.8
	デジタル20MHz②	-81	-80.0	-81.0	—	—
W56	AP1 20MHz 16QAM	-77	—	-74.8	—	-73.4
	STA2 20MHz 16QAM	-76	-73.8	—	-73.4	—

#### 5.2.2.2 所要 D/U

表 5-8 に屋外実証試験における所要 D/U 測定値を示す。ここで (a) が同一チャネルの結果、(b) が隣接チャネルの結果である。表中には屋内試験結果を併記する。なお、今回の試験環境では次隣接チャネルにおいて、干渉は発生しなかった。

同一チャネルでは全体的に屋外での測定値は屋内試験結果と同程度であった。チャネル干渉は、希望波と妨害波の受信レベルによって決まるため、屋外においても同様の傾向になったと考えられる。

隣接チャネルで干渉が発生したのは、平野部において上空の W56 AP から送信された妨害波を地上の U57 アナログが受信した場合のみであった。なお、その際の送受信間距離は 56m であった。

その他、ほとんどの場合において、干渉が発生する高いレベルの妨害波を受信せず、干渉の影響は確認されなかった。但し、平野部の上空→上空における測定時の距離は 580m であり、都市部の上空→上空における測定時の距離は 450m、上空→地上における測定時の距離は 100m である。また、今回の試験環境では、次隣接チャネルにおいて干渉の影響は確認されなかった。

表 5-8 所要 D/U 測定値（屋外実証試験）

(a) 同一チャネル

組合せ		同一CH 所要D/U[dB]				
妨害波	希望波	屋内試験結果	平野部		都市部	
			上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)	上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)
W56 AP1 20MHz	U57 アナログ10MHz	1	2.8	2.5	-0.1	-0.8
	U57 デジタル20MHz①	0	0.7	-0.4	-0.2	-2.4
	U57 デジタル20MHz②	3	1.2	2.1	—	—
U57アナログ 10MHz	AP1 20MHz 16QAM	18	—	15.6	—	17.8
	STA2 20MHz 16QAM	22	20.3	—	21.0	—
U57デジタル 20MHz①	AP1 20MHz 16QAM	21	—	19.6	—	20.3
	STA2 20MHz 16QAM	17	18.0	—	16.0	—

(b) 隣接チャネル

組合せ		隣接CH 所要D/U[dB]				
妨害波	希望波	屋内試験結果	平野部		都市部	
			上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)	上空→地上 (妨害→希望)	上空→上空 (妨害→希望)
W56 AP1 20MHz	U57 アナログ10MHz	-8	-6.9	干渉の影響なし	干渉の影響なし	干渉の影響なし
	U57 デジタル20MHz①	-37	干渉の影響なし	干渉の影響なし	干渉の影響なし	干渉の影響なし
	U57 デジタル20MHz②	-37	干渉の影響なし	干渉の影響なし	—	—
U57アナログ 10MHz	AP1 20MHz 16QAM	-15	—	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし
	STA2 20MHz 16QAM	-13	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし	—
U57デジタル 20MHz①	AP1 20MHz 16QAM	-19	—	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし
	STA2 20MHz 16QAM	-18	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし	—

### 5.2.2.3 離隔距離

次に、屋外実証試験で取得された同一チャネルにおける受信感度、所要 D/U から算出した許容干渉電力を使用し、机上検討において検討した電波伝搬モデルで U57・W56 相互間における離隔距離を算出した。

計算パラメータとしては、屋外実証試験で使用した実機の空中線電力、空中線利得、給電線損失を使用する。実機による値を使用するため、机上検討の計算パラメータと異なる。

表 5-9 に離隔距離の計算条件を示し、表 5-10 に計算例を示す。

表 5-9 離隔距離の計算条件

項目	W56→U57	U57(アナログ10MHz) →W56	U57(デジタル10MHz①) →W56	U57(10MHzデジタル①) →W56
空中線電力	200mW	1W	800mW	150mW
送信空中線利得	7dBi	5dBi	3.5dBi	4.32dBi
送信給電系損失	0dB	0dB	0dB	0dB
受信空中線利得	4dBi	4dBi	4dBi	4dBi
受信給電系損失	3.5dB	3.5dB	3.5dB	3.5dB
許容干渉電力	屋外試験結果より算出 (受信感度+3dB)-所要D/U			
所要改善量	上記数値より算出			
離隔距離	机上検討で使用した各電波伝搬モデルから算出			

表 5-10 離隔距離の計算例

項目	W56→U57(アナログ10MHz) 上空-地上		備考
	自由空間	2波モデル	
①空中線電力	200mW		W56空中線電力
②送信空中線利得	7dBi		W56空中線利得
③送信給電系損失	0dB		W56給電系損失
④受信空中線利得	4dBi		U57アナログ10MHz空中線利得
⑤受信給電系損失	3.5dB		U57アナログ10MHz給電系損失
⑥受信感度	-86.8dBm		U57アナログ受信感度
⑦所要D/U	2.8dBm		W56→U57アナログ10MHz所要D/U
⑧許容干渉電力	-86.6dBm		(⑥+3dB)-⑦
⑨所要改善量	117.1dB		①+②+③+④-⑤-⑧
⑩離隔距離	1540m	2178m	

表 5-11 に離隔距離の計算結果と測定場所における離隔距離を示す。測定場所における離隔距離とは、妨害波送信点から受信点間の距離である。但し、微調整を行うために可変アッテネータを用いた場合の離隔距離は、アッテネータの値を2乗の距離減衰として換算したものである。

測定場所による離隔距離は、計算結果よりも短くなる傾向が見られた。周囲の伝搬路状況やドローンの揺れによって位置が変動するためにレベルの低下があり、実際の妨害波は伝搬モデルよりも低いレベルとなるため、離隔距離はより短くなると考えられる。

表 5-11 同一チャネルにおける離隔距離の試験結果（屋外実証試験）

平野部	組合せ		離隔距離[m]			
	妨害波	希望波	測定場所における離隔距離		計算値	
			上空→地上	上空→上空	自由空間	2波モデル
W56 AP1 20MHz		U57 アナログ10MHz	1161	1819	1540	2178
		U57 デジタル20MHz①	1406	1140	1237	1750
		U57 デジタル20MHz②	740	700	618	877
U57 アナログ10MHz	W56		12130	13680	8761	12390
U57 デジタル20MHz①			3767	4207	3569	5047

都市部	組合せ		離隔距離[m]				
	妨害波	希望波	測定場所における離隔距離		計算値		
			上空→地上	上空→上空	ITU-R P.1411	拡張坂上式	自由空間
W56 AP1 20MHz		U57 アナログ10MHz	132	1585	146	89	1539
		U57 デジタル20MHz①	147	2559	145	89	3767
U57 アナログ10MHz	W56		320	2270	394	272	5219
U57 デジタル20MHz①			220	4571	260	171	4145

### 5.3 屋外実証試験のまとめ

モデル環境を想定した屋外において、5.6GHz 帯電波伝搬特性測定及びチャネル間干渉試験を実施した。屋外実証試験より得られた結果は以下の通りである。

- ・5.6GHz 帯電波伝搬特性測定結果より、平野部においては大地反射2波モデルと概ね同等の傾向が見られた。都市部の見通し外においては、ITU-R P.1411 (NLOS) と近い傾向が見られた。また、屋上間においては、自由空間損失に近い傾向が見られた。これは、周囲に高いビルがなく、見通しに近い状況であったためと考えられる。

- ・受信感度の測定結果より、全体的に屋外での測定値は屋内試験結果と同等であった。平野部と比較すると、都市部の方が1~2dB程度高い傾向があった。これは、周辺の環境雑音による影響が表れていると考えられる。

- ・所要D/Uの試験結果より、全体的に屋外での測定値は屋内試験結果と同程度であった。チャネル干渉は、希望波と妨害波の受信レベルによって決まるため、屋外においても同様の傾向になったと考えられる。隣接チャネルで干渉が発生したのは、U57 アナログが被干渉の場合のみであった。なお、今回の試験環境では、次隣接チャネルにおいて干渉の影響は確認されなかった。

- ・同一チャンネルにおける受信感度、所要 D/U の測定結果から各伝搬モデルを用いた同一チャンネルの離隔距離を算出し、試験場所における距離と比較したところ、測定場所による離隔距離は、計算結果よりも短くなる傾向が見られた。周囲の伝搬路状況やドローンの揺れによって位置が変動するためにレベルの低下があり、実際の妨害波は伝搬モデルよりも低いレベルとなるため、離隔距離はより短くなると考えられる。



## 第6章 W56 の上空利用の実現に向けた機能・条件の整理

これまでの検討結果を踏まえ、W56 の上空利用の実現に向けた機能・条件を整理する。

### 6.1 共用条件の検討

机上検討において用いた電波伝搬モデルを用い、屋内／屋外実証試験において取得された試験結果に基づいて離隔距離を算出し、共用条件の検討を行う。

#### 6.1.1 離隔距離算出パラメータ

離隔距離算出に使用する W56 及び U57 の各パラメータを表 6-1 に示す。各値は、干渉量が最大となるように設定しており、机上検討と同じである。W56 の e.i.r.p. は、過去の検討を踏まえて 200mW としたときと、規格上の最大値である 1W としたときの 2 通りを計算した。

表 6-1 計算パラメータ

項目	W56	U57	備考
周波数	5680MHz	5680MHz	同一チャンネルの中心周波数
チャンネル帯域	20/40/80/160MHz	5/10/20MHz	
空中線電力	200mW	1W	机上検討と同じ
送信空中線利得	0dBi/7dBi	6dBi	
送信系損失	0dB	0dB	
受信空中線利得	2.14dBi	6dBi	
受信系損失	0dB	0dB	

表 6-2 に屋内試験で測定した受信感度と所要 D/U から求めた、与干渉信号に対する許容干渉電力を示す。受信感度と所要 D/U について、屋外実証試験においても屋内試験と同等の傾向が見られたことから、離隔距離算出には、複数の機種を使用した屋内試験結果の平均値を代表値として使用する。表の値は表 4-7 (b) 及び表 4-8 (b) に記載した値を再掲している。U57 の 10MHz システムはアナログ方式であり、20MHz システムはデジタルシステムである。なお、実機での試験を実施していない 5MHz システムについては、10MHz システムの結果を帯域換算することとした。干渉波帯域幅が被干渉局の所望信号の帯域幅がより広い場合には、干渉波全帯域分を干渉波電力とした場合の許容干渉電力である。

表 6-2 許容干渉電力

共用対象システムの 組合せ			被干渉							
			W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi			
			20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム	
与 干 渉	W 56	20MHz システム 空中線電力 =10mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	-88dBm -79dBm -44dBm	-88dBm -79dBm -44dBm	-86dBm -46dBm -35dBm
		40MHz システム 空中線電力 =5mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	-86dBm -75dBm -43dBm	-86dBm -75dBm -43dBm	-83dBm -45dBm -36dBm
		80MHz システム 空中線電力 =2.5mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— -73dBm -42dBm	— -73dBm -42dBm	— -47dBm -37dBm
		160MHz システム 空中線電力 =1.25mW/MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— -69dBm —	— -69dBm —	— -47dBm —
	U 57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	-92dBm -58dBm -42dBm	-92dBm -52dBm -40dBm	— -49dBm -44dBm	— -58dBm -43dBm	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	-92dBm -58dBm -42dBm	-92dBm -52dBm -40dBm	— -49dBm -44dBm	— -58dBm -43dBm	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	-91dBm -59dBm -41dBm	-88dBm -54dBm -44dBm	— -57dBm -43dBm	— -58dBm -43dBm	—	—	—

6.1.2 実機データによる離隔距離の検討

次に実機データから得られた許容干渉電力を用いて算出した離隔距離を示す。表 6-3 が平野部及び海上を伝搬路とした場合にシミュレーション可能な自由空間モデル及び 2 波モデルを用いた計算結果を示し、表 6-4 が都市部の伝搬路をシミュレーションできる拡張坂上式/ITU-R P.1411 モデルを用いて計算した結果である。いずれの表も (a) が W56 の e.i.r.p. が 200mW の場合、(b) が W56 の e.i.r.p. が 1W の場合の計算結果である。

表 6-3 実機データによる離隔距離の検討（平野部、海上）

(a) W56 の e.i.r.p.=200mW の場合

自由空間/2波モデル

共用対象システムの 組合せ			被干渉							
			W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi			
			20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム	
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=10mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	2.98/4.21km 1.06/1.49km 0.02/0.03km	2.98/4.21km 1.06/1.49km 0.02/0.03km	2.36/3.34km 0.02/0.03km 0.01/0.01km
		40MHz システム e.i.r.p.=5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	2.36/3.34km 0.67/0.94km 0.02/0.02km	2.36/3.34km 0.67/0.94km 0.02/0.02km	1.67/2.37km 0.02/0.03km 0.01/0.01km
		80MHz システム e.i.r.p.=2.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	—	—	—
		160MHz システム e.i.r.p.=1.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	—	—	—
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.27/0.38km 0.04/0.06km	13.5/19.1km 0.13/0.19km 0.03/0.05km	— 0.10/0.14km 0.05/0.08km	— 0.27/0.38km 0.05/0.07km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.27/0.38km 0.04/0.06km	13.5/19.1km 0.13/0.19km 0.03/0.05km	— 0.10/0.14km 0.05/0.08km	— 0.27/0.38km 0.05/0.07km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	12.0/17.0km 0.30/0.43km 0.04/0.05km	8.52/12.0km 0.17/0.24km 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.05/0.07km	— 0.27/0.38km 0.05/0.07km	—	—	—

(b) W56 の e.i.r.p.=1W の場合

自由空間/2波モデル

共用対象システムの 組合せ			被干渉							
			W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi			
			20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム	
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=50mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	6.66/9.43km 2.36/3.34km 0.04/0.0km	6.66/9.43km 2.36/3.34km 0.04/0.0km	5.29/7.49km 0.05/0.07km 0.01/0.02km
		40MHz システム e.i.r.p.=25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	5.29/7.49km 1.49/2.11km 0.04/0.05km	5.29/7.49km 1.49/2.11km 0.04/0.05km	3.75/5.30km 0.05/0.07km 0.02/0.02km
		80MHz システム e.i.r.p.=12.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	—	—	—
		160MHz システム e.i.r.p.=6.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	—	—	—
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.27/0.38km 0.04/0.06km	13.5/19.1km 0.13/0.19km 0.03/0.05km	— 0.10/0.14km 0.05/0.08km	— 0.27/0.38km 0.05/0.07km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	13.5/19.1km 0.27/0.38km 0.04/0.06km	13.5/19.1km 0.13/0.19km 0.03/0.05km	— 0.10/0.14km 0.05/0.08km	— 0.27/0.38km 0.05/0.07km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	12.0/17.0km 0.30/0.43km 0.04/0.05km	8.52/12.0km 0.17/0.24km 0.05/0.08km	— 0.24/0.34km 0.05/0.07km	— 0.27/0.38km 0.05/0.07km	—	—	—

表 6-4 実機データによる離隔距離の検討（都市部）  
 (a) W56 の e.i.r.p.=200mW の場合

拡張坂上式/ITU-R P.1411

共用対象システムの 組合せ			被干渉							
			W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi			
			20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム	
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=10mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.63/0.26km 0.36/0.16km 0.00/0.03km	0.63/0.26km 0.36/0.16km 0.00/0.03km	0.56/0.23km 0.00/0.03km 0.00/0.02km
		40MHz システム e.i.r.p.=5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.56/0.23km 0.27/0.13km 0.00/0.02km	0.56/0.23km 0.27/0.13km 0.00/0.02km	0.46/0.20km 0.00/0.03km 0.00/0.02km
		80MHz システム e.i.r.p.=2.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.23/0.12km 0.00/0.02km	— 0.23/0.12km 0.00/0.02km	— 0.00/0.03km 0.00/0.02km
		160MHz システム e.i.r.p.=1.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.16/0.10km —	— 0.16/0.10km —	— 0.00/0.03km —
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.13/0.09km 0.01/0.04km	1.37/0.52km 0.04/0.06km 0.000.03/km	— 0.02/0.05km 0.01/0.04km	— 0.13/0.09m 0.01/0.04km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.13/0.09km 0.01/0.04km	1.37/0.52km 0.04/0.06km 0.000.03/km	— 0.02/0.05km 0.01/0.04km	— 0.13/0.09m 0.01/0.04km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.29/0.49km 0.14/0.09km 0.00/0.04km	1.09/0.42km 0.06/0.07km 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.01/0.04km	— 0.13/0.09km 0.010.04/km	—	—	—

(b) W56 の e.i.r.p.=1W の場合

拡張坂上式/ITU-R P.1411

共用対象システムの 組合せ			被干渉							
			W56: 受信ANT利得=2.14dBi				U57: 受信ANT利得=6dBi			
			20MHz システム	40MHz システム	80MHz システム	160MHz システム	5MHz システム	10MHz システム	20MHz システム	
与干渉	W56	20MHz システム e.i.r.p.=50mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.96/0.37km 0.56/0.23km 0.01/0.04km	0.96/0.37km 0.56/0.23km 0.01/0.04km	0.85/0.34km 0.01/0.04km 0.00/0.02km
		40MHz システム e.i.r.p.=25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	0.85/0.34km 0.43/0.19km 0.00/0.04km	0.85/0.34km 0.43/0.19km 0.00/0.04km	0.71/0.29km 0.01/0.04km 0.00/0.02km
		80MHz システム e.i.r.p.=12.5mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.38/0.17km 0.00/0.03km	— 0.38/0.17km 0.00/0.03km	— 0.01/0.04km 0.00/0.03km
		160MHz システム e.i.r.p.=6.25mW /MHz	同一隣接 次隣接	—	—	—	—	— 0.29/0.14km —	— 0.29/0.14km —	— 0.01/0.04km —
	U57	5MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.13/0.09km 0.01/0.04km	1.37/0.52km 0.04/0.06km 0.00/0.03km	— 0.02/0.05km 0.01/0.04km	— 0.13/0.09m 0.01/0.04km	—	—	—
		10MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.37/0.52km 0.13/0.09km 0.01/0.04km	1.37/0.52km 0.04/0.06km 0.00/0.03km	— 0.02/0.05km 0.01/0.04km	— 0.13/0.09m 0.01/0.04km	—	—	—
		20MHz システム e.i.r.p.=36dBm	同一隣接 次隣接	1.29/0.49km 0.14/0.09km 0.00/0.04km	1.09/0.42km 0.06/0.07km 0.01/0.04km	— 0.11/0.08km 0.01/0.04km	— 0.13/0.09km 0.01/0.04km	—	—	—

ここまでに W56 の各システムと U57 の各システムを用いた組合せにおいて平野部及び都市部ともに 2 通りの伝搬モデルを用いて離隔距離を計算した。表 6-5 にはより安全側の評価としてそれらの中の最大値を示す。表には机上検討における結果も併記する。

表より、W56 から U57 へ干渉する場合、同一チャンネル及び次隣接チャンネルの場合は実測値から計算した離隔距離が机上検討結果よりも短い、隣接チャンネルの場合は実測値から計算した離隔距離の方が長い。これは、W56 が U57 アナログ 10MHz システムへ干渉する場合の結果を表しており、U57 アナログシステムの受信フィルタの性能により、隣接の妨害波からの影響を受けやすい傾向が表れていると考えられる。また、U57 から W56 へ干渉する場合においては、実測値から計算した離隔距離は、全体的に同等もしくは短くなる傾向を示している。

実機を用いた試験結果より、共用を可能とするためには、表 6-5 に示す離隔距離が必要となる。

表 6-5 実機データによる離隔距離（まとめ）

離隔距離		W56→U57		U57→W56	
		机上検討	実測値	机上検討	実測値
平野部	同一	14.9km	9.43km	19.1km	19.1km
	隣接	0.75km	3.34km	0.96km	0.38km
	次隣接	0.12km	0.05km	0.15km	0.06km
都市部	同一	1.21km	0.96km	1.37km	1.45km
	隣接	0.23km	0.56km	0.27km	0.14km
	次隣接	0.05km	0.01km	0.06km	0.04km

## 6.2 機能の整理

W56 に具備されているキャリアセンス機能及び DFS 機能が W56 の上空利用において、U57 との共用に有効かどうか検討する。

### 6.2.1 キャリアセンス機能

表 6-6 に実機で測定したキャリアセンスの閾値の平均値を用いて計算したキャリアセンス発生距離を示す。表には計算で用いた U57 及び W56 の諸元も示す。

表より、W56 のキャリアセンス発生距離は、0.5～0.7km より短い場合となるが、これは既に同一チャンネルで干渉が発生している距離である。このため、現在の実機におけるキャリアセンス機能は干渉を回避し、U57 と共用するための有効な手段ではないと考えられる。

表 6-6 キャリアセンス発生距離

項目		U57→W56同一チャネル干渉	
		自由空間	2波モデル
U57	空中線電力 (dBm)	30	
	空中線利得 (dBi)	6	
	給電系損失 (dB)	0	
W56	空中線利得 (dBi)	2.14	
	給電系損失 (dB)	0	
実機で測定したキャリアセンス閾値の平均値 (dBm)		-64	
キャリアセンス発生距離 (km)		0.54	0.76

### 6.2.2 DFS 機能

実機を用いて行った U57 信号を検知信号とみなした DFS 試験において、DFS 機能は動作しなかった。このため、DFS 機能は干渉を回避し、U57 と共用するための有効な手段ではないと考えられる。

### 6.2.3 その他の機能

無線 LAN のアクセスポイントには、周囲の電波状況を確認し、チャンネルを自動的に切り替える機能を持つ製品がある。本機能を使用すると、U57 からの干渉を受けた場合にチャンネルを切り替え、同一チャネル干渉を回避できると考えられる。但し、接続していた端末との通信は途切れるため、再度接続が必要となる。干渉の低減は可能と考えられるが、干渉を完全に回避し、U57 との共用を可能とする機能ではないと考えられる。

## 6.3 運用条件の検討

6.1.2 において算出された離隔距離を考慮し、W56 の上空利用の運用条件を検討する。W56 から U57 へ干渉を与える場合、同一チャネルにおいては、9.43km 以上の離隔距離が必要であり、U57 から W56 へ干渉を与える場合、同一チャネルにおいては、19.1km 以上の離隔距離が必要となった。数 km 以上の離隔距離が必要となる同一チャネルを利用する場合、干渉を回避する運用条件が求められる。

また、隣接チャンネルにおいては、W56 から U57 へ干渉を与える場合、最大で 3.34km 以上の離隔距離が必要であり、干渉を回避する運用条件が必要であると考えられる。

次隣接チャンネルにおける離隔距離は、最大で 60m であり、見通しが取れるために干渉の回避が可能であると考えられる。干渉を回避する運用が難しい場合には、U57 と次隣接チャンネル以上の周波数の離隔が可能な 5630MHz 以下の使用に制限することが必要と考えられる。

#### 6.4 機能・条件のまとめ

W56 の上空利用の実現に向けた機能・条件について整理を行った。検討結果は以下の通りである。

- ・実機を使用した試験結果から、離隔距離の最大値としては、W56 から U57 への同一チャンネル干渉において 9.4km となり、U57 から W56 への同一チャンネル干渉において 19.1km となった。共用を可能とするためには、離隔距離が必要となる。

- ・W56 に具備されているキャリアセンス機能及び DFS 機能について、U57 との干渉回避に有効な手段ではないと考えられる。

- ・数 km 以上の離隔距離が必要となる同一や隣接チャンネルの利用においては、干渉を回避する運用条件が求められる。

- ・干渉を回避する運用条件が難しい場合には、U57 と次隣接チャンネル以上の周波数の離隔が可能な 5630MHz 以下の周波数の利用に制限することが必要と考えられる。

## 第7章 まとめ

信越総合通信局において、無線 LAN における 5.6GHz 帯周波数の上空利用に関し、平成 30 年陸上無線通信委員会報告書の結果を踏まえ検討した結果を以下に示す。

### 7.1 前提条件

本調査検討では、平成 30 年（2018 年）陸上無線通信委員会報告で課題とされた W56 と U57 との共用検討についての技術検証を実施した。このため、令和元年 7 月に無線設備規則の改正により拡幅となった W56 の CH144 は、共用条件の検討では対象外とした。

### 7.2 検討結果

#### 7.2.1 干渉検討

図 7-1 に干渉検討を行う W56 及び U57 の周波数配置を示す。両システムは、5650MHz から 5730MHz までの周波数を共用している。図中に検討対象となる同一波、隣接波、次隣接波の組合せを色で分けて示す。

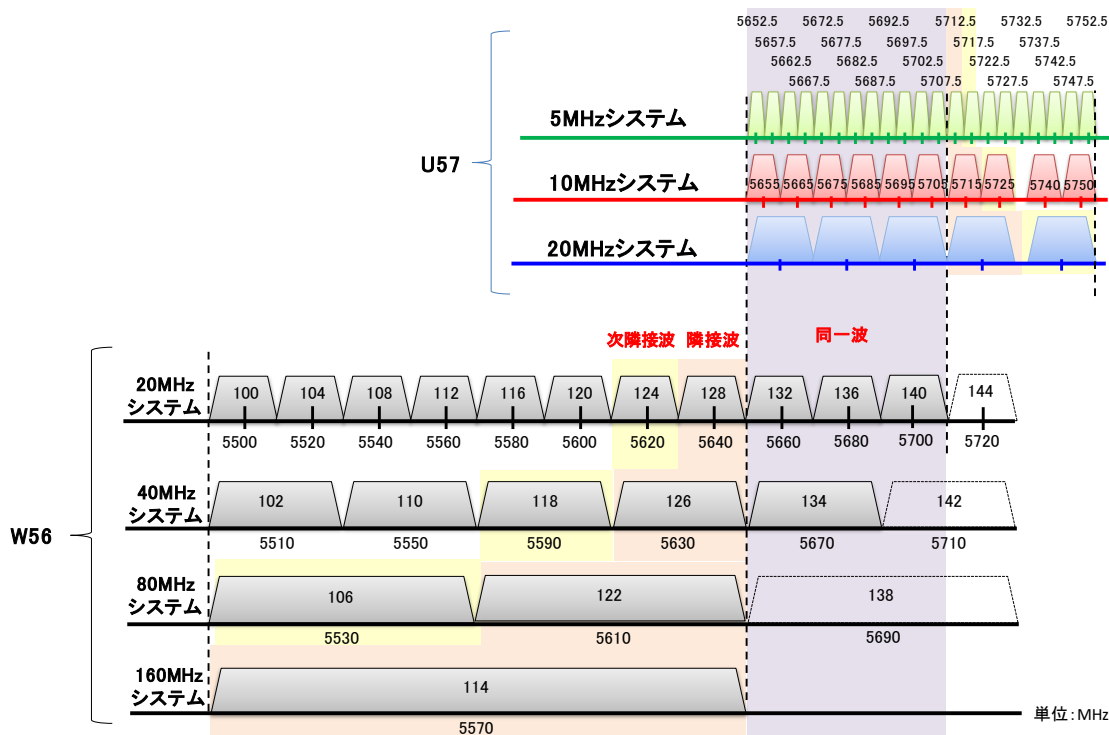


図 7-1 W56 と U57 の周波数配置



(1) 対象システム諸元

(ア) W56

表 7-1 に W56 の諸元を示す。1 チャンネル 20MHz 幅では、W56 は 12 チャンネルある。複数のチャンネルを束ねて一つの通信として扱い、帯域を 40MHz、80MHz、160MHz、80+80MHz として使用する事ができる。帯域の最大 e.i.r.p.は 1W であるが、TPC を具備しない場合は半分となる。また、W56 は各種レーダーの運用を妨げないため、DFS の具備が義務付けられている。

表 7-1 W56 の諸元

項目	5.6GHz帯無線LAN(W56)	
送信周波数	5490MHz～5730MHz	
チャンネル帯域	20/40/80/160/80+80MHz	
空中線電力	システム	電力密度
	20MHz システム	10mW/MHz 以下
	40MHz システム	5mW/MHz 以下
	80MHz システム	2.5mW/MHz 以下
	160MHz システム	1.25mW/MHz 以下
等価等方輻射電力	20MHz システム	TPC具備: 50mW/MHz以下 TPCなし: 25mW/MHz以下
	40MHz システム	TPC具備: 25mW/MHz以下 TPCなし: 12.5mW/MHz以下
	80MHz システム	TPC具備: 12.5mW/MHz以下 TPCなし: 6.25mW/MHz以下
	160MHz システム	TPC具備: 6.25mW/MHz以下 TPCなし: 3.125mW/MHz以下
キャリアセンス機能	あり	
周波数利用における機能	DFS (Dynamic Frequency Selection)	

TPC (Transmission Power Control) : 通信環境に応じ送信出力を自動的に最大3dB低下させる機能

(イ) U57

表 7-2 に U57 の諸元を示す。U57 は W56 と異なり、空中線電力においてチャンネル帯域による規定はなく最大 1W である。また、U57 はキャリアセンス機能及び DFS 機能の具備の規定はない。

表 7-2 U57 の諸元

項目	無人移動体画像伝送システム (U57)
送信周波数	5650MHz～5755MHz
チャンネル帯域	5/10/20MHz
空中線電力	1W以下
送信空中線利得	6dBi以下

(ウ) 干渉判定基準

W56 が被干渉の場合、PER を測定し、PER=10%を干渉の判定基準とした。なお、PER 測定におけるパケット長は 1024 バイトである。U57 が被干渉の場合、データ通信用インタフェースがないため、映像を送信して試験を行った。画像の乱れの有無によって干渉を判定し、評価尺度 4 を許容可能とした。表 7-3 に被干渉画像の評価尺度を示す。

表 7-3 被干渉画像の評価尺度<sup>36</sup>

評点	Impairment scale	妨害の尺度
5	Imperceptible	妨害がわからない
4	Perceptible, but not annoying	妨害がわかるが気にならない
3	Slightly annoying	妨害が気になるが邪魔にならない
2	Annoying	妨害が邪魔になる
1	Very annoying	妨害がひどくて邪魔になる

(2) 干渉モデル

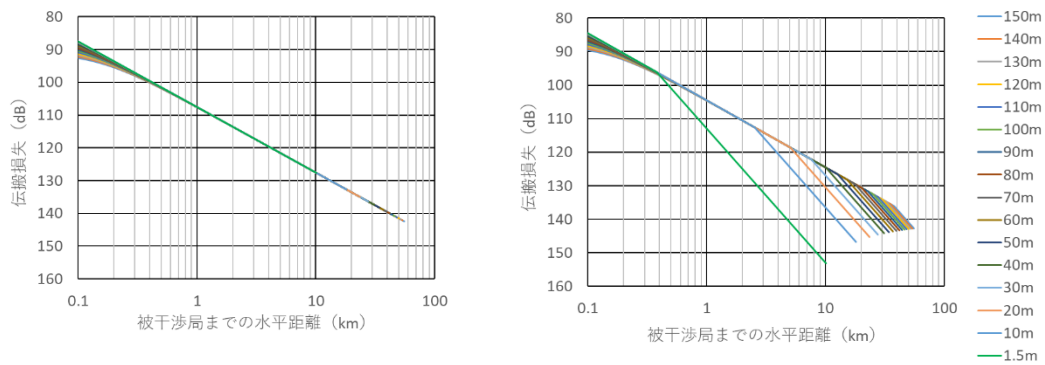
モデル環境を平野部・海上、都市部、山間部（遮蔽物）の3タイプに類型化し、適用する電波伝搬モデルを選定した。表 7-4 に各モデル環境において適用する電波伝搬モデルを示す。

表 7-4 適用する電波伝搬モデル

エリア	適用するモデル	備考
平野部、海上	自由空間損失	ドローン～ドローン間の場合も基本的に見通し内になるため、本タイプを適用 大地反射2波モデルでは平均値を使用
	大地反射2波モデル	
都市部	拡張坂上式	5GHz帯において有効な伝搬損失推定式から選択
	ITU-R P.1411	
山間部（遮蔽物）	ナイフエッジ回折モデル	個別に遮蔽の影響を計算する場合に適用

(ア) 平野部・海上

図 7-2 に平野部、海上における電波伝搬損失特性を示す。ブレイクポイントまでは、2波モデルの方が自由空間よりも伝搬損失は小さい。



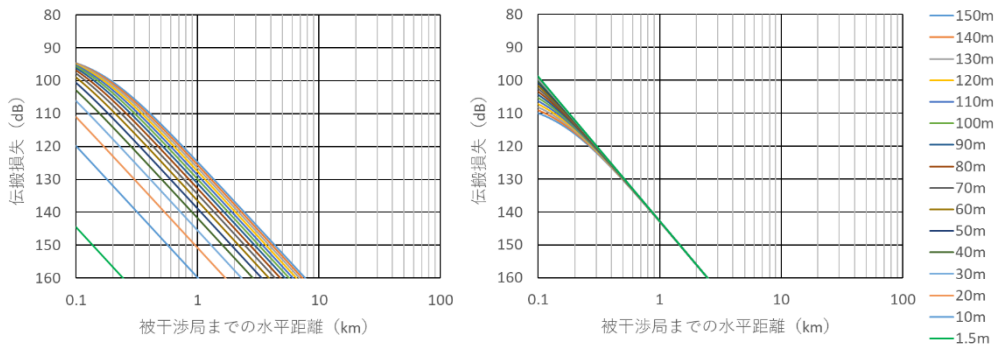
(a) 自由空間

(b) 2波モデル

図 7-2 上空→地上における電波伝搬損失特性（平野部、海上）

(イ) 都市部

図 7-3 に都市部における電波伝搬損失特性を示す。拡張坂上式では、送信高が 50m より低い場合に伝搬損失は大きくなる。ITU-R P.1411 では、400m を超えるところでは、送信高による差はほとんどない。



(a) 拡張坂上式 (b) ITU-R P.1411

図 7-3 上空→地上における電波伝搬損失特性 (都市部)

(ウ) 山間部 (遮蔽物)

図 7-4 に山間部における電波伝搬損失特性の一例を示す。遮蔽物の高さは送信高と同じとし、遮蔽物の位置は送受信間の中間点として計算した。

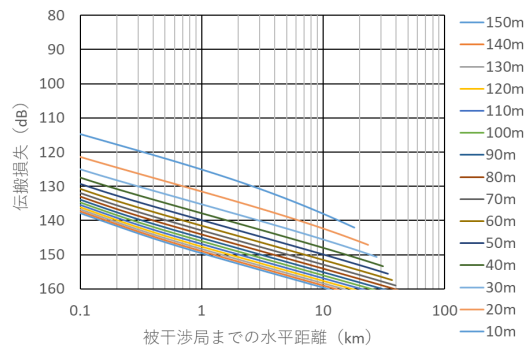


図 7-4 上空→地上における電波伝搬損失特性 (山間部)

(3) 検討結果

(ア) 机上検討

利用が想定されるモデル環境について電波伝搬損失のシミュレーションを行い、W56 と U57 相互間の各チャンネルの組み合わせにおいて、必要離隔距離を求めた。表 7-5 に必要離隔距離の最大値を示す。

離隔距離の最大値としては、W56 から U57 への同一チャンネル干渉において 14.9km、U57 から W56 への同一チャンネル干渉において 19.1km となった。

表 7-5 必要離隔距離の最大値

離隔距離		W56→U57		U57→W56
		e.i.r.p.=200mW	e.i.r.p.=1W	
平野部	同一	6.67km	14.9km	19.1km
	隣接	0.33km	0.75km	0.96km
	次隣接	0.05km	0.12km	0.15km
都市部	同一	0.80km	1.21km	1.37km
	隣接	0.11km	0.23km	0.27km
	次隣接	0.04km	0.05km	0.06km

(イ) 屋内試験

実機における評価試験を行い、規格値との比較検討を行った。実機における受信感度は規格値と同等もしくは良好な値であった。W56 と U57 の各種組合せにおける所要 D/U は規格値より小さい値となり、干渉に強い傾向であった。

また、W56 のキャリアセンス・DFS 機能の確認試験を行った。キャリアセンス機能が動作する入力レベルは、許容干渉レベルより高く、キャリアセンス機能が動作する前に干渉を受けて通信できなくなる。U57 信号を検知信号とみなした DFS 試験では、DFS 機能は動作しなかったため、干渉回避の有効性は確認されなかった。

U57 信号を妨害波として入力した場合においても、レーダーパルスを検知により DFS 機能が動作することが確認され、干渉を受けている場合においても DFS の検知機能に影響しないことが確認された。

(ウ) 屋外試験

電波伝搬特性測定結果より、平野部においては平面大地反射 2 波モデルと概ね同等の傾向が見られた。都市部の見通し外（屋上－地上間）においては、ITU-R P.1411 (NLOS) と近い傾向が見られ、屋上間においては、自由空間損失に近い傾向が見られた。

受信感度及び所要 D/U の測定結果より、全体的に屋内試験結果と同等であることが確認された。測定場所による離隔距離は、計算結果より短くなる傾向が見られ、実際の妨害波は電波伝搬モデルによる計算値よりも低いレベルになると考えられる。

(4) 考察

机上検討において用いた電波伝搬モデルを用い、屋内／屋外実証試験において取得された試験結果に基づいて離隔距離を算出し、共用条件の検討を行った。

受信感度と所要 D/U について、屋外実証試験においても屋内試験と同等の傾向が見られたことから、離隔距離算出には、複数の機種を使用した屋内試験結果の平均値を代表値と

して使用した。表 7-6 に実機データから得られた許容干渉電力を用いて算出した離隔距離の最大値を示す。表には机上検討における結果も併記する。共用を可能とするためには、表に示す離隔距離が必要となる。

表 7-6 実機データによる離隔距離（まとめ）

離隔距離		W56→U57		U57→W56	
		机上検討	実測値	机上検討	実測値
平野部	同一	14.9km	9.43km	19.1km	19.1km
	隣接	0.75km	3.34km	0.96km	0.38km
	次隣接	0.12km	0.05km	0.15km	0.06km
都市部	同一	1.21km	0.96km	1.37km	1.45km
	隣接	0.23km	0.56km	0.27km	0.14km
	次隣接	0.05km	0.01km	0.06km	0.04km

### 7.2.2 運用の留意点等

算出された離隔距離を考慮し、W56 の上空利用の運用の留意点を検討する。数 km 以上の離隔距離が必要となる同一チャンネルを利用する場合、W56 から U57 へ干渉を与える隣接チャンネルを利用する場合、干渉を回避する運用条件が求められる。

次隣接チャンネルにおける離隔距離は、最大で 60m であり、見通しが取れるために干渉の回避が可能であると考えられる。

干渉を回避する運用が難しい場合には、U57 と次隣接チャンネル以上の周波数の離隔が可能な 5630MHz 以下の使用に制限することが必要と考えられる。

### 7.3 総合とりまとめ

以上の検討結果を総合的に勘案すると、将来の W56 上空利用に係る制度整備等の際には、以下に示す事項を考慮することが望まれる。なお、ここでの上空とは、一般的にドローンの飛行が可能である高度<sup>39</sup>150m までとする。

- ・ W56 上空利用と U57 は、両システム間が約 20km 程度離れると共存可能。
- ・ 一方、運用調整により、距離に依存しない共存の可能性もある。
- ・ ただし、運用調整のための「機関(組織)の在り方」については、別途検討が必要。
- ・ なお、上記「7.1 前提条件」で示したとおり、本検討においては 144ch が含まれていないことや、U57 以外の同一周波数帯共用システムは考慮されていないことに留意。

<sup>39</sup> 無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール（付属資料 7 参照）  
[https://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_tk10\\_000003.html#a](https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html#a)

# 付 属 資 料

## 付属資料一覧

付属資料 1	.....	付 1
開催趣旨		
付属資料 2	.....	付 2
設置要綱		
付属資料 3	.....	付 4
構成員名簿		
付属資料 4	.....	付 5
電波伝搬モデル計算式		
付属資料 5	.....	付 8
W56 の与干渉評価での e.i.r.p. の値		
付属資料 6	.....	付 9
離隔距離の計算結果		
付属資料 7	.....	付 16
無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール		
付属資料 8	.....	付 17
参考文献		



## 開催趣旨

信越地域は、中山間地域である一方で広域な平野部が広がる地域でもあり、このようなロケーションでは広範囲な情報を収集するためには、上空の高点から鳥瞰的な収集が有効と考えられ、平時のみならず災害発生時や復旧時においても有効と考えられます。近年、上空から情報を得る有効方策として、小型無人航空機（ドローン）が多く利用されています。

ドローンの利用には、上空から地上への情報の伝送があり、機体内部の蓄積型と無線回線を利用した無線伝送型がありますが、昨今ではリアルタイムで情報の伝送が可能な無線伝送型のニーズが高まっています。平成 28 年に安定した無線伝送のための 5.7GHz 帯等の無人移動体画像伝送システムが制度化されていますが、その利用には、無線局免許の取得や無線従事者の確保などあらかじめの準備が必要となっています。

総務省では、平成 30 年に総務省情報通信審議会情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会において、免許が不要で簡易な運用が可能である 5.47～5.725GHz(5.6GHz 帯)の周波数を利用する無線 LAN を、上空で利用することを検討し、当該委員会報告書を取りまとめました。しかし、当該委員会報告書において、今後の無人移動体画像伝送システムの普及が進み干渉確率の増加が見込まれるため、ドローンを始めとする無人航空機等の安全性の確保を行うことが制度化に向けた課題とされ、その後、当該委員会報告書は情報通信審議会において答申が行われ、一定の方向性は示されましたが制度化までには至っていません。

本調査検討では、5.6GHz 帯無線 LAN の上空利用に関して、平成 30 年陸上無線通信委員会報告書において制度化に向け課題とされた事項の技術試験、及びその利用可能性について検討を行うことにより、信越地域での電波利用による上空からの情報収集の利活用に寄与していくことを目的とします。

令和 2 年 8 月

## 設置要綱

### 1 名 称

この調査検討会は、「無線LANにおける5.6GHz帯周波数の上空利用に関する調査検討会」（以下「調査検討会」という。）と称する。

### 2 目 的

調査検討会は、5.6GHz帯の無線LAN（以下「W56」という。）の更なる利用促進を図るため、上空への利用を拡大することについて、その有用性の検証を行うとともに、5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム（以下「U57」という。）との共用と電波伝搬特性の技術的諸条件を検討し、周波数を有効利用するための方策に資することを目的とする。

### 3 調査検討事項

調査検討会は次の検討を行う。

- (1) W56の上空利用に関する動向調査
- (2) W56の上空利用の実現に向けた机上シミュレーションによる技術検討
- (3) 屋内試験環境による影響評価
- (4) 屋外における影響性評価
- (5) W56の上空利用の実現に向けた機能・条件の整理
- (6) その他、付随する事項の検討

### 4 構 成

調査検討会の構成は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、信越総合通信局長から委嘱を受けた委員により構成する。
- (2) 調査検討会に、座長1名及び座長代理1名を置く。
- (3) 座長は、構成員の互選によって選出する。
- (4) 座長は、調査検討会を代表し、会務を総理する。
- (5) 座長は、構成員の中から座長代理を指名する。
- (6) 座長代理は、座長を補佐し、座長に事故あるとき又は座長が欠けたときは、その職務を代理する。
- (7) 調査検討会には、必要に応じ委員以外の者の参加ができるものとするが、議決の権利を持たない。

### 5 運 営

調査検討会の運営は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、座長が招集し、主宰する。座長が不在の場合にあつては、座長代理がこれを行う。

## 付属資料 2

- (2) 委員は、調査検討会を審議し運営する。
- (3) 調査検討会は、必要に応じ委員以外の者から意見を徴することができる。
- (4) 調査検討会は、必要に応じ電子メール等による運営を行う。
- (5) その他、運営に関して必要な事項は、座長が別に定める。

### 6 設置期間

調査検討会の設置期間は、設置の日から令和3年3月31日までとする。

### 7 事務局

調査検討会の事務局は、信越総合通信局無線通信部電波利用企画課及びNTTアドバンステクノロジー株式会社に設置する。

### 8 その他

- (1) 調査検討会における調査検討事項に関する成果を公表、利用等するときは、あらかじめ信越総合通信局の承認を得るものとする。
- (2) 調査検討会の成果物に関する権利は、総務省に帰属する。
- (3) 本調査検討会において、特定した利用目的以外に個人情報を取り扱わないものとする。

構成員名簿

区分	氏名 (敬称略)	氏名ふりがな	所属先 名称
学識経験者 (座長)	佐々木 重信	ささき しげのぶ	国立大学法人新潟大学
学識経験者 (座長代理)	田久 修	たきゅう おさむ	国立大学法人信州大学
民間委員	錢谷 彰	ぜにや あきら	イームズロボティクス株式会社
民間委員	小池 幸永	こいけ ゆきなが	株式会社サーキットデザイン
民間委員	三浦 龍	みうら りゅう	国立研究開発法人情報通信研究機構
民間委員	鷹取 泰司	たかとり やすし	一般社団法人電波産業会
民間委員	足立 朋子	あだち ともこ	株式会社東芝
民間委員	浅井 裕介	あさい ゆうすけ	日本電信電話株式会社
民間委員	秋本 修	あきもと おさむ	日本無人機運行管理コンソーシアム
民間委員	成瀬 廣高	なるせ ひろたか	株式会社バッファロー
オブザーバー	岡田 真治	おかだ しんじ	総務省総合通信基盤局電波部 基幹・衛星移動通信課 基幹通信室
オブザーバー	戸部 絢一郎	とべ じゅんいちろう	総務省総合通信基盤局電波部 移動通信課

## 電波伝搬モデル計算式

### 1. 電波伝搬モデル（平野部、海上）

#### (ア) 自由空間

無限に広く、一様で損失のない理想的空間を自由空間という。自由空間における伝搬損失  $Loss$  は以下で表される。

$$Loss = 20 \log \left\{ \frac{4\pi d}{\lambda} \right\} \text{ [dB]}$$

#### (イ) 大地反射 2 波モデル<sup>40</sup>

大地反射 2 波モデルを用いた伝搬損失  $Loss$  は以下の式で表される。

$$Loss = 20 \log \left\{ \frac{\lambda}{2\pi d} \cdot \left| \sin \frac{k\Delta l}{2} \right| \right\} \text{ [dB]}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \Delta l = \sqrt{(h_t + h_r)^2 + D^2} - \sqrt{(h_t - h_r)^2 + D^2}$$

$k$ : 波数  $\Delta l$ : 直接波と大地反射波の行路長差

$d$ : 距離[m]  $D$ : 水平距離[m]  $\lambda$ : 波長[m]

$h_t$ : 送信アンテナ高[m]  $h_r$ : 受信アンテナ高[m]

ここで、 $\Delta l > \frac{\lambda}{2}$  となる範囲では、直接波と大地反射波が干渉してフェージングを発生しており値が激しく変動するので、平均値を用いた以下の近似式を適用する。

$$\Delta l > \frac{\lambda}{2} \quad Loss = 20 \log \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\lambda}{2\pi d} \text{ [dB]}$$

また、 $d$  が大きくなり  $\Delta l \ll 1$  の範囲では以下で近似できる。

$$\Delta l \ll 1 \quad Loss = 20 \log \frac{h_t h_r}{d^2} \text{ [dB]}$$

ここで両式が交わるブレイクポイント  $bp$  は以下で表される。

$$bp = \sqrt{2} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} h_t h_r$$

<sup>40</sup> 高田「電波伝搬の基礎理論」MWE 2005 Workshop Digest, 2005. 11.  
<https://www.apmc-mwe.org/mwe2005/src/TL/TL05-01.pdf>

2. 電波伝搬モデル (都市部)

(ア) 拡張坂上式<sup>41</sup>

拡張坂上式による伝搬損失  $Loss$  は以下の式で表される。

$$Loss = 54 + 40\log(d) - 30\log(h_b) + 21\log(f) + a \quad [\text{dB}]$$

$$a = a(H_0) + a(W) + a(h_m)$$

$$a(H_0) = 11\log\frac{H_0}{20}, \quad a(W) = -7.1\log\frac{W}{20}, \quad a(h_m) = -5.0\log\frac{h_m}{1.5}$$

$d$ : 距離[m]    $f$ : 周波数[GHz]    $h_b$ : 基地局高[m]    $h_m$ : 移動局高[m]

$H_0$ : 平均ビル高[m]    $W$ : 道路幅[m]

	$H_0$	$W$
都市部推奨値	20	20

(イ) Rec.ITU-R P.1411<sup>42</sup>

Rec.ITU-R P.1411-10 による伝搬損失  $L_b$  は以下で表される。ここで Models for propagation over roof-tops の NLoS の係数を用いることとする。

$$L_b(d, f) = 10\alpha\log(d) + \beta + 10\gamma\log(f) \quad [\text{dB}]$$

$d$ : 3D direct distance between the transmitting and receiving stations[m]

$f$ : operation frequency[GHz]

$\alpha$ : coefficient associated with the increase of the basic transmission loss with distance

$\beta$ : coefficient associated with the offset value of the basic transmission loss

$\gamma$ : coefficient associated with the increase of the basic transmission loss with frequency

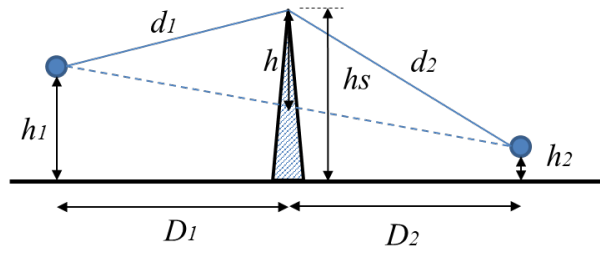
LoS/NLoS	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
NLoS	4.39	-6.27	2.30

3. 電波伝搬モデル (山間部 (遮蔽物))

山間部では直接見通しがなく遮蔽物による回折を利用する。実際の遮蔽物の形状は複雑であるが、理想的なナイフエッジなど比較的簡単な遮蔽物による回折損失  $L_d$  は次式で表される。

<sup>41</sup> 北尾, 市坪「第4世代移動通信システムの市街地伝搬損失推定式」第485回電波研連F分科会(URSI-F), 2004年6月

<sup>42</sup> Rec. ITU-R P.1411-10, "Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz"



付図 4-1 ナイフエッジ回折

$$L_d = 6.9 + 20 \log \left\{ \sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right\} \quad [\text{dB}]$$

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

$$h = h_s - \frac{h_1 D_2 + h_2 D_1}{D_1 + D_2}$$

$v$ : 回折パラメータ  $\lambda$ : 波長[m]

$h$ : 障害物の頂上が見通し線以下にある場合を負とする障害物頂上と送受信点見通し線との距離[m]

$d_1, d_2$ : 送受信点と障害物頂上との距離[m]

$h_1, h_2$ : 送受信高[m]

$D_1, D_2$ : 地表面における送受信点と障害物との距離[m]

## W56 の与干渉評価での e.i.r.p.の値

W56 の e.i.r.p.は最大 1W であるが空中線電力は最大 200mW であり、アンテナ利得は 7dBi となる。過去の情報通信審議会答申の検討で、与干渉の期待値として 200mW で計算することが適当との指針が出されている。<sup>2</sup>

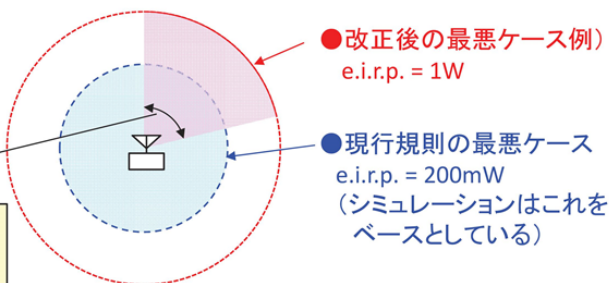
### e.i.r.p. 1W化に対する考え方

結論: 無線局あたりの与干渉の期待値は現行規則から変更ないため、従来モデルの利用が適当

- 最大送信電力は従来どおり200mW  
→e.i.r.p. 1Wを実現するためには、7dBiの指向性アンテナが必要。  
(例)セクタアンテナを用いた場合のイメージ→

72度(=360度/5倍)

※平成14年に施行された2.4GHz帯無線LANの高出力化においても、与干渉を増やさずにアンテナ利得を増加させて伝送距離を拡大することを意図し、EIRPのみを増加させる同様の考え方が導入されている。



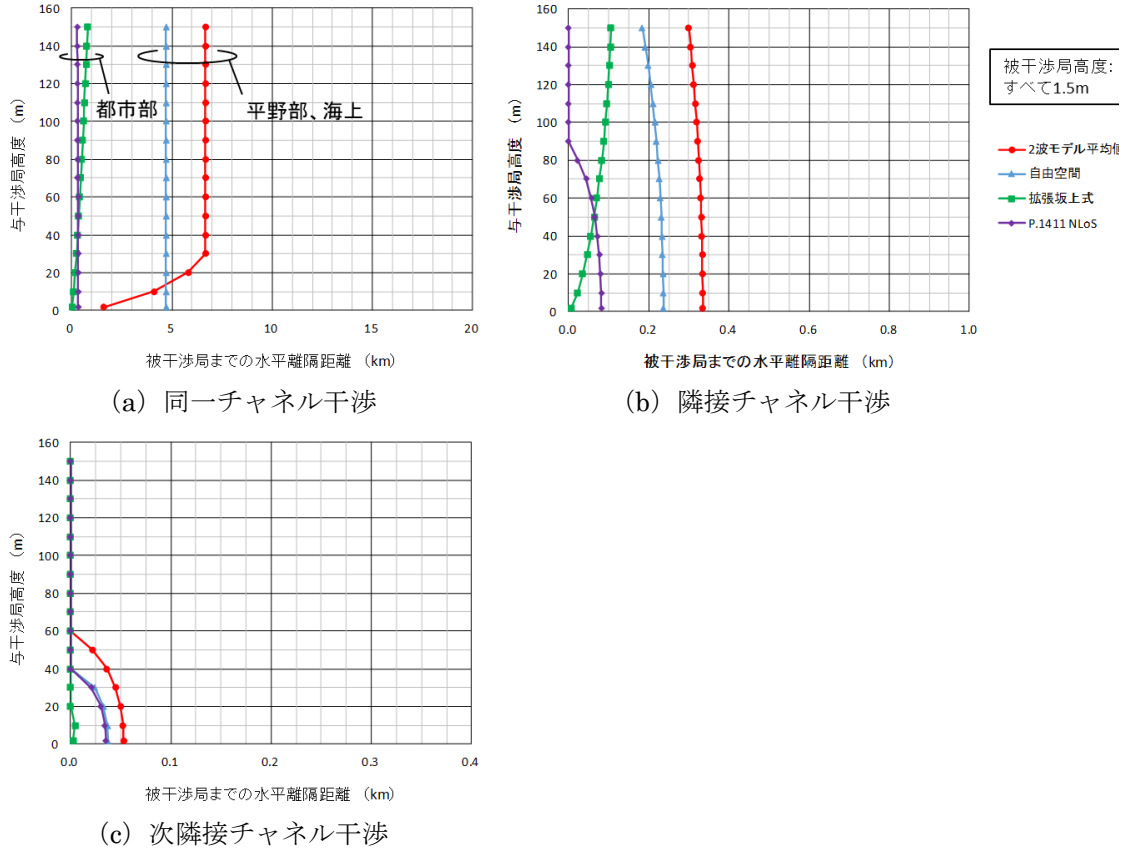
- Lsum導出のモンテカルロシミュレーションにおいて、試行毎に無線局をランダムに配置している。  
→指向性についても同様にランダムとすることが適当である。
- 無線局の設置場所によっては最大利得の指向性がレーダ局に対して向く場合もあるが、逆向きの場合は全く干渉を与えない場合もある。また、多数の無線局の減衰量の合計値の複数試行の平均でLsumを評価している。  
→無線局1台あたりの与干渉量については期待値(200mW※)で評価することが適当、これは従来と同じである。

$$\text{※ } 1\text{W} \times 1/5 + 0\text{W} \times 4/5 = 200\text{mW}$$

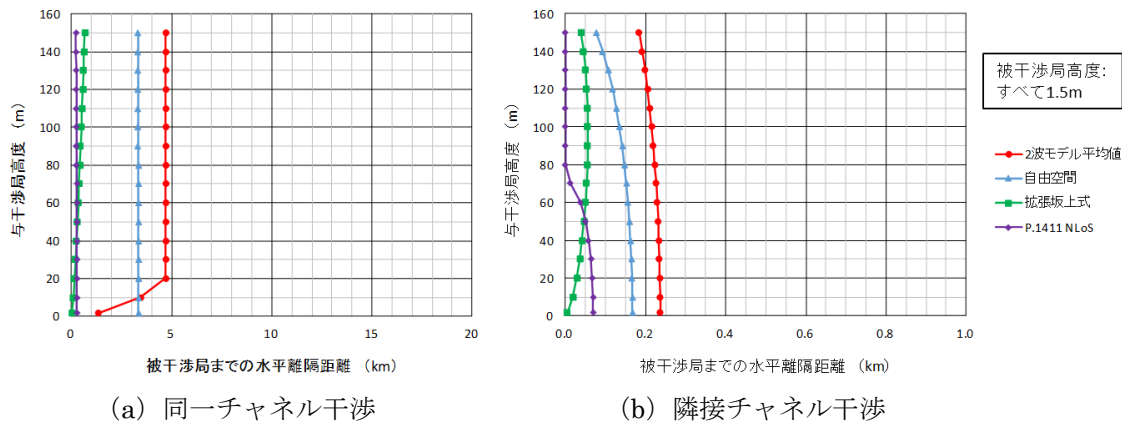


## 離隔距離の計算結果

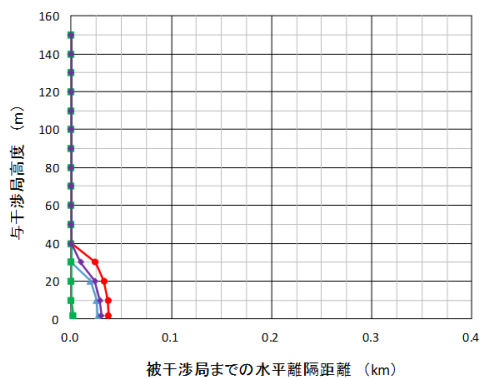
### 1. W56 から U57 への干渉時



付図 6-1 W56(20MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case1 : W56 の e.i.r.p.=200mW)

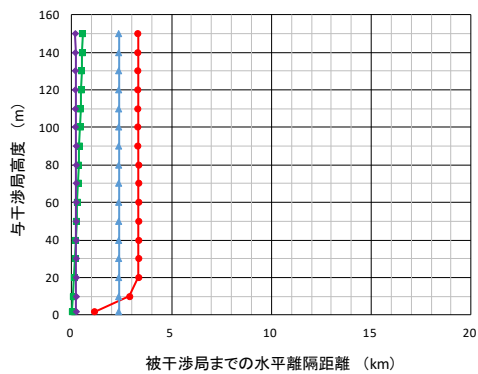


付属資料 6

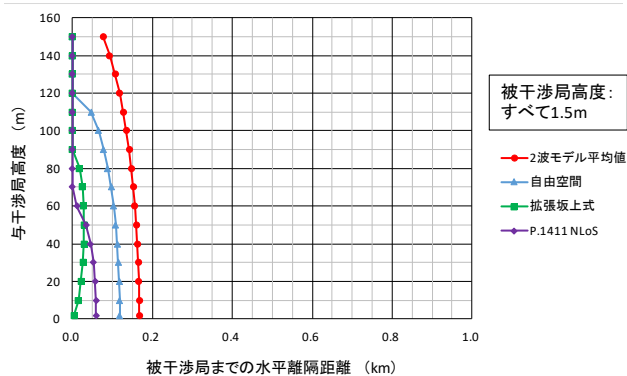


(c) 次隣接チャネル干渉

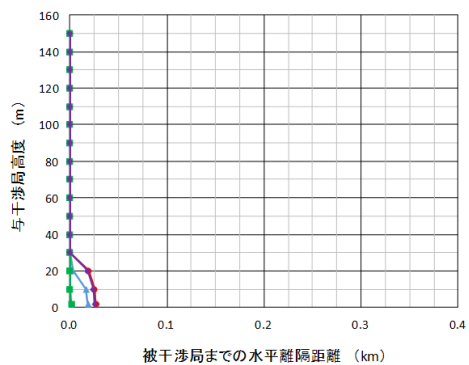
付図 6-2 W56(40MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case1 : W56 の e.i.r.p.=200mW)



(a) 同一チャネル干渉



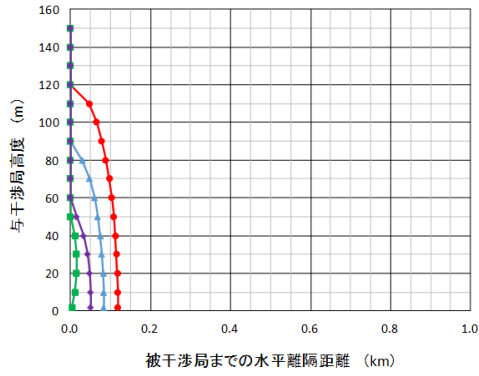
(b) 隣接チャネル干渉



(c) 次隣接チャネル干渉

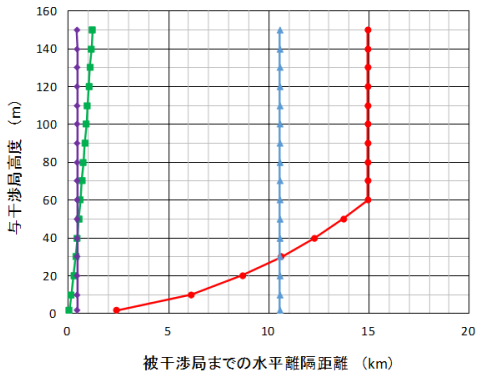
付図 6-3 W56(80MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case1 : W56 の e.i.r.p.=200mW)

付属資料 6

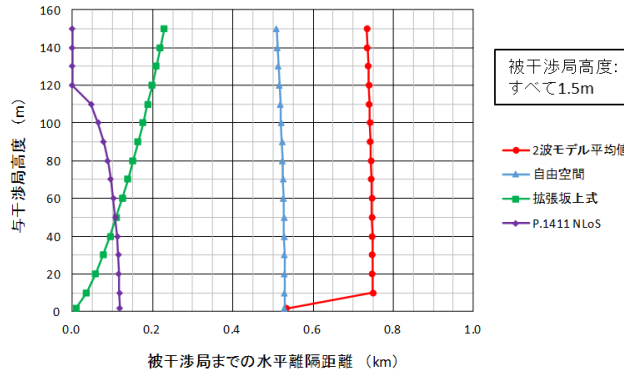


(a) 隣接チャネル干渉

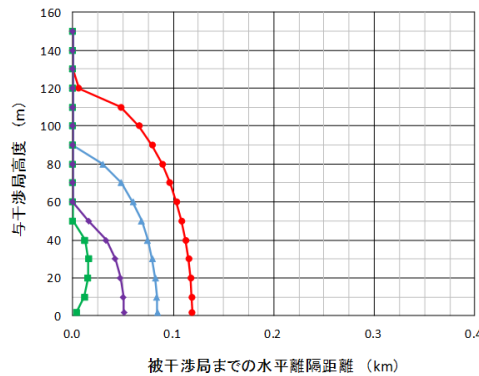
付図 6-4 W56(160MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case1 : W56 の e.i.r.p.=200mW)



(a) 同一チャネル干渉



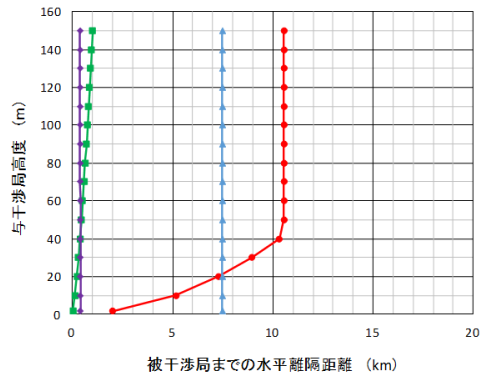
(b) 隣接チャネル干渉



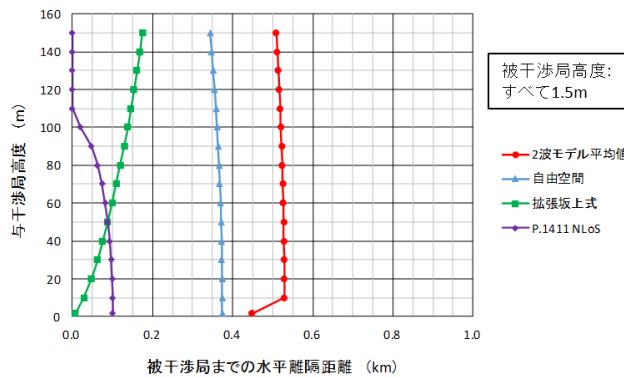
(c) 次隣接チャネル干渉

付図 6-5 W56(20MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case2 : W56 の e.i.r.p.=1W)

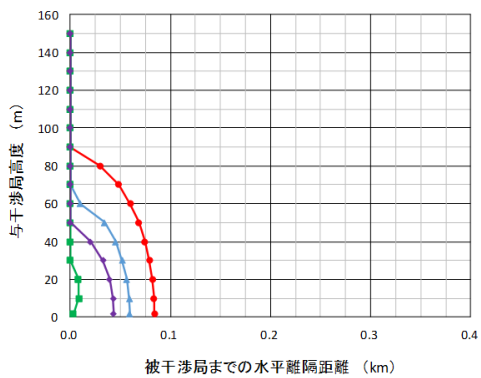
付属資料 6



(a) 同一チャネル干渉

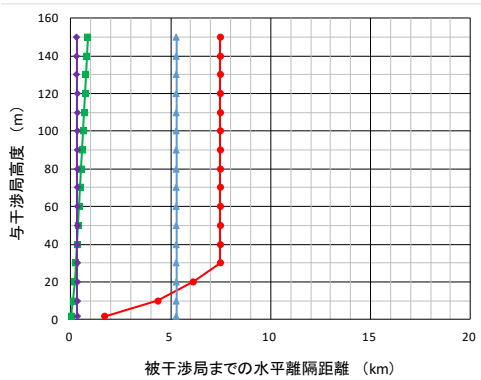


(b) 隣接チャネル干渉

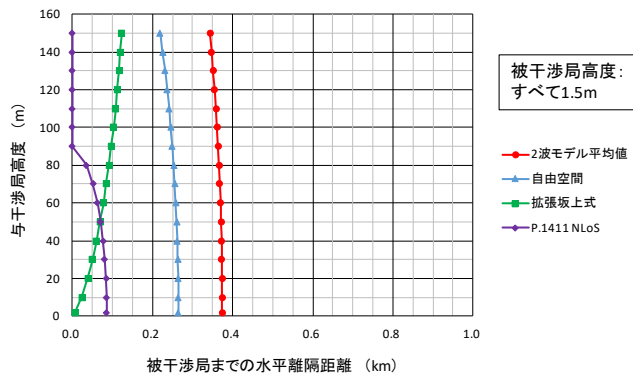


(c) 次隣接チャネル干渉

付図 6-6 W56(40MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case2 : W56 の e.i.r.p.=1W)

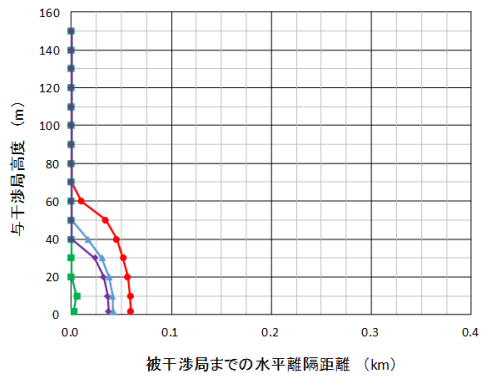


(a) 同一チャネル干渉



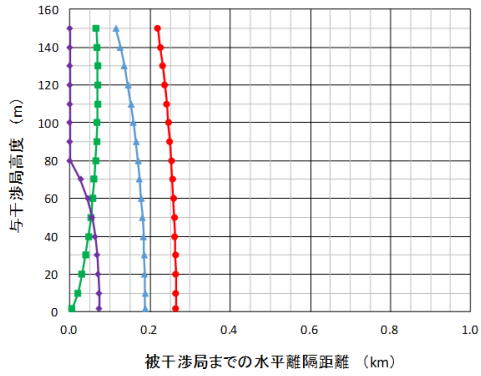
(b) 隣接チャネル干渉

付属資料 6



(c) 次隣接チャネル干渉

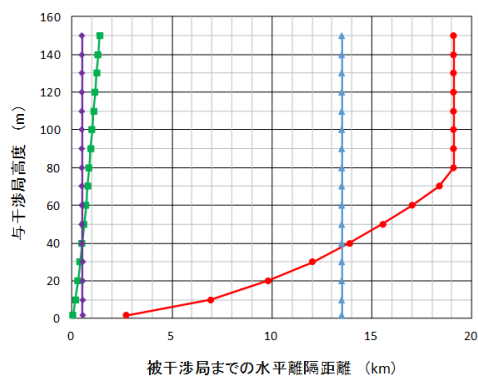
付図 6-7 W56(80MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case2 : W56 の e.i.r.p.=1W)



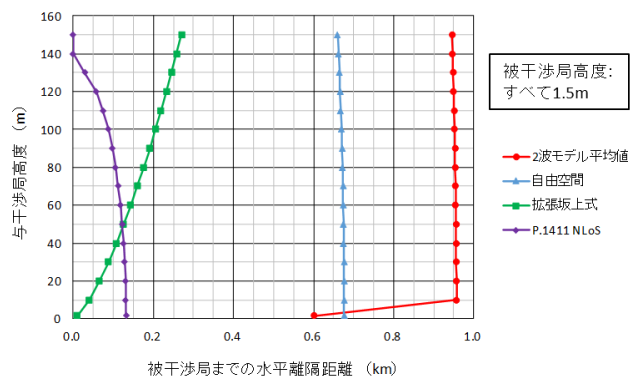
(a) 隣接チャネル干渉

付図 6-8 W56(160MHz)→U57 干渉での必要離隔距離 (Case2 : W56 の e.i.r.p.=1W)

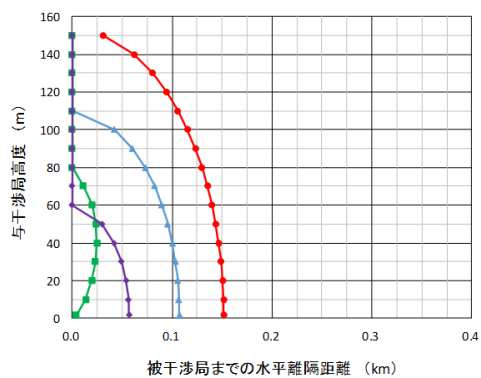
2. U57 から W56 への干渉時



(a) 同一チャネル干渉

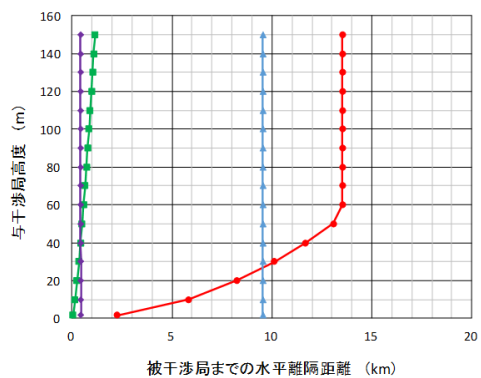


(b) 隣接チャネル干渉

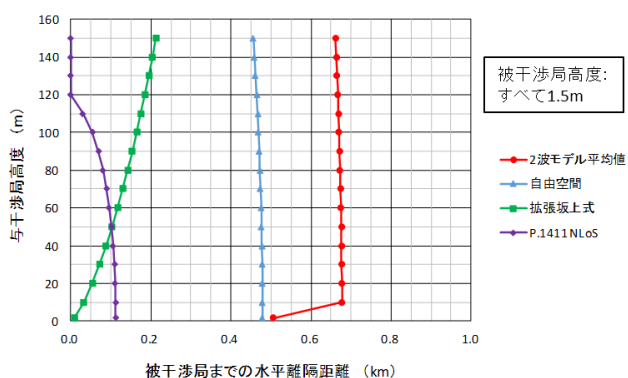


(c) 次隣接チャネル干渉

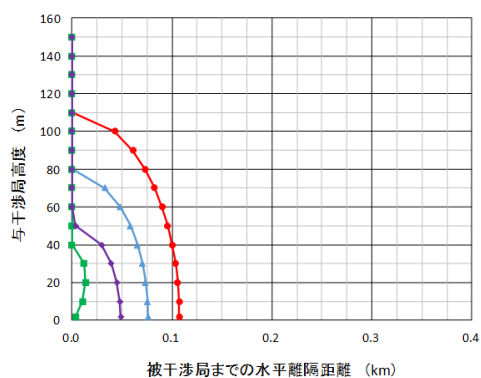
付図 6-9 U57→W56(20MHz)干渉での必要離隔距離



(a) 同一チャネル干渉



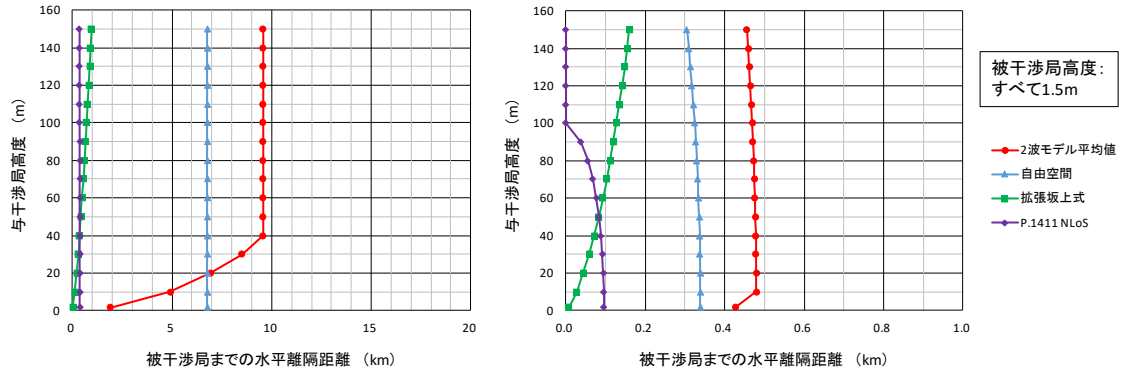
(b) 隣接チャネル干渉



(c) 次隣接チャネル干渉

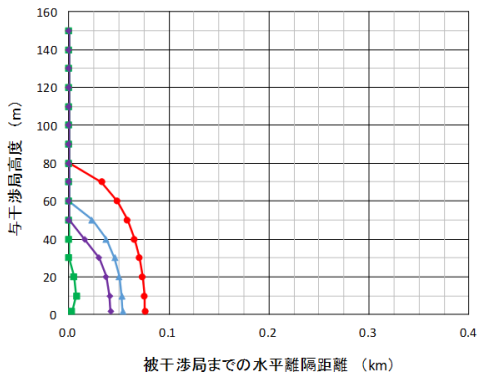
付図 6-10 U57→W56(40MHz)干渉での必要離隔距離

付属資料 6



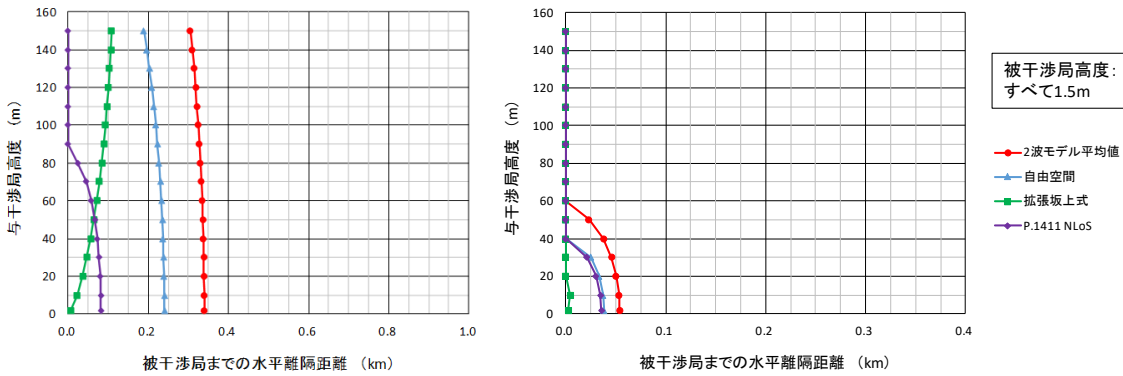
(a) 同一チャネル干渉

(b) 隣接チャネル干渉



(c) 次隣接チャネル干渉

付図 6-11 U57→W56(80MHz)干渉での必要離隔距離



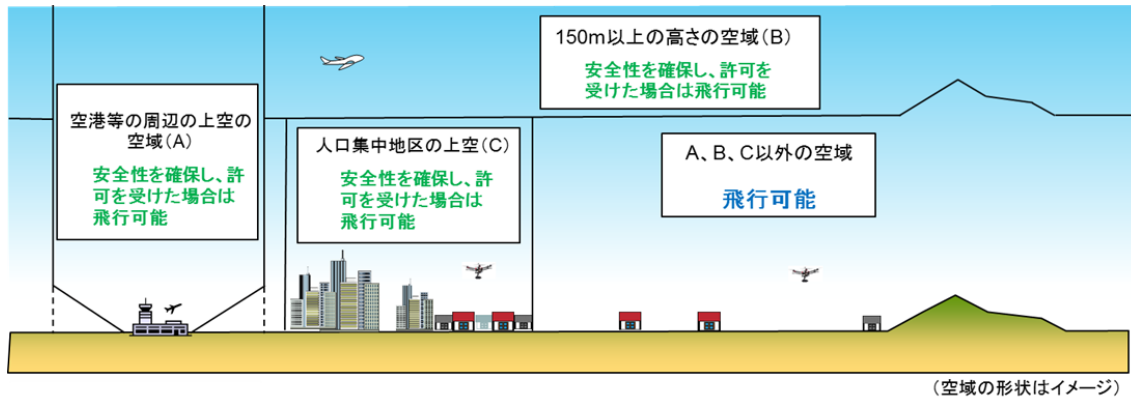
(a) 隣接チャネル干渉

(b) 次隣接チャネル干渉

付図 6-12 U57→W56(160MHz)干渉での必要離隔距離

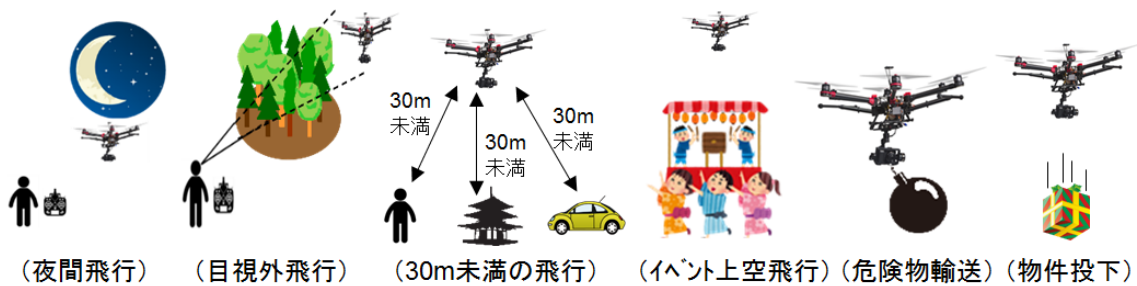
## 無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール

付図 7-1 (A) ~ (C) に示す空域において、無人航空機を飛行するときには、あらかじめ国土交通大臣の許可が必要となる。ただし、重量 200g 未満のものは除かれる。



付図 7-1 飛行許可が必要な空域

また、飛行させる場所によらず、安全な飛行のために目視外飛行禁止等のルールが決められている。近年のドローンによる事故発生を受け、令和元年 9 月に更にルールが追加された。ルールに沿わず付図 7-2 のシーンで利用する場合には地方航空局長の承認が必要となる。



付図 7-2 承認が必要となる飛行の方法



## 参考文献

- [1] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告「ロボットにおける電波利用の高度化に関する技術的条件」等,2016年3月22日
- [2] 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告「5.2GHz帯及び5.6GHz帯を使用する無線LANの技術的条件」,2018年2月13日
- [5] 情報通信審議会 陸上無線通信委員会 報告「次世代高効率無線LANの導入のための技術的条件」,資料141-1-2,2019年4月26日
- [6] 総務省 令和元年通信利用動向調査の結果  
[https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/200529\\_1.pdf](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/200529_1.pdf)
- [7] ICT 総研調べ 2018年 公衆無線LAN サービス利用者動向調査  
<https://ictr.co.jp/report/20181012.html>
- [8] 文部科学省 令和元年度学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果  
[https://www.mext.go.jp/content/20201026-mxt\\_jogai01-00009573\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20201026-mxt_jogai01-00009573_1.pdf)
- [9] 総務省 電波利用 HP <https://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/research/tool/index.htm>
- [11] 電波利用ホームページ 無線LANの屋外利用について  
[https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan\\_outdoor/index.htm](https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan_outdoor/index.htm)
- [13] 電波法施行規則 無線設備規則  
[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000635492.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000635492.pdf)
- [15] NTT 技術ジャーナル, WRC-19・ITU-Rにおける5GHz帯無線LAN制約緩和の国際条約改正の取り組み,2020年4月
- [16] FEDERAL REGISTER Use of the 5.850-5.925 GHz Band  
<https://www.federalregister.gov/documents/2020/02/06/2020-02086/use-of-the-5850-5925-ghz-band>

[17]FCNEWS FCC ADOPTS NEW RULES FOR THE 6 GHz BAND, UNLEASHING  
1,200 MEGAHERTZ OF SPECTRUM FOR UNLICENSED USE

<https://docs.fcc.gov/public/attachments/DOC-363945A1.pdf>

[18]ETSI TR 103 319

[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/103300\\_103399/103319/01.01.01\\_60/tr\\_103319v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103300_103399/103319/01.01.01_60/tr_103319v010101p.pdf)

[20]総務省 電波利用 HP, 無人航空機における携帯電話等の利用の試験的導入

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

[21]総務省 HP ドローンで使用されている主な無線通信システム

<https://www.mlit.go.jp/common/001154535.pdf>

[22]総務省電波利用 HP 無線 LAN の屋外利用について

[https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan\\_outdoor/index.htm](https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/wlan_outdoor/index.htm)

[23] インプレス総合研究所「ドローンビジネス調査報告書 2020」

[24] 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会「空の産業革命に向けたロードマップ  
2020 ～我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現～」

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryoku14.pdf>

[25] CFR Title 47 Part 15 Subpart E

<https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/technologies-systems-and-innovation-division/rules-regulations-title-47>

[26] ECC Report 268 <https://www.ecodocdb.dk/download/efbd2f57-f227/ECCRep268.pdf>

[27]信部無[2002]277号 <http://www.srrc.org.cn/article1362.aspx>

[28] DRONEII.COM 「Drone Market Size and Forecast 2020-2025」

[29] ワシントン国際問題研究レポート,空飛ぶクルマに関する全米科学・工学・医学アカデミーの研究レポート,2020年10月 <https://www.jttri.or.jp/document/2020/fujimaki05.pdf>

[31] 富士通株式会社「カバーエリア及び調整対象区域の算出方法について」, 新世代モバイル通信委員会ローカル 5G 検討作業班会合資料 10-3, 2020 年 1 月

[32] IEEE Draft Standard for Information Technology P802.11ax/D8.0, Oct 2020 の p.684 Table 27-51, p.685 Table 27-52

[36] Recommendation ITU-R BT.500-14 Oct 2019

[38] 特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則 別表第 45  
証明規則第 2 条第 1 項第 19 号の 3、第 19 号の 3 の 2 及び第 19 号の 3 の 3 に掲げる無線設備の試験方法

[40] 高田「電波伝搬の基礎理論」MWE 2005 Workshop Digest, 2005. 11.  
<https://www.apmc-mwe.org/mwe2005/src/TL/TL05-01.pdf>

[41] 北尾, 市坪「第 4 世代移動通信システムの市街地伝搬損失推定式」第 485 回電波研連 F 分科会(URSI-F), 2004 年 6 月

[42] Rec. ITU-R P.1411-10, “Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz”