

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(概要版)

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

第1章 調査検討の概要

調査検討の背景及び目的

<背景> 上空からの情報収集手段・・・小型無人航空機(ドローン)が多く利用されている。

5.7GHz帯無人移動体画像伝送システム(U57)が制度化された(2016年8月)

利用には・・・無線局免許の取得、無線従事者の確保、運用調整が必要

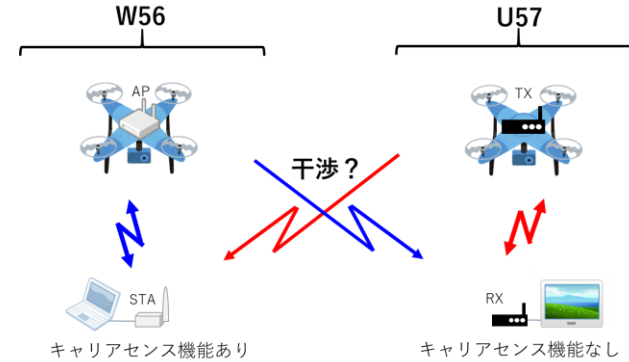
5.6GHz帯無線LANシステム(W56)・・・上空利用に向けた方向性が示された(2018年2月)

無線LANシステム・・・免許不要、簡易な運用が可能

制度化に向けた諸課題としてW56とU57の共用検討が残されている。

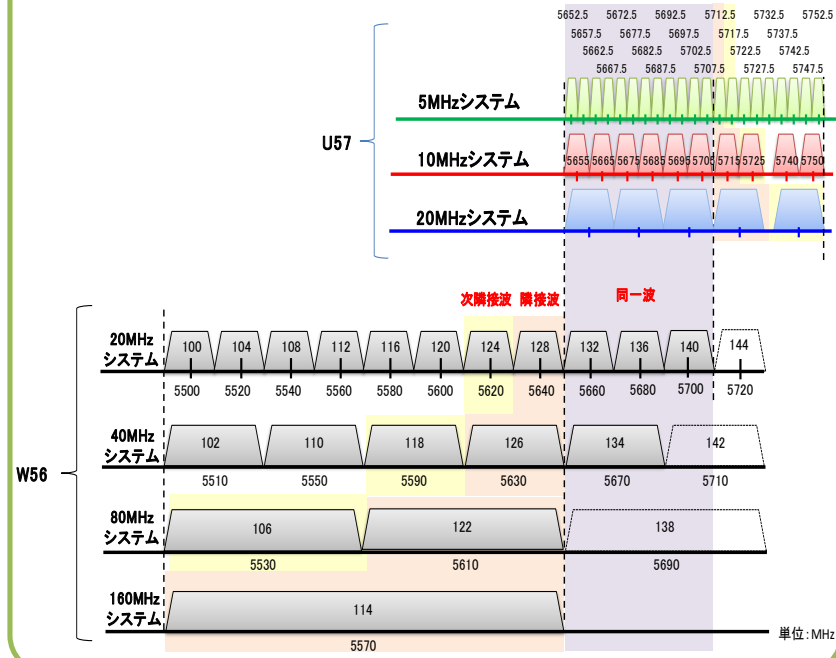
<目的> W56の上空利用に関して、U57との相互間の干渉について技術試験を行い、その利用可能性について検討を行う。→信越地域での上空からの情報収集の利活用に寄与

★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する。



検討項目	概要
動向調査	<ul style="list-style-type: none"> 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する。 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。
机上シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> 伝搬環境ごとに電波伝搬モデルの検討を行う。 検討した電波伝搬モデルを用い、W56及びU57相互間で、同一・隣接・次隣接における干渉の影響を評価する。 W56のキャリアセンス及びDFS機能のU57に対する有効性を検討する。
屋内試験	<ul style="list-style-type: none"> W56及びU57相互間で、同一・隣接・次隣接における干渉について試験を行い評価する。 W56のキャリアセンス及びDFS機能のU57に対する有効性について試験を行い評価する。
屋外実証試験	<ul style="list-style-type: none"> W56及びU57相互間で同一・隣接・次隣接における干渉について、代表的な屋外のモデル環境で試験を行い評価する。
機能・条件の整理	<ul style="list-style-type: none"> 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。

対象システムの周波数配置



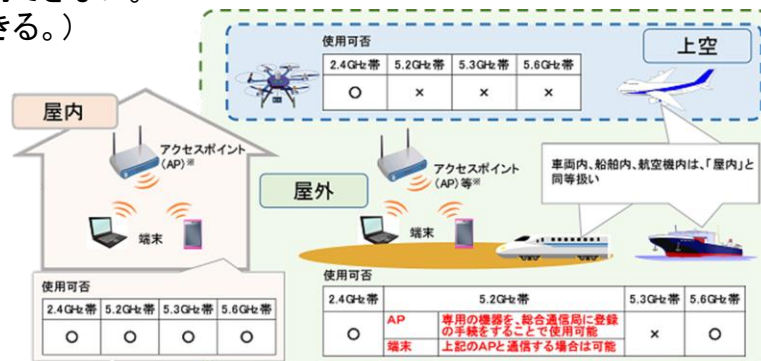
第2章 W56の上空利用に関する動向調査

国内における5GHz帯無線LANの技術基準

- 5.2/5.3GHz帯の無線LANは、衛星システムとの共用を可能とするため、屋内利用に限定される。(5.2GHz帯は条件付きで屋外利用可)
- 5.3/5.6GHz帯の無線LANは、レーダーとの共用を可能とするため、レーダー波を検出した場合には当該レーダー波と帯域が重複するチャンネルの送信を自動的に停止する DFS (Dynamic Frequency Selection) 機能の具備が必要。
- 2.4GHz帯無線LANは上空で使用できるが、5GHz帯無線LANは上空では使用できない。
(ただし、航空機内は屋内と同等扱いとなるため5GHz帯無線LANも使用できる。)

	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 ^{※1}	200mW ^{※2}	1W ^{※2}
使用場所	屋内/屋外 ^{※1}	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。



出典: 総務省 電波利用HP https://www.tele.soumu.go.jp/ja/sys/others/wlan_outdoor/index.htm

国内無線LANの上空利用状況

各国における5GHz帯の上空利用状況

国内: 無人移動体画像伝送システムやアマチュア無線(免許局)
 国外: ISMバンド(免許不要)

	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
無線局免許	携帯局/ 陸上移動局	アマチュア局	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	500mW以下
備考	無人移動体 画像伝送システム	業務使用不可		

参考資料
 日本: 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>
 米国: CFR Title 47 Part 15 Subpart E <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/technologies-systems-and-innovation-division/rules-regulations-title-47>
 英国: ECC Report 268 <https://www.ecodocdb.dk/download/efbd2f57-f227/ECCRep268.pdf>
 中国: 信部無[2002]277号 <http://www.srrc.org.cn/article1362.aspx>

W56の上空利用に関する課題

<W56のメリット>

- 屋外で利用可能 ・免許不要
- 2.4GHz帯よりも混雑していない
- 広帯域でリアルタイムな画像伝送が可能

<ニーズ>

W56を無人航空機等に
利用したい

<課題>

- U57と周波数を共用している
⇒ U57は高い周波数から利用されているが、W56と同一チャンネルの利用増加に伴い干渉確率が増加するのではないかと懸念。
- U57の干渉を受けている場合にDFS機能は働くか。
- 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
⇒ 安全性はどうか。遠隔操作する手段として利用可能か。

机上シミュレーションによる検討概要

(1) W56とU57の共用検討

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する。

②干渉の影響を避ける離隔距離の検討

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から必要となる離隔距離を求める。

(2) W56の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のキャリアセンス及びDFS機能が動作する値になる距離を上記(1)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する。

W56とU57のシステム諸元

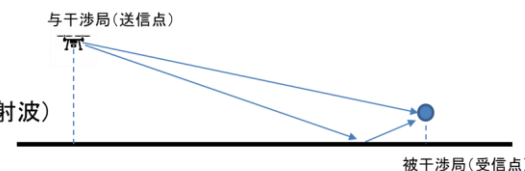
項目	5.6GHz帯無線LAN (W56)		無人移動体画像伝送システム (U57)
送信周波数	5490MHz~5730MHz		5650MHz~5755MHz
チャンネル帯域	20/40/80/160/80+80MHz		5/10/20MHz
空中線電力	システム	電力密度	1W以下
	20MHz システム	10mW/MHz 以下	
	40MHz システム	5mW/MHz 以下	
	80MHz システム	2.5mW/MHz 以下	
等価等方輻射電力	160MHz システム	1.25mW/MHz 以下	-
	20MHz システム	TPC具備：50mW/MHz以下 TPCなし：25mW/MHz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

代表的な伝搬路

3タイプに類型化

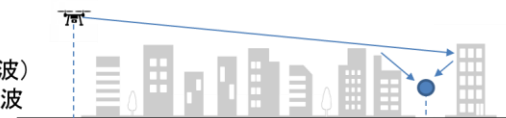
(1) 平野部、海上

見通し内：直接波(+反射波)



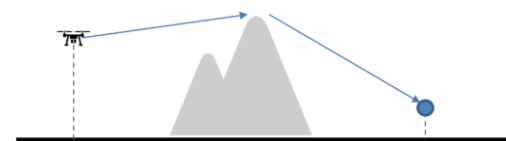
(2) 都市部

(見通し内：直接波+反射波)
見通し外：反射波+回折波



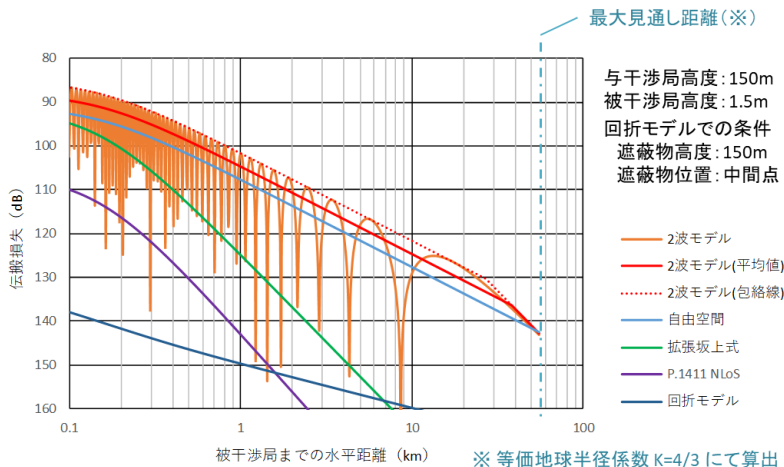
(3) 山間部(遮蔽物)

見通し外：回折波



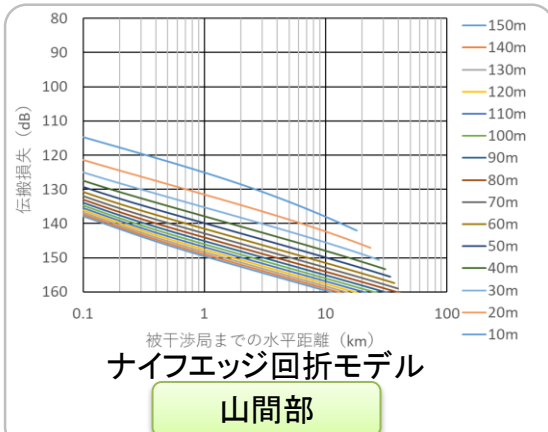
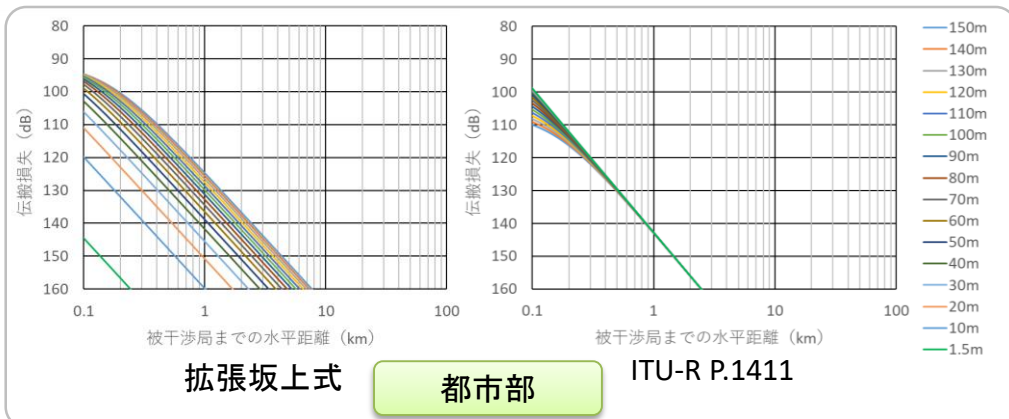
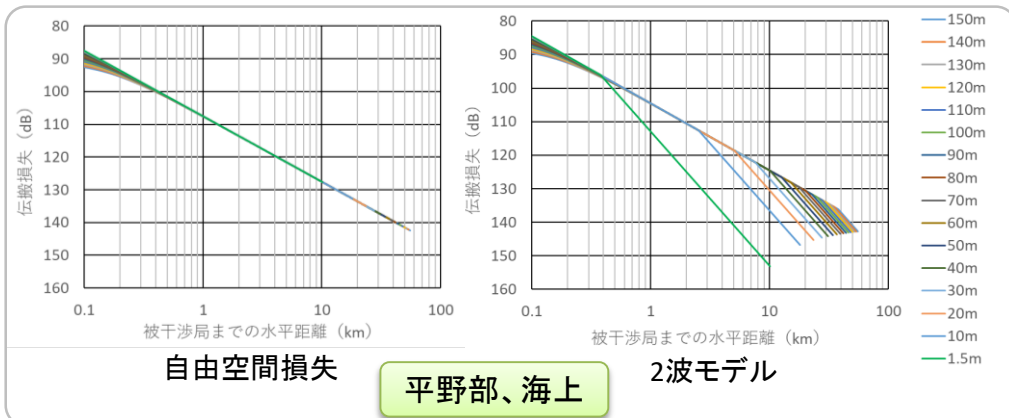
電波伝搬モデル

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



各モデルのシミュレーション結果の例

- 平野部、海上・・・ブレイクポイントまでは、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。
- 都市部・・・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、送信高による差はほとんどない。
- 山間部・・・同じ距離では、与干渉局と遮蔽物の高度が低くなると伝搬損失は小さくなる。



【シミュレーション条件】
ドローン～地上間を想定

被干渉局高度: 1.5m

<山間部>
遮蔽物高度: 与干渉局高度と同じ
遮蔽物位置: 与干渉局と被干渉局の中間点

必要離隔距離の計算結果(平野部、海上) 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	—	—	—

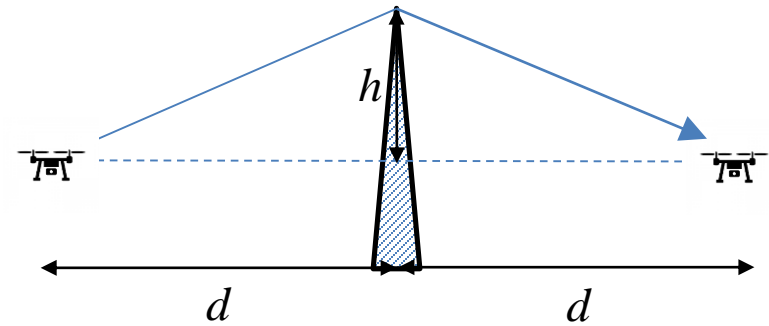
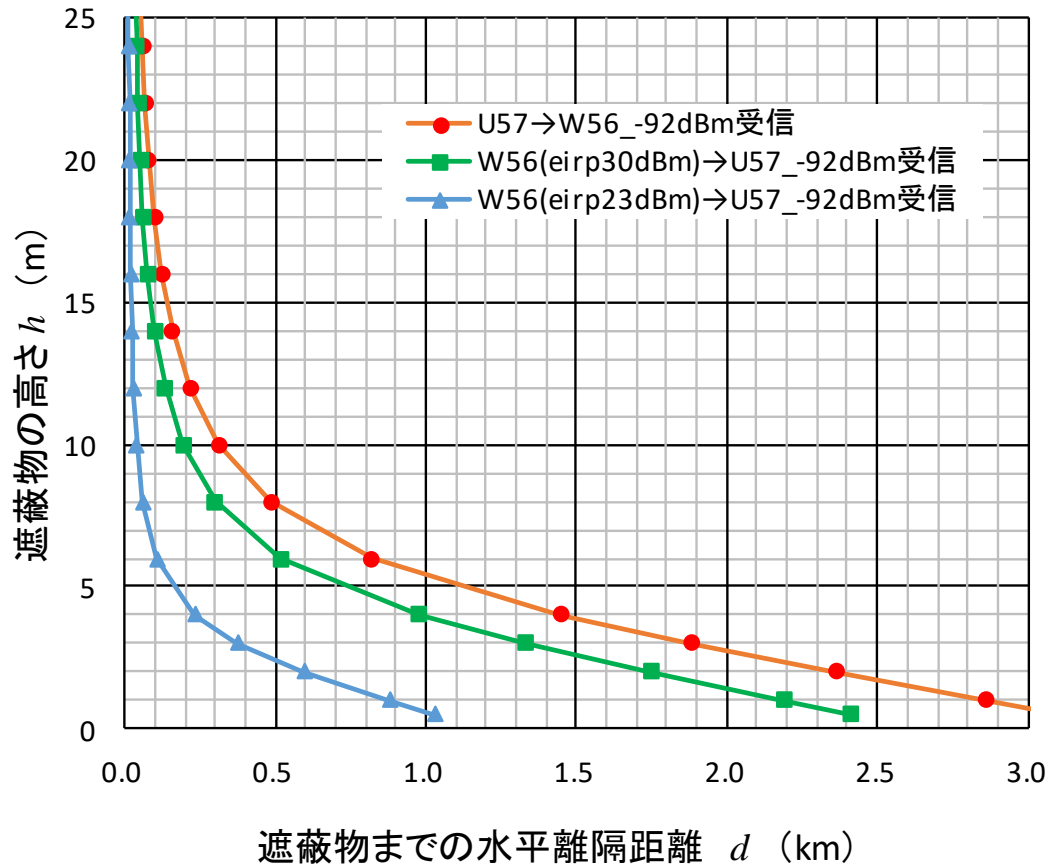
必要離隔距離の計算結果(都市部) W56のe.i.r.p.=1W

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	—	—	—

必要離隔距離の計算結果(山間部(遮蔽物))

一例として、中間点に遮蔽物がある場合で、W56とU57のそれぞれ20MHzシステム同士で干渉波の受信電力が閾値である-92dBmになるための遮蔽物の高さ h と離隔距離 d の関係を示す。



机上シミュレーションによる検討結果

(1) W56とU57の共用検討

必要離隔距離の最大値(最悪条件)は以下の表の通りとなった。山間部は個別に遮蔽損失を算出するため対象外とした。

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

(2) W56のキャリアセンス及びDFS機能の有効性評価

W56のキャリアセンス及びDFS機能が仮にU57の信号で動作するとしたときの動作距離を、条件がより厳しい平野部を想定して算出した結果を以下に示す。キャリアセンス発生距離は既に干渉が発生する距離となった。

項目	U57→W56同一チャンネル干渉	
	自由空間	2波モデル
キャリアセンス閾値(※1) (dBm)	-72	
キャリアセンス発生距離(※2) (km)	1.3	1.9
DFS閾値(※3) (dBm)	-64	
DFS検出距離(km)	0.5	0.8
参考: W56 (e.i.r.p.=200mW) →U57の同一CHでの離隔距離 (km)	4.72	6.67

(※1) IEEE 802.11-2012, Annex D D2.5

(※2) 無線機Aから発せられる信号を、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際の無線機間の最大離隔距離

(※3) 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)

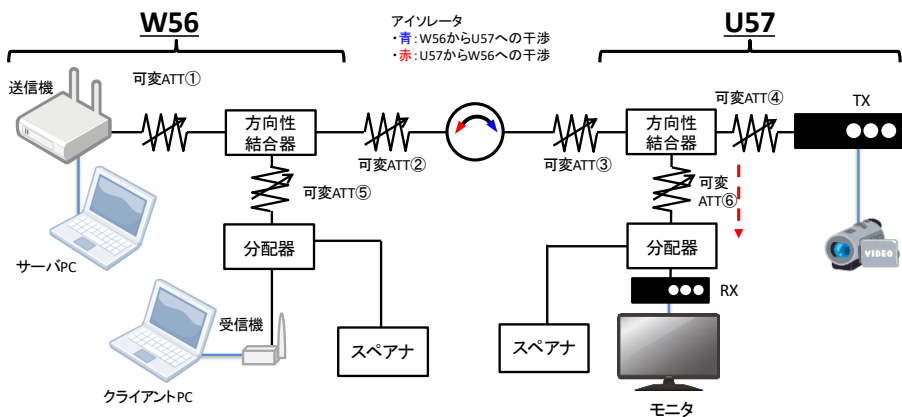
試験概要

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。

＜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
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

＜試験構成＞



W56とU57のチャンネル干渉検討試験系

＜使用機器の諸元＞ (a) W56無線機

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

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			

受信感度測定

各無線機における受信感度の測定値と規格値(※)を表に示す。W56においては、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。

(※):(U57) 情通審 陸上無線通信委員会報告「5.2GHz及び5.6GHz帯を使用する無線LANの技術的条件」, 資料131-6-2, 平成30年2月の表4.2.2.2-3
 (W56) IEEE Draft Standard for Information Technology P802.11ax/D8.0, Oct 2020のp.684 Table 27-51, p.685 Table 27-52

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

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

チャンネル干渉試験(所要D/U・W56→U57干渉時)

U57がW56から干渉を受けた場合における所要D/Uの試験結果を表に示す。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。

同一と次隣接においては、各システムで同等の試験結果となった。アナログ10MHzの隣接チャンネルにおいては、デジタルと比較して20dB以上高い値であり、隣接の妨害波からの影響を受けやすい傾向であった。

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

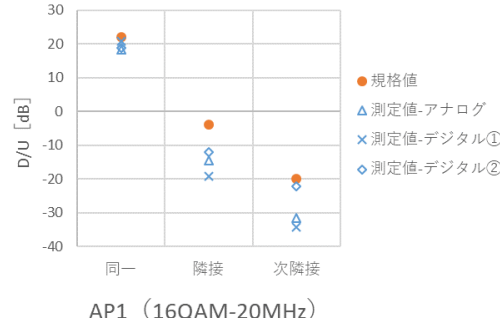
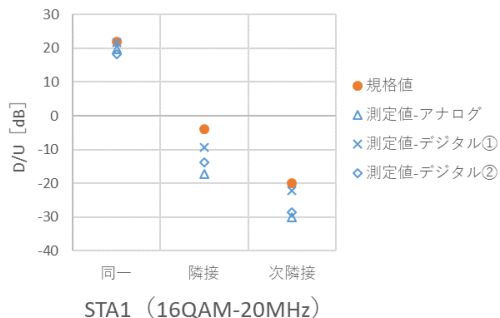
評価尺度(※)

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

チャンネル干渉試験(所要D/U・U57→W56干渉時)

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。図には規格値も併記する。図より、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。

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	



試験結果と規格値の比較

チャンネル干渉試験(許容干渉電力・W56→U57干渉時)

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。

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

チャンネル干渉試験(許容干渉電力・U57→W56干渉時)

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。

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

キャリアセンス・DFS機能の確認

各W56機器においてキャリアセンス機能が動作する入力レベルを表に示す。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(※)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、DFSはU57信号では動作しなかった。また、実機で測定したキャリアセンス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は、自由空間モデルを用いると0.54km、2波モデルを用いると0.76kmとなった。

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	

※CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidanceの略。同じチャ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。

妨害波入力時におけるDFS機能の確認

W56・2機種 × 2帯域幅 × U57・(2機種) = 8
 レーダーパルス: 任意のパターン

U57信号を妨害波として入力した場合においても、レーダパルスの検知によりDFS機能が動作した。

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	18/20回以上
		40MHz	20/20回	20/20回	
	AP2	20MHz	20/20回	20/20回	
		40MHz	20/20回	20/20回	

(※) 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

屋内試験結果のまとめ

- ・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。

試験概要

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(平野部、都市部)で試験を行った。

■スケジュール等

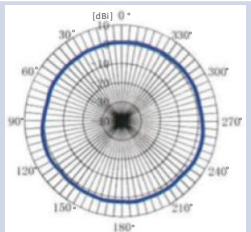
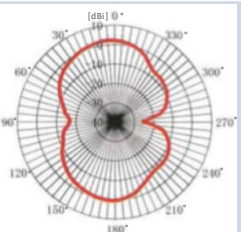
項目	詳細
期間	2020年12月 7日～12月11日 2020年12月14日～12月18日
場所	長野市内 (詳細は後述)

■試験項目

試験項目	内容
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
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
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

■使用機器

W56	AP1	STA2	
U57	アナログ10Mシステム	デジタル20Mシステム①	デジタル20Mシステム②

アンテナ	利得	水平面指向性パターン	垂直面指向性パターン
電波伝搬測定時受信アンテナ	4dBi		

■試験場所



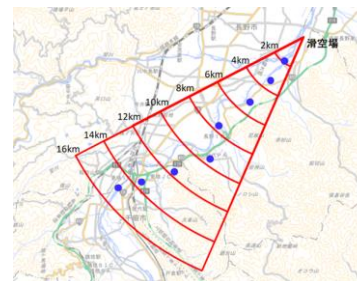
場所	長野市滑空場
住所	長野県長野市若穂綿内
緯度	36.632934
経度	138.255820
標高	339m

平野部送信点

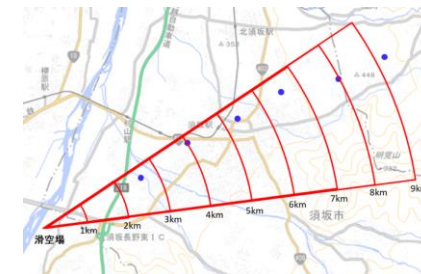


場所	長電長野パーキング
住所	長野県長野市南千歳1-17-7
緯度	36.645264
経度	138.189870
標高	362m
備考	7階建て屋上駐車場(地上高24m)

都市部送信点



平野部(上空—地上)



平野部(上空—上空)



都市部

試験状況

無線機等



W56設置状況



U57設置状況



アンテナ設置状況



受信機設置状況

都市部



送信点周辺



送信点設置状況



受信点(上空-地上)



受信点(上空-上空)

平野部



ドローンの飛行状況



ドローンから撮影した被干渉方面



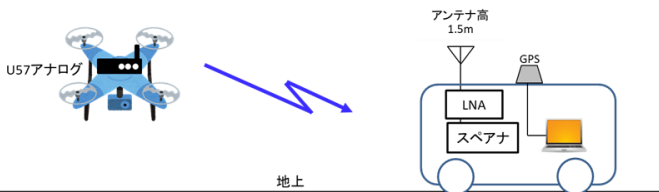
受信点(上空-地上)



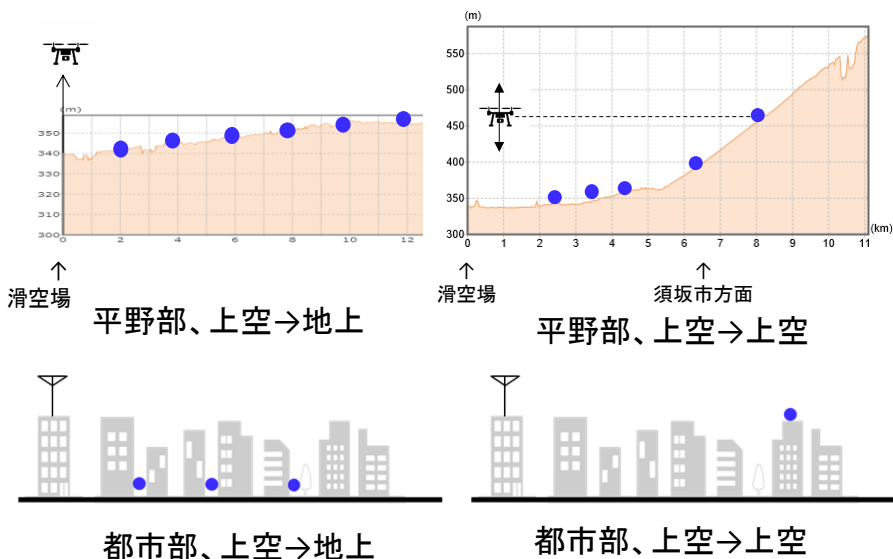
受信点(上空-上空)

試験方法

電波伝搬測定

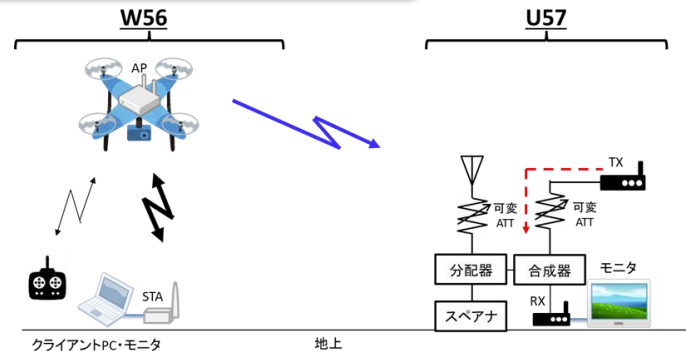


モデル環境	想定環境	送信点	送信高	受信点	受信高
平野部	上空→地上	滑空場	50m/100m	滑空場～千曲川河川敷	1.5m
	上空→上空	滑空場	50m～150m	須坂市方面	50～150m
都市部	上空→地上(見通し外)	屋上駐車場	24m	周辺路上	1.5m
	上空→上空	屋上駐車場	24m	屋上駐車場	27m



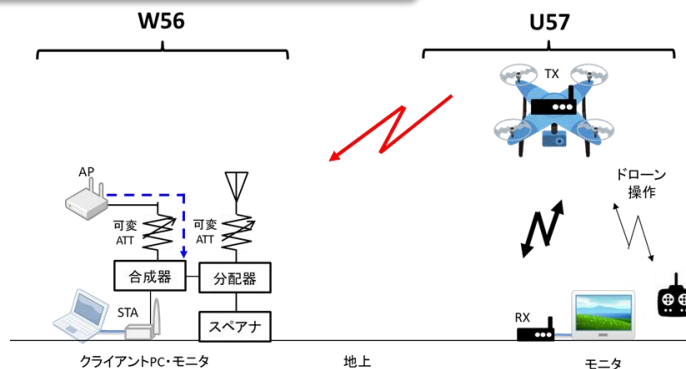
測定場所のイメージ

チャンネル干渉試験(W56→U57)



妨害波	希望波	実施項目			
		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 20MHz ①	○	○	○	○
	U57 デジタル 20MHz ②	○	○	—	—

チャンネル干渉試験(U57→W56)



妨害波	希望波	実施項目			
		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 20MHz ①	AP1 20MHz 16QAM	—	○	—	○
	STA2 20MHz 16QAM	○	—	○	—

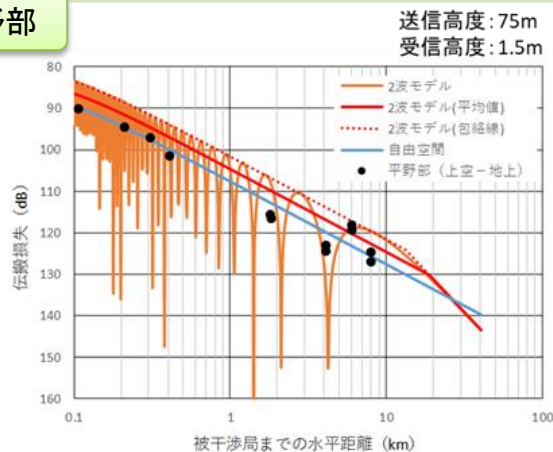
5.6GHz帯電波伝搬特性

平野部・・・概ね2波モデルに近い傾向が見られた。

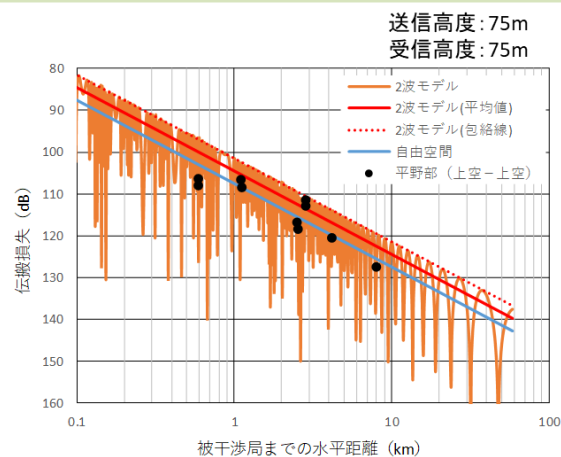
都市部・・・上空→地上(見通し外)・・・概ねITU-R P.1411(NLoS)に近い傾向が見られた。

上空→上空・・・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。

平野部

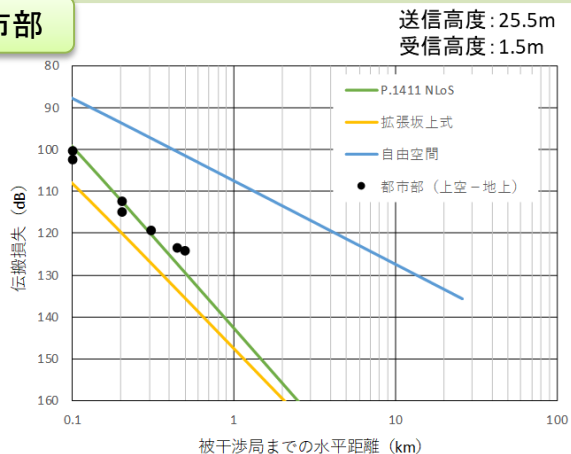


上空→地上

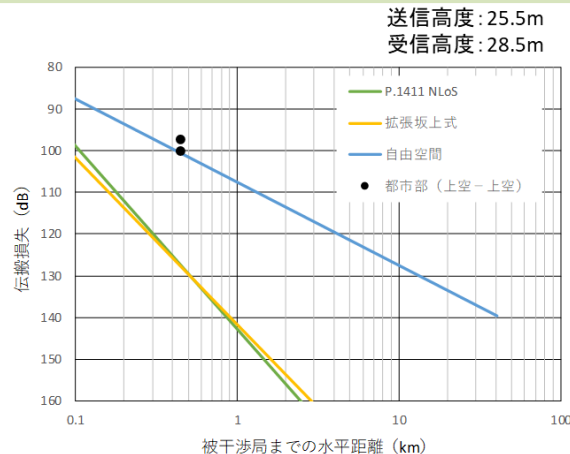


上空→上空

都市部



上空→地上



上空→上空

チャンネル干渉試験(受信感度)

表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20MHz ②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、周辺環境雑音による影響が表れていると考えられる。

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	—

チャンネル干渉試験(所要D/U)

同一CH・・・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。チャンネル干渉は、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CH・・・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。

次隣接CH・・・今回の試験環境では、次隣接チャンネルにおいて干渉の影響は確認されなかった。

組合せ		同一CH 所要D/U[dB]					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		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)		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	-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	0	0.7	-0.4	-0.2	-2.4	-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	3	1.2	2.1	—	—	-37	干渉の影響なし	干渉の影響なし	—	—
U57アナログ 10MHz	AP1 20MHz 16QAM	18	—	15.6	—	17.8	-15	—	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし
	STA2 20MHz 16QAM	22	20.3	—	21.0	—	-13	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし	—
U57デジタル 20MHz①	AP1 20MHz 16QAM	21	—	19.6	—	20.3	-19	—	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし
	STA2 20MHz 16QAM	17	18.0	—	16.0	—	-18	干渉の影響なし	—	干渉の影響なし	—

チャネル干渉試験(離隔距離)

表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。

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	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	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

屋外実証試験のまとめ

- ・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。チャンネル干渉は、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。隣接チャン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、次隣接チャン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。

実機データによる離隔距離の検討

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。

表にはより安全側の評価としてそれらの中の最大値を示し、机上検討における結果も併記する。

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、表に示す離隔距離が必要となる。

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

機能の整理

➤ キャリアセンス機能

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。

➤ 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。

➤ 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、同一チャン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。

キャリアセンス発生距離

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	
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

運用条件の検討

W56からU57へ干渉を与える場合、同一チャンネルにおいては、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、同一チャンネルにおいては、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。

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。

機能・条件のまとめ

- ・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への同一チャネル干渉において9.4kmとなり、U57からW56への同一チャネル干渉において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。

前提条件

- ・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。
- ・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。

総合とりまとめ

ここまで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「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。