

「5GHz帯無線LANの周波数帯拡張等に係る 技術的条件」の検討状況について

平成28年5月11日

陸上無線通信委員会

5GHz帯無線LAN作業班

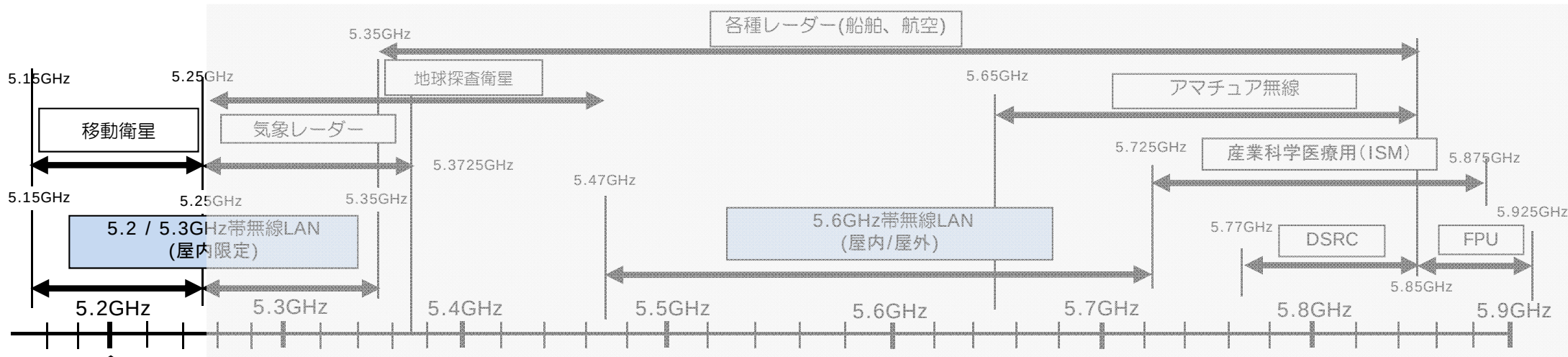
1. 検討開始の背景

- スマートフォンやタブレット端末等の普及により、移動通信システムのトラヒックは年々増加傾向にある。そのため、急増するトラヒックを迂回するオフロード先として無線LANを活用する傾向にあり無線LANが混雑。
- 2019年のラグビーワールドカップや2020年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会等を見据え、無線LANをつながりやすくするため、無線LANの利用増加を考慮した使用周波数帯の拡張が重要。
- また、将来的なトラヒック増加に対応するため、5GHz帯無線LANの使用周波数帯の拡張について、各国との整合性を図りつつ導入に向けた制度整備が必要。

2. 作業班・アドホックグループの開催状況

5GHz帯無線LAN作業班	アドホックグループ
○ 平成27年12月11日(第1回作業班) ・「5GHz帯無線LANの周波数拡張に係る技術的条件の検討開始」について ・「5GHz帯無線LANの国際動向及び国内動向」について ・「5GHz帯のレーダーの概要」について ・「5GHz帯の地球探査衛星の概要」について ○ 平成28年3月24日(第2回作業班) ・「W52、W53及びW54の検討結果」について	○ 平成27年12月21日(第1回アドホックグループ) ○ 平成28年1月20日(第2回アドホックグループ) ○ 平成28年3月10日(第3回アドホックグループ)

5.2GHz帯の周波数共用検討



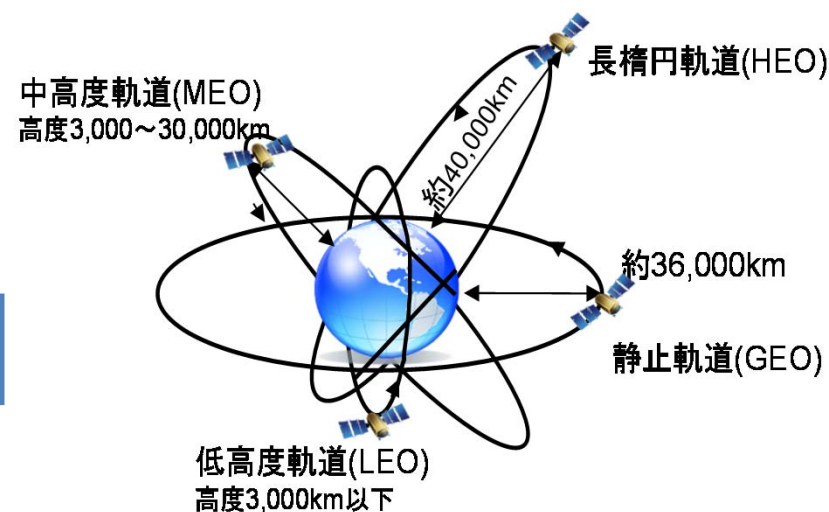
屋外での利用

共用検討対象システム

- Globalstar

ITU-R 決議第229
(WRC-03) (抜粋)

5150-5250MHz帯においては、移動業務の
局は屋内利用に限定されること



参照元: 情報通信審議会 情報通信技術分科会
衛星通信システム委員会 諮問第2032号 平成25年1月

検討内容

- 屋外環境に対応した伝搬パラメータや無線LAN出力をパラメータとして、無線LAN共用検討対象となる移動衛星システム(Globalstar)に対する無線LAN APの許容運用台数を算出

共用検討の計算パラメータリストと計算方法

ITU-R勧告M.1454 の計算方法に無線LAN出力等の新たなパラメータ値を用いて計算

(ITU-R勧告M.1454 TABLE 3を元に作成)

No	パラメータ	Globalstar (LEO-D)	計算方法、出所
1	システム等価雑音温度 (K)	550	勧告M.1454 で設定
2	許容干渉雑音相対値 (%)	3	勧告S.1426 から引用
3	許容干渉雑音に配分される雑音温度 (K)	16.5	システム等価雑音温度 (No1) × 許容干渉雑音相対値 (No2) から算出
4	自由空間伝搬損失 (平均) (dB)	174.1	衛星軌道高度 1,414km から算出
5	偏波識別度 (dB)	1	無線LANからの干渉波は偏波ではないため
6	フィーダ損失 (dB)	2.9	勧告M.1454で設定
7	衛星アンテナ利得 (平均) (dBi)	5.2	勧告M.1454で設定
8	衛星1チャンネルあたりの許容無線LAN干渉電力 (dBW)	17.3	$10 \log(k \times \text{システム等価雑音温度 (No1)} \times 3\%(\text{No2}) \times \text{衛星受信帯域幅 (No9)} + \text{伝搬損失 (No4)} + \text{偏波識別度 (No5)} + \text{フィーダ損失 (No6)}) - \text{衛星アンテナ利得 (No7)} (k: \text{ボルツマン定数 } (1.38 \times 10^{-23}))$
9	衛星受信帯域幅 (MHz)	1.23	勧告M.1454で設定
10	無線LAN帯域幅 (MHz)	20	勧告M.1454で設定
11	帯域補正 (dB)	12.1	衛星受信帯域 (No9) ÷ 無線LAN帯域 (No10)
12	無線LAN1チャンネルあたりの許容無線LAN干渉電力 (dBW)	29.4	衛星1チャンネルあたりの許容無線LAN干渉電力 (No8) - 帯域補正 (No11)
13	屋外利用率 (%)	参考1の追加パラメータリストの①参照	
14	平均建物遮蔽損失 (dB)		
15	稼働率 (%)	参考1の追加パラメータリストの②参照	
16	無線LAN最大送信電力 (mW)	参考1の追加パラメータリストの④参照	
17	無線LAN平均送信電力 (mW)	参考1の追加パラメータリストの⑤参照	
18	許容同時送信台数	計算	衛星1チャンネルあたりの許容無線LAN干渉電力 (No12) ÷ 平均無線LAN e.i.r.p. (No17)
19	無線LAN1チャンネルあたりの許容台数	計算	許容同時送信台数 (No18) × 稼働率 (No15)
20	W52の全4チャンネルでの許容台数	計算	無線LAN1チャンネルあたりの許容台数 (No19) × チャンネル数 (4チャンネル)

無線LANの許容運用台数の計算結果

無線LAN稼働率5% (ITU-R勧告M.1454に記載) 時のGlobalstarフットプリント※¹あたりの無線LANの許容運用台数(万台)

屋外利用時(屋外利用率15%)の許容運用台数

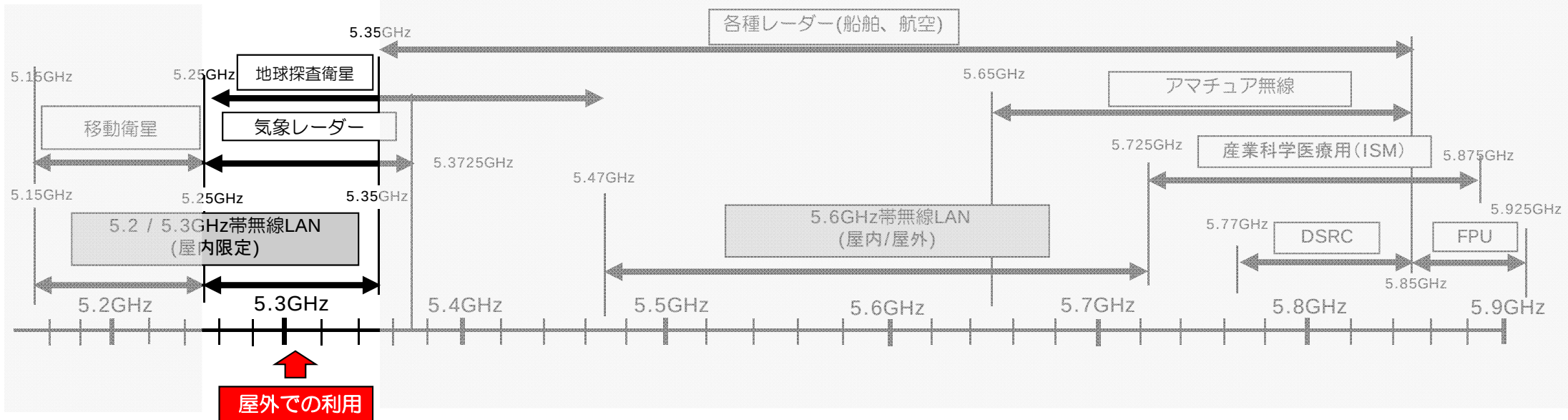
- 最大e.i.r.p.200mW(現行): 310万台
- **最大e.i.r.p.1W (仰角8° ※²未満): 596万台**
- 最大e.i.r.p.4W (仰角30° 未満): 55万台

利用場所	屋外利用率	平均建物遮蔽損失	最大e.i.r.p.	Globalstarのフットプリントあたりの無線LANの許容運用台数(万台)	
				稼働率 1%	稼働率 5%
屋外	15%	7.8dB	200mW (現行)	1,549	310
			最大1W (仰角8° 未満)	2,981	<u>596</u>
			最大4W (仰角30° 未満)	273	55

※¹ 1フットプリント: 直径約5,800km

※² アンテナ仰角に対する送信電力制限

$$\begin{array}{ll}
 -13 \text{ dB(W/MHz)} & \text{for } 0^\circ \leq \theta < 8^\circ \\
 -13 - 0.716(\theta - 8) \text{ dB(W/MHz)} & \text{for } 8^\circ \leq \theta < 40^\circ \\
 -35.9 - 1.22(\theta - 40) \text{ dB(W/MHz)} & \text{for } 40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \\
 -42 \text{ dB(W/MHz)} & \text{for } 45^\circ < \theta
 \end{array}$$

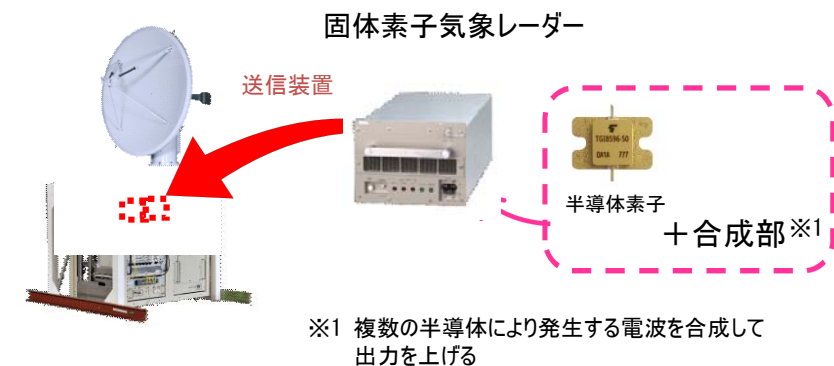


共用検討対象システム

- 固体素子気象レーダーは従来型のマグネトロン/クライストロンレーダーと比べて送信電力が大幅に小さく、小型化、保守性向上や装置の長寿命化等の多くのメリットがあるため、今後、従来型から置き換わりつつある
- 従来型レーダーとはパルスパターンが異なり、短パルスと長パルスを使用する

検討内容

- 無線LANでの固体素子気象レーダーの検出レベルは従来型レーダーよりも低くなり、DFSが動作し難くなる。実運用されている固体素子気象レーダーのパラメータを用いて無線LANのDFS※2での検出レベルを算出し、DFSが動作する閾値と比較する。また、固体素子気象レーダーの検出パルスパターンを実装した無線LANのDFS動作を室内実験及びフィールド実験で確認する



※2 DFS (Dynamic Frequency Selection): 気象レーダーと共用するため、同じ周波数帯でレーダーの電波が検知された場合、無線LAN側が自動的に違う周波数に切り替える機能。

レーダー波検出レベルの計算結果

- 計算シート: ITU-R勧告M.1652 Annex5の表をベースに、現実的なパラメータを使用
- 算出手順
 - ① レーダーの許容干渉レベル($I = N-6$)を算出(下表No10)
 - ② ①を満たす無線LANの所要伝搬損失を算出(下表No17)
 - ③ レーダーの最大送信e.i.r.p.(下表No5)から②の所要伝搬損失を差し引いたレベルがレーダー検出レベル

※1 無線LANのch内にレーダーの中心周波数がある場合

※2 無線LANのchとchの間にレーダーの中心周波数がある場合

	No	パラメータ	値			算出方法、出所
レーダー	1	最大送信出力(kW)	6 ^{※1}	5 ^{※1}	5 ^{※2}	固体素子気象レーダーの値及びレーダーメーカー構成員から報告された実力値を使用(受信機雑音指数(No6))
	2	受信通過帯域幅 (MHz)	1.4	1.4	1.4	
	3	アンテナゲイン(dBi)	42.0	42.0	42.0	
	4	アンテナ設置高(m)	30.0	30.0	30.0	
	5	最大送信e.i.r.p.(dBm)	108.2	107.4	107.4	
	6	受信機雑音指数 (dB)	2	2	2	
	7	送信給電線損失	1.6	1.6	1.6	
	8	受信給電線損失	5.5	5.5	5.5	
	9	雑音電力 (dBm)	-110.5	-110.5	-110.5	受信通過帯域幅 (No2)、受信機雑音指数 (No6)より算出
	10	許容干渉電力 (dBm)	-116.5	-116.5	-116.5	雑音電力 (No9) - 6dB
無線LAN	11	最大送信e.i.r.p.(mW)	1000	1000	1000	
	12	" (dBm)	30	30	30	
	13	TPC (dB)	0	0	0	
	14	帯域幅 (MHz)	20	20	20	
	15	アンテナゲイン(オムニ) (dBi)	0	0	0	
レーダー検出 レベル計算	16	帯域換算(dB)	-11.5	-11.5	-11.5	レーダー受信帯域幅(No2)÷無線LAN帯域幅(No14)
	17	無線LANの周波数特性による干渉電力低減効果(dB)	-	-	7.3	
	18	許容干渉レベルを満たすための所要伝搬損失 (dB)	171.5	171.5	164.2	レーダーの許容干渉レベルを満たす所要伝搬損失: 最大送信e.i.r.p. (No12) + アンテナゲイン(No3) - 受信給電線損失(No8) - 許容干渉電力 (No10) + 帯域換算(No16)
	19	レーダー検出レベル	-63.3	-64.1	-56.8	レーダーの最大送信e.i.r.p. (No5) - 所要伝搬損失 (No18)

DFSの閾値 (-64dBm) より大きいのでDFSが動作する。

DFSの閾値 (-64dBm) より大きいのでDFSが動作する。

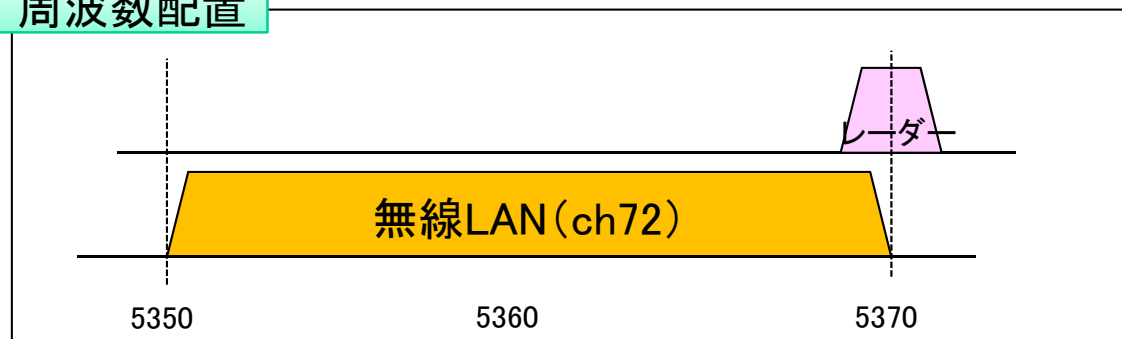
DFSの閾値 (-64dBm) より小さいのでDFSは動作しない。

装置諸元、周波数配置及びフィールド実験結果

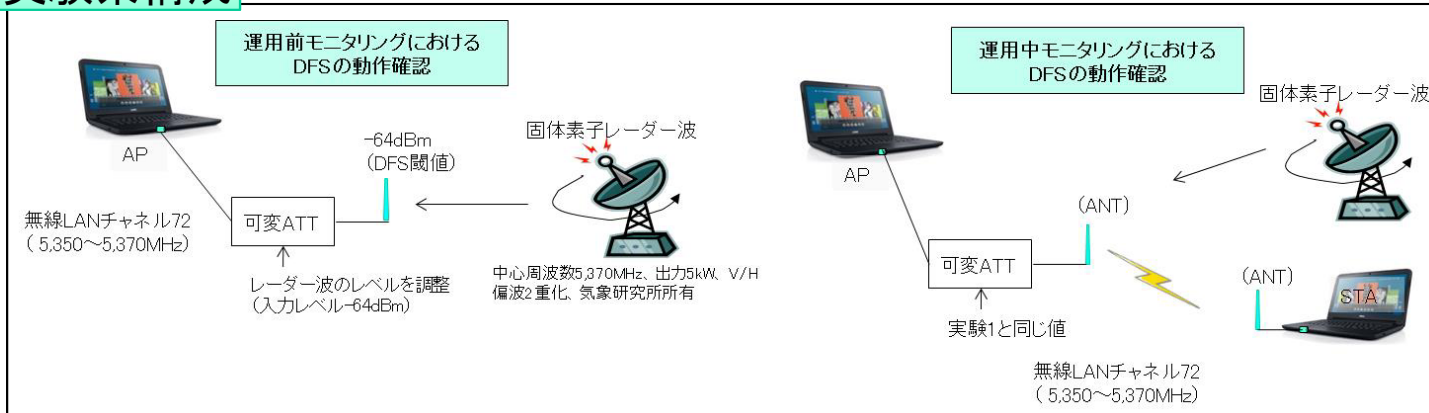
【装置諸元】

無線LAN	送信出力		17	dBm
	アンテナ利得		2	dBi
	給電線損失(送信)		0	dB
	DFS検知レベル		-64	dBm
固体素子気象レーダー	周波数		5370	MHz
	送信出力	V+H偏波	5	kW
		V又はH偏波	3.5	kW
	アンテナ利得(送受)		42	dBi
	アンテナ半値幅		0.5	度
	アンテナ角度		2	度
	サイドローブ		30	dB以下
	給電線損失(送信)		1.6	dB
	最小受信感度		-110	dBm
	給電線損失(受信)		5.5	dB

周波数配置



実験系構成

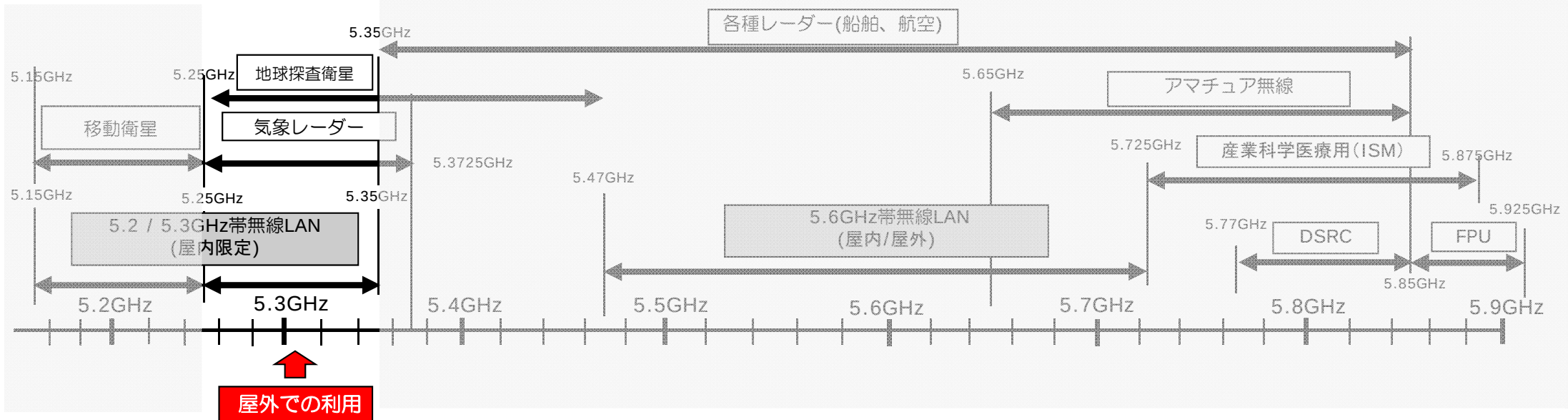


フィールド実験結果

運用前モニタリング、運用中モニタリングで各3回試行し、全ての組合せでレーダー波を100%検出し、停波を確認した。

	パルス繰り返し周波数	レーダー回転速度	
		0.5rpm	6rpm
運用前モニタリング	764pps	○	○
	955pps	○	○
運用中モニタリング	764pps	○	○
	955pps	○	○

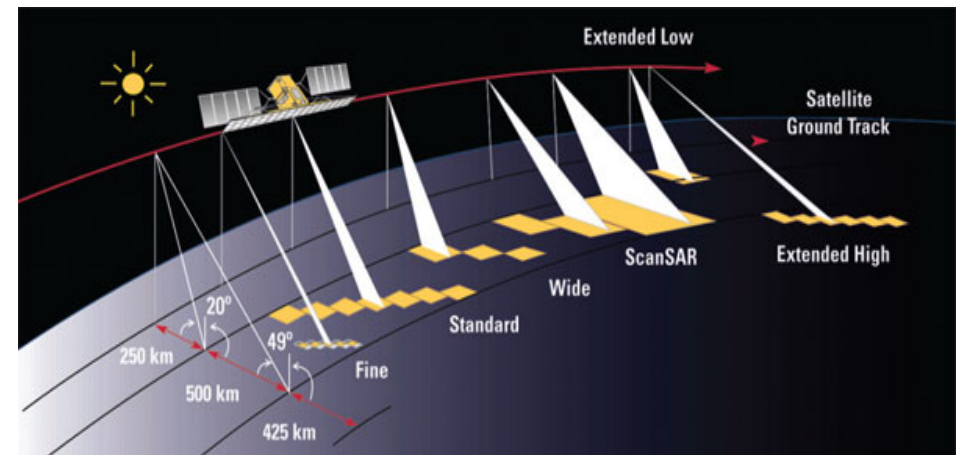




共用検討対象システム

- SAR-D3 (RISAT-1): 2012年にインド宇宙研究機関が打ち上げ(5,350MHz)
- SAR-D6 (RNG): 2018年にカナダ宇宙機関が後続機として計画中(5,255-5,555MHz)

【RADARSAT-1 Beam Modes】



参照元: Canadian Space Agency

<http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/radarsat-tableau.asp>

検討内容

- 屋外/屋内環境に対応した伝搬パラメータ、無線LAN出力をパラメータとして、無線LAN共用検討対象となる地球探査衛星システムに対する無線LANの許容運用台数を算出

計算結果(SAR-D3及びSAR-D6)

9

【屋外利用時(最大1W(仰角8° 未満)】

※ITU-R勧告RS.1632を参考に算出

No	パラメータ	SAR-D3		SAR-D6		計算方法、出所
		値	dB	値	dB	
1	送信電力(W)	0.04	-13.98	0.04	-13.98	最大e.i.r.p.1W(アンテナ仰角制限有)に送信電力分布モデル適用
2	遮蔽損失(dB)		-7.8		-7.8	屋外利用率15%での平均付加伝搬損失
3	送信アンテナ利得(dB)		0.00		0.00	—
4	受信アンテナ利得(dB)		35		45	JAXAより情報提供
5	偏波損失 (dB)		-3.00		-3.00	ITU-R勧告RS.1632
6	波長 (m)	5.65×10^{-2}	-24.96	5.65×10^{-2}	-24.96	ITU-R勧告RS.1632
7	$(4\pi)^{-2}$	6.33×10^{-3}	-21.98	6.33×10^{-3}	-21.98	—
8	距離(km)(注:スラントレンジ(衛星と観測地表面の距離))	545	-114.73	612.9	-115.75	JAXAより情報提供
9	受信電力(dBW)		-151.45		-142.47	送信電力(No1) + 建物侵入損失(No2、負で入力) + 送信機アンテナゲイン(No3) + 受信機アンテナゲイン(No4) + 偏波損失(No5、負で入力) + 伝搬損失(No6, 7, 8)
10	雑音指数(dB)		5.8		6.0	JAXAより情報提供
11	k T	4.00×10^{-21}	-203.98	4.00×10^{-21}	-203.98	定数
12	受信帯域幅(MHz)	75	78.75	300	84.77	JAXAより情報提供
13	雑音電力(dBW)		-119.43		-113.21	雑音指数(No10)+定数(No11) + 受信帯域(No12)
14	SAR 干渉しきい値 (I/N = -6 dB)		-125.43		-119.21	熱雑音電力(No13) - 6 (dB)
15	マージン (dB)		26.02		23.26	SARの許容干渉レベル(No14) - 無線LAN1台からの干渉電力(No9)
16	SARフットプリント (km ²)	457.6	26.6	77.4	18.89	高度、Off-nadir角、アンテナビーム幅から計算
17	HIPERLANの平均地表電力 (dB(W/km ²))		-0.59		4.37	マージン(No15) - SARフットプリント(No16)
18	稼働送信機台数/km ² /channel	21.85		68.45		1km ² ・1チャンネル当りの無線LANの許容平均電力(No17) - 無線LANの送信電力(No1)
19	稼働送信機台数/km ² /channel 稼働率5%	437		1369		1km ² ・1チャンネル当りの無線LANの許容平均電力(No18) / 5%

計算結果(SAR-D3及びSAR-D6)

10

【屋内利用時(最大1W(仰角8° 未満)】

※ITU-R勧告RS.1632を参考に算出

No	パラメータ	SAR-D3		SAR-D6		計算方法、出所
		値	dB	値	dB	
1	送信電力(W)	0.04	-13.98	0.04	-13.98	最大e.i.r.p.1W(アンテナ仰角制限有)に送信電力分布モデル適用
2	遮蔽損失(dB)		-13		-13	屋外利用率1%での平均付加伝搬損失
3	送信アンテナ利得(dB)		0.00		0.00	—
4	受信アンテナ利得(dB)		35		45	JAXAより情報提供
5	偏波損失 (dB)		-3.00		-3.00	ITU-R勧告RS.1632
6	波長 (m)	5.65×10^{-2}	-24.96	5.65×10^{-2}	-24.96	ITU-R勧告RS.1632
7	$(4\pi)^{-2}$	6.33×10^{-3}	-21.98	6.33×10^{-3}	-21.98	—
8	距離(km)(注:スラントレンジ(衛星と観測地表面の距離))	545	-114.73	612.9	-115.75	JAXAより情報提供
9	受信電力(dBW)		-156.65		-147.67	送信電力(No1) + 建物侵入損失(No2、負で入力) + 送信機アンテナゲイン(No3) + 受信機アンテナゲイン(No4) + 偏波損失(No5、負で入力) + 伝搬損失(No6, 7, 8)
10	雑音指数(dB)		5.8		6.0	JAXAより情報提供
11	k T	4.00×10^{-21}	-203.98	4.00×10^{-21}	-203.98	定数
12	受信帯域幅(MHz)	75	78.75	300	84.77	JAXAより情報提供
13	雑音電力(dBW)		-119.43		-113.21	雑音指数(No10)+定数(No11) + 受信帯域(No12)
14	SAR 干渉しきい値 (I/N = -6 dB)		-125.43		-119.21	熱雑音電力(No13) - 6 (dB)
15	マージン (dB)		31.22		28.46	SARの許容干渉レベル(No14) - 無線LAN1台からの干渉電力(No9)
16	SARフットプリント (km ²)	457.6	26.6	77.4	18.89	高度、Off-nadir角、アンテナビーム幅から計算
17	HIPERLANの平均地表電力 (dB(W/km ²))		4.617		9.57	マージン(No15) - SARフットプリント(No16)
18	稼働送信機台数/km ² /channel	72.382		226.685		1km ² ・1チャンネル当りの無線LANの許容平均電力(No17) - 無線LANの送信電力(No1)
19	稼働送信機台数/km ² /channel 稼働率5%	1447		4533		1km ² ・1チャンネル当りの無線LANの許容平均電力(No18) / 5%

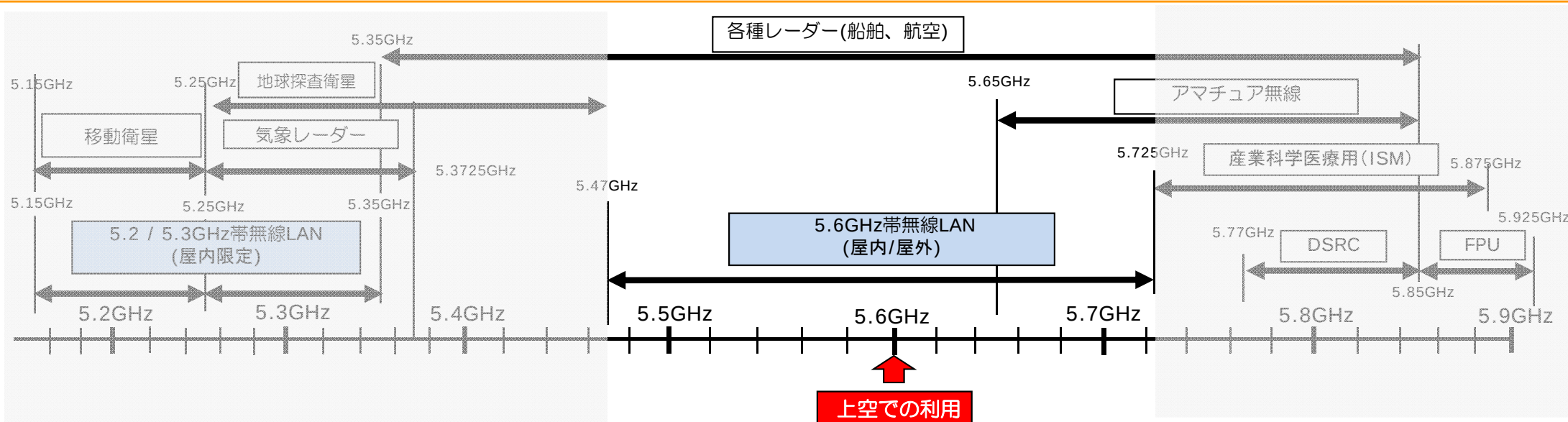
無線LAN稼働率5% (ITU-R勧告M.1454に記載) 時の1km²あたりの無線LANの許容運用台数

・(1) 屋外利用時 (屋外利用率15%) の許容運用台数

利用場所	屋外利用率	平均建物遮蔽損失	最大e.i.r.p.	1km ² あたりの無線LANの許容運用台数(台)	
				SAR-D3 (RISAT-1)	SAR-D6 (RNG)
屋外	15%	7.8dB	200mW (現行)	117	369
			最大1W (仰角8° 未満)	<u>437</u>	1,369

(2) 屋内利用時 (屋外利用率1%) の許容運用台数

利用場所	屋外利用率	平均建物遮蔽損失	最大e.i.r.p.	1km ² あたりの無線LANの許容運用台数(台)	
				SAR-D3 (RISAT-1)	SAR-D6 (RNG)
屋内	1%	13dB	200mW (現行)	390	1,121
			最大1W (仰角8° 未満)	<u>1,447</u>	4,533

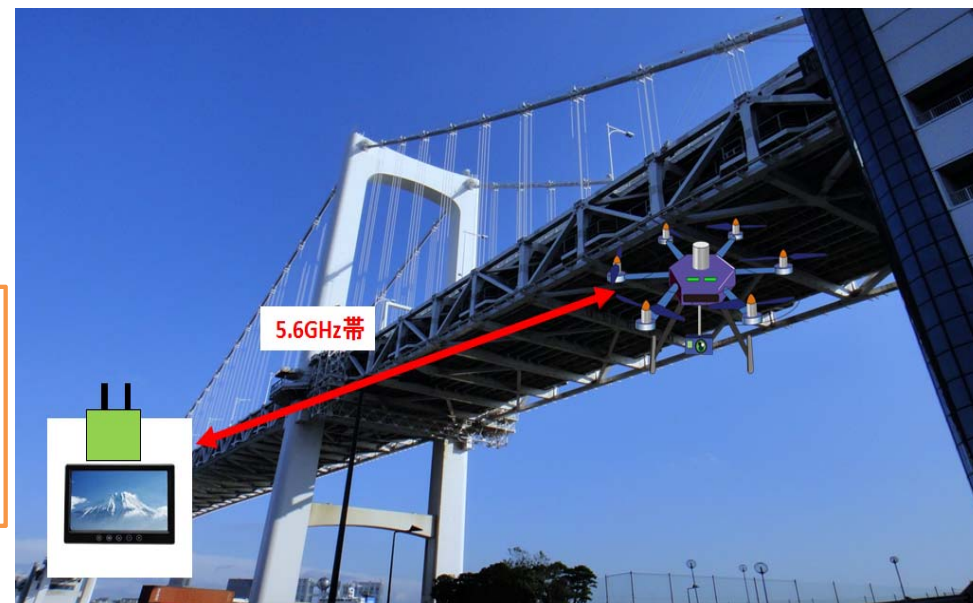


共用検討対象システム

- 各種レーダー(船舶、航空)等との共用検討が必要

検討内容

- 近年、ドローンを中心に画像伝送の需要が高まっているため、無線LANを上空で利用した場合でも既存のレーダーに対してDFSが動作することを確認する
- JAXAの精測レーダーとの共用検討

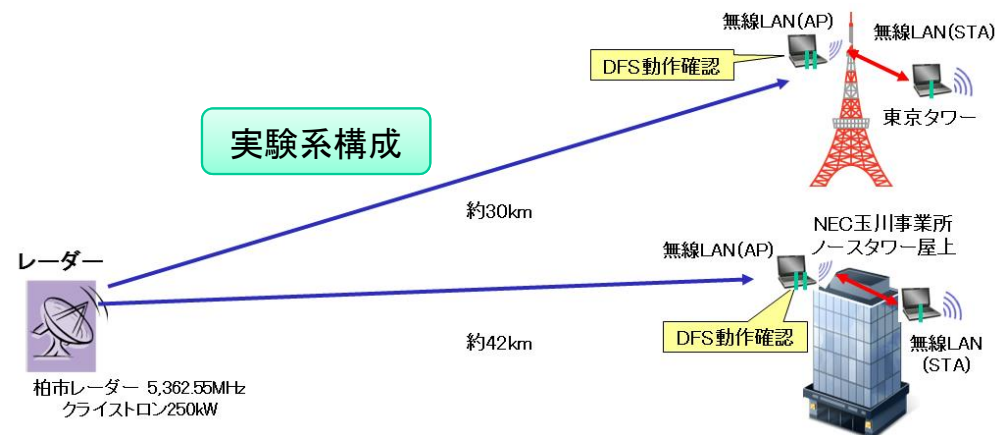


測定概要

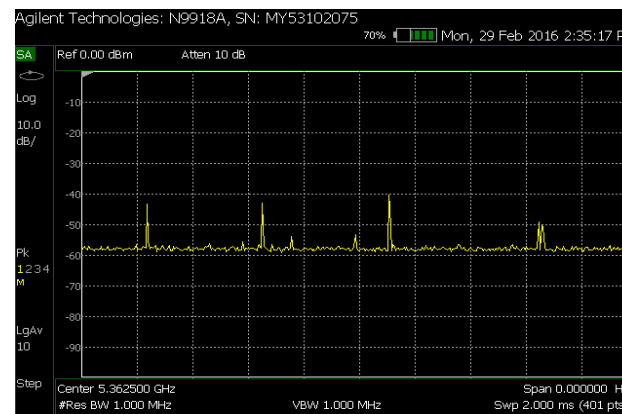
項目	内容
測定日	(1)2016年2月29日(火) 曇り時々雨 (2)2016年3月15日(火) 晴れ
測定場所	(1)NEC玉川事業所 神奈川県川崎市中原区下沼部1753 地上高:約160m (2)東京タワー第1展望台外 東京都港区芝公園4丁目2-8 地上高:約135m
測定対象	気象レーダー(千葉県柏市) 周波数:5362.5MHz 測定場所からの距離:約42km(NEC玉川事業所) 約30km(東京タワー)

測定項目

No.	測定内容
1	利用チャネル確認機能の動作確認「CAC (Channel Availability Check)」運用前モニタリングのことであり、無線LANが使用するチャネルでレーダーが運用されていないことを保証するため、1分間レーダー検出を行う。 今回の測定場所において、CACが正常に動作するかを確認する。
2	運用中チャネル監視機能の動作確認「ISM(In-Service Monitoring)」運用中に無線LANが使用しているチャネルでレーダーが運用されていないことを保証するため、そのチャネルを監視し続けなければならない。 今回の測定場所において、CACの確認後に無線LANを通信させ続け、レーダーの受信をしたことによりそのチャネルが使用不可となることを確認する。



測定状況



上図は測定場所において、スペクトラムアナライザにて測定した画面である。長時間放置したスペクトラムアナライザ上には、気象レーダーの電波を受信することが確認できた。

測定結果

1. CAC動作にて、無線LANチャネル72(5,360MHz)でレーダー一波を9回検出して停波となり、CACが正常に動作することが確認できた。
2. CAC検出後、そのチャネルが使用不可となることを確認できた。

※チャネル72(5,360MHz)はW54帯の無線LAN帯域である。

※レーダーを停波させることができなかったため、運用中モニタリング時のDFS動作確認は省略した。

JAXAの精測レーダー局との共用検討

【無線局の諸元】

項目	内容
局種	・レーダー局(地上側) : 無線標定陸上局(内之浦、種子島、小笠原に設置) ・レーダートランスポンダ【RT】(ロケット側) : 携帯局
使用周波数・電波型式	W56の周波数帯を使用、16M0V1D(レーダー局)、10M0P0N(レーダートランスポンダ)
受信感度	・レーダー局(地上側) : -99dBm程度 ・レーダートランスポンダ(ロケット側) : -70dBm程度
送信電力	・レーダー局(アップリンク) : 1MW(最大) ・レーダートランスポンダ(ダウンリンク) : 600W(基幹ロケット)
使用頻度	ロケット打ち上げ時、その他機器の点検時

【検討結果】

以下のとおり、無線LANの利用が射点を中心とする警戒区域(観測ロケット:500m以内, 基幹ロケット:3km以内)外ならば、精測レーダーへの干渉リスクは低い。

1. レーダー局(受信側)

干渉域は約1950kmと広域に及ぶが、非常に狭いビーム幅を有するレーダー局とRTを結ぶ方向に5GHz無線LANを有する飛翔体が位置する可能性は非常に低いことに加え、ロケット打ち上げ後はレーダー局アンテナの上下角が上昇するため、レーダー局アンテナのボアサイト方向に5GHz無線LANを有する飛翔体が位置することはほとんどない。

レーダー局では受信機にゲートが設けられており、ゲート内でのみAGC及び信号処理を行っている。そのため、仮にゲート内に5GHz無線LANの信号が入力されてもRTから送られてくる信号の方が非常に強いため、追跡に支障はない。

2. レーダートランスポンダ(受信側)

RTでは受信ゲートがないため、最小受信感度以上の信号が入力されるとその信号を検出してしまう。ただし、検出した信号の検出タイミング(パルス間隔に相当)を識別して応答するロジックとなっているため、仮に5GHz無線LANからの信号を検出したとしてもすぐさま追跡に支障が出るわけではない。

3. 警戒区域内での無線LANの利用制限について(JAXAにて対応可能な方策)

JAXAでは、打ち上げ時に警戒区域への人及び未許可飛翔体(ドローン等)の立ち入りを制限(取材等での使用に関しては、申請時に確認等)。警戒区域内では、JAXAが目視にて飛翔体の監視を行うとともに、ドローン等を飛ばさないよう看板等で協力依頼を実施。利用周波数帯における干渉波の監視。

周波数帯		最大e.i.r.p1W (仰角8°未満)	登録局	AP機能搭載 の携帯型端 末の利用	インフラストラク チャモードに限定	DFS及び TPC※1
5.2GHz帯	屋外	○	○	×	○	×
5.3GHz帯	屋内	○	×	○※2	○	○※3
	屋外	○	○	×	○	○※3

周波数帯	まとめ
5.6GHz帯	上空側にDFS機能を具備させ、画像伝送での利用が可能

※1 TPC(Transmitter Power Control) : 無線LANの通信系における平均の空中線電力を3dB下げる機能

※2 出力は10mW/MHzまで

※3 子機は親機に制御されるため、DFS及びTPCは不要

	パラメータ	規定値			
①	屋外利用における平均建物遮蔽損失	屋外使用15%の場合7.8dB			
②	稼働率	1%/5%*1			
③	最大e.i.r.p.*2	200mW/1W(仰角8° 未満) /4W(仰角30° 未満)の3種類			
④	無線LAN送信電力分布モデル※2 (ITU-R JTG4-5-6-7(2014年7月)から引用)	(ア)200 mW (イ)最大e.i.r.p.1W(仰角8° 未満) (ウ)最大e.i.r.p.4W(仰角30° 未満)	80mW	50mW	25mW
	比率	19%	27%	15%	39%
⑤	e.i.r.p. (平均電力) ④の送信電力を⑤の送信電力分布モデルで平均化した電力を (ア)～(ウ)に示す。	(ア)77mW (イ)40mW (ウ)437mW			
⑥	チャンネル帯域分布*3 (ITU-R JTG4-5-6-7(2014年7月)から引用)	20MHz	40MHz	80MHz	160MHz
		10%	25%	50%	15%

(イ)のアンテナ仰角に対する送信電力制限

$$\begin{array}{llll}
 -13 & \text{dB(W/MHz)} & \text{for} & 0^\circ \leq \theta < 8^\circ \\
 -13 - 0.716(\theta - 8) & \text{dB(W/MHz)} & \text{for} & 8^\circ \leq \theta < 40^\circ \\
 -35.9 - 1.22(\theta - 40) & \text{dB(W/MHz)} & \text{for} & 40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \\
 -42 & \text{dB(W/MHz)} & \text{for} & 45^\circ < \theta
 \end{array}$$

※1:ITU-R勧告M.1454から引用。

※2:算出方法と根拠

(ア)現行規格

(イ)送信電力の増力(アンテナ仰角による送信電力制限あり)

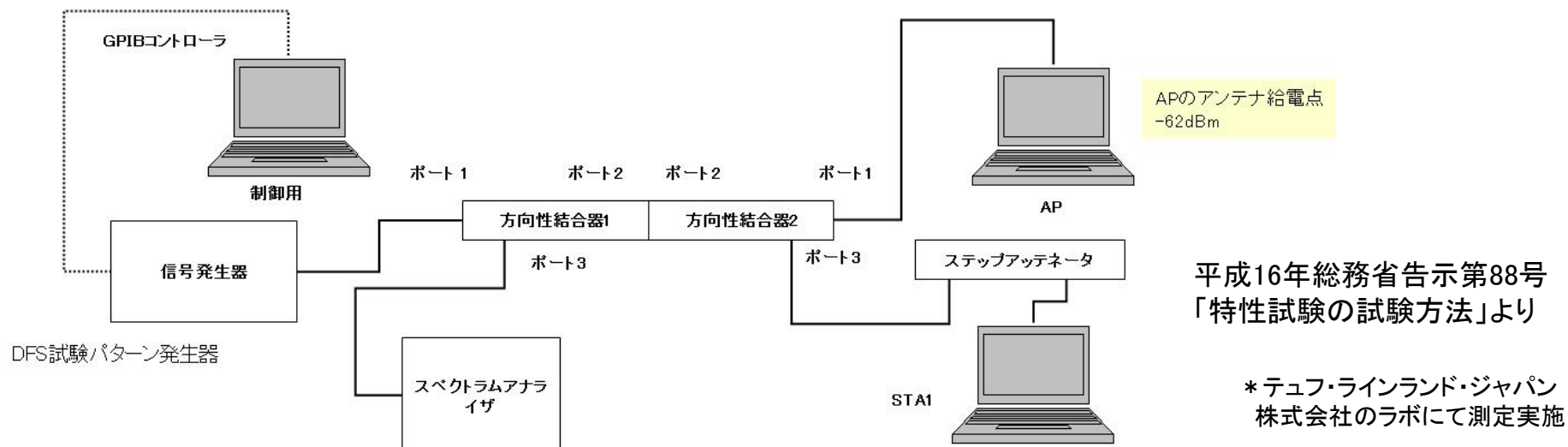
ITU-R決議第229 5,250-5,350MHz帯のEESSへの屋外利用時のアンテナ仰角に対する送信電力制限(右上の囲み)の適用

(ウ)送信電力の増力(アンテナ仰角による送信電力制限あり)

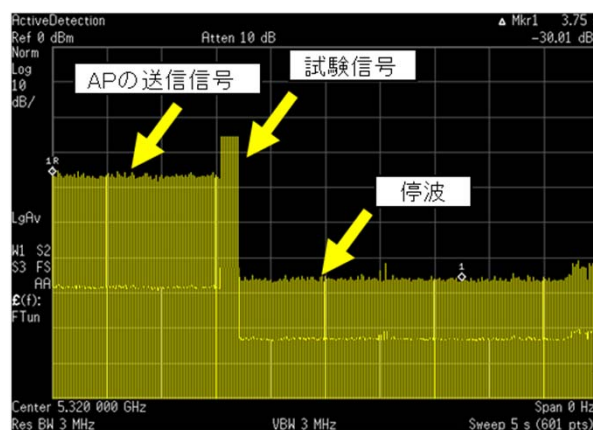
5,150-5,250MHz帯FCC CRF Title47 Part15.407(2014年3月改定):屋外利用時e.i.r.p.4Wのアンテナ仰角30° 以上は-15dBとなる125mWを超えてはならない。

※3:チャンネル帯域分布は20MHz帯域幅が100%とする。40/80MHz帯域幅にしても電力密度は1/2、1/4になるが占有帯域は2倍、4倍になるため無線LANの許容運用台数は変わらない。

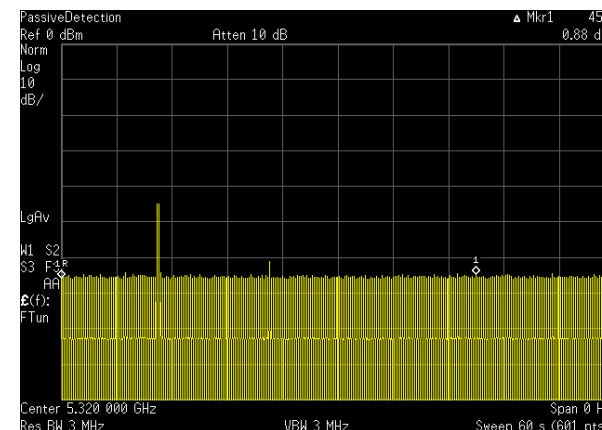
実験系構成



実験結果



64チャンネルでの試験信号検出

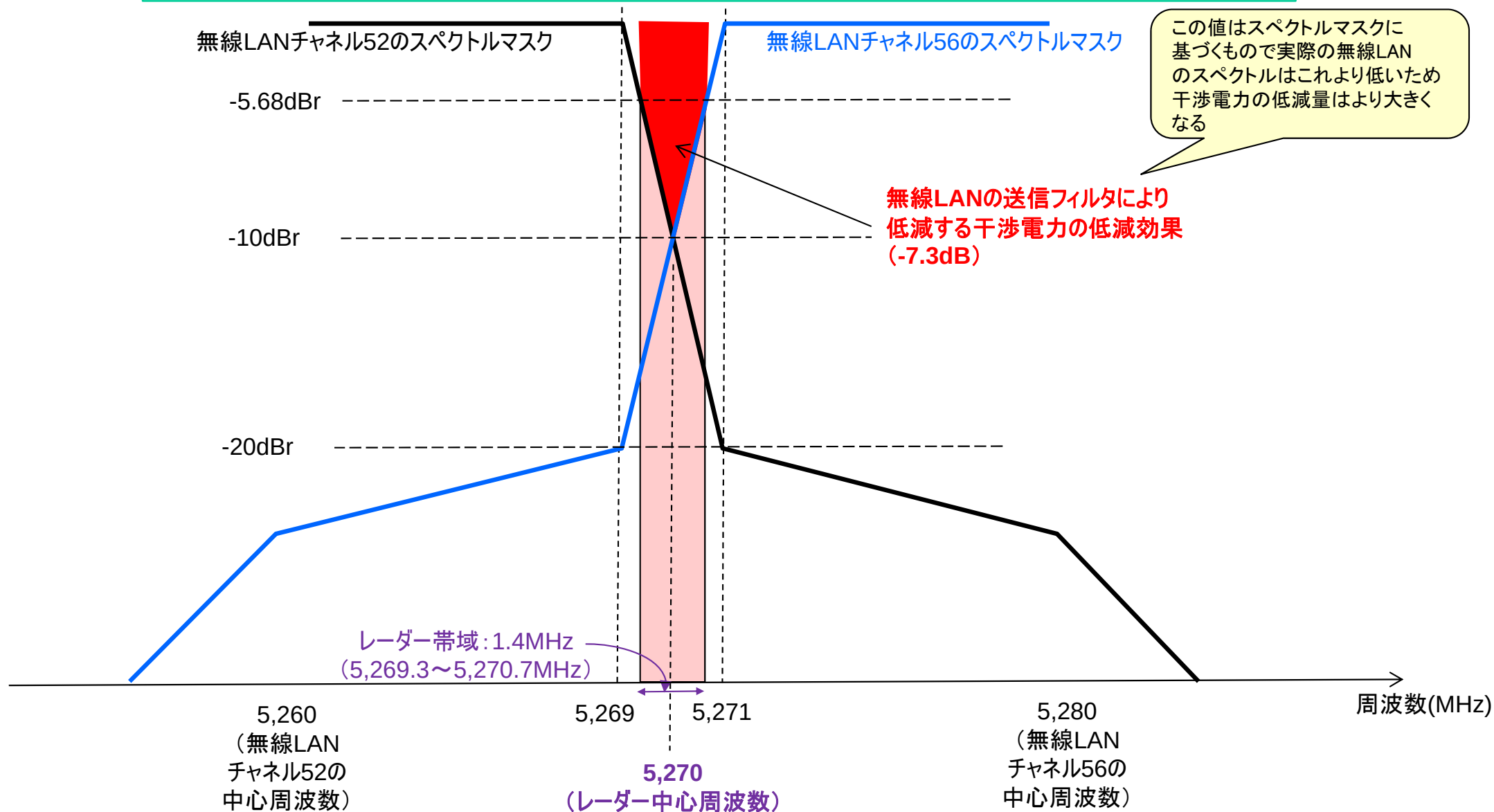


試験信号検出後、APの送信信号は観測されない

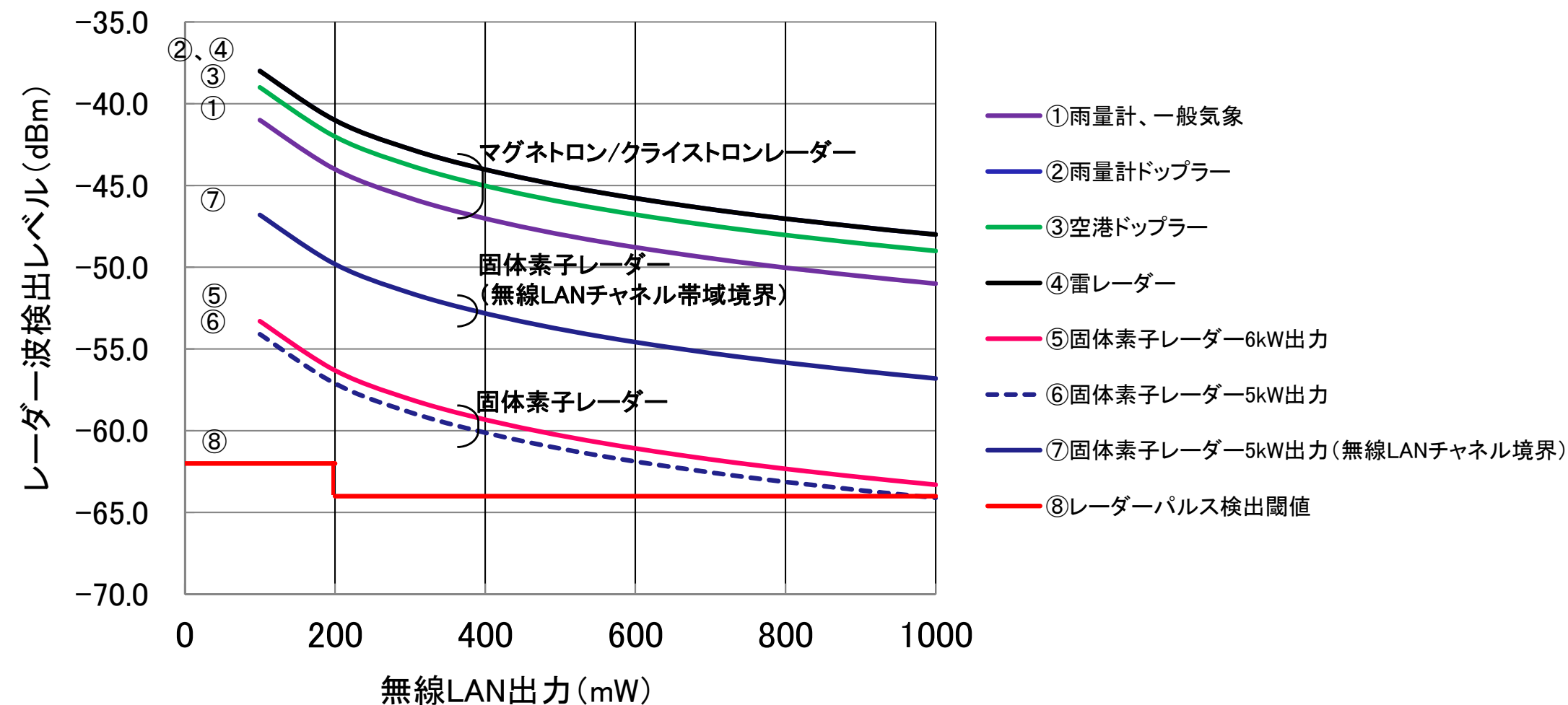
下表の固体素子レーダーのパルスパターンについて、無線LANチャンネル64(5,320MHz)、チャンネル68(5,340MHz)、チャンネル72(5,360MHz)のいずれのチャンネルにおいても運用前モニタリング、運用中モニタリングを各20回試行して、レーダー波を100%検出し、停波を確認した。

短パルス(μs)	長パルス(μs)	パルス繰返し周波数(pps)	連続するパルスの数	レーダー検出率
0.5	20	260/1200	18	100%
5.0	20			

レーダーに干渉する無線LAN電力は無線LAN電力のスペクトルマスクに応じて低下
⇒許容干渉レベルを満たすための所要伝搬損失が上記の干渉電力低下分だけ低下
⇒無線LANのレーダー波検出レベルが上昇



- マグネトロン/クライストロンレーダーについて無線LANの出力が1WまでDFSで検出可能
- 6kW出力の固体素子レーダーは無線LANの出力が1WまでDFSで検出可能
- 5kW出力の固体素子レーダーはその周波数が無線LANチャンネル帯域の境界ならば無線LANの出力が1WまでDFSで検出可能



	パラメータ	規定値			
①	屋外使用における平均建物遮蔽損失	屋外使用15%の場合7.8dB			
	屋内利用における平均建物遮蔽損失	屋外使用0%の場合 17dB			
		屋外使用1%の場合13dB			
		屋外使用5%の場合11.6dB			
②	Active Ratio	5%*1			
③	送信電力(e.i.r.p.)*2	200mW/最大1W(仰角8° 未満)			
④	無線LAN送信電力分布モデル※2	(ア) 200 mW (イ) 最大1W(仰角8° 未満)	80mW	50mW	25mW
	RLAN device percentage 【ITU-R JTG4-5-6-7(2014年7月)での電力分布モデル】	19%	27%	15%	39%
⑤	e.i.r.p. (平均電力) ④の送信電力を⑤の送信電力分布モデルで平均化した電力を (ア) 及び(イ)に示す。	(ア) 77mW (イ) 40mW			
⑥	チャンネル帯域分布*3 【ITU-R JTG4-5-6-7(2014年7月会合)での検討モデル】	20MHz	40MHz	80MHz	160MHz
		10%	25%	50%	15%

※1:ITU-R勧告M.1454から引用。

※2:算出方法と根拠

(ア) 現行規格

(イ) 送信電力の増力(アンテナ仰角による送信電力制限あり)

ITU-R勧告M.1653(2003年6月) 5.470-5.570MHz帯のEESSへの
屋外利用時のアンテナ仰角に対する送信電力制限(右上の囲み)の
適用

(イ)のアンテナ仰角に対する送信電力制限

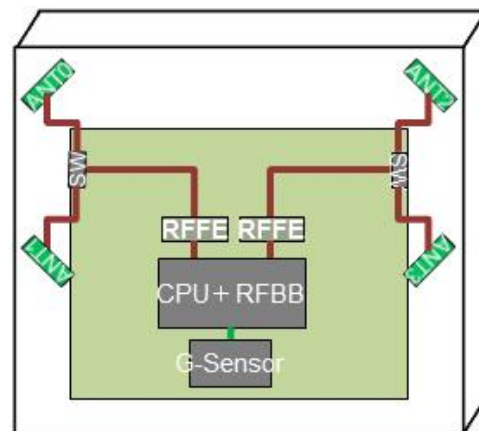
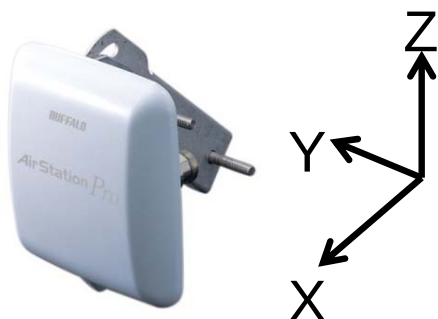
$$\begin{array}{llll}
 -13 & \text{dB(W/MHz)} & \text{for } 0^\circ \leq \theta < 8^\circ \\
 -13 - 0.716(\theta - 8) & \text{dB(W/MHz)} & \text{for } 8^\circ \leq \theta < 40^\circ \\
 -35.9 - 1.22(\theta - 40) & \text{dB(W/MHz)} & \text{for } 40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ \\
 -42 & \text{dB(W/MHz)} & \text{for } 45^\circ < \theta
 \end{array}$$

※3:40/80MHz帯域幅にしても電力密度は1/2、1/4になるが占有帯域は2倍、4倍になるため全体として無線LANの許容運用台数は変わらない。
そのため、20MHz帯域幅のみで計算しても問題ない。

[製品案]

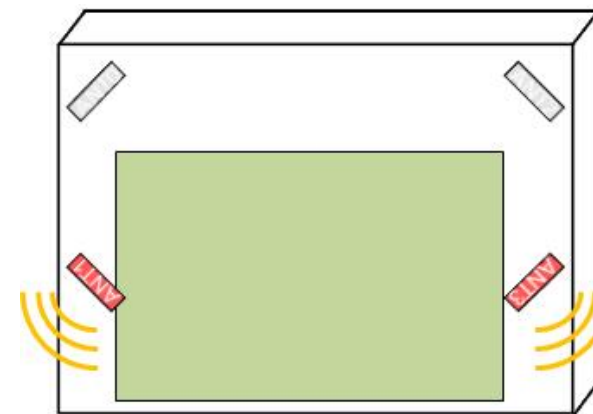
Gセンサーなどにより、指向性アンテナを
自動選択するスマートアンテナ付AP

Buffalo製アンテナ指向性の例

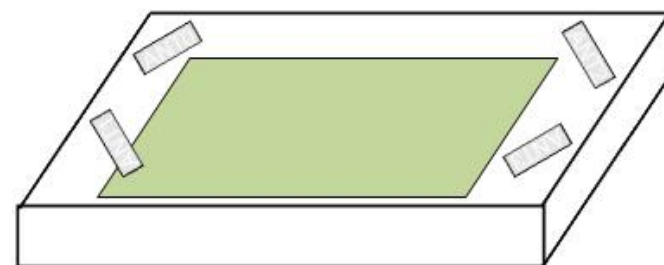
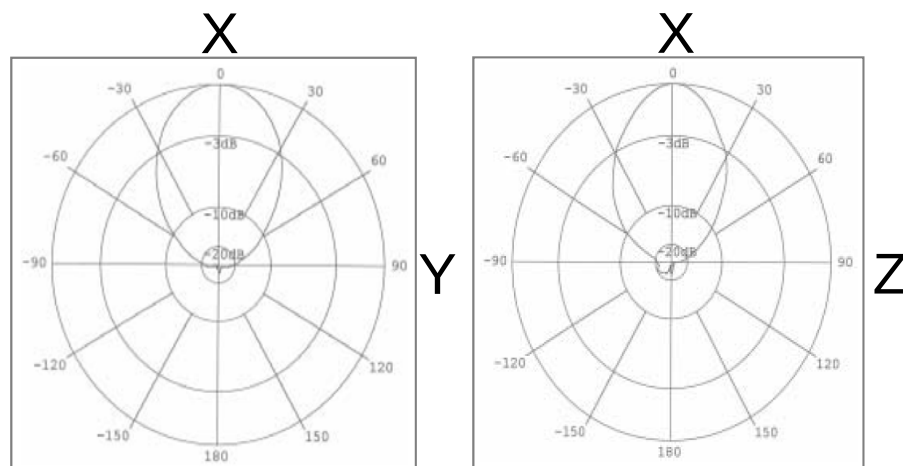


無線機の構成例

鉛直方向



垂直設置を認識し、下方向のみ電波送信
(上方向の電波送信停止)



鉛直方向



水平設置を認識し、電波送信停止
(又は送信電力抑制)

※1 アンテナのエレメント形状により、指向性は異なる。

※2 仰角を定義する場合、アンテナの外形に対し定義するのではなく、アンテナの指向性に対して定義する必要がある。

(例) 仰角〇〇度以上は、EIRPで●●dB/MHz以下など。

※3 衛星方向の送信電力を下げつつ、ユーザー方向に送信電力を上げることで、通信距離の拡大に寄与することが可能。