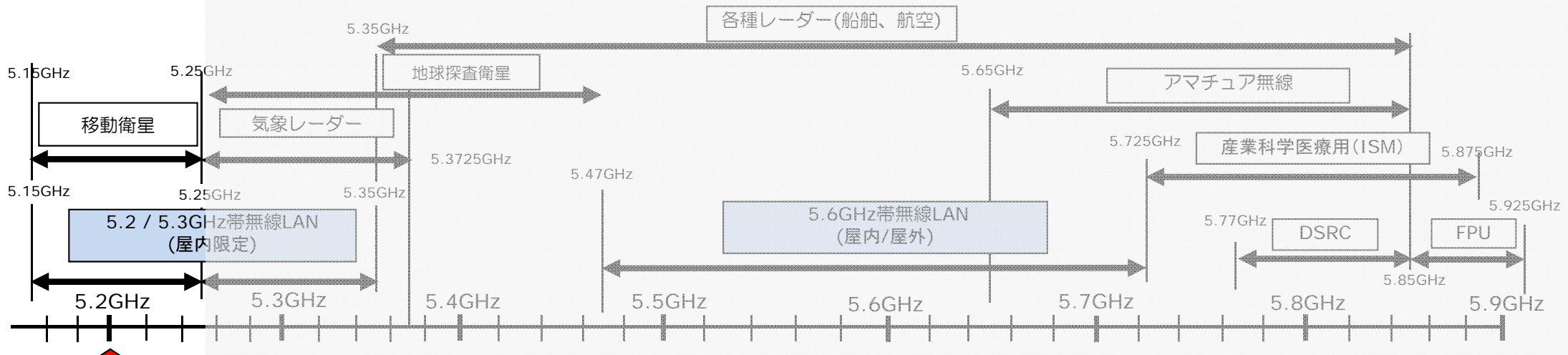


各周波数帯ごとの周波数共用検討結果

1. W52の周波数共用検討

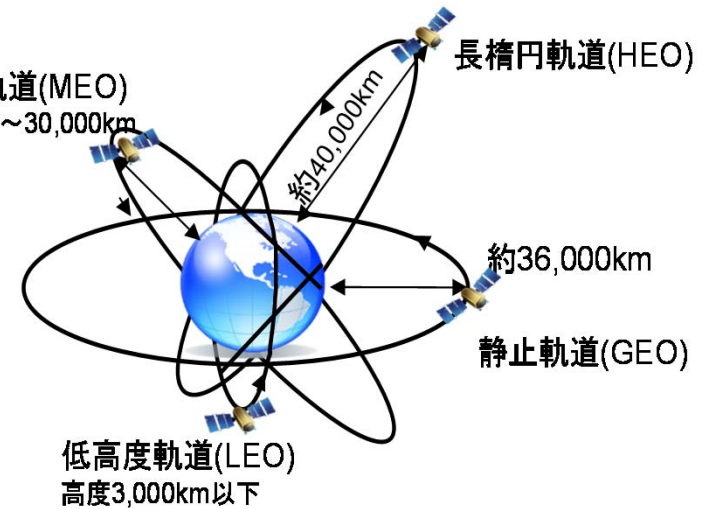


屋外での利用

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

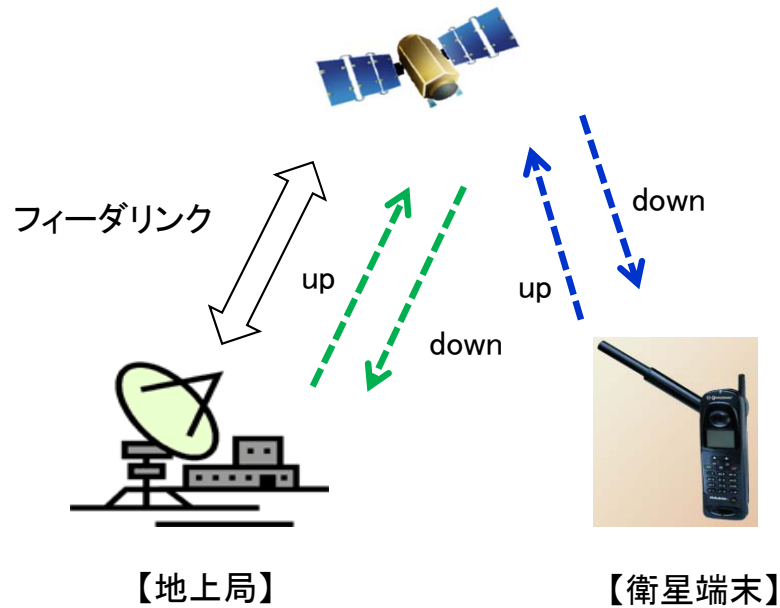


参照元: 情報通信審議会 情報通信技術分科会
衛星通信システム委員会 諮問第2032号 平成25年1月

検討内容

- 屋外/屋内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

【5GHz帯無線LANシステムとの共用検討に用いたシステム諸元】



| 地上局 | | |
|-----------------|----------|------------------------|
| | 送信定格出力 | 68dBW EIRP |
| | 送信周波数帯 | 5,091-5,250MHz(159MHz) |
| | 変調 | CDMA拡散方式/QPSK |
| | 音声符号化速度 | 8kbps |
| 空中線系 | | |
| | アンテナ形式 | カセグレン型パラボラアンテナ6.1mΦ |
| | 周波数帯 | 5GHz帯(送信)/6-7GHz帯(受信) |
| | 偏波面 | 左旋円偏波/右旋円偏波 |
| | 利得 | 48dBi(送信)/51dBi(受信) |
| 衛星 | | |
| | 周波数 | 5,091-5,250MHz(159MHz) |
| | 自由空間損失 | 174.1dB(average) |
| | 受信電力 | -141.2dBW |
| | 等価雑音温度 | 550K |
| | 受信アンテナ利得 | 5.2dB |
| | フィーダ損失 | 2.9dB |
| フィーダリンク(アップリンク) | | |

| 衛星軌道 | | |
|-----------------|--------|--------------|
| | 軌道 | 円軌道 |
| | 軌道長半径 | 1,414km |
| | 軌道周期 | 114分 |
| | 軌道傾斜 | 52° |
| | 衛星配置 | 8軌道、各軌道面に6衛星 |
| 移動機 | | |
| サービスリンク(ダウンリンク) | 受信電力 | -164dBW |
| | 等価雑音温度 | 293.7K |

(経緯)

平成11年度 電気通信技術審議会答申 参考資料4「移動体衛星システムとの周波数共用」では、Globalstarアップリンク(5091-5250MHz)との共用検討を実施。



4チャンネル、1フットプリント*1あたりの無線LANの最大許容台数を算出

検討に用いたパラメータと結果

| パラメータ | 規定値 |
|--------------------|------------------------|
| 許容干渉雑音相対値*2 | 3% |
| 屋内利用における平均建物遮蔽損失*3 | 13dB |
| 稼働率 | 1% |
| EIRP | 200mW |
| チャンネル帯域幅 | 20MHz |
| 屋外利用率*4 | 1% |
| 許容稼働数 | 対Globalstar 2,912万台 |

*1: 地表面積約5,800km²

*2: WP4A及びSG-4会合の勧告案

*3: ITU-R勧告M.1454では、5150-5250MHzにおける平均建物遮蔽効果として、7dB~17dBが提案されている。日本では13dBとした。

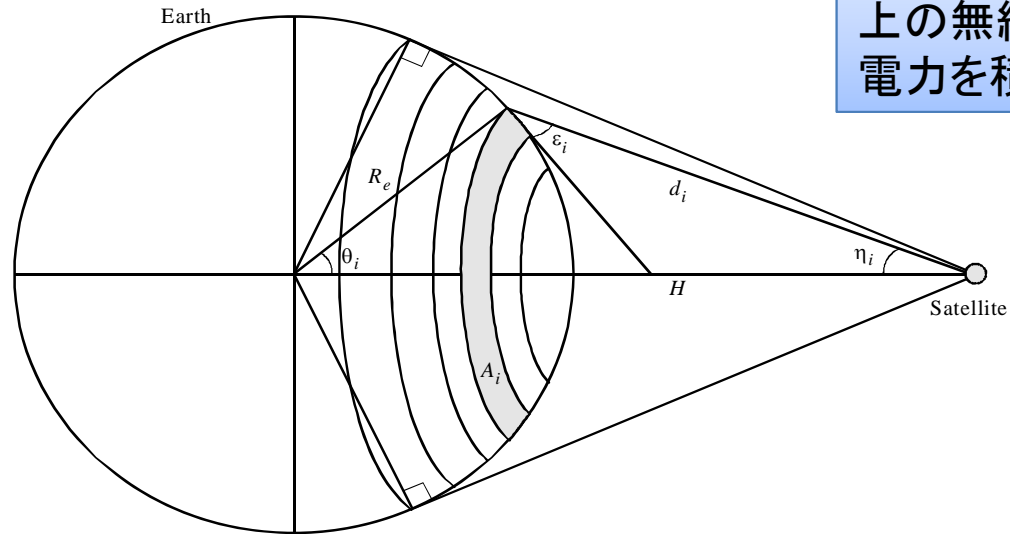
*4: 屋内使用を原則とする。

平成12年にITU-R S.1427で、干渉評価方法は $\Delta TS/TS$ 法、許容雑音増加分の規定値は3%と勧告。

同じくS.1426で、MSSフィーダリンクの保護のため衛星軌道上でのpfd*5制限値に関する新勧告案が作成され、規定値が設けられた。(GS:-124dBW/MHz/m²)

*5: 時間率20%以上で、地上高3m地点での電力束密度(pfd)

FIGURE 1
Geometry for aggregating the interference



地球表面を輪切りにして各円環上の無線LANから衛星への干渉電力を積分して総干渉量を算出

1454-01

$$I(W) = \sum_i I_i = \sum_i N_i \cdot \frac{e.i.r.p.R \times \alpha(\epsilon_i)}{(4\pi d_i f_0/c)^2} \cdot G_{Rx}(\eta_i) \cdot B_f$$

where:

$\alpha(\epsilon_i)$: attenuation due to any obstacles between the RLAN device and the satellite, and is assumed to be elevation dependent, $0 \leq \epsilon_i \leq 90^\circ$

$G_{Rx}(\eta_i)$: satellite antenna receive gain which depends on the nadir angle η_i , i.e. the angle between the sub-satellite point and the RLAN device

$B_f = B_W/B_R$: ratio between the victim carrier (wanted) bandwidth and the interfering carrier bandwidth (RLAN transmissions) (if $B_W < B_R$, otherwise $B_f = 1$), which determines the amount of interfering power falling into the victim's "filtered" bandwidth

f_0 : carrier frequency

c : speed of light.

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 | LEO-D (Globalstar) | 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) | 28.41 | システム等価雑音温度 (No1) の3%(No2)、伝搬損失 (No4)、偏波識別度 (No5)、フィーダ損失 (No6)、衛星アンテナ利得 (No7) を元に算出 |
| 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電力 (dBW) | 29.38 | 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 (%) | | 次ページ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 (%) | | 次ページ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) | | 次ページ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) | | 次ページ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 | 最大許容無線LAN電力 (No16) ÷ 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) |

| 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 | | | |
| | 屋内利用における平均建物遮蔽損失 | 屋外使用1%の場合13dB | | | |
| | | 屋外使用5%の場合11.6dB | | | |
| 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

| | | | |
|-----------------------------|-----------|-----|--------------------------------------|
| -13 | dB(W/MHz) | for | $0^\circ \leq \theta < 8^\circ$ |
| $-13 - 0.716(\theta - 8)$ | dB(W/MHz) | for | $8^\circ \leq \theta < 40^\circ$ |
| $-35.9 - 1.22(\theta - 40)$ | dB(W/MHz) | for | $40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ |
| -42 | dB(W/MHz) | for | $45^\circ < \theta$ |

※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。

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フットプリントあたりの無線LANの許容運用台数(万台)

(1)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°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 | 596 |
| | | | 最大4W(仰角30°未満) | 273 | 55 |

(2)屋内利用時(屋外利用率1%)の許容運用台数

- 最大e.i.r.p.200mW(現行): 1,512万台
- 最大e.i.r.p.1W(仰角8°未満): 2,911万台
- 最大e.i.r.p.4W(仰角30°未満): 266万台

| 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% |
| 屋内 | 1% | 13dB | 200mW(現行) | 7,561 | 1,512 |
| | | | 最大1W(仰角8°未満) | 14,555 | 2,911 |
| | | | 最大4W(仰角30°未満) | 1,332 | 266 |
| | 5% | 11.6dB | 200mW(現行) | 3,895 | 779 |
| | | | 最大1W(仰角8°未満) | 7,498 | 1,500 |
| | | | 最大4W(仰角30°未満) | 686 | 137 |

※ Globalstarフットプリント直径: 約5,800km

●W52の屋外利用における条件

➤最大e.i.r.p. 1W(仰角8° 未満)

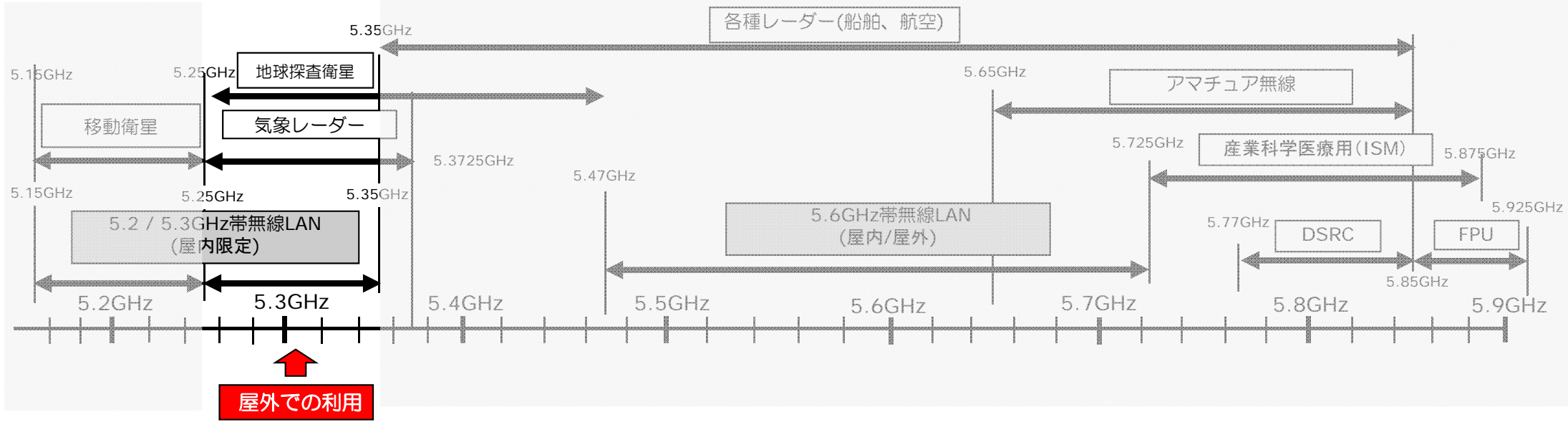
| | | | |
|-----------------------------|-----------|-----|--------------------------------------|
| -13 | dB(W/MHz) | for | $0^\circ \leq \theta < 8^\circ$ |
| $-13 - 0.716(\theta - 8)$ | dB(W/MHz) | for | $8^\circ \leq \theta < 40^\circ$ |
| $-35.9 - 1.22(\theta - 40)$ | dB(W/MHz) | for | $40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ |
| -42 | dB(W/MHz) | for | $45^\circ < \theta$ |

➤屋外APは登録局とするが、APの機能を搭載した携帯型端末の利用は不可

➤接続形態はインフラストラクチャモードとする

➤DFS及びTPCは不要

2. W53の周波数共用検討



共用検討対象システム

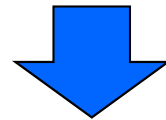
- 固体素子レーダーは従来型のマグネトロン/クライストロンレーダーと比べて送信電力が大幅に小さく、小型化、保守性向上や装置の長寿命化等の多くのメリットがあるため、今後、従来型から置き換わりつつある
- また、従来型レーダーとはパルスパターンが異なり、短パルスと長パルスを使用する



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レーダーのパラメータを用いて無線LANのDFSでの検出レベルを算出し、DFSが動作するしきい値と比較する。また、固体素子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

平成16年度の情報通信審議会答申では、ITU-R勧告M.1652を参照し、1つの無線アクセスシステムから受ける最大許容干渉レベルは、レーダーの受信機熱雑音 N と干渉レベル I の比 I/N で規定しており、 I/N は -6dB と規定した上で、与干渉レベルを計算している。



ITU-R勧告M.1652の計算手順に従いレーダー検出レベルを算出し、DFSにおけるレーダー波検出の閾値を上回れば、レーダー波を検出することが可能となり、無線LANはレーダーに干渉を与えない。

計算に用いた気象レーダーの諸元

| レーダー種別 | | ①雨量計、一般気象 | ②雨量計ドップラー | ③空港ドップラー | ④雷レーダー | ⑤雨量計 (固体素子レーダー) |
|--------|-------------|---------------|--------------|--------------|------------------------|------------------------------|
| 空中線装置 | 空中線(種別/径) | 直径4m円形パラボラ等 | 直径4m円形パラボラ等 | 直径7m円形パラボラ | 直径3m円形パラボラ | 直径4m円形パラボラ |
| | 空中線利得 | 44dBi程度 | 44.7dBi程度 | 48dBi程度 | 42dBi程度 | 42dB以上 |
| | ビーム幅(水平/垂直) | 1.2deg | 1.05deg | 0.7deg | 1.2deg | 1.2deg以下 |
| | サイドローブ(第1) | -25dB以下 | -28.8dB以下 | -25dB以下 | -25dB以下 | -23dB以下 |
| | 給電線損失(送/受) | 2dB/2dB min | 2dB/5dB min | 2dB/5dB min | 2dB/5dB min | 1.6dB/5.5dB (運用サイトにより異なる) |
| | 水平走査(回転数) | 3~4/1~3 rpm | 1~10 rpm | 2/4 rpm | 4~10 rpm | 0.5rpm~6rpm |
| | 垂直走査範囲 | -2~+45deg以上 | -2~+90deg | -2~+90deg | +0.7~81deg | -2~+90deg |
| 送信装置 | 発信管(素子) | マグネトロン | マグネトロン | クライストロン | マグネトロン | 半導体素子 |
| | 送信周波数 | 5.25-5.37GHz | 5.25-5.37GHz | 5.25-5.37GHz | 5.25-5.37GHz | 5.25~5.37GHz |
| | 送信出力 | 250kW程度 | 250kW程度 | 200kW程度 | 250kW程度 | 5~6kW (V/H偏波2重化) |
| | 送信パルス幅 | 2~2.5us/0.5us | 0.5us | 1us | 2us | 短パルス:0.5~5us |
| | パルス繰返し周期 | 260pps | 896~1120pps | 840~1120pps | 250~1800pps の2周波組合せ | 260~1000pps |
| | duty比 | -31.8~32.8dB | -29.0~29.8dB | -29.0~29.8dB | -30.0~33.0dB | -10.9~-11.9dB |
| | 占有周波数帯幅 | 8MHz以下 | 9.2MHz以下 | 4MHz以下 | 8MHz以下 | 4MHz以下 |
| | 電波の形式 | P0N | P0N | P0N | P0N | V0N |
| | スプリアス発射強度 | -40dBc以下 | -40dBc以下 | -40dBc以下 | -40dBc以下 | -60dBc以下 |
| 受信装置 | 通過帯域幅 | 1.4MHz | 3.0MHz | 1.2MHz | 1.2MHz | 1.4MHz |
| | 最小受信感度 | -113dBm程度 | -112dBm程度 | -109dBm程度 | -113dBm程度 | -110dBm |
| その他 | 設置高 | 地上高40~50m等 | 地上高40~50m等 | 地上高40~50m等 | 地上高40~50m等 | 地上高40~50m等 |
| | 定量観測範囲 | 半径100~200km | 半径240km | 半径120km | 半径250km | 半径200km |
| | 定性観測範囲 | 半径~400km | — | — | — | 半径300km |

【引用元】レーダー①~④:平成18年度 情報通信審議会答申 参考資料2-9「5GHz帯気象レーダー主要諸元」

レーダー⑤:平成26年度5G無線LAN調査検討会 作業部会1 資料1-2-5

| | 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 | P13の⑤雨量計(固体素子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 | | |
| | 3 | アンテナゲイン(dBi) | 42.0 | | |
| | 4 | アンテナ設置高(m) | 30.0 | | |
| | 5 | 最大送信e.i.r.p.(dBm) | 108.2 | | |
| | 6 | 受信機雑音指数 (dB) | 2 | | |
| | 7 | 送信給電線損失 | 1.6 | | |
| | 8 | 受信給電線損失 | 5.5 | | |
| | 9 | 雑音電力 (dBm) | -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 | | 雑音電力(No9)-6dB |
| 無線LAN | 11 | 最大送信e.i.r.p.(mW) | 1000 | | |
| | 12 | " (dBm) | 30 | | |
| | 13 | TPC (dB) | 0 | | |
| | 14 | 帯域幅 (MHz) | 20 | | |
| | 15 | アンテナゲイン(オムニ) (dBi) | 0 | | |
| レーダー検出レベル計算 | 16 | 帯域換算(dB) | -11.5 | レーダー受信帯域幅(No2)÷無線LAN帯域幅 (No14) | |
| | 17 | 許容干渉レベルを満たすための所要伝搬損失 (dB) | 171.5 | 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) | |
| | 18 | レーダー検出レベル | -63.3 | レーダーの最大送信e.i.r.p.(No5)-所要伝搬損失(No17) | |

DFSの閾値(-64dBm)より大きいのでDFSが動作する。

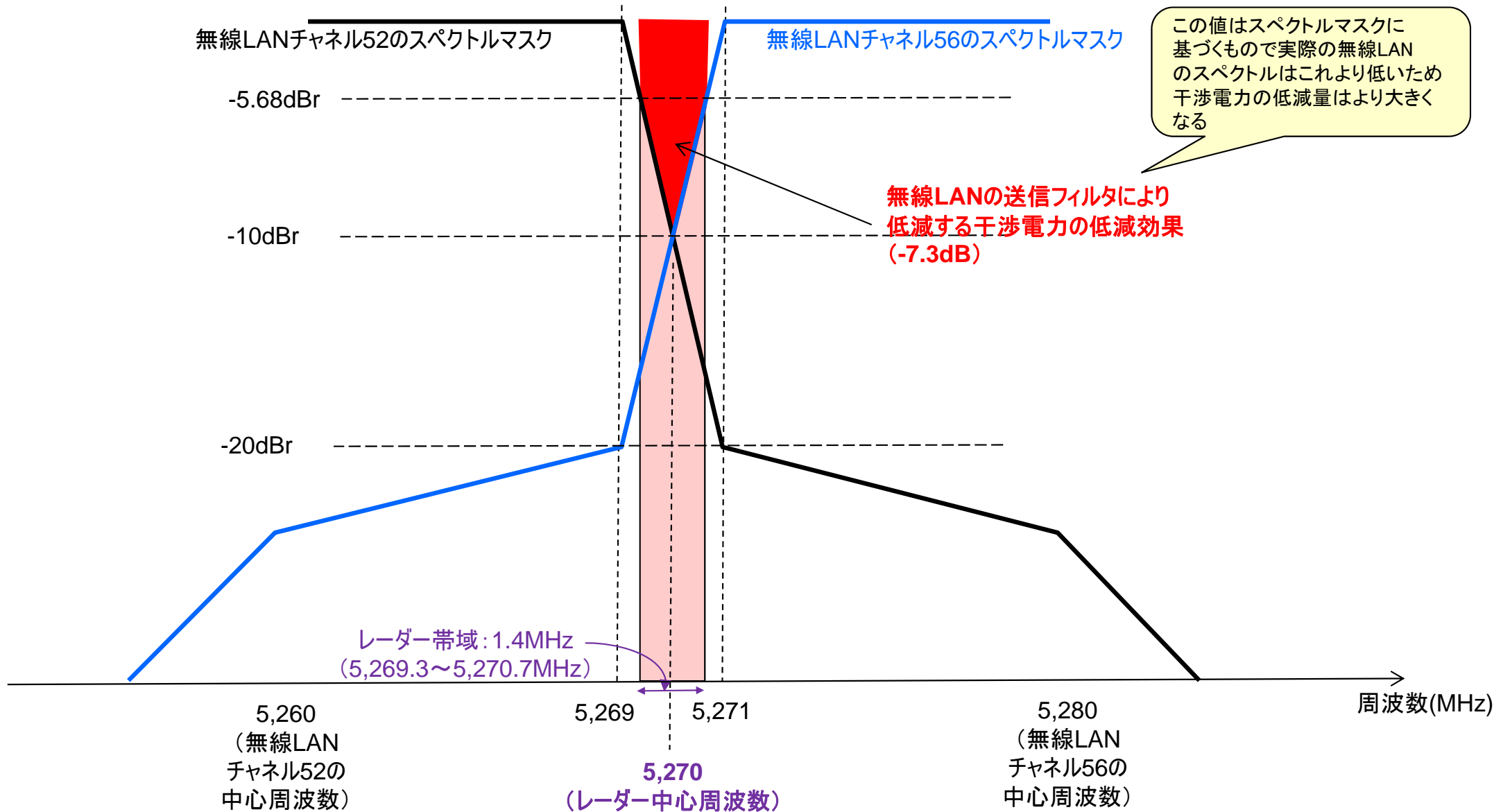
レーダー波検出レベルの計算結果(5kW出力) (無線LAN帯域内にレーダー波が存在)

- 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

| | 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) | 5 | P13の⑤雨量計(固体素子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 | | |
| | 3 | アンテナゲイン(dBi) | 42.0 | | |
| | 4 | アンテナ設置高(m) | 30.0 | | |
| | 5 | 最大送信e.i.r.p.(dBm) | 107.4 | | |
| | 6 | 受信機雑音指数 (dB) | 2 | | |
| | 7 | 送信給電線損失 | 1.6 | | |
| | 8 | 受信給電線損失 | 5.5 | | |
| | 9 | 雑音電力 (dBm) | -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 | | 雑音電力(No9)-6dB |
| 無線LAN | 11 | 最大送信e.i.r.p. (mW) | 1000 | | |
| | 12 | " (dBm) | 30 | | |
| | 13 | TPC (dB) | 0 | | |
| | 14 | 帯域幅 (MHz) | 20 | | |
| | 15 | アンテナゲイン(オムニ) (dBi) | 0 | | |
| レーダー検出レベル計算 | 16 | 帯域換算(dB) | -11.5 | レーダー受信帯域幅(No2)÷無線LAN帯域幅 (No14) | |
| | 17 | 許容干渉レベルを満たすための所要伝搬損失 (dB) | 171.5 | 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) | |
| | 18 | レーダー検出レベル | -64.1 | レーダーの最大送信e.i.r.p.(No5)-所要伝搬損失(No17) | |

DFSの閾値(-64dBm)より小さいのでDFSは動作しない。

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



レーダー波検出レベルの計算結果(5kW出力) (無線LANチャネル帯域の境界にレーダー波が存在)

| | 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) | 5 | P13の⑤雨量計(固体素子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 | | |
| | 3 | アンテナゲイン(dBi) | 42.0 | | |
| | 4 | アンテナ設置高(m) | 30.0 | | |
| | 5 | 最大送信e.i.r.p.(dBm) | 107.4 | | |
| | 6 | 受信機雑音指数 (dB) | 2 | | |
| | 7 | 送信給電線損失 | 1.6 | | |
| | 8 | 受信給電線損失 | 5.5 | | |
| | 9 | 雑音電力 (dBm) | -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 | | 雑音電力(No9)-6dB |
| 無線LAN | 11 | 最大送信e.i.r.p. (mW) | 1000 | | |
| | 12 | " (dBm) | 30 | | |
| | 13 | TPC (dB) | 0 | | |
| | 14 | 帯域幅 (MHz) | 20 | | |
| | 15 | アンテナゲイン(オムニ) (dBi) | 0 | | |
| レーダー検出 レベル計算 | 16 | 帯域換算(dB) | -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) | 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) - 無線LANの周波数特性による干渉電 力低減効果(No17) | |
| | 19 | レーダー検出レベル | -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。

無線LAN のe.i.r.p.が1W(1,000mW)の場合、出力5kWの固体素子レーダーが無線LANチャンネル帯域境界に周波数割当された場合、DFSで検出可能

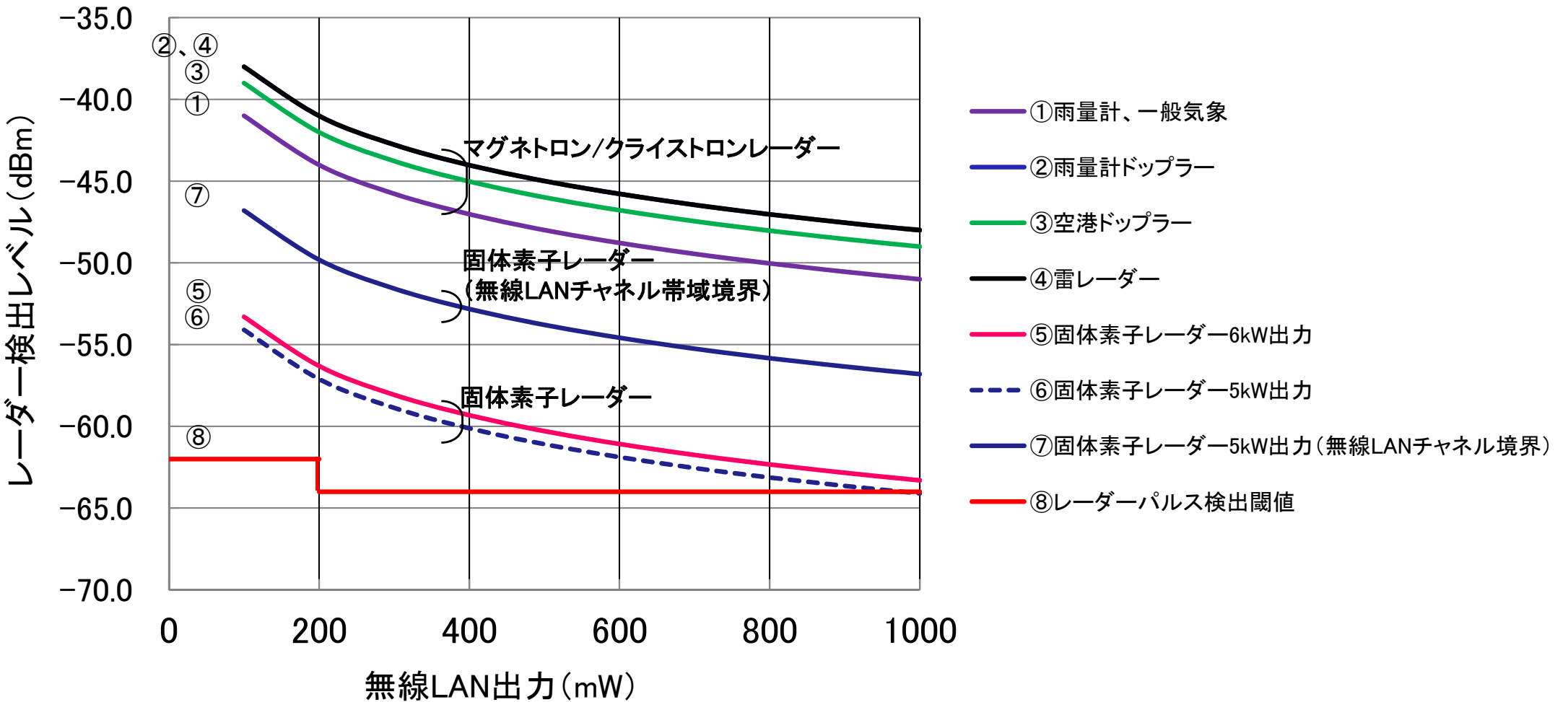
| 無線LAN e.i.r.p. | DFS 閾値※1 (dBm) | ①雨量計、 一般気象 レーダー | ②雨量計 ドップラー | ③空港ドッ プラー | ④雷レー ダー | ⑤固体素子 レーダー (雨量計) | |
|-------------------|----------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|---|
| | | 送信出力 250kW | 送信出力 250kW | 送信出力 200kW | 送信出力 250kW | 送信出力 6kW | 送信出力 5kW (無線LANチャ ネル帯域境界 の場合※2) |
| 1W | -64 | -51.0 | -48.0 | -49.0 | -48.0 | -63.3 | -56.8※3 |
| 200mW | | -44.0 | -41.0 | -42.0 | -41.0 | -56.3 | -49.8 |

※1 ITU-R勧告M.1652において、DFS検出閾値は無線LANe.i.r.p.が200mW未満で-62dBm、200mW以上で-64dBmと規定されている

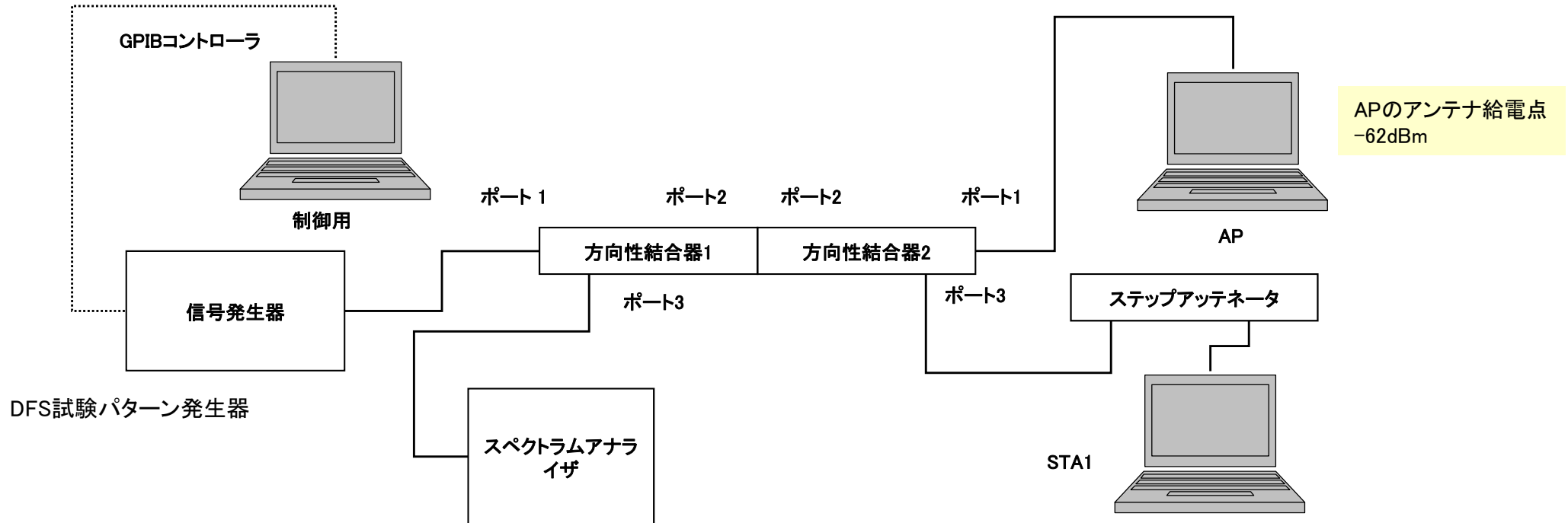
※2 P8参照

※3 レーダーが無線LANチャンネル帯域中心部に割当られた場合、無線LANのe.i.r.p.が1Wでレーダー検出レベルはレーダー出力5kWに対し-64.1dBm

- 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

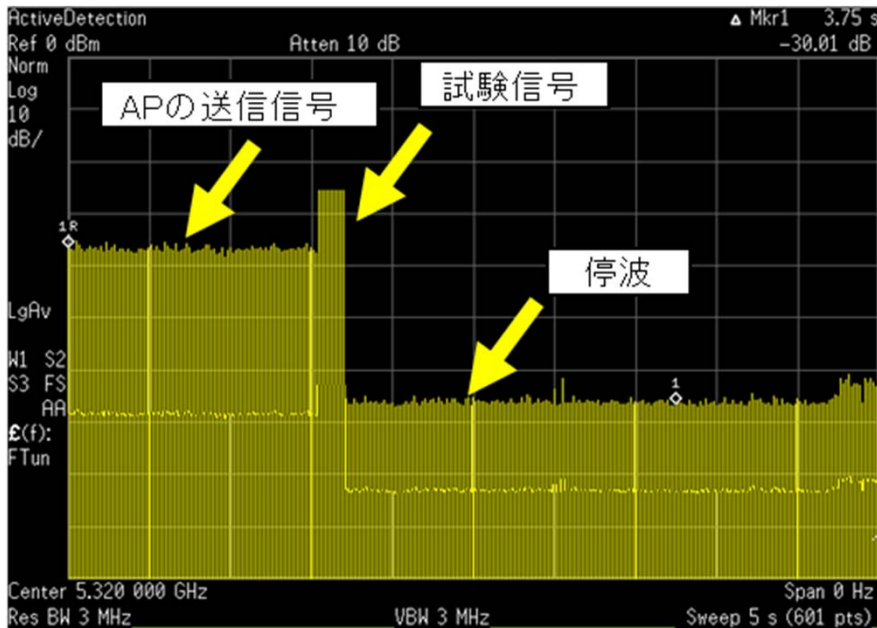


固体素子レーダーのDFS検出パターン(実験用)を実装した無線LANのDFS動作を検証

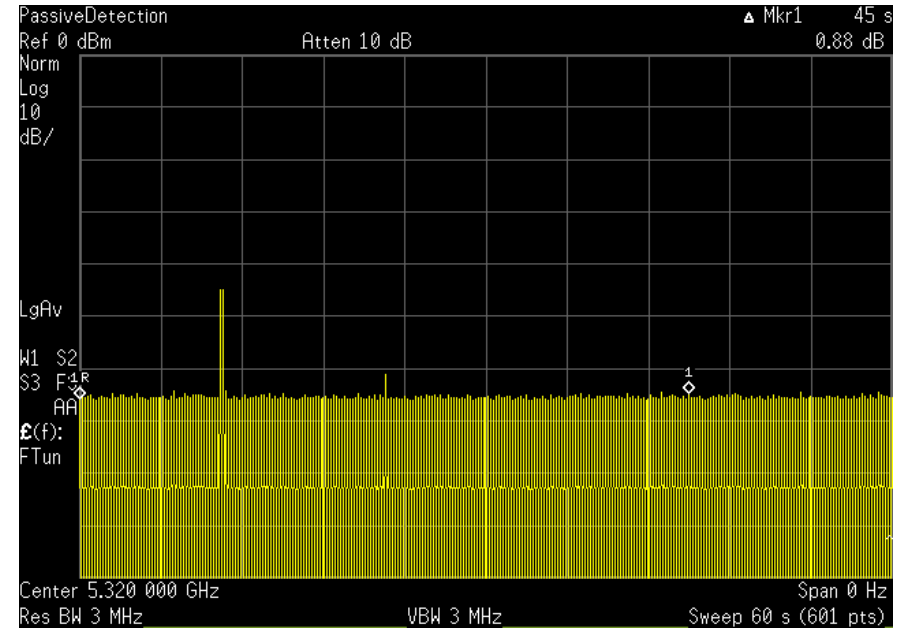


平成16年総務省告示第88号「特性試験の試験方法」より

* テュフ・ラインランド・ジャパン株式会社のラボにて測定実施



64チャンネルでの試験信号検出



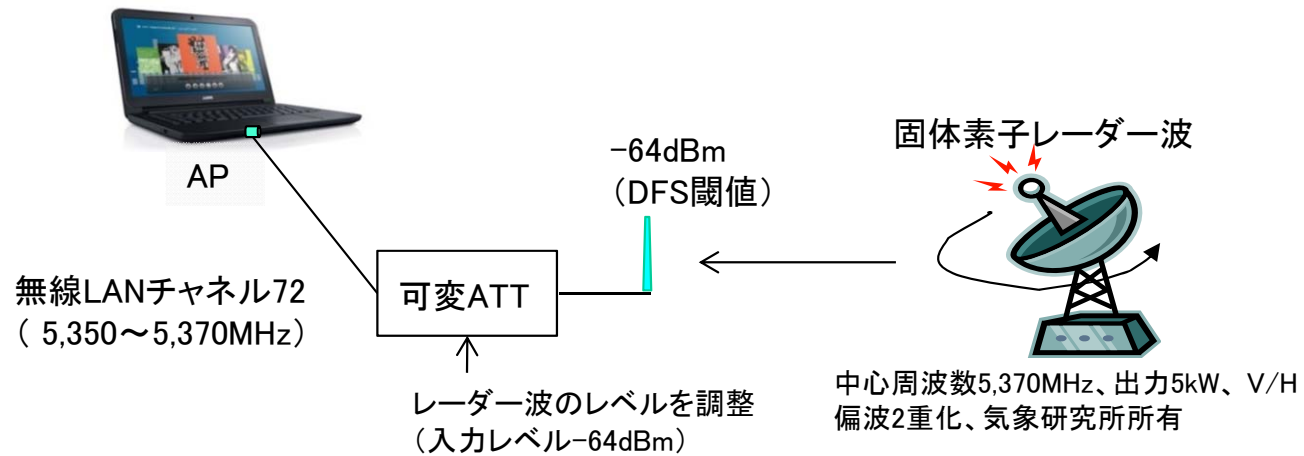
試験信号検出後、APの送信信号は観測されない

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。

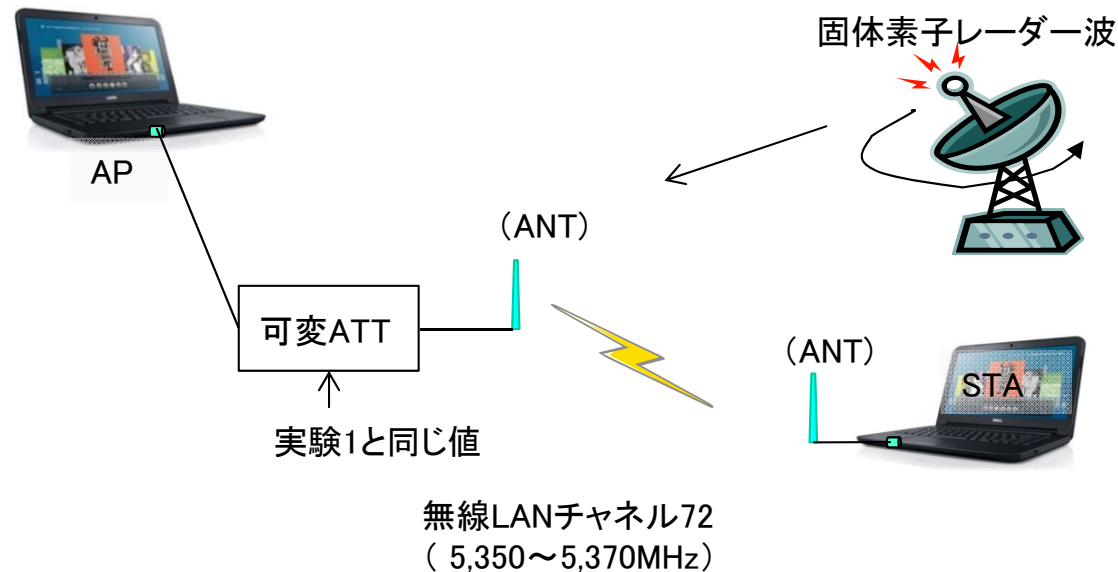
| 短パルス(μs) | 長パルス(μs) | パルス繰返し 周波数(pps) | 連続する パルスの数 | レーダー 検出率 |
|-----------------|-----------------|--------------------|---------------|-------------|
| 0.5 | 20 | 260/1200 | 18 | 100% |
| 5.0 | 20 | | | |

フィールド環境で運用中の固体素子レーダー波を検出してDFSが動作(停波)することを確認した。

運用前モニタリングにおけるDFSの動作確認



運用中モニタリングにおけるDFSの動作確認



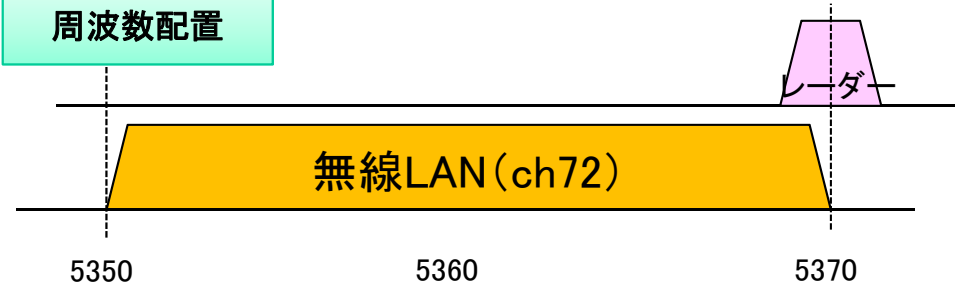
無線LAN

| | | |
|-----------|-----|-----|
| 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



DFSフィールド実験場所

| 装置名 | 装置設置建物名 | 住所 | 地上高 |
|----------|----------------|----------------|-----|
| 固体素子レーダー | 気象庁気象研究所 | 茨城県つくば市長峰1-1 | 38m |
| 無線LAN | つくば三井ビルディング15F | 茨城県つくば市竹園1-6-1 | 69m |

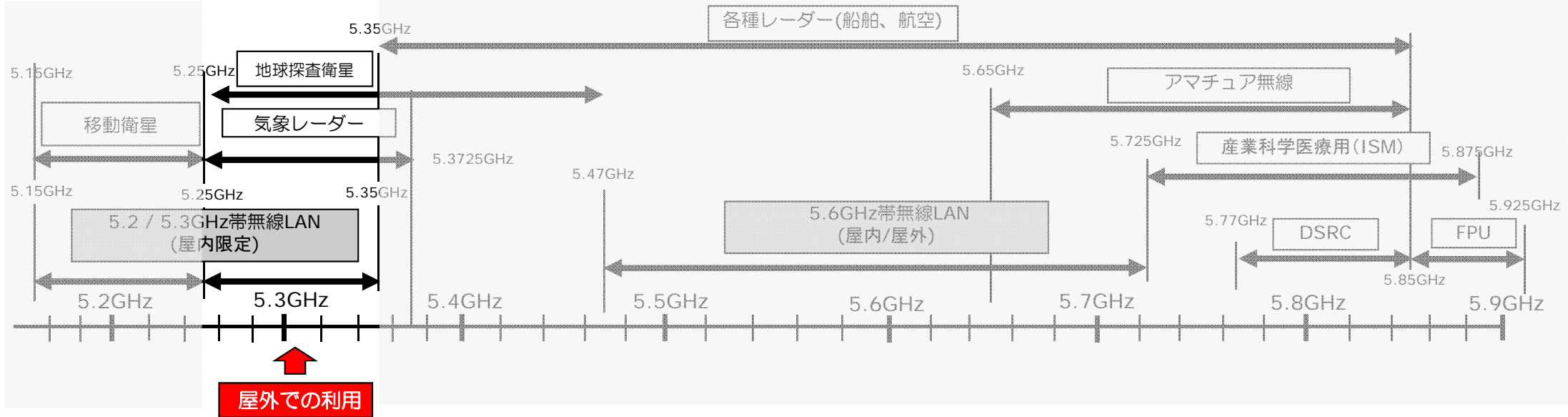


実験結果

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 | ○ | ○ |

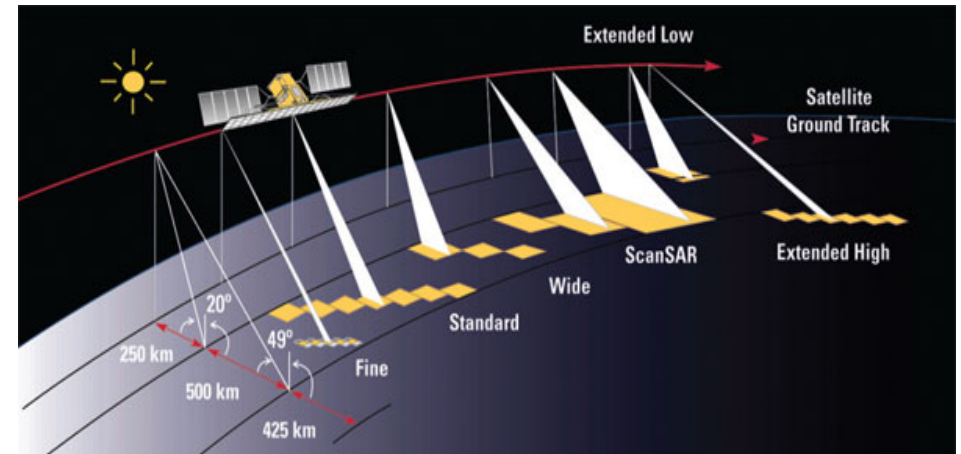
- W53(気象レーダーとの共用検討)の屋外利用における条件
 - 6kW以上の固定素子レーダーに対しDFSで共用可能
ただし、5kWの固体素子レーダーについても、無線LANチャンネルの帯域の境界にレーダーの周波数が配置できる場合には、DFSが動作し共用することも可能



共用検討対象システム

- RISAT-1(SAR-D3): 2012年にインド宇宙研究機関が打ち上げ(5,350MHz)
- RNG(SAR-D6): 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

| 項目 | パラメータ値 |
|---------------------|--|
| 送信電力 | 【屋外・内】 最大e.i.r.p.1W(仰角8° 未満)/200mW(現行) |
| 屋外利用率(%) | 0/1/5/15 |
| 平均伝搬損失(dB) | 【屋外】7.8 【屋内】17/13/11.6 |
| 偏波 | ランダム |
| SARに対する干渉デューティ率 (%) | 100 |
| 稼働率(%) | 5 |

送信電力以外の主要パラメータはITU-R勧告RS.1632から引用

検討に用いるSARパラメータ

| パラメータ | ①SAR-D3 (RISAT-1) | ②SAR-D6 (Radarsat Next Generation (RNG)) |
|-----------------------|-------------------------|---|
| 運用状況 | 運用中。後継機あり。 | 後継機として計画中。 |
| 軌道高度 | 536 | 586.9-615.2 |
| 軌道傾斜 | 97 | 97.74 |
| RF 中心周波数 | 5 350 | 5 405 |
| 最大電力 | 4 000 | 1 990 |
| 偏波 | 直線偏波 H,V | HH, VV, HV, VH, CH, CV |
| パルス変調 | | |
| パルス帯域幅 | | |
| パルス間隔 | | |
| パルス繰返し | | |
| デューティサイクル | 6.5% | 可変、最大12% |
| レンジ圧縮率 | | |
| アンテナ形式 | 平面フェイズドアレイ | 平面フェイズドアレイ |
| アンテナ最大利得 | 35 | 45 |
| アンテナメディアンサイドローブ利得 | | |
| アンテナ方向 | 10-45 deg from nadir | 16-53 deg from nadir |
| アンテナビーム幅 | 4.6 deg(EI), 1.4deg(Az) | 2.05 deg(EI), 0.42deg(Az) (for focused beam) |
| システム雑音温度 | | |
| 初段増幅器1dB利得圧縮点(受信機入力端) | | |
| AD変換飽和基準(受信機入力端) | | |
| 受信機最大入力電力 | | |
| 運用時間 | | |
| イメージング最小時間 | | |
| サービスエリア | | |
| 観測幅 | 10-225km | 20-500km |

①、②はJAXAより情報提供。

| 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 | チャンネル帯域幅 | 20MHz | | | |
| ④ | 送信電力(e.i.r.p.)*2 | 200mW/最大1W(仰角8° 未満) | | | |
| ⑤ | 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% |
| ⑥ | e.i.r.p. (平均電力) ⑤の送信電力を⑥の送信電力分布モデルで平均化した電力を(ア)～(イ)に示す。 | (ア) 77mW | (イ) 40mW | | |
| ⑦ | 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% |

(イ)のアンテナ仰角に対する送信電力制限

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

※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

※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。

| No | パラメータ | SAR-D3 | | 計算方法、出所 |
|----|--|------------------------|---------|---|
| | | Value | dB | |
| 1 | 送信電力(W) | 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 | 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 | — |
| 4 | 受信アンテナ利得(dB) | | 35 | JAXAより情報提供 |
| 5 | 偏波損失 (dB) | | -3.00 | ITU-R勧告RS.1632 |
| 6 | 波長 (m) | 5.65×10^{-2} | -24.96 | 周波数5309MHzの波長 |
| 7 | $(4\pi)^{-2}$ | 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 | JAXAより情報提供 |
| 9 | 受信電力(dBW) | | -151.45 | 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) + 距離(No8) |
| 10 | 雑音指数(dB) | | 5.8 | JAXAより情報提供 |
| 11 | k T | 4.00×10^{-21} | -203.98 | 定数 |
| 12 | 受信帯域幅(MHz) | 75 | 78.75 | JAXAより情報提供 |
| 13 | 雑音電力(dBW) | | -119.43 | 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 | 熱雑音電力(No13) - 6 (dB) |
| 15 | マージン (dB) | | 23.18 | 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 | 26.02 | 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 | 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 | | 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 | | 1km ² ・1チャンネル当りの無線LANの許容平均電力(No18) / 5% |

| No | パラメータ | SAR-D6 | | 計算方法、出所 |
|----|--|------------------------|---------|---|
| | | Value | dB | |
| 1 | 送信電力(W) | 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 | 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 | — |
| 4 | 受信アンテナ利得(dB) | | 45 | JAXAより情報提供 |
| 5 | 偏波損失 (dB) | | -3.00 | ITU-R勧告RS.1632 |
| 6 | 波長 (m) | 5.65×10^{-2} | -24.96 | 周波数5309MHzの波長 |
| 7 | $(4\pi)^{-2}$ | 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)) | 612.9 | -115.75 | JAXAより情報提供 |
| 9 | 受信電力(dBW) | | -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) + 距離(No8) |
| 10 | 雑音指数(dB) | | 6.0 | JAXAより情報提供 |
| 11 | k T | 4.00×10^{-21} | -203.98 | 定数 |
| 12 | 受信帯域幅(MHz) | 300 | 84.77 | JAXAより情報提供 |
| 13 | 雑音電力(dBW) | | -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) | | -119.21 | 熱雑音電力(No13) - 6 (dB) |
| 15 | マージン (dB) | | 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) | 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)) | | 4.37 | 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 | 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% | 1369 | | 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(単位: 台)

(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) | 437 | 1,369 |

(2) 屋内利用時(屋外利用率0、1、5%)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 | 0% | 17dB | 200mW (現行) | 981 | 2,817 |
| | | | 最大1W (仰角8° 未満) | 3,636 | 10,442 |
| | 1% | 13dB | 200mW (現行) | 390 | 1,121 |
| | | | 最大1W (仰角8° 未満) | 1,447 | 4,157 |
| | 5% | 11.6dB | 200mW (現行) | 283 | 812 |
| | | | 最大1W (仰角8° 未満) | 1,048 | 3,011 |

●W53(地球探査衛星との共用検討)の屋外及び屋内利用における条件

➤ 屋外利用(屋外利用率15%)

- 最大e.i.r.p.1W(仰角8° 未満)

| | | | |
|-----------------------------|-----------|-----|--------------------------------------|
| -13 | dB(W/MHz) | for | $0^\circ \leq \theta < 8^\circ$ |
| $-13 - 0.716(\theta - 8)$ | dB(W/MHz) | for | $8^\circ \leq \theta < 40^\circ$ |
| $-35.9 - 1.22(\theta - 40)$ | dB(W/MHz) | for | $40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ |
| -42 | dB(W/MHz) | for | $45^\circ < \theta$ |

- 無線LANの許容運用台数(1km²あたり)

⇒ 437台

- 屋外APは登録局とするが、APの機能を搭載した携帯型端末の利用は不可

➤ 屋内利用(屋外利用率1%)

- 最大e.i.r.p.1W(仰角8° 未満)

| | | | |
|-----------------------------|-----------|-----|--------------------------------------|
| -13 | dB(W/MHz) | for | $0^\circ \leq \theta < 8^\circ$ |
| $-13 - 0.716(\theta - 8)$ | dB(W/MHz) | for | $8^\circ \leq \theta < 40^\circ$ |
| $-35.9 - 1.22(\theta - 40)$ | dB(W/MHz) | for | $40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ |
| -42 | dB(W/MHz) | for | $45^\circ < \theta$ |

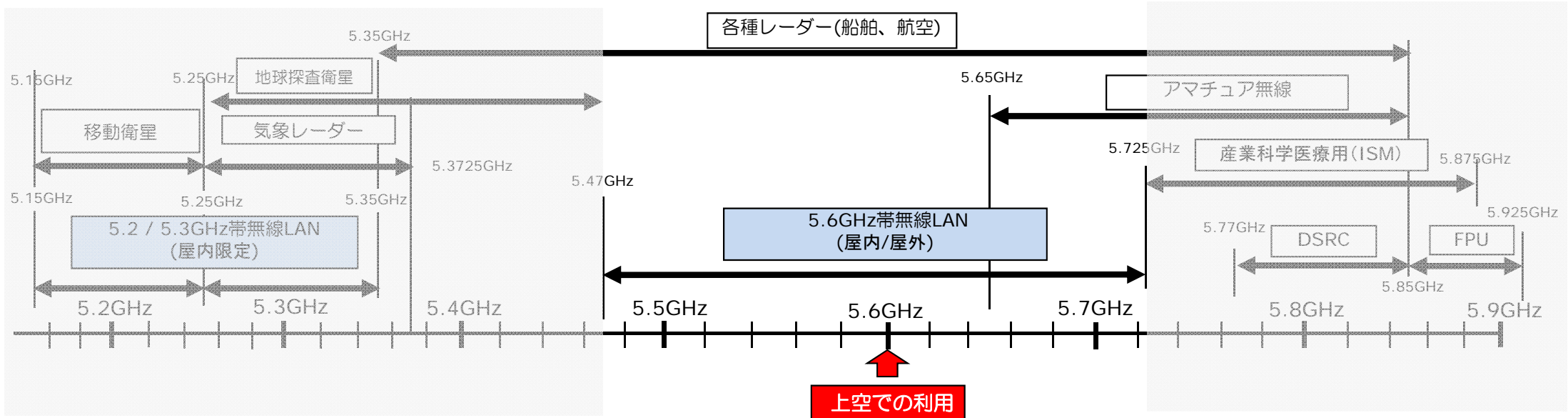
- 無線LANの許容運用台数(1km²あたり)

⇒ 1,447台

- 6kW以上の固定素子レーダーに対しDFSで共用可能。
ただし、5kWの固体素子レーダーについても、無線LANチャネルの帯域の境界にレーダーの周波数が配置できる場合には、DFSが動作し共用することも可能。
- 屋内外で最大e.i.r.p. 1W(仰角 8° 未満)。

| | | | |
|-----------------------------|-----------|-----|--------------------------------------|
| -13 | dB(W/MHz) | for | $0^\circ \leq \theta < 8^\circ$ |
| $-13 - 0.716(\theta - 8)$ | dB(W/MHz) | for | $8^\circ \leq \theta < 40^\circ$ |
| $-35.9 - 1.22(\theta - 40)$ | dB(W/MHz) | for | $40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ |
| -42 | dB(W/MHz) | for | $45^\circ < \theta$ |
- 屋外APは登録局とするが、APの機能を搭載した携帯型端末の利用は不可。
- 接続形態はインフラストラクチャモードとする。
- 親局はDFS及びTPCが必要。

3. W56の周波数共用検討



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AP-STA間での通信において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



■ データ伝送速度が大きい

| 周波数帯 | 最大eirp | 伝送速度 | 帯域幅 | ch数 | その他 |
|---------|----------|-----------|-----------------|-----|--------------|
| 5.6GHz帯 | 50mW/MHz | ~6.93Gbps | 20/40/80/160MHz | 11 | 小電力データ通信システム |

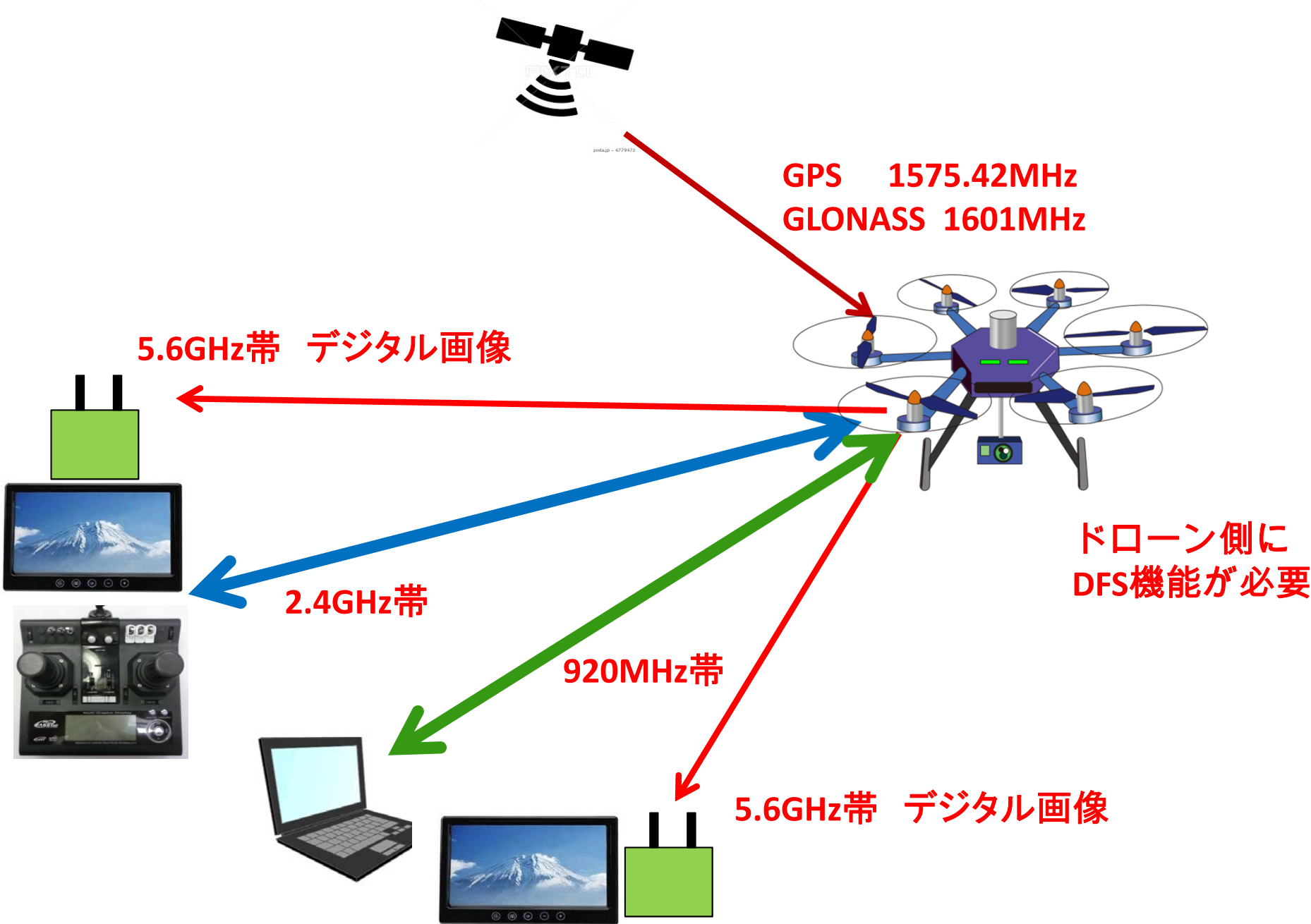
■ 高画質の画像が低遅延で伝送可能

| 用途 | 画質 | 遅延時間 | 占有周波数帯幅 |
|------|----------|-------|-----------------|
| 撮影調整 | HD 30fps | 1ms以下 | 20MHz OFDM MIMO |
| 撮影調整 | HD 60fps | 1ms以下 | 40MHz OFDM MIMO |

■ 利用用途

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ◆ 災害現場における観測 ◆ 火山の無人観測 ◆ 橋梁/建造物の老朽化点検 ◆ 送電線の点検 ◆ 壁面調査 ◆ プラント/工場/施設等の警備監視作業 | <ul style="list-style-type: none"> ◆ ソーラー発電のパネル異常検出 ◆ 農産物生育状況の観測 ◆ 番組制作/取材 ◆ 災害時ネットワーク補助 |
|---|--|

画像伝送無線の使用方法①



橋げたなどの橋梁点検は、危険作業となり作業者の負荷が大きい。
その場で問題を判断するには高画質画像が必要。

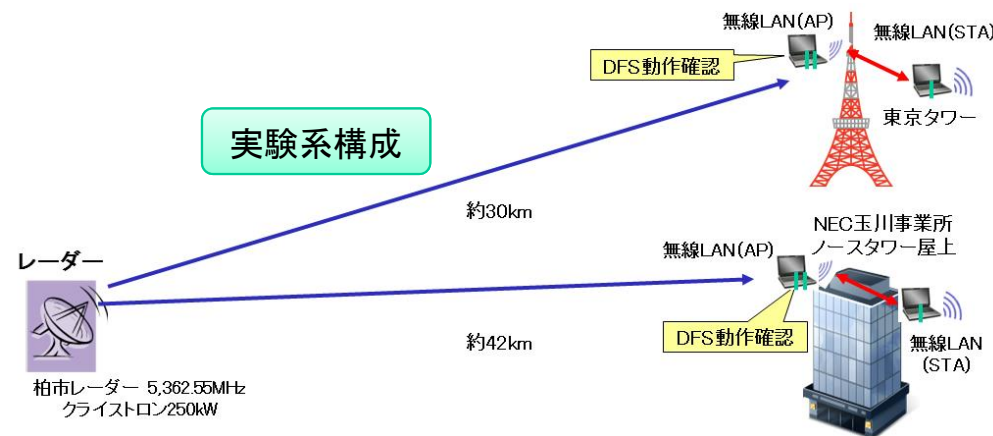


測定概要

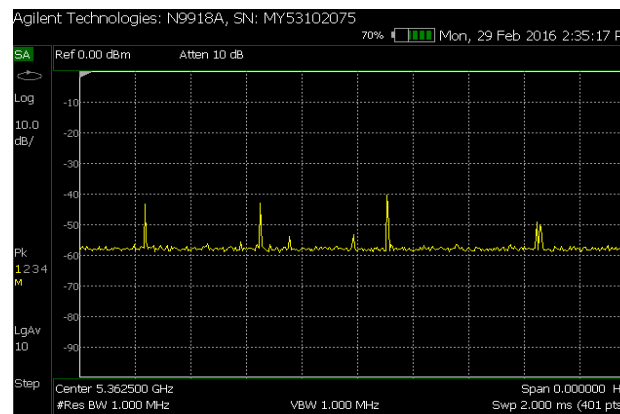
| 項目 | 内容 |
|------|--|
| 測定日 | (1)2016年2月29日(火) 曇り時々雨 (2)2016年3月15日(火) 晴れ |
| 測定場所 | (1)NEC玉川事業所 神奈川県川崎市中原区下沼部1753 地上高:約160m (2)東京タワー第1展望台外 東京都港区芝公園4丁目2-8 地上高:約135m |
| 測定対象 | 気象レーダー(千葉県柏市) 周波数:5362.5MHz 測定場所からの距離:約42km(NEC玉川事業所) 約30km(東京タワー) |

測定項目

| No. | 測定内容 |
|-----|--|
| 1 | 利用チャン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が使用するチャン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 | 運用中チャン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ン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、そのチャン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ン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

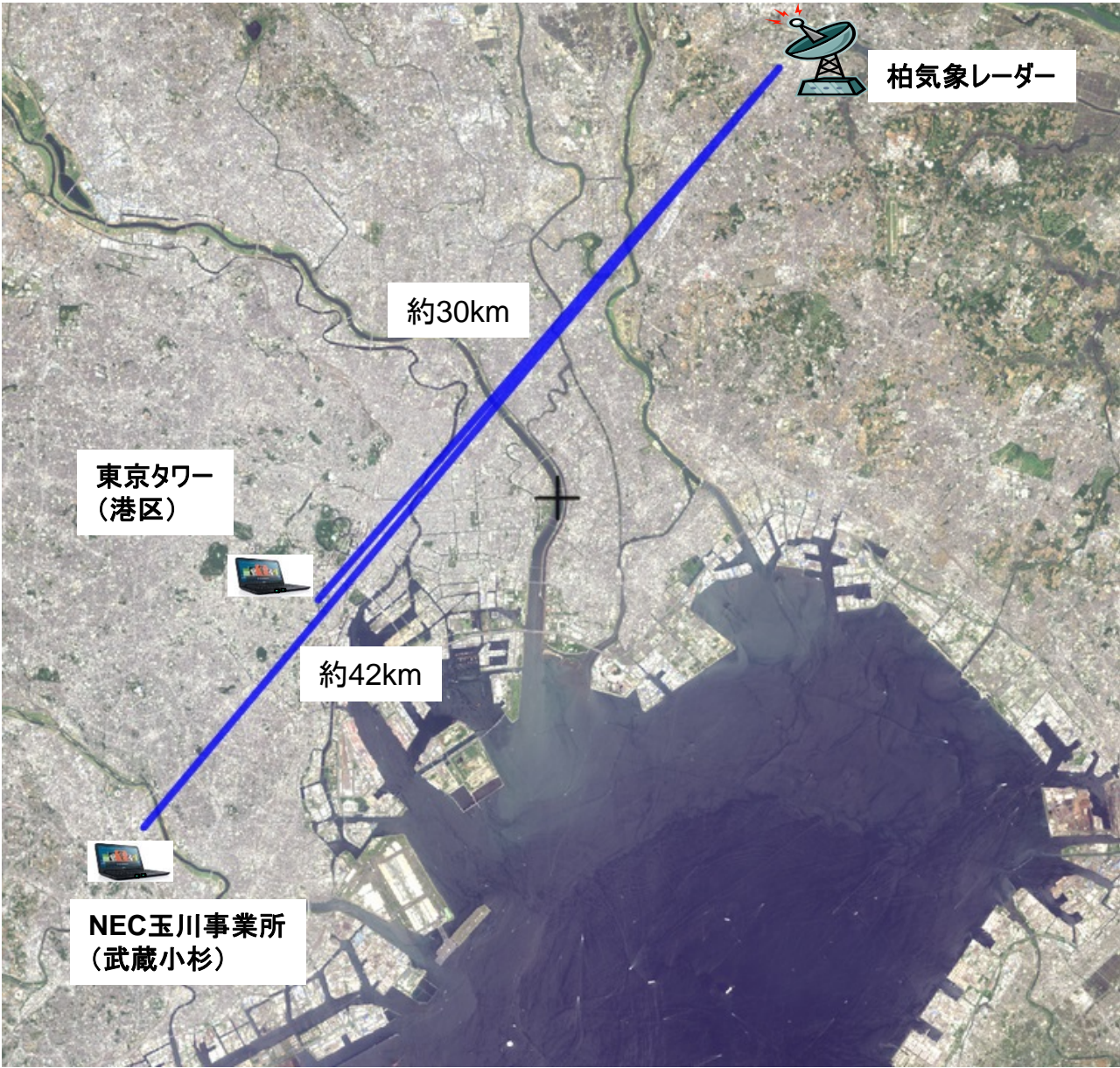
測定結果

1. CAC動作にて、無線LANチャンネル72(5,360MHz)でレーダー波を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、そのチャンネルが使用不可となることを確認できた。

※チャンネル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。

屋外実験場所

(参照元)国土交通省国土地理院地図を加工して使用



- レーダー
柏気象レーダー
- 無線LAN
東京タワー
NEC多摩川事業所

精測レーダーの概要との共用検討

JAXAでは、ロケット打ち上げ時にロケットを追尾しその位置を計測するためのレーダー局を運用中。本無線局は、ロケット打ち上げ時の飛行安全監視に必須であり、W56を利用した無線LANがドローン等に搭載され上空で利用された場合の共用の可否について検討した。

1. 概要

- ・地上のレーダー局から電波を発射し、ロケットに搭載されたトランスポンダがその電波を受信後、周波数を変換して応答することで、ロケットの位置を計測するシステム
- ・基幹ロケット(H-IIA、H-IIB、イプシロンロケット)、観測ロケット(S型)で使用
- ・冗長化(2系統のシステム(上り下りでそれぞれ2波、計4波使用))

2. 無線局の諸元

(1) 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(ロケット側) : 携帯局

(2) 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)

(3) 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

(4) 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)、40W(観測ロケット)

(5) 使用頻度

ロケット打ち上げ時、その他機器の点検時

5GHz帯無線LAN拡張に係るJAXAレーダー一局との共用検討*

*: 無線LANからJAXA無線局への与干渉のみ検討。

1. 干渉無線局

5GHz無線LANが屋外(上空含む)へ拡張した場合に、干渉が想定されるJAXA無線局(5.6GHz帯)は以下のとおり。

- レーダー局(種子島、内之浦、小笠原)
- レーダートランスポンダ(ロケット搭載無線局、コリメーション無線局)

5GHz無線LAN(W56)の仕様は以下の通りとし、アップリンク/ダウンリンクとも同じであると想定。

最大EIRP密度 50 mW/MHz(チャンネル帯域20MHz)

2. 検討内容

レーダー局及びレーダートランスポンダ(以下、RT)の受信帯域幅から5GHz無線LANのEIRPを規定し、その信号が受信機で反応する範囲を干渉域として定義してその距離を算出した。

2-1. レーダー局(受信側)

- 地上局の受信帯域 ± 7 MHz程度を考慮し、5GHz無線LANのEIRPを0.7Wとした。干渉域は直線距離で1950km程度。ただし、電波の見通しは未考慮。
(* レーダー最小受信感度 -99 dBm程度、その他の回線パラメータは表-1参照)
- レーダー局空中線はシャープな指向性を有する。(種子島/小笠原: $BW = 0.7^\circ$, 内之浦: $BW = 0.53^\circ$)
- RTの送信電力は、5GHz無線LANと比較して非常に大きい。(観測ロケットは40W以上、基幹ロケットは400W以上)

2-2. レーダートランスポンダ(受信側)

- 搭載の受信帯域幅 ± 10 MHzを考慮し、5GHz無線LANのEIRPを1Wとした。干渉域は直線距離で340m程度。
(* RT最小受信感度 -70 dBm程度、その他の回線パラメータは表-2参照)
- RTは規定のパルス間隔にて識別する。

5GHz帯無線LAN拡張に係るJAXAレーダー一局との共用検討

3. 検討結果

以下の3-1及び3-2での分析により、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、JAXA無線局への干渉リスクは低い。

そのため、警戒区域内での無線LANの利用制限について検討を行う必要がある。

3-1. 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無い。
- 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、追跡に支障は無い。

3-2. 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。

3-3. 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
- さらに、利用周波数帯における干渉波の監視

- 地上150m付近においてもDFSが動作することを確認することができた。
- JAXA所属無線局(精測レーダー)とも共用することが可能。
- 上空での利用においては、画像伝送での利用が望ましい。

したがって、上空側にDFS機能を具備させ、画像伝送での利用が可能である。

4. 參考資料

(1)W52関係

TABLE 3

Template for calculating the number of RLANs tolerable by non-GSO MSS
feeder links operating in the band 5 150-5 250 MHz

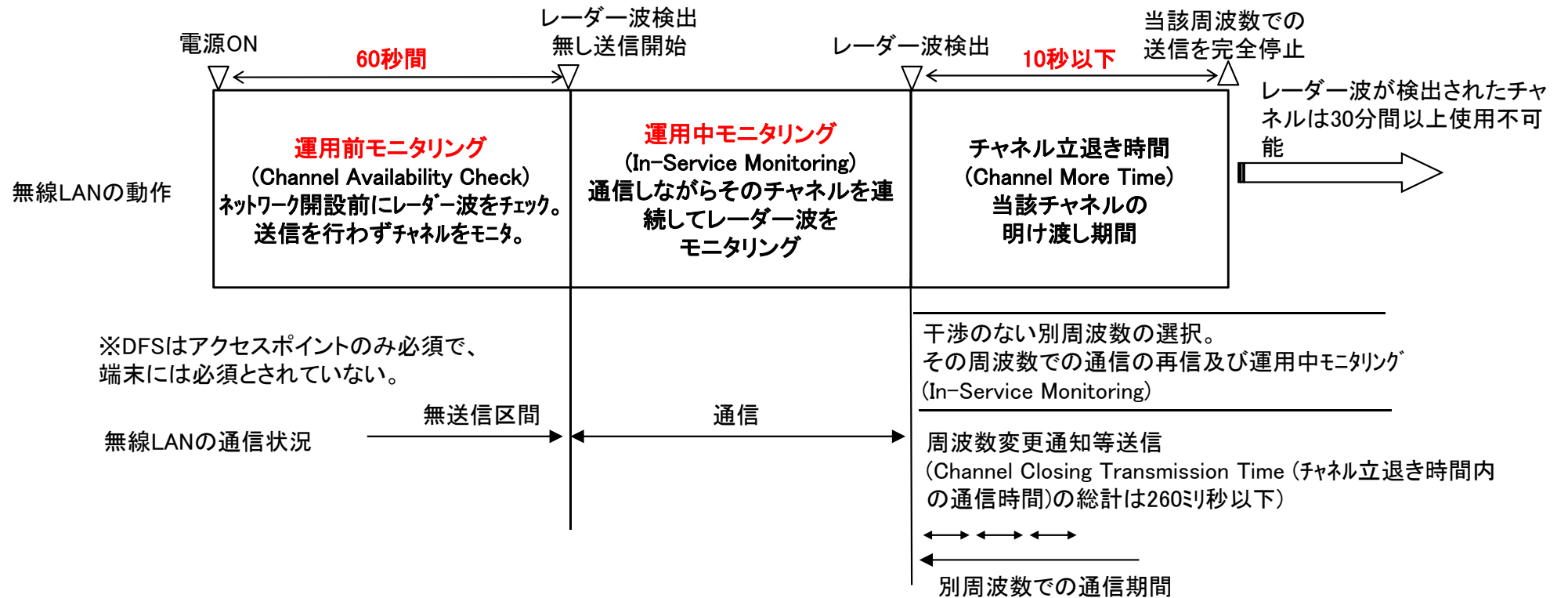
| Parameter | LEO-F | LEO-D |
|--|-------|--------|
| $T_{satellite}$ (K) | 400 | 550 |
| Criterion (%) | 3 | 3 |
| $\Delta T_{satellite}$ (K) | 12 | 16.5 |
| Free space path loss (average) (dB) | -188 | -174.1 |
| Polarization discrimination (dB) | 1 | 1 |
| Feed loss (dB) | 0 | 2.9 |
| Satellite antenna gain (average) (dBi) | 10 | 5.2 |
| Tolerable RLAN power per MSS channel (dBW) | 5.2 | 17.3 |
| MSS receive bandwidth (MHz) | 0.025 | 1.23 |
| RLAN bandwidth (MHz) | 20 | 20 |
| Bandwidth factor (dB) | 29.0 | 12.1 |
| Tolerable RLAN power per RLAN channel (dBW) | 34.2 | 29.4 |
| Outdoor use (%) | 1 | 1 |
| Loss in excess of free space for indoor devices (dB) | (1) | (1) |
| Average excess loss effect (dB) | (1) | (1) |
| Maximum tolerable interference per RLAN channel (dBW) | (1) | (1) |
| Average RLAN e.i.r.p. (dBW) | (1) | (1) |
| Number of active users | (1) | (1) |
| Silent to transmit ratio (%) | (1) | (1) |
| Maximum tolerable number of RLANs per RLAN channel (million) | (1) | (1) |

(1) The value is for further study.

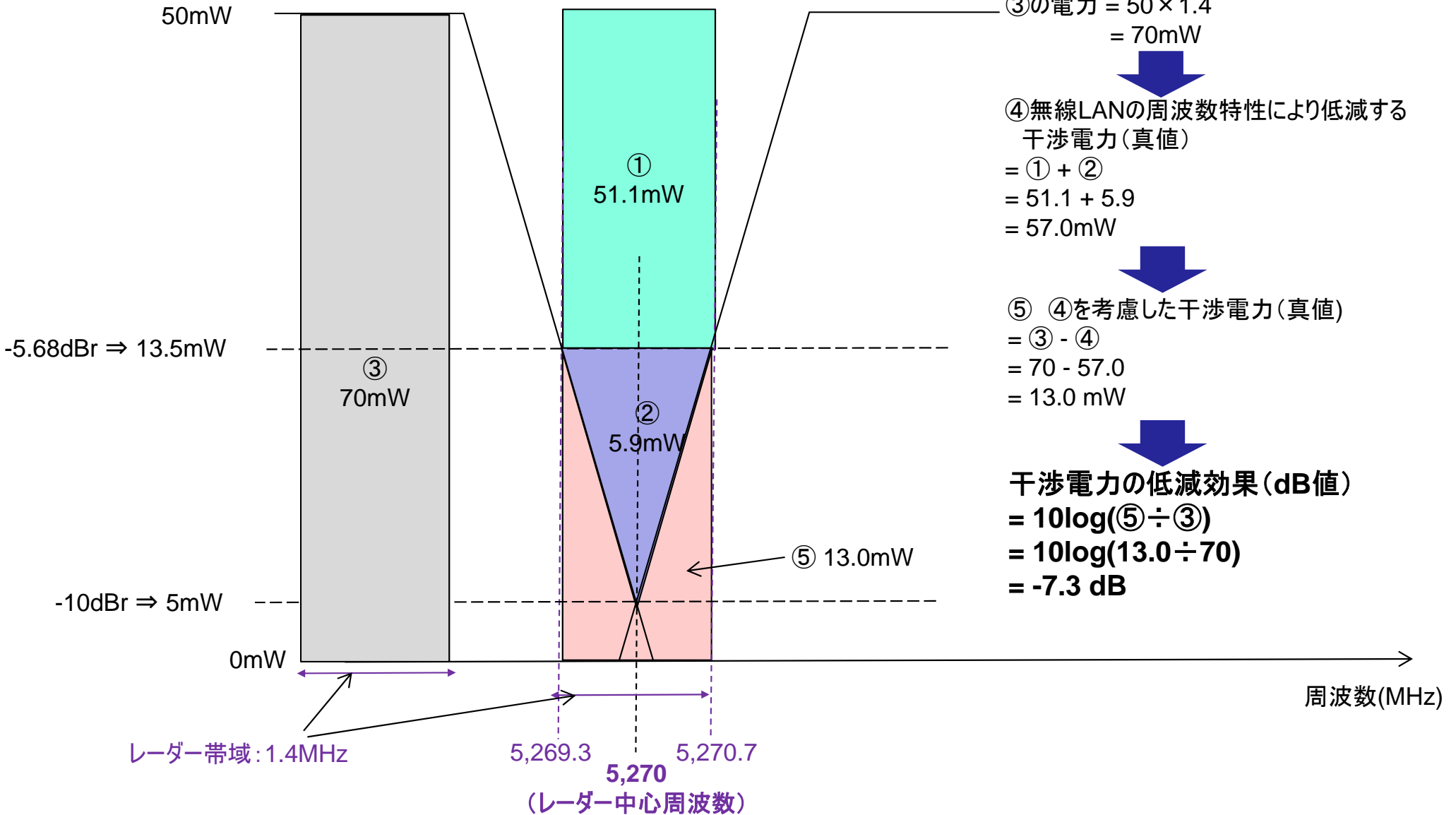
(2)W53関係

【DFSの動作】

- ・無線設備規則では、W53(5250-5350MHz)、W56(5470-5725MHz)が対象周波数帯。
- ・ITU-R勧告M.1652では、DFS機能搭載が義務付けられている。



無線LAN送信電力密度50mW/MHz (=1000mW/20MHz)



Appendix 1 to Annex 5

Calculation of detection threshold based on link budget for the radars of Recommendation ITU-R M.1638

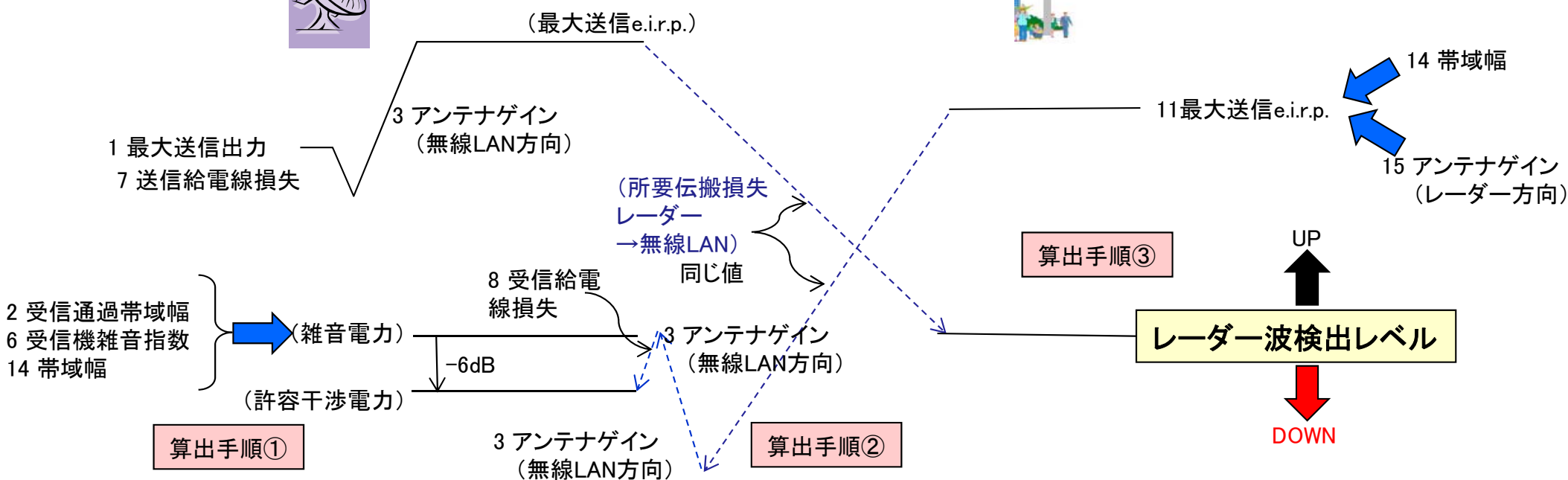
| Characteristics | A | C | E | F | G | H1 | H2 | I1 | I2 | J | K | L | M | N | O | P | Q |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| Function | Meteo | Meteo | Meteo | Meteo | Meteo | Meteo | Meteo | Meteo | Meteo | Meteo | Instrumentation | Instrumentation | Instrumentation | Instrumentation | Instrumentation | Surface and air search | Surface and air search |
| Platform type | Ground/ship | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ground | Ship | Ship |
| Tx power into antenna peak (kW) | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 2.25 | 250 | 2 800 | 1 200 | 1 000 | 165 | 360 | 285 |
| Receiver IF_{1st} bandwidth (MHz) | 0.5 | 20 | 0.91 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 4 | 0.1 | 3 | 10 | 1 | 4.8 | 4 | 8 | 8 | 1.5 | 10 |
| Antenna polarization | V | H | H | H | H | H | H | H | H | H | V/left-hand circular | V/left-hand circular | V/left-hand circular | V/left-hand circular | V/left-hand circular | H | H |
| Antenna main beam gain (dBi) | 39 | 44 | 50 | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | 35 | 38.3 | 54 | 47 | 45.9 | 42 | 28 | 30 |
| Antenna height (m) | 30 | 10 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 10 | | | | | | | |
| e.i.r.p. radar (dBm) | 123.0 | 128.0 | 134.0 | 124.0 | 124.0 | 134.0 | 134.0 | 134.0 | 134.0 | 98.5 | 122.3 | 148.5 | 137.8 | 135.9 | 124.2 | 113.6 | 114.5 |
| Receiver noise figure (dB) | 7 | 4 | 2.3 | 3 | 3 | 3.5 | 3.5 | 1.5 | 1.5 | 3 | 6 | 5 | 5 | 11 | 5 | 5 | 10 |
| $N = k T B F$ (dBm) | -110.0 | -97.0 | -112.1 | -113.2 | -114.0 | -112.0 | -104.5 | -122.5 | -107.7 | -101.0 | -108.0 | -102.2 | -103.0 | -93.9 | -99.9 | -107.2 | -94.0 |
| $N - 6$ dB | -116.0 | -103.0 | -118.1 | -119.2 | -120.0 | -118.0 | -110.5 | -128.5 | -113.7 | -107.0 | -114.0 | -108.2 | -109.0 | -99.9 | -105.9 | -113.2 | -100.0 |
| e.i.r.p. (dBm) outdoor | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TPC (dB) | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bandwidth (MHz) | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Antenna gain (omni) (dBi) | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 log (Brad/BWAS) | -15.6 | 0.5 | -13.0 | -14.8 | -15.6 | -14.1 | -6.5 | -22.6 | -7.8 | -2.6 | -12.6 | -5.7 | -6.5 | -3.5 | -3.5 | -10.8 | -2.6 |
| | 185.0 | 177.0 | 198.1 | 189.2 | 190.0 | 198.0 | 190.5 | 208.5 | 193.7 | 172.0 | 182.3 | 192.2 | 186.0 | 175.8 | 177.9 | 171.2 | 160.0 |
| Link budget for WAS signal received at radar receiver $N - 6$ dB | 169.4 | 177.0 | 185.1 | 174.4 | 174.4 | 183.9 | 183.9 | 185.9 | 185.9 | 169.4 | 169.7 | 186.4 | 179.4 | 172.3 | 174.4 | 160.4 | 157.4 |
| Necessary detection threshold | -46.4 | -49.0 | -51.1 | -50.4 | -50.4 | -49.9 | -49.9 | -51.9 | -51.9 | -70.9 | -47.4 | -38.0 | -41.6 | -36.4 | -50.2 | -46.9 | -42.9 |

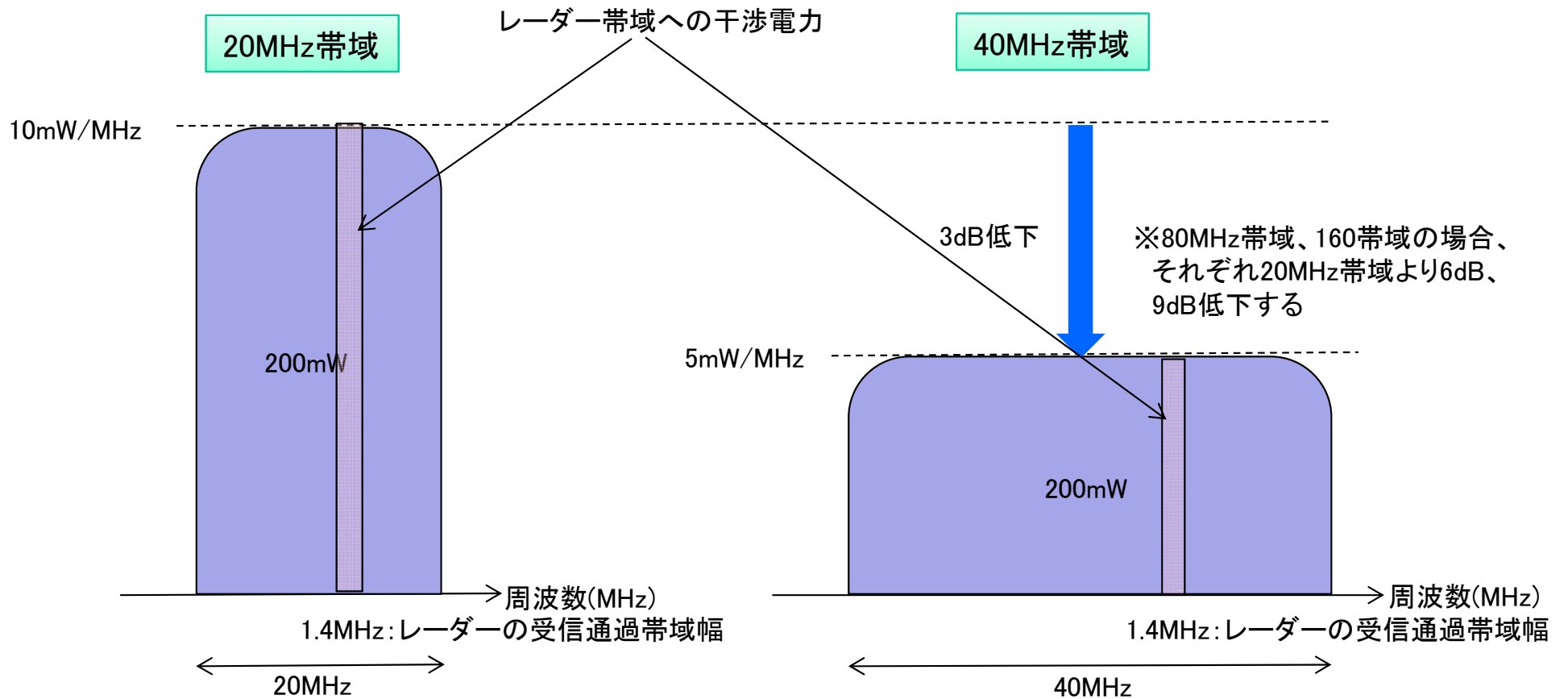
| | No | パラメータ | 変動レンジ | 増大時のレーダー波検出レベル |
|----------|----|-----------------------|-----------|----------------|
| 固体素子レーダー | 1 | 最大送信出力(kW) | 5~6 | UP |
| | 2 | 受信通過帯域幅 (MHz) | 1.2~3 | DOWN |
| | 3 | アンテナゲイン(無線LAN方向)(dBi) | 42~44 | UP |
| | 6 | 受信機雑音指数 (dB) | 2~3 | UP |
| | 7 | 送信給電線損失(dB) | 1.6~2.0 | DOWN |
| | 8 | 受信給電線損失(dB) | 3.5~5.5 | UP |
| 無線LAN | 11 | 最大送信e.i.r.p. (mW) | 200~1,000 | DOWN |
| | 14 | 帯域幅 (MHz) | 20~160 | UP |
| | 15 | アンテナゲイン(レーダー方向) (dBi) | 0~10 | DOWN |

固体素子レーダー

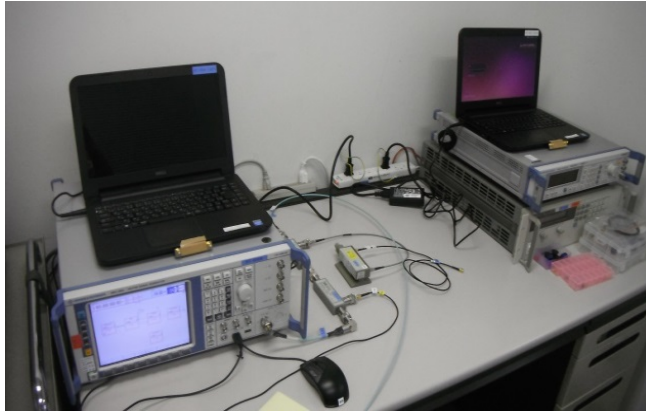
無線LAN



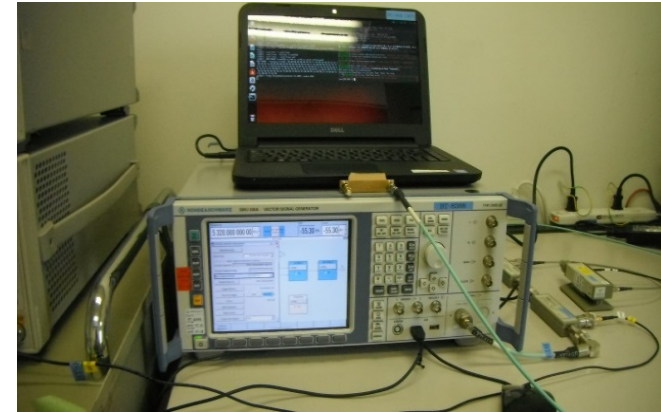
無線LANのチャネル帯域幅を増加(20MHz⇒40、80、160MHz)した場合、無線LANの送信電力密度は帯域幅に応じて低下するため、固体素子レーダーへの干渉電力は低減し、DFSで検出可能となる



| | No | パラメータ | 値 | 算出方法 | |
|-----------------|----|-------------------------------|--------|--|---------------------------------|
| レーダー | 1 | 最大送信出力(kW) | 250 | H18年度情通審 情報通信技術分科会 5GHz帯無線アクセスシステム委員会 参考資料44-2-2 (P13の①雨量計、一般気象レーダー)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 | | |
| | 3 | アンテナゲイン(dBi) | 44.0 | | |
| | 4 | アンテナ設置高(m) | 30.0 | | |
| | 5 | 最大送信e.i.r.p.(dBm) | 126.0 | | |
| | 6 | 受信機雑音指数 (dB) | 2 | | |
| | 7 | 送信給電線損失 | 2.0 | | |
| | 8 | 受信給電線損失 | 2.0 | | |
| | 9 | 雑音電力 (dBm) | -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 | | 雑音電力(No9)-6dB |
| 無線LAN | 11 | 最大送信e.i.r.p. (mW) | 1000 | | |
| | 12 | 〃 (dBm) | 30 | | |
| | 13 | TPC (dB) | 0 | | |
| | 14 | 帯域幅 (MHz) | 20 | | |
| | 15 | アンテナゲイン(オムニ) (dBi) | 0 | | |
| レーダー検出 レベル計算 | 16 | 帯域換算(dB) | -11.5 | レーダー受信帯域幅(No2)÷無線LAN帯域幅 (No14) | |
| | 17 | 許容干渉レベルを満たすための 所要伝搬損失 (dB) | 177.0 | 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. 出力(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) | |
| | 18 | レーダー検出レベル | -51.0 | レーダーの最大送信e.i.r.p.出力(No5)-所要伝搬損失(No17) | |



DFSセットアップ(左がAP)



DFSセットアップ(下が試験信号発生器)

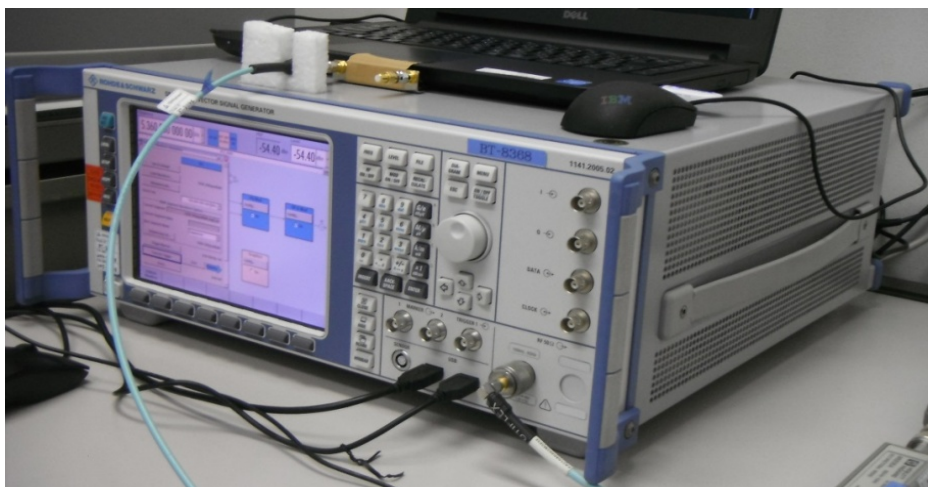


DFSセットアップ(左はモニタ用スペアナ)

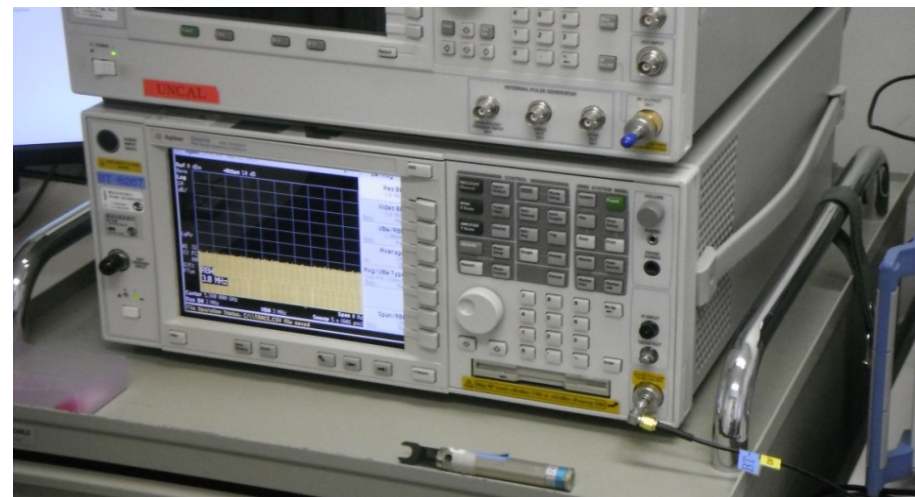


DFSセットアップ
(カップリング用のアクセサリ類)

| | |
|--------|------------------|
| 機器名 | 試験信号発生器 |
| モデル名 | SMU200A |
| 製造者 | ローデ&シュワルツ |
| シリアル番号 | 104335 |
| 校正日 | 2014-07-28 |
| 校正機関 | テレコムエンジニアリングセンター |
| 主な仕様 | 周波数: 100kHz~6GHz |

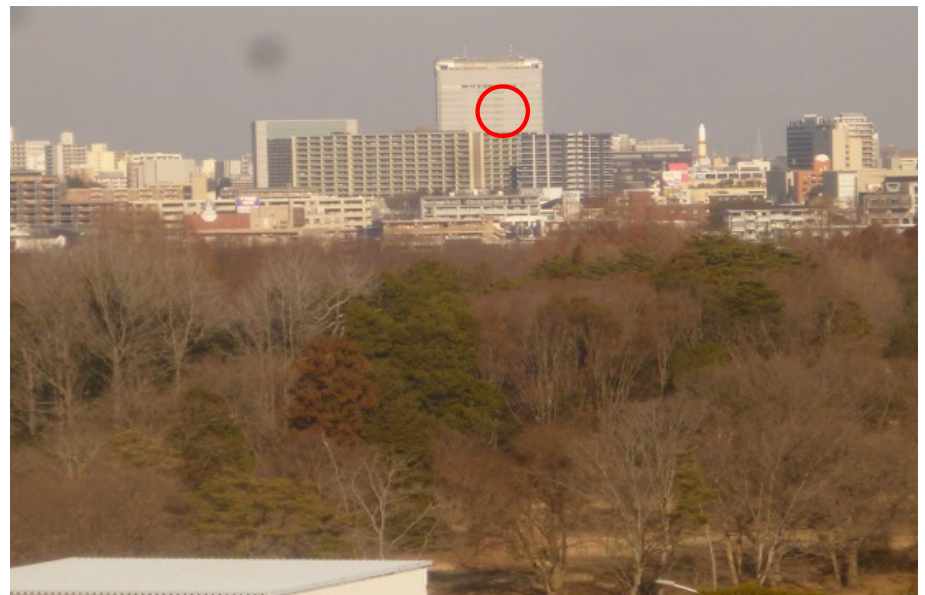


| | |
|--------|-------------------|
| 機器名 | スペクトラムアナライザ |
| モデル名 | E4447A |
| 製造者 | アジレント・テクノロジー |
| シリアル番号 | MY48250005 |
| 校正日 | 2014-04-24 |
| 校正機関 | インターテック |
| 主な仕様 | 周波数: 9Hz~42.98GHz |

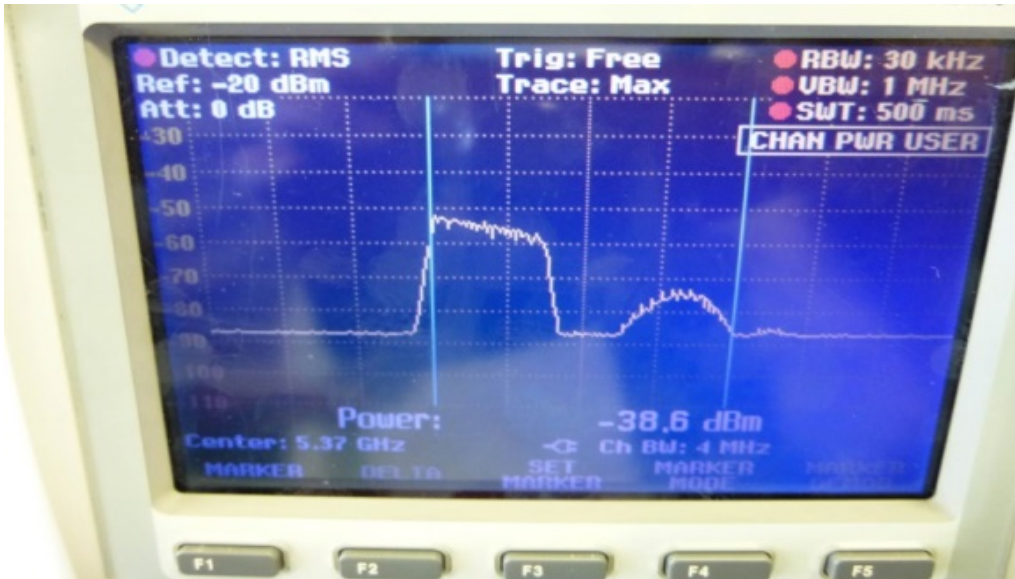




つくば三井ビル15Fから気象研究所を望む



気象研究所からつくば三井ビル15Fを望む



レーダー波形(つくば三井ビル15F)



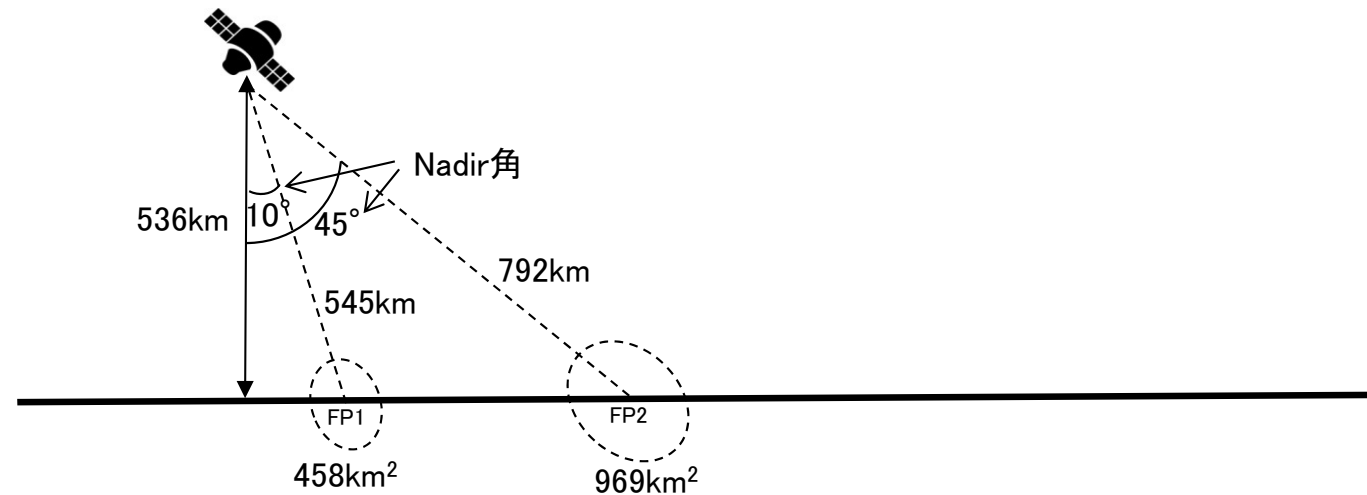
DFS試験用 無線LAN AP

Footprintは観測時のNadir角(衛星から地表への垂線と照射ビーム間の角度)により面積が異なるが、干渉計算には総合干渉量の大きいNadir角の小さいものを採用する

【SAR-D3の場合】

| | Nadir角(°) | 面積(km ²) | 伝搬距離(km) | 伝搬損失(dB)* | 総合干渉量差(dB) |
|-------------|-----------|----------------------|----------|-----------|------------|
| FP1 | 10 | 458 | 545.0 | -161.7 | - |
| FP2 | 45 | 969 | 792.9 | -165.0 | - |
| FP1/FP2(dB) | - | -3.25 | - | 3.3 | 0.05 |

*5350MHzでの値



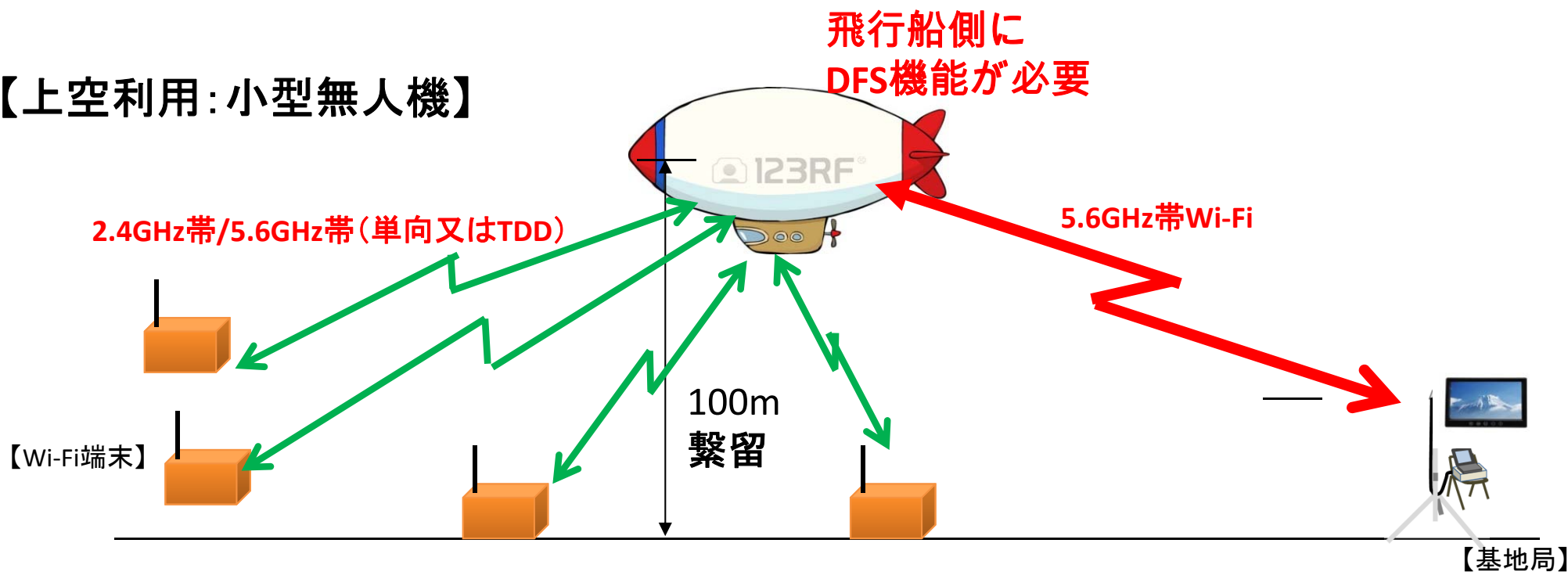
(3) W56関係

■ 飛行船を利用したネットワーク中継

水害・震災時に、被災地上空に飛行船を滞空させ、被災状況空撮及び被災者との通信を確保

2.4GHz帯を使用して多様な実験はすでにされているが、5.6GHz帯で基幹通信の中継を担うことが可能と考える。

【上空利用：小型無人機】



(1) ノートPC



※開いた写真
大きさは、346 × 245 × 253mmとなる。

品名 : 5GHz (5,150 ~ 5,925MHz有効設定)
無線LAN AP/端末
大きさ : 346 × 245 × 30mm
数量 : 2台 (AP1台と端末1台)
重量 : 2.7kg

※NECキャピタルソリューション株式会社よりリリース品

(2) スペアナ



品名 : N9918A FieldFoxハンドヘルド・マイクロ波アナライザ
(キーサイト・テクノロジー)
大きさ : 292 × 188 × 72mm
数量 : 1台
重量 : 3kg



実験局と測定器



NEC玉川事業所屋上から見た気象レーダー(柏)の方向

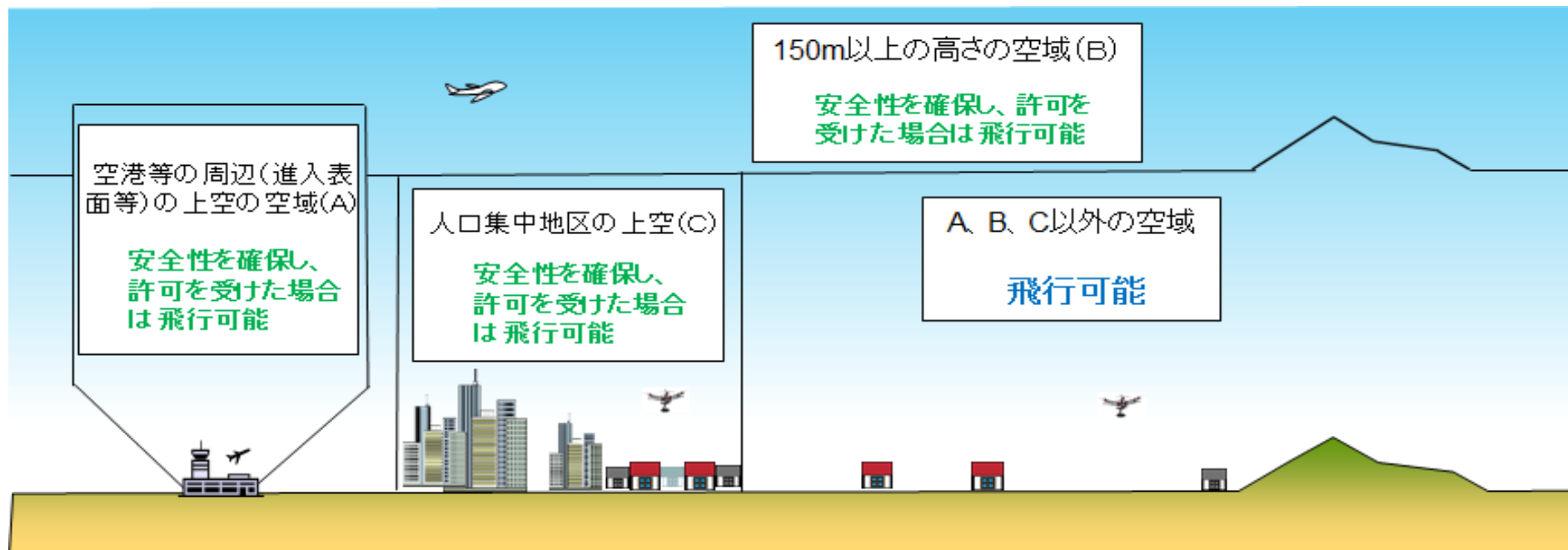


東京タワー大展望台付近から見た気象レーダー(柏)の方向

(1) 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域について

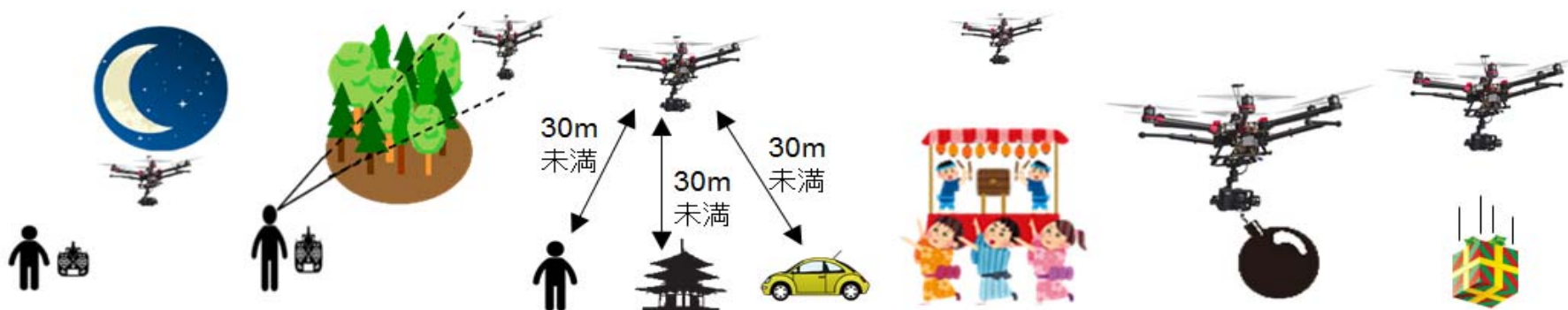
※国土交通省のHPより

以下の(A)～(C)の空域のように、航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域や、落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空域において、無人航空機を飛行させる場合には、あらかじめ、国土交通大臣の許可を受ける必要があります。



(空域の形状はイメージ)

(2) 承認が必要となる飛行の方法

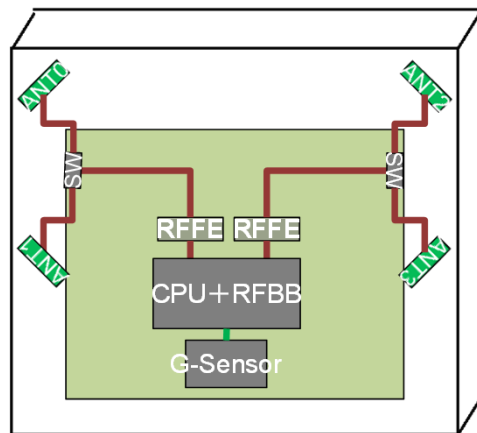


(夜間飛行) (目視外飛行) (30m未満の飛行) (イベント上空飛行) (危険物輸送) (物件投下)

[製品案]

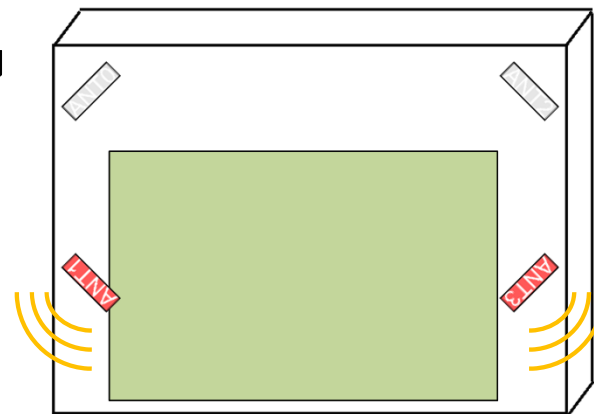
Gセンサーなどにより、指向性アンテナを自動選択するスマートアンテナ付AP

WLE-HG-DA/AG (Buffalo製)
外付けアンテナの例

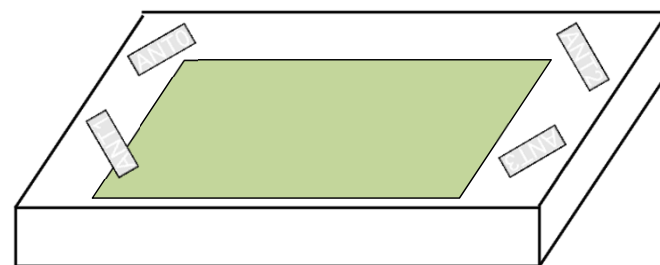
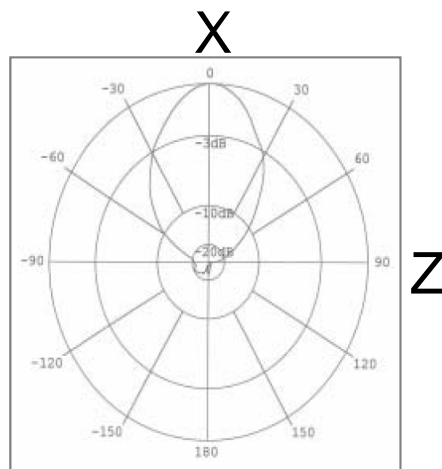
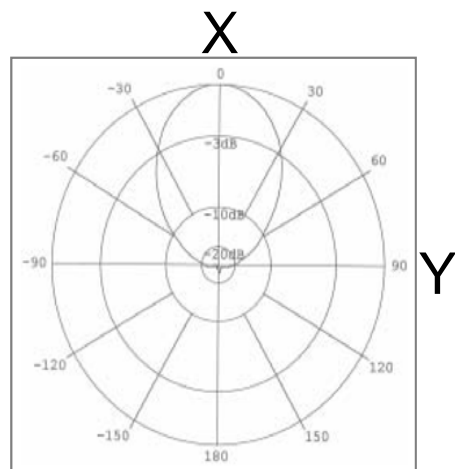


無線機の構成例

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。