

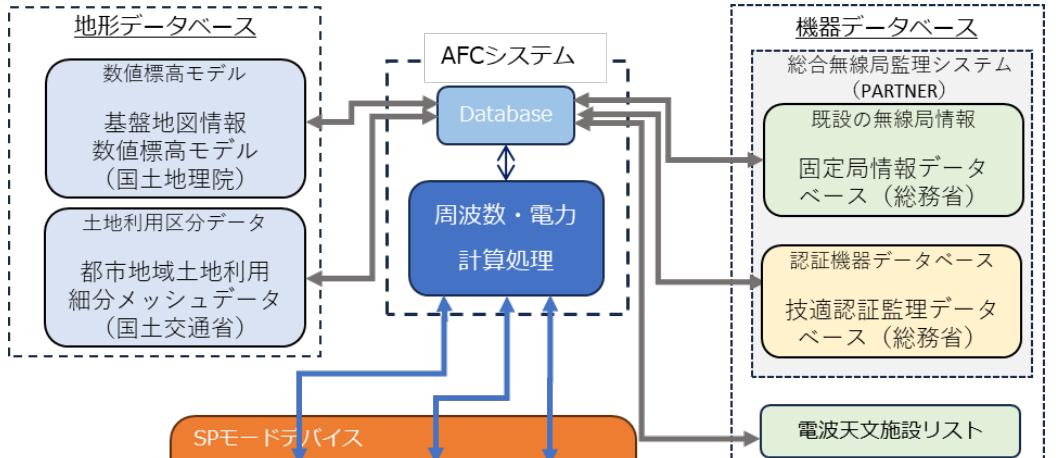
6GHz帯無線LANの周波数拡張・屋外高出力利用に係る 調査検討結果

令和6年6月19日

**5.2GHz帯及び6GHz帯無線LAN作業班
事務局**

6GHz帯既存無線局・電波天文に対する共用検討モデルの検討

6425-7125MHz帯への更なる周波数拡張及び屋外利用の高出力利用（SPモード無線LANでの利用）の検討を進めるため、米国におけるAFCの動向を踏まえ、日本におけるAFC機能を用いる場合の無線LANと既存無線局や電波天文との共用検討モデルを検討した。



- ※1 AP : Access Point
SPモードの無線LAN 親局
- ※2 SA AP : Standalone AP
AFCシステムに直接アクセスする AP
- ※3 Non-SA AP: Non-Standalone
Proxyを通してAFCシステムとアクセスする AP
- ※4 FCD : Fixed Client Device
AFCシステムに直接アクセスする固定無線LAN子局
- ※5 STA : Station
APの制御下にある無線LAN子局

図1-1 AFC機能の構成図

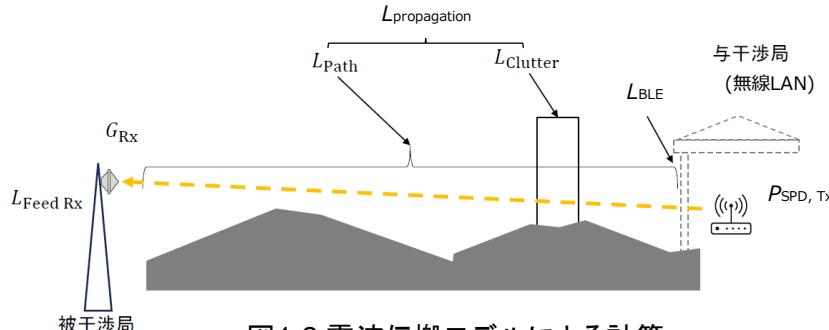


図1-2 電波伝搬モデルによる計算

表1-1 共用検討モデル

共用検討モデル	
1 電波伝搬モデル	<p>許容される最大等価等方輻射電力(e.i.r.p.)の計算に用いる電波伝搬モデル及び伝搬距離(d)の区分</p> <p>① $d \leq 30m$: 空自由空間モデル (電波天文 $d \leq 40m$: 空自由空間モデル)</p> <p>② $30m < d \leq 1km$: WINNER II model (電波天文 $40m < d \leq 1km$: ITU-R P.452-16 クラッタはRec. ITU-R P.452-16のクラッタを組み合わせて計算)</p> <p>③ $1km < d$: ITU-R P452-16と次のクラッタモデルの組合せで計算 ➢ Urban/Suburban : Rec. ITU-R P.2108クラッタモデル ➢ Rural : Rec. ITU-R P.452-16のクラッタモデル</p>
2 無線局（固定局）の干渉保護	<p>(1)最大等価等方輻射電力(e.i.r.p.) (許容される最大e.i.r.p.($P_{SPD, Tx}$)の計算式)</p> $P_{SPD, Tx} = I/N_{thres} + L_{Propagation, Rx}^{※1} + L_{BEL} - G_{Rx, Effective} + L_{FS, Feeder} + N \dots \text{送受間にPassive Siteがない場合の式}$ <p>(仮想受信機/反射板)</p> <p>$P_{SPD, Tx} = I/N_{thres} + L_{Propagation, VRx-j}^{※2} + L_{BEL} - G_{VRx-j, Effective} + G_{VRx-j, Disc} + L_{FS, Feeder} + N \dots \text{送受間にPassive Siteがある場合の式}$</p> <p>※1: 距離が1Kmを超える場合のクラッタ損を含む</p> <p>(2)干渉保護基準 : $I/N = -10dB$</p>
3 電波天文の干渉保護	<p>(許容される最大e.i.r.p.($P_{SPD, Tx}$)の算出式)</p> $P_{SPD, Tx} = I_{thres}^{※1} + L_{Propagation, Rx}^{※2} + L_{BEL} - G_{Rx, Effective}^{※3} \dots$ <p>*1: 干渉基準値 *2: 距離が1Kmを超える場合のクラッタ損を含む *3: Rec. ITU-R RA.769-2に基づき0dB isotropicアンテナとする。</p> <p>(2)干渉基準 : $-181dBm/10MHz$ [Rec. ITU-R RA.769-2の保護基準(-177dBm/10MHz)に4dBのマージン加算]</p>

検討で使用した共用検討モデル

【干渉保護要件】

① 電波伝搬モデルの選定

- ・机上検討及び実証試験結果を踏まえて、電波伝搬モデルについては、距離(d)区分に応じて、自由空間モデル、WINNER IIモデル並びにRec. ITU-R P.452-16とクラッタモデルの組合せを採用することが適當。

(固定局の距離区分と電波伝搬モデル)

$$d \leq 30 \text{ m} \quad / \quad 30 \text{ m} < d \leq 1 \text{ km} \quad / \quad 1 \text{ km} < d$$

自由空間モデル / WINNER IIモデル / Rec. ITU-R P.452-16とクラッタモデルの組合せ

(電波天文の距離区分と電波伝搬モデル)

$$d \leq 40 \text{ m} \quad / \quad 40 \text{ m} < d \leq 1 \text{ km} \quad / \quad 1 \text{ km} < d$$

自由空間モデル / Rec. ITU-R P.452-16 / Rec. ITU-R P.452-16とクラッタモデルの組合せ

※ なお、電波天文の距離区分に関しては、ECC Report316及び令和4年度情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 報告を参照して40mを採用している。

・クラッタモデルの計算に使用する土地分類区分：国土交通省「都市地域土地利用細分メッシュデータ」を基に変換

② 固定局の干渉保護

「I/N = -10dB」をシングルエントリーによる保護基準として設定。

③ 電波天文の干渉保護

電波天文業務の保護基準値については、利用環境的に厳しいと思われる和歌山局にて、複数の与干渉を想定したアグリゲートの干渉検討の結果、AFCで制御されるレベルは「-181dBm/10MHz」が適當となった。[Rec. ITU-R RA.769-2の保護基準値 (-177dB/10MHz) に4dBのマージン加算]

実証試験の実施

AFC機能で用いる電波伝搬モデル等の妥当性を確認するため、既存免許人の協力の下、公共・一般業務用及び放送業務用固定局（8回線）を対象に検証を行った。

なお、運用中の固定局に影響を与えないよう、電波伝搬の可逆性を利用し（図3-1）、固定局からの送信波の受信電力を測定することにより、伝搬損失を求ることとした。

固定局の送信波に対する測定地点（全90地点）での受信電力を実測（全180件）した（図3-2）。

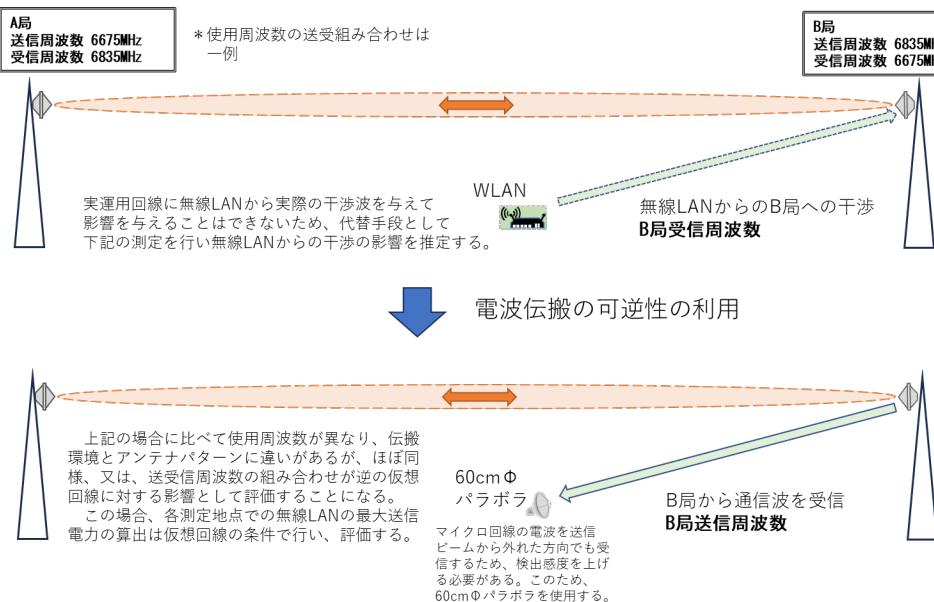


図3-1 伝搬損失の求め方

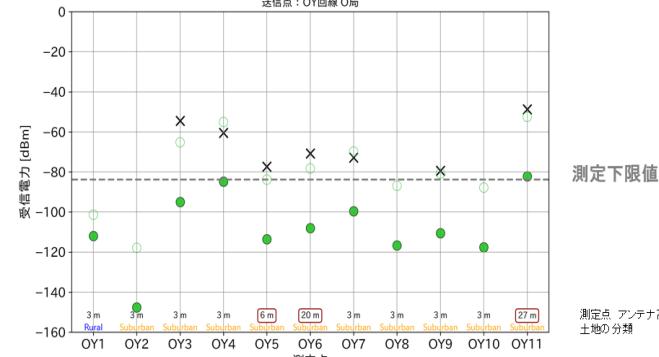


図3-2 実証試験の結果の例(計算結果、実測結果の比較)

×印がない測定点は、固定局の送信波に対する受信電力が測定下限値を下回っていたことを示す

計算値と実証試験結果の比較・検証

(1) 比較のポイント

机上計算値に対し実測値の受信電力値が低い (+dB) 場合には、実回線に対する干渉保護レベルが高く、実測値の受信電力値が高い (-dB) 場合には、その逆 ($I/N \leq -10$ dBを満足しない可能性がある) であると評価できる。このことを踏まえて結果を整理したものを下表に示す。

※ 全180件の測定件数のうち、実測できた件数 (133件) を対象に比較・検証を実施した。

表4-1 机上計算値と実測値 (固定局の送信波の受信電力値) の比較 (左: 伝搬距離1km以下、右: 伝搬距離1km超)

計算結果から実測結果を引いた値	Urban	Suburban	Rural	件数(小計)
+20dB 超	0	0	0	0
10~20dB	1	4	0	5
3~10dB	0	1	2	3
0~3dB	0	1	1	2
-3~0dB	1	3	2	6
-10~ -3dB	5	3	1	9
-20~-10dB	0	1	0	1
-20dB 未満	0	0	0	0
件数(小計)	7	13	6	26
干渉保護レベルが高い (+dB)割合	14%	46%	50%	38%

計算結果から実測結果を引いた値	Urban	Suburban	Rural	件数(小計)
+20dB 超	5	2	2	9
10~20dB	3	2	5	10
3~10dB	6	7	2	15
0~3dB	3	2	4	9
-3~0dB	2	2	3	7
-10~ -3dB	0	13	8	21
-20~-10dB	0	10	9	19
-20dB 未満	0	15	2	17
件数(小計)	19	53	35	107
干渉保護レベルが高い (+dB)割合	89%	25%	37%	40%

(2) 比較結果

<1km以下の伝搬距離にある測定地点での比較>

有効な測定件数(26件)のうち、計算結果と実測結果との差分値がプラスとなった件数の割合は約4割(10/26件)、マイナスとなった件数の割合は約6割(16/26件)であり、このうち件数が集まつたのはUrbanの測定地点で、計5地点において-10~-3dBであった。

なお、差分値の約8割(20/26件)は、±10dB以内に納まっていた。

<1km超の伝搬距離にある測定地点での比較>

有効な測定件数(107件)のうち、計算結果と実測結果との差分値がプラスとなった件数の割合は約4割(43/107件)、マイナスとなった件数の割合は、約6割(64/107件)であり、このうち件数が集まつたのはSuburbanの測定地点で、計38地点において-3dB未満であった。

なお、差分値の約5割(52/107件)は、±10dB以内に納まっていた。



実証試験の結果、実測値が計算値を上回る測定点があったため、要因の分析を行った。(分析内容は次ページ)

クラッタモデルへの土地利用区分データの反映

有効な測定結果を分析した結果、測定地として選定したSuburbanエリアでは、低層建物がさほど密集していないほか、造成地や小規模の公園、ゴルフ場を多く含むエリアでは高木などは生えていないことから、米国での土地分類と同様に土地分類対応表を作成した場合、クラッタ損失値が小さくなる場合があることがわかった。

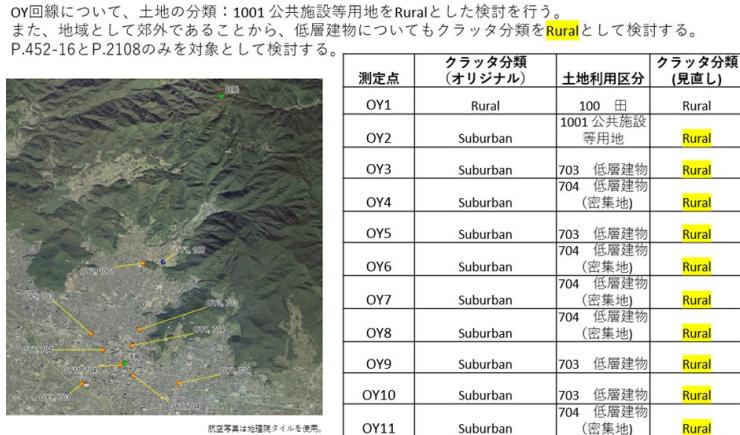


図5-1 土地分類対応の見直し内容

実証試験の結果に基づき、測定した8回線のうちこの事が顕著に現れている2回線の測定エリアにおけるクラッタモデルとの土地分類対応表の見直しを行い、評価を行った（図5-1）。

クラッタ損の算出に使用するクラッタモデルを変更し、公共施設等用地、公園・緑地、ゴルフ場のそれぞれを、SuburbanからRuralに分類を変更すると、見直し後は計算結果と実測結果の差が小さくなり（図5-2）、過大にクラッタ損を見込むことが少なくなることが確認でき、実測に近いクラッタモデルの設定となった。

土地分類対応表に反映した結果を表5-1に示す。

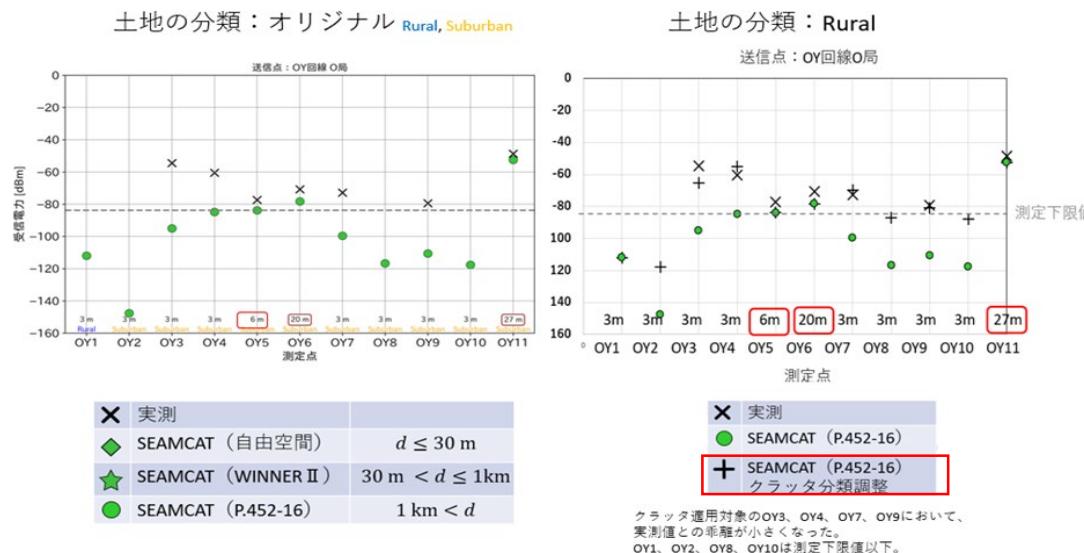


図5-2 見直し前後の計算結果と実測結果の比較

国土地理院 土地利用区分データ (都市地域土地利用細分マッシュデータ)		FOC レポート*(による、NLCD*とクラッタ種別の対応				シミュレーション(SEAMCATでの扱い)		
種別	コード	種別	NLCD Class	FOCによる分類	FCCによるクラッタ対応	土地の分類	クラッタモ デル	伝搬モ デル
田	100	草地/草本	71	Rural	追加 Loss 無し	Rural	P.452-16	P.452-16
その他の農用地	200	耕作作物	82	Rural	P.452-16 Table 4 Row 1	Rural	P.452-16	P.452-16
森林	500	落葉樹林、常緑樹林、混生林	41,42,43	Rural	P.452-16 Table 4 Row 3 or Row 4 落葉樹・常緑樹による	Rural	P.452-16	P.452-16
荒地	600	不毛の土地(岩/砂/粘土)	31	Rural	追加 Loss 無し	Rural	P.452-16	P.452-16
高層建物	701	高密度地域	24	Urban	P.2108	Urban	P.2108	P.452-16
工場	702	低密度、中密度地域	22,23	Suburban or Urban	Suburban P.2108	Urban/Sub*	P.2108	P.452-16
低層建物	703	低密度地域	22	Suburban	Suburban P.2108	Suburban	P.2108	P.452-16
低層建物(密集地)	704	低密度、中密度、高密度地域	22,23,24	Suburban or Urban	Suburban P.2108	Urban/Sub*	P.2108	P.452-16
道路	901	低密度、中密度、高密度地域	22,23,24	Suburban or Urban	Suburban P.2108	Urban/Sub*	P.2108	P.452-16
鉄道	902	低密度、中密度、高密度地域	22,23,24	Suburban or Urban	Suburban P.2108	Urban/Sub*	P.2108	P.452-16
公共施設等用地	1001	造成されたオープン・スペース	21	Suburban	Suburban P.2108	Rural	P.452-16	P.452-16
空地	1002	不毛の土地(岩/砂/粘土)	31	Rural	追加 Loss 無し	Rural	P.452-16	P.452-16
公園・緑地	1003	造成されたオープン・スペース	21	Suburban	Suburban P.2108	Rural	P.452-16	P.452-16
河川地及び湖沼	1100	水域	11	Rural	追加 Loss 無し	Rural	P.452-16	P.452-16
海浜	1400	水域	11	Rural	追加 Loss 無し	Rural	P.452-16	P.452-16
海水域	1500	水域	11	Rural	追加 Loss 無し	Rural	P.452-16	P.452-16
ゴルフ場	1600	造成されたオープン・スペース	21	Suburban	Suburban P.2108	Rural	P.452-16	P.452-16

SuburbanからRuralに土地の分類の割付けを変更

表5-1 クラッタモデルへの土地分類対応表の見直し例

AFC機能の共用検討モデルの妥当性の評価

実証試験やその分析による見直しなどにより、妥当な共用検討モデルとなることが確認ができた。

周波数共用モデルを全国に展開するには、日本の土地・建物環境に即した個々の土地分類やクラッタモデルを適用することで、さらによりよい算出結果が得られるようになる。

また、周波数共用モデルの計算に用いる固定局のアンテナパターンについては、個別無線局のアンテナ諸元を用いることなどにより、更に精緻な値が得られること等がわかった。

AFC機能の有効性の評価

AFC機能を用いることで、6GHz帯における無線LANと既存無線局の周波数共用の可能性を高め、有効であることが検証できた。

また、周波数共用モデルが更に精査されること等により、既存の無線局（固定局）及び電波天文施設との周波数共用が可能となり、無線LANが利用できるエリアの拡大等に期待できる。

今後の技術的課題

- 日本の実環境に即した伝搬モデルの土地分類（Urban、Suburban、Rural）と、土地利用区分データによる種別毎の紐づけ選択、クラッタモデルの選定内容などについて、AFCシステムによる更に精緻な無線LANによる許容最大送信出力値の算出のための補正が必要である。
- 屋外のみで検証を行ったため、屋内の場合の建物損の設定のあり方の議論・整理が必要である。
- SPモードデバイスの占有周波数帯幅、不要発射の強度の許容値等、技術的条件の検討が必要である。
- SPモードでの制度化が進む場合には、設置条件等の結果を鑑みて、改めて固定衛星の干渉を考慮するため、仰角によって送信電力を担保する等の必要性の要否などについても検討を行っていく必要がある。
- 有害な干渉が発生した場合の適切に対応できる枠組みの構築・対処の流れを確立する。



AFCシステムのプロトタイプの構築・実証試験を進め、AFC機能の導入に向けて上記課題に対する議論を加速し、AFC機能を用いた6GHz帯無線LANの技術的条件を取りまとめる予定。

AFCシステムのプロトタイプの構築

令和5年度の実証試験で確認した共用検討モデルをもとに、SPモード無線LANと既存の無線局及び電波天文との周波数共用に必要なAFCシステムのプロトタイプを構築し、計算対象の回線を全国の回線に拡大し、実証試験を進める。

実証試験の中で、日本の土地・建物環境に即した個々の土地分類やクラッタモデルの補正について更に検討を行い、AFCシステムのプロトタイプへ反映する。

技術的条件の検討

SPモード無線LANの無線設備の電波の質等に係る技術的条件について、その設置条件等を含め、本作業班において検討を進める。

また、AFCプロトタイプ構築により確認した具備すべき要件等について検討を行う。

AFCシステムの運用体制に係る検討

AFCシステムの運用体制の検討にあたり、本作業班では、AFCシステムとSPモードデバイスとの間の適切な要求間隔（アクセス間隔）の検討や、万が一有害な混信が発生した場合のシステムにおける対処方策等の技術的な検討を行う。

AFCシステムの運用体制のうち制度面の課題については、「デジタルビジネス拡大に向けた電波政策懇談会」での議論の動向も踏まえつつ、総務省において調査研究を行う。

取りまとめの予定

本調査検討の成果を踏まえ、今後、AFCシステムのプロトタイプの構築・実証試験を進め、AFC機能の導入に向けて上記課題に対する議論を加速し、AFC機能を用いた6GHz帯無線LANの技術的条件を取りまとめる予定。