

参 考 资 料

目 次

参考資料 1-1	5GHz 帯無線 LAN に関する各国の技術基準	1
参考資料 1-2	IEEE802.11n 規格について	2
参考資料 1-3	無線 LAN 等の導入経緯	11
参考資料 2-1	既存の無線 LAN システムの利用状況	12
参考資料 2-2	グリーンフィールド ¹ 及び送信ビームフォーミング ² に関する考察	14
参考資料 2-3	固定マイクロ通信システムとの周波数共用条件	17
参考資料 2-4	固定マイクロ通信システムとの周波数共用条件の見直し	21
参考資料 2-5	移動体衛星システムとの周波数共用	29
参考資料 2-6	移動体の機体による減衰特性の事例	35
参考資料 2-7	MLS の概要	41
参考資料 2-8	気象レーダーの有効性	42
参考資料 2-9	気象レーダーとの共用条件	46
参考資料 2-10	レーダービーム旋回速度と高速移動体との相対速度及び航空機における検出ウィンドウ	63
参考資料 2-11	レーダーが干渉を受ける確率と距離の関係及びレーダー画面上での干渉縞の現れ方	69
参考資料 2-12	航空機内に搭載した DFS 機能の動作確認	78
参考資料 2-13	地球探査衛星との共用条件について	82
参考資料 2-14	DFS の測定条件に係る通信負荷率	84
参考資料 3-1	インターリーブ配置によりキャパシティが向上する条件	96
参考資料 3-2	占有周波数帯幅	100
参考資料 3-3	帯域外領域における不要発射の強度の許容値	103
参考資料 3-4	電磁界強度指針	107
参考資料 3-5	高速無線 LAN の 2.4GHz 帯への導入について	110

5GHz 帯無線 LAN に関する各国の技術基準

周波数帯	項目	日本(無線設備規則) ^{※1}	米国 (CFR47 Part15)	欧州 EN301 893 V1.3.1	WRC-03 Res229
4.9~5.0、 5.03~ 5.091GHz (日本)	最大空中線電力	平均電力：250mW 20MHzブロック内250mW	-	-	-
	最大電力密度	50mW/MHz			
	空中線利得	13dBi			
	最大EIRP	5W			
5.15~ 5.25GHz	最大空中線電力	-	※5ピーク電力で50mW 又は 4dBm+10logBの低い方 ^{※2}	-	-
	最大電力密度	平均電力 10mW/MHz	4dBm/MHz	-	-
	空中線利得	規定なし(0dBi)	標準6dBi	規定なし	-
	最大EIRP	10mW/MHz	6dBi以上の空中線の場合その分空中線電力を下げる ^{※3}	平均電力23dBm又は 10dBm/MHzの低い方	200mW 10mW/MHz
5.25~ 5.35GHz	最大空中線電力	-	※5ピーク電力で250mW 又は 11dBm+10logBの低い方 ^{※2}	-	-
	最大電力密度	平均電力 10mW/MHz(TPC)	11dBm/MHz	-	-
	空中線利得	規定なし(0dBi)	標準6dBi	規定なし	-
	最大EIRP	最大電力密度と同じ	6dBi以上の空中線の場合その分空中線電力を下げる ^{※3}	平均電力23dBm又は 10dBm/MHzの低い方(TPC) ^{※4}	200mW 10mW/MHz
5.47~ 5.725GHz	最大空中線電力	-	※5ピーク電力で250mW 又は 11dBm+10logBの低い方 ^{※2}	-	250mW
	最大電力密度	平均電力 10mW/MHz(TPC)	11dBm/MHz以下	-	-
	空中線利得	規定なし(7dBi)	標準6dBi	規定なし	-
	最大EIRP	平均電力 1W且つ50mW/MHz (TPC)	6dBi以上の空中線の場合その分空中線電力を下げる ^{※3}	平均電力30dBm又は 17dBm/MHzの低い方(TPC) ^{※4}	1W 50mW/MHz

※1 DS-SS 又は OFDM 変調方式の場合。

※2 B とは、Emission Bandwidth であり、ピーク電力から 26 dB 低い帯域幅をいう。

※3 EIRP での直接規定はない。

※4 (TPC)とは、6dB の TPC を実装した場合。 TPC 無しの場合最大 EIRP を 3dB 下げること。

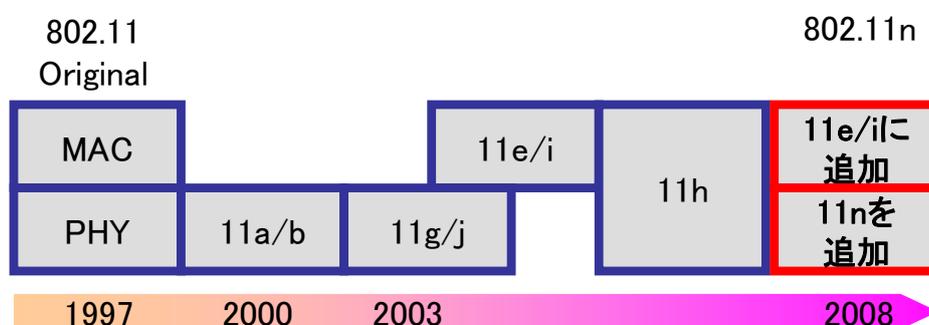
※5 米国でいうピーク電力とは、シングルキャリア変調における尖頭電力とは異なるもので、連続送信における時間平均電力であり、欧州・日本の平均電力 (Mean Power) と同じ。

IEEE802.11n 規格について

1 IEEE802.11n のスコープ

IEEE802.11n のスコープは、「MAC_SAP¹において 100Mbps 以上の高スループットを実現するための既存 802.11 規格の改変」である。ここで、既存 IEEE802.11 規格とは、IEEE802.11、802.11a/b/d/e/g/h/i/j を指す。

補足として 3bits/sec/Hz 以上の周波数利用効率を満たすことが求められている。これは物理層伝送レートを 54Mbps としたままで、単純に帯域を 2 倍にただけでは 802.11n の要求条件を満たすことが出来ないことを表している。なお、高スループットに寄与しない改変は原則的に 802.11n では認められていない。



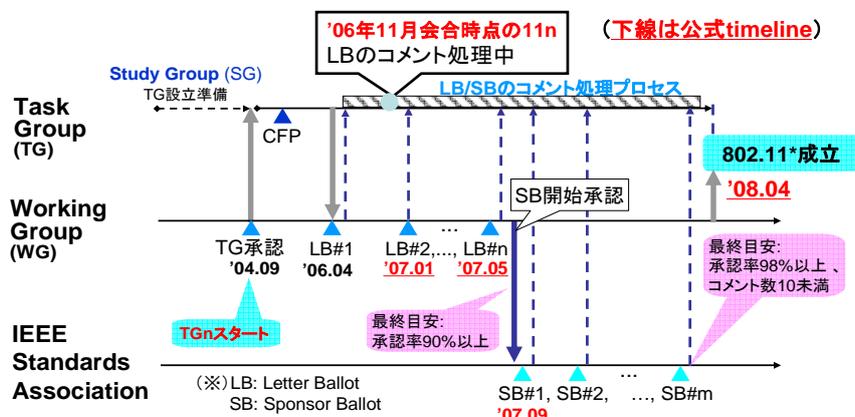
注: MAC … プロトコルを規定
PHY … 電波の送信方式を規定
11e … 通信品質(QoS)に関する規格
11i … セキュリティに関する規格

図 1-2.1 802.11n の位置付け

2 標準化の動向

(1) スケジュール

IEEE における 802.11n 標準化プロセス（公式タイムライン）は以下のとおりである。



¹ Medium access control_Service Access Point

(2) IEEE802.11n での検討状況

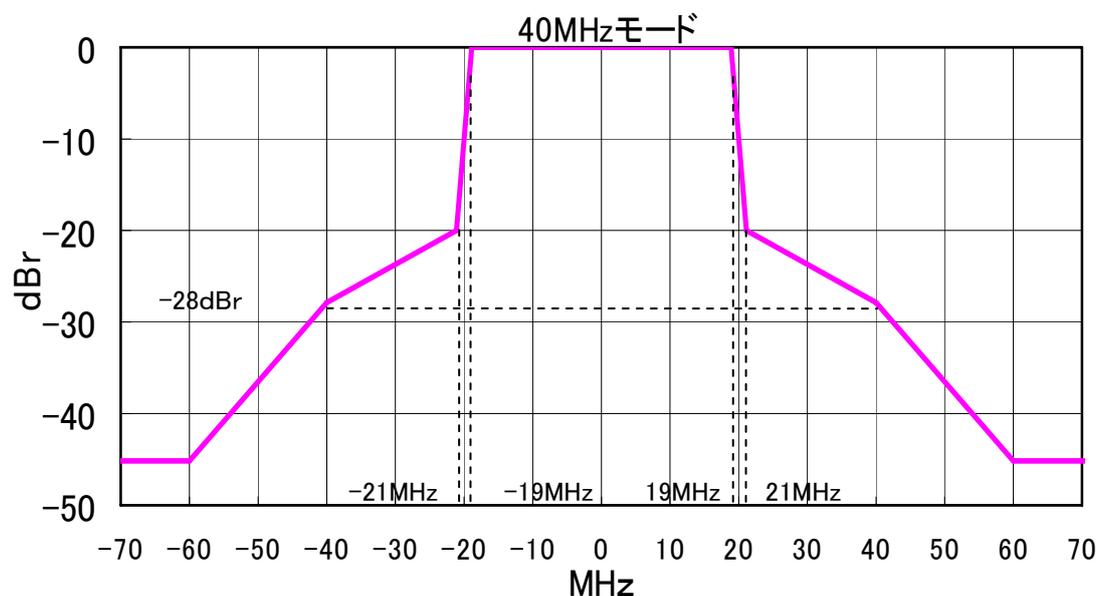
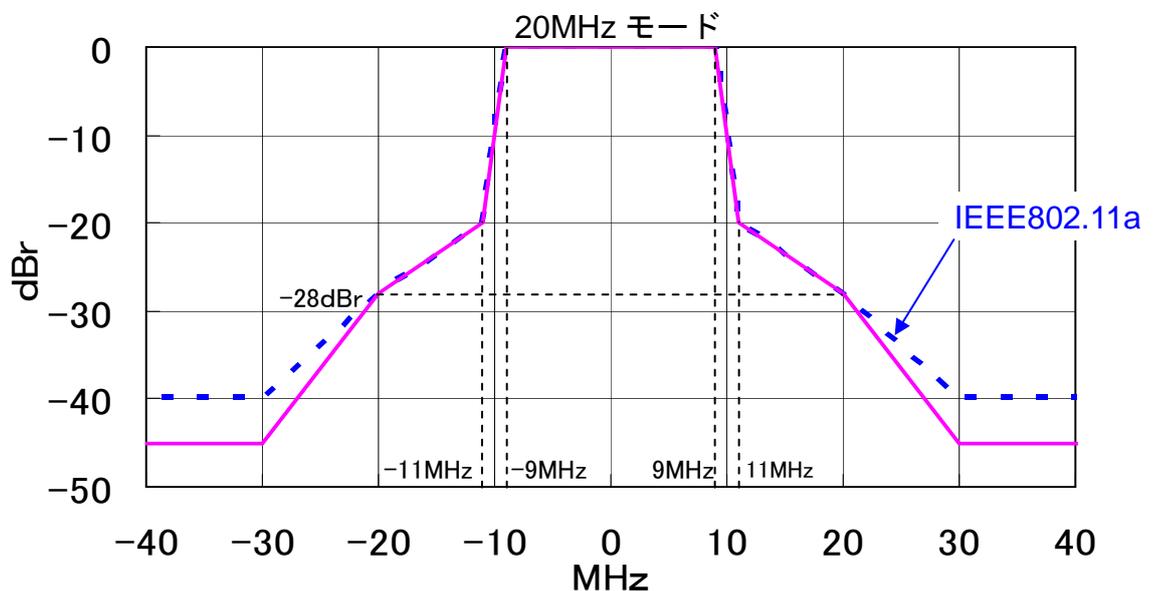
第 1.0 版ドラフトでは、2.4GHz 帯及び 5GHz 帯の仕様が規定されており、既存の IEEE802.11a/b/g との相互運用を念頭においている。

① 仕様の概要

ア 物理層

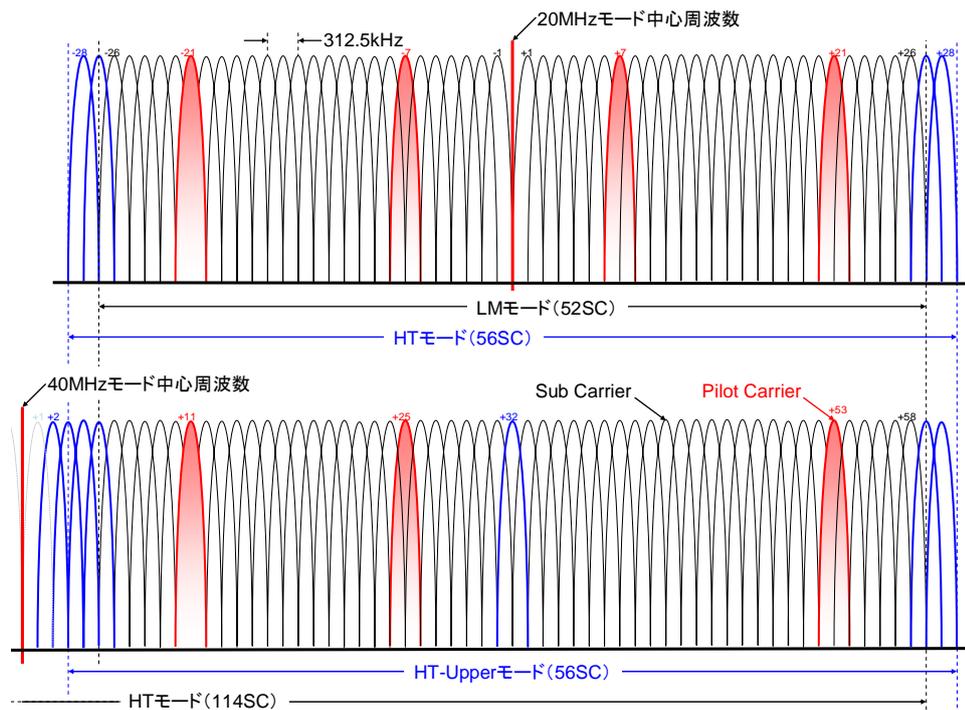
(7) スペクトラムマスク

IEEE802.11n の 20MHz モード及び 40MHz モードにおけるスペクトラムマスクは以下のとおり規定される。20MHz モードのスペクトラムマスクについては、従来のマスクに比較し、中心周波数から±30MHz 離調の外側帯域のレベルが-45dBmに変更されている。



(1) 変調方式、多重化方式、符号化方式関連

物理層は、OFDM²の各サブキャリア（SC : Sub Carrier）でBPSK³から64QAM⁴までの多値変調方式を用い、20 MHz 幅の周波数チャネルで2つのストリーム⁵を多重するMIMO⁶を基本構成とする。また、従来のIEEE802.11a/gのSC数を最大52SCから56SCに拡張し、1ストリームあたり最低でも65Mbpsの伝送を可能とする。これにより、既存のIEEE802.11a/gの最大伝送レート54Mbpsの約2.5倍に相当する130Mbpsの伝送を可能にする。



一方、更なる伝送レート向上のためのオプションとして、MIMOによるストリームの多重数を最大4とすることや、GI⁷を縮小することや、周波数チャネル幅を40MHzとすることなどのオプションが用意されている。また、ロバスト性を向上するオプションとして、送受信機間の電波伝搬環境の情報を用いて送信側が最適にビームを形成する送信ビームフォーミングや、複数アンテナ間で送受信スペースダイバシティを実現するためデータに冗長性を持たせたSTBC⁸（時空間符号化）、基本構成の畳み込み符号よりも誤り訂正能力を強化するLDPC⁹符号などが採用されている。これらすべてのオプションを組み合わせた最大の伝送レートは600Mbpsに達する。

² Orthogonal Frequency Division Multiplex（直交周波数分割多重）
³ Binary Phase Shift Keying（2相位相シフトキーイング）
⁴ Quadrature Amplitude Modulation（直交振幅変調）
⁵ 通信路
⁶ Multiple-Input Multiple-Output
⁷ Guard Interval
⁸ Space Time Block Code
⁹ Low Density Parity Check

表 1-2.1 物理層の必須項目とオプション項目

必須項目	オプション項目
<ul style="list-style-type: none"> ● 20MHz の周波数帯域を使用 ● レガシーフレーム・フォーマット 6、9、12、18、24、36、48、54Mbps ● ミックスモードのサポート ● 畳み込み符号 (11a/g と同じ) $r=1/2、2/3、3/4、5/6$ ● ガードインターバルは 800 ナノ秒 ● クライアントの物理レート (1 ストリーム) 6.5、13、19.5、26、39、52、58.5、65Mbps ● AP の物理レート (2 ストリーム) <ul style="list-style-type: none"> - 1 ストリームあたり 6.5、13、19.5、26、39、52、58.5、65Mbps - 2 ストリームあたり 13、26、39、52、78、104、117、130Mbps 	<ul style="list-style-type: none"> ● 40MHz の周波数帯域を使用 ● グリーンフィールド ● STBC (時空間ブロック符号化、送信 SD 効果) ● LDPC (誤り訂正符号の一種) ● ガードインターバルは 400 ナノ秒 ● クライアントは、2、3、4 ストリームをサポート ● AP は、3、4 ストリームをサポート ● レガシーの 2 チャンネル配置 (6Mbps) ● クローズドループによる送信ビームフォーミング ● ストリームごとに独立した変調方法

図 1-2.2 802.11n による OFDM アーキテクチャの比較

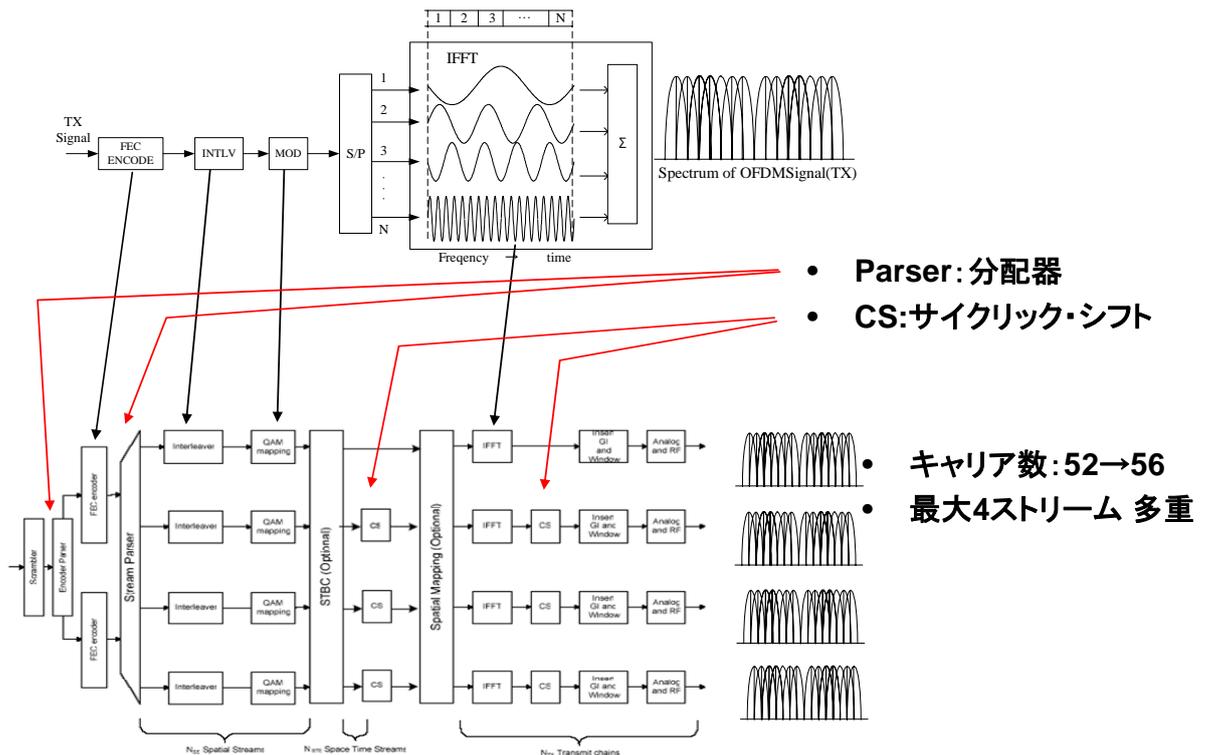
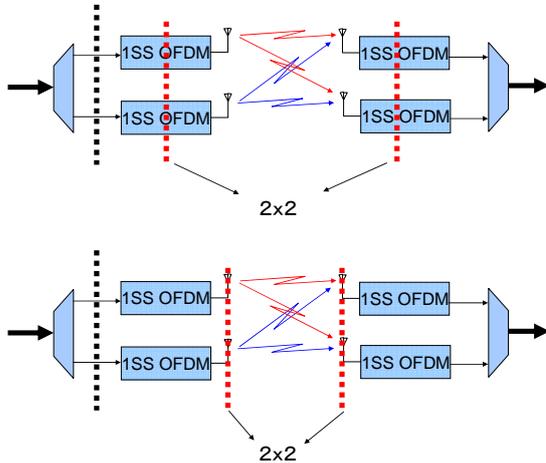


図 1-2.3 MIMO の物理層の基本構成

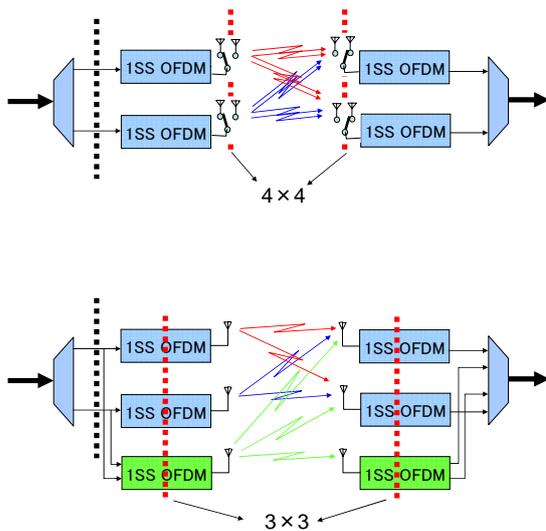
○ 構成方法の例 (2 ストリームの場合)

802.11n 規格の第 1.0 版ドラフトでは、通信路の空間多重を「ストリーム数」で定義する。構成方法を「 $n \times m$ 」で表す場合、今後「 n 」「 m 」はストリーム数と一致しない場合がある。



○ 物理層の特性を向上する方法の例 (2 ストリームの場合)

アンテナを増やすと選択ダイバーシチの効果が得られ、送受信システムを増やすと合成ダイバーシチの効果が得られる。



(ウ) 伝送モード関連

また、高速化のみならず、状況に応じ周波数ドメインを使い分けることのできる柔軟性を備えた仕様にもなっており、下表のような伝送モードも用意されている。

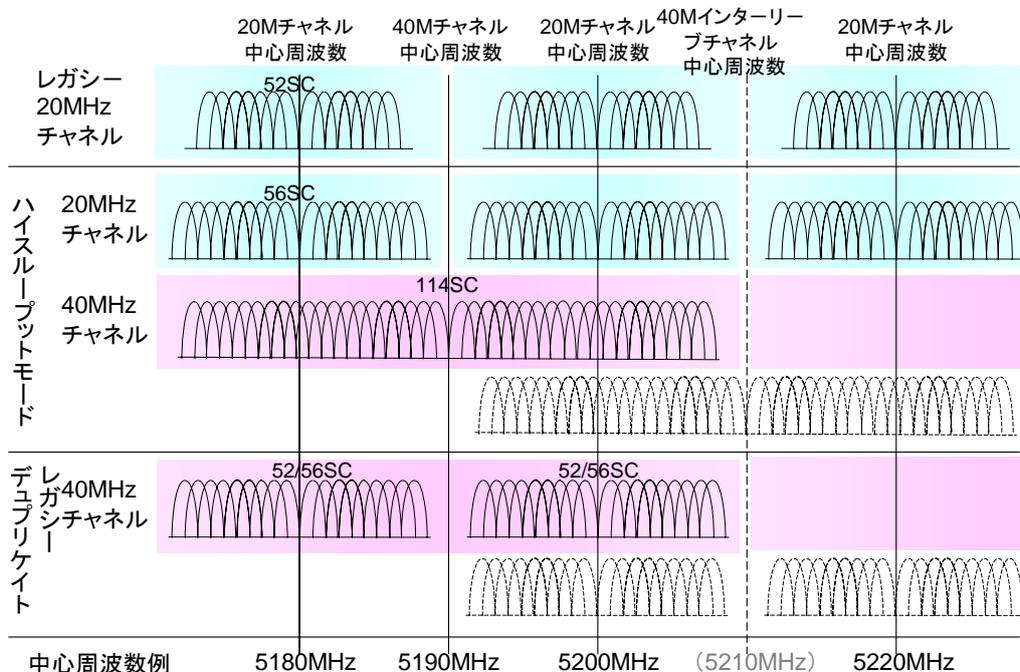
表 1-2.2 伝送モードの種類

伝送モード	チャンネル幅	SC 数	備考
レガシーモード (LM)	20MHz	52SC	
ハイスループット (HT) モード	20MHz	56SC	
	40MHz	114SC	
HT-Duplicated Mode	40MHz	104SC	常に 6Mbps を確保 Duplicate Non-HT Mode (40MHz 幅の場合) と同一
Duplicate Non-HT Mode	40MHz	104SC	LM での 20MHz チャンネルを 2 本コピーし送信
Legacy mode	20MHz	52SC	空いているチャンネルが 20MHz しかないとき使用
HT-mode	20MHz	56SC	
40MHz upper mode、 40MHz lower mode	40MHz 幅中 20MHz、	52SC 56SC	※

※ 40MHz チャンネルでの送信が可能な無線機が、20MHz チャンネルで送信する度に、ローカル周波数発振器の周波数切替を行うのではなく、40MHz チャンネルの中央の周波数にローカル周波数を固定したまま、サブキャリア信号のみを上側波帯、あるいは下側波帯のみに入力することにより、20MHz チャンネルを送信する方式。

通常は、片方のチャンネルが control channel、もう片方が secondary channel と位置づけられ、送信直前のキャリアセンスで、どちらかのチャンネルを選んで 20MHz 信号を出すのではなく、control channel 側に相当する 20MHz と両側の 40MHz を切り替える。

図 1-2.4 伝送モード別のスペクトラムイメージ



(I) フレームフォーマット関連

更に、物理層のフレームフォーマットとして、既存 IEEE802.11a/b/g のフレームであるレガシーモード (LM)、既存 11a/g が理解できる IEEE802.11n のフレーム (下位互換性をサポートされたもの) である ミックスモードがあり、物理層の制御に必要な情報を含みパケット先頭に付加されるプリアンブルは、IEEE802.11a/g との互換性を確保することを基本とする。これに加え、オプションとして、IEEE802.11n 同士の通信でのみ使用されるグリーンフィールドがあり、IEEE802.11a/g との互換性を有さない高効率フレームで、オーバーヘッドの少ないものが用意されている。

図 1-2.5 フレームフォーマットの種別

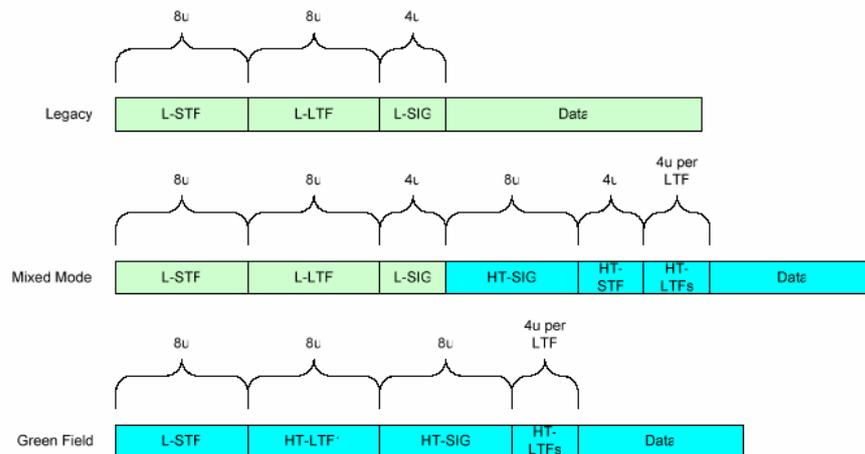


表 1-2.3 フレームフォーマット別の物理層における理論値伝送速度

周波数チャンネル幅				20MHz		40MHz
フレームフォーマット	ストリーム数 (n×m)	符号化率 (64QAM)	SC 数	必須	オプション	
				GI=800ns	GI=400ns	GI = 400ns
Legacy (802.11a/g)	1 ストリーム (-)	3/4	52SC	54 Mbps	サポートされない	サポートされない
Mixed Mode Green Field (802.11n)	1 ストリーム (1×1)	5/6	56SC	65 Mbps	72.2 Mbps	-
			114SC	-	-	150 Mbps
	2 ストリーム (2×2)	5/6	56SC	130 Mbps	144.4 Mbps	-
			114SC	-	-	300 Mbps
	3 ストリーム (3×3)	5/6	56SC	195 Mbps	216.7 Mbps	-
			114SC	-	-	450 Mbps
4 ストリーム (4×4)	5/6	56SC	260 Mbps	288.9 Mbps	-	
		114SC	-	-	600 Mbps	

- ◇ 最高スループットの理論値は、ストリーム数とチャンネル帯域で定義
- ◇ 必須項目のガードインターバル (GI) は、800 ナノ秒
- ◇ SC 数の増加、GI の縮小、符号化率の拡張により、1 ストリームでも従来より速度が向上
- ◇ 「n×m」は、送受信システムの最小構成単位。n/m の数がストリーム数より増えると、SD 効果により通信の安定性が向上

図 1-2.6 200Mbps (±10%) を実現するための物理層の構成例

2 ストリーム (40MHz)	MSC12 (180Mbps) :16QAM, R=3/4, GI=400ns MSC13 (216Mbps) :16QAM, R=2/3, GI=800ns MSC37 (180Mbps) : (64, Q) , R=3/4, GI=400ns MSC38 (202.5Mbps) : (64, 16) , R=3/4, GI=800ns
3 ストリーム (20MHz)	MSC23 (195Mbps, 216.7Mbps) :64QAM, R=5/6, GI=800, 400ns MSC22 (195Mbps) :64QAM, R=3/4, GI=400ns
3 ストリーム (40MHz)	MSC19 (180Mbps) :16QAM, R=1/2, GI=400ns MSC42 (180Mbps) : (64, 16, Q) , R=3/4, GI=400ns MSC43 (189Mbps, 210Mbps) : (64, 2*16) , R=1/2, GI=800, 400ns MSC44 (189Mbps, 210Mbps) : (2*64, 16) , R=1/2, GI=800, 400ns MSC45 (216Mbps) : (2*64, 16) , R=1/2, GI=800ns MSC46 (180Mbps) : (16, 2*Q) , R=3/4, GI=400ns MSC47 (202.5Mbps) : (2*16, Q) , R=3/4, GI=800ns MSC48 (202.5Mbps) : (64, 2*Q) , R=3/4, GI=800ns
4 ストリーム (20MHz)	MSC29 (208Mbps) :64QAM, R=2/3, GI=800ns MSC71 (195Mbps) : (64, 3*16) , R=3/4, GI=400ns MSC73 (195Mbps) : (2*64, 16, Q) , R=3/4, GI=400ns MSC74 (195Mbps, 216.7Mbps) : (2*64, 2*16) , R=3/4, GI=800, 400ns MSC75 (195Mbps, 216.7Mbps) : (3*64, Q) , R=3/4, GI=800, 400ns
4 ストリーム (40MHz)	MSC26 (180Mbps) :QPSK, R=3/4, GI=400ns MSC27 (216Mbps) :16QAM, R=1/2, GI=800ns MSC54 (180Mbps) : (2*16, 2*Q) , R=1/2, GI=400ns MSC55 (189Mbps, 210Mbps) : (3*16, Q) , R=1/2, GI=800, 400ns MSC56 (180Mbps) : (64, 3*Q) , R=1/2, GI=400ns MSC57 (189Mbps, 210Mbps) : (64, 16, 2*Q) , R=1/2, GI=800, 400ns MSC58 (216Mbps) : (64, 2*16, Q) , R=1/2, GI=800ns MSC60 (216Mbps) : (2*64, 2*Q) , R=1/2, GI=800ns MSC65 (202.5Mbps) : (16, 3*Q) , R=3/4, GI=800ns

イ MAC 層

MAC 層は、Aggregation と呼ばれるフレーム集約手法が特徴的である。A-MPDU (Aggregated MAC Protocol Data Unit) は、単一物理パケットに集約される複数 MAC フレームを個別に再送制御可能なため、長いフレームの集約に有効である。A-MSDU (Aggregated MAC Service Data Unit) は、個別の再送制御はできないが、オーバーヘッドが小さく短いフレームの集約に有効である。また、Aggregation 手法と組み合わせたフレーム交換によるオーバーヘッドの削減手法や、伝送レート選択や前述の送信ビームフォーミングに用いる情報のフィードバック手法、新たに導入される 40 MHz チャンネルの装置と既存の 20 MHz チャンネルの装置間の共存手法など、多数の新規技術を含んでいる。

必須項目	オプション項目
<ul style="list-style-type: none"> ● MSDU のアグリゲーション ● MPDU のアグリゲーション ● Block Ack ● 迅速な Block Ack ● 圧縮ビットマップによる Block Ack ● Block Ack の省略 ● オープン・セキュリティ・モード ● CCMP セキュリティ・モード (WPA2 に含まれる) ● Long NAV のプロテクション ● 物理層のスプーフィング ● 空間多重時のパワーセービング ● 20/40MHz 周波数帯域の共存 ● チャンネル管理、チャンネル選択 ● RIFS のプロテクション ● Greenfield のプロテクション 	<ul style="list-style-type: none"> ● Block Ack の遅延 (Ack 無しを含む) ● パワーセーブ・マルチポール (PSMP) (複数の TID BA を含む) ● 時空間ブロック符号化によるフレームのコントロール ● L-SIG TXOP プロテクション ● 期間切り替えによる 20/40MHz の共存運用 (PCO) ● 送信ビームフォーミング ● 高速のリンクアダプテーション ● インプリシットフィードバック ● チャンネル状態のフィードバック (CSI) ● Zero Length フレームのサウンディング (ZLF) ● キャリブレーション ● リバースディレクション ● アンテナ選択

MAC 層の上位において実現される実効スループットは、伝搬環境やアプリケーションに大きく依存するが、恵まれた条件下では、基本構成で IEEE802.11a/g (30 Mbps 強) の約 3 倍を、オプションを組み合わせた構成では 10 倍以上を達成できると期待される。

② 検討状況

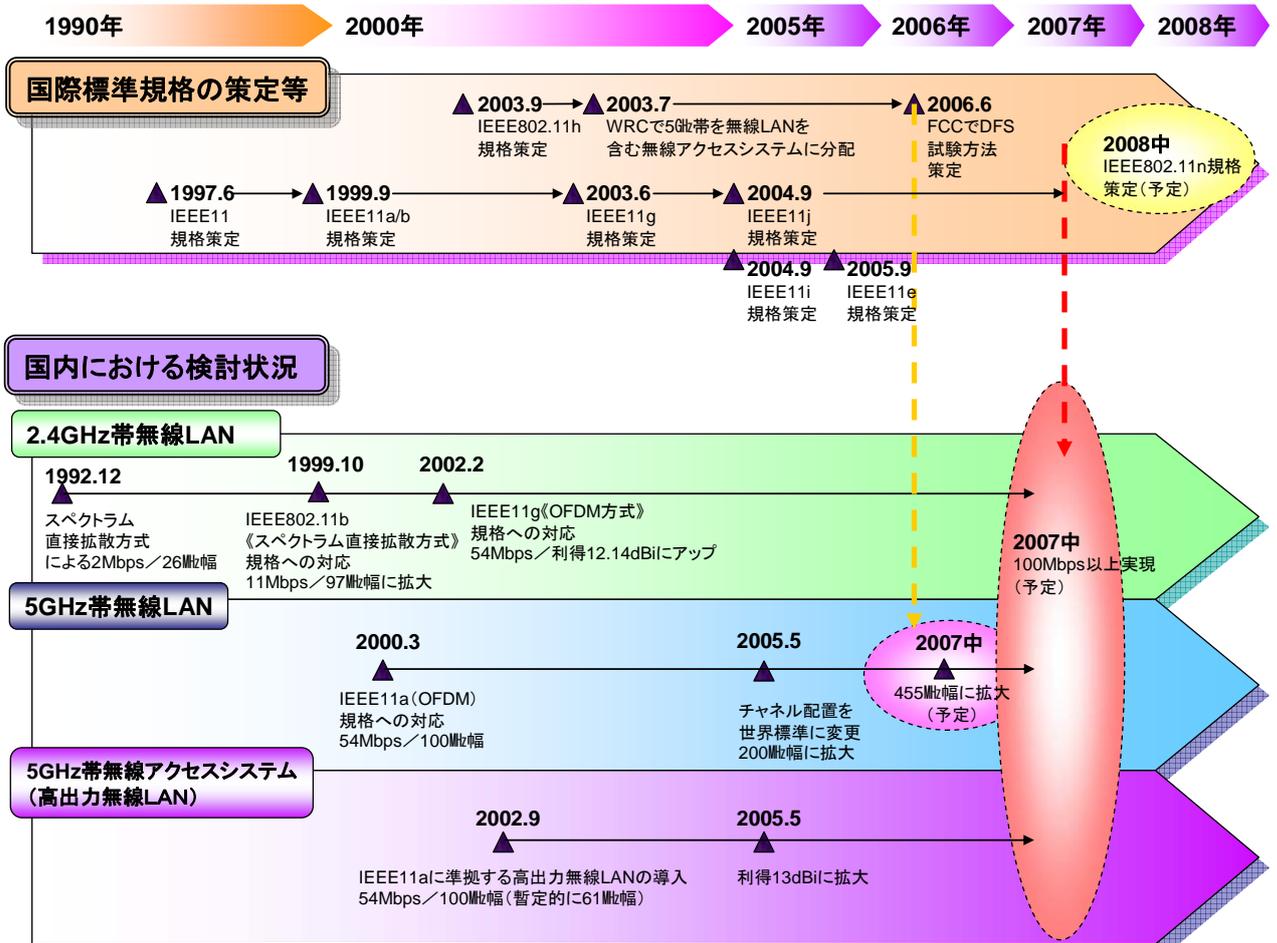
第 1 回 Letter Ballot に寄せられたコメント(12,000 件余) に対して、2006 年 11 月 802 総会までで残っているコメントは約 370 件となった。重複したテクニカルコメントを除いた全数のうち、88%のコメントが処理を完了したことになる。現在は、2007 年 1 月 802 中間会合後に第 2 回目の Letter Ballot を開始することを目標とし、1 月 802 中間会合で全てのコメント処理を完了させる予定である。11 月会合では、以下の議論が注目を集めた。

- 40 MHz 送信でのキャリアセンス規定(20/40 MHz 共存問題)
- 2.4 GHz 帯の従来方式の米国等での標準チャンネル間隔が 25MHz であることに起因する 40MHz チャンネル適用時の諸課題 (課題の解決方法と並行して、2.4GHz 帯での 40MHz チャンネル適用の是非も議論)
- Greenfield プリアンブルの扱い(必須化の是非、従来システムの端末との共存問題)

上記議論のうち、40MHz 送信でのキャリアセンス規定 (20/40MHz 共存問題)、2.4GHz 帯での 40MHz チャンネル適用問題、Greenfield プリアンブルと従来システム端末との共存時の制約、に関してまだ結論が出ていない。

2.4GHz 帯での 40MHz チャンネル適用に関しては複数の企業から合同提案も提出されたが、2.4GHz 帯での 40MHz チャンネル適用自体を禁止するべきという意見もあった。なお、上記の合同提案は、secondary channel またはその付近に substantial load が無い場合に限り 40MHz 動作を認め、substantial load がある場合には (例えば) 5 分間は 20MHz 動作のみを認める、という回避方法の他、5GHz 帯を含めた 11n 全体の 40MHz 動作での secondary channel のキャリアセンス方法も含まれている。この合同提案は、1 月会合で引き続き審議される予定である。

無線 LAN 等の導入経緯



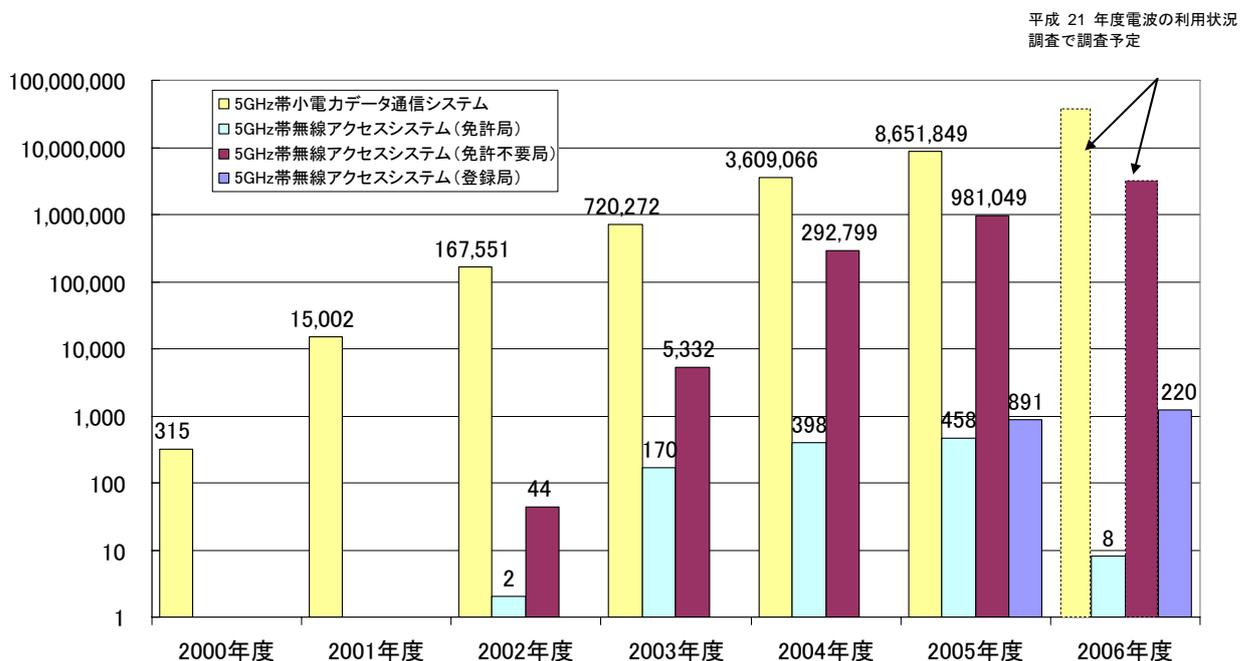
既存の無線 LAN システムの利用状況

1 利用状況

5GHz 帯における既存の無線 LAN システムは、5.2GHz 帯、5.3GHz 帯においては 5GHz 帯小電力データ通信システム、4.9GHz 帯、5.03GHz 帯においては 5GHz 帯無線アクセスシステムが存在する。これら既存システムの国内における利用状況の推移¹については、下表のとおりである。

5GHz 帯無線アクセスシステム（免許局）の年度別の開設無線局数については、導入当初の 2003 年 3 月現在（2 局）に比較し 2006 年 11 月現在（337 局）では約 170 倍の増加、その免許不要局の年度別の出荷台数については、導入当初の 2003 年 3 月現在（44 台）に比較し 2006 年 3 月現在（688,250 台）では約 15700 倍の増加、5GHz 帯小電力データ通信システムの年度別の出荷台数については、導入当初の 2001 年 3 月現在（315 台）の出荷台数に比較し 2006 年 3 月現在（5,042,783 台）では約 16,000 倍の増加となっており、急増している状況である。

図 2-1.1 年度別の開設無線局数及び出荷台数の累積



¹ 平成 15 年度電波の利用状況調査の結果、平成 18 年度電波の利用状況調査（結果取りまとめ中）等による。

2 周波数共用する既存システム

5.2GHz 帯に関しては、主に IEEE802.11a 規格に類するシステムその他、欧州において HiperLAN が規格化されていた経緯から、国内においても HiperLAN に相当する民間標準規格の HiSWANa が策定された。現在ではこの方式をサポートする国内メーカーは希少であるが、TDMA 方式のシステムの存在を否定できない。また、導入当初の 2000 年 3 月から 2008 年 5 月²までは、日本独自の周波数チャンネル配置³による機器が多数出荷されると思われる。当面的には、周波数チャンネル配置が 10MHz ずれたものとの共存が必要となる。

今後の普及が見込まれる 5.3GHz 帯及び 5.6GHz 帯システムに関しては、技術基準（DFS に係るもの）において、CSMA/CA 方式に限定されているところであり、IEEE802.11a に類するシステムとの共存が必要となる。

4.9GHz 帯及び 5.03GHz 帯においては、IEEE802.11a 規格に類するシステムその他、IEEE802.11j に類する狭帯域方式のもの、個別メーカーの独自方式の TDMA 方式のシステムが存在するため、これらシステムとの共存が必要となる。

システム種別	既存の無線 LAN システム	共用のための主な強制規格
4.9GHz 帯システム 5.03GHz 帯システム	IEEE802.11a/j TDMA 方式	チャンネル配置 キャリアセンス
5.2GHz 帯システム	IEEE802.11a HiSWANa [TDMA] IEEE802.11a [J52 配置]	チャンネル配置 キャリアセンス
5.3GHz 帯システム 5.6GHz 帯システム	IEEE802.11a	チャンネル配置 キャリアセンス DFS（CSMA 方式に限定）

² 電波法施行規則の一部を改正する省令（平成 17 年総務省令第 92 号）、無線設備規則の一部を改正する省令（平成 17 年総務省令第 93 号）及び特定無線設備の技術基準適合証明等に関する規則の一部を改正する省令（平成 17 年総務省令第 94 号）に規定するとおり、2008 年（平成 20 年）5 月 31 日までは、新チャンネルと旧チャンネルを併せ持つ機器の技術基準適合証明又は工事設計認証の取得が可能とされている。

³ $5170+20 \times (n-1)$ MHz ($n=1\sim 4$)。2006 年（平成 17 年）5 月に世界標準のチャンネル配置（ $5180+20 \times (n-1)$ MHz ($n=1\sim 4$)) に変更。

グリーンフィールド及び送信ビームフォーミングに関する考察

1 グリーンフィールドモードに関する考察

IEEE802.11n 規格では、より高速性を確保するためのフレームフォーマットである Greenfield Frame Format (802.11a/b/g と互換性のない方式。以下「GFF」という。) をオプション機能として実装することができ、次世代情報家電を中心に IEEE802.11n 規格への対応製品が普及した場合に、GFF を使用するモードが有用であると考えられている。ここで、高速無線 LAN がこのモードを使用する場合の、既存の無線 LAN システムへの影響について、以下に考察する。

既存の無線 LAN システムにおいては、「隠れ端末対策」として、自局の属する通信系以外の他局の存在を確認した場合には、自局のアクセス権を他局に譲渡するための MAC 副層における RTS/CTS (RTS : Request to Send / CTS : Clear To Send) プロトコルが用いられており、同一周波数を用いる IEEE802.11a の 20MHz システム間でも、自分以外の局からの RTS/CTS 信号を受信すると、それぞれの信号に含まれる決められた時間送信を停止する仕組みが設けられているが、GFF の 40MHz システムにおいては、IEEE802.11a/b/g と互換性が無いため、GFF の 40MHz システムで RTS/CTS 信号を発生しても、既存の無線 LAN システムはこれを無視することになり、既存の無線 LAN システムに干渉を与える可能性が懸念されている。

この場合において、GFF の本来の趣旨は、既存の無線 LAN システムの端末が存在せず、既存システムに影響を与えないエリアのみで、伝送効率を向上させようとするものであり、IEEE802.11n が予め既存の無線 LAN システムへの影響がないことを認識した上で GFF を使用し、かつ、送信しようとする占有周波数帯幅の帯域について、電界強度レベルのキャリアセンスを行うのであれば、特段支障はないものと考えられる。

したがって、今後の利用形態の多様性を確保するためにも、GFF の適用そのものに関して、特段の制限を設けるのは望ましくない。また、逆に、既存の無線 LAN システムに対しても、GFF のための特別な条件 (例えば、GFF の動作に支障を来す、あるいは、GFF に比べて効率が低いなどの理由で、既存の無線 LAN システムや IEEE802.11n 規格における他のフレームフォーマットの動作を事実上制約・制限するような条件を設けること) は、望ましくないものと考えられ、必要最小限の規定とすべきである。

ただし、GFF の悪用 (例えば、既存の無線 LAN システムを排除するため永遠にキャリアを占有することを目的とした機能にするなど。) は避けるべきであると考えられる。

なお、オプション項目である既存の 20MHz システムと 40MHz システムの使用を棲み分ける PCO (Phased Coexistence Operation) プロトコルを用いて、40MHz システムを使用する場合、既存の 20MHz システムは RTS/CTS 信号を受け付けることができる。この場合について、キャリアを獲得する局が変わっただけであると理解すべきであり、新たに導入する 40MHz システムが

既存の無線 LAN システムの利用効率を低下させることにはならない。また PCO プロトコルは永遠にキャリアを占有する手段ではないため、キャリアセンスを義務化することにより、物理層において、既存の無線 LAN システムが不公平になるということはないものと考えられる。

2 送信ビームフォーミングに関する考察

送信ビームフォーミングについて、例えば、指向性空中線を使用する場合とオムニアンテナを使用する場合とでは、他局がキャリアセンスにより停波するレベルの電界強度となるエリアの形状がそれぞれ異なるため、置局状況によっては、相互に干渉を与えることが懸念されている。

現行のキャリアセンスレベルに関する技術基準では、以下の基準モデルにより、空中線前方における閾値として 100mV/m と規定されている。

(基準モデル)

空中線利得	0dBi
キャリアセンス時に停波する受信機入力電力	-52dBm
占有周波数帯幅	16MHz (OFDM 波)
給電点における送信電力密度	10mW/MHz

また、e.i.r.p.がこの基準モデルを超える場合（又は帯域幅がこの基準モデルに満たない場合）には、e.i.r.p.（又は帯域幅）に応じて、キャリアセンス時に停波する受信機入力レベルを低減させるようにしている。

$$E = 100 \times \text{SQRT}(1/Gt) \times \text{SQRT}(0.16/(Pt[W] \times 20/n)) \quad [\text{mV/m}]$$

n は、周波数チャネル幅 [MHz]

さらに、e.i.r.p. が 1W を超える場合には、半値幅を制限し与干渉エリアを抑制させるようにしている。

$$\theta_{-3\text{dB}} \leq 360 / A / 4 \quad [\text{度}]$$
$$A = Gt \times Pt[W] / 0.25$$

したがって、相互に送信 e.i.r.p. が同一であれば、その与干渉エリアの面積は同一となる。また、この面積が 1W の e.i.r.p. と等価となる面積以下である限りにおいては、キャリアセンスにより通信可能エリアの公平性を確保しているところである。また、従属する端末の効率的な制御を行うために、送受信で指向特性を動的に切り替えるような、キャリアセンスを行う領域と、電波を発射する領域とが異なる空中線を使用する AP の出現も想定されるが、受信空中線の最大利得方向に対する側方の電界強度センスレベルを規定値の範囲内で任意に設定することが可能であり、例えば、最大送信エリアにおける電界強度に、最大受信可能エリアにおけるキャリアセンスレベルを設定することにより、公平性は確保されるものと考えられる。

また、無線 LAN を運用する電波環境により、個別に設計を調整することで、も干渉の回避は可能であることを考慮すると、機器設計の柔軟性を確保し、

空中線指向特性の制御技術の高度化を促進するメリットもあるため、1W e.i.r.p.未満の場合においては、通信可能なエリア形状が異なるケースに対し、厳格な技術的条件を強いることは望ましくないものと考えられる。

なお、1W e.i.r.p.を超える無線アクセスシステムの場合には、送信 e.i.r.p.の大きさに応じ主輻射の角度幅を制限し、かつ、空中線利得、送信帯域幅に応じたキャリアセンスレベルに低減させることを共用条件としており、通信エリアの公平性は確保されているところであり、4.9GHz 帯を使用する 40MHz システムに対しても、引き続きこれを共用条件とすることが適当である。

固定マイクロ通信システムとの周波数共用条件

1 周波数共用条件

固定マイクロ通信システムとの周波数共用条件は、以下のとおりであること。

(1) 基本的条件

ア 固定マイクロ通信システムとの共用可否（無線アクセス基地局の設置可否）は、無線アクセス基地局から固定マイクロ受信局への干渉だけでなく、当該基地局に従属し得る加入者局から固定マイクロ受信局への干渉についても併せて検討した上で判定する。

イ 固定マイクロ受信局における無線アクセス局 1 局からの干渉許容値は、 -144 (dBm/MHz) とする。

ウ 無線アクセス局から固定マイクロ受信局までの伝搬損失 L_{acs_DMR} は、次式により算出する。なお、建物遮蔽損失は見込まない。

$$L_{acs_DMR} = L_{space} - G_{r_DMR}$$

L_{space} : 固定マイクロ受信局までのスパンロス (dB)
自由空間損失+地形による回折損失)

G_{r_DMR} : 固定マイクロ受信局の受信空中線利得
(無線アクセス局方向) (dBi)

エ 固定マイクロ受信局の受信空中線特性は、標準特性（次式）とする。

$$0^\circ \leq \theta < 4^\circ \quad 47.3 - 1.706 \cdot \theta^2 \quad (\text{dB})$$

$$4^\circ \leq \theta < 40^\circ \quad 44 - 40 \cdot \log \theta \quad (\text{dB})$$

$$40^\circ \leq \theta \quad -20 \quad (\text{dB})$$

(θ : 空中線の放射角度)

オ 無線アクセス加入者局の設置高は、当該加入者局が従属する基地局の設置高（地上からの高さ）と同等であるとする。

カ 無線アクセス加入者局の設置可能エリアは、次式で求めた最大半径 D (m) と、基地局送信空中線の水平面内指向性半値角幅で囲まれたエリアとする。

$$D = (\lambda / 4\pi) \times 10^{L/20} = 4.78 \times 10^{-3} \times 10^{L/20}$$

$$L = EIRP_{sub_acs} - P_{min} + G_{base_acs}$$

$EIRP_{sub_acs}$: 無線アクセス加入者局の 1MHz 当たりの等価
等方輻射電力

$$= 10 \text{ (dBm/MHz)} \quad ((2)\text{①アの場合})$$

	又は
	30 (dBm) $-10\log B_{w_acs}$ ((2)①イの場合)
B_{w_acs}	: 無線アクセスシステムの占有周波数帯幅 (MHz)
G_{base_acs}	: 無線アクセス基地局の受信空中線利得 (dBi) (受信給電系損失を含む)
P_{min}	: 無線アクセスシステムの 1MHz 当たりの最低受信入力

(2) 共用条件

① 固定マイクロ通信システムと同一周波数帯を使用する場合

ア～ウに示す条件を満たすこと。ただし、当該無線アクセスシステムの基地局、及び加入者局の設置可能エリア全体が、同一周波数帯を使用する全ての固定マイクロ受信局に対して見通し外となる場合は、これによらず設置可能とすることができる。

なお、以下において $EIRP_{base_acs}$ 及び $EIRP_{sub_acs}$ は、検討対象の固定マイクロ受信局方向の 1MHz 当たりの等価等方輻射電力とする。

ア 当該基地局に従属する加入者局が小電力局のみである場合

以下の (a) 及び (b) を満たすこと。ただし、これにより設置可能と判定された基地局には、小電力局以外の加入者局を接続してはならない。

(a) 基地局の設置地点において、次式を満たすこと。

$$L_{acs_DMR} \geq EIRP_{base_acs} + 144 \quad (\text{dB}) \quad \text{かつ}$$

$$L_{acs_DMR} \geq 164 \quad (\text{dB})$$

(b) 加入者局設置可能エリアのうち検討対象の固定マイクロ受信局の受信伝搬路上（その延長上を含む。）に最も近接する地点において、次式を満たすこと。

$$L_{acs_DMR} \geq 154 \quad (\text{dB})$$

イ 当該基地局に従属する加入者局が小電力局以外である場合（加入者局の設置位置が特定困難な場合）

以下の (a) 及び (b) を満たすこと。

(a) 基地局の設置地点において、次式を満たすこと。

$$L_{acs_DMR} \geq EIRP_{base_acs} + 144 \quad (\text{dB}) \quad \text{かつ}$$

$$L_{acs_DMR} \geq 178 - 10\log B_{w_acs} \quad (\text{dB})$$

(b) 加入者局設置可能エリアのうち検討対象の固定マイクロ受信局の受信伝搬路上（その延長上を含む。）に最も近接する地点において、次式を満たすこと。

$$L_{acs_DMR} \geq 174 - 10 \log B_{w_acs} \quad (\text{dB})$$

ウ ア及びイ以外の場合（加入者局の設置位置が特定可能（固定）の場合）基地局、加入者局が、それぞれの設置地点において次式を満たすこと。

$$L_{acs_DMR} \geq EIRP_{base_acs} + 144 \quad (\text{dB}) \quad \text{かつ}$$

$$L_{acs_DMR} \geq EIRP_{sub_acs} + 144 \quad (\text{dB})$$

② 固定マイクロ通信システムと隣接する周波数帯を使用する場合

ア又はイに示す条件を満たすこと。

ア 当該基地局及びこれに従属する加入者局のスプリアス電力（4840MHz、4860MHz、4960MHz、4980MHz の±10MHz の帯域内に輻射されるもの）がいずれも 200nW/20MHz 以下の場合

任意の地点に設置可能とする。ただし、スプリアス電力が 200nW/20MHz 以下であって、干渉保護エリア（イに規定する $L_{acs_DMR} \geq 100$ (dB) を満たさないエリア）内に設置された基地局については、加入者局のスプリアス電力を 200nW/20MHz まで低減させるか、200nW/20MHz を超える加入者局を接続してはならない。

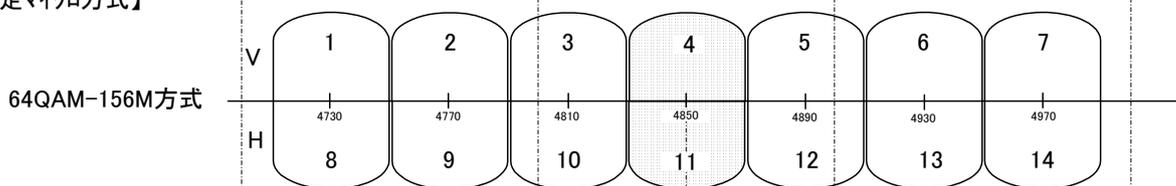
イ ア以外の場合

当該基地局の設置地点、及び加入者局設置可能エリアのうち検討対象の固定マイクロ受信局の受信伝搬路上（その延長上を含む。）に最も近接する地点のいずれにおいても、次式を満たすこと。ただし、当該無線アクセスシステムの基地局、及び加入者局の設置可能エリア全体が、隣接する周波数帯を使用する全ての固定マイクロ受信局に対して見通し外となる場合は、これによらず設置可能とすることができる。

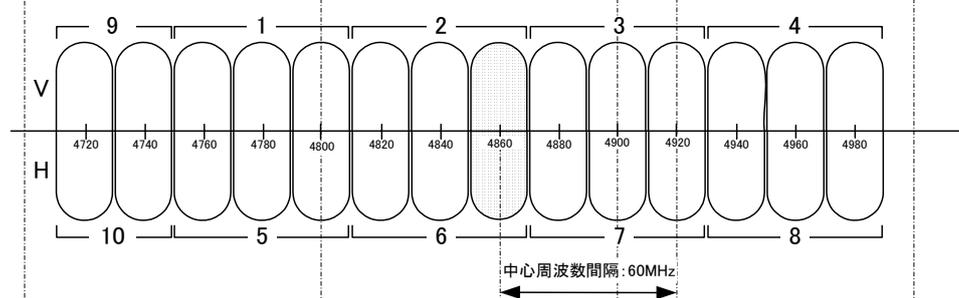
$$L_{acs_DMR} \geq 100 \quad (\text{dB})$$

2 5GHz 帯固定マイクロ通信システムの周波数配置

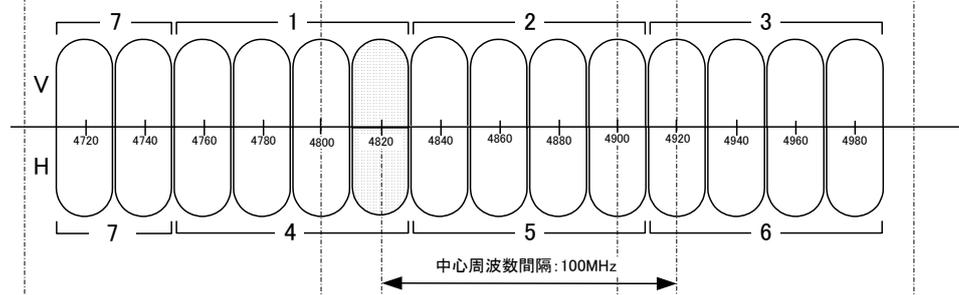
【固定マイクロ方式】



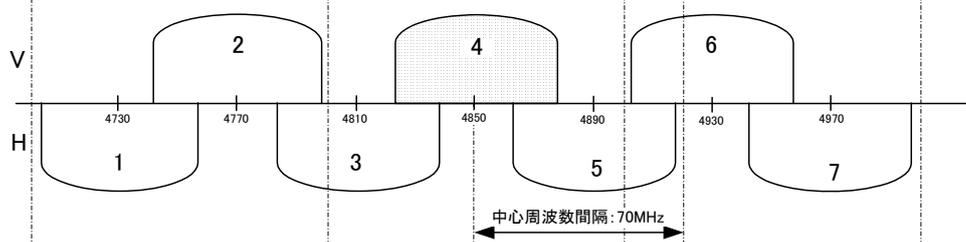
16QAM-52M方式
256QAM-104M方式



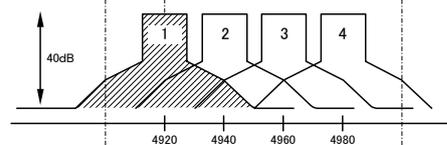
5G-200ME方式



5G-200M方式



【無線アクセスシステム】



4700 4800 4900 5000 周波数 (MHz)

固定マイクロ通信システムとの周波数共用条件の見直し

1 2007 年[平成 19 年]12 月以降の周波数共用条件の検討

(1) 固定マイクロ通信システムの状況

2007 年[平成 19 年]12 月以降においては、4900-5000MHz は高速無線 LAN 専用の帯域となる予定である。この場合において、固定マイクロ通信システムの周波数チャンネル配置（参考資料 2 - 3）からも分かるとおり、表 2-4.1 のとおりの状況となることが想定される。

すなわち、固定マイクロ通信システムが 4900-5000MHz の使用を終了することで、そのシステムの機能的要因により、事実上、その使用する高群チャンネルエッジ周波数は、4900MHz に最近接するものでも 4880MHz となる。

表2-4.1 高群チャンネルエッジ周波数

方式名	4900MHz に最近接する高群チャンネル周波数	高群チャンネルエッジ周波数	置局の規模	備考
5G-HQ-156MD	4850MHz	4870MHz	多い	単一キャリア
5G-H-56M 5G-HS-104M	4820MHz 4840MHz 4860MHz	4870MHz	↑ ↓	3 マルチキャリア
5G-200ME	4760MHz 4780MHz 4800MHz 4820MHz	4830MHz		4 マルチキャリア
5G-200M	4850MHz	4880MHz	少ない	単一キャリア インターリーブ

(2) 高速無線 LAN へ現行共用条件を適用した場合の影響

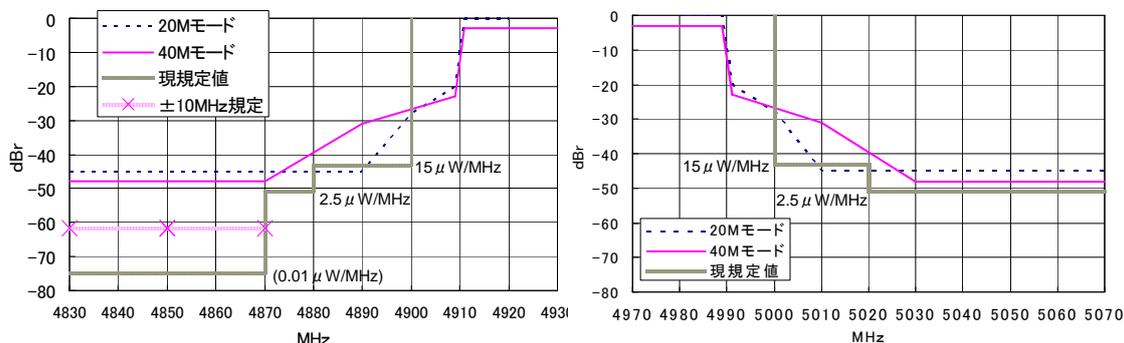
ア 4.9GHz 帯 20MHz (52SC) システムの現状

現行の周波数共用条件（参考資料 2 - 3）に従えば、4.9GHz 帯システムの帯域外領域及びスプリアス領域における等価等方輻射電力での不要発射の強度の許容値は、図 2-4.1 のとおりとなる。

4.9GHz 帯 20MHz (52SC) システムに許容される現行の技術基準における最大 5W e.i.r.p. を輻射する場合、4870MHz 未満の周波数に対し、上記アの共用条件では、-87dBc という厳しい規定となる。

これを実現するため、現状では、かなりの急峻な RF フィルタの実装が必要となっている。又は、空中線電力により 20dBm 程度に制限した小セル構成の FWA/NWA システムとする場合であっても、RF フィルタの実装を要する状況でもある。

図2-4.1 4.9GHz帯システムの帯域外発射の強度の許容値



イ 4.9GHz帯 40MHz (114SC) システムに共用条件を適用した場合の影響
 上記アの共用条件を 40MHz (114SC) システムへ適用する場合、20MHz (52SC) システムに比較し帯域が広がる分さらに厳しくなることが想定される。

実際の IEEE802.11a、IEEE802.11n のスペクトラム測定値を基に、上記アの共用条件を適用する場合において、どの程度の減衰量が必要になるかについて、以下に検討する。

フィルタを装着していない場合の実際のスペクトラム特性 (図 2-4.2) を比較すると、表 2-4.2 のとおり、40MHz (114SC) システムの 4870~4890MHz での漏洩値が 20MHz (52SC) システムに比較し、5~13dB 大きく、それだけ急峻でより大きな減衰量のフィルタが必要となる。

図2-4.2 20MHz (52SC) /40MHz (114SC) システムのスペクトラム特性

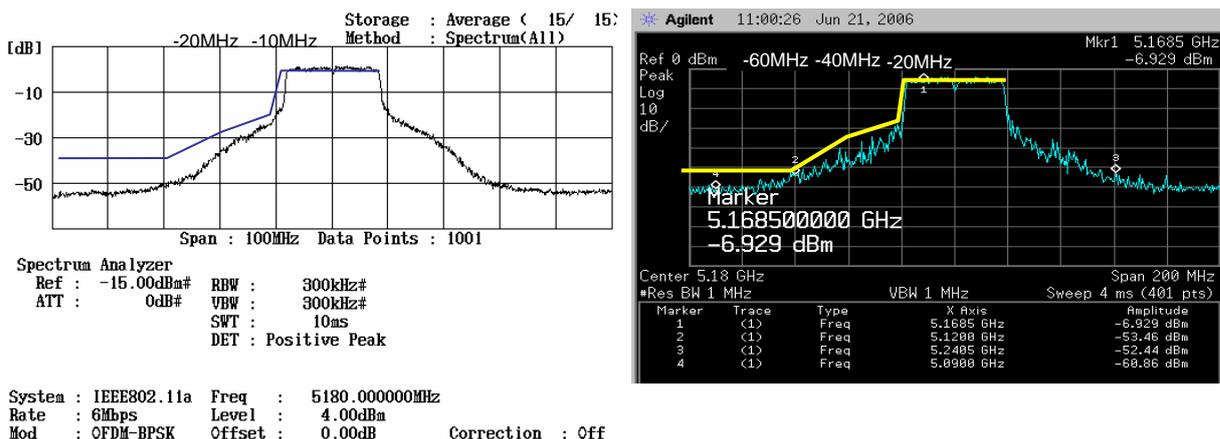


表2-4.2 フィルタ無しでの等価等方漏洩電力値

システム		11a 52SC	11n 114SC	差 dB	現規定 dBm/MHz	所要減衰量 dB		備考
EIRP	dBm	37	37	-		11a 52SC	11n 114SC	
帯域	MHz	16.6	35.6	-				
4870MHz点	dBr	-54	-46	-	-			固定マイクロ チャンネル境界
	dBm/MHz	-29.2	-24.5	4.7	-50	20.8	25.5	
4880MHz点	dBr	-54	-38	-	-			
	dBm/MHz	-29.2	-16.5	12.7	-26	-3.2	9.5	
4890MHz点	dBr	-50	-36	-	-			
	dBm/MHz	-25.2	-14.5	10.7	-18.2	-7.0	3.7	
4900MHz点	dBr	-36	-31	-	-			
	dBm/MHz	-11.2	-9.5	1.7	-18.2	7.0	8.7	

したがって、40MHz（114SC）システムでは、この帯域外の輻射特性を、20MHz（52SC）システムのフィルタ特性に対し、より急峻にする必要があるため、フィルタ段数が増え、挿入損も増加することになり、価格/サイズともインパクトがあり、普及促進に影響を与える可能性がある。

ウ 2007年[平成19年]12月以降の周波数共用条件の提案

A 固定マイクロ通信システムの受信帯域外の帯域

上記(1)に示したとおり、2007年[平成19年]12月以降においては、4880-4900MHzについては、固定マイクロ通信システムの受信帯域外となると考えられる。

なお、5G-200M方式のI/FはPDH対応であり、現状で運用局数が少ないことから、事実上、4870-4900MHzを固定マイクロ通信システムの受信帯域外としてもよいかもしれない。

B 周波数共用条件の緩和

高速無線LANに対し、必要以上に厳しい共用条件を課すことは、一般ユーザをはじめ、事業者や無線機器製造メーカーにとってもメリットはないため、2007年[平成19年]12月以降においては、上記アの周波数共用条件について、詳細な検討を行った上での緩和のための見直しが望まれる。

C 共用条件の見直し案

(A) 4870MHz以上4900MHz未満の周波数に対する規定値案

国際電気通信連合憲章の無線通信規則（RR：Radio Regulation）付録第3号第Ⅱ節の表2において、表2-4.3のとおり規定されるスプリアス領域発射の強度に関するもののうち、一般無線局に対する規定値を踏まえ、現行の周波数共用条件について、以下のように見直すことを提案する。

表2-4.3 スプリアス領域発射の強度の許容値（抜粋）

業務分類又は機器の形式	空中線系の給電線に供給される電力からの減衰量 (dB)
以下に示す業務以外のすべての業務	43+10 log (P)又は 70dBc のいずれか小さい減衰量。
(略)	(略)
小電力無線機器(注)	56+10 log (P)又は 40dBc のいずれか小さい減衰量。
(略)	(略)

注 小電力無線機器とは空中線電力が 100mW 未満のもので、短距離の通信又は制御を目的とするものとする。

【見直し案】

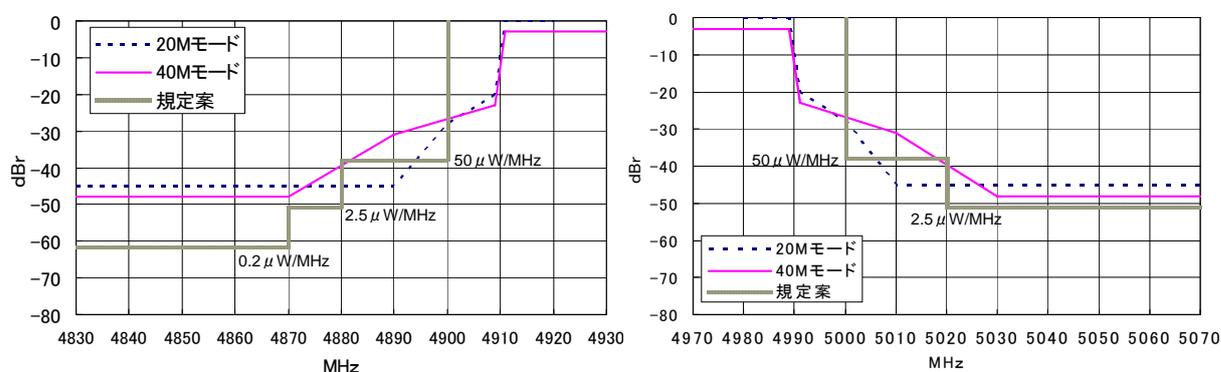
4900MHz 及び 5000MHz の周波数を基準点とし、4900MHz 未満及び 5000MHz を超える周波数ごとの空中線端子における平均電力が、任意の 1MHz の帯域幅において $50 \mu\text{W}$ (FCC part15 に規定するものと同等レベル。) とする。

さらに、現行の共用条件では等価等方輻射電力で規定されていることから、この値を等価等方輻射電力に読み替え、かつ、4880~4900MHz 及び 5000~5020MHz に適用する (図 2-4.3)。

また、4840MHz±10MHz 及び 4860MHz±10MHz の帯域内に輻射される総不要発射電力 (等価等方輻射電力) について、4870MHz 未満の周波数において、 $0.2 \mu\text{W}/\text{MHz}$ 以下とするよう改訂する。

ただし、所要伝搬損失が 100dB に満たない干渉保護エリア (参考資料 2-3) 外のみで使用する場合には、現行どおり、 $2 \mu\text{W}/\text{MHz}$ とする。

図2-4.3 帯域外領域における不要発射の強度の許容値の見直し案



(B) 4870MHz 未満の周波数に対する規定値案

現行の 4900MHz 以下の周波数に対する輻射制限値を、4870MHz 未満の周波数に適用することを提案する。

【見直し案】

- ・ 4870MHz 未満の周波数において、個々の無線アクセス局のスプリアス電力 (EIRP) が、 $2 \mu\text{W}/\text{MHz}$ の場合、所要伝搬損失が 100dB 以上であること。
- ・ 4870MHz 未満の周波数において、個々の無線アクセス局のスプリアス電力 (EIRP) が $200\text{nW}/\text{MHz}$ 以下であれば、設置場所の制限無しに、無線アクセス局が設置可能である。

【参 考】

ITU-R 勧告 M.1652 では、レーダーに対するものではあるが、干渉計算法が示されており、これを応用した確率シミュレーション (アグリゲート干渉計算) による伝搬モデルから固定マイクロ通信システムの許容干渉量を求め、その値と高速無線 LAN の特性を勘案し検討を行った共用モデルを以下に示す。

ただし、固定マイクロ通信システムとの共用条件の検討に際しては、自由空間伝搬モデルによる最悪ケースを考慮した手法を適用することが望ましいため、以下に示す方法は、参考までに紹介するものである。

(a) アグリゲート干渉計算法

干渉量評価がその電力密度 I_d で評価できる場合、

$$I_d = \frac{P_{td}}{L_t} \times \frac{G_t \times G_r}{L_p} \times \frac{1}{L_r} \dots\dots\dots(1)$$

I_d : 被干渉受信入力端干渉電力密度 (mW/MHz)

P_{td} : 干渉送信空中線送信電力密度(mW/MHz)

G_t : 干渉送信空中線の被干渉局方向空中線利得の真値

G_r : 被干渉空中線の干渉局方向空中線利得の真値

L_t : 干渉局給電線損失の真値

L_r : 被干渉局給電線損失の真値

L_p : 伝搬路損失の真値

となり、Aggregate 干渉を検討対象とする場合、 P_{td} , L_t L_r を一定とすると変数は第 2 項の G_t , G_r 及び L_p のみであるから、電力密度換算の総干渉量 I_{ds} は、対象エリア内にある与干渉局総数を N として、

$$I_{ds} = \sum_{i=1}^N I_{di} = \frac{P_{td}}{L_t} \times \frac{1}{L_r} \times \sum_{i=1}^N \frac{G_{ti} \times G_{ri}}{L_{pi}} \dots\dots\dots(2)$$

$\sum_{i=1}^N \frac{G_{ti} \times G_{ri}}{L_{pi}}$: アグリゲート伝搬損

で求まる。よって空中線指向特性を含む伝搬系損の逆数の総和を求めれば、送信電力密度と電力密度換算の総干渉量の関係を求めることができる。

(b) 固定マイクロ局へのアグリゲート干渉検討（パラメータ）

4.9GHz帯WASパラメータ

送信電力 mW/MHz	送信給電線損 dB	空中線利得 dBi	空中線高 m	空中線ティルト角	展開密度 Sys/Km2	その他 空中線指向特性
12.5	0	13	20	-10*	0.25	F1336-1 (K=0) Sector AZ半値角72度、EL半値角21.6度
10	0	0	20	0	4	F1336-1 (K=0) Omni

固定マイクロパラメータ

KTBF dBm/MHz	所要I/N dB	許容干渉レベル dBm/MHz	受信給電線損 dB	空中線端許容値 dBm/MHz	空中線利得 dBi	空中線高 m	空中線仰角	その他 空中線指向特性	局名
-109	-10	-119	5	-114	47.3	70	0	F1245	中野局
-109	-10	-119	5	-114	47.3	159	0	F1245	中野局

伝搬パラメータ

周波数 GHz	伝搬定数		遮蔽損	
	仰角3度以下、距離0.1Km以上	左記以外	仰角3度以下	左記以外
4.9	2.0~3.5一様分布	2	0~20dB一様分布	0dB

WAS とマイクロとの距離が見通し限界である 52.9Km の場合、たとえ障害物がない Smooth Earth としても 3.2Km~39Km の間自由空間ではない。

- モンテカルロシミュレーション（ITU-R 勧告 M.1652 に準拠）

WAS と固定マイクロとの距離が 9Km で 1St Fresnel Radius 下端が 20m の建物にひっかかるパスとなる。M.1652 の Urban 設定にあるとおり、建物高は 30m とし、それら建物が道路等で隙間を作っていることを想定する。局より 300m の点で 30m 建物の上を 6m のクリアランスを確保した Path の仰角は 3 度となるので、これ以上の仰角に対し自由空間とし、仰角 3 度以下に対しては建物の隙間から十分覗ける（クリアランスが確保できる）ことから、伝搬定数を 2.0~3.5 の一様分布を適用する。

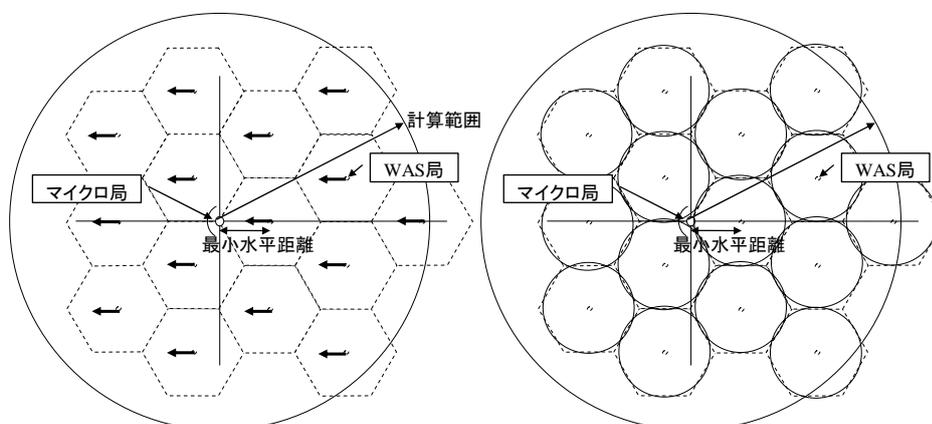
(c) 干渉シミュレーション（局配置）

1) WAS 13dBi 空中線

マイクロ局空中線方向直下にある WAS の空中線水平指向をマイクロ局方向に設定。すべての WAS の空中線方向を同一とした。

2) WAS 0dBi 空中線

オムニ 0dBi 空中線とした。



モデル	最小水平距離 Km	計算範囲 Km半径	アクティブ WAS総数
WAS13dBi→FSアンテナ高70m	1.24	52.9	2,202
WAS0dBi→FSアンテナ高70m	0.31	52.9	35,190
WAS13dBi→159m 中野局	1.24	70.4	3,906
WAS0dBi→159m 中野局	0.31	70.4	62,265

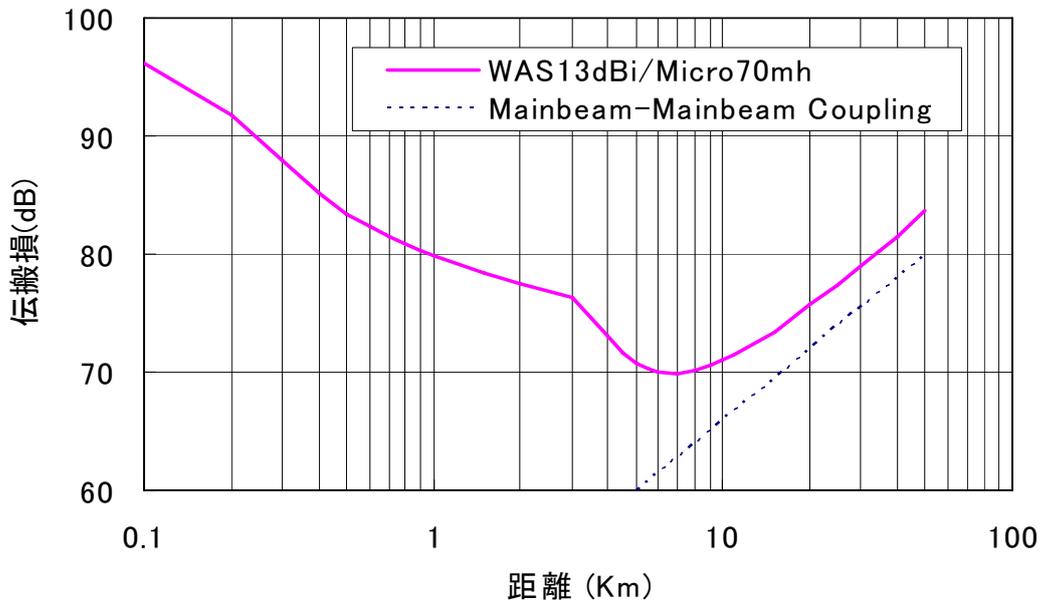
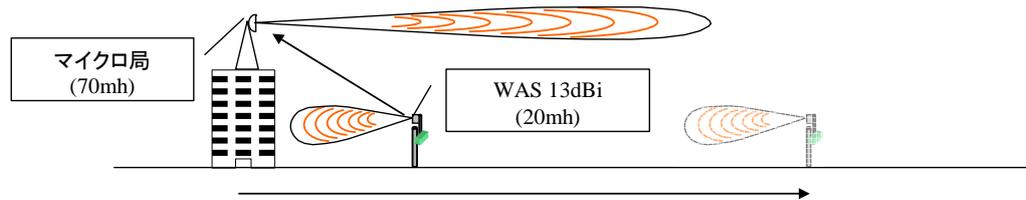
(d) 自由空間での空中線指向特性を含む伝搬損

自由空間損での空中線指向特性を含む最小伝搬損は距離7Kmで70dBである。

等価等方輻射電力の規定値を $0.2 \mu\text{W}/\text{MHz}$ とする場合、マイクロ局での干渉レベルは、

$$-37\text{dBm}/\text{MHz} - 13\text{dBi} - 70\text{dB} - 5\text{dB} = -125\text{dBm}/\text{MHz}$$

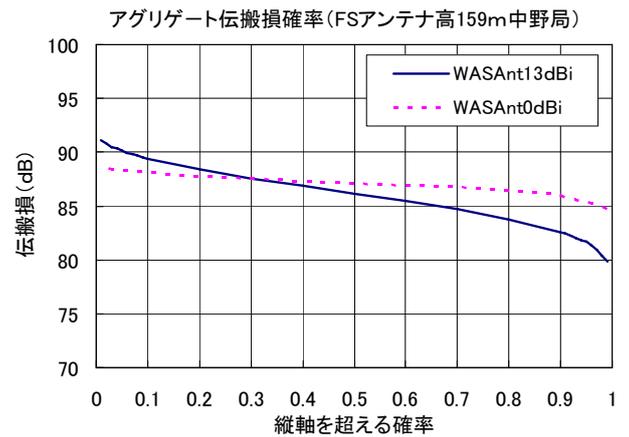
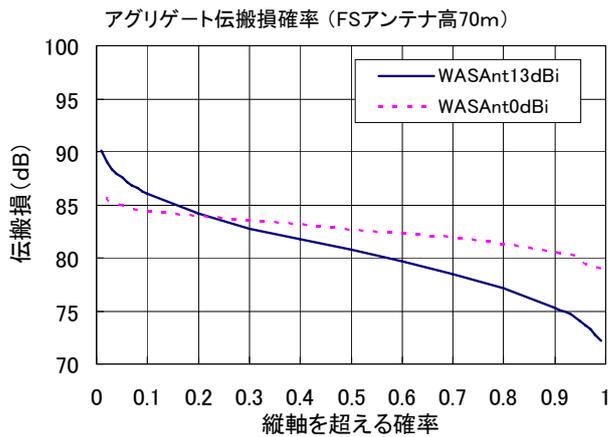
となる。なお、ここでいう空中線指向特性を含む伝搬損には、空中線利得、指向特性、自由空間損を含んでいる。



(e) アグリゲート干渉計算結果

上記計算結果の内、伝搬損が低い方を用いる。また、累積確率90%以上の値を用いた。

計算値 $0.4 \mu\text{W}/\text{MHz}$ については、 -71dBc 相当であり、他の OFDM システムなどでも、 -70dBc が一般に規格として考えられつつあることから、共用モデルとすることは妥当と考えられる。一方、他の帯域（レーダー帯域）において、 $0.2 \mu\text{W}/\text{MHz}$ が規定としてあり、それとの整合性を取る必要もあると考えられる。



干渉モデル	許容干渉レベル dBm/MHz	受信給電線損 dB	伝搬損 dB	許容輻射レベル (空中線端子) dBm/MHz	等価等方 輻射換算 $\mu\text{W}/\text{MHz}$	規定案 $\mu\text{W}/\text{MHz}$
WAS13dBi→70m	-119	5	75.3	-38.7	2.692	-
WAS0dBi→70m	-119	5	80.5	-33.5	0.447	0.2

移動体衛星システムとの周波数共用

1 MSS の概要

1.1 ICO (Intermediate circular orbit) システムの概要

ICO システムは、主にユーザ部分、宇宙部分、地上部分より構成される。ユーザ部分については、携帯電話端末だけでなく車両、船舶、航空機への搭載及び半固定端末も計画している。宇宙部分については、衛星群及び TTC 機能（追跡・管制制御）で構成され、衛星群は高度 10,390km の直交する 2 軌道に運用衛星各 5 機と予備衛星各 1 機の計 12 機から成る。地上部分については、地球局設備、移動用交換設備、データベースからなる衛星接続局（SAN : Satellite Access Node）、公衆電話網（PSTN）あるいは公衆陸上移動通信網（PLMN）などの既存網と接続するネットワークで構成される。

携帯電話端末からの信号は衛星を経由し、世界中に最適配置された 12 箇所の衛星接続局で受信され既存網を経由して地上系端末に接続される。一方、地上系端末から発信された信号は、既存網を経由し、携帯電話端末の位置情報によりこれらをカバーする適切な衛星接続局から電波が発射され、衛星を中継して携帯電話端末ユーザに受信される。

携帯電話端末ユーザは、いつでも世界中どこにいても、通信が可能となる。また、衛星は地球上の殆どの場所から 2 個以上の衛星が見えるように配置されている。

(1) 地球局

(a) 送信機

* 定格出力	: 43.78dBW EIRP (Tch)
* 周波数	: 5,150~5,250MHz (100MHz)
* 変調方式	: TDMA 方式/ $\pi/4$ QPSK 6ch/キャリア、伝送速度 36kbps、 周波数間隔 25kHz
* 音声符号化速度	: 4.8kbps

(b) 受信機

* 周波数	: 6,975~7,075MHz (100MHz)
* システム等価熱雑音	: 147.9K
* G/T 比	: 31.0dB/K

(c) 空中線

* アンテナ形式	: カセグレン型パラボラアンテナ 7.6φ
* 偏波面	: 左旋円偏波/右旋円偏波

(d) 地球局配置 : オーストラリア、ブラジル、リ、インド、インドネシア、ドイツ、メキシコ、南アフリカ、韓国、UAE(アラブ首長国連邦)、アメリカ、中国

(2) 衛星

(a) フィーダリンク (アップリンク)

* 周波数 : 5,150~5,250MHz (100MHz)
* 自由空間損失 : 188dB
* システム等価雑音温度 : 400K
* 受信アンテナ利得 : 10dB
* フィーダ損失 : 0dB
* 受信電力 : -140dBW

(b) サービスリンク (ダウンリンク)

* 周波数 : 2,170~2,200MHz (30MHz)
* 自由空間損失 : 179dB

(3) 衛星軌道

* 軌道 : 円軌道
* 軌道長半径 : 10,390km
軌道周期 : 6 時間
軌道傾斜角 : 45°
昇公点赤経 : 180° (2 軌道面が直交している)
軌道傾斜角 : 45 度
* 衛星配置 : 直交 2 軌道、各軌道面に運用衛星 5 機、
予備衛星 1 機
* 地上からの可視時間 : 約 2 時間/衛星

(4) 移動機

(a) サービスリンク(ダウンリンク)

* 周波数 : 2,170~2,200MHz(30MHz)
* 自由空間損失 : 179dB
* 受信電力 : -148dBW
* 等価雑音温度 : 288K

(5) フィーダリンクの周波数配置

(a) アップリンク

使用する周波数帯域は、5,150～5,250MHz の 100MHz で、各通信チャネルは以下の通信チャネル用帯域から 200kHz の通信帯域と 20kHz のガードバンドとの合計 220kHz ごとに割り当てられる。

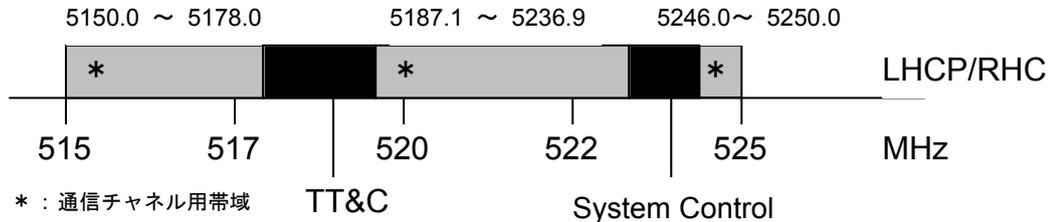


図 2-5.1 ICO のフィーダリンクアップリンク周波数配置計画

(b) ダウンリンクの周波数配置

使用する周波数帯域は、6,975～7,075MHz の 100MHz で、各通信チャネルは以下の通信チャネル用帯域から 200kHz の通信帯域と 20kHz のガードバンドとの合計 220kHz ごとに割り当てられる。

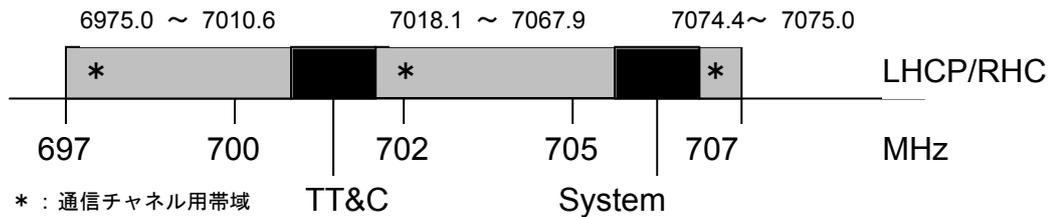


図 2-5.2 ICO のフィーダリンクダウンリンク周波数配置計画

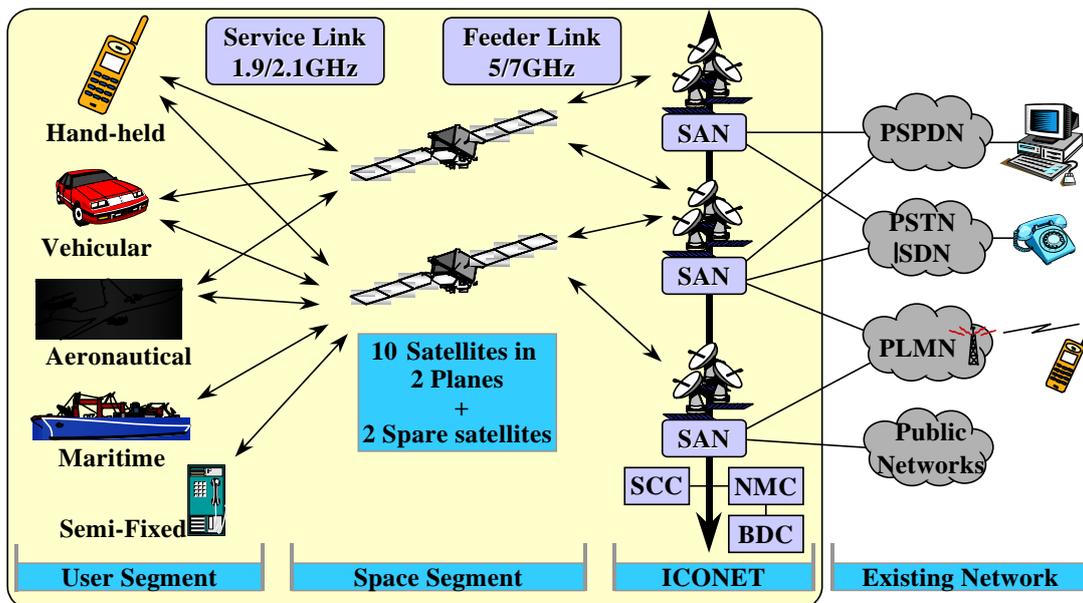


図 2-5.3 ICO のシステム構成

1.2 GS (Globalstar) システムの概要

グローバルスター (Globalstar) 衛星システムは、宇宙部分、端末部分、地上設備部分及び公衆ネットワーク部分により構成され、48機の低軌道衛星を使用し全世界を連続的にカバーして、電話、音声及びメッセージ等のサービスを提供する移動体衛星通信システムである。これによって、加入者は視界に入っている衛星がゲートウェイ局の視界に入っているときにシステムにアクセスできる。このため、サービスエリアは各ゲートウェイから約 1,600km 内の範囲に限られる。

以下にフィーダリングのゲートウェイ局 (地球局) の送信側及び衛星の受信側の主要諸元を示し、また、衛星軌道の諸元についても示す。

(1) 地上局

* 送信定格出力	: 68dBW EIRP
* 送信周波数帯	: 5,091~5,250MHz (159MHz) (周波数配置は図 1 参照)
* 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 (受信)
偏波面	: 左旋円偏波 / 右旋円偏波
利得	: 48dBi (送信) / 51dBi (受信)

(2) 衛星

(a) フィーダリンク (アップリンク)

* 周波数	: 5,091-5,250MHz (159MHz)
* 自由空間損失	: 174.1dB (average.)
* システム等価雑音温度	: 550K
* 受信アンテナ利得	: 5.2dB
* フィーダ損失	: 2.9dB
* 受信電力	: -141.2dBW

(3) 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

(4) 移動機

(a) 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

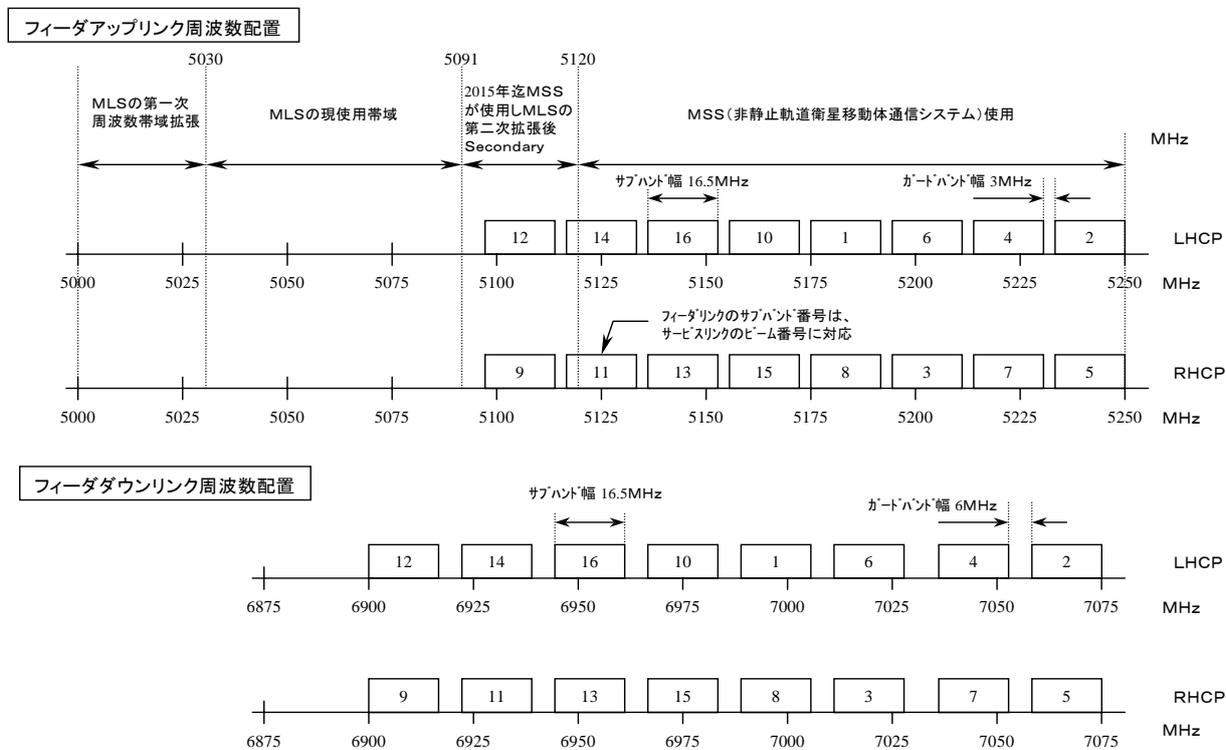


図 2-5.4 グローバルスター衛星システムのフィーダリンク周波数配置

2 平均建物遮蔽損失

5150-5250MHz における無線 LAN の許容最大台数の算出法については、ITU-R 勧告 M.1454¹ TABLE 2 で規定されている。この算出に使用する自由空間伝搬損失を超える損失については、平均建物遮蔽効果として、低い平均値で 7dB、高い平均値で 17dB が提案されている。

ここで用いる平均値については、1つの建物の平均建物遮蔽損失を全方位角に対して平均化したものであるが、平均化するモデルが明確でないため、平成 11 年度電気通信技術審議会答申²によれば、日本におけるパラメータ値として、1つの建物の室内からの全方位角において最小の値となる水平方向の平均建物遮蔽損失が 12dB 以上であることを示した NTT/Bristol³の実測結果を基に、最低値の 12dB（全方位角の平均の水平方向の遮蔽損失より小さい値）を採用している。

また、この値に周囲の建物による遮蔽効果を含めた値が無線 LAN 台数を算出するための平均建物遮蔽損失となるため、周囲の建物による遮蔽損失としては CEPT の計算法で求められた 1dB 以上にに基づき 1dB を採用し、平均建物遮蔽損失として 13dB とした。

3 無線LANの許容最大台数

日本としてのパラメータ値を用いて、4 チャンネル、1 footprint 当たりの許容最大台数を求めると表 2-5.1 のとおりである。

表 2-5.1 許容最大台数（4 チャンネル/100MHz、1 footprint 当たり）

パラメータ		規定値
許容干渉雑音相対値		3%
屋内利用における平均建物遮蔽損失		13dB
Active Ratio		1%
EIRP		200mW
チャンネル帯域幅		20MHz
Out Door 利用確率		1%
許容稼働数	対 ICO	8,828 万台
	対 Globalstar	2,912 万台

¹ e.i.r.p. DENSITY LIMIT AND OPERATIONAL RESTRICTIONS FOR RLANS OR OTHER WIRELESS ACCESS TRANSMITTERS IN ORDER TO ENSURE THE PROTECTION OF FEEDER LINKS OF NON-GEOSTATIONARY SYSTEMS IN THE MOBILE SATELLITE SERVICE IN THE FREQUENCY BAND 5 150-5 250 MHz

² 平成 11 年度電気通信技術審議会答申（諮問第 99 号「5GHz 帯の周波数を利用する広帯域移動アクセスシステムの技術的条件」平成 11 年（1999 年）9 月 27 日）

³ Japan, "Building entry loss", ITU-R Document 3K/24, February 1999.

移動体の機体による減衰特性の事例

1 つくばエクスプレス車両の遮蔽損失

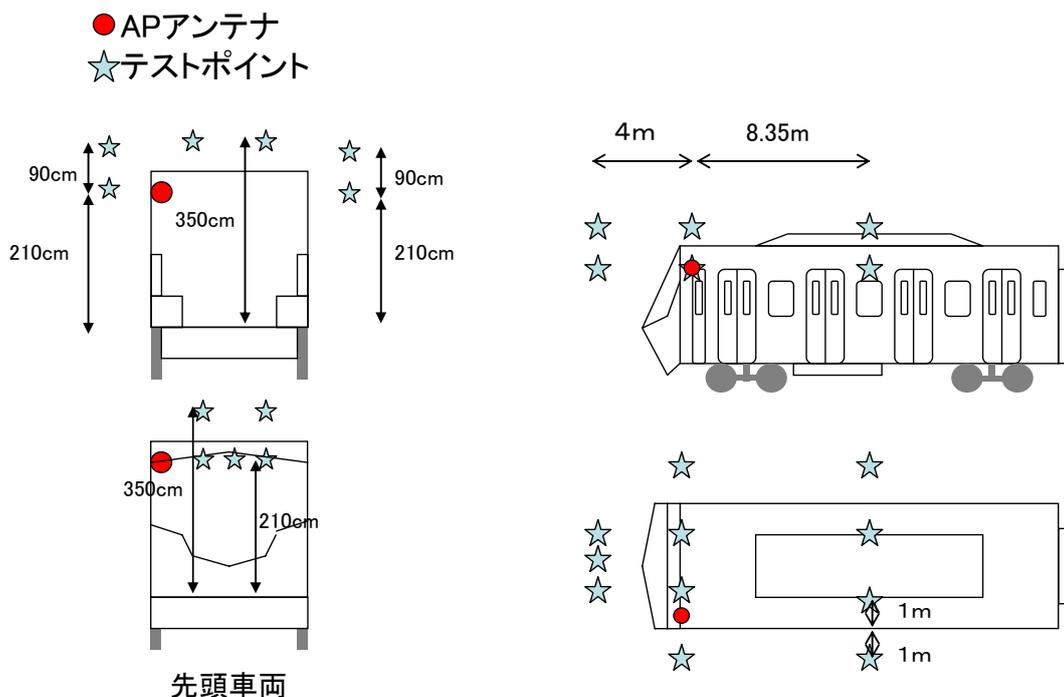
(1) 測定条件

- ・つくばエクスプレス守谷車両基地内に停車している電車を使用
- ・測定時、電車内には測定データを取得するために必要最低限の人間のみ配置
- ・車両への入退ドアは閉じた状態、車両内のドアは開いた状態で測定

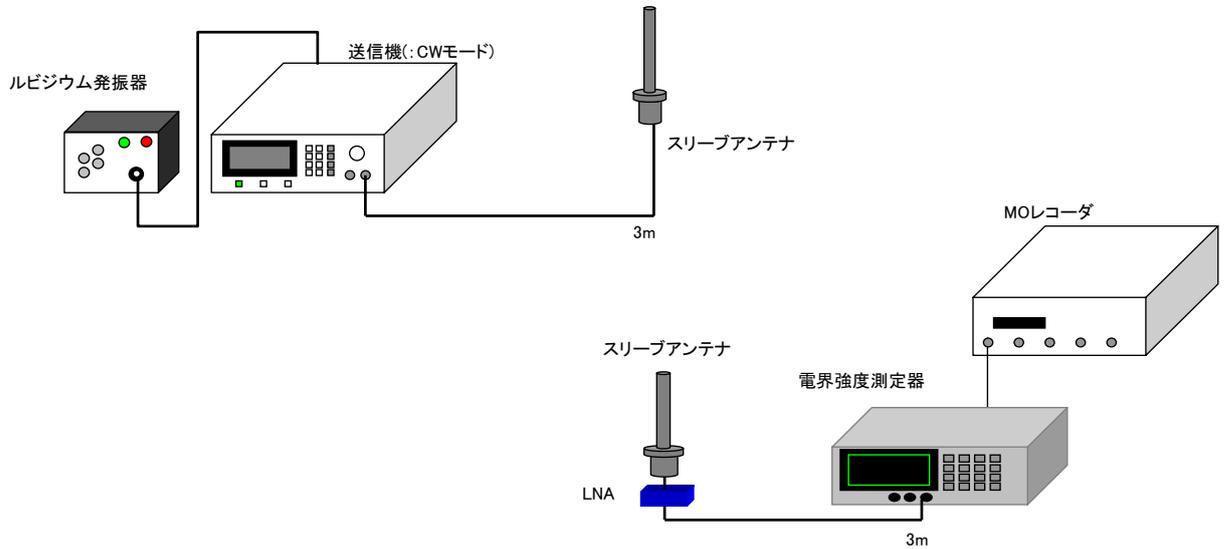
表 2-6.1 測定に使用した機器

機器	メーカー	モデル	その他
電界強度測定器	アンリツ	ML524B	
アンテナ	日本電業工作株式会社	(無指向性)	送信アンテナ利得(2dBi) 受信アンテナ利得(2dBi)
送信機	アンリツ	ME8702A	CW モードを使用
同軸ケーブル	Heuber & schuner	104P	
低雑音増幅器	Miteq	AMF-3F-04000800-07-10P-12V	利得：約 28dB
ルビジウム発振器	NEC	-	

(2) 測定ポイント



(3) 測定系統



《測定系外観》



《送信系》



《受信系》



(4) 評価方法

$$\begin{aligned} \text{漏洩損失[dB]} &= \text{自由空間損失(計算値)[dB]} \\ &\quad - \text{受信レベル(実測値)[dB]} \\ &\quad - \text{送信アンテナ利得[dB]} \\ &\quad - \text{受信アンテナ利得[dB]} \end{aligned}$$

自由空間損失はフリスの公式により算出

$$Loss[dB] = 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

λ : 波長[m]

d : 送受信アンテナ間距離[m]

周波数: 5.2GHz

(5) 測定結果(漏洩損失 [dB])

Tx~Rx間距離	Tx : 高さ	ドア側 (dB平均値)	奥側 (dB平均値)	ドア側 (dB中央値)	奥側 (dB中央値)
0m	3.5m	36.59	31.84	36.65	31.16
	3m	18.71	18.40	18.42	18.34
	2.1m	17.07	21.18	17.01	21.28
8.35m	3.5m	17.37	11.97	16.37	11.31
	3m	12.84	16.47	14.05	16.26
	2.1m	2.93	4.94	2.79	4.71
-4m	3.5m	18.55	18.74	17.33	17.62
	2.1m	16.31	19.36	15.97	18.43
	2.1m	22.57	15.51	22.26	15.23

(6) 測定結果まとめ

	平均値	中央値
減衰量	17.85 dB	17.51 dB

2 航空機体の遮蔽損失

(1) 測定条件

- 標準 HIRF 試験方式を使用

(2) 測定結果

ア B747-400型機(アルミニウム材)を用いた試験

減衰量としては、ITU-R 勧告 SA.1632 (5250~5350MHz における EESS と WAS の共用基準) で用いられた壁の減衰量 (17dB) を超えていることが確認された。

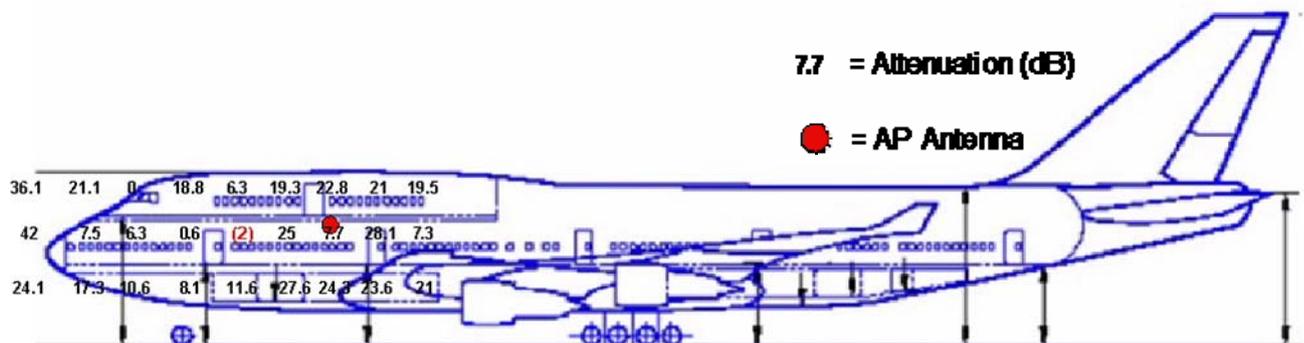


表 1-6.2 B747-400 型機体の平均減衰量

	平均	中央値
All 27 data points	17.3 dB	19.3 dB
At Window level	13.6 dB	7.5 dB
Above window level	18.3 dB	19.5 dB
Below window level	18.7 dB	21.0 dB

イ B787型機 (カーボン繊維複合材による試験) を用いた試験

- ガウス分布型帯域白色周波数雑音によって、試験法に乱れが生じていることが判明
- カーボン繊維複合材の減衰効果は、アルミニウム材の減衰効果に類似した特徴を示し、2-6 GHz では 60dB までの遮蔽効果が見られる。

ウ B787 型機の窓・ドアにおける遮蔽効果

- B777 型機の同様の客室扉での試験の結果、380 MHz から 10.6 GHz では、最小で 30dB の遮蔽効果が見られた。
- B787 で採用予定の特別仕様の窓 (導電コーティング付き窓) は、380 MHz から 10.6 GHz では、無線周波エネルギーを 25dB- 50dB の遮蔽効果で反射する



図 2-6.1 試験イメージ

(3) 測定結果まとめ

- アルミニウム材の機体には、17dB の減衰効果がある。
- カーボン繊維複合材には、60dB まで、アルミニウム材に匹敵する無線周波エネルギーの遮蔽効果がある。
- 導電コーティング付き窓には、25dB から 50dB の無線周波エネルギーの遮蔽効果がある。
- 客室扉には最小で 30dB の無線周波エネルギーの遮蔽効果がある。
- B787 型機には最小で 25dB の無線周波エネルギーの遮蔽効果がある。

(4) 信号強度対距離の算出

ア 算出の前提条件

- ・ 100 mW 802.11a 無線送信機を使用
- ・ 機体による減衰効果を、17 dB と 25 dB とで比較
- ・ 機体外から地上への伝搬は自由空間損失を想定 (建築・構造物があれば信号強度はさらに減衰される)

イ 算出結果

[図 1](#) [図 1-4-6.2](#) のとおりである。

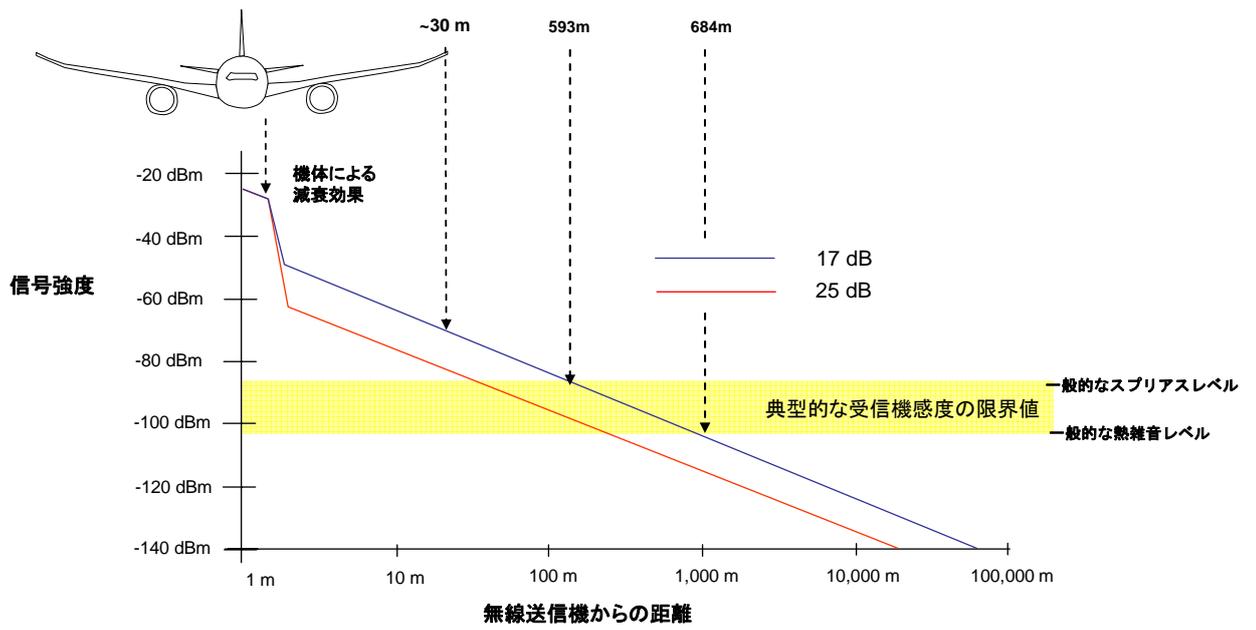


図 1-6.2 信号強度対距離の関係

MLS の概要

1 MLS の概要

MLS（マイクロ波着陸システム: Microwave Landing System）は、ILS（計器着陸装置: Instrument Landing System）に代わって導入が予定される新しい進入着陸システムである。進入着陸用に三次元の高精度の位置情報と、地上装置の性能や設置状況などの基本データ及び気象データなどの補助データを伝送する。これは、地上施設からの機上へ信号を送信し、機上で信号処理を行う片方向通信である。MLS のデータ通信の概要は、ICAO(International Civil Aviation Organisation)の規格¹等²に依ると、表 2-7.1 のとおりである。

表 2-7.1 MLS のデータ通信の概要

地上装置 (送信側)	送信電力 アンテナ利得 水平 垂直 無線周波数 変調方式 変調速度	25W 20dB スキャン幅: ±40° ビーム幅: 2° スキャン幅: 0.9~7.5° ビーム幅: 2° 5031.0~5090.7MHz (300kHz 間隔 200CH) DBPSK 15.625kbps
機上装置 (受信側)	受信感度 Required S/N Noise Power NF Cable Loss Margin アンテナ利得	-95dBm (ICAO基準) 5dB (72% preamble decode rate) -122dBm 11dB 5dB 6dB 0dB

2 考察

平成 11 年度電気通信技術審議会答申³によれば、MLS システムを有する航空機の受信機で干渉限界電力 (J_{limit}) は、最小受信電界 (S_{min}) の 25dB 低いところと仮定し、また、給電損失 (5dB)、アンテナ利得 (0dB) を考慮して、アンテナ直前における干渉限界電力は、次のとおりとされている。

$$J_{limit} = S_{min} - 25 + L_f - G_r = -95.0 - 25.0 + 5.0 - 0 = -115.0 \text{ dBm/150kHz}$$

ここで、無線周波数は、5031.0 ~ 5090.7MHz (300kHz 間隔 200CH)

また、伝搬損失として、 $L=106\text{dB}$ (自由空間損失、距離 1km)を仮定し、MLS の許容干渉レベルから求められる高速無線 LAN の許容送信電力 T は、次のとおりであるとされている。

$$T = -115 + 106 = -9 \text{ (dBm / 150kHz)}$$

5.2GHz 帯システムの 1MHz あたりのスプリアス電力のすべてが MLS の受信帯域内に落ち込む最悪ケースを考慮しても、17dB のマージンがあり、現行の許容値である $2.5 \mu\text{W/MHz}$ (-26dBm/MHz) を変更しない限りは、特段の影響はないものと考えられる。

¹ ICAO Annex 10 Aeronautical Telecommunications

² 岡田寛、“航空電子システム”、日刊工業新聞社

³ 平成 11 年度電気通信技術審議会答申 (諮問第 99 号「5GHz 帯の周波数を利用する広帯域移動アクセスシステムの技術的条件」平成 11 年 (1999 年) 9 月 27 日)

気象レーダーの有効性

我が国は、毎年梅雨や台風時期の豪雨、冬季の豪雪、それらによる洪水を始めとする自然災害により大きな被害を受けている。また、近年の著しい都市化、工業化に伴い、渇水期の水不足にも毎年のように悩まされるようになってきている。さらに、発達した陸上・海上・航空交通網及び電力送電網は、安全かつ効率的な運航や安定的な電力供給にあたって、豪雨や突風、雷などの気象現象の影響を受けやすくなっている。気象レーダーは、これらの問題に対し、雨や雪、雷雲等の空間的分布をリアルタイムに収集し、対策等をとるための手段を提供することによって、国民の生命財産を守り安心・安全な生活の確保に貢献している。

1 レーダー雨（雪）量計

我が国では、洪水や渇水などの対策として、河川の改修やダムの有効活用等を実施することで、洪水による災害を予防すると共に、渇水時にも水の需要に応えられるよう努力を続けている。また、安全で効率的な交通に影響を及ぼす気象現象を迅速かつ的確に把握して、気象の変化、道路状況の変化に即応した管理体制を整えると共に必要な措置を講じるなど、道路利用者の安全の確保を図る必要がある、このためレーダー雨（雪）量計（国土交通省）が利用されている。

レーダー雨（雪）量計は、雨域の(a)発生、(b)消長、(c)分布、(d)大小、(e)強弱、(f)移動方向、(g)速さなどの現象を、(イ)即時、(ロ)面的、(ハ)定量的、(ニ)定性的、に観測すること及び蓄積データの履歴再生により、(ホ)短期予測をすることができる。

以上の(a)～(g)の現象を(イ)～(ホ)のように処理することにより、各分野に応用することができる。

河川、ダム、道路の管理に即時性の情報と短期予測ができる広域的な情報のほか、二次加工処理用データを用いて各所場に適した加工処理を行うことにより、下記のように利用されている。

- (1) 管理範囲内の詳細な降雨分布
- (2) 管理河川流域の雨量等
- (3) 管理路線道路の雨量等
- (4) 洪水に対する即応的な管理体制や防災体制
- (5) 降雨以前での洪水予警報、通行規制
- (6) 集中豪雨など緊急時に適切な早期体制

更に、観測した降雨（雪）状況については、防災情報としてインターネットやテレビ放送等により国民や防災機関に広く提供されている。

2 一般気象レーダー

一般気象レーダー（気象庁）は、全国に 20 基設置され、1 km 四方の分解能で 10 分間隔の細かさで全国的な降水量分布を観測している。1km~15km に相当する高度の降水の分布や、強い降水や発雷の指標ともなる降水の高さ（エコー頂）などのデータを取得している。また、一般気象レーダーによる面的な雨量分布の情報は、全国約 1300 地点のアメダス（AMeDAS、Automated Meteorological Data Acquisition System）から得られる実測降水量と合わせて、2.5km 四方の区域毎に解析・推定することにより、精度・空間分解能の高いレーダーメダス解析雨量が作成される。さらに、レーダーのデータを基にして降水短時間予測が行われている。このように、一般気象レーダーが提供するデータは、局地的な豪雨や豪雪の監視、注意報・警報、天気予報などの重要な気象情報提供などに利用されている。

3 空港気象レーダー

国内の 9 つの主要空港には、空港周辺の降水分布と大気の流れの観測などを行なうための空港気象レーダーが設置されており、飛行場予報・警報、低層域で降水現象に関連して発生する風の急変（低層ウインドシヤー）現象などの気象情報を提供している。特に、現在、8 空港（平成 18 年 11 月）に整備されている空港気象ドップラーレーダーは、ドップラー機能を有しており、離着陸時の航空機に対して危険な現象である低層ウインドシヤーのうち、降水に伴って発生する発散性気流のマクロバースト、収束線のガストフロントを自動的に検出できる。空港気象レーダーの提供するこれらのデータは、航空機の安全かつ効率的な運航に大きく貢献している。

4 雷レーダー

雷レーダーは雷雲の位置、強度等を観測するために、国内の電力会社の一部に計 7 基設置されている。電力会社は得た情報を元に雷発生を予測し、送電線への落雷等の影響を最小限に抑えるべく発電所、送電系統の運用を工夫しており、雷レーダーの提供する各種データは電力供給の安定化に必要不可欠である。



図2-8.1 気象庁レーダー配置図

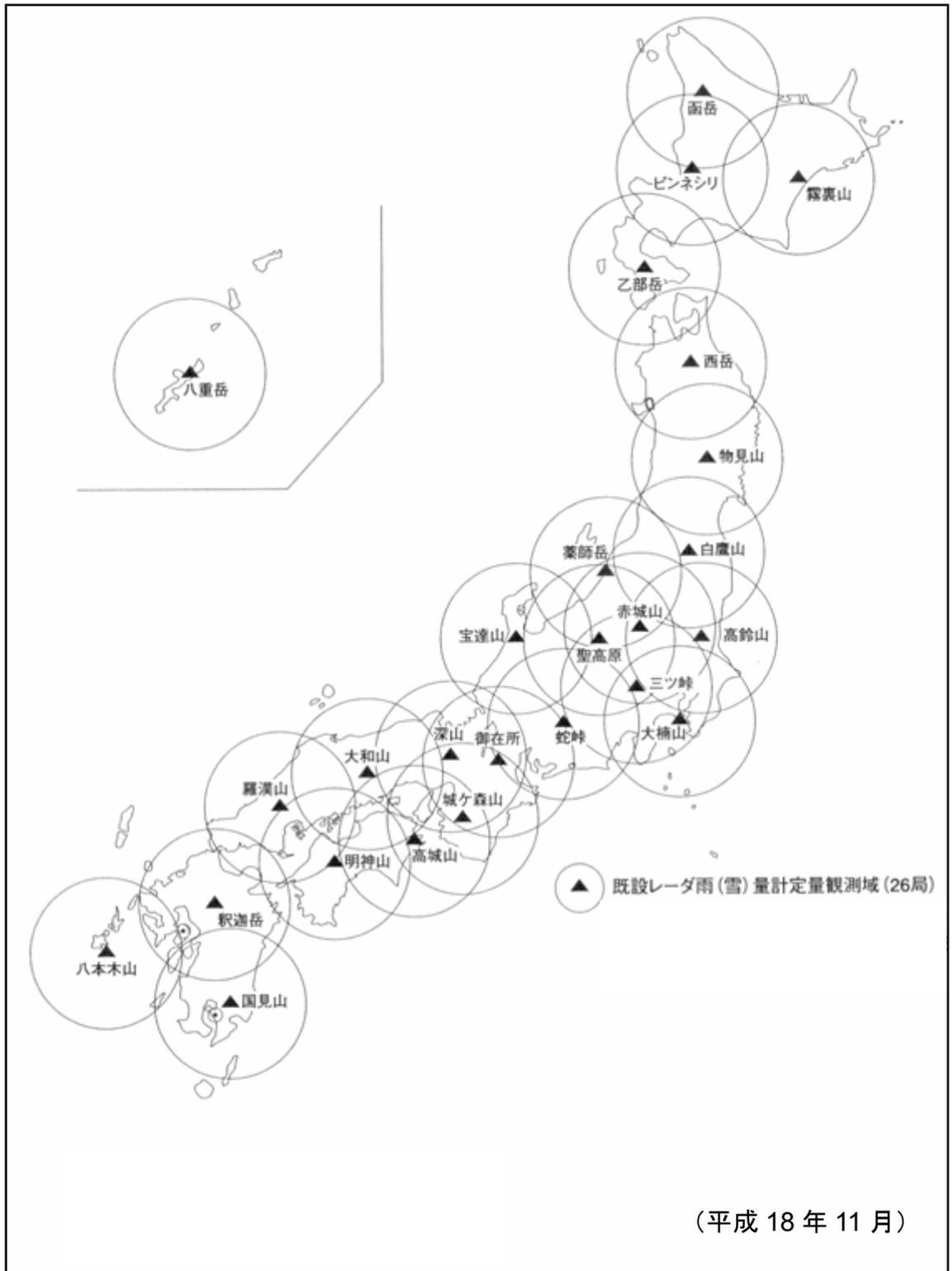


図2-8.2 国土交通省レーダー雨(雪)量計設置状況図

気象レーダーとの共用条件

(平成 16 年度情報通信審議会答申¹抜粋)

1 気象レーダーの主要諸元例と設置状況

気象レーダーは、レーダーサイトから半径数百 km の降雨状況等を把握するために運用されているものであり、極めて大きな送信電力と高い受信感度を有している。しかし、気象レーダーは極めて短時間内に限って大電力を送信するパルスレーダーであり、指向性の極めて強い送受信アンテナを利用して探索電波の送信方向を比較的ゆっくりとした速度で回転させるために、実際に一定方向に対して電波を送信し、あるいはその方向からの電波を受信する時間は限定されている。従って、これらの特性を利用することで無線アクセスシステムが共用できるよう検討を行う必要がある。

(1) 気象レーダーの主要諸元の例

5250MHz-5350MHz の周波数を主として利用する気象レーダーは、降雨（雪）量の観測を主目的としたタイプやドップラー機能を有するタイプなどいくつかのタイプのものがあり、設置場所も山岳地域から都市部、空港まで幅広く分布している。また、無線アクセスシステムとの共用条件に関連するレーダーのスキャンシーケンスにも、高仰角から順次仰角を下げるタイプと、低仰角から仰角を上げていくタイプがあり、これらのタイプに応じた共用検討を実施する必要がある。

気象レーダーの性能は、設置場所や設置目的により仕様諸元が若干異なるが、一般的な雨（雪）量計気象レーダーならびに空港気象ドップラーレーダー等の主要性能諸元を参考値として表 2-9.1 に、スキャンシーケンスの例を表 2-9.2 に示す。

¹ 平成 16 年度情報通信審議会答申（諮問第 2014 号「5GHz 帯の無線アクセスシステムの技術的条件」のうち「占有周波数帯幅が 20MHz 以下の小電力データ通信システムの技術的条件等」平成 16 年（2004 年）11 月 29 日）

表 2-9.1 5GHz 帯気象レーダー主要諸元例

主要諸元項目	性能値 (雨量計、一般気象)	性能値 (雨量計ドップラ)	性能値 (空港ドップラ)	性能値 (雷レーダー)
1. 空中線装置				
① 空中線(種類/径)	直径 4(m)円形パラボラ等	直径 4(m)円形パラボラ等	直径 7(m)円形パラボラ	直径 3(m)円形パラボラ
② 空中線利得	44(dBi)程度	44.7(dBi)程度	48(dBi)程度	42(dBi)程度
③ ビーム幅(水平/垂直)	1.2(deg)	1.05(deg)	0.7(deg)	1.2(deg)
④ サイドローブ st (1)	-25(dB)以下	-28.8(dB)以下	-25(dB)以下	-25(dB)以下
⑤ 給電線損失(送/受)	2.0(dB)/2.0(dB)min	2.0(dB)/5.0(dB)min	2.0(dB)/5.0(dB)min	2.0(dB)/5.0(dB)min
⑥ 水平走査(回転数)	3~4/1~3(rpm)	1~10(rpm)	2/4(rpm)	4~10(rpm)
⑦ 垂直走査範囲	-2~+45(deg)以上	-2~+90(deg)	-2~+90(deg)	+0.7~81(deg)
2. 送信装置				
① 発振管	マグネトロン ²	マグネトロン ²	クライストロン	マグネトロン ²
② 送信周波数	5.25-5.35(GHz)	5.25-5.35(GHz)	5.25-5.35(GHz)	5.25-5.35(GHz)
③ 送信出力	250(kW)程度	250(kW)程度	200(kW)程度	250(kW)程度
④ 送信パルス幅	2.0~2.5(μsec) /0.5(μsec)	0.5(μsec)	1.0(μsec)	2.0(μsec)
⑤ パルス繰返周期	260(pps)	896~1120(pps)	840~1120(pps)	250~1800(pps) の2周波組み合わせ
⑥ duty比	-31.8~-32.8(dB)	-29.0~-29.8(dB)	-29.0~-29.8(dB)	-30.0~-33.0(dB)
⑦ 占有周波数帯幅	8(MHz)以下	9.2(MHz)以下	4(MHz)以下	8(MHz)以下
⑧ 電波の形式	PON	PON	PON	PON
⑨ スプリアス強度	-40(dBc)以下	-40(dBc)以下	-40(dBc)以下	-40(dBc)以下
3. 受信装置				
① 通過帯域幅	1.4(MHz)	3(MHz)	1.2(MHz)	1.2(MHz)
② 最小受信感度	-113(dBm)程度	-112(dBm)程度	-109(dBm)程度	-113(dBm)程度
4. その他				
① 設置高	地上高40~50(m)等	地上高40~50(m)等	地上高40~50(m)等	地上高40~50(m)
② 定量観測範囲	半径 100~200(km)	半径 240(km)	半径 120(km)	半径 250(km)
③ 定性観測範囲	半径~400(km)	—	—	—

表 2-9.2 スキャンシーケンスの例 (各数値は、仰角値で単位は度)

高仰角から低仰角に下げるスキャンシーケンス																		
約 10 分サイクル																		
30	24	19	15	12	9.5	7.5	6	4.8	3.8	3	2.3	1.7	1.3	0.9	0.6	0.3	0	-0.2
低仰角から高仰角に上げるスキャンシーケンス																		
約 6 分サイクル																		
0.7	1.0	1.3	1.7	2.1	2.7	3.4	4.3	5.4	6.8	8.6	11	14	17	22	29			

² 狭帯域フィルタの装備やクライストロン化等の狭帯域化の取組を順次実施中。

(2) 気象レーダーの設置状況

現在、全国では約 80 基の気象レーダーが運用されている。このうち、周波数共用上、最も条件が過酷と考えられる関東地方では、9 基の気象レーダーが C バンド帯において、設置運用されている。従って、5250MHz-5350MHz 帯の全ての周波数が、いずれかの地域で利用されていることになる。また、これら気象レーダーの約半数が標高 1,000~1,800m 程度の山岳地に設置されており、残りは丘陵地もしくは平地に設置されている。山岳地の気象レーダーは都市部から十分に離れている反面、かなり広範囲の地域から見通すことができる。それに対して、都市部の気象レーダーは比較的低い標高の場所に設置されているため、見通し伝搬で電波が到来する地域は比較的狭い。

また、現在は多くの気象レーダーが降水強度を測定する機能のみを有するのに対し、今後は徐々にドップラー及び二重偏波機能を有するものへと更新されていくことが予想されている。

2 無線アクセスシステムの電波伝搬のモデル化と許容干渉レベル

共用条件を定めるために、無線アクセスシステム及び電波伝搬のモデル化を行った。

(1) 無線アクセスシステム

現在、導入が検討されている無線アクセスシステムは、DFS 及び TPC 機能を搭載し、気象レーダーと周波数帯域を共有するシステムである。5150~5250MHz 屋内無線 LAN の帯域拡張として 5250MHz-5350MHz 帯及び 5470MHz-5725MHz 帯を使う 802.11a HiSWANa などのシステム（モデル A）と、主に屋外運用を想定した 802.16a-Revd のシステム（モデル B）に大別される。表 2-9.3 にその主要諸元を示す。

表 2-9.3 モデル別主要諸元

	モデル A		モデル B
標準	802.11a、HiSWANa		802.16a-Revd
周波数帯	5250~5350MHz	5470~5725MHz	5470~5725MHz
e.i.r.p.	10mW/MHz	1W かつ 50mW/MHz	
送受信アンテナ	基地局：オムニまたはセクタ（送受共用アンテナ） 加入者局：オムニまたはパラボラ（屋外 FWA の場合）		
チャンネル配置	20MHz 間隔		
変調方式	OFDM(BPSK,QPSK,16QAM,64QAM)		
占有帯域幅	18MHz 以下		
雑音指数	8dB 以下		
1セルの Active Ratio ^(注1)	75% (802.11a) 100% (HiSWANa)		100% (TDMA)
所要 C/N	20dB(16QAM)		
アクティブシステムの展開密度 ^(注2)	2~20 システム /km ² /Ch	1 システム/1.75km ² /Ch	
設置場所 ^(注3)	屋内 設置高：6~30m	屋外または屋内 設置高：6~30m	

- (注 1) 無線局が実質上送信する時間比率。気象レーダーとの共用検討においては、気象レーダーの平均化処理により実質干渉量が軽減する。CSMA 方式の 802.11a と TDMA 方式の HiSWANa や 802.16a でバースト送信時間比率が異なる。HiSWANa、802.16a-Revd とともに資料の提出が無いので、最悪を考慮し 100%としている。
- (注 2) ITU-R 勧告 M.1652 に無線アクセスシステムのモデル展開密度があるが、わが国の状況にあわせた展開密度を用いることとした。
- (注 3) ITU-R 勧告 M.1652 にて干渉評価のためのモデリングが行われており、それに準じることとし、モデルに合わない地域性の特殊事情については、個々を別途に検討することとする。

なお、802.16a-Revd の DFS 機能の標準化が IEEE802.16 委員会で行われている状況であり 802.11a 以外について詳細なパラメータが得られなかったため、気象レーダーとの共用条件検討は、モデル A の 802.11a を対象としている。

(2) 電波伝搬モデル

干渉レベルが気象レーダーの許容干渉レベルとなる無線アクセスシステムの最大許容輻射電力を求めるには、対象となる気象レーダーにおけるシミュレーションによるのが適当であり、このシミュレーションでの電波伝搬モデルは、ITU-R 勧告 M.1652 Annex.6 で勧告されているものを用いるのが適当であり概略下記の通りである。

ア レーダー及び無線アクセスシステム空中線特性：ITU-R 勧告 M.1652 Annex.6 Appendix.1 及び 2

イ 干渉パスにおいて、一般に十分なパスクリアランスは確保されない。また、ある無線アクセスシステムの背後にある無線アクセスシステムは建物等によりレーダーとの見通しが困難である。このことから、伝播定数は、2~3.5 の間で一様分布するとし、遮蔽物損として 0~20dB に一様分布するものとする。

ウ 5150~5350MHz は屋内でのみ使用が許されているのでこの帯域での干渉計算においては建物遮蔽損を 17dB とする。

ただし、上記は、多数の無線アクセスシステムからの干渉量を求めるものであるから、気象レーダーの近隣に設置される無線アクセスシステム等において 1 システムが比較的強い干渉を及ぼす場合等の検討には適当でない。このような特殊な状況については、短距離であることから電波伝搬モデルとして自由空間損と建物遮蔽損を用いるのが適当である。

(3) 気象レーダーの許容干渉レベル

気象レーダーにおける現行の混信検討の考え方として、S/N の N に最小受信感度 (S_{min}) と呼ばれるレーダーが処理する最低信号レベルを代入して評価している。これは、N は熱雑音の他に外来ノイズ等の影響を受けることから、レーダーが処理する最低信号レベルをノイズフロアにマージンを持たせて設定しているものである。よって本干渉計算においては、許容干渉レベルとして気象レーダーの最小受信感度を OFDM 変調波に対する許容干渉レベルとするのが適当である。

ITU-R 勧告 M.1652 では、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、ITU-R 勧告 M.1652 が参照している ITU-R 勧告 M.1461 及び M.1638 では -6dB と規定している。また、無線通信規則脚注 5.447F 及び 5.450A において、無線標定及び無線測位は、ITU-R 勧告 M.1638 で規定される干渉基準よりも厳しい保護基準を移動業務に課してはならないとしている。よってレーダーの受信機熱雑音から 6dB 低いレベルを与干渉波のスペクトラム形態に関係なく一義的に許容干渉レベルとして定義している。この場合の許容干渉レベル N P (dBm) の算出式は、次のとおりである。

$$N P = 30 + 10 \log (k T B F) + I / N$$

k : ボルツマン定数 1.38×10^{-23} (J/K)

T : 絶対温度 290 (K)

B : 等価雑音帯域幅 (Hz)

F : 受信雑音指数

I/N : -6dB

気象レーダーの一般的な受信雑音指数が 2dB であることより許容干渉レベルは、-118 dBm/MHz となる。

気象レーダーは比較的大きなターゲットを観測しており、レーダー反射波を処理する際レーダー反射波の相関を利用して距離、方位、時間平均等を取って S/N を改善させる機能が組み込まれている。バースト送信を行う白色雑音と同等な 802.11a OFDM 変調波は、無変調波と異なりこれら平均化処理により干渉の影響が相対的に減じられ、無変調波に比べ約 10~12dB 以上大きな干渉量でも平均化処理やクラッタのような不要波除去処理によってレーダースコープには表示されない。共用条件の策定にあたっては、無変調波と OFDM 変調波を同列に扱うのは適当ではないと思われ、気象レーダーのデータ処理によって所要 S/N が確保できる気象レーダーの最小受信感度を、OFDM 変調波に対する許容干渉レベルとするほうが適当である。なお、最新の気象レーダーでは最小受信感度は、もっとも小さいもので -115dBm 程度となっている。

3 干渉軽減方策

気象レーダーへの無線アクセスシステムからの与干渉を回避する方策として、レーダーと周波数共存する無線アクセスシステムにおいては WRC-03 決議 229 で義務づけられた DFS、TPC を搭載するのが適当である。

①動的周波数選択 (DFS) について

ITU-R 勧告 M.1652 で規定される DFS は、同一の周波数帯で運用されているレーダーと同一周波数の使用を回避することで、無線アクセスシステム及びレーダーが同一の周波数帯を共用することを可能とするものであり、主に次の 3 つの基本的機能で構成されている。

ア 利用チャネル確認機能(CAC: Channel Availability Check)

- ・ネットワークを開設する前に、その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、レーダー干渉検出機能により 1 分間レーダー波検出を行わなければならない。
- ・この時間内はいかなる送信も行ってはならない。
- ・運用チャネルを変更する際、変更先チャネルにおけるレーダー信号の有無がわかっていない場合にも CAC を行う必要がある。

イ 運用中チャネル監視機能 (ISM: In-Service Monitoring) 及びチャネル変更時間(Channel Move Time)

- ・通常運用中にその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、レーダー干渉検出機能によりそのチャネルを監視し続けなければならない (In-Service Monitoring)。
- ・レーダー信号を検出した場合、当該運用チャネルは使用不可となる。レーダー波を検出した装置は全帰属装置 (通信相手) に対しそのチャネルでの送信を Channel Move Time (=10 s) 以内に停止するよう指示しなくてはならない。
- ・Channel Move Time 中の全送信は Channel Closing Transmission Time (= 260 ms) に制限される。

ウ 非占有時間 (Non-Occupancy Period)

- ・レーダー信号が検出されたチャネルは、検出されてから 30 分間 (Non-Occupancy Period)、いかなる送信も再開してはならない。

レーダー波検出閾値 (Interference Detection Threshold) は気象レーダーの最低受信感度より 20~35dB 低い干渉レベルで無線アクセスシステムがレーダー波を検出し干渉回避するようレーダー波検出閾値を規定しており、表 2-9.4 に示す。

表 2-9.4 レーダー波検出閾値規定

最大等価等方輻射電力	5250~5470 MHz 5470~5725 MHz	5150~5250 MHz
≥200 mW	-64 dBm	適用しない
<200 mW	-62 dBm	適用しない

注：入力は 0 dBi のアンテナを使用した場合の装置入力レベル

②送信電力制御（TPC）について

TPCは、多数の無線アクセス装置からの総輻射電力を3dB低下させることによって干渉の影響を減らすために各装置で使われる機能である。TPCのアルゴリズムやトリガについては、すでに各社で様々な方法が考案、実装されており、規定化することが今後の技術開発の妨げとなる可能性もあるので規定しないのが適当である。

4 共用条件の基本的考え方

レーダーへの与干渉を回避、軽減するためには、レーダーと同一帯域を使用する無線アクセスシステムは、DFS、TPCによって干渉を回避するのが有効である。5150MHz-5250MHzを使用する無線アクセスシステムにおいては、5250MHz-5350MHz帯への帯域外漏洩電力及びスプリアス輻射電力による総干渉量が気象レーダーの許容干渉レベル以下であることとするのが適当である。よって、検討項目は大きく分けて(1)気象レーダーへの与干渉、(2)無線アクセスシステムへの被干渉であるが、(1)項において、

- A. 5150MHz-5250MHzを使用する無線アクセスシステムの帯域外漏洩電力やスプリアス電力による与干渉検討、
- B. DFSによるレーダー波検出確率評価、
- C. 周波数隣接するレーダー波の検出検討、
- D. 隠れ基地局問題
- E. 仰角を急峻に下げるレーダーと動的周波数選択(DFS)の動作についてに分け検討を行った。さらにA項を検討するに当たり、①複数の無線アクセスシステムからの総干渉量による輻射電力制限の検討と、設置状況が特殊で個別に検討するのが適当である②気象レーダー空中線に近接する無線アクセスシステムからの干渉量に分け検討を行った。

(1) 気象レーダーへの与干渉

- A. 5150MHz-5250MHzを使用する無線アクセスシステムの帯域外漏洩電力やスプリアス電力による与干渉検討

①複数の無線アクセスシステムからの総干渉量による検討

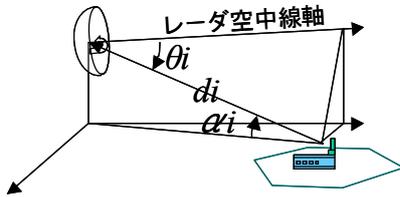
個々の気象レーダーが受ける干渉量が許容干渉レベルとなる無線アクセスシステム1台当たりの許容輻射レベルを干渉シミュレーションにより計算する。以下にシミュレーション手法及び前提条件を示す。

ア シミュレーション手法

気象レーダーを中心に想定される密度で無線アクセスシステムが稼動しているとして無線アクセスシステムと気象レーダー間の空中線指向特性を含んだ総伝搬損失から無線アクセスシステム1局当たりの許容輻射電力を求める。

累積対象となるレーダー空中線見通し距離内にある無線アクセスシステムの総数を n として、総伝搬損失 L_{sum} を

$$Lsum = \sum_{i=1}^n \left[\frac{Gwas(\alpha_i) \times Grad(\theta_i)}{L(di)} \right]$$



$Gwas(\alpha_i)$: i 番目無線アクセスシステム空中線のレーダ方向 (角度 α_i) 利得

$L(di)$: i 番目無線アクセスシステム-レーダ間 (距離 di) 伝搬損失

$Grad(\theta_i)$: レーダ空中線の i 番目無線アクセス方向 (角度 θ_i) 利得

と定義すると干渉総電力 $Isum$ は、下式となる。

$$Isum = A \times p \times Lsum$$

A : 無線アクセスシステムの空中線電力

p : 無線アクセスシステムの送信時間率

$Isum$ をレーダーの許容干渉電力に置き換えれば、 $Lsum$ を求めることによって無線アクセスシステム 1 台当たりの許容輻射電力 A が求まる。

イ 前提条件

以下にシミュレーションの前提条件を示す。

<無線アクセス局>

モデル A : 802.11a

中心周波数 : 気象レーダー帯域に最も近い 5240MHz を対象とする。

アンテナ高 : 都市 30m、郊外 6m

アクティブシステムの展開密度 :

都市	: 20System/Km ² /Ch、 80System/Km ² /4Ch
工場、倉庫地域	: 7System/Km ² /Ch、 28System/Km ² /4Ch
郊外	: 4System/Km ² /Ch、 16System/Km ² /4Ch
山岳・ルラル地方	: 2System/Km ² /Ch、 8System/Km ² /4Ch

<気象レーダー局>

5150-5250MHz を使用する無線アクセスシステムからの与干渉が多いと想定される 5260MHz、5265MHz、および 30MHz 以上離調した 5270MHz 以上の気象レーダー局であって、アクティブな無線アクセスシステムの展開密度が高い主に関東、関西、北九州の都市内または都市近郊に近い、気象レーダー局を対象にシミュレーションを行った。

ウ シミュレーション結果

気象レーダーへの与干渉レベルが、許容干渉レベルとなる無線アクセスシステム 1 局あたりの許容輻射レベルを表 2-9.5 に示す。

周波数差 (MHz)	レーダー局	許容干渉レベル (dBm/MHz)	レーダー受信RF系損 (dB)	Lsum (dB)	建物損 (dB)	平均/ピーク比 (dB)	許容輻射電力 (EIRP) (dBm/MHz)	802.11aスペクトラムマスク(EIRP) (dBm/MHz)	マージン dB
20	筑波(研究用)	-113	3.1	81.4	17	-1.2	-10.3	-18.0	7.7
	中部新空港	-111	6.2	86.9	17	-1.2	-5.9		12.1
	大鶴峰	-113	5.6	94.7	17	-1.2	-0.1		17.9
	福岡空港	-111	6.2	84.0	17	-1.2	-8.8		9.2
25	伊豆大島	-112	3.7	92.4	17	-1.2	2.3	-24.0	26.3
30以上	羽田	-111	8.8	80.5	17	-1.2	-3.5	-30以下	26.5
	成田	-111	8.8	83.9	17	-1.2	-0.1		29.9
	赤城山	-115	3.7	83.6	17	-1.2	-5.6		24.4
	大阪北区	-113	1.8	79.4	17	-1.2	-9.8		20.2

表 2-9.5 気象レーダーの許容干渉レベルと無線アクセスシステム1局当たりの許容輻射レベル

なお、このシミュレーションは、多数の無線アクセスシステムからの干渉量を求めるものであるから、1つの無線アクセスシステムが気象レーダー空中線に非常に接近して設置される等特殊な場合の検討には適当でない。このような特殊な状況については、次項で検討する。

②気象レーダー空中線に近接する無線アクセスシステムからの干渉量

市街地等に設置される気象レーダーにおいて、近隣に気象レーダー高と同程度のビルが建設されその中で無線アクセスシステムが使われることが考えられる。5150MHz-5250MHz で稼動する無線アクセスシステムにはDFS機能が搭載されていないため、このように近接して設置される特殊な場合の干渉量の検討も必要である。検討は、5240MHz 無線アクセスから5260MHzの気象レーダーへの干渉とし、既存及び計画、建設中を含むデータベースより設置状況を考慮して対象となる気象レーダーを抽出し、近隣地域の状況、地形、建築制限等を参照し干渉量を検討した。

ア 5260MHzで運用するレーダー

計画を含め全国に13基ある。

1. 市街地の空港気象レーダーで 近隣に高層建築物が建つ可能性があるもの：1基
 2. 海上空港気象レーダー：1基
 3. 水防道路用で郊外山頂等に設置：7基
 4. 雷レーダーで郊外山頂等に設置：2基
 5. 気象レーダーで島の高所に設置：1基
 6. 研究用で周りが自敷地、公園、他の研究所で囲まれているもの：1基
- 2～5は近隣に高層建築物が建つ可能性が無いあるいは、非常に少ないと考えられる。6は、研究用である。以上のことから1.項の市街地の空港気象レーダー空中線近傍の無線アクセスシステムを対象とする。

イ 前提条件

以下に干渉計算の前提条件を示す。

<無線アクセスシステム局>

モデル A : 802.11a

中心周波数 : 5240MHz

アンテナ高 : 建物高-2m

建物高 : 気象レーダー-空中線仰角-1/2 半値角の線分と航空法による高さ限界を結んだ高さ。

送信 e.i.r.p.: 802.11a スペクトラムマスクの 20MHz 離調 -18dBm/MHz

<気象レーダー局>

周波数 : 5260MHz

空中線利得 : 48.7dBi

空中線特性 : ITU-R 勧告 M.1652 による近似と同種空中線の実測値

受信給電線系損失 : 6.2dB

最小受信感度 : -111dBm

レーダー画面に干渉が表示されないレベル : -108.8dBm/MHz (注 1)

ドップラー観測時干渉が表示されないレベル : -97.2dBm/MHz (注 2)

注 1 : 対象レーダーと同種の新千歳ドップラーレーダーで表示されないことが確認されたレベルであるが、表示されない最大レベルではない。

注 2 : 筑波研究用レーダーで表示されないことが確認された最大レベル

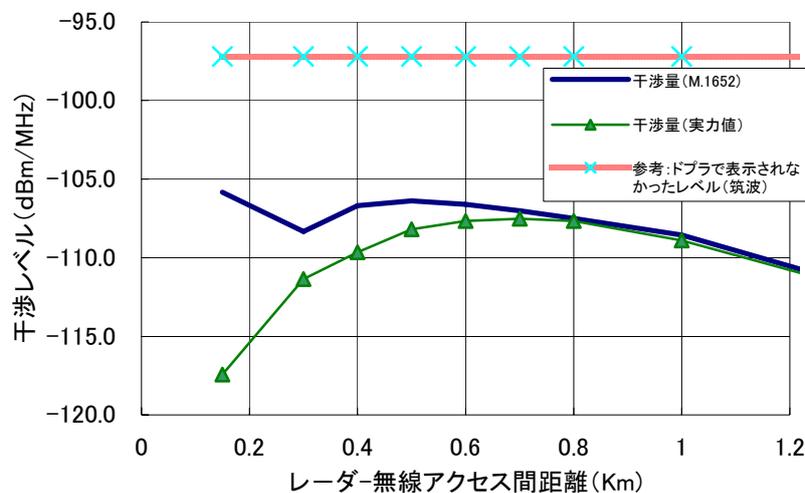
<近隣地域の状況>

空港気象レーダー局から 150m~200m が容積率 400%、建ぺい率 80% の商業地域、50m 道路を隔てそれ以遠が容積率 200%、建ぺい率 80% の工業地域である。

ウ 検討結果

干渉量計算結果を図 2-9.1 に示す。

図 2-9.1 距離対干渉レベル



5240MHz 無線アクセスからの干渉量は、レーダー空中線の指向特性実力値においても最小受信感度-111dBm を超えるが、ドップラー観測においてレーダースコープ上に誤表示される干渉レベルまでにはならない。無線アクセスシステムからの干渉問題以前に、建物高がレーダー空中線高より高いため、強勢な建物反射波の影響を受けることとなる。したがって、このような特殊な位置関係においても、レーダーの観測には、無線アクセスシステムの影響とともに建築物の反射が影響することとなり、運用上無線アクセスシステムの影響は小さい

B.DFS によるレーダー波検出確率評価

実環境において干渉の影響を与える無線アクセスシステムにおいては、ほぼ 100%のレーダー波検出確率で DFS が機能する必要があるが、干渉の影響を与えない無線アクセスシステムではこのような高い確率である必要はない。一方、無線アクセスシステムは、免許不要局として運用されることから、技術基準適合証明等の認証のため DFS のレーダー波検出能力を測定する必要があるが、その DFS 試験仕様においてほぼ 100%のレーダー波検出確率を規定すると 1 項目の試験で千から 1 万回以上行わねばならなくなる。対象となるレーダーシステムが複数存在している状況では、費用及び時間の点で適当ではない。

欧米においてもこれらの点を考慮し試験仕様を作成しているところである。DFS 試験試験を規定するにあたり、検出確率の試験規格を比較的低く設定し試験所要期間を短縮効率化する代わりに、少ない被検出レーダーパルス数として検出しにくい環境で試験する等配慮するのが適当である。このため、試験仕様にある検出確率規定値では実環境においてどの程度の検出確率となるか確認しておく必要がある。

①レーダー波検出確率

IEEE802.11a 等 IP パケット伝送を行うシステムの In Service Monitoring は、TDD でやりとりしているパケットと次のパケットの間にあるキャリアセンス期間や受信パケットの先頭にあるプリアンプルを用いてレーダー波の検出を行うことになる。IP パケット伝送を行うシステムの送信パケットの発生時間、パケットのサイズは、一般にランダムであるとみなせ、それに伴い、キャリアセンス位置も周期性が無いので、レーダーパルスがキャリアセンス期間に到来する確率は、無線アクセスシステムの平均キャリアセンス期間比 P_d に等しい。

②利用可能チャネル確認機能(CAC)動作時のレーダー波検出確率

この間送信パケットが無いので全ての時間がレーダー波検出のためのキャリアセンス期間となるため P_d は 100%となる。ただし、パルス数を少なくして検出確率の試験規格を低く設定することが出来ない。よって時間短縮に配慮した試験仕様とするのが適当である。

③運用中チャネル監視機能(ISM)動作時のレーダー波検出確率計算式

検出期間内に N 個のレーダーパルスが到来する場合、通常無線アクセスシステムの最大パケット長がレーダーパルス周期より小さいので、ほぼ独立に N 回検出を行うことになる。検出期間内にレーダーパルスを m 回以上検出出来る確率 $P(m,N)$ は、

$$P(m, N) = 1 - \sum_{i=0}^{m-1} \binom{N}{i} Pd^i (1 - Pd)^{N-i} \quad (2.4.1)$$

で求まる。

④レーダー波検出判定パルス数 m について

検出期間内に m 個のレーダーパルスを検出することによってレーダー波検出と判断するが、 m が小さいほど検出確率は高くなるが、誤検出の確率も高くなる。よって m はある程度の大きさが必要である。また、単にパルス数のみで検出する例を示しているが、今後より確実な検出を実現するために複数のレーダーパルス間の相関などを検出手法に組み込むことも考えられる。この場合 m は少なくとも 3 以上必要である。これらのことより、レーダー波検出判断の条件等については、すでに各社で様々な方法が考案、実装されつつあり、規定化することが今後の妨げとなるので規定しないのが適当である。なお、本確率推定に当たっては $m=4$ とする。

⑤DFS 試験仕様から実環境の検出確率計算

実環境の方がレーダーパルス数が多いので、 N ごとに区切り前後を独立事象として検出するか、実環境の検出期間全体を連続事象として検出するかで $m=2$ 以上において実環境での累積検出確率は異なってくる。当然後者の方が検出確率は高いが、誤検出の確率も高い。本確率推定では前者を理論的な検出確率の最小値として、後者を最大値としてそれぞれ推定することとする。

実環境でレーダー 1 スキャンで得られる検出閾値を超えるレーダーパルス数を Q とすると検出確率の最大値 $P_{max}(m,Q)$ は、 $P(m,N)$ の N を Q に置き換えたものである。最小値 $P_{min}(m,Q)$ は Q を N で割った商を r 、余りを s とすると下記の式により求まる。

$$P_{min}(m, Q) = 1 - (1 - P(m, s))(1 - P(m, N))^r \quad (2.4.2)$$

⑥DFS 試験仕様

DFS 試験仕様については、無線アクセスシステムが世界共通の仕様で使用されることを考慮すると、欧米とできる限り共通にするのが望ましい。5250MHz-5350MHz 帯と 5470MHz-5725MHz 帯において運用されているレーダーの特性は異なることから、周波数帯の別に試験仕様を定める必要がある。なお、DFS 試験の主要素は、測定に使用されるレーダー波のレーダーモデル及び In-Service Monitoring テスト時における通信負荷であり、以下のとおりとすることが適当である。

ア 5250MHz-5350MHz 帯を使用する無線アクセスシステムの場合

(7) レーダーモデル

北海道のフィールド実験において、わが国の気象レーダーで広く使われているパルス繰り返し周波数 260Hz レーダーに対し、インサービスモニタリングでの検出試験結果は満足できるものではなかった。これは米国試験仕様にチューニングされた被試験装置がこのレーダー波検出に対応しきれていなかったためである。このことから、欧米試験仕様に含まれていないが、わが国で特に市街地においても広く使われている気象レーダーに対応する DFS 試験規格を組み込む必要がある。また、欧米と共通化を図るために ITU-R WP8A 等の標準化活動に反映していくことが望ましい。

国内の気象レーダーに対する DFS 試験仕様は、国際的な動向をふまえ、調和を図りつつ、表 2-9.6 に示すパラメータで検出確率 60%以上とするのが適当である。

表 2-9.6 レーダーパラメータ

レーダー型式	パルス幅 (μ sec)	繰り返し周波数(Hz)	パルス数
固定パラメータ 1	1	700	18
固定パラメータ 2	2.5	260	18

(4) 通信負荷

無線アクセスシステムの運用モデル及び FWA サービスの計測値に基づき、CSMA/CA を使用するような送信する情報の種類により送信パケットの大きさが変動する IP パケット伝送に基づく送信を行うものは、無線設備の誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、無線設備の最大信号伝送速度の 50%の伝送を行うことが適当である。

これらより、本検出確率推定では、 $N=18$ 、 $P(m,N)=0.6$ となる。

⑦気象レーダー波検出確率計算のための条件設定、パラメータ

<推定条件>

気象レーダー空中線が無線アクセスシステム方向に向いた時、無線アクセスシステムからの与干渉レベルがレーダーの最小受信感度である場合が、気象レーダーに対し干渉の影響を及ぼさない限界であるので、このときの検出確率を推定することとする。

<無線アクセスシステム局>

モデル A : 802.11a

送信 e.i.r.p. : +23dBm

空中線利得 : 0dBi

空中線系損失 : 0dB

検出閾値 : -64dBm

1 検出単位時間 : パルス数 18 毎に区切る場合と区切らない場合の 2 種

<PRF260Hz 気象レーダー局>

空中線電力 : 84dBm

空中線利得 : 42dBi (実力 44.6dBi)

空中線特性 : ITU-R 勧告 M.1652 による近似と同種空中線の実測値

無線アクセスシステム方向オフセット角度 : 0.7 度

送信空中線系損失 : 2.0dB

受信空中線系損失 : 3.0dB

最小受信感度 : -115dBm

回転速度 : 4RPM

<PRF700Hz 気象レーダー局>

空中線電力 : 83dBm

空中線利得 : 48dBi (実力 48.7dBi)

空中線特性 : ITU-R 勧告 M.1652 による近似と同種空中線の実測値

無線アクセスシステム方向オフセット角度 : 0.7 度

送信空中線系損失 : 8.8dB

受信空中線系損失 : 8.8dB

最小受信感度 : -112dBm

回転速度 : 4RPM

⑧DFS 試験仕様から実環境の検出確率推定

推定結果を図 2-9.2 に示す。

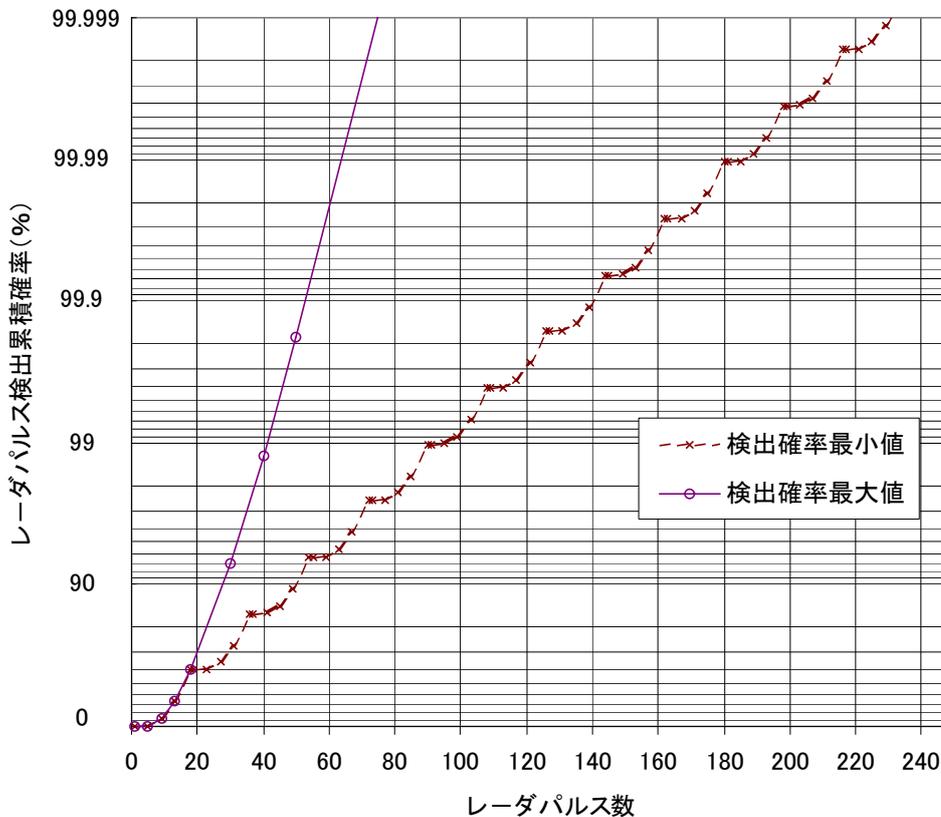


図 2-9.2 実環境の検出確率推定

PRF260Hz レーダーの場合、レーダーパルス受信電力が無線アクセスシステムの検出閾値-64dBmになるとき、無線アクセスシステムからの与干渉レベルは-142.2dBm であり、27.2dB の検出マ-ジンがある。同様に PRF700Hz の気象レーダーの場合 24.2dB の検出マ-ジンである。これらの検出マ-ジンに相当するレーダー空中線の指向特性のなす角度の間、レーダーパルス受信電力が無線アクセスシステムの検出閾値を越える。検出に有効なパルス数は、PRF260Hz レーダーでは 138.7 個、PRF700Hz レーダーでは 290.5 個である。レーダー空中線の実力値を用いると PRF260Hz レーダーでは 47 個、PRF700Hz レーダーでは 222 個となった。これらより実環境における気象レーダー1 スキャンでの検出確率推定値を表 2-9.7 に示す。実環境において PRF260Hz レーダー空中線実力値を用いた場合において干渉の影響を及ぼさない無線アクセスシステムでも検出確率は、最小 87.5%、最大 99.6%の間にある。干渉レベルがレーダースコープ上には表示されない-111dBm を仮定すると、75 パルス以上になり最小 97.5%、最大 99.999% となる。

以上から、DFS 試験仕様においてパルス数 18、検出確率 60%以上と規定すれば、実環境において、十分な検出確率となると判断される。

表 2-9.7 実環境での検出確率推定

	空中線特性 (M.1652)			空中線特性 (実力値)		
	パルス数	検出確率 最小	検出確率 最大	パルス数	検出確率 最小	検出確率 最大
PRF260Hz 気象レーダー	138.7	99.89%	100%	47	87.5%	99.6%
PRF700Hz 気象レーダー	230.5	99.999%	100%	222	99.998%	100%

C.隣接チャネルレーダーの検出検討

レーダーと無線アクセスシステムが 10,20,30MHz 離調している場合であっても、レーダーが無線アクセスシステムから干渉を受ける位置関係にある場合、レーダーから無線アクセスシステムへの干渉レベルがレーダー波検出閾値より十分大きな値となり、DFS が働くことから干渉は生じない。計算結果を表 2-9.8 に示す。

表 2-9.8 空港気象レーダー→無線アクセスシステムへの干渉レベル

無線アクセスからレーダーへの干渉							レーダーから無線アクセスへの干渉		
離調周波数 (MHz)	無線アクセス 輻射電力 (dBm/1.4MHz)	壁による 減衰 (dB)	空中線 利得 (dB)	許容 干渉量 (dBm)	所要 伝搬損 (dB)	距離 (Km)	レーダー 輻射電力 (dBm/18MHz)	干渉レ ベル (dBm)	検出閾 値 (dBm)
10	1.46	17	44	-111	139.5	42.5	84	-28.5	-64
20	-16.54	17	44	-111	121.5	5.4	49.42	-45.0	-64
30	-28.54	17	44	-111	109.5	1.3	45.31	-37.2	-64

(注) レーダーのスプリアス発射は ITU-R 勧告 M.1541 で規定されるマスクで計算。また、レーダー、無線アクセスシステムは、無線アクセスシステムから空港気象レーダーへの干渉量がレーダーの最小受信感度となる距離で設置されているものとした。

D.隠れ基地局問題

気象レーダーからレーダー波検出機能を有する無線LAN-アクセスポイントは遮蔽物により見通し出来ないが、当該アクセスポイント配下の端末は、レーダーとの見通しが可能となる場合を検討した。その結果、このような状況が発生する可能性は極めて低く、かつ気象レーダーが運用されている周波数帯では無線アクセスシステムが屋内運用されることから、実用上問題ないと判断される。

E.仰角を急峻に下げるレーダーと動的周波数選択(DFS)の動作について

動的周波数選択(DFS)を具備する無線設備は、レーダー波を検出してから10秒以内に使用していた周波数を変更し、当該期間における送信時間の合計は、260ミリ秒以下である。

仰角をゆっくり下げて運用するレーダーについては、無線アクセスシステムがレーダーに干渉を与える仰角で運用する前にレーダー波を検知して周波数を変更するため、レーダーに干渉を与えるおそれはない。

それに対して、空港気象ドップラーレーダーのように、仰角を急峻に下げるレーダーに対しては、ITU-R 勧告 M.1652 に従う動的周波数選択(DFS)は、周波数を変更する10秒間において、わずかな干渉を与える可能性があることは否定できない。しかしながら、当該10秒間において、無線アクセスシステムが間欠的に電波を送信する時間の総計は260ミリ秒以下であること及び空港気象レーダーの運用仰角やビーム幅等により空港気象レーダーに影響する無線アクセスシステムの設置条件が限定されることから、運用上無線アクセスシステムの影響は小さい。

(2) 気象レーダーからの被干渉

無線アクセスシステムにおける符号処理機能(例えばMAC(Media Access Control)再送など)による改善効果を見込むことができるため規定しない。

5 共用条件の規定

干渉評価の対象とする気象レーダーは、当該割当て周波数帯域の隣接帯域及び帯域内の気象レーダーとし、各々に対して無線アクセスシステムは、以下の規定を満足することが適当である。

(1) 帯域外漏洩電力、スプリアス発射の強度の許容値

5150～5250MHz においては5250MHz 超、5250～5350MHz においては5150MHz 以上5250MHz 未満及び、5350MHz 超の帯域外、スプリアス帯域に対し、1MHz 当たりの等価等方輻射電力の許容値として ARIB STD-T71 (802.11a) OFDM スペクトラムマスク値規定以下とすることが適当である。なお、5150MHz 未満の帯域に関しては、既存の許容値を変更しない。

(2) 同一帯域内レーダーとの周波数共用

ITU-R 勧告 M.1652 の DFS 及び WRC-03 決議 229 の TPC 規定を適用するのが適当である。

① 動的周波数選択 (DFS)

ア DFS 機能搭載義務

ITU-R 勧告 M.1652 にて勧告されている DFS 機能を当該無線アクセスシステムの通信を制御する装置に搭載すること。

イ アドホック接続の制限

DFS 機能を搭載しない無線アクセスシステム装置にあっては、DFS 機能を有する装置の制御下以外で通信を行ってはならない。

ウ アクティブスキンの制限

いかなる無線アクセスシステム装置もチャンネルアベイラビリティチェック完了以前に送信を開始してはならない。

② 送信電力制御 (TPC)

ア TPC 機能搭載義務

多数の装置からの総出力を 3dB 低下させるために無線アクセスシステム各装置は TPC 機能を搭載しなければならない。ただし、規定の最大出力から 3dB 低い出力で運用する装置にあっては、この限りではない。

レーダービーム旋回速度と高速移動体との相対速度 及び航空機における検出ウィンドウ

【レーダービーム旋回速度と高速移動体との相対速度】

1 検討の目的

固定運用を前提とした DFS の動作に対して、高速移動体内に設置された WAS への適用時の課題を抽出する。

2 検討の前提条件

(1) 検討対象とするレーダーの条件

平成 16 年度情報通信審議会答申¹と同様の条件とし、具体的には、以下のパラメータ値とする。

項目	パラメータ値
空中線回転数	4rpm
ビーム幅	1.5 度

(2) 検討対象とする WAS 局の条件

単一方向に単一速度で、陸上を移動する高速移動体内に設置されているものと仮定する。陸上を移動する高速移動体の移動速度としては、最大 300km/h を想定した。

3 レーダーのビーム旋回速度と移動局の速度との関係

以下のとおり、圧倒的にレーダービームの旋回速度が大きく、高速移動体の速度は相対的に固定運用しているのと等価であると言える。

(1) 移動局の速度

$$\text{最大 } 300\text{km/h} = 83.3\text{m/s}$$

¹ 平成 16 年度情報通信審議会答申（諮問第 2014 号「5GHz 帯の無線アクセスシステムの技術的条件」のうち「占有周波数帯幅が 20MHz 以下の小電力データ通信システムの技術的条件等」平成 16 年（2004 年）11 月 29 日）

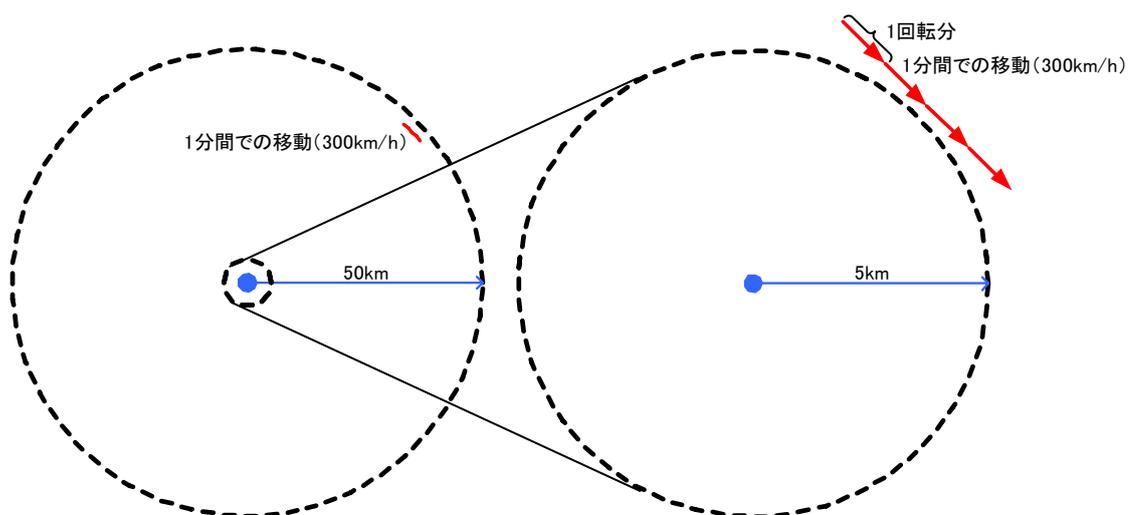
(2) レーダのビーム巡回速度 (V)

$$V = \frac{2\pi \times R \times \omega}{60\text{sec}} \quad (\text{m/s})$$

R : レーダービームの伝搬距離 (m)

ω : レーダー空中線回転数 (rpm)

空中線回転数	伝搬距離	レーダービーム巡回速度
4rpm	5km	2094m/s (=7540km/h)
	50km	20944m/s (=75398km/h)
	80km	33510m/s
	120km	50265m/s
	150km	62832m/s
	200km	83776m/s



4 レーダビーム内における移動距離

レーダのビーム幅に比べ高速移動体の移動距離は小さく、高速移動体の速度は相対的に固定運用しているのと等価であると言える。

(1) レーダビームの通過に要する時間 (t)

$$t = \frac{60 \text{ sec}}{\frac{\omega}{360 \text{ deg}}} = 41.7 \text{ ms/deg}$$

ω : レーダー空中線回転数 : 4rpm

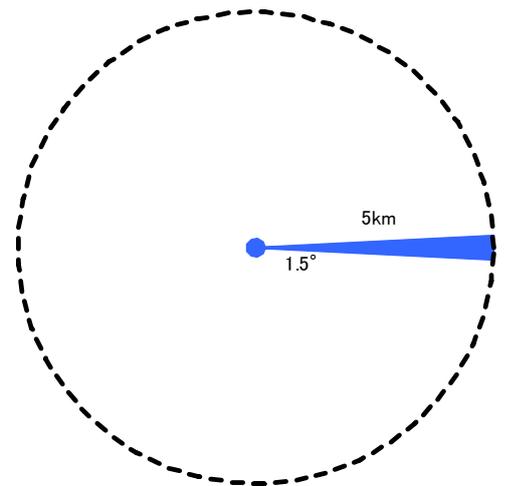
レーダビーム幅を 1.5deg とすると、62.5ms

(2) 移動局 (300km/h) の移動距離

レーダービームが通過する時間に、高速移動体が移動する距離は
 $83.3(\text{m/s}) \times 62.5 (\text{ms}) = 5.2\text{m}$

(参考) 伝搬距離に対するビーム幅の大きさ

伝搬距離	ビーム幅
5km	131m
50km	1309m
80km	2094m
120km	3142m
150km	3923m
200km	5236m



5 まとめ

以上のレーダのビーム回転速度と移動局の速度の関係から、レーダービームが 4 回転する間に照射範囲を逸脱することは極めて希なケースであると言える。したがって、高速移動体内での WAS 利用においても、従来の固定利用を前提とした DFS 機能の検討結果をそのまま適用しても問題はないと考えられる。

【航空機における DFS 検出ウィンドウについて】

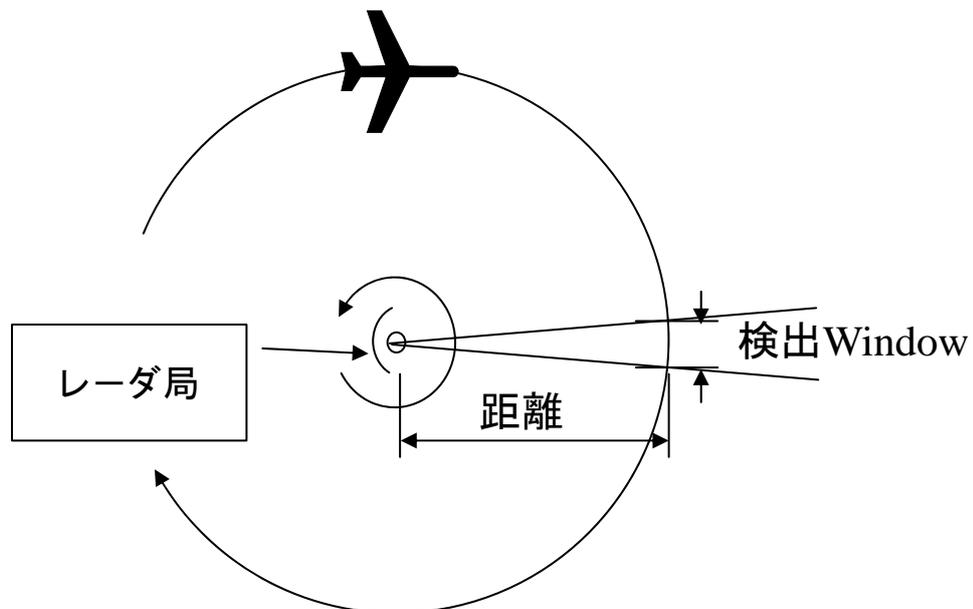
高速に移動する航空機においては、レーダーの回転速度と航空機の相対速度によって、静止状態の DFS 検出ウィンドウ幅より小さくなることが考えられる。どの程度小さくなるのか、それが検出確率に大きく影響するものなのかについて検討した。

※ DFS 検出ウィンドウ

WAS でのレーダー波受信レベルが DFS 検出閾値 (-64dBm,-62dBm) を超えてからレーダー空中線回転によって再び DFS 検出閾値以下になるまでの時間をいい、レーダーの回転速度、レーダー空中線指向特性、検出マージンで決まる。検出の手がかりとなるパルス数に比例するため、検出確率にも比例するもの。

1 検討での位置・条件等

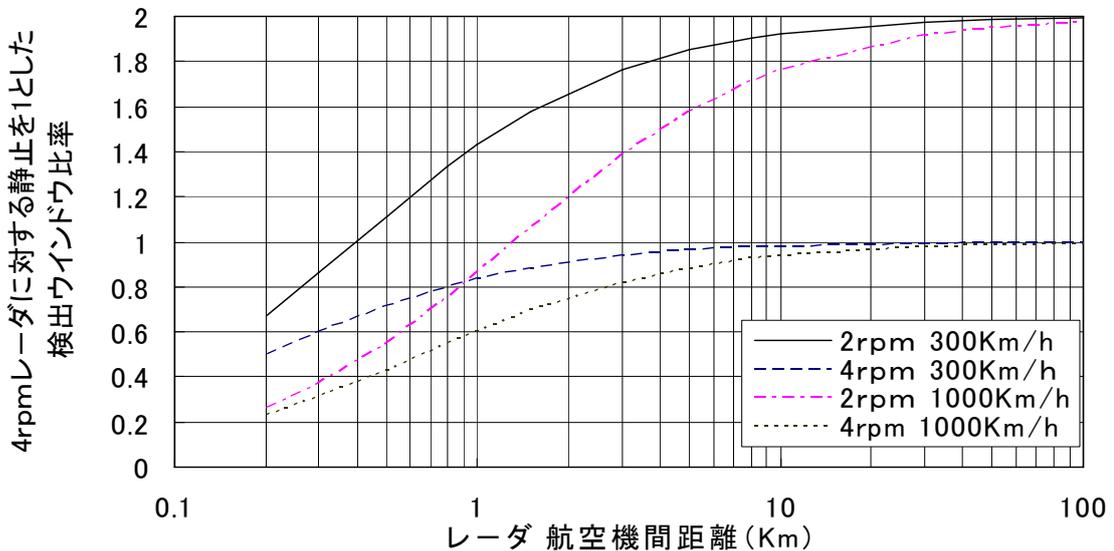
- (1) 相対速度が最大となる場合（レーダーの回転方向と逆の方向にレーダー空中線軸と直交して航空機が飛行する場合）を想定する。
- (2) 飛行速度は 300Km/h（アプローチ速度）、と 1000Km/h（巡航での対地速度の最大値を想定）。
- (3) 回転速度 4rpm で回転するレーダーに対し、静止状態での DFS 検出ウィンドウを標準として 1 とし、それとの比を距離を変化させて求める。ただし、距離が小さくなるに伴い検出マージンが増加し検出ウィンドウが広がるが、ウィンドウ比率計算ではこの効果を今回考えない。
- (4) 近距離での低下が著しくなる 2rpm も検討に加えた。



2 DFS 検出ウィンドウ検討結果

- レーダー回転速度が速ければ速いほど、相対速度による DFS 検出ウィンドウへの影響は小さくなる。
- DFS 検出ウィンドウ角を一定とした場合、距離が近ければ近いほどのこの区間を通過する時間は短くなる。
 - それでも 4rpm、対地速度 1000Km/h のとき、距離 6Km でも 90% が維持されている。
 - 空港気象レーダーに近い離着陸時 300Km/h の時、距離 1.8Km で 90% が維持されている。

注 短距離では、検出マージン（レーダー波干渉レベルと DFS 検出閾値の差）が増大し、レーダー空中線指向特性により検出ウィンドウ角の幅が広がるが、本計算には含めていない。



3 レーダーと航空機との位置関係による考察

(1) 巡航時の検討

レーダーへの干渉量は、距離 52.7Km 以下になるとレーダー側許容干渉量を超える。このとき WAS 側におけるレーダー干渉量は -36dBm であり、DFS 検出閾値 -62dBm より 26dB 高い。

よって、26dB 分 (20 倍) より離れた地点から検出動作が始まるとなる。実際は、巡航高度を 7000m 以上とすると、約 345Km が見通し距離であるため、この地点でレーダー空中線が水平方向で航空機に向けて観測している場合、自由空間ではレーダー干渉波レベルは DFS 閾値をいきなり $(26 - 20 \log(345/52.7)) = 9.7\text{dB}$ 超えて検出動作が始まることになる。この程度の距離では、たとえレーダー回転方向と逆の方向に飛んでいても DFS 検出ウィンドウの時間は航空機が静止しているときのそれとほぼ同じである。

300Km を越える遠方から検出動作が始まり、その DFS 検出ウィンドウが静止と同じ状況であるため、DFS 検出確率にかかわる高速移動体における特別な考慮は必要がないと言える。

(2) 空港レーダー近辺に突然出現する場合

ア 機中を含め、飛行場管制区・圏内で WAS を稼動させた場合

仮にレーダーと航空機の距離を 2Km と仮定すると、検出マージンが 54.4dB であり、一方、レーダー空中線利得が 43dBi であるからレーダー空中線利得が $43-54.4=-11.4\text{dBi}$ を超えている期間が DFS 検出ウィンドウとなる。これは遠方の場合と比較してかなり広い範囲となる。

イ 遠方の場合 ($43-26=17\text{dBi}$ を超えている範囲)

たとえばレーダー空中線が反方位に向いているような状況でも DFS 検出レベルを超え、レーダー干渉波レベルはレーダー空中線指向特性によらずほぼ常時 DFS 閾値を超えるので瞬時に検出することになる。

この効果によって、実際は数 Km の短距離において DFS 検出ウィンドウが縮小することは無いと判断される。

空港レーダー		WAS								機体の損失 dB
周波数	送信ピーク電力	送信RF系損	レーダー空中線利得	受信RF系損	送信電力	送信RF系損	空中線利得	受信RF系損	DFS 閾値	
MHz	KW	dB	dBi	dB	dBm/MHz	dB	dBi	dB	dBm	
5700	250	4.0	43.0	6.0	7.0	0.0	0.0	0.0	-62.0	17.0

距離	Km	1	2	3	4	5	6	8	10
自由空間損	dB	107.6	113.6	117.1	119.6	121.5	123.1	125.6	127.6
レーダー干渉量	dBm	-1.6	-7.6	-11.1	-13.6	-15.6	-17.1	-19.6	-21.6
検出マージン	dB	60.4	54.4	50.9	48.4	46.4	44.9	42.4	40.4
レーダー干渉量	dBm/MHz	-80.6	-86.6	-90.1	-92.6	-94.5	-96.1	-98.6	-100.6

4 まとめ

(1) 旅客機程度の高速移動体における DFS 検出確率と、静止状態における DFS 検出確率の差はほとんどないと考えられる。

(2) 空港近辺でたとえ電源を投入しても、CAC が正常に動作するかぎりレーダーに妨害を与えることはないと考えられる。

レーダーが干渉を受ける確率と距離の関係及び レーダー画面上での干渉縞の現れ方

【レーダーが干渉を受ける確率と距離の関係】

1 検討目的

- (1) レーダーと WAS 間の干渉量は、レーダー空中線オフセット角度と距離によって変化するため、これらの関係について明らかにする。
- (2) 上記結果を用い WAS が列車内等移動体で使用されている場合などでトンネル等遮蔽物を抜け、レーダーと突然見透しになる場合などにおけるレーダーに干渉を及ぼす確率と距離の関係を求めどの程度の頻度であるか検討する。
- (3) さらに空港気象レーダーを例に最悪条件でのレーダースコープ上での WAS からの干渉縞の見え方について報告する。

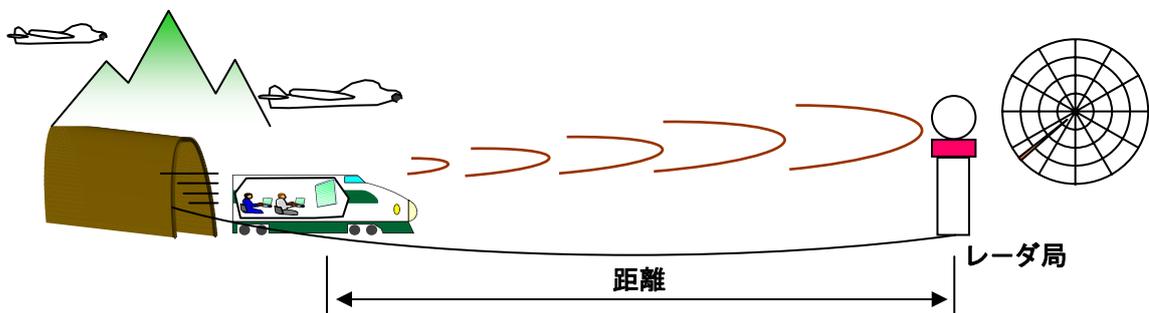


図 1 検討対象とする干渉モデルケースのイメージ

2 検討方法

- (1) それぞれの距離における DFS 検出ウィンドウ角度幅とレーダーの許容干渉量を超える離角を計算する。
- (2) レーダ空中線軸と WAS 方向がなす夾角が許容干渉量を超える離角以内である確率を求める。
- (3) 許容干渉量を超える WAS が突然出現するとして、それがレーダースコープ上でどのように表示されるか WAS のレーダー波検出確率、レーダーの方位平均時間等の効果を考慮して推定する。

(4) 共通条件

- ア レーダー空中線パターン: F.1245 を用い、自由空間損を適用した最悪条件とする。
- イ WAS 方向はレーダー最小仰角 (0.7 度) の下 0.7 度オフセットした仰角 0 度方向とする。

3 検討に用いた機器パラメーター及び前提条件

ア 計算式をわかりやすくするため、WAS 側パラメータを単純化 (下表)

パラメータ		値	単位	備考
レーダー	送信電力	84	dBm	参考資料2-9
	送信RF系損	2	dB	参考資料2-9
	空中線利得	44	dB	参考資料2-9
	WAS方向オフセット角	0.7	°	最小仰角-0.7度
	WAS方向空中線利得	38.8	dB	F.1245で近似
	受信RF系損	2	dB	参考資料2-9
	許容干渉レベル	-113	dBm/MHz	最小受信入力
	レーダー空中線高	40	m	
WAS AP	送信EIRP	7	dBm/MHz	TPC ON
	水平方向空中線利得	0	dBi	検出能力を等価的に下げるため0dBiとする
	レーダー波検出閾値	-64	dBm	
WAS MT	送信EIRP	7	dBm/MHz	TPC ON
	空中線利得	0	dBi	
レーダー-AP間遮蔽損		17	dB	測定値より
レーダー-MT間遮蔽損		3	dB	ソーダガラス5mm厚窓の通過損

イ 検討周波数帯は、5.3GHz 帯 (レーダー : 5260MHz、WAS : 5260MHz)

ウ レーダー仰角は、下表の角度を繰り返す

高仰角から低仰角に下がるスキャンシーケンス																		
30	24	19	15	12	9.5	7.5	6	4.8	3.8	3	2.3	1.7	1.3	0.9	0.6	0.3	0	-0.2

エ 列車内の AP は、屋外への遮蔽が比較的良好な位置に設置 (遮蔽損 : 17dB)

オ 端末は、窓際に置かれ窓を介してレーダ局と見通しが取れている

(ガラス窓通過損 : 3dB)

カ レーダーへの干渉は、端末からの方が強いという想定

キ ITU-R F.1245 空中線指向特性近似式

① $D/\lambda > 100$ の場合¹

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{for} \quad 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{for} \quad \varphi_m \leq \varphi < \max(\varphi_m, \varphi_r)$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi \quad \text{for} \quad \max(\varphi_m, \varphi_r) \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = -13 \quad \text{for} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

Gmax : 最大アンテナ利得 (dBi)
 G(φ) : 離隔に対する絶対利得 (dBi)
 φ : 離角(degrees)
 λ : 波長
 D : アンテナ口径
 G1 : 第1サイドローブ = 2 + 15 log (D/λ)

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad \text{degrees}$$

$$\varphi_r = 12.02 (D/\lambda)^{-0.6} \quad \text{degrees}$$

② $D/\lambda \leq 100$ の場合²

$$G(\varphi) = G_{max} - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{for} \quad 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

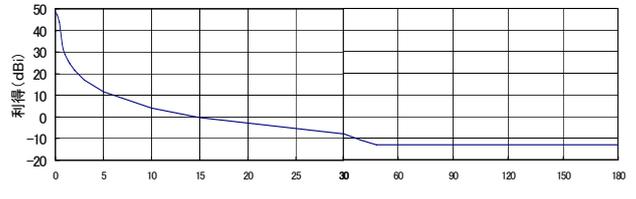
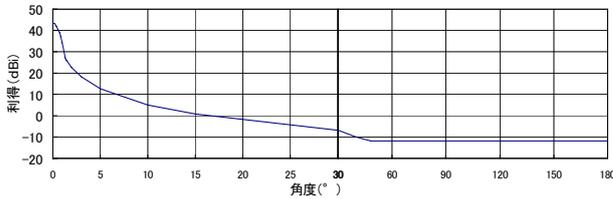
$$G(\varphi) = 39 - 5 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi \quad \text{for} \quad \varphi_m \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = -3 - 5 \log (D/\lambda) \quad \text{for} \quad 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

検討対象レーダー空中線指向特性近似

一般気象レーダー43.4dBi 空中線特性近似

空港ドップラレーダ 48.4dBi 空中線特性近似



4 干渉量・離隔距離計算

車両の遮蔽損が 17dB 程度では、レーダー波レベルが DFS 検出レベルになる距離においては、検出マージンが 18dB もあり、隠れ基地局問題は起こらず、DFS が正常に機能すると考えられる。

5260MHzレーダー → 5260MHz WAS AP

周波数 MHz	送信ピーク 電力 KW	送信RF系損 dB	レーダー空中線 利得 dBi	所要自由空間 間損 dB	車壁の損失 dB	WAS空中 線利得 dBi	受信RF系 損 dB	干渉波受 信レベル dBm
5260	250	2	38.8	167.8	17.0	0	0	-64.0
				距離(Km)	1108.4			

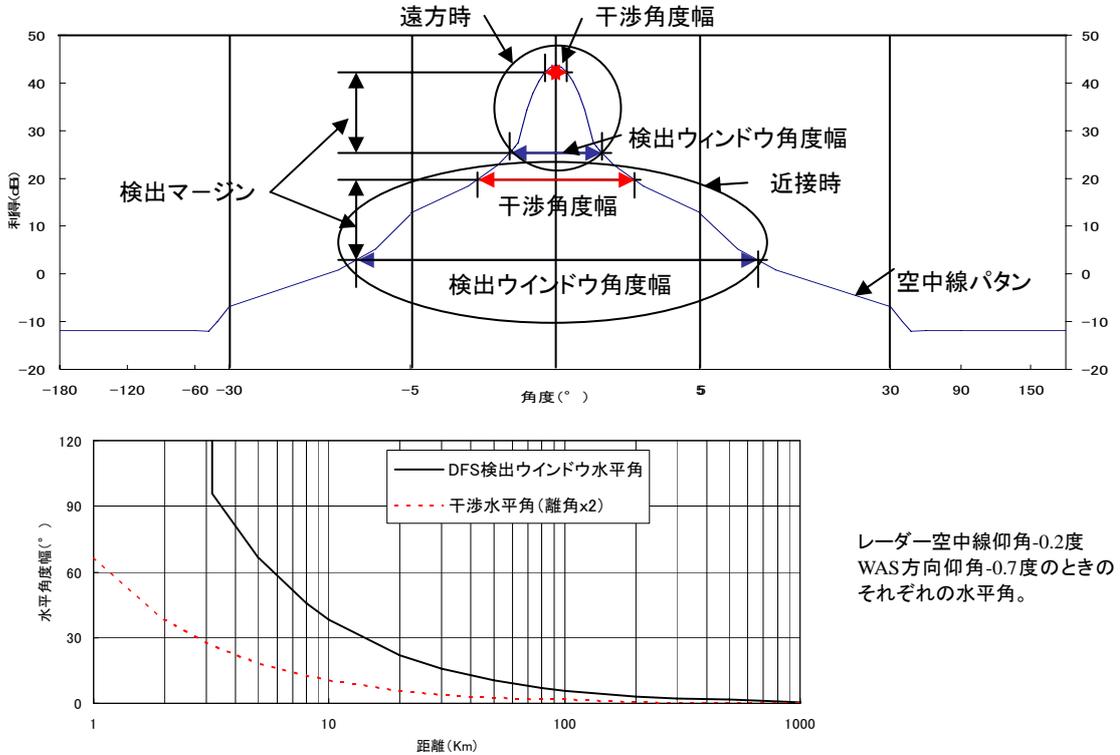
5260MHz 20MHz / 5270MHz 40MHz WAS MT → 5260MHz レーダー

周波数 MHz	送信電力 dBm/MHz	送信RF系損 dB	WAS空中線 利得 dBi	窓の損失 dB	自由空間損 dB	レーダー空 中線利得 dBi	受信RF系 損 dB	干渉波受 信レベル dBm/MHz
5260	7	0	0	3.0	167.8	38.8	2	-127.0

¹ the ratio between the antenna diameter D and the wavelength λ is greater than 100 :
² less than or equal to 100

5 一般気象レーダーにおける検出ウィンドウと干渉角度幅

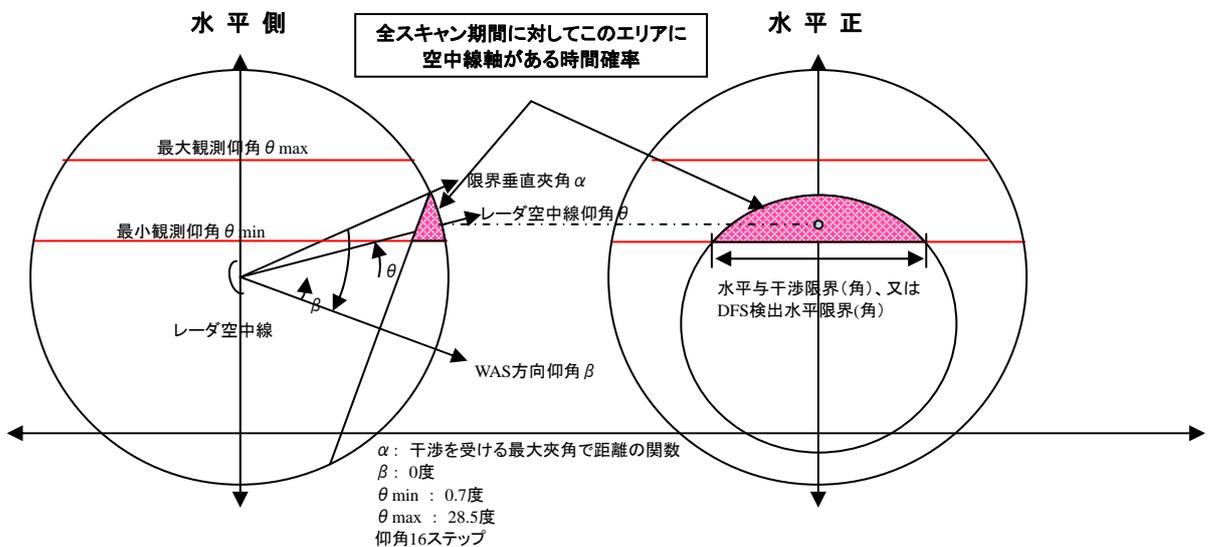
比較的遠方にある場合、検出ウィンドウ幅は小さいが、近づくとつれ、検出ウィンドウ幅は大きくなる。



6 一般気象レーダー空中線軸が干渉を受けるエリア内にある確率

仰角スキャンを行っている運用状態では、干渉量が最小受信感度を超えるエリアにある確率は、WASとの距離48Kmで0.1%、12Kmで1%、1.6Kmで10%程度である。

レーダーが干渉を受けるエリアとレーダー空中線軸との位置関係



7 5.3GHz 帯レーダーが突然出現する WAS による干渉を受ける確率

トンネル等を抜けレーダーと突然見透しになる場合などで、レーダーに干渉を及ぼす場合は、以下の条件が成立している場合と考えられる。

- レーダーが干渉を受けるエリア内にレーダー空中線軸があること。
- 窓際に置かれた WAS MT が送信していること
- レーダーの距離・方位平均時間内、あるレベル以上の干渉を与え続けていること
- その窓際側の列車の側面がレーダー方向に面しており、伝搬路が自由空間であること

これらすべての条件が揃ったときに、レーダーは干渉を受ける可能性がある。しかし、干渉を受けるエリア内にレーダー空中線軸がある確率は距離 12km で 1%程度であり比較的小さい。よってこれらすべてが揃う確率はかなり小さいと考えられる。また列車の地上高は低く、車窓からレーダー局までフレネルクリアランスが確保できて自由空間となる状況は一般に少ないと考えられる。

また、近距離で突然出現する場合干渉を生じる確率は高くなるが、そのような状況、位置関係は特殊であると考えられ、決まった軌道・航空路を通る列車や航空機の場合、事前に影響を与えない周波数を選択する等で対応できるものと考えられる。また、航空機の場合かなり遠方から見透しとなるため、突然出現する確率自体無視できる程度に小さいと思われる。

したがって、本干渉問題は、隠れ基地局問題と同様 かなり特殊な場合であって、問題が発生する確率は極めて小さく、列車、航空機での利用は可能であると考えられる。

【空港気象レーダーでのスコープ上での WAS 干渉縞の見え方について】

1 干渉計算で用いた機器パラメータ

周波数 : レーダ、WAS とも 5280MHz

	パラメータ	値	単位	備考
レーダ	PRF	840	Hz	
	回転速度	4	RPM	
	パルス幅	1	μ sec	
	送信電力	83	dBm	200KW
	送信RF系損	4.63	dB	実力値
	空中線利得	48.4	dB	実力値
	空中線径	7.1	m	
	WAS方向オフセット角	-0.7	°	最小仰角0.7度で一定とする
	WAS方向空中線利得	34.0	dB	F.1245で近似
	受信RF系損	5.97	dB	実力値
	最小受信感度	-112	dBm/MHz	
	距離/方位/時間平均	1/24/1	回	方位平均時間 28.6msec
	方位平均後の干渉軽減効果	6	dB	方位平均でのプロセスゲインを配分(仮定値)
	方位平均による平均電力軽減効果	3	dB	802.11a On/Off比を50:50
レーダ空中線高	49.2	m		
WAS AP	送信EIRP	7	dBm/MHz	TPC ON
	水平方向空中線利得	0	dBi	検出能力を等価的に下げるため0dBiとする
	レーダ波検出閾値	-64	dBm	
WAS MT	送信EIRP	7	dBm/MHz	TPC ON
	空中線利得	0	dBi	
レーダ-AP間遮蔽損		17	dB	測定値より
レーダ-MT間遮蔽損		3	dB	ソーダガラス5mm厚窓の通過損

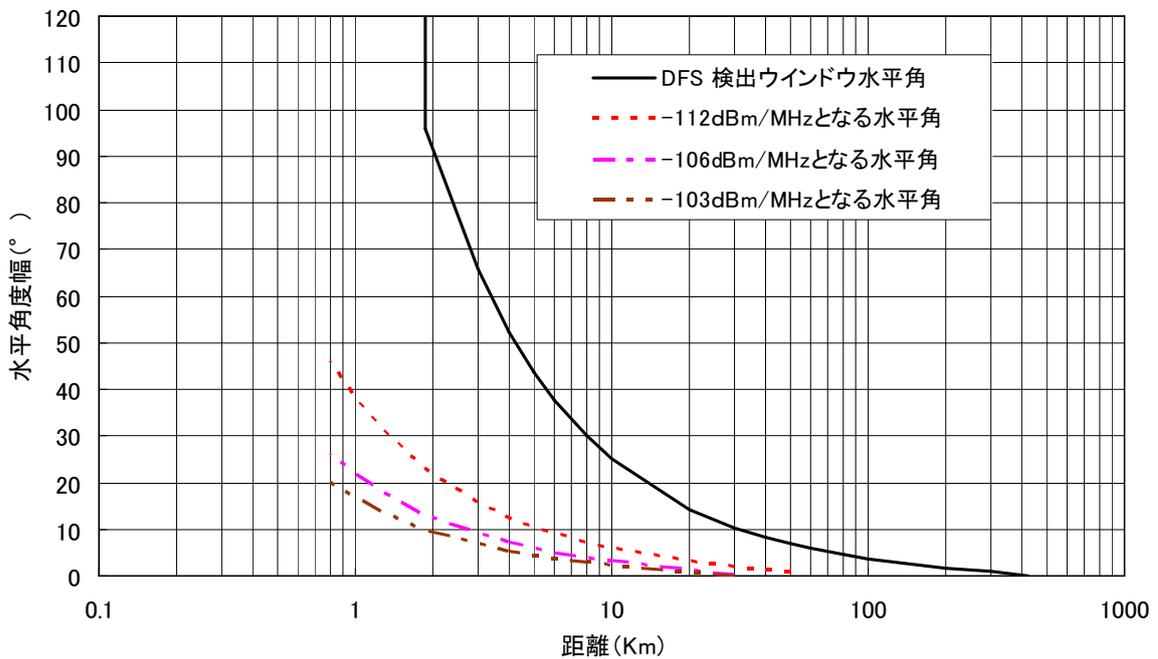
2 考慮しなければならない条件

- (1) 方位平均処理に約 30msec かかりこの間レーダ一空中線は 0.72 度回転するので、方位平均に用いる同一距離ビンに落ち込む干渉量が変化する。特にレーダ空中線ビーム近辺での変化量は、水平角 1.72 度~0 度（夾角で 1.86~0.7 度）で 11.7dB も変化する。平均化処理効果にこれを組み込み検討するのは困難であるため、今検討では方位平均処理時間中これによる干渉量の変化はないとする。
- (2) レーダーは A/D 変換を行って MTI 処理（静止物の表示を消すため、エコーの DC 成分を除去する処理）や平均化処理等の後、スコープに表示させる。筑波での実験で確かめられた通り、これら処理によるプロセスゲイン（S/N 改善）がある。このプロセスゲインにより相対的に熱雑音様の干渉電力は低減される。OFDM 変調波は熱雑音様のスペクトラムであり、筑波実験では 802.11a OFDM 変調波に対し MTI 処理、平均化処理で受信機入力換算で 10dB 程度の改善があった。本検討では少なくとも MTI 処理と等価な効果分 6dB の改善がみこめるとする。
- (3) 方位平均処理期間約 30msec に比べ、802.11a の 54M 伝送での最長パケット送信時間は 600nsec であり十分短い。また、規則上でも最大パケットは 4msec に制限されている。さらに、スペクトラム占有時間比率（全時間に対する通信を行っている時間の比率でアクティブ時間比）は TCP セッション 100% 負荷でも 63% しかない。すなわち、方位平均を取る間隔 1.2msec、長さ 1 μ sec の 24 ビンすべてに干渉を与えてしまうことは非常にまれであ

る。そこで、802.11a のスペクトラム占有時間比率を安全側を取って 50% とすると、平均化処理において等価的に干渉の影響は平均 3dB 低下するのでこれを用いることとする。

(4) 方位分解能は、24 パルスの平均であるから 0.69 度。レーダースコープ上の方位表示 1 単位はこれと同じかこれ以上にしなければならないのでここでは 1 度とする。

3 空港気象レーダにおける検出ウィンドウと干渉角度幅



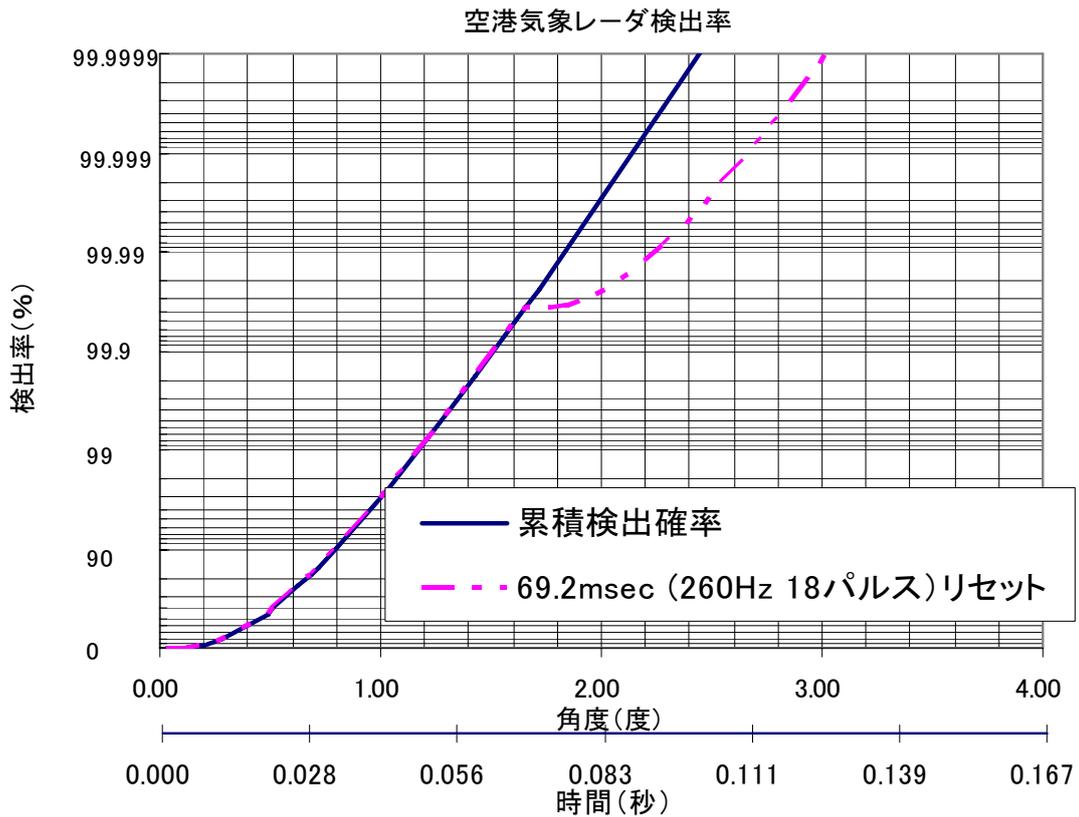
注) -112dBm/MHz : 最小受信感度
 -106dBm/MHz : 方位平均処理による干渉耐性改善効果を受信機入力端に換算。
 -103dBm/MHz : 802.11a アクティブ時間比を 50%、方位平均化処理により干渉量が等価的に 3dB 改善する。

距離 (Km)	水平角度幅(度)			
	DFS 検出ウィンドウ	-112dBm/MHz	-106dBm/MHz	-103dBm/MHz
421.5	0.00	0.00	0.00	0.00
50	6.79	0.94	0.00	0.00
20	14.36	3.22	1.46	0.63
10	25.09	5.96	3.23	2.27
3	65.82	15.97	9.12	6.85
1.8788	95.72	23.26	13.34	10.08
1.8787	360.00	23.26	13.34	10.08
1	360.00	38.57	22.17	16.79

注) -112dBm/MHz : 最小受信感度
 -106dBm/MHz : 方位平均処理による干渉耐性改善効果を受信機入力端に換算。
 -103dBm/MHz : 802.11a アクティブ時間比を50%、方位平均化処理により干渉量が等価的に3dB改善する。

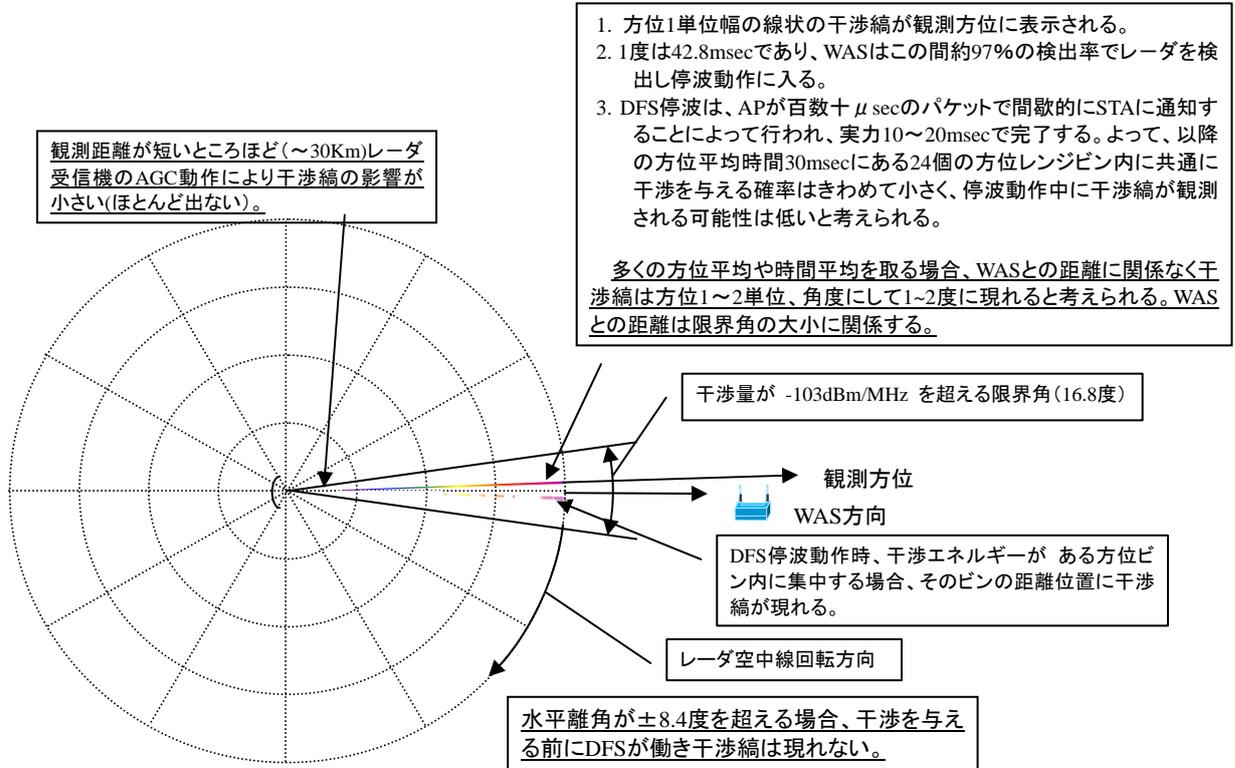
4 WAS (802.11a)での空港気象レーダ検出確率

負荷率 50%で検出率 60%以上（規格）の CSMA/CA 型 WAS の場合、PRF840Hz、4RPM の空港気象レーダ波に対し同一負荷状態で空中線回転角 0.8 度（33msec）で検出率 90%、1.2 度（50msec）で 99%を超える。（注：4 パルス検出で検出と判断し、このパルスカウンタのタイマー設定を同一帯域の最も長い所要検出期間（260Hz レーダの 18 パルス期間）に設定している場合。）



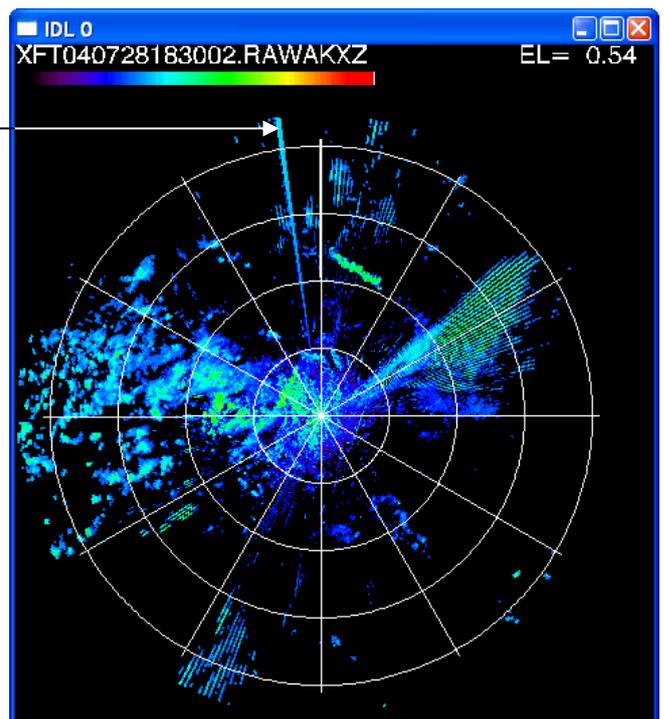
5 WAS (802.11a)による空港気象レーダスコープ上での干渉縞の見え方

- WAS との距離 1Km、レーダ空中線軸と WAS との水平離角が ± 8.4 度内にあるときに、突然 WAS が出現する場合



6 干渉実験事例 (気象レーダスコープ上での干渉縞の見え方)

802.11a からの“Streak”干渉。
一般にはWASの空中線高が低く低層伝搬で自由空間損以上の伝搬損があり、また、レーダ空中線がペンシルビームで、且つ、平均化処理がなされるので、よほどの近距離でない限り、DFSなしでも観測角がWASの方位角で1~2方位単位の輝線状の干渉縞となると考えられる



※ 2005年9月 WP 8B 会合 カナダ寄書 8B/293 より
WAS : 802.11a LAN, 38 dBm,
レーダ閾値より 16dB 高い干渉。
距離 10.6Km, 屋外、空中線高 15m,
場所 Carleton AZ 角 345度 DFS 無し。
Radar : CWSR98 Radar. 仰角 0.54 度、
Franktown, Ontario, Canada
距離目盛 : 40 Km

航空機内に搭載した DFS 機能の動作確認

(ボーイング社とカナダ環境省(EC)との共同飛行試験)

1 目的

高速移動体（航空機）に搭載した DFS 機能を有する無線 LAN・AP の機能確認を行うこと。

2 実施日等

2006 年 6 月 6 日～21 日

記録用 13 の試験飛行を実施

3 無線 LAN

規格 IEEE802.11a 準拠

出力 100mW

DFS リスンオンリー／インサービスモニタリング

4 レーダー

カナダ環境省所属レーダー

表2-12.1 共同試験の間、飛行中の航空機の視野に入るカナダ環境省気象レーダー

名前	ID	緯度 (度)	経度 (度)	高度(m)	周波数(MHz)	アンテナ利得(dB)
Bethune	XBE	50.5711	-105.1828	594	5625	49.2
Schuler	XBU	50.3126	-110.1955	868	5630	42.9
Strathmore	XSM	51.2062	-113.3991	983	5620	49.2
Silver Star	XSS	50.3694	-119.0642	1913	5615	42.9
Aldergrove	WUJ	49.0156	-122.4864	114	5625	42.9
Mt Sicker	XSI	48.8606	-123.7556	748	5620	49.2

5 飛行経路

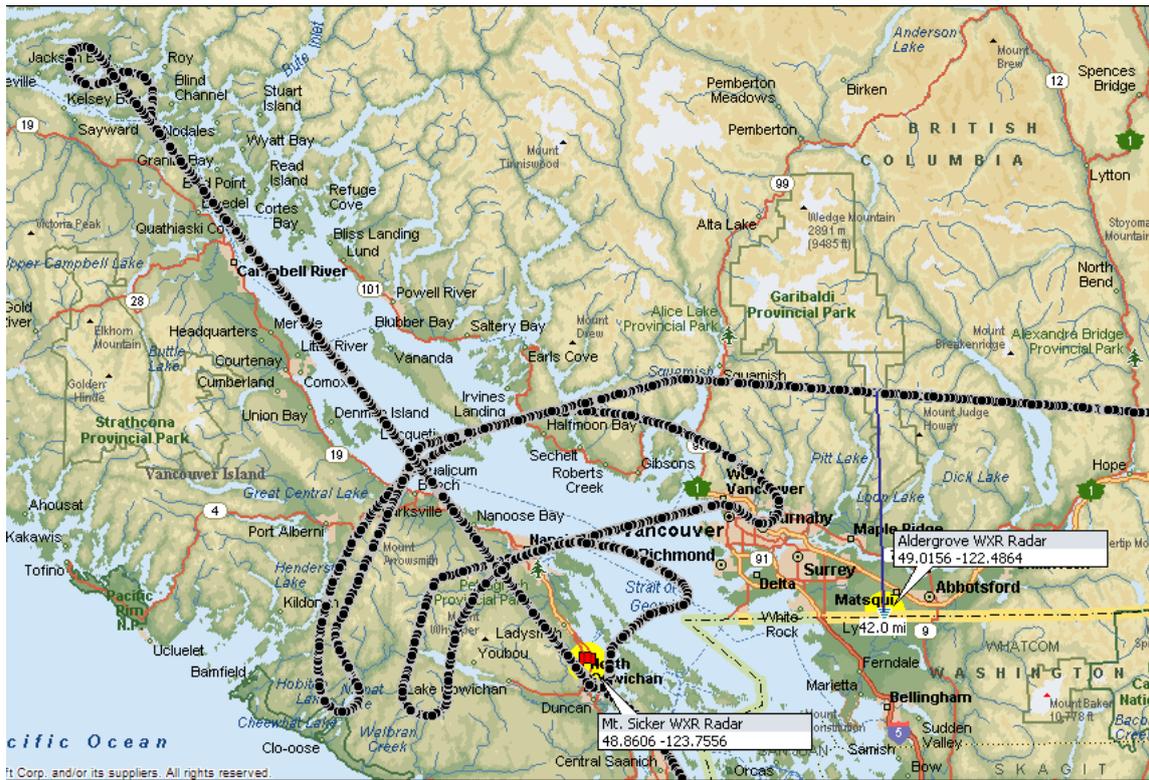


図2-12.1 Mt Sickerレーダー所在地付近における飛行試験において、実際に飛行した経路

6 検出結果

図 2-12.2 において、モンタナ州グラスゴーからブリティッシュ・コロンビア州 Mt Sicker レーダー所在地への飛行航路、図 2-12.3 において、Mt. Sicker レーダー所在地周囲における飛行航路の詳細を示す。これら図中の黒マルは飛行航路を、青マルは FCC の関連規制の閾値 (-62dBm) を上回るレーダー検知を、緑のフラグは限界値 (-50dBm) を上回るレーダー検知を表している。

Mt Sicker レーダー上空での飛行試験の際の、リッスン・オンリー試験及びイン・サービスモニタリング試験における WAS アクセス・ポイントのレーダー検知率の比較を図 2-12.4 に示す。この図のプロット点については、飛行試験中にそれぞれのアクセス・ポイントから 5 分ごとの bin で得た DFS の検出閾値 (-62dBm) を上回るレベルのレーダー波の DFS 検出の数を示す。

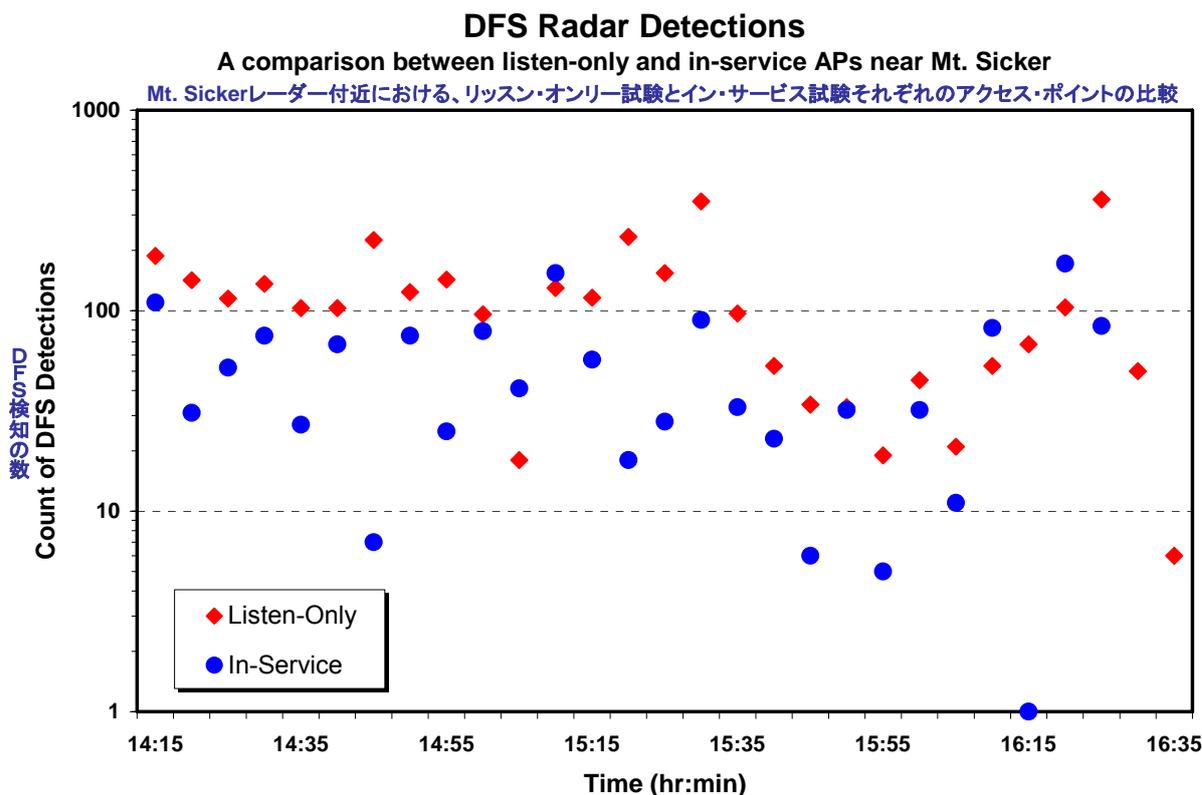


図2-12.4レーダー検知率の比較

7 結論

結論として、今回の飛行試験作戦でわかったのは以下の点である。

- ・ DFS アルゴリズムは、高速のプラットフォームでも機能し続ける。アルゴリズムの機能性は、感知できる範囲では、ネットワークの移動速度にはまったく影響を受けない。
- ・ 最悪のケースを想定した環境設定と飛行航路であったが、依然として航空機搭載無線通信 LAN はカナダ環境省の気象レーダーへ全く干渉しなかった。

8 本実証確認に対する考察

- ・ インサービスモニタリング時のパルスの検出数にバラツキがあるものの、結果を見る限り、DFS が機能しているものといえる。
- ・ 理論的な検討資料からも、高速移動体の DFS は問題なく動作するものと言え、ボーイング社のテスト結果は、実際に動作したことを確認する補強資料となり得る。

地球探査衛星との共用条件について

5GHz 帯無線アクセスシステムは、5250-5350MHz、5470-5570MHz において地球探査衛星/宇宙研究業務との周波数共用を行う。ITU-R における研究では、それぞれの帯域毎に共用条件を定めた勧告が作成されている。

1 5250-5350MHz 帯：勧告 ITU-R SA.1632

2 5470-5570MHz 帯：勧告 ITU-R M.1653

それぞれの勧告で示される条件についてを下記に示す。

1 勧告 ITU-R SA.1632

(1) 勧告主文

- － 5250-5350MHzのEESS衛星アクティブセンサ(特性:付録1)と無線LANは付録2に示す。
- － 無線LANへの制約条件下で周波数共用可能である。
- － EESS保護のために必要なレベルは、ITU-Rにおいて継続中の共用研究で検討されている運用・技術上の他の制約でも達成できる可能性あり。

(2) 付録2の無線LANへの制約条件

- － 屋内運用。
- － 最大e.i.r.p. 200mW (TPCなしのときは100mW)、最大e.i.r.p.密度は10mW/MHz。
- － 3dBの干渉軽減を保証するTPC機能の具備。
- － 5GHz帯無線LAN割当て帯域にわたりチャンネル利用を平均化するためのDFS等のランダムなチャンネル選択機能の具備

2 勧告 ITU-R M.1653

(1) 勧告主文

- － 付録1に示される、5470-5570MHz帯における地球探査衛星/宇宙研究業務との共用を促進するため、無線LANを含む無線アクセスシステムは、運用面及び技術的な制限としてrecommends 2で示される最大e.i.r.p. 1W制限、またはrecommends 3で示される最大送信電力250mWおよび各仰角におけるスペクトラムマスク制限の何れかを適用すること。
- － 付録2及び3に示される、5470-5570MHz帯において屋内及び屋外で運用される無線LANを含む無線アクセスシステムは、
 - (a) 最大平均e.i.r.p. 1W且つ最大平均e.i.r.p.密度17dBm/MHzに制限されること。
 - (b) 出力の総和を最低でも3dB低減させるためのTPC機能を具備すること。TPCが具備されない場合は、出力の上限は上記a) から3dB減じたものとする。

- (c) 5470-5725MHzで運用されるものは、利用可能チャンネルを平均化するためのDFS機能を具備すること。
- 一 付録2及び4に示される、5470-5570MHz帯において屋内及び屋外で運用される無線LANを含む無線アクセスシステムは、下記の条件に従うこと。
- (a) 最大送信機電力は250mW (24dBm) または $11+10\log B$ dBm (B : 99%送信帯域幅(MHz))。
- (b) 送信機あたりの最大e.i.r.p. が1W (0 dBW)または $-13+10 \log B$ dBW を超えないこと。
- (c) 5470-5570MHzにおいて屋外で運用する無線LANを含む無線アクセスシステム基地局が発射するe.i.r.p.密度は、下記に示す、水平面からの仰角 θ における値を超えてはならない。

-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	$45^\circ < \theta$

また WRC-03 において、無線アクセスシステムの導入に関する 5GHz 帯の利用については、③ 決議 229 (参考資料 10-3) が制定され、5250-5350MHz 帯の利用については、勧告 ITU-R SA.1632 で条件付けられている無線アクセスシステムの屋内限定利用に関する表現が見直された。

3 決議 229 (関連決議項目の抜粋)

送信出力制限について、3つの異なる条件が示されており、何れかを満たすことが要求されている。

- 一最大 e.i.r.p. 200mW かつ任意の 1MHz において e.i.r.p.密度 10mW/MHz
 (条件1)
- 一最大e.i.r.p. 1Wかつ任意の1MHzにおいてe.i.r.p.密度 50mW/MHz、200mW
 を超えて運用する場合は以下に示す垂直面でのe.i.r.p.マスクに従う
 (条件2)

-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	$45^\circ < \theta$

一 主管庁関連事項

- ・ 主管庁は、大多数の無線局が屋内で運用されるよう適切な手段を講ずることが要請されている。(条件1と連動)
- ・ 主管庁は、勧告SA.1632に基づく保護レベルが達成できれば、国内法の制定時に異なる干渉軽減技術を採用する幾らかの自由度をもつ。
 (条件3)

DFS の測定条件に係る通信負荷率

高速無線 LAN の DFS の測定条件に関し、各種レーダー試験波形に対する検出確率を測定する場合の親局の無線設備から子局の無線設備に対する通信負荷率について、現行の技術基準の妥当性を以下に考察する。

1 現行の DFS に係る技術基準及び測定条件

無線 LAN の親局の無線設備は、5250-5350MHz 及び 5470-5725MHz の周波数帯における無線標定業務、地球探査衛星業務及び宇宙研究業務との周波数共用を考慮して、ITU-R 勧告 M.1652 に規定される動的周波数選択（DFS）機能を具備することを必要とする。この動的周波数選択の技術基準及び測定条件の概要は、以下のとおりである。

(1) 技術基準の概要

ア 無線設備は、絶対利得 0dBi の空中線のレーダ波送信期間中の秒あたりの平均受信電力において、次のとおり規定される検出しきい値以上のレーダーの干渉信号を検出すること。

無線設備の最大等価等方輻射電力	検出閾値
最大等価等方輻射電力が 200mW 未満の場合	-62dBm
最大等価等方輻射電力が 200mW 以上の場合	-64dBm

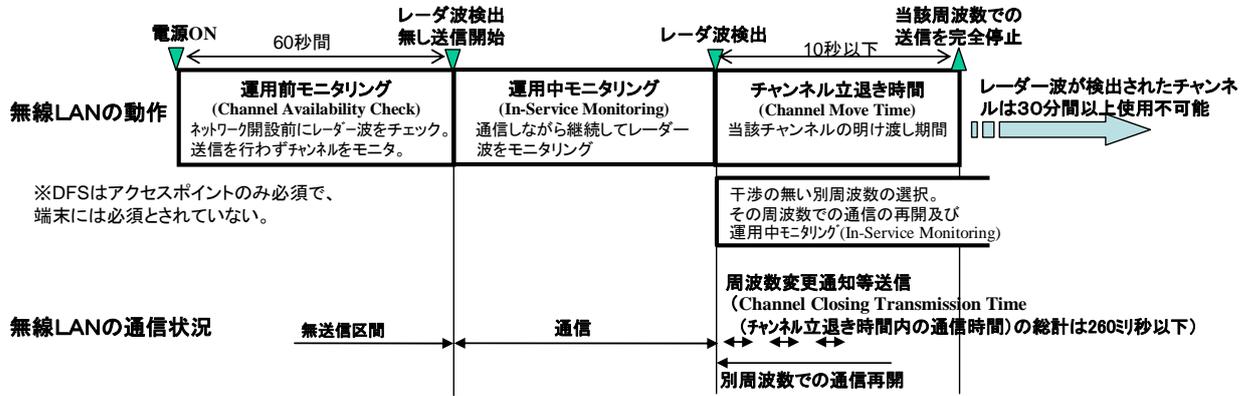
イ 無線設備は、送信しようとしているチャンネルの占有周波数帯幅内におけるレーダーとの干渉の有無について、アに基づき 60 秒間の確認を実行すること（以下「利用可能チャンネル確認機能」という。）。

ウ 無線設備は、通常の送信の間、送信しているチャンネルの占有周波数帯幅内におけるレーダーとの干渉の有無について、アに基づき連続的に確認を実行すること（以下「運用中チャンネル監視機能」という。）。

エ 無線設備は、運用を開始していない場合又は連続的に運用中チャンネル確認機能によりチャンネルを監視していない場合には、利用可能チャンネル確認機能を完了することなく、いずれのチャンネルも送信を行ってはならない。

オ 無線設備は、利用可能チャンネル確認機能又は運用中チャンネル監視機能によりレーダーの干渉信号が検出された場合には、当該信号が検出されたチャンネルにおいて、検出してから 30 分の間、送信をしてはならない。

カ 無線設備は、運用中チャンネル監視機能によりレーダーの干渉信号が検出されたチャンネルにおける同無線設備に付属する子局を含めた全ての無線局の送信を 10 秒以内に停止しなければならない。無線設備の当該期間における送信時間の合計は、260 ミリ秒以下でなければならない。



(2) 測定条件の概要

ア 動的周波数選択の測定は、無線設備の送信するチャンネルを、無線設備が使用する周波数帯から無作為に選んだものに設定して行うこと。

イ 測定に使用するレーダー試験波形は、次の条件に適合するものであること。

- (7) 5250-5350MHz を使用する無線 LAN が検出すべきレーダー試験波形
- ・ ショートパルスレーダー試験波形（無変調パルス列）

レーダー種別	パルス幅	パルス繰返周波数	連続するパルスの数	検出確率
1	1.0 μ 秒	700Hz	18	60%以上
2	2.5 μ 秒	260Hz	18	60%以上

- (i) 5450-5725MHz を使用する無線 LAN が検出すべきレーダー試験波形

- ① ショートパルスレーダー試験波形（無変調パルス列）

レーダー種別	パルス幅	パルス繰返周波数	連続するパルスの数	検出確率
1	0.5 μ 秒	720Hz	18	60%以上
2	1.0 μ 秒	700Hz	18	60%以上
3	2.0 μ 秒	250Hz	18	60%以上
4	1.0-5.0 μ 秒 (1.0 μ 秒間隔)	4,347-6,667Hz (1.0Hz 間隔)	23-29	60%以上
5	6.0-10 μ 秒 (1.0 μ 秒間隔)	2,000-5,000Hz (1.0Hz 間隔)	16-18	60%以上
6	11-20 μ 秒 (1.0 μ 秒間隔)	2,000-5,000Hz (1.0Hz 間隔)	12-16	60%以上

※ 種別 1 から 6 までの検出確率の平均値が 80%以上であること。

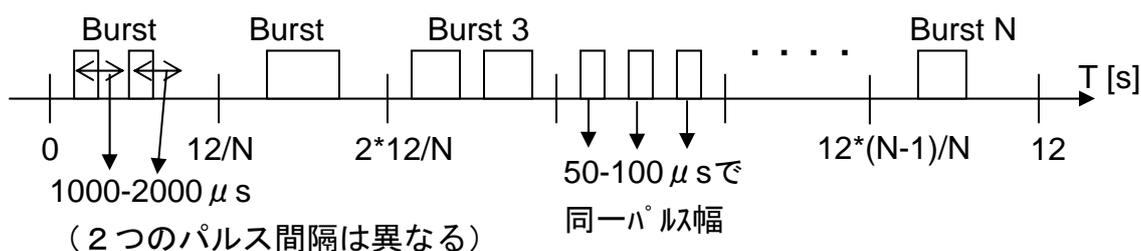
② ロングパルスレーダー試験波形（線形周波数変調パルス列）

レーダー種別	パルス幅	パルス繰返周波数	連続するパルスの数（バーストあたりのパルス数）	検出確率
1	50-100 μ 秒 (1 μ 秒間隔)	500-1000Hz z	1-3	80%以上

※1 バースト数は8-20、バースト間隔は12秒間をバースト数で除したものと
する。

※2 チャープ幅は、5-20MHz（1MHz 間隔）で、同一バースト内で同じとする。

※3 同一バースト内でのパルス幅は同じであり、繰返周波数はランダムとする。



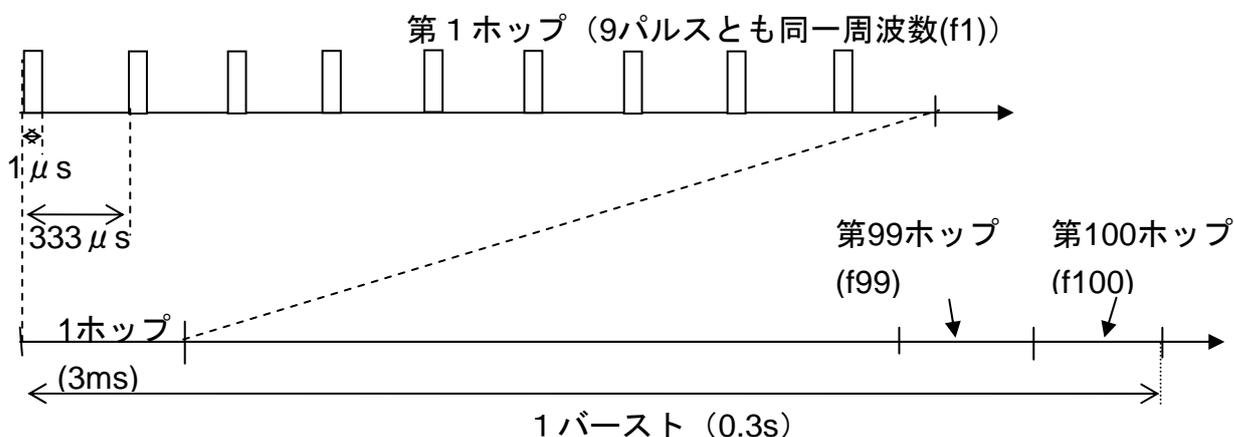
③ 周波数ホッピングレーダー試験波形

レーダー種別	パルス幅	パルス繰返周波数	連続するパルスの数（バーストあたりのパルス数）	検出確率
1	1.0 μ 秒	3000Hz	9	70%以上

※1 ホッピング周波数は、5250-5724MHzの1MHz 間隔の周波数とする。

※2 ホッピング間隔は3m 秒、全てのホッピング間隔の合計は300m 秒とする。

※3 バースト間隔は、3m 秒とする。



ウ 利用可能チャネル監視機能の測定は、原則として、無線設備の受信部に、イに規定されるすべてのレーダー試験波形を各1回入力して、レーダー試験波形の検出を確認すること。

ただし、イに規定されるすべてのレーダー試験波形を各1回入力して、レーダー試験波形の検出を確認する方法に対し、確率的に等価となることが明かな方法による場合は、レーダー試験波形同士をまとめて測定することができるものとする。

エ 運用中チャネル確認機能の測定は、次のとおり行うこと。

(7) 検出確率

- A イ(7)及びイ(イ)①のすべてのレーダー試験波形の検出確率は、60%以上であること。ただし、イ(イ)①のすべてのレーダー試験波形の検出確率の平均値が80%以上であること。
- B イ(イ)②のレーダー試験波形の検出確率は、80%以上であること。
- C イ(イ)③のレーダー試験波形の検出確率は、70%以上であること。

(イ) 検出確率の確認方法

(7)の検出確率は、検出確率の誤判定等の可能性があることを考慮した上で、確率的に等価となることが明らかな場合においては、例えば、5250-5350MHz を使用する無線設備の検出確率は、以下の手順で確認することができるものとする。

【各レーダー試験波形の検出確率の確認方法】

- A 先ず、試行回数 20 に対する所要の検出回数を 15、16 以上又は 18 以上とし、これを満足する無線設備の検出確率は、それぞれ 60% 以上、70%以上又は 80%以上であるものとすることができる。
- B 次に、Aにおいて、試行回数 20 に対する検出回数が 11~14、13~15 又は 15~17 であった無線設備の検出確率は、試行回数 40 (Aの試行回数 20 に対し、追加的試行回数 20 を加えたもの) に対する検出回数 (試行回数 20 に対する検出回数に追加的検出回数を加えたもの) が 24 以上、28 以上又は 32 以上である場合において、検出確率が 60%以上、70%以上又は 80%以上であるものとすることができる。

【レーダー試験波形の検出確率の平均値の確認方法】

原則として、無線設備の受信部に、イに規定されるすべてのレーダー試験波形を入力して、レーダー試験波形の検出確率を確認すること。

(ウ) 検出確率の確認時の通信負荷率

- A 5250 MHzから 5350 MHzまでの周波数の電波を使用する無線設備が検出するレーダー試験波形の検出確率は、親局の無線設備 (接続方式がキャリアセンス多元接続方式のものに限る。) から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の物理層における最大信号伝送速度の 50%の伝送を行う場合のものをいう。
- B 5,470 MHzから 5,725 MHzまでの周波数の電波を使用する無線設備が検出するレーダー試験波形の検出確率は、親局の無線設備 (接続方式がキャリアセンス多元接続方式のものに限る。) から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の物理層における最大信号伝送速度の 17%の伝送を行う場合 (インターネットプロトコルにおける TCP¹層における負荷率で

¹ Transmission Control Protocol

15%の場合)のものをいう。

オ 接続方式が、固定フレームベースの無線設備については、イの(イ)の①のうち種別1及び3のレーダー試験波形を実運用上において99%の確率で検出可能な測定条件が確立された場合には、その測定条件をもって測定することができるものとする。

2 通信負荷条件に関する考察

親局の無線設備から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の物理層における最大信号伝送速度の50%又は17%の伝送を実現するための通信負荷については、どの被試験機器に対しても、どの試験行程においても、試験期間中において可能な限り一定の負荷率となることが望ましい。

ここで、最も良いと思われる方法は、定率の負荷をかける特定の負荷試験用ソフトまたは一定の平均伝送速度となるストリーミングファイルを用いることを条件とすることであるが、特定の負荷試験用ソフトの使用を条件とすることは、著作権の取扱、品質やバージョン管理、あるいは、サポート体制等に課題があると考えられる。

このため、所要の負荷率を実現する負荷試験用ソフトについては、メーカーの事前の試験等に対し実試験と共通の試験環境を容易に構築できることが必要であり、このことが、負荷試験用ファイル・ソフトの要件を決定する重要な要素となる。さらに、国際的整合を図る必要があることから、米国の試験に採用されているファイルと同等のものとすることも重要な要素である。

したがって、負荷試験用ソフトを誰もが独自に容易に再現可能となるような必要最小限の条件を規定すること、汎用のソフトで容易に負荷試験用ソフトが作成可能であることが必要であり、このためには、MPEG ストリーミングファイルを負荷試験に用いることが適当である。

【通信負荷条件】

(1) 親局の無線設備から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の物理層における最大信号伝送速度の50%の伝送を行う場合に使用する通信負荷は、次に掲げる条件に適合するものであること。

ア ビデオ信号

(ア) 符号化方式は、国際標準化機構及び国際電気標準会議が定めた規格(以下「国際規格」という。)ISO/IEC 13818 Mpeg-2 であること。

(イ) 符号化速度(エンコードビットレート)は、平均10,000kbps(固定ビットレート)であること。ただし、符号化速度の平均値の許容偏差は、1%であること。

イ オーディオ信号

(ア) 符号化方式は、国際規格ISO/IEC 11172 Mpeg-1 layer II であること

(イ) サンプリング周波数は、44,100Hz であること。

(ウ) 符号化速度は、平均224kbps(ステレオかつ固定ビットレート)であること。ただし、符号化速度の平均値の許容偏差は、1%であること

と。

(2) 親局の無線設備から子局の無線設備に対して、誤り訂正及び制御信号を含めない信号伝送速度で、親局の無線設備の物理層における最大信号伝送速度の17%の伝送を行う場合に使用する通信負荷は、次に掲げる条件に適合するものであること。

ア ビデオ信号

- (ア) 符号化方式は、国際規格 ISO/IEC 13818 Mpeg-2 であること。
- (イ) 符号化速度は、平均 3,500kbps であること。ただし、符号化速度の許容偏差は、1%であること。

イ オーディオ信号

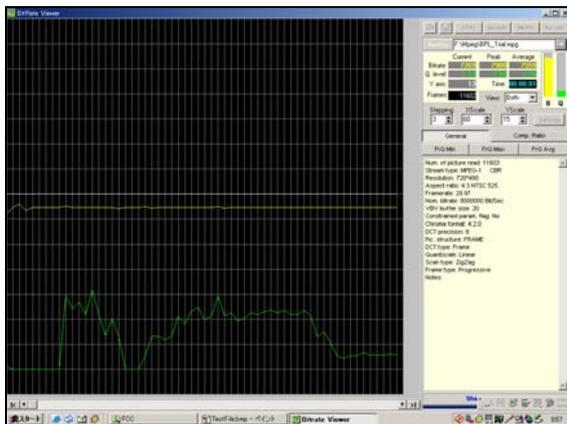
- (ア) 符号化方式は、国際規格 ISO/IEC 11172 Mpeg-1 layer II であること。
- (イ) サンプリング周波数は、44,100Hz であること。
- (ウ) 符号化速度は、平均 112kbps（モノラルかつ固定ビットレート）であること。ただし、符号化速度の平均値の許容偏差は、1%であること。

なお、参考までに、平成 16 年度情報通信審議会答申²における北海道実証実験の際に使用した MPEG ファイル等の負荷率を解析した結果を以下に示す。

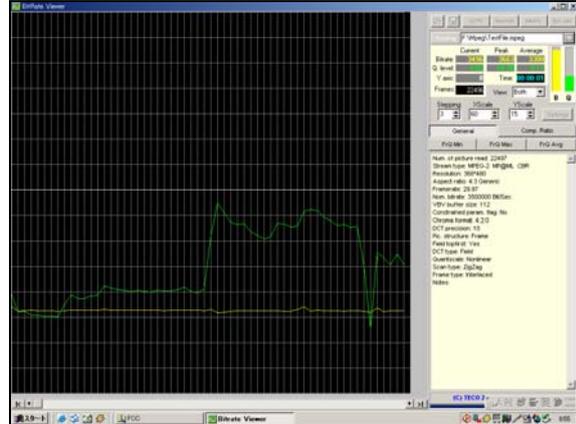
ファイル名	ビデオ	オーディオ	ファイルサイズ	再生時間
612Magic 1958.mpeg	MPEG-2 368x480 4:3 29.97fps 3500.00kbps 229376Byte	MPEG1-LayerII 44100Hz [CBR Mono] 112.00kbps [365bpf]	346610506	12:30.5
BPL_Trial.mpg	MPEG-1 720x480 4:3(NTSC) 29.97fps 8000.00kbps 40960Byte	MPEG1-LayerII 44100Hz [CBR Stereo] 224.00kbps [731bpf]	403910660	06:27.2
TestFile.mpeg	MPEG-2 368x480 4:3 29.97fps 3500.00kbps 229376Byte	MPEG1-LayerII 44100Hz [CBR Mono] 112.00kbps [365bpf]	346610506	12:30.5

² 平成 16 年度情報通信審議会答申（諮問第 2014 号「5GHz 帯の無線アクセスシステムの技術的条件」のうち「占有周波数帯幅が 20MHz 以下の小電力データ通信システムの技術的条件等」平成 16 年（2004 年）11 月 29 日）

BPL_Trial.mpg



TestFile.mpeg



3 通信負荷率に関する考察

5.6GHz 帯システムの DFS 測定条件のうち、レーダー試験波形に対する検出確率を確認する場合の条件である親局の無線設備から子局の無線設備に対する通信負荷率について、これまでの技術基準（5.3GHz 帯システムに係るもの）に従う前提では、物理層における最大伝送速度の 50% 負荷により、上記の 1 の(2)のイの(イ)の①に掲げるレーダー試験波形のうち、種別 1 及び 3 の検出確率が 60% 以上、種別 2 及び 4 から 6 までのレーダー試験波形の検出確率の平均値が 80% 以上を実現しなければならない規定となる。

DFS 試験は、時間、費用ともに負担が大きい試験であり、さらに同じ帯域で異なる試験仕様は非常に煩雑である。また、実試験においては海外を含めた複数の試験機関において、負荷のかけ方に差が生じる恐れもあり、具体的に負荷をかける方法、負荷となるファイル等を指定すべきとも考えられる。

したがって、以下の検討結果により、5.6GHz 帯システムの DFS に係る測定条件を上記 1 に掲げるとおり、修正するものである。

(1) 負荷率と検出確率

50% 負荷時における 18 パルスに対する検出率が 60% である機器に対し、検出率が概ね 80% になる負荷率を求めると、下表のとおり、17% となる。そこで、5.6GHz 帯での DFS 試験規定において、種別 1 及び 3 に対し、負荷率 17%、平均検出率 80% 以上を合格とし、また具体的な負荷のかけ方、負荷率 17% 程度になる MPEG ファイルを負荷ファイルとする提案を行うものである。

50% 負荷のとき

検出率	DFS検出ウィンドウ時間率	内訳		備考
		キャリアアイドル時間率*	DFS検出ウィンドウ比	
60%	0.2245	0.6818	0.3293	二項分布より左記ウィンドウ時間比率のとき検出率60%になる。
17% 負荷とすると				
82.01%	0.2933	0.8909	0.3293	

18パルスに対し4パルス以上検出した場合検出とする。

* : 802.11a CSMA/CAにおいてSIFS、DIFSなどのキャリアアイドル期間を含む。

(2) 通信負荷率の妥当性

各レーダー試験波形の検出確率の平均で 80%以上を合格とすることについて、試験規格では各項目最低 60%以上、平均 80%以上を合格ラインとしており、これらの検出率が悪くても他の検出率が良くて総合平均で 80%以上となれば合格となる可能性が生じるが、この可能性について、以下に考察する。

- ・ ある種別での検出率が 60%の機器は、たとえば 30 回の試験では 42%が不合格となる。
- ・ 残った 58%の機器は、残り 5 項目平均 84%の検出率を持たねばならないが仮に実力 84%とすると 45%が不合格となり、その結果合格となるのは 32%程度。
- ・ 実際には試験種別が似通っており、ある種別に対し 60%程度、他に対し 80%超となることは技術的に実現困難と思われる。
- ・ 80%の検出率を持っていても合格率は 50%にとどまる。仮に 99%以上の合格率を維持するには総試験回数 120 回の場合、実力検出率平均を 87%以上としなければならない。
- ・ なお、検出率 80%の機器が 30 回の試験で検出率 60%となる確率は 0.31%であり正しく設計された機器に対してはこの 60%はあまり意味を持っていない。CSMA/CA に限れる場合、むしろ足きり 60%をもう少し高い値にすべきかもしれない。

4 検出確率の確認方法に関する考察

5470-5725MHz を使用する無線設備の検出確率の確認方法について、以下に考察する。

(1) 各レーダー試験波形の検出確率の確認方法

真の検出確率を正確に推定するには、多くの試行回数を必要とし、実用的な範囲で実現することが難しい。そこで現実的な評価方法として、レーダー試験波形の誤検出、検出確率の誤判定等の可能性があることを考慮した上で、検出確率が等価と判定できることができる場合においては、例えば、以下の手順によることができるものとする。

1 の(2)のエに規定する現行の 5250-5350MHz を使用する無線設備の検出確率（すなわち、ショートパルスレーダー試験波形の検出確率 60%以上）の確認方法の考え方としては、試行回数を 40 とした場合、誤判定の水準として、検出確率 50%の無線設備を合格にしてしまう確率を 10%程度、検出確率 70%のものを不合格としてしまう確率を 10%程度とし、これを判定基準とすることが望ましいため、この判定基準を前提としたものである。

ただし、誤判定の水準として、検出確率 50%のものを合格にしてしまう確率を 3%程度、検出確率 70%のものを不合格としてしまう確率を 3%程度とし、これを判定基準とすることにより試行回数を 20 回とすることができるとしたものである。

これと同様に考えると、5470-5725MHz を使用する無線設備の検出確率の確認方法は、以下のとおりとなる。

(A) 5450-5725MHz を使用する無線設備の検出確率のうち、ロングパルスレーダ及び周波数ホッピングレーダの検出確率の確認方法

80%以上及び 70%以上の場合も、現行の確認方法と同様の考え方をを用いることができる。すなわち、所要の検出確率が 80%以上及び 70%以上の場合も、5250-5350MHz を使用する無線設備の検出確率と同様に試行回数 40 回とした場合、誤判定の水準として、検出確率が規定検出確率-10%のものを合格にしてしまう確率を 10%程度、検出確率が規定検出確率+10%のものを不合格としてしまう確率を 10%程度とし、これを判定基準とすることが望ましい。

ただし、誤判定の水準として、検出確率が規定検出確率-10%のものを合格にしてしまう確率を 3%程度、検出確率が規定検出確率+10%のものを不合格としてしまう確率を 3%程度とし、これを判定基準とすることにより試行回数を 20 回とすることができる。

(B) 5450-5725MHz を使用する無線設備の検出確率のうち、ショートパルスレーダーの検出確率の確認方法

6 種別のレーダー波に対する個々の所要の検出確率 60%以上に対し、平均の検出確率が 80%以上でなければならないという異なる判定基準となっているが、1 種別が 60%とすると他の種別は 84%以上の検出確率を有しなくてはならないことになり、上記 3 に記載するとおり、実現は極めて困難である。

したがって、個々の種別の試験において検出確率 80%以上とし、(A)と同様の判定方法を用いることができるものとする。

(2) レーダー試験波形の検出確率の平均値の確認方法

5470-5725MHz を使用する無線設備が検出しなければならないレーダー試験波形の数については、欧米の規定に比べ多くなっている（ショートパルスレーダー試験波形のうち、種別 1 及び 3 が日本独自の試験波形である）。一方、本試験は、DFS による停波の確率を確認する試験であるため、同一レーダー試験波形に対し複数回実施しなければならず、DFS が正常に動作すると、1 の(1)の力に規定するシーケンスに従い 30 分間停波するため、次の試験を再開するには、DFS 動作をリセットし正常通信動作状態に戻すという時間がかかる手順を含み、DFS が正常動作するほうが試験の時間がかかるといふ類のない試験となっている。

欧州での DFS 規定である EN 301-893 V1.3.1 では、複数のショートパルスレーダー試験波形をまとめ、その中から任意に 1 つを抽出し試験を行う方法を取っている。

こうした観点を考慮すると、所要の検出確率の確認方法と確率的に等価であり、かつ、より合理的な確認方法とすることができるものとするにより、無線設備の試験時の時間的、費用的負担を軽減できる可能性があるため、以下に考察するものである。

レーダー試験波形の検出確率の確認方法については、接続方式が CSMA 方式の無線設備に関し、レーダー波到来確率と DFS 検出 Window 比率とが同一であるという前提のもとでは、無線設備の検出確率に大きく依存するパラメータであるパルス繰返周波数が同様のレーダー試験波形については、上記 1 の(2)のエの(イ)項の規定に関わらず、1 の(2)のイに規定されるすべてのレーダー試験波形を入力し、レーダー試験波形の検出確率を確認する方法に対し、確率的に等価となることが明かな方法による場合においては、レーダー試験波形同士をまとめて確認する方法とすることが適当である。

一般に、検出確率は検出期間中の被検出波(I)と検出帯域内の雑音(N)の比 I/N に比例する。検出レベルは雑音レベルより相当高い値に一義的に規定されているため、検出確率は検出期間内で検出レベル以上になる時間率に比例することになる。一方検出方法は入力された信号をサンプリングして判定することで行われる。よって、サンプリング周期はパルス幅より短くなければならない。この条件が成立している限り、検出確率は検出期間内におけるパルス数に比例することになる。

1 の(2)のイの(イ)の①のレーダー試験波形のうち種別 1 及び 2 について、パルス幅は異なるものの検出期間内のパルス数が同一で規定の最低検出確率が同じであるから、サンプリング周期が $0.5\mu\text{sec}$ 以下、あるいは等価的に $0.5\mu\text{sec}$ 以下を実現している被試験装置に対して種別 1 か 2 どちらかの試験結果は他方の試験結果を包含するとみなすことが出来る。

同様に、1 の(2)のイの(イ)の①のレーダー試験波形のうち種別 5 及び 6 についても、パルス幅が 802.11CSMA/CA のプリアンプル以下であるので検出方法は上記と同様であると考えられ、パルス間隔が同じ範囲にあり、パルス数とパルス幅の積、及び検出期間において両者に大きな差がないことから、片方の試験結果が他方の試験結果を包含するものと考えられる。また、試験波形の相違が大きい 4 種別の総試験回数を考えると、1 種別 30 回としても、100 回を超える試験回数で判定することになり、試験回数としては十分といえる。

したがって、現行の測定条件に、以下の条件を追加することが適当である。

【検出確率の確認方法に関する追加的条件】

- (1) 無線設備の検出確率のうち、1 の(2)のイの(イ)の①のレーダー試験波形の検出確率の確認は、試験者が種別 1 又は種別 2 どちらか一方の試験波形を任意に選択することによって実施することができるものとし、当該確認は、種別 5 又は種別 6 の試験波形に対しても、これと同様に実施することができるものとする。

ただし、被試験装置のレーダー波検出サンプル間隔が、 $0.5\mu\text{sec}$ を越える場合には、種別 1 で試験を実施すること。

(2) 1の(2)のイの(イ)の①のレーダー試験波形のそれぞれの検出確率の平均値は、レーダー試験波形の種別1又は種別2のどちらか一方の検出確率、種別3の検出確率、種別4の検出確率及び種別5又は種別6のどちらか一方の検出確率の和を4で除した値とすることができる。

5 高速無線 LAN の通信負荷率の考察

IEEE802.11n については、基本的には、高速化の方法により、データパケット長に対するレーダー波検出ウィンドウ比率、レーダー波検出ウィンドウの絶対長が変わることが想定される。

高速化の方法	ウィンドウ比率の変化の状況
40MHz 化	ウィンドウ比率が上昇
MIMO 化	1ストリームあたりのウィンドウ比率は、原則変わらない
FEC 符号化率の低減	原則変わらないが、再送回数がどの程度増えるかで負荷率が変化
Block Ack 化	ウィンドウ比率が低下
Long Packet 化による高効率化	ウィンドウ比率が大きく低下

望ましい1つのレーダー波検出ウィンドウの絶対長は $20\mu\text{sec}$ 程度以上であるが、仮に $1\mu\text{sec}$ となっても、単位時間あたりのウィンドウ比率が維持される限り、IEEE802.11a の検出確率と IEEE802.11n のものとの差異は生じないと考えられるが、上記の方法を組み合わせる IEEE802.11n においては、IEEE802.11a に比較し検出確率が低下することが予想される。

一方、キャリアセンスの有効期間 4msec によりこれを越えて Block Ack、Long Packet を連続させて使用することは出来ない。また、同じ通信トラフィックを処理する場合について、IEEE802.11n と IEEE802.11a とで比較すると、高速化された分の負荷率が減少しウィンドウ比率が上昇する。つまり、IEEE802.11n の検出確率が上昇することとなる。

したがって、IEEE802.11n については、こうした観点を考慮し通信負荷率に係る条件を以下のとおり規定する必要がある。

【高速無線 LAN に対する追加的条件】

(1) 40MHz システムの場合

40MHz システムの場合は、上記2の IEEE802.11a に対する試験用負荷ファイルを同時に2ストリーム流すことで試験をおこなうことが適当である。

ただし、試験に用いる端末機器の CPU の能力、ビデオカードの能力、デコーディングソフトの能力によっては、通信に輻輳や空き時間が発生し瞬時の負荷率が大きく変動する可能性があるため、試験においては、下記の配慮が必要である。

ア 外付けカード及び AP の場合

端末能力不足等の理由により、輻輳や間が空くことで負荷率が大きく変動するようなことが無いよう、試験で使用する端末については、十分な処理能力があるものを用いる必要がある。

イ 内蔵型端末及びそれと組み合わせる AP の場合

実環境でも同一の状況が発生することを考慮し、搭載予定の端末、AP を用い試験することが必要である。

ウ 複数の能力が異なる端末に実装される内蔵カードの場合

アと同じとするか、搭載が想定される最高性能の端末を用い試験する。

(2) MIMO 方式の場合

上記に順じ MIMO のストリーム数を「 n 」として、IEEE802.11a の試験用負荷ファイルによる n 本のファイルストリーム（20MHz システムに限る。）又は $2n$ 本のファイルストリーム（40MHz システムの場合に限る。）の負荷をかけることによって試験することとする。

ただし、SISO による DFS 動作が確認され、且つ、例えば任意のレーダー試験波形に対し MIMO で DFS 動作が確認される等、MIMO での DFS 動作を禁止していないことが確認される限りにおいて、MIMO での DFS 試験を割愛することができるものとする。

また、MIMO 試験系においては、MIMO ストリームを分離出来る場合、1 つの MIMO ストリームにレーダー試験波形を加えることにより試験を行なうこととし、MIMO ストリームが分離できない場合、全 MIMO ストリームにレーダー試験波形を加えることによって試験を行うこととする。

インターリーブ配置によりシステムキャパシティが向上する条件

1 要約

5GHz 帯 IEEE802.11a を前提としたシステムにおいて、チャンネル間隔を現在の 20MHz から、10MHz 間隔のインターリーブ配置にしたときに、システム全体のシステム容量が向上するための条件を理論的に検証した。結論としては、インターリーブチャンネルから対象チャンネルへオーバーラップ部分を 10MHz 以上離れた干渉源に押さえ込む必要があり、インターリーブ配置によるキャパシティ向上は不可能であることが判明した。以下に、その詳細を述べる。

2 前提条件の定義

IEEE802.11 のような CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)に基づいたキャリアセンスによるアクセスを用いたシステムにおいては、他セルからの干渉波電力が所定の閾値を超えると CS(Carrier Sense)が Busy となり自セルでの伝送が行えなくなり、セルあたりのスループット(伝送容量)が低下する。

ここでは、図 3-1.1 に示すようなモデルにより、解析を進める。送信電力を P_t (dBm)、伝搬距離を d (m)、距離減衰定数 α 、そして伝播損失を L_{Path} として得られる受信電力 P_r (dBm)は、

$$P_r = P_t - L_{Path} \quad (\text{dBm}) \dots \dots \dots \text{(式 1)}$$

で与えられる。伝播損失は、使用する周波数を f (Hz)とすると

$$L_{Path} = -148 + 10\alpha \log(d) + 20\log(f) \dots \dots \dots \text{(式 2)}$$

よって、ある距離 d における受信電力は、

$$P_r = P_t + 148 - 10\alpha \log(d) - 20\log(f) \dots \dots \dots \text{(式 3)}$$

で得られることになる。

ここであるゾーンにおいて(図 3-1.1 中では中心セル)キャリアセンスレベル以上の受信電力となる無線 LAN 局が存在する距離(検出距離)を d_{cs} とすると、IEEE802.11 の CCA (Clear Channel Assessment) アセスメントから CCA の最低受信電力を P_{cca} とすれば、次の表記が成り立つことになる。

$$P_{cca} = P_t + 148 - 10\alpha \log(d_{cs}) - 20\log(f) \dots \dots \dots \text{(式 4)}$$

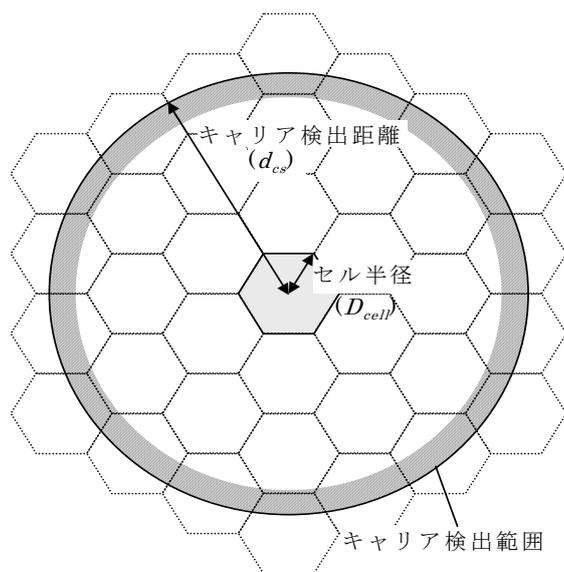


図 3-1.1 キャリア検出範囲

さて一方、ここでキャリア検出エリアの中において、いくつかのセルが干渉するかを検討していく。ここでは、同一チャンネル(もしくは、同一チャンネルに干渉を与えるインターリーブチャンネル)を使う範囲内のアクセスポイントからの干渉を観測の対象とし、隣接チャンネルからの干渉は考えない。前述の検出距離 d_{cs} によって決められるキャリア検出範囲内に存在するセル数をキャリア検出セル数 N_{cs} と定義する。キャリア検出セル数 N_{cs} には自セルも含まれる。 N_{cs} と d_{cs} の関係は、セル配置と対象となるアクセスポイントが作り出すサービスエリアのセル半径 D_{cell} に依存する。

ここで、図 3-1.1 に示すような 6 角形セルによる配置を考えると、キャリア検出セル数 N_{cs} は以下の式で与えられる。

$$N_{cs} = \left(\frac{2\pi d_{cs}^2}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right) \dots \dots \dots (式 5)$$

この図 17-1 中における中心のセルは、キャリア検出範囲内で同一のチャンネルを使用しているセルとチャンネルを時間的に共用することになる。全チャンネル数を N_{ch} とすると、キャリア検出範囲内で同一チャンネルを使用するセル数 N_{share} は、

$$N_{share} = \left(\frac{2\pi}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right) \times \frac{d_{cs}^2}{N_{ch}} \dots \dots \dots (式 6)$$

となる。各セルごとのスループット η は $1/N_{share}$ で与えられるので、

$$\eta = 1/N_{share} = \left(\frac{2\pi}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right)^{-1} \times \frac{N_{ch}}{d_{cs}^2} \dots \dots \dots (式 7)$$

となる。式7で与えられるスループットは、まさに現在の20MHz間隔でインターリーブを行わないときのスループットとなる。

3 インターリーブ配置がシステム容量を向上させる条件の算出

さて、インターリーブ配置を行うと、このキャリア検出エリアの中にある同一チャンネルからの干渉以外に、インターリーブ配置した両隣から、対象チャンネルへ漏れこむスペクトルによる干渉も考慮する必要がある。この両隣のチャンネルからの干渉は、もれこむエネルギー量が増えることから、キャリアセンス機構がIEEE802.11aのように受信電力量を基にして計算される場合は、キャリア検出範囲が異なる。インターリーブチャンネルからの干渉する範囲を $d_{cs-itlv}$ と定義して、対象ゾーンに対して干渉を与えるセル数 $N_{share-itlv}$ は、チャンネル数が一般に $2N_{ch}-1$ となることから、

$$N_{share-itlv} = \left(\frac{2\pi}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right) \frac{d_{cs}^2}{2N_{ch}-1} + \left(\frac{2\pi}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right) \frac{2d_{cs-itlv}^2}{2N_{ch}-1} \dots \dots \dots (式8)$$

と表記できる。第一項はキャリア検出範囲内の同一チャンネルのセル数、第二項はキャリア検出範囲内の両隣のインターリーブ配置チャンネルのセル数である。この式より、インターリーブ配置で得られるスループット η_{itlv} は

$$\eta_{itlv} = \left\{ \left(\frac{2\pi}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right) \frac{d_{cs}^2}{2N_{ch}-1} + \left(\frac{2\pi}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right) \frac{2d_{cs-itlv}^2}{2N_{ch}-1} \right\}^{-1} = \left(\frac{2\pi}{3\sqrt{3}D_{cell}^2} \right)^{-1} \left\{ \frac{2N_{ch}-1}{d_{cs}^2 + 2d_{cs-itlv}^2} \right\} \dots \dots \dots (式9)$$

以上からインターリーブ配置のシステム容量 η_{itlv} が、20MHz配置(ノンインターリーブ配置)のシステム容量 η を上回る条件は

$$\eta < \eta_{itlv} \dots \dots \dots (式10)$$

であり、式7および式9から、式10は、

$$d_{cs-itlv} < \sqrt{\frac{N_{ch}-1}{2N_{ch}}} d_{cs} \dots \dots \dots (式11)$$

という形で得られる。

さてここで、インターリーブチャンネルからの干渉範囲を $d_{cs-itlv}$ としたことから、式4同様に、

$$P_{cca} = P_t - \beta + 148 - 10\alpha \log(d_{cs-itlv}) - 20\log(f) \dots \dots \dots (式12)$$

とCCAの最低受信電力(但し β はインターリーブチャンネルから対象チャンネルへ漏れこむパワーの減少量と定義)を表せることから、 d_{cs} と $d_{cs-itlv}$ の関係は、式4および式12より

$$10\alpha \log(d_{cs}) = \beta + 10\alpha \log(d_{cs-iltv}) \dots \dots \dots (式 13)$$

さらに上式を展開し、

$$d_{cs} = 10^{10\alpha} d_{cs-iltv}^{\frac{\beta}{10\alpha}} \dots \dots \dots (式 14)$$

を得る。これを式 11 とあわせて、インターリーブ配置を行ったほうがシステム容量を増加させる条件は、

$$1 < \sqrt{\frac{N_{ch}-1}{2N_{ch}}} 10^{10\alpha} \dots \dots \dots (式 15)$$

となる。上式より、伝搬係数 α とインターリーブチャンネル干渉軽減量 β の関係は、

$$\left\{ 10 \log \sqrt{\frac{2N_{ch}}{N_{ch}-1}} \right\} \alpha < \beta \dots \dots \dots (式 16)$$

でなければならない。使用できるチャンネル数が、ほぼ無限にある場合の極限值として、 α と β の関係は、

$$\left\{ 10 \log \sqrt{2} \right\} \alpha < \beta \dots \dots \dots (式 17)$$

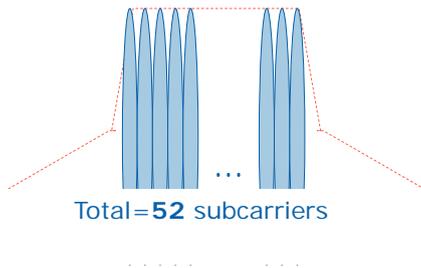
で与えられる。

たとえば 5150~5250MHz において $N_{ch} = 4$ とすると、伝搬係数 α が 2.0 の自由空間の場合 β は 4.3dB 以上必要で、より一般的な地表面伝播等で伝播状況が悪い場合、 α を 3.5 とすると β は 7.5dB 以上必要となる。20MHz を 10MHz スペースとした配置では、IEEE802.11a システムにおいてインターリーブチャンネル干渉軽減量はせいぜい 4dB であり、自由空間という特殊な条件においても実際には実現が大変困難である。従い、一般的に NLOS 伝播を含む IEEE802.11a システムにおいてインターリーブ配置によってシステム容量を向上させることは不可能と言える。

占有周波数帯幅

1 理論値

(1) 20MHz (52SC) システム

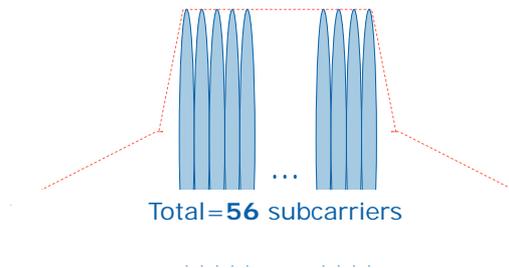


20 MHz channel (e.g. 802.11a/g)

Theoretical Bandwidth:

$$(52+1) \times 312.5 \text{ KHz} = \underline{16.5625 \text{ MHz}}$$

(2) 20MHz (56SC) システム

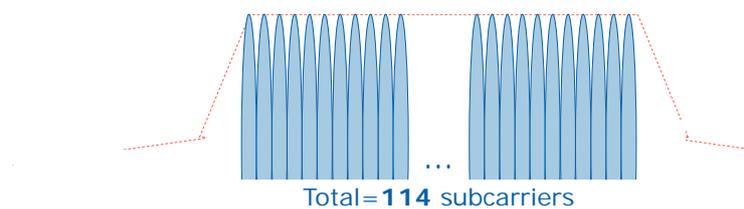


20 MHz HT channel

Theoretical Bandwidth:

$$(56+1) \times 312.5 \text{ KHz} = \underline{17.8125 \text{ MHz}}$$

(3) 40MHz (114SC) システム



40 MHz HT channel

Theoretical Bandwidth:

$$(114+3) \times 312.5 \text{ KHz} = \underline{36.5625 \text{ MHz}}$$

2 実測値

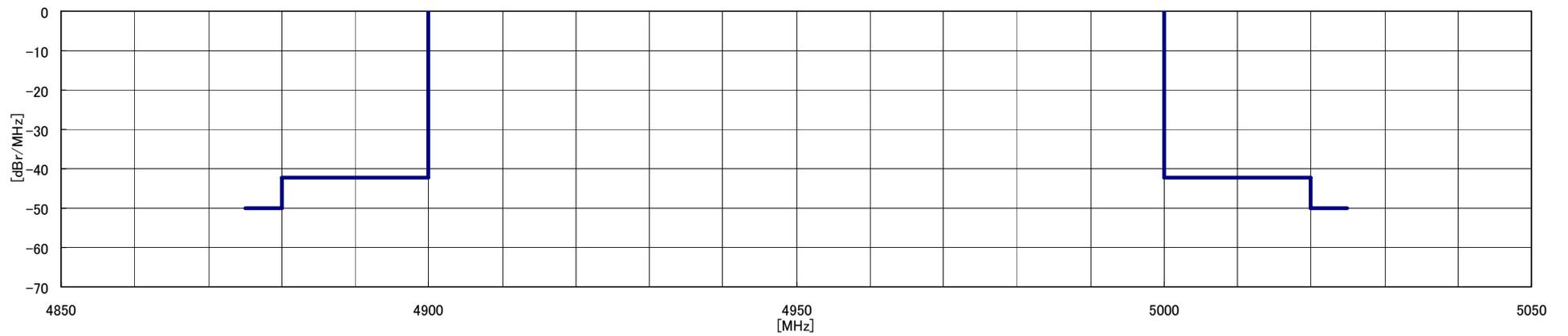
	Mode	PHY Channel Mode 5GHz	Occupied Bandwidth (99%)
	802.11a 20 MHz	Legacy 20 MHz	16.67 MHz
	HT 20 MHz	High Throughput 20 MHz	17.95 MHz
	HT 40 MHz	High Throughput 40 MHz	35.59 MHz
	HT 40 MHz	High Throughput Duplicate Mode	35.91 MHz
	HT 40 MHz	High Throughput 40 MHz Lower Mode	22.92 MHz
	HT 40 MHz	High Throughput 40 MHz Upper mode	21.00 MHz

	Mode	PHY Channel Mode	Occupied Bandwidth (99%)
	802.11g	Legacy	16.83 MHz
	HT	High Throughput	17.95 MHz
	HT	High Throughput	35.59 MHz
	HT	High Throughput Duplicate Mode	35.91 MHz
	HT	High Throughput Lower Mode	31.90 MHz
	HT	High Throughput Upper mode	30.30 MHz

帯域外領域における不要発射の強度の許容値

1 20MHz (56SC) システムの帯域外領域の不要発射の強度の許容値

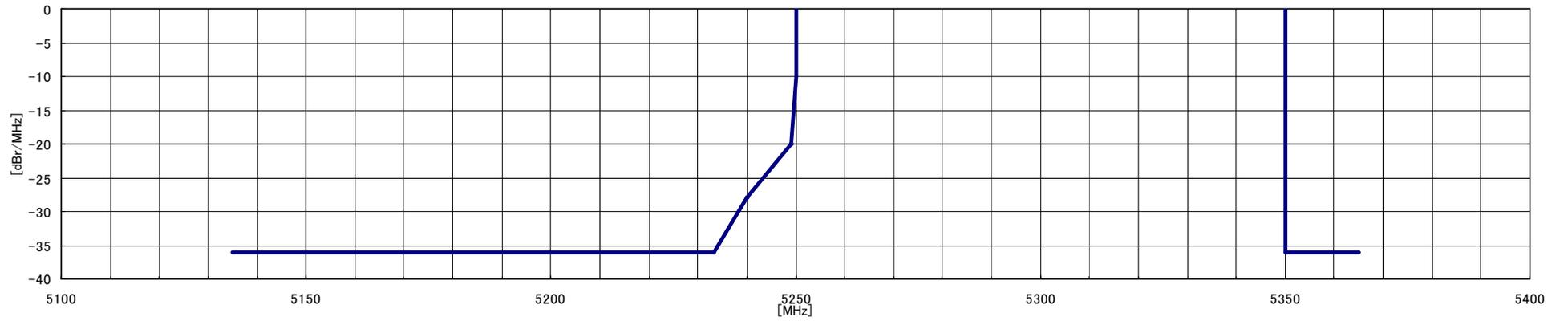
① 4.9GHz 帯システム



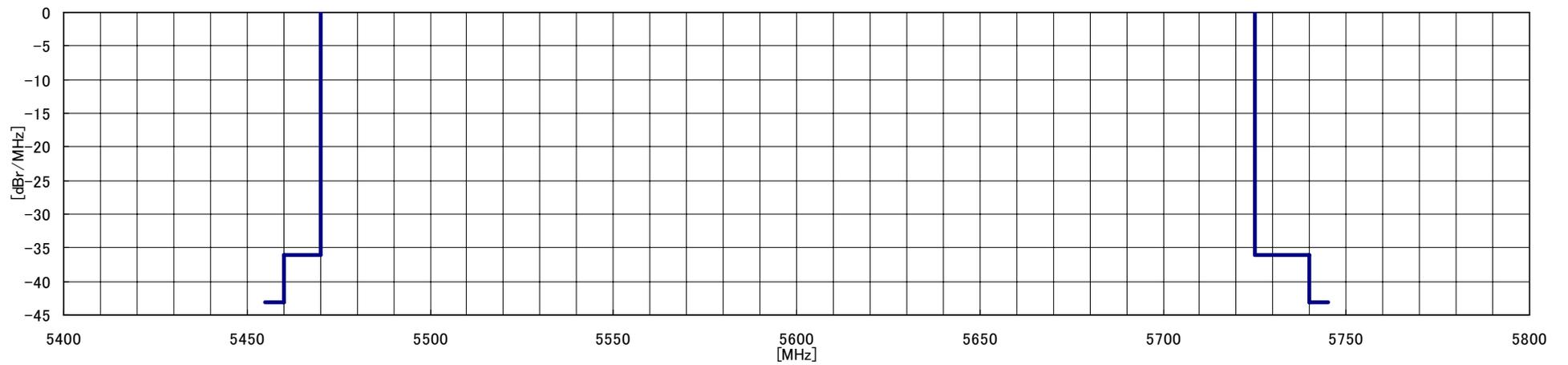
② 5.2GHz 帯システム



③ 5.3GHz 帯システム

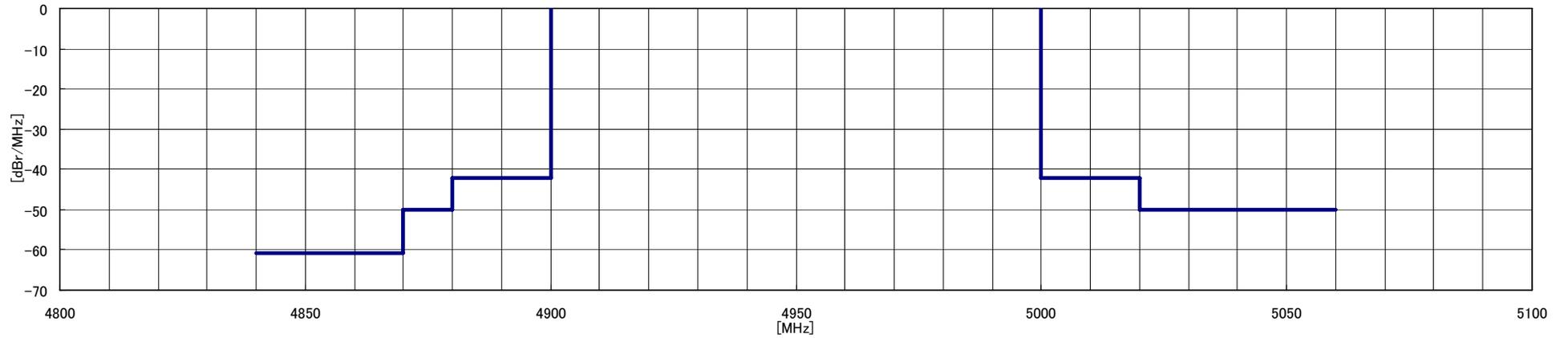


④ 5.6GHz 帯システム



2 40MHz システムの帯域外領域の不要発射の強度の許容値

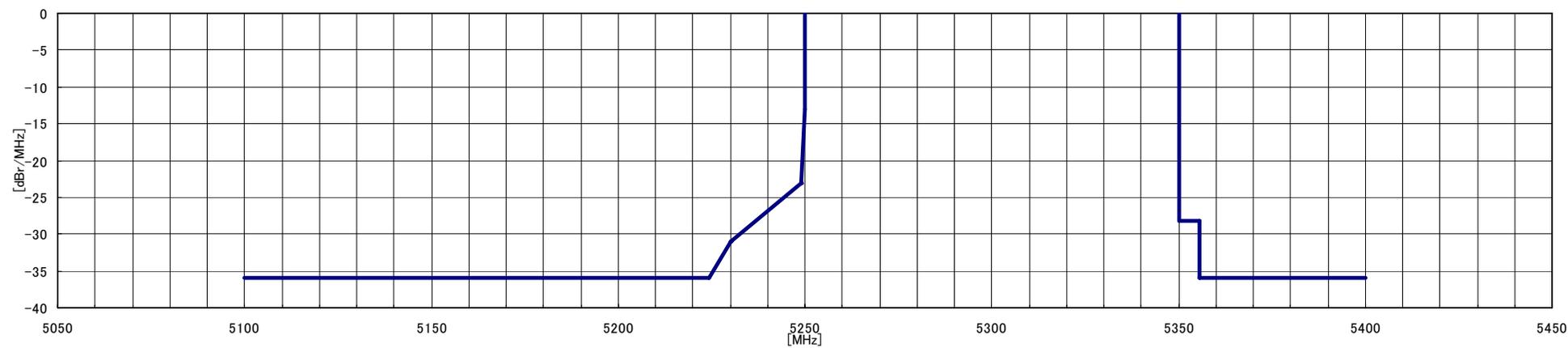
① 4.9GHz 帯システム



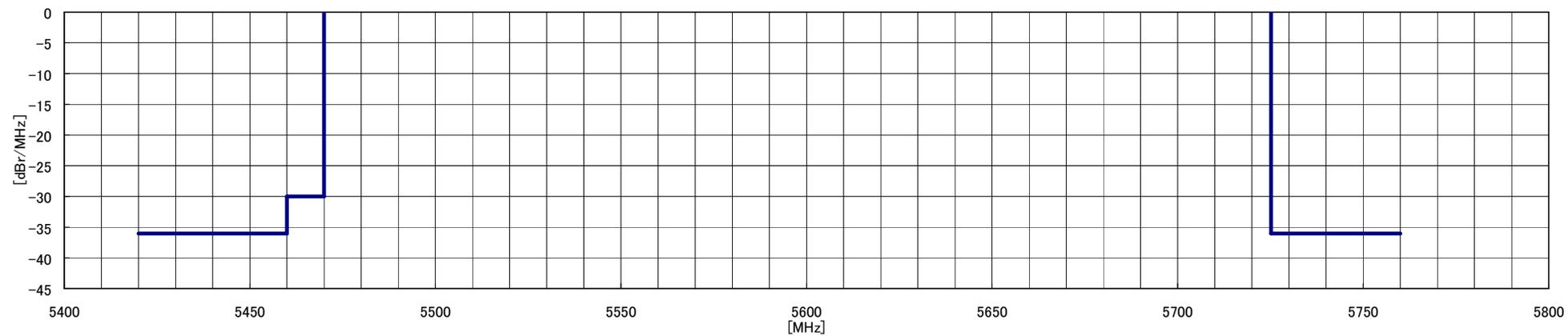
② 5.2GHz 帯システム



③ 5.3GHz 帯システム



④ 5.6GHz 帯システム



電磁界強度指針

1 基準値

表 3-4.1. 1 人体が電波に均一にばく露される場合の電波の強度の既定値

(電波法施行規則別表第 2 号の 3 の 2)

周波数	電界強度	磁界強度	電力束密度	平均時間
1.5GHz を超え 300GHz 以下	61.4V/m	0.163A/m	1mW/cm ²	6 分

表 3-4.1. 2 人体が電波に不均一にばく露される場合の電波の強度の値

(郵政省告示第 301 号 平成 11 年 4 月 27 日)

周波数	電界強度の空間的平均値	磁界強度の空間的平均値	電力束密度の空間的平均値	電力束密度の空間的最大値	平均時間
1.5GHz を超え 300GHz 以下	61.4V/m	0.163A/m	1mW/cm ²	2mW/cm ²	6 分

2 5GHz 帯小電力データ通信システム

(1) 前提条件

ア 検討対象システムの諸元

5GHz 帯小電力データ通信システム (送信 e.i.r.p.が最大のもの)	最大空中線電力 (P_t)	最大送信空中線絶対利得真値 (G_t)	最大送信 e.i.r.p. ($P_t G_t$)
5150MHz から 5350MHz の周波数帯を使用するもの	0.2W	1.0 (0dBi)	0.2W
5470MHz から 5725MHz の周波数帯を使用するもの	0.2W	5.0 (7dBi)	1W

イ 電波の強度の算出式

$$S = \frac{P_t G_t}{40\pi R^2} \cdot K$$

S : 電力束密度 (mW/cm²)

R : 算出に係る送信空中線と算出地点との距離 (m)

ウ 反射係数

	すべての反射を考慮しない場合	大地面の反射を考慮する場合 (送信周波数が 76MHz 以上の場合)
反射係数 (K)	1	2.56

算出地点付近にビル、鉄塔、金属物体等の建造物が存在し強い反射を生じさせるおそれがある場合、算出した電波の強度の値に 6dB を加える。

(2) 算出結果

条 件	システム形態			
	5150MHz から 5350MHz の 周波数帯を使用するもの		5470MHz から 5725MHz の周 波数帯を使用するもの	
すべての反 射を考慮し ない場合	4.0cm	(2.8cm)	8.9cm	(6.3cm)
大地面の反 射を考慮す る場合	6.4cm	(4.5cm)	14.3cm	(10.1cm)
強い反射を 生じさせる 場合	12.7cm	(9.0cm)	28.5cm	(20.2cm)

注 1 括弧内は送信電力制御を行うシステムの場合。

注 2 これら算出値は、 $\lambda/2\pi$ (代表周波数 5.15GHz 又は 5.47GHz のとき

1cm 程度) よりも十分遠方となるため、空間インピーダンスは $120\pi\Omega$ と
してよく、電界強度及び磁界強度は基準値を満足しているといえる。

3 5GHz 帯無線アクセスシステム

(1) 前提条件

ア 検討対象システムの諸元

5GHz 帯無線アクセスシステム (送信 e.i.r.p.が最大のもの)	最大空中線電力 (P_t)	最大送信空中線 絶対利得 (G_t)	最大送信 e.i.r.p. ($P_t G_t$)
4900MHz から 5000MHz の 周波数帯を使用するもの	0.25W	20 (13dBi)	5W

イ 電波の強度の算出式

2の(1)のイに同じ。

ウ 反射係数

2の(1)のウに同じ。

(2) 算出結果

条 件	システム形態
	4900MHz から 5000MHz の周波数帯を使用するもの
すべての反射を 考慮しない場合	19.9cm
大地面の反射を 考慮する場合	31.9cm
強い反射を生じ させる場合	63.6cm

注 これら算出値は、 $\lambda/2\pi$ (代表周波数 4.9GHz のとき 1cm 程度) よりも十分遠方となるため、空間インピーダンスは $120\pi\Omega$ としてよく、この場合の電界強度及び磁界強度は基準値を満足しているといえる。

高速無線 LAN の 2.4GHz 帯への導入について

高速無線 LAN については、2.4GHz 帯への導入も想定され、その場合の技術的な条件は、5GHz 帯高速無線 LAN の技術的条件に近いものになると考えられる。

IEEE802.11n における検討においても、対象周波数帯として 2.4GHz 帯が含まれており、5GHz 帯の規格と同等の規格が検討されている。

以上のことから、本委員会では、高速無線 LAN の 2.4GHz 帯への導入についても調査を行った。

1 国外における 2.4GHz 帯の状況

(1) IEEE802.11n における検討状況

IEEE802.11n における検討状況については、参考資料 1 - 2 に示すとおりである。特に 2.4GHz 帯への 40MHz システムの導入については、使用可能な周波数帯域が 83.5MHz 幅と 5GHz 帯に比較し狭く、各国で 20MHz システムとして主に使用されるチャンネル配置¹が ch1、ch6、ch11 と 25MHz 間隔であることから、既存の 20MHz への干渉について慎重な検討が行われているところである。

図 3-5.1 欧米における 20MHz システムのチャンネル配置

チャンネル番号	中心周波数	日本	米国	欧州
1	2412	◎	◎	◎
2	2417	○	○	○
3	2422	○	○	○
4	2427	○	○	○
5	2432	○	○	○
6	2437	◎	◎	○
7	2442	○	○	◎
8	2447	○	○	○
9	2452	○	○	○
10	2457	○	○	○(仏・ス)
11	2462	◎	◎	○(仏・ス)
12	2467	○	-	○(仏)
13	2472	○	-	◎(仏)
14	2484	◎	-	-

※1 IEEE では、2.4~2.4835GHz のうちの 1~13 までのチャンネルを設定。チャンネルは 5MHz 間隔で設定されているが、実際の運用はオーバーラップしないよう各国において「◎」のように 25MHz 間隔で使用。

※2 14 チャンネル (2.471~2.497GHz) については、日本のみ使用 (スペクトル拡散方式のみ、空中線利得は 2.14dBi)。

※3 フランスは 2.457~2.472GHz の 4 チャンネル、スペインは 2.457~2.462GHz の 2 チャンネルに限定。

¹ $2412+5(n-1)$ [MHz] $n=1\sim 13$ ch

図 3-5. 1 欧米における 2.4GHz 帯 40MHz システムのチャンネル配置

Regulatory domain	N _{control_ch}		Center Frequency (MHz)
	Extension=1	Extension=-1	
United States Canada Europe	1	5	2422
	2	6	2427
	3	7	2432
	4	8	2437
	5	9	2442
	6	10	2447
	7	11	2452

① Draft 1.0 の規定について

本年 3 月に策定された Draft 1.0 においては、制御チャンネルでの CCA (Clear Channel Assessment: プリアンブル検出まで行う方法)が必須とされる一方、拡張チャンネルでの CCA は、Legacy および IEEE802.11n の全ての端末がアソシエーションするメインチャンネルであることから、オプション項目との扱いとされている。

これに対し、Draft 1.0 策定後の 2006 年 3 月及び 6 月の IEEE の TGn 会合では、拡張チャンネルの CCA がオプション扱いであることへの反対意見が多く、現在は、以下のいずれかの方向でコンセンサス形成が進行中である。

- 拡張チャンネルは CCA を義務化（現在の CCA のオプション扱いは変更される可能性が高い）
- 拡張チャンネルは電力検出（Energy Detection）を義務化
- CCA にせよ電力検出にせよ、そのレベルについては未定（以下、現時点における規定案を示す）
 - ・ -62dBm：制御チャンネルにおけるプリアンブルを検出できなかった際の電力検出レベルと同等
 - ・ -72dBm
 - ・ -82dBm：制御チャンネルにおけるプリアンブル検出レベルと同等

② 9 月会合における状況

20MHz/40MHz の共存を扱う ad-hoc グループでの非公式の straw poll では、2.4GHz における 40MHz 使用禁止に対して、賛成・反対・棄権はほぼ同数であった。その後も、一部メンバーから具体的な解決策を提案する動きも見られるが、決着には至っていない。以下、現在提案されている具体的な解決策の例を示す。

【解決策の例】

- ・ 拡張チャンネルまたはその付近に substantial load が無い場合に限り、40MHz 動作を認める。
- ・ Load がある場合には、（例えば）5 分間は 20MHz 動作のみを認める。
- ・ IEEE802.11n 全体の 40MHz 動作での secondary channel（拡張チャンネル）のキャリアセンス方法に関しては、2006 年 9 月会合において複数社による共同提案が審議されたが、まだ有力メンバーの反対や棄権があり、11 月会合に引き続き審議される予定。

(2) WiFi アライアンスにおける状況

IEEE802.11n 規格の無線 LAN に係る WiFi アライアンスの認証業務については、IEEE802.11n 規格の策定を待たず、2007 年前半に、その時点での IEEE における最新のドラフトをベースに開始される予定である。ただし、2.4GHz 帯の 40MHz システムについては、認証業務の対象としないとの情報がある。一方、IEEE802.11 委員会では、こうした WiFi アライアンスの動きに関わりなく、標準化作業は進すむものと思われる。

(3) 米国市場の動向

米国においては、Belkin、Buffalo、Linksys、Netgear 等の無線機器メーカーが IEEE 802.11 TGn Draft 1.0 に基づく 40MHz システム対応機器の販売を開始しているが、こうした実状に対し、既存システム (IEEE802.11b/g) との相互干渉が懸念されている。

2 我が国における 2.4GHz 帯の状況

(1) 2.4GHz 帯を使用する無線システムについて

2.4GHz 帯 (2.4~2.5GHz) は、産業科学医療用 (ISM) の帯域とされており、この周波数帯で運用する無線通信業務は、ISM からの有害な混信を許容することとなっている。

一方で、当該周波数帯は、特定小電力無線局や小電力データ通信システムの無線局が免許不要で運用を行うことができるため、無線 LAN や Bluetooth を始めとする様々な無線システムに使用されているところである。

(2) 2.4GHz 帯無線 LAN に関する規定

当該周波数帯における無線 LAN の技術基準は、以下のとおりになっている。

使用場所： 屋内外

チャンネル間隔： 規定なし

最大空中線電力： 周波数ホッピング方式の場合 3mW/MHz 以下

OFDM-DS 方式の場合 10mW/MHz 以下

それ以外の方式の場合 10mW 以下

最大空中線利得： 12.14dBi

3 本委員会における検討状況

近年は、公衆無線スポットやラストワンマイルにおける加入者系無線アクセス等屋外において無線 LAN を活用する事例が増えてきているが、こういった利用形態においても、ブロードバンドの進展に合わせて、より高速な通信が求められているところである。

2.4GHz 帯は、5GHz 帯に比べ伝播損失が少なく、より通信距離を確保できるといったメリットがあることから、屋外での利用に適しており、前述のニーズを踏まえて、2.4GHz 帯無線 LAN の高速化への要求が高まっているところである。

また、国外においても、IEEE における検討と平行して、2.4GHz 帯の高速化への取り組みが行われているところである。

一方で、2.4GHz 帯は既存の無線 LAN やその他の無線システムが混在しており、限りある周波数帯域を有効に活用するため、可能な限り他のシステムへの影響を低減することが必要である。特に、高速無線 LAN において 40MHz という広い帯域を使用する場合には、既存システムへの広い影響が懸念される。

このため、40MHz システムによる高速化を行う場合には、無線 LAN のチャネル配置が特段規定されていないこと、Bluetooth 等無線 LAN 以外の無線システムも多数存在すること等も勘案し、物理層における電界強度レベルのキャリアセンスを送信帯域全体で行うことが適当であると考えられる。

以上のことから、既存の無線システムへの影響を最小限とした上で、2.4GHz 帯へ高速無線 LAN を導入することは可能であり、その場合の技術的条件は別紙のとおりすることが適当であるとされた。

2.4GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件について

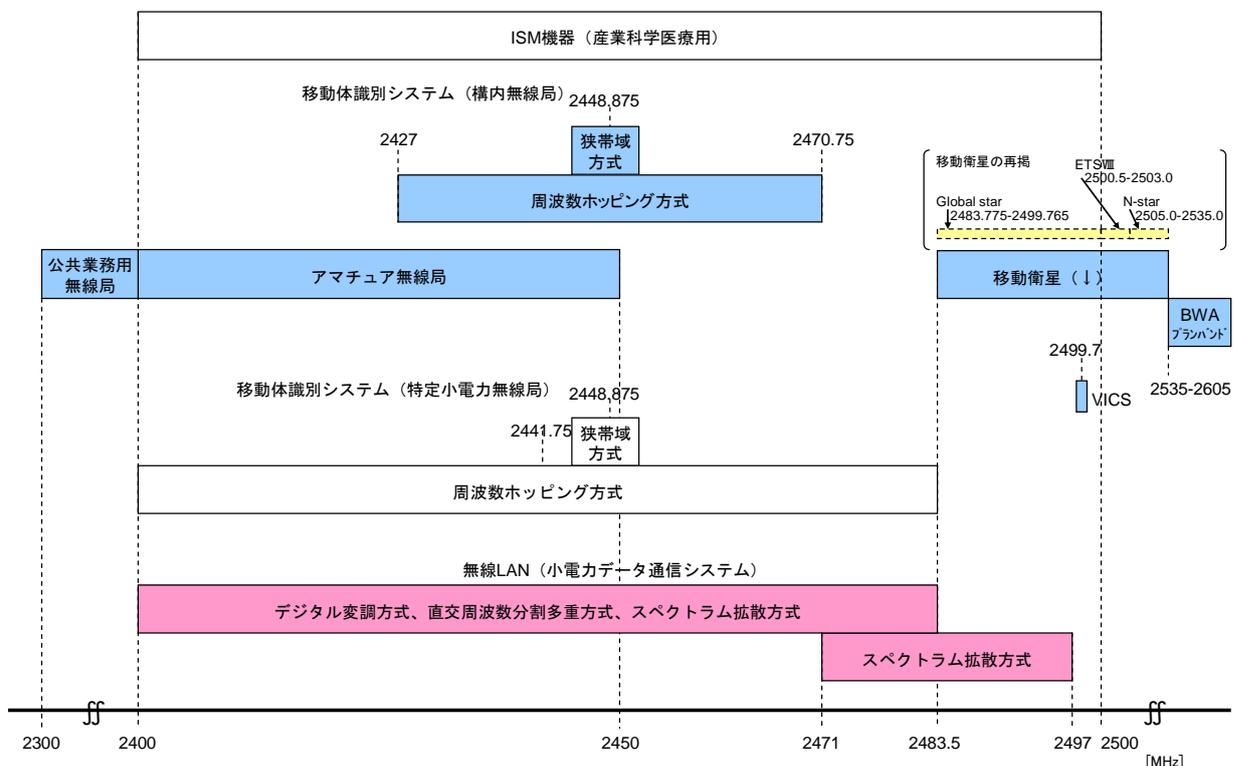
1.1 一般的条件

1.1.1 無線周波数帯

2.4GHz 帯 (2400-2483.5MHz) とすることが適当である。ただし、周波数チャネル配置については、特段規定しないことが適当である。

なお、国内における 2.4GHz 帯の利用状況については、下図のとおりである。

図 3-5.3 2.4GHz 帯の利用状況



1.1.2 情報伝送速度 (周波数利用効率)

5GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.1.3 通信方式

5.2GHz 帯 (5150-5250MHz) を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.1.4 接続方式

5.2GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.1.5 変調方式

5GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.1.6 監視制御機能等のシステム設計上の条件

誤り訂正機能、監視制御機能、システム設計上の条件について、5.2GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

加入者局の制御について、無線機器製造の柔軟性を確保する必要から、特段規定しないことが適当である。

事業者間の共用方策について、40MHz システムについては、送信しようとする帯域全域について、電界強度レベルのキャリアセンスを行うことが適当である。

その他、非通信時のパワーセービング機能、高速化技術について、5GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが望ましい。

1.2 無線設備の技術的条件

1.2.1 送信装置

1.2.1.1 周波数の許容偏差

現行どおり、50ppm 以下とすることが適当である。

1.2.1.2 占有周波数帯幅の許容値

5.2GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.2.1.3 空中線電力（平均電力）

5.2GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.2.1.4 空中線電力（平均電力）の許容偏差

現行どおり、+20%、-80%以下とすることが適当である。

1.2.1.5 送信空中線

(1) 送信空中線利得

現行どおり、12.14dBi 以下とすることが適当である。

(2) 送信空中線の主輻射の角度の幅

現行どおり、送信空中線の水平面及び垂直面の主輻射の角度の幅が、 $360/A$ 度以下（Aは、等価等方輻射電力を絶対利得 2.14dB の送信空中線に平均電力が 10mW の空中線電力を加えたときの値で除したもの(1 を下回るときは 1)。）とすることが適当である。

1.2.1.6 隣接チャネル漏えい電力

現行どおり、特段規定しないことが適当である。

1.2.1.7 帯域外領域における不要発射の強度の許容値

現行どおりとすることが適当である。

1.2.1.8 スプリアス領域における不要発射の強度の許容値

現行どおり、以下のとおりとすることが適当である。

- ① 2387 MHz未満及び 2496.5 MHzを超える周波数をスプリアス領域とし、この領域における不要発射の強度の許容値（変調時において給電線に供給される周波数ごとの不要発射の平均電力により規定される許容値）は、任意の 1 MHzの帯域幅における平均電力が 2.5 μ W/MHz以下とする。
- ② 2387 MHzを超え 2400 MHz以下かつ 2483.5 MHzを超え 2496.5 MHz以下の周波数をスプリアス領域とし、この領域における不要発射の強度の許容値は、任意の 1 MHzの帯域幅における平均電力が 25 μ W/MHz以下とする。

1.2.2 受信装置

5GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.2.3 電気通信回線設備との接続

5GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.2.4 混信防止機能

5GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件に準ずることが適当である。

1.3 電波防護指針

空中線電力及び空中線の絶対利得に変更はないため、これまでと同様である。

なお、5GHz 帯を使用する高速無線 LAN のうち小電力データ通信システムの電波防護指針と同様に、今後においては、人体が電波に均一又は不均一に暴露される場合の空間的電磁界強度の基準値を前提に安全性を考慮することの他、人体頭部における比吸収率を考慮する必要があるものと考えられる。

1.4 測定法

5GHz 帯を使用する高速無線 LAN の技術的条件のうち小電力データ通信システムの技術的条件に準ずる（動的周波数選択機能（DFS）に係る項目を除く。）ことが適当である。

1.5 他の無線システムとの周波数共用条件

他の無線システムとの周波数共用について、空中線電力及び空中線の絶対利得を変更するものではないため、無線局あたりのスペクトル占有率が既存のシステムと等価であって、単位帯域あたりの尖頭電力が 3dB 低減することから、キャリアセンスを具備することにより、他の無線システムに対しては、特段の支障はないものと考えられる。

したがって、40MHz システムについては、送信しようとする帯域全域について、電界強度レベルのキャリアセンスを行うことが適当である。ただし、具体的な手法、キャリアセンスを行う電界強度レベルについては、特段規定しないことが適当である。