

VHF帯における隣接システム間の 共用条件の検討

自営通信グループ

検討の対象

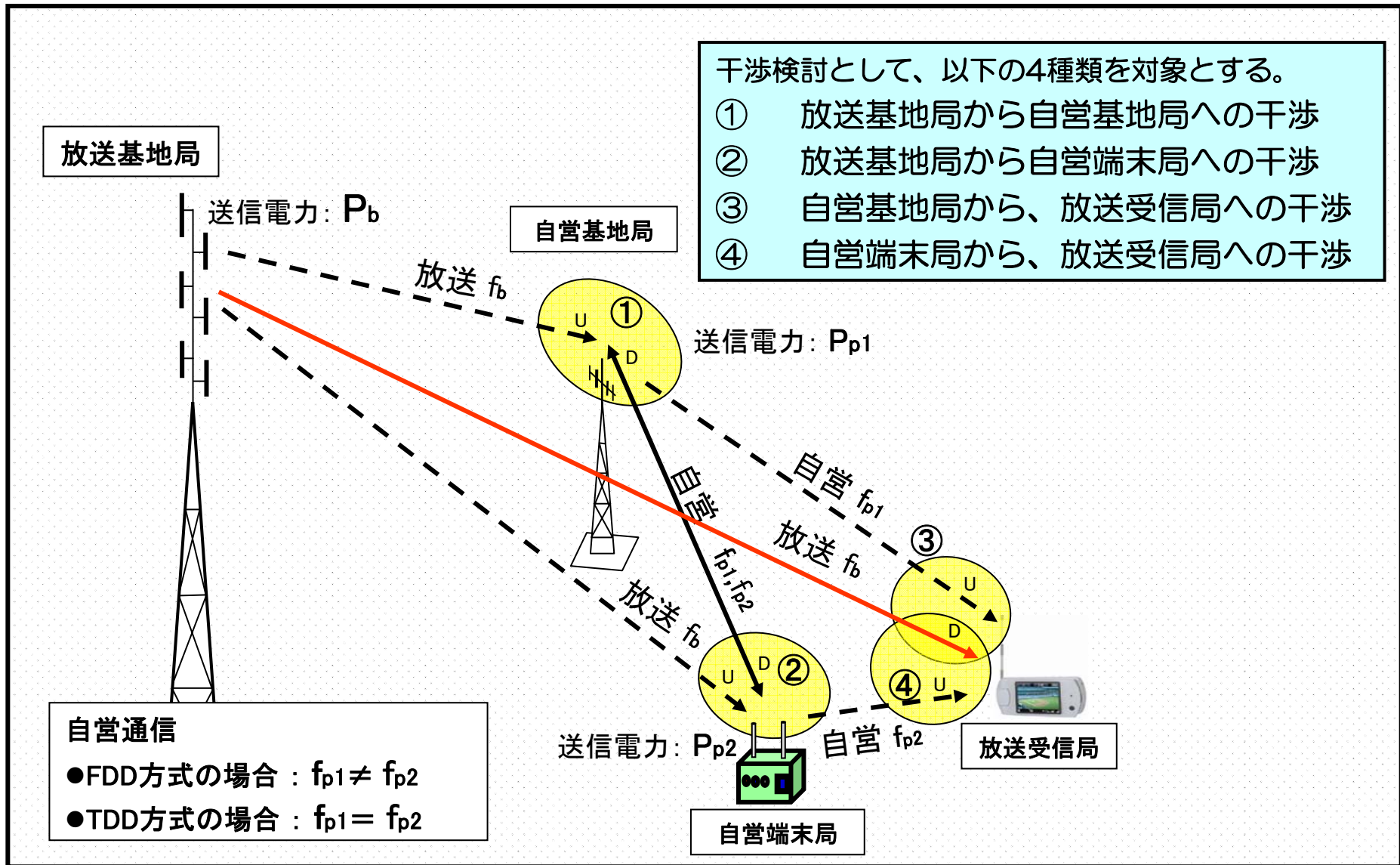
親委員会（周波数有効利用方策委員会）から、作業班への検討事項
－ 周波数共用に関する検討項目 －

(1) VHF帯における隣接システム間の共用条件の検討

(2) 周波数有効利用の観点から適切な周波数配置の検討

上記、(1)に関して検討を行う。

干渉の種類



干渉の程度

干渉の程度として、以下の3項目を検討して、周波数共用条件とする。

- (a) 与干渉側の送信機雑音が、被干渉側の帯域に落ち込む電力が、被干渉側の許容干渉電力以下となる条件（許容干渉量）
- (b) D/U比が、所要C/Nを満たす条件（線形領域）
- (c) 近接受信干渉（受信機初段が飽和等して、いくら信号強度を増加しても所要回線品質が得られない事）を起こさない条件（非線形領域）

付加して考慮すべき項目

- ◆ 干渉の種類には、固定-移動局間、もしくは移動-移動局間の干渉が含まれるため、干渉条件を確定することは出来ず、干渉発生確率を考慮して検討を行う。
- ◆ システム間のガードバンドは、スプリアス領域を含めて検討し、場合によっては規格値だけではなく、**共用のための追加条件、想定される装置の実力値をも考慮して検討**を行う。

検討の観点及び前提

放送側にとっても、自営側にとっても、周波数有効利用の観点、及び、公平性の前提から検討を行う。

スタート・ポイント

- ◆ 周波数共用検討のための放送システムのスタート・ポイントは情報通信審議会諮問第98号に対する答申、及びARIB STD-B29 2.2版「地上デジタル音声放送の伝送方式」とする。
- ◆ 自営通信のスタート・ポイントは、情報通信審議会諮問第2021号に対する一部答申(H18.12.21公開)、及び、「広帯域移動無線アクセスシステム委員会報告」(H18.12.21公開)とする。

検討の手順

1. 3つの「干渉の程度」のうち、「干渉の程度(a)」の許容干渉電力から、4つの「干渉の種類」に対応するシステム間の離隔距離を求め、離隔距離の評価を行う。
2. 「干渉の程度(b)」のD/U比が、所要C/Nを満たす条件（線形領域）の検討を行い、評価を行う。
3. 「干渉の程度(c)」の干渉の程度(c)：近傍受信干渉（非線形領域）」の検討を行い、評価を行う。

干渉の程度(a)：許容干渉量の検討

<検討条件>

- ガードバンドは、5MHz(帯域外領域)、及び11MHz(スプリアス領域)で計算する(参考資料3参照)。

<結果>

- 周波数共用のためには、下記離隔距離が必要であり、特に、放送基地局から自営基地局への干渉が極めて大きいため、このままでは実質共用できない。

周波数共用のための離隔距離

ガードバンド幅		5 MHz	11 MHz
干渉の種類	放・基→自・基	52 km	45 km
	放・基→自・端	11 km	8.2 km
	自・基→放・受	500 m	300 m
	自・端→放・受	160 m	< 100 m

ITU-R SM.2028-1 に基づくSEAMCATを利用して計算(Extended Hata、郊外地モデル)

キャリア周波数: 190MHz

放送基地局送信電力: 2.4kW, ERP=12kW/13セグメント
放送基地局アンテナ高: 237m
放送受信局アンテナ利得: -3dBd, 給電ロス: 2dB
放送受信局アンテナ高: 1.5m

自営基地局送信電力: 20W、アンテナ利得: 7dBi
自営基地局アンテナ高: 20m*
自営端末局送信電力: 5W、アンテナ利得: 2dBi
自営端末局アンテナ高: 1.5m

*: 本検討では、アンテナ高を20mとして検討したが、検討をより具体的にするためには、運用母体のサービスイメージも参考にして決める必要がある。

干渉の程度(b) : D/U比が、所要C/Nを満たす条件（線形領域）」の検討

放送基地局からの送信機雑音の下、自営通信のD/U比が、所要C/Nを満たすためには、自営通信基地局/端末局の送信電力を上げるか、自営基地局までの距離を縮めるか、のいずれかである。回線設計例に関しては参考資料5を参照。

<結果>

- 自営通信基地局/端末局の送信電力を上げる場合：放送基地局の周辺では、自営基地局は大電力で送信することになり、広範囲な干渉地域を作るとともに、自営端末局は、実現不可能な大電力で送信する必要があり、非現実的である（最大+30dB）。
- 自営基地局までの距離を縮める場合：干渉電力の増加量によって、自営基地局のセル半径は減少して、干渉電力が10dB増加すれば、セル半径は0.52倍になり、3.7倍の基地局数を必要とする。これはインフラ・コストの極端な増加をもたらす、非現実的である（下表及び、参考資料6、参考資料7参照）。

※ 偏波を利用することに関しては移動通信という特性上、効果はさほど期待できない。

自営基地局アンテナ高:20m、自営端末局アンテナ高:1.5mの場合

ITU-R SM.2028-1 に基づくSEAMCATを利用して計算(Extended Hata、郊外地モデル)。

干渉電力の増加量	0dB	1dB	3dB	5dB	10dB	20dB	30dB
セル半径 (干渉電力 0dBで規格化)	10km	9.3km	8.2km	7.2km	5.2km	2.7km	1.4km
自営基地局数 (干渉電力 0dBで規格化)	1	1.14	1.48	1.93	3.73	13.9	51.8

※ 計算は参考資料5参照。

許容干渉量

検討中の許容干渉電力。セル半径は10kmが9.3kmとなり、基地局数は+14%必要。

放送局近傍で干渉電力が30dB高くなると、セル半径は10kmが1.4kmとなり、同一エリアをカバーするのに50倍の基地局を必要とする。

干渉の程度(c) : 近傍受信干渉（非線形領域）」の検討

線形領域で、適切な方法でエリアが確保出来ないため、現状では検討できない。

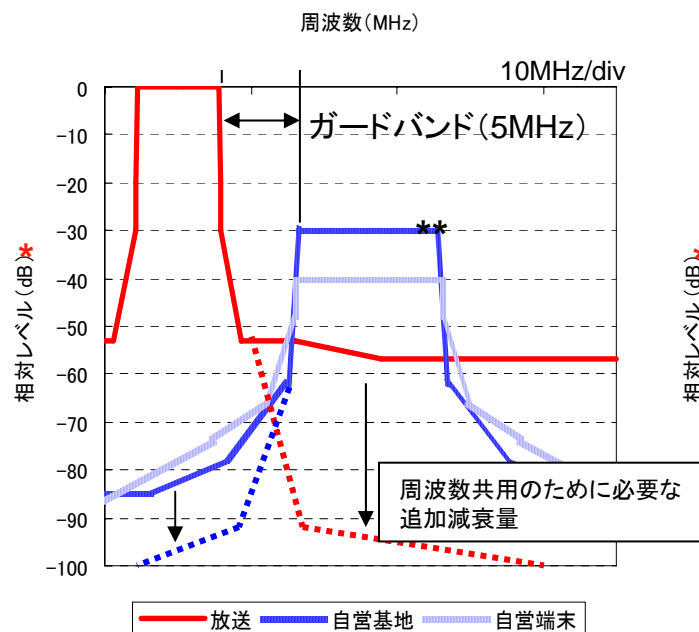
周波数共用に対して対策を施さない場合の結果

1. 放送と自営通信で周波数共用するためには、放送基地局の送信電力を下げるか、帯域外の送信機雑音を下げる必要がある。
2. 放送基地局の送信機雑音が、自営通信の許容干渉電力を超えないための離隔距離は、帯域外領域で、52km、スプリアス領域で、45kmとなり、11MHz以上のガードバンドを設けても、放送から自営通信のエリアに大きな影響が出る。
3. 放送基地局の垂直アンテナ指向性に伴い、放送局近傍の3km以内では干渉電力の軽減が認められるが、残存する帯域外干渉電力は依然大きく、自営基地局のセル半径は本来の10kmから400～1700m程度に縮小し、極めて非実用的である。
4. 干渉の程度を「近接受信干渉（非線形領域）」として検討する場合、上記線形領域で、適切な方法でエリアが確保出来ないため、現状では検討できない。

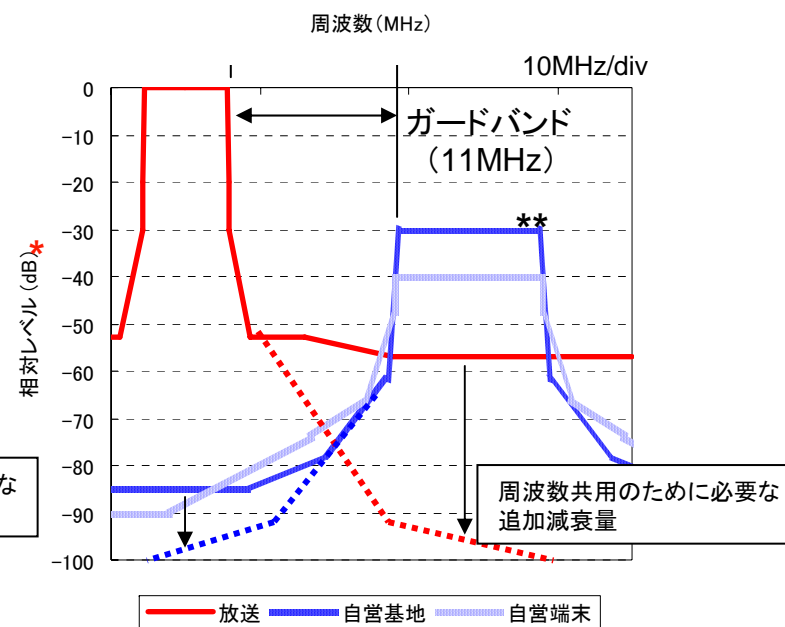
周波数共用のための追加対策例 その1

放送、自営通信とも、帯域外領域、スプリアス領域の送信機雑音を軽減するため、送信フィルタを追加する。

例1(ガードバンド5MHz)



例2(ガードバンド11MHz)



*: グラフの縦軸は、信号の絶対値の目安で規格化した。

** : 自営通信の帯域幅は5MHz幅を2連結したと想定。

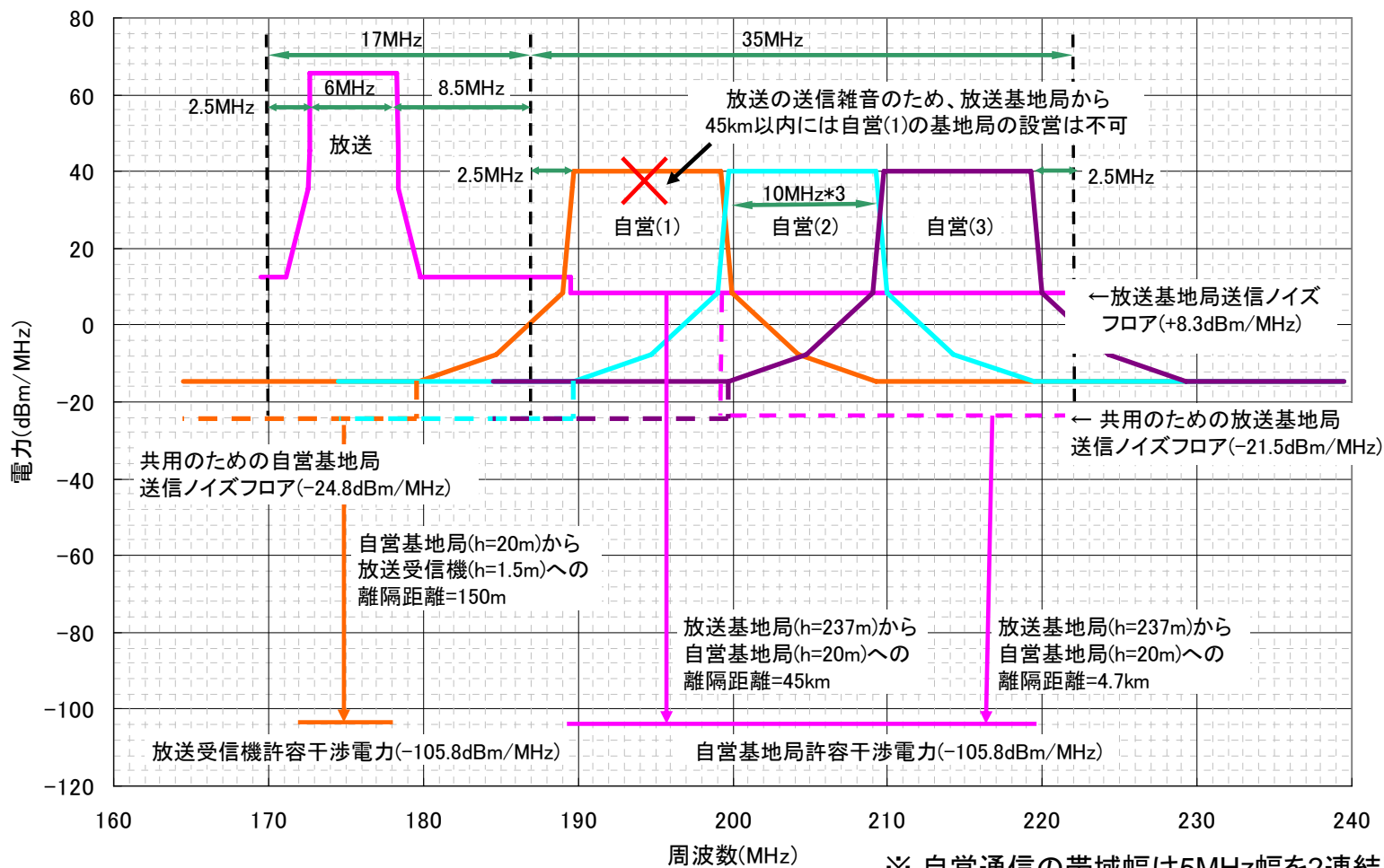
<結果>

送信機フィルタに多大な減衰量を必要とし、非現実的である (参考資料8参照)

周波数共有のための追加対策例 その2

放送の送信段に新たな送信フィルタを追加して、帯域外の送信機雑音を、周波数離調と共に減少させることにより、相互システム間の距離による地理的な共有を図る。

VHF 送信スペクトラムマスク
共用案



※ 自営通信の帯域幅は5MHz幅を2連結したと想定。
※ 電力値はEIRP表記とする。

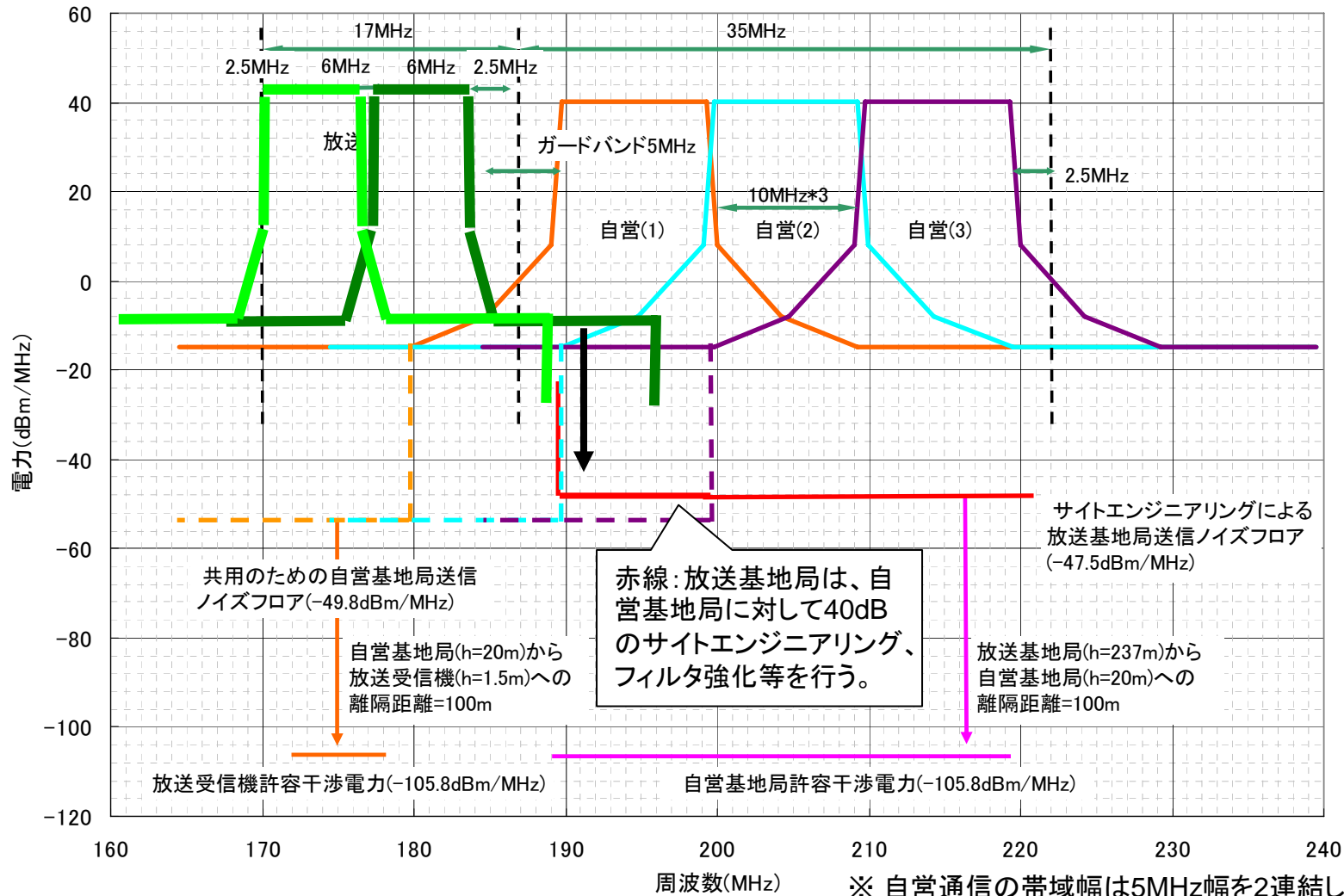
周波数共有のための追加対策例 その2：相互システム間の距離による地理的な共有

<結果>

1. 放送が帯域を使う場合、自営は(1)の帯域については放送基地局から45km以内への基地局の配置を見送る。
2. ただし(2)、(3)の各帯域に関しては放送基地局から4.7km以上離れば通常の運営は可能にする。
3. このため放送基地局送信機の送信機雑音を199.5MHz以上の周波数にて-21.5dBm/MHz (EIRP)以下に抑えることとする。
4. 放送側ガードバンド(8.5MHz)には、自営(1)、(2)、(3)への送信機雑音レベルを上回らない範囲で、放送システムを配置できるものとする。
5. 放送が帯域を用いない地域においては自営は(1)の帯域を使うことも可能。ただし、放送帯域において、-24.8dBm/MHz (EIRP)以下に抑えること。
6. 課題：トラフィックの集中する。関東圏、関西圏でのチャンネル数が不足する。

周波数共有のための追加対策例 その3 : 放送基地送信電力を自営通信と同等とする

VHF 送信スペクトラムマスク
共用案



周波数共用のための追加対策例 その3： 放送基地送信電力を自営通信と同等とする

<結果>

- ◆ 放送の送信電力が自営通信と同等とする（自営通信と同程度の放送基地局数を持つ）システムとの周波数共用は、双方の置局を工夫することにより、5MHzのガードバンドで、放送（6MHz）を2帯域、自営通信（10MHz）を3帯域を周波数共用することが出来る*。ここで、共用のためには、放送基地局から、自営通信基地局に対して40dBアイソレーションを取るサイトエンジニアリング、フィルタ強化等が必要である。
- ◆ 相互の干渉を考えたとき、汎用性の高い共用条件だが、放送の置局の可能性が課題である。

*：情通審「広帯域移動無線アクセスシステム委員会報告」における、BWA間の干渉検討（非同期のシステム間の干渉）より推定。

周波数共用のための追加対策例まとめ

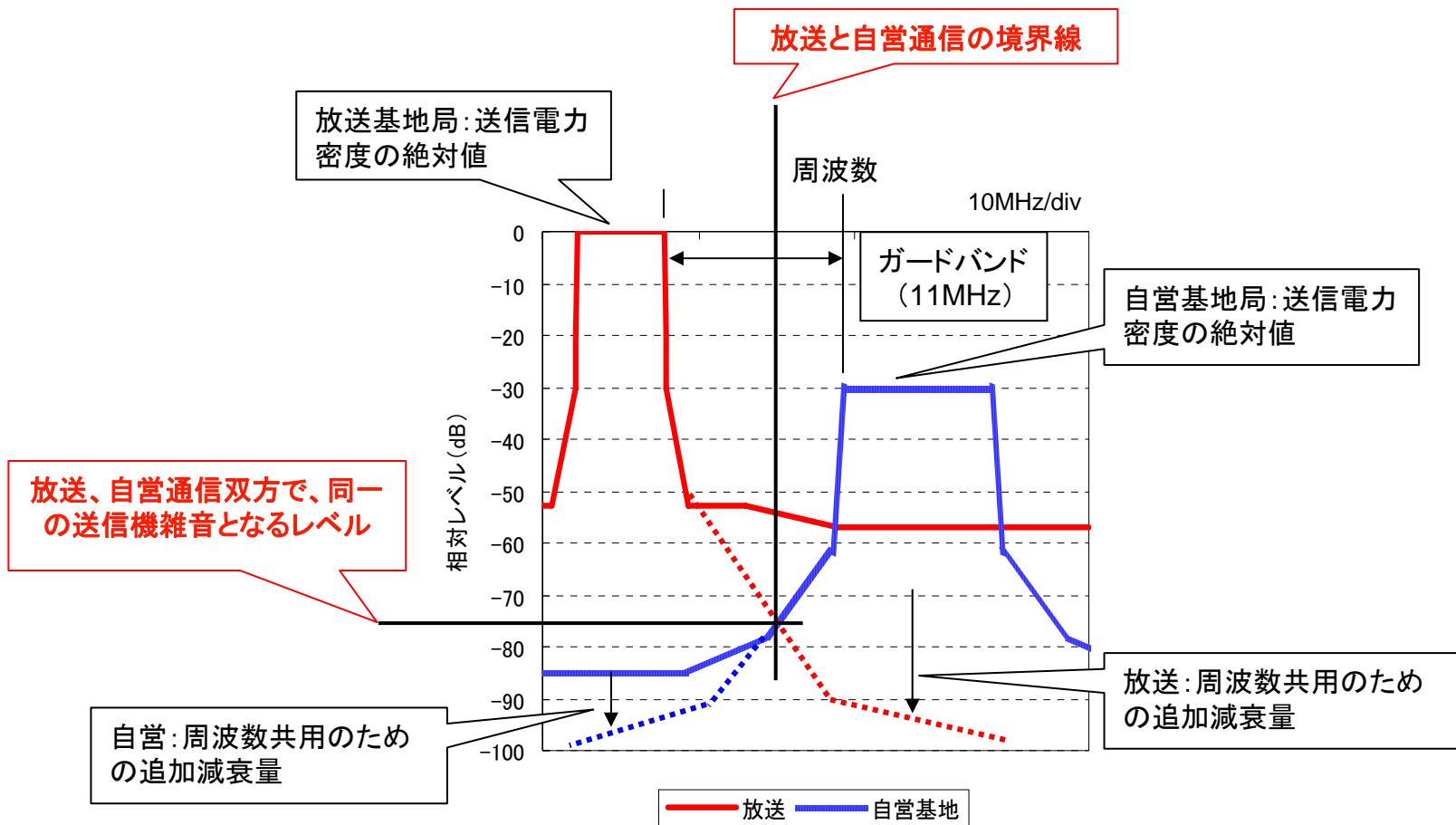
1. 追加対策例1：放送、自営通信とも、帯域外領域、スプリアス領域の送信機雑音を軽減するため、送信フィルタを追加する方法は、送信機フィルタに多大な減衰量を必要とし、非現実的である。
2. 追加対策例2：放送の送信機雑音を、周波数離調と共に減らすことにより、相互システム間の距離による地理的な離隔により共用を図る方法は、国内多くの地域で共存が期待できるものの、高トラフィックが予想される関東圏で大きな離隔距離を必要とし、自営のチャンネル確保に課題がある。
3. 追加対策例3：放送基地送信電力を自営通信と同等とする方法は、置局を工夫することにより、5MHz程度のガードバンドで共用できると思われる。汎用性の高い共用条件だが、放送の置局の可能性が課題である。

ガードバンドの取り方（案）

自営通信グループ

ガードバンドの取り方 (その1)

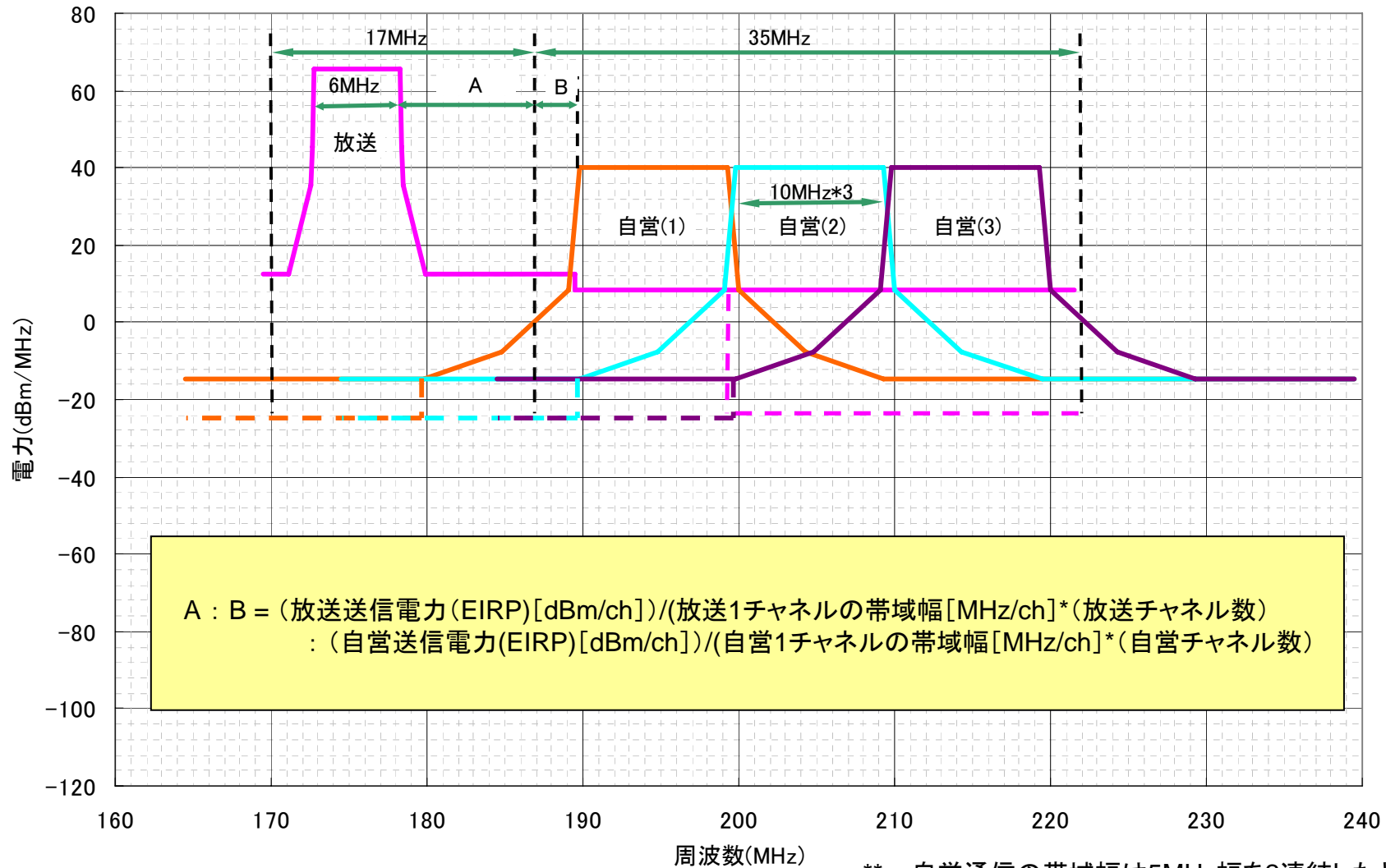
放送と自営通信とで、送信機雑音レベルが同等となる周波数を、放送と自営通信の境界線とする。



※ 自営通信の帯域幅は5MHz幅を2連結したと想定。

ガードバンドの取り方 (その2)

VHF 送信スペクトラムマスク
共用案



受信感度、許容干渉電力の比較

1. 受信感度

- 自営通信の受信感度*：

(1) 5MHzシステム：-91.3dBm以下（基地局、移動局とも同一）：-98.3dBm/MHz

(2) 10MHzシステム：-88.3dBm以下（基地局、移動局とも同一）：-98.3dBm/MHz

*：QPSK、BER=1E-6にて規定。

- 地上デジタル音声放送の受信感度**：

(1) 1セグメント：-91.8dBm以下（0.429MHz当たり）：-88.1dBm/MHz

(2) 3セグメント：-87.0dBm以下（1.29MHz当たり）：-88.1dBm/MHz

**：DQPSK、受信機終端入力電力17dB μ V/1セグメントにて規定。

◆ 自営通信は、地上デジタル音声放送と比較して10.2dB（符号化利得差の約2dBを含む）受信感度が高い。

2. 許容干渉電力

- 自営通信の許容干渉電力

(1) 基地局：-113.8dBm/MHz

(2) 移動局：-111.8dBm/MHz

放送と同じ-105.8dBm/MHzで計算する。

- 地上デジタル音声放送の許容干渉電力

-105.8dBm/MHz***

***：外来雑音電力-103.5dBm/1セグメント、外来雑音電力に対して -6dBとして試算。

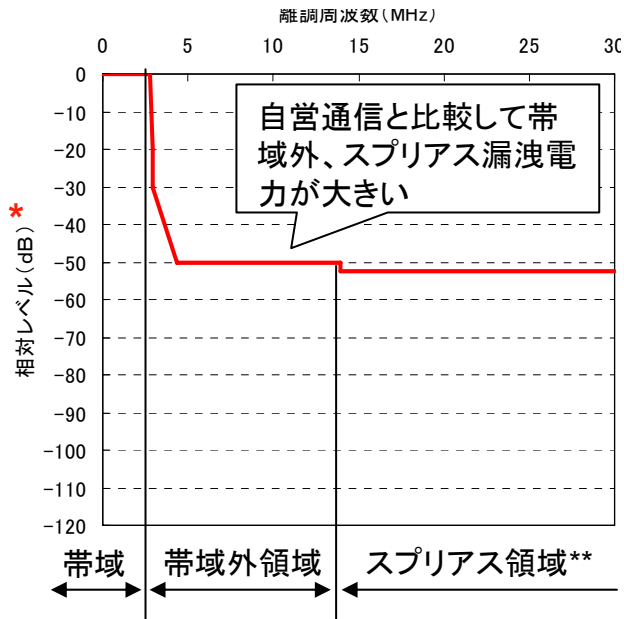
◆ 自営通信は、地上デジタル音声放送と比較して6.0～8.0dB許容干渉電力が低い。

資料2022-VU 作6-2-3「参考1 自営通信グループにおける干渉検討資料」、「参考2 放送グループにおける干渉検討資料」から数値を算出した。

放送と自営通信の送信スペクトルの比較

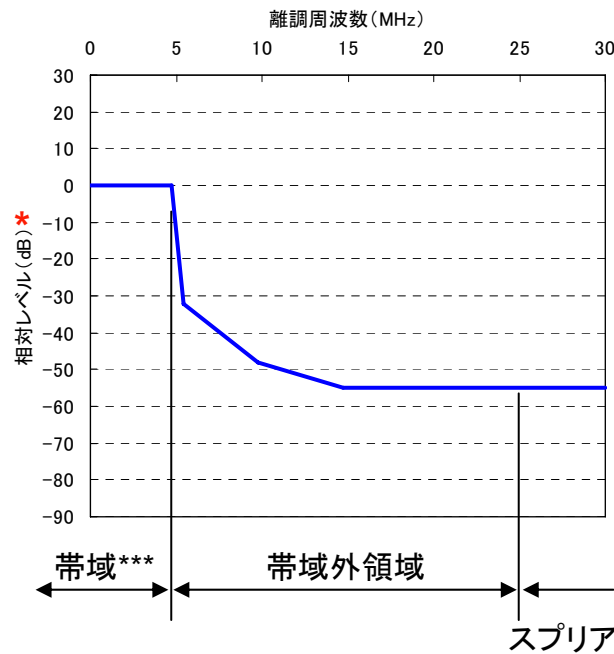
現状の送信スペクトル仕様

地上デジタル音声放送



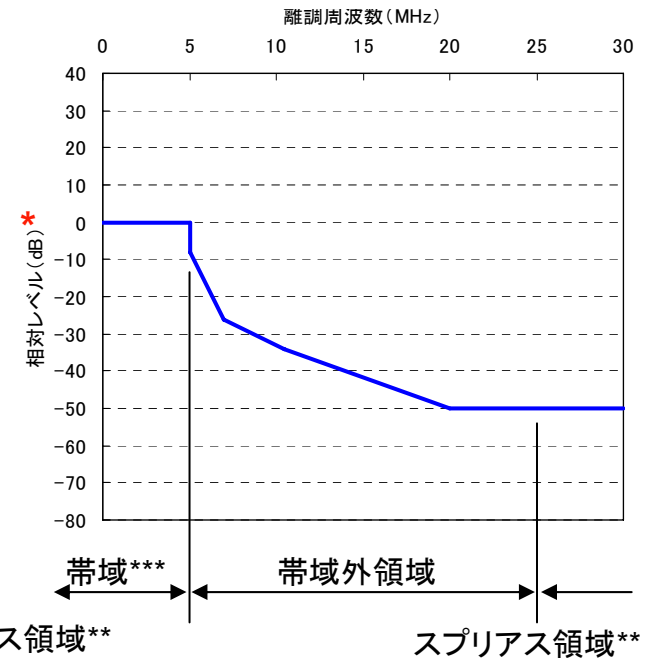
(「ARIB STD-B29 2.2版」から)

自営通信(基地局)



(情通審「広帯域移動無線アクセスシステム委員会報告」から)

自営通信(端末局)



*: グラフの縦軸は、信号の絶対値の目安で規格化した。

** : スプリアス領域の必要減衰量は、送信電力によって異なる。

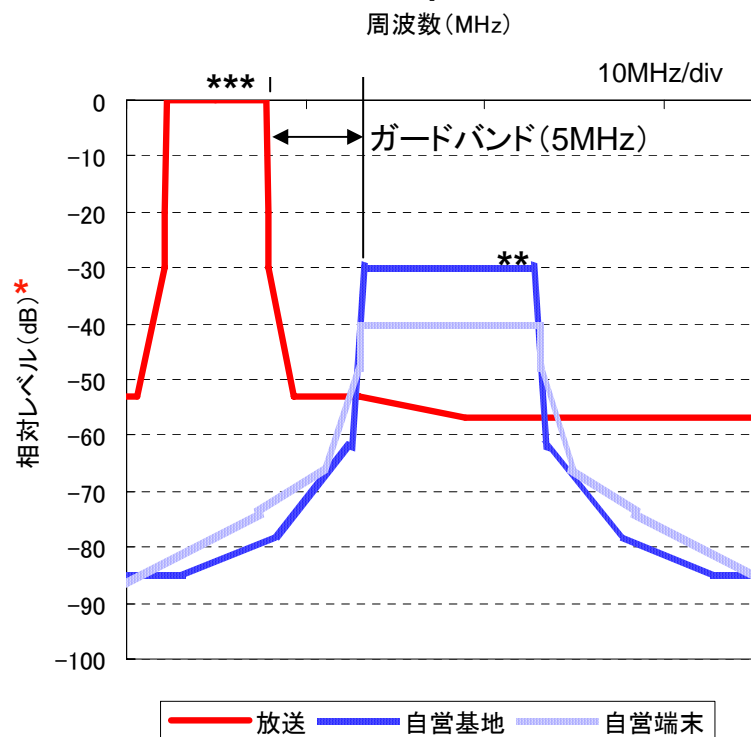
*** : 自営通信の帯域幅は5MHzの場合も同等と考える。

自営通信の周波数共用送信スペクトルは、2.5GHz帯の周波数共用の検討の際、帯域外領域、スプリアス領域の両域とも仕様を厳しくして共用を図った。地上デジタル音声放送も、周波数共用のためには、送信電力を下げるか、帯域外、スプリアス両域の減衰量を増加すべきと考える。

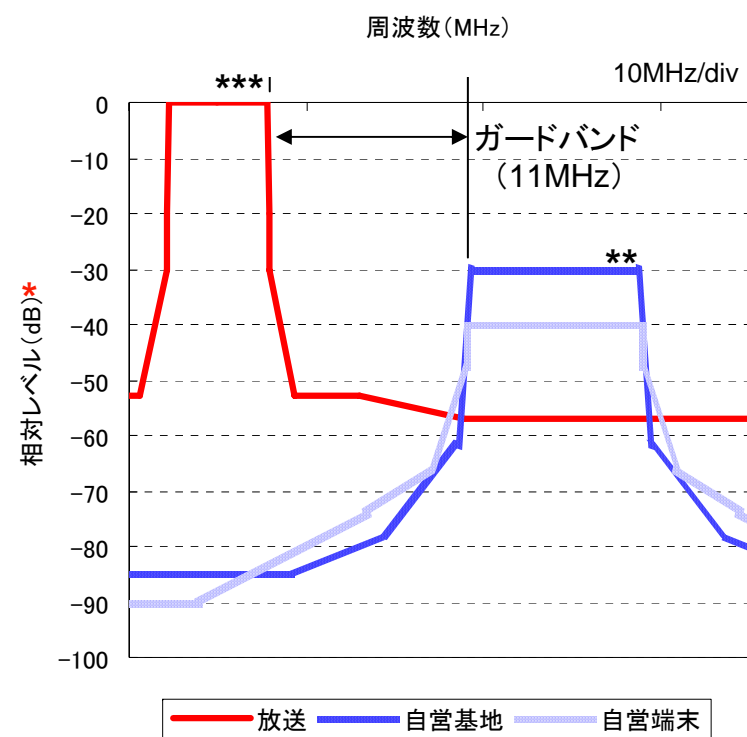
ガードバンドによる周波数共用のための説明図

周波数共用のためのガードバンドを、放送の帯域外領域とした場合(例1)、スプリアス領域とした場合(例2)を示す。

例1(ガードバンド5MHz)



例2(ガードバンド11MHz)



*: グラフの縦軸は、信号の絶対値の目安で規格化した。

** : 自営通信の帯域幅は5MHz幅を2連結したと想定。

*** : 電技審「地上テレビジョン放送等置局技術委員会報告」のノイズフロアの実測値から、放送の帯域外特性は、5MHz離れで規格値より実力3dB低いく、スプリアス領域では11MHz離れで7dB低いと仮定して計算。

放送基地局アンテナの垂直指向性（推定値）

前提条件（地上デジタルテレビ放送、27ch、東京タワーのアンテナから推定）

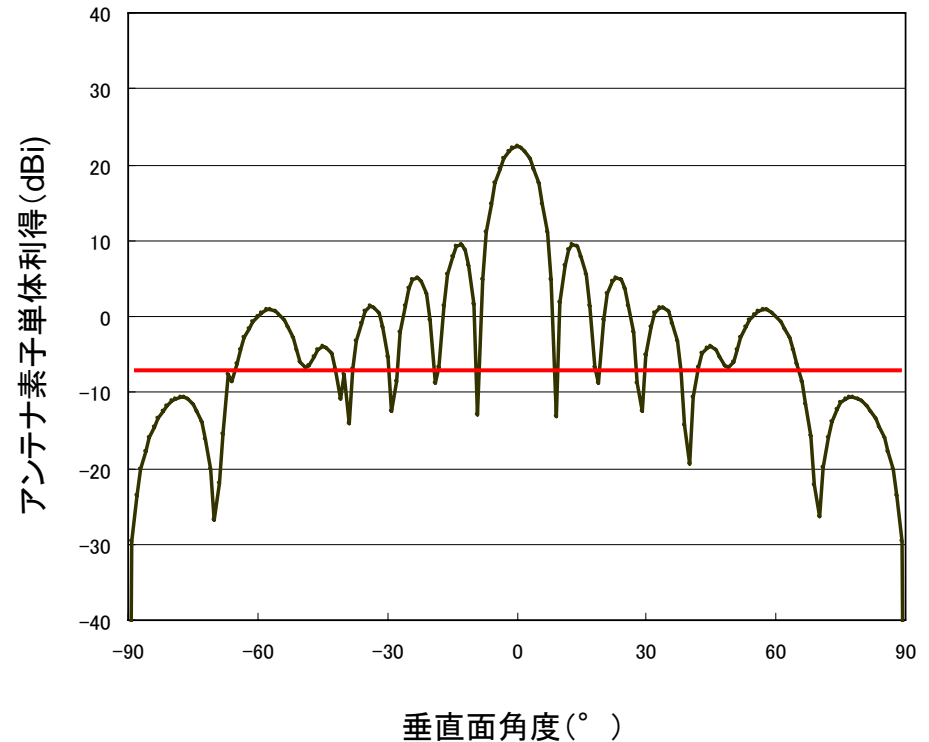
- (1) アンテナ素子 双ループアンテナ 2Lタイプ（3素子）
- (2) 配列 水平面 15面、垂直面 5段
- (3) 指向性 水平面 無指向性（仮定）
- (4) チルト角 無し
- (5) 偏波面 水平偏波
- (6) 指向性利得 $\sim 7\text{dBd}$ （ERP=50KW, 送信電力10KWより）
- (7) 対象周波数 557MHz 一波（NHKの周波数 27ch）
- (8) アンテナ素子の推定：双ループアンテナ 2L 単素子
- (9) 双ループアンテナ 2L 3素子
 - 外形寸法 資料からは推定困難
 - 配列間隔 不明 \rightarrow 素子間隔 0.8λ を仮定する
 - 水平面ビーム幅 ~ 21 度（単素子の $1/3$ ）
 - 垂直面ビーム幅 ~ 46 度（設備仕様書指向性図より）
 - 指向性利得 $12.5\sim 14.8\text{dBi}$

解析結果：地上デジタル放送アンテナの特性は以下の様になる。

- (1) 垂直面ビーム幅 8度
- (2) 利得の推定
 - アンテナ単体のピーク利得は $22.3\text{dBi}=20.2\text{dBd}$ で、15個配列するため、各アンテナへの入力レベルは -11.8dB （ $=1/15$ ）低下する。
 - 従って、水平面オムニアンテナを形成した場合のピーク利得は、 8.4dBd で、実際値との差分は、分配損失等と考えられる。

考察：VHF(Hch)とは周波数が2倍以上異なるため、VHF(Hch)にて垂直方向に5段配置は困難かもしれないが、そのまま垂直面ビーム幅を8度として干渉計算する事にする。

垂直面指向性(シミュレーション)



利得は15分配前の数値を表す。

赤線:ピーク利得-30dBの線で、これ以下には安定して利得は下がらないものとする。

回線設計例（上り回線）

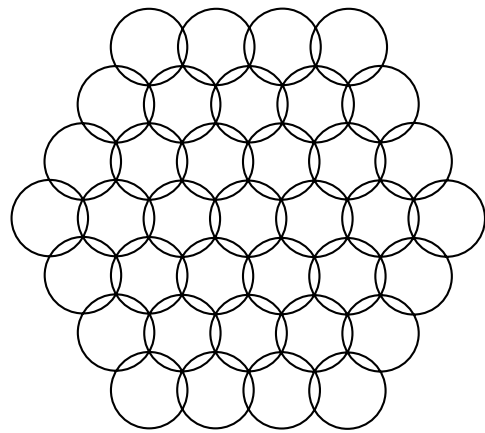
項目	単位	許容干渉電力	許容干渉電力		(参考)干渉電力
		-113.8dBm/MHz	-105.8dBm/MHz		-95.8dBm/MHz
周波数	MHz	190.0	190.0	190.0	190.0
変調方式		QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
内符合		1/2	1/2	1/2	1/2
所要C/N*	dB	2.9	2.9	2.9	2.9
自営端末局送信電力	dBm	37.0	37.0	37.0	37.0
自営端末局アンテナゲイン	dB	2.0	2.0	2.0	2.0
セル半径**	km	10	8	10	5.2
空間減衰量	dB	141.0	137.0	141.0	132.2
フェージングマージン	dB	10.0	10.0	6.0	6.0
ペネトレーションロス	dB	6.0	6.0	6.0	6.0
自営基地局アンテナゲイン	dB	7.0	7.0	7.0	7.0
自営基地局受信電力	dBm	-111.0	-107.0	-107.0	-98.2
受信機NF	dB	4.0	4.0	4.0	4.0
等価雑音帯域幅（70kbps伝送時）	kHz	280.0	280.0	280.0	280.0
熱雑音（70kbps伝送時）	dBm	-115.4	-115.4	-115.4	-115.4
許容干渉電力	dBm/MHz	-113.8	-105.8	-105.8	干渉電力：-95.8
外部雑音電力	dBm	-119.2	-111.3	-111.3	-101.3
全受信雑音電力	dBm	-113.9	-109.9	-109.9	-101.1
受信品質（C/N）	dB	2.9	2.9	2.9	2.9

* : QPSK 1/2の所要CINR2.9dBはWiMAX Forumのプロファイル値。 ** : 参考資料9、10参照。

放送との周波数共用による影響

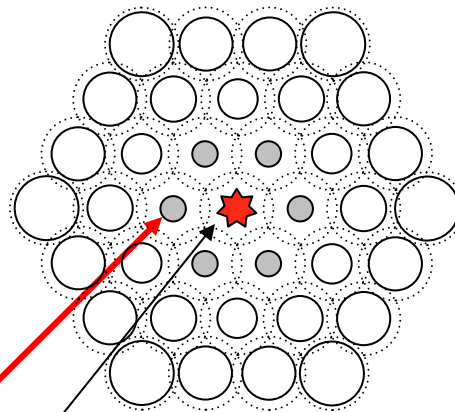
「干渉の程度(b):D/U比が、所要C/Nを満たす条件(線形領域)」の検討の補足(その1)

自営基地局のセル配置



自営通信のセル半径: **10km**

放送基地局が設置された場合

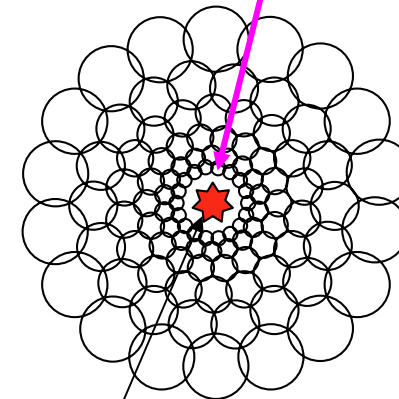


放送基地局(2.4kW, ERP=12kW)

- ◆ 放送基地局の送信機雑音により、自営通信への干渉電力が増加し、自営通信のセル半径が縮小する。

灰色のセル:セル半径が**1.7km**に縮小する。

エリアカバーのためのセル配置



放送基地局近傍のセル半径は、次頁参照

放送基地局(2.4kW, ERP=12kW)

- ◆ 放送基地局に近づくに従い多くの自営基地局が必要となる。(置局コストの増大)
- ◆ 放送基地局の近傍は置局出来ない。(エリア外地域の残存)

※ 回線設計例は参考資料5を参照。

放送基地局アンテナの垂直指向性による効果

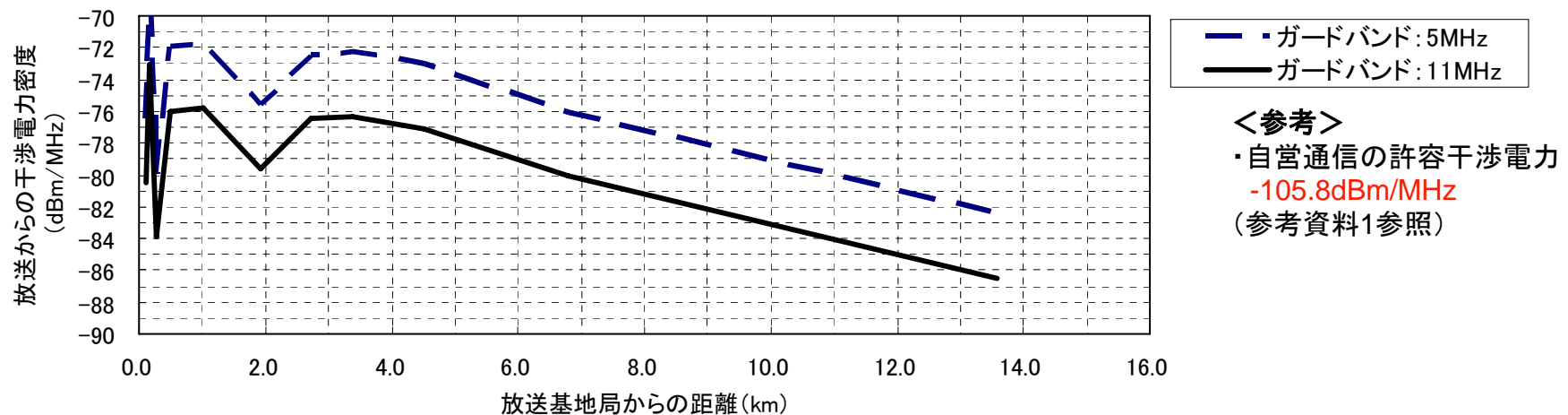
「干渉の程度(b): D/U比が、所要C/Nを満たす条件(線形領域)」の検討の補足(その2)

<対応>

- VHF(Hch)の放送基地局の送信パラメータが、UHF帯デジタルテレビと同等として、放送基地局のアンテナ指向性を推定し(参考資料 4)、**放送基地局近傍の干渉電力**を調べる。

<結果>

- 放送からの干渉電力密度は、放送基地局アンテナの垂直指向特性により3km以下で若干低減されるものの、この**干渉電力は許容干渉電力より30dB大きく**、自営通信のセル半径は、10kmが100m~150m程度となり、非実用的である。



放送基地局からの距離に対する自営通信基地局のセル半径の縮小[本来10km、放送基地局アンテナ指向性考慮(参考資料4)]

放送基地局からの距離	0.1km	0.2km	0.3km	0.5km	1.0km	1.9km	2.7km	3.4km	4.5km	6.8km	13.6km
ガードバンド 5MHz	600 m	400 m	700 m	450 m	450 m	600 m	450 m	450 m	500 m	650 m	900 m
ガードバンド 11MHz	800 m	450 m	950 m	600 m	600 m	750 m	600 m	600 m	650 m	800 m	1150 m

送信フィルタの必要減衰量と必要離隔距離の関係

1. ガードバンド5MHzの場合(帯域外領域)

干渉の種類	Case A (規格値)	Case B (実力値)	Case C	Case D	Case E
放・基→自・基	60 km	52 km	200 m	200m	200m
放・基→自・端	12.5 km	11 km	< 200 m	< 200m	< 200m
自・基→放・受	500 m	258 m	120 m	20m*	20m*
自・端→放・受	160 m	80 m	40 m*	10m*	1m*
送信フィルタの 与干渉領域の 減衰量	放・基 : 50dB 自・基 : 50dB 自・端 : 34dB	放・基 : 53dB 自・基 : 60dB 自・端 : 44dB	放・基 : 110.6 dB 自・基 : 71.3 dB 自・端 : 84.0 dB	放・基 : 110.6 dB 自・基 : 81.9 dB 自・端 : 95.6 dB	放・基 : 110.6 dB 自・基 : 81.9 dB 自・端 : 115.5 dB

2. ガードバンド11MHzの場合(デジタル音声放送のスプリアス領域)

干渉の種類	Case A (規格値)	Case B (実力値)	Case C	Case D	Case E
放・基→自・基	53 km	45 km	200m	200m	200m
放・基→自・端	11 km	8.2 km	< 200m	< 200m	< 200m
自・基→放・受	300 m	150 m	120m	20m*	20m*
自・端→放・受	< 100 m	70 m	40 m*	10m*	1m*
送信フィルタの 与干渉領域の 減衰量	放・基 : 52.5dB 自・基 : 55dB 自・端 : 50dB	放・基 : 57dB 自・基 : 65dB 自・端 : 60dB	放・基 : 110.6 dB 自・基 : 71.3 dB 自・端 : 84.0 dB	放・基 : 110.6 dB 自・基 : 81.9 dB 自・端 : 95.6 dB	放・基 : 110.6 dB 自・基 : 81.9 dB 自・端 : 115.5 dB

ITU-R SM.2028-1に基づくSEAMCATを利用して計算(Extended Hata、郊外地モデル)、但し*: 自由空間伝搬で計算。

キャリア周波数: 190MHz

放送基地局送信電力: 2.4kW/13セグメント

放送基地局アンテナ高: 237m

放送受信局アンテナ利得: -3dBd, 給電ロス: 2dB

放送受信局アンテナ高: 1.5m

自営基地局送信電力: 20W、アンテナ利得: 7dBi

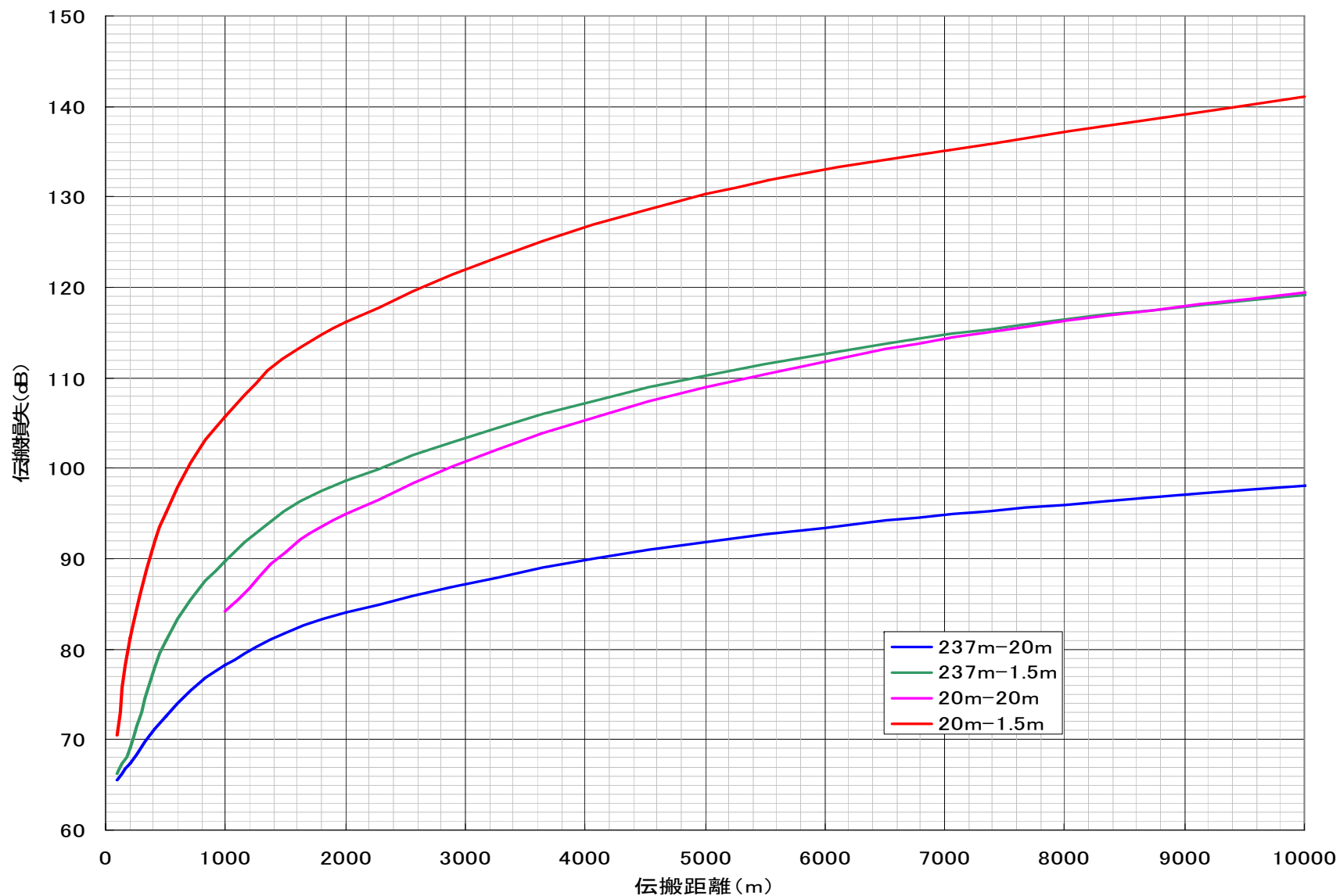
自営基地局アンテナ高: 20m*

自営端末局送信電力: 5W、アンテナ利得: 2dBi

自営端末局アンテナ高: 1.5m

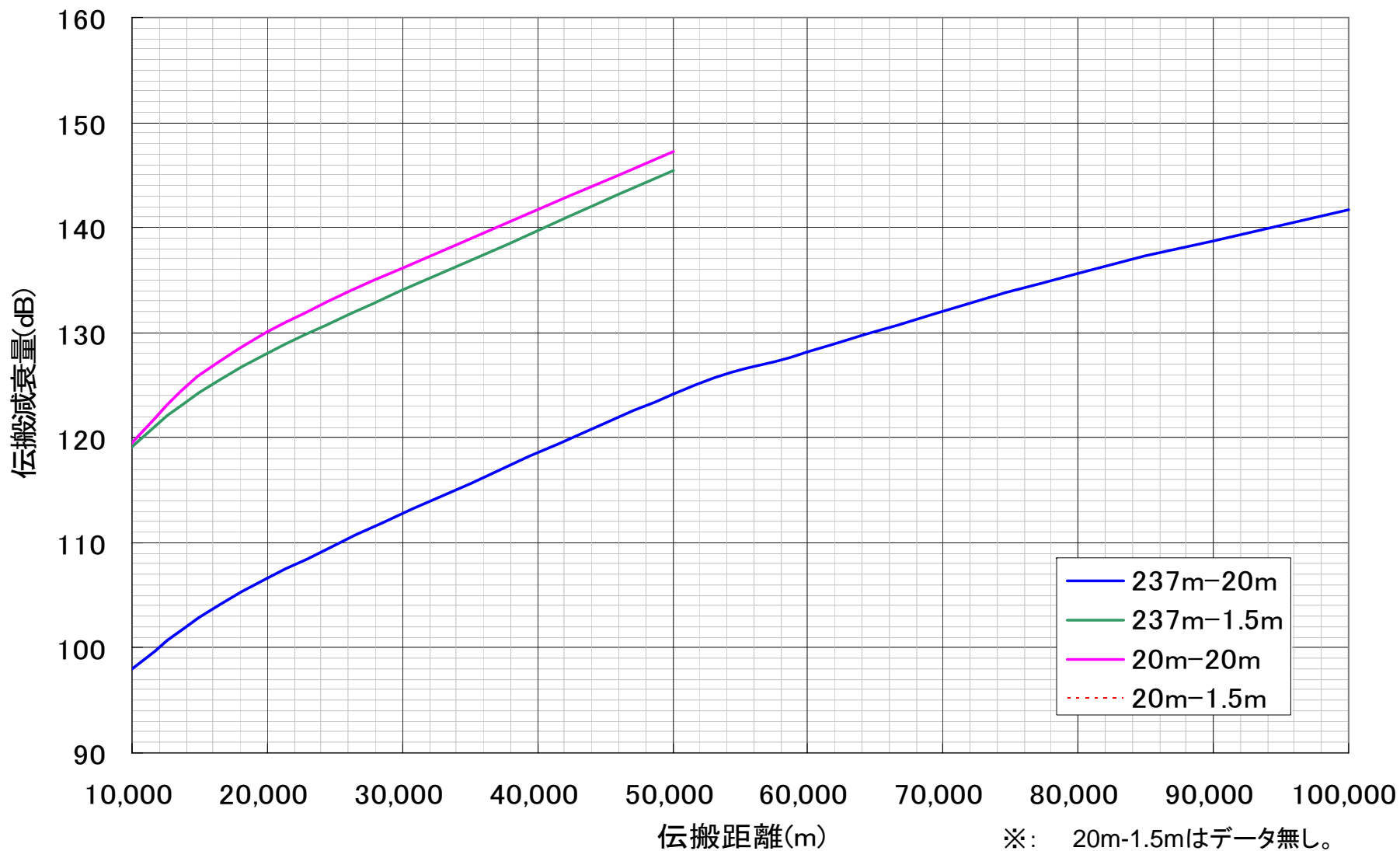
*: 本検討では、アンテナ高を20mとして検討したが、検討をより具体的にするためには、運用母体のサービスイメージも参考にして決める必要がある。

伝搬距離と伝搬損失の関係の関数（その1）



ITU-R SM.2028-1 に基づくSEAMCATを利用して計算(Extended Hata、郊外地モデル)。

伝搬距離と伝搬損失の関係の関係 (その2)



ITU-R SM.2028-1 に基づくSEAMCATを利用して計算(Extended Hata、郊外地モデル)。