

# 回線設計手法と送受信規定



2020年10月28日  
株式会社NTTドコモ

- 本資料では、固定系無線将来展望調査研究会報告書にもとづき、下記項目の審査基準規定値を提案いたします。
  1. 回線設計手法
  2. 送信信号特性（設計値）
  3. 受信フィルタチェーン特性（設計値）

# 【回線設計手法】

## 3.4.1 現行制度と課題

### 【回線設計に関する現行制度】

- 現行の電波法関係審査基準には、雑音指数(NF)及び所要C/Nが規定されている。

周波数帯	占有周波数帯幅の許容値	標準的な変調方式	等価雑音帯域幅	雑音指数
11、15 GHz 帯	5MHz	4PSK	4.5MHz 以下	5dB 以下
	9.5MHz	16QAM	9.0MHz 以下	5dB 以下
	18.5MHz	4PSK	17.5MHz 以下	5dB 以下
		16QAM	17.5MHz 以下	5dB 以下
	36.5MHz	4PSK	34.5MHz 以下	5dB 以下
		64QAM	34.5MHz 以下	5dB 以下
	53.5MHz	16QAM	51.0MHz 以下	5dB 以下
	72.5MHz 注	8PSK	69.0MHz 以下	5dB 以下

別紙(5)-2 ア(ウ)D (表3 等価雑音帯域幅及び雑音指数)

$C/N_0$ : 符号誤り率 =  $1 \times 10^{-4}$  の場合における所要 C/N (dB)  
 64QAM; 26.0 (dB) 16QAM; 21.0 (dB) 8PSK; 20.1 (dB) 4PSK ;  
 14.8 (dB)

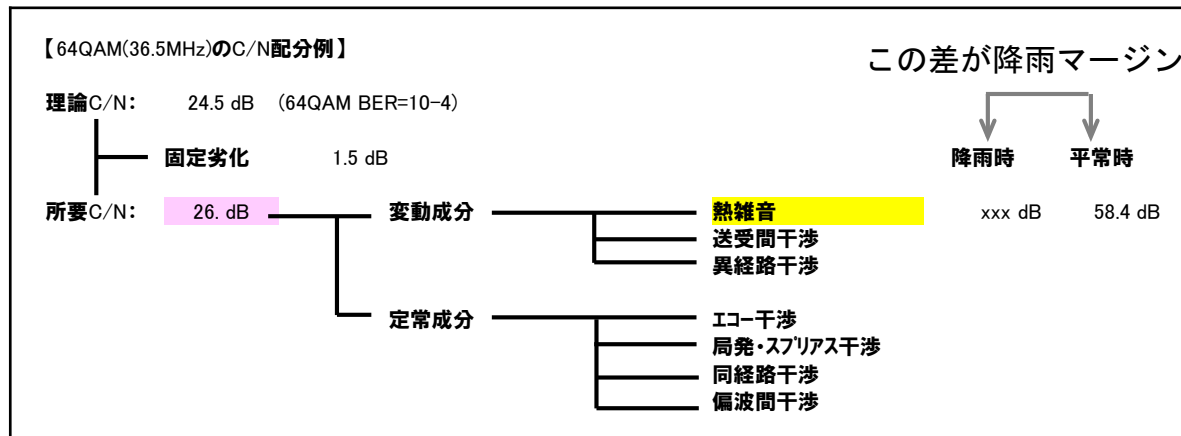
別紙(5)-2 ア(エ)D 区間瞬断率 $Y_i$ の計算

### 【構成員より挙げられた課題】

- 実際の受信特性にはベースバンドを含めた受信機全体の性能が影響するが、上記の通り現行の審査基準にはNF及び所要C/Nが個別に規定されており、受信機全体の性能が良いにも関わらずNF及び所要C/Nの個別規定を満足しない装置は国内導入ができない。
- また、完成製品においてNFや所要C/Nを直接測定することは困難な場合がある。

## 3.4.2 検討方針

- 他国の状況
  - 欧州のETSI規格では、NFと所要C/Nを含む受信機全体の性能を評価する指標としてビット誤り率（BER）基準を満足する「受信感度」の規定が設けられており、より柔軟な設計が可能である（後述にETSI規格の詳細）
  - 国内基準の所要C/Nは、ETSI規格よりも2～7.5dB程度緩い規定となっている（BER=10<sup>-4</sup>とBER=10<sup>-6</sup>で2dB程度の差）
- 検討方針
  - NFと所要C/Nを個別に規定するのではなく、総合的な受信性能指標である「受信感度」を規定することでより柔軟な装置設計が可能とする。一方で、国内の回線設計においては、回線不稼働率の算出にNFと所要C/Nの値が必要である。



$$\text{熱雑音C/N} = Pr - kTBF$$

Pr: 受信入力  
kTBF: 10log(ボルツマン定数 × 温度 × 等価雑音帯域幅) + NF

# ARIB調査研究会報告書案の再掲

## 3.4.3 検討結果

- 個別のNF及び所要C/Nを規定せず、総合的な受信性能指標である「受信感度」を規定する
- 加えて、受信感度の実測値から当該装置のNF及び所要C/Nの値を逆算し、干渉計算を実施する際にルート毎に提出することとする。
  - ➔ 既存の回線設計方法を踏襲しつつ、回線品質を維持したまま装置設計の自由度が向上。さらに、装置の実力値（規定値よりも良いNF,所要C/N）で干渉計算が可能となるため、運用可能性も向上することが期待される。

### (受信感度規定案)

周波数帯	占有周波数帯幅の許容値	標準的な変調方式	所要C/N	NF	等価雑音帯域幅
11、15GHz帯	5MHz	4PSK	14.8dB	5dB以下	4.5MHz以下
	9.5MHz	16QAM	21.0dB	5dB以下	9.0MHz以下
	18.5MHz	4PSK	14.8dB	5dB以下	17.5MHz以下
		16QAM	21.0dB	5dB以下	17.5MHz以下
	36.5MHz	4PSK	14.8dB	5dB以下	34.5MHz以下
		64QAM	26.0dB	5dB以下	34.5MHz以下
	53.5MHz	16QAM	21.0dB	5dB以下	51.0MHz以下
72.5MHz	8PSK	20.1dB	5dB以下	69.0MHz以下	
18GHz帯	18.5MHz	4PSK	14.8dB	8dB以下	16.5MHz以下
	36.5MHz	64QAM	26.0dB	5dB以下	34.5MHz以下



受信感度規定 (案)
-87.4dBm以下
-78.2dBm以下
-81.5dBm以下
-75.3dBm以下
-78.6dBm以下
-67.4dBm以下
-70.7dBm以下
-70.3dBm以下
-78.8dBm以下
-67.4dBm以下

受信感度 =  $10\log(\text{ボルツマン定数} \times \text{温度} \times \text{等価雑音帯域幅}) + \text{NF} + \text{所要C/N}$  から算出

## (参考) 受信感度の実力値から逆算した所要C/N及びNFを使う効果

- 所要C/N及びNFが改善したとき、審査基準の回線不稼働率を満足するための距離が改善（延伸）する効果に期待。（受信入力判定は別途要確認）

（特定の装置パラメータを用いた時の11GHz帯36.5MHz(64QAM)の一例）

	所要C/N+NF	所要C/N	NF	距離
現行は固定	31 dB	26 dB	5 dB	18.8 km
	30 dB	26 dB	4 dB	19.9 km
	30 dB	25 dB	5 dB	20.4 km
	29 dB	26 dB	3 dB	21.1 km
	29 dB	25 dB	4 dB	21.7 km
	29 dB	24 dB	5 dB	22.1 km

※所要C/N+NFが同じ値でも、距離延伸のためにはNFの改善より所要C/Nの寄与が大きい（熱雑音ネックのため）。そのため、干渉計算の際は、NFは設計値、所要C/NはNFの設計値と受信感度実測から求められる値を提出することが望ましいと考えられる。

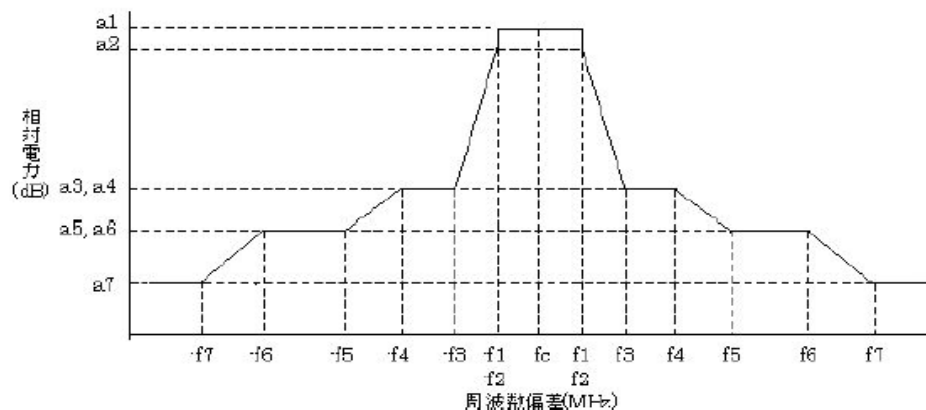
# 【送信信号特性（設計値）及び 受信フィルタチェーン特性（設計値）】



## 3.5.1 現行制度と課題

### 【IRFに関する現行制度】

- 現行の電波法関係審査基準には、下記の規定が定められている。



別紙2 4 その他(5)-2(ウ) I 送信スペクトルマスク (11、15GHz帯)  
※18GHz帯は、H27総務省告示第84号に記載

#### 1. 11GHz帯 (単位 dB)

(1) 占有周波数帯幅の許容値が 72.5MHz (8PSK)、36.5MHz (4PSK) 及び 5MHz (4PSK) のもの

妨害波	希望波		72.5MHz (8PSK)		36.5MHz (4PSK)		5MHz (4PSK) 注2	
	注1	注1	同	異	同	異	同	異
占有周波数帯幅の許容値	標準的な変調方式							
72.5MHz	8PSK		0.3	1.6	3.1	4.2	19.8 (35)	37.3 (55)
36.5MHz	4PSK		0.0	1.3	0.0	4.4	46.8 (35)	97.5 (55)
5MHz 注2	4PSK		6.4 (35)	56.8 (55)	70.6 (35)	104.4 (55)	0.0	31.0 (5)

別紙(5)-2-1 干渉軽減係数 (IRF) (11、15、18GHz帯)

### 【構成員より挙げられた課題】

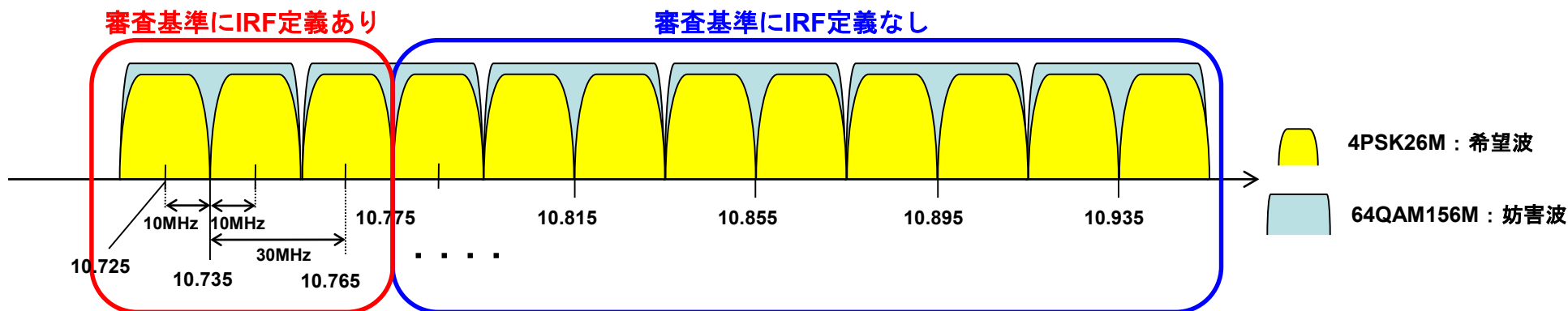
- IRFを計算するために必要な「既存システムのフィルタ特性」が審査基準等の公開情報から知り得ることができず（既存システムのフィルタ特性は各社の秘匿情報）、メーカー側で装置設計時にIRFが審査基準の値を満足するか確認することができない。
- 海外標準製品で現行のIRF値を満足するためには、海外標準よりもクロックを下げてフィルタ係数を調整する等が必要となり、クロック上限撤廃のメリットを生かせない。

# ARIB調査研究会報告書案の再掲

## 3.5.2 検討方針

- メーカー提案
    - メーカーが装置設計をする際のターゲットとなる各送受信特性（個別に満足すれば必要なIRFを得られる値）をそれぞれ分けることが望ましい。
    - 海外標準品がクロックを下げてフィルタ係数を調整する等が不要となるよう現行のIRF値を緩和することで、クロック上限撤廃のメリットを生かすことができる。
  - 電気通信事業者提案
    - 既存システムのフィルタ特性は、個社の秘匿情報であるため開示不可。
    - IRF値の緩和は、審査基準に定義されていない周波数離調も含め、実際の構築済みルートにおける干渉増加量が事業者判断として許容可能な範囲で行われることが望ましい。
- ⇒ 両提案に基づき検討した。

（審査基準のIRF定義例）



## 3.5.3 検討結果（1/6）

- IRF（海外製品がクロックを落とさずに満足可能な、従来より一部緩和された値）と、それを満足するための設計ターゲットとなる送信信号特性（送信フィルタチェーン＋信号処理）、受信フィルタチェーン特性を設計の参考値としてそれぞれ新たに設ける。

（審査基準変更点のまとめ）

	送信スペクトル規定	回線設計（ルート設計）規定
現行	・送信スペクトルマスク （実測の最悪値）	・IRF（設計値による算出）
提案	・送信スペクトルマスク （実測の最悪値）※変更無し	・IRF（設計値による算出） ・送信信号特性（信号処理を含む）（設計値） ・受信フィルタチェーン特性（設計値）

➔上記の方針により、IRFは設計値（Typical値）の特性をもとに担保、最悪値としての送信波形は送信スペクトルマスクにより規定するという従来の回線品質担保レベルを維持しつつ、各メーカーは設計ターゲットとなる各送受信特性を公開情報から把握することが可能となる。次ページ以降、本作業班で提示された実際の波形データを用いて、ルート影響確認に用いるマスク案を示す。

# ARIB調査研究会報告書案の再掲

## 3.5.3 検討結果 (2/6) ー既存設備の影響評価ー

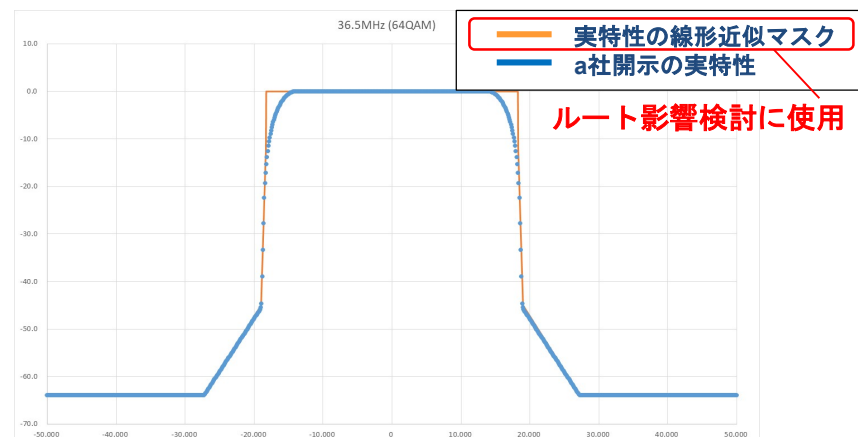
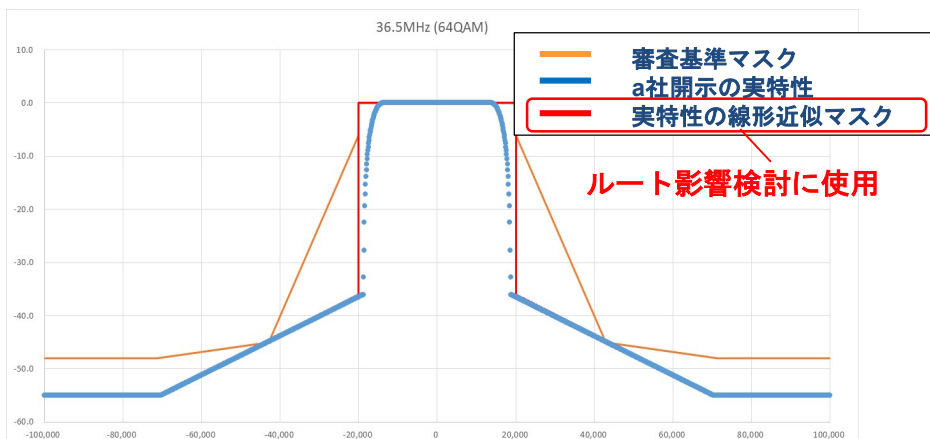
- 下表に示す本作業班に提示された特性データのうち、後述するルート影響確認には、a社提示(ETSI)の送信信号特性及び受信フィルタチェーン特性を用いる。

周波数帯	ベンダ	方式					
		5M (4PSK)	9.5M (16QAM)	18.5M (4PSK/16QAM)	36.5M (4PSK/64QAM)	53.5M (16QAM)	72.5M (8PSK)
11GHz	a社	○	○	○/○	○/○	○	○
	c社	○	-	○/○	-/○	○	-
15GHz	a社	○	○	○/○	○/○	○	○
	c社	○	-	○/○	-/○	○	-
18GHz	a社	-	-	○/○	○/○	-	-
	c社	-	-	○/○	-/○	-	-

※補足：送信側は、a社は送信スペクトラム特性(ETSI)、c社は送信フィルタ自体のtypical特性

【(例) 11GHz帯(36.5MHz(64QAM)送信信号特性)】

【(例) 11GHz帯(36.5MHz(64QAM)受信フィルタチェーン特性)】



## 3.5.3 検討結果（3/6） — 既存設備の影響評価 —

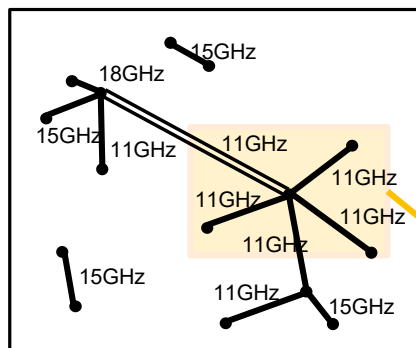
### 【検討シナリオ概要】

- 既存装置の設備更改時において、既設装置の干渉マージンと前述のIRF緩和量を比較し、マージン不足による装置更改不可影響（何%のルートが置換不可か）を確認する。

### 【検討プロセス】

- STEP1（広域での1ルートのみでの設備更改）
  1. IRF緩和影響が大きく出ると想定されるエリアを選定 → 関東エリア全域のルートを選定
  2. 選定エリアにおいて、1ルートのみでの設備更改時における既設ルートの干渉マージンとIRF緩和による干渉増加量の差分を確認し、所要C/I基準外となる割合を算出（1社ルートのみ）
- STEP2（狭域サンプルでの一斉設備更改）
  1. 関東全域のうち、同周波数が密集する特に影響が大きいと想定されるエリアを選定 → 下図に示すHUB局（特に考慮すべきエリア）を選定
  2. 選定エリアにおいて、周辺ルートも含めた一斉設備更改時の既設ルートの干渉マージンとIRF緩和による干渉増加量の差分を確認し、複数ルートの構築可否を判断（1社ルートのみ）

ルート構築の一例)



凡例

- : 設備拠点
- : 固定系マイクロ区間 (ENT)
- ≡ : 固定系マイクロ区間 (中継)

特に考慮すべきエリア

# ARIB調査研究会報告書案の再掲

## 3.5.3 検討結果 (4/6) ー既存設備の影響評価ー

### 【評価結果】

※実際に運用されている主な方式/周波数帯を今回の評価対象として選定しており、本結果により他の方式/周波数帯についても許容可否の判断が可能

帯域幅 (変調方式)	周波数帯	用途	送信：a社送信特性(ETSIベース) 受信：a社送信特性(ETSIベース)	
			(STEP1) 単ルート検証時の 更改可能比率	(STEP2) 複数ルート検証時の 更改可能比率
36.5MHz (64QAM)	11/15/18 GHz帯	ENT等	<b>98.9%</b>	既設ルート全てを設備更改する までは到達できないが、概ね更 改可能(9ルート存在で8ルート まで 更改可能等)
53.5MHz (16QAM)	11 GHz帯	中継等	<b>83.3%</b> ※不可ルート数の絶対値としては 「数ルート(1桁)」であり影響軽微	

### 【上記結果に対する電気通信事業者の見解】

- 単ルート、複数ルート共に影響軽微と考えられる。
- 一部の更改不可ルートについては、実環境では、周波数、ルート構成、使用CH、ANTサイズ等を変更して回線設計を行うことで十分運用対処可能と考えられる。
- 但し、36.5MHz(64QAM)に限っては次ページに示す同経路干渉の課題があるため、a社送信特性と比較して送信波の近傍でより減衰する送信マスクを提案したい。

## 3.5.3 検討結果 (5/6) ー既存設備の影響評価ー

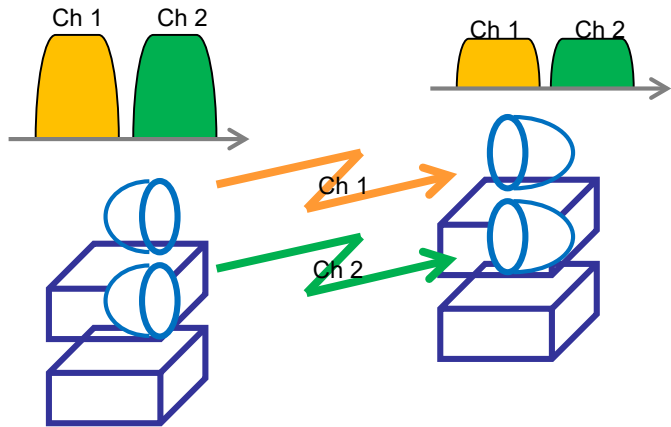
<<36.5M (64QAM) 関連>>

$\Delta f$	a社の送信特性 →a社の受信特性	a社より厳しい送信特性(提案値) →a社の受信特性	現行の送信特性 →a社の受信特性	現行の送信特性 →現行の受信特性
0	0.4	0.4	0.0	-0.2
5	0.8	0.8	0.1	0.1
10	1.5	1.5	0.8	1.0
15	2.4	2.3	1.9	2.4
20	3.4	3.4	3.6	4.4
25	4.8	4.8	6.2	7.9
30	6.8	6.8	11.4	15.1
35	10.8	10.8	24.3	29.8
<b>40</b>	<b>42.1</b>	<b>45.1</b>	<b>49.6</b>	<b>48.3</b>

44dBに不足↑

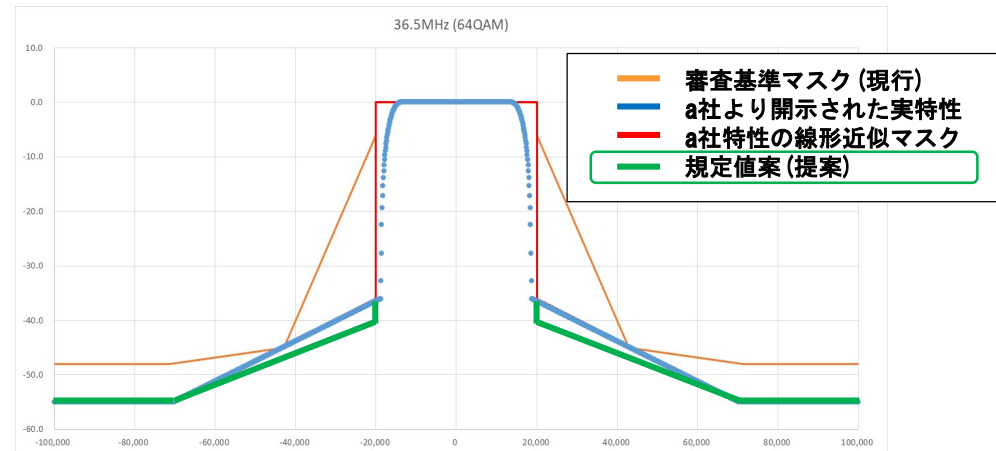
44dBを満足↑

隣接CHを用いて同経路(に近い)ルート構築を行う場合、基本的に伝搬路損失は等価のため、 $D/U=0\text{dB}$



平常時の所要C/Iは総量で44dB以上必要

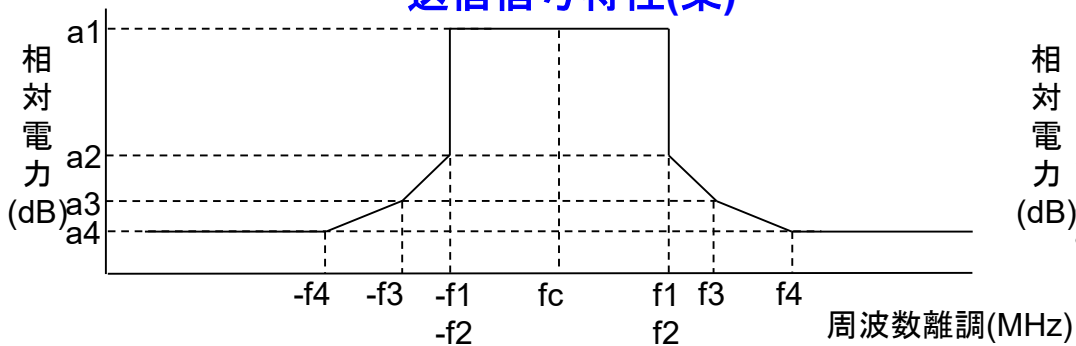
→ a社マスクのIRF値では許容C/Iは満たさないため、36.5MHz(64QAM)については隣接帯域の送信マスクをa社よりも厳しくする(下図の案)



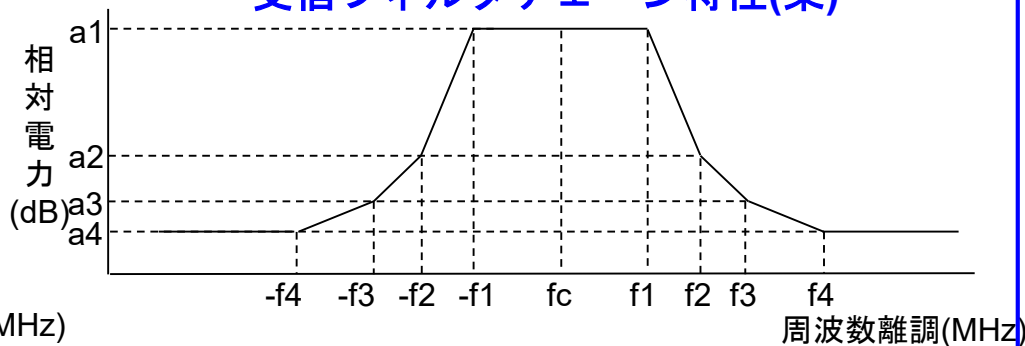
# 送受信規定値案

## 3.5.3 検討結果 (6/6)

送信信号特性(案)



受信フィルタチェーン特性(案)



チャネル幅	f1 (MHz) a1 (dB)	f2 (MHz) a2 (dB)	f3 (MHz) a3 (dB)	f4 (MHz) a4 (dB)
5MHz (a社ベース)	2.5 0.0	2.5 -16.0	2.6 -36.0	10.0 -55.0
10MHz (a社ベース)	5.0 0.0	5.0 -36.0	- -	18.5 -55.0
20MHz (a社ベース)	10.0 0.0	10.0 -36.0	- -	36.0 -55.0
40MHz (QPSK) (a社ベース)	20.0 0.0	20.0 -36.0	- -	70.5 -55.0
40MHz (64QAM) (前頁の変更)	20.0 0.0	20.0 -40.0	- -	70.5 -55.0
60MHz (a社ベース)	30.0 0.0	30.0 -36.0	- -	103.5 -55.0
80MHz (a社ベース)	40.0 0.0	40.0 -36.0	- -	140.0 -55.0

チャネル幅	f1 (MHz) a1 (dB)	f2 (MHz) a2 (dB)	f3 (MHz) a3 (dB)	f4 (MHz) a4 (dB)
5MHz (a社ベース)	2.5 0.0	2.55 -12.0	2.6 -45.0	3.8 -64.0
10MHz (a社ベース)	4.75 0.0	4.8 -12.0	5.0 -46.0	7.1 -64.0
20MHz (a社ベース)	9.25 0.0	9.3 -12.0	9.6 -45.0	13.9 -64.0
40MHz (a社ベース)	18.25 0.0	18.3 -12.0	19.0 -45.0	27.3 -64.0
60MHz (a社ベース)	26.75 0.0	26.8 -12.0	27.8 -45.0	40.0 -64.0
80MHz (a社ベース)	36.25 0.0	36.3 -12.0	37.7 -45.0	54.2 -64.0

※11/15/18GHz帯いずれにも適用