

情報通信審議会 情報通信技術分科会
衛星通信システム委員会

報告書

平成 21 年 6 月 23 日

目次

I	審議事項	1
II	委員会及び作業班の構成	1
III	審議経過	1
	1 委員会での審議	1
	2 作業班での審議	1
IV	審議概要	
	1. 審議の背景	2
	2. システム概要	3
	2.1. Ku 帯 VSAT システム	3
	2.2. 人工衛星局	4
	2.3. 制御地球局	4
	2.4. VSAT 地球局	4
	3. 無線設備の技術的条件	5
	3.1. 一般的条件	5
	3.1.1 筐体構造	5
	3.1.2 自動停波機能	5
	3.1.3 インターロック機能	5
	3.1.4 周波数自動選択機能	5
	3.1.5 電力自動調整機能	5
	3.1.6 電磁環境対策	5
	3.2. VSAT 地球局の設備	8
	3.2.1 適用周波数帯	8
	3.2.2 送信空中線の最小仰角	8
	3.2.3 等価等方輻射電力の許容値	8
	3.2.4 周波数の許容偏差	8
	3.2.5 変調方式	9
	3.2.6 占有周波数帯幅の許容値	9
	3.2.7 不要発射の強度の許容値	13
	3.2.8 空中線特性及び空中線電力の許容値	13
	3.2.9 空中線電力の許容偏差	13
	3.2.10 送信空中線利得(絶対利得)	13
	3.2.11 交差偏波識別度	13
	3.2.12 受信設備から副次的に発する電波等の限度	13

3.2.13	軸外輻射電力の許容値	13
4.	測定法	15
4.1.	送信装置	15
4.1.1	周波数の偏差	15
4.1.2	占有周波数帯幅	15
4.1.3	不要発射の強度	15
4.1.4	空中線電力の偏差	15
4.1.5	軸外輻射電力	15
4.2.	受信装置	16
4.2.1	副次的に発生する電波などの限度	16
5.	他のシステムとの周波数共用について	17
5.1.	同一周波数帯（12.2GHz から 12.44GHz まで）の無線システムとの周波数共用	19
5.1.1	固定業務との周波数共用	19
5.1.1.1	固定業務からの被干渉	19
5.1.1.2	固定業務への与干渉	23
5.1.2	衛星業務（宇宙から地球）との周波数共用	24
5.2.	隣接周波数帯（11.7GHz から 12.2GHz まで）の無線システムとの周波数共用	24
5.2.1	放送業務（11.7GHz から 12.2GHz まで）との周波数共用	24
5.2.2	放送衛星業務（11.7GHz から 12.2GHz まで）との周波数共用	24
V	審議結果	25
別紙 1	情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会構成員	27
別紙 2	Ku 帯 VSAT 高度化作業班構成員名簿	29
別添	諮問第 2027 号「Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件」に対する答申(素案)	31
参考資料 1	電波防護のための基準への適合確認	41
参考資料 2	VSAT地球局における変調の扱いについて	45
参考資料 3	伝送信号重畳・キャンセル技術について	55
参考資料 4	固定局から Ku 帯 VSAT 地球局への被干渉について	63
参考資料 5	人工衛星局の 12GHz ダウンリンクから固定局への与干渉検討について	69
参考資料 6	用語集	73

I 審議事項

衛星通信システム委員会は、「Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件」について審議を行った。

II 委員会及び作業班の構成

委員会及び委員会の下に設置した作業班の構成は、別紙 1 及び 2 のとおりである。

III 審議経過

本諮問に関して、以下に示す 4 回の委員会を開催し、その結果を「Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件」の答申案として取りまとめた。

また、以下に示す 2 回の作業班会議を開催した。

1 委員会での審議

(1) 第 12 回委員会(平成 20 年 12 月 17 日)

委員会の運営方法、審議方針及び審議スケジュールを定めた。また、審議の促進を図るため、作業班を設置することとした。

(2) 第 13 回委員会(平成 21 年 1 月 19 日)

意見聴取を設定したが特段の意見はなかったため、それを踏まえて作業班にて報告書案を作成することとした。

(3) 第 14 回委員会(平成 21 年 3 月 25 日)

作業班からの報告に基づき、委員会報告書(案)及び答申案を検討し、パブリックコメントを招請することとした。

(4) 第 15 回委員会(平成 21 年 6 月 9 日)

パブリックコメントの結果を踏まえ、委員会報告書(案)及び答申案を取りまとめた。

2 作業班での審議

(1) 第 1 回作業班(平成 20 年 12 月 26 日)

作業班の運営方針、審議方針を確認し、Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件に関する検討項目について審議を行った。

(2) 第 2 回作業班(平成 21 年 3 月 12 日)

Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件に関する検討を行い、委員会報

告書(素案)及び答申素案について審議を行った。

IV 審議概要

1. 審議の背景

Ku 帯を用いる衛星通信システムである Ku 帯 VSAT (Very Small Aperture Terminal) システムについては、平成元年 1 月電気通信技術審議会答申「VSAT システムの超小型地球局の無線設備に関する技術的条件」に基づき、平成元年 6 月に制度化された。

本システムは、Ku 帯を利用した超小型地球局 (VSAT) を用いるものであり、広域性、同報性及び耐災害性という衛星通信の特徴を活かし、安全・安心を守る防災ネットワーク、デジタルディバイド解消事業等に利用されているところであるが、近年、システムの高度化及び適用周波数の拡張のニーズ等が高まってきている。

このような状況を踏まえ、本委員会では、Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件の検討を行った。本システムの高度化に関する技術的条件の検討にあたっては、平成元年 1 月電気通信技術審議会答申「VSAT システムの超小型地球局の無線設備に関する技術的条件」の内容を踏まえつつ、将来的なシステムの高度化にも対応可能となるよう、必要な見直しを行った。

2 システム概要

2.1 Ku帯 VSAT システム

VSAT システムは、制御を行う地球局(制御地球局)と被制御局である小型アンテナを持つ複数の地球局(VSAT 地球局)及び静止軌道上で電波を中継する人工衛星局から構成される固定衛星通信システムである。なお、VSAT は Very Small Aperture Terminal の略で、超小型アンテナの地球局の意である。(図2-1:VSAT システムの構成)

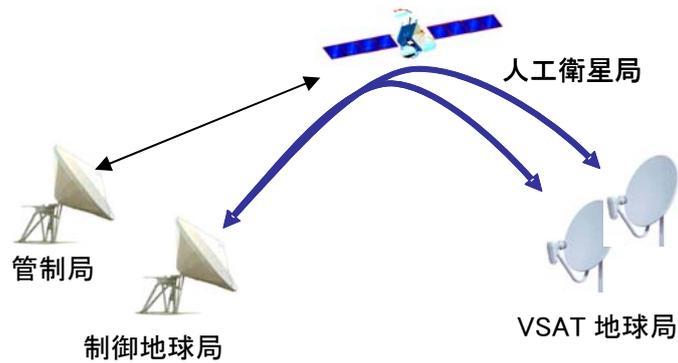


図2-1 VSAT システムの構成

ネットワークは、制御地球局と VSAT 地球局で双方向通信を行うスター型ネットワーク、制御地球局により回線の割り当てを受け、VSAT 地球局間の相互通信を行うメッシュ型ネットワーク及びその両者を行なうスター・メッシュ型ネットワークがある。(図2-2:VSAT ネットワーク構成)

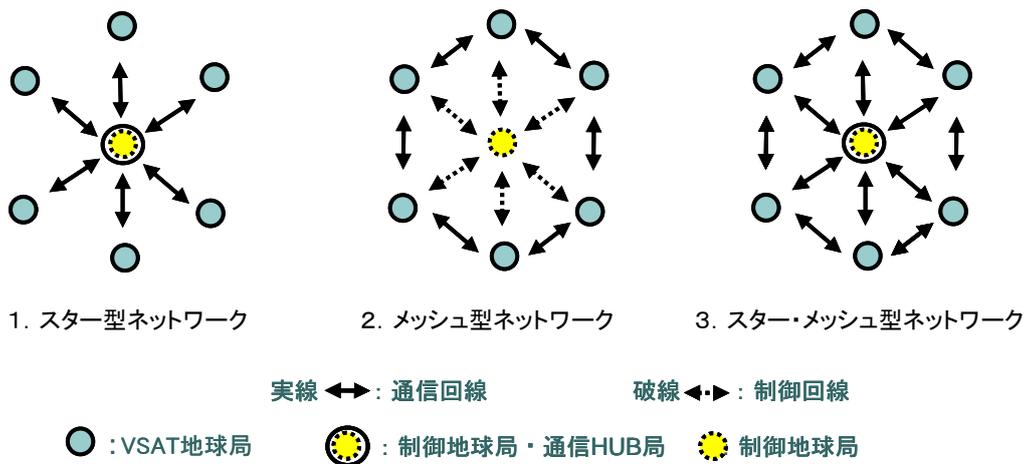


図2-2:VSAT ネットワーク構成

2.2 人工衛星局

人工衛星局は人工衛星の無線局(電波法第5条第4項)である。人工衛星局は、地球局から送信されてきた電波を受信し、周波数変換、増幅等を行ったのち、地球局へ送信することで無線中継を行っている。人工衛星局の無線設備は地上に設置された管制局によって遠隔操作により制御される。

2.3 制御地球局

制御地球局は、VSAT 地球局の電波発射を制御するための信号を人工衛星局を経由して VSAT 地球局に送信する。また、通信は人工衛星局を経由し、VSAT 地球局と回線を構成する。

2.4 VSAT 地球局

VSAT 地球局は、人工衛星局を経由した制御地球局の制御を受けた後、電波を発射し通信を開始する。通信は人工衛星局を経由し、他の VSAT 地球局や制御地球局と回線を構成する。通常、電波を送受信するアンテナ利得 50dBi 以下(通常アンテナ径 1.2m 程度)のアンテナと通常数 W 程度の出力をもつ屋外部(ODU:Out Door Unit)と変復調、ベースバンド信号処理を行う屋内部(IDU:In Door Unit)から構成される。(図2-3:VSAT 地球局の構成)

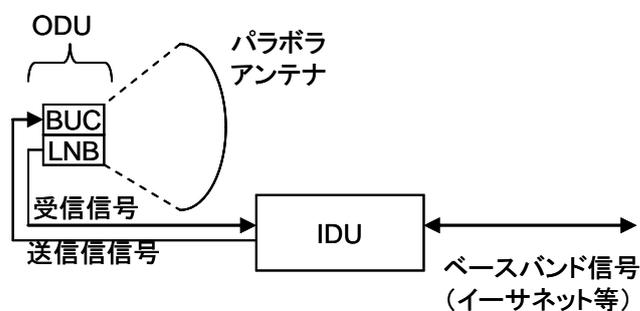


図2-3 VSAT 地球局の構成

- ※ODU: Out Door Unit 屋外機器、BUC、LNB 等で構成される
- ※BUC: Block Up Converter、送信周波数変換+電力増幅器
- ※LNB: Low Noise Block converter、受信周波数変換
- ※IDU: In Door Unit 屋内機器

3 無線設備の技術的条件

3.1 一般的条件

VSAT 地球局は、無線通信技術の知識・技能を有しない者でも適正に設備を運用し、他の無線局への干渉等を未然に防ぐこと、干渉等の問題が発生した場合には速やかに対応できることが求められる。

3.1.1 筐体構造

送受信機の筐体は、容易に開けることができないこと。

3.1.2 自動停波機能

送信装置の発振回路に故障が生じた場合において、自動的に電波の発射を停止する機能を有すること。

3.1.3 インターロック機能

人工衛星局の中継により制御地球局が送信する制御信号を受信した場合に限り、送信を開始できる機能を有すること。

3.1.4 周波数自動選択機能

12.2-12.44GHz 帯の周波数を受信する場合は、制御地球局の制御により受信周波数が自動的に選択されるものであり、干渉のある周波数を除外できるものであること。(詳細は5.1.1を参照)

3.1.5 電力自動調整機能

スペクトル拡散方式又は伝送信号重畳キャンセル技術を用いることにより、軸外輻射電力の総和を管理する必要がある場合は、制御地球局の制御により自動的に3.2.13の基準値に適合するよう空中線電力を制御できる機能を有すること。

3.1.6 電磁環境対策

VSAT 地球局は、電波防護指針(電波法第30条、電波法施行規則第21条の3等)を満たすことが求められる。VSAT 地球局周辺の電波の強度は、アンテナの特性、設置場所等により状況が異なることが考えられるため、VSAT 地球局の設置にあたっては、個別に検討した上で、基準値を超える場合には、電波法令に従った措置を行う必要がある。(参考資料1を参照)

なお、一例として標準的な1.2m アンテナ VSAT 地球局における電波強度の計算例を以下に示す。(その他の例は参考資料1を参照)

(電波防護指針による計算例)

電波防護指針によれば、パラボラアンテナの表面の電波強度は次の式で計算される。

$$\text{電波強度 } S = 4 \cdot P / A \cdot 1/10 \dots\dots\dots (1) \text{式}$$

ここで S:電波強度 (mW/cm²)、P:送信機電力(W)、A:アンテナ表面積(m²)

A はパラボラアンテナの面積であるので、アンテナの直径を D として(1)式を書き換え、(2)式を得る

$$\text{電波強度 } S = 16 \cdot P / (\pi \cdot D^2) \cdot 1/10 \dots\dots\dots (2) \text{式}$$

VSAT 地球局のパラメータとして通常使われる以下の値を(2)式に適用して計算する。

- ・アンテナ径…………… 1.2m
- ・アンテナ効率…………… 60%
- ・アンテナ利得…………… 42.7dBi(@14GHz)
- ・送信機出力…………… 1W又は3W

出力ごとにアンテナ表面の電波強度を計算すると、送信機出力 1W の場合、

$$\begin{aligned} S_{1W \text{表面}} &= 16 \cdot 1 / (\pi \cdot 1.2^2) \cdot 1/10 \\ &= 0.36 \text{ (mW/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

送信機出力 3W の場合

$$\begin{aligned} S_{3W \text{表面}} &= 16 \cdot 3 / (\pi \cdot 1.2^2) \cdot 1/10 \\ &= 1.1 \text{ (mW/cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

アンテナ表面と同様に、アンテナ主軸方向の近傍界領域(距離Rが0~D²/4λ)における電波強度は電波防護指針より(3)式で計算される。

$$\text{電波強度 } S = 16 \cdot \eta \cdot P / (\pi \cdot D^2) \cdot 1/10 \dots\dots\dots (3) \text{式}$$

ここで S:電波強度 (mW/cm²)、P:送信機電力(W)、A:アンテナ表面積(m²)
η:アンテナ効率

1.2m アンテナの距離Rの最大値($@D^2/4\lambda$)を計算すると、Ku 帯の周波数 14GHz(λ :波長 2.1cm)として 16.8m となる。

アンテナ周囲に人が立ち入る場合を想定すると、人間の身長がほとんど 2m以下であること、日本における最低仰角は 30 度以上あることを勘案すると、近傍界領域に立ち入ると想定され、電波強度としては、(3)式で計算される値が良い。

(3)式に 1W 及び 3W の送信機出力と効率 60%を適用し、電波強度を計算すると、送信機出力1W の場合、

$$S_{1W \text{ 近傍界}} = 16 \cdot 0.6 \cdot 1 / (\pi \cdot 1.2^2) \cdot 1/10$$

$$= 0.21 \text{ (mW/cm}^2\text{)}$$

送信機出力 3W の場合

$$S_{3W \text{ 近傍界}} = 16 \cdot 0.6 \cdot 3 / (\pi \cdot 1.2^2) \cdot 1/10$$

$$= 0.64 \text{ (mW/cm}^2\text{)}$$

電波法施行規則第 21 条の 3(別表第 2 号の 3 の 2)による電波防護のための電波の強度の規定によれば、1.5-300GHz における電力束密度は 1mW/cm^2 以下と規定されており、表3-1にあるように、アンテナ主輻射方向の近傍領域における電波の強度は規定以下であるが、送信出力が 3W の場合、アンテナ表面では 1mW/cm^2 を超過するため、電波法令に従った措置が必要である。

表3-1 1.2mVSAT 地球局の電波強度計算例

送信出力	アンテナ表面の電波強度	主輻射方向・近傍界(0~16.8m)の電波強度
1W	0.36 (mW/ cm ²)	0.21 (mW/cm ²)
3W	1.1 (mW/ cm²)	0.64 (mW/cm ²)

3. 2 VSAT 地球局の設備

3. 2. 1 適用周波数帯

現行の VSAT 地球局が使用する周波数は、送信周波数帯が 14.0-14.4GHz、受信周波数帯が 12.44-12.75GHz である。

12.2-12.44GHz 帯は、国際的に、我が国を含む第三地域は、固定衛星業務(ダウンリンク)の他、固定業務等にも分配されており、我が国では、主に公共業務用無線局(固定局)で使用されている。このため、12.2-12.44GHz 帯を地球局で使用する場合には、個別の地球局ごとに固定局との干渉検討を行い、地球局側が干渉を受けないことを確認した上で、免許されている。

以上のような状況から、12.2-12.44GHz 帯を VSAT 地球局で利用する際には、既存の固定局及び将来設置される固定局から VSAT 地球局への干渉を回避するため、VSAT サービスを提供する者が、VSAT 地球局の設置場所を適切に選定・変更するか、制御地球局からの制御によって VSAT 地球局の干渉のある受信周波数帯を除外する必要がある。したがって、当該周波数を受信周波数として運用する VSAT 地球局については、同帯域の固定局からの混信を容認するとともに、当該固定局に対し保護を要求できないこととすることが適当である。(詳細は 5. 1. 1 を参照)

3. 2. 2 送信空中線の最小仰角

電波法施行規則第 32 条に規定されているとおり、水平から 3 度以上とすることが適当である。

3. 2. 3 等価等方輻射電力の許容値

VSAT 地球局の地表線に対する等価等方輻射電力の許容値は、電波法施行規則第 32 条の 2 に規定されているとおり、次表の値以下の値とすることが適当である。

仰角(θ)(注 1)	等価等方輻射電力(注 2)の許容値
0 度以下	40 デシベル(注 3)
0 度を超え 5 度以下	40+3 θ デシベル(注 3)

注 1 地球局の送信空中線の輻射の中心からみた地表線の仰角をいい、度で表す。

注 2 搬送波のスペクトルのうち、最大の電力密度の帯域幅における値とし、その帯域幅は 4KHz とする。

注 3 1ワットを 0 デシベルとする。

3. 2. 4 周波数の許容偏差

無線設備規則第5条に規定されているとおり、周波数の許容偏差は±100ppmとすることが適当である。

3.2.5 変調方式

ブロードバンド・高速化の要求から、衛星通信分野においても、位相変調も QPSK から 8PSK へ移りつつあり、最新の技術では 64QAM の伝送も可能となりつつある。また、通信状態に応じて複数の変調方式から最適なものを選択して利用する適応変調技術が実用化されつつある。

さらに、衛星通信の大容量化及び周波数の有効利用の観点から、衛星通信における直交周波数分割多重 (OFDM) 方式の利用検討、さらには、衛星搭載増幅器の非直線領域を活用する CI(Carrier Interferometry) 拡散技術を用いた CI-OFDM 伝送の検討が行われ、その可能性と有効性が確認されている。

そのため、VSAT 地球局の変調方式は、スルーリピータを基本とする衛星通信の特徴を活かし、高度化する技術に対応して周波数変調、位相変調、直交振幅変調、振幅位相変調、OFDM 方式、スペクトル拡散方式など多様な変調方式が使用できることが望ましく、これらの変調方式を柔軟に使用できるように規定することが適当である。(参考資料2を参照)

3.2.6 占有周波数帯幅の許容値

VSAT 地球局の占有周波数帯幅については、各種の伝送方式に応じて確立している計算手法を適用し、次に示す式により求められる値以下として無線局の免許の際に指定することが適当である。

ただし、次の式により難しい場合は、他の適当な方法によることができるものとする。

① FDM-FM方式

120ch以下の場合

$$B=2(fd+fm)$$

$$fd = Lci \cdot fdo$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

fd: 最大周波数偏移(kHz)

fm: 最高変調周波数(kHz)

Lci: 最大負荷係数の真値(図3-1)

fdo: 試験音による周波数偏移(実効値)(kHz)

② SCPC-FM方式

$$B=2(P \cdot ft+fm)$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

P: アナログ信号の試験音に対するピークファクタ

f_t : 試験音に対する実効周波数偏移(kHz)

f_m : アナログ信号の最高変調周波数(kHz)

③ PSK方式

$$B=2k \cdot f_{cl}$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数 バタワース型フィルタ又はロールオフフィルタを用いる場合は、図3-2のとおりとする。

f_{cl} : クロック周波数(kHz)

④ QAM方式

$$B=2k \cdot f_{cl}$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数 バタワース型フィルタ又はロールオフフィルタを用いる場合は、図3-2のとおりとする。

f_{cl} : クロック周波数(kHz)

⑤ APSK方式

$$B=2k \cdot f_{cl}$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数、バタワース型フィルタ又はロールオフフィルタを用いる場合は、図3-2のとおりとする。

f_{cl} : クロック周波数(kHz)

⑥ スペクトル拡散方式

$$B=2k \cdot f_{cl}$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: PSK方式による直接拡散CDMAの場合にあつては最終段変調信号(但し、電気的特性がPSK方式と同等なものに限る。)のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数 バタワース型フィルタ又はロールオフフィルタを用いる場合は、図3-2のとおりとする。

f_{cl} : PSK方式による直接拡散CDMAの場合にあつては拡散符号のビット(但し、電気的特性がPSK方式と同等なものに限る。)の繰り返し周波数(kHz)

⑦ OFDM(直交周波数分割多重)方式

$$B=2k \cdot f_{cl_1} + (N-1) \cdot f_{cl_2}$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数、バターワース型フィルタ又はローパスフィルタを用いる場合は、図3-2のとおりとする。

f_{c1} : OFDMサブキャリアのクロック周波数(kHz)

f_{c2} : OFDMサブキャリアの周波数間隔(kHz)

N: OFDMサブキャリア及びサブキャリアに相当するスロットの総数

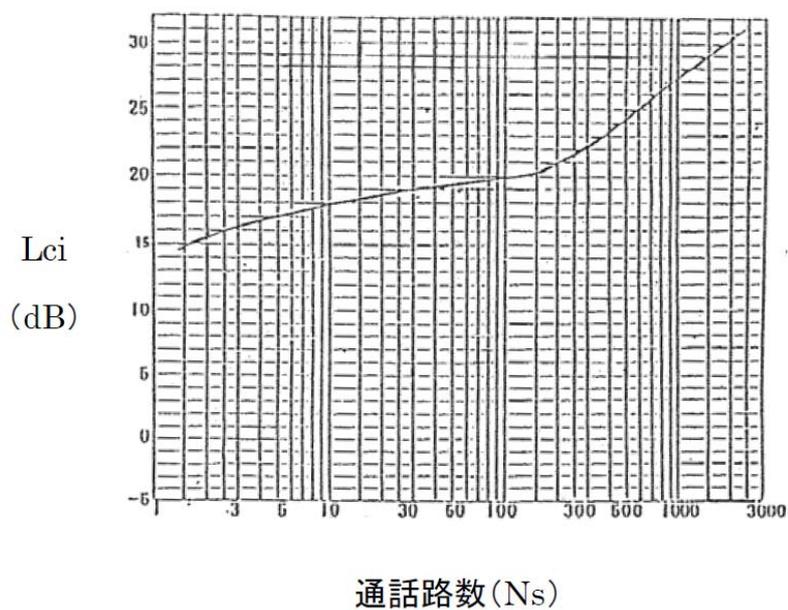
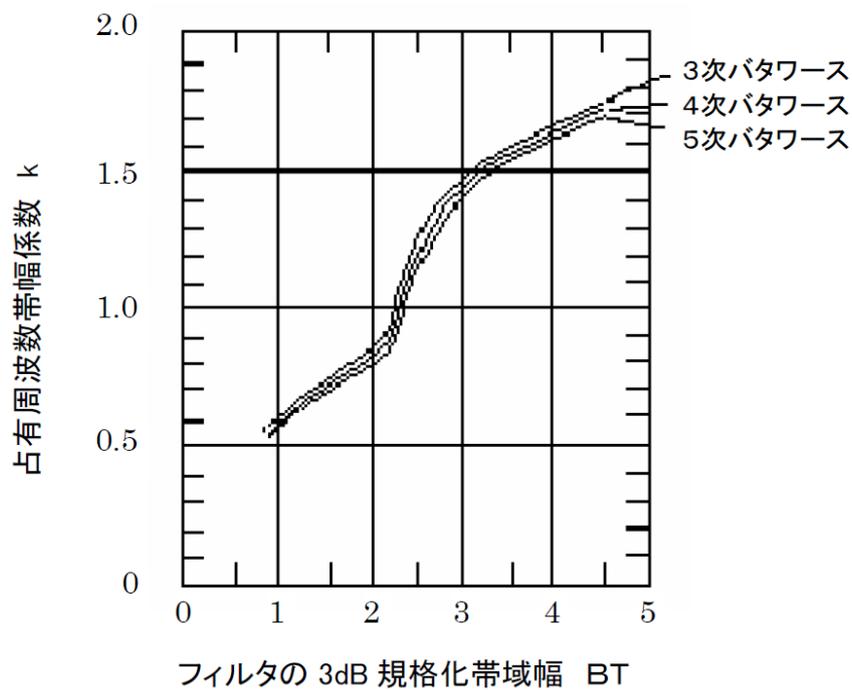


図3-1 最大負荷係数(L_{ci})

(a)バタワース型フィルタの場合



(b)ロールオフフィルタの場合

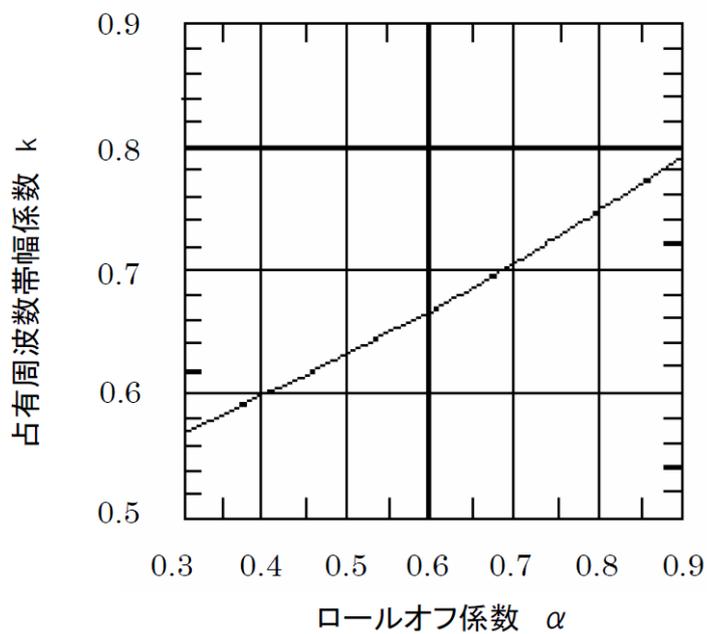


図3-2 占有周波数帯幅係数 k

3. 2. 7 不要発射の強度の許容値

不要発射の強度の許容値は、無線設備規則第 7 条及び平成 17 年総務省告示第 1228 号に規定されているとおり、以下のとおりとすることが適当である。

(1) 帯域外領域の不要発射の強度の許容値

必要周波数帯幅内における 4kHz の周波数帯域幅当たりの最大電力密度から、4kHz の周波数帯域幅当たり次の式により求められる値と、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値のうち小さい方の値以下であること。

$$40 \log((2F/BN)+1) \text{ [dB]}$$

ここで、F は必要周波数帯幅と帯域外領域の境界より中心周波数と反対方向に離れる周波数の値であり、BN は必要周波数帯幅である。

(2) スプリアス領域の不要発射の強度の許容値

50 μ W 以下、又は基本周波数の平均電力より 60dB 低い値であること。

ここで、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値は、4kHz の周波数帯域幅における電力とする。

3. 2. 8 空中線特性及び空中線電力の許容値

空中線特性及び空中線電力については、国際調整値及び国内調整値の範囲内であることが必要である。

3. 2. 9 空中線電力の許容偏差

無線設備規則第 14 条に規定されているとおり、 $\pm 50\%$ 以内とすることが適当である。

3. 2. 10 送信空中線利得(絶対利得)

無線設備規則第 54 条の 3 第 1 項に規定されているとおり、空中線の絶対利得が 50 デシベル以下とすることが適当である。

3. 2. 11 交差偏波識別度

無線設備規則第 54 条の 3 第 1 項第 3 号に規定されているとおり、空中線の交差偏波識別度は、27 デシベル以上とすることが適当である。

3. 2. 12 受信設備から副次的に発する電波等の限度

無線設備規則第 24 条に規定されているとおり、他の無線設備の機能に支障を与えない限度として、4nW 以下とすることが適当である。

3. 2. 13 軸外輻射電力の許容値

一部の衛星通信において、複数の地球局が同一の周波数帯を同時に使用可能とする技術

(以下、「伝送信号重畳・キャンセル技術」という。)の利用が予定されている。この伝送信号重畳・キャンセル技術とは、複数の地球局から送信された同一周波数帯の信号を人工衛星上で重畳し、その重畳した信号のうち干渉波信号を地球局でキャンセルすることで希望波信号を取り出す技術であり、その実用性が確認されている。(参考資料3を参照)

当該技術を利用する場合、複数の地球局からの送信電力が同一周波数において重畳されるため、重畳する周波数の信号を送信する地球局の軸外輻射電力(主輻射方向以外の方向の輻射電力をいう。以下同じ。)を制御する必要があり、同一の通信の相手方である人工衛星局の同一のトランスポンダを使用し、同一の周波数を使用する1又は2以上の地球局について、それらの地球局から輻射する等価等方輻射電力の総和を管理することが必要である。

したがって、当該技術又はスペクトル拡散方式を用いる場合、等価等方輻射電力の総和を管理する必要があることを考慮して、各地球局の送信空中線から輻射される40kHz帯域幅当たりの電力を、次表のとおりとすることが適当である。

主輻射の方向からの離角(θ)	最大輻射電力(1Wを0dBとする。)
2.5度以上7度未満	次に掲げる式による値以下 $33-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル Nは、スペクトル拡散方式又は伝送信号重畳キャンセル技術を用いた場合において、同時に送信することを許された地球局がすべて送信した場合の任意の単位帯域幅における電力の最大値と一の地球局が送信した場合の帯域幅における電力値との比とする。なお、スペクトル拡散方式又は伝送信号重畳キャンセル技術を用いない場合は、 $N=1$ とする。以下の表において同じ。
7度以上9.2度未満	次に掲げる式による値以下 $12-10\log_{10}N$ デシベル以下
9.2度以上48度未満	次に掲げる式による値以下 $36-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル
48度以上180度以下	次に掲げる式による値以下 $-6-10\log_{10}N$ デシベル以下

4. 測定法

4.1 送信装置

4.1.1 周波数の偏差

受検機器を無変調の状態で作動させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求める。測定器などにより測定可能であれば変調状態で測定してもよい。

4.1.2 占有周波数帯幅

受検機器を変調の状態で作動させ、スペクトラムアナライザを用いて測定する。測定点はアンテナ端子又は測定用モニター端子とする。使用するパターン発生器は規定伝送速度に対応した標準符号化試験信号を発生する信号源とする。誤り訂正を使用している場合は、そのための信号を付加した状態で測定する(内蔵パターン発生器がある場合はこれを使用してもよい。)。標準符号化試験信号はランダム性が確保できる信号とする。スペクトラム分布の上限及び下限部分におけるそれぞれの電力和が、全電力の0.5%となる周波数帯幅を測定すること。

4.1.3 不要発射の強度

変調状態で動作させ、搬送波の平均電力に対する各不要発射波成分の平均電力又は相対値をスペクトラムアナライザで測定する。ただし、スペクトル拡散方式において変調波による測定が困難な場合は無変調の状態で測定し、変調による拡散係数を計算により求めて換算する。拡散係数とは搬送波の無変調状態における当該不要波の平均電力に対する搬送波変調時の当該不要波の4 kHz 当たりの電力密度に対する比とする。

4.1.4 空中線電力の偏差

変調の状態で作動させ、送信設備の電力出力を電力計又はスペクトラムアナライザを用いて測定し、規定された空中線電力との比を求める。ただし、アクティブフェーズドアレーアンテナのように、空中線電力を直接測定することが困難な場合は、あらかじめ測定された較正值により確認しても良い。また、試験用ホーンアンテナを用いて送信輻射電力を測定し、既知であるホーンアンテナ利得、スパンロス及び空中線利得から空中線電力を求める方法も可能とする。

4.1.5 軸外輻射電力

4.1.4項にて測定した送信設備の電力に、送信損失及び空中線の指向特性の利得を加えて求める。なお、軸外輻射電力の許容値は、単一のVSAT局が輻射するとして計算すること。

4.2 受信装置

4.2.1 副次的に発生する電波などの限度

副次的に発生する電波などの限度については、受検機器を連続受信状態にし、副次的に発生する電波の電力を、スペクトラムアナライザを用いて測定する。

5 他のシステムとの周波数共用について

現行のVSAT地球局では、送信周波数帯に14.0-14.4GHz、受信周波数帯に12.44-12.75 GHzを利用している。送信周波数帯の14.0-14.4GHzは、我が国においては、一次業務として、固定衛星(地球から宇宙)のみに分配されている。

今回のKu帯VSATシステムの高度化においては、12GHz帯VSAT地球局受信周波数帯を12.2-12.75GHzへ拡張するために、その拡張帯域である12.2-12.44GHzの周波数共用について検討する。なお、現行の12.44-12.75GHz帯受信周波数帯及び14.0-14.4GHz帯送信周波数帯については既存の諸元を変更しないので既存局への影響はない。

12GHz帯のVSAT地球局受信周波数帯付近の周波数分配を表5-1に示す。

表 5-1 12GHz 帯の周波数分配(周波数割当計画から抜粋)

国際分配 (GHz)			国内分配 (GHz)		無線局の目的	周波数の使用に関する条件		
第一地域 (1)	第二地域 (2)	第三地域 (3)	(4)				(5)	(6)
11.7-12.5 固定 移動(航空移動を除く。) 放送 放送衛星 5.492	11.7-12.1 固定 5.486 固定衛星(宇宙から地球) 5.484A 5.488 移動(航空移動を除く。) 5.485	11.7-12.2 固定 移動(航空移動を除く。) 放送 放送衛星 5.492	11.7-12.2 J142 J143	放送	放送用			
				放送衛星	放送用		放送用への割当ては、別表1-2-1による。	
	12.1-12.2 固定衛星(宇宙から地球) 5.484A 5.488 5.485 5.489	12.2-12.5 固定 固定衛星(宇宙から地球) 移動(航空移動を除く。) 放送 放送衛星 5.492	12.2-12.5 固定 固定衛星(宇宙から地球) 移動(航空移動を除く。) 放送 5.484A 5.487	12.2-12.5	固定		公共業務用 一般業務用	
					固定衛星(宇宙から地球)		電気通信業務用 公共業務用 放送事業用(衛星補助放送の放送番組中継用)	
5.487 5.487A	12.7-12.75 固定 固定衛星(地球から宇宙) 移動(航空移動を除く。)	12.5-12.75 固定 固定衛星(宇宙から地球)5.484A 移動(航空移動を除く。) 放送衛星 5.493	12.5-12.75	放送衛星	電気通信業務用 放送用	電気通信業務用への割当ては、電気通信役務利用放送法施行規則(平成14年総務省令第5号)第2条第1号に規定する衛星役務利用放送が行われる場合に限る。		
				移動衛星(宇宙から地球)	電気通信業務用 公共業務用			
12.5-12.75 固定衛星 (宇宙から地球)5.484A (地球から宇宙) 5.494 5.495 5.496	5.487A 5.488 5.490 12.7-12.75 固定 固定衛星(地球から宇宙) 移動(航空移動を除く。)	12.5-12.75 固定 固定衛星(宇宙から地球)5.484A 移動(航空移動を除く。) 放送衛星 5.493	12.5-12.75	固定衛星(宇宙から地球)	電気通信業務用 公共業務用			
				放送衛星	電気通信業務用 放送用		電気通信業務用への割当ては、電気通信役務利用放送法施行規則第2条第1号に規定する衛星役務利用放送が行われる場合に限る。	
	移動衛星(宇宙から地球)	電気通信業務用 公共業務用						

我が国において、拡張帯域に隣接する 11.7-12.2 GHz は放送業務及び放送衛星業務に一次業務として分配されており、拡張帯域を包含する 12.2-12.5 GHz は固定業務、固定衛星業務(宇宙から地球)に一次業務として分配され、放送衛星業務及び移動衛星業務(宇宙から地球)に二次業務として分配されている。

以下、同一周波数帯及び隣接周波数帯の無線システムとの共用について検討を行った。

5. 1 同一周波数帯(12.2GHz から 12.44GHz まで)の無線システムとの周波数共用

5. 1. 1 固定業務との周波数共用

12.2-12.44GHz 帯は、国際的に、我が国を含む第三地域では、固定衛星業務(ダウンリンク)の他、固定業務等にも分配されており、我が国では、主に公共業務用無線局(固定局)で使用されている。このため、以下に固定局との周波数共用の検討を行った。

VSAT 地球局受信周波数帯の状況について



5. 1. 1. 1 固定業務からの被干渉

固定業務からの被干渉の回避方策について、以下のとおり検討を行った。

前提条件

<固定局のパラメータ>

- (1) アンテナ利得(Gfix): 53.3dBi
- (2) 送信電力(Pfix): 300mW= 24.8dBm
- (3) 軸外輻射電力(Poff): $58-22.5\log \theta$ dBm($2.5 \leq \theta < 48^\circ$)
 20 dBm ($48 \leq \theta < 90^\circ$)
 $78.5-0.65 \theta$ dBm($90 \leq \theta < 110^\circ$)
 7 dBm ($\theta \geq 110^\circ$)
- (4) クロック周波数(fcl): 1.8MHz(最悪条件)

<VSAT 地球局のパラメータ>

- (1) アンテナ指向特性(Ges): $29-25\log \theta$ dBi ($1 < \theta < 25^\circ$)
 -10 dBi ($\theta > 25^\circ$)
- (2) 許容干渉電力密度(Pufo): -119 dBm/MHz

VSAT 地球局の設置場所が任意であるために、特定の場所を想定しての干渉計算は実行できないため、最悪ケース(固定局アンテナの正面方向に VSAT 地球局が位置し、VSAT 地球局の衛星指向方向と固定局方向の角度差が 25 度である場合)について、伝搬距離 100m、1,000m 及び 10,000m として試算を行った結果を表5-2に示す。

VSAT 地球局で受信される干渉雑音の電力密度 P_{uf} は次のように計算できる。

$$\begin{aligned} P_{uf} &= P_{fix} + G_{fix} - L_p + G_{es} - 10 \log f_{cl} \\ &= 24.8 + 53.3 - L_p - 10 - 2.6 \end{aligned}$$

ここで、 L_p は固定局から VSAT 地球局までの自由空間伝搬損失である。

表5-2 VSAT 地球局受信干渉雑音レベル(最悪ケース)

伝搬距離 (m)	自由空間伝搬損失(L_p) (dB)	干渉雑音電力密度(P_{uf}) (dBm/MHz)
100	101.1	-35.6
1,000	121.1	-55.6
10,000	141.1	-75.6

これらの値は、許容干渉電力密度の値-119dBm/MHz を上回っており、周波数共用するためには、設置場所を変更する措置を行うか、制御地球局が行う当該 VSAT 地球局への受信周波数の選択において、干渉のある周波数帯を除外する措置を行う必要がある。

そこで、共用が可能となる場合について、固定局の軸外輻射電力特性による改善度を考慮して、表5-3にまとめた。

表5-3 周波数共用可能となる場合

伝搬距離 (m)	固定局アンテナの正面方 向からの離角(度)	干渉雑音電力密度 (Puf) (dBm/MHz)
100	110 度以上	(要追加対策)-106.7
1,000	99 度以上	-119.6
10,000	68 度以上	-119.4

なお、100m の距離では固定局アンテナの正面方向からの離角を変えるだけでは共用可能とはならないが、さらに設置場所を変更する措置や干渉のある周波数帯を除外する措置による干渉低減対策をとれば共用可能である。

まず、有害な被干渉を回避するためには、VSAT 地球局を設置する際に干渉波の有無を調査し、干渉波がある場合には、設置場所の変更の措置を講じる必要がある。設置場所を変更する場合、衛星方向の見通しを確保でき、かつ、干渉波の到来方向からみて建物等の影になるようにする等、干渉波の受信レベルが極力小さくなるように措置することによって干渉を低減させる。その効果は建物等の形状や材質等で変わるため、定量的な値を得るためには現地測定が必要である。

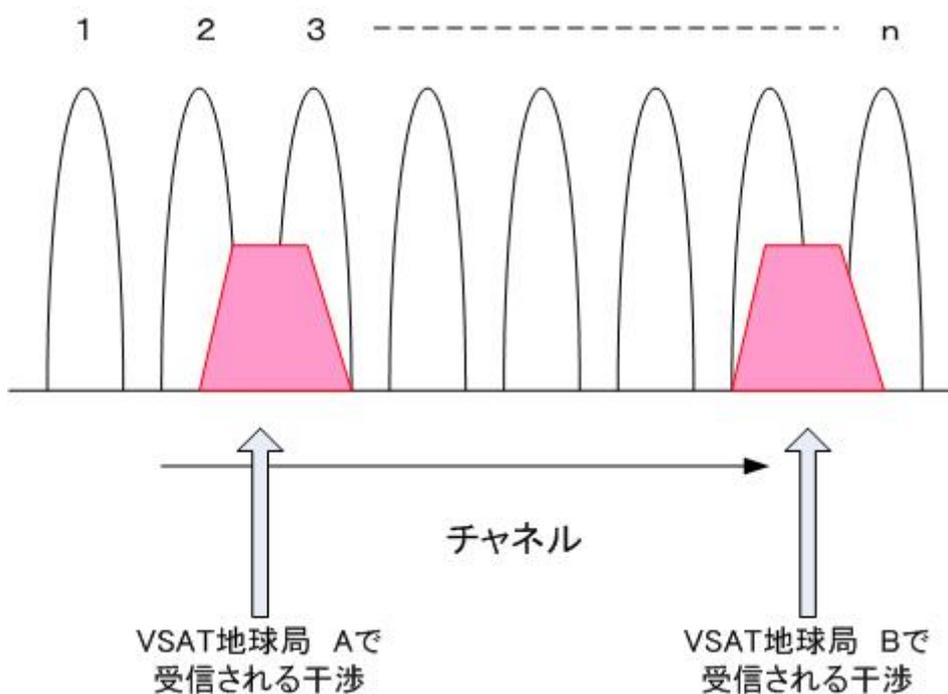
次に、設置場所を変更しても共用可能とならない場合、又は設置場所の環境条件から設置場所を変更することによる干渉低減対策が取れない場合には、制御地球局が行う当該 VSAT 地球局への受信周波数の選択において、干渉のある周波数帯を除外する必要がある。具体的には、VSAT 地球局への受信周波数が固定である場合には、制御地球局での初期設定の際に干渉のない周波数を指定する措置を講じる必要があり、また、VSAT 地球局への周波数が通信要求の発生のつどに変更される場合には、VSAT 地球局のパラメータとして選択を避けるべき受信周波数を設定することによって、制御地球局が周波数を選択する際にそのデータベースを参照することで干渉のある受信周波数の選択を回避する措置を講じる必要がある(図 5-1を参照)。したがって、VSAT 地球局は、干渉のある受信周波数帯を除外する方法をとるためにも、「3. 1. 4 周波数自動選択機能」のとおり、「12.2-12.44GHz 帯の周波数を受信する場合は、制御地球局の制御により受信周波数が自動的に選択されるものであり、干渉のある周波数を除外できるものであること。」が必要である。

以上を踏まえ、同帯域(12.2-12.44GHz)を利用する際には、既存の固定局及び将来設置される固定局から VSAT 地球局への干渉を回避するため、VSAT サービスを提供する者が、VSAT 地球局の設置場所を適切に選定・変更するか、制御地球局からの制御によって VSAT 地球局の干渉のある受信周波数帯を除外する必要がある。したがって、当該周波数を受信周波数として運用する VSAT 地球局については、同帯域の固定局からの混信を容認するとともに

に、当該固定局に対し保護を要求できないこととすることが適当である。

国際電気通信連合の無線通信規則(Radio Regulations)には、干渉を回避するために、地球局の設置場所及び周波数は注意して選定しなければならないことが規定されている(無線通信規則第 3.13 号、第 15.3 号、第 15.4 号、第 15.6 号及び第 21.1 号参照)。(参考資料4を参照)

図5-1 周波数選択による干渉回避



5. 1. 1. 2 固定業務への与干渉

人工衛星局のダウンリンクの地表面における電力束密度の許容値は無線通信規則第 21.16 号及び電波法施行規則別表第 2 号の 5 に規定されている。それによると、12.2-12.75 GHz を送信する対地静止衛星で、衛星方向の仰角が 25 度を超える場合の制限値は-138 dBW/4 kHz・m²とされている。このため、人工衛星局から送信される電波の地表面における電力束密度は、上記の規定を満足していれば、国際調整上、有害な与干渉はないものと見なされる。

しかし、固定局のアンテナが衛星に正対する最悪ケースを仮定して、衛星ダウンリンク信号の受信レベル例を試算したところ、固定局の混信保護値を満たさない場合があるため、固定局の混信保護値を満足するために必要な固定局アンテナの衛星方向からの離角について、固定局の希望波伝搬路の降雨減衰量が、衛星から固定局への干渉波伝搬路の降雨減衰量より 10dB 多く、希望波／干渉波比が晴天時より 10 dB 劣化しているという、より厳しい状況を想定して検討したところ、表5-4に示すとおりとなった。(参考資料5を参照)

表5-4 混信保護値を満たす固定局アンテナの衛星方向からの離角

変調方式	占有周波数帯幅 (MHz)	標準受信入力 (dBm)	干渉信号入力 (dBm)	希望波/干渉波比 (dB)	混信保護値 (dB)	所要指向性減衰量 (dB)	固定局アンテナ正面からの離角(度)
4PSK	5.0	-59.0	-76.6	17.6	25.9	18.3	2.2
4PSK	9.0	-56.0	-74.1	18.1	25.9	17.8	2.1
4PSK	13.5	-54.0	-72.3	18.3	25.9	17.6	2.1
16QAM	11.5	-52.0	-73.0	21.0	34.0	23.0	2.4
16QAM	14.0	-51.0	-72.2	21.2	34.0	22.8	2.4
128QAM	19.0	-50.0	-70.8	20.8	41.8	31.0	3.1

なお、固定局の標準受信空中線特性は、正面からの角度が 2.5 度までの範囲は次のとおりである。

$$G = 53.3 - 3.89 \theta^2$$

また、正面からの角度が 2.5 度から 48 度までについては、軸外放射電力の計算式と等価有効輻射電力の差分から、指向性減衰量は次式のとおりである(128QAM の計算に適用)。

$$G_{diff} = 53.3 + 24.8 - 58 + 22.5 \log \theta = 20.1 + 22.5 \log \theta$$

以上の検討から、固定局のアンテナの指向方向が衛星の方向から3.1度以上離れていれば、混信保護値を満足するという結論が得られた。

我が国をサービスエリアとし、12GHz帯のダウンリンクを有する衛星は国際通信の提供を主眼とする衛星を除くと、東経110度から162度の静止衛星軌道上にあり、我が国からの仰角は少なくとも30度である。これらを勘案すると、固定局のアンテナの仰角が26.9度以下であれば、方位角に関わらず混信保護比を満足する。

5. 1. 2 衛星業務(宇宙から地球)との周波数共用

我が国において12.2GHzから12.44GHzまでに分配されているCS放送や固定衛星業務の国内及び諸外国の衛星システムとの周波数共用については、国内調整及び国際調整の範囲内で運用することによって、衛星システム間での有害な与干渉及び被干渉は回避される。

5. 2 隣接周波数帯(11.7GHzから12.2GHzまで)の無線システムとの周波数共用

5. 2. 1 放送業務(11.7GHz～12.2GHz)との周波数共用

現在、この周波数帯で運用する放送業務の局はなく、有害な与干渉及び被干渉はない。

5. 2. 2 放送衛星業務(11.7GHz～12.2GHz)との周波数共用

我が国の放送衛星システムが運用されているが、周波数割当計画の別表1-2-1「12GHz帯放送衛星業務の周波数表」によれば、12.2GHzに最も近いチャンネルの周波数は12.14944GHzであり、チャンネル間隔が38.36MHzであることを勘案すると、約30MHzのガードバンドが存在するため、12.2GHzから12.44GHzまでの拡張帯域への有害な干渉はない。

V 審議結果

Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件について、別添の通り答申(素案)を取りまとめた。

情報通信技術分科会 衛星通信システム委員会 構成員

(敬称略、専門委員は五十音順)

氏名	主要現職
主査 大森 慎吾	(独)情報通信研究機構 理事 (4月15日まで)
〃 服部 武	上智大学 理工学部電気・電子工学科 教授 (4月15日から主査)
専門委員 遠藤 信博	日本電気(株) 執行役員 モバイルネットワーク事業本部長 (4月15日まで)
〃 大石 雅寿	自然科学研究機構 国立天文台 天文データセンター 准教授
〃 大谷 進	日本電気(株) 取締役 執行役員 常務 (4月15日から)
〃 尾上 誠蔵	(株)エヌ・ティ・ティ・ドコモ執行役員 研究開発推進部長
〃 門脇 直人	(独)情報通信研究機構新世代ワイヤレス研究センター 研究センター長 (4月15日から)
〃 河合 宣行	KDDI(株) 技術統括本部 国際ネットワーク部 衛星通信グループリーダー
〃 川口 さち子	パナソニック株式会社 コーポレート戦略室 戦略企画グループ プラットフォーム技術総括 参事 (1月17日から)
〃 菊井 勉	(財)テレコムエンジニアリングセンター 専務理事 (1月17日まで)
〃 佐藤 祐子	(株)東芝社会システム社 電波システム事業部 電波システム技術部 参事
〃 篠塚 隆	(財)テレコムエンジニアリングセンター 電磁環境試験部 担当部長 (1月17日から)
〃 新城 達郎	海上保安庁 総務部情報通信課 課長 (1月17日まで)
〃 高橋 和子	(株)フジテレビジョン 技術開発局技術開発室 企画開発部 副部長
〃 徳永 恭子	NEC 東芝スペースシステム(株) 技術本部 搭載機器第1グループ 主任
〃 西尾 裕一郎	スカパーJSAT(株) 執行役員 技術運用本部 本部長代行
〃 萩原 英二	パナソニック モバイルコミュニケーションズ(株)常務取締役 (1月17日まで)
〃 本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
〃 正村 達郎	日本無線(株) 取締役 研究開発本部長
〃 三浦 佳子	(財)日本消費者協会 広報部 部長 (1月17日から)
〃 室田 和昭	三菱電機(株) 通信システム事業本部 技師長
〃 若尾 正義	(社)電波産業会 専務理事

Ku 帯 VSAT 高度化作業班構成員名簿

(敬称略、構成員は五十音順)

氏名		主 要 現 職
主任	すずき りゅうたろう 鈴木 龍太郎	(独)情報通信研究機構 次世代ワイヤレス研究センター 宇宙通信ネットワーク グループリーダー
構成員	あしや ひでゆき 芦屋 秀幸	国土交通省 大臣官房 技術調査課 電気通信室 課長補佐
"	あんどう きよたけ 安藤 清武	スカパーJSAT (株) 技術部門 通信技術本部 主幹
"	こいし よういち 小石 洋一	日本電気(株) 社会インフラソリューションビジネスユニット 航空宇宙・防衛事業本部宇宙システム事業部宇宙システム部 エキスパートエンジニア
"	ささき くにお 佐々木 邦夫	パナソニック(株) 東京支社 渉外グループ 部長
"	ジェームズ Gバイチマン	BBSAT 社 社長
"	ちば えいじ 千葉 榮治	経営コンサルタント (中小企業診断士 技術士 (電気・電子))
"	なかがわ えいしん 中川 永伸	(財)テレコムエンジニアリングセンター 技術部担当部長
"	なかむら ひでき 中村 英樹	日本無線(株) ソリューション事業本部 通信ソリューションビジネスユニット衛星システムグループ 担当課長
"	ふじ つよし 富士 剛	三菱電機(株) 通信機製作所 通信情報システム部 次長
"	ふじい けいぞう 藤井 啓造	警察庁 情報通信局 通信施設課 課長補佐
"	ふるかわ けんじ 古川 憲志	(株) NTT ドコモ 電波部 電波企画 担当部長
"	ふるさわ たくじ 古澤 卓二	東京電力 電子通信部 通信計画グループ グループマネージャー
"	みうら よしこ 三浦 佳子	(財)日本消費者協会 広報部 部長
"	やまもと かつみ 山本 勝美	IPSTAR Company Limited 技術顧問
"	わたなべ せいじ 渡辺 誠二	KDDI (株) ネットワーク技術本部 国際ネットワーク部 衛星通信グループ 課長
"	わたなべ そういち 渡邊 聡一	(独)情報通信研究機構 電磁波計測研究センター EMC グループ 研究マネージャー

諮問第 2027 号「Ku 帯 VSAT システムの
高度化に関する技術的条件」に対する答申(素案)

Ku 帯 VSAT システムの高度化に関する技術的条件は、次のとおりとすることが適当である。

1 一般的条件

(1) 必要な機能

Ku 帯 VSAT システムは、次の機能が必要である。

ア 筐体構造

送受信機の筐体は、容易に開けることができないこと。

イ 自動停波機能

送信装置の発振回路に故障が生じた場合において、自動的に電波の発射を停止する機能を有すること。

ウ インターロック機能

人工衛星局の中継により制御地球局が送信する制御信号を受信した場合に限り、送信を開始できる機能を有すること。

エ 周波数自動選択機能

12.2-12.44GHz 帯の周波数を受信する場合は、制御地球局の制御により受信周波数が自動的に選択されるものであり、干渉のある周波数を除外できるものであること。

オ 電力自動調整機能

スペクトル拡散方式又は伝送信号重畳キャンセル技術を用いることにより、軸外輻射電力の総和を管理する必要がある場合は、制御地球局の制御により自動的に規定に適合するよう空中線電力を制御できる機能を有すること。

(2) 電磁環境対策

電波防護指針(電波法第 30 条、電波法施行規則第 21 条の 3 等)を満たすこと。

2 VSAT 地球局の無線設備の技術的条件

(1) 適用周波数帯

VSAT 地球局の送信周波数帯は 14.0-14.4GHz とし、受信周波数帯は 12.2-12.75GHz とすることが適当である。

ただし、VSAT サービスを提供する者が 12.2-12.44GHz 帯を使用する際には、既存の固定局及び将来設置される固定局から VSAT 地球局への干渉を回避するため、VSAT サービスを提供する者が、VSAT 地球局の設置場所を適切に選定・変更するか、制御地球局からの制御によって VSAT 地球局の干渉のある受信周波数帯を除外する必要がある。したがって、当該周波数を受信周波数として運用する VSAT 地球局については、同帯域の固定局からの混信を容認するとともに、当該固定局に対し保護を要求できないこととすることが適当である。

(2) 送信空中線の最小仰角

水平から 3 度以上とすることが適当である。

(3) 等価等方輻射電力の許容値

次表の値以下の値とすることが適当である。

仰角 (θ) (注 1)	等価等方輻射電力 (注 2) の許容値
0 度以下	40 デシベル (注 3)
0 度を越え 5 度以下	$40 + 3\theta$ デシベル (注 3)

注1 地球局の送信空中線の輻射の中心からみた地表線の仰角をいい、度で表す。

注2 搬送波のスペクトルのうち、最大の電力密度の帯域幅における値とし、その帯域幅は 4KHz とする。

注3 1 ワットを 0 デシベルとする。

(4) 周波数の許容偏差

$\pm 100 \times 10^{-6}$ 以下であること。

(5) 変調方式

VSAT 地球局の変調方式は、高度化する技術に対応して周波数変調、位相変調、直交振幅変調、振幅位相変調、OFDM(直交周波数分割多重)方式、スペクトル拡散方式など多様な変調方式が使用できることが望ましく、これらの変調方式を柔軟に使用でき

るように規定することが適当である。

(6) 占有周波数帯幅の許容値

VSAT 地球局の占有周波帯幅については、各種の伝送方式に応じて確立している計算手法を適用し、次に示す式により求められる値以下として無線局の免許の際に指定することが適当である。

ただし、次の式により難しい場合は、他の適当な方法によることができるものとする。

① FDM-FM方式

120ch以下の場合

$$B=2(fd+fm)$$

$$fd = Lci \cdot fdo$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

fd: 最大周波数偏移(kHz)

fm: 最高変調周波数(kHz)

Lci: 最大負荷係数の真値(図1)

fdo: 試験音による周波数偏移(実効値)(kHz)

② SCPC-FM方式

$$B=2(P \cdot ft+fm)$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

P: アナログ信号の試験音に対するピークファクタ

ft: 試験音に対する実効周波数偏移(kHz)

fm: アナログ信号の最高変調周波数(kHz)

③ PSK方式

$$B=2k \cdot fcl$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数 バタワース型フィルタ又はローloffフィルタを用いる場合は、図2のとおりとする。

fcl: クロック周波数(kHz)

④ QAM方式

$B=2k \cdot fcl$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数 バタワース型フィルタ又はローloffフィルタを用いる場合は、図2のとおりとする。

fcl: クロック周波数(kHz)

⑤ APSK方式

$B=2k \cdot fcl$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数、バタワース型フィルタ又はローloffフィルタを用いる場合は、図2のとおりとする。

fcl: クロック周波数(kHz)

⑥ スペクトル拡散方式

$B=2k \cdot fcl$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: PSK方式による直接拡散CDMAの場合にあつては最終段変調信号(但し、電気的特性がPSK方式と同等なものに限る。)のフィルタ特性を考慮した占有周波数

帯幅係数 バタワース型フィルタ又はロールオフフィルタを用いる場合は、図2のとおりとする。

f_{cl} : PSK方式による直接拡散CDMAの場合にあつては拡散符号のビット(但し、電氣的特性がPSK方式と同等なものに限る。)の繰り返し周波数(kHz)

⑦ OFDM(直交周波数分割多重)方式

$$B = 2k \cdot f_{cl_1} + (N-1) \cdot f_{cl_2}$$

B: 占有周波数帯幅の許容値(kHz)

k: 送信機のフィルタ特性を考慮した占有周波数帯幅係数、バタワース型フィルタ又はロールオフフィルタを用いる場合は、図2のとおりとする。

f_{cl_1} : OFDMサブキャリアのクロック周波数(kHz)

f_{cl_2} : OFDMサブキャリアの周波数間隔(kHz)

N: OFDMサブキャリアおよびサブキャリアに相当するスロットの総数

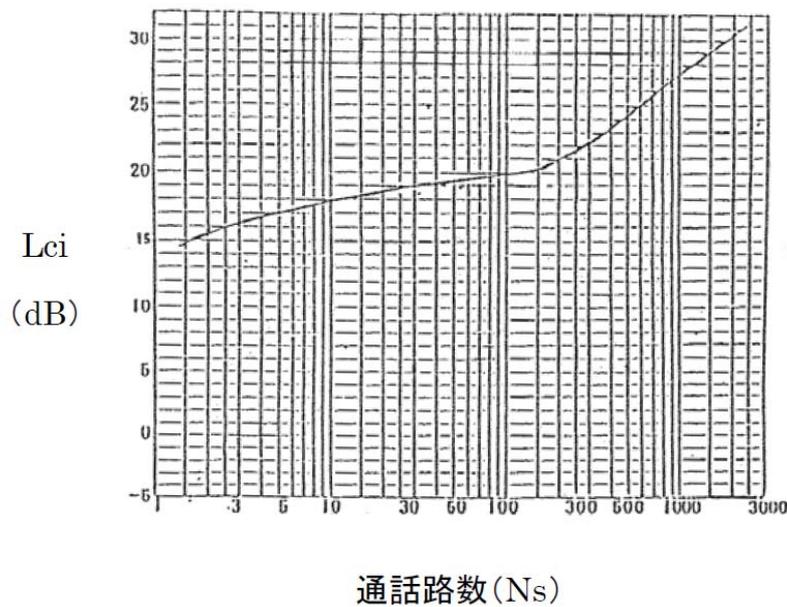
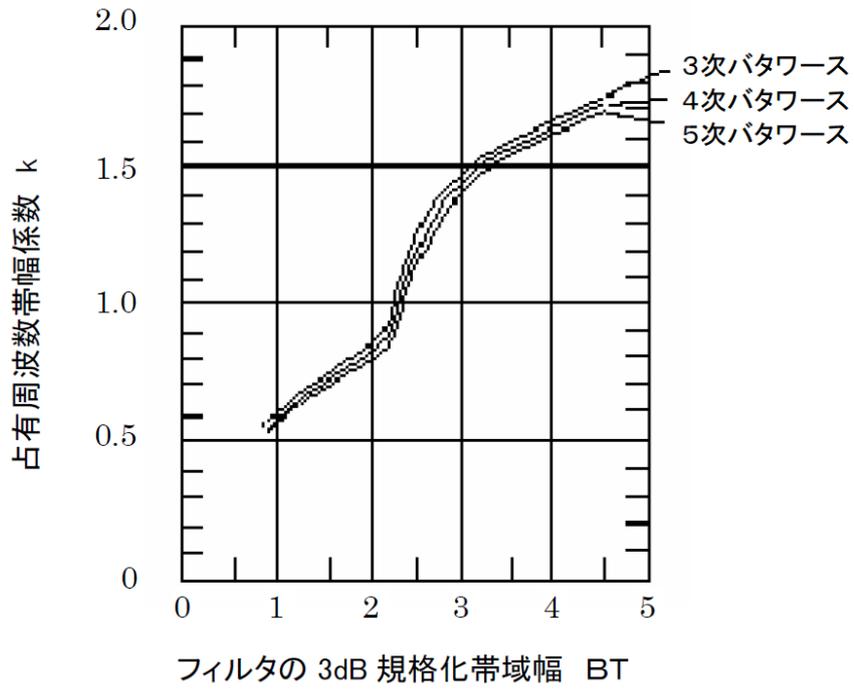


図1 最大負荷係数(Lci)

(a) バタワース型フィルタの場合



(b) ロールオフフィルタの場合

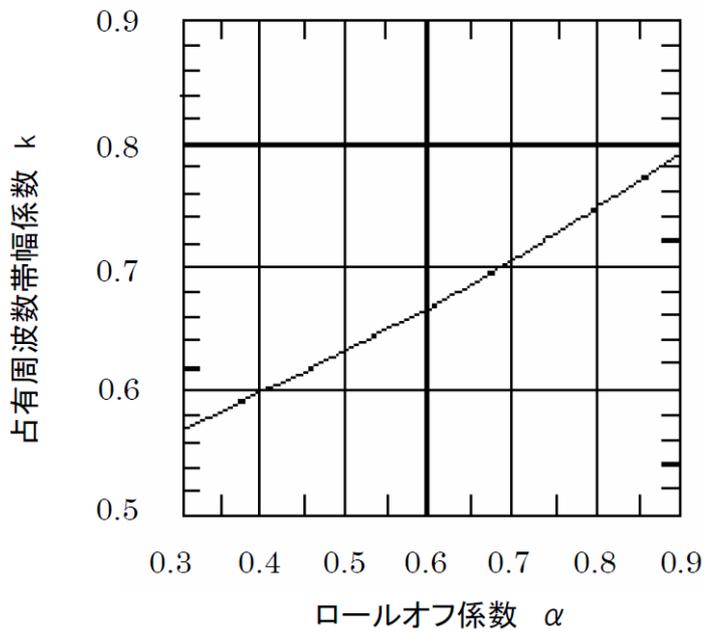


図2 占有周波数帯幅係数 k

(7) 不要発射の強度の許容値

不要発射の強度の許容値は、無線設備規則第 7 条及び平成 17 年総務省告示第 1228 号に規定されているとおり、以下のとおりとすることが適当である。

ア 帯域外領域の不要発射の強度の許容値

必要周波数帯幅内における 4kHz の周波数帯域幅当たりの最大電力密度から、4kHz の周波数帯域幅当たり次の式により求められる値と、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値のうち小さい方の値以下であること。

$$40 \log((2F/BN)+1) \text{ [dB]}$$

ここで、F は必要周波数帯幅と帯域外領域の境界より中心周波数と反対方向に離れる周波数の値であり、BN は必要周波数帯幅である。

イ スプリアス領域の不要発射の強度の許容値

50 μ W 以下、又は基本周波数の平均電力より 60dB 低い値であること。

ここで、スプリアス領域の不要発射の強度の許容値は、4kHz の周波数帯域幅における電力とする。

(8) 空中線特性及び空中線電力の許容値

国際調整値及び国内調整値の範囲内であることが必要である。

(9) 空中線電力の許容偏差

上限 50%、下限 50% であること。

(10) 送信空中線利得(絶対利得)

空中線の絶対利得が 50 デシベル以下とすることが適当である。

(11) 交差偏波識別度

空中線の交差偏波識別度は、27 デシベル以上とすることが適当である。

(12) 副次的に発射する電波の強度

4nW 以下であること。

(13) 軸外輻射電力の許容値

伝送信号重畳・キャンセル技術又はスペクトル拡散方式を用いる場合、等価等方輻射電力の総和を管理する必要があることを考慮して、各地球局の送信空中線から輻射される40kHz帯域幅当たりの電力を、次表のとおりとすることが適当である。

主輻射の方向からの離角(θ)	最大輻射電力(1Wを0dBとする。)
2.5度以上7度未満	次に掲げる式による値以下 $33-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル Nは、スペクトル拡散方式又は伝送信号重畳キャンセル技術を用いた場合において、同時に送信することを許された地球局がすべて送信した場合の任意の単位帯域幅における電力の最大値と一の地球局が送信した場合の帯域幅における電力値との比とする。なお、スペクトル拡散方式又は伝送信号重畳キャンセル技術を用いない場合は、N=1とする。以下の表において同じ。
7度以上9.2度未満	次に掲げる式による値以下 $12-10\log_{10}N$ デシベル以下
9.2度以上48度未満	次に掲げる式による値以下 $36-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル
48度以上180度以下	次に掲げる式による値以下 $-6-10\log_{10}N$ デシベル以下

3 測定法

測定法については、法令で規定されている方法により実施すること。

3.1 送信装置

送信装置の測定法としては、以下のとおりとすることが適当である。

(1) 周波数

受検機器を無変調の状態で作動させ、指定された周波数に対する偏差の最大値を求めること。測定器などにより測定可能であれば変調状態で測定することも認められる。

(2) 占有周波数帯幅

受検機器を変調の状態で作動させ、スペクトラムアナライザを用いて測定すること。測定点はアンテナ端子または測定用モニター端子とする。使用するパターン発生器は規定伝送速度に対応した標準符号化試験信号を発生する信号源とする。誤り訂正を使用している場合は、そのための信号を付加した状態で測定する(内蔵パターン発生器がある場

合はこれを使用してもよい。)。標準符号化試験信号はランダム性が確保できる信号とする。スペクトラム分布の上限および下限部分におけるそれぞれの電力和が、全電力の0.5%となる周波数帯幅を測定すること。

(3) 不要発射の強度

変調状態で動作させ、搬送波の平均電力に対する各不要発射波成分の平均電力または相対値をスペクトラムアナライザで測定すること。ただし、スペクトル拡散方式において変調波による測定が困難な場合は無変調の状態での測定し、変調による拡散係数を計算により求めて換算するものとする。また、拡散係数とは搬送波の無変調状態における当該不要波の平均電力に対する搬送波変調時の当該不要波の 4 kHz 当たりの電力密度に対する比とする。

(4) 空中線電力

変調の状態での連続送信として動作させ、送信設備の電力出力を電力計又はスペクトラムアナライザを用いて測定し、規定された空中線電力との比を求める。ただし、アクティブフェーズドアレイアンテナのように、空中線電力を直接測定することが困難な場合は、あらかじめ測定された較正值により確認する方法も認められる。また、試験用ホーンアンテナを用いて送信輻射電力を測定し、既知であるホーンアンテナ利得、スパンロスおよび空中線利得から空中線電力を求める方法も認められる。

(5) 軸外輻射電力

(4)にて測定した送信設備の電力に、送信損失及び空中線の指向特性の利得を加えて求めること。なお、軸外輻射電力の許容値は、単一のVSAT局が輻射するとして計算すること。

3.2 受信装置

(1) 副次的に発する電波の限度

副次的に発生する電波などの限度については、受検機器を連続受信状態にし、副次的に発する電波の電力を、スペクトラムアナライザを用いて測定すること。

以上

(参考資料1)

電波防護のための基準への適合確認

もくじ

1. 電波防護指針
2. 主軸上の電力束密度計算
3. まとめ

別添: 電波防護のための基準への適合確認 (抜粋)

1. 電波防護指針

◆電波防護指針

総務省では安全な電波利用の一層の徹底を図るため、電波法施行規則を改正し、無線局の開設者に電波の強度に対する安全施設を設けることを義務づけている。
(電波法施行規則第21条の3、別表第2号の2の2)平成11年10月1日より施行。

◆算出方法および測定方法

平成11年郵政省告示300号（別添参照）

① 通常用いる基準値

電磁界強度（平均時間6分間）の基準値（電波法施行規則別表第2号の2の2）

周波数	電界強度の実効値 [V/m]	磁界強度の実効値 [A/m]	電力束密度 [mW/cm ²]
10kHz - 30kHz	275	72.8	/
30kHz - 3MHz	275	2.18/f	
3MHz - 30MHz	824/f	2.18/f	0.2
30MHz - 300MHz	27.5	0.0728	
300MHz - 1.5GHz	1.585·√f	√f / 237.8	f/1500
1.5GHz - 300GHz	61.4	0.163	1

fは、MHzを単位とする周波数

※ なお、10kHzを超え100kHz以下の周波数においては、以下の基準値も適用されます。
(平成11年郵政省告示第301号)

周波数	電界強度の実効値 [V/m]	磁界強度の実効値 [A/m]	平均時間
15kHz - 100kHz	894	72.8	1秒未満

表1 電波の強度の基準値

2. 主軸上の電力束密度計算

◆標準的なVSAT地球局について、電波防護指針に従い、主軸方向の電波強度（電力束密度）を算出した。（表2）

◆計算の結果、

- ① 出力が1W程度であれば、基準値以下
- ② 出力が3W程度であれば、アンテナ径が1.3m以上の場合基準値以下

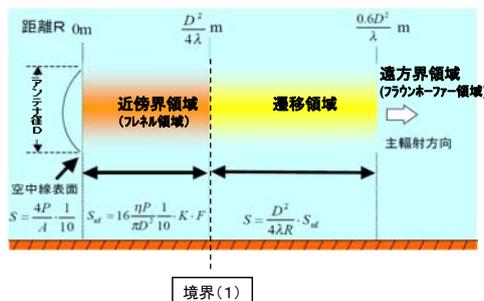


図1 主軸方向の電力束密度

表2 主軸上の電力束密度(近傍領域)

アンテナ径 [m]	アンテナ効率	送信出力 [W]	アンテナ表面電力密度 [mW/cm ²]	近傍領域電力密度 [mW/cm ²]	境界(1)までの距離 [m]
0.75	0.7	1	0.9	0.5	6.6
0.75	0.7	3	2.7	1.8	6.6
0.9	0.7	1	0.6	0.4	9.5
0.9	0.7	3	1.9	1.1	9.5
1.2	0.7	1	0.4	0.2	16.8
1.2	0.7	3	1.1	0.6	16.8
1.8	0.7	1	0.2	0.1	37.8
1.8	0.7	3	0.5	0.3	37.8
2.4	0.7	1	0.1	0.1	67.2
2.4	0.7	3	0.3	0.2	67.2

標準的なVSATの場合、アンテナ径が1.3m以上であれば基準値以下であり、出力が1Wであればアンテナ径によらず基準値以下となる。

2. まとめ

- ◆ 計算の結果、例えば、1WクラスのVSAT地球局では、送信主軸上において基準値以下となるとの結果が得られた。
- ◆ アンテナは機種ごとに特性も異なることから、アンテナ個別に検討することが必要である。

別添

電波防護のための基準への適合確認（抜粋）

基本算出式：
電波の強度は、まず最初に、空中線入力電力P[W]、空中線からの距離R[m]、主輻射方向の利得G[倍]を用いて、次式により電力束密度S[mW/cm²]の値を算出する。
$$S = PG / (40\pi R^2) \cdot K \quad [\text{mW/cm}^2]$$

Gは主軸方向の利得。この算出結果で基準値を満たしている場合は、これ以上の評価は必要ない

基本算出式の算出結果は、指向性を考慮していないため指向性アンテナを用いている場合は算出結果が過大になる場合がある。このため、基本算出式の算出結果が基準値を超えた場合は、指向性を考慮して算出する。次式のように、(2)で求めた基本算出式の算出結果 S_0 [mW/cm²]に、算出地点の方向に対する電力指向性係数D(θ)を乗じることにより算出する。
$$S = S_0 \times D(\theta) \times F \quad [\text{mW/cm}^2]$$

<反射波の取扱い>
ア 反射係数 K
(7) 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 ...K=2.56
送信周波数が76MHz 未満の場合 ...K=4
(4) 水面等大地面以外の反射を考慮する場合
すべての周波数において ...K=4
(5) 全ての反射を考慮しない場合 ...K=1
イ 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(デシベル)に換算した値に6デシベルを加える。

<空中線回転による補正係数 F>
ア 空中線が回転していない場合 ...F=1
イ 空中線が回転している場合
距離Rが0.6D²/λ[m]を超える場合 ...F=θ_{BW}/360(θ_{BW}は電力半値幅)
距離Rが0.6D²/λ[m]以下の場合 ...F=φ/360
(φ=2tan⁻¹(D/2R))

開口面空中線

アンテナがパラボラアンテナ等開口面空中線であって、算出地点が次の条件を満たす場合に使用可能。

【使用可能条件】

・主輻射方向

・空中線からの距離Rが $0.6D^2/\lambda$ [m]以下

このときの電力束密度は、空中線からの距離に応じてつぎのとおり求める。

この場合も、空中線回転、大地面等による反射を考慮する場合は、各々係数を算出式に乗じる。

ア アンテナ表面

$$S = 4P/A \times 1/10 \quad [\text{mW}/\text{cm}^2]$$

イ 距離Rが $0 \sim D^2/4\lambda$ [m]のとき

$$S_{nf} = 16 \eta P / (\pi D^2) \times 1/10 \times F \times F \quad [\text{mW}/\text{cm}^2]$$

ウ 距離Rが $D^2/4\lambda \sim 0.6D^2/\lambda$ [m]のとき

$$S = D^2 / (4\lambda R) \times S_{nf} \quad [\text{mW}/\text{cm}^2]$$

A: 空中線の開口面積[m²]

η : 空中線の開口効率

VSAT 地球局における変調の扱いについて

1. 衛星通信システムにおける変調方式

衛星通信システムにおける変調方式の変遷・高度化について、まずは衛星放送用途の変調方式の変遷・高度化を表1-1に示す。CSデジタル放送を例にとると、2002年のサービス開始当初は29.162Mbpsの情報レートでサービスを行っていたが、2008年の高度化後は同じ帯域でありながら40.538Mbpsと、伝送容量が約30%以上拡大した。

表1-1 変調方式の変遷(衛星放送)

年代	サービス	方式	伝送路符号化、多重化方式	変調誤り訂正
1990年代	CSアナログ放送	BSアナログ方式		・FM変調
	CSデジタル放送	CSデジタル方式(狭帯域CS)	DVB-S MPEG-2	・QPSK ・畳込み符号 3/4(内符号)、 RS(188,204)(外符号)
2000年代	BSデジタル放送	BS/CSデジタル方式(広帯域伝送)	ISDB-S DVB-S MPEG-2	・QPSK ・畳込み符号 3/4(内符号)、 RS(188,204)(外符号)
	110度CSデジタル放送	BS/CSデジタル方式(広帯域伝送)	ISDB-S DVB-S MPEG-2	・QPSK ・畳込み符号 3/4(内符号)、 RS(188,204)(外符号)
	DVB-S2制定	—	DVB-S2 MPEG-2	・QPSK,8PSK,16APSK,32APSK ・LDPC 1/4~9/10(内符号)、 BCH(外符号)
	CSデジタル放送(高度化)	CSデジタル方式(狭帯域CS・高度化)	DVB-S2 MPEG-2	・8PSK ・LDPC 3/5, 2/3(内符号)、 BCH(外符号)

次に衛星通信用途の変調方式の変遷・高度化を表1-2に示す。VSATシステムにおいては、1990年の衛星通信サービス開始当初のFM変調による音声、見なしデータ、あるいはFAX通信が利用され、またBPSKやQPSKなどの位相変調による低速パケット通信が利用されており、64kbps～数Mbpsのデータ伝送が行われてきた。その後、周波数拡散技術を用いた移動体通信としてオムニトラック通信システムがサービスを開始した他、近年になっては、DVB-S2の高度な変調を用いたVSATシステムがメーカー各社から発表され、変調もQPSKから8PSKや多値APSKへと高度化が進んでいる。

さらに放送局のSNG伝送においては、当初、アナログ・SDTVが、FM変調で伝送されていたが、1990年代半ばから、MPEG-2デジタル・SDTVがQPSK位相変調で伝送されるようになった。その後、2005年のDVB-S2標準化を契機に、H264/AVCデジタル・HDTV信号で16APSKや32APSKを用いた高度変調方式に移行しつつある。

国際利用のバックボーン回線等においてもQPSKから8PSKへと変調の高度化が進み、また回線にマージンがある場合には、16QAMなどの多値変調の利用が試みられている。

表1-2 変調方式の変遷（衛星通信）

年代	通信方式	方式	伝送路符号化、多重化方式	変調 誤り訂正 内符号、外符号 適用例
1990年代	音声用 VSAT	VSAT (DAMA)		<ul style="list-style-type: none"> FM変調*1 音声、見なしデータ、FAX
	アナログ SNG	SCPC, MCPC		<ul style="list-style-type: none"> FM変調*1 アナログ TV (NTSC)、音声等
	デジタル双方向通信	SCPC	インターネット標準方式他	<ul style="list-style-type: none"> QPSK*2 畳込み符号 3/4他 ATM、ISDN相当
	オムニトラック	VSAT	独自	<ul style="list-style-type: none"> 周波数拡散*2 低速データ
	デジタルSNG	ARIB標準方式他	DVB-S MPEG-2	<ul style="list-style-type: none"> QPSK*2 畳込み符号 3/4、RS (188, 204) アナログ標準TV (SDTV)
	デジタルVSAT	VSAT	DVB-S MPEG-2 独自方式	<ul style="list-style-type: none"> QPSK、8PSK*2 畳込み符号 3/4他 IP、リアルデータ他

2000 年代	デジタルSNG	ARIB標準方式 他	DVB-S2 MPEG-2	<ul style="list-style-type: none"> •QPSK,8PSK^{※2}、 16APSK,32APSK^{※3} •LDPC (1/4~9/10)、BCH •SDTV,HDTV
	デジタルVSAT	VSAT	DVB-S MPEG-2	<ul style="list-style-type: none"> •QPSK,8PSK^{※2}、 •LDPC 1/4~9/10、BCH •IP、シリアルデータ他
	デジタル双方 向通信	SCPC	DVB-S2 独自方式他	<ul style="list-style-type: none"> •QPSK,8PSK^{※2}、 16APSK,32APSK^{※3}、 16QAM,64QAM^{※3}、他^{※4} •LDPC 1/4~9/10、BCH、ター ボ符号他 •ATM、IP、シリアルデータ他

※1 周波数変調(アナログ変調) FM(Frequency Modulation)

利用例: SCPC/FMなどの音声衛星通信、FMラジオ放送

※2 位相変調(デジタル変調) PSK (Phase Shift keying)

利用例: VSAT、SNG、ESV、Ku帯AMSS、ワイドスター、インマルサット、イリジウム、マイクロ波通信

※3 振幅変調と位相変調を複合した変調方式(デジタル変調)

•直交振幅変調 QAM (quadrature amplitude modulation)

利用例 マイクロ波通信、ケーブルTV、次世代 VSAT、インマルサット

•振幅位相変調 APSK (amplitude phase shift keying)

利用例: SNG、次世代 VSAT

※4 周波数変調(デジタル変調) FSK (Frequency Shift keying)

利用例: ESV、Ku帯AMSS、ブルートゥース、GSM携帯

5. ビットマッピング

5.1 QPSK

グレイ符号化の絶対値マッピングとする。

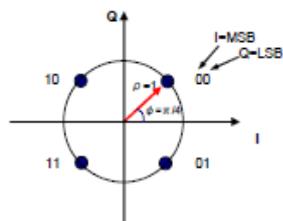


図 8 QPSK ビットマッピング

5.3 16APSK

16APSK のビットマッピングは図 10 の通り。

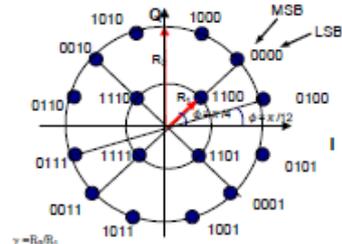


図 10 16APSK ビットマッピング

5.2 8PSK

グレイ符号化の絶対値マッピングとする。ここで、64800 ビットの FEC フレームは、8PSK の場合 64800/3 シンボルの XFEC フレーム(Complex FECFRAME)で出力される。

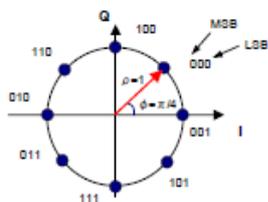


図 9 8PSK ビットマッピング

5.4 32APSK

32APSK のビットマッピングは図 11 の通り。

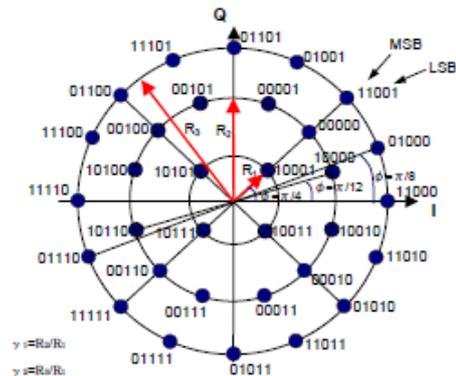


図 11 32APSK ビットマッピング

※ マッピングはデジタル情報を位相(I,Q 軸の同心円上の角度)や振幅(半径の大きさで)表すもの。QPSK、8PSK の振幅は一定で、位相の違いによって情報を乗せている。一方、16APSK、32APSK は、振幅と位相が異なるポイントを定義しそこに情報を乗せている。

図1-1 PSK及びAPSKのマッピング
(CSデジタル放送高度化作業班の資料より)

2. CI-OFDM 方式

OFDM 方式は、マルチパス環境における高速デジタル伝送技術として研究開発が盛んに行われてきた。マルチパス耐性、高速通信などの特徴に加え、各搬送波間で直交関係の周波数間隔を選択して送信することにより、従来のロールオフフィルタを用いた単一搬送波のデジタル伝送方式と比べて周波数利用効率の改善が図れる。

OFDM 方式はこのような優れた特性をもっているが、単一搬送波を用いた従来の伝送方式と比較すると、ピーク電力対平均電力比が非常に大きくなるという課題がある。ピーク電力が大きい信号をひずみなく伝送するためには、送信機の電力増幅器として線形性の高い電力増幅器を用いる必要があるが、衛星通信では、中継器出力の飽和領域や非線形領域で伝送するため、OFDM 方式の導入は困難であった。このピーク電力対平均電力比の課題を解決するため、CI変調を行うOFDM方式(CI-OFDM方式)が検討された。CI-OFDM信号の概要を図2-1、図2-2に示す。

CI-OFDM 方式に関する衛星伝送評価を行った結果、OFDM 方式に特有のピーク電力の発生を低く抑え、衛星搭載電力増幅器の非直線領域でも有効に使えることから、衛星通信におけるCI-OFDM方式の有効性が確認された。

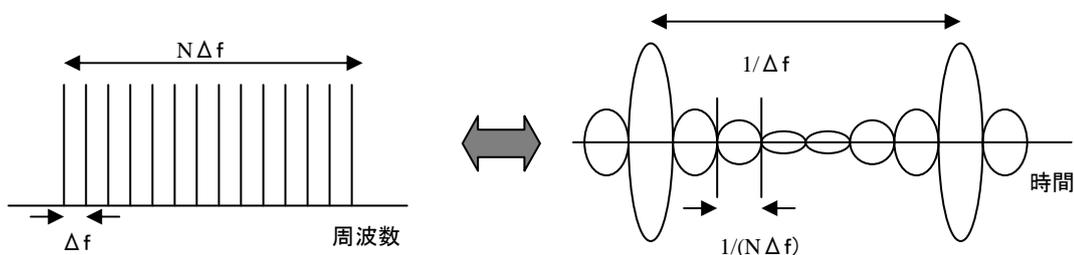


図2-1a : 周波数軸上のCI信号群

図2-1b : 時間軸上のCI信号群

CI信号は複数のサブキャリア信号*からなり(図2-1a)、このサブキャリア信号それぞれが直交性をもっているために、時間軸上では図2-1bのように $1/N\Delta f$ ごとにクロスする。このゼロクロス位置に次のCI信号を配置することで、相互に干渉なく信号が伝送できる。(sinc関数類似波形の繰り返し形状)

※ サブキャリア信号: 細いキャリア信号の集まり

図2-1 CI変調及びサブキャリア変調の概要説明図

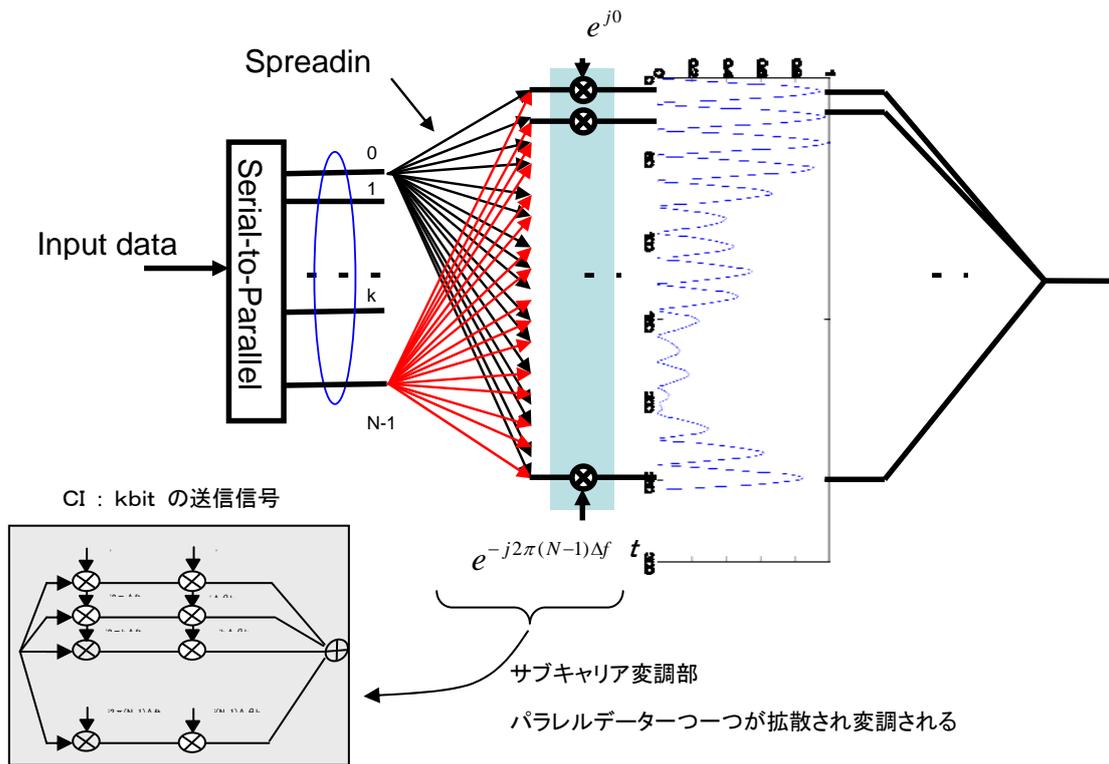


図2-2 CI変調、サブキャリア変調 概要説明図

(技術的条件の項目一覧)

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		CI-OFDM による伝送	備考	参考 (電波法・条文等)
		固定衛星一般	Ka 帯 VSAT			
1	システム及び無線設備の技術要件					
1.1	一般的条件					
1.1.1	無線局の概要範囲	1. システム別審査基準 (1)ア適用範囲				
1.2.2	換要周波数帯	1. システム別審査基準 工技術審査 (ウ)周波数 ・周波数の許容偏差周波数割り当て計画、無線通信規則、国際調整に基づいた周波数	・Ka 帯	Ku, Ka, C, S 帯		
1.1.3	変調方式	—	・周波数変調 ・位相変調又は振幅位相変調 ・必要によりスペクトル拡散等の2次変調方式	CI-OFDM 方式を用いたキャリア変調方式として QPSK/16QAM/64QAM を採用	電波型式 G7W, D7W, X7W	告示第859号(コード表)
2	地球局の無線設備条件					
2.1	送信装置の条件					
2.1.1	周波数の許容偏差	1. システム別審査基準 工技術審査 (エ)周波数の許容偏差 ・設備規則に適合すること	・100ppm	固定衛星一般則適用	100ppm(JSAT の規定≒32.5kHz とする)	無線設備規則 第二節 電波の質 第5条 条文:送信設備に使用する電波の周波数の許容偏差は、別表第一号に定めるとおりとする
2.1.2	占有帯域幅の許容値	1. システム別審査基準 工技術審査 (オ)占有周波数帯幅の許容値 ・下記方式ごとに求める値以下であること ・FDM-FM 方式 ・SCPC-FM 方式 ・TV-FM 方式 ・PSK・16QAM 方式 ・APSK 方式 —(別に指定)	許容値を一律に定めず、各方式ごとに求める値以下 ・FDM-FM 方式 ・SCPC-FM 方式 — ・PSK・QAM 方式 ・APSK 方式 ・スペクトル拡散方式	固定衛星一般則適用 — — — QPSK/16QAM/64QAM 方式 固定衛星に準ずる 固定衛星に準ずる	QPSK, 16QAM 方式 BW = 2 * シンボルレート * 帯域係数 OFDM 方式 (QPSK/16QAM/64QAM) BW = ((k+1)/7本数 N - 1) * k * f 7周波数間隔 (fs) + 1 k * f あたりの帯域幅	無線設備規則 第二節 電波の質 第6条 条文:別表第二—第3電波型式に關して表示する
2.1.3	空中線電力	1. システム別審査基準 工技術審査 (カ)空中線電力 ・伝送品質を満足に必要最低限な値		固定衛星一般則適用	申請時の電力に適用 法:省令規定・国際調整の範囲内等	無線局免許手続き規則第10条の3 条文:法第八条第一項第四号の空中線電力の指定は、次の表の上欄に掲げる区分に従い、それぞれ同表の下欄に掲げるとおり行うものとする。当該無線局が送信に際して使用できる最大の値の空中線電力

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		CI-OFDM による伝送	備考	参考 (電波法・条文等)
		固定衛星一般	Ka 帯 VSAT			
2.1.4	空中線電力の許容偏差	—	・上限/下限とも 50%	固定衛星に準ずる	申請時の電力に対する許容値 470MHz を超える周波数の電波を使用する送信設備に適用。	無線設備規則第14条 条文:空中線電力の許容偏差は、次の表の上欄に掲げる送信設備の区別に従い、それぞれ同表の下欄に掲げるとおりとする。
2.1.5	スプリアス放射及び不要放射の強度の許容値	1. システム別審査基準 工技術審査 (キ)不要放射の強度 設備規則別表第3号及び平成17年総務省告示第1228号に定める許容値を満たす	無線設備規則別表第三号の規定及び同号40規定の告示規定	固定衛星一般則適用		無線設備規則 第二節 電波の質 第7条 条文:スプリアス放射又は不要放射の強度の許容値は、別表第三号に定めるとおりとする。
2.1.6	軸外輻射電力の許容値	1. システム別審査基準 工技術審査 (ク)軸外輻射電力の許容値 ・地球局が静止衛星軌道に対する衛星軽度の±3度以内の方向に輻射する電力は規定値以下であること	一般則	固定衛星一般則適用		
2.1.7	最大電力密度	1. システム別審査基準 工技術審査 (カ)最大電力密度 国際調整の範囲、6GHz-14GHz は 4KHz、30GHz は 1MHz の帯域幅について平均した上記平均化帯域より広い場合は下記ごとに示す値 ・FDM-FM 方式 ・TV-FM 方式 ・PSK/16QAM 方式	—	固定衛星一般則適用 — — QPSK/16QAM/64QAM 方式	地球局の送信アンテナ入力における放射電波 OFDM 最大電力密度	
2.1.8	その他	1. システム別審査基準 工技術審査 (ス)その他 ・可搬型:訓令に定める基準に適合 ・送信装置は周波数・空中線電力等の測定が可能のこと集中・制御方式では回線制御機能が中断しないこと	・設備規則第54条の3による。 ・正方向でのインターロック機能	固定衛星一般則適用		
2.1.9	電波放射停止機能等	1. システム別審査基準 工技術審査 (セ)電波放射機能停止 ・遠隔操作による	・自動停止機能	固定衛星一般則適用	人工衛星に対する停波制御機能	

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		CI-OFDMによる伝送	備考	参考 (電波法・条文等)
		固定衛星一般	Ka帯 VSAT			
2.2	受信装置の条件					
2.2.1	受信機の副次的発生電波等の限度	—	・4nW以下	固定衛星に準ずる	VSATは想定しない	電波法第29条及び無線設備規則第24条
2.3	空中線の条件					
2.3.1	送信アンテナの指向特性	1. システム別審査基準 工技術審査 (ク)送信アンテナの指向特性 ・90%以上のサイドローブを含む広角指向性は規定の式を満たすこと	—	固定衛星一般則適用		
2.3.2	アンテナの自動追尾機能	1. システム別審査基準 工技術審査 (ケ)アンテナの自動追尾機能 ・衛星位置保持精度、アンテナ利得低下量、交差偏波識別度低下量を考慮した追尾機能	—	固定衛星一般則適用		
2.3.3	交差偏波識別度	1. システム別審査基準 工技術審査 (シ)交差偏波識別度 ・14/12GHz帯の送受信アンテナの交差偏波識別度は30dB以上であること	・メインビームの-1dBにおいて20dB以上	固定衛星一般則適用		第五十四条の三-三 条文:空中線の交差偏波識別度は、二七デシベル以上であること。
2.3.4	偏波	1. システム別審査基準 工技術審査 (ソ)偏波 ・円及び直線偏波		固定衛星一般則適用		
2.3.5	送信空中線利得(絶対利得)	—	・56dBi以下	固定衛星に準ずる	同上	無線設備規則第20条 条文:空中線の利得および能率がなるべく大であること。整合が十分であること。満足な指向特性が得られること。
2.3.6	送信空中線の最小仰角	3度以上	・3度	固定衛星に準ずる	VSATは想定しない	
3	伝送の質					
3.1	伝送の質	1. システム別審査基準 工技術審査 (タ)伝送の質 回線品質は業務目的に応じ適切であること		固定衛星一般則適用		電波法第28条及び無線設備規則第5条～7条
3.1.1	限界品質	1. システム別審査基準 工技術審査 (タ)伝送の質 A 限界品質 不稼働率の算出に用いる限界品質は以下 ・アラグ信号:32.5dB(エンファシス改善含む) ・デジタル信号:BER 10 ⁻³ (誤り訂正含む) ・TV信号:45dB(エンファシス改善含む)	—	— 固定衛星一般則適用 —		

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		CI-OFDMによる伝送	備考	参考 (電波法・条文等)
		固定衛星一般	Ka帯 VSAT			
3.1.2	搬送波電力対雑音電力比の算出	1. システム別審査基準 工技術審査 (タ)伝送の質 B 搬送波電力対雑音電力比の算出 伝送の質は下記に示した式により求める ・上り回線の搬送波電力対熱雑音 ・電力比下り回線の搬送波電力対熱雑音 ・電力比相互交調雑音 ・上り回線における干渉試験雑音 ・下り回線における干渉試験雑音 ・地上無線通信の局からの干渉雑音	—	固定衛星一般則適用		
3.1.3	平常時の受信端に於ける S/N	1. システム別審査基準 工技術審査 (タ)伝送の質 C 平常時の受信端における S/N 比 各方式ごとに示した計算式による ・FDM-FM方式 ・TV-FM方式 ・SCPC-FM方式 ・QPSK/QAM方式	—	不要 不要 不要 QPSK/16QAM/64QAM方式	CIは本変調なし 16QAM, 64QAMの追加が必要	
3.1.4	標準状態の受信端における符号誤り率	1. システム別審査基準 工技術審査 (タ)伝送の質 D 標準状態の受信端における S/N 比 規定の式で求めた1ビット当たりの搬送波電力と雑音電力密度との比から求める	—	固定衛星一般則適用		
3.1.5	回線の不稼働率	1. システム別審査基準 工技術審査 (タ)伝送の質 E 回線の不稼働率 下記に規定した計算式による ・上下回線の降雨マージン ・上下回線の降雨減衰による不稼働率	—	固定衛星一般則適用		
4	混信保護					
4.1	混信保護	1. システム別審査基準 工技術審査 (チ)混信保護				
4.1.1	他の衛星系に属する既設の無線局に与える干渉	1. システム別審査基準 工技術審査 (チ)混信保護 A 他の衛星系に属する人工衛星を用いて通信系を構成する既設の無線局に与える干渉は、以下の基準を満たすこと。 ・上り回線における干渉 ・下り回線における干渉	—	固定衛星一般則適用		

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		CI-OFDMによる伝送	備考	参考 (電波法・条文等)
		固定衛星一般	Ka帯VSAT			
4.1.2	既設の地上無線通信局に与える干渉	1. システム別審査基準 工技術審査 (チ)混信保護 B 既設の地上無線通信の局に与える干渉は、以下の基準を満たすこと。 下記電波が与える干渉波の最大電力密度は雑音電力密度の値以下 ・6GHz帯電波が8GHz帯固定局に与える干渉 ・14GHz帯電波が15GHz帯固定局に与える干渉	—	固定衛星一般則適用		
4.1.3	混信保護の計算	1. システム別審査基準 工技術審査 (チ)混信保護 C 混信保護の計算 下記を考慮した関係通達による ・他の衛星系の地球局に与える干渉雑音計算 ・14G帯地上無線通信の局に与える干渉雑音計算 ・宇宙無線通信受信設備に与える干渉雑音計算	—	固定衛星一般則適用		
5	測定方法					
5.1	測定方法		VSATの特性試験方法の			
5.1.1	周波数の許容偏差	—	TELEC-T309に準ずる	固定衛星に準ずる		
5.1.2	占有周波数帯幅	—	TELEC-T309に準ずる	固定衛星に準ずる		
5.1.3	スプリアス放射強度	—	TELEC-T309に準ずる	固定衛星に準ずる		
5.1.4	空中線電力の偏差	—	TELEC-T309に準ずる	固定衛星に準ずる		
5.1.5	軸外輻射電力	—	TELEC-T309に準ずる	固定衛星に準ずる		
5.1.6	交差偏波識別度	—	TELEC-T309に準ずる	固定衛星に準ずる		
5.1.7	副次的に発生する電波等の限度	—	TELEC-T309に準ずる	固定衛星に準ずる		
6	伝送符号化方式					
6.1	伝送符号化方式	—	—	CI-OFDM伝送方式による	調査報告書 CI伝送方式参照	

3. まとめ

衛星通信は、1992年に始まったアナログCS放送が、1996年にはデジタルCS放送、2008年にはデジタルHDTV放送へと移り変わり、アナログ変調からデジタル変調、周波数変調から、位相変調へと変調技術は変化してきた。アナログ時代には、衛星中継器1本あたり1chの標準テレビ(SDTV)伝送であったものが、デジタル時代に入り、1中継器で4～8chものSDTV伝送が可能となった。

2005年には、次世代放送方式としてDVB-S2が制定されたが、放送だけにとどまらず、通信利用も想定した広範な規定となった。この通信利用を想定した規定の中で、従来の変調方式からさらに多くの情報を伝送できる振幅位相変調(APSK)を導入した。この中で16APSK、32APSKは、デジタル情報を振幅と位相の両方を使って伝送する方式である。DVB-S2は従来のデジタル方式に比べ、放送利用では30%以上の伝送容量拡大となり、通信利用では最大4倍の伝送容量拡大が可能となる。伝送容量の拡大に伴い、HDTV放送や素材伝送、高速ブロードバンドサービスを中心とする多様なIP伝送利用が可能となるとともに、周波数の有効利用が図られる。

今後も発展する衛星通信においても、DVB-S2で採用・規定されたように、利用形態に応じて様々な変調方式を組み合わせる利用されることが予想されることから、VSAT地球局の変調方式については、これらの変調方式を柔軟に使用できるように規定することが適当である。

伝送信号重畳・キャンセル技術について

1. 伝送信号重畳・キャンセル技術の概要

伝送信号重畳・キャンセル技術とは、従来、衛星通信において伝送回線ごとに個別の周波数帯域を利用して伝送していたものを、同一の周波数帯域を利用して伝送することを可能とする技術であり、その実用性が確認されている。

本技術を適用する衛星通信の構成として以下の図-1に挙げるような2つの方式が考えられる。

1つ目の方式は、図 1-1(a)のような1つの制御地球局と多数の VSAT 地球局の間の1対 N スター型回線、すなわちスター型 VSAT 方式であり、制御地球局からは広帯域の信号 (OB: Outbound) が、VSAT 地球局からは狭帯域の信号 (IB: Inbound) が複数キャリアでFDM方式により伝送される。この場合、制御地球局とVSAT地球局の受信性能を踏まえて、OB信号はIB信号に比べ大きな電力で伝送される。

2つ目の方式は、図 1-1(b)のような衛星伝送回線ごとに個別の周波数帯域を占有し、比較的広帯域の信号を対向回線として伝送する対向回線方式である。この場合、VSAT方式と異なり、対向する2つの地球局(A、B)の信号の電力は、ほぼ等価である。なお、VSAT方式において、制御地球局の制御によりVSAT地球局間を接続・通信するメッシュ型VSAT方式についても対向回線方式と同様に扱える。

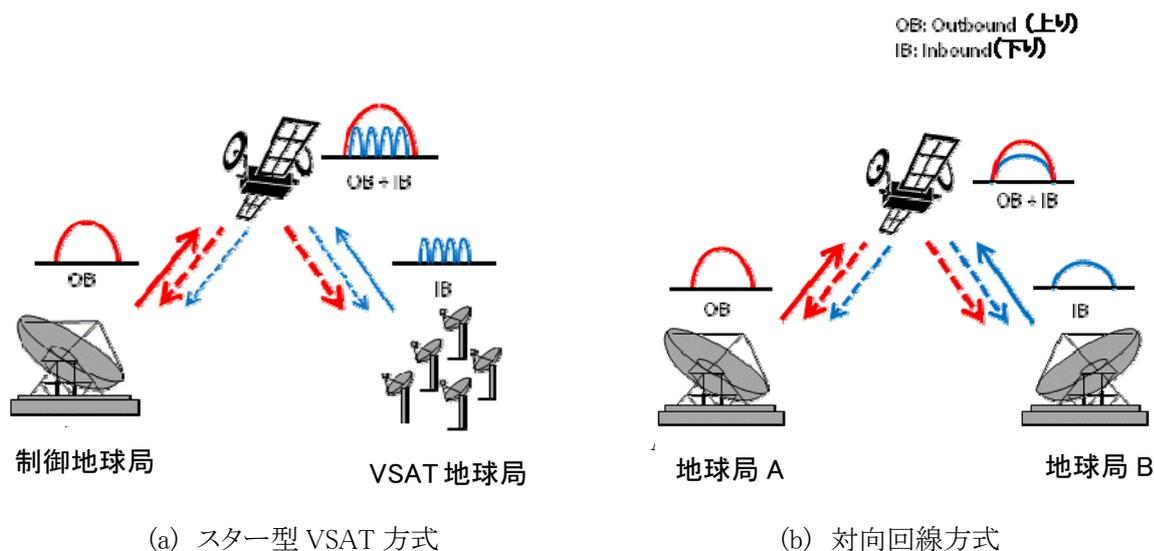


図 1-1: 伝送信号重畳・キャンセル技術を適用する衛星通信の構成

2. 必要キャンセル量の検討

伝送信号重畳・キャンセル技術は、その技術的条件や多様なサービスに対応した本技術の有用性について確認されている。衛星回線では、サービスに応じて要求される C/N が異なり、その幅は 18dB にも及ぶ(図 2-1)。また、各サービスに求められるキャンセル量も所要 C/N およびキャンセル後の劣化許容量に応じて変化する(図 2-2)。

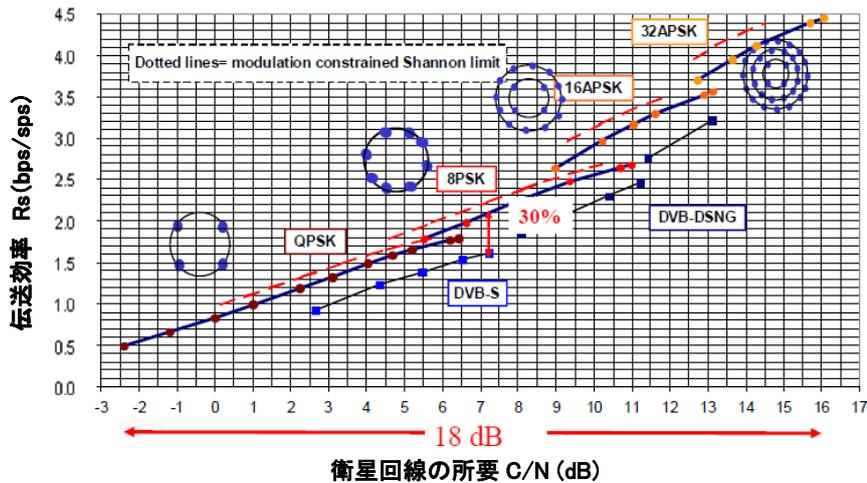


図 2-1: DVB-S2 における伝送諸元と利用形態の関係例

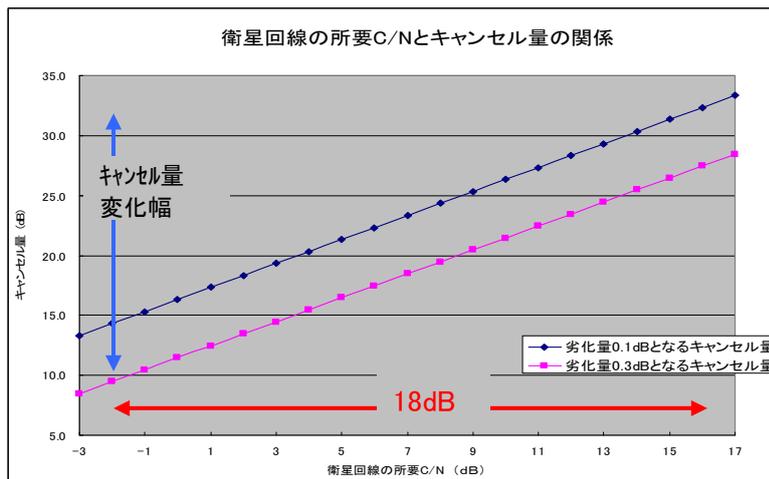


図 2-2: 衛星回線の所要 C/N とキャンセル量の関係

(1) 対向回線方式の場合

VSAT のメッシュ回線では、1対1の対向回線を構成する。必要キャンセル量は、図 2-2 に示すように回線の伝送諸元から決まる所用 C/N によって変化すると共に、許容劣化量に応じて変化する。対向回線方式において、所要 C/N を-2dB、重畳による回線マージン劣化量を 0.3dB とした場合、図 2-2 から必要キャンセル量は 10dB 以上となる。

(2) スター型 VSAT 方式の場合

本方式では、フォワードリンク信号とリターンリンク信号が重畳され、対向回線方式と異なる次のような特徴を有する。

- ・ 制御地球局側では、受信した重畳信号から自局が送信したフォワードリンク信号を重畳キャンセル機能で抑圧し、リターンリンク信号を復調して取り出す。
- ・ VSAT 地球局側では、フォワードリンク信号とリターンリンク信号のキャリアのレベル差から、受信した重畳信号を直接復調し、フォワードリンク信号を取り出すため、重畳・キャンセル機能を必要としない。

フォワードリンク信号とリターンリンク信号のキャリアの電力密度は、運用によっても異なるが、伝送諸元として QPSK、FEC=3/4、衛星上バックオフのレベル差 3dB、また所要 C/N を約 6dB と仮定すると、図 2-2 から必要キャンセル量は 20dB 前後となるが、キャリアの電力密度差を考慮すると 23dB 前後となる。

3. 重畳・キャンセル技術の運用

重畳・キャンセル技術により複数の地球局から、同一の周波数帯を共有する信号を送信した場合、単独の地球局で送信した場合に比べて、重畳した周波数帯の電力密度は増加する。そのため軸外輻射規定においては、この重畳・キャンセル技術による電力密度の増加を考慮しなければならない。具体的には、送信空中線から輻射される 40kHz 帯域幅当たり、単一地球局当たりの電力は次表のとおりとし、重畳時の最大輻射電力は制御地球局により制御することで、トータルでの最大輻射電力を維持することが適当である。

また、測定法においては、単一の地球局について、その空中線電力、送信損失及び指向特性の利得を測定することから、 $N=1$ として取り扱われるものとする。

主輻射の方向からの離角 (θ)	最大輻射電力 (1W を 0dB とする。)
2.5 度以上 7 度未満	次に掲げる式による値以下 $33 - 25 \log_{10} \theta - 10 \log_{10} N$ デシベル N は、伝送信号重畳キャンセル機能等を用いた場合において、同時に送信することを許された地球局がすべて送信した場合の任意の単位帯域幅における電力の最大値と一の地球局が送信した場合の当該単位帯域幅における電力の最大値の比とする。なお、スペクトル拡散方式又は伝送信号重畳キャンセル技術を用いない場合は、 $N=1$ とする。以下の表において同じ。
7 度以上 9.2 度未満	次に掲げる式による値以下 $12 - 10 \log_{10} N$ デシベル
9.2 度以上 48 度未満	次に掲げる式による値以下 $36 - 25 \log_{10} \theta - 10 \log_{10} N$ デシベル
48 度以上 180 度以下	次に掲げる式による値以下 $-6 - 10 \log_{10} N$ デシベル

4. 技術的条件の項目一覧

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		重量・キャンセル技術の適用	備考	電波法・条文等
		固定衛星一般	Ku 帯 VSAT			
1	システム及び無線設備の技術要件					
1.1	一般的条件					
1.1.1	無線局の摘要範囲	1. システム別審査基準 (1)ア適用範囲				
1.2.2	摘要周波数帯	1. システム別審査基準 エ技術審査 (ウ)周波数 ・周波数の許容偏差周波数割り当て計画、無線通信規則、国際調整に基づいた周波数	・Ku 帯	固定衛星に準ずる		
1.1.3	変調方式	—	・周波数変調 ・位相変調又は振幅位相変調 ・必要によりスペクトル拡散等の2次変調方式	固定衛星に準ずる		告示第869号(コード表)
2	地球局の無線設備条件					
2.1	送信装置の条件					
2.1.1	周波数の許容偏差	1. システム別審査基準 エ技術審査 (エ)周波数の許容偏差 ・設備規則に適合すること	・100ppm	固定衛星一般則適用	100ppm(スハ) JSAT の規定 =32.5kHz とする)	無線設備規則 第二節 電波の質 第5条 条文:送信設備に使用する電波の周波数の許容偏差は、別表第一号に定めるとおりとする
2.1.2	占有帯幅の許容値	1. システム別審査基準 エ技術審査 (オ)占有周波数帯幅の許容値 ・下記方式ごとに求める値以下であること ・FDM-FM 方式 ・SCPC-FM 方式 ・TV-FM 方式 ・PSK 方式、QAM 方式及び APSK 方式 — —	許容値を一律に定めず、各方式ごとに求める値以下 ・FDM-FM 方式 ・SCPC-FM 方式 — ・PSK・QAM 方式 ・APSK 方式 ・スペクトル拡散方式	固定衛星一般則適用 適用せず 適用せず 適用せず 固定衛星に準ずる 固定衛星に準ずる		無線設備規則 第二節 電波の質 第6条 条文:別表第二-第3電波型式に 関して表示する

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		重量・キャンセル技術の適用	備考	電波法・条文等
		固定衛星一般	Ku 帯 VSAT			
2.1.3	空中線電力	1. システム別審査基準 エ技術審査 (カ)空中線電力 ・法及びその他省令の規定並びに国際調整の範囲 ・伝送品質を満足に必要な最低限な値		固定衛星一般則適用	申請時の電力に適用 法・省令規定・国際調整の範囲内等	無線局免許手続き規則第10条の3 条文:法第八条第一項第四号の空中線電力の指定は、次の表の上欄に掲げる区分に従い、それぞれ同表の下欄に掲げるとおり行うものとする。当該無線局が送信に際して使用できる最大の値の空中線電力
2.1.4	空中線電力の許容偏差	・上限/下限とも 50%	・上限/下限とも 50%	固定衛星に準ずる	申請時の電力に対する許容値 470MH を超える周波数の電波を使用する送信設備に適用。	無線設備規則第14条 条文:空中線電力の許容偏差は、次の表の上欄に掲げる送信設備の区別に従い、それぞれ同表の下欄に掲げるとおりとする。
2.1.5	スプリアス発射及び不要発射の強度の許容値	1. システム別審査基準 エ技術審査 (キ)不要発射の強度 設備規則別表第3号及び平成17年総務省告示第1228号に定める許容値を満たす	無線設備規則別表第三号の規定及び同号40規定の告示規定	固定衛星一般則適用		無線設備規則 第二節 電波の質 第7条 条文:スプリアス発射又は不要発射の強度の許容値は、別表第三号に定めるとおりとする。

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		重畳・キャンセル技術の適用	備考	電波法・条文等
		固定衛星一般	Ku 帯 VSAT			
2.1.6	軸外輻射電力の許容値	1. システム別審査基準 エ技術審査 (二) 軸外輻射電力の許容値 ・地球局が静止衛星軌道に対する衛星経度の±3度以内の方向に輻射する電力は規定値以下であること	左欄を適用	固定衛星一般則適用 ・静止衛星軌道の傾度±3度以内のすべての方向に送信空中線から輻射される40kHz帯域あたりの電力規定。 人工衛星局からの離角 2.5度以上7度未満 VSAT : $33-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル その他 : $39-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル Nは、CDMA技術や伝送信号重畳キャンセル技術等を用いた場合において、同時に送信することを許された地球局がすべて送信した場合の任意の単位帯域幅における電力の最大値と一の地球局が送信した場合の帯域幅における電力値との比とする。尚、キャリア重畳ではN値は2となる。 7度以上9.2度以下 VSAT : $12-10\log_{10}N$ デシベル その他 : $18-10\log_{10}N$ デシベル 9.2度以上48度以下 VSAT : $36-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル その他 : $42-25\log_{10}\theta -10\log_{10}N$ デシベル 48度以上180度以下 VSAT : $-6-10\log_{10}N$ デシベル その他 : $0-10\log_{10}N$ デシベル ・同一の通信の相手方である人工衛星局の同一のトランスポンダを使用し、同一の周波数を使用する1または2以上の地球局については、それら地球局から輻射する等価等方輻射電力の総和を管理することが適切であり、ゆえに軸外輻射電力も、その総和を規定することが適切である		VSAT: 無線設備規則第54条の3第4号 条文:送信空中線から輻射される40kHz帯域幅あたりの電力。

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		重畳・キャンセル技術の適用	備考	電波法・条文等
		固定衛星一般	Ku 帯 VSAT			
2.1.7	最大電力密度	1. システム別審査基準 エ技術審査 (サ) 最大電力密度 国際調整の範囲。6GHz, 14GHz は4KHz, 30GHz は1MHzの帯域幅について平均した上記平均化帯域より広い場合は下記ごとに示す値 ・FDM-FM方式 ・TV-FM方式 ・PSK方式、QAM方式及びAPSK方式	左欄を適用	固定衛星一般則適用 — — 固定衛星に準ずる ・人工衛星局の最大電力密度はトータルキャリアの和とする。		
2.2	受信装置の条件					
2.2.1	受信機の副次的発生電波等の限度	—	-4nW以下	固定衛星に準ずる		電波法第29条及び無線設備規則第24条
2.2.2	キャリア抑圧量	今後検討する	今後検討する	システム構成によるが、キャリア抑圧量は、VSAT:20dB以上 その他:10dB以上である事。		
2.2.3	VSAT方式のDU比(総合バックオフ)	今後検討する	今後検討する	OB信号の劣化を防ぐ為、総合バックオフは10dB以上である事。		
3	伝送の質					
3.1	伝送の質	1. システム別審査基準 エ技術審査 (タ) 伝送の質 回線品質は業務目的に応じ適切であること		固定衛星一般則適用		電波法第28条及び無線設備規則第5条～7条
3.1.1	限界品質	1. システム別審査基準 エ技術審査 (タ) 伝送の質 A 限界品質 不稼働率の算出に用いる限界品質は以下 ・アナログ信号:32.5dB(エンパルス改善含む) ・デジタル信号:BER 10 ⁻³ (誤り訂正含む) ・TV信号:45dB(エンパルス改善含む)	左欄を適用	— 固定衛星一般則適用 適用せず		

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		重量・キャンセル技術の適用	備考	電波法・条文等
		固定衛星一般	Ku 帯 VSAT			
3.1.2	搬送波電力対雑音電力比の算出	1. システム別審査基準 エ技術審査 (夕) 伝送の質 B 搬送波電力対雑音電力比の算出 伝送の質は下記に示した式により求める ・上り回線の搬送波電力対熱雑音 ・電力比下り回線の搬送波電力対熱雑音 ・電力比相互変調雑音 ・上り回線における干渉試験雑音 ・下り回線における干渉試験雑音 ・地上無線通信の局からの干渉雑音	左欄を適用	<ul style="list-style-type: none"> ・キャンセル後に残るキャンセル残留分: C/1w を同算出計算式に加える。 B 搬送波電力対雑音電力比の算出 $\frac{1}{C/N} = \frac{1}{C/N_u} + \frac{1}{C/N_d} + \frac{1}{C/I_{u_m}} + \frac{1}{C/I_{u_s}} + \frac{1}{C/I_{d_s}} + \frac{1}{C/I_{d_m}} + \frac{1}{C/I_{d_s}}$		
3.1.3	平常時の受信端に於ける S/N	1. システム別審査基準 エ技術審査 (夕) 伝送の質 C 平常時の受信端における S/N 比 各方式ごとに示した計算式による ・FDM-FM 方式 ・TV-FM 方式 ・SCPC-FM 方式	左欄を適用	— — —		
3.1.4	標準状態の受信端における符号誤り率	1. システム別審査基準 エ技術審査 (夕) 伝送の質 D 標準時の受信端における符号誤り率 規定の式で求めた 1 ビット当たりの搬送波電力と雑音電力密度との比から求める	左欄を適用	固定衛星一般則適用		
3.1.5	回線の不稼働率	1. システム別審査基準 エ技術審査 (夕) 伝送の質 E 回線の不稼働率 下記に規定した計算式による ・上下回線の降雨マージン ・上下回線の降雨減衰による不稼働率	左欄を適用	固定衛星一般則適用		
4	混信保護					
4.1	混信保護	1. システム別審査基準 エ技術審査 (チ) 混信保護				

番号	項目	省令、電波法関係審査基準等		重量・キャンセル技術の適用	備考	電波法・条文等
		固定衛星一般	Ku 帯 VSAT			
4.1.1	他の衛星系に属する既設の無線局に与える干渉	1. システム別審査基準 エ技術審査 (チ) 混信保護 A 他の衛星系に属する人工衛星を用いて通信系を構成する既設の無線局に与える干渉は、以下の基準を満たすこと。 ・上り回線における干渉 ・下り回線における干渉	左欄を適用	<ul style="list-style-type: none"> 下記原則値を緩和する必要があるが、自局に対する干渉であるため、同項は適用せず。 ・上り回線における干渉 キャリア重畳による C/Ius 値より原則 4dB 低い値 ・下り回線における干渉よりキャリア重畳による C/I_{ds} 値原則 4dB 低い値 		
4.1.2	既設の地上無線通信局に与える干渉	1. システム別審査基準 エ技術審査 (チ) 混信保護 B 既設の地上無線通信の局に与える干渉は、以下の基準を満たすこと。 下記電波が与える干渉波の最大電力密度は雑音電力密度の値以下 ・6GHz 帯電波が 8GHz 帯固定局に与える干渉 ・14GHz 帯電波が 15GHz 帯固定局に与える干渉	左欄を適用	固定衛星一般則適用		
4.1.3	混信保護の計算	1. システム別審査基準 エ技術審査 (チ) 混信保護 C 混信保護の計算 下記を考慮した関係式による ・他の衛星系の地球局に与える干渉雑音計算 ・14G 帯地上無線通信の局に与える干渉雑音計算 ・宇宙無線通信受信設備に与える干渉雑音計算	左欄を適用	固定衛星一般則適用		

固定局から Ku 帯 VSAT 地球局への被干渉について

1. 目的

本参考資料は、Ku 帯 VSAT 地球局(以下、VSAT 地球局と記す。)への固定局からの被干渉について、電波法関係審査基準別紙 2 第 2 の 4(5)「12GHz 帯(12.2GHz から 12.5GHz まで)の周波数の電波を使用して通信系を構成する固定局」を参考に検討し、その具体的回避策を示すものである。

2. システム概要

Ku 帯 VSAT 地球局を使用する衛星通信システムは、次の通信設備で構成される。

- (1) 人工衛星局(静止衛星軌道上の衛星に開設され、制御地球局と VSAT 地球局間及び VSAT 地球局間の通信を中継する。)
- (2) 制御地球局(人工衛星局を中継して VSAT 地球局の使用する電波の発射・停止、周波数・タイムスロットの割当て等の制御及び VSAT 地球局との通信を行う。)
- (3) VSAT 地球局(人工衛星局を中継して制御地球局による使用する電波の発射・停止、周波数・タイムスロットの割当て等の制御に従い、制御地球局や他の VSAT 地球局との通信を行う。)

システムの概念図を図1に示す。

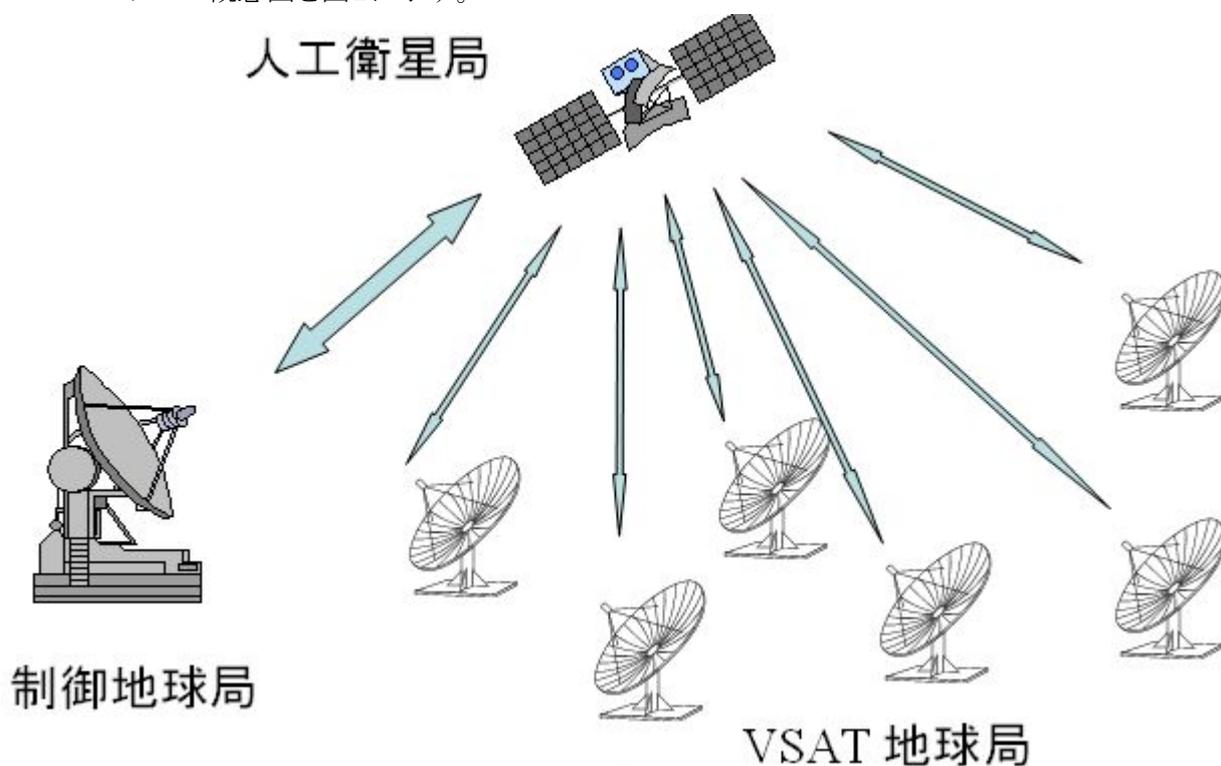


図1 衛星通信システム概念図

3. VSAT 地球局の構成例

VSAT 地球局は、屋外に設置される機器 (ODU: Out Door Unit) と屋内に設置される機器 (IDU: In Door Unit) から構成される。

ODU には、人工衛星局との間で電波の送受信を行うアンテナ、送信増幅・周波数変換部及び受信低雑音増幅・周波数変換部が含まれる。

IDU には、変復調部、制御部及び通信インタフェースが含まれる。

ODU と IDU の間は、同軸ケーブルで接続され、送受信信号の伝送及び IDU から ODU への電力供給が行われる。

VSAT 地球局の構成例を図2に示す。

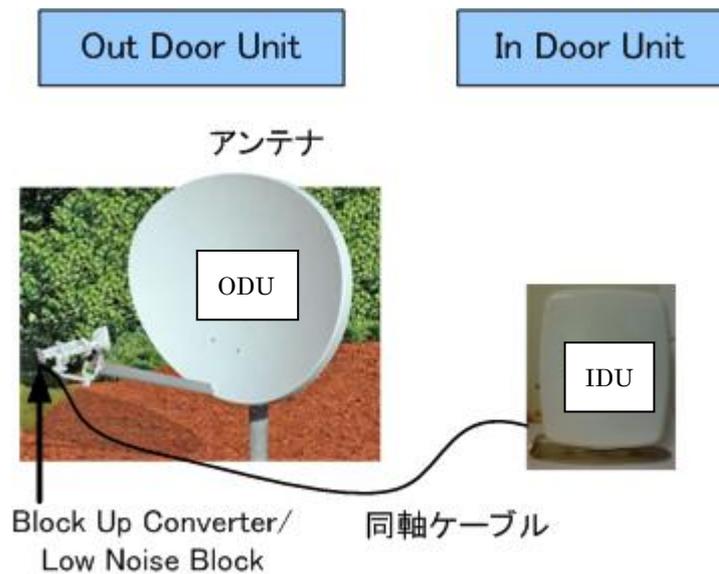


図2 VSAT 地球局の構成例

VSAT 地球局の主要諸元を表1に示す。

表1 VSAT 地球局の主要諸元

項目	諸元	備考
送受信周波数帯	送信周波数帯: 14.00~14.40 GHz 受信周波数帯: 12.20~12.75 GHz	12.20~12.44 GHz の帯域は固定業務の局からの干渉を衛星側で回避することを前提に利用
周波数の許容偏差	72.5 kHz 以下	
占有周波数帯域幅	変調方式ごとに規定される値以下	
送信増幅部定格出力	(システムにより異なる)	
受信低雑音増幅部雑音指数	(システムにより異なる)	
アンテナ指向特性	ITU-R 勧告 580 及び 465 準拠	
アンテナ開口直径	(システムにより異なる)	設置場所、利用者の要求速度に応じて選定する

4. VSAT 地球局の設置場所

VSAT 地球局の IDU 設備については、通常の居室環境に設置するのであれば、特別な配慮は必要ない。同じ意味になるが、環境条件が電磁的、温度・湿度、振動などの観点から劣悪な環境に設置することは避けるべきである。

VSAT 地球局の ODU 設備の設置場所選定にあたっては、通信を行う人工衛星方向の見通しが確保できること、安定した支柱及び基礎が設置できること、水没の恐れがないことなどに注意を払う必要がある。

また、12.2～12.44 GHz の受信帯域が VSAT 技術基準に追加された後に、当該帯域を利用する場合には、設置場所選定の際に固定業務の無線局からの干渉波の有無を確認する必要がある。干渉波が認められた場合には、まずは、衛星方向の見通しを確保でき、かつ、干渉波の到来方向からみて建物等の影になるようにする等、干渉波の受信レベルが極力小さくなるように設置場所を選定することが考えられる。干渉波がある場合の、設置場所変更による干渉低減のイメージを図3に示す。(干渉回避の具体例を別図1～2に示す。)

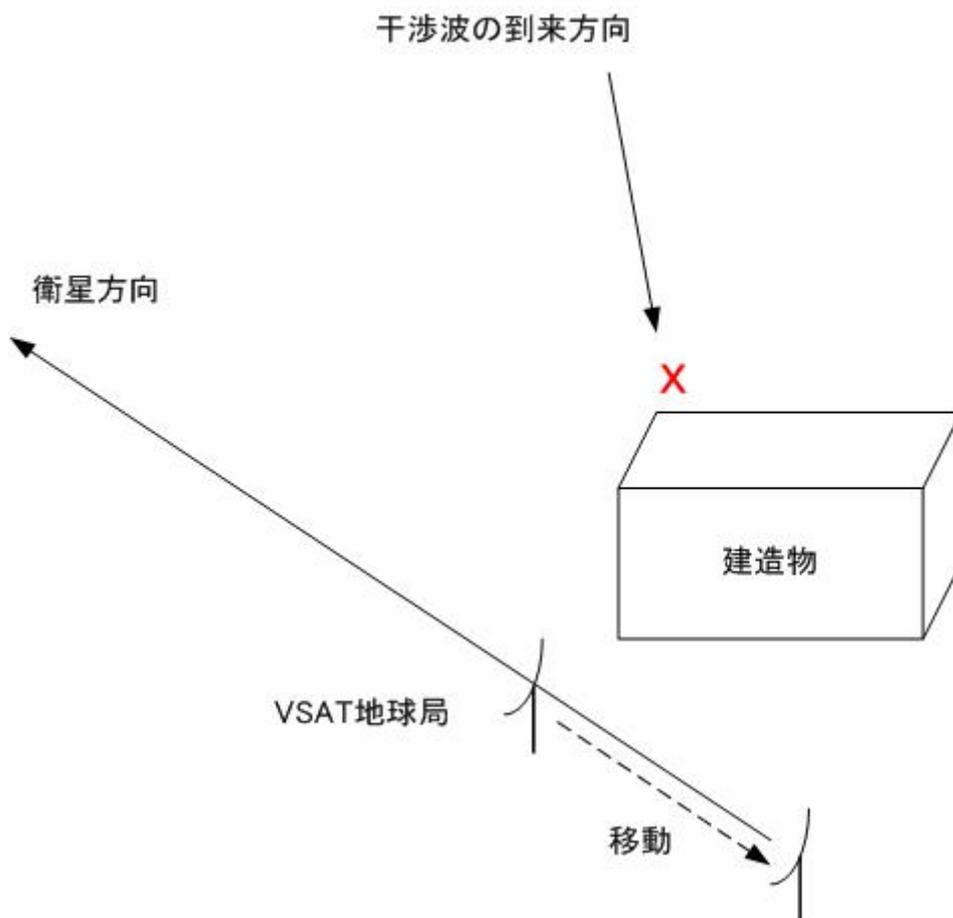


図3 干渉低減のイメージ

設置場所を変更する措置する場合、衛星方向の見通しを確保でき、かつ、干渉波の到来方向からみて建物等の影になるようにする等、干渉波の受信レベルが極力小さくなるように設置場所を変更することによって干渉を低減させる。その効果は、建物等の形状や材質等で変わるため定量的な値を得るためには現地測定が必要である。

次に、設置場所を変更しても共用可能とならない場合、又は設置場所の環境条件から設置場所を変更することによる干渉低減対策が取れない場合には、制御地球局が行う当該 VSAT 地球局への受信周波数割当において、干渉のある周波数帯を除外する必要がある

具体的には、VSAT 地球局への受信周波数割当が固定である場合には、制御地球局での初期設定の際に干渉のない周波数を指定する措置を講じる必要があり、また、VSAT 地球局への周波数割当が通信要求の発生のつどに変更される場合には、VSAT 地球局のパラメータとして割当を避けるべき受信周波数を設定することによって、制御地球局が周波数割当の際にそのデータベースを参照することで干渉のある受信周波数の割当を回避する措置を講じる必要がある。(干渉回避の具体例を別図3に示す。)

5. 無線通信規則上の規定について

国際電気通信連合の無線通信規則には、干渉を回避するために、地球局の設置場所及び周波数は注意して選定しなければならないことが規定されている(無線通信規則第 3.13 号、第 15.3 号、同第 15.4 号、第 15.6 号及び第 21.1 号参照)。

3.13 The performance characteristics of receivers should be adequate to ensure that they do not suffer from interference due to transmitters situated at a reasonable distance and which operate in accordance with these Regulations.

15.3 § 3 In order to avoid interference (see also Article 3 and No. 22.1):

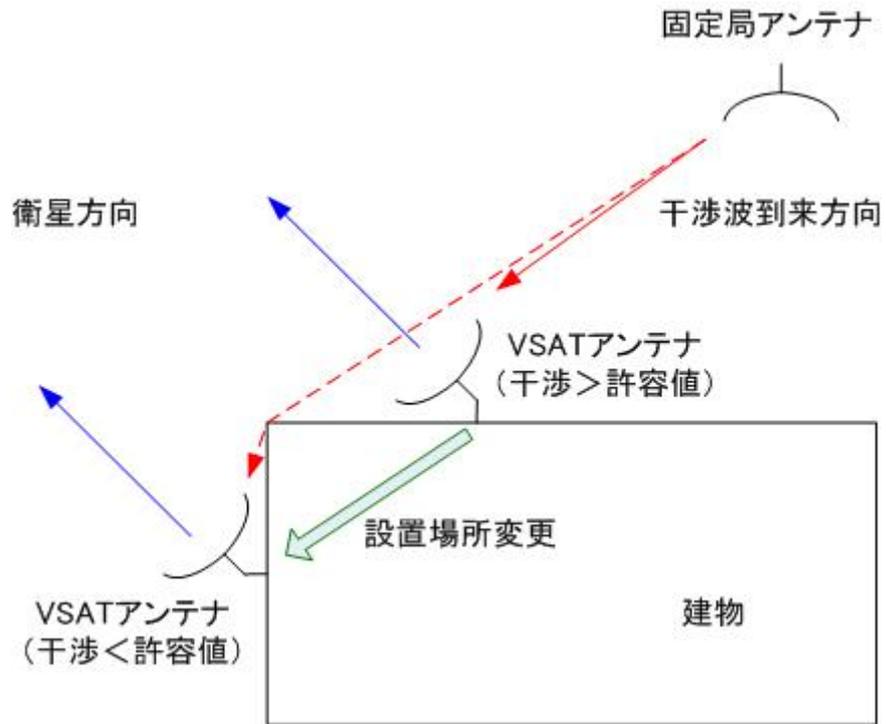
15.4 a) locations of transmitting stations and, where the nature of the service permits, locations of receiving stations shall be selected with particular care;

15.6 c) the choice and use of transmitters and receivers shall be in accordance with the provisions of Article 3;

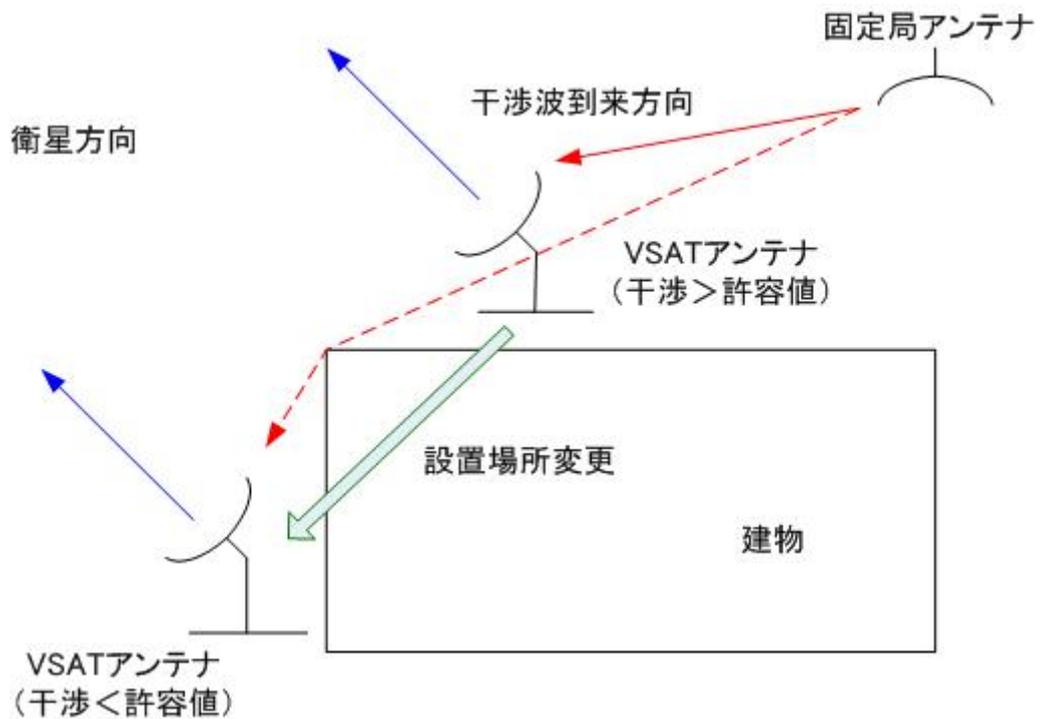
21.1 § 1 Sites and frequencies for terrestrial stations and earth stations, operating in frequency bands shared with equal rights between terrestrial radiocommunication and space radiocommunication services, shall be selected having regard to the relevant ITU-R Recommendations with respect to geographical separation between earth stations and terrestrial stations.

以上

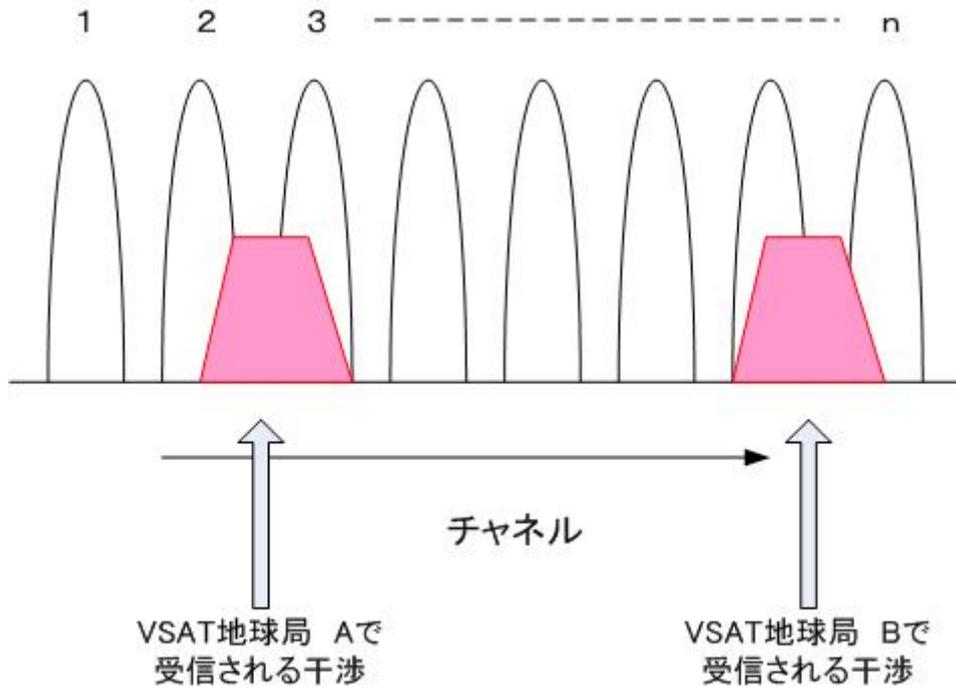
別図1 ベランダ設置の場合の設置場所変更による干渉回避



別図2 地上設置の場合の設置場所変更による干渉回避



別図3 周波数割当での干渉回避



VSAT 地球局 A には、チャンネル 2 及び 3 以外のチャンネルを割り当て、
VSAT 地球局 B には、チャンネル(n-1)及び(n)以外のチャンネルを割り当てる

人工衛星局の 12 GHz ダウンリンクから固定局への与干渉検討について

1. 地表電力束密度の検討

人工衛星局のダウンリンクの地表面における電力束密度の許容値は無線通信規則(Radio Regulations)第 21.16 号及び電波法施行規則別表 2 号の 5 に規定されている。

それによると、12.2-12.75 GHz を送信する対地静止衛星で、衛星方向の仰角が 25 度を超える場合の制限値は-138 dBW/4 kHz・m²とされている。

ここでは、我が国を4つのビームで覆う衛星の例で検討する。日本のサービスエリアにおいて衛星仰角は 30 度を超えるため、上記制限値に従う必要がある。このため、本資料において当該衛星について地表面における電力束密度の計算結果を以下に示す。

衛星ダウンリンクの諸元の例

- ・中継器 EIRP(4dB 出力バックオフ) 56.4 dBW/57.375 MHz、換算すると 14.8 dBW/4 kHz
- ・衛星方向の仰角 40 度(平均的な値)
- ・衛星までの距離 37,800 km

4 kHz あたりの電力束密度は、次式から計算できる。

$$\begin{aligned}
 Pf &= 10 \text{ Log} (EIRP/4 \pi d^2) = EIRP[dBW] - 10 \text{ Log} (4 \pi d^2) \\
 &= 14.8 - 10 \text{ Log} (4 \times 3.14 \times 37,800,000 \times 37,800,000) \\
 &= 14.8 - 10 \text{ Log} (1.79 \times 10^{16}) \\
 &= 14.8 - 162.5 \\
 &= -147.7 \text{ dBW/4 kHz} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

この計算結果は、制限値より約 10 dB 低い値であり、制限値を十分に満足しているといえる。従って、上記に例示したような条件において、衛星から送信される電波は、日本国内の地上の無線通信業務に有害な混信を与えるものではない。

2. 干渉信号レベルの検討

上記と同じ衛星ダウンリンクを例にとり、固定業務の局のアンテナが衛星方向を向いている場合の衛星からの干渉信号レベルを試算する。

衛星までの距離 37,800 km の自由空間伝播損失は、次式から計算できる。

$$\begin{aligned}
 L_p &= 10 \text{ Log}(4 \pi d / \lambda)^2 \\
 &= 10 \text{ Log}(4 \times 3.14 \times 37,800,000 / (0.3 / 12.2))^2 \\
 &= 205.7 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

衛星の中継器 EIRP は 14.8 dBW/4 kHz であり、固定局のアンテナ利得を 53.3 dBi とすると、受信干渉信号レベルは、次のとおりとなる。

$$P_u = 14.8\text{dBW}/4\text{kHz} - 205.7\text{dB} + 53.3\text{dBi} = -137.6 \text{ dBW}/4\text{kHz} = -107.6 \text{ dBm}/4 \text{ kHz}$$

電波法関係審査基準別紙2第2の4(5)「12 GHz 帯(12.2 GHz から 12.5 GHz まで)の周波数の電波を使用して通信系を構成する固定局」の表 6「占有周波数帯幅の許容値、電波の形式及び受信電力」及び表 10「混信保護値」を参照したところ、固定局のアンテナが衛星に正対した場合は、衛星ダウンリンク信号の受信レベルを試算したところ、固定局の混信保護値を満たさないことが分かった。

そこで、固定局の混信保護値を満足するために必要な固定局アンテナの衛星方向からの離角について、固定局の希望波伝搬路の降雨減衰量が、衛星から固定局への干渉波伝搬路の降雨減衰量より 10dB 多く、希望波／干渉波比が晴天時より 10 dB 劣化しているという、より厳しい状況を想定して検討したところ、次表に示すとおりとなった。

表 混信保護値を満たす固定局アンテナの衛星方向からの離角

変調方式	占有周波数帯幅 (MHz)	標準受信入力 (dBm)	干渉信号入力 (dBm)	希望波/干渉波比 (dB)	混信保護値 (dB)	所要指向性減衰量 (dB)	固定局アンテナ正面からの離角 (度)
4PSK	5.0	-59.0	-76.6	17.6	25.9	18.3	2.2
4PSK	9.0	-56.0	-74.1	18.1	25.9	17.8	2.1
4PSK	13.5	-54.0	-72.3	18.3	25.9	17.6	2.1
16QAM	11.5	-52.0	-73.0	21.0	34.0	23.0	2.4
16QAM	14.0	-51.0	-72.2	21.2	34.0	22.8	2.4
128QAM	19.0	-50.0	-70.8	20.8	41.8	31.0	3.1

なお、固定局の標準受信空中線特性は、正面からの角度が 2.5 度までの範囲は次のとおりである。

$$G = 53.3 - 3.89 \theta^2$$

また、正面からの角度が 2.5 度から 48 度までについては、軸外放射電力の計算式と等価有効輻射電力の差分から、指向性減衰量は次式のとおりである(128QAM の計算に適用)。

$$G_{\text{diff}} = 53.3 + 24.8 - 58 + 22.5 \log \theta = 20.1 + 22.5 \log \theta$$

以上の検討から、固定局のアンテナの指向方向が衛星の方向から3.1度以上離れていれば、混信保護値を満足するという結論が得られた。

わが国をサービスエリアとし、12 GHz 帯のダウンリンクを有する衛星は国際通信の提供を主眼とする衛星を除くと、東経 110 度から 162 度の静止衛星軌道上にあり、わが国からの仰角は少なくとも 30 度である。これらを勘案すると、固定業務の局のアンテナの仰角が 26.9 度以下であれば、方位角に関わらず混信保護比を満足する。

以上

用語集

アクティブフェーズドアレー アンテナ	平面上に多数の小さなアンテナを備えることで機械的な首振り動作を必要としないアンテナ
誤り訂正	送信時に専用の符合を付加することで、誤りが発生した際、受信側で訂正可能とする処理を行えるようにすること
アンテナ利得	与えられたアンテナの入力部に供給される電力に対する、与えられた方向において同一の距離で同一の電界を生ずるために基準空中線の入力として必要とする電力の比
位相変調	搬送波の位相を信号波に応じて変化させる変調方式
一次業務	混信防止等の観点から、周波数の使用及び割当てが他の業務に優先される業務
干渉雑音	異なる波動が同一地点に到達したとき、波動の位相が合成されて強めあったり弱めあったりすることで正常な通信又は信号処理を妨げる望ましくない信号
狭帯域化	使用する電波の占有帯域幅を狭くすることにより、より多くの通信を可能とする周波数有効利用技術
キャリア	搬送波
仰角	水平からその角度分だけ上に向けた角度
許容偏差	発射によって占有する周波数帯の中央の周波数の割当周波数からの許容することができる最大の偏差又は発射の特性周波数の基準周波数からの許容することができる最大の偏差
近傍界	遠方界（電磁波源からの距離が、 $2D^2/r$ 又は $r/2\pi$ のいずれよりも遠い領域にあり、反射又は散乱がない状態の電磁界）とならない領域の電磁界
空中線電力	送信機から空中線（アンテナ）系に供給される電力
交差偏波識別度	直線偏波における垂直と水平、或いは円偏波における左回りと右回りの電波を識別する能力を表わしたもので、アンテナの性能を表す重要な指標
広帯域	ブロードバンド
軸外輻射電力	地球局の主輻射方向以外の方向の輻射電力
指向性	電波の放射方向と放射強度との関係
自由空間伝搬損失	送受信アンテナ間の伝搬路が、大地やその他の障害物の影響を受けない自由空間であると仮定したとき、電波の拡散に伴って生じる損失
周波数変調	搬送波の周波数を信号波の瞬時電圧に応じて変化させる変調方式
振幅位相変調 (APSK)	ASK (振幅偏移変調)と PSK (位相偏移変調)の複合変調であり搬送波の振幅と位相を同時に変調する方式
スパンロス	自由空間損失
スプリアス領域	必要周波数帯外における一又は二以上の周波数の電波の発射であって、そのレベルを情報の伝送に影響を与えないで低減することができるものをいい、高調波発射、低調波発射、寄生発射及び相互変調積を含み、帯域外発射を含まないもの

スペクトラムアナライザ	機器や回路からの出力信号をそれらの周波数成分に分離して観測する周波数分析器
スペクトル拡散	デジタル信号を拡散符号と呼ばれる信号によって元の信号より広い帯域に拡散させた上で送信し、受信側で同じ拡散符号によって元のデジタル信号を復元すること
占有周波数帯幅	その上限の周波数をこえて輻射され、及びその下限の周波数未満において輻射される平均電力がそれぞれ与えられた発射によって輻射される全平均電力の〇・五パーセントに等しい上限及び下限の周波数帯幅。ただし、周波数分割多重方式の場合、テレビジョン伝送の場合等〇・五パーセントの比率が占有周波数帯幅及び必要周波数帯幅の定義を実際に適用することが困難な場合においては、異なる比率によることができる
送信空中線利得(絶対利得)	基準空中線が空間に隔離された等方性空中線であるときの与えられた方向における空中線の利得
第三地域	アジア・オセアニア地域
帯域外領域	必要周波数帯の外側の帯域外発射が支配的な周波数帯
ダウンリンク	人工衛星から地球局にむけて送信される回線
畳込み符号	誤り訂正符号(FEC)の一種
地球局	宇宙局と通信を行ない、又は受動衛星その他の宇宙にある物体を利用して通信(宇宙局とのものを除く。)を行なうため、地表又は地球の大気圏の主要部分に開設する無線局
中継器	人工衛星に搭載され、地球局からの電波を受信・増幅した後、周波数変換して再度地球局へ向けて送信するための無線装置
チャンネル	種々の情報伝送のために利用できる通話路または通信路
直交周波数分割多重方式(OFDM)	多数の搬送波を使用し、変調する信号波の位相が隣り合う搬送波間で直交するようにし、搬送波の帯域を一部重ね合わせて周波数帯域を有効利用する方式
直交振幅変調(QAM)	直交する(位相差 90 度)二つの搬送波を振幅変調するもので、限られた伝送帯域内で、高能率の伝送を行うためのデジタル変調方式
電力束密度	電波伝搬において、伝搬方向に対して直角な単位面積内を通過するエネルギー
電力密度	単位面積あたりの電力
等価等方輻射電力(EIRP)	アンテナに供給される電力と、与えられた方向における等方性アンテナの絶対利得との積
バックオフ	非直線性の影響をさけるために出力電力を飽和出力より下げて動作させること
バターワース型フィルタ	通過帯域が数学的に可能な限り平坦な周波数特性となるよう設計されているフィルタ
搬送波	信号を伝達するための媒体として使用される一定周波数の持続波
必要周波数帯幅	与えられた発射の種別について、特定の条件のもとにおいて、使用される方式に必要な速度及び質で情報の伝送を確保するために十分な占有周波数帯幅の最小値
フォワードリンク	主たる地球局から衛星を介して従たる地球局へ情報を伝送する際の方向
不要発射	スプリアス発射及び帯域外発射
ベースバンド信号	変調信号
ホーンアンテナ	導波管の特性インピーダンスを空間のインピーダンスと整合させるために、開口部を徐々に広げたラッパ型のアンテナ
マルチパス	基地局から送信された電波が建物や地形などの障害によって反射・回折し、端末が複数

	の経路から同じ電波を受信してしまうこと。多重波伝送路
ロールオフフィルタ	デジタル伝送におけるフィルタの一種で、ロールオフ率によって特性が変化するもの
離角	観測点(地球)から見た、二つの天体間の角距離
リターンリンク	従たる地球局から衛星を介して主たる地球局へ情報を伝送する際の方向
CI-OFDM 伝送	CI 変調により OFDM のピーク電力を削減する技術
C/N	受信機入力端における受信波の搬送波電力と雑音電力の比
DVB-S	衛星デジタル放送用の公開標準規格
DVB-S2	DVB-S の後続規格。効率のよい誤り訂正符号、16 値以上の多値変調などを導入
Ku 帯	12～18GHz の周波数帯
ISDB-S	衛星デジタル放送用の方式
MPEG-2	映像データの圧縮方式の一つ
HDTV	高精細度テレビジョン放送。概ね従来の標準放送 (NTSC、PAL、SECAM などの方式) の 2 倍程度の走査線を持つもの
OFDM 方式	直交周波数分割多重方式
SNG	パラボラアンテナなどの送信機器を積んだ車載局や可搬局を取材現場に送り、そこから通信衛星を経由して送信スタジオにニュース素材を送るシステム