

情報通信審議会 情報通信技術分科会
放送システム委員会
4 K ・ 8 K 用 F P U 作業班
報告

目次

1	背景	1
1. 1	4 K・8 Kの促進に向けた取り組み	1
1. 2	F P Uの高度化に関する技術	1
1. 3	F P Uの高度化に求める要件	3
2	F P Uの高度化に係る検討項目	4
3	技術的条件	6
3. 1	一般的条件	6
3. 2	電波の質及び無線設備の技術的条件	8
3. 3	その他の技術的条件	10
3. 4	回線品質	11
3. 5	空中線電力と回線設計	12
3. 6	干渉検討	12
3. 7	測定方法	27

参考資料

参考資料 1	高度化による伝送特性の改善効果	30
参考資料 2	実機による伝送実験の結果	32
参考資料 3	4 K・8 K用F P Uの運用モデル	34
参考資料 4	4 K・8 K素材伝送に必要なビットレート	36
参考資料 5	最大伝送容量の検討	45
参考資料 6	キャリア変調方式の検討	52
参考資料 7	C/N 配分	62
参考資料 8	回線設計例	63
参考資料 9	所要フェージングマージン、降雨減衰マージン	78
参考資料 1 0	共用検討の考え方	84
参考資料 1 1	共用検討の結果	86
参考資料 1 2	電波防護指針への適合性	110

超高精細度テレビジョン放送のためのマイクロ波帯を使用する放送事業用無線局（FPU） の技術的条件

1 背景

1. 1 4K・8Kの促進に向けた取り組み

超高精細度テレビジョン放送（4K・8K）については、「放送サービスの高度化に関する検討会」（座長：須藤 修 東京大学大学院教授、平成24年11月～平成25年6月）において、4K・8Kの推進に関するロードマップが策定され、本ロードマップを元に、「4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合」（座長：伊東 晋 東京理科大学理工学部教授）において、ロードマップの更なる具体化、加速化及び課題解決のための具体的方策について検討がなされた。

本会合においては、平成27年7月に第二次中間報告を公表し、平成32年（2020年）には4K・8K放送が一般視聴者にも広く普及するよう、平成30年（2018年）のBS・110°CSによる4K・8K実用放送の開始などの目標が示されており、平成28年8月には、BSによる試験放送が開始されたところである。

このような状況の中、番組伝送用の放送事業用無線局（FPU¹）についても、4K・8K素材伝送に対応した高伝送ビットレートをもつシステムが必要となるため、今般、現行の地上デジタル放送において主に使用されているマイクロ波帯²を使用するFPUの高度化を図るため、必要な技術的条件の検討を行った。

1. 2 FPUの高度化に関する技術

現在のマイクロ波帯FPUの周波数は、1チャンネルあたりの占有帯域幅が17.5MHz、チャンネル間隔が18MHzで割り当てがなされている。このチャンネル割り当てを変えずに4K・8K用FPUを実現するためには、伝送効率を飛躍的に向上させる必要がある。

そこで、水平偏波と垂直偏波を同時に用いる偏波MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）技術と超多値OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）を組み合わせた大容量伝送技術をマイクロ波帯FPUに導入する。

偏波MIMO技術とは、同じチャンネルの水平偏波と垂直偏波を同時に使用し、それぞれ異なる情報を伝送する技術で、伝送容量を2倍にすることができる。これに対して超多値OFDMはサブキャリアの変調多値数を大幅に拡大することで一つのキャリアシンボル内で伝送できる情報量を増加させる技術である。

¹ Field Pick-up Unit。

² 6GHz帯、6.4GHz帯、7GHz帯、10GHz帯、10.5GHz帯及び13GHz帯の周波数。

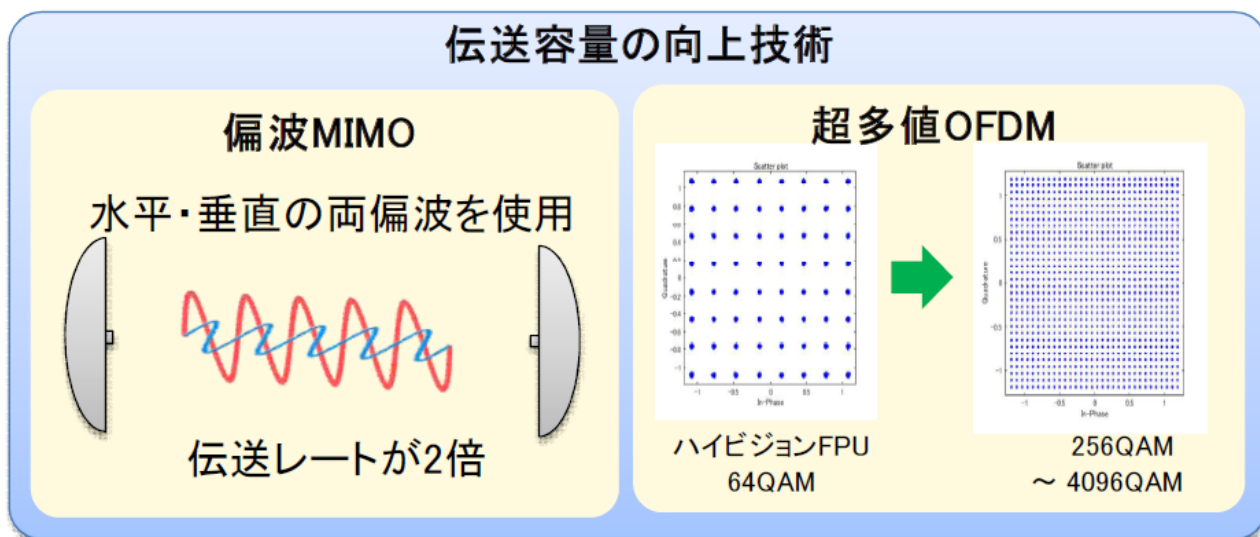


図 1. 1 伝送容量を向上させる技術のイメージ

これまでのハイビジョン放送（2 K）の規格では変調多値数が最大64（6bit/symbol）であり、この場合のOFDM のサブキャリアの変調方式は64QAM である。これに対して、4 K・8 K用F P U では、変調多値数を最大4096（12bit/symbol）としてOFDM のサブキャリアの変調方式に4096QAM を導入することでOFDM 方式の1 つのキャリアシンボルで伝送するビット数を2 倍にすることができる。偏波MIMO 技術と超多値OFDM 技術の両者を組み合わせることにより、現在の2 K用F P U の伝送容量を4 倍程度に拡大することができる。

また、耐マルチパス特性を向上させるためのガードインターバルは情報伝送の観点からは冗長であり伝送効率を低下させる。このため、OFDM のシンボル長に対してガードインターバル長が占有する割合を下げることで伝送容量を拡大することができる。

4 K・8 K用F P U では、従来の2 K用OFDM 方式の有効シンボル長 $100.14\mu\text{s}$ （FFT ポイント数2048）を4 倍の $400.57\mu\text{s}$ （FFT ポイント数8192）に拡大するパラメータを導入することで、伝送容量をさらに2 割程度拡大することができる。

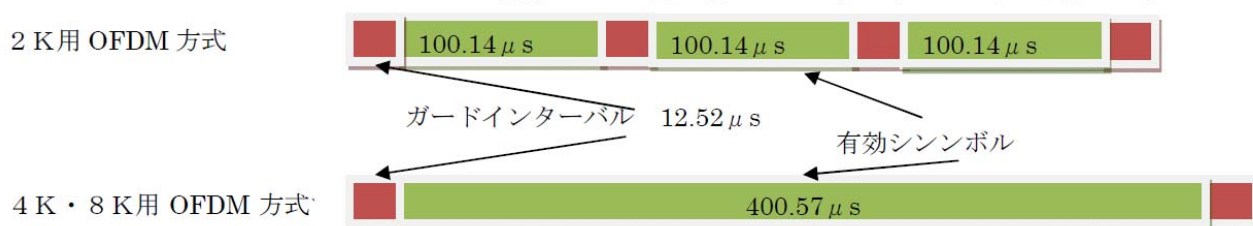


図 1. 2 OFDM 方式の有効シンボル長を4 倍に拡大する技術

さらに、変調多値数を増加させると所要C/Nが増大することになり、耐干渉性が低くなるため、誤り訂正符号の高度化も必要となる。誤り訂正符号には、シャノン限界に近い優れた性能を持つことで知られているLDPC（Low Density Parity Check）符号を採用することで、変調多値数の増加に伴う所要C/Nの増加を軽減することができる（参考資料 1）。LDPC 符号は従来の畳み込み符号に比べて訂正能力が高いので、冗長ビットが少ないBCH（Bose-

Chaudhuri-Hocquenghem) 符号を外符号とするシステムが構築できる。

これらの技術を用いた試作機による伝送実験も実施されており、8Kの映像信号をH.264方式で180Mbit/sの伝送レートに圧縮符号化し、1024QAM及び4096QAMのキャリア変調で送信した場合、60km程度の伝送が可能となるような結果も得られている(参考資料2)。

1. 3 FPUの高度化に求める要件

現行のマイクロ波帯FPUは、地域毎に各放送事業者のチャンネル割当てが決められた中で運用されている。特に、マイクロ波帯FPUは緊急報道等でも使用されるため、隣接チャンネルへの影響も考慮して運用されていることから、4K・8K用FPUにおいても、現行のFPUとの共存を図るために、現行のマイクロ波帯FPUにおいて各免許人に割当てられた周波数チャンネルと同一周波数の繰り返し利用をすることに加え、占有周波数帯域幅及び送信電力等の電波の質に関わる技術的条件は、現行のマイクロ波帯FPUと同一のものとすることが前提となる。

(1) 4K・8K用FPUに求める要件

①伝送

- ・4K・8K放送の番組素材としての品質を維持できるよう、映像ビットレートで200～300Mbit/s級の伝送を可能とする。
- ・移動中継でも8K放送の番組素材伝送を可能とする。
- ・現行のFPUと同等の運用形態を想定することから、建物などの反射によるマルチパスフェージング環境下での利用を可能とする。

②伝搬距離

- ・固定中継において0.1km～50kmの伝搬距離を確保できること。
- ・移動中継において0.1km～4kmの伝搬距離を確保できること。

(2) 運用形態

4K・8K用FPUは、現行のマイクロ波帯FPUと同じ運用形態を想定する(参考資料3)。

現行のマイクロ波帯FPUは事件、事故等の緊急報道やスポーツ、イベント等の一般番組の番組素材を演奏所まで伝送する際に使用されており、800MHz帯³や1.2/2.3GHz帯のFPUに比べて高い周波数となることから、基本的には送受信機が見通し内にある環境で利用される。

具体的な運用モデルとしては、取材現場付近に停車した中継車から受信基地局又は演奏所への伝送、ヘリから受信基地局や演奏所への伝送、移動するカメラに取り付けた送信装置から中継車への伝送、また、ロードレースの中継においては、中継車を追走するバイクから中継車への伝送においても使用されている。

4K・8K用FPUの技術的条件の検討にあたっては、これらの利用実態を踏まえ、固

³ 使用期限は平成31年3月31日まで。

定中継と移動中継の2つの運用モデルを作成し、さらに、固定中継においては、主に緊急報道を想定した 200 Mbit/s級の標準画質映像の伝送及びスポーツ等の一般番組を想定した 300 Mbit/s級の高品質映像の伝送の2つに分けることとした。運用モデルを表1. 1に示す。

表1. 1 4K・8K用FPUの運用モデル

モデル	利用用途	送信 空中線	受信空中線	伝搬距離 (標準回線距離)	見通し外 通信の有無	伝送レート	利用番組
固定中継 (標準)	主に報道取材現場などの 撮影現場からFPU基地局 または放送局までの中・長 距離伝送する標準的な用 途	パラボラφ 0.6m	仮設 パラボラφ0.6m 基地局 パラボラφ1.2m	50km(B,C,D帯) 7km(E,F帯) 5km(G帯)	無	200 Mbit/s	報道番組、 スポーツ中 継など
固定中継 (高品質)	主に撮影現場からスイッ チングセンターまで、高品質 な番組素材を短・中距離 伝送する用途	パラボラφ 0.6m	仮設 パラボラφ0.6m 基地局 パラボラφ1.2m	16km(B,C,D帯) 2km(E,F帯) 2km(G帯)	無	300 Mbit/s	音楽番組、 スポーツ中 継、ドラマ 番組など
移動中継	主にマラソンなどのロード レース中継や報道中継用 として、中継車から受信基 地等までを移動しながら 短・中距離伝送する用途。	電磁ホー ン	パラボラφ0.3m	4km(B,C,D帯) 3km(E,F帯) 3km(G帯)	無	150 Mbit/s	ロードレー ス中継、報 道番組など

2 FPUの高度化に係る検討項目

FPUの高度化に際して、現行の技術基準の改定を要する項目は下表のとおりであり、占有周波数帯域幅や送信電力、スペクトル特性等の電波の質を変えずにビットレートを上げるための技術基準の改正について検討を行った。

	技術基準	現行FPU (OFDM方式)	4K・8K用FPU
1	無線周波数 帯	6GHz帯 (B帯)、6.4GHz帯 (C帯)、7GHz 帯 (D帯)、10GHz帯 (E帯)、10.5GHz帯 (F帯) 及び 13GHz帯 (G帯)	変更なし (現行のマイクロ波帯FPU において各免許人に割当てられたチャ ンネルへの導入を前提とする。)
2	通信方式	単向通信方式	変更なし
3	電波の型式	X7W	変更なし
4	最大伝送容 量	105Mbit/s (フルモード) 51Mbit/s (ハーフモード)	超高精細度テレビジョン放送用途 (高 品質伝送) での利用を可能とするため、 以下の規定に変更 412 Mbit/s (フルモード) 202 Mbit/s (ハーフモード)

5	空間多重方式	未検討	MIMOの導入
6	キャリア変調方式	64QAM、32QAM、16QAM、QPSK、DQPSK、BPSK、DBPSK	4096QAM、1024QAM、256QAMを追加
7	周波数の許容偏差	7×10^{-6} 以下	変更なし
8	占有周波数帯幅	17.5MHz以下（フルモード）、 8.5MHz以下（ハーフモード）	変更なし
9	誤り訂正	以下を基本とする。 固定伝送（64QAM-OFDM） 内符号：畳み込み（5/6） 外符号：リードソロモン（204, 188） 移動伝送（16QAM-OFDM） 内符号：畳み込み（3/4） 外符号：リードソロモン（204, 188）	以下を基本とする。 固定伝送（標準）（1024QAM-OFDM） 内符号：LDPC（2/3） 外符号：BCH 固定伝送（高品質）（4096QAM-OFDM） 内符号：LDPC（5/6） 外符号：BCH 移動伝送（64QAM-OFDM） 内符号：LDPC（5/6） 外符号：BCH
10	C/N及びC/N配分	固定伝送：28 dB 移動伝送：22 dB	固定伝送（標準）：27.1 dB 固定伝送（高品質）：37.1 dB 移動伝送：21.2 dB
11	瞬断率規格、不稼働率規格	所要の伝送パラメータ等を定めるための目標値として以下を提示 固定伝送 0.5（%/年）以下（B～D帯） 1.25×10^{-3} （%/年）以下（E～G帯） 移動伝送 0.5（%）以下（B～D帯） 0.5（%）以下※ ¹ （E～G帯）	変更なし
12	回線設計と空中線電力	標準受信電力 固定伝送：-55 dBm 移動伝送：-61 dBm 空中線電力 10.6～10.68GHz以外：0.2W（5W）※ ² 10.6～10.68GHz：0.2W（0.5W）※ ²	標準受信電力 固定伝送（標準）：-55 dBm 固定伝送（高品質）：-45 dBm 移動伝送：-62dBm 空中線電力 変更なし
13	空中線電力の許容値	上限：20%以内 下限：50%以内	変更なし
14	送信スペク	フルモード	変更なし

	トルマスク	$f_0 \pm 9$ MHz 以上で -37 dB 以下 ハーフモード $f_0 \pm 4.5$ MHz 以上で -37 dB 以下	
15	スプリアス及び不要発射	帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値 100 μ W 以下 スプリアス領域における不要発射の強度の許容値 50 μ W 以下	変更なし
16	偏波	直線（水平又は垂直）、円	水平及び垂直の組合せ、右旋及び左旋の組合せを追加
17	他の無線システムとの干渉検討	アナログ方式の F P U、シングルキャリア方式のデジタル F P U との共用を前提に、隣接チャンネルでの利用可能性について検討	現行のデジタル F P U 並びに同一周波数帯及び隣接周波数帯を使用する他の無線システムとの共用条件（所要離隔距離）について検討
18	測定法	-	MIMO 伝送を想定した測定項目及び測定方法を検討

※1 降雨による回線瞬断率。これに加え、マルチパスフェージングによる回線瞬断率も 0.5% 以下とする。

※2 隣接チャンネルでアナログ回線が使用されていないことが確認できる等、既設アナログ回線との間で干渉等の問題がない場合には括弧内の値とする。

3 技術的条件

3.1 一般的条件

(1) 無線周波数帯

現行規定のとおり、Bバンド（5,850 MHz～5,925 MHz）、Cバンド（6,425 MHz～6,570 MHz）、Dバンド（6,870 MHz～7,125 MHz）、Eバンド（10.25 GHz～10.45 GHz）、Fバンド（10.55 GHz～10.68 GHz）及びGバンド（12.95 GHz～13.25 GHz）とする。

(2) 通信方式

現行規定のとおり、単向通信方式とする。

(3) 伝送容量

4K・8Kの番組素材伝送に必要な最小の映像ビットレートについては、ARIBのデジタル放送システム開発部会映像符号化方式作業班と素材伝送開発部会地上無線素材伝送作業班傘下に設置された、素材伝送用 HEVC コーデック評価 JTG において、ITU-R 勧告 BT.500-13 (01/2012) に規定された二重刺激連続品質尺度 (DSCQS) 法による画質評価が行われており、この評価結果（参考資料4）を踏まえ、次の3つの条件を検討した。

- ① 標準画質伝送の場合
（フルモード）

映像ビットレートは 188 Mbit/s、TS ビットレートは 200 Mbit/s。

(ハーフモード)

映像ビットレートは 87 Mbit/s、TS ビットレートは 100 Mbit/s。

② 伝送品質重視の高品質伝送の場合

(フルモード)

映像ビットレートは 285 Mbit/s、TS ビットレートは 300 Mbit/s。

(ハーフモード)

映像ビットレートは 135 Mbit/s、TS ビットレートは 150 Mbit/s。

③ 移動中継の場合

(フルモード)

映像ビットレートは 140 Mbit/s、TS ビットレートは 150 Mbit/s。

(ハーフモード)

映像ビットレートは 72 Mbit/s、TS ビットレートは 75 Mbit/s。

実際の映像伝送においては、キャリア変調後にパイロット信号や制御信号 (TMCC、AC) が、OFDM 信号生成後にガードインターバルが付加されるため、4K・8K 用 F P U に必要な最大伝送容量は、高品質伝送を想定して、フルモードの場合は 412 Mbit/s、ハーフモードの場合は 202 Mbit/s とする (参考資料 5)。

(4) 変調方式

高ビットレートの映像データを安定的に伝送することが求められるため、直交周波数分割多重方式 (OFDM) とする。各キャリアの変調方式は、(3) の伝送容量を満足するものを選択した (参考資料 6)。

① 固定中継用

4096 値直交振幅変調 (4096QAM) 方式又は 1024 値直交振幅変調 (1024QAM) 方式を基本とする。ただし、伝搬路の状態によっては、256 値直交振幅変調 (256QAM) 方式、64 値直交振幅変調 (64QAM) 方式、32 値直交振幅変調 (32QAM) 方式、16 値直交振幅変調 (16QAM) 方式、4 相位相変調 (QPSK) 方式、差動 4 相位相変調 (DQPSK) 方式、2 相位相変調 (BPSK) 方式又は差動 2 相位相変調 (DBPSK) 方式も使用可能とする。

② 移動中継用

64 値直交振幅変調 (64QAM) 方式を基本とする。ただし、伝搬路の状態によっては、32 値直交振幅変調 (32QAM) 方式、16 値直交振幅変調 (16QAM) 方式、4 相位相変調 (QPSK) 方式、差動 4 相位相変調 (DQPSK) 方式、2 相位相変調 (BPSK) 方式又は差動 2 相位相変調 (DBPSK) 方式も使用可能とする。また、短距離伝送等の場合は、送信出力の上限を超えない範囲で 4096 値直交振幅変調 (4096QAM) 方式、1024 値直交振幅変調 (1024QAM) 方式又は 256 値直交振幅変調 (256QAM) 方式も使用可能とする。

3. 2 電波の質及び無線設備の技術的条件

4K・8K 用 F P U は現行の F P U と周波数を共用することが前提となるため、中継方式、占有周波数帯域幅の許容値、クロック周波数、周波数の許容偏差、送信電力スペクトル特性、等価雑音帯域幅、雑音指数、受信ろ波特性、空中線電力及び静止衛星軌道に対する等価等方輻射電力の制限は、現行の規定のとおりとし、次のように定めることが適当である。なお、クロック周波数については、運用形態や伝搬環境等により伝送ビットレートが変わることから、現行の規定のとおり、一意に定めないこととする。

(1) 中継方式

原則として T S 信号中継方式であること。

ただし、運用上 T S 信号中継方式の使用が困難な場合で、所要の回線品質を満足する範囲において、I F 信号中継方式及び直接中継方式も使用することができるものとする。

(2) 占有周波数帯域幅の許容値

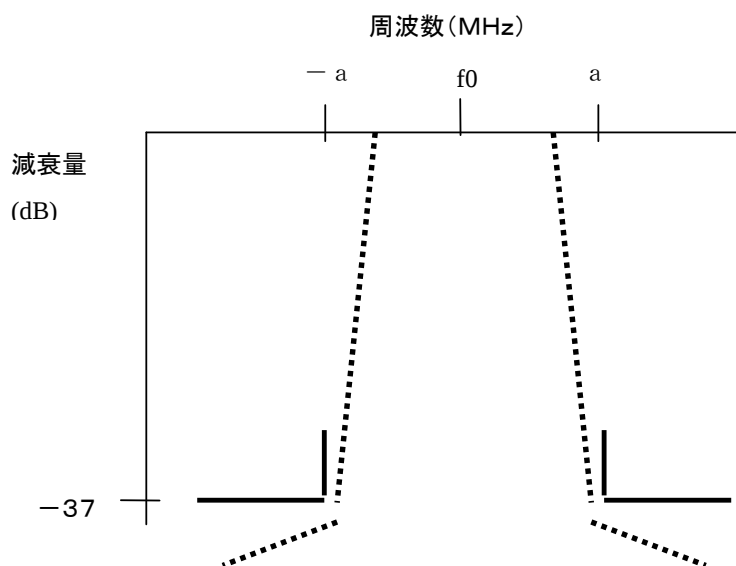
フルモードで 17.5 MHz 以下、ハーフモードで 8.5 MHz 以下とする。

(3) 周波数の許容偏差

送信周波数の許容偏差は 7×10^{-6} 以下とする。

(4) 送信電力スペクトル特性

以下に示す側帯波分布を超えないものとする。



フルモード : $a = 9 \text{ MHz}$

ハーフモード : $a = 4.5 \text{ MHz}$

(5) 等価雑音帯域幅

フルモードで17.5MHz以下、ハーフモードで8.5MHz以下とする。

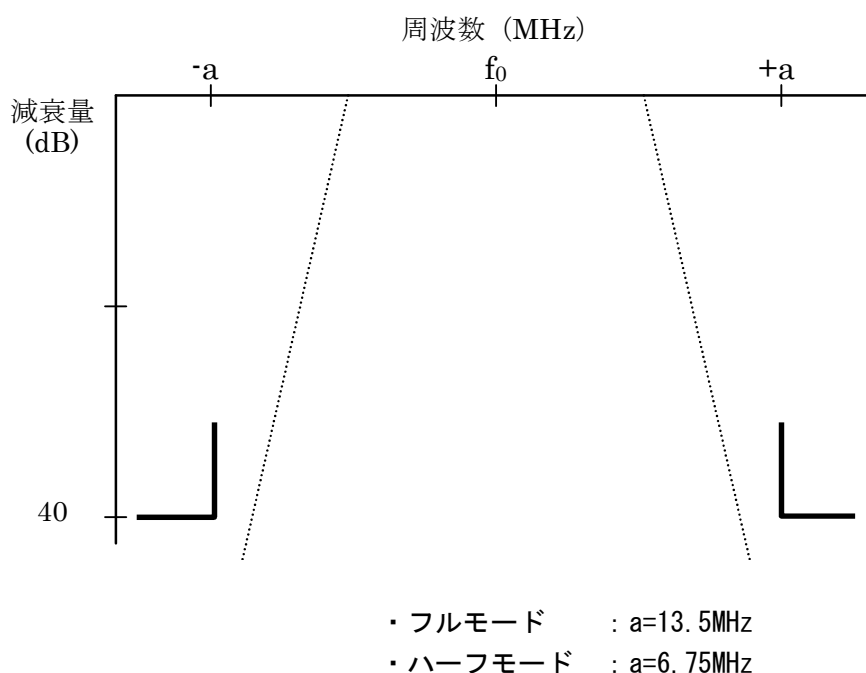
(6) 雑音指数

以下のとおりとする。

使用周波数帯	雑音指数
Bバンド(5,850 ~ 5,925MHz)	4 dB以下
Cバンド(6,425 ~ 6,570MHz)	〃
Dバンド(6,870 ~ 7,125MHz)	〃
Eバンド(10.25 ~ 10.45GHz)	〃
Fバンド(10.55 ~ 10.68GHz)	〃
Gバンド(12.95 ~ 13.25GHz)	5 dB以下

(7) 受信ろ波特性（高周波ろ波器の特性に、中間周波数帯およびデジタル部のろ波器特性を加えたもの）

以下のとおり規定する。



(8) 空中線電力

最大空中線電力は、下表のとおりとす。なお、この表において、隣接チャンネルでアナログ回線が使用されていないことが確認できる等、既設アナログ回線との間で干渉等の問題がない場合には括弧内の値とする。

	フルモード	ハーフモード
--	-------	--------

10.6～10.68GHz 以外	0.2W (5W)	0.1W (2.5W)
10.6～10.68GHz	0.2W (0.5W)	0.1W (0.25W)

(9) 静止衛星軌道に対する等価等方輻射電力の制限

現行の規定のとおり、以下の値を満足するものとする。

周波数帯	等価等方輻射電力の制限
B～D バンド	B～D バンド 最大輻射方向と対地静止衛星軌道との離角が2度以内の場合には、等価等方輻射電力が35dBW以下とする。
G バンド	最大輻射方向と対地静止衛星軌道との離角が1.5度以内の場合には、等価等方輻射電力が45dBW以下とする。

3. 3 その他の技術的条件

(1) 空中線

ア 偏波

4K・8K用FPUでは、現行のFPUの2～4倍程度の伝送ビットレートが求められることから、MIMO伝送による空間多重技術の活用は有効な手段である。しかし、マイクロ波帯のFPUは、基本的に、送受信アンテナ間の伝送路が見通し環境において使用され、また、高利得の指向性アンテナを使用するため、複数の送受信アンテナでMIMO伝送をする場合には、アンテナの間隔を大きくする必要があり、アンテナの設置スペースが問題となる。そこで、偏波共用アンテナを用いることにより、直交する2つの偏波で2ストリームのMIMO伝送が可能となり、伝送容量を拡大することが可能となる。

偏波面は、垂直偏波及び水平偏波の組合せを基本とするが、偏波面の違いに起因する伝搬特性の違いによる影響が顕著になる場合も考慮し、円偏波（右旋円偏波及び左旋円偏波）の組合せも利用できることが適当である。

イ 空中線指向特性

マイクロ波帯FPUは、中継車やヘリコプターへの搭載や、三脚で固定してビルの屋上などに設置したり、中継現場のスタッフが背負って移動したりと様々な運用形態をとり、その運用形態や伝送距離によって使用する空中線の種類や特性が異なる。

また、同一エリアやその周辺では、同一周波数を異なる免許人が使用することは難しく、特定の免許人が免許を受けた周波数チャンネルを専用して使用することになる。

こうした状況から、固定局のような周波数の繰り返し利用は困難なため、空中線指向特性の規定は、現行の規定のとおり、特段定めないこととする。

(2) スプリアス発射及び不要発射の強度の許容値

現行のFPUと同様に、無線設備規則に定める以下の値とする。

帯域外領域における スプリアス発射の強度の許容値	スプリアス領域における 不要発射の強度の許容値
100 μ W 以下	50 μ W 以下

3. 4 回線品質

3. 4. 1 誤り訂正

現行のFPUは通信方式が単向通信であるため、伝送エラーが発生した時に再送要求を送り返すことができない。そのため、生中継における映像素材伝送では、常に送信と受信間の伝送が成立している状態に維持する必要がある。このため、受信側において誤り訂正処理が可能となるよう、送信側で強力な誤り訂正符号機能を付与する必要がある。

現行のFPUでは、外符号としてリードソロモン符号、内符号として畳み込み符号が用いられ、誤り訂正の符号化を二重に行うことで誤り訂正性能の向上を図っているが、4K・8K用FPUでは、内符号としてシャノン限界に近い優れた性能を持つLDPC符号を用いる。LDPC符号は近年、多くの研究機関で研究が行われており、ハードウェア技術の進展もあいまって、盛んに実用化が進められている符号化技術である。また、わずかに残った誤りは、外符号を用いることでエラーフロアを解消する。外符号としては、リードソロモン符号と比べて簡易で符号化効率の高いBCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) 符号を用いることとする。

3. 4. 2 所要C/N

固定中継（標準伝送）の場合、1024QAMの誤り訂正内符号（LDPC 2/3）復号後のビット誤り率 10^{-7} を満足する所要C/Nの理論値は 23.1dB である。これに送受信装置の固定劣化 4dB を加え 27.1dB とした。

固定中継（高品質伝送）の場合、4096QAMの誤り訂正内符号（LDPC 5/6）復号後のビット誤り率 10^{-7} を満足する所要C/Nの理論値は 33.1dB である。これに送受信装置の固定劣化 4dB を加え 37.1dB とした。

移動中継の場合には、64QAMの誤り訂正内符号（LDPC 5/6）復号後のビット誤り率 10^{-7} を満足する所要C/Nの理論値は 17.2dB である。固定中継と同様に、これに固定劣化 4dB を加え 21.2dB とした。

3. 4. 3 C/N配分

C/N配分は、現行のマイクロ波帯FPUに用いている配分比率を参考とし、熱に48%、歪に2%、干渉に50%とし、運用モデル毎に配分を行った（参考資料7）。

3. 4. 4 瞬断率及び不稼働率

一般に瞬断率及び不稼働率に対しては、10GHz 以下ではフェージングが、10GHz 以上では降雨減衰が支配的となる。

現行のマイクロ波 F P U と同様、固定中継においては、フェージングによる年間回線瞬断率は 0.5%、降雨による年間回線瞬断率は 0.00125% とする。

移動中継においては、フェージングによる年間回線瞬断率は 0.5% とする。10GHz 以上の場合には降雨の影響に加えマルチパスフェージングの影響も考慮することとし、それぞれの回線瞬断率は 0.5% とする。

3. 5 空中線電力と回線設計

3. 5. 1 基本的な考え方

F P U は緊急報道からスポーツ中継まで様々な使用形態で運用されるため伝搬路条件や気象条件などが異なり、その都度厳密にフェージング等を考慮した回線設計を行うことができない。このため伝送マージンを現行のマイクロ波帯 F P U (OFDM 方式) と同様に 15dB と定め、前述の運用モデルで使用されるアンテナと標準的な伝送距離により回線設計を行い、必要な空中線電力を算出する。

各運用モデルの標準区間における回線設計例を参考資料 8 に示す。

3. 5. 2 標準受信入力

回線設計の結果から、固定中継(標準)では、標準受信電力は-55dBm、固定中継(高品質)では、-45dBm とする。移動中継の場合は、-62dBm とする。なお、いずれも 1 偏波あたりの受信電力である。

3. 5. 3 空中線電力

空中線電力の許容値は、回線設計の結果から、現行のマイクロ波帯 F P U (OFDM 方式) と同一の値とすることが可能である。なお、偏波 MIMO 利用時は、両偏波を合わせた電力を空中線電力とする。

3. 5. 4 所要フェージングマージン、降雨減衰マージン

所要フェージングマージン及び降雨減衰マージンの考え方は、現行のマイクロ波帯 F P U (OFDM 方式) と同様とする(参考資料 9)。

3. 6 干渉検討

3. 6. 1 干渉検討の考え方

4K・8K 用 F P U は、空中線電力、占有周波数帯幅、サイドローブ特性、スプリアス発射、不要発射の強度の許容値等の電波の質に関する諸元は現行の規定を越えるものではないので、他の無線システムへの与干渉に関する新たな検討は不要であると考えられる。

しかし、所要 C/N が現行 F P U と比較して大きくなることから、他の無線システムからの被干渉に関する共用条件は変わるため、被干渉についてのみ検討を行った。検討対象となる既存の無線システムを表 3. 1 に、周波数割当ての関係を図 3. 1 に、4 K ・ 8 K 用 F P U の受信系の主な諸元を表 3. 2 に示す。

表 3. 1 検討対象の既存無線システム

既存無線システム	周波数帯	周波数関係
狭帯域無線システム (DSRC)	5, 770 - 5, 850MHz	B バンド隣接
固定衛星業務 (アップリンク)	5, 850 - 6, 485MHz	C バンド共用
電気通信業務 (6GHz 帯)	5, 925 - 6, 425MHz	B/C バンド隣接
公共業務 (6. 5GHz 帯)	6, 570 - 6, 870MHz	C/D バンド隣接
映像 STL ⁴ /TTL ⁵ ・TSL ⁶	B, C, D, E, F, G, M, N バンド	B～G バンド共用
現行 F P U	B, C, D, E, F, G バンド	B～G バンド共用

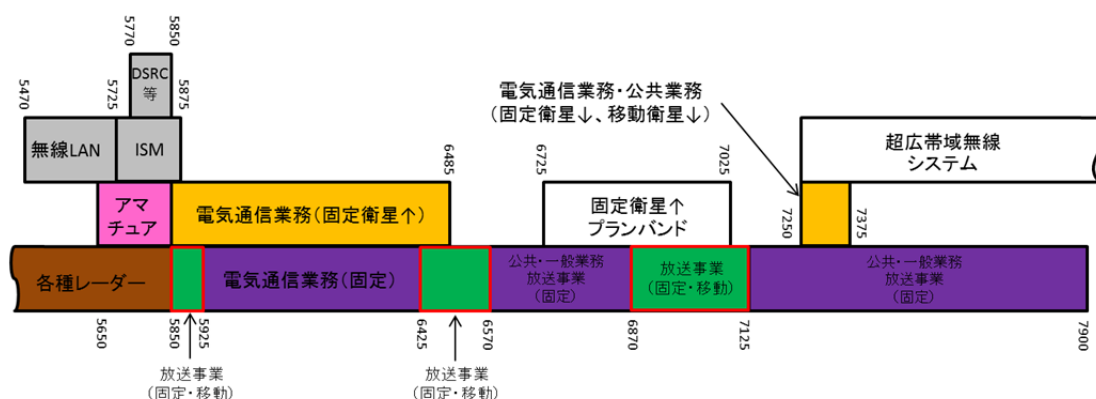


図 3. 1 マイクロ波帯の周波数割当て状況 (5. 4～7. 9 GHz)

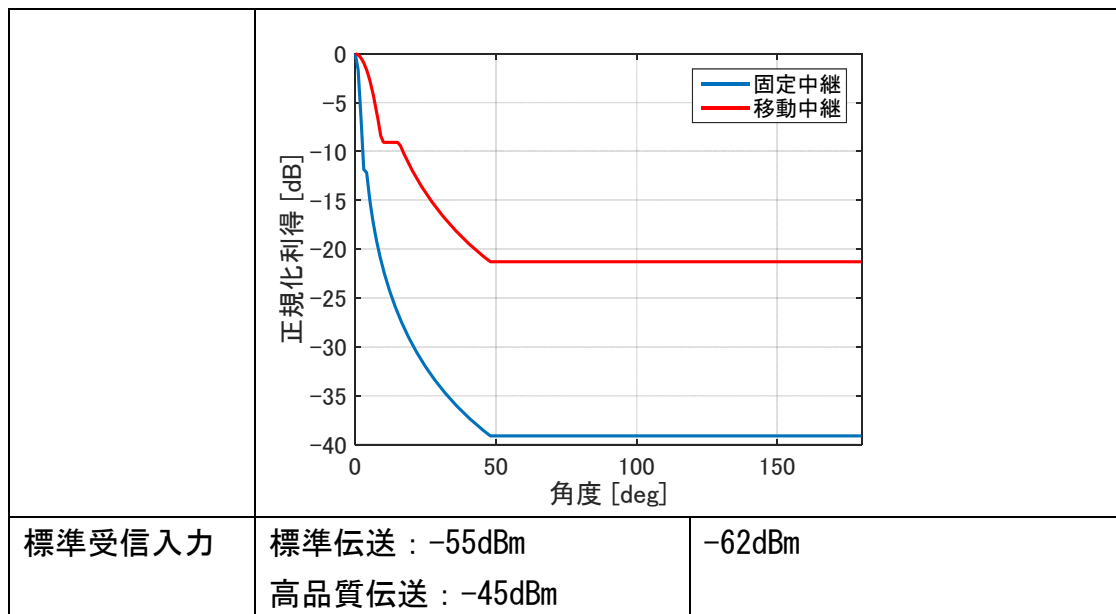
表 3. 2 4 K ・ 8 K 用 F P U の受信系の主な諸元

	固定中継	移動中継
空中線と利得	φ1. 2m パラボラ 35. 0dBi	φ0. 3m パラボラ 23. 2dBi
給電線損失	5. 0dB	0. 5dB
空中線の放射パターン	ITU-R 勧告 F. 699-7 による	

⁴ Studio to Transmitter Link。

⁵ Transmitter to Transmitter Link。

⁶ Transmitter to Studio Link。



干渉検討においては、F P Uの運用モデル毎に、検討対象の各システムに対する所要 D/U を実験又は机上検討で求め、所要離隔距離を計算することで共用の可能性を検討した（参考資料 1 0）。

また、所要離隔距離の計算においては、互いの空中線が正対する場合の最悪条件を想定するとともに、空中線の指向性を考慮し、以下の 3 つの場合の検討も行った（参考資料 1 1）。

- ① 干渉側の位置および向きを変えて、与干渉側の空中線に角度が付く場合

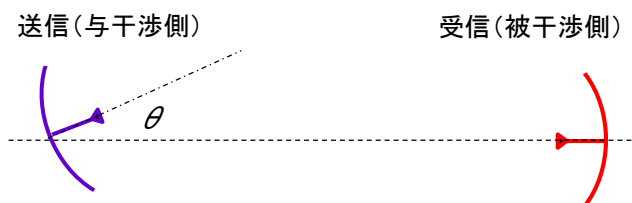


図 3. 2 空中線の向き関係 ①

- ② 被干渉側の空中線に角度を付ける場合

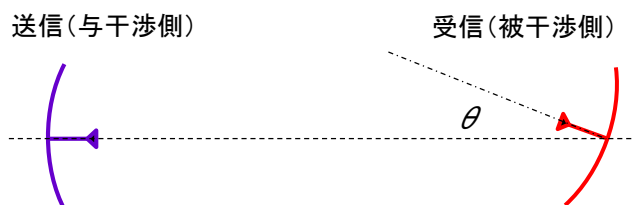


図 3. 3 空中線の向き関係 ②

- ③ 被干渉側の位置および向きを変えて、双方の空中線に角度が同様に付く場合

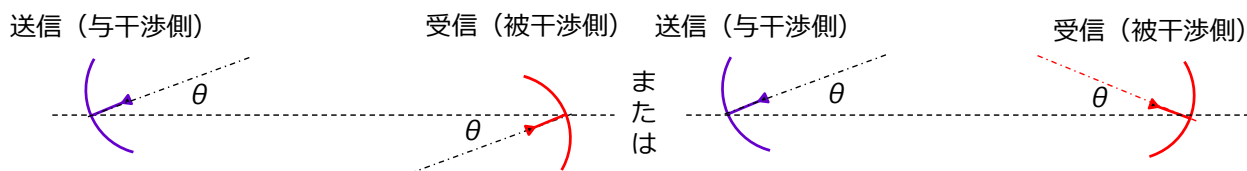


図 3. 4 空中線の向き関係 ③

3. 6. 2 検討対象の無線システム

① 狭帯域通信システム（DSRC）

狭帯域通信システム（DSRC：Dedicated Short-Range Communication System）は、路車間の通信システムとして、自動料金収受システム（ETC）、ITS スポットと車載機との通信等に使用されるシステムである。

DSRC におけるチャンネル配置は、下側の 7 波をダウンリンク（車載機側受信）、上側の 7 波をアップリンク（路側機側受信）で使用している。

表 3. 3 DSRC の主な諸元

項目	基地局（クラス 1）	基地局（クラス 2）	移動局
周波数	5, 770-5, 850MHz		
占有周波数帯幅	4. 4MHz 以下		
変調方式	ASK, $\pi/4$ シフト QPSK		
空中線電力	10mW 以下	300mW 以下	10mW 以下
偏波	円偏波		

② 固定衛星業務（アップリンク）

固定通信サービスや専用サービスなどの電気通信役務の提供及び人工衛星の維持・制御・監視を行う地球局で利用されている。

表 3. 4 固定衛星業務（アップリンク）の主な諸元

周波数	6, 426 - 6, 485MHz
占有周波数帯幅	4. 34-40MHz
変調方式	4PSK
空中線電力	645W（最大値）
偏波	直線偏波

③ 固定無線（6GHz 帯電気通信業務）

電気通信業務用の固定無線は、携帯電話等の基地局までの中継回線及び基地局のエントランスとして使用されている。また、6. 5/7. 5GHz 帯でも同様のシステムが利用されている。

表 3. 5 固定無線（6GHz 帯電気通信業務）の主な諸元

方式	64QAM 156M 方式	16QAM 156M 方式	16QAM 52M 方式
周波数	5,925-6,425MHz		
占有周波数帯幅	36.5MHz 以下	53.5MHz 以下	18.5MHz 以下
変調方式	64QAM	16QAM	16QAM
空中線電力	20W 以下		
偏波	垂直偏波、水平偏波		

④ 固定無線（6.5/7.5GHz 帯公共業務）

公共業務用の固定無線は、警察、水防道路、防災行政、電気事業、海上保安、航空保安、気象、消防等の業務で、音声、データ及び画像（映像を含む）等の多様な情報を伝送する自営回線として利用されている。

表 3. 6 固定無線（6.5/7.5GHz 帯公共業務）の主な諸元

方式	9.5MHz システム	19MHz システム	28.5MHz システム
周波数	6,570 - 6,870MHz、7,425 - 7,750MHz		
占有周波数帯幅	9.5MHz 以下	19MHz 以下	28.5MHz 以下
変調方式	4PSK、16QAM、128QAM	128QAM	128QAM
空中線電力	2W 以下		
偏波	垂直偏波、水平偏波		

⑤ 映像 STL/TTL・TSL

映像 STL/TTL は、地上デジタルテレビの放送番組を中継するためのシステムであり、STL は演奏所から親局まで、TTL は親局から中継局または中継局から下位の中継局までをつなぐ回線である。演奏所から末端の中継放送所までの中継段数は、最大で 7 段となるものもある。また、放送番組の中継に付随した監視・制御信号の伝送にも使用されている。

映像 TSL は、緊急報道、スポーツ等のイベントなどの番組素材を取材現場から F P U 基地局を通して放送局のスタジオまで伝送する際に、F P U 基地局から放送局のスタジオまで伝送するシステムである。

表 3. 7 映像 STL/TTL の主な諸元（TS 伝送方式）

	TS 伝送方式	IF 伝送方式
周波数帯	5,850 - 5,925MHz (B 帯)、6,425 - 6,570MHz (C 帯)、6,570 - 6,870MHz (M 帯)、6,870 - 7,125MHz (D 帯)、7,125 - 7,900MHz (N 帯)、10.25 - 10.45GHz (E 帯)、10.55 - 10.68GHz (F 帯)、12.95 - 13.25GHz (G 帯)	

占有周波数帯幅	7.6MHz 以下	5.7MHz 以下
変調方式	64QAM	OFDM
空中線電力	B～D 帯：2W（4W）※ M/N 帯：2W 10.6～10.68GHz：0.5W E～G 帯（上記以外）：2W（4W）※	B～D 帯：2W（4W）※ 10.6～10.68GHz：0.5W E～G 帯（上記以外）：2W（4W）※
偏波	垂直偏波、水平偏波	

※極端に給電線が長い場合や無給電中継装置を使用する場合等、やむを得ない場合に限り、括弧内の値を上限とする。

表 3. 8 映像 TSL の主な諸元

周波数帯	5,850 - 5,925MHz (B 帯)、6,425 - 6,570MHz (C 帯)、6,870 - 7,125MHz (D 帯)、10.25 - 10.45GHz (E 帯)、10.55 - 10.68GHz (F 帯)、12.95 - 13.25GHz (G 帯)
占有周波数帯幅	16.2MHz 以下
変調方式	64QAM (32QAM、16QAM、QPSK も可)
空中線電力	B～D 帯：1W（4W）※ M/N 帯：2W 10.6～10.68GHz：0.5W E～G 帯（上記以外）：0.5W（4W）※
偏波	垂直偏波、水平偏波

※ 海上伝搬等回線構成上やむを得ない場合に限り、括弧内の値を上限とする。

⑥ 現行 F P U

F P Uは、緊急報道、スポーツ等のイベントなどの番組素材を取材現場から受信基地局まで伝送するシステムで、中継車、ヘリコプターに搭載される他、取材スタッフが持ち運んだり、取材カメラに取り付ける小型のものがある。

表 3. 9 現行 F P Uの主な諸元

	シングルキャリア方式	OFDM 方式
周波数帯	5,850 - 5,925MHz (B 帯)、6,425 - 6,570MHz (C 帯)、6,870 - 7,125MHz (D 帯)、10.25 - 10.45GHz (E 帯)、10.55 - 10.68GHz (F 帯)、12.95 - 13.25GHz (G 帯)	

占有周波数帯幅	15.5MHz 以下	フルモード：17.5MHz 以下 フルモード：8.5MHz 以下
変調方式	64QAM (32QAM、16QAM、QPSK も可)	OFDM(キャリア変調方式は 64QAM が基本)
空中線電力	10.60-10.68GHz：0.5W 上記以外：0.5W (1.5W) ※	10.60-10.68GHz：0.2W (0.5W) ※ 上記以外：0.2W (5W) ※
偏波	垂直偏波、水平偏波	

※関係免許人間の運用調整等により混信等の問題が生じないことが確認できる場合に限り、括弧内の空中線電力を最大値として使用可能。

3. 6. 3 共用検討の結果

検討対象の各システムにおける所要離隔距離の算出の際の設定条件等は、表 3. 10 に示すとおりであり、これらの条件により、干渉側のシステムの送信アンテナと 4 K・8 K 用 F P U の受信アンテナが正対する場合の所要離隔距離を求めた結果を表 3. 11 に示す。

表 3. 10 所要離隔距離の算出の際の設定条件等

既存無線システム	周波数関係		隣接漏洩電力又はスペクトルマスク	送信空中線放射パターン
	他システム	4 K・8 K 用 F P U		
狭帯域無線システム (DSRC)	移動局：5,845MHz 基地局：5,805MHz	5,861MHz (B1)	無線設備規則	ITU-R 勧告 F.1336-4
固定衛星業務 (アップリンク)	C 帯 (680kHz 幅)	6,435MHz (C1)	—	電波法関係審査基準
電気通信業務 (6GHz 帯)	18.5MHz 幅：6,415MHz 36.5MHz 幅：6,405MHz 53.5MHz 幅：6,395MHz	6,435MHz (C1) ※1	電波法関係審査基準 (実機の値も考慮) ※2	電波法関係審査基準 (最大 EIRP は実機の値) ※3
公共業務 (6.5GHz 帯)	9.5MHz 幅：6,575MHz 19MHz 幅：6,580MHz 28.5MHz 幅：6,585MHz	6,525MHz (C6)、 6,561MHz (C8)	電波法関係審査基準 (実機の値も考慮)	電波法関係審査基準
	5MHz 幅：6,865MHz 9.5MHz 幅：6,845MHz 19MHz 幅：6,840MHz 28.5MHz 幅：6,835MHz	6,882MHz (D1)、 6,972MHz (D6)		
映像 STL/TTL・TSL	TS 方式：6,538.5MHz	6,543MHz (C7)	電波法関係審査	電波法関係

(同一チャンネル)	IF 方式 : 6, 537MHz		基準	審査基準
映像 STL/TTL・TSL (隣接チャンネル)	TSL : 6, 543MHz	6, 525MHz (C6)	実機の値 (実験 による)	電波法関係 審査基準
現行 F P U	6, 453MHz (C2)	6, 435MHz (C1)	実機の値 (実験 による)	ITU-R 勧告 F. 699-7

※ 1 下側隣接チャンネル (B4) は固定局への割当てであり、検討対象外。

※ 2 36.5MHz システムは実機のスペクトルマスク値を採用。

※ 3 EIRP として、実際の無線局の数値の累積確率が 90%となる値を採用。

表 3. 1 1 所要離隔距離の算出結果

無線システム	運用モデル	所要 D/U [dB]	所要離隔距離 (正 対の場合) [km]
DSRC (移動局)	固定中継 (標準伝送)	0.7	0.31
	固定中継 (高品質伝送)	10.7	0.31
	移動中継	-5.1	0.15
DSRC (基地局)	固定中継 (標準伝送)	0.4	9.3
	固定中継 (高品質伝送)	10.4	9.3
	移動中継	-5.5	4.6
固定衛星業務 (アッ プリリンク)	固定中継 (標準伝送)	38.3	4.8
	固定中継 (高品質伝送)	49.7	5.7
	移動中継	34.8	3.1
電気通信業務 (6GHz 帯)	固定中継 (標準伝送)	-17.3	28.4
	固定中継 (高品質伝送)	-3.7	43.1
	移動中継	-18.0	25.4
公共業務 (6.5GHz 帯)	固定中継 (標準伝送)	-30.7	21.3
	固定中継 (高品質伝送)	-17.2	31.8
	移動中継	-31.6	18.5
映像 STL/TTL・TSL (隣接チャンネル)	固定中継 (標準伝送)	-21.2	100.7
	固定中継 (高品質伝送)	-8.1	143.9
	移動中継	-27.8	45.5
現行 F P U (OFDM 方 式)	固定中継 (標準伝送)	-20.8	12.3
	固定中継 (高品質伝送)	-7.2	18.6
	移動中継	-27.8	5.3

この結果から、干渉側のシステムの送信アンテナと 4K・8K 用 F P U の受信アンテナが正対する場合、最大で 100km 以上の所要離隔距離が必要となるが、干渉側のシステム及び 4K・8K 用 F P U の双方の空中線指向特性により、双方のアンテナの向きがずれると所要離隔距離は小さくなる。このことから、各システムの共用条件につ

いて検討を行った。

①狭帯域通信システム（DSRC）

空中線が正対した場合（角度＝0°）、DSRC 移動局に対しては 310m、DSRC 基地局に対しては 9.3km 以上離隔する必要がある。DSRC 移動局は DSRC 基地局の下でのみ電波を発射することから、事実上、DSRC 基地局からの干渉のみを考えれば十分である。

通常、マイクロ波帯 F P U は見通し運用を行うため、DSRC 基地局が設置された建造物等を受信方向にしないように、また、往来する車両の影響を受けないように、F P U 受信機をある程度の高所に設置する。このため、実際に干渉が発生する領域は少ないと考えられ、共用は可能と考えられる。

②固定衛星業務（アップリンク）

空中線が正対した場合（角度＝0°）、5.7km 以上の離隔が必要となるが、図 3.5 に示すとおり、例えば、受信方向が地球局方向から 6° 離れれば、1km 以下となる。

C 帯において周波数共用する固定衛星業務の地球局の局数は少なく、F P U との干渉は、地球局が位置する特定の地域でのみ発生し得るものであることから、4 K・8 K 用 F P U の受信運用を行う場合は、予め干渉の可能性を念頭において設置場所を選択することで、共用は可能と考えられる。

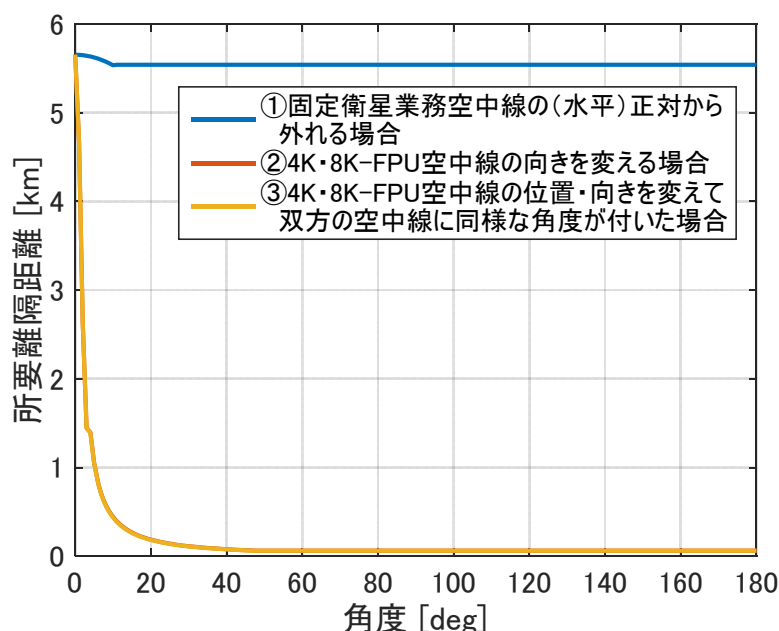


図 3. 5 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（固定衛星業務の地球局と同一周波数帯で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

③固定無線（6GHz 帯電気通信業務）

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、43.1km 以上の離隔が必要であるが、図 3. 6 に示すとおり、空中線の向きがずれば、急激に所要離隔距離は小さくなる。

所要離隔距離の計算においては、干渉波の EIRP 値として、実際の無線局の累積確率が 90% となる値を採用しており、実際の干渉波の EIRP の値は、送信局によって様々であり、場合によっては所要離隔距離がこれより大きくなる場合もある。しかし、このようなケースは少なく、また、海上伝搬など特殊な環境で運用されていることから、同一地域で FPU を運用する可能性は低いと考えられる。さらに、空中線が正対する可能性が低いことも考慮すると、所要離隔距離が数十 km 以上となるケースはほとんどなく、共用は可能と考えられる。

なお、5.8GHz～7.5GHz 帯固定通信システムについて、高度化に向けた制度整備が進められている状況にあり、更なる影響が想定されることから、新たに高度化する固定通信システムの導入にあたっては、必要に応じて両者間で運用の調整を行うことにより、共用することが可能と考えられる。

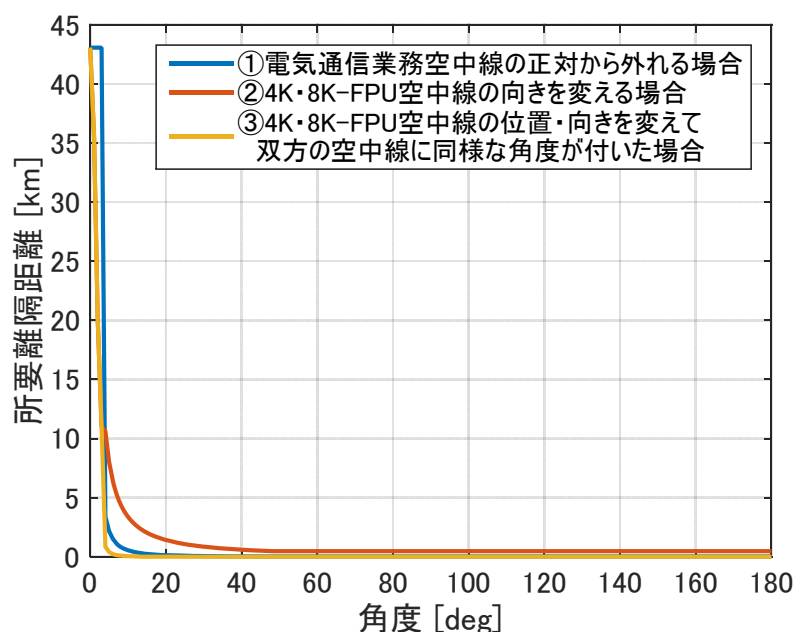


図 3. 6 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（36.5MHz システムと隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

④ 固定無線（6.5/7.5GHz 帯電気通信業務/公共業務）

ア C8、D1 チャンネルとの共用

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、C8 チャンネルで 800km、D1 チャンネルで 200km 程度の離隔が必要であるが、図 3. 7 及び図 3. 8 に示すとおり、空中線の向きをずらすと急激に離隔距離は減少する。

しかし、空中線の向きを大きくずらしても大きな離隔距離が必要となり、FPU の受信場所に制限を大きく受けることとなる。

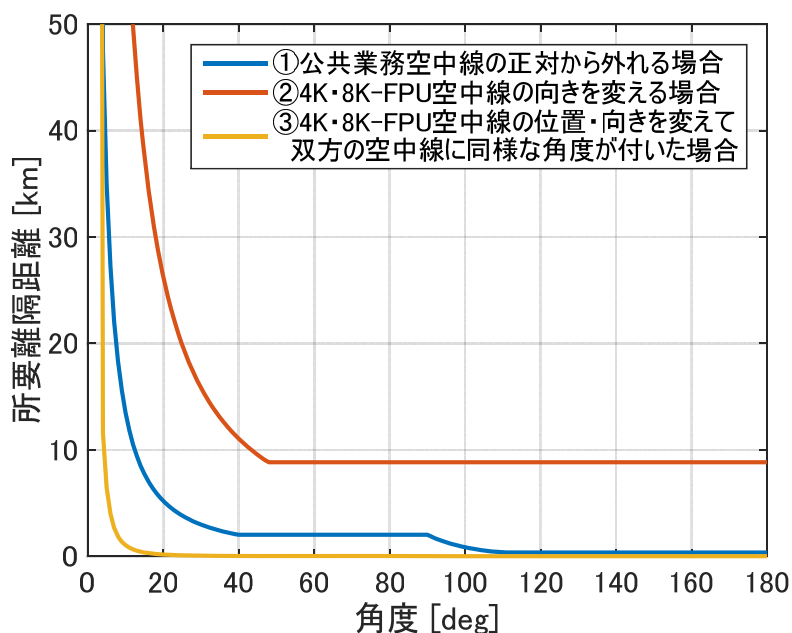


図 3. 7 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（28.5MHz システムと C8 チャンネルが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

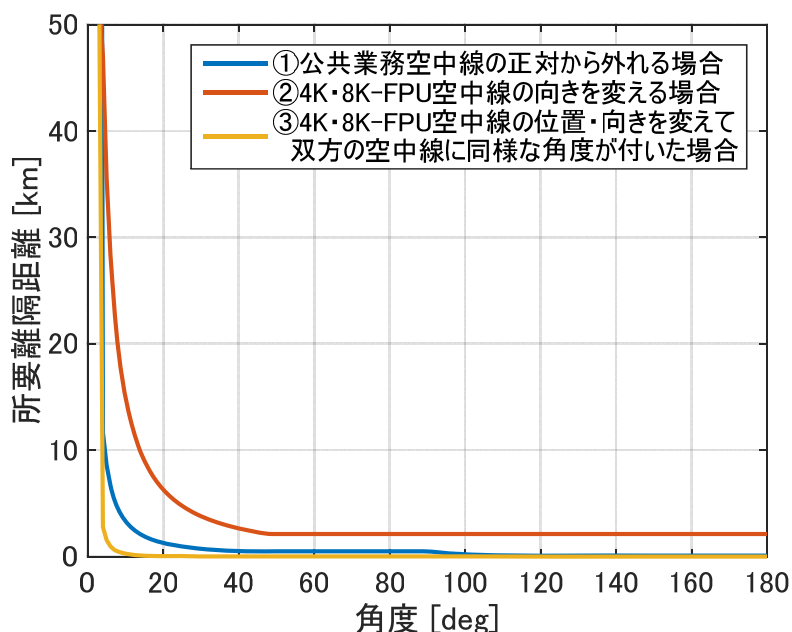


図 3. 8 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（28.5MHz システムと D1 チャンネルが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

イ C6、D6 チャンネルとの共用

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、30km 程度の離隔が必要であるが、図 3. 9 及び図 3. 10 に示すとおり、互いの空中線の向きをずらすと離隔距離は大きく減少するため、共用は可能と考えられる。

なお、5.8GHz～7.5GHz 帯固定通信システムについて、高度化に向けた制度整備が進められている状況にあり、更なる影響が想定されることから、新たに高度化する固定通信システムの導入にあたっては、必要に応じて両者間で運用の調整を行うことにより、共用することが可能と考えられる。

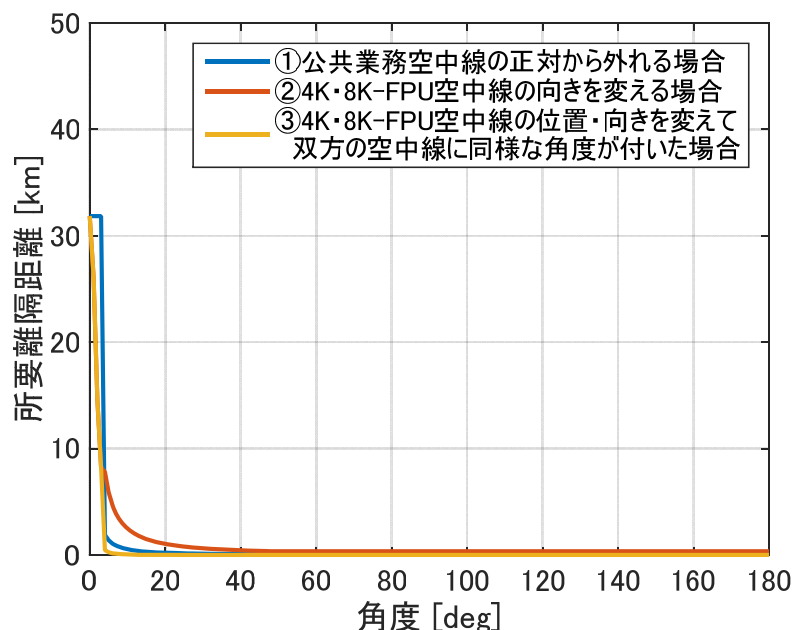


図 3. 9 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（9.5MHz システムと C6 チャンネルが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

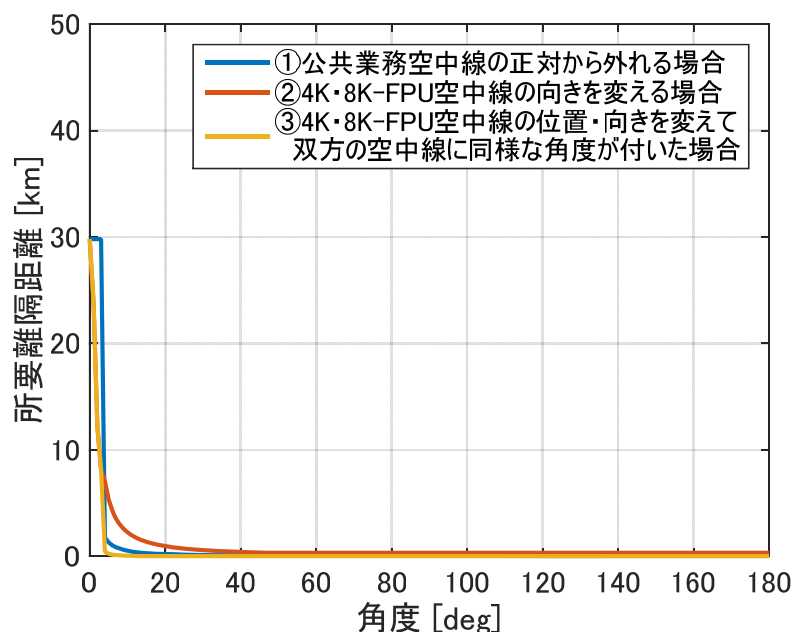


図 3. 10 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（9.5MHz システムと D6 チャンネルが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

⑤映像 STL/TTL・TSL

ア 同一チャンネルの場合

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、計算上 1 万 km 程度の離隔が必要である。実際には、大地が球面であること等による見通し外となるため、50～100km 程度になるものと推測されるが、図 3. 1 1 及び図 3. 1 2 に示すとおり、互いの空中線の向きがずれても、共用可能となるのは③の場合に限られ、運用条件が現実的でないことから、共用は困難と考えられる。

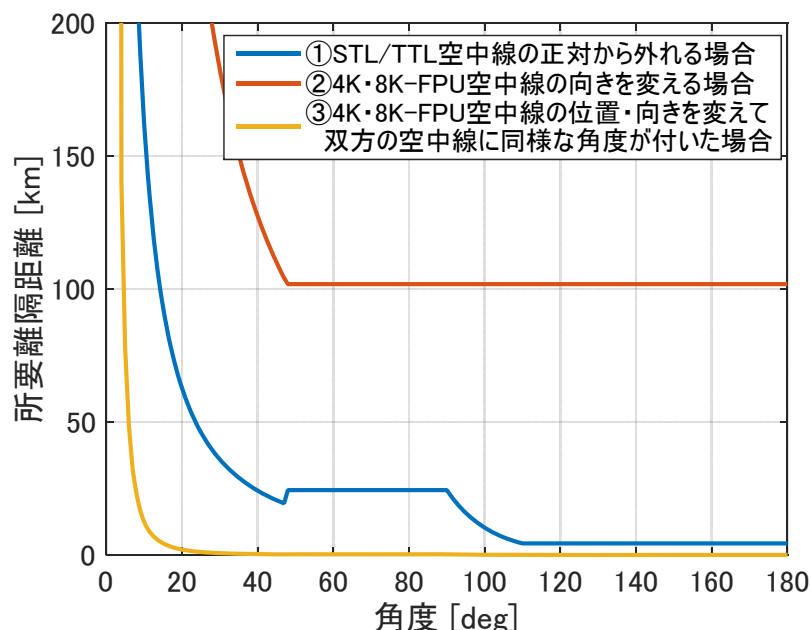


図 3. 1 1 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（STL/TTL（IF 伝送方式）と同一チャンネルで、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

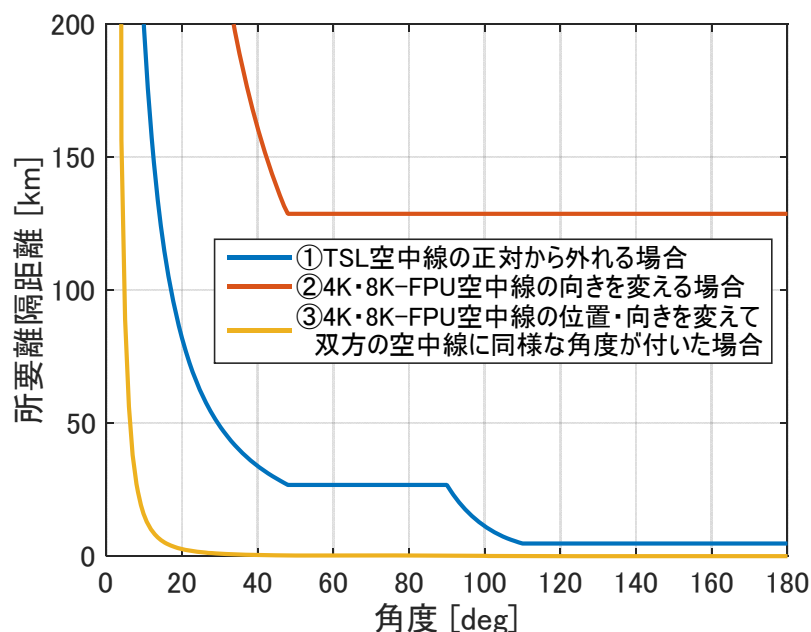


図 3. 1 2 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（TSL と同一チャンネルで、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

イ 隣接チャンネルの場合

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、STL/TTL で 88km、TSL で 144km 以上の離隔が必要であるが、図 3. 13 及び図 3. 14 に示すとおり、互いの空中線の向きをずらすと急激に離隔距離は減少する。空中線が正対する可能性は小さく、また、STL/TTL 及び TSL は放送事業用システムであるため、これらからの干渉を避けて運用することが可能である。したがって、隣接チャンネルの場合は共用可能と考えられる。

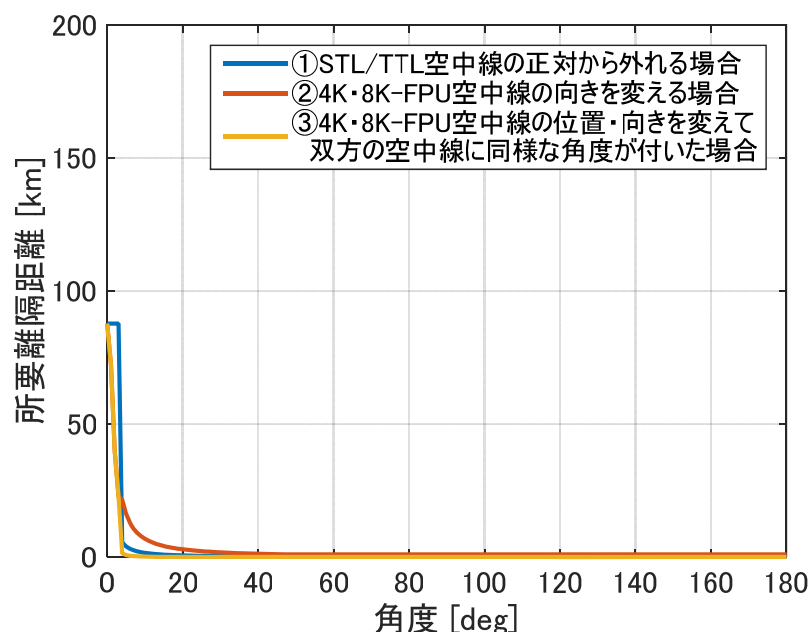


図 3. 13 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（STL/TTL（IF 伝送方式）と隣接チャンネルで、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

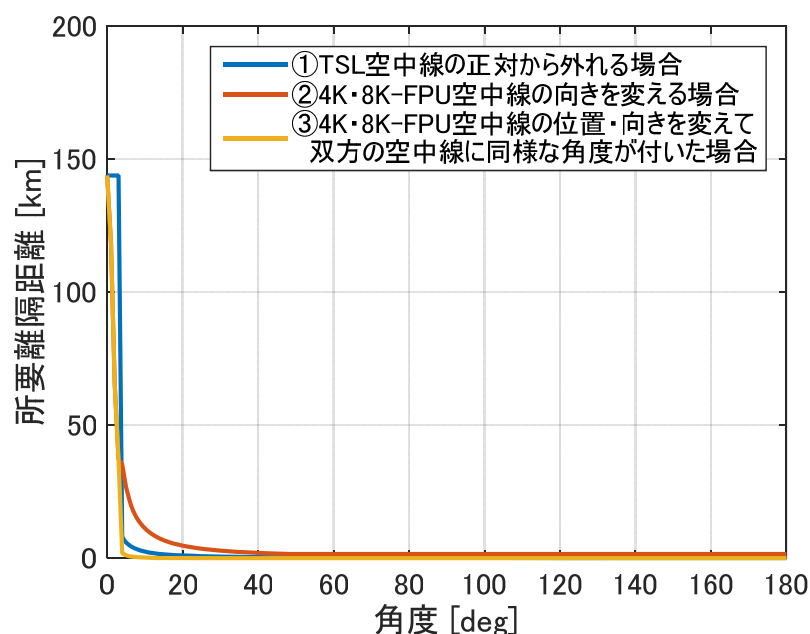


図 3. 14 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（TSL と隣接チャンネルで、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

⑥ 現行 F P U

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、18.6km 以上の離隔が必要であるが、図 3. 1 5 に示すとおり、互いの空中線の向きをずらすと急激に離隔距離は減少する。

双方のアンテナが正体する場合は、現行 F P U も 4 K ・ 8 K 用 F P U も同一の F P U 基地局または近接した F P U 基地局で受信するケースがほとんどであると考えられる。現行 F P U の受信電力は標準受信入力である -55dBm 程度になるよう、送信側で空中線電力もしくは空中線利得を調整する。一方、4 K ・ 8 K 用 F P U は -45dBm 程度の受信電力を確保して運用することとなる。このため、D/U が 10dB 程度になり、所要 D/U の -7dB を大きく上回るため、実質的に干渉が発生する可能性は低いと考えられる。

また、上記のケースに当てはまらない場合でも、現行 F P U と同様に、放送事業者間の運用調整により干渉を回避することが可能であることも考慮すると、共用可能と考えられる。

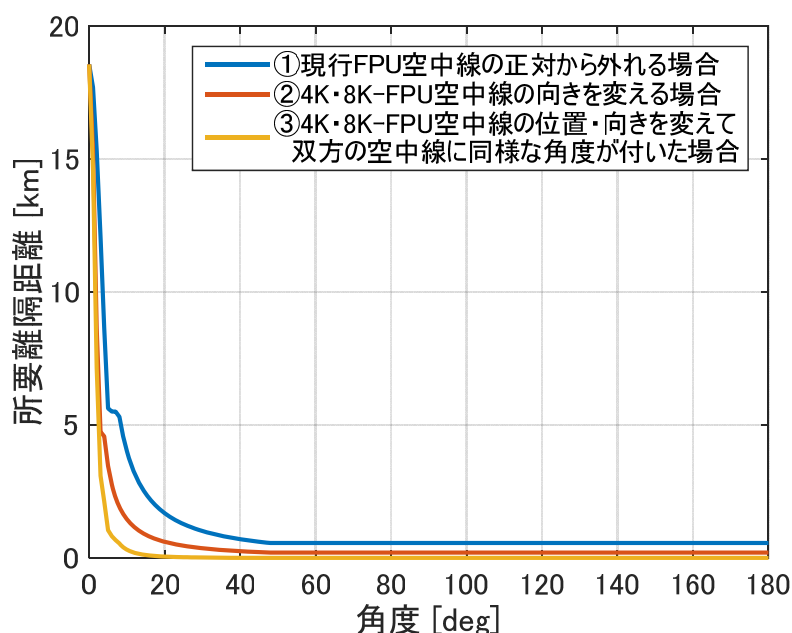


図 3. 1 5 空中線の向きを考慮した所要離隔距離（現行 F P U と隣接チャンネルで、固定中継（高品質伝送）モデルの場合）

3. 7 測定方法

測定法は、以下のとおりとする。

(1) 周波数の偏差

各送信機から無変調波を出力し、周波数計を用いて送信周波数を測定し、それぞれの測定値のうち、周波数の偏差が最大であるものを周波数の偏差とする。ただし、無変調にできない場合は、変調状態とし、波形解析器等を用いて測定することができる。

(2) 占有周波数帯幅

各送信機で変調信号を出力したときに得られるスペクトル分布の全電力を、スペクトルアナライザ等を用いて測定し、スペクトル分布の上限及び下限部分における電力の和が、それぞれ全電力の 0.5%となる周波数幅を測定する。各送信機での測定値の最大値を占有周波数帯域幅とする。なお、誤り訂正等を使用している場合には、そのための信号を付加した状態で測定すること。また、変調信号はランダム性が確保できるものとする。

(3) スプリアス発射の強度及び不要発射の強度

ア 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度

各送信機から無変調搬送波を出力した状態で、送信出力を最大に設定し、スペクトルアナライザを用いて平均電力を測定する。

イ スプリアス領域における不要発射の強度

各送信機から変調信号を出力した状態で、送信出力を最大に設定し、スペクトルアナライザを用いて平均電力を測定する。測定周波数範囲は、ITU-R 勧告 SM. 329-10 に従い、30MHz から 26GHz までとする。なお、スペクトルアナライザの分解能帯域幅は、無線設備規則に従い、1MHz 以下に設定すること。分解能帯域幅を 1MHz より狭くして測定した場合、不要発射の強度は、分解能帯域幅ごとの測定結果を参照帯域幅にわたり積分した値とする。

(4) 空中線電力

各送信機から変調信号を出力した状態で送信出力を最大に設定し、高周波電力計を用いて平均電力を測定する。

(5) 送信電力スペクトル特性

各送信機から変調信号を出力した状態で送信出力を最大に設定し、スペクトルアナライザを用いて測定する。

参 考 資 料

目次

参考資料 1	高度化による伝送特性の改善効果
参考資料 2	実機による伝送実験の結果
参考資料 3	4K・8K用FPUの運用モデル
参考資料 4	4K・8K素材伝送に必要なビットレート
参考資料 5	最大伝送容量の検討
参考資料 6	キャリア変調方式の検討
参考資料 7	C/N配分
参考資料 8	回線設計例
参考資料 9	所要フェージングマージン、降雨減衰マージン
参考資料 10	共用検討の考え方
参考資料 11	共用検討の結果
参考資料 12	電波防護指針への適合性

高度化による伝送特性の改善効果

F P U を高度化することによる伝送容量の拡大効果の例を表 1－1 に示す。高度化する 4 K・8 K用 F P U の伝送容量の算出の前提となる OFDM 方式の伝送パラメータを表 1－2 に示す。

表 1 伝送容量の拡大効果の例（フルモード：占有帯域幅 17.5MHz）

キャリア 変調方式	符号化率	従来の 2 K 用 F P U の伝送容量 Mbit/s TS (204 バイト)	高度化する 4 K・8 K 用 F P U (※ 1) の 伝送容量 Mbit/s TS (188 バイト)	
		FFT ポイント数 2048	FFT ポイント数 2048	FFT ポイント数 8192
16QAM	1/2	23.859	51.0	62.6
32QAM	2/3	39.765	85.0	104.3
64QAM	5/6	59.648	127.4	156.4
256QAM	3/4	規定なし	149.5	183.5
1024QAM	2/3	規定なし	169.9	208.5
4096QAM	5/6	規定なし	254.9	312.8

(※ 1) 4 K・8 K 用 F P U は偏波 MIMO の利用を想定している。

表 2 4 K・8 K 用 F P U の検討に用いた OFDM 方式の伝送パラメータ

項目		規格			
モード		ハーフモード(占有帯域幅 8.5MHz)		フルモード(占有帯域幅 17.5MHz)	
FFT ポイント数		2048	8192	2048	8192
占有帯域幅 [MHz]		8.40	8.41	17.19	17.18
キャリア間隔 [kHz]		9.99	2.50	9.99	2.50
キャリア数	総数	841	3367	1721	6881
	データ	714	3162	1428	6426
パイロット(CP/SP)		106	106	216	216
TMCC		16	64	16	64
AC		5	35	61	175
Null		0			
キャリア変調方式		BPSK, QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM			
有効シンボル長 [μ s]		100.14	400.57	100.14	400.57
ガードインターバル長 [μ s]		12.52	12.52	12.52	12.52
シンボル長 [μ s]		112.66	413.09	112.66	413.09
内符号		LDPC 符号(R=1/2, 2/3, 3/4, 5/6)			
外符号		BCH 符号			

超多値 OFDM に LDPC 符号を組み合わせた場合のビット誤り率特性を計算機シミュレーションによって求めた結果を図 1-1 に示す。畳み込み符号とビタビ復号を用いた従来の方式の特性も併せて示す。LDPC 符号の採用により所要 C/N が改善することが確認できる。

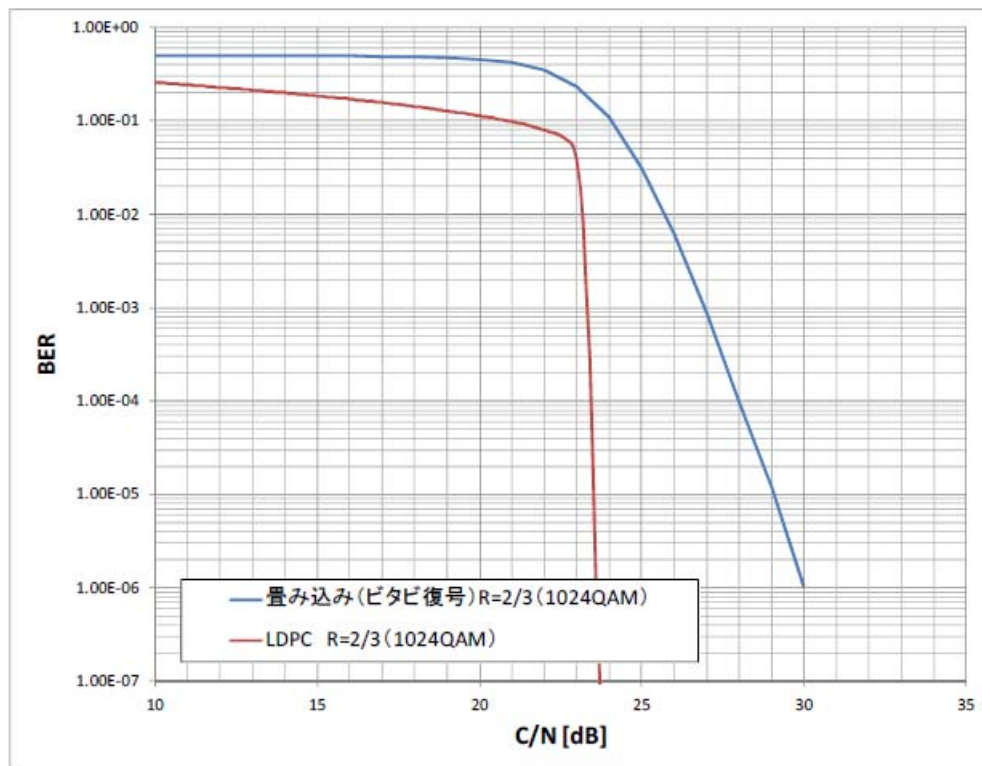


図 1 1024QAM-OFDM 方式のビット誤り率特性の例

実機による伝送実験の結果

NHK放送技術研究所により、8K信号を長距離伝送する野外実験が実施された。実験の系統を図2-1に、試作機的主要仕様を表2-1に示す。現行のマイクロ波帯FPUの規格における標準的な回線距離が50kmであることを考慮して、送信点を埼玉県比企郡ときがわ町の堂平天文台に、受信点はNHK放送センターに設置された。このときの伝送距離は約59kmである。送信電力は両偏波共に0.1Wである。8K信号の伝送に先立ち、受信電力の測定に加えて、伝送マージンおよび受信電力対ビット誤り率特性の測定が行なわれた。受信電力は、送受ともに直径0.6mのパラボラアンテナを使用した場合が-65dBm、直径0.9mのパラボラアンテナを使用した場合が-62dBmとなり、事前の回線設計値に比べ1.5dB低い値となった。

キャリア変調方式が1024QAM、符号化率が5/6の時の伝送マージンは、直径0.6mのアンテナ使用時は2.5dBとなり、直径0.9mのアンテナ使用時は5.5dBとなった。直径0.9mのアンテナ使用時は、キャリア変調方式が4096QAM、符号化率が3/4の場合でもエラーフリーの伝送が確認された。図2-2に示したビット誤り率特性に関しても室内実験との差は1dB程度であった。さらに、H.264方式で180Mbit/sに圧縮符号化した8K信号を実際に伝送し、受信側のモニタで8K映像が正常に受信できることが確認された。

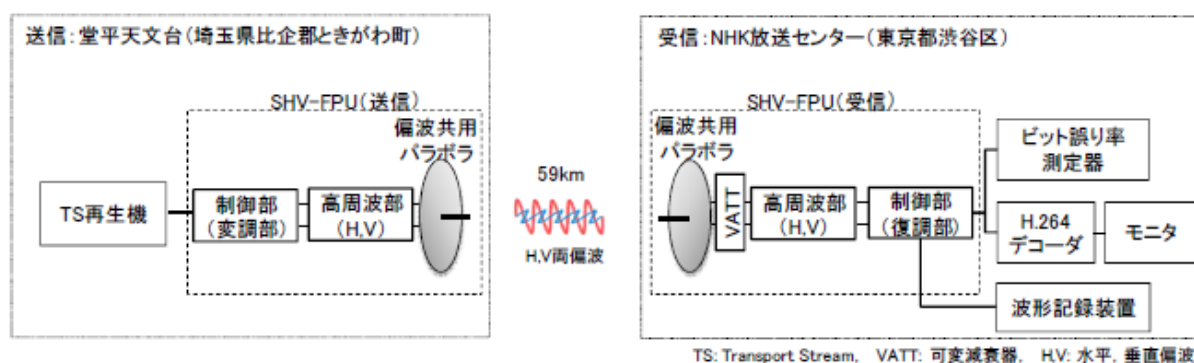


図1 実験の系統

表1 試作機的主要仕様

項目	仕様
周波数	6～7GHz帯
帯域幅	17.5MHz
送信電力	2W（2偏波合計）
変調方式	OFDM
サブキャリア数	1721
MIMO方式	水平偏波、垂直偏波による

	2×2偏波MIMO	
サブキャリア変調方式	256QAM	4096QAM
誤り訂正符号	3/4	3/4
情報ビットレート	150Mbps	230Mbps
所要C/N	21dB	31dB

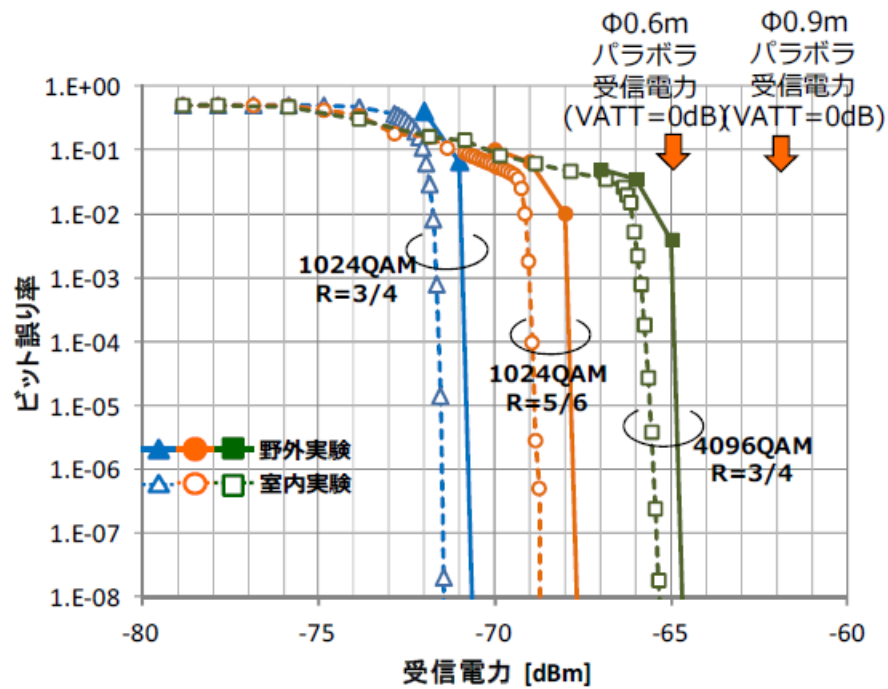


図2 ビット誤り率の測定結果

【参考文献】

鴨田、熊谷、小山、岡部、澁谷、居相、濱住：” マイクロ波帯スーパーハイビジョンF P U長距離伝送実験”， 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 40, No. 4, BCT2016-28 (Feb. 2016)

4K・8K用FPUの運用モデル

4K・8K用FPUの想定される運用モデルは様々なものが考えられるが、用途を大別すると次の3通りが考えられる。FPUの運用のイメージを図3-1に、運用モデルを表3-1に示す。

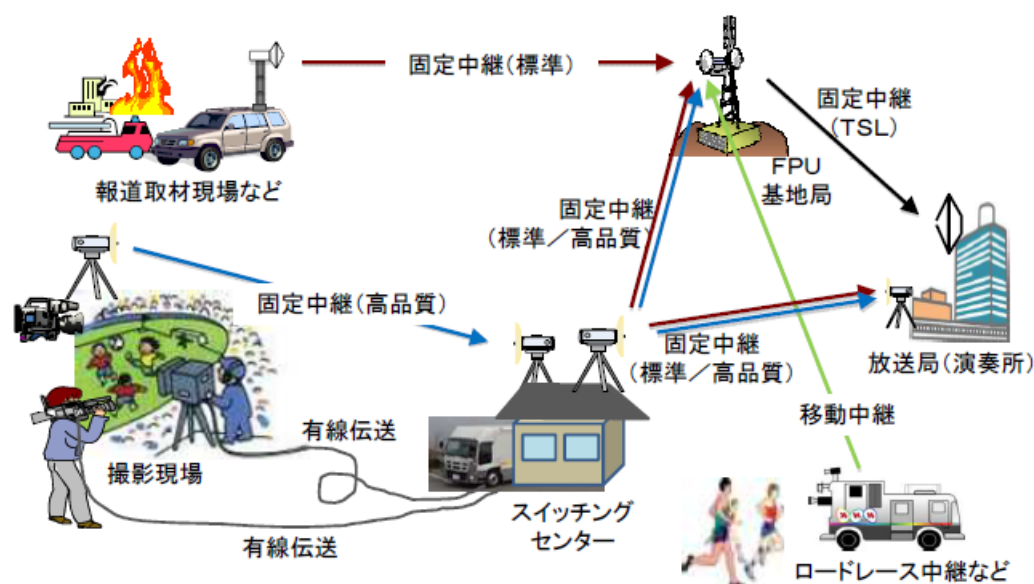


図1 4K・8K用FPUの想定される運用モデルのイメージ

表1 4K・8K用FPUの運用モデル

モデル	利用用途	送信 空中線	受信空中線	伝搬距離 (標準回線距離)	見通し外 通信の有無	伝送レート	利用番組
固定中継 (標準)	主に報道取材現場などの撮影現場からFPU基地局または放送局までの中・長距離伝送する標準的な用途	パラボラφ 0.6m	仮設 パラボラφ0.6m 基地局 パラボラφ1.2m	50km(B,C,D帯) 7km(E,F帯) 5km(G帯)	無	200 Mbit/s	報道番組、 スポーツ中 継など
固定中継 (高品質)	主に撮影現場からスイッチングセンターまで、高品質な番組素材を短・中距離伝送する用途	パラボラφ 0.6m	仮設 パラボラφ0.6m 基地局 パラボラφ1.2m	16km(B,C,D帯) 2km(E,F帯) 2km(G帯)	無	300 Mbit/s	音楽番組、 スポーツ中 継、ドラマ 番組など
移動中継	主にマラソンなどのロードレース中継や報道中継用として、中継車から受信基地等までを移動しながら短・中距離伝送する用途。	電磁ホーン	パラボラφ0.3m	4km(B,C,D帯) 3km(E,F帯) 3km(G帯)	無	150 Mbit/s	ロードレー ス中継、報 道番組など

1つ目の運用モデルは、主に報道取材現場などの撮影現場からF P U 基地局または放送局までといった中・長距離伝送の用途である。これは、F P U の標準的な運用モデルであり、固定中継（標準）モデルと定義する。

2つ目は、主に撮影現場からスイッチングセンターまでの短・中距離伝送の用途である。スイッチングセンターでは有線カメラの映像とF P U からの映像との切り替え処理が行われるので、高品質かつ低遅延な映像信号の伝送が求められる。また、スイッチングセンターでは番組素材の収録が行われることもあり、この点からも高品質な映像伝送が要求される。これを固定中継（高品質）モデルと定義する。

3つ目は、主にマラソンなどのロードレース中継や報道中継用として、中継車から受信基地等までを移動しながら短・中距離伝送するために使用するもので、これを移動中継モデルと定義する。

4K・8K素材伝送に必要なビットレート (ARIB素材伝送用HEVCコーデック評価JTGによる画質評価実験の結果報告)

ARIB 素材伝送用 HEVC コーデック評価 JTG において、UHDTV(8K)、UHDTV(4K)について、HEVC コーデックを素材伝送用として使用する際の所要ビットレートを検証した。

1. ITU-R でのユーザー要求条件

主観画質評価実験の判断基準には、ITU-R 勧告 BT.1868 で規定されている、コーデックを素材伝送、一次分配、SNG の用途で使用する際の画質に対するユーザー要求条件を用いた。その一覧を表1に示す。

表1 画質に対するユーザー条件

用途	要求条件			ITU-R勧告
	カスケード回数(回)	DSCQS値		
素材伝送	3	全体の75%以上のテスト画像で12%以下	他のテスト画像で20%以下	BT.1868
一次分配	2	全体の75%以上のテスト画像で12%以下	他のテスト画像で20%以下	BT.1868
SNG	1	全体の75%以上のテスト画像で12%以下	他のテスト画像で20%以下	BT.1868

2. 評価方法

ITU-R 勧告 BT.500 を参照し、二重刺激連続品質尺度法(DSCQS)で画質評価実験を行った。

3. テスト画像

映像情報メディア学会の超高精細・広色域標準動画像 A シリーズおよび、B シリーズ(実験実施時は頒布準備中)の中から、絵柄、動き、符号化難易度をばらつかせた8種類を選択した。その一覧を表2、3に示す。

表2 UHDTV(8K)で使用したテスト画像一覧(TR1～TR3 はトレーニングセッションのみで使用)

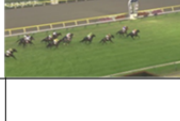
	シーンNo.	タイトル	サムネイル		シーンNo.	タイトル	サムネイル
1	a01	TrainsA		5	a11	LayeredKimono	
2	a06	Festival		6	b02	WaterPolo(sprint)	
3	a08	JapaneseMaple		7	b04	Horserace(turf)	
4	a09	Maiko		8	b07	Marathon(start)	
TR1	a10	Umbrella		TR3	b05	Horserace(finish)	
TR2	b01	WaterPolo(goal)					

表3 UHDTV(4K)使用したテスト画像一覧(TR1～TR3 はトレーニングセッションのみで使用)

	シーンNo.	タイトル	サムネイル		シーンNo.	タイトル	サムネイル
1	a03	TrainsC		5	b02	WaterPolo(sprint)	
2	a06	Festival		6	b04	Horserace(turf)	
3	a08	JapaneseMaple		7	b07	Marathon(start)	
4	a09	Maiko		8	b16	Drama(bouquet)	
TR1	a10	Umbrella		TR3	b05	Horserace(finish)	
TR2	b01	WaterPolo(goal)					

4. 実験結果

実験の結果、素材伝送、一次分配、SNGを想定した画質に対するユーザー要求条件を満足する符号化条件は次のように求められた。

・UHDTV(8K)について

(1) 素材伝送(カスケード3回):「383Mbit/s」「285Mbit/s」

(2) 一次分配(カスケード2回):「383Mbit/s」「285Mbit/s」「188Mbit/s」

(3) SNG(カスケード1回):「188Mbit/s」「140Mbit/s」

・UHDTV(4K)について

(1) 素材伝送(カスケード3回):「145Mbit/s」

(2) 一次分配(カスケード2回):「145Mbit/s」

(3) SNG(カスケード1回):「96Mbit/s」

5. 結論

今回の実験では、ITU-R 勧告の評価法、ユーザー要求条件にもとづき、HEVC コーデックを用いた際の所要ビットレートを評価したが、高品質な素材伝送を行うためには、UHDTV(8K)においては、映像ビットレート 285Mbit/s (TS ビットレート 300Mbit/s 想定) 以上、UHDTV(4K)においては、映像ビットレート 145Mbit/s (TS ビットレート 160Mbit/s 想定) 以上必要であることが求められた。

UHDTV(8K)とUHDTV(4K)の実験結果は、コーデックの違いや観視条件が異なるため、単純な比較はできないが、UHDTV(4K)においては、ある1つの符号化難易度が高い画像の影響が反映された結果となった。テスト画像の選定は、絵柄や動き、符号化難易度をばらつかせたものとしており、素材伝送の品質を測る上で実運用範囲内の必要なテスト画像で実施した。

また、HEVC コーデックは未だ発展途上でもあり、今回の結果は 2016 年 9 月時点での HEVC コーデックの評価である。よって、今後の画質改善や符号化率向上など技術進歩が予想されることも考慮に入れる必要がある。

表4 UHDTV(8K)共通条件

入出力画像フォーマット	4320/59.94/P (7680×4320)
表色系	ITU-R 勧告BT.2020 準拠
コーデック	素材伝送用ソフトウェアコーデック(市販品)
入出力	Y' C'B C'R 4:2:2 10bit 非圧縮ファイル
HEVC プロファイル・レベル	HEVC Main 422 10 Profile Level6.1
遅延モード・SOP構造	標準 L=3 (リオーダーリング適用)
プリフィルタ	Off

表5 UHDTV(8K)評価法

評価法	二重刺激連続品質尺度(DSCQS)法 (ITU-R勧告BT.500)
基準画像	非圧縮原画像 映像情報メディア学会 超高精細・広色域標準動画 Aシリーズ/Bシリーズ(実験実施時は頒布準備中)
テスト画像	8種類を選択、各10秒
テスト画像再生機	HR-7512(アストロデザイン)
評定者	テレビ放送局、放送機器メーカーの映像専門家23名 評価結果に対するスクリーニング実施
実施場所	NHK放送技術研究所 映像評価室
実施日	2016年9月13日、14日

表6 UHDTV(8K)観視条件

観視条件	ITU-R勧告BT.2022
ディスプレイ	85型液晶ディスプレイ(SHARP)
ディスプレイのピーク輝度	300cd/m ²
ディスプレイの色温度	6500K
ディスプレイの背景色	6500K
視距離	0.75H(H:画面高)

表7 UHDTV(8K)符号化条件(素材伝送および一次分配用コーデックとしての画質評価実験)

符号化条件No.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
プロファイル/レベル	Main422 10/Level6.1							
想定伝送路	ミリ波帯 UHDTV-FPU (16QAM 2/3)相当				マイクロ波帯 UHDTV-FPU (1024QAM 2/3)相当			
TSビットレート(Mbit/s) (188バイトTS)	400		300		200		150	
映像ビットレート(Mbit/s)	383		285		188		139	
画素数(水平x垂直)	7680x4320							
遅延	標準							
音声符号化方式	AAC							
音声チャンネル	32ch(22.2/5.1/2)							
音声ビットレート(Mbit/s)	6							
カスケード回数	3	2	3	2	3	2	3	2

表8 UHDTV(8K)符号化条件(SNG 伝送用コーデックとしての画質評価実験)

符号化条件No.	2.1	2.2	2.3	2.4
プロファイル/レベル	Main422 10/Level6.1			
TSビットレート(Mbit/s) (188バイトTS)	200	150	100	80
映像ビットレート(Mbit/s)	188	140	91	71
画素数(水平x垂直)	7680x4320			
遅延	標準			
音声符号化方式	AAC			
音声チャンネル	32ch(22.2/5.1/2)			
音声ビットレート(Mbit/s)	6			
カスケード回数	1			

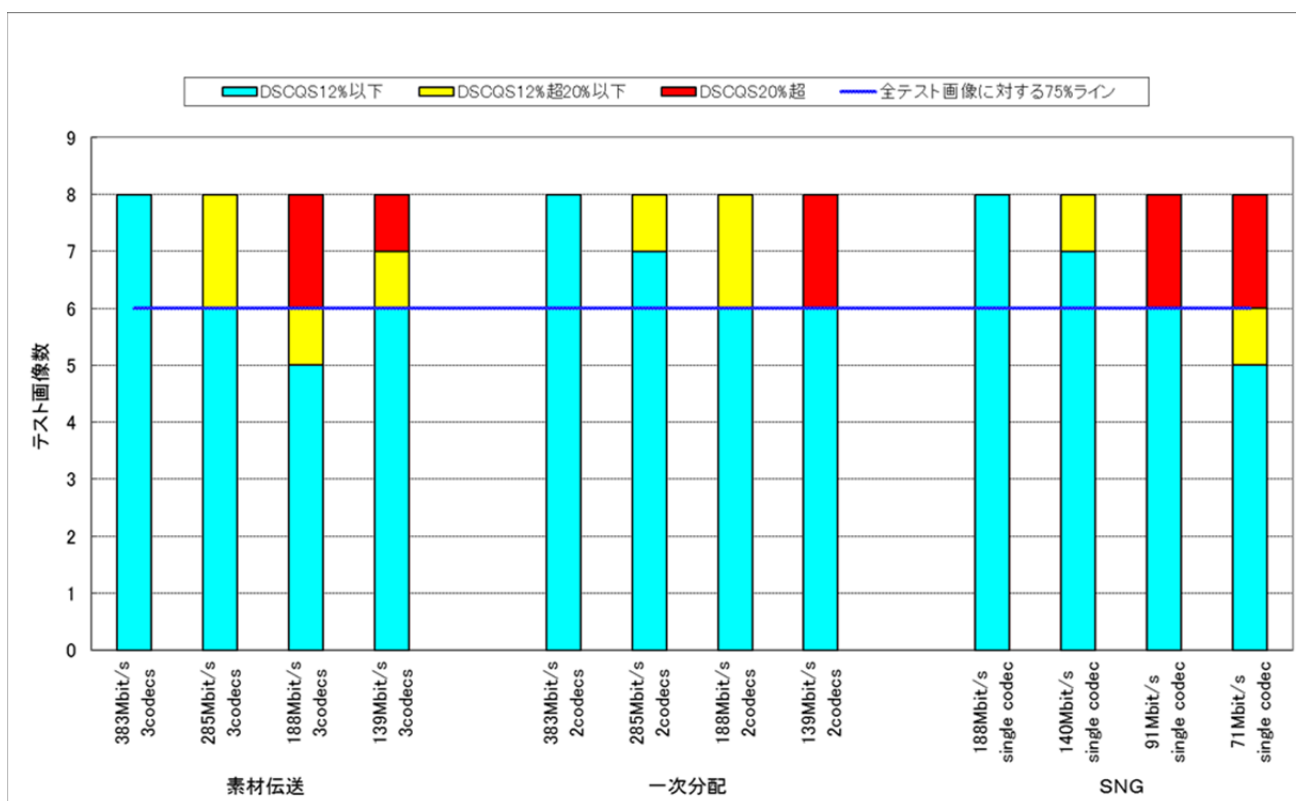


図1 UHDTV(8K)有意水準5%における DSCQS 平均値判定結果の積み上げ

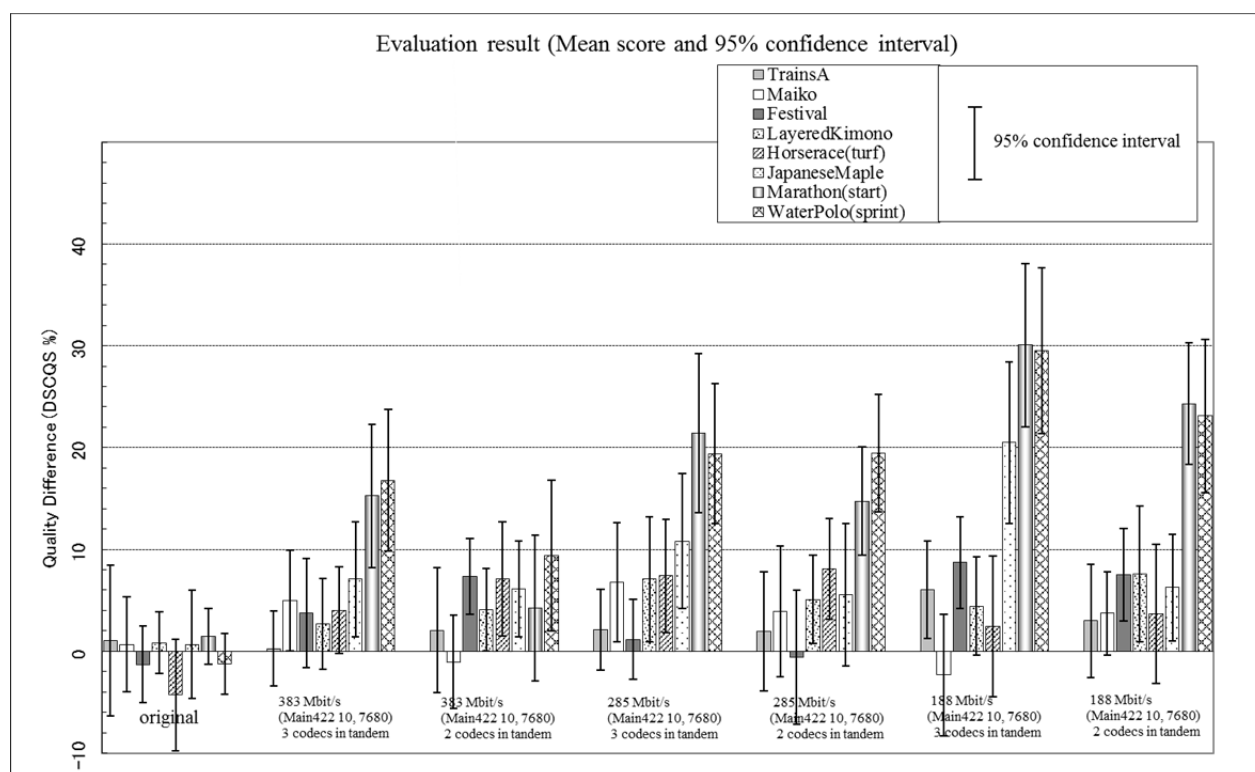


図2 UHDTV(8K)符号化条件別 DSCQS 平均値①

(原画像、及び映像ビットレート 383Mbit/s～188Mbit/s カスケード3回と2回)

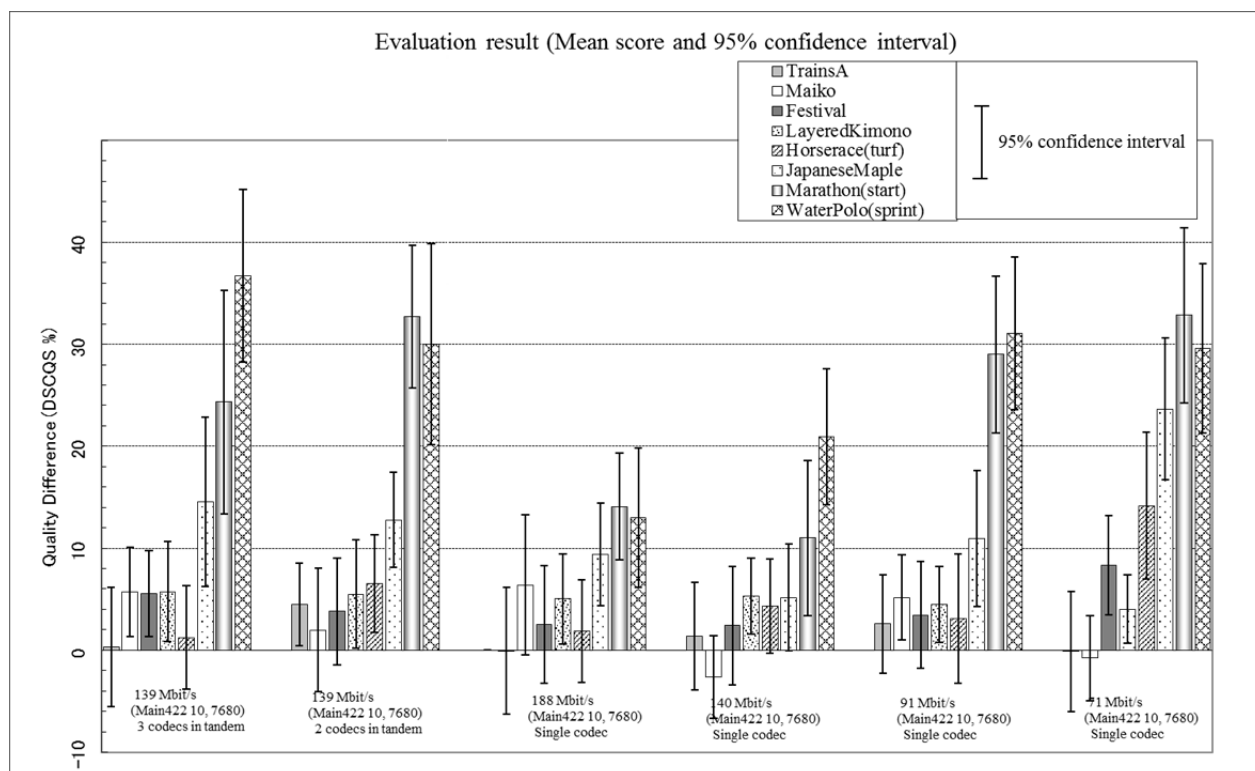


図3 UHD TV(8K)符号化条件別 DSCQS 平均値②
(映像ビットレート 139Mbit/s カスケード3回及び2回、映像ビットレート
188Mbit/s～71Mbit/s カスケード1回)

表9 UHD TV(4K)共通条件

入出力画像フォーマット	2160/59.94/P (3840×2160)
表色系	ITU-R 勧告BT.2020 準拠
コーデック	素材伝送用ハードウェアコーデック(市販品)
入出力	Y' C'b C'r 4:2:2 10bit 非圧縮ファイル
HEVC プロファイル・レベル	HEVC Main 422 10 Profile Level5.1
遅延モード・SOP構造	標準 L=3 (リオーダーリング適用)
プリフィルタ	Off

表10 UHD TV(4K)評価法

評価法	二重刺激連続品質尺度(DSCQS)法 (ITU-R勧告BT.500)
基準画像	非圧縮原画像 映像情報メディア学会 超高精細・広色域標準動画像 Aシリーズ/Bシリーズ(実験実施時は頒布準備中)
テスト画像	8種類を選択、各10秒
テスト画像再生機	UDR-N50A(計測技研)
評定者	テレビ放送局、放送機器メーカーの映像専門家23名 評価結果に対するスクリーニング実施
実施場所	NHK放送技術研究所 映像評価室
実施日	2016年9月13日、14日

表11 UHDTV(4K)観視条件

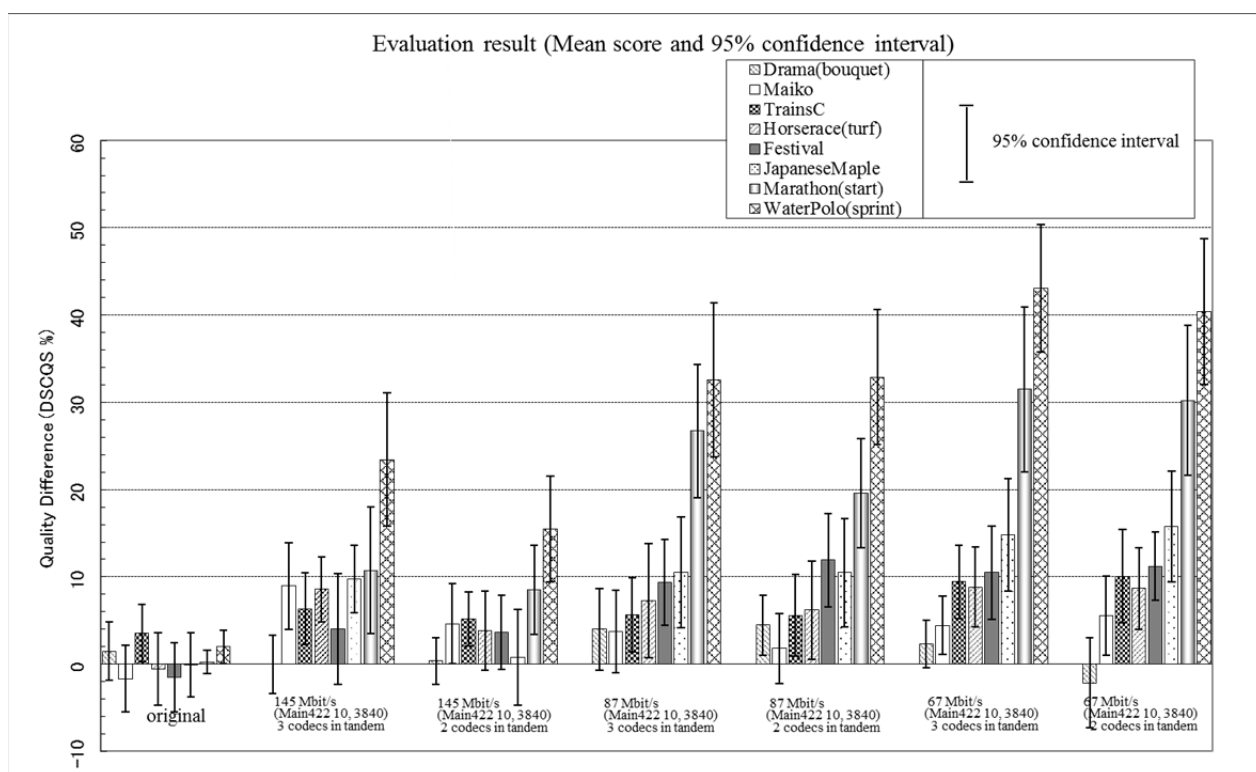
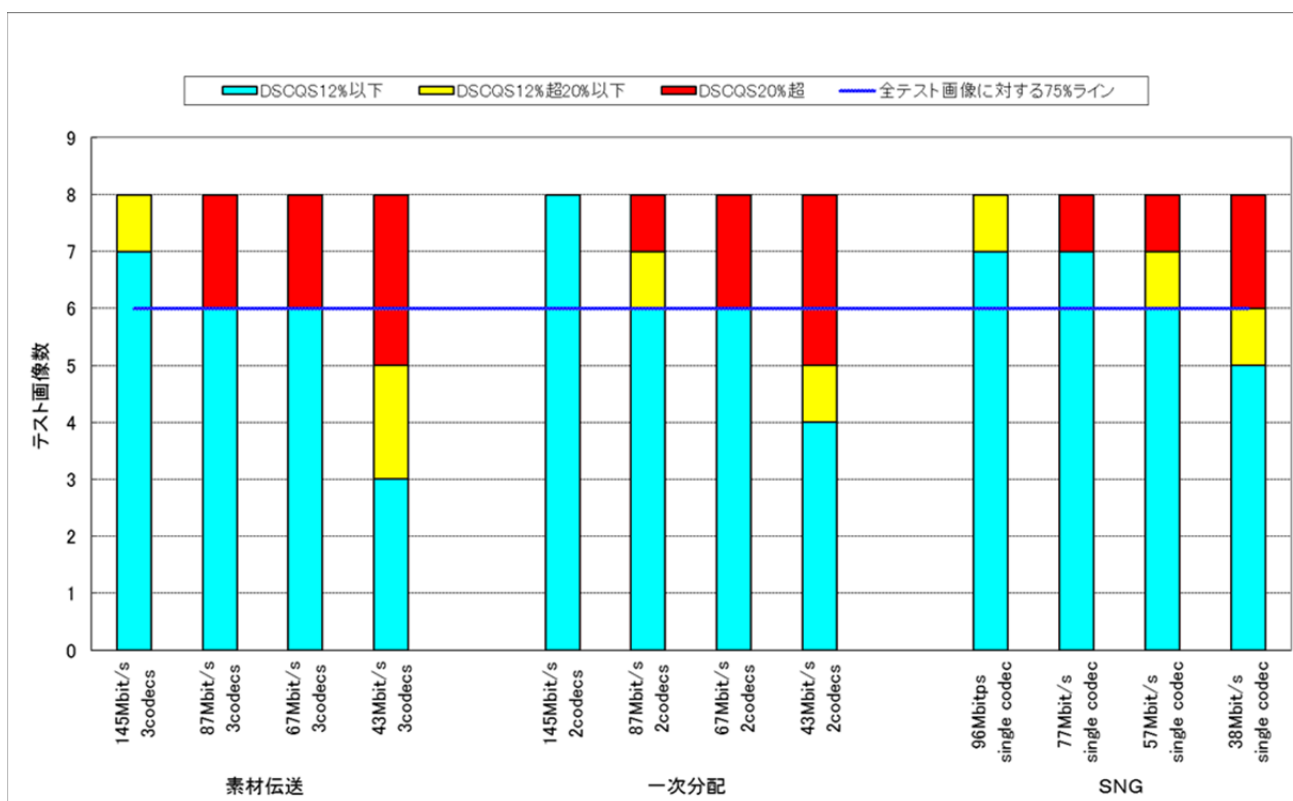
観視条件	ITU-R 勧告 BT2022
ディスプレイ	30 型有機 EL マスターモニターBVM-X300(SONY)
ディスプレイのピーク輝度	100cd/m ²
ディスプレイの色温度	6500K
ディスプレイの背景色	6500K
視距離	1.5H(H:画面高)

表12 UHDTV(4K)符号化条件(素材伝送および一次分配用コーデックとしての画質評価実験)

符号化条件No.	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
プロファイル/レベル	Main422 10/Level5.1							
想定伝送路			マイクロ波帯 UHDTV-FPU (1024QAM 2/3) の1/2相当				現行シングルキャ リア FPU(64QAM 5/6) 相当	
TSビットレート(Mbit/s) (188バイトTS)	160		100		80		55	
映像ビットレート(Mbit/s)	145		87		67		43	
画素数(水平×垂直)	3840x2160							
遅延	標準							
音声符号化方式	非圧縮LPCM							
音声チャンネル	8ch(5.1/2)							
音声ビットレート(Mbit/s)	10							
カスケード回数	3	2	3	2	3	2	3	2

表13 UHDTV(4K)符号化条件(SNG 伝送用コーデックとしての画質評価実験)

符号化条件No.	4.1	4.2	4.3	4.4
プロファイル/レベル	Main422 10/Level5.1			
TSビットレート(Mbit/s) (188バイトTS)	100	80	60	40
映像ビットレート (Mbit/s)	96	77	57	38
画素数(水平×垂直)	3840x2160			
遅延	標準			
音声符号化方式	AAC			
音声チャンネル	8ch(5.1/2)			
音声ビットレート (Mbit/s)	1			
カスケード回数	1			



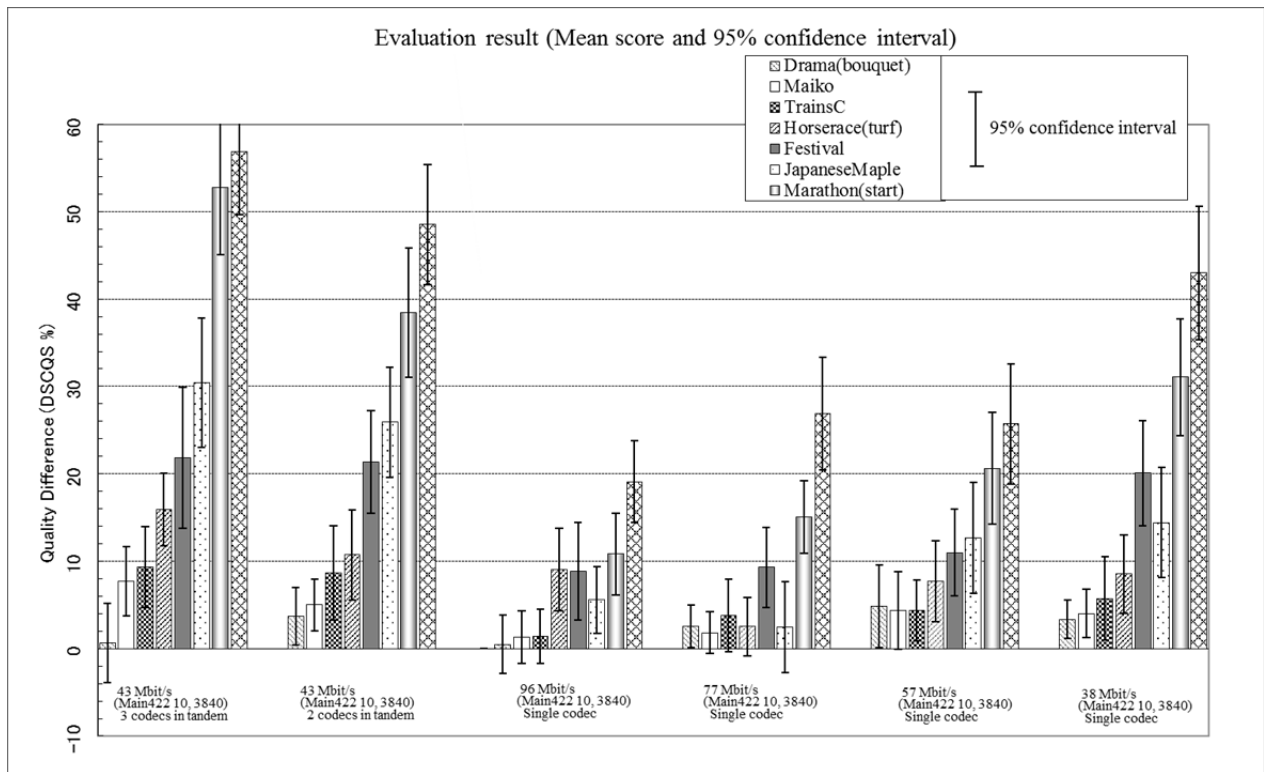


図6 UHDTV(4K)符号化条件別 DSCQS 平均値②
 (映像ビットレート 43Mbit/s カスケード3回及び2回、映像ビットレート
 96Mbit/s～38Mbit/s カスケード1回)

最大伝送容量の検討

4 K・8 K素材伝送に必要なビットレートは、ARIBのデジタル放送システム開発部会映像符号化方式作業班と素材伝送開発部会地上無線素材伝送作業班傘下に設置された、素材伝送用HEVCコーデック評価JTGにおいて検討が行われている（参考資料4）。この検討結果を元に、参考資料3の3つの運用モデルごとに、フルモード及びハーフモードの両方の最大伝送容量について検討を行った。

1 フルモード

ア 固定中継（標準）の場合

(1) 必要な映像ビットレート：188 Mbit/s 以上

「素材伝送用HEVC コーデック画質評価実験中間報告（案）」で報告された8 Kコーデックのカスケード2 段の場合の所要映像ビットレートの値である「188Mbit/s 以上」を採用した。

(2) 必要なTS ビットレート（188バイトTS）：200 Mbit/s 以上

映像信号に音声・制御信号を加えてTS ビットレートを得る。

- ・映像信号 188 Mbit/s
- ・音声・制御信号 12 Mbit/s

(3) 200 Mbit/s のTS を伝送できる変調パラメータ：1024QAM 2/3（FFT ポイント数 8192）

- ・FFT クロック：20.45074286 MHz
- ・総キャリア数：6881 本
- ・データキャリア数：6426 本
- ・パイロットキャリア数：216 本
- ・TMCC キャリア数：64 本
- ・AC キャリア数：175 本
- ・ガードインターバル比：1/32

(4) 最大伝送容量：344 Mbit/s

データキャリアにパイロット、TMCC、AC を加え、ガードインターバルを加えて最大伝送容量を得る。パイロット、TMCC、ACについてもデータキャリアと同じ変調パラメータを適用して最大伝送容量を計算した。

- ・データキャリア 311.119 Mbit/s（キャリア数：6426）
- ・パイロット 10.458 Mbit/s 相当（キャリア数：216）

- ・ TMCC 3.099 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 64)

- ・ AC 8.473 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 175)

上記の合計 $333.148 \text{ Mbit/s} \times 33/32$ (ガード比1/32 のガードインターバル) =
343.559 Mbit/s

イ 固定中継 (高品質)

(1) 必要な映像ビットレート : 285 Mbit/s 以上

「素材伝送用HEVC コーデック画質評価実験中間報告 (案)」で報告された8Kの
コーデックのカスケード3 段の場合でも劣化がほとんど見られない高品質な伝送を
行うための所要映像ビットレートである「285 Mbit/s 以上」を採用した。

(2) 必要なTS ビットレート (188バイトTS) : 300 Mbit/s 以上

映像信号に音声・制御信号を加えてTS ビットレートを得る。

- ・ 映像信号 285 Mbit/s

- ・ 音声・制御信号 15 Mbit/s

(3) 300 Mbit/s のTS を伝送できる変調パラメータ : 4096QAM 5/6 (FFT ポイント数
8192)

- ・ FFT クロック : 20.45074286 MHz

- ・ 総キャリア数 : 6881 本

- ・ データキャリア数 : 6426 本

- ・ パイロットキャリア数 : 216 本

- ・ TMCC キャリア数 : 64 本

- ・ AC キャリア数 : 175 本

- ・ ガードインターバル比 : 1/32

(4) 最大伝送容量 : 412 Mbit/s

データキャリアにパイロット、TMCC、AC を加え、ガードインターバルを加えて最
大伝送容量を得る。パイロット、TMCC、ACについてもデータキャリアと同じ変調パラ
メータを適用して最大伝送容量を計算した。

- ・ データキャリア 373.342 Mbit/s (キャリア数 : 6426)

- ・ パイロット 12.549 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 216)

- ・ TMCC 3.718 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 64)

- ・ AC 10.167 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 175)

上記の合計 $399.777 \text{ Mbit/s} \times 33/32$ (ガード比1/32 のガードインターバル) =
412.27 Mbit/s

ウ 移動中継

(1) 必要な映像ビットレート：140 Mbit/s 以上

「素材伝送用HEVC コーデック画質評価実験中間報告（案）」で報告された8Kのコーデックのカスケード1 段場合の所要映像ビットレートである 140 Mbit/s 以上を用いることとした。

(2) 必要なTS ビットレート（188バイトTS）：150 Mbit/s 以上

映像信号に音声・制御信号を加えてTSビットレートを得る。

- ・映像信号 140 Mbit/s
- ・音声・制御信号 10 Mbit/s

(3) 150 Mbit/s のTS を伝送できる変調パラメータ：64QAM 5/6 (FFT ポイント数8192)

- ・FFT クロック：20.45074286 MHz
- ・総キャリア数：6881 本
- ・データキャリア数：6426 本
- ・パイロットキャリア数：216 本
- ・TMCC キャリア数：64 本
- ・AC キャリア数：175 本
- ・ガードインターバル比：1/32

(4) 最大伝送容量：206 Mbit/s

データキャリアにパイロット、TMCC、AC を加え、ガードインターバルを加えて最大伝送容量を得る。パイロット、TMCC、ACについてもデータキャリアと同じ変調パラメータを適用して最大伝送容量を計算した。

- ・データキャリア 186.671 Mbit/s （キャリア数：6426）
- ・パイロット 6.275 Mbit/s 相当（キャリア数：216）
- ・TMCC 1.859 Mbit/s 相当（キャリア数：64）
- ・AC 5.084 Mbit/s 相当（キャリア数：175）

上記の合計 $199.889 \text{ Mbit/s} \times 33/32$ （ガード比1/32 のガードインターバル）＝
206.135Mbit/s

2 ハーフモード

ア 固定中継（標準）の場合

(1) 必要な映像ビットレート：87 Mbit/s 以上

「素材伝送用HEVC コーデック画質評価実験中間報告（案）」で報告された4Kのカスケード2 段の場合の所要映像レートは、145 Mbit/s となっているが、以下のことを考慮することとした。

- ・評価実験結果は、ビットレート 145 Mbit/s の一つ下の評価ビットレートである 87

Mbit/s で符号化難易度の高かった1つの画像のみで画質の要求を満たさなかった結果に起因するものであり、標準伝送としては 87 Mbit/s でも概ね画質の要求を満たすものと考えられる。

- ・実運用に使用する際のコーデックでは、プリフィルタの工夫などの画像処理による画質改善が期待できること。
- ・HEVC コーデックは未だ発展途上であり、今後の画質改善や符号化効率向上など技術的進歩が予想されること。

以上の点を考慮すれば、将来的には 87 Mbit/s でも固定中継（標準）の画質要求を満たす可能性は高いと考えられ、ハーフモード使用時の 4 K 伝送の必要な映像ビットレートを 87 Mbit/s 以上とした。

(2) 必要なTS ビットレート (188バイトTS) : 100 Mbit/s 以上

映像信号に音声・制御信号を加えてTS ビットレートを得る。

- ・映像信号 87 Mbit/s
- ・音声・制御信号 13 Mbit/s

(3) 100 Mbit/s のTS を伝送できる変調パラメータ : 1024QAM 2/3 (FFT ポイント数 8192)

- ・FFT クロック : 20.45074286 MHz
- ・総キャリア数 : 3367 本
- ・データキャリア数 : 3162 本
- ・パイロットキャリア数 : 106 本
- ・TMCC キャリア数 : 64 本
- ・AC キャリア数 : 35 本
- ・ガードインターバル比 : 1/32

(4) 最大伝送容量 : 168 Mbit/s

データキャリアにパイロット、TMCC、AC を加え、ガードインターバルを加えて最大伝送容量を得る。パイロット、TMCC、ACについてもデータキャリアと同じ変調パラメータを適用して最大伝送容量を計算した。

- ・データキャリア 153.090 Mbit/s (キャリア数 : 3162)
- ・パイロット 5.132 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 106)
- ・TMCC 3.099 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 64)
- ・AC 1.695 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 35)

上記の合計 $163.015 \text{ Mbit/s} \times 33/32$ (ガード比1/32 のガードインターバル) = 168.110 Mbit/s

イ 固定中継（高品質）

(1) 必要な映像ビットレート：135 Mbit/s 以上

「素材伝送用HEVC コーデック画質評価実験中間報告（案）」で報告された4Kのカスケード3段の場合の所要映像レートは、145 Mbit/s となっているが、以下のことを考慮することとした。

- ・評価実験結果は、ビットレート145 Mbit/s の一つ下の評価ビットレートである 87 Mbit/s において、符号化難易度の高かった1つの画像のみで画質の要求を満たさなかった結果に起因するものであり、実際には 145 Mbit/s から 87 Mbit/s の間にスレッシュホールドがある。
- ・実運用に使用する際のコーデックでは、プリフィルタの工夫などの画像処理による画質改善が期待できること。
- ・HEVC コーデックは、未だ発展途上であり、今後の画質改善や符号化効率向上など技術的進歩が予想されること。

以上の点を考慮すれば、将来的には 135 Mbit/s でも固定中継（高品質）の画質要求を満たす可能性は高いと考えられ、ハーフモード使用時の4K伝送の必要な映像ビットレートを 135 Mbit/s 以上とした。

(2) 必要なTS ビットレート（188バイトTS）：150 Mbit/s 以上

映像信号に音声・制御信号を加えてTS ビットレートを得る。

- ・映像信号 135 Mbit/s
- ・音声・制御信号 15 Mbit/s

(3) 150 Mbit/s のTS を伝送できる変調パラメータ：4096QAM 5/6（FFT ポイント数 8192）

- ・FFT クロック：20.45074286 MHz
- ・総キャリア数：3367 本
- ・データキャリア数：3162 本
- ・パイロットキャリア数：106 本
- ・TMCC キャリア数：64 本
- ・AC キャリア数：35 本
- ・ガードインターバル比：1/32

(4) 最大伝送容量：202 Mbit/s

データキャリアにパイロット、TMCC、AC を加え、ガードインターバルを加えて最大伝送容量を得る。パイロット、TMCC、ACについてもデータキャリアと同じ変調パラメータを適用して最大伝送容量を計算した。

- ・データキャリア 183.708 Mbit/s （キャリア数：3162）
- ・パイロット 6.158 Mbit/s 相当（キャリア数：106）

- ・ TMCC 3.718 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 64)

- ・ AC 2.033 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 35)

上記の合計 195.618 Mbit/s $\times$ 33/32 (ガード比1/32 のガードインターバル) = 201.731 Mbit/s

ウ 移動中継

(1) 必要な映像ビットレート : 72 Mbit/s 以上

「素材伝送用HEVC コーデック画質評価実験中間報告 (案)」で報告された4 Kのカスケード1 段(SNG)の場合の所要映像レートは、96 Mbit/s となっているが、以下のことを考慮することとした。

- ・ 評価実験結果は、ビットレート 96 Mbit/s の一つ下の評価ビットレートである 77 Mbit/s において、符号化難易度の高かった1 つの画像のみで画質の要求を満たさなかった結果に起因するものであり、移動中継用としては 72 Mbit/s でも概ね画質の要求を満たすものと考えられる。
- ・ 実運用に使用する際のコーデックでは、プリフィルタの工夫などの画像処理による画質改善が期待できること。
- ・ HEVC コーデックは、未だ発展途上であり、今後の画質改善や符号化効率向上など技術的進歩が予想されること。

以上の点を考慮すれば、将来的には 72 Mbit/s でも移動中継の画質要求を満たす可能性は高いと考えられ、ハーフモード使用時の4 K伝送の必要な映像ビットレートを 72 Mbit/s 以上とした。

(2) 必要なTS ビットレート (188バイトTS) : 75 Mbit/s 以上

映像信号に音声・制御信号を加えてTSビットレートを得る。

- ・ 映像信号 72 Mbit/s
- ・ 音声・制御信号 3 Mbit/s

(3) 75 Mbit/s のTS を伝送できる変調パラメータ : 64QAM 5/6 (FFT ポイント数8192)

- ・ FFT クロック : 20.45074286 MHz
- ・ 総キャリア数 : 3367 本
- ・ データキャリア数 : 3162 本
- ・ パイロットキャリア数 : 106 本
- ・ TMCC キャリア数 : 64 本
- ・ AC キャリア数 : 35 本
- ・ ガードインターバル比 : 1/32

(4) 最大伝送容量 : 101 Mbit/s

データキャリアにパイロット、TMCC、AC を加え、ガードインターバルを加えて最大伝送容量を得る。パイロット、TMCC、ACについてもデータキャリアと同じ変調パラメータを適用して最大伝送容量を計算した。

- ・ データキャリア 91.854 Mbit/s (キャリア数 : 3162)
- ・ パイロット 3.079 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 106)
- ・ TMCC 1.859 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 64)
- ・ AC 1.017 Mbit/s 相当 (キャリア数 : 35)

上記の合計 $97.809 \text{ Mbit/s} \times 33/32$ (ガード比1/32 のガードインターバル) =
100.866 Mbit/s

キャリア変調方式の検討

4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たすキャリア変調方式を検討した。参考資料 5 より、固定中継（標準）、固定中継（高品質）、移動中継のTS(188バイト)の所要伝送レートはそれぞれ、8 K映像の場合で200 Mbit/s、300 Mbit/s、150 Mbit/sとし、4 K映像の場合で100 Mbit/s、150 Mbit/s、75 Mbit/sとした。偏波MIMO方式、SISO(Single-Input Single-Output)方式、フルモード、ハーフモード、FFTポイント数8192、FFTポイント数2048の8通りのパラメータ毎に4 K・8 Kの所要伝送レートを満たすキャリア変調方式を検討した。その結果を表 1 から 8 に示す。これらの表においては、4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす場合を◎、4 K映像の所要伝送レートを満たす場合を○と表記した。

後述する回線設計を行うためには、前述の 3 つの運用モデルについて符号化率と変調方式を選定する必要がある。フルモードの場合は表 1 の中から、ハーフモードの場合は表 3 の中から所要C/Nが比較的低いものをそれぞれ選択した。所要C/Nが同程度である場合は、実環境での性能を重視して符号化率が低い方を選択した。結果を以下に示す。

1 フルモード

ア 固定中継（標準）

符号化率2/3の1024QAM変調方式を回線設計に用いた。このときのTSレート188バイトTSビットレートは 208.5 Mbit/sであり、200 Mbit/s以上の要求条件を満たしている。（表 1 参照）

イ 固定中継（高品質）

符号化率5/6の4096QAM変調方式を回線設計に用いた。このときのTSレート188バイトTSビットレートは 312.8 Mbit/sであり、300 Mbit/s以上の要求条件を満たしている。（表 1 参照）

ウ 移動中継

符号化率 5/6 の64QAM変調方式を回線設計に用いた。このときのTSレート188バイトTSビットレートは 156.4 Mbit/sであり、150 Mbit/s の要求条件を満たしている。（表 1 参照）

2 ハーフモードの場合

ア 固定中継（標準）

符号化率 2/3 の1024QAM変調方式を回線設計に用いた。このときのTSレート188バイトTSビットレートは102.6 Mbit/sであり、100 Mbit/s以上の要求条件を満たしている。（表 3 参照）。

イ 固定中継（高品質）

符号化率 5/6 の 4096QAM 変調方式を回線設計に用いた。このときの TS レート188バ

イトTSビットレートは 153.9 Mbit/sであり、150 Mbit/s以上の要求条件を満たしている。
(表 3 参照)

ウ 移動中継

符号化率 5/6 の64QAM変調方式を回線設計に用いた。このときの TS レート188バイトTSビットレートは 77.0 Mbit/s であり、75 Mbit/s以上の要求条件を満たしている。
(表 3 参照)。

表 1 MIMOフルモード（FFTポイント数8192）で4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		15.6	×	×	×
	2/3		20.9	×	×	×
	3/4		22.9	×	×	×
	5/6		26.1	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	31.3	×	×	×
	2/3	7.2	41.7	×	×	×
	3/4	8.0	45.9	×	×	×
	5/6	9.4	52.1	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	62.6	×	×	×
	2/3	13.3	83.4	×	×	○
	3/4	14.0	91.7	×	×	○
	5/6	15.7	104.3	○	×	○
32QAM	1/2	13.2	78.2	×	×	○
	2/3	16.0	104.3	○	×	○
	3/4	17.0	114.7	○	×	○
	5/6	18.7	130.3	○	×	○
64QAM	1/2	15.0	93.8	×	×	○
	2/3	17.7	125.1	○	×	○
	3/4	19.1	137.6	○	×	○
	5/6	21.2	156.4	○	○	◎
256QAM	1/2	18.9	125.1	○	×	○
	2/3	22.4	166.8	○	○	◎
	3/4	23.9	183.5	○	○	◎
	5/6	26.5	208.5	◎	○	◎
1024QAM	1/2	22.7	156.4	○	○	◎
	2/3	27.1	208.5	◎	○	◎
	3/4	28.9	229.4	◎	○	◎
	5/6	31.8	260.7	◎	○	◎
4096QAM	1/2	26.4	187.7	○	○	◎
	2/3	31.6	250.2	◎	○	◎
	3/4	33.7	275.2	◎	○	◎
	5/6	37.1	312.8	◎	◎	◎

◎・・・4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○・・・4 K映像の所要伝送レートを満たす

表2 MIMOフルモード（FFTポイント数2048）で4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		12.7	×	×	×
	2/3		17.0	×	×	×
	3/4		18.7	×	×	×
	5/6		21.2	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	25.5	×	×	×
	2/3	7.2	34.0	×	×	×
	3/4	8.0	37.4	×	×	×
	5/6	9.4	42.5	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	51.0	×	×	×
	2/3	13.3	68.0	×	×	×
	3/4	14.0	74.8	×	×	×
	5/6	15.7	85.0	×	×	○
32QAM	1/2	13.2	63.7	×	×	×
	2/3	16.0	85.0	×	×	○
	3/4	17.0	93.4	×	×	○
	5/6	18.7	106.2	○	×	○
64QAM	1/2	15.0	76.5	×	×	○
	2/3	17.7	101.9	○	×	○
	3/4	19.1	112.1	○	×	○
	5/6	21.2	127.4	○	×	○
256QAM	1/2	18.9	101.9	○	×	○
	2/3	22.4	135.9	○	×	○
	3/4	23.9	149.5	○	×	○
	5/6	26.5	169.9	○	○	◎
1024QAM	1/2	22.7	127.4	○	×	○
	2/3	27.1	169.9	○	○	◎
	3/4	28.9	186.9	○	○	◎
	5/6	31.8	212.4	◎	○	◎
4096QAM	1/2	26.4	152.9	○	○	◎
	2/3	31.6	203.9	◎	○	◎
	3/4	33.7	224.3	◎	○	◎
	5/6	37.1	254.9	◎	○	◎

◎・・・4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○・・・4 K映像の所要伝送レートを満たす

表3 MIMOハーフモード（FFTポイント数8192）で4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		7.7	×	×	×
	2/3		10.3	×	×	×
	3/4		11.3	×	×	×
	5/6		12.8	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	15.4	×	×	×
	2/3	7.2	20.5	×	×	×
	3/4	8.0	22.6	×	×	×
	5/6	9.4	25.7	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	30.8	×	×	×
	2/3	13.3	41.0	×	×	×
	3/4	14.0	45.1	×	×	×
	5/6	15.7	51.3	×	×	×
32QAM	1/2	13.2	38.5	×	×	×
	2/3	16.0	51.3	×	×	×
	3/4	17.0	56.4	×	×	×
	5/6	18.7	64.1	×	×	×
64QAM	1/2	15.0	46.2	×	×	×
	2/3	17.7	61.6	×	×	×
	3/4	19.1	67.7	×	×	×
	5/6	21.2	77.0	×	×	○
256QAM	1/2	18.9	61.6	×	×	×
	2/3	22.4	82.1	×	×	○
	3/4	23.9	90.3	×	×	○
	5/6	26.5	102.6	○	×	○
1024QAM	1/2	22.7	77.0	×	×	○
	2/3	27.1	102.6	○	×	○
	3/4	28.9	112.9	○	×	○
	5/6	31.8	128.3	○	×	○
4096QAM	1/2	26.4	92.3	×	×	○
	2/3	31.6	123.1	○	×	○
	3/4	33.7	135.4	○	×	○
	5/6	37.1	153.9	○	○	◎

◎・・・4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○・・・4 K映像の所要伝送レートを満たす

表 4 MIMOハーフモード（FFTポイント数2048）で4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		6.4	×	×	×
	2/3		8.5	×	×	×
	3/4		9.3	×	×	×
	5/6		10.6	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	12.7	×	×	×
	2/3	7.2	17.0	×	×	×
	3/4	8.0	18.7	×	×	×
	5/6	9.4	21.2	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	25.5	×	×	×
	2/3	13.3	34.0	×	×	×
	3/4	14.0	37.4	×	×	×
	5/6	15.7	42.5	×	×	×
32QAM	1/2	13.2	31.9	×	×	×
	2/3	16.0	42.5	×	×	×
	3/4	17.0	46.7	×	×	×
	5/6	18.7	53.1	×	×	×
64QAM	1/2	15.0	38.2	×	×	×
	2/3	17.7	51.0	×	×	×
	3/4	19.1	56.1	×	×	×
	5/6	21.2	63.7	×	×	×
256QAM	1/2	18.9	51.0	×	×	×
	2/3	22.4	68.0	×	×	×
	3/4	23.9	74.8	×	×	×
	5/6	26.5	85.0	×	×	○
1024QAM	1/2	22.7	63.7	×	×	×
	2/3	27.1	85.0	×	×	○
	3/4	28.9	93.4	×	×	○
	5/6	31.8	106.2	○	×	○
4096QAM	1/2	26.4	76.5	×	×	○
	2/3	31.6	101.9	○	×	○
	3/4	33.7	112.1	○	×	○
	5/6	37.1	127.4	○	×	○

◎・・・4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○・・・4 K映像の所要伝送レートを満たす

表5 SIS0フルモード（FFTポイント数8192）で4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		7.8	×	×	×
	2/3		10.4	×	×	×
	3/4		11.5	×	×	×
	5/6		13.0	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	15.6	×	×	×
	2/3	7.2	20.9	×	×	×
	3/4	8	22.9	×	×	×
	5/6	9.4	26.1	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	31.3	×	×	×
	2/3	13.3	41.7	×	×	×
	3/4	14	45.9	×	×	×
	5/6	15.7	52.1	×	×	×
32QAM	1/2	13.2	39.1	×	×	×
	2/3	16	52.1	×	×	×
	3/4	17	57.3	×	×	×
	5/6	18.7	65.2	×	×	×
64QAM	1/2	15	46.9	×	×	×
	2/3	17.7	62.6	×	×	×
	3/4	19.1	68.8	×	×	×
	5/6	21.2	78.2	×	×	○
256QAM	1/2	18.9	62.6	×	×	×
	2/3	22.4	83.4	×	×	○
	3/4	23.9	91.7	×	×	○
	5/6	26.5	104.3	○	×	○
1024QAM	1/2	22.7	78.2	×	×	○
	2/3	27.1	104.3	○	×	○
	3/4	28.9	114.7	○	×	○
	5/6	31.8	130.3	○	×	○
4096QAM	1/2	26.4	93.8	×	×	○
	2/3	31.6	125.1	○	×	○
	3/4	33.7	137.6	○	×	○
	5/6	37.1	156.4	○	○	◎

◎・・・4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○・・・4 K映像の所要伝送レートを満たす

表 6 SIS0 フルモード (FFTポイント数2048) で 4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		6.4	×	×	×
	2/3		8.5	×	×	×
	3/4		9.3	×	×	×
	5/6		10.6	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	12.7	×	×	×
	2/3	7.2	17.0	×	×	×
	3/4	8	18.7	×	×	×
	5/6	9.4	21.2	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	25.5	×	×	×
	2/3	13.3	34.0	×	×	×
	3/4	14	37.4	×	×	×
	5/6	15.7	42.5	×	×	×
32QAM	1/2	13.2	31.9	×	×	×
	2/3	16	42.5	×	×	×
	3/4	17	46.7	×	×	×
	5/6	18.7	53.1	×	×	×
64QAM	1/2	15	38.2	×	×	×
	2/3	17.7	51.0	×	×	×
	3/4	19.1	56.1	×	×	×
	5/6	21.2	63.7	×	×	×
256QAM	1/2	18.9	51.0	×	×	×
	2/3	22.4	68.0	×	×	×
	3/4	23.9	74.8	×	×	×
	5/6	26.5	85.0	×	×	○
1024QAM	1/2	22.7	63.7	×	×	×
	2/3	27.1	85.0	×	×	○
	3/4	28.9	93.4	×	×	○
	5/6	31.8	106.2	○	×	○
4096QAM	1/2	26.4	76.5	×	×	○
	2/3	31.6	101.9	○	×	○
	3/4	33.7	112.1	○	×	○
	5/6	37.1	127.4	○	×	○

◎ . . . 4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○ . . . 4 K映像の所要伝送レートを満たす

表7 SISO ハーフモード（FFTポイント数8192）で4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		3.9	×	×	×
	2/3		5.2	×	×	×
	3/4		5.7	×	×	×
	5/6		6.4	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	7.7	×	×	×
	2/3	7.2	10.3	×	×	×
	3/4	8	11.3	×	×	×
	5/6	9.4	12.9	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	15.4	×	×	×
	2/3	13.3	20.5	×	×	×
	3/4	14	22.6	×	×	×
	5/6	15.7	25.7	×	×	×
32QAM	1/2	13.2	19.2	×	×	×
	2/3	16	25.7	×	×	×
	3/4	17	28.2	×	×	×
	5/6	18.7	32.1	×	×	×
64QAM	1/2	15	23.1	×	×	×
	2/3	17.7	30.8	×	×	×
	3/4	19.1	33.9	×	×	×
	5/6	21.2	38.5	×	×	×
256QAM	1/2	18.9	30.8	×	×	×
	2/3	22.4	41.0	×	×	×
	3/4	23.9	45.1	×	×	×
	5/6	26.5	51.3	×	×	×
1024QAM	1/2	22.7	38.5	×	×	×
	2/3	27.1	51.3	×	×	×
	3/4	28.9	56.4	×	×	×
	5/6	31.8	64.1	×	×	×
4096QAM	1/2	26.4	46.2	×	×	×
	2/3	31.6	61.6	×	×	×
	3/4	33.7	67.7	×	×	×
	5/6	37.1	77.0	×	×	○

◎・・・4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○・・・4 K映像の所要伝送レートを満たす

表 8 SISO ハーフモード（FFTポイント数2048）で4 K・8 Kの
所要伝送レートを満たすキャリア変調方式

変調方式	符号化率	所要C/N (dB)	TSレート (188バイト パケット) (Mbit/s)	固定中継 (標準)	固定中継 (高品質)	移動中継
BPSK	1/2		3.2	×	×	×
	2/3		4.3	×	×	×
	3/4		4.7	×	×	×
	5/6		5.3	×	×	×
QPSK	1/2	5.1	6.4	×	×	×
	2/3	7.2	8.5	×	×	×
	3/4	8	9.4	×	×	×
	5/6	9.4	10.6	×	×	×
16QAM	1/2	10.8	12.8	×	×	×
	2/3	13.3	17.0	×	×	×
	3/4	14	18.7	×	×	×
	5/6	15.7	21.3	×	×	×
32QAM	1/2	13.2	16.0	×	×	×
	2/3	16	21.3	×	×	×
	3/4	17	23.4	×	×	×
	5/6	18.7	26.6	×	×	×
64QAM	1/2	15	19.1	×	×	×
	2/3	17.7	25.5	×	×	×
	3/4	19.1	28.1	×	×	×
	5/6	21.2	31.9	×	×	×
256QAM	1/2	18.9	25.5	×	×	×
	2/3	22.4	34.0	×	×	×
	3/4	23.9	37.4	×	×	×
	5/6	26.5	42.5	×	×	×
1024QAM	1/2	22.7	31.9	×	×	×
	2/3	27.1	42.5	×	×	×
	3/4	28.9	46.7	×	×	×
	5/6	31.8	53.1	×	×	×
4096QAM	1/2	26.4	38.3	×	×	×
	2/3	31.6	51.0	×	×	×
	3/4	33.7	56.1	×	×	×
	5/6	37.1	63.7	×	×	×

◎・・・4 K・8 K映像の所要伝送レートを満たす

○・・・4 K映像の所要伝送レートを満たす

C/N配分

回線設計に使用した所要C/N に関する各種の雑音や干渉の配分については、平成13 年度情報通信審議会答申 諮問第110 号「番組中継用デジタル回線の技術的条件」のうち「OFDM方式のFPU の技術的条件」（平成13 年6 月25 日）の別紙8 のC/N 配分比率を参考として、以下のように運用モデル毎に配分を行った。

(1) 固定中継（標準伝送）の場合（1024QAM-OFDM、符号化率 2／3）

所要 C/N

27. 1dB	熱雑音	(48%)	30. 3dB
	歪雑音	(2%)	44. 1dB
	干渉雑音	(50%)	30. 1dB
	同一伝搬路		32. 1dB (35. 1dB×2 波)
	異伝搬路		34. 4dB (37. 4dB×2 波)

(2) 固定中継（高品質伝送）の場合（4096QAM-OFDM、符号化率 5／6）

所要 C/N

37. 1dB	熱雑音	(48%)	40. 3dB
	歪雑音	(2%)	54. 1dB
	干渉雑音	(50%)	40. 1dB
	同一伝搬路		42. 1dB (45. 1dB×2 波)
	異伝搬路		44. 4dB (47. 4dB×2 波)

(3) 移動中継の場合（64QAM-OFDM、符号化率 5／6）

所要 C/N

21. 2dB	熱雑音	(48%)	24. 4dB
	歪雑音	(2%)	38. 2dB
	干渉雑音	(50%)	24. 2dB
	同一伝搬路		26. 2dB (29. 2dB×2 波)
	異伝搬路		28. 5dB (31. 5dB×2 波)

回線設計例

固定中継（標準）の回線設計例を表 1 から表 6 に、固定中継（高品質）の回線設計例を表 7 から表 12 に示す。また、移動中継の回線設計例を表 13 から表 15 に示す。

ア 固定中継（標準）の回線設計例

表 1 固定中継（標準）B, C, Dバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ0.6m

B,C,Dバンド	1024QAM, R=2/3 フルモード	1024QAM, R=2/3 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	6.5	6.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	30.0	30.0
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	63.5	60.5
伝送距離d [km]	50.0	50.0
自由空間伝搬損失 $(\lambda / 4 \pi d)^2$ [dB]	142.7	142.7
受信アンテナ直径 lr [m]	0.6	0.6
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率60%)	30.0	30.0
受信給電線損失Lr [dB]	1.3	1.3
年間回線瞬断率(フェージング) [%]	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr [dB]	5.1	5.1
受信電力 Ci[dBm]	-55.6	-58.6
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	41.8	41.9
所要C/N [dB]	27.1	27.1
伝送マージン [dB]	14.7	14.8

表2 固定中継（標準）B, C, Dバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ1.2m

B,C,Dバンド	1024QAM, R=2/3 フルモード	1024QAM, R=2/3 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	6.5	6.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	30.0	30.0
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	63.5	60.5
伝送距離d [km]	50.0	50.0
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	142.7	142.7
受信アンテナ直径 lr [m]	1.2	1.2
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率47%)	35.0	35.0
受信給電線損失Lr [dB]	5	5
年間回線瞬断率(フェージング) [%]	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr [dB]	5.1	5.1
受信電力 Ci [dBm]	-54.3	-57.3
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	43.1	43.2
所要C/N [dB]	27.1	27.1
伝送マージン [dB]	16.0	16.1

表3 固定中継（標準）E，Fバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ0.6m

E,Fバンド	1024QAM, R=2/3 フルモード	1024QAM, R=2/3 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	10.5	10.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	34.2	34.2
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	67.7	64.6
伝送距離d [km]	6.8	6.8
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	129.5	129.5
受信アンテナ直径 lr [m]	0.6	0.6
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率60%)	34.2	34.2
受信給電線損失Lr [dB]	1.2	1.2
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	26.6	26.6
受信電力 Ci [dBm]	-55.5	-58.5
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	41.9	42.0
所要C/N [dB]	27.1	27.1
伝送マージン [dB]	14.8	14.9

表 4 固定中継（標準） E, Fバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ1.2m

E,Fバンド	1024QAM, R=2/3 フルモード	1024QAM, R=2/3 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	10.5	10.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	34.2	34.2
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	67.7	64.6
伝送距離d [km]	6.8	6.8
自由空間伝搬損失 $(\lambda / 4 \pi d)^2$ [dB]	129.5	129.5
受信アンテナ直径 lr [m]	1.2	1.2
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率47%)	39.1	39.1
受信給電線損失Lr [dB]	4.9	4.9
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	26.6	26.6
受信電力 Ci [dBm]	-54.2	-57.2
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	43.2	43.3
所要C/N [dB]	27.1	27.1
伝送マージン [dB]	16.1	16.2

表5 固定中継（標準）Gバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ0.6m

Gバンド	1024QAM, R=2/3 フルモード	1024QAM, R=2/3 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	13.0	13.0
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	36.0	36.0
送信給電線損失Lt [dB]	1	1
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	69.0	66.0
伝送距離d [km]	4.9	4.9
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	128.5	128.5
受信アンテナ直径 lr [m]	0.6	0.6
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率60%)	36.0	36.0
受信給電線損失Lr [dB]	1.7	1.7
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	29.4	29.4
受信電力 Ci [dBm]	-54.6	-57.6
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	5.0	5.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-96.4	-99.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	41.8	41.9
所要C/N [dB]	27.1	27.1
伝送マージン [dB]	14.7	14.8

表 6 固定中継（標準）Gバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ1.2m

Gバンド	1024QAM, R=2/3 フルモード	1024QAM, R=2/3 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	13.0	13.0
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	36.0	36.0
送信給電線損失Lt [dB]	1	1
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	69.0	66.0
伝送距離d [km]	4.9	4.9
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	128.5	128.5
受信アンテナ直径 lr [m]	1.2	1.2
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率47%)	41.0	41.0
受信給電線損失Lr [dB]	5.4	5.4
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	29.4	29.4
受信電力 Ci [dBm]	-53.3	-56.3
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	5.0	5.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-96.4	-99.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	43.1	43.2
所要C/N [dB]	27.1	27.1
伝送マージン [dB]	16.0	16.1

イ 固定中継（高品質）の回線設計例

表 7 固定中継（高品質）B, C, Dバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ0.6m

B,C,Dバンド	4096QAM, R=5/6 フルモード	4096QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	6.5	6.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	30.0	30.0
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	63.5	60.5
伝送距離d [km]	16.0	16.0
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	132.8	132.8
受信アンテナ直径 lr [m]	0.6	0.6
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率60%)	30.0	30.0
受信給電線損失Lr [dB]	1.3	1.3
年間回線瞬断率(フェージング) [%]	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr [dB]	5.1	5.1
受信電力 Ci[dBm]	-45.7	-48.7
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	51.7	51.8
所要C/N [dB]	37.1	37.1
伝送マージン [dB]	14.6	14.7

表 8 固定中継（高品質）B, C, Dバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ1.2m

B,C,Dバンド	4096QAM, R=5/6 フルモード	4096QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	6.5	6.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	30.0	30.0
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	63.5	60.5
伝送距離d [km]	16.0	16.0
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	132.8	132.8
受信アンテナ直径 lr [m]	1.2	1.2
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率47%)	35.0	35.0
受信給電線損失Lr [dB]	5	5
年間回線瞬断率(フェージング) [%]	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr [dB]	5.1	5.1
受信電力 Ci [dBm]	-44.4	-47.4
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	53.0	53.1
所要C/N [dB]	37.1	37.1
伝送マージン [dB]	15.9	16.0

表9 固定中継（高品質）E，Fバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ0.6m

E,Fバンド	4096QAM, R=5/6 フルモード	4096QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	10.5	10.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	34.2	34.2
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	67.7	64.6
伝送距離d [km]	2.2	2.2
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	119.7	119.7
受信アンテナ直径 lr [m]	0.6	0.6
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率60%)	34.2	34.2
受信給電線損失Lr [dB]	1.2	1.2
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	26.6	26.6
受信電力 Ci [dBm]	-45.7	-48.7
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	51.7	51.8
所要C/N [dB]	37.1	37.1
伝送マージン [dB]	14.6	14.7

表 10 固定中継（高品質）E, Fバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ1.2m

E,Fバンド	4096QAM, R=5/6 フルモード	4096QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	10.5	10.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	34.2	34.2
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	67.7	64.6
伝送距離d [km]	2.2	2.2
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	119.7	119.7
受信アンテナ直径 lr [m]	1.2	1.2
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率47%)	39.1	39.1
受信給電線損失Lr [dB]	4.9	4.9
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	26.6	26.6
受信電力 Ci [dBm]	-44.4	-47.4
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	53.0	53.1
所要C/N [dB]	37.1	37.1
伝送マージン [dB]	15.9	16.0

表 1 1 固定中継（高品質）Gバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ0.6m

Gバンド	4096QAM, R=5/6 フルモード	4096QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	13.0	13.0
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	36.0	36.0
送信給電線損失Lt [dB]	1	1
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	69.0	66.0
伝送距離d [km]	1.5	1.5
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	118.2	118.2
受信アンテナ直径 lr [m]	0.6	0.6
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率60%)	36.0	36.0
受信給電線損失Lr [dB]	1.7	1.7
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	29.4	29.4
受信電力 Ci [dBm]	-44.3	-47.3
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	5.0	5.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-96.4	-99.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	52.1	52.2
所要C/N [dB]	37.1	37.1
伝送マージン [dB]	15.0	15.1

表 1 2 固定中継（高品質）Gバンドの回線設計例
送信アンテナφ0.6m、受信アンテナφ1.2m

Gバンド	4096QAM, R=5/6 フルモード	4096QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	13.0	13.0
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ直径 lt [m]	0.6	0.6
送信アンテナ利得Gt [dBi] (アンテナ効率60%)	36.0	36.0
送信給電線損失Lt [dB]	1	1
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	69.0	66.0
伝送距離d [km]	1.5	1.5
自由空間伝搬損失 ($\lambda / 4 \pi d$) ² [dB]	118.2	118.2
受信アンテナ直径 lr [m]	1.2	1.2
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率47%)	41.0	41.0
受信給電線損失Lr [dB]	5.4	5.4
年間回線瞬断率 (降雨) [%]	0.00125	0.00125
所要降雨マージンZr [dB]	29.4	29.4
受信電力 Ci [dBm]	-43.0	-46.1
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	5.0	5.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-96.4	-99.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	53.4	53.5
所要C/N [dB]	37.1	37.1
伝送マージン [dB]	16.3	16.4

ウ 移動中継の回線設計例

表 1 3 移動中継 B, C, Dバンドの回線設計例

送信アンテナ 電磁ホーン、受信アンテナ $\phi 0.3\text{m}$

B, C, Dバンド	64QAM, R=5/6 フルモード	64QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	6.5	6.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ利得Gt [dBi](電磁ホーン)	12.0	12.0
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	45.5	42.5
伝送距離d [km]	3.7	3.7
自由空間伝搬損失 $(\lambda / 4 \pi d)^2$ [dB]	120.1	120.1
受信アンテナ直径 lr [m]	0.3	0.3
受信アンテナ利得Gr [dBi](アンテナ効率50%)	23.2	23.2
受信給電線損失Lr [dB]	0.5	0.5
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr rice [dB]	10.0	10.0
受信電力 Ci[dBm]	-61.9	-64.9
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	35.5	35.6
所要C/N [dB]	21.2	21.2
伝送マージン [dB]	14.3	14.4

表 1 4 移動中継 E, Fバンドの回線設計例

送信アンテナ 電磁ホーン、受信アンテナ $\phi 0.3\text{m}$

E, Fバンド	64QAM, R=5/6 フルモード	64QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	10.5	10.5
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ利得Gt [dBi] (電磁ホーン)	12.0	12.0
送信給電線損失Lt [dB]	0.5	0.5
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	45.5	42.5
伝送距離d [km]	3.3	3.3
自由空間伝搬損失 $(\lambda / 4 \pi d)^2$ [dB]	123.2	123.2
受信アンテナ直径 lr [m]	0.3	0.3
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率50%)	27.4	27.4
受信給電線損失Lr [dB]	0.5	0.5
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr rice [dB]	10.0	10.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5
所要降雨マージンZr[dB]	0.9	0.9
受信電力 Ci[dBm]	-61.8	-64.8
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	4.0	4.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-97.4	-100.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	35.6	35.7
所要C/N [dB]	21.2	21.2
伝送マージン [dB]	14.4	14.5

表 1 5 移動中継 Gバンドの回線設計例

送信アンテナ 電磁ホーン、受信アンテナ $\phi 0.3\text{m}$

Gバンド	64QAM, R=5/6 フルモード	64QAM, R=5/6 ハーフモード
送信周波数f [GHz]	13.0	13.0
送信出力W [W]	2.5	1.25
送信出力W [dBm]	34.0	31.0
送信アンテナ利得Gt [dBi] (電磁ホーン)	12.0	12.0
送信給電線損失Lt [dB]	1	1
実効放射電力 (WGt/Lt) [dBm]	45.0	42.0
伝送距離d [km]	2.9	2.9
自由空間伝搬損失 $(\lambda / 4 \pi d)^2$ [dB]	124.0	124.0
受信アンテナ直径 lr [m]	0.3	0.3
受信アンテナ利得Gr [dBi] (アンテナ効率50%)	29.2	29.2
受信給電線損失Lr [dB]	1	1
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5
所要フェージングマージンFmr rice [dB]	10.0	10.0
一区間瞬断時間率[%]	0.5	0.5
所要降雨マージンZr[dB]	1.1	1.1
受信電力 Ci[dBm]	-60.8	-63.8
ボルツマン定数k [W/(Hz・K)]	1.38E-23	1.38E-23
ボルツマン定数k [dBm/(Hz・K)]	-198.6	-198.6
標準温度 T ₀ [dBK]	24.8	24.8
等価雑音帯域幅B [MHz]	17.5	8.5
等価雑音帯域幅B [dBHz]	72.4	69.3
受信機雑音指数F [dB]	5.0	5.0
受信機熱雑音 Ni=kT ₀ BF [dBm]	-96.4	-99.5
受信機熱雑音 C/N [dB]	35.6	35.8
所要C/N [dB]	21.2	21.2
伝送マージン [dB]	14.4	14.6

所要フェージングマージン、降雨減衰マージン

回線設計を行う上で必要となる所要フェージングマージン（10GHz以下）、所要降雨減衰マージン（10GHz以上）の算出方法は、以下のとおりである。

1 所要フェージングマージンの算出

（1）固定伝送の場合

目標回線品質を満足するための所要フェージングマージンFmrは、次式により求める。

$$Fmr = 10 \log [k \cdot P_R / \{P_{is} (d/D) \cdot A\}]$$

ただし、Fmr < 5dBの場合は、Fmr = 5dBとする。

k : 年変動による増加係数 2

P_R : レーレーフェージング発生確率

P_{is} : 回線瞬断率規格 5×10^{-3}

d : 区間距離 (km)

D : 伝送区間の距離 (km)

A : スペースダイバーシチ方式による改善率。単一受信時は 1

P_R は次式により求める。

$$P_R = (f/4)^{1.2} \cdot d^{3.5} \cdot Q$$

f : 周波数 (GHz)

d : 伝搬路長 (km)

Q : 伝搬路の状態によって決まる係数（次表）

分類	伝搬路	平均伝搬路高 h (m)	伝搬路係数 Q
山岳	山岳地帯が大部分を占めている場合	—	2.1×10^{-9}
平野	1 平野が大部分を占めている場合	$h \geq 100$	5.1×10^{-9}
	2 山岳地帯であるが、湾や入江があつて海岸（水際より 10km 程度までを含む。）あるいは海上が含まれる場合	$h < 100$	$2.35 \times 10^{-8} \times h^{-1/3}$
海	1 海上	$h \geq 100$	$3.7 \times 10^{-7} \times h^{-1/2}$
	2 海岸（水際より 10km 程度までを含む。）で平野	$h < 100$	$3.7 \times 10^{-6} \times h^{-1}$

表中の平均伝搬路高 (h) は、次式により求める。

$$h = (h_1 + h_2) / 2 - h_m$$

h1、h2 : 両局の空中線の海拔高 (m)

h_m : 平均地表高 (m)。ただし、伝搬路が海上の場合には0とする。

また、反射がある場合で、実効反射減衰量 (D/U_r) が、 $D/U_r \leq 20\text{dB}$ のときは、 P_R の代わりに図 1 に示す等価レーレーフェージング発生確率 P_{Re} を用いる。なお、 D/U_r (実効反射減衰量 [dB]) は、下表に示す反射減衰量に送受アンテナの指向減衰量及び反射リッジ損失を加えた値とする。ただし、リッジ損失が 6dB 以上の場合は、反射波がないものとし、 $D/U_r = \infty$ とする。

反射減衰量				
反射点	水面	水田	畑、乾田	都市、森林、山岳
反射減衰量	0dB	2dB	6dB	14dB

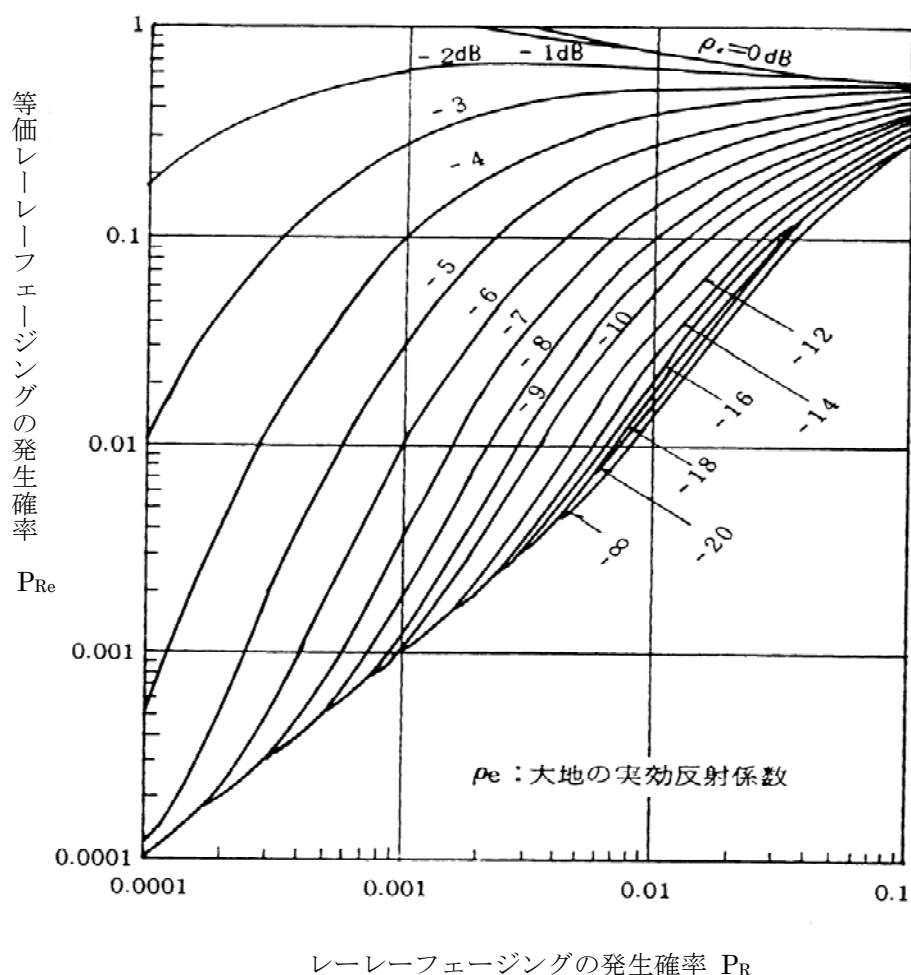


図 1 反射波がある場合の等価レーレーフェージング発生確率

(2) 移動伝送の場合

フェージングマージンを算出するための標準回線モデルには、仲上ーライスフェージングモデルを用いる。上記モデルの受信電界 (縦軸) と縦軸の値以上となる確率 (横軸) の関係を図 2 に示す。パラメータは直接波と反射波 (フェージング波) のCMR (Carrier

to Multipath Ratio) である。このパラメータは都市構造など伝搬環境によって定まる値である。ここでは、ある程度の見通しが得られる場合の一般的な値として、CMRを0.125～0.15（8dB～9dB）とする。

図2より、回線瞬断率が0.5%以下（下図では横軸の値が99.5%）となる受信電界値は－10dBである。これより、所要フェージングマージンは10dBとなる。移動伝送を行う場合の所要フェージングマージンFmr_riceは、10dBを標準値とする。

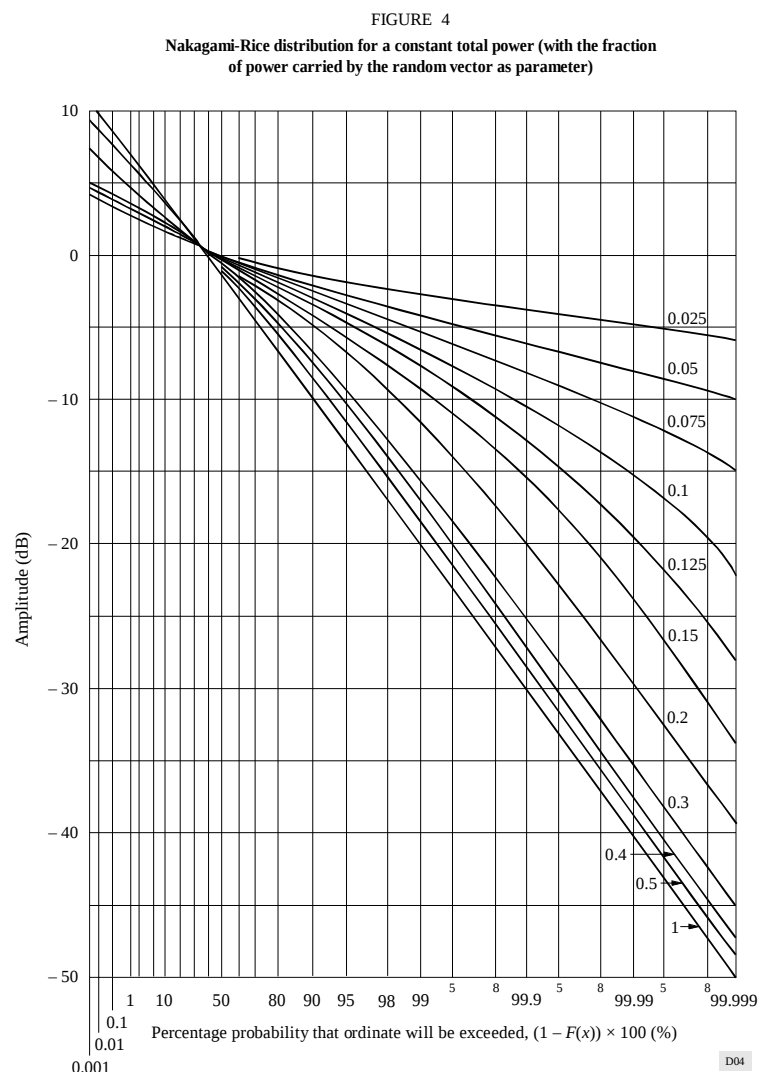


図2 仲上-ライス累積確率分布（平均電力一定）

引用文献：Rec. ITU-R P. 1057 “Probability distributions relevant to radio-wave propagation modelling”，1994

[根拠]

固定伝送においては、デジタル（シングルキャリア）方式FPUと同じ所要フェージングマージンの計算法を用いるのが適当である。

移動伝送の場合の標準回線モデルには、仲上-ライスフェージングモデルを用いた。これは、電波の直進性が強いマイクロ波帯の場合には、ある程度の見通しが得られることが前提条件となるためである。CMRは8～9dBであるが、この値はこれまでの野外実験

結果から概ね妥当な値である⁽¹⁾。このとき、所要フェージングマージンは10dBとなる⁽²⁾。

参考文献：

(1) 平ほか：“マイクロ波帯を用いた低基地局アンテナ高マイクロセル伝搬損失特性”，信学技報A・P95-137，EMCJ95-111，NW95-188(1996-02)

(2) 池田ほか：“マイクロ波帯QAM-OFDMデジタルFPUの移動伝送特性”，2000年映像メ学会冬季大会，6-5，p. 91

2 降雨減衰マージンの算出

(1) 固定伝送の場合

10GHz を超える場合は、以下のとおりとする。

降雨減衰量の分布の p% 値 Z_p （年間回線不稼働率 p% に対応した所要降雨マージン）は次式により求めるものとする。

また、既知の降雨マージン Z_p に対応した年間回線不稼働率については、同式の逆関数により算出するものとする。

$$Z_p = (\gamma \cdot R_{0.0075\%}^n) \cdot d \cdot T_p \cdot K_p \cdot C_p \quad [\text{dB}]$$

ここで、

$R_{0.0075\%}$: 各地点における 1 分間雨量累積分布の 0.0075% 値 [mm/min]

γ, n : 降雨減衰係数 ($\gamma \cdot R_{0.0075\%}^n$) を求めるパラメータ

$$\gamma = -170.3971 + 584.2627t - 742.788t^2 + 412.6263t^3 - 82.0161t^4$$

$$n = 12.47145 - 31.28249t + 32.49227t^2 - 14.97753t^3 + 2.542102t^4$$

$$t = \log f$$

f : 中心周波数 [GHz]

d : 伝搬路の実距離 [km]

T_p : ガンマ分布の p% 値を 0.0075% 値で正規化した値

$$T_p = 7.102406 \times 10^{-3} - 3.8465364 \times 10^{-1}s + 4.5883133 \times 10^{-2}s^2 + 3.2882329 \times 10^{-3}s^3$$

$$s = \log p \quad (0.00001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

p : 当該区間の年間回線不稼働率 [%]

K_p : 瞬間的にみた雨量が伝搬路上で一様でないための補正係数

$$K_p = \exp(-a \cdot d^b) \quad (0\text{km} \leq d \leq 30\text{km}, 0.001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

$$a = 3.54789 \times 10^{-2} \times 10^{0.280409/\log p} \quad (0\text{km} \leq d \leq 15\text{km})$$

$$= 4.92856 \times 10^{-2} \times 10^{0.315439/\log p} \quad (15\text{km} \leq d \leq 30\text{km})$$

$$b = 0.93974 - 3.1846 \times 10^{-2} / \log p \quad (0\text{km} \leq d \leq 15\text{km})$$

$$= 0.81364 - 6.2562 \times 10^{-2} / \log p \quad (15\text{km} \leq d \leq 30\text{km})$$

C_p : 計算値の分布と実際の分布が一致しないための補正係数

$$C_p = \exp(-\beta \cdot d) \quad (0\text{km} \leq d \leq 30\text{km}, 0.00001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

$$\beta = -0.0126 - 7.8632 \times 10^{-3}s \quad (0.00001\% \leq p \leq 0.001\%)$$

$$= -4.245 \times 10^{-3} - 8.74 \times 10^{-4}s + 1.3884 \times 10^{-3}s^2 \quad (0.001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

$$s = \log p \quad (0.00001\% \leq p \leq 0.1\%)$$

(2) 移動伝送の場合

10GHz を超える場合は、以下のとおりとする。

降雨減衰量の分布の $p\%$ 値 A_p （一区間回線不稼働率 $p\%$ に対応した所要降雨マージン）は次式により求めるものとする。

また、既知の降雨マージン A_p に対応した一区間回線不稼働率については、同式の逆関数により算出するものとする。

$$A_p = (k \cdot R_{0.01}^\alpha) \cdot d \cdot r \cdot T_p \quad [\text{dB}]$$

ここで、

$R_{0.01}$: 各地点における 1 分間雨量累積分布の 0.01% 値 [mm/h]

k, α : 降雨減衰係数 ($k \cdot R_{0.01}^\alpha$) を求めるパラメータ

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2k$$

$k_H, \alpha_H, k_V, \alpha_V$: k, α を求めるパラメータ（添字の H、V はそれぞれ水平、垂直偏波に対する値） [次表により求める]

θ : 仰角 [deg]

τ : 偏波の水平面からの傾き角（円偏波の場合は $\tau = 45^\circ$ ）

d : 伝搬路の実距離 [km]

r : 距離ファクターの補正係数

$$r = 1 / (1 + d/d_0)$$

$$d_0 = 35e^{-0.015R_{0.01}} \quad (R_{0.01} \leq 100 \text{ mm/h})$$

T_p : 0.01% から $p\%$ へ変換するための補正係数

$$T_p = 0.12p^{-(0.546 + 0.0431 \log 10P)} \quad (0.001\% \leq p \leq 1\%)$$

p : 一区間回線不稼働率 [%]

Frequency (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128

引用文献：

- (1) Rec. ITU-R P. 530-8, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems", 1978-1999
- (2) Rec. ITU-R P. 837-2, "Characteristics of precipitation for propagation modelling", 1992-1999
- (3) Rec. ITU-R P. 838-1, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", 1992-1999

3 所要フェージングマージン及び所要降雨減衰マージンの算出例

伝搬路条件を平野とした場合の所要フェージングマージン及び東京における所要降雨減衰マージンを下表に示す。

(a) 固定伝送

伝搬路条件を平野（平均伝搬路高 100m 以上）とした場合の所要フェージングマージン

呼 称	10km	20km	30km	40km	50km	60km
B バンド	5. 0dB	5. 0dB	5. 0dB	5. 0dB	5. 1dB	7. 9dB
C バンド						
D バンド						

所要降雨減衰マージン（東京における値）

呼 称	2km	4km	6km	8km	10km	12km
E バンド	9. 2dB	17. 2dB	24. 0dB	29. 9dB	34. 9dB	39. 2dB
F バンド						
G バンド	13. 4dB	24. 9dB	34. 8dB	43. 3dB	50. 6dB	56. 7dB

(b) 移動伝送

仲上ーライスフェージングモデル（CMR=8. 5）を用いた場合の所要フェージングマージン

呼 称	標準回線距離	所要フェージングマージン
B～D バンド	4. 0km	10. 0dB
E～F バンド	3. 6km	
G バンド	2. 8km	

所要降雨減衰マージン（東京における値：降雨強度 60mm/h、一区間回線瞬断率：0. 5% 以下）

呼 称	1km	2km	3km	4km	5km	6km
E バンド	0. 3dB	0. 6dB	0. 8dB	1. 0dB	1. 2dB	1. 4dB
F バンド						
G バンド	0. 4dB	0. 8dB	1. 2dB	1. 5dB	1. 8dB	2. 0dB

共用検討の考え方

1 所要 D/U を実験／机上で求めるシステム

基本的には実験により所要 D/U を求めるが、実験用機材の有無等の制限から、実験できないものについては、机上で所要 D/U を求める。

(1) 実験が可能な既存無線システム

映像 STL/TTL、映像 TSL（現行シングルキャリア方式 F P U で代用）、現行 F P U

※映像 STL/TTL、映像 TSL の同一チャンネルの所要 D/U は机上で求める

(2) 実験ができないため机上で所要 D/U を求める既存無線システム

DSRC、固定衛星業務（アップリンク）、電気通信業務（6GHz 帯）、電気通信業務（B, C, D バンド）、公共業務

2 所要 D/U の算出方法

2. 1 実験で求める方法

図 1 に示す実験系統において、スペクトラムアナライザで、所望波の電力と、干渉波の電力の比を読み取りながら D/U をアッテネータ（ATT）により調整し、BER 測定器でビット誤り率を計測する。1 分間誤りが発生しない最低の D/U を求め、これを所要 D/U とする。

図中の 20dB カプラは、交差偏波識別度 20dB を想定したものである。（なお、実験の結果、交差偏波識別度が 10dB、あるいは無限大でも、測定した所要 D/U に違いはほとんどなかった）

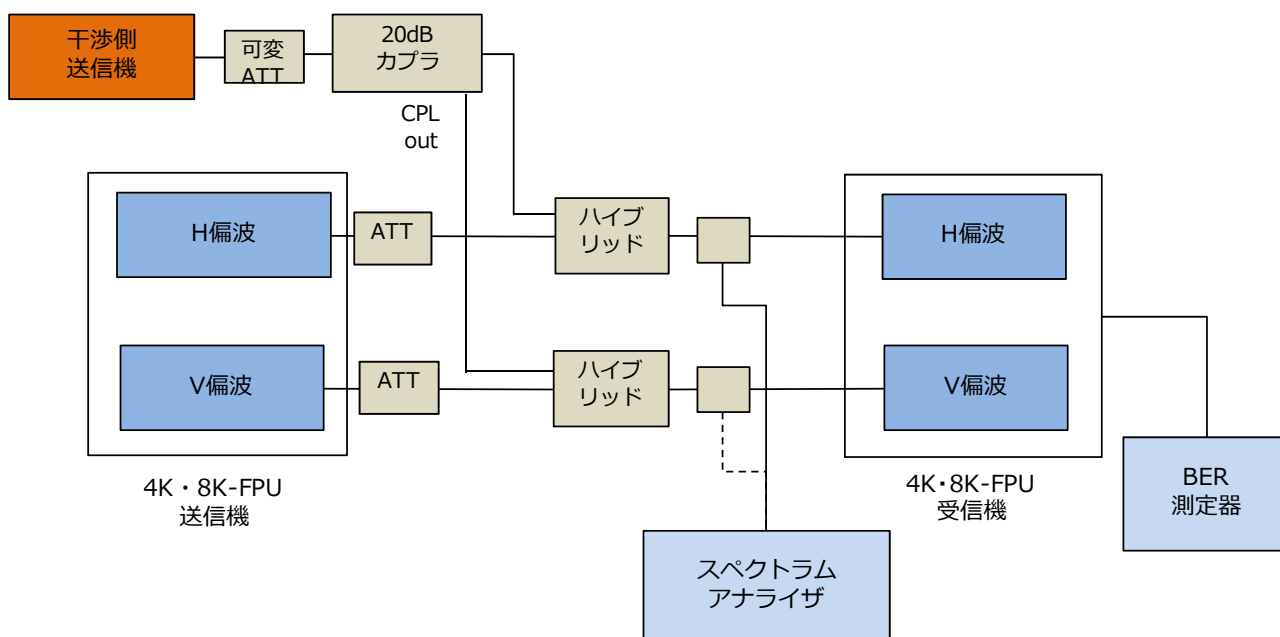


図 1 所要 D/U を求める実験系

2. 2 机上で求める方法

4 K・8 K用FPUの所要C/Iを設定し、FPU帯域内（占有周波数帯域幅 17.5MHz）に漏洩した既存無線システム（干渉波）電力をスペクトルマスクから見積り、所要C/Iを満たす所望波電力と干渉波電力の比を計算することで所要D/Uを求める。

具体的には、所要C/IをCIR (dB)、図2に示すFPU帯域内への干渉波の漏洩電力の減衰量をA (dB)、FPU占有周波数帯域をBWd (Hz)、干渉波の占有周波数帯域をBWu (Hz)とすると、所要D/U (dB)は次式で求める。

$$\text{所要 D/U} = \text{CIR} - A + 10\log_{10}(\text{BWd}/\text{BWu}) \quad (1)$$

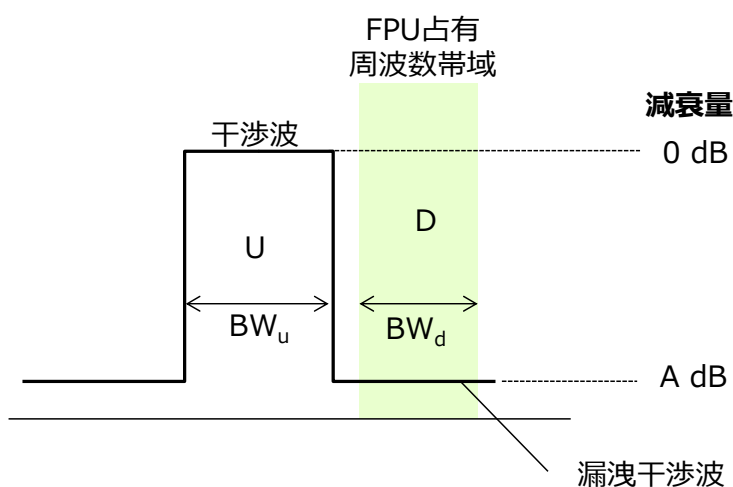


図2 所要D/Uを机上で求める際の説明図

2. 2. 1 所要C/I

所要C/Iは、以下の4 K・8 K用FPUの所要C/Nの干渉雑音分（異伝搬路）への配分とする。

- ・ 固定（標準伝送） 34.4dB（所要C/N 27.1dB）
- ・ 固定（高品質伝送） 44.4dB（所要C/N 37.1dB）
- ・ 移動伝送 28.5dB（所要C/N 21.2dB）

なお、上記の所要C/Iは、FPUの両偏波へ同等の干渉があった場合の値であり、片側偏波のみへの干渉がある場合の所要C/Iについてはシミュレーションにより考慮する。

2. 2. 2 FPU帯域内への干渉波漏洩電力減衰量

DSRC、電気通信業務・公共業務については、4 K・8 K用FPUと隣接関係にあるので、隣接漏洩またはスペクトルマスクに関する規定値（無線設備規則、電波法関係審査基準等）や実機のサイドローブ特性を用いて仮定する。

固定衛星業務（アップリンク）は、同一周波数となるので、直接、FPU帯域内の干渉波電力を計算できる。

共用検討の結果

1 DSRC

1. 1 主な検討条件

DSRC の無線局には、車載用の移動局と基地局の 2 種類あるため、それぞれ検討する。
共用検討に必要な DSRC 無線局の諸元を表 1 に示す。

表 1 DSRC の諸元

	移動局 (UL)	基地局 (DL)
周波数帯	B バンドの隣接 (5, 770-5, 850MHz)	
最大 EIRP	14. 8dBm	規定なし (下記より 44. 8dBm)
最大空中線利得	10dBi	20dBi
最大空中線電力	10mW	300mW
占有周波数帯域幅	4. 4MHz	
偏波	右旋円偏波	規定なし (移動局に合わせて右旋円偏波と想定)
空中線放射パターン	半値幅 60° 以上 ±90° で-5dB 以下	規定なし

隣接への漏洩電力については、ARIB STD-T75 (無線設備規則第 49 条 26 第 3 号)に表 2 の「隣接チャンネル漏洩電力」の規定がある (図 1 に図示) ので、これを基に F P U 帯域内への干渉波漏洩電力の減衰量を仮定する。

表 2 DSRC の隣接チャンネル漏洩電力の規定 (ARIB STD-T75 より)

3. 4. 2. 4 隣接チャンネル漏洩電力 (設備・第 49 条の 26 第 3 号)
(1) 定義 隣接チャンネル漏洩電力は、変調信号の符号速度と同じ符号速度の標準符号化試験信号により変調した場合において、搬送波の周波数から 5MHz (隣接) および 10MHz (隣隣接) 離れた周波数を中心とする±2, 200kHz の帯域内に輻射されるバースト内平均電力の搬送波電力 (ASK 方式にあっては尖頭電力、 $\pi/4$ シフト QPSK 方式にあってはバースト内の平均電力、3. 4. 2. 1 節参照) に対する比とする。
(2) 規格 基地局、移動局及び試験機とも： 隣接：-30dB 以下であること。 隣隣接：-40dB 以下であること。

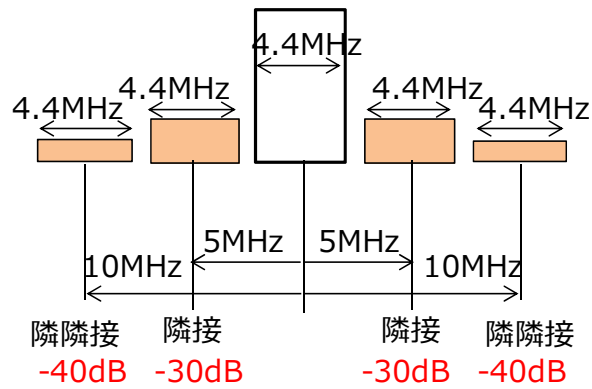


図1 DSRC の隣接チャンネル漏洩電力の規定

移動局、基地局の放射パターンについては、共用検討用の空中線放射パターンに関する勧告 (Rec. ITU-R F.1336-4 の 3.2 節の式(2d))を用い、移動局については、同式において最大利得 $G_0=8\text{dBi}$ とした場合のパターン、基地局については $G_0=20\text{dBi}$ としたパターンとする。(図 2)

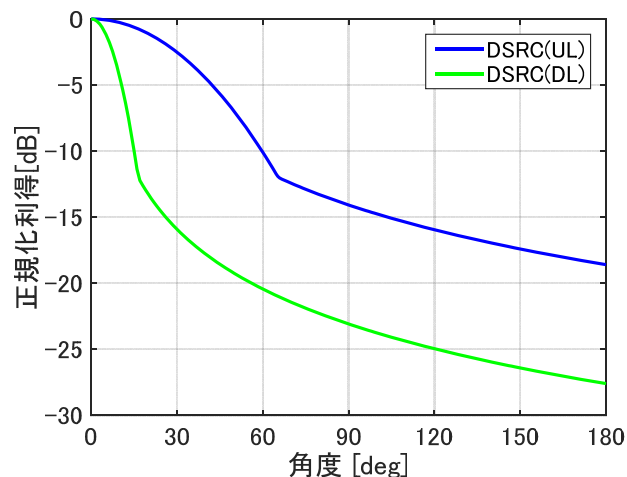


図2 DSRC 移動局、基地局の想定空中線放射パターン

(ア) DSRC 移動局

アップリンクでは、B 帯へ最隣接するチャンネル (U1) の中心周波数は 5,845MHz である。図 1 の規定から、スペクトルマスクを図 3 のように仮定する。また、隣接する F P U のチャンネル B1 との周波数関係も併せて図 3 に示す。F P U 帯域内への漏洩干渉波の減衰量は、帯域内で変化しているが、減衰量最悪値は 30dB であり、平均減衰量は 39.5dB である。減衰量最悪値を用いて、式 (1) より所要 D/U を求める。ただし、帯域内で平坦な減衰特性を仮定した場合と、実際の帯域内周波数特性をもつ場合の受信特性は異なるため、差分をシミュレーションにより考慮し、式 (1) により求めた所要 D/U に加えることとする。

なお、右旋円偏波であることから、4 K・8 K 用 F P U の受信の 2 偏波に干渉波が加わるため、干渉波電力を両受信偏波に等分配する。

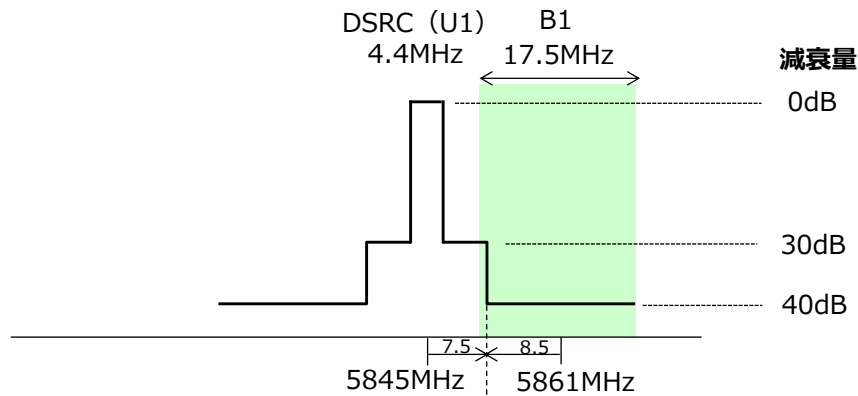


図3 規定より仮定したスペクトルマスクと隣接するFPUのチャンネル (B1) との関係

(イ) DSRC 基地局 (ダウンリンク)

ダウンリンクでは、B帯へ最隣接するチャンネル (D1) の中心周波数は 5,805MHz である。スペクトルマスクはアップリンクと同様と仮定する。隣接するFPUのチャンネルB1との周波数関係を図4に示す。帯域内の減衰量は40dB一定とし、式(1)より所要D/Uを求める。

なお、偏波に関する規定はないが、移動局に合わせて円偏波を想定する。

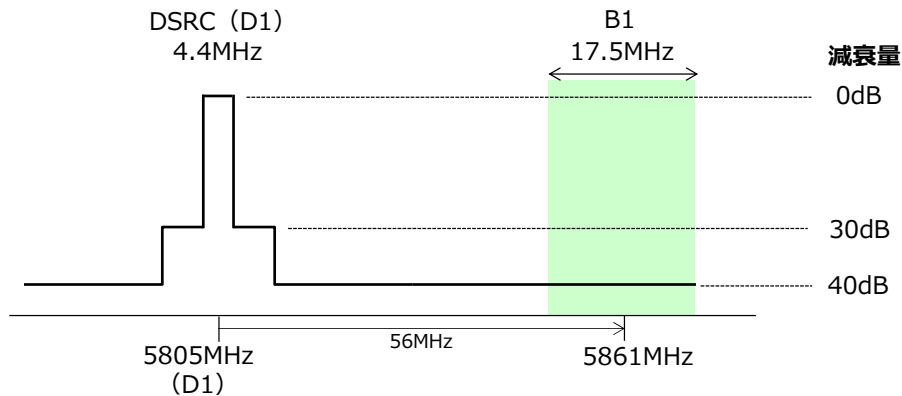
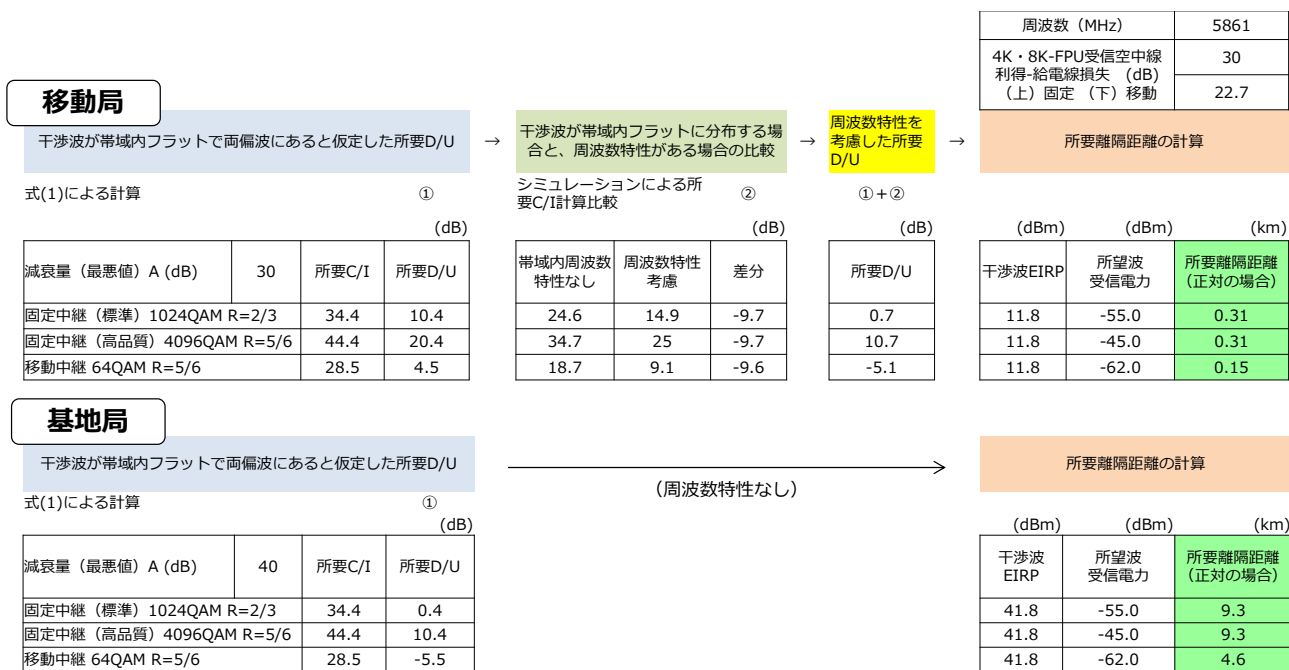


図4 規定より仮定したスペクトルマスクと隣接するFPUのチャンネル (B1) との関係

1. 2 所要D/Uと所要離隔距離の計算結果

前項の条件を基に所要D/U、所要離隔距離 (正対) の計算結果を表3に示す。直交する2偏波の各成分で計算するため、EIRPは諸元のEIRP値より3dB減じて計算した。すなわち、移動局EIRPは、 $14.8 - 3 = 11.8\text{dBm}$ 、基地局EIRPは、 $44.8 - 3 = 41.8\text{dBm}$ である。また、空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性を図5に示す。

表3 DSRCが干渉波の場合の所要D/Uと離隔距離 (正対)



基地局

干渉波が帯域内フラットで両偏波にあると仮定した所要D/U

式(1)による計算 ①

減衰量 (最悪値) A (dB)	40	所要C/I	所要D/U
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3		34.4	0.4
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6		44.4	10.4
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-5.5

(周波数特性なし)

所要離隔距離の計算

(dBm)	(dBm)	(km)
干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)
41.8	-55.0	9.3
41.8	-45.0	9.3
41.8	-62.0	4.6

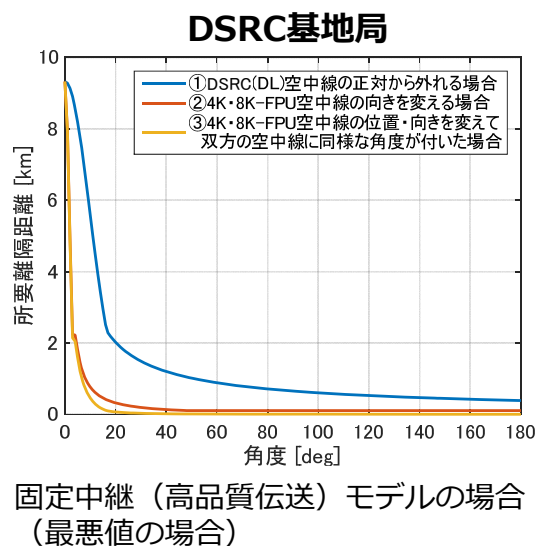
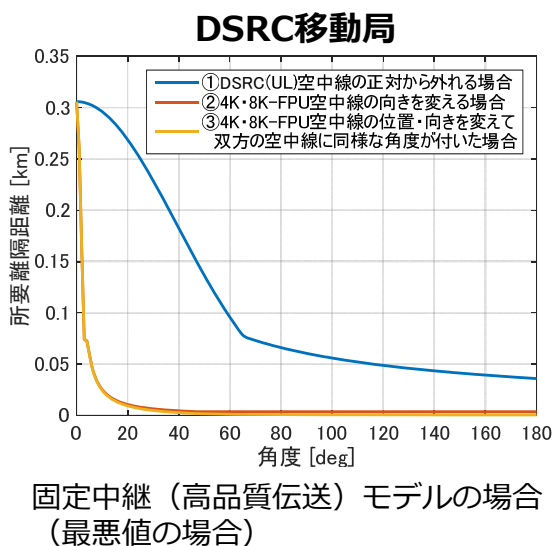


図5 空中線の向きを考慮した所要離隔距離 (参考値)

1. 3 共用可能性

前項の結果より、空中線が正対した場合 (角度=0°)、DSRC 移動局に対しては 310m、DSRC 基地局に対しては 9.3km 以上離隔する必要がある。DSRC 移動局は DSRC 基地局の下でのみ電波を発射することから、事実上、DSRC 基地局からの干渉のみを考えれば十分である。

互いの空中線が正対しないように角度をつけて F P U 受信機を設置すれば、所要離隔距離は大きく減少する。一般的に F P U は見通し運用を行うため、DSRC 基地局の取り付け建造物等を受信方向にしないように、また往来する車両の影響を受けないように、F P U 受信機をある程度の高所に設置する。このため、実際に干渉が発生する領域は少な

いと考えられ、共用は可能と考える。

なお、計算に用いた空中線放射パターンは、代表的なものを用いていること、実際の環境では、路面、建造物からの反射波が存在することから、図5は参考値である。

2 固定衛星業務（アップリンク）6GHz 帯

2. 1 主な検討条件

固定衛星業務（アップリンク）の諸元を表4に示す。

表4 固定衛星業務（アップリンク）の諸元

周波数帯	Cバンドの一部（6,426 - 6,485MHz）と共用
最大 EIRP	78.5dBW
最大空中線利得	53.4dBi（給電線損失 3dB）
最大利得方向	仰角 47.1°、東経 128° 方向
偏波	直線偏波
空中線放射パターン	空中線利得のパターン（図6）が規定されている
地球局の位置	神奈川県横浜市緑区三保町 1局のみ

固定衛星業務（アップリンク）のうち検討対象となる実際の無線局は、Cバンド（C1～C4の一部）と同一周波数関係になる。このため、FPU帯域内への漏洩干渉波は、スペクトルマスクには依存せず、直接計算できる。表5より、帯域幅 680kHz の時、空中線入力電力密度は最大の-33.2dBW/Hz となるので、帯域幅 680kHz の 1ch が FPU 帯域内に存在する場合を最悪値として検討する。

表5 占有周波数帯域幅と空中線電力

占有周波数 帯域幅	最大空中線 電力	空中線入力電力密度 （給電線損失 3dB）
40MHz	645W	-50.9dBW/Hz
4.34MHz	645W	-41.3dBW/Hz
680kHz	645W	-33.2dBW/Hz
226kHz	170.7W	-34.2dBW/Hz
CW	3.99W	-

FPUの受信場所は地上であることから、地球局とは水平方向の関係にある。すなわ

ち、地球局の最大利得方向は仰角 47.1° であり、FPUの空中線とは正対しないため、地球局の水平方向のEIRPを考慮することとする。次式より、最大のEIRPは45.4dBmとなる。

$$\frac{10\log_{10}(645)}{\text{送信電力}} - \frac{3}{\text{給電線損失}} + \frac{(-9.6)}{\text{水平方向の利得}} = 15.5\text{dBW} = 45.5\text{dBm}$$

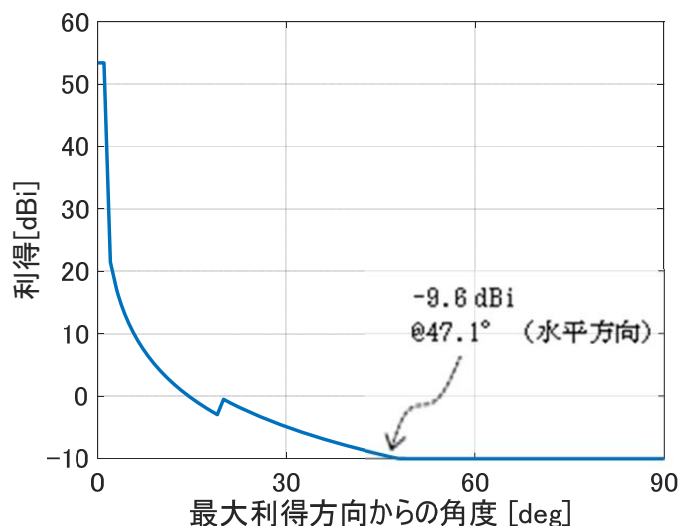


図6 固定衛星業務地球局の空中線放射パターン

また、図6の放射パターンから、水平面内の放射パターン（正規化）を求めると図7に示す無指向性に近いパターンとなる。

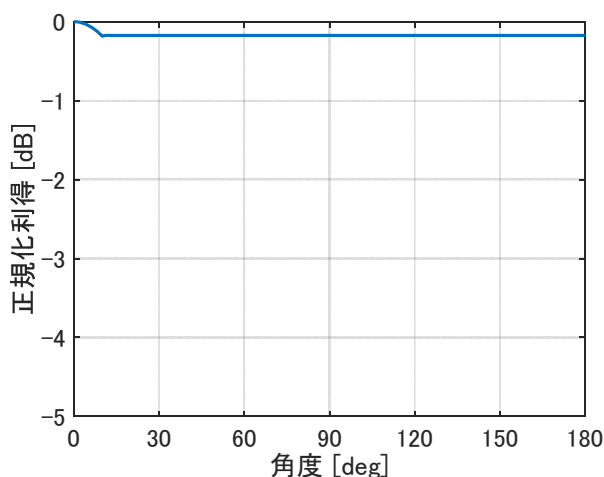


図7 固定衛星業務地球局の空中線放射パターン（水平面内）

2. 2 所要D/Uと所要離隔距離の計算結果

前項の条件を基に、所要D/U、所要離隔距離（正対）を計算した結果を表6に示す。

なお、地球局は森林に囲まれており、極近傍を除いて見通しでないと考えられる。森林を通過した電波は減衰するが、その減衰量については、ITU-R 勧告 (Rec. ITU-R P. 833-2) によって見積もることができる。地図によると、森林内の伝搬距離は地球局からの方位によって異なるが、およそどの方向においても 200m 程度以上を見込むことができる。同勧告の 3.2 節の式 (4) により計算すると、46.5dB (@6, 435MHz) の減衰と見積もることができる。(減衰量の計算式において、設定パラメータがあるが、減衰量が最も少なくなるパラメータ [W=50、" out of leaf"] を選択した)。

また、空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性を図 8 に示す。

表 6 固定衛星業務（アップリンク）が干渉波の場合の所要 D/U と離隔距離（正対）

干渉波が帯域内フラットで両偏波にあると仮定した所要 D/U			干渉波電力が片偏波で、周波数特性 (680kHz 幅) を考慮			周波数特性と片偏波干渉を考慮した所要 D/U			所要離隔距離の計算		
①			②			① + ②					
(dB)			(dB)			(dB)			(dBm) (dB) (dBm) (km)		
	所要 C/I	所要 D/U	両偏波干渉の場合	片偏波干渉の場合	差分	所要 D/U	干渉波 EIRP	森林減衰	所望波受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)	
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	34.4	34.4	24.6	28.5	3.9	38.3	45.5	46.5	-55.0	4.8	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	44.4	44.4	34.7	40	5.3	49.7	45.5	46.5	-45.0	5.7	
移動中継 64QAM R=5/6	28.5	28.5	18.7	25	6.3	34.8	45.5	46.5	-62.0	3.1	

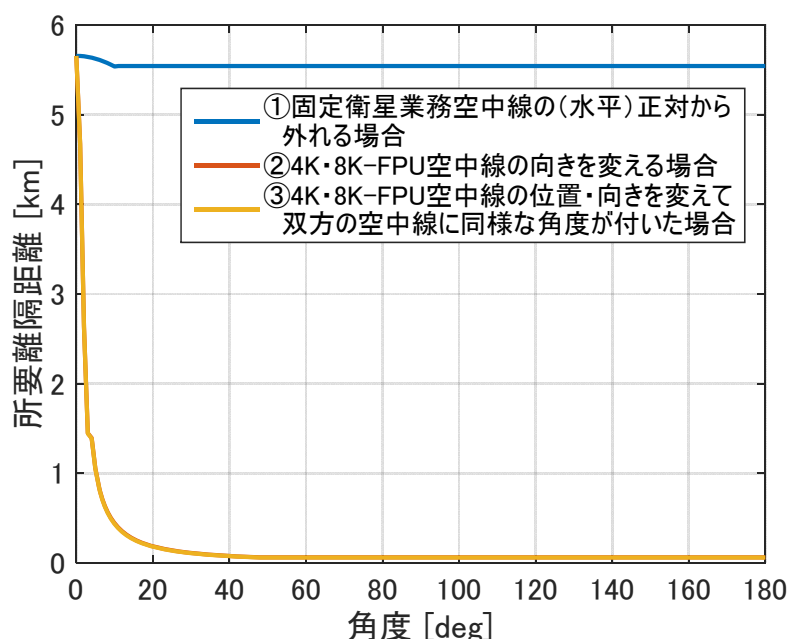


図 8 空中線の向きを考慮した所要離隔距離

— 固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合） —

2. 3 共用可能性

前項の結果より、空中線が正対した場合（角度=0°）を考慮すると、5.7km 以上の離隔が必要となる場合もあるが、例えば、受信方向が地球局方向から 6° 離れれば、1km

以下となる。

本干渉については、地球局が位置する特定の地域で発生し得るものであり、4 K・8 K用FPUの受信運用を行う場合は、予め干渉の可能性を念頭において設置場所を選択することで、共用できるものとする。

3 6GHz 帯電気通信業務（B、Cバンド隣接）

3. 1 主な検討条件

電気通信業務（6GHz 帯）の諸元を表7に示す。電気通信業務（6GHz 帯）から隣接に漏洩する電力は、スペクトルマスク（平成28年2月3日から3月4日まで意見公募対象となった「電波法関係審査基準（平成13年総務省訓令第67号）の一部を改正する訓令案新旧対照表」を参照）を想定する（図9）。ただし、実機の特性を考慮することとする（36.5MHz システムのみ赤線で示している）。

表7 電気通信業務（6GHz 帯）の諸元

周波数帯	5,925 - 6,425MHz（B, Cバンド（B4, C1）隣接）
最大 EIRP	55dBW（85dBm）
偏波	直線偏波
空中線放射パターン	電波法関係審査基準に EIRP の角度毎の制限値があり、これを用いる（図10）
占有周波数帯域幅	18.5, 36.5, 53.5MHz の3種類のシステムがある。
その他	チャンネル B4 は固定局への割り当てが基本であるので、C1 との隣接干渉を検討する。

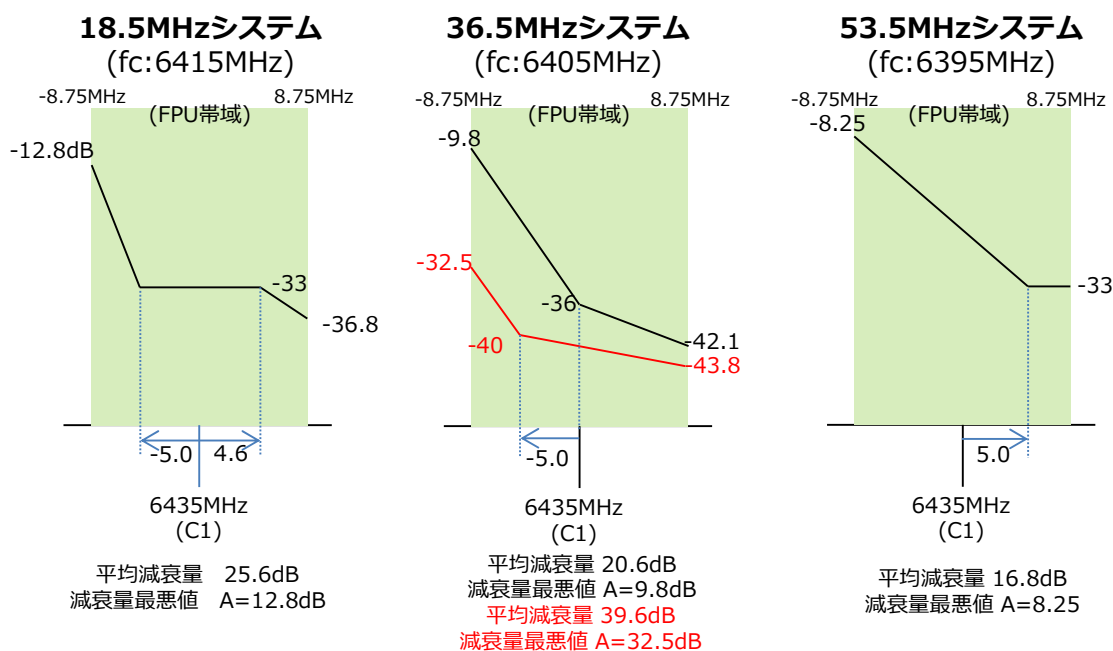


図9 電気通信業務（6GHz 帯）から、C1 に漏洩する電力

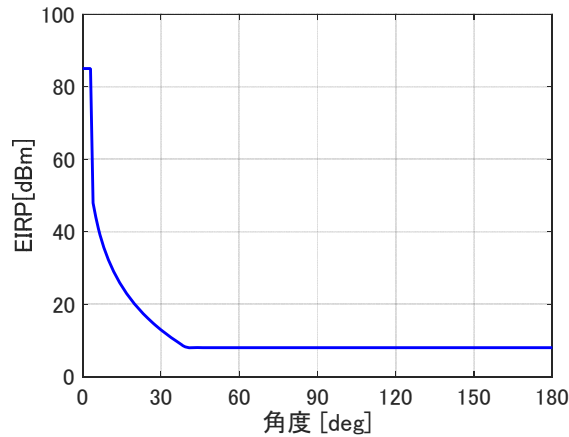


図 10 電波法関係審査基準による EIRP の制限値

なお、最大 EIRP 値については、海上伝搬など特殊な伝搬環境も考慮して余裕を持って設定されているため、この値を用いて計算される所要離隔距離は極めて大きく、一般的な条件とは言い難い。実情に即した検討を行うため、実際の送信局 EIRP を考慮した検討を行うこととする。図 11 は実際の EIRP の累積確率分布である。

18.5MHz、53.5MHz システムの局数は少なく、ほとんどが 36.5MHz システムである。また、EIRP の最大値は 79.3dBm であり、さらに、およそ 90%の送信局は 70dBm 以下であることがわかる。

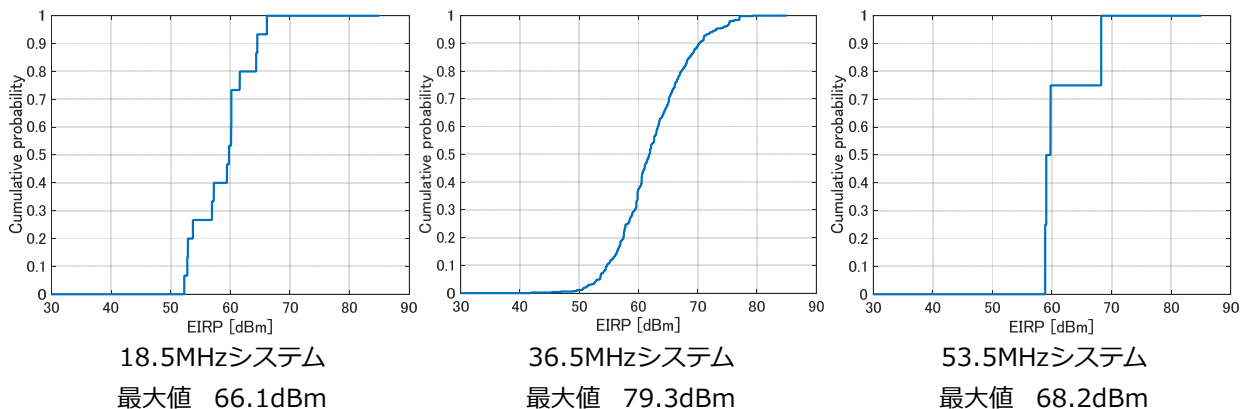


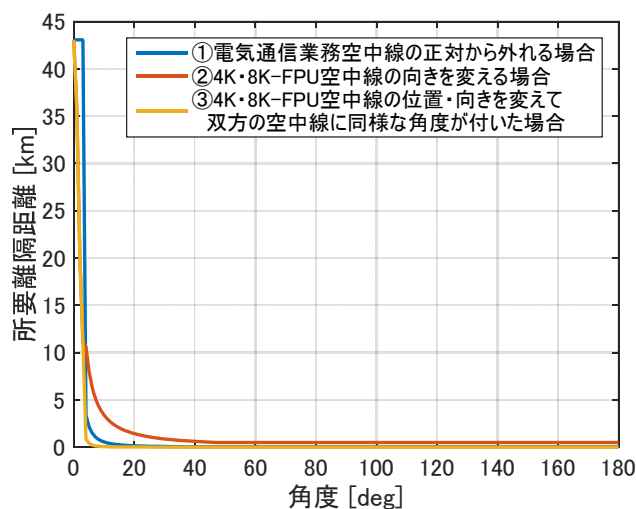
図 11 実際の電気通信業務送信局の EIRP の累積確率分布

3. 2 所要 D/U と所要離隔距離の計算

前項の条件を基に所要 D/U、所要離隔距離（正対）を計算した結果を表 8 に示す。なお、所要離隔距離の計算においては、EIRP 値として累積確率が 90%の値を用いた。18.5MHz、53.5MHz システムが隣接となる場合は、36.5MHz システムと比べて所要離隔距離が大きくなるが、36.5MHz システムと同様に実機のスペクトル特性は、スペクトルマスクよりも改善されていると考えられるので、実際の所要離隔距離は 36.5MHz システムと同等となると推測される。また、空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性を図 12 に示す。

表 8 電気通信業務が干渉波の場合の所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果

干渉波が帯域内フラットで両偏波にあると仮定した所要D/U				干渉波電力が帯域内フラットに分布する場合と、周波数特性があり片偏波干渉の場合の比較			周波数特性と片偏波干渉を考慮した所要D/U			所要離隔距離の計算		
式(1)による計算				シミュレーションによる所要C/I計算比較			①+②					
18.5MHzシステム (dB)				(dB)			(dB)			(dBm) (dBm) (km)		
減衰量（最悪値）A (dB)	12.8	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U	干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）		
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	21.4	24.6	-1.6	-26.2	-4.8	65.0	-55.0	67.5		
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	31.4	34.7	12.4	-22.3	9.1	65.0	-45.0	105.7		
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	15.5	18.7	-1.7	-20.4	-4.9	65.0	-62.0	64.4		
36.5MHzシステム												
減衰量（最悪値）A (dB)	32.5	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U	干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）		
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-1.3	24.6	8.6	-16	-17.3	70.0	-55.0	28.4		
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	8.7	34.7	22.3	-12.4	-3.7	70.0	-45.0	43.1		
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-7.2	18.7	7.9	-10.8	-18.0	70.0	-62.0	25.4		
53.5MHzシステム												
減衰量（最悪値）A (dB)	8.3	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U	干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）		
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	21.2	24.6	1.0	-23.6	-2.4	68.2	-55.0	128.6		
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	31.2	34.7	16.5	-18.2	13.0	68.2	-45.0	239.4		
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	15.3	18.7	3.2	-15.5	-0.2	68.2	-62.0	160.0		



36.5MHzシステムが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

図 1 2 空中線の向きを考慮した所要離隔距離

3. 3 共用可能性

前項の結果より、空中線が正対した場合（角度＝0°）は、43.1km以上の離隔が必要であるが、空中線の向きがずれば、急激に所要離隔距離は小さくなる。

干渉波のEIRPの値は、送信局によって様々であり、場合によっては所要離隔距離がこれより大きくなる場合もあるが、累積分布が示す通りそのケースは少ない。さらに、その所要離隔距離が大きいケースにおいては、海上伝搬など特殊な環境で、FPUを運用する可能性が低いと考えられる。空中線が正対する可能性が小さいことも併せて考え

れば、所要離隔距離が数十 km 以上となるケースはほとんどないとする。

したがって、4 K・8 K用 F P U の実際の運用に支障をきたすことは考えにくく、共用可能とする。

4 公共業務

4. 1 主な検討条件

公共業務送信局の諸元を表 9、図 1 3 に示す。

表 9 公共業務送信局の諸元

周波数帯	C, D バンド隣接 (6, 570 - 6, 870MHz)
最大 EIRP	規定なし (下記の送信出力と標準受信空中線の最大利得 48dBi より 51dBW (81dBm) とする)
最大送信出力	2W
偏波	直線偏波
空中線放射パターン	電波法関係審査基準に EIRP の角度毎の制限値がありこれを用いる (図 1 3)

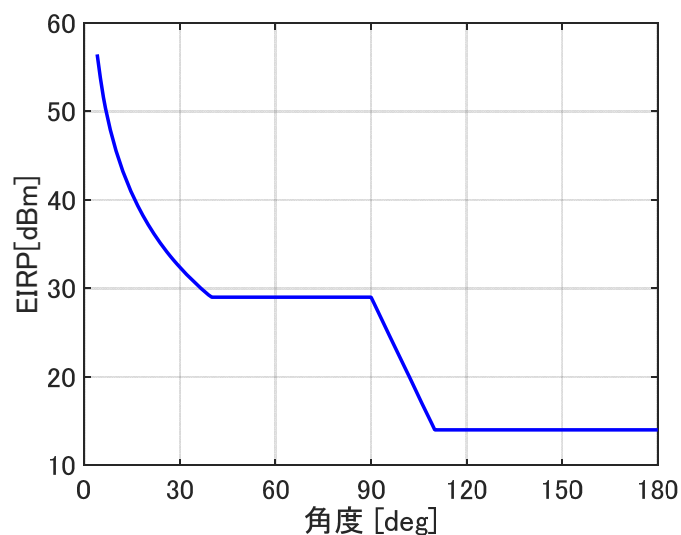


図 1 3 電波法関係審査基準の EIRP 制限値

帯域幅の異なる 4 種類 (5, 9.5, 19, 28.5MHz) のシステムがあるため、図 1 4 のように電波法関係審査基準で定められた固定局への割り当てを考慮して、㊦～㊩の 4 通りの干渉を検討する。

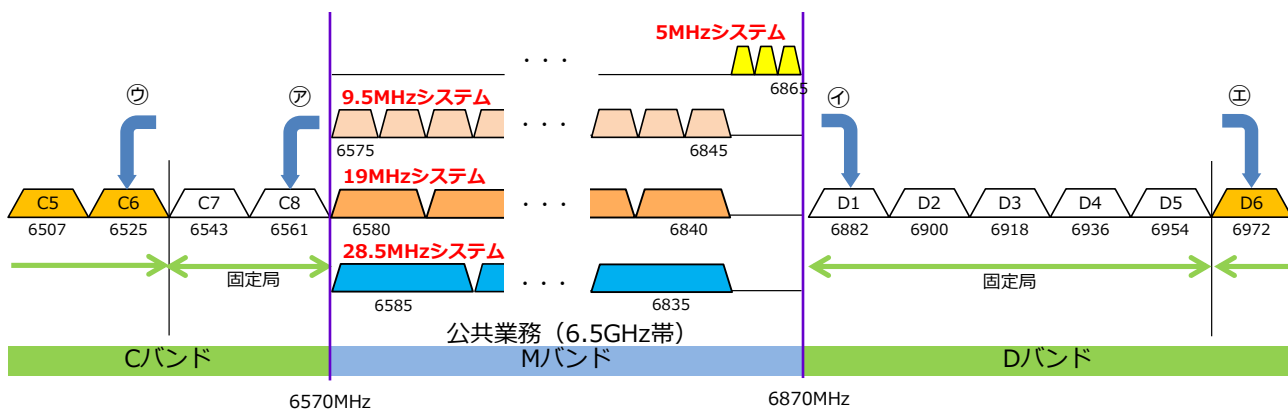


図 1 4 公共業務 (6.5GHz 帯) と F P U の周波数割り当ての関係

4. 2 F P U 帯域への漏洩電力

㊦ F P U 帯域内 (チャンネル C8) への干渉波漏洩電力

図 1 5 に示すように、F P U 帯域への干渉波漏洩電力を電波法関係審査基準に記載のスペクトルマスクにより想定する。

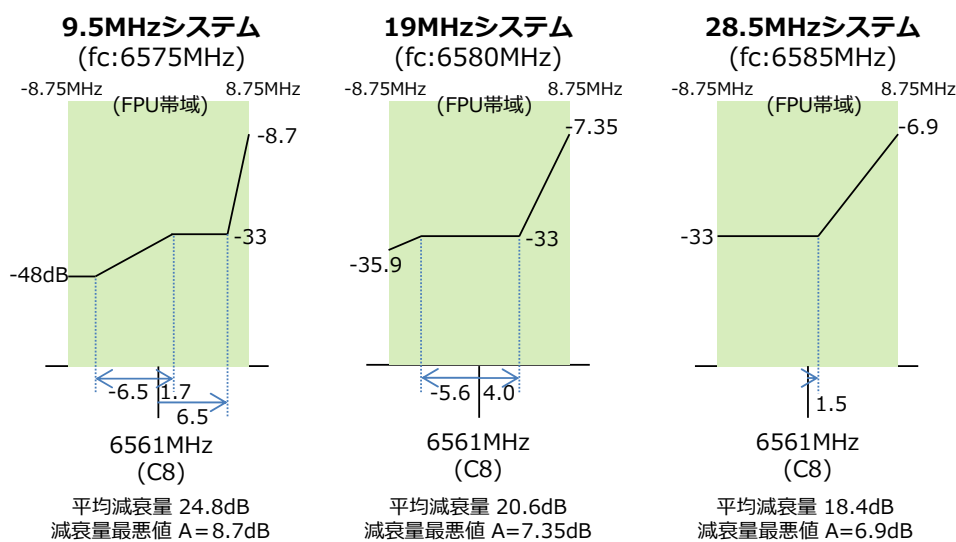


図 1 5 ㊦ F P U 帯域内 (チャンネル C8) への干渉波漏洩電力

㊩ F P U 帯域内 (チャンネル D1) への漏洩電力

図 1 6 に示すように、F P U 帯域への干渉波漏洩電力を電波法関係審査基準に記載のスペクトルマスクにより想定する。

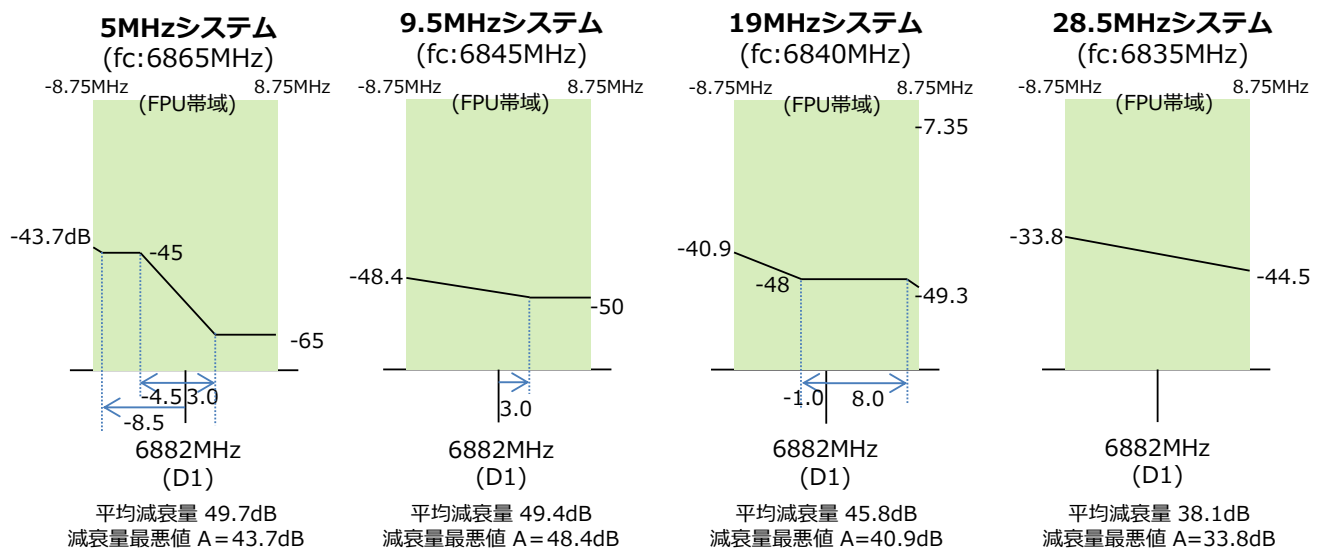


図 1 6 ㊦ F P U 帯域内（チャンネル D1）への漏洩電力

㊦ F P U 帯域内（チャンネル C6）への漏洩電力

図 1 7 に、電波法関係審査基準に記載のスペクトルマスク（黒線）に加えて、実機
の特性（赤線）を示す（28.5MHz システムは推定）。検討においては、漏洩電力は、実
機と同じ特性を持つことを想定する。なお、実機の特性は、測定限界以下であり、測
定器の雑音レベルとしている。

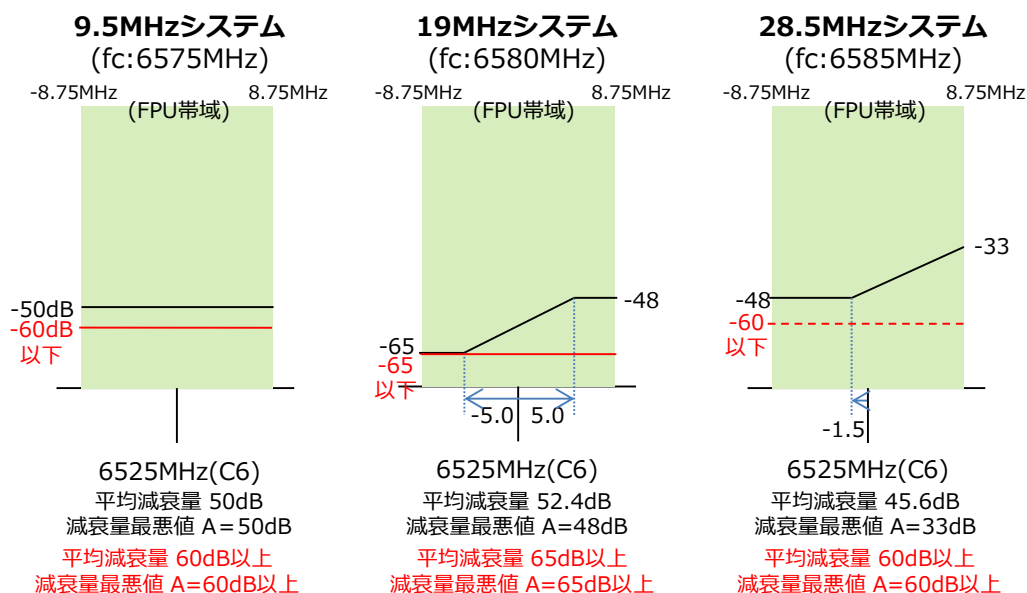


図 1 7 ㊦ F P U 帯域内（チャンネル C6）への漏洩電力

㊦ F P U 帯域内（チャンネル D6）への漏洩電力

図 1 8 に、電波法関係審査基準に記載のスペクトルマスク（黒線）に加えて、実機
の特性（赤線）を示す（28.5MHz システムは推定）。検討においては、漏洩電力は、実
機と同じ特性を持つことを想定する。なお、実機の特性は、測定限界以下であり、測

定器の雑音レベルとしている。

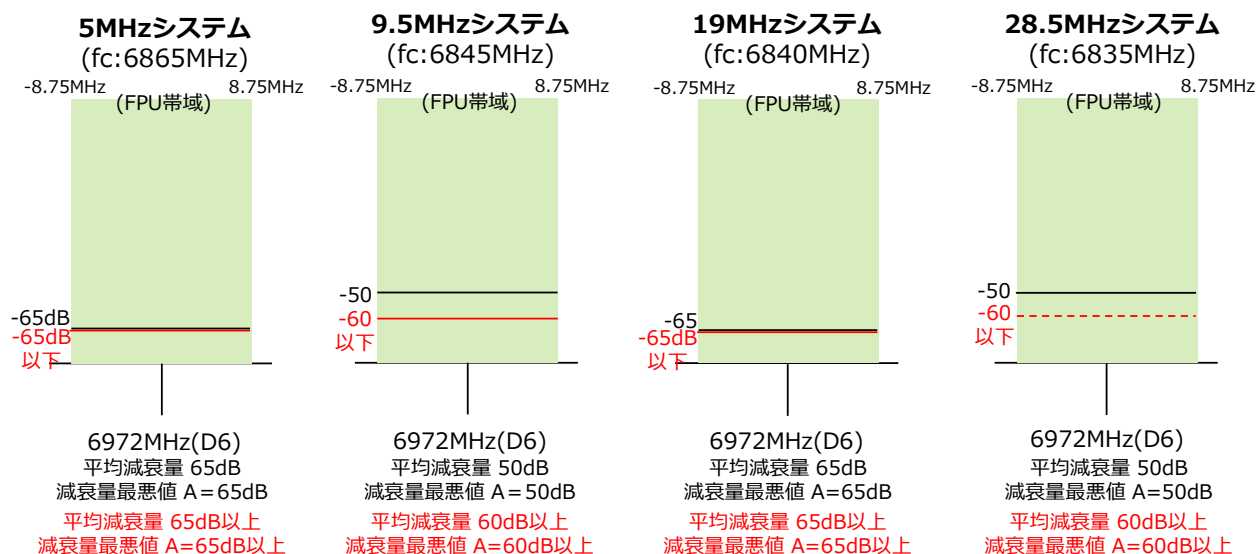


図 18 ㊦ FPU帯域内（チャンネル D6）への漏洩電力

4. 3 所要 D/U と所要離隔距離の計算結果

前項の検討条件を基に、所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果を表 10～13 に示す。また、空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性についても図 19 に示す。

表 10 ㊦ 隣接チャンネル C8 を使用する場合の所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果

干渉波が帯域内フラットで両偏波にあると仮定した所要D/U				干渉波電力が帯域内フラットに分布する場合と、周波数特性があり片偏波干渉の場合の比較				周波数特性と片偏波干渉を考慮した所要D/U				所要離隔距離の計算			
式(1)による計算				シミュレーションによる所要C/I計算比較				①+②							
①				②				①+②							
9.5MHzシステム (dB)				(dB)				(dB)				(dBm) (dBm) (km)			
減衰量（最悪値）A (dB)	8.7	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U	干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）					
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	28.4	24.6	-7.6	-32.2	-3.8	81.0	-55.0	468.4					
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	38.4	34.7	3.1	-31.6	6.8	81.0	-45.0	501.9					
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	22.5	18.7	-5.6	-24.3	-1.8	81.0	-62.0	569.7					
19MHzシステム															
減衰量（最悪値）A (dB)	7.35	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U	干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）					
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	26.7	24.6	-5.5	-30.1	-3.4	81.0	-55.0	490.5					
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	36.7	34.7	8.5	-26.2	10.5	81.0	-45.0	768.5					
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	20.8	18.7	-3.3	-22.0	-1.2	81.0	-62.0	610.5					
28.5MHzシステム															
減衰量（最悪値）A (dB)	6.9	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U	干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）					
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	25.4	24.6	-4.6	-29.2	-3.8	81.0	-55.0	468.4					
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	35.4	34.7	10.2	-24.5	10.9	81.0	-45.0	804.7					
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	19.5	18.7	-1.8	-20.5	-1.0	81.0	-62.0	624.7					

表 1 1 ① 隣接チャンネル D1 を使用する場合の所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果

干渉波が帯域内フラットで両偏波にあると仮定した所要D/U				干渉波電力が帯域内フラットに分布する場合と、周波数特性があり片偏波干渉の場合の比較			周波数特性と片偏波干渉を考慮した所要D/U		所要離隔距離の計算		
式(1)による計算				シミュレーションによる所要C/I計算比較			①+②				
5MHzシステム (dB)				(dB)			(dB)		(dBm)	(dBm)	(km)
減衰量（最悪値）A (dB)	43.7	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U		干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-3.9	24.6	3.5	-21.1	-25.0		81.0	-55.0	38.9
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	6.1	34.7	19.3	-15.4	-9.3		81.0	-45.0	75.0
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-9.8	18.7	6.6	-12.1	-21.9		81.0	-62.0	53.7
9.5MHzシステム											
減衰量（最悪値）A (dB)	48.4	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U		干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-11.3	24.6	15.7	-8.9	-20.2		81.0	-55.0	67.6
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	-1.3	34.7	29.4	-5.3	-6.6		81.0	-45.0	102.3
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-17.2	18.7	14.9	-3.8	-21.0		81.0	-62.0	59.6
19MHzシステム											
減衰量（最悪値）A (dB)	40.9	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U		干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-6.9	24.6	11.1	-13.5	-20.4		81.0	-55.0	66.1
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	3.1	34.7	24.8	-9.9	-6.8		81.0	-45.0	100.0
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-12.8	18.7	10.4	-8.3	-21.1		81.0	-62.0	58.9
28.5MHzシステム											
減衰量（最悪値）A (dB)	33.8	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	周波数特性および片偏波干渉考慮	差分	所要D/U		干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-1.5	24.6	11.3	-13.3	-14.8		81.0	-55.0	125.9
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	8.5	34.7	25.3	-9.4	-0.9		81.0	-45.0	197.2
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-7.4	18.7	10.8	-7.9	-15.3		81.0	-62.0	114.8

表 1 2 ㊦ チャンネル C6 を使用する場合の所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果

干渉波が帯域内フラットで両偏波にあると仮定した所要D/U				干渉波電力が両偏波にある場合と、片偏波の場合の比較			片偏波干渉を考慮した所要D/U		所要離隔距離の計算		
式(1)による計算				シミュレーションによる所要C/I計算比較			①+②				
9.5MHzシステム											
減衰量（最悪値）A (dB)	60	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	片偏波干渉考慮	差分	所要D/U		干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-22.9	24.6	16.8	-7.8	-30.7		81.0	-55.0	21.3
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	-12.9	34.7	30.4	-4.3	-17.2		81.0	-45.0	31.8
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-28.8	18.7	15.9	-2.8	-31.6		81.0	-62.0	18.5
19MHzシステム											
減衰量（最悪値）A (dB)	65	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	片偏波干渉考慮	差分	所要D/U		干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-31.0	24.6	16.8	-7.8	-38.8		81.0	-55.0	8.4
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	-21.0	34.7	30.4	-4.3	-25.3		81.0	-45.0	12.5
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-36.9	18.7	15.9	-2.8	-39.7		81.0	-62.0	7.3
28.5MHzシステム											
減衰量（最悪値）A (dB)	60	所要C/I	所要D/U	帯域内周波数特性なし	片偏波干渉考慮	差分	所要D/U		干渉波EIRP	所望波受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準）1024QAM R=2/3		34.4	-27.7	24.6	16.8	-7.8	-35.5		81.0	-55.0	12.2
固定中継（高品質）4096QAM R=5/6		44.4	-17.7	34.7	30.4	-4.3	-22.0		81.0	-45.0	18.3
移動中継 64QAM R=5/6		28.5	-33.6	18.7	15.9	-2.8	-36.4		81.0	-62.0	10.7

表 1 3 ㊦ チャンネル D6 を使用する場合の所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果

				周波数 (MHz)		6972	
				4K・8K-FPU受信空中線 利得・給電線損失 (dB) (上) 固定 (下) 移動		30 22.7	

干渉波が帯域内フラットで両偏波にあると仮定した所要D/U

→

干渉波電力が両偏波にある場合と、片偏波の場合の比較

→

片偏波干渉を考慮した所要D/U

→

所要離隔距離の計算

式(1)による計算

①

シミュレーションによる所要C/I
計算比較

②

① + ②

5MHzシステム

(dB)

減衰量 (最悪値) A (dB)	65	所要C/I	所要D/U
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	34.4	-25.2	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	44.4	-15.2	
移動中継 64QAM R=5/6	28.5	-31.1	

(dB)

帯域内 周波数特性なし	周波数特性および 片偏波干渉 考慮	差分
24.6	16.8	-7.8
34.7	30.4	-4.3
18.7	15.9	-2.8

(dB)

所要D/U
-33.0
-19.5
-33.9

(dBm)

(dBm)

(km)

干渉波EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)
81.0	-55.0	15.3
81.0	-45.0	22.9
81.0	-62.0	13.3

9.5MHzシステム

減衰量 (最悪値) A (dB)	60	所要C/I	所要D/U
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	34.4	-22.9	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	44.4	-12.9	
移動中継 64QAM R=5/6	28.5	-28.8	

帯域内 周波数特性なし	片偏波干渉 考慮	差分
24.6	16.8	-7.8
34.7	30.4	-4.3
18.7	15.9	-2.8

所要D/U
-30.7
-17.2
-31.6

干渉波EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)
81.0	-55.0	19.9
81.0	-45.0	29.8
81.0	-62.0	17.3

19MHzシステム

減衰量 (最悪値) A (dB)	65	所要C/I	所要D/U
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	34.4	-31.0	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	44.4	-21.0	
移動中継 64QAM R=5/6	28.5	-36.9	

帯域内 周波数特性なし	片偏波干渉 考慮	差分
24.6	16.8	-7.8
34.7	30.4	-4.3
18.7	15.9	-2.8

所要D/U
-38.8
-25.3
-39.7

干渉波EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)
81.0	-55.0	7.8
81.0	-45.0	11.7
81.0	-62.0	6.8

28.5MHzシステム

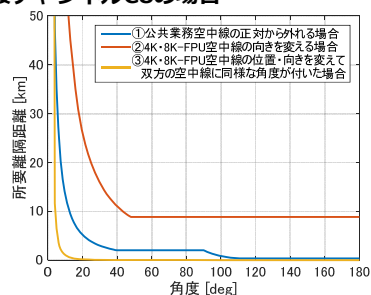
減衰量 (最悪値) A (dB)	60	所要C/I	所要D/U
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	34.4	-27.7	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	44.4	-17.7	
移動中継 64QAM R=5/6	28.5	-33.6	

帯域内 周波数特性なし	片偏波干渉 考慮	差分
24.6	16.8	-7.8
34.7	30.4	-4.3
18.7	15.9	-2.8

所要D/U
-35.5
-22.0
-36.4

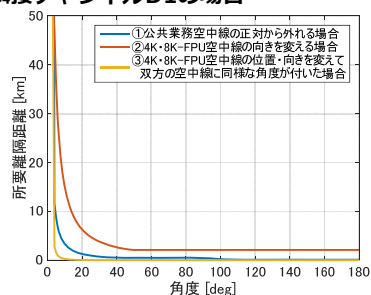
干渉波EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)
81.0	-55.0	11.5
81.0	-45.0	17.2
81.0	-62.0	10.0

㉑ 隣接チャンネルC8の場合



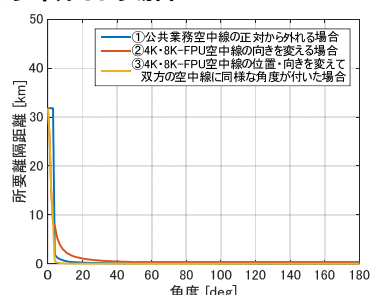
28.5MHzシステムが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

㉒ 隣接チャンネルD1の場合



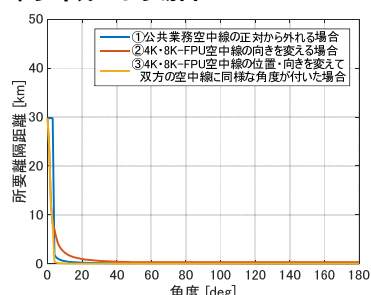
28.5MHzシステムが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

㉓ チャンネルC6の場合



9.5MHzシステムが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

㉔ チャンネルD6の場合



9.5MHzシステムが隣接で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

図 1 9 空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性

4. 4 共用可能性

前項の結果より、以下のように考察する。

㊦ ㊩（隣接チャンネル C8、D1 の場合）

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、C8 の場合 800km、D1 の場合 200km 程度の離隔が必要であるが、空中線の向きをずらすと急激に離隔距離は減少する。しかし、空中線の向きを大きくずらしても大きな離隔距離が必要となり、FPU の受信場所に制限を大きく受けることとなる。実際の運用形態を考慮し、C6、D6（㊦、㊩）の場合について検討する。

㊦ ㊩（チャンネル C6、D6 の場合）

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、30km 程度の離隔が必要であるが、互いの空中線の向きをずらすと離隔距離は大きく減少するため、共用は可能と考える。

5 映像 STL/TTL・TSL

5. 1 主な検討条件

映像 STL/TTL 及び TSL の諸元を表 1 4、図 2 0 に示す。

表 1 4 映像 STL/TTL・TSL の諸元

	STL/TTL	TSL
周波数帯	B, C, D, E, F, G, M, N バンド (B, C, D, E, F, G バンド内隣接, 同一チャンネル)	
最大 EIRP	規定なし（最大空中線電力と空中線利得より 80. 6dBm とする）	規定なし（最大空中線電力と空中線利得より 85. 0dBm とする）
最大空中線電力	2W	4W
最大空中線利得	47. 6dBi（C バンド）	49. 0dBi（C バンド）
偏波	直線偏波	
空中線放射パターン	電波法関係審査基準に EIRP の角度毎の制限値があり、これを用いる（図 2 0）	

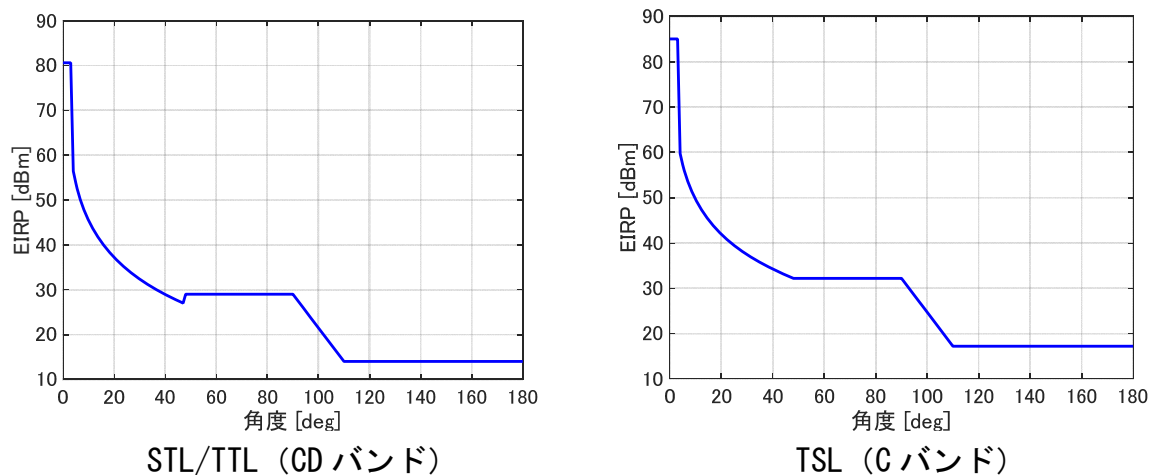


図 20 電波法関係審査基準による EIRP 制限値

・ 所要 D/U について

隣接チャンネルについては、実機を利用できるので、測定により所要 D/U を求めるが、同一チャンネルについては、机上で所要 D/U を求める。

・ 所要 D/U の測定について

想定する運用モデルの伝送パラメータが、4 K・8 K 用 F P U の実験機にはないパラメータもある。そこで、表 1 5 のように運用モデルの伝送パラメータに最も近い伝送パラメータを用いて所要 D/U を測定し、シミュレーションにより求めた所要 C/N の差分を加えることとする。

表 1 5 運用モデルの伝送パラメータと実験パラメータ、および差分

	伝送パラメータ	本実験のパラメータ	シミュレーションで求めた 所要 C/N 差分
固定中継 (標準伝送)	1, 024QAM R=2/3	1, 024QAM R=3/4	-1. 8dB
固定中継 (高品質伝送)	4, 096QAM R=5/6	4, 096QAM R=3/4	+3. 3dB
移動中継	64QAM R=5/6	64QAM R=5/6	(実験値をそのまま用いる)

5. 2 所要 D/U と所要離隔距離の計算結果

(ア) 同一チャンネルの場合

干渉波の送信スペクトルとして電波法関係審査基準に定められているスペクトルマスクを用いて、シミュレーションにより所要 D/U を計算した。なお、F P U 帯域内

の干渉波のスペクトルを図 2 1 に示す。IF 伝送方式については、最も干渉の影響が大きい従属同期方式（低雑音方式）とした。所要 D/U および所要離隔距離（正対）の計算結果を表 1 6 に示す。また、空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性を図 2 2（ア）に示す。

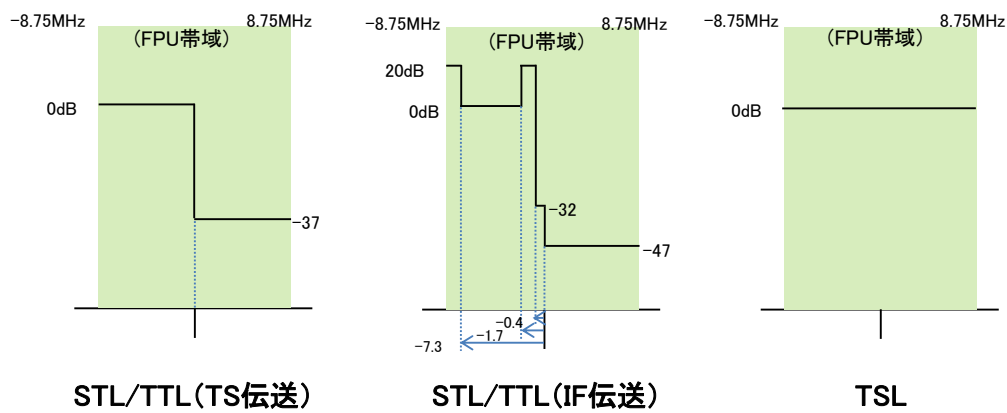


図 2 1 各システムのスペクトルマスク（FPU帯域との関係）

表 1 6 干渉波が映像 STL/TTL、TSL の場合の所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果（同一チャンネルの場合）

所要D/U シミュレーション結果	周波数 (MHz)	6543	
	4K・8K-FPU受信空中線利得-給電線損失 (dB)	30	
	(上) 固定 (下) 移動	22.7	
	所要離隔距離計算		

映像STL/TTL (TS伝送)		(dB)	(dBm)	(dBm)	(km)
	所要D/U	干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)	
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	15.0	80.6	-55.0	3907.0	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	27.0	80.6	-45.0	4918.6	
移動中継 64QAM R=5/6	14.6	80.6	-62.0	3604.5	

映像STL/TTL (IF伝送)		(dB)	(dBm)	(dBm)	(km)
	所要D/U	干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)	
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	21.0	80.6	-55.0	7795.5	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	32.5	80.6	-45.0	9265.0	
移動中継 64QAM R=5/6	21.5	80.6	-62.0	7977.1	

映像TSL		(dB)	(dBm)	(dBm)	(km)
	所要D/U	干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)	
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	16.8	85.0	-55.0	7977.1	
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	30.4	85.0	-45.0	12073.8	
移動中継 64QAM R=5/6	15.9	85.0	-62.0	6947.8	

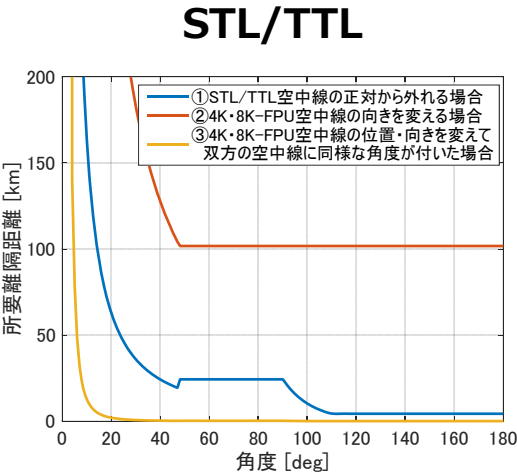
(イ) 隣接チャンネルの場合

隣接チャンネルの場合については、実験機を用いた測定を行い、シミュレーション

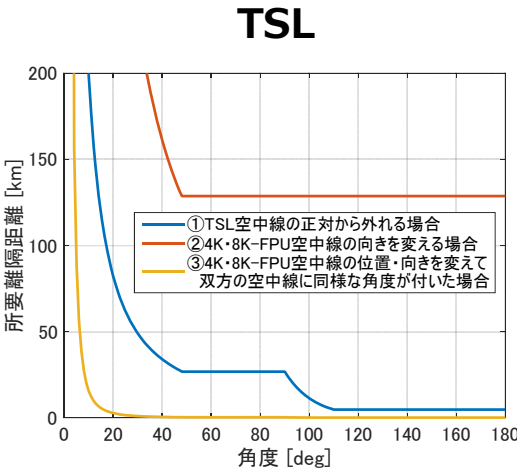
による補正を加えて所要 D/U を求めた。所要離隔距離（正対）の計算結果も併せて表 17 に示す。また、空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性を図 22（イ）に示す。

表 17 干渉波が映像 STL/TTL、TSL の場合の所要 D/U と所要離隔距離（正対）の計算結果（隣接チャンネルの場合）

所要D/U（実験による）				→	所要離隔距離計算		
					周波数（MHz）	6525	
					4K・8K-FPU受信空中線利得-給電線損失（dB）（上）固定（下）移動	30	22.7
映像STL/TTL（TS伝送）							
	測定所要D/U	補正值	所要D/U		干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準） 1024QAM R=2/3	-19.5	-1.8	-21.3		80.6	-55.0	60.0
固定中継（高品質） 4096QAM R=5/6	-11.3	3.3	-8.0		80.6	-45.0	87.7
移動中継 64QAM R=5/6	-27.2	0	-27.2		80.6	-62.0	29.4
映像STL/TTL（IF伝送）							
	測定所要D/U	補正值	所要D/U		干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準） 1024QAM R=2/3	-22.6	-1.8	-24.4		80.6	-55.0	42.0
固定中継（高品質） 4096QAM R=5/6	-14.1	3.3	-10.8		80.6	-45.0	63.5
移動中継 64QAM R=5/6	-29.1	0	-29.1		80.6	-62.0	23.6
映像TSL							
	測定所要D/U	補正值	所要D/U		干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離（正対の場合）
固定中継（標準） 1024QAM R=2/3	-19.4	-1.8	-21.2		85.0	-55.0	100.7
固定中継（高品質） 4096QAM R=5/6	-11.4	3.3	-8.1		85.0	-45.0	143.9
移動中継 64QAM R=5/6	-27.8	0	-27.8		85.0	-62.0	45.5



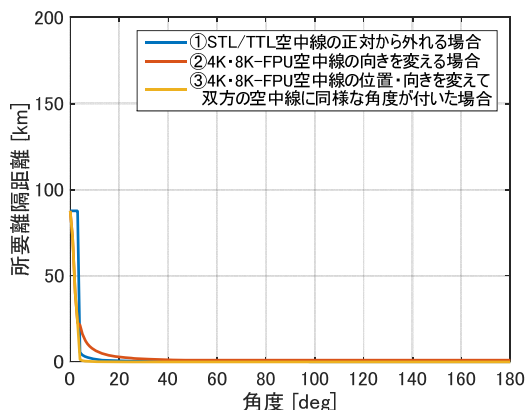
IF伝送方式で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）



固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

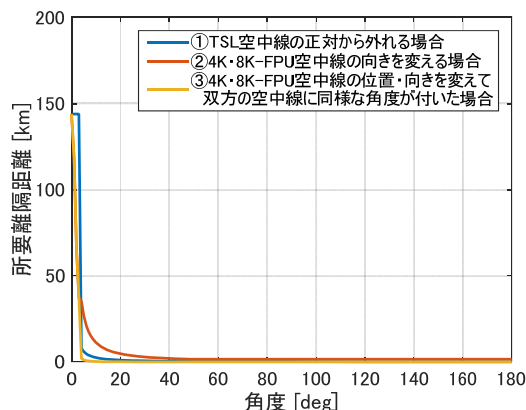
（ア）同一チャンネルの場合

STL/TTL



IF伝送方式で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

TSL



固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）

（イ）隣接チャンネルの場合

図 2 2 空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性

5. 3 共用可能性

（ア）同一チャンネルの場合

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、計算上 1 万 km 程度※の離隔が必要である。空中線の向きがずれている場合でも、共用可能となる場所は③の場合に限られ、運用条件が現実的でないことから、共用は厳しいと考えられる。実際の周波数運用形態を考慮し、隣接チャンネルの場合について検討する。

※ 実際には、大地が球面であること等による見通し外となるため、送受信局の高さにもよるが 50～100km 程度と推定。

（イ）隣接チャンネルの場合

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、STL/TTL で 88km、TSL で 144km 以上の離隔が必要であるが、互いの空中線の向きをずらすと①～③の全ての条件で急激に離隔距離は減少する。空中線が正対する可能性は小さく、また STL/TTL 及び TSL は放送事業用システムであるため、これらからの干渉を避けて運用することが可能である。したがって、隣接チャンネル関係の場合は共用可能と考える。

以上から、4 K・8 K用 F P U と STL/TTL 及び TSL が共用するためには、異なる周波数帯での運用が必要となる。

6 現行 F P U

6. 1 主な検討条件

現行 F P U の諸元を表 1 8、図 2 3 に示す。

表 1 8 現行 F P U の諸元

	シングルキャリア (SC) 方式	OFDM 方式
周波数帯	B, C, D, E, F, G バンド	
最大 EIRP	規定なし (最大空中線利得と空中線利得より 61.0dBm とする)	規定なし (最大空中線利得と空中線利得より 66.2dBm とする)
最大空中線利得	規定なし (実際の運用に即した値 29.2dBi を想定する)	
最大空中線電力	1.5W	5W
偏波	直線偏波・円偏波 (円偏波も規定されているが、高利得アンテナ使用時は直線偏波であるので、直線偏波を想定)	
空中線放射パターン	規定なし (共用検討用の空中線放射パターンに関する勧告 (Rec. ITU-R F.699-7) を用いる (図 2 3))	
その他	現行 F P U と 4 K ・ 8 K 用 F P U は、隣接関係における干渉検討とする。(放送事業者間で運用調整が行われるため、同一チャンネルの使用はない)	

※ ここでは、C バンドで検討を行うが、E, F, G バンド等周波数が高い場合は、空中線利得もそれに応じて EIRP も大きくなるが、伝搬損失も大きくなるため、所要離隔距離は変わらない。

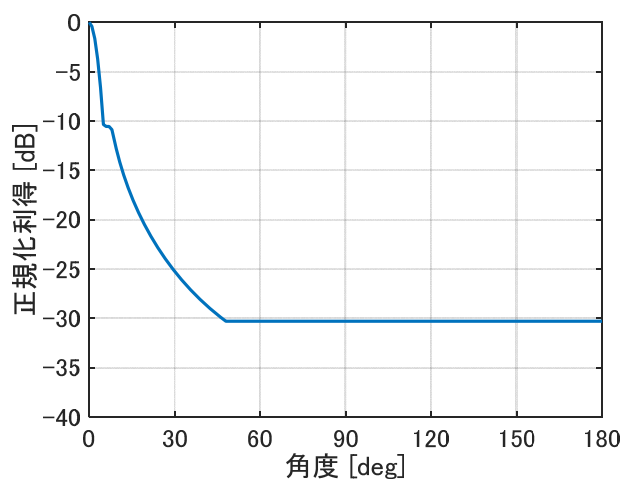


図 2 3 現行 F P U の空中線放射パターン

— 開口径 $D=0.6\text{m}$ 、最大利得 $G_0=29.2\text{dBi}$ としたパターン —

・ 所要 D/U の測定について

映像 STL/TTL 及び TSL の所要 D/U の測定と同様に行う（5. 1に記載）。

6. 2 所要 D/U 測定結果と所要離隔距離の計算

実験機を用いて測定を行い、シミュレーションによる補正を加えて所要 D/U を求め、前項の検討条件を基に、所要離隔距離（正対）を計算した。結果を表 19 に示す。また、空中線の向きを考慮した所要離隔距離の角度特性を図 24 に示す。

表 19 干渉波が現行 FPU の場合の所要 D/U 測定結果と所要離隔距離（正対）の計算結果

				周波数 (MHz)		6435
				4K・8K-FPU 受信空中線 利得-給電線損失 (dB) (上) 固定 (下) 移動		30
						22.7
所要 D/U (実験による)				→ 所要離隔距離計算		
現行 FPU (SC)				(dBm)	(dBm)	(km)
	測定所要 D/U	補正值	所要 D/U	干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	-19.4	-1.8	-21.2	61.0	-55.0	6.4
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	-11.4	3.3	-8.1	61.0	-45.0	9.2
移動中継 64QAM R=5/6	-27.8	0	-27.8	61.0	-62.0	2.9
現行 FPU (OFDM)				(dBm)	(dBm)	(km)
	測定所要 D/U	補正值	所要 D/U	干渉波 EIRP	所望波 受信電力	所要離隔距離 (正対の場合)
固定中継 (標準) 1024QAM R=2/3	-19.0	-1.8	-20.8	66.2	-55.0	12.3
固定中継 (高品質) 4096QAM R=5/6	-10.5	3.3	-7.2	66.2	-45.0	18.6
移動中継 64QAM R=5/6	-27.8	0	-27.8	66.2	-62.0	5.3

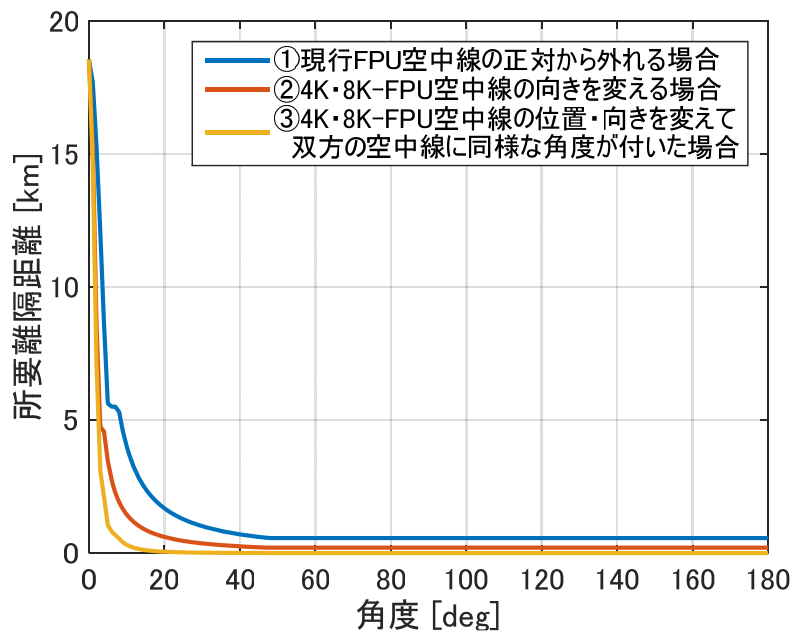


図 2 4 空中線の向きを考慮した所要離隔距離

－ OFDM 方式で、固定中継（高品質伝送）モデルの場合（最悪値の場合）－

6. 3 共用可能性

空中線が正対した場合（角度＝0°）は、18.6km 以上の離隔が必要であるが、互いの空中線の向きをずらすと急激に離隔距離は減少する。

また、正対で受信する場合は、現行 F P U も 4 K ・ 8 K 用 F P U も同一 F P U 基地局または近接した F P U 基地局で受信するケースがほとんどと考えられる。現行 F P U の受信電力は標準受信入力である -55dBm 程度になるよう、送信側で空中線電力もしくは空中線利得を調整する。一方、4 K ・ 8 K 用 F P U は -45dBm 程度の受信電力を確保して運用することとなる。このため、一般的に D/U が 10dB 程度になり、所要 D/U の -7dB を大きく上回るため、実質的には干渉問題は発生しない可能性が高い。

また、上記のケースに当てはまらない場合でも、現行 F P U と同様に放送事業者間の運用調整により干渉を回避することが可能である。

以上より共用可能と考えられる。

電波防護指針への適合性

1 電波防護指針への適合性の考え方

移動する無線局は電波防護指針に係る規定の適用対象外（電波法施行規則第21条の3）であるが、平成11年郵政省告示第300号に準じて、4K・8K用FPUの電波防護指針への適合性について確認する。

2 電磁界強度指針値

電波法施行規則第21条の3において規定される電界強度指針値のうち、1.5GHz超の周波数に適用される値は以下の表に示すとおり。

	防護指針（6分間平均値）		
	電界強度 [V/m]	磁界強度 [A/m]	電力束密度 [mW/cm ²]
管理環境	61.4以下	0.163以下	1以下
一般環境	137以下	0.365以下	5以下

また、電界強度の算出にあたっては、平成11年郵政省告示第300号に準じて、電力束密度の基本算出式を用いた。

3 電界強度指針値との比較

(1) 電界強度の算出の前提条件

4K・8K用FPUの空中線電力は、最大値である5W（偏波MIMO利用時は、両偏波を合わせた最大電力値）とし、空中線利得は回線設計例に従って以下の値とした。

運用形態	周波数帯	送信アンテナ利得
固定中継	B～Dバンド	30.0dBi (パラボラアンテナ)
	E、Fバンド	34.2dBi (パラボラアンテナ)
	Gバンド	36.0dBi (パラボラアンテナ)
移動中継	B～Gバンド	12.0dBi (ホーンアンテナ)

(2) 結果

2の電界強度指針値を満足するために必要な離隔距離を求め、アンテナの指向特性を考慮した結果は図1から8のとおりであり、以下のような検討結果が得られた。

- ・ 4K・8K用FPUの運用に際して、検討結果より一定の離隔距離が必要であるが、図に示すとおり、最大輻射方向から逸れれば急激に所要離隔距離が小さくなる。
- ・ 通常、30～36dBi程度の利得を有するマイクロ波4K・8K用FPU送信機を固定中継で使用するときは、送信点から受信局を見通せるよう、送受信機は中継車屋上やビルの屋上等に設置され、一般の通行者等が電波の伝送路を遮るような環境では運用されない。
- ・ 管理環境においては、空中線の最大輻射方向から逸れると数10cm～1m程度の離隔距離を確保すれば電波防護指針の基準値を満たして運用できる。一般環境においては、空中線の最大輻射方向から逸れると1.9m以上の離隔距離を確保すれば電波防護指針の基準値を満たして運用できる。よって周囲の安全性は十分確保できると考えられる。
- ・ 設置環境によっては、防護柵等を設置することが望ましい。
- ・ 移動中継の場合は、一般の通行者等が電波の伝搬路を遮るような環境では運用されず、6分間平均して人体に電波を照射し続けることは想定されないため、特に支障はないものと考えられる。

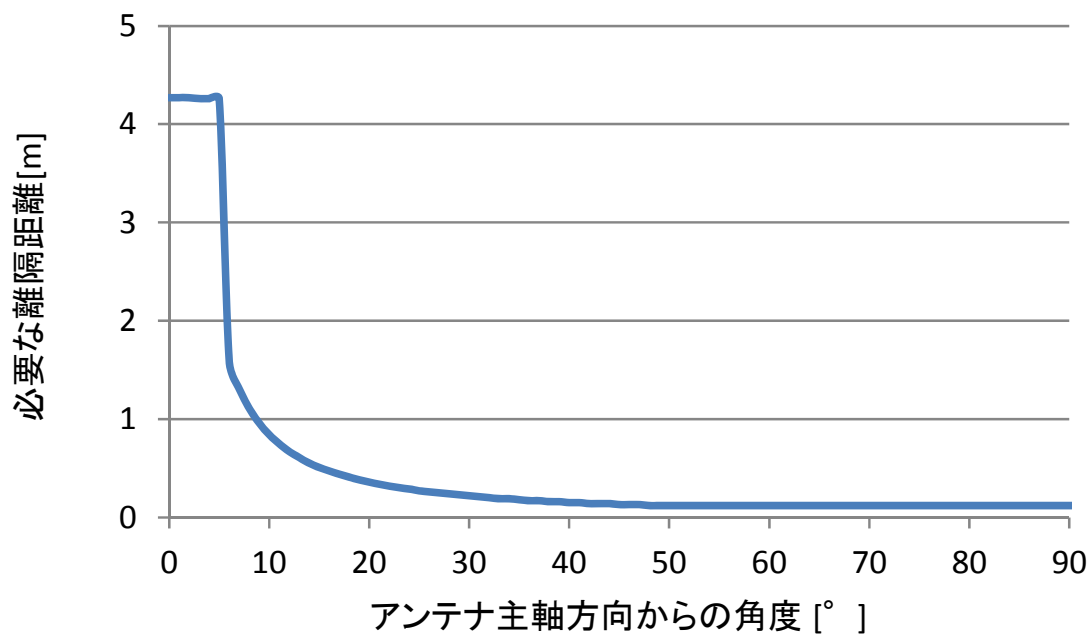


図1 固定中継(B~Dバンド)の場合(管理環境)

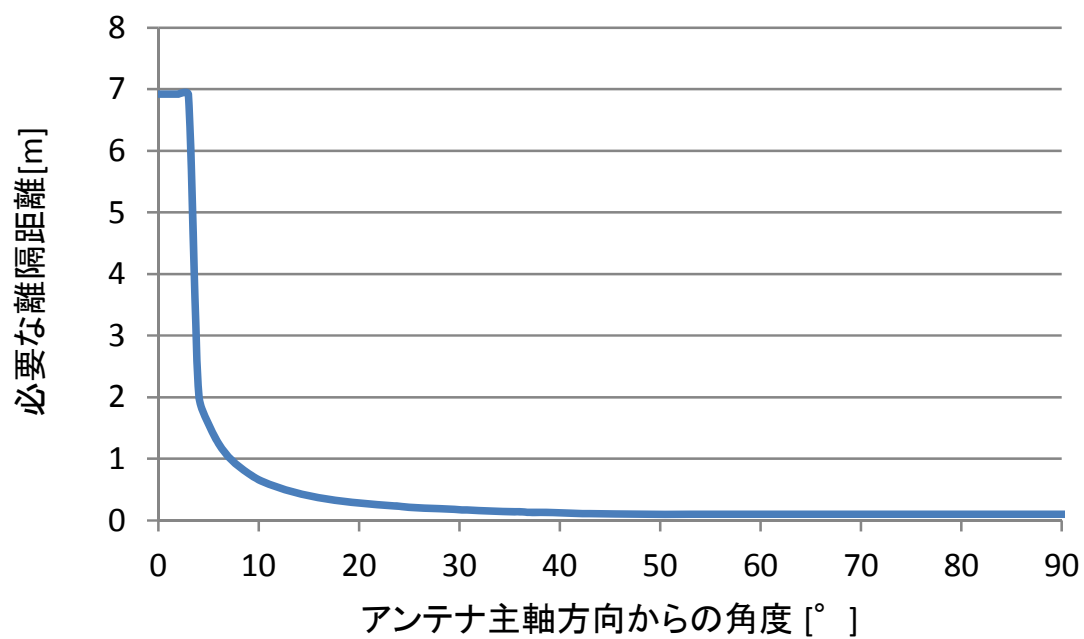


図2 固定中継(E,Fバンド)の場合(管理環境)

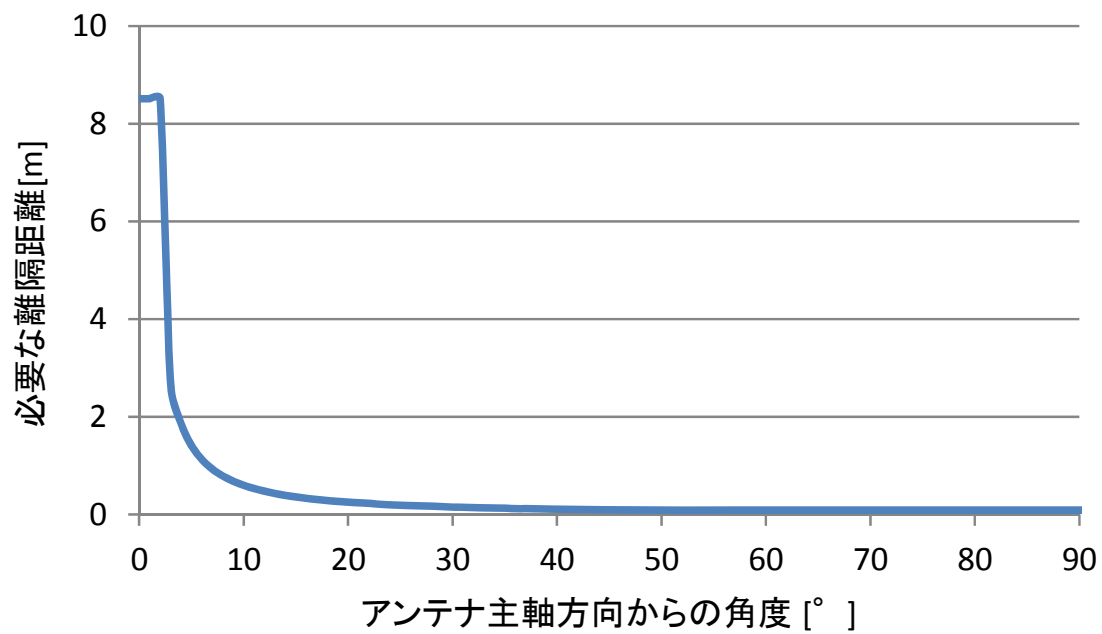


図3 固定中継(Gバンド)の場合(管理環境)

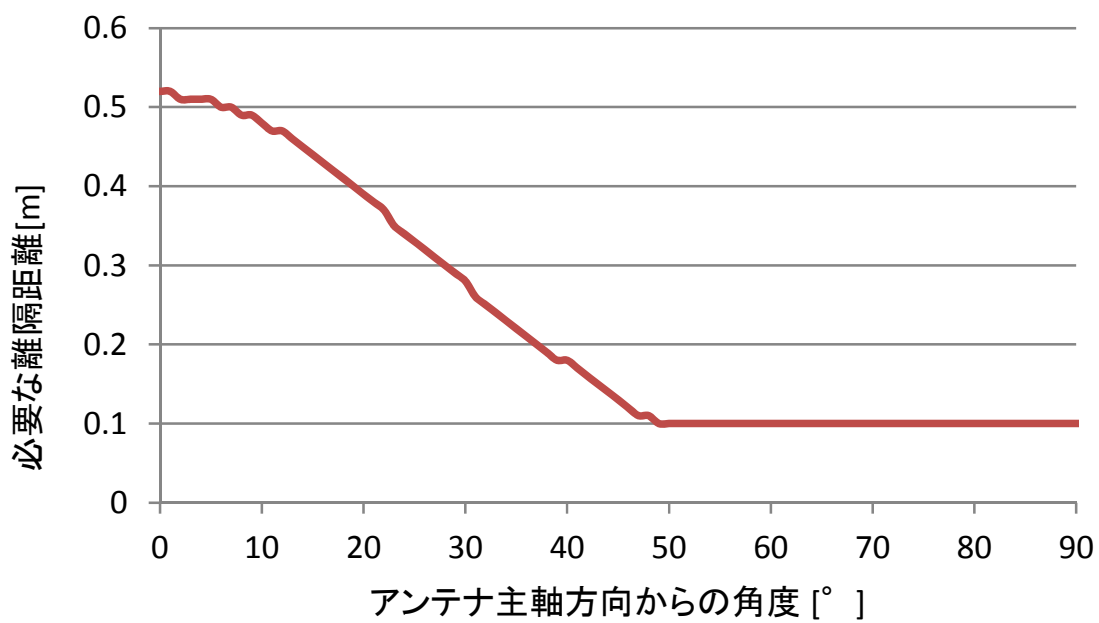


図4 移動中継の場合(管理環境)

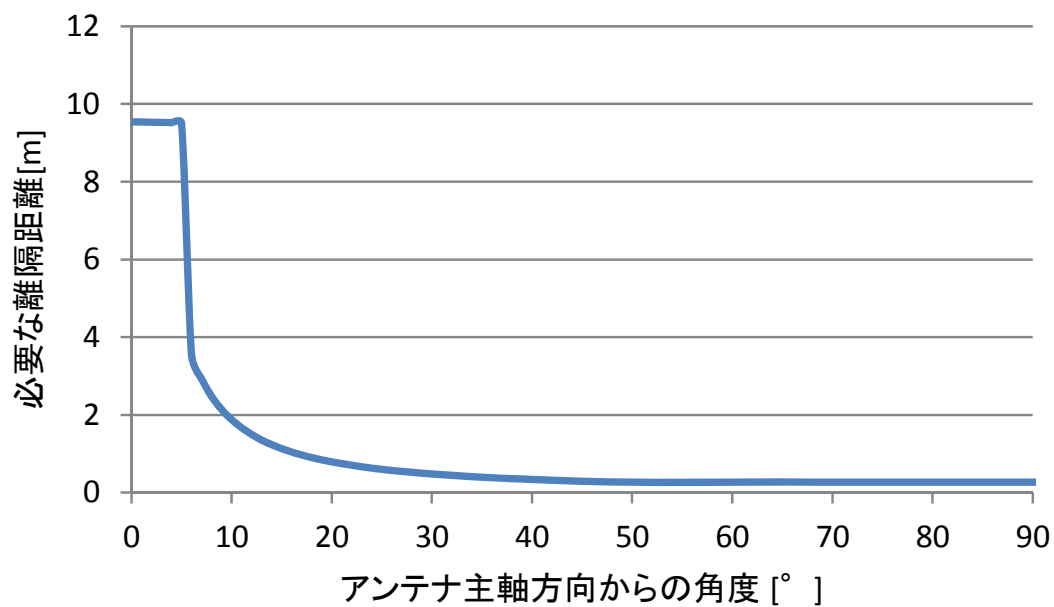


図5 固定中継(B~Dバンド)の場合(一般環境)

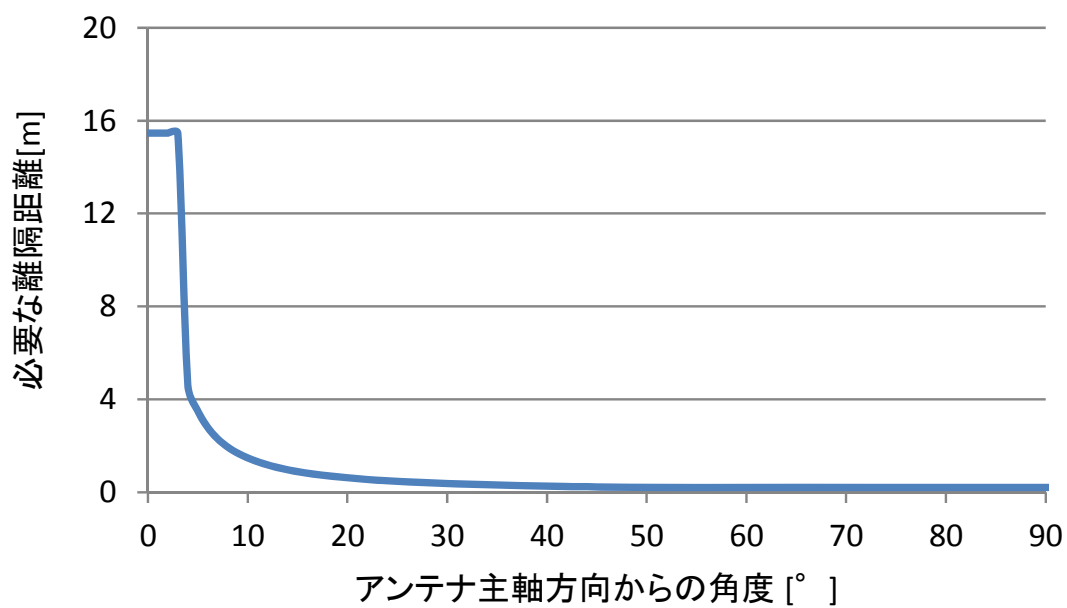


図6 固定中継(E,Fバンド)の場合(一般環境)

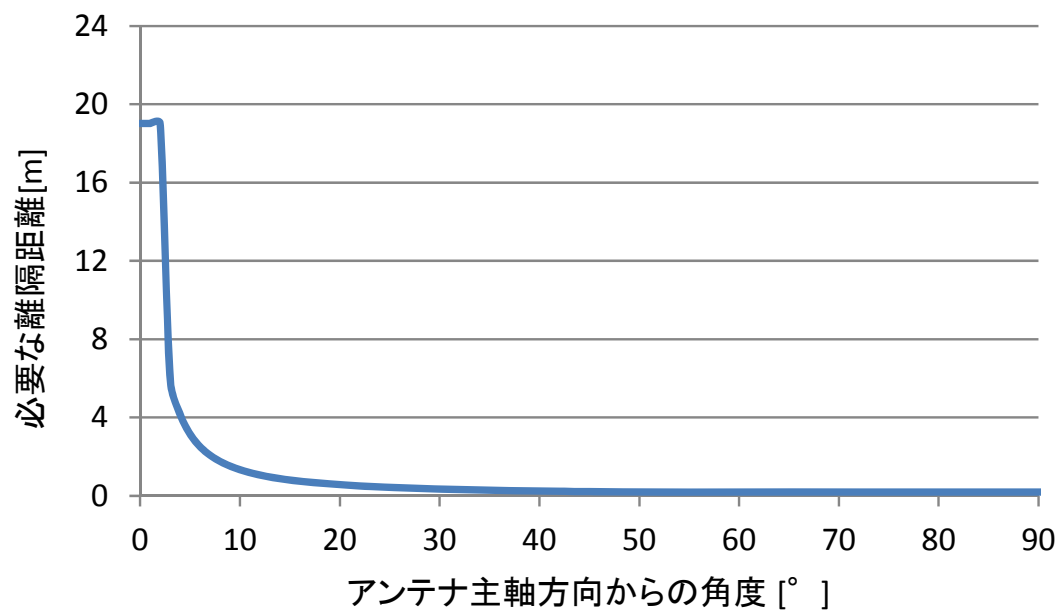


図7 固定中継(Gバンド)の場合(一般環境)

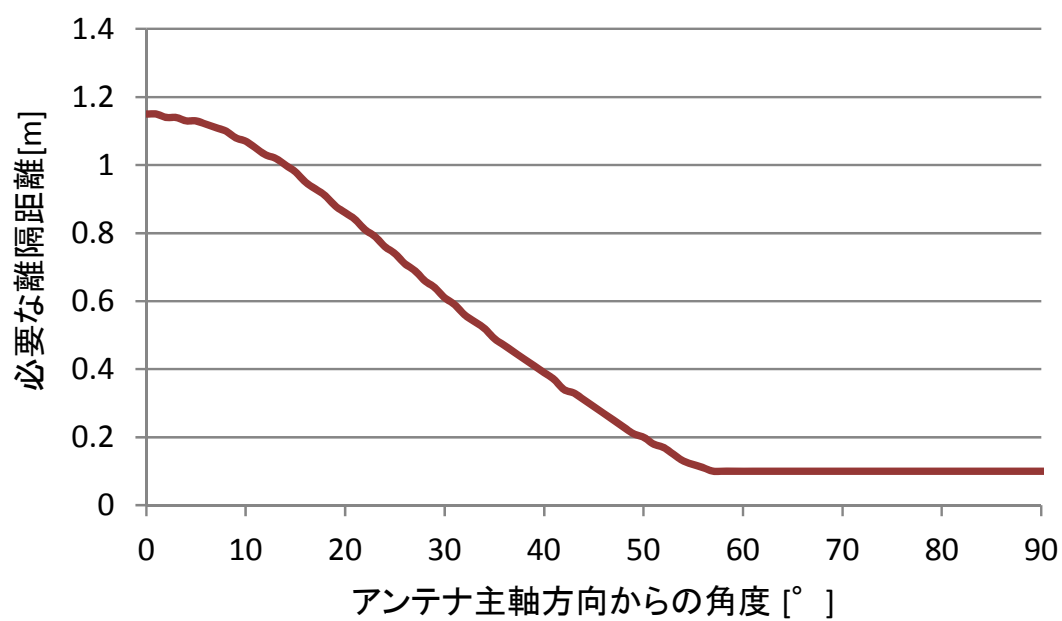


図8 移動中継の場合(一般環境)