

基本的な技術的条件の検討 (暫定案)

2016 年 7 月 26 日

日本放送協会

1. 伝送容量

(1) 固定中継

現在、ARIB 素材伝送用 HEVC コーデック評価 JTG にて 4 K・8 K 映像信号を伝送するための所要の映像ビットレートを検討中であり、具体的な数字は明らかになっていない。従って、本資料では暫定的に所要 TS ビットレートを、標準伝送モデルで 200 Mbps、高品質伝送モデルで 300 Mbps と仮定して検討する。(評価結果により再検討が必要である)。この場合の最大伝送容量を表 1.1 に示す。

(2) 移動中継

現在、ARIB 素材伝送用 HEVC コーデック評価 JTG にて検討中であり、具体的な数字は明らかになっていない。従って、本資料では暫定的に所要 TS ビットレートを、120 Mbps と仮定して検討する。(評価結果により再検討が必要である)。この場合の最大伝送容量を表 1.1 に示す。

表 1.1 最大伝送容量

固定中継 (標準伝送)	344 Mbps
固定中継 (高品質伝送)	412 Mbps
移動中継	206 Mbps

2. 変調方式 (キャリア変調方式を含む。)

FPU は、事件、スポーツ等の取材現場からの番組素材の伝送に用いられる回線であり、さまざまな場所からの中継が想定されるほか、運用形態も多岐に亘っている。このような運用形態は建物などの反射によるマルチパスによるフェージングが避けられない。直交周波数分割多重 (OFDM) 方式はマルチパスフェージングに対する耐性が強いといった方式の特徴があることから、OFDM 方式とする。

また、4 K・8 K を伝送するための大容量化を考慮し、直交する 2 偏波を使用する偏波 MIMO 方式を用いる。

2. 1 キャリア変調方式

4 K・8 K 伝送が可能なユーザ要求を満足するキャリア変調方式を選定することとする。固定中継 (標準伝送) では 1024QAM 方式を基本とし、固定中継 (高品質伝送) では 4096QAM 方式を基本とする。移動中継の場合には 64QAM 方式を基本とする。

3. 占有周波数帯幅

情通審諮問第 110 号と同様の値とした。

占有周波数帯幅の許容値を表 2.1 に示す。

表 2.1 占有周波数帯域幅

フルモード	17.5MHz 以下
ハーフモード	8.5MHz 以下

4. 回線品質

4. 1 瞬断率規格、不稼働率規格

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。

情通審諮問第 110 号と同様、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。

4. 2 所要 C/N

固定中継（標準伝送）の場合、1024QAMの内符号復号後のビット誤り率 10^{-7} を満足する（誤り訂正：LDPC 2/3）所要の C/N 比の理論値は 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の内符号復号後のビット誤り率 10^{-7} を満足する（誤り訂正：LDPC 5/6）所要の C/N 比の理論値は 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（誤り訂正：LDPC 5/6）の理論値が 17.2dB となり、固定中継と同様に固定劣化を加え 21.2dB とした。

C/Nの配分については、シングルキャリア方式のデジタル F P Uと同様とし、熱に 48%、歪に 2%、干渉に 50%配分することとした。（参考資料 2）

5. 回線設計

4K・8K FPU が実際に使用される運用形態をモデル化したものを表 5. 1 に示す

表 5. 1 FPU 運用のモデル

モデル	利用用途	標準的な 送信電力	送信空中線	受信空中線	伝搬距離 (標準距離)	見通し外 通信の有無	伝送レート	利用番組
固定中継 (標準)	緊急報道時に取材現場 から中継車等まで、また は中継車から受信基地 局等までの中継に使用	5W	パラボラφ0.6m	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	200Mbps	緊急報道を 含む報道番 組
固定中継 (高品質)	高品質な映像素材を取材 現場から中継車等まで、 または中継車から受信基 地局等までの中継に使用	5W	パラボラφ0.6m	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	300Mbps	スポーツ・ 情報系番組
移動中継	マラソン等ロードレース中 継用に中継車から受信基 地等までの中継に使用	5W	電磁ホーン	パラボラφ0.3m	4km(B,C,D帯) 3km(E,F帯) 3km(G帯)	無	120Mbps	ロードレー ス中継

・ 伝送パラメータ

各キャリア変調方式について、ユーザ要求条件の伝送容量を検討した。表の○×の評価にあたっては、伝搬路の条件は考慮せず伝送容量についてのみ着目して評価した。

(1) フルモード

①偏波 MIMO、FFT ポイント数 8192

変調方式	符号化率	TSレート (188バイト パケット) (Mbps)	所要CNR (dB)	固定伝送 (標準) (200Mbps)	固定伝送 (高品質) (300Mbps)	移動伝送 (120Mbps)
BPSK	1/2	15.6		×	×	×
	2/3	20.9		×	×	×
	3/4	22.9		×	×	×
	5/6	26.1		×	×	×
QPSK	1/2	31.3	5.1	×	×	×
	2/3	41.7	7.2	×	×	×
	3/4	45.9	8.0	×	×	×
	5/6	52.1	9.4	×	×	×
16QAM	1/2	62.6	10.8	×	×	×
	2/3	83.4	13.3	×	×	×
	3/4	91.7	14.0	×	×	×
	5/6	104.3	15.7	×	×	×
32QAM	1/2	78.2	13.2	×	×	×
	2/3	104.3	16.0	×	×	×
	3/4	114.7	17.0	×	×	×
	5/6	130.3	18.7	×	×	×
64QAM	1/2	93.8	15.0	×	×	×
	2/3	125.1	17.7	×	×	○
	3/4	137.6	19.1	×	×	○
	5/6	156.4	21.2	×	×	○
256QAM	1/2	125.1	18.9	×	×	○
	2/3	166.8	22.4	×	×	○
	3/4	183.5	23.9	×	×	○
	5/6	208.5	26.5	○	×	○
1024QAM	1/2	156.4	22.7	×	×	○
	2/3	208.5	27.1	○	×	○
	3/4	229.4	28.9	○	×	○
	5/6	260.7	31.8	○	×	○
4096QAM	1/2	187.7	26.4	×	×	○
	2/3	250.2	31.6	○	×	○
	3/4	275.2	33.7	○	×	○
	5/6	312.8	37.1	○	○	○

②偏波 MIMO、FFT ポイント数 2048

変調方式	符号化率	TSレート (188バイト パケット) (Mbps)	所要CNR (dB)	固定伝送 (標準) (200Mbps)	固定伝送 (高品質) (300Mbps)	移動伝送 (120Mbps)
BPSK	1/2	12.7		×	×	×
	2/3	17.0		×	×	×
	3/4	18.7		×	×	×
	5/6	21.2		×	×	×
QPSK	1/2	25.5	5.1	×	×	×
	2/3	34.0	7.2	×	×	×
	3/4	37.4	8.0	×	×	×
	5/6	42.5	9.4	×	×	×
16QAM	1/2	51.0	10.8	×	×	×
	2/3	68.0	13.3	×	×	×
	3/4	74.8	14.0	×	×	×
	5/6	85.0	15.7	×	×	×
32QAM	1/2	63.7	13.2	×	×	×
	2/3	85.0	16.0	×	×	×
	3/4	93.4	17.0	×	×	×
	5/6	106.2	18.7	×	×	×
64QAM	1/2	76.5	15.0	×	×	×
	2/3	101.9	17.7	×	×	×
	3/4	112.1	19.1	×	×	×
	5/6	127.4	21.2	×	×	○
256QAM	1/2	101.9	18.9	×	×	×
	2/3	135.9	22.4	×	×	○
	3/4	149.5	23.9	×	×	○
	5/6	169.9	26.5	×	×	○
1024QAM	1/2	127.4	22.7	×	×	○
	2/3	169.9	27.1	×	×	○
	3/4	186.9	28.9	×	×	○
	5/6	212.4	31.8	○	×	○
4096QAM	1/2	152.9	26.4	×	×	○
	2/3	203.9	31.6	○	×	○
	3/4	224.3	33.7	○	×	○
	5/6	254.9	37.1	○	×	○

(2) ハーフモード

①偏波 MIMO、FFT ポイント数 8192

変調方式	符号化率	TSLレート (188バイト パケット) (Mbps)	所要CNR (dB)	固定伝送 (標準) (200Mbps)	固定伝送 (高品質) (300Mbps)	移動伝送 (120Mbps)
BPSK	1/2	8.4		×	×	×
	2/3	11.1		×	×	×
	3/4	12.2		×	×	×
	5/6	13.9		×	×	×
QPSK	1/2	16.7	5.1	×	×	×
	2/3	22.3	7.2	×	×	×
	3/4	24.5	8.0	×	×	×
	5/6	27.8	9.4	×	×	×
16QAM	1/2	33.4	10.8	×	×	×
	2/3	44.5	13.3	×	×	×
	3/4	49.0	14.0	×	×	×
	5/6	55.7	15.7	×	×	×
32QAM	1/2	41.8	13.2	×	×	×
	2/3	55.7	16.0	×	×	×
	3/4	61.2	17.0	×	×	×
	5/6	69.6	18.7	×	×	×
64QAM	1/2	50.1	15.0	×	×	×
	2/3	66.8	17.7	×	×	×
	3/4	73.5	19.1	×	×	×
	5/6	83.5	21.2	×	×	×
256QAM	1/2	66.8	18.9	×	×	×
	2/3	89.1	22.4	×	×	×
	3/4	98.0	23.9	×	×	×
	5/6	111.3	26.5	×	×	×
1024QAM	1/2	83.5	22.7	×	×	×
	2/3	111.3	27.1	×	×	×
	3/4	122.5	28.9	×	×	○
	5/6	139.2	31.8	×	×	○
4096QAM	1/2	100.2	26.4	×	×	×
	2/3	133.6	31.6	×	×	○
	3/4	147.0	33.7	×	×	○
	5/6	167.0	37.1	×	×	○

②偏波 MIMO、FFT ポイント数 2048

変調方式	符号化率	TSレート (188バイト パケット) (Mbps)	所要CNR (dB)	固定伝送 (標準) (200Mbps)	固定伝送 (高品質) (300Mbps)	移動伝送 (120Mbps)
BPSK	1/2	6.9		×	×	×
	2/3	9.2		×	×	×
	3/4	10.1		×	×	×
	5/6	11.5		×	×	×
QPSK	1/2	13.8	5.1	×	×	×
	2/3	18.4	7.2	×	×	×
	3/4	20.3	8.0	×	×	×
	5/6	23.0	9.4	×	×	×
16QAM	1/2	27.7	10.8	×	×	×
	2/3	31.6	13.3	×	×	×
	3/4	40.6	14.0	×	×	×
	5/6	39.5	15.7	×	×	×
32QAM	1/2	34.6	13.2	×	×	×
	2/3	46.1	16.0	×	×	×
	3/4	50.7	17.0	×	×	×
	5/6	57.6	18.7	×	×	×
64QAM	1/2	41.5	15.0	×	×	×
	2/3	55.3	17.7	×	×	×
	3/4	60.8	19.1	×	×	×
	5/6	69.1	21.2	×	×	×
256QAM	1/2	55.3	18.9	×	×	×
	2/3	73.7	22.4	×	×	×
	3/4	81.1	23.9	×	×	×
	5/6	92.2	26.5	×	×	×
1024QAM	1/2	69.1	22.7	×	×	×
	2/3	92.2	27.1	×	×	×
	3/4	101.4	28.9	×	×	×
	5/6	115.2	31.8	×	×	×
4096QAM	1/2	83.0	26.4	×	×	×
	2/3	110.6	31.6	×	×	×
	3/4	121.7	33.7	×	×	○
	5/6	138.3	37.1	×	×	○

回線設計における電力の検討条件

- ・回線設計で使用するアンテナの利得は、実測値等による。
- ・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。所要フェージングマージンは参考資料3のとおり、固定中継については 5.1dB、移動中継については 10dB とする。所要降雨減衰マージンについては、固定中継については 26.6～29.4dB、移動中継については 0.9～1.1dB とする。
- ・伝送マージンは、伝搬路条件や気象条件は使用形態により様々であるため、その都度フェージングマージン等を考慮した回線設計を行うことができない。このため、マイクロ波帯 OFDM-FPU と同様に標準的な回線設計において 15dB のマージンを定めて空中線電力とし、実際の伝搬路状況に合わせて空中線電力を減力するなどして適正な受信入力確保することとする。

各モデルにおける回線設計例を以下に示す。

● 固定中継（標準伝送）

緊急報道時に取材現場から中継車等まで、または中継車から受信基地局等までの中継に使用するモデル

○ B, C, Dバンド、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

○B, C, Dバンド、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(フェーディング) [%]	0.5	0.5
所要フェーディングマージン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

○ E, F, バンド、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

○ E, F, バンド、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

○Gバンド、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

○Gバンド、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

●固定中継（高品質伝送）

高品質な映像素材を取材現場から中継車等まで、または中継車から受信基地局等まで中継する際に使用するモデル

○B, C, Dバンド、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

○B, C, Dバンド、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(フェーディング) [%]	0.5	0.5
所要フェーディングマージン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

○ E, Fバンド、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

○ E, Fバンド、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

○Gバンド、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

○Gバンド、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

●移動中継

マラソン等ロードレース中継用に中継車から受信基地等までの中継に使用

○B, C, Dバンド、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
一瞬間断時間率[%]	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

○ E, Fバンド、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

○Gバンド、送信アンテナ 電磁ホーン、受信アンテナ φ0.3m

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

6. 空中線電力

5. 回線設計を踏まえ、現行の技術基準と同様に以下のとおりとする。なお、偏波 MIMO 時は、両偏波を合わせた電力を空中線電力とする。

	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)

※括弧内は、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の確認ができた場合の最大空中線電力

伝送容量

1 固定中継（標準伝送）

(1) 必要な映像ビットレート：193Mbit/s 以上

ARIB 素材伝送用 HEVC コーデック JTG において、評価検討中であるが、ここでは映像レートとして 193.3Mbps を想定する。（JTG の評価結果によって伝送容量は再検討が必要である）

(2) 必要な TS ビットレート：200Mbit/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 193.3Mbit/s
- ・音声・制御信号 6.7Mbit/s

(3) 200Mbit/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：20.45074286MHz
- ・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：16 本
- ・AC キャリア数：175 本
- ・ガードインターバル比：1/32

(4) パイロット、TMCC、AC を加えた最終的な伝送容量：344Mbit/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。

- ・データキャリア 311.119Mbit/s （キャリア数：6426）
- ・パイロット 10.458Mbit/s 相当（キャリア数：216）
- ・TMCC 3.099Mbit/s 相当（キャリア数：64）
- ・AC 8.473Mbit/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）＝
343.559Mbit/s

所要 C/N：27.1dB（1024QAM2/3）

（BER= 1×10^{-7} での理論値 23.1dB＋固定劣化 4dB）

2 固定中継（高品質伝送）

(1) 必要な映像ビットレート：293Mbit/s 以上

ARIB 素材伝送用 HEVC コーデック JTG において、評価検討中であるが、ここでは映像レートとして 293.3Mbps を想定する。（JTG の評価結果によって伝送容量は再検討が必要である）

(2) 必要な TS ビットレート：300Mbit/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 293.3Mbit/s
- ・音声・制御信号 6.7Mbit/s

(3) 300Mbit/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：20.45074286MHz
- ・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：16 本
- ・AC キャリア数：175 本
- ・ガードインターバル比：1/32

(4) パイロット、TMCC、AC を加えた最終的な伝送容量：412Mbit/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。

- ・データキャリア 373.342Mbit/s (キャリア数：6426)
- ・パイロット 12.549Mbit/s 相当 (キャリア数：216)
- ・TMCC 3.718Mbit/s 相当 (キャリア数：64)
- ・AC 10.167Mbit/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) = 412.27Mbit/s

所要 C/N：37.1dB (4096QAM 5/6)

(BER= 1×10^{-7} での理論値 33.1dB + 固定劣化 4dB)

3 移動中継

(1) 必要な映像ビットレート：113Mbit/s 以上

ARIB 素材伝送用 HEVC コーデック JTG において、評価検討中であるが、ここでは映像レートとして 113.3Mbps を想定する。(JTG の評価結果によって再検討が必要である)

(2) 必要な TS ビットレート：120Mbit/s 以上

映像信号に音声信号を加え、誤り訂正外符号を加えて TS ビットレートを得る。

- ・映像信号 113.3Mbit/s
- ・音声信号 6.7Mbit/s

(3) 120Mbit/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 2048)

- ・FFT クロック：20.45074286MHz
- ・総キャリア数：1721 本
- ・データキャリア数：1428 本
- ・パイロットキャリア数：216 本
- ・TMCC キャリア数：16 本
- ・AC キャリア数：61 本
- ・ガードインターバル比：1/8

(4) パイロット、TMCC、AC を加えた最終的な伝送容量：206Mbit/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。

- ・データキャリア 152.102Mbit/s (キャリア数：1428)
- ・パイロット 23.007Mbit/s 相当 (キャリア数：216)
- ・TMCC 1.704Mbit/s 相当 (キャリア数：16)
- ・AC 6.497Mbit/s 相当 (キャリア数：61)

上記の合計 $183.311\text{Mbit/s} \times 9/8$ (ガード比 1/8 のガードインターバル) = 206.224Mbit/s

所要 C/N：21.2dB (64QAM 5/6)

(BER= 1×10^{-7} での理論値 17.2dB+固定劣化 4dB)

C/N 配分

(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)

所要フェージングマージン、降雨減衰マージンの算出方法

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。

1.1.1 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 F_{mr} は、次式により求める。

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

ただし、 $F_{mr} < 5\text{dB}$ の場合は、 $F_{mr} = 5\text{dB}$ 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)

TSL においては一区間伝送であり、 $d=D$

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。

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

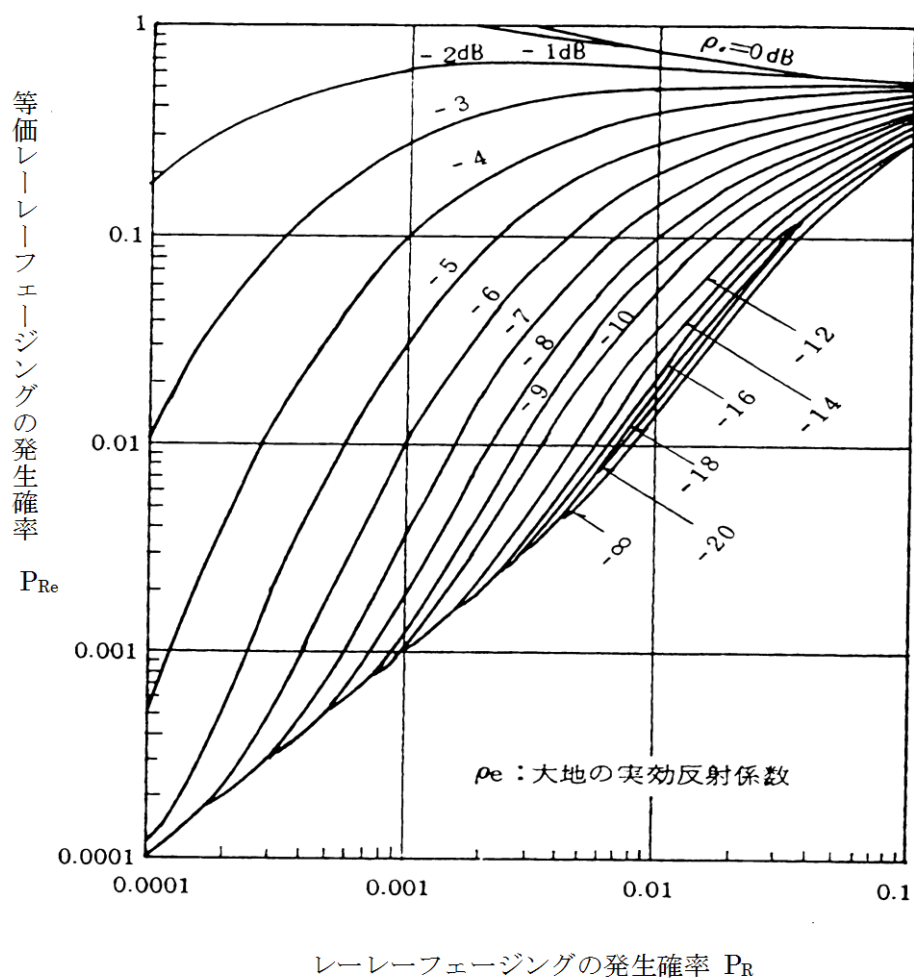
h_1 、 h_2 : 両局の空中線の海拔高 (m)

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 の代わりに下図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

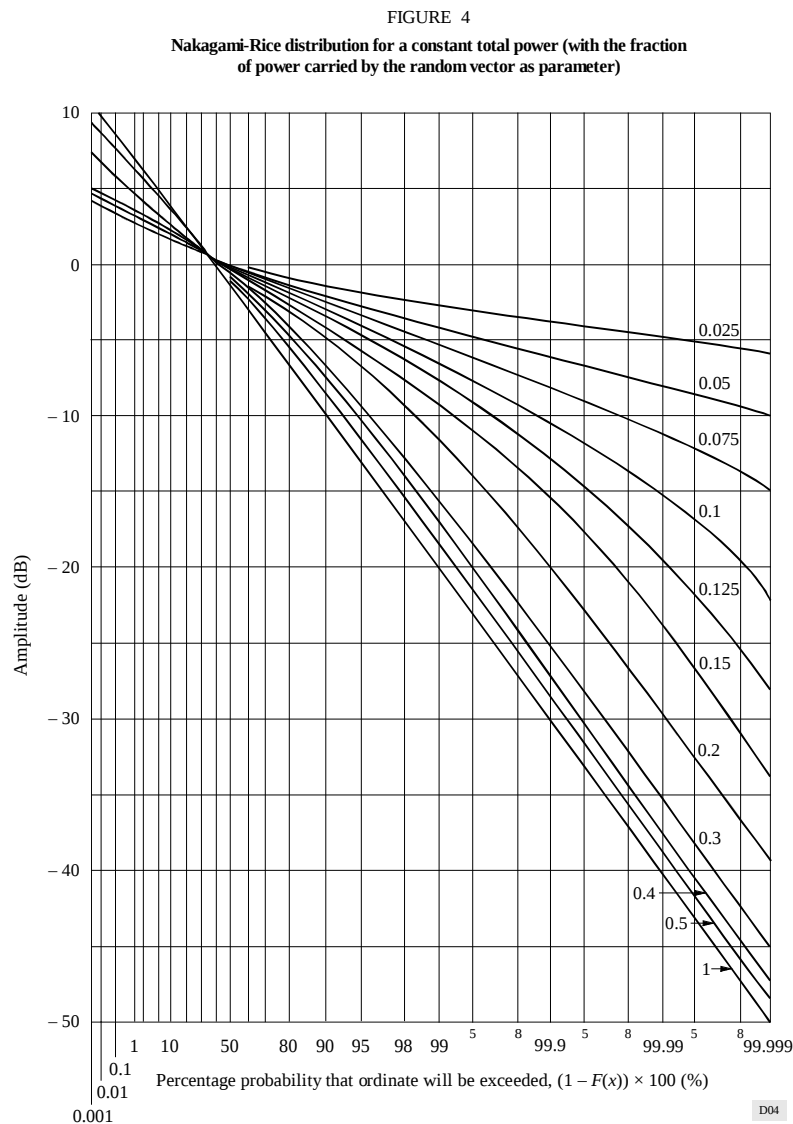


反射波がある場合の等価レーレーフェージング発生確率

(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-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）の関係を下図に示す。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。

下図より、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 F_{mr_rice} は、10dB を標準値とする。



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 年映情メ学会冬季大会，6-5，p. 91

1.1.2 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 (年間回線不稼動率 $p\%$ 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動率については、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動率 [%]

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 (一週間回線不稼働率 $p\%$ 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 に対応した一週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 、 α_H 、 k_V 、 α_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

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

p : 一週間回線不稼働率 [%]

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

1.1.3 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

伝搬路条件を平野における固定伝送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。

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	17.0dB	23.5dB	28.8dB	33.1dB	36.6dB
F バンド						
G バンド	13.3dB	24.6dB	34.0dB	41.7dB	48.0dB	53.0dB