

3 無線システム等の性能

内容

1 試験項目	164
2 試験用無線システムにおける伝送性能確認試験(参考試験)	
2.1 搬送波電力対雑音レベル比(C/N比)	165
2.2 複合3次歪(CTB)	170
2.3 位相雑音	172
2.4 C/N比対ビット誤り率(BER)	174
3 疑似伝送路接続試験(参考試験)	
3.1 地上デジタル放送波伝送試験	179
3.2 疑似光伝送路接続試験	182

1. 試験項目

(1) 試験用無線システムにおける伝送性能確認試験 (参考試験)

	試験項目	備考
2.1	搬送波電力対雑音レベル比(C/N比)	
2.2	複合3次歪(CTB)	
2.3	位相雑音	
2.4	C/N比対ビット誤り率(BER)	

(2) 擬似伝送路接続試験 (参考試験)

	試験項目	備考
3.1	地上デジタル放送波伝送試験	
3.2	擬似光伝送路接続試験	

2. 試験用無線システムにおける伝送性能確認試験（参考試験）

技術試験に用いる無線システムの基本的な伝送性能を明らかにし、標準デジタルテレビジョン放送(OFDM)信号、デジタル有線テレビジョン放送(64QAM)信号の伝送に十分な性能を持つ無線伝送路であることを確認するため、無線伝送区間の各種性能を測定する。測定結果は、技術試験並びに調査検討会において、無線伝送区間における所要 C/N 比等の検討をするための参考データとする。

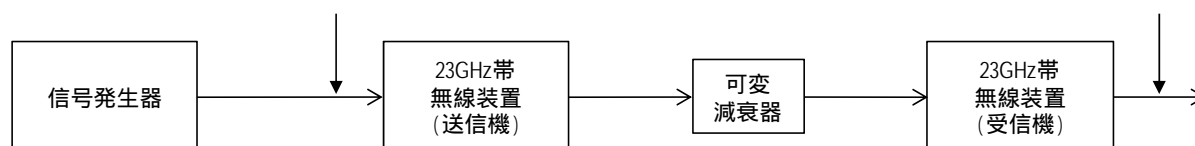
2.1. 搬送波電力対雑音レベル比（C/N 比）

2.1.1. 目的

技術試験に用いる無線システムと、可変減衰器を用いて無線伝送路を構築し、屋外試験(技術試験委託仕様書 別紙 2 2.3)における、通常状態(晴天時)の無線伝送区間の C/N 比と、降雨による受信レベルの減衰が発生した状態の無線伝送区間の C/N 比を確認する事を目的とする。

本試験では、無線伝送路に C/N 比特性の良好な無変調信号(CW)を入力し、伝送後の C/N 比を測定することにより無線伝送区間の性能(C/N 比)を確認する。

2.1.2. 測定系統及び測定点



番号	測定ポイント	備考
	送信機入力	
	受信機出力	

2.1.3. 測定方法

- 1 信号発生器より無変調信号(CW)を発生させる。
- 2 送信機への入力信号レベルを 72.3dBμV/ch に設定する(送信機出力-1.0dBm/ch 相当)
- 3 のポイントにスペクトラムアナライザを接続し、搬送波レベル C を測定する。
- 4 信号発生器の信号をオフにし、雑音レベル N を測定する。
- 5 測定した搬送波レベルと雑音レベルより、信号の C/N 比を計算する。

$$C/N = C - N$$
- 6 通常状態の受信機入力レベル(-55.2dBm)になるように可変減衰器の減衰量を調整する。
- 7 のポイントにスペクトラムアナライザを接続し、C/N 比を測定する(3~5)。
- 8 減衰量を大きくし、受信機入力レベルを下げて のポイントで C/N 比を測定する。

2.1.4. スペクトラムアナライザの設定

測定	中心周波数	SPAN	RBW	VBW	検波モード
搬送波レベル	537.25 MHz	1 MHz	30 kHz	300 kHz	Sample
雑音レベル	537.25 MHz	10 MHz	30 kHz	10 Hz	Sample

2.1.5. 回線設計

本技術試験の屋外試験(技術試験委託仕様書 別紙 2 2.3):梅津寺～興居島間無線伝搬実験)についての回線設計結果を以下に記載する。本試験ではこの回線設計をベースとして、無線機の空中線電力、無線区間の伝搬ロス等を設定する。

表 2-1:屋外試験の回線設計

2009 年度調査検討会 回線設計[梅津寺 鷲ヶ巣(興居島) 4.1km:デジタル伝送]						
項番	項目	単位		OFDM	64QAM	備考
1	伝搬距離	km	d	4.1	4.1	
2	1 分間雨量累積分布の 0.0075%値	mm/min	R0075	1.24	1.24	電波法関係審査基準 別図第 35 号より(愛媛県松山地区)
3	中心周波数	GHz	f	23.42	23.42	
4	チャンネル帯域幅	MHz	BW	5.6	5.274	
5	空中線電力	dBm	Pt	-1.0	-1.0	チャンネル当たりの送信電力
6	給電線系損失(送信)	dB	Lft	1.5	1.5	送信局側における給電線損失等の合計値
7	送信空中線の絶対利得	dBi	Gat	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
8	自由空間損失	dB	Lp	132.0	132.0	$Lp = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$ d:伝送距離[km]、f:周波数[MHz]
9	受信空中線の絶対利得	dBi	Gar	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
10	給電線系損失(受信)	dB	Lfr	1.5	1.5	受信局側における給電線損失等の合計値
11	受信入力レベル	dBm	Pr	-55.2	-55.2	$Pr = Pt - (Lp + (Lft + Lfr)) + (Gat + Gar)$
12	受信機雑音電力レベル	dBm	Prni	-99.5	-99.8	$Prni = 10 \log(B) + NF - 114$ 受信機通過帯域幅: B[MHz]、NF=7[dB]
13	算出された受信 C/N 比	dB	CNRrx	44.3	44.5	通常状態における受信 CNR[dB]。 $CNRrx = Pr - Prni$
14	降雨量の地域分布による係数	-	Xr	0.75	0.75	1分間雨量累積分布の0.0075%値1.66mm/分を基準にした、地域における降雨分布量の係数。
15	0.0075%1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量	dB	Γ_t	17	17	電波法関係審査基準 P.1061 の 9(追 10) 図 2:0.0075%1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量 (dB)より
16	当該区間の降雨減衰量	dB	Γ_r	12.75	12.75	$\Gamma_r = Xr \cdot \Gamma_t$ 目標回線稼働率が 99.95%となる時の降雨減衰量
17	降雨時における受信 C/N 比	dB	CNRrx_rain	31.5	31.8	$CNRrx_rain = CNRrx - \Gamma_r$
18	所要 C/N 比	dB	CNRth	30	30	最小受信 C/N 比[dB]。

19	システムマージン	dB	Msys	1.5	1.8	Msys = CNRrx_rain - CNRth
20	降雨マージン	dB	Zp	14.3	14.5	Zp = CNRrx - CNRrx_min
21	目標回線稼働率	%	Ap	99.95 以上	99.95 以上	
22	システム不稼働時間	hour	T	4.38	4.38	

2.1.6. 結果

無線伝送路入力(測定ポイント)における C/N 比と、無線受信機への入力信号を変化させた時の無線伝送路出力(測定ポイント)の C/N 比を以下に示す。

表 2-2:無線伝送路入力(測定ポイント)における C/N 比

搬送波レベル [dBμV]	雑音レベル (5.6MHz 帯域換算値) [dBμV]	C/N 比 [dB]	備考
73.3	4.6	68.7	

表 2-3:無線伝送路出力(測定ポイント)における C/N 比

受信機 入力レベル [dBm]	搬送波レベル [dBμV]	雑音レベル (5.6MHz 帯域換算値) [dBμV]	C/N 比 [dB]	備考
-55.2	81.1	39.5	41.7	回線設計上の通常状態に相当
-68.0	67.6	34.5	33.1	回線設計上の降雨状態に相当
-70.2	65.8	35.5	30.3	

測定結果より、無線伝送区間の C/N 比は

- 屋外試験における通常状態を想定した受信機への入力レベル(-55.2dBm)においては 41.7dB
- 屋外試験における降雨減衰を想定した受信機への入力レベル(-68.0dBm)においては 33.1dB であった。

無線伝送区間の C/N 比は、送信機の熱雑音等による送信 C/N 比と、受信機の熱雑音等による受信 C/N 比の電力和で表わされる。本技術試験に用いた無線伝送路の送信 C/N は 43.5dB であるため、測定結果の無線伝送区間の C/N 比と送信 C/N 比より算出した受信 C/N 比は、

- 通常状態を想定した受信機への入力レベル(-55.2dBm)においては 46.4dB
- 降雨減衰を想定した受信機への入力レベル(-68.0dBm)においては 33.5dB となる。

この結果は表 2-1 の回線設計における受信 C/N 比(項番 13)と比較して 2dB 高い値とであった。

これは、本技術試験に用いた無線受信機の雑音指数の実力値が 5dB であり、回線設計に用いたスペック値(7dB)と比較して 2dB 低い値であるため、無線受信機の雑音電力レベルが低下し、受信 C/N 比が高くなったことが要因であると考えられる。

以下に、技術試験に用いた無線伝送路の実力値に基づいた回線設計に、送信 C/N 比の要素を加えた結果を示す。

表 2-4:実力値に基づいた回線設計

2009 年度調査検討会 回線設計【梅津寺 鷲ヶ巣(興居島) 4.1km:デジタル伝送】						
項番	項目	単位		OFDM	64QAM	備考
1	伝搬距離	Km	d	4.1	4.1	
2	1 分間雨量累積分布の 0.0075%値	mm/min	R0075	1.24	1.24	電波法関係審査基準 別図第 35 号より(愛媛県松山地区)
3	中心周波数	GHz	f	23.42	23.42	
4	チャンネル帯域幅	MHz	BW	5.6	5.274	
5	空中線電力	DBm	Pt	-1.0	-1.0	チャンネル当たりの送信電力
6	給電線系損失(送信)	Db	Lft	1.5	1.5	送信局側における給電線損失等の合計値
7	送信空中線の絶対利得	DBi	Gat	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
8	自由空間損失	dB	Lp	132.0	132.0	$Lp = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$ d:伝送距離[km], f:周波数[MHz]
9	受信空中線の絶対利得	dB	Gar	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
10	給電線系損失(受信)	dB	Lfr	1.5	1.5	受信局側における給電線損失等の合計値
11	受信入力レベル	dBm	Pr	-55.2	-55.2	$Pr = Pt - (Lp + (Lft + Lfr)) + (Gat + Gar)$
12	受信機雑音電力レベル	dBm	Prni	-101.5	-101.8	$Prni = 10 \log(B) + NF - 114$ 受信機通過帯域幅: B[MHz], NF=5[dB]
13	算出された受信 C/N 比	dB	CNRrx	46.3	46.5	通常状態における受信 CNR[dB]。 $CNRrx = Pr - Prni$
14	送信 C/N 比	dB	CNRtx	43.5	43.8	$CNR_{tx} = Pt - (N + 10 \log(BW[Hz]))$ N:送信機の熱雑音 = -112[dBm/Hz]
15	無線伝送区間の C/N 比	dB	CNRlt	41.7	41.9	送信 C/N 比と通常時の受信 C/N 比の電力和。
16	降雨量の地域分布による係数	-	Xr	0.75	0.75	1分間雨量累積分布の0.0075%値1.66mm/分を基準にした、地域における降雨分布量の係数。
17	0.0075%1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量	dB	Γ_t	17	17	電波法関係審査基準 P.1061 の 9(追 10) 図 2:0.0075%1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量 (dB)より
18	当該区間の降雨減衰量	dB	Γ_r	12.75	12.75	$\Gamma_r = Xr \cdot \Gamma_t$

						目標回線稼働率が 99.95% となる際の降雨減衰量
19	降雨時における受信 C/N 比	dB	CNR _{rx_rain}	33.5	33.8	$CNR_{rx_rain} = CNR_{rx} - \Gamma_r$
20	降雨時における無線伝送区間の C/N 比	dB	CNR _{lt_rain}	33.1	33.4	送信 C/N 比と降雨時における受信 C/N 比の電力和。
21	所要 C/N 比	dB	CNR _{th}	30	30	最小受信 C/N 比[dB]。
22	システムマージン	dB	M _{sys}	3.5	3.8	$M_{sys} = CNR_{rx_rain} - CNR_{th}$
23	降雨マージン	dB	Z _p	16.3	16.5	$Z_p = CNR_{rx} - CNR_{rx_min}$
24	目標回線稼働率	%	A _p	99.95 以上	99.95 以上	
25	システム不稼働時間	hour	T	4.38	4.38	

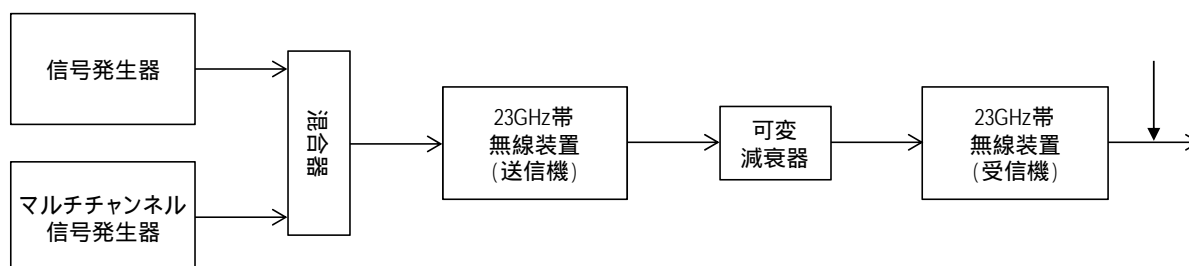
2.2. 複合 3 次歪 (CTB)

2.2.1. 目的

多チャンネルケーブルテレビシステムにおける、デジタル信号の特性劣化の要因として、複合三次歪(3次歪により生じる周波数の違う3信号の和差ビート)があげられる。

本試験では、無線伝送路に無変調信号(CW)を40波入力し、伝送後のCTBを測定することにより、無線伝送区間の複合3次歪特性を確認し、デジタル信号を伝送する伝送路として問題無い歪み特性であることを確認する。

2.2.2. 測定系統及び測定点



番号	測定ポイント	備考
	受信機出力	

2.2.3. 測定方法

- 1 信号発生器より無変調信号を40波発生させる。
- 2 送信機への入力信号レベルを75.8dBμV/chに設定する(送信機出力2.5dBm/ch:送信機の定格最大出力相当)。
- 3 通常状態の受信機入力レベル(-55.2dBm)になるように可変減衰器の減衰量を調整する。
- 4 のポイントにスペクトラムアナライザを接続し、伝送帯域の真ん中のチャンネルにおける搬送波レベル(C)を測定する。
- 5 4で測定したチャンネルにおける信号発生器の信号をオフにし、CTBレベル(CTB)を測定する。
- 6 測定した搬送波レベルとCTBレベルより、信号のC/CTB比を計算する。

$$C/CTB = C - CTB$$

2.2.4. スペクトラムアナライザの設定

測定	中心周波数	SPAN	RBW	VBW	検波モード
搬送波レベル	591.25 MHz 597.75 MHz	500 kHz	30 kHz	10 Hz	Sample
CTBレベル	591.25 MHz 597.75 MHz	500 kHz	30 kHz	10 Hz	Sample

(日本CATV技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-OFDM 4.14 参照)

2.2.5. 結果

CTB の測定結果を以下に示す。

表 2-5:無線伝送路の複合三次歪(C/CTB)

測定周波数 [MHz]	搬送波レベル [dB μ V]	CTB レベル [dB μ V]	C/CTB [dB]	備考
591.25	97.2	50.6	46.6	
597.25	97.2	49.8	47.4	

測定結果より、本技術試験に用いる無線伝送路における 40 波伝送時の C/CTB は 46.5dB 程度であった。

この結果は、以下に記載する有線テレビジョン放送法施行規則に規定されたデジタル信号の受信者端子における条件を満足しており、デジタル信号の伝送に用いた場合に問題が無い事が確認出来た。

表 2-6:デジタル信号の受信者端子における CTB の条件

	標準デジタルテレビジョン	デジタル有線テレビジョン	
	OFDM	64QAM	256QAM
C/CTB	45dB 以上 ^{注1}	39dB 以上 ^{注2}	45dB 以上 ^{注2}

^{注1}:有線テレビジョン放送法施行規則 第二十六条の二十 第一項 表 区別七

標準デジタルテレビジョン放送方式(OFDM)の受信者端子における搬送波と妨害波の差の条件。

^{注2}:有線テレビジョン放送法施行規則 第二十六条の十七 第一項 表 区別七

デジタル有線テレビジョン放送方式(64QAM)の受信者端子における搬送波と妨害波の差の条件。

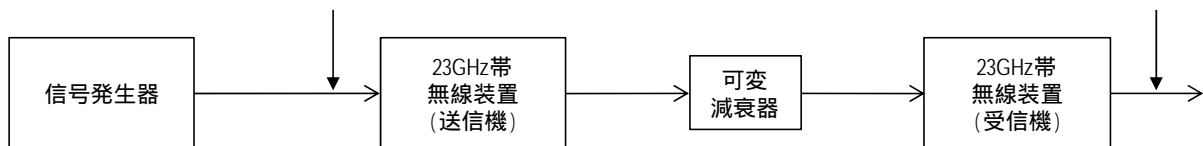
2.3. 位相雑音

2.3.1. 目的

デジタル信号を劣化させる要因の一つとして、伝送路の局部発振器等により生じる位相雑音がある。特に標準デジタルテレビジョン放送(OFDM)信号のようなマルチキャリア変調方式の信号においては、全てのサブキャリアが位相雑音を含む事となり、隣接するサブキャリアの位相雑音の影響も受けることから、位相雑音が信号品質に与える影響は大きい。

本試験では、無線伝送路に無変調信号(CW)を入力して、無線伝送区間の位相雑音成分を測定し、技術試験に用いる無線伝送路がデジタル信号を伝送する伝送路として十分な特性を有している事を確認する。

2.3.2. 測定系統及び測定点



番号	測定ポイント	備考
	送信機入力	
	受信機出力	

2.3.3. 測定方法

- 1 信号発生器より無変調信号を発生させる。
- 2 送信機への入力信号レベルを 72.3dB μ V/ch に設定する(送信機出力-1.0dBm/ch 相当)
- 3 のポイントにスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザの位相雑音測定機能を用いて 100Hz ~ 1MHz までの位相雑音 rms[deg]と、各オフセット周波数における位相雑音レベル[dBc/Hz]を測定する。
- 4 のポイントにスペクトラムアナライザを接続し、スペクトラムアナライザの位相雑音測定機能を用いて 100Hz ~ 1MHz までの位相雑音 rms[deg]と、各オフセット周波数における位相雑音レベル[dBc/Hz]を測定する。

2.3.4. 結果

無線伝送路の前後における位相雑音と、各オフセット周波数における位相雑音レベルの測定結果を以下に示す。

表 2-7: 無線伝送路前後における位相雑音レベル

搬送波周波数 [MHz]	オフセット周波数 [Hz]	位相雑音レベル[dBc/Hz]		備考
		測定ポイント 送信機入力	測定ポイント 受信機出力	
590	1k	-102.8	-102.0	
	10k	-112.7	-106.3	
	100k	-107.2	-106.8	
	1M	-110.8	-109.7	

表 2-8: 無線伝送路前後における位相雑音量

搬送波周波数 [MHz]	積分範囲	位相雑音量 rms [deg]		備考
		測定ポイント 送信機入力	測定ポイント 受信機出力	
590	100Hz~1MHz	0.3 (-50.0 dBc)	0.4 (-46.8 dBc)	

測定結果より、無線伝送区間の位相雑音量は、0.4deg 以下であることが確認出来た。この値は、JCTEA STD-011-1.0 に記載された OFDM シグナルプロセッサの望ましい定格「0.5deg」(等価 C/N 比劣化量を 0.5dB 以下としたとき、0.5 度 rms(100Hz~1MHz 以下))と比較しても良好な値となっており、本技術試験に用いる無線伝送路は OFDM 信号等のデジタル信号の伝送に用いるにあたり十分な位相雑音特性を有していると言える。

無線伝送路出力(測定ポイント)における位相雑音測定結果(100Hz ~ 1MHz)を以下に示す。

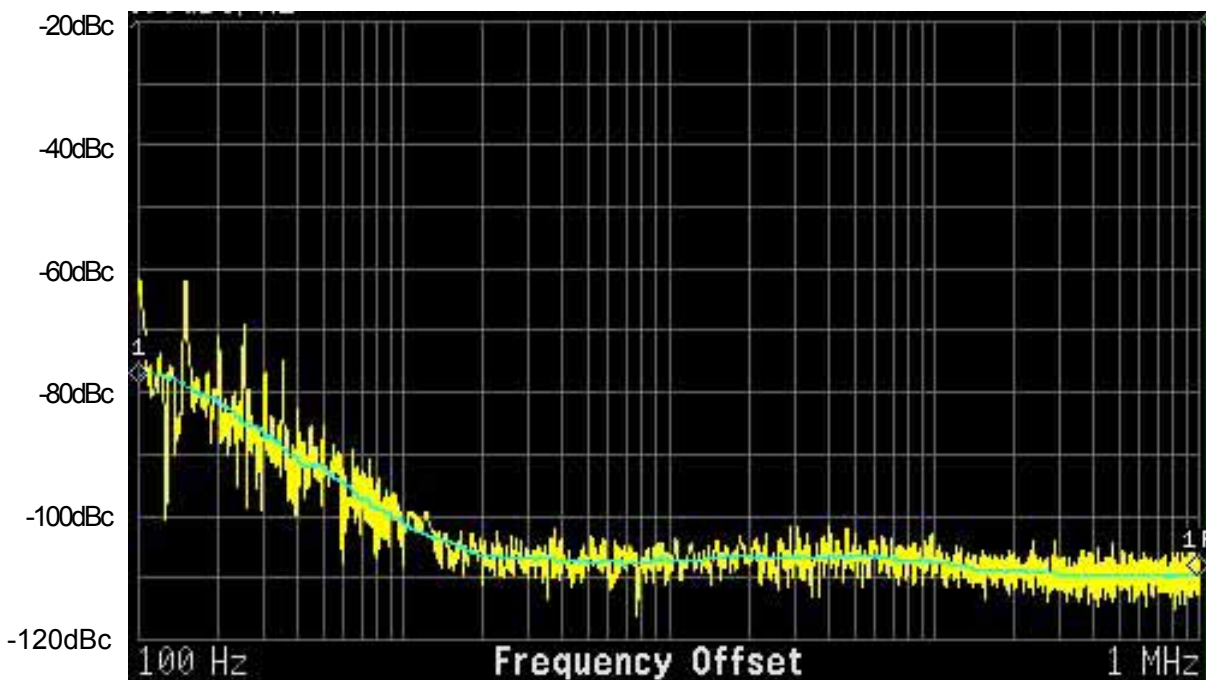


図 2-1: 無線伝送路出力(測定ポイント)における位相雑音成分

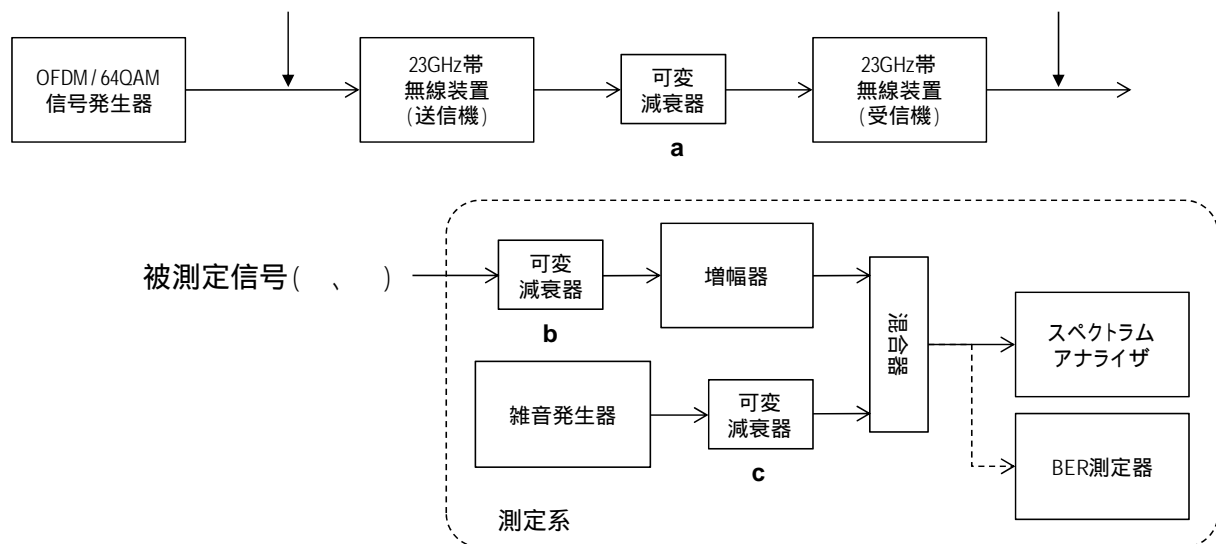
2.4. C/N 比対ビット誤り率 (BER)

2.4.1. 目的

実運用されているケーブルテレビの伝送路上には、熱雑音の他に、歪みや位相雑音等様々な信号の劣化要因が存在する。デジタル伝送システムの特性を劣化させるそれらの要因の全ての特性は、等価ノイズ劣化として定義する事が出来る。等価ノイズ劣化は、被測定信号にガウス雑音を付加し、その時の C/N 比(付加 C/N 比)と BER の関係より導く事が出来る。

本試験では、無線伝送路に標準デジタルテレビジョン放送(OFDM)信号、デジタル有線テレビジョン放送(64QAM)信号を入力し、無線伝送後の信号に雑音を付加して C/N 比を測定する。その時のビット誤り率(短縮化リードソロモン(204,188)符号による誤り訂正前の BER)を測定することで、付加 C/N 比と対比した BER の特性を調べる。屋外試験(技術試験委託仕様書 別紙 2 2.3)における通常状態(晴天時)と、降雨による受信レベルの減衰が発生した状態の無線伝送路に対して測定を実施し、付加 C/N 比と BER の特性から、無線伝送区間による信号の劣化を確認する。また、BER が 1×10^{-4} となる時の付加 C/N 比の実測値と理論値から、伝送路の等価ノイズ劣化を算出する。

2.4.2. 測定系統及び測定点



番号	測定ポイント	備考
	送信機入力	
	受信機出力	通常状態と降雨減衰状態の2パターン

2.4.3. 測定方法

- 1 OFDM 信号発生器より OFDM 信号を発生させる。
- 2 送信機への入力信号レベルを 72.3dBμV/ch に設定する(送信機出力-1.0dBm/ch 相当)。
- 3 測定ポイント に測定系を接続する。
- 4 スペクトラムアナライザへの入力レベルが 70dBμV(搬送波レベル C)になるように可変減衰器 b を調整する。
- 5 雑音発生器の出力をオンにし、雑音を印加する。

- 6 BER 測定器を用いてビット誤り率(短縮化リードソロモン(204,188)符号による誤り訂正前の BER)を測定する。
- 7 OFDM 信号発生器からの入力信号を取り外した状態で、帯域内の雑音レベル N を測定する。
- 8 測定した搬送波レベルと雑音レベルより、信号の C/N 比を計算する。

$$C/N = C - N$$
- 9 雑音発生器の出力に接続した可変減衰器 c の減衰量を 1.0dB 単位で変化させ、6 から 8 の手順を繰り返す。
- 10 雑音発生器の出力をオフにした状態で、搬送波レベル C を測定し、70dB μ V であること(変動していない)を確認する。
- 11 測定ポイント に測定系を接続する。
- 12 通常状態の受信機入力レベル(-55.2dBm)になるように可変減衰器 a の減衰量を調整する。
- 13 4 から 10 までの手順を繰り返す。
- 14 屋外試験で想定している降雨状態の受信機入力レベル(-68.0dBm)になるように可変減衰器 a の減衰量を調整する。
- 15 4 から 10 までの手順を繰り返す。
- 16 信号源を 64QAM 信号発生器に変更し、同測定を実施する。

2.4.4. スペクトラムアナライザの設定 (OFDM C/N 測定時)

測定	中心周波数	測定帯域	SPAN	RBW	VBW	検波モード	アベレージ
搬送波レベル	539.142857 MHz	5.6MHz	10MHz	30kHz	300kHz	Sample	30 回
雑音レベル N	539.142857 MHz	5.6MHz	10MHz	30kHz	300kHz	Sample	30 回

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照)

2.4.5. スペクトラムアナライザの設定 (64QAM C/N 測定時)

測定	中心周波数	測定帯域	SPAN	RBW	VBW	検波モード	アベレージ
搬送波レベル	539MHz	5.274MHz	10MHz	100kHz	1MHz	Sample	30 回
雑音レベル N	539MHz	5.274MHz	10MHz	100kHz	1MHz	Sample	30 回

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA STD-010-QAM 4.5 参照)

2.4.6. 結果

測定結果より、C/N 比対ビット誤り率の特性図を以下に示す。

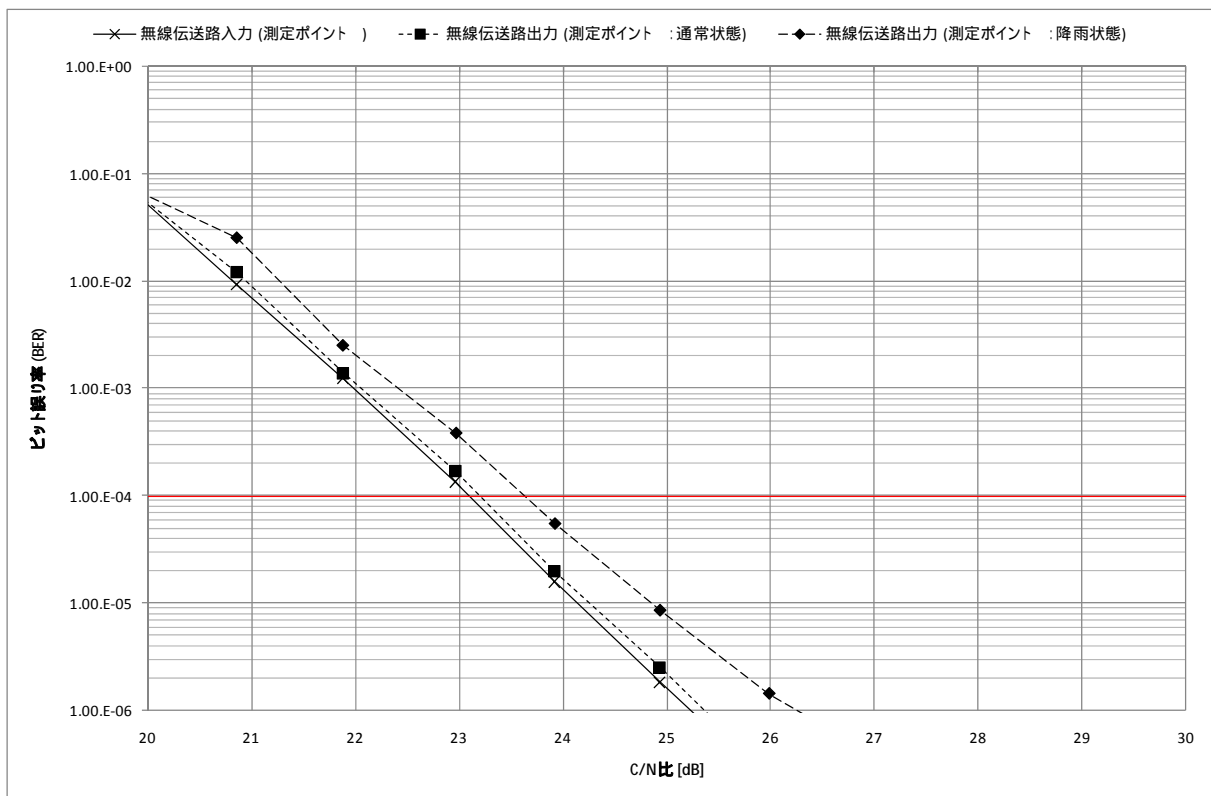


図 2-2:無線伝送区間の C/N 対ビット誤り率特性(OFDM)

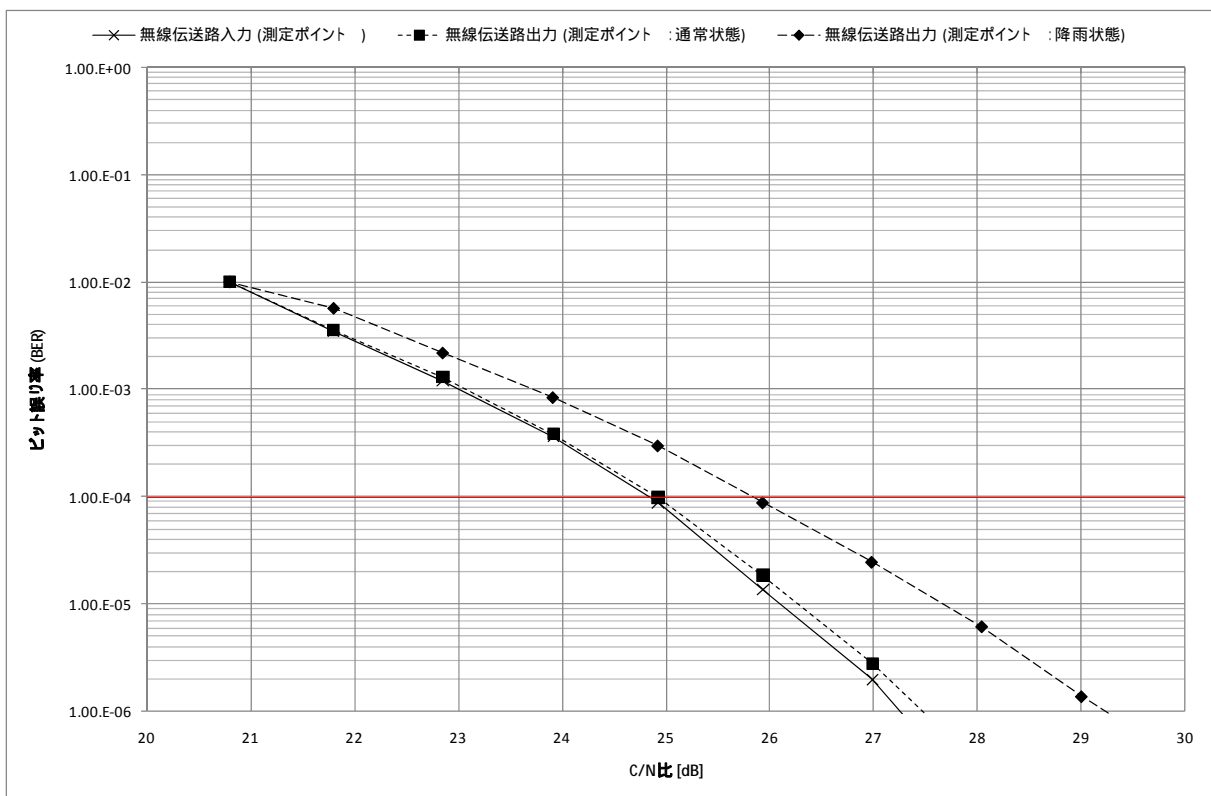


図 2-3:無線伝送区間の C/N 対ビット誤り率特性(64QAM)

測定結果より、受信機入力レベルを通常状態(-55.2dBm)とした場合の、測定ポイント における C/N 比対ビット誤り率の曲線は、OFDM 信号、64QAM 信号ともに、測定ポイント における曲線とほぼ同じ特性を示している。この事から、通常状態においては無線伝送区間における信号劣化は非常に小さいと判断出来る。

また、受信機入力レベルを降雨状態(-68.0dBm)とした場合の、測定ポイント における C/N 比対ビット誤り率の曲線は、無線伝送路の C/N 比の劣化に伴いシフトしているものの、曲線の傾向は変化しておらず、無線伝送区間の特性には歪み等による変化が無い事が分かる。

伝送路上に存在する歪みや位相雑音等様々な信号の劣化要因の全ては、等価ノイズ劣化として定義する事が出来る。

参考のため、BER が 1×10^{-4} となる C/N 比をその前後の測定結果より線形補間を用いて算出し、以下に示す等価ノイズ劣化算出方法(JCTEA STD-010-OFDM、並びに JCTEA STD-010-QAM 参照)を用いて各測定ポイントにおける等価ノイズ劣化を算出した。

$$END = C/N_{\text{meas}} - C/N_{\text{theo}}$$

END : 等価ノイズ劣化[dB]

C/N_{theo} : BER が 1×10^{-4} となる C/N 比(理論値)[dB]

OFDM: 22.2dB(表 2-9 参照:映像メディア学会誌 vol.52 no11 pp1661 より)

64QAM: 24.3dB(JCTEA STD-10-QAM-3.0 より)

C/N_{meas} : BER が 1×10^{-4} となる C/N 比(実測値)[dB]

ただし、無線伝送区間の等価ノイズ劣化を算出する場合は、復調器及び測定系の固定劣化を考慮するため、 C/N_{theo} に代えて測定ポイント (測定系)の付加 C/N 比(C/N_{meas})を採用する。

表 2-9: BER が 1×10^{-4} となる C/N 比(OFDM)

変調方式 内符号化率	DQPSK	16QAM	64QAM
7/8	10.5dB	16.4dB	22.2dB
5/6	9.9dB	15.7dB	21.6dB
3/4	9.0dB	14.9dB	20.4dB
2/3	8.1dB	13.7dB	18.8dB
1/2	6.5dB	11.8dB	16.8dB

等価ノイズ劣化の算出結果を以下に示す。

表 2-10: OFDM 信号伝送時の等価ノイズ劣化

測定ポイント	理論値		
		通常状態	降雨状態
BER=1×10 ⁻⁴ となる C/N 比 [dB]	22.2	23.2	23.8
各測定ポイントにおける等価ノイズ劣化 [dB]	-	1.0	1.5
無線伝送区間の等価ノイズ劣化 [dB]	-	-	0.5

表 2-11: 64QAM 信号伝送時の等価ノイズ劣化

測定ポイント	理論値		
		通常状態	降雨状態
BER=1×10 ⁻⁴ となる C/N 比 [dB]	24.3	24.9	25.9
各測定ポイントにおける等価ノイズ劣化 [dB]	-	0.6	1.6
無線伝送区間の等価ノイズ劣化 [dB]	-	-	1.0

算出結果より、通常状態における無線伝送区間の等価ノイズ劣化は非常に小さい値となっており、無線伝送区間での劣化は非常に小さいと言える。

また、屋外試験の降雨減衰を想定した受信レベル(-68.0dBm)における無線伝送区間の等価ノイズ劣化は、OFDM 信号においては 0.5dB、64QAM 信号においては 1.0dB であった。

ただし、ここでの等価ノイズ劣化とは、歪み等の影響だけではなく、降雨状態を想定した無線区間の C/N 比の劣化も等価ノイズ劣化に含むものとする。

降雨状態における無線伝送区間の等価ノイズ劣化から、以下に示す算出方法を用いて無線伝送区間の等価 C/N 比を算出した。

(JEITA 地上デジタル放送送信ネットワーク測定方法ハンドブック参照)

$$C/N_{eq} = -10 \log_{10} \left(10^{\left(\frac{C/N_{theo}}{10} \right)} - 10^{\left(\frac{C/N_{theo} + END}{10} \right)} \right)$$

C/N_{eq} : 等価 C/N 比[dB]

等価 C/N 比の算出結果を以下に示す。

表 2-12: 等価ノイズ劣化から算出した無線伝送区間の等価 C/N 比

	OFDM 信号	64QAM 信号
等価ノイズ劣化 [dB]	0.5	1.0
等価 C/N [dB]	31.5	31.2

算出結果より、降雨状態の無線伝送区間の等価 C/N 比は、OFDM 信号においては 31.5dB、64QAM 信号においては 31.2dB となった。

3. 擬似伝送路接続試験 (参考試験)

技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」試験で確認した所要性能を持つ無線伝送路と擬似伝送路を接続し、実際に地上デジタル放送波を伝送した場合に、受信者端子においてデジタルTVの視聴が問題無くできることを確認する。

また、無線伝送路を一般的な FTTH 型ケーブルネットワーク相当の擬似伝送路と接続し、受信者端子における性能が有線テレビジョン放送法施行規則に定められた条件を満足する事を確認する。

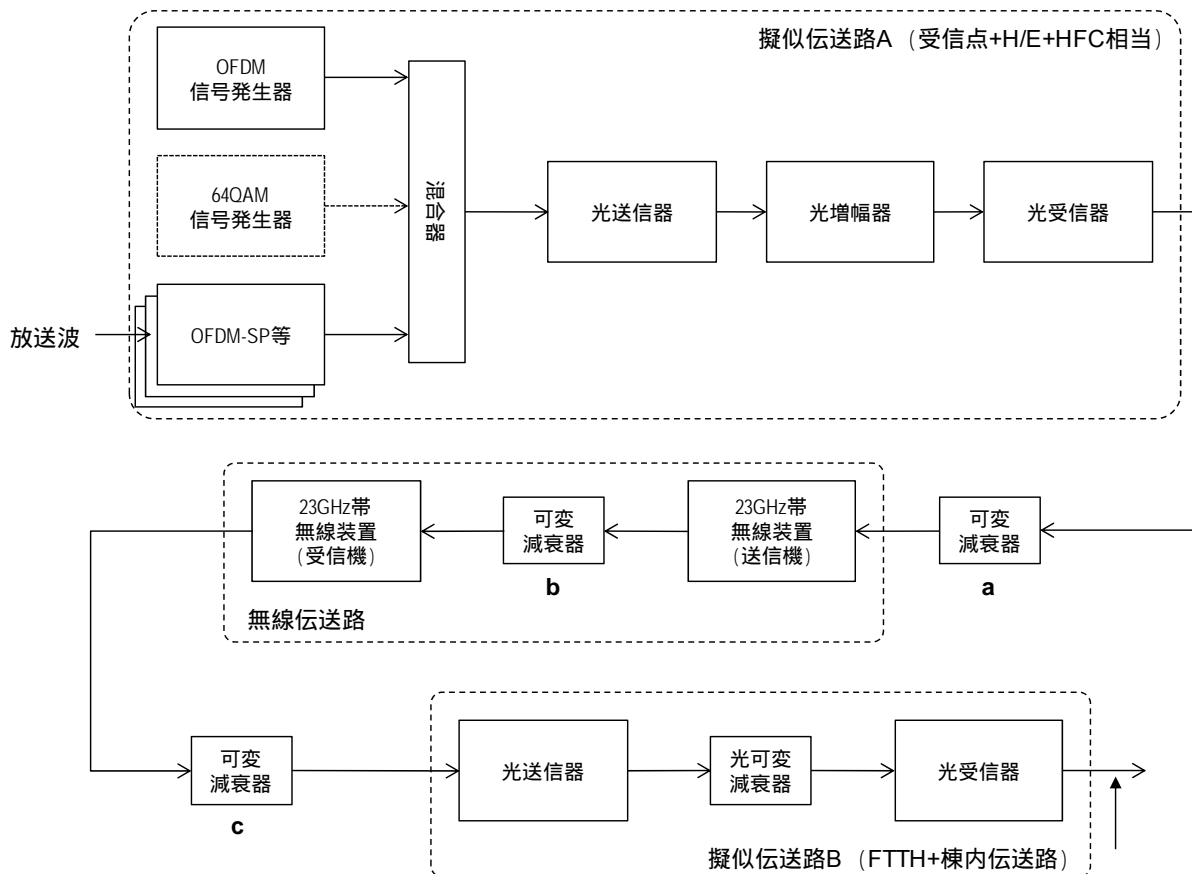
3.1. 地上デジタル放送波伝送試験

3.1.1. 目的

技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験において求めた所要性能を持つ無線伝送路を用いて、デジタル信号を伝送した場合、受信者端子における C/N 比は有線テレビジョン放送法施行規則に定められた C/N 比の条件とほぼ等しくなる。その状態において受信者端子での放送の視聴に支障が無いことを、実運用されている地上デジタル放送波を用いて検証する事により、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験で求めた無線伝送区間の所要性能(C/N 比)の妥当性を確認する。

本試験では、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験において無線伝送区間の所要性能を求めた時と同等の性能(C/N 比)を持つ無線伝送路と擬似伝送路を接続し、実運用されている地上デジタル放送波を伝送する。その時の受信者端子における地上デジタル放送を視聴し、映像、音声に問題が無く、ブロックノイズ等が発生していないことを確認する。

3.1.2. 測定系統及び測定点



番号	測定ポイント	備考
	擬似伝送路 B 出力	受信者端子と同等

3.1.3. 測定方法

- 1 技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の測定で調整した測定システムを利用し、受信者端子(測定ポイント)における OFDM 信号の C/N 比が 24dB となっている事を確認する。
- 2 無線伝送区間、及び接続する擬似伝送路の C/N 比を確認し、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験で求めた所要性能と同等であることを確認する。

表 3-1:地上デジタル放送波伝送試験時の伝送路の性能(OFDM)

項目	C/N 比 [dB]		
	擬似伝送路 A	無線伝送路	擬似伝送路 B
実測値	33.5	26.7	29.5

- 3 擬似伝送路 A に地上デジタル放送波を入力する。
- 4 ポイント にデジタル放送用のテレビを接続し、映像と音声を評価する。
- 5 テレビの受信ステータスを確認する。

3.1.4. 結果

技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の測定で調整した伝送路を用いて地上デジタル放送波を伝送した結果、受信者端子にあたるポイント に接続したデジタル TV で、ブロックノイズ等の無いクリアな映像・音声を視聴する事が出来た。

試験時のデジタル TV の映像、並びにテレビ受信機(チューナー)の受信ステータスを以下に示す。



図 3-1:構築した伝送路で伝送した地上デジタル放送

テレビ受信機の受信ステータスでは、A 階層、B 階層ともにエラーフリーとなっており、地上デジタル放送の視聴に支障が無い良好な信号品質を保っている事が分かる。

以上より、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験で求めた最低限の所要性能(C/N 比)を持つ無線伝送路と有線伝送路を用いて地上デジタル放送波を伝送した場合に、受信者端子において問題無く映像・音声の視聴が出来る事が確認出来た。よって、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験で求めた無線伝送区間の所要性能(C/N 比)は妥当な値であると考えられる。

なお、本試験で接続した伝送路の性能(受信者端子で C/N 比=24dB)は、有線テレビジョン放送法施行規則に準拠した値だが、これは内符号化率 7/8 の放送波を対象として規定された値である。そのため、現在地上デジタル放送に用いられている内符号化率 3/4 の放送波の受信に関しては、受信者端子での性能に 2dB 程度のマージン(下記表の理論値より)を持つ事となる。

表 3-2: OFDM 信号(変調方式:64QAM)の BER が 1×10^{-4} になる C/N 比 (理論値)

内符号化率	BER が 1×10^{-4} になる C/N 比 [dB]
7/8	22.2
3/4	20.4

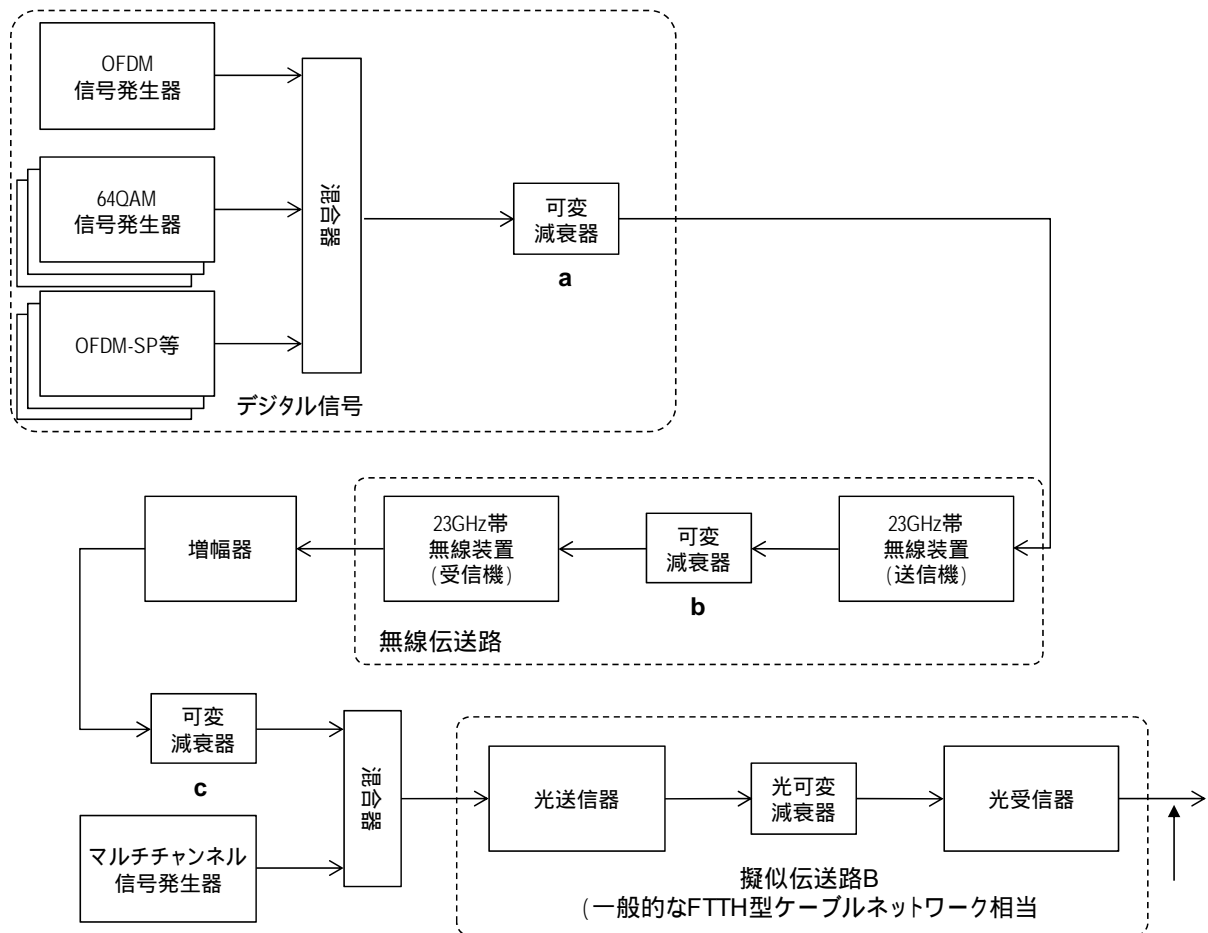
3.2. 擬似光伝送路接続試験

3.2.1. 目的

技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験で求めたデジタル信号伝送における無線区間の所要C/N比の妥当性を確認するためには、実際に運用されているCATV網に無線伝送路を接続し、受信者端子における信号品質を確認する必要がある。ただし、実運用中のCATV網に試験用機器を接続して試験をする事は実現が難しい。また、一般的なCATV網を擬似伝送路上で表現する事も困難である。

そこで、本試験においては、日本CATV技術協会の標準規格(JCTEA STD-014)で定められた「一般的なFTTH型ケーブルネットワーク」と同等性能を持つ擬似伝送路を構築し、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験で求めた所要性能をもつ23GHz帯無線伝送路と接続したときの、受信者端子におけるデジタルチャンネル信号(OFDM、64QAM)のC/N比、ビット誤り率(BER)、変調誤差比(MER)を測定し、受信者端子において有線テレビジョン放送法施行規則に定められた条件を満足する事を確認する。

3.2.2. 測定系統及び測定点



番号	測定ポイント	備考
	擬似伝送路 B 出力	受信者端子と同等

3.2.3. 信号配列

	CH	周波数		信号	備考
		UHF 帯周波数	23GHz 帯周波数	OFDM 信号試験時	
1	20	512MHz ~ 518MHz	23402MHz ~ 23408MHz	OFDM	
2	21	518MHz ~ 524MHz	23408MHz ~ 23414MHz	OFDM	
3	22	524MHz ~ 530MHz	23414MHz ~ 23420MHz	OFDM	被測定信号
4	23	530MHz ~ 536MHz	23420MHz ~ 23426MHz	64QAM	被測定信号
5	24	536MHz ~ 542MHz	23426MHz ~ 23432MHz	64QAM	
6	25	542MHz ~ 548MHz	23432MHz ~ 23438MHz	64QAM	
7	26	548MHz ~ 554MHz	23438MHz ~ 23444MHz	OFDM	
8	27	554MHz ~ 560MHz	23444MHz ~ 23450MHz	OFDM	

3.2.4. 測定方法

- 1 技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の測定で調整した測定システムを利用する。
- 2 擬似伝送路 B を一般的な FTTH 型ケーブルネットワークと同等性能を持つ擬似伝送路とするため、擬似伝送路 B に 90MHz ~ 450MHz までの無変調信号を 57 波入力し、光変調度を 3.5%/(アナログ 57 波)に調整する。(JCTEA STD-014 多チャンネルサービス施設の運用条件より)
- 3 OFDM 信号発生器等より OFDM 信号を 5 波、64QAM 信号発生器より 64QAM 信号を 3 波発生させ、送信機への入力信号レベルを 72.3dBμV/ch に設定する。(送信機出力-1.0dBm/ch 相当)
- 4 OFDM 信号伝送時の無線伝送区間の C/N 比が、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の結果と同じになるよう可変減衰器 b を調整する。
- 5 無線伝送路と擬似伝送路 B を接続し、90MHz ~ 450MHz に入力されているアナログ信号に対して 10dB 低いレベルで OFDM 信号と 64QAM 信号を伝送させる。
- 6 のポイントにスペクトラムアナライザを接続し、被測定信号(OFDM 信号)の搬送波レベル、C/N 比、ビット誤り率(短縮化リードソロモン(204,188)符号による誤り訂正前の BER)、変調誤差比(MER)を測定する。
- 7 64QAM 信号伝送時の無線伝送区間の C/N 比が、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の結果と同様になるよう可変減衰器 b を調整する。
- 8 のポイントにスペクトラムアナライザを接続し、被測定信号(64QAM 信号)の搬送波レベル、C/N 比、ビット誤り率(短縮化リードソロモン(204,188)符号による誤り訂正前の BER)、変調誤差比(MER)を測定する。

3.2.5. スペクトラムアナライザの設定 (OFDM C/N 測定時)

測定	中心周波数	測定帯域	SPAN	RBW	VBW	検波モード	アベレージ
搬送波レベル	527.142857 MHz	5.6MHz	10MHz	30kHz	300kHz	Sample	30 回
雑音レベル N	527.142857 MHz	5.6MHz	10MHz	30kHz	300kHz	Sample	30 回

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照)

3.2.6. スペクトラムアナライザの設定 (64QAM C/N 測定時)

測定	中心周波数	測定帯域	SPAN	RBW	VBW	検波モード	アベレージ
搬送波レベル	533MHz	5.274MHz	10MHz	100kHz	1MHz	Sample	30 回
雑音レベル N	533MHz	5.274MHz	10MHz	100kHz	1MHz	Sample	30 回

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA STD-010-QAM 4.5 参照)

3.2.7. OFDM アナライザの設定 (BER 測定時)

測定チャンネル	BER 測定法	測定時間
527.142857MHz	PRBS 法 (PRBS+SYNC)	60 秒

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-OFDM 4.7 参照)

3.2.8. 64QAM アナライザの設定 (BER 測定時)

測定チャンネル	BER 測定法	測定時間
533MHz	PRBS 法 (PRBS+SYNC)	60 秒

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA STD-010-QAM 4.6 参照)

3.2.9. OFDM アナライザの設定 (MER 測定時)

測定チャンネル	アベレージ	測定階層
527.142857MHz	100	All Layer (Conventional)

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-OFDM 4.11 参照)

3.2.10. 64QAM アナライザの設定 (MER 測定時)

測定チャンネル	アベレージ	測定階層
533MHz	100	-

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA STD-010-QAM 4.9 参照)

3.2.11. 結果

本試験において用いた無線伝送路の性能を以下に示す。

表 3-3:無線伝送路の性能

	OFDM 信号	64QAM 信号
C/N 比 [dB]	26.7	29.2

本試験において用いた擬似伝送路 B の性能を以下に示す。

表 3-4:擬似伝送路 B の性能 測定結果

	測定結果				
	アナログ信号相当			デジタル信号相当	
周波数[MHz]	91.25	271.25	451.25	527	533
C/N 比 [dB]	46.4	46.8	46.1	34.1	33.1
C/CSO [dB]	60.5	59.0	61.3	48.1	46.9
C/CTB [dB]	62.0	62.1	61.8	-	-

擬似伝送路 B と、無線伝送路を接続した場合の、受信者端子(測定ポイント)における信号品質を以下に示す。

表 3-5:無線伝送路と擬似伝送路を接続した場合の受信者端子(測定ポイント)における信号品質

測定ポイント	測定結果	
	OFDM 信号	64QAM 信号
測定信号		
C/N 比 [dB]	25.4	27.7
BER	3.2×10^{-7}	2.8×10^{-7}
MER [dB]	24.3	25.1

測定結果より、表 3-3 の性能を持つ無線伝送路と、一般的な FTTH 型ケーブルネットワークと同等性能を持つ擬似伝送路を接続した場合の、受信者端子(測定ポイント)における C/N 比は有線テレビジョン放送法施行規則に定められた C/N 比の条件(OFDM 信号においては 24dB、64QAM 信号においては 26dB) を満足する結果となった。

BER の値も 3×10^{-7} 程度となっており、リードソロモン符号による誤り訂正後にはエラーフリーとなるため、受信者端子における性能として十分であることが分かる。

擬似伝送路 B において 90MHz~450MHz で伝送されているアナログ信号と UHF 帯デジタル信号の混在伝送を行う事により、アナログ信号の歪によるデジタル信号への影響が懸念されるが、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」の試験において構築した擬似伝送路と無線伝送路を接続した時の受信者端子における信号品質と比較して、BER の大きな劣化等が無いことから、90MHz~450MHz で伝送されているアナログ信号による、デジタル信号への影響は小さいと考えられる。

表 3-6: 試験 3.1 の受信者端子における信号品質

	測定結果	
測定ポイント		
測定信号	OFDM 信号	64QAM 信号
C/N 比 [dB]	24.1	26.2
BER	3.4×10^{-7}	1.3×10^{-5}
MER [dB]	23.0	23.3

また、擬似伝送路 B の性能の測定結果から、デジタル信号に大きな影響を与える可能性がある複合三次歪は、90MHz～450MHz の帯域においてデジタル信号相当で 50dB 以上となっており、UHF 帯域ではより良好な特性となるため、擬似伝送路 B において、90MHz～450MHz で伝送されているアナログ信号の歪により、UHF 帯の OFDM 信号、64QAM 信号への大きな影響はないと考えられる。

以上の結果より、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」で求めた所要性能を持つ無線伝送路を、一般的な FTTH 型ケーブルネットワークと同等性能を持つ擬似伝送路と接続した場合、OFDM 信号、64QAM 信号の受信者端子における性能は有線テレビジョン放送法施行規則の条件を満足する事が確認出来た。

本試験では、技術試験(屋内試験)報告書の 3.1「無線伝送区間における所要性能確認」で求めた所要性能を持つ無線伝送路を、実運用されている CATV 網に接続した時の受信者端子における性能の確認は出来なかった。しかし、無線伝送路を JCTEA STD-014 に規定されている一般的な FTTH 型ケーブルネットワークと同等性能の擬似伝送路と接続した場合も、受信者端子における性能が十分であり、C/N 比も有線テレビジョン放送法施行規則の条件を満足していることから、無線伝送路を実運用されている CATV 網と接続した場合に、受信者端子において十分な性能が得られると推察出来る。

(本資料は、京セラコミュニケーションシステム(株)様より提供いただいたものです。)