

(2) 技術試験（屋外試験） 結果と考察

目次

1	屋外試験の概要	
1.1	屋外試験の目的	45
1.2	試験期間	46
1.3	試験回線の概要	46
1.4	試験装置の主要諸元	48
2	技術試験の条件	
2.1	23GHz 帯無線装置の設定	51
2.2	基準信号パラメータ	51
3	技術試験評価	
3.1	デジタルチャンネル信号のみを伝送する場合の伝搬特性試験	53
3.2	海面反射試験（満潮・干潮の信号品質確認試験）	74
3.3	海面反射試験（信号品質と潮位の相関に係る確認試験）	100
3.4	デジタル信号とアナログ信号の混在伝送試験	111
3.5	降雨減衰評価	131
4	使用測定機器一覧	136

1 屋外試験の概要

1.1 屋外試験の目的

23GHz 帯の周波数を利用する有線テレビジョン放送事業用無線局のうち、変調方式に FDM-SSB 方式を使用するものにおいて、標準デジタルテレビジョン放送方式(以下「OFDM」という。)やデジタル有線テレビジョン放送方式(以下「64QAM」という)等のデジタルチャンネル信号を伝送するための「伝送の質」を新たに策定するには、23GHz 帯での伝搬特性を把握する必要がある。

屋外試験では、デジタルチャンネル信号のみを伝送する際の通信系の受信端 C/N (以下「受信 C/N」) の適正値を検討するために、デジタルチャンネル信号を FDM-SSB 方式で伝送する 23GHz 帯での伝搬試験を実施した。

また、試験伝送路に海上伝搬路を設定し、潮位変化等による海面反射が回線品質に与える影響について調査した。

更に、標準テレビジョン放送方式 (NTSC-VSB-AM : 地上アナログ放送) のアナログチャンネル信号を同時に伝送する場合のデジタルチャンネル信号とアナログチャンネル信号の適切な搬送波レベル差について検討するために、デジタルチャンネル信号及びアナログチャンネル信号を FDM-SSB 方式で同時に伝送する 23GHz 帯での伝搬試験を実施した。

なお、伝搬試験では、デジタルチャンネル信号の信号品質 (搬送波レベル、搬送波対雑音比 (以下「C/N」という。))、ビット誤り率、変調誤差比等)、降雨量や潮位データ等の測定データを取得することにより、伝搬特性を評価した。

1.2 試験期間

屋外試験は、2009年6月8日から12月7日までの6ヶ月間、試験期間を3つの期間に分け、下記の3つの試験を実施した。

- 1 デジタルチャンネル信号のみを伝送する場合の伝搬特性試験
- 2 海上伝搬特性試験
- 3 デジタルチャンネル信号とアナログチャンネル信号を同時に伝送する場合の伝搬特性試験

表 1.2-1 に屋外試験実施スケジュールを示す。

表 1.2-1 屋外試験実施スケジュール

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
デジタルチャンネル信号のみを伝送する場合の伝搬特性試験		6/8			9/16			
海上伝搬特性試験					9/18	9/30		
デジタルチャンネル信号とアナログチャンネル信号を同時伝送する場合の伝搬特性試験						10/2		12/7
工事等		設置工事			設定変更	設定変更		

1.3 試験回線の概要

伝搬試験回線は、海上伝搬路を含む松山市梅津寺町と松山市由良町の興居島間に開設した。実験局の概要を表 1.3-1 に、伝搬試験回線概略図（ルート図とプロファイル図）を図 1.3-1 に、実験局の概観を図 1.3-2 と図 1.3-3 にそれぞれ示す。

表 1.3-1 実験局の概要

局名		場所	アンテナ高	距離	備考
送信局	梅津寺局	松山市梅津寺町	95.0m(海拔)	4.1km	興居島
受信局	鷲ヶ巣局	松山市由良町	53.3m(海拔)		

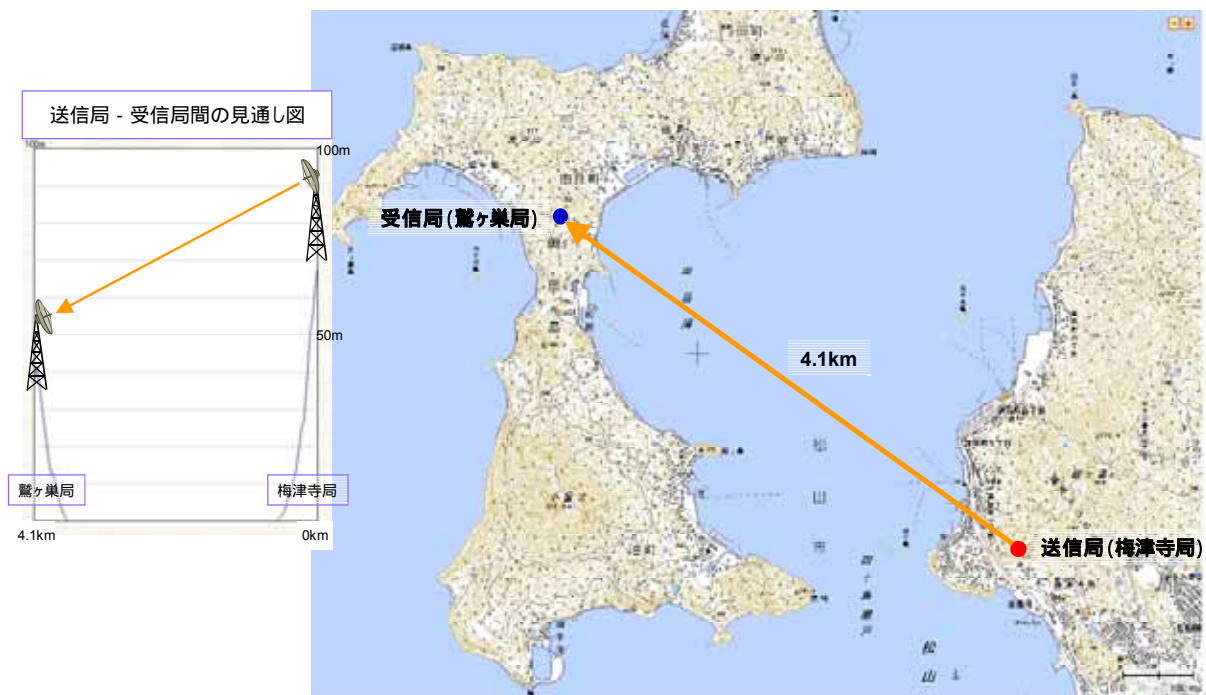


図 1.3-1 伝搬試験回線概略図（ルート図とプロフィール図）



図 1.3-2 梅津寺局（送信局）の概観



図 1.3-3 鷲ヶ巣局（受信局）の概観

1.4 試験装置の主要諸元

1.4.1 23GHz 帯無線装置の仕様

表 1.4-1 に 23GHz 帯無線装置の主な仕様を、図 1.4-1 に 23GHz 帯無線装置の概観を示す。

表 1.4-1 23GHz 帯無線装置の主な仕様

項目	諸元	
	送信機 (梅津寺局)	受信機 (鷲ヶ巣局)
容量	最大 40ch (6MHz/ch)	最大 40ch (6MHz/ch)
入力周波数	470~710MHz	23360~23600MHz
出力周波数	23360~23600MHz	470~710MHz
変調方式	FDM-SSB (振幅変調)	FDM-SSB (振幅変調)
周波数確度	±5kHz	±5kHz
送信機出力	2.5dBm/ch (Total Power: 72mW)	-
雑音指数	-	7.5dB 以下
帯域内周波数特性偏差	±1.25dB	±1.25dB
接続端子類	1. Microwave: WRJ-220 型導波管 カバーフランジ 2. UHF: 5/8-24UNF FT 型端子	1. Microwave: WRJ-220 型導波管 カバーフランジ 2. UHF: 5/8-24UNF FT 型端子
入力電源	AC50~60V, 50/60Hz(同軸給電方式)	AC50~60V, 50/60Hz(同軸給電方式)
消費電力	最大 120W	最大 60W

環境条件	温度:-40~50 湿度:100%	温度:-40~50 湿度:100%
外形寸法	495mm × 343mm × 257mm	495mm × 343mm × 257mm
重量	22kg	22kg



図 1.4-1 23GHz 帯無線装置の概観

1.4.2 アンテナの仕様

表 1.4-2 にパラボラアンテナの主な仕様を示す。

表 1.4-2 パラボラアンテナの主な仕様

項目	諸元
アンテナ径	60cmΦ
周波数帯域	21200~23600MHz
偏波	直線偏波
アンテナ利得	40.4dBi
F/B 比	66dB
XPD	30dB
半値角	1.7°
VSWR	1.30

1.4.3 降雨強度計の仕様

表 1.4-3 に降雨強度計の主な仕様を、図 1.4-2 に降雨強度計の概観を示す。

表 1.4-3 降雨強度計の主な仕様

項目	諸元
検出方式	水滴計数方式
測定精度	0.0083mm±10%以内
受水口径	200mm
測定範囲	0mm~100mm/h
検出器	LED～フォトランジスタ
電源	DC10.5~16.5V, 約 20mA
外形寸法	約 Φ210mm × 450mm(H)
重量	4.5kg



図 1.4-2 降雨強度計の概観

2 技術試験の条件

2.1 23GHz 帯無線装置の設定

本技術試験に用いた 23GHz 帯無線装置の設定を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 23GHz 帯無線装置の設定

23GHz 帯無線装置	諸元
送信機	MLC(Manual Level Control)モード
受信機	MGC(Manual Gain Control)モード

屋外試験では、降雨による受信レベルの減衰量を明らかにするために、23GHz 帯無線装置の持つ AGC (Auto Gain Control) 等の機能をオフにし、MGC (Manual Gain Control) モードで動作させた。

2.2 基準信号パラメータ

2.2.1 OFDM 基準信号パラメータ

本技術試験の測定に用いた標準デジタルテレビジョン放送方式 (OFDM) の基準信号パラメータを表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 OFDM 基準信号パラメータ

パラメータ	設定値
ISDB-T モード	Mode 3
階層数	1
搬送波周波数	測定対象チャンネルの中心周波数
セグメント数	13
キャリア変調方式	64QAM
内符号化率	7/8 注 ¹
ガードインターバル比	1/8
時間インターリーブ長	I=1

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA STD-010-OFDM 3.5 参照)

注¹: 標準デジタルテレビジョン放送方式(OFDM)信号の内符号化率は、今日の放送事業においては内符号化率 3/4 で運用されているケースが多い。ただし、有線テレビジョン放送法施行規則の C/N 比の条件等が符号化率 7/8 として検討されたものであることから、本試験においては符号化率 7/8 を採用する。

2.2.2 64QAM 基準信号パラメータ

本技術試験の測定に用いたデジタル有線テレビジョン放送方式（64QAM）の基準信号パラメータを表 2.2-2 に示す。

表 2.2-2 64QAM 基準信号パラメータ

パラメータ	設定値
変調方式	64QAM
ストリーム形式	MPEG2-TS
誤り訂正	短縮化リードソロモン符号(204, 188)
インターリーブ	I=12, M=17
伝送ビットレート	31.644 Mbps
ロールオフ率	13 %
ナイキスト帯域幅	5.274 MHz
伝送帯域幅	6 MHz
疑似ランダムパターン	PRBS($2^{23} - 1$)

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA STD-010-QAM 3.5 参照)

2.2.3 NTSC-VSB-AM 基準信号パラメータ

本技術試験の測定に用いた標準テレビジョン放送方式（NTSC-VSB-AM）の基準信号パラメータを表 2.2-3 に示す。

表 2.2-3 NTSC-VSB-AM 基準信号パラメータ

パラメータ	設定値
変調方式	VSB-AM
ベースバンド信号形式	NTSC(カラーバ)
ベースバンド帯域	4.2 MHz
変調度	87.5 %
伝送帯域幅	6 MHz

(日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA STD-016 参照)

3 技術試験・評価

3.1 デジタルチャンネル信号のみを伝送する場合の伝搬特性試験

3.1.1 目的

23GHz 帯の周波数を利用する有線テレビジョン放送事業用無線局のうち、変調方式に FDM-SSB 方式を使用するものにおいて、標準デジタルテレビジョン放送方式(以下「OFDM」という。)やデジタル有線テレビジョン放送方式(以下「64QAM」という)のデジタル信号のみを伝送する場合の信号品質(搬送波レベル、搬送波対雑音比(以下「C/N」という。)、ビット誤り率、変調誤差比等)と降雨量を計測し、無線回線断の時間率(回線不稼働率)と降雨減衰特性を評価し、机上計算との整合性を確認するとともに、所要受信 C/N 比について検討する。

3.1.2 測定項目と測定方法

(1) 測定項目

デジタルチャンネル信号のみを伝送する場合の伝搬特性試験(以下、デジタル信号伝送試験という)の測定項目を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 デジタル信号伝送試験における測定項目

No.	測定項目	信号	対応局		データ取得間隔	備考
			梅津寺局 (送信局)	鷲ヶ巣局 (受信局)		
	搬送波レベル	OFDM			1 分間	
		64QAM				
	搬送波対雑音比(C/N 比)	OFDM			1 分間	雑音電力: 伝送信号と隣接する 2 つの空き CH(19ch と 26ch)の平均値をとる
		64QAM				
	ビット誤り率(BER)	OFDM			1 分間	
		64QAM				
	変調誤差比(MER)	OFDM			1 分間	
		64QAM				
	降雨強度	-			1 分間	

(2) 測定方法

デジタル信号伝送試験では、図 1.3-1 伝搬試験回線概略図(ルート図とプロファイル図)に示すように、松山市梅津寺町に設置した送信局(以下、梅津寺局)に、OFDM 信号を 3 波、64QAM 信号を 3 波入力し、4.1km 先の興居島(松山市由良町)に設置した受信局(以下、鷺ヶ巣局)まで、23GHz 帯無線周波数による無線伝送(海上伝搬路を含む)を行う。

梅津寺局に入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号(それぞれ 1 波ずつ)と、鷺ヶ巣局から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号(それぞれ 1 波ずつ)の搬送波レベル、C/N 比、BER、MER(表 3.1-1 の①から④)を 1 分間隔で計測し、各局に設置したパソコンに保存した。

降雨量等の気象データについては、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計を使用して、1 分間降雨量を計測し、各局に設置したパソコンに保存した。併せて、気象庁の松山气象台より発表されている AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)データ(10 分間降水量、1 時間降水量等)を取得した。

① 搬送波レベル

- 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の搬送波レベルを 1 分間隔で計測した。
- 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- 搬送波レベル測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.1-2 に示す。

表 3.1-2 搬送波レベル測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz
測定帯域幅	5.6 MHz	5.274 MHz
SPAN	10 MHz	10 MHz
RBW	30 kHz	100 kHz
VBW	300 kHz	1 MHz
検波モード	サンプル	サンプル
アベレージ	30 回	30 回

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.5、JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照

② 搬送波対雑音比 (C/N 比)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の搬送波対雑音比 (C/N 比) を 1 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 搬送波対雑音比 (C/N 比) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.1-3 に示す。
- ・ 雑音レベルについては、伝送信号と隣接する両側空きチャンネル 2 チャンネルを測定し、平均値を雑音レベルとした。

表 3.1-3 C/N 比測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz
雑音レベル測定 中心周波数	509 MHz 551 MHz	509 MHz 551 MHz
測定帯域幅	5.6 MHz	5.274 MHz
SPAN	10 MHz	10 MHz
RBW	30 kHz	100 kHz
VBW	300 kHz	1 MHz
検波モード	サンプル	サンプル
アベレージ	30 回	30 回

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.5、JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照

③ ビット誤り率 (BER)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号のビット誤り率 (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 1 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ ビット誤り率 (BER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.1-4 に示す。

表 3.1-4 BER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz
BER 測定法	PRBS 法(PRBS + SYNC)	PRBS 法(PRBS + SYNC)
測定時間	1 秒 ^{注1}	1 秒 ^{注1}

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.6、JCTEA-STD-010-OFDM 4.7 参照
注 1：1 秒間の測定による BER 測定における測定レンジは 1×10^{-7} 。

④ 変調誤差比 (MER)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の変調誤差比 (MER) を 1 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 変調誤差比 (MER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.1-5 に示す。

表 3.1-5 MER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz
アベレージ	10	10
測定階層	All Layer(Conventional)	-

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.9、JCTEA-STD-010-OFDM 4.11 参照

⑤ 降雨強度

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計を使用して、0.0083mm の水滴数を 1 分間隔でカウントした。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 1 分間降雨量 (降雨強度) は、計測した水滴数と 0.0083mm を乗算して算出した。

3.1.3 信号周波数配列

デジタル信号伝送試験において、23GHz帯無線周波数で無線伝送（海上伝搬路を含む）するデジタル信号は、OFDM信号を3波、64QAM信号を3波の計6波とした。

デジタル信号伝送試験における信号周波数配列を図 3.1-1 と表 3.1-6 に示す。

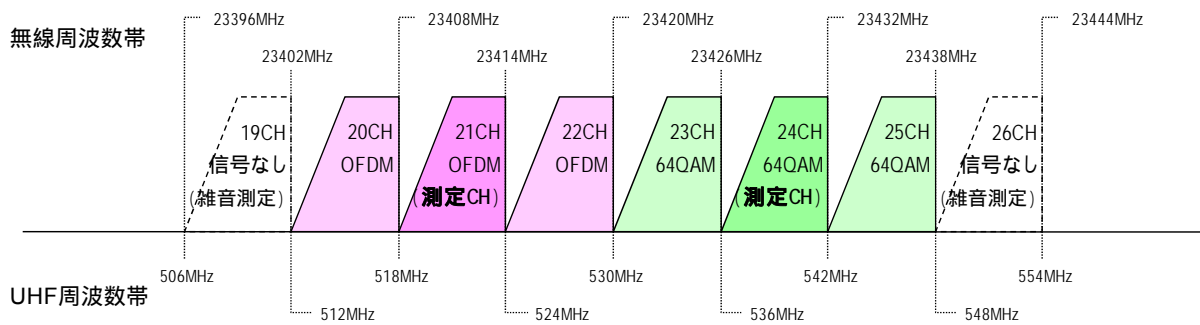


図 3.1-1 信号周波数配列（デジタル信号伝送試験）

表 3.1-6 信号周波数配列（デジタル信号伝送試験）

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	変調方式	信号源	備考
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	-	-	雑音レベル測定チャンネル
20	512 ~ 518	23402 ~ 23408	OFDM	OFDM-SP	「テレビ愛媛」放送波を周波数変換(27 20CH)
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	OFDM	OFDM 信号発生器	測定チャンネル
22	524 ~ 530	23414 ~ 23420	OFDM	OFDM-SP	「テレビ愛媛」放送波を周波数変換(27 22CH)
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	64QAM	64QAM 変調器	
24	536 ~ 542	23426 ~ 23432	64QAM	64QAM 変調器	測定チャンネル
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	64QAM	64QAM 変調器	
26	548 ~ 554	23438 ~ 23444	-	-	雑音レベル測定チャンネル

FDM-SSB 搬送波における電波の情報を表 3.1-7 に示す。

表 3.1-7 FDM-SSB 搬送波における電波の情報

項目	値
中心周波数	23420 MHz
周波数帯域幅	23402MHz~23438MHz(36 MHz)のうち 6 波
電波の型式	J7W

3.1.4 測定系統図

デジタル信号伝送試験における測定系統図（データ収集系）を図 3.1-2 に示す。

本データ収集系では、鷺ヶ巣局（受信局）および梅津寺局（送信局）で収集したデータを各局に設置しているパソコンに 1 分間隔で集積し、1 時間ごとに測定サーバへアップロードしている。

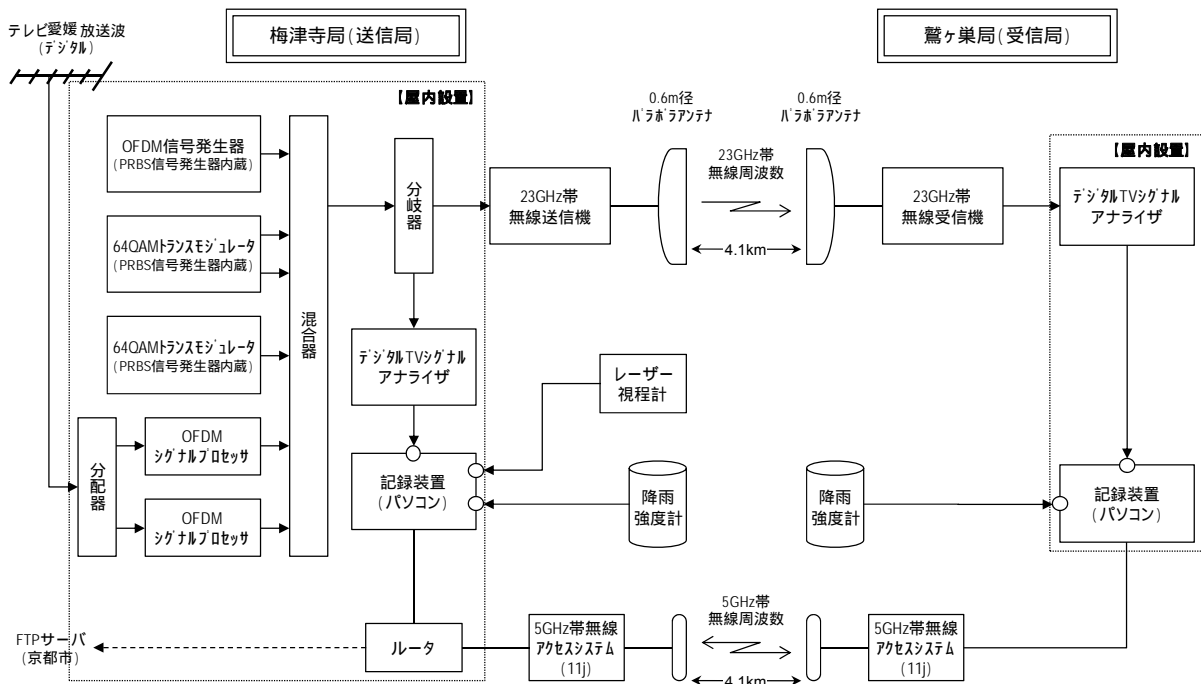


図 3.1-2 デジタル信号伝送試験における測定系統図（データ収集系）

3.1.5 回線設計

デジタル信号伝送試験における回線設計を表 3.1-8 に示す。

所要受信 C/N 比を 30.0dB、年間回線稼働率の目標値を 99.95%以上として設計した。

表 3.1-8 デジタル信号伝送試験における回線設計

項番	項目	単位	OFDM	64QAM	備考
1	伝搬距離	km	4.1	4.1	梅津寺局 鷲ヶ巣局間の距離
2	1 分間雨量累積分布の 0.0075%値	mm/分	1.24	1.24	電波法関係審査基準 別図第 35 号より
3	中心周波数	GHz	23.42	23.42	
4	チャンネル帯域幅	MHz	5.6	5.274	
5	空中線電力	dBm	-1.0	-1.0	チャンネル当たりの送信電力[dBm]
6	給電線系損失(送信)	dB	1.5	1.5	送信局側における給電線損失、接続損失の合計値
7	送信空中線の絶対利得	dBi	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
8	自由空間損失	dB	132.0	132.0	$L_p = 32.4 + 20\text{LOG}(d) + 20\text{LOG}(f)$ d: 伝搬距離[km], f: 周波数[MHz]
9	受信空中線の絶対利得	dBi	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
10	給電線系損失(受信)	dB	1.5	1.5	受信局側における給電線損失、接続損失の合計値
11	受信入力レベル	dBm	-55.2	-55.2	
12	受信機雑音電力レベル	dBm	-99.5	-99.8	$P_{mi} = 10\text{LOG}(BW) + NF - 114$ BW: 受信機通過帯域幅[MHz], NF: 受信機雑音指数[dB] = 7.0[dB]
13	算出された受信 C/N 比	dB	44.3	44.5	標準状態における受信 C/N 比[dB]
14	送信 C/N 比	dB	38.5	38.8	
15	無線リンクトータル C/N 比	dB	37.5	37.7	送信 C/N 比と受信 C/N 比の電力和。
16	降雨量の地域分布による係数	-	0.75	0.75	X_r , 電波法関係審査基準 図 1 より
17	0.0075%1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量	dB	17.0	17.0	Γ_t , 電波法関係審査基準 図 2 より
18	当該区間の降雨減衰量	dB	12.75	12.75	回線稼働率が 99.95%となる時の降雨減衰量。 $\Gamma_r = X_r \times \Gamma_t$
19	降雨時における受信 C/N 比	dB	31.5	31.8	
20	降雨時における無線リンクトータル C/N 比	dB	30.7	31.0	送信 C/N 比と降雨時の受信 C/N 比の電力和。
21	所要 C/N 比	dB	30.0	30.0	最小受信 C/N 比[dB]。本リンクにおける閾値。
22	システムマージン	dB	0.4	0.7	
23	降雨マージン	dB	13.9	14.1	標準状態の受信 C/N 比[dB]と最小受信 C/N 比[dB]の差分
24	年間回線稼働率	%	99.95 以上	99.95 以上	
25	システム年間不稼働時間	hour	4.38	4.38	1 年当たり

3.1.6 測定結果

(1) 試験期間全体の測定結果

図 3.1-3～図 3.1-6 に試験期間中(2009年6月8日から2009年9月16日まで)の OFDM 信号および 64QAM 信号の信号品質(搬送波レベル、搬送波対雑音比(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))と1分間降雨量(降雨強度)の時系列変化を示す。

図 3.1-3 と図 3.1-5 は、それぞれ、梅津寺局(送信局)で測定した送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号の測定結果を示している。

図 3.1-4 と図 3.1-6 は、それぞれ、鷺ヶ巣局(受信局)で測定した受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の測定結果を示している。

C/N 比のグラフ中にある赤線は、試験伝送路における回線設計値(閾値)である C/N 比 30dB を示している。BER のグラフ中にある赤線は、有線テレビジョン放送法施行規則 第 26 条の 14 の 2 および第 26 条の 18 の 2 の「入力信号の条件」に規定されているビット誤り率 1×10^{-4} (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、灰色線は、信号品質の劣化により測定信号との同期がとれず、BER データが取得できなかったポイント (BER= 1×10^0 として表示) を示している。1 分間降雨量のグラフ中にある青線は、回線設計に用いた降雨設計値 1.24mm/分(松山地区における 0.0075%1 分間降雨量)を示している。

試験期間中、梅津寺局(送信局)で測定した送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号の品質は安定しており、送信機への入力信号には問題なかったことが分かる。

一方、鷺ヶ巣局(受信局)で測定した受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号については、搬送波レベルと C/N 比の変動が確認されており、それに伴い BER や MER が劣化していることが分かる。この変動と劣化は、降雨が観測されたときのみ発生しており、OFDM 信号と 64QAM 信号でほぼ同じ傾向を示している。

2009年6月末から2009年8月1日にかけて、降雨設計値の 1.24mm/分を超える 1 分間降雨量が頻繁に計測されており、C/N 比の閾値である 30dB を下回るような大幅な降雨減衰が見られる。

降雨が観測されていない個所で搬送波レベルや C/N 比に若干のレベル変動が見られるが、これは、降雨による受信レベルの減衰量を明らかにするために、23GHz 帯無線装置の持つ AGC (Auto Gain Control) 等の機能をオフにして、MGC (Manual Gain Control) モードで動作させていた影響である。

大幅な降雨減衰が見られない状態では、OFDM 信号および 64QAM 信号の信号品質(搬送波レベル、C/N 比、BER、MER)は非常に安定しており、回線設計値(閾値)の C/N 比 30dB を確保できているポイントにおいて BER の劣化は見られない。よって、変調方式に FDM-SSB 方式を使用する 23GHz 帯無線装置によるデジタルチャンネル信号の無線伝送は、問題ないと考えられる。

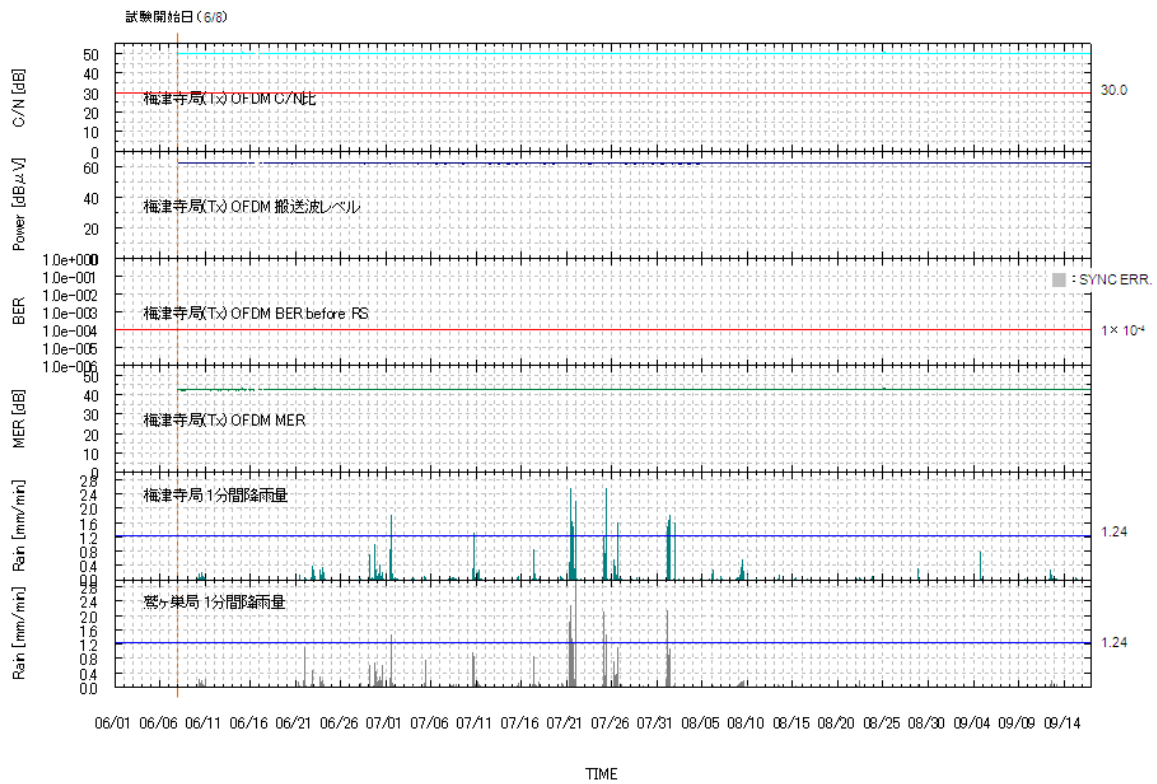


図 3.1-3 梅津寺局 (送信局) OFDM 測定結果 (2009/6/8~2009/9/16)

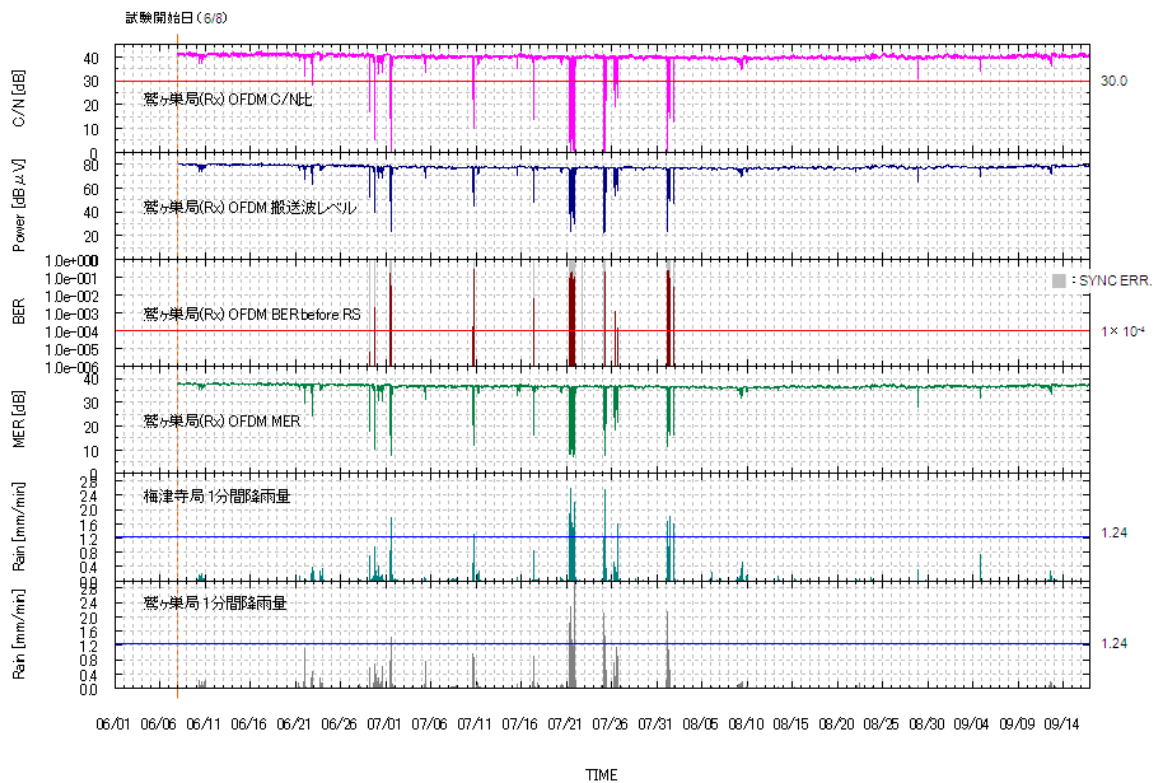


図 3.1-4 鶯ヶ巣局 (受信局) OFDM 測定結果 (2009/6/8~2009/9/16)

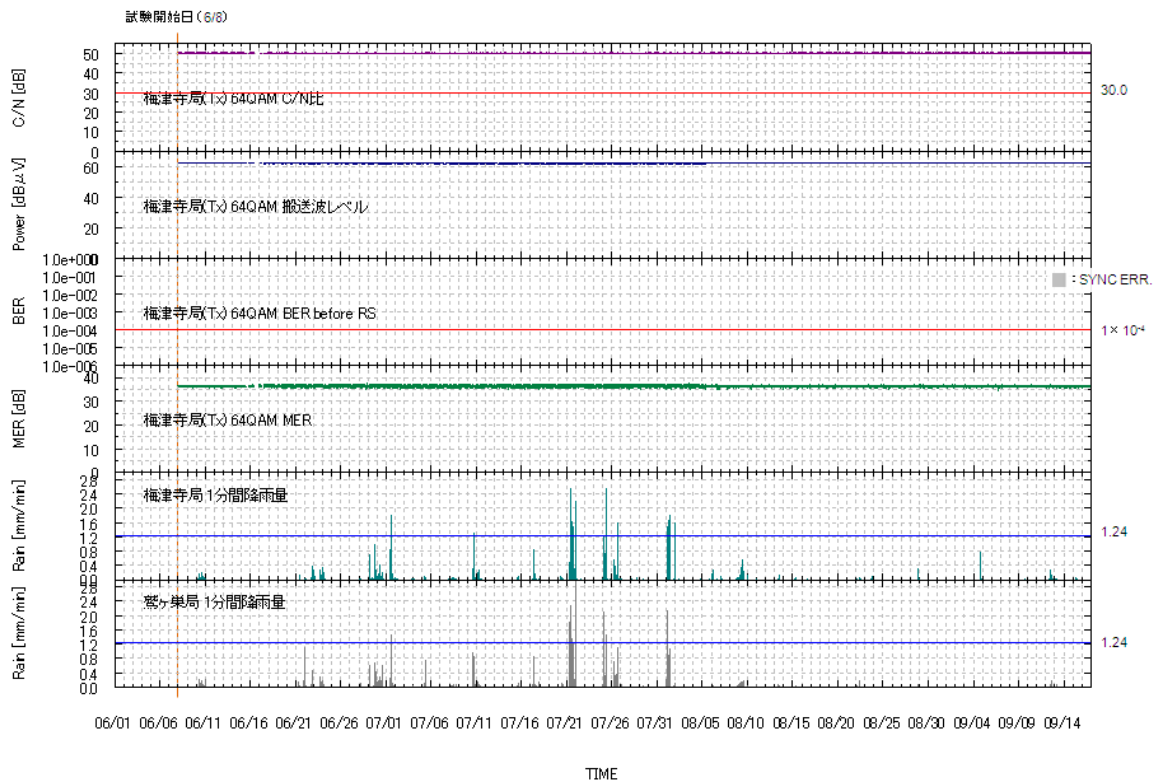


図 3.1-5 梅津寺局 (送信局) 64QAM 測定結果 (2009/6/8~2009/9/16)

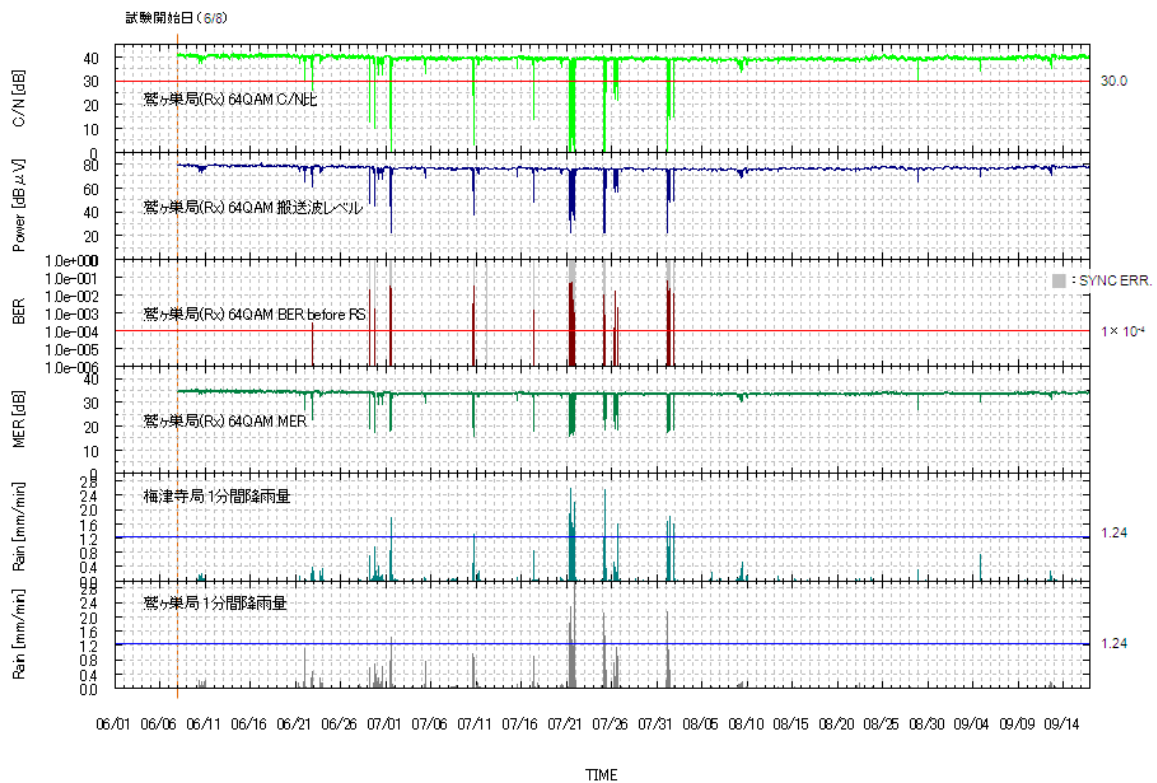


図 3.1-6 鷺ヶ巣局 (受信局) 64QAM 測定結果 (2009/6/8~2009/9/16)

(2) デジタル信号品質と降雨強度の測定結果

信号品質の変化と降雨の影響を検討するために、試験期間中、大幅な降雨減衰量が観測された等の降雨イベントにおける信号品質（搬送波レベル、搬送波対雑音比（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））と 1 分間降雨量（降雨強度）の時系列変化を図 3.1-7～図 3.1-9 に示す。

図 3.1-7 に 2009 年 7 月 21 日 6:00 から 2009 年 7 月 22 日 0:00 にかけての信号品質と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

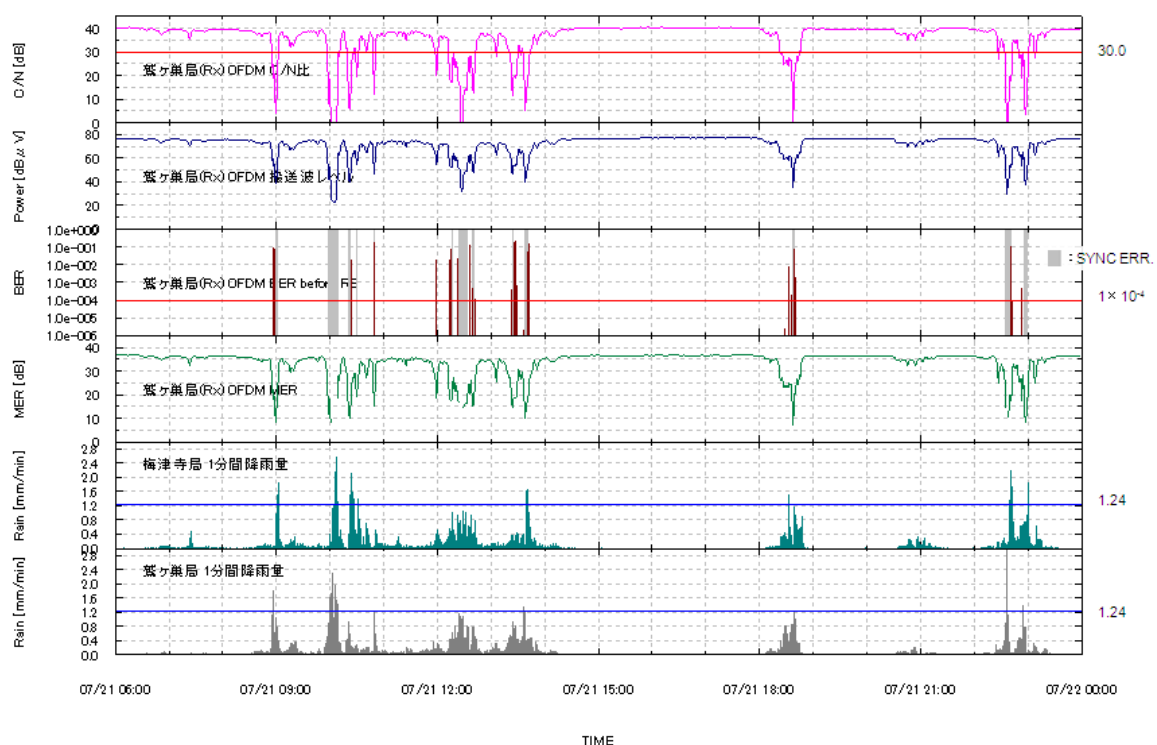


図 3.1-7 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/7/21）：地理的相関が大きい例

2009 年 7 月 21 日は、山口豪雨災害が発生した日であり、試験フィールドである愛媛県松山市でも非常に多くの降水量を観測している。気象庁松山気象台の AMeDAS（Automated Meteorological Data Acquisition System）データによると 24 時間の降水量は 118.5mm となっており、降雨強度計の計測結果でも 120mm 以上を記録している。

降雨設計値 1.24mm/分を超える降雨量が、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計で同時に計測されており、同じタイミングで 35～50dB の降雨減衰が発生している。

梅津寺局および鷺ヶ巣局における 1 分間降雨量のグラフ傾向より、比較的強い降雨が無線伝送路全般にわたって降っている（地理的相関が大）ことが予想され、そのため、降雨減衰量が大きくなっていると考えられる。

図 3.1-8 に 2009 年 8 月 1 日 0:00 から 2009 年 8 月 2 日 0:00 にかけての信号品質と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

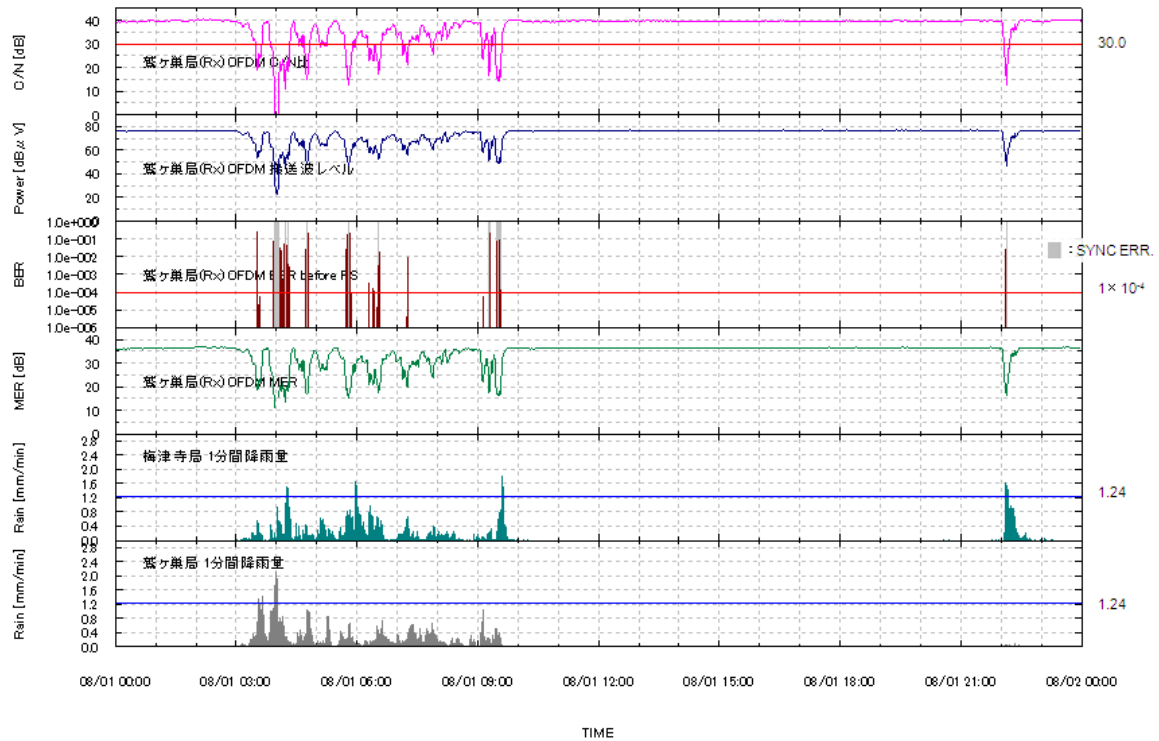


図 3.1-8 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/8/1）：地理的相関が小さい例

気象庁松山気象台の AMeDAS データによると 24 時間の降水量は 63.0mm、時間当たりの最大降水量が 28mm、10 分間あたりの最大降水量が 8.0mm となっている。

AM4:00 頃、50dB を超える降雨減衰が発生しており、降雨設計値 1.24mm/分を超える降雨量もいくつか計測されているが、1 分間降雨量のグラフ傾向より、図 3.1-7（2009 年 7 月 21 日）のグラフと比較すると、降雨強度に関する地理的相関は小さいと言える。

35dB を超える降雨減衰量が比較的多く観測された 7 月 21 日と比較して、8 月 1 日では、30dB 程度となっている。

図 3.1-9 に 2009 年 8 月 9 日 0:00 から 2009 年 8 月 10 日 0:00 にかけての信号品質と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

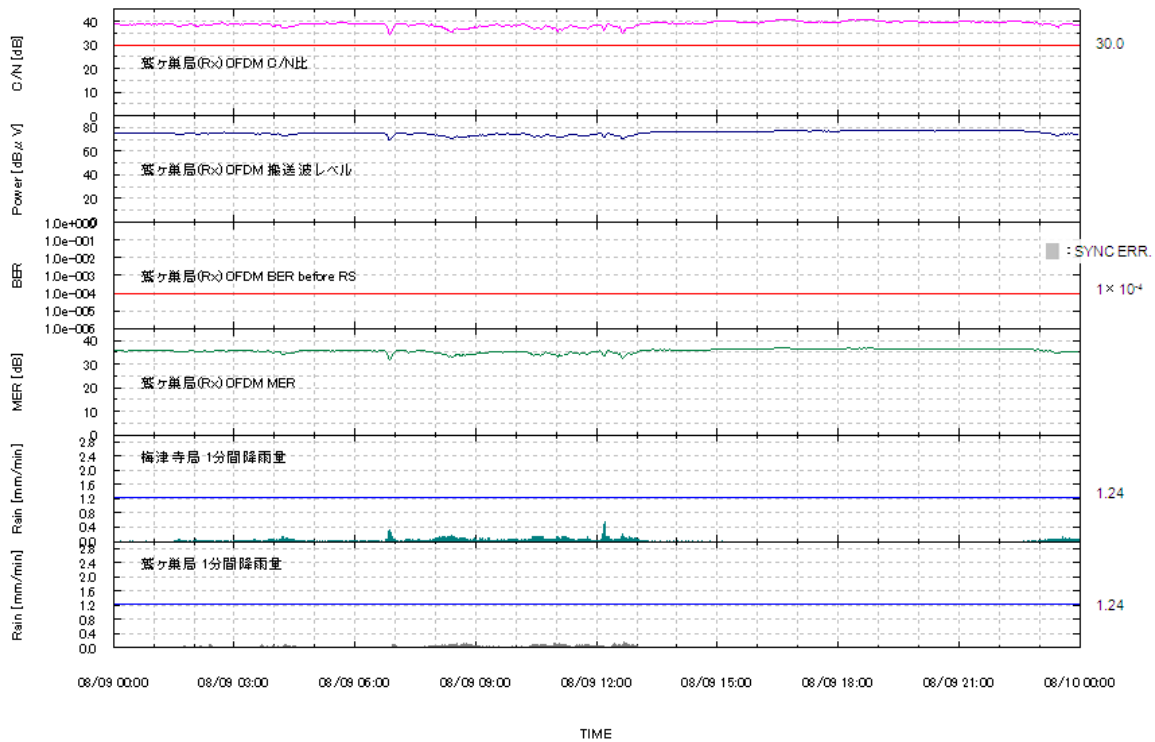


図 3.1-9 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/8/9）

気象庁松山気象台の AMeDAS データによると 24 時間の降水量は 52.0mm となっているが、時間当たりの最大降水量が 10mm、10 分間あたりの最大降水量が 2.5mm と比較的弱い降雨となっており、1 分間降雨量のグラフ傾向からも弱い降雨が長時間にわたり継続していることが分かる。

トータル降水量は多いが弱い降雨のため、C/N 比の閾値を下回るような降雨減衰は発生していない。

8 月の月間降水量は 139mm となっており、8 月 1 日と 8 月 9 日の 2 日間で全体の 8 割以上となる 115mm の降水が観測されている。

(3) 1 分間降雨量

図 3.1-10 に、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計で計測された試験期間中（2009 年 6 月 8 日から 2009 年 9 月 16 日まで）の 1 分間降雨量（降雨強度）と 1 分間降雨量の区間平均の時系列変化を示す。

1 分間降雨量の区間平均とは、区間降雨量（区間降雨強度）のことであり、降雨減衰量に直接関係する量である。降雨強度から降雨減衰量を推定するには、無線伝搬路全体の降雨強度の状態を知る必要があり、それを実現するには無線伝搬路にそって出来る限り多くの降雨強度計を設置しなければならず、海上伝搬路を含む本試験伝搬路では実行上不可能であるため、本検討では、梅津寺局の 1 分間雨量と鷺ヶ巣局の 1 分間雨量の平均値を区間降雨強度と

し、次式で求めた。

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (1)$$

ただし、

\bar{R} : 1 分間降雨量の区間平均 (mm/分)

R_1 : 梅津寺局の 1 分間降雨量 (mm/分)

R_2 : 鷺ヶ巣局の 1 分間降雨量 (mm/分)

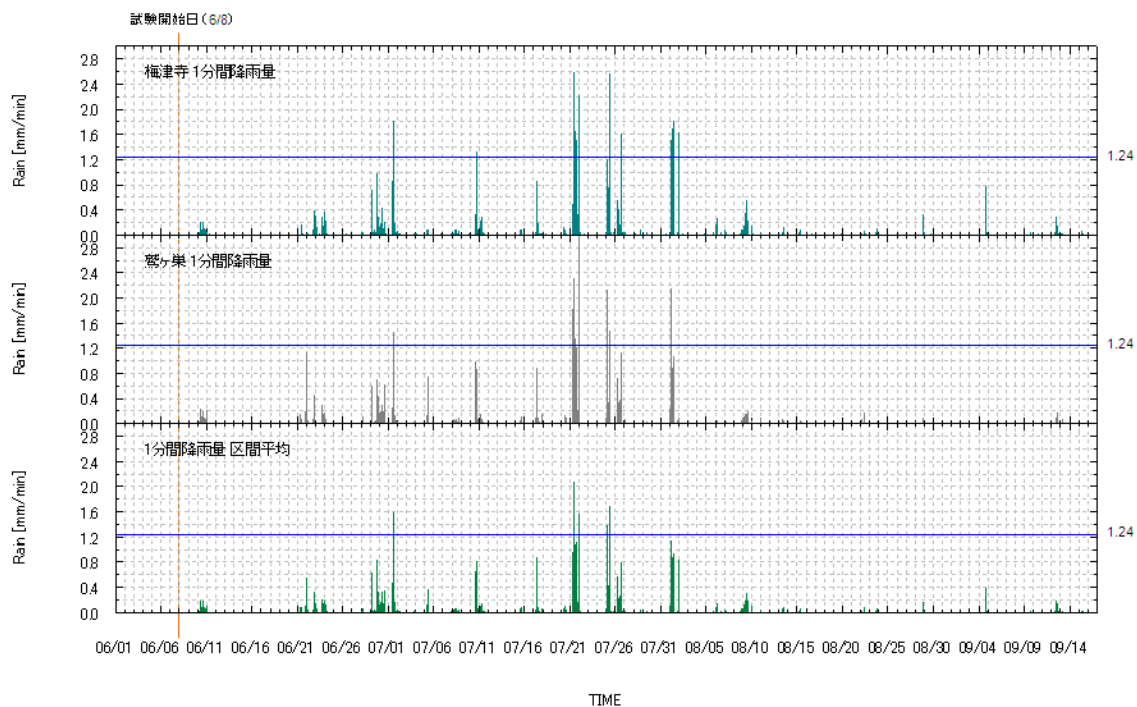


図 3.1-10 1 分間降雨量と 1 分間降雨量区間平均 (2009/6/8~2009/9/16)

2009 年 6 月末から 2009 年 8 月 1 日にかけて、梅津寺局および鷺ヶ巣局の各地点で降雨設計値の 1.24mm/分を超える 1 分間降雨量が頻繁に計測されており、1 分間降雨量の区間平均値でも同様の結果となっている。このことより、比較的強い降雨が無線伝送路全般にわたって降っており、降雨域が広がったということが分かる。

(4) 10 分間降雨量

図 3.1-11 に、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計で計測された試験期間中 (2009 年 6 月 8 日から 2009 年 9 月 16 日まで) の 10 分間降雨量 (降雨強度) と気象庁松山气象台より発表されている AMeDAS データの 10 分間降水量の時系列変化を示す。

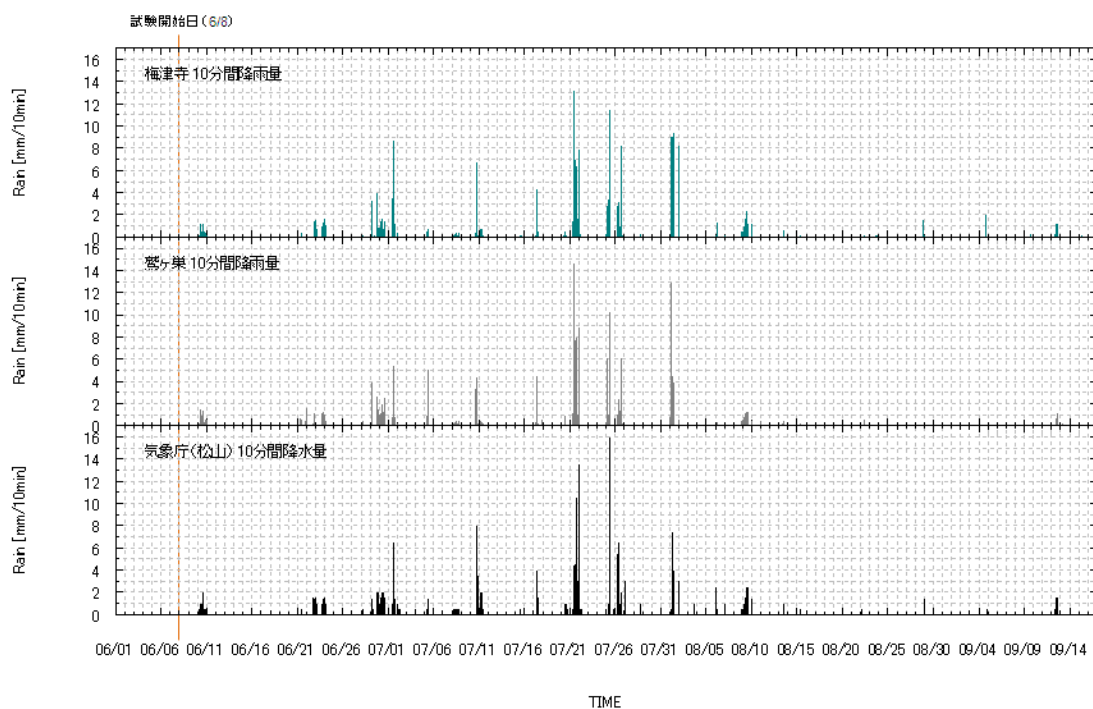


図 3.1-11 10 分間降雨量と松山気象台 10 分間降水量 (2009/6/8~2009/9/16)

梅津寺局および鷺ヶ巣局で計測された 10 分間降雨量と気象庁松山気象台の AMeDAS データの 10 分間降水量はほぼ同じ傾向を示しており、降雨強度計の取得データに対する信頼性は十分であると言える。計測されているタイミングや降雨量の違いについては、梅津寺局および鷺ヶ巣局と松山気象台とが地理的に離れているためである。

(5) 各地点における 1 分間降雨量の累積時間分布の月変化

図 3.1-12 に試験期間中 (2009 年 6 月 8 日から 2009 年 9 月 16 日まで) の梅津寺局および鷺ヶ巣局の各地点における 1 分間降雨量の累積時間分布の月毎の変化を示す。

グラフ中にある青色の星印は、回線設計に用いた降雨設計値 1.24mm/分 (松山地区における 0.0075%1 分間降雨量) を示している。

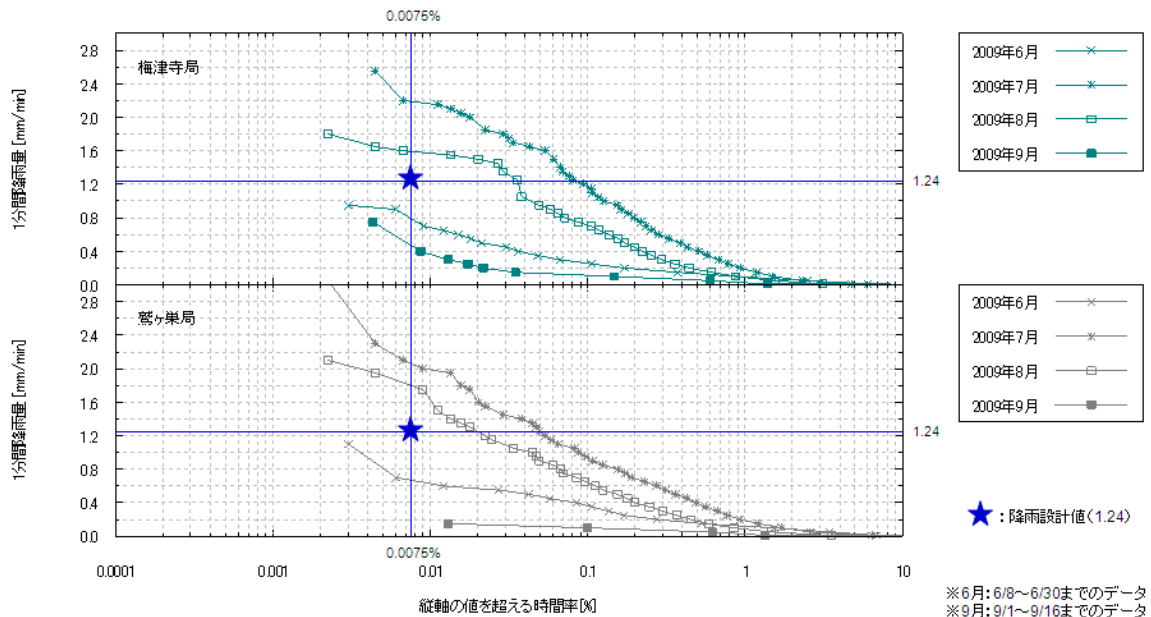


図 3.1-12 各地点における 1 分間降雨量の累積時間分布の月変化

回線設計に用いた降雨設計値は、電波法関係審査基準に掲げられている松山市における 0.0075% 1 分間降雨量 1.24mm/分 (74.4mm/時間) である。月毎の 0.0075% 値をみると、7 月、8 月では設計値よりも大きくなっていることが分かる。

7 月、8 月の梅津寺局と鷺ヶ巣局の分布を比較すると、梅津寺局の 1 分降雨量が大きく、地点による差が若干見られる。

(6) 各地点における 1 分間降雨量の累積時間分布

図 3.1-13 に試験期間中 (2009 年 6 月 8 日から 2009 年 9 月 16 日まで) の梅津寺局および鷺ヶ巣局の各地点における 1 分間降雨量および 1 分間降雨量の区間平均の累積時間分布を示す。

グラフ中にある青色の星印は、回線設計に用いた降雨設計値 1.24mm/分 (松山地区における 0.0075% 1 分間降雨量) を示している。

10GHz 以上の高い周波数を用いる無線システムにおける回線設計の信頼度を高めるためには、当該地域における降雨減衰確率の精度良い推定が必要であり、これを可能にするには、各地域における降雨強度の累積時間分布の精度良い推定が必要となる。電波法関係審査基準に掲げられている 0.0075% 1 分間降雨量は、7 月から 9 月の夏季 3 ヶ月間の強雨期における 1 分間降雨量累積時間分布の 0.0075% 値が用いられている。

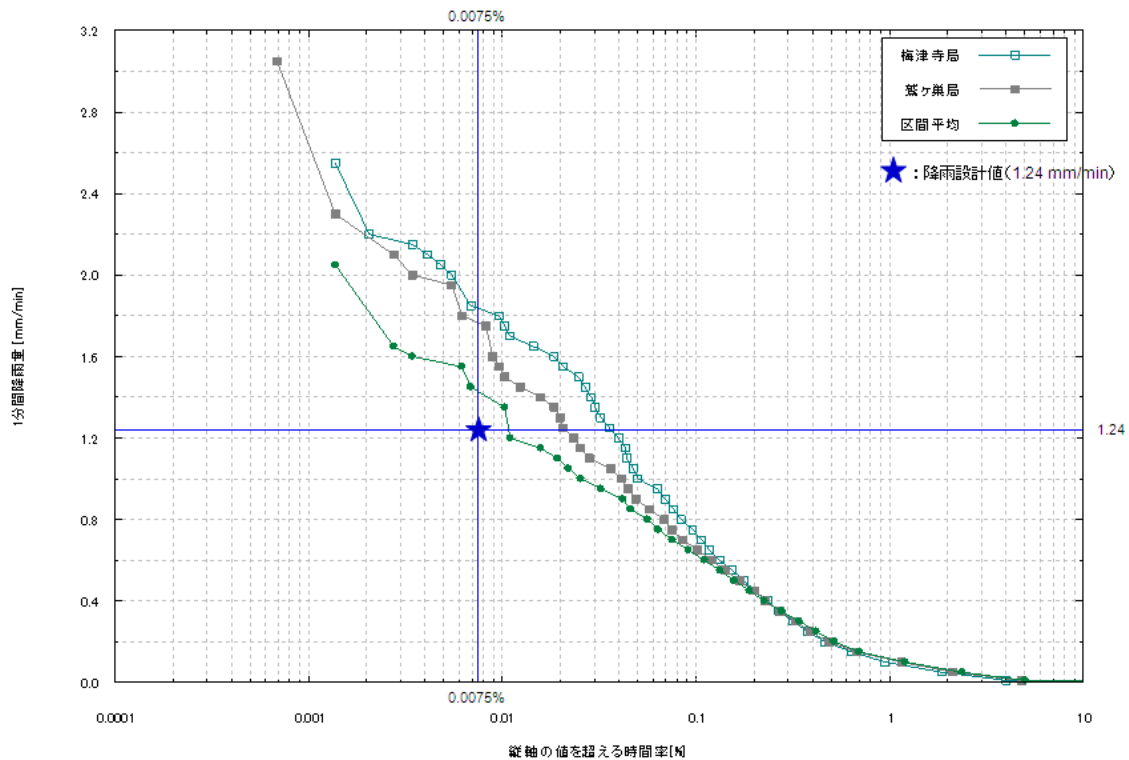


図 3.1-13 各地点における 1 分間降雨量の累積時間分布 (2009/6/8~2009/9/16)

試験期間全体でみた場合でも、降雨設計値である 1.24mm/min より大きく、区間平均となる 1 分間降雨量 (伝搬距離にわたる平均値) についても、設計値より大きな値を示しており、本年は例年 (または想定) よりも強い降雨が多かったことが分かる。

(7) 気象庁の統計情報

表 3.1-9 に、気象庁の松山気象台より発表されている AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) データ (10 分間降水量、1 時間降水量等) の 1999 年から 2009 年までの統計情報と、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計で取得した降雨情報の集計結果を示す。

2009 年の統計情報と、1999 年から 2008 年までの 10 年間の平均値とを比較すると、7 月、8 月の降水量は例年よりも多いことが分かる。7 月に着目すると、過去 10 年間に於いて、月間降水量で 3 番目、10 分間降水量の最大値で 2 番目の量を記録している。

10 分間降水量の最大値に着目すると、7 月、8 月においては例年よりも多く、傾向として比較的短時間に多くの降水があったことが分かる。

表 3.1-9 松山気象台 AMeDAS データ統計情報

年	月間降水量				1時間降水量 最大値				10分間降水量 最大値				
	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月	6月	7月	8月	9月	
1999	462.5	171.0	184.0	173.0	23.0	31.0	17.0	26.0	8.5	18.0	7.0	8.0	
2000	219.0	31.5	38.0	217.5	28.5	8.5	14.0	17.5	10.0	4.5	6.0	9.0	
2001	388.0	151.5	123.0	129.0	47.0	40.5	15.0	16.0	15.5	10.5	6.5	5.0	
2002	169.0	70.5	25.0	69.0	22.5	25.5	7.0	17.5	9.0	14.0	5.5	9.5	
2003	138.5	270.0	169.0	49.5	7.0	19.5	15.5	10.0	2.5	7.0	6.5	7.5	
2004	339.0	36.5	282.5	130.0	37.0	10.0	55.0	18.5	13.5	5.5	20.0	6.5	
2005	25.0	460.5	43.5	84.0	5.0	38.5	22.0	5.0	2.0	14.5	11.0	2.5	
2006	287.5	271.5	72.5	96.0	24.0	22.5	14.5	17.5	7.0	11.5	5.5	10.0	
2007	68.5	389.0	32.5	68.5	10.5	44.0	10.5	9.5	6.5	10.5	7.5	3.5	
2008	190.5	22.5	69.5	209.0	14.0	14.5)	12.5	29.0	6.0	6.0	4.5	11.5	
最大値	462.5	460.5	282.5	217.5	47.0	44.0	55.0	29.0	15.5	18.0	20.0	11.5	
最小値	25.0	22.5	25.0	49.5	5.0	8.5	7.0	5.0	2.0	4.5	4.5	2.5	
平均値	228.8	187.5	104.0	122.6	21.9	26.7	18.3	16.7	8.1	10.2	8.0	7.3	
2009	168.5	329.5	139.0	(20.0) ²	9.5	29.0	28.0	(6.0) ²	2.5	16.0	8.0	(2.0) ²	
降雨強度計	梅津寺	(145.9) ¹	360.2	192.3	(22.0) ²	(9.4) ¹	34.7	24.8	(4.3) ²	(3.9) ¹	13.3	9.4	(2.0) ²
	鷺ヶ巣	(178.2) ¹	351.7	178.1	(18.6) ²	(11.9) ¹	27.2	31.0	(5.4) ²	(3.9) ¹	14.7	12.7	(1.2) ²

1:2009年6月8日~6月30日までの結果。

2:2009年9月1日~9月16日までの結果。

(8) 降雨減衰の累積時間分布

図 3.1-14 に試験期間中 (2009年6月8日から2009年9月16日まで) の OFDM 信号および 64QAM 信号すべての降雨減衰の累積時間分布を示す。

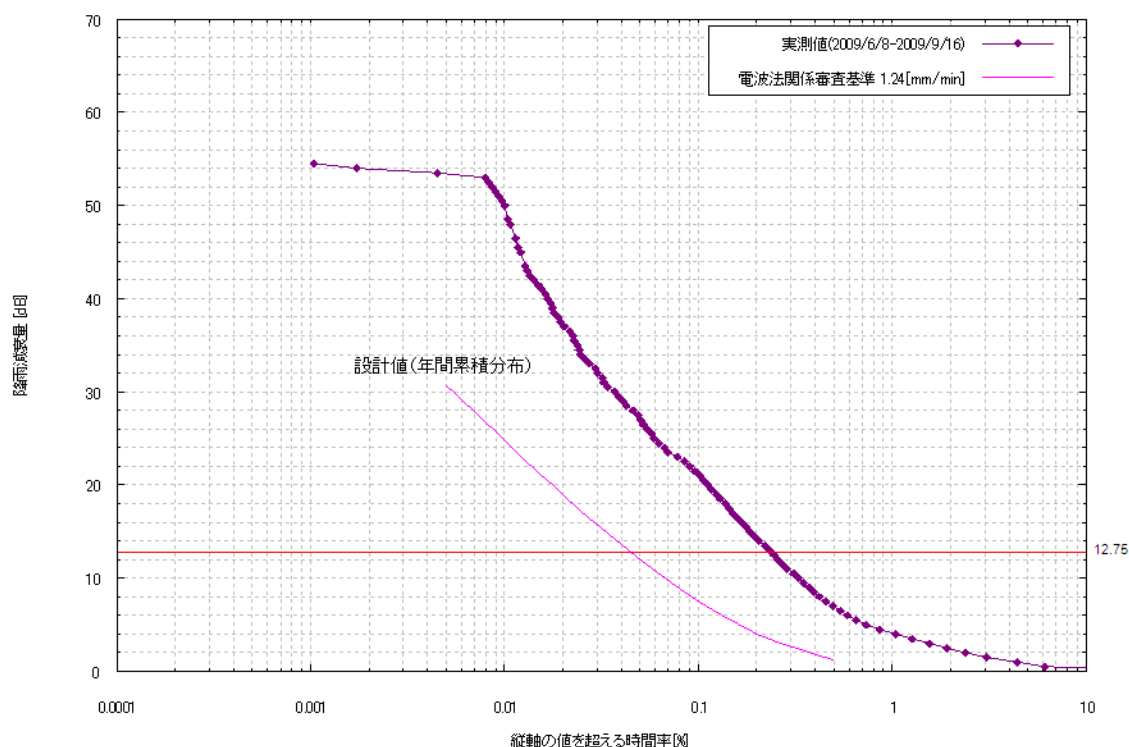


図 3.1-14 降雨減衰の累積時間分布 (2009/6/8~2009/9/16)

時間率が 0.008%以下では、降雨減衰量が約 53dB で飽和している。これは、システム性能 (降雨減衰量の測定限界値：約 53dB) によるものであり、降雨強度から推定すると 53dB 以上の減衰があったと思われる。

電波法関係審査基準 (p.1061 の 9) に掲載されている図 1、図 2 と松山における 0.0075%1 分間降雨量 1.24mm/分から求まる本実験フィールドにおける年間回線不稼動率 0.05% (不稼動時間：約 263 分/年) に対応する降雨減衰量は 12.75dB である。本試験期間の 101 日間において 12.75dB 以上の降雨減衰量となった時間率は、図 3.1-14 より約 0.24% (不稼動時間：約 349 分) であり、電波法関係審査基準より求まる 0.0075%1 分間降雨量 1.24mm/分における年間降雨減衰量分布よりも減衰量が大きくなることが推察できる。

減衰量が大きくなる理由については、7 月、8 月において例年よりも強い降雨が多く、電波法関係審査基準で用いられている松山における 1 分間雨量累積時間分布の 0.0075%値を大きく上回ったことに起因する。

(9) 回線稼動率の集計

表 3.1-10 に試験期間中 (2009 年 6 月 8 日から 2009 年 9 月 16 日まで) の回線稼動率の集計結果を示す。

表 3.1-10 では、2009 年 6 月 8 日から同年 9 月 16 日までの梅津寺局と鷺ヶ巣局間の C/N 比を 1 分間隔で計測した結果から、回線設計の閾値とした基準 C/N 比を上回っていた時間率

(%) と基準 C/N 比を下回った時間 (分) を月次および実験期間で集計したものである。
時間率および不稼動時間の算出は次式により行った。

$$\text{時間率}[\%] = \frac{\text{C/N 比が基準値以上のデータ数}}{\text{全データ数}} \times 100$$

$$\text{基準値未満の時間}[\text{分}] = \text{C/N 比が基準値未満のデータ数} \times \text{データ取得間隔 (分)}$$

表 3.1-10 回線稼働率の集計

信号	OFDM				64QAM			
	C/N 比=30.0dB		C/N 比=27.1dB		C/N 比=30.0dB		C/N 比=29.0dB	
年月	基準値未満の時間(分)	基準値以上の時間率(%)	不稼動時間(分)	基準値以上の時間率(%)	基準値未満の時間(分)	基準値以上の時間率(%)	不稼動時間(分)	基準値以上の時間率(%)
2009年6月	11	99.97	7	99.98	13	99.96	11	99.97
2009年7月	216	99.52	163	99.63	233	99.48	215	99.52
2009年8月	125	99.72	90	99.80	134	99.70	109	99.76
2009年9月	0	100.00	0	100.00	0	100.00	0	100.00
合計	352	99.76	260	99.82	380	99.74	335	99.77

試験期間中、回線設計における C/N 比の閾値 30dB を上回っていた時間率は、OFDM 信号で 99.76% (基準 C/N 比未満の時間：352 分)、64QAM 信号で 99.74% (基準 C/N 比未満の時間：380 分) といずれも目標値である 99.95%以上 (不稼動時間：263 分以下) を下回る結果となった。

これは、7、8月に例年よりも多い雨が比較的短時間に降るといふ現象が見られ、本無線区間における降雨設計値 1.24mm/分を大きく上回ったことが大きな原因であると考えられる。

本試験では、回線設計時にシステムマージンをほぼ 0dB とするギリギリのレベルで設計を行っており、発生する降雨減衰量を何も保証しない状態である。実際の運用では、適切なシステムマージンを設定することにより、回線稼働率は向上すると考えられる。

参考として、室内試験で確認した CATV システムとの接続を想定した時の無線伝送区間の C/N 比 (OFDM 信号の C/N 比：27.1dB、64QAM 信号の C/N 比：29.0dB) を閾値としたときの回線稼働率と不稼動時間を併記する。

標準デジタルテレビジョン放送方式の信号の所要性能については、内符号化率 7/8 の放送波を対象として算出しているが、実際の放送波の内符号化率は 3/4 となっているため、設定

している所要性能は若干のマージン（約 2dB 程度）を持つことになる。つまり、実際に映像が破たんするケースは、本集計結果よりも少ないと考えられる。

3.2 海面反射試験（満潮・干潮時の信号品質確認試験）

3.2.1 目的

有線テレビジョン放送事業用固定局を用いて無線による海上伝搬をした場合の、海面反射の影響を確認することを目的とする。本試験では、潮位の変化が最も大きくなる大潮時期において、満潮時と干潮時にそれぞれ OFDM 信号（標準デジタルテレビジョン放送方式）の信号品質の測定を行い結果を比較する事により、23GHz 帯無線による海上伝搬時の海面反射の影響を確認する。海面反射によるフェージングの影響を受ける可能性のある、搬送波レベル、搬送波対雑音比(C/N 比)、ビット誤り率 (BER)、変調誤差比 (MER)、スペクトル特性について測定を実施し、満潮時と干潮時における結果を比較する。また、OFDM 信号は、信号の遅延プロファイルを測定する事により、マルチパス等による反射波の影響を直接観測する事が可能であるため、OFDM 信号の遅延プロファイルを測定し、海面反射によるマルチパスの有無を確認する。

3.2.2 測定項目と測定方法

(1) 測定項目

満潮・干潮時の信号品質確認試験の測定項目を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 海面反射試験（満潮・干潮時の信号品質確認試験）における測定項目

No.	測定項目	信号	対応局		備考
			梅津寺局 (送信局)	鷺ヶ巣局 (受信局)	
	搬送波レベル	OFDM	-		
	搬送波対雑音比(C/N 比)	OFDM	-		雑音電力:被測定信号を停止し、同周波数帯の雑音を測定する。
	ビット誤り率(BER)	OFDM	-		
	変調誤差比(MER)	OFDM	-		
	スペクトル特性	OFDM	-		
	遅延プロファイル	OFDM	-		

(2) 測定方法

満潮・干潮時の信号品質確認試験では、図 1.3-1 伝搬試験回線概略図（ルート図とプロファイル図）に示すように、梅津寺局に OFDM 信号を 1 波入力し(周波数は試験中に変更)、4.1km 先の鷺ヶ巣局まで、23GHz 帯無線周波数による無線伝送（海上伝搬路を含む）を行う。

1日の潮位変化が最も大きくなる大潮の日(本試験では2009年9月18日)を対象に、満潮時と干潮時において、鷺ヶ巣局から出力されるOFDM信号の搬送波レベル、C/N比、BER、MER、スペクトル特性、遅延プロファイル(表3.2-1の①から⑥)を計測した。

① 搬送波レベル

- ・ 鷺ヶ巣局の測定点に接続したデジタルTVシグナル・アナライザを使用して、受信機から出力されるOFDM信号の搬送波レベルを計測した。
- ・ 搬送波レベル測定時のデジタルTVシグナル・アナライザの設定を表3.2-2に示す。

表 3.2-2 搬送波レベル測定時におけるデジタルTVシグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値
	OFDM信号
中心周波数	測定信号の中心周波数
測定帯域幅	5.6 MHz
SPAN	10 MHz
RBW	30 kHz
VBW	300 kHz
検波モード	サンプル
アベレージ	30回

日本CATV技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-OFDM 4.2 参照

② 搬送波対雑音比 (C/N比)

- ・ 鷺ヶ巣局の測定点に接続したデジタルTVシグナル・アナライザを使用して、受信機から出力されるOFDM信号の搬送波対雑音比 (C/N比) を計測した。
- ・ 搬送波対雑音比 (C/N比) 測定時のデジタルTVシグナル・アナライザの設定を表3.2-3に示す。
- ・ 雑音レベルについては、伝送信号を停止した時の当該周波数を測定し雑音レベルとした。

表 3.2-3 C/N比測定時におけるデジタルTVシグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値
	OFDM信号
中心周波数	測定信号の中心周波数
雑音レベル測定 中心周波数	測定信号の中心周波数 (測定信号非入力時)
測定帯域幅	5.6 MHz
SPAN	10 MHz

RBW	30 kHz
VBW	300 kHz
検波モード	サンプル
アベレージ	30 回

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

③ ビット誤り率 (BER)

- ・ 鷺ヶ巣局の測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、受信機から出力される OFDM 信号のビット誤り率 (短縮化リードソロモン(204,188)符号による誤り訂正前の BER) を計測した。
- ・ ビット誤り率 (BER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.2-4 に示す。

表 3.2-4 BER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値
	OFDM 信号
中心周波数	測定信号の中心周波数
BER 測定法	PRBS 法(PRBS + SYNC)
測定時間	5 秒 ^{注1}

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

注 1 : 5 秒間の測定による BER 測定における測定レンジは 1×10^{-8} 。

④ 変調誤差比 (MER)

- ・ 鷺ヶ巣局の測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、受信機から出力される OFDM 信号の変調誤差比 (MER) を計測した。
- ・ 変調誤差比 (MER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.2-5 に示す。

表 3.2-5 MER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値
	OFDM 信号
中心周波数	測定信号の中心周波数
アベレージ	10
測定階層	All Layer(Conventional)

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

⑤ スペクトル特性

- ・ 鷺ヶ巣局の測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、受信機から出力される OFDM 信号のスペクトルを計測した。
- ・ スペクトル測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.2-6 に示す。

表 3.2-6 スペクトル測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値
	OFDM 信号
中心周波数	測定信号の中心周波数
測定帯域幅	5.6 MHz
SPAN	10 MHz
RBW	10 kHz
VBW	300 Hz
検波モード	ピーク
アベレージ	-

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-OFDM 4.4 参照

⑥ 遅延プロファイル

- ・ 鷺ヶ巣局の測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、受信機から出力される OFDM 信号の遅延プロファイルを計測した。

3.2.3 信号周波数配列

満潮・干潮時の信号品質確認試験において、23GHz 帯無線周波数で無線伝送（海上伝搬路を含む）するデジタル信号は、OFDM 信号 1 波とし、13ch～51ch まで 12MHz 間隔で周波数を変化させて測定を実施した。

満潮・干潮時の信号品質確認試験における測定信号の周波数を表 3.2-7 に示す。

表 3.2-7 測定信号周波数一覧（満潮・干潮時の信号品質確認試験）

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	変調方式	信号源	備考
13	470 ~ 476	23360 ~ 23366	OFDM	OFDM 信号発生器	
15	482 ~ 488	23372 ~ 23378	OFDM	OFDM 信号発生器	
17	494 ~ 500	23384 ~ 23390	OFDM	OFDM 信号発生器	
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	OFDM	OFDM 信号発生器	
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	OFDM	OFDM 信号発生器	
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	OFDM	OFDM 信号発生器	
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	OFDM	OFDM 信号発生器	
27	554 ~ 560	23444 ~ 23450	OFDM	OFDM 信号発生器	
29	566 ~ 572	23456 ~ 23462	OFDM	OFDM 信号発生器	
31	578 ~ 584	23468 ~ 23474	OFDM	OFDM 信号発生器	
33	590 ~ 596	23480 ~ 23486	OFDM	OFDM 信号発生器	
35	602 ~ 608	23492 ~ 23498	OFDM	OFDM 信号発生器	
37	614 ~ 620	23504 ~ 23510	OFDM	OFDM 信号発生器	
39	626 ~ 632	23516 ~ 23522	OFDM	OFDM 信号発生器	
41	638 ~ 644	23528 ~ 23534	OFDM	OFDM 信号発生器	
43	650 ~ 656	23540 ~ 23546	OFDM	OFDM 信号発生器	
45	662 ~ 668	23552 ~ 23558	OFDM	OFDM 信号発生器	
47	674 ~ 680	23564 ~ 23570	OFDM	OFDM 信号発生器	
49	686 ~ 692	23576 ~ 23582	OFDM	OFDM 信号発生器	
51	698 ~ 704	23588 ~ 23594	OFDM	OFDM 信号発生器	

3.2.4 測定系統図

満潮・干潮時の信号品質確認試験における測定系統図を図 3.2-1 に示す。

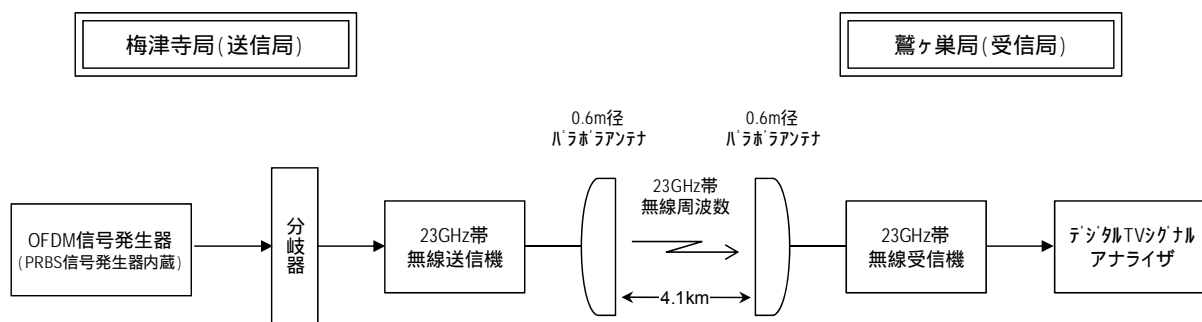


図 3.2-1 満潮・干潮時の信号品質確認試験における測定系統図

3.2.5 測定結果

(1) 試験実施日の潮位と気温

本試験では一日のうちの潮位変化が最も大きくなる大潮の日(2009年9月18日)を対象として、満潮時と干潮時の信号品質をそれぞれ測定した。

満潮の時刻は 8:30、干潮の時刻は 14:30 であり、各信号品質の測定は同時刻の前後 30 分以内に実施した。試験実施日の潮位と気温の推移を表 3.2-8 に示す。

表 3.2-8 試験日(2009年9月18日)における潮位と気温の推移

時刻	潮位[cm]	気温[]
0:00	208	19.7
1:00	148	19.0
2:00	115	19.2
3:00	117	18.6
4:00	155	17.9
5:00	218	18.2
6:00	288	19.0
7:00	346	21.2
8:00	380	24.5
9:00	377	26.3
10:00	338	27.2
11:00	269	26.8
12:00	188	27.9
13:00	117	27.8
14:00	73	27.9
15:00	69	28.1
16:00	108	27.7
17:00	177	26.2
18:00	259	25.7
19:00	334	24.3
20:00	386	23.3
21:00	404	22.7
22:00	383	22.7
23:00	325	22.5

測定実施日の潮位は、満潮時（8:30）において約 380cm、干潮時（14:30）において約 70cm であり、約 3.1m の潮位変化が生じている。また、気温に着目すると、満潮時（8:30）においては約 25℃、干潮時（14:30）においては約 28℃である。

試験実施日の天候は快晴無風であった。図 3.2-2 に試験実施日の海面の様子を示す。



図 3.2-2 試験日(2009年9月18日)の海面の様子

(2) 搬送波レベル測定結果

満潮時と干潮時における搬送波レベルの測定結果を表 3.2-9 に示す。

表 3.2-9 搬送波レベル 測定結果

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	搬送波レベル [dB μ V]		
			満潮時	干潮時	差分
13	470 ~ 476	23360 ~ 23366	77.5	77.3	-0.2
15	482 ~ 488	23372 ~ 23378	78.1	77.7	-0.4
17	494 ~ 500	23384 ~ 23390	78.2	77.9	-0.3
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	78.4	77.9	-0.5
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	78.2	77.6	-0.7
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	78.0	77.4	-0.6
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	78.0	76.9	-1.1
27	554 ~ 560	23444 ~ 23450	77.1	76.3	-0.7
29	566 ~ 572	23456 ~ 23462	76.6	75.8	-0.8
31	578 ~ 584	23468 ~ 23474	76.0	75.6	-0.4
33	590 ~ 596	23480 ~ 23486	75.2	74.6	-0.6
35	602 ~ 608	23492 ~ 23498	74.7	74.4	-0.3
37	614 ~ 620	23504 ~ 23510	75.8	75.9	0.1
39	626 ~ 632	23516 ~ 23522	75.2	74.7	-0.5
41	638 ~ 644	23528 ~ 23534	74.8	74.0	-0.7
43	650 ~ 656	23540 ~ 23546	74.4	74.0	-0.4
45	662 ~ 668	23552 ~ 23558	76.6	76.3	-0.3
47	674 ~ 680	23564 ~ 23570	76.9	76.4	-0.5
49	686 ~ 692	23576 ~ 23582	77.7	77.4	-0.3
51	698 ~ 704	23588 ~ 23594	77.9	77.4	-0.5

測定結果より、干潮時の搬送波レベルは、満潮時の搬送波レベルと比較して 0.5dB~1.0dB 程度のレベル低下が生じている。この原因として、無線機の温度特性によるものであることが考えられる。表 3.2-8 に示したように、満潮時と干潮時においては約 3°Cの温度差が生じているが、3.3.6 (2) の図 3.3-4 に示す通り、本試験に用いた無線機においては、気温の変動にともない 0.3~0.5dB/°C程度の搬送波レベル変動が生じている。そのため、満潮時と比較して約 3°Cの温度上昇がある干潮時においては、発生した 0.5dB~1.0dB 程度のレベル低下は、気温の変動によるレベル変動として妥当な値であるといえる。

よって、満潮時と干潮時における搬送波レベルの差が生じている原因としては、温度特性

によるものであると推察でき、海面反射の影響によるレベル変動は生じていないと考えられる。なお、気温の変動に伴うレベル変動は、本試験において降雨の影響を正確に計測するため、無線装置の持つAGC(Auto Gain Control)機能を使用していない事に起因するものである。

(3) C/N 比測定結果

満潮時と干潮時における C/N 比の測定結果を表 3.2-10 に示す。

表 3.2-10 C/N 比 測定結果

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	C/N 比 [dB]		
			満潮時	干潮時	差分
13	470 ~ 476	23360 ~ 23366	40.6	40.7	0.1
15	482 ~ 488	23372 ~ 23378	38.3	38.4	0.1
17	494 ~ 500	23384 ~ 23390	40.1	40.4	0.3
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	39.7	39.6	0.0
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	40.5	40.3	-0.3
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	40.6	40.2	-0.4
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	40.3	40.0	-0.3
27	554 ~ 560	23444 ~ 23450	40.8	40.6	-0.2
29	566 ~ 572	23456 ~ 23462	40.8	40.3	-0.5
31	578 ~ 584	23468 ~ 23474	40.8	40.8	0.0
33	590 ~ 596	23480 ~ 23486	39.8	39.7	-0.1
35	602 ~ 608	23492 ~ 23498	39.6	39.7	0.2
37	614 ~ 620	23504 ~ 23510	41.2	41.7	0.5
39	626 ~ 632	23516 ~ 23522	40.8	40.6	-0.1
41	638 ~ 644	23528 ~ 23534	40.3	39.9	-0.4
43	650 ~ 656	23540 ~ 23546	39.5	39.5	0.0
45	662 ~ 668	23552 ~ 23558	41.3	41.3	0.0
47	674 ~ 680	23564 ~ 23570	41.0	40.9	-0.1
49	686 ~ 692	23576 ~ 23582	41.5	41.8	0.3
51	698 ~ 704	23588 ~ 23594	41.9	41.7	-0.2

測定結果より、満潮時と干潮時において、C/N 比の差はほぼみられず、潮位変化に起因する C/N 比の変化は発生していないと考えられる。

(4) 変調誤差比(MER)測定結果

満潮時と干潮時における MER の測定結果を表 3.2-11 に示す。

表 3.2-11 MER 測定結果

CH	送信機入力 / 受信機出力信号 周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	MER [dB]		
			満潮時	干潮時	差分
13	470 ~ 476	23360 ~ 23366	38.1	38.0	-0.1
15	482 ~ 488	23372 ~ 23378	36.0	35.9	-0.1
17	494 ~ 500	23384 ~ 23390	37.6	37.6	0.0
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	37.3	37.4	0.1
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	38.0	37.8	-0.2
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	37.7	37.6	-0.1
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	37.6	37.4	-0.2
27	554 ~ 560	23444 ~ 23450	38.1	37.9	-0.2
29	566 ~ 572	23456 ~ 23462	37.9	37.8	-0.1
31	578 ~ 584	23468 ~ 23474	38.0	37.8	-0.2
33	590 ~ 596	23480 ~ 23486	37.3	37.2	-0.1
35	602 ~ 608	23492 ~ 23498	37.4	37.2	-0.2
37	614 ~ 620	23504 ~ 23510	38.8	38.6	-0.2
39	626 ~ 632	23516 ~ 23522	38.4	38.3	-0.1
41	638 ~ 644	23528 ~ 23534	37.8	37.7	-0.1
43	650 ~ 656	23540 ~ 23546	37.2	37.0	-0.2
45	662 ~ 668	23552 ~ 23558	38.6	38.5	-0.1
47	674 ~ 680	23564 ~ 23570	38.6	38.6	0.0
49	686 ~ 692	23576 ~ 23582	39.0	39.0	0.0
51	698 ~ 704	23588 ~ 23594	39.3	39.0	-0.3

測定結果より、満潮時と干潮時において、MER の差は生じていないと言える。

満潮時と干潮時におけるコンスタレーションについて、全 20 チャンネルの測定チャンネルのうち、代表として 13ch、23ch、33ch、43ch、51ch の測定結果を図 3.2-3～図 3.2-7 に示す。

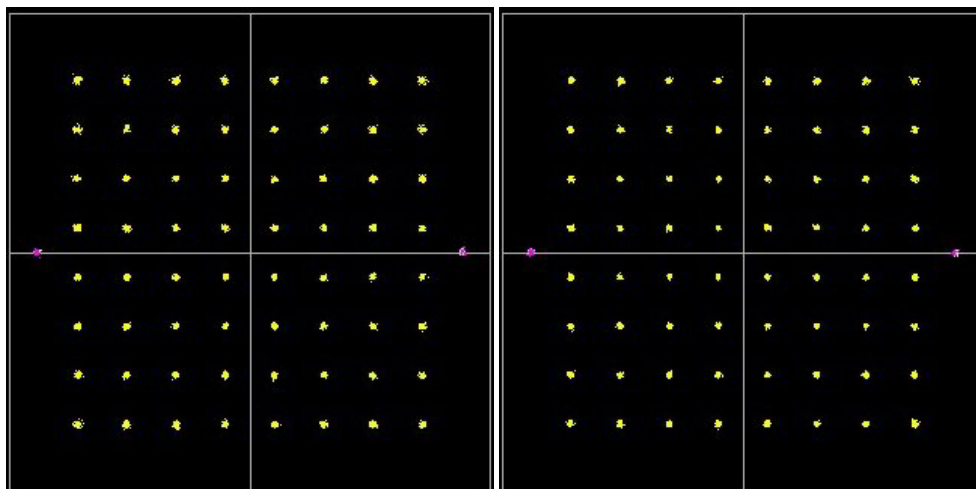


図 3.2-3 コンスタレーション (13ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

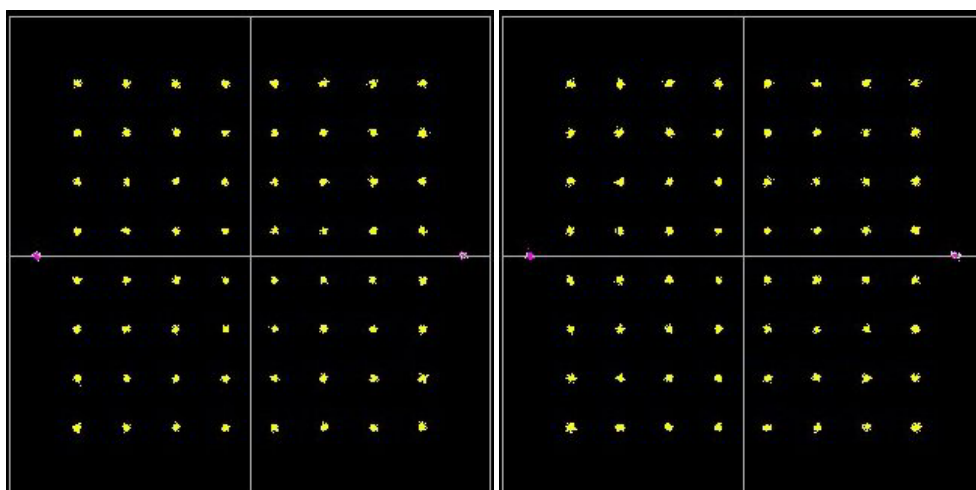


図 3.2-4 コンスタレーション (23ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

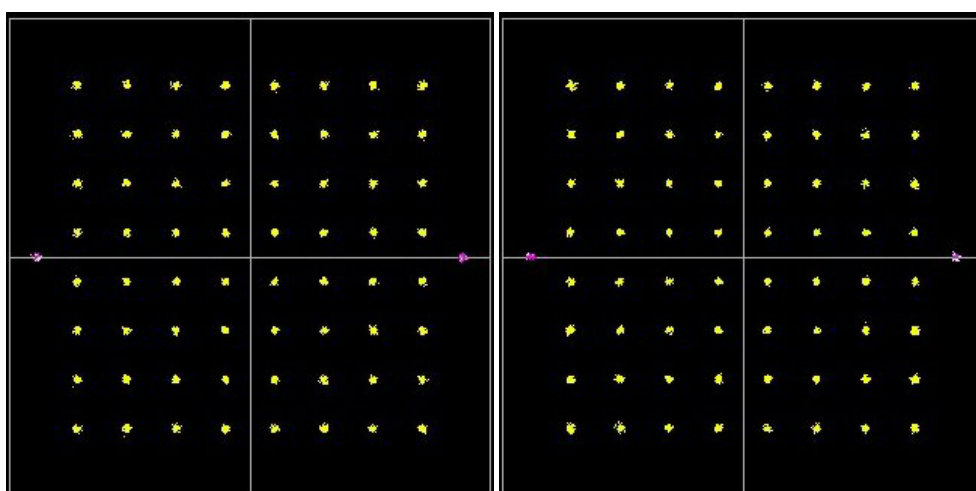


図 3.2-5 コンスタレーション (33ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

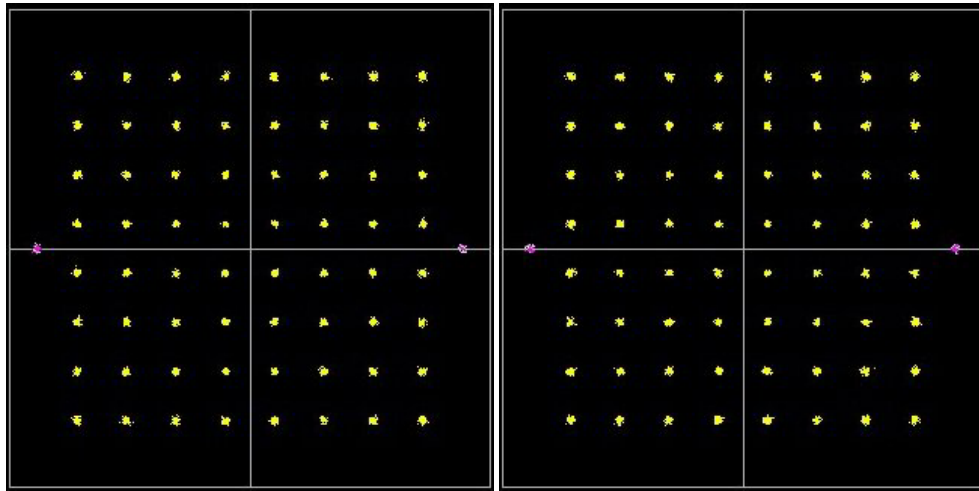


図 3.2-6 コンスタレーション (43ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

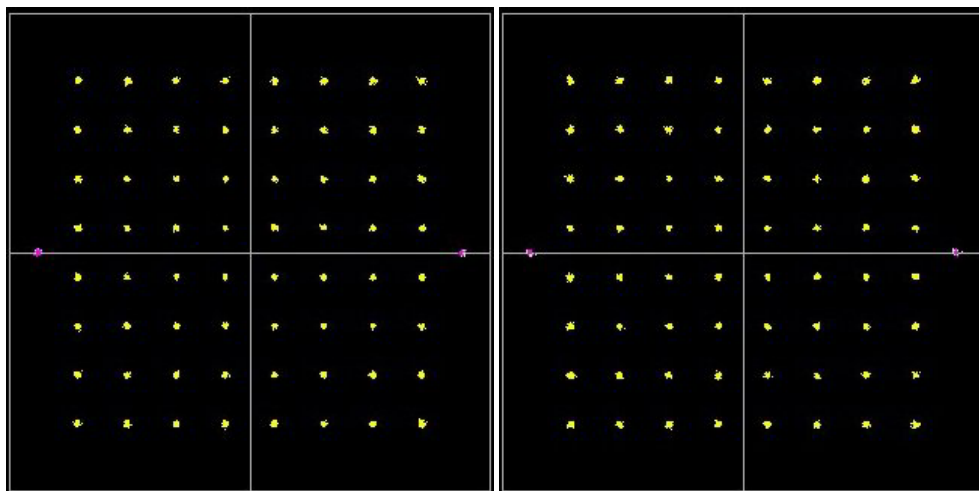


図 3.2-7 コンスタレーション (51ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

満潮時と干潮時においてコンスタレーションに大きな変化は確認出来なかった。よって、潮位変化にともなう海面反射波の影響によってコンスタレーションに変化は生じていないと判断出来る。

(5) ビット誤り率(BER)測定結果

満潮時と干潮時における BER の測定結果を表 3.2-12 に示す。

表 3.2-12 BER 測定結果

CH	送信機入力/ 受信機出力信 号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	BER	
			満潮時	干潮時
13	470 ~ 476	23360 ~ 23366	エラーフリー	エラーフリー
15	482 ~ 488	23372 ~ 23378	エラーフリー	エラーフリー
17	494 ~ 500	23384 ~ 23390	エラーフリー	エラーフリー
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	エラーフリー	エラーフリー
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	エラーフリー	エラーフリー
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	エラーフリー	エラーフリー
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	エラーフリー	エラーフリー
27	554 ~ 560	23444 ~ 23450	エラーフリー	エラーフリー
29	566 ~ 572	23456 ~ 23462	エラーフリー	エラーフリー
31	578 ~ 584	23468 ~ 23474	エラーフリー	エラーフリー
33	590 ~ 596	23480 ~ 23486	エラーフリー	エラーフリー
35	602 ~ 608	23492 ~ 23498	エラーフリー	エラーフリー
37	614 ~ 620	23504 ~ 23510	エラーフリー	エラーフリー
39	626 ~ 632	23516 ~ 23522	エラーフリー	エラーフリー
41	638 ~ 644	23528 ~ 23534	エラーフリー	エラーフリー
43	650 ~ 656	23540 ~ 23546	エラーフリー	エラーフリー
45	662 ~ 668	23552 ~ 23558	エラーフリー	エラーフリー
47	674 ~ 680	23564 ~ 23570	エラーフリー	エラーフリー
49	686 ~ 692	23576 ~ 23582	エラーフリー	エラーフリー
51	698 ~ 704	23588 ~ 23594	エラーフリー	エラーフリー

測定結果より、満潮時と干潮時のどちらにおいても、ビットエラーは生じていない。

(6) スペクトル特性測定結果

満潮時と干潮時における OFDM 信号のスペクトル特性について、全 20 チャンネルの測定チャンネルのうち、代表として 13ch、23ch、33ch、43ch、51ch の測定結果を図 3.2-8～図 3.2-12 以下に示す。

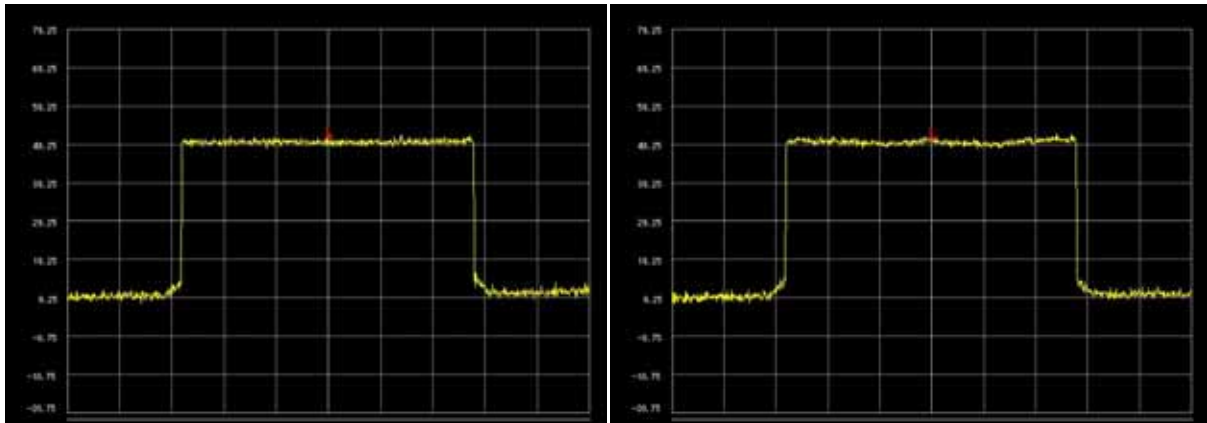


図 3.2-8 スペクトル特性 (13ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

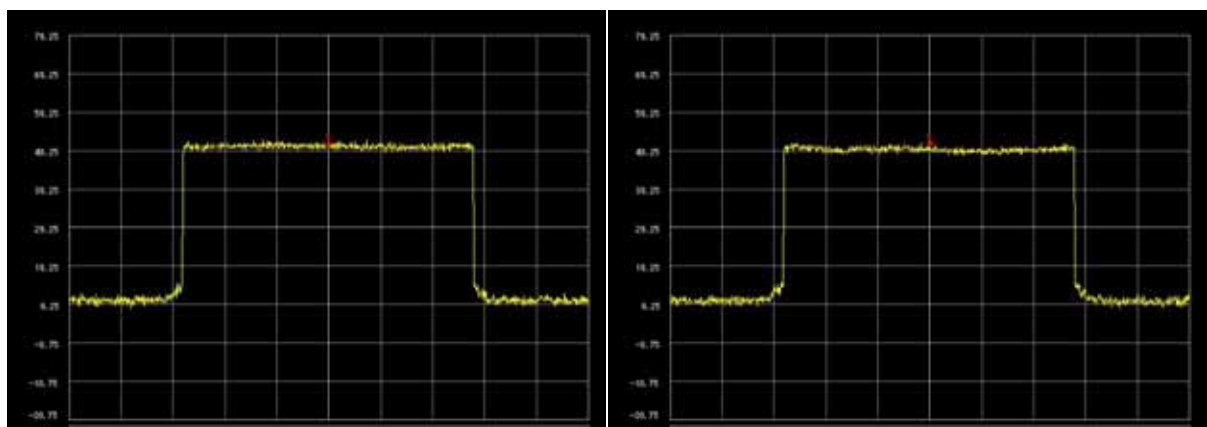


図 3.2-9 スペクトル特性 (23ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

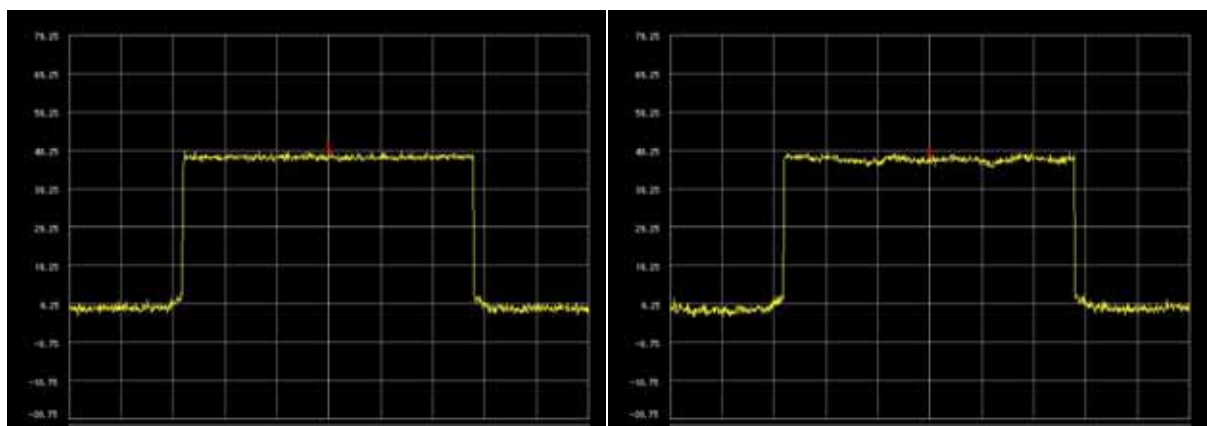


図 3.2-10 スペクトル特性 (33ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

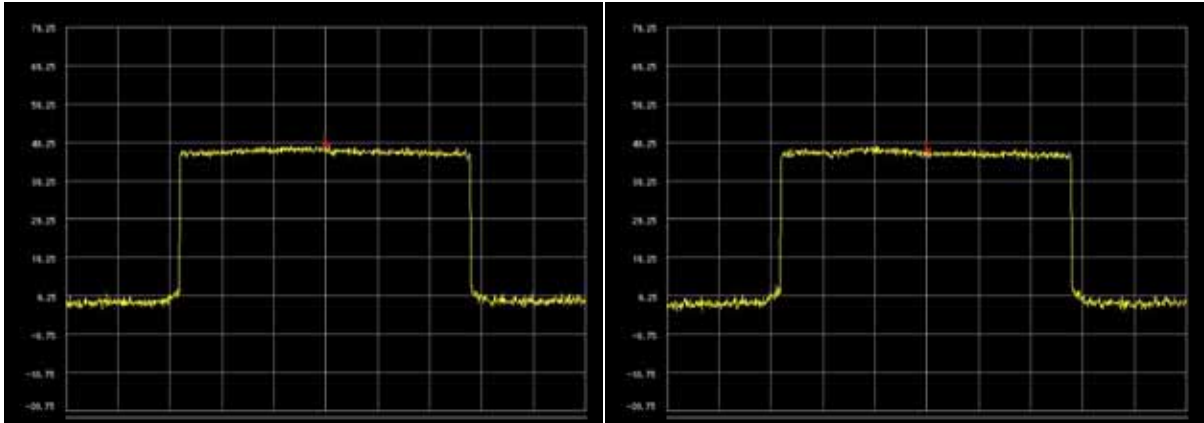


図 3.2-11 スペクトル特性 (43ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

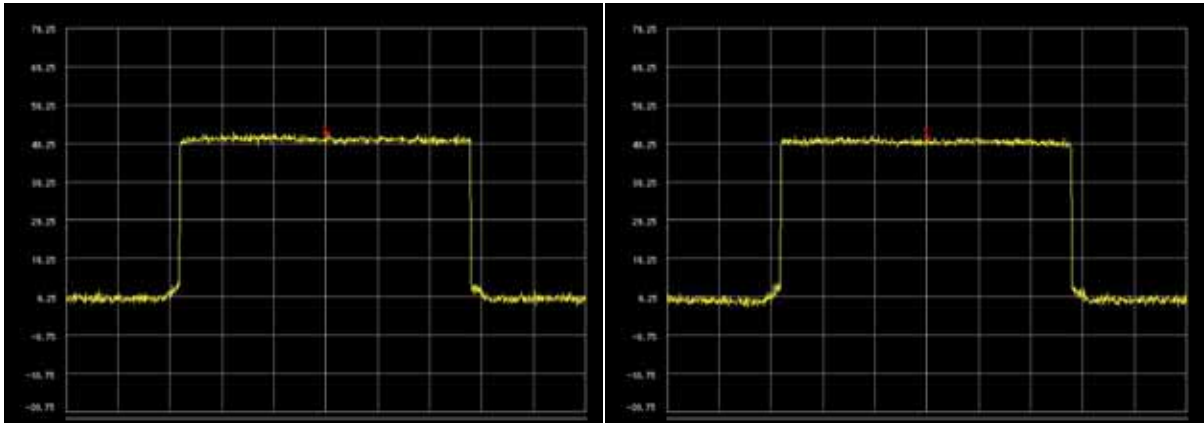


図 3.2-12 スペクトル特性 (51ch 左図：満潮時 右図：干潮時)

満潮時と干潮時のスペクトル特性を比較すると、特に 33ch において、干潮時のスペクトルが崩れているように見える。同チャンネルのサブキャリア毎の MER を図 3.2-13 に示す。

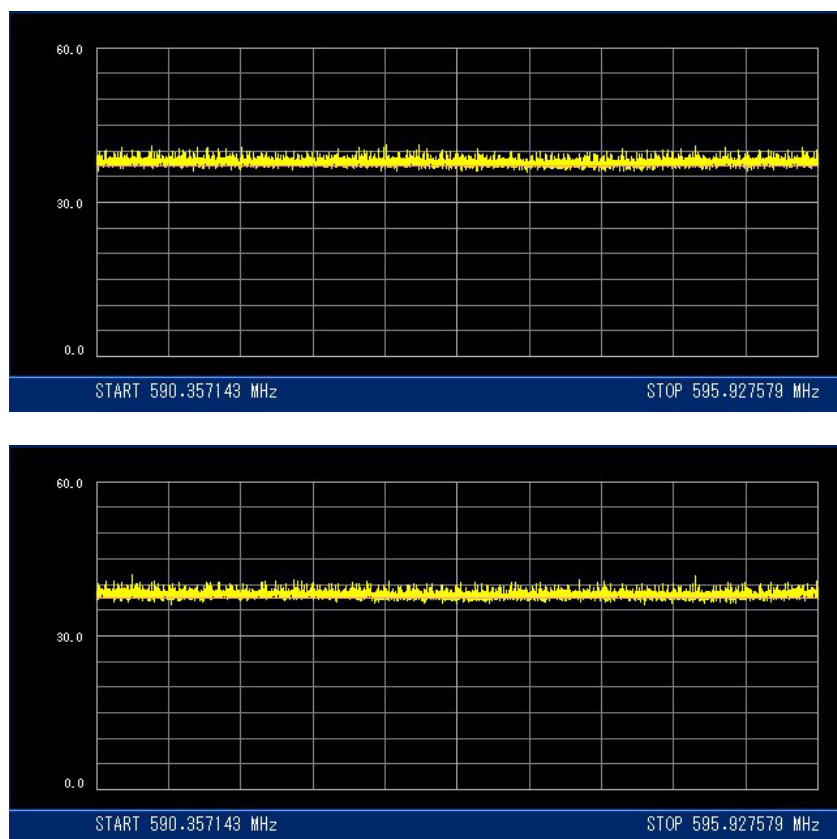


図 3.2-13 サブキャリア毎の MER (33ch 上図：満潮時 下図：干潮時)

サブキャリア毎の MER に着目すると、満潮時と干潮時において大きな差は見られず、海面反射の影響により特定の周波数に MER の落ち込みが生じている事もない。スペクトル特性に乱れが生じた理由については海面反射の影響も可能性として考えられるが、MER 等の劣化も生じていないことから、海面反射による信号品質への影響は出ていないと判断出来る。

(7) 遅延プロファイル測定結果

満潮時と干潮時における遅延プロファイルについて、全 20 チャンネルの測定チャンネルのうち、代表として 13ch、23ch、33ch、43ch、51ch の測定結果を図 3.2-14～図 3.2-18 に示す。

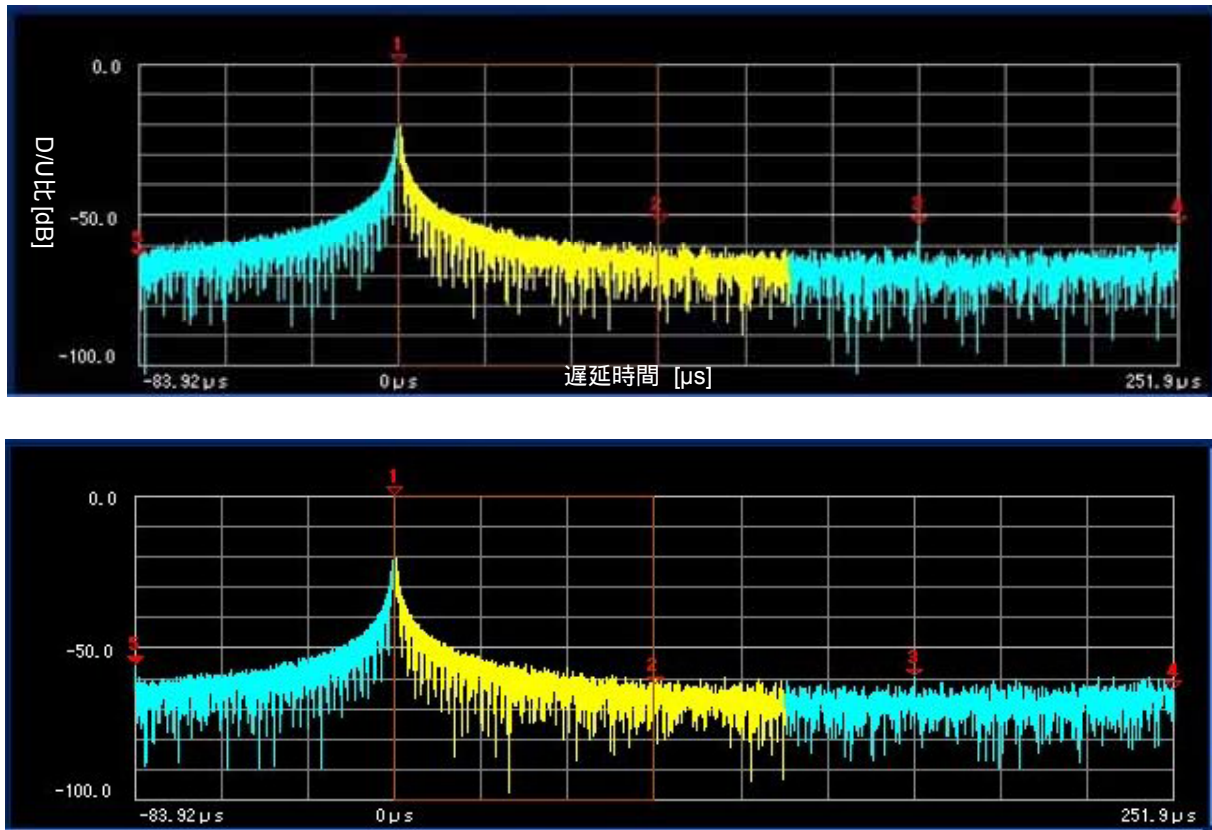


図 3.2-14 遅延プロファイル (13ch 上図：満潮時 下図：干潮時)

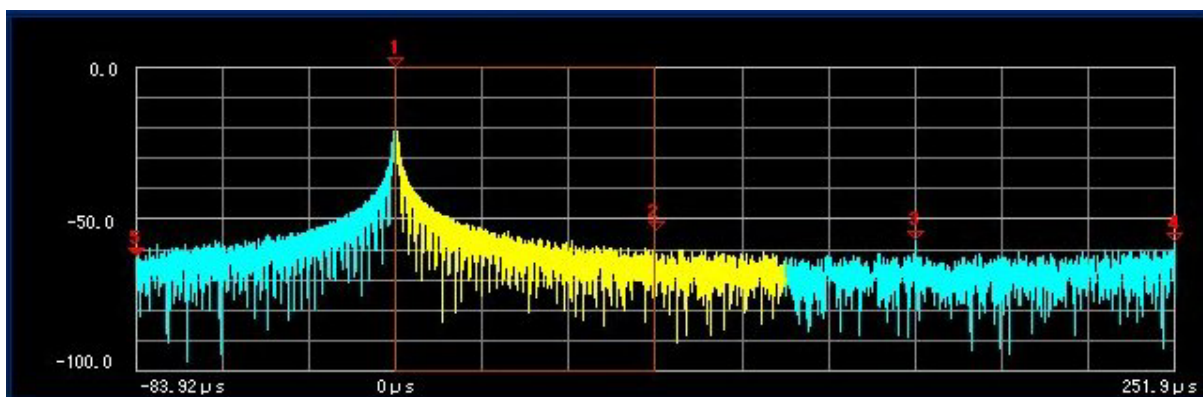
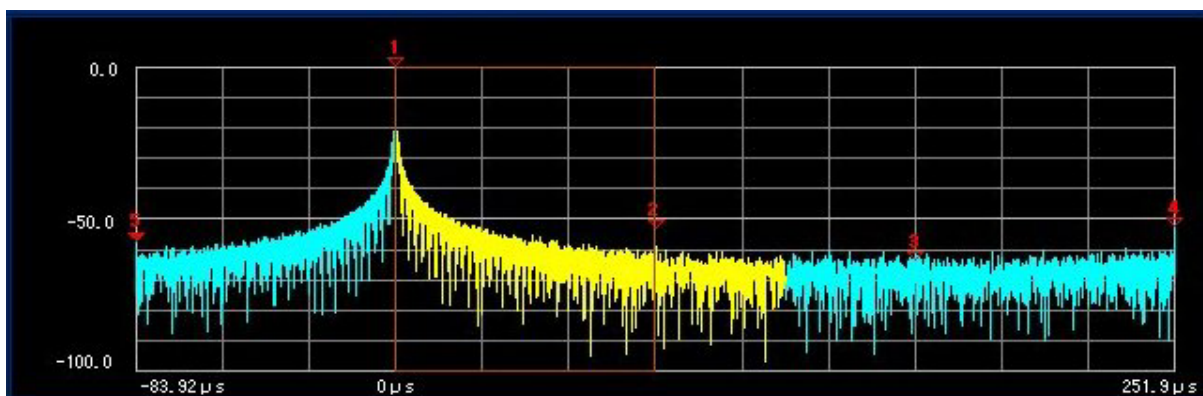


図 3.2-15 遅延プロファイル (23ch 上図：満潮時 下図：干潮時)

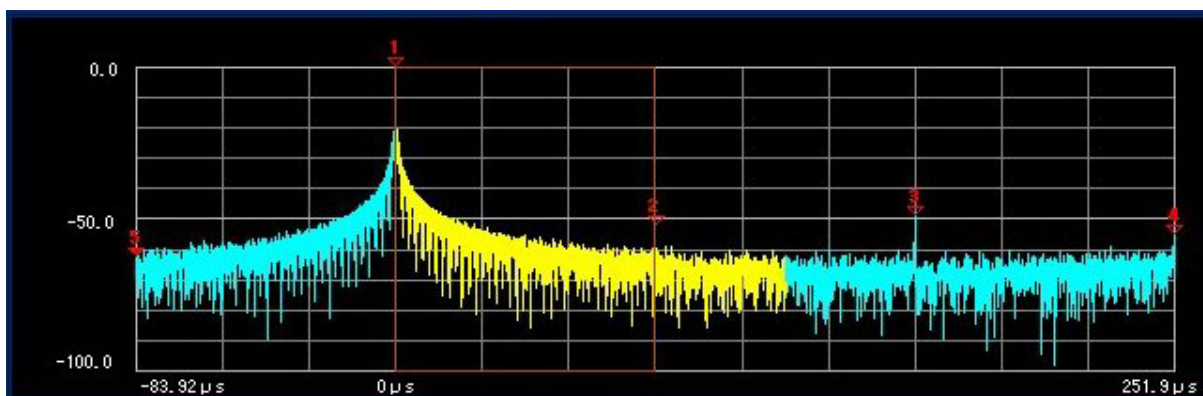
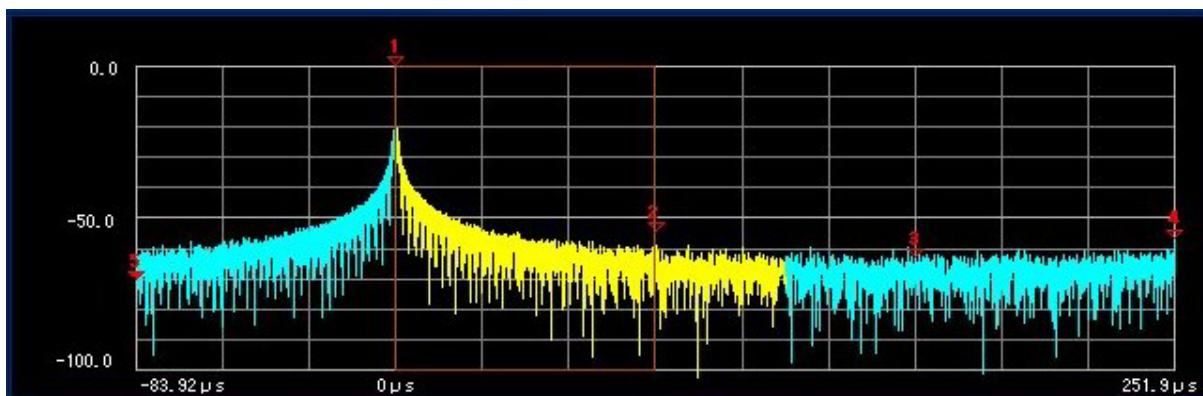


図 3.2-16 遅延プロファイル (33ch 上図：満潮時 下図：干潮時)

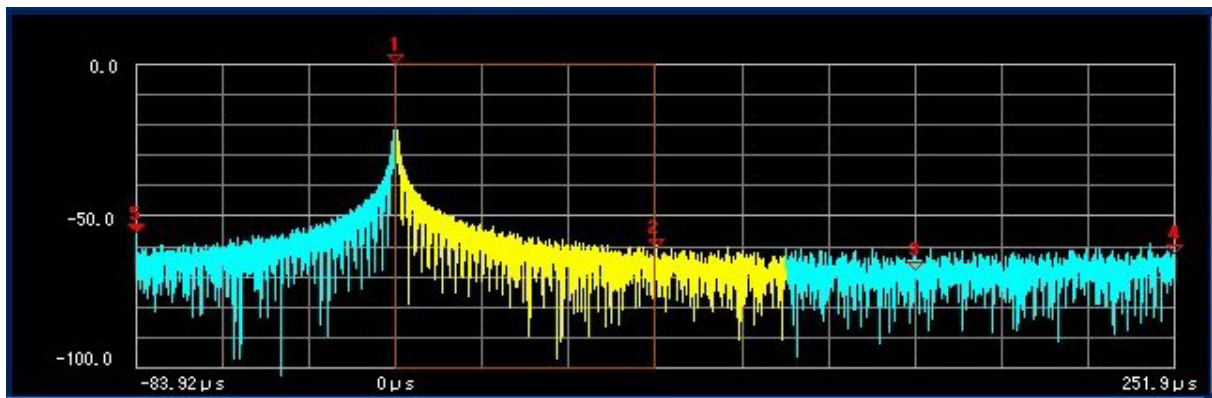
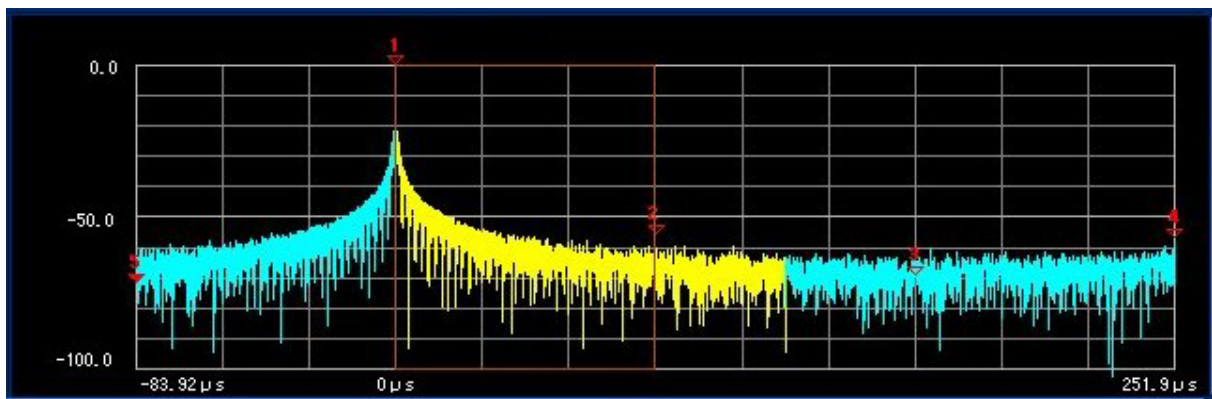


図 3.2-17 遅延プロファイル (43ch 上図：満潮時 下図：干潮時)

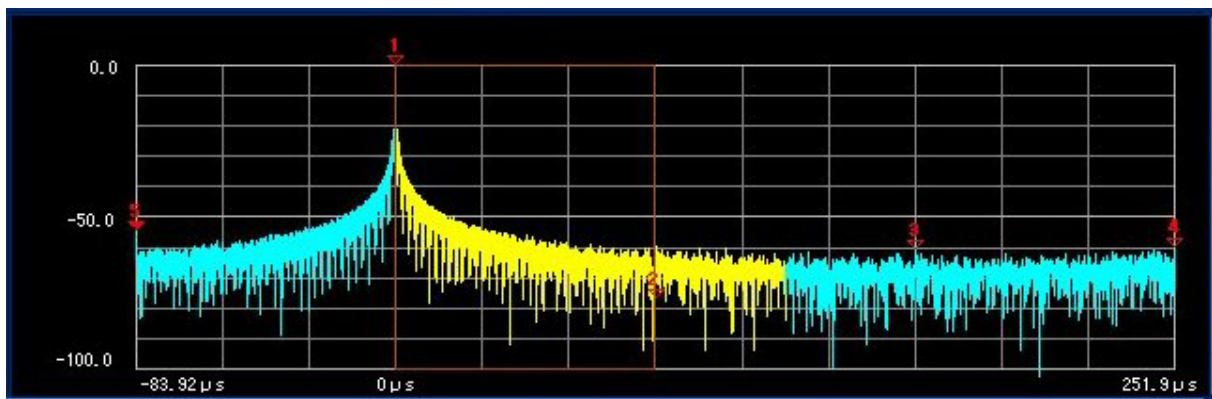
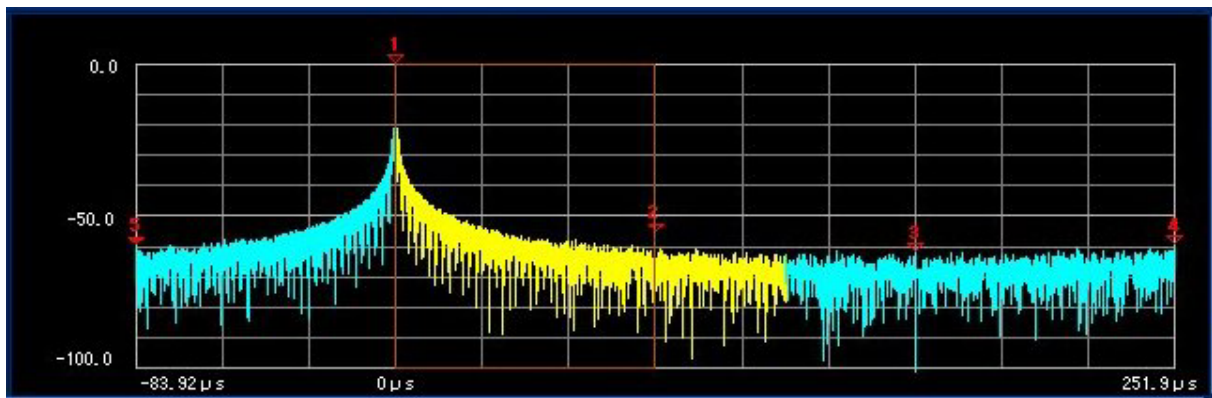


図 3.2-18 遅延プロファイル (51ch 上図：満潮時 下図：干潮時)

測定結果より、有線テレビジョン放送事業用固定局を用いて無線による海上伝搬をした場合において、特に大きな遅延波は発生していないと言える。

また、有線テレビジョン放送法施行規則に定められた「受信者端子における搬送波のレベルと当該搬送波の反射による電磁波のレベルとの差」から考えても、後段に伝送路を接続した場合にも十分な余裕を持つ D/U 比を確保出来ていると言える。

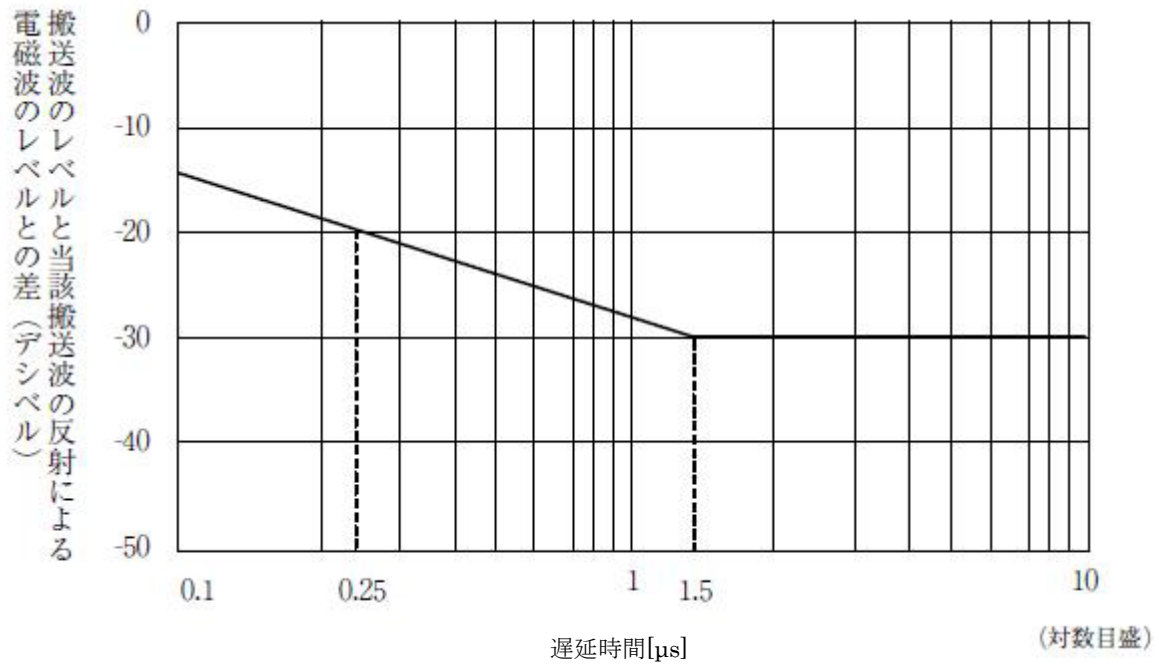


図 3.2-19 搬送波のレベルと当該搬送波の反射による電磁波のレベルとの差
(有線テレビジョン放送法施行規則より)

(8) 直接波と反射波の D/U に関する検討

今回の試験において構築した実験試験局における直接波と反射波の D/U 比について、計算式を用いてその程度を検討する。

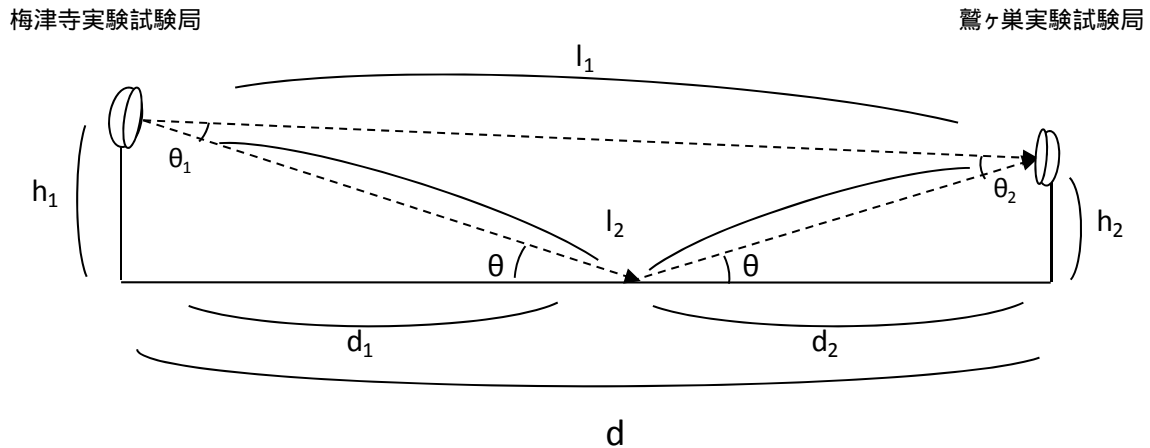


図 3.2-20 実験試験局プロファイル・イメージ図

d : 梅津寺・鷺ヶ巣局間距離

h_1 : 梅津寺局 海面からの高度(敷地標高+アンテナ高・潮位観測基準面+潮位)

h_2 : 鷺ヶ巣局 海面からの高度(敷地標高+アンテナ高・潮位観測基準面+潮位)

直接波の伝搬距離を l_1 、反射波の伝搬距離を l_2 とすると、それぞれ以下のように示すことができる。

$$l_1 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} \quad (1)$$

$$l_2 = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} \quad (2)$$

また、反射波の海面への入射角・反射角は θ で表せる。

$$\theta = \arctan \frac{h_1}{d_1} \quad (3)$$

ここで d_1 は以下である。

$$d_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} d \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} d \quad (5)$$

上記から、反射波の送信アンテナからの放射角 θ_1 と、受信アンテナへの入射角 θ_2 を求める。

$$\theta_1 = \theta - \arctan \frac{h_1 - h_2}{d} \quad (6)$$

$$\theta_2 = \theta + \arctan \frac{h_1 - h_2}{d} \quad (7)$$

上式より、直接波と反射波の伝搬距離、並びに反射波のアンテナへの入力角が求められる。ここで、以上の計算式を用いて、実験試験局における直接波と反射波の D/U 比を求める。

算出に用いる各種条件は以下の通りとする。

d : 梅津寺・鷺ヶ巣局間距離	=4,100[m]
h ₁ : 梅津寺局 海面からの高度	=100.9[m](干潮時) =97.8[m](満潮時)
h ₂ : 鷺ヶ巣局 海面からの高度	=58.7[m](干潮時) =55.6[m](満潮時)

干潮時における直接波と反射波の伝搬距離と、アンテナへの入力角を求める。直接波と反射波の伝搬距離は

$$l_1 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} = 4,100.2[\text{m}]$$

$$l_2 = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} = 4,103.1[\text{m}]$$

となる。

次に、反射波の送信アンテナからの放射角 θ_1 と、受信アンテナへの入射角 θ_2 を求める。

$$\theta = \arctan \frac{h_1}{d_1} = 2.2[^\circ]$$

$$\theta_1 = \theta - \arctan \frac{h_1 - h_2}{d} = 1.6[^\circ]$$

$$\theta_2 = \theta + \arctan \frac{h_1 - h_2}{d} = 2.8[^\circ]$$

同様の手順で満潮時における D/U 比を求める。満潮時の直接波と反射波の伝搬距離は

$$l_1 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} = 4,100.2[\text{m}]$$

$$l_2 = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} = 4,102.8[\text{m}]$$

であり、反射波の送信アンテナからの発射角 θ_1 と、受信アンテナへの入射角 θ_2 は

$$\theta = \arctan \frac{h_1}{d} = 2.1[^\circ]$$

$$\theta_1 = \theta - \arctan \frac{h_1 - h_2}{d} = 1.5[^\circ]$$

$$\theta_2 = \theta + \arctan \frac{h_1 - h_2}{d} = 2.7[^\circ]$$

となる。

算出した直接波と反射波の伝搬距離、並びに送受信アンテナへの入出力の角度から、直接波と反射波の無線受信機への受信入力レベルを算出し、D/U比を求める。

表 3.2-13 直接波と反射波における受信入力レベルと D/U 比の計算シート

項番	項目	単位	直接波	反射波		備考
				干潮時	満潮時	
1	伝搬距離	km	4.1002	4.1031	4.1029	
2	中心周波数	GHz	23.483	23.483	23.483	
3	チャンネル帯域幅	MHz	5.6	5.6	5.6	
4	空中線電力	dBm	-1.0	-1.0	-1.0	チャンネル当たりの送信電力[dBm]。
5	給電線系損失(送信)	dB	1.5	1.5	1.5	送信局側における給電線損失、 接続損失の合計値
6	送信空中線の絶対利得	dBi	40.4	30.2	32.4	反射波の利得は、パラボラアンテナの放射 パターンより算出
7	自由空間損失	dB	132.1	132.1	132.1	$L_p = 32.4 + 20\text{LOG}(l) + 20\text{LOG}(f)$ l: 伝搬距離[km], f: 周波数[MHz]
8	受信空中線の絶対利得	dBi	40.4	18.4	18.4	反射波の利得は、パラボラアンテナの放射 パターンより算出
9	給電線系損失(受信)	dB	1.5	1.5	1.5	受信局側における給電線損失、 接続損失の合計値
10	受信入力レベル	dBm	-55.3	-87.5	-85.3	
11	D/U 比	dB	-	-32.2	-30.0	
12	到達時間	ns	13667.3	13677.0	13676.3	
13	遅延時間	ns	-	9.7	9.0	

結果として、D/U 比は干潮時において 32.2dB、満潮時においては 30.0dB、反射波の遅延時間は干潮時において 9.7ns、満潮時においては 9.0ns であった。

以上の結果より、今回の実験試験局での海上伝搬における直接波と反射波の D/U 比は、潮位の変化により多少の変動はあるものの、干潮時、満潮時の双方において 30dB 確保出来ており、海面反射による反射波は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している事が確認出来た。

また、潮位の変化により反射波の位相に変化は生じるが、D/U 比を 30dB 以上確保出来ている事からも、直接波に大きな影響を及ぼす事はないと言える。

次に今回の実験試験局を開設するにあたって検討した、フレネルゾーンの最大半径について述べる。電波が伝搬するとき、電波は直線上を伝搬するのではなく、図 3.2-21 のように広がりを持つ。この広がりをフレネルゾーンといい、直接波との経路差が $\lambda/2$ となる点を結んだ楕円を特に第 1 フレネルゾーンという。

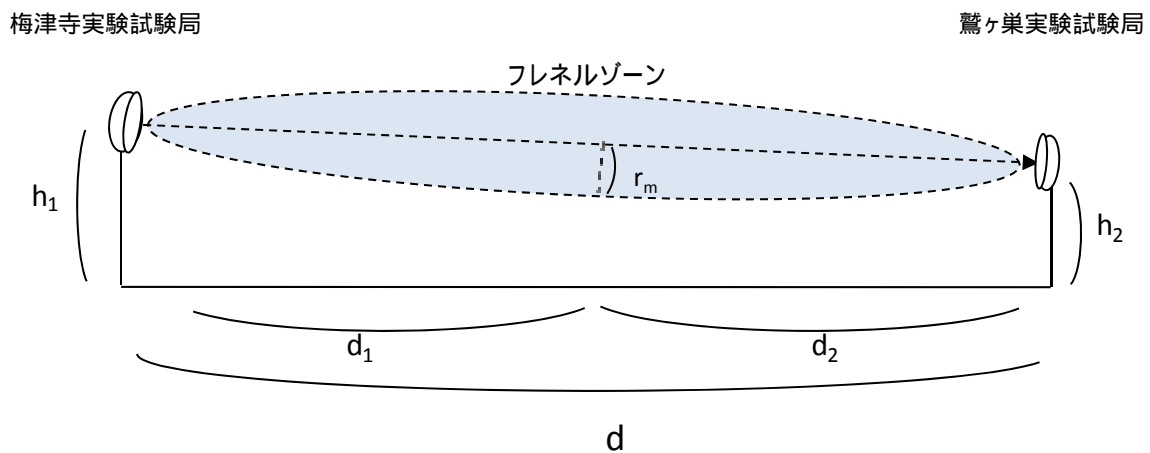


図 3.2-21 フレネルゾーン

第 m 次のフレネルゾーンの最大半径 r_m は次式で求められる。

$$r_m = \sqrt{m\lambda \frac{d_1 \times d_2}{d_1 + d_2}} \quad (8)$$

表 3.2-14 に実験試験局におけるフレネルゾーンの最大半径を示す。

表 3.2-14 実験試験局におけるフレネルゾーンの最大半径

m	第1次	第2次	第3次	...	第10次	...	第236次
フレネル半径 [m]	3.6	5.1	6.3		11.4		55.6

表 3.2-14 より、実験試験局における第一フレネルゾーンの最大半径 $r_1=3.6\text{m}$ である。実験試験局における海面からの高度は、海面に最も近い鷲ヶ巣局の満潮時において 55.6m であり、第一フレネルゾーン内に遮蔽物が存在しないことが分かる。電波伝搬時のクリアランスは、第一フレネルゾーンの半分が遮蔽された状態で 6dB の減衰、完全に遮蔽された状態で 16dB の減衰が生じるが、今回の実験試験局については、クリアランスは問題無く確保出来ている事が分かる。また、海面によりフレネルゾーンに影響が生じるのは、第 236 次フレネルゾーン（最大半径 55.6m ）以降であり、偶数次のフレネルゾーンの反射によって、信号の減衰が生じることもないといえる。よって、実験試験局においては、海面により信号の減衰は発生していないと言える。

以上の結果より、今回の構築した実験試験局において 23GHz 帯無線による海上伝搬を行った場合においては、パラボラアンテナの指向性が高いことも要因となり、海面反射の影響による信号品質への影響は無視できる範囲であることが確認出来た。無線局の高度が海面から非常に近い場合や、送受信局間の高低差が無い場合等については、海面反射による直接波への影響や、海面によるフレネルゾーンの遮蔽が発生する可能性があるが、無線局の設置にあたって回線設計や事前の机上検討によって適切な置局位置を検討する事により、海面反射による信号品質への影響を抑えられると考えられる。

3.3 海面反射試験（信号品質と潮位の相関に係る確認試験）

3.3.1 目的

23GHz 帯の周波数を利用する有線テレビジョン放送事業用無線局を用いて無線による海上伝搬をした場合における海面反射の影響を確認することを目的とする。本試験では、信号品質(搬送波レベル、変調誤差比、ビット誤り率等)を継続的に測定し、併せて気象庁において観測された潮位・気温等との相関から、潮位変化による信号品質への影響を確認する。

3.3.2 測定項目と測定方法

(1) 測定項目

信号品質と潮位の相関に係る確認試験の測定項目を表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 信号品質と潮位の相関に係る試験測定項目

No.	測定項目	信号	対応局		データ取得間隔	備考
			梅津寺局 (送信局)	鷺ヶ巣局 (受信局)		
	搬送波レベル	OFDM			2 分間	
		64QAM				
	搬送波対雑音比(C/N 比)	OFDM			2 分間	雑音電力: 伝送信号と隣接する 2 つの空き CH(19ch と 26ch)の平均値をとる
		64QAM				
	ビット誤り率(BER)	OFDM			2 分間	
		64QAM				
	変調誤差比(MER)	OFDM			2 分間	
		64QAM				
	降雨強度	-			1 分間	

(2) 測定方法

信号品質と潮位の相関に係る試験では、図 1.3-1 伝搬試験回線概略図（ルート図とプロファイル図）に示すように、松山市梅津寺町に設置した送信局（以下、梅津寺局）に、OFDM 信号を 3 波、64QAM 信号を 2 波入力し、4.1km 先の興居島（松山市由良町）に設置した受信局（以下、鷺ヶ巣局）まで、23GHz 帯無線周波数による無線伝送（海上伝搬路を含む）を行う。

梅津寺局に入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、鷺ヶ巣局から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の搬送波レベル、C/N 比、BER、MER（表 3.3-1 の①から

④) を 2 分間隔で計測し、各局に設置したパソコンに保存した。

降雨量等の気象データについては、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計を使用して、1 分間降雨量を計測し、各局に設置したパソコンに保存した。

① 搬送波レベル

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の搬送波レベルを 2 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 搬送波レベル測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2 搬送波レベル測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	測定信号の中心周波数	測定信号の中心周波数
測定帯域幅	5.6 MHz	5.274 MHz
SPAN	10 MHz	10 MHz
RBW	30 kHz	100 kHz
VBW	300 kHz	1 MHz
検波モード	サンプル	サンプル
アベレージ	30 回	30 回

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.5、JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照

② 搬送波対雑音比 (C/N 比)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の搬送波対雑音比 (C/N 比) を 2 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 搬送波対雑音比 (C/N 比) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.3-3 に示す。
- ・ 雑音レベルについては、伝送信号と隣接する空きチャンネル 2 チャンネルを測定し、平均値を雑音レベルとした。

表 3.3-3 C/N 比測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	測定信号の中心周波数	測定信号の中心周波数
雑音レベル測定 中心周波数	509 MHz 551 MHz	509 MHz 551 MHz
測定帯域幅	5.6 MHz	5.274 MHz
SPAN	10 MHz	10 MHz
RBW	30 kHz	100 kHz
VBW	300 kHz	1 MHz
検波モード	サンプル	サンプル
アベレージ	30 回	30 回

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.5、JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照

③ ビット誤り率 (BER)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号のビット誤り率 (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 2 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ ビット誤り率 (BER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.3-4 に示す。

表 3.3-4 BER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	測定信号の中心周波数	測定信号の中心周波数
BER 測定法	PRBS 法(PRBS + SYNC)	PRBS 法(PRBS + SYNC)
測定時間	1 秒 ^{注1}	1 秒 ^{注1}

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.6、JCTEA-STD-010-OFDM 4.7 参照
注 1：1 秒間の測定による BER 測定における測定レンジは 1×10^{-7} 。

④ 変調誤差比 (MER)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の変調誤差比 (MER) を 2 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 変調誤差比 (MER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.3-5 に示す。

表 3.3-5 MER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	測定信号の中心周波数	測定信号の中心周波数
アベレージ	10	10
測定階層	All Layer(Conventional)	-

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.9、JCTEA-STD-010-OFDM 4.11 参照

⑤ 降雨強度

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計を使用して、0.0083mm の雨滴数を 1 分間隔でカウントした。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 1 分間降雨量 (降雨強度) は、計測した雨滴数と 0.0083mm を乗算して算出した。

3.3.3 信号周波数配列

信号品質と潮位の相関に係る確認試験において、23GHz 帯無線周波数で無線伝送（海上伝搬路を含む）するデジタル信号は、OFDM 信号を 3 波、64QAM 信号を 2 波の計 5 波とし、広帯域において海面反射の影響を確認出来るように配列した。

信号品質と潮位の相関に係る確認試験における信号周波数配列を表 3.3-6 に示す。

表 3.3-6 信号周波数配列（信号品質と潮位の相関に係る確認試験）

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	変調方式	信号源	備考
13	470 ~ 476	23360 ~ 23366	OFDM	OFDM-SP	OFDM 信号発生器の信号を周波数変換(33 13CH)
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	-	-	雑音レベル測定チャンネル
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	64QAM	64QAM 変調器	
26	548 ~ 554	23438 ~ 23444	-	-	雑音レベル測定チャンネル
33	590 ~ 596	23480 ~ 23486	OFDM	OFDM 信号発生器	
43	650 ~ 656	23540 ~ 23546	64QAM	64QAM 変調器	
52	704 ~ 710	23594 ~ 23600	OFDM	OFDM-SP	OFDM 信号発生器の信号を周波数変換 (33⇒52CH)

3.3.4 測定系統図

信号品質と潮位の相関に係る確認試験における測定系統図（データ収集系）を図 3.3-1 に示す。

本データ収集系では、鷺ヶ巣局（受信局）および梅津寺局（送信局）で収集したデータを各局に設置しているパソコンに 2 分間隔で集積し、1 時間ごとに測定サーバへアップロードしている。

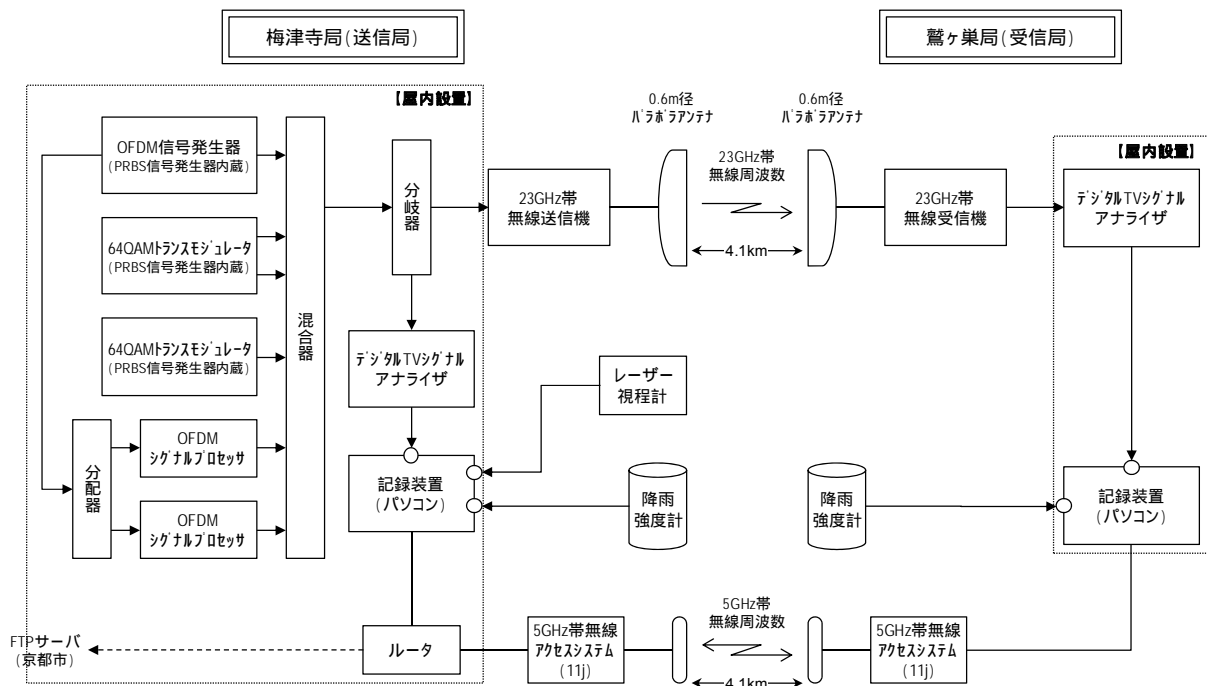


図 3.3-1 信号品質と潮位の相関に係る確認試験における測定系統図（データ収集系）

3.3.5 回線設計

信号品質と潮位の相関に係る確認試験における回線設計を表 3.3-7 に示す。
 所要受信 C/N 比を 30.0dB、年間回線稼働率の目標値を 99.95%以上として設計した。

表 3.3-7 信号品質と潮位の相関に係る確認試験における回線設計

項番	項目	単位	OFDM	64QAM	備考
1	伝搬距離	km	4.1	4.1	梅津寺局 鷲ヶ巣局間の距離
2	1 分間雨量累積分布の 0.0075%値	mm/分	1.24	1.24	電波法関係審査基準 別図第 35 号より
3	中心周波数	GHz	23.42	23.42	
4	チャンネル帯域幅	MHz	5.6	5.274	
5	空中線電力	dBm	-1.0	-1.0	チャンネル当たりの送信電力[dBm]
6	給電線系損失(送信)	dB	1.5	1.5	送信局側における給電線損失、接続損失の合計値
7	送信空中線の絶対利得	dBi	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
8	自由空間損失	dB	132.0	132.0	$L_p = 32.4 + 20\text{LOG}(d) + 20\text{LOG}(f)$ d:伝搬距離[km]、f:周波数[MHz]
9	受信空中線の絶対利得	dBi	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
10	給電線系損失(受信)	dB	1.5	1.5	受信局側における給電線損失、接続損失の合計値
11	受信入力レベル	dBm	-55.2	-55.2	
12	受信機雑音電力レベル	dBm	-99.5	-99.8	$P_{mi} = 10\text{LOG}(BW) + NF - 114$ BW:受信機通過帯域幅[MHz]、 NF:受信機雑音指数[dB] = 7.0[dB]
13	算出された受信 C/N 比	dB	44.3	44.5	標準状態における受信 C/N 比[dB]
14	送信 C/N 比	dB	38.5	38.8	
15	無線リンクトータル C/N 比	dB	37.5	37.7	送信 C/N 比と受信 C/N 比の電力和。
16	降雨量の地域分布による係数	-	0.75	0.75	X_r , 電波法関係審査基準 図 1 より
17	0.0075%1 分間降雨量 1.66mm/分の降雨減衰量	dB	17.0	17.0	Γ_t , 電波法関係審査基準 図 2 より
18	当該区間の降雨減衰量	dB	12.75	12.75	回線稼働率が 99.95%となる時の降雨減衰量。 $\Gamma_r = X_r \times \Gamma_t$
19	降雨時における受信 C/N 比	dB	31.5	31.8	
20	降雨時における無線リンクトータル C/N 比	dB	30.7	31.0	送信 C/N 比と降雨時の受信 C/N 比の電力和。
21	所要 C/N 比	dB	30.0	30.0	最小受信 C/N 比[dB]。本リンクにおける閾値。
22	システムマージン	dB	0.4	0.7	
23	降雨マージン	dB	13.9	14.1	標準状態の受信 C/N 比[dB]と最小受信 C/N 比[dB]の差分
24	年間回線稼働率	%	99.95 以上	99.95 以上	
25	システム年間不稼働時間	hour	4.38	4.38	1 年当たり

3.3.6 測定結果

(1) 試験期間全体の測定結果

図 3.3-2 に試験期間中(2009年9月19日から2009年10月1日まで)の OFDM 信号(代表として 33ch)の信号品質(搬送波レベル、搬送波対雑音比(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))と1分間降雨量(降雨強度)の時系列変化を示す。

図 3.3-2 は、鷲ヶ巣局(受信局)で測定した受信機から出力される OFDM 信号の測定結果を示している。

C/N比のグラフ中にある赤線は、試験伝送路における回線設計値(閾値)である C/N比 30dBを示している。BERのグラフ中にある赤線は、有線テレビジョン放送法施行規則 第26条の14の2および第26条の18の2の「入力信号の条件」に規定されているビット誤り率 1×10^{-4} (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、灰色線は、信号品質の劣化により測定信号との同期がとれず、BERデータが取得できなかったポイント(BER= 1×10^0 として表示)を示している。1分間降雨量のグラフ中にある青線は、回線設計に用いた降雨設計値 1.24mm/分(松山地区における 0.0075%1分間降雨量)を示している。

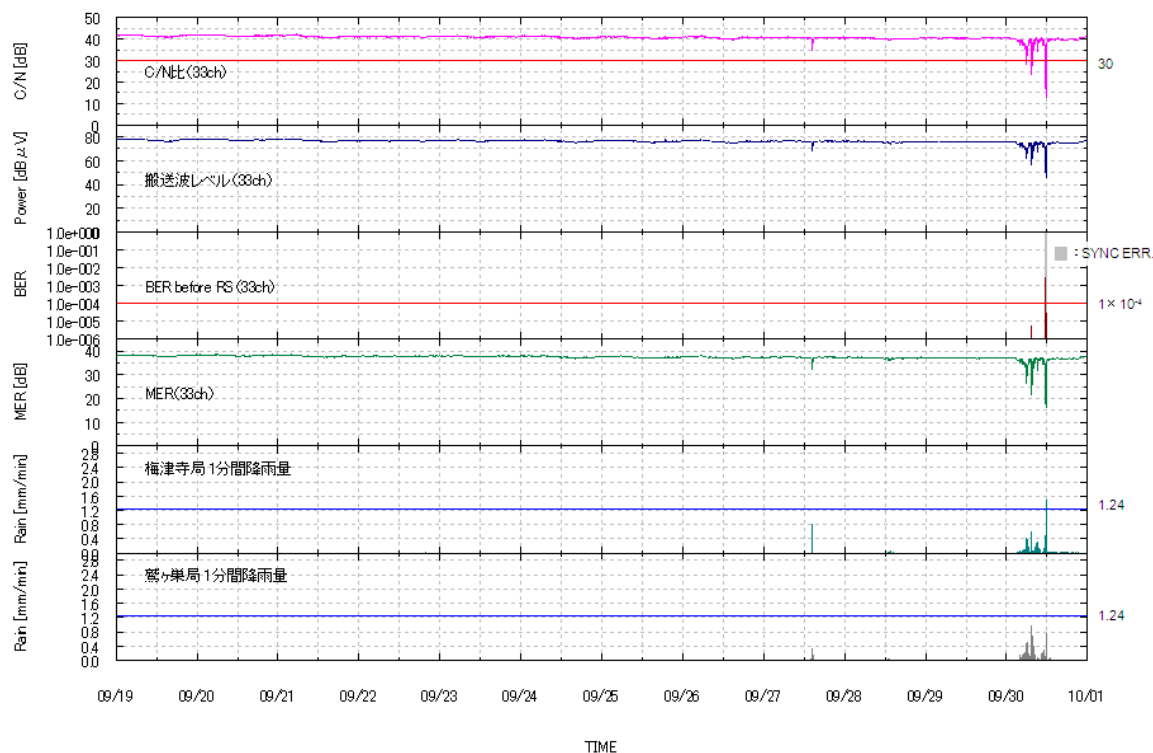


図 3.3-2 鷲ヶ巣局(受信局) OFDM 測定結果(2009/9/19~2009/10/1)

試験期間中、鷲ヶ巣局(受信局)で測定した受信機から出力される OFDM 信号は、搬送波レベルと C/N比の変動が確認されており、それに伴い BER や MER が劣化している事が分かる。この変動と劣化は、降雨が観測されたときのみ発生していることが読み取れる。

大幅な降雨減衰が見られない状態では、OFDM 信号の信号品質（搬送波レベル、C/N 比、BER、MER）は安定しており、海面反射等により信号品質に大きな変化が生じている事はないと考えられる。

(2) 搬送波レベルと潮位の測定結果

搬送波レベルの変化と潮位の影響を検討するために、試験期間中の OFDM 信号（代表として 33ch）の搬送波レベルと潮位、気温の時系列変化を図 3.3-3 と図 3.3-4 に示す。

図 3.3-3 に 2009 年 9 月 19 日 0:00 から 2009 年 10 月 1 日 0:00 にかけての搬送波レベルと潮位、気温の時系列変化を示す。

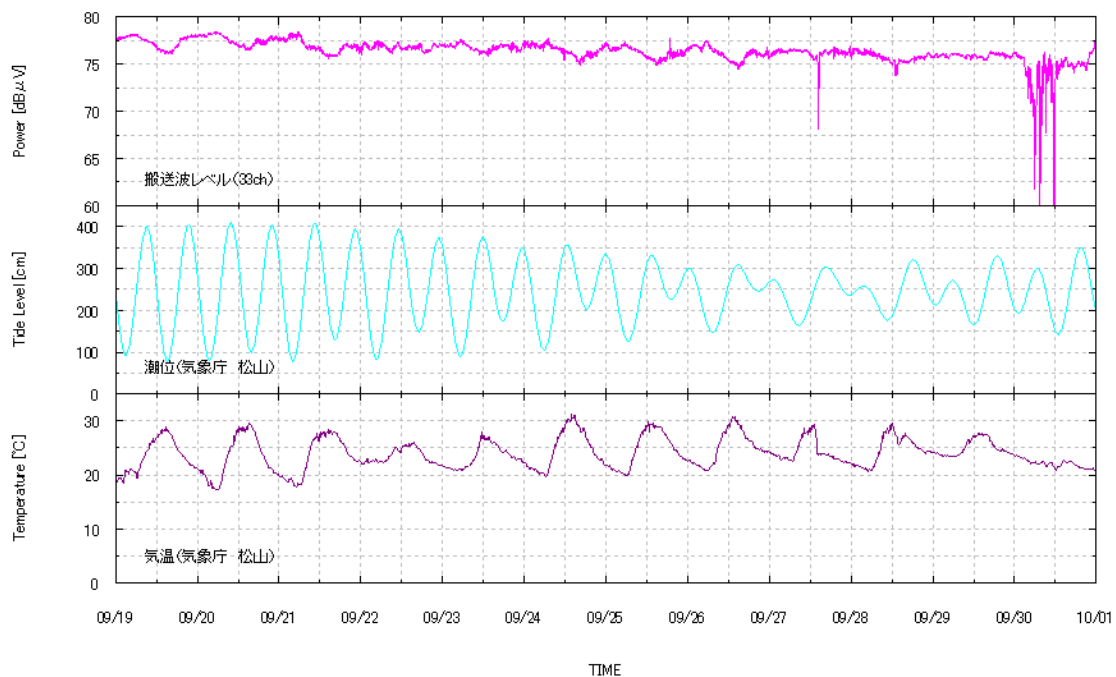


図 3.3-3 鷲ヶ巣局（受信局）搬送波レベルと潮位・気温 測定結果（2009/9/19~2009/10/1）

図 3.3-4 に 2009 年 9 月 19 日 0:00 から 2009 年 9 月 20 日 0:00 にかけての OFDM 信号（代表として 33ch）の搬送波レベルと潮位、気温の時系列変化を示す。

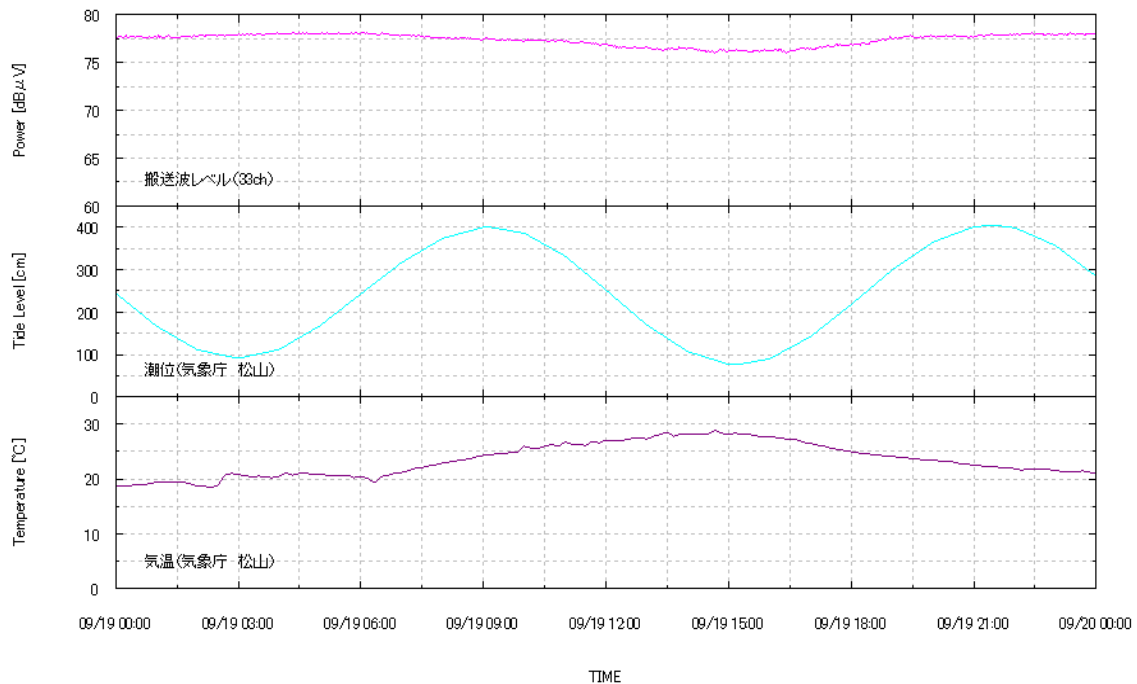


図 3.3-4 鷺ヶ巣局（受信局）搬送波レベルと潮位・気温 測定結果（2009/9/19）

試験期間中、鷺ヶ巣局（受信局）で測定した受信機から出力される OFDM 信号は、降雨の有無にかかわらず、搬送波レベルの変動が一定のサイクルで変動を繰り返している事が読み取れる。この変動は気温の変動のサイクルと一致しており、気温の変動によって無線機特性が変化し、搬送波レベルが変動していると考えられる。

他方、潮位の変動と搬送波レベルの変動には相関は見られず、潮位の変化に起因する海面反射の影響により、搬送波レベル、並びに信号品質(C/N 比、BER、MER)の変化は生じていないことが分かった。

ここで発生している気温と連動したレベル変動は、降雨による受信レベルの減衰量を明らかにするために 23GHz 帯無線装置の持つ AGC (Auto Gain Control) 等の機能をオフにして、MGC (Manual Gain Control) モードで動作させていた影響である。

有線テレビジョン放送事業用固定局を実際に運用するにあたっては、一般的に AGC 機能を実装した無線機を用いるものと考えられが、例えば今回の実験に用いた無線機においては、AGC 機能によって +50°C ~ -40°C の気温の範囲内において ±1dB の出力を保てる仕様となっており、運用の際に気温変動によって問題が生じる事はないと判断出来る。

(3) 各チャンネルの搬送波レベルの測定結果

周波数帯により搬送波レベルに変化が生じていないことを確認するために、試験期間中の各チャンネルの搬送波レベルを図 3.3-5 に示す。

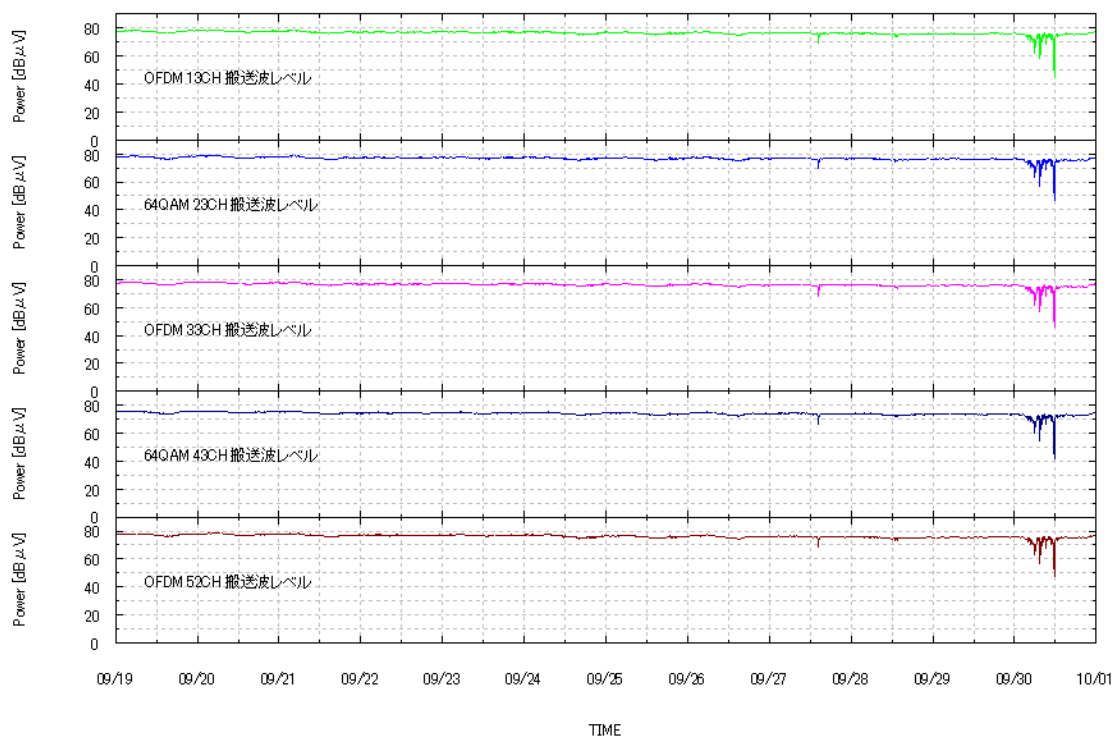


図 3.3-5 鷲ヶ巣局（受信局）搬送波レベル測定結果（2009/9/19~2009/10/1）

測定結果より、搬送波レベルの変化は周波数帯によらず同じ傾向を示しており、また OFDM 信号と 64QAM 信号においても同様の変動である事が確認出来た。

以上の結果より、実験試験局において潮位の変化による信号品質への影響は見られず、また、周波数の違いにより海面反射による劣化等が発生する事も無かった。

3.4 デジタル信号とアナログ信号の混在伝送試験

3.4.1 目的

23GHz 帯の周波数を利用する有線テレビジョン放送事業用無線局のうち、変調方式に FDM-SSB 方式を使用するものにおいて、OFDM 信号や 64QAM 信号のデジタル信号と、標準テレビジョン放送方式（以下 NTSC という。）のアナログ信号を同時伝送する場合の信号品質（搬送波レベル、C/N 比、ビット誤り率、変調誤差比等）と降雨量を計測し、技術試験（室内試験）において求めたアナログ信号とデジタル信号のレベル差の下限値を用いて運用を行った場合に、デジタルの信号品質に問題が無いことを確認することを目的とする。

3.4.2 測定項目と測定方法

(1) 測定項目

デジタルチャンネル信号とアナログチャンネル信号を同時伝送する場合の伝搬特性試験（以下、デジタル・アナログ混在伝送試験という）の測定項目を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 デジタル・アナログ混在伝送試験における測定項目

No.	測定項目	信号	対応局		データ取得間隔	備考
			梅津寺局 (送信局)	鷺ヶ巣局 (受信局)		
	搬送波レベル	OFDM			1 分間	
		64QAM				
		NTSC				
	搬送波対雑音比(C/N 比)	OFDM			1 分間	雑音電力: 伝送信号と隣接する 2 つの空き CH(19ch と 26ch)の平均値をとる
		64QAM				
		NTSC				
	ビット誤り率(BER)	OFDM			1 分間	
		64QAM				
	変調誤差比(MER)	OFDM			1 分間	
		64QAM				
	降雨強度	-			1 分間	

(2) 測定方法

デジタル信号伝送試験では、図 1.3-1 伝搬試験回線概略図(ルート図とプロファイル図)に示すように、松山市梅津寺町に設置した送信局(以下、梅津寺局)に、OFDM 信号を 3 波、64QAM 信号を 3 波、NTSC 信号を 2 波入力し、4.1km 先の興居島(松山市由良町)に設置した受信局(以下、鷺ヶ巣局)まで、23GHz 帯無線周波数による無線伝送(海上伝搬路を含む)を行う。

梅津寺局に入力する前の OFDM 信号、64QAM 信号および NTSC 信号(それぞれ 1 波ずつ)と、鷺ヶ巣局から出力される OFDM 信号、64QAM 信号および NTSC 信号(それぞれ 1 波ずつ)の搬送波レベル、C/N 比、デジタル信号については BER、MER(表 3.4-1 の①から④)を 1 分間隔で計測し、各局に設置したパソコンに保存した。

降雨量等の気象データについては、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計を使用して、1 分間降雨量を計測し、各局に設置したパソコンに保存した。併せて、気象庁の松山气象台より発表されている AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)データ(10 分間降水量、1 時間降水量等)を取得した。

① 搬送波レベル

- 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号、64QAM 信号および NTSC 信号と、受信機から出力される OFDM 信号、64QAM 信号および NTSC 信号の搬送波レベルを 1 分間隔で計測した。
- 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- 搬送波レベル測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.4-2 に示す。

表 3.4-2 搬送波レベル測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値		
	OFDM 信号	64QAM 信号	NTSC 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz	497.25 MHz
測定帯域幅	5.6 MHz	5.274 MHz	-
SPAN	10 MHz	10 MHz	10 MHz
RBW	30 kHz	100 kHz	300 kHz
VBW	300 kHz	1 MHz	1 MHz
検波モード	サンプル	サンプル	ピーク
アベレージ	30 回	30 回	30 回

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.5、JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照

② 搬送波対雑音比 (C/N 比)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号、64QAM 信号および NTSC 信号と、受信機から出力される OFDM 信号、64QAM 信号および NTSC 信号の搬送波対雑音比 (C/N 比) を 1 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 搬送波対雑音比 (C/N 比) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.4-3 に示す。
- ・ 雑音レベルについては、デジタル信号と隣接する空きチャンネル 2 チャンネルを測定し、平均値を雑音レベルとした。

表 3.4-3 C/N 比測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値		
	OFDM 信号	64QAM 信号	NTSC 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz	497.25 MHz
雑音レベル測定 中心周波数	509 MHz 551 MHz	509 MHz 551 MHz	509 MHz 551 MHz
測定帯域幅	5.6 MHz	5.274 MHz	-
SPAN	10 MHz	10 MHz	10 MHz
RBW	30 kHz	100 kHz	300 kHz
VBW	300 kHz	1 MHz	1 MHz
検波モード	サンプル	サンプル	ピーク
アベレージ	30 回	30 回	30 回

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.5、JCTEA-STD-010-OFDM 4.6 参照

③ ビット誤り率 (BER)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号のビット誤り率 (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 1 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ ビット誤り率 (BER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.4-4 に示す。

表 3.4-4 BER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz
BER 測定法	PRBS 法(PRBS + SYNC)	PRBS 法(PRBS + SYNC)
測定時間	1 秒 ^{注1}	1 秒 ^{注1}

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.6、JCTEA-STD-010-OFDM 4.7 参照
注 1：1 秒間の測定による BER 測定における測定レンジは 1×10^{-7} 。

④ 変調誤差比 (MER)

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局の各測定点に接続したデジタル TV シグナル・アナライザを使用して、送信機へ入力する前の OFDM 信号および 64QAM 信号と、受信機から出力される OFDM 信号および 64QAM 信号の変調誤差比 (MER) を 1 分間隔で計測した。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 変調誤差比 (MER) 測定時のデジタル TV シグナル・アナライザの設定を表 3.4-5 に示す。

表 3.4-5 MER 測定時におけるデジタル TV シグナル・アナライザの設定

設定項目	設定値	
	OFDM 信号	64QAM 信号
中心周波数	521.142857 MHz	539 MHz
アベレージ	10	10
測定階層	All Layer(Conventional)	-

日本 CATV 技術協会 標準規格 JCTEA-STD-010-64QAM 4.9、JCTEA-STD-010-OFDM 4.11 参照

⑤ 降雨強度

- ・ 梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計を使用して、0.0083mm の雨滴数を 1 分間隔でカウントした。
- ・ 測定したデータは、測定時刻とともにデータ収集用のパソコンに記録し、1 時間ごとに測定サーバにアップロードし蓄積した。
- ・ 1 分間降雨量 (降雨強度) は、計測した雨滴数と 0.0083mm を乗算して算出した。

3.4.3 信号周波数配列

デジタル・アナログ混在伝送試験において、23GHz 帯無線周波数で無線伝送（海上伝搬路を含む）するデジタル信号は、OFDM 信号を 3 波、64QAM 信号を 3 波、NTSC 信号を 2 波の計 8 波とした。

デジタル・アナログ混在伝送試験における信号周波数配列を図 3.4-1 信号周波数配列（デジタル・アナログ混在伝送試験）と表 3.4-6 に示す。

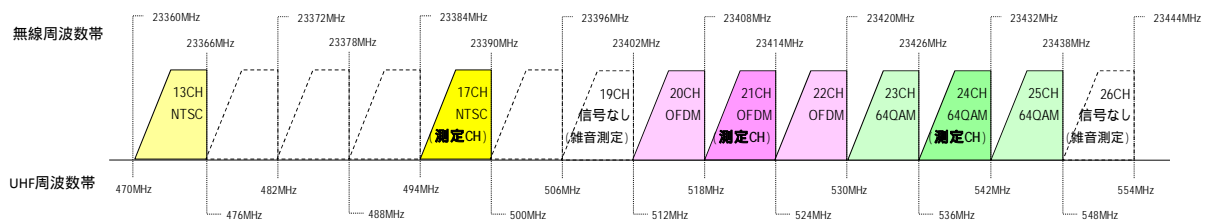


図 3.4-1 信号周波数配列（デジタル・アナログ混在伝送試験）

表 3.4-6 信号周波数配列（デジタル・アナログ混在伝送試験）

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	変調方式	信号源	備考
13	470 ~ 476	23360 ~ 23366	NTSC	NTSC-TV-SP	
17	494 ~ 500	23384 ~ 23390	NTSC	NTSC 変調器	測定チャンネル
19	506 ~ 512	23396 ~ 23402	-	-	雑音レベル測定チャンネル
20	512 ~ 518	23402 ~ 23408	OFDM	OFDM-SP	「テレビ愛媛」放送波を周波数変換(27 20CH)
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	OFDM	OFDM 信号発生器	測定チャンネル
22	524 ~ 530	23414 ~ 23420	OFDM	OFDM-SP	「テレビ愛媛」放送波を周波数変換(27 22CH)
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	64QAM	64QAM 変調器	
24	536 ~ 542	23426 ~ 23432	64QAM	64QAM 変調器	測定チャンネル
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	64QAM	64QAM 変調器	
26	548 ~ 554	23438 ~ 23444	-	-	雑音レベル測定チャンネル

FDM-SSB 搬送波における電波の情報を表 3.4-7 に示す。

表 3.4-7 FDM-SSB 搬送波における電波の情報

項目	値
中心周波数	23399 MHz
周波数帯域幅	23360MHz~23438MHz(78 MHz)のうち 8 波
電波の型式	J9W

3.4.4 測定系統図

デジタル・アナログ混在伝送試験における測定系統図（データ収集系）を図 3.4-2 に示す。

本データ収集系では、鷺ヶ巣局（受信局）および梅津寺局（送信局）で収集したデータを各局に設置しているパソコンに 1 分間隔で集積し、1 時間ごとに測定サーバへアップロードしている。

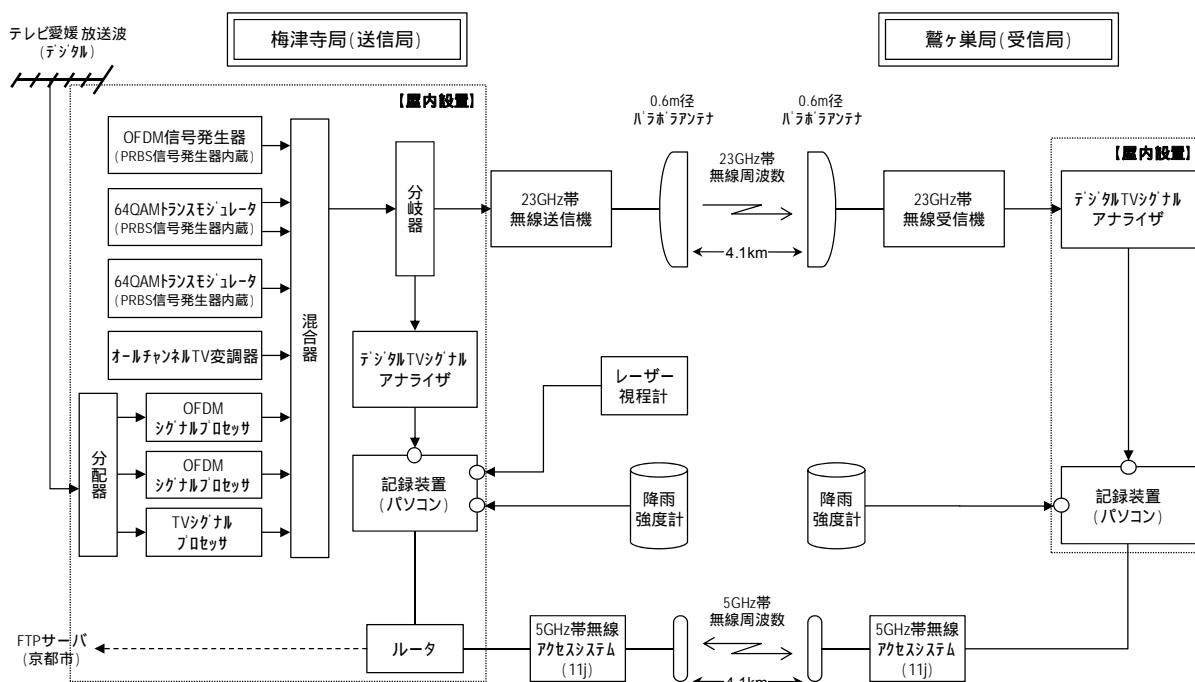


図 3.4-2 デジタル・アナログ混在伝送試験における測定系統図（データ収集系）

3.4.5 回線設計

デジタル・アナログ混在伝送試験における回線設計を表 3.4-8 に示す。

表 3.4-8 デジタル・アナログ混在伝送試験における回線設計

項番	項目	単位	OFDM	64QAM	NTSC	備考
1	伝搬距離	km	4.1	4.1	4.1	梅津寺局 鷲ヶ巣局間の距離
2	1分間雨量累積分布の0.0075%値	mm/分	1.24	1.24	1.24	電波法関係審査基準 別図第35号より
3	中心周波数	GHz	23.42	23.42	23.42	
4	チャンネル帯域幅	MHz	5.6	5.274	4.0	
5	空中線電力	dBm	-4.9	-3.2	9.5	チャンネル当たりの送信電力[dBm] NTSC 信号に対するレベル差 OFDM 信号:-14.4dB、64QAM 信号:-12.7dB
6	給電線系損失(送信)	dB	1.5	1.5	1.5	送信局側における給電線損失、接続損失の合計値
7	送信空中線の絶対利得	dBi	40.4	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
8	自由空間損失	dB	132.0	132.0	132.0	$L_p = 32.4 + 20\text{LOG}(d) + 20\text{LOG}(f)$ d:伝搬距離[km]、f:周波数[MHz]
9	受信空中線の絶対利得	dBi	40.4	40.4	40.4	アンテナ径:0.6[m]
10	給電線系損失(受信)	dB	1.5	1.5	1.5	受信局側における給電線損失、接続損失の合計値
11	受信入力レベル	dBm	-59.1	-57.4	-55.5	
12	受信機雑音電力レベル	dBm	-101.5	-101.8	-103.0	$P_{mi} = 10\text{LOG}(BW) + NF - 114$ BW:受信機通過帯域幅[MHz]、 NF:受信機雑音指数[dB] = 5.0[dB]
13	算出された受信 C/N 比	dB	42.4	44.3	58.2	標準状態における受信 C/N 比[dB]
14	送信 C/N 比	dB	39.6	41.6	55.5	
15	無線リンクトータル C/N 比	dB	37.8	39.7	53.6	送信 C/N 比と受信 C/N 比の電力和。
16	降雨量の地域分布による係数	-	0.75	0.75	0.75	X_r 、電波法関係審査基準 図1より
17	0.0075%1分間降雨量1.66mm/分の降雨減衰量	dB	17.0	17.0	17.0	Γ_t 、電波法関係審査基準 図2より
18	当該区間の降雨減衰量	dB	12.75	12.75	12.75	回線稼働率が99.95%となる時の降雨減衰量。 $\Gamma_r = X_r \times \Gamma_t$
19	降雨時における受信 C/N 比	dB	29.6	31.6	45.5	
20	降雨時における無線リンクトータル C/N 比	dB	29.2	31.1	45.1	送信 C/N 比と降雨時の受信 C/N 比の電力和。
21	所要 C/N 比	dB	29.1	31.1	45.0	最小受信 C/N 比[dB]。本リンクにおける閾値。
22	システムマージン	dB	0.1	0.0	0.1	
23	降雨マージン	dB	13.2	13.2	13.2	標準状態の受信 C/N 比[dB]と最小受信 C/N 比[dB]の差分
24	年間回線稼働率	%	99.95以上	99.95以上	99.95以上	
25	システム年間不稼働時間	hour	4.38	4.38	4.38	1年当たり

NTSC 信号の所要受信 C/N 比を 45.0dB、年間回線稼働率の目標値を 99.95%以上とし、デジタル信号については技術試験(室内試験)で求めたレベル差の下限値を採用して設計した。

3.4.6 測定結果

(1) デジタル信号伝送時とデジタル・アナログ混在伝送時の比較

デジタル信号とアナログ信号を同時に伝送したことによるデジタル信号品質の変化を確認するため、デジタル信号のみを伝送した場合と、デジアナ混在伝送をした場合の信号品質（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））を測定した。

表 3.4-9 にデジタル信号のみを伝送した場合と、デジタル信号とアナログ信号を同時伝送した場合における MER の測定結果を示す。

表 3.4-9 デジタル信号伝送時とデジタル・アナログ混在伝送時の MER 測定結果

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	信号	MER [dB]		
				デジタル信号のみ	デジタル信号・アナログ信号混在	差分
20	512 ~ 518	23402 ~ 23408	OFDM	33.2	33.0	-0.2
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	OFDM	35.4	35.0	-0.4
22	524 ~ 530	23414 ~ 23420	OFDM	33.2	33.3	0.1
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	64QAM	33.7	33.6	-0.1
24	536 ~ 542	23426 ~ 23432	64QAM	33.2	33.3	0.1
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	64QAM	34.0	33.7	-0.3

表 3.4-10 にデジタル信号のみを伝送した場合と、デジタル信号とアナログ信号を同時伝送した場合における BER の測定結果を示す。

表 3.4-10 デジタル信号伝送時とデジタル・アナログ混在伝送時の BER 測定結果

CH	送信機入力 / 受信機出力信号周波数帯域 [MHz]	無線周波数帯域 [MHz]	信号	BER	
				デジタル信号のみ	デジタル信号・アナログ信号混在
20	512 ~ 518	23402 ~ 23408	OFDM	エラーフリー	エラーフリー
21	518 ~ 524	23408 ~ 23414	OFDM	エラーフリー	エラーフリー
22	524 ~ 530	23414 ~ 23420	OFDM	エラーフリー	エラーフリー
23	530 ~ 536	23420 ~ 23426	64QAM	エラーフリー	エラーフリー
24	536 ~ 542	23426 ~ 23432	64QAM	エラーフリー	エラーフリー
25	542 ~ 548	23432 ~ 23438	64QAM	エラーフリー	エラーフリー

デジタル信号のみを伝送した場合と、デジタル信号とアナログ信号を同時伝送した場合において、MER の値は±0.5dB 以内に範囲に収まっている。送信局における測定結果においても、デジタル信号のみを伝送した場合と、デジタル信号とアナログ信号を同時伝送した場合において、±0.5dB 程度の MER の変動が生じている。そのため、本試験の結果の MER の変動は測定誤差の範囲内であり、FDM-SSB 方式を使用する有線テレビジョン放送事業用無線局を用いて、デジタル信号とアナログ信号を同時伝送した事による MER の劣化は生じていないと判断出来る。

BER はデジタル信号のみを伝送した場合も、デジタル信号とアナログ信号を同時伝送した場合も、エラーフリーとなっており、デジアナ混在伝送によるビットエラーも発生していない。

以上の結果より、技術試験（室内試験）で求めたアナログ信号に対するデジタル信号のレベル差の下限値（OFDM 信号においてはアナログ信号に対して-14.4dB、64QAM 信号においては-12.7dB）のレベル差でデジタル信号とアナログ信号を同時伝送した場合に、アナログ信号の影響によりデジタル信号の信号品質に問題が生じる事はないと判断出来る。

有線テレビジョン放送の一般的な運用においては、デジタル信号のレベルをアナログ信号に対して-10dB 程度のレベル差で運用するケースが多いが、本試験の結果より、23GHz 帯の周波数を利用する有線テレビジョン放送事業用無線局のうち、変調方式に FDM-SSB 方式を使用するものにおいて、一般的な運用レベルのデジタル信号とアナログ信号を同時伝送する事に問題はないと考えられる。

(2) 試験期間全体の測定結果

図 3.4-3～図 3.4-8に試験期間中(2009年10月1日から2009年12月7日まで)のOFDM信号、64QAM信号およびNTSC信号の信号品質(搬送波レベル、搬送波対雑音比(C/N比)、デジタル信号においては更にビット誤り率(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))と1分間降雨量(降雨強度)の時系列変化を示す。

図 3.4-3と図 3.4-5と図 3.4-7は、それぞれ、梅津寺局(送信局)で測定した送信機へ入力する前のOFDM信号、64QAM信号およびNTSC信号の測定結果を示している。

図 3.4-4と図 3.4-6と図 3.4-8は、それぞれ、鷺ヶ巣局(受信局)で測定した受信機から出力されるOFDM信号、64QAM信号およびNTSC信号の測定結果を示している。

C/N比のグラフ中にある赤線は、試験伝送路における回線設計値(閾値)であるC/N比(OFDM信号では29.1dB、64QAM信号では31.1dB、NTSC信号では45.0dB)を示している。BERのグラフ中にある赤線は、有線テレビジョン放送法施行規則 第26条の14の2および第26条の18の2の「入力信号の条件」に規定されているビット誤り率 1×10^{-4} (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、灰色線は、信号品質の劣化により測定信号との同期がとれず、BERデータが取得できなかったポイント(BER= 1×10^0 として表示)を示している。1分間降雨量のグラフ中にある青線は、回線設計に用いた降雨設計値1.24mm/分(松山地区における0.0075%1分間降雨量)を示している。

試験期間中、梅津寺局(送信局)で測定した送信機へ入力する前のOFDM信号、64QAM信号およびNTSC信号の品質は安定しており、送信機への入力信号には問題なかったことが分かる。

一方、鷺ヶ巣局(受信局)で測定した受信機から出力されるOFDM信号、64QAM信号およびNTSC信号については、搬送波レベルとC/N比の変動が確認されており、それに伴いBERやMERが劣化していることが分かる。この変動と劣化は、降雨が観測されたときのみ発生しており、OFDM信号、64QAM信号、NTSC信号でほぼ同じ傾向を示している。

降雨が観測されていない個所で搬送波レベルやC/N比に若干のレベル変動が見られるが、基本的に安定しており、アナログ信号と同時伝送したことによるデジタル信号への影響、信号の劣化は試験期間中においては発生していないと考えられる。

本試験の結果より、技術試験(室内試験)において求めたレベル差の下限值(OFDM信号においては-14.4dB、64QAM信号においては-12.7dB)を用いて、デジタル信号をアナログ信号と同時伝送した場合において、デジタル信号の信号品質に問題は生じなかったといえる。

以上より、23GHz帯の周波数を利用する有線テレビジョン放送事業用無線局のうち、有線テレビジョン放送の複数の信号を一括して変調するFDM-SSB方式を使用するものにおいて、技術試験(室内試験)で求めたデジタル信号とアナログ信号のレベル差での運用を行うことに問題はないと考えられる。

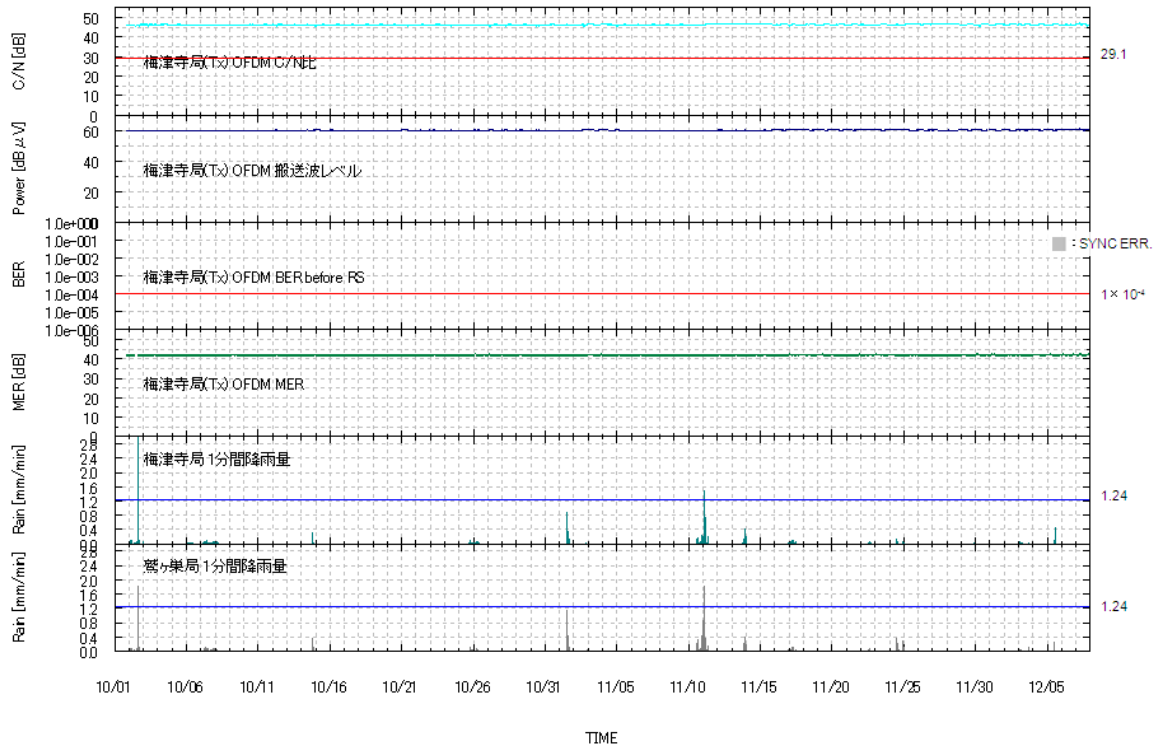


図 3.4-3 梅津寺局（送信局）OFDM 測定結果（2009/10/1~2009/12/7）

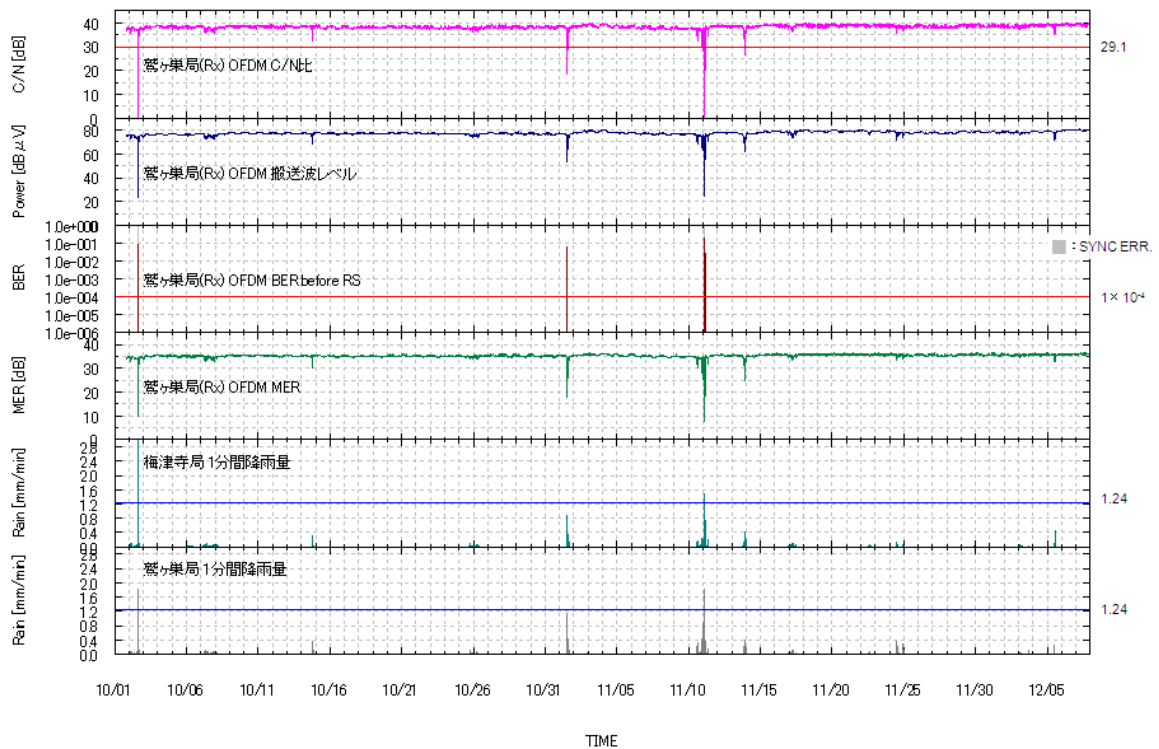


図 3.4-4 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/10/1~2009/12/7）

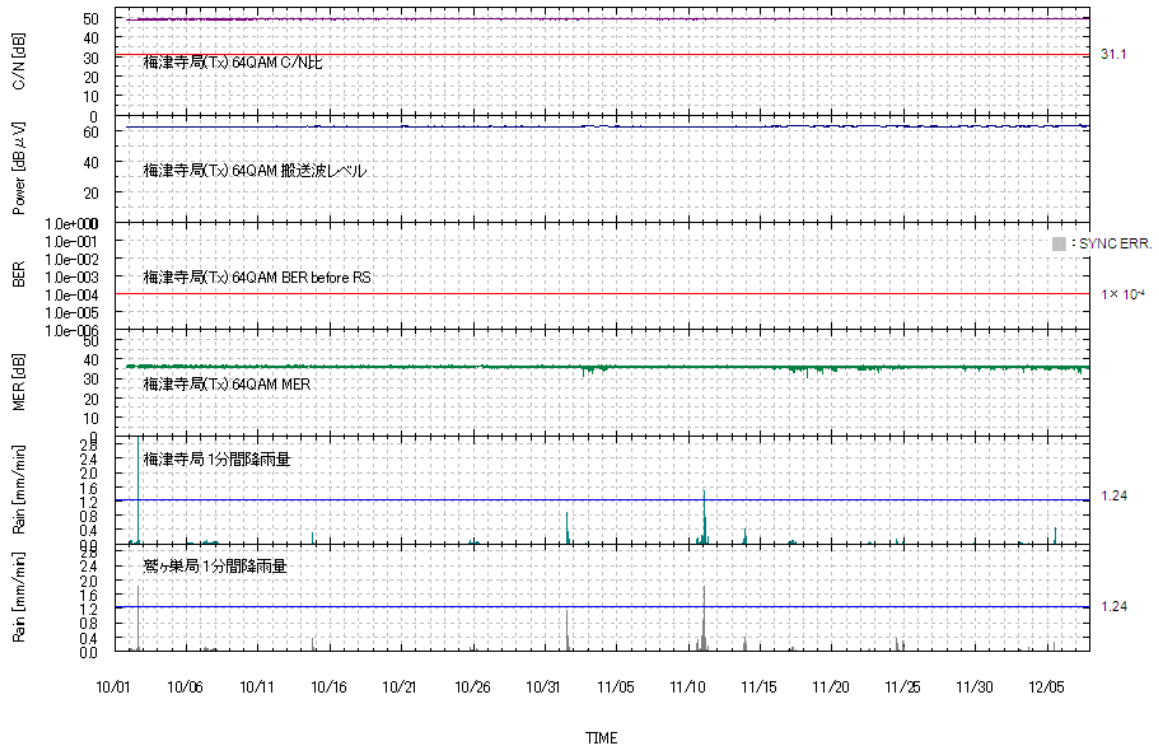


図 3.4-5 梅津寺局（送信局）64QAM 測定結果（2009/10/1~2009/12/7）

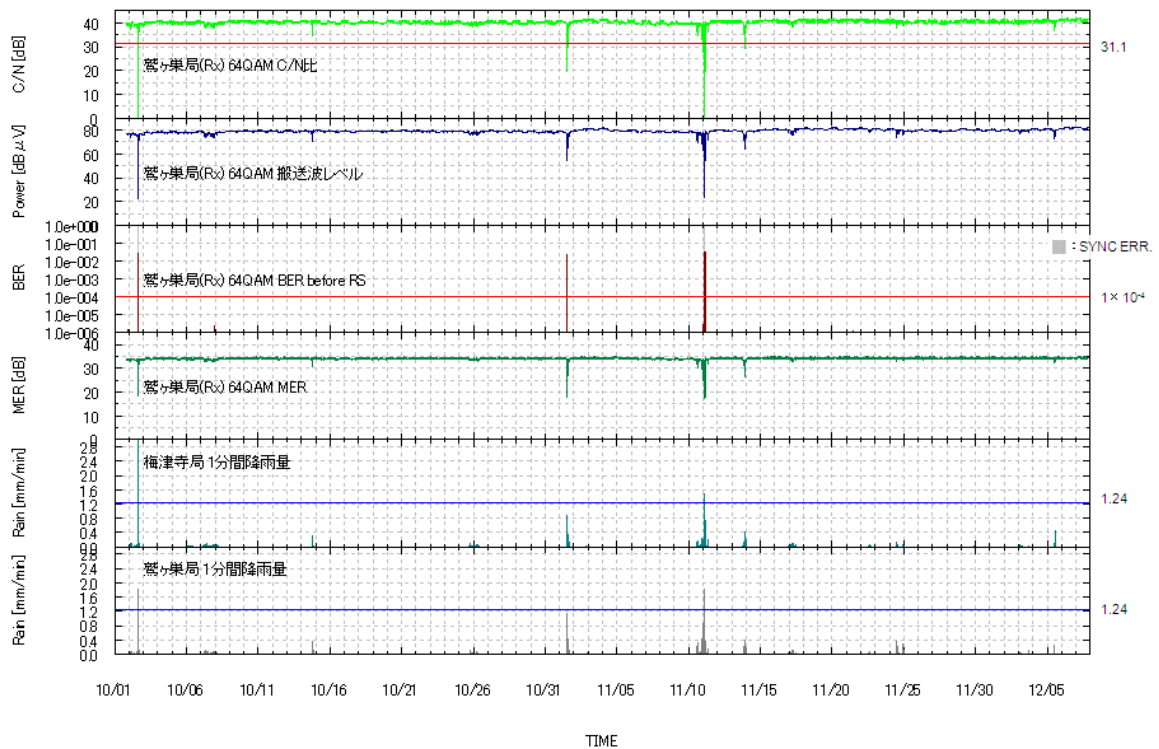


図 3.4-6 鷺ヶ巣局（受信局）64QAM 測定結果（2009/10/1~2009/12/7）

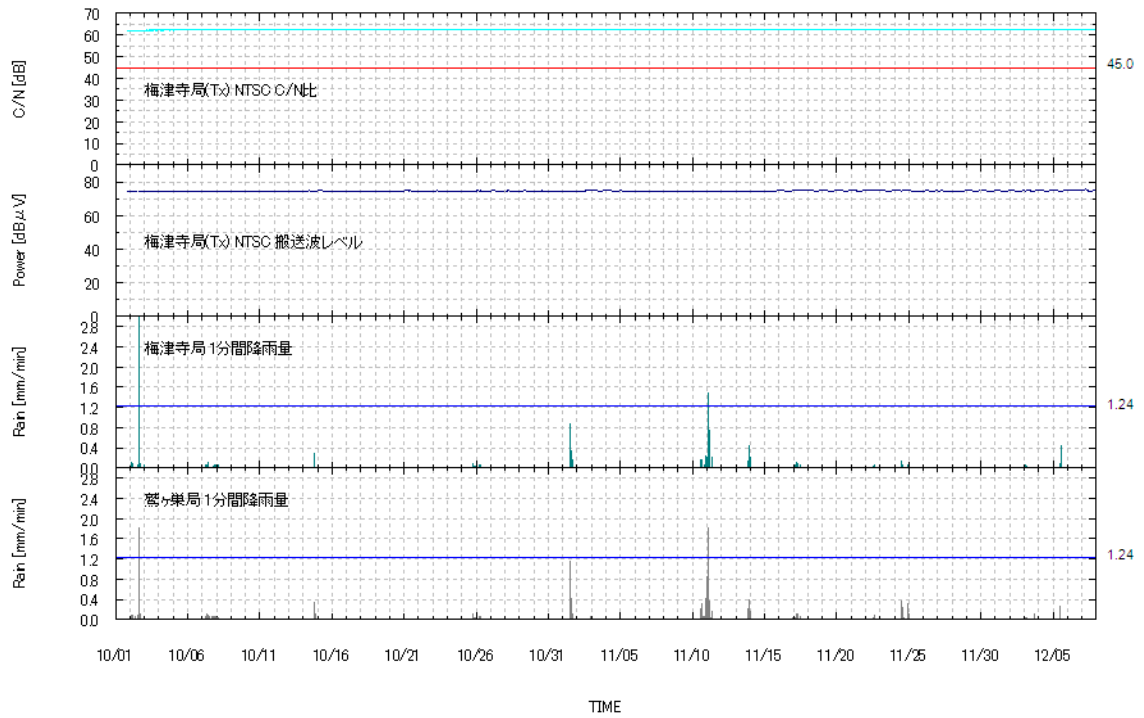


図 3.4-7 梅津寺局（送信局）NTSC 測定結果（2009/10/1~2009/12/7）

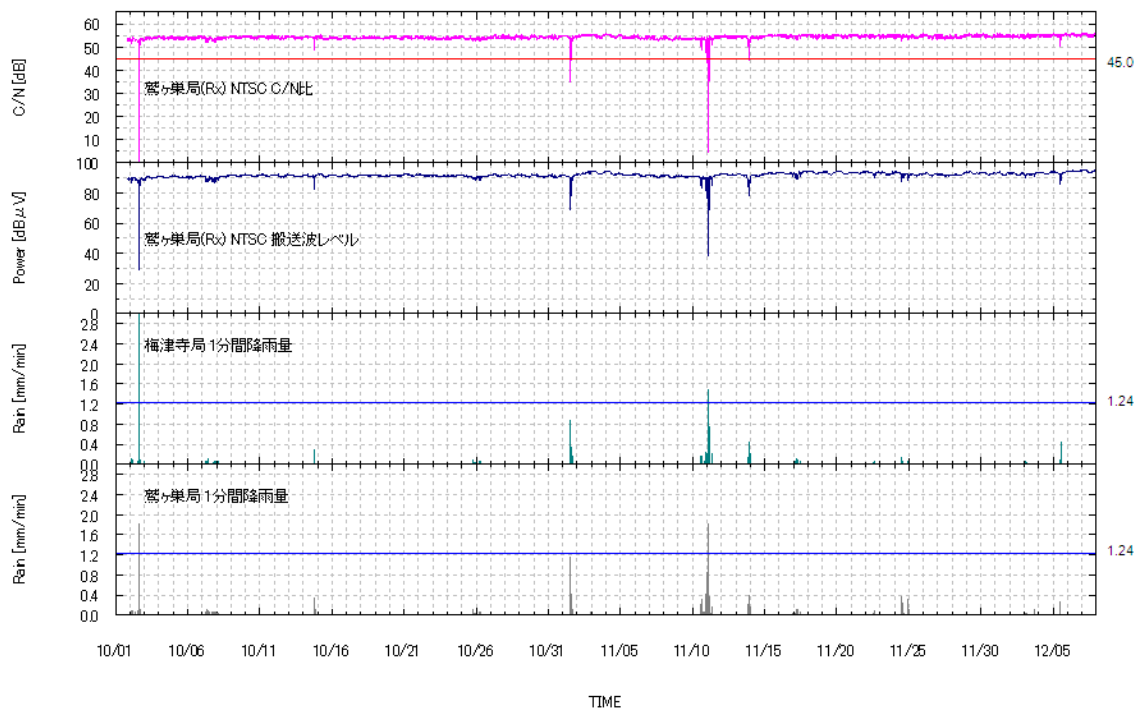


図 3.4-8 鶯ヶ巣局（受信局）NTSC 測定結果（2009/10/1~2009/12/7）

(3) デジタル信号品質と降雨強度の測定結果

信号品質の変化と降雨の影響を検討するために、試験期間中、大幅な降雨減衰量が観測された等の降雨イベントにおける信号品質（搬送波レベル、搬送波対雑音比（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））と 1 分間降雨量（降雨強度）の時系列変化を図 3.4-9～図 3.4-12 に示す。

図 3.4-9 に 2009 年 10 月 2 日 10:00 から 2009 年 10 月 3 日 0:00 にかけての信号品質と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

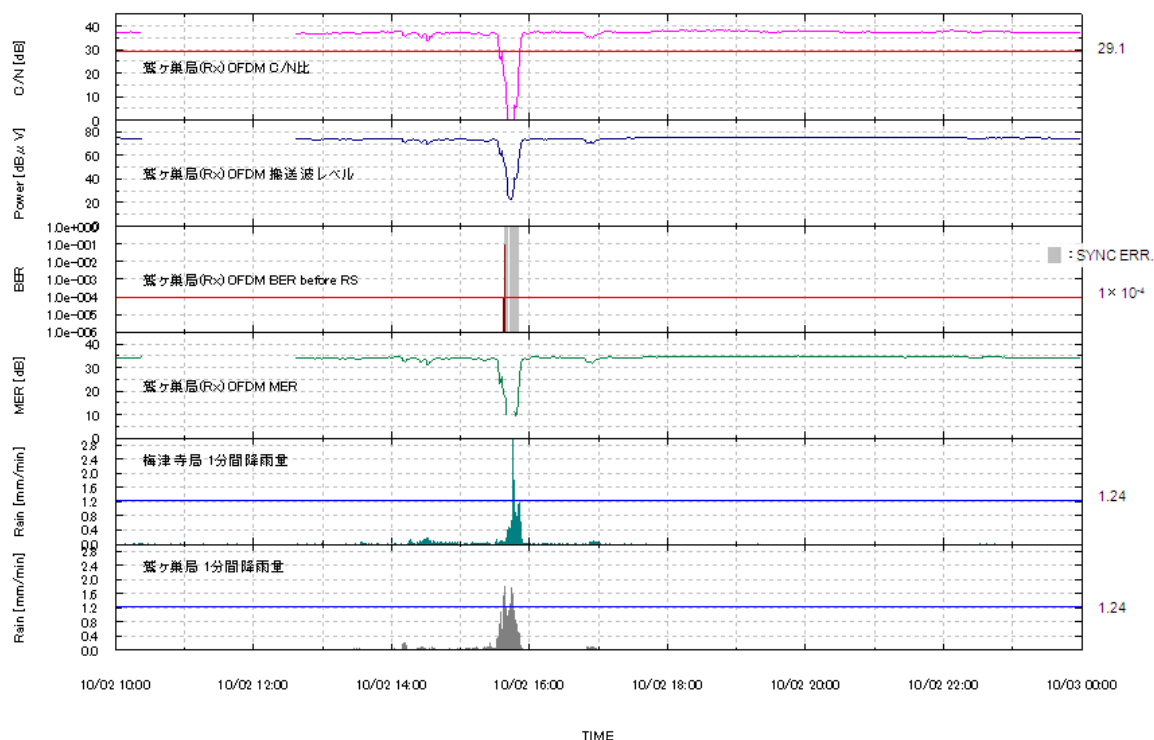


図 3.4-9 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/10/2）

気象庁松山気象台の AMeDAS データによると 24 時間の降水量は 18.0mm、時間当たりの最大降水量が 9.5mm、10 分間あたりの最大降水量は 6.5mm となっており、短時間に強い降雨が発生していることがわかる。

梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計においても降雨設計値 1.24mm/分を超える降雨量が計測されており、同じタイミングで 30～50dB の降雨減衰が発生している。

図 3.4-10 に 2009 年 11 月 1 日 7:00 から 2009 年 11 月 1 日 19:00 にかけての信号品質と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

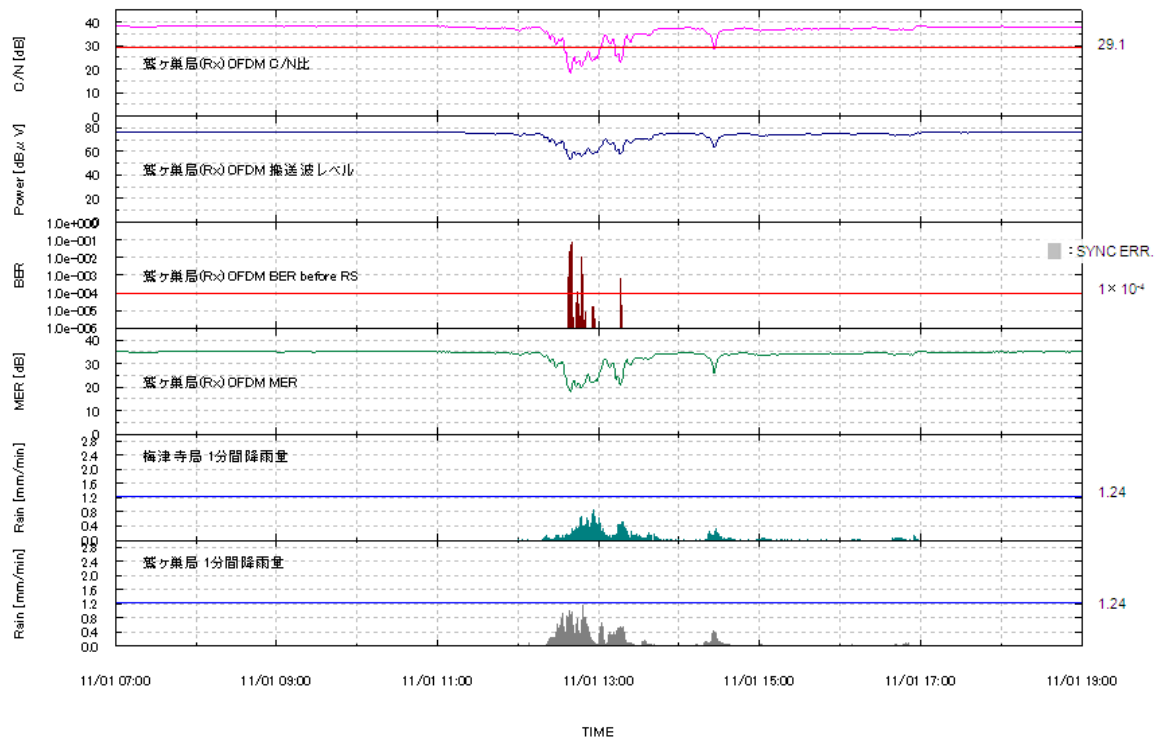


図 3.4-10 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/11/1）

気象庁松山気象台の AMeDAS データによると 24 時間の降水量は 68.5mm、時間当たりの最大降水量が 13.0mm、10 分間あたりの最大降水量が 5.0mm となっている。

降雨による減衰は 10~20dB 程度であり、降雨設計値 1.24mm/分を超える降雨量は計測されていないものの、梅津寺局と鷺ヶ巣の 1 分間降雨量のグラフ傾向より、降雨強度に関する地理的相関が比較的大きいと推察される。

図 3.4-11 に 2009 年 11 月 10 日 20:00 から 2009 年 11 月 11 日 8:00 にかけての信号品質と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

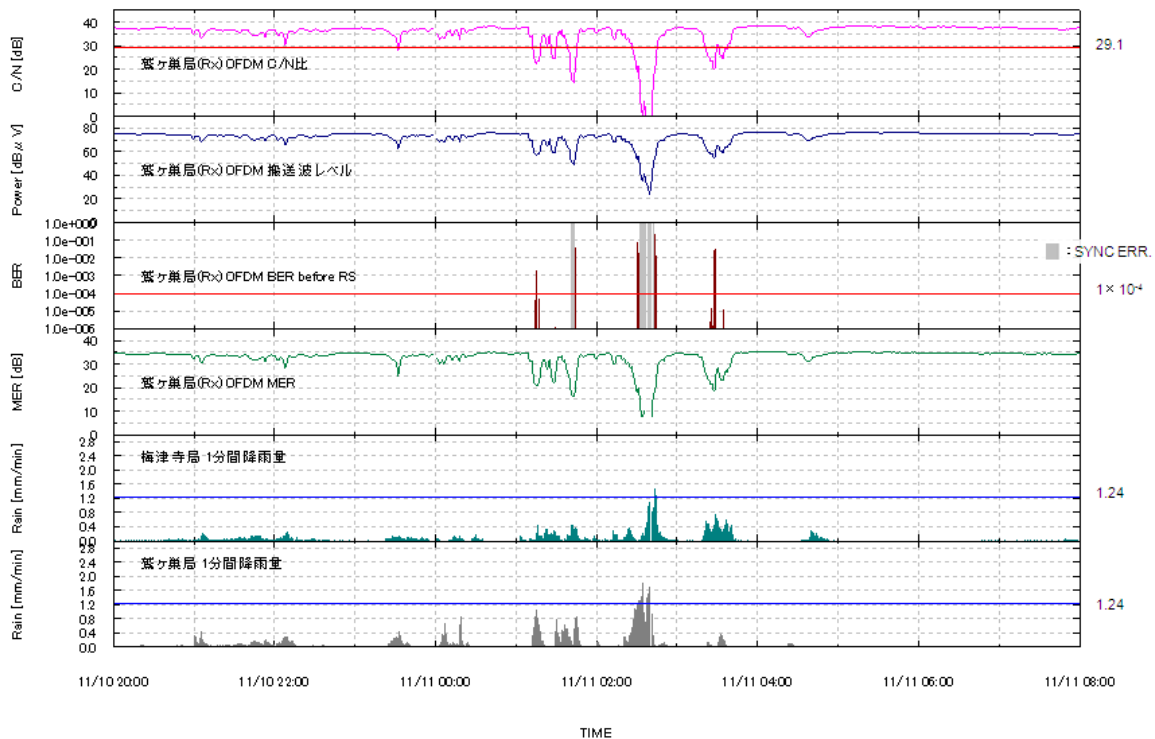


図 3.4-11 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/11/10~2009/11/11）

気象庁松山気象台の AMeDAS データによると 11 月 11 日の 24 時間の降水量は 29.0mm、時間当たりの最大降水量が 12.0mm、10 分間あたりの最大降水量は 7.5mm となっており、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計においても降雨設計値 1.24mm/分を超える降雨量が計測されている。

降雨設計値 1.24mm/分を超える降雨量が計測されているのと同時に、20~50dB の降雨減衰が発生しており、短時間に非常に強い降雨があったことが確認できる。

図 3.4-12 に 2009 年 11 月 13 日 16:00 から 2009 年 11 月 14 日 4:00 にかけての信号品質と 1 分間降雨量の時系列変化を示す。

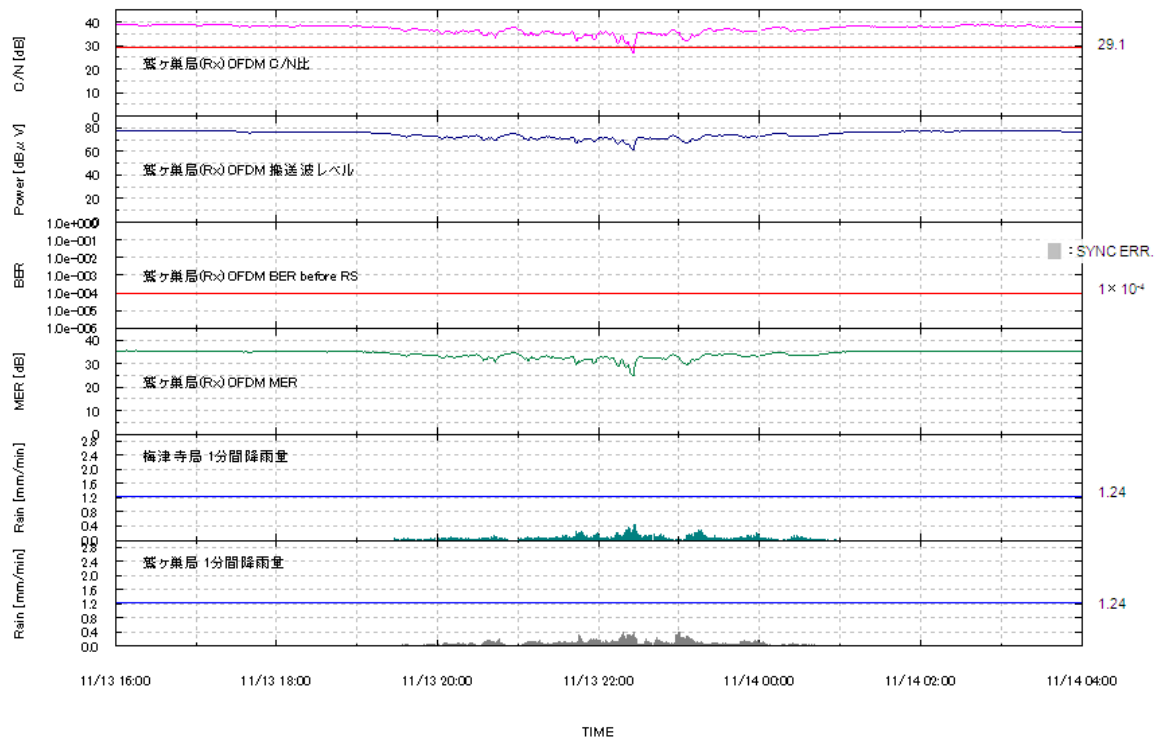


図 3.4-12 鷺ヶ巣局（受信局）OFDM 測定結果（2009/11/13~2009/11/14）

気象庁松山気象台の AMeDAS データによると 24 時間の降水量は 24.0mm となっているが、時間当たりの最大降水量が 7.5mm、10 分間あたりの最大降水量が 1.5mm と比較的弱い降雨となっており、1 分間降雨量のグラフ傾向からも比較的弱い降雨が継続していることが分かる。

梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計では降雨設計値 1.24mm/分を超える降雨量は計測されていないが、10~20dB 程度の降雨減衰が発生しており、1 分間降雨量のグラフ傾向からも地理的相関が非常に大きいことが予想され、そのため、降雨減衰量が大きくなっていると考えられる。

(4) 1 分間降雨量

図 3.4-13 に、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計で計測された試験期間中（2009年10月1日から2009年12月7日まで）の1分間降雨量（降雨強度）と1分間降雨量の区間平均の時系列変化を示す。

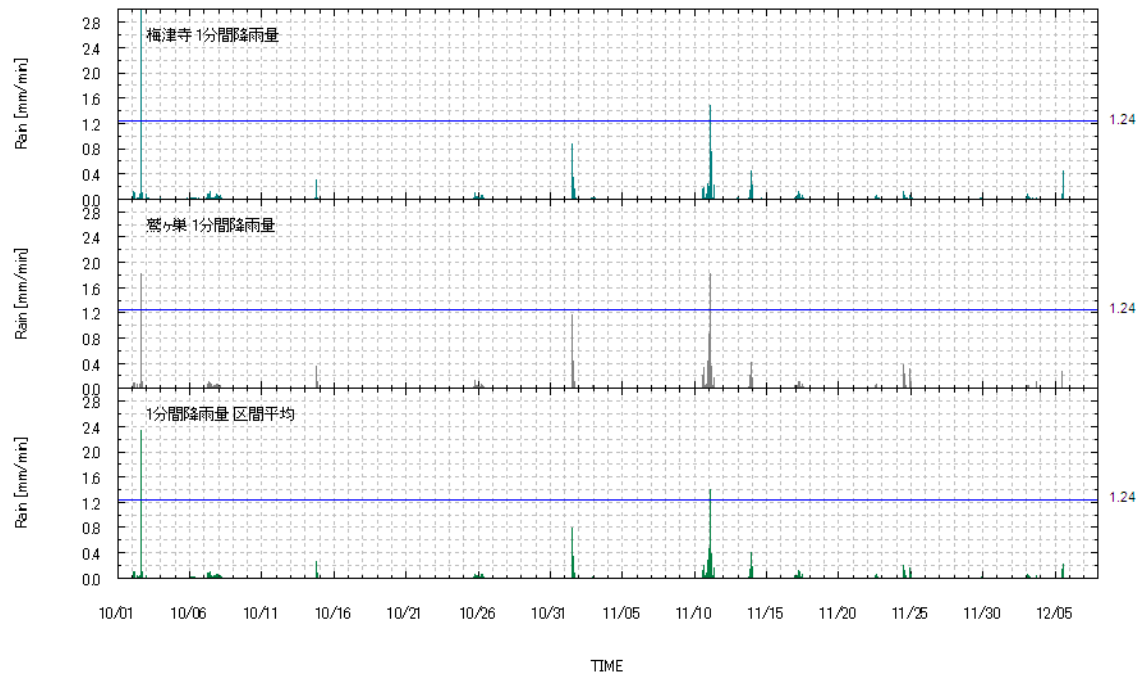


図 3.4-13 1 分間降雨量と 1 分間降雨量区間平均 (2009/10/1~2009/12/7)

2009年10月1日から2009年11月1日の期間中に、梅津寺局および鷺ヶ巣局の各地点で降雨設計値の1.24mm/分を超える1分間降雨量が2度計測されており、1分間降雨量の区間平均値でも同様の結果となっている。

(5) 10 分間降雨量

図 3.4-14 に、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計で計測された試験期間中（2009年10月1日から2009年12月7日まで）の10分間降雨量（降雨強度）と気象庁松山気象台より発表されている AMeDAS データの10分間降水量の時系列変化を示す。

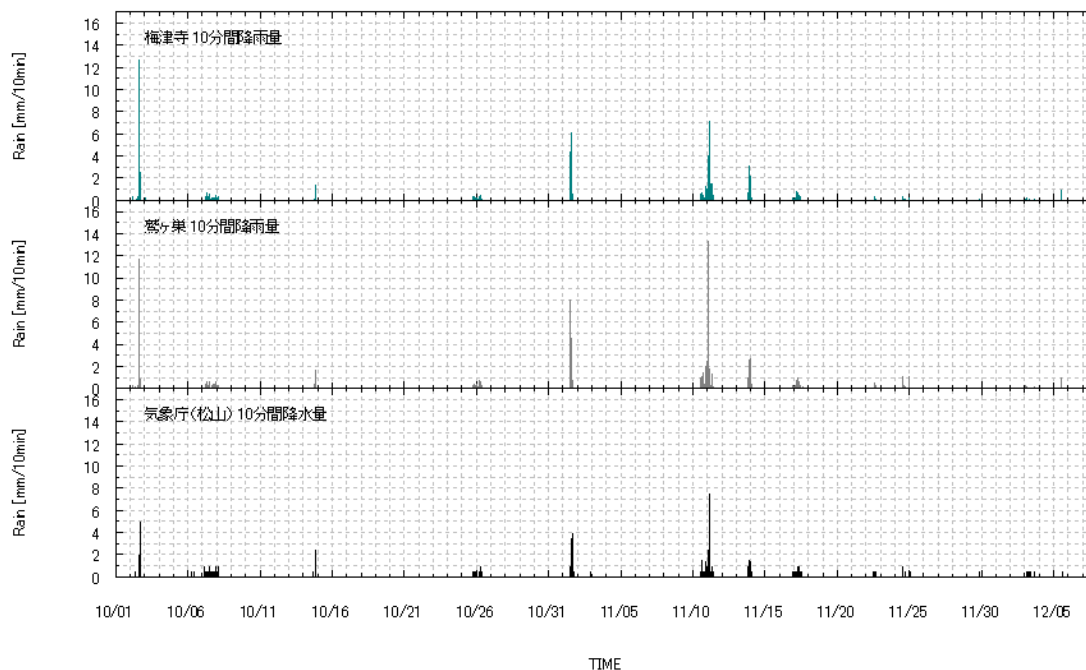


図 3.4-14 10 分間降雨量と松山気象台 10 分間降水量 (2009/10/1~2009/12/7)

梅津寺局および鷺ヶ巣局で計測された10分間降雨量と気象庁松山気象台の AMeDAS データの10分間降水量はほぼ同じ傾向を示しており、降雨強度計の取得データに対する信頼性は十分であると言える。計測されているタイミングや降雨量の違いについては、梅津寺局および鷺ヶ巣局と松山気象台とが地理的に離れているためである。

(6) 回線稼働率の集計

表 3.4-11 に試験期間中（2009年10月1日から2009年12月7日まで）の回線稼働率の集計結果を示す。

表 3.4-11 では、表 3.1-10 と同様に2009年10月1日から同年12月7日までの梅津寺局と鷺ヶ巣局間の C/N 比を1分間隔で計測した結果から、回線設計の閾値とした基準 C/N 比を上回っていた時間率（%）及び、基準 C/N 比を下回った時間（分）と不稼働時間（分）を月次および実験期間で集計したものである。

表 3.4-11 回線稼働率の集計

信号	OFDM		64QAM		NTSC	
基準値(閾値)	C/N 比 = 29.1dB		C/N 比 = 31.1dB		C/N 比 = 45.0dB	
年月	基準値未満の時間(分)	基準値以上の時間率(%)	基準値未満の時間(分)	基準値以上の時間率(%)	不稼働時間(分)	基準値以上の時間率(%)
2009年10月	16	99.96	16	99.96	16	99.96
2009年11月	85	99.80	87	99.80	83	99.81
2009年12月 ¹	0	100.0	0	100.0	0	100.0
合計	101	99.90	103	99.89	99	99.90

1:2009年12月1日~12月7日までの結果。

試験期間中、回線設計における C/N 比の閾値を上回っていた時間率は、OFDM 信号で 99.90%（基準 C/N 比未満の時間：101 分）、64QAM 信号で 99.89%（基準 C/N 比未満の時間：103 分）、NTSC 信号で 99.90%（不稼働時間：99 分）であった。

3.5 降雨減衰評価

本節では、試験期間中（2009年6月8日から2009年12月7日まで）の降雨と降雨減衰について評価する。

3.5.1 気象庁の統計情報

表 3.5-1 に、気象庁の松山気象台より発表されている AMeDAS（Automated Meteorological Data Acquisition System）データによる月間降水量の1999年から2009年までの統計情報と、梅津寺局および鷺ヶ巣局に設置した降雨強度計で取得した降雨情報の集計結果を示す。

表 3.5-1 松山気象台 AMeDAS データ 月間降水量統計情報

年	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計		
								強雨期 ^{*1}	年間	
1999	462.5	171.0	184.0	173.0	76.5	64.5	25.0	528.0	1503.5	
2000	219.0	31.5	38.0	217.5	55.5	133.5	46.5	287.0	1150.0	
2001	388.0	151.5	123.0	129.0	197.0	80.0	37.5	403.5	1501.5	
2002	169.0	70.5	25.0	69.0	26.5	24.0	83.0	164.5	930.5	
2003	138.5	270.0	169.0	49.5	29.0	155.5	37.0	488.5	1400.0	
2004	339.0	36.5	282.5	130.0	246.5	80.5	120.0	449.0	1786.0	
2005	25.0	460.5	43.5	84.0	111.5	64.0	28.0	588.0	1179.0	
2006	287.5	271.5	72.5	96.0	38.5	118.0	76.5	440.0	1469.0	
2007	68.5	389.0	32.5	68.5	112.0	12.0	84.5	490.0	1051.5	
2008	190.5	22.5	69.5	209.0	117.5	92.5	61.5	301.0	1315.0	
最大値	462.5	460.5	282.5	217.5	246.5	155.5	120.0	588.0	1786.0	
最小値	25.0	22.5	25.0	49.5	101.1	12.0	25.0	164.5	930.5	
平均値	228.8	187.5	104.0	122.6	26.5	82.5	60.0	414.0	1328.6	
2009	168.5	329.5	139.0	82.0	69.0	131.0	31.5	550.5	1302.5	
降雨 強度計	梅津寺	(145.9) ^{*2}	360.2	192.3	86.4	73.6	158.6	(5.7) ^{*3}	638.9	-
	鷺ヶ巣	(178.2) ^{*2}	351.7	178.1	81.0	88.3	206.4	(4.6) ^{*3}	610.8	-

※1：7月～9月の3ヶ月間。 ※2：2009年6月8日～6月30日までの結果。 ※3：2009年12月1日～12月7日までの結果。

2009年の年間降水量については、ほぼ平年並みであったが、7月から9月の夏季3ヶ月間の強雨期における全降水量は、過去10年間で2番目の量を記録しており、試験期間におけ

る降水量が例年に比べて非常に多かったことが分かる。

3.5.2 1 分間降雨量の累積時間分布

図 3.5-1 に梅津寺局および鷺ヶ巣局の各地点における 7 月から 9 月の夏季 3 ヶ月間の強雨期と全試験期間中（2009 年 6 月 8 日から 2009 年 12 月 7 日まで）の 1 分間降雨量累積時間分布を示す。

グラフ中にある青色の星印は、回線設計に用いた降雨設計値 1.24mm/分（松山地区における 0.0075%1 分間降雨量）を示している。

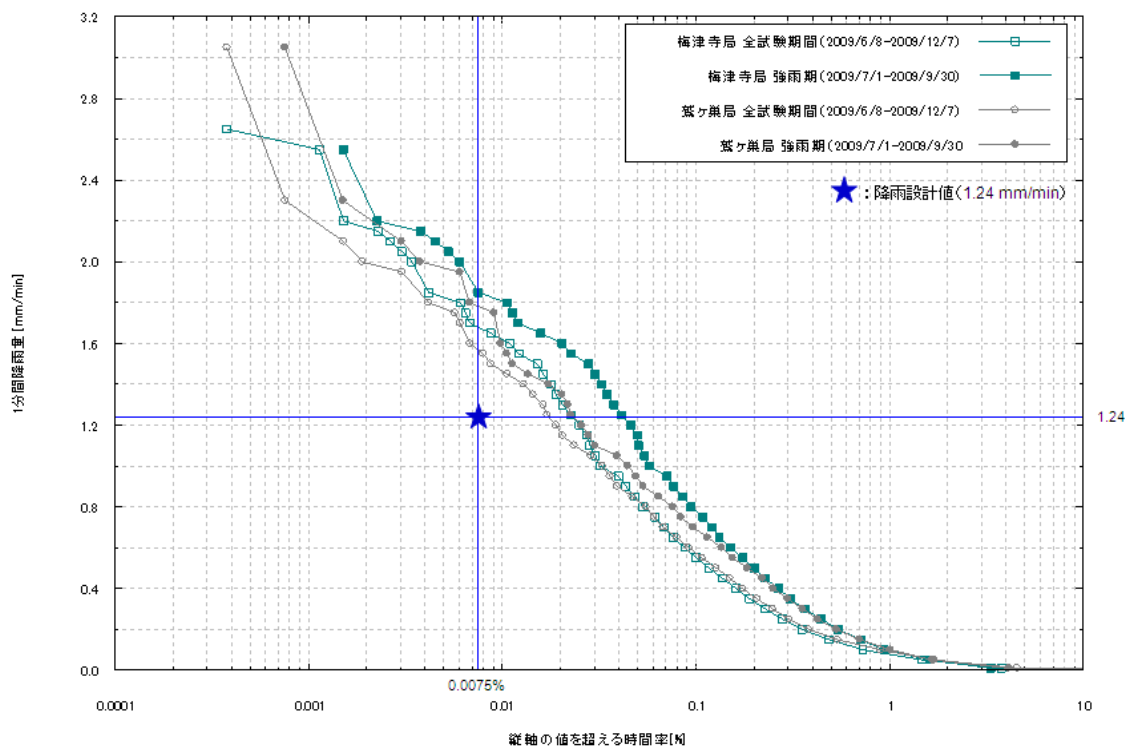


図 3.5-1 強雨期と全試験期間における 1 分間降雨量の累積時間分布

7 月から 9 月の強雨期だけでなく、全試験期間 6 ヶ月間でみた場合でも、降雨設計値である 1.24mm/分より大きくなっており、本年は例年（または想定）よりも強い降雨が多かったことが分かる。

グラフより、2009 年における本実験フィールドにおける 0.0075% 1 分間降雨量は、約 1.7mm/分であることが推定できる。

3.5.3 降雨減衰の累積時間分布

図 3.5-2 に 7 月から 9 月の夏季 3 ヶ月間の強雨期と全試験期間中（2009 年 6 月 8 日から 2009 年 12 月 7 日まで）における OFDM 信号および 64QAM 信号すべての降雨減衰の累積時間分布を示す。

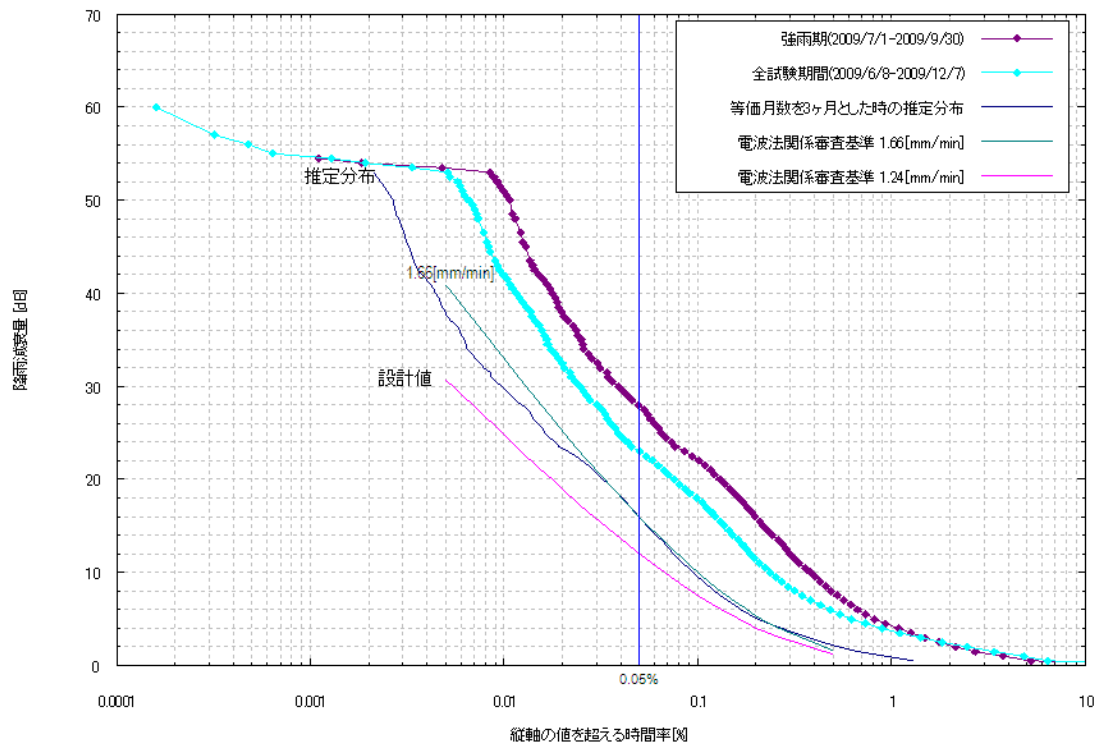


図 3.5-2 強雨期と全試験期間における降雨減衰の累積時間分布

強雨期、並びに全試験期間の累積時間分布において、システム性能の制限（降雨減衰量の測定限界値：約 53dB）による降雨減衰量の飽和が見られる。降雨強度から推定すると 53dB 以上の減衰があったと思われる。

図 3.5-2 のグラフ中に、強雨期と等価な降雨が発生する年間の月数（等価月数）を 3 ヶ月としたときの降雨減衰の年間確率分布を推定して示した。降雨減衰量の夏季 3 ヶ月における P_S パーセント値 Z_p を求めると、 P_S に対応する年間分布のパーセント P_Y は、等価月数 M_e を用いて、次の式で近似的に求めることができる。

$$P_Y = (M_e/12) \times P_S$$

等価月数 M_e は、長期にわたる実測結果より、日本国内平均で 3 から 4 ヶ月と言われている。（佐々木, 石田, 高橋, 吉川 「平均値が 1 となるガンマ分布を用いた降雨減衰確率分布の統一表現」 第 525 回 URSI-F 会合資料 (2008)

本推定値より、降雨減衰量の 0.05% 値 (年間) は約 16dB であり、電波法関係査基準 (p.1061

の9)に掲載されている図1、図2、0.0075%1分間降雨量1.66mm/分から求まる降雨減衰量分布とほぼ同じ値となる。3.5.2節で述べたように、本試験期間における夏季3ヶ月間の0.0075%1分間降雨量が約1.7mm/分であったことを考慮すると、電波法関係査基準で示されている降雨減衰量とほぼ同等の結果になることが分かる。

全国的に降雨量が増える傾向にあり、今後、根拠となる1分間降雨量累積時間分布や降雨減衰累積時間分布等のデータの見直しが必要と考えられるが、本技術試験の趣旨と異なるため、今後の検討課題とする。

3.5.4 区間降雨強度と降雨減衰量

図3.5-3に7月から9月の夏季3ヶ月間の強雨期と全試験期間中（2009年6月8日から2009年12月7日まで）における区間降雨強度と降雨減衰の関係を示す。

グラフ中の累積分布の等確率値とは、区間降雨強度ならびに降雨減衰量の累積時間分布の等確率値を結んだものであり、区間降雨強度とは、1分間降雨量の区間平均を1時間当たりの量に換算しものであり、60倍した値となる。

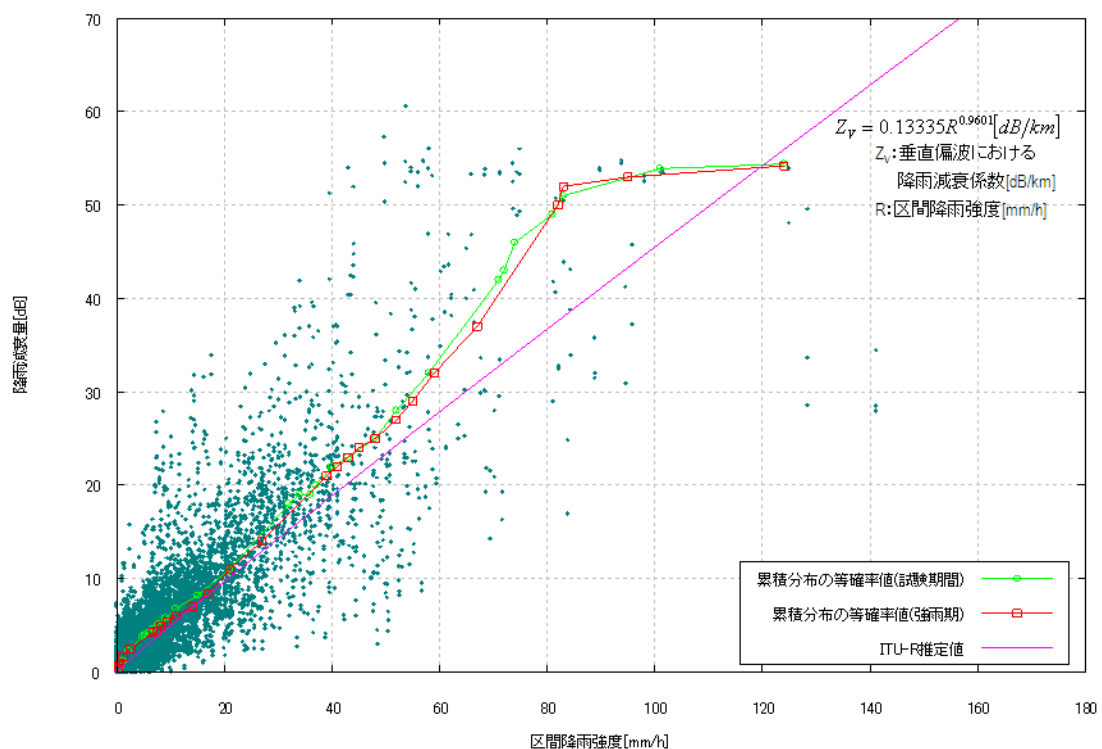


図 3.5-3 区間降雨強度と降雨減衰量

実測の減衰量は、区間強雨強度が0~70mm/時間の間で、ITU-Rの理論推定値よりも約2割程度大きくなっているが、一般的に認められている傾向を示しており、これを考慮すると

実測値と理論推定値は一致する傾向にあると言える。

区間強雨強度が 80mm/時間 以上では、降雨減衰量が約 53dB で飽和している。これは、システム性能（降雨減衰量の測定限界値：約 53dB）によるものであり、降雨強度から推定すると 53dB 以上の減衰があったと思われる。

また、区間強雨強度が 70mm/時間 以上では、ITU-R の理論推定値からの乖離が大きくなっている。このことは、降雨減衰量の測定限界値（約 53dB）以上の減衰量があったと予想されることに加え、降雨強度計の測定限界値（100mm/h）を超える降雨量があったため、強雨領域での誤差が大きくなったと考えられる。

4 使用測定機器一覧

表 4-1 に本技術試験に使用した測定機器の一覧を示す。

表 4-1 測定機器一覧

測定機器	製造会社	型式	数量	備考
23GHz 帯無線送信機	京セラコミュニケーションシステム(株)	MOT-23632	1 台	
23GHz 帯無線受信機	京セラコミュニケーションシステム(株)	COR-23634	1 台	
デジタル TV シグナル・アナライザ	(株)アドバンテスト	R3466	2 台	
OFDM 信号発生器	アンリツ(株)	8940A	1 台	
OFDM シグナルプロセッサ	古河電気工業(株)	FH-SP-M4203B	2 台	
64QAM トランスモジュレータ	古河電気工業(株)	FH-TM-M1101A	2 台	
オールチャンネル TV 変調器	古河電気工業(株)	FH-MD-T1127A	1 台	
TV シグナルプロセッサ	古河電気工業(株)	FH-SP-T1024A	1 台	
降雨強度計	横河電子機器(株)	B061	2 台	