

「山間部における超短波放送の難聴解消のための
周波数有効利用技術に関する調査検討」報告概要

2015年3月17日

総務省信越総合通信局
株式会社 NHKアイテック
株式会社 日立国際電気

1.1 調査検討の目的 (開催趣旨)

【調査検討会開催趣旨】

放送は、今日、国民生活に密着した情報提供手段となっていますが、とりわけ、ラジオは、東日本大震災などの大きな災害時に「第一情報提供者」としていち早く災害情報を地域住民に提供し、地域住民の方々の安全・安心を確保する重要な役割を果たしました。

ラジオの電波は、地表波が山岳等を越える際に減衰するため、受信に必要な電界強度が確保できず、良好な受信が困難となるため、山間部や離島等の地理的・地形的な要因による難聴が課題となっているほか、災害時のバックアップ回線の確保など、ラジオ放送のネットワークの強靱化が必要となっています。

さらにコミュニティ放送は、平時には地域の生活情報、災害発生時には被災情報、避難情報といった情報を提供しており、市町村合併等により、拡大した地域にも同様の情報を提供することが必要となっており、放送区域の拡大や受信状況の改善に対する期待が大きいものとなっています。

このような状況から、山間部に集落が点在する地域において、76MHzから90MHzの周波数帯を使用する超短波放送(以下「FM」という。)の放送区域の確保と改善を図るため、FMの放送局の送信所までの番組伝送等を無線で行う技術(STL技術)に関して、調査検討を行うことで、地域の難聴解消とともに放送事業者等の負担軽減を図り、周波数を有効利用するための方策、技術的条件の策定に資することを目的に行うものです。

(第1回会議資料より)

1.2 調査検討会の組織

【調査検討会委員】

(敬称略・委員氏名五十音順)

【座長】	不破 泰	信州大学 総合情報センター センター長 教授
【座長代理】	笹森 文仁	信州大学 工学部 准教授
【委員】	熊田 唯志	一般社団法人日本コミュニティ放送協会 信越地区理事 (エフエム上越(株) 取締役局長)
	河野 健一	日本無線株式会社 ソリューション事業部ソリューション技術部 情報システムグループ放送機チーム 課長
	佐藤 俊宏	株式会社MTS & プランニング メディア事業部技術課 部長
	佐藤 智英	長野エフエム放送株式会社 放送部長
	野路 幸男	池上通信機株式会社 開発本部 製品戦略部 技監
	丸山 活輝	信越放送株式会社 技術局 技術部 部長
	宮下 敦	株式会社日立国際電気 映像・通信事業部 製品設計統括本部 主管技師長
	吉澤 君弘	エルシーバイ株式会社 常務取締役
	脇屋 雄介	長岡移動電話システム株式会社 (FMながおか) 代表取締役社長
		以上 11名

【オブザーバ】 日本放送協会 (長野放送局)

【総務省】 情報流通行政局 放送技術課
情報流通行政局 衛星・地域放送課

【調査検討会事務局】 総務省 信越総合通信局 無線通信部 企画調整課
(株)NHKアイテック

1.3 検討の背景

- コミュニティ放送は、放送を行おうとする地域内の不感地域解消のため、中継局を開設する場合、親局と同一の周波数の使用が原則。そのため、周波数変換して送信する放送波中継方式に代わる中継手段として、演奏所と送信所の間(STL)や送信所と送信所の間(TTL)の中継回線が必要。
- 現行規格では、マイクロ波帯(放送事業用)の無線設備があるが、高価であり整備コストが大きな負担。また、60MHz帯及び160MHz帯(放送事業用)の無線設備もあるが、中波放送用の中継回線としての使用が前提であり、ステレオ信号を伝送することは困難。
- コミュニティ放送は、有線系中継回線の使用例が多いものの、回線使用料が大きな負担。
- 災害等に起因し有線系中継回線が寸断され、災害情報等の放送が中断することも想定されるため、安価で安定した伝送が可能な無線によるシステムの導入に期待が寄せられている。



60MHz帯及び160MHz帯を用いたステレオ伝送が可能な無線中継回線システム(STL/TTL)について、調査検討を行う。

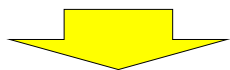
1.4 検討事項

検討項目

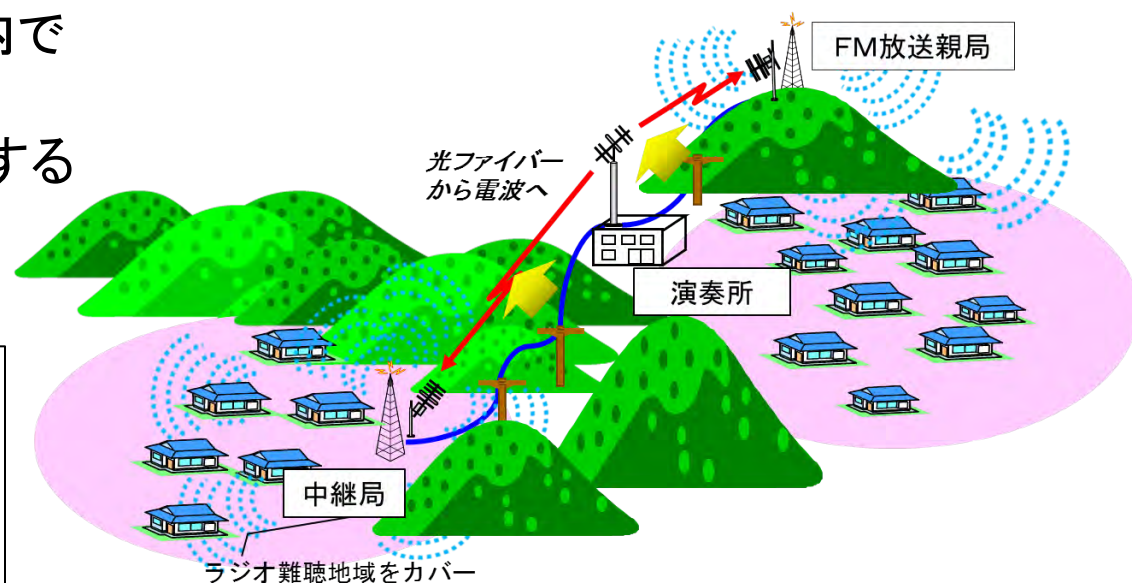
- 1 伝送容量の確認
- 2 伝送遅延などによる課題の解決
- 3 伝送の質を維持する条件
- 4 隣接システムとの共用条件、同一周波数繰り返し使用のための条件
- 5 検討すべき技術基準(案)

モノラル伝送帯域でステレオ伝送するための技術

- ・ 現行の占有周波数帯幅(100kHz)内でステレオ伝送が可能であること。
- ・ 親局-中継局で周波数同期を可能にするための信号も同時に伝送できること。



デジタル64QAMの機器を調達し、課題が解決可能か否かについて実証試験



1.5 技術要件の整理： 実験試験局の諸元

主な技術的条件	今回の実験試験局	アナログ方式 ラジオ音声STL規格	デジタル方式 音声STL規格
周波数帯	160MHz帯 (167.93MHz)	60MHz帯、160MHz帯	6.5GHz帯、7.5GHz帯
電波の型式	D7W	F3E、F8E、F9W	D7W、G7W
占有周波数帯(最大)	100kHz	100kHz	405kHz
変調方式	64QAM(デジタル)	FM(アナログ)	基本 64QAM(デジタル) その他 32QAM、16QAM、 4PSK
伝送信号	・ステレオ音声 ・同期信号	モノラル音声	・ステレオ音声 ・同期・制御・打合せ等の多重
伝送容量	404kbps	—	2, 250kbps以下
空中線電力の最大値	5W	50W	2W
音声帯域圧縮方式	サブバンドADPCM方式	—	非圧縮 サブバンドADPCM方式

※その他次の項目について整理が必要

- ・回線設計(回線品質)
- ・フェージングマージン
- ・混信保護値
- ・周波数許容偏差
- ・送信電力スペクトル特性
- ・スプリアス
- ・音声信号周波数帯域等

1.6 技術試験項目

試験項目	試験内容	室内試験	フィールド試験
伝送容量の確認	伝送速度の確認	・伝送速度確認	—
	実環境で「ステレオ放送＋同期信号」を伝送し、番組及び同期信号が適正に伝送されること	・信号再生確認	・信号再生確認
伝送遅延などによる課題の解決	遅延時間の測定	・遅延時間測定	・遅延時間測定
	親局-中継局での遅延を解消する方策の検討及び実環境での試験	・技術手法の検討 ・同期信号伝送確認	・同期信号再生確認
	周波数同期が有効に機能しているか確認	・同期放送確認	・同期放送成立の確認
伝送の質を維持する条件	回線設計の基準とすべき数値の確認 (64QAMを維持できる受信機入力電圧の測定)	・基本性能試験 ・BER ・C/N ・コンスタレーション ・マルチパス	・基本性能試験 ・BER ・コンスタレーション ・マルチパス ・伝搬距離特性 ・見通し外伝搬特性 ・長期変動試験
隣接システムとの共用条件、同一周波数繰り返し使用のための条件	・デジタル伝送STL/TTL同士 ・モノラル伝送STL/TTL	・同一チャンネルD/U ・隣接チャンネルD/U ・次隣接チャンネルD/U	—

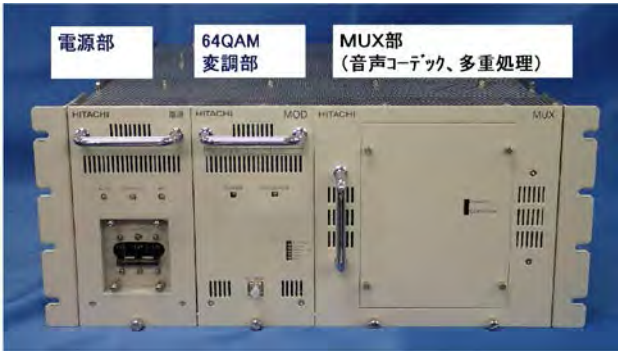
上記試験と合わせて、検討すべき技術基準についてとりまとめを行う。

※ BER: 符号誤り率 (Bit Error Rate/Ratio) のこと。送出された符号(ビット)の総数に対する誤って受信した符号の数の比率

※ C/N: 搬送波と雑音の比率 (Carrier to Noise Ratio) のこと

※ D/U: 希望波 (D=Desire) と妨害波 (U=Undesire) の比率 (Desire to Undesire Ratio) のこと

2.1 STL伝送装置の概要： STL送信装置の構成

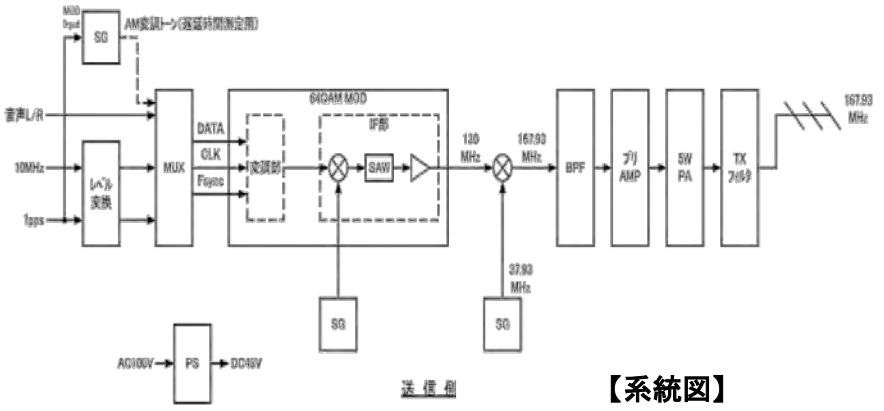


デジタル部

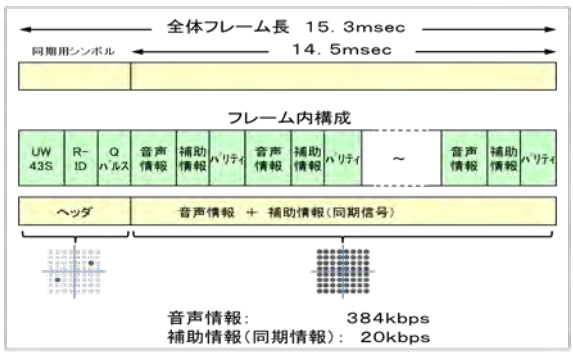
- ・MN帯音声STL用の音声多重処理部(コーデック他)と変復調部をベースに改造
- ・シングルキャリア64QAM、シンボルレート: 77k symbol/sec、ロールオフ率: 0.2
- ・音声コーデックは、FM用STL他で採用実績のあるサブバンドADPCM

高周波部

- ・デジタル用160MHz帯RFとして汎用品を利用しリニア増幅処理を実現

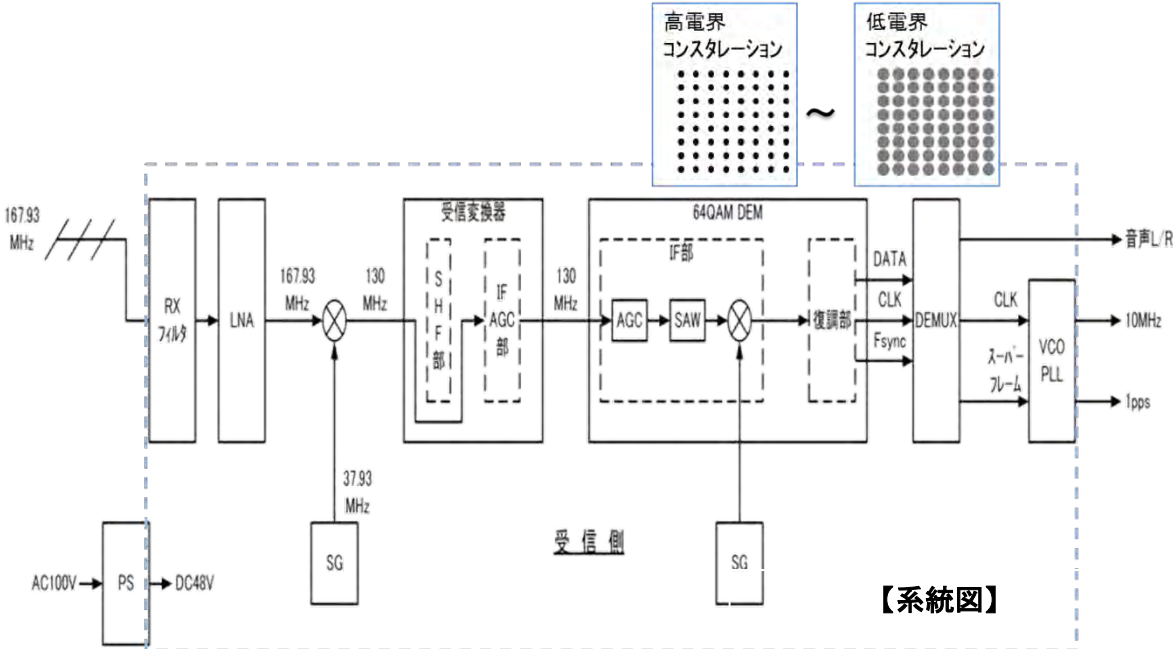
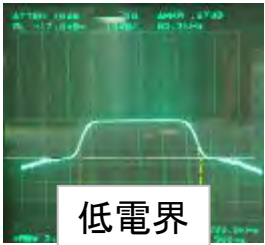
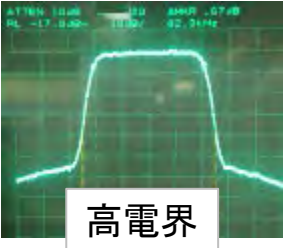
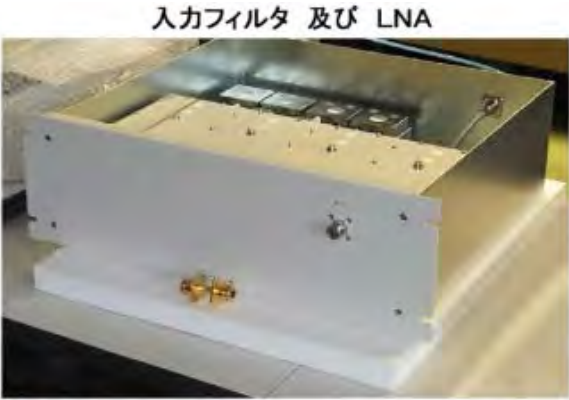


【系統図】



【フレーム構成】

2.2 STL伝送装置の概要： STL受信装置の構成



3. 室内試験

STLの実験試験装置の基本性能を確認するため、室内試験にて検証を行う。

1. 送信装置の基本性能

- (1) 占有周波数帯幅
- (2) スペクトラムマスク



2. 送受信間における総合特性試験

- (1) アナログ音声諸特性
- (2) システム遅延時間
- (3) ガウス雑音対ビット誤り率
- (4) 受信入力電力対ビット誤り率

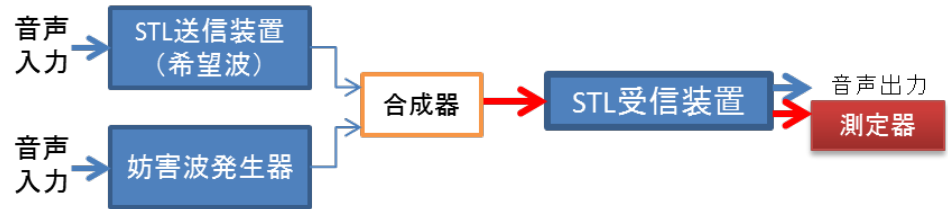
3. マルチパス特性試験

- (1) マルチパス変動に伴う回線品質確認



4. 隣接チャンネル等干渉試験

- (1) 同一システムにおける干渉
- (2) 既存アナログシステムへの干渉



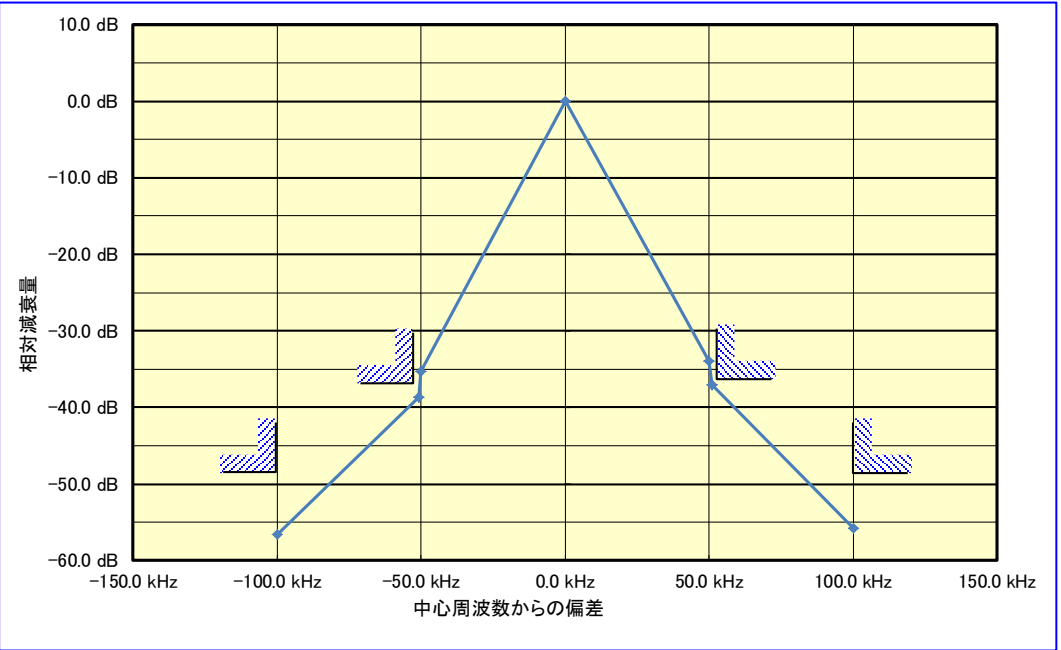
3.1 STL送信装置の性能試験 (占有周波数帯幅、送信スペクトル)

◆ 占有周波数帯幅

仕様	測定値
100kHz以下	90.3kHz

◆ スペクトラムマスク

中心周波数からの偏差(kHz)	相対減衰量(dB)	
	仕様値	測定値
-100.0 kHz	-48.0 dB	-56.6 dB
-51.0 kHz	-37.0 dB	-38.7 dB
-50.0 kHz		-35.3 dB
0.0 kHz	0.0 dB	0.0 dB
50.0 kHz		-34.0 dB
51.0 kHz	-37.0 dB	-37.1 dB
100.0 kHz	-48.0 dB	-55.8 dB

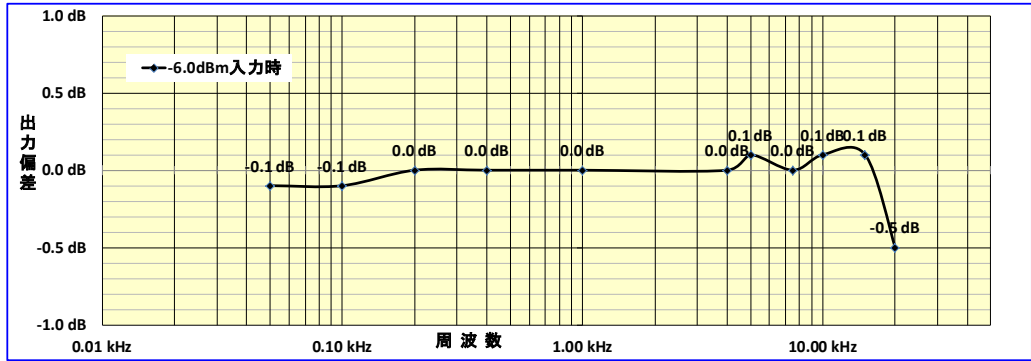


3.2 アナログ音声諸特性

◆ 音声出力レベルと音声対信号比 (Lチャンネルの場合)

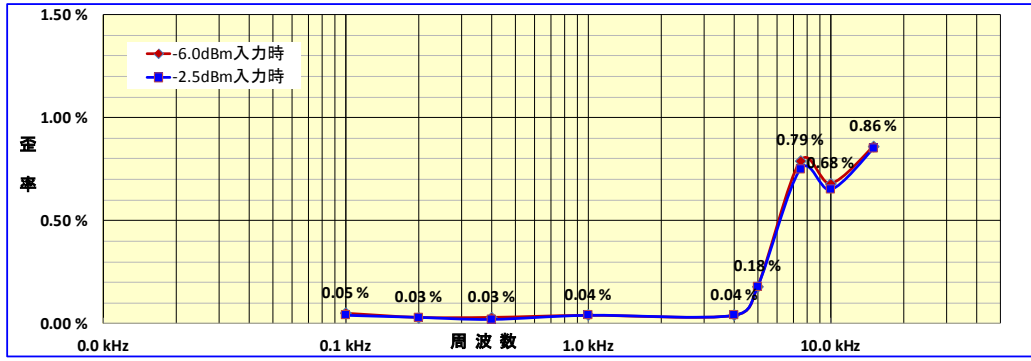
項目	仕様	結果
音声出力レベル	-6.0dBm入力時	+10dBm±1.0dB以内
信号対雑音比	-6.0dBm入力時	70dB以上

◆ 出力偏差 (Lチャンネルの場合)



周波数	0.05 kHz	0.1 kHz	0.2 kHz	0.4 kHz	1.0 kHz	4.0 kHz	5.0 kHz	7.5 kHz	10.0 kHz	15.0 kHz	20.0 kHz
出力偏差	-0.1 dB	-0.1 dB	0.0 dB	0.0 dB	0.0 dB	0.0 dB	0.1 dB	0.0 dB	0.1 dB	0.1 dB	-0.5 dB
<基準>	±1.0dB以内						±0.5dB以内				±1.0dB以内

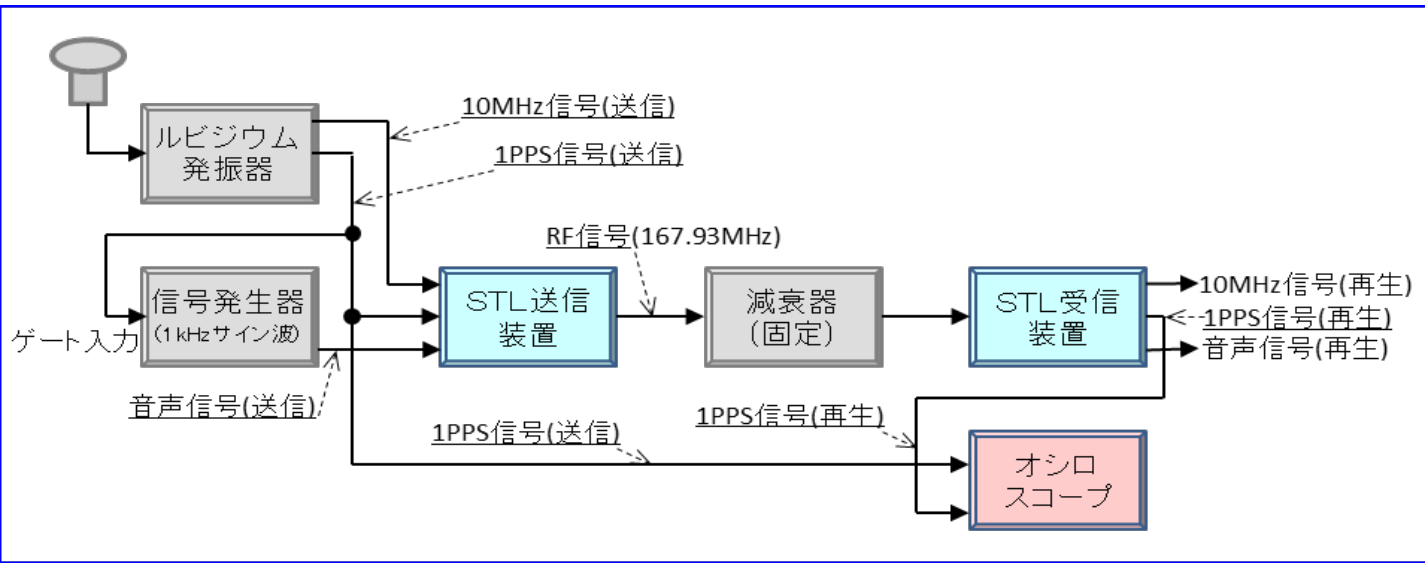
◆ 歪率 (Lチャンネルの場合)



周波数	0.05 kHz	0.1 kHz	0.2 kHz	0.4 kHz	1.0 kHz	4.0 kHz	5.0 kHz	7.5 kHz	10.0 kHz	15.0 kHz	
歪率	-6.0dBm入力時	0.08%	0.05%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%	0.18%	0.79%	0.68%	0.86%
	-2.5dBm入力時	0.07%	0.04%	0.03%	0.02%	0.04%	0.04%	0.18%	0.75%	0.85%	0.85%
<基準>	1.5%以下										

◆ 左右音声出力のレベル差、位相差、クロストーク ... 基準内

3.3 システム遅延時間



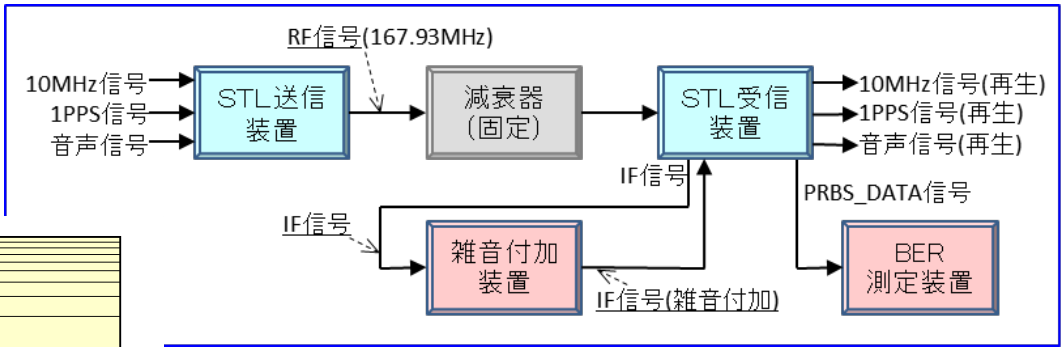
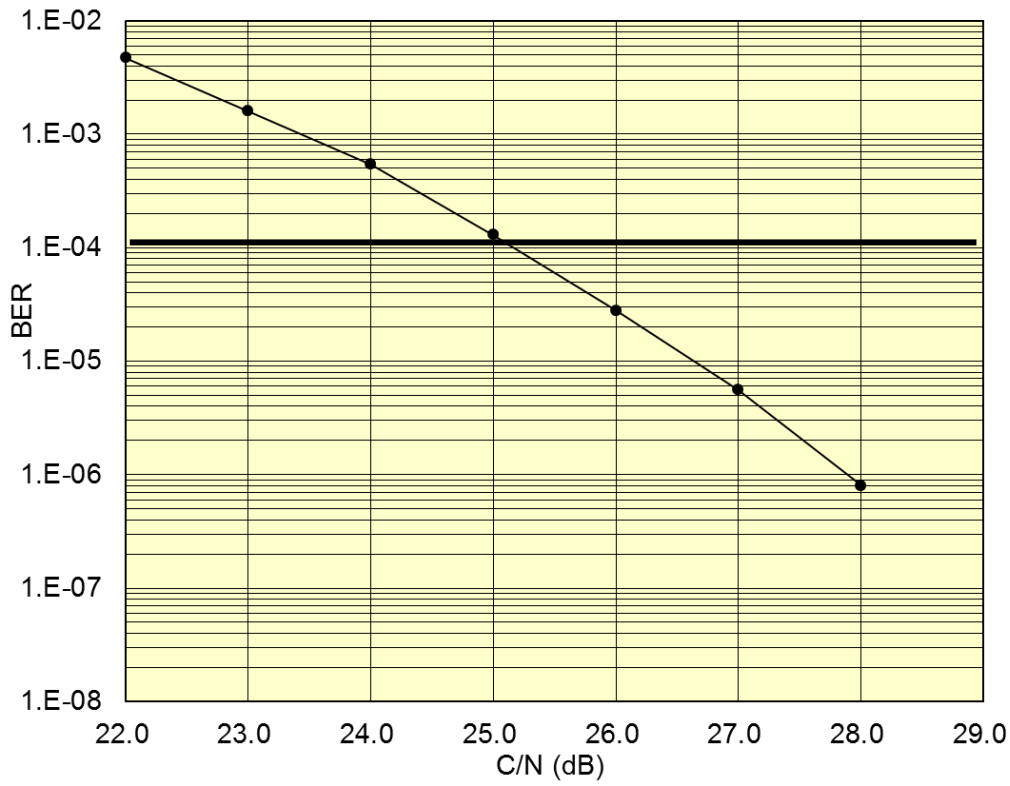
測定値
14.4 msec

[参考] 設計仕様は15msec以内

(内訳)

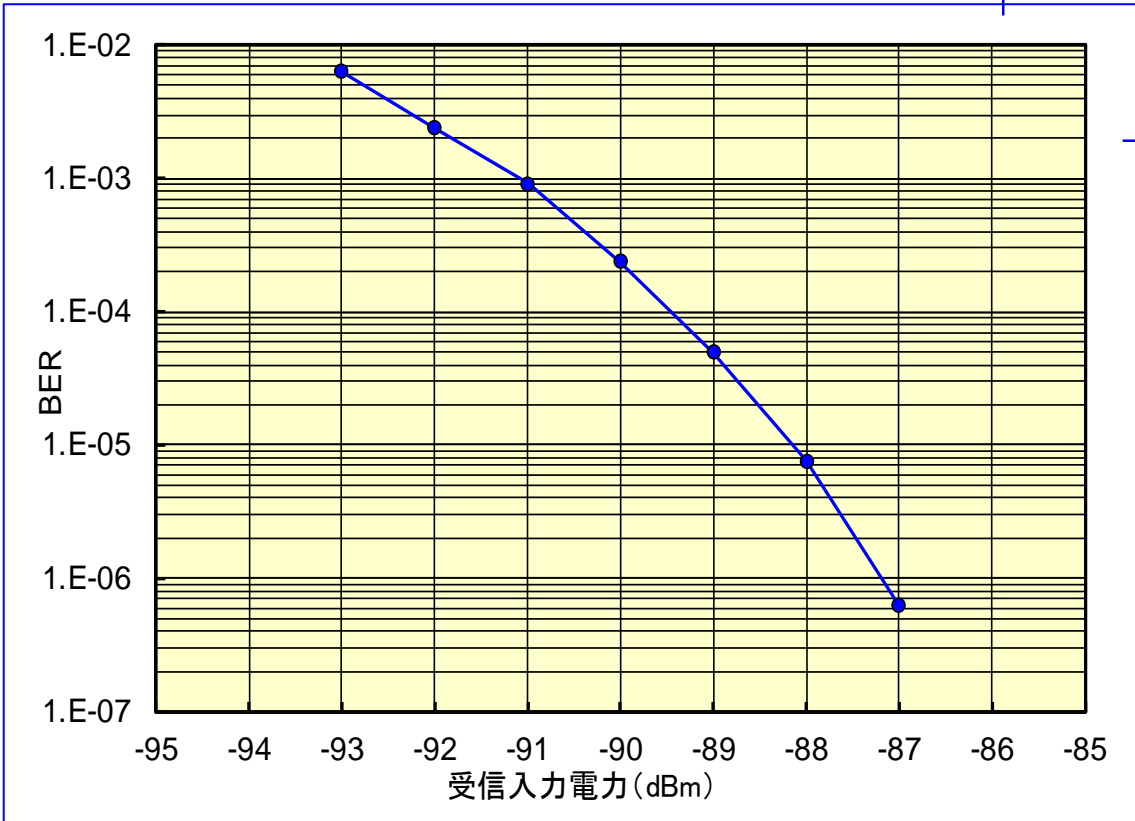
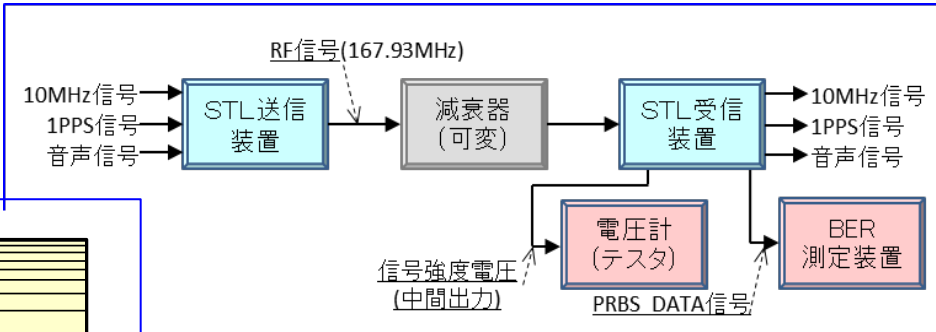
- | | |
|--------------------------------|--------|
| ① 音声圧縮サブバンドADPCMの実処理時間 | 約5msec |
| ② 伝送フレーム構成に挿入するヘッダ期間確保のデータ遅延時間 | 約1msec |
| ③ エラー訂正の単位3.6msecに対するシンドローム演算 | 約4msec |
| ④ 同エラー訂正演算処理実時間 | 約4msec |
| ⑤ その他処理時間 | 約1msec |

3.4 ガウス雑音対ビット誤り率



C/N	22 dB	23 dB	24 dB	25 dB	26 dB	27 dB	28 dB
BER	4.7E-03	1.6E-03	5.4E-04	1.3E-04	2.8E-05	5.6E-06	8.0E-07

3.5 受信入力電力対ビット誤り率(BER)

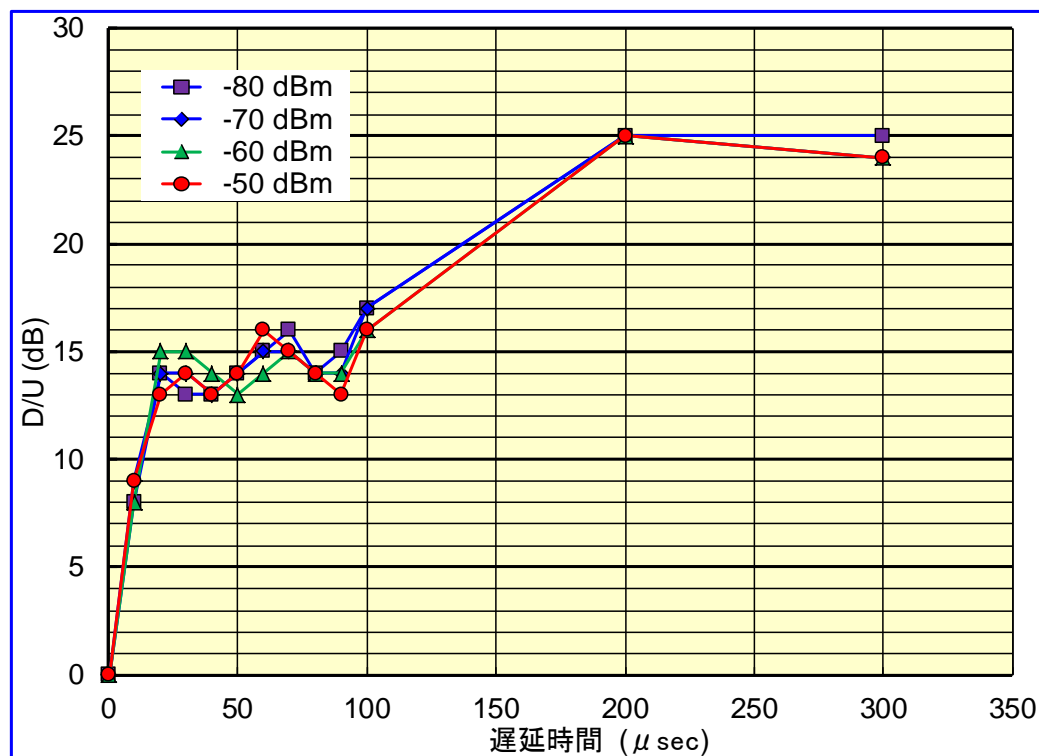


受信入力電力	-87 dB	-88 dB	-89 dB	-90 dB	-91 dB	-92 dB	-93 dB
BER	6.2E-07	7.6E-06	5.0E-05	2.4E-04	9.1E-04	2.4E-03	6.4E-03

3.6 マルチパス特性(遅延プロファイル)

遅延時間(us)	受信入力電力			
	-50 dBm	-60 dBm	-70 dBm	-80 dBm
0.1 usec (※)	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
10 usec	9 dB	8 dB	9 dB	8 dB
20 usec	13 dB	15 dB	14 dB	14 dB
30 usec	14 dB	15 dB	14 dB	13 dB
40 usec	13 dB	14 dB	13 dB	13 dB
50 usec	14 dB	13 dB	14 dB	14 dB
60 usec	16 dB	14 dB	15 dB	15 dB
70 usec	15 dB	15 dB	15 dB	16 dB
80 usec	14 dB	14 dB	14 dB	14 dB
90 usec	13 dB	14 dB	14 dB	15 dB
100 usec	16 dB	16 dB	17 dB	17 dB
200 usec	25 dB	25 dB	25 dB	25 dB
300 usec	24 dB	24 dB	24 dB	25 dB

※ 遅延時間0.1 μ secでは、シミュレータの限界であるD/U=0dBにおいてもエラーフリーであった



【考察】

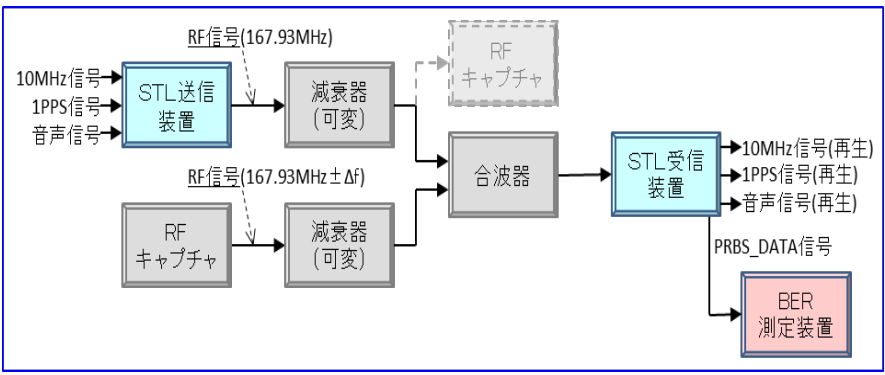
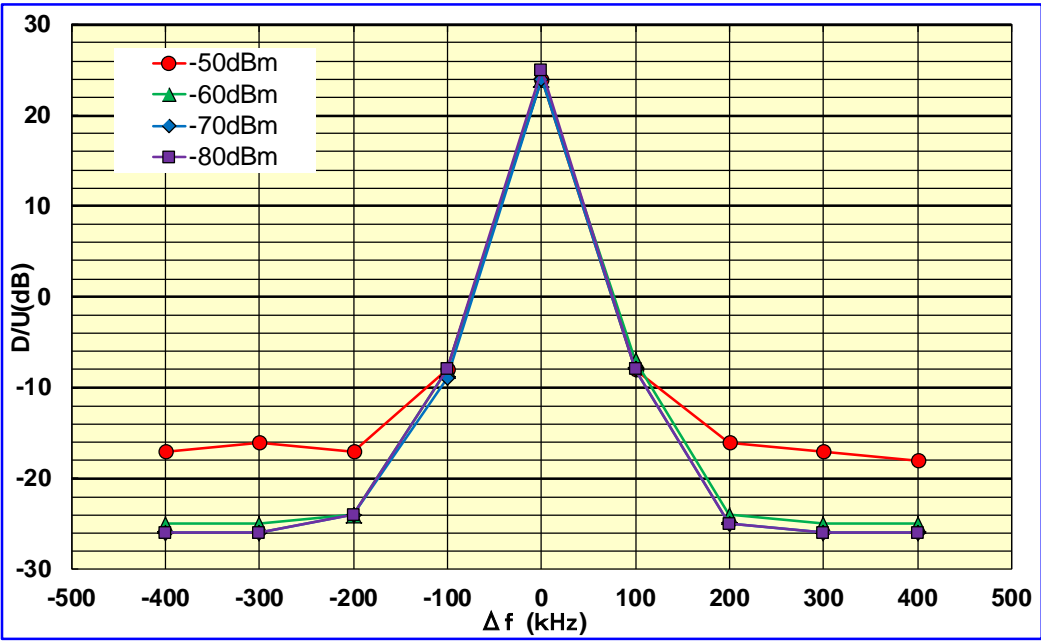
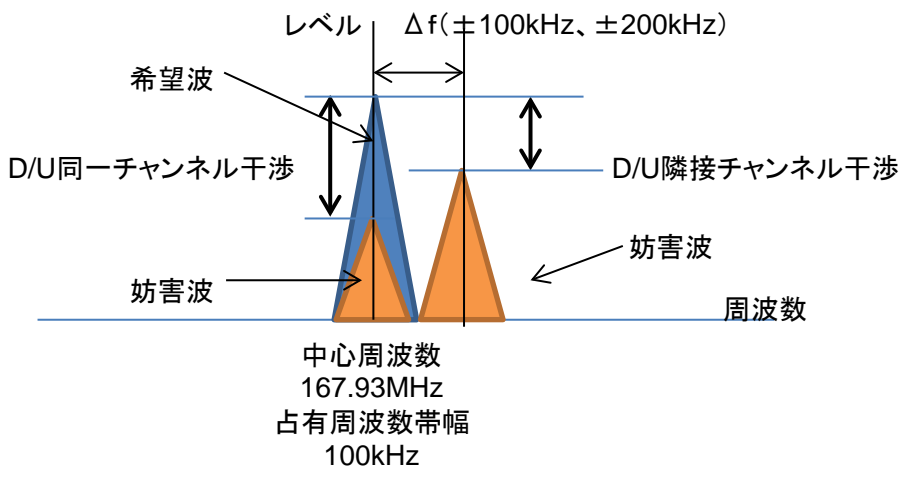
- ・試作装置の等化器は、約100 μ sec程度までの波形劣化改善を行っている。
- ・100 μ sec以上の遅延波に対しては波形等化処理を行なえず雑音として扱われるため、100 μ sec以上の遅延波は雑音となり、25dB程度以下で誤り訂正限界であるBER=1.0E-04を得られた。

【補足】

- ・遅延時間0.1 μ sでは、D/U=0dB(シミュレータの限界値)でも誤り訂正後ではエラーフリーであった。

3.7 デジタル伝送STL中継回線同士の干渉条件

- ・同一システムにおける混信保護比を得るため、室内試験にて干渉試験を行う。
- ・測定する項目は、同一チャンネル干渉、隣接チャンネル干渉および隣々接チャンネル干渉とした。測定方法は、希望波及び妨害波のD/Uを可変して、所要のBERを満たすところのD/U値を測定。



3.8 既存アナログ無線設備への干渉条件

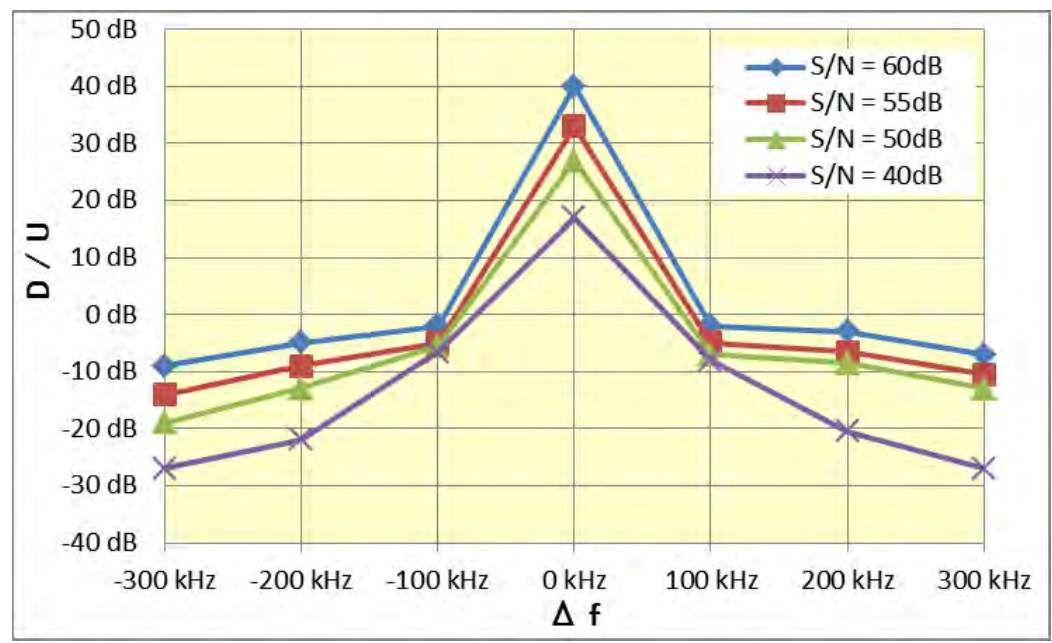
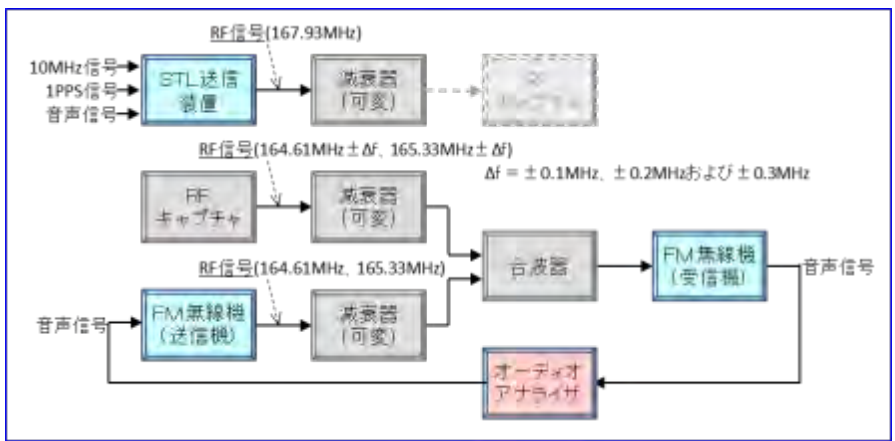


図5.3-20 周波数とD/U値との関係 (受信入力電圧60dBμV、周波数164.61MHz)

【混信保護比に関する結果】

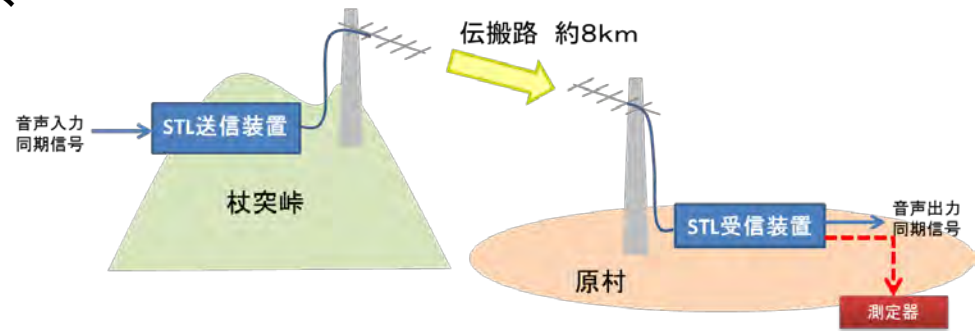
希望波	妨害波	所要D/U値(dB)			
		同一周波数	100kHz離れ	200kHz離れ	300kHz離れ
デジタルSTL	デジタルSTL	25 dB	-7 dB	-16 dB	-16 dB
アナログ (S/N=60dB)	デジタルSTL	41 dB	-1 dB	- 3 dB	- 7 dB
アナログ (S/N=40dB)	デジタルSTL	19 dB	-7 dB	-21 dB	-25 dB

4. フィールド試験

基本性能・受信特性試験(固定受信点)

■ 屋外における基本性能・受信特性を確認するため、フィールドにて検証を実施。

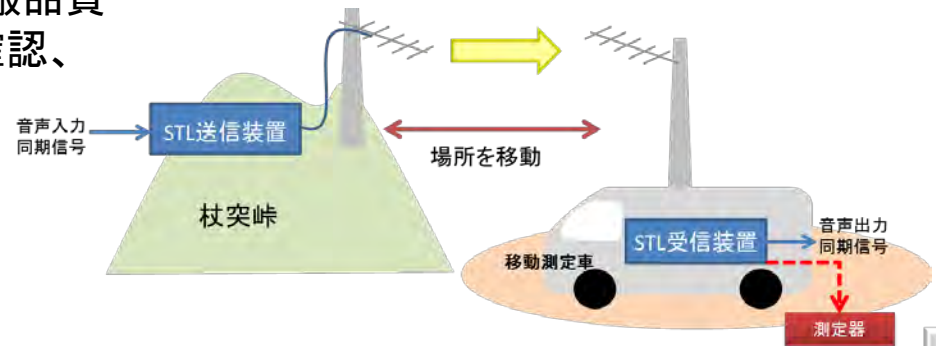
- 1. 受信入力電力が変動した際の試験
受信入力電力、BER、10MHz/1PPS再生確認、
コンスタレーション
- 2. 伝送遅延
伝送遅延時間
- 3. 長期変動試験(約1週間程度)
受信入力電力、BER



受信特性試験(受信点移動)

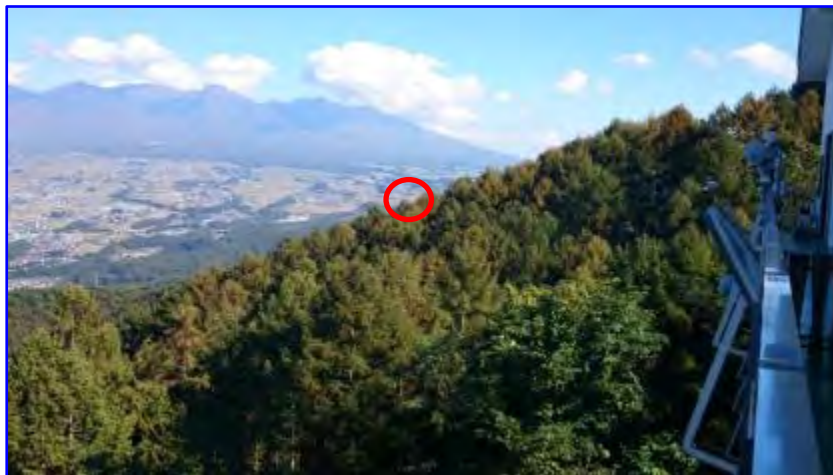
■ 伝搬距離特性及び見通し外伝搬特性を確認するため、フィールドにて検証を実施。

- 1. 伝搬距離特性
 - ・受信点を5km、10km、15kmおよび20km地点の見通し区間における伝搬品質
 - ・受信点を20km地点の見通し外区間における伝搬品質
- ・受信入力電力、BER、10MHz/1PPS再生確認、
コンスタレーション

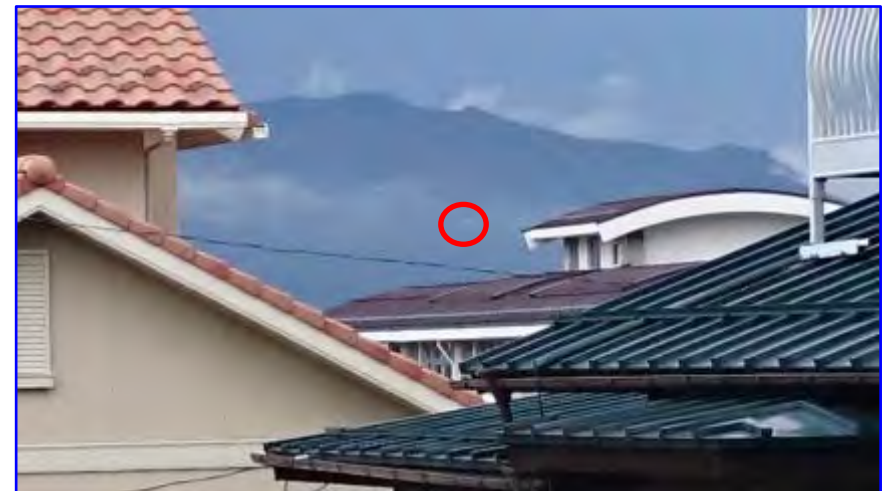


※ 1PPS: 1秒間に1回のパルス信号(1 Pulse Per Second)のこと。通常、GPS(全地球測位網: Global Positioning System)からの信号を受信することで得られる。

4.1 基本構成(送受信所の地理的位置関係)



杖突峠送信所から原村受信所を見た写真



原村受信所から杖突峠送信所を見た写真

4.2 フィールド実験(外観)

杖突峠送信所



原村受信所



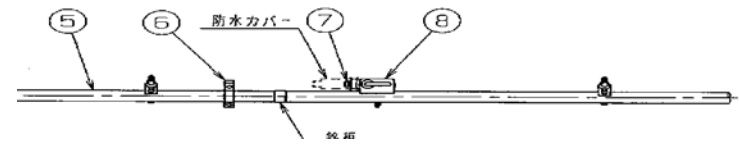
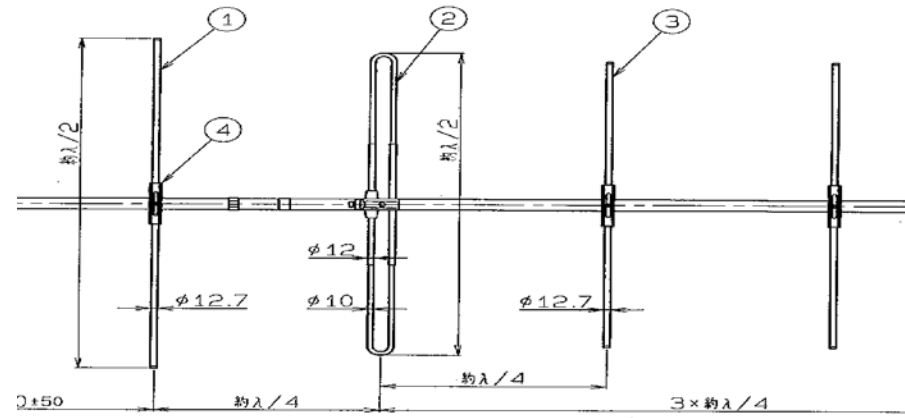
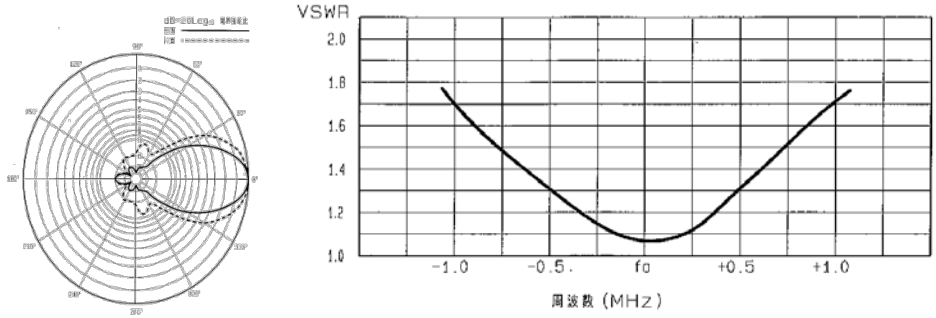
4.3 使用する機器(フィールド試験)

・使用する機材一覧

機材	主要機能/特性	備考
STL送信装置	160MHz帯デジタルSTL送信装置 DS-160M37-LFW1	今回試作 (杖突峠送信所)
STL受信装置	160MHz帯デジタルSTL受信装置 DS-160M-LFW1	今回試作 (原村受信所)
減衰器(可変)	アジレント 8494B+8496B	
STL送信アンテナ	日本アンテナ 5DV-150 (5素子八木アンテナ)	(杖突峠送信所)
STL送信アンテナ 同軸ケーブル	5D-2W 30m	(杖突峠送信所)
STL受信アンテナ	日本アンテナ 5DV-150 (5素子八木アンテナ)	(原村受信所)
STL受信アンテナ同軸ケーブル	5D-2W 50m	(原村受信所)
ルビジウム発振器(送信)	日通機 RB20S0	GPS校正型 (杖突峠送信所)
ルビジウム発振器(受信)	日通機 RB20S0	GPS校正型 (原村受信所)
信号発生器 (ファンクションジネレータ)	HP 8116A	1kHzサイン波 (1PPSでゲート)

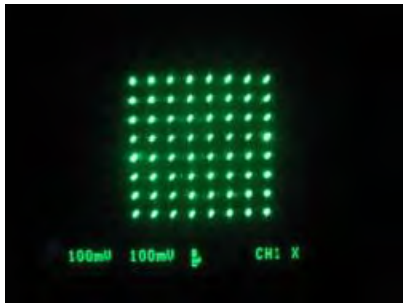
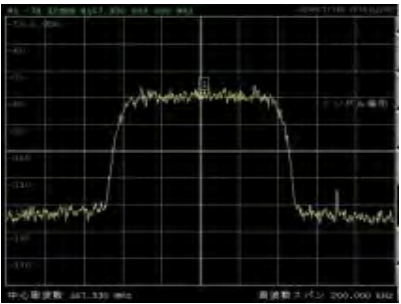
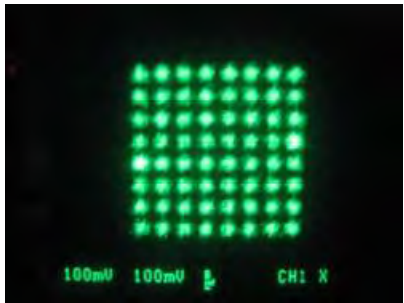
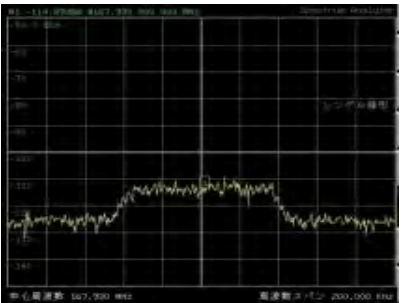
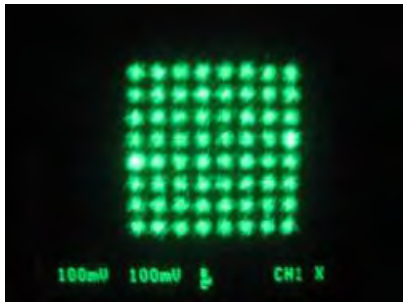
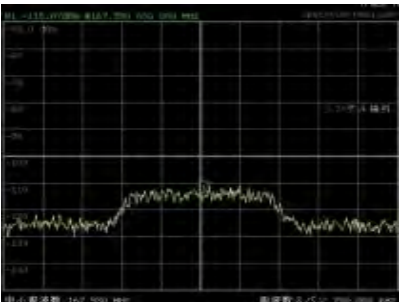
・使用するアンテナ

タイプ: 5素子八木アンテナ
 周波数: 167.93MHz
 利得: 9dBd



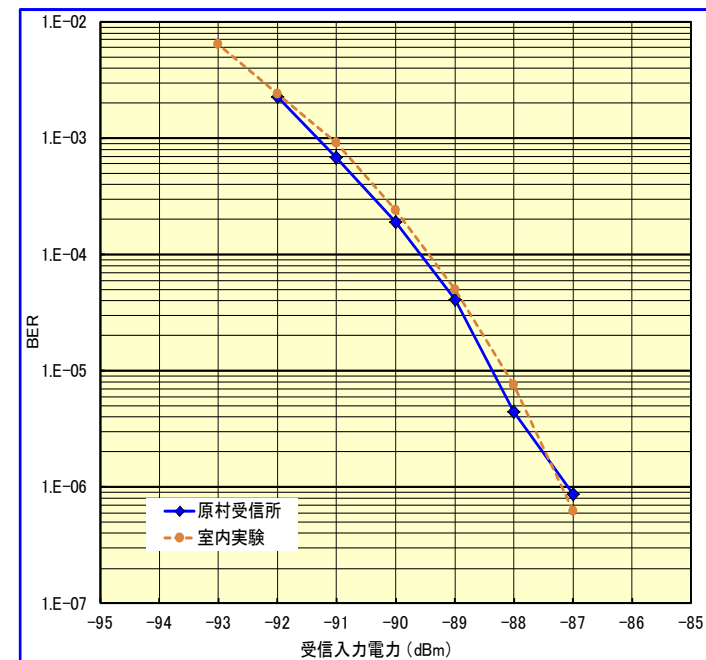
4.4 基本性能試験

(受信入力電力対ビット誤り率、コンスタレーション)

受信入力電力	コンスタレーション	スペクトル波形
-55dBm (BER : エラーフリー)		
-90dBm (BER : 1.8 E-04)		
-91dBm (BER : 2.2 E-03) (音声復調不可)		

【測定結果】

- ・受信入力電力が-90dBm以上では音声再生されることを確認。
- ・受信入力電力が-91dBm以下ではIおよびQは再生されるものの音声は再生されないことを確認。

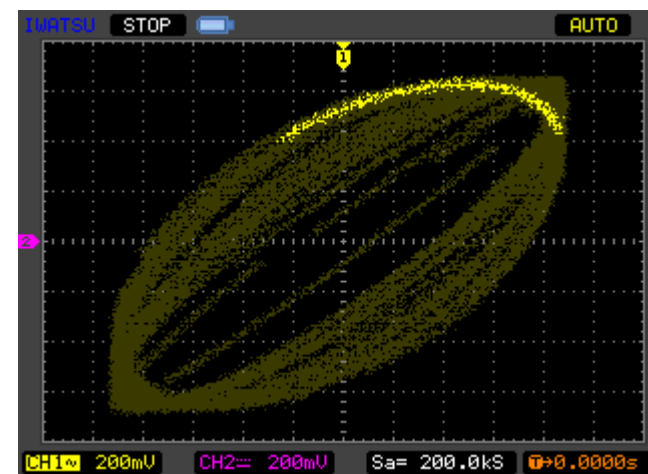
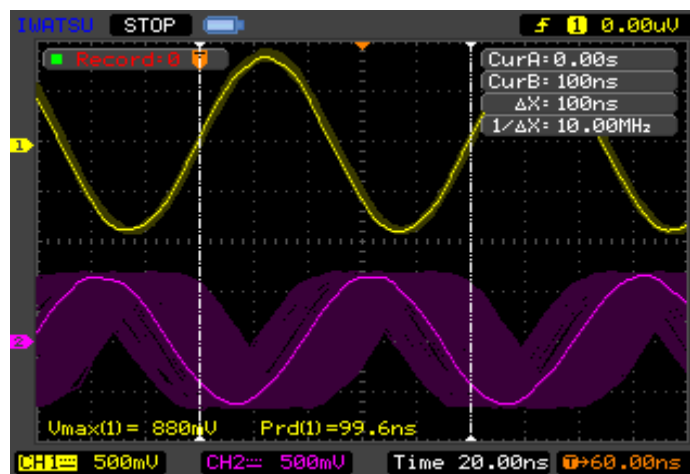


4.5 信号再生確認および遅延量測定

(10MHz信号、1PPS信号および音声信号)

①ルビジウム発振器の10MHz(Rb-10MHz)に対する、再生された10MHz(STL-10MHz)

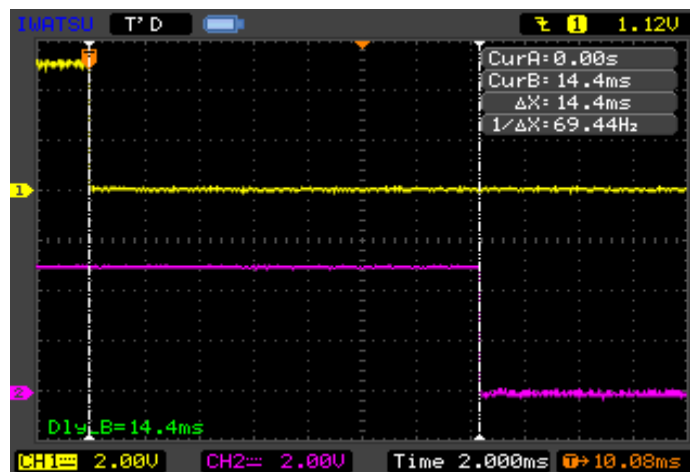
- ・STL-10MHzの周波数:
10,000,000.0Hz



位相関係(左図) 上:Rb-10MHz、下:STL-10MHz (X軸:20ns/DIV)
X-Y図(右図) X軸: Rb-10MHz、Y軸:STL-10MHz

②ルビジウム発振器の1PPS(Rb-1PPS)に対する、再生された1PPS(STL-1PPS)

- ・遅延量
 Δ 1PPS: 14.4ms



遅延関係 上:Rb-1PPS、下:STL-1PPS (X軸:2ms/DIV)

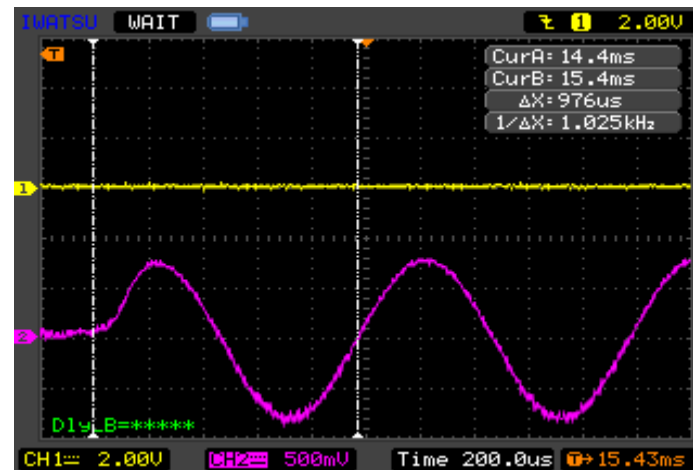
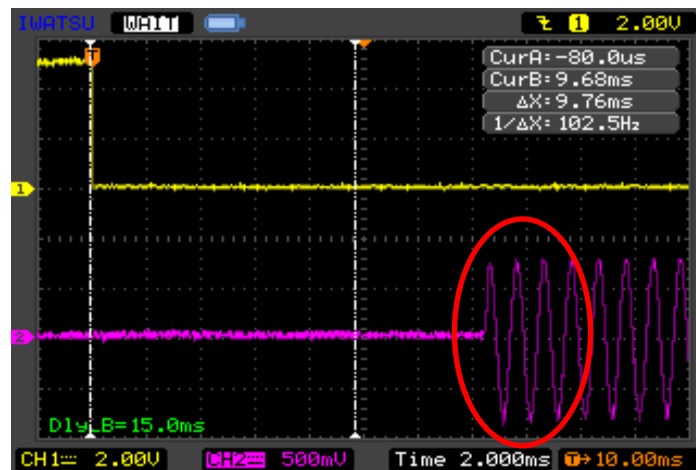
4.6 信号再生確認および遅延量測定

(10MHz信号・1PPS信号および音声信号)

③ルビジウム発振器の1PPS(Rb-1PPS)に対する、再生された音声信号(STL-Audio)

・遅延量: 14.4ms

※ 使用した音声信号は、送信側の1PPSでゲートされた1kHz正弦波を音源とする音声信号

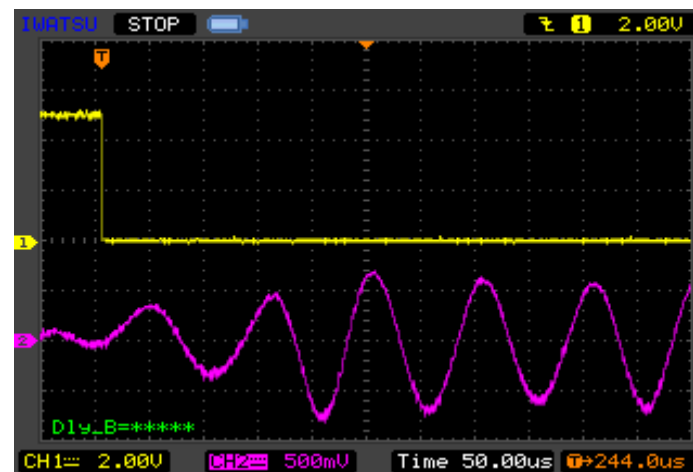
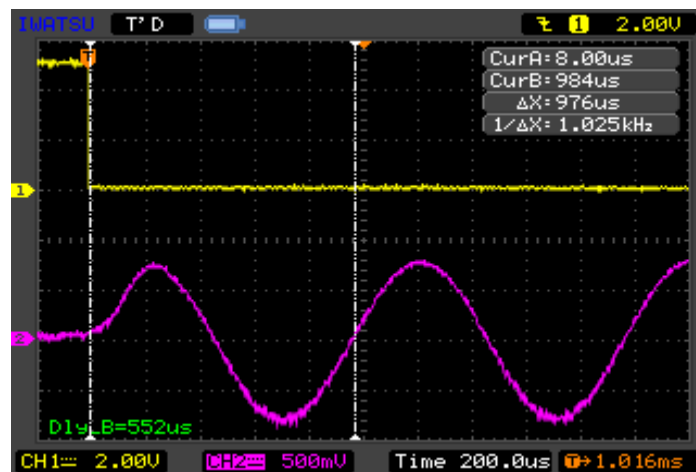


遅延関係 上:Rb-1PPS、下:STL-Audio (X軸:2ms/DIV)

※右図は変化点の部分拡大

④再生された1PPS(STL-1PPS)と再生された音声信号(STL-Audio)

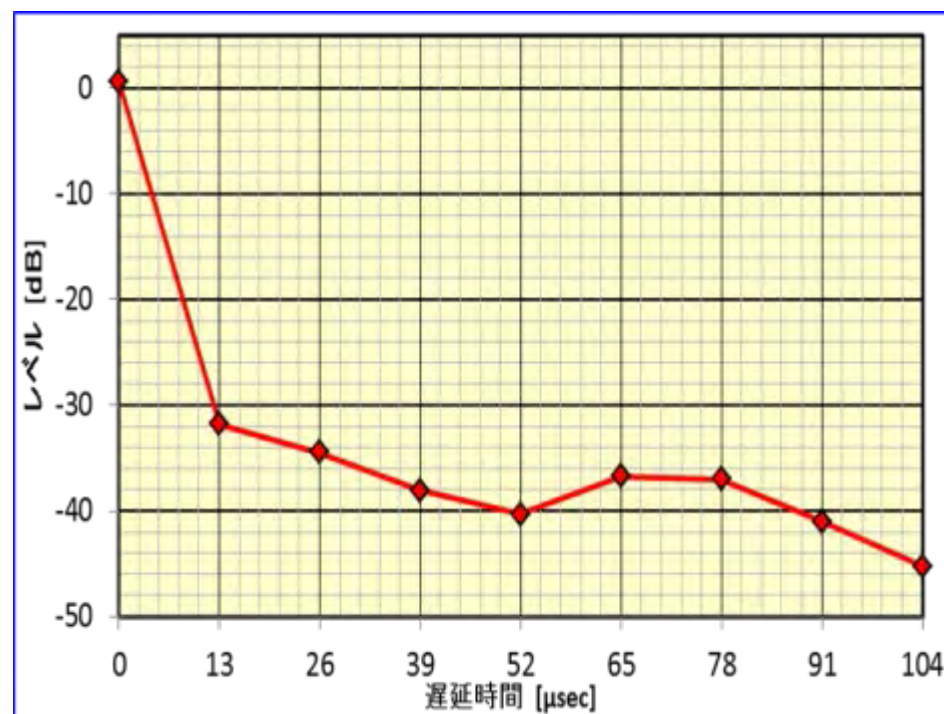
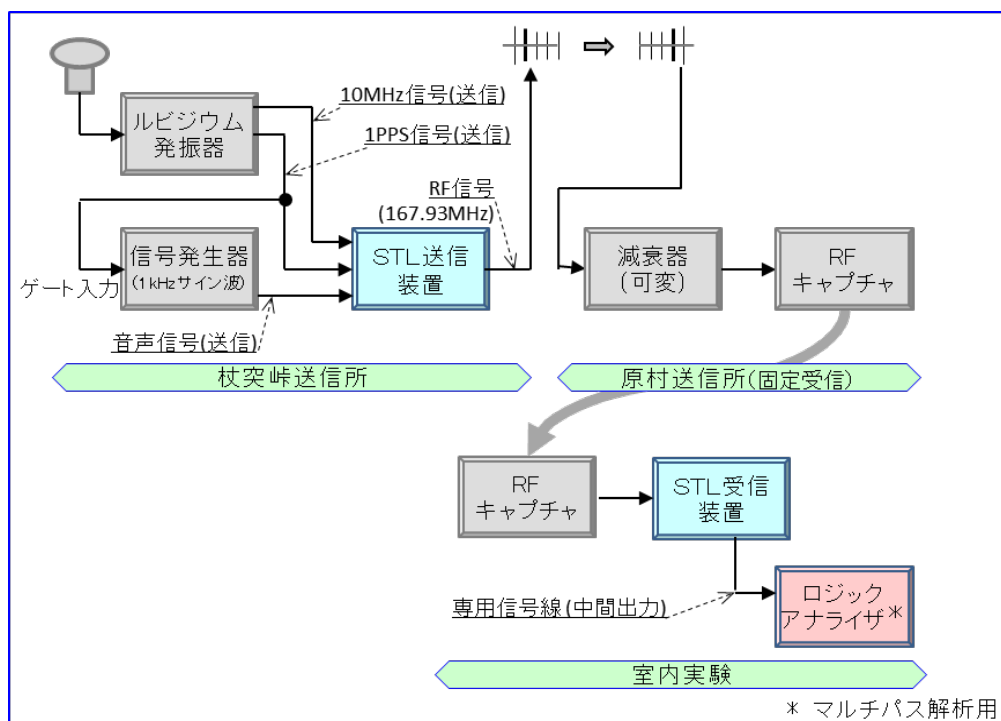
・遅延量: 約20 μ s



遅延関係 上:STL-1PPS、下:STL-Audio

※左図は1kHz音声の場合(X軸:200 μ s/DIV)、右図は10kHz音声の場合(X軸:50 μ s/DIV)

4.7 マルチパス特性 (遅延プロファイル)

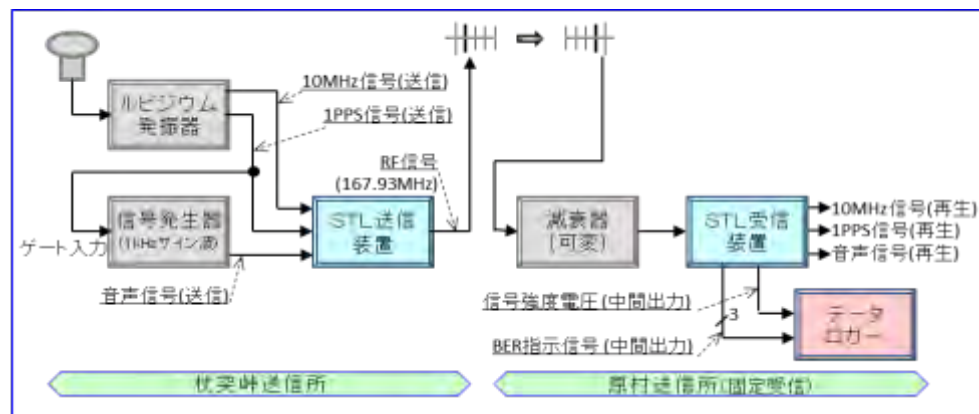


【考察】

- ・室内実験で行ったマルチパス特性と比較すると、伝送品質には影響しない許容できる範囲の特性であることが判った。
- ・65μsecから78μsecに遅延成分が見られたが、遅延成分としては-38dB程度であり、マルチパス特性上問題ないと考えられる。

4.8 長期変動試験

STL送受信間の受信入力電力変動を確認するため、長期変動の測定を実施(約一週間程度)



【考察】

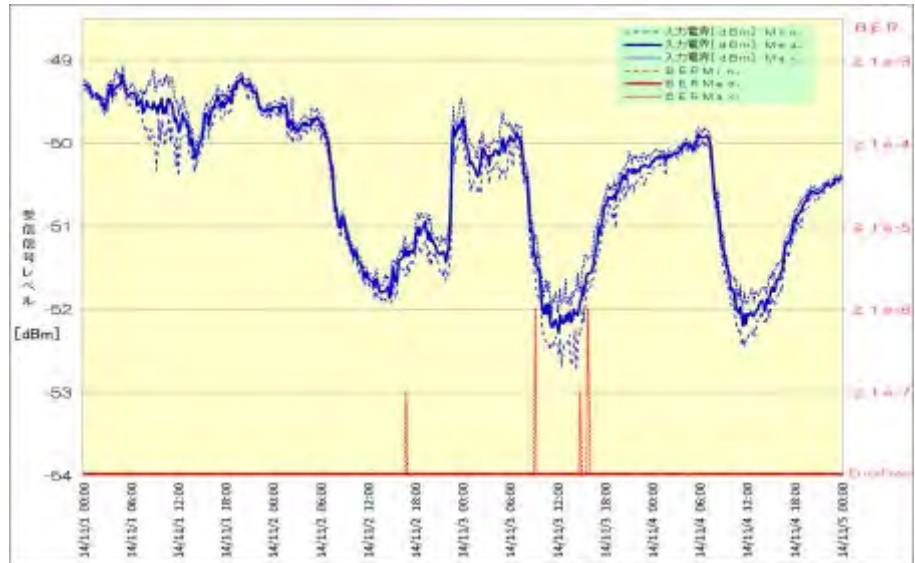
- ・受信入力電力の長期変動は±2dB程度である
- ・受信入力電力と気候変動との相関
 - ・気温に対して中程度の負の相関が、相対湿度に対して強い正の相関がある。
 - ・降水量に対して相関は見られない。(測定期間中の降水量が少ないため正しく判断できない。)
 - ・その他の気象変動(現地気圧、風速、蒸気圧)との相関は見られない。
- ・受信入力電力に対する気温、相対湿度との相関。

	受信入力電力と気温の相関係数	受信入力電力と相対湿度の相関係数
受信入力電力が大きい場合	-0.28	0.64
受信入力電力が小さい場合	-0.53	0.87

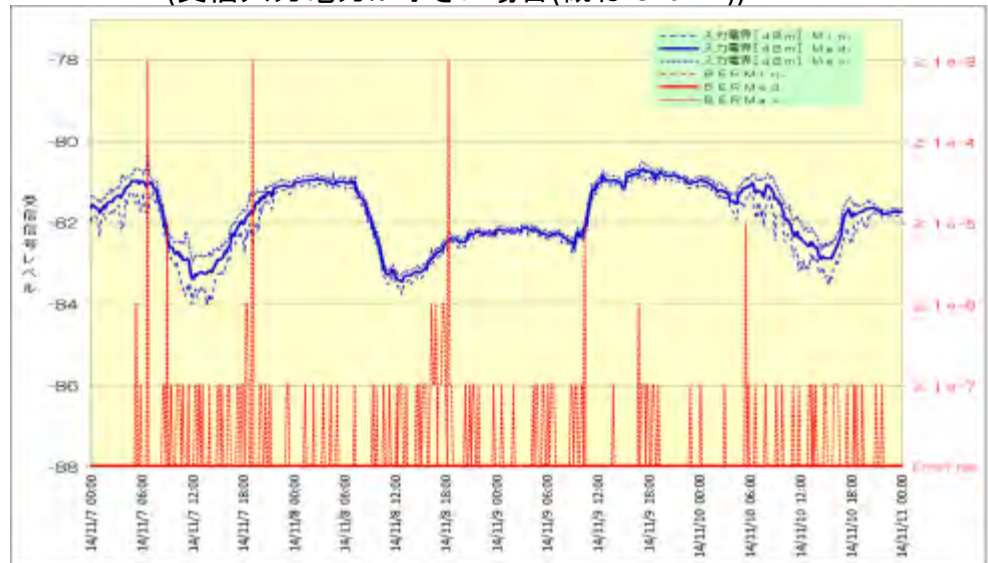
受信入力電力は気温に対しては中程度の負の相関があり、相対湿度に対しては高い正の相関がある。ただし、気温については0~15°Cの範囲、相対湿度については40~100%の範囲において、受信入力電力の変動は3dB程度であり、影響は限定的である。

4.9 長期変動試験

◆ 受信入力電力の長期変動(上段)と同一期間の気象変動(下段)
(受信入力電力が大きい場合(概ね-51dBm))



◆ 受信入力電力の長期変動(上段)と同一期間の気象変動(下段)
(受信入力電力が小さい場合(概ね-82dBm))



4.10 伝搬距離を変えた場合の伝搬特性 (見通し区間・見通し外区間)

測定地点

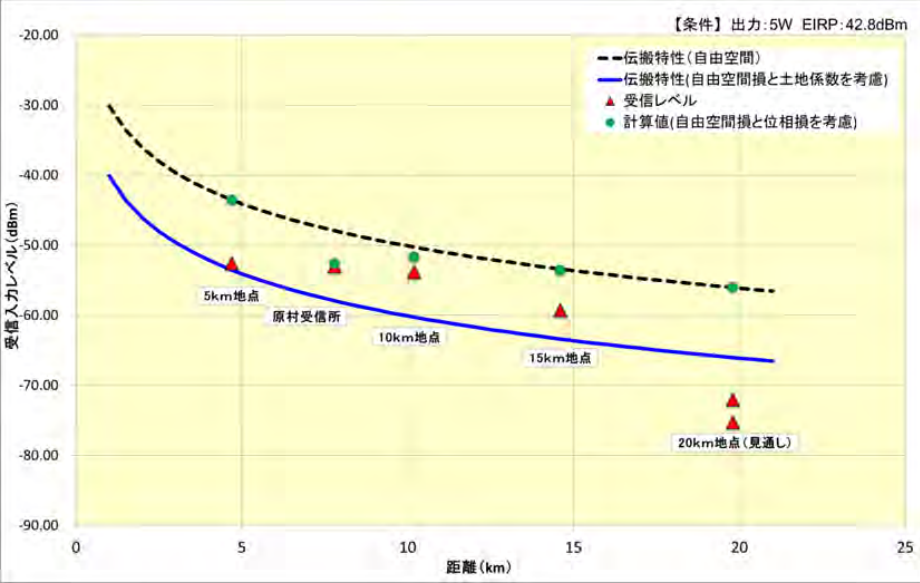
- 見通し区間(5、10、15、20km)
- 見通し外区間(20km)



4.11 伝搬距離を変えた場合の伝搬特性 (見通し区間)

【各測定地点での結果】
(受信入力電力、ビット誤り率、10MHz信号)

送受間距離	受信入力電力	ビット誤り率	再生された 10MHz 信号
5km	-52.7dBm	エラーフリー	10,000,000.0Hz
10km	-54.1dBm	エラーフリー	10,000,000.0Hz
15km	-60.3dBm	エラーフリー	10,000,000.0Hz
20km (地点1)	-72.0dBm	エラーフリー	10,000,000.0Hz
20km (地点2)	-75.3dBm	2.09 E-07	10,000,000.0Hz



【受信入力レベル(計算値とフィールド測定値の関係)】

【各測定地点での結果】
(コンスタレーション、スペクトル波形、再生信号波形)

送受間距離	コンスタレーション	スペクトル波形	再生された音声信号と 1PPS 信号
5km			
10km			
15km			
20km (地点1)			
20km (地点2)			

4.12 伝搬特性(2) (20kmの見通し外区間)

20kmの見通し外区間における伝搬特性

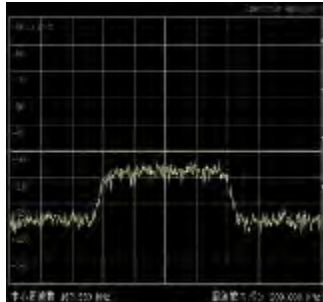
・受信地点

受信地上高: 7m
 緯度: 35度54分58.08秒
 経度: 138度20分29.57秒
 標高: 1557.3m

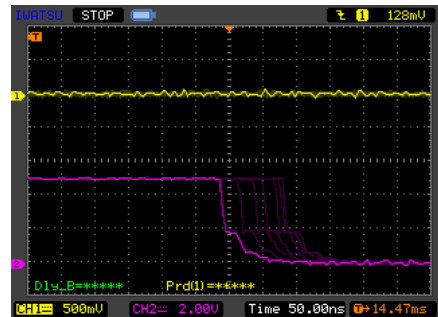
- ・受信入力電力: -85.3dBm
- ・BER: 1.00 E-05
- ・再生周波数: 10,000,000.0Hz



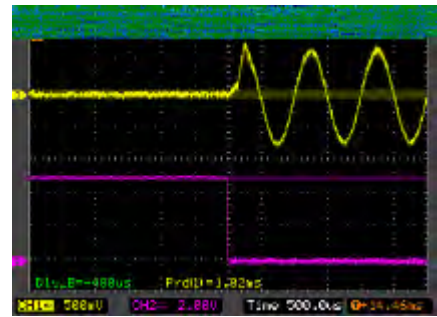
コンスタレーション



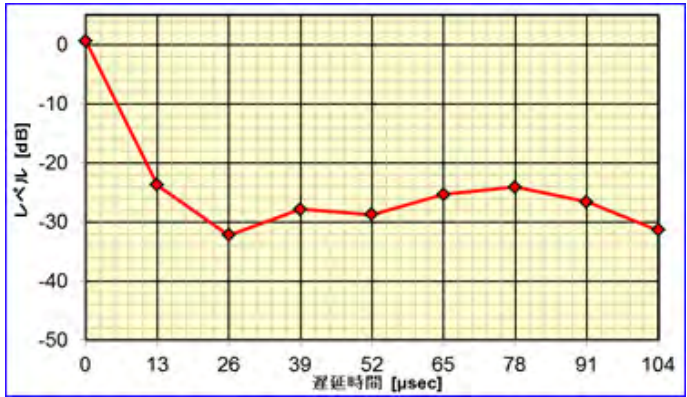
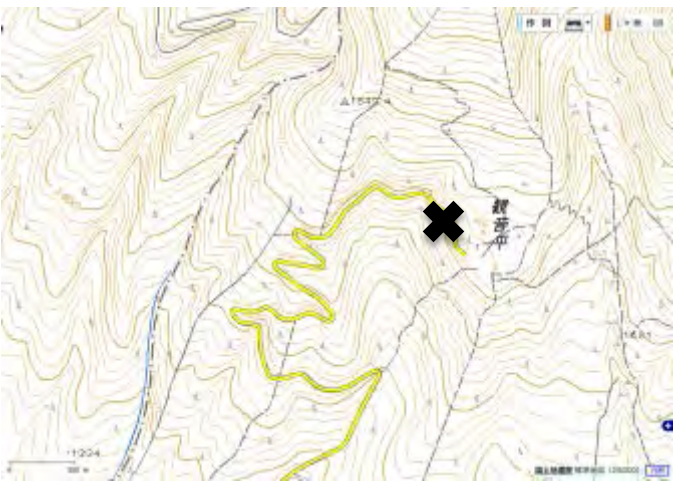
スペクトル波形



1PPS再生された1PPS波形



再生された音声波形

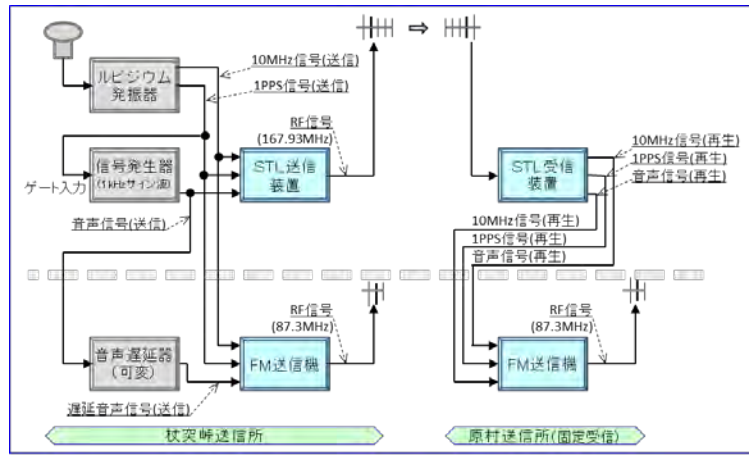
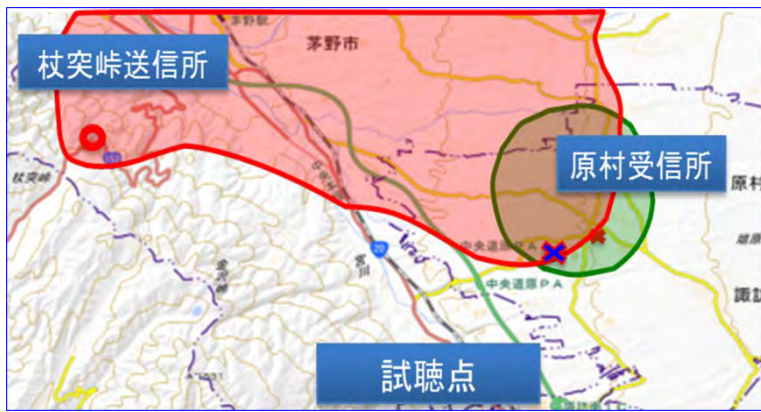


マルチパス特性

5. 【応用例】FM同期放送への活用

デジタルSTLを利用した、FM実験試験局2局による試聴確認を実施

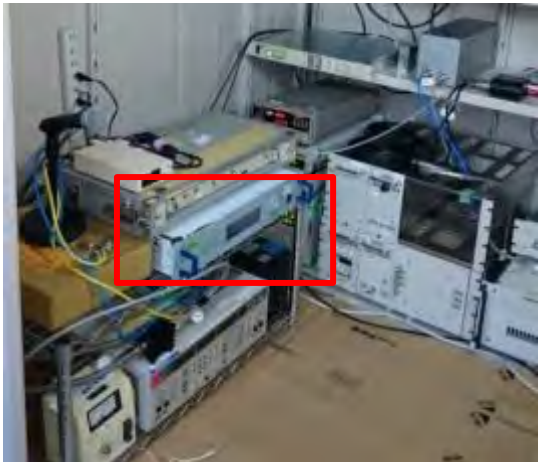
- FM同期放送とは、同一周波数を利用したFM放送サービスを行う上で、2局以上の送信所から放送を行う場合に、お互いの干渉を避けるため、これらの送信所の同一性(受信する2波の周波数偏差が少ないこと、および遅延時間差が少ないこと)が保てるようにするもの
- 今回、STL伝送実験システムにおいて、同期放送を行うための補助情報として10MHz信号と1PPS信号の情報を音声信号とともに伝送
- これらの信号を伝送することにより、FM送信機への基準信号となる10MHz、1PPS信号を利用した従属同期システムを構築することが可能
- 10MHz信号と1PPS信号を複数の送信所で同時に基準信号として活用することにより、FM同期放送の同一性を確立する一助となることを想定



5.1 FM同期放送のシステム構成

- FM送信機とFM送信アンテナ(赤枠内)

<杖突峠送信所>



<原村受信所>

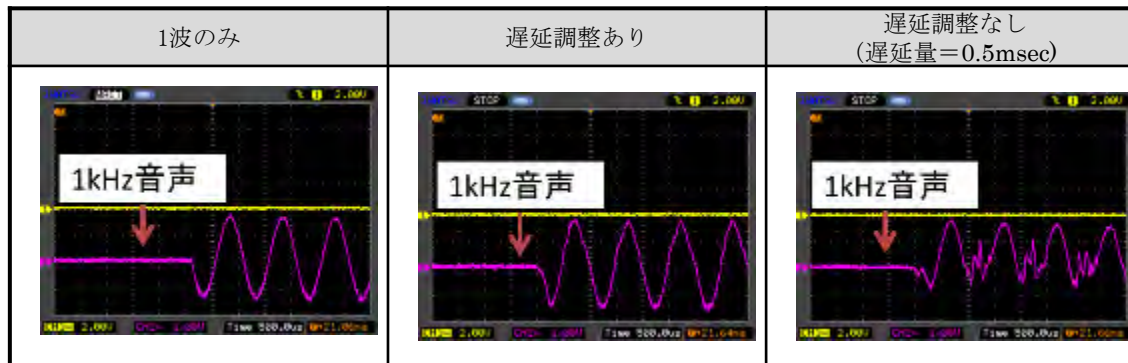


<FM受信機間における出力信号の遅延量の調整>



5.2 試験結果

- ・ 音源として、1PPS信号に同期した1kHzのサイン波を音声信号として使用。
- ・ FM波1波のみを受信した場合の音声波形： 下表左の“1波のみ”に示す波形となった。
- ・ FM2局間の遅延時間を調整した場合の音声波形： 下表中央の“遅延調整あり”に示す波形となり、遅延時間を調整することによって波形の乱れが見られないことを確認。
- ・ 疑似的に0.5msecの遅延量の差を加えた場合の音声波形： 下表左の“遅延調整なし”に示す波形となり、波形の乱れが生じており、同一性が保たれていないことを確認。



【まとめ】

- ・ D/Uが0の状態における実聴では、音声に歪が生じることを確認
- ・ FM受信アンテナの方向を変え、杖突峠もしくは原村の受信レベルを高くする(D/Uを改善する)ことにより、FM受信機は受信レベルの高い局を受信することとなり音声がクリアに聴こえることを確認。
- ・ 受信状況については、FM受信機のアンテナ特性やFMチューナ特性に依存するため、ハンディタイプのFM受信機(FMラジオ)などを用いて受信レベルや受信アンテナ方向を調整することで、D/Uが0の地点でも音質の影響を軽減できることを確認。

6. まとめ

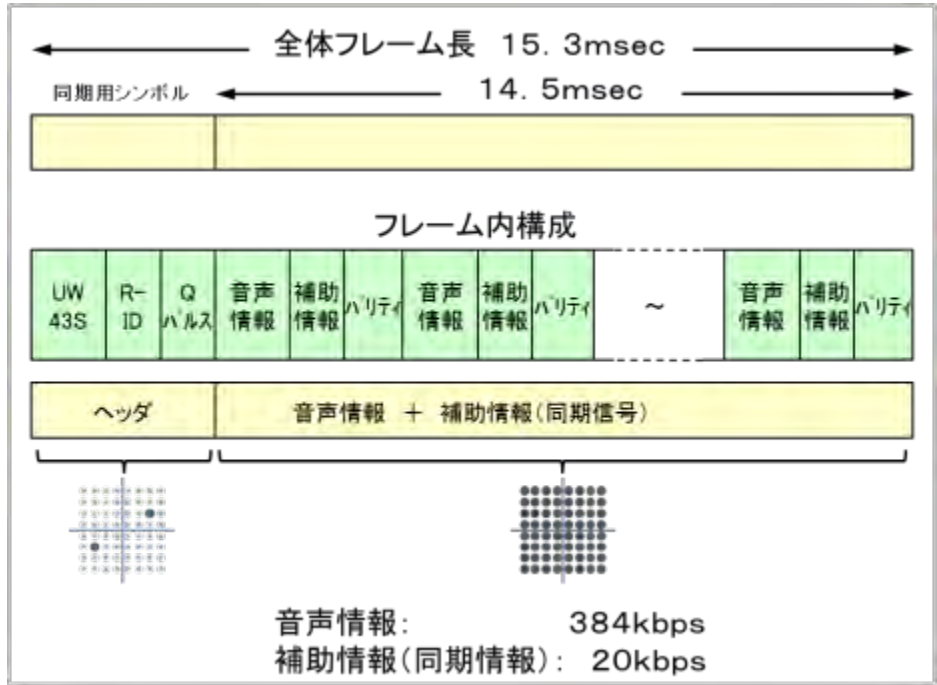
- 6. 1 伝送容量の確認
- 6. 2 伝送遅延などによる課題の解決の検討
- 6. 3 伝送の質を維持する条件の検討
- 6. 4 隣接周波数帯のシステムとの共用条件、
並びに、同一周波数繰り返し使用のための条件の検討
- 6. 5 技術試験のまとめ

6.1 伝送容量の確認

- ・ 総伝送容量は、シンボル周波数と変調ビット数で、定義される。シンボル周波数77kシンボル/秒とロールオフ率0.2となることから、スペクトル帯域は以下の通りで定義される。

スペクトル帯域幅 = シンボル周波数 × (1 + ロールオフ率) = 77 × (1 + 0.2) = 92.4kHz

- ・ 占有周波数帯幅は100kHz以内となり、今回のSTL装置出力の占有周波数帯幅の確認からも100kHz以内の結果となったことより、シンボル周波数とロールオフ率の関係が満たされていることが確認された。



6.2 伝送遅延などによる課題の解決の検討

- ・ 伝送遅延を確認するために、GPSからの信号を受信して得られる1pps信号を基準とし、STL伝送前後の時間差を比較したシステム伝送遅延測定を実施
 - ・ STL伝送によるシステム遅延時間が約14.4msecであることが判った。
 - ・ この結果は、室内実験でもフィールド実験でも同様の結果を得ることができた。
- ・ STL送信所側のFM送信機に対して上述した伝送遅延時間分だけ遅延させた音声信号をFM送信機に入力すれば良い。

- 内訳
- | | |
|--------------------------------|--------|
| ① 音声圧縮サブバンドADPCMの実処理時間 | 約5msec |
| ② 伝送フレーム構成に挿入するヘッダ期間確保のデータ遅延時間 | 約1msec |
| ③ エラー訂正の単位3.6msec に対するシンドローム演算 | 約4msec |
| ④ 同エラー訂正演算処理実時間 | 約4msec |
| ⑤ その他処理時間 | 約1msec |
- ・ デジタル処理部の最適化などを図れば上記した③および④の時間を短縮でき、システム遅延時間をより短くする余地があると推察。

6.3 伝送の質を維持する条件の検討

【室内実験】 1. 送受総合特性

- (1) アナログ音声諸特性
 - (2) システム遅延時間
 - (3) ガウス雑音対ビット誤り率
 - (4) 受信入力電力対ビット誤り率
 - (5) 干渉妨害特性(DU比)
 - (6) 受信入力電力対アナログ電圧
2. 送受信間における伝搬特性
- (1) マルチパス特性(遅延プロファイル)
 - (2) 同一チャンネル・隣接チャンネルにおける干渉条件

【フィールド試験 (固定点および移動点)】

- ・ 受信入力電力
- ・ BER
- ・ コンスタレーション
- ・ マルチパス特性(遅延プロファイル)
- ・ 音声信号と補助情報の再生確認

【確認できたこと】

- ・ 音声伝送特性: 50Hz~15kHzにおいてフラットな特性
- ・ ガウス雑音対ビット誤り率: 概ねC/N26dB以上においてBERが $1e-4$ 以下の特性
- ・ 入力電力対ビット誤り率: 受信入力電力が-89.5dBmにおいてBERが $1e-4$ となる特性
- ・ マルチパス特性: マルチパス波に対する許容値として、遅延時間が $2\mu\text{sec}$ 以内では10dB程度、 $3\sim 10\mu\text{sec}$ では13~15dB程度、さらに $12\sim 13\mu\text{sec}$ では25dB程度の特性
- ・ 見通し内区間(最長20km)では受信品質を確保できる受信入力電圧とBERの特性を確認
- ・ 見通し外区間(20km)でも受信品質を確保できる受信入力電圧とBERの特性を確認
(実際のネットワーク設計においては適切なマージンを見込む必要がある)
- ・ 受信入力電力とBERの関係: -89.5dBmの受信入力電力でも十分なBERの特性を確認
- ・ マルチパス特性(室内実験): $10\mu\text{sec}$ 以内であればマルチパス波に対して最悪で15dBの差が必要となる。

6.4 隣接周波数帯のシステムとの共用条件、 並びに、同一周波数繰り返し使用のための条件の検討

- ・ 混信保護比の確認(室内実験)
 - (1) デジタル伝送STL中継回線どうしの干渉
 - (2) 既存アナログ方式のモノラル伝送回線へのデジタル伝送STL中継回線の干渉

- ・ 干渉妨害特性(DU比)について
 - ・ デジタル伝送STL中継回線同士(同一システム)の干渉；
同一チャンネル間で25dB、隣接チャンネル間(100kHz離れ)で-7dB、隣々接チャンネル間(200kHz離れ)で-16dB、300kHz離れでも-16dBである特性。
 - ・ 既存アナログ方式のモノラル伝送回線へのデジタル伝送STL中継回線の干渉；
受信入力電圧40dB μV ~ 60dB μV において、S/N=60dBおよびS/N=40dBを確保するための所要D/Uは下表のとおり。

混信保護比に関する結果

希望波	妨害波	所要 D/U 値 (dB)			
		同一周波数	100kHz 離れ	200kHz 離れ	300kHz 離れ
デジタル STL	デジタル STL	25 dB	-7 dB	-16 dB	-16 dB
アナログ (S/N=60dB)	デジタル STL	41 dB	-1 dB	- 3 dB	- 7 dB
アナログ (S/N=40dB)	デジタル STL	19 dB	-7 dB	-21 dB	-25 dB

6.5 技術試験のまとめ

(1) 160MHz帯(占有周波数帯幅100kHz)を用いたデジタル伝送回線を実現

- ・シングルキャリア、64QAM方式
- ・ステレオ音声信号および補助信号を伝送 (音声回線:390kbps、補助信号:20kbps)
- ・伝送品質は放送業務向け品質を確保(50Hz~20kHzでフラット特性、S/N=70dB以上等)
- ・デジタル変復調による伝送遅延は14.4msec(デジタル処理部の最適化などを図れば時間を短縮でき、システム遅延時間をより短くする余地があると推察。)

(2) 空中線電力5Wにて、5、10、15、20kmまでの電波伝搬特性を確認

- ・見通し区間(8km)では十分な信号強度が確認された
- ・見通し区間(20km)でも所要入力電力を満たす十分な信号強度を確認

(3) 見通し区間におけるマルチパスによる影響は軽微

(4) 見通し区間(8km)の長期変動による影響については軽微

- ・長期変動は±2dB程度

(5) 補助信号を用いてFM同期放送の実現性を確認