

情報通信審議会 情報通信技術分科会
放送システム委員会

報 告

諮問第 2023 号

「放送システムに関する技術的条件」のうち「FM 同期放送の技術的条件」

令和 2 年 3 月 17 日

放送システム委員会

目 次

I. 検討事項	1
II. 委員会、作業班の構成	1
III. 検討経過	1
(1) 放送システム委員会での検討	1
(2) FM 同期放送作業班での調査	1
IV. 検討概要	2
V. 検討結果	2
別添 1 情報通信技術分科会 放送システム委員会 構成員	3
別添 2 FM 同期放送作業班 構成員	4
別紙（検討概要）	
1 検討の背景等	6
1.1 検討の背景	6
1.2 同期放送に関する過去の技術基準の事例	6
1.2.1 アナログテレビジョン同期放送	6
1.2.2 中波同期放送	7
1.2.3 FM 同期放送	8
1.2.4 FM ギャップフィルアー	8
2 FM 同期放送の概要	10
2.1 FM 同期放送のイメージ	10
2.2 FM 同期放送の使用周波数帯	10
2.3 FM 同期放送の放送区域	10
2.4 FM 同期放送の送受信設備等	11
3 FM 同期放送に必要な要件	12
3.1 FM 同期放送を実現するために必要となる要件	12
3.1.1 周波数の精密な管理・安定化	12
3.1.2 音声信号の精密な管理	12
3.1.3 FM 同期放送の最適なエリア設計	13
3.2 FM 同期放送のシステム	13
3.2.1 FM 同期放送の方式	13
3.2.2 送信系システム	17
3.2.3 中継系システム	17
3.2.4 受信系システム	19

3.3	干渉妨害の要因となる技術パラメータ	21
3.4	検討結果	22
3.4.1	FM 同期放送における重要な技術パラメータ	22
3.4.2	搬送波周波数差	22
3.4.3	搬送波周波数安定度	26
3.4.4	最大周波数偏移量差(最大変調度差)	28
3.4.5	パイロット信号の周波数差及び位相差	30
3.4.6	DU 比	33
3.4.7	遅延時間差	33
3.4.8	DU 比と遅延時間差との関係	33
3.4.9	送信偏波面	35
3.5	3 波同期による FM 同期放送	36
3.6	FM 文字多重放送(VICS)	37
3.7	受信機の改善手法	39
4	FM 同期放送の技術的条件	40
4.1	適用範囲	40
4.2	FM 同期放送の使用周波数帯	40
4.3	搬送波周波数差	40
4.4	最大周波数偏移量差	40
4.5	同期関係にある局以外の FM ラジオ放送局との混信	40
4.6	同期関係にある FM ラジオ放送局との混信	40
4.7	偏波	41
4.8	干渉妨害領域を推定するための同期テーブル	41
	参考資料 FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討報告書	42

I. 検討事項

放送システム委員会は、平成 18 年 9 月 28 日付け諮問第 2023 号「放送システムに関する技術的条件」のうち「FM 同期放送の技術的条件」について、検討を行い、本報告を取りまとめた。

II. 委員会及び作業班の構成

放送システム委員会の構成は別添 1 のとおり。

なお、放送システム委員会の下に、委員会における検討のために必要な情報を収集し、技術的条件についての検討の促進を図るため、FM 同期放送作業班を設置した。FM 同期放送作業班構成は、別添 2 のとおり。

III. 検討経過

本件に関する放送システム委員会及び FM 同期放送作業班での検討経過は次のとおり。

(1) 放送システム委員会での検討

ア 第 67 回(令和元年 6 月 13 日)

検討方針、検討項目及びスケジュール等について検討を行った。検討の促進を図るため、FM 同期放送の技術的条件について調査を行う FM 同期放送作業班を設置することとした。

イ 第 71 回(令和元年 12 月 19 日)

FM 同期放送作業班からの報告案を検討し、委員会報告(案)を取りまとめた。また、委員会報告(案)について広く意見を求めることとし、令和元年 12 月 25 日から令和 2 年 1 月 31 日までの間、意見募集を行うこととした。

ウ 第 72 回(令和 2 年 2 月 18 日)

「FM 同期放送の技術的条件」について、提出された意見に対する委員会の考え方及び委員会報告のとりまとめを行った。

(2) FM 同期放送作業班での調査

ア 第 1 回(令和元年 7 月 12 日)

構成員からプレゼンテーション並びに平成 29 年度及び 30 年度に実施した技術試験事務の結果報告を行った。また、FM 同期放送の検討に当たっての基本的な考え方について調査を行った。

イ 第 2 回(令和元年 9 月 26 日)

平成 29 年度及び 30 年度に実施した技術試験事務の結果等に基づき、FM 同期放送を実現する為の同期方式、周波数の同一化のための技術的条件及び DU 比と遅延時間との関係について調査を行った。

ウ 第 3 回(令和元年 10 月 31 日)

FM 同期放送において技術的条件に加えて留意すべき事項及び作業班報告の構成等について調査を行った。

エ 第 4 回(令和元年 12 月 5 日)

作業班報告をとりまとめた。

IV. 検討概要

別紙のとおり。

V. 検討結果

「放送システムに関する技術的条件」のうち「FM 同期放送の技術的条件」について、答申(案)を取りまとめた。

情報通信技術分科会 放送システム委員会 構成員

(敬称略)

氏名	主要現職
主査 委員 伊丹 誠	東京理科大学 基礎工学部 電子応用工学科 教授
主査代理 専門委員 都竹 愛一郎	名城大学 理工学部 教授
委員 村山 優子	津田塾大学 数学・計算機科学研究所 特任研究員
専門委員 井家上 哲史	明治大学 理工学部 教授
〃 上園 一知	一般社団法人日本ケーブルラボ 実用化開発部 主任研究員
〃 大矢 浩	一般社団法人日本CATV技術協会 副理事長
〃 甲藤 二郎	早稲田大学 基幹理工学部 教授
〃 後藤 薫	国立研究開発法人情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁環境研究室 研究マネージャー
〃 関根 かをり	明治大学 理工学部 教授
〃 高田 潤一	東京工業大学 副学長(国際連携担当)・環境・社会理工学院 教授
〃 丹 康雄	北陸先端科学技術大学院大学 副学長(リカレント教育担当)・ 先端科学技術研究科 教授
〃 豊嶋 守生	国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク 総合研究センター 宇宙通信研究室 室長
〃 松井 房樹	一般社団法人電波産業会 代表理事・専務理事・事務局長
〃 山田 孝子	関西学院大学 総合政策学部 教授

情報通信技術分科会 放送システム委員会

FM 同期放送作業班 構成員

(五十音順・敬称略)

	氏名	所属機関・役職
主任	都竹 愛一郎	名城大学 理工学部 電子電気工学科 教授
	岩下 裕孝	日本通信機(株) 執行役員 技術部主管部長
	岩田 昭光	(株)NHK テクノロジーズ ファシリティ技術本部 送受信センター ソリューション技術部(公共業務) 専任部長
	乙坂 修	(株)日立国際電気 プロダクト本部 放送プロダクト部 主任技師
	川島 修	(株)エフエム東京 総務局 技術部 技術部長
	小泉 悟	(一財)道路交通情報通信システムセンター システム運用部 部長
	齋藤 健太郎	東京工業大学 環境・社会理工学院 助教
	塩山 雅昭	(株)TBS ラジオ 経営企画局 技術部長
	鈴木 健児	日本放送協会 技術局計画管理部 副部長
	寺嶋 正紀	パナソニック(株) オートモーティブ社 インフォテイメントシステム ズ事業部 グローバル基盤技術開発センター システム開発部
	藤井 雅弘	宇都宮大学大学院 工学研究科 准教授
	古川 洋	ソニーホームエンタテイメント&サウンドプロダクツ(株) V&S 事業本部 商品設計部門 共通設計部 エレクトリカルマネージャー
	堀越 康幸	(株)ラジオ高崎 技術部長

(以上 14 名)

検 討 概 要

1 検討の背景等

1.1 検討の背景

災害時におけるラジオの重要性が増す一方で、コミュニティ放送局の急増や平成26年4月に制度化されたFM補完中継局の全国的な置局等により、FM放送用周波数のひっ迫は深刻化しており、FM放送局への新たな周波数割当ては困難な状況になりつつある。こうしたFM放送用周波数のひっ迫解消のため、放送波を精密に管理することで同一周波数の利用を可能とする同期放送技術の普及が期待されている。

FM放送の同期放送についてはこれまでも検討がなされてきたが、数W程度の小規模送信所での同一周波数利用を想定したものであり、また、送信所局間の同期手法が繊細かつ高度であることから、同期放送による等電界地域での音質劣化の低減などが課題とされてきた。

しかし、近年のデジタル技術の進展により変調器のデジタル化やGPSなどを用いた高精度な同期手法が比較的容易に実現できる環境となったことで、こうした技術を活用した品質の高い同期放送システムと干渉要因となる等電界地域における測定手法や調整手法について技術基準の検討が求められたことから、総務省において平成29年度から平成30年度にかけて「FM同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」を実施した。

このような背景を踏まえ、kW級の大規模送信所にも導入することができ、高効率な周波数利用と聴取者に対するシームレスな受信環境の提供が可能なFM同期放送の導入を図るため、必要な技術的条件の検討を開始した。

1.2 同期放送に関する過去の技術基準の事例

1.2.1 アナログテレビジョン同期放送

アナログテレビ放送では周波数の有効利用としてオフセットキャリア放送が行われていたが、隣接する放送区域に同一チャンネルを割当て、周波数を一致させることにより混信妨害を低減する方法としてテレビ同期放送が行われた。

制度としては、電波法関係審査基準無線局の局種別審査基準の周波数の選定に同期放送を行う局相互間の規定として以下の基準が設けられていた。

(5) 周波数の選定は、次の基準により行う

ア 他のTV放送局又はDTV放送局との混信妨害

(ア)開設又は変更しようとするTV放送局又はDTV放送局(以下「申請局」という。)は、申請局及び他のTV放送局又はDTV放送局の放送区域内において、次の混信保護比を満足すること。

希望波	妨害波		周波数差 (Hz)	混信保護比 (dB)		
アナログ 放送波	アナログ 放送波	妨害波と希望波が同一チャンネルの場合	オフセット無し		45	
			オフセット有り	通常オフセット	10又は20	32
				精密オフセット	10, 010又は 20, 020	28
				超精密オフセット	2, 592	29
					12, 602	34
		22, 612	35			
		同期放送を行う局相互間		28		
		妨害波が希望波の上隣接チャンネルの場合			0	
		妨害波が希望波の下隣接チャンネルの場合			10(注1)	
		妨害波が希望波のイメージチャンネルの場合			-5	
デジタル 放送波	デジタル 放送波	妨害波と希望波が同一チャンネルの場合		45		
		妨害波が希望波の上隣接チャンネルの場合		10		
		妨害波が希望波の下隣接チャンネルの場合		0		
		妨害波が希望波のイメージチャンネルの場合		-20		
デジタル 放送波	アナログ 放送波	妨害波と希望波が同一チャンネルの場合		20		
		妨害波が希望波の上隣接チャンネルの場合		-24		
		妨害波が希望波の下隣接チャンネルの場合		-21		
	デジタル 放送波	妨害波と希望波が同一チャンネルの場合		28(注2)		
		妨害波が希望波の上隣接チャンネルの場合		-29		
		妨害波が希望波の下隣接チャンネルの場合		-26		

(注1) 放送用周波数使用計画の変更に伴い、周波数又は空中線電力の変更が必要となるTV放送局及び当該変更を円滑に進めるために必要と認められるTV放送局について、当該変更を実施するために必要な期間において、妨害波の音声送信設備の実効輻射電力を映像送信設備の4パーセントとする場合には、混信保護比は0dBとする。

(注2) 開設又は変更しようとするDTV放送局にあって、SFNによる中継を行う場合には、この値によらないことができるが、その判断に必要な受信状況に関する資料の提出を当該申請者から求めること。

1.2.2 中波同期放送

中波放送の電波は、他の地上放送に比べてかなり遠距離まで伝搬するため、周波数の割り当てが難しく、周波数のひっ迫が深刻化していた。

中波放送では、隣接したサービスエリアで同一の周波数を使って放送する中波同期放送が行われており、周波数のひっ迫解消のみならず、自動車で移動しながら聞く人がエリアを越えて移動受信する場合でもチャンネルを変えなくても済むというメリットも生まれている。

制度としては、基幹放送用周波数使用計画(郵政省告示第 661 号)の 12 項(2)に中波放送の使用周波数の規定として以下の基準が設けられている。

中波放送については必要と認められる場合には（略）次に掲げる基準に合致する同期放送方式を使用させることができるものとする。

「相互に同期放送の関係にある基幹放送局は、同時に同一番組を放送するものであって、相互に同期放送の関係にある基幹放送局の搬送周波数の差が 0.1Hz を超えて変わらないものであること。」

1.2.3 FM 同期放送

平成 10 年度電気通信審議会答申「諮問第 92 号 FM 放送局の置局に関する技術的条件(参考資料 3 別紙 6)」では、周波数差に関する以下の検討結果が示されている。

2-1, 2-2 に述べた FM 同期放送の技術的条件（即ち同一周波数の FM 変調された電波による干渉妨害を低減するために必要な FM 同期放送を実現する為に送信側が満たすべき要件）をいかに整理しておく。

- (1) 2つの送信側の RF 周波数差（搬送周波数の差）は 2 Hz 以下であること

1.2.4 FM ギャップファイラー

平成 27 年 7 月の情報通信審議会一部答申（「放送システムに関する技術的条件」(平成 18 年 9 月 28 日付け諮問第 2023 号)のうち「ラジオネットワークの強靱化に関する技術的条件」)では、FM ギャップファイラーの同期放送として技術基準が示され、その中で光ファイバを利用した複数の送信点があるギャップファイラーの同期放送についての検討結果が報告されている。

本報告では、以下の技術的条件を前提として、同期放送を行うには表 1.2.4-2 に示す「同期放送の技術的条件」とすることが適当であるとしている。

また、参考としてコミュニティ放送の同期放送の技術的条件も示されている。

表 1.2.4-1 技術的条件の前提

- ・場所率 50%以上、時間率 50%以上を確保
- ・遅延時間 $20\mu s$ 以下、各送信点からの D/U 14dB 以上で主観評価 3 以上
- ・精密な周波数制御により同期放送を行う場合、以下のように定める。
 - 遅延時間 $10\mu s$ 以上 $20\mu s$ 未満であれば、D/U 9dB 以上で主観評価 3
 - 遅延時間 $5\mu s$ 以上 $10\mu s$ 未満であれば、D/U 6dB 以上で主観評価 3
 - 遅延時間 $5\mu s$ 未満であれば、D/U 0dB 以上の領域でも主観評価 3

表 1.2.4-2 同期放送の技術的条件

放送区域の重なり ¹		ギャップファイラー局間の同期放送の条件		
既存 FM ラジオ放送局	ギャップファイラー局	送信点間の周波数偏差	許容される遅延時間	D/U
無し	有り	同期 ²	5 μ s 未満	規定せず
			5 μ s 以上～10 μ s 未満	6dB 以上
			10 μ s 以上～20 μ s 未満	9dB 以上

CATV 網(ダークファイバー)を利用した複数の送信点があるギャップファイラーによる

¹ 既存 FM ラジオ放送局又は他のギャップファイラーと混信保護比は 36 dB 以上必要

² 送信点相互の周波数偏差の目標は 0 Hz とし、搬送波の周波数安定度についても同一とすること

表 1.2.4-3 【参考】コミュニティ放送の同期放送の技術的条件

放送区域の重なり	送信点間の周波数偏差	許容される遅延時間	D/U
有り	2Hz 以下	20 μ s 以下	14dB 以上

2 FM 同期放送の概要

2.1 FM 同期放送のイメージ

FM 同期放送は、図 2.1-1 のとおり、放送区域が重複又は隣接する複数の送信所が同一の周波数により同一の番組を同時に放送するものであり、デジタル技術等を活用し、放送波の搬送波等を精密に管理することで、干渉妨害領域における音質劣化の軽減を可能とするものである。

FM 同期放送においては、親局と子局、親局を除く子局等を同期対象として、2つの送信所間の2局同期や3つの送信所間の3局同期が行われており、各送信所からの放送波が重なるエリア(干渉妨害領域)には、放送波の電界強度比が0となる等電界地域が存在する。

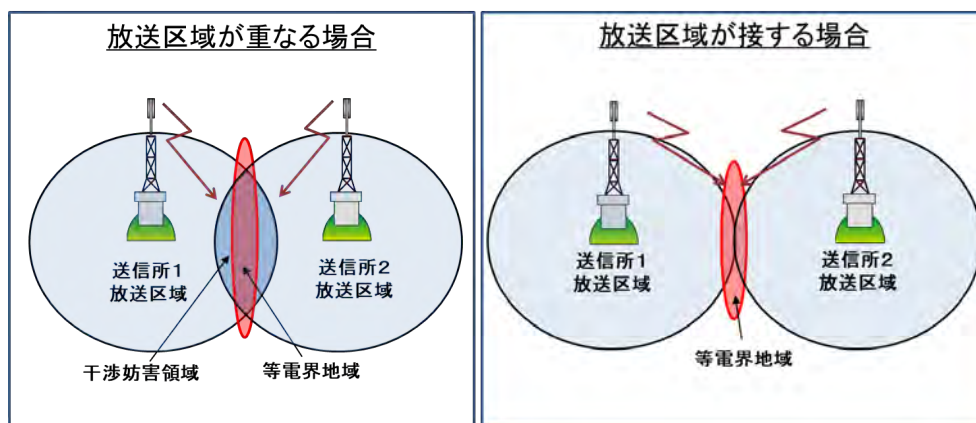


図 2.1-1 FM 同期放送のイメージ

2.2 FM 同期放送の使用周波数帯

FM 同期放送が使用する周波数帯は、既存の FM 放送と同じ、超短波(76MHz～95MHz)の周波数を利用する。

2.3 FM 同期放送の放送区域

「放送区域」とは、基幹放送局の開設の根本的基準第二条第十五号で、一の基幹放送局の放送に係る区域であって、超短波放送、超短波音声多重放送又は超短波文字多重放送を行う基幹放送局については、地上四メートルの高さにおける電界強度が総務大臣が告示する値以上である区域を指す。

FM 同期放送においても同様とし、等電界地域を含む放送区域内の受信状況は、既存の FM 放送と同じ、場所率 50%以上、時間率 50%以上とする。

2.4 FM 同期放送の送受信設備等

FM 同期放送の送受信設備等については、既存の FM 放送と同じ設備を前提とする。

また、送信側設備については、既存の FM 放送と同じ基準に加え、干渉妨害領域における音質劣化の軽減が可能となるよう、同期を構成する各送信所間で放送波の精密な管理を行うための技術的条件の検討を行った。

3 FM 同期放送に必要な要件

3.1 FM 同期放送を実現するために必要となる要件

FM 同期技術は、複数の送信所から発射される放送波の干渉によって引き起こされる音質劣化を軽減する技術であり、その要件は大きく3つに分けられる。

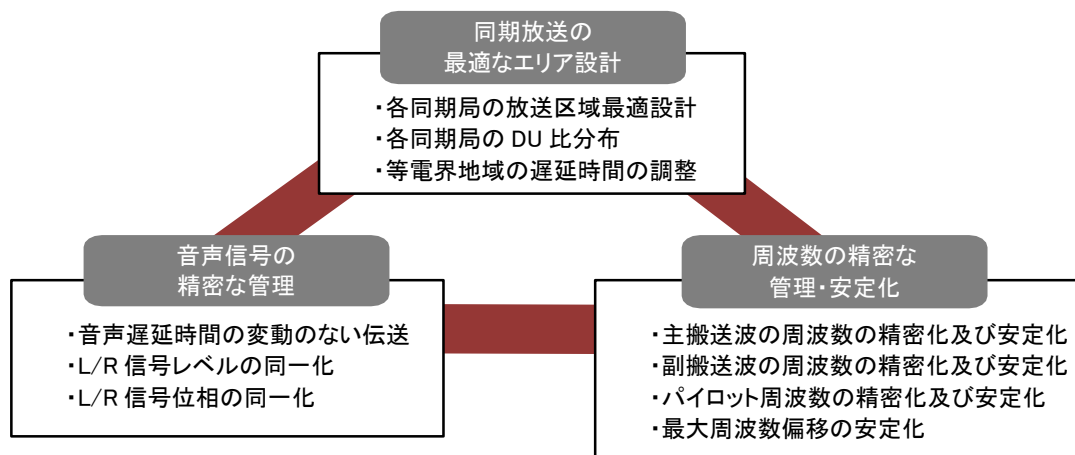


図 3.1-1 FM 同期放送を実現するための要件

3.1.1 周波数の精密な管理・安定化

FM 同期放送では、同期を構成する送信所同士の各種周波数(主搬送波の周波数、副搬送波の周波数及びパイロット信号の周波数等)に差異があると、干渉妨害領域で受信劣化が発生するため、周波数を同一化するための精密かつ安定的な周波数管理が必要である。

最近では、GPS や QZSS(みちびき)の活用により、同期放送の実現に必要なとされる高精度かつ高安定な周波数管理が可能となっており、FM 同期放送を構成する各送信所間での周波数の精度及び安定性が飛躍的に改善されてきている。

また、LSI 等の半導体集積技術の進歩により、デジタル処理型の FM 変調器の採用が進み、従来のアナログ処理方式の FM 変調器では技術的に困難であった高精度の搬送周波数の安定化が容易に可能となっている。

3.1.2 音声信号の精密な管理

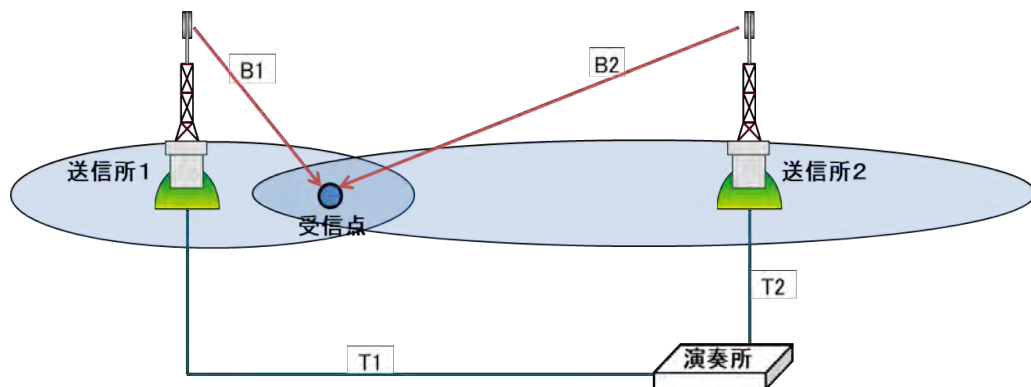
アナログ伝送方式では、伝送路により音質劣化の状況が異なるため、各送信所に伝送される音声信号を同一化することは極めて困難であり、FM 同期放送の導入が進まない理由の一つとなっていた。しかし、AES/EBU 等のデジタル伝送方式を使用することにより、音声信号を精密に管理できるようになり、各送信所に伝送される音声信号の同一化が可能となっている。

3.1.3 FM 同期放送の最適なエリア設計

FM 同期放送では、各送信所からの放送波の伝搬を考慮した最適な放送区域を設定する必要があり、そのためには、受信点における同期を構成する各放送局の DU 比¹と送信所から受信点までの距離差による伝搬の遅延時間差²が重要となる。

同期を構成する各送信所の DU 比を確認し、等電界地域における遅延時間の調整を行うことにより、遅延時間差による等電界地域の音質劣化を改善することが可能となる。

また、各送信所から受信点に到達する FM 放送波の遅延時間のゆらぎは、同期干渉による音質劣化を引き起こすため、演奏所から送信所までの伝送路で発生する遅延時間及び送信機や音声コーデック等の装置内で発生する遅延時間のゆらぎを安定化させる必要がある。



T1、T2: 演奏所から送信所までの伝送に要する時間
B1、B2: 送信所から受信点までの伝搬に要する時間

図 3.1.3-1 受信点における遅延時間差の発生

3.2 FM 同期放送のシステム

3.2.1 FM 同期放送の方式

各送信所間の同期をとり、FM 同期放送を実現する方式は、大別すると、「独立

¹ DU 比とは一般的に、希望波(Desired Signal)とそれ以外の妨害波(Undesired Signal)との電波の強度比を指すが、ここでは、同期放送を行う各送信所から到達する受信レベルの比を指す。

² 遅延時間は送信所からの放送波が受信点に到達するまでの時間であり、FM 同期放送における遅延時間差とは、FM 同期放送を行う送信所のうち、ある送信所からの放送波が受信点に到達するまでの時間とそれ以外の送信所からの放送波が受信点に到達するまでの時間の差を指す。

同期方式」「従属同期方式」「変調波分配方式(完全同期方式)」の3方式に分類できる。

FM 同期放送の方式は、GPS 信号を基準信号として周波数の安定化に使用した独立同期方式に集約されつつあるが、同期を構成する各送信所間で放送波の精密な管理を行うための技術的条件を満足することができれば、放送区域の状況等を考慮し、FM 同期放送区域の設計等を適切に行うことで、いずれの方式を用いても FM 同期放送の実現は可能である。

なお、同期を構成する各送信所(例: 上位局と下位局、下位局相互)を結ぶ中継回線として IP³回線を使用する場合には、IP 回線の遅延ゆらぎの補償を行うための設備が別途必要となる。

3.2.1.1 独立同期方式

独立同期方式は、同期放送を行う放送局ごとに発振器及び FM 変調器を持ち、各放送局に伝送された音声信号を、各放送局が搬送周波数の基準信号⁴を取得した上で、それぞれの変調器で変調する方式である。

各送信所において基準信号を取得し変調を行うことから、各送信所の周波数及び位相の安定性が不十分になる可能性があることに留意する必要がある。

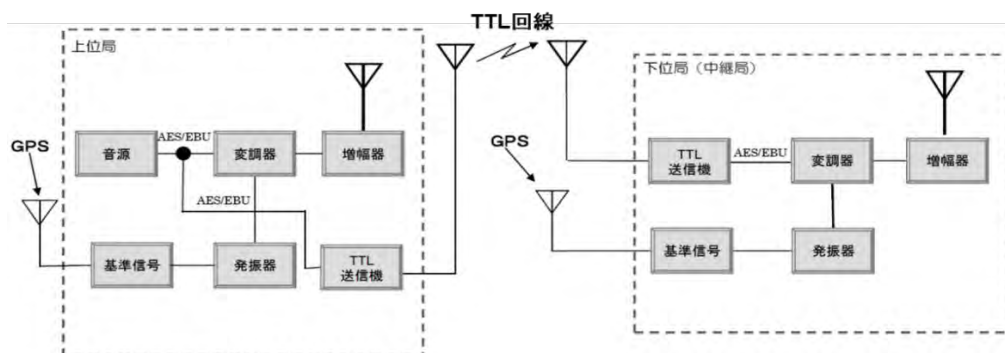


図 3.2.1.1-1 独立同期方式の例(無線 TTL 回線を利用する場合)

³ Internet Protocol

⁴ GPS 信号の 1PPS のタイミング等

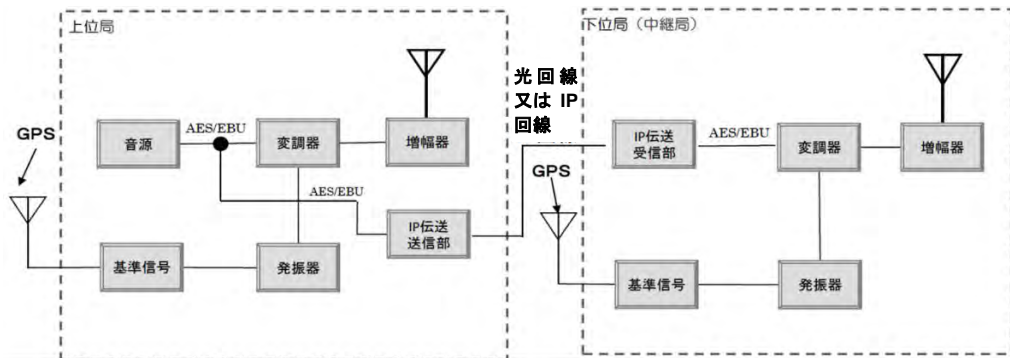


図 3.2.1.1-2 独立同期方式の例(光回線又は IP 回線を利用する場合)

3.2.1.2 従属同期方式

従属同期方式は、同期放送を行う放送局ごとに発振器及び FM 変調器を持ち、上位局から各放送局に伝送された音声信号及び搬送周波数の基準信号を、それぞれの変調器で変調する方式である。

各送信所の搬送周波数は一致するが、中継回線の伝送遅延等により、位相の安定性が不十分になる可能性があることに留意する必要がある。

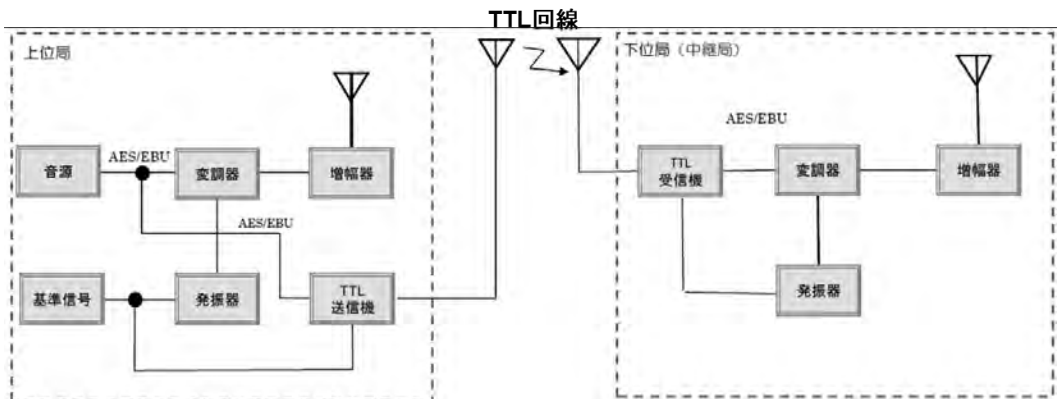


図 3.2.1.2-1 従属同期方式の例(無線 TTL 回線を利用する場合)

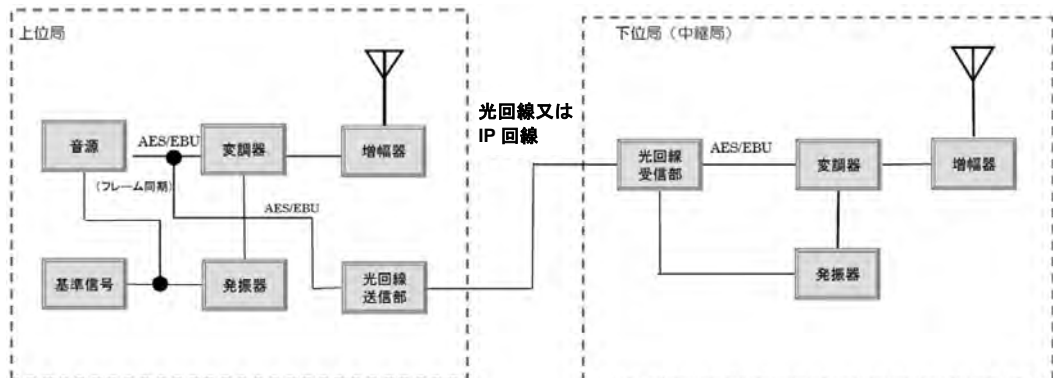


図 3.2.1.2-2 従属同期方式の例(光回線又は IP 回線を利用する場合)

3.2.1.3 変調波分配方式(完全同期方式)

変調波分配方式(完全同期方式)は、一つの発振器及び FM 変調器で変調された信号を、同期を構成する各放送局に分配する方式であり、完全同期方式とも呼ばれる。上位局と下位局が完全に同じ変調波になるため、各送信所の周波数及び位相が一定に保たれる。

他の同期方式と比べて構成は簡易になるが、中継回線での信号の劣化がそのまま蓄積していくこと及び事前に設定した調整値の変更が容易でないことに留意する必要がある。

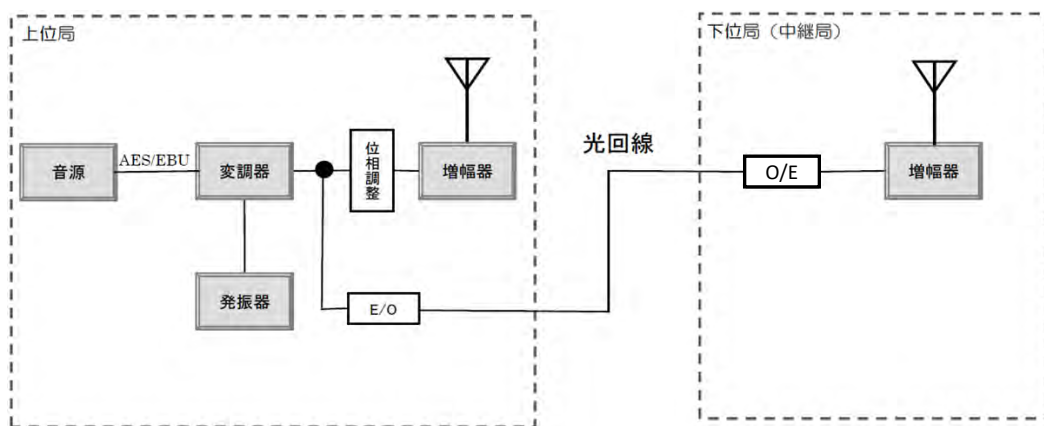


図 3.2.1.3-1 変調波分配(完全同期方式)の例(光回線を利用する場合)

表 3.2.1.3-1 FM 同期放送の方式の概要

項目	独立同期方式	従属同期方式	変調波分配方式 (完全同期方式)
概要	外部の基準信号を利用して同期する方式	上位局(又は演奏所)からの基準信号を利用して同期する方式	上位局(又は演奏所)からの RF 信号を分配する方式
設備	変調器:各送信所に必要 発振器:各送信所に必要 基準発振器:各送信所に必要	変調器:各送信所に必要 発振器:各送信所に必要 基準発振器:上位局に1台	変調器:上位局に1台 発振器:上位局に1台 基準発振器:上位局に1台又は不要
周波数制御	GPS 等の外部装置からの高精度の信号(例:1PPS のタイミング等)を基準として、周波数の安定と局間周波数の同期を図る	上位局(又は演奏所)から供給される基準信号に従属して、周波数の安定と局間周波数の同期を図る	上位局(又は演奏所)の変調器から高周波信号を直接分配し、局間周波数の同期を図る

音声信号のタイミング調整	<ul style="list-style-type: none"> ・GPS 等の外部装置からの高精度の信号(例:1PPS のタイミング等)を基準として、音声信号のタイミングを合わせる ・中継回線にゆらぎがあれば、下位局で変動補正 	<ul style="list-style-type: none"> ・上位局(又は演奏所)から供給される基準信号に従属して、音声信号のタイミングを合わせる ・中継回線にゆらぎがあれば、下位局で変動補正 	調整不可
遅延調整	上位局(又は演奏所)から又は変調器毎に遅延調整を行う	上位局(又は演奏所)から又は変調器毎に遅延調整を行う	エリア設計時に調整を行う
FM 同期放送の性能向上の方法	<ul style="list-style-type: none"> ・精密発振器の精度向上(高安定発振器の採用) ・変調度の精度及び同一性の向上(デジタル変調器の採用) ・遅延時間差の設定確度の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・中継回線のクロック精度の向上 ・変調度の精度及び同一性の向上(デジタル変調器の採用) ・遅延時間差の設定確度の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・性能劣化のない中継回線の採用 ・遅延量の合わせ込み精度の向上
採用規模の目安	県域局	県域局	中・小規模局

3.2.2 送信系システム

FM 同期放送の送信系システムは、既存の FM 放送の技術基準に適合した上で、同期を構成する各送信所間で放送波の精密な管理・安定化を行うための技術的条件を満足する必要がある、極めて高い精度の周波数管理が求められる。

また、音声信号の精密な管理のためには、AES/EBU 等のデジタル伝送方式を使用することが望ましい。

デジタル処理型 FM 変調器の普及が進んでいること及びアナログ処理型では FM 同期放送に求められる精度の管理を行うことが困難であることから、本検討においては、デジタル方式を前提として検討するものとする。

3.2.3 中継系システム

FM 同期放送において、各送信所に伝送される音声信号には伝送する回線の遅延によるゆらぎが発生し、干渉妨害領域の音質劣化の一因となる。そのため、より高精度な同期放送を実現するためには、伝送回線を含めた同期放送システム全体として遅延時間の管理が必要である。

FM 同期放送の中継系システムには、伝送遅延の管理が容易なデジタル伝送方式が適しており、本検討においては、デジタル伝送方式を前提として検討するものとする。

○中継系システムの分類

(無線系) デジタル STL/TTL、アナログ STL/TTL、放送波中継(アナログ)

(有線系) 光伝送、IP 伝送

3.2.3.1 デジタル STL/TTL

60MHz 帯、160MHz 帯、6.5GHz 帯又は 7.5GHz 帯の周波数を用いて、同期を構成する各送信所への音声信号の伝送に使用される。

伝送される音声信号はデジタル化された信号(AES/EBU等)であり、送信所に設置されたデジタル変調器で変調を行うことで、全ての処理をデジタルで行うことができ、搬送周波数やパイロット信号等の周波数を完全に一致させることが可能となる。

なお、遅延時間のゆらぎについては、変動的なマルチパス環境の場合は注意が必要であるが、デジタル処理において基本的にゆらぎは発生しないため同期放送局の遅延時間は固定値となる。

3.2.3.2 アナログ STL/TTL

60MHz 帯又は 160MHz 帯の周波数を用いて、同期を構成する各送信所への音声信号の伝送に使用される。

伝送される音声信号はアナログであるため、デジタルのように信号の調整や同期を取ることが難しく、搬送周波数やパイロット信号等の周波数を完全に一致させることは非常に困難である。また、伝送路や装置内で発生する品質劣化が蓄積し、装置側での改善も困難であるため、高精度の FM 同期放送の実施は非常に困難と考えられる。

3.2.3.3 放送波中継

共通する親局等の放送波を用いて、同期を構成する各送信所への音声信号の伝送に使用される。

伝送される音声信号はアナログであるため、アナログ STL/TTL と同様に、搬送周波数やパイロット信号等の周波数を完全に一致させることは非常に困難であるが、同じ放送波を受信できる中継局間においては、受信した無線信号を非再生方式で中継することにより、変調度やパイロット信号の位相関係を基本的に保持したまま FM 同期放送を行うことが可能となる。このようなケースでは、GPS 等の高精度の外部の基準信号で周波数を安定化し、遅延時間を調整することで、高精度の FM 同期放送を行っている事例がある。

なお、受信点と送信点と同じ場所の場合は、送信波が受信アンテナに回り込むため、同一周波数による放送波中継を利用することは困難である。

3.2.3.4 光伝送

光ファイバを用いて、同期を構成する各送信所への音声信号の伝送に使用される。

伝送される音声信号はデジタル化された信号(AES/EBU等)であり、送信所に設置されたデジタル変調器で変調を行うことで、全ての変調をデジタル処理で行うことができ、搬送周波数やパイロット信号等の周波数を完全に一致させることが可能となる。

また、変調波分配方式(1台の変調器で変調したFM放送波を各同期放送局に伝送)に用いる場合、各送信所に伝送されるFM放送波は、光デジタル変換された上で同一信号を分配しているため、送信所間で搬送周波数偏差、搬送周波数安定度、変調度に差が生じない。

なお、有線で中継を行う場合、同軸線は減衰が大きく長距離伝送に向かないため、一般的には光ケーブルが用いられる。

補償用光ケーブルを使用して遅延時間を調整することが可能であるが、調整する遅延時間差が大きい分、ケーブルが長距離必要になる。

3.2.3.5 IP 伝送

IP プロトコルを用いた有線回線(IP回線。多くは光ファイバが用いられる。)により、同期を構成する各送信所への音声信号の伝送に使用される。伝送される音声信号はデジタル化された信号(AES/EBU等)である。

デジタル音声信号をIP回線で伝送する場合の伝送容量は、求める音質や圧縮方式などで異なるが、FM放送品質を非圧縮リニアPCMで伝送する場合、2Mbps程度あれば伝送可能と考えられる。ただし、伝送帯域が保証されていない回線は、トラフィックの輻輳状態などにより、要求する伝送容量に満たないケースや伝送が止まるケースがあるため、放送用伝送回線としては推奨できない。

IP回線の伝送遅延については、伝送距離や経路、トラフィックの輻輳状態などにより変わるが、音声コーデックによる遅延を含め、概ね40~60ms程度である。

また、IP回線ではパケットロス等により音声パケット信号の到達時間にゆらぎが生じるが、独立同期方式においては、受信した音声デジタル信号をバッファに格納し、GPSの1PPS信号により同期局間の音声信号のタイミングを合わせることで、このゆらぎを解消することが可能である。

なお、事業用電気通信設備規則第35条の12(ネットワーク品質)では、光IP電話のネットワーク品質について、平均遅延70ms以下、ゆらぎ20ms以下と規定されている。

3.2.4 受信系システム

FM同期放送においても、既存のFM放送と同じ受信機(ラジオ)を使用するため、

受信機は、平成 10 年度電気通信審議会答申「諮問第 92 号 FM放送局の置局に関する技術的条件」に基づき、表 3.2.4-1 「FM 放送評価用の受信機及び受信空中線の新規格」の性能とする。

表 3.2.4-1 FM 放送評価用の受信機及び受信空中線の新規格

I 受信機

規格項目	規格値等
1 受信機の種類	ラジカセ
2 外部空中線入力端子の有無 インピーダンス	有 75Ω 不平衡
3 中間周波数	10.7MHz
4 局部発振周波数	マイナス側
5 局発振周波数の漂動	10kHz 以内
6 -3dB リミテイング感度	20dB μ V 以下
7 感度差	3dB 以内
8 実効選択度特性	± 200 kHz: -5dB ± 400 kHz: -45dB
9 信号対雑音比を想定したときの所要 最小入力	
30dB 感度	15dB μ V 以下
45dB 感度	20dB μ V 以下
50dB 感度	25dB μ V 以下
50dB ステレオ感度	40dB μ V 以下
10 左右分離度	100Hz から 10kHz にわたり、20dB 以上
11 2 信号スプリアスレスポンス	希望入力レベル-60dBm のとき -30dB 以下(目標値-50dB 以下)
12 RF相互変調妨害比	± 400 kHz: 52dB 以上 ± 800 kHz: 55dB 以上
13 キャプチャレシオ	2dB

II 受信空中線

規格項目	規格値等
1 空中線の種類及び設置場所	受信機一体型空中線。屋外地上高 2m (一般家庭の 1 階の放送局送信所側の窓際に設置する場合に相当)
2 相対利得(ダイポール比)	0dB
3 指向性	考慮しない

4 偏波面	考慮しない
-------	-------

3.3 干渉妨害の要因となる技術パラメータ

FM 同期技術は、複数の送信所から発射される同一周波数の放送波が干渉することによって引き起こされる音質劣化を軽減する技術であり、各放送波の同一性の確保が不可欠である。

同期を構成する各送信所からの放送波は完全に同一であることが最も望ましいが、完全に同一とならない場合でも放送波の同一化のために必要な項目(周波数差等(表 3.3-1 参照))を高精度に管理することで、音質劣化を最小限に抑えることが可能となる。また、放送波の同一化が十分に行えないエリアであっても、各送信所からの放送波のレベル差や遅延時間差を調整することで、音質劣化の軽減が可能となる。

表 3.3-1 FM 同期放送において音質に影響を与える項目

技術項目		音質に与える影響とその理由等
放送波の同一化	搬送波の無変調時の周波数差	<ul style="list-style-type: none"> ・復調が正常に行えなくなる。 ・FM 同期放送を行う放送局間の搬送周波数が異なればその差の周波数がビート妨害となって現れる。
	搬送波の変調時の周波数安定度差	<ul style="list-style-type: none"> ・復調が正常に行えなくなる。 ・変調器に入力される音声信号の直流成分により、FM 変調波の中心周波数が変動する。異なる FM 変調器に加えられる音声信号の直流分の違いがあれば、変調時の周波数安定度の差となって現れる。
	最大周波数偏移差(最大変調度偏差)	<ul style="list-style-type: none"> ・音声信号の(L+R)及び(L/R)のレベルに差異が生じる。 ・異なる FM 変調器に加えられる音声信号のレベル差により、FM 変調波の周波数偏移に差が出る。伝送路に AES/EBU 信号を使用してこの影響を避けても、この区間以外でレベルの差があれば変調度変化となって現れる。
	パイロット信号の位相差	<ul style="list-style-type: none"> ・ステレオ特性等に影響を与える。 ・同期放送を成立させるための大きな要素ではないが、高精度な同期放送を構築する場合には、遅延差と共にステレオ・パイロット信号の位相差を管理する必要がある。
電波伝搬	送信所からのレベル差(DU 比)	<ul style="list-style-type: none"> ・同期を構成する放送局間の受信レベルの差が十分に大きければ影響は小さくなる。 ・遅延時間が一定の条件では、2つの放送局からの受信レベルの差が少ない(DU 比が 0 に近づく)ほど聴感上の音質が劣化する。
	音声信号の時間差(遅延時間差)	<ul style="list-style-type: none"> ・時間が異なる音声となって聞こえる。 ・同期を構成する放送局間の受信レベルの差が一定の条件では、時間差が大きくなるほど聴感上の音質が劣化する。

FM 同期放送を行う場合には、既存の FM 放送と同じ基準とする一方で、干渉妨害領域における音質劣化が軽減されるよう、同期を構成する各送信所間で放送波の精密な管理が可能とするための技術的条件を定めることが適当である。

3.4 検討結果

3.4.1 FM 同期放送における重要な技術パラメータ

FM 同期放送では、表 3.3-1 のとおり、同期を構成する各送信所からの放送波の差異による音質劣化の発生及び電波伝搬に係る音質劣化の発生が指摘される一方で、放送波が厳密に一致しない場合でも、その差異が一定の範囲内であるときには音質劣化の軽減が確認されている。

この音質劣化が軽減されるための技術的条件について、これまでの整理を踏まえ、下記の項目について検討を行った。

表 3.4.1-1 FM 同期放送における重要な技術パラメータ

・搬送周波数差
・搬送周波数安定度
・最大周波数偏移差(最大変調度差)
・パイロット信号の周波数差及び位相差
・DU 比
・遅延時間差
・送信偏波面

3.4.2 搬送周波数差

FM 放送では、送信周波数に係る技術基準として、周波数の偏差 20ppm(百万分の 20)とされている。

FM 同期放送で許容される周波数差については、平成 8 年 3 月「FM 同期放送技術の研究開発報告書」において、RF 周波数差と SINAD との関係についての検討が行われており、図 3.4.2-1 のとおり、相対的な周波数差が 2Hz を超えると音質劣化が起こることが報告されている。

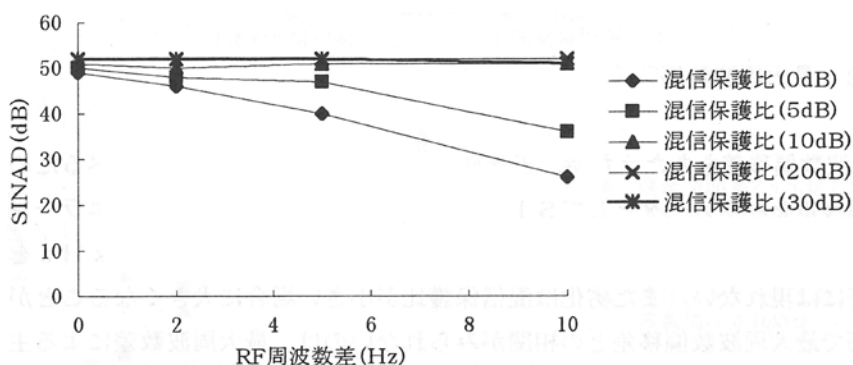


図 3.4.2-1 RF 周波数差と SINAD (遅延時間 2 μs)

現在では、GPS を基準信号として利用することで、より高精度な同期を行う環境

が整いつつあり、一部の放送事業者においては、相対周波数差 0.2Hz という極めて高い精度で FM 同期放送を行っている事例がある。

そこで、平成 30 年度に実施した「FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」では、搬送周波数差を 2Hz 及び 0.2Hz にした場合に DU 比と遅延時間差が音質に与える影響について評価を行った。

結果については、図 3.4.2-2 のとおり。

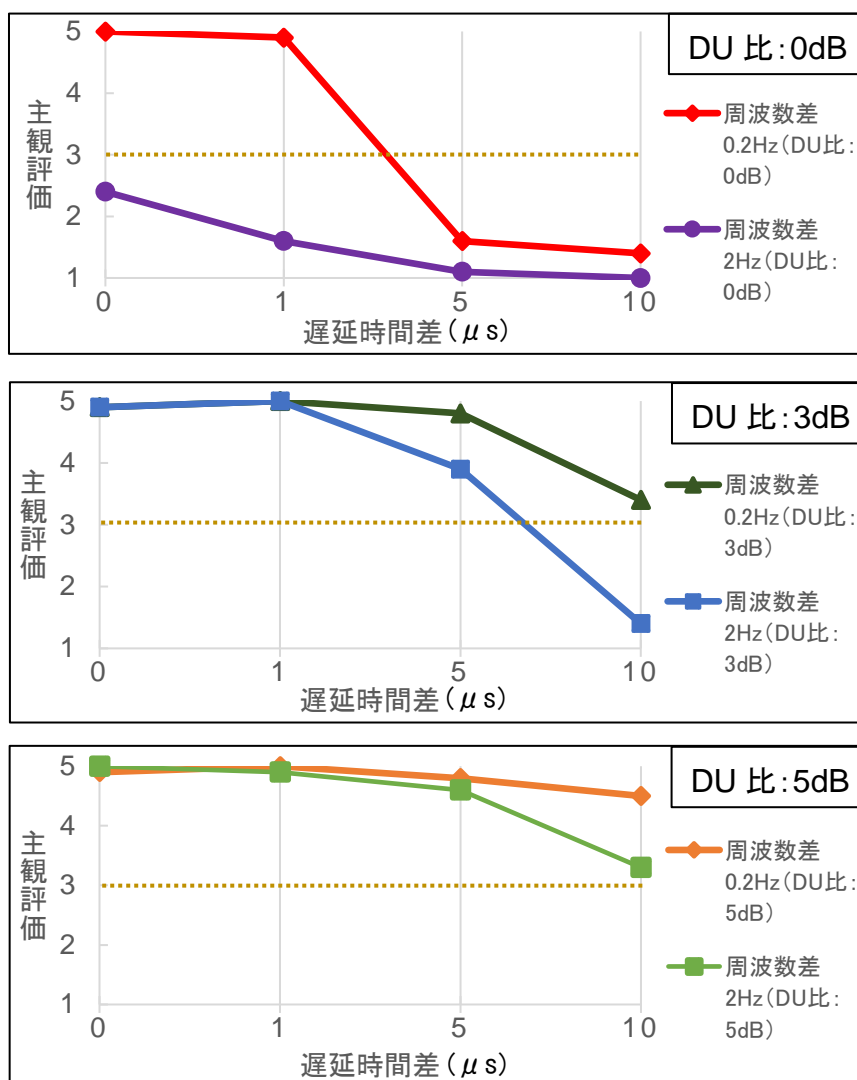


図 3.4.2-2 搬送周波数差 0.2Hz 及び 2Hz における遅延時間差と主観評価の比較

FM 同期放送においては、同期を構成する送信所間の受信レベルの差が十分に大きければ音質劣化は小さくなることが指摘されているが、DU 比が 5dB 確保できる条件であれば、搬送周波数差が 0.2Hz 又は 2Hz のいずれにおいても、遅延時間

差が 10μ 秒以内の場合は、ラジオ受信機での主観評価において、聴取可能な基準値である主観評価 3 以上を確保している。

搬送周波数差が 0.2Hz の場合、DU 比が 3dB の条件では遅延時間差が 10μ 秒以内、DU 比が 0dB の条件であっても遅延時間差が 1μ 秒以内であれば、主観評価 3 以上を確保している。

一方、搬送周波数差が 2Hz の場合、DU 比が 3dB の条件では遅延時間差が 5μ 秒以内であれば主観評価 3 以上を確保できるが、DU 比が 0dB の条件では遅延時間を 0μ 秒にしても主観評価 3 は確保できない。

このように、FM 同期放送における音質劣化の軽減のためには、相対的な搬送周波数差を可能な限り小さくすることが望ましい。しかし、FM 同期放送では、事前の検討により、放送区域における DU 比や遅延時間差の設定が可能であり、聴取者がいない場所を等電界地域に設定する等の対応も可能であること、DU 比が確保される場合には搬送周波数差が 0.2Hz のときと 2Hz のときでは評価は大きく変化しないことから、送信側における相互の搬送周波数差は 2Hz 以内とし、 0.2Hz を目標とすることが適当と認められる。

【参考】搬送周波数差による時間的な音質劣化と受信電界との関係について

FM 送信機の発振器の精度や基準信号の周波数偏差、DC オフセット偏差⁵などにより、FM 同期放送を行う各送信所から送信される搬送周波数が完全に一致せず、周波数差が生じる場合、音質劣化が生じる。

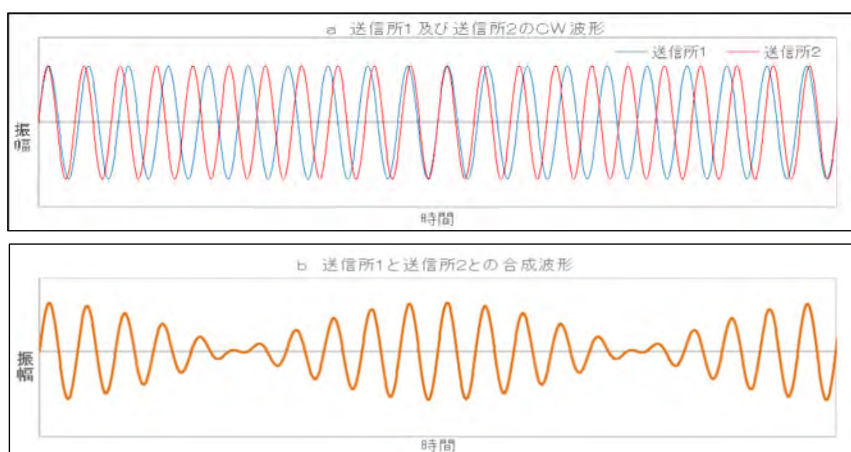


図 3.4.2-3 搬送周波数差による周期的な受信レベル低下

図 3.4.2-3 は、搬送周波数が異なる場合の、DU 比が 0dB の受信合成波形をシミュレーションしたものである。このように搬送周波数に差がある場合、等電界地域では、各送信所の受信波が周期的に同相・逆相を繰り返すことで、合成波受信レベルが変動する。

このとき、2 波の位相関係が同相になる場合は振幅が 2 倍となるが、逆相になる場合は打ち消しあうため振幅は 0 となり、合成受信レベルが劣化する。

劣化する周期 T は、以下の計算式で算出できる。

⁵ FM 変調方式では、変調器に入力する音声信号に含まれる DC 成分により変調時の中心周波数がずれる (DC オフセット) ことがある。この場合、ハイパスフィルター等で音声信号の DC 成分を適切にカットすることで軽減できる。

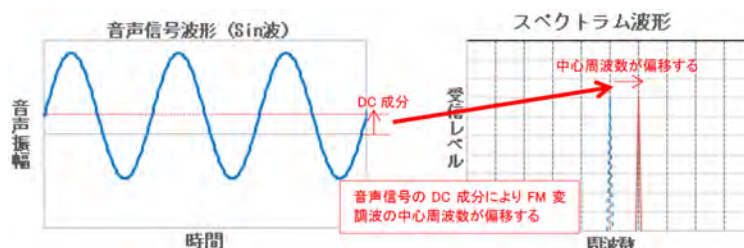


図 3.4.2-4 音声信号 DC 成分による FM 中心周波数の偏移

$$T = 1 / (f_1 - f_2)$$

$T(\text{sec})$: 音質劣化周期
 $f_1(\text{Hz})$: 送信所 1 の送信周波数
 $f_2(\text{Hz})$: 送信所 2 の送信周波数

図 3.4.2-5 は、搬送周波数差による時間的な音質劣化と受信電界との関係を示したものである。

搬送波周数差による受信レベル変動において、最低受信レベルを下回ると音質が劣化するが、強電界であれば、逆相時でも受信レベルが最低受信レベルを下回る時間が短くなるため、原理的には電界が高い方が聴感上の音質劣化が改善できると考えられる。

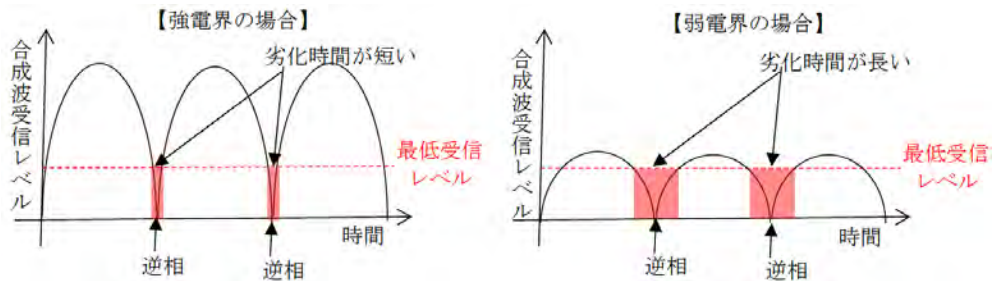


図 3.4.2-5 搬送周波数差による音質劣化と受信電界との関係

3.4.3 搬送周波数安定度

FM 同期放送においては、FM 送信機の発振器及び基準信号の周波数のゆらぎ、AC オフセット周波数変動⁶ などにより、同期を構成する各送信所から送信される搬

⁶ FM 変調方式では、変調器に入力する音声信号の DC 成分により変調時の中心周波数がずれる (DC オフセット周波数偏移) ことがあり、このずれが時間的に変動し FM 変調波の平均中心周波数が揺らぐ状態 (AC オフセット周波数変動) が発生する。

AC 周波数変動幅は中心周波数からの振れ幅を指しており、この振れ幅を小さくすることで、周波数偏差に起因する干渉障害を低減することができる。

なお、こうした音声信号の変動については、適切に抑制することで高精度な同期放送を構築することができる。

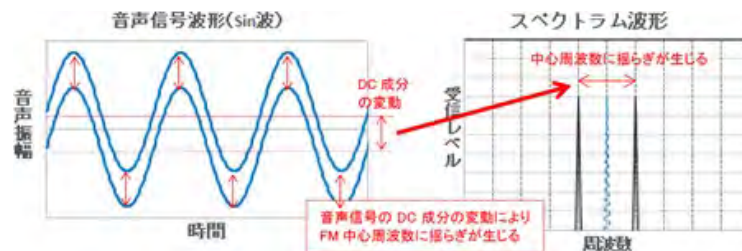


図 3.4.3-1 音声信号 DC 成分の変動による FM 中心周波数のゆらぎ

送波の安定度が損なわれることで音質劣化が発生することが指摘されている。

そこで、平成 30 年度に実施した「FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」では、搬送波の中心周波数安定度を 0Hz 及び 6Hz にした場合に DU 比と遅延時間差が音質に与える影響について評価を行った。

結果については、図 3.4.3-2 のとおり。

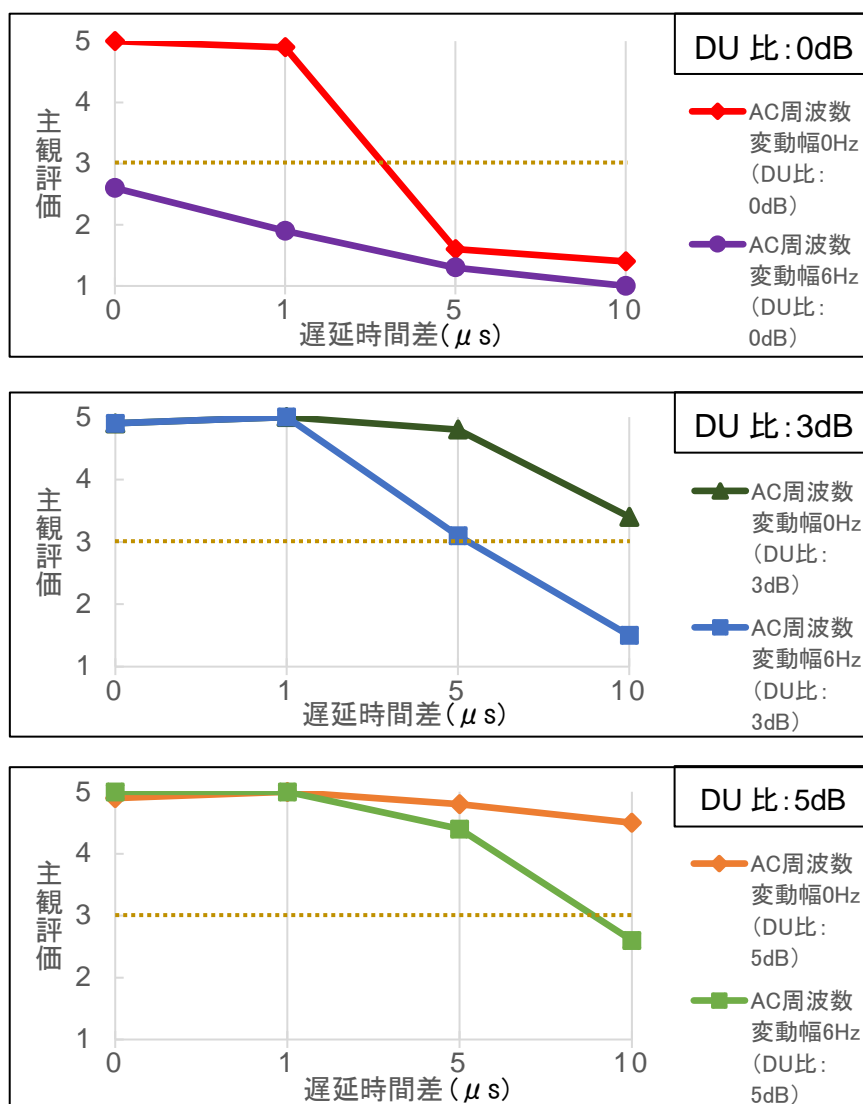


図 3.4.3-2 AC 周波数変動幅 0Hz 及び 6Hz における遅延時間差と主観評価の比較

⁷ 変調時の音声信号の平均直流電圧による中心周波数安定度

前項での検討結果と同様に、DU 比が 5dB 確保できる条件であれば、周波数変動幅が 0Hz 又は 6Hz のいずれにおいても、遅延時間差が 10 μ 秒以内の場合は、ラジオ受信機での主観評価において、聴取可能な基準値である主観評価 3 以上を概ね確保している。

周波数変動幅が 0Hz の場合、DU 比が 3dB の条件では遅延時間差が 10 μ 秒以内、DU 比が 0dB の条件であっても遅延時間差が 1 μ 秒以内であれば、主観評価 3 以上を確保している。

一方、周波数変動幅が 6Hz の場合、DU 比が 3dB の条件では遅延時間差が 5 μ 秒以内であれば主観評価 3 以上を確保できるが、DU 比が 0dB の条件では遅延時間を 0 μ 秒にしても主観評価 3 は確保できない。

FM 同期放送における音質劣化の軽減のためには、相対的な周波数安定度についても可能な限り小さくすることが望ましいが、FM 放送においては、周波数を 20ppm の許容偏差内に維持することを求めることで周波数安定度を確保しており、FM 同期放送においても同様に、前項で示した送信所相互の周波数差を維持することで周波数安定度を確保することが適当であると認められる。

3.4.4 最大周波数偏移差(最大変調度差)

FM 放送では、主搬送波の最大周波数偏移は $\pm 75\text{kHz}$ とされている。

FM 同期放送で許容される最大周波数偏移差については、平成 8 年 3 月「FM 同期放送技術の研究開発報告書」において、最大周波数偏移差と SINAD との関係についての検討が行われており、図 3.4.4-1 のとおり、最大周波数偏移差が 1kHz を超えると劣化が起こることが報告されている。

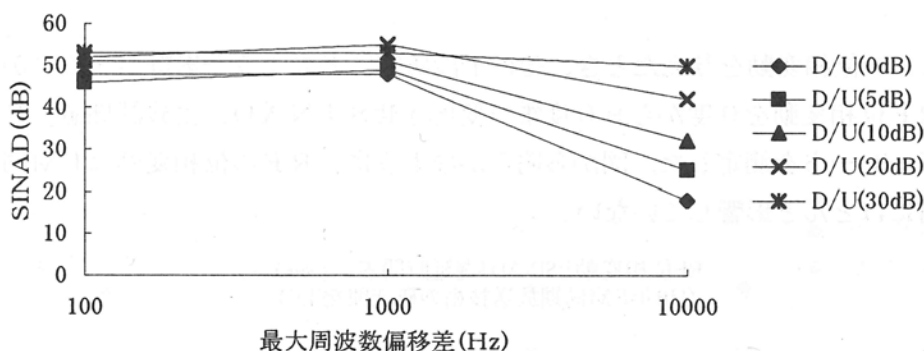


図 3.4.4-1 最大周波数偏移差と SINAD(遅延時間 2 μ s)

FM 同期放送では、各送信所の FM 変調器に加えられる音声信号のレベルの差によって変調度の差が生じ、それが原因となって音質劣化が生じるが、一部の放送事業者では、こうした影響を排除するため、相対的な最大周波数偏移差 1Hz という極めて高い精度で FM 同期放送を行っている事例がある。

そこで、平成 30 年度「FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」では、最大周波数偏移差を1Hz 及び 1kHz にした場合に DU 比と遅延時間差が音質に与える影響について評価を行った。

結果については、図 3.4.4-2 のとおり。

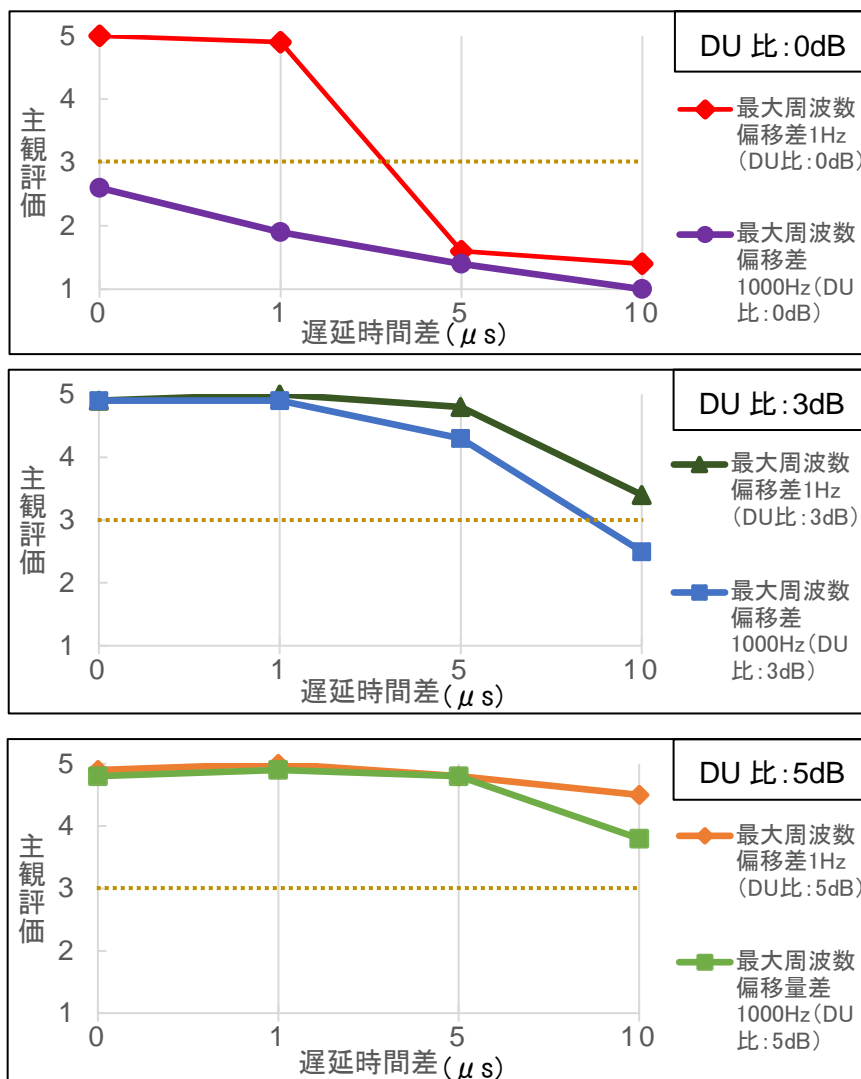


図 3.4.4-2 最大周波数偏移差 1Hz 及び 1kHz における遅延時間差と主観評価(周波数差 0.2Hz の場合)

DU 比が 5dB 確保できる条件であれば、最大周波数偏移差が 1Hz 又は 1kHz のいずれにおいても、遅延時間差が 10 μ 秒以内の場合は、ラジオ受信機での主観評価において、聴取可能な基準値である主観評価 3 以上を確保している。

最大周波数偏移差が 1Hz の場合、DU 比が 3dB の条件では遅延時間差が 10 μ 秒以内、DU 比が 0dB の条件であっても遅延時間差が 1 μ 秒以内であれば、主観評価 3 以上を確保している。

一方、最大周波数偏移差が 1kHz の場合、DU 比が 3dB の条件では遅延時間差が 5μ 秒以内であれば主観評価 3 以上を確保できるが、DU 比が 0dB の条件では遅延時間を 0μ 秒にしても主観評価 3 は確保できない。

このように、FM 同期放送における音質劣化の軽減のためには、最大周波数偏移差を可能な限り小さくすることが望ましい。しかし、FM 同期放送では、事前の検討により、放送区域における DU 比や遅延時間差の設定が可能であり、聴取者がいない場所を等電界地域に設定する等の対応も可能であること、DU 比が確保される場合には最大周波数偏移差が 1Hz のときと 1kHz のときでは評価は大きく変化しないことから、送信側における相互の最大周波数偏移差は 1kHz 以内とし、1Hz を目標とすることが適当と認められる。

3.4.5 パイロット信号の周波数差及び位相差

FM 放送では、パイロット信号の周波数偏差は $\pm 2\text{Hz}$ 以内、位相は $\pm 5^\circ$ 以内とされている。

FM 同期放送においても、各送信所から送信される FM 変調波のパイロット信号の周波数差や位相差により音質劣化が引き起こされることが懸念され、平成 8 年 3 月「FM 同期放送技術の研究開発報告書」において、パイロット信号の周波数差及び位相差と SINAD との関係についての検討が行われている。

周波数差については、図 3.4.5-1 のとおり、FM 同期放送の音質に大きな影響を与えないことが報告されており、位相差についても、図 3.4.5-2 のとおり、FM 同期放送の音質に大きな影響を与えていない。

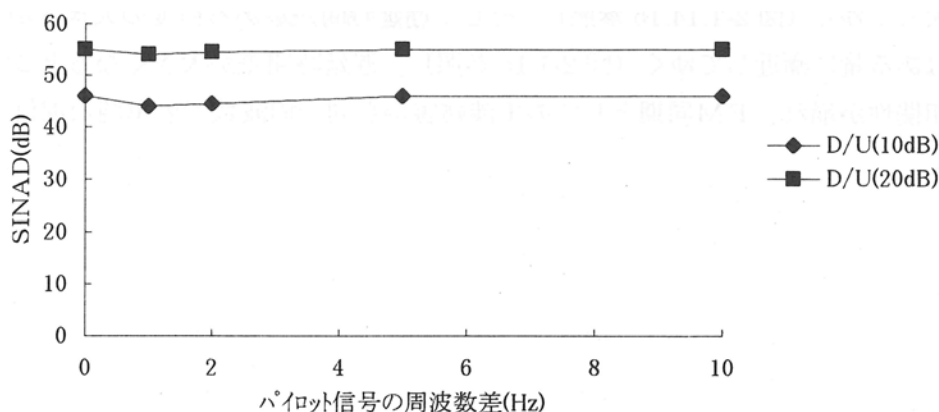


図 3.4.5-1 パイロット信号の周波数差と SINAD

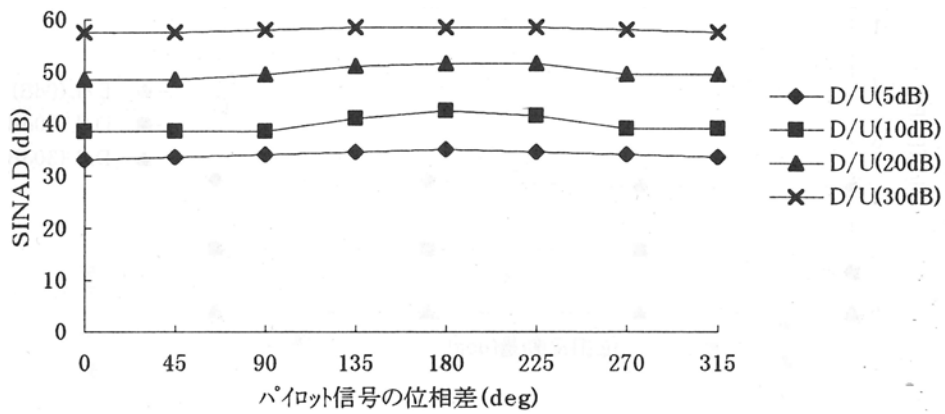


図 3.4.5-2 パイロット信号の位相差と SINAD

また、平成 30 年度「FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」においても、パイロット信号の位相差を 0° 及び 90° にした場合の DU 比と遅延時間差が音質に与える影響について評価を行っているが、図 3.4.5-3 のとおり、パイロット信号の位相差が 0° のときと 90° のときでは評価は大きく変わらない。

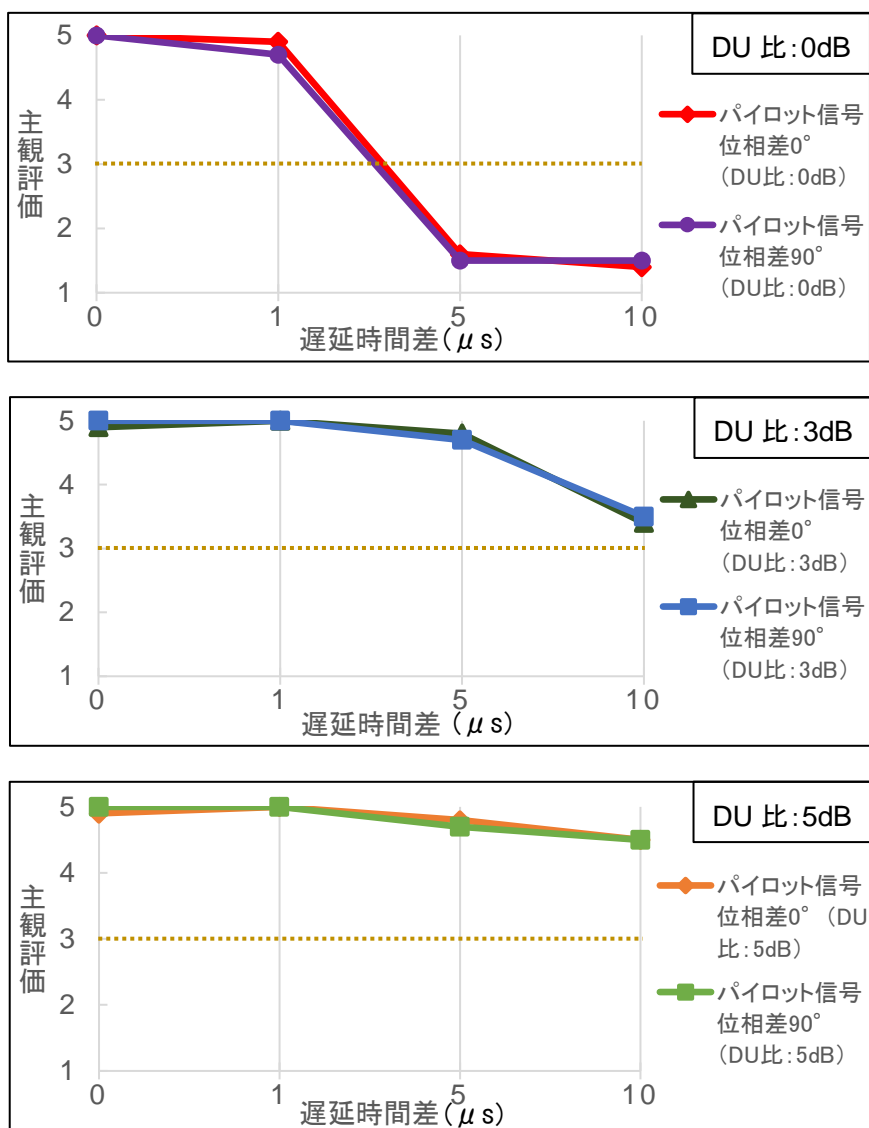


図 3.4.5-3 パイロット信号位相差 0° 及び 90° における遅延時間差と主観評価(周波数差 0.2Hz の場合)

このように、FM 同期放送においてパイロット信号の周波数差及び位相差が音質に大きな影響を与えることはないと考えられることから、パイロット信号の周波数及び位相に関しては、FM 同期放送を行う送信所においても既存の FM 放送と同じ基準で問題ないものと認められる。

なお、異なる FM 変調器で生成される FM 変調波のコンポジット信号の時間的同期性を保つために、FM 同期放送においては遅延差とともにステレオ・パイロット信号の位相差も同期させる必要があるとの指摘もあることから、より高音質の FM 同期放送を実現する場合においては、パイロット信号の位相差についても留意する必要があると考えられる。

3.4.6 DU 比

干渉妨害領域では、2 つの送信所からの遅延時間の差が一定程度存在する場合、受信レベルの差が少ない(DU 比が 0 に近づく)ほど聴感上の音質が劣化する。また、DU 比が十分に確保されていれば、遅延時間差が大きくても音質劣化が少なくなるため、音質劣化の軽減には DU 比の確保が重要である。

3.4.7 遅延時間差

干渉妨害領域では、2 つの送信所からの DU 比が一定の条件の場合、時間差が大きくなるほど聴感上の音質が劣化するため、特に等電界地域において、遅延時間差を小さくすることが重要である。

基本的に送受信間の距離から算出する設計値と、フィールドでの遅延時間差は一致するが、市街地の建物や地形によるマルチパス環境下では、送信所からの伝搬経路が変わるため、設計値とは変わってくることに留意する必要がある。

3.4.8 DU 比と遅延時間差との関係

FM 同期放送に必要な周波数の精密な管理・安定化を行い、同期を構成する送信所からの電波の周波数(主搬送波の周波数、副搬送波の周波数及びパイロット信号の周波数等)が同一である場合、送信所から等距離の地点(等電界地域)では、干渉妨害は生じない。しかし、それ以外の地点では送信所からの距離が異なるため、その距離差に応じて 2 波の遅延時間差が生じ、2 つの送信所から送信される放送波が FM 同期放送を実現するために必要な技術的条件を満足している場合でも干渉妨害が発生する可能性がある。

FM 同期放送における混信保護比(DU 比)、遅延時間差及び聴感上の音質の関係は、既存の FM 放送の置局検討における混信保護比と同様に、放送区域の設計における最も重要な技術要素のひとつとなるため、平成 30 年度「FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」では、DU 比が異なる場合の主観評価と遅延時間差との関係について評価を行った。

評価の結果から得られた、2 つの送信所から送信される電波が同期の技術的条件を満たしている場合でも発生する干渉妨害領域を推定するための遅延時間差と混信保護比(DU 比)の条件(同期評価テーブル)は、表 3.4.8-1 及び表 3.4.8-2 のとおり。

なお、同期評価テーブルについては、3.4 項の検討結果を踏まえ、FM 同期放送の基準となる技術的条件(送信所相互の周波数差 2Hz、最大周波数偏移差 1kHz)及び目標となる技術的条件(送信所相互の周波数差 0.2Hz、最大周波数偏移差 1Hz)で FM 同期放送を実施する場合において、それぞれ評価 2、3 及び 4 を取得

するために必要な遅延時間差と混信保護比との関係を示すものとしている。

表 3.4.8-1 基準となる技術的条件における同期評価テーブル
(送信所相互の周波数差:2Hz、最大周波数偏移差:1kHz、受信機:ラジカセ)

遅延時間差 (μ s)	混信保護比(DU比)(dB)		
	主観評価2	主観評価3	主観評価4
0	0.0	0.3	1.7
1	0.0	0.7	1.9
5	1.1	2.6	4.4
10	2.0	4.6	7.6
26.3	9.5	11.8	13.8
53	5.0	7.6	10.7
100	8.3	13.5	20

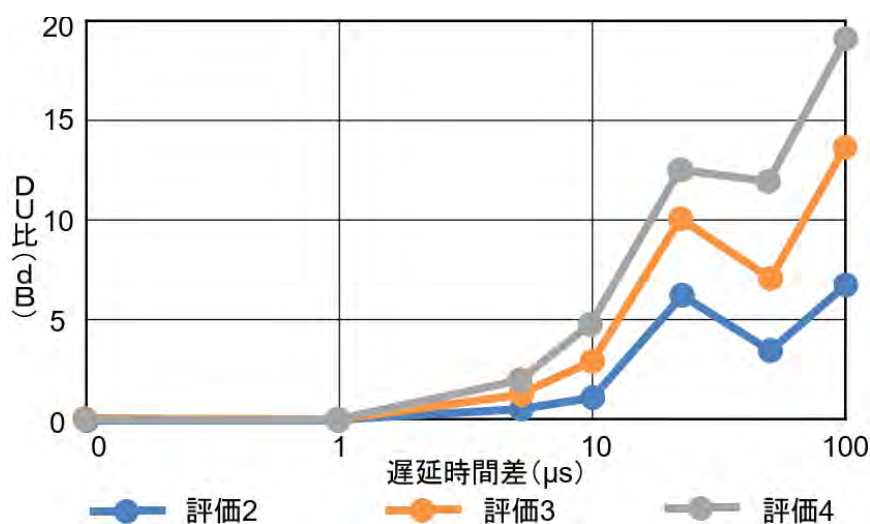


図 3.4.8-1 基準となる技術的条件における同期評価テーブルのグラフ

表 3.4.8-2 目標となる技術的条件における同期評価テーブル
 (送信所相互の周波数差:0.2Hz、最大周波数偏移差:1Hz、受信機:ラジカセ)

遅延時間差 (μ s)	混信保護比(DU比)(dB)		
	主観評価2	主観評価3	主観評価4
0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0
5	0.4	1.3	2.3
10	1.1	2.8	4.8
26.3	6.3	10.0	12.8
53	3.4	7.1	12.0
100	7.0	13.1	19.4

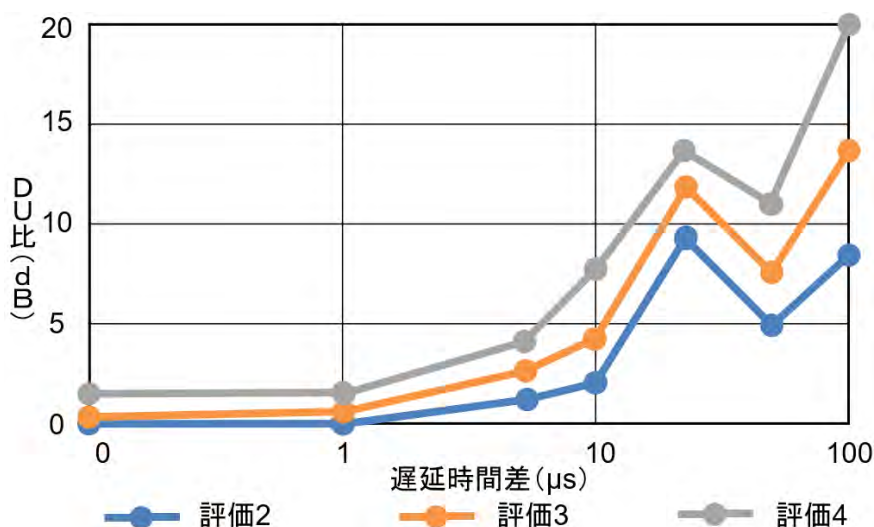


図 3.4.8-2 目標となる技術的条件における同期評価テーブルのグラフ

FM 放送においては、自局と他の FM ラジオ放送局との混信回避のために同一周波数利用に関する混信保護比(36dB)が設定され置局検討に用いられているが、同一周波数、同一内容の放送が前提となる FM 同期放送においては、同期を構成する送信所間の混信保護に対しては適用外とし、干渉妨害領域における受信障害による影響ができる限り小さくなるよう、上記同期評価テーブルに示された遅延時間差と混信保護比(DU比)の条件に留意しつつ、等電界地域を含む干渉妨害領域の受信品質の確保に努めることが適当であると認められる。

3.4.9 送信偏波面

FM 放送では、送信偏波面は原則として水平と規定されているが、水平偏波と垂直偏波を組み合わせ、送信偏波面を異偏波とすることで、当該地点の DU 比の改

善が期待できることから、平成 29 年度「FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」では、FM 同期放送における交差偏波特性について評価を行った。

結果については、図 3.4.9-1 のとおり。

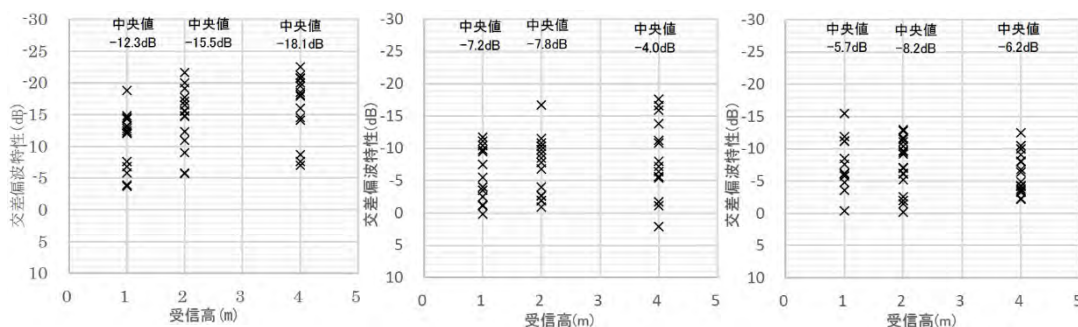


図 3.4.9-1 受信高と交差偏波特性(左から、郊外、中小都市、市街地)

同期を構成する各送信所から送信される放送波の偏波面を異偏波とすることで 10dB 程度の DU 比の改善が見込まれ、この偏波面効果を考慮して、放送区域を確保しつつ等電界地域の場所を移動させることが可能となることから、FM 同期放送においては、送信空中線から発射する電波の偏波面として垂直偏波も使用可能とすることが適当と認められる。

3.5 3 波同期による FM 同期放送

FM 同期放送では、複数の送信所による同一周波数利用を可能とする技術であり、同期放送の導入が進むことにより、2 波を超える放送波による干渉妨害領域が発生することも想定される。そこで、平成 30 年度「FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」では、3つの放送波が干渉した場合の音質劣化について、評価を行った。

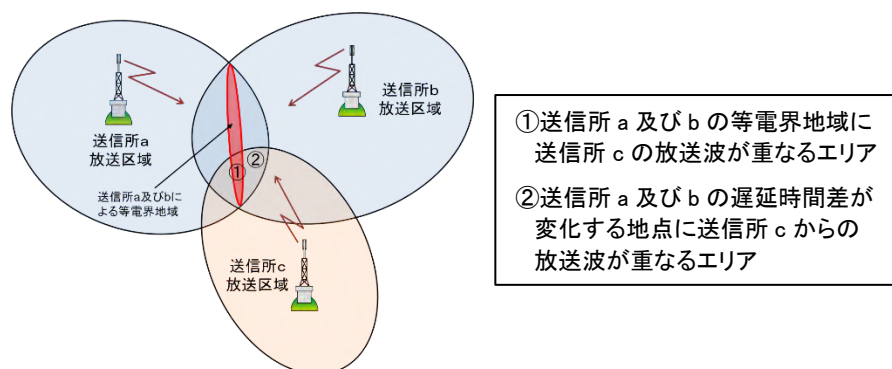


図 3.5-1 3 波による FM 同期放送のイメージ

上記①に当たる送信所 a 及び b の等電界地域における 3 波同期による音質への影響については図 3.5-2、上記②に当たる送信所 a 及び b の DU 比及び遅延時間等が変化する地点における 3 波同期による音質への影響については図 3.5-3 のとおり。

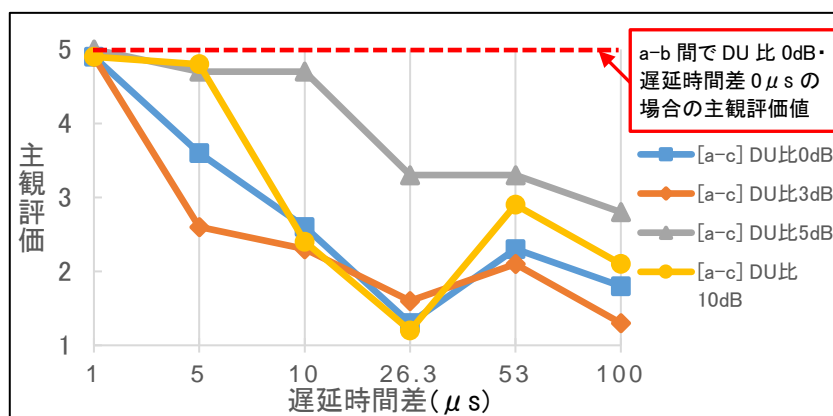


図 3.5-2 送信所 a・b の等電界地域における 3 波同期の影響

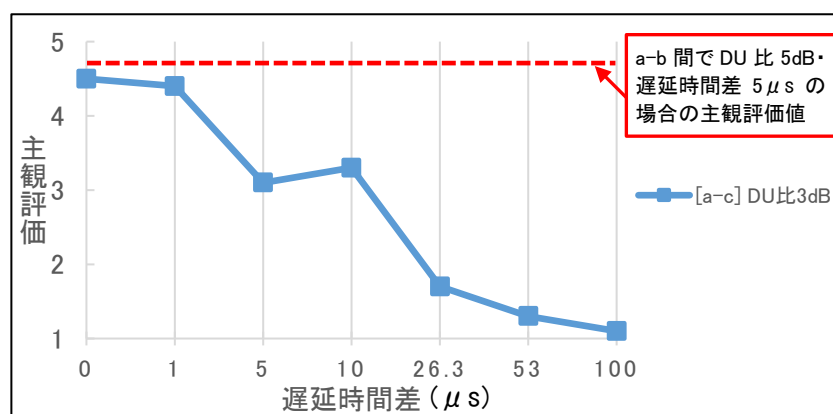


図 3.5-3 送信所 a・b の干渉妨害領域 (DU 比 5dB、遅延時間差 5 μs) における 3 波同期の影響

3 波による FM 同期放送を行う場合には、2 波による同期と比較して、干渉妨害による音質劣化が増加すると考えられる。

3 波同期においては、3 局間相互において FM 同期放送に必要な技術的条件を満足するだけでなく、干渉妨害を軽減させるために、より高精度な同期を行うほか、DU 比や遅延時間差の調整により、音質劣化の軽減に努める必要がある。

3.6 FM 文字多重放送 (VICS)

FM 放送では、FM 放送の電波に信号を多重し、音声だけでなく文字情報等の送信も行う FM 多重放送が行われている。そこで、平成 30 年度「FM 同期放送の導入に

関する技術的条件の調査検討」では、FM 文字多重放送(VICS)を FM 同期放送で行う場合の課題等について、評価を行った。

結果については、表 3.6-1 のとおり。

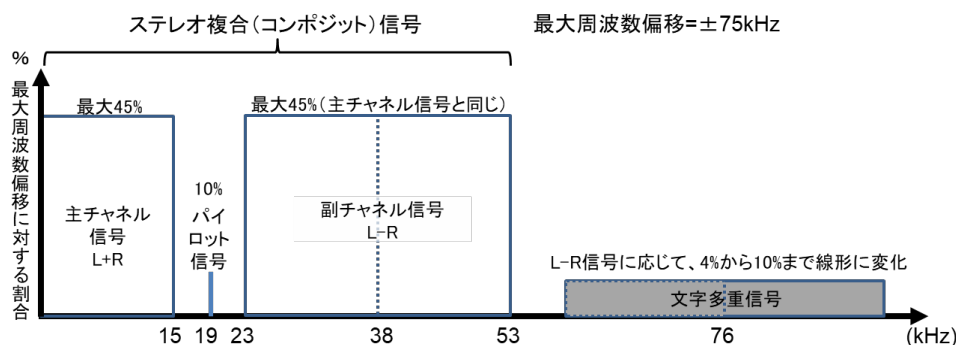


図 3.6-1 FM 放送の変調信号の周波数の配列

表 3.6-1 試験環境⁸における多重信号の有無(ON/OFF)による SINAD の変化

遅延時間差 (μs)	多重信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0dB	DU 比 3dB	DU 比 5dB	DU 比 10dB	DU 比 15dB	DU 比 20dB
0	ON	53.2	53.6	53.5	53.8	54.3	54.2
	OFF	52.1	54.0	54.8	55.2	55.1	55.2
1	ON	53.5	53.6	49.4	53.7	53.9	53.6
	OFF	49.6	52.0	50.1	54.9	55.1	55.2
5	ON	12.2	28.4	32.2	47.2	44.4	48.3
	OFF	15.7	36.6	32.0	36.4	41.4	50.2
10	ON	9.0	21.1	24.4	29.4	34.7	40.0
	OFF	10.5	21.2	23.7	29.1	35.5	39.3
26.3	ON	10.9	17.7	21.0	27.3	33.1	38.0
	OFF	10.9	17.9	21.1	27.6	33.1	38.3
53	ON	10.7	21.0	23.8	29.1	34.3	39.2
	OFF	11.3	21.1	23.9	29.3	34.4	39.3
100	ON	7.4	17.2	20.8	27.6	33.8	39.0
	OFF	7.7	17.2	20.7	27.5	33.9	39.1

FM 多重放送を同期放送で行う場合、多重データの有無による FM 音声への影響は見られない一方で、音質劣化の影響は音声信号のみの FM 同期放送と同様であり、音質劣化の軽減のための対策が有効であると考えられる。

なお、多重放送のデータ誤りに対しても、音声劣化と同様の対策が有効であると考えられるが、実際に FM 同期放送で多重放送を行うためには、受信データ確認方法の検討も含めた更なる検討が必要である。

⁸ 屋内において、FM 多重信号発生器 1 台から変調器に 2 分配して試験したもの

3.7 受信側の改善手法

FM 同期放送の音質劣化は、FM 放送におけるマルチパスによる劣化と同様の理由で発生することから、送信側における対策(周波数の精密な管理・安定化や最適なエリア設計など)に加え、受信側における対策を合わせて行うことが有効であると考えられる。

FM 同期放送の音質劣化の軽減に有効と考えられる受信側の主な対策は、以下のとおり。

○FM 受信機の性能向上

FM 受信機に要求される受信性能のうち、FM 同期放送の受信対策に有効な性能(キャプチャレシオ⁹等)の向上

○マルチパス雑音の低減技術の活用

FM 受信機においてマルチパス雑音の改善に有効な機能の活用(ダイバーシティ受信システムや雑音除去フィルタの活用等)

○アンテナ指向性の確保

指向性が狭く前後比が大きい受信アンテナを使用する等、受信機の入力端での DU 比の確保による干渉妨害の軽減

○受信位置の移動

受信の位置や方向(受信アンテナの向き)を変えるなどの聴取者の工夫による干渉妨害の軽減

⁹ FM 放送において同一の搬送周波数の 2 つの放送局が受信される場合に、弱い信号を抑圧し強い信号だけを受信する能力。

4 FM 同期放送の技術的条件

4.1 適用範囲

この技術的条件は、放送区域の一部が重複又は隣接するFMラジオ放送局（FM補完中継放送局及びコミュニティ放送局を含む。）のうち、同一の周波数を使用して同時に同一番組を放送するものであって、相互に同期放送の関係にある基幹放送局に適用する。

4.2 FM 同期放送の使用周波数帯

FM 同期放送が使用する周波数帯は、既存の FM 放送と同じ、超短波（76MHz～95MHz）の周波数とする。

4.3 搬送周波数差

相互に同期放送の関係にある各送信所の搬送周波数の差は 2Hz を超えないものとし、0.2Hz 以内とすることを目標とする。

4.4 最大周波数偏移差

相互に同期放送の関係にある各送信所の最大周波数偏移の差は 1kHz を超えないものとし、1Hz 以内とすることを目標とする。

4.5 同期放送の関係にある局以外の FM ラジオ放送局との混信

相互に同期放送の関係にある局以外の FM ラジオ放送局との混信については、平成 10 年度電気通信技術審議会答申「諮問第 92 号 FM 放送の置局に関する技術的条件」に基づき、次の FM 放送局間の混信保護比を確保する。

周波数差 (kHz)	0	100	200	300	400
混信保護比 (dB)	36	33	7	-10	-25

4.6 同期放送の関係にある FM ラジオ放送局との混信

相互に同期放送の関係にある FM ラジオ放送局との混信については、平成 10 年度電気通信技術審議会答申「諮問第 92 号 FM 放送の置局に関する技術的条件」に基づく FM 放送局間の混信保護比の適用対象外とする。

4.7 偏波

原則として水平偏波とし、垂直偏波を用いることにより、偏波面効果による受信改善が期待できる場合は、垂直偏波を用いることができることとする。

4.8 干渉妨害領域を推定するための同期評価テーブル

FM 同期放送の放送区域の設定に当たっては、干渉妨害領域における受信障害による影響ができる限り小さくなるよう、2 つの送信所から送信される電波が同期の技術的条件を満たしている場合でも発生する干渉妨害領域を推定するための遅延時間差と混信保護比の条件(同期評価テーブル)に留意しつつ、等電界地域を含む干渉妨害領域の受信品質の確保に努める。

同期評価テーブルは、表 4.8-1 のとおり。

表 4.8-1 FM 同期放送における遅延時間差と混信保護比の条件
(同期評価テーブル)

相互に同期関係にある 基幹放送局間の 搬送周波数差及び 最大周波数偏移差	許容される 遅延時間差 (μ s)	混信保護比(dB)		
		主観評価 2	主観評価 3	主観評価 4
搬送周波数差 2Hz 以内 かつ 最大周波数偏移差 1kHz 以内	0	0.0	0.3	1.7
	1	0.0	0.7	1.9
	5	1.1	2.6	4.4
	10	2.0	4.6	7.6
	26.3	9.5	11.8	13.8
	53	5.0	7.6	10.7
	100	8.3	13.5	20.0
搬送周波数差 0.2Hz 以内 かつ 最大周波数偏移差 1Hz 以内	0	0.0	0.0	0.0
	1	0.0	0.0	0.0
	5	0.4	1.3	2.3
	10	1.1	2.8	4.8
	26.3	6.3	10.0	12.8
	53	3.4	7.1	12.0
	100	7.0	13.1	19.4

参 考 资 料

参考資料1 FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討報告書（抜粋）

（平成 29 年度技術試験事務）

3. 2 屋内試験	45
-----------------	----

参考資料2 FM 同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討報告書（抜粋）

（平成 30 年度技術試験事務）

3. 2 室内試験	75
3. 3 屋外試験	109

FM 同期放送の導入に関する
技術的条件の調査検討
報告書

平成 30 年 3 月

株式会社NHKアイテック

3. 2 屋内試験

3. 2. 1 屋内試験の概要

屋内試験では同期環境における電波条件の検証を目的としている。受信機 12 機種を用いて以下の測定・試験により、検証を行った。

1. 受信機単体特性測定
 - (1) 周波数特性
 - (2) 歪率
 - (3) S/N 特性・SINAD⁷特性 (1kHz のみ)
 - (4) ステレオ分離度特性
2. 試験条件の抽出
3. 評価音源取得
4. SINAD 特性測定
5. 主観評価試験
6. 主観評価と SINAD 特性との相関調査
7. 主観評価と SINAD の相関分析

⁷ Signal-to-Noise and Distortion Ratio

表 3.2-1 受信機一覧

受信機	種 類	モノラル ステレオ	選局	FM・TV帯 受信周波数	機能
受信機①	ラジカセ	ステレオ	シンセ	FM 76～108MHz	AM/FM、CD/SD/USB
受信機②	ポケットラジオ	ステレオ	シンセ	FM 76～90MHz (DTV 13～62ch)	AM/FM/ワンセグ
受信機③	ポータブルラジオ	モノラル	バリコン	FM 76～108MHz	AM/FM
受信機④	ポータブルラジオ	モノラル	バリコン	FM 76～108MHz	AM/FM
受信機⑤	ポケットラジオ	ステレオ	シンセ	FM 76～108MHz	AM/FM
受信機⑥	ラジカセ	ステレオ	シンセ	FM 76～108MHz	AM/FM、CD/カセット
受信機⑦	ラジカセ	ステレオ	バリコン	FM 76～108MHz	AM/FM、カセット
受信機⑧	車載ラジオ	ステレオ	シンセ	FM 76～108MHz	AM/FM、CD/MD
受信機⑨	システムコンポ	ステレオ	シンセ	FM 76～95MHz	AM/FM、ネットワーク ラジオ、ハイレゾ対応
受信機⑩	システムコンポ	ステレオ	シンセ	FM 76～95MHz	AM/FM
受信機⑪	システムコンポ	ステレオ	シンセ	FM 76～95MHz	AM/FM、フラッシュメモ リ、ハイレゾ対応
受信機⑫	車載ラジオ	ステレオ	シンセ	FM 76～95MHz	AM/FM

3. 2. 2 受信機単体特性測定

受信機単体特性測定の測定系統を図 3.2-1 に、使用した測定器のリストを表 3.2-2 に示す。

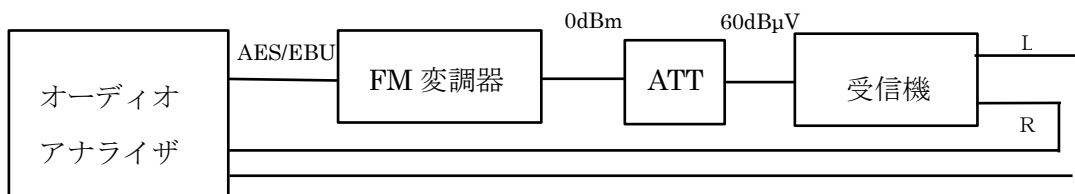


図 3.2-3 受信機単体特性測定 測定系統図

表 3.2-2 測定機器一覧

名称	品名	型式	製造者名	台数
FM 変調器	デジタル FM 変調器	5946MD	日本通信機	1
オーディオアナライザ	オーディオアナライザ	U8903A	KEYSIGHT	1
アッテネータ	ステップ・アッテネータ	8496B	KEYSIGHT	1

各測定結果は以下のとおり。

(1) 周波数特性

周波数特性 (1kHz基準)

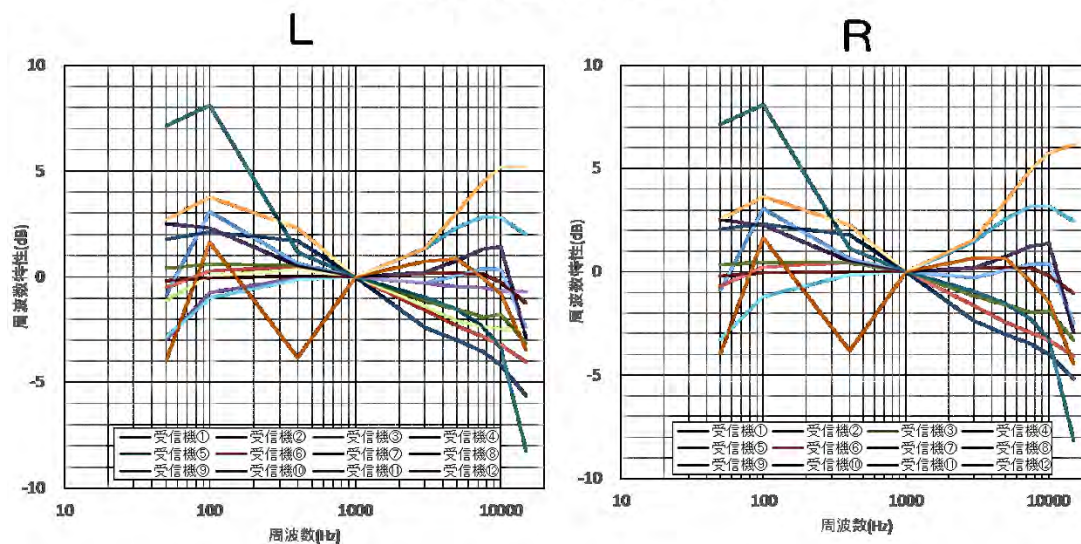


図 3.2-4 受信機単体特性測定 周波数特性

(2) 歪率

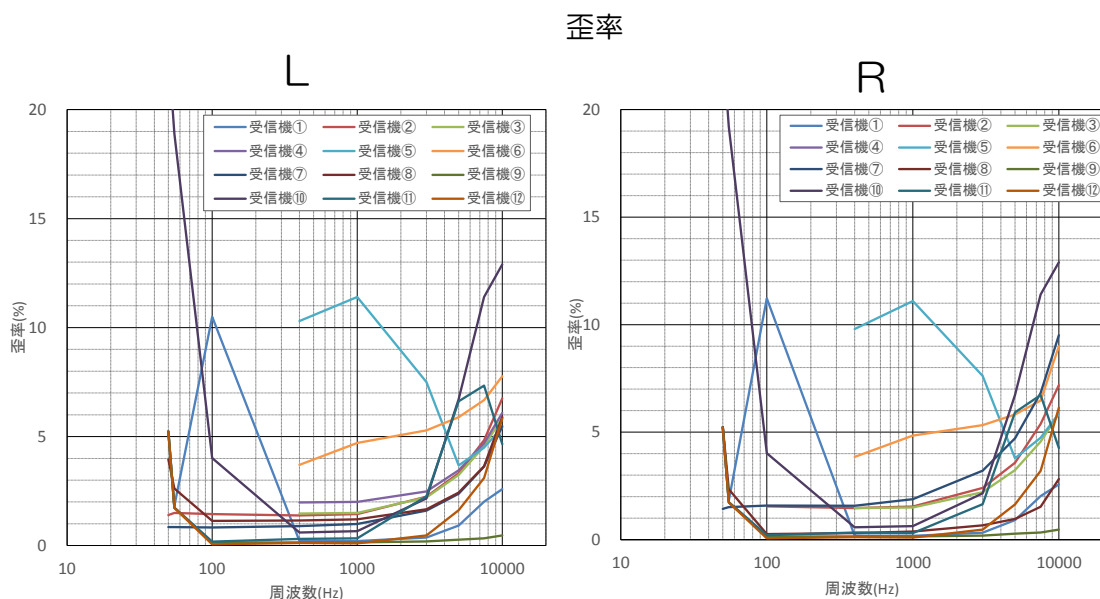


図 3.2-5 受信機単体特性測定 歪率

(3) S/N 特性、SINAD 特性

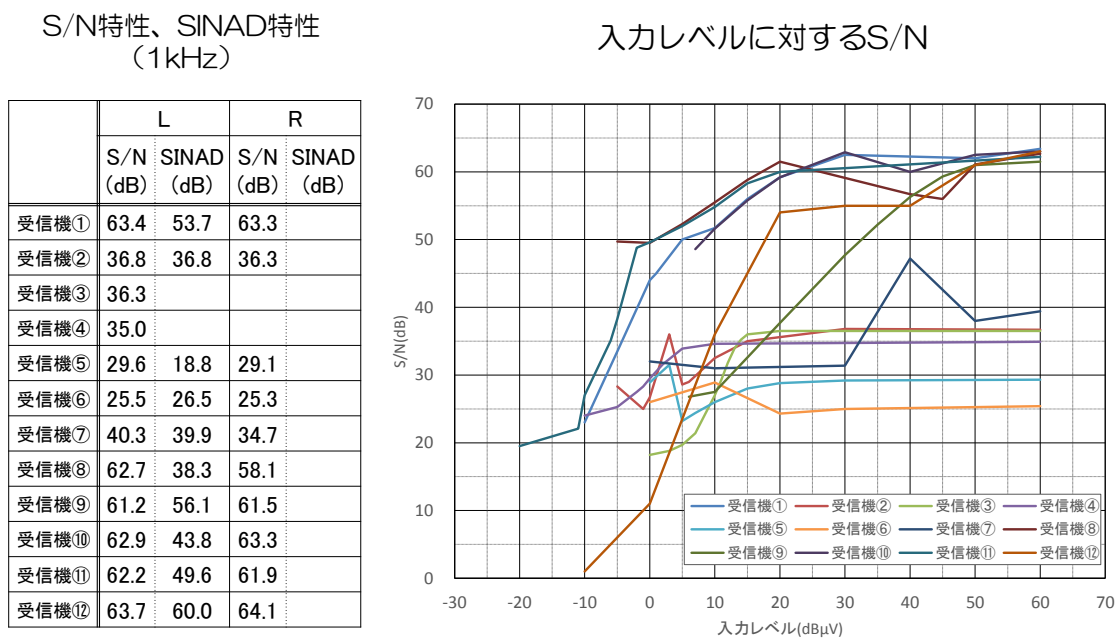


図 3.2-6 受信機単体特性測定 S/N 特性、SINAD 特性

(4) ステレオ分離度特性

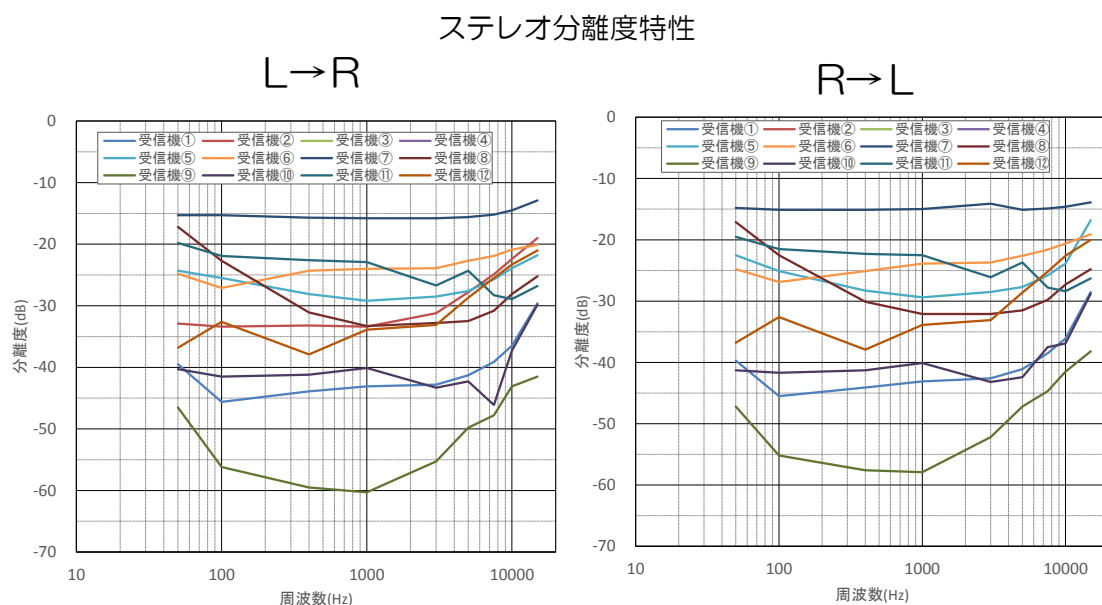


図 3.2-7 受信機単体特性測定 ステレオ分離度特性

3. 2. 3 試験条件の抽出

評価用音源として、以下の 3 種類の音源を用意した。

表 3.2-3 評価用音源の種類

音源 A	ピアノ
音源 B	ナレーション
音源 C	スポーツ中継

また同期放送用のパラメータとして、以下に示す 4 つのパラメータを採用した。

- 1 中心周波数安定度 (無変調時)
- 2 AC 周波数安定度 (変調時の音声信号の平均直流電圧による中心周波数安定度)
- 3 最大変調度偏差 (定格入力時の 75KHz_{o-p} に対して)
- 4 音声信号とステレオ・パイロット信号位相の時間的タイミング

各パラメータによる変化を確認するため、測定するパラメータのパターンを以下の 8 つに限定した。

表 3.2-4 パラメータパターン

パラメータ パターン	選定理由
第 1 パターン	<p>最新 FM 送信機の性能にて測定するため、映像情報メディア学会誌 (Vol.71 No.12 2017) で報告された高精密度デジタル型変調器の性能を選定。</p> <p>(中心周波数偏差：0.2Hz、AC 周波数安定度：0Hz、 最大変調度偏差：1Hz、パイロット位相差：0°)</p>
第 2 パターン	<p>これまで FM 同期放送の検討調査に用いられてきた性能にて測定を行い、第 1 パターンとの比較ができるよう、平成 9 年研究報告相当の変調器の性能を選定。</p> <p>(中心周波数偏差：2Hz、AC 周波数安定度：6Hz、 最大変調度偏差：1000Hz、パイロット位相差：90°)</p>
第 3 パターン	<p>第 2 パターンに対しパイロット信号を同期 (2 台の間の位相差=0°) に設定したものを選定。</p>
第 4 パターン	<p>中心周波数安定度、最大変調度偏差を第 1 パターンと第 3 パターンの間に設定したものを選定。</p>
第 5 パターン	<p>中心周波数安定度、最大変調度偏差を第 1 パターンと第 3 パターンの間に設定したものを選定。</p>
第 6 パターン	<p>第 2 パターンに対して中心周波数安定度と最大変調度偏差を劣化させたものを選定。</p>
第 7 パターン	<p>位相同期条件の確認のため、第 1 パターンに対しパイロット位相を 90°ずらしたものを選定。</p>
第 8 パターン	<p>位相同期条件の確認のため、第 1 パターンに対しパイロット位相を 180°ずらしたものを選定。</p>

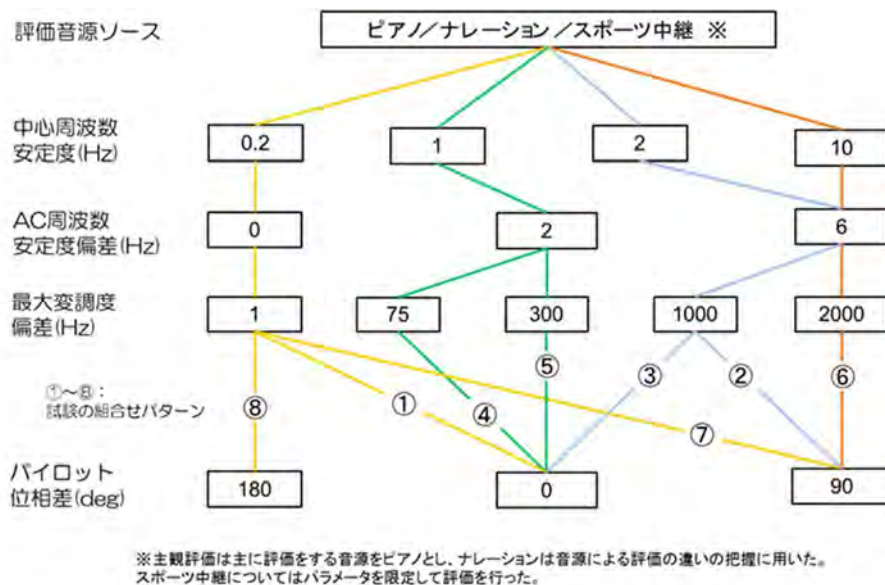


図 3.2-8 パラメータの組み合わせ

3. 2. 4 評価音源取得

各種パラメータを測定するため、下図のような系統にて測定、評価を実施した。なお FM 受信機は複数の受信機の中から機種を選定し、復調音声の評価した。

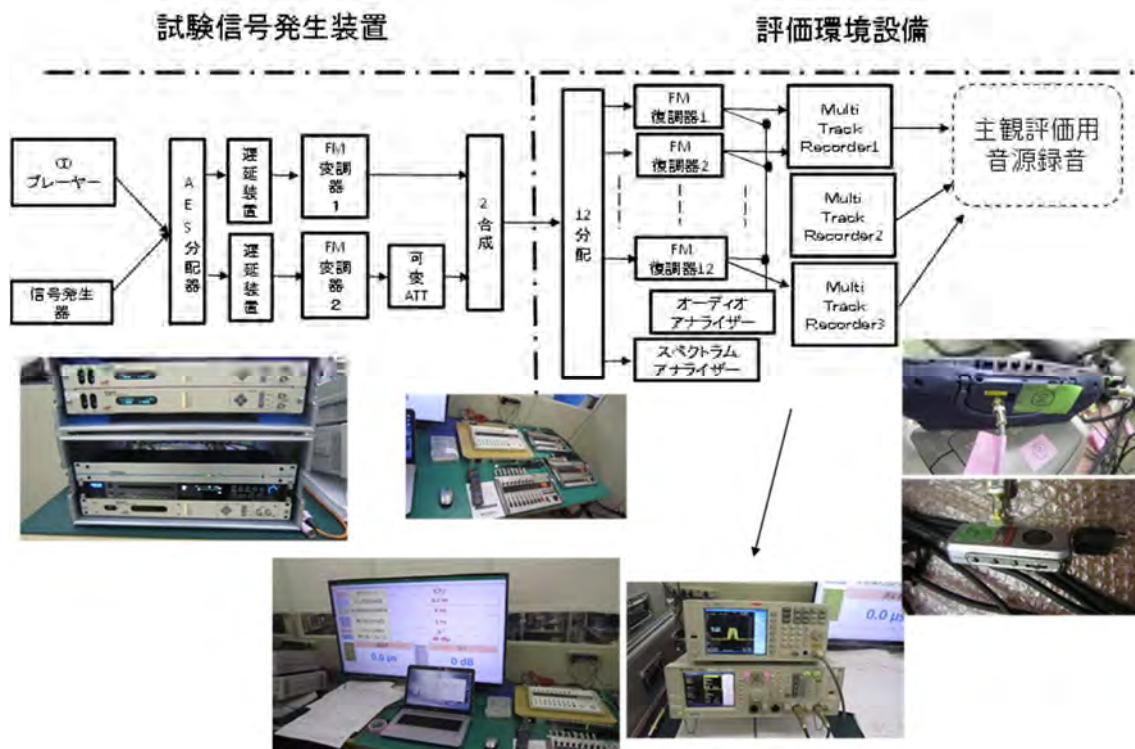


図 3.2-9 系統図

表 3.2-5 測定機器一覧

名称	品名	型式	メーカー	台数
CD プレーヤ	Network CD / Media Player	DN-700C	DENON	1
オーディオアナライザ	オーディオアナライザ	U8903A	KEYSIGHT	1
トーンバースト SG	遅延同期装置 (送信)	5949T	日本通信機	1
スペクトラムアナライザ	スペクトラムアナライザ	N9320B	アジレント	1
12 分配器	12DIVIDER/MIXER	ZFSC-12-1+	Mini-Circuits	1
2 合成器	2DIVIDER/MIXER	ZFSC-2-2+	Mini-Circuits	1
可変 ATT	ステップ・アッテネータ	8494B	アジレント	1
可変 ATT	ステップ・アッテネータ	8496B	アジレント	1
録音機	マルチトラックレコーダー	R24	ZOOM	3
スピーカー	スピーカー	RPM3	AKAI	1
GPS アンテナ	GPS アンテナ	GPA-017S	古野電気	1
1pps 信号発生器	基準信号発生器	3277A	日本通信機	1
音声分配器	AES 分配器	DDA-12A	トライテック	1

屋内実験による音声の録音設定については、使用する用途別に表 3-15 の条件にて音源の録音を実施した。またそれにより録音されたデータについて一覧を図 3-7 に示す。

表 3.2-6 録音設定

	録音設定		
	主観評価音源用	主観評価（入力レベルによる変化確認用）	SINAD 測定用
音源	A、B、C	A、B、C	A
パラメータ パターン	第1～8（全て）	第1、4、5、7	第1、3、4、5
受信機	No.1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12	No.1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12	No.1, 5, 9, 12
受信機 入力レベル	60dB μ V	40dB μ V	60dB μ V
録音時間	20 秒	20 秒	60 秒
2 波遅延 時間差	0,1,3,5,10,15,26.3,35,53,100, 200,500,1000 μ s	0,1,3,5,10,15 μ s	0,1,3,5,10,15,26.3,35,53,100, 200,500 μ s
2 波 D/U	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10, 12,15,20,30dB	0,1,3,4,5,6,7,8,9,10, 12,15,20,30dB	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14,1 7,20,25,30dB

録音設定条件 1														録音設定条件 2														録音設定条件 3																			
サウンドソース		音源 A (PIANO)・音源 B (ナレーション)・音源 C (スボータ中継)												(3種類)		サウンドソース		音源 A・音源 B・音源 C												(3種類)		サウンドソース		音源 A (PIANO)												(1種類)	
パターン		1 ～ 8												(8種類)		パターン		1・4・5・7												(4種類)		パターン		1・3・4・5												(4種類)	
受信機 NO.		1・2・5・6・8・9・10・11・12												(9種類)		受信機 NO.		1・2・5・6・8・9・10・11・12												(9種類)		受信機 NO.		1・5・9・12												(4種類)	
受信機入力レベル		60dB μ V														受信機入力レベル		40dB μ V														受信機入力レベル		60dB μ V													
録音時間		20 秒														録音時間		20 秒														録音時間		60 秒													
		遅延差																遅延差																遅延差													
		0 μ s 1 μ s 3 μ s 5 μ s 10 μ s 15 μ s 26.3 μ s 35 μ s 53 μ s 100 μ s 200 μ s 500 μ s 1000 μ s																0 μ s 1 μ s 3 μ s 5 μ s 10 μ s 15 μ s																0 μ s 1 μ s 3 μ s 5 μ s 10 μ s 15 μ s 26.3 μ s 35 μ s 53 μ s 100 μ s 200 μ s 500 μ s													
D / U	0 dB	1	16	31	46	61	76	91	106	121	136	151	166	181	1	16	31	46	61	76	1	18	35	52	69	86	103	120	137	154	171	188															
	1 dB	2	17	32	47	62	77	92	107	122	137	152	167	182	2	17	32	47	62	77	2	19	36	53	70	87	104	121	138	155	172	189															
	2 dB	3	18	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	183	3	18	33	48	63	78	3	20	37	54	71	88	105	122	139	156	173	190															
	3 dB	4	19	34	49	64	79	94	109	124	139	154	169	184	4	19	34	49	64	79	4	21	38	55	72	89	106	123	140	157	174	191															
	4 dB	5	20	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170	185	5	20	35	50	65	80	5	22	39	56	73	90	107	124	141	158	175	192															
	5 dB	6	21	36	51	66	81	96	111	126	141	156	171	186	6	21	36	51	66	81	6	23	40	57	74	91	108	125	142	159	176	193															
	6 dB	7	22	37	52	67	82	97	112	127	142	157	172	187	7	22	37	52	67	82	7	24	41	58	75	92	109	126	143	160	177	194															
	7 dB	8	23	38	53	68	83	98	113	128	143	158	173	188	8	23	38	53	68	83	8	25	42	59	76	93	110	127	144	161	178	195															
	8 dB	9	24	39	54	69	84	99	114	129	144	159	174	189	9	24	39	54	69	84	9	26	43	60	77	94	111	128	145	162	179	196															
	9 dB	10	25	40	55	70	85	100	115	130	145	160	175	190	10	25	40	55	70	85	10	27	44	61	78	95	112	129	146	163	180	197															
	10 dB	11	26	41	56	71	86	101	116	131	146	161	176	191	11	26	41	56	71	86	11	28	45	62	79	96	113	130	147	164	181	198															
	12 dB	12	27	42	57	72	87	102	117	132	147	162	177	192	12	27	42	57	72	87	12	29	46	63	80	97	114	131	148	165	182	199															
	15 dB	13	28	43	58	73	88	103	118	133	148	163	178	193	13	28	43	58	73	88	14	30	47	64	81	98	115	132	149	166	183	200															
20 dB	14	29	44	59	74	89	104	119	134	149	164	179	194	14	29	44	59	74	89	17	31	48	65	82	99	116	133	150	167	184	201																
30 dB	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	15	30	45	60	75	90	20	32	49	66	83	100	117	134	151	168	185	202																
																				25	33	50	67	84	101	118	135	152	169	186	203																
																				30	34	51	68	85	102	119	136	153	170	187	204																

(注) 音源 C のパターン 6・8 は録音除外

$$3 * 8 * 9 * 195 - 195 * 2 = 41730$$

$$3 * 4 * 10 * 90 = 9720$$

$$1 * 4 * 4 * 204 = 3264$$

総録音数 54714

図 3.2-10 屋内実験録音データ一覧

3. 2. 5 SINAD 特性測定

SINAD は以下の計算式で定義される値であり、通信装置からの信号の質を示す指標として一般的に利用されている。

$$\text{SINAD} = (\text{Psignal} + \text{Pnoise} + \text{Pdistortion}) / (\text{Pnoise} + \text{Pdistortion})$$

一般的に高調波歪で定義される歪成分の場合の測定値は定常的な値を持ち、安定的に測定が可能であるが、FM 同期放送では基本的に干渉波を受けた受信であるため、SINAD の測定はその値に揺らぎが見られ安定的な値としては得られない。

そのため今回は長時間観測（約 40 秒）のうえ平均的な値を測定した。

(1) SINAD 測定 I（受信機 No.9）

受信機の単体測定において、全体的に良好な性能を示した受信機 No.9 について SINAD を測定した。測定条件は以下の通り。

- ・変調信号周波数は L、R ともに 1kHz（結果としてパイロット信号付モノラル）
- ・変調度は L、R ともに 100%
- ・パラメータパターンは第 1 パターンと第 2 パターン

(2) SINAD 測定 II（受信機 No. 1,2,5,6,7,8,9,10,11,12）

SINAD 測定 I の測定がパイロット信号付モノラルであったため、副搬送波を伝送するために測定条件を以下のように変更して測定した。

- ・変調信号周波数 L:1kHz R:400Hz
- ・変調度は L、R ともに 100%
- ・パラメータパターンは第 1 パターン

(3) SINAD 測定 III（受信機 No. 1,2,5,6,7,8,9,10,11,12）

SINAD 測定 II と同一の入力状態でパラメータパターンを第 1 パターンから第 2 パターンに変更して測定した。

【SINAD 測定 I，II，III の測定結果は資料 2 に示す】

(4) SINAD 測定結果

上記の 3 つのパターンで SINAD を測定したところ、以下の結果が得られた。

- SINAD 測定 I より、第 1 パターンでは 2 波間の D/U が 0dB では遅延時間差が小さいほど大きな SINAD 値が得られ、D/U が 0dB、遅延時間差が 0 μ s の時が最も高い値を示した。遅延時間差 50 μ s までは D/U=5dB 以上で SINAD \geq 25dB が得られた。また第 2 パターンでは D/U が 0dB 遅延時間差が 0~15 μ s において SINAD

値は第 1 パターンに比して大きく劣化した。

- SINAD 測定Ⅱより、受信機 No.9 のデータを用いて SINAD 測定Ⅰと比較すると、測定Ⅱ（ステレオ変調時）のほうが測定Ⅰ（モノラル変調時）に比して値は大きく劣化した。
- SINAD 測定Ⅲより、測定Ⅱと比較すると、パイロット信号の位相が 2 波間で異なっているため、SINAD 値は大きく劣化した。遅延時間差が 0 μ s 付近で SINAD=25dB を得るためには受信機によって D/U が 12~20dB 以上必要となった。
- SINAD 測定Ⅱ、Ⅲより、受信機のタイプにより SINAD の値は異なるが、一般的に受信機のステレオ分離度が良いものほど SINAD の値は良好であった。

以上の結果を基に主観評価試験等に使用する受信機のタイプを選定した。

3. 2. 6 主観評価試験

屋内試験により同期環境における電波条件を検証した。干渉を受けていない音声の評価の基準（以下「原音」）とし、屋内実験で記録した干渉を受けた場合の音源（以下「評価音」）を原音と比較し、その品質をモニターによる主観評価によって評価した。

評価受信機は単体性能に差がみられる 3 機種を使用した。SINAD 値及び事前の試聴により評価が分かれると思われる評価音を選定し、イヤホンでの試聴による 5 段階評価とした。

主観評価音源は表 3-9 録音設定①にて実施したものを使用した。全ての組み合わせで評価はできないため、各条件について以下のように選定を行った。

（1）評価試験パラメータパターンの選定

高精密度デジタル型変調器の性能および平成 9 年研究報告相当変調器の性能における分析を行うため、第 1~第 8 のパラメータパターンの組み合わせの内、以下の 4 つのパターンを選定し、それぞれのパターンにおいて遅延差と D/U を変えて主観評価を行った。

表 3.2-7 試験パターン

試験パターン	中心周波数 偏差	AC 周波数 安定度	最大周波数 偏差	パイロット 位相差
第 1 パターン	0.2Hz	0Hz	1Hz	0°
第 2 パターン	2Hz	6Hz	1000Hz	90°
第 3 パターン	2Hz	6Hz	1000Hz	0°
第 7 パターン	0.2Hz	0Hz	1Hz	90°

(2) 遅延差および D/U のパラメータの選定

事務局にて事前に行った評価音源確認および SINAD 測定結果をもとに、主観評価試験結果を効果的に分析できるよう、遅延差および D/U のパラメータについて以下のように選定を行った。

- 遅延時間差は近傍の遅延時間のデータをより多く取得するため、また実際のフィールドにて想定される遅延時間差を考慮し、最大遅延時間差を 100 μ s とする。
- 事務局による事前確認により全てのパターンにおいて D/U の増加に伴い、主観評価値が上昇する傾向が確認できたため、D/U の最大を 10dB とする。

以上の理由により、表 3-17 から必要なポイントを選定し、試験を行った。

なお、より効率的に試験を行うため、この中でも結果が推測されるパラメータについては主観評価からは除外した。

表 3.2-8 測定ポイントの選定

D/U	遅延時間差					
	1 μ s	5 μ s	10 μ s	26.3 μ s	53 μ s	100 μ s
0dB						
3dB						
5dB						
10dB						

(3) 評価受信機の選定

評価受信機 12 機種の内、種類により 3 つに分類し、さらに各分類の中で SINAD 値や事務局の事前確認において単体性能に差がみられる以下の 3 機種を選定した。

表 3.2-9 評価受信機

受信機	種類	選局方式	FM・TV 帯 受信周波数	機能
受信機①	ラジカセ	シンセ	FM 76~108MHz	AM/FM、CD/SD/USB
受信機⑤	ポケットラジオ	シンセ	FM 76~108MHz	AM/FM
受信機⑫	車載ラジオ	シンセ	FM 76~95MHz	AM/FM

(4) 主観評価音源の選定について

上記のパラメータパターン、D/U・遅延時間差、受信機に加え、音源がピアノ・ナレーション・スポーツ中継の 3 種類あるため、効率的に評価音源を選定しなければ、適正な分析をすることは難しい。そのため、それぞれの条件について主として確認するものと変化について確認するものに区分けすることにより、主観評価音の選定を行った。これにより主観評価試験は、選定した 187 の評価音にて実施した。

それぞれの選定内容およびそれぞれの項目について主観評価回数の割合を以下に示す。

表 3.2-10 主観評価音源の選定

	選定内容	主観評価回数
パラメータパターン	<ul style="list-style-type: none"> 第1パターンと第2パターンの比較を主とする。 厳しい条件における変化を確認するため第2パターンを主とする。 第3パターン、第4パターンでは、それぞれの変化に対する評価について確認を行う。 	第1パターン：47 第2パターン：103 第3パターン：17 第7パターン：18
受信機	<ul style="list-style-type: none"> パラメータパターンおよびD/U・遅延時間差による試験を多く行うため、1つの受信機を主とする。 評価受信機の種類の多いラジカセ（受信機①）を主とする。 受信機⑤、⑫では受信機①との比較確認を行う。 	受信機①：98 受信機⑤：44 受信機⑫：43
音源	<ul style="list-style-type: none"> パラメータパターンおよびD/U・遅延時間差による試験を多く行うため、1つの音源を主として試験を行う。 過去の試験との比較をするためピアノ音源を主とする。 ナレーション音源、スポーツ中継音源ではピアノ音源との比較確認を行う。 	ピアノ：128 ナレーション：43 スポーツ中継：14

(5) 屋内試験の実施概要

屋内試験の実施概要は以下の通り。

評価場所	NHKアイテック
実施日	2017年12月25～26日
評価方法	干渉状態を録音した復調音を5段階評価
評価者	20名
音源	ピアノ、ナレーション、スポーツ中継の3種類

評価者は、専門家10名・一般10名の計20人により、イヤホンにて一つの評価につき、原音（15秒）と評価音（15秒）を連続して試聴し、原音に対する評価音の劣化の度合いを5段階で評価した。

表 3.2-11 評価尺度

評価尺度	評価
原音との違いが分からない	5
原音との違いが分かるが気にならない	4
原音との違いがやや気になる	3
原音との違いが気になる	2
原音との違いが非常に気になる	1

評価は、以下に示す条件で実施した。

- 試験を始める前に評価 1、5 の音とそれ以外の音（数点）を聴取し、評価者が音質に違いがあることを認識できるようにトレーニングを実施。
- 音源（原音+評価音）、受信機、パラメータパターン、および評価音質（遅延時間と D/U の組み合わせ）は、プログラムの順番による評価のばらつきがないよう、ランダムに流れるようにプログラムを構成。（プログラム構成は 2 種類）
- 専門 5 名×2、一般 5 名×2 の評価グループを構成し、1 日あたり、専門・一般のグループ 1 組ずつ、計 2 日間にて評価を実施。
- 同日の 2 組は交互に評価試験を実施。1 枠あたり約 30 分×6 回。
（1 組目の試験時間は、2 組目の休憩時間。）

主観評価試験のパターンの例を以下に示す（試験全体のパターンは資料 4 に示す）。

表 3.2-12 主観評価試験パターン (例)

A		音源	受信機	パラメータ パターン	遅延時間 (μ S)	D/U (dB)
A1	1	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第1パターン	10	10
A1	2	音源A(PIANO)	⑫カーステレオ	第2パターン	5	3
A1	3	音源B(ナレーション)	⑤ポケットラジオ	第2パターン	26.3	3
A1	4	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第2パターン	100	10
A1	5	音源A(PIANO)	⑫カーステレオ	第1パターン	26.3	3
A1	6	音源B(ナレーション)	①ラジカセ	第2パターン	26.3	10
A1	7	音源A(PIANO)	⑫カーステレオ	第2パターン	53	3
A1	8	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第7パターン	10	10
A1	9	音源B(ナレーション)	⑤ポケットラジオ	第2パターン	53	10
A1	10	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第2パターン	1	0
A1	11	音源A(PIANO)	⑤ポケットラジオ	第1パターン	53	3
A1	12	音源C(スポーツ中継)	①ラジカセ	第2パターン	1	3
A1	13	音源A(PIANO)	⑤ポケットラジオ	第1パターン	53	5
A1	14	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第7パターン	1	3
A1	15	音源C(スポーツ中継)	①ラジカセ	第2パターン	100	5
A1	16	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第1パターン	26.3	10
A1	17	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第3パターン	1	0
A1	18	音源B(ナレーション)	⑫カーステレオ	第2パターン	100	5
A1	19	音源A(PIANO)	⑤ポケットラジオ	第2パターン	1	0
A1	20	音源A(PIANO)	①ラジカセ	第7パターン	1	0
A1	21	音源B(ナレーション)	①ラジカセ	第2パターン	5	0

また主観評価試験環境は、以下のとおりである。

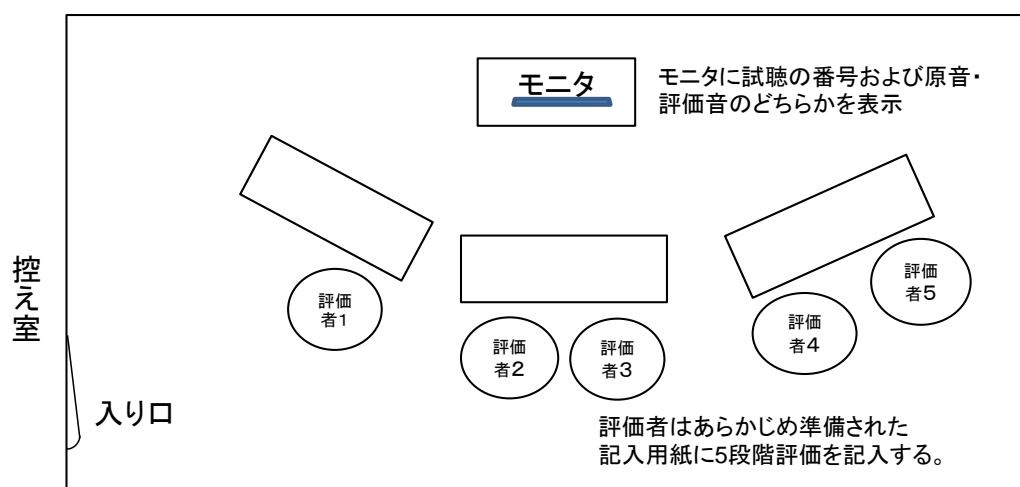


図 3.2-11 主観評価試験環境

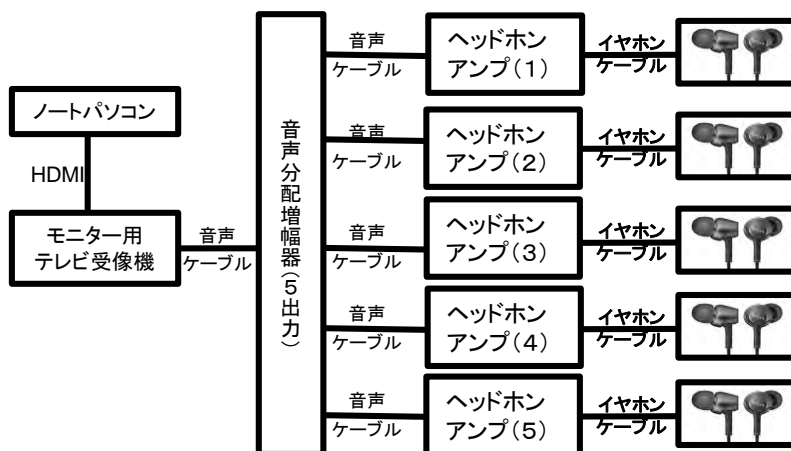


図 3.2-12 主観評価試験の機器構成

表 3.2-13 測定構成機器

名称	品名	型式	メーカー	台数
ノートパソコン	VAIO Pro 11/13	SVP112A2CN	ソニー	1
モニター用 テレビ受像機	AQUOS	LC-52SE1	シャープ	1
音声分配器	アナログオーディオ分配器	ADA-205B	朋栄	1
ヘッドホン アンプ	ヘッドホンアンプ	AT-HA2	オーディオ テクニカ	5
イヤホン	密閉型インナーイヤレシーバー	MDR-EX500	ソニー	5

主観評価試験風景



主観評価試験の回答は、モニターがそれぞれ記入用紙に自己の評価を記入し、事務局がそれを集計した。

主観評価試験回答記入用紙

FM同期放送の導入に関する技術的條件の調査検討 試験テスト用紙

ご所属： _____
 評価者名： _____

<試験方法>
 原音(20秒)+評価音源@(20秒)の組合せで音声を再生します。
 原音に対する各評価音源の劣化を、以下の基準で評価してください。

評価	評価尺度
5	原音との違いが分からない
4	原音との違いが分かるが気になる
3	原音との違いがやや気になる
2	原音との違いが気になる
1	原音との違いが非常に気になる

	○で囲んで下さい					○で囲んで下さい					
評価音源1	5	4	3	2	1	評価音源21	5	4	3	2	1
評価音源2	5	4	3	2	1	評価音源22	5	4	3	2	1
評価音源3	5	4	3	2	1	評価音源23	5	4	3	2	1
評価音源4	5	4	3	2	1	評価音源24	5	4	3	2	1
評価音源5	5	4	3	2	1	評価音源25	5	4	3	2	1
評価音源6	5	4	3	2	1	評価音源26	5	4	3	2	1
評価音源7	5	4	3	2	1	評価音源27	5	4	3	2	1
評価音源8	5	4	3	2	1	評価音源28	5	4	3	2	1
評価音源9	5	4	3	2	1	評価音源29	5	4	3	2	1
評価音源10	5	4	3	2	1	評価音源30	5	4	3	2	1
評価音源11	5	4	3	2	1	評価音源31	5	4	3	2	1
評価音源12	5	4	3	2	1	評価音源32	5	4	3	2	1

3. 2. 7 分析

各評価について、ばらつきの可能性もあるため、20 人の評価のうち、上下 2 名ずつの評価を除外し、16 名の平均値をデータとして使用した。

評価結果の例を以下に示す（全項目の評価結果は資料 4 に示す）。

表 3.2-14 評価結果(例)

音源	受信機	パラメータ パターン	遅延時間 (μ S)	D/U (dB)	評価者																				上下2つずつ 削除平均					
					A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T						
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	1	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	1	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	5	0	3	3	2	2	3	2	3	3	4	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1					2.4	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4					4.9	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5					5.0	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5					5.0
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	10	0	2	2	2	1	2	1	2	2	3	2	1	2	1	2	1	2	2	2	3	2					1.8	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	10	3	4	3	4	2	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3					3.2	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	10	5	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	5	4					4.3	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5					5.0	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	26.3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1.0	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	26.3	5	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	2	1	1	2	1	2	2	2	1	3	1					1.6
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	26.3	10	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3					3.4
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	53	3	3	2	3	1	3	3	2	2	2	4	3	3	2	3	2	3	2	1	3	2					2.5	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	53	5	3	3	3	2	4	4	3	4	3	4	3	5	3	4	3	3	3	3	3	3					3.3	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	53	10	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	4					4.2	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	100	5	2	2	3	1	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	2	2	2	1	2	1					2.3	
音源A(PIANO)	A.ポータブル	第1パターン	100	10	3	2	4	5	3	4	3	3	3	4	3	5	3	4	3	3	3	2	3	3					3.3	

- (1) 高精密度デジタル型変調器と平成 9 年研究報告相当変調器の比較（第 1 パターン、第 2 パターンの比較）

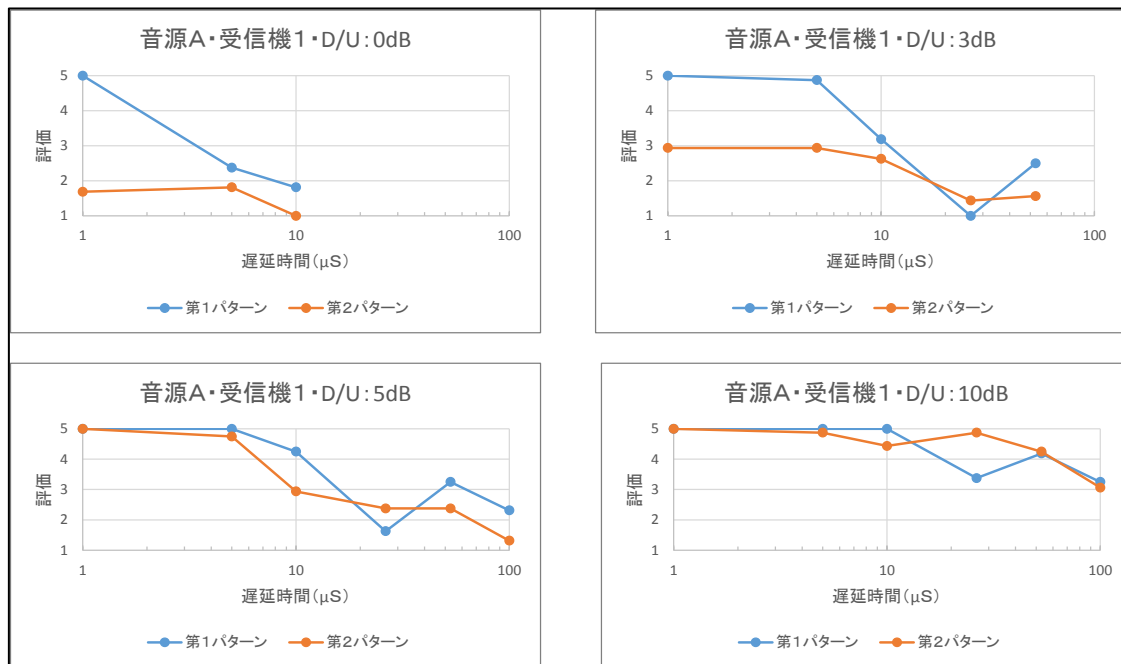


図 3.2-13 第 1 パターン、第 2 パターンの比較

(2)-1 パイロット信号の位相による比較 (第1パターン、第7パターンの比較)

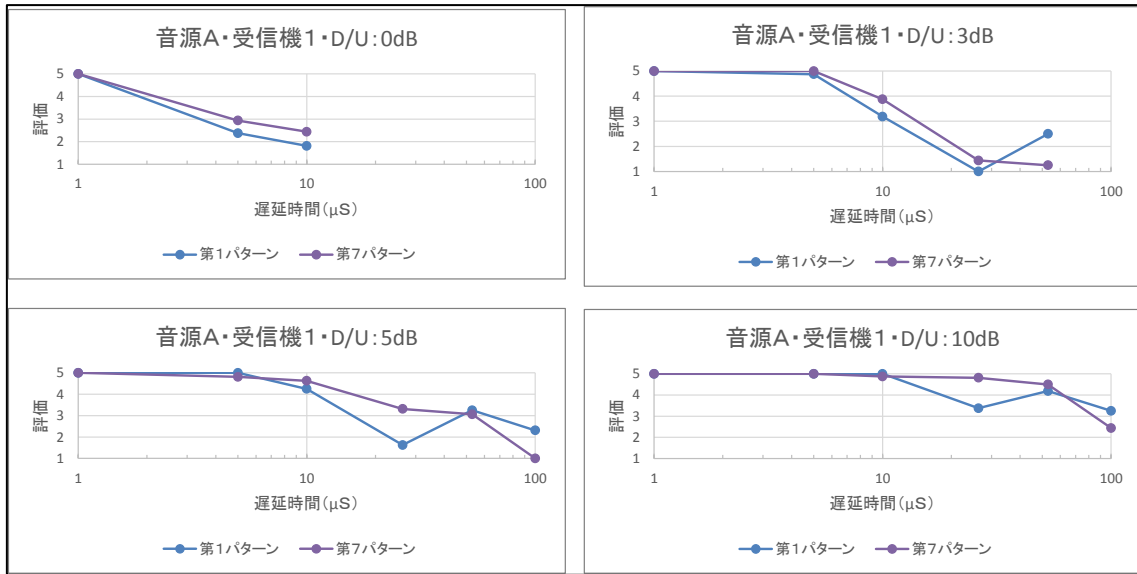


図 3.2-14 第1パターン、第7パターンの比較

(2)-2 パイロット信号の位相による比較 (第3パターン、第2パターンの比較)

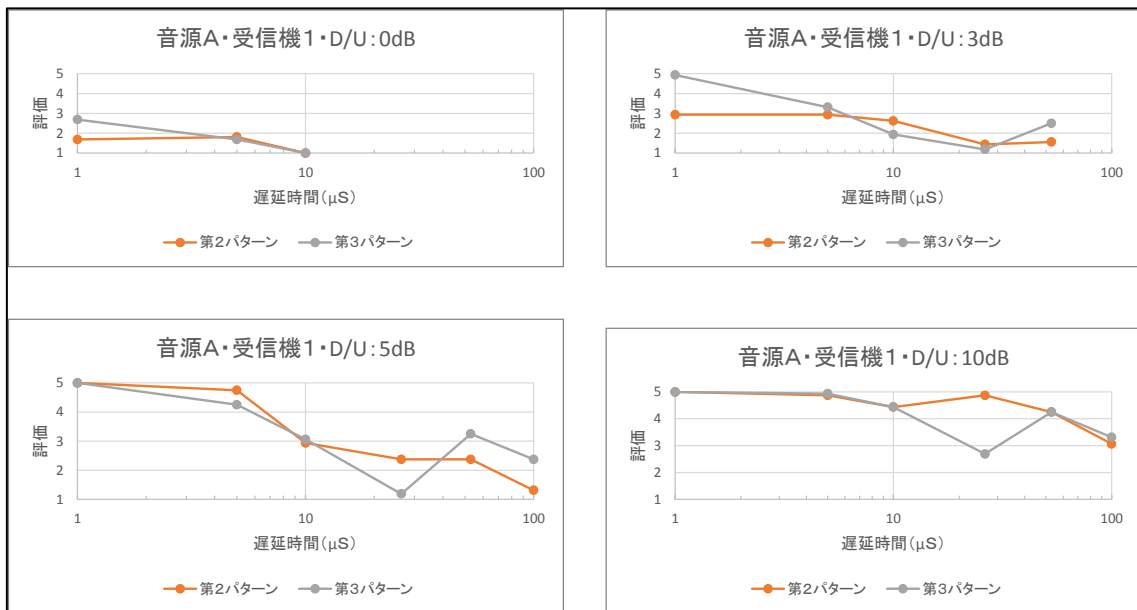


図 3.2-15 第3パターン、第2パターンの比較

(3) 変調器性能 (パイロット位相差以外) による比較 (第 1 パターン、第 3 パターンの比較)

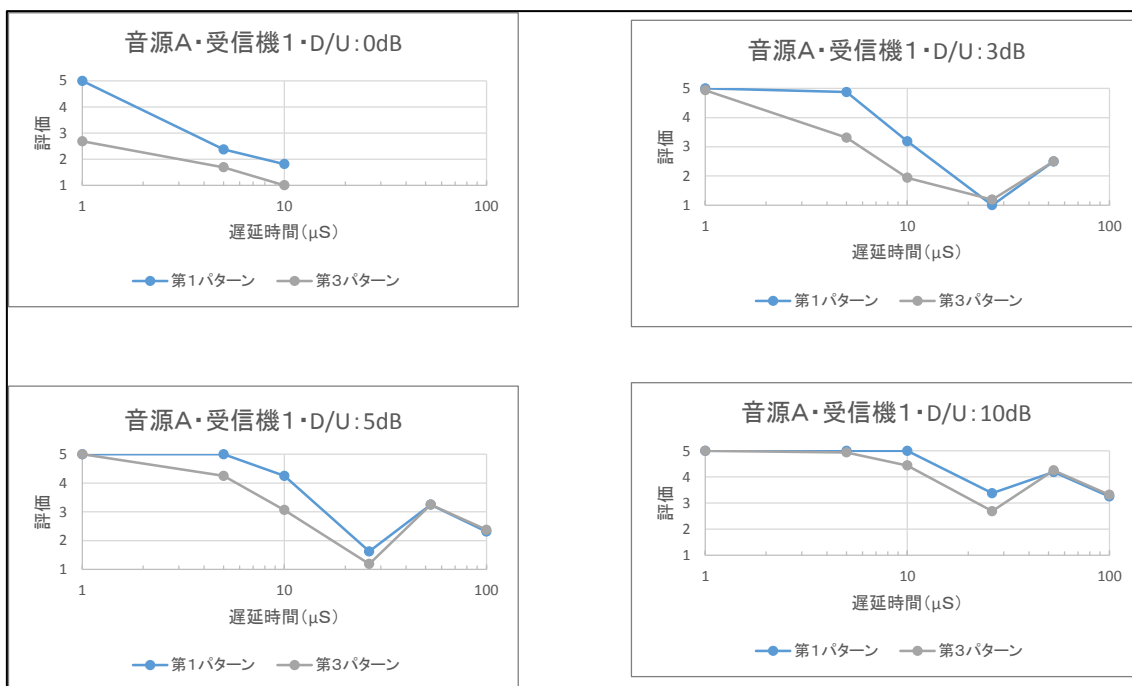


図 3.2-16 第 1 パターン、第 3 パターンの比較

(4) -1 受信機による比較 (受信機①、⑤、⑫の比較) 第 1 パターンの場合

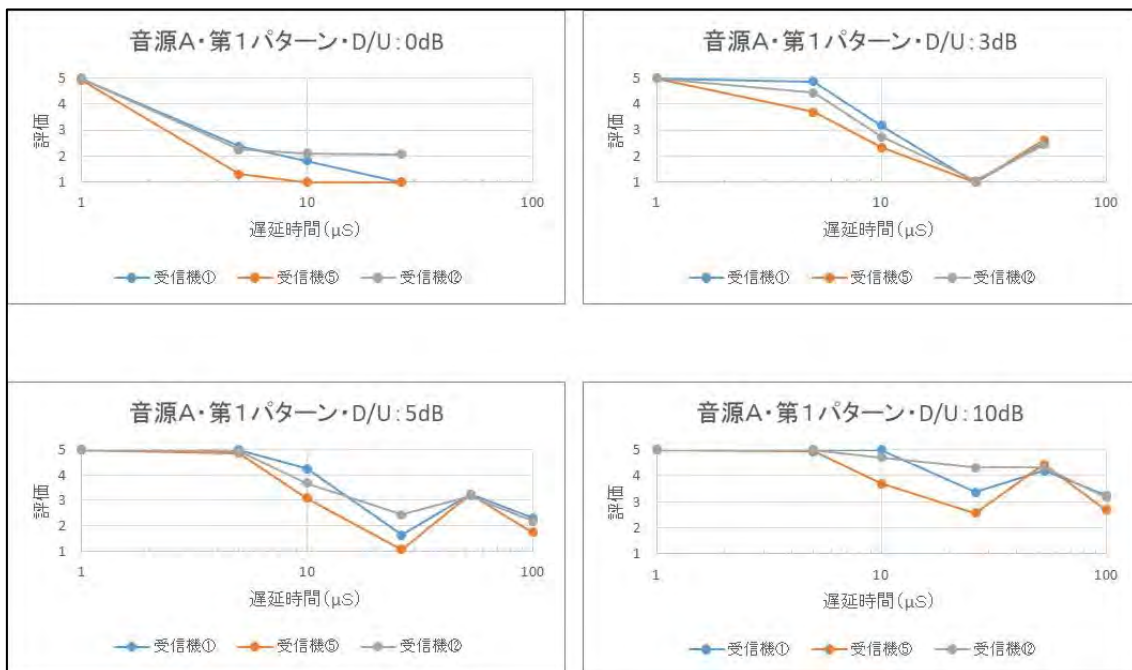


図 3.2-17 受信機による比較 (第 1 パターン)

(4)-2 受信機による比較（受信機①、⑤、⑫の比較）第2パターンの場合

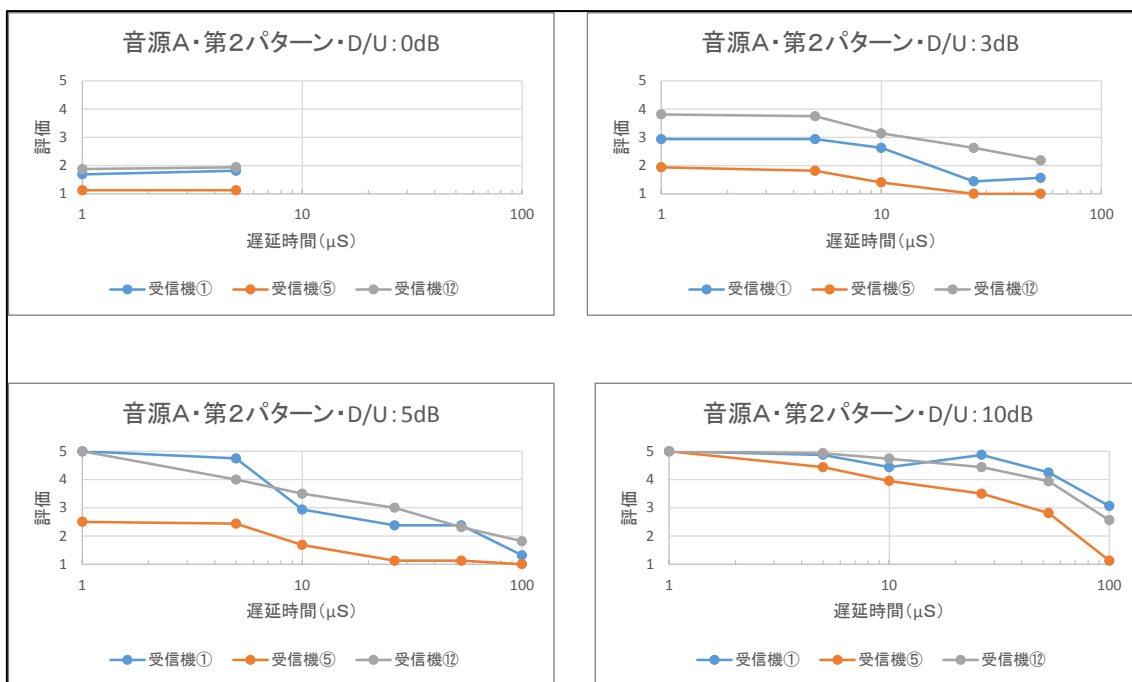


図 3.2-18 受信機による比較（第2パターン）

(5) 音源による比較（音源 A、B、C の比較）

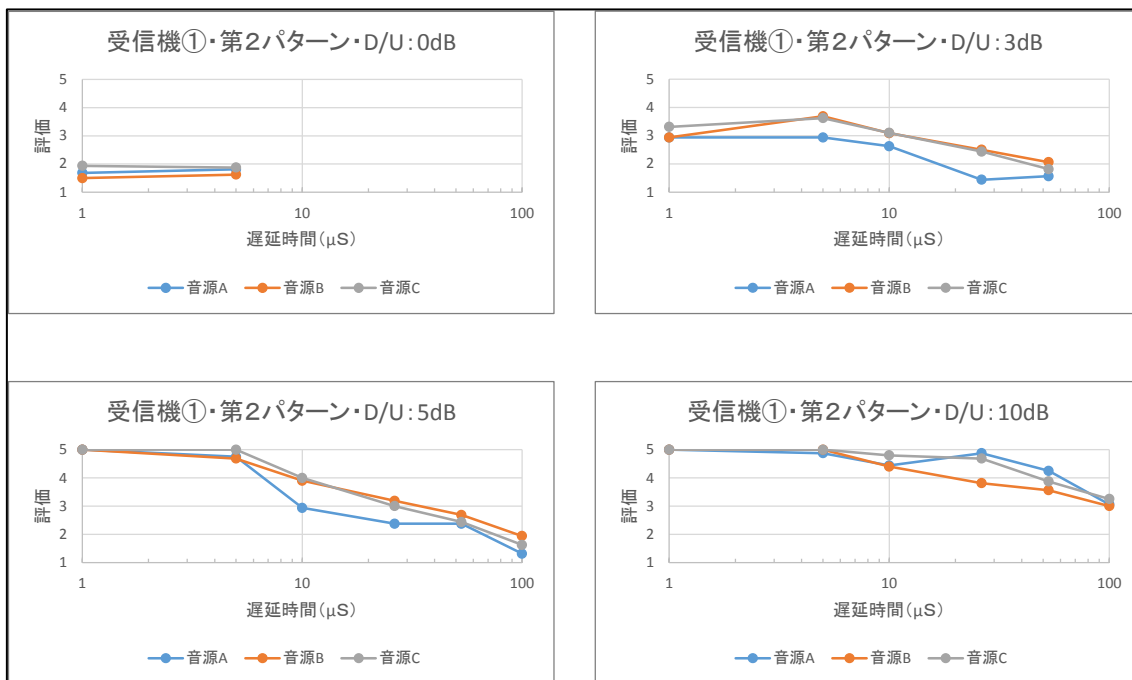


図 3.2-19 音源による比較

(1) 分析結果

- 近接 D/U (0~3dB) 及び近接遅延時間差 (0~10 μ s) 時において第 1 パターンは第 2 パターンに対して大きな改善がみられた。(分析 (1))
- 高精度に設定された変調器ではパイロット信号の位相による影響はみられなかったが、変調精度を下げた変調パラメータでは近接 D/U (0~3dB) においてパイロット信号の位相の不一致による劣化がみられた。(分析 (2))
- パイロット信号の位相が一致していても、変調器の性能の違いにより、近接 D/U (0~3dB) における評価に差が見受けられた。(分析 (2))
- 受信機による評価の違いについては、第 1 パターンでは顕著な差は見られなかったが、第 2 パターンかつ D/U=3~5dB については顕著な差が見受けられた。(分析 (3)、(4))
- 音源による評価の違いについては、ピアノの音源が若干厳しい評価となったが、大きな変化はみられなかった。ただし近接領域における評価値が悪いため、第 1 パターンを用いた音源比較も行う必要がある。(分析 (4))

(2) 考察

音源A (ピアノ)・受信機① (ラジカセ) における、高精密度デジタル型変調器と平成 9 年研究報告相当変調器のパラメータにて、それぞれ評価 3、4 を取得するために必要な D/U を遅延時間差ごとに以下に示す。

表 3.2-15 高精密度デジタル型変調器 (第 1 パターン) での同期テーブル

遅延時間差	評価	
	3	4
1 μ s	D/U : 0dB でも評価 5	D/U : 0dB でも評価 5
5 μ s	D/U : 1dB	D/U : 2dB
10 μ s	D/U : 3dB	D/U : 5dB

条件 : 音源A (ピアノ)・受信機① (ラジカセ)

表 3.2-16 平成 9 年研究報告相当変調器（第 2 パターン）での同期テーブル

遅延時間差	評価	
	3	4
1 μ s	D/U : 3dB	D/U : 4dB
5 μ s	D/U : 3dB	D/U : 4dB
10 μ s	D/U : 5dB	D/U : 8dB

条件：音源A（ピアノ）・受信機①（ラジカセ）

なお平成 9 年研究報告の中では、第 2 パターンのパラメータを使用した上で以下の同期テーブルを報告している。

表 3.2-17 平成 9 年研究報告時 同期テーブル

遅延時間差	評価	
	3	4
2 μ s	D/U : 3dB	D/U : 9dB
5 μ s	D/U : 6dB	D/U : 12dB
10 μ s	D/U : 8dB	D/U : 17dB

（条件：信号ソース：ピアノ）

一部遅延時間差の設定に違いはあるが、今回実施した第 2 パターンと比較すると、評価 3, 4 を得るための所要 D/U が大幅も改善されていることが確認できる。

この要因としては平成 9 年研究報告時においては、AC 周波数安定度偏差 (Hz) およびパイロット位相 (deg) については個別に条件を設定してはいなかった。今回、この二つの条件を設定したことにより、改善が見られたものとする。

そのため現在は平成 9 年研究報告時よりも同期放送を構築することのできるエリアを拡大することが可能となっている。

3. 2. 8 主観評価と SINAD 特性との相関調査

主観評価試験実施後、主観評価値と SINAD の相関を調査するために、補完的に SINAD 測定を行った。測定条件を以下に示す。

- (1) 主観評価に用いた同期パターンのうち第 1・3 パターンにて測定
- (2) 入力条件は以下のとおり：

測定Ⅳ：L:1kHz/R:400Hz 変調度 各 50%

測定Ⅴ：L:1kHz (50%) /R:1kHz (40%)

測定Ⅵ：L:1kHz (50%) /R:1kHz (31%)

() 内は変調度を示す。

なお設定した入力条件の内容は以下の通りである。

測定Ⅳ	測定Ⅱ、Ⅲの変調度を変更したもの。
測定Ⅴ、Ⅵ	ナレーション等のステレオ信号では L-ch と R-ch の相関性が強く、副搬送波のエネルギーは多くないことを想定し、L-ch、R-ch に同一の信号とし、副搬送波成分を残すため変調度のレベルをそれぞれ調整したもの。

【測定結果は資料 2 に示す。】

3. 2. 9 主観評価と SINAD の相関分析

第 1 パターンにて主観評価結果と SINAD 測定結果（測定Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ）の相関分析を行った。受信機ごとの相関分析結果を以下に示す。

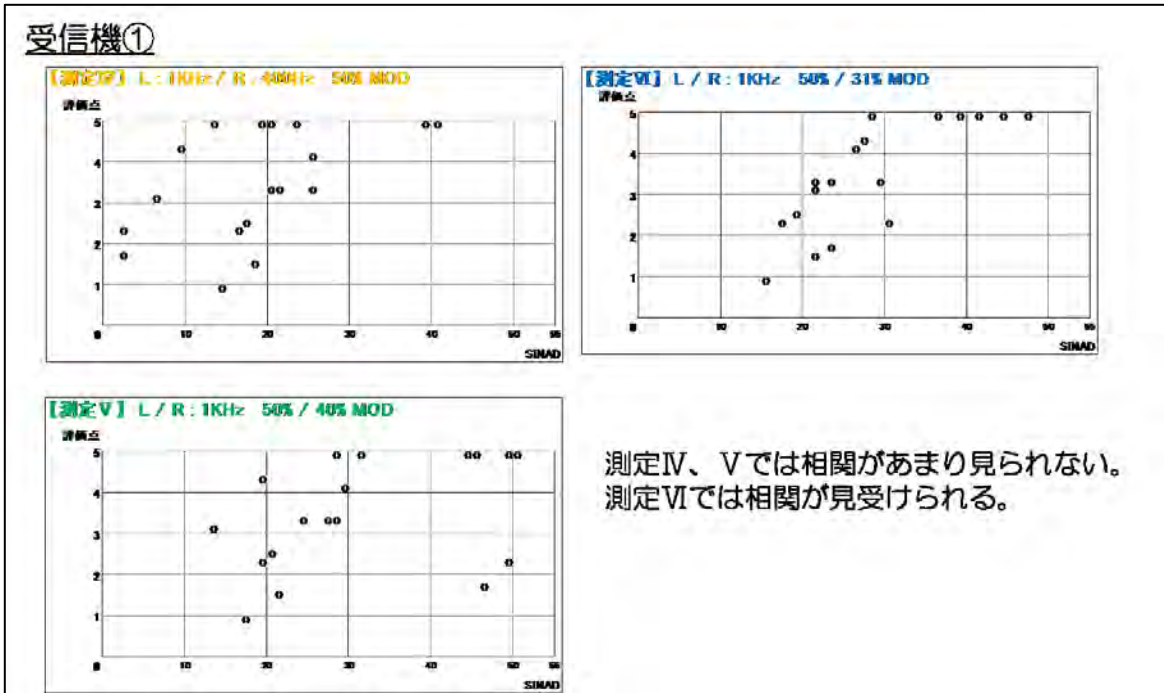


図 3.2-18 主観評価と SINAD (受信機①)

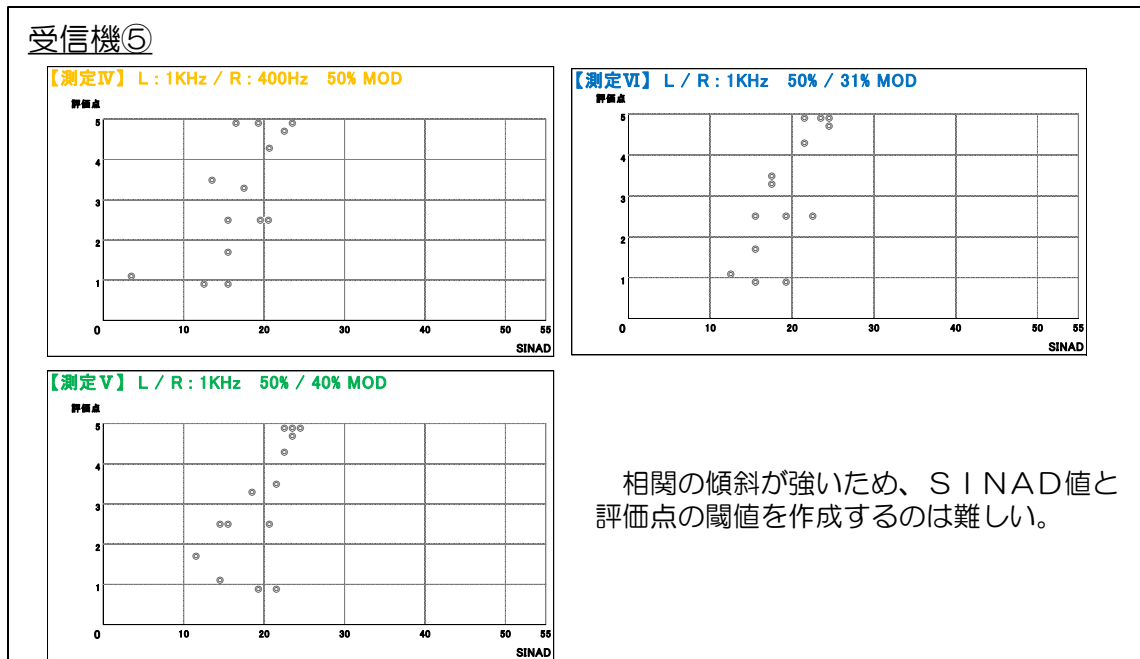
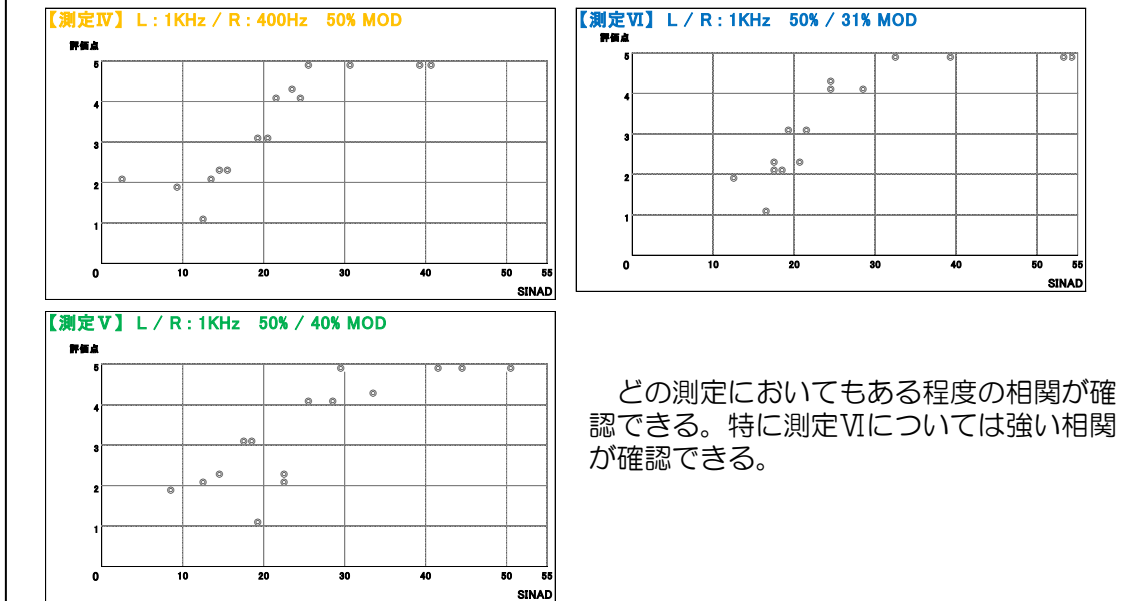


図 3.2-19 主観評価と SINAD (受信機⑤)

受信機⑫



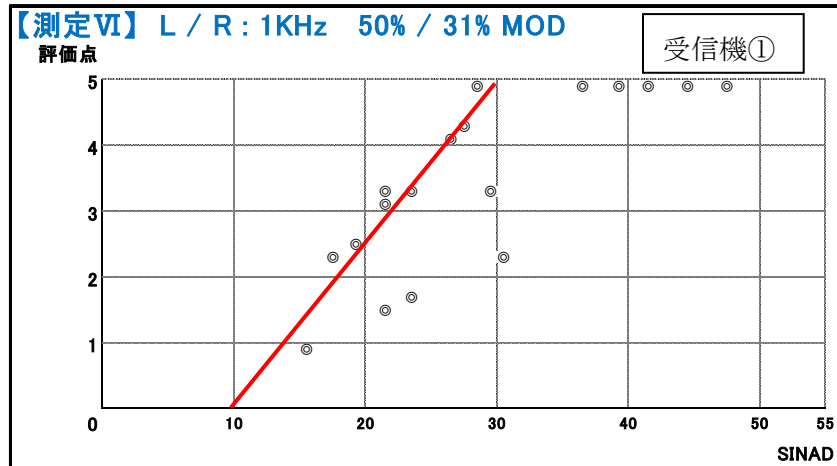
どの測定においてもある程度の相関が確認できる。特に測定Ⅵについては強い相関が確認できる。

図 3.2-20 主観評価と SINAD (受信機⑫)

3. 2. 10 考察

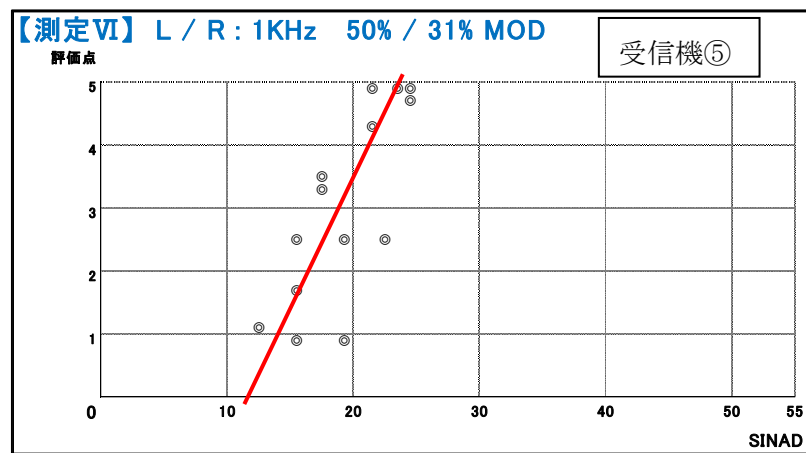
受信機①について

- ・測定Ⅳでは SINAD 値が 10dB 以下となった点において、評価点が 1.8~4.3 の値になるものがあった。測定値および評価点については揺らぎがあるため、より多くのデータを取得した場合、相関関係が確立される可能性はあるが現時点では相関が取れたとは言いがたい。
- ・測定Ⅴでは SINAD 値が 40dB 以上において評価点が 1.8 また 2.4 といった低い値になるものがあった。測定Ⅳ同様、現時点では相関が取れたとは言いがたい。
- ・測定Ⅵで SINAD 値と評価点に相関が見受けられた。以下に受信機①・測定Ⅵの結果に近似した直線を描いたものを示す。一部近似線から離れるデータもあるが、今後より多くのデータを取得しデータを平均化することによって、相関関係は安定したものになると思われる。



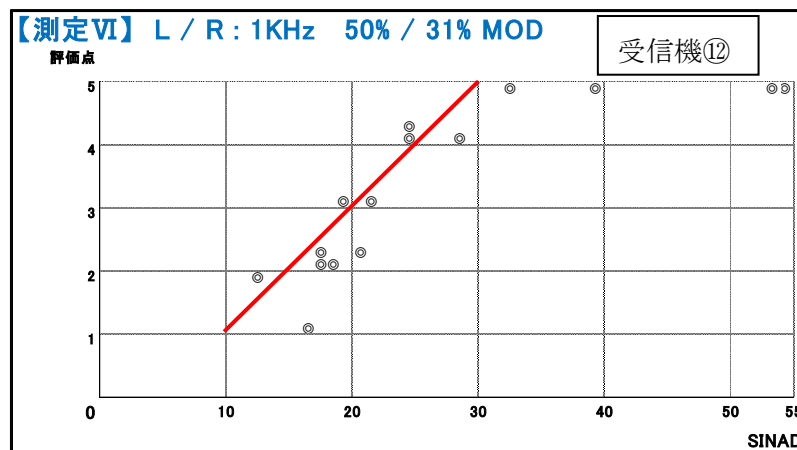
受信機⑤について

- 測定IV、V、VIにおいてある程度の相関を確認することができる。ただし、SINAD 値の範囲が 12~24dB であるため相関の傾斜がかなり強く、SINAD 値から評価の閾値を作成するのはかなり厳しいものと思われる。なお SINAD の最大値が 25dB 以上にならないのは単体の分離度特性が 25~28dB であるためと思われる。一例として測定VIの結果に近似した直線を描いたものを示す。



受信機⑫について

- 測定IV、V、VIの全てにおいて相関を確認することができる。特に測定VIにおいては、主観評価結果との相関の傾向が一番見られる結果となった。今回の測定VIの結果に近似した直線を描いたものを以下に示す。受信機①および⑤と比べても近似線と各データとが近くにあり、また相関の傾斜も緩やかになっているため、SINAD 値と主観評価の相関が数値化しやすい結果となった。



SINAD と主観評価の相関を以下の表に示す。

受信機⑫

SINAD	主観評価
15 以上	2 以上
20 以上	3 以上
25 以上	4 以上
30 以上	5

受信機単体の SINAD 特性としては、受信機⑫、受信機①、受信機⑤の順に良い値を示しており、この結果より、以下の条件にて SINAD 測定を実施することで、FM 同期放送の干渉領域における客観的評価手法を確立する事が可能であると推測される。

- 単体の SINAD 特性が良い受信機を選定
- 入力音声を L:1kHz (50%) / R:1kHz (31%) で測定

今回、主観評価を行った受信機が 3 つしかなく、SINAD 値がいくつであれば相関特性を評価に使えるかについては今後も検証をする必要がある。参考として今回使用した受信機の SINAD 特性は、受信機① : 53.7dB、受信機⑤ : 18.8dB、受信機⑫ : 60.0dB となっている。受信機①においても相関がとれていることから、必要な SINAD 値は 50dB 前後になるかと思われるが、まだ検証には至っていない。

今後、FM 同期放送の干渉領域における客観的評価手法の確立を進めていくため、測定条件も含め SINAD と主観評価の相関関係について、多くのデータによる検証およびまだ実証できていない他のパラメータや送信機にて検証を進め、より精度をあげていくことが必要であると考えます。

F M同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討
報告書

平成 3 1 年 3 月

株式会社エヌエイチケイアイテック

第3章 FM同期放送の電波伝搬環境の検討

3.1 (略)

3.2 室内試験

3.2.1 室内試験の概要

「FM同期放送の導入に関する技術的条件の調査検討」において、室内試験では同期環境における電波条件の検証を目的としている。

今年度、主に検討を行った項目は以下の5項目となる。

1. 同期システムの違いによる比較
2. 受信機の違いによる比較
3. 同期パラメータの影響度比較
4. 3波によるFM同期環境について
5. FM同期環境におけるFM多重放送について

室内試験では、上記5項目について検討・分析を行えるよう、それぞれの条件におけるDU比と遅延時間差の組み合わせの音源について取得するとともに、その組み合わせ時のSINAD・S/Nの測定を行った。

また主観評価試験では、取得した音源の中で事前に事務局にて確認・選定した分析に必要な音源を、複数人で評価することにより分析を行った。

なお、今回室内試験にて行った測定システムの諸元は表3.2-1の通り。

表3.2-1 室内測定システム諸元

項目	内容
測定項目	主観評価(評価音録音)、SINAD、S/N
搬送波周波数	87.3MHz
測定パラメータ	遅延差(μs):0、1、5、10、26.3、53、100 DU比(dB):0、3、5、10
評価用音源	ピアノ

(1) 室内測定システム構成について

音声記録及びSINAD測定について以下の系統で測定を実施。

1) 室内測定システム構成について

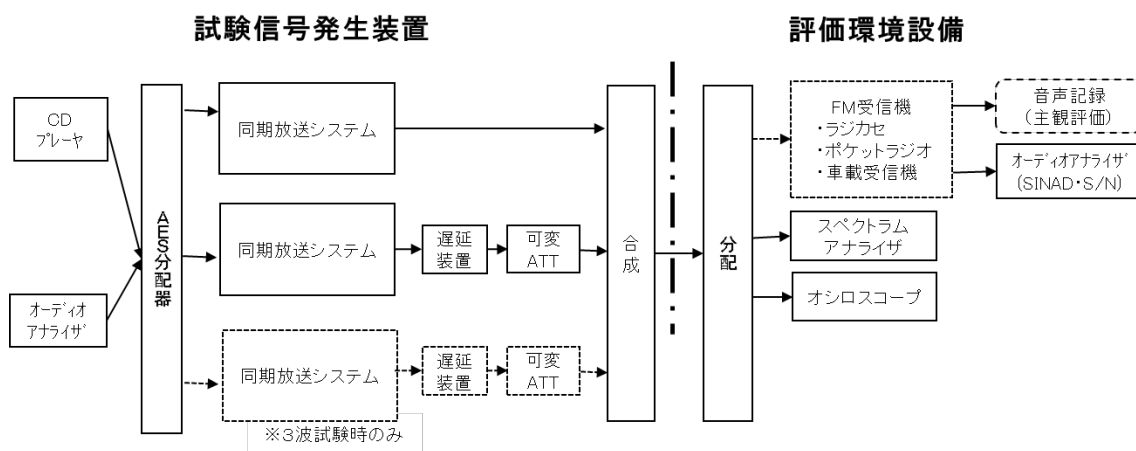


図 3. 2-1 測定機器システム構成



図 3. 2-2 測定機器設置状況

2) 測定機器及び受信機について

室内測定に使用した測定機器及び受信機について以下に示す。

表 3.2-2 室内測定に使用した主な測定器

名称	品名	形式	メーカー
CDプレイヤー	Network CD/Media Player	DN-700C	DENON
オーディオアナライザ	オーディオアナライザ	U8903A	KEYSIGHT
信号発生器	信号発生器	5949T	日本通信機
スペクトラムアナライザ	スペクトラムアナライザ	N9320B	アジレント
12分配器	12DIVIDER/MIXER	ZFSC-12-1+	Mini-Circuits
2合成器	2DIVIDER/MIXER	ZFSC-2-2+	Mini-Circuits
可変ATT	ステップアッテネータ	8494B	アジレント
可変ATT	ステップアッテネータ	8496B	アジレント
録音機	マルチトラックレコーダー	R24	ZOOM
スピーカー	スピーカー	RPM3	AKAI
GPSアンテナ	GPSアンテナ	GPA-017S	古野電気
1pps信号発生器	基準信号発生器	3277A	日本通信機
音声分配器	AES分配器	DDA-12A	トライテック
FM多重エンコーダ	FM多重信号発生器	MSG-2174	計測技術研究所
FM多重デコーダ	VICSデコーダ	MDC-2172 MDC-2176	計測技術研究所
FM多重誤り率測定器	VICS誤り率監視装置	特注品	Pioneer

表 3.2-3 室内測定に使用した受信機

種類	モノラル ステレオ	選局	FM・TV帯 受信周波数	機能
ラジカセ	ステレオ	シンセ	FM 76～108MHz	AM/FM、CD/SDU 比 SB
新ポケットラジオ	ステレオ	シンセ	FM 76～108MHz	AM/FM
車載受信機	ステレオ	シンセ	FM 76～95MHz	AM/FM
旧ポケットラジオ	ステレオ	シンセ	FM 76～108MHz	AM/FM

(2) 主観評価試験について

主観評価試験を行うことにより同期環境における電波条件を検証した。干渉を受けていない音声を評価の基準(以下「原音」とし、室内測定にて2波又は3波にて干渉させた音源(以下「評価音」)を原音と比較し、その品質を評価者による主観評価によって評価した。主観評価試験実施内容及び主観評価試験環境は以下のとおり。

表 3.2-4 主観評価試験実施内容

項目	内容
評価場所	NHK アイテック
実施日	2018年12月10～11日、2018年12月13～14日
評価方法	2波及び3波による干渉状態を録音した復調音を5段階評価
評価者	専門家10名、一般10名
音源	ピアノ

主観評価試験の評価者については、評価者の個人差による評価値のバラつき及び試験に精通しているかどうかによる影響を軽減させるため、専門家10名・一般10名の計20名にて行うこととした。また評価方法としては、イヤホンにて一つの評価につき、原音(15秒)と評価音(15秒)を連続して試聴し、原音に対する評価音の劣化の度合いを5段階で評価した。評価尺度について表3.2-4に示す。

表 3.2-5 評価尺度

評価尺度	評価
原音との違いが分からない	5
原音との違いが分かるが気にならない	4
原音との違いがやや気になる	3
原音との違いが気になる	2
原音との違いが非常に気になる	1

主観評価試験の回答方法は、図3.2-3の記入用紙を事前に評価者に配布し、評価者が評価尺度に基づきそれぞれの記入用紙に自己の評価を記入し、事務局にてそれを集計した。また主観評価試験を行った環境について図3.2-4～6及び表3.2-3に示す。

FM同期放送の導入に関する技術的條件の調査検討 試聴テスト用紙

ご所属： _____
 評価者名： _____

<試聴方法>
 原音(20秒)+評価音源@(20秒)の組合せで音声を再生します。
 原音に対する各評価音源の劣化を、以下の基準で評価してください。

評価	評価尺度
5	原音との違いが分からない
4	原音との違いが分かるが気にならない
3	原音との違いがやや気になる
2	原音との違いが気になる
1	原音との違いが非常に気になる

	○で囲んで下さい						○で囲んで下さい				
評価音源1	5	4	3	2	1	評価音源21	5	4	3	2	1
評価音源2	5	4	3	2	1	評価音源22	5	4	3	2	1
評価音源3	5	4	3	2	1	評価音源23	5	4	3	2	1
評価音源4	5	4	3	2	1	評価音源24	5	4	3	2	1
評価音源5	5	4	3	2	1	評価音源25	5	4	3	2	1
評価音源6	5	4	3	2	1	評価音源26	5	4	3	2	1

図 3.2-3 主観評価試験回答記入用紙(例)

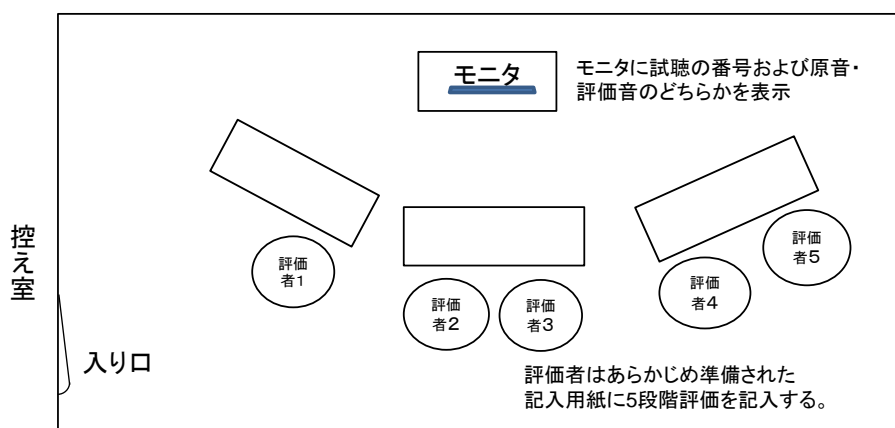


図 3.2-4 主観評価試験環境

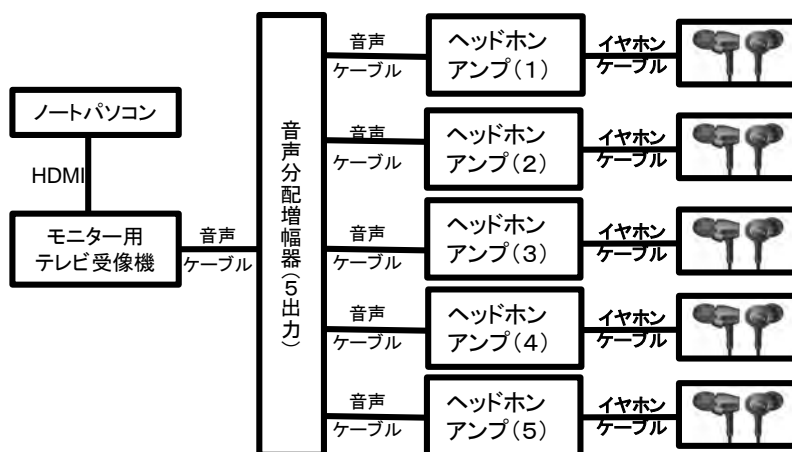


図 3.2-5 主観評価試験の機器構成

表 3.2-6 主観評価試験使用機器

名称	品名	型式	メーカー	台数
ノートパソコン	VAIO Pro 11/13	SVP112A2CN	ソニー	1
モニター用テレビ受像機	AQUOS	LC-52SE1	シャープ	1
音声分配器	アナログオーディオ分配器	ADA-205B	朋栄	1
ヘッドホンアンプ	ヘッドホンアンプ	AT-HA2	オーディオテクニカ	5
イヤホン	密閉型インナーイヤールシーバー	MDR-EX500	ソニー	5

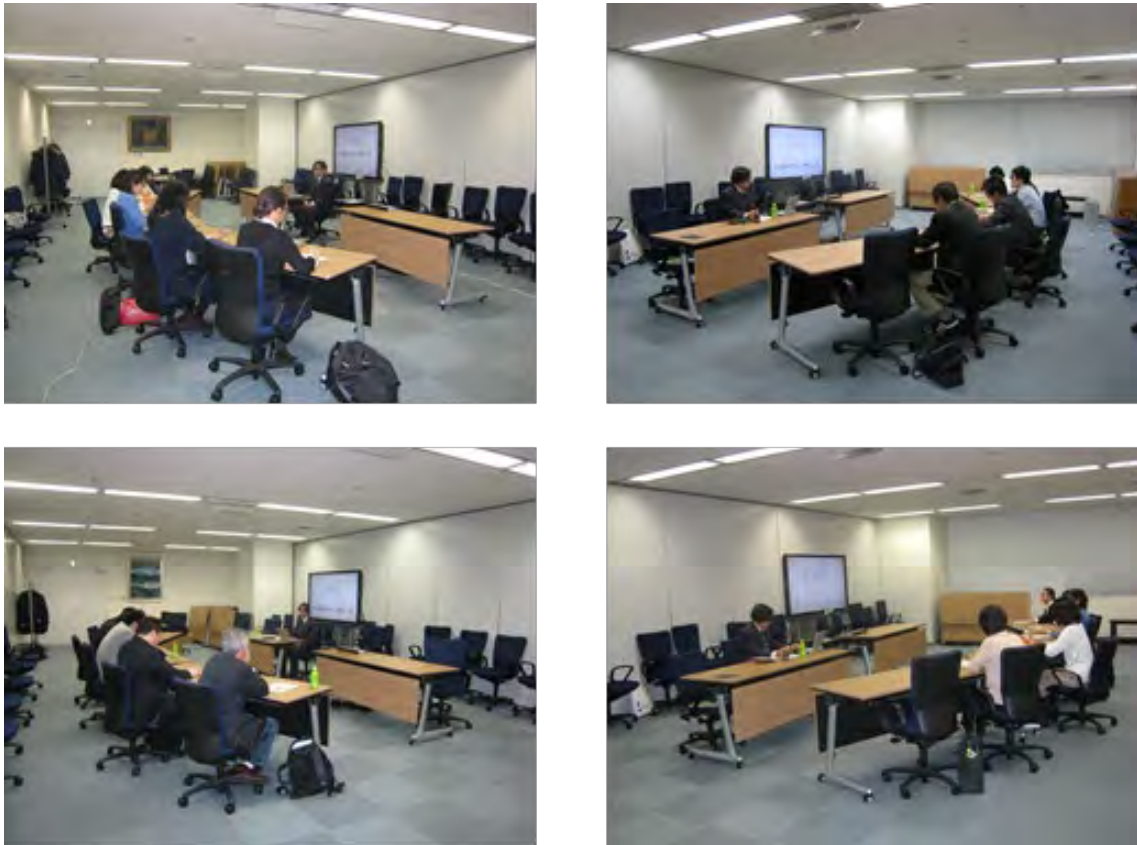


図 3. 2-6 主観評価試験実施写真

評価は、以下に示す条件で実施した。

- 試験を始める前に評価 1、5 の音とそれ以外の音(数点)を聴取し、評価者が音質に違いがあることを認識できるようにトレーニングを実施。
- 送信機、受信機、パラメータ変更、3 波試験及び評価音質(遅延時間差と DU 比の組み合わせ)は、プログラムの順番による評価のばらつきがないよう、ランダムに流れるようにプログラムを構成。(プログラム構成は 2 種類)
- 専門家 5 名×2 組、一般 5 名×2 組の評価グループを構成し、1 日あたり、専門家と一般のグループ 1 組ずつ、それぞれ 2 日間、計 4 日間にて評価を実施。
- 同日の 2 組は交互に評価試験を実施。1 枠あたり約 30 分×6 回。
(1 組目の試験時間は、2 組目の休憩時間。)

主観評価試験のパターンの例を表 3. 2-7 に示す。(すべての項目については資料 2 に記載)
なお試験に使用する評価音については、事前に事務局にて確認し、分析をするために必要と思われるものを選定した。(348 通り)

表 3.2-7 主観評価試験パターン例

受信機	測定内容	詳細	遅延時間差 (μs)	DU比 (dB)	遅延時間差 (μs)	DU比 (dB)
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	10	10		
①ラジカセ	新3波	A4	5	10	100	10
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	53	10		
①ラジカセ	同期システム	デジタルB	100	0		
①ラジカセ	同期システム	デジタルC	10	3		
①ラジカセ	パラメータ	入力45dBμV	1	5		
①ラジカセ	同期システム	デジタルC	53	10		
④旧ポケット	同期システム	デジタルB	53	10		
①ラジカセ	同期システム	デジタルC	100	3		
①ラジカセ	同期システム	アナログ	0	20		
②新ポケット	同期システム	デジタルB	100	10		
①ラジカセ	同期システム	アナログ	5	3		
④旧ポケット	同期システム	デジタルB	53	0		
①ラジカセ	同期システム	アナログ	5	10		
①ラジカセ	同期システム	デジタルB	100	3		
①ラジカセ	同期システム	アナログ	10	15		
①ラジカセ	新3波	C2	10	3	26.3	5
①ラジカセ	同期システム	アナログ	53	20		
②新ポケット	同期システム	デジタルB	53	0		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	100	3		
②新ポケット	同期システム	デジタルB	53	5		
①ラジカセ	同期システム	アナログ	5	15		
②新ポケット	同期システム	デジタルB	100	5		
③車載受信機	同期システム	デジタルB	1	3		
④旧ポケット	同期システム	デジタルB	26.3	3		
①ラジカセ	パラメータ	変調度偏差	5	3		
①ラジカセ	パラメータ	入力45dBμV	1	3		
①ラジカセ	同期システム	アナログ	10	5		
①ラジカセ	新3波	A4	1	10	10	10

各評価の集計方法としては、評価の書き間違いなどの可能性を考慮し、評価者 20 人の評価のうち、上下 10% (2 名ずつ) の評価を除外し 16 名の平均値を求める 10%トリム平均の結果を使用した。主観評価試験の集計例を表 3.2-8 に示す。(すべての項目については資料 2 に記載)

表 3.2-8 主観評価試験 集計例

受信機	測定内容	詳細	a,b間		a,c間		評価者																上下2つずつ 削除平均				
			遅延時間差 (μs)	DU比 (dB)	遅延時間差 (μs)	DU比 (dB)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		Q	R	S	T
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	0	0			5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	0	3			5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4.9	
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	1	0			5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4.9	
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	1	3			5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5.0	
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	1	5			5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0	
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	5	0			2	3	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1.6	
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	5	3			4	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	3	5	4	5	5	4	5	4	4.8	
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	5	5			5	5	5	4	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	4	4	5	4	4.8		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	5	10			5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	4.8		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	10	0			2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1.4		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	10	3			3	3	4	3	4	4	5	4	5	3	1	2	4	3	3	4	3	4	3.4		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	10	5			5	4	5	4	5	5	5	4	5	5	4	2	3	5	5	4	4	3	4.5		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	10	10			4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.0		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	26.3	0			2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	26.3	3			2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1.3		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	26.3	5			2	3	2	2	2	2	3	2	3	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1.9		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	26.3	10			5	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	1	2	3	2	3	4	3	3.0		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	26.3	15			5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	4	4.8		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	53	0			2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.2		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	53	3			2	2	2	1	1	2	3	3	3	1	1	1	2	1	3	3	2	2	1.9		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	53	5			3	3	2	3	2	3	3	2	1	2	1	3	2	2	3	2	2	2	2.4		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	53	10			2	3	5	4	3	4	4	5	4	5	4	3	3	4	4	4	5	3	3.8		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	53	15			5	4	5	4	4	5	5	4	5	4	5	3	3	5	4	4	4	4	4.3		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	100	0			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0		
①ラジカセ	同期システム	デジタルA	100	3			1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1.5		

(1) 評価者による主観評価値の違いについて

今回、主観評価試験は、一般と専門家それぞれ 10 名にて行った。主観評価に使用した全ての音源について、評価者による評価の違いを確認した結果を図 3.2-7 に示す。若干評価 2~4 付近の評価は一般の評価が高く、評価 1、5 付近の評価は専門家の評価が高くなっているが、全体としては相関が取れている結果となった。なおこれ以降に掲載されている試験結果については評価者全員の結果とする。

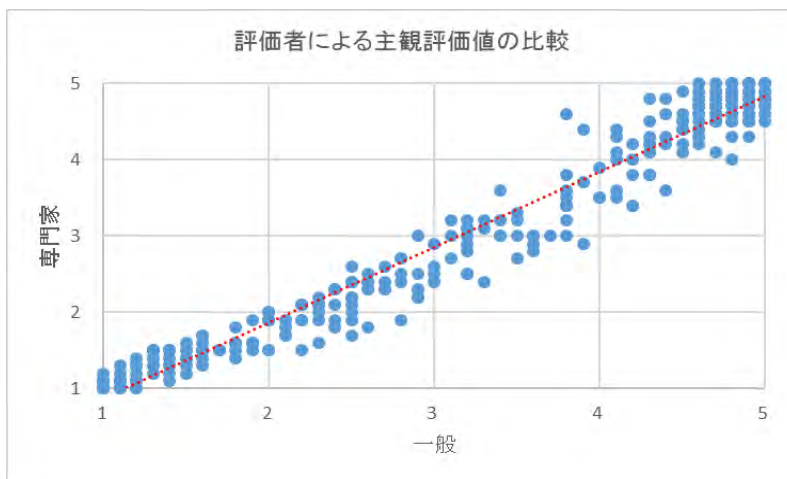


図 3.2-7 評価者による主観評価値の比較

3. 2. 2 試験結果

(1) 同期システムの違いによる比較

同期放送の技術基準について検討するため、現在 FM 同期放送システム導入されているデジタル変調器及びアナログ変調器にて比較試験を行い、同期方式や変調器の違いによる影響を調査した。

表 3.2-9 試験条件（同期システムの違いによる比較）

項目	内容
入力レベル	59dB μ V(75 Ω)
測定変調器	以下に示す変調器にて同期に向けた最適設定
評価用受信機	ラジカセ

表 3. 2-10 試験に使用した変調器（同期システムの違いによる比較）

同期システム	変調処理方法 (同期方式)	搬送波 周波数制御	搬送波 周波数安定度
デジタル変調器 A	デジタル変調 (独立同期方式)	GPS 制御	0.0Hz(実測値)
デジタル変調器 B	デジタル変調 (独立同期方式)	GPS 制御	0.0Hz(実測値)
デジタル変調器 C	デジタル変調 (独立同期方式)	GPS 制御	≤2.0Hz(実測値)
アナログ変調器	アナログ変調 (非同期方式)	制御なし	±1PPM (実測値 87Hz)

1) 主観評価結果（使用受信機：ラジカセ）

4 つの変調器による主観評価試験の結果として、2 波の DU 比が 0、3、5、10dB それぞれのときの遅延時間差の変化による影響について図 3. 2-8 (a)～(d) に示す。

遅延 時間差 (μ s)	主観評価			
	デジタル A	デジタル B	デジタル C	アナログ
0	5.0	4.9	2.8	1.0
1	4.9	5.0	2.4	1.0
5	1.6	4.9	1.3	1.0
10	1.4	1.4	1.4	1.0
26.3	1.0	1.0	1.0	1.0
53	1.2	1.0	1.2	1.0
100	1.0	1.0	1.0	1.0

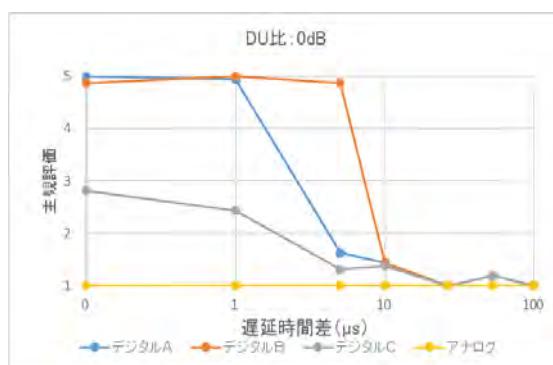


図 3. 2-8 (a) 同期システムの違いによる比較 (DU 比:0dB)

遅延 時間差 (μ s)	主観評価			
	デジタル A	デジタル B	デジタル C	アナログ
0	4.9	4.9	4.9	2.4
1	5.0	4.8	4.9	1.6
5	4.8	5.0	3.3	1.4
10	3.4	3.1	2.3	1.2
26.3	1.3	1.0	1.0	1.7
53	1.9	2.1	1.7	1.1
100	1.5	1.9	1.4	1.0

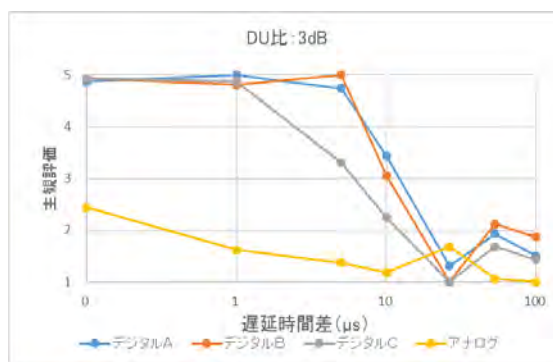


図 3. 2-8 (b) 同期システムの違いによる比較 (DU 比:3dB)

遅延 時間差 (μ s)	主観評価			
	デジタル A	デジタル B	デジタル C	アナログ
0	5.0	5.0	4.9	2.1
1	5.0	5.0	4.9	3.1
5	4.8	4.9	4.3	1.1
10	4.5	4.1	3.2	2.3
26.3	1.9	1.0	1.0	1.0
53	2.4	2.9	2.0	2.0
100	1.7	1.6	1.8	1.4

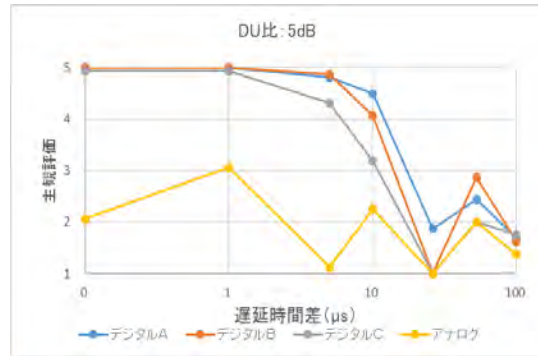


図 3.2-8(c) 同期システムの違いによる比較 (DU 比:5dB)

遅延 時間差 (μ s)	主観評価			
	デジタル A	デジタル B	デジタル C	アナログ
0	5.0	5.0	5.0	2.6
1	5.0	5.0	4.9	4.9
5	4.8	5.0	5.0	3.1
10	5.0	4.8	4.6	4.2
26.3	3.0	4.9	2.1	3.8
53	3.8	3.9	3.9	1.8
100	2.5	2.6	2.1	2.4

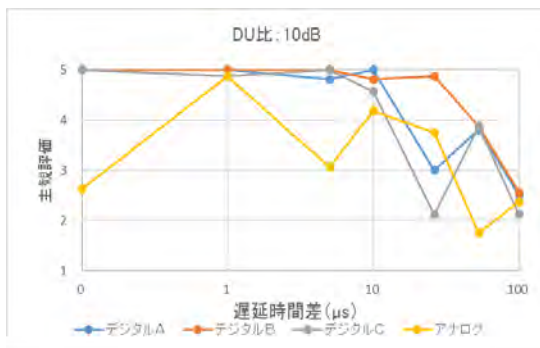


図 3.2-8(d) 同期システムの違いによる比較 (DU 比:10dB)

2) 分析

デジタル変調器 A 及びデジタル変調器 B については、DU 比 0dB、遅延時間差 3 μ s 以下であればどちらも評価 3 以上取れることが分かる。またどちらの変調器も DU 比 3dB 以上になれば遅延時間差 10 μ s 以下のとき、DU 比 10dB あれば遅延時間差 53 μ s 以下のとき評価は 3 以上となることが分かる。

デジタル変調器 C については、DU 比 0dB かつ遅延時間差が少ないときの評価がデジタル変調器 A、B よりも低くなっている。ただし DU 比 3dB 以上の評価については、デジタル変調器 A、B より低くなるものの、評価 3 以上となる範囲が増えていることが分かる。

今回使用したデジタル変調器 A、B と C の違いの一つとして搬送周波数安定度があり、これが DU 比 0dB かつ遅延時間差が少ないときの評価の差に影響をあたえる要因の一つと考えられる。

また今回使用したアナログ変調器の評価試験では、DU 比 10dB 以上でなければ評価 3 以上にならないという結果となった。この変調器は非同期方式であり、2 つの変調器の搬送波周波数差は実測 87Hz であった。搬送周波数の安定化が FM 同期放送の条件の一つであり、2 つの変調器の搬送波周波数差が大きいと FM 同期放送には適さないという結果となった。

(2) 受信機の違いによる比較

同期放送の技術基準について検討するため、現在市販されている受信機としてラジカセ、車載受信機、ポケットラジオ、また旧型のポケットラジオを使用し、受信機の違いによる影響を調査した。

表 3.2-11 試験条件（受信機の違いによる比較）

項目	内容
入力レベル	59dB μ V(75 Ω)
測定変調器	デジタル変調器B
測定パラメータ	遅延時間差(μ s):0、1、5、10、26.3、53、100 DU比(dB):0、3、5、10
評価用受信機	ラジカセ、新ポケットラジオ、車載受信機、旧ポケットラジオ

1) 主観評価結果（使用送信機：デジタル変調器B）

4つの受信機による主観評価試験の結果として、2波のDU比が0、3、5、10dBそれぞれのときの遅延時間差の変化による影響について図3.2-9(a)～(d)に示す。

遅延時間差(μ s)	主観評価			
	ラジカセ	新ポケットラジオ	車載受信機	旧ポケットラジオ
0	4.9	5.0	4.8	4.8
1	5.0	4.9	4.6	4.7
5	4.9	4.9	4.8	4.7
10	1.4	1.1	2.2	1.4
26.3	1.0	1.0	1.0	1.0
53	1.0	1.2	1.0	1.1
100	1.0	1.0	1.0	1.0

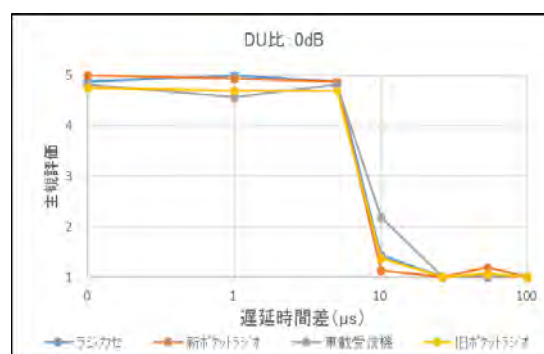


図 3.2-9(a) 受信機の違いによる比較 (DU比:0dB)

遅延時間差(μ s)	主観評価			
	ラジカセ	新ポケットラジオ	車載受信機	旧ポケットラジオ
0	4.9	5.0	4.9	4.9
1	4.8	5.0	4.6	4.8
5	5.0	4.9	4.8	4.8
10	3.1	3.2	4.8	2.6
26.3	1.0	1.0	1.0	1.0
53	2.1	1.8	1.9	2.2
100	1.9	1.4	1.7	1.4

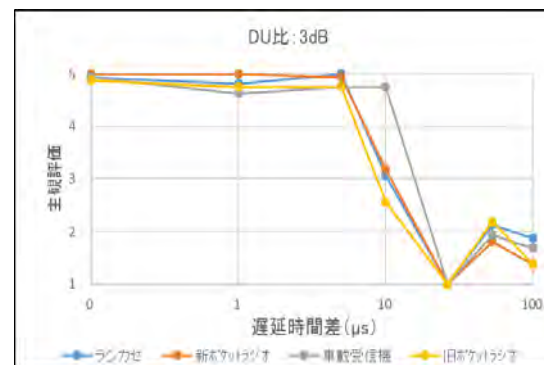


図 3.2-9(b) 受信機の違いによる比較 (DU比:3dB)

遅延時間差 (μs)	主観評価			
	ラジカセ	新ポケットラジオ	車載受信機	旧ポケットラジオ
0	5.0	5.0	5.0	5.0
1	5.0	5.0	5.0	5.0
5	4.9	5.0	4.8	4.6
10	4.1	4.1	4.9	3.8
26.3	1.0	1.3	4.1	1.4
53	2.9	3.0	2.6	2.5
100	1.6	2.1	1.9	1.7

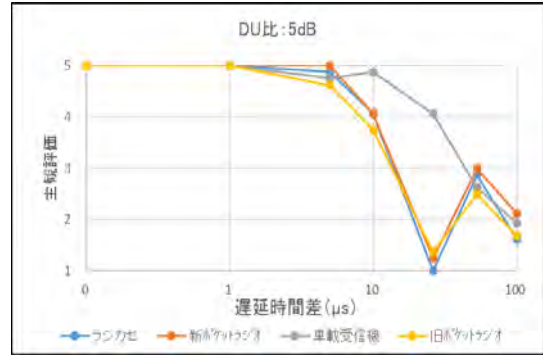


図 3.2-9(c) 受信機の違いによる比較 (DU 比:5dB)

遅延時間差 (μs)	主観評価			
	ラジカセ	新ポケットラジオ	車載受信機	旧ポケットラジオ
0	5.0	5.0	5.0	5.0
1	5.0	5.0	5.0	5.0
5	5.0	5.0	5.0	5.0
10	4.8	4.8	4.9	4.8
26.3	4.9	4.9	4.9	4.6
53	3.9	4.1	3.9	3.9
100	2.6	2.9	2.9	2.6

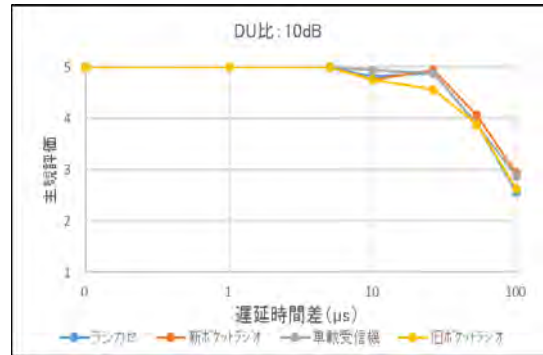


図 3.2-9(d) 受信機の違いによる比較 (DU 比:10dB)

2) 分析

4種類の受信機を使用し評価を行ったが、どの受信機においても DU 比 0dB のとき、評価が下がる遅延時間差はほぼ同じであった。ただし遅延時間差 10μs になると車載受信機が他の受信機よりも評価が高く得られている。

(3) 同期パラメータの影響度比較

同期放送の技術基準として重要な同期パラメータについて確認するため、昨年度実施した高精度同期調整時のパラメータを基準とし、同期パラメータを1項目ずつ変化させて測定し、各パラメータの同期放送への影響度について調査した。なお昨年度結果にて影響を確認している遅延時間差 10μs 以内にて調査を行った。

表 3.2-12 試験条件（同期パラメータの違いによる比較）

項目	内容
測定項目	主観評価（評価音録音）、SINAD、S/N
測定変調器	デジタル変調器 A
同期パラメータ	基準をデジタル変調器Aの最適設定値 （中心周波数安定度:0.2Hz、AC 周波数安定度偏差:0Hz、 最大変調度偏差:1Hz、パイロット位相差:0deg）とし、 以下のように最適設定値からパラメータを1つだけ変化させたとき
評価用受信機	ラジカセ

表 3.2-13 試験に使用した同期パラメータ

項目	周波数 偏差 (Hz)	最大 変調度 偏差(Hz)	AC 周波数 偏差(Hz)	パイロット 位相差 (deg)	入力レベル (dBμV@75Ω)
基準	0.2	1	0	0	59
周波数偏差:2Hz	2.0	1	0	0	59
最大変調度偏差:1000Hz	0.2	1000	0	0	59
AC 周波数偏差:6Hz	0.2	1	6	0	59
パイロット位相差:90°	0.2	1	0	90	59
入力レベル:75dBμV	0.2	1	0	0	75
入力レベル:45dBμV	0.2	1	0	0	45

1) 主観評価結果（使用送信機：デジタル変調器 A）

6 種類の同期パラメータを1つずつ変化させ主観評価試験を行った結果として、2 波の DU 比が 0、3、5dB それぞれのときの遅延時間差の変化による影響について表 3.2-14(a)～(c) 及び図 3.2-10(a)～(c)に示す。

表 3.2-14(a) 同期パラメータの違いによる比較（DU 比:0dB）

遅延 時間差 (μs)	主観評価						
	基準	周波数 偏差: 2Hz	最大変調度 偏差: 1000Hz	AC 周波数 偏差:6Hz	パイロット 位相差: 90°	入力 レベル: 75dBμV	入力 レベル: 45dBμV
0	5.0	2.4	2.6	2.6	5.0	3.7	3.5
1	4.9	1.6	1.9	1.9	4.7	4.0	2.4
5	1.6	1.1	1.4	1.3	1.5	3.2	1.9
10	1.4	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.5

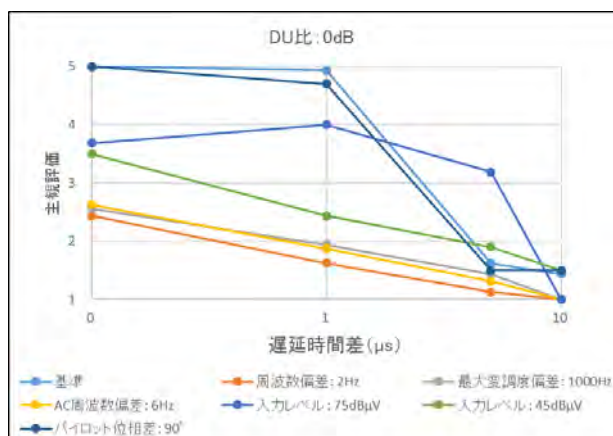


図 3.2-10(a) 同期パラメータの違いによる比較 (DU比:0dB)

表 3.2-14(b) 同期パラメータの違いによる比較 (DU比:3dB)

遅延時間差 (μs)	主観評価						
	基準	周波数偏差: 2Hz	最大変調度偏差: 1000Hz	AC周波数偏差: 6Hz	パイロット位相差: 90°	入力レベル: 75dBμV	入力レベル: 45dBμV
0	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	4.8	4.8
1	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0	4.9	4.3
5	4.8	3.9	4.3	3.1	4.7	4.8	3.6
10	3.4	1.4	2.5	1.5	3.5	2.8	2.1

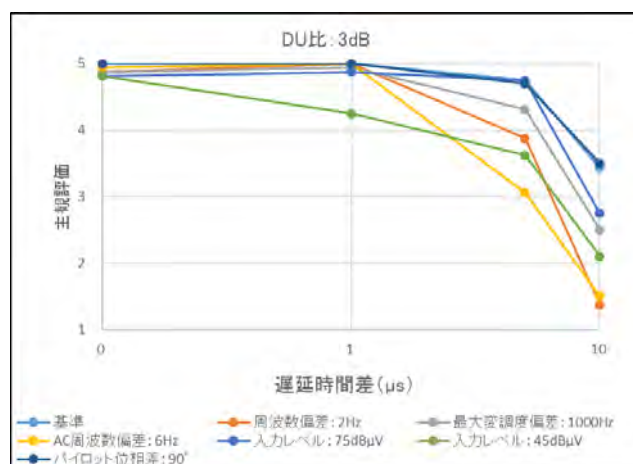


図 3.2-10(b) 同期パラメータの違いによる比較 (DU比:3dB)

表 3. 2-14(c) 同期パラメータの違いによる比較 (DU 比:5dB)

遅延時間差 (μs)	主観評価						
	基準	周波数偏差: 2Hz	最大変調度偏差: 1000Hz	AC周波数偏差: 6Hz	パイロット位相差: 90°	入力レベル: 75dBμV	入力レベル: 45dBμV
0	4.9	5.0	4.8	5.0	5.0	4.8	4.3
1	5.0	4.9	4.9	5.0	5.0	4.9	4.6
5	4.8	4.6	4.8	4.4	4.7	4.6	4.4
10	4.5	3.3	3.8	2.6	4.5	4.6	3.8

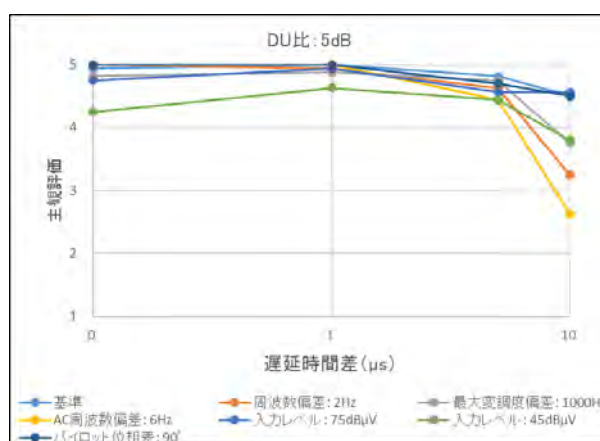


図 3. 2-10(c) 同期パラメータの違いによる比較 (DU 比:5dB)

2) 分析

どのパラメータについても DU 比 0dB、遅延時間差 0μs または 1μs の時に基準時の評価よりも低い評価となることを確認した。特に評価が低くなったパラメータは、周波数偏差、最大変調度偏差、AC 周波数偏差であり、これらの精度が高いものほど、FM 同期放送に適した送信機と考えられる。

(4) 3波による同期試験

FM 同期放送における 3 波が重なる範囲についてどのような影響があるか確認するため、FM 同期環境となっている 2 波の放送エリアを想定し、そのエリア内にさらに 1 波加えた際の受信品質について試験し、2 波による同期放送時からどのような変化があるのか調査した。

表 3. 2-15 試験条件 (3 波による同期試験)

項目	内容
測定項目	主観評価(評価音録音)
入力レベル	59dBμV(75Ω)
測定変調器	デジタル変調器 A
評価用受信機	ラジカセ

1) 測定ポイントの選定

図 3.1-10 のように送信所aと送信所bが FM 同期放送の環境下に置かれていること(DU 比 0dB の地点が遅延時間差:0 μ s になるようエリアを調整していること)を想定した。その状況にて新たに 3 波目を追加したとき、以下の 2 点での影響について検証を行った。

- ①送信所a・bからの遅延時間差:0 μ s、DU 比:0dB の地点に送信所cからの電波による影響
(送信所 A との遅延差、DU 比の組み合わせ)
- ②FM 同期放送の環境下としたとき、送信所 A・B 間の遅延時間差:5 μ s、10 μ s の点において送信所a-b間の DU 比、及び送信所cからの電波による影響

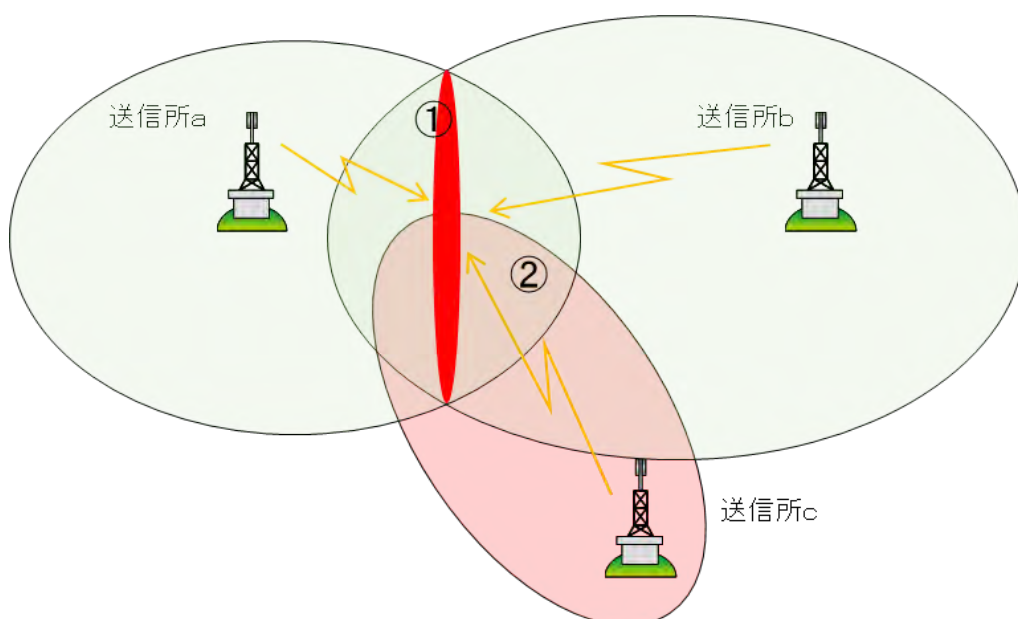


図 3.2-11 3波想定エリアイメージ図

測定を行った 3 波の組み合わせパターンについては図 3.2-11 に示す。それぞれの組み合わせにおいて送信所b、cからの電波について送信所 a からの電波との遅延時間差を 0、1、5、10、26.3、53、100 μ s となる組み合わせについて試験を行った。

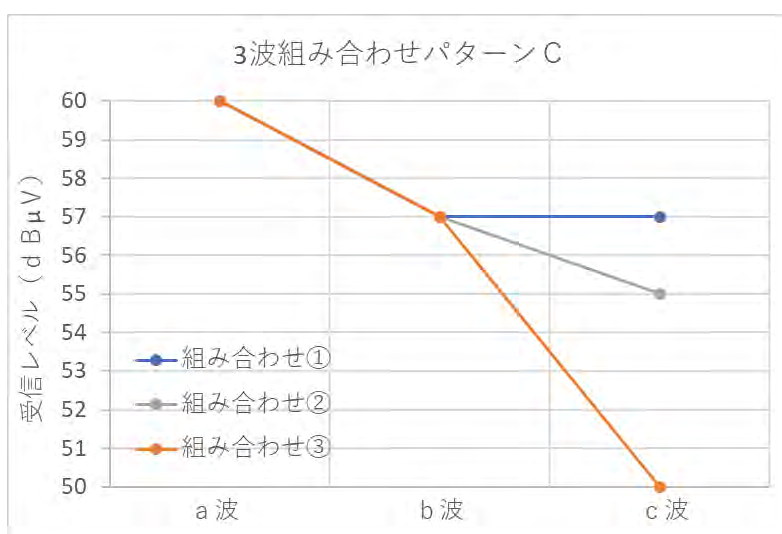
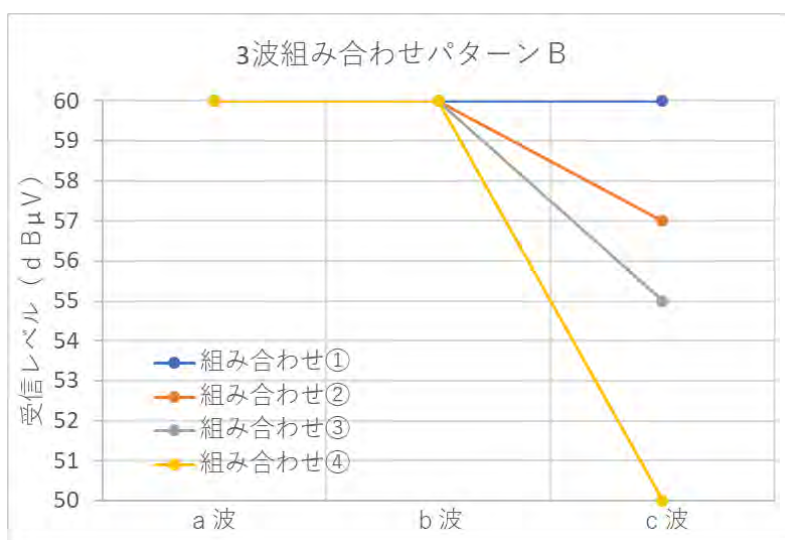
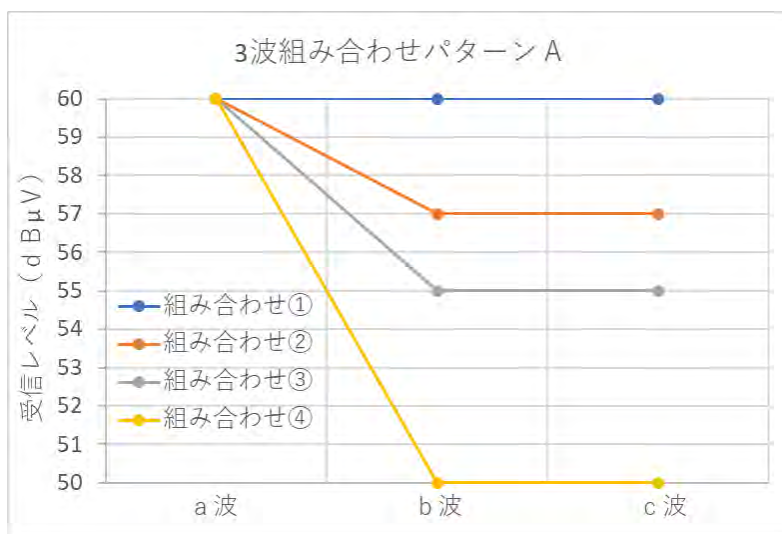


図 3.2-12 3波組み合わせパターン

2) 主観評価結果

3波同期試験の主観評価試験結果を図 3.2-13 (a) ~ (g) に示す。

遅延 時間差 (μs)	主観評価			
	【a-c】 DU 比 0dB	【a-c】 DU 比 3dB	【a-c】 DU 比 5dB	【a-c】 DU 比 10dB
0	4.9	4.9	5.0	4.9
1	4.9	4.9	5.0	4.9
5	3.6	2.6	4.7	4.8
10	2.6	2.3	4.7	2.4
26.3	1.3	1.6	3.3	1.2
53	2.3	2.1	3.3	2.9
100	1.8	1.3	2.8	2.1

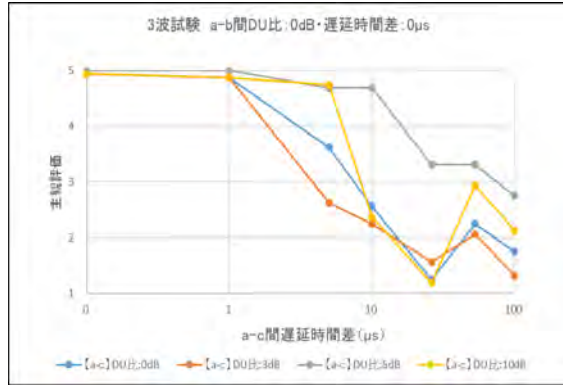


図 3.2-13(a) a-b 間 DU 比 0dB・遅延時間差 0 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU 比 3dB
0	-
1	2.1
5	4.8
10	2.6
26.3	1.6
53	1.8
100	1.3

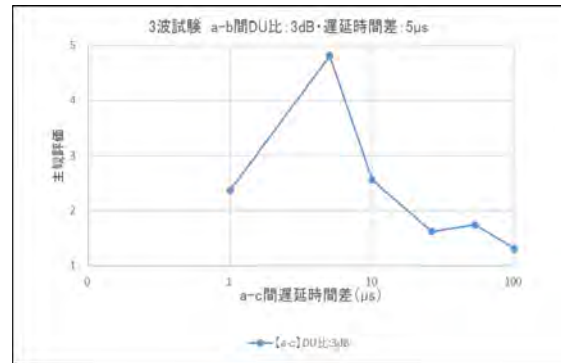


図 3.2-13(b) a-b 間 DU 比 3dB・遅延時間差 5 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価		
	【a-c】 DU 比 3dB	【a-c】 DU 比 5dB	【a-c】 DU 比 10dB
0	-	-	-
1	2.2	4.4	4.6
5	2.6	2.8	1.4
10	4.8	2.3	1.7
26.3	2.2	1.6	2.3
53	1.5	2.0	1.0
100	1.0	1.3	1.0

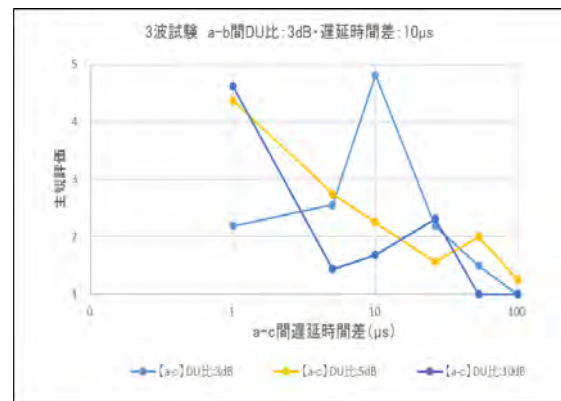


図 3.2-13(c) a-b 間 DU 比 3dB・遅延時間差 10 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 5dB
0	-
1	5.0
5	2.3
10	3.3
26.3	1.7
53	1.3
100	1.1

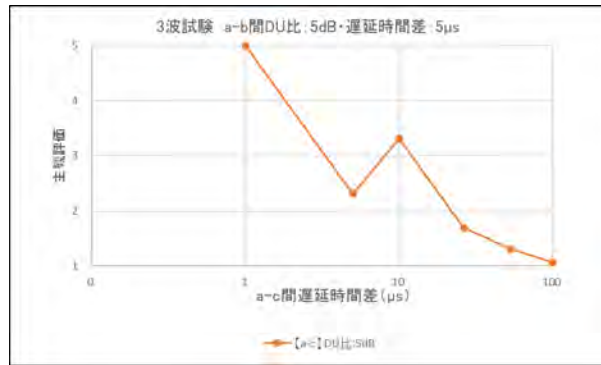


図 3. 2-13 (d) a-b 間 DU 比 5dB・遅延時間差 5 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 5dB
0	-
1	2.3
5	3.3
10	2.0
26.3	1.3
53	1.3
100	2.2

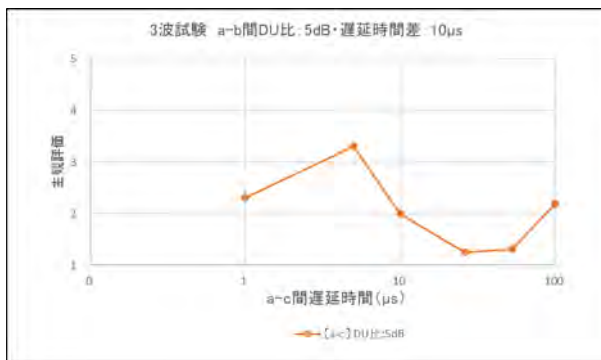


図 3. 2-13 (e) a-b 間 DU 比 5dB・遅延時間差 10 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 10dB
0	-
1	5.0
5	5.0
10	5.0
26.3	2.5
53	3.4
100	2.5

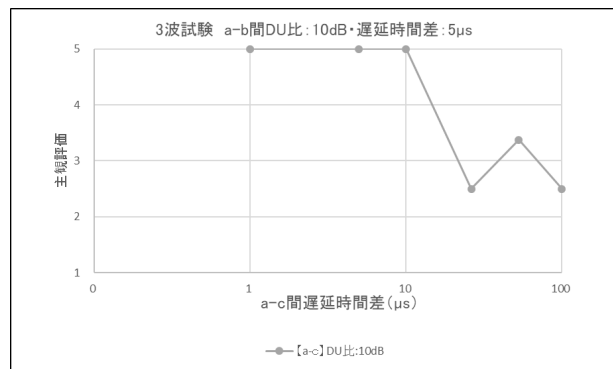


図 3. 2-13 (f) a-b 間 DU 比 10dB・遅延時間差 5 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU 比 10dB
0	-
1	5.0
5	5.0
10	4.5
26.3	2.9
53	4.3
100	2.6

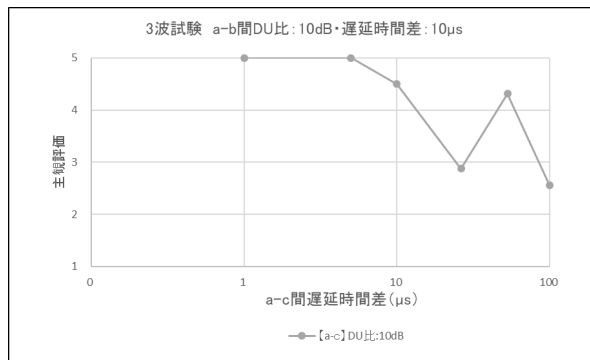


図 3. 2-13 (g) a-b 間 DU 比 10dB ・ 遅延時間差 10 μs における 3 波目の影響

図 3. 2-13 に 3 波での主観評価結果について示しているが、遅延時間差や DU 比との関係が取れないものが多く、主観評価を行った音源について事務局にて改めて確認を行った。その結果、周期的に発生する受信レベルの低下が多く発生していることを確認した。5 章でも記載しているが同期放送においては搬送周波数差により周期的に受信レベルの低下が発生するが、3 波での受信レベルの低下はその組み合わせにより発生するため、2 波のときよりも発生頻度が低くなる。今回 3 波による同期放送の音源については元々 1 分間の音源にて周期的な受信レベル低下も含め確認していたが、2 波同期の音源と一緒に主観評価試験を行うため 15 秒に編集したところ、周期的に発生する受信レベルの低下部分が多く選定されていた。そのため、主観評価試験では 20 名の評価値が安定せず、平均化した結果がばらついてしまう結果となってしまった。今回は長い周期による受信レベルの低下を考慮していない試験となってしまっていたため、3 波の同期の音源の一部については主観評価試験とは別に事務局を含めた 5 名にて 1 分間の音源で確認を行った。その結果を図 3. 2-14 (a) ~ (g) に示す。なお表に赤字で書かれている数字が変更した箇所となる。

遅延 時間差 (μs)	主観評価			
	【a-c】 DU 比 0dB	【a-c】 DU 比 3dB	【a-c】 DU 比 5dB	【a-c】 DU 比 10dB
0	4.9	4.9	5.0	4.9
1	4.9	4.9	5.0	4.9
5	3.6	2.6	4.7	4.8
10	2.6	2.3	4.7	2.4
26.3	1.3	1.6	3.3	1.2
53	2.3	2.1	3.3	2.9
100	1.8	1.3	2.8	2.1

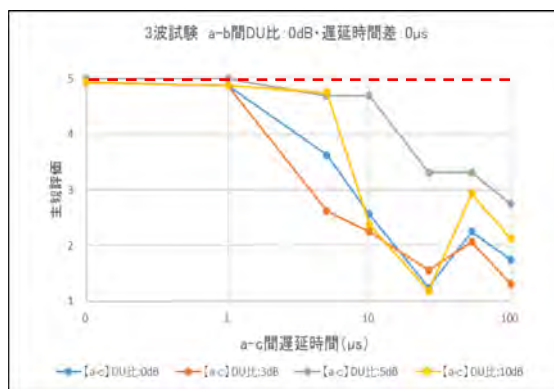


図 3. 2-14 (a) a-b 間 DU 比 0dB ・ 遅延時間差 0 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 3dB
0	4.2
1	4.3
5	3.9
10	2.6
26.3	1.6
53	1.8
100	1.3

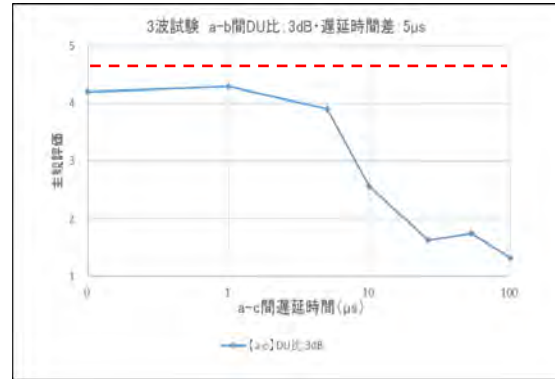


図 3.2-14 (b) a-b 間 DU 比 3dB・遅延時間差 5 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価		
	【a-c】 DU比 3dB	【a-c】 DU比 5dB	【a-c】 DU比 10dB
0	3.5	3.4	4.0
1	3.1	2.7	3.7
5	2.8	2.8	2.7
10	3.2	2.3	2.3
26.3	2.2	1.6	2.3
53	1.5	2.0	1.0
100	1.0	1.3	1.0

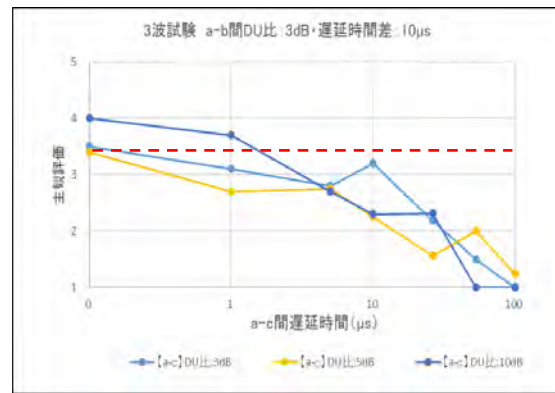


図 3.2-14 (c) a-b 間 DU 比 3dB・遅延時間差 10 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 5dB
0	4.5
1	4.4
5	3.1
10	3.3
26.3	1.7
53	1.3
100	1.1

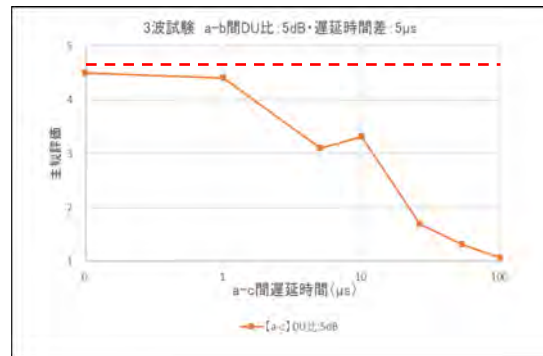


図 3.2-14 (d) a-b 間 DU 比 5dB・遅延時間差 5 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 5dB
0	3.8
1	3.7
5	3.2
10	3.0
26.3	1.3
53	1.3
100	2.2

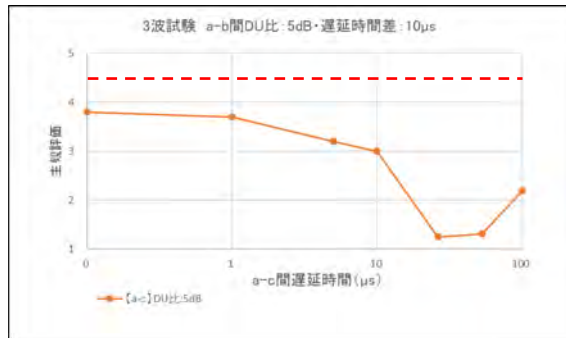


図 3. 2-14 (e) a-b 間 DU 比 5dB・遅延時間差 10 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 10dB
0	5.0
1	5.0
5	5.0
10	5.0
26.3	2.5
53	3.4
100	2.5

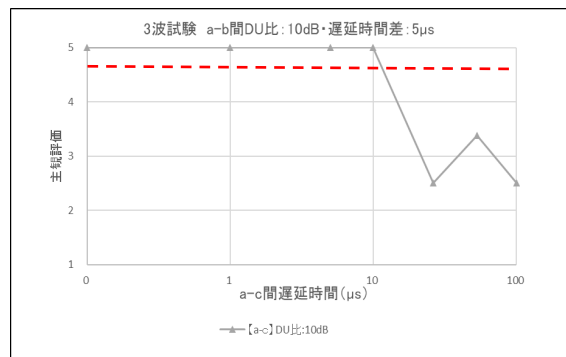


図 3. 2-14 (f) a-b 間 DU 比 10dB・遅延時間差 5 μs における 3 波目の影響

遅延 時間差 (μs)	主観評価
	【a-c】DU比 10dB
0	5.0
1	5.0
5	5.0
10	4.5
26.3	2.9
53	4.3
100	2.6

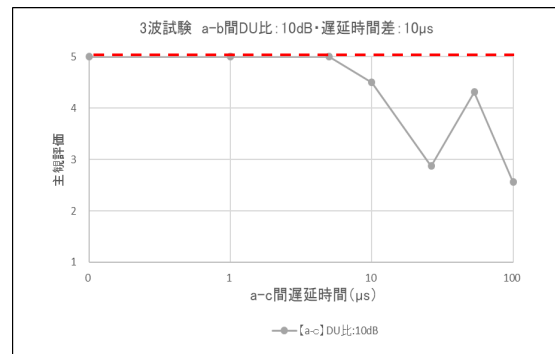


図 3. 2-14 (g) a-b 間 DU 比 10dB・遅延時間差 10 μs における 3 波目の影響

3) 分析

図 3. 2-14 (a) ~ 図 3. 2-14 (g) には 3 波での主観評価結果に加え、a-b の 2 波のときの評価を赤破線で記入している。

- ① 図 3. 2-14 (a) より、送信所 a-b 間の DU 比 0dB、遅延時間差 0 μs の点において、送信所 a-c の遅延差 1 μs 以内とすると a-c の DU 比に関係なく 3 波でもほぼ評価 5 となった。また a-c の DU 比 10dB のときは遅延時間差が 53 μs あっても評価 3 以上になった。
- ② 図 3. 2-14 (b) より、送信所 a-b 間の DU 比 3dB、遅延時間差 5 μs のときの影響について

検討した。遅延時間差 5 μ s 以内であれば評価 3 以上となった。また図 3.2-14(c)より、送信所 a-b 間の DU 比 3dB、遅延時間差 10 μ s のときの影響について検討した。送信所 a-b の 2 波のときの評価結果は 3.4 となっており、3 波目を加えると遅延時間差 1 μ s でも評価が 3 以下となることもあり、送信所 a-b 間の DU 比 3dB、遅延時間差 10 μ s のエリアに 3 波目を a-c 間の DU 比 10dB 以下で加えることは厳しいという結果となった。

③図 3.2-14(d)(e)より、送信所 a-b 間の DU 比 5dB の点において、送信所 a-b 間の遅延時間差:5 μ s 及び 10 μ s のときの影響について検討した。送信所 a-c 間の DU 比 5dB にて検討を行ったが、送信所 a-c の遅延差 10 μ s 以内であれば評価 3 以上となった。送信所 a-b の 2 波のときの評価結果は DU 比 5dB あると遅延時間差 10 μ s でも評価 4 以上取れるため、3 波目を加えると 2 波のときよりも評価は悪くなる結果となった。

④図 3.2-14(f)(g)より、送信所 a-b 間の DU 比 10dB の点において、送信所 a-b 間の遅延時間差:5 μ s 及び 10 μ s のときの影響について検討した。DU 比 10dB あると 2 波のときも 3 波目を加えたときも、遅延時間差 10 μ s 以内であれば評価 4 以上取れる結果となった。

実際の放送エリアにて 3 波の FM 同期放送を行った場合、3 波の DU 比と遅延差の組み合わせは無数の組み合わせになるものと考えられる。今回の実験では、その中でも特に実際の放送エリアで起こるであろう組み合わせについて評価を行った。実際には放送エリアの設計により組み合わせは変化するが、今回おおよその傾向について得ることができたと考える。

(5) SINAD と主観評価の関係について

SINAD は以下の計算式で定義される値であり、通信装置からの信号の質を示す指標として一般的に利用されている。

$$\text{SINAD} = (\text{Signal} + \text{Noise} + \text{Distortion}) / (\text{Noise} + \text{Distortion})$$

一般的に高調波歪で定義される歪成分の場合の測定値は定常的な値を持ち、安定的に測定が可能であるが、FM 同期放送では基本的に干渉波を受けた受信であるため、SINAD の測定はその値に揺らぎが見られ安定的な値としては得られない。そのため今回は昨年度実施した主観評価と一定の相関がみられた以下の条件を基準として測定する。

$$L:1\text{kHz}(50\%) / R:1\text{kHz}(31\%) \quad () \text{内は変調度を示す。}$$

また 2 波及び 3 波を同期した時の SINAD は安定した数値とはならないため、値の変化を考慮した数値を得るために、SINAD は 1 分間のデータの平均とする。

図 3.2-12 に今回主観評価試験を実施した全ての項目について、受信機ごとに SINAD と主観評価のグラフを示す。

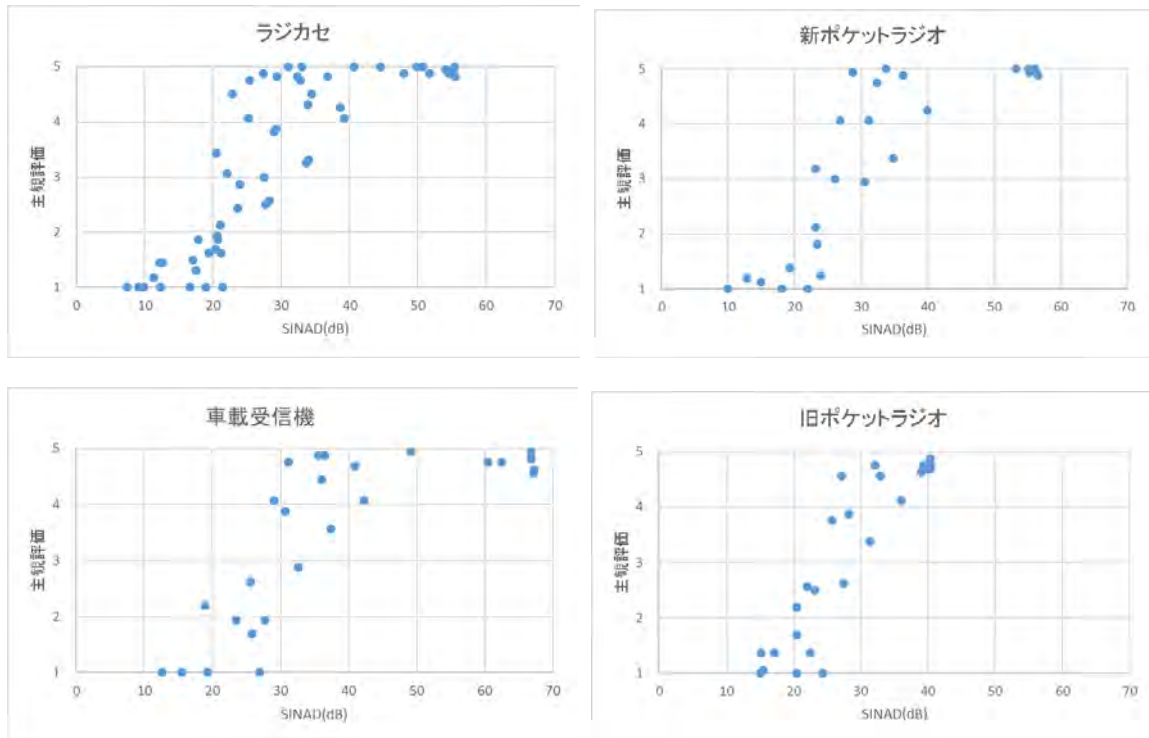


図 3.2-15 SINAD と主観評価

どの受信機においても SINAD が上昇するにつれ、主観評価が良くなっていくことが分かる。SINAD の最大値は受信機により異なるが、一定値以上は主観評価が 5 となること、SINAD が 30 以上あれば評価 3 以上となることが確認できた。

(6) FM 多重試験

FM 同期放送で FM 多重放送を行った場合に、多重放送を受信することができるかどうか、また FM 音声放送に影響を与えることがないかについて、検証を行った。

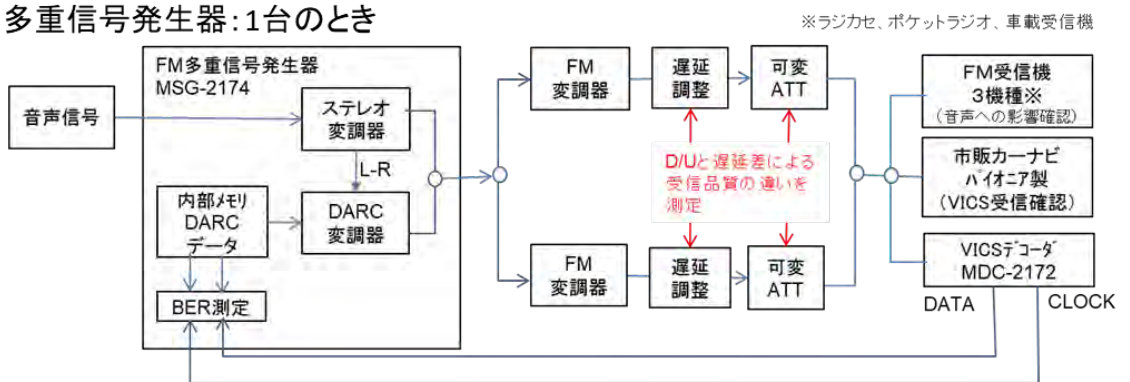
具体的には、A: 多重信号を分配し、多重放送が同期した場合を想定したものと、B: 多重放送が同期されていない場合の 2 つの系統にて多重放送を受信できたかどうかの確認を行った。B の場合については非同期の状態を確認することができないため、2 波の状態を管理していないときの参考値として検証を行った。

また FM 音声放送に影響を与えていないことの確認として、それぞれの測定系統において多重信号を ON、OFF したとき、音声信号に影響がないことについて SINAD 測定にて確認した。

表 3.2-16 試験方法

項目	内容
測定項目	BER、PER、カーナビ受信状態確認
入力レベル	59dB μ V(75 Ω)
測定変調器	デジタル変調器 A
測定系統	FM 多重信号発生器:1 台のとき、多重信号を ON、OFF FM 多重信号発生器:2 台のとき、多重信号を ON、OFF
FM 多重評価用データ	VICS(動作確認・PER 測定時)、PN9(BER 測定時)
FM 多重信号発生器	MSG-2174(計測技研)
FM 多重評価用受信機	MDC-2172(計測技研)
音声確認用受信機	ラジカセ、新ポケットラジオ、車載受信機、旧ポケットラジオ

A FM多重信号発生器:1台のとき



B FM多重信号発生器:2台のとき

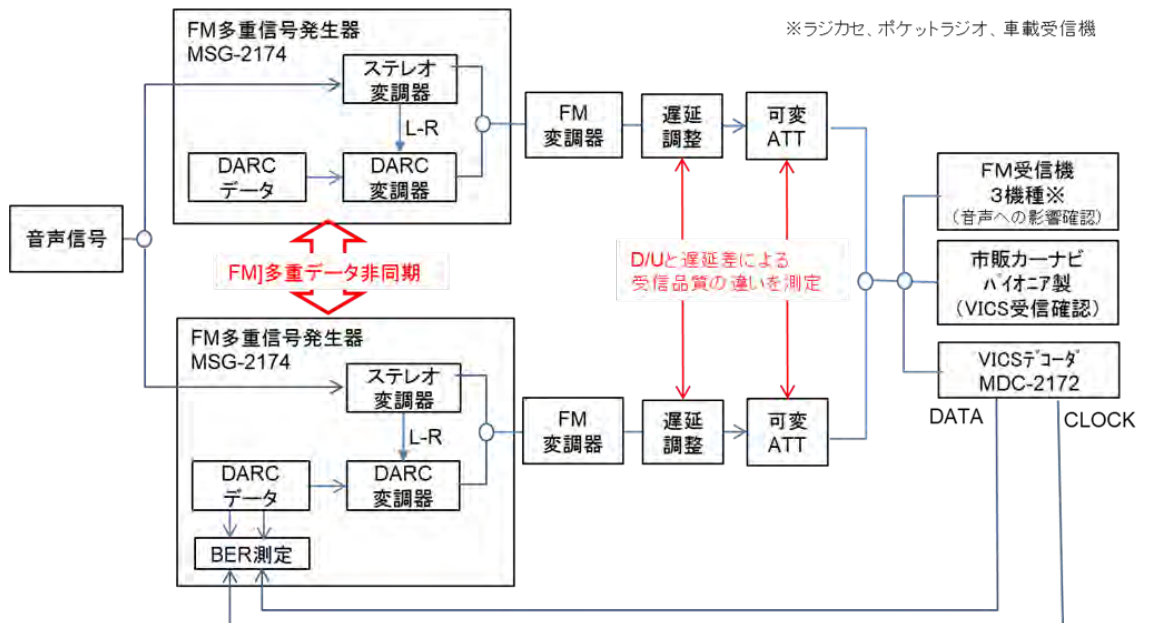


図 3.2-16 測定機器設置状況

1) 測定項目

BER=Bit Error Rate(ビット誤り率)

デジタル通信においてデジタルデータを送受信した時に受信側で誤ったデータを受信する確率。誤ったビット数を受信した総ビット数で割ったもの。

PER=Packet Error Rate(パケット誤り率)

デジタル通信では、データは通常パケット単位で伝送され、処理もパケット単位で行われる。1パケットが正常に受信されるかどうかの指標。

2) 結果

FM 多重放送の受信結果及び FM 音声信号への影響について以下に示す。なお FM 多重信号発生器 1 台(多重データが同期)、FM 多重信号発生器 2 台(多重データが非同期)を想定して測定を行った。

① FM 多重放送の受信結果

表 3.2-17(a) FM 多重信号発生器 : 1 台のときの BER

遅延 時間差 (μ s)	BER					
	DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	3.06E-3	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
1	7.91E-3	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
5	4.17E-2	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
10	1.28E-2	1.80E-4	3.40E-5	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
26.3	2.17E-2	4.73E-2	1.12E-4	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
53	5.06E-2	1.32E-2	1.53E-2	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
100	5.70E-2	2.92E-2	1.50E-3	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0

表 3.2-17(b) FM 多重信号発生器 : 2 台のときの BER

遅延 時間差 (μ s)	BER					
	DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	4.40E-3	1.97E-2	2.54E-4	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
1	8.08E-3	1.88E-2	1.56E-4	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
5	1.29E-2	1.86E-2	3.07E-4	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
10	5.67E-2	1.79E-2	2.95E-4	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
26.3	3.70E-2	2.08E-2	2.84E-4	0.00E-0	0.00E-0	0.00E-0
53	3.87E-2	2.48E-2	1.05E-3	3.70E-4	0.00E-0	0.00E-0
100	4.22E-2	3.02E-2	2.96E-3	1.40E-5	0.00E-0	0.00E-0

表 3.2-17(c) FM 多重信号発生器 : 1 台のときの PER

遅延 時間差 (μ s)	PER (%)					
	DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26.3	62.6	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0
53	64.9	52.1	0.0	0.0	0.0	0.0
100	99.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

表 3.2-17(d) FM 多重信号発生器 : 2 台のときの PER

遅延 時間差 (μ s)	PER (%)					
	DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	89.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0
1	88.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
5	89.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
10	90.6	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
26.3	95.7	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
53	99.6	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
100	99.7	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0

② FM 音声信号への影響調査

表 3.2-18(a) ラジカセへの多重信号の影響について
(FM 多重信号発生器 : 1 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	53.2	53.6	53.5	53.8	54.3	54.2
	OFF	52.1	54.0	54.8	55.2	55.1	55.2
1	ON	53.5	53.6	49.4	53.7	53.9	53.8
	OFF	49.6	52.0	50.1	54.9	55.1	55.2
5	ON	12.2	28.4	32.2	47.2	44.4	48.3
	OFF	15.7	36.6	32.0	36.4	41.4	50.2
10	ON	9.0	21.1	24.4	29.4	34.7	40.0
	OFF	10.5	21.2	23.7	29.1	35.5	39.3
26.3	ON	10.9	17.7	21.0	27.3	33.1	38.0
	OFF	10.9	17.9	21.1	27.6	33.1	38.3
53	ON	10.7	21.0	23.8	29.1	34.3	39.2
	OFF	11.3	21.1	23.9	29.3	34.4	39.3
100	ON	7.4	17.2	20.8	27.6	33.8	39.0
	OFF	7.7	17.2	20.7	27.5	33.9	39.1

表 3.2-18(b) ラジカセへの多重信号の影響について

(FM 多重信号発生器 : 2 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	25.2	40.2	37.7	44.0	48.1	52.3
	OFF	24.6	37.5	38.5	44.5	49.8	52.3
1	ON	15.3	38.3	42.5	41.4	45.9	45.9
	OFF	19.1	37.0	38.2	44.2	47.7	48.4
5	ON	15.9	34.2	37.9	37.6	40.7	45.4
	OFF	12.0	33.7	34.0	39.2	40.9	47.8
10	ON	10.5	23.5	28.9	33.8	37.5	43.0
	OFF	11.1	22.0	28.5	33.8	37.0	40.9
26.3	ON	9.0	18.7	21.8	28.2	33.4	37.9
	OFF	9.8	18.4	21.6	29.9	33.9	38.4
53	ON	8.9	17.5	20.4	27.9	32.1	37.3
	OFF	9.5	17.7	20.6	27.3	31.7	36.8
100	ON	6.7	15.9	18.4	27.0	30.4	34.5
	OFF	7.6	15.7	18.1	24.5	30.0	34.7

表 3.2-18(c) 新ポケットラジオへの多重信号の影響について
(FM 多重信号発生器 : 1 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	53.7	54.7	54.9	55.1	55.2	55.1
	OFF	51.6	53.3	54.6	55.5	55.9	55.9
1	ON	41.3	54.3	55.0	55.2	55.1	55.1
	OFF	42.0	52.4	55.2	54.9	55.2	55.3
5	ON	18.5	30.1	35.3	42.6	43.0	46.9
	OFF	17.0	31.4	32.7	42.2	44.1	49.1
10	ON	10.3	21.4	24.3	29.8	35.1	39.7
	OFF	11.4	21.7	24.0	29.2	34.8	40.0
26.3	ON	12.4	18.8	22.0	28.6	34.0	38.9
	OFF	9.8	18.8	22.0	28.1	33.7	38.9
53	ON	11.6	22.8	25.8	31.1	36.0	41.0
	OFF	12.4	22.6	25.7	31.0	36.0	41.0
100	ON	8.1	18.4	21.8	28.7	35.9	41.3
	OFF	8.8	18.2	22.0	29.0	35.1	41.2

表 3.2-18(d) 新ポケットラジオへの多重信号の影響について
(FM 多重信号発生器 : 2 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	27.9	40.8	36.3	46.1	49.5	51.9
	OFF	29.3	38.5	37.9	43.1	50.0	52.6
1	ON	28.2	31.0	36.0	45.5	48.0	51.7
	OFF	24.0	30.9	33.8	42.9	48.1	51.4
5	ON	16.2	32.4	31.7	36.5	42.6	47.0
	OFF	16.7	31.0	29.5	33.9	40.3	44.3
10	ON	9.9	24.0	31.0	32.6	36.3	42.5
	OFF	12.5	22.6	28.2	30.5	35.4	40.8
26.3	ON	9.3	20.0	23.4	28.9	33.9	38.8
	OFF	11.3	19.4	23.1	28.4	33.8	38.8
53	ON	8.9	18.7	21.3	27.5	32.6	38.2
	OFF	10.4	18.6	22.0	28.1	32.8	38.1
100	ON	7.4	16.7	19.5	28.1	32.0	36.3
	OFF	8.6	16.9	19.9	28.1	32.4	35.5

表 3.2-18(e) 車載受信機への多重信号の影響について
(FM 多重信号発生器 : 1 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	61.3	61.5	60.6	61.2	60.9	60.8
	OFF	64.3	60.7	61.5	61.7	61.8	61.8
1	ON	61.6	49.4	53.0	61.8	61.9	62.0
	OFF	60.5	48.6	56.0	65.1	65.6	65.7
5	ON	23.8	42.3	44.4	51.4	53.5	57.1
	OFF	20.1	39.5	42.0	51.2	53.8	58.9
10	ON	14.7	32.2	35.2	45.0	51.1	49.8
	OFF	15.6	30.7	36.1	43.6	52.0	50.0
26.3	ON	14.1	25.1	27.3	32.7	37.6	42.4
	OFF	14.1	25.4	27.3	32.6	38.0	42.6
53	ON	15.3	23.3	25.4	30.4	35.7	40.6
	OFF	16.9	23.2	25.4	30.5	35.6	40.5
100	ON	13.7	31.9	28.0	33.0	38.1	43.0
	OFF	14.1	31.7	28.0	33.1	38.1	43.1

表 3.2-18(f) 車載受信機への多重信号の影響について
(FM 多重信号発生器 : 2 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	30.6	49.7	46.3	51.5	51.0	52.2
	OFF	30.2	47.9	44.6	55.6	51.0	54.3
1	ON	30.1	47.3	47.4	50.9	55.5	56.6
	OFF	29.0	47.4	49.0	53.0	51.4	55.4
5	ON	21.5	39.3	39.7	48.3	51.6	55.1
	OFF	19.7	42.2	44.4	51.5	50.4	54.2
10	ON	17.2	32.1	36.7	37.2	42.9	51.3
	OFF	17.0	32.0	35.9	44.2	45.2	51.6
26.3	ON	14.1	24.8	27.1	32.1	37.1	42.2
	OFF	14.7	24.5	26.9	32.2	37.2	42.1
53	ON	12.8	23.7	25.8	30.6	35.8	40.8
	OFF	14.2	23.5	25.7	30.8	35.7	40.8
100	ON	13.4	30.9	27.6	32.7	37.6	41.6
	OFF	14.0	30.7	27.6	32.7	37.6	42.8

表 3.2-18(g) 旧ポケットラジオへの多重信号の影響について
(FM 多重信号発生器 : 1 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	35.9	39.1	39.1	39.1	39.2	39.2
	OFF	38.6	39.6	39.6	39.7	39.7	39.7
1	ON	38.9	38.3	39.0	39.1	39.2	39.0
	OFF	39.3	39.5	39.6	39.8	39.7	39.7
5	ON	30.3	30.1	30.0	38.0	39.1	39.4
	OFF	28.1	26.2	30.6	36.1	39.2	39.1
10	ON	14.4	20.4	23.8	30.5	35.3	37.6
	OFF	15.8	20.0	22.8	28.6	34.3	37.3
26.3	ON	19.7	17.1	20.1	26.4	31.2	35.0
	OFF	14.4	16.7	19.6	26.1	30.7	34.4
53	ON	16.6	20.1	22.9	28.0	32.5	35.9
	OFF	14.6	19.3	22.1	27.3	31.9	35.5
100	ON	13.8	16.3	19.8	27.2	32.4	35.8
	OFF	12.9	15.6	19.0	26.2	31.6	35.6

表 3. 2-18(h) 旧ポケットラジオへの多重信号の影響について
(FM 多重信号発生器 : 2 台)

遅延 時間差 (μ s)	多重 信号	SINAD (dB)					
		DU 比 0 dB	DU 比 3 dB	DU 比 5 dB	DU 比 10 dB	DU 比 15 dB	DU 比 20 dB
0	ON	27.1	35.0	33.0	36.9	39.2	39.3
	OFF	25.6	31.8	35.2	37.8	39.1	39.3
1	ON	23.2	35.7	33.6	37.9	38.7	39.3
	OFF	25.0	34.8	36.7	37.1	39.0	39.3
5	ON	22.1	33.7	30.9	36.1	37.9	39.5
	OFF	22.1	31.0	30.5	35.4	38.2	39.5
10	ON	16.3	24.9	29.0	34.2	35.6	38.9
	OFF	15.8	21.0	26.2	31.5	34.5	37.7
26.3	ON	14.9	17.9	21.1	28.2	32.1	36.0
	OFF	14.5	18.1	20.7	27.3	31.5	35.4
53	ON	14.5	16.9	19.3	26.3	30.6	34.6
	OFF	13.9	16.0	18.7	25.4	29.2	34.3
100	ON	13.1	15.1	17.4	24.1	30.8	33.9
	OFF	12.6	14.4	16.7	23.1	29.7	32.8

3) 分析

FM 同期放送で FM 多重放送を行った場合、BER 測定を行った結果を表 3. 2-17(a) (b) に示す。多重放送が同期されている場合では DU 比 10dB あれば遅延時間差がいくつであっても BER は 0 となった。また多重放送が同期されていない場合では DU 比 15dB あれば遅延時間差がいくつであっても BER は 0 となった。これよりも DU 比が小さいときについては BER の値が測定できているが、多重放送として問題なく受信できる基準値がなく、現状ではどこから正常受信できたかの判断をすることは難しい。

PER 測定を行った結果を表 3. 2-17(c) (d) に示す。PER についても BER と同様、DU 比が大きくなるにつれてパケットエラー率が低くなるという傾向については確認できた。

しかし DU 比が 3dB 時の PER については、次の点において BER 測定結果と異なる結果が得られた。

- 多重データ同期時の表 3. 2-17(c) において、遅延時間差 100 μ s における PER がエラー率が 0.1% となっており、遅延差が 53 μ s の時の 52.1% から減少している。(BER 測定では、遅延差が 24.3 μ s より大きい場合は最劣化値である 10^{-2} オーダーで劣化)
- 多重データ非同期時の表 3. 2-17(d) において BER に比べて PER の劣化度が低い。(BER 測定では、遅延差にかかわらず最劣化値である 10^{-2} オーダーで劣化)

なお、確認のため数回再測定を実施したが測定結果は変わらなかった。この PER の劣化傾向が BER の劣化傾向と異なる現象については、今回の試験では解明できていない。

以上のことから今回の試験では BER と PER については比例関係とはならないため、PER 測定により受信状況を判断することは難しい。なお、現在の測定システムでは屋外で BER を測定することができないため、屋外試験では参考値として PER 測定した結果を報告している。

表 3. 2-18 にて多重放送の有無による音声への影響について確認を行ったが、受信機の違い、多重放送の同期の有無にかかわらず、SINAD 値には変化がないことを確認した。

3. 2. 3 考察

今回の屋内試験では現在 FM 同期放送として使用している変調器にて試験を行った。その結果より以下の2点について考察を行った。

(1) 同期評価テーブルについて

今回送信機 4 機種について試験を行った。そのうち今回使用したアナログ変調器については FM 同期放送には適さないものだったため同期評価テーブルの検討はしないこととした。デジタル変調器 A、B、C について、それぞれ評価 2、3、4 を取得するために必要な DU 比を遅延時間差ごとに以下に示す。なお表の中に記載している遅延時間差が少ない部分の横線は D/U0dB でも評価5であることを示し、デジタル変調器 C の遅延時間差 100 μ s の評価 4 の横線は D/U が 20dB でも評価 4 にならなかったことを意味する。

遅延時間差 (μ s)	DU 比(dB)		
	主観評価 2	主観評価 3	主観評価 4
0	-	-	-
1	-	-	-
5	0.4	1.3	2.3
10	0.9	2.4	4.1
26.3	5.5	10.0	12.8
53	3.4	7.1	12.0
100	6.9	13.1	19.4

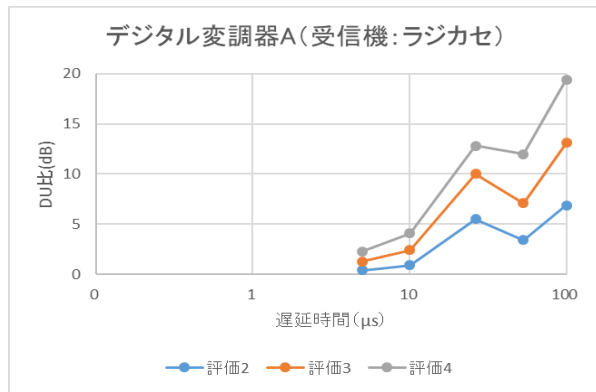


図 3. 2-17(a) デジタル変調器 A の同期評価テーブル (受信機 : ラジカセ)

遅延時間差 (μ s)	DU 比(dB)		
	主観評価 2	主観評価 3	主観評価 4
0	-	-	-
1	-	-	-
5	-	-	-
10	1.1	2.8	4.8
26.3	6.3	7.6	8.8
53	2.7	5.5	10.8
100	7.0	12.9	18.5

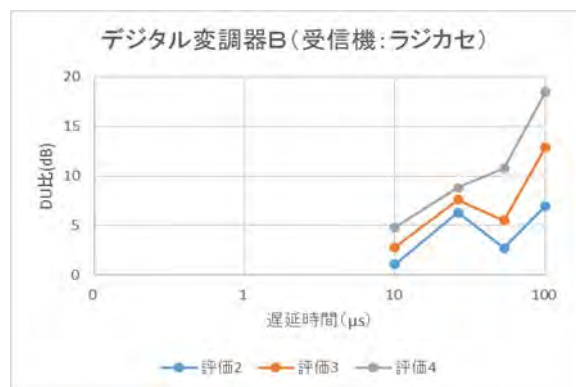


図 3. 2-17(b) デジタル変調器 B の同期評価テーブル (受信機 : ラジカセ)

遅延 時間差 (μ s)	DU 比(dB)		
	主観 評価 2	主観 評価 3	主観 評価 4
0	-	0.3	1.7
1	-	0.7	1.9
5	1.1	2.6	4.4
10	2.0	4.6	7.6
26.3	9.5	11.8	13.8
53	5.0	7.6	10.7
100	8.3	13.5	-

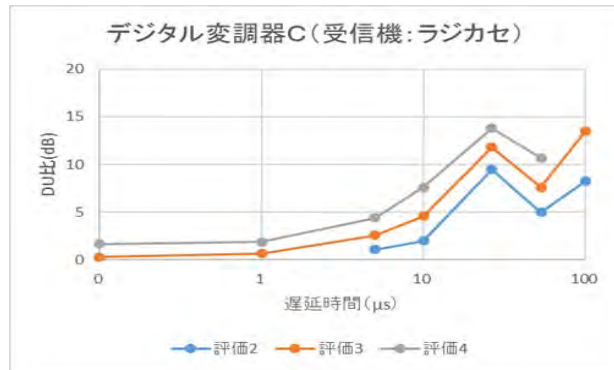


図 3.2-17(c) デジタル変調器Cの同期評価テーブル (受信機:ラジカセ)

FM 同期放送を運用する際、各放送所の出力タイミングを合わせられることを前提とすると、同期関係になる2波の干渉検討が必要なエリアは遅延時間差 100 μ s(直線距離差約 30km)以内に収まるものと考えられる。そのため今年度の試験では検討する範囲を遅延時間差 100 μ sとして行った。しかし主観評価試験実施後、構成員より万が一遅延時間差が更に大きくなった場合について確認が必要との指摘があったため、事務局 5 名にて昨年度取得した音源を使用し、遅延時間差 1000 μ s までの範囲について主観評価試験を実施した。なお諸元については図 3.2-17(a)と同等のもので実施した。結果を図 3.2-18 に示す。遅延時間差が大きくなるにつれ、DU 比も必要となってくるが、主幹評価 4 に必要な DU 比は電波法関係審査基準の同一周波数の混信保護比 36dB 以内に収まることを確認した。

遅延 時間差 (μ s)	DU 比(dB)		
	主観 評価 2	主観 評価 3	主観 評価 4
0	-	-	-
1	-	-	-
3			0.5
5		0	4
10		3.3	7
15	3.4	6.1	9.2
26.3	5.3	10	14.6
35	5.7	8.7	13.5
53	2.5	7.5	13.5
100	5.8	12.8	17.5
200	9.7	18.8	25
500	14	23.8	30
1000	12	21.8	28.6

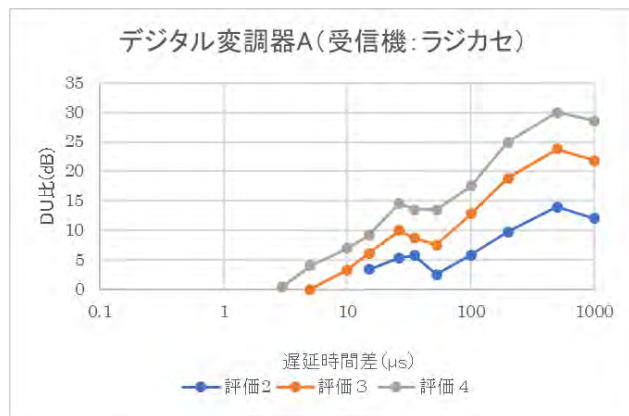


図 3.2-18 遅延時間差 1000 μ s までの同期評価テーブル

(2) 客観評価値の提案について

図 3.2-15 に SINAD に対する最も低い主観評価のライン(赤線)を引いたものを図 3.2-19 として示す。

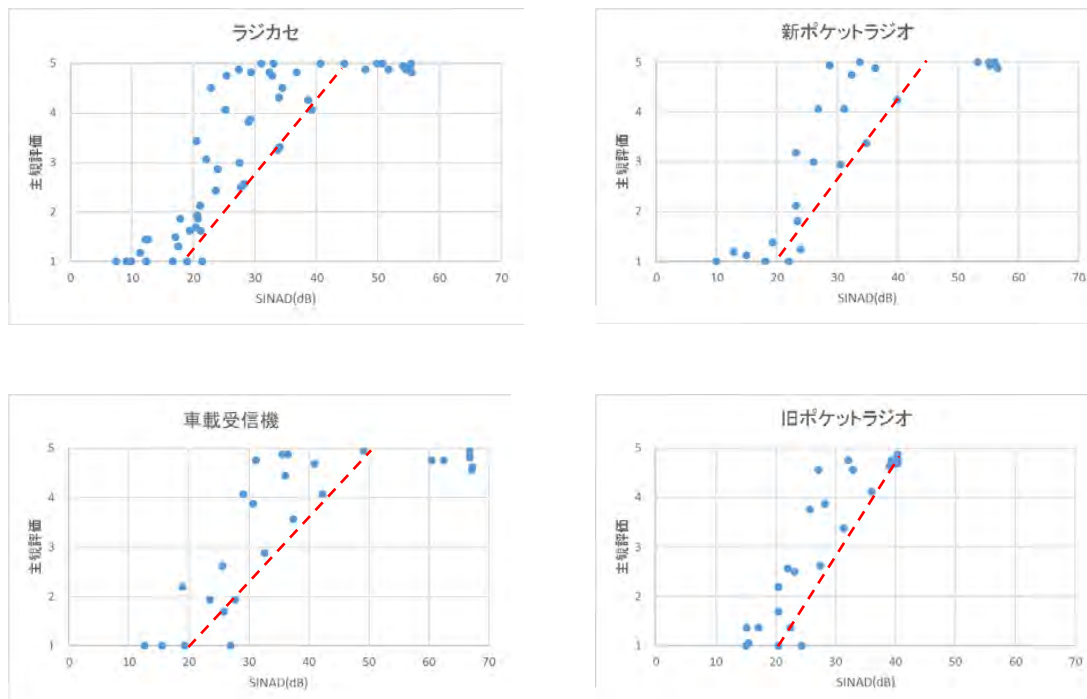


図 3.2-19 SINAD と主観評価

受信機により若干の違いはあるが、今回試験を行った4つの受信機について SINAD と主観評価の関係については、概ね以下のような結果が得られた。

表 3.2-19 SINAD と主観評価試験

SINAD(dB)	主観評価
20 以下	1
20 以上	1以上
30 以上	3 以上
40 以上	4 以上
50 以上	5

主観評価 3 以上を良好な受信エリアと想定した場合、表 3.2-19 より SINAD 値が 30dB 以上取れていれば良好なエリアとしてみなすことができるものとする。また SINAD 値が 20dB 以下であれば受信エリアとはみなせないものとなる。

ただし、SINAD 値が 20~30dB となった場合、主観評価は 2~5 まで変化があり、客観的な評価値と受信者の主観評価とは一致しない範囲となる。この範囲については客観評価からエリアの受信状況を判断することは難しいものとする。

3. 3 屋外試験

3. 3. 1 机上検討

同期放送の送信規模による、等電界エリア分布および遅延調整の違いについて検討したモデルを図 3. 3-1 に示す。

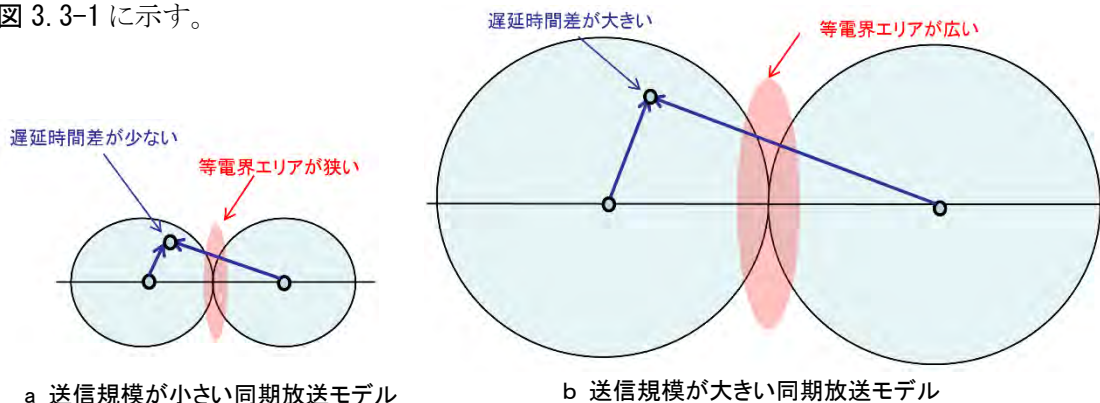


図 3. 3-1 検討モデル

送信規模が小さい同期放送の場合、等電界エリアの面積も小さく、かつ、エリア内の遅延時間差ができてくいため、比較的容易に同期放送システムを構築しやすい。一方、送信規模が大きい同期放送の場合、等電界エリアの面積も広くなり、エリア内の遅延時間差も大きくなるため、高精度な同期放送システムの管理が必要になると考えられる。

3. 3. 2 屋外試験の概要

同期放送を実フィールドで実現するに当たっての諸条件を明らかにするため、昨年度と同様の地域(長野県及び福島県)において同期放送試験環境を構築し、同期干渉領域における受信機の音声主観評価及び信号劣化について検証を行い、室内試験による試験結果との比較検証を行った。

また、走行測定による面的な調査及びFM同期放送におけるFM多重放送を実施した場合の受信機の動作確認や音声放送への影響などについての調査を行った。

(1) 屋外試験の進め方

屋外試験については、以下の進め方で実施した。

①同期放送システムの設計

実際の同期放送の構築を想定した同期放送システムを設計。

②同期放送システムの構築及び同期調整

①の設計に基づいて同期放送システムを構築し、同期調整ポイントにおいて遅延差が0 μ sになるように同期調整する。

③同期フィールドでの屋外試験

②で構築した同期フィールドにおいて、測定ポイント調査及び走行調査を行う。

(1) 各実験フィールドの特徴

各実験エリアの世帯数分布を図 3.3-2 に、地形標高図を図 3.3-3 に示す。各実験フィールドの世帯数分布では福島県は長野県に比べて世帯数が多いエリアで、また地形的には福島県は盆地の地形で、長野県は山脈に囲まれた谷筋に位置していることが分かる。

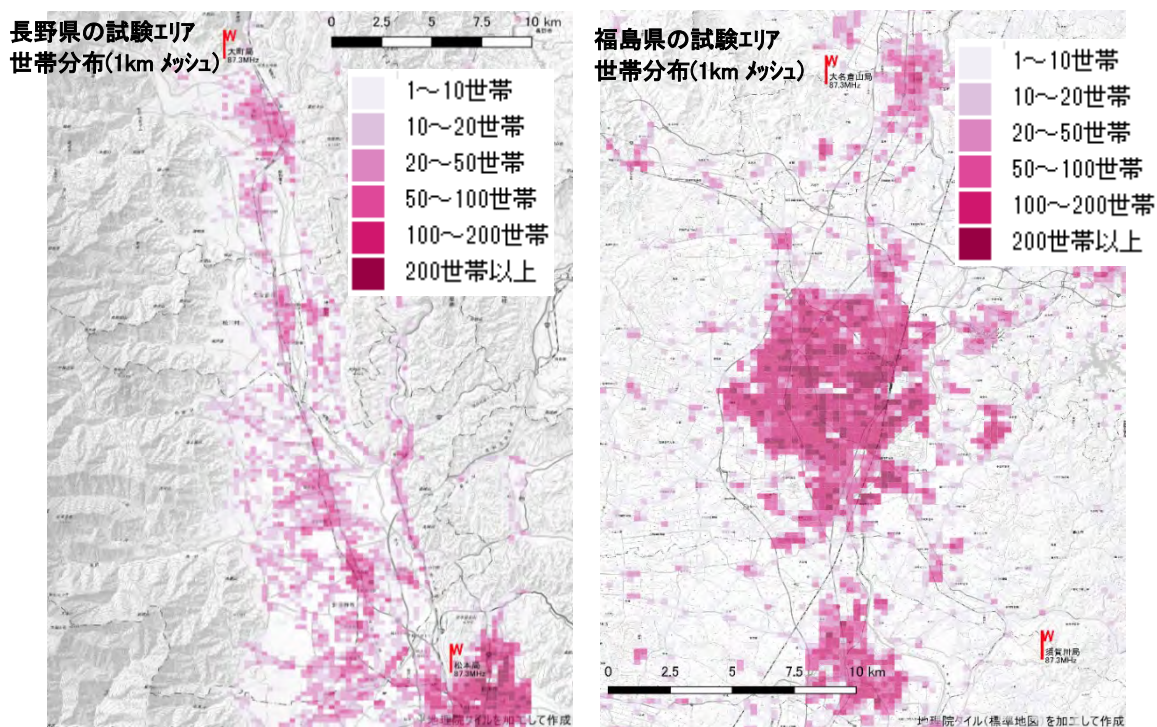


図 3.3-2 長野県および福島県での屋外試験エリアの世帯数分布の違い

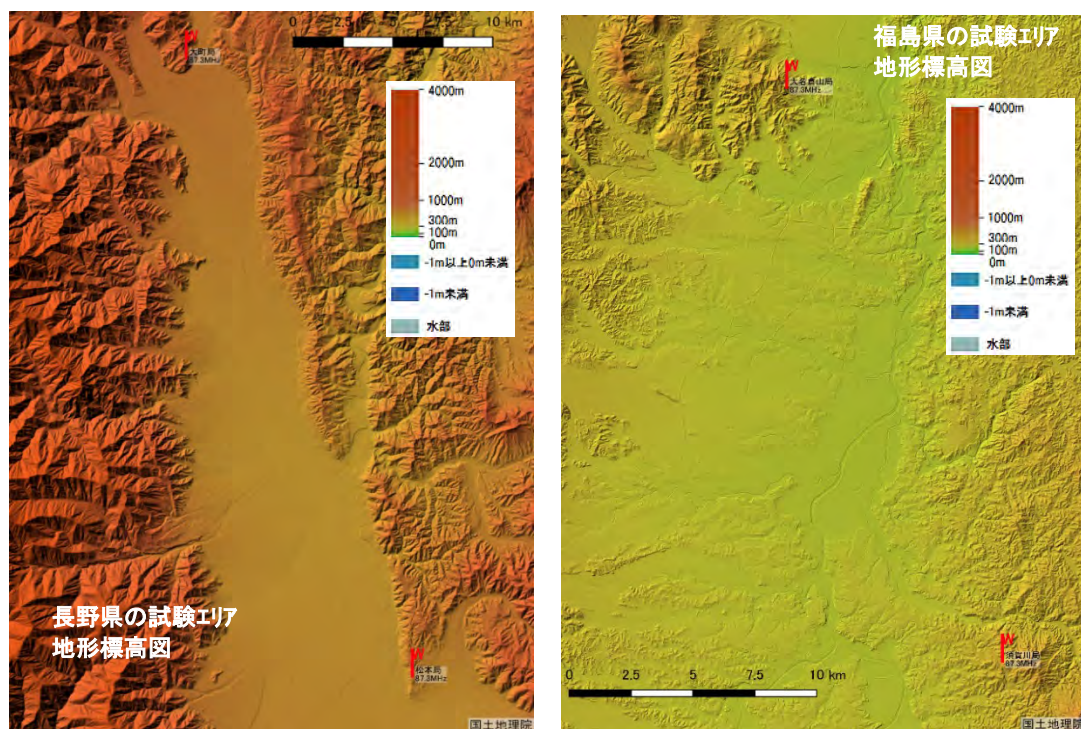


図 3.3-3 長野県および福島県での地形標高図

(1) 同期放送システムの設計

1) 長野県での実験試験局の同期放送設計

試験を実施する放送エリア(大町市、安曇野市、池田町、松川村)の法定電界強度(表 3.3-6)を必要最小電力でカバーするように電界シミュレータを使用して置局検討したところ、各局 10W で送信することにより放送エリアを効率的にカバー可能であることが分かった。(図 3.3-4) エリア内の DU 比分布(図 3.3-4)を確認したところ、等電界エリアが各送信所を結ぶ方向に広がっていることが分かった。そのため等電界エリアの中でも世帯数が多い穂高駅付近(親水公園)を遅延時間差=0 μ s 調整ポイントとした。

各送信所の遅延時間については、遅延時間差調整ポイントと各送信所との距離が、

$$d1 = \text{大町局と遅延調整ポイントとの距離} : 22.484\text{km}$$

$$d2 = \text{松本局と遅延調整ポイントとの距離} : 12.097\text{km} \quad \text{であることから、}$$

$$\text{遅延時間差} \Delta t = 10.387\text{km} \div 299792\text{km/s (光速)} \div 34.6\mu\text{s}$$

となるため、松本局の遅延時間を大町局に比べて 34.6 μ s 遅らせた。

長野県の実験試験局の送信諸元を表 3.3-5 に、屋外試験エリアの法定電界強度を表 3.3-6 に示す。

表 3.3-5 長野県の実験試験局の送信諸元 (最適設計時)

送信所	諸元
松本局	場所:松本市蟻ヶ崎 鳥井山 位置:東経 137 度 57 分 18 秒、北緯 36 度 15 分 13 秒 空中線電力:10W、送信方向:TN330° 送信海拔高:標高 737m + 送信地上高 10m
大町局	場所:大町市平 小熊山 位置:東経 137 度 50 分 03 秒、北緯 36 度 29 分 39 秒 空中線電力:10W、送信方向:TN165° 送信海拔高:標高 1097m + 送信地上高 10m
遅延調整	大町局に対して松本局を 34.6 μ s 遅延させる

表 3.3-6 長野県の屋外試験エリアの法定電界強度

市町村	大町市	安曇野市	池田町	松川村
法定電界強度	1mV/m	0.25mV/m	0.25mV/m	0.25mV/m

長野県の試験エリアの電界強度分布のシミュレーション結果を図 3.3-4 に示す。

長野県の試験エリアのシミュレーションによる DU 比分布を図 3.3-5 に、遅延時間差分布を図 3.3-6 に示す。

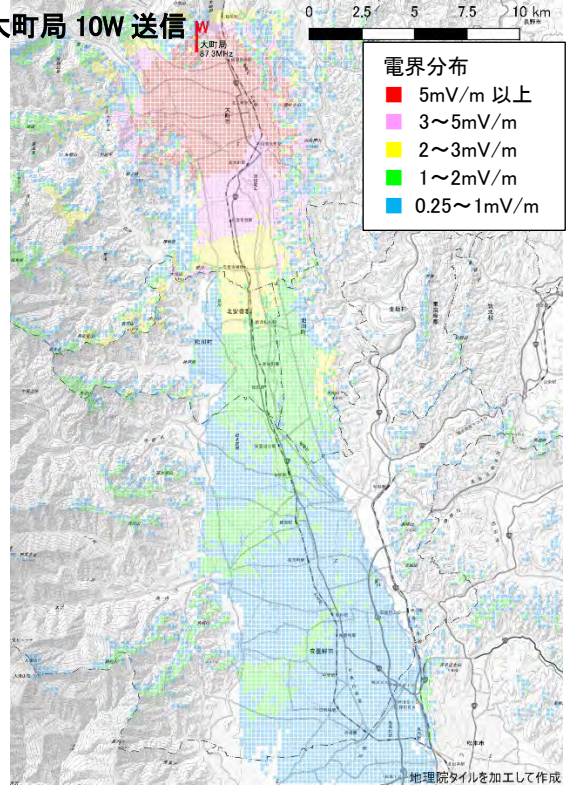
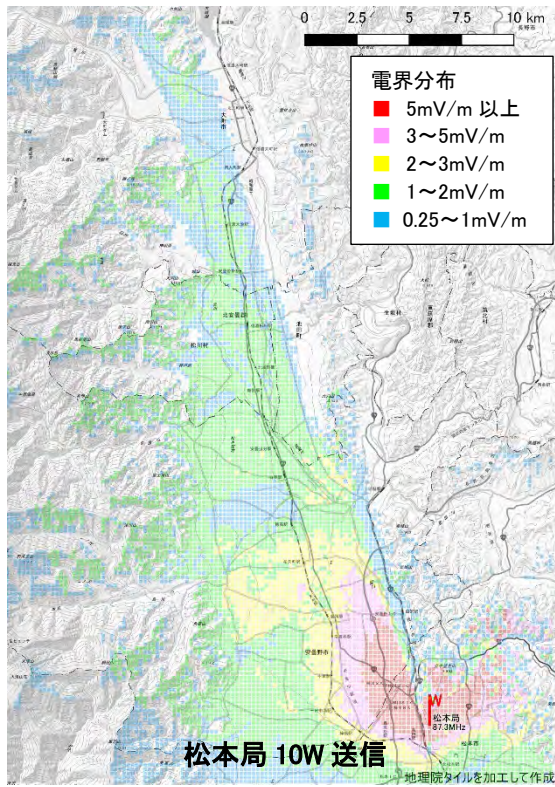


図 3.3-4 単独で送信した場合の電界強度分布

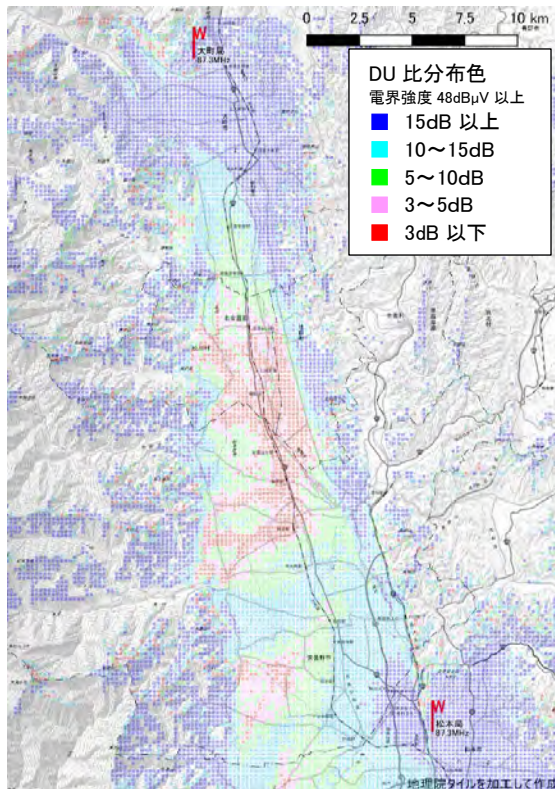


図 3.3-5 DU 比分布

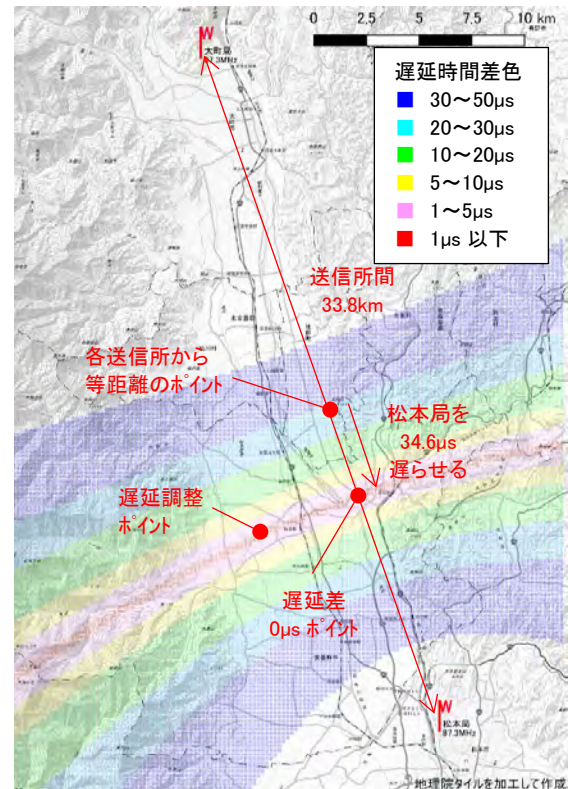


図 3.3-6 遅延時間差分布

2) 福島県での実験試験局の同期放送設計

試験を実施する郡山市の法定電界強度(2mV/m=66dB μ V/m)を必要最小電力でカバーするように電界シミュレータを使用して置局検討したところ、各送信所から 20W で送信することにより、放送エリアを効率的にカバー可能であることが分かった。(図 3.3-7)

エリア内の DU 比分布(図 3.3-8)を確認したところ、等電界エリアが郡山市の市街地に広がっていることが分かった。そのため、遅延時間差を 0 μ s にして受信改善するポイントを市街地中心部(NHK 郡山支局付近)に設定した。

なお、遅延時間差調整ポイントと各送信所との距離が、

d1=須賀川局と遅延調整ポイントとの距離:13.2km

d2=大名倉局と遅延調整ポイントとの距離:13.2km

と各送信所との距離が同じことから、各送信所の遅延時間差は 0 μ s とした。

福島県の実験試験局の送信諸元を表 3.3-7 に、屋外試験エリアの法定電界強度を表 3.3-8 に示す。

表 3.3-7 福島県の実験試験局の送信諸元 (最適設計時)

送信所	諸元
須賀川局	場所:須賀川市塩田 市民の森 位置:東経 140 度 27 分 27 秒、北緯 37 度 17 分 49 秒 空中線電力:20W、送信方向:TN340° 送信海拔高:標高 408m + 送信地上高 10m
大名倉局	場所:本宮市青田 大名倉山 位置:東経 140 度 21 分 33 秒、北緯 37 度 30 分 47 秒 空中線電力:20W、送信方向:TN160° 送信海拔高:標高 426m + 送信地上高 10m
遅延調整	大名倉局に対して須賀川局を 0 μ s 遅延させる

表 3.3-8 福島県の屋外試験エリアの法定電界強度

市町村	郡山市	須賀川市	本宮町
法定電界強度	2mV/m	1mV/m	0.25mV/m

福島県の試験エリアの電界強度分布シミュレーション結果を図 3.3-7 に示す。

福島県の試験エリアのシミュレーションによる DU 比分布を図 3.3-8 に、遅延時間差分布を図 3.3-9 に示す。

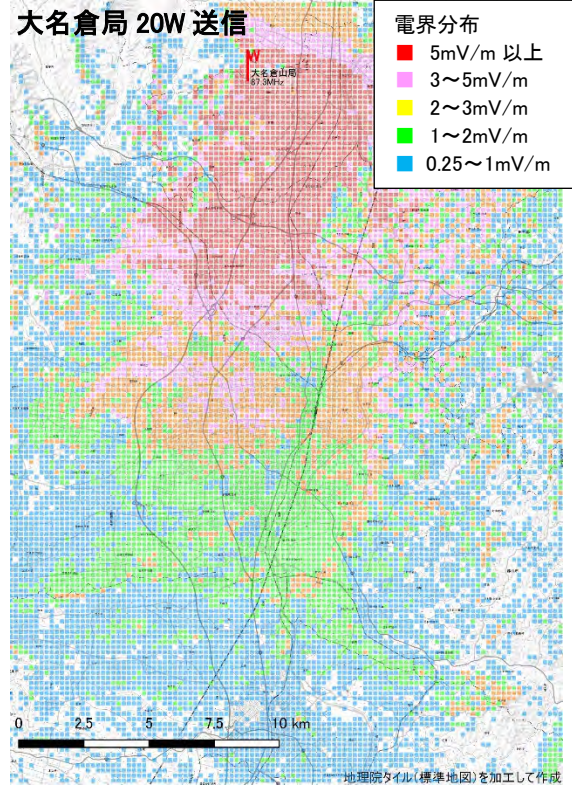
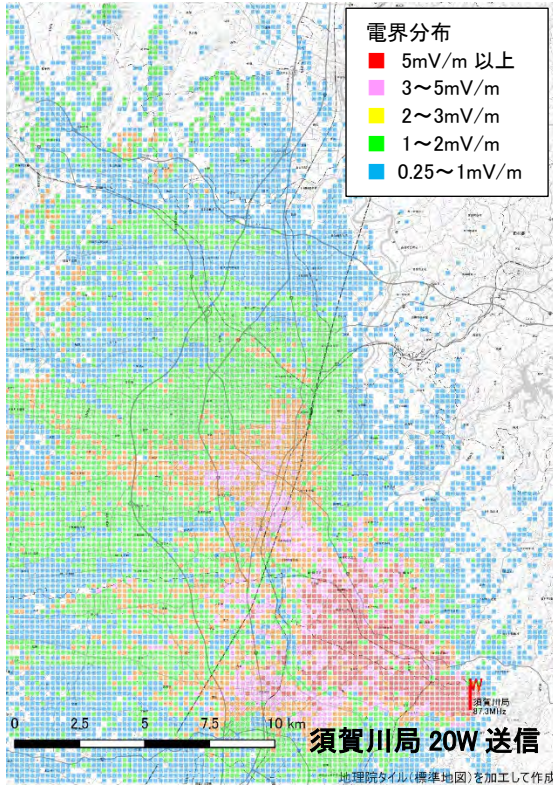


図 3.3-7 単独で送信した場合の電界強度分布

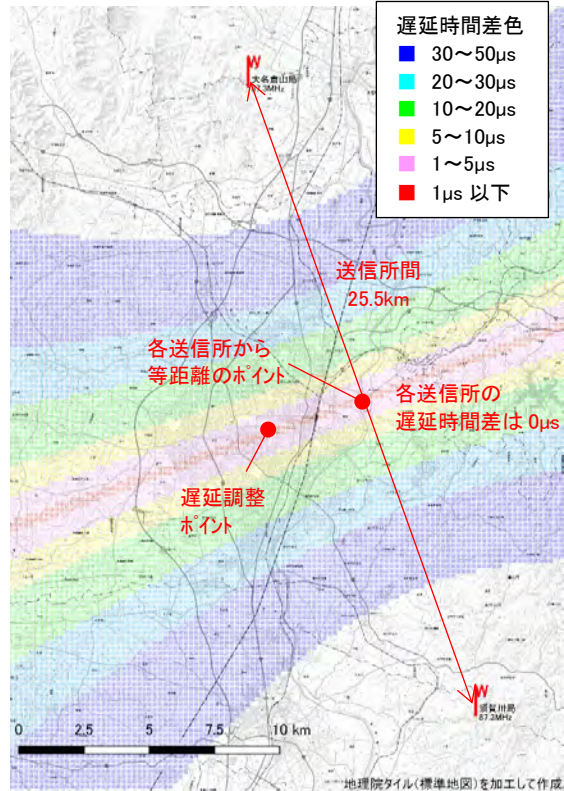
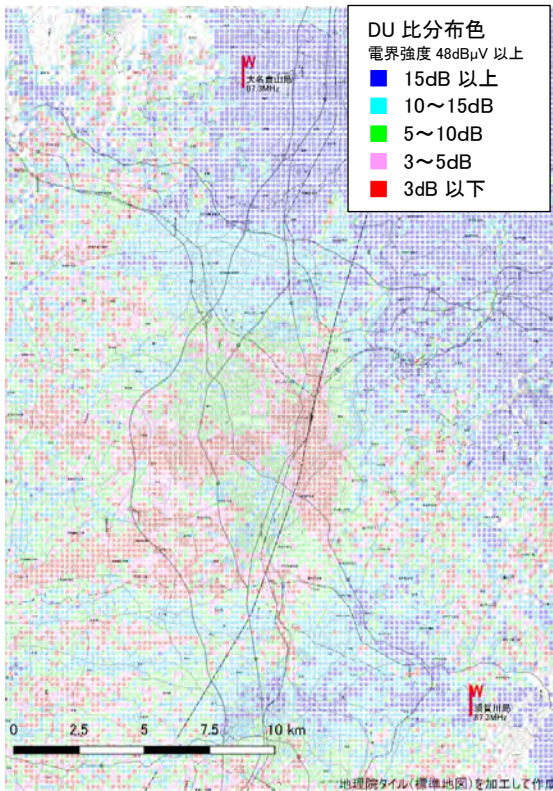


図 3.3-8 DU 比分布

図 3.3-9 遅延時間差分布

(2) 実験試験局の概要

1) 実験試験局システム構成

長野県の屋外試験システム構成を図 3.3-10 に、福島県での屋外試験のシステム構成を図 3.3-11 に示す。

① 長野県の屋外試験システム構成

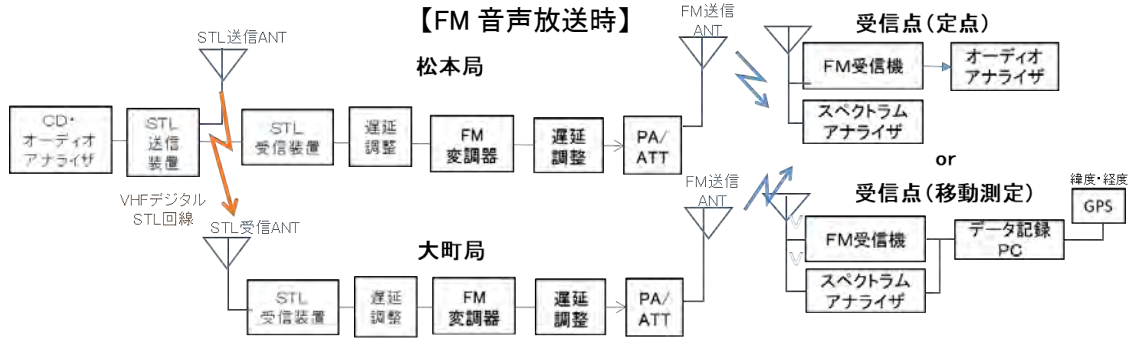


図 3.3-10 長野県での屋外試験システム図

② 福島県の屋外試験システム構成

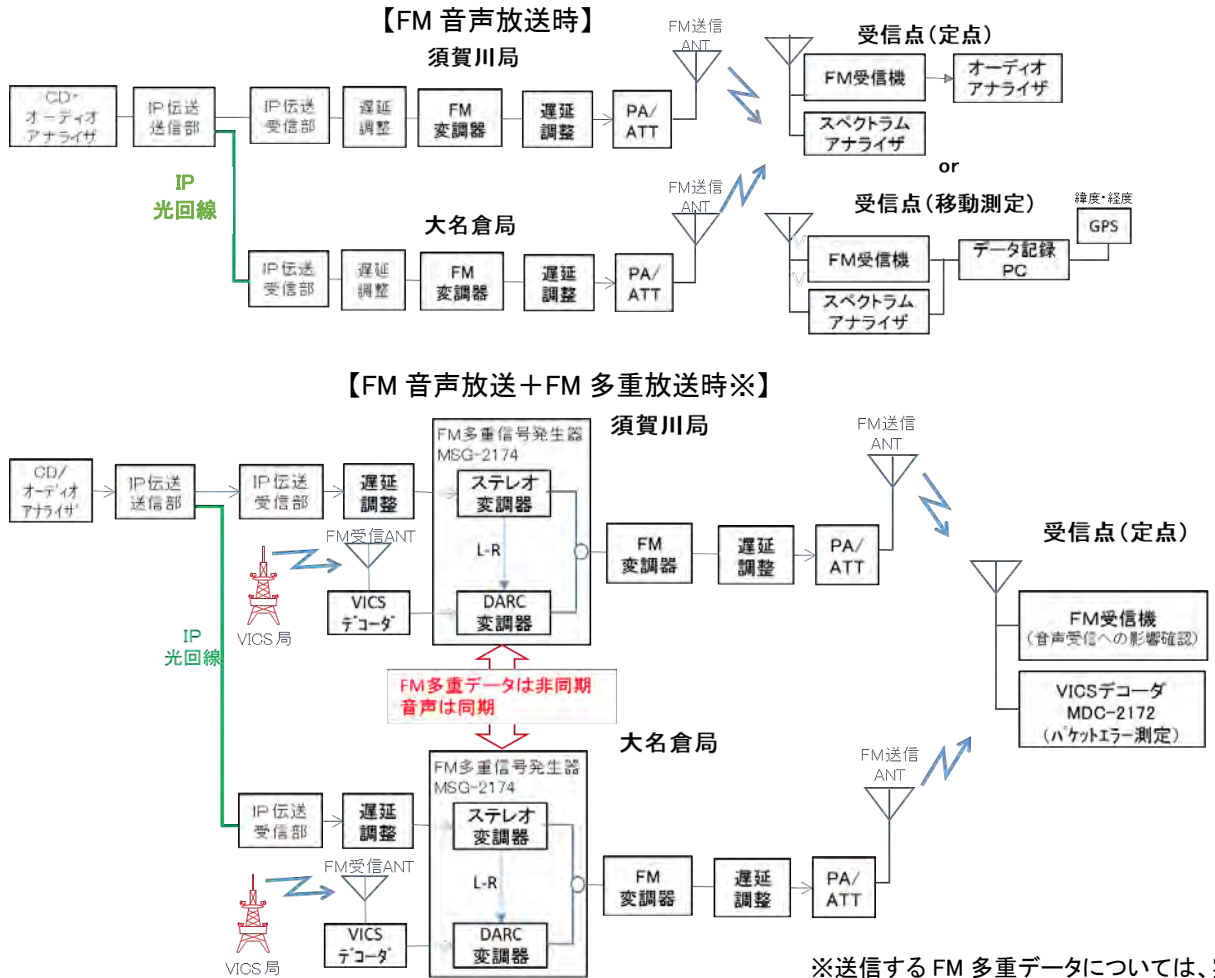


図 3.3-11 福島県での屋外試験システム図

※送信するFM多重データについては、実験エリアの一般受信者への影響を考慮して、現地で放送されているVICSデータを受信し、再送信する方法を採用した。

2) 実験試験局送信諸元

長野県および福島県の実験試験局の送信諸元を表 3.3-9 に、実験に用いた 4 素子 FM 送信アンテナの姿図、送信水平指向性および垂直指向性を図 3.3-12 に示す。

表 3.3-9 実験試験局の送信諸元

送信周波数	空中線電力	電波型式等	送信空中線
87.3MHz	100W (試験内容により減力送信を行う)	200k F3E 200k F8E 200k F9W	4 素子八木空中線 ・利得 7.64dBi ・偏波 垂直/水平

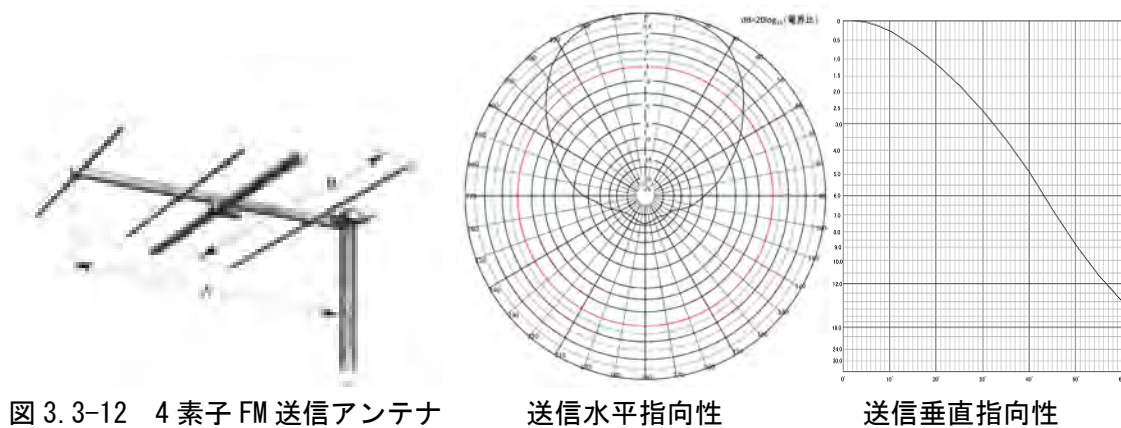


図 3.3-12 4 素子 FM 送信アンテナ

送信水平指向性

送信垂直指向性

3) 測定機材

屋外試験で使用した主な測定機材を表 3.3-10~12 に示す。

表 3.3-10 送信所機材

名称	メーカー	型式	台数	備考
送信アンテナ	KATHREIN	K 52 40 1..	2	4 素子八木アンテナ
CD プレイヤー	DENON	DN-700C	1	送信所1用
オーディオアナライザ	KEYSIGHT	U8903A	1	送信所1用
トーンバースト SG	日本通信機	5949T	1	送信所1用
スペクトラムアナライザ	アンリツ	MS8911B	1	送信所1用
スペクトラムアナライザ	アジレント	N9320B	1	送信所2用
DARC デコーダ	計測技術研究所	MDC-2176	2	VICS 信号再送信用
FM 多重信号発生器	計測技術研究所	MSG-2174	2	VICS 信号再送信用
FM 受信アンテナ	日本アンテナ	AF-4	2	VICS 信号受信用

表 3.3-11 定点測定用機材

名称	メーカー	型式	台数	備考
受信アンテナ(ターンスタイル)	日本アンテナ	製作品	1	水平偏波、水平無指向
スペクトラムアナライザ	アンリツ	MS8911B	1	
評価用受信機(3機種)		ラジカセ	1	
		ポケットラジオ	1	
		車載受信機	1	
音声録音機	ZOOM	R24	1	音声記録用
スピーカー	AKAI	RPM3	1	音声品質確認用
GPS アンテナ	古野電気	GPA-017S	1	遅延時間確認用
1pps 基準信号発生器	日本通信機	3277A	1	遅延時間確認用
デジタルオシロスコープ	ローデシュワルツ	RTH1004	1	遅延時間確認用
オーディオアナライザ	オーディオプレジジョン	ATS-1DD	1	SINAD 確認用
VICS デコーダ	計測技術研究所	MDC-2172	1	音声多重 PER 確認用
リアルタイムスペアナ	テクトロニクス	RSA5100B	1	FM 復調機能 option 付き
メジャリングレシーバ	アンリツ	ML524B	1	電界強度測定用
標準ダイポール	アンリツ	MP534	1	電界強度測定用

表 3.3-12 走行測定用機材

名称	メーカー	型式	台数	備考
スペアナ用ホイップアンテナ	uxcell	FM ラジオアンテナ	1	垂直偏波・電界測定用
受信機用ホイップアンテナ	Diamond	AZ510FX	1	垂直偏波 SINAD・録音用
評価用受信機		車載受信機	2	SINAD 測定用、録音用
スペクトラムアナライザ	RIGOL	DSA815	1	電界強度測定用
オーディオアナライザ	KEYSIGHT	U8903B	1	SINAD 測定用
測定用 PC	Panasonic	Let's Note	1	データ自動記録用
GPS アンテナ	GLOBALSAT	G-STARIV	1	緯度経度測定用

(3) 測定方法

1) 測定ポイントでの測定

① 測定ポイントでの主観評価、SINAD 測定

測定ポイントにおいて、標準受信機を想定したラジカセにターンスタイルアンテナを接続し、主観評価及び SINAD を測定した。

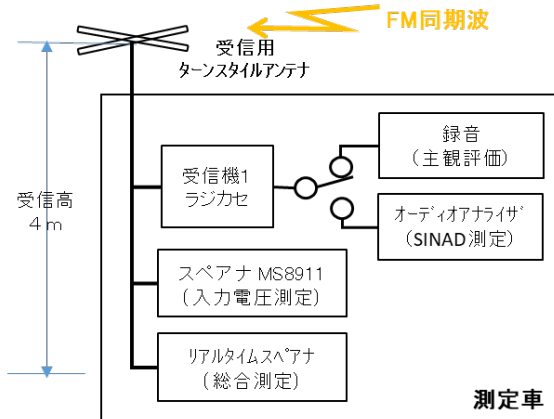


図 3.3-17 主観評価、SINAD 測定時の測定系統



図 3.3-18 測定車の全景



図 3.3-19 車内の測定機器類

② 受信機入力電圧及び DU 比測定

周波数を片方の局のみ+1kHz オフセットさせた CW 波をそれぞれの局から送信し、2 局からの信号の電界強度、受信機への入力電圧及び DU 比を測定した。

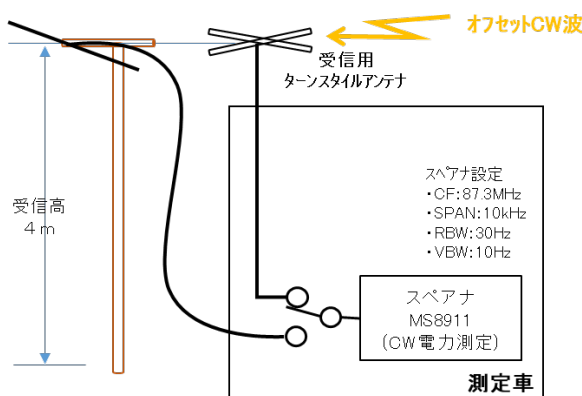


図 3.3-20 受信機入力電圧及び DU 比測定時の測定系統

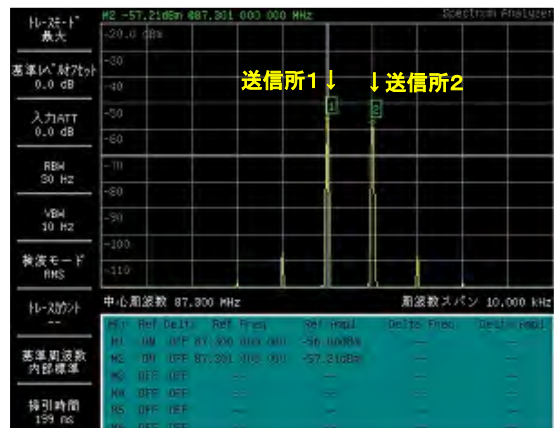


図 3.3-21 オフセット CW 送信による DU 比測定時のスペクトラム波形

2) 受信形態による主観評価

各測定ポイントでラジカセ及びポケットラジオを使用し、実際の受信形態を想定した主観評価を行った。

ラジカセの評価については、平成10年度電気通信技術審議会答申のFM放送評価用に準拠した受信機及び受信形態(受信機一体型の空中線、屋外地上高2m)により評価した。ポケットラジオの評価については、測定ポイントの周辺を歩行し、イヤホンアンテナによる主観評価を行った。なお、ポケットラジオは手に持ちイヤホンアンテナを垂らした状態で評価した。



図 3.3-22 ラジカセ及びポケットラジオによる主観評価風景

3) 走行測定による面的調査

① 走行測定による SINAD 分布測定

FM 同期放送時に、GPS により位置情報を取得しながら、SINAD 分布を測定した。

② 走行測定による電界強度及び DU 比測定

周波数を片方の局のみ+1kHz オフセットした CW 波を送信し、2 局からの信号の電界強度及び DU 比分布を測定した。

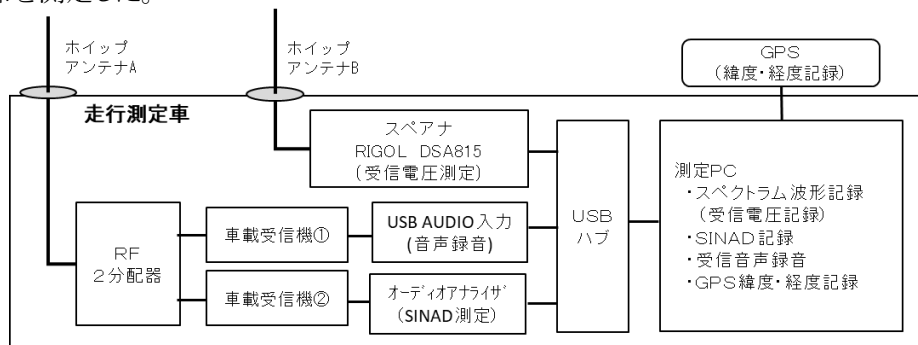


図 3.3-23 走行測定系統図



図 3.3-24 走行測定車受信アンテナ

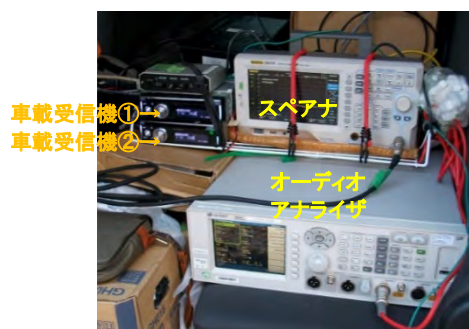


図 3.3-25 走行測定用機器

(4) DU 比及び遅延時間差の測定方法について

同期放送ネットワークが設計通り構築できているか、実フィールドにおいて DU 比および遅延時間差を確認することは重要である。ここでは、本調査検討の屋外試験で実施した DU 比および遅延時間差の測定方法について紹介する。

1) DU 比の測定例¹

送信所1と送信所2から CW 波を送信して DU 比を確認する場合、周波数が同一の場合は 2 波を区別できないが、周波数をオフセットすることにより、同時に 2 波の DU 比を測定することが可能である。ただし、周波数をオフセットさせる範囲は法令(無線設備規則 別表第 1 号)で定められている 20 百万分率(20ppm)以内とする。スペクトラムアナライザによる測定イメージを図 3.3-26 に示す。

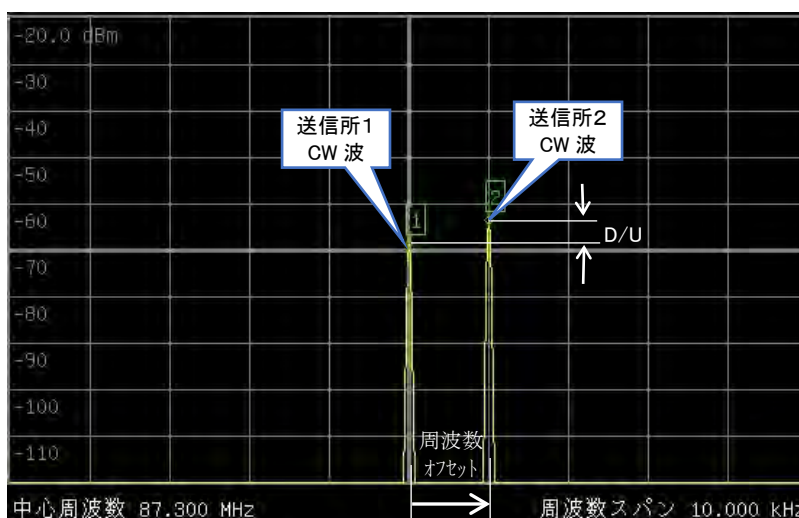


図 3.3-26 オフセット CW 波による同期局間の D/U 測定例

2) 遅延時間差の測定例

2 局の送信所からの放送波に含まれている変調信号の遅延時間を測定し、その差を求めることにより遅延時間差が得られる。

遅延時間の測定にはトーンバースト信号(一定周期のみの正弦波と無音部からなる試験信号)を使用し、送信所では GPS 信号から得られた 1PPS 信号に時刻基準を合わせた信号を送信する。この信号を図 3.3-27(a) に示す。

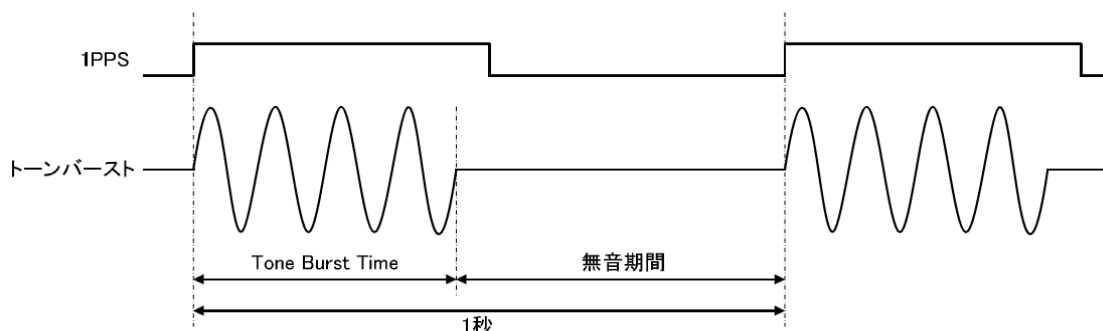


図 3.3-27(a) 送信所から送信するトーンバースト信号波形

¹ この測定法は特許(特許第 6196277)が使用されている。

次に、受信所において送信所1及び送信所2からの受信波から抽出した復調信号トーンバースト信号と受信所で受信した GPS からの 1PPS 信号との間の遅延時間を求め、送信所1と送信所2との遅延時間の差を求めれば遅延時間差となる。

測定の際、指向性アンテナを使用することでマルチパスにより生じる遅延時間の測定誤差を低減できる。遅延時間差の測定の様子を図 3. 3-27 (b) に示す。

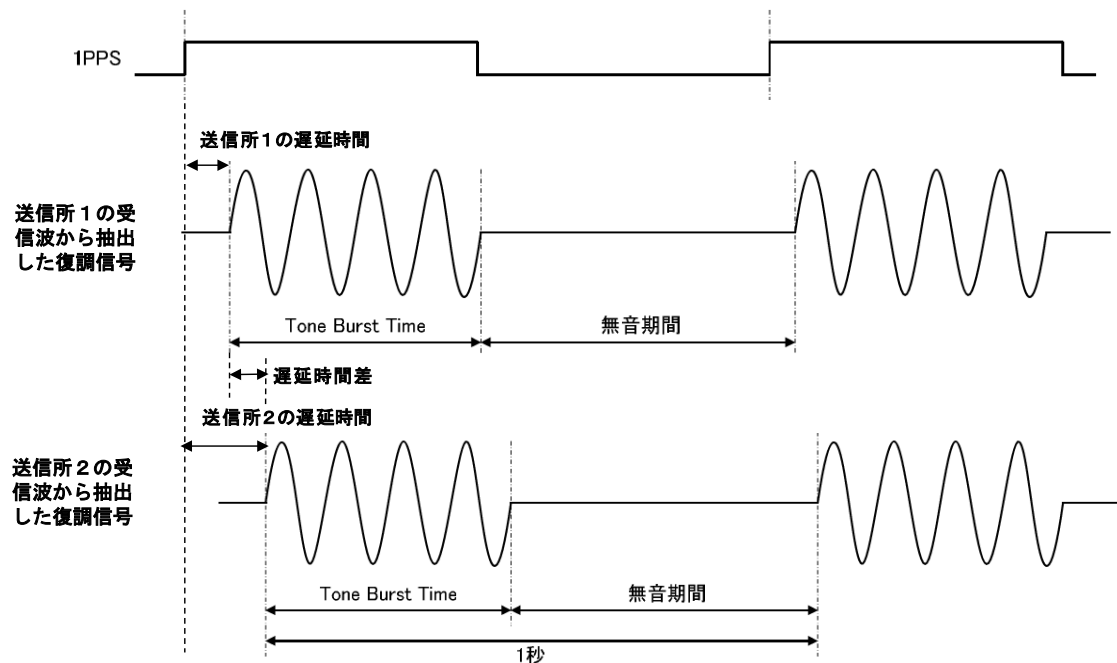


図 3. 3-27 (b) 受信所での遅延時間差の測定

(1) 測定ポイント

長野県での測定ポイントを図 3.3-28 に、福島県での測定ポイントを図 3.3-29 に示す。

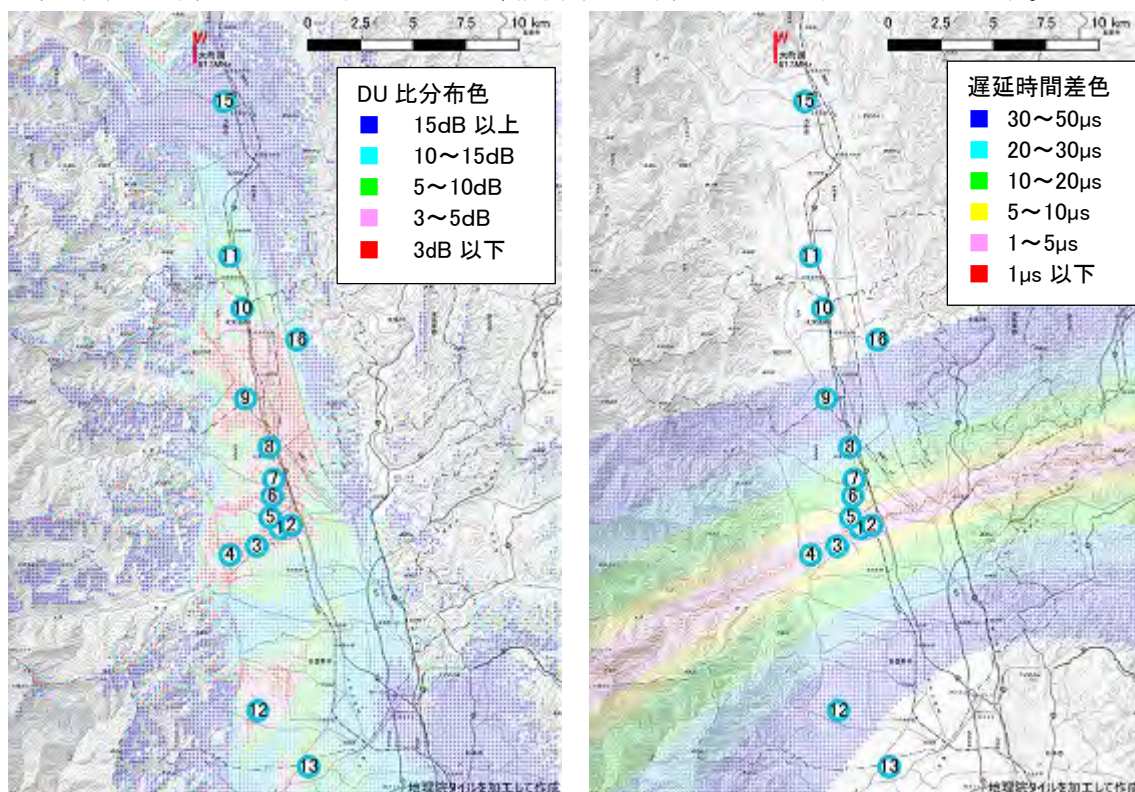


図 3.3-28 長野県の屋外試験測定ポイント（左は計算 DU 比分布、右は遅延時間差分布にプロット）

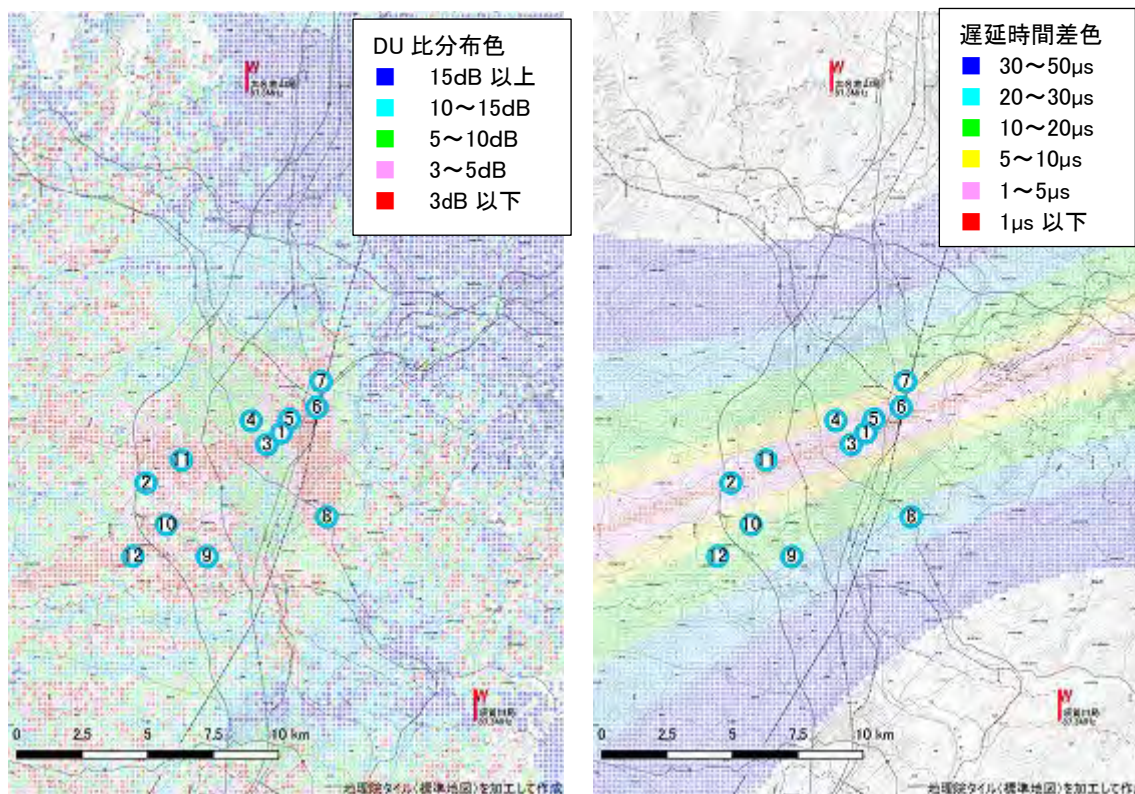


図 3.3-29 福島県の屋外試験測定ポイント（左は計算 DU 比分布、右は遅延時間差分布にプロット）

(2) 測定ポイントでの測定風景

1) 長野県での屋外試験の測定風景 (略)

2) 長野県屋外試験における地形断面図

長野県屋外試験フィールドにおける送信所と測定ポイント間の地形断面図を図 3.3-31 に示す。

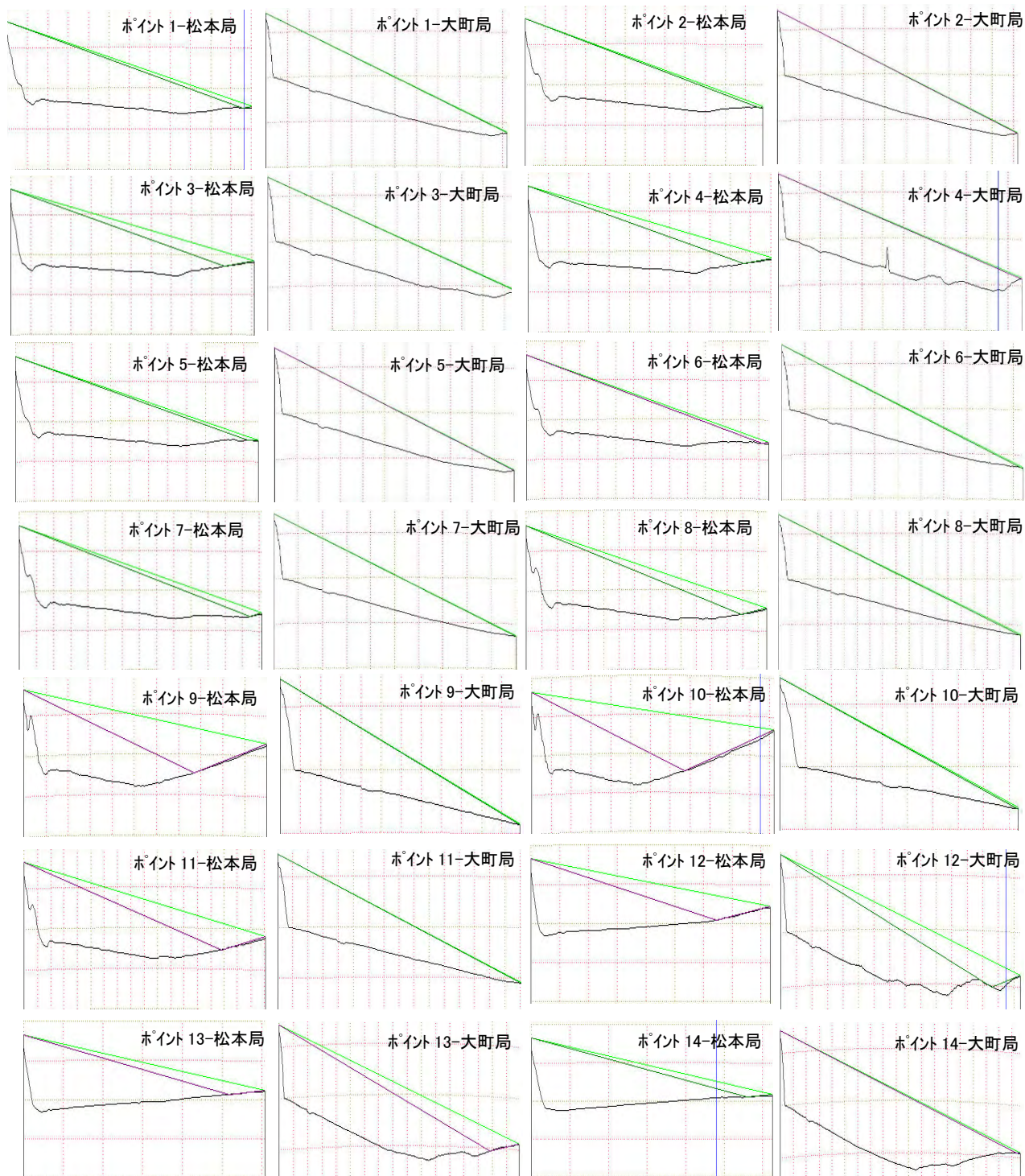


図 3.3-31 長野県屋外試験フィールドにおける送信所と測定ポイント間の地形断面図

3) 福島県での屋外試験測定風景 (略)

4) 福島県屋外試験における地形断面図

福島県屋外試験フィールドにおける送信所と測定ポイント間の地形断面図を図 3.3-33 に示す

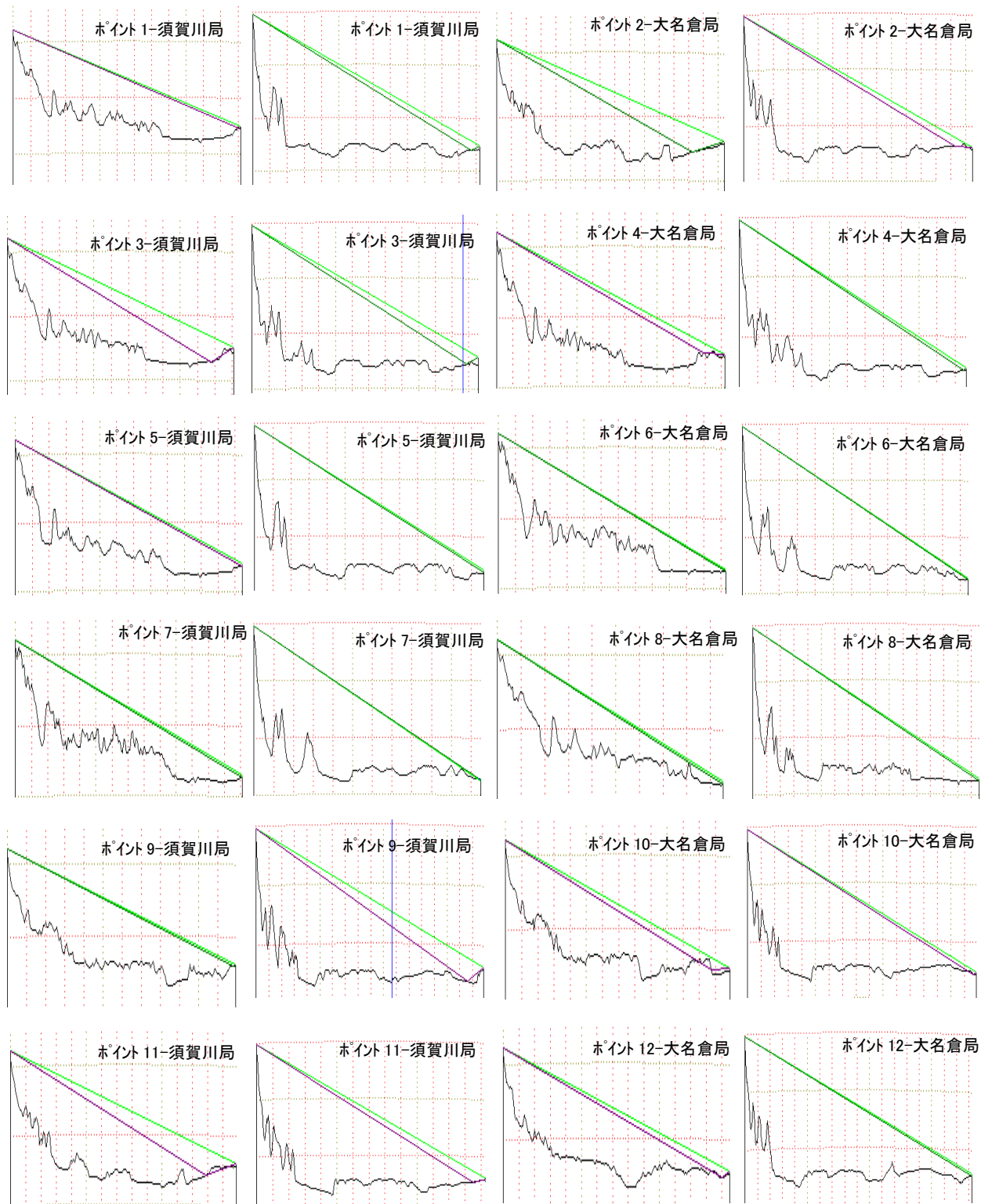


図 3.3-33 福島県屋外試験フィールドにおける送信所と測定ポイント間の地形断面図

3. 3. 3 試験結果

(1) フィールドでの遅延時間差の確認

1) 長野県での屋外試験における確認

① 測定ポイント1（親水公園）での確認

このポイントは、事前の最適設計で遅延時間差を $0\mu\text{s}$ に設定したポイントで、計算では松本局を大町局に対して $34.6\mu\text{s}$ 遅らせることで、遅延時間差が $0\mu\text{s}$ になる。

実際に設計値に従って送信所の遅延調整をし、遅延時間差を確認したところ計算通り $0\mu\text{s}$ であった。

実際に遅延時間差を確認した時のオシロスコープの波形を図 3. 3-34、35 に示す。

なお、このポイントは2つの送信所から地形的に見通しとなっている。

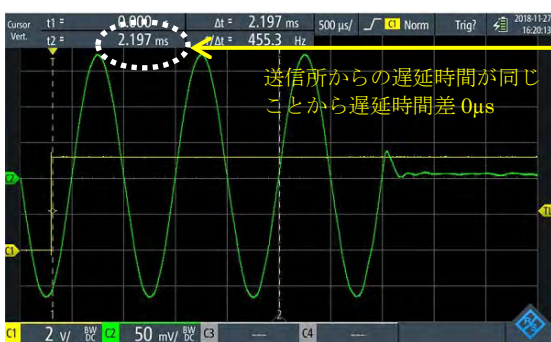


図 3. 3-34 大町局の受信オシロスコープ° 波形

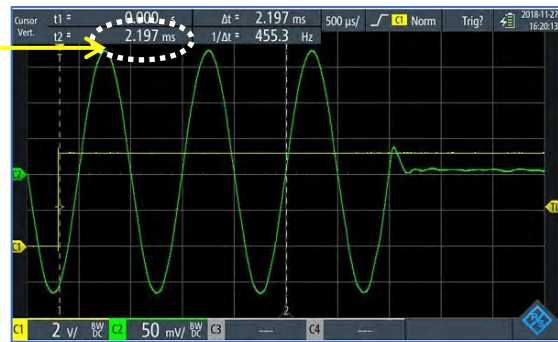


図 3. 3-35 松本局の受信オシロスコープ° 波形

2) 福島県での屋外試験における確認

① 測定ポイント2（郡山免許センター付近）での確認

設計では遅延時間差 $0\mu\text{s}$ となる郡山免許センター付近のポイントで遅延時間差を確認したところ、設計値通りの遅延時間差 $0\mu\text{s}$ であった。

実際に遅延時間差を確認した時のオシロスコープの波形を図 3. 3-36、37 に示す。

なお、このポイントは2つの送信所から地形的に見通しとなっている。



図 3. 3-36 須賀川局の受信オシロスコープ° 波形

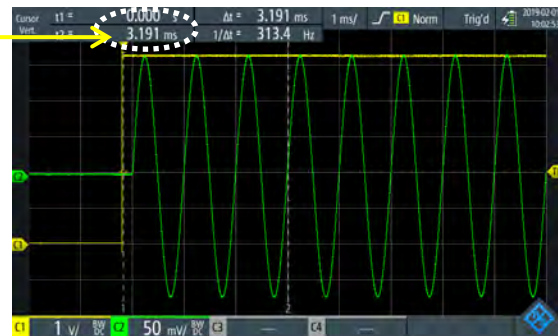


図 3. 3-37 大名倉局の受信オシロスコープ° 波形

② 安積 PA 付近での確認

設計では遅延時間差 $12\mu\text{s}$ となる安積 PA 付近のポイントで遅延時間差を確認したところ、設計通りの遅延時間差であることが確認された。

実際に遅延時間差を確認した時のオシロスコープの波形を図 3.3-38、399 に示す。

なお、このポイントは 2 つの送信所から地形的に見通しとなっている。

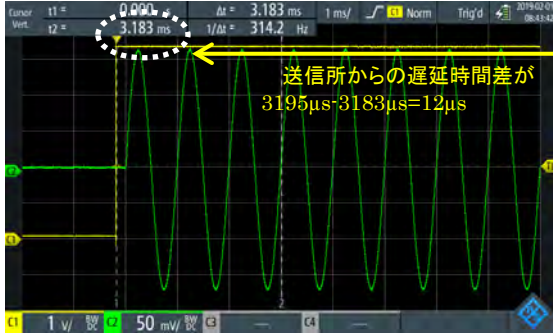


図 3.3-38 須賀川局の受信オシロスコープ° 波形

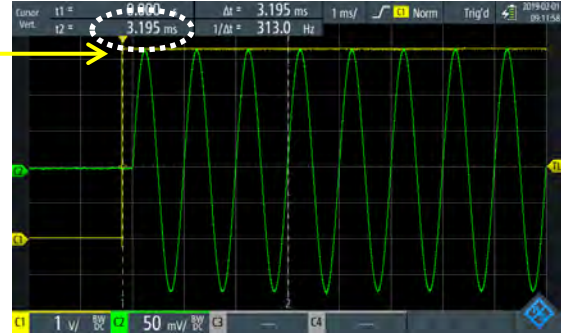


図 3.3-39 大名倉局の受信オシロスコープ° 波形

③ NHK 郡山支局付近での確認

設計では遅延時間差を $0\mu\text{s}$ に調整する NHK 郡山支局付近で遅延時間差を測定したところ、数 m の移動で遅延時間差が数 μs 程度の範囲で変動し安定しなかった。

実際に遅延時間差を確認した時のオシロスコープの波形を図 3.3-40、41 に示す。この時に測定した遅延時間差は $3\mu\text{s}$ であった。

遅延時間差が安定しない原因として、周囲に建物が多い市街地で周辺建造物の近接マルチパスによるものと考えられる。

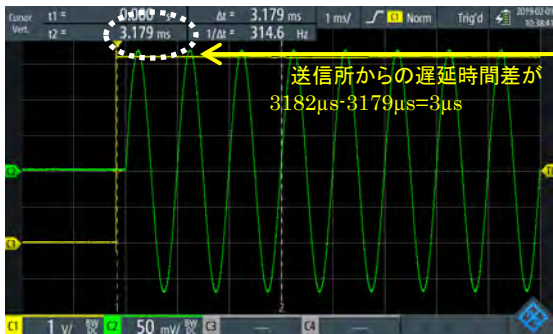


図 3.3-40 須賀川局の受信オシロスコープ° 波形

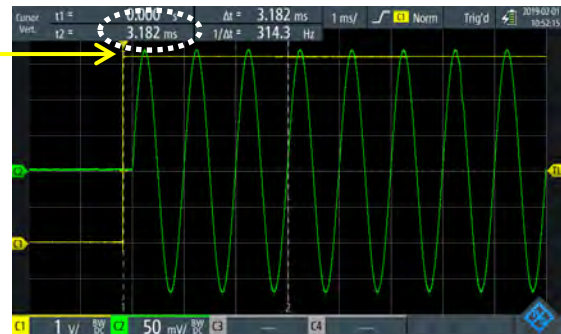


図 3.3-41 大名倉局の受信オシロスコープ° 波形

(2) 測定ポイント及び走行測定による調査

1) 測定ポイントでの測定結果

① 長野県での測定ポイント測定結果

長野県の実験フィールドでの測定結果を表 3.3-13a に示す。

送信条件

- ・空中線電力:松本局 10W、大町局 10W
- ・搬送波周波数差:0.2Hz 以内、最大周波数偏差:1Hz 以内(精密同期)
- ・遅延調整ポイント:穂高駅周辺(穂高親水公園)

表 3.3-13a 長野県の屋外試験で実施した各測定ポイントの測定結果

測定ポイント	測定場所	測定受信電圧 (dBμV)			電界強度 (dBμV/m)		遅延時間差 (μs)	主観評価 ラジカセ	SINAD(dB)	
		松本	大町	DU 比	松本	大町			L	R
1	穂高親水公園	44.6	43.4	1.2	54.9	53.3	0	4	44.2	40.8
							(34.6)	2	18.7	18.4
2	穂高磯山公園	37.3	47.0	9.7	50.0	54.4	0.5	5	42.4	39.6
3	穂高大橋南交差点付近	32.7	37.4	4.7	47.7	50.1	1.9	3	30.1	26.6
4	安曇野市穂高牧	43.1	43.4	0.3	57.0	53.7	0.8	4	39.0	34.7
5	穂高西中学校付近	39.3	40.7	1.4	52.9	54.9	4.3	4	35.8	31.5
6	大塚神社付近	39.8	41.0	1.2	49.9	54.9	10.1	2	12.7	12.2
7	穂高北小学校付近	37.2	38.2	1.0	53.2	51.9	14.8	2	11.8	12.4
8	市営追分団地付近	43.5	40.7	2.8	54.3	53.9	24.5	2	13.5	6.9
9	細野橋西交差点	42.9	45.2	2.2	54.6	57.3	41.3	2.5	15.6	9.4
10	JA ホール松川付近	36.7	48.8	12.1	48.8	59.4	68.3	3	27.9	25.1
11	大町常盤変電所付近	34.8	48.5	13.7	46.2	60.2	85.1	4	28.6	23.3
12	安曇野市三郷付近	44.5	37.7	6.8	57.6	51.6	40.4	4	20.8	15.3
13	松本市梓川倭付近	33.3	28.5	4.8	47.7	40.2	57.7	3	22.8	22.1
14	芝沢小学校付近	43.6	33.0	10.6	56.6	45.8	69.1	4	28.3	28.1

測定結果から、等電界エリアでも遅延調整されたエリア付近の測定ポイント(1~5)では、主観評価及び SINAD に示すとおり、受信改善されていることが分かった。

測定ポイント1において、遅延時間差を 0μs から 34.6μs に変更した場合、主観評価及び SINAD 値が明らかに劣化することから、同期放送における等電界エリアでの遅延調整の必要性について確認できた。

等電界エリアで遅延時間差が大きいポイント(6~9)では、主観評価及び SINAD に示すとおり、受信劣化が確認した。

DU 比が確保されているポイント(10~14)については、遅延時間差が大きくても主観評価及び SINAD が示すとおり、受信劣化がないことを確認した。

② 福島県での測定ポイント測定結果

福島県の実験フィールドでの測定結果を表 3. 3-14b に示す。

送信条件

- ・空中線電力:須賀川 20W、大名倉局 20W
- ・搬送波周波数差:0.2Hz 以内、最大周波数偏差:1Hz 以内(精密同期)
- ・遅延調整ポイント:郡山市市街地(NHK 郡山支局付近)

表 3. 3-13b 福島県の屋外試験で実施した各測定ポイントの測定結果

測定ポイント	測定場所	DU 比 計算値 (dB)	遅延 時間差 (μ s)	合成波 受信電圧 (dB μ V)	主観 評価 レンジ	SINAD(dB)	
						L	R
1	NHK 郡山支局	0.8	0.0	50.0	5	44.7	48.6
2	郡山免許センター	4.6	0.0	45.0	5	44.0	46.7
3	酒蓋公園	0.3	0.0	42.0	3	33.2	33.2
4	開成山公園	6.8	5.3	39.0	3	29.5	28.9
5	郡山市虎丸町	2.0	2.5	49.0	4	40.4	40.5
6	郡山駅西口付近	0.6	3.0	44.0	4	38.6	39.8
7	郡山市富久山町	0.3	8.8	34.0	3	32.4	33.6
8	郡山市金屋町付近	0.1	23.1	43.0	2	18.2	17.8
9	郡山市安積町付近	1.1	19.6	48.0	3	26.1	24.4
10	郡山南 IC 付近コンビニ	1.9	9.8	44.0	4	38.6	41.1
11	郡山市御前南付近	1.3	1.9	47.6	5	42.9	45.4
12	郡山南 IC 付近田んぼ	0.0	12.4	37.1	1	22.5	20.2

測定結果から、等電界エリアで遅延時間差が 0 μ s 付近に調整された測定ポイント(1,6,11)では、主観評価及び SINAD に示すとおり、受信改善されていることが分かった。しかし、等電界エリアで遅延時間を調整されたエリアでも、測定ポイント 3 では、主観評価及び SINAD が劣化しているが、これは市街地における周辺建物等によるマルチパスにより、遅延時間差が設計値より大きくなり、受信劣化した可能性が考えられる。

また、等電界エリアで遅延時間差が大きい測定ポイント(8,9,12)では、明らかに受信劣化していることが分かった。

2) 走行測定による測定結果

長野県での走行測定による電界強度分布を図 3.3-42 に、DU 比分布を図 3.3-43 に SINAD 分布を図 3.3-44 に示す。

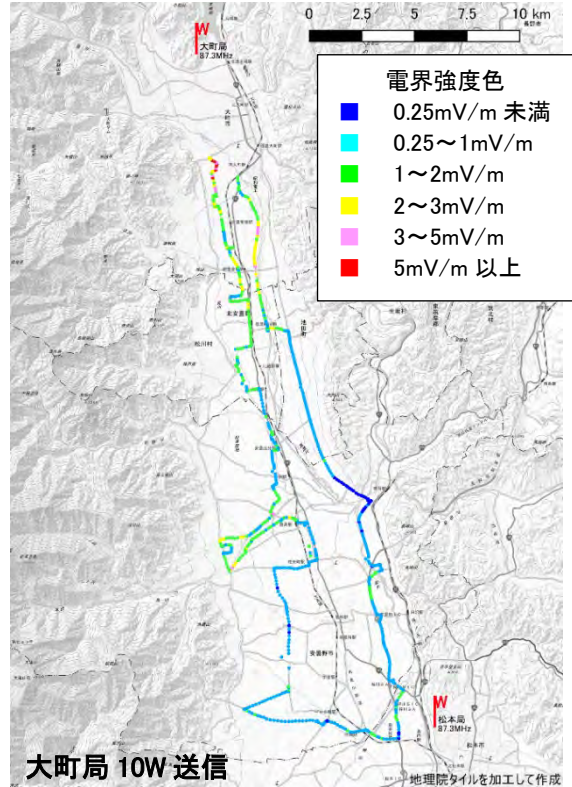
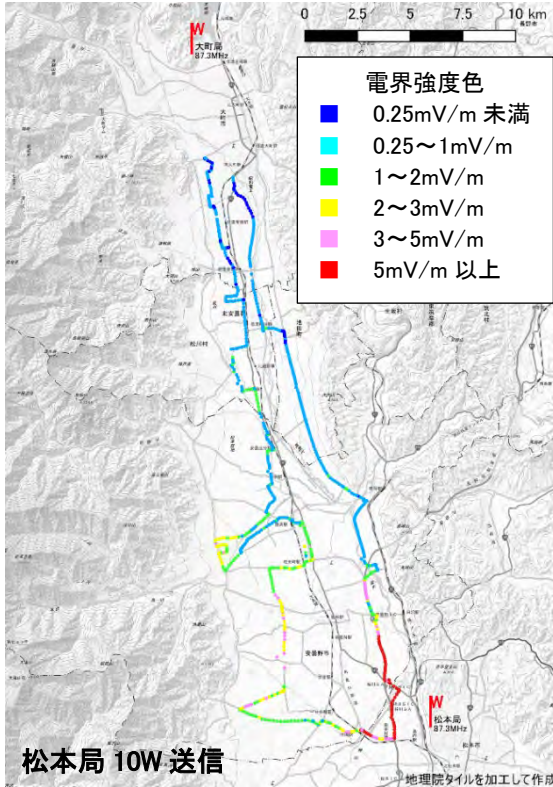


図 3.3-42 走行測定による電界強度測定結果

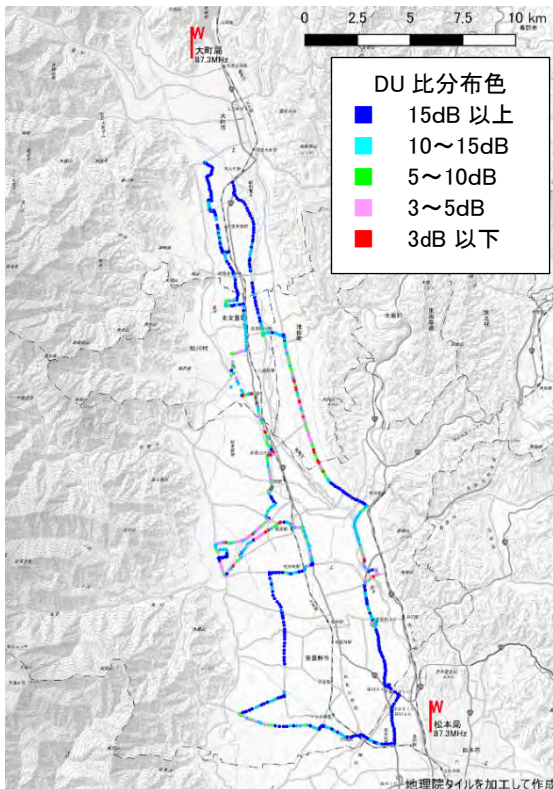


図 3.3-43 走行測定による DU 比分布

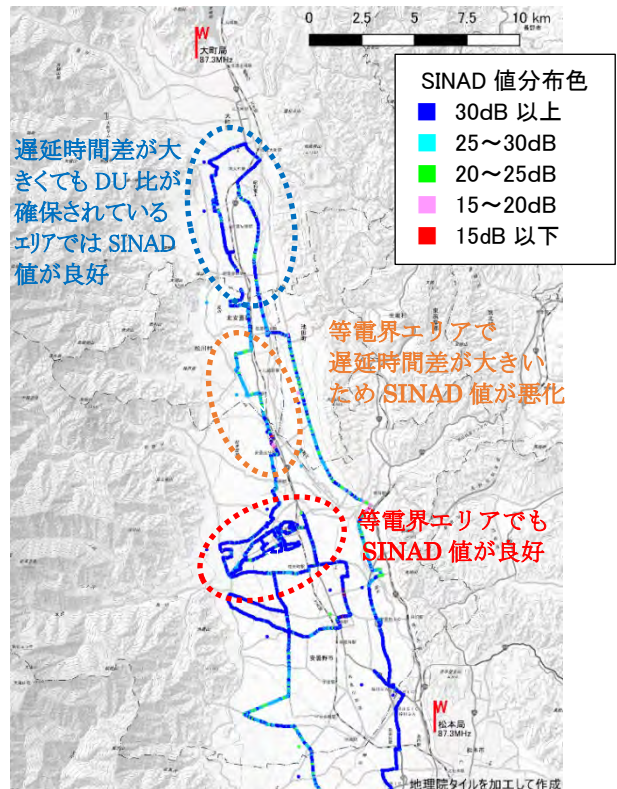


図 3.3-44 走行測定による SINAD 分布

福島県での走行測定による電界強度分布を図 3.3-45 に、DU 比分布を図 3.3-46 に、SINAD 分布を図 3.3-47 に示す。

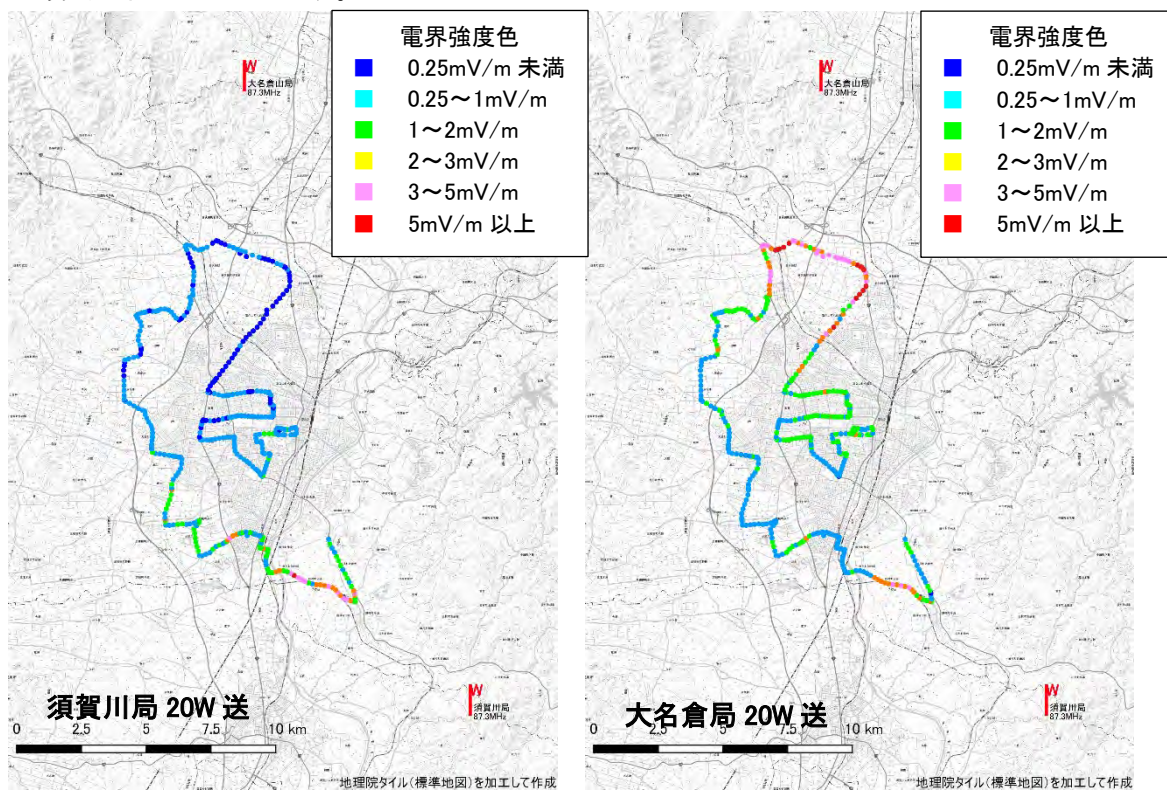


図 3.3-45 走行測定による電界強度測定結果

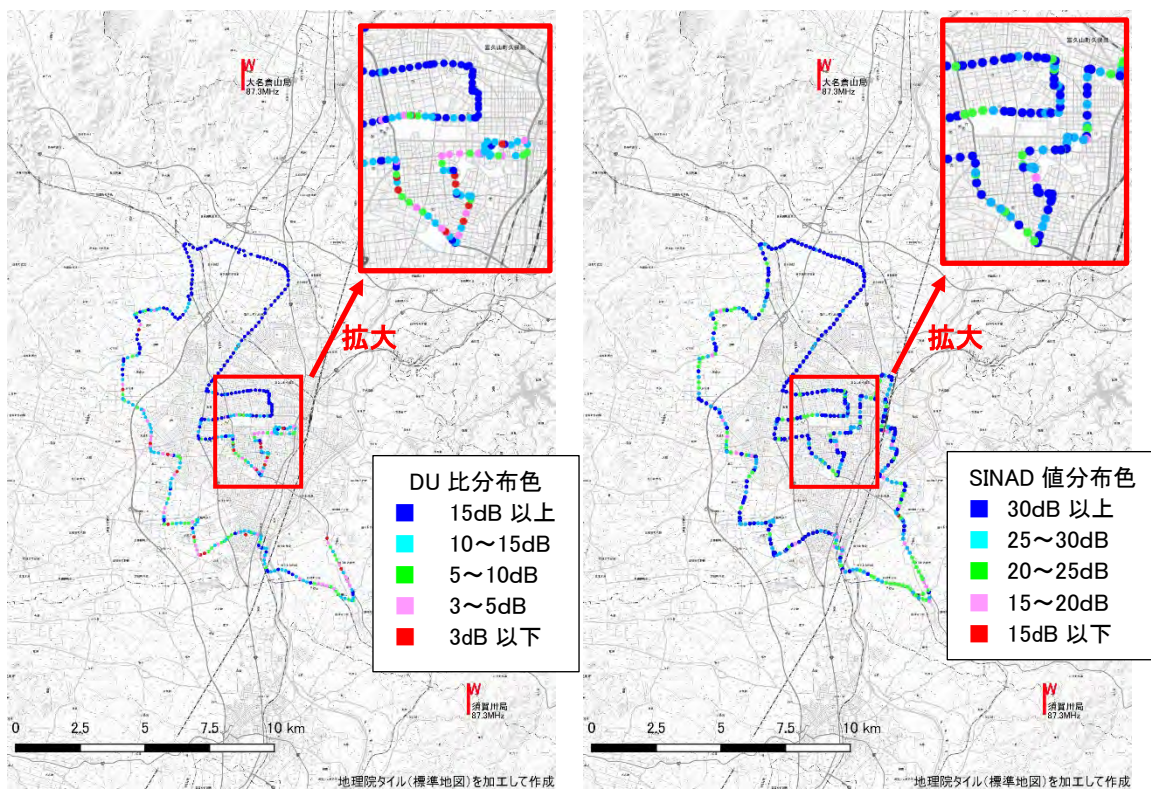


図 3.3-46 走行測定による DU 比分布

図 3.3-47 走行測定による SINAD 分布

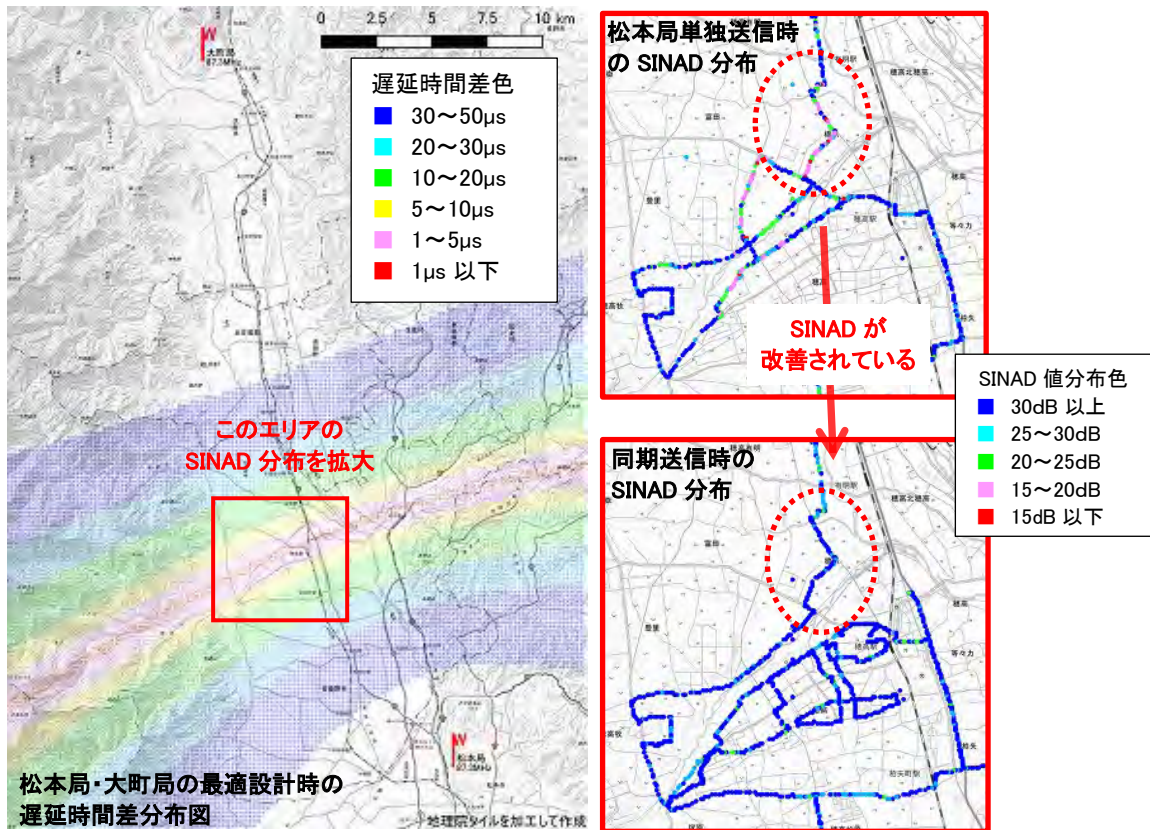


図 3.3-48 松本局単独放送時と松本・大町同期放送時の SINAD 分布の比較

長野県の電界シミュレーション結果(図 3.3-5)と、走行測定結果(図 3.3-42)の DU 比分布を比較するとについて、測定結果はシミュレーションとほぼ一致していることが分かる。

一方、福島県の市街地の電界シミュレーション結果(図 3.3-8)と走行測定結果(図 3.3-46)を比較すると、シミュレーション結果に比べ測定結果は、位置による DU 比の変動が大きく、等電界エリアでも DU 比が確保されていることが分かる。これは、建物や車などによる遮蔽やマルチパスによる影響により、各局から到来する受信レベルに差が生じやすいためと考えられる。

長野県での走行による SINAD 測定結果(図 3.3-44)から、室内試験結果同様、等電界エリアで遅延時間差を $0\mu\text{s}$ に調整されたエリアでは受信改善されていることが分かった。また、福島県での走行による SINAD 測定結果(図 3.3-46)からも、等電界エリアとなる市街地で遅延時間差が $0\mu\text{s}$ に調整されているエリアでは受信劣化が改善されていることが確認できた。

長野県での走行による SINAD 測定結果(図 3.3-44)から、等電界エリアで遅延時間差が大きいエリアについては、受信劣化することが確認できた。また図 3.3-44 より、遅延時間差が大きいエリアでも DU 比が確保されているエリアについては良好に受信できることも確認できた。

また、図 3.3-48 の走行測定による SINAD 分布について、松本局単独放送時と同期放送時の分布を比較したところ、単独放送時は SINAD 値が劣化していたエリアが、同期放送を行うことで受信改善されているエリアがあることが確認された。これは仮説として、松本局単独放送時にマルチパスにより受信劣化していたエリアが、遅延時間が $0\mu\text{s}$ 近くに調整された強い同期波が加わることで、受信品質が改善された可能性も考えられる。

(3) 送信機の機能による受信改善

福島での屋外試験で、測定ポイント1,2,8において送信機の出力および同期パラメータを変更した場合のフィールドでの主観評価及び SINAD 測定結果を表 3.3-14 に示す。

表 3.3-14 測定ポイントで送信条件を変えた場合の試験結果

局名	空中線電力	遅延調整※1	同期パラメータ※2	測定ポイント1			測定ポイント2			測定ポイント8		
				NHK郡山支局付近			郡山免許センター付近			田村町ホームセンター付近		
				△t=0μs、DU比=5.2dB			△t=0μs、DU比=4.3dB			△t=23μs、DU比=0.3dB		
				主観評価	SINAD		主観評価	SINAD		主観評価	SINAD	
L	R	L	R		L	R						
大名倉局	20W	0μs	精密	5	40.6	37.4	5	43.0	40.3	2	18.2	17.8
須賀川局	20W											
大名倉局	40W	0μs	精密※2	5	41.1	39.5	5	40.4	40.4	2	19.3	19.8
須賀川局	40W											
大名倉局	2W	0μs	精密※2	5	32.5	30.4	3	33.9	30.3	1.5	17.2	17.8
須賀川局	2W											
大名倉局	20W	35μs	精密	2.5	23.1	17.9	2.5	16.6	12.0	1.5	21.6	19.9
須賀川局	20W											
大名倉局	20W	0μs	H10基準	4	40.2	33.6	2	26.2	23.8	1	22.2	21.0
須賀川局	20W											
大名倉局	20W	—	—	5	43	39.1	5	42.6	38.9	4	42.8	44.5
須賀川局	—											
大名倉局	—	—	—	5	38	33.9	5	39.7	35.5	4	43.9	44.9
須賀川局	20W											

※1:遅延調整地点(NHK 郡山支局)の遅延時間差 ※2:搬送波周波数差:0.2Hz 以内、最大周波数偏差:1Hz 以内 ※3:搬送波周波数差:2Hz 以内、最大周波数偏差:1kHz 以内
△t : 遅延時間差設計値、DU 比 : 受信機入力の DU 比測定値

測定した結果、等電界エリアで、遅延調整した測定ポイント1,2では主観評価も良く、SINAD 値も良好であった。一方、等電界エリアで遅延時間差が大きい測定ポイント8では受信品質が劣化することが分かった。

等電界エリアで遅延時間差を 35μs にずらせた場合は、受信品質が劣化した。

また、同期パラメータを平成 10 年電気通信技術審議会答申の技術基準(H10 技術基準)で送信した場合、等電界エリアで遅延時間差 0μs に調整されたエリアでは受信品質が多少劣化する程度であった。

空中線電力を 2W に減力した場合は、測定ポイント2,8において、劣化が確認された。

(4) 受信者側の受信改善

長野県での屋外試験で、実際の受信形態に合わせた評価を実施した。

1) ラジカセによる受信評価結果

各測定ポイントで、ラジカセを使用しアンテナの傾きや向きによってどの程度受信改善されるのか確認した。各測定ポイントでの評価結果を表 3.3-15 に示す。

測定ポイント8ではアンテナの向きを変えることにより、主観評価が「2」から「4」に改善されていることが分かる。

各測定ポイントでアンテナの傾きによる違いを確認すると、垂直では評価3の場合でも、アンテナを水平に設定した場合、方向によっては評価が4に改善していることが分かる。

表 3.3-15 各測定ポイントでのラジカセによる評価結果

測定 ポイント	アンテナの傾き				
	垂直	45°		水平	
		東西	南北	東西	南北
1	3	3	3	4	3
6	4	4	4	4	4
8	3	4	2	4	2
10	3	4	4	4	4
12	3	3	3	4	3

ラジカセによる評価では、アンテナ向きや傾きを調整することで受信改善されることが分かった。

2) ポケットラジオによる歩行受信評価結果

長野県の測定ポイント6の各評価地点で実施したポケットラジオによる主観評価結果を表3.3-16に示す。図3.3-49は主観評価を行った地点を示したマップである。

表 3.3-16 長野県 測定ポイント6付近のポケットラジオによる評価結果

体の向き	評価地点 No																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
進行方向	3	3	3	4	3	2	3	3	3	3	3	2	4	3	3	3	3	3	3	3
進行方向から左90°	4				3				3				3				3			3
進行方向と反対の向き	4				3				3				3				3			4
進行方向から左270°	4				4				3				3				3			4



図 3.3-49 長野県測定ポイント6付近のポケットラジオによる評価地点

評価地点6、12では主観評価が2であったが、評価地点4、13では4に向上している。また、評価地点1、5、13、20では、体の向きを変えることで主観評価が向上していた。

ポケットラジオでは、受信者の移動や体の向きによって受信品質が改善することが分かった。

(5) FM 受信波の音質劣化

1) 環境ノイズによる劣化

長野県の測定ポイント 10 のフロアノイズが、他の測定ポイントに比べて約 15dB ほど高いことが確認された。(図 3.3-50、51 参照) このポイントは田園地域で周囲に工場や民家がないエリアで、今回の試験では特定できなかったが、高圧線等から発生する環境ノイズの可能性が考えられる。

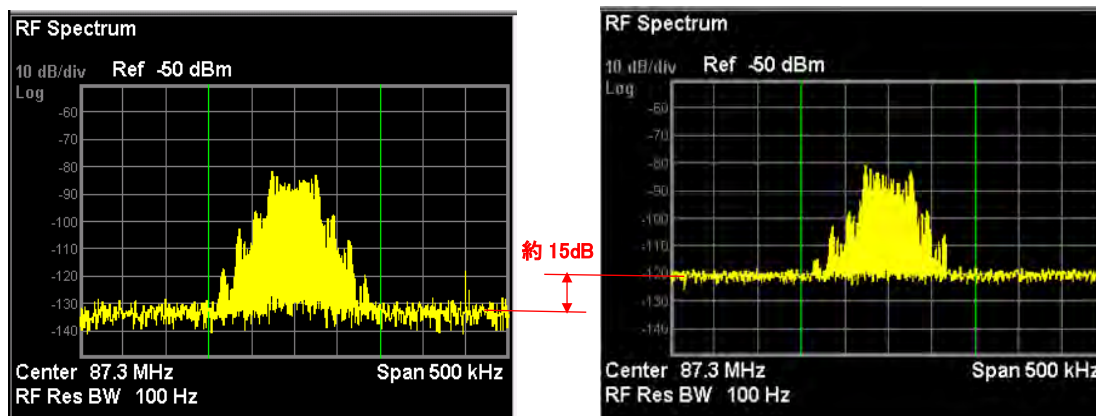


図 3.3-50 長野測定ポイント 1 のスペクトラム波形 図 3.3-51 長野測定ポイント 10 のスペクトラム波形

2) マルチパスによる劣化

長野での屋外試験において、FM 受信波のスペクトラムを確認したところ、測定ポイント 7、8、9 の地点においてマルチパスが原因と考えられる周波数のディップが確認された。図 3.3-52 に測定ポイント 9 における FM 受信波のスペクトラム波形を示す。

FM 受信波のディップには、周波数変動がないディップと、周波数軸方向に時間変動するディップが確認された。周波数変動がないディップについては、図 3.3-3 に示すように標高が高い山脈に挟まれたエリアであるため、山からの反射による長遅延マルチパス波による可能性が高いと考えられる。また周波数軸方向に変動するディップについては、周囲を移動する車などの反射により、マルチパス波の遅延時間が変動し、周波数方向に変化している可能性が高いと考えられる。

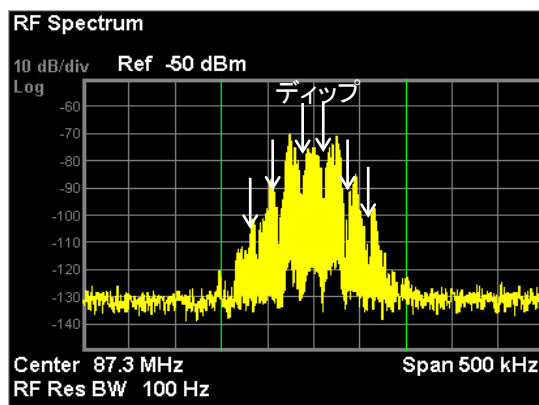


図 3.3-52 長野測定ポイント 9 のスペクトラム波形

(6) 屋外試験における主観評価と SINAD との相関

屋外試験及び室内試験における主観評価と SINAD 値との相関グラフを比較したところ、屋外試験の方がデータにばらつきがあるが、傾向としてはほぼ同じであることを確認した。(図

3.3-53、54 参照)

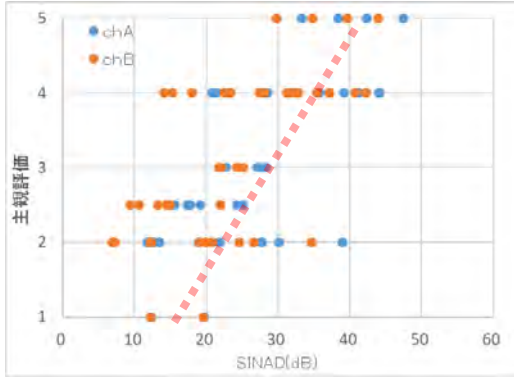


図 3.3-53 屋外試験（長野）での SINAD と主観評価の相関グラフ

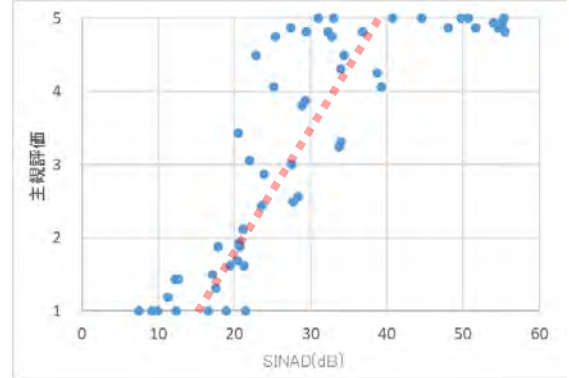


図 3.3-54 室内試験での SINAD と主観評価の相関グラフ

(7) FM 同期放送環境における FM 多重放送

FM 同期放送環境において FM 多重放送を行った場合の、FM 多重データの受信品質(パケットエラー)、車載受信機による受信状況、FM 音声受信への影響について、測定ポイント1,8 において調査した。福島県での屋外試験で実施した試験結果を表 3.3-17 に示す。

表 3.3-17 FM 同期環境での FM 多重放送の受信品質及び FM 音声受信への影響

局名	空中線電力	遅延調整 ※1	同期 パラメータ	測定ポイント1 NHK 郡山支局付近 Δt=0μs、DU比=5.2dB				測定ポイント8 田村町ホームセンター付近 Δt=23μs、DU比=0.3dB			
				PER	受信 確認 ※4	主観評価 (ラジカセ)		PER	受信 確認 ※4	主観評価 (ラジカセ)	
						多重無	多重有			多重無	多重有
				大名倉局	20W	0μs	精密 ※2	0%	可	5	5
須賀川局	20W										
大名倉局	20W	0μs	精密 ※2	0%	可	5	5	0%	可	4	4
須賀川局	—										
大名倉局	—	0μs	精密 ※2	0%	可	5	5	0% ※3	可	4	4
須賀川局	20W										

※1:遅延調整地点(NHK 郡山支局)の遅延時間差 ※2:搬送波周波数差:0.2Hz 以内、最大周波数偏差:1Hz 以内 ※3:エラーフリーはタイミング次第受信不可のケースもあった ※4:時刻情報更新確認のみ
Δt : 遅延時間差設計値、DU 比 : 受信機入力の DU 比測定値

試験の結果、今回の測定では、遅延時間差の設計値が 0μs、DU 比が 5.2dB のポイント1では PER はエラーフリーで、等電界で遅延時間差が大きいポイント 8 では、FM 多重データは受信不可であった。また、FM 同期放送において FM 多重放送を実施した場合の FM 音声受信への影響については、今回の屋外試験では特に確認されなかった。また、FM 多重データの受信確認については車載受信機のナビ画面の交通情報タイムスタンプの更新を確認したもので、全データを受信確認したものではないためあくまでも参考データとして扱う必要がある。

(8) 受信高による受信電界レベルの違い

超短波放送の放送区域を決める際の電界強度計算については、郵政省告示第 640 号で 300MHz 以下は受信高 4m で計算される。

一方、平成 10 年電気通信技術審議会答申「FM 放送局の置局に関する技術的条件」では、F 評価用受信機(ラジカセ)で受信高 2m で評価をすることとされており、ポケットラジオについては、受信機を手に持って受信する場合、受信高は約 1m が想定される。そのため、受信高 4m と、ラジカセおよびポケットラジオの受信実態にあった受信高との電界強度差について確認した。測定ポイントの選定にあたり、郊外、中小都市、市街地における電界強度差の違いについても確認を行った。

1) 測定方法

- ① 測定周波数：80.0MHz(FM 東京)、82.5MHz(NHK-FM)、90.5MHz(TBS-FM 補完)
- ② 測定偏波：水平偏波および垂直偏波
- ③ 受信高：4 m、2 m、1 m

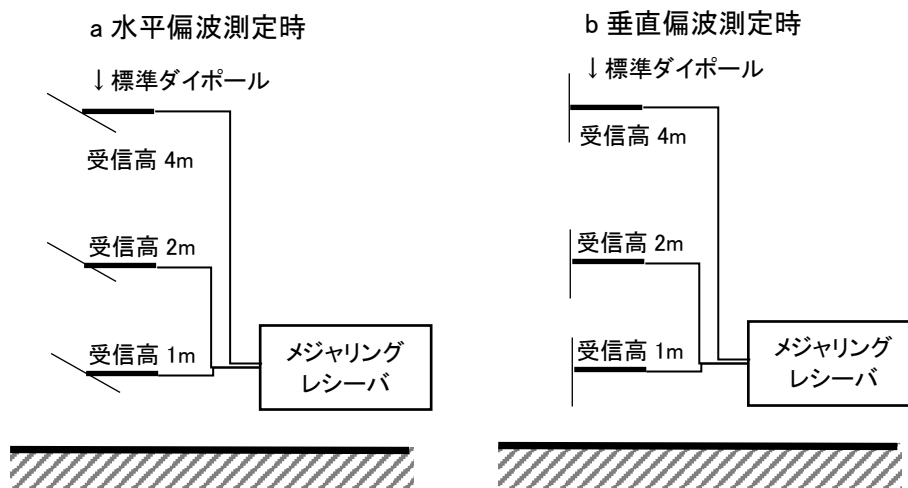


図 3.3-55 測定系統図

2) 測定機器

使用した測定機器のリストを表 3.3-18 に示す。

表 3.3-18 測定機器

測定器	メーカー	型式
メジャリングレシーバ	アンリツ	ML524B
標準ダイポール	アンリツ	MP534B

3) 測定ポイント

測定ポイントリストを表 3.3-19 に、測定ポイントを地図にマップしたものを図 3.3-56 に示す。

表 3.3-19 測定ポイントリスト

都市区分	No	場所
郊外	1	埼玉県川島町
	2	杉戸町郊外
	3	吉川市郊外
	4	我孫子市郊外
	5	印西市郊外
中小都市	1	松戸駅付近
	2	大宮駅付近
	3	川越駅付近
	4	国立駅付近
	5	町田駅付近
市街地	1	江東区役所付近
	2	葛飾区役所付近
	3	北区役所付近
	4	新宿高層ビル
	5	品川駅周辺
	6	川崎駅周辺

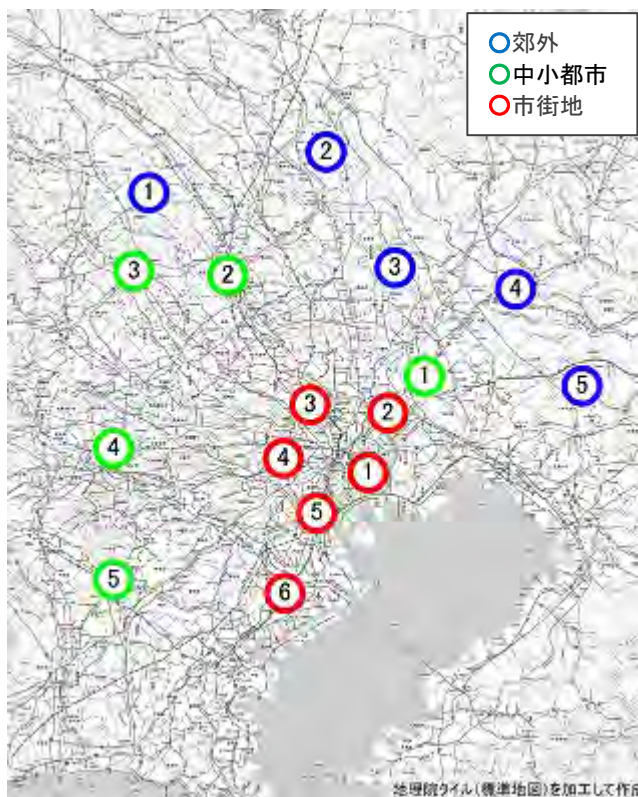


図 3.3-56 測定ポイントマップ

4) 測定風景 (略)

5) 測定結果

① 郊外

郊外の受信高による電界レベル差測定結果を表 3.3-20 に、グラフを図 3.3-58~61 に示す。

表 3.3-20 郊外における電界強度測定結果

偏波	測定ポイント	80.0MHz (FM東京)					82.5MHz (NHK-FM)					90.5MHz (TBS FM補完)				
		4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m	4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m	4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m
水平	1	77.5	72.6	66.6	4.9	10.9	74.9	69.6	63.2	5.3	11.7	73.6	68.7	62.6	4.9	11.0
	2	69.1	63.1	57.0	6.0	12.1	71.5	64.0	59.3	7.5	12.2	66.3	58.7	54.5	7.6	11.8
	3	80.1	76.5	72.6	3.6	7.5	80.1	79.2	74.1	0.9	6.0	81.5	79.3	75.2	2.2	6.3
	4	70.0	63.7	59.1	6.3	10.9	75.6	71.4	66.1	4.2	9.5	75.8	71.2	64.5	4.6	11.3
	5	63.3	58.1	52.5	5.2	10.8	69.8	63.4	57.8	6.4	12.0	72.5	67.8	61.3	4.7	11.2
垂直	1	56.8	54.9	47.8	1.9	9.0	54.9	54.1	48.7	0.8	6.2	55.1	53.9	49.4	1.2	5.7
	2	54.6	46.6	44.2	8.0	10.4	53.4	48.4	47.2	5.0	6.2	45.5	41.6	42.1	3.9	3.4
	3	72.5	70.7	68.9	1.8	3.6	71.4	70.2	68.3	1.2	3.1	74.5	73.6	71.3	0.9	3.2
	4	48.8	42.1	45.9	6.7	2.9	53.1	52.3	51.3	0.8	1.8	56.3	51.2	52.5	5.1	3.8
	5	49.2	47.2	44.9	2.0	4.3	53.8	51.1	43.5	2.7	10.3	54.6	53.1	54.5	1.5	0.1

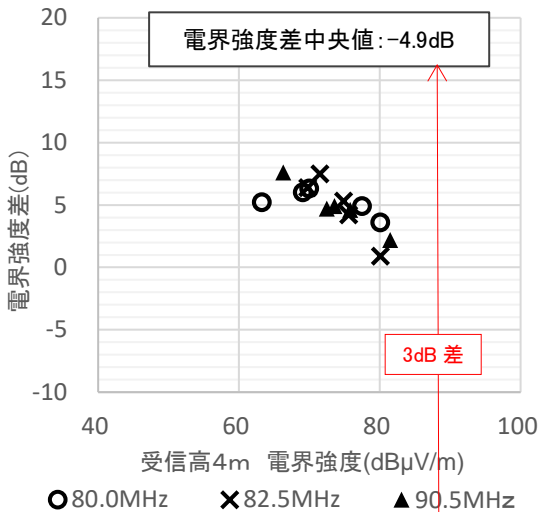


図 3.3-58 水平偏波 受信高 4m-2m 電界差

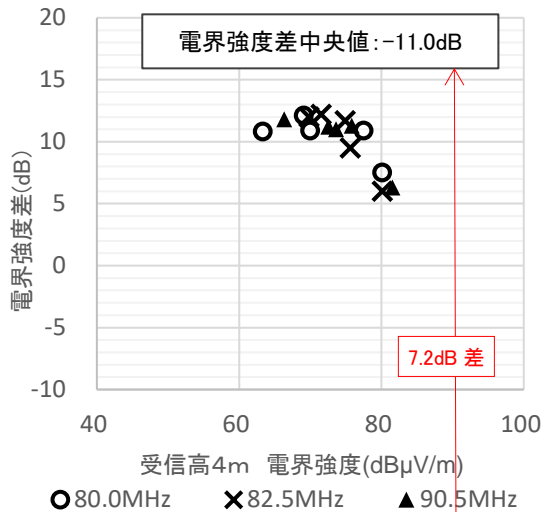


図 3.3-59 水平偏波 受信高 4m-1m 電界差

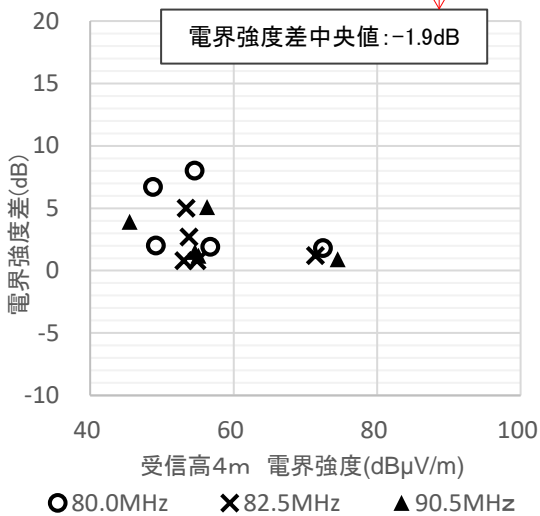


図 3.3-60 垂直偏波 受信高 4m-2m 電界差

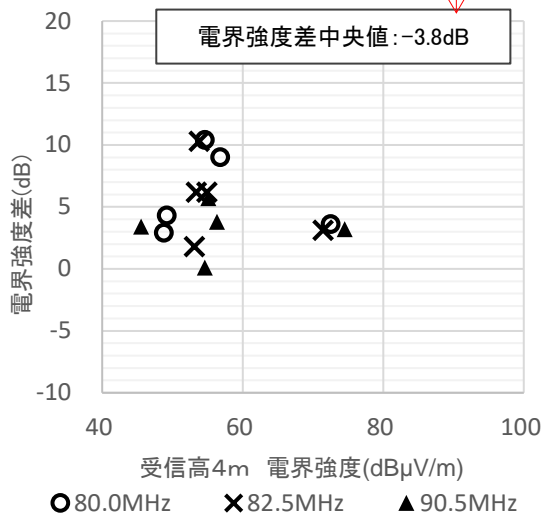


図 3.3-61 垂直偏波 受信高 4m-1m 電界差

②中小都市

中小都市の受信高による電界レベル差測定結果を表 3.3-21 に、グラフを図 3.3-62～65 に示す

表 3.3-21 中小都市における電界強度測定結果

偏波	測定ポイント	80.0MHz (FM東京)					82.5MHz (NHK-FM)					90.5MHz (TBS FM補完)				
		4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m	4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m	4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m
水平	1	75.1	73.5	71.8	1.6	3.3	75.6	74.5	70.0	1.1	5.6	73.1	70.2	68.6	2.9	4.5
	2	71.8	65.6	60.1	6.2	11.7	62.0	58.8	58.2	3.2	3.8	64.1	54.8	54.2	9.3	9.9
	3	73.2	70.9	65.8	2.3	7.4	65.6	61.9	54.3	3.7	11.3	63.7	62.2	60.8	1.5	2.9
	4	69.8	67.8	65.4	2.0	4.4	73.1	68.1	61.2	5.0	11.9	73.5	68.2	63.8	5.3	9.7
	5	74.7	70.3	66.4	4.4	8.3	72.3	69.8	65.2	2.5	7.1	74.3	71.1	68.7	3.2	5.6
垂直	1	73.4	71.6	69.3	1.8	4.1	69.2	66.7	58.9	2.5	10.3	72.0	68.3	63.1	3.7	8.9
	2	63.8	62.9	58.9	0.9	4.9	64.1	54.8	54.2	9.3	9.9	56.9	53.9	46.7	3.0	10.2
	3	55.6	54.2	54.1	1.4	1.5	51.8	50.4	53.1	1.4	-1.3	58.1	55.4	50.4	2.7	7.7
	4	64.4	65.2	64.3	-0.8	0.1	62.3	58.3	61.4	4.0	0.9	57.6	57.4	60.3	0.2	-2.7
	5	69.1	61.8	62.4	7.3	6.7	55.7	59.5	55.4	-3.8	0.0	60.1	61.0	50.0	1.0	3.9

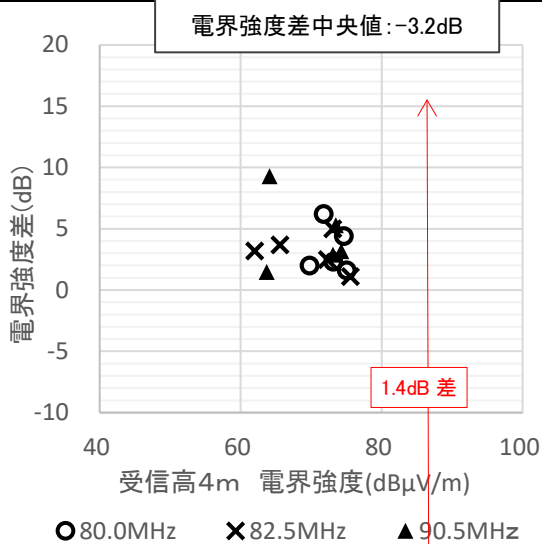


図 3.3-62 水平偏波 受信高 4m-2m 電界差

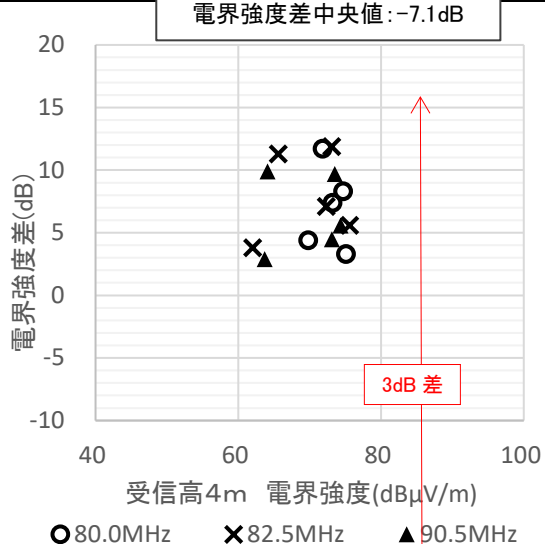


図 3.3-63 水平偏波 受信高 4m-1m 電界差

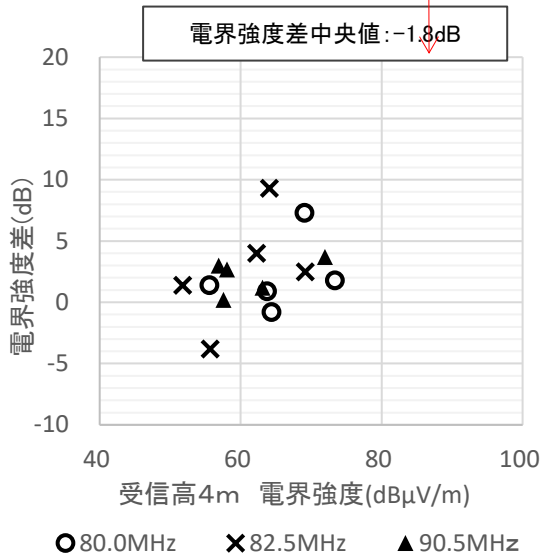


図 3.3-64 垂直偏波 受信高 4m-2m 電界差

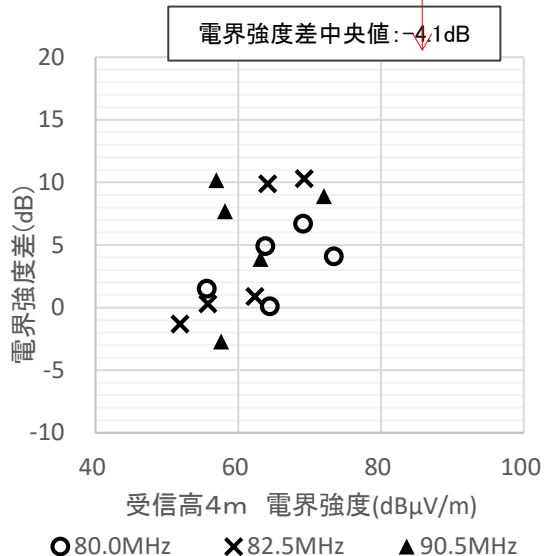


図 3.3-65 垂直偏波 受信高 4m-1m 電界差

③市街地

市街地の受信高による電界レベル差測定結果を表 3.3-22 に、グラフを図 3.3-66～69 に示す

表 3.3-22 市街地における電界強度測定結果

偏波	測定ポイント	80.0MHz(FM東京)					82.5MHz(NHK-FM)					90.5MHz(TBS FM補完)				
		4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m	4m	2m	1m	82.5MHz	82.5MHz	4m	2m	1m	4m-2m	4m-1m
水平	1	93.3	93.1	93.8	0.2	-0.5	90.3	87.7	83.8	2.6	6.5	94.6	93.5	90.1	1.1	4.5
	2	82.8	81.9	77.1	0.9	5.7	94.5	93.6	91.9	0.9	2.6	97.1	95.3	88.9	1.8	8.2
	3	88.3	78.6	77.6	9.7	10.7	91.5	87.1	82.6	4.4	8.9	89.5	83.4	82.1	6.1	7.4
	4	87.2	87.9	87.1	-0.7	0.1	88.7	81.4	75.2	7.3	13.5	86.6	84.5	82.1	2.1	4.5
	5	92.0	90.9	89.7	1.1	2.3	78.3	76.1	67.1	2.2	11.2	80.1	78.7	71.4	1.4	8.7
	6	73.5	75.8	68.7	-2.3	4.8	67.8	70.3	68.0	-2.5	-0.2	77.1	78.2	73.6	-1.1	3.5
垂直	1	89.0	86.1	85.6	2.9	3.4	82.3	74.7	77.6	7.6	4.7	87.8	83.8	81.6	4.0	6.2
	2	79.3	74.8	72.6	4.5	6.7	84.0	82.5	80.7	1.5	3.3	84.6	83.8	82.8	0.8	1.8
	3	78.3	78.4	74.1	-0.1	4.2	87.2	85.6	77.8	1.6	9.4	86.2	77.2	76.3	9.0	9.9
	4	82.3	82.7	76.3	-0.4	6.0	79.6	71.9	67.6	7.7	12.0	82.4	78.4	70.9	4.0	11.5
	5	88.2	80.5	75.5	7.7	12.7	68.3	66.9	63.5	1.4	4.8	72.0	76.7	71.0	-4.7	1.0
	6	71.3	73.2	69.1	-1.9	2.2	61.4	58.6	52.5	2.8	8.9	74.8	65.4	61.7	9.4	13.1

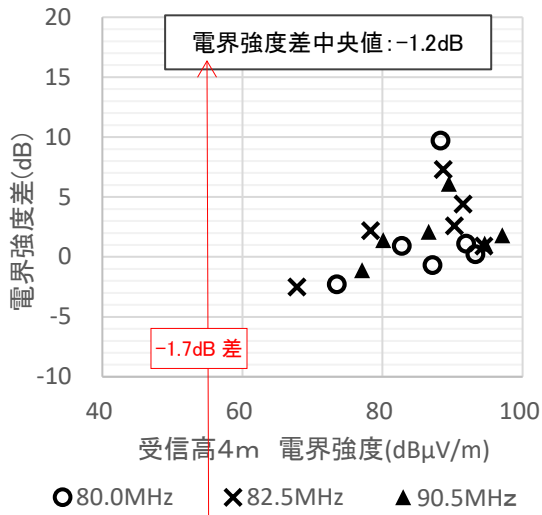


図 3.3-66 水平偏波 受信高 4m-2m 電界差

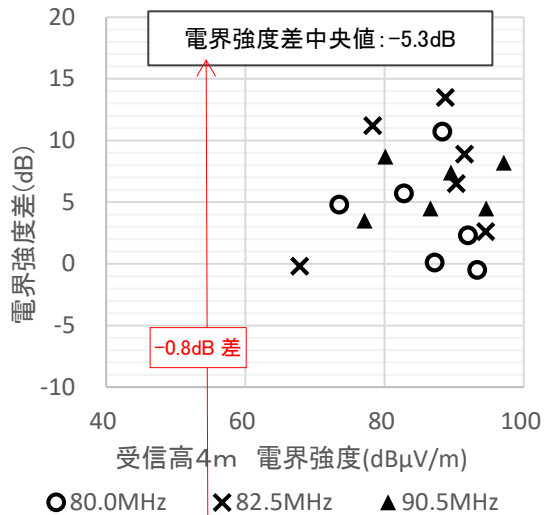


図 3.3-67 水平偏波 受信高 4m-1m 電界差

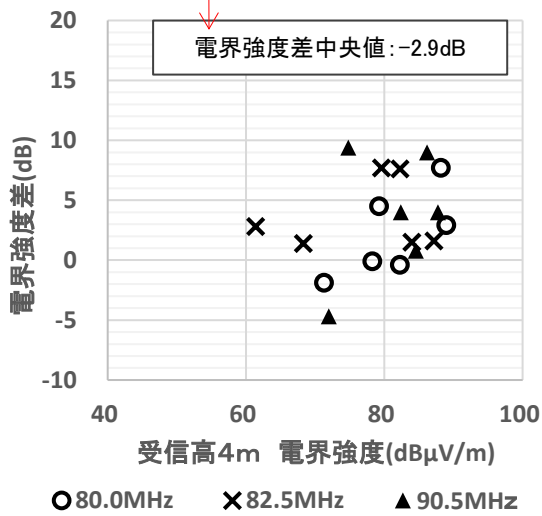


図 3.3-68 垂直偏波 受信高 4m-2m 電界差

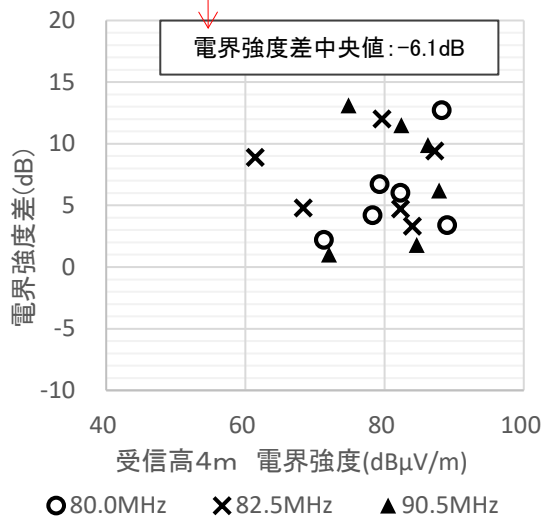


図 3.3-69 垂直偏波 受信高 4m-1m 電界差

④都市区分による交差偏波特性の違い

各測定ポイントにおける受信高別交差偏波特性について、都市区分別にまとめたグラフを図 3.3-70~72 に示す。

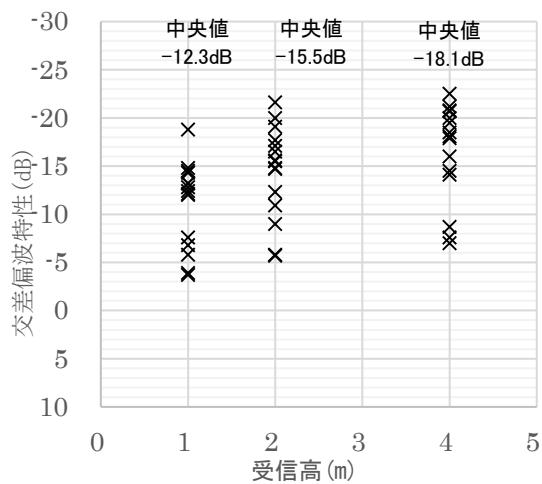


図 3.3-70 受信高と交差偏波特性(郊外)

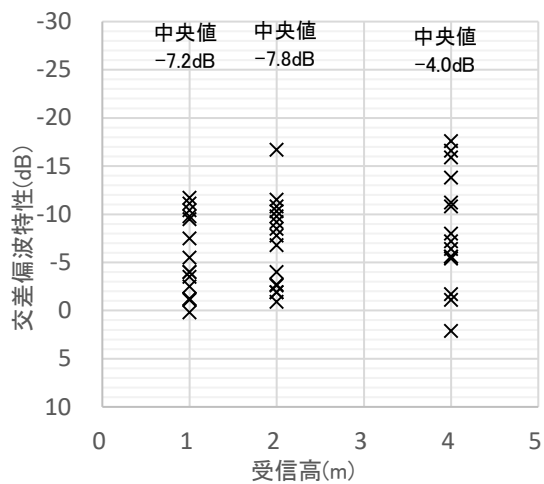


図 3.3-71 受信高と交差偏波特性(中小都市)

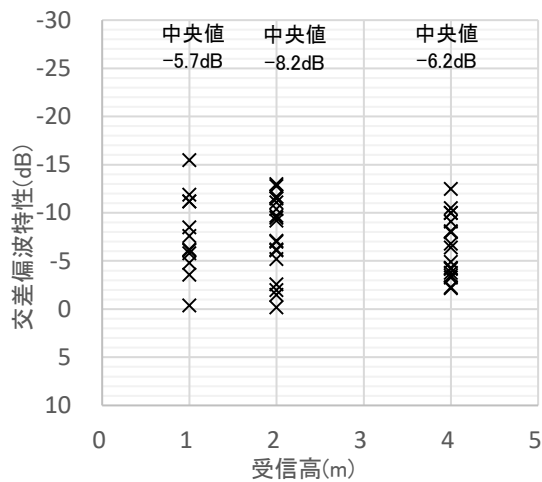


図 3.3-72 受信高と交差偏波特性(市街地)

受信高による電界強度差の計算値については、後述する「5. 4. 3(10)3受信高による電界強度の違い」の項で、平面大地伝搬式による受信高による電界レベル差について解説している。平面大地伝搬式では、受信高の比がそのまま電界強度比となるため、受信高4mに対して2mの電界強度は-6dB、受信高4mに対して1mの電界強度は-12dBとなる。

受信高による電界強度差の違いについて、平面大地伝搬式による計算結果と今回の測定結果との比較、および都市区分による違い、偏波による違いについて考察した。

①受信高による違い

受信高4mと2m、受信高4mと1mの電界強度差について、比較的電界強度のばらつきが少ない郊外での測定結果で比較した。

受信高4mと2m および受信高4mと1mとの電界強度差については、送信偏波と同じ水平偏波で測定した図 3. 3-58 および図 3. 3-59 から、中央値がそれぞれ-4.9dB、-11.0dBとなっている。平面大地伝搬式による電界強度差がそれぞれ-6dB、-12dB であるため、計算値に対する測定値(中央値)との差はそれぞれ+1.1dB、+1.0dB であり、ほぼ計算値と同じ結果が得られた。

②都市区分の違い

都市区分の違いにおける受信高による電界強度差については、郊外、中小都市および市街地における電界強度差グラフ(図 3. 3-58~69) を比較すると、郊外は比較的電界強度差のばらつきが小さく、梅雨小都市、市街地の順に電界強度差のばらつきが大きくなる傾向がある。これば、郊外、中小都市、市街地の順に、直接波以外の周囲の建物等の反射波が加わることで電界強度が変動するためと考えられる。

③偏波による違い

垂直偏波で受信した場合の受信高による電界強度差について、比較的電界強度のばらつきが少ない郊外の測定結果を比較したところ、受信高4mと2m および受信高4mと1mとの電界強度差については、図 3. 3-60 および図 3. 3-61 から、中央値がそれぞれ-1.9dB、-3.8dB となっており、水平偏波受信に比べて受信高による電界強度差の違いは小さいことが分かる。

また、都市区分別に受信偏波面による各受信高の電界強度差(中央値)を比較すると、郊外、中小都市、市街地の順に、受信高4mと2mとの差では3dB,1.4dB,-1.7dB、受信高4mと1mとの差では7.2dB,3dB,-1.8dB となっており、市街地ほど受信偏波面による受信電界の違いが小さくなっていることが分かる。また、図 3. 3-70~72 の受信高別交差偏波特性について都市区分別にまとめたグラフでも、市街地の方が交差偏波特性が小さいことが分かる。

これは市街地では水平偏波である直接波が周囲建物により遮蔽される一方、周囲の建造物の乱反射などによる垂直偏波成分を多く受信している可能性が考えられる。

3. 3. 5 考察

屋外試験は室内試験とは異なり、周囲の車や人等からのマルチパスや遮蔽などにより、遅延時間差やDU比が時間的に変動する。実際の測定環境ではDU比や電界測定といった電波の測定結果と評価試験に時間的なずれが生じるため、電波測定結果と評価試験結果に誤差が生じる場合がある。そのため、屋外試験については、室内試験で得られた結果について検証とする。

(1) 等電界エリアの遅延調整効果について

等電界エリアで遅延調整されたエリアは、受信劣化が改善されることが分かった。一方、等電界エリア(DU比3dB以内)で遅延時間差が大きい5 μ s以上のエリアについては主観評価が2程度と受信劣化するが、DU比が5dB以上程度確保されているエリアについては、遅延時間差にかかわらず主観評価が3程度以上と受信品質が劣化しないことが分かった。

(2) 送信規模による同期放送の違い

机上検討結果から、同期放送を行う放送局の送信規模が大きく、同期放送エリアが広がるほど、エリア内の遅延時間差も大きく、等電界エリア面積が広がるため、より高精度な同期放送の管理が必要である。一方、小電力で小エリアを同期放送でカバーする場合、エリア内の遅延時間差が小さく、かつ、等電界エリアの面積が小さいため、広いエリアに比べて高精度の同期放送の管理を必要とせず、同期放送システムを構築しやすい。

(3) 遅延時間差の確認ポイントについて

各送信所からの見通しのポイントで設計値との差異を確認することが望ましい。

市街地や地形的な遮蔽地域など見通し外の地点では、マルチパスなどの影響により正しい確認ができない場合があるので、できるだけ送信所から見通しのマルチパス環境が無いポイントで測定する必要がある。

なお、このようなマルチパス環境では、指向性アンテナを使用することで遅延時間差測定時のマルチパスの影響を軽減できる。また、必ずしも遅延時間差0 μ sに設定した遅延調整ポイントで測定する必要はなく、各送信所が見通しとなる複数のポイントで測定することにより確認できる。

(4) 実フィールドでの受信環境について

実フィールドでは、周囲環境によりマルチパス(地形的な遠距離マルチパス、周辺建物による近距離マルチパス)や環境雑音が発生している場所があり、同期放送以外の受信劣化原因があることが分かった。そのため、同期放送システム構築後に主観評価する際は、このような同期放送による劣化以外にも要因があることを認識しておく必要がある。

(5) 受信機による違い

受信機の中にはアンテナ長が波長に対して適正でない機種や受信性能が劣る機種があり、このような受信機では同期調整しても受信品質の改善は見込めない。そのため、同期放送区域で適切に受信評価をするためには、適正なアンテナ長で一定水準の受信性能を満たした受信機で評価する必要がある。

また、今回の走行測定で車載受信機の受信アンテナとしてにホイップアンテナを使用したがる、ダイバーシティ受信方式を採用することにより、さらに受信劣化が軽減されると考えられる。

(6) 送信機の機能による受信改善

送信機の同期に関するパラメータを高精度に管理することで、同期干渉エリアにおける受信劣化エリアの面積を小さくすることができる。

(7) 受信者による受信改善

同期干渉エリアでも、ラジカセの場合はアンテナの角度や向き、ポケットラジオの場合は、受信者の移動や体の向きを変えることで、DU 比や電界強度が改善され、受信改善することができる。

(8) 市街地での同期放送について

市街地における同期放送については、等電界エリアでも遅延調整されている場合は郊外と同様、受信劣化が改善されることが分かった。これは、市街地の等電界エリアを遅延時間差 0 μ s に調整した場合、周辺建物のマルチパスなどの影響で遅延時間差が設計通り 0 μ s にならないケースがある一方、DU 比については建物遮蔽などの影響で確保されやすいことから、エリア全体として受信改善されると考えられる。

(9) FM 同期環境における FM 多重について

今回の屋外試験は、FM 多重データが非同期かつ固定受信という条件で調査し、FM 同期放送で遅延調整され、かつ DU 比が 5dB 程度確保されているエリアについては、データエラーが少なく、等電界かつ遅延時間差があるポイントについてはデータエラーが大きくなる傾向について確認できた。しかし、室内試験結果から、FM 多重データそのものの同期が重要であることが分かっており、FM 多重データを同期させた試験を行うためには、現行 FM 多重放送システムの大幅な改造が必要となる。また、今回は、固定受信による調査を実施したが、本来の受信形態である移動受信における検証はできていない。以上のことから、FM 同期放送で FM 多重放送を実施するためには、今後解決すべき課題が多く、今後さらに詳細な調査検討が必要である。

なお、FM 同期環境で FM 多重放送を実施した場合の音声放送受信への影響については、今回の屋外試験では特に確認されなかった。

(10) シミュレーションによる FM 同期放送区域の検討の有効性

電界シミュレーションによる電界強度や DU 比分布は、走行測定による分布とほぼ一致する結果が得られた。また、遅延時間についても送信所から見通しのポイントでは設計値と一致することが分かった。

これらのことから、同期放送システム設計時において、電界シミュレーションによる電界強度や DU 比分布、遅延時間差分布を計算し、その DU 比と遅延時間差の計算結果を同期テーブルに当てはめることで、事前に同期放送エリア内の主観評価をある程度把握することが可能である。また、市街地では建物や車などによる遮蔽損やマルチパスなどの影響により、受信位置による電界強度や DU 比の変動が大きくなることも分かった。

(11) 伝送回線について

各送信所への音声伝送回線については、長野は 60MHz 帯デジタル STL を、福島は IP 回線を使用した。音声遅延調整装置や IP 回線の遅延時間揺らぎ抑制機能など、伝送回線を含めた同期放送システム全体として遅延時間を管理することで、安定した同期放送エリアを構築することができた。

(12) 受信高による受信電界レベルの違い

受信高による受信電界レベルの違いについては、周囲に建物が少ない郊外では平面大地伝搬式による受信高電界強度差計算値とほぼ一致した。

また、郊外、中小都市、市街地の順に、受信高による電界強度差がばらつき、受信偏波による電界強度差が小さくなることが分かった。

今回の試験結果から、郊外における受信高 4m から 2m への換算値は約-5dB、受信高 4m から 1m への換算値は約-11dB、中小都市における受信高 4m から 2m への換算値は約-3.2dB、受信高 4m から 1m への換算値は約-7.1dB、市街地における受信高 4m から 2m への換算値は約-1.2dB、受信高 4m から 1m への換算値は約-5.3dB であった。

別 添

答申書(案)

諮問第2023号

「放送システムに関する技術的条件」のうち「FM 同期放送の技術的条件」

諮問第2023号「放送システムに関する技術的条件」のうち、「FM 同期放送の技術的条件」についての一部答申

放送システムに関する技術的条件のうち、FM同期放送のための技術的条件については、以下のとおりとすることが適当である。

1 適用範囲

この技術的条件は、放送区域の一部が重複又は隣接する FM ラジオ放送局 (FM 補完中継放送局及びコミュニティ放送局を含む。) のうち、同一の周波数を使用して同時に同一番組を放送するものであって、相互に同期放送の関係にある基幹放送局に適用する。

2 FM 同期放送の使用周波数帯

FM 同期放送が使用する周波数帯は、既存の FM 放送と同じ、超短波 (76MHz~95MHz) の周波数とする。

3 搬送周波数差

相互に同期放送の関係にある各送信所の搬送周波数の差は 2Hz を超えないものとし、0.2Hz 以内とすることを目標とする。

4 最大周波数偏移差

相互に同期放送の関係にある各送信所の最大周波数偏移の差は 1kHz を超えないものとし、1Hz 以内とすることを目標とする。

5 同期放送の関係にある局以外の FM ラジオ放送局との混信

相互に同期放送の関係にある局以外の FM ラジオ放送局との混信については、平成 10 年度電気通信技術審議会答申「諮問第 92 号 FM 放送の置局に関する技術的条件」に基づき、次の FM 放送局間の混信保護比を確保する。

表1 FM 放送局間の混信保護比

周波数差 (kHz)	0	100	200	300	400
混信保護比 (dB)	36	33	7	-10	-25

6 同期放送の関係にある FM ラジオ放送局との混信

相互に同期放送の関係にある FM ラジオ放送局との混信については、平成 10 年度電気通信技術審議会答申「諮問第 92 号 FM 放送の置局に関する技術的条件」に基づく FM 放送局間の混信保護比の適用対象外とする。

7 偏波

原則として水平偏波とし、垂直偏波を用いることにより、偏波面効果による受信改善が期待できる場合は、垂直偏波を用いることができることとする。

8 干渉妨害領域を推定するための同期評価テーブル

FM 同期放送の放送区域の設定に当たっては、干渉妨害領域における受信障害による影響ができる限り小さくなるよう、2つの送信所から送信される電波が同期の技術的条件を満たしている場合でも発生する干渉妨害領域を推定するための遅延時間差と混信保護比の条件(同期評価テーブル)に留意しつつ、等電界地域を含む干渉妨害領域の受信品質の確保に努める。

同期評価テーブルは、表2のとおり。

表2 FM 同期放送における遅延時間差と混信保護比の条件
(同期評価テーブル)

相互に同期関係にある基幹放送局間の搬送周波数差及び最大周波数偏移差	許容される遅延時間差(μs)	混信保護比(dB)		
		主観評価 2	主観評価 3	主観評価 4
搬送周波数差 2Hz 以内 かつ 最大周波数偏移差 1kHz 以内	0	0.0	0.3	1.7
	1	0.0	0.7	1.9
	5	1.1	2.6	4.4
	10	2.0	4.6	7.6
	26.3	9.5	11.8	13.8
	53	5.0	7.6	10.7
	100	8.3	13.5	20.0
搬送周波数差 0.2Hz 以内 かつ 最大周波数偏移差 1Hz 以内	0	0.0	0.0	0.0
	1	0.0	0.0	0.0
	5	0.4	1.3	2.3
	10	1.1	2.8	4.8
	26.3	6.3	10.0	12.8
	53	3.4	7.1	12.0
	100	7.0	13.1	19.4