

第3章 高度利用のための関連技術の動向

3. 1 同期放送技術

3. 1. 1 FM 同期放送のイメージ

FM 同期放送は、図3-1 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。

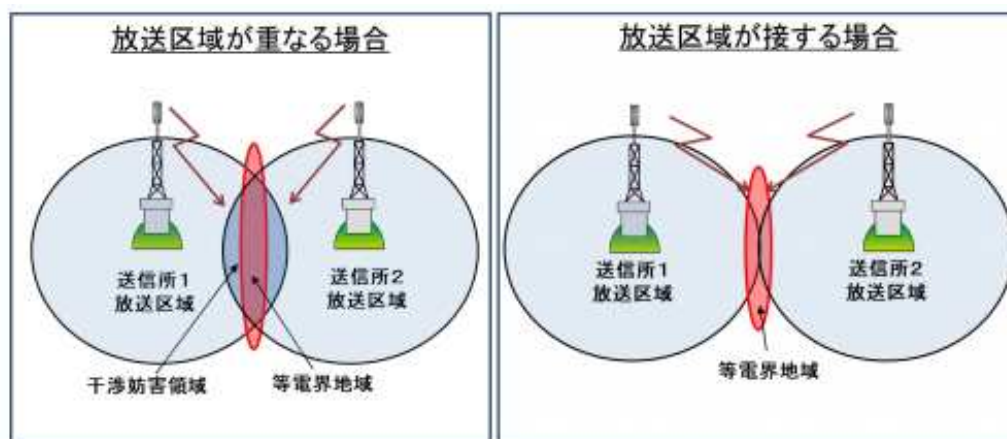


図3-1 同期放送のイメージ

なお、同期放送とは、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って、干渉妨害領域における受信劣化を抑制するための管理又は調整等を行うものといえることができる。

3. 1. 2 既存 FM 局の同期放送導入状況

FM 同期放送の導入が、放送事業者により進められている。そこでは、精密な同期方法により高品質な放送を実現している。

特に、FM 補完放送(AM 放送の難聴対策として整備されている)やコミュニティ放送では、複数エリアを同期放送により構築する例がある。

また、スポット的な小規模エリアの補完については、ギャップフィルター装置(GF)が実用化、制度化されており、導入が進められている。

(1) 山口放送株式会社の導入例

山口放送株式会社で導入されている FM 同期放送について、図3-2に示す。

山口放送株式会社では、日本海側では 86.4MHz、瀬戸内側では 92.3MHzで同期放送を行っている。中継方式は、STL(TTL)方式、放送波中継方式を採用している。

図 3-2 山口放送株式会社の FM 同期放送



(2) 長岡移動電話システム株式会社の FM 同期放送導入例

長岡移動電話システム株式会社は、光ファイバー(ダークファイバー)を採用して、11局を FM 同期放送で運用している。今後は冗長化を図るため STL 中継方式の導入を計画している。



図 3-3 長岡移動電話システム株式会社 (FM ながおか) の FM 同期放送

3. 1. 3 各種同期方式

複数局を置局する際、同期放送を実現するためには、3つの方式が考えられる。

それぞれの方式について概要をまとめた。

(1) 独立同期方式

同期放送を行う放送局ごとに独立した基準信号(GPS 等による)を取得し、それぞれの局で、周波数、音声遅延等を制御して行う同期方式である。

この方式は、基準信号を各局で取得するので、伝送回線としては、音声信号のみを伝送すればよく比較的簡便な方式であるが、上位局と同等の精度を有する基準信号を取得する必要がある。

下位局に FM 変調器を置く場合、変調特性が上位局と同等になるよう調整する必要がある。

(2) 従属同期方式

上位局から各放送局に基準信号を伝送し、この基準信号に従い(従属)、搬送波周波数、音声遅延等を制御して行う同期方式である。

この方式は、上位局から、基準となる信号を送る手段が必要である。このため、下位局では、あらたな基準信号の取得が不要となる。

下位局に FM 変調器を置く場合、変調特性が上位局と同等になるよう調整する必要がある。

(3) 変調波分配方式（完全同期方式）

一つの発振器および FM 変調器で変調された信号を、各局に伝送し、同期放送を行う方式である。

放送ネットワーク内で、発振器、FM 変調器が一つのみなので、各放送局での変調特性が完全に一致する。

伝送回線としては、光ファイバー（ダークファイバー）が必要である。

周波数、変調特性が一致しているため、下位局では、回線による遅延時間を調整するだけでよい。

(4) まとめ

独立同期方式で使用する基準信号は、近年、GPS 等を利用し、各局で独立して精度の高い基準信号を簡易に取得できる手法が確立されている。

一方、従属同期方式では、基準信号は中継回線を通して各局に配信されるため、精度が損なわれないよう中継回線毎に管理を行う必要がある。

このため、各局が独立して FM 同期放送を実現し、後から下位局を容易に追加できる。独立同期方式が、早期の立ち上げに適していると考えられる。

なお、自治体や CATV 業者が敷設する光ファイバー（ダークファイバー）が安定して利用できる場合には、変調特性が一致する変調波分配方式も同期放送に有効である。

3. 1. 4 同期放送システムの設計手法

FM 同期放送では、お互いのエリアが重なった場合、等電界となる地域で受信妨害が発生するため、図3-4に示す手順に従い、①～⑤の手順を繰り返し、最適な放送エリアとなるよう調整する必要がある。

また、自治体等の災害発生場所を想定し、臨時災害放送局による情報伝達手段として活用できるよう、あらかじめ放送対象エリア、置局場所、同期方式、中継回線の種類等の検討を行っておくことが重要である。

なお、放送エリアが広い局は、等電界エリアが広く、下位局との遅延時間差も大きくなる傾向があり、遅延時間の調整、DU 比等の精密な調整が必要となってくる。

一方、放送エリアが小規模な局では等電界エリアも狭く、遅延時間差も小さくなり、遅延時間や DU 比等の条件を緩和してもサービス可能である。

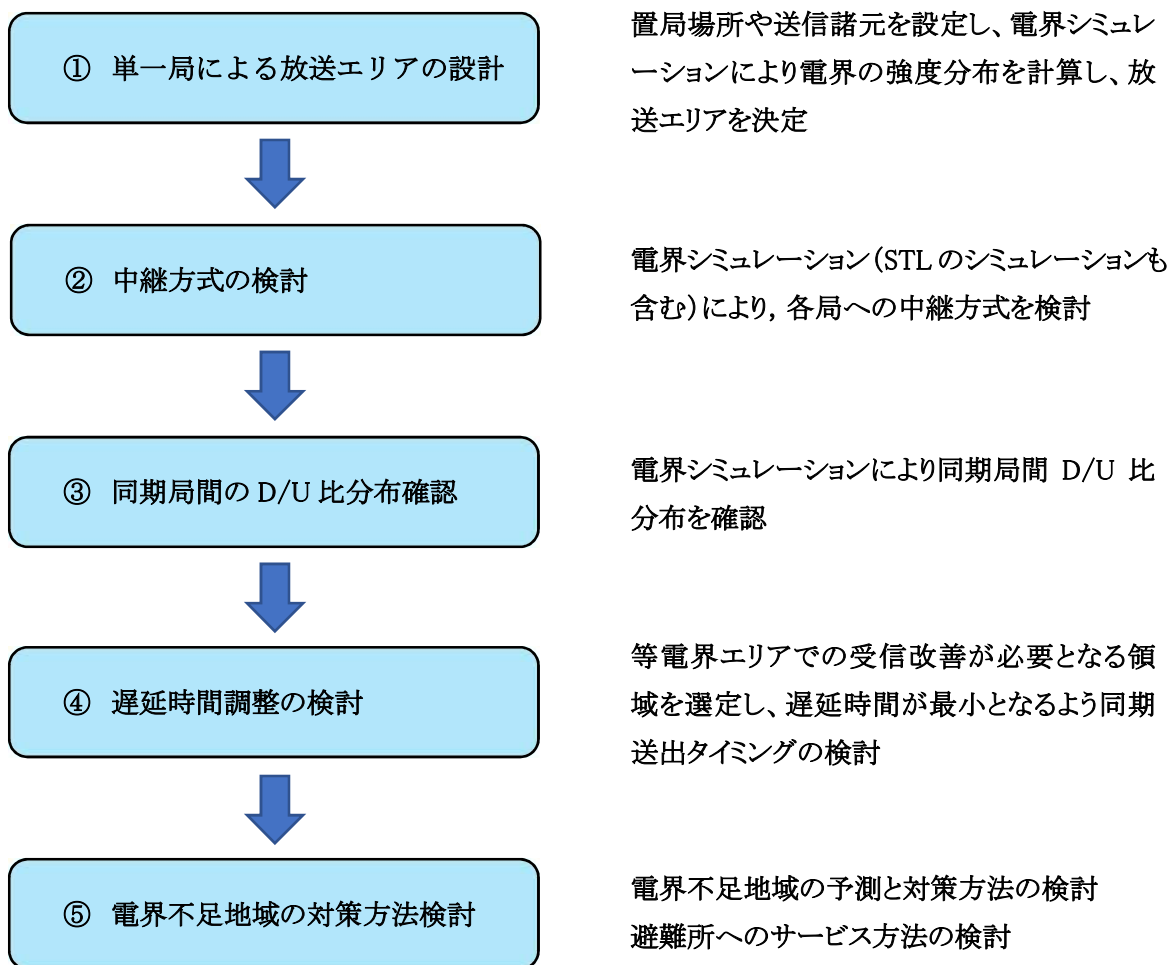


図3-4 同期放送システムの検討手順

① 中継方式の検討

同期放送を行う各局の置局位置や送信諸元(送信高、空中線電力、アンテナ構成、送信方向、受信アンテナ高)を設定し、電界シミュレーションにより全局の電界強度分布を計算し、放送エリアを設計する。

② 中継方式の検討

各局の電界強度計算結果、STLの電界強度計算、設置場所状況の把握を行い、適切な中継方式を検討する。中継点の設置環境によっては、送信点を必ずしも避難所の近傍とせず、中継が可能で必要なエリア確保が可能な場所を選定することも考慮する。

③ 同期局間のDU比分布確認

電界シミュレーションにより、同期局のDU比電界分布を把握する。特に等電界エリアが人口集中地に分布する場合には、遅延時間調整、送信電力調整などが必要となる。

④ 遅延時間調整の検討

③で計算した DU 比分布から等電界エリアで受信改善が必要となる地域を選定し、その地域の遅延時間が最小となるように同期局の送出タイミングを調整する。

各放送局の遅延時間差 Δt は、

$$\Delta t (\mu s) = (d1 - d2) / 299,729 (\text{km/s})$$

$d1$ (km) : 送信所1と遅延差測定ポイントとの距離

$d2$ (km) : 送信所2と遅延差測定ポイントとの距離

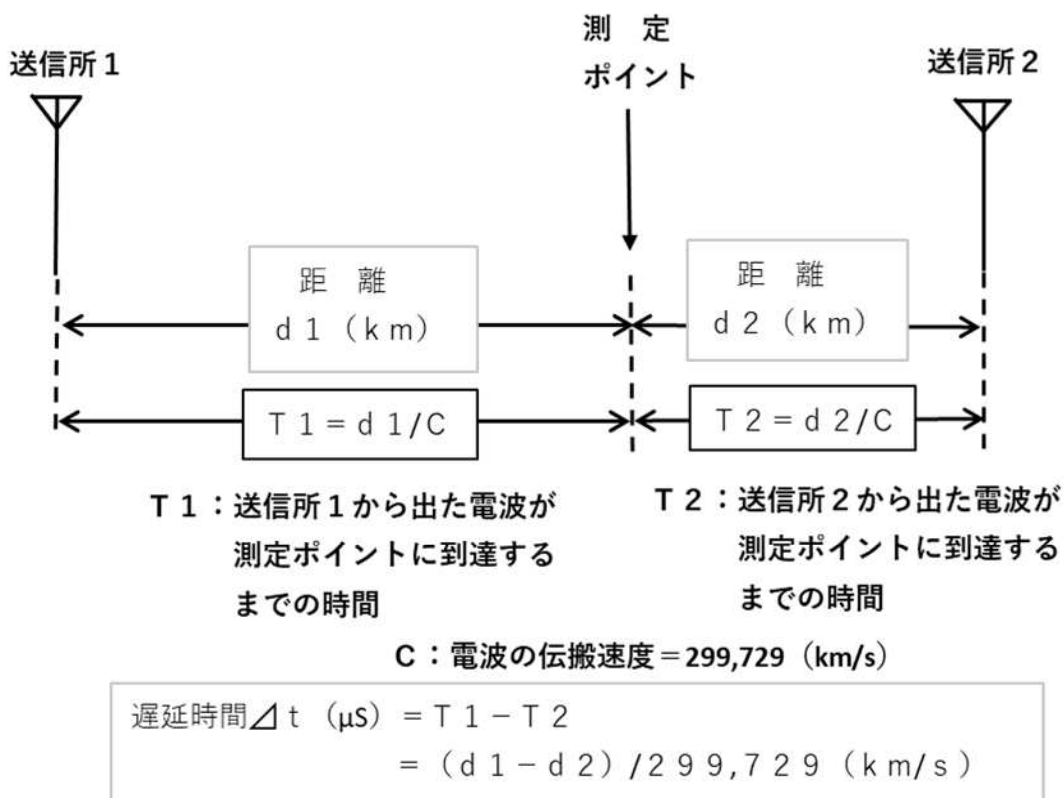


図 3-5 測定ポイントでの遅延時間

送信所1、送信所2の電波の送出タイミングを同一の基準信号で管理し、送信所1、送信所2の電波の送出タイミングを一致させると、測定ポイントまでの距離が短い送信所2の電波は $\Delta t (\mu s)$ だけ送信所1の電波より早く測定ポイントに到達する。

したがって、測定ポイントで送信所1、送信所2の電波が同時に受信されるためには、送信所2の電波の送出タイミングを基準信号より $\Delta t (\mu s)$ だけ遅らせるよう調整する。

⑤ 電界不足地域の対策方法検討

送受信点の環境により電界強度不足の地域が発生する可能性がある。

こういった地域を把握し中継局やギャップフィルラーによる補完を検討する。

3. 1. 5 同期放送システム設計及び運用のための技術

一般的に同期放送はエリア拡大に併せて順次開局していく場合が多い。このため先に述べた設計手法に従い後発局はすでに放送を行っている先発局の放送に被せる形で試験放送を開始していくことになる。このシステム設計と運用方法は臨時災害放送局にも当てはまると考えられ、下記にFM同期放送の放送エリアにおける運用のための具体的な確認事項を示す。

(1) DU 比分布確認

電界シミュレーションを基に、後発局の電波発射前に後発局エリア内において先発局の電界強度を事前に測定する。

次に、先発局の放送休止時間に後発局のみの電界強度を測定することで、先発局と後発局の電界強度が等しくなる等電界地点を確認することが可能である。

ポイント毎に測定することでも確認は可能であるが、県域放送などの広範囲なエリアでの電測は車両による移動電測で等電界エリアを確認する事例もある。

(2) 遅延時間の確認

D/U = 0 dB の等電界地点において 2 波の相対遅延時間差が 0 μ sec となるように後発局の同期送出タイミング設定を行う。相対遅延時間差測定は、既存局および新局からのトーンバースト信号をそれぞれ測定し、1PPS 信号をトリガーとしたそれぞれの絶対遅延時間の差分として確認することができる。

(3) FM SFN アナライザーによる昼間測定技術

従来、RF 遅延時間確認は特殊なトーンバースト信号を使用して測定するため、測定は夜間の放送休止時間に行われてきた。最近では、通常のプログラム信号でも相対遅延時間差を測定することが可能な同期放送用測定器 (FM SFN アナライザー) が開発されたので、通常の放送時間中にも遅延時間測定が可能となった。

また、ステレオ方式 (パイロット信号がある場合) での使用に限定されるが、パイロット信号の品質と主観評価の相関に着目し、従来測定手段がなかった FM 同期放送の受信品質の主観評価を可能にする測定方法 (PSER[※]) を実用化して運用されている。詳細は資料 8「FM 同期放送用 SFN フィールドアナライザの開発と実用化」参照。

※PSER (Pilot Signal Error Ratio)

3. 1. 6 FM 同期放送の技術的条件の情報通信審議会における検討

情報通信審議会は、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、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技術的条件をまとめている。(令和 2 年 3 月)

その要件は大きく3つに挙げられることが報告されている。

(1) 周波数の精密な管理・安定化のために必要な項目

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、干渉妨害を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。

(2) 音声信号の綿密な管理

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) 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送信所の DU 比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揺らぎを安定化させる必要がある。

(2) 使用周波数

ギャップフィルターの使用する周波数は、聴取者が移動しながら受信する場合にギャップフィルター等の放送区域が変わる度にチューニングの必要が無いよう聴取者の利便性を確保するため、上位局の放送周波数と同一の周波数による再放送を原則としている(図3-7)。

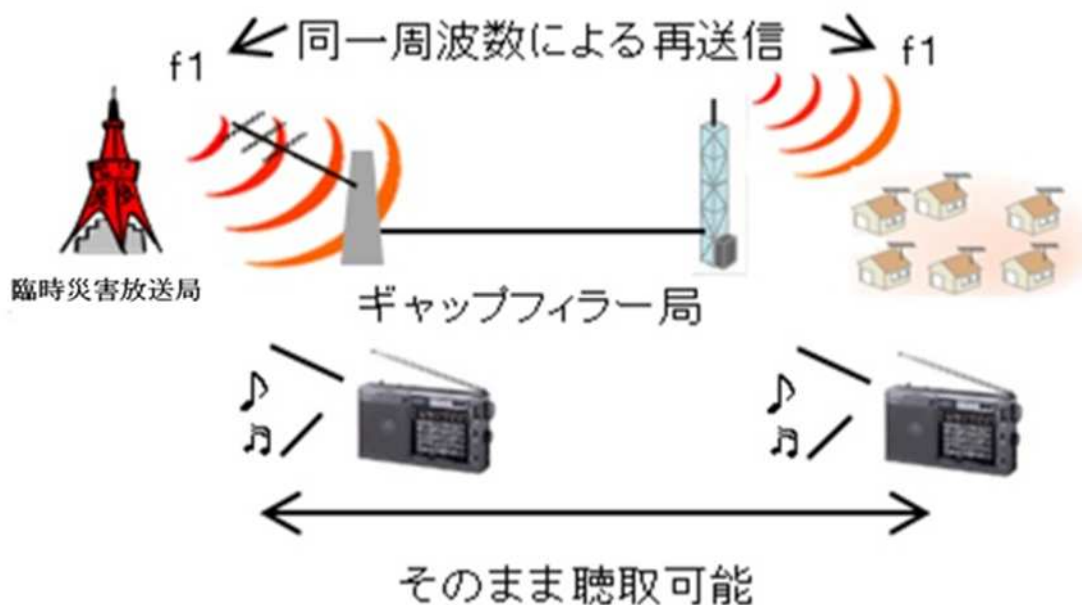


図3-7 ギャップフィルター同一周波数による再送信イメージ

ラジオ受信機の移動速度は比較的緩やかな場合や移動しない形態であって、作業台等の上に置かれていることを想定する。このため、ギャップフィルターの放送区域の算定は固定受信で、ラジオ受信機の設置する高さを1m程度として検討されている。

放送区域の範囲は半径500mから半径1,000mとし、放送機出力は250mWが想定されている。

(3) システム構成

具体的なシステムの基本構成は、図3-8の通りである。複数のラジオ放送を一つの送信機から再放送可能とし、再放送を行える数は最大9波の電波を発射できるものとする。

受信増幅部は、受信空中線からの信号に対し、不要波の除去やレベル調整、周波数変換を行う。

送信機部は、複数波を同時に増幅するMCPA(Multi Channel PA)タイプである。

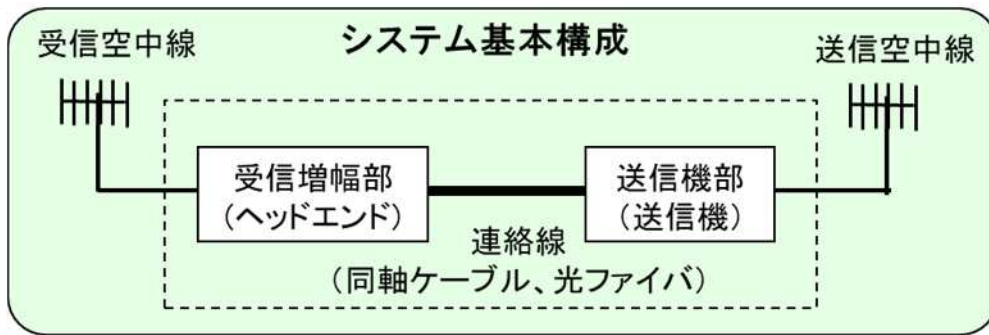


図 3-8 ギャップファイラー装置のシステム基本構成

ギャップファイラーは非再生中継方式により中継を行うため、放送波近傍の電波も併せて再放送を行うことが想定される。このため、ギャップファイラーの受信点における受信電波から不要な隣接チャンネルの電波を排除するよう、受信アンテナの位置や利得等の調整を行い、地形等による遮蔽等を活用する。

(4) ギャップファイラーの同期放送

ギャップファイラー装置は、既に制度化されており、技術基準適合証明を受けることも可能な装置とされている。情報通信審議会諮問第 2023 号「放送システムに関する技術的条件」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」(平成 27 年 7 月)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ー (CATV のダークファイバー) を利用した複数の送信点があるギャップファイラーの同期放送についての検討結果が報告されている (表3-1)。

表 3-1 ギャップファイラー複数局の同期放送の条件

許容される遅延時間	D/U	送信点間の周波数偏差
5 μ s 未満	規定せず	送信周波数相互の周波数偏差の目標値は 0Hz 搬送波の周波数安定度についても同様とする
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	

また、遅延時間が $5\mu\text{sec}$ 以下であれば、 $D/U=0\text{dB}$ のエリアでも主観評価3を得られるとの報告されている。

ギャップファイラーでは、上位局放送波受信アンテナと再送信アンテナが近接しているので、受信波に対する送信波の遅延時間は $5\mu\text{s}$ 以下 (遅延時間 1μ は距離 300m に相当) の可能性が高く、送信波の受信波に対する DU 比は 0dB 以上を目標として、送信、受信アンテナの配置を検討する。

3. 3 中継方式

3. 3. 1 放送波中継

上位局の FM 放送波をそのまま増幅し若しくは周波数変換のみを行い放送する (図3-9)。変調波の再生を行わないため、放送波の変調度誤差等の変調特性が上位局と同一の放送中継が可能である。

下位局の周波数を上位局と同一周波数で放送する場合、下位局内での同一周波の回り込みまたは上位局との重複エリアでの受信品質低下の改善を行う必要がある。

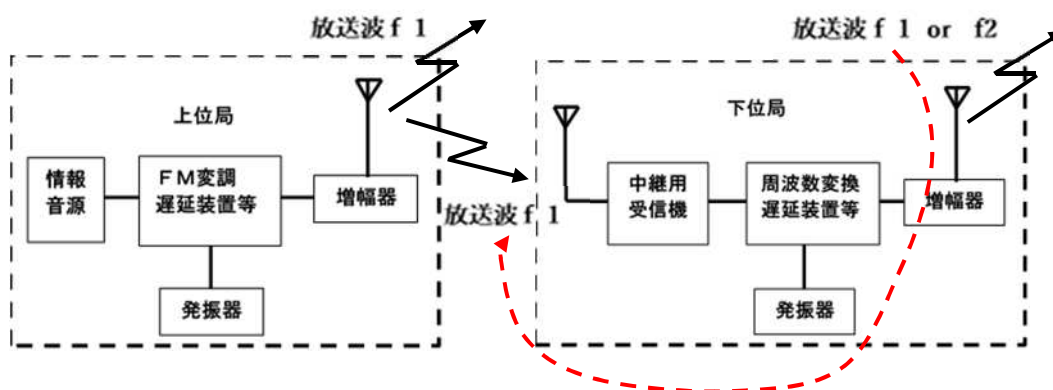
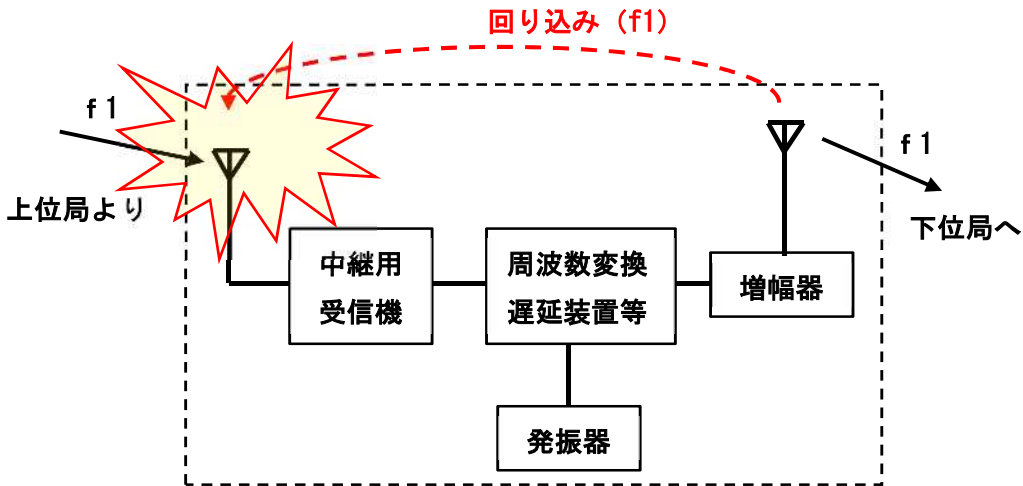


図 3-9 放送波中継

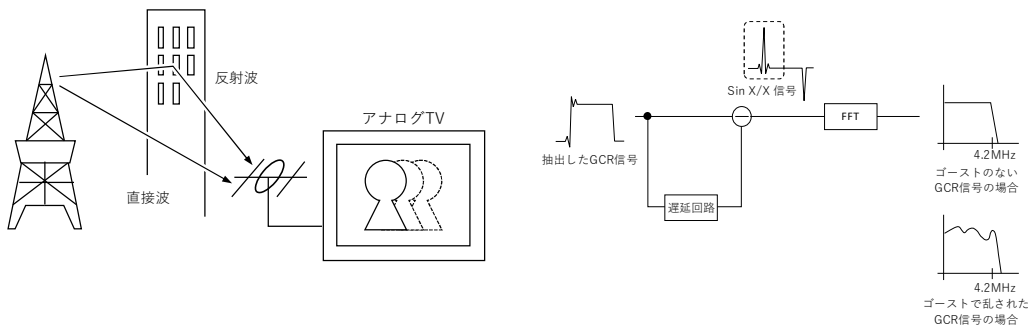
3. 3. 2 回り込みキャンセラー

上位局の放送波を受けて同じ周波数を下位局へ送信する放送波中継による同期放送の場合、下位局への送信波が上位局の受信へ遅延して回り込む遅延波の影響を抑制しなければならないが、FM 放送では近年まで同期放送は技術的に困難であるとの見解から、受信波と送信波の周波数を同一とする放送波中継の置局プランは構築されず、回り込み対策は必要とされてこなかった。



回り込む遅延波の影響を抑制させることに関し応用の可能性のある技術として、地上アナログテレビ放送のゴースト除去(ゴーストキャンセル)技術がある。ゴースト除去とは、地上アナログテレビ放送の放送波が建築物などの影響で反射波を生じ、主波と遅延する反射波とが重なり、テレビ画面上に多重像(ゴースト)が発生する障害である。このゴーストを除去するために地上アナログテレビ放送の信号には GCR(Ghost Cancel-Reference)と呼ばれる信号が挿入されており、受信器はこの GCR 信号を利用し遅延量を割り出し遅延波を除去している。

近年、FM 同期放送の普及により、FM 放送波中継における回り込み対策の必要性から、ゴーストのように遅延して到来してくる不要波を除去するキャンセラーの開発が行われている。



3. 3. 3 STL 中継

(1) STL 装置の概要

STL として使用可能な周波数帯は、60MHz帯、160MHz帯、マイクロ波帯の3種類がある。それぞれの周波数帯の特徴を表3-2にまとめる。

表 3-2 STL方式の比較

	60MHz帯STL		160MHz帯STL		マイクロ波帯STL	
	特徴	評価	特徴	評価	特徴	評価
周波数割り当ての容易さ	チャンネル数あり	○	60MHz帯よりチャンネル数少ない	△	チャンネル数あり	○
アンテナ形式	八木アンテナ ダイポールアンテナ		八木アンテナ ダイポールアンテナ		パラボラアンテナ	
アンテナの大きさ	エレメント長3m 受風面積 小	△	エレメント長1.5m 受風面積 小	○	直径30φ 受風面積 大	△
アンテナ固定の容易さ	比較的容易だが 160MHz帯よりアンテナ が大型	△	比較的容易	○	対向する送受信パラボラ アンテナの中心がずれないよ う固定する必要がある	×
機器価格	送受信対向で300万円	○	送受信対向で300万円	○	送受信対向で1500万円	×
外国波混信	有	×	無	○	無	○
季節的な異常伝搬	有	×	ほぼ無し	△	無	○
中継回線の特徴	送信局からの角度差が 30度程度以内なら、一つ の送信局で複数の中継 局に配信ができる	○	送信局からの角度差が 30度以内なら、一つの送 信局で複数の中継局に 配信ができる	○	送受信は必ず1対向1組 中継回線の数だけ送受信 必要	×

アンテナについては、60MHz帯、160MHz帯のアンテナ(八木アンテナ、ダイポールアンテナ)が取り扱いやすい。

また、臨時災害放送局の周波数(76.1~94.9MHz)と周波数帯が近いことから、放送用受信アンテナ、送信アンテナとの共用アンテナが開発されれば、アンテナ設置の簡易化が図れる。

機器の価格面では、マイクロ波帯 STLは単体の価格に加え、中継回線ごとに1対向の送受信アンテナ、マイクロ機器が必要となり、機器の価格が非常に高価となる。

これらのことから、STL 回線としては、60MHz帯、160MHz帯の使用を想定する。

(2) STL 中継

上位局から下位局へ STL 装置でプログラム伝送を行い、下位局で FM 変調し、放送を行う(図3-10)。

上位局、下位局で FM 変調器が異なるので、放送波の変調度誤差等の変調特性が合致しない場合がある。STL 装置でプログラムが伝送されるので、下位局での放送波の回り込みを配慮する必要がない。

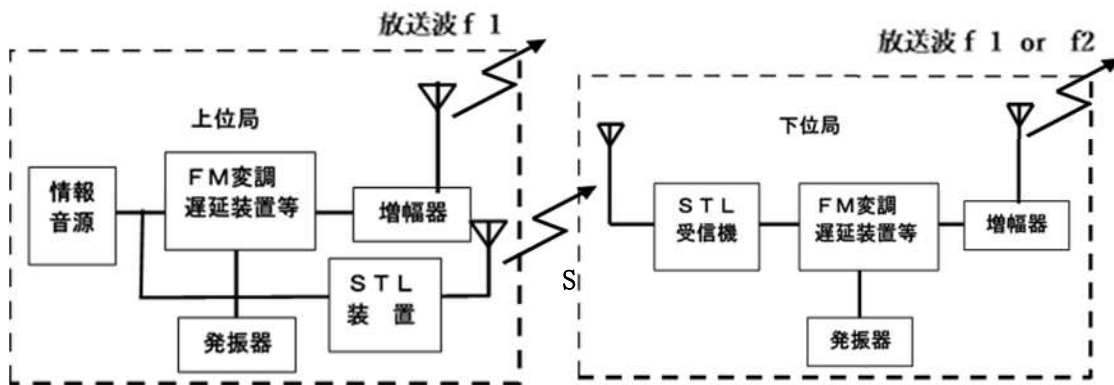


図3-10 STL中継

3. 3. 4 臨時災害放送局の複数置局における中継方式の検討

臨時災害放送局を複数置局し、同期放送を想定した場合の各放送局への中継方式について検討した。

(1) 放送波中継方式

上位局の放送波を中継伝送回線として使用する。

中継局の送信周波数を上位局と同一とし、同期放送とする場合は、受信への送信周波数の回り込み低減対策が必要となる(図3-11)。

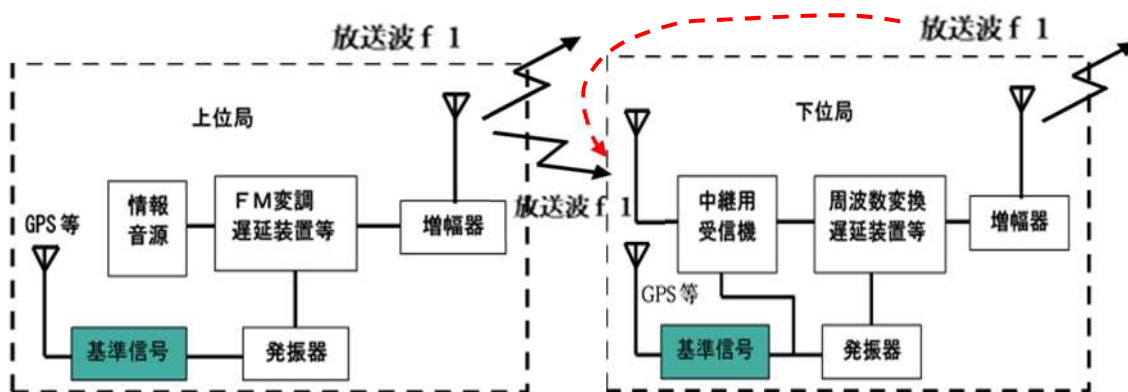


図3-11 放送波(上位・下位局同一波)での放送波中継

放送周波数を2波確保できれば、上位局、下位局で交互に周波数を配置する(図3-12)。

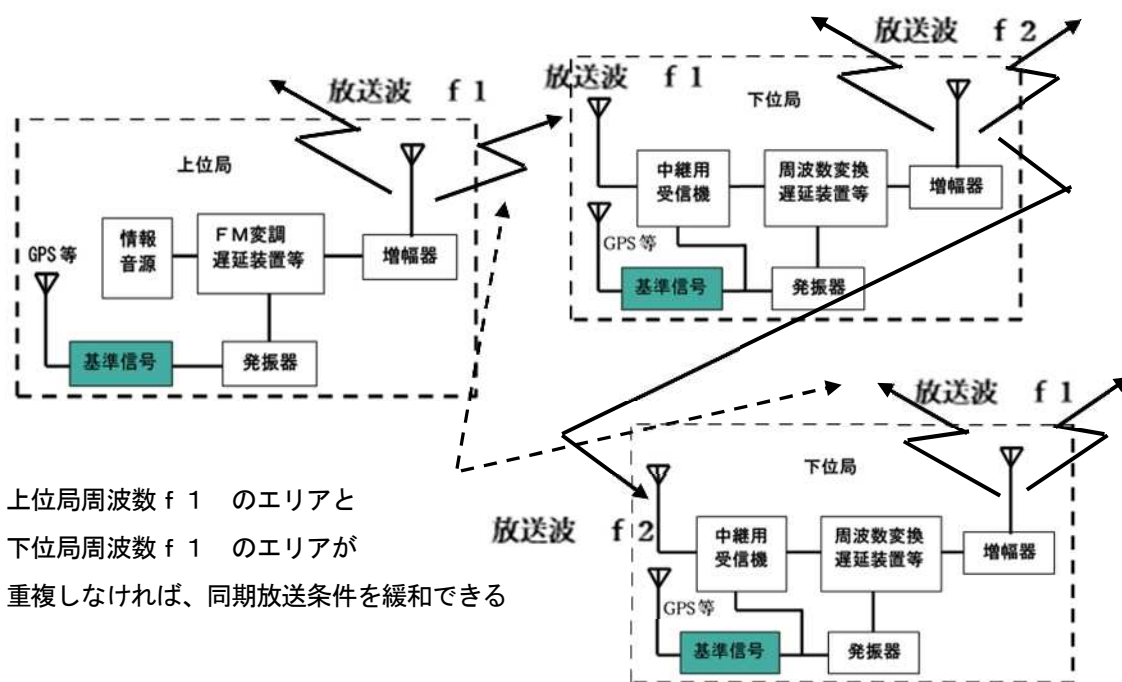


図3-12 放送波(上位・下位異周波数)での放送波中継

上位局周波数 f_1 と下位局周波数 f_1 のエリアができるだけ重ならないように配置できれば同期放送の条件が緩和できる。

あるいは、上位局で広エリアをカバーし、下位局同士が同期放送となるようネットワークを構築し、必要な放送エリアを確保することは可能である(図3-13)。

この場合、下位局 f_2 での同期放送調整が必要となる。

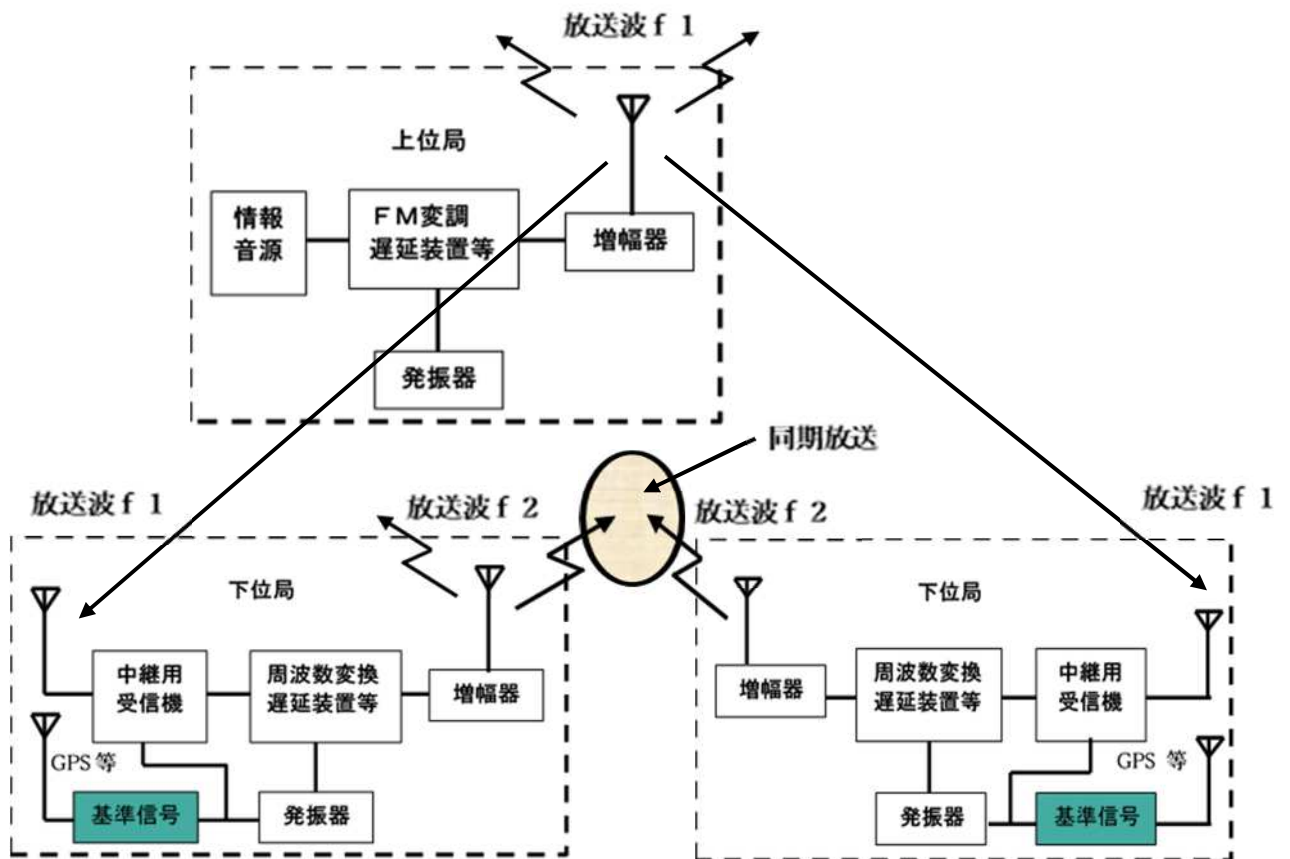


図3-13 放送波（上位・下位局異周波）での放送波中継

(2) STL 中継方式

STL 装置を伝送回線として用いる(図3-14)。

放送波と中継回線が使用する周波数が異なるため、回り込みの配慮が不要である。遅延時間の揺らぎがなく、安定した固定遅延となるため、同期放送の調整が簡便に行える。ただし、STL 送受信装置、送受信アンテナを放送装置とは別に備える必要がある。

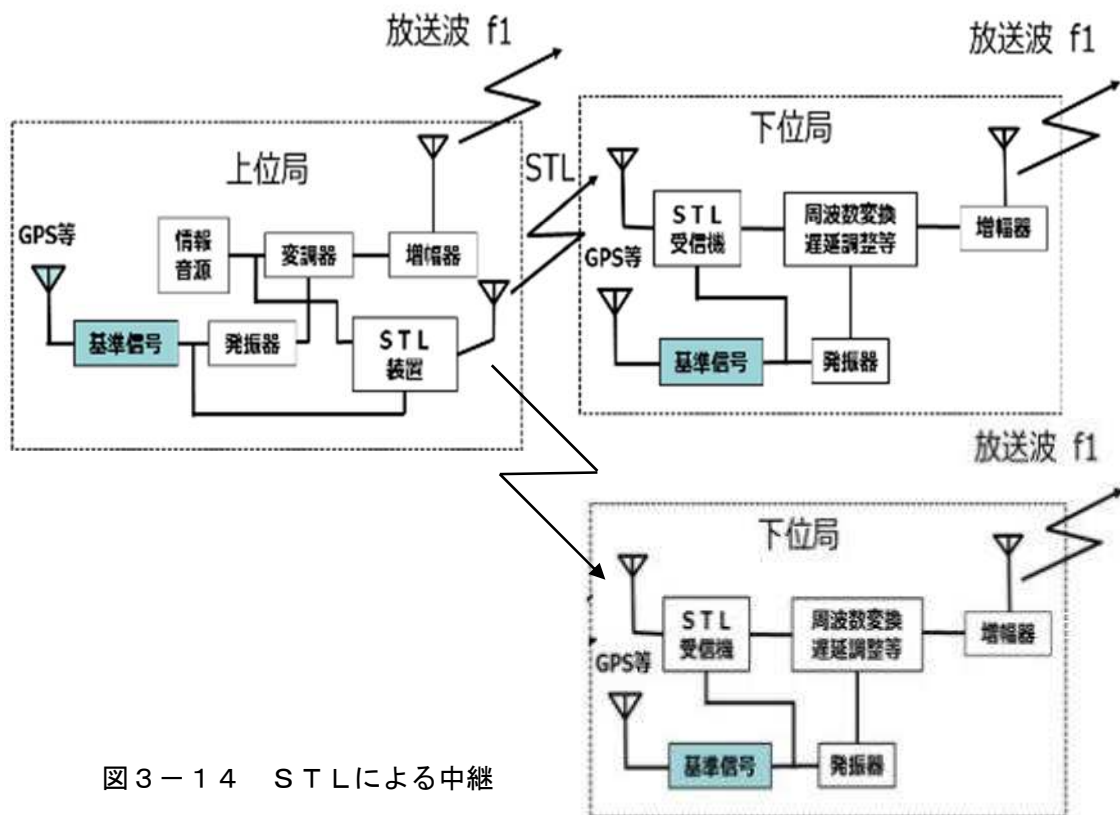


図 3 - 1 4 S T Lによる中継

(3) 光ケーブルによるFM放送波伝送

自治体、CATV 業者が事前に敷設したダークファイバーが利用可能な場合に有効である。最上位局(町村役場に設置の送信機)のFM放送を光信号にE/O変換し各放送局に届ける。各局では、受信した光信号をO/E変換し、遅延調整を行って電力増幅し、FM放送波として送出する(図3-15)。

各放送所に伝送されるFM放送波は、同一のRF信号を分配しているため、放送所間で、搬送波周波数偏差、搬送波周波数安定度、変調度に差が生じない。このため、同期放送の調整が容易となる。また、演奏所のみ変調器を用意すればよいため、導入コストや機器の手配が簡便となる。

ただし、災害時の光ファイバー回線の障害発生リスクがある。

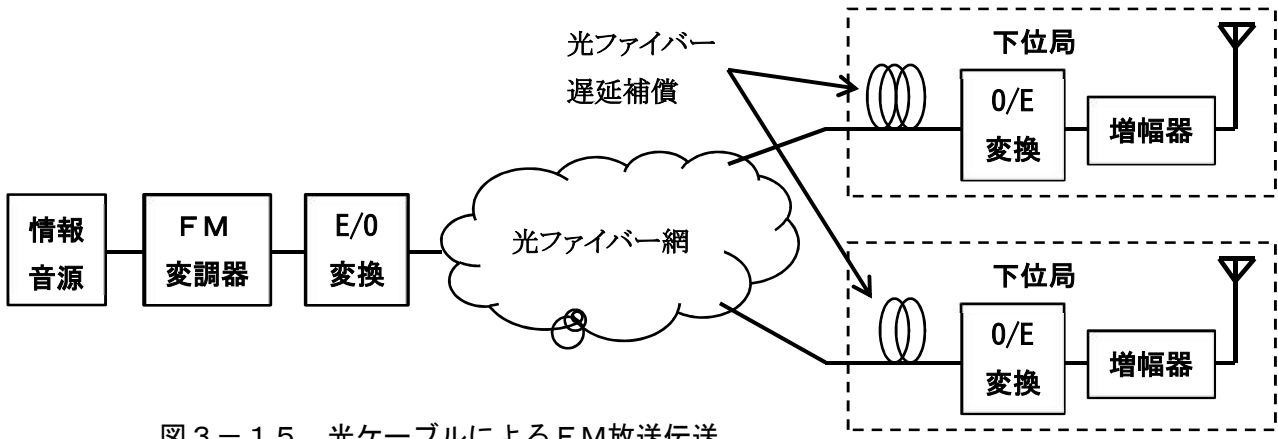


図 3 - 1 5 光ケーブルによる FM 放送伝送

(4) IP 回線を利用した方式

音声信号をデジタル化し IP 回線により各放送局に配信する方式である。発災時に安定した IP 回線が確保できる場合には有効である。

ただし、IP 伝送によるパケットロスや遅延時間の揺らぎが発生する。同期放送で使用するためには、遅時間の揺らぎを補償する仕組みが必要になる。

① 広域イーサネット（ユニキャスト IP 網）の利用

中継回線が IP 網の場合の構成を図3-16に示す。

この方式では、IP 網の両端で同期 IP コーデックを設置し、GPS 等の基準信号により中継回線の時間同期を取る。

IP 網としては広域イーサネットの専用線が必要であるが、ベストエフォート型ではパケットロスに対する補償が困難である。

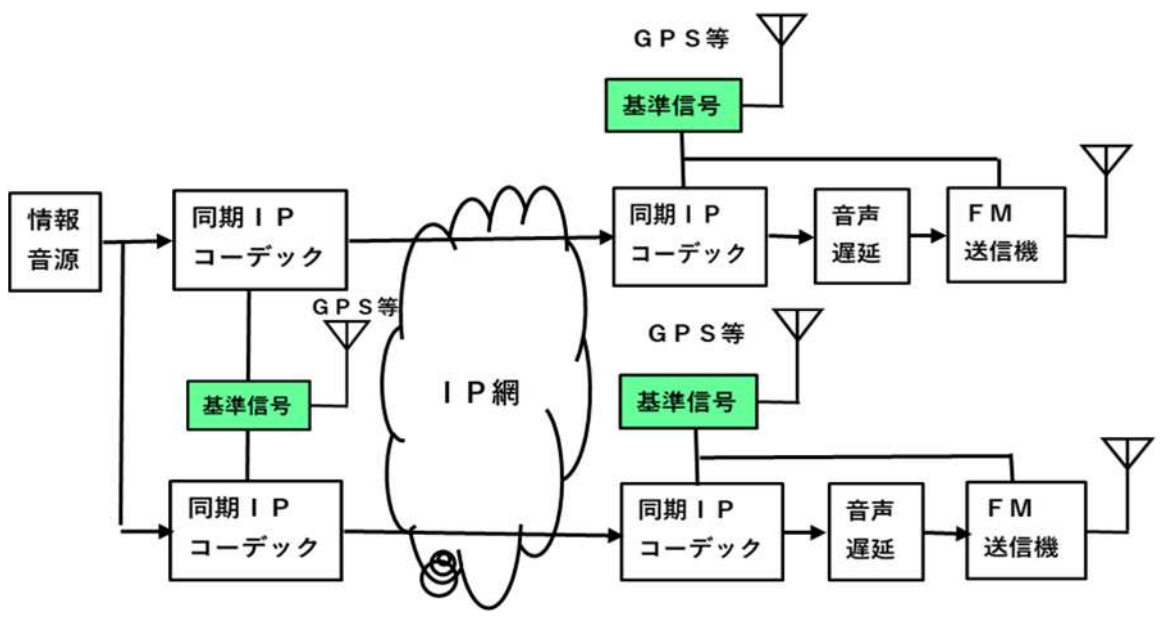


図 3 - 1 6 広域イーサネット（ユニキャスト IP 網）を利用

特徴としては、次のようなことがあげられる。

IP 網の遅延・揺らぎの補償には GPS 信号等による基準信号が必要である。

レイヤ2の IP 網では送信所毎に対向した独立回線を設けることが望ましい。

② 広域イーサネット（マルチキャスト IP 網）の利用

マルチキャスト IP 網を利用した場合の構成を図3-17に示す。

番組送出側の同期 IP コーデックをマルチキャストで動作させる。

広域イーサネット(ユニキャスト IP 網)の利用の場合と同様に、GPS 等の基準信号により中継回線の時間同期を取る。IP 網としては広域イーサネットの専用線が必要であるが、ベストエフォート型ではパケットロスに対しての補償が困難である。

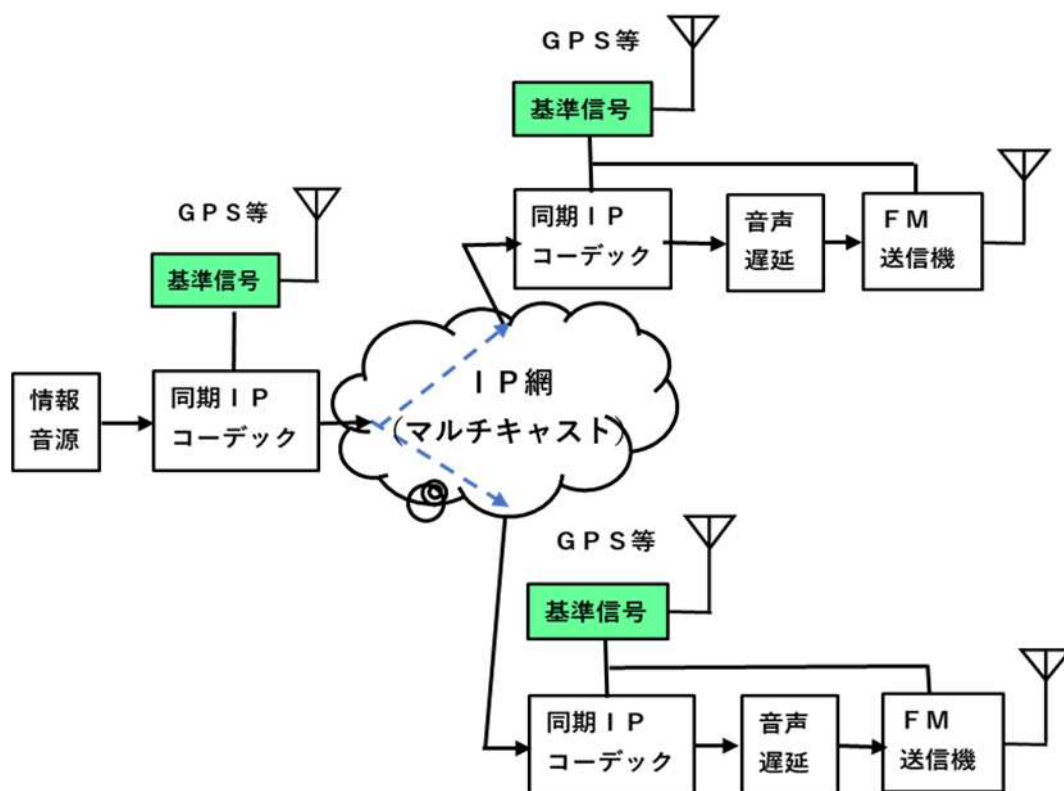


図3-17 広域イーサネット（マルチキャスト IP 網）を利用した中継

特徴としては、次のようなことがあげられる。

IP 網の遅延・揺らぎの補償には GPS 信号等による基準信号が必要である。

同期 IP コーデック間の遅延時間が4~5秒と大きい場合があるため、リアルタイム性に課題がある。

番組送出側の同期 IP コーデック設備は1台で対応でき設備の軽減が図れるため、中継回線費用はユニキャスト IP 網よりは安価となる。

③ デジタル専用線の利用

中継回線としてデジタル同期網(デジタル専用線)を利用した場合を図3-18に示す。

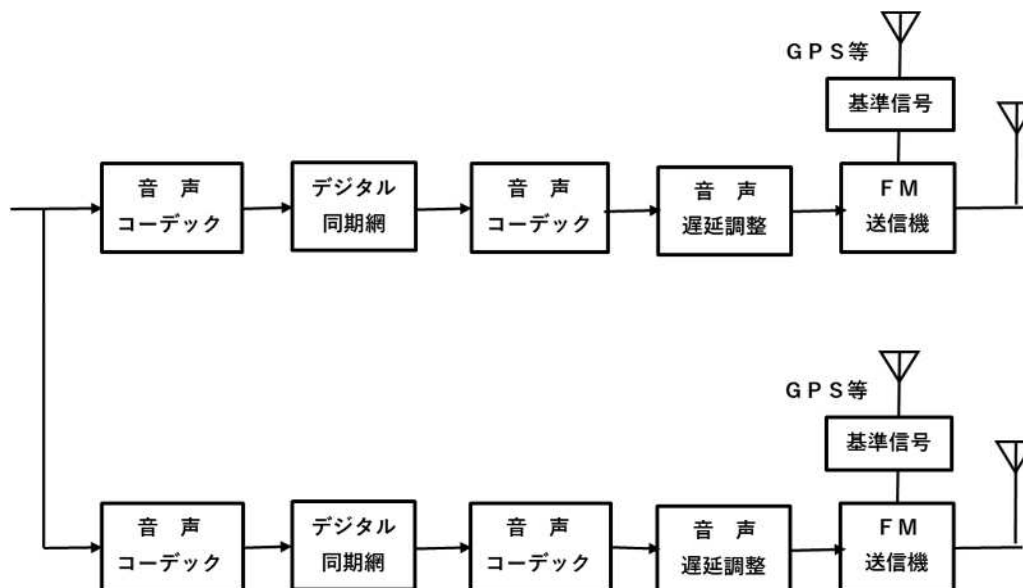


図3-18 デジタル同期網(デジタル専用線)を利用した中継

特徴として、次のようなことがあげられる。

- 中継回線の遅延時間はほぼ一定で、揺らぎを無視できる。
- 中継回線の構成は簡易である。
- 中継回線費用はVPN網(IP網)よりは高価となる。

3. 3. 5 中継方式のまとめ

同期放送で臨時災害放送局を複数置局する中継方式について検討した。

災害発生時を考慮すると、有線を使用した伝送系は、断線などの回線の物理的な障害や通信の輻輳による接続障害などを受けやすい。

放送波中継、STL中継の無線系を利用した中継方式では、中継場所の環境を考慮して設置場所を選定する必要があるが、回線開通後は、開設者で管理が可能であり、接続状態も安定していると考えられる。

(1) 全局同一周波数で同期放送を実現する放送波中継方式

複数局を迅速に立ち上げ可能な方式は、放送波中継方式であるが、全局同一周波数の同期放送の場合、各局の受信点で送信波の受信への回り込み低減を行う必要がある。

回り込み低減の方法としては、

- ・送受信アンテナの離隔距離確保
- ・建物遮蔽による回り込み波レベルの抑制

が主な対策となる。

FM 放送周波数帯の回り込みキャンセラーが開発されれば、回り込み対策は簡便になるものと思われる。

(2) 複数周波数割り当てによる放送波中継方式

広域のエリアを確保する局と局所的なエリアを補完する局の周波数を異なる周波数とし、局所的なエリア同士で同期放送を行えば、回り込み対策は不要となる。

しかし、瀬戸内海のような周波数がひっ迫している地域では、2周波を確保することが難しい場合がある。

(3) STL 中継方式

放送局間の中継を STL で行うので、全局同一周波数での同期放送を簡便に立ち上げることができるが、放送周波数と STL 周波数の確保が必要である。FM 放送周波数帯と STL 周波数帯(60MHz 帯、160MHz 帯)の共用アンテナが開発されれば、アンテナの設置が容易になる。

(4) 光ファイバーケーブルを使用した中継

自治体、CATV 業者等が敷設している光ファイバー網(ダークファイバー)を使用する。

演奏所に FM 変調器を設置し、各放送局に FM 変調波を配信する光ファイバーによる FM 放送伝送が、簡易に立ち上げが可能である。災害時、光ファイバー回線の障害発生リスクがある。

(5) IP 回線を利用した中継

IP 回線に起因する遅延時間の揺らぎが発生するため、揺らぎを補償する仕組みが必要となる。災害時、IP 回線の回線障害発生リスクがある。

3. 4 空中線技術

臨時災害放送局は短期間での立ち上げが必須のため、使用する送受信アンテナは安定した電気的特性を確保しながら、軽量で、運搬時にはコンパクトに収納できることが求められる。

また、運用期間が限られ、耐久性に関しても緩和できることから、これまでの TV 受信で各アンテナメーカーが多くのノウハウを持っているアルミ製のアンテナで、十分な性能が確保可能である。

構造が比較的簡易で、取り扱い易いアンテナ形式としては、ダイポール型、八木型、などがある。

3. 4. 1 送信空中線

臨時災害放送局の送信では、既存 FM 放送への影響低減、周波数確保の観点から、隣接地域への影響の低減を考慮する必要がある。

隣接地域への影響を軽減するには、アンテナの水平・垂直方向の指向特性を調整して、目的とするエリアに電波のエネルギーを集中させる方法がある。

(1) 1/2 波長ダイポールアンテナ

図3-19は、ダイポールアンテナの構造・水平・垂直指向特性の例を示している。

素子の長さは、約 2m(1/2 波長)である。

1/2 波長ダイポールアンテナは、素子と直角方向に八の字に電波を発射する特性があるので、素子方向には電波のエネルギーがほとんど発射されない。

受信アンテナとして使用した場合には、素子と直角方向の電波を良く受信できる特性がある。

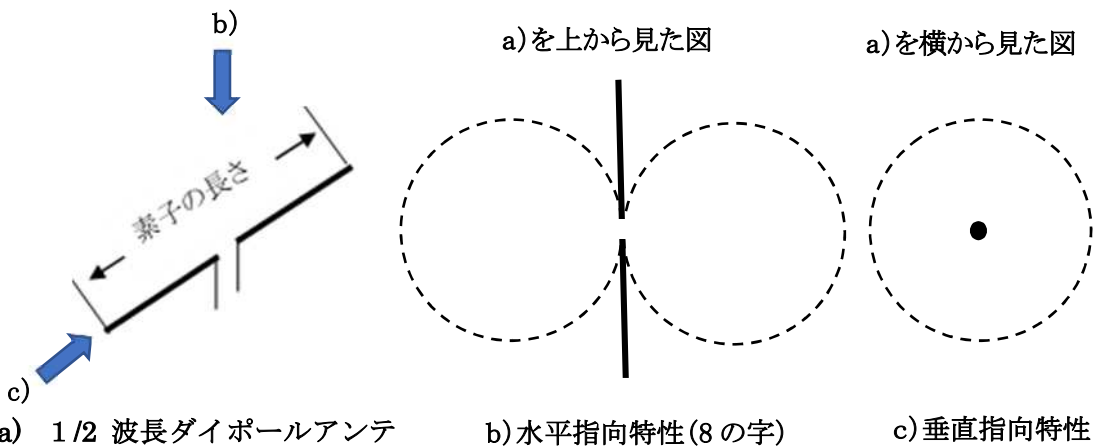


図3-19 1/2波長ダイポールアンテナの構造 水平・垂直指向特性

また、2本のダイポールアンテナを直角に組み合わせる(クロスダイポール)と、無指向性に近い特性を作り出すことができる(図3-20)。

この場合には、全方向に電波を出す特性となる。

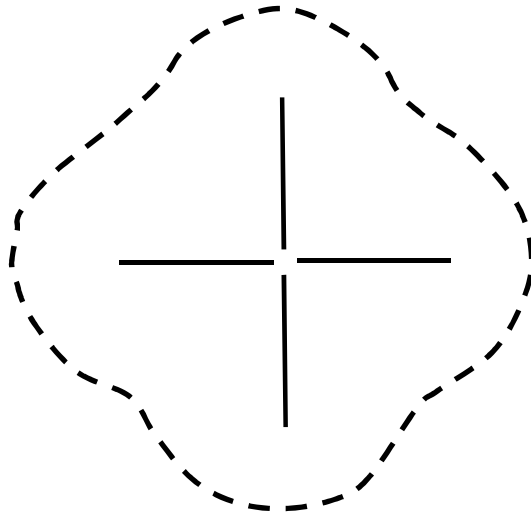
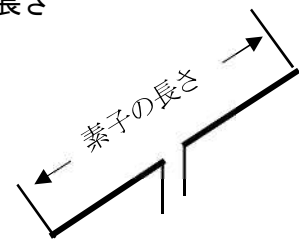


図3-20 クロスダイポールアンテナの水平指向特性

ダイポールアンテナの素子の長さは使用する周波数により異なる。FM 周波数帯ダイポールアンテナの長さを表3-3に示す。

表3-3 ダイポールアンテナの素子の長さ

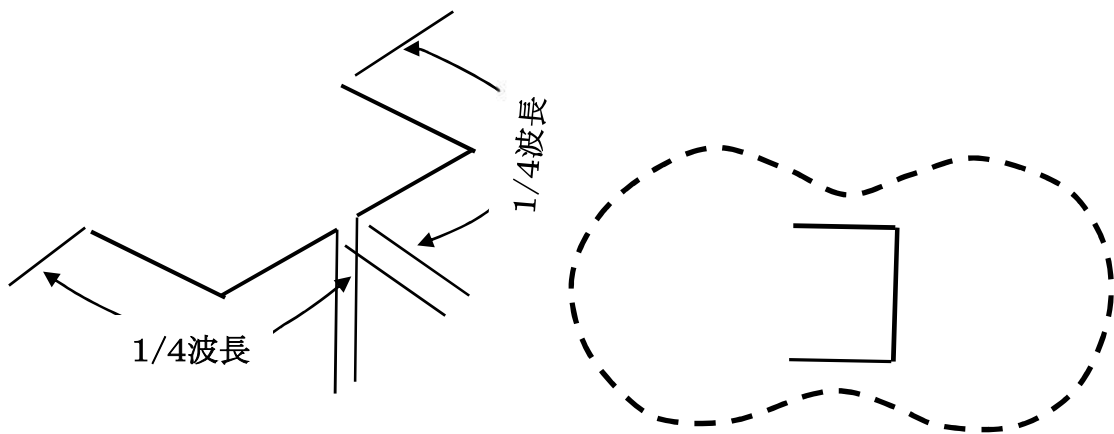
周波数 (MHz)	75	80	85	90	95
アンテナ素子の長さ (m)	2.00	1.88	1.76	1.67	1.58



(2) 折り曲げ型 (U型) ダイポールアンテナ

図3-21は、折り曲げ型(U型)ダイポールアンテナの構造、水平指向特性を示している。このアンテナは、通称U型アンテナと呼ばれている。基本形は、1/2 波長ダイポールアンテナで、素子の途中を直角(L字型)に曲げたものである。

素子を折り曲げることにより、水平指向特性は、まゆ型になり、1/2 波長ダイポールアンテナの素子方向にも指向特性をもつ。



折り曲げ型(U型)ダイポールの構造

折り曲げ型(U型)ダイポールの水平指向特性

図3-21 折り曲げ型 (U型) ダイポールの構造・水平指向特性

(3) 八木アンテナ

図3-22は、八木アンテナの構造、水平・垂直指向特性を示している。

八木アンテナの基本形は、1/2 波長ダイポールアンテナで、ダイポールアンテナの前後に、反射器(ダイポールアンテナより少し長い素子)、導波器(ダイポールアンテナより少し短い素子)を追加した構造となっている。

図は素子が3本で構成しているので3素子八木アンテナと呼ぶ。

八木アンテナの素子間の距離は、約1m(1/4波長)となる。素子の長さが約2mなので、3素子八木アンテナの大きさは約2m×約2mとなる。

反射器、導波器を追加すると電波のエネルギーは、導波器の方向に集中するようになる。

導波器を増やせば、その指向特性は鋭くなっていく。

また、一般的に、水平指向特性よりも垂直指向特性がブロードになる(広がりが大きくなる)。

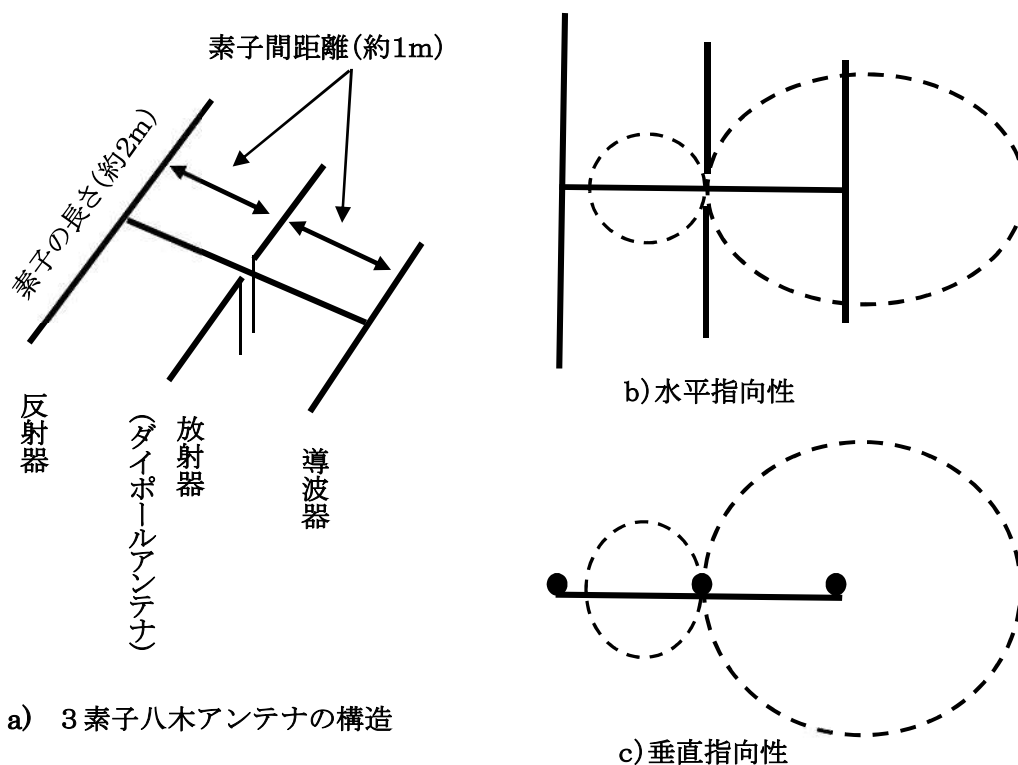


図3-22 八木アンテナの構造、水平・垂直指向特性

また、八木アンテナの場合も、複数の八木アンテナを組み合わせることで、水平面指向特性を調整することが出来る(図3-23)。

さらに、八木アンテナの組み合わせ本数や、それぞれに供給する電力を調整することで、水平指向特性を細かく調整できる。

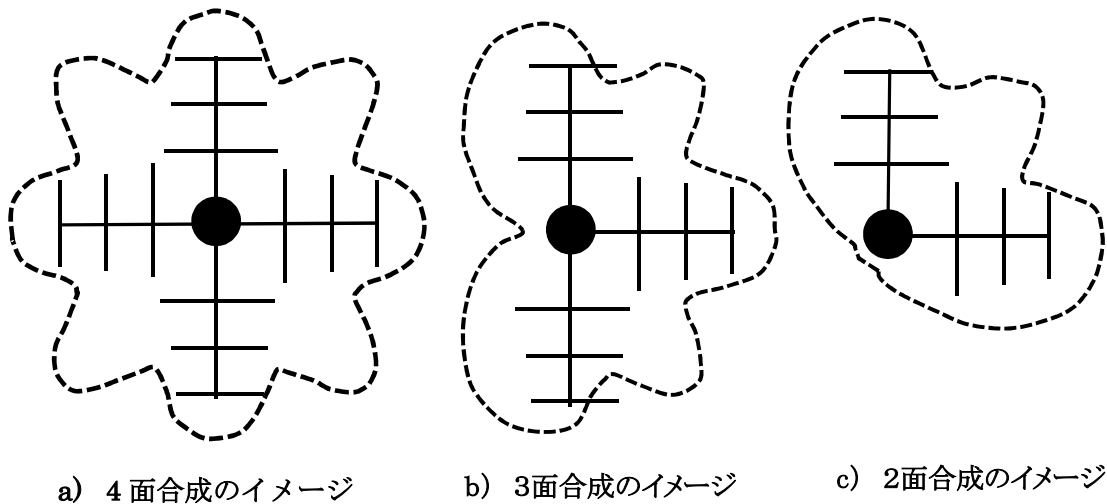


図3-23 複数の八木アンテナの合成

(4) 垂直指向特性

垂直指向特性を調整するためには、複数のアンテナを垂直に積み重ねる方法がある。

それぞれのアンテナに供給する電波の位相を調整することで、最大輻射方向を水平から4度程度まで下向きに調整できる。(電氣的チルト調整と呼ばれている。)

エリアの状況により、4度以上の下向き方向が必要な場合は、アンテナを物理的に下向きに傾けて調整を行う。

(5) 偏波面

ダイポールアンテナの素子を地面に対して水平にした場合を水平偏波、素子を垂直にした場合を垂直偏波という。

放送エリアを確認するために行う電界強度測定では、垂直偏波は受信点周辺の環境の影響を受けやすく水平偏波に比べて計算値との乖離が大きい。

このことから、基本的には、水平偏波で送信を行うほうが安定した受信ができるといえる。

垂直偏波の電波を水平偏波のアンテナで受信すると10dB程度電界値が低下する(偏波面効果という)ので、受信点への送信波の回り込みの低減には偏波面を異偏波とする方法も有効である。

例えば、上位局を水平偏波で送信し、下位局を垂直偏波で送信することで、上位局受信への回り込みを低減することが出来る。

(6) 周波数特性

送受信アンテナの周波数特性を広い周波数帯に対応できるよう設計することが可能である(広帯域アンテナ)。広帯域のアンテナであれば、運用周波数を考慮することがなく設置調整が容易となる。

しかし、広帯域特性と指向特性は相反した特性で、鋭い指向特性を広帯域全体にわたって保障することが難しくなる。また、多素子アンテナでもこの状況は変わらない。

したがって、単一周波数に調整されたアンテナに迫る特性を得るためには、使用可能な周波数幅を 5MHz幅程度に抑え、臨時災害放送局で使用される周波数(76MHz～95MHz)を4種類程度の帯域に分けたアンテナ構成とするのが望ましい。

3. 4. 2 中継回線用受信空中線

FM 同期放送を受信すると受信機の内部で複数の電波が合成された状態で FM 復調され復調された音声は干渉妨害を受けた復調音となる。

復調音声干渉妨害を受ける原因は、受信した電波相互の遅延時間差による位相差によるものである。

一方で FM 受信では、レベル差のある単一周波数を受信する際に弱い信号を抑える特性がある。つまり、単一周波数の電波であっても、ある程度のレベル差がつけば、干渉妨害の程度が格段に改善する。

これらの検討結果から、受信機入力端の DU 比を確保することにより、同期放送環境における受信劣化を改善できる。

受信入力端における DU 比を確保するためには、指向性を狭く・鋭くし、前後比を大きくする必要があり、その対策方法として、アンテナの多素子化、反射器の付加が考えられる。

さらに、VHF 帯(60MHz 帯、160MHz 帯)の STL を伝送回線として使用できるよう、FM 放送帯・VHF 帯 STL を同時に受信できるアンテナとしておけば、状況に応じ伝送回線の選択が可能となり、柔軟な伝送回線の構築に寄与するものと考えられる。

3. 5 FM 受信機の種類及び動向調査

3. 5. 1 概要

臨時災害放送局を設置する場合の受信者のFM受信機は、災害による緊急時であることから、受信者が以前より所有しているFM受信機を使用する 경우가大部分であると想定される。一般にFM放送はステレオ方式よりモノラル方式の方が放送エリアが広いといわれているが、市販されているFM受信機の大半がステレオ/モノラル自動切替え方式のものが多く、モノラル専用のみを選定することはできない。

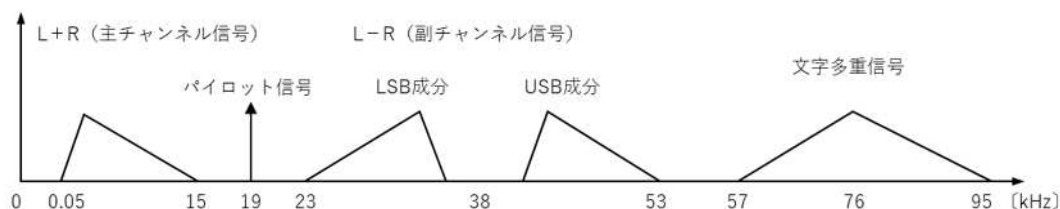
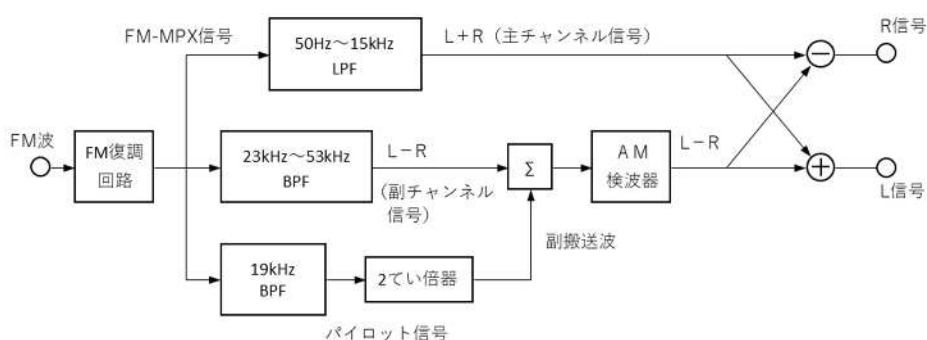
ここでは、モノラル受信機とステレオ受信機の特性と、市場の動向について調査をした結果を説明する。

3. 5. 2 FM 受信機の種類

ステレオ受信機とモノラル受信機の構成と概要を下記に説明する。

(1) ステレオ/モノラル受信機

ステレオ信号を復調する回路のブロック図を図3-24、FMコンポジット信号を図3-25に示す。



下記にステレオ復調の動作を述べる。

まず、FM波を受信しFM復調器で復調する。すると図3-25に示すコンポジット信号が得られる。

次に、このコンポジット信号から、LPF によって 15kHz 以下の主チャンネル信号(L+R 信号)を取り出す。この信号をそのまま聞けばモノラルとなる。

また、23kHz～53kHz の周波数範囲の信号を通過させる BPF で副チャンネル信号(L-R 信号)を取り出す。

コンポジット信号から 19kHz のパイロット信号を BPF で取り出して、2 通倍することで副搬送波信号を再生する。

再生した副搬送波信号を上記の副チャンネル信号(L-R 信号)に加えて、DSB-SC 信号である副チャンネル信号を AM 波に変換し、その出力を AM 検波して L-R 信号を取り出す。

以上の過程で得られた L+R 信号と L-R 信号をマトリクス回路で加算または減算して元の L と R の信号を取り出す。加算出力は 2L、減算出力は 2R となる。

(2) モノラル受信機

モノラル信号は前述の LPF によって得られた 15kHz 以下の主チャンネル信号(L+R 信号)を取り出し、そのまま聞けば良い。(図3-26および図3-27参照)

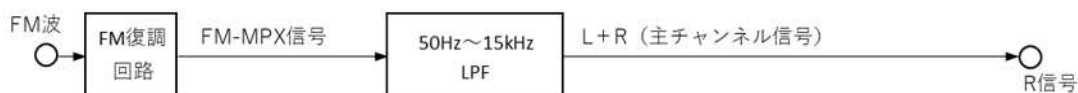


図 3-26 FMモノラル放送(受信側)のブロック図

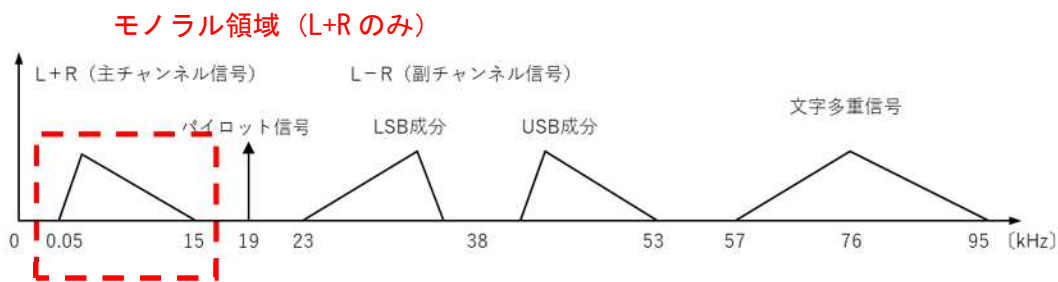


図 3-27 FMコンポジット信号の周波数スペクトラム

(3) ステレオ受信機とモノラル受信機の比較

ステレオ受信機とモノラル受信機の構成より、ステレオ方式の方が広帯域な信号を復調するため、モノラル方式に比較して副チャンネル信号帯域で生じたひずみや雑音の影響を加算してしまい、またひずみや雑音が発生した場合にも副チャンネル信号帯域の分だけひずみや雑音の影響が加算される可能性が高いことがわかる。

3. 5. 3 FM 受信機の受信感度

(1) 受信感度

受信機の基本特性の中に受信感度という受信機の性能を表す重要なパラメータがある。受信感度とは「通信に必要な受信品質を確保できる最小受信入力電力」と定義され、具体的にはアナログ受信機の場合は、ある一定のSN比を満足するため最小受信入力電圧を指すことが多い。

FM 受信機においては、SN比 40dB を満足するための最小受信入力電力は $6\text{dB}\mu\text{V}$ (EMF) ~ $14\text{dB}\mu\text{V}$ (EMF) のものが報告されており、FM 受信機の受信感度は機種によってさまざまである。

また、一般的に FM 放送はステレオ方式よりモノラル方式の方が放送エリアが広いといわれているが、これは先に述べた受信機の構成上、モノラル方式の方がひずみや雑音の影響を受けにくいことから、同じ受信入力電圧であればモノラル方式の方が高いSN比を得られることに起因する。

(2) 受信入力と受信アンテナ

ラジオ受信機においては受信感度の良し悪しが焦点になることもあるが、受信感度が良い受信機であっても受信入力が低い場合は満足するSN比が得られないこともある。FM 受信機の場合は受信アンテナの長さが $\lambda/4$ (λ は1波長で、FM 放送波長の λ は約4m弱) のものが多く、付属しているロッドアンテナは1m前後まで伸びるものがあるため、適正な長さに伸ばして受信電力を最適にすることで SN 比を上げることができる。最適な受信アンテナの長さの観点より、ポケットラジオはイヤホンケーブルを受信アンテナと兼用しているものが多いため、イヤホンケーブルの張り方(付け方)を工夫することでSN比を上げることができる場合があることがわかる。

3. 5. 4 FM 受信機における市場の動向

臨時災害放送局が今後ワイド FM の周波数帯を使用することや、モノラル方式で放送することを想定し、現在市販されている FM 受信機の動向について調査をした結果を説明する。

(1) ワイド FM 対応受信機

ワイド FM 対応受信機も近年普及が進みつつあり、カタログ調査におけるワイド FM 対応受信機の比率は約 95%であった。調査結果を表3-4に示す。

表 3-4 ワイド FM 対応受信機の台数 (2019 年秋カワ[®] 調査)

名 称	機種台数	ワイド [®] FM 対象機種	比 率
ポケットラジオ	25	24	96.0%
ポータブルラジオ	91	84	92.3%
カーオーディオ	10	10	100%
カーナビ	56	56	100%
(合 計)	182	174	95.6%

※調査対象のメーカーはソニー、パナソニック、東芝エルイートレーディング、小泉成器、パイオニア

(2) モノラル専用受信機

モノラル専用受信機について調べた結果を以下に示す。また、モノラル専用の受信機の比率を表3-5に示す。

- ・ポケットラジオに代表される小型の FM 受信機は、ステレオ方式対応のイヤホンを接続すればステレオ受信機となるものものが約半数あるが、残り半数はモノラル専用受信機であった。
- ・ポータブルラジオ(ラジカセ等)に代表される中型の FM 受信機は物理的に 2 つ以上のスピーカー配置も可能であり、ステレオ/モノラル自動切換えのものが多い。一部の防災目的と謳われている機種がモノラル専用として販売されている。

表 3-5 モノラル専用受信機の台数 (2019 年秋カワ[®] 調査)

名 称	機種台数	モノラル専用 機種	比 率
ポケットラジオ	25	14	56.0%
ポータブルラジオ	91	25	27.5%
カーオーディオ	10	0	0%
カーナビ	56	0	0%
(合 計)	182	39	21.4%

(3) その他の FM 受信機

ポケットラジオ、ポータブルラジオの他に、FM 受信機として販売及び機能するものを調べた結果を以下に示す。いずれの機種についても FM 受信機としてのチューナーチップはステレオ方式を採用していると考えられ、モノラル専用としては販売されていない。

・ラジスマ

スマートフォンに代表される携帯電話には現在 FM チューナーを搭載した機種が少ないが、「ラジスマ」と呼ばれるアプリケーションに対応可能な FM チューナーを搭載した機種が近年発売されている。防災意識も深まり、今後対応機種が増えると思込まれる。

・携帯オーディオプレーヤー

ウォークマンに代表される携帯オーディオプレーヤー、IC レコーダーにも FM チューナーを搭載した機種が発売されており、一部は FM 受信が可能である。

3. 6 既存の技術の動向を踏まえた臨時災害放送局への高度利用検討

臨時災害放送局の高度利用には、既存の関連技術を効果的に組み合わせることが必要であり、各技術の活用可能性をまとめた。

3. 6. 1 同期放送技術

臨時災害放送局を複数置局し面的なエリアカバーを行う場合、同期放送技術を活用し、周波数を同一にすることが可能となる。この場合、段階的に置局を行うためには、各局が独立して FM 同期放送を実現し、後から下位局を容易に追加できる独立同期方式が適していると考えられる。

同期放送を行うには精密な調整が必要であり、一方で、迅速に臨時災害放送局を開設するための考慮が必要である。

3. 6. 2 ギャップファイラー

臨時災害放送局におけるギャップファイラーは AM ラジオ放送や FM ラジオ放送等が法定電界強度を下回り、ラジオ受信機による聴取が困難となる体育館や小規模避難所が想定される。ギャップファイラーは放送事業者以外の者が容易に開設できるよう、無線局検査を省略できる技術基準適合証明の対象無線設備であり、また、無線局を操作する無線従事者の選任を不要であるため小規模な避難所等で柔軟に難聴対策を行える方式である。

3. 6. 3 中継方式

発災前後を考慮すると、各放送局の構成の簡素化が見込まれ、早期に複数の放送局を立ち上げできる方式は、放送波中継方式、60MHz帯、160MHz帯の STL 中継方式である。

放送波中継方式は簡易ではあるが、下位局受信で、送信波の回り込み対策を行わなければならないため、送受信アンテナの設置場所の配慮が必要となる。回り込みキャンセラーが開発されれば、回り込み対策は容易となる。

回り込み対策については、上位局の放送波を受けて同じ周波数を下位局へ送信する放送波中継による同期放送の場合、下位局への送信波が受信へ遅延して回り込む遅延波の影響を抑制しなければならない。地上アナログテレビ放送の技術では遅延検出用の信号を付加して遅延波(ゴースト)の影響を低減していた。地上デジタルテレビ放送の技術では、送信および受信の双方でデジタル処理をすることで回り込み遅延波の低減を図り、同期放送を実現し

ている。

しかし、FM 放送では同様の仕組みがないため、上位局受信アンテナと下位局送信アンテナの設置場所に離隔距離を取ったり、地形や建物の遮蔽を利用して遅延波の低減を行っている。地上アナログテレビ放送や地上デジタルテレビ放送の仕組みをFM 放送にも導入し、回り込みの抑制を実現する回り込みキャンセラーが実現できれば、同一周波数による放送波中継がより簡易に構築できるようになる。

STL 中継方式では、下位局受信への送信波の回り込み対策が不要であるが、放送機とは別に STL 中継装置及び STL 用アンテナを用意する必要がある。

60MHz帯、160MHz帯の STL を想定すれば、FM 放送周波数帯と周波数が近い。このため、放送送受信と STL 送受信を共用できるアンテナが開発されれば、アンテナの運用は簡易になる。

光ケーブル、IP 回線による中継は、発災による光ケーブルの切断、IP 回線の安定性などの問題が発生する可能性がある。

しかし、放送波及び STL 波が届かない地域へも情報伝送の可能性があるので、事前に伝送回線としての利用可否等を検討しておくことが重要である。

3. 6. 4 回り込みキャンセラー

地上アナログテレビ放送のゴーストキャンセラーでは、GCR という遅延波を検出(計算)させる基準信号が挿入されていた。

近年のデジタル処理技術を活用し、回り込みの抑制を実現する回り込みキャンセラーが開発されれば、同一周波数による放送波中継がより簡易に構築できるようになる。

3. 6. 5 空中線

構造が比較的簡易で、取り扱い易いアンテナ形式としては、ダイポール型、八木型などがある。

ダイポールアンテナの前後に素子を追加すると水平面の指向特性を鋭くすることができ、目的の方向に電波のエネルギーを集中させることができる八木アンテナとなる。

ダイポールアンテナ、八木アンテナを複数組み合わせることで、必要な放送エリアに電波のエネルギーを効率よく集中させるアンテナ特性を作り出すことができる。

使用する周波数に都度調整が必要となるアンテナではなく、臨時災害放送局が使用する周波数の範囲において調整が不要なアンテナであれば、より迅速に設置調整を行うことができる。

3. 6. 6 FM 受信機の種類及び動向調査

一般に FM 放送は受信機の種類においてモノラル方式の方がステレオ方式に比べて SN 比が良いことから、同じ受信入力電圧の場合、ステレオ方式よりモノラル方式の放送エリアが広がる。このため、エリアカバーの観点から、モノラル方式が有利である。

また、モノラル方式の信号構成は、L+R のみであり、ステレオ方式と比較してシンプルで同

期すべき信号の構成としてもシンプルなため、同期放送を行う場合においても有利である。

また、屋内試験から得られた結果から、1周波数で構成する臨時災害放送局を複数設置する場合においては、モノラル方式の方がステレオ方式に比較して同一周波数による干渉時のひずみの影響を受けにくく、評価3を得られる範囲が広がることが判明した。

なお、今回の調査の結果で、一般に市販されているFM受信機のほとんどの機種が信号強度に応じて、ステレオ/モノラルの自動切り替えを行う機種であることが判明した。モノラル方式のエリアカバーの優位性を確保するためには、臨時災害放送局はパイロット信号を挿入しないモノラル方式とすることが必要となる。