

サテライト局用ゴーストキャンセラによる画質改善

Improvement of Picture Quality by Ghost-Canceller at Broadcast Relay Stations

近年、山岳やビルなどでの電波反射に基づく受信障害、すなわちゴーストが問題となっている。これに対処する一手段として数年前よりサテライト局の中間周波段に設置するゴーストキャンセラが実用化されているが、今回、更に高性能なフィードバック形を開発、実用化した。打消し信号発生用の遅延素子としては、専用に開発された非磁性体形の遅延ケーブルを用い、また、精密かつ安定な伝送特性をもっている個別回路を組み合わせることにより、主波に対する相対レベルが -14dB 以下で、かつ遅延時間が $2\mu\text{s}$ 以下のゴーストを3波まで消去可能となった。装置の温度特性については細心の考慮を払い、 $-20\sim+60^\circ\text{C}$ の広い動作温度範囲を得ることができた。

小野準一* Ono Jun'ichi
新井利昭* Arai Toshiaki
浅井孝弘** Asai Takahiro
阿部典元*** Abe Norimoto

1 緒言

テレビジョンサテライト局での画質改善の一対策として Intermediate Frequency Band: 中間周波帯(以下、IF帯と略す)ゴーストキャンセラが開発され、実用に供されるようになった。既に反射形で単一ゴースト用のもの^{1),2)}、フィードフォワード形で多重ゴースト用のもの^{2),3)}が実用化されていたが、これらに比べて、今回開発されたフィードバック形⁴⁾は性能が優れており適用範囲も広い。本論文ではゴーストの原因とその対策、各種ゴーストキャンセラの概要、及びフィードバック

ク形多重ゴーストキャンセラの動作原理、構成、画質改善例、調整保守について述べる。

2 ゴーストによる受信画質劣化

ゴーストは図1に示すように送信アンテナを出た電波が山岳やビルなどの電波反射体により反射され、主信号(直接波)よりも遅れて受信アンテナに到着するため生ずる。したがって、受信信号波形の上から言えば、ゴーストというのは図2に示したように、主信号より一定時間遅れて存在する縮小相似波形のことである。ゴーストを表わすパラメータとしては、信号対ゴーストレベル比(以下、S/Gと略す)及びゴースト遅延時間(以下、 T_g と略す)の二つがあり、前者は主信号に対するゴーストの相対振幅をデシベル(dB)表示したものであり、後者は主信号に対する遅延時間を意味する。

一般にゴーストは多数存在し、S/Gは $20\sim 30\text{dB}$ 程度、 T_g としては $0\sim 2.0\mu\text{s}$ 程度が多い。

ゴーストは視覚特性上極めて目障りなものであるが、その

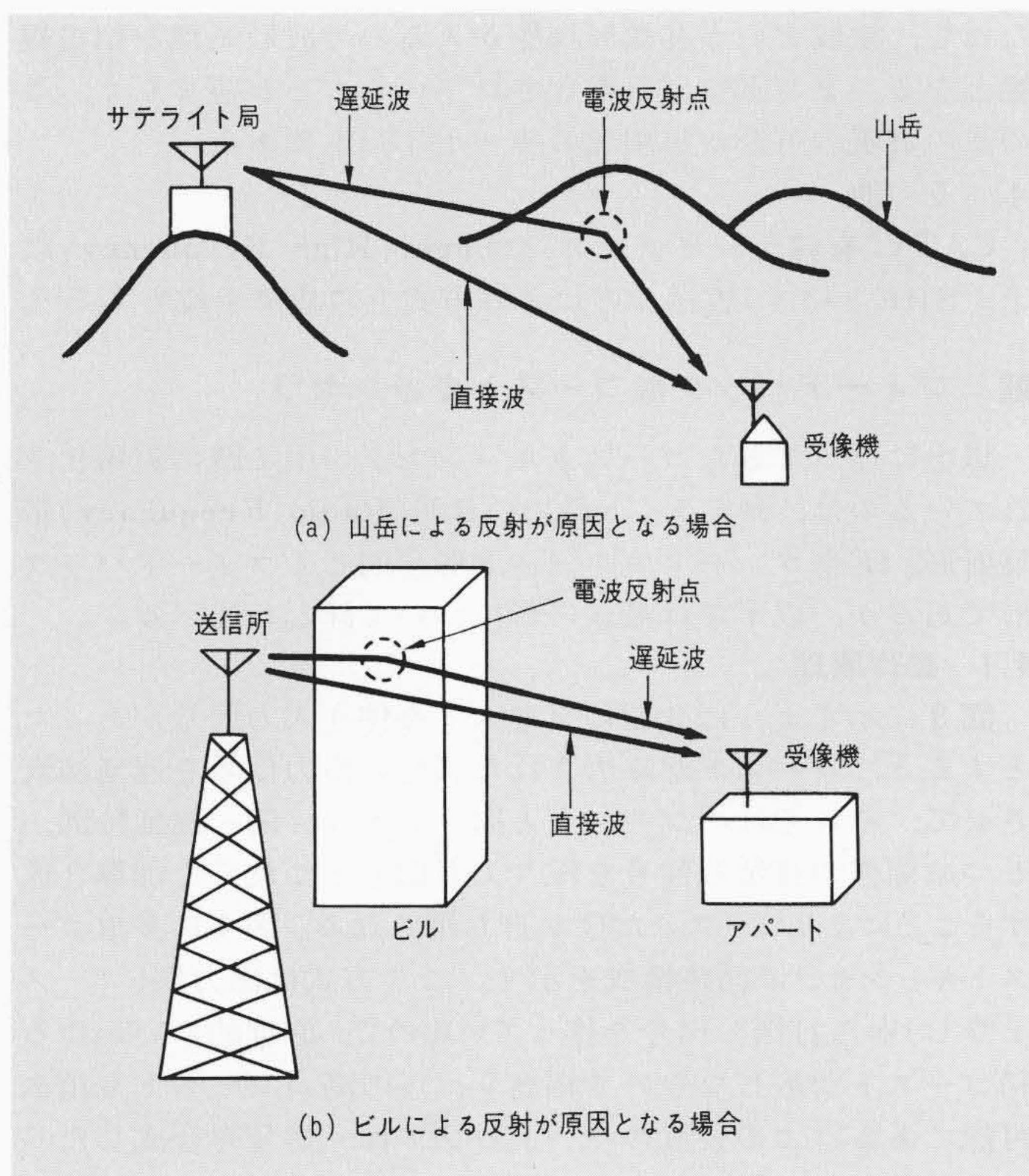


図1 ゴーストの発生原因 山岳、ビルなどによる反射波が直接波より遅れて到来し、ゴーストとなる。

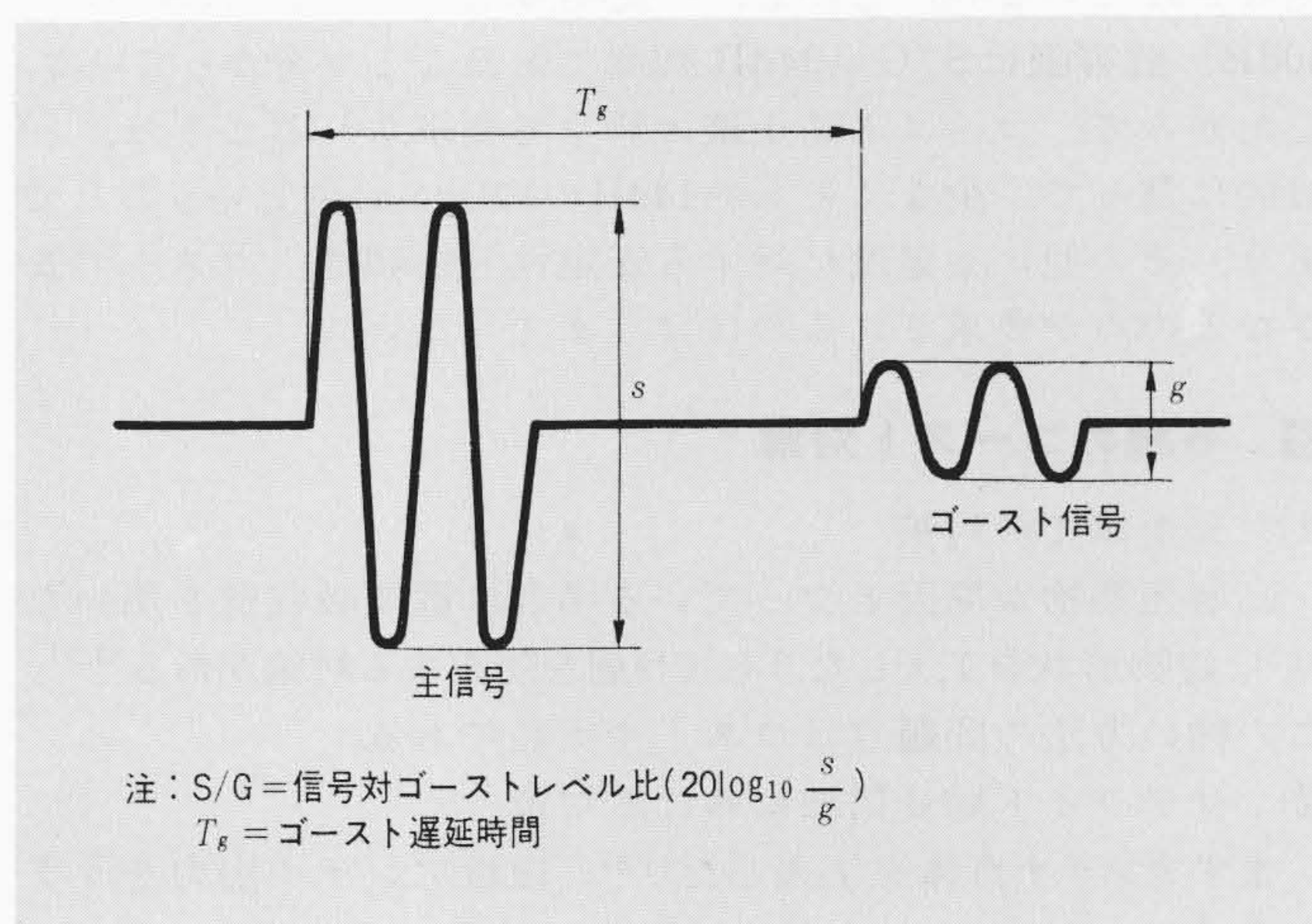


図2 ゴースト波形とパラメータ ゴーストは主信号より一定時間遅れた縮小相似信号である。

* 日本放送協会技術本部 ** 日立電線株式会社研究所 *** 日立電線株式会社日高工場

表1 各種ゴーストキャンセラ(帯域別) 受信側のどの段にゴーストキャンセラを入れるかで三つの方式に分かれる。

方式	構成	適用分野	遅延素子	備考
RF形	 受信アンテナ直後で消去する(U.Vのまま)。	サテライト局用	同軸ケーブル	受信チャンネルによって若干異なる回路を用いる(サーキュレータなど)。
IF形	 ヘッドアンプでいったんIF帯に変換してから消去する。	同上	遅延ケーブル 固体遅延素子	受信チャンネルによらず同一回路を使用することが可能。
ビデオ形	 検波してビデオ信号に戻してから消去する。	家庭用	固体遅延素子	同上

表2 各種ゴーストキャンセラ(回路方式別) 打消し信号の作り方によって3種の方式に分かれる。

方式	回路構成	備考
フィード フォワード形		孫ゴーストが出てしまう。
フィード バック形		理論的には完全にゴースト消去が可能。
反射形		孫ゴーストが出てしまう。

検知限や許容限についてはオーソライズされた値はいまだに発表されていない。しかし、一応経験的に検知限は $S/G=40\text{dB}$ 、許容限は $S/G=34\text{dB}$ 程度であることが分かっている。したがって、ゴースト防止策に対して要求されることは、一般的に言って、少なくとも約 14dB の抑圧が必要ということであり、その他にも温度に対する安定性・信頼性、コストの安さなどの点が要求されるのは言うまでもない。

3 各種のゴースト対策

(1) 発生側での対策

高層建築物が原因となっている場合は電波吸収壁を用いたり⁵⁾、建物形状を工夫したりして反射を防止する対策がある^{6),7)}。この種の方法の問題点はコストや実装である。

(2) サテライト局受信部における対策

まずアンテナ自体を工夫したり⁸⁾、複数アンテナ出力をうまく合成してゴースト波だけを抑圧する方法がある⁹⁾。これらに対して、アンテナ出力を一種の波形等化回路^{10),11)}に通す方法もある。この回路がいわゆるゴーストキャンセラである。ゴーストを伴う入力信号、若しくはゴーストが除去された状態の出力信号を用いて打消し信号を作り、これを入力信号に加えてゴーストだけを打ち消すという原理となっている。各種ゴーストキャンセラを周波数帯域別に示したのが表1であり、回路方式別に示したのが表2である。

IF帯方式の場合、遅延ケーブルや固体遅延素子を使用できるので装置の小形化が可能であり、かつどのチャンネルを扱うときも、ヘッドアンプでいったんIF帯に変換されるので、同一回路を使用できるというメリットがある。

(3) 一般家庭受像機における対策

アンテナによる対策はサテライト局の場合と同様である。ゴーストキャンセラを用いる場合は、量産及び小形化を考えるとビデオ帯(ベースバンド)方式がCharge Coupled Device: 電荷転送素子(以下、CCDと略す)や弾性表面波遅延素子などのいわゆる固体遅延素子を使用することから有利である。ただし、検波という非線形操作が入るので波形処理が相当複雑となる。また調整は自動化されていることが望ましく、この点の実現の可否が実用化のキーポイントである。

(4) その他

CATV(有線テレビジョン)やSuper High Frequency(以下、SHFと略す)放送などによる方式上の救済手段もある¹²⁾。

4 フィードバック形ゴーストキャンセラ

以上に述べてきたゴーストキャンセラの中で既に実用化されているのは、サテライト局用のRF(Radio Frequency)帯反射形、IF帯フィードフォワード形、同じくフィードバック形であるが、以下では最後の形について詳しく述べる。

4.1 動作原理

図3に示すように3個のゴーストを伴う入力信号があったとすると、ゴーストが除去された状態の出力信号を遅延減衰させて、それぞれのゴーストと同一レベル、同一遅延時間、かつ逆極性の打消し信号を作り入力信号とこれらを加算合成することによりゴーストだけが打ち消される。図4に多重ゴーストキャンセラの回路構成を示す。この方式は出力側(ゴーストなし)から打消し信号を作っているの、原理的にいわゆる孫ゴーストが生じないので相当レベルの高いゴーストも消去可能である。この装置のハードウェアは、信号を合成したり分配したりする「主回路ユニット」と信号を遅延、レベル調整する「遅延ユニット」の2種より成り、後者はゴースト個数分を用意しなければならない。

4.2 性能、その他

表3に電氣的性能の概要及びその他を、また図5に装置を示す。

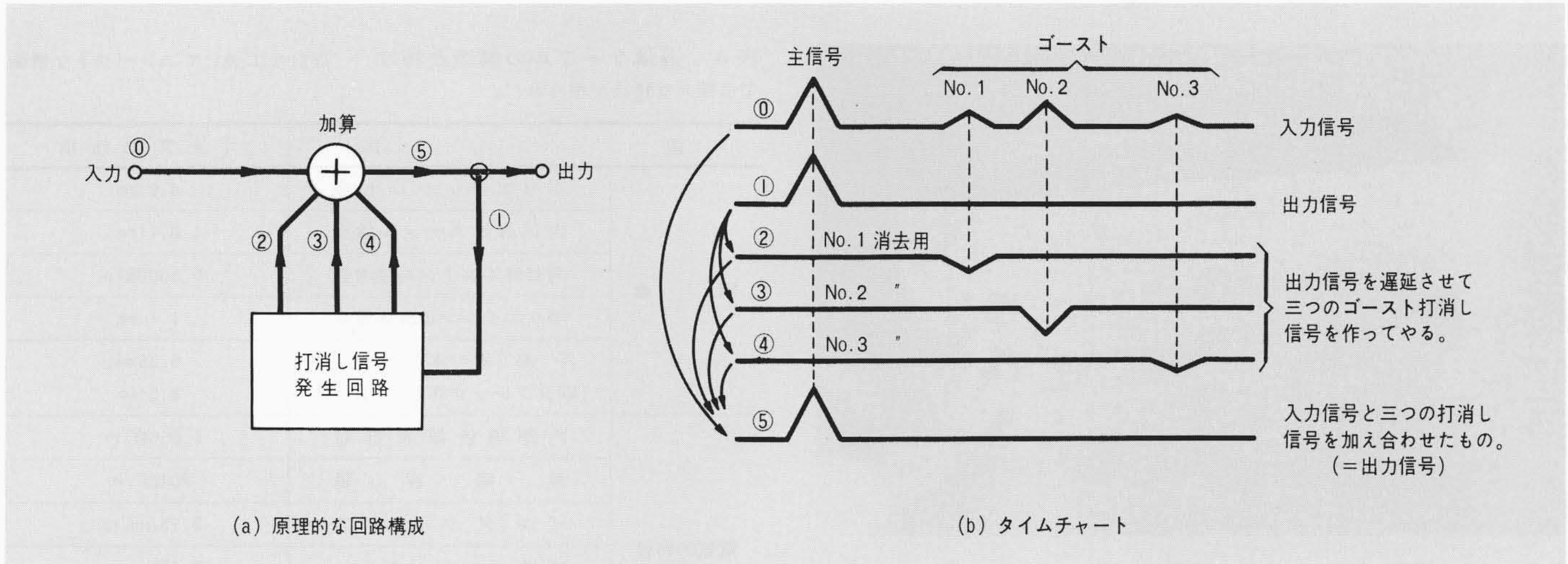
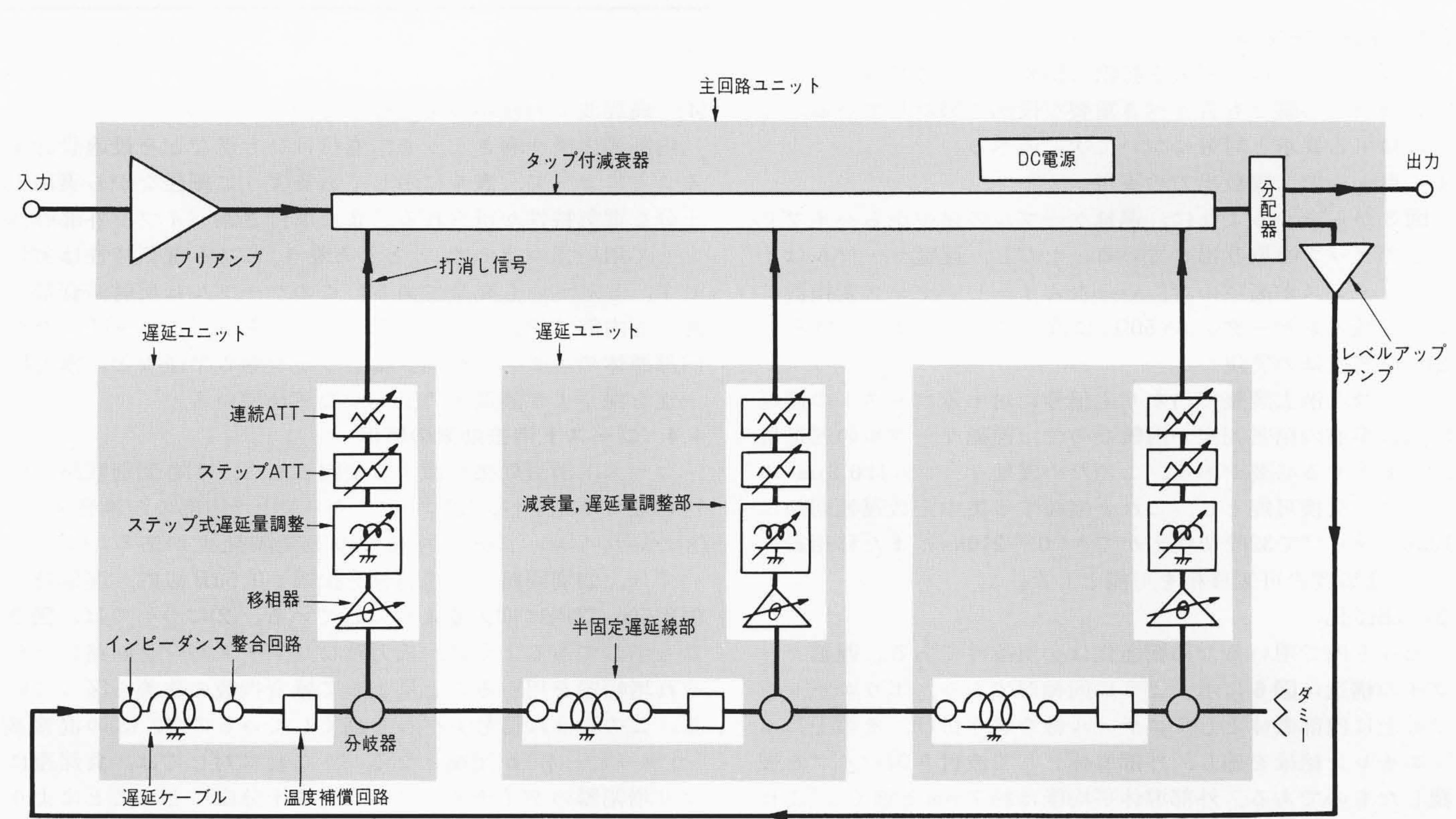


図3 フィードバック形ゴーストキャンセラの動作原理
 出力信号の一部を用いて打消し信号を作るので理論的には完全にゴーストを消去できる。



注：ATT=Attenuater (減衰器)
 図4 フィードバック形ゴーストキャンセラ回路構成
 主回路ユニットと遅延ユニットより成り、後者はゴースト波数分が必要となる。

表3 装置性能の概要
 かなり強いゴースト3波まで消去可能である。

(a) 電気的特性		(b) 消去可能なゴースト条件		(c) ゴースト改善度		(d) 寸法、重量	
Imp. (特性インピーダンス)	50Ω	ゴースト 個数	1～3個 (縦続により増加可)	温度(℃)	改善度	幅	480mm
SWR (定在波比)	< 1.2	ゴースト レベル	< -10～-20dB (対主波)	10～40	> 14dB	高さ	200mm
N F (雑音指数)	< 15dB	ゴースト 遅延時間	< 2μs	0～50	> 8 dB	奥行	180mm
帯域	19.5±3 MHz			-20～+60	復元性あり	重量	12kg
信号レベル	80±10dBt						
消費電力	DC 12V-3W DC 20V-5W AC 100V-30W						

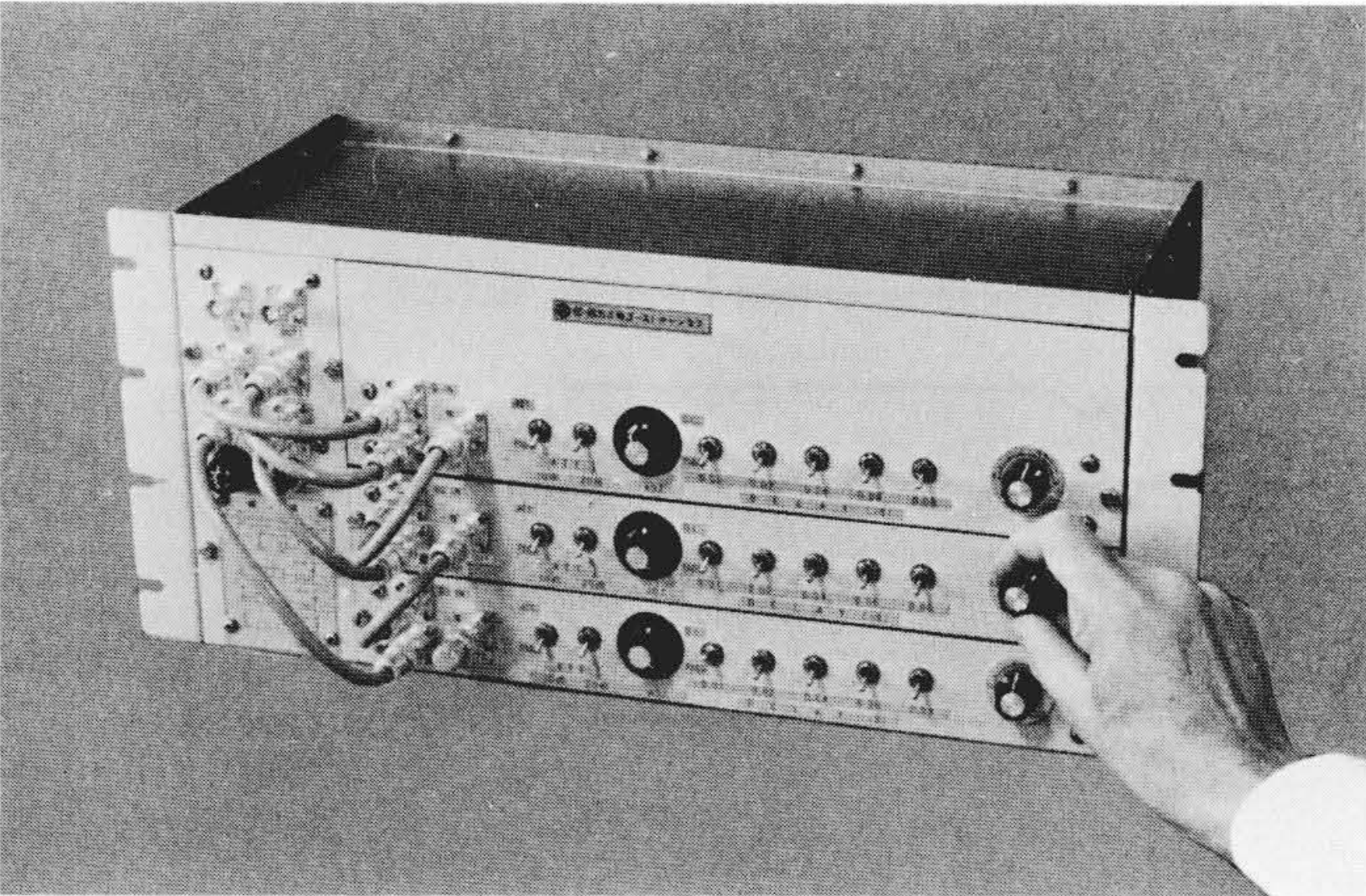


図5 GC-MB形ゴーストキャンセラ 最大3波までの多重ゴーストを消去できる。

4.3 遅延ケーブル

遅延ケーブルはゴースト打消し信号を作るのでゴーストキャンセラの心臓とも言える重要な役割を果たしている。これに対する要求と対策について次に述べる。

(1) 単一入力、複数出力の実現

図3から分かるように、遅延ケーブルの途中からハイブリッドでタップを取り出している。ただし、遅延ケーブルはインピーダンスが高いので、いったんインピーダンス変換器によって低インピーダンス(50Ω)に直してから分岐している。

(2) 可変遅延の実現

ゴースト消去調整に当たり主信号に対するゴーストの遅延時間は事前の精密測定が困難なので、遅延ケーブルの遅延量は可変とする必要がある。このため遅延ケーブルは0.2μsステップで交換可能とし、これと連続する集中定数遅延回路は10nsステップで32段切換えができ(0～210ns)、また移相器によって120度の可変移相を可能とした。

(3) 細径化

セット内で用いるため細径化は必須条件である。遅延ケーブルの構造は図6に示すように同軸形であり、ポリエチレンひも上に内部導体としてエナメル線を巻き付け、その上にポリエチレン絶縁を施し、外部導体として波付き銅パイプを被覆したものである。外部導体平均径は約7mmと細くし(これ以下では損失が大きくなる)、かつ深い溝の波付きであるので、セット内での巻付け実装に適している。

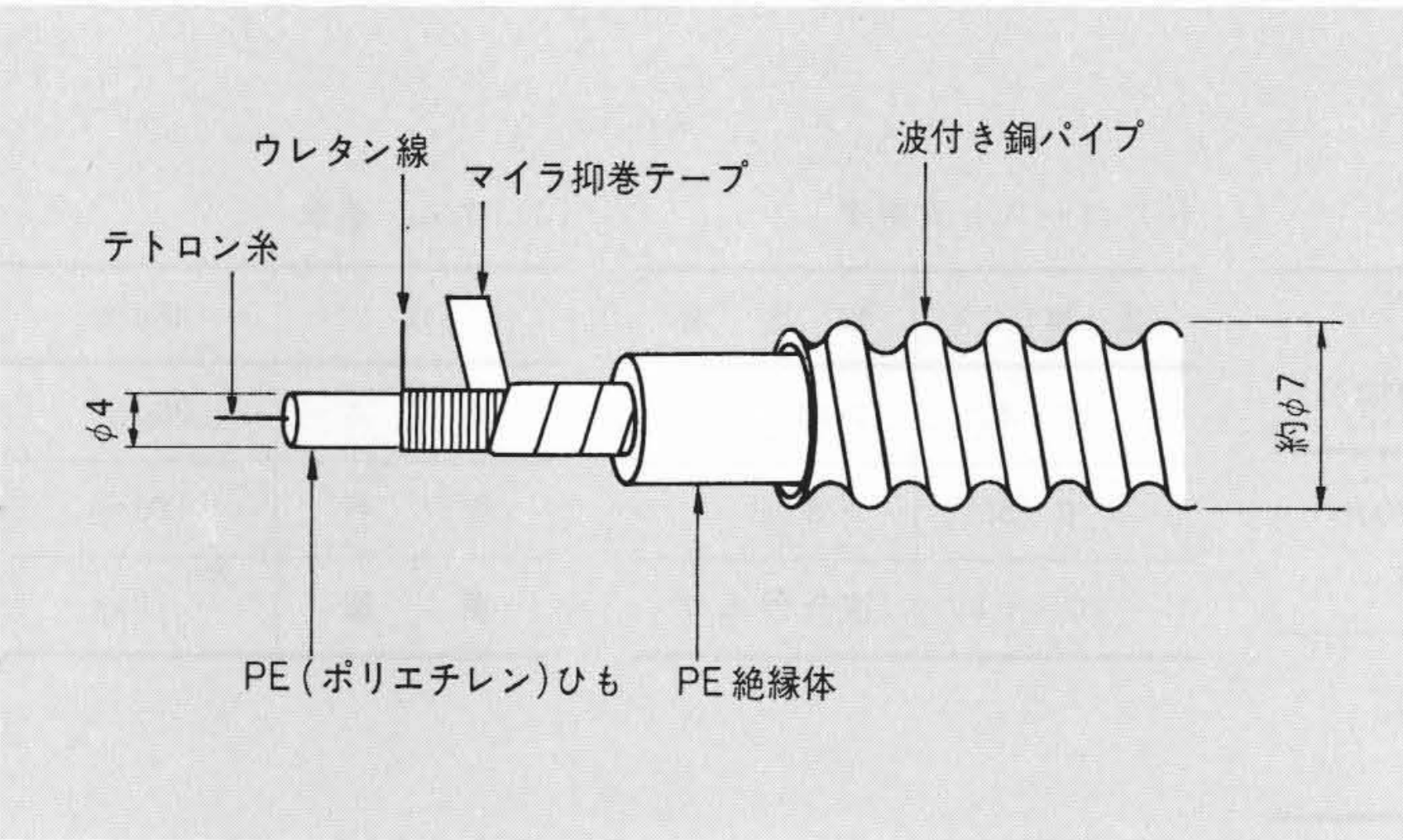


図6 遅延ケーブルの構造 すべての材質はプラスチックと銅なので、高周波特性が優れている。

表4 遅延ケーブルの構造と特性 設計を工夫してコンパクトな構造で低損失な特性が得られた。

項	目	寸法又は仕様
構造	ポリエチレンひも径	4.0 mm
	内部導体エナメル線径	0.11mm
	内部導体エナメル線巻数	5,500回/m
	ポリエチレン絶縁体厚さ	1.1 mm
	外部導体谷径 (銅タフレックス) 山径	6.35mm 8.5 mm
電気的特性	内部導体直流抵抗	1,556Ω/m
	静電容量	204pF/m
	インダクタンス	3.75μH/m
	特性インピーダンス	1.35kΩ
	遅延時間	0.277μs/m
	減衰量	6.0dB/μs (20MHz)

(4) 高周波での使用が可能なこと

内部導体径や巻きピッチ、巻付けひも径などを最適設計することによって、表4に示してあるように細径ながら実用上十分な電気特性が得られる。また波付き銅パイプを外部導体として用いているので、「とぐろ巻き」しても電気特性は劣化せず、しゃへいも完全である。このケーブルは反射減衰量が悪いと内部で伴流を発生する可能性があり、これを防ぐため内部導体のエナメル線巻きはピッチや巻き半径など、極力均一性を保つよう製造上の工夫がなされている。

4.4 ゴースト消去効果の確保

ゴースト消去効果を減ずる要因として、(1)各個別回路の伝送特性の不完全性、(2)ゴーストキャンセラ内部での雑音発生、(3)ゴーストキャンセラ内部での混変調発生がある。(1)については、個別回路の伝送特性を振幅±0.5dB以内、遅延時間偏差50ns以内に抑えるようにしている。(2)については、図3にも示してあるように、入力及びフィードバック回路にそれぞれ増幅器を用いることによって雑音指数の改善を図っている。このように信号レベルを高くしているのので、(3)の混変調(カラービート)が問題となるが、これに対しては、負帰還により増幅器のダイナミックレンジを十分広くとることにより解決している。

4.5 ゴーストキャンセラの発振

S/Gの低い(すなわち、レベルの高い)ゴーストを多数消去しようとする、打消し信号のレベルを上げてやらなければならない。これは帰還回路の利得が上がったことにほかならないから、ゴーストキャンセラが発振してしまうことがある。

表5 発振、非発振の限界点の例 レベルの高いゴーストを多数消去しようとする、帰還回路の利得が上がり、このため発振を起こすことがある。

例	限界点
2波の場合	第1, 2ゴースト共に S/G=6 dB
3波の場合	例 1 第1, 2, 3ゴースト共に S/G=10dB
	例 2 第1, 2, 3ゴーストそれぞれ S/G=14, 10, 6 dB

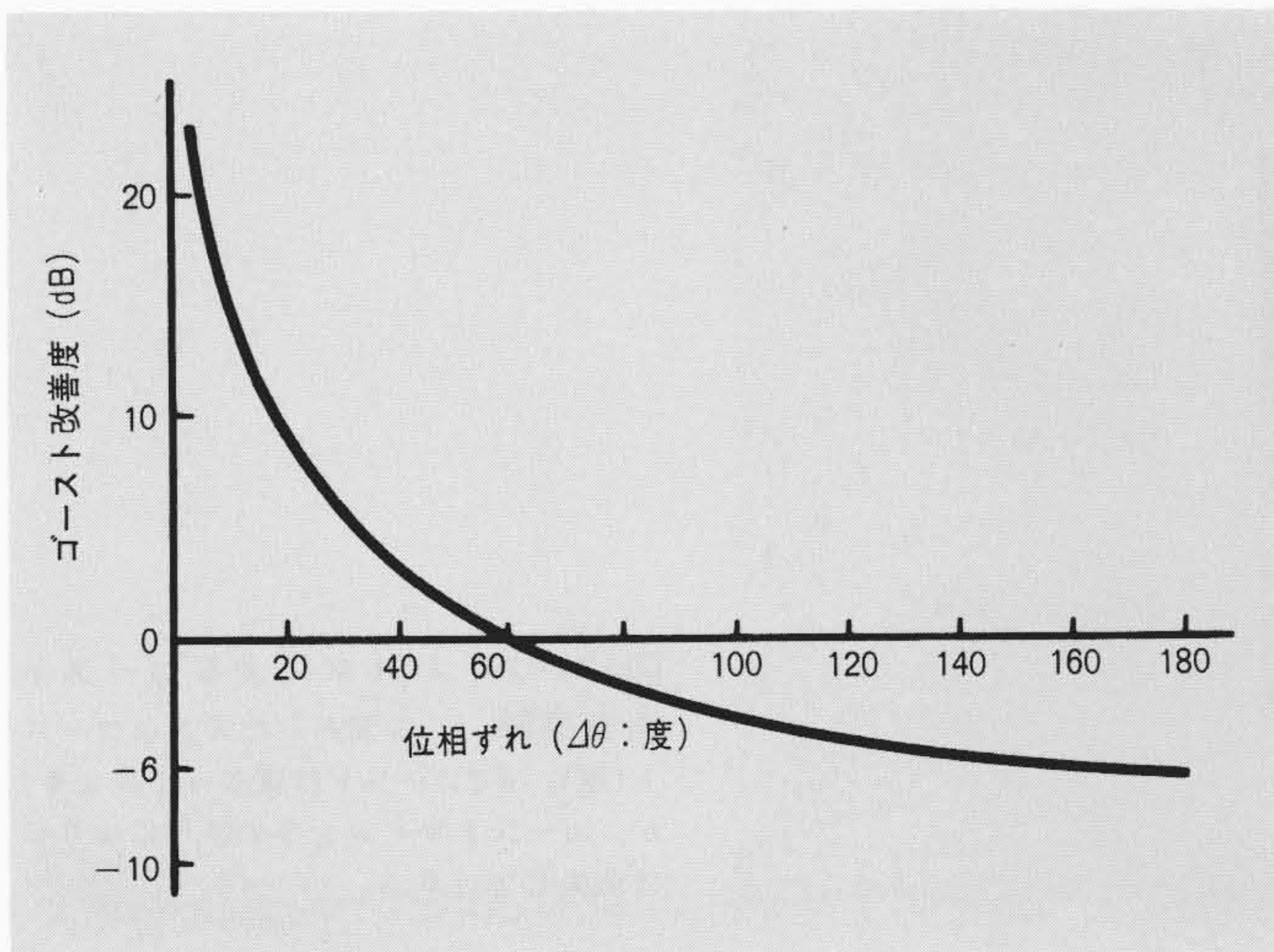


図7 遅延回路の位相ずれとゴースト改善度の関係 位相ずれが60度を超えると逆にゴーストが強調されることがある。

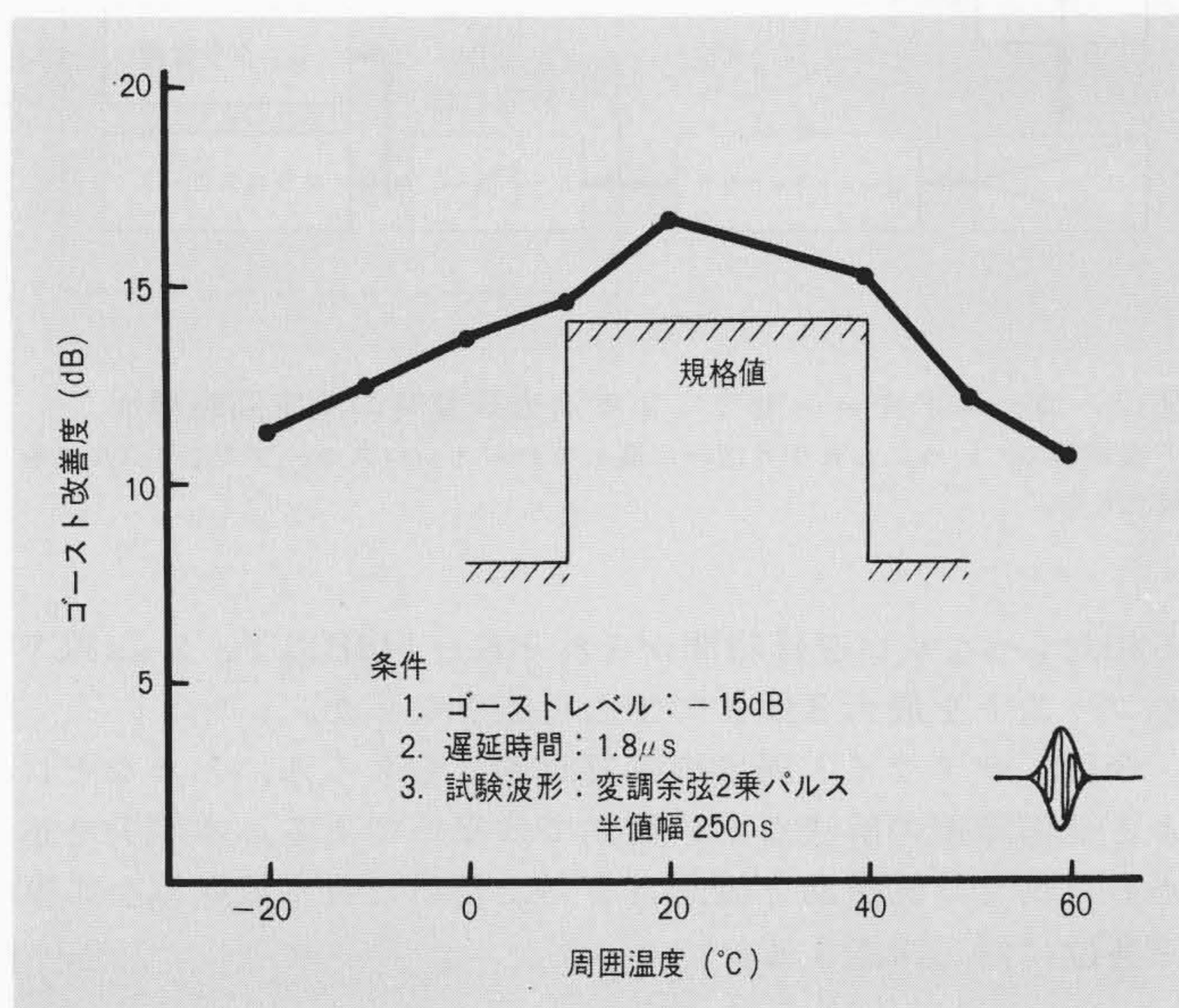
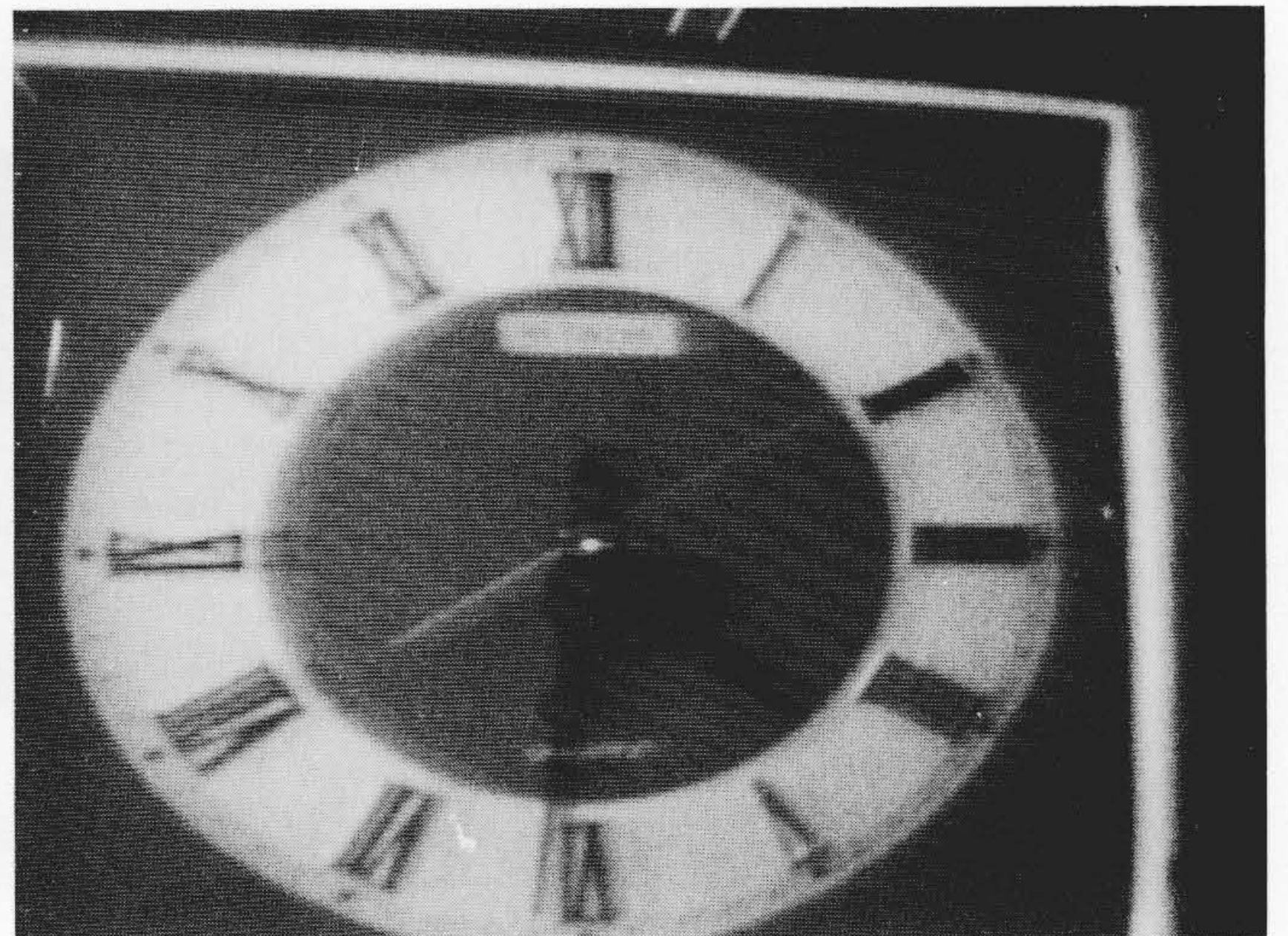


図8 ゴースト消去効果の温度特性 広い温度範囲にわたって改善効果をもっている。

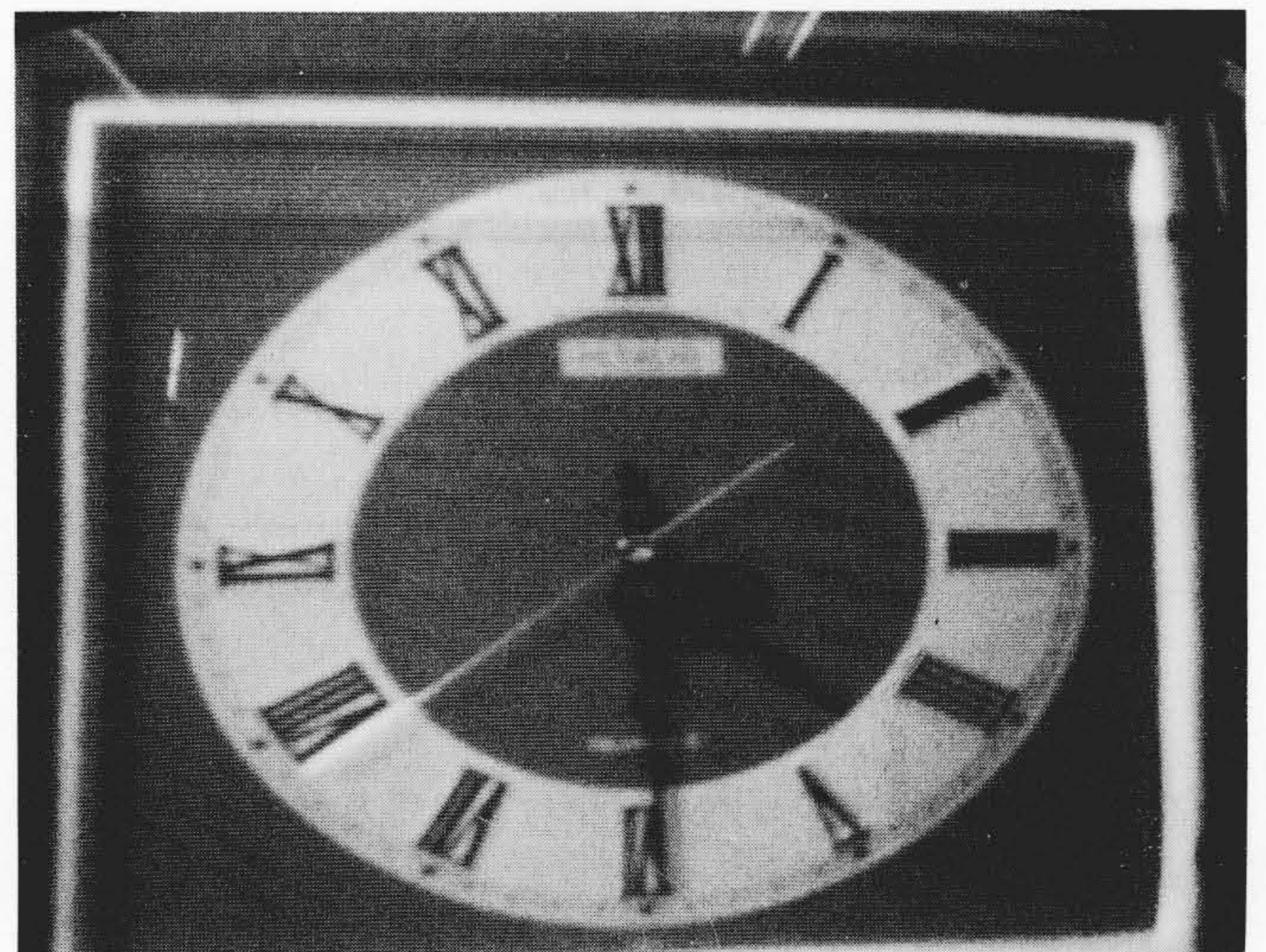
この現象は回路構成上必然的に生ずるのでやむを得ない。**表5**に発振、非発振の限界となるゴースト条件例を示した。ただし、実際にこれほど高いレベルのゴーストが多数存在することはまずないと考えられる。

4.6 温度特性

IF帯ゴーストキャンセラは搬送波に乗っている映像信号に対するものであり、遅延回路(打消し信号発生回路)での遅延量が少し変わっただけでもゴースト消去効果は大きく悪化する。**図7**には遅延回路の位相ずれとゴースト改善度の関係を示した。位相ずれが60度以上にも及ぶと逆にゴーストが強められてしまうことが分かる。位相ずれの原因は遅延ケーブルの温度伸縮が支配的であり、材料を選定しても、なおかつ遅延時間にして約50ppm/°Cの正の温度係数をもつ。そこで、その対策として遅延ケーブルと逆の温度特性をもつ集中定数遅延回路(遅延量の絶対値は小さい)を縦続することによって、温度係数を約半に圧縮している。**図8**には実際の製品のゴースト消去効果の温度特性データの一部を示した。



(a) 消去前



(b) 消去後

注: ゴースト条件
 $Td_1 = 0.4\mu\text{s}$
 $Td_2 = 0.7\mu\text{s}$
 $Td_3 = 1.2\mu\text{s}$
 $S/G_{1,2,3} = 14\text{dB}$

図9 画質改善の一例 三重ゴーストのためにぼやけていた輪郭が、ゴーストキャンセラの使用によりはっきりする様子が分かる。

5 多重ゴーストキャンセラによる画質改善

多重ゴーストキャンセラを用いて、画質改善を行なった実験データの例を紹介する。

図9はレベルの高いゴースト(主信号に対する相対レベル-14dB)が3波存在するとき、ゴーストキャンセラに通す前と通した後の画像を比較したもので改善効果がよく分かる。

図10はやはり3波ゴーストが存在する場合、2Tパルスを用いて消去前後を比較したものである。

6 ゴーストキャンセラの調整と保守

6.1 サテライト局におけるゴースト消去の調整手順

(1) 測定系の組立

図11に示したようにゴーストキャンセラ出力にIF復調器、オシロスコープをセットし、2Tパルス波形を観測する(放送画像では第17ラインに入っている)。

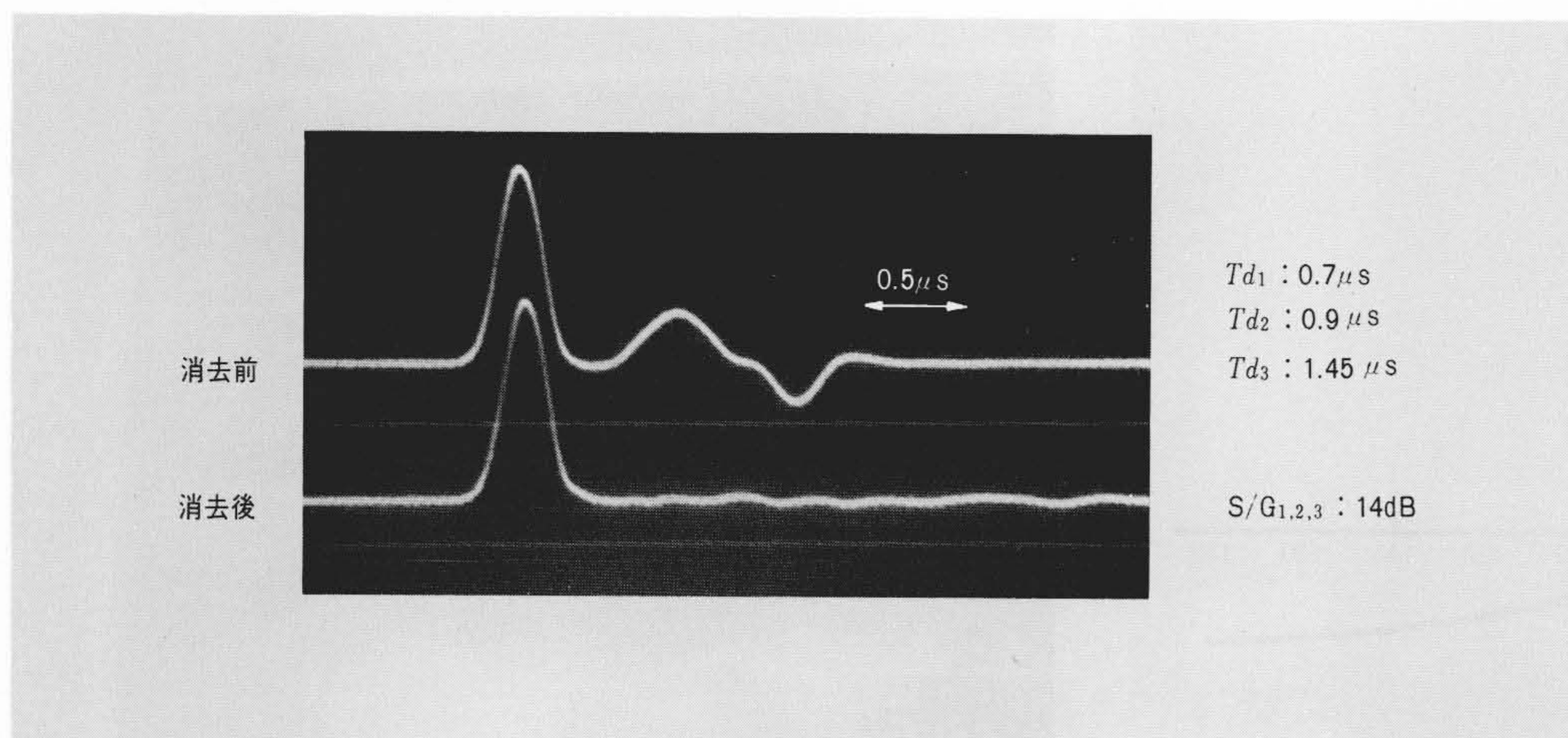


図10 2Tパルスによるゴースト消去実験 3個あった大きなゴースト(第1, 第2ゴーストは重なって見える)が, ゴーストキャンセラの使用によりほぼ消失している。

表6 調整パラメータ 装置据付時に初期調整を行なう。いったん調整が済むと長期間にわたり安定な特性が得られる。

パラメータ		調整範囲
減衰量	ステップ	0 ~ 30dB 10dBごと
	連続	1 ~ 14dB
遅延時間	半固定	0 ~ 1.6μs 0.2μsごと
	ステップ	0 ~ 210ns 10nsごと
	連続	0 ~ 120度(位相角)

(2) ゴーストパラメータの把握

各ゴーストの主信号に対する相対レベル及び主信号からの遅延時間を観測して求める。

(3) 消去調整

ゴースト波形を観測しながら, 主信号に近いゴーストから順次消去する。この場合, 上記測定によって求めたパラメータによりゴーストキャンセラの遅延時間と減衰量を仮にセットしてから, 順次各ゴーストについて微調整する。参考までに表6に調整パラメータ一覧を示した。

以上の調整は直感的で容易である。オシロスコープの代わりにモニタ受像機を用いる方法や2Tパルスの代わりに静止画やテストパターンを用いる方法もあるが, 精密な調整は困難である。

6.2 保守

保守上の問題としては, 遅延回路での位相ずれのためゴースト消去効果が低下することが挙げられる。位相ずれの原因は,

- (1) ゴースト自体の性質が変化する(季節変動など)。
- (2) ゴーストキャンセラの遅延回路の遅延時間が増加する。の二つがある。現在のところ, これらに対する定量的かつ長期的データはほとんど無く, したがって, その対策は一概には言えないが, これらの変動が多分に確率的な性質のものであり, 予測が困難であるので1~2回/年程度の再調整は行なったほうがよいと考えられる。ただし, この場合, 初期調整と異なり, 単に遅延時間の微調だけ(移相器ダイヤル微調)で十分である。

7 結 言

フィードバック形回路構成によって, 本質的に孫ゴーストを出さないような良好な特性をもつサテライト局用IF帯多重ゴーストキャンセラを開発した。これにより, 主波に対す

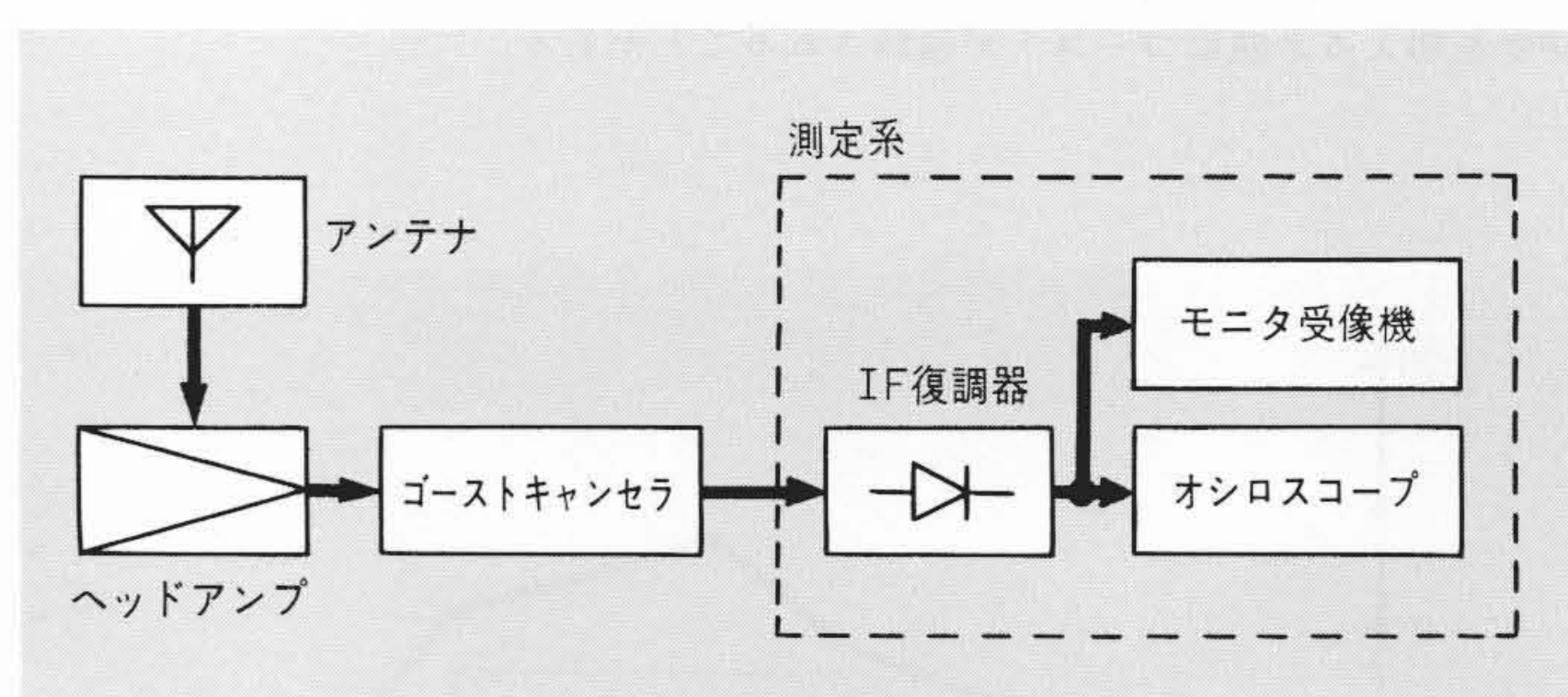


図11 ゴーストキャンセラによる消去調整時の測定回路構成 IF復調器で, いったんビデオ信号に直してからオシロスコープで2Tパルスを観測する。

る相対レベル及び遅延時間がそれぞれ-14dB以下, 2μs以下のゴーストを最大3個まで消去可能となった。

今後, サテライト局での画質改善はもちろん, ビルなどによる受信障害の解決などに役立てば幸いである。本開発を進めるに当たり御援助と御助言をいただいた日本放送協会の関係各位に対し深謝する。

参考文献

- 1) 緒方ほか: 反射形ゴーストキャンセラ, 放送技術26, 68(昭48-9)
- 2) 新井ほか: IF帯ゴーストキャンセラ, 電子通信学会全国大会, No. 1326(昭49)
- 3) 新井ほか: IF帯多重ゴーストキャンセラ, 電子通信学会全国大会, No. 1029(昭50)
- 4) 小野ほか: フィードバック形ゴーストキャンセラ, 電子通信学会通信部門全国大会, No. 532(昭51)
- 5) 内藤: 電波吸収材料の応用, 電気四学会連合大会, No. 159(昭48)
- 6) 関ほか: 建造物によるテレビ電波の反射実験, TV無線技委 RE75-36(1975-10)
- 7) 嶋田ほか: 建造物によるテレビ反射障害に関する実測結果, TV無線技委 RE75-30(1975-10)
- 8) 永井, 諸岡: 受信空中線, 電気四学会連合大会, No. 160(昭48)
- 9) 山口, 遠藤: ゴースト防止用可変指向性アンテナ, TV無線技委, RE75-36(1975-10)
- 10) 御子柴, 浅井: 電子回路によるゴースト信号消去法, 電気四学会連合大会, No. 161(昭48)
- 11) 新井ほか: IF帯ゴーストキャンセラ, TV無線技委, RE74-18(1974-07)
- 12) 中原: CATVその他, 電気四学会連合大会, No. 162(昭48)