

マイクロプロセッサ制御を用いた

拡声電話機の構成法

Loudspeaking Telephone using a Microprocessor

山 森 和 彦 松 井 弘 行 牧 野 昭 二

Kazuhiko YAMAMORI Hiroyuki MATSUI Shoji MAKINO

Yokosuka Electrical Communication Laboratory, N.T.T.

1. まえがき

拡声電話機は、スピーカとマイクを用いてハンドセットを持つことなく通話ができるので、通話の利便性を高めるものとして今後ますます広く使用されると考えられる。拡声電話機では、スピーカ・マイク間の音響結合、送話回路、防側音回路、受話回路による一巡ループが形成される際に生じる異常発振（ハウリング）を防ぐため、「自動損失制御形音声スイッチ（ALS）」〔1〕が使用されている。このALSは、側音やスピーカ・マイク間の音響結合の変化に追従して音声スイッチの挿入損失量を自動制御するものである。しかし、側音やスピーカ・マイク間の音響結合が大きいと、挿入損失量が大きくなり音声スイッチ切替時に通話音声の話頭・話尾が減衰し通話性能が劣化する（切断歪）こととなる。

挿入損失量を軽減するには、先に述べたハウリングを生じる一巡ループの利得を小さくすることが必要であるが、送話回路や受話回路の利得はそれぞれマイク入力レベルと加入者線路に送出すべき信号レベルや、受話入力レベルと通話者位置での受話音量レベルにより定まり、自由に設定することはできない。したがって、音声スイッチ回路の挿入損失量を軽減するには、回路的に防側音特性を向上させて側音量 β を小さくするか、音響結合量 α を小さくする必要がある。

電話機における側音量は、電話機が接続される加入者線路のインピーダンスと防側音回路のインピーダンスが等しいときに最小（零）となるが、加入者線路のインピーダンスは線路の線径・長さ等により大幅に変化するため、従来のように平均的な線路条件で設計された一組又は

二組の平衡回路網（BN）を用いた防側音回路では、十分に側音を抑圧することが困難である。そこで筆者らは、複数の平衡回路網を用いて、加入者線路のインピーダンスに対し常に最適な平衡回路網を選択し、防側音特性を向上させるマイクロプロセッサ（ μP ）制御を用いた自動平衡形防側音回路〔2〕を開発した。また、スピーカ・マイクの実装構造と音響結合量 α との関係を明らかにし、従来の拡声電話機（スピーカホン）よりも小型な拡声電話機を構成できる見通しを得た〔3〕。

本報告では、自動平衡形防側音回路、スピーカ・マイクの音響実装法、及び室内の音響特性による音声スイッチの誤動作防止法等についての検討結果を述べる。

2. 自動平衡形防側音回路

電話機における防側音回路では、BNを用いて加入者線路インピーダンスとのマッチングをとり、側音を抑圧している。

BNは加入者線路インピーダンスを近似するものであり、その近似度に従って1素子構成（以前使用されていた4号電話機では抵抗1本であった）から6素子構成程度までが、要求される防側音特性に応じてそれぞれ使い分けられている。一般にBNの素子数が多いほど、広い周波数帯域にわたり良好な防側音特性を得ることが可能であり、現在では図1に示す3～6素子構成のBNが多く用いられている。また、複数のBNを有する防側音回路を用意し、その中で最も防側音特性が良くなるBNを選択し使用することにより、防側音特性を改善できることが知られている（図2）〔4〕。

本報告では、図2に示すようにBNの組数として10組程度で防側音特性の改善効果が飽和する傾向にあること、多数のBNを用意すると最適なBNの選択までに長時間を要すること等を考慮し、BN10組を選択し使用した場合の防側音特性(3, 4, 6素子構成)を、従来のような平均的な線路条件で設計された6素子構成のBN1組を用いた場合と比較した。線径0.32φ~0.9φ, 損失0~7dBの範囲における

①周波数帯域 200~5000Hz 内における防側音特性の平均値に着目した改善量 (dB)

②周波数帯域 200~5000Hz 内における防側音特性の最悪値に着目した改善量 (dB)

を表1に示す。これより、極力多素子構成のBNを用いることが望ましいことがわかる。

しかし、実際に6素子構成のBNを10組用意することとなると、回路規模が大きくなり実用的ではない。ここでは、制御電流により回路のインピーダンスを基準値のK倍($K > 0$)に変化できるギルバート回路(5)を用いて防側音回路を構成することとした。この回路構成とすることにより、基準インピーダンス用のBN1組分を用意するだけで等価的に多数のBNを用意したのと同じ効果を得ることができる。

具体的には、図3に示すように固定のBNおよび抵抗ブリッジR1・R2からなる防側音回路と、 μP で制御されるインピーダンス値が可変のBNおよび抵抗ブリッジR1・R3からなる防側音回路の2組の防側音回路で自動平衡形防側音回路を構成した。

μP を用いたギルバート回路の制御手順を以下に示す。

(a)電源投入直後はインピーダンスが固定のBN(BN2)が接続されている防側音回路を選択し使用する。

(b)送話状態と判断された場合に(a)の状態を保ったまま、予めプログラムされた可変BN(BN1)のインピーダンス値(10組)に従い μP は順次制御電流を変化させ可変BNのインピーダンスを変えていく。

(c)その都度固定BNが接続された防側音回路(FHYB)と可変BNが接続された防側音回路(AHYB)の側音レベルVSF, VSAを読み取り、防側音特性の良さを示すVSA/VSFを計算し、記憶する。

(d)10組の変化を終えた時点でVSA/VSFが最も小さな可変BN値に設定し、AHYBを選択し使用する。この時、FHYBの方が防側音特性が良い場合($VSA/VSF > 1$)には

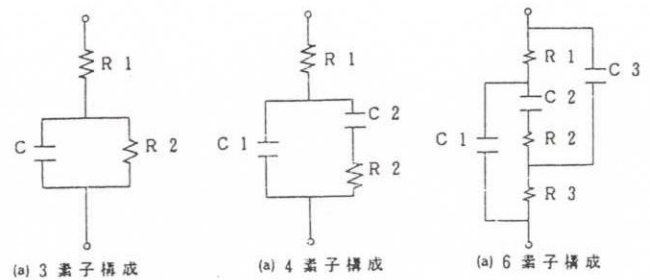


図1 平衡回路網(BN)の構成

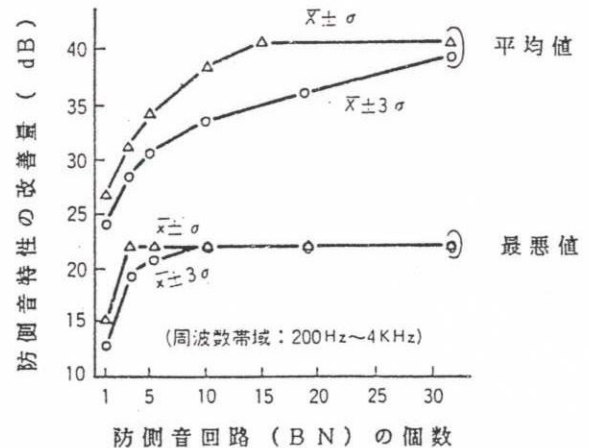


図2 6素子近似BNの個数と防側音特性の改善量の平均値、最悪値の関係

表1 平衡回路網の素子数と防側音特性の改善量

	BNの素子構成	3素子*	4素子*	6素子*
6素子構成1組を用いた場合と比較した改善量 (dB)	200~5000Hz 内の平均値	10	13	15
	200~5000Hz 内の最悪値	2	6	10

*平衡回路網はいずれも10組を用いた場合
加入者線路範囲: 線径0.32φ~0.9φ, 損失0~7dB

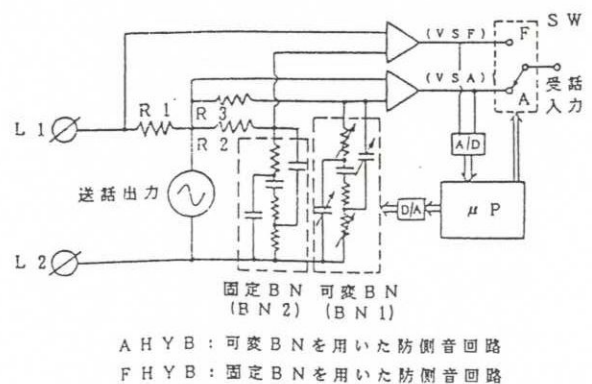


図3 自動平衡形防側音回路の構成

F H Y Bを選択したままである。

(e)更に(d)で選択した可変BN値を $\pm 20\%$ の範囲で8段階に微小変化させ、(c)と同様の手順でV S A / V S Fを読み取り、8段階の変化を終えた時点で防側音特性の最も良い可変BNを最終的に選択し使用する。

(f)ブランチの発生等で防側音特性が大幅に変動した場合はV S A / V S Fの変化によってこれを検出し、(a)の状態に戻した後再度(b)~(e)の動作を行う。

以上の動作を行うことにより、等価的に80組のBNを用意した場合と同等の効果を得ることができる。防側音特性の一例を図4に、防側音特性の改善効果を表2に示す。

なお側音レベルは、音声の周波数帯域、時間変化を考慮して約300ms間の平均値を用いている。従って、1組のBNに対して300ms強の計算時間が必要となり、単純に可変BNを80組とした場合には、最終的なBNの選択に約24秒の時間を要する。ところが、(d)(e)のような2段階制御とすることにより、約3秒で防側音特性がある程度良好なA H Y Bに接続され、その後約2.4秒で更に良好な防側音特性を得ることができる。

3. 音響実装法

従来のスピーカホンでは、スピーカもマイクもともに同じきょう体(ベースセット)内に実装(マイクインベースセット、以下M I Bと略す)していた〔6〕。図5に示すように、この実装構造では、

- ①スピーカの音が、きょう体外部の空間を伝搬しマイクに至る経路

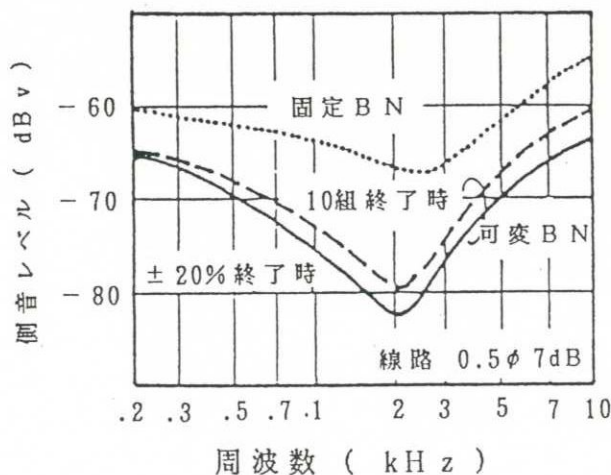
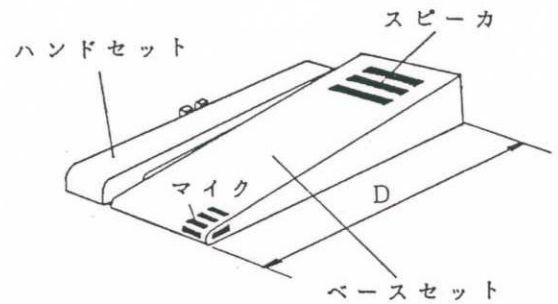


図4 防側音特性の一例

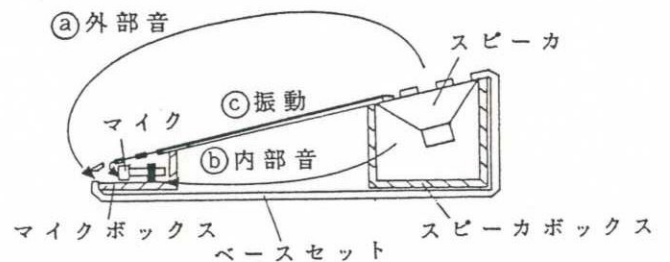
表2 防側音特性の改善効果

BN組数	1組	本報告の回路	
		10組終了時	$\pm 20\%$ 終了時
防側音特性改善量 (dB)	0	10	13

線径 $0.32\phi \sim 0.9\phi$ 、損失 $0 \sim 7\text{dB}$

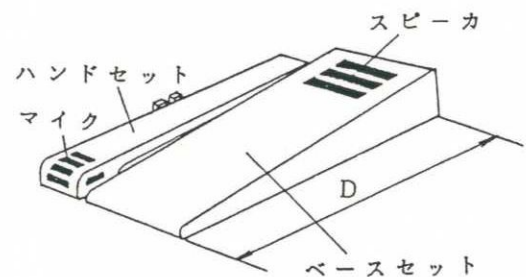


(A) 斜視図

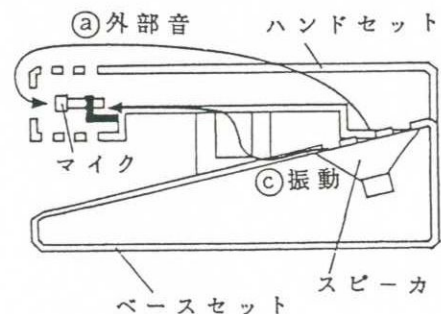


(B) 断面図

図5 マイクインベースセット



(A) 斜視図



(B) 断面図

図6 マイクインハンドセット

- ⑥ スピーカから背面に放射される音が、きょう体内部の空間を伝搬しマイクに至る経路
 ⑦ スピーカの振動が、きょう体を伝搬しマイクに至る経路

の3つの経路による音響結合がある。

他方、図6に示すように、スピーカをベースセット内にマイクをハンドセット内に実装（マイクインハンドセット、以下M I Hと略す）すると、経路⑥の音響結合や経路⑦の音響結合がM I Bに比べ減少すると予測される。

そこで、M I BとM I Hの実装構造について音響結合量を求めた。結果を図7に示す。これより、

- (a) 表2に示す防側音特性の改善量(13 dB)のうち3 dB程度を音響実装に振り向ければ、M I B(スピーカボックス・マイクボックス有り)の実装構造を用いることによりスピーカホンに比べてベースセット奥行寸法を約20%短くできる。
 (b) 表2に示す防側音特性の改善量(13 dB)のうち7 dB程度を音響実装に振り向ければ、M I Hの実装構造を用いることによりスピーカホンに比べてベースセット奥行寸法を約40%は短くできる。
 (c) M I B(スピーカボックス無し)の実装構造でベースセット奥行寸法を短くするためには、防側音特性の改善量として約20 dB以上が必要である。

ということがわかる。

4. 音声スイッチの制御方法

4. 1 基本構成

μP を用いた拡声電話機の回路構成を図8に示す〔7〕。拡声電話機回路の構成にあたっては、自動損失制御形音声スイッチ(A L S)の立上り時間や切替時間等を制御しているC R回路をプログラム上でソフト的に実現することを試みた。図8においてH 1, H 2は防側音回路用の抵抗ブリッジ、B N 1, B N 2は平衡回路網であり、B N 1は μP 制御によりそのインピーダンスを制御できる可変の平衡回路網である。L T, L Rはデジタルアッテネータであり、音声スイッチの損失制御の他に受話A G C, 漏話受聴防止、音量調節などの制御にも用いられる。B P F 1, B P F 2はそれぞれ送・受話信号の音声成分を抽出するための帯域通過フィルタである。

μP は、送・受話信号の音声成分を抽出するフィルタB P F 1, B P F 2の出力をA/Dコ

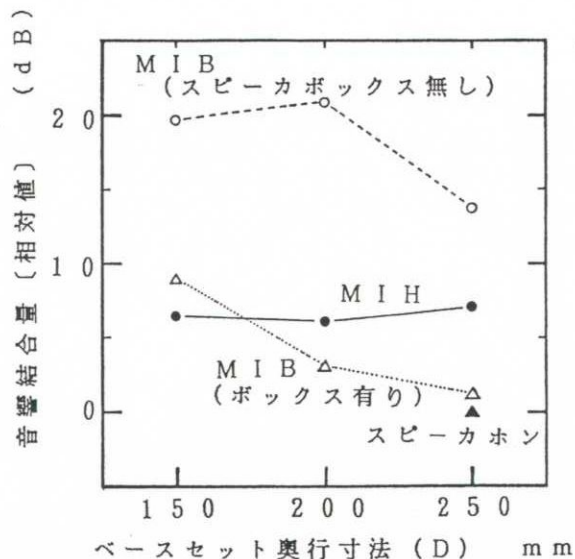


図7 スピーカ、マイクの実装構造と音響結合量との関係

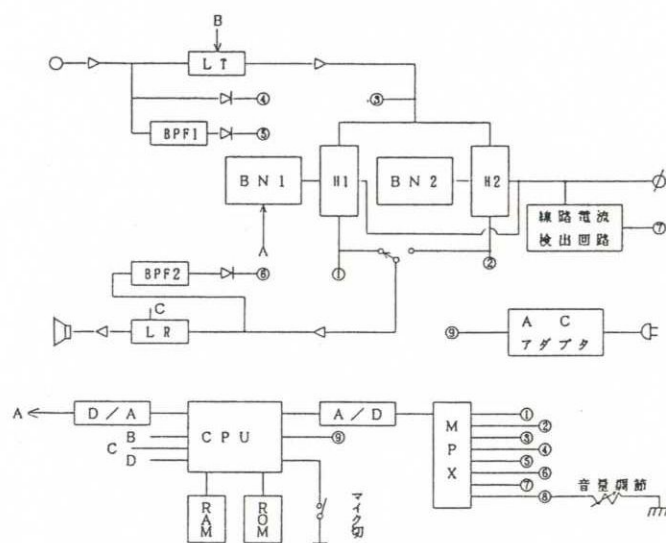


図8 拡声通话回路の構成

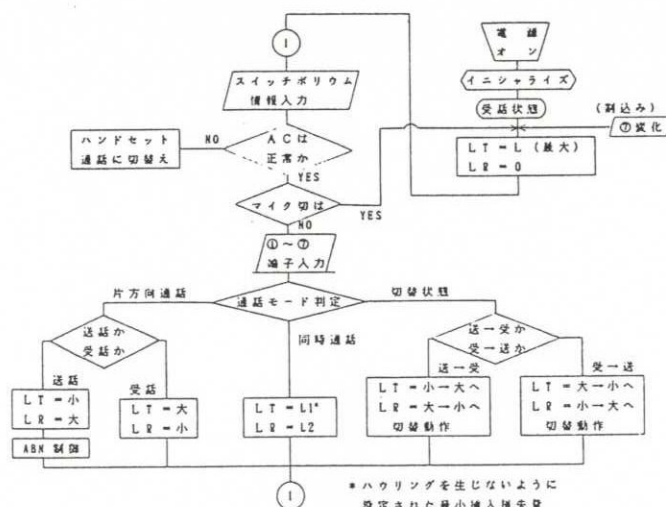


図9 制御ソフトの構成

ンバータでデジタル信号に変換したものを制御入力として音声スイッチ回路を制御している。更に、側音量、音響結合量に応じて挿入損失量を常に最小に保つため、側音量（図8において①と③間もしくは②と③間）、音響結合量（⑤と⑥間）を μP の入力情報としている。図9に制御ソフトのフローを示す。基本的なフローは以下の通りである。

- ①電源投入直後は一旦受話状態とし、ダイヤルトーン等の受聴を確実なものとする。
- ②マイク切スイッチや音量調節ボリューム等の設定情報を入力する。
- ③送・受話信号のレベルを順次 μP に入力し、そのレベル比較により

- (a)送話状態
- (b)受話状態
- (c)切替状態
- (d)同時通話状態

のいずれであるかを判断し、それぞれに応じてLT, LRの制御を行う。

また、送話状態と判断した場合には、2章に述べた自動平衡形防側音回路の制御を行う。

4. 2 室内残響音による受話ブロッキングの防止

拡声電話機設置場所の室内残響特性は、部屋の大きさ・形状、壁面の状態等により、千差万別である。受話の残響音が送話音声程度の大きさでマイクに入ると、音声スイッチが受話状態から送話状態に切り替わり受話系に損失が挿入され、受話状態において受話音声途切れる場合がある。この現象を受話ブロッキングと呼ぶ。受話ブロッキングが起きると会話の自然性が著しく損なわれる。受話ブロッキングは次のようにして起きる。

受話音声は、図10に示す音響結合によりマイクに入るため、受話信号がある場合には常に図11に示した送話信号平滑回路に出力を生じている。今、受話状態において、受話信号が中断もしくは急に減少する場合を考える。残響のある部屋ではスピーカで拡声された受話音が室内で反射され残響を伴いながらマイクに入る（図10）。そのため、送・受話信号平滑回路の入・出力波形は、図12(a)～(d)のようになる（図12(a)～(d)は図11(a)～(d)に対応する）。

- (a)受話信号が中断もしくは急に減少すると、
- (b)受話信号平滑回路の出力波形は、平滑特性に基づいて減衰する。
- (c)送話信号波形は室内残響音波形と同様の波

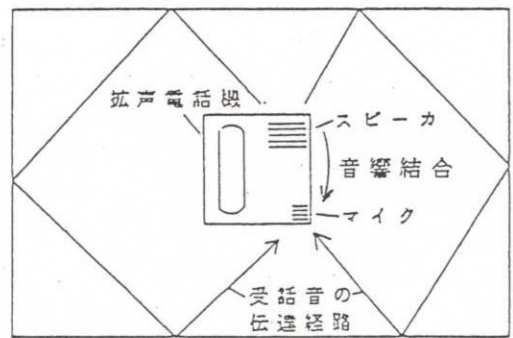


図10 残響のある部屋での受話音の伝達経路

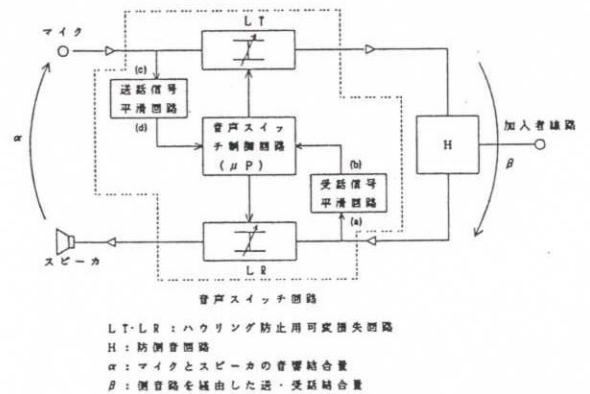


図11 μP 制御を用いた拡声電話機の基本構成

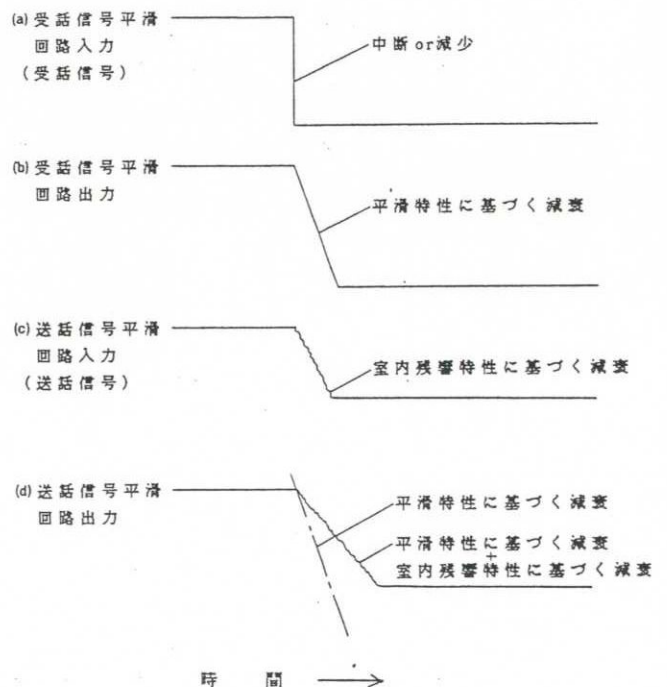


図12 送・受話平滑回路の入出力波形

形になる。

(d) 送話信号平滑回路の出力波形は、音響結合により生じた出力が平滑特性に基づいて減衰し、かつ室内残響特性に基づいた出力を生じるため、出力レベルの初期値は小さいが受話信号平滑回路出力よりもゆるやかに減衰する(図13)。

そのため、大きな受話信号の直後や室内残響時間が長いときには残響音レベルが大きくなり、送話信号平滑回路の出力信号が受話信号平滑回路の出力信号を上回る。このとき、音声スイッチが受話状態から送話状態に切替わり受話系に損失が挿入されるため、受話音声がある場合には、この受話音声は途切れる。再び大きな受話信号が加わった場合には、送話状態から受話状態に切替える必要があり、このとき受話音声の話題が切断する。

受話ブロッキングを防止する最も簡単な方法は、室内残響特性の影響が無視できる程度に送・受話信号平滑回路の平滑時定数(送・受話平滑時定数)を長く設定する方法である。しかし、送・受話平滑時定数は、送・受話切替時間を左右するため、単に長くすると通常の会話において話題切断が生じるなど会話の自然性が損なわれる。送・受話平滑時定数は、音声信号を有効かつ確実に検出する範囲で極力小さなことが望ましい。

ここでは、残響音の減衰波形に着目して、送・受話平滑時定数を短く保ったまま受話ブロッキングを防止する方式を考える。すなわち、受話状態のとき送話信号平滑回路出力を監視し、レベルが受話信号平滑回路出力以上であっても、減衰している信号は残響音と判断し、受話状態から送話状態への切替を行わない制御を行う。

残響時間1秒程度の部屋において、上記方式を用いた実験を行った。受話ブロッキング対策を行わない場合の波形を図14に、受話ブロッキング対策を行った場合の波形を図15に示す。図14、図15より、本方式を用いて受話ブロッキングを防止できる可能性があることがわかる。

4.3 室内騒音による誤動作防止

室内騒音による送話信号レベルが送話しきい値を上回るときには、常に送話状態となり、拡声通話中において受話音が途切れ易くなる。

騒音源として一般的なもの、空調音・機器騒音などであり、これらは時間的に連続なものが多い。これに比べて、音声は音節ごとにレベ

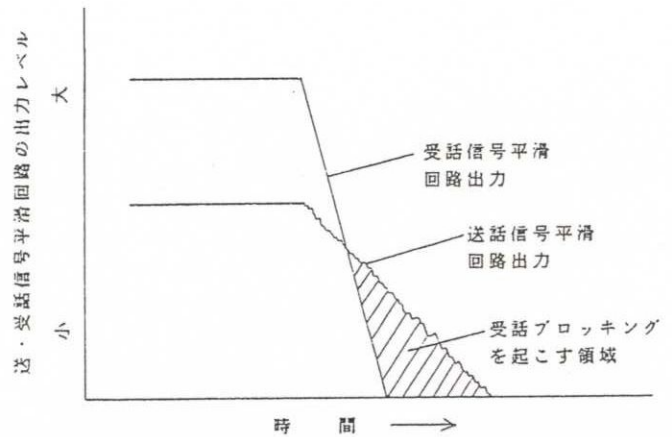


図13 送・受話信号平滑回路の出力波形

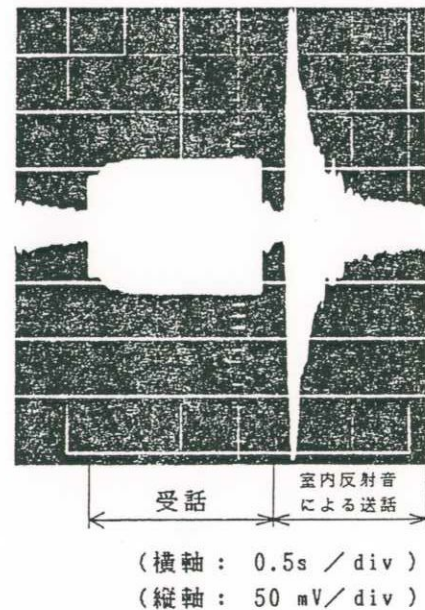


図14 受話ブロッキング対策を行わない場合(トラシク端)

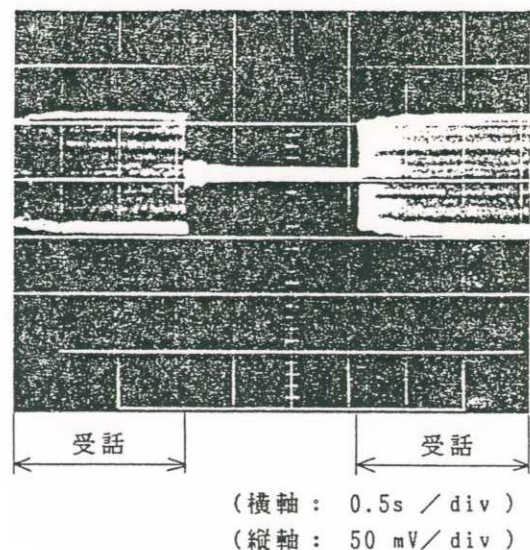


図15 受話ブロッキング対策を行った場合(トラシク端)

ルが変動するため、時間的に不連続になる。そこで本拡声電話機ではマイクに入力信号がある場合にはゆるやかにレベルが増加し、入力信号がない場合には急速にレベルが減少する騒音検出機能を設けた。この騒音検出機能により、騒音がある場合には騒音は時間的に連続であるためレベル増加を続け、騒音の大きさに従ったレベルを得、一方、音声だけの場合には音声は時間的に不連続であるため音声の途切れるとレベルが減少する。このようにして騒音と音声の識別され、同時に室内騒音レベルに応じた騒音検出出力が得られる。

室内騒音による送話信号レベルが送話しきい値を下回るときには、送話しきい値として最適な値（一定値）を設定し、一方、室内騒音による送話信号レベルが送話しきい値を上回るときには、室内騒音の大きさに応じて送話しきい値を設定する方法を採用した。ここでは、図16に示すように送話しきい値を制御することにより室内騒音によって音声スイッチが誤動作することを防止している。

5. むすび

ギルバート回路を用いて μP 制御が可能な自動平衡形防側音回路を構成し、従来に比べ側音を13dB改善できる見通しを得た。また、スピーカ・マイクの実装構造と音響結合量について検討し、拡声電話機の小型化に適したスピーカ・マイクの実装法を明らかにした。さらに、上記検討結果に加え、音声スイッチの制御をマイクプロセッサを用いて行う拡声電話機を構成し、残響音による受話ブロッキングや室内騒音による音声スイッチの誤動作を防止する方法について基本的な構成要因を明らかにした。

今後は、この構成を適用した拡声電話機の検討を進める予定である。

〔謝辞〕

日頃御指導頂く当所宅内部山崎部長、寺井統括役、電話機研究室川嶋室長、及川調査役、一ノ瀬補佐、および技術局吉利調査役に深謝する。

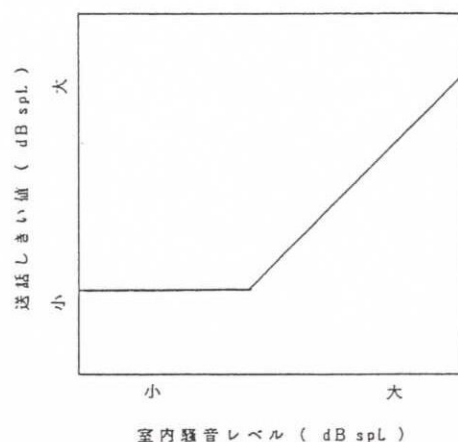


図16 室内騒音の大きさに従った送話しきい値制御

〔文献〕

- 〔1〕 加藤 他「自動損失制御形音声スイッチ回路の検討」, 電音研資料E A 75-10
- 〔2〕 山森 他「自動平衡形防側音回路」, 59年度信学会総全大予稿 No.2704
- 〔3〕 松井 他「拡声電話機の小型化におけるスピーカ・マイクの実装法の検討」, 58年度信学会総全大予稿 No.2308
- 〔4〕 松尾 他「自動切替形防側音回路に関する検討」, 信学会誌 Vol.J65-B
- 〔5〕 B.Gilbert 「A new wide - band amplifier technique」, IEEE JSSC VolISC-3, Dec, 1968
- 〔6〕 小島 他「S-1 P形拡声電話機の音響設計」, 通研実報, 28, No.3, 1979
- 〔7〕 山森 他「デジタル制御形拡声通話回路の検討」, 56年度信学会総全大予稿 No.325