

電電公社における電話オーディオ技術の研究実用化 — 前編：復興から成長の時代 —

Research and Development of Audio Technology for Telephony in NTT
— First Part: From Reconstruction to Growth Era —

大賀 寿郎 Juro OHGA

アブストラクト 1945年、敗戦による大混乱からの復興を目指して立ち上がった当時の通信省の電話機エンジニアの命題は、物理特性と人の心理特性とを定量的に把握し、カットアンドトライを排して納め得る物理量を根拠とするような設計を行うことだった。復興の機軸となるべく1949年に量産開始となった4号電話機は、伝送周波数帯域と明瞭度との関係の把握、正確な音響測定手法の確立など周辺技術の蓄積を推進しながら実用化され、定量的な設計を徹底した電話機として当時の最先端だった。その後、我が国が高度成長期に入った1964年から量産された600形電話機では、実用化にあたって聴覚心理グループが電話機の目標とすべき音響特性を示し、電話機設計サイドはこれを踏まえて電話機設計を行った。こうした過程を踏んで設計された電話機は世界に例が少ない。ここではオーディオ技術に注目し、我が国の標準電話機の実用化の概観の前編としてこうした研究実用化の経過を述べる。

キーワード 標準電話機、マイクロホン、イヤホン、磁石電鈴、定量的設計、無調整生産

1. まえがき

我が国で用いられる電話機は、1985年4月に競争市場の商品となるまでは、官庁（通信省、電気通信省）または公共企業体（日本電信電話公社、略称電電公社）が独占して供給する通信機であった。このため、電話機に関する研究実用化もその内部で進められてきた。

こうした業務に携わる研究者、技術者に共通していたのは、我が国の通信端末の技術を双肩に背負っているという自負だった。絶対に通話不能にならない電話機を最も合理的な技術で提供しなければならないという使命感は世代を超えて受け継がれてきたのである。

ここでは、1945年の終戦から約40年間にわたる我が国の、すなわち上記のような電話機の技術開発と供給を独占してきた組織での電話機の研究開発の状況を、その当時の社会的な条件と対比しながら述べてみたい。

この一文はその前編として、1945年の太平洋戦争の終戦から1964年の新幹線開通、東京オリンピック開催前後の時代における状況を取り上げる。

しかし、電話機に関する技術の範囲は広汎であり、その全てを網羅して述べることは筆者の能力をはるかに超えるものがある。筆者は1964年に当時の電電公社電気通信研究所に入所して電話機研究室に配属され、1985年に退職するまでマイクロホン、イヤホンなど電話機やオーディオシステムの世界で用いられる種々のオーディオトランスデューサの研究

実用化に従事してきた。その間、1965年から1975年まで基礎研究部門に在籍している間も電話機の実用化状況には関心があり、担当の研究者やメーカーの技術者とのコンタクトを保ってきたが、やはり関心の主要な対象はオーディオ信号に関する部分だった。したがって、この一文では電話機のオーディオトランスデューサとその周辺に焦点を絞ることとしたい。

電電公社の研究実用化の特徴は、その経緯を「研究実用化報告」という公開雑誌に詳細に報告していることで、これをたどると研究実用化の流れを比較的系統的に知ることができる。今回はこれを活用させて頂き、図表の多くは原典のものを出典を明記してそのまま用いた。そのため古い表記が混在するのをお許し頂きたい。例えば周波数の単位にはc（サイクル）が使われているが、これはHzと同じである。感度の単位なども現在のIEC規格などとは異なる。

また、報告の著者として見える関係者の氏名を記して敬意を表すことにした。ただし便宜上敬称を略させて頂く。また、筆者も担当として名を連ねている部分があるので仲間に入るのを御寛恕頂きたい。

なお、こうしたトランスデューサの名称について一言しておく。電話機のためのマイクロホン、イヤホンは長く「送話器」、「受話器」と呼ばれてきたが、対応英語のtransmitter, receiverが無線通信機器と紛らわしく、また超音波技術の分野では送波器が音源、受波器がマイクロホンを意味しているため混乱が生じているなど問題が指摘され、現在ではIEC規格に準拠してマイクロホン、イヤホンと呼ぶことになっている。ここでも可能な限りこの用語を用いる。

大賀寿郎 正員：フェロー 芝浦工業大学名誉教授
E-mail johga@nifty.com
Juro OHGA, Fellow (Emeritus Professor of Shibaura Institute of Technology, Kamakura-shi, 247-0071 Japan).
電子情報通信学会 基礎・境界サイエティ
Fundamentals Review Vol.5 No.2 pp. 114-127 2011年10月
©電子情報通信学会 2011

2. 前史：電話機の基本構成の成立

電話機のこう矢は1876年、グラハム・ベルによる発明された電磁マイクロホン、イヤホンによる電話機とされている。

いうまでもなく最初の実験用電話機は実用に十分な性能はなく、電話機が企業や家庭に普及するためには多くの技術革新が必要だった。1940年代までの電話システムの主要なイノベーションとして認識されているのは共電式(集中電源方式)、自動交換方式、装荷方式、無装荷搬送方式とそのためフィルタなどであろう⁽¹⁾。

しかし、通信端末としての電話機、特にそのオーディオ技術に焦点を絞ると注目すべきイノベーションも変わってくる。筆者は、現代の電話機のためのオーディオ技術の基礎となった重要な技術革新として次の二つを挙げたい。

(i) カーボン粉粒マイクロホン

最初の実験用電話機に用いられた電磁マイクロホン、電磁イヤホンはいわゆる電気音響変換器で、音響エネルギーと電気エネルギーの間の変換を行うものである。こうしたデバイスは原理的に変換効率が100%を超えることはなく、一般的な製品では数%程度とみなされる。したがって、長距離通話の可能な電話機を実現するには信号の増幅が必須なのだが、トランジスタはおろか真空管もなかった当時では増幅器の使用は不可能だった。

これを解決したのがカーボン粉粒(炭素粉)マイクロホンであり、多くの人々の試行錯誤の末エジソンにより完成された⁽²⁾。

このマイクロホンの動作はトランジスタなどに似ている。電気出力端に接続される電子回路の概念も含めてこれを図1に示す。通常のマイクロホンとの大きな相違は音響信号を電気信号に変換するために直流の定常電流を用いることである。

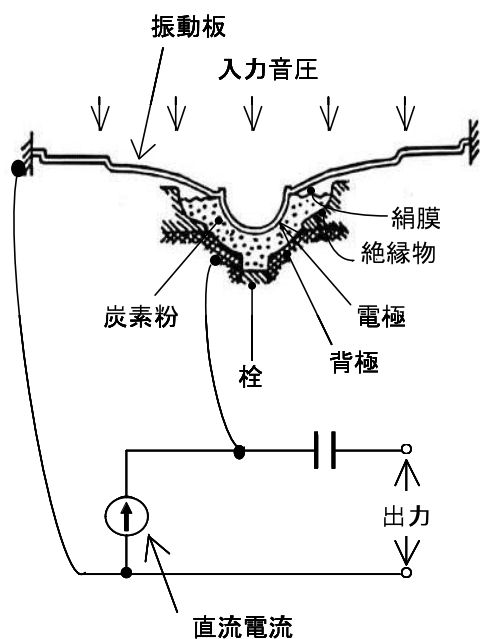


図1 カarbon粉粒マイクロホン

振動板は金属であり、中央に電極が装着されている。これと固定電極との間に無煙炭の高温焼成により純炭素に近い組成とされた粉粒が充填されている。カーボン粉粒同士は無数の小さな面積の接触部で互いに接触しており、音波の入力により振動板が振動するとこれらの接触部の面積が変化するので電極間の電気抵抗が変化する。電極間には一定の直流電流が流れているので、この電気抵抗変化により電極間に交流電圧が発生する。これを取り出せばマイクロホンとして用いることができるわけである。音響入力信号で直流電流を変調するので変調形マイクロホンと呼ばれる。

こうした構成のカーボン粉粒マイクロホンは、直流電流を増やせば音から電気へ変換する感度も増えるので、音響電気変換のみならず信号の増幅も可能となる。真空管やトランジスタによる増幅器が実用化される以前に電話機を遠距離通話に用いることができたのは、この信号増幅作用を持つマイクロホンのお陰であり、このマイクロホンは電話機のれい明期から集積回路の導入によりマイクロホン自身の信号増幅作用が不要となるまで約100年間にわたり世界中の電話機に用いられることになった。

(ii) ハンドセット(送受器)

初期の電話機では、壁や柱に装着された電話機本体にマイクロホンを取り付け、イヤホンは本体とは別の手で持ちやすい形状として本体のアームに掛け、本体との間を柔らかい電線で接続する構成をとっていた。通話するときにはイヤホンを取り上げて耳に当て、本体のマイクロホンに向かって発声した。電話機がコンパクトな卓上形に脱皮してからもしばらくはこの形態が踏襲されていた。

1930年代になってマイクロホンとイヤホンとを一つの握りに収めたハンドセット(送受器)が導入され、電話機の形態が一変した。当時の代表的な卓上電話機を図2⁽³⁾に示す。ハンドセットはイヤホンを耳に当てるとマイクロホンと口との相対位置が自然に決まる巧妙な構成なので、使用者の使い勝手を改善するとともに通話者の姿勢の変化によるマイクロホンへの入力音声レベルのはらつきを減少させて通話性能の確保に貢献した⁽⁴⁾。



図2 ハンドセットを用いた卓上電話機 (STROWGER DIAL SET, 1930代)⁽³⁾

こうしたデザインの洗練を支えた技術として、新しい電話機構成材料の開発、例えば木材、金属に代わるベークライトなどのプラスチック材料の進歩が挙げられよう。図2の例ではベークライトが用いられている。

このようにして電話機は日常の道具として定着し、1940年代の米国において家庭の必需品となり、世界に普及して行く。

我が国でもこうした電話機が国産化されたが、他の工業製品と同じように当初の製品は米国、ドイツなどの製品のコピーだった。我が国の電気通信エンジニアは戦前から真空管による増幅器を活用した無装荷搬送方式のような独自の技術を生み出していたが、電話機についてはそうした動きは見られなかった。

3. 戦災からの復興と4号電話機

我が国のあらゆる工業は太平洋戦争中の戦災により壊滅状態となった。敗戦により従来の価値観が否定されて虚脱状態になっている中で、全ての工業が無から有を生み出す作業を強いられることとなった。

このときに活躍したのが、戦時中に軍事研究開発に従事させられていた若手の技術者たちだった。科学技術には社会体制やその価値観の変化に左右されない普遍的なものがあるので精神的虚脱感が少なかったのだろう。多くの分野で「いよいよ我々の時代が来た」と意気込んだ技術者たちが活動を開始したのだった。

我が国の電話システムは通信省の独占する国営システムであり、上述のように外国技術の導入などにより既に戦前に一定の水準に達していたが、やはり戦災で壊滅状態となった。通信技術の研究実用化の担当部署は電気試験所に置かれていた。電話機を担当することとなった技術者たちはやはり情熱に燃えており、芋などかじりながら、

「本日は晴天」をやめようじゃないかと語り合っていたという。

外国製品のコピーから出発した当時の電話機は経験による設計製造と手作業による調整が主流であり、「本日は晴天なり」という音声を通じたらOK、という技術レベルだった。これから新しい電話機を開発するにあたりこれを繰り返すのではなく、設計にあたっては可能な限り定量的に追求すること、



図3 4号A卓上電話機⁽¹²⁾ (通信総合博物館写真)

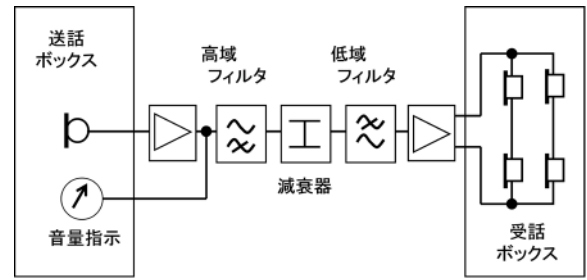


図4 フィルタの遮断周波数と明瞭度の関係の測定

生産にあたってはゲージシステムなどにより互換性を保持し、不良品の早期除去を図ることが大きな目標となった。

1948年に電気試験所が電力と電気通信とを分離し、後者が電気通信研究所となったときには電話機の研究実用化は電話機課長早坂寿雄のグループで精力的に進められており、1949年より量産された4号電話機として結実した⁽⁵⁾。外観を図3に示す。

この電話機は新設された電気通信研究所の最初の研究成果として記憶されている。

4号電話機の技術として特筆されるのは、基本的な材料、測定技術まで電話機研究者が開拓しなければならない時代でありながら、電話機設計のための基本技術の確立も同時に、または先行して行われたことだった。

良好な通話を確保するために必要な伝送特性を明らかにするため、安定なマイクロホン、伝送系、イヤホンを持つ通話標準装置を整備して、実際の通話により物理特性と日本語の明瞭度との関係を解析する研究が1945年から開始されていた。例えば、伝送周波数帯域と明瞭度との関係を求める実験は図4のような実験システムで行われた。防音室内で一人が一致の音量で発声し、別の防音室内でこれを複数人が聴取して単音明瞭度を測定する。伝送系に高域フィルタと低域フィルタとを挿入してその遮断周波数と明瞭度との関係を定量化する。

通話標準関係を担当した小林孝夫、三浦種敏による測定結果の例を図5に示す。これを基にトランスデューサの特性を設計することによって「本日は晴天」からの脱却が実現されたのだった。なお、図は十分な受話音量が得られるときのデー

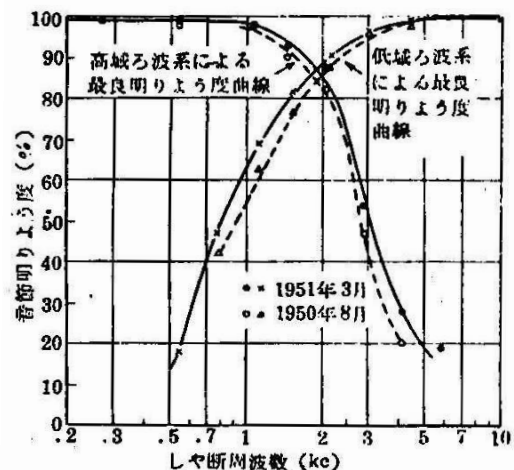


図5 遮断周波数と明瞭度の関係の測定結果^(5, 図7)

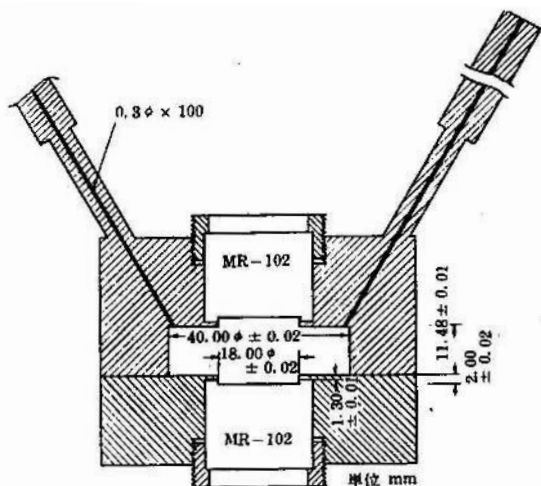


図6 標準マイクロホンを校正するためのカップラ (5, 図62)

タであり、電話機設計では相手の声が小さい場合も考慮して種々の条件で測定が行われている。

一方、音の物理測定についても根本的な改良が進められた。

旧来の音響測定では音波の発生にはサーモホン、音圧の測定にはレイリー板が用いられていたが精度不良で、測定誤差が数dBといわれていた。その後、可逆電気音響変換器のマイクロホン感度とイヤホン感度が普遍的な定数で結ばれることを利用した相互校正法が開発され、安定なマイクロホンがあればその感度を正確に求めて精度の良い音圧測定ができる見通しがついていた⁽⁶⁾。

4号電話機の実用化にあたっては、電話機エンジニアの手でイヤホンの測定のための約80 mm径のPS-102及び磁石電鈴の測定のための32 mm径のMR-101 コンデンサマイクロホンが実用化されたが、こうした用途の標準マイクロホンとしては更に小形の、直径1インチのウェスタン・エレクトリック社製640AAが著名だった。我が国でも同じ大きさのマイクロホンMR-102や、それらの精度を維持する図6のようないわゆる20 ccカップラを用いる音響標準装置の開発が開始され、音響測定の精度の改善が開始されていた。測定精度を保つにはある程度広い空間が必要だが、高い周波数で内部の音圧が不均一になって誤差を生じる。これを減殺するため、上部のチューブを用いて内部の空気を音速の早い気体に置き換える。ここでは水素ガスが使われた。

4. 4号電話機のトランスデューサ

こうした基本技術を基に伊藤義一らにより実用化された4号電話機のマイクロホンは、T-4と呼ばれるカーボン粉粒マイクロホンで、従来の電話機用マイクロホンから変換原理の変更はなかった。改良の主眼は音響性能の向上と特性のばらつきへの減少に向けられた。

図7に断面を示す。粉粒室の形状は半球形のとときに使用時の姿勢(振動板の向き)の変化に対して安定な特性が得られるという従来の経験に従っている。振動板とフレームとの間に薄い紙を重ねたブックダンパを置き、紙の間の空気の流れ抵

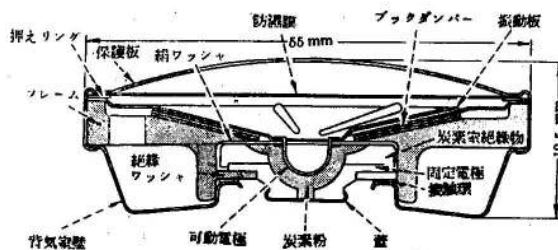


図7 4号電話機用T-4マイクロホン (5, 図13)

抗を用いて振動板の共振によるピークを軽減している。後部は密閉され、イヤホンから漏れるハンドセット内部の音を遮断している。防湿膜は通話者の唾液からの保護が目的で、完全な防湿は期待していない。

T-4マイクロホンの特性を従来の1-Aマイクロホンと比較して図8に示す。動抵抗は音波が入射しているときの直流抵抗である。スペシフィックレスポンスはいわゆる電力感度である。入力音圧は専用のカップラにより与えるのでIECの分類では音圧感度を求めていることになるが、出力として出力端開放電圧の二乗平均を動抵抗で除した電力値を用いている。

カーボン粉粒マイクロホンのレスポンスは入力音圧、入力電流により変化するので、通話時の標準的な値とされる10 μb (1 Pa)、50 mAで測定されている。レスポンスはまた傾斜角(振動板の向き)で変化する。通常は実使用に近い0°(振動板の軸が水平の状態、すなわち図7を90°回した状態)で測定される。

炭層粉粒マイクロホンでは、振動板が激しく運動するとカーボン粉粒同士の接触が不安定となって動抵抗が上昇する。1-Aマイクロホンでは振動板の制動が不足しており、振動板の共振周波数付近でレスポンスと動抵抗の特性が乱れているのに対し、T-4ではブックダンパによる制動が的確に利いていることが分かる。

振動板の共振周波数は約1.6 kHzで、これより高い周波数領域ではレスポンスが下降している。これは次の電話機的设计において反省点となった。

イヤホンはR-4と呼ばれ、増沢健郎らにより実用化された。変換原理としては従来と同様の電磁変換器が採用されたが、従来のイヤホンが1枚の鉄板を振動板としていたのに対してアルミ合金製のコーン形振動板の中央にアーマチュアを装着

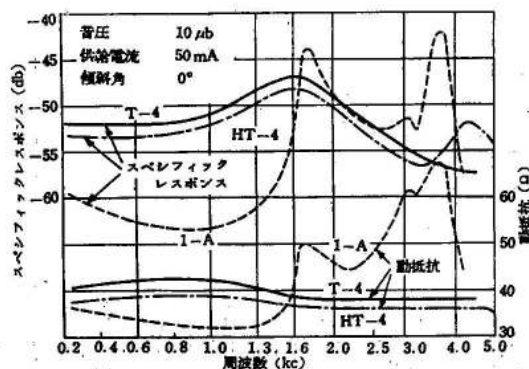


図8 T-4マイクロホンの特性 (5, 図17)

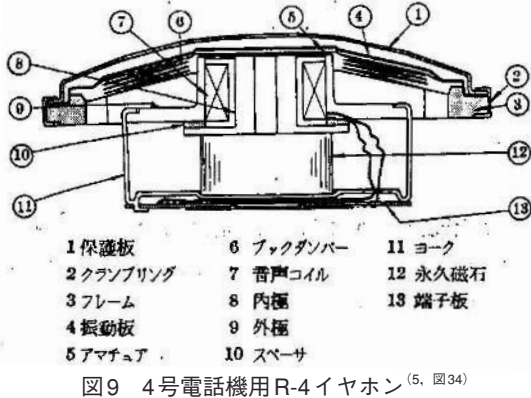


図9 4号電話機用R-4イヤホン (5, 図34)

した組合せ振動板を採用した。実用化にあたっては振動板の最適設計と共振によるレスポンスの乱れの制御が課題となったほか、多種多様な磁気回路の形状を比較して最適な構造が選択された。マイクロホンと異なりカーボン粉粒という機械的に不安定な要素がないので、定量的設計がかなりの確に行われたといえる。

構造を図9に示す。振動板の制動にはT-4と同じくブックダンパーを用いている。磁石は鉄、アルミ、ニッケル、コバルトの合金磁石が採用された。後部は開放となっている。

この構造では磁気回路が独立した部品となっており、他のトランスデューサにも流用可能である。実際に多機種に用いられた例は聞かないが、音響実験用のドライバとしては重宝なものとなった。

R-4イヤホンの特性を従来の3号イヤホンと比較して図10に示す。スペシフィックレスポンスはIECの分類では電力感度であるが、ポイントバイポイントで測定されるので、電気インピーダンスの値は代表値ではなくそれぞれの周波数における値を用いている。ハンドセットに装着すると前気室とイヤピースの孔との共振によりピークが生じ、3.5 kHz程度までは比較的良好的なレスポンスを持っていることが分かる。1枚の円板の基本共振と二次共振がほとんど制動されていない旧形に比べ、明らかに特性が改良されていることが分かる。

このような二つの共振を持つ音響回路は図11のように電気回路の記号で表すことができる。この場合、電圧に当たるのは圧力(振動板なら駆動力を実効面積で除した値)、電流に当たるのは空気の体積速度、コイル、コンデンサ、電気抵抗

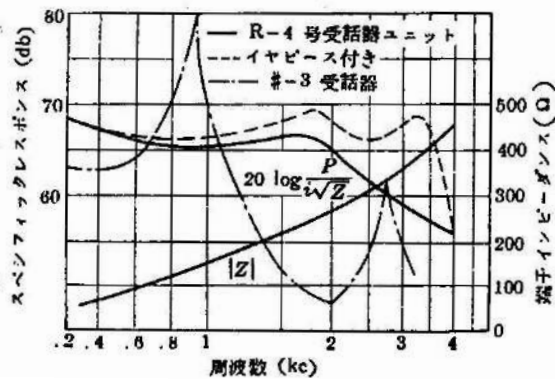


図10 R-4イヤホンの特性 (5, 図35)

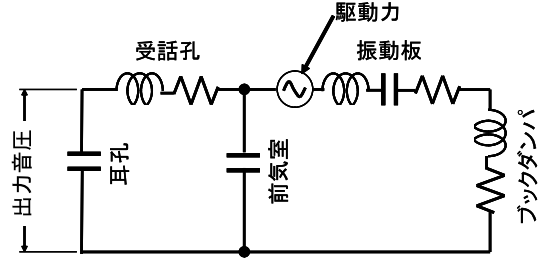


図11 R-4イヤホンの音響回路

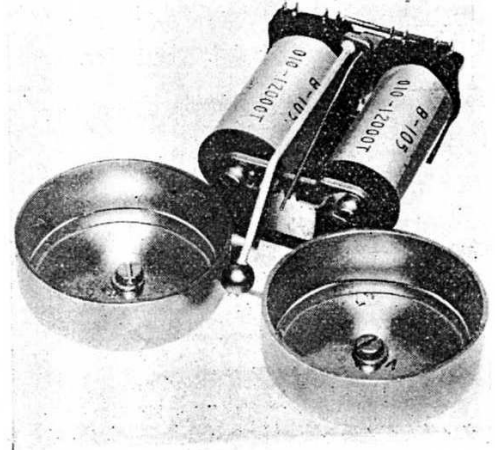


図12 4号電話機用B-105磁石電鈴 (5, 写真6)

に当たるのはそれぞれ音響質量、音響ステフネス、音響抵抗である。この回路にキルヒホッフの法則を適用するとイヤホンの各部の定数と周波数レスポンスとの関係を的確に計算することができる⁽⁷⁾。

こうした電気回路の表現を用いるトランスデューサの設計法は、この後電気通信研究所で広く用いられ、お家芸となった。

呼出し用のリングには旧来の電話機と同様に磁石電鈴が用いられた。外観を図12に示す。旧来のB-104C磁石電鈴に比べ大きな構造の変更はなかったが、磁石の強さ、タッパの振幅と出力音量、最小感動電流との関係は試作により吟味された。

こうしたデバイスを用いた4号電話機の電気回路を図13に示す。電話機の回路方式は側音平衡をとる機能を要求され、ブリッジ回路またはブースタ回路が用いられる。側音平衡の機能はブリッジ回路が優れているが、通常のカーボン粉粒マイクロホンの電気抵抗(数十Ω)が線路の電気インピーダン

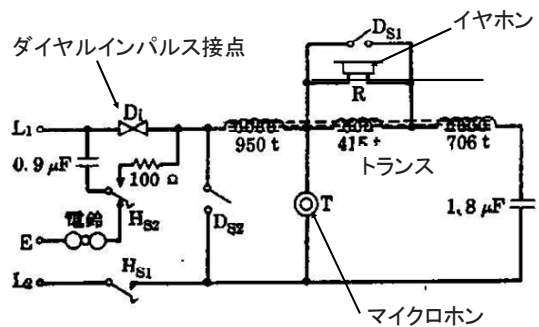


図13 4号電話機の回路 (5, 図45)

ス(数百Ω)に比べ小さいので送話信号の減衰が大きくなる。4号電話機では従来の電話機との相互通話を考慮し、従来と同じブースタ回路を採用した。

この回路は線路の電気インピーダンスを600Ωの純抵抗と仮定し、また電話局からの遠近による線路の減衰量の違いを保証する素子を持たないので極めてシンプルなものとなっているが、送話側、受話側の信号減衰量が大きく違うことのないように定数が選択されている。電鈴のE端子が独立しているのは共同電話における個別呼出しに対応するためで、通常はL2端子に接続して使用される。

5. 4号電話機以後のオーディオ研究

4号電話機は足掛け5年程度の短期間で実用化されたにも関わらず、単なる電話機設計のみならず、通話特性、音響特性などを定量化するための基礎研究を並行して進行させた大きなプロジェクトであった。特に戦前からの電話機に比べて通話特性の改善は大きなものがあり、音の良い電話機として社会に受け入れられた。研究者たちにとっては米国ベル電話研究所で実用化されてその後の米国の電話機の標準となった500形電話機に1～2年先行して独自の高性能な電話機を導入できたのには大きな満足感があったと思われる。

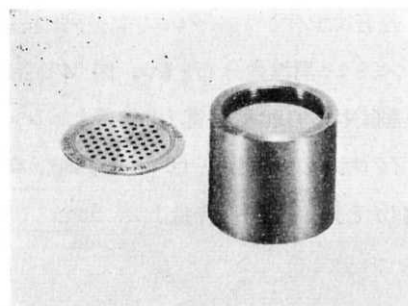
しかし、この実用化を通して基本技術の蓄積はまだ十分とはいえないことも明らかになり、実用化完了後の電話機研究グループでは更なる基本技術の蓄積にまい進することとなった。電気通信研究所は1949年に発足した電気通信省に移管され、これが1962年に独立採算制をとる公共企業体の日本電信電話公社(電電公社)に改組されたが、電話機とそのための基本技術の研究は一貫して続けられた。

まず挙げられるのは音響計測技術の高度化だった。特に、早坂寿雄など電話機研究者の手で行われた世界第一級の性能を持つ標準、計測用マイクロホンの実用化は特筆されるべき成果だった⁽⁸⁾。

安定性の要求される標準用途には磁石や圧電材料を用いないコンデンサマイクロホンが適している。また、振動膜や構造部品の材料としてはヤング率と密度の比が大きく、腐食などの劣化の少ない安定な材料が望ましい。4号電話機のトランスデューサに用いる振動板の材料に選ばれたアルミニウム系合金はヤング率の割に軽いので振動部の材料として有用だが、機械的安定性に難がある。当時の多くの標準、計測用マイクロホンに用いられていたステンレス合金は鉄系材料のため安定だが重い。

電気通信研究所で標準コンデンサマイクロホンの材料として選択したのは、航空機などに用いられていたチタニウムだった。当時まだ発展途上の材料だったが強く軽くて機械的に安定である。薄いチタニウム膜の製造技術が国内にあったのが決め手になり、振動膜ほか全ての金属部をチタニウムで製造した標準マイクロホンMR-103が実用化された。

外観と構造の概要を図14(a)及び(b)に示す。寸法はウェスタン・エレクトリック社製640AAにおおむね整合させて



(a) 外観⁽⁸⁾

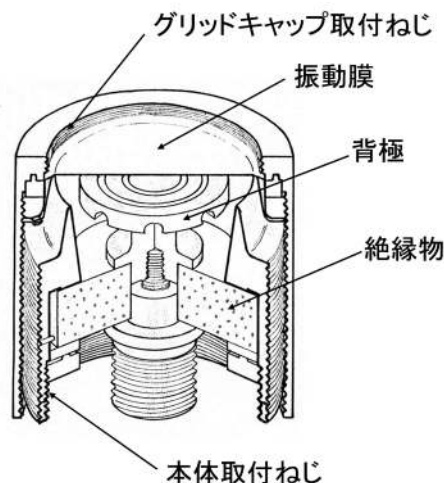


図14 MR-103コンデンサマイクロホン

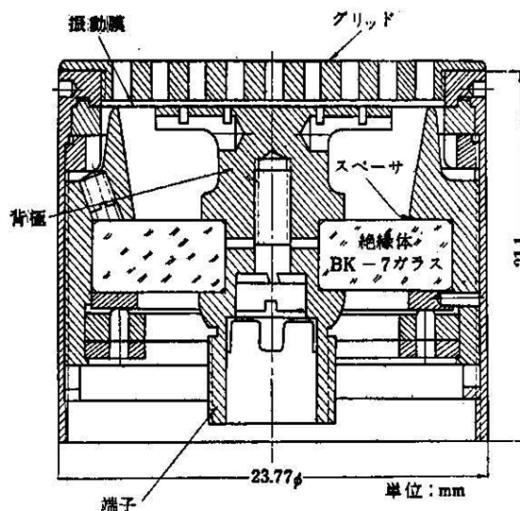


図15 MR-103コンデンサマイクロホンの断面^(8, 図30)

あり、直径約1インチとなっている。また、MR-103マイクロホンの断面を図15に示す。

背極を保持する絶縁物にはチタニウムと同等の線膨張係数を持つガラスが用いられた。組立には当時脚光を浴びていたエポキシ樹脂系の熱硬化性接着剤が用いられ、組立後に節処理を行うことにより図16のように経時変化の極めて少ない安定な特性が得られている。

こうした標準マイクロホンを正確に校正して音響計測の基本とするための音響標準装置が電気通信研究所に構築された。物理計測の標準の維持は本来国家機関の役割であり、実

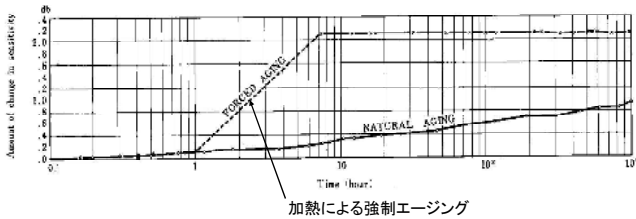


図16 加熱エージングによる安定性の改善 ((株) 東京理工研究所カタログ)

際当時の電気試験所(後の電子技術総合研究所→産業技術総合研究所)でも音響標準装置を構築、維持し、マイクロホンの回折現象の定量化や校正精度の改善の研究が行われていたが、そこで二次標準として維持保管されているマイクロホンはMR-103とデンマークのブリュエル・アンド・ケア社のマイクロホンであり、両者は互いに遜色のない安定性を持っていた。

同じ頃、機械的特性が極めて不安定なため定量化の遅れていたマイクロホン用カーボン粉粒の変換動作の研究が実験、理論検討の両面から進められた。

当時の電気通信研究所では、振動板などの機械振動素子を駆動し、その駆動速度(または変位)と素子の反作用力とを同時に測定して素子の機械インピーダンスを測定する「パイプロメータ」というデバイスを開発して種々の測定をしていた。その一環としてカーボン粉粒マイクロホンの粉粒の機械インピーダンスが測定されるようになっていた。

(ただし、本来のパイプロメータの名は電気通信研究所の研究の終了とともに消え去った。現在パイプロメータと呼ばれるものは単なる振動計の場合が多い。)

図17は後述の600形電話機用T-60カーボン粉粒マイクロホンの炭素室に粉粒を充填して、315 Hzにおいて駆動振幅を変化し、スチフネスの実部と虚部とを測定した結果である(筆者自身の測定による⁽⁹⁾)。

理想的なばねの場合は実部は振幅に寄らず一定、虚部は0になるはずだが、カーボン粉粒(実線)は振幅が増大すると実部が減少し(軟らかくなり)、また虚部が現れる。これは大振

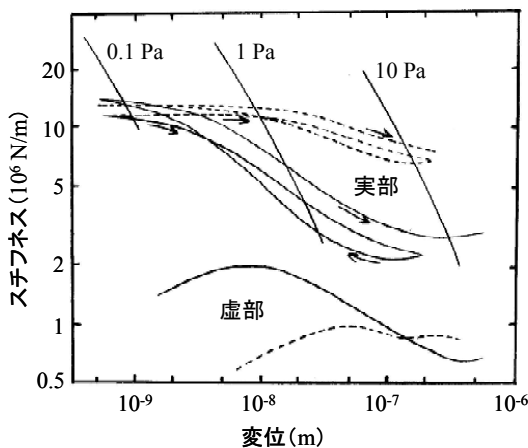


図17 粉粒のスチフネスの測定結果⁽⁹⁾ (実線はカーボン粉粒、破線は同じ粒度のSb3-Se30-Te67%合金粉粒。音圧を表示した曲線はその音圧における振幅を表す)

幅で駆動されると個々の粉粒同士が滑るためと説明されている。同じ粒度のSb3-Se30-Te67 %3元合金の粉粒では、実部の振幅による変化が少なく虚部も小さい。この合金粉粒の表面は細かい凹凸の多い滑りにくい性状なので、定性的には納得できる結果である。

この現象に対し、中野一造は個々の接触を球面接触と考え、また接触点にある値を超える力が作用すると互いに滑ると考え、更にそれらの定数が一定の分布に従うと仮定して粉粒室のマクロなスチフネスを理論計算した。この解析は的確なもので、図17のようなスチフネス特性を説明することができた。この研究によってカーボン粉粒の動作の理解が大いに進展した⁽¹⁰⁾。

実際のマイクロホンの入力音圧は約1 Paであり、粉粒同士の滑りが生じ、振動板が動きやすくなっている領域となるのでマイクロホンの感度が高い。これに比べ外部騒音は通常0.1 Pa程度以下であり、これに対しては粉粒が滑らないため硬く、そのためマイクロホンの感度は低い。これはカーボン粉粒マイクロホンが騒音を抑えて通話音声を強調する効果があるという経験的な知見を説明するものとなった。

6. 高度成長の時代と600形電話機

国内の電話システムの状況は1950年代前半には戦前の水準に戻り、更に量的、質的な発展を続けていた。しかしまだ米国などとは大差があり、例えば東京都内から三多摩というような近距離の電話でさえ手動待時という時代が1960年代まで続いた。電気通信研究所における研究活動により、こうした状況を打破する電話システムの大発展のための種々の技術が提供されることになる。

当時の電電会社の主要な通信システム、デバイスの実用化は電気通信研究所が担当し、その成果を仕様書技術資料として本社に送付し、本社で仕様書を制定して発注するという体制になっていた。研究所は単なる先行技術開発のみならず、電電会社の中核技術に対しても責任を負っていたのである。

導入される新技術には欧米に先例のあるものも多かったが、我が国独自の特徴を持つ技術の開拓、導入も精力的に行われていた。例えば、1954年に東名阪間に開通した4 GHz帯で電話360チャンネルを伝送するSF-B1マイクロ波伝送システムは、出力段に進行波管を用いたユニークなもので、その後世界のマイクロ波伝送システムに進行波管が用いられる先鞭をつけたものだった。

4号電話機に代わる標準電話機の実用化は1958年に決定され、増沢健郎室長の率いる電話機研究室が担当して実施された。名称を600形電話機としたのは米国の500形電話機を凌駕しようという意気込みの発露だったようだ。

1959年から数次にわたる100台規模の試作機による現場試験が行われた。1962年からは4,580台の試作機を六つの町の加入者に使ってもらおう商用試験が開始された。1963年秋より量産開始、本格導入は1964年だった^{(11), (12)}。(電気通信研究所の正式報告は文献(11)だが、その後回路の手直

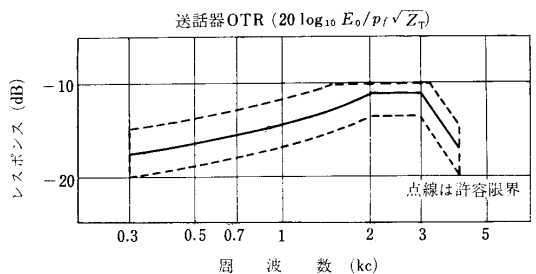


図18 600形電話機 (通信総合博物館写真)

しがあり、後から刊行された文献(12)にこれが反映されている。)外觀を図18に示す。4号電話機よりやや大形になったが、ハンドセットは小ぶりになっている。この寸法は日本人の耳と口との間の平均的な距離の調査により決められたものである。

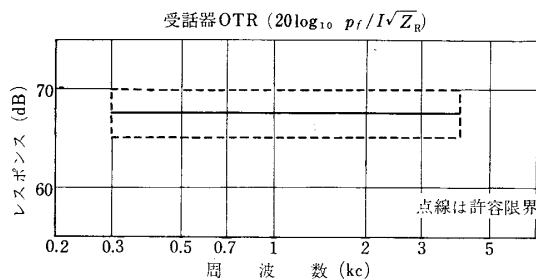
600形の通話品質の評価には、従来のラウドネスに立脚した通話当量(RE)に代わって単音明瞭度に立脚した明瞭度等加減衰量(AEN)が適用されることになった。これを踏まえて、電気通信研究所の聴覚心理研究グループの山口善司らは新形電話機に希望される送話特性及び受話特性とその許容限界を図19のように設計指針として示した。

通常の電話機実用化では試作して通話特性を測定して設計値を決めるのが一般であり、このような手順で設計する手法は他に例がないであろう。送話特性が平坦でなく高周波数



E_o : 送話器出力端の開放誘起電圧
 p_f : 音源から1mの位置の自由音場音圧
 Z_T : 送話器の内部インピーダンス

(a) 送話特性



p_f : 受話者の鼓膜上と等価な自由音場音圧
 I : 受話器に流れ込む交流電流
 Z_R : 受話器の電氣的インピーダンス

(b) 受話特性

図19 新形電話機に希望される通話特性⁽¹²⁾

領域が上昇しているのは子音を協調して明瞭度を確保するためと低周波より高周波の方が減衰しやすい電話線路の性質に対処するためである。電気通信研究所の定量化設計は高度なものとなっていたのだ。 (このグラフ縦軸は正調通話特性: OTRと呼ばれる、通話者の正面1 mでの音声の音圧を基準にした尺度を用いている⁽¹³⁾ので、通常の感度とは数値が異なる。)

一方、構造設計の考え方は当時の社会通念を反映して「成長は無限」の思想によるもので、大量生産、自動生産、無調整生産を念頭に置く設計が行われた。部品加工は切削、ダイカストよりプレス加工を優先した。材料は性能が確保される範囲でなるべく一般的で安価なものが選択された。例えばきょう体の材料はベークライトに代えて成形技術が進歩していた塩化ビニル樹脂とされ、磁石は合金磁石に代えて安価なバリウムフェライト磁石が用いられた。また工数のかかるねじ止めよりはかしめ加工が優先された。

600形電話機の全体組立の概念図を図20に示す。回路網のプリント板や磁石電鈴の底板への取付けは、超大量生産を念頭に置いた総組立の自動化のためリベット止めとなっている。この構造は600形電話機の問題点と認識されることになる。

7. 600形電話機のトランスデューサ

山崎新一らにより実用化された600形電話機のマイクロ

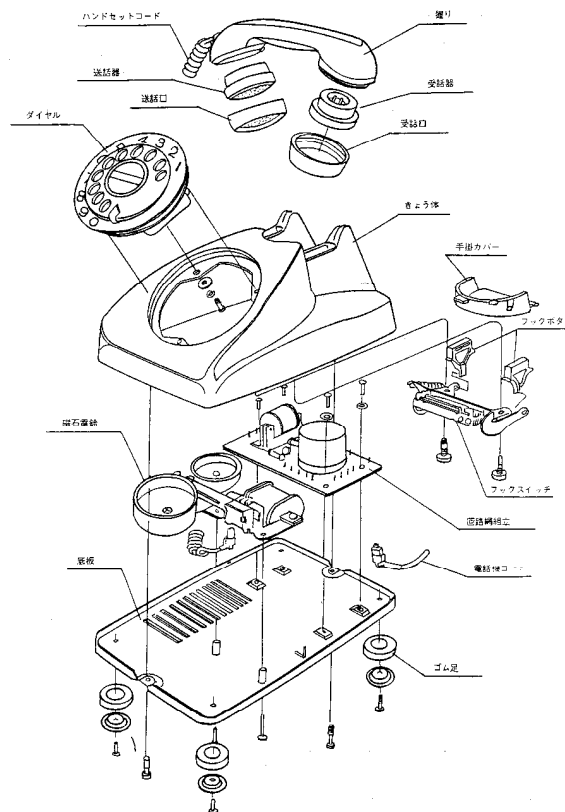


図4 600形電話機組立図

図20 600形電話機の実装構造⁽¹¹⁾

ホンは、T-60と呼ばれるカーボン粉粒マイクロホンで、粉粒室の形状、寸法などはT-4を踏襲している。

ハンドセットに装着された状態の断面を図21に示す。可能な限り定量的な振動系設計が行われ、感度及び周波数特性が改善されたほか、カーボン粉粒の電気抵抗も感度の許す限り低い値として寿命が長くなるよう配慮された。

マイクロホンの感度の評価はスペシフィックレスポンスに代わってアベイラブルパワーレスポンスが用いられた。これはマイクロホンの内部抵抗と同じ電気抵抗を接続したときにその電気抵抗に与えられるパワーを用いる感度である。アンプに接続される通常のマイクロホンでは出力電圧が重要だが、電話機のマイクロホンは線路に電力を供給するのでこうした尺度が適当なのである。T-60マイクロホンの感度と動抵抗の周波数特性をT-4と比較して図22に示す。希望特性に準拠しているので高周波数領域のレスポンスが改善されている。動抵抗は30～40Ωの間を変化しており、定格値は35Ωである。1000Hzでの感度の規格値は-52dBとされた。

田島清らにより実用化された600形電話機のイヤホンは

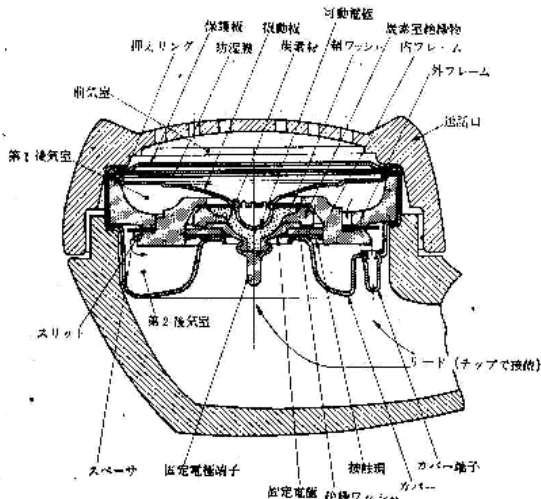


図21 T-60 マイクロホン⁽¹²⁾

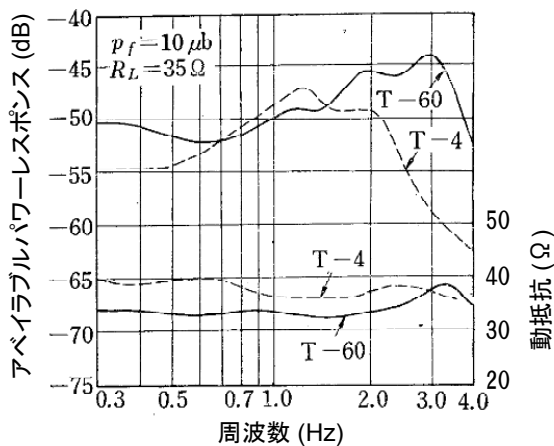


図22 T-60 マイクロホンの特性⁽¹²⁾ (上2本が感度、左スケール、下2本が動抵抗、右スケール、入力直流電流 50 mA)

R-60と呼ばれる電磁イヤホンで、R-4と同じセンタアーマチュア形だが構造は大幅に変化している。断面を図23に示す。例えば振動板はコーン形だが上下が反転している。この方がクリープに強いことが知られたからである。また振動板のコラゲーションは意味が薄いとして省略された。前述のようにバリウムフェライト磁石が用いられたので低温減磁現象については慎重に吟味された。

R-60イヤホンのスペシフィックレスポンスと電気インピーダンスの周波数特性を旧形と比較して図24に示す。1,000 Hzでの感度は71 dB、電気インピーダンスは160Ω、安定度(振動板のスチフネスと磁気吸引力による負スチフネスとの比)は2.5に設定された。この特性は希望特性に適合している。

T-60マイクロホン、R-60イヤホンを測定するカップラー

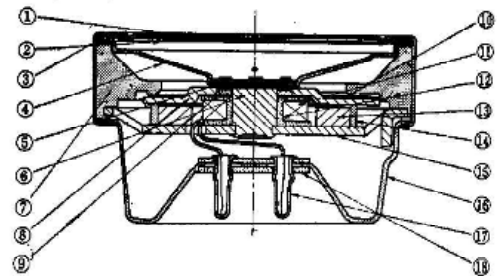


表4.1 R-60受話器の部品

名称	材質	名称	材質
1 保護板	黄銅	10 スペーサ	黄銅
2 防湿膜	ポリエチレン テレフタレート	11 コイル	ポリウレタン銅線
3 押えリング	黄銅	12 ポピン	アクリルエトリル スチレン
4 振動板	ジュラルミン	13 磁石	バリウム フェライト
5 アーマチュア	鉄、コバルト合金	14 リング	黄銅
6 円板	鉄、ニッケル合金	15 内極底板	電磁軟鉄
7 フレーム	アルミニウム	16 カバー	黄銅
8 外極	電磁軟鉄	17 端子	黄銅
9 充填板	硬質ポリエチレン	18 絶縁板	フェノール樹脂

図23 R-60 イヤホン⁽¹²⁾

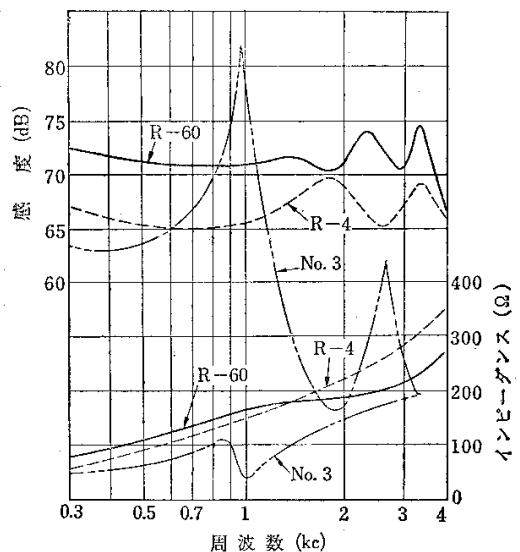


図24 R-60 イヤホンの特性⁽¹²⁾

は内部にハンドセットのマウスピースまたはイヤピースと同じ孔と前気室とが設けられ、電話機装着状態の特性が求められるようになっていた。R-60イヤホンの出力はMR-103標準マイクロホンで受けられたが、T-60マイクロホンの測定音源としては鈴木民治らの手によりVR-601と呼ばれるチタニウム製のイヤホンが実用化された⁽¹⁴⁾。断面を図25に示す。この音源は動電形イヤホンだが振動部の振幅をコンデンサマイクの原理で検出する背極を備えたパイロメータとなっており、音響研究の道具としても有用なものとなった。

T-60マイクロホン、R-60イヤホンいずれも周波数レスポンスに三つのピークを形成し、従来のものに比べて凹凸の幅を低減している。例としてR-60の音響回路を図26に示す。振動板の後ろに二つの室を形成して3自由度振動系とし、その間に音響抵抗素子を設けている。600形電話機のマイクロホン、イヤホンではブックダンパに比べ定量設計のしやすいスリットダンパが用いられた。

武田尚正らにより実用化された600形電話機のための呼出し用磁石電鈴はB-60と呼ばれる。種々の構造を候補として動作特性が比較検討された。磁石電鈴の電磁駆動系はマイクロホン、イヤホンに比べ大振幅で動作し、またタッパとゴングの衝突、タッパとこれを支える板ばねの共振などが複雑に交錯して非線形、非周期運動を行うので数学的な解析が困難であり、綿密な試作検討により設計された。

実用化されたB-60磁石電鈴を図27に示す。

従来の磁石電鈴は米国の電話機のものと同様に二つのコイルを用いていたが、B-60ではこれを一つに簡略化した。米国の電話機は伝統的に電話回線の二つの線のバランスを重視した設計となっており、磁石電鈴も二つのコイルの間に直流

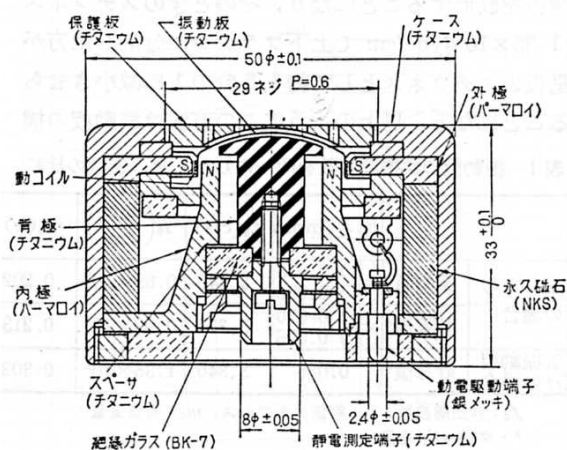


図25 VR-601パイロメータ形イヤホン⁽¹⁴⁾

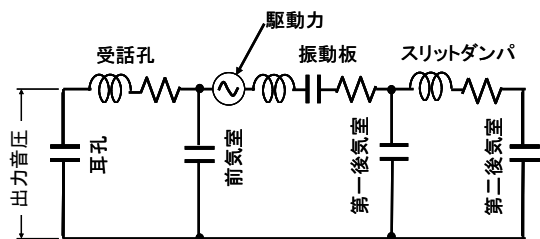
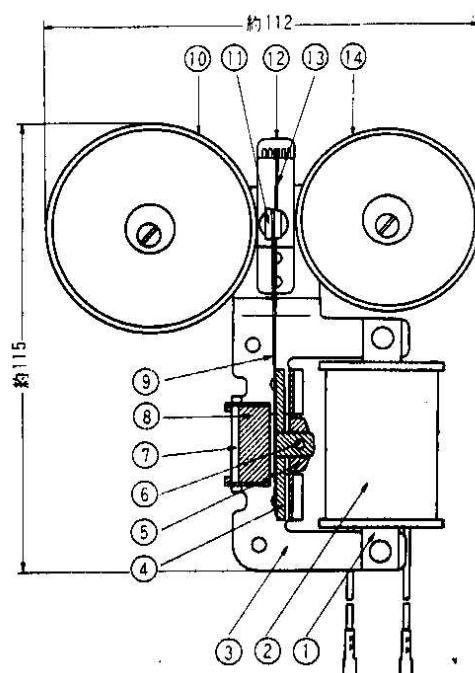


図26 R-60イヤホンの音響回路

阻止コンデンサを挿入する回路となっていたが、我が国ではこうした配慮は不要と判断されたものである。二つのゴングは従来と同じ真ちゅう製で長三度(周波数比4:5)の和音を放射するが、従来のものが厚さを変えて2種の共振周波数を得ていたのを直径の大小に変更した。この方が周波数の偏差が少ないと結論されたためだった。

こうしたデバイスを用いた600形電話機の電気回路を図28に示す。図の回路は一般用の600A電話機のものである。4号電話機と同じブースタ回路を採用した。回路部品をばら付けではなくプリント基板に搭載したのは標準電話機では最初だった。

この回路の設計では側音平衡の設計が留意の対象となった。4号電話機では線路の電気インピーダンスを600Ωの



- ① コア
- ② コイル
- ③ ヨーク
- ④ アマチュア
- ⑤ ブラケット
- ⑥ シャフト
- ⑦ 磁石
- ⑧ クランプ
- ⑨ タッパ板
- ⑩ ゴング A
- ⑪ タッパ
- ⑫ ストップ板
- ⑬ バイアススプリング
- ⑭ ゴング B

図27 B-60磁石電鈴⁽¹¹⁾

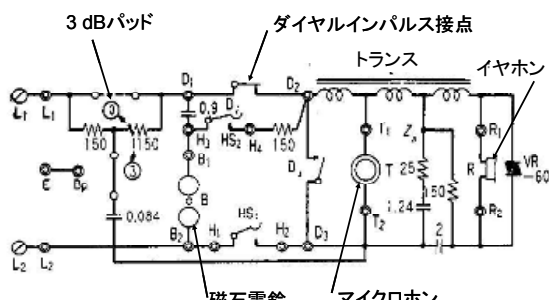


図28 600A電話機の回路⁽¹¹⁾

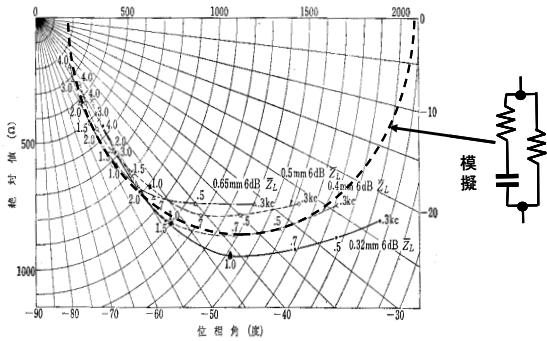


図29 電話加入者線の電気インピーダンスとそれを模擬する回路⁽¹²⁾ (当時は0.5 mm径のケーブルが多かったが、600形電話機の高感度を前提に0.4または0.32 mm径に細芯化して管路のスペースを有効利用することが検討されていた、その後0.4 mm径が標準となった。)

純抵抗と仮定していたが、600形電話機的设计にあたっては電話加入者線の電気インピーダンスを図29のように求め、これを図の破線のような半円で模擬することとした。これは図のような二つの電気抵抗とコンデンサの組合せで実現できる。

600形電話機の回路の特徴の一つは非線形素子のバリスタをイヤホンと並列に挿入してショックアブソーバとしたことである。米国の500形電話機では炭化けい素のバリスタをイヤホンの背部に実装しているが、600形電話機では当時新素子として普及していたシリコンダイオード2個を逆並列に接続したVR-60と呼ばれるバリスタを回路網のプリント板上に装着した。これは、この後大発展するシリコン半導体の単結晶素子を標準電話機に導入した例として、地味ながら重要な先鞭をつけた部品となった。

この回路のいま一つの特徴は、加入者の交換機からの遠近を等化するための手動のパッドを設けたことである。電話機が交換機に近い箇所に設置されると線路による信号減衰が少なく、またカーボン粉粒マイクロホンへの供給電流が大きくなるので送話信号のレベルが上昇し、何らかの方法でこれを低減する必要が生じる。諸外国ではこの目的にも半導体の非線形素子を用いる例が増えていたが、600A電話機ではコスト増を避ける見地から、電気抵抗とコンデンサとによる減衰量3 dBのパッドを装備し、これを挿入した状態で工場から出荷して、交換機からの距離が遠い加入者に設置するときには現場できょう体を開き、ドライバを用いてこれを0 dBに設定し直すこととした。

この3 dBパッドの切換は構内交換システム(PBX)の内部の電話機と2共同電話に使用する電話機での使用に問題を生じた。PBXでは内線接続では自機の電源から直流を供給するが、外線接続の時には局線に直結することが多いので、電話局の交換機から遠いPBXでは内線同士の近距離通話(大電流、信号減衰少)と外線との遠距離通話(少電流、信号減衰大)の両方に対応しなければならない。これは手動のパッド切換では不可能である。また、秘話機能を持つ2共同電話システム

ムでは電話機の直流抵抗に150 Ω以下を要求する例があり、こうしたパッドを使用できない。

これに対処するため、2共同電話及びPBX用途の電話機を別モデルとすることになり、共同電話用610電話機シリーズとPBX用650電話機が用意された。650A電話機の電気回路を図30⁽¹⁵⁾に示す。

この回路は非線形素子のバリスタと電気抵抗とをマイクロホンに並列に接続し、直流電流が大きいときにはこれをバイパスさせて送話レベルを等化している。VR-61と呼ばれるこのバリスタはやはりシリコンダイオードを用い、4個のダイオードを直列接続したものを2組逆並列に接続してある。

この回路ではマイクロホンへの電流の等化により近距離通話において受話音量との間の不均衡が生じることがあるので、イヤホンと直列に電気抵抗を挿入するための手動パッドが設けられた。したがって、600形電話機では全ての回路が手動パッドを持つことになった。

8. 600P電話機「プッシュホン」

従来の回転ダイヤルに代えて押しボタンダイヤルを持つ電話機は、米国ではタッチトーンテレホンの名で1960年頃から商品化され、使い勝手が良いだけでなく機能ボタンの追加により電話機の機能の拡大が可能となるものとして好評を博していた。電電公社でも600形電話機の発展形として田島清、中沢始らにより検討され、図31のような600P電話機として実用化された⁽¹⁶⁾。

この電話機のアピールは一般公募され、「プッシュホン」となっ

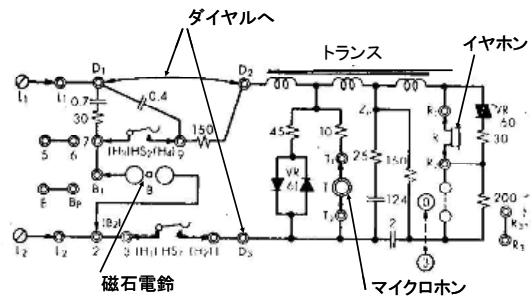


図30 PBX用650A電話機の回路⁽¹⁵⁾



図31 600P電話機「プッシュホン」 (通信総合博物館写真)

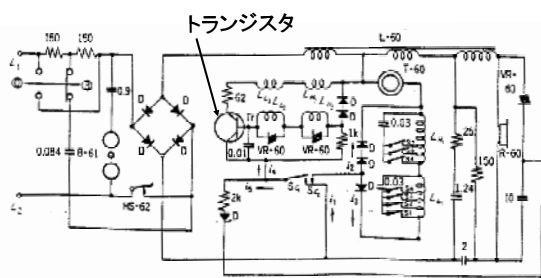


図32 600P電話機の回路 (16, 図6)

1	2	3	697 Hz
4	5	6	770 Hz
7	8	9	852 Hz
*	0	#	941 Hz
1,209 Hz	1,336 Hz	1,477 Hz	

図33 600 P電話機のダイヤルの発振周波数

た。これに対し、従来の回転ダイヤルを持つ機種は600A、650Aなどと呼ばれる。

この電話機は通話機能、呼出し機能は従来の600A電話機と同じであり、電話機の実用化検討の対象はダイヤル、回路、デザインだったが、従来とは異なるダイヤル信号を用いるので、これに対応する交換機の新しい加入者回路の検討も連携して行われた。

600P電話機の電気回路を図32に示す。この電話機にはダイヤルスイッチとトランジスタ1個から成るLC発振回路とが組み合わされている。発振周波数は7種類あり、個々のボタンにはそれらのうち二つが割り当てられている。スイッチを押すと二つの正弦波信号が混合されて発振される。周波数の値を図33に示す。例えば「5」を押すと770 Hzと1,336 Hzとが送出される。これをPB信号と呼び、従来のダイヤルインパルス信号をDP信号と呼ぶ。

600P「プッシュホン」は高級電話機として売られ、また押ボタンダイヤルは公衆電話機に広く採用されて親しまれるようになった。一方、この電話機は、雷サージの頻発など厳しい環境条件のもとで用いられる我が国の標準電話機において最初にトランジスタ、すなわち半導体能動素子を導入した例として記憶されることになった。

9. トランスデューサの研究と600L電話機

こうした実用化とは別に、マイクロホン、イヤホンなど電話機用トランスデューサの基本研究も進められていた。

我が国の電話機用イヤホンは4号電話機以来アルミ合金製のコーン形振動板を持つセンタアーマチュア電磁形を用いてきたが、1968年当時の調査によると諸外国の電話機のイヤホンの構成はリングアーマチュア形(米国)、ロッキングアー

マチュア形(英国)、平行平面磁気回路(スウェーデン、鉄合金製振動板)、動電形(ドイツ、プラスチック振動板)と多種多様だった。しかし、この頃から日本の電話機メーカー製のセンタアーマチュア電磁形イヤホンが価格競争力を獲得し、米国の独立系電話会社に大量に輸出されるようになったのは日本(すなわち電電公社)のイヤホンの構造や設計技術が合理的だった証左であろう。

この構造のトランスデューサの最適設計法は村上正之の手でほぼ完成され、磁気回路を試作して専用のバイプロメータにより力係数を求めておく(磁気回路の渦電流の定量化が難しいのでこの工程だけは実測が必要)、その後はほぼ机上作業のみで所望の特性のイヤホンが設計できるまでになっていた。特に磁気回路の安定度(振動板のスチフネスと磁気吸引力による負スチフネスとの比)の検討が進み、1.5程度にまで減少させても問題ないことが明らかにされたのはイヤホンの小形高感度化に有用な知見だった。村上はこれを基に23 mm径の小形トランスデューサを試作し、性能を確認した⁽¹⁷⁾。後編で述べるようにこれが1970年の大阪万博の無線電話機に用いられることとなる。

一方、カーボン粉粒マイクロホンの構成は世界的に半球形粉粒室を持つカーボン粉粒マイクロホンに統一されていた。研究課題は粉粒の変換特性の定量化と寿命を損なわない感度の上昇だった。電話局からの供給電流はほぼ一定なのでカーボン粉粒マイクロホンは電気抵抗が高いほど供給される電力が増大して高感度になる。しかし、無煙炭の焼成により作られるカーボン粉粒は焼成温度が低いと電気抵抗は高いが不純物が残存して寿命が短くなる。T-60マイクロホンは恐らく世界で最も電気抵抗が低く、最も寿命の長い粉粒マイクロホンと見なされていた。

材料物性に関する技術は理論的な定量化が困難で、幅広い実験以外に手段のない場合が多い。電気通信研究所でも種々の粉粒がテストされた。筆者らは基礎研究部で金属半導体の粉粒を検討した。天然材料と異なり材料組成が完全に管理可能で、また原料の配合比で特性が大幅に制御でき、また非線形性も少なかったが、カーボン粉粒を超える電力感度は得られなかった⁽⁹⁾。カーボン粉粒に関しては山崎新一がメーカーの協力を得て検討し、焼成の雰囲気水を酸素から窒素に変更し、また焼成後に有機溶媒で処理することによりある程度の電気抵抗の制御が可能となった。更に効果的だったのが焼成後に炭化水素雰囲気中で表面に着炭することで、不純物なしに電気抵抗を上げることができた⁽¹⁸⁾。顕微鏡で見ると通常のカーボン粉粒が「黒ダイヤ」と呼びたい黒光りした外観なのに対して着炭された粉粒は表面の反射が強く銀色に見えた。

こうした時期に、電話局から遠くて線路の減衰損が大きい加入者のための高感度の電話機が実用化されることとなった。トランスデューサの技術者には高感度の限界に挑戦する機会が与えられたことになる。

電電公社の基準内の通話品質を保証する限界は線路損7 dBとされているが、実際にはこれより遠距離の加入者が多数あり、今後さらに増加すると予想された。そのため7~10 dBとい

う高損失の回線を用いる加入者のための電話機が新木諒三、松田亮一の両研究室長の下で実用化され、1969年に研究所から技術資料が送付されて導入の運びとなった⁽¹⁹⁾。

これに用いられた高感度カーボン粉粒マイクロホンT-60Lは山崎新一らによるものでT-60と同大の振動板と半径で1 mm小さな粉粒室を持ち、入力電流35 mAで感度-48 dB、動抵抗80 Ωという高感度のものだった。カーボン粉粒には表面に着炭した高抵抗のものが用いられた⁽²⁰⁾。

この電話機のための高感度電磁イヤホンR-60Lは村上正之らによるもので、R-60と同大の振動板を持ち、1,000 Hzでの感度は75 dB、電気インピーダンスは200 Ω、安定度(振動板のスチフネスと磁気吸引力による負スチフネスとの比)の下限は1.5に設定された。限界に近い感度の領域を用いるため磁石にはフェライト磁石ではなく、低温減磁の少ない合金磁石が用いられた⁽¹⁹⁾。

600L 電話機の回路は図34に示すように、600形電話機の回路とは大幅に異なる形式をとることになった⁽²¹⁾。

マイクロホン、イヤホンが高感度なので側音平衡が十分とれていることが重要となる。一方、高損失の回線の電気インピーダンスはばらつきが大きい。そこで5種類の側音平衡回路網を用意し、加入者宅で簡易な測定器を用いて最適の回路網を選択するものとした。600形電話機のパッド切替が電話機を開いて行う構造となっており現場の手間を増やしていたので、この600Lの回路網のノッチ切替は外部(底板に空けられた孔)から可能な構造としてある。

回路形式としては従来のブースタ回路ではなく、直流阻止コンデンサが不要なため広い周波数帯域にわたって側音平衡のとりにやすいブリッジ回路が用いられた。しかし、一般にブリッジ回路ではカーボン粉粒マイクロホンの電気抵抗が線路の電気インピーダンスに比べて小さいため送話信号の減衰が大きくなる。そこでマイクロホンの出力を専用のトランスでステップアップすることとしたので二つのトランスを持つゼイゼイ回路となった。

600L 電話機は恐らく世界有数の高感度の電話機として歴史に残ると思われる。

このような特殊モデルが必要であった背景は、日本の電話システムに接続できる電話機が電電公社の技術によるものに限られていたことであった。

当時から箱形のアンティークデザイン、ミッキーマウスの

腕にハンドセットをかける電話機など、自由なデザインの電話機は「装飾電話機」の名で販売されていた。しかし、その使用には制約があった。

1972年に電電公社から公示された「加入電話等の付属設備および接続機器の技術基準に関する規則」では、電電公社の電話回線には電電公社の直営端末機器(例えば標準電話機、本電話機と呼ばれた)1台を必ず接続し、その他の電話機器(直営端末機器)はこれに並列(ブランチ)接続することとなっていた。対象として想定されていたのはファクシミリやデータ通信端末だったが、装飾電話機もこれに含まれていた。

更に、こうした機器の通話系に関する規定は更に厳しく、「通話に関する機器の品質規格は・・・60形送話器および60形受話器の仕様にそれぞれ適合・・・」と明記されていた。60形とは600形電話機の部品にほかならない。マイクロホン、イヤホンには電気通信研究所で実用化されたもの以外は使用できなかったのだ。このため、ファクシミリなどは600形電話機のハンドセットを装備していた。

この代償として、電電公社の電話機には、加入契約した顧客はどんな条件でも通話可能なこと、また通話不能事故が皆無であることが暗黙の条件となっていたのだ。電電公社の電話機エンジニアには、自分たちは社会を担っているという自負があったのである。

10. 前編のあとがき

我が国の社会は1970年頃まで高度成長の真っただ中にあり、「成長は無限」「消費は美德」の掛け声のもとにシャニム二突き進んでいた。電電公社でも電話機を年々増産していたが、積滞数(電話設置が間に合わなくて待機中の顧客の数)も年々増加していた。

こうした中で、電気通信研究所の電話機エンジニアたちはある種の閉そく感を感じていた。600形電話機に代わる新形標準電話機のイメージが描きにくかったのである。この環境にある限り600形の完成度が高過ぎたのかもしれない。

しかし、この閉そく感は突然払拭されることになる。

1973年11月に降って湧いた石油ショックは我が国の高度成長の流れを突然断ち切り、産業界は大混乱に陥った。予想もしなかった価値観の転換を迫られたのである。標準電話機も、設計思想を大幅に変更した新モデルをわずかな時間で実用化しなければならなくなった。

それと前後して、半導体ICの導入により電話機の技術が100年ぶりに激変した。更に、電電公社が電話機を独占している体制が批判されて自由化の嵐が吹き荒れ、電話機は誰でも作って売れる家電商品に変貌していく。

電気通信研究所のエンジニアはこうした流れにさおさして、少なくともトランスデューサにおいてその後10年にわたり世の技術の源流となる電話機を生み出した。その基盤は電気通信研究所で長く培われた定量化設計の技術だった。

この解説の後編では、こうした充足と商品化の時代に焦点を当て、電電公社が終えんする1985年までの電話オーディ

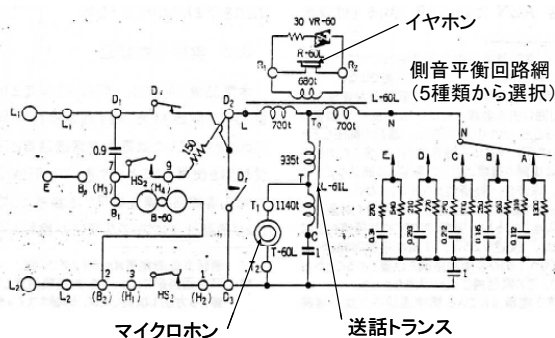


図34 600L 高損失加入者用電話機の回路⁽²⁰⁾

オ技術の研究実用化の流れをたどりたいと考える。

謝 辞 筆者は電気通信研究所に就職した当初は電話機研究室に配属されたが、その後約10年にわたり基礎研究部に所属し、電話機実用化部門に戻って電話機のトランスデューサの部分を担当することになったのは管理職になった後だった。しかし、多くの優れた諸先輩、同僚たちに恵まれ、電話機の技術の流れを理解し、感じ取りながら業務を進めることができた。

この解説では多くの人名が登場しているが、筆者はそのほとんど全ての方々の訶咳に接し、御教示を頂き、また共に仕事をしてきた。また、大勢の方々の力を結集する実用化という業務ゆえ、個々に名を挙げるのできなかった多くの方々からも種々の御教示、お世話を頂いた。特に協力メーカーのエンジニアの方々には基礎研究育ちの筆者の至らない多くの部分を補完して頂いた。

この解説をまとめた趣旨は歴史の記録であるが、こうした方々の業績をわずかでも記録しておきたいという気持ちの発露でもある。それを記述する機会をいただいた幸福をかみ締め、ここで全ての方々に厚くお礼を申し上げたい。

40年にわたる流れの記述は筆者の手に余るものがあるので、筆者の先輩、上司だった中澤始氏に原稿の査読をお願いし、幾つかの御助言を頂いた。厚くお礼を申し上げたい。しかし、この解説の内容は小生に責任がある。間違いや不十分な記述があれば御指摘頂ければと考える。

文 献

- (1) 大賀寿郎, “音響学における20世紀の成果と21世紀に残された課題, 第二部—トピックス— 35 電話の音響機器,” 音響誌, vol.57, no.1, p.81, 2001.
- (2) F. V. Hunt, *Electroacoustics*, p. 33, 米国音響学会, 1954.
- (3) P. Clark, *The phone*, Aurum Press, London, 1997.
- (4) C. S. フィッシャー, 吉見俊哉その他訳, 電話するアメリカ, NTT出版, 東京, 2000.
- (5) 早坂寿雄, 小林孝夫, 伊藤義一, 増沢健郎, 山崎信雄, 三浦種敏, “4号形電話機の実用化,” 研実報, vol.2, no.1, pp. 1-75, 1953.
- (6) G. S. K. Wong and T. E. W. Embleton, *AIP Handbook of Condenser Microphones*, AIP Press, U.S.A., 1995.
- (7) 大賀寿郎, 梶川嘉延, 電気の回路と音の回路, 音響入門シリーズ B-3, 日本音響学会, 東京, 2011. [出版予定]
- (8) 早坂寿雄, 増沢健郎, 鈴木民治, 新木諒三, “コンデンサマイクロホン,” 研実報, vol.6, no.3-4, pp. 231-276, 1957.
- (9) J. Ohga, S. Shirai, O. Ochi, T. Takagi, A. Yoshikawa, H. Nagai, and Y. Mizushima, “Granule microphone using selenium-tellurium alloy,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.64, no.4, pp.988-994, 1978.
- (10) 中野一造, “炭素粉の電気音響変換,” 研実報, vol.7, no.12, pp. 897-936, 1958.
- (11) 増沢健郎, 山口善司, 山崎新一, 田島 清, 古沢 明, 武田尚正, 三浦宏康, 高場 武, 鈴木 明, 白松豊太郎, 武田知己, 桶谷恒夫, 六戸 満, 中村秀三郎, 鈴木金一郎, “600形電話機,” 研実報, vol.12, no.11, pp. 1475-1632, 1963.
- (12) 増沢健郎, 山口善司, 三浦宏康, 武田尚正, 田島 清, 山崎新一, 古沢 明, 600形電話機, 電気通信協会, 東京, 1964.
- (13) 新版 聴覚と音声, 三浦種敏(監修), p. 425, 電子情報通信学会, 東京, 1980.

- (14) 鈴木民治, 永田稔信, “パイロメータ形受話器,” 電気通信学誌, vol.46, no.2, pp.195-201, 1963.
- (15) K. Masuzawa, Z. Yamagichi, S. Yamazaki, K. Tajima, A. Furusawa, N. Takeda, H. Miura, T. Takaba, A. Suzuki, T. Shiramatsu, T. Takeda, T. Oketani, M. Rokunohe, H. Yamamura, and K. Suzuki, “Type 600 telephone set,” *Rev. E.C.L.*, vol.12, no.9-10, pp. 581-643, 1964.
- (16) 新木諒三, 田島 清, “押しボタンダイヤル電話機の実用化,” 研実報, vol.17, no.11, p. 2539, 1968.
- (17) 村上正之, 飛田瑞広, “電磁受話器の最適設計,” 信学論, vol.52-A, no.10, pp. 379-386, Oct. 1969.
- (18) 山崎新一, 島村辰男, “供給電流を考慮した炭素送話器の最適設計,” 信学誌, vol.50, no.10, pp. 1980-1987, Oct. 1967.
- (19) 新木諒三, 松田亮一, 渡辺真吾, 高場武志, “高損失加入者用電話機の実用化,” 研実報, vol.19, no.7, pp. 1395-1413, 1970.
- (20) 山崎新一, 村上正之, 島村辰男, 飛田瑞広, “高損失加入者用電話機の送受話器,” 研実報, vol.19, no.7, pp. 1415-1445, 1970.
- (21) 高場武志, 木目田常治, “高損失加入者用電話機の通話回路,” 研実報, vol.19, no.7, pp. 1447-1468, 1970.



大賀 寿郎(正員:フェロー)

1964 電通大・通信機械卒。電電公社電気通信研究所、富士通(株)、(株)富士通研、芝浦工大を経て、現在、同大学名誉教授。専門は電話機、オーディオトランスデューサ及び音響システム。IEEE Fellow。IEEE Third Millennium Medal, 日本音響学会功績賞, 経済産業省国際標準化貢献者表彰, 日本音響学会及び本会論文賞, 電電公社総裁表彰など受賞。工博(名大)。