

電話機技術の系統化調査

Systemized Survey on Telephone Set Technology

大賀 寿郎 Juro Ohga

■要旨

わが国の電話機は 1877 年（米国でグラハム・ベルが電話機を発明した翌年）以来の歴史を刻んでいるが、その技術はメーカーではなく逓信省に代表される政府機関の主導で発展されたのが諸外国とは異なる特徴だった。1950 年代からは公共企業体の日本電信電話公社が協力メーカーとともに独自の技術開発をすすめて世界有数の高性能の電話機を実用化してきた。1985 年に電話端末が自由化された後は多くのメーカーが独自の商品を実用化し、1990 年代以後の携帯電話機の時代を導いていく。

本報告ではこうしたわが国の電話機の研究実用化の流れのうち、黎明期から 1990 年頃までに着目する。特に、電電公社が研究実用化を主導してわが国独自の電話機技術が大きく開花した、終戦直後から電話端末開放までの時期に重点を置くこととしたい。

電話機には標準電話機のほか公衆電話機、構内交換（PBX）用電話機、携帯電話機など多くの種類があるが、ここでは古典的なアナログ電話回線に接続して用いる標準電話機とその変種に注目する。技術内容は主として筆者の専門であるオーディオ技術に注目するが、それ以外のダイヤル、電気回路などの重要技術にも言及する。

外国の製品のコピーから脱却した我が国独自の電話機技術の研究実用化は、第二次世界大戦による大混乱からの復興を目指して立ち上がった 1945 年以降に逓信省の電話機エンジニアにより開始された。最初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得できる物理量を根拠とするような設計を行うことだった。1949 年に量産が開始されて復興のシンボルとなった 4 号電話機は、伝送周波数帯域と音声の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といえる。

その後、わが国が本格的な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参照して電話機設計を行った。こうした基本検討を踏まえて設計された電話機は世界に例が少ない。

600 形電話機及びその変種の 600P 電話機「プッシュホン」の実用化以降、高度成長下の社会で電話機の需要は伸び続けた。しかし、その流れが 1973 年末の石油ショックで突然断ち切られて諸物価が急激に上昇し、社会が大混乱に陥った。電電公社はこれに対処して協力メーカーと緊急プロジェクトを立ち上げ、大幅なコストダウンを果たしながら通話性能を向上した 601 形電話機を実用化した。

その頃から電話機への半導体 IC の導入が現実のものとなり、電話機の構成を 100 年ぶりに全面変革する研究実用化が開始された。オーディオトランスデューサも炭素粉マイクロホンや高感度電磁イヤホンに代えて小型トランスデューサが検討され、パイロット商品に導入された。1980 年代に入ると電電公社の電話端末独占が見直され、電話機の技術やデザインが通信機から脱皮して家電商品に近づいていく。1984 年に電電公社が発表した 801P 電話機「ハウディ」は新世代の標準電話機というべきもので、電子回路が全面的に IC 化され、また電気通信研究所で 20 年来検討されてきたセラミック圧電トランスデューサを活用し、その後約 10 年にわたり世の電話機技術の源流となった。

1985 年の電話端末開放以後は多くのメーカーが独自の電話機商品を競い合い、電話機は家電商品となった。音響部品に適用される国内、国際規格は汎用オーディオ製品に近いものとなり、スイッチなどの部品も電卓などに近いものになっていく。本報告ではそうした動きにも言及する。

■ Abstract

The history of telephones in Japan dates back to 1877 (the year after its invention by Alexander Graham Bell in the United States). Unlike other countries, the technology in Japan was primarily developed by government agencies such as the Ministry of Communications and Transportation rather than by manufacturers. From the 1950s, the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation (NTT) worked with collaborating manufacturers to achieve world-class, high-performance telephones. When the telephone equipment market was liberalized in 1985, many manufacturers brought out their own products, ushering in the mobile telephone era in the 1990s.

This report discusses the research and development of telephone sets in Japan from 1880s to 1990s, with particular focus on the period from the end of the Second World War through to the liberalization of the telephone equipment market. It was during this time that research and development led by NTT produced significant results in Japanese telephone technology.

There are various kinds of telephones besides the ordinary telephone, such as public pay phones, private branch exchange (PBX) phones and mobile phones. The focus of this report is the classic ordinary telephone that connects to an analogue telephone line, and variants of this. The technical content will primarily focus on the author's specialist area of audio technology, as well as references to other major technologies, such as dials and circuits.

Research and development on independent Japanese telephone set technology began in 1945 by telephone engineers working for the Ministry of Communications and Transportation. The country was rebuilding itself after the chaos of the Second World War and there was a move to avoid simply copying overseas technology. The first challenge was to quantify the necessary physical and psychological characteristics and come up with a design based on rational physical quantities without depending on trial and error. The "Type 4" telephone set was mass produced in 1949 and became a symbol of Japan's reconstruction. Developers had done their best to understand and incorporate the relationship between transmission frequency characteristics and speech clarity, establish accurate acoustic measuring methods and encourage the gathering of peripheral technologies. This thoroughly quantitatively designed telephone was state of the art for its time.

The "Type-600" telephone set was mass produced from 1964, as Japan entered a period of high economic growth. A group of auditory psychologists had identified preferable acoustic properties for a telephone set, and these had been referred to by the telephone designers. Very few telephones in the world have ever been designed based on such fundamental research.

Following the development of the Type-600 telephone set and the related Model 600P push-button telephone, demand for telephone sets continued to grow as the economy soared. However, the 1973 oil crisis put a sudden stop to this, as prices skyrocketed and the world went into chaos. In response, NTT launched an emergency project with collaborating manufacturers, resulting in the Type-601, a telephone set offering improved performance at significantly reduced cost.

After that, semiconductor ICs began to be incorporated into telephones. This completely changed the century-old telephone configuration and led to new telephone research and development. Audio transducers were introduced in pilot products, with small sized transducers being considered in place of carbon granule microphones and highly sensitive electromagnetic earphones. In the 1980s, NTT reconsidered its monopoly on telephone receivers. Telephone technology and design became less like telecommunication equipment and more like consumer appliances. The NTT 801P "Howdy" telephone series launched in 1984 became the standard for a new generation of telephone sets. With electric circuits all fully integrated into ICs and featuring three ceramic piezoelectric transducers that had been investigated by Electrical Communication Laboratory for two decades, this became mainstream telephone technology worldwide within the next ten years.

When the telephone terminal market in Japan was liberalized in 1985, telephone sets became a consumer electronic product, with competition arising between the many manufacturers and their telephone products. The national and international standards for contributing technologies for these products also became closer to those for general audio products. This report also mentions these trends.

■ Profile

大賀 寿郎 Juro Ohga

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任研究員

1964 年	電気通信大学 電気通信学部 通信機械工学科 卒業 日本電信電話公社 入社、電気通信研究所 配属 (電話機研究室)
1985 年	工学博士 (名古屋大学、電気音響変換材料の研究)
1985 年	日本電信電話公社 退職 富士通株式会社 入社 (宅内機器事業部)
1986 年	株式会社富士通研究所 転属 (通信宇宙研究部)
2000 年	富士通株式会社 退職 芝浦工業大学 教授 就任 (工学部通信工学科、大学院)
2008 年	芝浦工業大学 退職
現 在	芝浦工業大学 名誉教授
1967 年	日本音響学会 第7回佐藤論文賞受賞
1980 年	日本電信電話公社総裁表彰 (601 形電話機の実用化)
1994 年	電子情報通信学会 第50回論文賞受賞
1996 年	日本規格協会 IEC 活動推進会議運営委員長賞受賞
2000 年	IEEE (米国電気電子学会) Third Millennium Medal 受賞
2001 年	電子情報通信学会 フェロー称号授与
2006 年	IEEE (米国電気電子学会) Fellow 称号授与
2007 年	日本音響学会 功績賞受賞
2007 年	経済産業省 国際標準化貢献者表彰 (局長賞) 受賞
2019 年	日本音響学会 名誉代議員

■ Contents

1. はじめに	230
2. アナログ電話機と電話システム	234
3. 戦災からの復興と4号電話機	242
4. 電電公社の成立と電話技術の展開	249
5. 高度成長の時代と 600 形電話機	256
6. 種々の要素技術の研究と多彩な電話機の実用化	267
7. 石油ショックの嵐と 601 形電話機	277
8. 多彩なデザインへの要求と電子化技術の導入	290
9. IC と固体トランスデューサによる 高度な電子化電話機	300
10. 電電公社の民営化による大変革	310
11. 商品としての電話機とその技術	317
12. あとがき	321

1 | はじめに

わが国に最初の電話機が輸入され、約 2 km の距離で通話が行われたのは 1877 年、米国でグラハム・ベルが電話機を発明した翌年だった。これが電話機の米国外への輸出の最初の例といわれる。翌 1878 年には最初の国産電話機が製造された。わが国は電話機の先進国だったといえる。

初期に国有鉄道よりは私鉄が優勢だった鉄道システムとは異なり、電話システムは全面的に官庁（通信省）が担当していた。電話機も 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）又は公共企業体（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器であった。このため、電話機に関する研究実用化も主としてその内部と協力メーカーとで進められてきた。

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、わ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と使命感だった。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基本精神は世代を超えて受け継がれてきたのである。

一方、わが国で電話機の設計技術については、長く外国製の電話機の模倣が行われてきた。独自の設計技術が開いたのは 1945 年、太平洋戦争の終戦直後のことだった。

しかし、その後の進歩は急速だった。1950 年に実用化された機種はすでに世界水準に並ぶ性能を持っていた。また 1960 年代の高度成長期に実用化された機種は世界のトップクラスの設計思想、製造技術を駆使したものだった。そして 1970 年代より、わが国は電話機への電子技術の導入でも先進的な業績を生むことになる。

そして 1985 年、電電公社の株式会社化とともに電話端末は解放され、電話機は多くのメーカーが競合する家電製品に変貌した。当初は電電公社の培った技術が踏襲されていたが、次第に汎用オーディオ機器の技術が浸透していく。さらに携帯電話機の出現、デジタル化、スマホと呼ばれる携帯パーソナルコンピュータへの変身により「電話機」独自の技術は影が薄くなってきている。

ここでは、主として 1945 年の終戦から約 50 年間にわたるわが国の電話機、すなわち電話機が独立の製品として成立していた時代の技術開発の状況を、その当時の社会的な条件と対比しながら系統化してみたい。

しかし、電話機に関する技術の範囲は広汎であり、そのすべてを網羅して述べることは筆者の能力をはるかにこえるものがある。

筆者は 1964 年に当時の電電公社電気通信研究所（通研）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、この報告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重点を置くことになるが、これらとともに電話機の技術の中核をなす回路技術、ダイヤル、また信号方式の技術にも関心を払うこととしたい。

1985 年までの電電公社の研究実用化の特徴は、その経緯を電気通信研究所編纂の「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统的に知ることができる。今回はこれを活用するので、最初に「共通参考文献」としてリストアップしておく。

また、1964 年に刊行された標準電話機の教科書に歴代の電話機の詳細な表が掲載されている^{A1)}。これを現代まで拡大、再構成した表を巻末に添付する。

以下の章では、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る。そのため古い表記が混在することがある。例えば、感度の定義などは現在の IEC 規格などとは異なる。これらには必要に応じて解説を加える。

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ることにした。ただし敬称を略させていただく。また、筆者も担当者として名を連ねている部分があるので仲間に入るのをご寛恕いただきたい。

ここで、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 が無線通信機器の送信機、受信機と紛らわしく、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の問題が指摘され、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。

なお、本報告の一部は既出版の下記の学会記事の内容の多くを含んでいる。但し、同記事に残っていた誤りは修正してある。

大賀寿郎：「電電公社における電話オーディオ技術の研究実用化」、Fundamentals Review（電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ誌）

- －前編：復興から成長の時代－、5、2, pp. 114-127 (2011.10)。
- －後編：充足から商品化の時代－、5、3, pp. 205-222 (2012.1)。

第1章の参考文献

- A1) 増沢健郎、山口善司、三浦宏康、武田尚正、田島清、山崎新一、古沢昭：「600 形電話機」（電気通信協会、1964）、付表。

共通参考文献：電電公社電気通信研究所「研究実用化報告」掲載の電話機実用化関連の論文

- 1) 早坂寿雄、小林孝夫、伊藤義一、増沢健郎、山崎信雄、三浦敏敏：「4号形電話機の実用化」、研究実用化報告、2、1（1953）pp. 1-75。
- 2) 増沢健郎、山口善司、山崎新一、田島清、古沢昭、武田尚正、三浦宏康、高場武志、鈴木明、白松豊太郎、武田知己、桶谷恒夫、六戸満、仲村秀三郎、鈴木金一郎：「600形電話機」、研究実用化報告、12、12（1963）pp. 1475-1632。
- 3) 田島清、鈴木民治、鈴木明：「600形電話機用受話器（R-60）用振動板の実用化」、研究実用化報告、11、8（1962）1449-1479。
- 4) 鈴木民治、中沢始：「600形電話機用ベルゴングの振動姿態測定」、研究実用化報告、14、7（1965）pp. 1409-1429。
- 5) 古沢昭：「60形ダイヤルの速度変動要因の検討」、研究実用化報告、14、12（1965）pp. 2667-2687。
- 6) 新木諒三、田島清：「押しボタンダイヤル電話機の実用化」、研究実用化報告、17、11（1968）pp. 2539-2554。
- 7) 田島清、中沢始：「押しボタンダイヤル電話機回路網」、研究実用化報告、17、11（1968）pp. 2555-2569。
- 8) 田島清、中沢始：「押しボタンダイヤル発振回路の設計」、研究実用化報告、17、11（1968）pp. 2571-2611。
- 9) 田島清、中沢始：「人間的要因からみた押しボタンダイヤル機構の設計」、研究実用化報告、17、11（1968）pp. 2613-2628。
- 10) 田島清、藤本功：「押しボタンスイッチ用ばね組の一設計法」、研究実用化報告、17、11（1968）pp. 2629-2640。
- 11) 田島清：「押しボタンダイヤルスイッチの設計」、研究実用化報告、17、11（1968）pp. 2641-2653。
- 12) 田島清、中沢始、狩野祐一、土屋敏雄、橋野通夫：「押しボタンダイヤル電話機の信頼性」、研究実用化報告、17、11（1968）pp. 2655-2680。
- 13) 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」、研究実用化報告、19、7（1970）pp. 1395-1413。
- 14) 山崎新一、村上正之、島村辰男、飛田瑞弘：「高損失加入者用電話機の送・受話器」、研究実用化報告、19、7（1970）pp. 1415-1445。
- 15) 高場武志、木目田常治：「高損失加入者用電話機の通話回路」、研究実用化報告、19、7（1970）pp. 1447-1468。
- 16) 北条英典、松田亮一、宮沢昌男：「新小型電話機の概要」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 219-234。
- 17) 山上功、白井和成：「新小型電話機の外径設計と実装」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 235-248。
- 18) 寺井正明、鷺尾進、北条康男：「新小型電話機回路網の構成」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 249-260。
- 19) 寺井正明、川嶋功、平井実、酒井徹志、鷺尾進、北条康男：「集積化通話回路」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 261-284。
- 20) 中沢始、松本浩一、橋野通夫：「新小型電話機用押しボタンダイヤルスイッチ」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 285-307。
- 21) 西畑三樹男、熊倉保夫、中沢始、松本浩一、藤沢啓三：「Auクラッドステンレスばね線」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 309-323。
- 22) 片山祐三、吉沢鉄夫：「新小型電話機用ダイヤルスイッチの成形品」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 325-338。
- 23) 伊東裕夫：「集積化ダイヤル発振回路」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 339-363。
- 24) 伊東裕夫、松本忠、小川清、佐藤秀吉、早坂東亜：「集積化ダイヤル発振回路の信頼性」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 365-383。
- 25) 村上正之、飛田瑞弘：「小型電話機用電磁変換器」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 385-403。
- 26) 西畑三樹男、村上正之、中山潔：「新小型電話機用ステンレス振動板」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 405-426。
- 27) 山上功、島村辰男、古沢昭、佐藤勉：「新小型電話機用回路スイッチの実用化」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 427-441。
- 28) 有泉芳男、福井敏明、弥永茂弘：「新小型電話機可視表示用局内装置」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 443-460。
- 29) 中沢始、西野正和：「新小型電話機用可視表示器」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 461-478。
- 30) 野村博、植竹孝、米田和彦、渡辺治昭：「新小型電話機用外装成形品」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 479-494。
- 31) 松山謙太郎、杉原由美雄、小林庸次、田島祥光、飯野邦彦：「新小型電話機用フレキシブルプリント配線板」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 495-515。
- 32) 戸塚昌男、堀切正孝、金光敏幸、真鍋忠恒：「新小型電話機用ひも」、研究実用化報告、22、2（1973）pp. 517-531。
- 33) 川嶋功、宮沢昌男、佐藤剛偉、沢村兼三、吉田末彦、

- 宮内富士夫、滝沢利雄、田中正人：「新小型電話機用避雷器」、研究実用化報告、22、2 (1973) pp.533-552。
- 34) 山上功、石丸薫、榎本忠昭、渡辺真吾：「新小型電話機の通話性能」、研究実用化報告、22、2 (1973) pp. 553-564。
- 35) 苗村明、浮津憲一、山崎眞一、中澤始：「601形電話機」、研究実用化報告、27、6 (1978) pp. 1179-1187。
- 36) 川嶋功、信田義隆、村上正之：「601形電話機用回路網」、研究実用化報告、27、6 (1978) pp. 1189-1204。
- 37) 大賀寿郎、白井誠一、飛田瑞広、野村博昭：「601形電話機用送受話器」、研究実用化報告、27、6 (1978) pp. 1205-1214。
- 38) 大賀寿郎、一ノ瀬裕、白井誠一：「601形電話機用磁石電鈴」、研究実用化報告、27、6 (1978) pp. 1215-1223。
- 39) 村上正之、木目田常次、西畑三樹男、石渡勇：「601形電話機用機構部品」、研究実用化報告、27、6 (1978) pp. 1225-1238。
- 40) 井森庸亮、金井恒雄、石丸薫：「601形電話機用接続端子」、研究実用化報告、27、6 (1978) pp. 1239-1250。
- 41) 石丸薫、藤田敏政、中澤始：「601形電話機の実装」、研究実用化報告、27、6 (1978) pp. 1251-1261。
- 42) 石丸薫、小川峰義：「601形電話機の通話品質」、研究実用化報告、31、2 (1981) pp. 491-503。
- 43) 苗村明、加藤邦紘：「S-1P形拡声電話機」、研究実用化報告、28、3 (1979) pp. 451-461。
- 44) 加藤邦紘、西野正和、斎藤春光、岡安良一、野沢敏矩：「S-1P形拡声電話機回路の設計」、研究実用化報告、28、3 (1979) pp. 463-476。
- 45) 小島順治、加藤邦紘、黒崎貞之：「S-1P形拡声電話機の音響設計」、研究実用化報告、28、3 (1979) pp. 477-486。
- 46) 藤田敏政、谷内信義、加藤邦紘、小島順治：「S-1P形拡声電話機の外形デザインと実装」、研究実用化報告、28、3 (1979) pp. 487-500。
- 47) 石丸薫、加藤邦紘、西野正和、小島順治：「S-1P形拡声電話機の通話品質」、研究実用化報告、28、3 (1979) pp. 501-508。
- 48) 藤岡信照、加藤邦紘、青野政世司、岡安良一：「拡声電話機の雷サージ防護」、研究実用化報告、28、3 (1979) pp. 509-516。
- 49) 寺井正明、川嶋功、吉利誠、雨宮不二雄：「M-71形電話機の回路構成」、研究実用化報告、28、1 (1979) pp. 93-101。
- 50) 吉利誠、西野豊、山森和彦、加藤和美、川嶋功、向井久和：「M-71形電話機用集積回路」、研究実用化報告、28、1 (1979) pp. 103-115。
- 51) 白鳥嘉勇、飛田瑞広、大賀寿郎：「M-71形電話機用電磁変換器」、研究実用化報告、28、5 (1979) pp. 851-865。
- 52) 松本浩一、橋野通夫：「M-71形電話機用スイッチ」、研究実用化報告、28、5 (1979) pp. 867-884。
- 53) 大島宏、川久保専吉：「M-71形電話機用ひも」、研究実用化報告、28、1 (1979) pp. 885-895。
- 54) 中澤始、及川弘、吉利誠、西野豊、遠藤陽三：「601P電話機用押しボタンダイヤル」、研究実用化報告、30、4 (1981) pp. 1077-1083。
- 55) 及川弘、松本浩一、酒井恒夫、田島祥光、青木武：「601P電話機用押しボタンダイヤルスイッチ」、研究実用化報告、30、4 (1981) pp. 1085-1101。
- 56) 西野豊、吉利誠、赤沢幸雄、河原田邦康、森正道、国広雄嗣：「601P電話機用押しボタンダイヤル発振回路」、研究実用化報告、30、4 (1981) pp. 1103-1118。
- 57) 川嶋功、中澤始、大和田允彦、吉利誠：「電子化電話機の実用化」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp.1243-1253。
- 58) 山森和彦、紺野正次、吉利誠、渡辺保：「電子化電話機の回路構成」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp. 1255-1268。
- 59) 西野豊、長縄達博、西村眞次、加藤浩太郎：「電子化電話機用1チップLSI」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp. 1269-1283。
- 60) 一ノ瀬裕、飛田瑞広：「電子化電話機用電気音響変換器の設計」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp. 1285-1293。
- 61) 及川弘、篠原慎一、石野喜信：「電子化電話機用機構部品」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp. 1295-1307。
- 62) 吉利誠、一ノ瀬裕、松井弘行：「電子化電話機の実装およびデザイン」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp. 1309-1321。
- 63) 石丸薫、岡安良一、山森和彦、森下幸範：「電子化電話機の通話品質」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp. 1323-1331。
- 64) 石野喜信、西野豊、清水和美、鮎ヶ瀬暢久：「電子化電話機用通話時間表示・保留機能の設計」、研究実用化報告、33、6 (1984) pp. 1333-1344。

2 | アナログ電話機と電話システム

2.1 電話機のシステム構成と側音防止

2.1.1 黎明期の電話機と磁石式電話システム

米国人アレキサンダ・グラハム・ベルが1876年に通話に成功した電話機には、薄い振動板とこれに結合された鉄片、および鉄心とコイルからなる電磁石が用いられ、コイルには電池が接続され、電池からの電流により鉄片が吸引されていた。こうした装置を2台で1組とし、コイル同士を電線で接続し、一方に送話、他方に受話の機能を与えていた。音声により振動板と鉄片が振動すると発電機の原理でコイルに交流電流が発生し、これが他方の電磁石の吸引力を変化させて相手の鉄片と振動板を駆動する。したがって電線には直流と交流とが重なって伝送される〔図2-1〕〔図2-2〕。

マイクロホンとイヤホンとは同一の構造であり、電磁トランスデューサが可逆であることを利用していた。

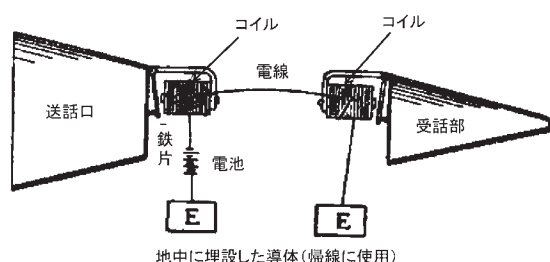


図 2-1 アレキサンダ・グラハム・ベルの電話機^{B1)}

振動板と電磁石の組み合わせを電線で接続する、電線は1本のみで、帰線には大地を利用した。

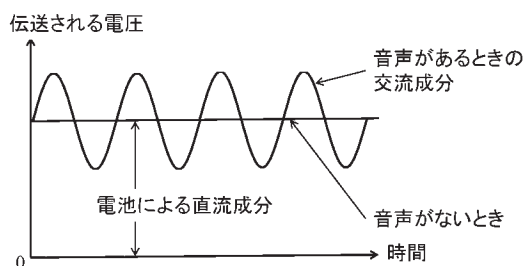


図2-2 ベルの電話機で伝送される電圧、電流の波形
直流と交流とを重ねて伝送する方式はその後電話伝送の定番となる。

しかし、ベルの電話機は大きな問題を抱えていた。最大の課題は送話信号が小さすぎることだった。電磁形のように音響エネルギーを電気エネルギーに変換するデバイス（トランスデューサ）では感度が全く不足であり、マイクロホンの出力信号を増幅する手段が必

要である。しかし、トランジスタはおろか真空管も発明されていなかった当時は、電気的な増幅は不可能だった。

そこで注目されたのが、音響入力により電気抵抗が変化するデバイスに一定の直流電流を流し、信号に応じた電圧の変化を取り出すようなマイクロホンを用いることだった。直流電流が大きければ電圧の変化も大きくなり、見かけの増幅作用が期待できる。

このために有力な手段となったのが、炭素のブロック（例えば丸棒）同士を接触させ、音波による接触圧力の変化に由来する電気抵抗変化を利用する構成だった。1890年、わが国で最初に東京地区、横浜地区で電話サービスが開始されたときに使われた英国製のガワーベル電話機は基本的にベルの方式を踏襲していたが、マイクロホンには米国人ガワーが発明した炭素接触式マイクロホンが使われた〔図2-3〕。

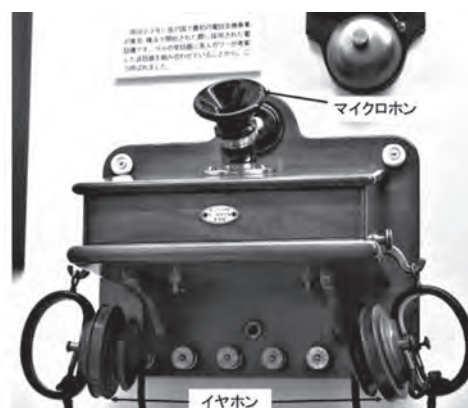


図 2-3 ガワーベル電話機（1890年）

イヤホンが2個あるのは小さな受話音を両耳で聴くためと思われる。
てれふおん博物館（大阪）所蔵

この電話機には電池が不可欠である。そこで、通話相手（交換手）を呼び出すためにも電池の直流電流が用いられた。

電気抵抗変化を利用するマイクロホンでは接触点の数は多い方がよい。このために用いられたのが振動板に接する室に充填された炭素粉粒の、無数の接触点の電気抵抗変化を用いる方法だった。この「炭素粉マイクロホン」により電話機は実用性を獲得し、広く普及していった。こうした改良では特許登録の先陣争いが繰り広げられたが、実用化にはトーマス・エジソンの貢献が目立ったようである。

わが国に1896年から導入されてガワーベル電話機を駆逐したデルビル電話機は炭素平板製の振動板を炭

素粉に接触させている [図 2-4]。

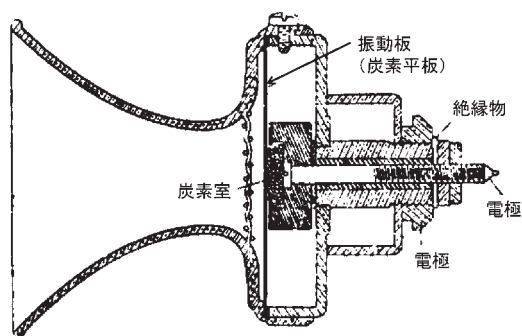


図 2-4(a) デルビル電話機の炭素粉マイクロホン^{B2)}

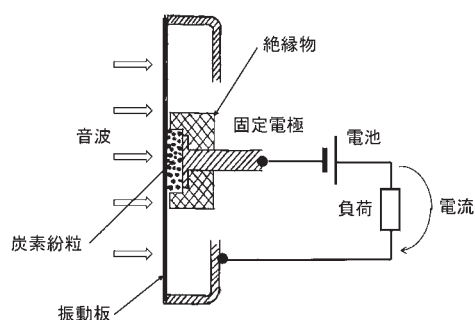


図 2-4(b) デルビル電話機の炭素粉マイクロホンの変換部の説明図
電話機にマイクロホンを駆動する電池を装備している。

一方、イヤホンには電磁石に替えて永久磁石が用いられるようになり、直流電源は不要になった [図 2-5]。

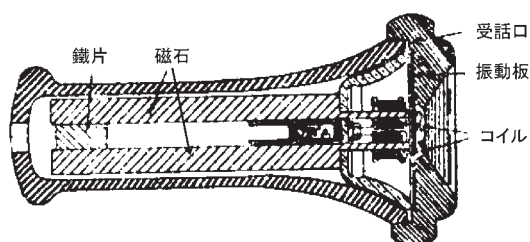


図 2-5(a) デルビル電話機の電磁イヤホン^{B3)}

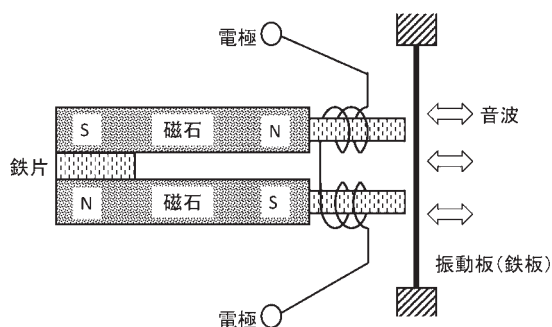


図 2-5(b) デルビル電話機の電磁イヤホンの説明図
2本の永久磁石を用いている。

磁石の利用は通話相手の呼出し手段の改善ももたらした。永久磁石を用いた手回し式交流発電機で 15 Hz、55 V 程度の交流信号を発電し、相手の磁石電鈴（ベル）を鳴動させる方式は動作が確実であり、「磁石式電話機」と呼ばれて標準方式となっていく。

この方式により電話機の 4 つの機能「送話」、「受話」、「着信」、「発信」が完全に実現されたことになった。

1899 年に導入されたソリッドバック電話機はデルビル電話機の改良型で、外観、電気回路構成などはほとんど同一だが、炭素粉マイクロホンが改良されていた。振動板はアルミニウム平板となり、周辺はゴムで支持され、またダンパが接触して鋭い機械的共振が制動されていた。また炭素室は小型化され、変換効率が上昇していた [図 2-6]。

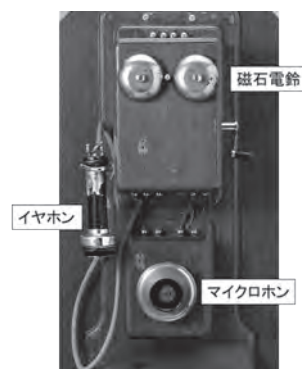


図 2-6 ソリッドバック電話機(1899年)
デルビル電話機に比べマイクロホンが改良されている。
NTT技術史料館写真

ソリッドバック電話機の電気回路はデルビル電話機と同様だった [図 2-7]^{B6)}。発電機を廻すと先方と当方のベルが鳴動する。受話器をフックスイッチのレバーから外すとマイクロホンに電池が接続され、イヤホンとともに電話回線に接続されて通話可能となる。

マイクロホンはトランスを介して回線に接続される。これは電池と回線とを分離するほか、炭素粉マイクロホンの電気インピーダンスを回線の電気インピーダンスに近づける整合トランスの役割もあった。これはかのトーマス・エジソンの着想といわれる。

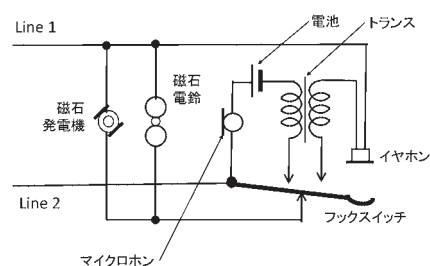


図 2-7 ソリッドバック電話機の電気回路の概念^{B4)}
デルビル電話機の電気回路も同様である。

この回路構成では双方のマイクロホンとイヤホンとはすべて直列接続されるので、自分の声が自分のイヤホンにも大きく聞こえる [図 2-8]。これを側音 (Side tone) と呼び、マイクロホンの感度が高くなると通話しやすさを阻害するので、これの抑圧がその後の電話機回路の設計の課題となっていく。

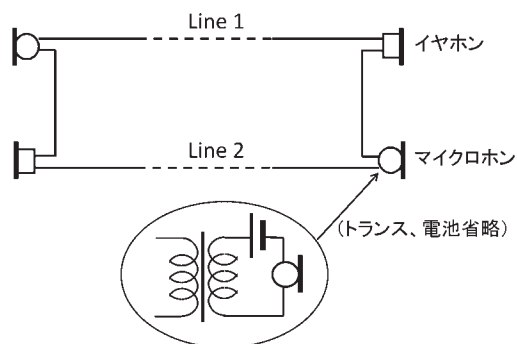


図2-8 ソリッドバック電話機の通話回路の概念
先方及び当方のマイクロホン、イヤホンがすべて直列接続される。

1933 年から導入された 3 号磁石式電話機ではいくつかの改良が見られたが、最も注目されるのは、この側音を抑圧する回路が採用されたことだった [図 2-9]。



図 2-9 3 号磁石式電話機
プラスチック筐体の卓上型が普及した。
NTT技術史料館所蔵

この回路では三巻トランスと呼ばれる 3 つのコイルを持つトランスを用いてマイクロホンとイヤホンとをブリッジ状に接続する。平衡回路が電話機から見た線路の電気インピーダンスと整合していればマイクロホンから線路に送り出される電流と平衡回路の電流とが相殺し、イヤホンには送話信号が漏れない。

トランスを用いたブリッジ回路は電気抵抗素子によるブリッジ回路より損失が少ない。また、一般に炭素粉マイクロホンの電気インピーダンスは電話機から見た線路の電気インピーダンスに比べ低いが、トランスの巻線比の設計により整合をとることができる [図 2-10]。

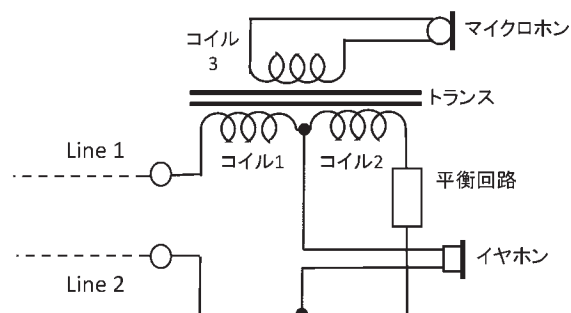


図 2-10(a) ブリッジ形側音防止回路
三巻トランスを用いる。

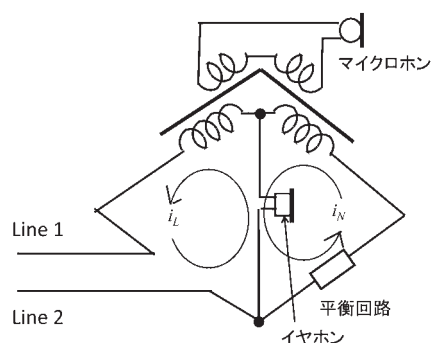


図 2-10(b) ブリッジ形側音防止回路の説明図
交流ブリッジ状の接続になっており、イヤホンの電流を相殺することができる。抵抗によるブリッジより電力損失が少ない。

3 号電話機のマイクロホンにはアルミ合金製の、コルゲーション (ひだ) を持つよう成形された振動板が与えられており、また炭素室の形状も改良されている [図 2-11]。このため感度、周波数特性いずれも改善されていた。

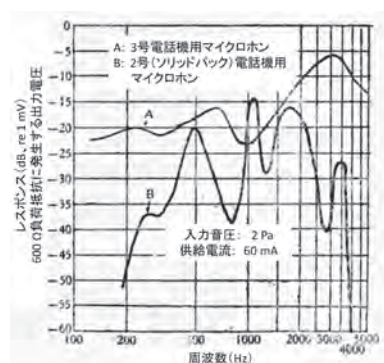


図 2-11 炭素粉マイクロホンの特性の比較^{B5)}
成型振動板をもつ3号電話機のマイクロホンは特性が改善されている。

我が国最後の磁石式電話機は、電電公社となった 1958 年から導入された 41- 号 M 電話機である [図 2-12]。4 号電話機の部品が用いられて各部が改良さ

れていたが、電気回路は3号電話機と同様のものでブリッジ形側音防止回路を採用しており、平衡回路は単純に抵抗1本のみだった [図 2-13]。



図 2-12 「最後の磁石式電話機」 41号 M電話機
委託公衆電話機用の赤色モデルもあった。
NTT技術史料館所蔵

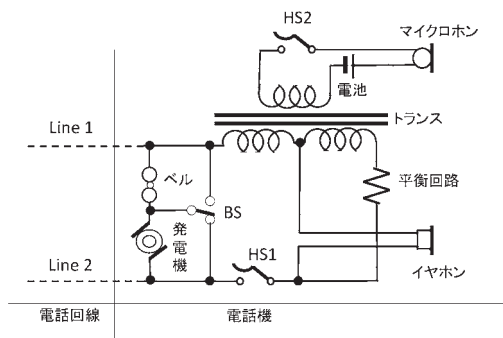


図 2-13 41号 M磁石式電話機の電気回路
3号磁石式電話機の回路と同様。

磁石式電話機は電池や発電機を持つなど重装備だが、2台を単純に電線で接続すればすべての基本機能が動作し、また双方向同時通話が可能、呼出しベル音が大きいなど使い勝手も優れているので、実験室と研究室の間、会議室と事務室の間などの局部的な通話系に便利だった。一方、電池の保守には留意が必要だった。

2.1.2 共電式電話システム

我が国の電話機の数急増し、1901年には東京の加入数が1万を超えた。こうした規模になると電池と磁石発電機を持つ磁石式電話機は不経済で、電池の保守も問題が多くなる。そこで直流電源とベル鳴動の電源とを電話局に集中させる「共電式」が採用された。最初の共電式の電話局は1903年に発足した^{B6)}。交換台にはジャックの穴が並んでおり、交換手はこれにプラグを挿入して応答し、接続する [図 2-14]。

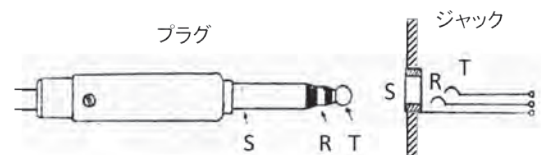


図 2-14 交換台のプラグとジャック^{B7)}
T (チップ) と S (スリーブ) が通話回線、R (リング) は通話中試験用。

このため共電式電話機は、磁石式電話機から磁石発電機と外付け電池を省略することができ、コンパクトなものとなった。マイクロホン、イヤホンは磁石式と同形のものが使われた。自動式の時代になってからは通常の電話機からダイヤルを外した形態の、やはりコンパクトな構成をとっていた [図 2-15]。戦後に実用化された 600 形電話機でも共電式が用意されている。



図2-15 4号共電式電話機
自動式電話機のダイヤルを外して蓋をした外觀。
PBX用に遅くまで残った。
NTT技術史料館所蔵

しかし、電話機の内部の電気回路は磁石式から大きく変化した。電話機のマイクロホンが電話局に設置された電池から直流電流を受け取るためには、ブリッジ形側音防止回路 (図 2-13) ではマイクロホンとイヤホンとを入れ替えなければならない。ところが、この構成ではトランスの巻線比によるインピーダンス整合が不可能となり、マイクロホンからラインへの出力電力が減殺されてしまう。

これを解決するため、共電式電話機には三巻トランスのコイルを直列接続する「ブースタ回路」が用いられた。またイヤホンへの直流の流入を阻止するコンデンサが与えられた。

ブースタ回路の構成はスライダックなどに用いられるオートトランスと同様で、やはり側音平衡回路の設計によりマイクロホン出力のイヤホンへの流入を抑圧することができる [図 2-16]、[図 2-17]。

しかし、ブースタ回路はブリッジ回路にとは異なり、イヤホンへの直流電流の流入を阻止するコンデンサが

必須であり、このため特に低い周波数での側音防止特性に問題が残った。

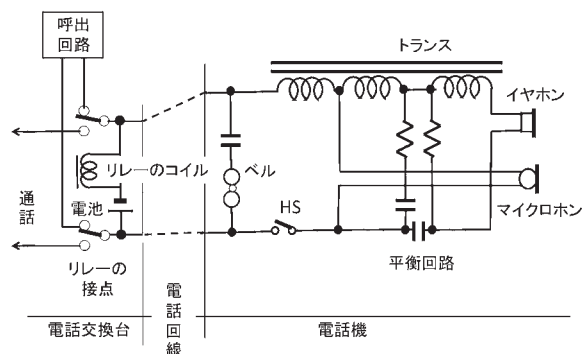


図 2-16 650C共電式電話機の回路構成
600A電話機と同じ多素子の平衡回路を用いている。

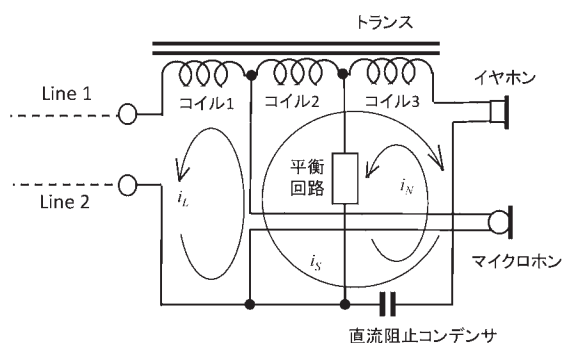


図 2-17(a) ブースタ形側音防止回路の概念
直流阻止コンデンサをイヤホンに直列接続するのは必須である。

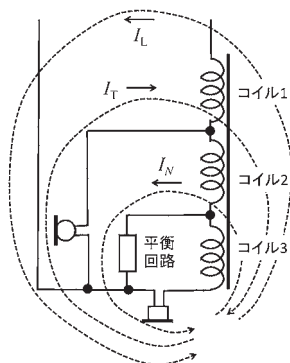


図 2-17(b) ブースタ形側音防止回路の説明図
平衡回路の設計によって、マイクロホン出力により誘起される3つの電流を相殺させることができる。オートトランスと理解するとわかりやすい。

2.2 自動式電話機的发展

2.2.1 DP（ダイヤルパルス）を用いる自動式電話システム

19世紀末に米国、ドイツなどで実用化されたステップ・バイ・ステップ方式の自動交換機を用いて、交換手なしに電話を接続するシステムは世界に普及していた。わが国でも1923年に発生した関東大震災の復旧を機会に自動交換機を導入する方針が決まり、1926年より大都市から導入が開始された。米国の技術によるA形自動交換機とドイツの技術によるH形自動交換機の両者が導入されることとなり、前者が東京、名古屋などに、後者が横浜、大阪などに導入された。これらは戦後に実用化されるクロスバー交換機に置き換えられていく。

これに対応して電話機に装備された回転ダイヤルは、その原理や基本構成を変化させずに1980年代まで製造された〔図2-18〕。



図 2-18 600A電話機の回転ダイヤル
フィンガホールに指を入れ、フィンガプレートをフィンガストップまで回して放すとダイヤルパルスが送出される。

自動交換機のためのダイヤルを持つ電話機では、共電式電話機の電気回路にダイヤルインパルス接点とシャント接点が追加されている〔図2-19〕。

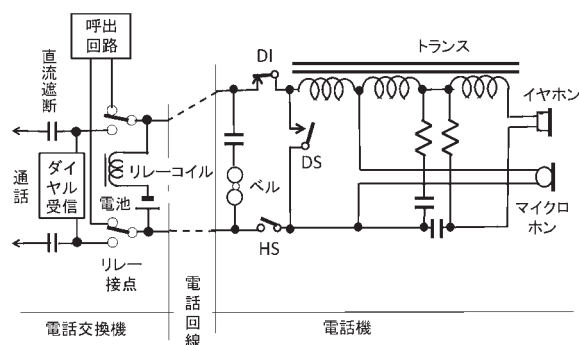


図 2-19 600A電話機の回路と交換機の加入者回路
ハンドセットを持ち上げてHSを閉じると交換機から電流が供給される。交換機はDI接点を開放する回数で数字を読み取る。

ハンドセットを上げてフックスイッチ HS をオンにすると交換機から電話機に直流電圧が加わる。フィンガプレートを指で回転させると、これが戻るまでの間はシャント接点 DS が通話回路を短絡して保護する。その間にダイヤルインパルス接点 DI が数字の回数 (0 は 10 回) だけ直流電流を切断する。交換機は切断の回数を読み取る。交換機がオフの繰り返しの最後を認識するために次の操作までに時間余裕 (ミニマムポーズ) を経てからフィンガプレートが停止する [図 2-20]。

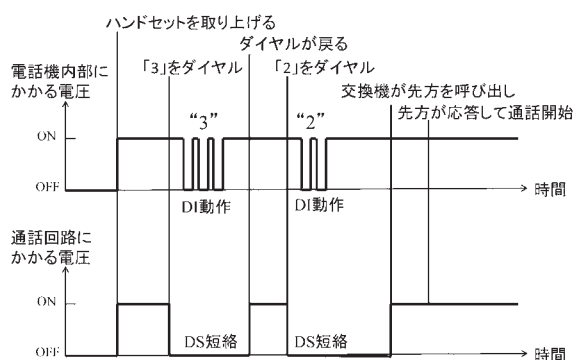


図 2-20 回転ダイヤルによるインパルス信号
“3”、“2”とダイヤルした場合の例

交換機には上昇回転スイッチがあり、共電式交換台のプラグ、ジャックと同じくワイパに3つの接触子が装備されている。まず上昇電磁石がパルスの数だけ上昇させ、次に回転電磁石が次のパルスの数だけ回転させて接触子が接触すべき接点を選択される。以降のダイヤルパルスは次の上昇回転スイッチを動作させる。通話が終了すると A 形交換機では復旧電磁石が動作してワイパを元の位置に戻す。H 形交換機ではワイパをいっぱいまで回転させて元の位置に落下させるので復旧電磁石は用いない [図 2-21]。

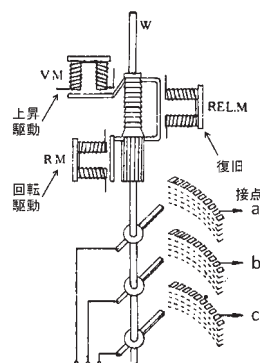


図 2-21 A形自動交換機の上昇回転スイッチ ^{B8)}

接点を動かすワイパ W は上昇電磁石 VM と回転電磁石 RM で操作される。
通話が終了すると復旧電磁石 REL.M により元の位置に戻される。

交換機での正確な受信のため、ダイヤルインパルスは単位パルスのオン／オフ比 (メーク率)、数字送出後のオン時間の最小値 (ミニマムポーズ)、1 秒当たりのパルスの繰り返し回数 (PPS = pulse per second) で管理される。繰り返し速度は世界的に 10 pps が標準だったが、わが国で 1960 年代より導入された標準型クロスバー交換機では 20 pps の高速ダイヤルも使用可能となった [図 2-22]。

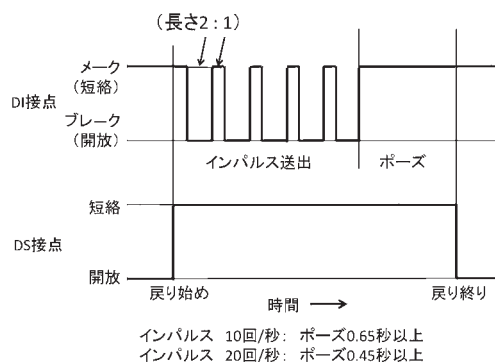


図 2-22 ダイヤルインパルスの定数
オン／オフ比 (メーク率、1 : 2 が基準)、
数字の間のポーズの最短値 (ミニマムポーズ)、
インパルス速度 (2 種のいずれか) で管理される。

2.2.2 ハンドセット (送受器)

通信工学の書物では言及される機会が少ないが、ハンドセット (マイクロホン、握り部、イヤホンを一体化した「送受器」) は電話機の歴史では重要な発明だった。通話しやすさが改善されたほか、イヤホンを耳に当てたときにマイクロホンと話者の口との位置関係が比較的正確に決まるため、電話機への入力音声のレベルが管理でき、電話信号の伝送系の設計に大きな利点をもたらしたのである。

ハンドセットの歴史は古く、すでに 19 世紀の磁石式電話機の一部には木材と金属を組み合わせたハンドセットが装備されていた [図 2-23]。



図 2-23 初期のハンドセット
木材と金属を組み合わせた細工物。
てれふおん博物館 (大阪) 所蔵

エポナイト、塩化ビニルのようなプラスチック材料の実用化とともにハンドセットの構成や形状は洗練されていく。自動式電話機ではプラスチック筐体のハンドセットが定番となった [図 2-24]。

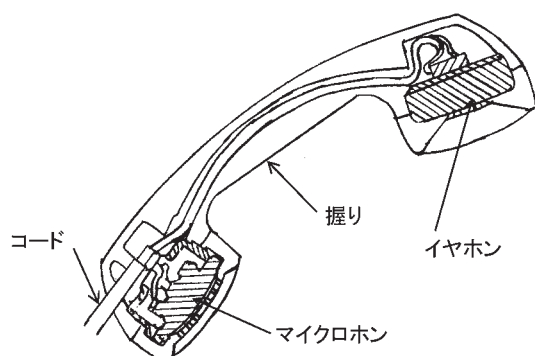


図 2-24 戦後の米国の標準電話機 500形のハンドセット^{B9)}
プラスチック成形品の筐体を使用。

2.2.3 1950 年頃の電話機の音響部品

電話機は日常の道具として定着し、米国では 1940 年代に一般家庭の必需品となり、世界に普及して行く。

1950 年頃にはマイクロホン、イヤホンなどの音響部品の技術も世界的に安定してきていた。ここで欧州などの電話機の趨勢を概観しておく。

マイクロホンはすべて炭素粉粒マイクロホンだった。これには金属振動板が必須だが、アルミニウム又はその合金をプレス成型したものが用いられるようになった。また炭素室の形状は姿勢（軸の向き）の変化に対して感度の変化が比較的少ない半球形が使われるようになった [図 2-25]。

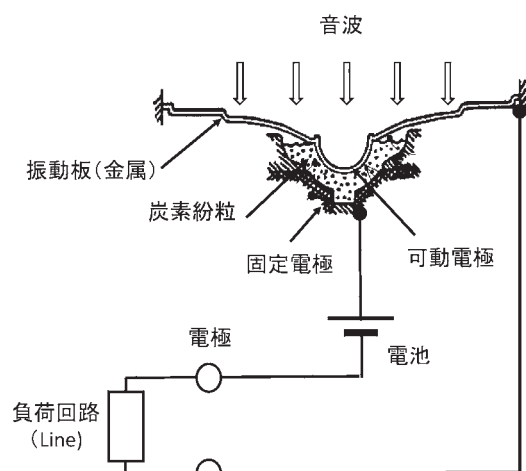


図 2-25 戦後の炭素粉マイクロホンの構成の概念
半球形の炭素室が標準的となった。

イヤホンは、動電形（ムービングコイル形）を用いる例もあったが、主流は小型磁石を用いて軽量にできる電磁形だった。その構成はメーカーにより異なり、多くの種類が見られた。有力なメーカーでも戦前以来の鉄板の平板振動板を踏襲していた例もあった [図 2-26]。

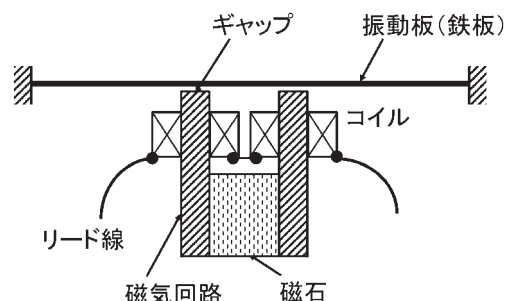


図 2-26 戦後の電磁イヤホンの構成の例
戦前以来の平板の鉄板振動板を用いた例も見られた。

磁石電鈴は平衡型の磁気回路が一般的となった。磁石の磁束をアマチュアの両側の磁気ギャップに分配して吸引力を平衡状態としておき、コイルに交流を加えることにより平衡が破れて振動する構成は大振幅動作に向いている。発音体は真鍮（黄銅）のゴングを 2 つ用いて協和音を放射するのが一般的だった [図 2-27]。

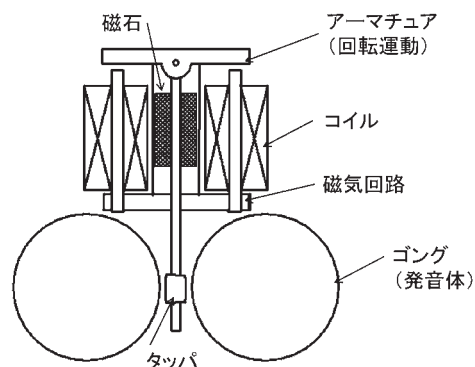


図 2-27 戦後の磁石電鈴(ベル)の構成の例
2つのゴングの周波数は長3度（ド、ミ）の協和音に調律するのが一般的となった。

我が国でもこうした技術による電話機が国産化されていたが、他の工業製品と同じようにいずれも米国、ドイツなどの製品のコピーだった。わ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、わが国独自の電話機の実用化が開始されるのは戦後のことになる。

ステップバイステップ交換機、A形とH形

1923年の関東大震災の復興を契機に自動式交換機を導入することになり、1926年の京橋電話局（東京）への設置から全国展開が開始された。交換機は米国、ドイツの2種の技術のものを並行して導入することとなった。

米国形はウェスタン・エレクトリック（WE）社の技術を導入し、同社と日本の民族資本との合弁会社で通信機器を製造販売していた「日本電気」（NEC）社が製造してA形交換機と呼ばれた。NEC社は1940年代に住友財閥の一員となる。

ドイツ型はジーメンス・ウント・ハルシュケ社（SH社）と古河財閥との合弁会社の富士電機が製造し、H形と呼ばれた。同社は通信機のほか電力機器も製造販売しており、「富士」は古河のフとジーメンスのジの合成といわれる。1935年には通信機部門が独立して富士通信機製造、略称「富士通」となった。

A形交換機は東京、名古屋など、H形交換機は横浜、大阪と地域を分けて導入された。

両社は交換機のみならず電話機、伝送機器なども製造し、電電公社の時代には公社と最も親密な「ファミリーメカ」とされていた。両社とも後に独自技術で大型コンピュータを開発して大成するが、10年にわたり利益を生まなかったコンピュータの開発が可能となったのには、電電公社に年間数1000億円分の通信機器を納入し、毎月きちんと現金で決済されていたのが後ろ盾になっていたのではないと思われる。



自動電話交換キャンペーン ^{B10)}

第2章の文献

- B1) 篠原清忠:「最新有線電話学」、有象堂出版部（東京、1942）、p. 1。
- B2) 篠原清忠：ibid.、p. 16。
- B3) 篠原清忠：ibid.、p. 27。
- B4) 篠原清忠：ibid.、p. 34。
- B5) 篠原清忠：ibid.、p. 18。
- B6) The Story of Telephone、電話100年小史（日本電信電話株式会社、1990）、p. 17。

B7) 篠原清忠：op. cit.、p. 49。

B8) 篠原清忠：ibid.、p. 88。

B9) A. H. Inglis, W. L. Tuffnell: "An improved telephone set", Bell System Tech. J., XXX, 2. (Apr., 1951), pp. 239-270.

B10) The Story of Telephone、op. cit.、p. 43.

3 | 戦災からの復興と4号電話機

我が国のあらゆる産業は太平洋戦争中の物資不足と戦災により壊滅状態となった。敗色が濃くなってきた1943年にはまだ全国で108万台、うち東京では50万台の電話機が使われていたが、産業基盤が徹底的に破壊された1945年にはこれが20万台、1万6千台に減少している。

敗戦の結果「大日本帝国」が滅亡し、新憲法下の「日本国」が誕生したが、従来の価値観が否定されて虚脱状態になっている中で、すべての産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。

更に混乱を招いたのが恐るべき物価上昇（インフレーション）だった。国家経済の破綻により、戦後4年ほどの間に物価が100倍、分野によってはそれ以上に急上昇した。膨大な戦費を国債で賄ってきた政府には債務の目減りは僥倖だったが、貯金も国債も保険も紙屑同然となった国民は塗炭の苦しみを味わい、社会の復興に重大な障害となる。これが緩和されるのは1950年、朝鮮戦争の勃発により我が国が補給基地となった時期以降となる〔図3-1〕。

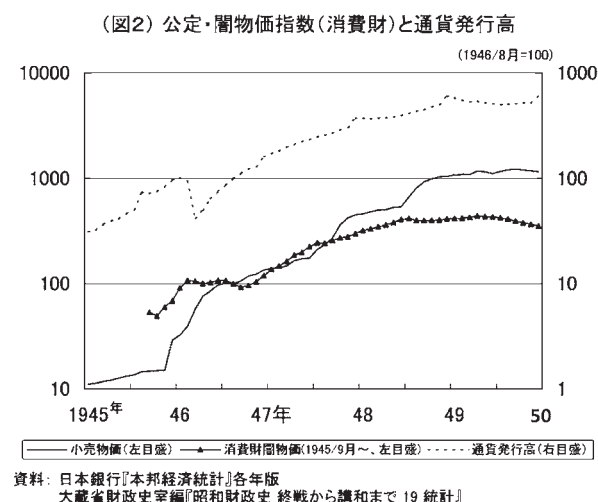


図3-1 終戦直後のハイパーインフレーション⁽¹⁾

1945年から約4年の間に物価は100倍以上となった。

しかし、産業復興の担い手となる技術者たちは意気軒昂だった。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であろう。多くは戦時中に軍事研究開発に従事させられていた若手で、さまざまな分野で「いよいよ我々の時代が来た」と意気込んで活動を開始したのだった。この時期に起業し、大成して大企業に成長した例は数多い。

3.1 復興のための基本技術の蓄積

我が国の電話システムは前章で述べたように通信省(1943年から1946年までは戦時体制で運輸通信省)の独占する国営システムであり、外国技術の導入などによってすで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。再興を期すべき通信技術の研究実用化を担当する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、

「今日は晴天」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、「今日は晴天なり」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当たり、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、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はかることが担当者たちの大きな目標とされた。このため、基本的な材料、製造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が同時に、又は先行して行われることになった。

3.1.1 相互校正法に基づく高精度の音響測定技術の検討

当時、音の物理測定の精度を上げることは世界的な課題だった。旧来の音響測定では音波の発生にはサーモホン、音圧の測定にはレーリー板が用いられていたが精度不良で、測定誤差が数dBといわれており、電気測定技術を用いてこれを1dB(誤差約10%)以下に抑え込むための技術開発が行われた。わが国もこれに参加したわけである。

その手段は、特性の安定なコンデンサマイクロホンを製造し。その可逆電気音響トランスデューサとしての性質を利用することだった。グラハム・ベルが用いた電磁トランスデューサと同じく、コンデンサマイクロホンも可逆であり、マイクロホンとしての感度(出力電圧と入力音圧の比)とイヤホンとしての感度(出力音圧と入力電圧との比)が個体に依らない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、複数の安定なマイクロホンがあれば、その感度を正確に求めることにより精度の良い音圧測定が可能となる見通しがついていた^(C2)。

新型電話機の実用化の準備として、電話機用イヤホンとマイクロホンの測定のための約 80 mm 径の PS-102 コンデンサマイクロホンが実用化された。一般にマイクロホンは音場を乱さないためになるべく小型化すべきであるが、このマイクロホンはカップラ測定(被測定イヤホンと 20 cm³ 程度の空間で向かい合わせて結合する測定)が前提なので、無理に小型化せず高感度を狙った設計となっていた [図 3-2]。



図 3-2(a) PS-102コンデンサマイクロホン^(C3)
電話機のマイクロホン、イヤホンの測定に使用。直径80 mm。

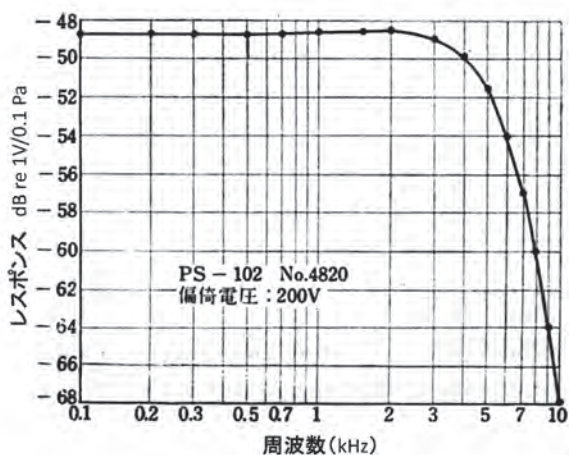


図 3-2(b) PS-102コンデンサマイクロホンの感度周波数特性^(C3)
4 kHz程度までは使用可能。

一方、磁石電鈴の音量を室内音場で測定するために 32 mm 径の MR-101 コンデンサマイクロホンが実用化された [図 3-3]。磁石電鈴は金属同士の衝突を利用するので、出力音には 10 kHz 以上の成分を豊富に含むが、このマイクロホンでは 8 kHz 程度までの範囲で音量を測定する。このため、後に更に広周波数帯域のマイクロホンを使用可能となっても、測定値の連続性を保持するため磁石電鈴の音量測定装置は 8 kHz

が上限とされていた [図 3-3]。



図 3-3(a) MR-101コンデンサマイクロホン^(C3)
磁石電鈴の測定に使用。音場測定のため直径32 mmと小型。

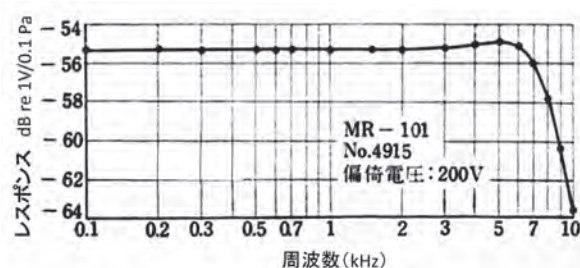


図 3-3(b) MR-101コンデンサマイクロホンの感度周波数特性^(C3)
PS-102より小型なので8 kHz程度まで測定可能だが感度は低い。

しかし、汎用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 がその当時著名となっていた。このため、電話機測定専用のマイクロホンに続いて直径1インチのマイクロホン MR-102 や、それらの精度を維持するためのいわゆる 20 cm³ カップラを用いる音響標準装置が実用化され。音響測定の精度の改善が行われた [図 3-4]。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、20 cm³ カップラでは上部のチューブを用いて内部の空気を分子量が小さく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 [図 3-5]。



図 3-4 相互校正を行う音響標準装置^(C4)
国家標準又はそのバックアップの役割もあった。

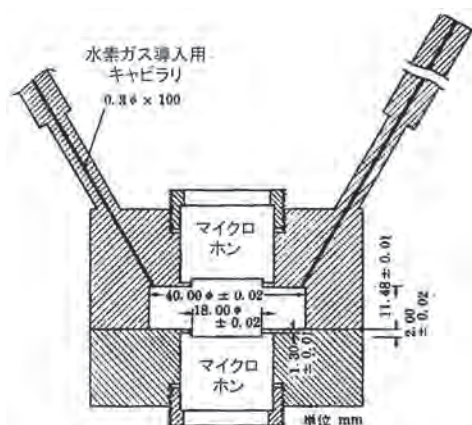


図3-5 コンデンサマイクロホンの相互校正用20 cm³カップラ¹⁾
内部の空気を水素ガスに置換して内部の音速を速くする。

音響標準装置は本来政府機関が国家標準として維持すべきものだが、しばらくの間電気通信研究所の音響標準装置と、保管されているコンデンサマイクロホンが音響測定の世界標準の役割を果たしていた。

3.1.2 電話機に要求される特性の計測心理学的検討

一方、電話機の良い通話を確保するために必要な信号伝送特性を明らかにする目的で、試験担当のクルー（20歳前後の女性）による実際の通話で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。音響測定技術の整備、高精度化がこの研究の基盤となっていく。

例えば、伝送周波数帯域と明瞭度との関係を求める実験では、防音室内で1人が音量指示計を見ながら一定の音量で発声し、別の防音室内でこれを複数人が聴取して記録し、その正しさを評価することにより単音明瞭度を測定する。このとき、伝送系にハイパスフィルタとローパスフィルタとを挿入して、その遮断周波数を変化すると明瞭度が変化し、両者の関係を定量化できる〔図3-6〕〔表3-1〕⁽⁵⁾。

通話標準関係を担当した小林孝夫、三浦種敏により多くの条件で遮断周波数と明瞭度との関係が解明された〔図3-7〕。これをもと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。

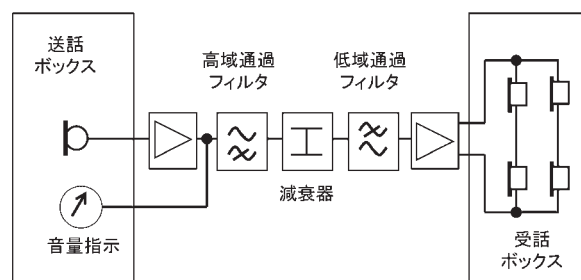


図3-6 遮断周波数と明瞭度の関係の主観測定
送話ボックスから送られる単音読み上げ音を聴取する。

表3-1 明瞭度測定のための100音節表の例

明瞭度試験音節表			平等率	音節数 単音数		100 200
			A~4			
No.	1	2	3	4	5	
1	モ ザ mo za	ジ サ zi sa	ラ ハ ra ha	チュ ト tyo to	ビ テ bi te	
2	ナ ヒヤ na hya	ベ ル be ru	デ ギョ de gyo	ギョ ケ gyu ke	フ ジュ hu zyu	
3	レ パ re pa	ビヤ ホ bya ho	ヨ ド yo do	ペ ヒュ pe hyu	ニユ ク nyu ku	
4	ブ ゴ bu go	ニヤ グ nya gu	ノ リュ no rryu	リ ビヤ ri pya	ボ ニ bo e	
5	ゼ ゾ ze zo	マ ジヤ ma sya	ソ ビュ so byu	ポ ニョ po nyo	ギ セ gi se	
6	ジュ プ zyo pu	ス ミュ su myo	ヒ ネ hi ne	ピョ ビョ pyo byo	ヌ シ nu si	
7	キュ チ kyu ti	ズ ム zu mu	オ ヘ o he	キョ ミュ kyo myu	バ ガ ba ga	
8	イ タ i ta	ワ メ wa me	ショ ギ syo ge	コ ダ ko da	ロ キヤ ro kya	
9	ピュ ウ pyu u	チャ ギヤ tya gya	ツ ニ tu ni	チュ ミヤ tyu mya	シヤ ア sya a	
10	カ ミ ka mi	ヒョ キ hyo ki	ピ リョ pi ryo	シュ ヤ syu ya	リヤ ヌ rya yn	

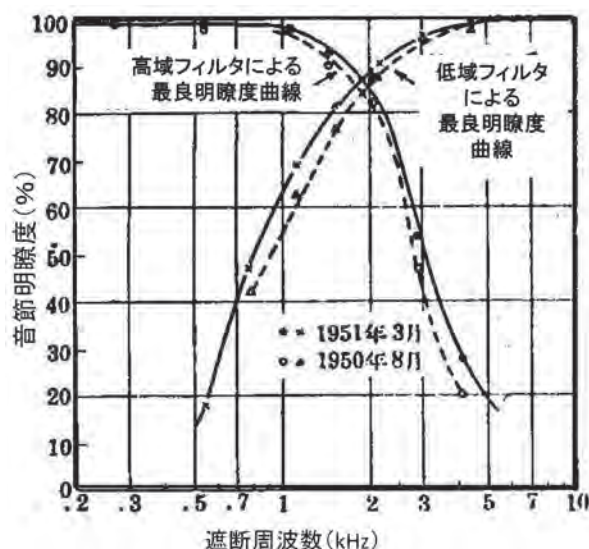


図3-7 遮断周波数と明瞭度の関係の測定結果の例¹⁾
この例では700 Hz～4 kHzが必要に見える。

3.2 4号電話機

こうした基本技術の蓄積とともに、戦後復興の基盤となるべき新型電話機の実用化が、電話機課長早坂壽雄のグループで精力的にすすめられた。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（通研）となったときには電話機の研究実用化は完成に近づいており、翌1949年より4号電話機としてサービスに導入された〔図3-8〕¹⁾。

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。



図3-8 (a) 4号電話機
1950年から量産された。
NTT技術史料館所蔵



図3-8 (b) 4号壁掛電話機
てれふおん博物館所蔵

3.2.1 T-4 マイクロホン

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と呼ばれる炭素粉マイクロホンで、従来の電話機用マイクロホンからの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量産品の特性のばらつきの減少に向けられた〔図3-9〕。

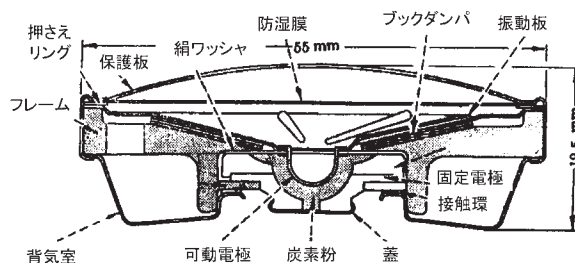


図3-9 T-4炭素粉マイクロホン¹⁾

振動板の後に薄い紙を重ねたブックダンパを置いている。

T-4 マイクロホンの粉粒室の形状は、半球形の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当時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おき、紙の間の空気の流れ抵抗を用いて振動板の共振によるピークを低減している。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。振動板の前の防湿膜は通話者の唾液の飛散からの保護が目的で、完全な防湿は期待していない。

T-4 マイクロホンの感度と周波数特性は戦前以来の3号電話機用1-A マイクロホンと比べて大幅に改善されていた〔図3-10〕。

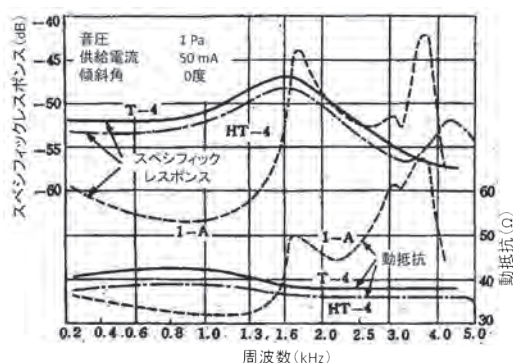


図3-10 T-4炭素粉マイクロホンの感度周波数特性¹⁾

動抵抗はその周波数の1 Paの音を加えられているときの直流抵抗。標準測定点は300、600、1k、1.3k、1.6k、1.9k、2.2k及び2.5kとされた。HT-4は交換手用のマイクロホン。

ここで、スペシフィックレスポンスはIECの電気系の分類では電力感度である。入力音圧は専用のカプラにより与えるので、IECの音響系の分類では音

圧感度を求めていることになるが、出力としては出力端開放電圧の2乗平均を動抵抗で除した電力値を用いている。

炭素粉マイクロホンのレスポンスは入力音圧、入力直流電流により変化するので、通話時の標準的な入力値とされる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）で測定される。

炭素粉マイクロホンでは、振動板が激しく運動すると炭素粉粒同士の接触が不安定となって動抵抗が上昇する。旧型の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効いていることがわかる。

また、炭素粉マイクロホンの欠点とされる傾斜角による感度の変化は3号電話機のマイクロホンに比べ少なく安定となっている。3号電話機のマイクロホンでは特に振動板を上向きとしたときの感度の低下が激しかった。この改良は半球形の炭素室の利点が発揮されたものとされる¹⁾。

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。実際には周波数帯域は3.4 kHzまで必要だが、これはハンドセットの送話孔のない状態で測定されているためで、使用状態ではこれと前気室とによる共振で補われる（次節R-4イヤホンの項を参照）。

3.2.2 R-4 イヤホン

4号電話機のイヤホンは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3号電話機などと同様の電磁トランスデューサが採用されたが、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、コーン形に成形されたアルミ合金製の振動板の中央に飽和磁束密度の大きい材料のアマチュアを装着した組み合わせ振動板を採用した。実用化に当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、多種多様の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炭素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的確に行われたといえる[図3-11]。

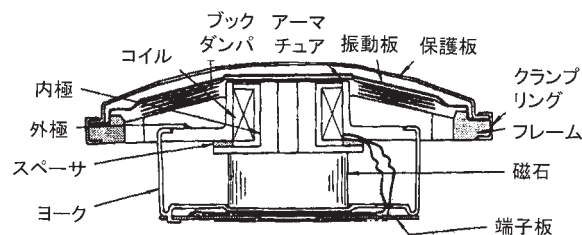


図3-11 R-4イヤホン¹⁾

コーン形整形振動板を用いて薄型の設計となっている。
T-4マイクロホンと同じくブックダンパを用いている。

アマチュアには鉄、コバルト、バナジウム合金が採用された。後部は開放となっており、イヤホンとしては小型で簡素なものとなっている。

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。実際に他機種に用いられた例は聞かないが、研究室での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 イヤホンの感度と周波数特性は戦前以来の3号電話機用イヤホンと比べて大幅に改善されていた[図3-12]。

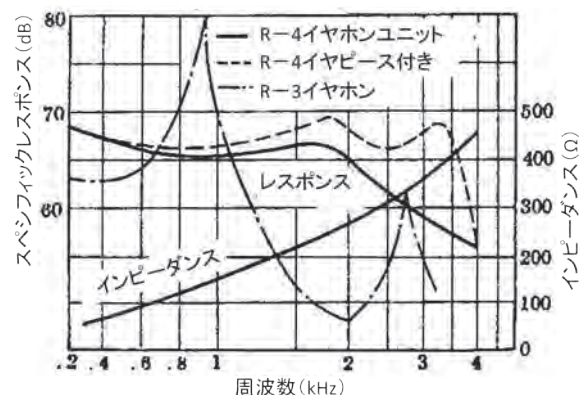


図3-12 R-4イヤホンの感度周波数特性¹⁾

コイルのインピーダンスには直流抵抗よりインダクタンスが大きく効いているので周波数とともに上昇する。

スピークレスポンスは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。

振動板の共振周波数は単体で1.9 KHzで、イヤホン組立状態では負スチフネス（254ページ参照）のため低下する。一方、ハンドセットに装着すると前気室とハンドセットの受話孔の共振により3.2 kHz付近にピークが発生し、3.5 kHz程度までは電話機用として

良好なレスポンスが実現される。振動板が1枚の円板で基本共振と2次共振がほとんど制動されていない3号電話機のイヤホンに比べ、明らかに特性が改良されていることがわかる。

磁石には、体積当たりの磁気エネルギーが大きく当時注目されていた鉄、ニッケル、コバルト、アルミニウム合金磁石を用いた。コイルの磁束が磁石をバイパスする磁気回路構成(磁気シャント)が採用されたが、これの要否は後の検討課題となる。

3.2.3 4号ダイヤルとB-105 磁石電鈴

ダイヤルの構造は2号電話機以来大きな変化がないものが使われてきており、摩擦結合部の耐久性不良などの問題があった。また、戦中戦後には保守不良の交換機に対応するためパルスの速度を落とすなど混乱状態にあった。4号電話機用の4号ダイヤルの設計では安定な動作と耐久性の向上を狙って、メインスプリングの強化、ラチェット構造の改良、インパルスを発生するカムの改良などが行われた [図3-13]。

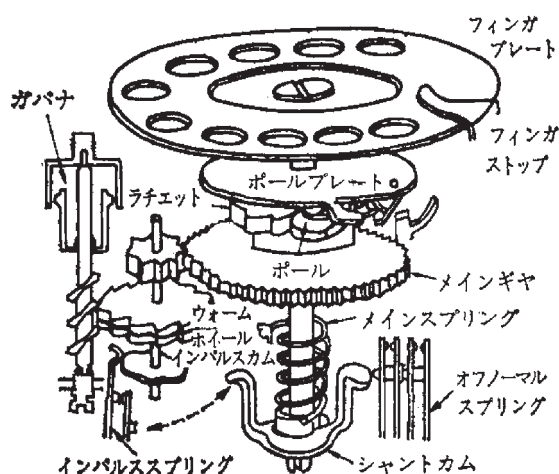


図3-13 4号ダイヤル¹⁾

メインスプリングの強化、ガバナ以外の摩擦結合の排除などが行われ、安定性と信頼性が改善された。

呼び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。旧来のB-104C磁石電鈴に比べ大きな構造の変更はなく、2つのコイルを用いた平衡形磁気回路が踏襲されたが、磁石の強さ、タツ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。2つのゴングを備え、その共振周波数は音楽における長3度(ド・ミ)に調律されたが、ゴングの直径は同じで、周波数の差はゴング材料の厚さの相違で与えられた [図3-14]。

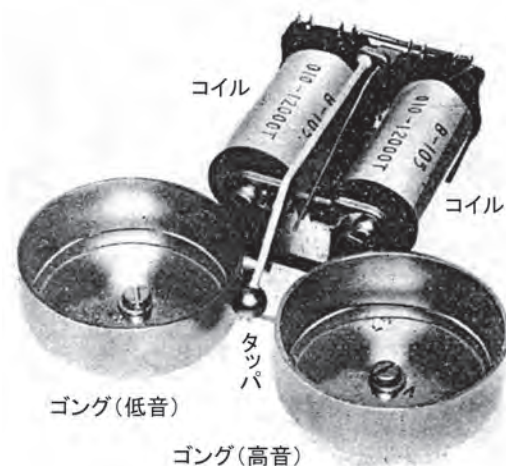


図3-14 4号電話機用B-105磁石電鈴¹⁾
従来形の2コイル形式を用いている。

3.2.4 4号電話機の構成と問題点

こうした部品を動作させる電話機回路には、戦前からの3号電話機の回路と同様のシンプルな回路が採用された。まだプリント配線基板以前の時代だったので、結線は個々の電線により行われていた [図3-15]。

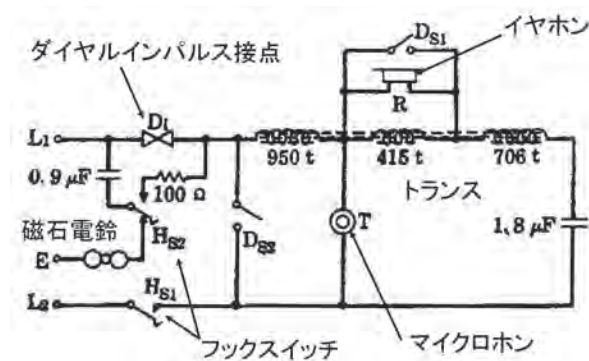


図3-15 4号電話機の電気回路¹⁾

側音防止方式はブースタ回路。側音平衡回路網はコイルの巻線の電気抵抗で代用している。

T4マイクロホンの動抵抗が約40Ωと線路の電気インピーダンス(数100Ω)に比べ低いので、側音防止回路は従来と同じブースタ回路となっているが、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。側音平衡回路網はコイルの巻線の電気抵抗で代用し、磁石電鈴の直列コンデンサをダイヤルインパルス接点の火花防止回路にも用いるなど、部品点数を抑えた設計となっている。

磁石電鈴の端子の片側がE端子として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、通常はE端子とL2端子を接続して用いる。

4号電話機は終戦直後の産業復興が不完全な中で急

いで実用化され、また改良の主眼が音響部分に置かれたため、いくつかの問題点が残った。音響系でもマイクロホンの高周波数限界がやや低いという問題点は残ったが、通話特性の改善が顕著なので社会的には歓迎された。1956年には東京地区の電話機数が30万台にまで回復していたが、そのすべてが4号電話機となっていた。

一方、その他の部分に残った問題点は徐々に手直しされていく。

特にダイヤルはなお耐久性が不足とされ、600形電話機の実用化作業が進捗すると、そのダイヤル機構の一部を取り入れた実装互換の5号ダイヤルが実用化されて4号ダイヤルに交代した。また劣化しやすいゴム被覆の機ひも、送受器ひもを塩化ビニル被覆に置き換えるなど材料面の改良も行われた。一方、ダイヤルのフィンガプレートが筐体面より飛び出しているのが落下で破損しやすいなどの基本的な問題点は、次期の電話機の改良に待つこととなる。

電話機の復興と早坂壽雄

4号電話機の研究実用化が電気試験所において開始されたのは1945年9月、太平洋戦争が終結してわずか1か月後だった。担当部署の課長の早坂壽雄はまだ30歳代、そのもとに集まった技術者は多くが20歳代の俊才たちだった。

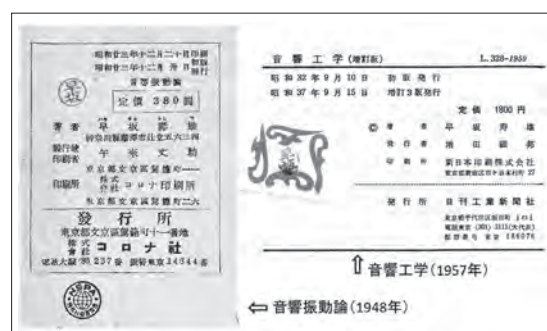
早坂は1937年に東北大学工学部を卒業し、大学の研究者を経て電気試験所に移籍した音響振動学者で、現場でたたき上げられた官僚ではなかった。多数の学術論文を発表していたほか、1948年に刊行した「音響振動論」と1952年の「音響工学」はこの分野の定本となった。

4号電話機の実用化がまず基本的な設計技術の確立から開始されたのは、こうした基礎技術を重要視する早坂の指導によるものだった。

このグループは1948年に発足した電気通信研究所（通研）に引き継がれたが、このとき、次章で述べるように電気通信事業に用いる機器の購入の規範となる「仕様書」の制定が研究所の担務となったのが特筆される。4号電話機の実用化では現場試験（部内での実使用試験）と商用試験（顧客の使用への部分導入）がほぼ同時に行われ、1950年から本格導入となったが、これは商用機器の購入仕様書まで研究所が作成していたので可能となったものであろう。

この制度は1952年、日本電信電話公社の発足に伴い仕様書の制定が本社の技術局調査部門に移管されるまで続いた。

早坂はその後電気通信研究所の所長を務めたが、これは当時電電公社の研究実用化組織のトップだった。研究所以外の社内職歴のない人物が研究実用化のトップに就任したのは異例といえる。



早坂壽雄の著書 C6) .C7)

第3章の文献

- C1) 伊藤正直：「戦後ハイパー・インフレと中央銀行」、日本銀行金融研究所 Discussion Paper No. 2002-J-35。
- C2) 大賀寿郎：「オーディオトランスデューサ工学」（日本音響学会／コロナ社、2013）、p. 241。
- C3) 早坂壽雄、増沢健郎、鈴木民治、新木諒三：「コンデンサ マイクロホン」、研究実用化報告、6、3-4（1957）pp. 231-276。

- C4) 電気通信研究所 35 年の記録（電電公社研究開発本部、1985）、p. K-40。（出典では誤って通話標準装置と記されている）
- C5) 三浦種敏（監修）：「新版 聴覚と音声」（電子情報通信学会／コロナ社、1980）、p. 402。
- C6) 早坂壽雄：「音響振動論」（コロナ社、1948）
- C7) 早坂壽雄：「音響工学」（日刊工業新聞社、1957）

4 | 電電公社の成立と電話技術の展開

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かかわらず、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も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。研究者達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は更なる基本研究の蓄積に邁進することとなった。

4.1 電電公社の成立と電話機技術の独占

戦後の電話機の研究実用化は通信省電気試験所で行われてきたが、1948年に電力部門と電気通信部門が分離し、前者が商工省に移管となった。このとき電気通信部門は電気通信研究所と改称された。

通信省は1949年に郵便部門と電気通信部門とに分離して郵政省と電気通信省とが発足した。電気通信研究所は電気通信省に移管されたが、このとき事業のための電気通信施設、機器の仕様書制定業務が、本庁の技術部門ではなく研究所の所管となったのが注目される。電気通信システムは社会の基盤として重要であり、急速な復興、改良及び拡大が必要である。そのため新技術を積極的に導入して対処しなければならない、これに的確に対処できるのは本社組織よりは研究所である、という意識が共有されており、電気通信研究所がわが国の電気通信技術そのものに責任を持つ体制となったのだ。4号電話機は1950年、まさにこの体制で商用システムに本格導入された。

この体制は1952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）に改組されたときに見直され、仕様書業務は本庁の技師長室に戻されて商用技術は技術局が担当することになったが、研究所は研究成果を商用に移すため仕様書技術資料を技術局に送付する段階まで責任を持つ体制となった。研究所は引き続き我が国の電気通信システムの研究のみならず実用化にまで直接の責任を持つことが期待された

わけである。

当時の体制では、顧客に提供する電話機は電電公社が貸与するのが原則で、電話回線に接続して通話以外の機能を果たす機器についても、電話機の機能を果たす部分は電電公社の標準品を用いることとされた。こうした電電公社が電話端末を独占する体制は1980年頃まで続くことになる。

この体制で電話機エンジニアに課せられたのは「絶対に通話不能にならない電話機」を世に提供することだった。故障はすべて電電公社の責任であり、例えば夜中に急病人が出たのに電話機の故障で救急車を呼べない、という事態は決してあってはならない、という覚悟で電話機の研究実用化が行われたのである。

4.2 音響技術の基本の蓄積

このような戦後の清算ともいべき大きな組織変更のもとで、電話機の改良とそのための基本技術の研究は一貫して続けられた。

4.2.1 MR-103 標準コンデンサマイクロホン

まず挙げられるのは音響計測技術の高度化である。特に、早坂壽雄など電話機研究者の手で行われた世界第一級の安定性を誇る標準、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。

安定性の要求される音響標準の用途には、磁石やコイル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、ヤング率の割り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く、周波数帯域を拡大するには工夫を要する。

このとき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も化学的にも安定である。薄いチタニウム膜の製造技術が国内に育ったのが決め手になり、振動膜ほかすべ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 [図 4-1] [図 4-2]。背極を保持する絶縁物にはチタニウムと同等の熱膨張係数を持つガラスが用いられた。



図4-1 MR103コンデンサマイクロホン^{D1)}

世界的に使われている標準マイクロホンに寸法を合わせてある。

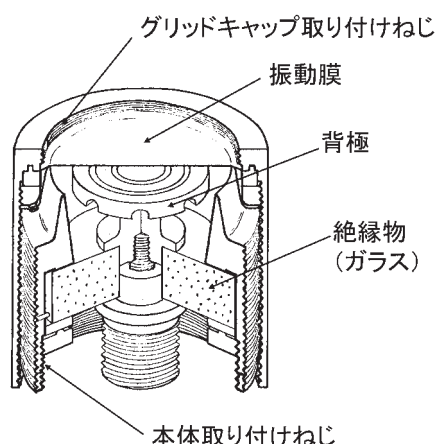


図4-2 MR103コンデンサマイクロホンの構造^{D1)}

金属部はチタン、絶縁物は熱膨張係数がチタンに近い値のガラス。

寸法と振動膜の共振特性は当時広く使われていたウェスタン・エレクトリック社 640AA マイクロホンに概ね整合させ、直径 23.77 mm (約 1 インチ) となっている [図 4-3]。

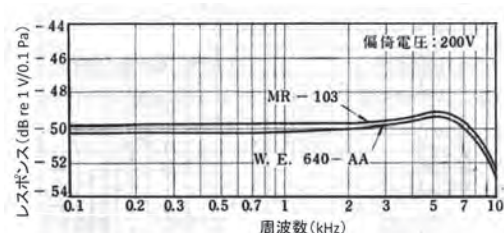


図4-3 MR103コンデンサマイクロホンの感度周波数特性^{D1)}

世界的に使われている640AAマイクロホンに特性も合わせてある。

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、組み立て後に熱処理を行うことにより経時変化の極めて少ない安定な特性が得られている [図 4-4]

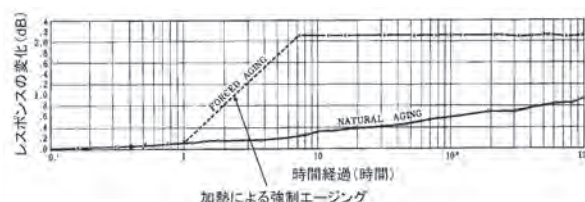


図4-4 MR103コンデンサマイクロホン^{D2)}

数時間の熱処理を施した後は感度が極めて安定するので、音響計測の標準として信頼できる。

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前述のように電気通信研究所に構築されていた。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、MR103 マイクロホンはこれらに用いる標準マイクロホンとなった。

その後ウェスタンエレクトリック社のマイクロホンは供給されなくなり、世界的に二次標準として維持保管されるマイクロホンは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 (ステンレス鋼製) の2種となって IEC 規格に記述された。両者は互いに遜色のない安定性をもっていた。

4.2.2 バイプロメータとその応用

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 (又は変位) 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実測するデバイスを実用化して種々の測定に用いていた。

このような複数のトランスデューサ部が1つの振動部を共有する測定器は「バイプロメータ」と呼ばれて戦前の東北大学で研究、実用化され、戦後の電気通信研究所に継承されて広く用いられた^{D3)}。当初は駆動、検出2つのコイルを設けた動電駆動、動電測定の形式だったが、コイル同士の電磁結合の影響が誤差要因と認識され、コンデンサマイクロホンの技術の進歩とともに動電駆動、静電測定が主流となった [図 4-5]。

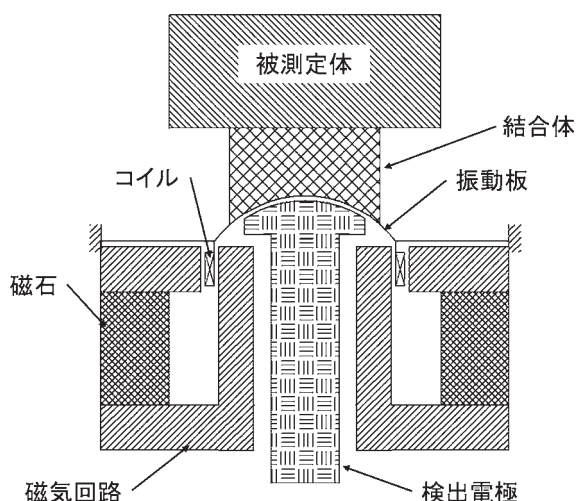


図4-5 動電駆動、静電測定バイプロメータの原理
ダイナミックスピーカと同じ構成で振動板をコイルで駆動し、その変位をコンデンサマイクロホンの原理で検出して、被測定体の機械インピーダンス（駆動力と振動速度の比）又は音響インピーダンス（音圧と粒子速度の比）を直接測定する。

汎用バイプロメータの標準品としては鈴木民治らにより1963年に実用化されたVR-601バイプロメータが挙げられる。この製品は動電駆動、静電測定形式で、チタンを多用した安定な設計となっており、後述するように600形電話機のT-60マイクロホンの標準測定器にも駆動音源として用いられた〔図4-6〕。



図4-6 (a) VR-601バイプロメータ^{D4)}
動電駆動静電測定。金属部はチタン。直径50 mm。

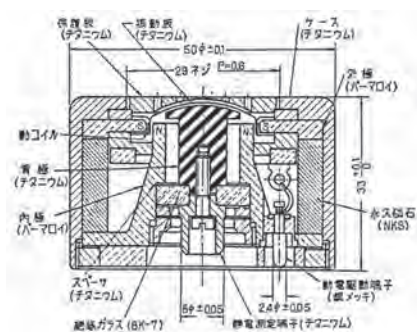


図4-6 (b) VR-601バイプロメータの構造^{D4)}
600形電話機のT-60マイクロホンの標準測定器に駆動音源として使われた。

（ただし、本来のバ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。現在バ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。）

4.2.3 電気音響学的設計方法

電話機的设计では機械振動（質量とばねによる振動）、音響振動（空気振動）を定量化することになるが、これらと電気振動（電気回路内の振動）とは、物理量は全く別種だが振動を記述する方程式が同じ形になる。そこで相互に物理量の形式的な対応を定義すると機械振動や音響振動を電気回路に置きなおして解析できる。回路解析技術は電気分野が進んでいるので、特に電話機の音響機器の設計においてこの技術は強力な手段となる^{D5)}。

電話機設計分野でよく用いられるのは「力電圧対応」と呼ばれる関係で、力又は音圧を電圧に、速度又は空気流の体積速度を電流に対応させる手法である。このとき、質量はインダクタンスに、ばねはコンデンサ（数値は逆数）に、また機械、音響抵抗は電気抵抗に対応させることになる。この対応を用いて作成した電気回路表示にキルヒホフの法則を適用すると、マイクロホン、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〔表4-1〕。

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「電気音響学的設計法」と呼ばれ、この後電気通信研究所で広く用いられてお家芸となった。

表4-1 電気音響学的設計法での物理量の対応^{D5)}

機械振動系	音響振動系	電気振動系
力 F	音圧 P	電圧 E
速度 V	体積速度 V_A	電流 I
質量 m	音響質量 m_A	インダクタンス L
スチフネス s	音響スチフネス s_A	電気容量の逆数 $1/C$
機械抵抗 r_m	音響抵抗 r_A	電気抵抗 R

物理量はいずれも交流の実効値で表す。
注：力、速度の行の値は機械、電気、音響いずれも正弦波の実効値

一例として4号電話機のR-4イヤホンの実装状態に着目しよう。このイヤホンでは振動板とこれに接するブックダンパの前後が室で囲われ、前面は受話孔を通して通話者の耳孔に接し、後面はハンドセット内部に開放されている〔図4-7〕。これに前記の対応関係を適用して電気回路の記号に置き換えると、2つの共振周波数をもつ回路となる〔図4-8〕。この回路で共振周

波数と共振特性が希望の形になるような回路定数を求め、イヤホン各部の物理定数に置き直せばイヤホンの音響設計が可能となる。実際には振動板の質量、ばね定数は正確に知られているので、これを基準として設計することになる。

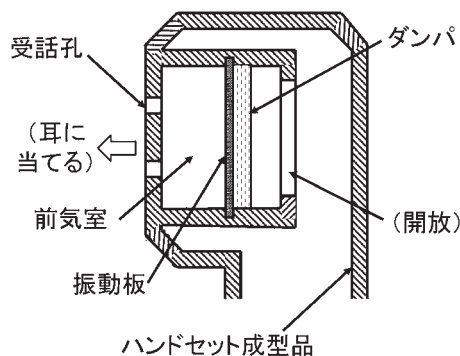


図4-7 R-4イヤホンの構成
ダンパは空気の流通に対して抵抗となる。

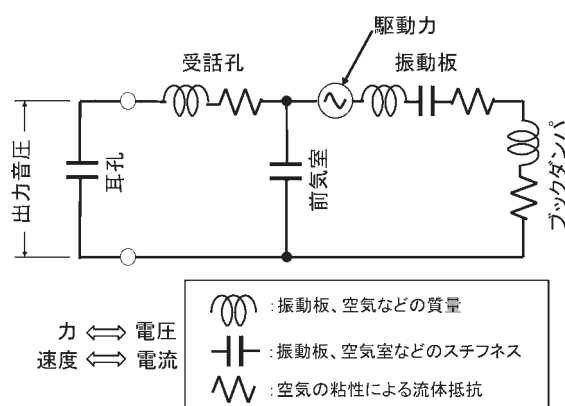


図4-8 R-4イヤホンの音響系の回路表示
力電圧対応による。

この回路はループを2つもち、2つの連立方程式で表示するので「2自由度」の音響振動系といわれる。以後、電話機の音響系の設計は自由度を増やす方向に発展していく。

4.3 粉粒マイクロホンの研究

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炭素粉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。

山崎新一などにより専用の動電駆動、静電測定バイプロメータを用いて炭素粉のスチフネス（ばね定数）を測定することが可能となった。測定側にはコンデンサマイクロホンのような直流バイアス方式では駆動側

からの誘導が根絶しにくいので、高周波発振回路（例えば 10.7 MHz）を用いて周波数変調信号とし、FMラジオの原理で復調する「微小変位測定器」が用いられた。

炭素粉には粉粒間の滑りによるエネルギー損失があり、そのためスチフネスは複素数となるので、信号波（正弦波）の入力、出力間の振幅比のほか位相差を測定しなければならない。振幅比は減衰器置換法により測定するが、この当時は位相差を直読できる測定器がなかったので、抵抗とコンデンサからなる移相器を用意し、信号波形と同位相となる位相値をオシロスコプのリサージュパターンより求めるという方法が用いられた [図 4-9]。

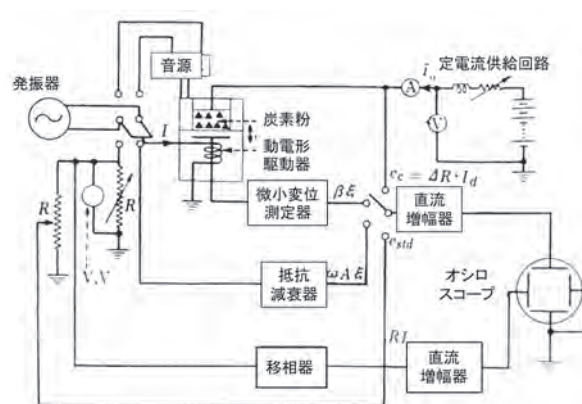


図4-9 バイプロメータを用いた炭素粉のスチフネスの測定系^{D6)}
位相の測定はリサージュパターンの観察による。

測定結果は興味深いものだった。通常の金属ばねのスチフネスは実数部が振幅によらず一定、虚数部はゼロとなるが、炭素粉のスチフネスは振幅が大きくなると実数部が小さく（すなわち軟らかく）なり、またエネルギーの損失を表す虚数部が発生する。これは粉粒同士の滑りによる現象と予想される [図 4-10]。

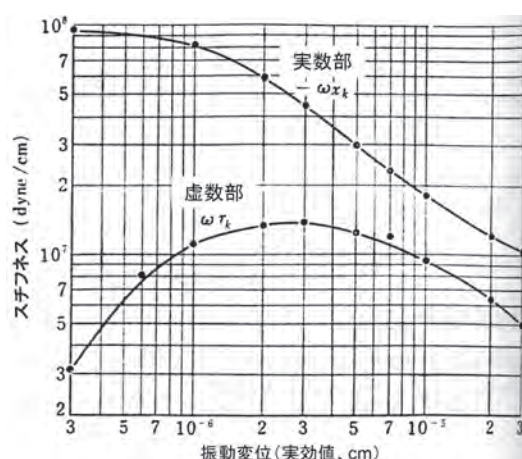


図4-10 炭素粉のスチフネスの測定結果^{D6)}

振幅が大きくなると柔らかくなり、また虚数部があらわれる。

中野一造は粉粒同士の関係を微小なばね、ヒステリシス特性をもつ乾性摩擦素子、空間的な遊びの集合体と考え、各部の定数が一定の分布関数に従うと仮定してマクロな定数を統計的に解析した。この仮定は的確なもので、炭素粉マイクロホンの物理現象を説明することに成功した〔図 4-11〕〔図 4-12〕

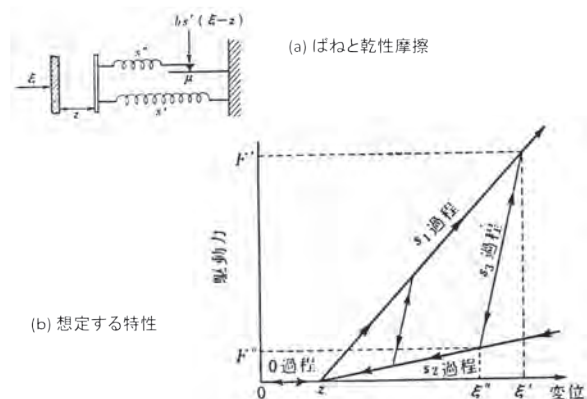


図4-11 互いに接触している炭素粉粒のモデル^{D6)}
個々のスチフネス、摩擦係数などは一様分布と仮定した。

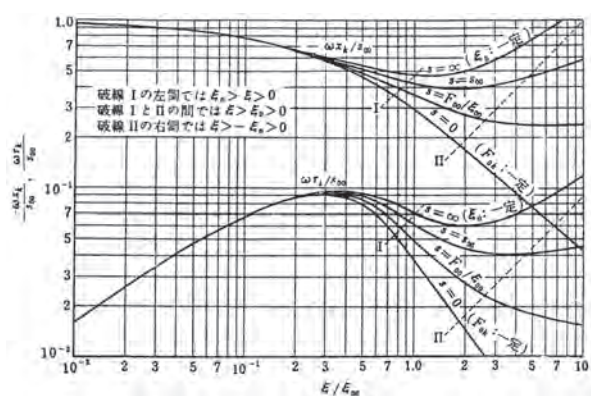


図4-12 炭素粉粒の接触現象の解析結果^{D6)}
前記の測定結果をよく説明している。

この研究によって炭素粉粒の動作の理解が大幅に進展した。

この解析は炭素粉マイクロホン独特の利点も明らかにした。実際の電話機ではマイクロホンの入力音圧は約 1 Pa である。この音圧は粉粒同士のすべりが生じ、振動板が動きやすくなっている領域な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。これは炭素粉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。

4.4 電磁イヤホンの研究

新木諒三などはバイプロメータを電磁イヤホンの磁気回路の解析と設計に適用した。磁気回路の力係数(電気機械変換係数)は渦電流の影響で位相変化をもたらし、複素数となるが、バイプロメータによればこれを実測することができる。

磁気回路はそれ自体が振動板を駆動するトランスデューサなので、バイプロメータはこれと静電トランスデューサとを組み合わせた電磁駆動、静電測定で構成とされた。モデルとするアマチュア付き振動板と静電トランスデューサを組み合わせ、これに被測定磁気回路を相対させ、その間の空隙長はマイクロメータヘッドと変位測定器で精密に管理する。磁気回路の駆動力によるアマチュアの変位は静電トランスデューサの出力となり、減衰器置換法で測定される。また、移相器の出力との加算による出力電圧の増減から位相変化が読み取られる〔図 4-13〕〔図 4-14〕。

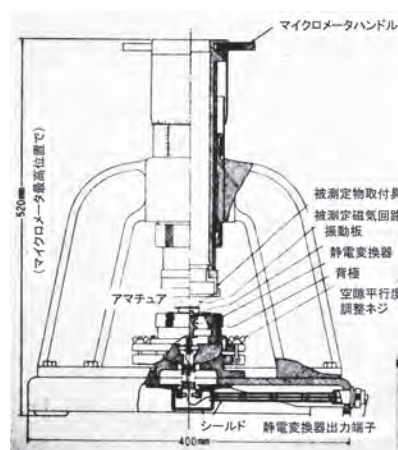


図4-13 電磁イヤホンの磁気回路の力係数を測定する装置^{D7)}
電磁駆動、静電測定のパイプロメータが構成されている。

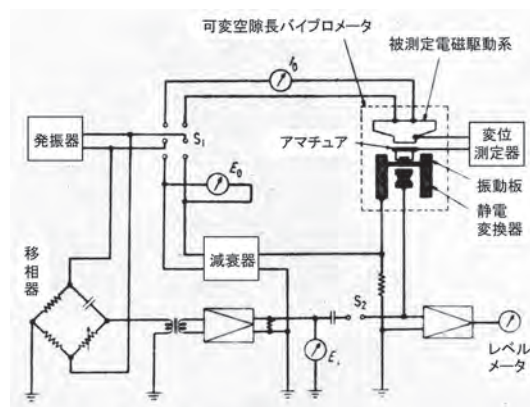


図4-14 力係数の測定系^{D7)}

駆動力を減衰器置換法で測定し、また位相の動きも求められる。

こうして磁気回路の力係数が知られると、これを用いた所望の感度周波数特性を持つイヤホンは振動板とその周囲の音響素子の机上設計で実現される。電磁イヤホンには炭素粉マイクロホンの粉粒のような不確定な素子がないので、これで設計指針が完備することになった。

一方、電磁トランスデューサの振動板は磁気吸引力が常時作用しているので、振動板が磁気回路表面に吸い付けられて振動不能となる事態を避けなければならない。その設計尺度として「安定度」が導入された[図 4-15]。

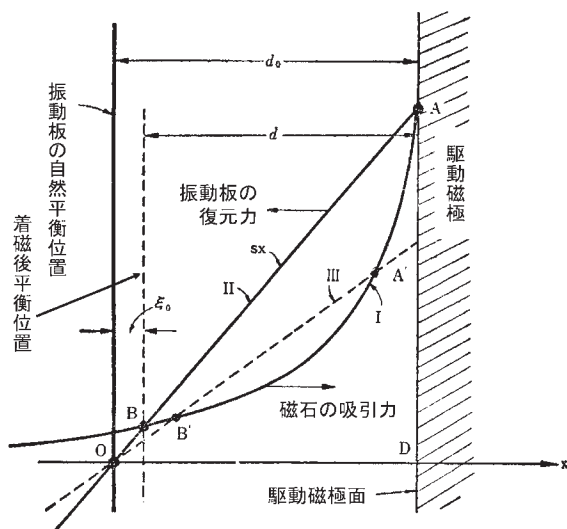


図4-15 電磁トランスデューサの振動板の「安定度」^{D8)}

振動板は左右に動くが、右側は磁極の面まで制限される。

安定度はB点での振動板のスチフネスと磁気吸引力の負スチフネスとの比で定義される。

組立当初は振動板は磁気回路の磁極面から一定距離離れたO点の位置にある。ここから動かされるとスチフネスによる復元力がⅡのように発生する。

磁石が磁化されると吸引力が働くので、これが復元力とバランスして振動板はB点で静止する。イヤホンであればコイルの電流による磁気吸引力の変化のため、振動板はB点の左右に振動する。

磁気吸引力は線Ⅰのように磁極に近づくほど加速度的に増加する。何かの衝撃で振動板が磁極面に押しつけられてA点に達したとき、復元力Ⅱが吸引力Ⅰより大きければ元のB点に復帰できるが、振動板が軟らか過ぎてスチフネスによる復元力がⅢのように小さいときは、振動板がA'点より磁極面に近づくとは復旧できないことになる。

こうした事態を避けるため、電磁トランスデューサの設計ではB点における復元力Ⅱの傾き(スチフネス)と磁気吸引力Ⅰの傾き(負スチフネス)との比を「安定度」と定義し、これを一定の値以上に保つようにすることになった。設計にあたってはまず安定度を決定し、その状態での力係数を測定するという手順が用いられた。

電気通信研究所における数学の伝統

1950年代、電気通信研究所（通研）の文化の一つとなったのは、機器設計の基本としての応用数学の重視だった。電子計算機による数値計算が可能になるまでは、複素関数論、級数論、高等関数などを基盤とした手計算が設計の重要な道具となっていたのである。

1956年から岩波書店により刊行された岩波全書「数学公式」Ⅰ～Ⅲは世界的なレベルでも名著と評価されて長年愛読されたが、その原稿の基盤となったのは宇田川銑久（名古屋大学）のメモであり、また協力者として池谷和夫（名古屋大学）、村尾洋（芝浦工業大学）の名が挙げられている。いずれも通研の研究員として活動した経歴をもつ。

また、工業の世界で広く用いられている実験計画法の源流を世に出した田口玄一（青山学院大学）も通研に在籍しており、その後「田口メソッド」は通研の研究員の多くが駆使する「お家芸」となった^{D10)}。

炭素粉マイクロホンの粉粒の振舞いの理論解析に成功した中野一造も、通研の音響部門きっての数学の大家として知られており、交換機用リレーの磁気回路の解析など多くの業績を残している。

こうした環境のため、1960年代の通研では応用数学、数理物理学への関心が高く、定本とされる書物を数人で輪講するグループが多数見られた。筆者もこれに参加し、電子計算機が使用可能となつてからは実験と対比するため、FORTRANを用いて回転楕円体波動関数など種々の高等関数の数値計算を行っていた。



岩波「数学公式」Ⅰ～Ⅲ^{D9)}

第4章の文献

- D1) 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」、研究実用化報告、6、3-4 (1957) pp. 231-276。
- D2) (株) 東京理工研究所 カタログ
- D3) 抜山平一、松平正壽：「電話受話器の Motional Mutual Impedance」、電気学会誌 (1924)、pp. 564-574。
- D4) 鈴木民治、永田稔信：「バイプロメータ形受話器」、電気通信学会雑誌、46、2 (1963)、pp. 195-201。
- D5) 大賀寿郎、梶川嘉延：「電気の回路と音の回路」(日本音響学会／コロナ社、2011)、p. 53。

- D6) 中野一造：「炭素粉の電気音響変換」、研究実用化報告、7、12 (1958)、pp. 897-936。
- D7) 新木諒三：「電気音響変換用電磁駆動系の一般的特性と設計指針」、研究実用化報告、10、11 (1961)、pp. 2359-2395。
- D8) 早坂寿雄「音響工学」(日刊工業、1957)、p. 113。
- D9) 森口繁一、宇田川銑久、一松信：「数学公式」Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ (岩波、1956、1957、1960)。
- D10) 田口玄一：「実験計画法」上、下 (丸善、初版 1957、第3版 1976、1977)。

5 | 高度成長の時代と 600 形電話機

朝鮮戦争の特需の影響により、わが国の景気は太平洋戦争直後の混乱から脱却することができた。1950年代半ばの好景気は神武天皇即位以来と形容され「神武景気」と俗称された。その後の一時的な不況を経て訪れた好景気は神武天皇以前、天照大神の天の岩戸伝説以来とはやし立てられ「岩戸景気」と俗称されて約4年続き、その後も日本経済は高度成長を続ける。これには対米ドル 360 円に固定された為替レートも貢献した [図 5-1]。

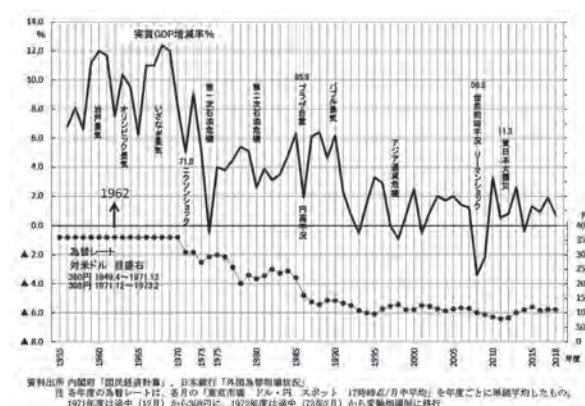


図5-1 我が国の実質GDP伸び率と為替レート^{E1)}

第一次石油ショックで断ち切られるまで未曾有の好景気が続いた。

5.1 高度成長社会と電気通信

この時期、電電公社の所管するわが国の電気通信システムも量、質の両面で大幅に変化する。国内の電話システムの状況は1950年代には戦前の水準に戻り、発展を続けていた。1958年には電話機数が全国300万台、うち東京50万台に増加していた。これに加えて、手動交換が主だった地方都市の市内通話のダイヤル式自動即時交換化（自動改式）、待時通話が主だった市外通話のダイヤル即時化が急速に進展した。東京都内から三多摩地区や近県のような近距離の電話でさえ手動待時という状況がここで解消されることになる。また、1963年には長距離通話のトップを切って東京～名古屋間の電話がダイヤル即時式となり、1965年には東京とすべての県庁所在都市との間の通話がダイヤル即時式となる。

こうした劇的な改良には新技術の積極的な導入が必要となる。当時の「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」という体制により、研究所は単なる先行技術開発のみならず、こうした電電公社の中核をなす実用技術に対しても責任を負うことになっていた。

導入される新技術には、自動改式の基盤設備となったクロスバー交換機のような欧米の先行技術を導入したものも多かったが、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年に東京～名古屋～大阪間に開通した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。更に、1965年に実用に移されたPCM24チャンネルデジタル電話伝送方式は、米国T-1方式に次いで実用化された先進的な技術で、回路部品にエサキダイオードを用いるなど意欲的な設計が見られた^{E2)}。

5.2 電話機設計のための基本技術

しかし、すでに電話機が一般家庭に浸透していた米国などとは依然として大差があり、電話機の一般家庭への浸透はまだ途上だった。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。

その成果の一つが1962年に商用化され、1964年から本格導入された600形電話機だった。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で実施された。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。

実用化にあたり、設計のための基本技術の検討が更に進められた。

5.2.1 通信システムの評価尺度「明瞭度等価減衰量 (AEN)」

4号電話機の設計では単音明瞭度による通話品質の評価が行われた。600形電話機の通話性能には、4号電話機の評価にも用いられた、明瞭度の変化を信号レベルの変化に換算してデシベル値とする明瞭度等価減衰量 (AEN) が本格的に適用されることになった^{E3)}。

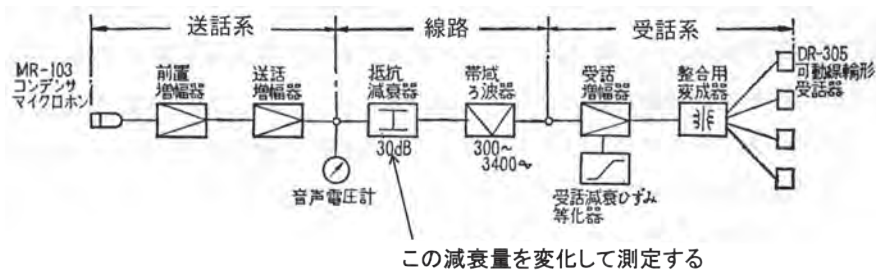


図5-2 日本主通話標準装置^{E4)}
CCITTの規定する基準通話系に準拠している。

明瞭度の測定は4号電話機の場合と同様に防音室内で1人が一定の音量で発声し、別の防音室内でこれを複数人が聴取して記録し、その正誤を評価することにより行われる。このためにCCITT（国際電信電話諮問委員会）の規定する通話標準装置（SRAEN）に準拠した基準通話系（ARAEN）として、日本主通話標準装置が設置された [図5-2]。

電話機の評価では、送話系又は受話系を被試験電話機のものに置き換えて明瞭度を測定し、基準系での測定と比較する。受話系の測定するときには受話室にCCITTで規定された騒音（Hothスペクトル雑音）を既定の音圧レベルで放射する。この騒音は電話機の使われる室内騒音を模擬するもので、低音成分の多いゴーという音である [図5-3]。

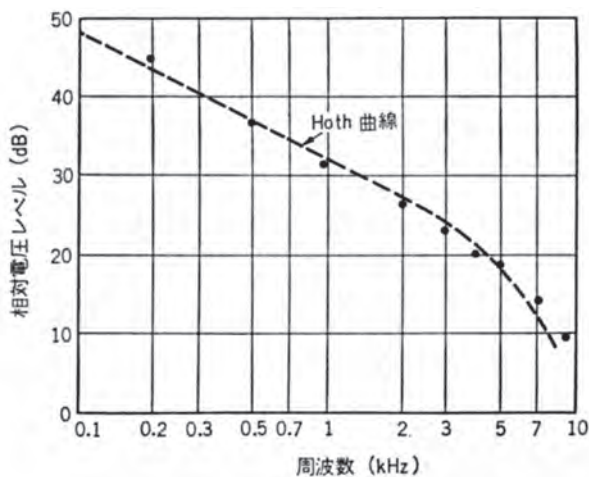


図5-3 Hothスペクトル^{E5)}
電話機の用いられる環境の騒音を模擬するスペクトル。

測定は主通話標準装置の線路を模擬する抵抗減衰器を変化して、標準系、被試験系それぞれ3点で行われ、これをグラフに表示する。標準系に比べ通話品質が劣る被試験系では少ない減衰で明瞭度の劣化が生じる。明瞭度80%のレベルで求めた減衰量の差がAEN（明瞭度等価減衰量）と定義される [図5-4]。

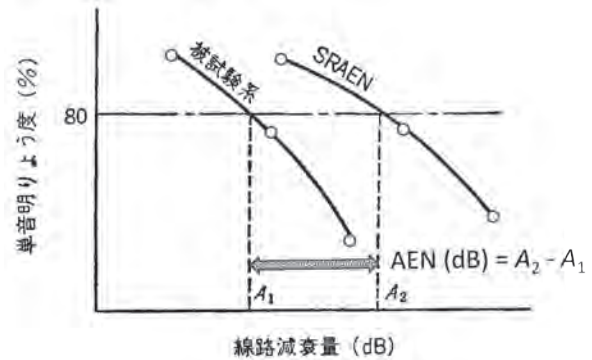


図5-4 AEN（明瞭度等価減衰量）の定義^{E6)}
明瞭度の差を抵抗減衰器の読み之差 (A2-A1) に置き換えて定量化する。

5.2.2 電話機に要求される特性の研究の完成

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、明瞭度等加減衰量（AEN）による評価を前提として、新形電話機に希望される送話系及び受話系の周波数特性とその許容限界を設計指針として示した^{E7)}。

送話系の推奨特性は平坦ではなく、2～3 kHzを強調した特性となっている。これは多くの子音の周波数成分が高周波数帯域にあり、これを強調すると明瞭度が上がるという観点のほか、2本の銅線を燃った電話ケーブルがコンデンサと同様の電気特性をもち、低音よりも高音が減衰されやすいことによる [図5-5]。

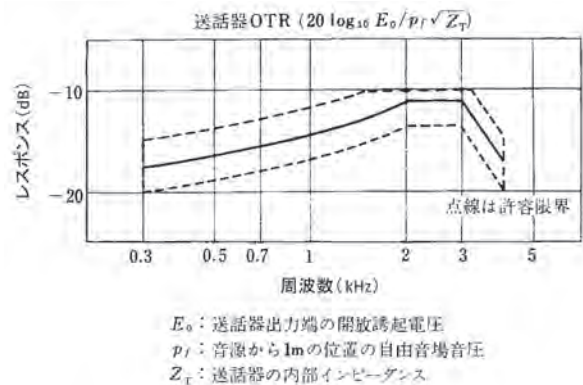


図5-5 電話機の送話特性の設計指針
明瞭度を上げ、また電話ケーブルの損失を補償するため高周波数領域を強調するのを推奨している。

一方、受話系の周波数特性には平坦な形状を推奨している [図 5-6]。

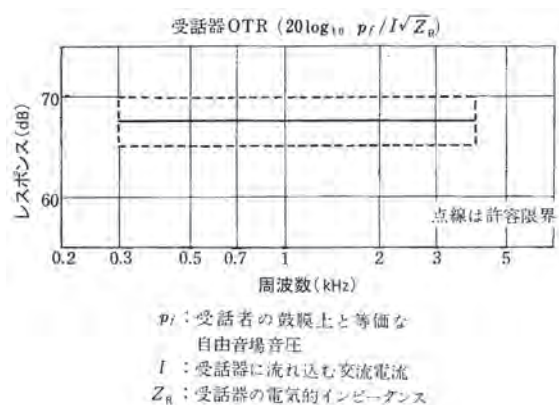


図5-6 電話機を受話特性の設計指針
平坦な特性を推奨している。

通常の電話機実用化では試作し、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かったであろう。電気通信研究所の定量化設計手法は高度なものとなっていたのだ。

なお、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ので、通常の感度とは数値が異なる^{ES)}。

5.2.3 電話回線のインピーダンスの把握

この当時、電話伝送のためのケーブルも変化を続けていた。旧来の空中を走る裸線が多くの電線をまとめたケーブルに置き換えられ、またそのケーブルも細化され、さらに紙絶縁から PEF (発泡ポリエチレン) 絶縁に進化してきていたのである。これに対応した電話機の側音防止回路の設計指針を得るため、電話機から見たケーブル線路の電気インピーダンスの調査が行われた [図 5-7]²⁾。

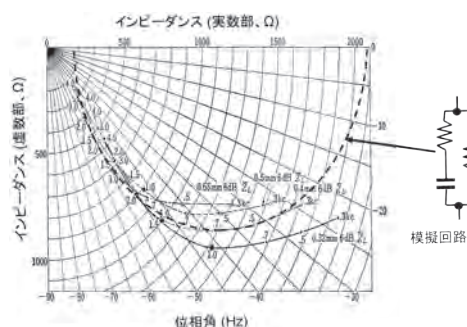


図5-7 電話機から見た電話回線の電気インピーダンス
加入者線のケーブルは次第に細化され、以後0.4 mm径が標準となった。

前述のように細い銅線を撚り合わせたケーブルはコンデンサとしての特性をもち、これを電話機の回路で模擬するには図のような抵抗、コンデンサから成る 3 素子回路が適当となるので、これを前提とした設計が行われた。従来の抵抗 1 本で模擬する方式に比べ、よりの確な側音防止特性が実現された。

5.3 高度成長を支えた600形電話機

4 号電話機の実用化と 600 形電話機の実用化の間には 10 年余の時間を経ることになり、その間にわが国の社会は大幅に変化し、産業や工業技術のレベルは改善されていた。

特に社会的環境の変化は顕著だった。経済の高度成長が始まり「消費は美德」と喧伝され、電話機の生産数も年々大幅に上昇していく。社会の成長は無限に続くと考えられるようになっていた。

600 形電話機は 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、通研から仕様書技術資料が送られた 1962 年からは 4580 台の試作機を 6 つの町の加入者に使ってもらう商用試験が開始された。このとき試験地に選ばれたのは東京近郊の昭島市など、これまでの手動交換から自動改式が行われた場所だった。古い共電式電話機から一足飛びに最新型の電話機に交換された市民の関心は高く、電気通信研究所の公開 (施設案内) には市民が訪れて使い勝手などに意見を述べる光景が見られた。

各メーカーの工場の量産ラインは 1963 年秋までに整備され、本格導入は 1964 年となった。10 月に東京オリンピックが開催され、その直前に東海道新幹線が開通した年である。600 形電話機は、本格的な高度成長期に突入したわが国の社会の象徴といえるものだった [図 5-8]。



図5-8 600形電話機
1962年に仕様書技術資料が発行されて商用に移行。
1964年より本格導入。

600 形電話機の本体は 4 号電話機よりやや大形になったが、ハンドセットは戦前の 3 号電話機、戦後の 4 号電話機に比べ小形になっている。これは日本人の耳と口との間の平均的な距離と角度の調査により決められたものだった [図 5-9]。

しかし、この変更は CCITT の規格との関係で問題を起こした。詳細は 265 ページで述べる。

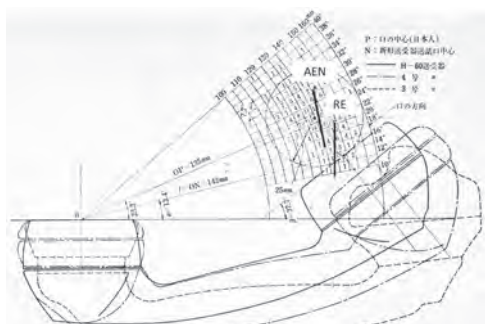


図5-9 600形電話機のハンドセットの寸法^{E9)}
日本人の耳と口との間の寸法を調査して決めた値だった。

5.3.1 T-60 マイクロホン

山崎新一らにより実用化された 600 形電話機のマイクロホンは T-60 と呼ばれる炭素粉マイクロホンで、粉粒室の形状、寸法などは T-4 を踏襲している。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、炭素粉の電気抵抗を感度の許す限り低い値とされた [図 5-10]。

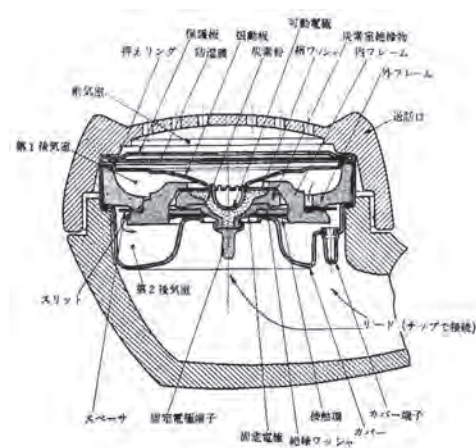


図5-10 600形電話機のT-60マイクロホン²⁾
4号電話機のマイクロホンに比べ量産に適した構造となっている。

基本的な設計は 4 号電話機の T-4 マイクロホンに準じているが、振動板の共振の制動にブックダンパを使用せず、フレームを 2 分割してその間に金属板を挟み、薄い空気層を形成してその間を通り抜ける空気

粘性を利用するスリットダンパを用いたなど、量産に適した改良が行われている。また、振動板は直径方向のコラゲーション(山形の成型)のないシンプルなコーン型とされた。電話機信号の周波数範囲ではコラゲーションがなくても振動板の屈曲振動が生じないことが確かめられたためだった。

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。スペシフィックレスポンスに比べ数値が 6 dB 低くなる。

T-60 マイクロホンは周波数レスポンスに 3 つのピークを持つ「3 自由度」の音響振動系構成とされており、共振周波数の異なる 3 つのピークが発生するので、4 号電話機に用いられた 2 自由度系に比べきめの細かい設計が可能となっている。振動板と炭素粉による共振周波数は約 1.4 kHz である。

T-60 マイクロホンは T-4 に比べ動抵抗が低い値とされた。一般に動抵抗は低いと感度が低下するが寿命が長くなる。T-60 マイクロホンの動抵抗は 30 ~ 40 Ω の間となっており、定格値は 35 Ω である。1000 Hz での感度の規格値は -52 dB とされた [図 5-11]。

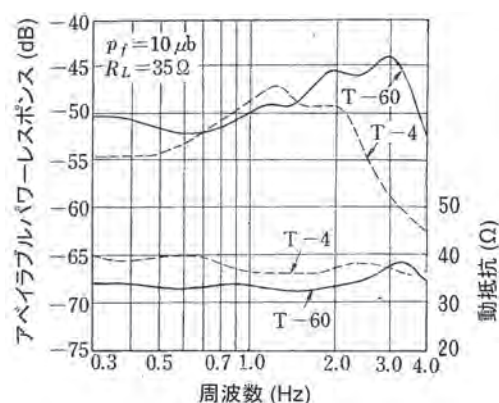


図5-11 600形電話機のT-60マイクロホンの感度と動抵抗の周波数特性¹⁰⁾

炭素室の寸法は4号電話機のマイクロホンと同じだが、特性が改善されている。なお、T-4の特性には送話孔の効果は含まれていない。

T-60 マイクロホンを測定する専用カプラには内部にハンドセットのマウスピースと同じ送話孔と前気室とが設けられ、電話機装着状態の特性が求まるようになっていた。

5.3.2 R-60 イヤホン

田島清らにより実用化された 600 形電話機のイヤホンは R-60 と呼ばれる電磁イヤホンで、R-4 と同じセンタアーアマチュア形だが構造は大幅に変化している。振動板は T-60 と同じくコラゲーションを省略したコーン形だが、上下が反転している。この方が磁気吸引力によるクリープ変形が少ないことが知られたためである。振動板の共振の制動には T-60 と同様のスリットダンパが用いられた。また、コストの低いバリウムフェライト磁石が用いられたので、低温により不可逆な磁力低下の生じる現象（低温減磁）については慎重に吟味された [図 5-12]。

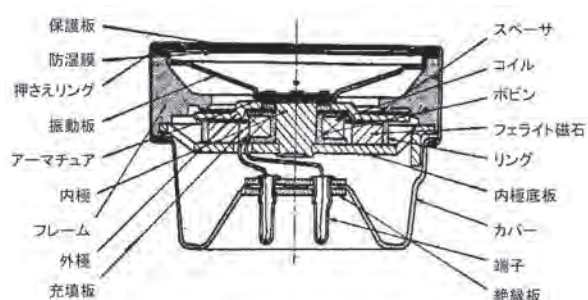


図5-12 600形電話機のR-60イヤホン²⁾

4号電話機のイヤホンに比べ量産に適した構造となっている。

R-60 イヤホンの設計は、これまでの基本研究を踏まえて定量的に行われた。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 と安全な値に設定されたが、1000 Hz での感度は 71 dB と 4号電話機用 R-4 イヤホンに比べ高く、また周波数特性も改善されて計測心理学より示された設計目標をクリアしている。電気インピーダンスは巻線の定数の調整で自由に選べるが、回路設計上の要求により、1000 Hz において 160 Ω とされた [図 5-13]。

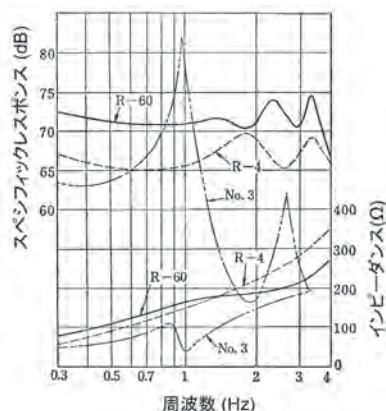


図5-13 600形電話機のR-60イヤホンの感度周波数特性とインピーダンス^{E12)}
4号電話機のイヤホンに比べ感度、周波数特性いずれも改善されている。

R-60 イヤホンを測定する専用カプラは内部にハンドセットの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まるようになっていた。R-60 イヤホンの出力測定には MR-103 標準マイクロホンが用いられた。

R-60 イヤホンは T-60 マイクロホンと同様に周波数レスポンスに 3つのピークを持つ「3自由度」の音響振動系構成とされており、共振周波数の異なる 3つのピークが発生するので、4号電話機に用いられた 2自由度系に比べきめの細かい設計が可能となっていた。振動板の共振周波数は約 1.5 kHz とされた [図 5-14] [図 5-15]。

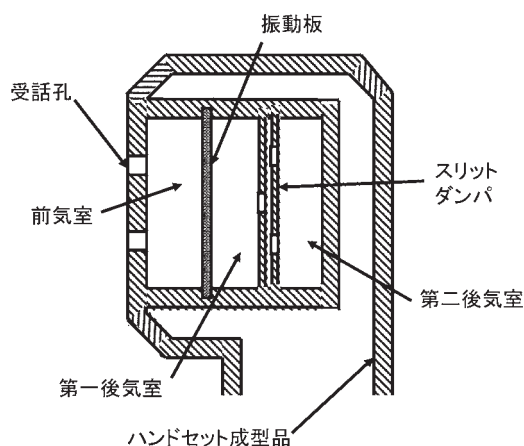


図5-14 R-60イヤホンの音響振動系の構成
振動板の後面にスリットダンパを挟んで2つの室が設けられている。

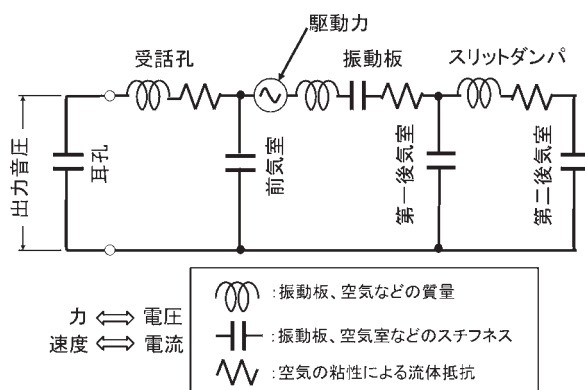


図5-15 R-60イヤホンの音響振動系の電気回路表示
これを用いて周波数特性を設計できる。

5.3.3 D-60、D61 ダイヤル

古沢昭らにより実用化された 600 形電話機の D-60 ダイヤルは、問題の多かった 4 号電話機のダイヤルに比べ各部の構成を根本的に見直し、高い信頼性と量産しやすい構造を狙ったものとなっている。また、ダイヤルインパルス速度を 4 号電話機と同じ 10 pps とした D-60 ダイヤルのほか、新しいクロスバー交換機に対応した 20 pps の速度をもつ D-61 ダイヤルも用意された [図 5-16]。

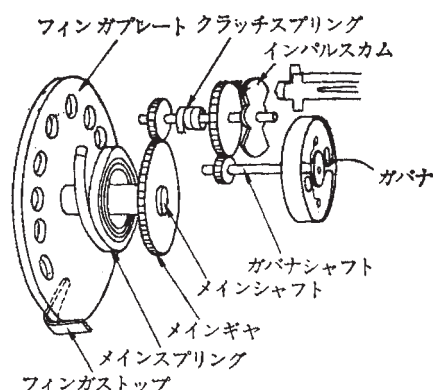


図5-16 600形電話機用D-60ダイヤルの構成²⁾

4号電話機のダイヤルに比べ新された構造となっている。

動力源となるメインスプリングは、針金のつる巻ばねからぜんまい状のうず巻形板ばねに変更された。また、うず巻の最外周を逆の曲線とする「S字うず巻」形状としてトルクを一定にしている。

インパルスカムを一定速度で回すためのガバナは無調整生産に向けた構造として、大型のウェイトをつる巻ばねで引いておき、金属製の円筒の内壁を遠心力でこするフライバ形が採用された。内壁をこするフリクションピースにはナイロン6が用いられた。カムを高速回転させる D-61 ダイヤルではウェイトを引くばねを強くする。

指で回すときには自由回転させ、ばねで戻るときにインパルスカムを駆動するクラッチは、爪によるラチェットではなく丸棒とつる巻ばねの摩擦を用いるスプリングクラッチを用いて構造を簡略化した。インパルス接点の駆動はカムで押す方式から、動作の確実な接点に割り込む構成に変更した。

さらに、埃の侵入を避けるため機構全体を覆うプラスチック製カバーを設けている。

数字をフィンガプレートの孔の中ではなく外に表示したためダイヤルそのものは大型になったが、内部の機構は 4 号電話機のダイヤルより明らかにシンプルになっている。この構成を一部に取り入れて 4 号電話機に適用可能とした 5 号ダイヤルが実用化され、

4 号電話機のダイヤルも改善されることとなった。

5.3.4 B-60 磁石電鈴

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。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なので、まだ定量的設計法が確立されていなかった。このため、設計にあたっては種々の構造を試作して動作特性が比較検討された [図 5-17]。

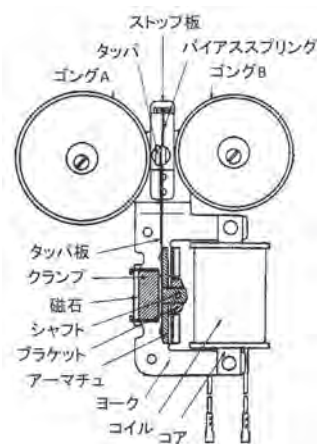


図5-17 600形電話機用B-60磁石電鈴²⁾

4号電話機の磁石電鈴に比べ合理化された構造となっている。

目新しいのは 2 つのゴングの大きさが異なることである。2 つのゴングは従来と同じ真鍮製で長三度（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であり、製造時に用意すべき板材料が 1 種類になる利点もあった。

従来の磁石電鈴は米国の電話機のものと同様に 2 つのコイルを用いていたが、B-60 ではこれを 1 つに簡略化した。米国の電話機は伝統的に電話回線の 2 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 2 つのコイルの間に直流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。

磁石は R-60 イヤホンと同様にフェライト磁石を用いている。また構造材を兼ねる磁気回路のヨークは量産性の高い鉄板プレス材とし、すべての部品をこれに装着するシンプルな構成とした。

5.3.5 複数の種類が用意された 600 型電話機の回路網

600 形電話機の電気回路はプリント配線板を用いて構成された。回路部品をバラ付けではなくプリント基板上に搭載したのは標準電話機では最初だった。側音防止回路方式は 4 号電話機と同じブースタ回路を用いている。

この回路の設計では側音平衡回路網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純抵抗と仮定して、コイルの巻線の電気抵抗で代用していたが、600 形電話機の設計に当たっては前述のように電話加入者線の電気インピーダンスを調査し、2 つの電気抵抗とコンデンサを組合せた回路を用いて側音防止特性を改善することとした。

こ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 形電話機では炭化珪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例となった。

この回路のいまひとつの特徴は、加入者の交換機からの遠近による信号レベルの相違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、また炭素粉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、600 形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筐体を開き、ドライバを用いてこれを 0 dB に設定し直すこととした [図 5-18]。

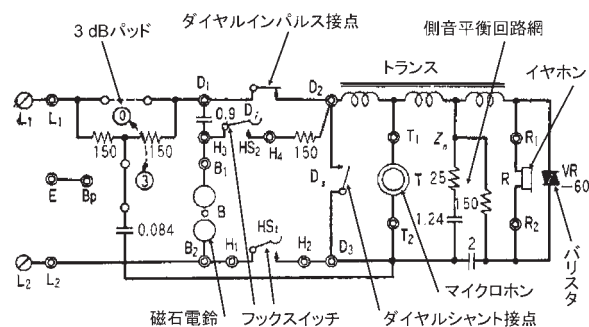


図5-18 600形電話機の電気回路²⁾

4 号電話機に比べ側音平衡回路網が 3 素子となり、イヤホンにバリスタが並列接続されている。また加入者線の損失に対応して切り替える手動パッドが加えられた。

この 3 dB パッドの手動切り替えが、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になるので、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り替えでは不可能である。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。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 [図 5-19]。

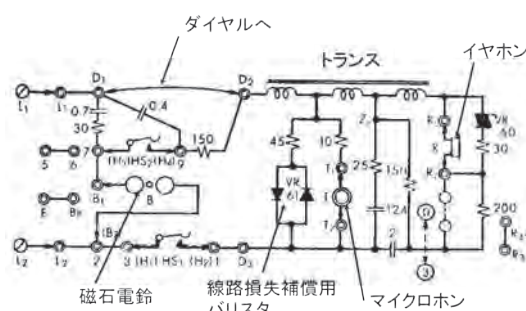


図 5-19 650形電話機の電気回路^{E13)}

加入者線の損失に対応して切り替える手動パッドに替えて、マイクロホンと並列接続されるシリコンバリスタが加えられた。

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形電話機ではすべての回路が手動パッドをもつことになった。

5.4 外国の電話機との比較

600形電話機の成果報告の一部として、マイクロホン、イヤホン、電話機回路を米国（500形）、英国（700形）、ドイツ（ジーメンス製）の既存電話機のものと比較した結果が報告された。但し、外国電話機のサンプルは入手できた1台の例なので、必ずしも代表特性とみなすことはできない²⁾。

マイクロホンはいずれも炭素粉マイクロホンで、炭素室の構造、寸法は相似である[図5-20][図5-21][図5-22]。

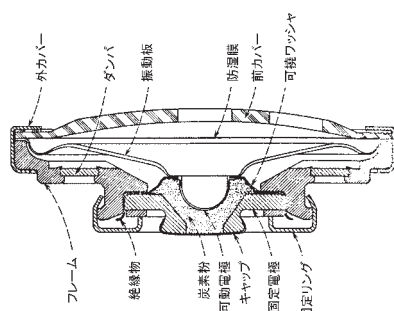


図5-20 米国500形電話機用T1マイクロホン^{E14)}

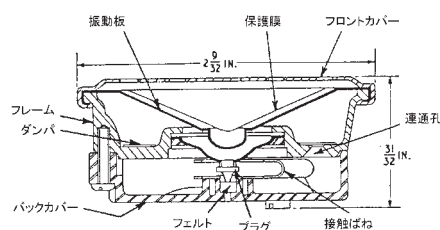


図5-21 英国700形電話機用T16MK1マイクロホン^{E15)}

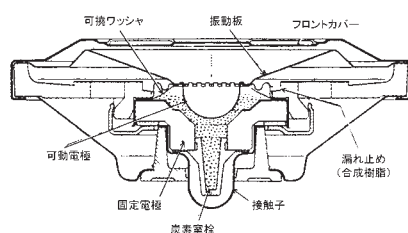


図5-22 ドイツ・ジーメンス製電話機用97マイクロホン^{E16)}

これら3種の電話機と600形電話機の送話特性が測定された。いずれもカップラを用いず、ハンドセット装着状態で平面波を加える自由音場特性である[図5-19]。米国、英国のものは低周波数と高周波数の感度差が大きく、音量よりは明瞭度を重視した設計と思われる。また動抵抗は600形以外は65～70Ωとなっている[図5-23]。

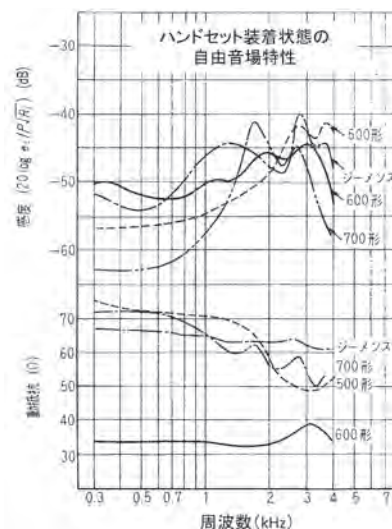


図5-23 600形電話機と米国、英国、ドイツの電話機の送話特性の比較²⁾

米国500形と英国700形は周波数による感度差が大きい。
動抵抗は600形が著しく小さい。

一方、イヤホンの構成は多種多様だった。米国のU-1 イヤホンは振動板の周辺に円環状のアマチュアを装着し、プレス加工した磁石を用いた構成である。英国の4-T イヤホンはてこを用いて振幅を拡大するロッキングアマチュア構造で、やや複雑である。いずれも電磁型だが平衡型に近く、振動板に作用する静吸引力は小さいと思われる。ドイツのH-61 イヤホンは静吸引力のない動電形（ムービングコイル形）で、磁石が巨大で重量も重い、振動板は金属ではなくプラスチック製である[図5-24][図5-25][図5-26]。

感度はカブラ（詳細不明）を用いて測定された[図5-27]。振幅を拡大している英国4-T はやはり高感度である。ジーメンス H-61 は高周波数領域の感度が低下している（別の機会の別サンプルの測定結果も同様だった）。

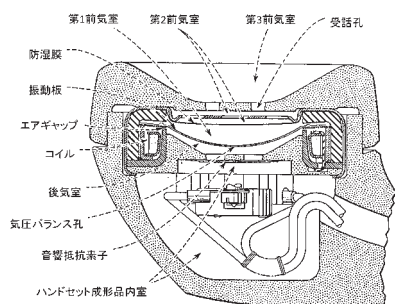


図5-24 米国500形電話機用U-1イヤホン^{E17)}

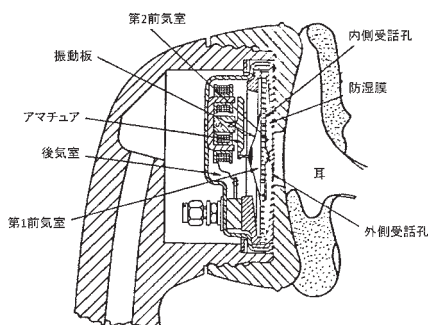


図5-25 英国700形電話機用4-Tイヤホン^{E18)}

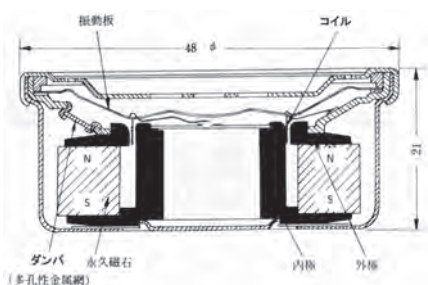


図5-26 ドイツ・ジーマンス製電話機用H-61イヤホン^{E19)}

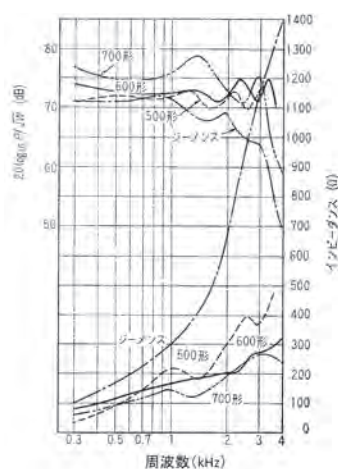


図5-27 600形電話機と米国、英国、ドイツの電話機の受話特性の比較²⁾

ロッキングアマチュア形の英国4-Tは感度が高い。

これらの電話機の側音防止特性が、電話局に近い条件と遠い条件とを対比して測定された。600形が明瞭度特性を重視し、低周波数領域より高周波数領域に重点をおいて側音平衡をとっているのが明らかである [図 5-28] [図 5-29]。

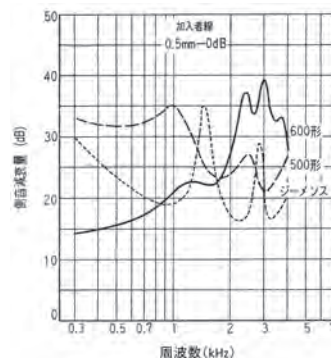


図5-28 側音防止特性の比較 (加入者線直結)²⁾

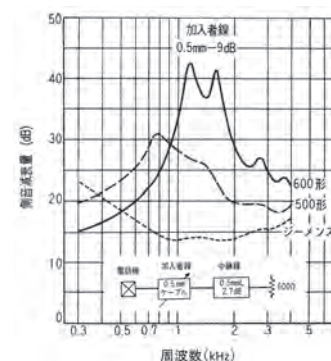


図5-29 側音防止特性の比較 (線路減衰量 9 dB)²⁾

5.5 600形電話機の問題点

600形電話機はその後約10年にわたり量産されて電電公社の顔となる。各メーカーが需要の大幅な増加に対応して自動製造ラインに投資するなどコストダウンに努めたので、購入価格の上昇があまり見られなかったのが特徴といえよう。

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採用された。部品加工は切削や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。例えば筐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硬質塩化ビニル樹脂とされ、磁石は前述のように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。

しかし、導入後にいくつかの問題点が顕在化した。

5.5.1 実装構造とその問題点

将来は全体組立も自動化されるという予測のもとに、回路網のプリント板や磁石電鈴の底板への取付けは、自動組立機に不向きなねじ止めではなくリベットを用いたかしめ加工が採用された。このため組み立て後の部品の取り外しが困難となっており、不良となった電話機は修理せずに廃棄する、という思想が見られる [図 5-30]。

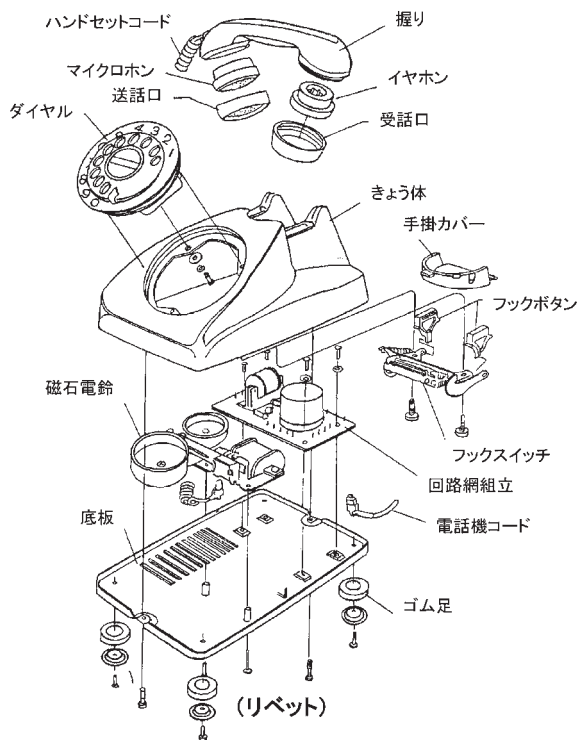


図5-30 600形電話機の実装構造²⁾

将来の自動組立て生産を想定して底板への部品の取付けはリベット止めとされた。

しかし、電電公社では現場に保全工作事務所が置かれ、クレームや設置場所変更で引き揚げた電話機の検査、補修、バフ磨きによる外観の美化が行われていた。リベット止めはこの作業の工数を著しく増やすことになった。

5.5.2 国際規格の計測法との関係の問題点

一方、ハンドセットの寸法の見直し（縮小）が CCITT の規格との関係で問題を起こした。国際規格では通話試験における送話者の口の位置を規制するガードリングの位置が耳を基準として決められているが、600 形のハンドセットでは RE（通話当量）を測定するためのガードリングの位置が送話口と干渉することになったのである。このハンドセット寸法は 1984 年の 800P 電話機まで踏襲されたが、1985 年の電話端末開放以後の電話機には採用されなかった [259 ページ図 5-9]。

また、手動パッド切り替えは世界的には少数派で、CCITT で測定されるサンプルはパッドを 0 dB（直結）に固定して送付されたので、伝送損失の小さい条件の測定では音量過大のため受話者がハンドセットを耳に密着することが不能となった。

こうした理由で CCITT 研究所では 600 形のみ測定条件の変更が必要となった。600 形の外国への輸出は行われなかったが、輸出商談があったら性能以前にこれらがネックになったと思われる。

なお、当時の国内の加入者回線では 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 mm 又は 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 径が標準となったが、0.32 mm 径は距離を限定して用いられた。

わが国の経済の高度成長に伴い電話機数も急増する。1966 年には稼働電話機数が 1118 万を数え、英国を追い抜いて世界第 2 位となった。600 形電話機は高度成長のシンボルとなっていく。

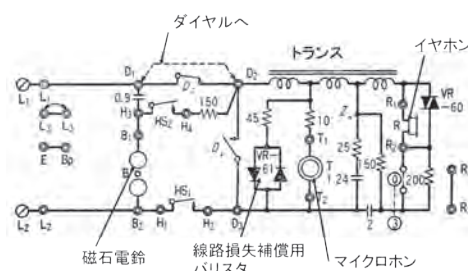
電気通信研究所と技術局宅内部門との協力

本文で述べたように、商用通信機器の購入仕様書の制定を本社の技術局調査部門に移管した後、通研の担当は現場試験（電電公社の部内での実使用試験）後、仕様書の元となる「仕様書技術資料」を技術局に送付するまでとなった。技術局はこれを受けて購入仕様書を制定し、事業への部分導入（商用試験）を開始する。

しかし、通研と技術局との連携が常時行われていたのは言うまでもない。通研主導の段階でも技術局は現場や業界の情報をもとに意見を述べ、また他部局との調整では矢面に立つことも多かった。一方、商用段階になっても通研はメーカー指導やトラブル対策を積極的に行っており、仕様書の変更にも関与した、

一例をあげよう。600形電話機が実用化されたとき、やや異なる通話回路をもつPBX（構内交換システム）用の650形電話機が同時に導入された。現場試験が終了して仕様書技術資料が送付されたとき、650形の磁石電鈴まわりの回路は600形と同じだった。

しかし本格導入のための最終設計ではこれが手直しされている。理由は、ある条件で発生するダイヤルインパルスのを低減するためだった。



PBX用の650A電話機回路(商用試験前)²⁾

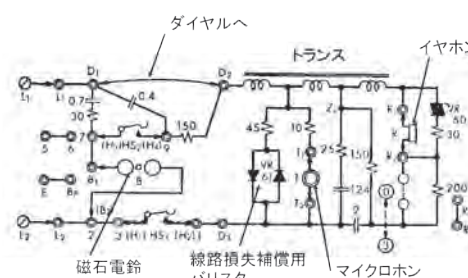


図5-19再掲) PBX用の650A電話機回路(商用機)^{E20)}

第5章の文献

- E1) 独立行政法人 労働政策研究・研修機構ホームページ（2020年6月閲覧）
- E2) 「近距離24通話路PCM方式」電気通信研究所第6回研究発表会（1965年10月）。
- E3) 三浦種敏（監修）：「新版 聴覚と音声」（電子情報通信学会、1980）、p. 417。
- E4) 三浦種敏、ibid.、p. 474。
- E5) 三浦種敏、ibid.、p. 476。
- E6) 三浦種敏、ibid.、p. 419。
- E7) 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（1964）、p. 167。
- E8) 早坂壽雄：「音響工学（改訂版）」（日刊工業、1962）p. 9。
- E9) 増沢健郎他、op. cit.、p. 143（大賀記入）。
- E10) 増沢健郎他、ibid.、p. 26。
- E11) 増沢健郎他、ibid.、p. 55。
- E13) 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, K.

Suzuki: "Type 600 telephone set", Rev. E.C.L., 12, 9-10, pp. 581-643 (1964).

- E14) D. R. Means, F. J. Harvey: "T1 carbon transmitter model for use in computer-aided analysis of telephone set transmission characteristics", Bell Sys. Tech. J., 54, 7 (Sept. 1975), pp. 1301-1318.
- E15) A. C. Beadle, F. J. Harvey: "A new carbon transmitter - Transmitter Inset No. 16", Post Off. Elec. Engng., 58, 2 (Jul. 1965), pp. 102-106.
- E16) Georg Dehn, Martin Sauer: "Fernsprech Kohlemikrofon 97", Siemens Zeitschrift, 7 (Jul. 1963), pp. 532-536.
- E17) E. E. Mott, R. C. Miner: "The ring armature telephone receiver", Bell Sys. Tech. J., XXX, 1 (Jan. 1951), pp. 110-140.
- E18) J. S. P. Robertson: "The rocking-armature receiver", Post Office. Elec. Eng., 49, 1 (Apr. 1956), pp. 40-46.
- E19) 山上、岩本：「61形電話機」、外国通信技術、No.14 (1967年7月)。又は、E. Mueller: "Feinwerk Technik, 69, Jhrg. (1965) Heft. 9, pp. 399-406.
- E20) 増沢健郎他、op. cit.、p. 129。

6 | 種々の要素技術の研究と多彩な電話機の実用化

600形電話機の生産数は年々大幅に増加し、メーカー各社は自動生産設備に投資してこれに対応していた。通研では600形電話機の部分改良を検討したが、メーカーは設計変更に同意しなかった。

このため、その後の電話機の検討は新しい機能を持つ600形の変形モデルの実用化に向けられることになった。

6.1 600P電話機「プッシュホン」

6.1.1 電話機へのトランジスタの導入

従来の回転ダイヤルに代えて押しボタンダイヤルをもつ電話機は、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電気通信研究所の田島清、中沢始らにより検討され、1968年に送られた仕様書技術資料を基に600P電話機として商用化された[図6-1]⁶⁾。

この電話機の名前は一般公募され、「プッシュホン」となった。これに対し、従来の回転ダイヤルをもつ機種は600A、650Aなどと呼ばれる。



図 6-1 600P電話機「プッシュホン」
計算サービスのためのダイヤルマスクを装着した例。
NTT技術史料館所蔵

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。

ダイヤル信号はインパルス信号ではなく、トランジスタ、コイル、コンデンサからなる発振回路を用いて、低群の4種の周波数と高群の3種の周波数からそれぞれ1つを選んで発振し、交換機に送る方式をとる。例えば、697 Hzと1209 Hzを組み合わせると「1」の信号となる。従来のインパルス信号をDP (Dial Pulse) 信号、新しい正弦波2種の信号をMF (Multi-Frequency) 信号又はPB (Push Button) 信号と呼ぶ[表6-1]。

PB信号は音声周波数帯域内の正弦波信号なので、交換機のみならず通話相手の装置をリモート操作できるのが大きな特徴である。

表6-1 押ボタンダイヤルの発信周波数
ボタンを押すと2種の周波数の正弦波が送出される。

1	2	3	697 Hz
4	5	6	770 Hz
7	8	9	852 Hz
*	0	#	941 Hz
1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	

ダイヤルスイッチは数字10種のほか* (星)、# (井桁) の2種 (機能ボタン) を加えた12種の押しボタンをもち、種々のサービスに使われる。

600P電話機の電気回路は600A電話機と同様にプースタ形の側音防止回路、手動パッドを持つが、従来のダイヤルの代わりに12の押ボタン、発振回路、そのために電源の極性をそろえる整流回路をもち、押ボタンを操作すると信号源選択スイッチによりマイクロホンが発信回路に交代するようになっている[図6-2]。

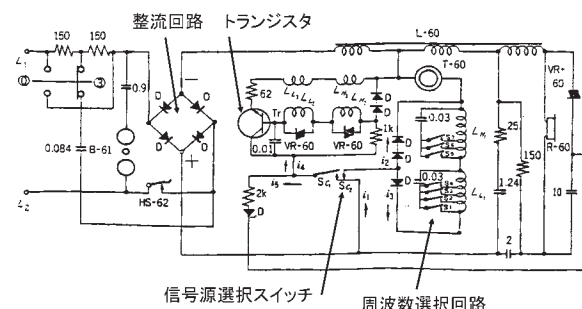


図6-2 600P電話機の電気回路⁶⁾

ボタンを押すとマイクロホンが切り離され、2種の周波数の正弦波が送出される。

600P 電話機は、雷サージの頻発など厳しい環境条件の下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。

6.1.2 B-61 磁石電鈴

600P 電話機は磁石電鈴も改良された。構造は 600A 電話機用 B-60 と同じだが、ゴングの中にアルミ板製のレゾネータ（共鳴器）を設置して音色を改善した。また、アマチュアの振幅を制限するレバーを付加して音量を小さく調節できるようにした [図 6-3] [図 6-4]。この磁石電鈴は B-61 と呼ばれる。

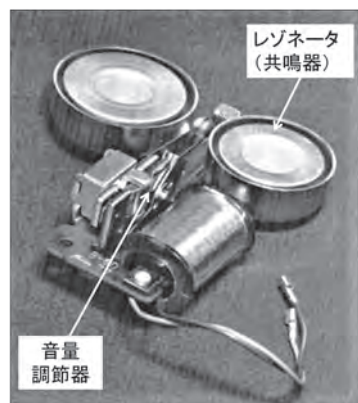


図6-3 600P電話機のB-61磁石電鈴^{F1)}

ゴング内部にレゾネータを設置して音色を改善、
また音量調節機能を追加。

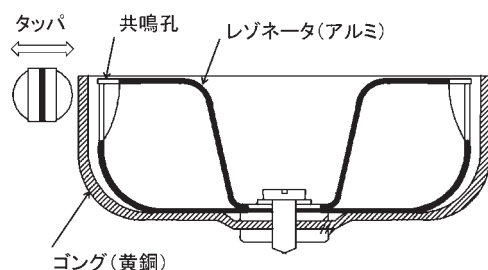


図6-4 B-61磁石電鈴のゴングとレゾネータ
レゾネータはアルミ板製で共鳴孔と共鳴室で構成される。

600P 電話機「プッシュホン」は高級電話機として発売された。発売 5 年後の 1974 年には設置数が 100 万台を超えている。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。

また、回転ダイヤルをもつ 600A などの電話機にも B-61 磁石電鈴を装備したモデルが用意された。

6.2 トランスデューサの研究と 600L高感度電話機

一方、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すすめられ、600 形に比べ感度の高いマイクロホン、イヤホンの実現が可能となってきた。

そこで、電話局から遠くて線路の減衰損失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失 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 600L 電話機として導入の運びとなった¹³⁾。

6.2.1 炭素粉マイクロホンの高感度化

炭素粉マイクロホンの構成は、傾斜角の変化に対して安定という理由で世界的に半球形粉粒室を持つ構成に統一されていた。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で感度を上昇することだった。電話局からの供給電流はほぼ一定なので、炭素粉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で動作する。しかし、通常の無煙炭の焼成により作られる炭素粉粒は、焼成温度を低くして電気抵抗を大きくすると揮発成分や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、最も寿命の長い炭素粉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。炭素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ていた。

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。顕微鏡で見ると通常の炭素粉粒が「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。

更に、電話局から遠い加入者では電話機へ流入する

直流電流が小さいので炭素室を小型化することにより電流密度を上げ、感度を上昇できる。また、小型化された炭素室の機械特性に適合したスチフネスの小さい振動板により感度を更に上昇することができる[図 6-5]。

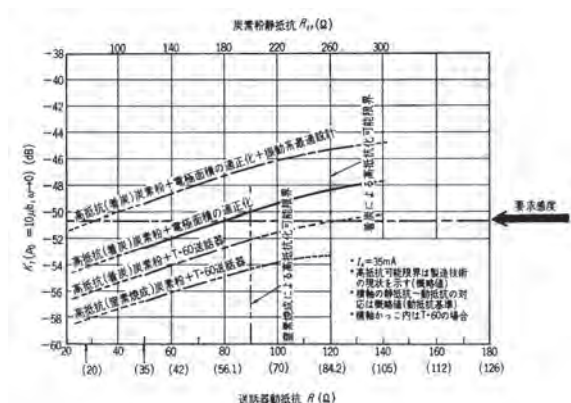


図6-5 高感度電話機のための炭素粉マイクロホンの実現¹⁴⁾

着炭による高抵抗炭素粉、小型の炭素室、これに適合する振動板により実現された。

(縦軸は振動系設計の効果を除いた零周波数での感度で、炭素粉の変換効率の実力を表す。また印加電流を35 mAとしているので50 mAの場合に比べ感度が約3 dB低い)。

こうした技術要素を統合して、山崎新一らにより高感度の炭素粉マイクロホン T-60L が実用化された。このマイクロホンは T-60 と同大の振動板と、半径が1 mm 小さい炭素室を持ち、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となった[図 6-6]。

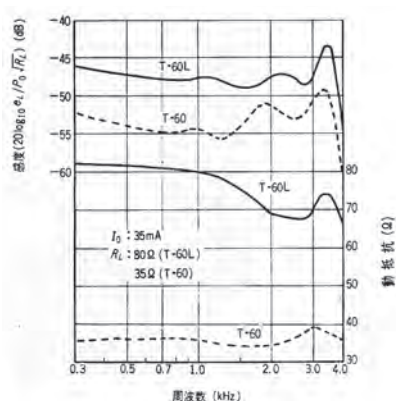


図6-6 600L電話機用T-60L炭素粉マイクロホンの特性¹³⁾

感度が600形電話機用T-60マイクロホンに比べ6 dB高く、動抵抗が80 Ωと高い。

6.2.2 電磁イヤホンの高感度化

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マチュア形(米国)、ロッキングアマチュア形(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マチュア電磁イヤホンが価格競争力を獲得し、米国の独立系電話会社(ATT社以外の運用会社)に大量に輸出されるようになった。これは日本(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といえた。

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はほぼ完成され、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[図 6-7]。

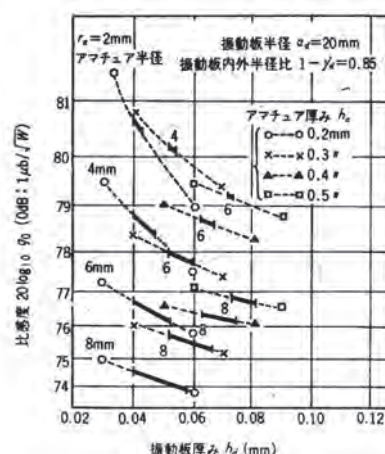


図6-7 電磁トランスデューサの設計範囲の解明¹⁴⁾

絶対安定条件と共振周波数の実現可能性から振動板の厚さの範囲が決められる。

(振動板はアルミ合金、アマチュアは鉄コバルトバナジウム合金、安定度は1.5以上)

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程度にまで減少可能な設計法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。村上正之はこれを元に23ミリ径の振動板を持つ小形トランスデューサを試作し、性能を確認した^{F2)}。後述するようにこれが1970年の大阪万博の無線電話機に用いられることとなる。

こうした成果を生かして、村上正之らにより高感度の電磁イヤホン R-60L が実用化された。R-60 と同大の振動板を持ち、1000 Hz での感度は75 dB、電気イ

インピーダンスは 200 Ω 、安定度の下限は 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、低温減磁の少ない鉄、ニッケル、アルミ、コバルト合金磁石が用いられた [図 6-8]。

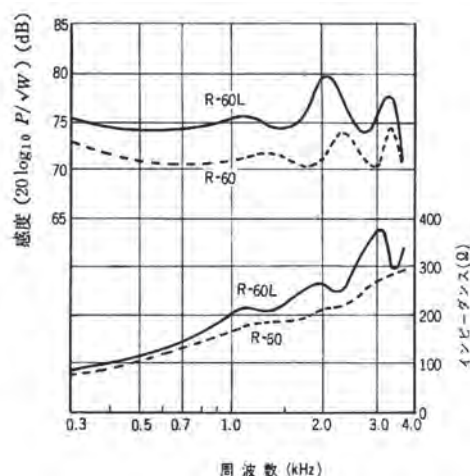


図6-8 600L電話機用R-60L電磁イヤホンの特性¹³⁾
感度が600形電話機用R-60イヤホンに比べ4 dB高い。

6.2.3 高損失加入者用 600L 電話機

600L 電話機の電気回路は 600 形をはじめとする従来の自動式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。

この電話機ではマイクロホン、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、高損失の電話回線の電気インピーダンスはばらつきが大きい。そこで電話機の内部に 5 種類の側音平衡回路網を用意し、加入者宅でに設置するときに簡易な測定器を用いて最適の回路網を選択する方式とした。600 形電話機のパッド切り替えは電話機を開いて行う構造となっており、現場の手間を増やすことになっていたので、回路網のノッチ切り替えは外部（底板に付けられた孔）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炭素粉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してインピーダンス整合をとる方式としたので、2つのトランスを持つ贅沢な回路となった [図 6-9] [図 6-10]。

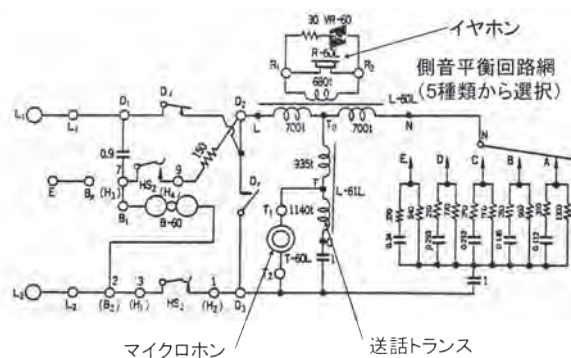


図6-9 600L電話機の電気回路¹⁵⁾

側音平衡をとりやすいブリッジ回路を採用し、別にマイクロホンのインピーダンスを補正する送話トランスを持つ。

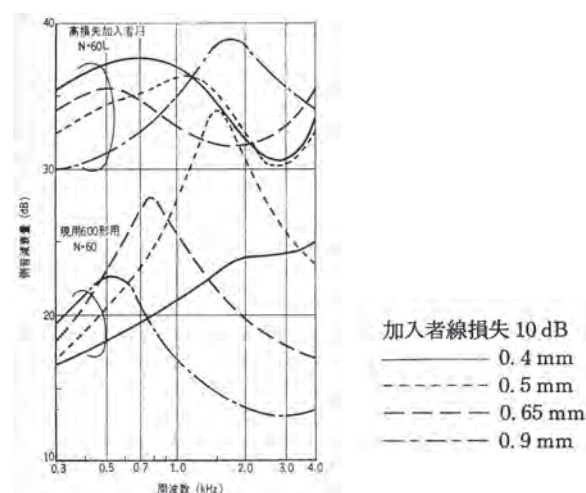


図6-10 600L電話機の側音防止特性¹³⁾

30 dB以上と、600形電話機に比べ高い減衰量が実現された。図の0.4～0.9 mmは電話回線の導体直径を表す。

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。

6.2.4 新しい粉粒マイクロホン材料の模索

1960 年頃より、当時電子回路に普及したシリコンの単結晶半導体、またそれを用いたダイオード、トランジスタを応用して新型のマイクロホンを実現することが提案され、多くの研究例が発表された。炭素粉マイクロホンに限られていた直流電流変調型マイクロホンの新材料による実現をもくろむものだった。

半導体単結晶の圧抵抗効果（機械的なストレスにより固有抵抗が変化する現象）はストレインゲージとして実用化され、同じ原理によるマイクロホンの製品も発表されたが、炭素粉マイクロホンに迫る感度は得られなかった。一方、ダイオードやトランジスタの接合部に振動板の動きによるストレスを針などにより集中

して加えて陽極特性の変化を生起させる構成が革命的な提案として注目された。これは非常に高感度だったが構造が微妙で、安価に量産できる可能性は低かった。

一方、電気通信研究所の基礎研究部は単結晶を用いない半導体マイクロホンを提案した。材料にシリコンではなく圧抵抗効果が本質的に大きい6族半導体（セレン、テルル）を使用し、単純に溶かして固めたインゴットを粉碎し、炭素粉マイクロホンと同じ構造の粉粒マイクロホンとする案で、新しい半導体素子を多数提案していた水島宜彦が発案し、白井誠一が材料の選択を担当した。天然材料の炭素粉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るのが特徴であり、セレン（Se）、テルル（Te）、アンチモン（Sb）の合金が微結晶性の使いやすい粉粒を得るのに適していることが知られた。試作結果では炭素粉マイクロホンと同等の電圧感度を示し、また信号の歪が格段に少なかった。

そこで筆者が変換特性の検討を担当し、動電駆動力を圧電測定、変位を静電測定する構成の3要素形バイプロメータを用いて粉粒の機械特性を実測した。位相の測定には当時材料研究に普及していたロックイン増幅器を用いた [図 6-11]^{F3)}。

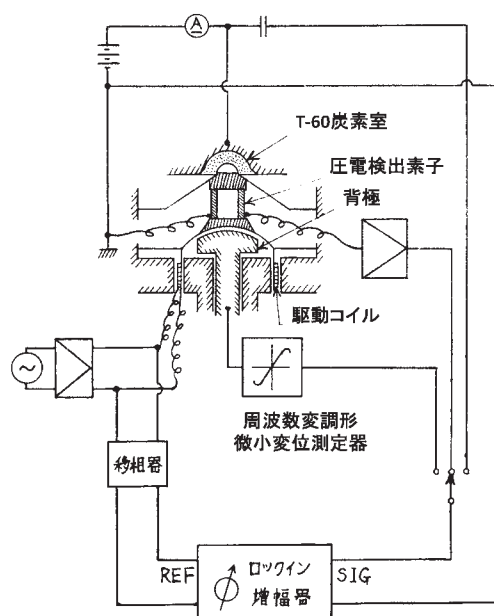


図6-11 3要素バイプロメータを用いた粉粒の機械特性の測定
位相の測定にロックイン増幅器を用いた。

測定の結果、半導体粉粒は炭素粉に比べて振幅に対するスチフネスの変化が少なく、また虚数部が小さいことが知られた。理由は表面性状の相違により粉粒同士の滑りが少ないためと解釈され、これは粉粒の走査電子顕微鏡による観察でも裏付けられた [図 6-12]。

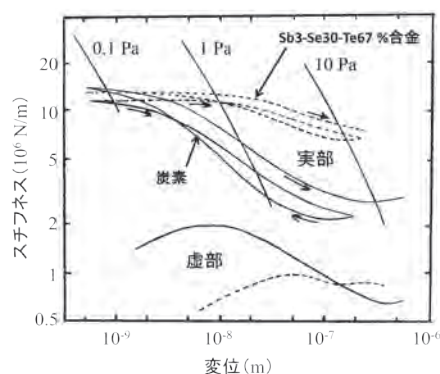


図6-12 Se-Te-Sb合金粉粒と炭素粉のスチフネスの比較^{F3)}

合金粉粒は非線形性が少なく、信号歪の少ないマイクロホンができる。電話機のマイクロホンの入力音圧は約1 Paである。

この測定はいずれも従来のマイクロホン用炭素粉と同じく 60/100 メシユの粒度の粉粒で行われている。粗い粉粒（35/60 メシユ）では変換特性がやや不安定となった。また細かい粉粒（100/160 メシユ）では振幅の増加、減少の経路の相違（ヒステリシス）が目立った。

この検討より、半導体粉粒マイクロホンの波形歪が少ないのは、スチフネスの線形性が高いためであることが知られた。一方、このマイクロホンは電気抵抗が炭素粉マイクロホンより高いので電力感度が炭素粉マイクロホンを凌駕することができず、電話機用として炭素粉に置き換わるのは困難だった。

次章で述べるように、炭素粉マイクロホンは次期の電話機まで用いられることになる。

6.3 音場の基礎研究とハンズフリー電話機

通話者の机の上にマイクロホンとスピーカを配置し、ハンドセットを保持しないで通話できる拡声電話機（又はハンズフリー電話機）は電話機の理想形態の一つとされて、商品化された例もあった。とくに1960年代に米国で商品化されたものは、回路技術的な検討に裏付けられた高性能のものであった。

電電公社で拡声電話機の研究を開始する動機となったのは、1970年に大阪で開催された万国博覧会に未来の電話としてテレビ電話を展示することだった。画面にハンドセットをもった姿が映るのはよろしくないという発想である。そこで基礎研究部の筆者らが基本検討を行うこととなった。

拡声電話機ではスピーカからの出力音が室内音場を通してマイクロホンに届き、側音としてスピーカに

帰還される。この一巡利得（ループゲイン）が1（0 dB）より大きいとハウリング（発振）が生じて通話不能となる。この頃までに実用化された各社の拡声電話機では、嚴重なハウリング防止対策のため、受話音量が小さいなど通話品質が不十分となる例が多かった [図 6-13]。

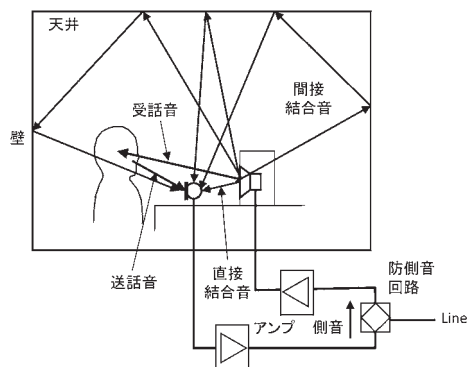


図6-13 室内の音響反射によるハウリング^{F4)}

信号のループが構成され、ループゲインが1より大きいとハウリングが生起する。

6.3.1 ハウリング生起条件の基礎研究

ループゲインはスピーカ、マイクロホンの感度、側音減衰特性、電気回路の利得より計算できるが、実際にはスピーカ～マイクロホン間の室内音場では周波数ごとの位相回転が激しく、周波数レスポンスには高いピーク、深いディップが非常に高い密度で発生する。ハウリングは概ねそのピークの周波数で発生するので、室内音場の伝送特性を定量化しなければハウリングを予測した設計が困難となる。このため、従来ほとんど電話機設計に関連がなかった室内音場伝送特性の解析が必要となった [図 6-14]。

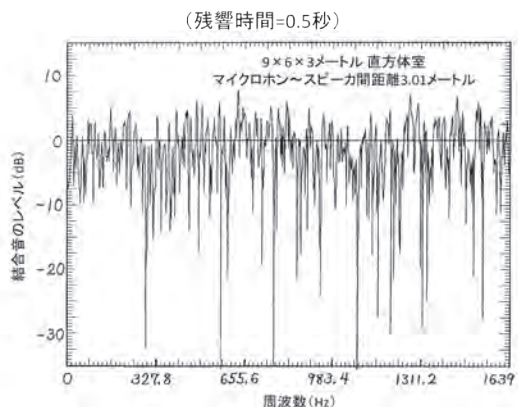


図6-14 理想的な直方体室の残響音伝送特性のシミュレーション^{F5)}

9×6×3 m³、スピーカ～マイクロホン間3.01 m（直接音が無視できる距離）。当時高速を誇ったスーパーコンピュータで厳密計算。

ハウリングの予測には、直接音と間接音の加算によるパワーレベルに対して生起するピークの高さを見積もることが必要になるが、室内伝送特性は壁や天井の条件の変化、ドアの開閉、人の動きなどにより刻々変化するので決定論的な予測は不可能であり、統計的な解析が採用された。[図 6-15]

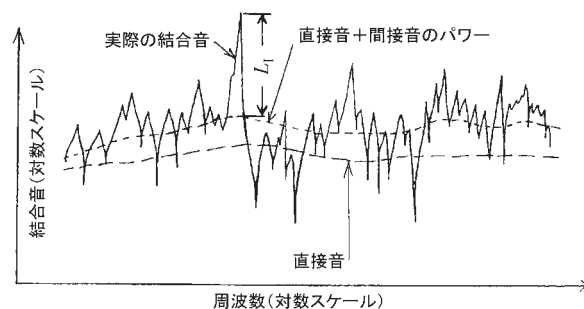


図6-15 ハウリングの生起条件^{F6)}

伝送特性の位相は周波数により急激に変化するので。ハウリングはピーク付近で発生する。レベル上昇量Lの予測が必要となる。

このために用いられたのが、S. O. Rice（ベル電話研究所）が真空管の内部の電子の流れを時間軸上のポアソン過程と考えてショット雑音による振幅分布の統計値を求めた手法だった^{F7)}。M. R. Schroeder（ゲッティンゲン大学）がこれを周波数軸上に置き換えて室内音場特性を定量化した^{F8)}。さらに、服部昭三（電気試験所）はこの手法を用いてサウンドレベルメータ（旧称「騒音計」）を残響室で校正するときの測定精度を定量化した^{F9)}。

筆者らはこの解析手法を用いて、スピーカ～マイクロホン間の直接音と室内反射による間接音が混在するときのピークの高さ（デシベル変換後）の統計値を解析し、生起確率の計算値を得た [図 6-16]。

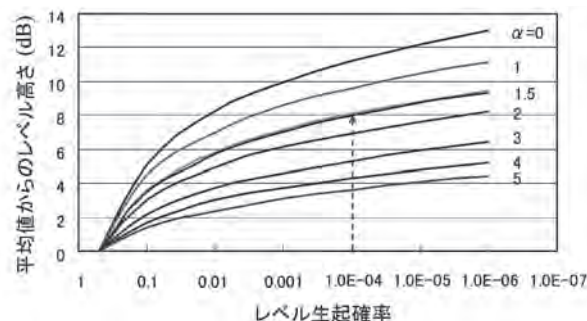


図6-16 パワーレベルからのピークの高さの統計値^{F10)}

α は直接音と間接音のパワー比。例えば α が1.5のとき、ピークが8 dBを超える確率は1/10000となる。

この検討よりピークの性質についていくつかの知見が得られた。例えば、ピークの高さの統計値は残響時間によらない。すなわち、残響の多い環境ではレスポンスの山、谷がより密集するが高さの分布は変わらないのである。これは回路設計上有利な情報となった。

しかし、確率をどの値に設定して設計すればよいかは統計解析からは断定できない。このため、残響室などを用いて多種の条件の実験で実用性を検討し、確率 $1/100000$ という暫定値を設定した。

6.3.2 音声スイッチ回路の試行錯誤

こうした検討を踏まえて、種々の形態の拡声電話機のループゲインを概算した。当時は電話回線の伝送損失の低減が進んでおり、総括局階梯、中心局階梯に続いて集中局（加入者を収容する端局の1階梯上位）以上までが早期に無損失となり、電話回線の伝送損失の最大値が早期に32 dBから25 dBに低減される見通しがあったのが拡声電話機の導入に対する追い風と考えられていた。

マイクロホンとしては全指向性マイクロホンのほか、安定な特性が低価格で得られるようになっていた指向性マイクロホンも検討に加えた^{F11)}。また小型の指向性スピーカも試作して特性を吟味し、検討の対象とした〔図6-17〕。

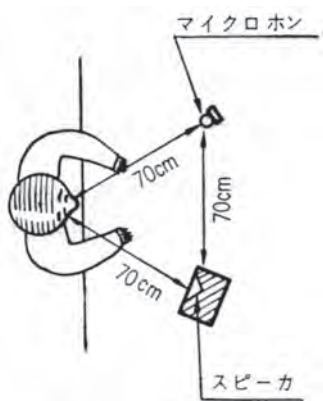


図6-17 拡声電話機の配置の例^{F15)}

当時一般的だった配置。しかし分散配置は不便という声もあった。

結果は、回線の伝送損失が改善された後でもほとんどの例でループゲインが1 (0 dB) を超え、20 dB 以上になることが多かった。したがって電気的なハウリング防止手段が必須と判断された〔図6-18〕。

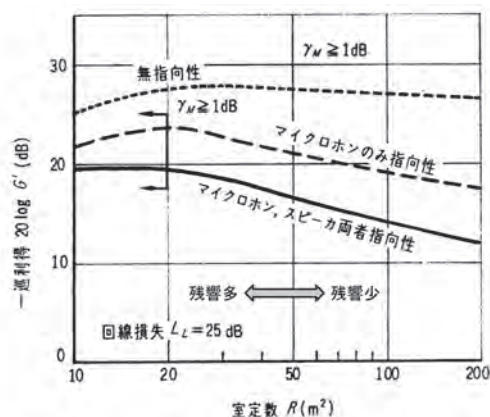


図6-18 図6-17の配置の時のループゲイン^{F12)}

受話音圧レベルを75 dBと仮定。残響の多い環境ではループゲインは最大28 dB、指向性マイクロホンを用いても25 dBに達する。

なお、指向性マイクロホンの効果はループゲインの低下だけではなく、残響音を4～6 dB抑えて信号音声抽出する効果が大いことが理論計算で知られていたが、実用的な低減量は回折効果も加わってこれより大きいことが試作実験により確かめられた。これに比べ、指向性スピーカは高出力を保った小型化が困難で実用性に問題があった。

この結果より、いずれにしても電気的なハウリング抑圧手段が必須であることが確認された。

当時使用可能だった手段は、送話側、受話側の双方に可変減衰器をおき、音声信号のある方の減衰器を0にし、反対側に減衰を挿入する「音声スイッチ回路」だった〔図6-19〕。

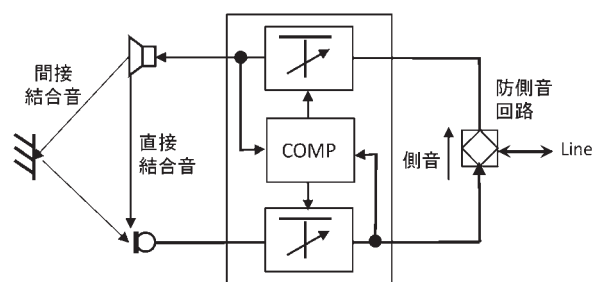


図6-19 音声スイッチ回路の例

信号音声のある側の減衰を0にし、反対側に減衰を挿入する。

この回路はハウリング防止には極めて有効だったが、通話音声の開始部分を切断してしまうなど、通話品質を低下させるのが大きな欠点だった〔図6-20〕。

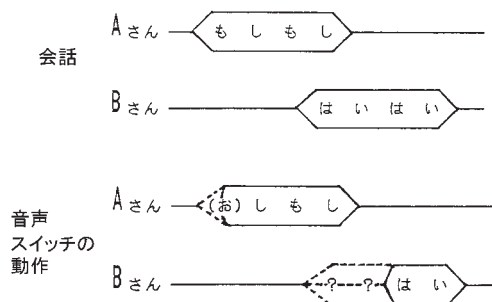


図6-20 音声スイッチ回路による音声信号の劣化
信号音声の検出が遅れると開始部が切断される。
また同時通話ができない。

商品としての拡声電話機を実用化するには、音声スイッチ回路による通話品質の劣化をなるべく軽減することが必要と判断された。

6.3.3 指向性マイクロホンが特徴のS-1P拡声電話機

電電公社で最初の拡声電話機S-1Pは加藤邦紘らにより実用化され、1979年に商用に移された〔図6-21〕。

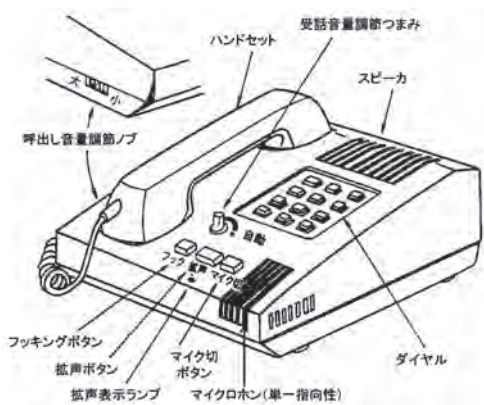


図6-21 S-1P拡声電話機^{F14)}

全てを大型の筐体に収容した。指向性マイクロホンを用いた。
また同時通話ができない。

実装構造は使い勝手を重視し、マイクロホン、スピーカなどすべてを同一筐体に収容した1ピース構成となった。マイクロホンには単一指向性のエレクトレットコンデンサマイクロホンを用いた。従来見られた国内外の製品では、通話者のポジションフリーを重視し、指向性マイクロホンを用いた例がほとんどなかったので、その商品性は注目された。

回路の構成は600P電話機に拡声通話機能を付加したものだだったが、拡声通話機能の電源としてAC 100 Vを使用したのは、電電公社の標準電話機となる機種としては最初の例となった〔図6-22〕。

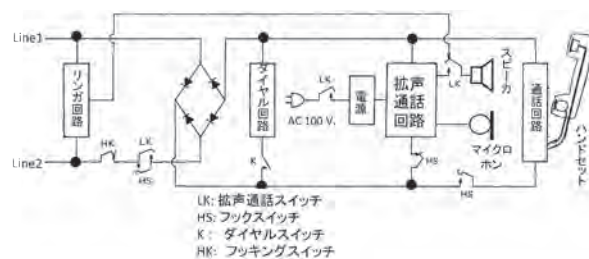


図6-22 S-1P拡声電話機の回路構成^{F15)}

600Pプッシュホンに拡声電話機能を付加した構成。拡声電話機能のためAC 100 V電源を用いる。

この電話機の音声スイッチ回路には、通話品質の劣化をおさえる工夫が凝らされていた。通話当初には可変減衰器の減衰量を最大としておき、受話音声のマイクロホンへの回り込む量を観測して減衰量を必要最小限の値に調整する。例えば線路の減衰量が小さく、側音減衰量が大きく、またスピーカ音量の設定が小さいと、減衰器による音声の減衰が少なくなり、減衰側の音声も小音量で聞こえるようになる。これは通話品質の向上に顕著な効果をもたらした〔図6-23〕

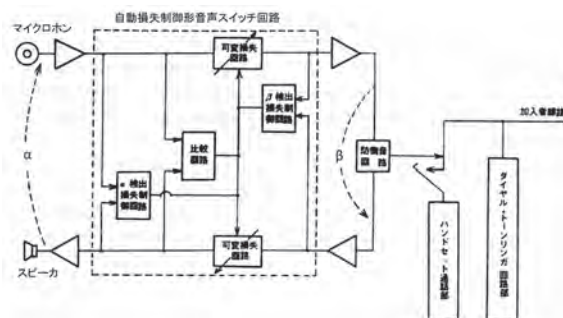


図6-23 S-1P拡声電話機の拡声通話部の回路構成^{F15)}

通話の条件により可変減衰器の減衰量を適応調節する機能がある。

S-1P 拡声電話機はマイクロホン素子を音場測定により選別して感度偏差を絞り、また指向性を損なわないよう複雑な実装構造をとった。さらに、スピーカはダイカスト製の堅固な箱に収容し、回路は個別部品で組んだなどのため大型高価なものとなったが、パイロット商品としての役割は果たしたといえる。

エコーキャンセラ

S-1P 拡声電話機の特徴は指向性マイクロホンと音声スイッチ回路とを用いたことだったが、音声スイッチ回路は現在の拡声通話系や会議通話系ではほとんど使われなくなった。現在は電気的なハウリング防止にはエコーキャンセラシステムを用いている。

このシステムでは信号をデジタル変換し、ソフトウェアによる FIR (有限インパルスレスポンス) デジタルフィルタを用いて処理する。デジタルフィルタは DSP (デジタルシグナルプロセッサ) チップ内での 1 次連立方程式を解く計算などで実現され、その伝送特性はフィルタ係数の変化で自由に制御できる。

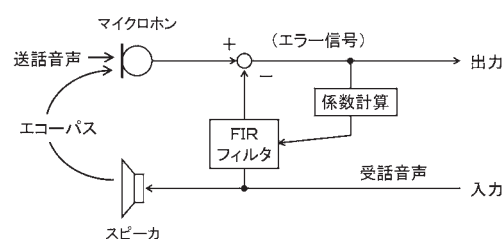
図のような通話系で、送話信号がなく受話信号があるタイミングで、マイクロホン出力とデジタルフィルタ出力の差 (エラー信号) を観測し、これがゼロになるようなフィルタ係数を計算してメモリの中の係数データを置き換えると、エコーパスによる音響結合がキャンセルされることになる。音声スイッチとは異なり波形そのものを引き算するので、通話品質への悪影響は全くない。

このシステムの問題点は計算量が膨大なことだった。残響時間 1 秒のエコーを消去するには原理的に 1/8000 秒の間に 8000 変数の連立方程式を解き、フィルタリングのための積和演算を行わなければならない。1980 年代まではこのような能力を持つ計算システムを電話機に搭載するのは困難だった。

マイクロコンピュータの進歩とともに DSP チップの性能が飛躍的に向上し、またメモリも大容量、高速となって、20 世紀最終期の頃からこのシステムを気軽に使えるようになった。今ではスマホの拡声通話機能にもこれが使われている。

エコーキャンセラはまた、その時点の音場特性をブラックボックスのままキャンセルしてしまうので、ハウリングの理論検討も設計には不要となった。

一方、指向性マイクロホンは通話品質の向上に有効で、現在も広く使われている。



エコーキャンセラの原理図 (F16)

第 6 章の文献

- F1) E.C.L. Technical Publication No. 205: "Model 601 Telephone Set - Improved Model 600 Telephone Set -", Elctr. Comm. Rab., N.T.T. (1979).
- F2) 村上正之、飛田瑞広、山崎新一:「携帯無線用 1TR 形送受話器」、研究実用化報告、18、11、(1969)、pp. 2985-2995。
- F3) Juro Ohga, Seiiti Shirai, Osamu Ochi, Toru Takagi, Akira Yoshikawa, Haruo Nagai, Yoshihiko Mizushima: "Granule microphone using selenium-tellurium alloy", J. Acous. Soc. Am., 64, 4 (Oct. 1978), pp. 988-994.
- F4) 大賀寿郎、吉川昭吉郎:「ハンドフリー電話機の鳴音条件に関する検討」、研実報、19、9 (1970)、pp. 1755-1767。
- F5) J. Ohga, H. Akiyama: "Prediction of howling of a sound system in acoustical environment with both reverberant and direct sounds",

WESPAC IX 2006, (June 2006).

- F6) Ohga & J. Sakaguchi "Prediction of howling of a sound system in a reverberant room", W. C. Sabine Centennial Symposium, ASA, 2aAA4d (1994).
- F7) 宮脇一男:「雑音解析」(朝倉書店、1961)、p. 35。
- F8) M. R. Schroeder: "Die statistischen parameter der frequenzkurven von grossen raumen", ACUSTUCA, 4 (1954), pp. 594-600.
- F9) 服部昭三:「拡散温情における音響機器の校正法に関する研究」、電試研究報告、669 (1957)。
- F10) J. Ohga, H. Akiyama, op. cit.
- F11) 大賀寿郎:「オーディオトランスデューサ工学」(日本音響学会／コロナ社、2013)、p. 163。
- F12) 大賀寿郎、吉川昭吉郎, op. cit.
- F13) "Model S-1P loudspeaker telephone set", E. C. L. 説明資料 (Feb. 1979)。

- F14) 藤田敏政、谷内信義、加藤邦紘、小島順治：「S-1P 拡声電話機の外形デザインと実装」、研究実用化報告、28、3（1979）、pp. 487-500。
- F15) 苗村明、加藤邦紘：「S-1P 拡声電話機」、研究実用化報告、28、3（1979）、pp. 451-461。

- F16) 大賀寿郎、山崎芳男、金田豊：「音響システムとデジタル処理」（電子情報通信学会 / コロナ社、1995）、p. 209。

7 | 石油ショックの嵐と 601 形電話機

7.1 成長の終焉への対応

1964 年の東京オリンピックの頃から続いた我が国の高度成長は、1970 年の大阪万博が過ぎても止まることがなかった。1972 年には電話加入数が 2000 万を超えた。

電話機も、年産 300 万台を突破するまで増産に増産を重ねても積滞数（設置を待っていた顧客数）は増加を続け、1971 年にはピーク値 291 万に達した。

それまで約 10 年間、電電公社の電話機購入価格はほとんど不変だった。メーカーにとって電電公社は向こう数年の購入を暗黙に保証し、毎月現金で支払ってくれる優良な顧客であり、需要増に対応するため自動化製造システムを導入してコストダウンに邁進したので購入価格を一定に維持できたのだった

ところが、1973 年暮に勃発した石油ショックがこの流れを突然断ち切った [図 7-1]。

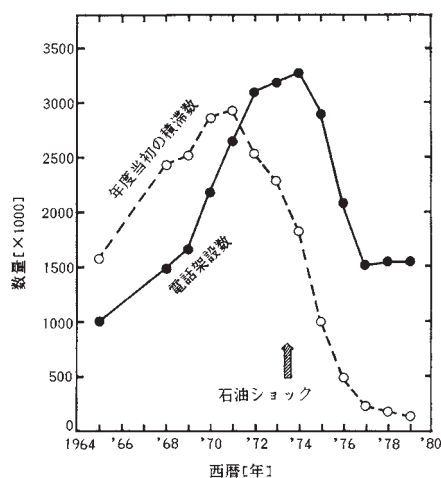


図7-1 我国の電話機数の成長と終焉
（総理府統計局：「日本統計年鑑」、
各年版（毎日新聞社、東京）より抽出作成）

7.1.1 石油ショックの影響

1973 年 10 月に発生した第 4 次中東線戦争に関連して、ペルシャ湾岸の 6 産油国がこれまで欧米に抑えられていた原油の価格を大幅に値上げし、更にアラブ諸国がイスラエル支持国への石油の禁輸を表明して世界を震撼させることとなった。第 1 次石油ショックの襲来である。

これに伴い諸物価が急激に上昇し、またメーカーの人件費も上昇した。日銀は公定歩合を 9 % にまで引き上げてインフレの沈静を図ったが、焼け石に水の感があった [図 7-2]。

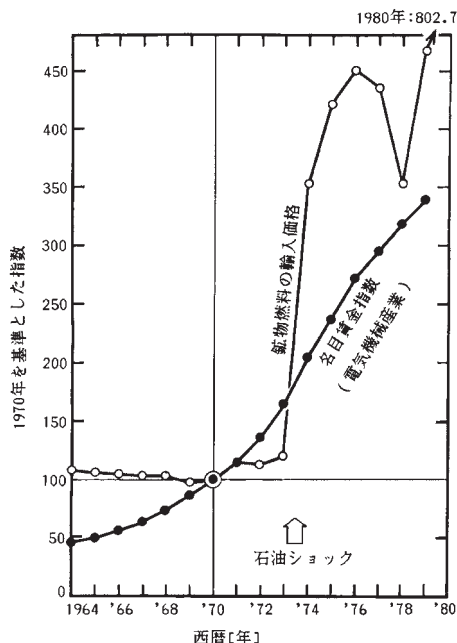


図7-2 石油ショックによる物価、賃金の激変^{G1)}
物価の高騰とともに賃金も急上昇し、各社の経営を圧迫した。

このままでは電話機生産の収支が原価割れとなる。危機感をもった電話機メーカーが電電公社に標準電話機の緊急の購入価格の値上げを申し入れた。しかし、顧客が電電公社に納入する料金は監督官庁の認可事項であり、簡単に変更はできない。このため電話機そのもののコストダウンが唯一の解と認識された。

7.1.2 コストダウンの目標と手段

標準電話機の緊急のコストダウンを目的として、1974 年より本社技術局（担当は堀場信雄調査役、倉島渡調査員）、電気通信研究所の 3 つの研究室（苗村明、浮津憲一及び山崎真一各室長）、メーカー各社が参加する緊急プロジェクトが発足し、1975 年から本格稼働することとなった。現場試験終了までは電気通信研究所が主導することになるので、組織をまたぐ委員会が結成され、その下に種々の作業部会が置かれた。新形電話機は 601 形と呼ばれ、部品の形番も従来のものの追番とすることになった。

筆者は基礎研究部から宅内機器研究部に異動して日

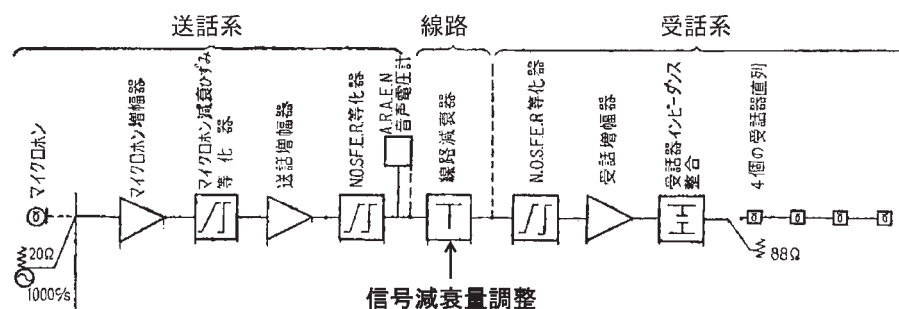


図7-3 通話当量評価の基準系NOSFER⁽⁶³⁾

例えば被試験送話系とNOSFER送話系をスイッチ切り替えて比較し、線路減衰器を同じ音量で受話できるように調整して、減衰量の差をRE値とする。

が浅かったが、マイクロホン、イヤホン、磁石電鈴の作業部会を主宰することとなった。

メーカーの希望は可能な限りの早期導入だった。そのために現場試験、商用試験といった手続きを簡素化しても良いのではないかというメーカーもあった。

一方、現場をバックにもつ技術局の希望は従来の600形との互換性の確保だった。現場で混乱を招かないために部品レベルでの互換性確保を主張した。

これらに対して、全委員会を束ねるリーダー格に就任した研究所の中澤始 研究専門調査役は、技術的に正論といえる基本方針を強力に提案した。これに技術局やメーカーの要求を包含して下記の方針が合意された。

1. コストダウンの目標は2割とする。1割では不徹底のそしりを免れない。3割を達成するには技術の根本的な変革を要し、時間的に間に合わない。
2. これを達成するためには、従来の600形電話機とは全く異なる電話機を実用化しなければならない。
3. このため、部品レベルでの600形との互換性は考慮しない。内部の接続端子も新設計とする。
4. 実用化には3年間をかけ、必要な信頼性確保の検討、現場試験は手抜きしない。
5. 営業部門の要求を受け、顧客対応現場での混乱を避けるため、外観イメージはコストダウンを損なわない範囲で600形に一致させる。
6. 量産数は有限と考える。したがって部品は全自動組立を可能とするが、総組立は人手によることを原則として設計する。
7. 現場で内部の部品を自由に交換できる構造とする。600形のリベット止め構造は部品の交換が不能となるので現場で欠点と認識されていた。使い捨ての精神は将来性が乏しい。
8. 現場で問題を生じていた手動パッド切り替えの

不要な設計とする。

9. 設計を簡易化するため、減少傾向の共同電話には用いない。
10. 従来の明瞭度等価減衰量（AEN）のほか、通話当量（RE）にも適合させる。電話機の進歩とともに日本以外では測定しやすいRE基準の設計に移行していたので。電話機の輸出による量産数確保を視野に入れるとこれが必須となる。

このような緊急事態ではともすると技術的な詰めが拙速になりやすいが、最低限ながら技術基盤の確保が可能となったのは、研究所主導の制度によるものだったといえよう。

7.1.3 音量をベースとした評価尺度「通話当量（RE）」への対応

我国の電話網の通話品質は伝統的に明瞭度を基盤としたAEN（明瞭度等価減衰量）を用いて評価されてきたが、当時わが国以外では単純に音量（ラウドネス）を基盤とするRE（通話当量）に移行しており、CCITTの伝送基準もこれで規定されていた⁽⁶²⁾ [図7-3]。

新しい601形電話機は国内向け生産数の伸びが頭打ちになるという前提で設計するので、輸出にも対応できることが望ましい。このため、コストダウン以外にAEN、RE両者の規格に適合させる設計とすることが決められた。

AEN、REいずれの評価を用いるかは電話機回路の側音防止特性の設計に影響する。明瞭度による評価を重視するには子音に含まれる高い周波数成分での平衡が必要となるのに対し、音量による評価を重視するには多くの音声パワーを占める低い周波数成分での平衡が重要となる。これをコストアップなしに両立させる前例のない技術が要求されることとなった。

7.2 急いで実用化された601形電話機

外観イメージを変化させない条件だが、コストダウン目標を実現するには、内部に用いる技術には大幅な変更が必要となる [図 7-4]。



図7-4 601形電話機は600形とは外観イメージをなるべく合わせた明らかに変化したのは重量（軽量化）と磁石電鈴の音色であった。

この頃には 600 形電話機実用化当時に比べてメーカーの技術レベルが格段に向上していたので、電電公社内の技術とともに委員会に参加したメーカーからの提案が重要な推進力となった。研究所には、多くの提案を技術的観点から評価し、選択して客観的に妥当な設計にまとめることが期待されることとなった。

7.2.1 T-62 マイクロホン、自動測定法の確立と信頼性保証

マイクロホン、イヤホンの設計にあたり、まず検討期間が短いので音響的な基本構成は 600 形用のものを踏襲することとした。したがってコストダウンと感度の調整は周波数特性を変化させず、材料、部品、構造の変更により行うことになる。

大きな課題が炭素粉マイクロホンの評価法だった。この種のマイクロホンは粉粒の機械的特性が不安定なので測定の精度確保が難しい。従来は粉粒の状態を一定にするため、カプラにより 1 Pa、300 Hz の音圧を加えながら振動板の上向き、下向きを毎秒 1 回の速度で 6 回往復回転させ、上向きから横向きにして止めた 10 秒後に 0.3、1.3、2.0、2.7、3.3、3.6 kHz の 7 点で測定することになっていた。この方法は専用の測定器が規定されており、測定値の再現性に優れていたのが今回も基本的に踏襲することにしたが、低周波数領域の測定点数が不足であり、また実使用状態との関係が不明だった。

このため、当時ヒューレット・パッカート社から商品化され始めていた自動計測のための HP-IB システム（後に IEEE 規格、IEC 規格となる）を用いて、同社の小型コンピュータでプログラム制御する測定システムを構築し、上記の回転処理の後に 0.2 ~ 5 kHz を連続に 4 回繰り返して掃引測定してマイクロホンを評価することとした。最低周波数を 0.2 kHz としたのは RE 評価に有用な領域を包含させるためである。また繰り返し掃引による感度と動抵抗の変化の観察は実使用状態を推測するのに有用だった [図 7-5]。

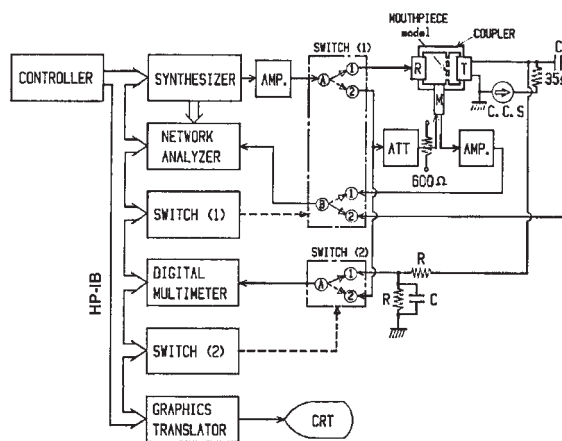


図7-5 炭素粉マイクロホンの自動測定系⁽⁵⁾

HP-IBを用いて構築し、コンピュータによるプログラム制御で自動測定する。

従来、炭素粉マイクロホンでは粉粒に接する電極は金属製で、表面を金めっきして用いるのが通例だった。コスト分析の結果、この金めっきの廃止と構造の見直しなどにより目標が達成できることが予想された。

当時、炭素粉マイクロホンの電極表面に金以外の材料を用いた例は世界的に少なかった。英国の電話機にニッケルの表面を炭素質とした例が見られたが、どのくらい多数が用いられたかは不明だった。ドイツの電話機ではマイクロホンの固定電極に炭素質のブロックを用いていたが、マイクロホンそのものが動抵抗 80 ~ 150 Ω 程度の高抵抗設計で、低抵抗設計の我が国のマイクロホンとの比較は難しそうだった。

金に代わる安定で安価な材料としては、やはり粉粒と同じ炭素材料が最適と考えられる。そこで種々の材料を比較した結果、振動板側の電極には銅板に熱硬化性のフェノール系炭素塗料を塗布して炉で焼き付けたものが、固定電極側にはプラスチック成形品を焼成して炭素化したものが適当と判断されたので、我々の工程に適した組成の材料とその処理法を検討した。

従来、炭素粉の「固有抵抗」として用いられてきた

のは、直径 9.5 mm、長さ 6 mm の絶縁物円筒を介して金めっき平板を対向させた容器で測定した電気抵抗だった^(G4)。今回もこれを用いて、焼成温度を変化するなどの方法で 10 種類程度の固有抵抗をもつ炭素粉を作成し、T-60 炭素粉マイクロホンの部品を用いて、

- T-60 と同じ金めっき電極（記号 A-A）
- 固定電極のみ炭素質電極（記号 A-C）
- 固定、可動電極いずれも炭素質電極（記号 C-C）

の 3 種の炭素粉マイクロホンサンプルを試作し、動抵抗を比較した [図 7-6]。

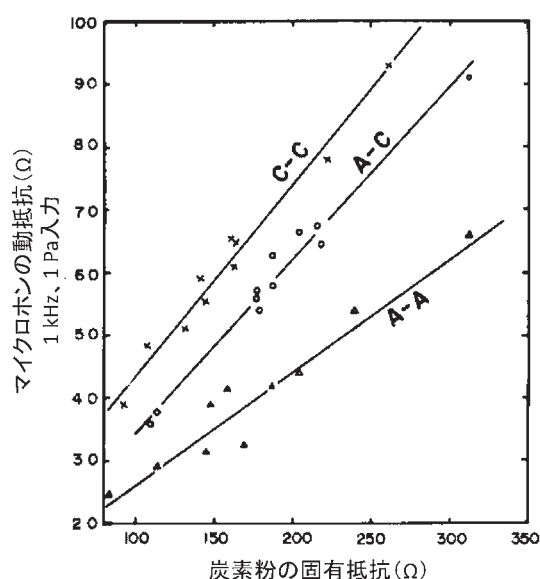


図 7-6 種々の電極を持つ炭素粉マイクロホンの動抵抗の比較^(G5)

A：金電極、C：炭素電極。A-Cは固定電極のみ炭素質。

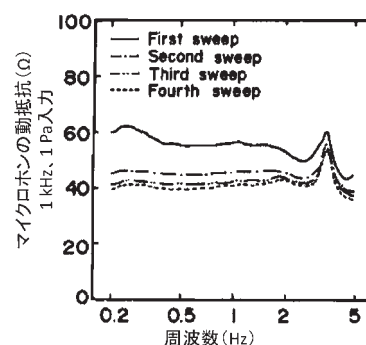


図 7-8 炭素電極を持つ炭素粉マイクロホンの動抵抗の繰り返し掃引測定^(G6)

振動板の共振点を通過すると低くなり安定する。

電極の相違による動抵抗（1 kHz、1 Pa 入力）の相違は明らかであり、電極材料の変更はマイクロホンの特性や信頼性に大きな影響を及ぼすものと予想された。

そこで、種々の電極の組み合わせに対して炭素粉粒の電気抵抗値を選択して、目標の感度を得られるマイクロホンを試作して繰り返し掃引測定を行った [図 7-7] [図 7-8]。

炭素質の電極を用いたマイクロホンは金めっき電極のマイクロホンに比べ繰り返し掃引による感度の変化が少ない。従来品に比べ特性が安定なのは追い風だが、電極の相違が特性に影響しているのは要注意で、電極の性質をしっかりと把握する必要があることになる。

また、繰り返し掃引による動抵抗の変化の測定結果より、振動系の顕著な共振により粉粒の状態が変化することが知られた。これは逆回りの周波数掃引によっても確かめられた。

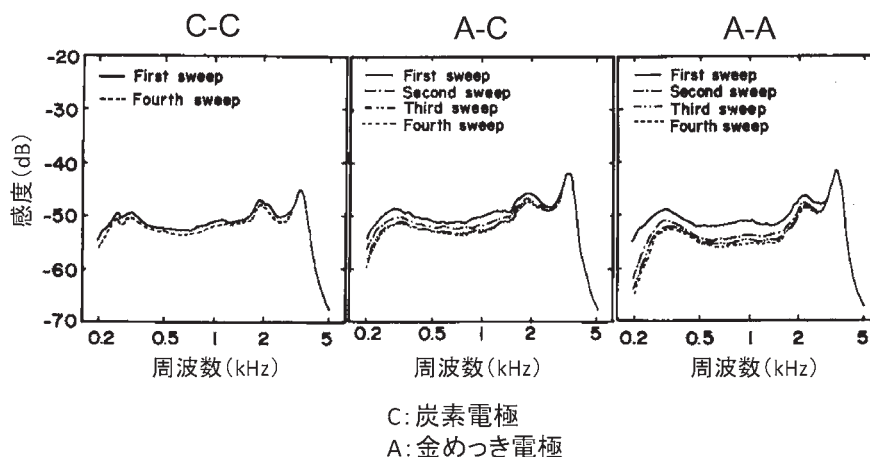


図 7-7 種々の電極を持つ炭素粉マイクロホンの感度の繰り返し掃引測定^(G6)

感度そのものは大差ないが、炭素電極のものは繰り返し掃引に対して安定である。

電極材料の変化が特性に大きな影響を及ぼすのなら、それによる信頼性の変化を検討する必要がある。しかし、当時炭素粉マイクロホンの経時劣化現象に関する知見は非常に少なかった。炭素粉が無煙炭（我が国で長く用いられてきたのはベトナム産ホンゲイ炭）という天然材料に由来するもので、その組成、結晶性などの物性の詳細が不明であり、その製造は経験に由来するところが多かった。したがって信頼性評価も使用実績によるところが大きく、加速試験の方法が未知だったのである。

しかし、今回のプロジェクトの実用化の期限は3年であり、その間に10年にわたる寿命を保証しなければならない。

そこでまず現用品の故障率を知るべく、現場の保全工作事務所に新品のT-60マイクロホンを支給し、加入者宅から引き上げられた古い電話機のマイクロホンと交換して使用年数3年以上のもの1453個を集め、1 kHzでの感度と動抵抗とを測定した [図7-9]。

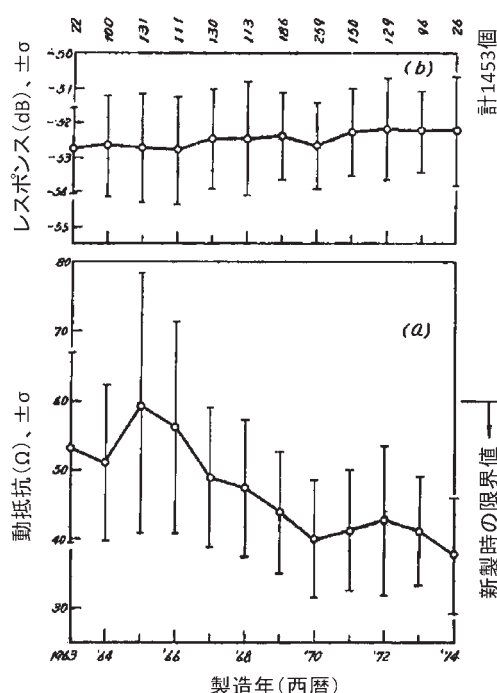


図7-9 従来型T-60マイクロホンの感度と動抵抗の経時変化の例⁽⁷⁾
サンプル1453個。感度は大差ないが動抵抗は徐々に上昇している。

製造年（刻印されている）は600形電話機の量産が開始された1963年から満遍なく分布していた。感度はほとんど変化していないが動抵抗が2 Ω /年程度の割合で上昇している。新しいマイクロホンなら感度は動抵抗の平方根に比例するから、動抵抗が増えても感度が一定というのは性能劣化なのだが、抵抗が上昇すると交換機から得られる直流電力が増大するため見

かけの感度がさして劣化せず、実用上の弊害が少ないのが炭素粉マイクロホンの特徴なのである。

T-60マイクロホンの新製時の動抵抗の上限値は80 Ω とされていたが、使用期間8年を超すとこれを上回るものが多くなる。それにつれて雑音も増加する。この中で明らかに通話に支障のあるものは少数だったが、これを不良品と定義して故障率（FIT数）を概算した。

この故障率を3年間で保証するには最低2000～3000個のサンプルを用いた実使用試験が必要なことが知られたので、当時武蔵野、横須賀の電気通信研究所内で使われていた約2400台の電話機のマイクロホン全てを試作品と交換して所員に日常使用してもらうことにした。試作品の一部には金めっき電極のサンプルも加えて比較できるようにした。緊急の試験なので、後述するように感度が従来品と2 dB異なっても伝送基準上の問題が生じかねないのは割り切ることを研究所の管理部門に了承してもらった。外したT-60マイクロホンは管理部門が保管して万一のトラブルに備え、また定期的に交換して試作品を引き上げ、研究室と協力メーカが特性を測定する。

こうした3年間の使用実績より故障品から求めた故障率（FIT数）は当初の基準より小さく、また故障品の中には金めっき電極のものが含まれていたもので、炭素質の電極を用いたマイクロホンの信頼性には問題がないと結論することができた。

この結果も踏まえて、コストダウン、感度上昇の目標を達成した最終設計を行った [図7-10] [図7-11]⁽³⁷⁾。

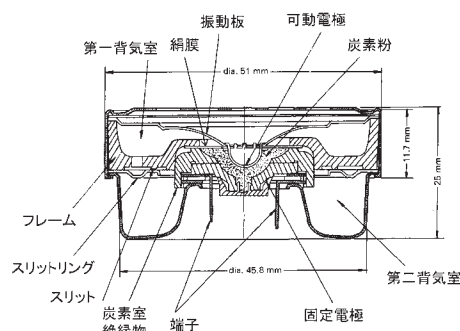


図7-10 601形電話機用T-62炭素粉マイクロホン⁽⁸⁾

スリットダンパはフレームに窪みを成型加工し、板を当てて形成している。

内部構造でT-60マイクロホンから変更したのは音響抵抗素子だった。T-60では独立部品のスペーサによるスリットダンパを用いていたが、T-62ではコストダウンのためプレス加工（コイニング）によりフレームに

窪みを設け、これを押さえる金属板と組み合わせて音響抵抗を形成した。これはR-62イヤホンも同様である。

このマイクロホンがT-62と呼ばれることになった。

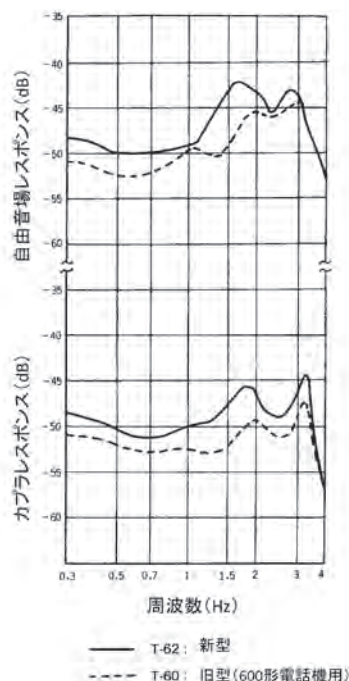


図7-11 T-62炭素粉マイクロホンの特性^{G5)}

ハンドセット装着状態で平面波を印加して求めた自由音場特性。T-62は回路設計からの要求で感度をT-60より2 dB上昇させた。

感度は600形用T-60と600L用高感度マイクロホンT-60Lの間の値となった。1 kHzにおける動抵抗の基準値には55 Ωが選ばれた。600形用T-60の35 Ωに比べ上昇しているのは炭素質電極の採用と感度の増加への対応によるものであるが、T-60Lのような炭素粉の着炭加工はしていない。このため、電気抵抗の調整は炭素粉粒の製造コストに影響を与えることはなかった [表7-1]。

表7-1 T-62、T-60、T-60Lマイクロホンの比較³⁷⁾

	T-62 今回実用化した送話器	T-60 現行標準電話機用送話器	T-60 L 現行高損失加入者電話機用送話器
実用化時期	1978年	1962年	1969年
外径	51 mm	51 mm	51 mm
高さ	25 mm	24 mm	24 mm
重量	32 g	37 g	47 g
1 kHzの比感度K (0 dB = $\sqrt{W/\mu\text{bar}}$)	-50 dB	-52 dB	-48 dB
1 kHzの動抵抗*R	55 Ω	35 Ω	80 Ω
直流供給電流の標準値	50 mA	50 mA	35 mA
可動電極	銅に合成樹脂系炭素塗料塗布	銅に金めっき	同 左
固定電極	炭素材料成形焼成品	銅に金めっき	同 左
マウスピース穴数	30	36	36
$K/\sqrt{R}$ (0 dB = $1 \text{ volt} / \mu\text{bar} \cdot \Omega$)	-67.4 dB	-67.4 dB	-67.0 dB (ただし供給電流 35 mA)

* 振動板に音圧がかかっている状態での直流抵抗数字は代表例を示す。

炭素質の電極を持つマイクロホンには後日譚がある。金めっきの廃止による価格低下のためこの種のマイクロホンに価格競争力が付与され、これまで米国の独立系電話会社にイヤホンを輸出していた協力メーカがマイクロホンとイヤホンをペアで輸出できるようになった。このメーカは以後数年にわたり、電電公社に納入する数の数倍を米国に輸出していたと聞く。

7.2.2 比較的楽に設計できたR-62イヤホン

一方、電磁イヤホンはすでに述べたように設計手法が確立されていたので設計は順調に進んだ。感度の上昇のためには振動系の安定度の低減が必要であり、1.8が選択されたが、高損失電話機用の高感度イヤホンR-60Lの使用実績があるので大きな危惧なく実行できた。音響抵抗にはT-62と同じくプレス加工によるスリット絹膜が用いられた。電気インピーダンスは電気回路サイドからの要求により、コイルの仕様を変更して1 kHzで320 Ωと増加させたが、コストへの影響はない。

このイヤホンにはR-62という名称が与えられた [図7-12] [図7-13]³⁷⁾。

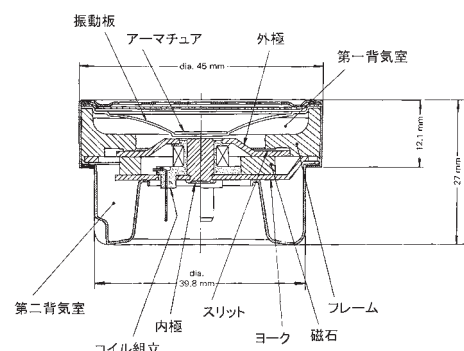


図7-12 601形電話機用R-62電磁イヤホン^{G7)}

スリットダンパはフレームに窪みを成型加工し、板を当てて形成している。

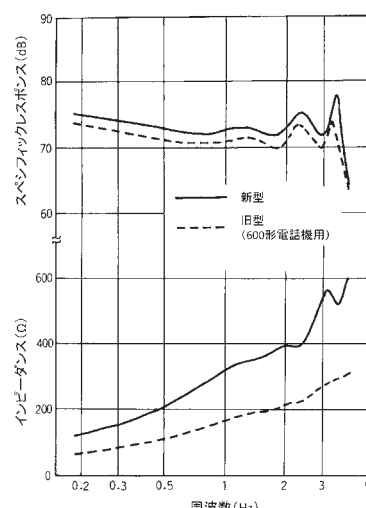


図7-13 R-62電磁イヤホンの特性^{G7)}

回路設計からの要求で感度をR-60より2 dB上昇させた。

感度は600形用R-60と600L用高感度イヤホンR-60Lの間の値となった。感度を上げたにもかかわらず磁気回路の安定度はR-60Lより大きく、問題ない値とすることができた〔表7-2〕。

なお、R-62ではコイルボビンのホルダを兼用させて部品点数を減らす目的で、楕円形に近い特殊形状のフェライト磁石を用いている。

表7-2 R-62、R-60、R-60Lイヤホンの比較³⁷⁾

	R-62	R-60	R-60 L
	今回実用化した受話器	現行標準電話機用受話器	現行高損失加入者電話機用受話器
実用化時期	1978年	1962年	1969年
外 径	45 mm	45 mm	45 mm
高 さ	27 mm	27 mm	30.6 mm
重 量	49 g	51 g	69 g
1 kHzの比感度 (0 dBは1 μ bar/ $\sqrt{W}$)	73 dB	71 dB	75 dB
1 kHzのインピーダンス	320 Ω	160 Ω	200 Ω
	受話器のインピーダンスは、巻線の設計により、比較的自由に選べる。通常回路網設計上適当な値に定められる。		
コイルリードの処理	ボビンに自立端子を装着して端処理	リーフ線	同 左
磁 石	異方性酸化物磁石  ボビン固定材を兼ねる	同 左 (バリウムフェライト) 使用 円 環	合金磁石 円 柱
イヤース穴	10	12	8
安 定 度	約1.8	約2	約1.7

数字は代表例を示す。

7.2.3 破天荒な構造をとったB-62磁石電鈴

600形から外観イメージをなるべく変化させないように設計された601形だが、呼出し用の磁石電鈴だけは構造、発音体、出力音の音色いずれも、従来のB-60などの磁石電鈴とは全く異なる世界唯一の構成のものを導入した〔図7-14〕³⁸⁾。

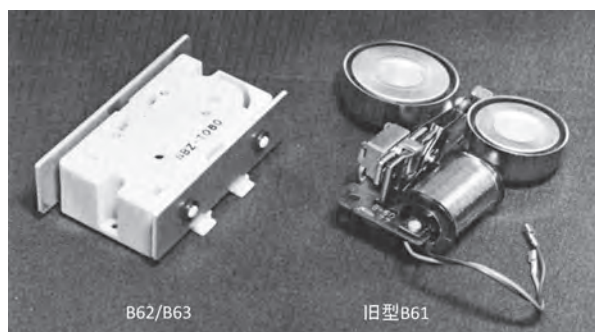


図7-14 601形電話機用B-62/B-63磁石電鈴と600形用B-61³⁸⁾

新しい磁石電鈴は駆動系、発音体、構造いずれも従来の磁石電鈴とは全く異なる。

600形用B-60、B-61磁石電鈴が伝統的な円形のゴングを持つ構成なのに対して、601形用B-62、B-63（音量調節付）は2枚のアルミ製平板の音片を発音体とし、駆動系を収容した直方体のプラスチック箱全体を共鳴室（レゾネータ）として用いている。

駆動系には研究所内で基礎研究が進んでいたプランジャ形電磁駆動系を用いることとした。交換機から送られてくる16 Hzの呼出し信号に応じて鉄製のプランジャが往復運動し、その先端のポリアセタール樹脂製のクラップが音片をたたく〔図7-15〕。

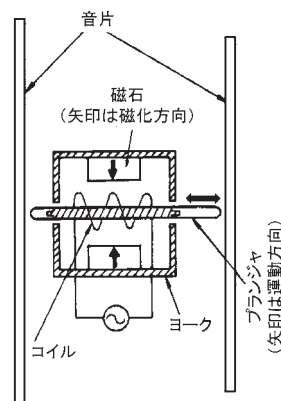


図7-15 601形電話機用B-62/B-63磁石電鈴の駆動系³⁹⁾

ポリアセタール製のタッパを持つ鉄製プランジャが往復運動する。

図の右側の空白部にはとも鳴り防止ばねなどが挿入される。

プランジャ形駆動系は部品点数が少なく、また運動部分の静止位置が磁力で決まるためばねで支える必要がないのでコストダウンに向いているが、磁気回路の損失が大きいためコイルへの要求が厳しい欠点があり、採用に至らなかったものである。今回は自動巻線機を活用すればコスト上昇が少ないこと、共同電話には用いないのでコイルの電気抵抗の上限の制約がなくなったことから採用可能となった。

従来の磁石電鈴と同様にこうした駆動系の数学的な解析は困難だったが、有限要素法で磁気回路の特性を予測し、また試作品をストロボスコープで照射しながら顕微鏡で振動部やばねの概周期運動を観察して物理現象の理解に努めた。

従来の磁石電鈴のコストアップ要因とされたのが2つのゴング発音体だった。通常のゴングは真鍮（黄銅：銅と亜鉛の合金）の板をプレス加工したものだったが、この材料が高価なのである。諸外国の電話機ではこれをアルミニウムや鉄に置き換えた磁石電鈴が用いられるようになっていた。筆者らも試作した。

直ちに知られたのがアルミや鉄のゴングの出力音の貧弱なことだった。余韻が少なく衝突音が目立つガラ

ガラ音で、ゴングに内蔵できる程度の小型の共鳴器では改善できない。欧州の電話機の中には商品性に疑問がもたれるほど不協和な音を放射する例もあった。また、ゴング形状もスペースをとり、加工の工程が多い。

このとき、協力会社の長谷川電機がドアチャイムの構造の流用を提案した。多くのドアチャイムは長さ20 cm程度の2枚の鉄の平板の音片と箱型の大容量の共鳴器とを用いている。音量、音色が優れているのは電話機の磁石電鈴に比べはるかに大型だからだが、この構成で小型化に挑戦するのは低コストと高音質とを高いレベルで両立させる手段になるかもしれない。また、駆動にはプランジャ形駆動系が最適である。

音片はプラスチック箱にゴムブシュを介して装着するため、重い鉄板では落下試験で脱落することが知られたのでアルミ板を用いた。電話機に実装可能な大きさと音量、音色、周波数の妥協点を検討し、1060 Hzと1330 Hz（ハ長調のドミよりわずかに高い長三度）のピッチを用いることとした。これより高いと老人性難聴者への影響が大きくなる。

プラスチック箱にはプランジャの出入りする穴が設けられる。これと内部の空気との共振周波数をこれらの周波数の中間に設定して共鳴させるのだが、試作電話機を机上から少し持ち上げると音量が増すのがヒントとなり、箱の下の底板に孔をあけて底板と机面の間の空気も利用した2自由度音響系とすることにした。机上面が布団のように軟らかいと音量、音色が変化するのは割り切ることとなった

こうした設計思想で、電話機に実装できる程度に小型で、十分に大きな共鳴箱（レゾネータ）をもち、能率的な組立の可能な磁石電鈴を実現した [図7-16]。

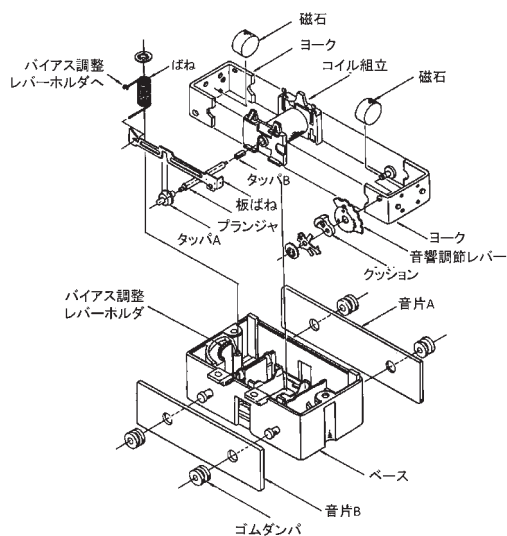


図7-16 601形電話機用B-62/B-63磁石電鈴の組立^{G10)}
レゾネータを兼ねたケースをベースとして能率的な組立が可能。

従来のB-60などの出力音がゴング形発音体特有のジリジリ音なのに対して、B-62/B-63の出力音はチャイム的なコロコロ音であり、低周波数の成分に富み、高周波数成分が少ない [図7-17]。

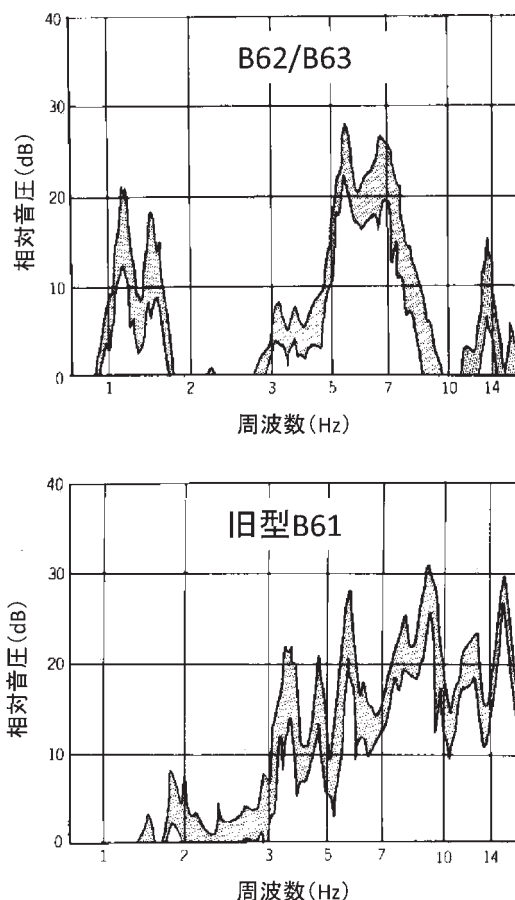


図7-17 B-62/B-63と旧型B-60の出力音の周波数成分の比較^{G10)}
旧型は8 kHz以上の高周波数成分が多い。

この2種の磁石電鈴の出力音は、電電公社仕様のベル音量計では同じ音量と判定されたが、これはベル音量計が4号電話機時代のコンデンサマイクの周波数帯域と振動膜の共振周波数付近での特性のばらつきを考慮して8 kHzの低域フィルタを内蔵しており、旧型の出力音の高周波数成分に反応しなかったため、B-62には望外の有利な結果となった。「電電公社仕様のベル音量計で測定すると同じ音量となる」といえるのは採用への説得性が高くなる。

しかし、新しい磁石電鈴は音色、音量感とも従来の電話機と異なるものなので、やや綿密な主観評価検討を行った。その結果、音量感は600形に比べ約3 dB少ないが、アンケートでは「ちょうど良い」、「小さいが不足はない」という回答が70%を占めること、音色が好評なこと、また600形電話機の呼出し音量は世界的に見て大きい方であり、新しい磁石電鈴の呼出し

音量は広い周波数帯域の測定器で測定しても諸外国の電話機の呼出し音量と比較して遜色がないことから、この全く新しい設計の磁石電鈴の採用が決められた。

なお、構造設計では無調整生産に固執することなく、例えば B-63 の音量調節機構の最小音量を決める部分には手動で調整できる構造を取り入れた。これは従来の B-61 の製造時に最小音量が大きすぎるものが発生することがあり、手間をかけて手動調整していた経験によるものだった。無調整を前提に設計されたものを手動調整するには大きな工数が必要となるので、調整工程の残りそうな部分は積極的に手動調整の可能な構造としておくべきなのである。

余談で恐縮ながら、関係者が筆者の個性を最も顕著に感じたのがこの磁石電鈴だったようだ。何人かの方から、

「あんたはやはり基礎研究者だな。実用化で育った人はあのような前例のない構造の磁石電鈴をいきなり標準電話機に導入する勇気はないだろう」

「あんたはやはり音楽好きだな。安かろう悪かろうの音色には我慢できなかったんだ」

と揶揄された。

しかし明言しておきたい。この構造の磁石電鈴の導入は筆者 1 人の意思ではなく、主観評価試験での好評、これを踏まえた実用化関係者やその組織の合意、特に技術局宅内部門の積極的な支援によるものだったことを。

7.2.4 プラスチックを多用した D-62 ダイアル

従来、ダイアルの進化の手段は金属部品のプラスチック化で、1973 年には 600 型電話機用ダイアルへのプラスチック製歯車の採用が行われた。用いられたプラスチック材料はエンジニアリングプラスチックとして定評があったポリアセタール樹脂で、その後の小改良もあわせてそれなりの使用実績が蓄積されていた。

村上正之らにより実用化された 601 形電話機用 D-67 ダイアル（インパルス速度 20 pps）、D-68 ダイアル（10 pps）では、プラスチック化による部品の統合化を徹底した。その結果、部品点数は旧型ダイアルの 67 種 109 点から 28 種 37 点と約 1/3 に削減された。例えば、組み立ての基準となるアッパプレートは各歯車軸、接点ばね固定溝部、ベースプレートとの固定支柱、ガバナカップなどすべてを含む 1 ピースとして成型している。このため、ガバナのフリクションピースの材質をナイロン 6 より吸湿性の低いナイロン 11 に変更するなど、各部の材質の見直しが行われた。

また、自動組立を考慮して部品同士の位置決め容易化、1 方向組立化に重点を置いた構造設計を行った。更に材料も可能な限り安価なものを選定した。例えば、筐体に表示されるダイアルの数字は、実用的な耐久性が確認されたので簡易なホットスタンプに変更した [図 7-18]。

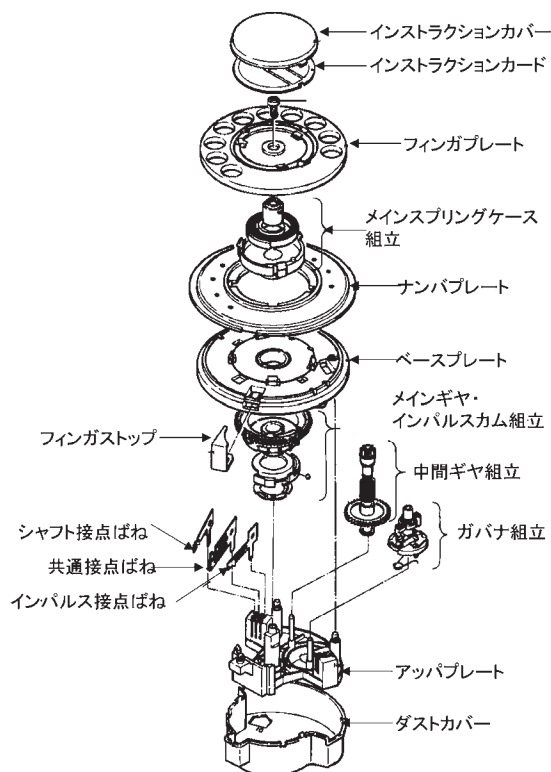


図7-18 D-67/B-68の組み立て構造^{G10)}

プラスチック部品を前提に構成を見直し、旧型に比べ部品点数が1/3に削減された。

この新設計により、インパルスカムなどの接点部は大幅に変化した。また、ガバナカップが金属切削加工品からプラスチック成型品に代わったため、寸法精度の劣化により速度のばらつきが大きくなったので、ガバナスプリングの引掛け位置を手動で変更して速度を調整できるように配慮してある。

こうした改善の結果、ダイアルでは大幅な軽量化とコストダウンが実現され、結果として電話機全体のコストに占めるダイアルのコストのシェアは大きく減少した。今回のコストダウン検討ではダイアルが「優等生」で、コストダウンへの寄与が最も大きかったといえる。

この後の電話機では回転ダイアルが押ボタンダイアルとなり、電卓のような簡易なスイッチが用いられるようになって、全コストに対するダイアルのコストのシェアはさらに低下していくことになる。

7.2.5 AEN、RE 両方の基準に対応する電話機回路

601 形の電気回路は川島功の担当する作業部会で設計された。問題の多かった手動パッドを廃止するため半導体ダイオードによるバリスタを多用し、構内交換用 650 形電話機に似た回路となった。シリコン単結晶を用いたバリスタの価格が下がっていたのは採用への追い風となった。

最初に言及したように、この回路では通話品質評価基準に関して AEN、RE 両者に対応するための工夫が盛り込まれた。

従来の AEN 評価を基準とする設計では、前述したように側音平衡の設計にあたり比較的高い周波数での平衡を優先する。このため低い周波数での側音平衡特性が不良となり RE 特性を損なっていた。受話器への直流流入を阻止するコンデンサの電気インピーダンスが低周波数で高くなるのがこれに拍車をかけた。

これに対して、1 本の電気抵抗を付加して直流阻止コンデンサを短絡することにより、高周波数での側音平衡を劣化させることなく低周波数での側音平衡を大幅に改良する巧妙な手法が協力会社の岩崎通信機から提案され、好成績を示して採用された。これはすでに高騒音下で用いられる公衆電話機の回路（差動型防騒音マイクロホンと受話増幅器を使用する）などに使用実績があった [図 7-19]。

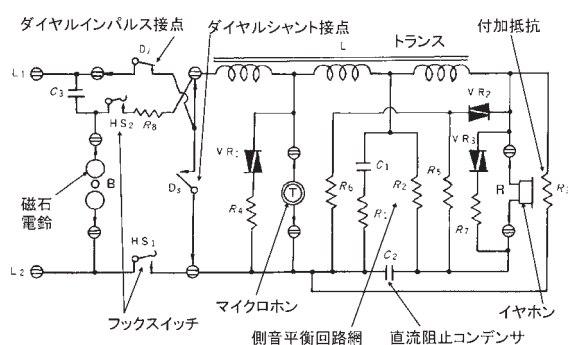


図7-19 601形電話機の電気回路^{35), 36)}

半導体バリスタを多用して手動パッドを廃止している。
またAEN規格、RE規格の両者に対応するため付加抵抗を用いて側音防止特性を改善している

こうして 601 形電話機は AEN、RE 規格両対応という世界的に珍しい電話機となったが、そのための弊害も見られた。上記の付加抵抗はマイクロホンに流入すべき電流の一部をバイパスし、またイヤホンに対して並列負荷となる、このためマイクロホン、イヤホンいずれもコストダウンに加えて 2 dB の感度上昇が必要となった。先人の研究成果のおかげでこれを比較的容易にクリアできたのは前述のとおりである。

7.2.6 簡易な手作業組み立てを前提とした実装構造

石丸薫の担当する作業部会がまとめた 601 形の実装構造は、リベット止めを多用していた 600 形電話機の実装構造とは全く異なるものとなった。

鉄板プレス加工の底板の孔に回路プリント板と磁石電鈴とをはめ込み、磁石電鈴の上にダイヤルを取り付ける鉄板をパチン止めする。これにゴムを介してダイヤルを取り付け、筐体をかぶせて下から 2 本のタッピンネジで止める。この構造は欧州の電話機の例に範をとってさらに改良したもので、人手による組立に適している。また、現場では 2 本のネジを外せば部品が容易に交換できる [図 7-20]。

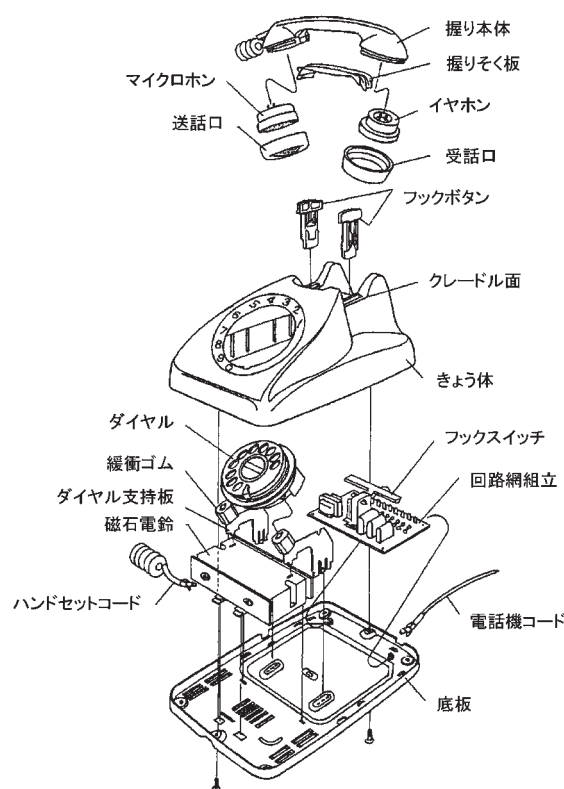


図7-20 601形電話機の実装構造⁴¹⁾

底板に回路プリント基板、磁石電鈴をはめ込み、磁石電鈴の上にダイヤルを載せて筐体をかぶせ、2本のタッピンネジで固定する。

底板は安価なユニクロームめっき鉄板に統一した。601P プッシュホンは塗装底板を廃止して筐体成形品の裾で底板を隠したので、外観がやや異なるものとなった。

なお、図からは読み取りにくいですが、内部の電気接続のための接続端子が全面変更された。600 形の端子は円筒形で、これにはめ込む三角形の端子金物のばねのストロークが小さいなどの問題点が指摘されていた。また、端子金物とともに表面処理が銀めっきとなっており、製造コストの半分を占めていた。井森庸亮の

検討による 601 形の接続端子ではこれを全面的に変更し、自動車などで実績のあるはんだ（錫と鉛の合金）めっきを施してから打ち抜いて成型した平板の端子を用い、端子金物の形状にもばねのストロークを増すなどの改良を加えてコストダウンと信頼性の確保を果たした。電話機の回路は自動車電装品に比べて流れる電流が 1/100 程度なので信頼性試験は入念に行われた⁴⁰⁾。

この端子は板金加工で創成しやすいので、マイクロホン、イヤホン、ダイヤルなどの設計にも部品点数減少などの良い影響を与えた。

601 形電話機の量産開始は 1978 年だったが「最後の黒電話」として世に受け入れられた。特に磁石電鈴のやわらかい音は好まれたようである。また、その部品は補修用として本体以上にながく生産された。いよいよ T-62 マイクロホン、R-62 イヤホンの製造ラインを撤去するから設計者として立ち会わないかと誘われて、筆者が担当メーカの工場に出かけたのが 2002 年だったから、四半世紀弱にわたり製造されたことになる。その間大きな設計変更は見られなかった。

601 形電話機導入の直後、1979 年にわが国の電話は 100 % がダイヤル即時式となった。その前年には顧客に待っていただく「積滞」が解消されていた。わが国の電話機を取り巻く環境はこの時期に「現代型」に脱皮したことになる。

7.3 コストダウンされた 601P 電話機

押ボタンダイヤル電話機「プッシュホン」についても、601 型電話機系列の一環となるコストダウン版の 601P 電話機が実用化された。押ボタンダイヤル機構は簡易なゴムスイッチとし、また、信号発生回路は汎用 DIP パッケージに封止された 1 チップのアナログ、デジタル混成バイポーラ IC を用いて、その後の電子化電話機の先駆となった。[図 7-21]。

2 周波数の正弦波信号から成る PB ダイヤル信号は、水晶振動子の出力をシンセサイザ回路により分周した折れ線近似の正弦波をもとに生成している。この外付け水晶振動子にはカラー TV 用の汎用品（3.579545 MHz）が用いられた [図 7-22]。

電話機回路の構成は 600P 電話機と同様に、ダイヤルスイッチを押すとマイクロホンが PB 信号発生回路に切り替わる方式だが、IC が自動信号レベル調整機能を搭載しているので手動パッドは不要になった。ただし、PBX、事業所集団電話などに用いる場合に対応して自

動パッド機能を解除することが可能となっている。



図7-21 601-P電話機「プッシュホン」
底板の塗装を省略したため筐体の裾を深くして底板を隠している。
NTT技術史料館所蔵

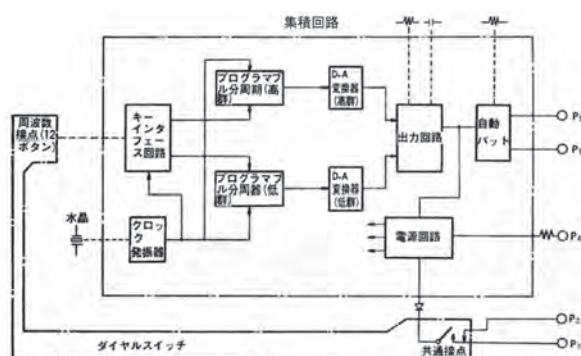


図7-22 601-P電話機「プッシュホン」のスイッチとLSI⁵⁴⁾
回路はモノリシックIC。数字スイッチは単純な開閉接点。PB信号波は水晶振動子の出力を分周し、折れ線近似で発生する。

AEN、RE 規格両対応のために付加された電気抵抗（第 2 平衡回路網）はやはり搭載されているが、マイクロホンとの相互干渉を防ぐため両者にダイオード対を挿入している [図 7-23]。

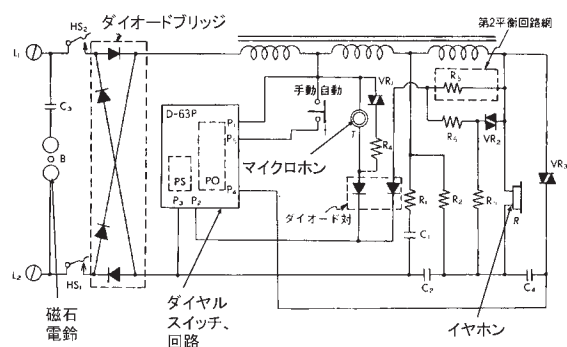


図7-23 601-P電話機「プッシュホン」の電気回路⁵⁴⁾
600P電話機と同様の思想による構成となっている。

押ボタンダイヤルはプリント板にシリコンラバシートを重ねた電卓と同様の簡易な構成をとり、これに従

来と類似の金属接点を用いる共通接点機構を追加したものとなった [図 7-24]。

601P 電話機が導入された 1981 年、わが国の電話加入数は 4000 万に達した。

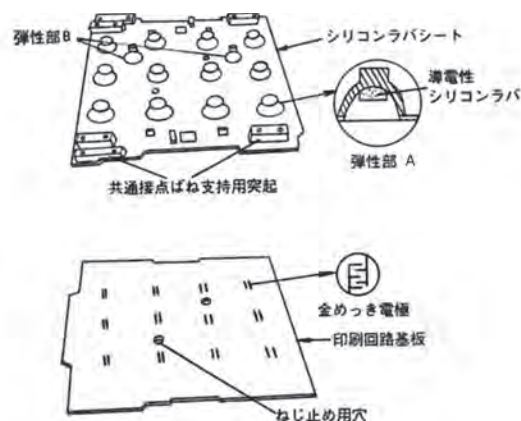


図7-24 601-P電話機「プッシュホン」のダイヤルスイッチ⁵⁵⁾
簡易なゴムスイッチによる構成となっている。この上に2本の
共通接点用動作子が配置される。

緊急のコストダウンと中澤始

電電公社では新しい通信システムの実用化にあたり、現場試験までは電気通信研究所の担当、仕様書技術資料が送付されて商用段階に入ってからからは技術局調査部門の担当、という体制がその後長く踏襲されてきた。もちろん両者はすべての段階で議論を重ね、共同作業を行ってきた。

一般に本社組織は電話局などの現場や営業部門をバックとしている。これに対して研究所は新技術や技術の合理性を踏まえて発言する。これらが互いに議論しながら進める実用化作業は、担当者には負担が大きくなるが、振り返るとバランスに優れた合理的な結果を生んでいるように見える。

1975 年、石油ショックに由来する社会の激変に対応して 600 形電話機の緊急かつ大幅なコストダウンが必須となり、通研の複数の研究室、技術局宅内部門、協力メーカ各社からなる緊急プロジェクト委員会が組織された。このとき通研サイドで取りまとめを担当したのが電話機研究室の研究専門調査役の中澤始だった。

中澤は 1963 年の入社で、長く電話機の実用化一筋のキャリアを積んでおり、特に 600P 電話機「プッシュホン」の実用化ではトラブル対策で辛酸をなめた担当者だった。そのため中澤の発言は現場、メーカの状況や思惑まで視野に入れた幅広いもので、強い説得力があった。

メーカは一刻も早い商品化を望んだ。一方、技術局は従来の 600 形電話機との連続性を重視し、現場で部品単位の交換を可能とすることを主張した。

これに対して中澤は次のように主張し、本文に記したようにこれが合意された。

- － コストダウンの目標は 2 割減がよい。1 割減では不徹底と評価されてこのプロジェクトの鼎の軽重を問われる。3 割減には根本的な技術変革が必要となつて時間がかかる。
- － 検討期間は、現場試験によるトラブル洗い出しの期間を重視して 3 年とすべきである。
- － 電話機内部での部品や端子の互換性は考慮すべきでない。根本的に異なる電話機を開発しないと 2 割のコストダウンは難しい。

このように拙速を排して進められた緊急プロジェクトは本文で述べたように予定通り進捗し、目標を達成した。また技術検討も成果をあげた。例えば、本文に述べたようにコストダウン後の新マイクロホン、新イヤホンは国際的な価格競争力を獲得し、製造を担当したナカヨ通信機はこれらの技術を応用した部品を、米国の独立系通信会社に電電公社への納入品を大幅に上回る数の輸出を続けた。



中澤始 G11)

第7章の文献

- G1) 日刊工業新聞、1980. 7. 11。
- G2) 三浦種敏 (監修): 「新版 聴覚と音声」 (電子情報通信学会／コロナ社、1980)、p. 416。
- G3) 三浦種敏 (監修)、ibid、p. 472 (編集)。
- G4) J. Ohga, S. Shirai, H. Nomura, M. Tobita: “Characteristics of a carbon granule microphone with carbonaceous electrodes”, Tr. IEICE Japan, E63 (1980) , pp. 992-993.
- G5) J. Ohga, S. Shirai, H. Nomura, M. Tobita, ibid.
- G6) 大賀寿郎、白鳥嘉勇、飛田瑞広、白井誠一、大八木国興、竹中範雄: 「送話器用電極の炭素材料化」、通信学会技術報告、EA72-2 (1977 年 5 月)。
- G7) J. Ohga, S. Shirai , M. Tobita: “Transmitter and receiver for model 601 telephone set” , Review E.C.L., 26, 9-10, (1978), pp. 1296-1304.
- G8) E.C.L. Technical Publication No. 205: “Model 601 Telephone Set - Improved Model 600 Telephone Set -” , Elctr. Comm. Lab., N.T.T. (1979).
- G9) J. Ohga, Y. Ichinose: “Ringers for model 601 telephone set” , Rev. E.C.L., 26, 9-10, (1978), pp. 1305-1311.
- G10) E.C.L. Technical Publication、op. cit.
- G11) 通研所員写真帳 1965 年 (1965)。

8 | 多彩なデザインへの要求と電子化技術の導入

1960年代になると、世界の電話機には多様化が目立つようになった。諸外国では標準電話機でも黒以外の色の例は多かったが、更に小型化され、また個性的なデザインのものが供給されるようになったのである。当初は技術的には旧型電話機のままで、実装に工夫を凝らした例が多かった。

今一つの流れは半導体回路素子、特に集積回路（IC）の出現、進歩を踏まえた電子化である。当初は極めて高価だったが、コストダウンの努力が続けられ、モノリシック IC の出現で定着することになった。

8.1 デザインを重視した外国の電話機

8.1.1 米国 ATT 社のトリムライン電話機

1966年にATTベル電話機研究所より発表されたトリムライン電話機は、マイクロホン、イヤホン、電気回路などは旧型電話機のままだったが、そのデザインと実装構造に見るべき特徴があった [図8-1]。



図8-1 (a) ATT社トリムライン電話機の外観^{H1)}



図8-1 (b) ATT社トリムライン電話機の操作部^{H2)}

ダイヤルはハンドセット側に収容され、小型化のためフィンガストップを可動式としている。

マイクロホンは500形電話機と同じT-1炭素粉マイクロホンで、電気回路も500形のものに小変更を加え

たものだが、イヤホンはU-1ではなくLB-1と呼ばれる小型軽量の新しい電磁イヤホンとなった。わが国のR-60と同様のセンタアーマチュア形で、振動板の形状、構造はほぼ同一だが、磁気回路は2つのコイルと平板型のヨークを持つ戦前型に戻っている。

ダイヤルはフィンガプレートを小型化するため10個のフィンガホールがほぼ全周にわたっているのも、指で回したときにフィンガストップが所定位置までともに動くようにしてミニマムポーズを確保している。なお、ダイヤルするときには耳から離すので、ダイヤル時に通話回路を短絡するシャント接点は省略された。

小型化のため磁石電鈴は大きな影響を受けた。ゴングは直径約5cmのもの1個だけで、コンパクトな駆動機構がゴングの中に収容されている。また、外部にプラスチック製のレゾネータが付加されている。こうした構成のため出力音は和音ではなく単音で、音量は600型電話機より8dB小さく、またレゾネータの効果も限定的な印象となった [図8-2]。

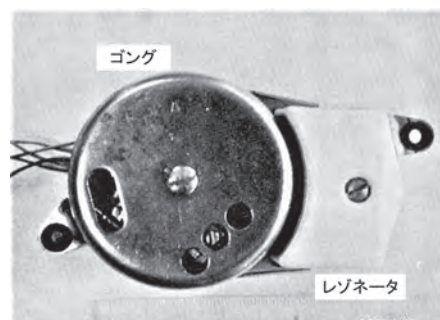


図8-2 ATT社トリムライン電話機の磁石電鈴^{H2)}

小型化のため音色、音量いずれも標準電話機よりは劣化している。

こうした形式の小型電話機は以前から見られたが、トリムライン電話機はそのデザインで知られる存在となったといえる。

8.1.2 スウェーデン エリクソン社のエリコホン電話機

スウェーデンのエリクソン社が販売していたエリコホン電話機は、やはり炭素粉マイクロホン、電磁イヤホン、回転ダイヤルを用いる従来型電話機だったが、そのユニークなデザインで世界的に著名となった [図8-3]。



図8-3 スウェーデン・エリクソン社のエリコホン電話機⁽²⁾
原設計は1941年で、長く親しまれた。

機構的には、ハンドセットに相当する卓上自立形の筐体に電話機の全機能を内蔵させた1ピース構成で、フックスイッチは机上から持ち上げると通話状態となり、また回転ダイヤルのフィンガプレートは底部に装備していた。また、磁石電鈴は持たず、呼出しのためブザーを内蔵していた。

電話機多様化の時代を迎え、各国各社の製品のデザインはこうした先達を超えて多様化していく。

8.2 半導体部品とICの急速な進歩

デザインの多様化と並んで電話機の設計に大きな影響を与えた要素は、電子回路素子の目覚ましい進歩だった。集積回路 (IC)、特にモノリシック IC の性能の進歩と低価格化は電話機に革命的な変化をもたらした。

当時、電気通信研究所における半導体回路素子の研究の主要なターゲットは伝送機器、交換機などのための超高速スイッチング素子や高周波数帯の増幅素子で、電話機用途の低周波数帯で用いる低価格の電子回路素子、特にアナログ IC は視野の外だった。このため電話機の設計にあたっては外部の商品の技術を導入することとなった。

アナログ回路の代表として演算増幅器 (オペアンプ) に着目しよう。

1950 年代のオペアンプは数本の真空管を用いる小型ラジオ並みの大きさの回路で、電源電圧は ± 150 V、信号電圧範囲は ± 100 V が一般的だった。とても電話機に実装可能なものではない。

1960 年代になってトランジスタを使用したコンパクトなオペアンプが出現した。当初はトランジスタ素子など個別部品で構成された高価なものだったが、セラミック基板を用いたハイブリッド IC の使用でコンパクト、広周波数帯域となっていく。特に発熱の影響が飛躍的に少なく、直流動作が安定化されたのは大きな改良点となった

これに続いて 1970 年頃より、シリコン単結晶基板に超小型の回路を創成するモノリシック IC が実用化され、急速に高性能化、省電力化、低価格化が進んで普及する。デジタル IC では TTL (TI 社など)、オペアンプでは μ A709 (フェアチャイルド社) がそれぞれの分野の先駆となった。

電話機の電子化もこうした部品の技術を取り入れて進められることになる。

8.3 黎明期の携帯無線電話機

トランジスタ、IC などの半導体素子を積極的に導入し、100 年来の炭素粉マイクロホンや大型高感度のイヤホンから脱却した電話機、いわゆる「電子化電話機」を実現することは 1950 年代から電話機エンジニアの夢だった。家電製品分野でのトランジスタラジオやトランジスタテレビの商品化の成功が大きな刺激になっていた。しかし、電話機には絶対故障しないという信頼性が要求されるため、電源を交換機からの微弱な電力に頼る必要があり、同時に電話回線からの電気雑音、雷サージに耐えることが必要となるので、関係者は半導体素子の導入には慎重だった。

電電公社電気通信研究所での電子化電話機の研究は、まず携帯無線電話機から開始された。電話回線に接続された基地局装置を地上に置き、ユーザはこれと無線で交信する移動機を携帯する方式で、現在のコードレス電話機に相当する機能のものである。無線であれば電池を内蔵するので電源まわりの設計が自由になり、また移動機には雷サージの影響はない。

電気通信研究所で最初の試作携帯無線電話機は、無線研究グループの大森英二らにより検討され、1969 年に発表された。ポケットベル発売の翌年、大阪万博の前年だった [図 8-4]。



図8-4 試作携帯無線電話機^{H4)}

現代の分類ではコードレス電話機に相当する。

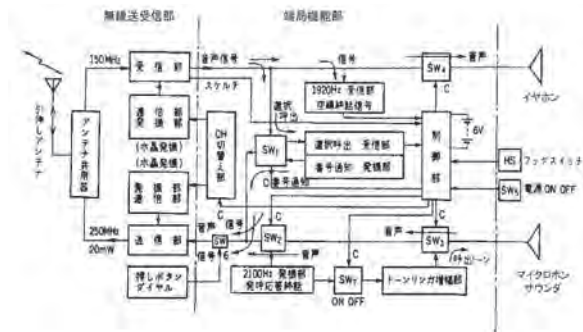


図8-5 携帯無線電話機の移動機の全体回路構成^{H4)}

8.3.1 試作システムの構成

携帯無線電話機は前例に乏しいシステムであり、具体的な実用化の見通しも不明確な先駆的研究だったが、その技術課題は伝送規格、ローカルな範囲の電波伝搬、無線通信方式、部品の小型化、省電力化、回路のIC化など数多く、多くの研究組織が関与する総合研究となった。当然ながら電話機研究グループも協力した。

携帯機と交信する基地局装置は構内交換機に近い規模の装置となって高度な技術が投入されたが、ここでは携帯端末機の技術に着目する。

携帯機は1968年に、サービスエリア数100メートル、数10メートルの2種が試作された。プレーナ形半導体素子の黎明期のためモノリシックICの使用にはまだ制約があり、電子回路にはハイブリッドICと個別部品が多用されたので、携帯機はいずれも大型で、重量は約700 gとなった。電源には6.25 V(5素子)のニッケル・カドミウム電池が用いられた。

無線伝送部はもちろんアナログ伝送方式で、下り(固定装置→移動機)が156 MHz、送信出力約10 W、上り(移動機→固定装置)が251 MHz、送信出力約20 mWで、いずれも位相変調(PM)を用いた。エリア内で10台使用の携帯機の使用を想定してそれぞれ4チャンネル、周波数間隔は25～60 kHzとなっていた。電波の波長が1.2～2 mなので移動機には伸縮式のロッドアンテナを用いた。

全体回路のブロックダイアグラムは当然ながら複雑なものとなった。2つのメーカーの競作となったが、使用したハイブリッドICは20個または23個だった。[図8-5] [図8-6]。

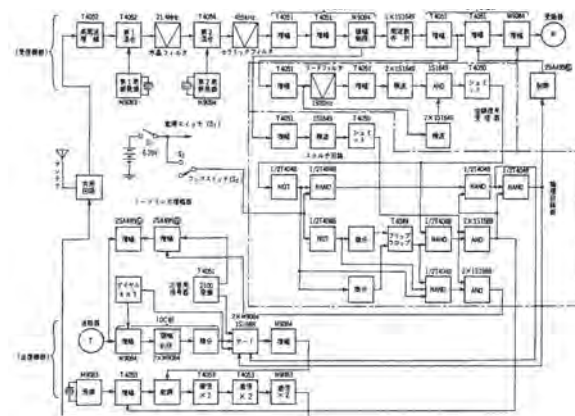


図8-6 携帯無線電話機の移動機の回路構成の詳細^{H4)}

マイクロホンとイヤホンには電磁変換器の可逆性を生かして、同じ電磁イヤホンをマイクロホンにも用いることとした。呼出しはトーンリングにより電子回路の発振音を放射するが、そのサウナはマイクロホンと共用している。イヤホンと共用すると耳に当てているときに大音量の呼出し音が放射されると耳を損傷する恐れがあるためである。ダイヤルはプッシュホンと同じMF信号を用いるが、同じ理由でダイヤルの確認音もマイクロホンから放射される。なお、交換機との間で授受される発呼、終呼などの信号にも正弦波のオーディオ信号が用いられた。

8.3.2 マイクロホン、イヤホン兼用の小型電磁トランスデューサ

マイクロホンとイヤホンに用いられた電磁トランスデューサは村上正之らが完成した設計指針による直径26 mmのものだった [図8-7]。

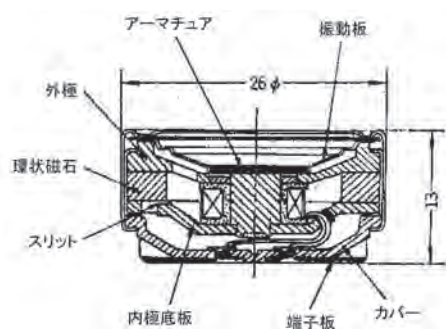


図8-7 携帯無線電話機用1TR電磁トランスデューサ^{H5)}
振動板は20 mm径。アーマチュアは10 mm径。

設計が601形電話機用R-62に先行したので、変換部の構成は600形用R-60の直系でアルミ合金の小型振動板を用いているが、安定度を吟味して68 dBのスペシフィックレスポンスを実現した。

密閉型イヤホンの感度は変換原理に依らず振動板の変位に比例するが、電磁、動電マイクロホンの感度は振動板の速度に比例するので、イヤホンとして周波数レスポンスが平坦になるように設計するとマイクロホンとしてのレスポンスは周波数に比例し、いわゆる微分特性となる〔図8-8〕^{H6)}。

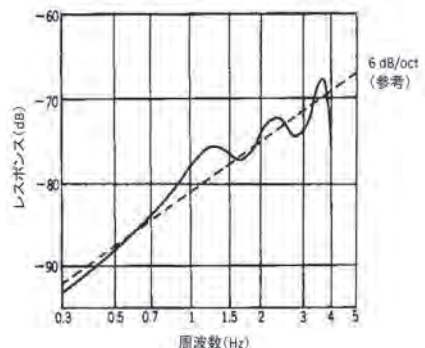


図8-8 1TR電磁トランスデューサのマイクロホン特性^{H5)}
原理的に感度が周波数に比例する微分特性となる。

この電話機では振幅制限回路を的確に動作させるため入力オーディオ信号に微分回路を付加するので、マイクロホン出力そのものが微分特性をもっているのは好都合だった。本機ではこれを積分回路に通してからPM回路に加えているが、仮にそのままPM回路に加えると周波数変調(FM)波が得られる。電波のチャネルの周波数間隔が広ければこうした簡略化が可能だったと思われる。ただし、ダイヤルのMF信号の正弦波の振幅は周波数に比例させなければならない

(因みに、現在市販されているコードレス電話機はFMを用いているが、周波数特性の平坦なマイクロホ

ンを用いるのでこうした便法はとられていない)。

1970年に開催された大阪万博では、電電公社のパビリオンでこの無線電話機をモディファイしたデモ機が「未来の電話機」として展示、試用されて好評を博した。

8.4 最初の電子化電話機となった700P電話機

試作携帯無線電話機の発表の4年後の1973年、内部の回路が完全に電子化された有線電話機が松田亮一の率いる電気通信研究所の電話機グループで実用化され、700P形として発表された〔図8-9〕¹⁶⁾。



図8-9 (a) 700P電話機「ミニブッシュホン」^{H7)}
時代を先取りした全電子化電話機。
NTT技術史料館所蔵



図8-9 (b) 700P電話機の実装構造¹⁷⁾
主要な電子回路はハンドセット側に搭載されている。

デザインは1965年に発売された米国ATT社のトリムライン電話機に範を取った、マイクロホン、イヤホン、押ボタンダイヤルをもつハンドセットをベースセットと合わせる形態だが、トリムライン電話機が従来の炭素粉マイクロホンとトランスとを用いた500形電話機に類似の構成だったのに対して、700P形は電気回路の全面的な電子化による高機能化、デザインの

自由度改善をねらったものだった [図 8-10]

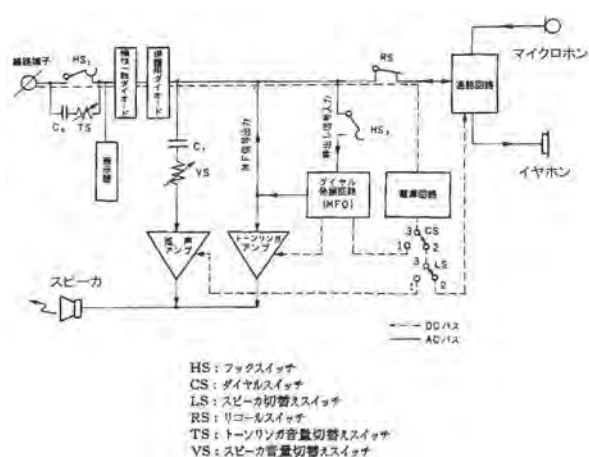


図8-10 700P電話機の回路構成の概略¹⁶⁾

側音防止回路のトランスがないのは新鮮だった。

8.4.1 ハイブリッド IC を用いた回路構成

この電話機の心臓部といえる電子回路は寺井正明をリーダとして実用化された。従来の電話機とは大幅に異なり、通話回路を半導体 IC に、ダイヤル、呼出し用リング、拡声受話の回路をハイブリッド IC に収容してトランスなど大型で重い部品を省略し、回路の大部分をハンドセット内のフレキシブルプリント板に収容している。トランスデューサはハンドセット内のマイクロホン、イヤホンのほか、呼出しと拡声受話のためのスピーカをベースセットに装備した。電磁イヤホンをマイクロホンに用いた時の周波数特性の微分特性を補正するため、マイクロホンアンプには積分特性とするためのコンデンサが接続されている [図 8-11]。

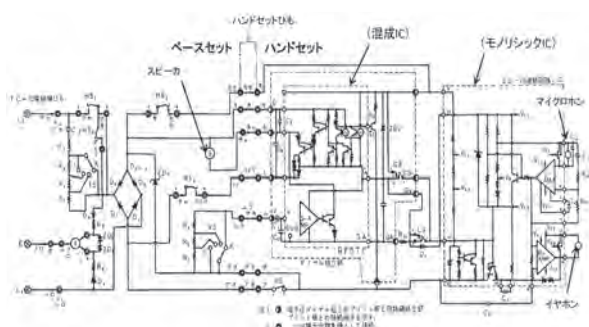


図8-11 700P電話機の回路構成の詳細¹⁸⁾

2つのICを用いた完全電子化回路となっている。

特に注目されるのは防側音回路で、従来の電話機で用いていたトランスに代えて、寺井正明の研究成果だったトランジスタを用いた回路を採用した。こうした新技術の導入により、電話機能の大部分を収めたハ

ンドセットを 200 グラム台の軽量なものとすることができたのだった [図 8-12]。

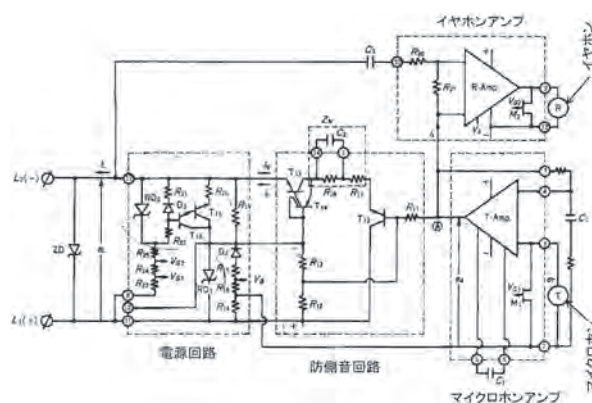


図8-12 700P電話機の通話回路¹⁹⁾

トランジスタによる無損失の側音防止回路を用いた。

しかし、IC 化回路の採用は制約も生んだ。当時のわが国の電話回線では加入者線路抵抗の上限は 1500 Ω とされていたが、この電話機の電気回路では正常動作のために 9 ~ 10 V の直流電圧が必要であり、このため加入者線路抵抗の上限を 1080 Ω に制限することになった。大部分の加入者の線路抵抗はこの範囲にあるはずだったが、後に導入段階で問題を生じることになる。

8.4.2 すべての音響トランスデューサを電磁型に

イヤホン及びマイクロホンはいずれもアンプと組合わされるので小型のものでよい。このため村上正之と飛田瑞広により、試作携帯無線電話機に用いられた 1TR 電磁トランスデューサの基本設計を踏襲してコストダウンと量産性向上のため構造を見直した TR-70 と呼ばれる電磁トランスデューサが実用化された。振動板とアマチュアは 1TR のものと同じ寸法だが、外径は 1TR より 3 mm 小さくなっている [図 8-13]。

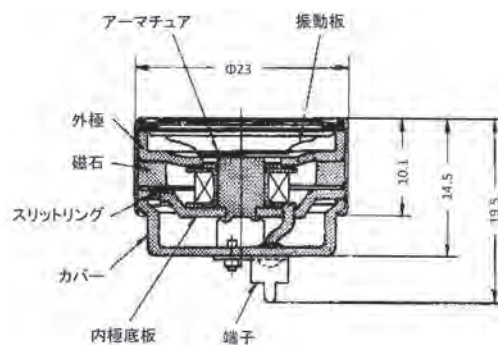


図8-13 700P電話機用TR-70電磁トランスデューサ²⁵⁾

携帯無線電話機用1TRと同じ構成、寸法だが、ステンレス鋼製の振動板を用いている。

このトランスデューサで特筆されるのは振動板に、アルミ合金に比べ耐食性に優れたステンレス鋼を用いたことだった。満足な機械特性と加工性を持つ非磁性のステンレス板が西畑三樹男らにより実用化された²⁶⁾。

TR-70 トランスデューサのイヤホン感度はR-60 より 5 dB 程度低いものだった。また、マイクロホン感度は携帯無線電話機用 1TR と同じく微分特性で、前述のように電気回路で補正されていた [図 8-14] [図 8-15]。

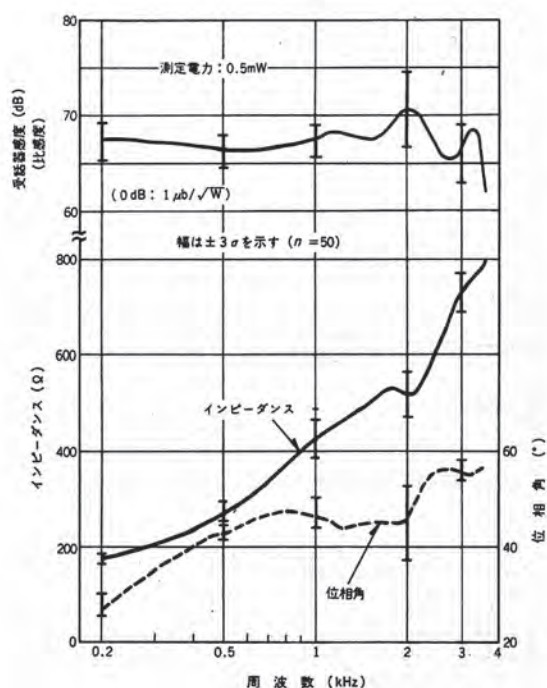


図8-14 TR-70のイヤホン特性²⁵⁾

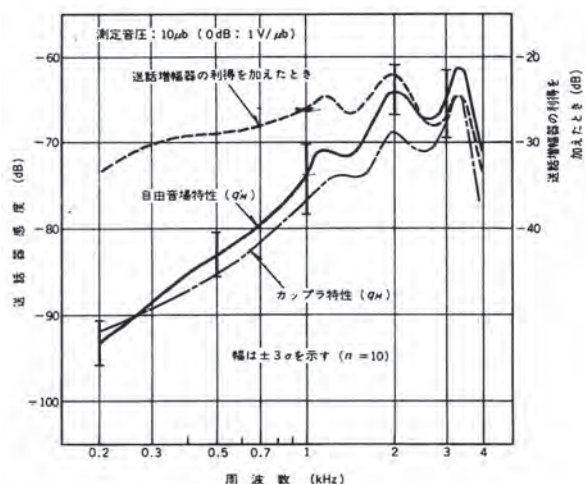


図8-15 TR-70のマイクロホン特性とその補正後²⁵⁾

呼出し用リングには機械式の磁石電鈴ではなく、IC 内のアンプで電磁サウンダを鳴動させるトーンリングが採用された [図 8-16]。

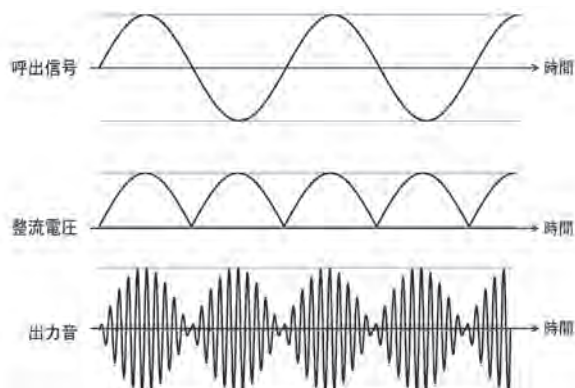


図8-16 トーンリングの出力音の波形
交換機からの呼び出し音（交流16 Hz）を全波整流した入力を電源として1336 Hzの発振回路を動作させるので、出力波形は振幅変調される。

サウンダはSP-70と呼ばれ、天気予報などの拡声受話のためのスピーカとしても用いられる。構成はTR-70と同じステンレス鋼の振動板を持つ56 mm 径の電磁トランスデューサとレゾネータ（共鳴器）とを組み合わせたセットとなっている [図 8-17] [図 8-18]。

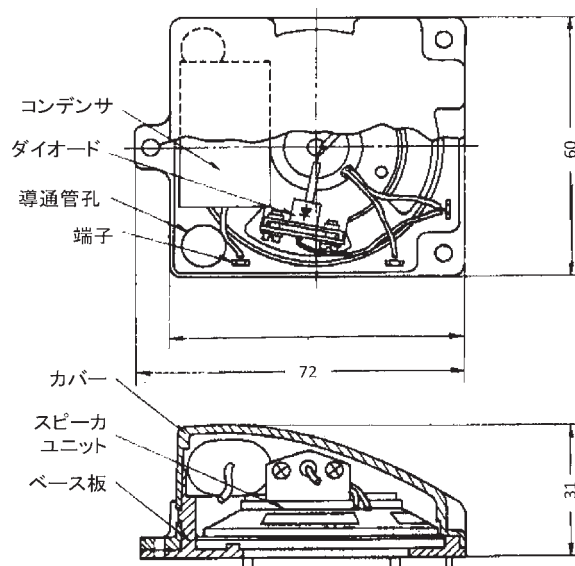


図8-17 700P電話機のSP-70サウンダ²⁵⁾
電磁スピーカとコンデンサを共鳴箱（レゾネータ）に収容している。

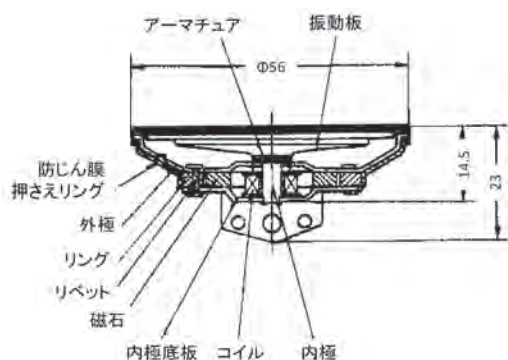


図8-18 サウナに用いられる電磁スピーカ²⁵⁾

電磁トランスデューサを拡大した構造となっている。

このサウナが再生できる周波数帯域は700～2000 Hzと、汎用スピーカとしては低周波数領域の感度が不足しているが、音声の拡声受話には十分と判断された。

8.5 PBX用途を考慮した701P電話機

700P 電子化電話機は種々の新機軸が盛り込まれていたため監督官庁との調整に数年の時間を要したが、いよいよ本格導入という時期に一つの問題が明らかになった。一部のPBX（構内電話交換システム）の加入者線路抵抗が設計の上限1080 Ωを越える場合があったのだ。こうした高価で斬新な電話機は、企業の幹部クラスのオフィスや受付などの接客セクタが重要な顧客となるので、これが重大な問題と認識された。

そこで、PBX用の姉妹機種を至急実用化して本格導入に間に合わせることとなり、701P形電話機が実用化されて1979年に発表された。まとめ役はやはり寺井正明だった。折から601形経済化標準電話機を実用化する緊急プロジェクトが進行中であり、この技術のいくつかが701Pに影響を及ぼすことになった[図8-19]。



図8-19 (a) 701P電話機
外観は700Pと大差ない



図8-19 (b) 701P電話機のハンドセットとベースセット
ハンドセットに多くの機能が内蔵されている。

命題は、700Pのデザイン、機能をなるべく保持して加入者線抵抗の最大値1500 Ω（ICに加えられる直流電圧が約2 V）に対応することだった。このため、未来志向の700Pから一転してトランスによるブースタ形防側音回路を持つ古典的な構成に戻すことになり、601形電話機のプッシュホンの炭素粉マイクロホンを電磁マイクロホンと増幅器の組み合わせに、また磁石電鈴をトーンリングに置き換えたような構成となった。ICをマイクロホンアンプのみに小規模化して低電圧動作の限界に挑戦したわけである。図では省略されているが、601形電話機の回路で用いられた付加抵抗による側音平衡の改善はこの回路にも採用された[図8-20][図8-21]。

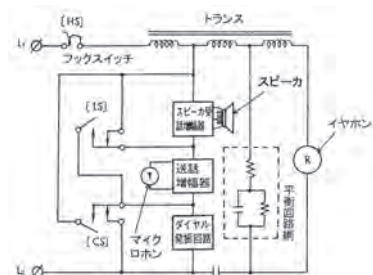


図8-20 701P電話機の基本回路構成⁴⁹⁾

炭素粉マイクロホンを電磁マイクロホンと増幅器に置き換えた以外は古典的な構成。

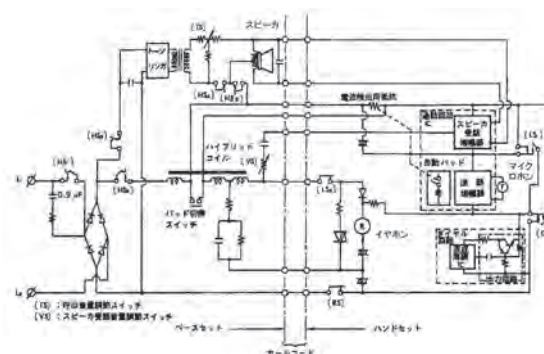


図8-21 701P電話機の回路の詳細⁴⁹⁾

側音防止回路は古典的なブースタ回路となった。

マイクロホン、イヤホンは700Pと同じく電磁トランスデューサを両者に使う方針となったため、700Pのハンドセットに収容でき、増幅器なしで十分なイヤホン感度を持つ電磁トランスデューサが白鳥嘉勇、飛田瑞広の手で実用化された。また、万一低電圧アンプICの実用化に失敗したときのバックアップとして小型の炭素粉マイクロホンの検討も開始され、白井誠一が担当した。低電圧IC実現の見通しが早期に得られたため小型炭素粉マイクロホンに深入りせずに済んだのは幸いだった。

増幅器を使わない電磁イヤホンの設計は小型高感度の限界への挑戦だった。振動板と磁気回路上面との間のギャップを技術的に可能な最小の寸法とし、TR-70を拡大した35 mm径の構成で601形電話機用R-62(45 mm径)と同等の感度が実現できた。振動板の材料はステンレス鋼ではなく、軟らかい旧来のアルミ合金に戻した〔図8-22〕〔図8-23〕。

同じ要領でサウンド兼スピーカも再設計された。

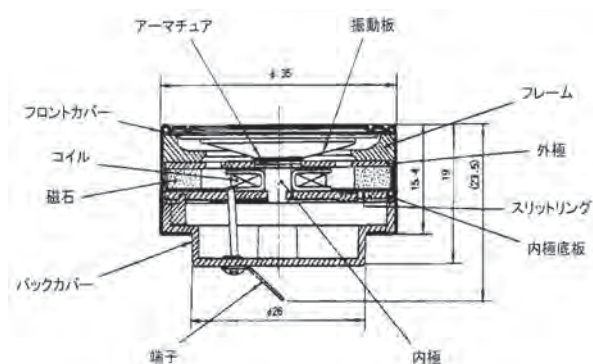


図8-22 701P電話機用TR-71電磁トランスデューサ⁵¹⁾

601形電話機用R-62と同等のイヤホン感度をもつ。

更に商品化直前にトラブルが発見され、緊急対策が必要となった。

1つはハウリングの防止だった。このデザインの実装構造ではハンドセットをベースセットからやや持ち上げたときに約2.8 kHzで音響結合が増大し、この周波数でハウリングが生じやすいことが知られた。この電話機ではイヤホンとマイクロホンの共振特性が同じなので、イヤホン/マイクロホンはこの周波数がレスポンスの谷となるよう設計を変更した。この現象の理論的な設計は困難で、実験で定数を決めた。

更に、マイクロホンが外部からの電磁誘導により雑音を発生することが知られたためマイクロホンのフロントカバーを鉄・ニッケル合金（パーマロイ）とすることにしたので、イヤホンとマイクロホンとは同一の部品ではなくなった。それなら周波数特性を再設計して両者の周波数特性の共振点をずらすことも可能ではなかったが、すでに時間がなく、イヤホン特性、マイクロホン特性いずれも600形電話機実用化当時に先輩方が提示した目標特製からやや遠い特性のままとってしまった。

その後、電子化電話機の最初の商品として生産されたのは適用範囲の広い701Pだったが、価格が高いなどの理由で商業的に成功するには至らなかった。しかし、700P、701P実用化の経験は電気通信研究所の電話機グループの技術の蓄積を増やしたことは間違いない。とくに音響トランスデューサの技術ではイヤホン、マイクロホンに同じトランスデューサを用いるノウハウが確立された。これが次期の本格的な電子化電話機の設計に生かされることとなる。

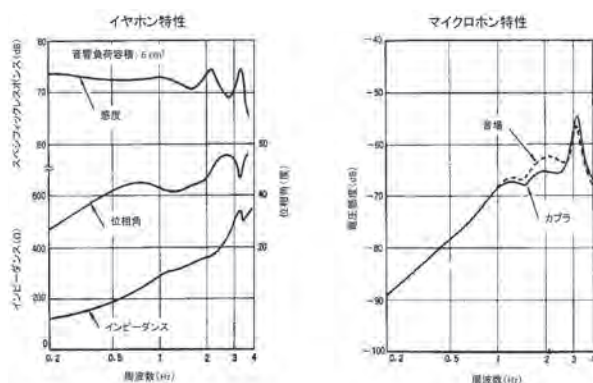


図8-23 TR-71電磁トランスデューサの特性⁵¹⁾

汎用的に使用可能なトランスデューサに仕上がった。

電話機の直流抵抗の規格の影響

電電公社では、電話機の直流抵抗は「加入電話等の附属設備及び接続機器の技術基準に関する規則」で次のように規定されていた。

(直流回路の電氣的規格)

第 18 条 直流回路を閉じているときの附属設備等の直流回路の電氣的規格は、公社の回線との分界点において、次のとおりでなければならないものとします。

- (1) 直流回路の直流抵抗値は、50 Ω 以上 220 Ω 以下とします。但し、公社の回線の直流抵抗との和が次表の値以下の場合は、220 Ω をこえてもよいものとします。

所属局の交換設備の種類	直流抵抗値
A形及びH形	1,000 Ω
C1形及びC2形	1,200 Ω
クロスバ形 (C1形及びC2形を除く)	1,700 Ω
D形 (電子交換機)	1,700 Ω

我が国の電話機の直流抵抗の上限値 220 Ω は、世界的にみて低い値であった。600 型電話機の炭素粉マイクロホンの抵抗値が世界最低クラスだったのが影響していたと思われる。電話局から供給される電源電圧は 48 V なので、1700 Ω の電気抵抗に流れる電流は 28 mA となるが、実際には 20 mA 程度になることがあり、220 Ω の電話機に印加される電圧は 4.4 V 程度だった。

電話回線の極性 (+、-) は頻繁に反転するので、電子化電話機では電流の極性を既定の向きに整えるダイオードブリッジが必要となる。シリコンダイオードの 2 つのジャンクションを通過すると電圧は約 1.4 V 減少する。したがって電子化電話機の回路は 3 V 以下の電源電圧で動作する必要がある。これは当時のアナログ IC にはかなり困難な値で、700P 電話機に用いられた IC はこれをクリアできず、PBX での使用で問題点が露呈したわけである。

次章で述べるように、1984 年に実用化された 800P 電話機「ハウディ」に用いられた IC では電源回路の工夫でこれをクリアした。しかし、この規格をこのままにして電話端末を自由化すると、諸外国の電話機の多くは日本では使用できないことになると考えられる。

1985 年にこの規格が郵政省の技術基準 (電気通信事業法準拠) に移管されたときにこの数値の見直しが行われ、下記のように規定された。

(直流回路の電氣的規格)

第 12 条 直流回路を閉じているときのアナログ電話端末の直流回路の電氣的条件は、次のとおりでなければならない。

- 一 直流回路の直流抵抗値は、選択信号の送出時を除き、20 mA 以上 120 mA 以下の電流で測定した値で 50 Ω 以上 300 Ω 以下であること。ただし、直流回路の直流抵抗値と第一種電気通信事業者の交換設備から端末設備までの線路の直流抵抗値の和が 50 Ω 以上 1700 Ω 以下の場合は、この限りでない。

300 Ω の場合、電話機に印加される最低電圧は 6 V となる。これは当時の電話機用 IC の設計では問題の少ない値だった。反面、1985 年に突然この変更が可能になった技術的な経緯や理由は筆者には思い当たらない。政治が技術に優先した結果ではないかという気もする。

この変更のおかげで日本の電話機市場は世界に開放されたが、電電公社の開発した低電圧動作の IC の優位性は失われた。

第 8 章の文献

- H1) P. Clark: “The Phone”, Aurum Press (London, 1997), p. 17.
- H2) G. L. Krumreich, L. W. Mosing: “The evolution of a telephone”, Bell Labs. Rec., 44, 1 (Jan. 1966), pp. 9-13.
- H3) P. Clark: op. cit., p. 14.
- H4) 大森英二、福田倚治：「携帯無線電話機」、研究実用化報告、18、11 (1969), pp. 2905-2944。
- H5) 村上正之、飛田瑞広、山崎新一：「携帯無線用 1TR 形送受話器」、研究実用化報告、18、11 (1969)、pp. 2985-2995。
- H6) 大賀寿郎：「オーディオトランスデューサ工学」(日本音響学会／コロナ社、2013)、p. 101。

9 | IC と固体トランスデューサによる高度な電子化電話機

電気通信研究所の前身の電気試験所では、電気絶縁性に優れた強誘電体の研究が盛んだった。チタン酸バリウムの強誘電性を発見したのは戦時中の1944年だった。この伝統は電気通信研究所の材料研究部門に継承され、材料の基礎研究、回路素子への応用の研究が継続されてきた。基礎研究の対象は主として単結晶だった。

強誘電体の重要な性質として圧電性があげられる。電界をかけると機械的に変形し、変形を与えると電荷が発生する性質は利用価値が大きく、高周波数帯の電子部品、例えば表面弾性波素子などへの応用が検討され、成果を上げていた。

しかし、電話機用途の低周波数帯では単結晶よりセラミックに高い利用価値がある。こうした材料の研究はむしろ通研以外で盛んで、種々の材料が提案され、商品化されていた。

9.1 初期の圧電トランスデューサの研究

9.1.1 セラミック圧電材料の研究と実用化

圧電性は強誘電体の性質から理解される。

1例として、圧電セラミック材料の円板の表裏に銀ペーストを塗布するなどによるコンデンサ状の部品を考える [図9-1]。

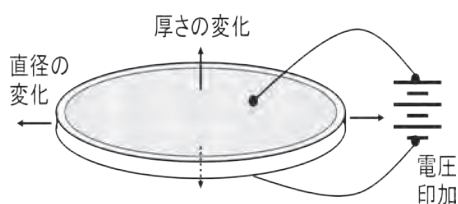


図9-1 セラミック円板の圧電性の利用¹¹⁾

両面間に高い電圧を加えると機械的な変形（例えば直径の伸縮）が発生する。電圧の正負を変化すると変形との関係はヒステリシス特性を示し、電圧を取り去っても元に戻らない。これを分極状態と呼ぶ。

ここで小さな電圧を印加すると比例して変形する、変形させると比例して電圧が発生する。これを一般に圧電性と呼ぶ [図9-2]。

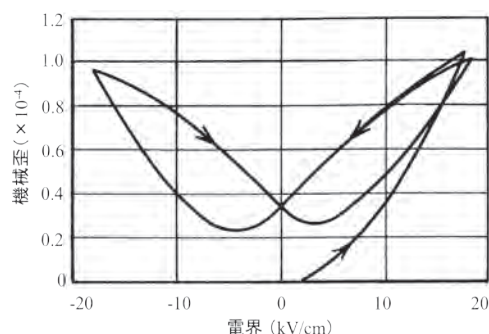


図9-2 セラミック円板の圧電現象¹²⁾

高い電圧をかけるとこれが記憶されて「分極」状態となり、圧電性が現れる。

この現象を用いると種々のトランスデューサを構成できる¹³⁾。圧電トランスデューサは1950年代にチタン酸ジルコン酸鉛（PZT）セラミックが実用化されてから広く用いられるようになった。当初のオーディオ機器用途の代表は、当時普及が始まったLPレコードのピックアップだった。出力電圧が数100 mVと大きく、また出力電圧が針先の変位に比例するので、特別なイコライザを使わずにラジオ受信機の低周波数ステージに直接接続して音楽を鑑賞することができたのである。

9.1.2 圧電トランスデューサの系統的な研究

1960年代前半、電電公社において高度成長期のシンボルといえる600形電話機の実用化がたけなわの時期に、電気通信研究所の富田泰夫らにより電話機用圧電イヤホンの先駆的な研究が行われていた¹⁴⁾。

当時の電気通信研究所では、例えばマイクロホン、イヤホンであれば、

- －基本的な構成の案を選択し、
- －振動の方程式(微分方程式)と境界条件を定式化し、
- －固有値を求めて共振周波数、感度表示式を導出し、
- －これをもとに振動板を設計し、
- －振動板に付加する音響系を設計して構造を決め、
- －モデル試作により特性を吟味して量産試作する。

というような工学的な設計手順が確立されていた。富田らの研究もこうした手順に則って着実に進められた。

感度の高さと製造の容易さを勘案して最終的に選択された振動板の基本構造は、圧電セラミック板（PZT）

と金属板とを貼り合わせたシンプルな「ユニモルフ」構造だった。入力電圧により圧電セラミック板の直径が伸縮するが金属板の直径は変わらないのでたわみ変形が発生する。これを利用するとトランスデューサとしての感度が高くなるばかりではなく、割れやすいセラミック薄板を金属板で補強することになり、丈夫な振動板が得られる [図 9-3]。

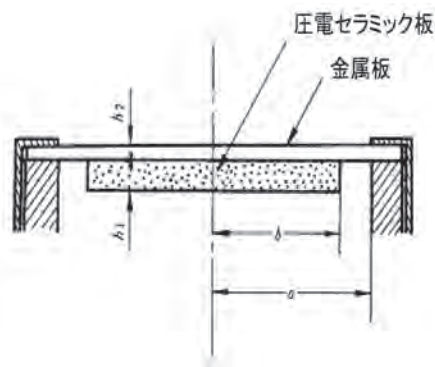


図9-3 金属板とセラミック板を張り合わせたユニモルフ構造
最もシンプルな構成だが、イヤホンにもマイクロホンにも使用できる。

実用上ただ1枚の振動板で薄型、軽量のイヤホンが構成できるのは魅力的である。また、圧電現象は可逆なので、この振動板をそのままマイクロホンに用いることもできる。

実は圧電トランスデューサは、イヤホンとマイクロホンを共用すると更に大きな利点が見られた。前章で述べたように電磁マイクロホンは、平坦な周波数特性を得るには振動板を電磁イヤホンとは異なる制御状態とする必要があり、イヤホンをそのままマイクロホンに使用すると感度周波数特性が微分特性になってしまっ

表9-1 トランスデューサに原理的に要求される振動板の制御状態¹⁵⁾

	マイクロホン (全指向性)	イヤホン (密閉形)	スピーカ (直接放射形)
電磁形 動電形	抵抗制御状態	弾性制御状態	質量制御状態
静電形 圧電形	弾性制御状態		
電気抵抗 変化形	弾性制御状態		

この制御状態を選ぶと周波数特性が平坦になる。
電磁イヤホンをそのままマイクロホンに使用すると制御状態が合わない
圧電イヤホンは圧電マイクロホンとそのまま共用できる。

基本検討の結果を踏まえて、600形電話機用 R-60 イヤホンと同じ大きさのモデルの手作り試作が行われた。圧電セラミック板はチタン酸バリウムとチタン酸ジルコン酸鉛が比較されたが、厚さ 0.3 mm は当時の製造技術の限界だった。金属板の厚さは 0.15 mm で、最大感度を得るにはセラミック板と同じ厚さが望ましいが、セラミック板を薄くできないので共振周波数を合わせるためにこの寸法が選ばれた。材質は熱膨張係数を考慮してチタンを用いたが、検討の余地があるとされている。本来振動板1枚で薄型のイヤホンが構成できるのが圧電イヤホンの特徴だが、ここでは 600 形電話機のハンドセットに装着して実験できるようにしたので無駄な空間が見られる [図 9-4]

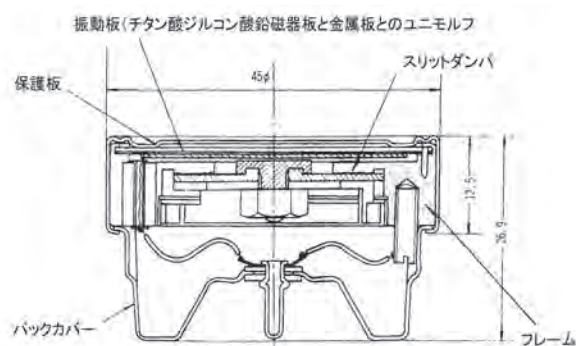


図9-4 600形電話機用R-60イヤホンと実装互換の試作圧電イヤホン¹⁴⁾
圧電セラミック板の厚さは当時0.3 mmが最小限だった。

イヤホン感度は R-60 よりやや低かったが、今後の改良の可能な値だった。周波数特性は 2 自由度構成だったので高周波数領域の感度が不足しているが、これも再設計が可能と考えられた。この研究により、セラミック圧電イヤホンは実用上十分な性能を持っていることが確かめられたのだった [図 9-5]

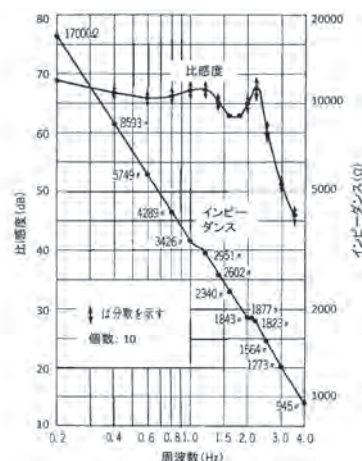


図9-5 試作圧電イヤホンの特性¹⁴⁾
電話機用イヤホンとして十分に実用的と結論された。

しかし、圧電イヤホンはこのときには実用化されなかった。理由は高コストだった。当時圧電セラミック板はまだ極めて高価だったのである。理由の一つは、丸棒からセラミック薄板をスライスする工程での歩留まりの不良だった。

その後、1980年代になってユニモルフ圧電振動板を用いた圧電サウダ、ブザーが簡便な警報音の音源として量産されるようになった。追い風になったのが0.2～0.1 mmの厚さの圧電セラミック板を、丸棒からのスライスではなく平板に練ったグリーンシートを赤外線炉に通して焼成する技術が確立され、圧電セラミック板の価格が大幅に低下したことだった。

9.1.3 各種トランスデューサの実力の比較

炭素粉マイクロホンから脱却した次世代の電話機の音響トランスデューサに何を用いるべきかは電話オーディオ研究者の重要な検討課題であった。一方、電話機のトランスデューサを白紙の状態から選択できるのは100年に1度のチャンス、という意気込みもあった。

このため、筆者は601型電話機の実用化の終期から、電気通信研究所で以前より検討されてきた動作減衰量による評価法を適用し、種々のトランスデューサの変換能率の比較論の研究を行っていた。感度がそれぞれのトランスデューサに固有に定義されているのに対して、動作減衰量によればより公平な比較が可能となる。そこで感度を定式化し、現状の性能に対応するパラメータを用いて定量化し、これから実用状態の動作減衰量を見積もって比較した¹⁶⁾ [図9-6]。

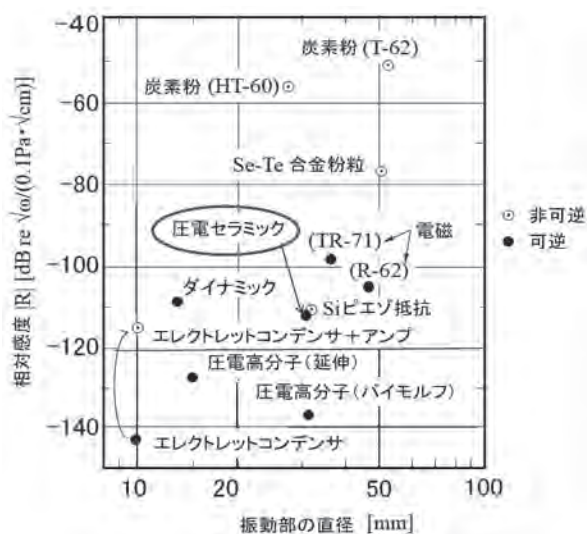


図9-6 種々のトランスデューサの動作減衰量の比較
このスケールでは直径の寄与は小さく、上下の順序は普遍的である。

その結果、量産体制の整った圧電セラミック材料を用いたトランスデューサが電磁、動電トランスデューサに匹敵する変換能率を持つことが明らかとなった。

一方、圧電形以外で当時使用可能なトランスデューサとしては通研が得意の電磁形のほか、マイクロホンにはエレクトレットコンデンサマイクロホン、イヤホンにはダイナミックイヤホンがあった。いずれも民生品用途に大量生産されていた。変換能率のみから見ると圧電、電磁、動電トランスデューサはどれを選択してもよい。また、インピーダンス変換回路を内蔵したエレクトレットコンデンサマイクロホンも同等の性能を持っていることが知られる。

一方、1980年代初期から次期電話機の研究実用化の戦略が議論された。命題は、これまでのように電話機関連技術のすべてを電気通信研究所で開拓する余裕は今後期待できない、という認識を前提とした「選択と集中」だった。

その一環として議論になったのが、NTT独自の設計による各種部品の実用化の是非だった。スイッチなどの入出力部品はすでに市販品の技術が完成している。問題は音響部品と電話機用ICとなった。

有力な意見は、電話機設計に直接かかわるICを独自設計で残し、音響部品は家電製品の技術に任せてよいというものだった。筆者はこれに疑問を提出した。

— 音響トランスデューサは年産100万個程度の需要があれば自動化製造設備への投資が回収できて市場での競争力が生じる。また、この分野では電気通信研究所は世界に冠たる設計能力を持ち、我が方式のトランスデューサはすでに多くの輸出実績を積んでいる。

— これに比べ、ICは製造設備や設計のコストが桁違いに高いので、年間数100万個程度の規模では市場での価格競争力に疑問が残る。したがって外販や輸出が必須となるが、日本以外では電話機にここまでの低電圧動作は要求されない。果たして電電仕様のICには市場での競争力に期待できるか？

結局、次期電話機にはIC、音響トランスデューサいずれも電気通信研究所の独自設計のものを採用するという方針が決まった。

この段階で、筆者は基礎研究部に移って音響システム関連のデジタル信号処理研究プロジェクトの本格的な立ち上げを担当することになり、電話機のトランスデューサ技術の継承は601形電話機で力を発揮してくれた一ノ瀬裕、飛田瑞広の両君に託すこととなった。

9.2 本格的な電子化電話機800P「ハウディ」

1973年以来の2次にわたる石油ショックによって高度成長を絶たれた社会は多様化の様相を見せ始めた。電話機にも「黒電話」以外の多様なデザインと機能をもつ種々のモデルから選択したいという顧客の要求が大きくなってきた。

前述したように諸外国ではデザインを重視した電話機の歴史は古い。電電公社の電話機エンジニアもこれに関心ではなかった。601形の実用化では、従来の600形に比べ容積を大幅に縮小したモデルのモックアップを作成して部内に見せたところ、このような素敵な電話機を標準電話機として設置すると「我が家の電話機もあれに換えてくれ」という要求が殺到して現場が対処し切れない、という声が本社筋から上がり却下となった。通常の企業なら特別料金を設定して拡販するであろう。料金が政府の認可事項になっている公共企業体の不自由を痛感したものだ。

しかし、1980年前後には電話機のデザインの多様化は明らかになっていた。電話機の電子化の動きがその追い風となった。

1980年前後より外国で電話機回路のモノリシックIC化が盛んになり、とくに米国では開発途上国製の安価な製品が市場にあらわれた。中には技術が未熟で音響トランスデューサの選択を誤り、電子化電話機の評判を落とした例もあった。例えば、使用周波数帯域内で質量制御となる振動系をもつコーンスピーカを弾性制御の必要なイヤホンにそのまま使用するのとは初歩的な設計ミスで、高音の聞こえない電話機ができてしまう。

電気通信研究所でも、1982年に発表された601Pプッシュホンには、すでに西野豊、吉利誠らによりシンセサイザ方式の発振器を内蔵したアナログ・デジタル混成回路のモノリシックICが用いられ、簡易なゴム膜を用いた押しボタンの利用が可能となっていた。次期電話機の目標として、こうした技術を電話機全体に拡張し、デザインの自由な電子化電話機を実現することがあげられ、中澤始研究室長、川島功研究専門調査役のもとで実用化が行われた。

大きな技術課題は下記の2つだった。

－ 電話機的全機能をモノリシックICに収める。当時までに実用化されていた電子化電話機では全機能をIC化した例はほとんどなかったが、電気通信研究所は700P電話機の前例を持っていた。

－ アナログ、デジタル混成ICを用いてこれを1チップ化してコストダウンをはかる。すでに601P用ICで検討されていた技術だった。

－ ICの動作直流電圧は2.6Vとする。ICとしては異例の低電圧だが、電電公社のすべての顧客に対応するために必要な特性であり、すでに701Pの送話増幅器で経験していた。

800P電話機のデザインは従来の標準電話機から一転して小型軽量のものとなった。また、電気回路の電子化により内蔵部品の数が増減するため設計の自由度が拡大し、多種多様なデザインの機種が用意された。このシリーズには「ハウディ」の名が与えられた [図9-7]。



図9-7 (a) 800P電子化電話機「ハウディ」シリーズ⁵⁷⁾
1チップICを用いた全電子化構成なので多様なデザインが可能となった。



図9-7 (b) 800P電子化電話機「ハウディ」ディスプレイ付
NTT技術史料館所蔵



図9-7 (c) 800P電子化電話機「ハウディ」拡声付
S-1P拡声電話機に類似の構成の拡声通話機能をもつ。
NTT技術史料館所蔵

1960年代の600形電話機設計に対する聴覚心理グループからの要求に見られるように、必要な周波数特性は用途により異なる。またサウンダにはマイクロホン、イヤホンとは異なる急峻な共振特性と高い変換率が必要である。したがって、個々の周波数特性の設計には異なる工夫が必要となる。ここで電気通信研究所伝統の電気音響学的設計法が重要な道具となった。

4号電話機のマイクロホン、イヤホンが2自由度系、600形、601形のそれらが3自由度系で設計されたのに比べ、801P「ハウデイ」の圧電マイクロホン、イヤホンは振動板と通話者の耳との間の室を2分割することにより4自由度系で設計された。振動板の共振の制動には音響抵抗の再現性に優れた絹膜が用いられた。膜材料は羽二重（絹）であり、テープ状の材料から自動機で円形に打ち抜いて接着する。[図9-12]。

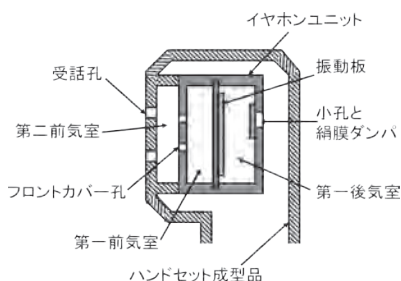


図9-12 800P電子化電話機のイヤホンの実装構造の概念
イヤホンユニットのフロントカバー孔を用いて4自由度系を構成した。

機械音響回路を用いた設計では、希望の周波数特性を得られる回路定数を振動板の質量及びスチフネスで基準化して表す。すでにコンピュータによる電気回路解析ソフトを駆使して複雑な回路の最適化計算が可能となっていたので、耳孔は単純なスチフネスではなくIEC人口耳の等価回路が用いられた¹⁷⁾。基準となる振動板の低数は質量添加による質量変化、又は気室付加によるスチフネス変化により実測して求める。[図9-13]

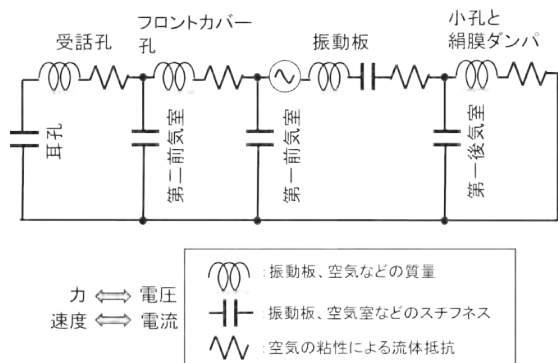


図9-13 (a) 800P電話機のイヤホン系の機械音響回路
従来の電話機より複雑な4自由度系の構成となる。

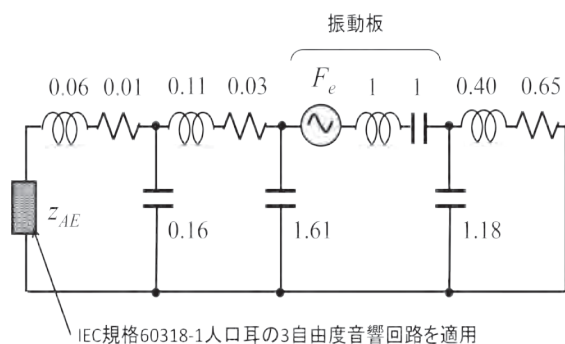


図9-13 (b) 800P電子化電話機のイヤホン系の基準化回路表示⁶⁰⁾

回路定数を音響インピーダンス（音圧と体積速度の比）で記述し、振動板の定数を基準として最適な数値を相対値として求める。800Pでは通話者の耳を単なる室ではなく、IEC規格の人口耳の定数を用いた。

気室のスチフネス、細管の音響抵抗については計算式が与えられているが、特に後者は精度が低く、実験での確認を要した¹⁸⁾。

こうした手法で、イヤホンの周波数特性は目標特性に近いものが実現できた [図9-14]。

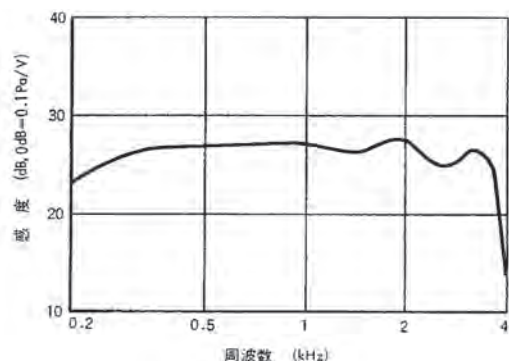


図9-14 800P電子化電話機のイヤホンの周波数特性⁶⁰⁾
4自由度系により目標特性に近い特性を実現した。

マイクロホンは2番目の後気室が密閉され、中に電気インピーダンス変換回路が収納されている。周波数特性は高周波数領域の感度が高い特性が望ましい。これも同じ手法で実現できた [図9-15] [図9-16]。

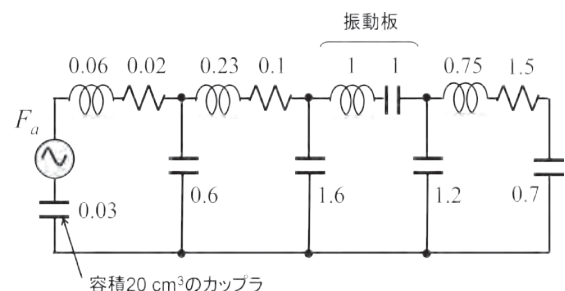


図9-15 800P電子化電話機のマイクロホンの基準化回路表示⁶⁰⁾
測定に用いる容積20 cm³を考慮して設計し、音場特性が最適化されるようにした。

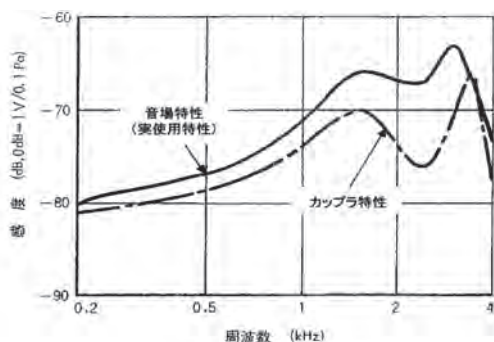


図9-16 800P電話機のマイクロホンの周波数特性⁶⁰⁾
イヤホンとは異なる形状のレスポンスが実現されている。

サウナは振動板の共振とその前室、音孔の共振をなるべく高く強調しなければならない。同じ手法で2自由度の音響系が設計された [図 9-17] [図 9-18]。

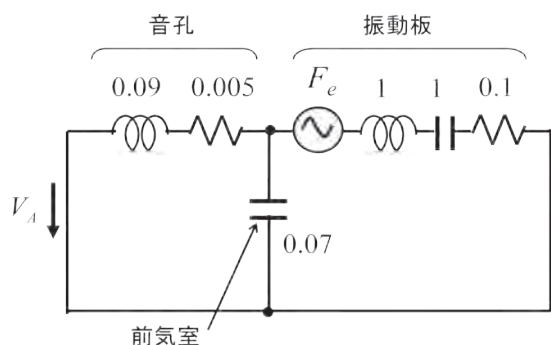


図9-17 800P電子化電話機のサウナの基準化回路表示⁶⁰⁾
共振を強調した2自由度振動系。

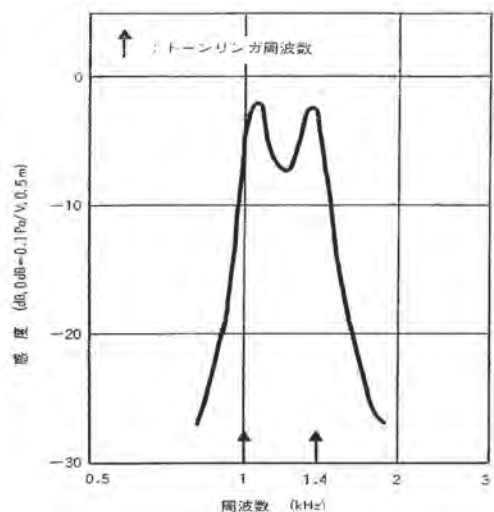


図9-18 800P電話機のサウナの周波数特性⁶⁰⁾
可能な限り大きな音量を得られるように設計されている。

圧電トランスデューサは1960年代の富田、山口による圧電イヤホンの先駆的な検討より20年余を経て、

ようやく800P「ハウディ」において本格的に電話機に導入されたのだった。ここまで遅延した最大の理由は、圧電セラミック板の民生品への需要の伸びによるコストダウンを待たなければならなかったことだった。材料産業から見て電話機への需要は微々たるものであり、他の製品への大きな需要が発生するまでは電話産業は新材料を使うことが難しいのである。

9.2.3 単純化、汎用化された部品とデザイン

800P 電話機ではICと音響トランスデューサ以外の部品は民生品の技術を取り入れて、安価で実績のあるものを選択して採用した。すべての技術を電気通信研究所で実用化するという伝統はここで終焉した。

一方デザインは多種多様となった。800P「ハウディ」は電電公社がまとめた家電製品となったといえよう。

「ハウディ」発売直後の1985年に、電電公社の株式会社化とともに我が国の電話端末が開放され、多くのメーカーが独自設計の電話機を製造、販売することが可能になった。「本電話機開放」と呼ばれる。

各社の製品はすべて電子化電話機であり、多くが電電公社の「ハウディ」と同じ思想による圧電セラミック音響部品を装備していた。一方、振動板の形状は帽子形成型ではなく安価な平板を用いる例も多かった。

電話機用の圧電音響機器はその後約10年にわたり量産され、携帯電話機にも継承されていく。「ハウディ」のトランスデューサはその後の電話用音響部品の技術の源流となったわけである。

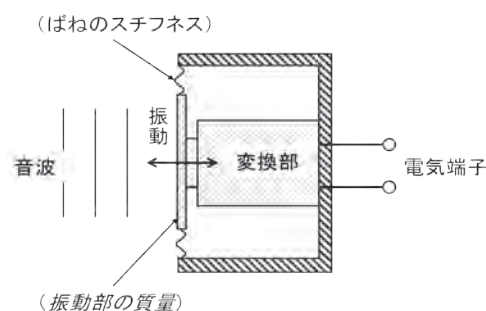
これに比べ、電電公社仕様の電話機用ICはNTT以外のユーザーを開拓することができず短命に終わった。新生NTTは1985年に制定された郵政省の技術基準に対応して、その後の交換機の更改にあたり電話加入者回路などを変更し、市販のICを用いる高抵抗の電話機の接続も受け入れることとなったので、低電圧動作が特徴だった800P用ICの優位性は失われたのだった。

その後、後述するように世の電話機用の市販ICは1チップにこだわることなく、デジタル処理部分を集めた安価なICと音声回路用のアナログIC又は個別部品による回路との組み合わせが主流となっていく。

同一のトランスデューサのマイクロホン、イヤホン共用

音響トランスデューサ（マイクロホン、イヤホン及びスピーカ）では、振動板又は振動膜の機械振動を仲介として音と電気との間の変換を行う。一般に機械振動体では振動部の質量とこれを支えるスチフネスとで決められる周波数での共振現象が避けられない。共振周波数で駆動されると理論的振幅は無限大となるが、実際には摩擦、粘性、放射などによる機械抵抗が作用するので共振振幅は有限となる。共振周波数では振動部は動きやすく、大きな変換能率が期待できるので、超音波機器などではこれを動作すべき信号の周波数に合わせることで高い変換能率を狙う。

しかし、人の声と耳を対象とするマイクロホン、イヤホン及びスピーカは、動作すべき比周波数帯域が10倍余（300～3400 Hz）から1000倍（20 Hz～20 kHz）に及び、その範囲でなるべく均一な変換特性を要求されるので、共振現象はむしろ邪魔であり、使用する周波数帯域に対して共振周波数をどのような値とするかが設計上の要点となる。



質量とスチフネスとにより、ある周波数で共振が生じる。

トランスデューサの基本構成

状態の名称	弾性制御	抵抗制御	質量制御
レスポンスの概要	変位 	速度 	加速度
駆動力に対して一定となる量（矢印の範囲）	$\omega \leq \omega_0$ 振動変位が一定	$\omega \approx \omega_0$ 振動速度が一定	$\omega \geq \omega_0$ 振動加速度が一定
製品としての作りやすさ	最も作りやすい	広周波数帯域化しにくい	動電形なら作りやすい

ω_0 : 振動部の共振周波数

1自由度振動モデルの変位、速度、加速度の周波数特性の概念

信号周波数が共振周波数より低い周波数領域では、一定の駆動力に対して振動変位が一定となる。このとき変位はスチフネスで支配される。この領域を弾性制御の領域と呼ぶ。この領域は堅いばねを用いるので振動系が安定であり、作りやすい。

信号周波数が共振周波数より高い周波数領域では、一定の駆動力に対して振動加速度が一定となる。このとき加速度は振動部の質量で支配される。この領域を質量制御の領域と呼ぶ。この領域は動電（ムービングコイル）トランスデューサであれば使いやすいが、静吸引力のある電磁トランスデューサ、振動部の堅い圧電トランスデューサ、また大振幅動作の難しいコンデンサトランスデューサには不向きとなる。

信号周波数が共振周波数に近い周波数領域では、機械抵抗が大きければ一定の駆動力に対して振動速度が概ね一定となる。このとき変位は機械抵抗で支配される。この領域を抵抗制御の領域と呼ぶ。

平坦で広い周波数特性を得るためには、変換原理によってこれら3種のいずれかの適切な制御状態を選択することが必須となる。

例えば、直接放射形スピーカの出力音圧は、ニュートンの運動方程式より知られるように振動加速度に比例する。したがって、スピーカの振動板は変換原理を問わず使用する周波数帯域の下限以下に共振周波数（エフゼロと呼ばれる）を設定して質量制御としなければならない。このため動電（ムービングコイル）トランスデューサが最適であり、ほとんどのスピーカはこれを用いている。

電話機に用いられる密閉形イヤホンは負荷となる耳孔の容積を変化させて動作するので、振動変位が一定の弾性制御が適しており、共振周波数は使用する周波数帯域の高周波数域に置かれる。弾性制御は変換原理を問わず実現しやすいので、技術的に安定している電磁トランスデューサが用いられてきた。

電磁トランスデューサは可逆なので電磁マイクロホンにも使用可能である。しかし、電磁マイクロホンの出力電流は振動板の速度に比例するので、振動速度一定の抵抗制御領域を用いる必要があり、弾性制御状態では感度が周波数に比例してしまう。したがってこれを補正する積分特性の電気回路と併用する必要が生じる。

これに比べ、同じく可逆の圧電マイクロホンの出力電圧は振動版の変形量、すなわち振動変位に比例するので弾性制御が適している。したがって圧電マイクロホンと圧電イヤホンとは同じ部品を用いても電気的な補正は不要ということになる。

	マイクロホン (全指向性)	イヤホン (密閉形)	スピーカ (直接放射形)
電磁形 動電形	抵抗制御状態	弾性制御状態	質量制御状態
静電形 圧電形	弾性制御状態		
電気抵抗 変化形	弾性制御状態	—	—

この制御状態を選ぶと周波数特性が平坦になる

音響機器の制御状態の選択¹⁵⁾

ジーメンス社（ドイツ）の圧電マイクロホン

1970年代初頭、富田（通研）の先駆的研究が「まだコストが高い」という理由で実用化に至らず終結した後、ジーメンス社（西ドイツ）が1972年に電話機用の圧電マイクロホンを実用化した。振動板は富田の研究と同じユニモルフ構造で、トランジスタによるアンプを内蔵し、既存の炭素粉マイクロホンと互換可能としていた¹⁸⁾。

1974年、筆者が初めての外国出張でミュンヘンに立地していたジーメンス社の電話機設計グループを訪問したとき、筆者は単刀直入に質問した。

「あの圧電マイクロホン、炭素粉マイクと比べてコストはどの位ですか？」

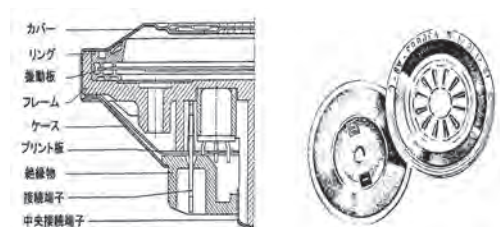
いやなことを訊く、という表情で回答があった。

「おおむね10倍くらいでした」

「どの電話機に使うのですか？」

「使用頻度の高いコインテレホンですよ。炭素粉マイクロホンに比べずっと長寿命ですからね」

実は他国の電話機部品の寿命はほとんど公表されておらず、それ以上の討論はできなかった。欧州の炭素粉マイクロホンの寿命はわが国より短いと聞いていたので一応納得した。一方、わが国では炭素マイクロホンは10年間は完全に使用可能だから、長寿命を理由にコスト10倍のマイクロホンを使うという解はなかっただろう。



炭素粉マイクロホン互換の圧電マイクロホン

その後、CCITT 研究所（ジュネーブ）の所長が来日して通研を訪れたときに、雑談で訊いてみた。

「欧州では炭素粉マイクロホンは何年くらい使われるのですか」

「寿命は長いですよ。3 年くらいは使えます」

これで更に納得したが、それでもコスト 10 倍とは高価だったといえよう。実際、その後圧電マイクロホンが広く導入されたという話は聞いていない。

第 9 章の文献

- I1) 大賀寿郎：「圧電材料を用いた音響部品のバラエティ」、Fundamentals Review（電子情報通信学会 基礎・境界サイエティ誌）、1, 4（2008. 4.）pp. 46-60。
- I2) 高木豊、田中哲郎（監修）「驚異のチタバリ」、丸善（1990）p. 160。
- I3) 大賀寿郎：「オーディオトランスデューサ工学」、日本音響学会／コロナ社（2013）p. 32。
- I4) 富田泰夫、山口強：「圧電形受話器の検討」、研究実用化報告、14、4（1965）、pp. 703-742。
- I5) 大賀寿郎：「オーディオトランスデューサ工学」、日本音響学会／コロナ社（2013）、p. 59。
- I6) 大賀寿郎：「動作減衰量に着目した各種電気音響変換器の比較」、日本音響学会誌、39、3（1983）、pp. 156-164。
- I7) IEC 60318-1: Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 1: Ear simulator for the measurement of supra-aural and circumaural earphones.
- I8) E.Martin, E.Mueller, "Piezoelectric transmitter inset Ts71 for telephones", Siemens Rev., 39, 12（1972）pp. 565-568.

10 | 電電公社の民営化による大変革

前章で述べたように、800P 電話機「ハウディ」が実用化された翌年の 1985 年の 4 月、電電公社は株式会社に改組され、同時に電話端末は電電公社の独占から開放されて自由市場となった。米国では 1970 年代から電話機の独占体制が問題視され、大幅な緩和に向かっていったが、この流れが我が国にも波及したわけである。

この前後の業界の動きは、まず電話機を評価する技術に大きな変革をもたらした。

10.1 客観測定による電話機の性能評価法の確立

電話機の通話品質の評価には、これまで述べてきたように明瞭度に準拠する AEN と音量（ラウドネス）に準拠する RE が用いられてきた。いずれも訓練された専門のクルーによる主観測定で、手間のかかる特殊技術であり、会社間の取引における検査に用いるには適当でない。

このため、単純な物理測定で電話機の通話品質を評価する方法が検討され、一部は製品として販売されていた。

10.1.1 B&K 社の OREM とラウドネス定格

ブリュエル・アンド・ケア社（デンマーク）は音響、振動分野の計測機器のメーカーとしては絶大な信用があり、CCITT や IEC の測定法の国際規格でも同社の製品を念頭におく例が見られた。電話機の測定についても RE の近似値を客観測定する機器として OREM と呼ばれる装置が商品化されていた。この装置には測定における炭素粉マイクロホンの前処理（振とう処理）を CCITT の基準に即して機械的に行う装置が含まれていた [図 10-1]。

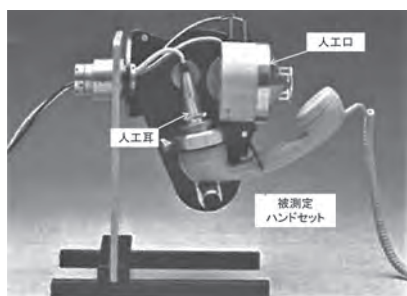


図10-1 電話機の通話品質を測定するOREMシステムのハンドセット測定ヘッド^{K1)}

イヤホンに人工耳を、マイクロホンに人工口を結合し、所定の手順でゆすって炭素粉マイクロホンの前処理を行う。

また、主観測定に近い RE 値を物理測定結果より算出する方法もいくつかの機関で研究されていた^{K2)}。

さらに CCITT（国際電信電話諮問委員会）により、客観測定に適した測定が可能で、相加性にも優れている新規格 LR（ラウドネス定格）が規格化された。これは RE と同じく、NOSFER を基準系とする主観測定による方法だが、電話機と同じく周波数帯域の狭い IRS（中間基準系）を用意することを特徴とする。

まず IRS と NOSFER とを比較して同じラウドネスとなる IRS の減衰器の読みを求める。次に被測定電話機の当該部（例えば送話系）を疑似伝送線路、電源供給系を介して IRS の当該部とつなぎ変え、NOSFER と比較して同じラウドネスとなる IRS の減衰器の読みを求め、両者の差を LR 値とする。音色の似た系同士の間接比較を行うので再現性が良く、また双加性が良い（例えば送話系、受話系の LR 値の和が電話機全体の LR 値に近い）という特徴があるとされた [図 10-2]。

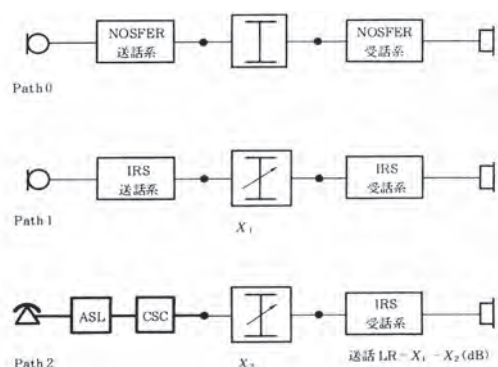


図10-2 送話系のラウドネス定格 (LR) の測定^{K2)}

被測定電話機の送話系を疑似伝送線路（ASL）、電源供給系（CSC）を介して中間基準系（IRS）に接続して、基準系（NOSFER）とラウドネスを比較する。

10.1.2 NTT 通研が実用化した AURAL

こうした流れに呼応して、RE、LR 両者の主観測定に近い値を客観測定で求める手法がいくつかの国で検討され、CCITT に提案されてきた。電気通信研究所では入井寛、寛一彦が 16 ビットパーソナルコンピュータを用いてプログラム制御する客観測定システム AURAL を実用化し、CCITT に寄贈して勧告制定に貢献した [図 10-3]。

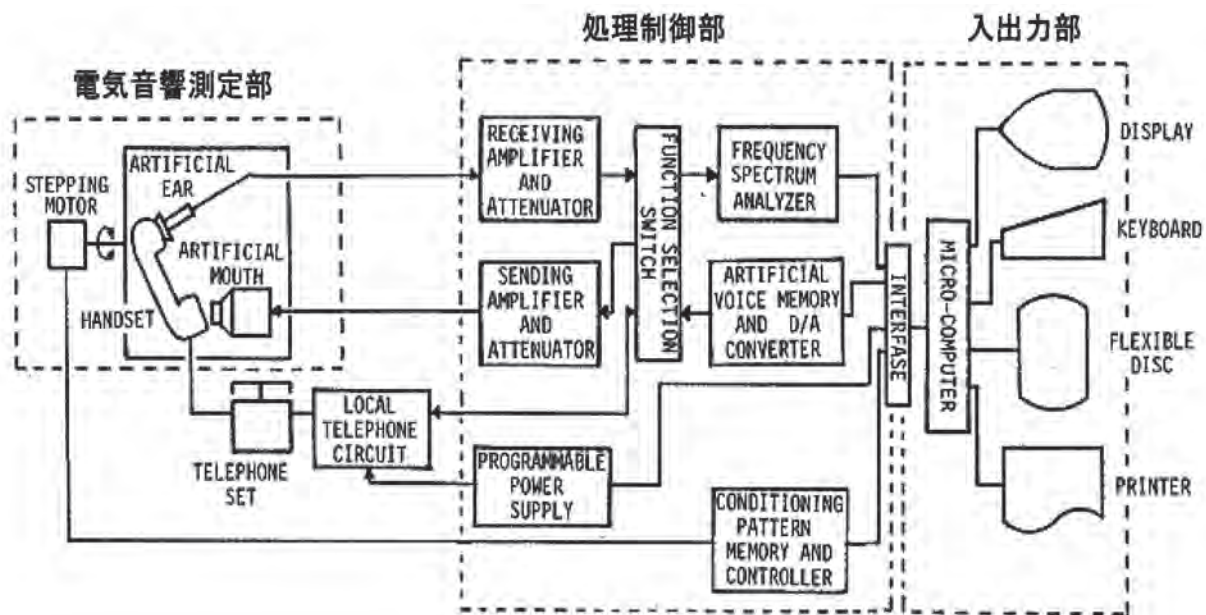


図10-3 REとLRの客観測定装置“AURAL”^{K3)}

16ビットパーソナルコンピュータを用いて信号の発生、測定、データ処理をプログラム制御で行う。
主観測定との関係が吟味されている

なお、CCITT は 1993 年に ITU-T（国際電気通信連合、電気通信標準化部門）に改組となる。

10.2 電話端末の自由化に対応する技術標準化

電電公社の株式会社化以前から、電話端末の評価方法には大きな波が押し寄せていた。

最初に述べたように、1890 年にわが国で電話サービスが開始されて以来、電話端末機器は直営機器のレンタル以外は認めない時代が長く続いていた。1953 年には構内交換設備（PBX）や専用回線では電電公社の技術基準に適合すれば直営でない機器の接続を認めることになり「端末の開放」といわれたが、制約は依然として大きかった。1957 年には電話 1 回線に 3 台まで電話機器を接続すること（ブランチ接続）が認められたが、うち 1 台は直営機器（本電話機）とする規定となっていた。1972 年には電話網を用いたデータ通信が認められた（網開放といわれた）が、電話通話部分に用いる機器はやはり直営機器が原則とされていた。

この他の増設される電話機器も、第 8 章のコラムで言及した電電公社の「加入電話等の附属設備及び接続機器の技術基準」に関する規則を守ることが求められていた。これには、「マイクロホン、イヤホンは電電公社の設計の部品を用いる」ことが規定されていた。

特性規定ではなく「もの規定」だったわけである。

10.2.1 電電公社による電話機の独占への逆風と変革

あまり知られていないが、電電公社の株式会社化に先立つ 1980 年代初期に、この規定が抜本的に改正されていた。簡単に言えば「我が国で使えている電話機がなぜ日本で使えないのだ。日本でも売れるようにしろ」という外圧に耐え切れなくなったのである。

このため電気通信研究所の担当者は、可能な限り多種の内外の電話機を集めて測定し、ほとんどの電話機が合格するような送話系、受話系の周波数特性の許容範囲規定を極めて短期間で作成して技術局基準担当に送付した。これに応じて技術基準がもの規定から RE 値と周波数特性の許容範囲の規定に改正された。

実はこのとき手を焼いたのが、1979 年に極めて短期間で実用化した 701P 電話機だった。実用化終了直前にハウリング対策のため手直ししたマイクロホンとイヤホンの周波数特性が他の電話機とはかなり異なっていたのだった。自業自得である。

この変更に関する業務の通研サイドの担当者は筆者だったが、文字通りの急造仕事で、1960 年代に 600 型電話機の設計に対して通話品質研究グループから出された「理想特性」のような周到な研究に基づいたものではなかった。第 8 章のコラムで述べた電話機の直流抵抗規格の変更もこれと軌を一にしていたと想像す

る。担当者たちは、先輩方により永く培われたわが国の電話システムが、音を立てて崩れていくような思いをしたものだった。

1985年4月1日、電電公社は株式会社に改組され、従来電電公社の英文名の略称だった「NTT」が通称として使われるようになった。同時に（同時にしなければならない理由は必ずしも明確ではなかったが）我が国の電話端末は開放された。

この前日に筆者は電電公社を退職し、翌日付で富士通（株）宅内機器事業部に移籍して、スタートしたばかりの一般市販用電話機のビジネスに音響技術者として参加することとなった。新生NTTとは競合する事業である。

10.2.2 購入仕様書に代わる郵政省令と通信工業会規格

電話端末の開放に伴って、電電公社時代のアナログ電話機の技術基準が郵政省令として引き継がれた。

ところが、通話特性の規定については3ヵ月後に省令から削除されてしまった。「そのような細かい規定を政府が決めるのは貿易の非関税障壁である」とする圧力に押されたためといわれている。

結局、電話機の通話特性の規定はCIAJ（通信機械工業会）規格へ移行することになった。周波数特性の規格は元の電電公社の新技术基準を小変更のうえ踏襲している。いずれも線路の条件は0.4 mm 径、損失7 dBの疑似線路を用いて測定することとなっている [図10-4] [図10-5]。

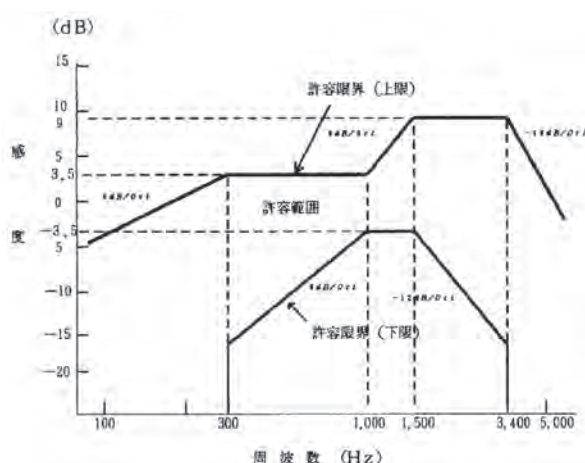


図10-4 電話機の送話系の周波数特性の許容範囲のCIAJ規格^{K4)}

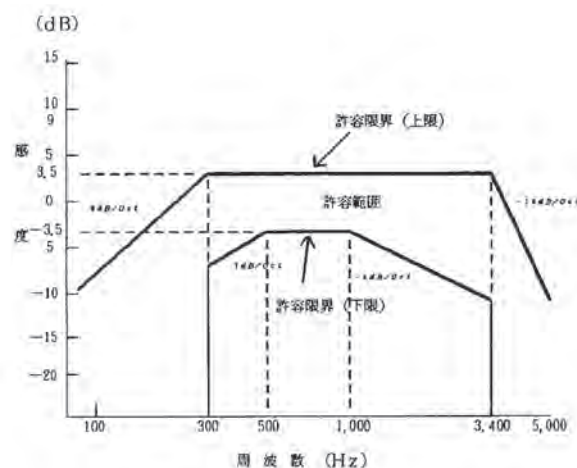


図10-5 電話機の受話系の周波数特性の許容範囲のCIAJ規格^{K4)}

なお、この規定に相当する規格は米国ではEIA (Electric Industries Association) 規格である。CIAJ規格より許容範囲はやや広めだが、1000 Hzで0 dB点に合わせたうえで評価されている^{K5)}。

10.2.3 音声通話用部品の電子機械工業会規格の作成

完全に自由市場となった電話機とその部品の業界にはただちに混乱が生じた。これまで規格の役割をしていた電電公社の仕様書類が廃止されたため、各社がまちまちの基準で検査を行うようになったので、多くの行き違いが発生したのだった。

これまで縁のあったいくつかのメーカーの担当者から、筆者に新規格の制定の旗振りの要請があった。これをNTTの後輩に打診してみたが「もうNTTには製造業界をまとめる力はない」という回答だった。

そこで、電電公社最後の電話音響技術者の一人として、筆者が技術標準化の音頭をとるのが妥当ではないかと決心し、西村昌三事業部長の了解を得た。命題は電話機用音響部品のマイクロホン、イヤホン、リング用サウンダの工業会規格を作成することだった。

従来、電話機に最も近い工業会は通信機械工業会 (CIAJ、郵政省傘下) だったが、筆者は電話機が早晚通信機ではなく家電製品になると予想していたので、民生用オーディオ機器の規格作成を行っている日本電子機械工業会 (EIAJ、通産省傘下) の音響技術委員会に、電話機、インタホンなどに用いられる音声通信用トランスデューサの規格作成を提案した。山室勲委員長及び委員の快諾を受けて1986年より新組織で作業を開始することとなった。

最初に取り上げたのは圧電セラミックユニモルフ

(又は表裏に圧電セラミック板を貼ったバイモルフ)の振動板を持つサウンダと、これに発振回路を内蔵させて直流入力で動作するブザーだった^{K6)}。電話システムでは呼出し用リングに用いられる。

当時これらは警報音発生用の高信頼部品として爆発的に生産数を伸ばしていたのに、性能評価法はおろか名前もバラバラだったのである。新設された小委員会には24社と異例の多数の会員会社が集まり、筆者が主査となった。審議は、振動板をプラスチックなどのケースに収容したものを「サウンダ」と呼ぼう、自励発振回路を内蔵したものを「ブザー」と呼ぼう、という命名論から始まり、性能評価法、形式表示法などがまとめられて1988年に規格が制定された。すぐに改正作業が継続され、電磁形など圧電以外の変換原理のものを含む規格に拡張されていく[図10-6]。

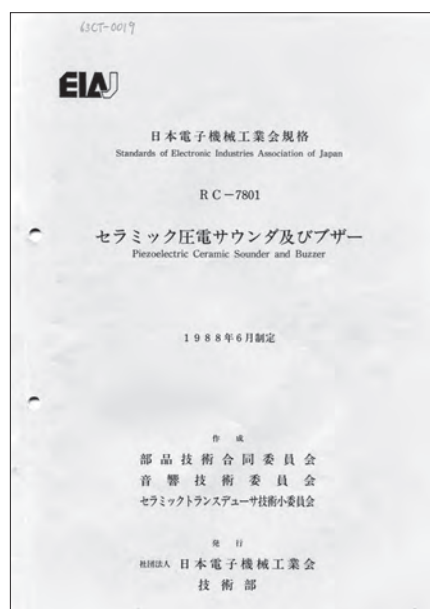


図10-6 EIAJ規格RC-7801「セラミック圧電サウンダ及びブザー」(1988)^{K7)}

その後の改正で内容が拡張され、RC-8180「サウンダ及びブザー」となった。

次に手がけたのが電話機用を含む音声通信用のマイクロホン、イヤホンの評価法などの技術標準化だった。このとき、親委員会は映像機器も含むマルチメディアシステム標準化委員会に改組されていた。やはり小委員会を組織して作成した新規格では、音響機器関連技術のみならず、従来世界的に規格らしいもののなかった電話機本体とハンドセットコードとの接続に用いられる4溝4極モジュラコネクタの概要とピン接続方法も規定することが、改組された小委員会で合意された[図10-7]。



図10-7 EIAJ規格RC-8104「音声通信用マイクロホン及びイヤホン(送話器及び受話器)」、RC-8104(1991)^{K8)}

電話機のハンドセットコードに用いられる4溝4極モジュラコネクタも規定した。

これらの規格の制定によって、初期の混乱は一応解消されたものと考えられる。

10.2.4 IEC(国際電気標準会議)での音響部品規格の作成

1980年代後半には我が国は世界の音響部品工場で、例えば民生用コンデンサマイクロホンは世界の半数を横浜の1社が、残りのうち半数を大阪の1社が製造販売しているという状況だった。しかし、いずれの部品も中国など外国での製造が盛んになってきているので国際規格が欲しい、という声が、これらの規格の審議当初から強くなっていた。

国際規格を作るとすれば民生用オーディオ機器の技術を対象とするIEC(国際電気技術連合)規格であり、審議母体となるTC(技術委員会)はTC84(Equipment and systems in the field of audio, video and audiovisual engineering)である。

まず工業会から同TCに日本政府経由でサウンダ、ブザー、そして音声通信用マイクロホン、イヤホンの新課題提案を行う必要がある。行きがかり上筆者がその矢面に立つことになり、準備を開始した。

1991年8月に日本から送付したサウンダ、ブザーの新課題提案には各国の反応はおおむね好意的だったが、特に発振回路を内蔵するブザーは単純な電気音響変換器ではないのでTC84のScopeから外れるのでは、というような意見があった。このため、

サウンダのみとするなど手直しを加えた。この提案が国際投票に付され、条件を満たして採択となって新プロジェクトが設置され、プロジェクトリーダーとして筆者が指名された。規格原案の検討はすでに国内で EIAJ 規格改正審議と同時進行で進んでいたもので、IEC 作業部会原案 (WD) は直後に完成し、各国に配布された。1992 年秋に技術部会原案 (CD) への昇格が可決され、翌年に技術部会最終原案 (CDV) への移行が承認された。CDV は 1994 年 4 月に完成し、国際投票に供された。

一方、国内の EIAJ 規格審議は同時進行しており、改正された国内対応規格が同年 9 月に制定された。これには IEC 規格で省略した項目も網羅し、次期 IEC 審議に備えた。

IEC 各国投票結果では規格の根幹にかかわる意見がなかったため国際規格原案 (DIS) に移行し、1995 年に最終国際投票が実施され、賛成多数で新国際規格 IEC1329 "Sounders" (略称) が誕生した [図 10-8]。



図10-8 IEC 1329 “Sound system equipment – Methods of measuring and specifying the performance of sounders (electroacoustic transducers for tone production)” (1995) ^{K9)}

後に規格番号は61329と改番された。

これらの作業に関して、同一のプロジェクトリーダーにより国内、国際規格作成を同時進行させるという方法が今後の国際技術標準化活動の規範になると評価され、筆者は 1996 年に IEC 活動推進会議より運営委員長表彰を受けることができた。駆け出しの国際規格屋には思いがけない光栄であった。

次に手がけたのが電話機用を含む音声通信用マイクロホン及びイヤホンの国際規格化だった。国内規格で規定した 4 溝 4 極モジュラコネクタの規定も提案することが国内委員会で合意されていた。

IEC でのサウンダ規格審議が CDV まで到達した 1994 年に、これを日本から TC84 に新課題提案し、投票にかけられ、賛成多数で 1995 年からプロジェクトが発足した。このプロジェクトリーダーにも筆者が就任した。TC84 が TC100 に改組された 1996 年にこのプロジェクトは CD 段階へ移行した。ここまではまあ順調だった。

ところが、折から IEC の中枢で組織の合理化が課題となり、最新分野を扱う TC100 をモデルとして改組しようという騒ぎが発生し、個々の規格審議作業が大幅に遅延した。待たされた挙句 2000 年にやっと CDV を各国に配布、投票、可決となり、翌 2001 年には国際規格最終原稿 (FDIS) を配布、投票、賛成多数で承認となって 2002 年に IEC 61842 “Microphones and earphones for speech communications” 国際規格が出版された。

4 溝 4 極モジュラコネクタの規定に関しては各種コネクタを所管している他 TC との調整の影響で、寸法公差などのないゆるい規定となってしまったが、広く使われているハンドセットコード用コネクタを規定した世界最初の規格となり、通信端末産業界からは評価された [図 10-9]。



図10-9 IEC 61842 “Microphone and earphone for speech communications” (2002) ^{K10)}

従来の民生用マイクロホン、イヤホンなどを統合した IEC 60268 とは別の規格番号が与えられ、独立規格となった。

IEC規格作成の紆余曲折

IEC 規格の作成は一応順調だったが、いくつかのトラブルにも遭遇した。

IEC における新規格化課題の公式提案は、TC の会員各国の投票で過半数の賛成と一定数以上の審議参加国がないと採択にならない。そのためには根回しを要する。そこで、サウンダ、ブザーの新課題提案をもくろんでいた 1989 年に、プラハで開催された TC84 会議に筆者が出席した折に、セクレタリに依頼して正式提案前の臨時説明会を設定し、音響デバイス技術関係の各国代表を招いてプレゼンテーションを行った。新課題提案が一度否決されると類似の提案を出しにくくなるので慎重を期する必要があったのである。

ところが翌 1990 年、中国が何の挨拶もなく同じような新課題提案を出してきた。どうやら IEC 総会をその年の秋に初めて北京で行うこととなっており、景気をつけるためお上から新課題提案の件数を割り当てられた結果らしかった。この提案は型通り国際投票に付され、日本は一応賛成投票したが、審議参加を表明した国が不足して不採択となってしまった。

この年の 10 月の IEC/TC84 北京会議の総会でこの件の確認が行われた。ここで却下が決まったら万事窮する。筆者は発言を求め、乏しい英語力ながら、

「本件については若干の誤解と討論不足がある、あらためて日本と中国とで検討したい」と述べた。続いて中国の委員が全面的な協力を表明し、この提案は了承された。中国提案は日本には寝耳に水であったが、おかげで関係者の関心をひくことができ、災を転じて福とした感があった。

1991 年 8 月に日本から送付した新課題提案では、誤解を招きやすい項目を外してサウンダのみとするなど手直しを加えた。この提案が国際投票に付された直後に開催された TC84 ハーグ会議では主要国、とくに中国提案に反対投票した国の代表をつかまえて賛成を勧誘した。

1992 年春に報告された投票結果では、日本提案は条件を満たして採択となり、新プロジェクトのリーダーとして筆者が指名された。規格原案の検討はすでに EIAJ 規格改正審議と同時進行で進んでいたもので、作業部会原案 (WD) は直後に完成し、各国に配布された。1992 年秋の TC84 シカゴ会議でこのプロジェクトを扱う新作業部会 (WG) を設置することとなり、コンビナ (主査) としてやはり筆者が指名された。

WG 発足 6 か月後には最初の技術部会原案 (CD) が各国に配布され、各国意見が集約された。これをもとに作成された 2 次 CD が 1993 年 IEC/TC84 アテネ会議で審議され、技術部会最終原案 (CDV) への移行が承認された。CDV は 1994 年 4 月に完成し、国際投票に供された。

一方、本文で述べたように国内の EIAJ 規格審議は同時進行しており、同年 9 月に国内対応規格が制定された。

IEC での各国投票の結果では規格の根幹にかかわる意見がなかったため、エディトリアルな事項を修正のうえ国際規格原案 (DIS) に移行し、1995 年に最終国際投票が実施され、賛成多数で新国際規格 IEC1329 "Sounders" (略称) が生まれた。

作成所要期間はプラハでの非公式プレゼンテーションから 6 年、新課題提案可決から 3 年半であった。今はインターネット審議が定着したので作成期間は短縮されている。

次に手がけた音声通信用 (すなわち電話機用) マイクロホン、イヤホンの技術標準化では、EIAJ 規格の改正とともに IEC 化を並行して進めようと考えた。本文で述べたように音響機器関連技術のみならず、従来規格らしいもののなかったハンドセットコードの端子となる 4 溝 4 極モジュラコネクタの概要とピン接続の規定も提案することが国内委員会で合意されていた。

IEC でのサウンダ規格審議が CDV まで到達した 1994 年にこれを日本から TC84 に新課題提案し、投票にかけられ、賛成多数で 1995 からプロジェクトが発足した。このプロジェクトリーダーにも筆者が就任した。モジュラコネクタについてはコネクタを担当する TC との役割分担が問題となって議論に翻弄されたが、TC84 が TC100 に改組された 1996 年にこのプロジェクトは CD へ移行した。ここまではまあ順調だった。

ところが、折から IEC 中枢で TC 組織の合理化が課題となり、最新の技術分野を扱う TC100 をモデルとして改組しようという騒ぎが発生し、個々の規格審議作業が大幅に遅延した。ついに TC 内のコンビナ、

プロジェクトリーダー有志が連名で事務進行を滞りなく進められたいという意見書を出す事態となってしまった。待たされた挙句2000年にやっとCDVが各国に配布され、投票、可決となり、翌2001年にはFDIS(国際規格原案、DISを改称)を配布、投票、賛成多数で承認となって2002年にIEC 61842 “Microphones and earphones for speech communications” 国際規格が出版された。

コネクタの規定に関しては他TCとの調整が最後までもめた。結局、寸法公差などのないゆるい規定ならよからう、ということになってしまったが、世界最初の規格となったのは有意義だった。

筆者はその後IECのプロジェクトリーダー業が仕事の一部となり、大学人になってからもTC100で既存の音響機器の規格の改正などを主宰した。これは英語の苦手な筆者には格好のOJTとなった^{K11)}。

第10章の文献

- K1) B&K 社技術資料。
- K2) 小池恒彦、笈一彦、古井貞熙、北脇信彦、東倉洋一：「音声情報工学」(NTT 技術移転、1987)、p. 229。
- K3) 入井寛、笈一彦：「ラウドネス客観測定器の実現」、電子情報通信学会論文誌、J 67- A、1 (1984)、pp. 45-52。
- K4) 情報通信ネットワーク産業協会 (CIAJ) 規格 CES-0004-3 「電話機通話品質標準規格 広帯域 IP 電話端末 (ハンドセット)」(2007)。
- K5) EIA Standard RS-470: “Telephone instruments with loop signaling for baseband applications” (1981)。
- K6) 大賀寿郎：「オーディオトランスデューサ工学」、日本音響学会／コロナ社 (2013)、p. 35。
- K7) EIAJ 規格 RC-7801 「セラミック圧電サウンダ及びブザー」(1988) (現行規格は RC-8180 「サウンダ及びブザー」)。
- K8) EIAJ 規格 RC-8104 「音声通信用マイクロホン及びイヤホン (送話器及び受話器)」(1991)。
- K9) IEC Standard 1329: “Sound system equipment – Methods of measuring and specifying the performance of sounders (electroacoustic transducers for tone production)” (1995)。
- K10) IEC Standard 61842: “Microphone and earphone for speech communications” (2002)。
- K11) 大賀寿郎：「英語ダメ人間と国際規格作成」、電子情報通信学会誌、91、1 (2008) pp. 1-4。

11 | 商品としての電話機とその技術

1986年、別件で米国ロスアンゼルス近郊のフジツウ・ビジネス・コミュニケーション・システムズ社に出張した折に近所のスーパーマーケットに立ち寄った。電話機は雑貨売り場に陳列されており、隣にはハエタキ（米国にもあった！）や骨形の犬のおしゃぶりが並んでいた。我が国でも電話機は早晩通信機から脱却して雑貨になると確信できた。

米国と比べ、多くのスーパーマーケットに盛んな家電製品売り場がある我が国では、電話機が家電製品の一角を占めるのに時間はかからなかった。

11.1 電話機商品の例と位置づけ： 通信機から家電製品へ

11.1.1 家電製品となった電話機

「国を代表する大企業が一元的に管理した電話機設計」の時代の終焉とともに、電話機商品の構成はシンプルになった。呼出しは安価なサウンドを使ったトーンリングに統一されたが、その発声音の周波数は広く供給されているサウンドの振動板の共振周波数に合わせて2 kHz程度の例が多く、老人性難聴者にはいささか不親切となっている。ダイヤルは電卓と同様のゴムスイッチとデジタルICの組み合わせとなった。当初はDP信号専用だったが、すぐにDP信号とPB信号を切り替え可能（スイッチャブル）、更にPB信号専用と変化する。通話系にはダイヤルとは別のアナログIC、又は個別部品による回路が用いられた。筐体などの成型品は安価なABS樹脂が一般的となり、小型化と合わせて重量が削減された [図 11-1]。

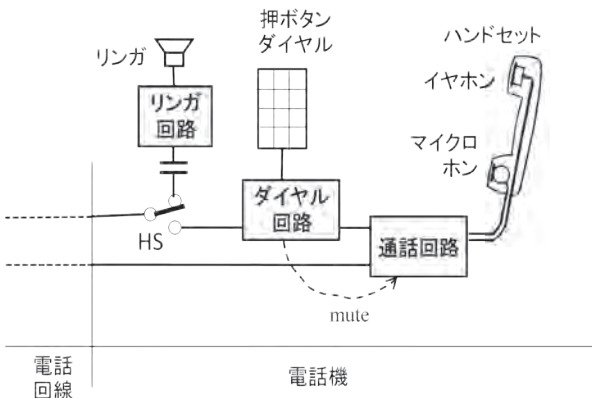


図 11-1 商品となったアナログ回線用電話機の構成^{L1)}
電話基本機能部を表す。ファクシミリなどの電話機能部も同様。

外観デザインは百花繚乱となり、多くの工業デザイナーが競って斬新なデザインの電話機を生み出すようになった。「顧客から取り換えを要求されるから外観イメージは変えないように」と営業部門から指令された 601 電話機の時代とは隔世の感があった [図 11-2]。



図 11-2 (a) 富士通テレホン「アンティスリム」
北欧のデザイナーに依頼した個性的なデザイン。セレブな邸宅を舞台としたTVドラマで小道具に使われて評判になった。



図 11-2 (b) 富士通テレホン「キラン」
若者向けの斬新な発想のハンディなデザイン。置台が用意されていた。

11.1.2 電話機を販売する会社の交代

電話端末開放後は電話加入数は更に増加し、1989年には5000万に達した。またこの間、他の家電商品と同様に電話機を供給する会社の間で市場のシェア争いが繰り広げられ、有力な業者の順位は目まぐるしく変化した [表 11-1]

表11-1 電話機器の市場におけるシェアの変化
1985年まで電話機ではほぼ100%を保っていたNTTのシェアは急速に低下した。

家庭用電話機		参考：電子式構内交換機	
1988年度：留守番電話機、コードレス電話機が主力に			
NTT	(%) 30.0	NEC	(%) 32.0
松下通信工業	20.0	富士通	28.0
シャープ	9.5	日立	16.0
三洋電機	5.5	NTT	3.0
その他	29.0	その他	6.0
1991年度：家電メーカーの一人勝ち、NTTのシェア減少			
シャープ	(%) 22.5	NEC	(%) 31.0
三洋電機	16.3	富士通	29.0
NTT	16.0	日立	16.0
松下通信工業	11.0	沖	12.0
パイオニアコム	8.2	東芝	7.0
その他	26.0	その他	5.0

目立ったのはNTTの凋落だった。3年後に30%、6年後に16%という数字は、ほぼ100%を占めていた電話端末開放以前に比べ劇的だった。

一方、もともと自由市場になっていた電子式構内交換機(PBX)の分野では、電電公社に多くの製品を納入してきたいわゆるファミリーメーカー、特にNECと富士通がシェアを分け合い、電電公社の影は薄かった。しかし、電話機の市場ではこれらのメーカーも(筆者の所属した富士通も含めて)苦戦することとなった。

完全に家電製品となった電話機に関しては、NTTと通信機メーカーは等しく競争に弱かったといえよう。

11.1.3 音響トランスデューサの変化

電電公社が800P「ハウディ」で採用したセラミック圧電トランスデューサには一定の評価があり、特に電電公社と関係の深かったメーカーは自由市場向けの電話機にも採用した。

しかし、その振動板はハウディのような成型基板を用いたものではなく、警報音放射用サウンダ、ブザーの用途に大量生産されている、鉄板の基板を持つシンプルで安価な円板形のユニモルフだった。この種の振動板は一般に共振周波数が1700~2000Hzで電話機用としてはやや高く、周波数特性の最適設計がやりにくくなるのだが、ハウディが600形電話機時代の厳密な設計目標を重視していたのに対し、端末開放後の電話機では許容範囲の広い通信機械工業会規格の周波数特性規定に適合すればよい、という思想をとったため設計の自由度が大きかったように思われる。

固定電話機用のセラミック圧電トランスデューサはその後約10年使われた。特にリング用サウンダにはセラミック圧電振動板がその後も定番となっていく。

しかし、マイクロホンとイヤホンについては、エレクトレットコンデンサマイクロホンと動電イヤホンが

勢力を増していく。

エレクトレットコンデンサマイクロホンは1960年代に米国ベル電話機研究所で発明され、1970年代に日本のメーカーによって民生用化、量産化されたものである。マイクロホンユニットの内部に小規模ICによる電気インピーダンス変換回路を内蔵させることによって実用性を獲得し、携帯電話機、ビデオカメラなどに用いられて年産10億個を超え、価格が急速に低下したので、固定電話機を含む多くの用途に用いられるようになった[図11-3]^{L2)}。

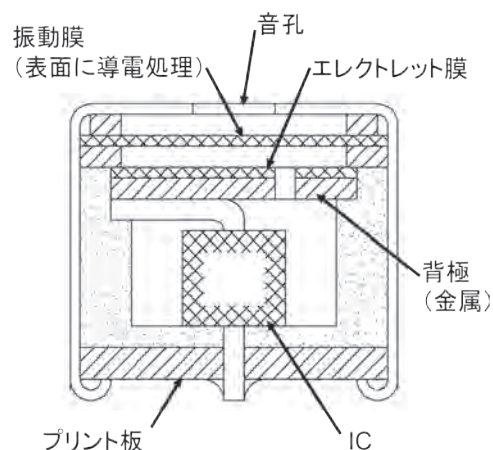


図11-3 エレクトレットコンデンサマイクロホン^{L2)}
バックエレクトレット形、直径約5mm程度が一般的。

動電イヤホンは電話機用として長い歴史を持つが、電磁イヤホンに比べ大型の磁石を用いる必要があり、寸法、重量いずれも電磁形より不利だった。ところが、1990年代より実用化されて価格が急速に低下したネオジム(ネオジミウム)磁石は従来の磁石に比べ桁違いに強力であり、これを用いたシンプルな構造の動電イヤホンが劇的に小型軽量化されて電磁、圧電イヤホンを駆逐したのだった[図11-4][図11-5]^{L3)}。

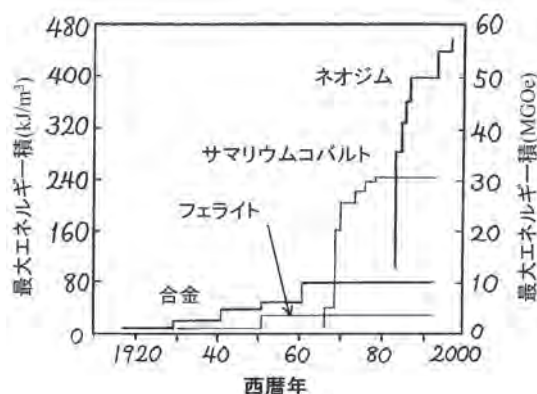


図11-4 ネオジム磁石によるイノベーション^{L3)}
我が国で実用化されたネオジム磁石は磁石応用機器の技術を塗り替えた。

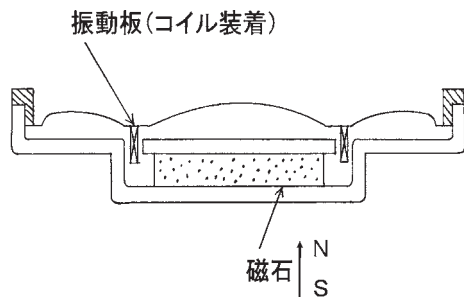


図11-5 小型簡易な構成の動電イヤホンユニット^{L3)}
振動板は透明なPET（ポリエチレンテレフタレート）膜。

現在、旧来のアナログ回線用の基本機能のみの安価な電話機は図 11-1 (317 ページ) に例示した構成で、通話系の部品としてエレクトレットコンデンサマイクロホンと簡易な動電イヤホンユニットを搭載したものが主流である。電電公社時代の標準電話機にはなかった再ダイヤル機能や保留機能が低価格の機種でもついているのは、ダイヤル用 IC をやや高機能の機種と共通設計としたためと思われる。通話回路は複数のトランジスタを用いたディスクリート回路も有力に見える [図 11-6]



図11-6 (a) 21世紀初頭に市販されているアナログ回線用の電話機
長さ約17 cm、重量256 g（含ハンドセットコード）と小型軽量。



図11-6 (b) 電話基本機能のみの電話機のベースセットとハンドセット
キャッチホン、リダイヤル、保留機能、ランプなどを備えている。



図11-6 (c) ハンドセット部
ダイヤル回路は専用IC、通話回路は複数のトランジスタによる個別回路。回路はチップ部品をあまり用いないゆったりした実装構成。マイクロホンはゴムブッシュに収容してパラフィンで密閉固定。イヤホンは動電形（120 Ω）



図11-6 (d) ベースセット部
リング用サウンドアは黄銅基板のセラミック圧電ユニモルフ。

一方、セラミック圧電板はリングのみならず、携帯電話機のイヤホン用としても生き延びた。主流は依然として小型の動電イヤホンだが、多層セラミックコンデンサの技術を用いた多層セラミック圧電板が実用化され、電気インピーダンスが急速に低下して携帯電話機に使用可能となって一部の機種に採用されたのである^{L4)}。

また、マイクロホンにも革命がおこった。シリコン単結晶基板を用いたモノリシック IC の技術を用いた MEMS 素子として、超小型コンデンサマイクロホンが実用化され、リフローはんだ処理に耐える耐熱性をもつとして携帯機器用に普及したのである^{L5)}。

電話機のための独特の技術は音響部品に関してはまだ健在で、日進月歩が続けている。

11.2 電話機を保存している施設など

多くの家電製品と同様、電話機も通常はそのタイプの製造が停止されると保存されずに忘れられていくので、電話機を系統的に保存している施設は多くない。ここで本報告に関連する電話機が保存されている機関を紹介する。

11.2.1 NTT 技術史料館

NTT の研究開発業務を担って東京都武蔵野市に立地している「NTT 研究開発センタ」の本部に、電電公社以来の電気通信技術を保存展示する「NTT 技術史料館」が併設されている。公的な施設で電話機を公開展示している例としては最も大規模といえる。体験科学教室や特別展示も随時開催される。入場無料、月曜休館。本報告関係の所蔵品の現状については付表 1 参照。

11.2.2 郵政博物館

1902 年以來の歴史を誇った通信総合博物館は郵政省、電電公社、国際電電（株）、NHK の共同運営で東京大手町に立地していたが、建屋の老朽化などの理由で 2013 年に閉館となった。郵政関係の所蔵、展示品は東京スカイツリータウンに新設された郵政博物館に移されたが、その一部に古典的な電話機が含まれている。2021 年現在の入場料 300 円（小、中、高校生は 150 円）、休日は不定。本報告関係の所蔵品の現状については付表 2 参照。

11.2.3 NTT 東日本 情報通信史料センタ

通信総合博物館の閉館に伴い、電電公社の運営してきた部分の所蔵品は一部が NTT 技術史料館に移されたが、多くは東京都調布に立地する NTT 東日本の情報通信史料センタが所蔵することとなった。保管のみで公開はされていない。本報告関係の所蔵品の現状については付表 3 参照。

11.2.4 その他

電話機は比較的小型で保管しやすいので、種々の保存展示施設に少数ずつが所蔵されている。特に鉄道関係の展示施設では信号システムの一部として良い状態で保存されている例が見られる。

一方、電話機メーカーだった国内の企業の多くはすでに電話機商品の製造販売から撤退しており、また電話機そのものが会社を代表する製品だった例が少ないこともあって社内にはほとんど保管されていない。一般

に、関心の高い熱心な社員が転属又は退職すると保管品が四散してしまう例が多く、この点では個人コレクションと同様といえる。

個人コレクションとしては、電話機収集家の稲谷秀行氏が大阪市に設置している「てれふおん博物館」が代表的なものといえる。詳細は同博物館のホームページを参照されたい。

第 11 章の文献

- L1) 大賀寿郎:「オーディオトランスデューサ工学」、日本音響学会／コロナ社（2013）、p. 251。
- L2) 大賀寿郎、ibid.、p. 26。
- L2) 大賀寿郎、ibid.、p. 14。
- L4) 大賀寿郎、ibid.、p. 37。
- L5) 大賀寿郎、ibid.、p. 29。

12 | あとがき

過去 70 年ほどの間に我が国の電話システムは目を見張るような変化を遂げた。特に 1980 年代の変化は劇的だった。このような推移をもたらした思想の変化は何だったのだろうか。

筆者は、性能、信頼性の保証方法の変化があげられると考える。

601 形電話機まで、電電公社が提供していた「黒電話」の時代には、電話機は最低性能の保証が原則であり、また信頼性に関しては供給側の電電公社が実質的に無限責任を負っていた。その根拠は、独立採算ながら政府機関に近い性格の電電公社が電話機の技術開発と基本設計の責任を持っていたことだった。民間会社であるメーカーに設計責任を託していた欧米とは状況が異なっていたといえる。

電話端末の開放、電話機の家電製品化により、これがベストエフォート表示に傾斜した。発表される性能、信頼性は代表例であり、個々の製品について保証するものではない。場合によってはその商品を選択したユーザにも不具合の責任がありうる。

そして 21 世紀に入ってスマホと俗称されるポケットブルパソコンが普及し、単独の電話機はほぼ消滅した。この種の機器では、特にソフトウェアには“Learning by using”が導入されている。新製品は未完成を承知で売買され、あとで随時バージョンアップされる。

こうした変化によって電電公社時代の絶対の信頼性は過去のものとなったが、製品価格の劇的な低減、商品サイクルの劇的な短縮、ユーザと供給者とのコミュニケーションの一般化などが生じ、市場は発展した。したがって上記の流れにはどれが善、どれが悪、というレッテルを貼ることはできないであろう。

しかし、電話のユーザは今なお電話機に、他の情報家電製品とは異なる「頼り甲斐」「安心感」を期待しているのではないだろうか。

利用者宅までの加入者回線が光伝送になり、電話通話には電力会社の電源が不可欠となった。また携帯電話、スマートホンも頻繁に充電が必要となっている。現代の電話システムは電源が切れれば通話不能となる。これが災害時に問題を生じることは指摘されているところである。

これに比べ、電電公社の固定電話機の基本概念は「通話不能にならないこと」であり、そのために電話基本

機能の電源は電話局から直接供給するのを原則としていた。電話機的设计思想もまず「信頼性の確保」だった。

40 年にわたる電電公社の電話機エンジニアの活動の目的は、ユーザに安心していただくことではなかっただろうか。つたないながら筆者の報告からそのような思いを読み取ることができれば幸いである。

自己紹介と謝辞

筆者が電電公社電気通信研究所に就職したのは 1964 年、まさに 600 形電話機が本格的に商用に導入された年だった。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。

7 年間の活動の後基礎研究部に戻って 3 年を過ごし、電電公社の株式会社化の初日に富士通（株）に移籍して、(株) 富士通研究所と合わせて 15 年を過ごした後、芝浦工業大学工学部通信工学科に移った。国内、国際規格の審議に参加したのは富士通勤務以降だった。

振り返って小生が幸運だったのは、21 年間の通研勤務と 15 年間の富士通勤務において、部品、材料、ディジタル技術などの基礎研究と電話機器の実用化の両者を体験できたことだった。業務の方針を判断するための幅広い思考基盤を手に入れることができたほか、勤務先、学会、工業会、規格審議団体などで多数かつ多様な友人たちを得ることができた。

この報告には多くの人名が登場しているが、筆者はそのほとんどすべての方々の警咳に接し、御教示をいただき、また共に仕事をしてきた。また、大勢の人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できなかった他の多くの方々からも種々の御教示、お世話をいただいた。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いただいた。

この報告の目的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。それを記述することのできる幸福を噛み締め、ここですべての方々に篤くお礼を申し上げます。

なかでも、電話機技術の分野で長年にわたりお世話になった中澤始氏には特段の感謝の意を表したい。文中で述べたように、氏は電気通信研究所で電話機の実

用化一筋に活動されたエンジニアで、多くの業績を残され、また多くの後進を育てられた。筆者もその一員だった。氏は現在、NTT 研究開発センタに併設された NTT 技術史料館でボランティアワークに参加しており、筆者が国立科学博物館と縁を結ぶことになったのもそのルート経由だった。

また、本稿をまとめるにあたりご教示、ご協力をいただいた NTT 技術史料館の岩田玲子学芸員、大規模な電話機及び関連資料のコレクションを誇る「てれふおん博物館」の稲谷秀行館長にも篤くお礼を申し上げたい。

付表 1 NTT 技術資料館所蔵の基本電話機

史料ID	名称	所在場所	備考
2101	600A2電話機	F. ユーザ機器の技術	
2102	600A1電話機	F. ユーザ機器の技術	
2103	4号A卓上電話機	2. 復興と成長の時代	
2104	3号自動式卓上電話機	F. ユーザ機器の技術	
2106	3号自動式卓上電話機	F. ユーザ機器の技術	
2107	4号A卓上電話機	F. ユーザ機器の技術	
2108	600A卓上電話機	F. ユーザ機器の技術	
2111	800-1P「ミニ」電話機「ハウディ」	F. ユーザ機器の技術	
2112	701-P電話機	F. ユーザ機器の技術	
2114	600P電話機「プッシュホン」	F. ユーザ機器の技術	
2115	600P電話機「プッシュホン」	F. ユーザ機器の技術	
2181	デルビル磁石式壁掛電話機	ロビー	
2204	600P電話機「プッシュホン」	3. 技術革新多様化の時代	
2240	600P電話機「プッシュホン」	2. 復興と成長の時代	
2252	600形自動式卓上電話機	F. ユーザ機器の技術	スケルトン
2265	国産1号電話機	1. 電信電話ことはじめから	
2273	2号自動式卓上電話機	1. 電信電話ことはじめから	
2274	600形自動式卓上電話機	2. 復興と成長の時代	
2282	600P電話機「プッシュホン」	Ⅱ. アクセスとターミナルのひろば	
2289	600P電話機「プッシュホン」	F. ユーザ機器の技術	
2309	800-SP電話機「ハウディ」	3. 技術革新多様化の時代	拡声電話機
2316	M-2PD電話機「ヨコ」	F. ユーザ機器の技術	自営？
2324	600形自動卓上電話機	G. NTT技術の広がり	
2362	回転ダイヤル式電話機	F. ユーザ機器の技術	分解
2412	600P電話機「プッシュホン」	B. オペレーションの技術	
2431	2号共電式壁掛電話機	F. ユーザ機器の技術	
2434	デルビル磁石式壁掛電話機	1. 電信電話ことはじめから	
2460	600P電話機「プッシュホン」	B. オペレーションの技術	
2462	デルビル磁石式甲号卓上電話機	1. 電信電話ことはじめから	
2468	4号A卓上電話機	F. ユーザ機器の技術	
2470	600P電話機「プッシュホン」	F. ユーザ機器の技術	
2471	600A卓上電話機	F. ユーザ機器の技術	
2473	基本型高性能電話機構成部品	F. ユーザ機器の技術	自営
2507	IC-3500ナンバーディスプレイ対応電話機「ハウディ・レポンス」	F. ユーザ機器の技術	
2515	4号A卓上電話機	2. 復興と成長の時代	
2526	3号自動式卓上電話機	1. 電信電話ことはじめから	
2572	4号自動式委託公衆電話機	2. 復興と成長の時代	変形
5540	ソリッドパック磁石式壁掛電話機	2F企画展スペース	
5545	ベル電話機 体験モデル(A)	2F企画展スペース	実験用
5560	4号AP2電話機	ロビー	
5561	4号A卓上電話機	ロビー	
5563	ハローキティ電話機(ブルー)	2F企画展スペース	
5564	ハローキティ電話機(赤)	2F企画展スペース	

付表 2 郵政博物館所蔵電話機

(標準電話機以外の機種も一部含む 一部長期貸与などによる欠品あり)

整理番号(郵政)	コード(NTT)	資料名	個数	単位	備考
6211		電話機 26点			
6211	000025	最初のベル電話機(原型)	1	個	
6211	000029	国産1号電話機	1	個	
6211	000037	ガワーベル電話機(GOWER-BELL)	1	個	台付き
6211	000093	TYK無線電話機	1	式	写真等含む
6211	000209	ベル電話機の真鍮製模型	1	個	
6211	000515	ベル電話機	1	個	
6211	001033	信1号電話機	1	個	
6211	001166	田中電話機	1	個	久留米貸出中
6211	001195	A. E. I電話機	1	個	
6211	001199	多数相手呼出電話機	1	個	
6211	001632	港湾用超短波無線電話装置(V-163-FH型)	1	個	
6211	001637	船舶用無線電話装置	1	個	
6211	003089	ベル電話機	1	個	
6211-244	001205	卓上電話機	1	個	
6211-755	002359	自動式卓上電話機(PBX用)	1	個	
6211-761	002358	自動式卓上電話機(PBX用)	1	個	
6211-776	002360	自動式卓上電話機(PBX用)	1	個	
6211-779	002356	自動式卓上電話機(PBX用)	2	個	
6211-781	002357	自動式卓上電話機(PBX用)	1	個	
6211-885	002128	ガワーベル電話機	1	個	
6211-886	002126	ガワーベル電話機	1	個	
6211-887	002125	ガワーベル電話機	1	個	
6211-888	002127	ガワーベル電話機	1	個	
6211-889	001076	ガワーベル電話機(ビーオー型)	1	個	
6211-1057	005548	送電用高周波装置	1	個	
6215		磁石式壁掛電話機 58点			
6215	000038	デルビル磁石式壁掛電話機(DELVILLE)	1	個	
6215	000054	磁石式公衆電話機(自動電話機)	1	個	
6215	000550	紙幣式公衆電話機	1	個	
6215	000560	磁石式壁掛電話機(スイントン電話機)	1	個	イギリス製
6215	000562	エリクソン電話機	1	個	スウェーデン製
6215	001062	磁石式壁掛電話機 (ストロングバークカールソン)	1	個	
6215	001081	磁石式壁掛電話機(デルビル)	1	個	
6215	001083	磁石式壁掛電話機(ベルリネン)	1	個	
6215	001103	公衆電話機(ベルギー製)	1	個	ベル研 試験用
6215	001104	公衆電話機(アメリカ製)	1	個	
6215	001159	デルビル磁石式壁掛電話機	1	個	
6215	001188	エジソンブレーキ電話	1	個	
6215	002133	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-105	001064	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-106	002181	磁石式壁掛電話機(ソリッドバック)	1	個	
6215-167	001165	アーデル電話機	1	個	
6215-642	001206	エジソンブレーキ電話(巾着形電話機)	1	個	
6215-818	001067	磁石式壁掛電話機(ケグロナグロ)	1	個	
6215-819	002333	磁石式壁掛電話機エジソンブレーキ	1	個	片方のベル無
6215-820	001073	磁石式壁掛電話機(ハニングスコーン)	1	個	
6215-823	001074	磁石式壁掛電話機(ハニングスコーン)	1	個	
6215-844	002196	磁石式壁掛電話機(スイントン)	1	個	
6215-845	002198	磁石式壁掛電話機(エリクソン)	1	個	
6215-854	002169	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-857	001162	デカード電話機	1	個	
6215-858	002168	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-859	001068	磁石式壁掛電話機(デカート)	1	個	

付表2 郵政博物館所蔵電話機(続)

(標準電話機以外の機種も一部含む 一部長期貸与などによる欠品あり)

整理番号(郵政)	コード(NTT)	資料名	個数	単位	備考
6215-860	001072	磁石式壁掛電話機(ドイツ製)	1	個	
6215-871	002184	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-872	001160	デルビル磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-874	002180	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-878	002191	磁石式壁掛電話機(72号型共同線用)	1	個	
6215-879	002193	磁石式壁掛電話機(72号型共同線用)	1	個	
6215-880	002194	磁石式壁掛電話機(72号型共同線用)	1	個	
6215-881	002192	磁石式壁掛電話機(72号型共同線用)	1	個	
6215-882	002175	磁石式壁掛電話機電鈴	1	個	
6215-883	002176	磁石式壁掛電話機電鈴	1	個	
6215-884	002177	磁石式壁掛電話機電鈴	1	個	
6215-908	001082	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-909	002185	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-910	002197	磁石式壁掛電話機(エリクソン)	1	個	
6215-911	002199	磁石式壁掛電話機(エリクソン)	1	個	
6215-912	002132	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-913	002163	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-914	002166	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-917	002167	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-919	002190	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-920	002195	磁石式壁掛電話機(エジソンブレーキ)	1	個	
6215-923	002183	磁石式壁掛電話機(キストン ソリッドバック)	1	個	
6215-924	001063	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-925	002164	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-926	002182	磁石式壁掛電話機(ベルリネン)	1	個	
6215-928	002179	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-927	002186	磁石式壁掛電話機(ベルリネル)	1	個	
6215-929	002165	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-930	002170	磁石式壁掛電話機	1	個	
6215-1001	002200	磁石式壁掛電話機(エリクソン)	1	個	
6215-1002	002201	磁石式壁掛電話機(エリクソン)	1	個	
6216		磁石式卓上電話機 22点			
6216	000039	デルビル磁石式甲型卓上電話機(新形)	1	個	
6216	000040	デルビル磁石式乙型卓上電話機	1	個	
6216	000508	デルビル磁石式甲型卓上電話機	1	個	
6216	000517	デルビル磁石式甲号卓上電話機	1	個	
6216	001129	3号磁石式電話機	1	個	
6216	001120	デルビル磁石式甲型卓上電話機	1	個	
6216	001198	3号磁石式卓上電話機(角型)	1	個	
6216	001200	鉄製デルビル卓上電話機	1	個	
6216	001201	磁石式卓上電話機	1	個	
6216	002284	磁石式卓上電話機	1	個	
6216	002637	3号磁石式卓上電話機	1	個	
6216-791	001197	4号磁石式卓上電話機	1	個	
6216-792	002123	3号磁石式卓上電話機	1	個	
6216-793	002122	3号磁石式卓上電話機	1	個	
6216-794	002124	3号磁石式卓上電話機	1	個	
6216-821	001069	磁石式卓上電話機(レバート)	1	個	
6216-822	001071	磁石式卓上電話機(バイユー)	1	個	
6216-861	002278	磁石式デルビル甲号卓上電話機	1	個	
6216-962	001070	磁石式卓上電話機(エリクソン)	1	個	
6216-863	002277	磁石式デルビル甲号卓上電話機	1	個	
6216-865	002276	磁石式デルビル甲号卓上電話機	1	個	
6216-895	002283	磁石式卓上電話機	1	個	
6217		共電式壁掛電話機 32点			
6217	000056	グースネック共電式壁掛電話機	1	個	
6217	000059	2号共電式壁掛電話機	1	個	
6217	000518	グースネック共電式壁掛電話機	1	個	

付表2 郵政博物館所蔵電話機(続)

(標準電話機以外の機種も一部含む 一部長期貸与などによる欠品あり)

整理番号(郵政)	コード(NTT)	資料名	個数	単位	備考
6217	000529	ダーソンバル電話機	1	個	
6217	000557	ミルデ電話機	1	個	フランス製
6217	000558	ルーレ電話機	1	個	フランス製
6217	000559	ミックスゲネスト電話機	1	個	ドイツ製
6217	000561	コリアマル電話機	1	個	イギリス製
6217	001065	グースネック電話機	1	個	
6217	001077	ラビッチ電話機	1	個	
6217	001130	2号共電式壁掛電話機	1	個	
6217	001131	2号共電式壁掛電話機	1	個	
6217	001208	共電式壁掛電話機	1	個	
6217	002121	グースネック共電式壁掛電話機	1	個	
6217-251	001164	ダーソンヴァール電話機	1	個	
6217-397	001204	ベルトン電話機	1	個	
6217-817	001080	共電式壁掛電話機(ケグロナグロ)	1	個	
6217-827	001203	アーデル壁掛電話機	1	個	
6217-831	002281	共電式壁掛電話機	1	個	
6217-837	002134	共電式壁掛電話機	1	個	
6217-838	002135	共電式壁掛電話機	1	個	
6217-839	002136	共電式壁掛電話機	1	個	
6217-840	002137	共電式壁掛電話機	1	個	
6217-841	002138	共電式壁掛電話機	1	個	
6217-842	002139	共電式壁掛電話機	1	個	
6217-868	001157	ダーソンヴァール電話機	1	個	
6217-892	001209	共電式壁掛電話機(デルビル)	1	個	
6217-940	002266	電話機ラビッチ	1	個	
6217-941	002267	電話機ラビッチ	1	個	
6217-942	002268	電話機ラビッチ	1	個	
6217-1088	001210	ミルデ電話機	1	個	
6217-1089	002131	共電式壁掛電話機(エリクソン)	1	個	
6218		共電式卓上電話機 18点			
6218	001126	23号共電式電話機	1	個	
6218	001135	プッシュ式410Pビジネスホン	1	個	
6218	001139	4号共電式卓上電話機	1	個	
6218	001192	2号共電式卓上電話機	1	個	
6218	001196	共電式卓上電話機	1	個	
6218	002663	3号共電式卓上電話機	1	個	
6218-790	002157	4号共電式卓上電話機	1	個	
6218-152	002153	3号共電式卓上電話機	1	個	
6218-808	002152	3号共電式卓上電話機	1	個	
6218-814	002154	3号共電式卓上電話機	1	個	
6218-815	002151	3号共電式卓上電話機	1	個	
6218-816	002155	3号共電式卓上電話機	1	個	
6218-825	001075	共電式卓上電話機(ハニングスコーン)	1	個	
6218-826	001207	共電式卓上電話機(アーデル)	1	個	
6218-892	002159	2号共電式卓上電話機	1	個	
6218-893	002129	共電式卓上電話機	1	個	
6218-894	002158	2号共電式卓上電話機	1	個	
6218-1087	002279	卓上ミルデ	1	個	
6219	000065	2号自動式壁掛電話機	1	個	
6219	001194	2号自動式壁掛電話機	1	個	
6219	002682	2号自動式壁掛電話機	1	個	受話器無
6219	002825	3号自動式壁掛電話機	1	個	
6219-787	002149	3号自動式壁掛電話機	1	個	
6219-788	002150	3号自動式壁掛電話機	1	個	
6219-789	001193	自動式壁掛電話機(シーメンス・ハルスケ)	1	個	

付表 2 郵政博物館所蔵電話機 (続)

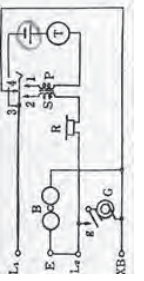
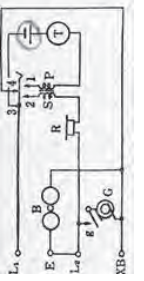
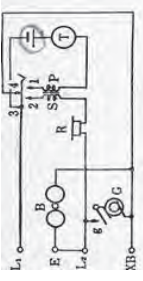
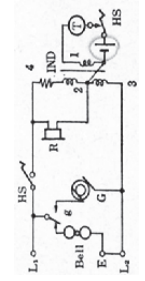
(標準電話機以外の機種も一部含む 一部長期貸与などによる欠品あり)

整理番号(郵政)	コード(NTT)	資料名	個数	単位	備考
6220	000076	自動式卓上電話機 34点			
6220	000076	4号自動式卓上電話機	1	個	
6220	000263	2号自動式卓上電話機	1	個	
6220	000519	2号自動式卓上電話機	1	個	
6220	000520	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220	000521	4号自動式卓上電話機	1	個	
6220	001122	料金箱付黒電話機	1	個	
6220	002355	4号A自動式卓上電話機	1	個	
6220	003117	2号自動式卓上電話機	1	個	ベル無
6220	003118	2号自動式卓上電話機	1	個	ベル有
6220	003229	2号自動式卓上電話機	1	個	ベル無
6220-153	002146	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-154	002142	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-742	002345	4号A自動式卓上電話機	1	個	マツダ東京芝浦電気 小豆色
6220-743	002346	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 小豆色
6220-747	002351	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 藤色
6220-748	002354	4号A自動式卓上電話機	1	個	日本ノーベル工業
6220-750	002348	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 若草色
6220-751	002347	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 若草色
6220-752	002343	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 透明
6220-755	002353	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 赤色
6220-756	002349	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 乳色
6220-757	002339	4号A自動式卓上電話機	1	個	沖電気 黒
6220-757	002344	4号A自動式卓上電話機	1	個	岩崎通信機 黒
6220-759	002148	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-799	002145	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-800	002340	4号A自動式卓上電話機	1	個	沖電気 黒
6220-805	002143	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-806	002147	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-809	002342	4号A自動式卓上電話機	1	個	NEC 黒
6220-810	002341	4号A自動式卓上電話機	1	個	IWASAKI 黒
6220-811	002140	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-812	002144	3号自動式卓上電話機	1	個	
6220-864	002282	自動式卓上電話機	1	個	

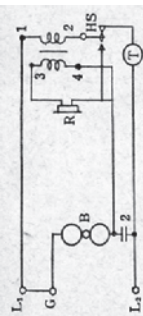
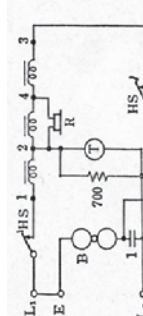
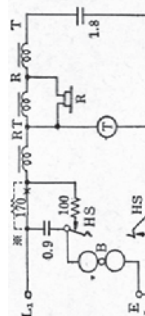
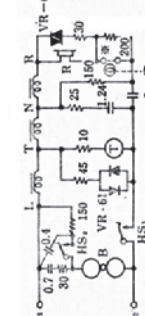
付表3 NTT 東日本情報通信史料センタ調布史料室所蔵固定電話機

No.	名称
1	国産1号電話機
2	ガワーベル電話機
3	デルビル磁石式乙号卓上電話機
4	デルビル磁石式甲号卓上電話機
5	デルビル磁石式壁掛電話機
6	ソリッドバック磁石式壁掛電話機
7	グースネック共電式壁掛電話機
8	磁石式壁掛電話機
9	2号共電式壁掛電話機
10	2号共電式卓上電話機
11	2号自動式卓上電話機
12	2号自動式壁掛電話機
13	23号共電式電話機
14	23号自動式壁掛電話機
15	3号磁石式電話機
16	3号磁石式卓上電話機
17	3号共電式壁掛電話機
18	3号共電式卓上電話機
19	3号自動式卓上電話機
20	3号自動式壁掛電話機
21	4号共電式卓上電話機
22	4号C共電式卓上電話機
23	4号A自動式卓上電話機
24	4号自動式卓上電話機
25	4号自動式壁掛電話機
26	料金箱付黒電話機
27	600形
28	展示用電話機（600A1型）
29	電話機（600P型ワームグレー）
30	600P電話機アイボリー
31	600A1（R）電話機
32	600P電話機サンゴ
33	600号自動式壁掛電話機
34	601P電話機グリーン
35	T-620P電話機
36	T-620-A2電話機
37	プッシュ式410Pビジネスホン
38	T-104P電話機
39	T-104Pプッシュ式ホームテレホン（展示用台座付き）
40	NT-410-A2電話機
41	KT-206A1電話機
42	H形交換機用電話（600型） 訓練用
43	EK50形
44	800-IP「ミニ」電話機
45	92式電話機

付表4 (a) 磁石式電話機

品名	外観	回路構成	マイクロホン イヤホン 側音防止回路方式	磁石電鈴 磁石発電機	備考
1 ガワーベル 電話機 (1890)			炭素棒式 電磁イヤホン2本	(電池により直流発信)	壁掛け型
2 デルビル 電話機 (1896)			デルビル送話器(炭素粉) 2号共電式加入者受話器 直列回路	(交流発電機で発信) 101号A 22号TA(G5号E)	壁掛け型
3 デルビル 甲号卓上 電話機 (1897)		同上	同上	100号C 22号TA(G5号E)	卓上型
4 デルビル 乙号卓上 電話機 (1897)		同上	同上	101号A 22号TA(G5号E)	卓上型
5 ソリッドバック 電話機 (1899)			ソリッドバック送話器 2号共電式加入者受話器 直列回路	101号A 22号TA(G5号E)	壁掛け型
6 3号磁石式 電話機 (1933)			1号B、1号C(T3号) 3号B送話器受話器 ブリッジ回路	104号B T1号A(G5号A)	卓上、壁掛け型 MPは共同加入用

付表 4 (b) 共電式電話機

品名	外観	回路構成	マイクロホン イヤホン 側音防止回路方式	磁石電鈴	備考
1 2号共電式 電話機 (1909)			2号共電式送話器 2号共電式加入者受話器 直列回路	101号B	壁掛型
2 2号共電式 卓上電話機		同上	同上	同上	卓上型
3 3号共電式 卓上電話機 (1933)			(1号A、1号C) T3号 R3号 ブースタ回路	104号C	卓上型
4 3号共電式 壁掛電話機		同上	同上	同上	壁掛型
5 4号C 共電式電話機 (1950)			T4号 R4号 ブースタ回路	B-105	卓上型 線路抵抗170 Ω以下 の時×印を切って170 Ωを接ぐ
6 650-C 共電式電話機 (1962)			T-60 R-60 ブースタ回路	B-60	卓上型 加入者線損失5 dB以 上の場合にはPadを◎に 切替える

共電式電話機：電話局の電池で動作し、送受器を取り上げると交換手を呼び出す体制になる電話機。

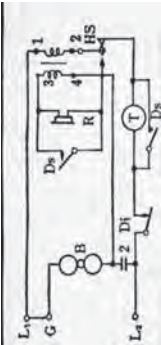
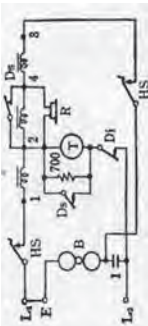
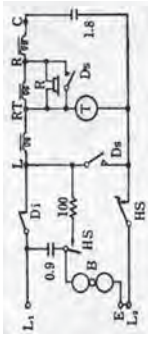
写真1、2:「鉄道通信発達史」(鉄道通信協会、1970)

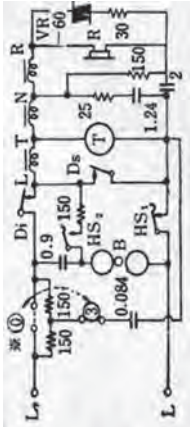
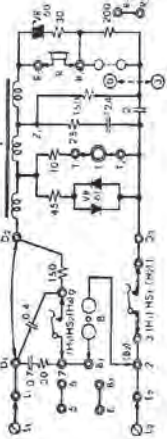
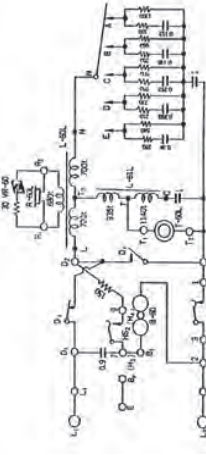
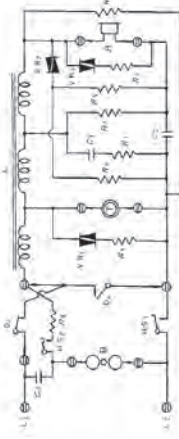
写真3、4、6: 稲谷秀行所蔵、撮影

写真5: NTT技術史料館所蔵

回路など出典:増沢健郎、山口善司、三浦宏康、武田尚正、田島清、山崎新一、古沢昭:「600形電話機」(電機通信協会、1964)、付表

付表4 (c) 回転ダイヤル式電話機

品名	外観	回路構成	マイクロホン イヤホン 側音防止回路方式	磁石電鈴 ダイヤル	備考
1 2号自動式 卓上電話機 (1927)			2号共電式送話器 2号共電式加入者受話器 直列回路	101号B 2号	卓上型
2 2号自動式 電話機		同上	同上	同上	壁掛型
3 3号自動式 卓上電話機 (1933)			(1号A、1号C) T3号 R3号 ブースタ回路	104号C 2号B	卓上型
4 3号自動式 壁掛電話機		同上	同上	同上	壁掛型
5 4号A自動式 電話機 (1950)			T4号 R4号 ブースタ回路	B-105 4号F	卓上型 AP ₁ 、AP ₂ は2共同用
6 4号AW自動式 壁掛電話機		同上	同上	B-106 4号F	卓上型 AWP ₁ 、AWP ₂ は2共同 用

7 600-A 自動式電話機 (1962)			T-60 R-60 ブースタ回路	B-60 D-60(10 PPS) 又は D-61(20 PPS)	卓上型 加入者線損失5 dB以 上の場合はPadを◎に 切替える 610A、611Aは2共同用
8 650-A 自動式電話機	同上		同上	同上	PBX(構内交換電話シ ステム)用
9 600-L 自動式電話機 (1970)	同上		T-60L R-60L 2トランス形ブリッジ回路	B-60 D-60(10 PPS)又は D-61(20 PPS)	高損失加入者用
10 601-A 自動式電話機 (1978)			T-62 R-62 ブースタ回路	B-62又は B-63(音量調節付) (いずれもチャイム形) D-67(20 PPS) 又はD-61(10 PPS)	コストダウン形

自動式電話機： 共電式電話機の一つで、自動交換機を動作させるダイヤルを装備する電話機

高損失加入者： 電話局からの距離が遠く、伝送品質が基準値を満たさない電話加入者。

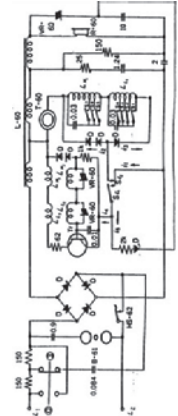
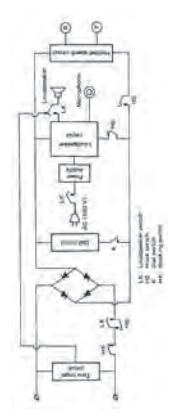
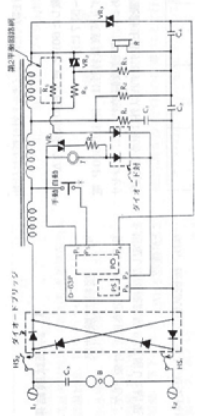
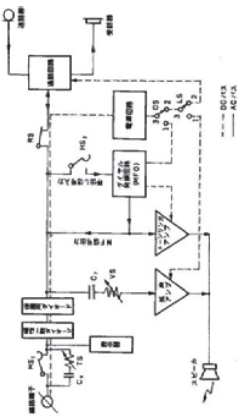
途中に中継器(双方向増幅器)を挿入するか、特別な高感度電話機を使ってもらう。

写真2、3：「鉄道通信発達史」(鉄道通信協会、1970)

写真1、4、6： 稲谷秀行所蔵、撮影

回路など出典：増沢健郎、山口善司、三浦宏康、武田尚正、田島清、山崎新一、古沢昭：「600形電話機」(電機通信協会、1964)、付表

付表4 (d) 押しボタンダイヤル式電話機

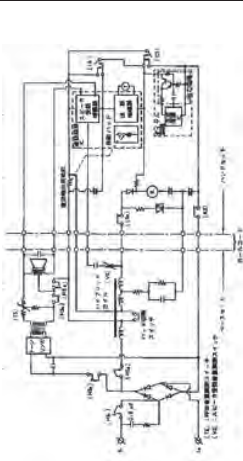
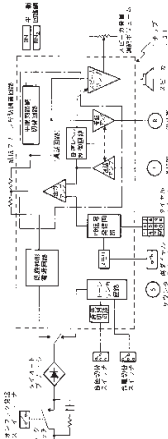
品名	外観	回路構成	マイクロホン イヤホン 側音防止回路方式	リング ダイヤル	備考
600-P 押しボタンダイヤ ル電話機 (1969)			T-60 R-60 ブースタ回路	B-60 D-60PS(LC発振 器、機械スイッチ)	卓上型 加入者線損失5 dB 以上の場合はPadを ◎に切替える
S-1P 拡声電話機			単一指向性エレクトレット コンデンサマイクロホン ダイナミックスピーカ 抵抗ブリッジ回路 (ハンドセット部は600Pと同じ)	トーンリング (スピーカをサウ ンダに使用) D-60PS	
601-P 押しボタンダイヤ ル電話機 (1978)			T-62 R-62 ブースタ回路	B-62又はB-63 (音量調節付) (チャイム形) D-61PS(シンセサ イザ、ゴムスイッ チ)	底板の見えないデ ザイン
700-P 小型電話機			TR-70(マイク、イヤホン同じ) 送話増幅器、受話増幅器 トランジスタによる能動回路	トーンリング (電磁スピーカ) RC発振回路、ね じりばね機械ス イッチ	

1

2

3

4

701-P 小型電話機 (1978)			TR-71(マイク、イヤホン同じ) 送話増幅器 ブースタ回路	トーンリンガ (電磁スピーカ) RC発振回路 ねじりばね機械ス イッチ	PBX(構内交換電話 システム)用 (結果として汎用と なった)
800-P 「ハウディ」 (1984)			圧電形(マイク、 イヤホン同じ振動板) 1チップIC 抵抗ブリッジ回路	トーンリンガ (圧電サウンダ) ゴムスイッチ	卓上、壁掛など 変形多数
富士通 アンティスリム (1984)			圧電形(マイク、 イヤホン同じ振動板) 抵抗ブリッジ回路	トーンリンガ (圧電サウンダ) ゴムスイッチ	
メーカー不明 (2000頃)		ダイヤル:専用IC 通話回路:ディスクリット	エレクトレットコンデンサマイク 動電イヤホン	トーンリンガ (圧電サウンダ) ゴムスイッチ	

押ボタンダイヤル: 回転ダイヤルに換えて数字などを表す押ボタンを用いて交換機を操作する電話機

PBX: Private Branch Exchange オフィスなどで複数の電話機を収容するローカル交換システム

写真1、3、6: NTT技術史料館所蔵

写真2: 苗村明、加藤邦紘:「S-1P拡声電話機」、研究実用化報告、28、3(1979)、pp. 451-461。

写真4:「電気通信研究所25年の記録 上巻」(1974)

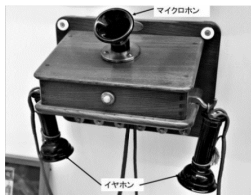
付表5 戦後から現代までの電話機の変遷

年	社会の状況	電気通信の状況	回転ダイヤル電話機	押ボタンダイヤル電話機
1943	太平洋戦争 敗色濃厚に	電話機数 全国108万、うち東京20万	3号電話機	600P形電話機
1944				
1945	敗戦 大日本帝国消滅	電話機数 全国50万 うち東京1万6千		
1946	日本国憲法発布			
1947	ハイパーインフレ			
1948		電気通信研究所発足		
1949	ドッジライン(緊縮財政)	電気通信省発足		
1950	朝鮮戦争勃発 特需景気			
1951	サンフランシスコ講和会議			
1952		電公社発足 電話機数 全国150万、東京20万		
1953			4号電話機	600形電話機
1954	自衛隊発足	東名阪マイクローウェーブシステム		
1955	神武景気 家電製品が普及	標準コンデンサマイク 電話機200万		
1956	国連に加盟	電話機数 東京40万 すべて4号に		
1957				
1958	テレビ契約100万突破	電話機数 全国300万、うち東京50万		
1959				
1960	安保闘争			
1961	所得倍増政策	電話機数 東京80万		
1962				
1963		電話機数 全国500万 東京～名古屋自動即時化	戦後復興を象徴する高性能機	600形電話機
1964	新幹線開業 東京オリンピック	東京～大阪自動即時化		
1965		東京～全国県庁所在地自動即時化		
1966				
1967	ベトナム戦争特需			
1968		電話機数 全国1000万		
1969				
1970	大阪万国博覧会	携帯電話機モデルを万博で展示		
1971		電話積滞ピーク 291万		
1972	日中国交回復	新小型電話機 電話加入数 2000万		
1973	中東戦争 第1次石油ショック		3号電話機	600L形電話機
1974		プッシュホン 100万		
1975		電話加入数 3000万		

「電話機技術の系統化調査」
報告書冊子との相違点（正誤表）

ページ	段落	行	第30集 冊子版 2021年3月	全文PDF版 2021年8月 (正)
232	左	共通参考文献 2)	12, 12 (半角コンマ)	12、12(全角読点)
232	左	共通参考文献 10)	17, 11 (半角コンマ)	17、11(全角読点)
234		図2-3		
234	右	下から4	T. エジソン	トーマス・エジソン
237	左	最下行	接続する。	接続する [図2-14] 。
240	右	図2-27上行	放射するが	放射するのが
241	左	第2章の文献 B4)	ibid., (半角コンマ)	ibid、(全角読点)
241	右	第2章の文献 B9)	Tech. J., (コンマ2つ)	Tech. J.,, (ピリオド、コンマ1つ)
250	左	上から3	線膨張係数	熱膨張係数
255	左	第4章の文献 D5)	電気	電気
256	右	下から4	600型	600形
260	左	図5-13説明	周波数特性トインピーダンス ^{E12)}	周波数特性とインピーダンス ^{E12)}
261	左	5.3.3タイトル下行	600型	600形
262	左	下から7	600A	600形
262	右	図5-19タイトル	600形電話機の電気回路 ^{E11)}	650形電話機の電気回路 ^{E13)}
262	右	図5-19説明	手動バッド替えて	手動バッドに替えて
264	右	5.5タイトル	600型	600形
265	右	下から2	600型	600形
268	右	6.2.1タイトル	炭素粉粒	炭素粉
269	右	上から3	アマチュア形	アーマチュア形
269	右	上から4	平行平面	平行平面形
269	右	上から7	アマチュア電磁	アーマチュア電磁
270	右	図6-9タイトル	電気回路 ¹⁵⁾	電気回路 ¹⁵⁾
272	左	6.3.1タイトル下3	スピーカ、マイクロホン	スピーカ～マイクロホン
274	左	図6.21下3	エレクトレット	エレクトレット
275	右	第6章の文献 F6) 2行目	room” W. C.	room”, W. C. (コンマ挿入)
277	左	下から5	湾岸岸	湾岸
278	右	下から12	601電話機	601形電話機
284	右	図7-17タイトル	周波数成分の比較 ^{G11)}	周波数成分の比較 ^{G10)}
287	左	7.3タイトル上5	601型電話機	601形電話機
287	左	7.3タイトル下3	601-P	601P
287	左	7.3タイトル下6	今後の	その後の

「電話機技術の系統化調査」
報告書冊子との相違点（正誤表）

ページ	段落	行	第30集 冊子版 2021年3月	全文PDF版 2021年8月 (正)
289	右	第7章の文献 67) 3行目	Review of E. C. L.	Review E. C. L.
289	右	第7章の文献 68) 3行目	Rab.	Lab.
289	右	第7章の文献 69) 2行目	Flectr. Comm. Lab.	E. C. L.
290	右	上から3	センタアマチュア型	センタアーマチュア形
290	右	下から2	世界に著名	世界的に著名
293	左	図8-7 タイトル下説明	アマチュア	アーマチュア
293	左	図8-7下5	寄らず	依らず
298		上カコミ下7	最大3 V	3 V以下
302	右	上から11	エレクトレット	エレクトレット
302	右	下から2	601電話機	601形電話機
303	右	図9-7(a) タイトル下説明	フリーデザイン	多様なデザイン
306	右	上から2	本格導入	導入
309	右	第9章の文献 17) 4行目	earphones	earphones. (ピリオド追加)
310	左	図10-1 タイトル下説明	人口耳	人工耳
314	右	上から17	FDIS	国際規格最終原稿 (FDIS)
319	左	図11-6(a) タイトル	現在市販	21世紀初頭に市販
320	左	11.2.2下から3	入場料	2021年現在の入場料
330	付表4(a)	2行目 (ガワーベル 電話機) 外観		
337	6, 7項	4列目	圧電型	圧電形