

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.46 August 1972

オーディオ機器特集

8

三菱電機 東京タワーショールーム ダイアトーン・オーディオサロン



未来を開発する





オーディオ機器特集

目次

《特集論文》

生活環境におけるオーディオ機器	藤木 一	853
最近の4チャンネルステレオとSE ロジック回路	小林正美・平松勝蔵	855
最近のステレオ用スピーカーシステム	亀山格彦・神野一郎	862
最近のダイアトーンスピーカー	杉本宗久・松崎和朗・矢島幹夫	866
可搬形音声モニタ システム AS-2051 形	杉本宗久・平松勝蔵	874
16 cm 単一コーン形高忠実度スピーカー (P-610 A 形)	進藤武男・佐伯多門・興野 登	881
レーザホログラフィによるスピーカーの振動測定	進藤武男・鈴木英男・木村博雄・久保高啓・小泉孝之	891
最近のダイアトーンアンプと技術的問題点	成田耕治・工藤隆二・杉原正一・千葉喜代一	897
カセットデッキの雑音低減方式	宇野善之	902
ラジオ付き8トラックカーステレオの開発	岩本康雄・小幡雅巳・池田洋介・秋田和範	905
カラーテレビのハイファイ化	仲野 孚・榎本秀夫	911
最近のポータブルラジオ	福井 貢・井上忠雄	913
最近のダイアトーンセパレートステレオのデザイン	飯塚重晴	918

《普通論文》

ネマチック液晶系の相転移温度と電気光学効果	小野 博	923
X線用固体映像変換器	野島謙治・新居宏壬	929
内部鏡形 He-Ne ガスレーザ	谷口一郎・桜井 彪・永井治彦・小坂橋正康・宮沢淑子・佐竹正章	934
固体絶縁開閉装置 (ミニクラッド)	剣持 宏・永田秀次・原田 繁・信崎泰秀	940
地上式自動列車制御システム	前田 豊・六藤孝雄	947
ATO 用データ処理装置	六藤孝雄・長谷川博一・丸田征生・吉田 連	957

《新製品紹介》

NS 形永久ヒューズ付負荷開閉器・MS-E シリーズ電磁開閉器、接触器・ZE 形パウダクラッチシリーズ・LSH-E 形高圧配电箱・コン トロールセンタ用 CLN 形限流装置	965
-------------------------------------------------------------------------------------------	-----

《ニュースフラッシュ》

国産初の端末制御装置“スマートターミナルコントローラ”開発・高層化時代のビルディング自動窓ふきシステム実用化	969
--------------------------------------------------------	-----

《特許と新案》

巻取式空気清浄装置・温度補償圧カスイッチ・振幅制限増幅器	921
------------------------------	-----

《表紙》

表紙 1 三菱電機 東京タワービルショールーム ダイアトーン オーディオサロン

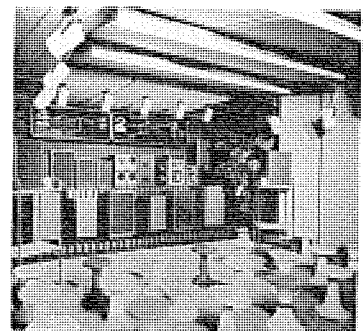
写真は当社音響機器の展示試聴室として、東京タワービル4階に開設された“ダイアトーンオーディオサロン”である。ここには、販売中のオーディオコンポーネントの全機種が展示され、4CH ステレオを含めた各機器の音が切換試聴できるようにになっている。室内は、吸音、しゃ音など音響的に十分な処理がなされており、レコードなどのソースも利用者の要求を満足すべく用意されている。

音響製品の中でも特にオーディオコンポーネントと呼ばれるものは、エンドユーザが“マニア”である場合が多く、音に対する要求は厳しい。一方メーカーは、“音のポリシー”をユーザに訴求する必要がある。オーディオサロンは、静かな雰囲気の中で、ユーザとメーカーの音を通じての語り合いの場を提供する貴重な存在である。

表紙 2 ダイアトーン

表紙 3 カラーテレビ

表紙 4 超音波探触子



**SPECIAL EDITION FOR AUDIO EQUIPMENT****CONTENTS****SPECIALLY COLLECTED PAPERS**

Audio-Equipment in Living Environment.....	H. Fujiki.....	853
The Latest Four Channel Stereos and SE Logic Circuits.....	M. Kobayashi • K. Hiramatsu.....	855
Recent Loudspeaker Systems of Stereo Phonographs.....	N. Kameyama • I. Kamino.....	862
The Latest DIATONE Loudspeakers.....	M. Sugimoto • K. Matsuzaki • M. Yajima.....	866
Portable Voice Monitor System Model AS-2051.....	M. Sugimoto • K. Hiramatsu.....	874
Model P-610 A Single Cone Type High Fidelity Loudspeakers.....	T. Shiudo • T. Sacki • N. Kyouno.....	881
Vibration Mode Measurement of Loudspeaker Diaphragm by Laser-Holography	T. Shiudo • H. Suzuki • H. Kimura • T. Kubo • T. Koizumi.....	891
Technical Problems on DIATONE Stereo Amplifiers.....	K. Narita • R. Kudo • S. Sugihara • K. Chiba.....	897
A Noise Reduction System of the Cassette Deck.....	Y. Uno.....	902
Development of Eight Track Car Stereo Combined with Radio.....	Y. Iwanoto • M. Obata • Y. Ikeda • K. Akita.....	905
Color TV Receivers with Hi-Fi Sound.....	M. Nakano • H. Enomoto.....	911
The Latest Portable Radios.....	M. Fukui • T. Inoue.....	913
Design of the Latest DIATONE Separate Stereos.....	S. Iizuka.....	918

TECHNICAL PAPERS

Phase Transition Temperatures of Mixed Nematic Liquid Crystals and Electrooptical Effect of Nematic Liquid Crystals	H. Ono.....	923
Solid-State X-Ray Image Intensifier.....	K. Nojima • H. Arai.....	929
He-Ne Gas Laser with Internal Mirrors	I. Taniguchi • T. Sakurai • H. Nagai • M. Koitabashi • T. Miyazawa • M. Satake.....	934
Solid Insulation Switchgear (MINICLAD)	H. Kenmochi • H. Nagata • S. Harada • Y. Shinozaki.....	940
Automatic Train Operation Systems.....	Y. Maeda • T. Muto.....	947
Data Processor System for ATO.....	T. Muto • H. Hasegawa • Y. Maruta • M. Yoshida.....	957

NEW PRODUCTS	965
---------------------------	-----

NEWS FLASH	969
-------------------------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL	921
---------------------------------------	-----

COVER :**DIATONE Audio Salon**

The picture shows "DIATONE audio salon" set up on the fourth floor of the Tokyo Tower Building as a display and audition room of Mitsubishi audio apparatus. In this room are displayed all types of audio component now on sale. It is so arranged that the various audio apparatus including the four channel stereo can be listened to with a change over of a switch. The room is given complete sound treatment for absorbing inside sounds and excluding outside ones. The sources of music such as records and the like are fully provided for the satisfaction of visitors. Of the audio apparatus that especially called audio component is mostly to be made use of music maniacs as its ultimate users, so very severe requirement are taken up in the design on the sound quality. The manufacturer, on the other hand, needs to appeal to the users a policy of sound. This audio salon is a valuable existence to the manufacturer and the users to offer a place where mutual understanding can be created through the sound.

UDC 681.84

生活環境におけるオーディオ機器

藤木 一

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P853～854

われわれの生活環境を形成する要素としての電気製品の中で、オーディオ製品と称せられるステレオ・テープレコーダ・アンプ・スピーカーなどの記録・再生機器は、居住空間の狭あい(隘)化にともなう、情報システムの中のサブシステムとして、将来さらに合理化された形になってゆくと思われる。

音響的に快適な生活環境を形成するためには、オーディオ機器の性能はもちろんのこと音場特性が十分であることが望ましい。



UDC 681.84.086

可搬形音声モニタ システムAS-2051形

杉本宗久・平松勝蔵

三菱電機技報Vol.46・No.8・P874～880

当社の音声モニタシステムには、NHK放送局・民間放送局で広く使用されているAS-3001形やAS-2001形などがあるが、ここに述べるAS-2051形音声モニタシステムは、本格的な音声モニタが可能で、しかも、持ち運びに便利なハンディタイプとなっていてところに大きな特長がある。

現在、放送車用・中継車用などとして、NHKをはじめ、民間放送局、映画関係に広く使用されている。



UDC 681.84

最近の4チャンネルステレオとSEロジック回路

小林正美・平松勝蔵

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P855～861

最近の4チャンネル技術の進歩には著しいものがあり、特にディスクレコードにおける4チャンネルについては、ほぼその方向がかたまりつつあると思われる。

本文では、このディスクレコードの4チャンネル再生方式を中心に説明し、さらにマトリクス4チャンネルにとって、将来不可欠になるだろうと思われる当社が開発した分離度拡大回路“SE LOGIC回路”について解説したものである。



UDC 681.84.086

16cm単一コーン形高忠実度スピーカー(P-610A形)

進藤武男・佐伯多門・興野 登

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P881～890

口径16cmの高忠実度スピーカーとして、25年間にわたりご愛用いただいているP-610A形は、P-62F、P-65F、P-60Fと形名こそ変わったが、設計の基本的条件を貫いて改良されてきたスピーカーである。

本文は、この16cmスピーカーの長期にわたる製品検討の中からますます増加する需要者に満足して活用いただくための技術的資料としてまとめたもので、P-610A形スピーカーに至る設計の推移と長期間集積された収容キャビネット資料を中心に述べる。



UDC 681.84.086

最近のステレオ用スピーカーシステム

亀山格彦・神野一郎

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P862～865

当社のダイヤトーンステレオは、年々著しい発展をとげているが、近年セパレートステレオの音質に対する要求もきびしいものがうかがわれ、コンポネントの音質に、ますます近づきつつある。

これらの要求にこたえるため、絶えざる開発と前進の歩みを続け、好評を博しているダイヤトーンステレオの中から、いくつかの代表的な製品を取りあげ、そのスピーカーシステムを中心とした、設計における着眼点と実施例について述べる。



UDC 535.8: 681.84.086

レーザ ホログラフィによるスピーカーの振動測定

進藤武男・鈴木英男・木村博雄・久保高啓・小泉孝之

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P891～896

コーンタイプスピーカーは、発明以来外観上はあまり変化がないが、性能的には飛躍的に向上しており、その動作についても最低共振周波数付近から中音にかけてはほぼ解明されている。ところが分割領域に入る中高音域では測定法の問題もあり、まだまだ不明な点が多い。

最近レーザ光によるホログラフィの技術が実用化され、高周波・小振幅の振動状態を写真観測することが可能になり、当社でもいち早くその技術を応用し各種スピーカーの振動状態の測定を行なっている。今回は主に高域限界のピークに注目し、その周波数付近での動作について検討し、高域限界あるいは分割領域での動作についてかなりの知見が得られた。



UDC 681.84.086

最近のダイヤトーン スピーカー

杉本宗久・松崎和朗・矢島幹夫

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P866～873

当社のコンポーネント用スピーカーシステムは、昭和42年に一般市販にふみきって以来、年々急速に伸び、現在では、当社のスピーカーの中でも大きなウエートを占めている。

そこで、最近の当社のハイファイコンポーネント用スピーカーシステムについて、設計上、考えておかなければいけないこと、注意すべきこと、製品の技術的特長などについて述べた。



UDC 621.375

最近のダイヤトーンアンプと技術的問題点

成田耕治・工藤隆二・杉原正一・千葉喜代一

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P897～901

音響再生において、スピーカー、カートリッジはもとより、アンプ、チューナによって音質は相当左右されるものである。この中で特にコンポーネントアンプ、チューナにおける役割は重要である。最近におけるアンプ、チューナの新技術、また、問題点を中心に述べ、ダイヤトーンアンプの技術および新製品を紹介する。



UDC 681.84.083

カセットデッキの雑音低減方式

宇野善之

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P902～904

オーディオ分野において、音の記録、再生の手段として、オーディオマニアの間では、古くからテープレコーダが愛用されている。ところが、近頃は一部のオーディオマニア以外の一般のユーザにもオーディオ機器が普及してきた。それにともなって、テープレコーダもオープン リールタイプから取扱いの容易なカセットタイプに移ってきた。ここでは、このコンパクトなカセットテープデッキの持つ種々な欠点のうち、S/N比の改善につき最近の動向と改善の効果について述べる。



UDC 681.84

最近のダイアトーン セパレートステレオのデザイン

飯塚重晴

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P918～919

最近のオーディオ市場は、4チャンネルを中心にハード・ソフトとも大きく変化しているが、このようなたえまない技術革新によってさらに消費者の需要はよびおこされオーディオの技術訴求への関心を高めている。こうした中で、オーディオのデザインは新しい技術を中心として展開し、商品としてアピールさせる方向にある。

ここではホンロード スピーカーシステムを軸にしたダイアトーン セパレートステレオのデザインについて、開発プロセスを通して説明している。



UDC 621.396.62:629.1.066:681.846.73

ラジオ付き8トラックカーステレオの開発

岩本康雄・小幡雅己・池田洋介・秋田和範

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P905～910

最近のカーステレオの急速な普及とFMステレオ放送の増加に伴って、カーラジオおよびカーステレオの形態も複合化の傾向にあり、ラジオ付きカーステレオは、乗用車の高級装備品として今後の需要が見込まれている。

このような動向のなかで、このたび自動車メーカでのライン装備をねらった超小形AMラジオ付き8トラックカーステレオと、一方アフタマーケットを目標とした押しボタン式FM・MPXラジオ付き8トラックカーステレオを開発したので、本論文で、これらの機種的设计意図・構造・性能等について述べる。



UDC 548-144:541.18

ネマチック液晶系の相転移温度と電気光学効果

小野 博

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P923～928

最近表示装置、非破壊検査への応用が話題になり、再び脚光をあびている液晶についてその概略を説明し、いくつかのネマチック液晶Alloy系の相転移温度に関する検討結果を述べた。これらのAlloy系のなかから、常温を含む広い温度領域で安定な液晶相をとるものはいくつか得られた。

ネマチック液晶に電場を印加したときに応答する境界の周波数は、温度の上昇につれて高周波側へ移動するが、電界強度に対しては極度に電界強度が小さい場合を除き、ほとんど電界に依存しない。

応答速度は電界強度、温度に依存するが、交流に対する応答の立下り時間は周波数に著しく依存する。



UDC 621.397.132:681.84.087

カラーテレビのハイファイ化

仲野 孚・榎本秀夫

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P911～912

カラーテレビの音声系は、一般に付随的に扱われる場合が多い。しかし、近年の消費者の多様な要求にこたえるため、音声系にも重点をおいたカラーテレビを市場に供給する必要が生じてきている。本文では、キャビネットを大形にして大口径スピーカーを収容し、さらに電気回路で補償することによって、低域再生範囲をひろげたカラーテレビの音声系について述べる。



UDC 335.376:537.312.5

X線用固体映像変換器

野島謙治・新居宏壬

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P929～933

医療や非破壊検査においてX線を即時に可視像に変換するものに蛍光板やイメージインテンシファイアなどがあるが、前者は性能、後者は取扱や価格の点で問題がある。この両者の欠点を補うものとして電場発光材料と光導電材料を組合せた軽便なパネル形の映像変換器を試作した。この装置では光導電層にCdSe焼結膜を採用することによって、この種の従来のものの画質や応答性等を改善し、入力X線感度0.1R/min、輝度1ft-L、コントラスト10%、解像度30 lines/cm、立上り 10^{-2} ～1秒が得られた。感度・応答性にはまだ改良の余地はあるが他の性能はイメージインテンシファイアに近く、静止物を対象とする軽便なX線用映像変換器として実用化可能である。



UDC 621.396

最近のポータブルラジオ

福井 貢・井上忠雄

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P913～917

最近のポータブルラジオは、単なるニュース性の使用目的だけのものではなくてきており、音楽を楽しむための身近な存在になってきている。小形、軽量という昔の概念とは異なって、高感度・高性能・高出力であり、かつ低ひずみ率特性のものであって、多くの機能と操作性を備えたものであると同時に、デザイン面も斬新なものへと要求が変わってきている。このようにラジオの高級品を好む傾向に進んできていて、当社で開発設計された三菱ラジオ、FIC-202形は、これらの市場要求の動向に合せて設計されたものである。ここにFIC-202形を例にとりて、最近のポータブルラジオの設計の思想と概略を述べる。



UDC 621.3.038.8:535.89:621.373.8:621.375.826

内部鏡形He-Neガスレーザ

谷口一郎・桜井 彪・永井治彦・小坂橋正康・宮沢淑子・佐竹正章

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P934～939

レーザは情報処理あるいは各種計測用光源として最近よく用いられているが、特に小形で取り扱いやすく、しかも長寿命で発振出力の安定性のすぐれたレーザが要求される。その要求を満たし、冷陰極を内蔵した同軸形の内部鏡形He-Neガスレーザを当所において開発した。

本報告ではその内部鏡形ガスレーザの構造、レーザ光の諸特性について実験結果を中心にして述べる。さらに温度・湿度・衝撃あるいは振動の発振出力に対する影響を試験し、この内部鏡形ガスレーザが広範囲の使用条件に十分耐えることを確認した。




UDC 621.316.5: 621.316.344

固体絶縁開閉装置（ミニクラッド）

剣持 宏・永田秀次・原田 繁・信崎泰秀

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P940～946

都市過密化にともない、変電所を超小形に建設でき、しかも安全性・信頼性の高いものが望まれてきた。この情勢のもとに東京電力㈱と当社とは、昭和42年5月から共同研究を行ない、まず第1段階として22kV 1,500A用 固体絶縁開閉装置（ミニクラッド）を開発し、昭和44年3月に同装置を目白変電所において実用し、多大の成果をおさめた。この成果をもとに、第2段階として22kV 2,000A、6.6kV用の開発を行ない、昭和47年3月に開発を完了した。


本文ではこのうち、基本研究において解決した諸問題、および22kV 2,000A、6.6kV ミニクラッドの概要  と、この新しい装置の高い安全性・信頼性を確認するため、とくに実施した過酷な試験の結果について報告する。

UDC 621.337

地上式自動列車制御システム

前田 豊・六藤孝雄

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P947～956

わが国において列車の自動運転制御は、列車にATO装置を設置した車上制御方式による運転が、東京ならびに大阪両地区においてすでに実用に供されている。ところが、本文で述べる方式は従来の方式と異なり、地上側で列車を直接制御する地上式自動列車制御システムに関するものである。ここでは、全地上式ATOシステムと半地上式ATOシステムについて、構成を具体的に述べるとともに、技術的に問題になる定位停止の新しい制御方式の提案と、停止精度に影響を与える各種要因について、現車試験を行ない、確認された解析結果について述べている。 


UDC 681.3.02: 656.254.5-52

ATO用データ処理装置

六藤孝雄・長谷川博一・丸田征生・吉田 連

三菱電機技報 Vol.46・No.8・P957～964

ATO装置によって車両を制御する自動運転システムでは、故障時の原因解明のために、異常状態のみならず正常状態をもモニタするとともに、記録しておくことが特に必要である。ATO用データ処理装置は、この目的のために、大阪市交通局において行なわれたATOシステムの現車試験と並行して開発された。

本装置は、MELMIC-100とカセット式磁気記録装置をおもな構成要素とし、定位停止制御の各種データを処理して最も有効な形でディスプレイする機能と、コンパクトなカセット式磁気テープに各種データを保有する機能を有す。なお、本装置は、MELMIC  -100の制御プログラムを変更すれば、地上機器室および車両部における保守用の各種データを収集し、処理する能力等の一般的なデータ処理装置に拡張することができる。

生活環境におけるオーディオ機器

藤 木 一*

Audio-Equipment in Living Environment

Head Office Hajime FUJIKI

Of electrical products which are the elements of forming our living environment, those operating to record and reproduce the sound, such as named audio products covering the stereos, tape recorders, amplifiers and loudspeakers, seem to take more and more rationalized shapes in future as a subsystem of the information system with the trend of our living space becoming narrower.

To form agreeable living environment from the acoustic standpoint, it is desirable not only to improve the performance of the audio equipment but also to make the surrounding befitting to the purpose of obtaining good sound effect.

1. ま え が き

1950年代は原子力応用の時代、1960年代は宇宙探検の時代、1970年代は環境を制御する時代と言われている。近年における急速な技術革新および産業の発達に伴って、人間の住む環境は改善されるどころかむしろの混乱に向い、いわゆる公害問題があらゆる面で多発している。これらの原因の一つは、従来の技術研究・開発が細分化されたそれぞれの専門分野にとどまったために、真に人間的な要求に適した生活環境についての総合的な計画・設計がなされなかったからと言える。

音響の分野についていえば、音声・音楽・騒音などがわれわれの日常生活・社会生活に対して重要な関係をもつもので、人間をとり巻く生活環境において、あらゆる種類の音響を管理し、あるいは構成し、総合的立場から人間に最適な音響環境を創造するための、総合設計 (Total Design) が必要になってきている。

昭和30年代にわが国における音響界では、オーディオ機器を中心としたハードウェア指向的な発展がはなはだ急速に進み、家庭用オーディオ機器としては今や欧米の水準に達し、コストパフォーマンスの点では、これをしのぐようにも評価されている。果たしてこれで良いのかというと、これらオーディオ機器が、与えられた音のソースを単に記録・再生するというハードウェア指向の考え方に走りすぎた感がある。

すなわちオーディオ機器のメーカーとしては、生活環境に置かれた製品がそのデザイン・性能・価格の面でそれぞれの要求を十分に満足させるものであればよいとも言えるが、ユーザの立場を考えるとこれだけでは不十分で、ソフトウェア面での十分な研究開発を伴ったトータルデザインとしての、音響設計による製品を供給することがわれわれの使命であると考え。

2. 生活環境におけるオーディオ機器

当社の家庭用電気製品全般の開発・設計・生産には、一貫した「快適な生活環境をつくるための製品」という理念のもとづいて、個々の製品については一般的性能がすぐれていることに加えて

- (1) 清潔で美しいこと
- (2) 安全であること
- (3) 静かであること
- (4) 小形で軽いこと
- (5) 経済的であること

をモットーとし、これらを取り巻く生活環境に対しては、形状・色調などの面で調和させようとするものである。

一方ユーザの側から見た場合、果たしてこれら家庭の中の電気製品が空調システム・ちゅう (厨) 房システム・サニタリーシステム・情報システム (音響システムはこれのサブシステムである) などで、あらかじめシステム化され、調和されたものが受け入れられるかという点、この点に関しては、戦後4半世紀にわたってほとんど考えられなかったといっても過言ではなからう。

われわれの国民性というか、一般に合理性に徹するということは、よほど物・心両面に余裕がなければ非常に困難であると思われるが、近年のように都市集中化が進み、いよいよ人口ちゅう (稠) 密となってくると、これら外的条件からの生活環境における合理化・システム化が進んでくものと見受けられる。

すなわち当社の製品は、お互いに調和を保って家庭に受け入れられるように、デザイン面から順次設計・製造・荷造発送の全プロセスにわたって、トータルデザイン的思考を盛り込んでいきつつある。

情報システムとしては、テレビ・VTR・EVR・ラジオ・音響機器・電話などがあげられるが、生活環境において、それぞれの持つ使命はかなりの相違があり、テレビ・ラジオなどは、新聞・電話のように日常生活にほとんど欠かせない生活必需品的な傾向にあるが、他方音響機器は趣味・嗜好的な面が強い。しかし最近の傾向としては、若者はディスクジョッキーによってプログラム参加、ステレオによる音楽鑑賞または「ながら的」な音響環境を好むようになってきて、テレビ・ラジオその他とがお互いに機能上調和を保ち、それぞれの特長を生かして、快適な生活環境を積極的に創造する方向に向っていきつつある。

ホテル・百貨店・飛行機の中や工場などで行なわれている環境音楽 (BGM など) は、音響環境を創造して快適化・能率増進などの効果をあげているが、環境音楽が他の情報を含んだ形態で、家庭に入ってくるのも近い将来のように考えられる。他方テレビとの結びつきにしても、音声多重放送も実験段階から逐次本格化していき、他国語を同時放送することから2チャンネルステレオの分野にも移行して、その機能をフルに発揮する日も近いものと思う。

今までのオーディオ機器による音響再生では、視覚を伴わないという非常に大きい盲点がある。たとえば大ホールでオーケストラによって交響曲または協奏曲の演奏があり、これを客席で聞いている場合を考えてみる。指揮者のタクトによってオーケストラの各パートは楽譜に

書かれた曲を忠実に演奏しているが、目を閉じて聞いてみると非常に楽しくない、不満足な音である場合がしばしばある。すなわち音楽ホールでは、指揮者の動き、楽団員またはソリストの体の動きによって、聴者が各瞬間にどのような音が聞えるのかという期待感を持っているので、わずかな時間差を持って耳に達した音が、心理的に共感と満足感と呼び起こすために十分満足できるのである。レコード・テープなどの記録媒体を作るプロセスにおいても、またリアルタイムの放送でのミキシングの場合も、これらのことを考慮してミキシングを行ない、視覚を伴わない音響再生の場合にも、かなりの効果をあげているのが現状である。

ダイアトーンスピーカーには、P-610A形・2S-305形などモニタ用としての代表的な製品があり、オーソドックスな設計方針を堅持して長年その地位を確保しているが、他の系列のDS-301形・DS-251形などは、上記のような音作りの要素が加味されて爆発的な人気を得ている。

最近いよいよ4チャンネルステレオ再生が本格的になってきたが、モノラルから2チャンネルステレオに移行したときの驚きと同じように、4チャンネルステレオにはすばらしい音響再生を期待することができる。これは録音時の情報の伝達量が飛躍的に増大するからであって、4チャンネル

の機能をフルに発揮できるような、洗練された音のソースが世上に数多く出回る日も近いことであろう。

3. む す び

居住空間におけるオーディオ機器が、情報システムのサブシステムとして快適な生活環境形成のための役割を果たすために、前述のごとく性能・デザインなどにおいて個々の製品相互の調和と、置かれるへやのインテリアとの調和を保つように指向することは、基本的に必要なことであるが、また一方ユーザの要求の多様化に即したもので、あるいは情緒的な面に適合したオーディオ製品なども必要である。

このような場合でも、それぞれの機器がスピーカーとかメインアンプの共用などでつながって合理的な情報システムを構成することが望ましく、これらのシステムが、生活環境で十分にその性能を発揮するためには、

- (1) 暗騒音が少ないこと
- (2) 室内の音の伝送特性が良いこと
- (3) 残音時間が適切であること

などの周囲条件が不可欠であると同時に、空調・照明の面でも十分な配慮が必要であることは言うまでもないことである。

最近の4チャネルステレオとSEロジック回路

小林 正美*・平松 勝蔵*

The Latest Four Channel Stereos and SE Logic Circuits

Koriyama Works

Masami KOBAYASHI・Katsuzo HIRAMATSU

The latest four channel technique has made remarkable progress. As for the four channels on a disk record the course of advancement seems to have been almost determined.

In this article is made a description on a four channel reproduction system of disk records as a central topic, and further an elucidation is given regarding "SE Logic Circuits" —Separation Enhancing Circuits— developed by Mitsubishi which is considered indispensable in the future for matrix four channels.

1. ま え が き

最近の家庭用あるいは自動車の音響装置は、4チャネル化の傾向にある。これらの音響再生装置は、原音の忠実な再生を常に目標としている。そして現在までに数多くの貴重なデータが集積され、新製品が開発されてきた。しかし、これまでの効力はあくまで、“完全な伝送系”を目ざしたものであった。その結果、確かに伝送系の機器の性能は著しく向上したが、原音と再生音の間にはまだまだ差があり、この差を縮めるためにはさらに努力が必要である。しかし今までのように機器の性能面のみを追求してみても、不経済であると同時に、この差をどの程度まで縮め得るかが疑問でもある。そこで何か別の角度からのアプローチが必要になる。

高忠実度再生の真の意味を考えると、今までのように楽器の音だけが忠実に再現できればよいということだけでなく、音楽のもつ芸術性や情緒的なふん囲気などをも伝達されねばならない。すなわち、原音場に存在する音のすべてを伝送するシステムが必要となる。このシステムを“理想的な伝送系”と呼ぶならば、“理想的な伝送系”の実現には“完全なる伝送系”が多数必要となる。このような考え方が背景になって4チャネル録音再生装置が生れた。

伝送チャネルは、多いほど、伝達できる情報量は当然多くなる。しかし、経済的な制約と従来との両立性を与慮するとき、あまり多くの伝送系を考えることはできない。モノラルからステレオに移ったとき、情報量は2倍になったのではなく、2倍以上になっている。これは二つのチャネルの間の相互関係による別の情報が伝送されるからであると見られている。このように考えれば、4チャネルでは、チャネル間は六つ存在することになり、モノラルに対して相互関係を考慮すると4倍以上の情報を送ることが可能であるといえる。以上のように4チャネル再生装置は、従来の装置に比べて著しく大きな情報が伝達され、音楽の芸術性を再生するのに有効な手段となる可能性を

持っている。

2. 4チャネルステレオの各種方式

4チャネルステレオを具体化する方法は、経済性、従来の伝送媒体との両立性、技術的優位性そして技術的安易度などの要素のうち、どれに主眼を置くかによって、多くの方式が現在までに発表され、一時期、市場で混乱を招いたこともあったが、電子機械工業会その他の努力により、技術的相似性を持つものについては統一化が行なわれ、現在では比較的スッキリした形になっている。

表2.1は、4チャネルステレオの大きな分類を表にまとめたものである。

まず、4チャネルステレオは、ディスクリート方式とマトリクス方式に大きく分けられる。ディスクリート方式とマトリクス方式の根本的な相違点は途中の伝送チャネル数が異なることで、ディスクリート方式は4系統、マトリクス方式は2系統になっている。

したがって、マトリクス方式は、従来の2チャネルステレオと互換性を有することとなり、最大のメリットとなる。ディスクリート方式は、四つの伝送チャネルを使用するため、情報の伝達量も多く、理想に近い4チャネルステレオ再生が可能となるが、従来のものとの互換性がなくなるため、放送、レコードなどの媒体に問題が残る、現在これらの実現のため多くの努力が払われている。しかし、テープを使用することに

表 2.1 4チャネルステレオの分類
Major classification of four channels stereos.

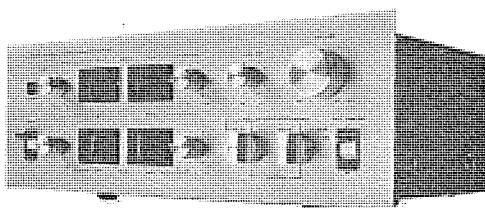
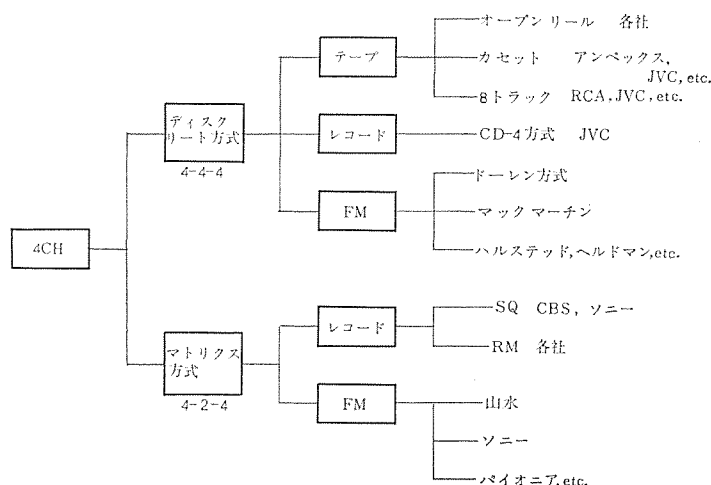


図 1.1 SEデコーダ DA-Q 100
SE decoder DA-Q 100.

よって、比較的容易に実現され、当社においても1968年のエレクトロニクスショーで業界に先がけて、4チャンネルステレオを出品したが、このときは、オープンリールのテープを使用したものであった。その他に主として、自動車用に、カートリッジタイプのQUAD-8 (RCA) なども発売されている。その他、テープにおける最近の傾向として、カセットタイプの比重が大きくなってきていることから、カセットテープによる4チャンネル化も具体化されているが、特許の問題と、1トラックあたりのテープ幅がきわめて狭くなることから、技術的な困難さもあって、製品化には至っていない。

ディスクレコードを用いた、ディスクリット4チャンネルの方式は、ビクターで開発されたCD-4方式が唯一のものである。これは従来のレコードの可聴帯域に前方と後方信号の和信号をカッティングし、差信号と30kHzのキャリアにFM変調して重畳し、四つの信号を送る方法である。全体の帯域が50kHzまでにも及ぶため、カッティングの技術、カートリッジの特性など、技術的にむずかしい問題がある。しかし、今後、ビクター社のみでなく、他の多くのメカによって研究されるようになれば、急激にこれらの問題の解決策が得られるようになり、実用化が進むことが考えられる。

その他にFM放送の広い伝送周波数帯域を用いて、4チャンネルのディスクリット伝送を行なうとする方式がいくつか発表されている。その代表的なものはDorren方式で、38kHzで左・右を分離し、さらに76kHzにておのおのの前後を分離する方式である。モノラル、ステレオ、4チャンネルとフルコンパティブルである点があり利である。これらのFM放送による4チャンネル伝送は、ディスクリットの電送ができる点が大きなメリットとなるため、今後発展が予想される。現段階では実用化に至っていない。

以上のディスクリット各方式に対して、マトリクス方式は、2チャンネルの伝送チャンネルで4つの信号を送ろうとするため、四つの信号を特殊な形に組合せるエンコーダが必要となる。再生側では、録音側で組み合わせられて送られた信号を元の四つに復元するデコーダが必要となる。そのために4チャンネルではあるものの伝送される情報量には限界が生じるが、2チャンネルステレオよりは、多くの情報を伝達できることと、従来の2チャンネルステレオと両立性を有すること、それに経済的であることなど現実的なメリットを持っている。

マトリクス方式は、2チャンネルステレオとの両立性を有するというメリットを最大限に発揮して、その伝送媒体の大部分をレコードに求めている。このことは、4チャンネルステレオのプログラムソースをふやすことにつながり、普及に大きく貢献しているといえる。

このマトリクス方式は、エンコードの仕方によって、二つの方式があり、一つはCBS研究所で開発されたSQ方式であり、もう一つはシャイパー氏の考案になるものを原形とする改良形のRM方式である。両方式の優劣については、一口に述べられないが、純技術的見地から、若干、RM方式がすぐれていると言えるのではなからうか。

その他マトリクス方式のFM放送への適用は、信号自体が2チャンネルになっているため、従来のFMマルチシステムを用いて容易に行なうことができ、2～3のメカではすでに放送を開始している。

3. 各種方式についての概要

3.1 CD-4方式

日本ビクターで開発されたこの方式は、ディスクレコードに4チャンネル信号を記録できる唯一の方式である。理論的には、特別に難解というほどではないが、現実面では、レコードの材料、回転の円滑さ、カートリ

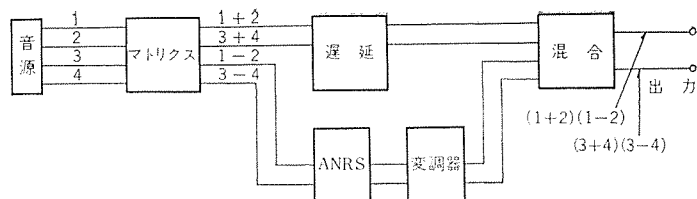


図 3.1 CD-4方式録音ブロック図
Block diagram of CD-4 system recording.

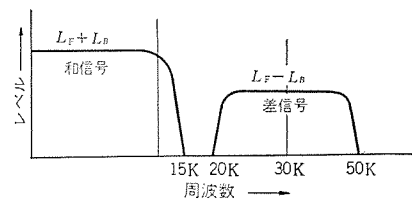


図 3.2 CD-4方式信号構成
CD-4 system signal composition.

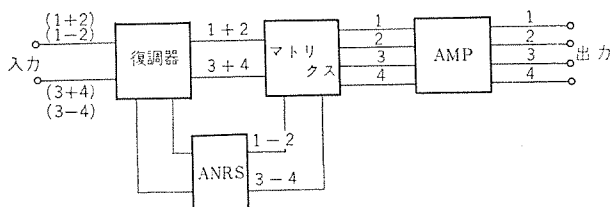


図 3.3 CD-4方式デモジュレータ
CD-4 system demodulator.

ッジの性能などで困難な問題がある。しかし最近ではANRS(Automatic Noise Reduction System)回路の採用によって、実用面でもかなり良い結果が得られるようになったと発表されている。

図3.1は、CD-4方式のカッティングシステムのブロック図であり、これは、日本レコード協会技術部会において、規格化されていて統一した方式で記録されることになっている。四つの音源は、マトリクスされて、和信号と差信号に変換され、和信号は遅延回路に、差信号はANRSを通して変調器に入り、30kHzをキャリアとして変調される。その後混合器で、加え合わされて、レコードに記録される。

図3.2は、レコードの内側の壁に刻まれる信号の周波数スペクトラムを示し、和信号は15kHz以内に押えられ、差信号はキャリアを中心に20kHz～50kHzの間に記録される。図3.3は復調器のブロックダイヤグラムで、再生された信号は復調されて、和信号と差信号に分けられ、差信号はANRSを通してマトリクスし、四つに復元される。このシステムは信号が直交配列の形に組み合わされているが、このほうが、伝送時の誤差が少なくなると同時に、差信号を取り出すことのできない従来のステレオセットでは、可聴帯域のみを再生することになるため両立性を有することになる。

3.2 4チャンネルFM放送Dorren方式

サンフランシスコ大学の学生Dorren氏によって開発されたこの方式はFCCも実験放送を許可するなど、最も実現性の高いシステムであり、現在までに実験放送で良いデータを得ている。

この方式は図3.4に示されるように、左側と右側の前後の信号を76kHzで時分割変調し、さらにその二つを38kHzの従来のステレオ放送と同様に変調して電波とし、図3.5の受信機で逆の系路をたどって四つに復調される。したがってモノラル受信機では四つの信号の和が受信され、ステレオ受信機では前後の信号が和になったステレオ放送として、そして図3.5の受信機では4チャンネルになるという、

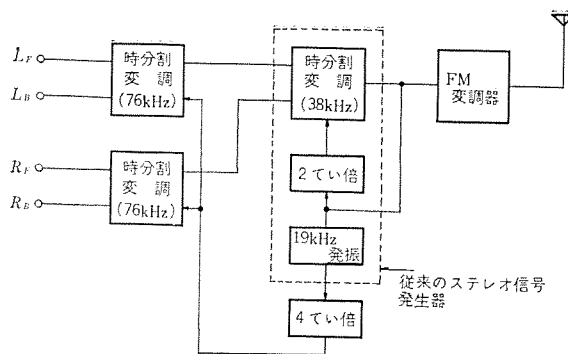


図 3.4 Dorren 方式の送信機
Transmitter of dorren system.

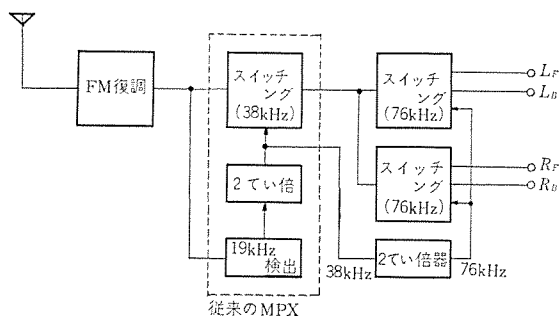


図 3.5 Dorren 方式の受信機
Receiver of dorren system.

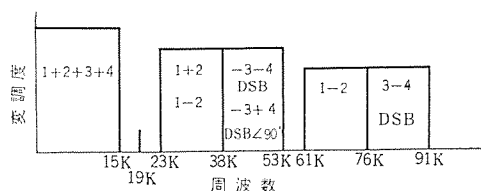


図 3.6 Dorren 方式のスペクトラム
Spectrum of dorren system.

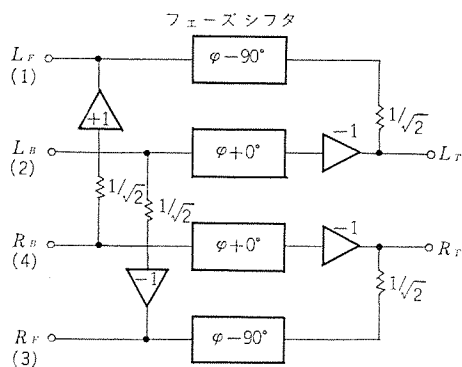


図 3.7 SQ 方式 エンコーダ
SQ system encoder.

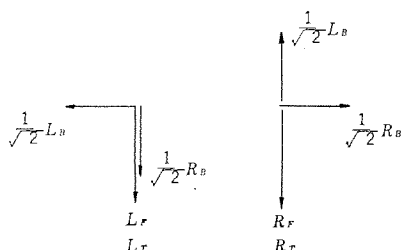


図 3.8 SQ 方式 2CH 伝送信号
SQ systems 2CH transmission system.

受信機のグレードに応じた高いコンパティビリティを有するシステムである。

図 3.6 は Dorren 方式の周波数 スペクトラム を示している。現在の受信機に対して若干帯域が広くなるため、浮遊容量の影響など回路上注意を要する。

3.3 SQ マトリクス方式

CBS 研究所にて開発され、日本の CBS ソニー 社が実際のハードを担当していると言われている。CD-4 および Dorren 方式は、原信号にほぼ等しい出力を得ることができるが、反面、伝送信号の周波数帯域が広くなったり、あるいは伝送チャネル数が4系統必要になる。これに対してマトリクス方式は、伝送チャネル数が2系統で、しかも可聴帯域内で処理をしようとする点が大きく異なる。この項で述べる SQ マトリクスは、別名 フェーズマトリクスと呼ばれ、四つの原信号の位相関係をうまく処理することによって、2チャネルの伝送チャネルにミックスダウンし、レコードに記録される。そして再生側で四つに分離復元する。したがってこのような方式を4-2-4方式と称している。

図 3.7 は SQ 方式のエンコーダを示している。エンコーダの入力に加えられる四つの信号はそれぞれ位相の変化を与えられて、ミキシングされ、 L_T 、 R_T の二つの伝送信号に変換される。これらの L_T 、 R_T 信号は式 (3.1) に示され、位相関係は図 3.8 に示される。

$$\begin{aligned} R_T &= R_F - 0.707L_B + j0.707R_B \\ L_T &= L_F - j0.707L_B + 0.707R_B \end{aligned} \quad (3.1)$$

この信号がレコード音溝に記録される。

図 3.9 は、SQ マトリクスの再生側デコーダを示している。 L_T と R_T は、フェーズシフターにより 0° と 90° の位相関係となる四つの信号に移相され、この四つの信号の組合せにより、 L_B と R_B が取り出される。デコーダ側のマトリクスは、次式になるように構成されている。

$$\begin{aligned} L_F' &= L_T \\ L_B' &= -(R_T - jL_T)/\sqrt{2} \\ R_F' &= R_T \\ R_B' &= (L_T - jR_T)/\sqrt{2} \end{aligned} \quad (3.2)$$

したがって、式 (3.1) と式 (3.2) から

$$\begin{aligned} L_F' &= L_F - j\frac{1}{\sqrt{2}}L_B + \frac{1}{\sqrt{2}}R_B \\ L_B' &= L_B + j\frac{1}{\sqrt{2}}L_F - \frac{1}{\sqrt{2}}R_F \\ R_F' &= R_F + j\frac{1}{\sqrt{2}}R_B - \frac{1}{\sqrt{2}}L_B \\ R_B' &= R_B - j\frac{1}{\sqrt{2}}R_F + \frac{1}{\sqrt{2}}L_F \end{aligned} \quad (3.3)$$

となる。この信号をベクトルで表わしたのが図 3.10 で、図 3.11 は、クロストークの方向と分離度を示している。式 (3.3) を見ると、原信号 L_F に対応する再生側の L_F' チャンネルには原信号 L_F のほかに $-j1/\sqrt{2}L_B$ と $1/\sqrt{2}R_B$ が余分に混入している。これが、マトリクス方式の欠点となるクロストーク信号である。このクロストーク信号の発生により、各チャネル間の分離度が平均 3 dB となり、原音場をより正確に伝送しようとするための障害となる。

3.4 RM (Regular Matrix) 方式

この方式は、非常に多くの方式が統一されてでき上がったものである。しかしこれらの多くの方式の源はすべてシャイパー氏の考案になるもので、その改良形と考えてもよい。ただ少し異なるのは、原シャイパー方式が、信号の大きさと組合せたマトリクスで、Amplitude Matrix と呼ばれたのに対して、その後の改良で、Phase Matrix の利点が入り入れられ、現在の RM 方式は、Amplitude Phase Matrix

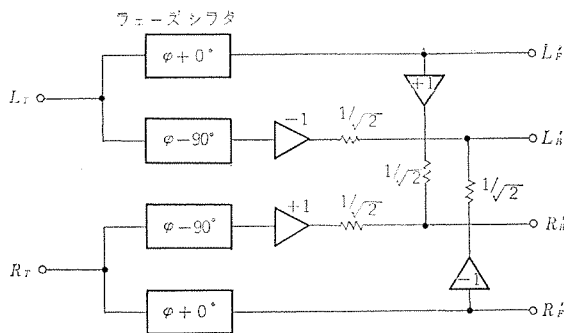


図 3.9 SQ 方式デコーダ
SQ system decoder.

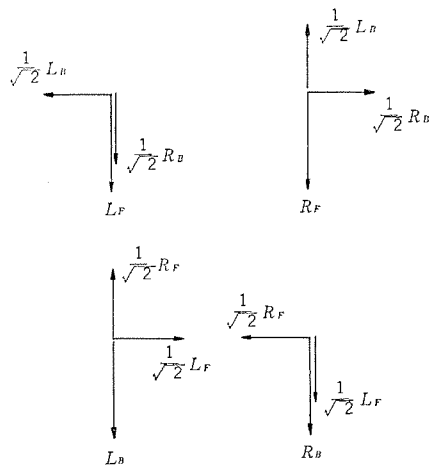


図 3.10 SQ 方式デコーダ出力
SQ systems decoder output.

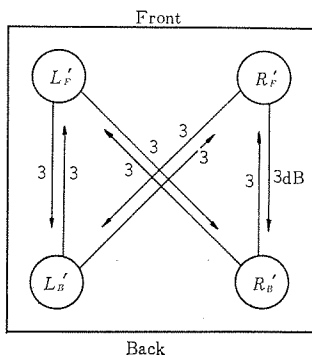


図 3.11 SQ 方式クロストークの方向と分離度
Direction of SQ system cross talk and its separation.

と呼ばれている点である。現在では最も安定度の高いマトリクス方式であると言われている。

図 3.12 は RM 方式を代表する エンコーダの ブロックダイアグラムである。エンコーダの マトリクス は次式で示される。

$$\begin{bmatrix} L_T \\ R_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & ja & jb \\ b & a & -jb & -ja \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_F \\ R_F \\ L_B \\ R_B \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.4)$$

エンコードされた 2 チャンネルの 伝送信号は図 3.13 に示される ベクトルとなる。SQ 方式では L_T と R_T が三つの信号で構成されていたのに対して、RM 方式では四つの信号で成り立っている。 a 、 b の係数については後述する。

次に図 3.14 はデコーダのブロック図である。このデコーダのマトリクスは次式で表わされる。

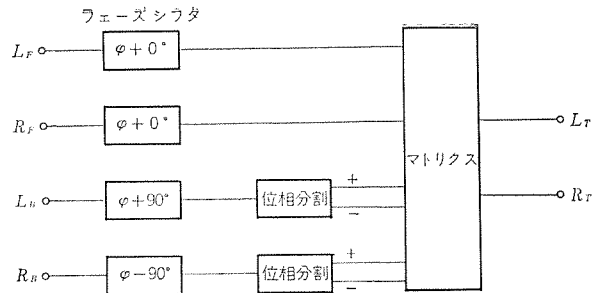


図 3.12 RM 方式エンコーダ
RM system encoder.

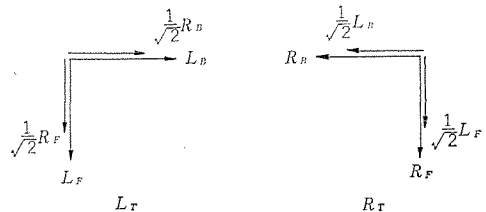


図 3.13 RM 方式 2CH 伝送信号
RM system 2CH transmission signal.

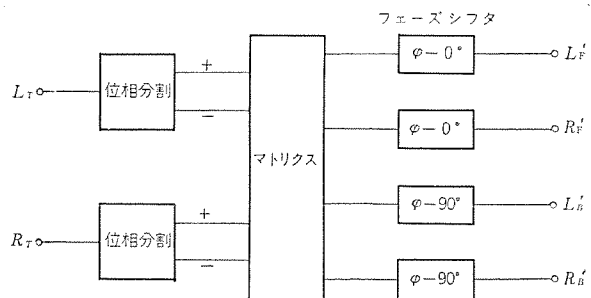


図 3.14 RM 方式デコーダ
RM system decoder.

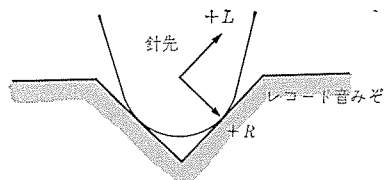
$$\begin{bmatrix} L_F' \\ R_F' \\ L_B' \\ R_B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a+b \\ b+a \\ -ja & jb \\ -jb & ja \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_T \\ R_T \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.5)$$

総合マトリクスは、

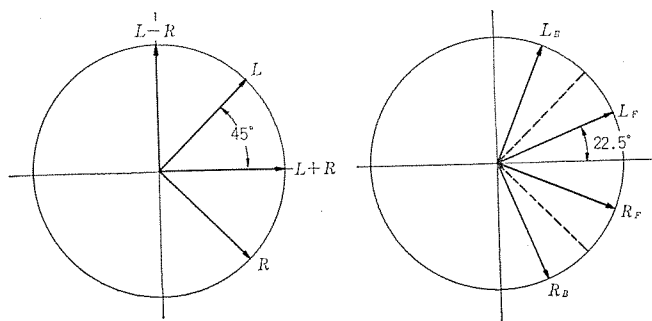
$$\begin{bmatrix} L_F' \\ R_F' \\ L_B' \\ R_B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2+b^2 & 2ab & j(a^2-b^2) & 0 \\ 2ab & a^2+b^2 & 0 & -j(a^2-b^2) \\ -j(a^2-b^2) & 0 & a^2+b^2 & 2ab \\ 0 & j(a^2-b^2) & 2ab & a^2+b^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_F \\ R_F \\ L_B \\ R_B \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.6)$$

となる。ここで a と b の係数について説明を加える。

図 3.15 (a) は、レコードの音みぞと針先の運動の関係を示している。従来の 2 チャンネルステレオの場合は、図中の矢印の方向へ針先が動いたとき、それぞれ $\oplus L$ 、 $\oplus R$ と定義してある。これをベクトル図にしたのが同図 (b) で、横方向への針の動きは L と R が同相で同一レベルの場合 (モノラル信号) であり、 L と R が逆相で同一レベルの場合は、針は縦方向に動く、これは差信号である。そしてこの図からわかるのは 45-45 方式のレコードには、実はこの四つの方向の信号が録音される可能性を示していることである。しかし (b) のままでは、差信号は完全に縦方向の振動となり、カッティングに際して障害となったり、あるいは再生側で針飛びなどの原因となるため、全体を 22.5° 回転して、同図 (c) のようにしなければならない。破線は従来の 2 チャンネルであるから縦軸と横軸、それと従来の L 、 R のちょうど中間に 1 本ずつ追加したような形になる。



(a) 45/45レコードの針先運動の方向と信号

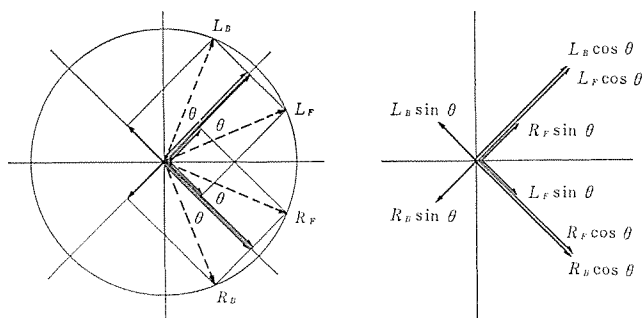


(b) 針先運動と信号

(c) 針先運動と4CH信号

図 3.15 4CH 信号が2CH レコードに録音される場合の針先運動

Stylus movement by 4CH signal recording on 2CH stereo disc.



(a) ベクトルの合成

(b) (a)から L_i , R_i の信号を抜き出したもの

図 3.16 RM 方式針先運動
RM system stylus movement.

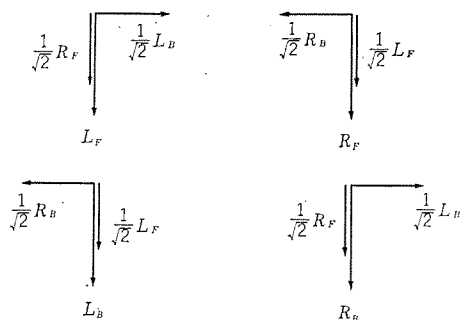


図 3.17 RM 方式, 代表的なデコーダ出力
RM system representative decoder output.

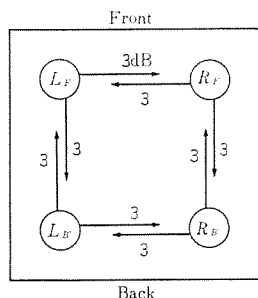


図 3.18 RM 方式, クロストーク方向と分離度
RM system direction of cross talk and separation.

図 3.16 (a)は式 (3.4) の L_T と R_T を図示したものである。この信号を カッタの L 端子と R 端子に印加してやれば、同図 (b) のようにベクトル合成され、図 3.15 (c) に示される録音が可能になることが理解できる。そこで逆に a と b の係数はこのときのベクトルの L と R への斜影となり、角度は 22.5° となるので、 $a = \cos 22.5^\circ$ 、 $b = \sin 22.5^\circ$ にすればよいことがわかる。マトリクスレコードはこのようにして作られている。

式 (3.6) に前述の a と b の値を代入して概算すると、次の結果を得る。

$$\begin{bmatrix} L_F' \\ R_F' \\ L_B' \\ R_B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.7 & j0.7 & 0 \\ 0.7 & 1 & 0 & -j0.7 \\ -j0.7 & 0 & 1 & 0.7 \\ 0 & j0.7 & 0.7 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_F \\ R_F \\ L_B \\ R_B \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.7)$$

これを図示したのが、図 3.17 である。また図 3.18 は、クロストークの方向を示している。SQ の場合と比較すれば、その違いがよくわかる。

4. マトリクス方式の改善

マトリクス方式は、他の方式に比べ次の点でメリットがあるといえる。

- (1) 従来の2チャンネル伝送系を用いるので、FM 放送、レコード、テープ等特別なものを用いる必要がない。
- (2) デコーダが非常に簡単なもので済むため、経済性が高い。
- (3) 可聴帯域内で信号が処理されるため、音質やダイナミックレンジに影響を与えない。

反面、欠点ももっている。前述のクロストークは、その最も重要なもので、このクロストークを何とかして、発生させない、あるいは抑圧することが可能になれば、4チャンネルシステムとして理想に近づくことができる。

ここでもう一度図 3.11 と図 3.18 を参照されたい。これらの図から仮に一つの L_F' からのみ音を再生しようとする場合を考えると、SQ 方式の場合は、図 4.1 (a), RM 方式の場合は同図 (b) のとおりとなる。一方実際の音楽信号が各チャンネルから同時に再生される場合を観察すると、各チャンネルの信号が楽器が異なったりすることにより、同一周波数の同一レベルになるというケースはきわめてまれであることがわかる。つまり瞬時々々をとってみれば、図 4.1 (a), (b) のような状態を考えることができる。したがってこのような状態を検出して、SQ 方式の場合は L_B' と R_B' に出てくるクロストークを、RM 方式の場合は、 L_F' と R_F' のチャンネルの音を消去・抑圧すればよいことになる。消去あるいは抑圧の方法としては、クロストークの発生するチャンネルの増幅器利得を可変する方法（直接 AGC をかける方法）、クロストーク信号同志を逆相にして加える方法（クロスキャンセル法）、そして当社で開発した主信号の位相と大きさをコントロールして、クロストークが発生しているチャンネルに注入し、キャンセルさせる方法（逆相注入法）などがあり、当社の逆相注入法は原理的に最も良い結果を得ることができるが、回路が、やや複雑となりコストに影響を与える。しかし今後の努力により、他の方法によるものと同程度まで原価低減は可能であると考えている。

以上のような分離度を改善する回路を、ロジック回路と呼んでいる。このロジック回路をいかに動作させるかが、4チャンネルハードメカの一つの焦点になっており、ロジック競争がメカ間で起こりつつある。

4.1 分離度拡大ロジック回路

マトリクス回路に、分離度を拡大するロジック回路を付加する考え方

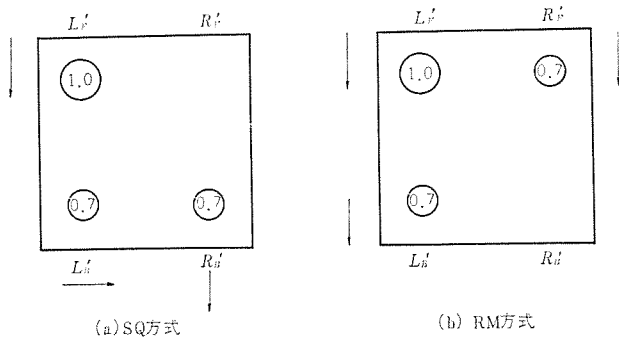


図 4.1 マトリクス方式のクロストーク
Cross talk of matrix system.

は、RM 方式の原回路の発明者、シャイパー氏によって、マトリクス方式 4 チャンネルの出現と同時に提案されているように、案外以前から国内にも紹介されている。そしてこのロジック回路は、SQ 方式のデコーダに最初から内蔵されて製品化されたが、RM 方式については、レコードの発売枚数や、デコーダを製品化しているメカの数が多いにもかかわらず、今までどこからも発表されなかった。当社はこの RM 方式にロジックをとる載することに早くから着目し、昨年の秋の全日本オーディオフェアで出品したところ好評を得たので、その後、十分に吟味して先日（3 月 15 日）発表した。

以下、当社のロジック回路について説明する。

ロジック回路は大別して三つのブロックにより構成されている。比較検出回路・打消信号発生回路・加算回路の三つである。

4. 1. 1 比較検出回路（コンパレータ）

この回路がロジック回路の中では、最も重要な部分である。四つのチャンネルにどのように信号が配分されているかを検出し（定位の検出）、打消電圧をどの程度の大きさに（打消量の決定）制御するかという二つの働きをする。定位の検出については、図 4. 2 のように、2 組のコンパレータが使用され、対向チャンネル間にクロスして接続される。コンパレータは 2 個の出力端子があり、それぞれのチャンネルに対応した制御電圧を取り出すようになっている。たとえば図 3. 17 で、 L_F' チャンネルのみ信号が入ってきた場合には、2 のコンパレータは L_F' と L_B' に接続されており、二つのチャンネル間の信号の比を検出するようになっているが、 R_B' には信号が現われないため L_F' 用出力端子に⊕の DC 制御電圧が得られ、 R_B' 用出力端子の制御信号は⊖V となる。このときコンパレータ 1 は、 L_B' と R_F' に接続されているが、 L_B' と R_F' に現われる信号は大きさが同じであるため、コンパレータの出力は 0 V となる。このように L_F' チャンネルのみ信号が現われるときには L_F' に接続されたコンパレータだけが、信号に応じた DC の制御電圧を発生する。他のチャンネルの場合も同様の動作となり、360° どの位置に音が定位するときにも、コンパレータは正確にその定位をキャッチし、適切な制御電圧を発生する。この制御電圧の値は、打消信号の大きさを直接コントロールするので重要である。

コンパレータには、小信号時と大信号時で、異なった検出をさせないため、対数増幅器を用いている。したがって制御電圧： V_C は次のように表わされる。

$$V_C = k_1 \cdot \log e_m / e_0 \quad (4.1)$$

コンパレータで DC に変換するとき、時定数が問題となるが、アタック時間は、聴感上の良否で判断しなければならない。

4. 1. 2 打消電圧発生回路

この回路は、コンパレータからの制御信号によって主信号の大きさをコントロールし、さらに打消可能な位相に変換して、打消信号を作る回

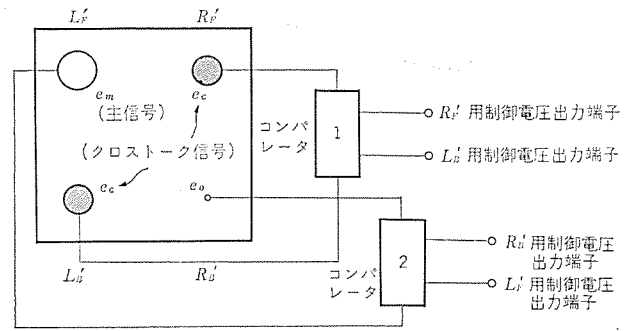


図 4.2 比較 CH とコンパレータの接続 (RM 方式)
Comparison CH and comparator connection (RM system).

路である。利得制御回路は、FET のチャネル抵抗を増幅器の帰還回路にそう入し、ゲートに制御電圧を印加することによって、FET のチャネル抵抗を変化させ NF 量を変えて、利得を制御している。

位相分割回路は、簡単な C-E 分割で、0° と 180° の打消信号を得ている。

利得制御回路で可変される NF 係数を β' とすると、可変後の利得 A_f は、

$$A_f = \frac{A_0}{1 + A_0 \cdot \beta'} \quad (4.2)$$

A_0 : NF ナシの増幅器利得

となり、これに FET のチャネル抵抗とゲート電圧の関係を入れると、

$$A_f = \frac{A_0}{1 + \frac{A_0}{k_2 + k_3 \left(k_1 \cdot \log \frac{e_m}{e_0} - V_P \right)}} \quad (4.3)$$

$$k_2 : 1 + \frac{R_F}{R_E}$$

r_d : FET のチャネル抵抗

R_F : NF 抵抗

R_E : 増幅器エミッタ抵抗

V_P : FET ピンチオフ電圧

gm_0 : I_{DSS} における gm

となる。この可変利得増幅器に主信号が加えられて、打消信号の大きさ： e_f は

$$e_f = \frac{k_4 \cdot e_m \cdot A_0}{1 + \frac{A_0}{k_2 + k_3 \left(k_1 \cdot \log \frac{e_m}{e_0} - V_P \right)}} \quad (4.4)$$

で表わされる。

4. 1. 3 加算回路

この回路は簡単な抵抗ミキシング回路である。この回路は三つの入力端子を有し、主信号と、両隣のチャンネルからの打消信号がそれぞれ加算される。またこの回路はミキシングのため利得の損失があり、それと前段のマトリクス段などの損失分を補正して入・出力レベルが等しくなるような増幅器が組み込まれている。

以上のロジック回路で拡大された分離度は、次式で求められる。

$$e_c' = e_c - e_f$$

e_c : 抑圧されたクロストーク信号

$$e_c' = e_m \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{k_4 \cdot A_0}{1 + \frac{A_0}{k_2 + k_3 \left(k_1 \cdot \log \frac{e_m}{e_0} - V_P \right)}} \right\} \quad (4.5)$$

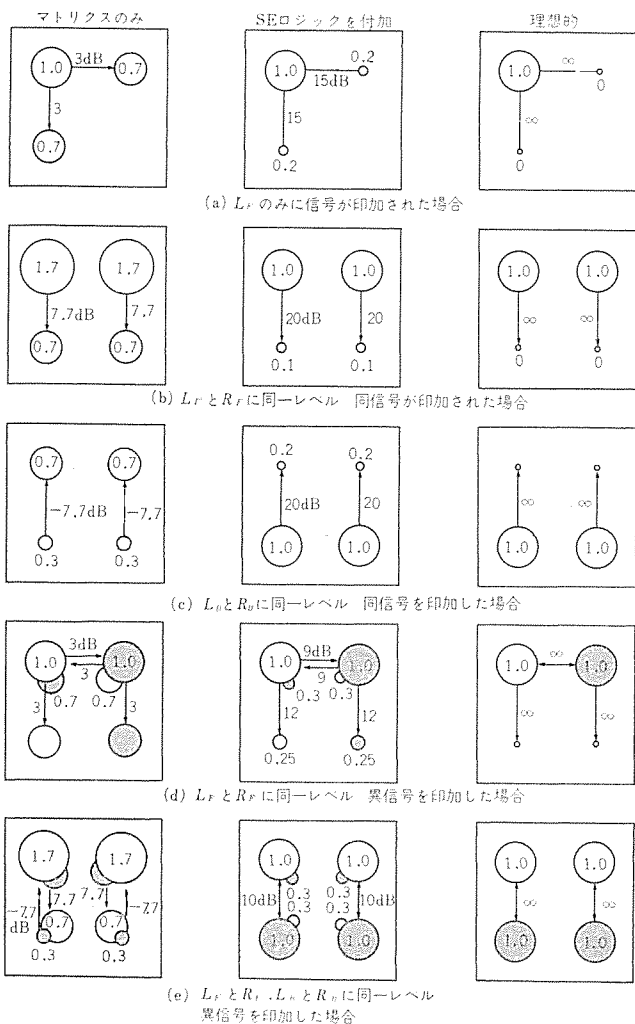


図 4.3 各種入力信号に対する SE ロジック の分離度改善の効果

Effect of separation improvement of SE logic circuit against various input signals.

改善後の分離度: S' は

$$S' = 20 \log \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{k_1 \cdot A_0}{1 + \frac{A_0}{k_2 + k_3 \left(k_1 \cdot \log \frac{e_m}{e_0} - V_P \right)}}} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

となる。

以上、当社で開発したロジック回路の概要を、RM方式に適用した場合について述べたが、このロジック回路は、SQ方式にも適用する

ことが可能である。当社ではこのロジック回路を、“SEロジック”と呼んでいる (Separation Enhancement)。

4.2 SEロジックの効果

前項で、 L_F' チャンネルに信号が加えられた場合について説明したが、二つのチャンネルに信号が入る場合、あるいは異なる信号が加えられる場合などについて、実験によって確かめた SE ロジック の効果を図 4.3 にまとめた。この図は、エンコーダとデコーダを直接々続してエンコーダに、各種の状態になるよう信号を加え、そのときのデコーダ出力を測定しセパレーションを出したものである。図中の矢印は、クロストークの方向を示し、数字は分離度を示している。この図の結果からわかるように、マトリクス のみの場合は、クロストーク 信号によって、定位が移動したり、主信号が大きくなったりして、音場に害を与えるが、SE ロジック を付加することによって、この害からまぬがれることができ、理想に近づくことができる。実際の音楽信号による試聴でも、改善ははっきり確認することができ、最適聴取 エリア も拡大されて、非常に自然な 4 チャンネル 音場が再現される。

5. む す び

以上最近の 4 チャンネル 技術の動向と、当社が開発した SE 回路について紹介した。とくにマトリクス 4 チャンネル の分離度を拡大する当社の SE 回路は、各 チャンネル 間の相互関係をコンパレートして動作するいわゆるロジック (論理) 回路であり、種々の新しい概念を具体化したものであろう。たとえば分離度の定義一つをとっても、各チャンネルにインプットされる信号の内容によってそれぞれ異なるといった興味ある結果を示している。

この回路の開発が今後のマトリクス 4 チャンネル の技術的な方向付けと同時に、方式論からさらに一歩進んで、マトリクス 方式 (特に RM 方式) が完成の域に近づくことを願っている。

最後に本開発に協力いただいた関係各位に対し、深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) H. F. Olson : Home Entertainment, Audio 1968, JAES, (1969.9)
- (2) THE COLUMBIA COMPATIBLE Stereo QUAD RECORD, CBS Technical data (1970.10)
- (3) Peter Scheiber : Four Channel and Compatibility, JAES (1971.4)
- (4) 4 チャンネルディスクリート 方式 ディスクレコード, 日本レコード 協会技術部会規格
- (5) SQ マトリクス 方式 ディスクレコード, 日本レコード 協会技術部会規格

最近のステレオ用スピーカー システム

亀山 格彦*・神野 一郎*

Recent Loudspeaker Systems of Stereo Phonographs

Koriyama Works Norihiko KAMEYAMA・Ichiro KAMINO

The improvement in the tone quality of stereo phonographs being remarkable now, we have developped some new ideas in the design of loudspeakers for stereo phonographs.

In this report, chief points aimed at in our design are stated regarding some examples.

1. ま え が き

当社のダイアトーンステレオは、昭和22年の誕生以来今日まで20余年の歴史をもつダイアトーンスピーカーを中核として、年々著しい発展を上げている。ステレオの愛好者はハイティーンから20才台が中心といわれるが、最近では30才台・40才台の愛好者もふえ拡散と多層化の一途をたどっていると考える。

この状況で、音質に対する要求もいっそうきびしいものがうかがわれ、セパレートステレオとコンポーネントの距離がますます接近しつつある。

すなわち、再生帯域の拡大、ひずみの低減、周波数特性と音質の関連性の追求、指向特性の改善、時流にマッチした音作りなど、良い音への道は尽きるところを知らない。

今ステレオは大変革期に突入しているといえる。すなわち、4チャンネルステレオは良い音質作りへの一つのアプローチであり、音楽を楽しむことはもちろん、音の中に自分を没入させて音そのものを楽しむ傾向が強い。このような時流の中で、スピーカーに要求される性能はますますきびしいものがうかがえる。

これらの要求に答えるため、日夜研究し躍進するダイアトーンステレオの中から、いくつかの代表的なものを取りあげ、スピーカーを中心にその音作りと設計に当たっての着眼点、およびその実施例について述べる。

2. 設計のねらい

ステレオ用スピーカーを設計する段階で、音質はステレオの生命であり、良い音への追求がそのステレオの品位にもなっているということを考えるとき、それに必要な条件はいろいろと考えられる。その中で特に重要と思われる事項について簡単に述べてみたい。

2.1 再生周波数帯域

ステレオの用途は、いうまでもなく音楽を楽しむことが主目的であり、設計に当たっては、コンポーネント的な考え方が必要となっている。

再生周波数帯域はできるかぎり広いことが望ましく、少なくとも80~10,000 Hzは必要である。またその特性もおうとつ(凹凸)のあまりにはげしいものであってはならない。このことは種々の文献・雑誌などでもいわれていることであり、われわれが最低限守っているところである。

2.2 周波数レスポンス特性

音質は周波数レスポンス特性の傾向によるところが大きく、その特性傾向をどのようにするかによって、音質の良し悪しは大きくかわ

る。

へやの音響特性とステレオの周波数レスポンス特性との関連も、ここで考慮する必要があるが、これに関しては、アンプの音質調整回路によって調整可能であるため、ここではふれない。

設計段階においては、スピーカーとして良い音作りを目指すことが先決で、その周波数レスポンス特性傾向の決定には、最大の注意が必要である。

実際には、物理特性と音質の間にはある程度の関連性がつかめているのみで、明確な判定基準は現段階ではまだつかめていない。したがってある程度特性が出た段階で試聴テストを行ない、試聴・測定を反復して少しずつ修正していく方法をとっている。

2.3 指向周波数特性

音楽を楽しむ場合、つねに最良の位置で聴取することはまれで、まして多人数で聴取する場合、指向特性が悪いと聴取位置による音質の差が生じ、音楽を聞く楽しみが半減する。

指向特性は4チャンネル化とともにますます重視されるべきであり、われわれはさらに改善努力を続けたいと考えている。

2.4 能率

スピーカーの能率は、使用するアンプにとって、ダイナミックレンジの広い音楽を聴取するときなどにおいて、できるかぎり高いほうが良いことはいうまでもない。

特殊設計を行なっている高級スピーカーでないかぎり、一般的には聴感上迫力とか余裕度を感じるのも、この能率が高いスピーカーに多く見られる。

使用するユニットの能率は、ネットワークのロスを見こして、少なくとも96 dB/VA(50 cm)以上を確保することが望ましい。

能率を上げるにはいろいろな方法があるが、ユニットに関しては磁気回路の強力化、振動系の重量の軽減、システムに関してはホンパツフルの採用などをあげることができる。

このように能率は音質上かなり重要なポイントになるので、いずれかの方法で能率をできるかぎり上げておくことが望ましい。

2.5 低域再生周波数帯域

低域再生周波数帯域は、スピーカーボックスの大きさと、使用スピーカーの仕様によって決定されることはいうまでもない。

一般的にセパレートステレオ用のスピーカーボックスは、コンポーネントと比較して大形であるが、センタボックスの大きさとのバランス、また全体の寸法からの制約をうける結果、使用スピーカーとボックスのチューニングが目標とする低域再生帯域を満足しない場合が多く見られる。

実際には100~160 lの容積をもっているが、より豊かな低音を再

生するため、バスレフ方式とかドロンコーン方式を採用する場合がある。

3. 実 施 例

これまで、設計に当たっての基本的考え方についてふれてきたが、ここでは実際の設計例を各方式ごとに取りあげ、設計に当たっての着眼点などを紹介する。

3.1 バスレフ方式

バスレフ方式は、スピーカーの背面から出る音の位相を反転させ、前面からふく(幅)射する音と同位相にして、低域再生周波数帯域のばそうとするもので、その方式自体は周知であり、動作原理についても詳しい解析結果が発表されている。

われわれは放送モニター用スピーカーシステム 2S-305 形の開発以来、他社にさがかけて、多年バスレフ方式の開発・研究に努めてきたが、スピーカーユニットの性能を十分に知ったうえで、スピーカーボックスと一体となった設計を行なうことの必要性を痛感している。

うまく設計したバスレフは、同一容積の密閉形よりもはるかに低音域を伸ばすことができ、低音域のひずみも著しく改善することができる。また極端ないい方をすれば密閉形のパツルに穴をあけるだけで、かなりの効果を出すことができるため、費用も安価であり、現在市場で最も多く採用されている方式であるのうなずける。

しかし、設計をあやまと密閉形よりも特性が悪くなるおそれがあり、綿密な設計を必要とする方式である。

当社の製品で代表的なものに、DSS-7300 形ステレオをあげることができる。図 3.1 に外観、図 3.2 に出力音圧周波数特性を示す。

DSS-7300 形ステレオは、ロールエッジ採用の 20 cm ウーファと、デフューザ付き 5 cm ツィーターを使用した 2 ウェイスピーカーで、めりはりのきいたパンチのある音作りで、ヤング層の人気をあつめた。

3.2 ドロンコーン方式

バスレフ方式キャビネットの開口のかわりに、駆動系のないコーンだけを図 3.3 のように取付けたもので、Drone Cone とか Passive Radiator とかよばれるのも、駆動系を持たないためである。

低音用スピーカーの f_0 またはそれ以下にドロンコーンの共振点を設けておくと、スピーカーとドロンコーンの音響出力が合成されて、同一容積の密閉形キャビネットに比較して、大幅に帯域を広げることができる。

バスレフ方式が、開口部における位相差と、媒質の粘性による摩擦のために、エネルギー損失が生ずるのに比べて、この方式ではドロンコーンの全面にわたって同じ振幅と位相で振動するので、損失が非常に小さい特長がある。ドロンコーンの共振周波数は、コーン紙の質量の調整によって容易に変えられ、与えられたキャビネットの容積に対し最適設計も比較的容易で、音質の向上も求めやすい。またバスレフ方式と同様にひずみの改善ができ、音質向上にとって有利な方式といえる。さらに外観上も独自性がある。

当社が他社に先がけてセパレートステレオにこの方式を採用したのも、これらの特長に着目したからにはほかならず、市場においても高い評価を得た。

当社の代表的な製品として、DSS-2100 形ステレオがあげられる。DSS-2100 形ステレオは、30 cm ウーファ、16 cm スコーカと 5 cm ツィーターの 3 ウェイスピーカーに、25 cm ドロンコーンを使用しており、迫力と余裕のある音質で好評を博した。

図 3.4 に外観、図 3.5 に出力音圧周波数特性を示す。

3.3 密閉方式

この方式は、スピーカーの前面からのふく射音を、これと相反する

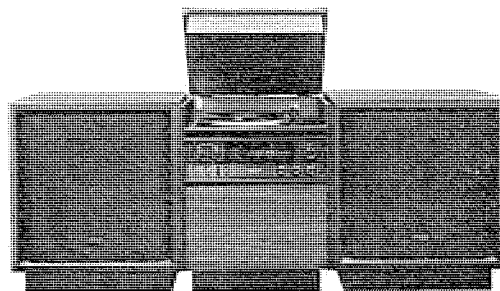


図 3.1 DSS-7300 形ステレオセット
Type DSS-7300 stereo set.

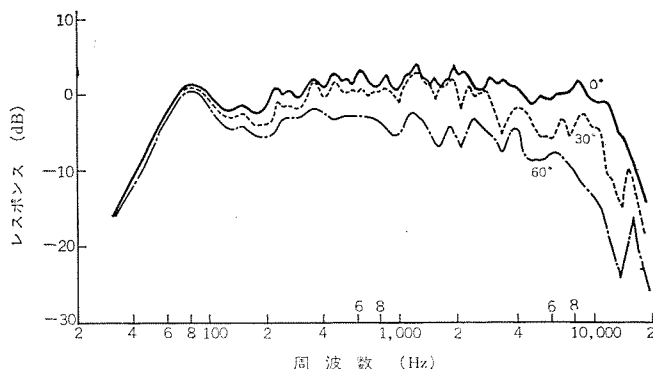


図 3.2 DSS-7300 形ステレオ用スピーカーシステムの
出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristic of
speaker system for type DSS-7300 stereo.

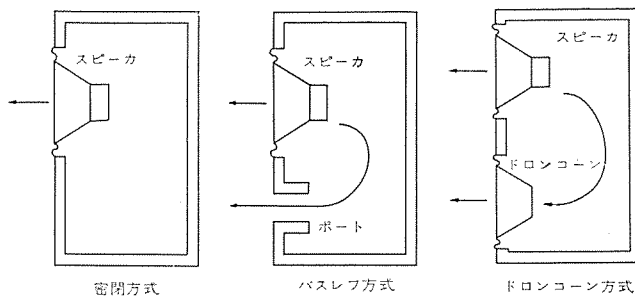


図 3.3 各種方式の構造
Construction of various systems.

位相をもつスピーカー背面からのふく射音から隔離し、両者の干渉による音量の低下、山谷の形成を避けようとするものである。

当社のダイアトーンステレオにおいても、この方式を採用したものが数多くあり、代表的なものに DSS-2200 形ステレオがあげられる。図 3.6 に外観、図 3.7 に出力音圧周波数特性を示す。

一般にステレオ用スピーカーシステムにおいて、考慮しなければならない問題として、音の入口であるカートリッジとの相性があげられるが、さらに大きな問題として、スピーカーをキャビネットに取付けた場合に生ずる低域共振周波数 f_0 の上昇による狭帯域化、 f_0 付近の周波数特性の盛り上り、キャビネットの板振動による音質の変化などがあげられる。

板振動は吸音材と補強により、かなり制御でき、多少板厚の薄いキャビネットでも、相当の特性と音質を得ている。また低音共振周波数の上昇を防ぐため、ハイコンプライアンスのウーファを採用している。

密閉形はスピーカーキャビネットの製作が比較的容易であり、また原理が簡単であるため、無難で確実なハイレファイ再生ができるという長所があり、普及形のステレオセットから高級品まで、幅広く用いられ安定した評価を受けている。

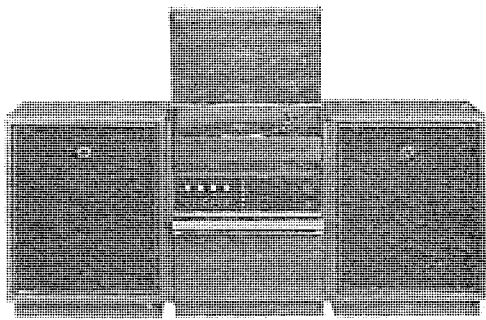


図 3.4 DSS-2100 形 ステレオセット
Type DSS-2100 stereo set.

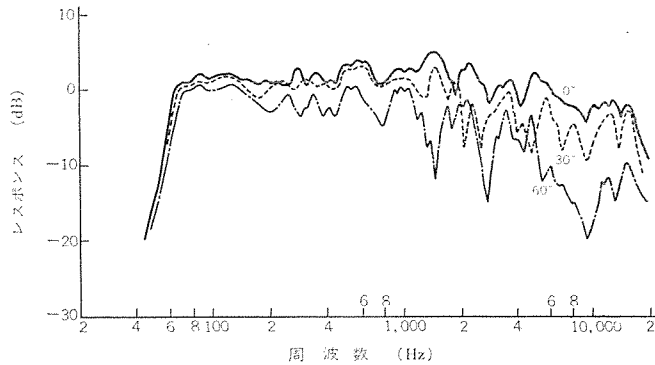


図 3.5 DSS-2100 形ステレオ用スピーカーシステムの
出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristic of
speaker system for type DSS-2100 stereo.

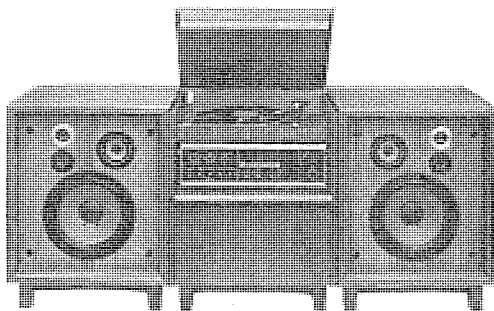


図 3.6 DSS-2200 形 ステレオセット
Type DSS-2200 stereo set.

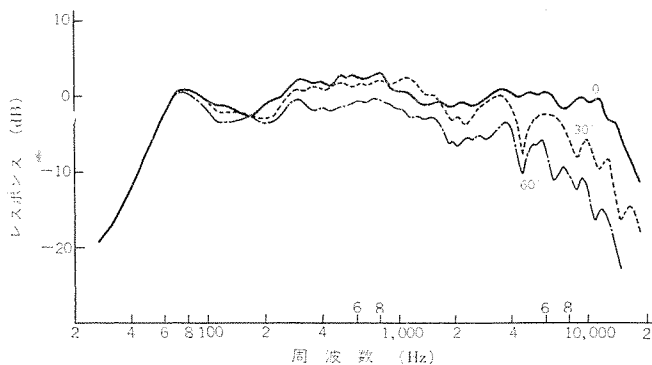


図 3.7 DSS-2200 形ステレオ用スピーカーシステムの
出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristic of
speaker system for type DSS-2200 stereo.

3.4 ホーンロード方式

この方式は、当社が業界に先がけて、オールホーンロード形ダイアトーンステレオとして、昭和46年から発売してきたDSS-S91, S62, S61

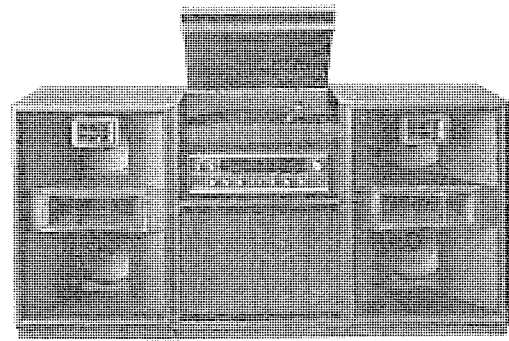


図 3.8 DSS-S91 形 ステレオセット
Type DSS-S91 stereo set.

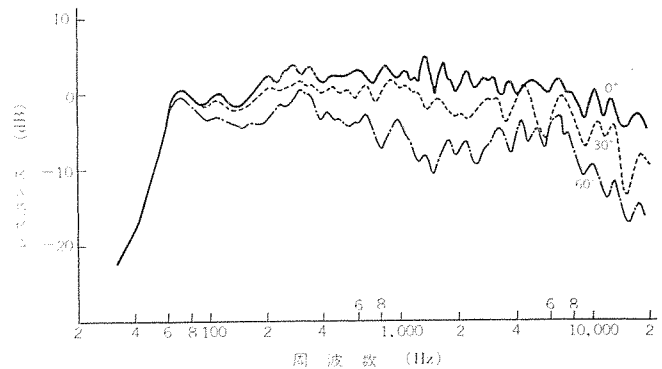


図 3.9 DSS-S91 形ステレオ用スピーカーシステムの
出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristic of
speaker system for type DSS-S91 stereo.

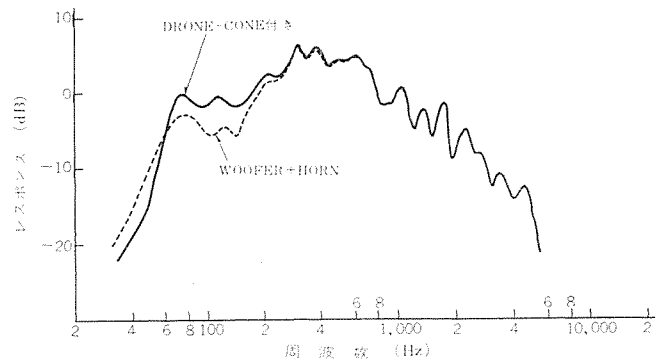


図 3.10 DSS-S91 形ステレオ用スピーカーシステムの低音域特性
Low band characteristic of speaker system for type
DSS-S91 stereo.

形に採用したものである。

いうまでもなくホーンは、高いインピーダンスを持つ振動板と低いインピーダンスの空気との間の、インピーダンス整合機構である。直接放射形スピーカーの能率は、せいぜい3～4%であるが、ホーンを付加することにより、能率を10%前後に高めることは容易であり、音質評価試験において、音量の差が音質の差につながるケースはわれわれのしばしば経験するところである。

オールホーンロードによる高能率、特に豊かで迫力のある低音にあわせて斬新で独自性のあるスタイルに当社開発の意図がある。オールホーンロードスピーカーシステムの代表的なものとして、DSS-S91形について述べる。

図3.8に外観、図3.9に出力音圧周波数特性、および図3.10にホーンロード付き低音用スピーカーと、それにドローンコーンを付けたときの出力音圧周波数特性を示す。

われわれが最も苦心したのは低音のホーンロードであり、与えられたキャビネットの大きさの範囲内で、いかにして最も有効に低音域を再生するかということであった。低音を伸ばすには、ホーンを長くすればよいことは自明であるが、ステレオセットに適用しようとする、たちまち限界に突き当たる。

実際には、製品化できる最大のキャビネットの大きさを仮定して、使用スピーカーを決定し、1) のど元の面積、ホーン長を定めて開口面積を変化させたときの物理特性の変化、2) ホーン長、開口面積を定めて、のど元の面積を変化させたときの特性の変化、3) 低音用スピーカーをダブルドライブした場合、4) 低音用スピーカーとドラムコーンを組合せた場合など、製品化の可能な範囲であらゆる実験の積みかさねを行ない、ヒヤリングテストを繰り返した。

4. む す び

以上最近のダイアトーンステレオのスピーカーを中心として、基本的な考

え方とその実施例について述べてきたが、ここであらためていうまでもなく、ステレオの生命は音質であることを思うとき、音の出口であるスピーカーだけを考えるわけにはいかない。音の入口から出口まで、一貫した考えのもとに総合的な設計を進めていることをここでつけ加えておきたい。

なにがよい音の要因か、何が悪い音の要因か音の世界では物理的に定量化されていない点が多に多い。反面よい音への欲求は年々きびしいものがあり、その勢いはとどまるところを知らない。

よい音を作り出すため、われわれはソフト面とハード面とを問わず、基本に対して忠実に取組み、物理的な特性と音質の相関性、新しい材料の研究開発などをつみかさねて、ダイアトーンステレオの実りをより豊かなものにしていきたいと念願している。

最近のダイヤトーンスピーカー

杉本 宗久*・松崎 和朗*・矢島 幹夫*

The Latest DIATONE Loudspeakers

Koriyama Works Munehisa SUGIMOTO・Kazuo MATSUZAKI・Mikio YAJIMA

Mitsubishi DIATONE loudspeakers, have been developing as chiefly business purposes since their debut in 1947. To meet public demands they were introduced to the general market in 1967 as loudspeaker systems of Hi-Fi component use at home. This turn has brought rapid development and the demands on them are increasing rapidly year after year. Their production now accounts for a greater part of Mitsubishi loudspeakers.

This article makes description, in reference to the Companies latest loudspeaker systems for Hi-Fi component use, on the points to be considered or to pay attention in the design and also the technical features of products.

1. ま え が き

昭和22年に誕生したダイヤトーンスピーカーは、主として業務用スピーカーを中心に発展してきたが、昭和42年に各方面からの要望にこたえ、ホームユーズ用として、ハイファイコンポーネント用スピーカーシステムを発売して以来、急速に伸び、現在、当社のスピーカーの中でも大きなウエートを占めている。

当社のコンポーネント用スピーカーは、前述のように、昭和42年DS-21C、31C、32Cおよび11S、12Sのフロアタイプ2機種、ブックシェルフ1機種、スリムタイプ2機種の計5機種をいっせいで発売し市販にふみ切ったわけであるが、その後市場動向に合わせ、44年にDS-22B、33B、34Bのブックシェルフ3機種、少し遅れてユニークなフロアタイプDS-35C、超薄形DS-15Sを発売、現在のDS-251、DS-301、DS-22B MK II、DS-34B MK II、DS-31C MK IIに引き継がれた。

また、オーディオ市場は、最近ますます4チャンネル化の傾向がはっきりとしてきたが、当社でも4チャンネル用スピーカーシステムとして、昨年、ダイヤトーン独自のディファレンシャルスピーカーを使用したDS-16B形を発売し、各方面で反響をよんでいる。

本文は、これら当社の最近のコンポーネント用スピーカーシステムについて、設計に対する基本的な考え方、製品の特長など、主に“音づくり”を中心に最近の市場動向と併せて述べることにした。

2. スピーカーシステムの設計について

スピーカーシステムの開発に当たっては、いまさらいうまでもないが、用途・需要層・価格・性能・デザインなどいろいろの面から綿密に検討せねばならない。この際、特に注意しておかなければいけないことは、オーディオ製品は他の家電製品、テレビやラジオなどとは異なり、趣味嗜好性が非常に強いということである。このことは、特定の年齢層とか性別とかいった、ある限定された需要層向の製品があり得るということであり、ユーザの心に訴えるなにかがないと商品力がないうということである。また、他人とは違ったものを持っている、他人より高級なものを持っているといった差別感・優越感を持たせるようなものでなければいけないので、製品の多様性・高級イメージといったものが必要となってくる。

もう一つ考えておかなければいけないことは、スピーカーシステムはそれを使用するへやの大きさ、構造、内部吸音処理の方法、家具の配置状態などによって音が変わるし、また、置き場所、置くときの載

せ台などの状態によっても音が変わるということである。このことは、うえに述べたいろいろの状態のもとであまり音が変わらないスピーカーとか、その状態に合わせて、音質を変える音場補正装置のついたスピーカーシステムといったようなものが、考えられてもよいということである。

一方、ユーザ側からみれば、市場に“完全”なスピーカーシステムが存在しない現今においては、自分がクラシック音楽ならクラシック音楽、ジャズならジャズを主に聞くのであれば、そういったプログラムソースに合うスピーカーがあるのではないかと探し求める。

また、求める音質についていえば、表現の仕方はいろいろあるが、たとえば、ソフトな音とかシャープな音、聞きづかれのしない音、抜けの良い音、ノイズが目立たない音、迫力のある音、深みのある音、など同じような内容のものもあれば、相対立するような内容のものもある。そして、ホールトーン的な響きをするスピーカーを求める人もいれば、直ちに楽器に接するような感じの響きをするスピーカーを求める人もいる。

また、自分のへやの大きさ、置く場所、スペース、インテリアなどを考え、自分の好む大きさとか、デザインのものを選ぶにちがいない。

いずれにしても、どういう音でどういうデザインのものを作るかという目標をはっきりと持って開発に臨むべきである。これが個性のあるスピーカーシステムへの出発点であろう。

一般的にいってスピーカーシステムの開発パターンとしては、

- (1) スピーカーユニット、キャビネットを含めた総合設計
- (2) 既存のスピーカーユニットに適したキャビネットを設計する
- (3) 価格相応のキャビネットを設計し、そのキャビネットに適したスピーカーユニットを探す

の三つの方法がとられている。

1)は理想に最も近づいたものができる可能性があるが、開発期間が長くかかる。2)は音を重視したものができるが市場動向からはずれる危険がある。3)の場合は、非常に短期間に開発が完了できるが、ややもすると内容のない製品に陥りやすい。ダイヤトーンの場合は、設計ポリシーとして1)の方法をとるようにしているが、これが、市場に受け入れられるスピーカーシステムができる一つの源となっている。

つぎに性能面について考えると、スピーカーシステムの性能の究極目的は良い音がすることである。良い音がして長年の使用に対し信頼性が高ければそれで十分である。それでは良い音とはどういう音であ

るのか。言葉上の表現の仕方にはいろいろあるが、物理的性能で良い音にするための要素をあらわせば

(1) 再生周波数帯域が広いこと

ハイレファイ再生に必要な帯域としては通常 40 Hz~15,000 Hz といわれている。

(2) レスポンス 周波数特性ができるだけ平坦であること

高級機種では 40~15,000 Hz で ± 5 dB, 100~10,000 Hz で ± 2 dB の偏差幅が要求されている。

(3) 指向周波数特性がすぐれていること

通常のハイレファイ再生用のスピーカーシステムでは、指向性は広いほうがすぐれているのはいうまでもないが、高級機では 40 Hz~10,000 Hz の偏差 ± 5 dB が要求されている。

(4) ひずみが少ないこと

スピーカーから発生するひずみには、非直線ひずみ・混変調ひずみ・位相ひずみなどがあるが、そのいずれも少なければ少ないほど望ましい。ひずみに対する人間の耳の検知限はひずみ率 4~5% といわれているが、ハイレファイ再生には全高調波ひずみ率は 1% 以下に抑えることが望ましい。

(5) トランジェント特性がすぐれていること

トランジェントもひずみの一種ではあるが、音質に大きく影響を与えること、測定法および測定結果に対する評価方法が、必ずしも確立されていないので項をあらためて書いた。

(6) インピーダンス 周波数特性はできるだけ平坦なものが望ましい。

これは特に普及機種になるほどたいせつで、市販オーディオアンプの中には、負荷インピーダンスの状態によって音質が変わるものがある。この傾向は普及機種になるほど、強くなっていく。

(7) 能率がよいこと

(8) 許容入力容量が大きいこと

(7)(8) は一見、音質のよしあしには関係ないように思われるが、プログラムソースのダイナミックレンジ、ピークファクタや、大入力時と小入力時の音質変化などを考えると重要である。などが主に考えられる。

その他、良い音にするには、スピーカーの口径や、構成、クロスオーバー周波数の設定、キャビネットの響き具合、スピーカー固有の音色、異常音などかぞえあげればきりが無いほど、たくさんの要素がある。この中には、レスポンス特性や指向性、非直線ひずみなど物理的に測定可能なものや、聴感だけが頼りのやっかいなものも含まれている。これらの聴感に頼っている項目について、それらを物理量ですべておき換え得ようになるまでは、スピーカーの最終性能評価はヒヤリングによって決定されるであろう。

しかしながら、現在確立されているレスポンス特性・指向性・非直線ひずみなどの物理量は、良い音質のスピーカーをつくるには絶対必要な条件であることには間違いない。

3. スピーカーシステムの形態

スピーカーシステムには、フロアタイプやブックシェルフタイプ、スリムタイプなどがある。フロアタイプはスピーカーシステムができて以来ずっと続いており、大出力用とか非常に広帯域のスピーカーシステムは、どうしても大きなキャビネットが必要であるのでこの形状である。各社とも自社の最高級品としてフロアタイプを発売しているところが多い。

ブックシェルフタイプは昭和 40 年ごろから急速に伸び、現在では、市

場の発売機種のうち 8 割程度がこの形状で占められている。キャビネットの大きさは、ほとんどが内容積 $1 \times 10^4 \text{ cm}^3 \sim 5 \times 10^4 \text{ cm}^3$ と、昔のフロアタイプから思えば非常に小形になっている。スピーカーの場合理論的に考えて、キャビネットの大きさが一定で、かつスピーカーの口径が一定であれば、低域の再生限界周波数と出力音圧レベル(能率)とは相反する要素であり、能率が非常に高く低域がよく伸び、しかもキャビネットは非常に小さいといったものは存在しないところからブックシェルフタイプは、最近、能率は多少悪いが、キャビネットは非常に小形で、しかも低域までよく伸びたいいわゆる“小形高性能ブックシェルフ”と、キャビネットの大きさは比較的大きいが能率が良い“高能率ブックシェルフ”の、二つの方向に分かれるきざしが見えはじめていく。

3.1 小形高性能ブックシェルフ

スピーカーシステムをできるだけ小形にしたいという要望は、4チャンネル化の傾向がますます強くなってきた昨今では、事あるたびにいわれている。最近のようにアンプが 100 W 近くの大出力になってくると、スピーカーの能率はそう高能率を必要とせず、出力音圧レベルは 90 dB/W/1 m 程度であればよい。それよりもむしろ、フロアタイプなみの重低音を出し、しかもキャビネットをどこまで小さくできるかのトライに重きが置かれる。エンクロージャーの大きさが一定の場合、最もよく伸びた重低音を再生するエンクロージャーは、アコースティックサスペンション方式とよばれている方式である。

当社のダイアトーン DS-301 形および DS-251 形は、この小形高性能ブックシェルフの典型であり、やはりアコースティックサスペンション方式を採用している。

DS-301 形の場合、アコースティックサスペンション方式の採用のほか、中音用および高音用にドーム形が使用されており、指向性の改善とトランジェントの改善に留意されている。また、10,000 Hz 以上の再生にはスーパーツイーターを使用して、衝撃音とかふん囲気音の再生をよりリアルなものにした。

DS-251 形の場合も、アコースティックサスペンション方式の採用のほか、ツイーターは後で述べるアコースティックロードタイプと呼ばれるものを使用し、よく押えのきいたなめらかな音質のスピーカーシステムにまとめている。

このように小形高性能ブックシェルフは、小さなキャビネットを使用し、スピーカー技術の粋を集めてまとめ上げたものが多く、またベースファクタの良さとち(緻)密な音を売りものにしていく。

3.2 高能率ブックシェルフ

このタイプのスピーカーシステムは、フロアタイプとほぼ同程度か、少し低いぐらいの能率のもので通常 94 dB/W/1 m 程度の出力音圧レベルを有するものが多い。ダイアトーンスピーカーでは DS-34 B MK II および DS-22 B MK II がこれに属する。

通常エンクロージャー方式は、密閉形やバスレフ形が用いられ、スクーアーやツイーターはコーン形やホーン形を使用する場合が多い。

設計に無理がなく、キャビネットは少し大きくなるが、楽々と鳴り、駆動アンプもあまり大出力のものは必要でなく非常に使いやすいものが多い。また相対的にコストパフォーマンスがすぐれているので、普及タイプはだいたいこの形態をとっている。

3.3 フロアタイプ

最近オーディオ市場では、フロアタイプが再度見直されるきざしがある。これは、ブックシェルフタイプにはどうしても設計上制約があり、フロアタイプのような堂々とした再生音が得られないためであろう。

フロアタイプの良さとしては、1) 能率が高く楽々と鳴る、2) スケ-

ル感が大きい、3) デザインが豪華である、などが考えられる。

設計はスピーカーの基本に忠実に従ったものが多いが、当社の DS-31 C MK II のように、後で述べる ダブル 2 WAY 方式のようなユニークな設計技術を使ったものもある。

4. ダイアトーンスピーカーの特長

4.1 アコースティックサスペンション方式

スピーカーシステムの低域再生限界は、キャビネットにスピーカーを取付けたときの最低共振周波数 f_0 によって決まるといってよい。この低域共振周波数 f_0 をいかに低くするかということで考案されたのが、アコースティックサスペンション方式である。この方式は、ハイコンプライアンススピーカーを完全密閉のキャビネットに入れ、キャビネット内を吸音材で満たし f_0 を下げようとしたものである。

密閉形キャビネットにスピーカーを取付けたときの低域共振周波数 f_0 は、

$$\omega_0^2 = 0.87 \left(\frac{1}{C_{MB} M_N} + \omega_N^2 \right)$$

$$\omega_0 = 2\pi f_0, \quad \omega_N = 2\pi f_N$$

$$C_{MB} = \frac{V_B}{\gamma P_0} \cdot \frac{1}{S_D^2}$$

f_N : バッフルなしのときのスピーカーの低域共振周波数

M_N : バッフルなしのときのスピーカーの全等価質量

C_{MB} : キャビネットの音響コンプライアンス

γ : 空気の高比熱の比

P_0 : 大気圧

V_B : キャビネットの体積

S_D : スピーカーの振動面積

であらわされる。この式より、キャビネットの体積が一定で、スピーカーの径が一定のときに f_0 を下げる方法としては、スピーカーユニットの低域共振周波数を下げ（ハイコンプライアンス）、振動系の等価質量を増せばよいことがわかる。また、キャビネット内を吸音材で満たせば音波の伝ば(播)は普通の状態の断熱変化から等温変化になり、 γ の値が通常

の 1.4 から 1 になるため f_0 が下がる。このアコースティックサスペンション方式は、米国の AR 社が採用し好評を得て以来、これに類似したものが各社から作られているが、本当にアコースティックサスペンション方式にするには相当の費用がかかるため、カタログ表示はともあれ、完全にこの方式を使っているのはごくわずかな高級機種だけに限られている。前述したように当社の場合は、DS-301 形および DS-251 形にこの方式を採用している。

アコースティックサスペンション方式を採用するうえで注意すべき点としては、1) 空気もれがまったくないこと、2) 振動板が丈夫であること、3) オーバダンピングになりすぎないように注意すること、などである。もし、スピーカー取付面などに空気もれがあると、ひずみの発生原因となったり、すき間から空気が流れる通気音によってノイズの発生原因となるので、空気もれは絶対に防がなければならない。DS-301 形の場合は、キャビネットはいちにおよばず、スピーカー取付に際しても入念にパテ仕上げを行ない、製品出荷に際しては 1 台 1 台厳重に空気もれのチェックを行なっている。2) については、キャビネットが完全密閉のため、コーン紙などは、内部プレッシャーをまともに受けるため、このプレッシャーに負けないだけのじょうぶなものが必要である。コーン紙が内部プレッシャーに負けてへたへたするようではとうていパンチのある重低音の再生は望めない。3) については、むやみと吸音材をつ

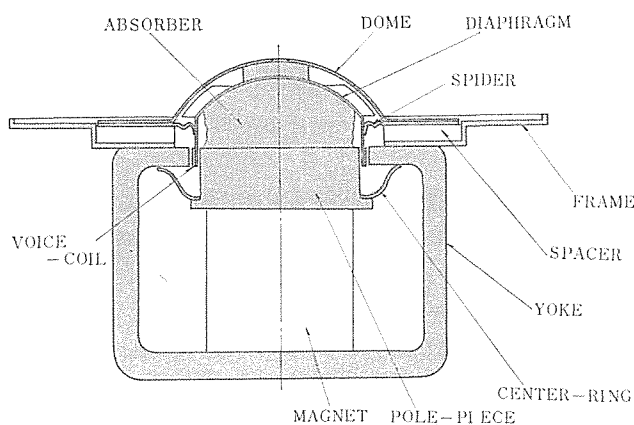


図 4.1 (a) ドーム形スピーカー
Dome type speaker.

めすぎたり、ユニットの f_0 を下げたりするとオーバダンピングになり、低音が響かないといった現象になってあらわれるので注意を要する。

4.2 ドーム形スピーカー

これは図 4.1 (a) のように振動板の形状がドーム形をしたもので、振動板の材質はアルミ、チタンなどの金属やベーク・紙などが使われている。指向性およびトランジェントが従来のコーン形やホーン形に比べすぐれているところから、能率が悪いにもかかわらず、最近では、各社ドーム形を採用する機種が多くなってきた。当社の場合、DS-301 形のスクーカーおよびツイーターにこのドーム形を使用している。

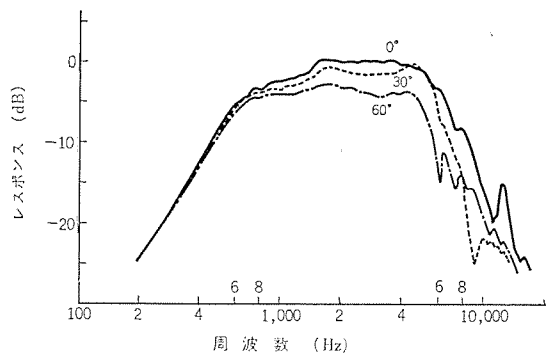
ドーム形スピーカーは、相対的に振動径が小さいことと、振動板自体がドーム形になっているため指向特性が広く、すぐれていることが発表されている。

図 4.2 に DS-301 形のスクーカーとツイーターをそれぞれ口径 10 cm と 5 cm のコーン形におき換え、レスポンス特性を DS-301 形とほぼ同じにしたものの指向周波数特性を示す。これを見れば、ドーム形で組みあげたシステムが指向性にすぐれていることがよくわかる。

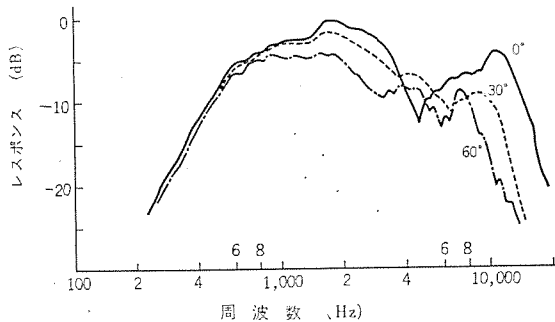
なぜ、指向性が重要であるのか。通常、家庭でステレオを聞く場合、昔からよくいわれているように、左右スピーカーを 1 辺とする三角形の頂点で聞くといった理想的な使い方をする人はまずいないであろう。大抵の人はとんでもない位置で聞いているにちがいない。そういう意味からステレオ感をそこなわないサービュリアをできるだけ広げることがある。指向特性が広ければ広いほど、サービュリアは広くなる。また音質自体も、指向特性の狭いスピーカーは突き刺さるような音がし、指向特性の広いスピーカーは、広がり感がありソフトな音がする傾向にある。

ドーム形スピーカーは指向性がすぐれているほか、高い周波数までピストン振動をしており、レスポンス特性も山谷の少ないなめらかなものが多い。

ドーム形スピーカーのもう一つの特長としては、振動板前面にディフューザー(フロントカバー)を取付けることによって、レスポンス特性をかなりコントロールできる点である。フロントカバーの設計は、理論的に求めることは非常にむずかしく、カットアンドトライの要素が非常に強いが、うまく設計を行えば軸上特性のみならず指向性もさらに改善することができる。ただし、レスポンスカーブがいくらすぐれていても最終的に音質が悪ければ何にもならないので、フロントカバーの固有共振音が生じないように注意する必要がある。図 4.1 (b) に DS-301 形に使用している DM-2210 形スクーカーのフロントカバーによる特性のコントロール状態を示す。

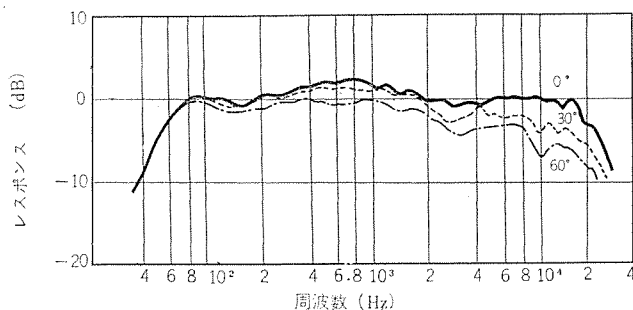


フロントカバーを付けたときの特性



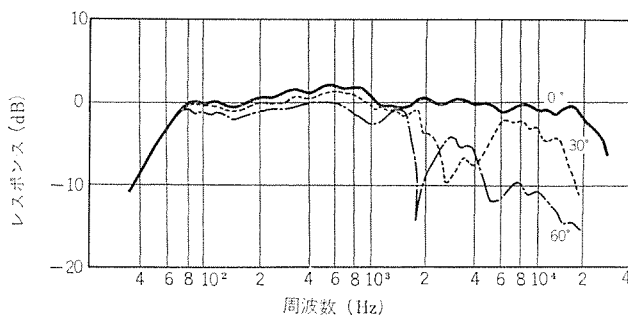
フロントカバーがないときの特性

図 4.1 (b) フロントカバーの効果
Effect of front cover.



(a) DS-301形 中・高音ドームユニット使用

図 4.2 (a) DS-301形 中・高音ドームユニット使用
Model DS-301 using medium and high tone dome unit.



(b) DS-301形 中・高音コーンユニット使用

図 4.2 (b) DS-301形 中・高音コーンユニット使用
Model DS-301 using medium and high tone cone unit.

4.3 アコースティックロードタイプのツイーターおよびスコーカー

DS-251形に使われているツイーターおよびDS-34 B MK IIに使われているスコーカーは、図4.3および図4.4に示すような構造のアコースティックロードタイプが使われている。

これは、振動板後部を完全に密封し、その空気室に吸音材を充てんしたもので、ウーファの振動によって振動板が振られるといった

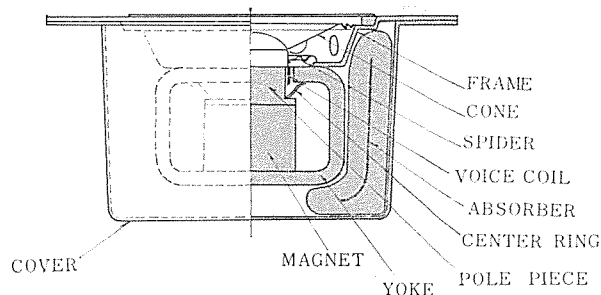


図 4.3 アコースティックロードタイプのツイーター (DS-251用)
Tweeter of acoustic load type tweeter (for DS-251).

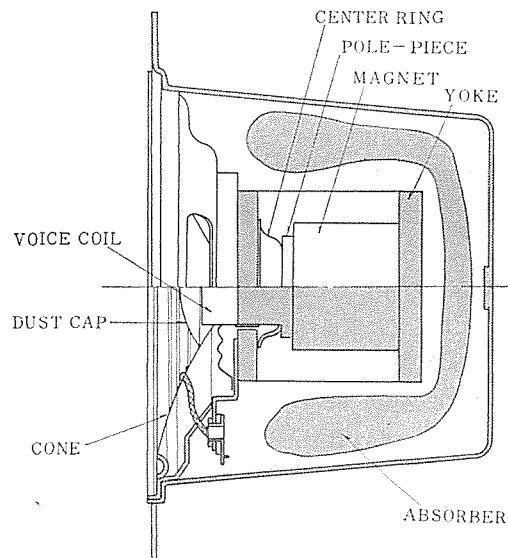


図 4.4 アコースティックロードタイプのスコーカー (DS-34 B MK II用)
Acoustic load type speaker (for DS-34 B MK II).

干渉がまったくないようにしている。内部の吸音材は、後部空気室の共振を押えとともに、振動板の異常振動を防ぎ共振系の Q_0 を臨界制動である0.5に保つように調節している。この結果、立上りの良いよく押えのきいたすき透った音質が得られた。

また、DS-251形のツイーターは、クロスエッジを使用し、低域共振周波数が600 Hzという非常に低い値に設計してある。これはクロスオーバー周波数付近のひずみを少なくすること、同じくクロスオーバー付近での指向性の悪化を防ぐこと、の二つの目的のために従来の常識では考えられない、共振周波数600 Hzというツイーターを開発したのである。結果はウーファが口径25 cm、クロスオーバー周波数が2,000 Hzにもかかわらず、非常につながりの良いシステムとなっている。

4.4 スーパーツイーター

当社のDS-301形、251形、および31 C MK II形には10,000 Hz以上の高い周波数の再生にはスーパーツイーターが使われている。

従来から10,000 Hz以上については、耳に聞こえないということでの処理はおろそかにされがちであった。BBC研究所の実験結果でも、ハイレファイ再生に必要な周波数帯域の高音域の上限は12,000 Hz~15,000 Hzといわれている。筆者らの経験からも、高音域は12,000 Hz~15,000 Hzまで満足に再生していれば、ハイレファイ再生として問題ないものと思う。ただ問題となるのは、12,000 Hz~15,000 Hzを“満足”に再生しているかどうかの問題である。軸上レスポンスが15,000 Hzまで伸びているからといって、それは決して“満足”に15,000 Hzまで再生していることにはならないであろう。もちろん、大きなピークやディップがなく平たん伸びていることが必要であろうし、大事なことは、指向性が悪かったり、トランジェントの悪い

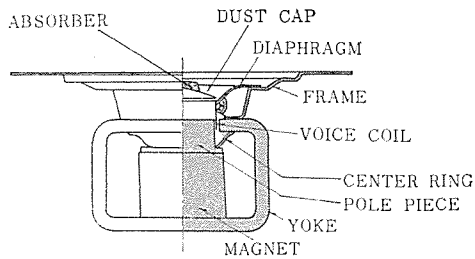


図 4.5 スーパーツイーター
Super tweeter.

ものであれば、それは決して満足な再生とはいえないであろう。

そういう意味から考えると、5,000~6,000 Hz もしくはそれ以下の周波数から再生する ツィーター で、10,000 Hz 以上を満足に再生するのは至難の業であろう。

DS-301 形などに使用しているスーパーツイーターは、低域共振周波数が 9 kHz と非常に高く、10,000 Hz 以上の再生を受け持っている。ダイヤフラムおよびサスペンションは超軽質量アルミ合金板が使用されている。

10,000 Hz 以上の再生は、ふん囲気の再生とかシンバルなどのタッチワークの再生には非常に重要であり、2,000~3,000 Hz の低い帯域の音色にも非常に影響を与えるのでおろそかにしてはできない。

ハイファイ再生に必要な 15,000 Hz までクリアーに再生しようと思えば、少なくともレスポンスは平たん 20,000 Hz までは伸びていることが必要である。人間の耳には聞こえない帯域、20,000 Hz もしくはそれ以上の帯域までおろそかにしない。ここに一見むだと思われるスーパーツイーターを開発した意義があり、ダイヤトーンのある一面をよく象徴しているように思える。

こういう考え方は重低音についてもとられている。ハイファイ再生に必要な低音域の再生限界は、通常いわれているように 40~50 Hz まで再生すれば十分であろうと思うが、問題はそれ以下の帯域の処置である。低域共振周波数以下で急激にひずみの増加するものや、バツキその他の異常音が発生しているものであれば、本当の重低音は再生できないだろうし、低音だけにとどまらず中音域の音質までそこなう結果となるであろう。当社の製品では、ユニットはいうに及ばず、内部配線線材の処理、スピーカーの取付などにも細心の注意を払い、低域共振以下で異常音が出ないように心がけている。

こういった帯域外の処理は、かけた費用の割には成果ははかばか

しくないが、あるレベル以上の高性能のものをつくるためには一つのキポイントとなる。

4.5 ダブルドライブ方式

この方式は、DS-31 C MK II に採用しているダイヤトーン独自の方式で、DS-31 C MK II の場合は、低音域は口径 30 cm と 20 cm の 2 本のウーファを並列駆動し、高音域は 5 cm ツィーターを 2 本並列駆動している。

この方式は、2 本のウーファを適正に設計することによって、能率がよくダンピングの良い迫力ある重低音を再生することができる。

また低音から中音にかけてのレスポンスはピーク、ディップが非常に少ないのでなめらかな音色が得られる。

どのようなスピーカーでも、多少のピーク、ディップはどうしても避けがたいが、このダブルドライブ方式では、口径 30 cm のピークの周波数に口径 20 cm ウーファのディップが、口径 30 cm ウーファのディップの周波数に口径 20 cm のピークがくるようにし、トータルのレスポンスカーブをフラットにしている。DS-31 C MK II の場合の 20 cm ウーファおよび 30 cm ウーファの特性、そして、この 2 本のウーファを並列駆動したときの特性を図 4.6 に示す。

また、この図からもわかるようにスピーカーを 2 本駆動すれば、低音域の完全にピストン運動をしている帯域では、理論どおり出力音圧レベルは 3 dB 上昇するが、中音域から上にかけてピストン運動がくずれてくれば、上昇する割合は徐々に減少してくるので、キャビネットに入れたとき、低音域までだら下がりにならずにフラットに再生するこ

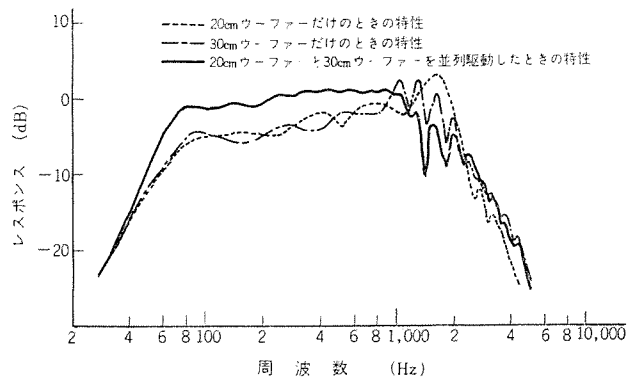


図 4.6 ダブルドライブ方式の出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristic of double life system.

表 4.1 コンポーネント用スピーカーシステム仕様
List of specifications for speaker systems for component set.

形 名	DS-22 B MK II	DS-34 B MK II	DS-31 C MK II	DS-251	DS-301
方 式	2 WAY ブックシェルフ形	3 WAY ブックシェルフ形	ダブル 2 WAY コンソール形	3 WAY ブックシェルフ形	4 WAY ブックシェルフ形
最 大 入 力	20 W	40 W	40 W	40 W	100 W
公称インピーダンス	8 Ω	8 Ω	4 Ω	8 Ω	8 Ω
再生周波数帯域 (Hz)	50~20,000	40~20,000	30~25,000	40~25,000	30~25,000
クロスオーバー周波数 (Hz)	2,000	800, 6,000	2,000, 10,000	2,000, 10,000	1,500, 6,000, 10,000
出力音圧レベル (dB)/1 m	93	93	94	91	90
低音用スピーカー	PW-2019 BM (20 cm)	PW-3022 CM (30 cm)	PW-3014 CMX (30 cm) PW-2019 CM (20 cm)	PW-2517 BM (25 cm)	PW-3020 CM (30 cm)
中音用スピーカー	—	PM-1020 CM (10 cm)	—	—	DM-2210 CMX (4 cm) ドーム形
高音用スピーカー	TW-5025 CM (5 cm)	TW-5016 DM (5 cm)	TW-5025 CM (5 cm) × 2	TW-5022 CM (5 cm)	DH-2201 CM (2.3 cm) ドーム形
超高音用スピーカー	—	—	TW-3301 AM (3 cm)	TW-3301 AM (3 cm)	TW-3301 AM (3 cm)
キャビネット (高さ×幅×奥行) (cm)	位 相 反 転 形 55×33×28.5	完 全 密 閉 形 69×42×28.5	完 全 密 閉 形 80×49×34	アコースティック サスペンション方式 52.5×31.5×21.5	アコースティック サスペンション方式 58.5×36×28.6

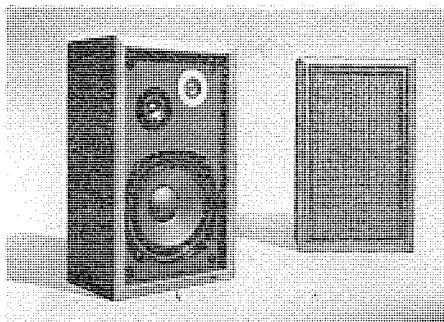


図 4.7 DS-251 形 スピーカーシステム
Model DS-251 speaker system.

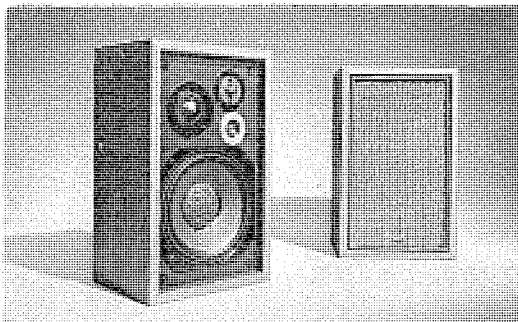


図 4.8 DS-301 形 スピーカーシステム
Model DS-301 speaker system.

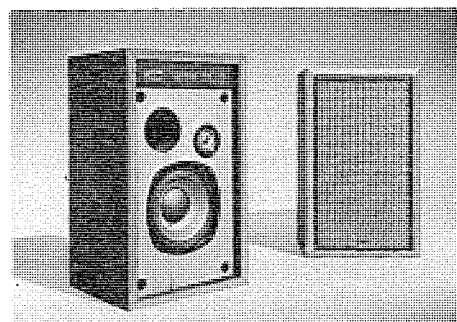


図 4.9 DS-22 B MK II 形 スピーカーシステム
Model DS-22 B MK II speaker system.

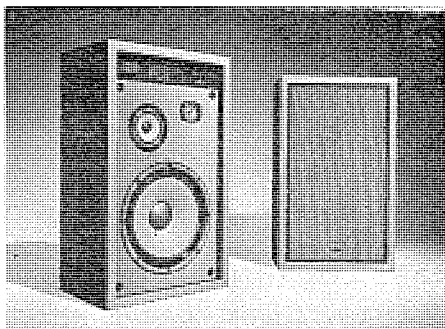


図 4.10 DS-34 B MK II 形 スピーカーシステム
Model DS-34 B MK II speaker system.

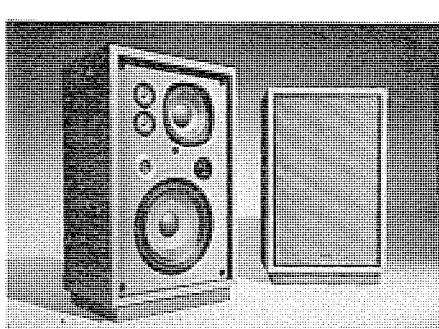


図 4.11 DS-31 C MK II 形 スピーカーシステム
Model DS-31 C MK II speaker system.

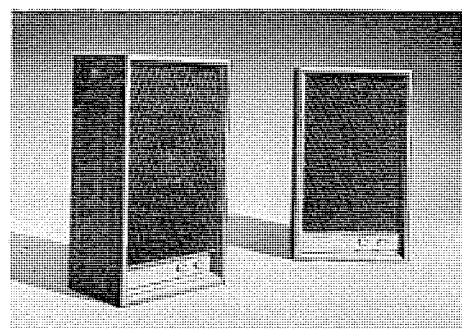


図 4.12 DS-16 B 形 スピーカーシステム
Model DS-16 B speaker system.

とができる。

ただし、この方式は、20 cm ウーファと 30 cm ウーファの共振周波数および能率を合わせる必要があり、したがって、20 cm ウーファの設計はかなりむずかしい。

以上、最近の当社のコンポーネント用スピーカーシステムのおもな技術的特長について述べたが、ここで、これらのスピーカーシステムの性能一覧を表 4.1 に示す。

5. キャビネットについて

キャビネットはただスピーカーを収納するための箱だけではなく、音響再生上、よい音を出すためには重要なものであり、スピーカーとキャビネットは常に不即不離である。

ここでは、サラングリル、仕上のデザイン的な面、それから、よい音を出すために必要な材質、構造について述べる。

5.1 サラングリルについて

今回の 5 機種のグリルは統一されたデザインと構造であり、簡単に取りはずしができる。このグリルには今までにない試みとして、二重サランネットを採用している。これは、一枚のネットの上へ、わずかに浮かして、もう一枚のネットを張った構造のもので、裏面のネットがすけて見え、深みのある立体感と、エレガントなフィリングをかもし出している。

グリルが音の透過をさまたげないよう、わくはできるだけ狭く、かつ薄くし、スピーカーの開口をできるだけ広くとった。

ネットについては、一枚目のネットは非常に透過率の良いものを選び、二枚目のものも同様に柄、糸の太さ、密度を検討した結果、高域周波数でも 1 dB 程度の減衰に押えることができた。

ネット自身の強度については、温度 40°C、湿度 90% の条件下でおこる変化(たるみ)と、紫外線やホルマリンによる変色があるので、これらも十分検討した。ネットのバツキに関しては、ネットが直接、

わくにふれる周辺を完全に接着し、バツキを除いた。またネットの端末を特殊なテープでおおいかくすなど、裏面にまで細心の注意を払っている。グリルはパツル面からわずかに浮かせ、着脱しやすい構造とした。グリルをはずすと、DS-251, 301 形では黒色レザー張りのメカニックなデザインが、DS-22 B, 34 B, 31 C MK II 形では天然木の優雅な木目があらわれる。

5.2 仕上げについて

仕上げについても細心の注意を払っている。インテリアの一部として扱われるので、落ち着いた美しい仕上げが要求される。表面の材料は化粧板と呼ばれ、台板(パーティクルボードおよびラワン合板)の上に 0.5 mm 程度の天然木をオーバーレイしたものを使い、天然木は高級家具に使用されているアメリカ産のブラックウォルナットを採用している。

木目は 1 台 1 台そろえている。柄・色調まで合わせることはかなりむずかしいが、柄・色調を層別して木取りを行ない統一した品質の材料を選ぶようにしている。また、それ以前の対策として、原木・ツキ板・化粧板の各メカとタイアップして統一した希望品質の材料を選び、確保している。木材の色は、それ自体複雑であるばかりでなく、見る角度によって変化しこれは木材特有のものである。したがって品質を決める場合、よくこの点に留意しなければならない。

塗装は一見簡単のようであるが、なかなか複雑なものである。特に木材の塗装は感覚が重要な役割をするので、いろいろ好みが変われはするが、木理、もく(空)などの美しさを生かすため、素地は薄い塗膜を施し、表面にワックスをしみてこませ布でふくだけで適当なつや(艶)を保たせている。それで、新しい間は素地がそのままという感じがする。薄塗りに仕上げた表面は天然木のテクスチャが生かされ、木の自然のやわらかさが表現される。

塗膜の損傷やよごれがよく問題になるが、塗膜は一般に薄くなるほど吸湿性を増し、摩擦もはげしくなる。また表面が平滑でないとよごれがつきやすくなる。したがって、まず強い塗料の選択が必要

で、さらによごれ防止については、最後にワックスをしこませて表面をつつみ、よごれがつきにくいようにしている。光沢の度合いは、あまり光沢度が高いと、木材表面のおうとつ(凹凸)が目立ち、粗末で未完成な感じになるので、5分つや消しぐらいに押えたものがよい仕上りとされている。

5.3 材質について

キャビネットを構成している材質の主材はパーティクルボードで、これは木材の細片に接着剤を加えて圧縮成型したものである。この5機種に使用した材料は多層構造で、曲げ強度が高く狂いが少ない。また接着剤はメラミン樹脂系のものを使用しているために耐水性が良い。さらに薄い基板単板をオーバーレイする場合、下地の捨張りや裏張りの必要もなく直張りができる利点がある。ただメラミン系の接着剤を使用したものは、工作上切削抵抗が大きく作業速度がやや落ちる欠点があり、検討を要する。

5.4 構造について

木部間のほぞとみぞは精度をあげ、空気もれのない構造とするために接着面積を大きくとり、その面へ接着剤を数回入念に塗布している。さらに裏ぶたの間げき(隙)にはパテを充てんし、少しの空気もれも除いている。内部の補強については、バッフル板と裏板を補強材でつなぎ、異常共振を防いでいる。

6. 4チャンネル用スピーカー

6.1 一般的な考え

4チャンネルステレオは従来の2チャンネルステレオに比べて情報経路が2倍となり、原音からの情報をより正確に伝送することが可能となった。ちょうどこのことはTVの情報伝送における帯域幅と類似しており、4チャンネルステレオは走査線の数が倍になったときと同様な効果が、音の場合についてもあてはめることができる。

追加する二つの伝送系は、従来の2チャンネル伝送系とまったく同一な物理特性を有していなければならないことは基本的な問題である。したがって、四つの特性のそろったスピーカーを使用することが4チャンネル再生の理想といえる。ここでさらにそのスピーカーの具備すべき特性を考えると次のものが要求される。

- (1) 周波数特性が平坦なものであること
- (2) 指向特性が広いこと

上記の事柄はスピーカーシステムとして常識的なものであるが、実際問題として市場から該当するものを見つけ出すことはむずかしい。たとえば低音域のみを強調したようなスピーカーシステムを4チャンネルで駆動した場合には、ますます低音域の強調された抜けの悪い音となってしまう傾向にある。このことは同一バッフルに複数個のスピーカーを取付けて駆動した場合と同様に考えることができ、ふく(輻)射能率が波長の長い低音域で増すためである。したがって4チャンネルのトータル音場を考えた場合に、周波数特性が平坦なもの的重要性を生じる。次に指向特性の問題であるが、4チャンネルの初期の段階におけるマトリックス4チャンネルでは、フェーズシフト効果などのテクニックが未開発だったため、聴感上の位相的異和感が強く、後方用スピーカーは無指向性スピーカーを用いて音の拡散性をねらったほうがよいとされていた。しかし近年のマトリックス4チャンネル技術の向上は目ざましく、当社においても分離度がディスクリットに近い値が得られるSEロジック回路が開発されており、マトリックス方式も、いかにディスクリットに近いかという音楽再生の場合の品位が論議されるようになった現在においては、拡散性よりもむしろ指向性パターンの連続性のほうがはるかに大

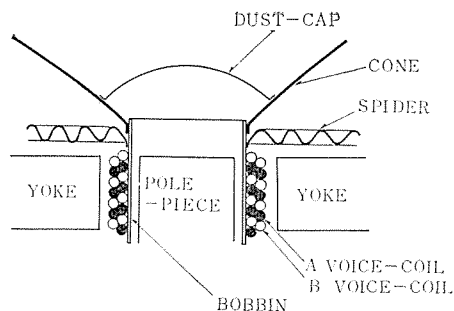


図 6.1 ディファレンシャルスピーカーの原理構造
Constructional principle of differential speaker.

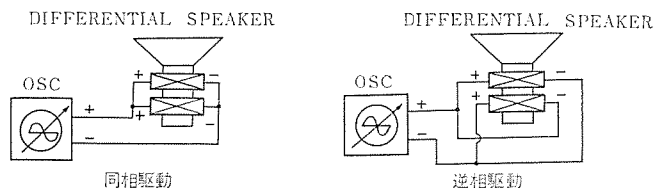


図 6.2 ディファレンシャルスピーカーの接続
Connection of differential speaker.

きな意義をもつものである。この指向性向上の重要性は近年のドームスピーカーの流行にも関連があり、低能率にもかかわらず各社が採用する理由は、指向性の向上を重視しているにほかならない。

以上は4チャンネル用スピーカーに関する理想的な考えであるが、実際問題として四つの同一システムをセッティングすることは、日本の家屋状態を考えた場合一般的とはいいがたく、したがってこのような観点から4チャンネル用スピーカーを考えた場合には別の考え方をしなければならず、コストおよびスペースファクタを重視した場合には、それは壁掛け形などの小形システムとなる場合が多い。4チャンネルセパレートステレオなどの後方スピーカーは、このような考えのもとに開発しているものであると同時に、前述の事柄を考慮していることは言うまでもない。

6.2 ディファレンシャルスピーカー

ディファレンシャルスピーカーは当社がマトリックス4チャンネル用に開発した特殊構造を有する差動スピーカーである。図6.1に原理構造を示す。AボイスコイルとBボイスコイルとはまったく独立した導体でボビンに平行巻きに巻かれており、おのおのの導体の末端は4個の入力端子に導かれている。ここで二つの独立したコイルは平行巻きとしている関係上、まったく同一の巻数が得られており、これら二つのコイルに同相で同一信号を入れた場合には、まったく普通のスピーカーと同一の動作を行なう。また逆相で同一信号を入れた場合には、二つのコイルに発生する駆動力ベクトルの方向が逆方向となり、振動板は動かず音圧は発生しない。このディファレンシャル構造を有するボイスコイルを、実際に当社の代表的な16cmスピーカーであるP-610に装着したときのレスポンスを図6.2に示す。図に示すように同相時と逆相時では45dB以上のレベル差を得ている。この値は実用上十分な値であることを意味しており、このスピーカーを用いて、ステレオにおける左右信号をおのおののコイルに加えれば差信号音を簡単に得ることができるため、差動増幅器などを用いることもなくマトリックス4チャンネルを演奏することが可能である。

一般にマトリックス4チャンネルは2-2-4方式と4-2-4方式に大別されるが、前者の2-2-4方式は4チャンネル専用ソースを必要とせず、従来の2チャンネルソースを音場創成によって4チャンネルらしい臨場感あふれる音場にしようというものである。具体的にはAmbienceの多く含

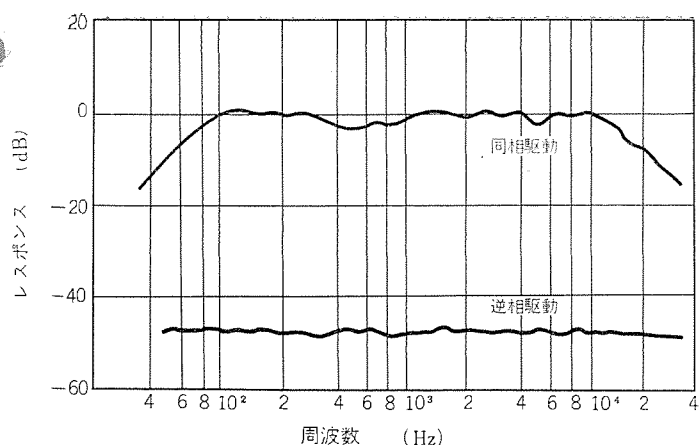


図 6.3 DIFFERENTIAL SPEAKER P-610 M の
出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristic of
differential speaker P-610 M.

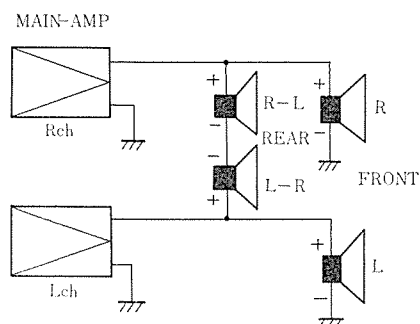


図 6.4 スピーカー結線によるマトリックス4チャンネル方式
Matrix four channel form by speaker connection.

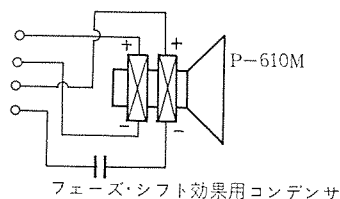


図 6.5 DS-16 B に使用したフェーズシフト回路
Shift circuit used for DS-16 B.

表 6.1 ディファレンシャルスピーカー P-610 M の概略仕様
Rough specification of differential speaker P-610 M.

方 式	全帯域ディファレンシャル形
口 径	16 cm コーン形
最低共振周波数	80 Hz
インピーダンス	各ボイスコイル 16 Ω
出力音圧レベル	90 dB (JIS C-5531)
最 大 入 力	各ボイスコイル 4 W
再生周波数帯域	50~13,000 Hz

表 6.2 DS-16 B 形システム概略仕様
Rough specification of DS-16 B system.

形 名	DS-16 B
方 式	ディファレンシャル スピーカー システム
インピーダンス	各ボイスコイル 16 Ω NORMAL 8 Ω
再生周波数帯域	60~13,000 Hz
出力音圧レベル	90 dB/W JIS C-5531
最 大 入 力	8 W (NORMAL 時)
外 形 寸 法	450 (H)×260 (W)×177 (D)
キャビネット	位相反転形
重 量	5.5 kg

まれている間接音(差信号)を用いて後方から再生するものである。一般的に差信号を作り出す最も簡易な方法は、図 6.4 のように、スピーカーをステレオアンプの左右出力端子の HOT-HOT 間にそう入することであるが、この場合接続される負荷インピーダンスの値が問題となる。極端に低いインピーダンスを接続した場合には、左右チャンネルのブレンド負荷として働き、セパレーションおよび音質までも低下してしまうことになる。ディファレンシャルスピーカーを用いた場合には、このようなセパレーション悪化がなく良質の再生音を得ることができるとともに、現存のステレオに簡単に接続するだけでマトリックス 4 チャンネルとすることができる。

当社はこのスピーカーユニットを用いたディファレンシャルスピーカーシステム DS-16 B を開発したが、このシステムは上記のメリットに、さらにより自然な音場を形成するために図 6.5 に示すようなフェーズシフト回路を内蔵している。このフェーズシフト回路は、差信号成分を積極的に利用するマトリックス 4 チャンネルの最大の欠点である逆相的異和感を取り除くためにそう入したもので、回路的には波長の長い低音域において四つのスピーカーが同相となるように、差信号成分を 300 Hz 以下では和信号成分に近づくように位相に周波数特性をもたせたものである。ここで 300 Hz の値を選んだ理由として、ソースに含まれる間接音成分はだいたい 1 kHz 付近に集約されている事実と、低音域における方向感の検知限は一般に 600 Hz とされているが、厳密にはへやの大きさ対音源の大きさの比率がきくので検知限を 300 Hz とし、フェーズシフタの定数を決定した。

ディファレンシャルスピーカーシステム DS-16 B は、前面のセレクトスイッチを NORMAL とすることによってまったく普通のスピーカーシステムとして使用することが可能である。このようにディファレンシャルスピーカーは単純な構造であるにもかかわらず、4 チャンネル用をはじめとして、一つのコイルを検出コイルとした MFB (MOTIONAL-FEEDBACK) の実験や、ビートを利用した簡単な周波数校正器としても使用することができるとともに、片一方のコイルにインピーダンス素子を接続することにより、音質調整付きのシングルコーンスピーカーなど広範な用途があると考えられる。

7. む す び

以上、4 チャンネル再生用スピーカーを含め、ホームユーズ用のハイファイコンポーネント用スピーカーシステムについて、音づくりを中心に製品のまとめ方、設計上の基本的な考え方、技術的成果などについて述べた。

スピーカーの基本的動作原理・解析などは、古くからいつくされ、今さらあらためて述べるべき事柄はないが、その音質という点については、理論的に究明されていないところが非常に多く、まだまだ神がかり的な要素が強い。

音質を決定する物理量について今後いっそうの研究を続けていくことによって、はじめて飛躍的発展が可能となるであろう。

可搬形音声モニタシステム AS-2051 形

杉本 宗久*・平松 勝蔵*

Portable Voice Monitor System Model AS-2051

Koriyama Works Munehisa SUGIMOTO・Katsuzo HIRAMATSU

Among Mitsubishi voice monitor systems are models AS-3001 and AS-2001 which are widely used by the NHK broadcasting station and the private broadcasting stations as well. Model AS-2051 voice monitor system quoted herein is the one which can be put into use as a full scale monitoring and yet is of handy portable type. This is a noticesable advantage that promises bright future. In the part a headphone or a simple loudspeaker was used for voice monitoring on the spot recording or on the street operation, while the advent of the model AS-2051 unit has done away with all the drawbacks of poor voice monitoring and the fine tone quality operation is available with a broadcasting car and a relaying car.

1. ま え が き

現在、当社の音声モニタシステムには、NHK放送センターをはじめNHK放送局・民間放送局で広く使用されているAS-3001形やAS-2001形などがあるが、ここに述べるAS-2051形音声モニタシステムは、本格的な音声モニタが可能で、しかも持ち運びに便利のように携帯形となっているところに大きな特長がある。

従来、野球をはじめとするスポーツ関係の屋外中継、地方公民館などの実況録音、街頭録音などの音声モニタには、ヘッドホンや簡単なスピーカーが使用されていたが、近年こういった実況放送についても、その音質が非常に重要視されてきている。これまでのような簡単なスピーカーでは、満足な音声モニタができないので、本格的にモニタができるような可搬形音声モニタシステムが待たれていた。このような要望にこたえて開発したのがこのAS-2051形音声モニタシステムである。

この音声モニタシステムは、BTS規格を満足するだけの性能を有し、本格的な音声モニタが可能になっている。形状は携帯に便利のようにトランク形にまとめ、最近のモニタシステムの傾向である増幅器とスピーカーシステムを一つのきょう(筐)体に組み込み、その総合特性ですぐれたものをつくり出すという形式をとっている。

現在、放送車用・中継車用などとして、NHKをはじめ、民間放送局、映画関係に広く使用していただいている。

このAS-2051形音声モニタシステムは、ハンディタイプの本格的音声モニタシステムということに大きな特長があると同時に、それゆえに開発するにあたっては、技術的な制約やむずかしさがひそんでいる。ここでは、これらの技術的な問題点を中心に製品のあらましを紹介する。

2. 設計の条件

この可搬形音声モニタシステムを設計するにあたっては、製品の性格上つぎに述べるような、いろいろの事柄について考慮しなければならない。

2.1 形状および構造

ハンディタイプの音声モニタシステムは、持ち運び、使用に便利ようにできるだけコンパクトにまとめることが必要である。したがって、スピーカーシステムと増幅器はキャビネットと一緒に収納されている形体の

ものが望ましい。

形状および構造について必要な事柄を考えると、

- (1) できるだけ小形であること
- (2) 軽量であること
- (3) 堅固であること
- (4) 持ち運びに便利のように、ハンドルがついたトランク形であること

(5) コード、コネクタ類が収納できるポケットがあること
などが要求される。

2.2 音響的性能

製品の開発目的が、携帯用ではあるが、本格的なモニタが可能なるものを開発しようということであるので、その性能は、BTS規格に準じたものが要求される。

(1) 出力音圧周波数特性

スピーカーの音質を決める要素には、いろいろあるが、その中でも最も大きく影響するのが、出力音圧周波数特性である。そういう意味から、モニタに使用するためには、最低限、BTS規格を満足せねばならないという考えで、図2.1のようにBTS規格のR205に準じた性能を目標とした。

(2) ひずみのない最大出力音圧レベル

理想的なモニタスピーカーのひずみのない最大出力音圧レベルは、ミキシング時の聴取位置で106dBといわれているが、このAS-2051形モニタの場合では、(1)で述べた出力音圧周波数特性を満足して、しかも、ひずみのない最大出力音圧レベル106dBを出すのは経済的に不可能であるので、まず出力音圧周波数特性を優先させ、ひずみのない最大出力音圧レベルは、実際のモニタ業務で比較的支障なく、

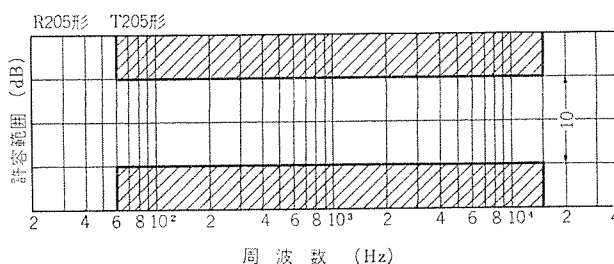


図 2.1 出力音圧周波数特性の許容範囲 (BTS-6131)
Allowable range of output sound pressure frequency characteristic.

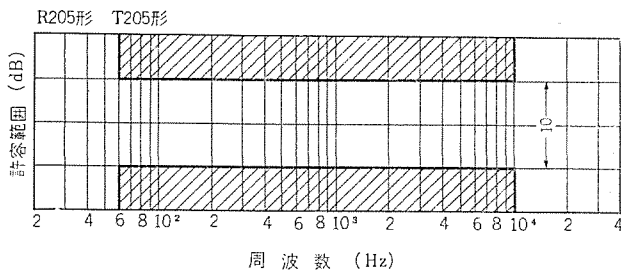


図 2.2 指向周波数特性の許容範囲 (BTS-6131)
Allowable range of directive frequency characteristic (BTS-6131).

モニタが行なえるためのひずみのない最大出力音圧レベルは、どれくらいなのかということについて、現業にたずさわっておられるかたがたからデータを集計したところ、100 dB 以上あればよいことがわかったので、十分満足な値ではないが、ひずみのない最大出力音圧レベルの目標は 100 dB 以上とした。

(3) 指向周波数特性

これもやはり BTS-6131 のモニタスピーカー R205 の規定に準じ、スピーカーの基準軸を含む水平面内で基準軸より 30° の方向で、図 2.2 に示す許容範囲内におさまることを目標とした。

(4) ひずみ

これも、BTS-6131 の R205 モニタに準じ、最大出力音圧時に 70 Hz 以上の周波数でのひずみ率が 5% 以下であることとした。

2.3 信頼性

業務用の機器は、一般家庭用とちがって、特に信頼性の高いことが要求される。信頼性が高いということには、次の三つのことが含まれている。

(1) 長時間使用しても故障が起きないこと

(2) 万一故障が生じたとき、修理の前後で性能に変化がないこと

(3) 製品個々のバラツキがないこと

(1) については、この可搬形モニタの場合は、振動に対して強いこと、40°C 以上の高温、0°C 以下の低温時にも故障なく動作することや、湿度に対しても強いことが要求される。また、寿命が長いこともさることながら、連続長時間動作に耐えることが必要である。

(2) については、修理の前後で音質が変わるようではモニタシステムとしては具合が悪いし、また、容易に補修サービスができることも必要である。(3) については、個々の製品について、いくら良い音がしてもその音がみな異なっているようでは、音声モニタの役目は勤まらない。また普通、ステレオ再生をするので、左右のスピーカーの音質が異なるようでは、定位がくずれて困る。

3. 設計の問題点

可搬形モニタシステムを設計するに当たっては、まずハンディタイプということで、大きさおよび重量面で設計上大きな制約を受ける。常に持ち運びするということでもいろいろと実用テストを行なった結果、キャビネットの大きさは 30×50×20 cm 程度以下、重量は 10 kg 以下に設計することを決めた。このキャビネットの中に増幅器を収納し、またスピーカーおよびアンプの保護、ならびにコード、予備コネクタ類を収納するポケットを取り付けるために厚さ約 5 cm 程度の前面カバーが必要である。そうすると、スピーカーシステム部として使用できるキャビネットの実効内容積は、 $1 \times 10^4 \text{ cm}^3$ 程度以下の非常に小さなものになってしまう。これだけ小さなキャビネットで、前に述べた 2.2 節の

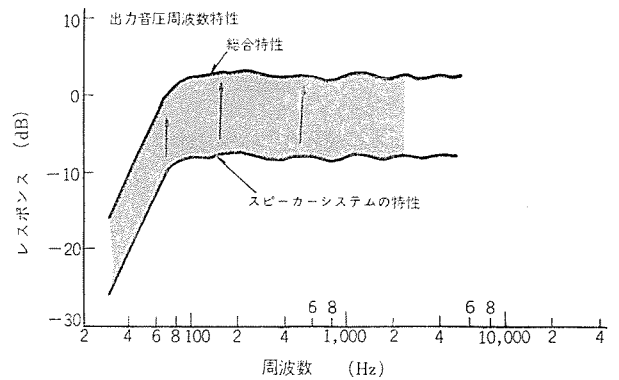


図 3.1 可搬形モニタシステム方式(1)
Portable monitor system (1).

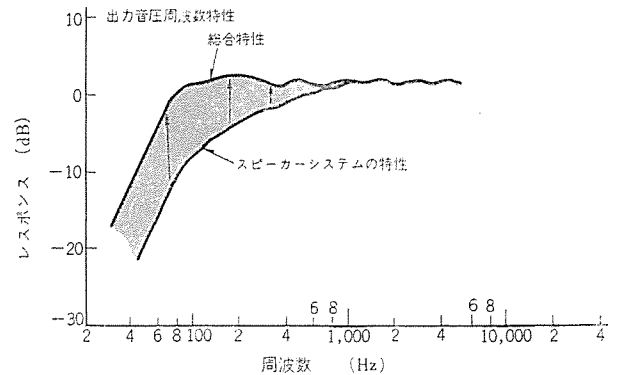


図 3.2 可搬形モニタシステム方式(2)
Portable monitor system (2).

音響的性能を満足させるようなものを設計するにはどうすればよいか。これが、技術的に最もむずかしい点である。

$1 \times 10^4 \text{ cm}^3$ という小容積のキャビネットにスピーカーを収納し、70 Hz まで平たんに伸ばし、しかも、ひずみのない最大出力音圧レベルを 100 dB 以上とるにはどうしたらよいか。通常の方法ではまず不可能である。やり方としては次の二つの方法が考えられる。

(1) 振動系の質量を重くして、サスペンション系のコンプライアンスは非常に大きくする、俗にいうアコースティックサスペンション方式の考え方を極端におしすすめ、スピーカーシステムで 70 Hz まで平たんな特性を出し、大出力のフラットアンプで増幅する。

(2) 高能率のスピーカーを完全密閉キャビネットに入れ、中音域から低音域にかけて、なだらかな下り傾向の周波数特性にして、このレスポンスと逆カーブの特性を有する特殊な増幅器でブーストして、総合の特性で 70 Hz まで平たんに伸ばす。

の二つの方式がある。このおのおのときの動作状態を図 3.1、図 3.2 に示す。

この二つの方式にはそれぞれ長所と欠点がある。すなわち、方式(1)の場合は、

(a) 低域共振周波数が低くなるので、低音域、特に 100 Hz 以下のひずみは少なくできる。

(b) スピーカーの能率が低く常に全帯域にわたって大入力加わるので、中高音域でひずみが多い。

(c) 低音が機械的に大きく制動されるので、つまったような暗い低音になりやすい。

方式(2)の場合は、

(a) 低域共振周波数が高く、低域をブーストするので低音域のひずみが多い。

(b) スピーカーの能率が良く、中高音域の再生には大きなパワーが

必要でないで、中高音域のひずみは非常に少ない。

(c) 臨界制動で動作されやすくなるので、響きの良い低音が得られる。

(d) プログラムソースの周波数成分が中高域だけのときは、大きなひずみのない最大出力音圧レベルが得られる。

(e) フルバンドのプログラムソースが入ったときでも、(1)に比べてひずみのない最大出力音圧レベルは高くとれる。

などの特長がある。

(1)および(2)の方式について、どちらが経済的に有利であるかという点に関しては、定常状態では、両者ともまったく同一であることが理論的にはっきりしている。

AS-2051 形 モニタシステム では方式(2)を採用したが、これには、音質上の問題もあるが、つぎの理由により(2)の方式を採用した。

(a) 低音域のひずみは、中高音域のひずみに比べ音質をけがす度合が少ない。

(b) 高音域に大入力が入らないので、ツイーターの断線、焼損などの事故が少ない。

(c) 低音域が入らなければひずみのない最大出力音圧レベルが高くとれる。

(d) 低音の響きがよい。

(e) 特性をコントロールしやすい。

(f) 増幅器とスピーカーが一体のキャビネットに収納されている。

この(2)の方式で注意しなければならないのは、低域共振周波数 f_0 以下をブーストして使用するので、 f_0 以下でひずみが増加すること、これを極力さげねばならない。この方法として、エッジ、スパイダなどは直線性のすぐれたものを使用する、キャビネットはがん丈な構造にするなどが考えられる。また、中音域から低音域にかけて、なだらかな傾斜で落とすのは非常にむずかしいが、アンプでブーストして補正する関係上、なだらかな傾斜でなければブーストして補正したとき、うまく平坦な特性にならない。

その他、低音域で大入力はいるのでウーファは許容入力の大きいものに設計しなければならない。

4. スピーカーシステム

一般に低域再生限界周波数は、キャビネットにスピーカーを入れたときの低域共振周波数 f_0 で決まる。この f_0 を低くすれば、それだけ低音域の再生範囲は伸びるわけである。

この AS-2051 形 モニタのキャビネット容積では、 f_0 を最も低くできるスピーカーの口径は 12 cm～16 cm であるが、前述した中音域から低音域にかけてだら下りの傾向にする、能率を高くする、スピーカーの許容入力を大きくする、などの点を考え、ウーファは口径 20 cm を使用した。

エンクロージャー方式は、これもだら下りのレスポンスカーブにするため、密閉形を使用した。そして、ひずみを減らすためにキャビネットはがん丈な構造にし、異常振動を防ぎ、空気漏れなどが生じないよう完全密閉形にした。特にスピーカーバツルの取付けには注意を払い、スピーカー入力線の引き出し部分にはゴムパッキングを使用して、極力、空気漏れに注意している。

4.1 スピーカーの構成

スピーカーの構成は、うゑに述べたようにウーファは 20 cm と決めたが、このスピーカーでどれぐらいの帯域を再生させるかによって 2ウェイにするか、3ウェイにするか、または、シングルコーンにするかが決ま

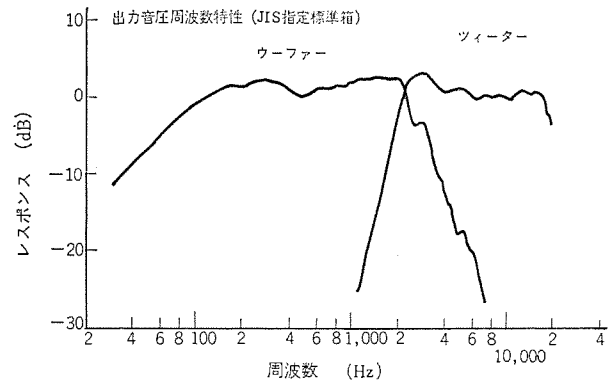


図 4.1 20 cm ウーファ および 5 cm ツイーター の特性
Characteristics of 20 cm woofer and 5 cm twitter.

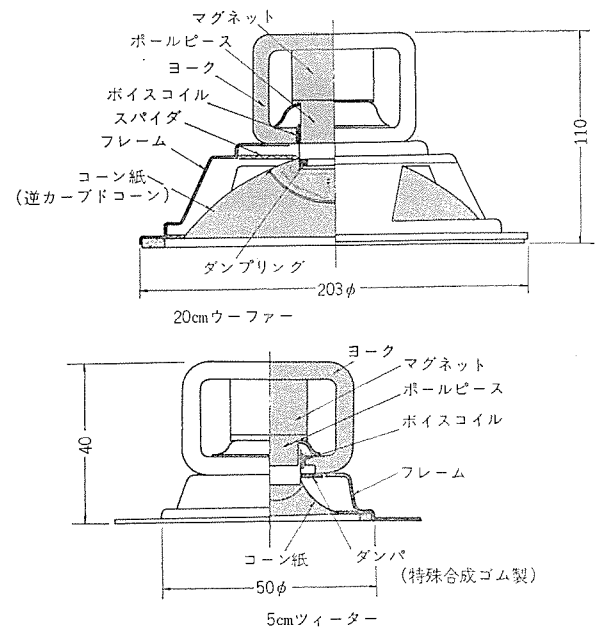


図 4.2 20 cm ウーファ、5 cm ツイーター
20 cm woofer, 5 cm twitter.

る。20 cm スピーカーの高音再生限界は、指向性がつきはじめる周波数をもって再生限界とみなさなければいけない。口径 20 cm の場合は、この指向性がつきはじめる周波数は約 2,000 Hz である。したがって、シングルコーンでは指向性がつき、まずいので複合形にする必要がある。ウーファで 2,000 Hz まで再生できれば、2,000～20,000 Hz までの帯域を再生するツイーターは設計可能であるので、今回は 2ウェイ方式を採用することに決めた。

4.2 ウーファ

この 20 cm ウーファの特長は、スピーカーシステムに組み込んで使用するとき、特にネットワークを用いてハイカットする必要がないということである。図 4.1 でみるようにスピーカー自身のハイカット周波数をクロスオーバー周波数に合わせて設計を行っており、しかもハイカット周波数以降は、シャープに自然減衰させている。また、ハイカット周波数で妙なピークやひずみが生じないよう設計されている。これは、コーン紙の形状を逆カーブコーンにし、コーン紙の質量とボイスコイルの質量とをうまくバランスをとっているからである。

それに加えて、ボイスコイル内周にダンプリングを採用しているので、いっそうカットオフ周波数付近の特性とひずみが改善されている。サスペンション系は、特殊繊維使用の大形スパイダで振動系質量をささえているので直線性にすぐれ、長時間の使用に際しても劣化のない構造となっている。

磁気回路に使用されているマグネットには、BH積が 6.5×10^5 gauss-oersted と、鋳造磁石では最高水準をいく高性能大形マグネットを使用している。

4.3 ツイーター

このツイーターは、口径が5 cmで再生帯域が2,000~20,000 Hzと非常に広く、振動半径がわずか2 cmであるので指向特性もすぐれている。

磁気回路は、磁束密度12,000 gaussの高性能磁気回路を使用している。コーン紙は高いヤング率でしかも内部制動の大きな材質を使用しているが、これが周波数特性にあらわれがなく20,000 Hzの高音まで再生できる秘訣である。

このツイーターのもう一つの特長は、サスペンション系に特殊合成ゴムのスパイダを使用していることである。このスパイダを使用することによって、音色に大きく影響する2,000~5,000 Hzの帯域に大きく制動がかかっているため、この重要な帯域を低ひずみ率で再生することができる。

4.4 キャビネット

キャビネットは堅固かつ軽量ということが大前提であるが、キャビネットの響きも良い音質にするうえで重要である。

このAS-2051形では、キャビネットの響きをよくするため、キャビネット材料はラウンベニア合板を使用している。キャビネットの板厚については、重量の制約があるためそう厚くはできないので9 mmを使用し、ビブリを防止するため、内部に補強機を随所に入れ、がっちりと固めて箱鳴りを防止している。空気漏れに対しても前に述べたように極力留意して低音特性の劣化を防いでいる。

外観については、キャビネット全体にビニールレザーを張り、すりきずなどがつづのを防いでいる。またコーナーにはアルミ引き抜きの補強サッシをまき、キャビネットの強度をかせいでいる。また上面には取手をつけ、携帯に便利のような構造にしている。

スピーカーはウーファとツイーターを一枚のパフル板に前面より取付け、ユニット化したものをキャビネットに取付ける方法を利用している。これは、スピーカーをパフル板の裏側から取付けた場合、スピーカーの前に空洞ができ、この空洞の共振によって周波数特性が乱れ、性能上好ましくないためこのくぼみ効果を防ぐためと、ウーファとツイーターをできるだけ接近させて取付けるために行なった。ウーファとツイーターを接近させて取付けるのは、低音と高音とが分離されてちがった位置から聞こえてきて、音像が乱れるのを防ぐためである。

4.5 音場補正

従来のモニタシステムは、使用される場所が主にスタジオ調整室であり、その音響状態は大体一定にすることができるので、特に音場補

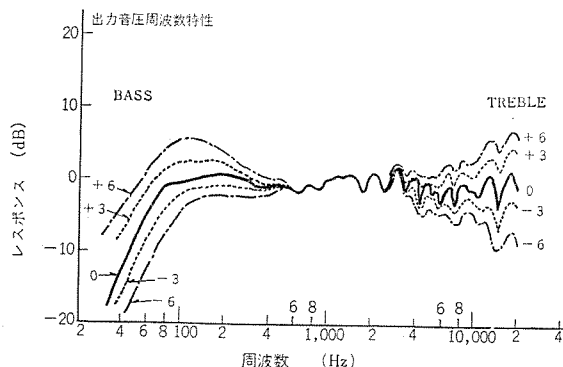


図 4.3 トーンコントロール特性
Tone control characteristic.

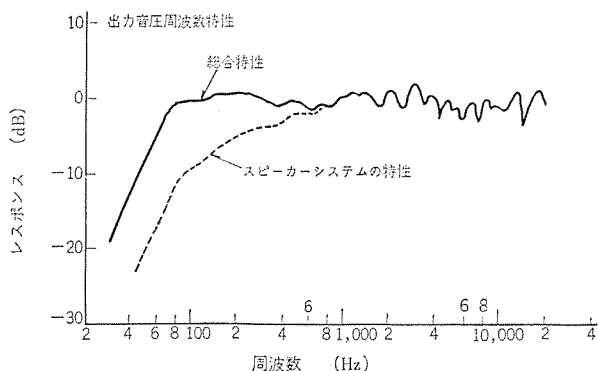


図 4.4 AS-2051 形 モニタシステム の特性
Characteristic of AS-2051 monitor system.

正装置は必要ないが、このAS-2051形は非常に用途が広く、使われている状態はいろいろ考えられる。使われる場所は屋外であったり、スタジオであったり、小さなオーディションルームであったりする。また置かれる位置も床の上に置かれたり、たなの上に置かれたり、場合によっては中空につるされる場合もある。これらの異なった音響状態でも常にベストの音が出せるように音場補正が可能であることが望ましい。AS-2051形の場合は、具体的には経済性などを考え、増幅器にトーンコントロール回路を設け、図4.3に示すように低域および高域のレベルが変えられるようになっている。実際、この程度のものでも大いに役立ち、実用上はさして不便を感じない。

つぎにこの音声モニタシステムに積載しているMA-151形増幅器について述べる。

5. MA-151 形 増幅器

モニタ増幅器は、放送用音声プログラムなどの監視に用いられ、モニタスピーカーを駆動する増幅器である。といっても、結線図をながめると、一見、何の変哲もない単なる増幅器のように見える。むしろ民生用オーディオアンプのほうが、いろいろなファンクションを持っていて複雑であり、高価であるような感じを受ける。しかしモニタ増幅器の場合は、次にあげる3項目の点で、民生用オーディオ機器と異なっている。以下、MA-151形モニタ増幅器について、民生用増幅器との相違点を中心に説明する。

- (1) 信頼性
- (2) 性能
- (3) 保 修

5.1 信頼性

モニタシステムは、その使用目的から、音声プログラムの質、あるいは音量、ステレオでは定位などを監視することと、マイクロフォン以降の、音声系統機器の雑音あるいはひずみなども監視する役目がある。したがってモニタシステムの故障で音が出なくなれば、それ以前の系統を一応全部疑わねばならぬ事態となる。このような事態をひき起こさないために、信頼性には十分留意する必要がある、性能より前に壊れにくいことがたいせつな条件となり、この点で民生用と異なる。

MA-151形では、信頼性の向上のため、次の点に注意して設計されている。

第1に可搬形であるため堅固でなければならない。本機は、スピーカーの部分と一体を成し、そのキャビネットに収納されるため、外部からの機械的打撃を直接受けることは少ないと思われる。しかし、耐振動性については、十分考慮する必要がある、そのため、AMPEX社の同種のモニタが真空管式であるのに対して、本機はソリッドステ

ト化されている。真空管式の機械的弱さをカバーすると同時に、マイクロフォニック等の雑音に対しても有利となっている。また、ソリッドステート化によって重量の点でもメリットがでてくる。これは、出力トランスが省略されるほかに、各種部品が小形となって、プリント基板上に取付け可能となり、放熱の点も含めて、全体の大きさが縮小されて、シャシ自体の重量も減らすことができるからである。ところが、ソリッドステート化によってデメリットもあった。温度に対する安定度の点では、真空管式に対して一步譲らざるを得ない。しかし、ゲルマニウム時代には、真夏の野球中継に出かけた放送車に積まれて使用されたとき、トランジスタが 50° を越す周囲温度に耐えかねて熱暴走を起こしたこともあったが、最近では、本機もシリコントランジスタに全部置き換えられており、 40°C を越える周囲温度中でも実用上支障のないように設計されているので、このデメリットも十分除去されていると言える。

5.2 性能

表 5.1 は本機の定格である。性能については、回路自体が特別なものではなく、単純な構成になっており、特筆すべき点も少ないが、ただ、設計のねらいとして、あくまでスピーカーと一体となった総合特性に重点を置いているため、民生用アンプがある程度、どのスピーカーにもマッチするように設計されているのと若干相違がある。むしろ、そういった民生機より、設計は容易になり、安定度も得やすいかもしれない。2, 3 相違点について述べれば、まず入力回路が平衡回路であるため入力トランスを必要とする。入力インピーダンスは 600Ω と $10\text{k}\Omega$ であり、二次側は $7\text{k}\Omega$ のアッテネータを用いるために、トランスは $10\text{k}\Omega$ 対 $7\text{k}\Omega$ のものを使用する必要がある。 600Ω の場合は、 $10\text{k}\Omega$ のトランスに並列に抵抗を入れて 600Ω となるようにしている。

次に本機は、スピーカーを組合わせた場合の周波数レスポンスをフラット

表 5.1 AS-2051 形 音声 モニタシステム 定格
Ratings of AS-2051 voice monitor system.

(1) 総 合	
再生周波数帯域	: $70\sim 15,000\text{ Hz}$ ($\pm 5\text{ dB}$)
入力インピーダンス	: 600Ω $10\text{ k}\Omega$
入 力 レ ベ ル	: -22 dBm 0 dBm
最大出力音圧レベル	: 102 dB (スピーカー基準軸上距離 50 cm)
S/N 比	: 50 dB 以上
電 源	: AC 100 V 30 VA
使 用 温 度	: $0\sim 40^{\circ}\text{C}$
寸 法	: (幅) 33.3 cm ×(高さ) 44.7 cm ×(奥行) 21.05 cm (カバー付き)
重 量	: 8.9 kg
(2) 増 幅 器	
伝送周波数範囲	: $50\sim 20,000\text{ Hz}$ ($\pm 1\text{ dB}$)
入力インピーダンス	: 600Ω $10\text{ k}\Omega$
出力インピーダンス	: 8Ω
電 力 増 幅 度	: 64 dB
出 力	: 42 dBm (ひずみ率 1% 以下)
電 源	: AC 100 V 30 VA
重 量	: 3.2 kg
(3) スピーカー装置	
キャビネット	: 完全密閉形
方 式	: 2ウェイ方式
クロスオーバー周波数	: $2,000\text{ Hz}$
インピーダンス	: 8Ω
出力音圧レベル	: 100 dB (50 cm)
出力音圧周波数特性	: $100\sim 15,000\text{ Hz}$ ($\pm 5\text{ dB}$)
許 容 入 力	: 15 W
ひ ず み 率	: 5% 以下 (入力 10 W)
重 量	: 5.7 kg

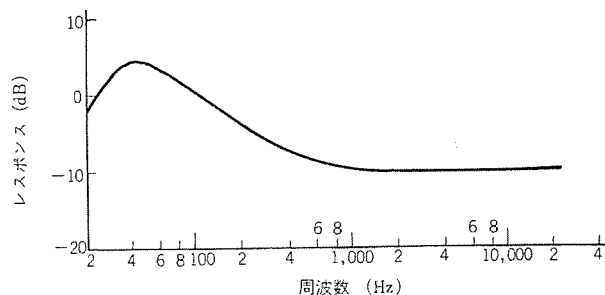


図 5.1 MA-151 形 増幅器の伝送周波数特性
Transmission frequency characteristic of MA-151 amplifier.

とするため、増幅器の低域において、周波数レスポンスを持ち上げて、スピーカーのレスポンスの低下を補っている。

この様子は図 5.1 の周波数—レスポンスカーブに示されているとおりである。しかし、このようにした場合は、低域で許容入力低下することになり、低域における許容入力を定格入力とすれば、逆に中域以上ではパワーが不足することになる。したがって大きなパワーアンプが必要となる。本機はこの点から、増幅器出力を 15 W としている。そのほか、ひずみ S/N については、BTS 規格の諸値を十分に満足するよう設計されている。

5.3 保 修

信頼性のある程度高めても、誤操作などの原因によって、増幅器が破損することもあり、保修も必要となるが、この場合に問題となるのは、何年間サービス部品を保存するかということと、修理後の性能をどの程度保証するかということである。

期間については、民生機は、部品によって多少長短はあるものの、性能部品で保存期間 7 年間のサービス期間をもっている。モニタアンプの場合には、使用ひん度と使用条件あるいは延使用時間の関係から 5 年ぐらいを想定している。民生機に比べて若干短期間となっているが、民生機の場合は、修理に、たとえば代替えのトランジスタを使用したりすることができる。モニタの場合には、原則として、客先へ提出した図面どおりの部品を使用しなければならない。よくあることであるが、このサービス期間中にトランジスタが製造中止になることもあり、代替えのトランジスタで性能を全面的に再検討することになる。

性能保証については、民生機の場合、修理後の性能の測定まではできない場合が多いが、モニタ用の場合は、修理後も適用規格を満足するよう調整・測定を行なう必要があり、とくにトランジスタの交換による修理など、修理前後のデータの差異にまで留意する必要がある。

6. 仕様および用途

この AS-2051 形 音声 モニタシステムの仕様は表 5.1 に示すように、

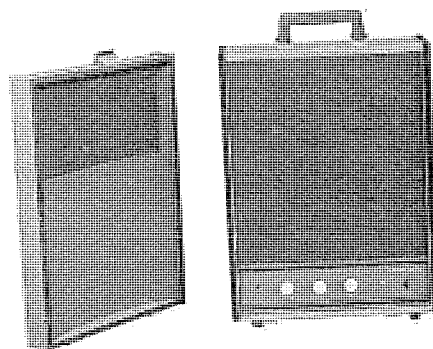


図 6.1 AS-2051 B 形 音声 モニタシステム
AS-2051 B voice monitor system.

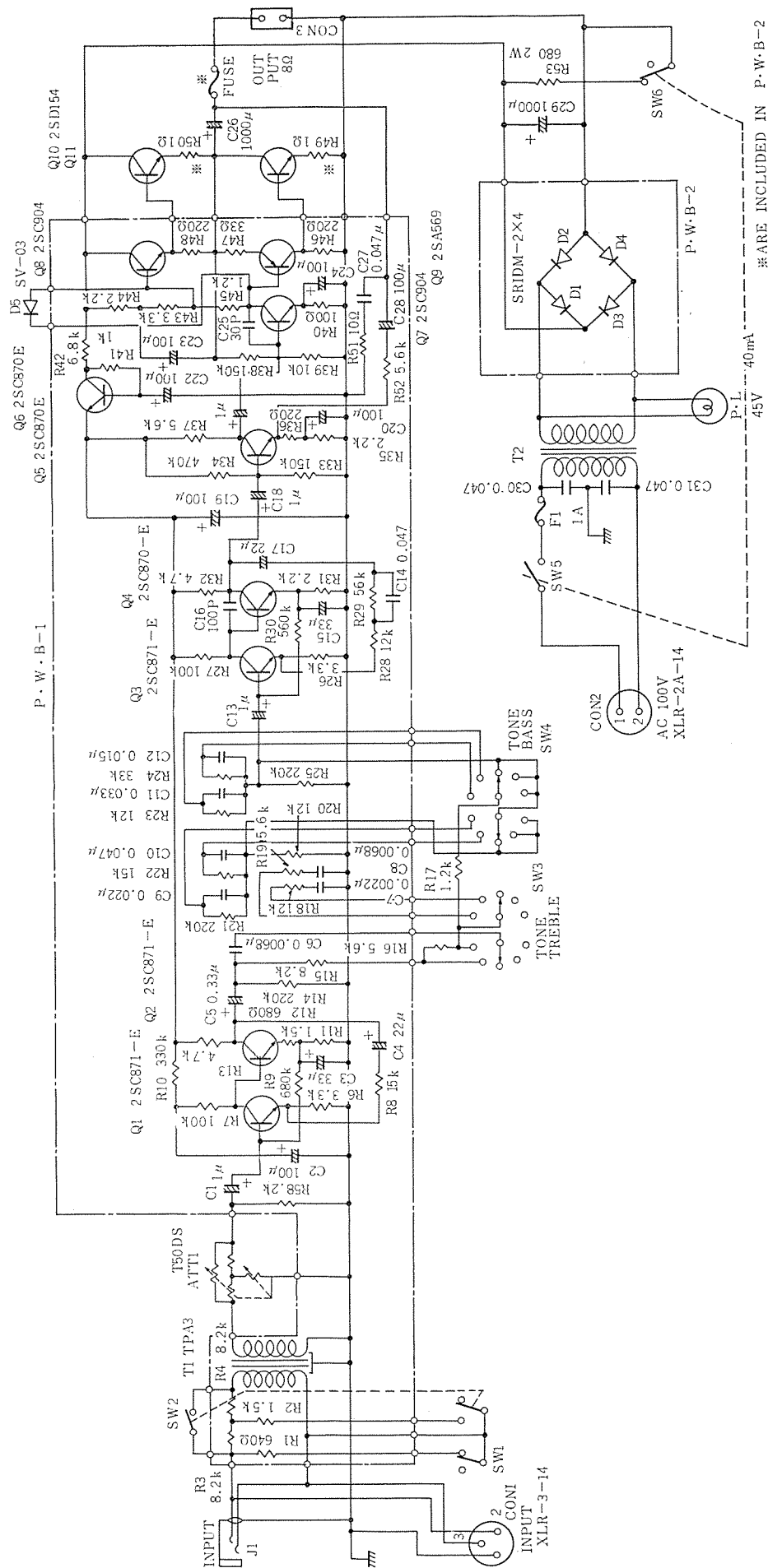


図 6.4 MA-151 形 増幅器結線

Wiring diagram of MA-151 amplifier.

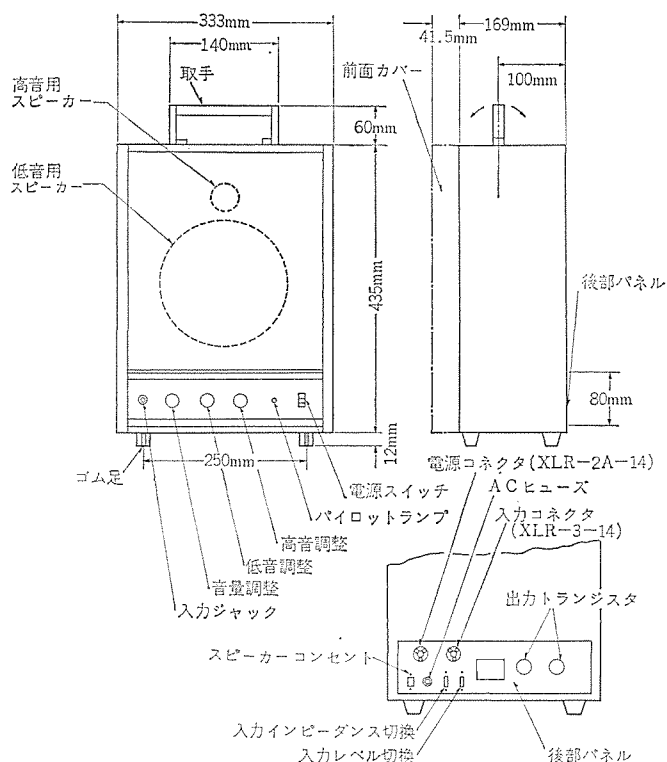


図 6.2 AS-2051 B 形音声 モニタシステム 外観寸法
Outline dimensions of AS-2051 B voice monitor system.

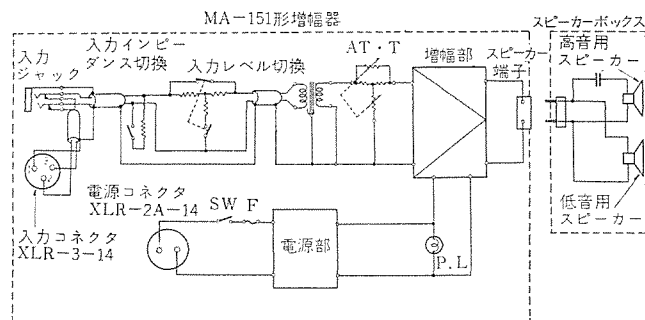


図 6.3 AS-2051 B 形音声 モニタ装置 ブロックダイアグラム
Block diagram of AS-2051 B voice monitor.

モニタ業務に便利なような仕様になっている。

用途については、

- (1) 放送局内の簡易モニタ、野球中継・劇場中継のモニタ無線車、地方局モニタ、送信所モニタ、中継局モニタ
- (2) レコード会社などのモニタ用

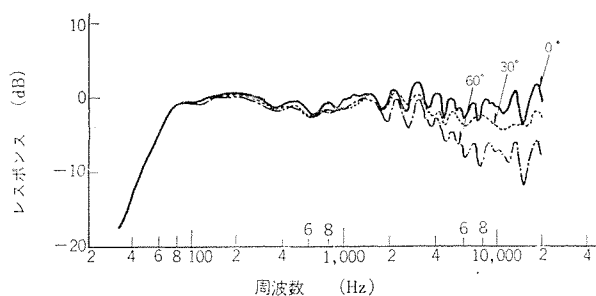


図 6.5 AS-2051 B 形音声 モニタシステム の出力音圧周波数特性
Output frequency characteristic of AS-2051 B voice monitor system.

- (3) 放送機器メーカーのモニタ用
- (4) 学校放送局・音楽図書館
- (5) 映画会社のモニタ用
- (6) 高級楽器店やレコード販売店の選曲用
- (7) 小人数での音楽鑑賞用

などあらゆる方面で使用できる。

図 6.1 に外観、図 6.2 に寸法、図 6.3 にブロックダイアグラム、図 6.4 に MA-151 形増幅器の結線、図 6.5 に増幅器とスピーカーを総合した出力音圧特性を示す。

7. む す び

ここに述べた可搬形音声モニタシステムは、昭和39年7月、株式会社毎日放送の協力のもとに開発に着手し、昭和41年10月、AS-2051 形音声モニタシステムとして発売を開始した。

その後、デザイン・性能面に改良検討を重ね、昭和43年12月に AS-2051 B 形として改良形を出し、現在に至っている。

改良箇所についておもなものを簡単に述べると、デザイン面については、以前は、ハンドルが横についていたが改良品は上につけ機能的なデザインにしたこと、音質面については、音のバランスを若干変えたこと、低音域のひずみを改善したこと、増幅器については、ゲルマニウムからシリコントランジスタに変え、信頼性を高めるとともに出力を大きくしたことなどである。

このような可搬形音声モニタシステムの技術は、一般ハイファイ再生用のコンポーネントにも生かされつつある。

終りに、開発にあたり多大なご指導をいただいた、株式会社毎日放送 佐伯部長、松田職員、ならびにその後の改良に際し、いろいろと貴重なお見解をお寄せいただいた NHK のかたがたに深く感謝いたします。

16cm 単一コーン形 高忠実度スピーカー (P-610A 形)

進藤 武男*・佐伯 多門*・興野 登*

Model P-610 A Single Cone Type High Fidelity Loudspeakers

Koriyama Works Takeo SHINDO・Tamon SAEKI・Noboru KYOUNO

High fidelity loudspeakers with an aperture of 16 cm in diam, which have been favorably commented for these 25 years, have undergone the changes of their models in such way as P-62 F, P-65 F, P-60 F and P-610 A. However, the principle of the basic design has been carried through except appropriate improvements from time to time.

This article is a summary of report on the technical information made available through the long study of the products, aiming at satisfactory application of them by ever increasing users. The changes of the design to P-610 A and information of the speaker cabinet accumulated for many years are the central topics of the description.

1. ま え が き

最近の高忠実度再生用スピーカーは複合形が大半を占めているが、わが国におけるスピーカーの発展史をみると、その根底に脈々と流れているのが、通称“ロクハン”と呼ばれる口径16cm(6 1/2 インチ)スピーカーであって、流行のはげしい移り変わりの中で根強い需要があるスピーカーである。

これは、需要者からみて、古くは真空管式のラジオ時代のスピーカーや、テレビ用のスピーカーとしてキャビネットにうまく適合した大きさであり、自作するスピーカーシステムとしても容積、大きさ、および取扱いが容易で、価格面でも気軽に購入できるといった点で、一番使いやすいためである。したがって、オーディオファンの底辺ともいえるオーディオ入門者層に愛用者が多いが、一方ではオーディオマニアとしてオーディオ遍歴をしたベテランの中にもサブシステムとして愛用されるなど、幅広い階層で使用されている。

また、設計からみても、全帯域再生を行なうスピーカーとして要求される低音再生としての条件と、高音再生としての条件との両方をお互い兼ねそなえた中庸の良さをもっており、指向性と音質の関係からみてもバランスのとれた口径であるといえる。

こうした中で、当社のP-610A形スピーカーは、市場の16cmスピーカーの代表的製品として高い評価⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾を得ている製品である。それはダイナトンスピーカー誕生の昭和22年から今日までの25年間の長期にわたり、一製品を根強く改良してきたためであり、今日なお高忠実度スピーカーとして存続していることは、一つの珍しい事例といえる。

本文は、この16cmスピーカーの長期にわたる製品検討の中から、ますます増加する需要者に満足して活用いただくための技術的資料としてまとめたもので、P-610A形スピーカーに至る設計の推移と長期間集積された収容キャビネット資料を中心に述べる。

2. 設計の推移

戦後の混乱時、昭和22年に一般家庭の娯楽用としてラジオが求められていたが、当時のラジオ受信機は音が悪かったため、当社では少しでも良い音にしようということで、NHK技術研究所の指導のもとに、この16cm高忠実度スピーカーの開発が始まった。

当時は78rpmのSP盤のレコード再生は、性能的に6,000Hzがや

っとといった時期であったが、NHKの放送番組はそれ以上の良質の音で放送しており、ラジオ受信機の良質聴取と、放送業務に使用するモニタスピーカーとして、再生周波数帯域幅80~15,000Hzという今日の高忠実度再生と変わらない高い目標をかかげ、これに挑戦した。このため従来の問題点を検討し、高忠実度再生にふさわしくないフィールドコイル形の励磁方式をやめ、安定した空げき(隙)磁束密度が得られるパーマネントマグネット形にした。また振動板の周辺支持の問題として“中音の谷”があったが、これを防ぐためにフリーエッジ形とし、これによって生ずる横ブレの問題はセンタダンパをやめてアウトサイドダンパにすることを基本にした。一方、高音域に重点をおいて、振動板に多重コルゲーションを設け、作為的に複数の共振モードを作って高音限界を伸ばす「整合共振形」と呼ばれる振動板を採用することとし、これら4項目を基本方針に表2.1に示すようにP-62F形スピーカーにはじまりP-65F形、P-60F形、そしてP-610形と設計改良がなされ、設計者も次々と受け継がれたが、このスピーカーの設計の基本的条件は変わることなく貫かれてきている。

2.1 振動板

このスピーカーの重要部品である振動板の設計は、NHK技術研究所の開発になるコルゲーション付きパラカーブコーンで、図2.5に示すようにコルゲーションは5カ所設け、それぞれのステイフネスを変えるた

表 2.1 16cm 高忠実度スピーカーの設計推移
History of 16 cm high fidelity speaker design.

形 名	P-62 F	P-65 F	P-60 F	P-610
開 発 年 月	昭和22年	昭和25年	昭和29年	昭和33年
特 長	OP磁石使用 NHKの放送 モニタに採用	MK磁石使用 の内磁形となる NHKの放送 モニタに採用	フレームはダイ キャストより金 属プレスに変更	P-610 A (昭和35年) P-610 B (昭和42年) P-610 M (昭和46年) が誕生
口 径	16 cm	16 cm	16 cm	16 cm
方 式	パーマネント形 フリーエッジ	パーマネント形 フリーエッジ	パーマネント形 フリーエッジ	パーマネント形 フリーエッジ
許 容 入 力	2.5 W	2.5 W	3 W	3 W
ボイスコイル インピーダンス	5.5 Ω	5.5 Ω	6 Ω	6 Ω
低域共振周波数	80 Hz 以下	80 Hz 以下	60~80 Hz	80±8 Hz
再生周波数帯域	—	—	70~10,000 Hz	80~13,000 Hz
構 造 寸 法	図 2.2	図 2.3	図 2.4	図 2.5

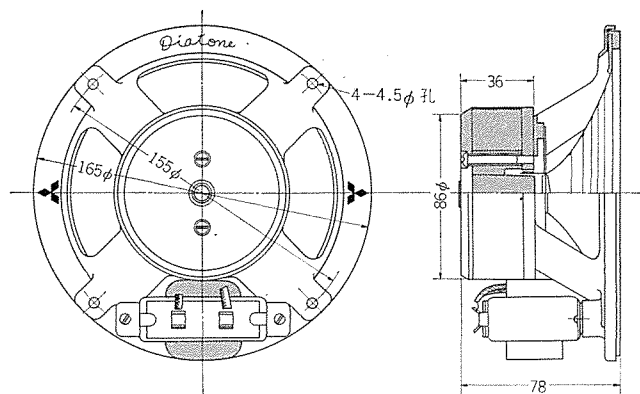


図 2.1 P-62F 形スピーカー構造寸法
Constructional dimensions of model P-62F speaker.

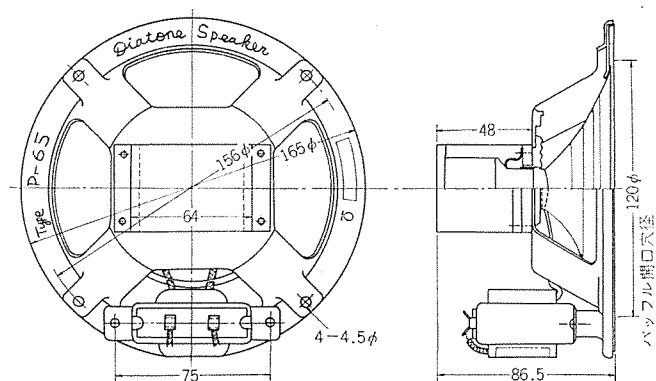


図 2.2 P-65F 形スピーカー構造寸法
Constructional dimensions of model P-65F speaker.

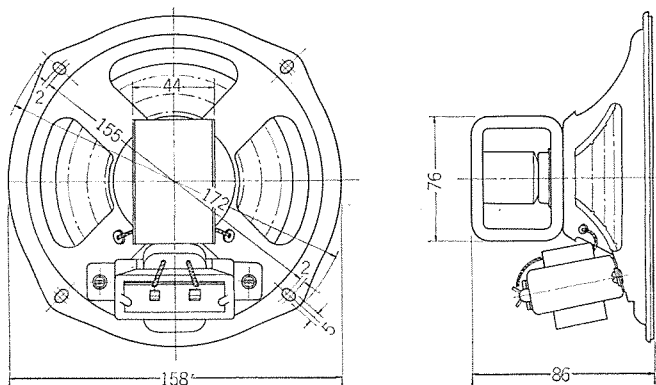


図 2.3 P-60F 形スピーカー構造寸法
Constructional dimensions of model P-60F speaker.

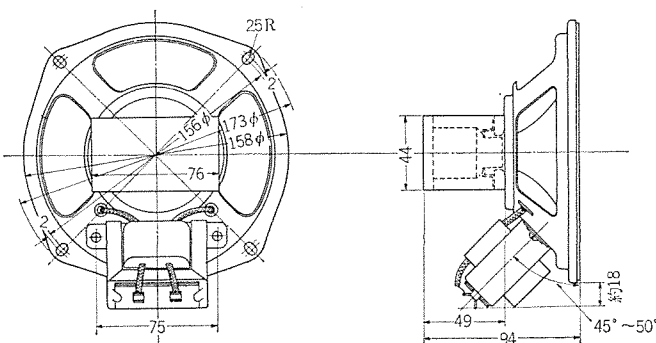


図 2.4 P-610 形スピーカー構造寸法
Constructional dimensions of model P-610 speaker.

め形状が違っている。P-62F 形から P-65F 形への改良時点では振動板はそのまま受け継がれたが、P-60F 形ではボイスコイルインピーダンスを 6Ω とするため直径を大きくしたことでコーンの曲率を変更し(図 2.6)、これにともないコルゲーションの位置、形状を変更した。

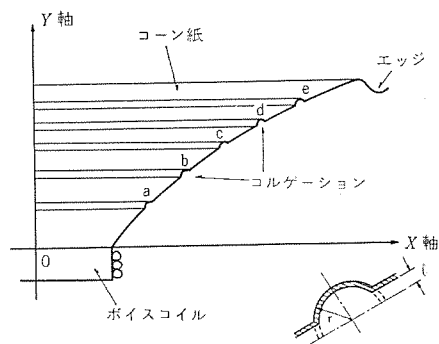


図 2.5 コーンコルゲーション位置与设计の推移
Changed positions of corrugation in the design.

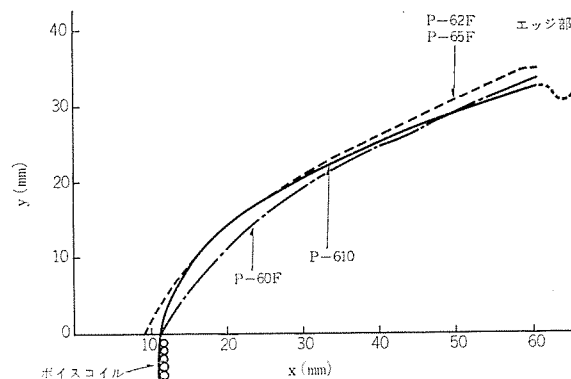


図 2.6 コーン形状の推移
Changes of shape of cone.

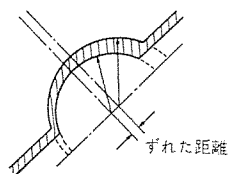


図 2.7 金型のズレた場合
When a metal pattern shifted.

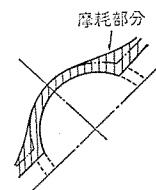


図 2.8 金型が摩耗した場合
When a metal pattern worn out.

ちょうど当社では昭和 28 年にスピーカー測定用の本格的な無響室や自動記録装置などが完備したため、長期間の管理データが集積されて分析され、コーン紙のコルゲーションが図 2.7 に示すような金型のズレによって変形され特性のパラツキを生じることや、図 2.8 に示す金型の摩耗によって生じるコルゲーションのステイフネス変化などが発見でき、安定した製品を作るためにはコルゲーションの形状を図 2.9 のように片側だけのものにし、P-610 形ではこれを採用した。

また、振動板の材質は図 2.10 から図 2.12 に示すように、サルファイトパルプにみつまたやこうぞを混入したすき(漉)上げコーンで、

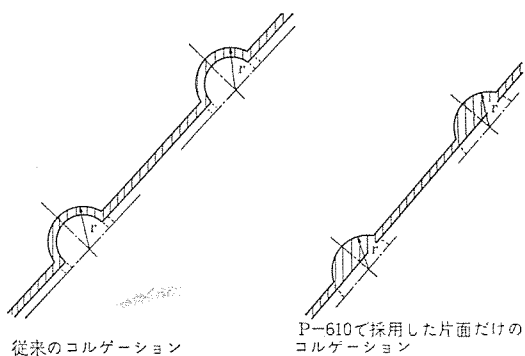


図 2.9 コルゲーション形状の推移
Changes of corrugation shape.



図 2.10 P-62F 用コーン材料 (100 倍×1/2)
Material of P-62F cone paper (magnified 100×1/2 times).



図 2.11 P-65F 用コーン材料 (100 倍×1/2)
Material of P-65F cone paper (magnified 100×1/2 times).



図 2.12 P-60F, P-610 用コーン材料 (100 倍×1/2)
Material of P-60F and P-610 cone paper
(magnified 100×1/2 times).

エッジ構造寸法	適用スピーカー
	P-62F形
	P-65F形 P-60F形
	P-610形

図 2.13 エッジ形状の推移
Changes of edge.

ホットプレス加工仕上となっている。

一方、スピーカー振動板の振動状態の観測も進められ「整合共振形」コーンの動作の確認や改良研究を進めた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

次に振動板周辺のエッジは、図 2.13 に示すような形状で推移した。特に材料の皮革が入手困難となったことと、能率向上のためにエッジの質量の軽減を計り、ウレタンフォームを採用した。これは、振動板の音響終端としてのマッチングと、低音域での機械的直線性、および材料の通気性によるコーン前面と背面との相殺量の軽減などを考慮しての処置である。

2.2 ダンパ

フリーエッジ形スピーカーでは、振動系のステイフネスの大部分がダンパにあるため、初期の P-62F 形では、ダンパの形状に起因するステイフネスのばらつきが低域共振周波数のばらつきを大きくした。一方、吸湿によって生じるダンパの変形のため、クイックモーションやボイスコイルの磁極への接触などの不良があった。このため、材質・構造の改良を進めるとともに、駆動力に対する機械的直線性を広げる方向に推移した (図 2.14 から図 2.17)。

2.3 磁気回路

最初の設計からパーマントマグネット形で進められたのは、OP 磁石 (酸化金属磁石 $BH_{MAX}=1.3 \times 10^{-6}$ ガウス・エルステッド) を当社で製造していたためで、これを使用した P-62F 形スピーカーは空けき (隙) 磁束密度 8,500 ガウスを得、当時としては画期的な磁気回路であった。しかし時が移り、鑄造磁石があらわれ、MK-5 形に比較するとき、性能が悪く、磁極に粉末が付着しやすいなどの欠点が問題になったので、MK-5 形磁石を使って空けき磁束密度 9,500 ガウスの内磁形磁気回路にし、これを P-65F 形に採用した (図 2.18 および図 2.19)。

P-60F 形では、この P-65F の磁気回路を受継いで大幅な変更は

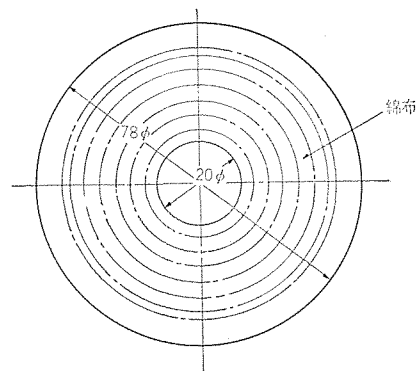


図 2.17 P-610用ダンパ
Damper for P-610.

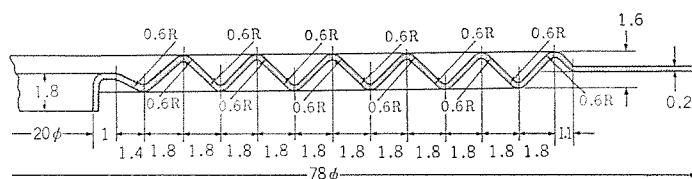


図 2.18 P-62F 用磁気回路
Magnetic circuit for P-62F.

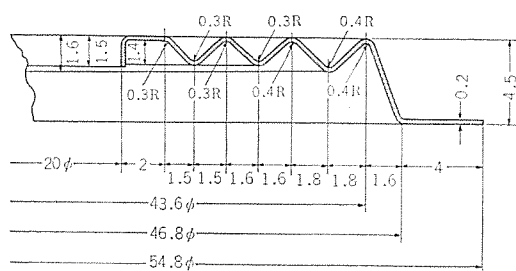
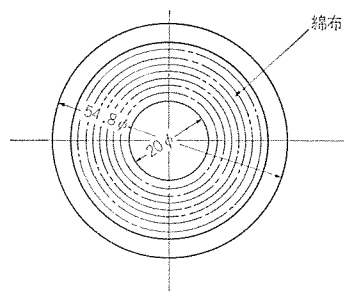
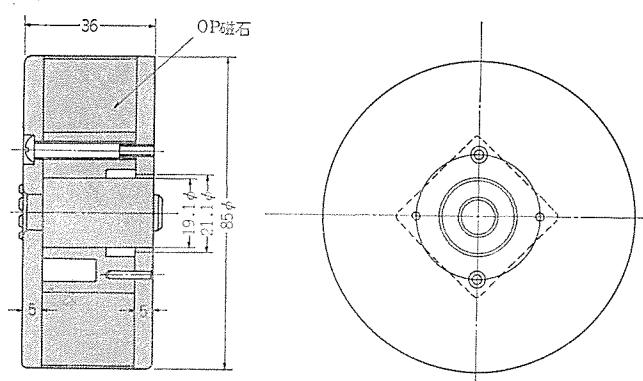


図 2.19 P-65 F 用磁気回路
Magnetic circuit for P-65 F.

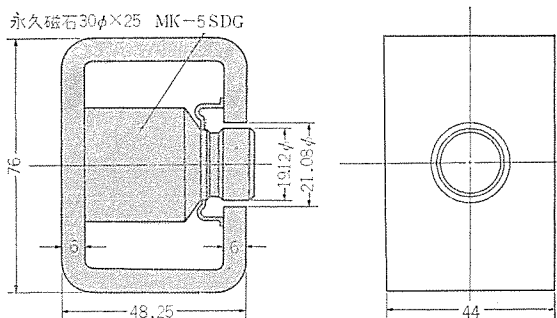
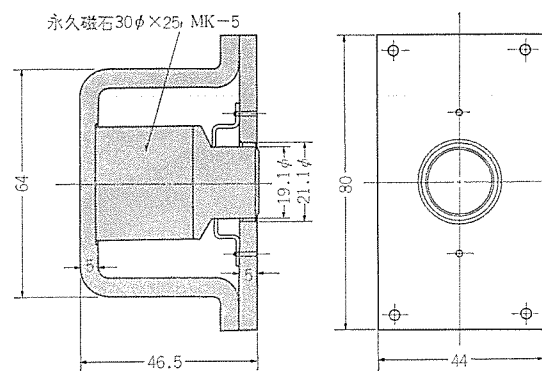


図 2.20 P-60 F 用磁気回路
Magnetic circuit for P-60 F.

空げき磁極に使われる中心極は図 2.22 のように形状、材質で二

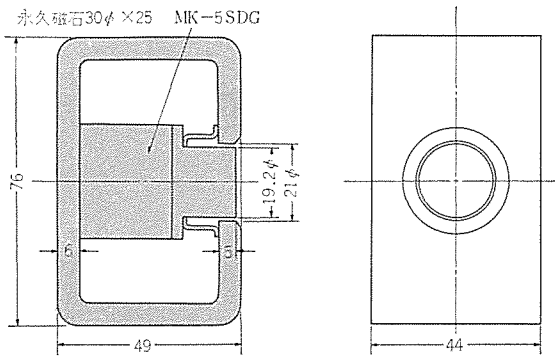


図 2.21 P-610 用磁気回路
Magnetic circuit for P-610.

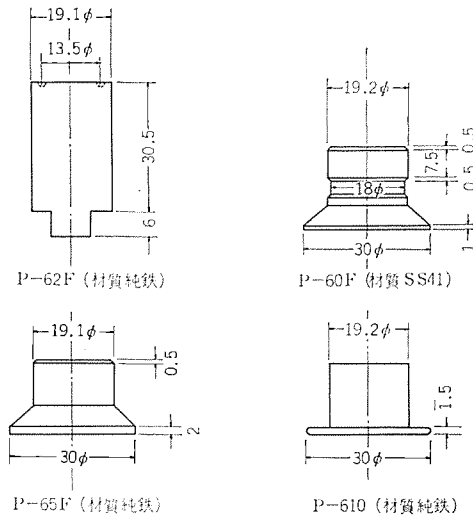


図 2.22 中心極の推移
Changes of center pole.

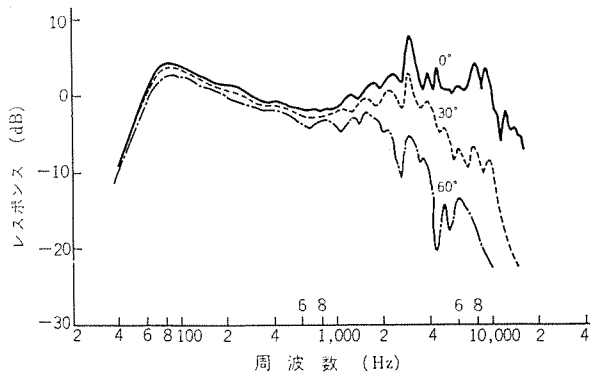


図 2.23 P-62F 形スピーカーの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of P-62F speaker.

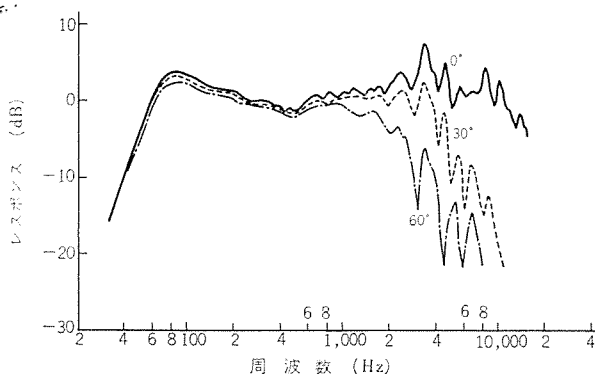


図 2.24 P-65F 形スピーカーの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of P-65F speaker.

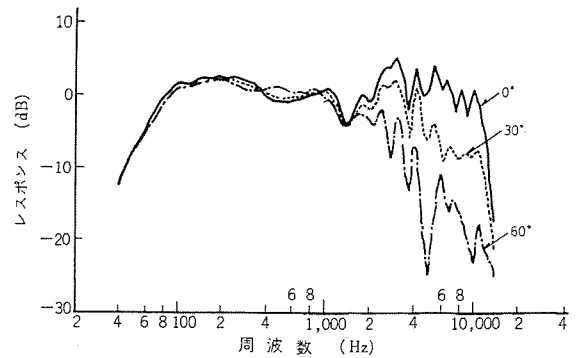


図 2.25 P-60F 形スピーカーの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of P-60F speaker.

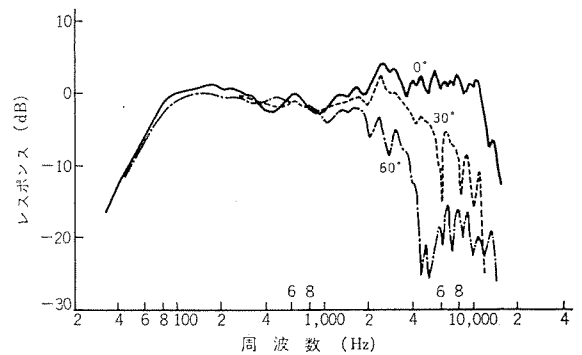


図 2.26 P-610 形スピーカーの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of P-610 speaker.

転している。これは磁極の磁束分布のバランスを考慮し⁽⁶⁾、首に段を付けていたが、中心極の飽和磁束密度から考えると良くないことがわかり⁽⁷⁾、P-610 形ではふたたび省略した。

2.4 周波数特性

再生周波数特性からみた特性の推移は、図 2.23 から図 2.26 のように、主として磁気回路の空けき磁束密度の増加にともなう変化と、振動系の質量の軽減などが顕著に示されている。

3. P-610 A 形スピーカー

現在広く使用されている P-610 A 形スピーカーは、既述のような推移で改良されてきたが、全体としては、次のような考えのもとにまとめ上げている。

3.1 設計ポイント

このスピーカーは、昭和 33 年設定された放送技術規格 BTS-6121 を満足する業務用スピーカーとして完成したもので、ちょうど FM 放送の開始やステレオレコードの出現など、オーディオ界の変化のはげしい時期であったが、ダイヤトンスピーカーの機種系列および用途を重点に、新しく次のような点を改良の設計ポイントとしてきびしく見直した。

- (1) 無ひずみ最大出力音圧レベル 97 dB/m を目標とする (図 3.1)。
- (2) 振動系の等価的 Q_0 を 0.8 に選び、密閉形や位相反転形のキャビネットのいずれにも適合しやすくする。
- (3) 使い勝手の良いように能率を高くする。
- (4) BTS-6121 を満足させる。

そして、昭和 33 年 P-610 形スピーカーは完成し、BTS 規格のボイスコイルインピーダンス規格値が、6 Ω から 16 Ω に訂正されるとともに、P-610 A 形が昭和 35 年誕生した。

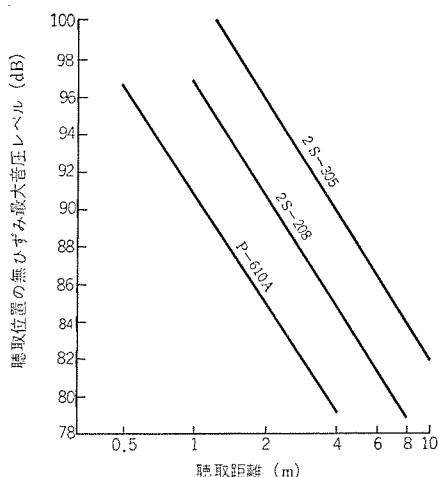


図 3.1 無ひずみ最大音圧レベルと聴取距離との関係
Relation between the distortionless maximum sound pressure level and listening distance.

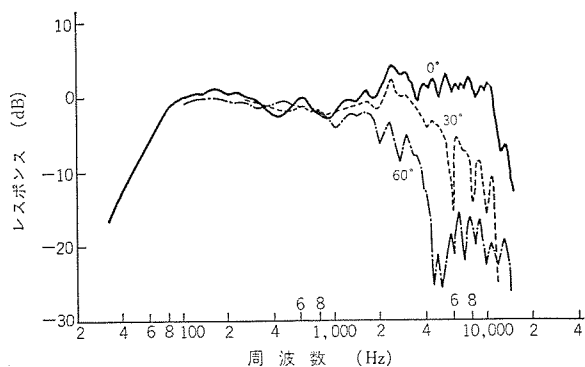


図 3.2 P-610 A 形スピーカーの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of P-610 A speaker.

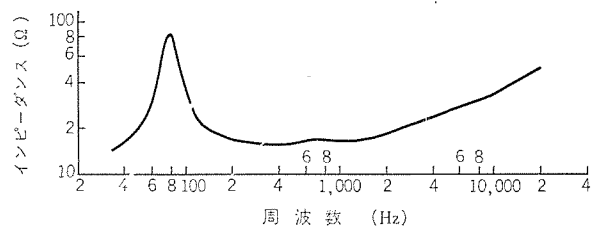


図 3.3 P-610 A 形スピーカーの電気インピーダンス周波数特性
Electric impedance frequency characteristics of P-610 speaker.

3.2 性能

P-610 A 形スピーカーの出力音圧周波数特性をはじめ、各種の性能を図 3.2 から図 3.6 に示した。

また、このスピーカーの諸定値は次のとおりである。

呼称口径	16 cm
NHK 指定名称	U 16
有効振動半径	6.5 cm
振動系の等価的 Q_0	0.8
振動系の等価質量	6.5 g
振動系の等価ステイフネス	1.64×10^6 dyne/cm
低域共振周波数	80 Hz
電気音響変換能率	1 %
平均出力音圧レベル	92 dB/m
有効空げき磁界エネルギー	3×10^7 エルグ
コーン紙の材質	サルファイトパルプ、みつまた
コーンの静質量	2.2 g

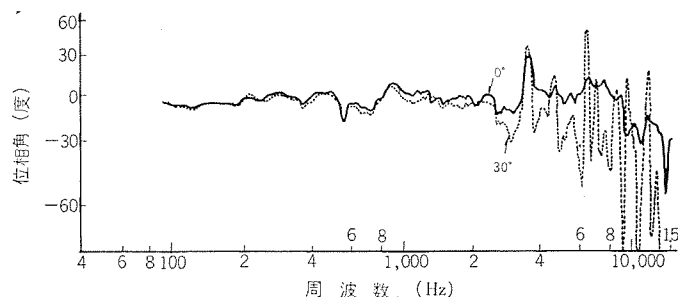


図 3.4 P-610 A 形スピーカーの位相角周波数特性
Phase angle frequency characteristics of P-610 A speaker.

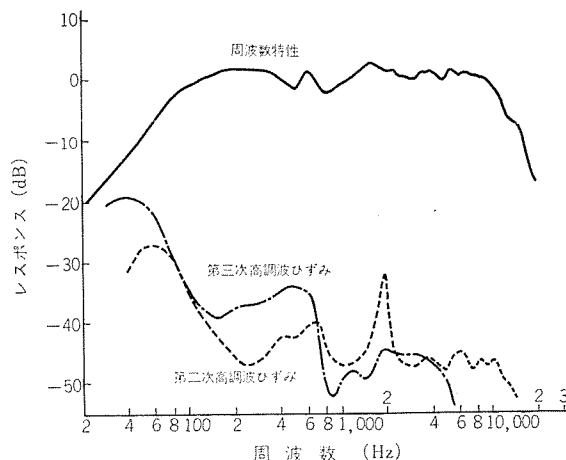


図 3.5 P-610 B 形スピーカーの調波別ひずみ率周波数特性
Distortion factor frequency characteristics of P-610 speaker classified with harmonics.

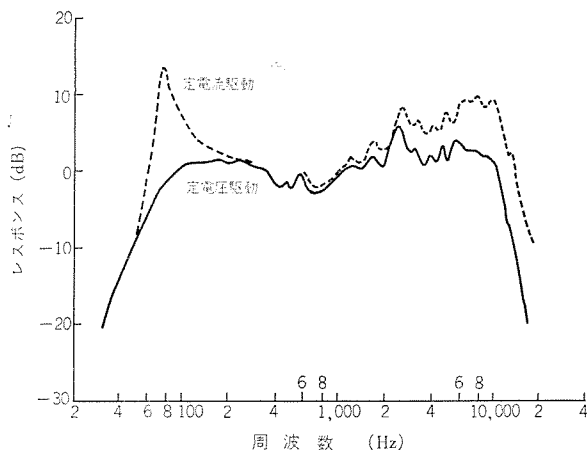


図 3.6 定電圧駆動および定電流駆動における P-610 A 形スピーカーの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of P-610 A speaker in constant voltage driving and constant current driving.

半項角	29 度
ボイスコイルの静質量	0.78 g
ボイスコイルの導体直径	0.011 cmφ
ボイスコイルの直流抵抗	15 Ω
ボイスコイルインピーダンス	16 Ω
ボイスコイルの巻幅	0.86 cm
磁気回路形状	内磁形 (図 2.22 参照)
永久磁石の直径	3.0 cmφ
永久磁石の長さ	2.5 cm
ポール径	1.92 cmφ
プレート厚さ	0.5 cm

表 3.1 現在の P-610 系スピーカーの種類
Kind of present P-610 group speakers.

	P-610 A	P-610 AT	P-610 AJ	P-610 B	P-610M
特 長	BTS 規格品 BTS-6121	BTS 規格品 トランス付き (600Ω)	JIS 規格品	一般市販用	ディファレンシャルスピーカー (2組のボイスコイルをもつ)
口 径	16 cm	BTS 規格品 トランス付き (600Ω)	JIS 規格品	一般市販用	ディファレンシャルスピーカー (2組のボイスコイルをもつ)
許 容 入 力	3 W	BTS 規格品 トランス付き (600Ω)	JIS 規格品	一般市販用	VC 1, VC 2, 1.5 W 並列駆動 3 W
公称インピーダンス	16 Ω	16 Ω	16 Ω	8 Ω	VC 1, VC 2, 16 Ω 並列駆動 8 Ω
再生周波数帯域	80~13,000 Hz	16 Ω	16 Ω	8 Ω	80~13,000 Hz (並列)
定格出力音圧レベル	92 dB/m	16 Ω	16 Ω	8 Ω	90 dB/m (並列)
低域共振周波数	80 Hz	16 Ω	16 Ω	8 Ω	90 dB/m (並列)
有効振動半径	6.5 cm	16 Ω	16 Ω	8 Ω	90 dB/m
振動系等価質量	6.5 g	16 Ω	16 Ω	8 Ω	90 dB/m
振動系の等価的 Q	0.8	16 Ω	16 Ω	8 Ω	90 dB/m (並列)
ボイスコイル直径	19.6 mmφ	16 Ω	16 Ω	8 Ω	90 dB/m
磁極空けきの磁束密度	11,000 gauss	16 Ω	16 Ω	8 Ω	12,000 gauss
総 磁 束	8.5×10^4 maxwell	16 Ω	16 Ω	8 Ω	12,000 gauss
永 久 磁 束	MK-5 S-DG 30φ-25	16 Ω	16 Ω	8 Ω	12,000 gauss
ポール材質	純 鉄	16 Ω	16 Ω	8 Ω	12,000 gauss
総 重 量	0.75 kg	16 Ω	16 Ω	8 Ω	12,000 gauss

磁極空けきの長さ 0.09 cm
磁極空けきの断面積 3.15 cm²
磁極空けきの磁束密度 11,000 ガウス
総磁束 8.5×10^4 マックスウェル

3.3 種 類

この P-610 A 形スピーカーは、上記諸定値を基本に表 3.1 に示すような機種があり、目的に応じた使い分けができる。

4. 収容キャビネットとその特性

P-610 A 形スピーカーの性能を十分に発揮するための収容キャビネットとしては、一般に密閉形と位相反転形があり、この両者はそれぞれ特長をもっているため使用する上で優劣をつけたい点があるが、このスピーカーに関しての一つの目安としては、密閉形キャビネットを採用した場合、基準容積程度であれば特性傾向からみた音のバランスが良く、位相反転キャビネットを採用した場合ひずみ特性の改善があるといえる。

また、スピーカー取付面の形状によって特性傾向は著しく変化する。図 4.1 は、大形パッフル板と球形キャビネットの典型的なものであるが、低音域から中音域で差が大きい。

4.1 密閉形キャビネット

密閉形キャビネット容積 V_C は

$$V_C = 3.5 \times 10^5 \cdot \frac{a^4}{m_0 \cdot (f_r^2 - f_0^2)} (\text{cm}^3)$$

ただし a : 有効振動半径 (cm)

m_0 : 振動系の等価質量 (g)

f_0 : スピーカー自身の低域共振周波数 (Hz)

f_r : キャビネットに取付け時の低域共振周波数 (Hz)

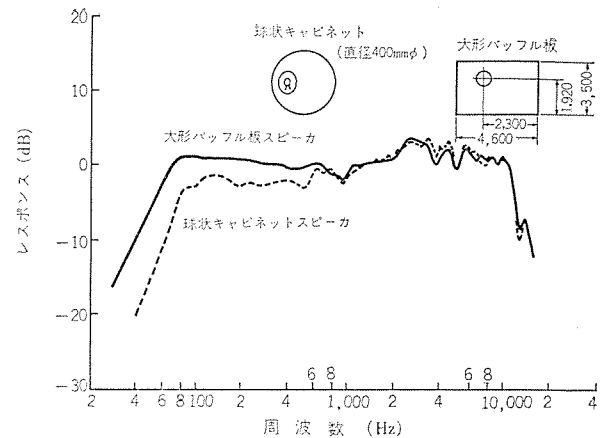


図 4.1 大形パッフル板スピーカーと球状キャビネットスピーカーの出力音圧周波数特性

Output sound pressure frequency characteristics of large baffle board speaker and spherical cabinet speaker.

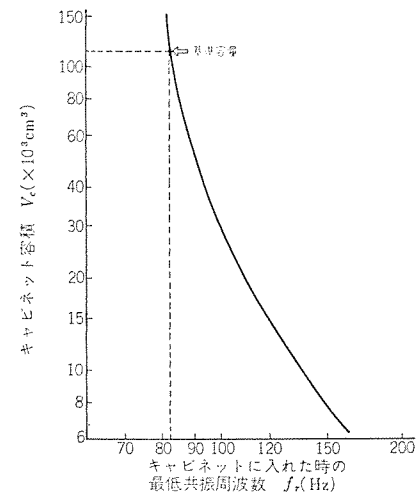


図 4.2 P-610 形スピーカーの V_C と f_r の関係
Relation between V_C and f_r of P-610 speaker.

の関係があり、 V_C と f_r のパラメータを作ると図 4.2 のように基準容積を目標とした任意の容積の密閉形キャビネットを選定できる。

4.1.1 R-16 形スピーカー

このキャビネットは BTS-6131 に規定された放送業務の一般聴取用として使われるもので、主として局内モニタと呼ばれ、ロビーや事務室などに設置し、放送中のプログラムソースを流す役目に使われる。この構造寸法を図 4.3 に、特性を図 4.4 に示す。

4.1.2 RS-16 形スピーカー

このキャビネットも R-16 形と同様、BTS-6131 に規定された放送業務の一般聴取用として使われるが、主としてテープレコーダの録音、再生時の検聴用に使われる。図 4.5 は旧形、図 4.6 は新形の構造寸法を示し、図 4.7 に特性を示す。

4.2 位相反転形キャビネット

P-610 A 用位相反転キャビネットは、 $Q_0=0.8$ という条件のため、特殊なものを作らず指定キャビネットに限定して使用することが望ましく、このキャビネットは反共振周波数をスピーカーの共振周波数より 30~40% 低い所に設定し、低音域の伸びよりもひずみ改善を重点にした設計となっている。また、既述のように中低音域の傾向がキャビネット形状に支配されるので、2種類の指定品を作った。

一つの指定品は、図 4.8 に示すように 2S-305 形や 2S-208 形と

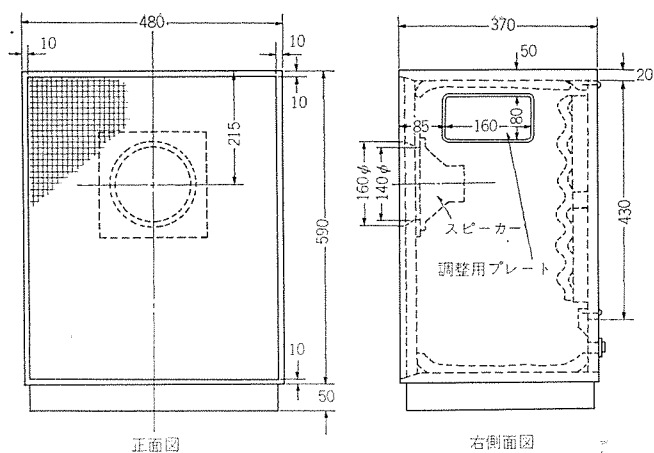


図 4.3 R-16 形スピーカー構造寸法
Constructional dimensions of R-16 speaker.

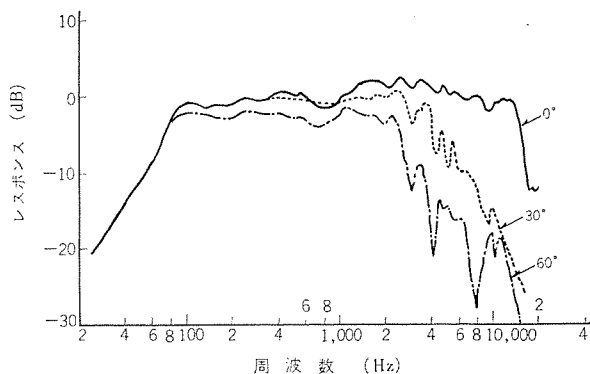


図 4.4 R-16 形スピーカーシステムの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of R-16 speaker system.

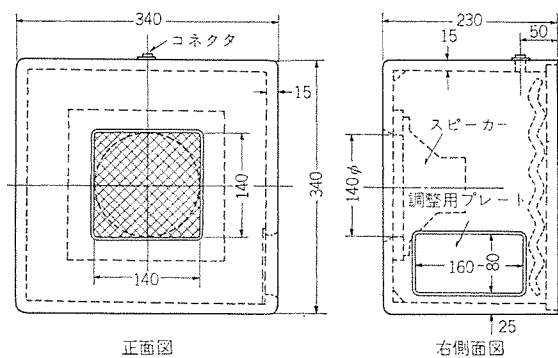


図 4.5 RS-16 形スピーカーシステム構造寸法 (旧形)
Constructional dimensions of RS-16 speaker system (old type).

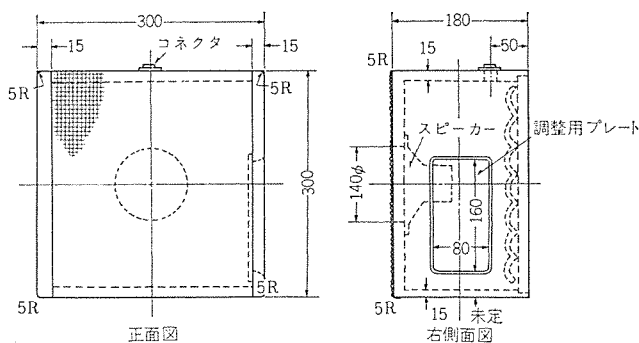


図 4.6 RS-16 形スピーカーシステム構造寸法 (新形)
Constructional dimensions of RS-16 speaker system (new type).

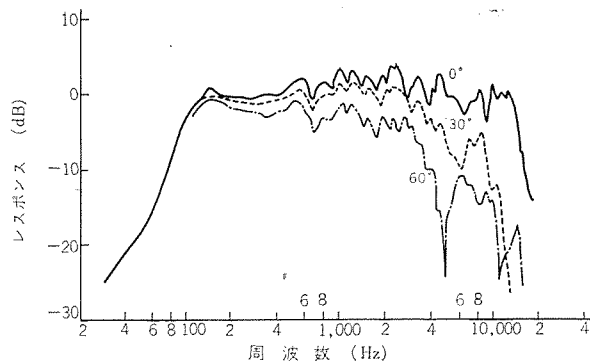


図 4.7 RS-16 形スピーカーシステムの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of RS-16 speaker.

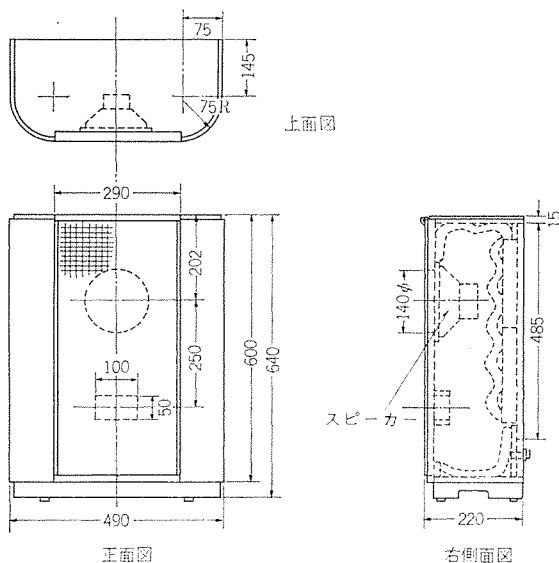


図 4.8 SC-610 形スピーカーシステム構造寸法
Constructional dimensions of SC-610 speaker system.

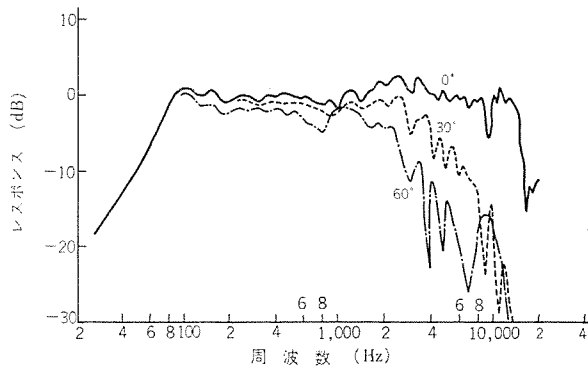


図 4.9 SC-610 形スピーカーシステムの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of SC-610 speaker system.

同一シリーズ品とした形状のもので、100～600 Hz 付近の特性を平らにしている (図 4.9 参照)。

4.3 指向性スピーカー

主として業務用として使われる指向性のシャープなもので、拡声装置におけるハウリング防止や聴取者へのサービスエリアなどの関係から要求度の高いスピーカーである。

主として、テレフオン社の旧特許であったトーンザイル方式が多く使われているが、6～8個使用のトーンザイルは当社独自の技術改良を行ない、ハウリング防止に効果的なサイドロープの発生を極力抑えたスピーカー配列を行なっている⁽⁸⁾。

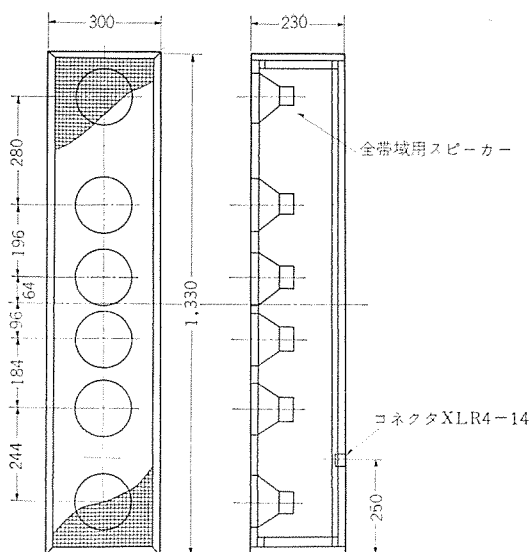


図 4.10 SC-7112 形スピーカーシステム 構造寸法
Constructional dimensions of SC-7112 speaker system

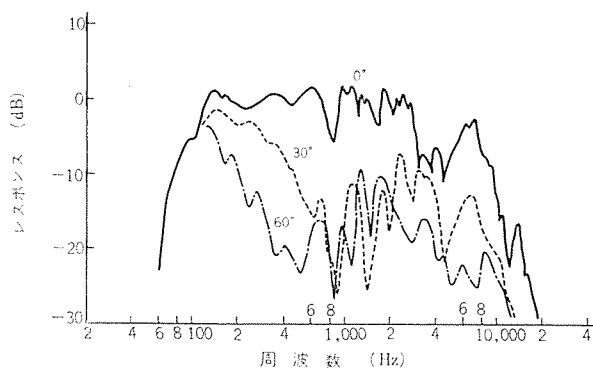


図 4.11 SC-7112 形スピーカーシステムの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of SC-7112 speaker system.

4.3.1 SC-7112 形スピーカー

このスピーカーは、屋内の拡声装置用として使用される6個入りのトーンズレスピーカーである。図 4.10 に示す構造寸法のようにスピーカーをランダムに配置している。

4.3.2 SC-7118 形スピーカー

フロアショーなどのように、客席でマイクロホンを使用する場合の拡声装置では、特定の客席に向けて音出しできるビーム形指向性のスピーカーがハウリング防止の上から要求される。

このスピーカーはこうした目的のため、水平面、垂直面にも指向性の鋭い特性をもっている (図 4.12, 4.13)。スピーカーは図 4.14 のように4個3列の12個使用で、補助的にアッテネータ付きの高音用スピーカーを配置している。

4.4 バッフル板スピーカー

バッフル板は大きいものに取付けた場合、キャビネット形のように回折効果による中音域の特性のみだれが少なく、良い結果が得られるが、背面の音響処理をうまく行なわなければ、実用上室内での再生時には問題が生ずる。既報の⁽⁹⁾ SC-7109 形は、天井取付け用のため正面と背面が完全にしゃ断できるため低音再生がよく、その上回折効果の影響の少ないスピーカーとなっている。

一方、床置形バッフル板スピーカーとして、オーディオマニアの間で一時期流行した8個使用のスピーカー⁽¹⁰⁾は、ワフデル社のSFB/3形のような床置形で⁽¹¹⁾、特性は図 4.17 に示すように中音域の充実した

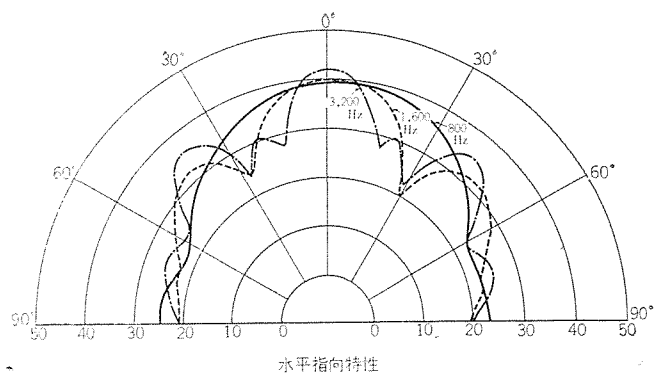


図 4.12 SC-7118 形スピーカーシステムの水平指向周波数特性
Horizontally directional frequency characteristics of SC-7118 speaker system.

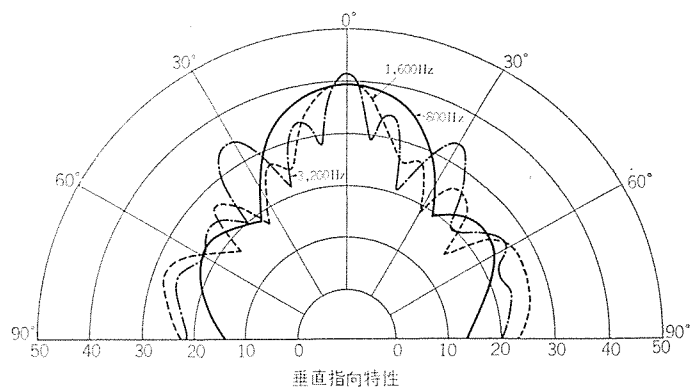


図 4.13 SC-7118 形スピーカーシステムの垂直指向周波数特性
Vertically directional frequency characteristics of SC-7118 speaker system.

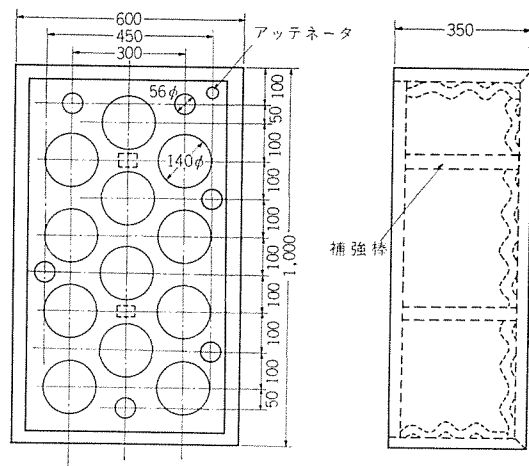


図 4.14 SC-7118 形スピーカーシステム 構造寸法
Constructional dimensions of SC-7118 speaker system.

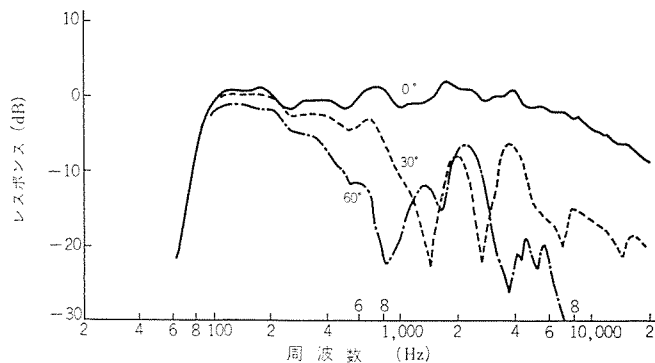


図 4.15 SC-7118 形スピーカーシステムの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of SC-7118 speaker system.

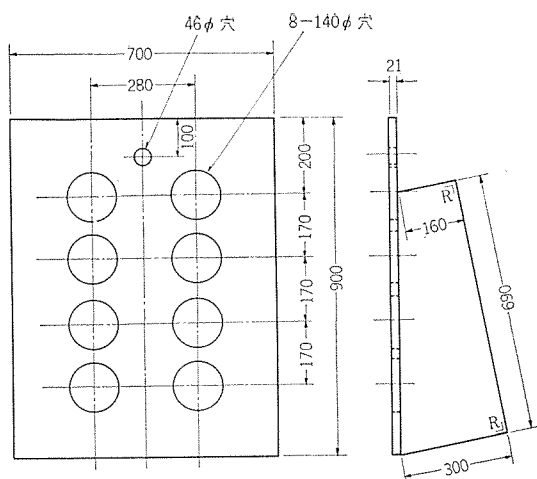


図 4.16 床置形 パツフル 板 スピーカーシステム 構造寸法
Constructional dimensions of floor mounting type baffle board speaker system.

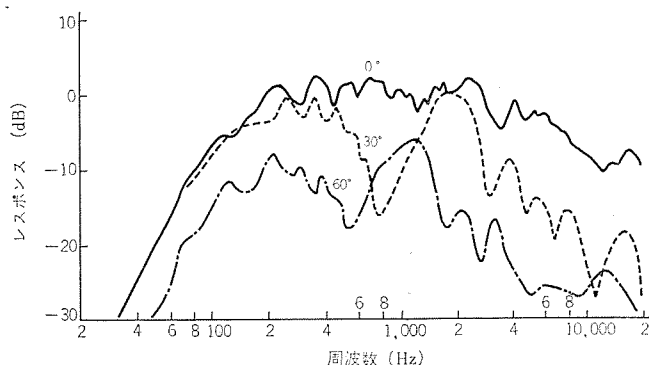


図 4.17 床置形 パツフル 板 スピーカーシステムの出力音圧周波数特性
Output sound pressure frequency characteristics of floor mounting type baffle board speaker system.

豊かな音となるが、指向性はシャープになっている。

5. 考 案

コーン紙の抄造技術や磁気回路設計技術などで代表されるように、昭和22年代のスピーカー設計は非常に苦勞の多い時期であった。こうした中で生れたP-62F形は、設計技術の進歩にともない改良され現在のP-610A形になったが、一つの基本条件の中で完成度の高い所まで達したといえる。しかし市場では飽きることのない要求がふえている。たとえば、P-610形の設計時期にはまだ聴取レベルが低く、許容入力3Wが一般的であった。ところが音響再生技術の進歩、高い騒音レベルに対する免疫性、音楽鑑賞態度などの変化により、いまの聴取レベルは約10dBアップされたといっても過言ではない。そしてこの傾向は音響技術者、ミキサーなど専門家も一般最終需要家にも共通しており、まだまだ聴取レベルがアップしそうな傾向すら示している。

一方、音響再生技術の進歩から、16cmスピーカーを含む単一コーンの全帯域スピーカーについての、高音域の指向特性の改善ということ

は大きな課題であると考えられる。趣味し(嗜)向の問題であれば別であるが、音響機器としての発展を考えるとみなこの壁に突き当たる。そしてこれを乗り越えることが複合形スピーカーへの挑戦であり、単一コーン形スピーカーの生命であると思う。

冒頭に述べたように高忠実度再生用16cmスピーカーの需要をいかに存続させるかということは、こうした点で今後は大きな問題を背負っていかなければならない。

6. む す び

以上、当社の高忠実度再生用16cmスピーカーの設計の推移と収容キャビネットを中心にとりまとめ述べたが、愛用いただいているP-610A形スピーカーを軸とした16cmスピーカーの使用の参考にできればと心から念願する次第である。

われわれは“たかが16cmスピーカー”といわれなかったためのスピーカーとして努力し、コストパフォーマンスの高い実質的内容を充実させた。その一例として10年以上もの長い年月、全スピーカーに1台1台実測データを添付し、1台1台の性能を保証し、信頼性の高い製品としてご使用いただくよう努めてきたし、今日もこの方針は貫き1台1台直視装置で特性管理を行ない、安心して使っていただけるものを提供している。

終わりに、このスピーカーの長期にわたる開発に多大なご指導をいただいた旧NHK技術研究所の富田義男部長をはじめ音響研究部の方々、ならびに当社先輩の市村宗明、東昇、藤木一、高田進など関係者の方々に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 朝倉、寺田、高城等：16cmスピーカーは何がよいか、ラジオ技術、3月号(昭38)
- (2) 富田、朝倉、佐伯：名器三菱P-610の秘密、ステレオ芸術、3月号(昭47)
- (3) 著者不明：日本にもあったスピーカーの名器、芸術新潮 5月号P 173(昭47)
- (4) 藤木：スピーカーの特性とその測定法、三菱電機 28、(昭29)
- (5) 遠藤、鈴木など：レーザホログラフィによるスピーカーの振動測定、三菱電機技報 46, No. 8(昭47)
- (6) マックラハラン 中井(訳)：拡声器、コロナ社(昭18)
- (7) 八咫無線：スピーカー用磁極に関する共同研究、金和会、電波技術協会編、(昭30-4)
- (8) 山本：音響帰還を起しにくい拡声用スピーカーの一設計法、日本音響学会誌、27, No. 1(昭46)
- (9) 佐伯、鈴木、亀山：音響施設用スピーカーシステム、三菱電機技報、44, No. 3(昭45)
- (10) 長岡：オーディオテクニク講座、スイングジャーナル、8月号(昭45)
- (11) G. A. Briggs : Loudspeakers, Wharfedale Wireless Works (1963)

レーザ ホログラフィによるスピーカーの振動測定

進藤 武男*・鈴木 英男*・木村 博雄*
久保 高啓**・小泉 孝之**

Vibration Mode Measurement of Loudspeaker Diaphragm by Laser-Holography

Koriyama Works Takeo SHINDO・Hideo SUZUKI・Hiroo KIMURA
Central Research Laboratory Takahiro KUBO・Takayuki KOIZUMI

In the cone type loudspeakers, few changes are seen in appearance since their invention, but improvements are remarkable in their performance.

The mode of vibration is almost clarified in the region around the lowest resonant frequency and the so-called "piston-motion".

However, the medium and high frequency region covering the overtones still remain unsolved in many respects because of insufficiency in measuring techniques.

Recently, the holographic technique by laser has come into practical use, making it feasible in photographic observation of the high frequency vibration with small amplitudes.

Applying this technique to the measurement of vibration mode of various loudspeakers, we have obtained fairly good informations, chiefly about the vibration modes of the cut-off frequency peak and overtones.

1. ま え が き

最近のスピーカーは性能面で以前にくらべ格段の進歩をとげており、とくに、コーン形スピーカーに関してはかなりの性能が得られるまでに至っている。しかしながら、理論面での解析がいまひとつ実際のスピーカーに結びつかず、釈然としない点があった。そのうちの一つにスピーカー振動板の振動解析があげられよう。

スピーカーから放射される音響エネルギーは振動板の振動によるものであり、したがって、その振動のしかたがスピーカーの諸特性に及ぼす影響は大きく、スピーカーの良否は一にこの振動状態にかかっているといっても過言ではない。このように振動を検出し解析することは、スピーカーを設計、製作するうえで非常に重要な項目であるにもかかわらず、その測定法が完全なものでなかったために、とくに高域周波数においては十分な検討を加えることができなかった。ところが近年、にわかに脚光をあびてきたホログラフィの技術を振動計測の手段として用いることによって、これらの問題解決が計られ、スピーカーの振動状態のは(把)握がより精度のよいものになり、解析が可能になってきた⁽¹⁾。

当社においても、いち早くこのホログラフィによる測定技術をスピーカーの振動測定にとり入れることにより、これまでむずかしかった高域周波数での微小振動をとらえることに成功した。

スピーカーの振動を測定するにあたり

- (1) 低音域での音圧の平坦な帯域
- (2) 中音域での音圧の落ち込む帯域
- (3) 音圧特性上、山谷の生ずる帯域
- (4) 高域限界付近の帯域

の四つの周波数帯域が考えられるが、今回はとくに(3)、(4)の帯域に主眼をおき、当社の代表的な低音用・高音用・全帯域用のコーンスピーカーおよび中音用ドームスピーカーの4種類のスピーカーについて、測定を行なった。その結果、音圧特性上の山谷とスピーカーの振動モ

ードとのあいだに対応関係がみいだされ、いくつかのスピーカー設計への示唆を得ることができた。ここに、ホログラフィによる振動測定法の紹介とあわせて、上記4種類のスピーカーの測定写真を掲げ、考察を加える。

2. 測 定 法

この章では、従来の振動測定法とホログラフィ測定法との相違を述べ、次いで、ホログラフィの測定原理とその振動計測への応用を説明する。

これまで、スピーカーの振動検出に用いられていた方法は

- (1) ストロボにより振動を観測する方法
- (2) 容量変化によって変位を測定する方法
- (3) フローマイクで近接音圧を測定する方法
- (4) 振動板表面に粉をふりかけて振動モードを検出する方法

などがあるが、これらの方法は、局所的な測定しかできなかったり、振動振幅の大きい周波数においてしか測定できないほどの欠点をもっていた。

これに対し、ホログラフィ干渉法による振動計測は下記のような特長をもっている。

- (1) 全体の振動姿態が一目でながめられること。
- (2) 光の波長のオーダー(0.1ミクロン)の微小振幅が測定できること。
- (3) 振動板に無接触で測定できること。
- (4) 写真撮影などの記録が容易にできること。
- (5) 振動振幅の絶対値を読みとることが可能であること。

このようにホログラフィ測定法は、従来の方法にくらべ数段すぐれた振動測定技術であり、しかも最近の光学技術の進歩により比較的容易に測定が行なえるようになった。

2.1 測定原理

ホログラフィは、レーザの発明によって急速に進歩をみた波を記録し再生する新しい技術である。それ以前からの光学的作像技術として

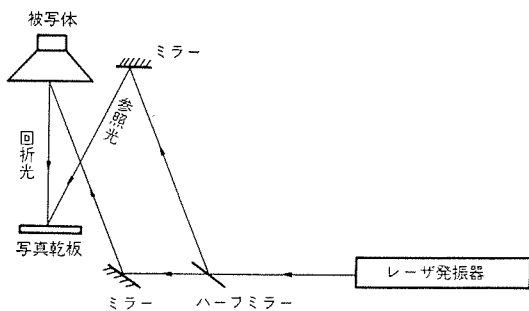


図 2.1 ホログラフィ記録過程
Recording process of holographic interferometry

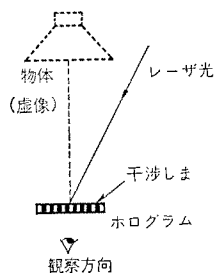


図 2.2 ホログラフィ再生過程
Reconstructing process of holographic interferometry.

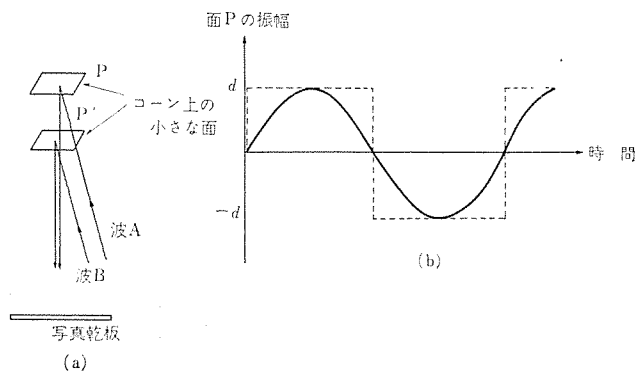


図 2.3 振動物体の干渉計測
Interference measurement of vibrating objects.

は写真があった。これはレンズによって物体の像を写真感光材の上に投影し光の強度、すなわちエネルギーに比例した感光銀の濃度で物体の像を記録するものであった。この場合、物体からくる光の振幅は知ることができるが、位相についての情報は失われてしまう。ホログラフィでは物体からの光の振幅のみならず位相をも記録し、再生によって物体からの光の情報すべてを現出させることによって像を作る技術である。そのプロセスは記録と再生の2段階より成り、レンズを必要としない。

記録過程では単一波長のレーザー光をハーフミラーで二分し、一方は参照光として直接写真乾板に、もう一方は被写体にあて、物体反射光として乾板に入射させる。この二つの光の干渉が乾板上に記録されることになる(図2.1)。なおこの方式はTWO-BEAM法とよばれるものである。この乾板を現像、定着したものをホログラムとよぶ。

再生過程では、ホログラムにレーザービームを照射することにより、元の物体が再生される。前述のように位相の情報も併せて記録しているため、眼の見る角度をかえることによって像は三次元的に見えることになる(図2.2)。

つぎに振動物体の干渉測定について説明する。ここで用いる方法は、時間平均法とよばれ物体の振動周期にくらべ十分に長い時間、連

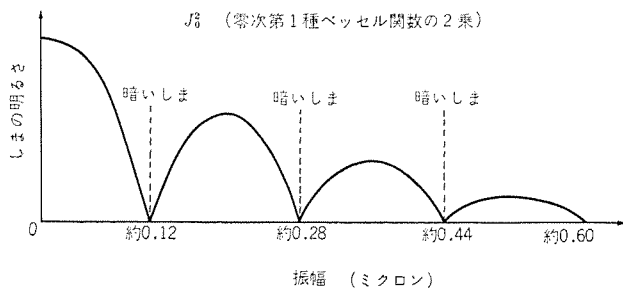


図 2.4 干渉しまの明るさと振幅値との関係
Relation between brightness of interference stripes and amplitude of vibration.

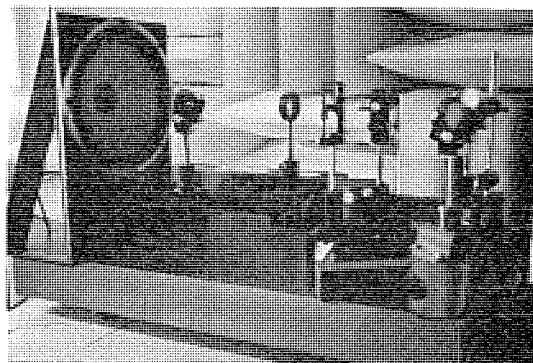


図 2.5 光学系配置
Holographic optical arrangement.

続で露光するものである。

図2.3(a)のコーン上の小さな面Pが、図2.3(b)の点線で示したように振動の最高点、および最低点の二つの状態にしかない運動をしている場合を考える。途中の状態は、高速で通りぬけるから、ホログラムには面Pが最高点にあるときに反射した光の波Aと、最低点にあるときに反射した光の波Bだけが記録される。このホログラムにレーザー光を照射すると波Aと波Bが同時に再生される。これらの波は干渉しあうので振動の片振幅を d とすると、 $4d$ (往復の光路差)が光の波長 λ の整数 m 倍であるところは明るく見え、 $4d = (2m+1)\lambda/2$ であるところは暗く見える。この明暗のしまが振動の等振幅線として観測されるのであるが、振幅 d が急激に変化しているところはしまの密度が大きく、観測がしにくい。

さて、実際の振動は図2.3(b)の実線のように正弦波振動をしているので、振幅としまの明るさの関係を求めるには振動の中間状態をも考慮にいれなければならない。そして計算した結果は図2.4に示すとおりである。物体の静止点すなわち振動の節は最も明るく、振動振幅が大きくなるにつれて明るさは減少し、振幅が $J_0=0$ の根に相当するところでは明るさ0になり暗いしま(縞)が得られる。

このようにして振動の節、等振幅線が一目で見られることから、振動モードが直ちにわかるものである⁽²⁾。

2.2 スピーカー振動測定の実際

スピーカーの振動計測の実際の光学系配置を図2.5に示す。この写真の測定スピーカーは、口径30cmの低音用コーンスピーカーである。

おもな使用機器の仕様は、下記のとおりである。

レーザー発振器： He-Ne ガスレーザー
波長 0.6328 ミクロン
出力 3 mW 連続
写真乾板： アグファゲバルト製
シェンシア 10 E 75

露光時間の設定は、被測定物の回折光を測光器で測定し算出した。なお、測定スピーカーの口径に応じて光学系配置ならびに露光時間は若干異なる。スピーカーへの入力信号は正弦波で行ない、入力電圧は干渉しまの見やすい電圧で測定した。

低音用スピーカーの測定では、外部の振動および騒音によって振動板が振らされることがあり、これらの除去にかなりの注意を払う必要があった。

3. 測定結果

今回の測定はスピーカーの全帯域にわたっての振動状態、および特に高域限界あるいは分割領域での振動状態をつかむことを目的としており、スピーカーの機種についても、コーンタイプの低音用・高音用・全帯域およびドームタイプの中音用に関して測定を行なった。以下各機種についてスピーカーの諸定数と周波数応答特性および測定結果を示す。なおここに示すデータは測定周波数、入力電圧ともに全体の測定結果の中の代表的なものである。

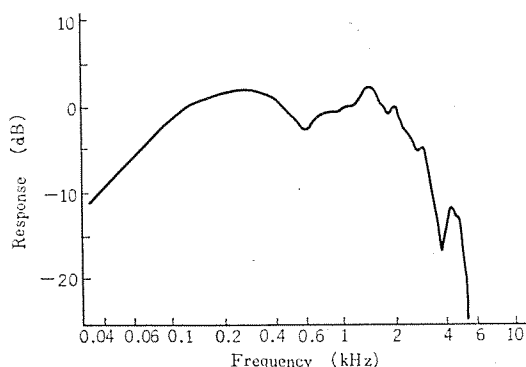
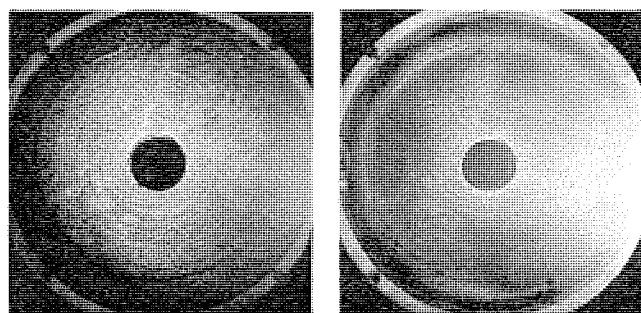
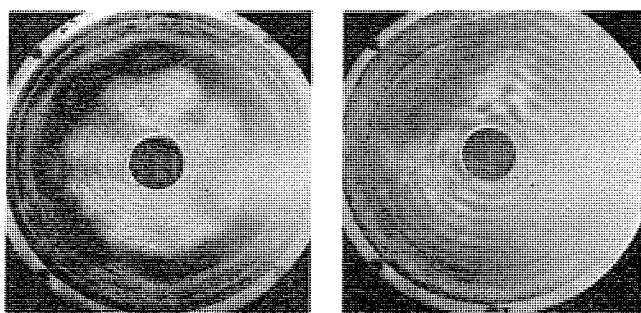


図 3.1 PW-125 周波数応答特性
Frequency-response characteristic of type PW-125 woofer



(a) 静止状態

(b) $f=500\text{ Hz}$
 $V=10\text{ mV}$



(c) $f=1,408\text{ Hz}$
 $V=20\text{ mV}$

(d) $f=5,000\text{ Hz}$
 $V=800\text{ mV}$

図 3.2 PW-125 のホログラフィによる振動状態
Vibration mode of type PW-125 woofer.

3.1 PW-125 のホログラフィによる振動状態

口 径	30 cm
低域共振周波数	40 Hz
再生周波数帯域	40~1,500 Hz
出力音圧レベル	102 dB/VA (50 cm)
有効振動半径	13 cm
振動系の等価質量	33 g
振動系の等価的な Q_0	0.5
ボイスコイル 直径	5.8 cm

3.2 TW-25 のホログラフィによる振動状態

口 径	5 cm
低域共振周波数	1,500 Hz
再生周波数帯域	1,500~16,000 Hz
出力音圧レベル	102 dB/VA (50 cm)
有効振動半径	2.0 cm
振動系の等価質量	0.37 g
ボイスコイル 直径	1.6 cm

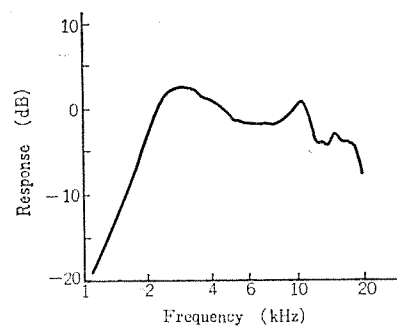
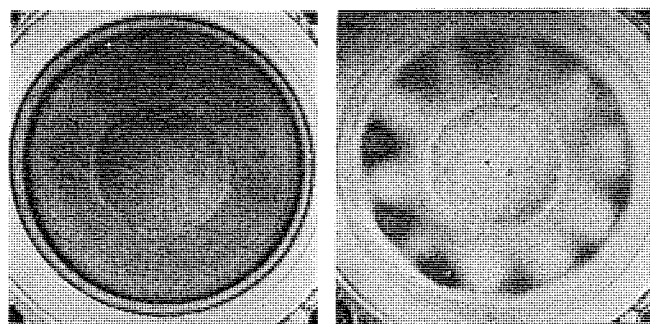
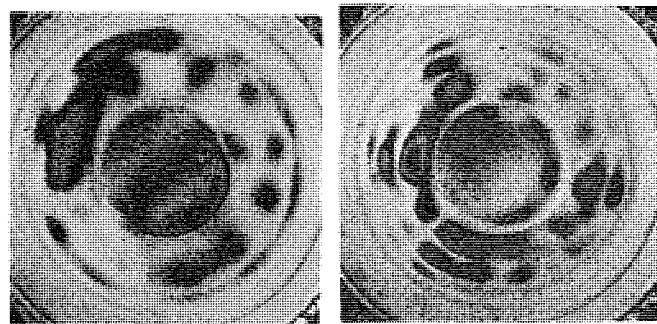


図 3.3 TW-25 周波数応答特性
Frequency-response characteristic of type TW-25 tweeter



(a) $f=2,000\text{ Hz}$
 $V=40\text{ mV}$

(b) $f=8,000\text{ Hz}$
 $V=100\text{ mV}$



(c) $f=13,000\text{ Hz}$
 $V=300\text{ mV}$

(d) $f=20,000\text{ Hz}$
 $V=500\text{ mV}$

図 3.4 TW-25 のホログラフィによる振動状態
Vibration mode of type TW-25 tweeter.

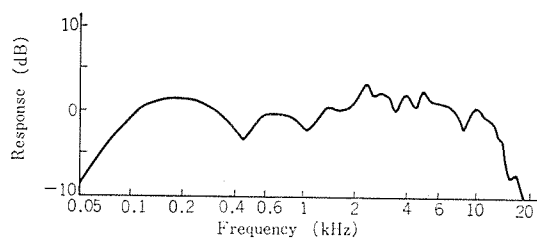
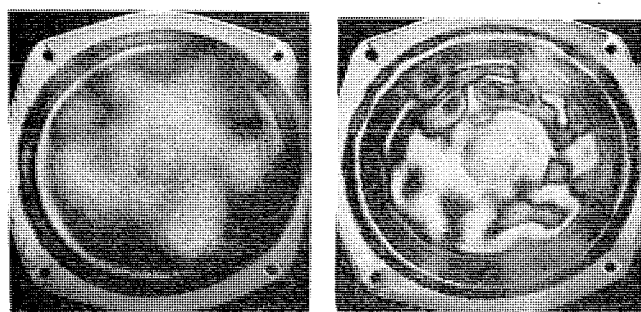
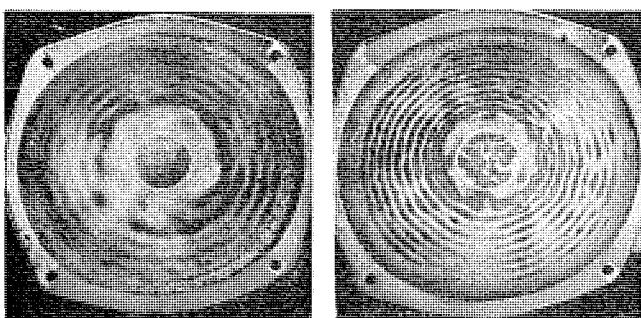


図 3.5 P-610 A 周波数応答特性
Frequency-response characteristic of type P-610 A full-range speaker.



(a) $f=1,000$ Hz
 $V=20$ mV
(b) $f=2,346$ Hz
 $V=50$ mV



(c) $f=5,349$ Hz
 $V=100$ mV
(d) $f=10,000$ Hz
 $V=500$ mV

図 3.6 P-610 A のホログラフィによる振動姿態
Vibration mode of type P-610 A full-range speaker

3.3 P-610 A のホログラフィによる振動姿態

口 径	16 cm
低域共振周波数	80 Hz
再生周波数帯域	80~13,000 Hz
出力音圧レベル	97 dB/VA (50 cm)
有効振動半径	6.5 cm
振動系の等価質量	6.5 g
振動系の等価的な Q_0	0.8
ボイスコイル 直径	1.92 cm

3.4 DM-2210 のホログラフィによる振動姿態

口 径	4.0 cm
低域共振周波数	700 Hz
再生周波数帯域	700~7,000 Hz
出力音圧レベル	95 dB/VA (50 cm)
有効振動半径	2.0 cm
ボイスコイル 直径	4.0 cm

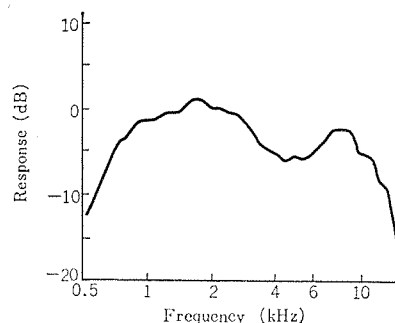
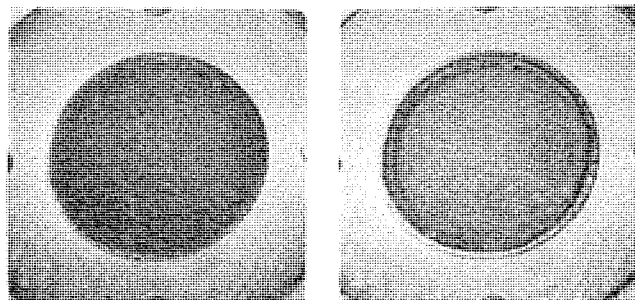
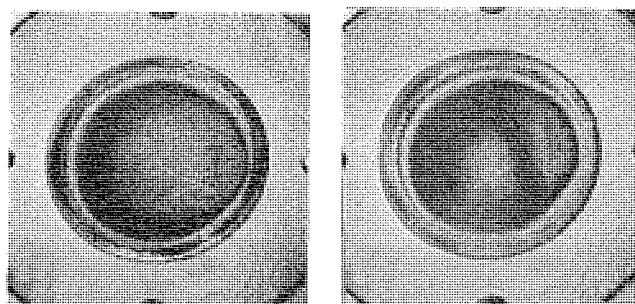


図 3.7 DM-2210 周波数応答特性 (ディフューザなし)
Frequency-response characteristic of type DM-2210 dome squawker.



(a) $f=1,000$ Hz
 $V=30$ mV
(b) $f=4,292$ Hz
 $V=300$ mV



(c) $f=7,676$ Hz
 $V=300$ mV
(d) $f=10,000$ Hz
 $V=700$ mV

図 3.8 DM-2210 のホログラフィによる振動姿態
Vibration mode of type DM-2210 dome squawker.

4. 考 察

今回の測定はいくつかのタイプのスピーカーについて行なったが、それぞれのタイプに応じた振動姿態を示していることがわかる。以下、各タイプのスピーカーについてその振動姿態を考察し、その後、各タイプに共通な高域限界、あるいは、分割共振時のピークの発生機構について検討を行なう。

4.1 低・高音用コーンタイプスピーカーの振動姿態

このタイプのスピーカーの特長は低域から中域にかけては平坦な特性を示し、その後ピークディップを繰返しながら次第に減衰する特性を示す。

PW-125, TW-25 のホログラフィの結果を見ると、周波数帯域は異なるけれども、ほぼ同様なパターンを示していることがわかる。すなわち、

(1) 各使用帯域において、低音域から中音域にかけては概略ピストン振動を行なっている (図 3.2 (b), 3.4 (a))。

(2) 中域から高域にかけてはコーン中心付近の振幅が小さく、

周辺が大きく振らされている (図 3.2(c), 3.4(b))。

(3) その後周波数特性のピーク、ディップに応じて節円を形成する高次の分割振動が発生する (図 3.2(d), 3.4(c)(d))。

以上のごとく、低音用・高音用といっても同じタイプのスピーカーであれば、同じような振動を行なっていることがわかる。低音用スピーカーあるいは高音用スピーカーのように、使用帯域の決められたスピーカーでは、高域限界でのピークの発生がよく問題となるが、この発生原因については、他のタイプのスピーカーと共通な点もあるので、章の最後にとりあげて検討を行なうこととする。

4.2 全帯域用スピーカーの振動姿態

再生すべき帯域を1個のスピーカーでカバーすることを目的とした全帯域用スピーカーは、低域専用あるいは高域専用スピーカーとはおのずと設計法が異なる。全帯域をピストン振動でカバーすることは困難であるので、分割振動領域に入っても音圧レベルが減衰しないような設計を行なう必要がある。P-610Aではコーンの曲線とコルゲーションによってこれを実現している。図3.5を見ると、2,000 Hz付近からピークディップが現われはじめ、その後はピークディップを繰り返すけれども、かなりの範囲まで特性が伸びている。これが低域あるいは高域専用スピーカーと異なる点である。

ホログラフィの写真 (図3.6) を見ると、1,000 Hzですでに周辺が振られ分割振動に入っていることがわかる。2,346 Hzでは第2の分割振動が現われており、5,349 Hzでは黒のしま数が五つあり、5次の分割を行なっている。これはピークの数とほぼ一致しており、ピークディップごとにしま数が一つずつふえていくと考えられる。全帯域用スピーカーの特長は、分割のしまの位置がコーンの周辺から発生し、徐々に中心に向うのに対し、低域あるいは高域専用スピーカーは、中心付近でのしまが比較的早く現われる。全帯域用スピーカーのこのような振動姿態については、すでに知られていることであるが、実際にどの周波数でどのような分割振動を行なっているか、ホログラフィによればいちもく歴然であり、特性の改善には非常に有効である。

4.3 中音用ドームタイプスピーカーの振動姿態

ドーム形スピーカーは、振動板の形状と振動板に対するボイスコイルの位置関係が、コーンタイプスピーカーとまったく異なるため、振動モードにもかなりの差があると予想される。図3.7は中音用ドームスピーカーDM-2210の周波数応答特性であり、ピークディップが非常に少ない。

これは図3.8(a)~(d)によって裏付けられる。すなわち10,000 Hzでも非対称の振動は見られるが、コーンタイプのような分割振動は起こしていない。測定は一機種のみで一般的結論を引出すことは問題であるが、ドームタイプの振動板は分割振動を起こしにくい、ということはいえる。これは高音用スピーカーTW-25のキャップ20,000 Hzでも分割振動を起こしていないことでも裏付けられる (図3.4(d))。

4.4 高域限界でのピークの検討

スピーカーを設計する場合、低域についてはほぼ理論どおりの結果が得られるが、高域の特性に関しては経験的な要素が多い。特に高域限界のピークの発生はよく問題となるところである。今までの考察から、ピークディップの発生と分割振動はよい対応関係を示している。この点からのピークの発生原因について検討し、その防止対策について考えてみる。なおスピーカーの中にはキャップの共振によってピークを発生するものもあるが今回はこれについては省略する。

スピーカーの低域から高域限界 (一次の分割振動) にかけての等価回路は図4.1のようになる⁽³⁾。ここで

s_c : コーンの分割振動の節線でのスティフネス

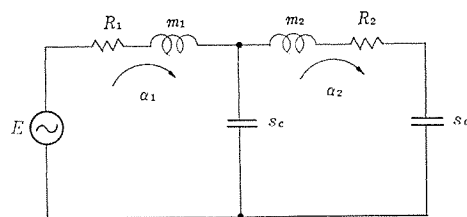


図 4.1 コーンタイプスピーカーの高域限界付近での等価回路
Analog diagram of a cone type loud speaker around the high cut-off frequency.

s_0 : エッジのスティフネス (スパイダも含む)

m_1 : 分割振動での節線より内側の質量 (付加質量も含む)

m_2 : 分割振動での節線より外側の質量 (付加質量も含む)

R_1 : 電磁制動抵抗・付加抵抗等

R_2 : エッジのロス・付加抵抗等

α_1 : m_1 の加速度

α_2 : m_2 の加速度

である。ただしコーンの節線でのロスは無視した。この等価回路について高域限界付近の周波数音圧特性の傾向を見るため、スピーカーの実験的な定数にもとづいて次のような仮定を行なう。

(1) 節円半径 r (キャップ半径 $< r <$ エッジ半径 とする)

振動板を円板とみなし分割振動の節円半径を r とする。

(2) 振動面積 S_1, S_2

m_1, m_2 部分の放射面積を S_1, S_2 とし $S_1 + S_2 = 1.0$, $S_1 \propto r^2$ とすれば, $S_1 = r^2$, $S_2 = 1 - r^2$ となる。

(3) 質量 m_1, m_2

$m_1 + m_2 = 1.0$ としコーン+キャップの質量対ボイスコイルの質量を4:3とすると (高音用スピーカーの一例),

$$m_1 = \frac{4}{7}r^2 + \frac{3}{7}$$

$$m_2 = \frac{4}{7}(1 - r^2)$$

(4) 高域共振角周波数 ω_c

$$\omega_c = \sqrt{\frac{s_c(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}} = 1.0 \text{ とする。}(s_c \gg s_0)$$

$$\text{ゆえに } s_c = m_1 \cdot m_2 = \left(\frac{4}{7}r^2 + \frac{3}{7}\right) \cdot \frac{4}{7}(1 - r^2)$$

(5) 最低共振角周波数 ω_0

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{s_0}{m_1 + m_2}} = 0.1 \text{ とする。}$$

$$\text{ゆえに } s_0 = 0.01$$

(6) 音圧 SPL

$$\text{SPL} = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 \text{ とする。}$$

以上の条件で $r, Q_0 = \frac{\omega_0(m_1 + m_2)}{R_1 + R_2}$, $Q_m = \frac{\omega_0(m_1 + m_2)}{R_2}$ をパラメータとして, α_1, α_2 および SPL の計算を行なった結果の代表例を図4.2に示す。(なお今回は紙数の関係上位相特性に関する計算結果は省略した)。図4.2の結果から次のようなことが言える。

(a) 音圧特性を見ると、高域共振 (ω_c) 付近でピークディップが生じており、図4.1の等価回路は高域限界の動作を十分表わしていると言える。

(b) 高域共振に近づくに従って、相対的に α_1 は振幅が小さくなり、逆に α_2 が大きくなる。この傾向はかなり低い周波数から現われており、ホログラフィによる写真でも確認される。たとえば PW-

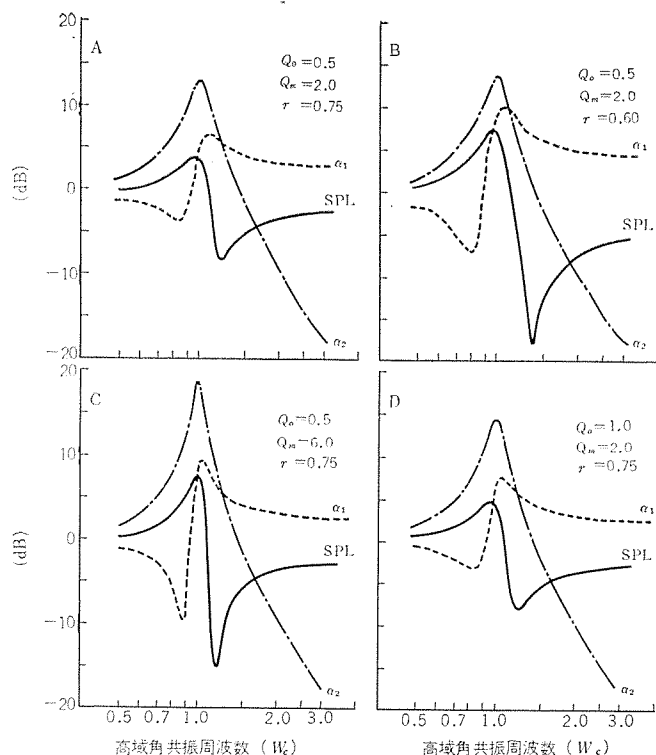


図 4.2 図 4.1 に示す等価回路における SPL および α_1 , α_2 の計算結果

SPL, α_1 and α_2 calculated from the analog diagram of Fig. 4.1.

125 は高域共振が 1,400 Hz 付近にあるが、500 Hz でもすでに周辺の振幅が内周に対して多少大きくなっている。

(c) 分割共振の半径は、なるべく外周に近いほうがピークディップが小さい。第 1 共振の節線の位置はなるべく周辺に近づけたほうがよい。(図 4.2 の A と B の比較)

(d) Q_m , Q_0 については当然のことながら、これが小さいほうがピークの発生は少ない。(図 4.2 の A と B, C との比較)

図 4.1 に示す等価回路では節門での損失を無視した点、エッジの損失 R_2 が高い周波数で同様にきくかどうかの疑問など、いくつかの問題点を持っているが、高域限界のピークの発生機構については十分説明できることがわかり、またピークの発生を少なくするための示唆も得られた。さらにピークの発生を防ぐ方法については理論解析および試作により検討を進めている。

5. む す び

最近 スピーカー 単体に関しては位相ひずみ・動的ひずみ・過渡特性

などのダイナミックな特性の問題がとりあげられているが、これらの特性に対しては、中高音域でピストン振動からはずれる周波数での性能が大きく影響する。また、スピーカーを設計する際に理論どおりにいかないのもこの辺の帯域である。そこで、主にスピーカーの中高音域での振動状態を調べるため、最新のホログラフィの技術応用して観測を行なった。被測定スピーカーは低音用・高音用・全帯域用のコーンタイプおよび中音用のドームタイプである。

まず、低域専用あるいは高域専用スピーカーは使用帯域は異なるけれども、ほぼ同様の振動状態を行っており、節門が比較的早い時期にコーンの中心付近に現われる。これに対して、全帯域用スピーカーでは、節門の発生が外周から徐々に内周に向かってゆき、コーンのつけ根に近づいたときに f 特性が低下する。これらのタイプについては、ピークディップが節門の発生とほぼ一対一の対応関係にある。また今回測定したドームタイプスピーカーでは振動板に節門が見られず、このタイプのスピーカーは分割振動を起こしにくいことが推測される。

つぎに、高域限界付近でのピークの発生機構について検討し、図 4.1 に示す等価回路によって十分説明できることが知られた。この等価回路は、高域限界の動作を表わすためよく用いられているものであるが、ホログラフィの結果と合わせてその妥当性が確認された。ピークの発生を防ぐ方法については、この等価回路にもとづいて理論および試作検討を進めている段階である。

また、今回は位相に関する検討は省略したが、計算結果によれば高域限界付近での位相のズレは大きく、 f 特性と合わせて過渡特性におよぼす効果は大きいと思われる、今後はこの方面での検討が必要である。

以上ホログラフィによるスピーカーの振動状態の観測結果について述べたが、この方法によれば高周波・微小振幅のいかに複雑な振動状態でも容易に観測することができ、今後のスピーカーの開発改良に大きな役割を果たすであろう。

参 考 文 献

- (1) 柴山：ホログラフィの音響学への応用，日本音響学会誌 26, No. 8 (昭 45-8)
- (2) 斉藤：ホログラフィによる振動解析，振動計測講習会テキスト (昭 46-5)
- (3) 加川，柴山，城戸，二村，橋本：スピーカーコーンののび振動の固有周波数とその内径支持部の stiffness と mass の固有周波数に及ぼす影響，建築音響装置研究会講演論文 (昭 37-10)

最近のダイヤトーンアンプと技術的問題点

成田 耕治*・工藤 隆二*・杉原 正一*・千葉喜代一*

Technical Problems on DIATONE Stereo Amplifiers

Koriyama Works Koji NARITA・Ryuji KUDO・Shoichi SUGIHARA・Kiyokazu CHIBA

In the reproduction of sound with the stereophonic apparatus which are found in multifarious models in the market, their sound qualities are greatly governed not only by the loudspeakers and cartridges but also by the amplifiers and tuners. Of them the roles played by the Hi-Fi amplifiers and tuners are very important. New technique concerning the latest amplifiers and tuners and also a number of problems posed by them are described in this article as a center of the topic. Furthermore technique of DIATONE and new products in connection with it are introduced as well.

1. ま え が き

現在多種多様のステレオ再生装置が市場へ出回っているが、ことに4チャンネルステレオ技術の進歩とともに、この多種多様化はいっそう激しくなると思われる。コンポーネントアンプにおいても、あくまでHi-Fiを目的とするものから、使い勝手によるユニバーサル的なもの、またさらにアンプを機能別に独立させたものまで数多くのアンプが出回っている。この中で特にHi-Fi再生の中心となるアンプ、チューナの役割、技術的な問題点を中心としてとりあげいくつか紹介する。

2. コンポーネント市場の動き

一般家庭におけるステレオ再生はオーディオマニアを除き2、3年前まではステレオセットが主流であったが、最近ではコンポーネントへと移りつつある。スピーカー、プレーヤ、アンプ(チューナを含む)を自分の好み、目的に応じて自由に選択でき多機能化も可能であり、ますますコンポーネント化へ進むと思われる。ちなみに、金額に対する伸び率を調べてみると毎年40%以上を示している。この数字はコンポーネントステレオとしてであるが、アンプ、チューナでも毎年約30%の伸びを示している。また、コンポーネントの中でも特に高級機の伸び率が高くなっている。最近においては、特にHi-Fiを目的とするマニア層が多くなっていることを示している。アンプの伸び率は、総合アンプ(レシーバー)は毎年約20%強であり、コンポーネントとステレオセットとの中間的な立場にある。プリメインアンプは約30%程度の伸びを示しているが、コンポーネントアンプとしては主流であり機種も一番多くなっている。次にチューナは、FMステレオ放送の本格化ならびに民間放送の多局化に伴い相当の伸びを示している。このほか、プリメインアンプをセパレート化したプリアンプ、メインアンプも高級機として伸びている。このように現在のステレオ再生装置はステレオセットからコンポーネントへと機能別化され、ますます一般家庭へ浸透していくことと思われる。

3. ステレオアンプ、チューナの技術的問題点と ダイヤトーンアンプの技術

3.1 FETとクロスモジュレーション(混変調妨害)

混変調妨害とは、妨害信号の変調波で受信搬送波が変調される現象で、妨害波が振幅変調波でも周波数変調波でも起こり、高周波増幅段の非直線性がおもな原因である。局部発振回路が妨害波によって変調されて起こることもある。いずれの場合でも、高周波増幅段

と混合段にデュアルゲートMOS、FETを使用すれば混変調妨害を大幅に少なくできるが、デュアルゲートMOS、FETはNFと価格の点でまだ一般的でない。J-FETはデュアルゲートMOS、FETに比べNFが良く、バイアスとAGCに留意すればデュアルゲートMOS、FETに近い混変調特性を得ることができる。

3.2 選択度とセラミックフィルタ

FMチューナで現在問題となっているものとして混信がある。以前よりFM放送局が林立しているアメリカにおいては問題となっていたが、日本でも多局化に伴い現実の問題となってきた。放送局が300kHz、400kHz間隔で電波を出しており、IF段の帯域幅が250kHz程度必要なことを考えると、チューナにとっては相当きびしいことになる。従来のコイルとコンデンサによるIFTでは、十分な帯域幅をとり隣接チャネルと混信しないよう十分な選択度を取ることは非常に困難である。当社ではこれに対処するため、早くからステレオセットにセラミックフィルタを使用している。

10.7MHzセラミックフィルタはチタン酸ジルコン酸鉛が主素材であり、安定度、選択度が従来のIFTよりすぐれており、FMチューナのIF段はほとんどセラミックフィルタを使用することが予想される。セラミックフィルタはこのようにすぐれた点を持っている反面、スプリアス特性が悪い、中心周波数にバラツキがある、入力インピーダンスが低い等の欠点を持っている。現在のセラミックフィルタは徐々にこれらの欠点が改善されているが、IFTとの組合せにより欠点を改善することができる。当社製アンプDA-R300、DA-F900は、このセラミックフィルタとIFTとの組合せによるものを使用している。10.7MHzのIF段の等価回路を図3.1に示す。

AMについては日本の空は混乱状態であり、音質も良くなく、原理的に混信に対し弱いため、NHKでは現在のAM放送番組をFMに切り換えていく方針を発表している。AMにおいては帯域幅を取るより選択度を良くし混信に対し強くするほうが得策である。この

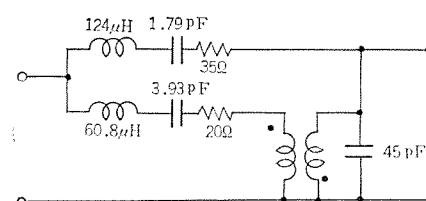


図 3.1 10.7 MHz セラミック IFT 等価回路
10.7 MHz Ceramic IFT equivalent circuit.

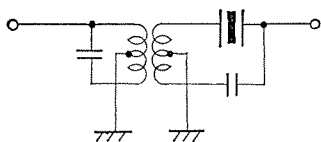


図 3.2 ヤーマン回路
Jaumann circuit.

ため IF 段にセラミックフィルタを使用することは有効である。しかし、AM のセラミックフィルタは帯域が非常に狭く、AM 中間周波数に必要な帯域幅を得るためには多素子が必要とする。帯域幅を得るために、ヤーマンによって提唱されたヤーマン回路では素子が 1 個ですむため、通信機・トランシーバ・電話等に広く用いられている。このヤーマン回路を使用することにより AM チューナの性能は良くなる。ヤーマン回路を図 3.2 に示す。

3.3 リミッタと IC

FM においてセラミックフィルタは 2 信号実効選択度の改善に効果的であるが、同一チャネル妨害比 (キャプチャーレシオ) の改善には差動アンプによるリミッタが効果的である。キャプチャーレシオは、FM の特長である強い電波が弱い電波を抑圧する能力を示す目安となるので、小さければ小さいほど良い。キャプチャーレシオ 2 dB といえば、希望信号レベルが妨害信号レベルより 2 dB 強ければ妨害を受けないことを示す。同一周波数の電波が FM チューナに飛び込んでくることはスプリアス、高調波等を考えればあり得ることであり、キャプチャーレシオは FM チューナにとって重要な特性である。キャプチャーレシオは IF 段の帯域幅、リミッタ FM 検波器の AM 抑圧比、IF 段の構成等 FM チューナの特性すべてが影響を及ぼすが、リミッタの影響が特に大きい。差動アンプは FM のリミッタに関しては理想的な特性をもっており、この差動アンプを数段重ねることにより非常に効果的なリミッタとなる。最近では FM のリミッタ用として多段の差動アンプを内蔵した IC ができ、FM チューナのリミッタとして効果的な役割を果たすようになった。DA-F 900、DA-R 300 に使用しているリミッタ用 IC の等価回路を図 3.3 に示す。この IC は差動アンプ 3 段となっている。

3.4 ミューティング回路

FM チューナは感度を上げれば上げるほど局間ノイズが増加する傾向にある。この局間ノイズは不快なものであるが、ミューティング回路をつけることにより除去できる。また、現在のように FM 局が増加してくると、電界の弱い電波が遠方よりチューナに飛び込んでくる。この電界強度が弱く雑音の多い電波は Hi-Fi に是不必要な場合がある。このようなことから FM チューナについてミューティングスイッチは必須条件となる。ミューティング回路をつける場合、ミューティング開始レベルを何 dB に設定するかが問題となる。設定レベルが低すぎればミューティング効果は少なくなり、高すぎれば実用可能な放送までカットしてしまう。アンテナの利得とも関係してくるので微妙な問題である。当社で開発した DA-R 300、DA-F 900 については、アンテナ入力電圧が 22 dB でミューティングが開始するよう設定されている。

3.5 キャリアリークフィルタ

現在の FM ステレオ放送方式はパイロットトーン方式と呼ばれるものであり、放送局から送られてきた 19 kHz パイロット信号を受信機側で 38 kHz にてい(通)倍し、この信号を用いてステレオ信号を得ている。この 19 kHz、38 kHz あるいはこれらの高調波成分が出力側にもれてくると、テープレコーダのバイアス信号とビートを起こしたり、音質をそこねたりする。このため、高級チューナではこのキャリアリークを除く必要がある。DA-F 900 については LC によるフィルタを 19 kHz と 38

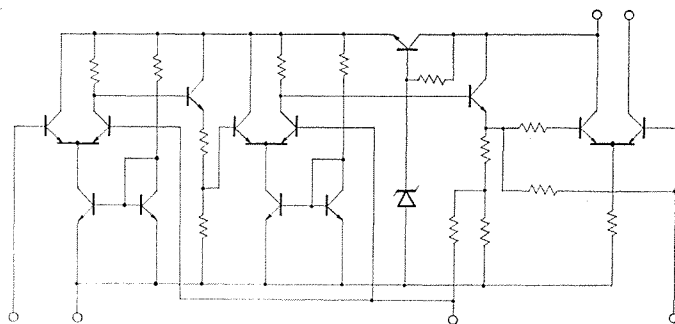


図 3.3 IC リミッタ 等価回路
IC limiter equivalent circuit.

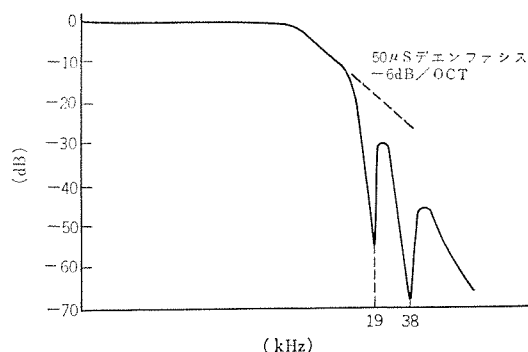


図 3.4 キャリアリークフィルタの特性
Characteristic of carrier leak filter.

kHz とに同調させ、キャリアリークを非常に小さく押えている。このフィルタの特性を図 3.4 に示す。

3.6 ダイナミックレンジの拡大

ダイナミックレンジが問題となる回路としてイコライザアンプ、マイクアンプ等がある。現在入手できるカートリッジは形式・出力・電圧等多様多様であり、プリアンプにおける問題点としては入力回路としてのイコライザ回路が一番大きい。RIAA 偏差、S/N 比、許容入力、過渡応答等音質を左右する問題をすべて含んでいる。周波数特性については RIAA 偏差にできるだけ近づけることは必要であるが、音質面での色付けも必要であり、カートリッジ、スピーカーを含め非常に微妙である。

次に特に重要なのがダイナミックレンジの問題である。入力換算の雑音レベルと許容入力は相反するものであり、NF 量を増して許容入力をとれば入力換算での雑音レベルは悪くなる。現在市販されているカートリッジの中でピーク値が 100 mV を越すものがあるといわれている。このピークレベルにおいてアンプがクリップしては音質は非常に悪化する。ともあれ、すべてのカートリッジが 100 mV を越すものではなく、一般には 3~4 mV (5 cm/s) がほとんどであり、この程度のものでは過渡応答を考えても 100 mV という出力は考えられない。実際にはこれ以下の出力のものも相当あり、許容入力をあまり大きくとれば利得不足も考えられる。これらがイコライザアンプの問題点である。イコライザアンプの利得を切り換える方法もあるが、ある程度の音質変化は避けられない。NF 形のイコライザの場合 RIAA カーブが決まっている以上、ある程度以上利得を押えると高域の周波数において 100% の帰還となり、RIAA カーブからはずれてしまう。出力側に CR を入れて高域を落とすことも考えられるが、REC OUT のインピーダンスを考えれば好ましくない。ダイナミックレンジをとる場合、現在ではローノイズトランジスタを使用して電圧を高くする方法が音質面からみて一番得策である。当社製の DA-U 600 では電源電圧を 45 V と高くして許容入力を大きくとっている。また、S/N 比は音質を左

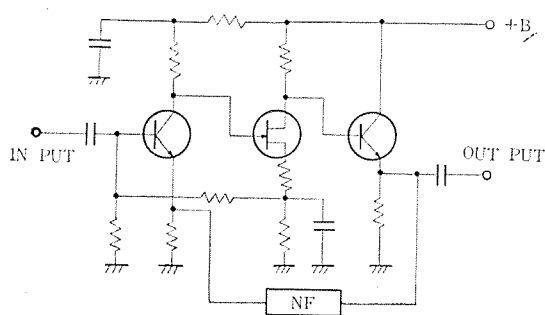


図 3.5 FET 使用によるイコライザ回路
Equalizer circuit by using FET.

右する決め手ともなるので重要である。現在多く使用されている 2 石による C-E 帰還の場合、2 段目のトランジスタの入力インピーダンスが低いため初段で利得があまりとれなく S/N 比には不利である。この対策として段間にエミッタフォロアを入れて初段での利得をとり、 S/N 比の改善を計るとともにひずみ特性、低域での周波数特性のバラツキを押える。最近では段間に FET を使用し、終段をエミッタフォロアとしていっそう効果的に使用できる。DA-U 600 のイコライザ回路を図 3.5 に示す。2 段目が FET のため入力インピーダンスが非常に高く、初段において利得が取れ、終段のエミッタフォロアのため出力インピーダンスが低くなっている。低出力インピーダンスは REC OUT の負荷に対して非常にたいせつな条件である。

3.7 コントロール部の機能

コントロール部の機能として操作しやすいことはもちろん、多機能化についても重視しなくてはならない。最近のオーディオ機器の普及に伴い、レコードプレーヤ 2 台、テープデッキ 2 台、スピーカー 2 組と複数の装置の使用が考えられるようになってきた。レコードプレーヤ、スピーカーの切替スイッチについては従来から設けられているが、録音機能を有するテープデッキについては再生に使用する場合、他のソースから録音する場合、テープからテープへとダビングをする場合と複雑になってくる。最近においてこの機能をツマミの操作で行なうようアンプにスイッチが設けられるようになってきている。DA-U 600 については DUPLICATE スイッチとしてテープモニタを兼用している。このため今まで配線で行なっていた操作がワンタッチでできるためテープデッキが使いやすくなっている。このほか、プリアンプのコントロール機能として必要なものにラウドネスコントロール、トーンディフュージョンスイッチ等があげられるが、ラウドネスは小音量においての音場補正には非常に有効であり、ぜひ設けたいスイッチである。トーンディフュージョンスイッチは音場補正のチェック等に便利である。

3.8 メインアンプの OCL 化

従来から使用されている SEPP OTL 回路は簡単であり安定な回路であるが、次のような欠点があげられる。

- (1) 出力カップリングコンデンサのため、超低域における周波数特性が悪い。
- (2) 出力カップリングコンデンサに大容量のものを使用するので、電解コンデンサ自身の誘導リアクタンスにより高域特性が悪化する。
- (3) 過渡特性が悪い。

以上のような問題は物理特性上では低域の不安定、ひずみ率の悪化、ダンピングファクタの低下により測定されるが、聴感においては音質の劣化となる。このような欠点を解決するために考えられたメインアンプが OCL (Output Condenser Less) 回路で、最近では高級メインアンプに使用されるようになった。

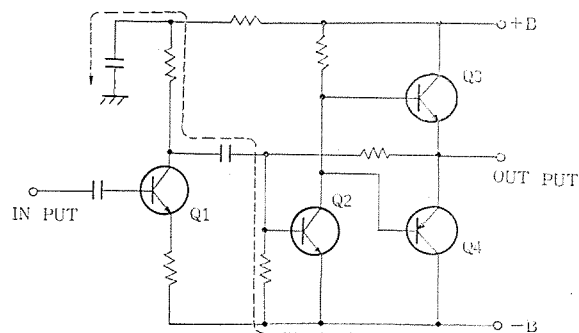


図 3.6 リプル分の経路
Path of ripple component.

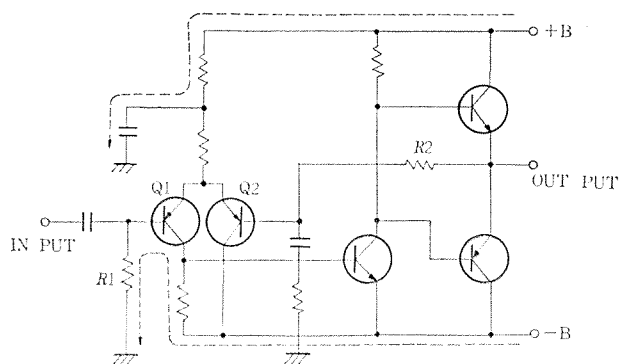


図 3.7 差動アンプによる OCL 回路
OCL circuit by using differential amplifier.

従来の OTL 回路に使用されている出力用コンデンサは、直流を阻止するためのものであり、OCL 回路にするためには出力を零電位に保たなければならない。このため電源は 1 電源であったものが 2 電源となる。しかし従来の回路をそのまま 2 電源にして出力カップリングコンデンサを取り除いたのでは、リプル分が多く S/N 比が悪化する。これを図 3.6 に示す。点線で示すように \ominus 側の電源リプルが流れトランジスタ Q2 の入力信号となって出力へ表われるためである。これを解決するために図 3.6 の Q1 と Q2 の間に PNP のトランジスタをそう入すれば、トランジスタのコレクタ側のインピーダンスは非常に高いため、リプル分は流れなくなり S/N 比は改善される。しかし出力を零電位に保つためには不十分であるためあまり使用されていない。現在のほとんどの OCL 回路は図 3.7 に示すように、差動アンプを使用して零電位の安定化をはかるとともに、リプルに対する S/N 比を改善している。リプル分は点線のように流れるが、Q1 のコレクタ抵抗が大きいためほとんど流れず S/N 比が改善される。また、零電位の安定化については Q1 のベースが抵抗 R1 によって接地されているため、ベースはほぼ零電位に保たれている。このため R1 と R2 を同じ値にすれば出力端の電位はほぼ零電位に保たれ、温度変化により Q1 の V_{BE} が変化しても Q2 の V_{BE} も同程度変化するので、出力端の電位変化はほとんど起こらない。このような回路の使用によりメインアンプの性能はいっそう良くなっている。

3.9 トランジスタの破壊と保護回路

トランジスタの破壊は熱的に破壊されるものがほとんどであり、シリコントランジスタの場合、ジャンクション温度は 150°C 程度まで許される。パワートランジスタの場合はコレクタ損失により温度が上昇して破壊されるもので、コレクタ損失がオーバしないようにトランジスタの選択、放熱器の大きさに注意しなくてはならない。負荷インピーダンスが決まり電源電圧が決まれば最大出力とトランジスタのコレクタ損失が決まるわけであるが、実際のスピーカーのインピーダンスは公称インピーダンスより低下

している部分がある。この低下している部分の周波数の信号が入ってきた場合に、パワートランジスタが破壊されないようにしなければならない。B級プッシュプルの場合、トランジスタ1個当たりのコレクタ損失は、

$$P_{C\max} = \frac{E_b^2}{8R_L} \times 0.203 + \frac{I_C \times E_b}{2} \text{ (W)}$$

で表わされる。非常にB級に近い場合は、

$$P_{C\max} = \frac{E_b^2}{8R_L} \times 0.203 \text{ (W)}$$

として表わすことができる。コレクタ損失は負荷インピーダンスにより変化するので、インピーダンスの低いスピーカーを駆動する場合には注意を要する。特に出力端をショートした場合にはコレクタ損失は非常に大きくなり、保護回路もヒューズも入っていないアンプで出力端ショートの場合パワートランジスタの破壊は避けられない。ユニポーラアンプの場合は、ヒューズを入れるか保護回路を入れるかなんらかの対策をしないてはならない。ヒューズによって保護する場合は、コレクタ損失ではなく電流によって切れるので、コレクタ損失には余裕を持たせる。保護回路としてはコレクタ電流を検出して信号入力を切るか、リミッタをかけるもの、出力端を切り離すもの、電源を切るもの等多多様の回路が考えられている。特にパワートランジスタの破壊は、コレクタ損失のオーバにより起こるものが大部分なので、コレクタ損失を検出して保護対策をとるのが理想的である。コレクタ損失検出による保護回路の例を図3.8に示す。Q2は保護されるべきパワートランジスタおよびドライバ段、Q1、R1、R2、R3が保護回路を形成する。Q2がオーバロードになった場合、Q1が導通状態となってリミッタとして動作しコレクタ損失を抑えるものである。この保護回路が動作しないための最大コレクタ電流および V_{CE} は次式によって求められる。Q1が動作するための V_{BE} を0.6Vとすれば、

電流の最大値

$$0.6 = RE \cdot I_{\max} \frac{R2}{R2+R3} \quad \therefore I_{\max} = \frac{0.6(R2+R3)}{RE \cdot R2}$$

電圧の最大値

$$0.6 = \frac{R2 \cdot R3 / (R2+R3)}{R2 \cdot R3 / (R2+R3) + R1} \cdot V_{\max}$$

$$= \frac{R2 \cdot R3 \cdot V_{\max}}{R2 \cdot R3 + R1(R2+R3)}$$

$R1(R2+R3) \gg R2R3$ であるから

$$V_{\max} = \frac{0.6 R1(R2+R3)}{R2+R3}$$

となる。実際の動作は下記の式を満足した時に動作する。

$$\frac{R2}{R2+R3} \left(RE I_E + \frac{R3}{R1} V_{CE} \right) \geq 0.6$$

つまり電流と電圧により動作するので、ほぼコレクタ損失を検出し

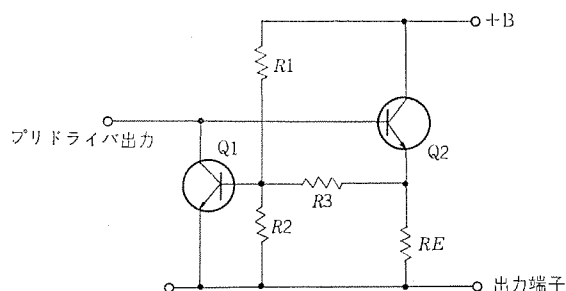


図3.8 コレクタ損失検出形保護回路
Collector loss detecting type protective circuit.

ていることになる。このようにコレクタ損失を検出してリミッタを動作させる方法は回路も簡単であり、自動的に復帰するので、パワートランジスタの保護回路として実用化されている。

4. DA-U 600, F 900, R 300

4.1 DA-U 600

プリメインアンプ DA-U 600 は、全段直結 OCL 回路を採用した 30 W + 30 W の出力を持つメインアンプと FET と NPN トランジスタによる 3 段直結 イコライザ、NF 形 トーンコントロールで構成されたアンプである。メインアンプ部は前に述べたように自動復帰形の保護回路を備えている。また S/N 比をいっそう改善するために、プリドライバより前段の電源にはリップルフィルタを入れている。トーンコントロールは Bax 形を原形とする回路で、100 Hz と 10 kHz で ± 10 dB の変化量となっている。トーンディフェルトスイッチを設け完全にフラットになるよう設計されている。前に述べたように DUPLICATE スイッチによりテープ間のダビングが簡単にできるようになっている。またラウドネススイッチ、マイクミキシングを備えている。マイクミキシング回路はマイクプラグをそう入することにより入り、抜くことにより切れるよう設計されている。フィルタはローカットフィルタが 70 Hz にて -6 dB、ハイカットフィルタが 9 kHz にて -6 dB 減衰し、それぞれローエンド、ハイエンドに向って -6 dB/oct のカーブで減衰する。ラウドネスコントロールはボリュームを 30 dB 絞った位置で 100 Hz +6 dB、10 kHz +5 dB ずつブーストされる。

DA-U 600 は、レコードプレーヤ DP-74 B、DP-82 B、スピーカー DS-22 B MK II、DS-31 C MK II、DS-25 L、FM チューナ DA-F 900、テープデッキ DT-1500 等と組み合わせてハイグレードなオーディオ再生ができる。

4.2 DA-F 900

AM-FM ステレオチューナ DA-F 900 は、Hi-Fi 再生を目的とした高級チューナとして設計されたものである。FM の IF 段にセラミックフィルタと集積度の高いモリシック IC を使い FM 多局化時代に十分対応できる性能を有している。ダイヤルスケールは周波数直線形のバリコンを使用しているので、等間隔となっており同調がとりやすくなっている。

FM のフロントエンド段は、前に述べたように FET の採用により、混変調特性、感度等の改善を行なっている。不快な局間ノイズを除くため、ミュートスイッチを設け快適に選局できるよう考慮されている。出力レベルが可変できるようボリュームが入っているので、アンプとの接続間のレベルセットに便利である。その他前に述べたような技術的問題点に対処して設計してあるので、ローコストながら内容は高級チューナである。

4.3 DA-R 300

総合アンプ(レシーバ) DA-R 300 は DA-F 900 のチューナを使用し、低周波部は OCL 回路によるメインアンプを採用している。また、DA-U 600 と同じくマイクミキシング回路、ラウドネスコントロールも内蔵している。DA-R 300 は総合アンプではあるが、内容的には高級アンプとして使用できるものである。

4.4 定格

DA-U 600

メインアンプ部

実効最大出力	30 W + 30 W (0.5 %, 8 Ω)
周波数特性	10 ~ 15,000 Hz -0.2 dB
ダンピングファクタ	40
S/N 比	95 dB 以上 (入力短絡)
入力感度	1 V

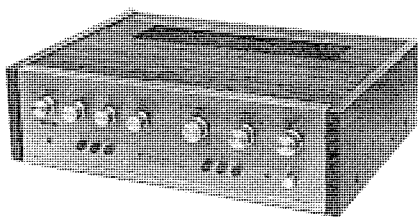


図 4.1 ダイヤトーン DA-U 600
Pre-main amplifier DA-U 600.

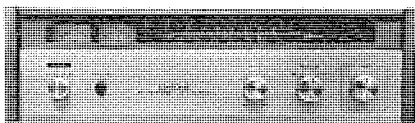


図 4.2 ダイヤトーン DA-F 900
AM/FM stereo tuner DA-F 900.

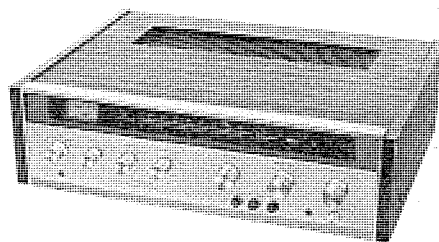


図 4.3 ダイヤトーン DA-R 300
Receiver DA-R 300.

入力 インピーダンス	50 k Ω 以上
プリアンプ 部	
入力感度	PHONO 2.5 mV AUX, TUNER, TAPE 150 mV
トーンコントロール	BASS ± 10 dB (100 Hz) TREBLE ± 10 dB (10 kHz)
ラウドネスコントロール	100 Hz +6 dB 10 kHz +4 dB
ローカットフィルタ	70 Hz -6dB
ハイカットフィルタ	9 kHz -6dB
イコライザ 許容入力	170 mV
S/N 比	PHONO 60 dB 以上 AUX, TUNER, TAPE 85 dB 以上
出力 レベル	REC OUT 150 mV PRE OUT 1 V
外形寸法	(幅)456 \times (高さ)144 \times (奥行)355 mm
重 量	9.1 kg
消費電力	60 W

DA-F 900

FM 部

受信周波数	76~90 MHz
感 度	2.0 μ V (IHF)
ひずみ	5% 以下 (400 Hz 100% 変調)
周波数特性	20~16,000 Hz
キャプチャーレシオ	2.0 dB 以下
実効選択度	60 dB 以上
AM 抑圧比	45 dB 以上
イメージ 妨害比	60 dB 以上
IF 妨害比	70 dB 以上
セパレーション	35 dB 以上 (1 kHz)
S/N 比	70 dB 以上 (100% 変調)

AM 部

受信周波数	525~1,610 kHz
感 度	18 μ V 以下 (IHF)
イメージ 妨害比	50 dB 以上

選択度	35 dB 以上
IF 妨害比	40 dB 以上
S/N 比	45 dB 以上 (30% 変調)
外形寸法	(幅)452 \times (高さ)130 \times (奥行)275 mm
重 量	7 kg
消費電力	15 W

DA-R 300

チューナ 部	DA-F 900 に同じ
低周波部	
実効最大出力	15 W+15 W (0.5% 8 Ω)
入力感度	PHONO 2.5 mV TAPE 100 mV PB 250 mV MIC 1 mV
トーンコントロール	BASS ± 10 dB (100 Hz) TREBLE ± 10 dB (10 kHz)
ラウドネスコントロール	100 Hz +8 dB 10 kHz +4 dB
S/N 比	PHONO 64 dB 以上 TAPE 77 dB 以上 PB 77 dB 以上
外形寸法	(幅)452 \times (高さ)144 \times (奥行)350 mm
重 量	8.8 kg
消費電力	52 W

5. む す び

今まで述べてきたように、コンポーネントアンプは微妙な点を含んでいるが、これらを解決したのがダイヤトーンアンプのシリーズである。これからの新しい技術によってさらに改良し、ますますすぐれたアンプとしたい。4チャンネルの放送化も考えられている現在、コンポーネントアンプの役割はますます大きくなっていく。また、チューナにおいては、PLL (Phase Lock Loop) によるチューナが注目を浴びている。チューナの IC 化をさまたげるものはコイルであるが、PLL はコイルを必要とせず、FM 検波、AM 検波ができるばかりでなく、ループ自体が選択性を持っているため、IC 化には大きい利点がある。

カセットデッキの雑音低減方式

宇野善之*

A Noise Reduction System of the Cassette Deck

Koriyama Works Yoshiyuki UNO

In the field of the audio apparatus, tape recorders have been put into favorable use for a long time by the audio maniacs as a means to record and reproduce sound. It is, however, a recent trend that these tape recorders have come to prevail among people other than some of the audio maniacs. In line with this, the open reel type machines are gradually being replaced by the cassette type because of ease in operation.

This article describes the signal to noise ratio of the compact cassette tape deck, which is one of a variety of drawbacks, about the latest movement in its improvement and the effect resulted in.

1. ま え が き

最近の磁気録音技術の進歩には著しいものがある。なかでもオーディオ分野においては、その要求される特性を十分満足させる機器も比較的容易に作られるようになり、性能の良さ、多目的に利用できることからオーディオマニアの間では、テープデッキの優秀性が認められ、愛用されている。しかしその反面、一般ユーザには、取扱いのむずかしさのために普及が遅れている。したがって今後のテープデッキとして、一般ユーザのために、取扱いが容易でかつ高性能な機器を提供する必要がある。この要求にマッチしたものとして、最近注目されているのがカセットデッキである。

カセットはテープとリールを一つのケースに入れ、テープに直接手を触れることなく、機器に簡単に着脱でき、幼児にも取扱えるほどの簡便さから、一般用のテープレコーダとして急速に伸びてきた。特に近年、その性能が著しく向上したことによって、オーディオ分野においても、従来のオープンリールにとってかわろうとしている。しかし、コンパクトにまとめたため、オープンリールに比べ種々の欠点があり、それらを一つ一つ解決していくことで、さらに今後の前進が期待される。

2. コンパクトカセット

コンパクトカセットは、大きさ10 cm×6.4 cm×0.8 cmという小さなプラスチックケースの中にテープを収めたもので、テープの長さによって、C-60、C-90、C-120と名づけられた3種類があり、それぞれその数字の録音可能時間が往復で60分、90分、120分であることを示している。

これらの長さの異なるテープを同一形状のケースの中に収めるため、C-60では18 μ 、C-120では8 μ 、という非常に薄いテープを使用し、またテープの利用率高めるため、テープ速さも毎秒4.8 cmと大変遅くなっている。これらの点をオープンリールと比較すると表2.1のようになる。

カセットには、このように欠点もあるが、その取扱いの簡便さはオープンリールの遠くおよばないところである。そのため、あまり性能の要求されないモラルの一般用テープレコーダに爆発的に普及した。この傾向はテープデッキにもあらわれてきており、よりいっそう性能の向上が望まれている。

これらの欠点のうち、カセットデッキの最大の弱点であるノイズにつ

表 2.1 オープンリールとカセットの比較
Comparison between open reel type and cassette type.

	カセット	オープンリール	オープンリールに比べたカセットの欠点
テープの厚さ	8~18 μ	18~50 μ	テープが薄く、伸びやすいのでテープトランスポートに高い精度が要求される。
テープの幅	3.81 mm	6.3 mm	信号トラックの幅が狭く、SN比が劣化する。 (4トラックステレオのとき、オープンリール1.05 mm, カセット0.61 mm)
テープの速さ	4.8 cm/s	19 cm/s	テープ速さが遅く、高域における周波数特性が劣化する。

いて考えてみることにする。

3. テープデッキのノイズ

テープデッキのノイズは、次の四つに分類できる。

- (1) アンプノイズ：トランジスタノイズ、ハムなど
- (2) 誘導雑音：トランス、モータからの漏えい（洩）磁束を磁気ヘッドやリード線でひろうもの
- (3) テープノイズ：完全に消磁された状態では小さいが、帯磁すると増加する。
- (4) クリックノイズ：デッキにある各種のスイッチを切替えたときに生じるもの。

以上のノイズのうち、誘導雑音とクリックノイズは、比較的容易にコントロールできあまり問題にならないが、アンプノイズとテープノイズが本質的なものであり、そのうちでもテープノイズを先に解決しなければならないことが図4.1をみればあきらかであろう。

テープノイズは磁性体の塗布むら、磁性体粒子の不均一、テープの表面仕上げのあらさ、交流バイアス信号の直流成分などによって発生するもので、その成分は全周波数帯域にわたっているが図4.1からもわかるように、高域におけるノイズ成分が聴感上からも重大な欠点となる。したがってSN比を改善することは、この高域におけるノイズを減少させることであり、次のような種々の方法がとられている。

(1) 再生時フィルタで高域をカットする。しかし、ハイカットすることにより、ノイズとともに信号もカットされるのでHi-Fi用には不向きであり、今ではあまり用いられない。

(2) 録音時に高域を増強し、再生時に高域を下げて OVERALL の特性を一定に保ちながら、再生時に高域を下げた分だけ SN比

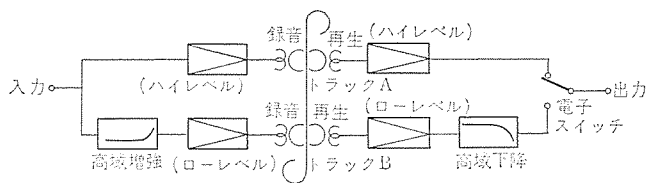


図 3.1 3M ダイナトラック方式
Three M Dinatrack system.

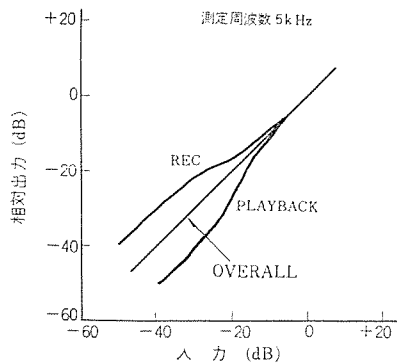


図 3.2 入出力特性 (DOLBY 方式)
Input and output characteristic (DOLBY system)

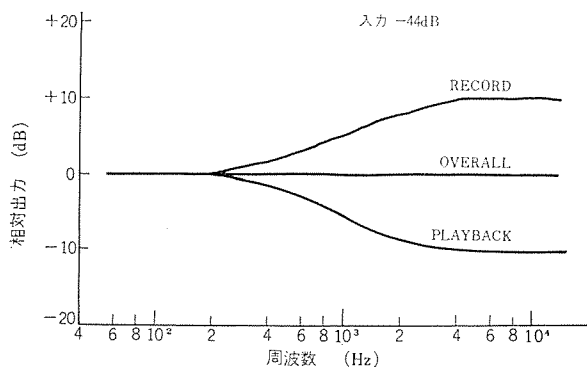


図 3.3 低レベルにおける録音・再生周波数特性 (DOLBY 方式)
Recording and reproduction frequency characteristic at low level (DOLBY system).

を改善する。しかしこの場合は、録音時に標準特性以上に高域を増強するため、信号の高域成分がひずみ、あまり効果的でない (Ampex Master Equalization 方式)。

(3) (2)の改善案として、信号を二つのトラックにわけ、一つは標準状態で録音し(トラックA)、他の一つは、高域を増強して録音する(トラックB)。再生時は、信号レベルが高いときはトラックAを再生し、レベルが低くなると電子スイッチによりトラックBに切換えて再生する。トラックBは再生時、高域を下げてOVERALLの特性を一定にしており、高域を下げた分だけSN比は改善される。この方式は効果的ではあるが、一つの信号で二つのトラックが必要なこと、電子スイッチを含め回路が複雑になり、商品価値が少ない(3Mダイナトラック方式、図3.1)。

(4) (2)の高域成分のひずみをなくすため、耳のマスキング作用を積極的に利用する方法、すなわち、信号レベルが高いときは信号と混在しているノイズは気にならないが、信号レベルが低く、ノイズレベルとの差が小さくなるとノイズが気になるという耳の特性を利用して、高域の信号レベルが低いときのみ高域を増強して録音し、再生時もレベルの低いときのみ高域を下げてSN比を改善する。この場合、高域を増強してももともと信号レベルが低いため、ひずみが発生する心配はなく、最も効果的なSN比改善方法と思われる。し

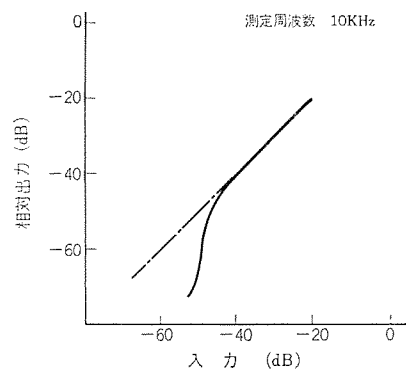


図 3.4 入出力特性 (DNL 方式)
Input and output characteristics (DNL system)

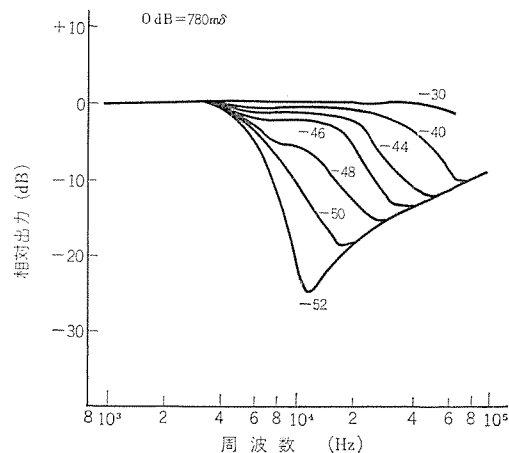


図 3.5 入力に対する再生周波数特性 (DNL 方式)
Reproduction frequency characteristic against input (DNL system).

かし、高域の増強および減少特性を統一しておかなければセット間の互換性がなくなる。また現在市場に出まわっているミュージックカセットには、このような処理がされてないため良好な音質は得られない(DOLBY方式図3.2, 3.3)。

(5) 再生時、高域のレベルの低い部分のみアンプのゲインを下げてSN比を改善する。この方式は、すでに市場に出ているミュージックカセットとの互換性はあるが、ノイズとともに信号も減衰しているので真のHi-Fiとは言いがたいが、(1)のハイカット方式に比べて、信号レベルの高い成分は減衰しないため、聴感上の不自然さは感じられない。むしろ、テープノイズとともにアンプノイズも減少するため、高域ノイズの減少効果は著しく、今後、低価格のカセットデッキに普及していくものと思われる(DNL方式、図3.4, 3.5)。

(6) 低雑音テープ、または高出力テープを使用する。これはテープそのもののSN比を改善することであり、最も本質的な解決法であることは言うまでもない。

4. ノイズ低減の効果

これらの方式のうちで、現在脚光をあびているDOLBY方式、DNL方式および磁性体の違っている酸化クロムテープ、コバルト添加テープについて、どの程度SN比が改善されているかを調べた。

図4.1は、現在最も一般的に使用されている酸化鉄系のテープBASF、C-60のノイズ特性であり、以後のデータはいずれもこのテープに対してどの程度改善されたかを考える。図4.1において、アンプノイズは今回の測定に使用したカセットデッキの再生アンプのノイズ周波数特性である。また点線のグラフは、完全に消去されたテープを再

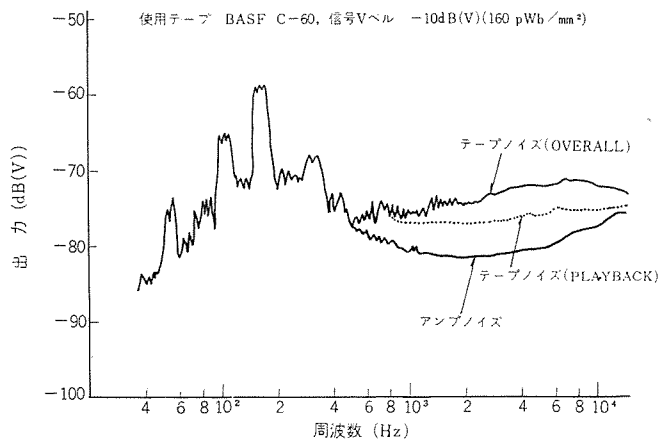


図 4.1 録音再生によるテープノイズ特性
Tape noise characteristic in recording and reproduction

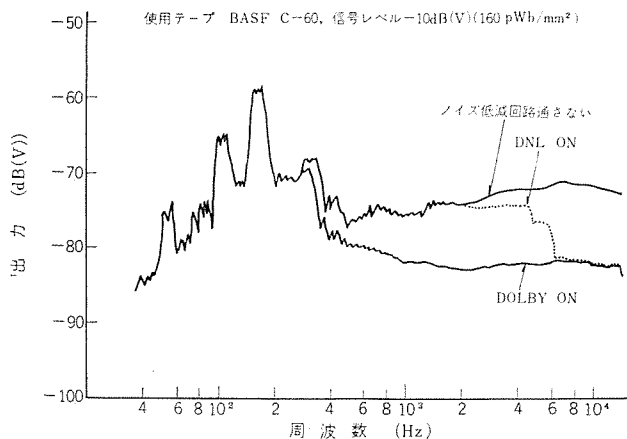


図 4.2 ノイズ低減回路の効果 (OVERALL)
Effect of noise reduction circuit (OVERALL).

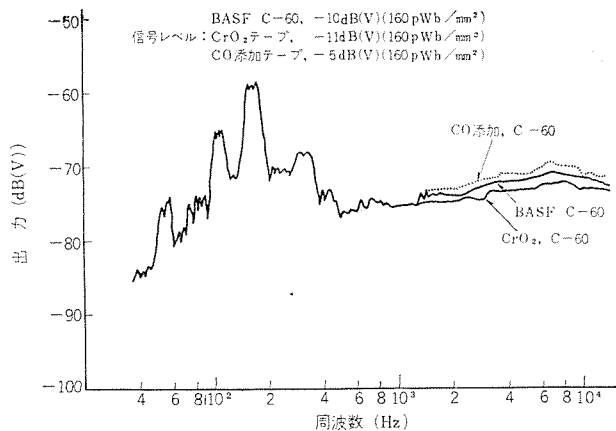


図 4.3 磁性体の種類によるノイズ特性 (OVERALL)
Noise characteristic according to the kind of magnetic substance (OVERALL).

生したときのノイズ特性であり、OVERALLのカーブは、このテープに信号を加えずに、すなわち無信号を録音し、次いでこれを再生したときのノイズ特性である。このグラフから録音再生することにより、中高域においてテープ自身のSN比が悪くなることがわかるであろう。

図 4.2 は、BASF, C-60 を使用して、DOLBY 回路、または DNL 回路を通したときのノイズの低減効果を示している。このグラフ

からわかるように、これらの回路の効果は著しいものがある。ただ DOLBY 回路は、録音および再生の特性を統一する必要があるが、現在、各メーカー間において、DOLBY 研究所の指示のもとに規格が統一されているため、DOLBY と表示されたミュージックカセットおよびカセットデッキは、すべて互換性がある。

DOLBY 回路はカセット全体においての互換性がなく、また回路も複雑になりコスト高にはなるが、その性能の良さから高級形のカセットデッキに採用されている。

一方、DNL 回路は、DOLBY 方式に比べると効果は少ないが、現在市場にあるすべてのカセットが使用できること、回路が比較的簡単であることなどから、普及形のカセットデッキに採用されるものと考えられる。

図 4.3 はテープの磁性体を改良することによって、SN比がどの程度改善されるかを示したものであり、酸化鉄系のテープ (BASF, C-60)、酸化クロムテープ (BASF, C-60) およびコバルト添加酸化鉄系テープ (SCOTCH HE-60) の磁性体の異なった3種のテープのノイズを示している。このグラフにおいて、酸化クロムテープだけは、再生アンプのイコライザーを変えてあるため単純に比較できないが、OVERALLの周波数特性がBASF, C-60と同じになるよう調整されているので、いくぶん、酸化クロムテープのほうがSN比が良いと言える。

コバルト添加のテープは、ノイズレベルは他のものと比べて少し高いが、同一条件における信号レベルが5dB高く、したがってSN比も良いといえる。すなわち、これらの新しい組成のテープは、いずれも再生出力レベルを高めることによってSN比を改善している。SN比のみに注目すれば、コバルト添加のものが良いようであるが、もちろんテープの評価はSN比のみで決まるものではなく、このデータで評価することは早計である。

5. む す び

信号成分をそこなわずにノイズを低減する方法としては、DOLBY方式が最良であろう。しかし、この方式で効果があるのは、あくまでテープ系で発生するノイズに対してであり、近年のテープの進歩を見ていると、テープノイズがアンプノイズを下まわることも夢でなく、そのときには、DOLBY回路等の付加的回路は役立たなくなる。したがって、今後は本質にもどってアンプノイズを下げることに全力をあげる必要がある。

これらのことから、カセットデッキもHi-Fi機器として十分な性能を有することはまちがいない、その取扱いの簡便さから特別な場合を除き、オープンリールにかわって、コンポーネント分野に進出し、大幅な発展が期待されるであろう。

以上、カセットデッキの最大の欠点であるSN比についてその改善案を紹介したが、今後ますます需要が伸びるであろうカセットデッキの性能向上に努めることがわれわれの使命であると考えている。

参 考 文 献

- (1) RAY, M. DOLBY : An Audio Noise Reduction System. Journal of the Audio Engineering Society (Nov, 1971)
- (2) KJELL SAHLBERG : Dynamic Noise-limiter. Radio & Television (NR 3 1972)

ラジオ付き 8 トラックカーステレオの開発

岩本 康雄*・小幡 雅巳*・池田 洋介*・秋田 和範*

Development of Eight Track Car Stereo Combined with Radio

Kyoto Works Yasuo IWAMOTO・Masami OBATA Yôsuke IKEDA・Kazunori AKITA

The car stereo has made rapid diffusion while the FM stereo broadcast has shown considerable increase. In line with the trend the style of the car radio and car stereo is becoming quite complicated. It is anticipated that the demand will become active on the car stereo combined with the radio as high class equipment of motor cars. Under the circumstances, eight track car stereo combined with radio of push button operation in FM, MPX type have been developed. This aims at the introduction of the minimum sized car stereo with AM radio to meet the demand of car builders for the line equipment and to cultivate a market.

1. ま え が き

当社はラジオ付きカーステレオの分野では早くからその将来性に注目し、その開発については業界でも先駆性を保ってきたが、さらに最近、新たに押しボタン式FM・MPXラジオ付きカーステレオ ATP-8020 形、および超小形 AM ラジオ付きカーステレオ ATP-7016 形を開発したので、その開発目的および性能等について報告する。

筆者らは、さきの三菱電機技報の中でカーラジオおよびカーステレオの動向について述べ、将来の傾向としてこのような複合製品への移行を予測したが、この2機種はそれらを具体化したものであり、それぞれユニークな特長を持っている。

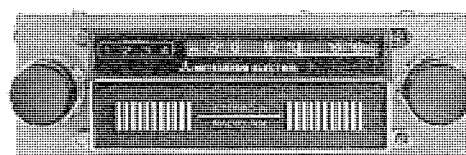
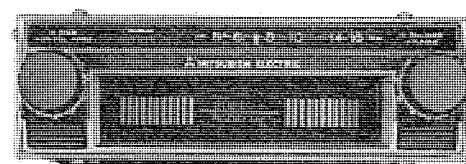
ATP-7016 形は、AM ラジオ付き超小形カーステレオで、テープデッキ部もラジオとのコンビネーションを前提にまとめられ、従来のカーラジオの取付け位置へそのままインダッシュで収まるよう考慮されているので、自動車メーカおよびユーザにとっても興味ある製品であろう。

一方、ATP-8020 形は、業界でも初の本格的な押しボタン同調機構を有する FM・MPX ラジオ付きカーステレオで、アフターマーケット向きの高級機種である。

2. 超小形 AM ラジオ付き 8 トラックカーステレオ ATP-7016 形

2.1 設計の着眼点

AM ラジオが一般大衆車にはほぼ常装備となり、かつカーステレオが勢い普及しはじめ、その扱いやすさと、ステレオ効果により、従来の AM ラジオの取付け部(計器盤上)へ、AM ラジオを内蔵した、いわゆる AM ラジオ付きカーステレオが、取り付けられるようになってきた。すでに進歩的な自動車メーカでは、特に若い世代のユーザの要求を満足すべく、軽自動車へこの AM ラジオ付きカーステレオをインダッシュ装着し、計器盤まわりの空間の有効利用とドライバの運転操作時の安全性を計っている。すでに、小形 8 トラック AM ラジオ付きカーステレオ(ATP-490 形)を生産発売してきたが、現況は内外の市場ともども、小形化された AM ラジオ付きカーステレオの要求がまだ強く、今回さらに小形化と二次性能を含めた信頼性の向上を第1の目的とし、新しい技術を大幅に採り入れ、かつ種々のメリットを付加した、超小形 AM ラジオ付き 8 トラックカーステレオ、ATP-7016 シリーズ(S タイプと E タイプ)を開発したので、ここにその概要と特長を紹介したい。

図 2.1 ATP-7016 S 形
Model ATP-7016 S図 2.2 ATP-7016 E 形
Model ATP-7016 E.

2.2 基本構成

本機の外観仕様上の特長は下記のとおりである。

- (1) 小形・軽量で、AM ラジオを内蔵している。
- (2) テーププログラムインジケータ付き。
- (3) Hi-Fi で知られているピュアコンプリメンタリ回路を採用。
- (4) ラジオ⇄テープの切換えは、カートリッジの抜き差しをのみのワンタッチ切換えである。
- (5) FM ステレオも受信可能(別売りの FM ステレオチューナパックを、テープと同じ要領で差し込むのみで受信できる)。
- (6) 連続スキップ式プログラム切換え装置付き(手動プログラムスイッチを押し続けると、次々とプログラムが連続的に切り換わる)。
- (7) 強耐振構造のキャプスタンドライブ式ヘッドメカニズムの採用により、プログラム切換え電流もわずか 0.3 A。
- (8) カートリッジテープの脱着そ入が軽快なイージェクト方式を採用。
- (9) ヘッドの高さ調整もセット底面から簡単に微調整可能とし、サービス性の向上を計った。

次に取付けに関しては、本機では従来のラジオと同一方式の前面ボリューム軸、2 軸(軸間ピッチ 132 mm)と後部ステータカ所の 3 点止め方式とし、130 mm ピッチのカーラジオと軸間ピッチをほぼ同一とした。これは自動車メーカでラジオ部をめぐらカバーとしている場合も含め、アフターマーケットでのインダッシュ取付けのための計器盤等への追加加工作業を極力減少させるためでもある。また計器盤の厚さは S タイプが 3.5 mm, E タイプが最大 10.5 mm まで、はさみ込み取付けが

可能である。かつ E タイプでは取付け作業性と、車へのデザインマッチングのために ノーズタイプ方式とした。

構成については、セット外形は高さ 52 mm, 幅 164 mm, 奥行 160 mm で、ほぼ中形のカーラジオと同サイズである。一方ラジオダイヤルはテープそう入部の上部に配置し、照明ダイヤルがやわらかなグリーン系、プログラムインジケータはさわやかなオレンジ系とした。また内部には、種類のメリットを持つ新設計の小形メカデッキ(後述)と、すでに実績のある小形の μ 同調ラジオチューナ、およびトランスを使わないピュアコンプリメンタリ回路、小形高性能シリコンレジンモールドタイプのパワートランジスタ等の採用により、セット全体がサービス性をそのこととなく、非常に小形化された。さらに取付けサービスの向上のため、ヘッド高さやアンテナリマ等の調整をすべてセット底面に設けた。

操作については、右側にラジオの同調および左右出力のバランス調整を、左側に電源スイッチ(ロータリ式)・プログラム手動切換えスイッチ(プッシュオン式)・音量調整ボリューム、そして外軸に音質調整器を配置し、ラジオとテープの切換えはテープカートリッジを抜くだけで、テープ演奏からラジオへ切換わるいわゆるワンタッチ式を採用した。

以下に、内部的な特長と性能について、特に従来からの問題点を中心に、本機でのとらえ方を述べる。

2.3 回路構成とその性能

本機の回路構成を図 2.3 に示す。

本回路構成における性能上の特長は以下のとおりである。

2.3.1 オーディオアンプ部

本機では、カーステレオで要求される音質および温度、電圧変動について特に留意し、回路設計上、つぎのような考慮を払っている。

(1) ピュアコンプリメンタリ回路の採用

本機のメインアンプ部は、高信頼性シリコンパワートランジスタを用いたピュアコンプリメンタリ回路接続として、入出力トランスを皆無にし、カーステレオとして広帯域で低ひずみ率、高出力の性能を確保すると同時に本回路の採用により、極力電気回路部品構成容積を減少したのでセットの小形化が可能となった。

(2) 車室内の音質補正

ホーム用など一般の Hi-Fi アンプにおける周波数特性は、システム全体として低域から高域まで、フラットであることが推奨されており、これら Hi-Fi アンプの周波数特性は、ヘッド出力等を RIAA または NAB 規格に従って、イコライザ部(プリアンプ部)で補正し、アンプ総合の出力周波数特性としても、フラットであることが要求される。しかるに本機では車載用という特殊性から、車室内で快い音楽が再生されることを第 1 条件にして、従来からフィールドでの音質で定評のある機種の特長等を参考として、電気回路で若干の音質補正を行なっている⁽¹⁾。

まず低音部の増強については、イコライザ(プリアンプ)での補正に加えて、メインアンプ部においても周波数選択性の局部負き(饋)還をかけて、ひずみを増すことなく低域増強を行ない、車室内における低音の減衰特性を補っている。また高域部の増強については、音量調整回路でその補正を行ない、低・中音量時には高音を増強して必要ダイナミックレンジ、および中域の明確度を確保し、高音量時には高音をやや押えて音にやわらかさをもたせ、聴取者の疲れを少なくするように聴感補正を行なった。

また同時にスピーカーの取付けを含めた車室内の環境条件、および聴取者の好みに合わせた音を得るためには、音質調整幅の広いことが望まれるので、本機でも音質調整で High Max. の時には高音増

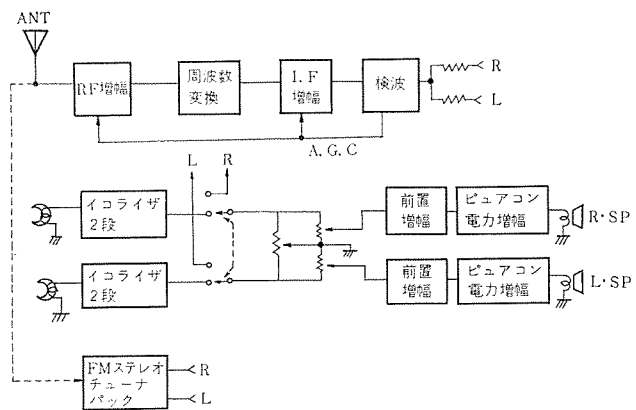


図 2.3 ATP-7016 ブロックダイアグラム
ATP-7016 Block diagram.

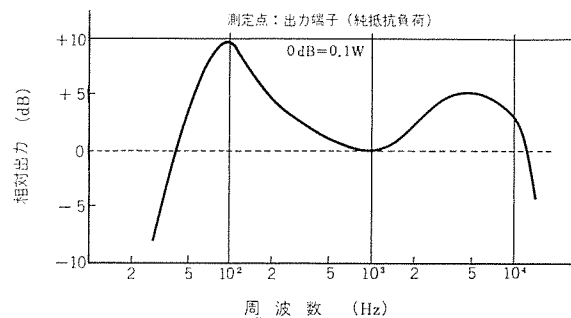


図 2.4 テープ部総合周波数特性
Overall frequency response of tape play back.

強を十分に行ない、音質ボリュームを調整することにより、高域カットのみで広範囲の音質選択が可能であるように定数を選んである。

なおスピーカーは 13 cmφ 以上の口径のものをリヤトレイに埋込み取付けした場合に、その効果が十分に発揮される。

(3) 温度および電圧変動に対する安定化

カーステレオの温度および電圧範囲としては、少なくとも実用上周囲温度で $-20^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 、電圧レギュレーション $10.5\text{V} \sim 16.0\text{V}$ が要求されるので、本機のように位相反転をトランジスタで行なっているピュアコンプリメンタリ回路の場合、一般のホーム用 Hi-Fi アンプにおけるようなバリスタのみでは、実用上問題となるため、本機では特にバリスタとサーミスタの組合せによって、広範囲な温度および電圧変化に対するレベル・ひずみ等の変動についての安定性を確保した。

2.3.2 ラジオ部

一般性能はカーラジオに要求される仕様を満足している⁽²⁾ので、以下本機の特長の主要点について述べる。

(1) ラジオ部の使用トランジスタは、オールシリコン3石により構成され、AGCと検波にはそれぞれ専用のダイオードを採用した。

(2) 同調回路は、複同調中間周波トランスを含めて7カ所に設け、特にカーラジオでも必要条件である選択度の向上を計った。

(3) ラジオ同調用チューナは3連コイルによる μ 同調方式を採用して、一般カー用のポールアンテナと整合させており、高周波部の選択度等の向上を計った。

(4) アンテナ入力回路の静電耐圧保護回路の採用

アンテナ入力回路トランジスタの静電耐圧について、本機では特に下記の方式を採用した。すなわちカーラジオのアンテナ入力回路のトラブルに関しては、車体の座席にビニールレザーが採用されていること等により、人体に高電圧の静電気が帯電するので、そのままカーアンテナ

ナに手を触れること等によって、入力回路トランジスタの破損が発生することがあり、シリコントランジスタ採用の場合に、やや不良率が高くなってきている。もちろん、空電や雑音パルスもその一因をなしている。

この防止策としては、一般にはアンテナ入力回路にエアギャップを設けて高電圧を放電させているが、エアギャップ放電電圧以下の高電圧印加に対しては、基板パターンや各リード、端子の配置により、それぞれ固有の特性を示し、本機の場合、エアギャップのみでの効果が少なかったため、さらにバリスタをベース・エミッタ間にそう入して、入力回路トランジスタの高電圧パルスによる破壊を防止した。

すなわち入力回路を通る高電圧パルスは、トランジスタのベース・エミッタ間順方向接合、またはこれと逆方向に並列接続されたバリスタの順方向接合により、バイパスされるのでトランジスタが保護されることになる。

(5) ラジオ部AM検波出力は2分割して、ステレオメインアンプの左右入力部に加え、ラジオ聴取の場合でも2スピーカーとなり、迫力ある音が楽しめる。

(6) また、最近FM放送局が増加するとともに、ステレオ番組が多くなってきたので、FMステレオ受信の要求も強くなっている。

本機では、すでに発売中の当社のFMチューナカートリッジ(PC-826形)が使用できるよう、セット内部に電源・アンテナ等の接続端子を設けた。もちろんアンテナはAMラジオ用が共用できるので、改めて配線作業等の追加の必要はない。

2.4 テープ機構部とその性能

一般的なメカニズムの特長は従来のカーステレオと同様であるので、以下特に本機の特長を中心に述べる。

2.4.1 キャプスタンドライブによるヘッド切換え機構

リヤジェット形カーステレオ(8トラック)のおもな特長は、磁気テープに録音されている8本のトラックの2本を左右のステレオ信号に利用し、再生することである。したがって常に4種類のプログラムの選択が可能である。そのためには、常時ヘッドを瞬時的に上下に移動させる機構(ヘッド駆動機構)が必要となる。このようなヘッドの上下移動をさせるため、従来はおもにソレノイドの吸引力、またはそのとき、たくわえられたスプリングの反発力を利用していた。これに対し、本機では、テープ駆動のためのモーターキャプスタンフライホイールの慣性力を有効に瞬時的に利用し、小電流で作動するマグネットクラッチと、遊星ギヤをヘッド上下移動部材に結合動作させることにより、動作の安定する3本ピンによる完全垂直移動式のヘッド上下駆動部を構成した(特許出願中:キャプスタンドライブヘッド切換え機構)。

このことにより、従来から問題となっていたソレノイド電流減少のための、ヘッド駆動力不足等が解消されただけでなく、さらにキャプスタン軸馬力に余力があることから、後述の耐振性向上に大きく効果を発揮した。同時に、それらのクラッチを含むメカニズムをすべてフライホイールの下方空間に配置することにより、デッキおよびセットの小形化ならびに特に高さ方向の薄形化に成功した。したがってマグネットクラッチ電流は、従来のソレノイド電流の約1/8(0.3A)以下とすることができた。

2.4.2 イージエジェクト機構

リヤジェット形の別の大きな特長であるテープの扱いの容易さは、エンドレス状のテープが、カートリッジに収納されているので、使用者はただ単にカートリッジをセットにさし込むのみで、演奏を可能としたことにある。このため、セット側では、このカートリッジを極力安定させて

演奏状態に位置付けることが必要であり、位置付けを行なうための、カートリッジのそう入、および演奏を停止するための着脱の操作は、使用者にとってできるだけ軽快であることが望ましい。従来ではカートリッジ保持のため、板バネを主材とするクランプをデッキに固着していたので、カートリッジのそう入および着脱の場合、約3kgの操作力が必要であった。また、カートリッジ寸法のバラツキによる演奏状態でのカートリッジの圧着力のバラツキも大きいようであった。しかるに本機では、約100mmの長さのコイルスプリングとレバーロック機構を採用して、カートリッジそう入動作中は、ほとんどそう入のための操作力を必要とせず、演奏状態となる寸前に、ロックがはずれて、所要の圧着力が得られるよう、当社独自の新カートリッジ保持機構を採用した。もちろん、着脱の操作の時は瞬時的に従来とほぼ同じ力をするが、その後の引き抜き操作では約1/3の力で動作する。同時にコイルスプリングの採用により、カートリッジの寸法のバラツキが従来以上に吸収できるので、テープ走行の安定性の向上にもなっている。

2.4.3 耐振性能

車載用の各種機器では、耐振構造であることが絶対必要条件であることは言うまでもない。しかるに磁気録音方式ではメカニズムに精密度が要求され、さらに車載用としての耐振性が要求されることは、非常にきびしい設計条件を与えることになる。幸い当社では本機に対しても、従来から積み重ねられてきた、走行テスト・ベンチテスト等のデータを盛り込んで実用上問題のない構造となるよう開発設計を進めてきた。現況までにつかみ得た耐振設計の要因と、それら要因に対する本機での対策実施事項を以下に述べる。

(1) カートリッジ保持

前述のとおり、いかなる振動を受ける環境条件のもとでも、カートリッジを安定に位置づけることが設計のポイントとなる。完全にカートリッジをセットに固定することは、カートリッジ内部のピンチローラや、回転系の各種軸の、量産製造上のバラツキの影響をさけるためにも好ましくなく、それら各種軸と回転部材のガタを瞬時的に吸収する構造でなくてはならない。しかもカートリッジ自体も、各メカ、各金型により寸法のバラツキがあり、これらの影響をできるだけ少なくし、振動条件中にも安定した位置づけが必要となる。本機では以上の要因のバラツキを極力吸収し、かつ上下・左右・前後のあらゆる方向の振動に対して、安定なるカートリッジ保持を得るために、前後・左右方向に対しては、コイルスプリングのバネ圧力をローラを介してテープカートリッジに与え、右方側面をローラで受けており、また上下方向には、低摩擦形状の板バネを採用して、実走行上の振動によるカートリッジのガタつきを、これらのバネによって吸収し、かつバネの共振点を実用限界外へ移す構造とした。

(2) テープ送り機構

テープ送り機構の構成部品としてのモータのブラシと極数、ガバの動作点、慣性モーメント、ベルトの固有振動、フライホイールの上下ガタ等に耐振設計が必要である。本機では、モータの上下軸ガタを最小におさえ、ベルトの固有振動を実用外へ逃がし、キャプスタンの軸受けに、小形ボールベアリングを採用し、かつこのベアリングの上下のガタをバネ材で吸収することにより、フライホイールの上下ガタを有効最小限度におさえた。

(3) ヘッドメカニズム

振動条件のもとでは、録音信号をピックアップするヘッドが、テープを受けている振動と同一周期で、テープとともに完全協動すれば、再生音への影響は皆無となる。しかるにセットの各種構成部材はそれ

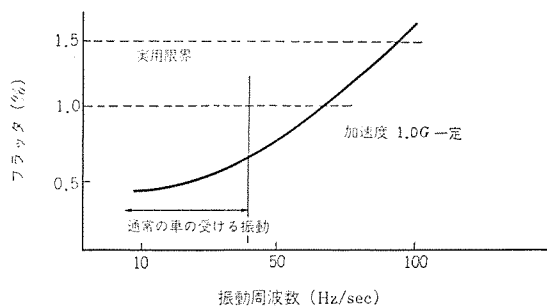


図 2.5 耐振性能
Vertical vibration characteristic.

それぞれ異なっており、各公差内での組立上のバラツキもあり、完全に一致させることは困難である。経験的には他の部品が、パネ材も含めかなりの大きな力で、カートリッジを中心とする関係部品に係合されていることにより、ヘッドの上下・左右・前後のガツキを極力小さくすることが有効となる。本機では、前述のとおりキャプスタンドライブ方式のヘッド切換え機構を採用したので、キャプスタン軸に余力があることから、ヘッド上下方向を支持するパネ圧を従来の約2倍強に増強し、かつ横方向振動に対しては、ヘッド部の上下移動部材の横方向ガタを吸収するための、コイルスプリングを採用することにより、従来以上の力でヘッドをテープ走行系部品により、安定に圧着できたことも耐振性を大きく向上させている。

(4) その他

上記以外にも種々の要因があるが、たとえば、セットの車体への取付けについては、本機では、前面部でボリューム軸2軸による計器盤への締め付け、および後部ステー（できるだけ短いことが望ましい）の3点取付け方式としたが、最近ではセンタコンソールへ取付けられることも多く、コンソール自体がしっかりと車体に取り付けられていない場合には、耐振性が劣下し、不利となる。また本機でも、車体への取付け時のシャシのひずみの影響が、テープ部メカデッキへ及ばないように、シャシカバー底面3点のみで、テープ部メカデッキをシャシに固定したが、良好なる耐振性を得るためにも必ず指定の取付けをする必要がある。以上、耐振性に対しては、本文で述べた以外の種々の効果ある対策も実施しているが、ここでは割愛した。

なお本機の標準的なベンチテストデータを図2.5に示す。実走行テストでの実用限界は、フラッタで1.5%以下で相関がとれている。また車体の振動周波数は7Hz~45Hz程度が確認されていることから、耐振性に関しても十分実用に供することを示している。

3. 押しボタン式FM・MPX ラジオ付き8トラック カーステレオ ATP-8025 形

3.1 設計の着眼点

最近のわが国の乗用自動車にはほとんどAMカーラジオが装着されており、また数年来のカーステレオの急速な普及はめざましいものがある。しかしながらカーステレオは、プログラムソースをテープのみに頼るため飽れやすく、その補給が高価なものとなり、多くの若い需要家にとって大きな金銭的負担となっている。これを補うため、音楽放送を中心としているFM放送の受信を希望する音楽ファンがふえていく。特に最近NHKのFM放送のステーションがふえ、大都市においてはFM民間放送も普及しつつある。またFM放送は、AM放送ではできないステレオ放送が可能であるので、カーステレオの欠点を補うのに適している。FM放送を自動車内で受信する方法としては、

FM/AM2バンドカーラジオ・FMコンバータ・FMバック等の方法があるが、多くのAMカーラジオが、装着されている自動車の所有者がFM放送をステレオで楽しみたいとき、カーステレオと同時にFM・MPX受信可能なものを購入するのが最も便利である。従来FMバックと称するリアジェット形カートリッジと同形のFMチューナをテープの換りにそう入することによって、FMを受信しようとするもの(例、当社形名PC-826形FM・MPXチューナ)が多かったが、これは簡便ではあるがFMとテープの交換がめんどろであり、性能・同調操作とも自動車用として十分なものとは言いきれなかった。これらの観点からFM・MPXラジオを内蔵したカーステレオの開発を企画し、設計に当って、

(1) カーユースを前提としてFM放送の同調は、プリセットが可能であること。

(2) できるだけ小形であること。

(3) 音楽ファン向けとして、テープ・FMとも良好な音質であること。

等をねらって高級機種とすることにした。

3.2 基本構成

FM・MPXラジオを内蔵したカーステレオは、すでに他社から発売されていたが、これらはすべてマニュアル同調式のものであった。当然のことながら、自動車用として運転中の操作はできるだけ単純であることが望ましく、プリセット機構または自動同調が非常に重要な機能である。本機では、きびしい温度の条件の下でも安定なμ同調プリセット方式を採用した。また外形寸法は自動車の取付けスペースと他社競合機種を考慮して、高さ80mm、幅180mm、奥行180mmを目標とした。

従来のAMカーラジオは5押しボタン式が普通であるが、国内においてはまだFM放送局はAMほど多くはないし、国外も含めて一般のFM/AM2バンドカーラジオのFM用ボタンは、5押しボタン中の2~3ボタンであることなどから押しボタンは三つあれば十分と考え、3押しボタンとダイヤル機構を横一列に配列した、厚さ25mmの薄形のチューナを開発し、これによってセットの高さを80mmとすることができた。

テープデッキ部のヘッド駆動は、当社カーステレオ、ATP-9200形等で開発使用され、実績のある垂直上下式の機構を採用し、カートリッジの保持を特に安定すると同時に、キャプスタン軸表面にホーニング加工を施してテープ駆動を安定化している。

前面の構成は、安全性と意匠の面から上下に特殊とつ(凸)部のあるタイプとし、軸間ピッチは、操作性と輸出をも考慮して148mm(5¹³/₁₆")とした。カーステレオとFM放送の選択はカートリッジにより行なうことができ、ミュージックテープをそう入すると自動的にカーステレオを優先選択するようになっている。また、カートリッジをそう入して電源を切り、演奏しないまま長時間放置することはカートリッジのピンチローに変形を与え、ワウの原因となるのでこれを防ぐため、スイッチを切ってもカートリッジがそう入されていると、点灯するインジケータランプをアラームとしてつけている。このランプは、FM受信時はステレオインジケータとしての働きをも兼用する。

その他、操作ひん度の多い音量調節・トーンコントロール・バランスコントロール・チャンネル切換え・マニュアル同調の各機能を左右の軸に集中し、FM受信時のステレオモノラル強制切換えスイッチ、およびチャンネルリポートスイッチをこれらの軸の下に配置した。

前面のスペースは制限されているため、図3.1のような非常に密度の高い構成となった。

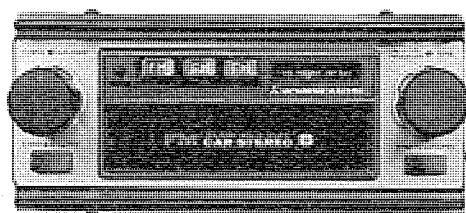


図 3.1 ATP-8020 形
Model ATP-8020.

3.3 回路とその性能

3.3.1 回路構成

テープ部はイコライザ 2 石/1 ch, ドライバ 2 石/1 ch でシリコントランジスタを使用, パワーアンプは音質を考慮して SEPP 回路を採用し, 低周波回路部は FM 部と共用されている。FM 部フロントエンドはカーラジオで実績のある μ 同調 3 連, IF 部は 4 段複同調, FM 検波はレオディテクタ, MPX 部はスイッチング方式による復調回路で, 自動および手動のステレオ-モノラル切換えを有し, ステレオインジケータが付属している。テープとラジオの切換えは信号 2 系統, モータ, インジケータの合計 4 回路である。図 3.2 にそのブロックダイアグラムを示す。

車載用 FM 受信機と家庭用 FM 受信機との使用上の最も大きな相違点は, 受信時に

- (1) 電界強度の変動が激しいこと
- (2) 常に道路上で受信するため, 自動車のイグニッションノイズや都市雑音の影響を受けやすいこと
- (3) きびしい温湿度条件の下におかれることから, 特にリミッタ特性や MPX 回路の左右分離度に対し, 十分な補償が必要等である。以下これらに対し, この機種でとられた対策について述べる。

3.3.2 感度と耐雑音性

電界強度変動の激しい自動車ラジオでは, 特にすぐれたリミッティング特性が要求される。レオディテクタを使用しているこの機種では, 特にリミッタ段をもたないが IF 回路の後段より順次リミッティング状態に入る。FM 放送の場合, ビルの谷間や大きな障害物のあるところでは, 直接波と反射波が干渉し, わずか数メートルの移動で入力レベルが 30 dB 以上も変化する場合がありますので, 十分リミッティング感度をあげ, かつ AGC は遅延して働くようにしてある。

この機種のリミッティング感度は, JIS 測定法で入力レベル 20 dB(μ V) 以下に設計されている。実用上の感度は, このようなセットの入力感度の他に雑音によって大きく影響される。雑音は受信機内部で発生する雑音, 銀河系より発生する宇宙雑音, 電気器具類や自動の点火プラグ等から発生する都市雑音等があるが, 車載用 FM ラジオにとって最も大きな障害となるのは都市雑音である。都市雑音と称される人工雑音はほとんど, 衝撃雑音であり, VHF 帯に分布する各種の衝撃性雑音が集合されて連続性雑音となり, 受信機に妨害を与える。都市雑音の大きさは世帯数に比例し, 道路上で最も強く道路からの距離が離れるに従って弱くなる。最近の調査では, 日本の都市雑音は平均して道路から 10 m 離れて 30 dB(μ V/m) ぐらいあると言われている⁽³⁾。常に道路上で受信し, アンテナの指向性によってアンテナ入力の S/N の向上を期待できない車載 FM ラジオは, 最も不利な条件にある。特に弱信号時において S/N の劣化するステレオ受信の際この影響が大きい。これに対し, 性能面では最高感度だけを上げるとは効果的ではないが, リミッティング感度を上げることは, 弱信号時における AM 抑圧効果を上げ衝撃性雑音の抑圧に効果が

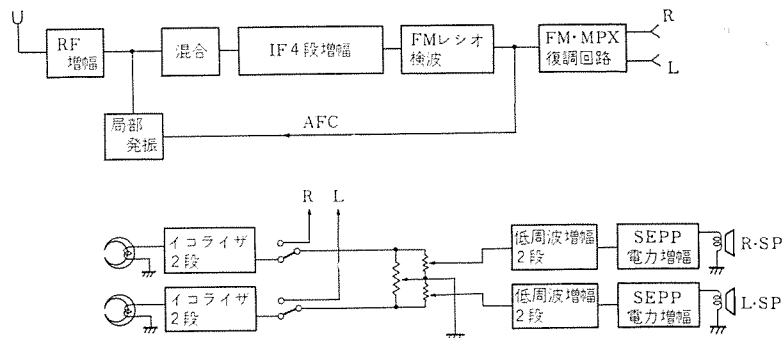


図 3.2 ATP-8020 ブロックダイアグラム
ATP-8020 block diagram.

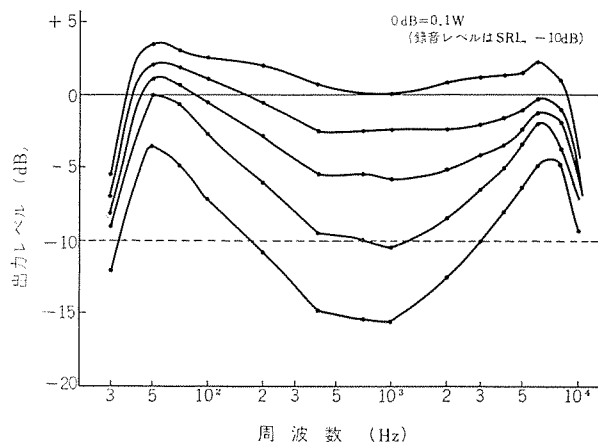


図 3.3 ラウドネスコントロール特性 (テープ部)
Loudness control characteristic (tape).

ある。また, 自動車という特殊な条件で聞かれるため, 一般の家庭用のものと異なり, 周波数特性で雑音成分の多い高域を多少抑圧し, 聴感上の S/N 比を改善する方法もとられている。

さらに, 実際の使用に当たって同調正確度と耐雑音性が関連があるが, この機種では押しボタン操作のメリットを生かし, AFC はカーラジオと同様, 常時働くようになっている。

3.3.3 音質

高級機種として開発されたこの機種では, ラウドネスコントロールが考慮されている。音質調整ボリュームは機構上 1 個しか付けられないため, 回路は簡易形のラウドネスコントロールであるが, テープ時の周波数特性は図 3.3 に示すように, 小出力時の特性は聴感補正されている。

テープ時にラウドネスコントロールをかけると, 低周波部を共用するこの回路では, 当然 FM においてもラウドネスコントロールがかかる。テープ時にこの特性が最良となるように定数を決定すると, FM 受信時において, 実用上最もよく使われるレベルで高域が強調されるため, 弱電界時の聴感上の S/N が劣化し耳ざわりとなる。これを防ぐため FM 部の周波数特性に考慮が必要である。

前述したように, カースtereo は自動車内という特殊な室内で聞かれるため, カースtereo が一般に家庭用ステレオとは異なった特殊な周波数特性を持つように, FM ラジオにおいても, 必ずしもエンフェシス曲線に忠実である必要はないと考えられる。したがって FM の周波数特性は指定のデエンフェシス時定数より大きくし, ラウドネスコントロールは, テープ時の効果のメリットがなくなる範囲で効果をゆめ, テープ部とラジオの妥協する点で FM の周波数を決めている。これらの曲線は, 必ずしもフレッチャー-マンソン曲線に従ったラウドネスコントロールではないが, 自動車内の音響として満足な特性が得られている。

3.3.4 MPX 回路の耐温度・耐湿度特性

自動車は世界各地へ輸出され、極寒の極地から猛暑の熱帯に至るまであらゆる気象条件のもとで使用されるため、非常にきびしい性能が要求される。テープ部はカートリッジの性能によって限定されるため、 -10°C 以下では総合特性が劣化するが、ラジオ部では受信周波数のドリフト、出力の増減、ひずみ率の劣化、FM ステレオのセパレーション等が問題となるが、受信周波数のドリフトは、 $-20^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ で $\pm 150\text{ kHz}$ 以内となるよう補償されている。FM ステレオのセパレーション S は一般に次式で表示される。

$$S = 10 \log \frac{1 + 2a(\phi)\theta \cos \phi + a^2 \cos^2 \theta}{1 - 2a(\phi)\theta \cos \phi + a^2 \cos^2 \theta}$$

ただし

$$a = \frac{\text{主信号の振幅}}{\text{副信号の振幅}}$$

ϕ = 主信号の位相 - 副信号の位相

θ = 注入副搬送波の位相

ここで

$$\begin{cases} a = 0 \text{ dB} \\ \phi = 0^{\circ} \end{cases}$$

の理想条件が成立したとしても、副搬送波の位相 θ を 35° 以内におさえないと

$$S > 20 \text{ dB}$$

は実現しない。 θ の変化は、最初にセッとした共振周波数 f_0 から Δf だけずれたとすれば

$$\Delta \theta = \tan^{-1} \left(Q_L \frac{2\Delta f}{f_0} \right) \quad (Q_L: \text{共振回路の負荷 } Q)$$

だけ位相がずれることになる。この式から $\Delta \theta$ を小さくするためには、

- (1) 回路的に Q_L を小さくするか
- (2) Δf が発生しないように補償する

(1) の方法は良好な分離度を得ることがむずかしく、(2) の方法によらなければならない。この共振回路は、インダクタンスとスチロールコンデンサの温度係数は $-150 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるので、インダクタンスの温度係数はこれを補正するものを選ばれる。また、低温においては、スイッチング用のダイオードの特性変化により分離度の悪化をきたす場合があるので、ダイオードに微小バイアスをかけこれを防いでいる。図 3.4 に分離度の温度特性を示す。

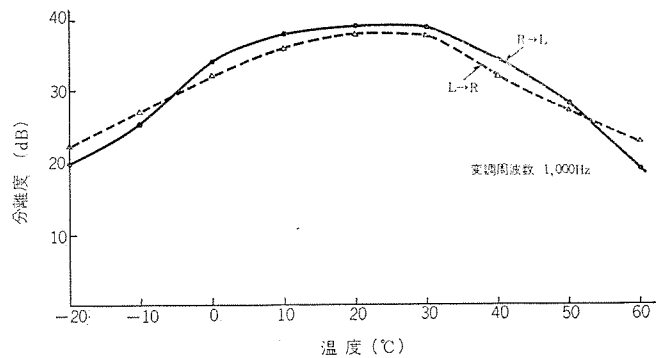


図 3.4 FM ステレオ 受信時の左右分離度—温度特性
Stereo separation vs. temp. characteristic of FM・MPX circuit.

分離度は実用上 20 dB 以上あるのが望ましいが、15 dB あれば十分音の広がりを感じることができるので、15 dB 以上がステレオとしての実用範囲であろう。

また、コイルの経時変化も分離度に大きな影響を与え、重要な問題である。コイルのコアの特性変化や構造の形状変化に起因するものでコイルの選択には十分注意する必要がある。この機種では、 45°C 95% RH 48 h 3 cycle の試験により分離度の劣化がほとんどないことが確認されている。

4. む す び

当社で新しく開発したラジオ付きカーステレオについて述べてきたが、今後、自動車用 Entertainment はますます多様化が予測され、その取付けスペース、効率および装備のしやすさ、操作のしやすさ等に大きな利点のある、ラジオ付きカーステレオが、すでに自動車メカでの標準装備の一部にもなりつつある。

アフターマーケットにおけるカーステレオ需要が一巡したあと、このような合理性に富んだラジオ付きカーステレオが、上級車種の常装備品として着実な伸びを示すと思われるので、さらに機種の充実を計ってゆきたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 藤田・小幡：三菱電機技報，44，No. 3，416（昭45）
- (2) 岩本・増山・奥村：三菱電機技報，44，No. 3，409（昭45）
- (3) 齊藤・磯部・松本：FM ステレオ 受信機，日刊工業新聞社

カラーテレビのハイファイ化

仲野 孚*・榎本 秀夫*

Color TV Receivers with Hi-Fi Sound

Kyoto Works Makoto NAKANO・Hideo ENOMOTO

The sound system of color TV sets has been treated subordinatedly in many cases. However the latest demand of supplying them to the market, with the improvement of their performance to meet multifarious requests of customers, makes it necessary to pay particular attention to high fidelity of sound as one of key points in the design.

This article describes a sound system of Color TV to answers the purpose by constructing the cabinet large sized and containing a loudspeaker with an aperture of a large diameter in it, and further by enlarging the low band reproduction range through the compensation with electric circuits.

1. ま え が き

テレビの音声はややもすると軽視されがちであるが、当社では本年度新製品の一つとして音響重点形カラーテレビを開発したのでその意図と概要について述べる。

2. ハイファイ化の必要性

消費者からみたテレビの条件はいうまでもなく映像と音声であり、このうち映像についてはつねに競争の中心になっているが、音声については付随的に扱われる場合が多い。これはテレビの特質が映像であり見ることが第一であると思われているためであろう。しかし脇役の音声も不可欠のものであり、街にはハイファイ音響製品があふれてますます高度化されている現在、テレビの音声もその性能について、今後の残された分野ではないかと思われる。

テレビ音声系の欠点として、FM放送と比較した場合の最大周波数偏移の狭さによるダイナミックレンジの制約、インタカリア受信によるバズおよび他回路の誘導によるハム、雑音等があげられる一方、利点として映像と一体になったより良い視聴感覚のバランス、新録音(画)のため新鮮な音質の場合が多いことなどがある。現在、前者の欠点はほぼ実用的に問題ないレベルになっているが、後者の利点についてはなお生かす余地があるように思われる。

すなわち、映像と一体になった音声の臨場感が多チャンネル化され

た場合にも飛躍的に向上するであろうが、現在のモノラルシステムにおいても、映像があるために音の感じが変わるわけで、これをハイファイ化すれば臨場感にはさらに改善されることが期待できるであろう。また消費者の好みの多様化という外部情勢に目を向けるとき、音質についての特色を打出したテレビが必要になってきている。このため、当社ではハイファイ化の一要素である再生帯域の拡大を試みたカラーテレビ20CK-61A形(図2.1)を開発した。

3. セットの特性について

再生帯域としては、高域と低域特性のバランスがとれたものが望ましいわけであるが、このうち低域特性についてはキャビネットの制約で再生限界があるため、従来、スピーカーの数をふやすという手法がとられている。しかしなお低域不足気味であるため、今回、脚またはスタンドの部分をキャビネットの延長にしてスピーカー収容部に含めることによって、30cm口径スピーカーを取付け、低域再生帯域をひろげた。使用スピーカー単体の周波数特性を図3.1に示す。

またテレビキャビネットは容積に限度があり、さらに後面開放に近い構造であるため、電気的に補正してスピーカーの特長を生かす必要がある。図3.2(a)、(b)に補正後の音響周波数特性を、図3.3に電気出力の周波数特性を示す。ここで図3.2の音響周波数特性は、音声IF増幅器に加えるIF入力信号の音声変調周波数を、プリアンプをかけて変えたときの音響出力を通常の聴取レベルのボリューム位置について表わしたもので、これは放送局から聴取者に至る総合周波数特性とみることができる。なお図3.2(b)は当社の従来のカラーテレビのうち比較的高域と低域のバランスのとれた聴感上好ましい特性のセットとして20CKS-956形があるが、これと比較して今回のものはさらに50Hzまで低域をのばすことができ、ソースによって

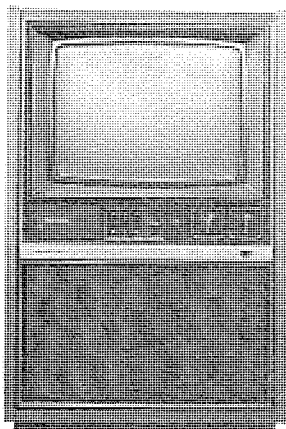


図 2.1 大口径スピーカーカラーテレビジョン (20CK-61A 形)
Two models of color TV receiver with large cone speakers

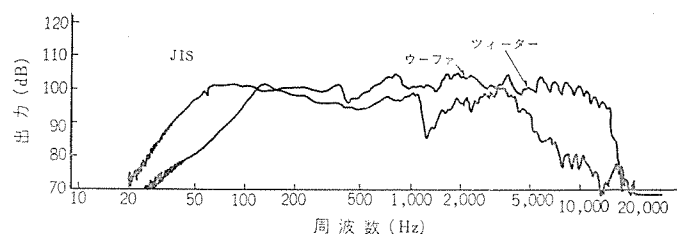


図 3.1 スピーカー単体の周波数特性
Acoustic characteristics of loudspeakers.

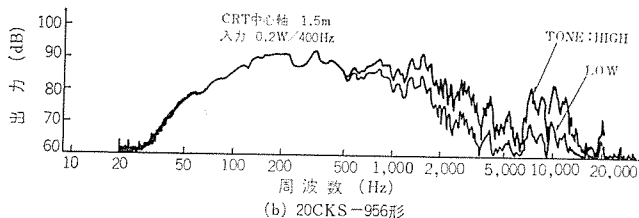
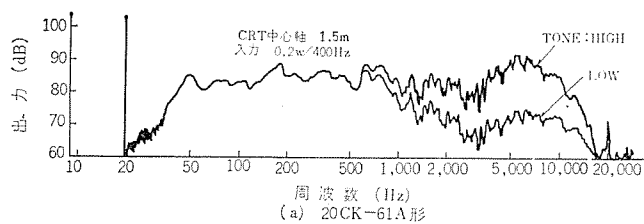


図 3.2 カラーテレビの音響周波数特性
Acoustic characteristics of color TV receivers.

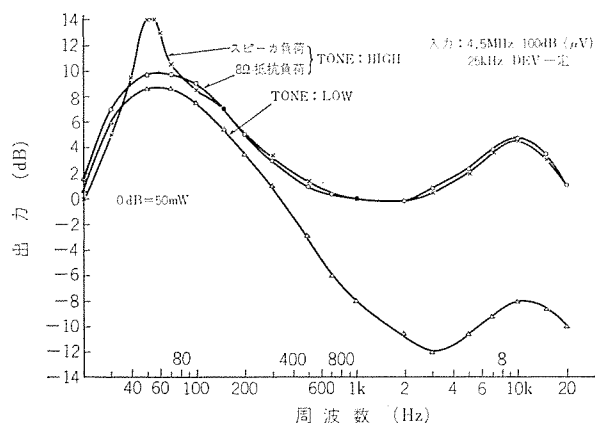


図 3.3 電気出力の周波数特性
Output level vs. frequency at a loudspeaker terminal.

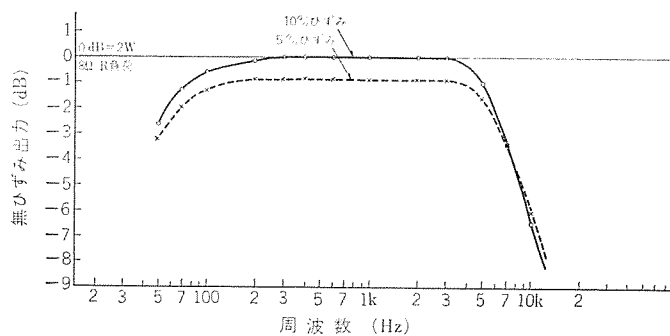


図 3.4 無ひずみ出力周波数特性
Non-distortion output level vs. frequency.

いわゆる重低音の再生が可能になった。図 3.4 に無ひずみ出力特性を示す。従来の出力回路を使用したため、出力レベルが若干小さいが実用上この程度で十分で、目的とした従来セットにプラス重低音再生という効果はあったと考える。

4. む す び

カラーテレビのハイファイ化の必要性と、その一手法としての 30 cm スピーカー内蔵セットの特性について述べた。カラーテレビのハイファイ化は今後さらに検討すべき諸問題、たとえば残響をもった実際の視聴場所におけるテレビという特殊な音響キャビネットによる、より好ましい特性を得るための電気系と音響系との有機的な検討、あるいは映像と音声との関連性—テレビに則した音作りの検討—などがある。

最近のポータブルラジオ

福井 貢*・井上 忠雄*

The Latest Portable Radios

Kyoto Works Mitsugu FUKUI・Tadao INOUE

The latest portable radio is no longer to be regarded as the means to catch news only. It is now found to play a familiar part of amusing oneself by listening to music. The old concept of demanding it to be small sized and lightweight does not hold good. High fidelity, good performance, a large output and a low distortion factor are new requisites together with a variety of functions; and ease of operation backed up with new design is keenly demanded for it. To cope with the users' craving for high grade products, Mitsubishi radio model FIC-202 has been developed to meet with the trend in the market.

The article gives description on the consideration to the design of the latest radio and its outlines in reference to the model FIC-202.

1. ま え が き

本機は1 IC+1 FET+ 9 石 トランジスタで構成されているスーパーヘロダイン受信機である。

最近の市場が要求しているFMの感度レベルは、従来のシリコントランジスタを使用するかぎりにおいて、ノイズフィギュア、入力インピーダンス等の観点からラジオの性能の限界域に達してきているが、FET(電界効果トランジスタ)の普及がめざましくなった現在、従来のトランジスタに比べ入力インピーダンスも高く、混変調、低雑音特性にすぐれたFETの導入によって、より高いレベルの感度と安定した性能を得ることが可能となった。しかしまだ従来品のトランジスタに比べて高価であるという欠点があるため、低価格の製品に使用するにはコスト面でどうしても無理が生じ、採用を断念しなければならないのが現状である。

本機では、このFETをFMの高周波増幅段にMOS形よりも雑音特性にすぐれている接合形のFET、2SK33を使用している。またFMの中間周波段には、FETと同様に当社の北伊丹製作所で開発されたモールドタイプの半導体IC、M5105形の差動増幅部を利用して、安定したFM中間周波増幅およびリミッティング特性をえている。レベルメータには、切換えスイッチなしで同調指示とバッテリーチェックの役目をする回路を組入れてある。

また、電源に電池を利用する場合、電源電圧の低下を考慮したバイアス電圧の供給を計る必要があるが、ここではバリスタを使ってバイアス電圧の安定化を計っている。電池は単二形乾電池を3本使用する関係で、電池消耗度の点から考えて、最大出力は1ワット程度が限度となり、この範囲の出力に止めておいた。また、FM音楽放送の普及に対処すべく、能率のよい(楕)円形スピーカーの採用と平行して、ラウドネスコントロールも付加させて音質面にも配慮した。これらはいずれも現存する種々の市場要求の動向に合わせて開発設計を行ったものである。

機構的には、意匠面・操作面から生ずる要求と、電気性能面、工作面から発生する要求との相方をみため、電気的性能に悪影響をおよぼさず、また、複雑な形状を一体で形成することのできる成形品のシャシを採用した。このシャシには、プリント基板をはじめ、ボリュームコントロール、メータ、各種の操作スイッチ等をこの成形シャシに取

付け、工作作業の単純化をはかると同時に板金では考えにくい構造のシャシを設けた。

2. おもな機構

本機は前面に操作部を設けることによる機構設計上の複雑化をさけるため、組立作業をしやすくし、一部の部品点数の削減とモールド化をはかった。意匠と、操作性とはとかく一致しないものであるが、当FIC-202形では次のようにして協調をはかった。すなわち、図2.1を参照して、当機はスイッチ類が前面ダイヤル目盛板の下方にアレンジされ、意匠的にはシンプルになっている。

一方、電気的な観点からみるとAFC切換えスイッチ、ラウドネスコントロール等は直流バイアス、または低周波を切換えるので、操作部と回路が多少はなれていてもリード配線をして意匠面の要求をみたせるのは比較的容易であるが、バンド切換えについては高周波回路をきりかえる必要があるので、スイッチ自体を高周波回路の近くにおき、電気的な不安定要素を取りのぞく必要がある。FIC-202形では、バンド

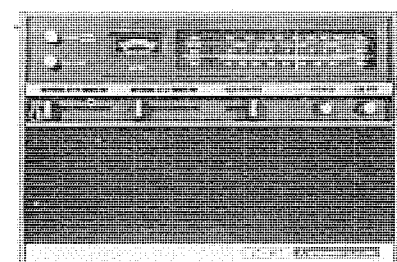


図 2.1 三菱 IC ラジオ FIC-202 形
Mitsubishi IC radio type FIC-202.

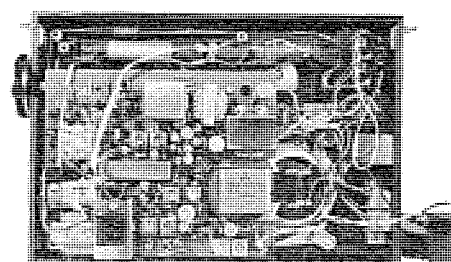


図 2.2 FIC-202 形ラジオ内部
Interior view of FIC-202.

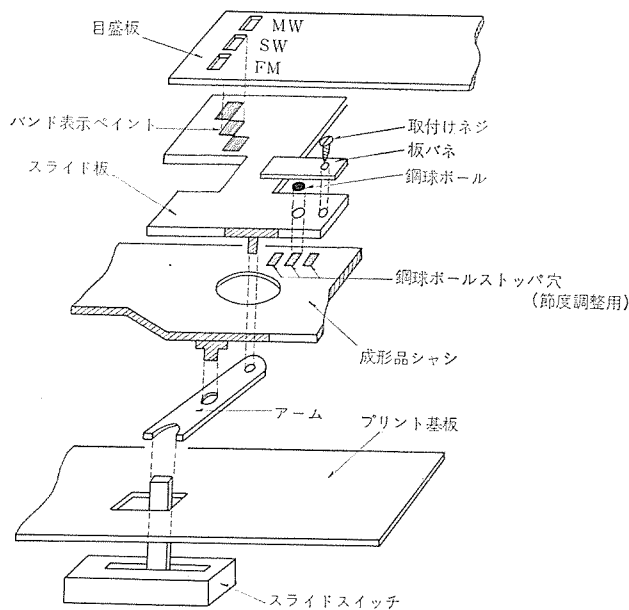


図 2.3 バンド切換え操作機構
Band-selector mechanical view of FIC-202.

切換え自体をプリント基板に直結させ、回路の結線自体も印刷回路をできるだけ多くし、電気的な安定化を計ると同時に、リード配線を少なくし工作上的省力化を計った。

また、バンド切換えスイッチと操作部(つまみ)との連結は、てこの原理を利用して操作位置を移動するとともに、切換えの移動幅を調節してある。2バンドラジオのように2接点切換えスイッチの場合では、スイッチ節度はあまり問題とならないが、このラジオのように3バンドで3接点切換えのスライドスイッチを使用する場合では、スイッチの中間点(SW帯)の切換え節度がうまく調整できないという問題が発生する。この対策として図2.3でわかるように、スライドスイッチの駆動機構の一部に銅球ボールと板バネを使って、左右方向にバンド切換えをさせた時の力の調整と切換え時の節度調整をこの部分で行っている。

また、バンド切換えによるスライド板の左右方向の移動幅を利用してバンド切換え表示を行なっている。これはスライド板のバンド切換えによる移動幅の関連に沿って、斜め方向に色入れを施すことによって、目盛板の穴を通して色入れ部が見えるように設計されている。これらの機構は、いずれも成形シャシの利用によって簡単な構造にすることができた。また、これ以外にも、アンテナホルダ、ローラ支持軸、同調軸の受け、指針案内板、ボリュームおよび各種スイッチ類等が直接成形品シャシに取り付けられるようになっている。

また、一方電気性能面に対しても、機構設計上どうしてもシャシとフェライトコアアンテナ位置は平行位置になるため、金属性のシャシを使用した場合は、アンテナコイルのQの低下はどうしても避けられず、感度やS/N比などかなりの悪影響をおよぼすものであるが、この面でもこれらの影響をほとんど受けないのでかなり有効であった。

このように成形品シャシによるメリットは多く、またキャビネットをはじめポリバリコン、配線用リードなど、静電気発生要素による静電気ノイズの発生も問題にならない。

3. 回路構成

図3.1はFIC-202形ラジオの回路である。以下、FMおよびAMバンドの回路構成について順次述べてみる。

ロッドアンテナに誘起されたFM入力信号は、L1、C70により成る直列共振回路に加えられ、L2、C1のANTマッティングコイルに供給すると同時に、ロッドアンテナ間に存在するストレー分をキャンセルさせるとともに、スプリアス特性の改善が行なわれている。信号は次に接合形FET、Q1に加えられるが、これは従来のバイポーラトランジスタに比べ混変調特性、相互変調特性など、いわゆるスプリアス妨害排除にすぐれているため、ますます増加の一途をたどるFM局の電波事情の悪化、特に混信に対処するものとしても有効である。ここで高周波増幅され、ドレイン端子をL3のタップに接続することでQの低下を防ぎ、高選択度特性を得ている。

C5にて取り出された信号はQ2の混合回路へ供給される。ここでQ3の局部発振出力がC6を通して加えられ、10.7MHzの中間周波数を作り出している。Q2のエミッタにそう入されたフェライトビーズコア(FB1、FB2)は、有害な寄生発振を防止している。また、L4、C8は10.7MHzの中間周波数となるよう選ばれており、混合段の変換利得を上げている。混合段で作られた中間周波信号(以下IF信号と略称)は中間周波トランス(以下IFTと略称)T1を経てQ4で中間周波増幅される。

次いで、T2を通してQ5で第2段のIF増幅がなされ、このコレクタ回路にはC14が接続されて、第1番目の同調指示メータの制御電圧が取り出されている。そして増幅された信号は、T3を経てICの端子⑧に加えられる。このIC内部には三つのブロックに分けられてあって、その中の第2ブロックにある差動増幅器を利用してIF増幅が行なわれている。このため、利得やリミッティング特性は一段とすぐれたものとなっている。また、同調指示特性を改善するための第2番目の制御電圧は、端子⑨より取り出している。

この役で十分なリミッタをかけられた信号は、平衡形レシオ検波器を通して検波復調される。この検波出力の一部を利用してAFCがかけられており、R36、C42、R40、C52の積分回路を経て直流化された電圧は、キャパシタダイオード、D1に加えられ、発振周波数の安定と受信時の帯域を広め、ひずみのない受信に役立っている。

復調された可聴周波信号(以下AF信号と略称)はラウドネスコントロール回路をもつ音量調節器VR1を経てQ7のAF増幅器に供給され、ベース回路にはC57とVR2とで構成された高域減すい形の音質調整回路をもうけてある。またR48はNF回路を構成し、この段のひずみを少なくするよう設計されている。ここで増幅されたAF信号はC59を通しQ8の駆動段に供給され、次段の電力増幅段を駆動するに十分な電力をインプットトランスT9によりQ9、Q10のB級電力増幅段へ供給している。この段に使用しているサーミスタRT1はバイアス素子に使用し、温度変化(-15°C~+60°C)に対するバイアス補償を行なわせてある。

AM受信においては、フェライトコアアンテナに誘起されたMWまたはSWの信号をQ6の自励式変換回路に供給させ、この段で455kHzのIF信号に変換させている。この信号はIFTのT6を通り、前述のFMのIF増幅部でもあるQ4に供給される。T6の1次側には利得調整と必要な帯域幅を得るために、ダンピング抵抗R25が負荷させてある。また強入力時におけるIF増幅段の飽和を防止するためD6を使用している。このD6にはR42、R45で固定バイアスをかけ、弱入力時のダンピングを防止している。

Q4により増幅されたIF信号はIFTのT8を経て、D5により検波復調されてS1を通して低周波増幅段に導かれる。以下は前述のFM受信と同じである。

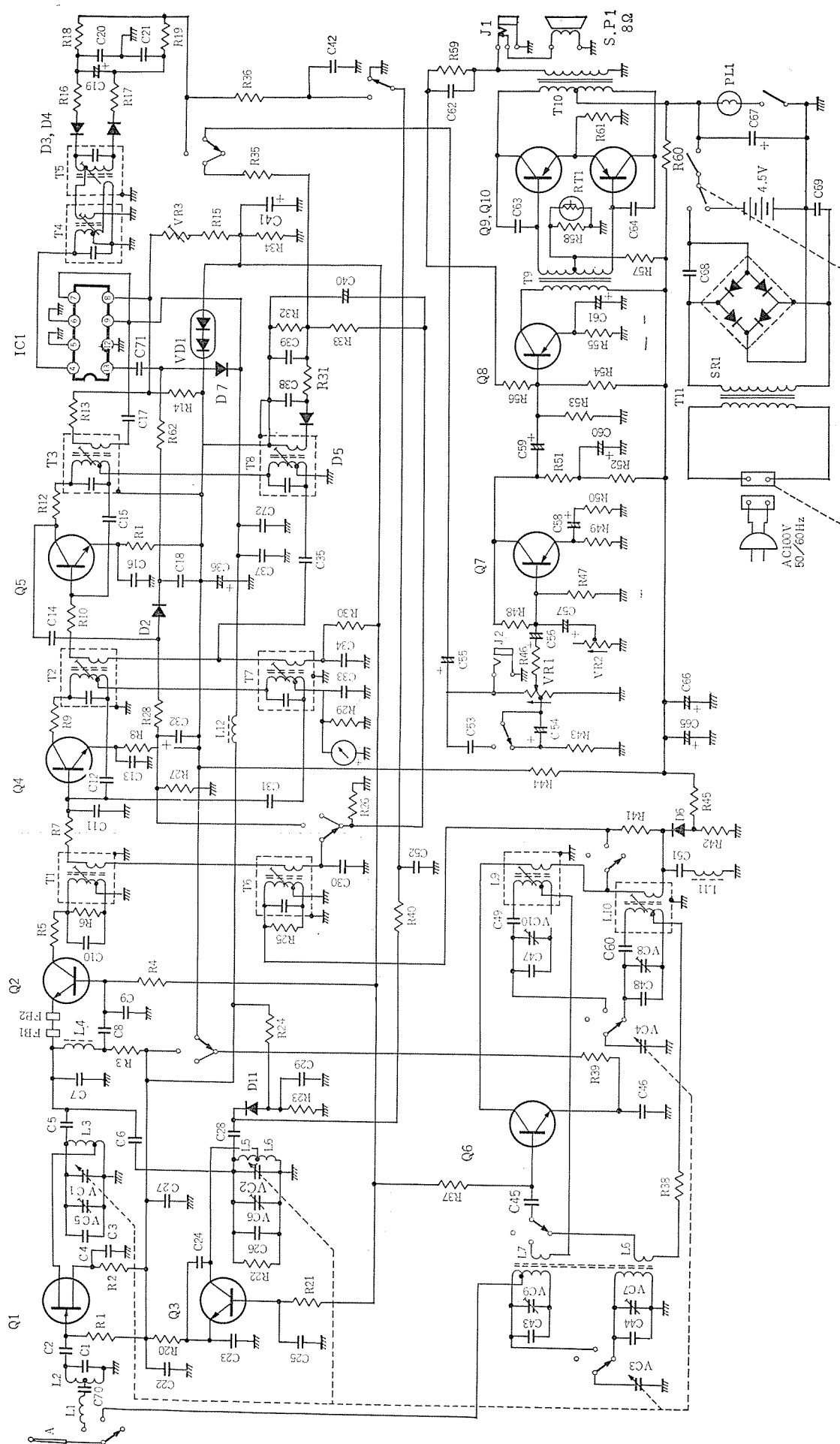


図 3.1 FIC-202 回路
Schematic diagram of type FIC-202.

3.1 付属回路

(1) 安定化回路

ポータブルラジオにおいては電池の劣化時、あるいはセットの限られた容積内のスペースに内蔵させられた電源トランスなど、どうしてもレギュレーションが悪くなって、電圧変動による感度低下がはなはだしく悪くなる。本機では簡単かつ有効な方法として、シリコンバスタ VD1 に R34 で順方向電流を流し、順方向電圧を利用して Q2、Q3、Q5、Q6 にバイアスをかけている。したがって、安定化しないとき電池電圧が 70% に低下した場合は、本来最大感度が 25~30 dB と悪化するのに比べ、これを使うことによって 15 dB 以内の低下に抑えることができた。この回路において、Q4 のバイアス電圧が安定化回路より供給していないのは、このトランジスタの IC/VBE 特性を利用して、バッテリーメータを作動させているためである。

(2) 同調指示

従来の一般的な方法としては、中間周波増幅回路の一部より信号を取り出し検波整流してメータを作動させていた。このように 1 か所から信号を取り出す方式では、弱電界から強電界までの広範囲にわたってメータを振らせるには、IF 増幅段のリミッタ特性が関係して困難であった。本機では IF 信号レベルの異なった増幅段より別々の信号を取り出して検波整流し、それらの信号を加え合わせた電圧を、コレクタ負荷 R29 の両端でメータを振らせている。また AM 受信においては、R33 を含む AGC 回路構成によって発生した AGC 電圧変動を利用して同調指示を行なっている。

(3) ラウドネスコントロール

音量が絞られたときの人間の聴感覚は、図 3.2 のフレッチャー・マンソン聴感曲線にみるように、低域と高域で低下することが知られている。特に低域での聴感上の低下は、高域以上に影響を受け、音質に貧弱な感じを与えるようになる。このため聴感上の低下を補正するため、音量が絞られるにしたがって低域と高域の増強を行なうものとし、本機では中間タップ付きのボリューム VR2 を使用し、C54、R43 の回路によってラウドネス回路を構成している。図 4.2 には本機のラウドネス効果曲線を示している。

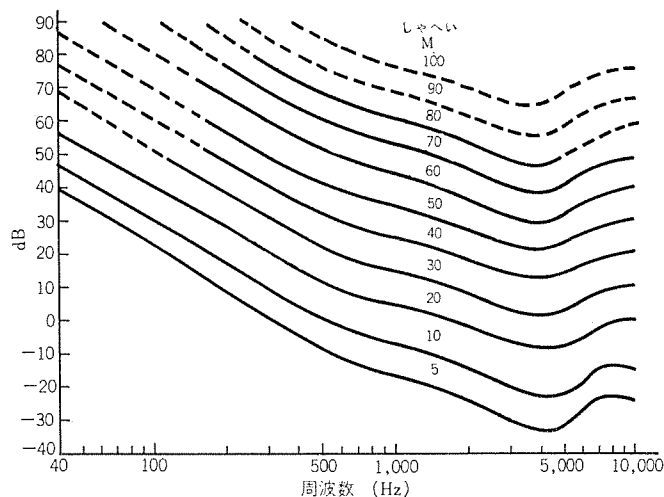


図 3.2 フレッチャー・マンソン聴感曲線
Fletcher and Munson auditory response.

4. 性能

表 4.1 および表 4.2 は、FIC-202 形ラジオの定格およびおもな性能値である。また図 4.1 に FM リミッティング特性、図 4.2 に電気的忠実度特性を、図 4.3 にはスピーカー特性をしめしている。小形

ラジオで音楽鑑賞のための再生周波数帯域としては、100~8,000 Hz で十分であり、バランスのとれた快適な音を楽しむことができる。また付属回路としてもラウドネスコントロールをはじめ、AFC 切換え、チューニングメータ兼バッテリーチェッカ、ダイヤルおよびメータの同時照明スイッチ、バンド切換え表示、音質調整コントロールなどが付属され、機能面にはテープレコーダ等に録音できる検波出力ジャック、イヤホンや外部スピーカー

表 4.1 FIC-202 形ラジオ定格
Rating of type FIC-202.

受信周波数	FM: 76~90 MHz MW: 530~1,605 kHz SW: 3.7~10 MHz
中間周波数	FM: 10.7 MHz AM: 455 kHz
電源	DC: 4.5 V UM-2×3 AC: 100 V (60 Hz/50 Hz)
アンテナ	FM/SW: ロッドアンテナ 90 cm MW: フェライトコアアンテナ (10φ×160 mm)
スピーカー	120×80 mm (菱形)
外形寸法	155×230×60 mm
重量	1.3 kg (電池共)

表 4.2 FIC-202 形ラジオ性能
Performance of type FIC-202.

項目	データ	備考
感度	FM 2 dB (μV/75Ω) MW 36 dB (μV/m) SW 15 dB (μV)	出力 50 mW, 変調 400 Hz 30%
S/N 比	FM 30 dB MW 36 dB SW 20 dB	入力 12 dB (μV) 時 入力 60 dB (μV/m) 時 入力 23 dB (μV) 時
出力	800 mW	ひずみ 10%
低周波ひずみ	0.6%	出力 50 mW
イメージ	FM 35 dB	90 MHz
妨害比	MW 48 dB SW 17 dB	1,400 kHz 10 MHz
帯域幅	FM 840 kHz (AFC ON) MW 9 kHz	6 dB 幅 6 dB 幅

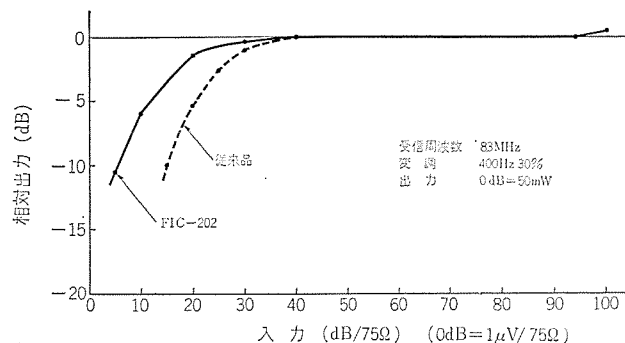


図 4.1 FIC-202 形ラジオリミッティング特性
Limiting characteristic of type FIC-202.

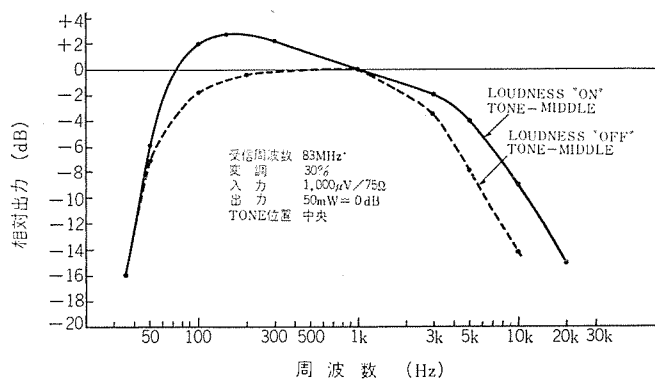


図 4.2 FIC-202 形ラジオ周波数特性
Electrical fidelity of type FIC-202.

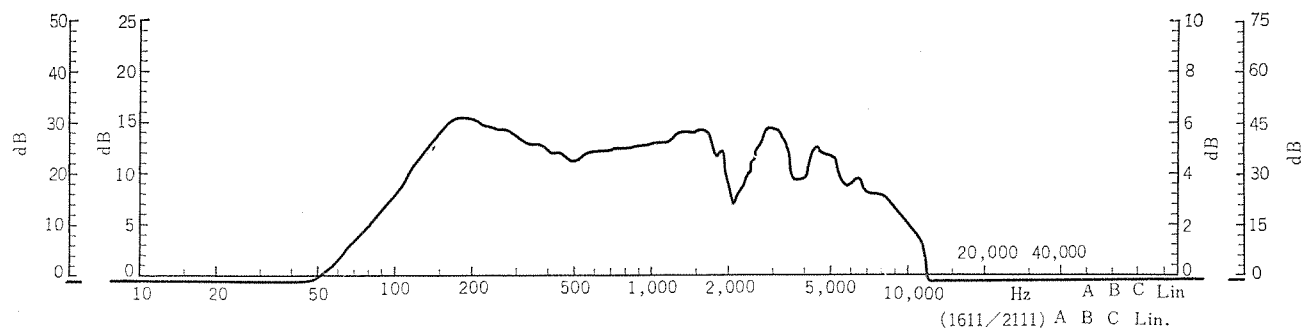


図 4.3 スピーカー特性
Speaker frequency response.

に接続できるジャックが設けられてあって、AC電源でも使用できるようになっている。これらの機能をはじめ諸特性は、いずれも高級品ラジオとしての性能をみたすものである。

5. む す び

最近のラジオは高級化の傾向にあることを冒頭に述べたが、またその反面には小形の安価なラジオの需要もかなりあって、現在の市場は、安いラジオと高級品ラジオの2系列になりつつあり、中間的な価格商品のラジオは次第に減少傾向にあると思われる。一般的に

高級品ラジオのイメージとして受けとめられている感じは、“各種の機能を備え、多目的な使用が可能なるものであって、性能面およびデザイン面にすぐれていること”と解釈される。現在では、ラジオ自身で音楽を聴く、ニュースを聴くといった単純な情報伝達としてではなく、たとえば音質変化を自由にして、聴く人の好みに合わせることができるといった、自己の欲求を創造するというものでなくてはならなくなっている。したがって、ラジオ技術もこの要求を満たすようなものの開発が必要となってくるだろう。

最近のダイアトーン セパレートステレオのデザイン

飯塚 重晴*

Design of the Latest DIATONE Separate Stereos

Consumer Products Research Laboratory Shigeharu IIZUKA

In the latest market of audio apparatus, the hardware and the software are making marked changes with the four channel devices as their nucleus. Such incessant technical renovation as mentioned above arouse new demands for consumers and make them more concerned about the betterment of audio technique. Of numerous in them, their design with new technique is attracting attention and promising to develop a new merchandising appeal.

This article explains through development processes the design of DIATONE separate stereos with a phone load speaker system as the main subject of discussion.

1. ま え が き

最近のオーディオ製品は、たえまない技術革新の波によってハードウェア、ソフトウェアいずれの面においても大きく変ぼうしようとしているが、この現象に拍車をかける要因としてオーディオ製品の普及率が一段と高くなり、購買層が多層化していることがあげられる。特に4チャンネル時代をむかえた現在、オーディオの技術革新が従来比較的地味な質的改善を目標に進められてきたのに反し、4チャンネル化は直接消費者を刺激し、説得力をもって受け入れられるようになってきて

いる。

このようなオーディオ技術の普及傾向の中にあって、セパレートステレオの市場は、過去の例から見ても特にオーディオ技術の動向に鋭敏であり、むしろコンポーネントステレオ以上に流行を先取りする傾向が著しく、技術的な新しさが即商品の魅力と考えられている。オーディオ市場の特殊性は、技術開発が市場展開をささえる大きな原動力となっていることを考えると、技術に裏付けられた新しいオリジナルな商品開発を意図する必要がある、インダストリアルデザインの役割は常に生れくる技術の展開を背景に、それを具体的にイメージ化し、商品として一貫したオリジナリティのある形態にまとめ、消費者へのアピールを計るところにある。

ホームロードスピーカーシステムを軸にした最近のダイアトーンセパレートステレオは、こうしたデザイン思考によって進められたもので、ここでは、開発にあたって技術と商品との接点にあるデザインについて、プロセスを通して述べることにしたい。

2. セパレートステレオのデザイン傾向

オーディオの設計目標として「原音再生」や「ユーザの好みに合った音づくり」という前提がある。しかし、システムとして商品化するためには、オーディオ市場の動向をキャッチして消費者が何を求めているか適確にとらえ、製品に反映させなければならない。つまり、消費者の知的・心理的欲求、流行、競合他社製品とのかかわり合いなどの相互関係によって方向付けられる。オーディオ製品は、趣味的な強い商品の特長として、機能以外の要素である音を作りだすメカニズムの魅力、最新の技術がかもしだすフィーリング、音楽的なムード、豪華なキャビネットへの所有欲など、諸々の情緒的・感覚的要求に答えなければならない。

セパレートステレオのデザインは、家具的要素の強いステレオセットとしてすでに市場に定着し安定期をむかえ、デザイン的には大幅な変動は見られない。しかし、ステレオの高級化指向のもとにコンポーネント機能を装備して高級品をめざす傾向があり、新技術の導入に積極的でマルチチャンネル化、ドームスピーカーの採用など、技術訴求の面において流動的で変化が著しい。そのため、メカニズム部分のデザイン傾向は、技術重点指向を反映してコンポーネント指向のデザインに移行しつつある。

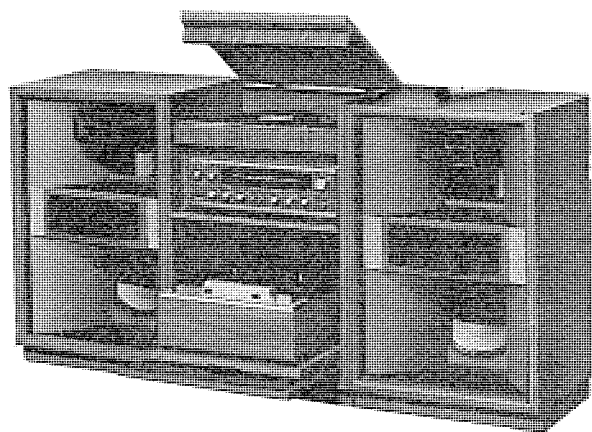


図 1.1 DSS-S91 M セパレートステレオ
DSS-S91 M separate stereo.

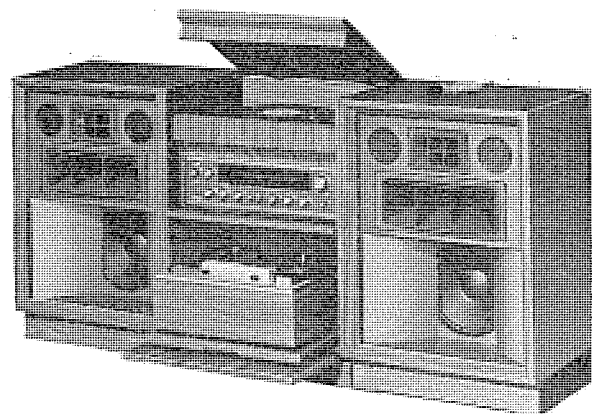


図 1.2 DSS-S62 M セパレートステレオ
DSS-S62 M separate stereo.

3. デザインプロセス

今回開発されたダイアトーンセパレートステレオSシリーズは、高級機から普及機まで5機種のラインアップで構成されている。開発に先だって、各関係部門から提出された市場予測をもとに仕様を作成し、開発方針が決まると、それに基づいてデザイン部門は具体的なイメージ作りにとりかかる。

デザインの基本方針

(1) 各機種間のデザイン統一を計る………開発方針により、Sシリーズから5機種同時期に開発されることになり、ダイアトーンセパレートシリーズとしての一貫したイメージを作り、製品群として強力にアピールさせる方向をとる。

(2) ハイレベル技術商品のイメージを取り入れる………技術訴求をセールスポイントとし、アンプ、プレーヤ、スピーカーについては機能に即したオリジナリティのあるマニアックなデザインとする。

(3) キャビネットは家具の色彩を強調する………メカニズム部分とのコントラストを生かし、インテリア商品としての落ち着きと重厚感を取り入れ高級家具としてまとめる。

このSシリーズの性格を決定する要素として、ホンロードスピーカー方式の採用があげられる。この方式をセパレートステレオへ導入するにあたっては、すでに技術開発として進められていた原型をもとに音響効果のチェックはもとより、視覚的なユニークさ、ヤング層にアピールするダイナミックな迫力、マニア向けのメカニカルデザイン、当社独自のオリジナリティの可能性を十分検討した。

デザインの仕事は、ホンロードスピーカーの原型が生な形で設計部門から提出されると、以上の条件を取り入れたセパレートステレオとして、いかに商品的魅力ある形態にまとめるかを念頭におきながらイメージ作成にとりかかる。アイデアスケッチ、レンタリングスケッチをもとにペーパーラッシュ審議を行ない、設計部門、営業部門の意見が加えられ形が検討される。原型スピーカーシステムの小形化、各スピーカーユニットのデザイン、キ

ャビネットの外形寸法、色調、Vカットマシンを十分活用できる構造など、生産条件と原価とのバランスをチェックしながら理想のイメージに近づけるように努める。さらに高級機から普及機まで一貫したイメージを通すために、部品の共通化・統一化を計る。

アンプパネルはセパレートステレオの中で常にデザイン訴求の要素が高く、Sシリーズのイメージを代表する中心的要素になる。デザインは機種間の統一を配慮しながら、4チャンネル対応の機能にふさわしくコンポーネント指向のデザインでまとめ、シンプルなレイアウトとダークグレーを基調にした大胆なグラフィック効果とでメカニカルな精巧感を取り入れる。プレーヤについても同様に進めた。

以上のプロセスを経て各部分が総合化され、製品としての形を整える。このデザインプロセスの役割は、各部門が描いているまだ明確でない新しい製品のイメージを具体的に総合化することにある。さらに製品の形で提示することにある。

製品化されたSシリーズは、機種間のデザイン統一が徹底したため、マウスとしてダイアトーンセパレートステレオをアピールさせることが可能となり、マーケティング戦略への有効な手段となった。またホンロードスピーカーのアビアランスが若者向けのダイナミックなフィーリングに訴えけるとともに、独自のユニークな技術訴求力を付加することができた。

4. む す び

以上、ダイアトーンセパレートステレオの開発とデザインについて述べたが、今後の市場動向として消費者の指向はますます個性化・多様化し、商品は多品種・少量生産を余儀なくされるものと思われる。これをデザイン面でどう消化させるか。さらに4チャンネル化、高級化、コンポーネント指向の方向にあり、すでにセパレートステレオの伸びは鈍りコンポーネント市場が著しく伸びている。このような状況に対処して、今後のセパレートステレオを主力とするセット物のデザインをどう変化させていくかは、これからのデザイン部門の大きな課題である。

当社の特許

名 称	登録番号	発 明 者	名 称	登録番号	発 明 者
磁気ディスク記憶装置のヘッド位置決め方式	601411	織田博靖	カラー受像管の製作方法	604253	藤村健男
アンテナ装置	601412	森川洋・大沢武	エポキシ含有ジフェニルオキシド樹脂の製法	604893	西崎俊一郎・森脇紀元
搬送保護継電装置	601413	古谷昭雄	電気絶縁紙	604894	西崎俊一郎・坂井竜吉
断路器	601414	田中稔己・田和穰	キートンAGC方式テレビジョンのバース音消回路	604895	石川博章・望月哲
開閉装置	601415	神本明輝	固定反射消去回路	604896	田中安敏
ネットワークプロテクタ	601416	梅本隆司・宮田泰之	移動目標表示方式	604926	{武藤弘道・坂本新太郎 玉真哲郎
ネットワークプロテクタ	601417	梅本隆司・宮田泰之	狭帯域デジタル通信装置	605758	小林信三・大西熊一
ネットワークプロテクタ	601418	梅本隆司・宮田泰之	エレベータ扉制御装置	605784	安城晃・安西伸夫
ネットワークプロテクタ	601419	梅本隆司・宮田泰之	故障点検出装置	605785	北浦孝一
ネットワークプロテクタ	601420	梅本隆司・宮田泰之	自動搬送装置	605786	宇野克己・森永義次
マグネトロンノ異常発振保護装置	601421	高瀬明生	搬送保護継電装置	605787	古谷昭雄・高田信治
マグネトロンノ異常発振検出装置	601422	高瀬明生	強制連動ヒューズ溶断装置	605788	美濃順一・芝滝寿宏
撮像装置	601423	{山崎英蔵・大川清人 淡野光昭	耐熱絶縁壁	605789	{森川鉄也・村井裕 小林幸人
信号回路装置	601643	高田信治	耐熱絶縁壁	605790	森川鉄也・村井裕
信号回路装置	601644	高田信治	ネットワーク給電線の接地検出装置	605791	美濃順一・梅本隆司
真空しゃ断器	601757	伊藤利朗・大倉敏幹	搬送装置の自動点検方式	605792	高田信治・菅井英介
ジグザグミシンノ手動操作装置	601758	本田英三・辻本忠司	電気集塵器ノ正イオン発生制止装置	606713	原仁吾・田畑則一
積算記録計ノ時限装置	601759	林正之	半導体装置	606714	蒲生浩
電解研削加工装置	601760	{齊藤長男・古池一成 葉石雄一郎	電磁ポンプ	606715	近藤博通
電解研削加工装置	601761	{齊藤長男・古池一成 葉石雄一郎	自動車用変速制御装置	606716	坂本敏之
自動列車速度制御装置	601762	石田哲弥・金子弘美	陰極線管用集中装置	606717	豊島一男
ユニバーサルモータノ速度制御装置	601763	飯田隆彦	周波数奇偏連絡負荷制御検出器	606718	三上一郎
誘導加熱用高周波出力変成器	601764	中村兼三	カラーテレビ用受像パネル	606719	柳下和夫
ネットワーク給電線ノ接地事故後保護装置	601765	森健・梅本隆司	電気掃除機	606720	武井久夫
マグネトロンノ異常発振検出装置	601766	高瀬明生	電気掃除機	606721	武井久夫
距離測定装置	601767	立川清兵衛・小畑哲男	半導体装置ノ製造方法	606722	{柴田浩・亘善彦 加藤忠雄
分布定数論理回路	601768	今村貞良	接合型電界効果トランジスタ	606723	{土佐雅宣・西海宏 竹中功
多気筒エンジンノ点火装置	601769	柴垣匡男・大西正義	高速度しゃ断器	606724	渡辺陸夫
電路制御装置	602261	三谷俊次	高速度しゃ断器	606725	渡辺陸夫
電路制御装置	602262	三谷俊次	回路しゃ断器	606726	渡辺陸夫
地絡方向継電装置	602263	古谷昭夫	両方向高速度しゃ断器	606727	渡辺陸夫
加算回路	602264	高田信治	電磁流体発電装置	606728	{森川鉄也・村井裕 小林幸人
負荷時タップ切換装置	602265	堤長之	電磁流体発電装置	606729	{森川鉄也・村井裕 伊藤利朗
地絡距離継電装置	602266	前田耕二	半導体装置ノ構造ノ良否判別方法	606730	{船川繁・奥泰二 山根正熙・堀江和夫
プラズマ電子銃陰極	602267	建石昌彦・安永政司	定電位電解装置	608834	泰卓也・松岡宏昌
フリップフロップ回路	602361	壺井芳昭	皮膜形成方法	608835	柴山恭一・地大英毅
電気点火式内燃機関ノ断続器	602440	幸田慶治	金属鑑別装置	608836	小巻仁
符号式遠方監視制御装置	603137	島田政代士	計数形電気マイクロメータ	608837	蘓原智
遠方監視制御方式	603138	山中彪生	開閉器	608838	永田秀次
交流き電線保護継電方式	603139	古谷昭雄	エレベータ出発管理方式	608839	板垣晃平・篠崎裕久
搬送保護継電装置	603140	高田信治	回路遮断器等ノ電磁石装置	609397	松浦清
避雷器用ギャップ	603141	{岡田昌治・荻野一夫 三住日出夫	半導体装置	609398	中田文祐・川島通志
無整流子電動機装置	604244	赤松昌彦	線路形パルス変調器ノ保護装置	609399	増野芳樹・八代陸穂
エレベータ用整速機	604245	{瀬原田三郎・国井和司 安田桂一	停止パタン発生装置	609400	梅田義明
RADA通信方式	604246	{小林信三・大西熊一 中村信弘	水銀電気弁	609401	{竹内宏一・丹羽健 南紘之
非金属介在物除去装置	604247	近藤博通	エレベータ出発管理方式	609402	板垣晃平・篠崎裕久
ピストン装置	604248	小林克彦・末田治	自動電気炊飯器	609591	高橋正晨・村岡和典
非金属介在物除去装置	604249	近藤博通・小倉新三	移動視偏光ミート	610258	中村弘・依田功
距離追尾方式	604250	山内信治	船舶用救難滑り台装置	610260	宇川彰
温風または冷風の送風装置	604251	高橋剛	熱硬化性樹脂ノ製法	610261	西崎俊一郎・江崎昌平
電動井戸ポンプノ自動空気補給装置	604252	渡辺光人			



特許と新案

巻取式空気清浄装置

考案者 岩崎義彦・山地昇

この考案は第1の回転軸から送出される帯状のフィルタを所定時間ごとに第2の回転軸に巻取る巻取式空気清浄装置に関する。

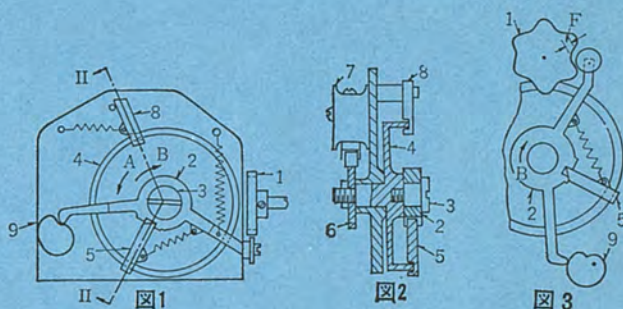
図において、(1)はフィルタの巻取りに応じて回転する案内軸に設けられたカム、(2)はカム(1)に応動して軸(3)を中心に矢印(A)(B)方向に反転回転し得る駆動腕、(4)は駆動腕(2)との間に設けられた連結腕(5)により駆動軸(2)の矢印(B)方向のみの回転が伝達される被動体で、所定角度回転するとカム(6)により切換スイッチ(7)を作動させて巻取りを停止する。また、被動体(4)はストッパ(8)により矢印(B)方向への回転が許容され矢印(A)方向への回転が阻止されている。(9)は駆動腕(2)の反カム(1)側端部に係合し得る制限カムで、カム(1)と駆動腕(2)の係合状態を調整する。

今、制限カムを図1から図3の状態に設定変更すると、駆動腕(2)はカム(1)の谷間からFだけ離れて位置し、駆動腕(2)が図1の状態より矢印(B)方向に一定角度だけすでに回転されたことになる。したがって、カム(1)が回転しても一定時間駆動腕(2)は回転されずカム(1)が駆動腕(2)と係合するまで回転してはじめて駆動腕(2)が回転し、結局駆動腕(2)の1回当りの回転角度は図1の場

合よりもカム(1)が駆動されてから切換スイッチ(7)が動作するまでの時間が長くなる。

従来はこのような構造を採っていなかったためフィルタの巻取り長さの調整が非常にめんどろであったが、この考案によればフィルタの巻取り長さを所望どおりに調整したい場合、制限カムを設定しなおすだけの簡単な操作でよくフィルタをむだなく使用することができる。

(実用新案登録第873095号)(土井記)



温度補償圧力スイッチ

考案者 森岡昭二

この考案は、圧縮ガス体の密度(圧力)を温度変化に対応させて、確実にしかもその調整をきわめて簡単に所定値において応答させる温度補償圧力スイッチに関するものである。

図1、図2において、受圧部Pのハウジング(1)は、ベローズ(2)を内蔵し、かつベローズ(2)との間で気密室を構成している。感温部Tのハウジング(3)は、ベローズ(4)を内蔵し、この感温ハウジング(3)と感温筒(6)とは毛細管(5)により連結され、かつベローズ(4)、毛細管(5)および感温部(6)は気密室を構成し、その中に膨張係数の大きな液体が密封されている。

受圧ハウジング(1)とベローズ(2)とで構成する気密室内に導入された圧縮ガス体圧力は、ベローズを押圧し、ベローズ(2)に固着されたしゅう動軸(7)を介し、支軸(10)にすう(枢)着されてピボット(8)を有する作動板(9)に反時計方向の回転運動を与える。作動板(9)には調整ねじからなる設定子(13A)、(13B)、(13C)がら(螺)着されており、作動板(9)に与えられた運動は、これら調整可能の設定

子(13A)、(13B)、(13C)により、支軸(14)にすう着された取付板(16)に固着されたマイクロスイッチからなるスイッチ素子(SA)、(SB)、(SC)の作動子(15A)、(15B)、(15C)を押圧してスイッチ素子(SA)、(SB)、(SC)を開閉させる。

この作動圧力の大きさは、ケース(17)に取付けられた調整ボルト(12)によって張力を変化できる引張ばね(11)により、自由に調整できる。

また、取付板(16)は、ケース(17)に取付けられた引張ばね(18)によって支軸(14)を軸として時計方向に回転力が与えられ、自己の有する突起板(19)を介して後述の調整アーム(20)に一定圧をもって押圧されている。

感温筒(6)の温度が上昇すると、ベローズ(4)、毛細管(5)および感温部(6)で形成された気密部に充填された液体が膨張し、ベローズ(4)を伸長し、ベローズ(4)の先端に固着したしゅう動軸(21)を介し、支軸(22)に取付けられてピボット(23)を有する作動板(24)に時計方向の回転運動を与える。作動板(24)にはL字形の作動板(25)が固着

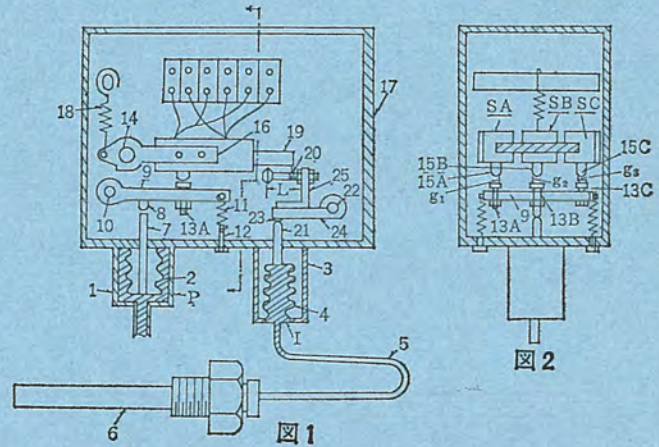
されており、その作動板(25)には長さ L を自由に調整できる調整アーム(20)が(螺)設されている。したがって、作動板(24)が時計方向に回転すると、調整アーム(20)を介し、先端部に突起板(19)を設けた取付板(16)に、反時計方向の回転を与え、スイッチ素子(SA)、(SB)、(SC)の位置を設定子(13A)、(13B)、(13C)から遠ざける方向へ移動させる。

この移動量は、スイッチ素子(SA)、(SB)、(SC)が作動する圧力を上昇させることになるので、温度補正(補償)される補償率となる。設定子(13A)、(13B)、(13C)とスイッチ作動子(15A)、(15B)、(15C)との間隔 g_1 、 g_2 、 g_3 を設定子(13A)、(13B)、(13C)の調整ねじによって適当に調整することにより、作動圧力間隔を変えることができ、引張りばね(11)の張力を調整ボルト(12)によって変化させることによって作動圧力値を総体的に調整可能とすることができる。また、調整アーム(20)の突出長さ L を変えれば、温度補償率 $\tan \theta$ を変えることができる。

この考案は、比較的簡単な機構によって適確な温度補償動作と、

確実な複数個の特性変化を得ることができ、しかも、特性の調整を簡単かつ容易になし得るので、圧力スイッチとして種々の実益を有するものである。

(実用新案第 928881 号) (和田記)



振幅制限増幅器

考案者 笹田雅昭

この考案は、振幅制限出力電圧が帰還路ダイオードの接触電位以下という微小電圧の振幅制限増幅器を提供するものである。

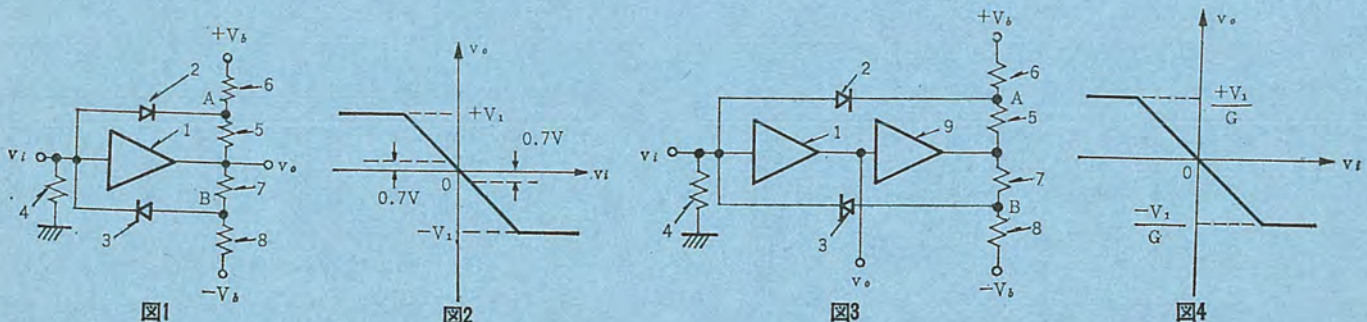
図1は、ダイオードを帰還路とする従来の振幅制限回路で、出力電圧 V_o が分圧点A、Bの電位 $+V_1$ 、 $-V_1$ に達したとき帰還ダイオード2、3が導通となり、演算増幅器(1)は利得を失ない、出力電圧は $+V_1$ 、 $-V_1$ で振幅制限される。しかし上記帰還ダイオード2、3にたとえばシリコンダイオードを使用するとき、その接触電位差が約0.7Vあるため、0.7V以下の振幅制限は抵抗(5)(6)および(7)(8)の分圧比のいかんにかかわらず実現することはできなかった。

この考案は図3に示すように、上記従来の回路に、第2の演算増幅器(9)を付加したものである。この第2の演算増幅器(9)の利得

を G とすれば、分圧抵抗 $+V_1$ 、 $-V_1$ は $1/G$ に小さくなって出力端に現われたことになり、よってこの回路における入出力特性は、図4に示されるように、制限出力 $V_o(\max) = V_1/G$ 、または $-V_1/G$ となる。すなわち $G=100$ 倍とすれば、振幅制限最小値は0.007Vとなり、ダイオードの接触電位差より、はるかに小さい電圧をも振幅制限することができる。また上記第2の演算増幅器(9)の利得 G を変化すれば、任意の値に振幅制限することもできる。

この考案によれば微小電圧の振幅制限増幅器を得ることができるので、たとえば、半導体化追尾サーボ回路の演算増幅器等に用いてきわめて有効なものである。

(実用新案第 923215 号) (阪本記)



ネマチック液晶系の相転移温度と電気光学効果

小 野 博*

Phase Transition Temperatures of Mixed Nematic Liquid Crystals and Electrooptical Effect of Nematic Liquid Crystals

Central Research Laboratory Hiroshi ONO

A study has been made on the phase transition temperature of several binary systems of nematic liquid crystals. It has been found that a few systems take a stable nematic phase for a wide temperature range including the room temperature.

The electrooptical effects of the nematic liquid crystals have been also investigated. The highest frequency at which the turbulence occurs shifts to higher frequencies with the rise of the temperature, but this frequency scarcely depends on the electric strength incept the case of the extremely low strength.

The rise time decreases markedly with the increase of the electric strength, and also decreases as the temperature rises.

The decay time decreases considerably with the rise of the temperature, depending markedly on the frequency of applied alternating current.

1. ま え が き

液晶⁽¹⁾とは機械的には液体に類似した流動性をもつとともに、一方光学的には結晶と同様な性質、たとえば光学的異方性を有する物質の一つの状態であり、ある温度領域でこの一種の“中間状態”をとる。しかし現在では、広義にはこのような“中間状態”をとる物質そのものを液晶と呼んでいる。

液晶が発見されたのは比較的早く、1888年にオーストリアの植物学者 Friedrich Reinitzer によっては見出されている⁽²⁾。彼はコレステロールエステル類の研究中に新しい特異な融解現象を発見した。すなわちコレステリルベンゾエートが145.5°Cで急激に完全に融解するが、融解物は全く不透明であり、この状態は178.5°Cまでつづき、この温度で急激に全く透明な真の等方性液体になることを見出した。O. Lehmann は1890年にオレイン酸アンモニウムやp-アゾキシフェネートについて、真の結晶状態と真と液体との間に同様な不透明な中間状態があることを見出した。この不透明状態は多かれ少なかれ流動性を有し、直交ニコルの下で光学的異方性を示すことがわかり、液体の流動性と結晶の光学的性質を併せもつということから、彼は“Fließende Krystalle”という名を与え、この術語は現在“液晶”として残っている。Friedel は“液晶”という術語が不適当であるとして“mesomorphs”あるいは“mesoforms”という名称を提案した。その後“paracrystals” (Rinne 1933年) その他の名称が提案されたが、現在では液晶 (Liquid crystal) あるいは中間状態 (mesomorphic state) という名称が用いられている。

液晶の研究は1930年代に一つのピークに達し、多くの報文がみられる。しかしその後液晶の研究はあまり進展せず、忘れられかけていたが、最近になって再び液晶に対する関心が高まってきた。それは最近アメリカで、液晶を用いた反射形テレビジョン開発の可能性が発表された⁽³⁾のがきっかけであるが、この他に、生体内のある種の組織が液晶状態をとっていること、コレステリック液晶は温度の変化によって色が変わるため、示温塗料・非破壊検査・熱分布測定・マイクロウェーブの測定などへの利用が考えられること、ネマチック液晶は電場印加により光学的性質が変化するので、表示装置への応用が考えられること、などの理由によると思われる。

2. 液晶の分類と分子配列

一般に固体は一定の温度で急激に融解して等方性液体となるが、液晶では、結晶状態から融解する過程において直ちに等方性液体にはならず、ある温度領域にわたって前述の“中間状態”をとったのち等方性液体になる。この“中間状態”においては、かなりの距離にわたって一次元、あるいは二次元の方位配列が保たれている。

この方位配列には三つのタイプがあり、それぞれスメクチック相・ネマチック相・コレステリック相と名付けられている。

スメクチック相は図2.1に示すように、細長い構造をもつ分子がそ

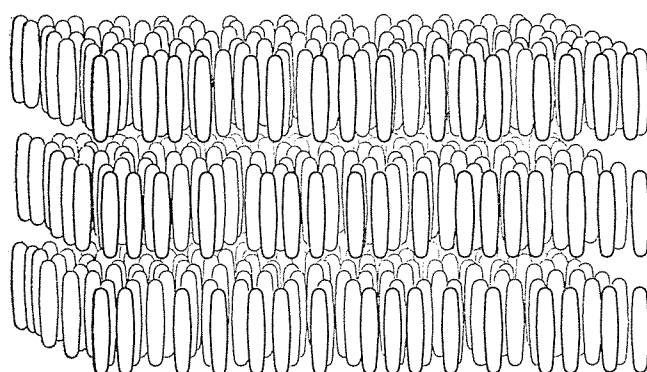


図 2.1 スメクチック液晶の分子配列
Molecular arrangements of smectic liquid crystals.

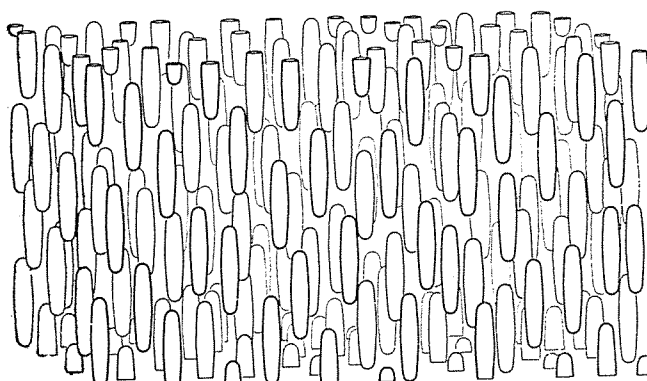


図 2.2 ネマチック液晶の分子配列
Molecular arrangements of nematic liquid crystals.

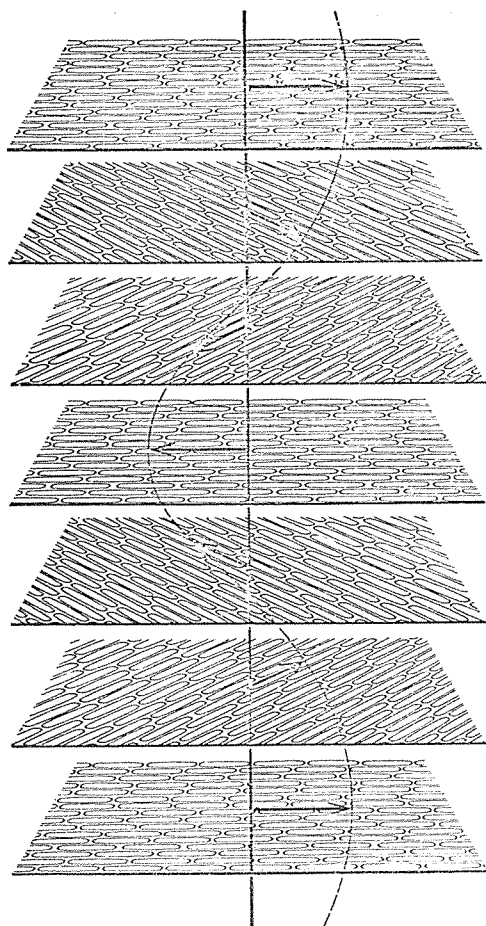


図 2.3 コレステリック液晶の分子配列
Molecular arrangements of cholesteric liquid crystals.

の長軸を一定方向に平行にそろえて配向した層状構造をとっており、分子の長軸方向は層の面に垂直になっている。

ネマチック相はしばしばスメクチック相の温度上昇から生じることからもわかるように、スメクチック相とよく似た分子配列をとっているが、スメクチック相よりは分子配列が乱れており、図 2.2 のように、もはや層状構造はもたず、分子の長軸のみを一定方向に平行にして配列している。

コレステリック相は、主としてコレステロール誘導体にみられるもので、二次元のネマチック相状に配列した分子の薄層を各層ごとに、一定の方向に角度をわずかずつらして重ねた層状構造をとっており、図 2.3 に示すように各層内では分子の長軸は層の面に平行で、各層の分子軸の方向は隣接層の分子軸の方向とわずかにずれており、全体としてラセン構造をとっている。

このようなモデルは理想的な場合であり、実際には、たとえば分子の熱運動などにより、分子の配列が完全に平行なわけではない。その平行の度合は次式で表わされる。

$$s = 1/2 \cdot \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで θ は分子の長軸が、分子が理想的な状態において向くべき方向となす角度である。 $\langle \rangle$ は平均値を意味している。この s の値は実験的には主屈折率、赤外および紫外二色性、NMR、X線回折などによって求める試みがなされている。完全に平行な配列をしている理想的なネマチック相においては $s=1$ であり、等方性液体においては $s=0$ である。この s の値は当然のことながら温度に依存し、温度の低下につれてこの値は大きくなる。

3. 液晶の相変化

これまで述べてきた液晶は、加熱、あるいは冷却といった温度変化によって表われるものであり、サーモトロピック液晶と呼ばれるべきものである。これに対し、ある種の物質においては、溶媒を加えて溶質の濃度を変化させることによって、溶質の結晶格子が破壊され液晶状態が表われる。このタイプの液晶は、リオトロピック液晶と呼ばれ前述のサーモトロピック液晶と区別される。リオトロピック液晶の代表例としては石けん、すなわち長鎖脂肪酸のアルカリ金属塩と水の系があり、この他に石けんと有機溶媒の系、界面活性剤と水の系、ある種の染料と水の系、ポリγ-ベンジル-L-グルタマートと有機溶媒の系が報告されている⁽⁵⁾。またリオトロピック液晶は生体内組織に見出される液晶との関連で重要なものであるが、本稿では以後サーモトロピック液晶についてのみ述べることにする。

液晶状態をとる化合物の代表的な例とその転移温度を表 3.1 に示した。この表にみられるように、ある種の有機化合物を加熱するとある温度で融解して液晶状態に転移し、さらに加熱するとある温度で等方性液体に転移するが、この際 1 相のみの液晶状態をとるものもあるが、2 相またはそれ以上の相を順次とるものもある。

たとえば表 3.1 の (1) の 4,4'-ジメトキシアベンゼンは、ネマチック液晶相のみをとる、(2) のコレステリルプロピオネートはコレステリック液晶相のみをとるが、(3) のコレステリルミリステートは、まずスメクチック相をとる、次いでコレステリック相をとっている。また (4) のエチル-p-(4-エトキシベンジリデンアミノ)シナメートは、二つのスメクチック相をとったあとネマチック相をとっている。このようにスメクチック相は二つ以上の相を示すことがある。以上述べた (1)~(4) の化合物においては、転移はすべて可逆的で加熱時にも冷却時にも起こっており、enantiotropic な転移である。これに対し (5) のコレステリルアセテートは、加熱時には液晶相をとらずに等方性液体になるが、冷却時にはコレステリック相をとる、加熱過程と冷却過程で現われる相が異なる monotropic な転移を示す。(6) のコレステリルオクタノートでは、スメクチック相 \rightleftharpoons コレステリック相、コレステリック相 \rightleftharpoons 等方性液体の二つの転移がともに monotropic な転移である。一方 (7) の 5-インド-6-ノニルオキシ-2-ナフ

表 3.1 代表的な液晶の転移温度
Phase transition temperatures of several liquid crystals.

	液晶の構造	相変化と転移温度 (°C)
(1)	<chem>CH3O-C6H4-N=N-C6H4-OCH3</chem>	(注) 117 C \rightleftharpoons N 134 \rightleftharpoons I
(2)	<chem>CH3(CH2)7COO-C6H4-CH=CH-C6H4-CH=CH-C6H4-COOCH3</chem> (C ₂₇ H ₄₅ O CO C ₂ H ₅)	C 102 \rightleftharpoons Ch 116 \rightleftharpoons I
(3)	C ₂₇ H ₄₅ O CO (CH ₂) ₁₂ CH ₃	C 71 \rightleftharpoons S 81 \rightleftharpoons Ch 86.5 \rightleftharpoons I
(4)	<chem>CH3CH2O-C6H4-CH=CH-N(C6H4CH2CH2CH2CH3)-CH=CH-C6H4-CH2CH2CH2CH3</chem> =CHCOOC ₂ H ₅	C 78 \rightleftharpoons S ₁ 110 \rightleftharpoons S ₂ 154 \rightleftharpoons N 158 \rightleftharpoons I
(5)	C ₂₇ H ₄₅ O CO CH ₃	C $\xrightarrow{116.5}$ I Ch $\xrightarrow{94.5}$ I
(6)	C ₂₇ H ₄₅ O CO n-C ₇ H ₁₅	C $\xrightarrow{110}$ I S $\xrightarrow{69.5}$ Ch $\xrightarrow{96.5}$ I
(7)	<chem>HOOC-C10H6-COO-C6H4-CH=CH-C6H4-CH=CH-C6H4-COOCH3</chem>	C 163 \rightleftharpoons N 182 \rightleftharpoons I S $\xrightarrow{157.5}$ I

注) C: Crystal N: Nematic Ch: Cholesteric
I: Isotropic S: Smectic

トエ酸では、ネマチック相 \rightleftharpoons 等方性液体の転移は enantiotropic であるのに対し、スメクチック相については monotropic な転移である。

以上代表的な例についてその相変化を述べたが、これらの例からもわかるように一般にスメクチック相はコレステリック相、あるいはネマチック相よりも低温で現われる。また同一化合物でネマチック相、およびコレステリック相の両方をとるものは現在まで知られていない。

4. ネマチック液晶 Alloy 系の相転移

ネマチック液晶・コレステリック液晶においては、外部から電場・磁場・圧力などの刺激が与えられると、幾何学的形状や、誘電率・磁化率の異方性のために、分子の配向が容易に変化し、特に電場・磁場に対し応答するものが多い。

ある種のネマチック液晶、あるいはコレステリック液晶に適当な電界強度の電場を印加すると、一般に電気光学効果と呼ばれている一種のじょう(擾)乱現象が起こり、液晶層は不透明になる。この現象を利用して液晶の表示装置類への応用が考えられている。

液晶を表示装置への応用という面から考えた場合、コレステリック液晶は電場の印加による特性の低下が著しいため、実際上使用することはむずかしい。この点に関してはネマチック液晶が有望である。ネマチック相を示す液晶はきわめて数多く知られているが、常温を含むかなり広い温度領域で中間状態をとるものは現在のところ知られていない。そこで常温を含む広い温度領域で中間状態をとるネマチック液晶を開発するための一つの方法として、Alloy System について検討した。

Alloy System としては、液晶—液晶系、液晶—非液晶系の2種類が考えられるが、このうち液晶—非液晶系については、非液晶成分の比率がある程度まで達すると、液晶成分の分子相互間に作用している van de Waals 引力が弱まり、その結果系全体としてはもはや液晶状態をとらなくなってしまう。

上述の理由で今回は主として、液晶—液晶の Alloy 系について検討したので以下その結果について述べる。

図 4.1 は、中間状態をとる二つのアジ化合物の Alloy 系の相転移温度を差動熱量計で測定した結果である。この系においては、記号 A で示した p-(p-Ethoxyphenyl azo) phenyl heptanoate (EPAPHP) の液晶温度域は 56°C~122°C であり、一方記号 B で示した p-(p-Ethoxyphenyl azo) phenyl undecylenate (EPAPUD) の液

晶域は 59°C~111°C であるが、両者の Alloy 系は EPAPUD の含有率が 53 mol % のところで、液晶—結晶の相転移温度が最も低くなり 40°C となった。この系においては、液晶—結晶の相転移温度が、二成分のうちで液晶—結晶の相転移温度の低い EPAPHP にくらべて約 16°C 低いものが得られたわけである。一方等方性液体—液晶の相転移においては、このような極小値はみられず、二成分の相転移温度を結んだ直線からのずれはわずかであり、なだらかな傾斜を示している。その結果液晶状態をとる温度範囲は、液晶—結晶の相転移温度が極小値をとる点において最も大きくなり、40°C~115.5°C で液晶状態をとる。結局この系においては、液晶—結晶の相転移温度が室温のものは得られなかったわけである。

図 4.2 には、二つのアジ化合物液晶の Alloy 系の相転移温度を示した。この系では二つの成分の液晶域は 4,4'-Bis (heptyloxy) azoxybenzene (BHPAB) が 67°C~123°C、4,4'-Bis methoxy azoxybenzene (BMAB) が 107°C~133°C であるが、この Alloy 系では後者の含有率が 40 mol % のところで液晶—結晶の相転移温度が最も低くなり、この点における液晶温度域は 39°C~112°C であった。この系においては、液晶—結晶の相転移温度は単一成分の低いほうよりも 28°C 引下げられたわけであり、前述のアジ化合物系にくらべるとその低下の度合は大きい、やはり室温で液晶となるものは得られなかった。

図 4.3 には、アジ化合物液晶とアジ化合物液晶の Alloy 系の相転移温度を示した。この系では二つの成分はいずれも図 4.1 および図 4.2 に記載してあるものであり、液晶域はそれぞれ 57°C~123°C、67°C~124°C である。この系においても、図 4.1 および図 4.2 の場合と同様に液晶—結晶の相転移温度は両方の成分よりかなり低下して極小値をとるが、等方性液体—液晶の相転移は、やはり前出の二つの例と同様に両成分の相転移温度を結んだ直線からのずれはわずかであり、傾斜はなだらかである。この系では BHPAB の含有率が 35 mol % のところで液晶—結晶の相転移温度は極小を示し、この点では 34°C~118°C で液晶状態をとり、液晶—結晶の相転移温度は単一成分の低いほうよりも 23°C 引下げられているが、やはり室温では液晶状態をとるものは得られなかった。

図 4.4 には、二つのベンジリデンアミノ誘導体液晶の Alloy 系の相転移温度を示した。この系では、二つの成分の液晶域は p-(p-Methoxybenzylidene) amino phenyl butylate (MBAPB) が 52°C~

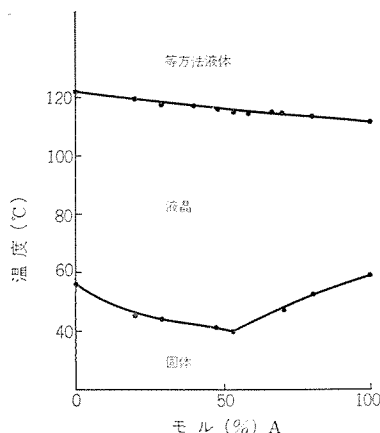


図 4.1 EPAPHP-EPAPUD (A) 系の相転移温度
Phase diagram for system of EPAPHP and EPAPUD(A).

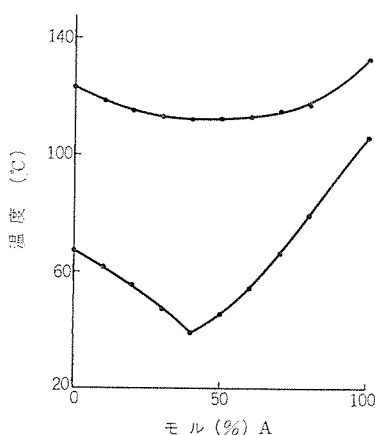


図 4.2 BHPAB-BMAB (A) 系の相転移温度
Phase diagram for system of BHPAB and BMBA(A)

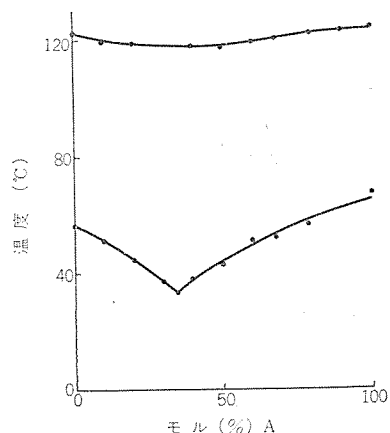


図 4.3 EPAPHP-BHPAB (A) 系の相転移温度
Phase diagram for system of EPAPHP and BHPAB(A).

112°Cであり、p-(p-methoxy benzylidene) amino phenyl acetate (MBAPA) が 81°C~107°Cである。この系においても、等方性液体—液晶の相転移温度はこれまで述べた系の場合と同様に、両成分の相転移温度を結んだ直線からのずれはわずかであるが、液晶—結晶の相転移温度についてはこれまでの系とは様子が異なり、急激な傾斜で転移温度が低下し、両成分の比率が互いに 50 mol % のところで極小値をとり、このときの転移温度は -10°C であった。この点では液晶—結晶の相転移温度は MBAPB にくらべて 62°C も引下げられているわけであるが、この組成の近辺においては、低温における液晶相の安定性がやや悪く、相転移温度よりも 10°C~20°C 高い温度であっても長時間放置すると、徐々に固化が進行して数時間~数日で全部結晶化してしまうという現象が観察された。

図 4.5 には、図 4.4 の場合と同様に二つのベンジリデンアミノ誘導体液晶から成る Alloy 系の相転移温度を示した。この系では二つの成分の液晶域は p-(p-methoxybenzylidene) amino n-butylbenzene (MBABB) が 21°C~41°C であり、p-(p-Ethoxybenzylidene) amino n-butylbenzene (EBABB) が 34°C~78°C である。この系の場合も、等方性液体—液晶の相転移温度は、両成分の相転移温度を結んだ直線からのずれはわずかである。これに対し液晶—結晶の相転移温度は、前述の MBAPB と MBAPA の系にくらべれば、ややゆるやかな傾斜ではあるがかなりの低下を示し、EBABB の含有率が 40 mol % のところで転移温度が極小値を示し、このときの液晶域は

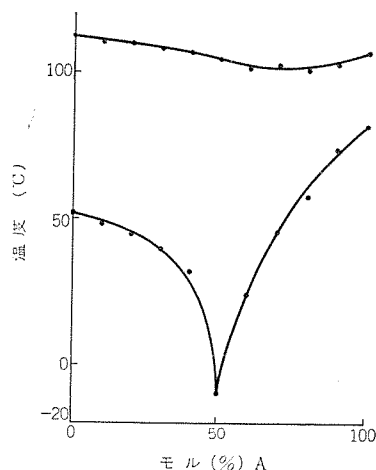


図 4.4 MBAPB-MBAPA(A) 系の相転移温度
Phase diagram for system of MBAPB and MBAPA(A).

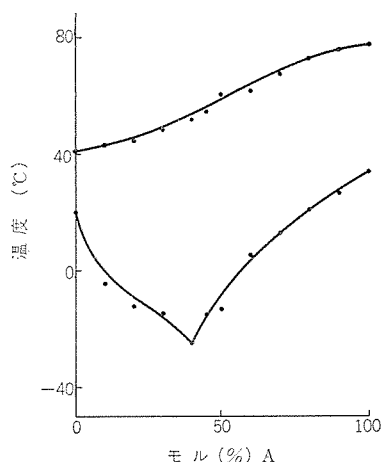


図 4.5 MBABB-EBABB(A) 系の相転移温度
Phase diagram for system of MBABB and EBABB(A).

-25°C~54°C であった。この組成の液晶は室温ではもちろん、きわめて安定であり、長時間放置しても結晶化は全く起こらない。しかしこの系においても、この極小値付近の組成のものはやはりやや安定性が悪く、相転移温度より 10°C 程度高い温度であっても、長時間放置すると徐々に固化が起こる場合があった。

以上ネマチック液晶の Alloy 系の相転移温度のいくつかの例について述べたが、これらの結果から

(1) 等方性液体—液晶の相転移温度は、両成分の相転移温度を結んだ直線からのずれはわずかである。

(2) 液晶—結晶の相転移温度は Alloy 系を構成する二つの成分によって著しく様相が異なり、急激な傾斜を描いて転移温度が著しく低下する系においては、その極小値付近の組成のものは液晶相の安定性がやや悪い。

(3) ベンジリデンアミノ誘導体液晶の Alloy 系のなかから、常温を含む広い温度域で安定な液晶相をとる系が得られやすい。などが明らかになった。

5. ネマチック液晶の電気光学効果

前述のようにネマチック液晶層に適当な電場を印加すると、電気光学効果と呼ばれる一種のじょう乱現象が起こるが、この電場印加時の諸特性に関する検討結果を述べる。

5.1 透過率の周波数依存性

図 5.1 に数種類のネマチック液晶の Alloy 系について、一定電圧を印加したときの 540 mμ の波長の光の透過率の周波数依存性を示した。これをみると、温度を一定にすると、ある周波数のところで交流電界に対して応答しなくなることがわかる。この際透過率の変化の周波数依存性はきわめて大きく、透過率は鋭い変化を示している。この交流電界に対して応答しなくなる周波数は温度に依存し、温度の上昇につれて高周波側に移行している。またこの図を詳細にみると、いずれの温度の場合にも透過率は、はじめは周波数の増加につれてわずかながら低下し、ある周波数のところで極小値をとったのち再び増加に転じていることがわかる。この透過率が極小値をとる周波数は温度の上昇につれて高周波側へ移行している。ここで透過率が極小値をとる周波数を f_1 、透過率が立上る周波数を f_2 とすると、 $\log f_2/f_1$ はいずれの温度の場合にもほぼ一定の値をとっていることがわかる。またこの Alloy 系においては、交流電界に対して応答しなくなる周波数は $8 \times 10^2 \sim 3 \times 10^3$ Hz の範囲にあることがわかる。

MBABB について、同様に光の透過率の周波数依存性を検討した結果を図 5.2 に示した。この場合にも前述の Alloy 系の場合と全

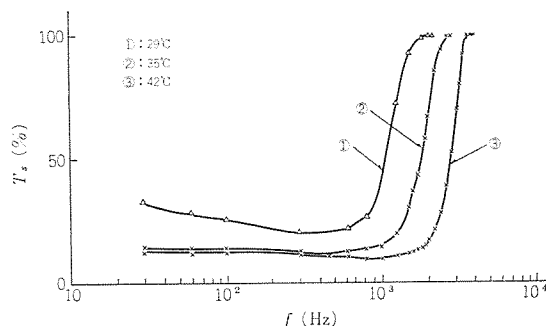


図 5.1 ネマチック液晶 Alloy 系の透過率の周波数依存性
Frequency dependence of transmittancy for the system of nematic liquid crystals.

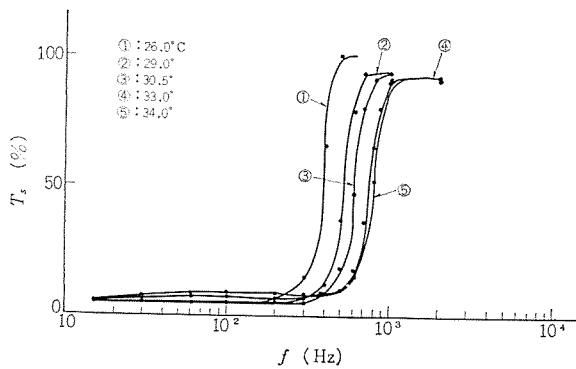


図 5.2 MBABB の透過率の周波数依存性
Frequency dependence of transmittancy for MBABB.

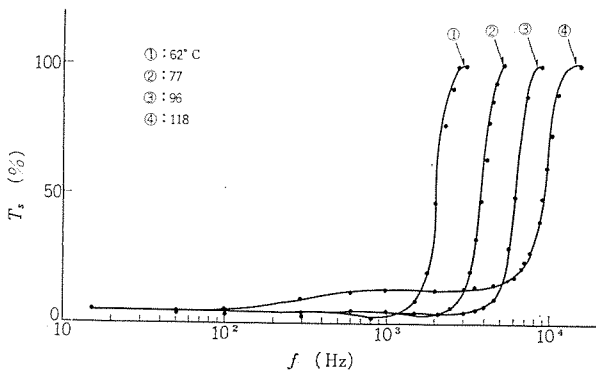


図 5.3 EPAPHP の透過率の周波数依存性
Frequency dependence of transmittancy for EPAPHP.

く同様に透過率の立上りはきわめてシャープである。交流電界に対して応答しなくなる周波数はやはり温度の上昇につれて高周波側に移行している。この場合にも透過率は、初めわずかに減少してある周波数のところで極小値をとった後増加に転じている。またこの液晶の場合には交流電界に対して応答しなくなる周波数は $3 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3$ Hz の範囲にあり、前出の Alloy 系にくらべて低い周波数で応答しなくなることがわかる。

つぎに EPAPHP について、同様な検討を行なった結果を図 5.3 に示した。この場合にも前述の二つの場合と同様に透過率はきわめてシャープな立上りを示している。交流電界に対して応答しなくなる周波数は温度の上昇につれて高周波側に移行している。透過率が初めわずかに減少してある周波数のところで極小値をとった後、増加に転ずるという傾向はこの場合にもうかがえる。液晶—等方性液体の相転移温度に近い④の曲線の場合に低周波側の平坦な部分の透過率が他の曲線にくらべて大きいのは、熱運動のために液晶の分子配列の乱れが大きくなったためと考えられる。この液晶が交流電界に対して応答しなくなる周波数は $1.5 \times 10^3 \sim 8 \times 10^3$ Hz の範囲にあり、前述の二者にくらべてかなり高い周波数まで応答しうることがわかる。

5.2 透過率の電圧依存性

図 5.4 に MBABB について、印加する交流の電界強度を変化させたときの透過率の周波数依存性を検討した結果を示した。この図をみると、極端に電界強度の低い曲線①の場合を除いて、交流電界に「応答しう」る限界の周波数は電界強度にほとんど依存しないことがわかる。この図において低周波側の平坦な部分の透過率が電界強度の増加につれて次第に低下しているのは、電界強度の増加によるイオンの数、易動度の増加によると考えられる。このように温度を一

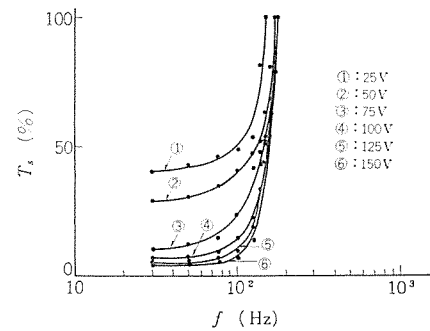


図 5.4 MBABB の透過率の電圧依存性
Transmittancy versus applied voltage for MBABB.

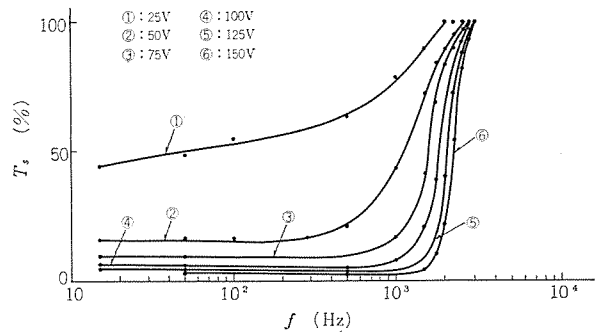


図 5.5 EPAPHP の透過率の電圧依存性
Transmittancy versus applied voltage for EPAPHP.

定にした場合には、電界強度をいくら上げても「応答しう」る周波数限界は変化せず $1 \sim 2 \times 10^2$ Hz 程度であり、電界強度を上げて「応答しう」る限界の周波数を高周波側へ移動させることはできないことがわかった。

図 5.5 に EPAPHP について、同じように交流の電界強度を変化させたときの透過率の周波数依存性を測定した結果を示した。この液晶の場合にも電界強度の低い側の二つの曲線①および②においては、透過率が立上る周波数が他の曲線にくらべてやや低周波側にあるが、ある一定の電界強度以上になると、「応答しう」る限界の周波数はやはり交流の電界強度にほとんど依存しなくなる。低周波側の平坦な部分の透過率が、電界強度の増加につれて低下する傾向は前述の場合と全く同様である。この液晶の場合にも、印加する交流の電界強度を上げて、「応答しう」る限界の周波数を高周波側へ移動させることはできず、 $1 \sim 2 \times 10^3$ Hz 程度であることが明らかになった。

前節で述べたように、交流電界に対して「応答しう」る限界の周波数は温度の上昇につれて高周波側へ移動すること、印加する交流の電界強度を上げて、「応答しう」る限界の周波数は高周波側へ移行しないことを考え合えると、これらの液晶の電気光学効果には配向効果が寄与していると考えられる。

5.3 応答速度の電界強度依存性

MBABB にパルス電圧を印加したときの、「応答の立上り」時間の電界強度依存性を図 5.6 に示した。「応答の立上り」時間 τ_{rise} は、電界印加による透過光強度の変化が、平衡時の透過光強度の変化量の $(1 - 1/e)$ 倍に達したときの時間として求めた。これをみると τ_{rise} は印加する電界強度に著しく依存することがわかる。このことは液晶層の厚さ、印加電圧を変化させることによって、かなりの範囲で「応答速度」を変えられることを意味している。

5.4 応答速度の温度依存性

図 5.7 に数種類のネマチック液晶の Alloy 系、および EPAPHP の

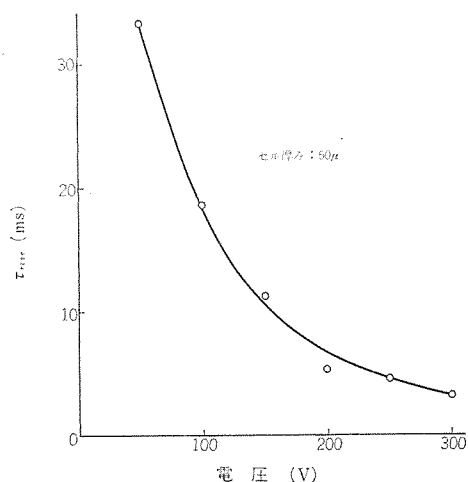


図 5.6 MBABB の τ_{rise} の電圧依存性
 τ_{rise} vs. applied voltage for MBABB.

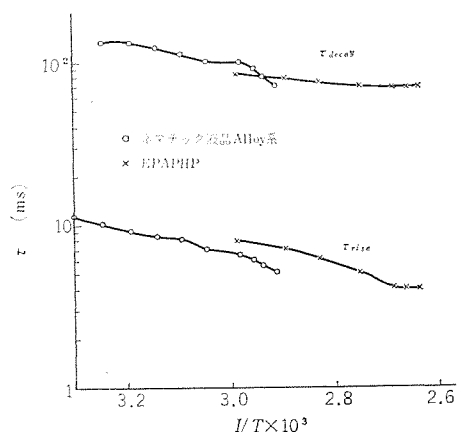


図 5.7 応答速度の温度依存性
Temperature dependence of response time.

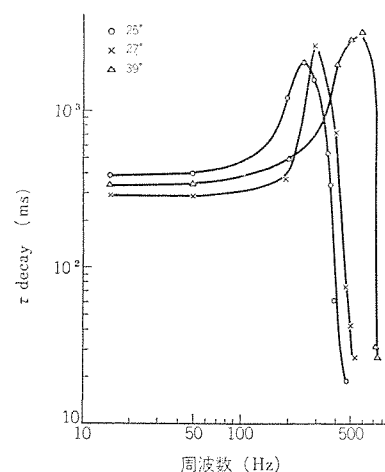


図 5.8 MBABB の τ_{decay} の周波数依存性
Frequency dependence of τ_{decay} for MBABB.

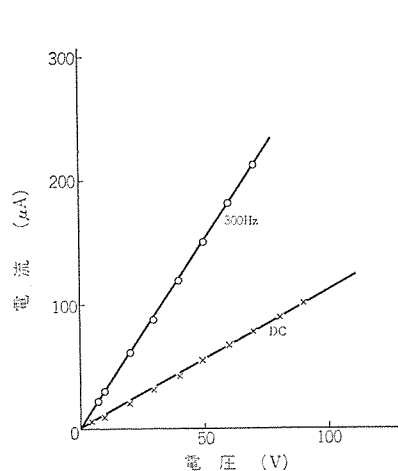


図 5.9 ネマチック液晶 Alloy 系の
電流-電圧特性
Current versus applied voltage for
mixed nematic liquid crystals.

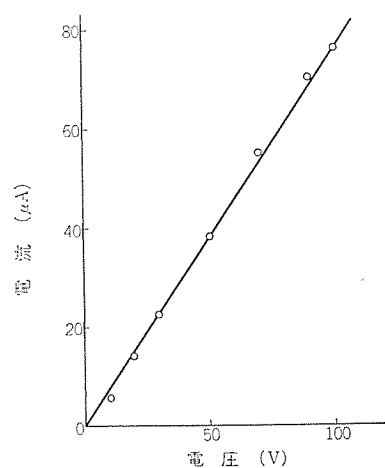


図 5.10 MBABB の電流-電圧特性
Current versus applied voltage for
MBABB.

の交流を印加したときの電流-電圧特性を図 5.9 に示した。液晶層は 20 mm×20 mm、厚さ 50 μm で、測定温度は 34°C である。この液晶では、直流・交流のいずれを印加した場合にも、測定した電界強度の範囲内においては電流は電圧に比例していることがわかる。この値からこの液晶の絶縁抵抗を求めると約 $10^9 \Omega\text{-cm}$ である。

MBABB について同様に、直流電界を印加したときの電流-電圧特性を測定した結果を図 5.10 に示した。液晶層のデメンジョンは前述の場合と同様である。この液晶の場合も測定した範囲内で、電流は電圧に比例し Ohmic な関係が成立している。この液晶の絶縁抵抗は $10^9 \Omega\text{-cm}$ 程度で、前述の液晶とほとんど同じ値である。

Heilmeyer 等⁽⁶⁾ はある種の ネマチック 液晶について、 $\log I \propto \sqrt{V}$ の関係が成立すると述べているが、今回測定した液晶については、この関係は認められず、Ohm 則が成立した。この点に関しては、液晶の電気光学効果の機構との関連もあり、今後さらに詳細に検討する必要があると思われる。

6. む す び

最近表示装置・非破壊検査への応用が話題になり、再び脚光を浴びている液晶について、その概略を説明し、いくつかの Alloy 系の相転移温度に関する測定結果を述べた。この方法によって、常温を含む広い温度領域で安定な液晶相をとるものがいくつか得られた。

液晶に電場を印加したときの透過率の周波数・温度・電圧依存性、応答速度の電界強度・温度依存性などについて検討した。

高精度の薄層セルの製造方法などの、工作技術上の問題点が解決されれば、液晶の実用化は間近であろうと思われる。

(昭和 47-4-3 受付)

参 考 文 献

- (1) G. H. Brown, W. G. Shaw : Chem. Rev., 57, 1,049 (1957)
- (2) G. W. Gray : Molecular Structure and the Properties of Liquid Crystals, Academic Press, London (1962)
- (3) J. A. V. Raalte : Proc. IEEE, 56, 2,146 (1968)
- (4) J. L. Ferguson : Sci. Amer., 211, 77 (1964)
- (5) C. Robinson : Trans. Faraday Soc., 52, 571 (1955)
- (6) G. H. Heilmeyer et al : Proc. IEEE, 56, 1,162 (1968)

パルス電圧に対する応答速度の温度依存性を示した。応答の立下り時間は電界を切ったときに平衡に達していた透過光強度の変化量が、 $1/e$ に低下するまでに要する時間として求めた。

この図をみると応答の立下り時間 τ_{decay} は τ_{rise} にくらべてほぼ一けた大きいことがわかる。また τ_{rise} の温度依存性はかなり大きく、温度の上昇につれてかなり小さくなるが、一方 τ_{decay} の温度依存性は τ_{rise} にくらべると小さく、温度が上昇してもあまり変化しないことがわかった。

5.5 応答時間の周波数依存性

MBABB に交流電界を印加したときの τ_{decay} の周波数依存性を図 5.8 に示した。これをみると温度一定の場合に τ_{decay} は周波数によって大きく変化する。すなわち、 τ_{decay} は初め周波数の増加につれてわずかに増大し、ある周波数のところから急激に増加して極大値をとった後きわめて急激に減少する。この τ_{decay} が極大値をとる周波数 $f_{\tau \text{max}}$ は、この図からわかるように温度の上昇につれて高周波側へ移行している。 τ_{decay} のこのような温度・周波数依存性は、電気光学効果への配向の効果の寄与を示す有力なデータの一つであると考えられる。

5.6 電流-電圧特性

数種類の ネマチック 液晶の Alloy 系に直流、および周波数 300 Hz

X線用固体映像変換器

野島 謙治*・新居 宏 壬*

Solid-State X-Ray Image Intensifier

Central Research Laboratory Kenji NOJIMA・Hirotsugu ARAI

A fluorescent screen or an image intensifier tube is a device to change an X-ray image to a visible one instantly in the medical examination or the nondestructive test of materials. The former has a drawback in the point of performance, while the latter poses a problem with the price. To make up these shortcomings, electroluminescent material a image intensifier screen, combining electroluminescent material and photo conductive materials, has been built for trial. This device employs a sintered Cd Se film for a photo-conductive layer so as to improve the picture quality and response of the conventional image intensifier screen, resulting in the performance of X-ray sensitiveness ... 0.1 R/min., brightness ... 1 ft-L, contrast ... 10 %, resolution ... 30 lines/cm and rise time 10^{-2} - 1 sec. It still needs improvement in the sensitiveness and response, but other performances are close to those of the conventional image intensifier tube and this image intensifier screen is practicable for use as a handy image intensifier for X-ray with a static object.

1. ま え が き

X線による透視技術は、医療関係をはじめとして、工業材料や製品の非破壊検査など非常に広範囲に応用されるようになってきた。その発展はイメージンシファイア管の出現によるところが大きくなり、さらにテレビジョンシステムへの拡張によってもたらされたものといえよう。イメージンシファイア管は、入射X線で発光するけい光スクリーンの可視光像を数千倍に増強することができるので、たとえば従来X線透視診断に使用されてきたけい光スクリーンのみの透視で、必要としていたX線照射線量の十分の一以下の線量で診断が可能となり、しかも明るい映像が得られるなどのすぐれた性能をもつために、現在のX線の映像技術において不可欠な存在となっている。しかしながら、このイメージンシファイア管は、扱いが複雑であり、入出力面の大きさが限定され、しかも装置が非常に高価であるなどの問題が大きな壁になっている。そのため、特性の点ではイメージンシファイア管に近く簡便さや価格などの点で、けい光スクリーンに近いものが得られる可能性のあるものの一つとして、光導電性(以下PCという)の材料と電場発光(以下ELという)の材料を組合せた固体の映像増幅器が検討されてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかし、実用化へ向って数多くの改良研究がなされたにもかかわらず、今なお種々の特性上の問題が残されている。われわれは構造としては従来のサンドイッチ形をとりながら、特にPC材料およびその構成について改良を加えることにより、用途によっては実用可能な特性をもつものを得ることができた。ここでは、この固体映像変換器の概要とおもな特性について述べる。

2. 固体映像変換の原理

X線用固体映像変換器は、X線の照射によって半導体中に生じた電子-正孔対による導電度変化を利用して、ELけい光体の発光を制御するものである。光導電性を有する硫化カドミウム(CdS)、あるいはセレン化カドミウム(CdSe)のような半導体は、通常の医用診断に用いられるエネルギー範囲(50~150 keV)のX線に対しても導電度の変化を示す。このエネルギー範囲において、X線の半導体による吸収はほとんど光電吸収に基づくもので、他の散乱による影響はきわめて小さい。いま、PC物質に強度 L (R/min) のX線が入射したとすると、吸収係数 μ でエネルギーの吸収が起こりPC物質中に電子-正孔対を

生ずる。PC物質中では創生された電子および正孔が捕獲中心(トラップ)におちこむ確率がそれぞれ異なり、自由電子の実効的な寿命が長いために導電度 σ に変化が現われる。 σ と L との関係は次のように近似することができる。

$$\sigma = \sigma_0 + CL^n \dots \dots \dots (2.1)$$

ここで、 σ_0 は定数であり、 C は毎秒 1 cm^3 のPC物質中に発生する電子-正孔対の数(これは μ の関数でもある)、自由電子の移動度および寿命に關係する量である。

固体映像変換器のPC層は薄い平板状であるので、この厚さを t とすると、X線がPC層に照射されている時の厚さ方向に対する単位面積あたりのコンダクタンス G は、式(2.1)から

$$G = \frac{1}{t} (\sigma_0 + CL^n) \dots \dots \dots (2.2)$$

となる。ここで $\sigma_0/t = G_0$ 、 $C/t = a$ とおくと

$$G = G_0 + aL^n \dots \dots \dots (2.3)$$

と書ける。

X線用の固体映像変換器は、X線の照射によって式(2.3)のように導電度変化をするPC層と交流電場によって発光するEL層が、二つの平面電極によってサンドイッチされたもので基本的な構造を図2.1に示す。いま、平面電極に交流電場を加えると、その電圧はPC層とEL層のインピーダンスに応じて配分される。いま可視光の影響を無視すると、X線が入射していない場合にはPC層側のインピーダンスが大きく、電圧はほとんどこの層に加わり、EL層の電圧は小さ

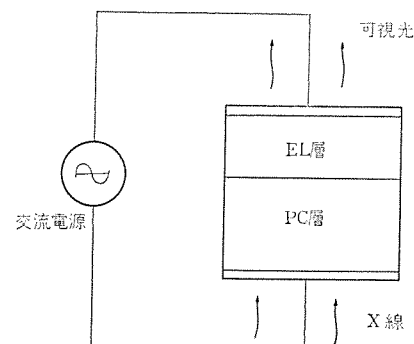


図 2.1 X線用固体映像変換器の基本構造
Fundamental structure of solid-state X-ray image intensifier.

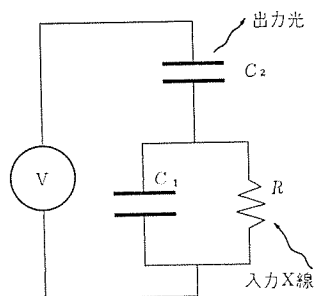


図 2.2 固体映像変換器の等価回路
Equivalent circuit of solid-state image intensifier.

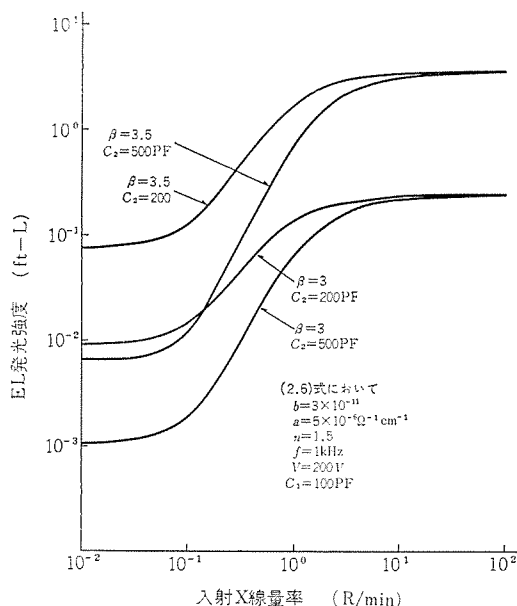


図 2.3 入射X線量率と発光強度の関係
Transfer characteristics of solid-state image intensifier
(calculated curves).

いので発光しない。X線が照射されるとPC層のインピーダンスが減少して、EL層に配分される電圧は大きくなりEL層が発光する。これを電氣的な等価回路で表わすと図2.2のように、EL層の容量 C_2 とPC層の並列容量 C_1 をもつ抵抗 R の直列回路になる。

この等価回路において外部印加電圧を V とすると、EL層の電圧 V_2 は次式のようにになる。

$$V_2 = \left\{ \frac{\frac{1}{R} + \omega C_1}{\frac{1}{R} + \omega(C_1 + C_2)} \right\} V \quad (2.4)$$

ただし、 ω は印加電圧の角周波数である。

EL層の発光強度は周波数および電圧の関数であり、実験式として $\frac{1}{\sqrt{V}}$ の指数関数に比例することが知られており、ある限定された電圧範囲においてはEL層の輝度 B は

$$B = b f^\alpha V_2^\beta \quad (2.5)$$

のように簡単な式で近似することができる。ただしここで b 、 α および β は定数、 f は周波数である。式(2.3)の G_0 はきわめて小さいものと仮定し、出力光の輝度を入射X線の線量率の関数として表わすために式(2.3)および式(2.4)を式(2.5)に代入すれば

$$B = b f^\alpha V^\beta \left\{ \frac{a L^n + \omega C_1}{a L^n + \omega(C_1 + C_2)} \right\}^\beta \quad (2.6)$$

となる。この式から明らかなように、ある電圧および周波数が与えられた時、出力輝度は線量率 L の小さい時には C_2/C_1 の大きさによ

って輝度 B が定まり、また線量率の大きい時には主として b および β によって定まる。実験データから各定数を求め、輝度 B の入射X線に対する依存性を示した例が図2.3である。 β は電圧範囲によって変わり、その輝度 B におよぼす影響は大きい。試作装置ではEL層への印加電圧が、200V~300Vの場合 β は3~3.5であったので、図2.3ではパラメータとして $\beta=3$ および3.5を用いた。また、構造的に与えられるパラメータとして容量の比をとり、 $C_2/C_1=2$ および5についてプロットした。輝度が大きく変化する領域の傾斜すなわち γ は、映像のコントラストとみなせる量である。一般に被検体を透過したX線像そのもののコントラストは弱いので、良好な変換像を得るには γ が大きいことが望ましい。

3. 映像変換器の構造

大面積の焼結膜の製法を確立し、これを用いて画質や応答性の改良を試みた。

映像変換器の構造は図3.1に断面で示す。まずネサコーティングをほどこした耐熱ガラス基板上にPC材料として増感処理をしたCdSe層を焼結し、この上にEL層からの光の反射層としてBaTiO₃の薄い層を設けている。さらにZnS系のELけい光体を積層し、表面にきわめて薄い絶縁性の透明膜をコーティングする。最後に真空蒸着により透明電極としてAuの半透膜をつくる。そしてそれぞれの電極からリードアウトして保護ガラス板をエポキシ樹脂で封着した防湿構造にしている。

X線用の映像変換器であるので、CdSe側すなわちX線の入力面の電極は透明である必要はないが、特性を簡単に検討する際に便利なので透光性のものを用いた。

コントラストを大きくし、X線の弱い時の発光出力を小さくおさえるためには、図2.3から明らかなように C_2/C_1 を大きくする構造が望ましい。具体的には、 C_2 はけい光体と、バインダとして使われるシアノセルカースとシアノサクロースなどの、高誘電性有機材料との合成された誘電率および層の厚さによって定まるので、極度に大きくするのは困難であるが、PC層の厚さは増感処理や吸収率の関係である程度変えられ、また、入力側の電極をメッシュ状にすることにより実効的な面積を減らして C_1 を小さくすることもできる。

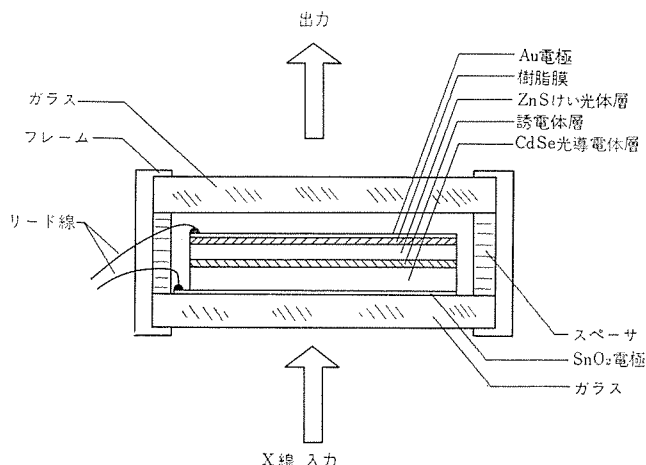


図 3.1 X線用固体映像変換器の構造
Structure of solid-state X-ray image intensifier.

4. 映像変換器の製作

耐熱ガラス基板はPC層を焼結する際に熱的な強度を要するので、

170×210×2 mm のパイレックス板を使用し、これにスプレー法で一面にネリ電極をコーティングする。PC 材料は応答速度を大きくでき、X 線吸収の良いものとして CdSe を選んだ。Cu および Cl で増感した CdSe 粉末は沈降法によって上記ガラス基板上に塗布した後、電気炉で焼結を 600°C で 30 分間おこない、焼結後は高純度の水で十分洗浄した。

PC 層の膜厚は X 線に対する感度を考慮して 150 μm にした。塗布と焼結の際の PC 層の均一性は映像変換器の特性に大きく影響するので、その作製には細心の注意が必要である。

次に出力光の反射層として BaTiO₃ の粉末をアクリル系の樹脂と混合し、約 10 μm の厚さに印刷塗布する。EL 層は ZnS : Cu, Cl けい光体をバインダにシアノセルローズを用いて、50~60 μm の厚さに印刷塗布する。さらに、各層の防湿と EL 層表面の平滑化を兼ねてクリアコートをほどこし、Au の半透明電極を設けて図 3.1 のように封止する。

この映像変換パネルの通常の動作状態における消費電力は非常に小さく 5~10 W であり、所要の周波数は 400~600 Hz である。したがって、駆動電源装置としてはかなり簡単な回路で、小形のものにできる。図 4.1 は実験用として製作した電源のブロックダイアグラムで、すべてトランジスタ化された定電圧回路、発振回路、および電力増幅回路で構成されている。電源のおもな仕様は、出力電圧：0~500 V、出力波形：正弦波、200, 400, 600 Hz 切換、最大出力電力 10 W、外形寸法：150(幅)×340(奥行)×230(高さ)である。試作された電源と映像変換パネルの外観を図 4.2 に示す。

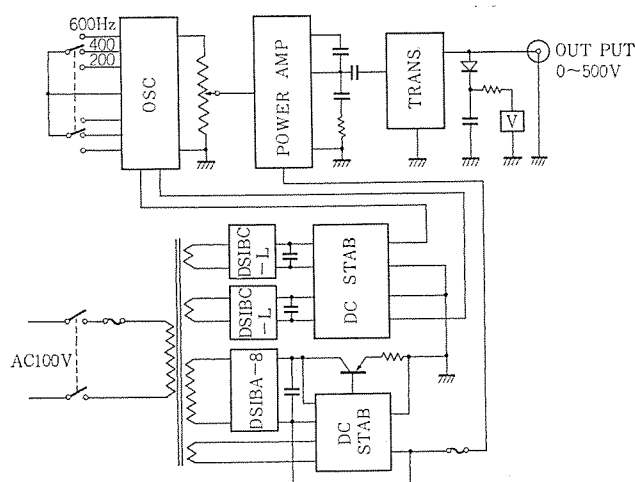


図 4.1 電源回路
Block diagram of power supply.

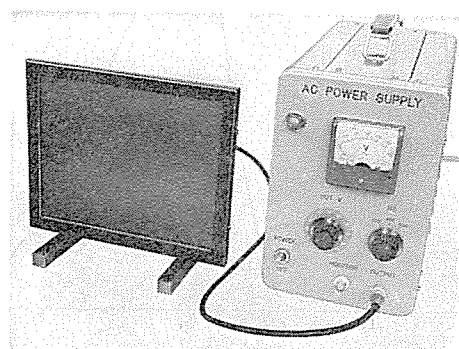


図 4.2 X 線用固体映像変換器
Solid-state X-ray image intensifier.

5. 諸 特 性

固体映像変換器の感度・輝度・コントラスト・解像度などの特性は P C 材料や EL 材料の特性、パネルの構成や製法によって大きく影響される。ここでは画質・解像度・応答速度等を改良するため、上記のような CdSe 焼結膜を用いた固体映像変換器の X 線に対する主な特性について述べる。

5.1 X 線—可視光変換特性

焼結した CdSe 膜のみの X 線の線量率に対する導電度の特性は、可視光照射の場合とほとんど同様な傾向を示している。

前述の方法で焼結した CdSe 層の X 線量率と導電度の関係は図 5.1 に示すように、線量率とともに導電度は増加し、X 線エネルギー 30 keV を用いた場合 0.1~10 R/min の範囲に感度をもち、式(2.3)の n はほぼ 1.5 である。特性が super linear になるのは層中に生ずる空間電荷の影響によるものである。

このような PC 層で構成した二つの映像変換器の入力線量率と出力発生輝度との関係を図 5.2 にあげる。X 線量率に対する感度範囲はほぼ σ の変化の場合と同じで、その結果変換された可視光の明るさ、すなわち輝度は 0.001~1 ft-L である。

図中で二つの曲線の相違は、印加する電源電圧の差および製作ロットの違いによるものである。大体の傾向としては計算によって得られた図 2.3 のように S 字特性となる。この曲線から得られるところのコントラストと密接な関係にある量 γ を $B \propto L^\gamma$ として定義すると、これは 1.9~2.3 である。

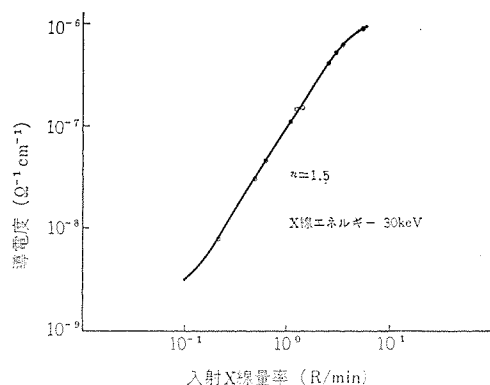


図 5.1 CdSe 焼結膜の導電度の X 線量率に対する依存性
Variation of conductivity of CdSe film with X-ray intensity

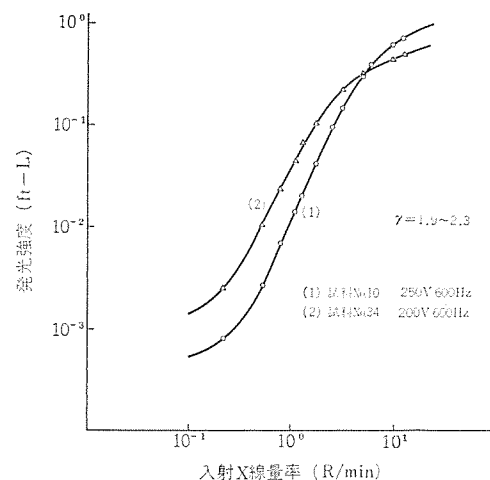


図 5.2 発光強度の入射 X 線量率依存性
Transfer characteristics of solid-state image intensifier
(experimental curves).

この値は幾分小さいがこの原因は C_2/C_1 比の大きさに関係があるものと思われる。

CdSe などの PC 材料は、医療用程度の X 線エネルギー範囲において使用する場合には特別な処理は必要としなが、ただ透過による損失を少なくするような質量の大きい不純物を導入するとか、あるいはフィルタ作用のある層を設けて線質を変えれば、感度はさらに良くなるだろう。この点 γ 線の場合には必ず考慮しなければならない。

5.2 解像度

X 線用の映像変換器の解像度には 2 種類の性能がある。すなわち、空間的に判別可能な線状の像の単位長さあたりに含まれる本数で表現するものと、被検体の厚さの何%の差違が出力映像面において検知されるかというものである。後者はコントラストに関する特性で後述するので、ここではおもに前者の解像度について述べることにする。解像度の測定は、X 線管と映像変換パネルを対向させて 70 cm の距離に設置し、パネルの前面に接して置いたペネトラメータの出力映像によっておこなった。X 線管電圧 60 kVp、電流 3 mA で直射した場合の透視像の写真を示したのが図 5.3 であるが、これから判断すると解像度はほぼ 30 lines/cm である。写真のピントおよび X 線管の焦点の大きさを考慮すると実際にはこの値よりも大きいと思われる。

空間的解像度を左右する要因としてはいろいろあるが、おもに PC 材料の焼結された粒子の大きさと膜厚のむら、および EL 層の粒子径とスクリーン塗布した時の膜構造の均一性が問題となる。試作した装置では、PC 層の影響よりもむしろ EL 層の塗布むらで解像度が制限されており、この EL 層の塗着の均一性を向上するように塗布材料を改善すれば、80 lines/cm 程度まで解像度を上げることは可能である⁽⁴⁾。

5.3 コントラスト

コントラストは映像変換パネルに入射する X 線量の部分的変化 ΔL が最小何%まで、出力映像における明暗差として検知しうるかをもちて評価するもので、具体的には被検体の厚さに局部的に階段状の差をつけ、この境界の線が識別される厚みの変化分と被検体の厚さとの割合で表わされる。このコントラストは前述の γ と関係する量であって、PC 層および EL 層の静電容量比、駆動電源の周波数、入射 X 線量率の範囲、さらに X 線のエネルギーに多分に依存している。実際の測定にあたっては種々の動作条件の中でもことに影響の大きい電源周波数と、X 線量率を被検体の材質を考慮して最適値に選び、それぞれ 600 Hz、1 R/min とした。コントラスト測定の被検体としてはアルミ板を使用し、70 cm の間隔に設定した X 線管と映像変換パネルの間にそう入した。

この測定の結果コントラストは大体 10~20% であった。映像変換器のコントラストとしてこの値はいくぶんわるいが、そのおもな原因は解像度の場合に問題となったと同様に、EL 層の発光むらのために

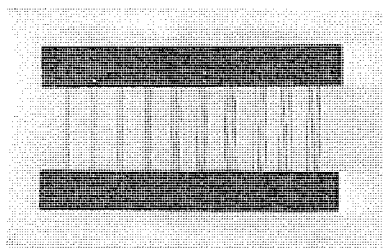


図 5.3 ペネトラメータの透視像
Image of penetrometer.

出力像の識別が阻害されたことによると考えられる。したがってコントラストを改善するには、構造的あるいは材料的に C_2/C_1 比の増大をはかると同時に、PC 層および EL 層の均質で厚さむらの少ない塗布法を十分検討することが重要である。

また、コントラストに関係する他の問題としてバックグラウンドの発光があるが、これはパネルそのものの特性および実動状態での外光の影響が考えられる。パネルの特性に起因するものは主にパネルの駆動電圧によるもので、電圧を高くすると EL 層の明るさは増すが暗部も発光しだすようになり、コントラストが低下する。試作した装置では輝度や発熱も考慮して 500 Hz 前後の周波数で、300 V 前後の駆動電圧で最もよい画像が得られた。

PC 層は X 線に対して高感度であるとともに、可視光でも大きい導電変化を起こすので、室内の光が PC 層に漏えいしているとバックグラウンドの発光の増大を招きコントラストを低下させる原因となる。通常、X 線管側に対向する PC 層は、可視光ないし近赤外光などの外光をしゃ断するような装置の構造にするので問題はないが、映像の出力側は外光の当たる場合が考えられる。一応 PC 層と EL 層の間には反射層が設けてあるが、外光が強い時にはかなりの光が EL 層と反射層を透過して PC 層に達し、その影響が現われることが考えられる。PC 層の分光感度と EL 層の発光波長分布は図 5.4 のように分離しているので、パネル内でのフィードバック効果によるコントラストへの影響はない。したがって迷光を防ぐために出力側に長波長カットのフィルタを用いることで、さらにコントラストは改良されるであろう。

5.4 過渡特性

固体映像変換パネルに一定強度の X 線のある瞬間に照射したり、切ったりすると出力輝度は指数関数的に増加あるいは減少する。このような過渡現象は PC 材料および EL 材料の応答性によるが、一般の PC 材料での導電度変化の応答特性は、ZnS けい光体の発光応答性が $10^{-5} \sim 10^{-6}$ sec 程度であるのにくらべてかなり遅い。そのため固体映像変換パネルの応答性は PC 材料で決定されてしまう。応答速度は PC 材料自体や入射 X 線量などで大きく変わり、線量が大きくと応答速度は早くなる傾向がある。本装置において用いられた CdSe 焼結膜の場合、入射 X 線量が 0.1~10 R/min の範囲で立上り時間が $1 \sim 10^{-2}$ sec、減衰時間が $10^{-1} \sim 10^{-2}$ sec であった。その他焼結 CdSe 膜の応答性は、増感処理をする時の活性剤および付活剤すなわち Cu と Cl の量とその処理条件によっても左右されわずかに異なる。

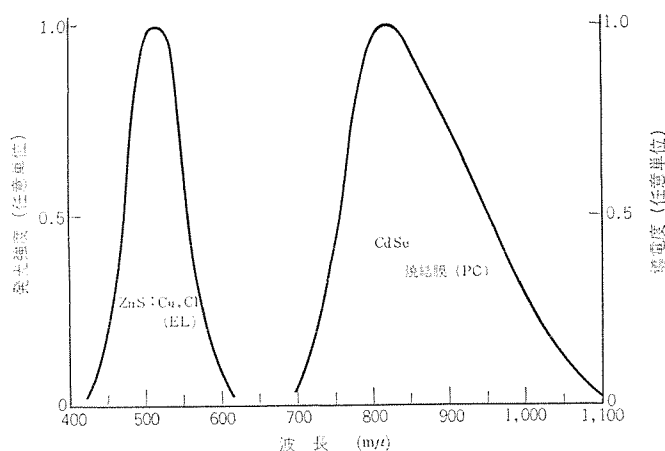


図 5.4 EL 層と PC 層の分光特性
Spectral distribution of EL and PC.

焼結 CdSe 膜を用いた X 線用パネルの時定数が大きいとはいふものの、CdSe や CdS の粉末を樹脂で結着した バインダ 形の X 線用 パネルの数秒〜数十秒という値に比較すれば、はるかに特性は改善されている。

われわれは、X 線 TV に応用しうるような応答性の良い固体映像変換器を得ることを主眼として、焼結 CdSe 形の パネル を検討してきたが、時定数が $10^{-2} \sim 1 \text{ sec}$ というのは従来の固体映像変換器にくらべればはるかに早いとはいえ、実用的な立場からすると今一つ問題となるところである。

焼結 CdSe 膜の X 線量率に対する感度を良くすると時定数が増大するという相対関係があるので、両者を同時に満足することがむずかしく、高感度で立上りが早く残像の少ない パネル を得ることは困難である。したがって用途により パネル を使いわけの必要がある。

6. 固体映像変換器の特質

以上映像変換 パネル のおもな特性について述べたが、これを他の映像変換装置、たとえば X 線けい光 スクリーン あるいは X 線 イメージンシファイア などの特性と比較したのが表 6. 1 である。けい光スクリーンは古くから医用に使われてきた簡単で経済的な装置であるが、X 線感度が悪く、出力輝度が低いので被検体への照射線量率を大きくする必要があり、このため被検体あるいは検査者への被ばくの問題、また暗室的な所でしか映像を観察できないという取扱ひ上の問題がある。一方、イメージンシファイアは入力 X 線画面寸法と出力像寸法が異なるとか、画像ひずみが生ずるなどの問題があるが、特性的には全般的にかなりすぐれている。このような装置の中にあって固体映像変換器は、両者の中庸に位する特性をもつものと考えられる。

PC-EL 形の映像変換装置の性能に関して特に問題になるのは、X 線感度と応答特性である。感度すなわち出力光強度の変化が生ずる最低 X 線量率は、CdSe を CdS などと混晶にするとか、不純物量あるいは増感処理方法を適当に選ぶことによって、イメージンシファイア程度のもので得ることが可能である。しかしながら前にも述べたように感度と応答速度は相反する関係にあるため、感度を上げると応答が遅くなり、両者とも満足させることは現在のところ困難であり、医学用などにはまだ問題である。

しかしこの固体映像変換器は装置の重量が数 kg で、調整個所がきわめて少なく容易に取扱へること、消費電力が数十 W であり、装置全体の コスト も イメージンシファイアの数十分の一というすぐれた特長をもっており、たとえば静止物体の非破壊検査のように、用途によっては実用可能な X 線固体映像変換装置が実現できた。特性上ではまだ問題の点もあり、今後の PC 材料の大幅の改良や新しい材

表 6. 1 各種の X 線用映像変換装置の比較
Characteristics of various X-ray image intensifiers.

特 性	種 類	試作した固体映像変換器	イメージンシファイア	けい光スクリーン
画 面 寸 法	mm	170×210	280φ	300×300
最低 X 線量率	mR/min	100	$30^{(5)}$ (X 線 TV)	100~1,000
出 力 輝 度	ft-L	1	1~10	10^{-3}
解 像 度	lines/cm	30	32	5
コントラスト	%	10	2	40
レ ス ポ ンス	ms	10~1,000	5	—

料の探索が望まれる。

7. む す び

EL-PC 構造の固体 X 線用映像変換器を試作した。特にこの装置では PC 層に CdSe の焼結膜を用いることによって画質や応答性を改良することを試みた。その結果、画面寸法 170×210 mm で X 線感度 0.1 R/min、画面の明るさ 1 ft-L、コントラスト 10%、解像度 30 lines/cm、応答時間（立上り）1 秒 の性能をもつものを得ることができた。

X 線による非破壊検査や医療の分野においては、X 線写真、けい光スクリーン、イメージンシファイア、またこれに TV システムを組合せたものなどが実用化されている。しかしこれらのものも性能のみならず、取扱ひやすさ、装置の大きさ、経済性などの点でまだ問題がある。以上に述べてきた固体映像変換器はこれらの欠点を補うことができる可能性をもっており、また 2、3 の問題を残してはいるが、用途によっては実用化が可能な装置が達成できた。

今後、応用技術の発展や固体映像変換器用の材料の改良や進歩によって、より広い分野で特長ある利用法が見いだされるものと思われる。

最後に、この研究の遂行に当たりご支援・ご指導をくださった通信機製作所、および中央研究所のかたがたに厚く謝意をのべる。

参 考 文 献

- (1) E. Payne, C. Mager : Illum. Eng., 45, 688 (1950)
- (2) R. K. Orthuber, L. R. Ullery : J. O. S. A., 44, 297 (1954)
- (3) B. Kazan : RCA Review, 19, 19 (1958)
- (4) Z. Szepesi : Electro-Technology, 47 (1969-12)
- (5) 津田, ほか : 島津評論 12, 387 (昭 45)

内部鏡形 He-Ne ガスレーザー

谷口 一郎*・桜井 彪*・永井 治彦*
小坂橋正康*・宮沢 淑子*・佐竹 正章**

He-Ne Gas Laser with Internal Mirrors

Central Research Laboratory

Ichiro TANIGUCHI・Takeki SAKURAI・Haruhiko NAGAI

Masayasu KOITABASHI・Toshiko MIYAZAWA

Manufacturing Development Laboratory

Masaaki SATAKE

Laser is now frequently used for light sources for the information processing or for the measurement with various instruments. Of the requirements for a device to send out laser beam, compactness, ease in handling, long life, and good stability of output power are mostly called for. A coaxial He-Ne gas laser with internal mirrors self-containing a cold cathode has been developed by Mitsubishi to answer the purposes.

A report is made herein about the construction of the gas laser with internal mirrors and experimental results on various characteristics of the laser beam as a nucleus of the statement. Furthermore, the article confirms that this gas laser with internal mirrors fully meets operating conditions of a wide range as a result of tests on the effect of temperature, humidity, impulse or vibration upon the output power.

1. ま え が き

レーザー発振が最初に確認されて以来12年目になる。当初の10年間はレーザーそのものの研究に重点がおかれ、この間に発見された発振線の波長は数千種類におよぶ。同時にレーザー技術および装置の研究も精力的に進められ、出力・寿命、および安定性等の性能は飛躍的に向上した。この10年間に、一部を除いて基礎的レーザー技術はほぼ確立された感があり、ここ2～3年はレーザーの応用研究に重点が置かれつつある。レーザーの応用は、計測・加工・レーダ・通信・医療等多分野にわたるが、最近最も注意されるのは、ホログラフィを中心とした情報処理への応用である。

当所でもホログラフィの研究を進めつつあるが、その光源あるいはその他計測用の光源として、小形堅ろうで取り扱いが簡便・長寿命、出力(1mW以上)の安定性のすぐれたレーザーが要求される。そのために冷陰極を内蔵した、同軸形の内部鏡形ガスレーザーを開発せねばならない。このレーザーは、放電管の両端に2枚の反射鏡が放電ガスに接して取り付けられるので、ガス封入前に反射鏡の角度調整を行ない、真空接着剤で固定してしまわなければならないという技術的困難さを有するが、上述の特長を備えたきわめて実用的な装置である。

本報告では、当所で確立された外部鏡形He-Neレーザー⁽¹⁾の技術をもとに開発した、内部鏡形He-Neレーザーの構造・諸特性・特長等について述べる。以下当所で開発した内部鏡形He-Neレーザーをコンパクトレーザーと呼ぶことにする。

2. 構 造

製作した内部鏡形のコンパクトレーザーは、小形で取り扱いやすく、しかも長寿命と高安定性を得るような構造を持っている。レーザー管の外観を図2.1に示す。また電源とレーザーヘッドに組み込まれた内部鏡形レーザー装置を図2.2に示す。

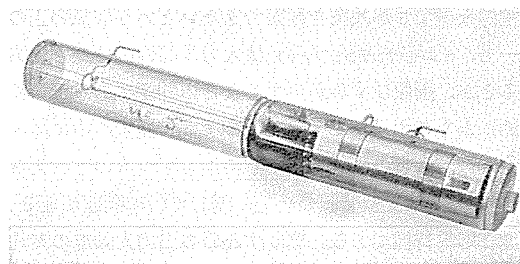


図 2.1 コンパクトレーザー管の外観
Exterior view of compact laser tube.

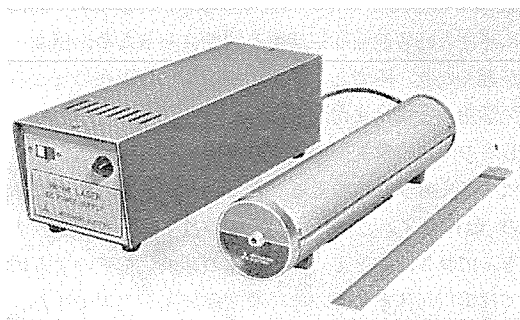


図 2.2 コンパクトレーザー本体と電源
Head and power supply of compact laser.

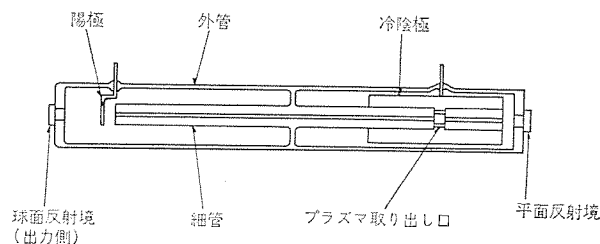


図 2.3 コンパクトレーザー管の構造概略
Construction schema of compact laser tube.

2.1 特 長

レーザー管は、長寿命化とレーザー発振出力の安定性を高めるためにパ

レックス製の二重管構造になっており、その概略を図2.3に示す。全長は265mmであり、有効放電長は178mm、細管内径は1.5mm、外径は35mmである。He-Ne混合ガスの封入圧力は1.5torrである。二重管構造であれば外管を室温程度に保つことが可能であり、Heガスの透過損失は非常に小さい。このため、長時間使用時のHeガス圧力低下による発振出力低下が抑制でき、長寿命のレーザ管が得られる。また外管の温度変化が小さいということは、熱膨張によるひずみが小さいことを示すが、その結果、外管に接着されている反射鏡ずれにより生じる発振出力変動が小さくなり、高安定性が配慮されている。また他の大きな特長は、同軸形のAl冷陰極を用いていることにある。冷陰極はレーザ動作させるにあたって予熱時間を必要とせず、ヒータ電源が不用であり、熱陰極の場合に比べて冷陰極のレーザ管の取り扱いは簡単で、しかもレーザ電源の小形化も行なわれている。この冷陰極は図2.3に示すように細管と同軸形に、しかも細管のプラズマ取り出し口が、冷陰極の中央部にくるように配置されている。したがって従来よく知られているような陰極用の枝管がなく、小形化と同時にレーザ管の機械的強度もすぐれている。なお、このコンパクトレーザの最適動作電流は6mAで、その時の電極間電圧は1.1kVである。

2.2 共振器の構成

レーザ共振器の性質（共振器反射鏡の曲率半径と反射率および共振器長）は、レーザ光のビーム径やビーム広がり角、あるいはレーザ発振出力を決定する。したがって共振器の選定は目的に応じて変える必要がある。ここで述べるコンパクトレーザでは大きな出力のuniphaseモードで発振し、ビーム広がり角も小さく、しかも反射鏡の調整が容易な共振器を考慮している。

たとえば、共焦点形共振器（曲率半径 R の反射鏡を距離 d だけ離し $R \sim d$ とした場合）では、反射鏡面上でのスポットサイズ w は細管内半径 r に比べて小さく、モード体積比（レーザ管の有効体積とuniphaseモードが占める体積の比）が小さいので、uniphaseモードの発振出力は小さくなる。一方、平面-球面（ $R_1 = \infty$, $R_2 = R$, $d > R$ ）、半球面（ $R_1 = \infty$, $R_2 = R$, $d \sim R$ ）、球面-球面（ $R_1 \sim R_2 \sim R$, $R > d$ ）形共振器は、 $r \lesssim w$ としてモード体積比を大きくすることができ、発振出力は大きい⁽¹⁾。これらの共振器のうち半球面形は広がり角 θ は大きい、平面-球面、球面-球面形に比べて反射鏡の調整が容易であるという利点をもっている。内部鏡形レーザは製作上、反射鏡の調整の容易なことが望ましい。したがって著者らは $R_1 = \infty$ と $R_2 = 300$ mmの半球面形共振器（ $d = 265$ mm）を用いている。この場合、後節で述べるようにスポットサイズ w が計算できるのに対し、経験上 $2r \sim w$ の時モード体積比も大きくなって、最大発振出力が得られるので、レーザの細管内径 $2r$ は1.5mmに選ばれている。

半球面形共振器は比較的ビームの広がり角 θ は大きい。これを防ぐためには、出力用反射鏡から取り出されたレーザ光の波面が平面になるように、出力側反射鏡の裏面に曲率半径 R'_2 を考慮し、出力側反射鏡にとつ（凸）レンズ作用をもたせればよい。 R'_2 の値は幾何光学的な簡単な計算から $R'_2 \sim R_2/3$ （反射鏡基板の屈折率1.5の場合）と求められる。

反射鏡の最適反射率は、レーザ管の利得および共振器内損失によって決定される。このレーザでは、反射率100%と98.8%の反射鏡が使用されている。

2.3 冷陰極

新たに開発した冷陰極を採用したのが大きな特長である。図2.4

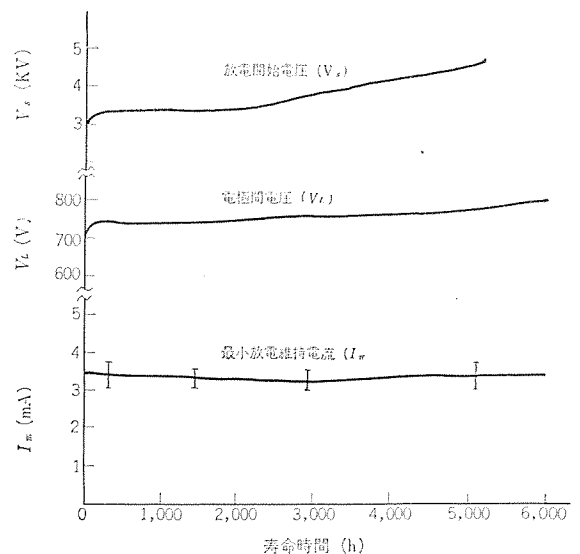


図2.4 寿命テスト中の放電特性
Discharge characteristics during life test.

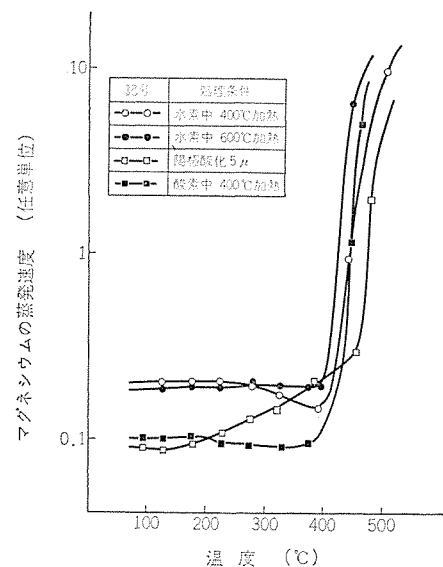


図2.5 陰極材料からのマグネシウムの蒸発速度に対する各種処理の影響
Effect of different treatments on evaporation rate of magnesium from cathode material.

は、内径20mm・長さ110mmの円筒形の陰極を有効放電長100mmのテスト放電管に内蔵した寿命テストの結果であり、封入ガス、ガス混合比を実際のレーザ管にそろえて行なったものである。放電開始電圧はやや上昇しているが、放電中の電極間電圧および最小放電維持電流はほとんど変動せず、その動作はきわめて安定しているといえる。テストは6,000時間までのものだが、これらの特性は、その後も変化なく持続されるものと考えられる。

これらのすぐれた特性は、今回、開発した独自の陰極材料、すなわち少量のマグネシウムを含有するアルミニウム合金の採用と、それに適合した処理法の確立によってもたらされたものである。このアルミニウム合金が、冷陰極材として良好な特性を示す理由は明らかでないが、1) マグネシウムやアルミニウムはイオンのスパッタリング作用に強い、2) イオン衝撃による二次電子放出係数が大きい、3) 仕事関数が小さい、4) マグネシウムは原子番号が小さく、AUGER効果による電子放出にも有利などの諸点が都合よく作用しているためと考えられる。処理に関しては、陰極の動作面にマグネシウムが有効な形態で残留することが重要と考え、処理法や加熱条件などを決定した。

図 2.5 はそのために測定したデータの一例であり、各種処理をほどこした陰極材料を真空中で加熱したときのマグネシウムの蒸発速度を、質量分析計で測定したものである。マグネシウムの蒸発は、一定の温度を越えると急激になり、その温度は処理によりかなり異なる。明らかにマグネシウムの散逸しにくい処理条件がある。また、このような散逸が起こったと思われる陰極は放電管テストでスパッタリングが激しく、短寿命の傾向を示した。われわれは、このような基礎データをもとに、材料の適否、処理法の良否を推定し、最終的には放電管における多数の寿命テストの積み重ねにより、今回の冷陰極を完成させた。この冷陰極の大きな特長は、独自の材料と処理法によってもたらされる安定な動作と長寿命といえよう。

2.4 冷陰極面上の電流密度分布

冷陰極の寿命はほぼ陰極表面の電流密度により決まるので、電流密度分布およびスパッタリングを発生させる電流密度のしきい値を知り、それと関連して陰極の大きさを決定することは、レーザの長寿命化において非常に重要である。図 2.6 は、円筒形陰極面の電流密度分布を陰極分割法により測定した結果の一例を示すもので、放電取り出し口付近で電流密度が最大になる。図 2.7 は、放電電流に対する電流密度の最大値 J_{max} を陰極の直径を変えて示した結果であり、 J_{max} は放電電流に比例して増加する。電流密度分布は陰極の大きさ、特に直径に著しく影響され、直径が 20 mmφ より小さい陰極では取り出し口付近に電流が集中するが、30 mmφ より大きい陰極になると、取り出し口付近の電流密度が著しく減少し、相対的に取り出し口から離れた部分の電流密度が増大する結果、全体として平たんな電流密度曲線となる。電流密度分布は、取り出し口の形状および構造によっても大きく異なるが、直径が 20 mmφ より小さい陰極

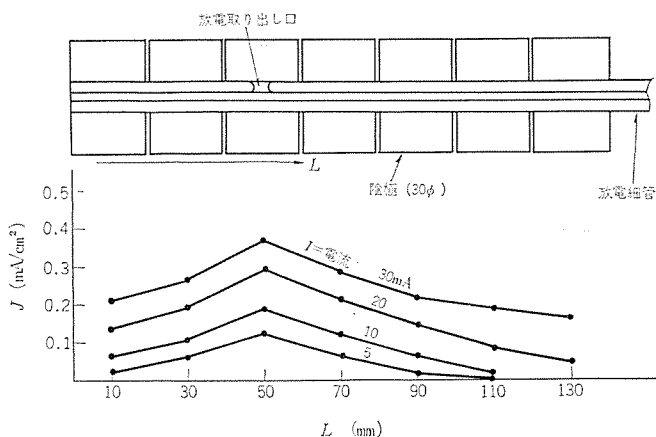


図 2.6 陰極面の電流密度分布
Distributions of current density on the surface of cathode.

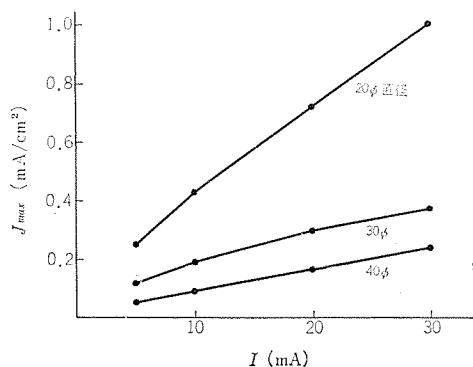


図 2.7 最大電流密度の放電電流に対する依存性
Dependence of maximum current density on the discharge current.

では、長さを大きく取ることにより電流密度の低減を図ることはあまり効果がなく、直径 30 mmφ 以上の陰極でその効果が表われる。しかし実際にレーザ管を製作するに際してできるだけ小形化を図る必要があり、無用に大きな陰極を使用するわけにはいかない。そこでスパッタリングを発生させる電流密度のしきい値を知る必要がある。20 mmφ×65 mm の寸法の冷陰極を使用し、電流 8 mA の放電試験では、放電時間 110~370 時間の間に必ずスパッタリングを生じた。また 20 mmφ の場合は、長さを 110 mm まで長くしても完全なスパッタリング防止の効果がみられなかった。これらの結果と図 2.7 の直線から、スパッタリングを発生させる電流密度のしきい値は、 $\sim 0.3 \text{ mA/cm}^2$ であることがわかる。最大出力を発生するレーザの放電電流は 6 mA であるので、直径 20 mmφ の陰極でも使用可能であるが、放電電流を少し上げて使用する場合は、放電開始時に瞬間的に高電流が流れることなどを考慮すると、25 mmφ にするほうが適当である。

3. レーザ光の特性

レーザ光を情報処理あるいは各種計測用光源として用いる場合、レーザ光の特性がまず問題となる。ここでいうレーザ光の特性とは、発振出力・安定性・雑音はもちろん、ビーム径・広がり角やビーム方向性あるいは偏光特性が含まれる。

3.1 発振出力

レーザの発振出力は、レーザの媒質自身の性質と発振器を構成する共振器の性質によって決定される。媒質自身の性質を示す量としては、不飽和利得係数 g_0 と飽和パラメータ S_0 、有効放電長 l が考えられ、共振器の性質としては、全損失（共振器内損失 f と透過損失 t の和）と共振器内ビーム断面積 Q が考えられる。発振周波数 ν の単一縦モードの発振出力 $P(\nu)$ は、これらの量を用いて

$$P(\nu) = tQS_0 \left[(2g_0l / (f+t))^2 \exp \left\{ -2 \left(\frac{\nu - \nu_0}{\Delta\nu_D} \right)^2 \right\} - 1 \right] \dots (3.1)$$

となる。

ここで $2 \cdot \Delta\nu_D$ はドップラー幅、 ν_0 はドップラー幅の中心周波数を示す。式 (3.1) からわかるように、発振出力は不飽和利得係数 g_0 の 2 乗と飽和パラメータ S_0 に比例しているが、これら媒質の性質を示す量は、放電電流・封入ガス圧力・細管内径によって変化する⁽²⁾⁽³⁾。このことは最大の発振出力を得るためには、放電電流・ガス圧力、細管内径に最適値が存在することを示している。一方最大出力を得る共振器の性質に関していえば、 t に最適値が存在し、 Q は大きいことが、 f は小さいことが望まれる。しかし Q は、細管内径と共振器反射鏡によって制限される。 f は共振器反射鏡の散乱、共振器内のレーザ光束中のじんあいによる散乱などの損失によって決まる。内部鏡形レーザの場合は、プリズム窓による損失がないため外部鏡形に比べて f は小さく、出力を大きくするためには内部鏡形が望ましい。よく知られているように、ガスレーザでは数本の縦モードで同時に発振している。その縦モード周波数差 $\Delta\nu$ は共振器間隔 d を用いて

$$\Delta\nu = c/2d \dots (3.2)$$

となる。ここで c は光速、コンパクトレーザの共振器間隔 d は 265 mm であるから $\Delta\nu = 566 \text{ MHz}$ となり、 $\Delta\nu_D = 800 \text{ MHz}$ と考えると、3~4 本の縦モードで同時発振する。したがって全発振出力 P は、式 (3.1) から求められる各縦モードの発振出力を加えれば得られる。

コンパクトレーザでは、最適の放電電流とガス圧力は 6 mA、1.5 torr であり、この場合 $g_0l \approx 2\%$ 、 $S_0 \approx 10 \text{ W/cm}^2$ 、 $t \approx 1.2\%$ 、 $f \approx 0.8\%$ 、さらに共振器内ビーム径の平均値は 0.5 mm であるから、発振周波数

ν が ν_0 に一致している場合、単一縦モード発振出力 $P(\nu_0) \approx 0.7 \text{ mW}$ となる。したがって縦モードを加えた全発振出力は、反射鏡のわずかな調整ずれを考慮しても 1 mW 以上になることがわかる。

現在までに製作したコンパクトレーザは 50 本以上に及ぶが、共振器反射鏡の調整の欠陥が少なければ、出力は 1 mW 以上および寿命は 34 時間以上である。

3.2 発振出力のドリフトおよび雑音

He-Ne レーザの発振出力は一定ではなく、時間とともにゆらいでいる。このゆらぎは非常にゆるやかなドリフトと考えられるものから、縦モード間の周波数差に相当するような非常に速いものまであり、また周期的な振動もあればランダムなものもある。ここでは非常にゆるやかな 1 Hz 以下のゆらぎをドリフトと呼び、 1 Hz 以上のゆらぎを雑音と呼んで区別して考える。

3.2.1 ドリフト

レーザ発振出力のドリフトをもたらす原因としては、励起電力のドリフト、共振器の機械的な変化などが主に考えられる。しかし前者は後者に比べて小さいから、ここでは共振器の機械的变化を問題にする。この共振器の変化によるドリフトとしては、次のことが考えられる。第一としては、共振器反射鏡の角度の変化によるものである。この場合はレーザ出力は規則的な変化はせず、その平均値は徐々に増加または減少することが予測される。コンパクトレーザのドリフトの測定結果を図 3.1 に示すが、レーザ出力の平均値はほぼ一定であり、その結果コンパクトレーザでは、反射鏡の角度変化は小さいと考えられる。これは、内部鏡形で二重管構造のレーザ管によるための利点と思われる。第 2 としては、共振器長の変化による発振周波数の変動にもとづくものである。レーザの発振周波数 ν は、 $n(c/2d)$ で与えられる (n は正の整数) から、共振器長 d の微小変化 Δd による ν の微小変化 $\delta \nu$ は

$$\delta \nu = \nu (\Delta d / d) \quad (3.3)$$

となる。したがって $\Delta d / d = 10^{-6}$ としても $\delta \nu$ は 500 MHz 近くになり、わずかの共振器長変化が発振周波数変化、すなわち発振出力の変化をもたらす。しかしコンパクトレーザでは 3~4 本の縦モードで同時発振しているから、出力は平均化されこの効果は少ないと考えられる。第 3 は、他波長との同時発振による競合によるもの。He-Ne の $6,328 \text{ \AA}$ レーザでは同時に 3.39 \mu m のレーザが発振していることが多い。しかもこの両者のレーザ遷移は、上の準位である Ne の $3S_2$ 準位が共通しているために、 3.39 \mu m の出力が増せば $6,328 \text{ \AA}$ の出力が減少する。 3.39 \mu m に対するドラッグ幅は、 300 MHz 程度と $6,328 \text{ \AA}$ に比べて小さく、 3.39 \mu m レーザは単一縦モードで発振する⁽⁴⁾。したがってわずかの共振器長の変化 Δd が 3.39 \mu m のレーザ出力を変化させ、その結果 $6,328 \text{ \AA}$ のレーザ出力が変化する。コンパクトレーザのドリフトは、この効果が第 1 の原因と考えられる。図 3.1 のデータは連続試験の一部であるが午前 8 時に空調器を on にしている。その結果空調器 off の場合はほとんどドリフトもないが、空調器 on の場合は、空調器の風のため Δd が非常に大きくなっていることがわかる。また図 3.2 は放電開始後の発振出力の様子を示すが、20 分程度で定常状態に達している。この間周期的な出力変動を示しているが、これは放電のためレーザ管が熱せられ、 d が一様に熱膨張しているためである。定常時でのドリフトは平均値に対して約 4% である。

3.2.2 雑音

1 Hz 以上の出力のゆらぎをもたらす原因としては、自然放光

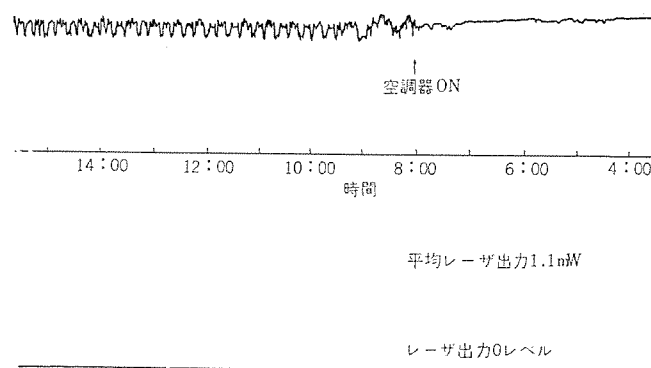


図 3.1 レーザ発振出力のドリフト
Drift of laser output power.

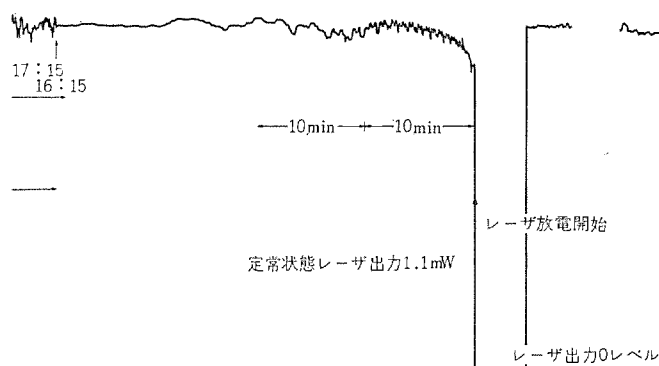


図 3.2 放電開始後のレーザ発振出力特性
Time dependence of laser output power after the beginning of the discharge.

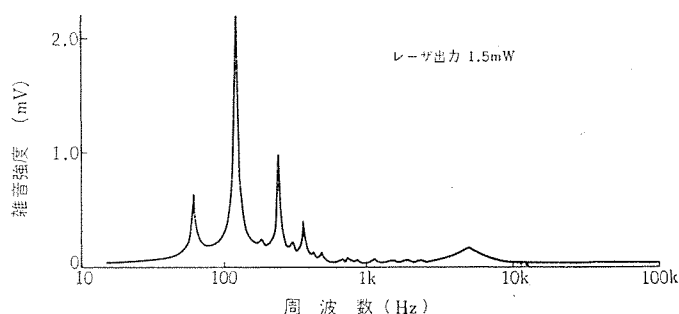


図 3.3 レーザ発振出力の雑音・周波数特性
Noise spectrum of laser output power.

によるもの、横モード間のビート、モードの不安定性、縦モード間のビートによるもの、共振器の機械的振動によるもの、励起電力のゆらぎによるもの、放電の雑音・振動によるものなど考えられる。しかし直流放電形の He-Ne レーザでは、後の二つが雑音を与える大きな原因と考えられる。放電による雑音・振動をさらに分けて考えると、陰極部分に原因して発生するランダム雑音と、プラズマ中の電子振動、または荷電粒子の集団的な振動に原因している周期性雑音があり、放電電流などの放電条件によって著しく変化する。周期性振動に対しては比較的研究されているが、ランダム雑音となると、粒子の熱運動の他に粒子自身が衝突して発生したり消滅したりするので、現象は複雑となりまだ明らかにされていないのが現状である。

図 3.3 に、コンパクトレーザの雑音の $15 \text{ Hz} \sim 100 \text{ kHz}$ の周波数特性を示す。 1 kHz 以下の大きな雑音は、すべて励起電力のゆらぎに基づいている。特にコンパクト用電源は、両波整流のため 120 Hz 成分が大きく、その結果レーザ出力にも大きな 120 Hz 成分が含まれている。他の周波数成分も 60 Hz の整数倍になっている。レーザ出力の直

表 3.1 レーザ発振出力および電源電圧のリップル率
Ripple of laser output power and applied electric voltage.

	電源リップル率	発振出力リップル率
60 Hz	1.8×10^{-3} 7.4×10^{-3}	3.1×10^{-4} 1.0×10^{-2}
120 Hz	7.2×10^{-5} 3.4×10^{-4}	1.7×10^{-5} 3.8×10^{-4}
noise (60, 120 以外)	2.3×10^{-4}	4.4×10^{-3}

流成分に対する 120 Hz のリップル率は 0.47% である。5 kHz にある雑音の原因は明らかでない。以上のように 100 kHz 以下のリップルは、主に励起電力のリップルに原因がある。したがって電源電圧とレーザ出力光の雑音のリップル率を、60 Hz、120 Hz および 60 Hz、120 Hz 以外の周波数 (15 Hz~100 kHz) について測定した。60 Hz、120 Hz に関しては、電源電圧のリップル率を変えて測定しており、その結果を表 3.1 に示す。なお、レーザ光のリップル率は 6 本のレーザ管の平均値を示す。その結果、60 Hz、120 Hz のリップル率はレーザ管の違いによってはあまり変化せず、電源電圧のリップル率に依存して変化する。一方 60 Hz、120 Hz 以外の雑音は、レーザ管によって変化することがわかった。うゑの結果はコンパクト用レーザ電源を用いずにえられたのであるが、コンパクト用レーザ電源を用いた場合、レーザ出力の 60 Hz および 120 Hz のリップル率は 0.5% 以下、雑音 (60 Hz、120 Hz 以外の成分) のリップル率は 0.4% 以下となる。

3.3 ビーム径、広がり角

共焦点形共振器 (曲率半径 R 、共振器間隔 d で $R \sim d$) を用いた場合、uniphase モードでのビーム径、広がり角はよく知られているが、曲率半径 R_1 、 R_2 を d だけ離れた共振器についても、等価的に共焦点形共振器として取り扱える。ここでは、一方の鏡に平面鏡を用いた平面-球面形共振器の場合について考える。今 $R_1=R$ 、 $R_2=\infty$ とすると最小ビーム径 $2w_0$ は平面鏡上にあり、レーザ光の波長を λ とすると

$$w_0 = (2\lambda R_C / \pi)^{1/2} \quad (3.4)$$

となる⁽¹⁾。

ここで R_C は等価的な共焦点形共振器の曲率半径で

$$R_C = 2\{d(R-d)\}^{1/2} \quad (3.5)$$

である。平面鏡上からの距離 z におけるビーム径は次式となる。

$$w(z) = w_0 \{1 + (2z/R_C)^2\}^{1/2} \quad (3.6)$$

コンパクトレーザの場合、 $R=300$ mm、 $d=265$ mm であるから $6,328 \text{ \AA}$ のレーザに対しては、平面上のビーム径 $2w_0$ は 0.28 mm、球面上のビーム径 $2w(d)$ は 0.82 mm となる。コンパクトレーザの出力光は、おもに球面鏡側から取り出されるが、このレーザ光の広がり角を小さくするために球面鏡にとつレンズ作用をもたせ、球面鏡上のレーザ出力光

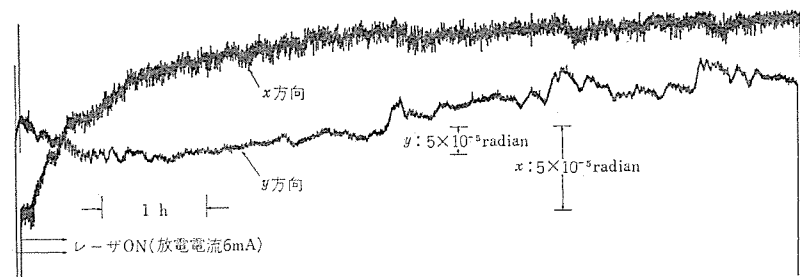


図 3.4 レーザビーム方向の変動
Typical example of the variation of laser beam direction.

が平行光線になるように設計している。このことを考慮して、レーザ出力光のビーム径を求めると球面鏡より 50 cm、3 m における値はそれぞれ 0.95 mm、3.07 mm となる。

次に広がり角 θ について考える。 θ は式 (3.7) で定義される。

$$\theta = \lim_{z \rightarrow \infty} \{2a(z)/z\} \quad (3.7)$$

平面鏡側のレーザ光の広がり角 θ は、式 (3.7) に式 (3.4)~式 (3.6) を用いれば、直接求められ $\theta=2.9$ mrad となるが、出力光として用いる球面鏡側の広がり角は、球面鏡のとつレンズ作用を考慮して $\theta=0.98$ mrad となる。

以上でコンパクトレーザのビーム径・広がり角を計算したが、コンパクトレーザを用いて測定した結果、その値は計算値と 10% 以内の誤差で一致していることがわかった。なお、この共振器系では uniphase モード発振の限界近くにあり、レーザ細管の内径が 1.6 mm になれば、多重横モードで発振することが確認された。

3.4 ビームの方向安定性

レーザビームの方向は、共振器を形成する 2 枚の反射鏡の機械的な安定性に依存する。したがって、ビームの不安定性の原因は、レーザ管の発熱および周囲温度の変化によるスぺーサの熱膨張から生ずる、2 枚の反射鏡の相対的な角度変化が最も大きな原因である。通常の実験室では、振動による影響は温度の影響に比べて無視できる。図 3.4 は放電開始後のビーム方向の変動角を、4 象限光検知器で測定した一例を示す。この場合レーザ管は内壁を黒く塗装したヘッドに納められており、陽極抵抗はレーザ管の下側に位置している。変動角は同一室温 ($21.5 \pm 1.25^\circ\text{C}$) でも、測定ごとに少し異なるが、4 回の測定 (4~7.5 時間) では y 方向 (上下方向) ; $1.2 \sim 1.9 \times 10^{-4}$ rad、 x 方向 ; $1.2 \sim 1.4 \times 10^{-4}$ rad であり、 x 、 y の方向に大きな差はなかった。しかしビーム方向の再現性は、 y 方向がかなり悪くなる。放電開始直後に示すビーム方向のパラッキを変動角で表わすと、 y 方向 ; 1.8×10^{-4} rad となる。また 4 回の全測定時間中に生じた変動角の最大幅は、 y 方向 ; 3.9×10^{-4} rad、 x 方向 ; 1.4×10^{-4} rad であった。これらの結果は同一室温での結果であり、周囲温度が変われば再現性はさらに悪くなる。 x 方向は周囲温度変化の影響をそれほど受けないが、 y 方向はかなり大きく、たとえば 2.5°C の周囲温度変化に対して、約 4×10^{-5} rad のビーム方向の変動が生じた。

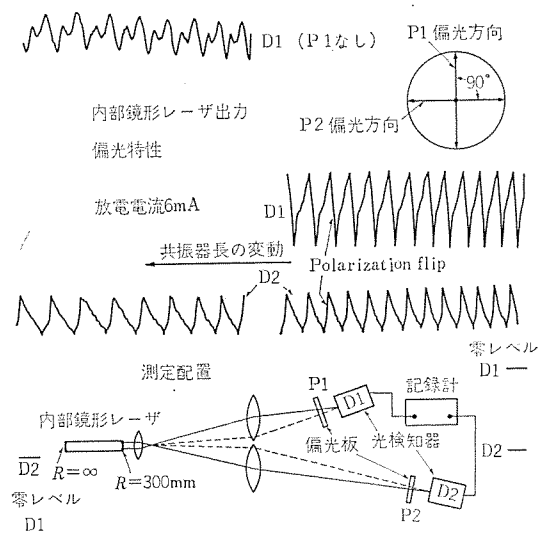


図 3.5 偏光特性
Polarization characteristics.

3.5 偏光特性

外部鏡形レーザの場合は、共振器内にブリュスター窓という偏光性素子がそう入されているので、その出力は直線偏光である。しかし内部鏡形レーザの場合は、発振線の種類、発振強度、反射鏡の反射率の分布状態、発振モード数および外部磁場の存否等⁽⁵⁾⁽⁶⁾の諸条件により複雑に変わる。発振線は $6,328\text{ \AA}$ 線、単一縦モード発振および外部磁場 $H=0$ の場合に限定すると、出力光は一般に直線偏光である。また共振器モードがスペクトル線の中心付近を移動すると、偏光方向が 90° 回転する現象(polarization fl: p)も存在する。

本報告におけるコンパクトレーザの場合、発振モード数は3~4本であるので、一般に出力光は位相の異なる直線偏光の重ね合わせとなり、だ円偏光を示す。また多モードの場合は、隣り合わせのおおののモードの偏光方向は互いに 90° 異なる。⁽⁷⁾ 図3.5に示すような実験配置で、互いに 90° 異なる方向の偏光成分を取り出して記録した結果を同図右側に示す。その左側は一方の偏光板を除いた出力結果を示す。これらの結果より、偏光板を透過した偏光成分の急激な変化は、前述した polarization fl: p であることがわかる。この場合は多モードであるからスペクトル線の中心を移動したモードのみの偏光方向が反転するので、どちらか一方の偏光成分が零になることはない。したがって、polarization fl: p 以外の偏光成分光の強度の変動は、スペクトル線内における各モードの位置の移動(共振器長の変化による)の結果、生ずるだ円偏光のだ円軸の回転を示している。

4. 環境試験

コンパクトレーザは多方面で利用されると思われる、したがってその使用条件もまちまちであることが予想される。それだけ広範囲の使用条件に耐えることが要求されるが、ここでは2台のコンパクトレーザについて調べた温度・湿度・衝撃、および振動に対する試験結果を述べる。

4.1 温度

最初に、周囲温度が出力に及ぼす影響について調べた。レーザを恒温(そう)槽に入れ、図4.1の上側に示す経過(1サイクル)で周囲温度を変化させた。そのとき恒温そう内で測定したレーザ出力を図4.1の下側に示す。レーザ出力は広範囲の周囲温度に対してほぼ一定である。零度以下の温度範囲でやや出力の減少がみられるのは、光検知器の感度低下による。次に湿度 $65.5\pm 5\%$ の条件のもとで5サイクルの温度試験を行なった。その結果2台のレーザとも、通常観測される出力変動の範囲内で試験前と同じ出力を示し、その他放電の色、接着剤、ゲッタ等にも何ら変化が認められなかった。

4.2 湿度

内部鏡形レーザでは反射鏡の固定に通常接着剤を利用するので、この接着剤の耐湿性が特に問題になる。温度 $40\pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度95~100%の条件(JISで定められた電子機器用部品の耐湿性の条件を満足する)の中に、レーザを点灯したまま72時間放置する試験を行なった。出力、放電の色、接着剤、ゲッタ等にも何ら変化が認められなかった。

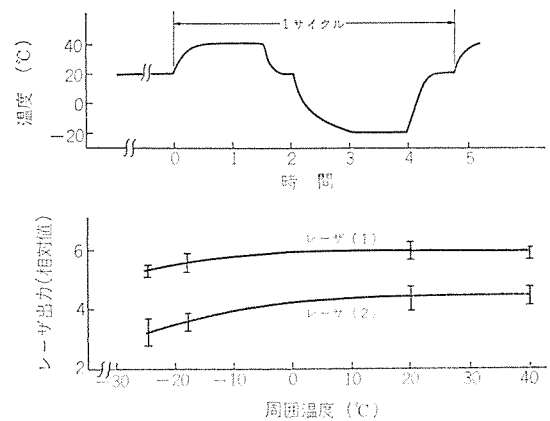


図 4.1 周囲温度とレーザ出力
Dependence of output power on ambient temperature.

4.3 衝撃および振動

レーザビームの方向をZ軸とし、それに直角な2軸をX、Y軸とする。Y軸は電極導線と同じ方向である。YおよびZ軸方向に5回ずつ、合計10回にわたって 30 g (g は重力の加速度)の衝撃をくり返し加えたが、レーザ動作に異常は認められなかった。次にX、Y、Z軸方向に周波数25 Hz、振幅1 mmの振動(2.5 g)を5分間、また周波数50 Hz、振幅0.25 mmの振動(2.5 g)を5分間加える試験を行なったが、異常は認められなかった。

5. む す び

小形堅ろうで取り扱いが簡便・長寿命、および出力(1 mW以上)の安定性のすぐれた内部鏡形He-Neガスレーザ(コンパクトレーザ)を開発したので、その構造およびレーザ光の諸特性について述べた。また広範囲の使用条件を考慮した温度・湿度・衝撃および振動に対する試験を行ない、開発したコンパクトレーザが広範囲の使用条件で満足に動作することを確認した。とくにこのレーザは情報処理あるいは各種計測用の光源に適しており、これからの利用価値は高いと思われる。しかし、さらに長寿命化を行ない、歩止まりを良くすることが今後の問題として残されている。

参 考 文 献

- (1) 谷口、樋口、宮沢、佐竹：三菱電機技報，43，No. 3，(昭44)
- (2) T. Sakurai, T. Ohta and T. Ogawa: IEEE J. Quantum Electronics, QE-4, 65 (1968)
- (3) 桜井：日本物理学会第26回年会講演，3a-S-2 (昭45)
- (4) H. Nagai, I. Taniguchi, K. Tomishima and T. Miyazawa: Japan. J. appl. phys., 9, 109 (1970)
- (5) W. Culshaw and J. Kannelaud: Phys. Rev., 136, 1,209 (1964)
- (6) W. Van Haeringen: Phys. Rev., 158, 256 (1967)
- (7) H. Statz, R. Paananen and G. F. Koster: J. Appl. phys. 33, 2,319 (1962)

固体絶縁開閉装置 (ミニクラッド)

劔 持 宏*

永田 秀次**・原田 繁**・信崎 泰秀**

Solid Insulation Switchgear (MINICLAD)

Tokyo Electric Power Co. Hiroshi KENMOCHI

Mitsubishi Electric Corp., Itami Works Hidetsugu NAGATA・Shigeru HARADA Yasuhide SHINOZAKI

With the increasing trend of overpopulation in cities, electric equipment enabling the substation to be built extremely small yet highly safe and reliable has been in keen demand. To cope with this situation a joint study has been made by Tokyo Electric Power Co. and Mitsubishi Electric Corp. since May, 1967, resulting in a first-step development of 22 kV 1,500 A solid insulation switchgear (named MINICLAD). The switchgear of this type was put into a practical operation in March, 1969 at Mejiro substation and proved very successful. Based on this, developments were effected on 22 kV 2,000 A units and also 6.6 kV units, which were completed in March, 1972.

This article reports on the problems settled in the basic study and the outlines of the foregoing MINICLAD and on the results of severe tests conducted to confirm their high safety and reliability.

1. ま え が き

都市過密化にともない、都市中心に広大な変電所の用地を取得することは年々困難の度を加えている。この対策として変電所を超小形に建設でき、しかも安全性・信頼性を向上し、総建設費を低減する新技術の開発が必要になっている。この情勢のもとに東京電力(株)と当社は共同して、昭和42年5月より、主として大容量変電所の二次側に使用する超小形固体絶縁開閉装置(ミニクラッド)の研究

表 1.1 ミニクラッド 運転実績
Supply list of miniclad.

納入場所	電圧 kV	母線電流 A	数 量		運用年月
			バンク数	ユニット数	
東京電力(株) 目白 S/S	22	1,500	2	24	44年3月
東京電力(株) 土橋 S/S	6.6	2,000	2	21	45年7月
東京電力(株) 隅田 S/S	22	1,500	2	24	46年4月
東京電力(株) 高松 S/S	6.6	2,000	2	21	46年11月
東京電力(株) 北新橋 S/S	22	2,000	2	20	46年11月
東京電力(株) 北沢谷 S/S	22	2,000	2	23	46年11月
東京電力(株) 子安 S/S	22	1,500	2	18	47年4月

究・開発を鋭意推進してきた。

まず第1段階として22 kV 1,500 Aを開発し、昭和44年3月に同ミニクラッドを目白変電所において実用し、所期の成果をおさめて順調な運転をつづけている。この成果にもとづき、第2段階として22 kV 2,000 A、6.6 kV 2,000 Aミニクラッドの開発を続行し、昭和47年3月に研究・開発を完了した。現在、実系統で運転中のミニクラッドは、表1.1のごとくである。

ミニクラッドの一般構造については、すでに報告したところであるが⁽¹⁾、今回、6年間にわたる共同研究の完了を契機として固体絶縁の基本的問題点と、第2段階で開発した22 kV、6.6 kV(2,000 A)ミニクラッドの概要、ならびに安全性と信頼性の確認のために行った特殊な試験の結果について以下に述べる。図1.1は、隅田変電所納入の22 kV ミニクラッドである。

2. 固体絶縁の基本問題点

2.1 材 料

固体絶縁材料は、気体・液体と比べて高い絶縁耐力を示し、かつ同時に機械的支持構造を兼ねることもできるので、超小形開閉設備の絶縁材料として適している。とくに、22 kV以下に対しては絶縁物の厚さも大きくはならぬため、製造も比較的容易である。この観点から、現在使用できる固体絶縁物について検討を行なった。ミニクラッドとしての用途からつぎの点を選択の条件とした。

- (1) 高い電界強度で長時間の運転に耐えること
- (2) 開閉操作などで加わる高い機械ストレスに耐えること
- (3) 高い使用温度に耐えること
- (4) 繰り返される負荷変動から生ずる熱ストレスに耐えること
- (5) 縮小に適するため、自由な形状のものが得られること。とくに、電界制御のために導体埋込みが可能なこと
- (6) 作業性が良好で、均一な品質の製品が得られること

この検討で、まず熱可塑(性)樹脂を除外し、ついで不飽和ポリエステル樹脂を除き、エポキシ樹脂のみを検討の対象にした。エポキシ樹脂を選んだ理由は、注型によって自由な形状が得られるうえ、各種

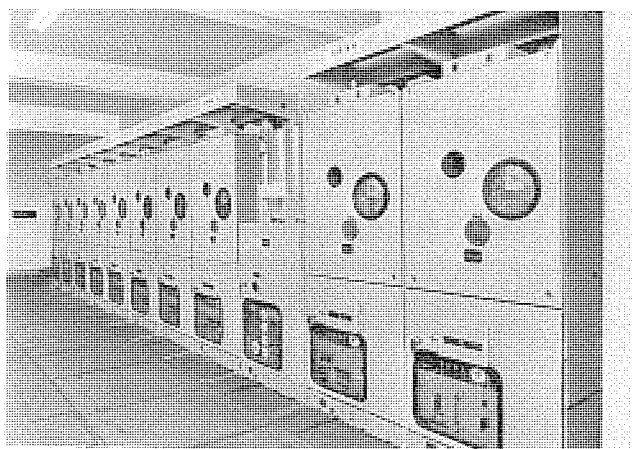


図 1.1 東京電力(株)隅田変電所設置 22 kV ミニクラッド
22 kV Miniclad at Sumida substation of Tokyo Electric Power Co.

表 2.1 使用固体絶縁材料の特性
General properties of solid insulating materials
used for miniclad.

項 目	エポキシ樹脂	エチレンプロピレンゴム
抗 張 力 kg/cm ²	530	25
伸 び %	2.0	700
硬 度	パーコル 70	ショアー-A 60
絶 縁 抵 抗 Ωcm	5×10 ¹⁵	2×10 ¹⁴
誘 電 率	5.0	5.4
誘 電 正 接 %	3.0	1.3
破 壊 電 圧 kV/mm	35	25
耐 コ ロ ナ 性 h	2,069	>30,000
耐 ア ーク 性	>180	130~140
耐 ト ラ ッ キング 性 CTI	>600	>600
熱 伝 導 率 Cal/cm sec °C	2×10 ⁻³	1.4×10 ⁻³
熱 膨 張 係 数 /°C	30~35×10 ⁻⁶	129×10 ⁻⁶
耐 燃 焼 性	不 燃	不 燃
吸 水 性 %	0.02	0.30
耐 ク ラ ッ ク 性	10	—

の配合によってその特性を変えられるためである。そのため、数多くの樹脂・硬化剤・充填剤の組合せから3種類を選び、そのおのので実体の部品をつくり、各種の電気的・機械的試験を実施し、最終的にビスフェノール系と環状脂肪族系の混合による注型用エポキシ樹脂を開発した。表2.1は、この樹脂の特性である。

また、開閉装置は可動部分をもつため、弾性絶縁材料を必要とするであろうとの考えから、ゴム系材料の検討も並行して行ない、2種類の材料を比較検討した結果、表2.1に示すエチレンプロピレンゴム (EPDM) を選んだ。この材料は、母線の絶縁とエポキシ注型体の継ぎ手間の弾性絶縁物 (高圧パッキン) として使用された。

2.2 絶縁耐力

有機材料の絶縁耐力はきわめて高く、表2.1のようにエポキシ樹脂は35kV/mmをもつ。ただし、工業製品に応用し大形な部品をつくるとこの数値は低下する。これは面積効果として理解されている。不純物などの微小欠陥の不可避免的な混入によるものである。また、有機材料は高分子の三次元網状結合構造をもつため、時間とともにこの結合が変化して電気的・機械的的特性の変化が生ずる。したがって、電気的・機械的ストレスが共存するときには、それぞれが単独に存在するときよりも特性の低下が大きく、温度についてもどのように長時間特性に考慮を要する。

さらに有機絶縁材料は電気放電によって結合が破壊し、長時間高電界にあるときには微小欠陥にもとづく部分放電からトリイグとして知られている放電劣化を生ずる。このため、長時間絶縁耐力は一種のローバ特性を示すことが知られている。長時間寿命を決定する破壊電圧強度は、短時間の衝撃波や交流電圧による破壊強度とは一般に関係づけることはできない。したがって、ミニクラッドの研究を始める前にまず決定すべきことは、長時間絶縁耐力であった。

ミニクラッドのような構造においては、一般に近似的な平等電界になるように設計するものであるが、長時間絶縁耐力の決定を平等電界のみで行なうことは若干危険である。といって、針端のようなななはだしい不平等電界を考えるのも实际的でないと考えられるので、先端1mm半径の60°円すい対平面距離2.5mmの不平等電界試料を、距離1mmの平等電界試料とともに室温および90°Cで長時間試験を行なうことにした。材料は、表2.1に示す2種類を用いた。試験には一定の電圧を加えておき、ある期間後に抜きとりで破壊し、破壊電圧の変化を求めることで試験時間の短縮をはかった。数千時間にわたるこの試験の結果、90°Cにあった不平等電界のエポキシ樹脂試料のみが破壊電圧が低下していくことが発見された。

この結果を検討した結果、安全をとって不平等電界試料にもとづいて約1kV/mmの設計電界を選んだ。

近時、同種の開閉装置についてヨーロッパから絶縁設計の根拠が発表されているが、W. Freitag⁽²⁾氏は1.5kV/mm、F. Gottmald, E. Reichl⁽³⁾両氏は2kV/mmを選んでいるようで、当社の設計値ときわめて近い。上記の数値を選んだことで、とくにこの開閉装置が不経済になることはない。20kV級以下の機器においては、この設計基準から要する絶縁厚さは、機械的強度から要求されるものと同じくらいであり、また長時間にわたるエポキシ樹脂をとる内部への透湿 (とくに、屋外使用条件) を低く保つために要する壁厚とくらべれば、むしろ小さいくらいである。

またこのような低い電界を選べば、部分放電の危険も低くなる。ミニクラッドの絶縁部品の製造検査には最善の注意を払っているが、現在の技術では微小欠陥をすべて完全に除外できるとは言いきれない。したがって、上記のように低い電界を選んでいることは、ミニクラッドの信頼度を高めていると言える。

2.3 継手の設計

固体絶縁の電気耐力は高く、前節に述べたように電界を低く設計しても絶縁寸法を著しく縮小できる。しかし、開閉装置はその組立てと分解のために不可避免的に継手を必要とする。この継手は、分解のために空気層が入る可能性があり、空気絶縁として設計しなくてはならないので、この部分が大きくなることで固体絶縁の利点が消されてしまう。A. Imhof氏がこの継手 (Fuge) について沿面電界を一定にするよく知られた提案を行なっているが⁽⁴⁾、この方法でもまだ固体絶縁開閉装置の目標とは合致しない。ミニクラッドの開発研究のため、これがきわめて大きな意味をもっていることは明白であったので、材料の研究と並行して各種の継手の研究を行なった。

シールドつき、コンデンサはく (箔) 制御つきなどで残存する空気層の電界制御を行なう方法は、絶縁破壊電圧が沿面距離の関数となるだけであまり大きな変化は生じなかった。しかし、ゴム系絶縁物の突合せでは、圧力を高めれば破壊電圧はきわめて大きく上昇することが発見され、同様にエポキシ樹脂とゴム絶縁物との圧着も効果があり、固体絶縁物に近い電界強度が得られた。製作上の問題を検討した結果、テープ面よりも平面による圧着が信頼度が高いことが知られ、この方式がミニクラッドに採用された。もちろん、クリープ特性のあるゴム絶縁体を用いた場合、経年変化により空気層の出現することも考えられるので、モデルによるヒートサイクルを多数回繰り返して構造上の検討を行なった。

その結果、現地接続を行なわねばならぬ母線継手に対して安全のために電界を低下させ、固体絶縁物の1/2以下にし、工場で十分に管理できるしゃ断器内の継手に対してはこれより高い電界を用いた。

このような絶縁方式は、わが国でケーブルなどに採用が進められていたものであるが、最近では西欧 Braunschweig 大学で Hochspannungsdichtung (高圧パッキン) という名称がつけられ、よく知られるようになった⁽⁵⁾。開閉装置に実用したのはミニクラッドが最初であるが、最近、ヨーロッパでも開閉装置への採用が報じられ⁽²⁾⁽⁶⁾、次第に広まりつつある。

2.4 接地層

ミニクラッドは、人員に対する安全のため、外面はすべて接地した導体でおおふことが必要とされた。従来の固体絶縁開閉装置では固体絶縁の外側に接地した金属ケースを置き、直列に空気絶縁層はいるものばかりであったので、新たにどのような接地導体を設けるか

について広く研究を行なった。

外部に金属外被を設けるときには、形状に著しく制約が加わるうえ、外被電流の温度上昇がミニクラッドの通電能力の低下を生ずる。また、内部導体と外部導体とを同時に設けたエポキシ樹脂注型は、製造上はなほ困難である。この点から剛性のある金属外被を除外し、高抵抗であり、人員の接触保護に対しては十分に低抵抗になる接地層を研究することにし、金網の埋込み、導電塗料塗布、金属溶射層などを比較検討し、金属溶射による接地層をつくることにした。もちろん、ゴムに対しては導電ゴムのモールドによる構造を採用した。

接地層の抵抗が高くなると、導体に雷インパルスが加えられたときに接地点より遠い部分には電圧の浮き上がりが生ずる。人体抵抗を $1\text{ k}\Omega$ 程度と考え、母線モデル実験によって接地層の抵抗が約 $1\text{ }\Omega/\text{m}$ 以下にするのが安全であるとの結論を得た。

屋外に使用する場合接地層の金属が酸化し、抵抗が上昇することが考えられる。各種塗料による保護層につき、亜硫酸ガス試験・塩水噴霧試験を各100サイクル、Weather-O-Meter、重汚損地帯での屋外暴露を行ない、接地層の抵抗にほとんど変化を生ぜず、塗膜の変化のもっとも少ないものとしてポリウレタン系の塗料を採用した。

3. 22 kV 2,000 A ミニクラッドの概要

固体絶縁開閉装置は、導体周囲をかなり厚い絶縁層で取り囲み、絶縁層の表面から放熱するが、大気圧空気絶縁の機器と比べると内

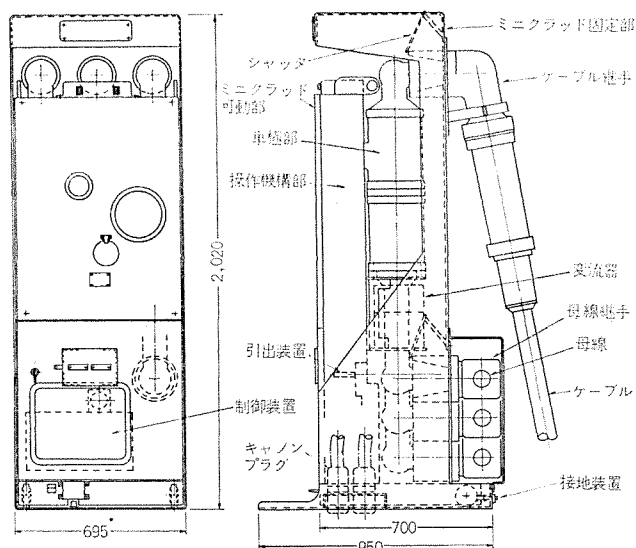


図 3.1 22 kV 2,000 A ミニクラッド (主変二次・母連用)
22 kV 2,000 A Miniclad for bank secondary and bus tie units.

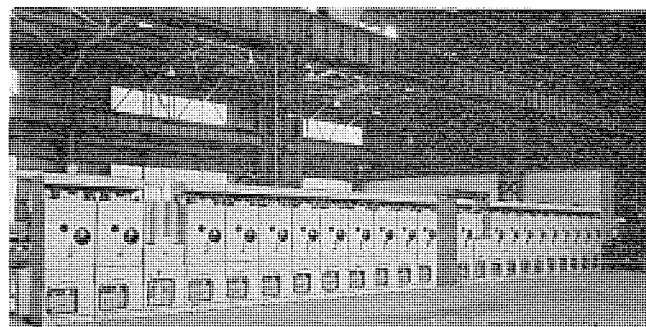


図 3.2 東京電力(株)北渋谷変電所向け 22 kV 2,000 A ミニクラッド
22 kV 2,000 A Miniclad for Kita-shibuya substation of Tokyo Electric Power Co.

部導体最高温度が同じであるため、絶縁層上の温度降下分だけ熱放出上不利になり、導電部の断面積が増大する。この点を考慮して研究の第1段階では1,500 Aのミニクラッドを開発したが、それから得た資料にもとづき、ほとんど同一寸法で2,000 Aミニクラッドを開発することに成功した。図3.1はこの外形である。母線部分が若干大きくなったのみで、1,500 Aミニクラッドと同一である。図3.2は、工場組立中の東京電力(株)北渋谷変電所納入の2,000 Aミニクラッドである。ミニクラッドの構成は表3.1に示すごとくである。

2,000 A シャ断器の構造は、さきに発表したものと同様に、表面に接地層をもったエポキシ樹脂注型体で真空スイッチ管を取り囲んで絶縁し、内部空けき(隙)に難燃性のシリコン油を充てんしている。真空スイッチ管は新しく開発されたが、構造は以前のものと同様に当社独特の鉄そう(槽)形であり、操作機構は同様な電動バネ操作機構である(図3.3)。

シャ断器について実施した試験のうちおもなものを次に示す。

表 3.1 22 kV ミニクラッド 機器構成
Ratings of 22 kV miniclad.

ミニクラッド	構成主要機器	定格および内容
主変二次用 (母連用)	シャ断器	24 kV, 1,500 A (2,000 A) 1,000 MVA, 電動バネ操作
	断 路 部	1,500 A (2,000 A) 電動操作
	変 流 器	1,500/750 A (2,000/1,000 A) 15 VA 1.0 級 各3個
送 電 線 用	母 線	1,500 A (2,000 A)
	ケーブル接続部	1,200 mm ² (1,600 mm ²) CV ケーブル用
	計器および継電器	電流計 1 個(主変二次) 最高指示電流計 1 個(母連) 制御継電器 1 式
計器用変圧器 避雷器用 (以下 PT-LA 用という)	計器用変圧器	22 $\sqrt{3}$ kV 110 $\sqrt{3}$ kV 110/3 V 200/200 VA 1.5/5 G 級 単相 3 個
	避雷器	28 kV 10 kV 25 μ F 3 個
	母 線	1,500 A (2,000 A)
計器および継電器	電圧計	電圧計 1 個, 故障時間計 1 個, 最高指示電圧計 1 個, 三相電力計 1 個, 三相積算電力計, 三相無効電力計 1 個
	OVGR	OVGR 2 個, UVR 1 個, OVR 1 個
	制御継電器	制御継電器 1 式

注) 上表中 () 内は母線容量 2,000 A の時の定格値を示す。

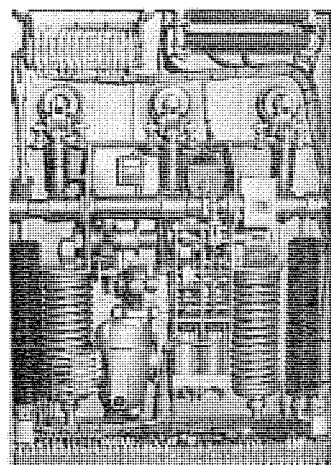


図 3.3 電動バネ操作機構
Motor charged spring drive mechanism.

表 3.2 24 kV 25 kA 2,000 A ミニクラッド 短絡試験結果
Short circuit interrupting tests for 24 kV 25 kA 2,000 A miniclad.

動作責務	操作電圧 V	試験相	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			投入電流 kA	しゃ断時間			条 件
			対称分 kA	直流分 %			波高値 kV	上昇率 kV/μs	波高時間 μs		開極時間 ~	アーク時間 ~	全 ~	
O 1分 O 3分 O	100	A	2.4	0	100	20.8	49	0.21	240	—	2.1	0.5	2.6	単相直接 20.8 kV (10%)
			2.4	0						—		0.65	2.75	
			2.4	0						—		0.35	2.45	
O 1分 O 3分 O	100	A	7.2	0	100	20.8 × 1.02	47.5	0.19	250	—	2.1	0.5	2.6	単相直接 20.8 kV (30%)
			7.2	0						—		0.65	2.75	
			7.2	0						—		0.35	2.45	
O 1分 O 3分 O	100	A	14.5	0	100	20.8 × 1.03	44.5	0.25	180	—	2.1	0.5	2.6	単相直接 20.8 kV (60%)
			14.5	0						—		0.65	2.75	
			14.5	0						—		0.35	2.45	
O 1分 CO 3分 CO	100	A	25.6	0	100	20.8 × 1.04	45	0.20	230	—	2.1	0.5	2.6	単相直接 20.8 kV (100%)
			25.7	35						64		0.7	2.8	
			25.9	40						67.3		0.8	2.9	
O 1分 O 3分 O	100	B	25.3	0	100	20.8	44	1.2	36.8	—	2.1	0.5	2.6	単相合成 20.8 kV (100%)
			25.3	0						—		0.65	2.75	
			25.3	0						—		0.8	2.9	
O 1分 O 3分 CO	100	C	22	0	100	24	50	1.13	44.2	—	2.1	0.5	2.6	単相合成 24 kV (異相地絡)
			22	0						—		0.65	2.75	
			22	0						—		0.8	2.9	

(1) 短絡試験

表 3.2 のように、実負荷試験を行なったのち、定格しゃ断電流で合成試験を行なった。これは試験設備の都合上、再起電圧上昇率が低いためである。真空しゃ断器は、再起電圧上昇率に対して敏感ではないので、いずれの試験でも同じ性能を示した。つづいて行なった異相地絡しゃ断試験は合成試験のみを行なった。

この試験の完了後、ひきつづいて 20 回の定格しゃ断電流のしゃ断を行ない、特性の変化のないことを確かめた。接触子の消耗も少なく、なお、しゃ断可能な状態であった。

(2) 連続負荷電流開閉試験

負荷電流のための回路をとくにつくらず、三相短絡試験として、2,000 A を 3,000 回しゃ断した。アーク時間は、全試験中 0.2 から 0.6 サイクルの間にあり、接触子消耗もわずかであった。

(3) 進み小電流しゃ断試験

単相 24 kV で 15 A と 50 A について実施したが、すべて無再点弧・無再発弧であった。

(4) おくれ小電流しゃ断試験

単相 20.8 kV で 14 A のしゃ断試験を実施したが、最大電圧は 2.2 倍であった。

(5) 真空度低下のしゃ断試験

真空しゃ断器の特性保証限界である 10^{-3} mmHg において定格しゃ断電流をしゃ断した。表 3.3 のように、特性の変化はなかった。

表 3.3 24 kV 25 kA 2,000 A 真空度低下しゃ断試験
Short circuit interrupting tests under vacuum limited condition 10^{-3} mmHg.

動作責務	操作電圧 V	試験相	しゃ断電流		回復電圧 %	給与電圧 kV	固有再起電圧			開極時間 ~	アーク時間 ~	全 ~
			対称分 kA	直流分 %			波高値 kV	上昇率 kV/μs	波高時間 μs			
O 1分 O 3分 O	100	C	25.8	0	100	20.8	45	0.2	230	2.1	0.65	2.75
			25.8	0							0.95	3.05
			25.8								0.80	2.90

(6) 短時間電流試験

変流器・母線ともに、三相試験で 26.5 kA を 2.04 秒流し、接触抵抗・変流器特性を調査し、異常のないことを確認した。

変流器は、1,500 A ミニクラッドの場合と同様なエポキシ樹脂絶縁分割形ブッシング変流器である。モールド形変流器の規格に従って各種の試験を行なった。

ミニクラッドのケーブル接続部は、住友電工(株)の協力を得て開発した。図 3.4 の構造のもので、1,500 A までの構造と異なり、導体接続部はボルト締めとし、ケーブルとの接続部のテーパー部は凸形になっている。ケーブル側のエポキシ樹脂注型体の筒との間にゴム絶縁物を入れ、バネで圧着して絶縁を保っている。

ケーブルを接続して行なった温度試験の結果を表 3.4 に示す。

このミニクラッドも 1,500 A ミニクラッドと同様、各種の試験を行なっ

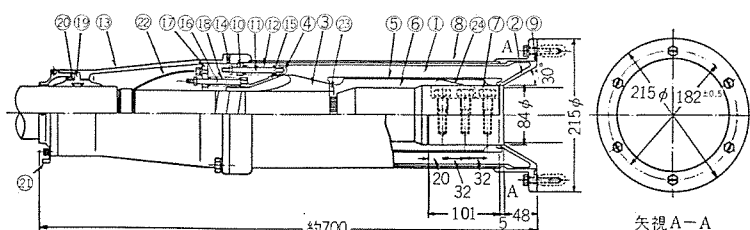
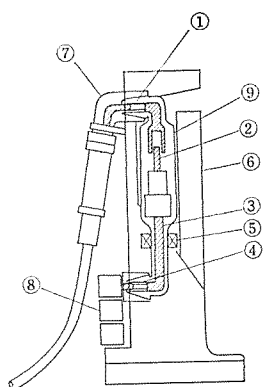


図 3.4 22 kV 2,000 A ミニクラッドケーブル接続部

Cable joint of 22 kV 2,000 A miniclad.

品番	名 称	品番	名 称	品番	名 称
1	絶縁筒	9	0 リング	17	座 金
2	ゴムクッション	10	座 金	18	スプリング
3	ストレスコーン	11	スピンドル	19	パッキング
4	下部埋込金具	12	スプリング	20	グラウンド
5	シールド筒	13	保護ケース	21	接地端子
6	圧縮端子	14	0 リング	22	接地線
7	締付けボルト	15	押し金具	23	当 金
8	保護ケース	16	スピンドル	24	接触バネ

表 3.4 22 kV 2,000 A ミニクラッド 温度試験結果
Heat run test result of 22 kV 2,000 A miniclad.



	測定箇所	相	測定値 °C	上昇値 °C
①	上断路部	A B	63 67	39 43
②	可動接触子	A B	71 74	47 50
③	固定端子	A B	63 66	40 43
④	下断路部	A B	61 63	38 40
⑤	C T 外被	B C	62 62	38 38
⑥	前とびら	上下	31 27	8 4
⑦	ケーブル継手外被	A B	55 56	31 32
⑧	母線外被	A B	45 50	22 27
⑨	しゃ断器外被	A B	61 63	37 39
⑩	周囲温度	—	23	—

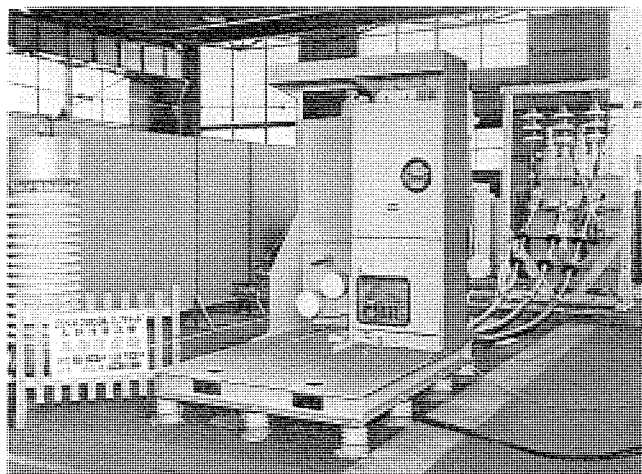


図 3.5 長期課電通電試験中の 2,000 A ミニクラッド
Long duration test of 2,000 A miniclad.

たほか、対地 24 kV 2,000 A の長期課電通電試験を約 1 年間実施し、その途中に 3 か月ごとに誘電正接・部分放電開始電圧・充電電流の測定を行ない、毎月交流耐電圧試験を実施したが、その間の測定諸量は変化を示さなかった。図 3.5 は、試験中のミニクラッドを示す。

4. 6.6 kV ミニクラッドの概要

6.6 kV ミニクラッドは 22 kV ミニクラッドの技術を応用し、縮小をはかったもので、表 4.1 にその構成を示す。図 4.1 は、東京電力(株)土橋変電所に設置したミニクラッドであり、図 4.2 はその外形である。22 kV ミニクラッドと比べて、とくに注目すべき点は下記のとおりである。

(1) はじめての屋外用ミニクラッドとして、断路部をゴム系ベローズでおおうことにし、この状態で周囲環境の変化によって発生する各種の絶縁上の問題に関して長時間の研究を実施し、安全なことを確かめた。

(2) ケーブル故障時の針状波電流に対しても十分に動作する方向地絡継電器の開発。

装置の安全性・信頼性に対する各種の確認試験は、22 kV の結果にもとづいてまったく同様の方法で実施した。

図 4.3 は耐震試験中のミニクラッド、図 4.4 は 1 年間屋外において実施した長期課電通電試験中のミニクラッドである。

5. 安全性と信頼性確認のための特殊試験結果

固体絶縁を使用したミニクラッドは、従来、例を見ないものであり、



図 4.1 東京電力(株)土橋変電所設置 6.6 kV ミニクラッド
6.6 kV Miniclad at Tsuchihashi substation.

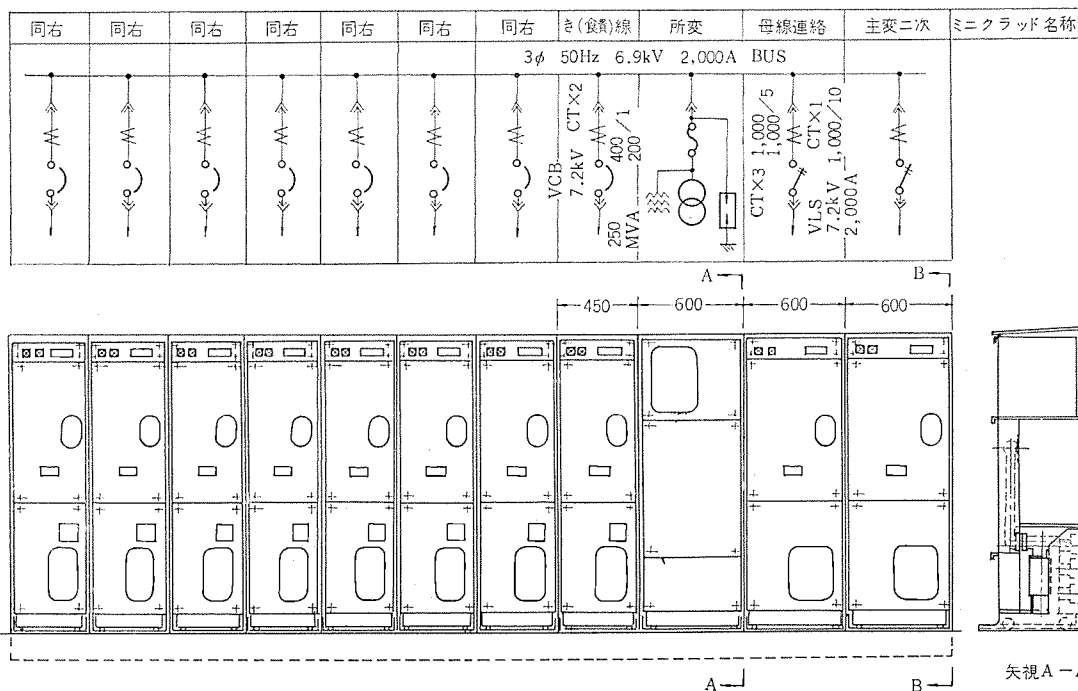


図 4.2 6.6 kV ミニクラッド外形

Outline of 6.6 kV miniclad.

表 4.1 6.6 kV ミニクラッド 機器構成
Ratings of 6.6 kV miniclad.

ミニクラッド	構成主要機器	定 格 お よ び 内 容
主変二次用 (母連用)	負 荷 開 閉 器	7.2 kV, 2,000 A, 電動バネ操作
	断 路 部	2,000 A, 電動操作
き(饋)線用	変 流 器	2,000~1,000/5 A, 25 VA, 1.0 級, 3 個
	母 線	単母線 2,000 A
所 変 用	ケ ー ブ ル 接 続 部	1,600 mm ² CV ケーブル用
	計 器	三相積算電力計, 1 個, 三相無効電力計, 1 個 需要電流計 3 個
計 器 用 変 圧 器	レ ャ 断 器	7.2 kV, 400 A, 250 MVA (7.2 kV) 150 MVA (3.6 kV), 電動バネ操作
	断 路 部	400 A, 電動操作
避 雷 器	変 流 器	400~200/5, 10 VA, 1.0 級, 2 個
	ケ ー ブ ル 接 続 部	単母線 2,000 A
所 内 変 圧 器	計 器 お よ び 継 電 器	600 mm ² CV ケーブル用 需要電流計, 1 個 OCR, 2 個, DGR, 1 個, RCR, 1 個
	電 力 ヒ ュ ー ズ	6.6 $\sqrt{3}$ kV/110 $\sqrt{3}$ V/190/3 V, 50/500 VA, 1.0/10 G 級, 単相 3 個
断 路 部	断 路 部	8.4 kV, 10 kA, 3 個
	母 線	6.9 kV/210~105 V/66 V, 三相, 30 kVA, 油入形
計 器 お よ び 継 電 器	断 路 部	7.2 kV, 20 A, 500 MVA 3 個
	母 線	400 A 電動操作
計 器 お よ び 継 電 器	計 器 お よ び 継 電 器	単母線, 2,000 A
	計 器 お よ び 継 電 器	最高指示交流電圧計, 1 個, 電圧計, 1 個 UVR, 1 個, OVR, 1 個, OVGR, 1 個 制御電源装置一式

注) 継電器点検装置は母連用に収容。

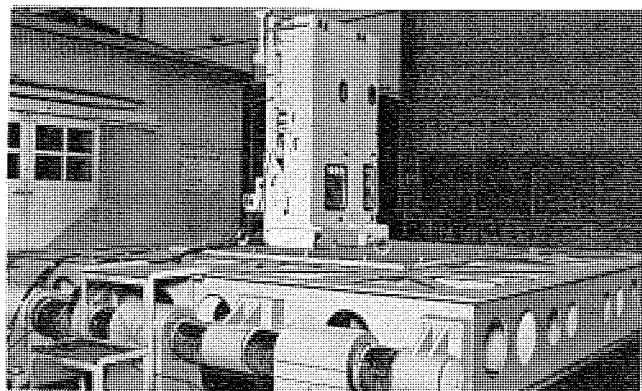


図 4.3 耐震試験中の 6.6 kV ミニクラッド
6.6 kV Miniclad under vibration test.

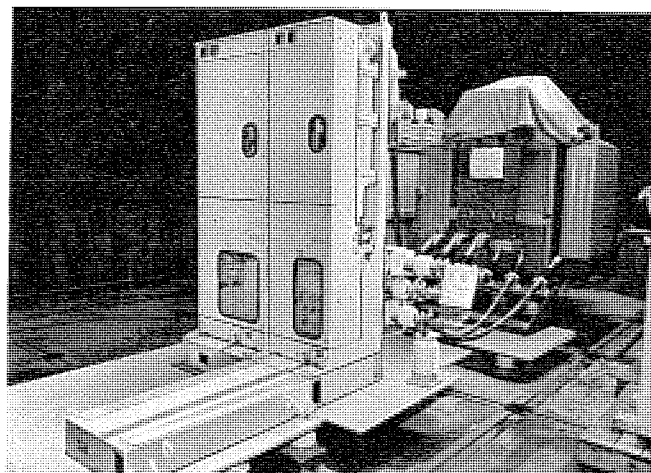


図 4.4 長期課電通電試験中の 6.6 kV ミニクラッド
Long duration test of 6.6 kV miniclad with voltage and current applied.

その安全性・信頼性を確認するため、前に述べたように⁽¹⁾、耐震試験・長期課電通電試験・輸送試験・稀ひん度操作試験などの考えられる限りの各種試験を実施したが、以下に長期課電通電試験を約1年間行なったミニクラッドについて実施した絶縁破壊試験を含む特殊試験の結果について報告する。

(1) 絶縁破壊試験

長期課電通電試験を行ない、長時間投入状態にあった真空しゃ断器を開路したのち、極間の耐圧試験より開始し、絶縁破壊電圧を求めた。22 kV, 6.6 kV とともにすべて断路部の気中絶縁部で沿面せん絡するため、さらに分解して油中につけるなどの特殊な絶縁強化を行なったのち、継手部分の絶縁破壊を行なった。表 5.1 に 22 kV ミニクラッドの結果を示すが、十分に余裕のある値を示している。

(2) しゃ断器投入試験後の極間せん(閃)絡試験

定格投入電流を投入したのち、十分な時間をおいて真空スイッチの接触子を冷却し、その後に開極して耐電圧試験を行なうと、一般にせん絡電圧の低下が見られる。実際、ミニクラッドの使用条件では、このようなことは考えられないが、22 kV ミニクラッドではこの試験で交流せん絡値 53 kV と若干の低下はしているが、十分に高い電圧を示した。なお、無負荷開閉を繰り返せば、この値は上昇する。実際に使用上発生しうる投入した接触子で短絡電流を流し、十分に時間がたってから開極する場合には、極間せん絡電圧はほとんど低下せず、実用上に十分な性能を示している。

(3) 断路部進み小電流しゃ断不能時の安全性確認試験

しゃ断器と断路部との間には電氣的・機械的インタロックが存在し、しゃ断器が開いていなければ、断路部の開閉は不可能である。しかし、このインタロック装置の故障を前提として断路部でしゃ断できる進み小電流の限界を求め、延びたアークで地絡を発生させ、ミニクラッドの損傷状況を調べた。しゃ断限界は 1.25 A で、ミニクラッドの使用

表 5.1 22 kV ミニクラッド 絶縁破壊試験結果
Flash over test result of 22 kV miniclad.

項 目	破 壊 電 圧 (kV)				せん絡箇所
	+Imp		AC		
	1,500 A	2,000 A	1,500 A	2,000 A	
しゃ断器開放状態	149	145	83	79	断路部気中せん絡
しゃ断器閉路状態	157	149	84	82	
しゃ断器単体	173	165	90	88	本体絶縁接続部
母線単体	233	229	112	118	母線継手

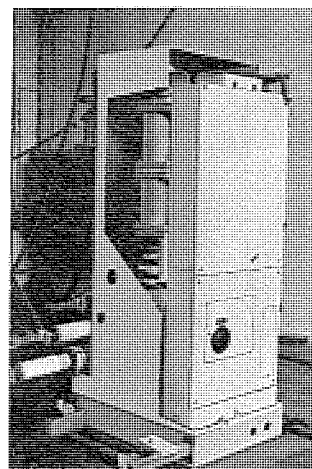


図 5.1 断路部しゃ断不能時の安全性確認試験
Test for confirming safety in case of voltage breakdown at disconnecting part.

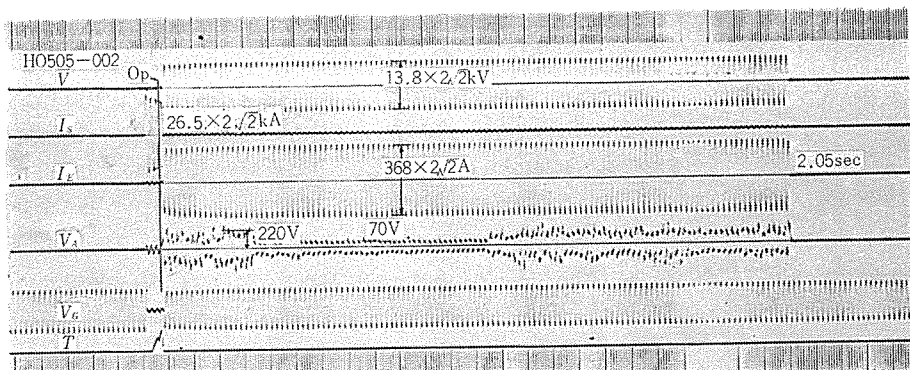


図 5.2 シャ断器シャ断不能時の安全性確認試験 オシログラム (大気圧真空バルブによる試験)
Test oscillogram for confirming safety in case of interruption under vacuum bottle broken in atmosphere.

条件で発生する進み電流よりはるかに大きい。600 A の地絡電流を 2 秒間流したが、ミニクラッドは若干すす(煤)けたのみで大きな被害は生じなかった。図 5.1 は、試験後のミニクラッドの被害状況を示す。

(4) シャ断器シャ断不能時の安全性確認試験

真空シャ断器がなんらかの理由で大気圧となっていて、その状態で三相接地事故をシャ断した状況を模して、小孔をあけて大気圧とした真空スイッチ管をあらかじめミニクラッドに組み込み、26 kA を 0.7 サイクル流したのち、他の二相がシャ断して地絡電流が残った状況を模擬し、350 A を 2 秒間流した。ミニクラッドにはなんの変化も生じないことを確認した。図 5.2 はこのオシログラムを示す。

(5) 環境試験

ミニクラッド全体を図 5.3 のように、恒温そう(槽)に入れ、 -10°C から $+40^{\circ}\text{C}$ 、湿度 100% の条件に保ち、耐電圧試験、シャ断器・断路器の開閉試験を行なった。高温になるに従い、シャ断器の投入平均速度・投入時間が若干速くなり、最低動作電圧の若干の上昇のほかにはとくに問題になる点は発見されなかった。

6. む す び

固体絶縁開閉装置(ミニクラッド)に関する東京電力(株)と当社との 6 年間にわたる共同研究の成果のうち、今回は基本研究において解決した諸問題、第 2 段階として開発した 22 kV 2,000 A、6.6 kV ミニクラッドの概要について述べるとともに、この新しい機器の安全性と信頼性を確認するために、とくに実施した特殊試験の結果について

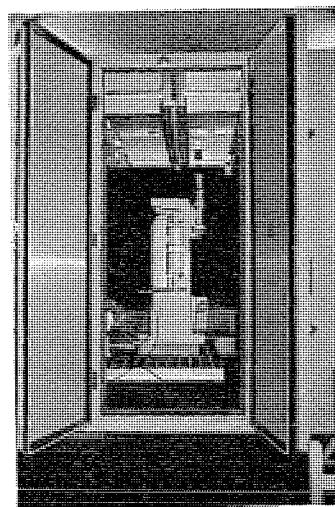


図 5.3 環境試験中のミニクラッド
Miniclad under test for extreme conditions of hot and cold atmosphere with high humidity.

報告した。

超小形開閉装置への需要と、有機絶縁物の研究の進歩とにより、われわれが先手をつけた完全な意味の超小形固体絶縁開閉装置が、国内はもとより、国外においても見られるようになってきた⁽²⁾のは当然の勢いであるが、喜ぶべきことである。今後、さらに努力を重ねこの新しい開閉装置の発展につくしたい。

終わりにあたり、長期にわたって研究開発にご指導ご激励をたまわった東京電力(株)関係各位、およびご協力いただいた当社関係者に深く感謝の意を表わす次第である。

参 考 文 献

- (1) 剣持, 永田ほか: 三菱電機技報, 44, No. 8, 1051 (昭 45)
- (2) K. Бёме, В. Фрейтаг: Электротехника, 42, No. 4, 51 (1971)
- (3) F. Gottwald, E. Reichl: Techn. Mitt. AEG-Telefunken, 61(5), 257 (1971)
- (4) A. Imhof: STZ, 55, No. 6, 93 (1958)
- (5) H. G. Benken: Electrotech. Z-A, 89, H. 15, 356 (1968)
- (6) J. C. Clason: Holecpost, 6(1), 10 (1970)

地上式自動列車制御システム

前 田 豊*
六 藤 孝 雄**

Automatic Train Operation Systems

Osaka Municipal Transportation Bureau Engineering Division Yutaka MAEDA
Mitsubishi Electric Corp., Itami Works Takao MUTO

Automatic train operation in this country has been put into practice in Tokyo and Osaka through an aboard vehicle system in which the ATO device is installed on a car. However, systems described in this article differ from the conventional design and are operated direct on the ground side with a ground type automatic train control arrangement. Herein are given explanation of a full-ground type and a semiground type ATO system, of which their compositions are described in details. Also a suggestion is made on a new control methode regarding a fixed position stopping which imposes a technical problem. Analytical results confirmed by field tests on various factors affecting on the accuracy in stopping are given in connection with the faregoing ATO systems.

1. ま え が き

列車の自動運転の技術は、列車乗務員の保安業務の補助であるATS、ATCにはじまり、現在では、駅で出発指令の押しボタンをワンタッチするだけで、起動制御、駅間での速度制御、駅での定位置停止制御等の一連の制御を、自動化した車上式ATO装置が開発されて、東京や大阪地区の地下鉄においてすでに実用に供されている。

さらに、今日、輸送能率を向上するために列車群の集中管理を行なうCTC装置の自動化・コンピュータ化が検討されており、近い将来においては、コンピュータCTC装置からの指令によって全列車群を直接コントロールすることも可能になるものと思われる。したがって、今後、完全自動運転システムの構成は、残された技術的要因と経済的要因の両者の調和によって決定される。本論文では、地上に制御の主体を置いた全地上式ATOシステム、ならびに車上式ATOと地上式ATOとの中間的存在である半地上式ATOシステムについて、技術的検討を行なった。この地上式ATOシステムについて、その概要・構成・制御特性等について述べる。



図 1.1 ATO 試験列車全景
Complete view of test cars for ATO systems on the ground.

2. 要 目

ATO システム の性能・定格は、つぎのとおりである。

- (1) ATO 方式
 - (a) 全地上式 ATO 方式
 - (b) 半地上式 ATO 方式
- (2) 列車位置検知ならび制御指令伝送方式
ウイリワイヤ方式
- (3) ATO 論理演算方式
 - (a) 速度演算制御方式
 - (b) 減速度演算制御方式
- (4) 車両 ブレーキ
 - (a) OEC-1 ブレーキ 装置
 - (b) HSC ブレーキ 装置 (等価特性)
- (5) 電源電圧
 - (a) 地上機器
AC 100 V $\pm 10\%$
 - (b) 車上機器
AC 100 V $\pm 10\%$
DC 100 V $+10\%$
 -30%
- (6) 列車位置検知精度
距離 パルス長で精度 $\pm 2\%$ 以内
- (7) 列車位置検知遅れ
30 ms 以内
- (8) ATO 論理演算出力指令

ノッチオフ 指令	1 種類
ブレーキ 指令	7 種類
予備指令	2 種類
- (9) ATO 論理演算出力指令伝達遅れ
100 ms 以内
- (10) 車上機器伝達遅れ
100 ms
- (11) 車両性能
 - (a) 電気 ブレーキ 装置

カム 制御装置 17 ステップ

(b) 空気 ブレーキ 装置

OEC-1 装置

むだ時間 $T_d=0.1$ s

時定数 $T_r=0.9$ s

HSC ブレーキ 特性

むだ時間 $T_d=0.3$ s

時定数 $T_r=1.7$ s

(12) 定位置停止制御用列車位置検知地上 パターン 長

ウイグリワイヤ 方式 133 m

(13) 定位置停止有効 パターン 長

90 m

(14) 定位置停止位置

(a) 第 1 停止位置 123 m 地点

(b) 第 2 停止位置 101 m 地点

(15) 定位置停止制御用列車位置検知地上 パターン 間隔

0.5 m, 1 m, 2 m

(16) 定位置停止列車進入速度

最高進入速度 40 km/h

(17) 試験ならび データ 処理装置

(a) ATO 試験器

(b) ATO 用 データ 処理装置

3. 地上式 ATO システムと制御上から見た特長

個々の列車の運転操作の自動化から、多数の列車の運行監視・運行整理にいたるまで、すべてを地上側から制御する方式が考えられる。個々の列車の運転操作は、車両において直接行なうのが容易であるが、多数の列車群を能率よく運行させるには、地上で直接制御できることが望ましい。この列車を直接に制御する機能を持つものが地上式 ATO 制御装置で、この装置は、被制御対象である列車との間においては、最小限機能として、列車の走行している位置を検出し、この位置情報を入力情報として、列車速度を位置の変化状態から算出する。このようにして得られた列車位置ならびに列車速度情報とランカーブとを比較し、これに追従するように列車を直接に制御できることが必要である。

中央計算機と本装置との間においては、種々の原因から列車の遅延等が生じてダイヤが乱れると、この微小のダイヤの乱れを中央コンピュータが検知し、乱れが大きくなるように調整する作用を行なう。この列車群を調整する具体的方法は、適用される列車が、長距離列車か、地下鉄等の短区間列車であるかによって異なり、前者は駅間の走行時間が大きいので、 $s-t$ 、 $s-v$ プログラムを設けて、これに

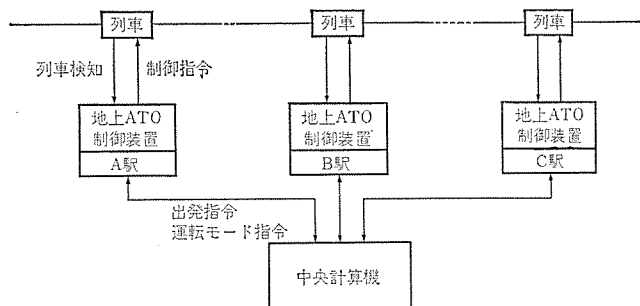


図 3.1 地上式 ATO 制御機能ブロック図
Block diagram of the function with automatic traffic operation systems on the ground.

追従させる制御になり、後者は駅間走行時間が小さいので、駅間所要走行時間で運行を調整するよりは、駅での停車時間で運行を調整するほうが実利的といえる。この両者の中間タイプである郊外電車においては、規定ランカーブをあらかじめ高・中・低の3種類程度設けておき、それぞれのランカーブを回復運転・標準運転・低速運転に割り当てて、列車全体の運行調整を行なう方法がある。

列車の自動運転は、技術的には駅間の速度制御と駅における定位置停止制御に分けられる。速度制御は、車両の力行装置ならびにブレーキ装置の性能によって制御方式が決定される。今日、もっとも多く使用されている制御装置は、力行の速度バランス点が4点ある4ノッチ制御である。この制御装置においては、速度制御は ON-OFF 制御になる。また、交流を使用したサイリスタ制御装置や、直流を使用したチョップ制御装置が使用されている車両に対しては、原理的にあらゆる速度でバランスさせることが可能であるので、ランカーブに詳細に追従させた速度制御が可能である。また、定位置停止制御に関しては、制御方式以外にブレーキ装置の精度、制御系の応答性が停止精度に与える影響が大きい。

特に地上から制御する停止制御方式においては、列車の位置ならびに速度の検出精度が、車上式における速度発電機を使用した検出精度と比較して、サンプリング検出の原理上の点から不利になる。ただ、速度発電機方式と比べて、車輪のスリップの影響を受けない点が高信頼度の検出方法と言えるであろう。さらに、検出精度の問題に加え、車上式と比べ、列車位置ならびに速度検出遅れと、地上から車両へ制御指令を送送する遅れとが、制御遅れに加わるので、この制御伝達遅れ分だけ良好な停止精度を得るのに不利になる。ところが、実際には位置検出ならびに情報伝送技術が最近特に進歩し、車両の制御装置の応答と比べて十分に無視できる程度になっている。この遅れはシステムの制御伝達むだ時間に対して、約 0.15 秒を追加すればよいほどのオーダーになっている。

ともあれ、地上式 ATO システムにおいては、制御上、駅間の速度制御より、駅での定位置停止制御で高精度を得ることがむずかしく、この方面での制御技術の開発が急がれている。

4. 地上式 ATO 制御装置構成

全地上式 ATO 制御装置ならびに半地上式 ATO 制御装置が、大阪市交通局において地下鉄用に試作され、一部の試験が実施されて制御特性も確認されたので、このシステムの紹介を兼ねて説明する。

4.1 全地上式 ATO システムの構成

全地上式 ATO システムにおいては、列車運転に必要な機能を地上装置にすべて持たせ、最終的には、列車の起動、速度制御ならびに定位置停止機能を有するものである。今回は、まず定位置停止機能に重点を置いて計画されている。このシステムの構成を図 4.1 に示す。

4.1.1 列車位置検出装置

地上で列車の走行位置を検出する装置であるが、停止精度との関係を知るために位置の検出分解能として3種類のパターンが得られるように計画された。列車位置検出装置は、車上に 23.5 kHz の無変調波をウイグリワイヤ送信器で常時送信し、地上に 50 cm 間隔により(撚)架されたループと、平行2線のループとから構成されたウイグリワイヤが敷設され、列車の進行につれて、平行線とより架線とによって生じる位相反転を検知し、列車の位置を 50 cm 通過ごとに地上で検出する。このより架点における列車検出力は、ウイグリワイヤ地

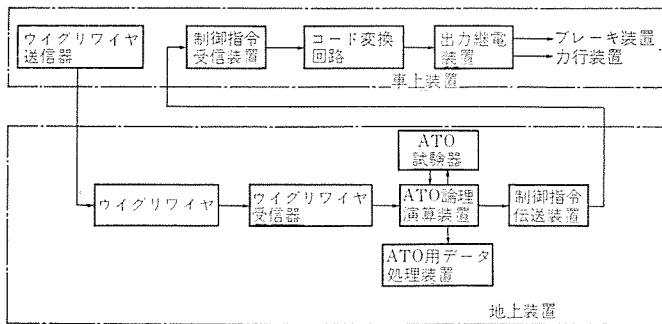


図 4.1 全地上式 ATO システム 構成
Relation between the function of control equipment on the train and the function of ATO equipment on the ground.

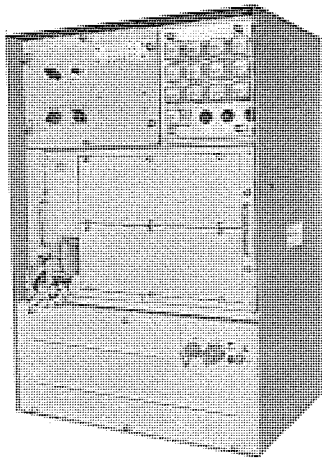


図 4.2 ATO 論理演算装置
Exterior view of ATO apparatus.

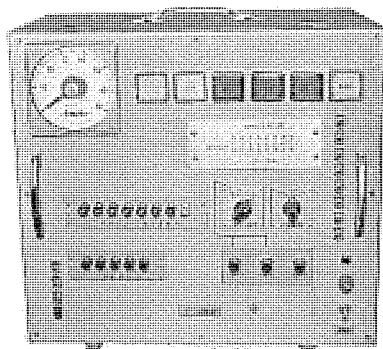


図 4.3 ATO 試験器
Test apparatus for ATO.

上受信器において、パルス幅 10 ms の地点信号に整形されて次段に渡される。この地点信号を分周器を通して、倍のパターン長を有する地上パターンが得られる。また、ここで使用されたワイグリワイヤは、後述の制御指令情報の伝送路としても使用される。

4. 1. 2 ATO 論理演算装置

ワイグリワイヤ 受信器から得られた列車位置検知パルス信号を入力信号とし、内部で停止点までの距離 S と列車速度 V を発生し、この両軸によって決定されるブレーキ力を作用させる。演算には、半導体集積回路 (IC) を使用してすべてデジタル演算を行ない、無調整機器にしている。作用ブレーキステップを決定する演算方式は、速度—距離領域において停止点に列車が収れんするように作用減速度の領域をあらかじめ決定しておき、列車がどの減速度領域に位置しているかを演算から検出する速度演算制御方式と、実作用減速度を検出して、指令減速度に作用減速度が追従するように制御する減速度演

算制御方式との両者が実施されている。

4. 1. 3 ATO 試験器

この試験器は、多目的用途に使用可能な機能を有している。おもな用途として、ATO 論理演算装置の被制御対象を模擬したシミュレータとして作用する。これによって制御伝達遅れを各種考慮し、これに適合した演算特性を選定することができる。実負荷を使用している際には、この試験器はモータの作用を有し、列車速度・ブレーキ制御指令・列車走行位置を表示する。半地上式 ATO においては、地点等価信号発生器として作用する。この装置は、可搬形にまとめられている。

4. 1. 4 ATO 用データ処理装置

ATO システムによって自動運転が実施される運転形式において考慮されなければならないことは、各自動制御機器が正常に作用している場合において、作り出す制御データの処理である。試作試験時には、試験員が各種測定器を使用して列車の制御状態を記録し、人の手によって処理されるが計測されたデータから必要な項目を読み出す作業は容易ではない。停止精度分布を作表するにはかなりの労力を必要とする。また、各自動制御機器のいずれかにおいて故障が発生した場合、この故障機器をすみやかに発見して、列車の運行を正常に復帰させるまでの処置が容易に行なわれることが望ましい。

そこで、本 ATO 用データ処理装置を使用して、制御列車番号 (データ番号)・時分・地点信号・各地点信号受信時分・列車速度・列車制御指令・列車作用実減速度・走行距離等をデータとして内部に蓄積し、外部からの読出し指令に従ってこれをアウトプットする。このデータは、X-Y レコーダならびに電動タイプライタによってランカーブならびに作表が自動的に行なわれる。また、さらに、列車の制御状態を常時監視しておき、1 日の停止精度の分布を自動作表によって確認することもできる。また、制御状態に異常が発生した場合には、その列車のデータ番号または制御時分から必要な詳細データをプリントアウトさせ、このデータから異常を生じた経過、および異常動作を起こした機器の発見が容易になるように考慮されている。

4. 1. 5 制御指令伝送装置と制御指令受信装置

ATO 論理演算装置で演算された結果は、制御指令伝送装置によってワイグリワイヤを伝送路として列車に指令される。制御指令は、表 4. 1 に示されているように、40.7 kHz~45.2 kHz の 5 周波の信号波のうちの 2 周波を組み合わせて 10 種類の組合せコードが使用できる。したがって、制御指令は 10 種類まで伝送可能であるが、しかし同時に 2 種類の信号を伝送することはできない。車両側においては、制御指令受信装置で元の 10 種類の制御指令に復調され、次段のコード変換回路に渡される。指令伝送ならびに受信復調までに要する制

表 4. 1 列車制御信号と使用信号周波数
Train control signal and frequency.

列車制御 信 号	使 用 信 号 周 波 数 kHz					用 途
	40.7	41.6	42.95	43.85	45.2	
BS ₀	○			○		ノッチオフ $\beta=0.5$ 1.0 1.5 2.0
BS ₁	○				○	
BS ₂		○	○			
BS ₃		○		○		
BS ₄		○			○	
BS ₅			○	○		2.5
BS ₆			○		○	3.0
BS ₇				○	○	3.5
BS ₈	○	○				予備 1(力行 1)
BS ₉	○		○			予備 2(力行 2)

御遅れは、100 ms 以内になるように計画されている。

4. 1. 6 コード変換回路と出力継電装置

車両のブレーキ制御装置は、 $B_1B_2B_3$ の 3 ビットの指令線によって 7 ステップのブレーキ力を発生することができる。そこで、10 種類の sC_2 信号のうちのブレーキ指令に関するものは、3 ビットの 2 進数に変換する必要が生じた。また、いったん制御指令が受信された後に指令が中断すると、伝送系の故障になるので、出力継電装置で無信号状態を検知し、定位置停止制御における平均減速度 $\beta=2.5 \text{ km/h/s}$ よりも少し大きい $\beta=3.0 \text{ km/h/s}$ の減速度を自動的に作用させる。

4. 2. 半地上式 ATO システムの構成

半地上式 ATO システムは、列車の運転機能を有する ATO 装置を車上に設置したシステムで、どちらかといえば、車上式 ATO に近い形と言える。車上式 ATO は、定位置停止パターンを車上で発生し、列車速度を速度発電機を使用して検知する。したがって、この方式では車輪がスリップやスキッドを起こすと、その影響を直接に受ける弱点がある。

ところが、半地上式 ATO は、速度発電機を全く使用しないで、地上に等間隔の距離パターンを設置し、この距離パターン上の移動を車上で検知して制御に使用する。この距離パターンを等間隔にすることにより、列車の絶対位置と絶対速度とが検知される利点があるが、さらに列車の編成長さに合わせてホーム上の停止点を容易に変更できる利点がある。

図 4. 4 に半地上式 ATO システムの構成を示すが、ここで使用されている機器は、全地上式 ATO システムで使用された機器がうまく利用されている。

すなわち、等間隔の距離パターンには、前述のウイグリワイヤが使用され、ウイグリワイヤ送信器で加えられた 23.5 kHz の周波数は、50 cm ごとにより架された地点で 180° 位相が反転し、車上に設けられたウイグリワイヤ受信器でこの反転が検知される。

車上の ATO 論理演算装置は、地上式 ATO と同様の演算を行なって列車を制御することができる。この制御指令は、直接出力継電装置に渡されるので、制御伝達遅れは、全地上式 ATO システムより 0.1 s 程度むだ時間が減少する。

OEC-1 ブレーキ装置を使用して、HSC ブレーキ装置と等価な特性を得るため、ブレーキ装置に絞りをそう入して時定数を増しているが、伝達むだ時間も加わるために、ATO 論理演算装置の出力側に 0.1 秒単位で 4 段の計 0.4 秒までのむだ時間を生じるように計画された。この両者を調整して、HSC ブレーキ応答性における定位置停止制御特

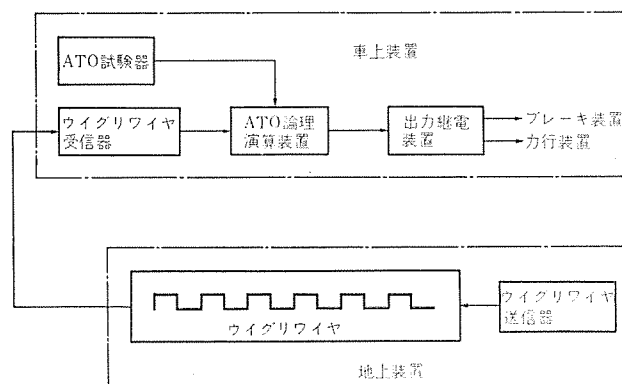


図 4. 4 半地上式 ATO システム構成

Block diagram of ATO systems in which control equipment is mounted aboard train and constant distance interval patterns are used on the track.

性が調べられる。

この半地上式 ATO では、地上にウイグリワイヤが敷設されていない駅において、路線の曲線やこう配の影響を考慮した定位置停止試験を実施できるように計画された。このため車上に ATO 試験器を置き、列車が一定距離走行したことを検知して地点パルスを車上で発生した。この試験器を使用して発生した距離パターンは、ウイグリワイヤから得られたものと等価な、間隔が 50 cm と 1 m の 2 種類である。この方法によって設備を増さないで、任意の駅において定位置停止試験を行なうことが可能になった。

5. ATO 論理演算装置

5. 1 定位置停止演算原理

図 5. 1 に示すように、速度 V を有した列車を遠方の停止点零点到に停止させるには、停止点までの距離 S と列車速度 V が検知されれば、式 (5. 1) で求められる減速度を列車に作用させればよい。

$$F(S, V) = \frac{V^2}{7.2S} \quad (5.1)$$

単位: $F(S, V)$ (km/h/s)

V (km/h)

S (m)

式 (5. 1) における V は、図 5. 2 で示すように、二つの地点間の通過所要時間を計測し、距離を所要時間で割った式 (5. 2) で求められる。

$$V = \frac{\Delta S}{t_N} \times 3,600 \quad (5.2)$$

単位: V (km/h)

ΔS (m)

t_N (ms)

また、列車の位置から停止点までの距離 S は、等間隔地点信号数を計数すれば求められる。

5. 2 ATO 論理演算装置の構成

本装置のブロック構成を図 5. 3 に示す。このブロック図において 2 種類の β_P と β_V の主要演算が行なわれる。

β_P 演算は、列車を規定の停止点に停止させるために必要な理想減速度 (指令減速度) を、式 (5. 1) に従って演算するものである。

β_V 演算は、列車に実際に作用した減速度を求める演算である。この β_P と β_V の両者の演算を行ない、最終的には β_V を β_P に追従させることによって定位置停止が行なわれる。

以上に述べた演算には、IC が使用され、デジタルに行なわれる。以下、各ブロックについて機能を説明する。

5. 2. 1 基準パルス発生回路

この基準パルス発生回路は、各演算回路で使用する基準パルスを発

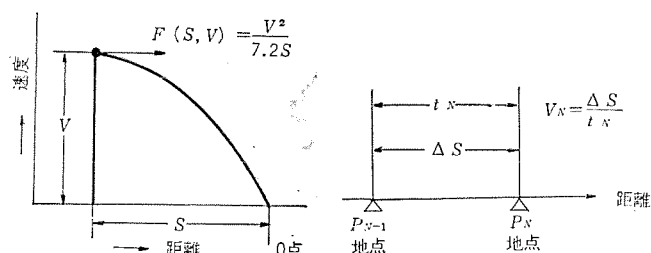


図 5. 1 停止制御原理
Programmed stop control principle.

図 5. 2 速度検出原理
Principle of the velocity detection.

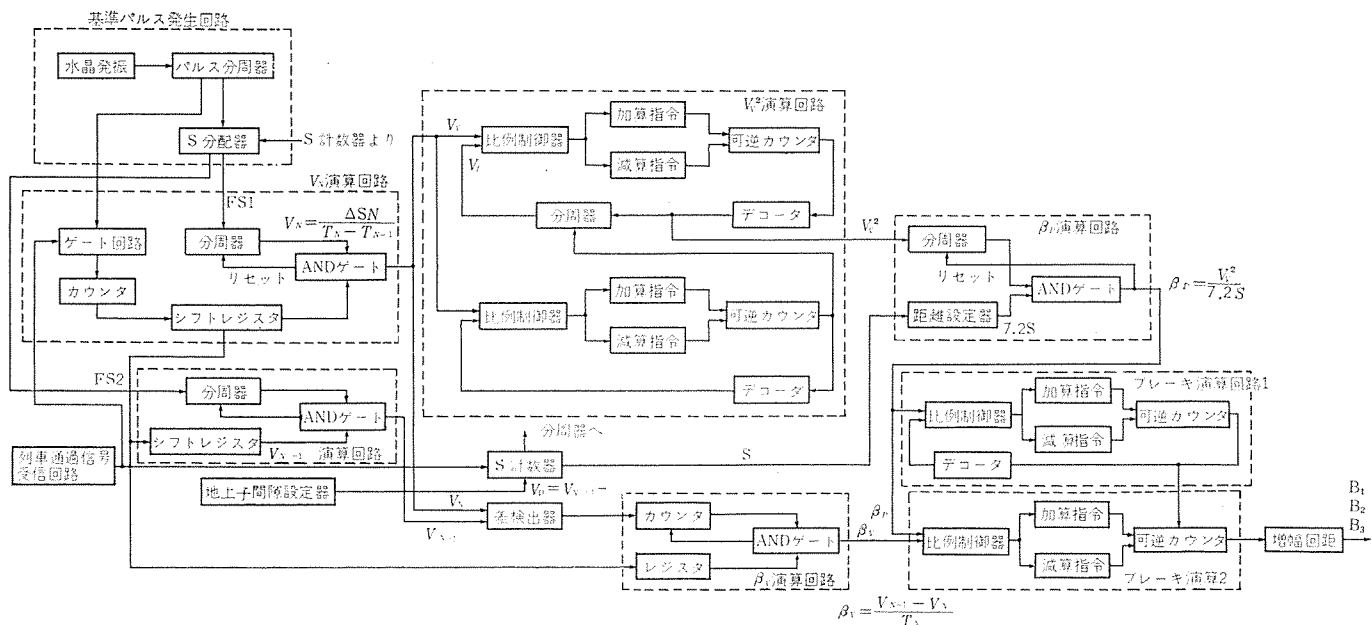


図 5.3 ATO 論理演算装置ブロック図 Block diagram of ATO apparatus.

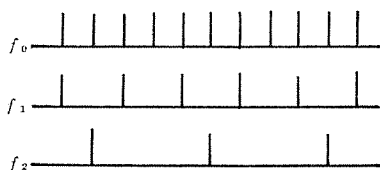


図 5.4 基準パルス列 Pattern pulse.

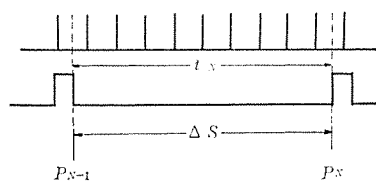


図 5.5 定距離間隔の所要通過時間計測原理 Principle of the time detection during a constant distance interval.

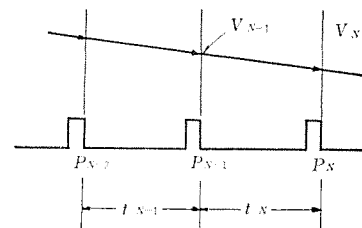


図 5.6 作用減速度検出原理 Principle of the retarding force detection.

生する回路で、基準発振に水晶発振器を使用している。この基準周波数をパルス分周器で分周して各種の周波数を有するパルス列を作る。これを図 5.4 に示す。

5.2.2 V_N 演算回路

この回路は、列車の速度を求める演算回路である。この速度演算は、原理的には式 (5.2) で示したように、二つの地点間の距離 ΔS をこの地点間の通過所要時間 t_N で割算して求められる。 t_N は、基準パルス発生回路より与えられた時間パルス f_i を ΔS の区間をカウンタで計数して求められる。このカウンタ計数値は、次の地点信号受信時にシフトレジスタにシフトされ、ここで次の新たな計数値がシフトされてくるまで保持される。

距離 ΔS に相当する周波数は、 $FS1$ として分周器に与えられる。分周器は、一種のカウンタで、 $FS1$ のパルスを計数するが、この計数値がシフトレジスタの保持数値と一致すると、これを AND ゲートが判定して外部出力として 1 パルスのパルスが発生するとともに、分周器をリセットして分周器の各カウンタをすべて零にクリアする。したがって、分周器はまた零の状態から $FS1$ のパルスの計数を再度繰り返す。この繰り返し数が、実はシフトレジスタに保持されている時間 t_N で ΔS を割った値にほかならない。したがって、AND ゲート出力の周波数が列車速度 V_N を表わす。

5.2.3 V_N^2 演算回路

列車速度 V_N が V_N^2 演算回路に加えられると、 V_N と、この演算回路のフィードバック周波数 V_f とが比例制御器において次の式 (5.3) で示される演算が行なわれる。

$$\Delta V = V_N - V_f \dots \dots \dots (5.3)$$

ΔV が正のときにはこれを加算指令器が、また負のときには減算指令器が作用し、次段の可逆カウンタを「進め」または「戻し」制御を行なう。この可逆カウンタの状態は、デコーダによって周波数に変換され、分周器を通して V_f としてフィードバックされる。したがって、式 (5.3) において V_N と V_f とが一致した状態で ΔV が零になり、可逆カウンタは安定してこの状態でバランスする。分周器には上記の原理で V_N を計測した出力が下段の可逆カウンタより指令され、 $1/V_N$ に上段のデコーダ出力は分周される。したがって、 V_f 周波数は V_N 周波数と値が一致するまで可逆カウンタを「進め」て、可逆カウンタの状態が $V_N \times V_N$ の状態になると、 V_f は V_N と一致して安定状態になる。したがって、上段のデコーダ出力が V_N^2 のパルス周波数を発生する。

5.2.4 β_P 演算回路

β_P 演算回路は、速度入力 V_N^2 と距離信号 $7.2S$ を使用し、前者を後者で割算して β_P を求める。距離信号 $7.2S$ は、初期設定の停止点までの距離を意味し、等間隔の地点信号を受信するごとに $7.2\Delta S$ の距離を減算する。この地点信号を受信するごとに $7.2\Delta S$ の減算指令は S 計数器より与えられる。

5.2.5 V_{N-1} 演算回路

V_{N-1} 演算回路は、 V_N 演算回路と同じ原理で演算される回路で、 V_N よりも 1 地点信号前の列車速度を示す。図 5.6 の P_N 地点で V_{N-1} の列車速度を同時に求めるために、 V_N 演算回路において、前の P_{N-1} 地点で使用了 $P_{N-2} \sim P_{N-1}$ 地点間の所要時間 t_{N-1} を

V_{N-1} のシフトレジスタ回路にシフトして行なわれる。

5.2.6 差検出器

差検出器は、地点信号 P_N 地点において、 V_N 演算回路から V_N を、また V_{N-1} 演算回路から V_{N-1} をそれぞれ入力信号として受け、この両者の差を求める回路である。

$$V_D = V_{N-1} - V_N \dots\dots\dots (5.4)$$

5.2.7 β_V 演算回路

この回路は、式 (5.4) に示された地点信号 P_{N-1} と P_N の速度差 V_D をこの両地点間通過所要時間 t_N で割算し、実際に作用した減速度 β_V を求める。これを式 (5.5) で示す。

$$\beta_V = \frac{V_{N-1} - V_N}{t_N} = \frac{V_D}{t_N} \dots\dots\dots (5.5)$$

5.2.8 ブレーキ演算回路 2

このブレーキ演算回路 2 は β_P と β_V の両者の差 $\Delta\beta$ を比例制御器で検出し、この $\Delta\beta$ を

$$\Delta\beta = \beta_P - \beta_V \dots\dots\dots (5.6)$$

零になるようにブレーキ指令を与える。すなわち、 $\Delta\beta > 0$ の場合にはブレーキ力が不足している場合を示し、また $\Delta\beta < 0$ の場合には、ブレーキ力が指令値よりも強い状態を示す。したがって、前者の場合にはブレーキ力を増加し、後者の場合にはブレーキ力を減少させる。このブレーキ力の強弱は、可逆カウンタの状態によって指令される。この可逆カウンタは、3 段のカウンタより構成され、この状態とブレーキ力との関係を表 5.1 に示す。

5.2.9 ブレーキ演算回路 1

このブレーキ演算回路 1 は、停止区間に列車が進入したときにブレーキ演算回路 2 にブレーキ指令の初期設定を行なうために使用される。この回路は、 β_P の理想減速度指令 (減速度 0~3.5 km/h/s) を $\beta = 0, 1, 2, 3, 3.5$ km/h/s の減速度領域に分割し、列車がこの減速度の指令のどの領域にいるかを判定し、この結果をブレーキ演算回路 2 の可逆カウンタに直接指令して外部へのブレーキ指令とする。

5.3 ATO 論理演算方式

本方式で使用している定位置停止演算の特長は、まず第一に従来の方式で使用されていた停止パターンを折線近似等で発生する方法でなく、距離軸と速度軸とによって決定される減速度を直接演算によって求めた点にある。これによってパターンへの追従制御から開放され、デジタル手法をあわせ用いることによって精度の高い演算が可能になった。

第二に求められた減速度指令をデジタル的にブレーキステップに割り当てて制御する方式と、この減速度指令に基づいてブレーキを作用させ、実際に作用している減速度と比較させ、指令減速度に実作用減速度を追従させる制御方式との、両者の新しい制御方式を試みたことである。後者には特にブレーキ装置の各ステップ指令に相当する作用減速度の誤差を自動的に修正する能力を持たせ、ブレーキ装置の精度調整を軽減化することができる。

表 5.1 3ビット指令により規定されるブレーキステップ段
Relation between three brake bits and brake steps.

ブレーキ ステップ段	0	1	2	3	4	5	6	7
C_1	0	1	0	1	0	1	0	1
C_2	0	0	1	1	0	0	1	1
C_3	0	0	0	0	1	1	1	1

6. 試 験

今回、実施した現車試験は、全地上式 ATO 装置と半地上式 ATO 装置の制御機能のうち、駅での定位置停止機能について計画された。全地上式ならびに半地上式 ATO システムの制御の安定性や、定位置停止精度を決定する各種要因について、その度合が実際にどの程度影響を与えるか、この解答を求める目的で多項目にわたって実施された。この試験によって各種項目の影響を求め、今後、ATO システムを決定するための基礎資料を得た。

6.1 試験実施要領

(1) 試験期間

昭和 46 年 12 月~昭和 47 年 3 月

(2) 試験実施場所

大阪市交通局地下鉄 5 号線 (千日前線)

(3) 試験使用車両

4 M 編成

5070 号車+5571 号車+5071 号車+5570 号車

(4) 車両 ブレーキ

電空併用ブレーキ装置

(5) 試験システム

(a) 全地上式 ATO システム

(b) 半地上式 ATO システム

6.2 定位置停止精度に影響を与える試験要素

(1) 試験システムの相違

全地上式 ATO システムと半地上 ATO システムについての制御特性上の相違は、前者は後者と比べて、制御指令の伝送遅れ、ならびに車上装置のコード変換遅れが、制御むだ時間として余分に作用することである。

(2) 定位置停止制御方式

(a) 速度演算制御方式

(b) 減速度演算制御方式

(3) 定位置停止制御用列車位置検知地上パターン間隔

(a) 0.5 m 間隔

(b) 1.0 m 間隔

(c) 2.0 m 間隔

列車の位置を検出する地上距離パターンの間隔は、列車の通過速度を算出するための時間計測に使用されている。この速度算出は、式 (6.1) に示す演算によって平均速度として求められるので、真の速度との間に速度検出誤差が含まれる。

$$\text{列車速度 } V = \frac{\Delta S}{\Delta T} \dots\dots\dots (6.1)$$

$$\text{速度検出誤差 } \Delta V_e = V - v_2 \dots\dots\dots (6.2)$$

この速度検出値は、列車が $1/2 \cdot \Delta S$ の位置にあるときの速度を示し、したがって速度検出誤差 ΔV_e は、距離換算すると $1/2 \cdot \Delta S$ と

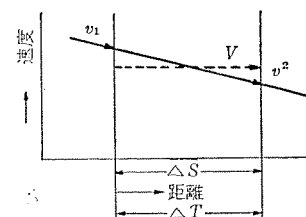


図 6.1 地上パターン間隔と速度検出原理
Relation between actual velocity and compute velocity.

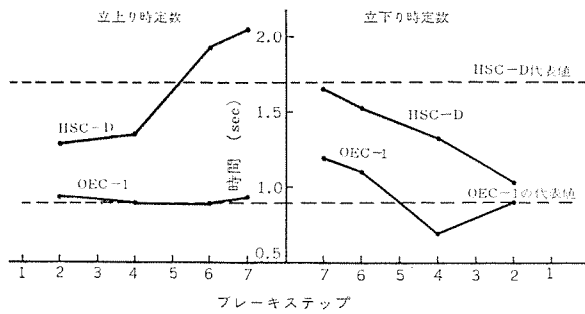


図 6.2 ブレーキステップに対するブレーキ応答特性
Brake steps-brake response curves.

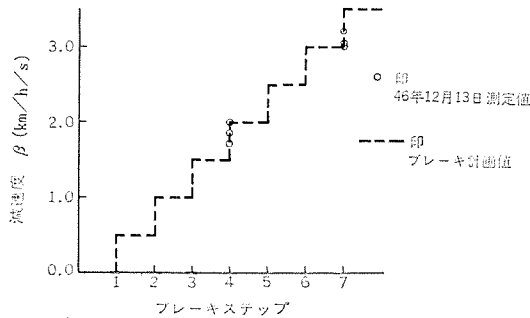


図 6.3 ブレーキステップに対する作用減速度特性
Brake steps-actual retarding force characteristics.

みなすことができる。この値は、距離パターン間隔 ΔS の値が小さいほど小さくなり、速度演算結果を使用した停止精度結果に影響が現われる。

(4) 車両ブレーキ性能

定位置停止制御においてすぐれた停止精度を得るためには、ブレーキ装置の性能に負うことが大である。定位置停止制御においてブレーキ性能は次の(a)、(b)によって評価される。

(a) ブレーキ応答性

(b) ブレーキ精度

(5) その他

停止精度を決定づける他の要因として、上に列記した要素の相互効果や、演算速度の適合の問題がある。列車の停止直前で作用させる転動防止ブレーキの開始速度も停止精度に影響を与えるが、今回の試験では一定値に固定した。また、列車が停止区間に低速で進入する場合には、特別のシーケンスを使用した。この有無も停止精度に影響を与える。

6.3 試験結果

定位置停止精度に影響を与える各種要因の度合と、その結果については、各項目をパラメータにして現車試験で確認することができる。しかし、着目した以外の要因を実車で完全に理想化することは困難であるので、停止精度に強く影響を与える要因の影になったり、または相互の影響が複合したりし、コンピュータを使用したシミュレーションと違って、その解析は容易ではない。だが、一般のシミュレーションの場合に、その結果について常に問題になる実物への等価性については心配することがないので、得られた数値は新しいシステムに適応した場合の再現性に対する信頼度は高いと思われる。

6.3.1 試験記録

ATO装置による列車の制御状態を、図 6.4 の X-Y レコーダの記録で示す。この記録は、全地上式システムで実施されたものである。横軸は停止距離で、停止点は 90 m の地点である。縦軸は列車速度

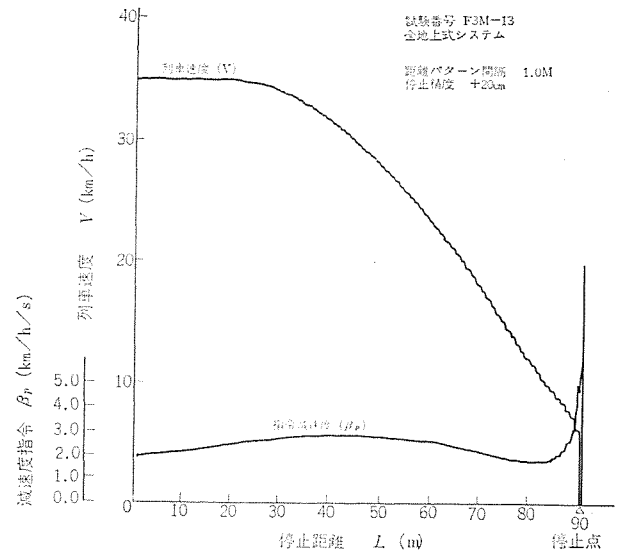


図 6.4 X-Y レコーダによる試験記録
Test data with X-Y recorder.

を表わし、このシステムでは最高進入速度が ATC によって 40 km/h に押えられ、この記録では 36 km/h の速度である。また、縦軸には減速度が目盛りされているが、これは本 ATO 論理演算装置の演算方式の特長である、列車の停止点までの距離 S と列車速度 V の両変数によって決定される、停止点に停止するために必要な減速度指令を表わす。

すなわち、距離 90 m で列車速度 36 km/h の地点から停止点に停止するために必要な減速度 β_P は、次の式 (6.3) で求められる。

$$\beta_P = \frac{V^2}{7.2 \cdot S} = \frac{36^2}{7.2 \times 90} = 2.0 \text{ km/h/s} \dots\dots\dots (6.3)$$

これを、X-Y レコーダ記録の指令減速度 β_P の値 2.0 として示している。列車は、初め 36 km/h で進入し、ブレーキが指令されるが、ブレーキ装置の空走によってほぼ初速に等しい速度で走行する。したがって、指令減速度は上昇をはじめが、距離軸 43 m の付近で $\beta_P = 2.8$ の数値の山を示し、停止点に向って制御されている。停止点付近で、また β_P は急上昇しているが、これは 5.1 節で述べた ATO 論理演算装置の演算原理によるもので、距離軸が停止点に向って小さくなると、距離軸である分母が零に向うことになり、分子の速度が多少とも残る状態、すなわちオーバラン気味になると、分子には V^2 が残り、零で正数を割って ∞ の β_P 値を示す傾向になる。しかし、これは、ブレーキ装置の最大減速度が 3.5 km/h/s であることと、停止直前で強制的に $\beta = 2.0$ のブレーキ力を論理で直接指令しているので、車両の乗心地を悪くすることはない。この X-Y レコーダの速度記録線でステップ状の波打を示す曲線は、この試験において地上パターン間隔 1 M が使用されているため、1 m 刻みの距離軸をサンプリング制御している状態を示す。

また、図 6.5 に全地上式システムの地上側の制御指令状態と、車両側の動作状態とを同時に測定した結果を示す。この試験データは、地上パターン間隔が 2 M の状態で減速度演算制御を実施した記録である。列車は、停止区間に 26 km/h で進入している。停止区間で指令減速度 β_P が立ち上がり、この指令によって車両で作用した減速度が、地上で捕えられ、これを地上側の出力 β_r が示している。 β_r の立上りに大きな変化がみられるが、この試験では駅間の速度制御を行わないで、停止区間で初めて車速を検知したので、

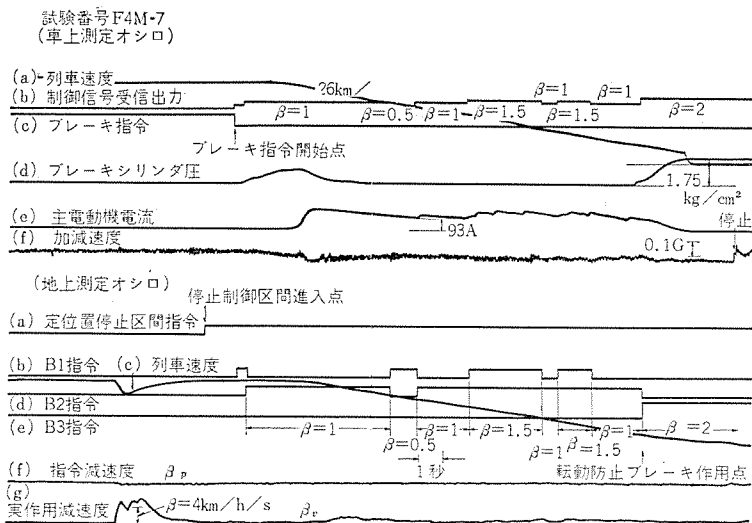


図 6.5 ATO 試験 オシロ
ATO test run oscillogram.

このときの不連続現象が現われている。しかし、この現象は停止点手前 90 m の停止制御区間進入点までには減衰し、真の制御はこの地点から行なわれるので、影響を受けない。この記録では、指令減速度 β_p に基づき、ブレーキ装置のステップが適当に選ばれて作用し、このステップによって実際に作用した減速度が実作用減速度 β_r として検出される。この β_r が β_p に追従するように、最終的にブレーキステップが選ばれて制御されている。この結果、 $\beta=1$ 、 $\beta=0.5$ 、 $\beta=1.5$ 等に相当するブレーキステップが使用されている。そして、停止点付近において論理から強制的に $\beta=2$ の振動防止ブレーキ指令が与えられ、列車は停止している。

6.3.2 ATO システムの相違に基づく停止精度の違い

全地上式・半地上式 ATO システムの制御上の違いは、制御指令の地上から車上への伝送遅れと、車両制御装置のコード変換器の介在とである。試験条件を合わせてそれぞれの方式で測定した結果を図 6.6 に示す。この結果から、どちらも十分な停止精度を得ているが、半地上式のほうが制御むだ時間が少ない分だけ安定した分布を示しているように思われる。なお、図中の -2 m 付近に集中した分布もみられるが、(これは後で示すデータでもこの傾向が見られる) これは車両制御装置の特性と、この特性に影響を与える制御モードによるものである。最終的にはこのモードに落ち入らないように制御を行なわせている。

6.3.3 ATO 演算方式と停止精度との関係

この試験では減速度演算方式と速度演算方式との制御方式の異なる 2 種類の方式で実施された。これは、地上パターン間隔ごとに測定されている。前者は、ブレーキ装置の精度誤差を自動的に修正する能力を持つが、速度変化に基づく減速度演算を行なうので、速度演算方式とくらべて演算遅れが生じ、この影響が多少とも分布にばらつきを示している。

6.3.4 地上パターン間隔に基づく停止精度

図 6.7 と図 6.8 とにそれぞれの演算方式による地上パターン間隔に基づく停止精度の分布を示す。パターン 0.5 M と 1 M、2 M のグループ間において分布の広がりが多分に異なっている。1 M と 2 M との間では、2 M のほうが分布が多少広いことを示す。

6.3.5 ブレーキ特性に基づく停止精度

前述の図 6.8 は、ブレーキ装置特性として OEC-1 を、また図

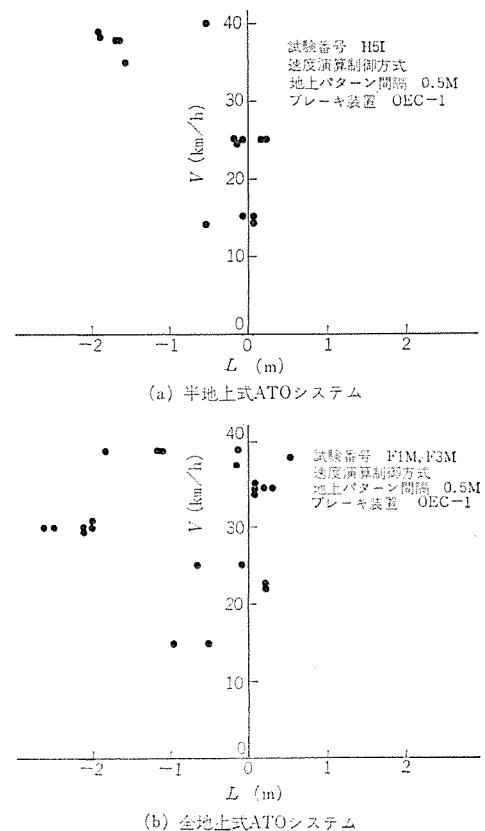


図 6.6 ATO システム 方式と停止精度
Relation between the ATO systems and results of stopping error.

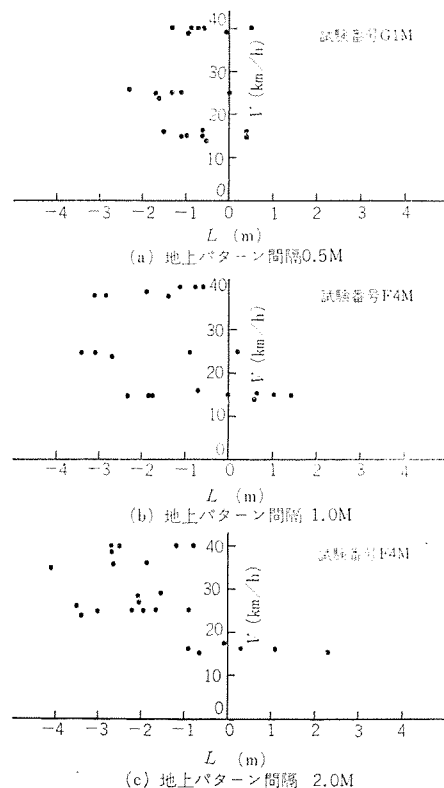


図 6.7 ATO 演算方式 (減速度演算方式) と停止精度
ただし、ブレーキ特性は OEC-1 による
Relation between automatic stopping control system of
“Deceleration control system” and stopping error.

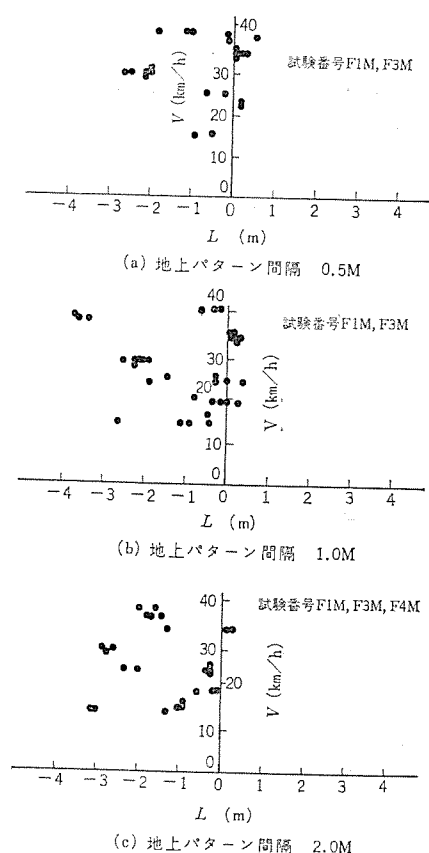


図 6.8 ATO 演算方式（速度演算方式）と停止精度
ただし、ブレーキ特性は OEC-1 による
Relation between automatic stopping control system of
“Velocity control system” and stopping error.

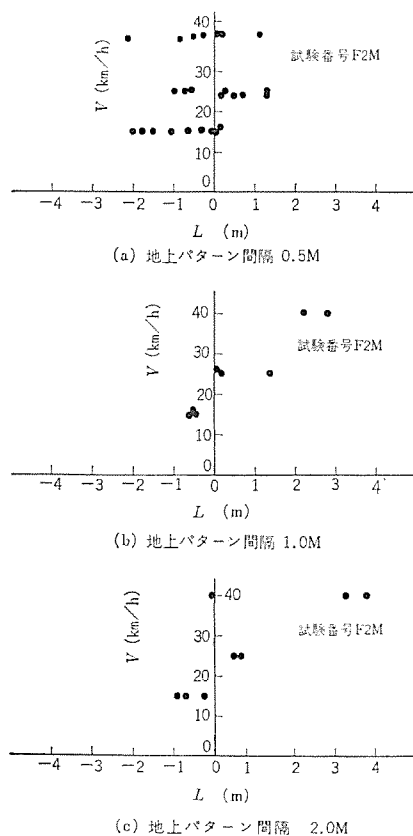


図 6.9 HSC ブレーキ 特性による停止精度，ただし，ATO
演算方式は速度演算方式を使用
Results of stopping error determined by HSC brake
characteristics.

6.9 は HSC 特性における停止精度の分布を距離 パターン 間隔をパラメータにして測定したものである。HSC-D 特性において、40 km/h の計画最高速度で列車が進入すると、空走分による過走が影響し、OEC-1 特性ではあまりみられなかった停止点遠方側に停止する傾向が生じた。その他、パターン 1 M, 2 M については HSC 特性で測定したデータが不足しているため、比較がむずかしいが、パターン 0.5 M について比較すると、HSC 特性では停止点の零点に対しての収れん度が悪くなっている。

6.3.6 各駅条件による停止精度

ATO 試験を実施した大阪市交通局 5 号線の各停車駅の路線条件が、停止精度におよぼす影響の度合いを測定した。このたび、全般の試験は、実際に距離検出用の等間隔パターンを地上に敷設した今里駅を中心に行なわれたが、5 号線における他の駅の路線条件で与える影響をみることにした。この試験では、各駅に今里駅と同様な地上設備は設けず、半地上式 ATO システムの利点であるが、車両に機器を集中し、車上で ATO 試験器を使用して等間隔パターンを発生して実施された。測定結果を図 6.10 に示す。5 号線の各駅の路線条件は良く、駅直前に 9 % 程度のこう配が谷町 9 丁目駅にあるぐらいで、駅自体のこう配は 0 % である。多少の曲線がある駅もあるが、ATO 制御に強い影響を与えるとは考えられず、試験結果にも安定

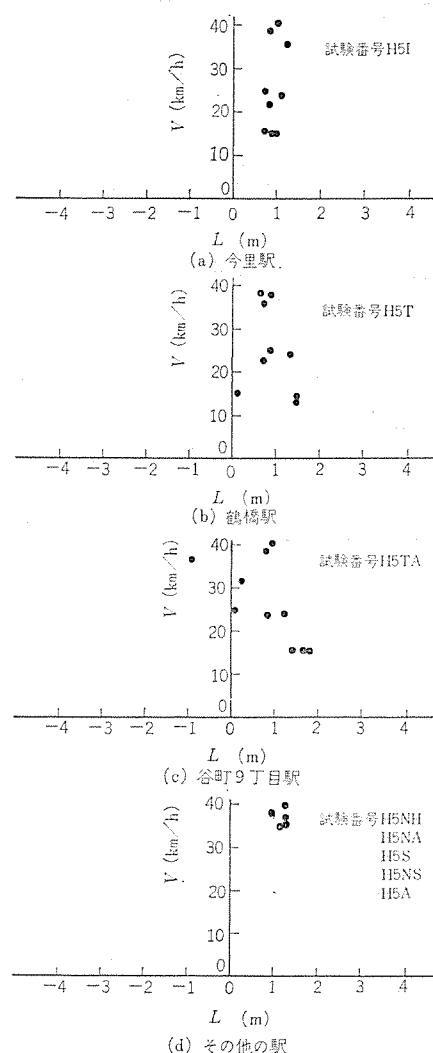
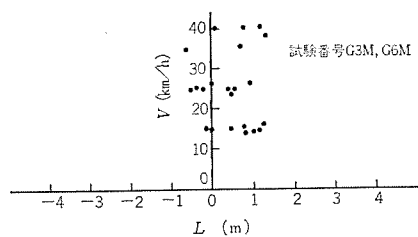
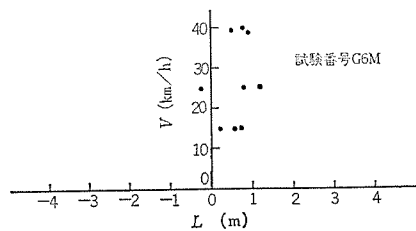


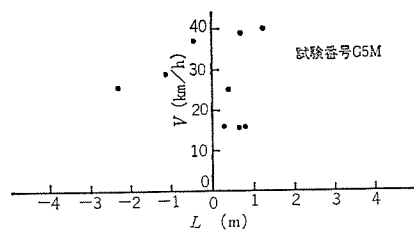
図 6.10 半地上式 ATO システムによる各駅での停止精度，地上
パターン間隔：0.482 M，ブレーキ装置：HSC-D 特性
Results of stopping error determined by the track of each
stations.



(a) 地上パターン間隔0.5M



(b) 地上パターン間隔 1.0M



(c) 地上パターン間隔 2.0M

図 6.11 制御特性を調整して適合させた場合の停止精度
ただし、ブレーキ特性は HSC

Results of stopping error determined by the compensation of the automatic stopping control system.

した数値が得られている。なお、この試験では試験器による 50 cm の等間隔地上パターンが得られず、48.2 cm を 0.5 M パターンとして使用した。したがって、速度は 3.6 % 高めに演算され、制御されている。

6.3.7 制御特性を調整して適合させた場合の停止精度

ATO による停止精度を決定する各種要因について述べたが、制御対象の特性が具体的に決まると、ATO の論理演算をこれに適合させるように調整して停止精度の分布をある程度安定させることができる。たとえば、ブレーキ特性が HSC であれば、40 km/h の高速

進入に対してはブレーキの空走距離が大きくなるので、ブレーキ開始点を早めに変更してブレーキ力の回復力を失うのを防ぐことは有効である。また、地上パターン間隔に合わせて、論理演算速度の最適値をみつけることも必要である。停止点付近に接近したときに作用する転動防止ブレーキの開始速度の決定も、停止精度に関係する。さらに、低速進入時には特別なシーケンスが必要になる場合もある。以上のようにして、制御特性を適合させて得た停止精度の結果を図 6.11 に示す。このデータと、前述の図 6.9 の対策をほどきさなかったデータとを比較すると、停止精度が安定していることがわかる。しかし、これらの対策は、被制御対象の特性に合わせて制御特性を調整し、よい停止精度が得られる確率を上げたのであり、停止精度をばらつかせる要素は含まれている。停止精度をある規定の範囲内に入れる確率を高めるためには、システムのループ内にはいる各部の制御特性を改善することが望ましい。

7. む す び

地上側にウェイトをおいた自動運転制御方式について、最近に一部実施された全地上式ならびに半地上式 ATO システムの試験の紹介をかねて説明した。わが国においては、地上からの列車の完全自動運転を行なった例はなく、外国に関連した諸例を見る程度に思われる。今後、技術的ステップを踏んで問題点が解明されれば、経済的にも望ましい自動運転システムが形づくられるものと思われる。本文が多少なりとも、自動運転計画上の参考になれば幸いである。終りに、全地上式ならびに半地上式 ATO システムの試験に際し、長期の深夜作業をいわずに実施された多数の関係各位に感謝の意を表す次第である。なお、この工事の信号関係について、大同信号株式会社のかたがたにご協力願ったことを末尾ながらつけ加えさせていただく。

参 考 文 献

- (1) 田村、六藤、金子：分散形列車総合運転制御システム、三菱電機技報、44、No. 12 (昭 45)
- (2) 六藤、金子、石本：最新の車上自動運転装置、三菱電機技報、45、No. 4 (昭 46)
- (3) 米沢 (大阪市交通局 営業部 高速運転課)：大阪市交通局の地下鉄 ATO 運転の試み、運転協会誌、No. 10 (昭 46)

ATO 用データ処理装置

六 藤 孝 雄*・長谷川博一*・丸 田 征 生*
吉 田 連**

Data Processor System for ATO

Itami Works

Takao MUTO・Hirokazu HASEGAWA・Yukio MARUTA
Communication Equipment Works Munaji YOSHIDA

As for the automatic operation system to control cars with ATO, it is especially necessary besides monitoring to keep recording the normal running condition as well as that of abnormality with an object of studying the cause of failure. A data processor system for use with ATO is a device worked out in parallel with the field test of the ATO system to meet with the foregoing requisite conducted by the Osaka Municipal Transportation Bureau. This system, having a MELMIC-100 and cassette type magnetic recorder as a principal component, is provided with a function to process data of fixed position stopping control and to display it in the most effective form. It is also possessed of a function keeping various data in a compact cassette type magnetic tape. Furthermore, the device can be used as a general data processor to take care of recording and processing data for the maintenance at ground machine rooms and on the rolling stock by changing the control program of MELMIC-100.

1. ま え が き

このたび、大阪市交通局において ATO システムの現車試験が行われたが、これと並行して、制御機器のか(稼)動状態を自動的に記録し、再生する ATO 用データ処理装置を開発した。この装置は、最近特に発達してきた技術、すなわち、LSI 回路の活用、カセットタイプの磁気テープへの記録・再生、マイクロコンピュータの応用等の技術を基礎にして、構成されたものである。

次のような用途が考えられる。

(1) 自動列車制御システムが正常に作用している場合には、制御データの記録ならびに統計的処理を行なう。

(2) 自動列車制御システムに異常が発生した場合には、異常発生前後のデータを解析し、原因を究明する。

この装置は、さきに実施された ATO システムの現車試験とあわせて、その性能が一部確認されている。以下、この機器の概要や性能について詳述する。



図 1.1 ATO 用データ処理装置
Exterior view of data processor system for ATO.

2. 装置の機能と構成

2.1 機 能

2.1.1 動作の概要

本装置は、定位置停止制御の各種データ、たとえば列車速度・地点情報・減速度指令等を磁気テープに記憶し、必要に応じて制御状態をタイプライタと X-Y レコーダとによって、ディスプレイする機能を有する。本装置を使用すれば、X-Y レコーダに記録されたデータを手で読み取っていたのを、一定のフォーマットに従って自動的にタイプライタするとともに、そのデータをカセットテープに記録して保管することができる。また、何回か定位置停止制御を行なって停止精度のばらつきを調べ、その結果をタイプライタすることができる。

本装置は、種々の情報を収集し、P-S 変換を行なってデジタル記録するデータ収集部と、データ収集部からの入力情報を処理して、X-Y レコーダあるいはタイプライタでディスプレイするデータ処理部とに分けることができる。

データ収集部は、時刻信号発生装置・データ番号設定器・入力用操作盤・入力整合部・P-S 変換部・磁気テープ入力部・磁気テープ装置・磁気テープ再生部からなり、図 2.1 のように構成される。

記録情報は、まず、入力整合部でレベル変換・A-D 変換等の処理が行なわれ、IC レベルのデジタル情報に変換される。P-S 変換部においては、ATO パターン上を列車が通過するときに発生する地点パルスごとに、これらの情報がサンプリングされ、1 回の駅停止分の情報

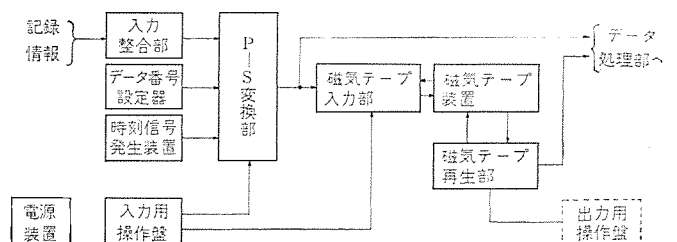


図 2.1 データ収集部ブロック図
Block diagram of data collecting section.

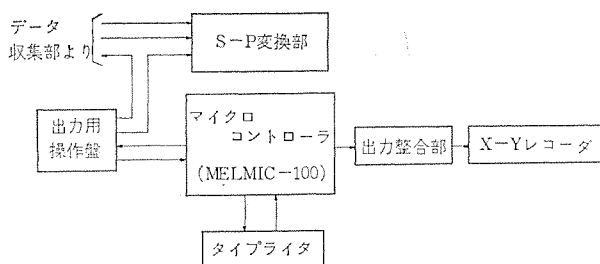


図 2.2 データ処理部ブロック図
Block diagram of data processing section.

を1データブロックとして、データ番号・駅進入時刻が付加されてパラレル-シリアル変換される。パラレル-シリアル変換されたデータは、入力用操作盤を操作してオンラインで処理する場合には、直接データ処理部へ転送され、磁気テープに保管する場合には、磁気テープ入力部を通して磁気テープ装置に記録される。記録されたデータを再生して処理するには、データ処理部の出力用操作盤より再生命令を磁気テープ再生部に与え、磁気テープに記録されたデータを読み出してデータ処理部に転送する。データ処理部は、S-P変換部・出力用操作盤・マイクロコントローラ (MELMIC-100)・出力整合部・タイプライタ・X-Yレコーダから構成され、そのブロック図を図2.2に示す。

データ収集部より転送されてきたシリアルなデータは、S-P変換部でシリアル-パラレル変換され、1サンプリングごとのパラレルなデータとしてマイクロコントローラに与えられる。ただし、パリティチェックされて誤りを検出されたデータは、マイクロコントローラに与えられない。

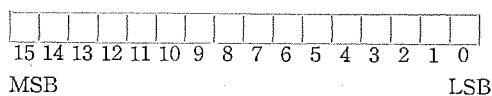
マイクロコントローラは、与えられたデータから走行距離と列車に働く減速度を計算し、出力用操作盤からの指令に基づいて、X-Yレコーダ上に距離-時間、距離-速度のグラフを描かせたり、データ番号・駅進入時刻・地点番号・距離・制御時間・速度・減速度、ATO装置からのブレーキ指令をタイプライタでプリントアウトすることができる。また、操作盤より統計指令をマイクロコントローラに与えて、希望するデータ番号の範囲を指定すると、それらの停止精度のばらつきが、0.5m単位でタイプライタされる。

出力整合部は、X-Yレコーダの入力用のD-A変換器である。

2.1.2 仕様

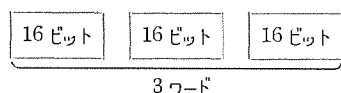
(1) ワード構成

本装置の内部で使用されるデータ語は、すべて二進法で表わされ、1ワードは16ビットで構成される。



(2) データ構成

1サンプリングごとのデータは、3ワードで構成される。ただし、オプションとして最大6ワードまで追加することが可能である。



(3) 最大データ数

1回の駅停止制御分の情報を1データブロックとすると、1データブロックに含まれる最大データ数は、磁気テープのバッファメモリ容量と、MELMICのデータメモリの容量によって決まる。

1データブロック：最大255データ

(4) 磁気テープ記録容量

カセット式デジタル磁気テープ記録装置を使用し、約150回の定位

置停止制御の情報を記録することができる。

(5) 入力の種類

データ番号 (設定器内蔵)	1ワード
時刻 (時刻信号発生器内蔵)	1ワード
制御時間 (時間カウンタ内蔵)	1ワード
地点信号数 (0~255個)	1ワード
列車速度 (0~50 km/h)	1ワード
ノッチオフ指令	
ブレーキ指令 (7ステップ)	

ただし、データ番号と時刻とは、データブロックの最初のデータとして1回だけ入力される。

(6) ディスプレイ

外部ディスプレイ装置として、タイプライタ・X-Yレコーダを接続することが可能である。タイプライタは、データ番号・時刻・地点番号・距離・速度・ブレーキ指令・制御時間・減速度を、図2.3のフォーマットに従ってプリントアウトする。X-Yレコーダは、距離-時間、距離-速度の特性曲線を図2.4のように描く。

(7) データ処理モード

(a) 磁気テープにデータを保管する。

(b) 磁気テープからデータを取り出して処理し、指定されたデータ番号の処理内容を一定のフォーマットに従ってディスプレイする。

(データ番号)		(駅進入時刻)					
113	20.09	2	4	38.1	.0	010	
.36		3	6	37.0	5.5	110	
.56		4	8	36.6	2.1	110	
.75		5	10	36.2	2.0	110	
.95		6	12	36.0	1.0	110	
1.14		7	14	36.0	.0	110	
1.33		8	16	36.1	.0	110	
1.52		9	18	36.2	.0	110	
1.72		10	20	36.4	.0	110	
1.91		11	22	36.4	.0	110	
2.10		12	24	36.4	.0	001	
2.30		13	26	36.5	.0	001	
2.49		14	28	36.6	.0	001	
2.69		15	30	36.5	.5	001	
2.89		16	32	36.7	.0	001	
3.09		17	34	36.6	.5	001	
3.29		18	36	36.4	.9	001	
3.50		19	38	36.2	1.0	001	
3.70		20	40	36.1	.4	001	
3.91		21	42	35.8	1.4	001	
4.12		22	44	35.6	.9	001	
4.34		23	46	35.1	1.3	001	
4.72		24	48	34.6	2.2	001	
4.94		25	50	34.5	.4	001	
5.17		26	52	33.9	2.6	001	
5.40		27	54	33.6	1.3	001	
5.63		28	56	33.2	1.6	001	
5.87		29	58	32.7	2.0	101	
6.12		30	60	32.2	2.0	011	
6.36		31	62	31.7	1.9	011	
6.62		32	64	30.9	3.0	011	
6.88		33	66	30.3	2.2	011	
7.15		34	68	29.8	1.7	011	
7.43		35	70	28.8	2.3	011	
7.85		36	72	28.2	2.0	011	
8.15		37	74	27.4	2.6	011	
8.45		38	76	26.5	2.9	011	
8.76		39	78	25.9	1.8	011	
9.08		40	80	25.1	2.4	011	
9.41		41	82	24.3	2.2	011	
9.76		42	84	23.6	1.9	011	
10.12		43	86	22.8	2.1	011	
10.49		44	88	21.8	2.4	101	
10.90		45	90	20.8	2.3	001	
11.32		46	92	19.7	2.4	001	
11.77		47	94	17.9	2.0	001	
12.63		48	96	17.0	1.7	001	
13.15		49	98	16.1	1.6	001	
13.70		50	100	14.9	2.0	001	
14.29		51	102	13.7	1.7	001	
14.98		52	104	12.1	1.7	001	
15.88		53	106	9.6	1.8	010	
17.20							

(時間) (地点数) (距離) (速度) (減速度) (ブレーキ指令)

図 2.3 タイプライタの例
Example of type data.

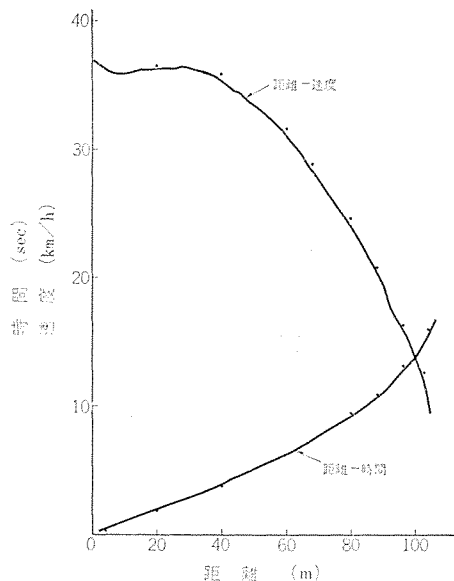


図 2.4 X-Y レコーダによるグラフの例
Example of X-Y data.

(c) 入力されたデータを磁気テープに入れずに直接処理し、一定のフォーマットに従ってディスプレイする。

(d) 指定されたデータ番号の範囲のデータを磁気テープから取り出して、停止精度のばらつきを調べる。

(e) データを直接入れて停止精度のばらつきを調べる。

以上のモードの選択を、入力用操作盤と出力用操作盤で行なう。

(8) 動作周囲条件

温度 5°C~40°C

相対湿度 20%~80%

(9) 電源

AC 100 V \pm 10 V 60 Hz

2.2 構成

データ処理を行なうための MELMIC-100 を中心にして、カセット式テープユニットを主体にした入力部と、タイプライタを主体にした出力部の周辺機器とで構成される。データ処理装置という性質上、入力部を処理を必要とする装置の近くに移動させて、データをカセット式磁気テープに記憶させることができる。テープのカセットは取扱いが簡単で、一般に普及しているフィリップス形のカセットを採用している。入力部は、磁気テープユニットのほか、標準時刻発生器・A-D コンバータ・データ

のレベル変換回路・テープインタフェース、ならびにこれら进行操作するスイッチパネルで構成され、データを入力する機能をもつ。

出力部は、電動タイプライタを主体にして、X-Y レコーダ・D-A コンバータ、ならびに操作スイッチのパネルより構成され、MELMIC-100 も同時に格納され、データの処理と、結果を出力する機能をもつ。出力部は、入力部と組み合わせて初めて機能を発揮する。すなわち磁気テープユニットは、READ・WRITE を兼ねており、電源も入力部にまとめて装置の重複をさせている。将来は専用の出力装置 1 台について、複数台の入力装置を持たせてデータ処理を行なわせることになるであろう。全体の外形寸法を図 2.5 に示す。

3. MELMIC-100

この装置は、はん(汎)用の論理演算機能を有し、従来より製作されている装置と比べて異なった特長を持っている。すなわち、従来からの装置は制御対象に合わせて性能を発揮させるため、半導体・抵抗器・継電器等の個別部品を組み合わせて、制御内容を構成していた。この方法によれば、装置の製作を開始する以前に、制御内容がすべて決定されていなければならず、製作途中または製作完了後の実用試験等で発生した制御内容変更には、多くの手数と時間を必要とする。そこで、制御内容を記憶する部分を特別に設け、この部分の書き込み内容によって、制御内容が決定されるように制御装置を構成することにした。

制御内容書き込み方法には、具体的には、書き込み変更が自由にできる RAM カードを使用する場合と、一度書き込まれた内容は永久に固定化される ROM カードを使用する場合の二つの方法が使用される。前者によって、本装置の特長である書換えが自由であるという機能を持たせ、必要に応じて制御内容を変更し、制御内容が最終的に決定された時点で、外部からのノイズやサージでメモリが破壊されないという利点を有する後者に、制御内容を持たせて使用する等、それぞれの特長を使い分けることができる。

このたび、この装置を使用して入力処理部より与えられるデータを、データメモリに記憶し、コンソールの押しボタンスイッチで指示された指令に基づいて、以下のようなデータ処理を行なう。

3.1 MELMIC-100 の構成

本装置で使った演算制御ユニット・データメモリ・インタフェースユニットのブロック図を、図 3.2 に示す。データ収集部から、図 3.3 に示すようにインタフェースユニットの入力レジスタを経由して、とりこまれる。

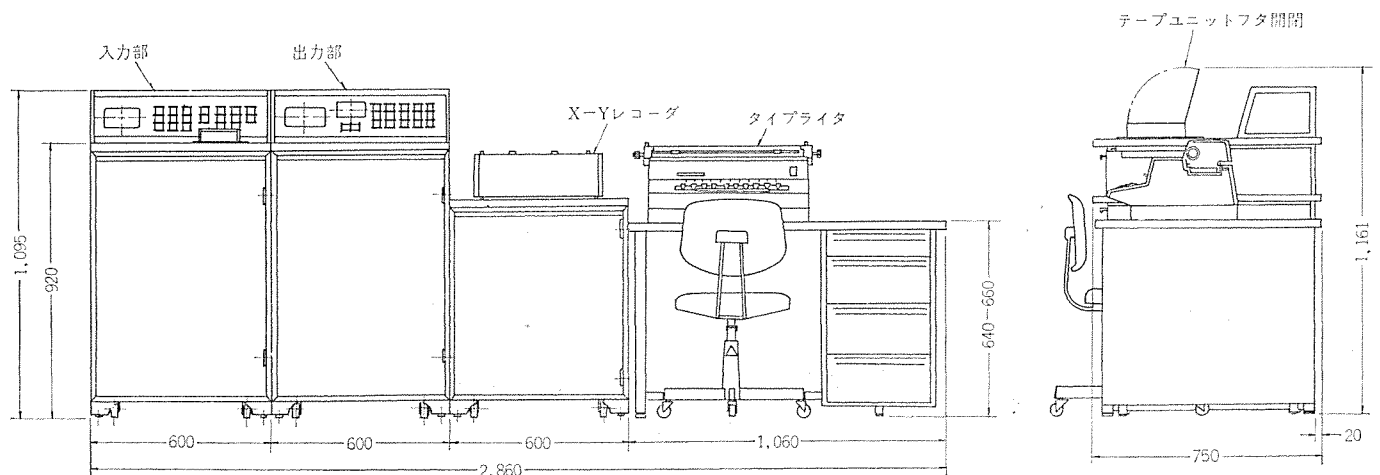


図 2.5 ATO 用データ処理装置外形寸法
Outline dimensions of data processor system for ATO.

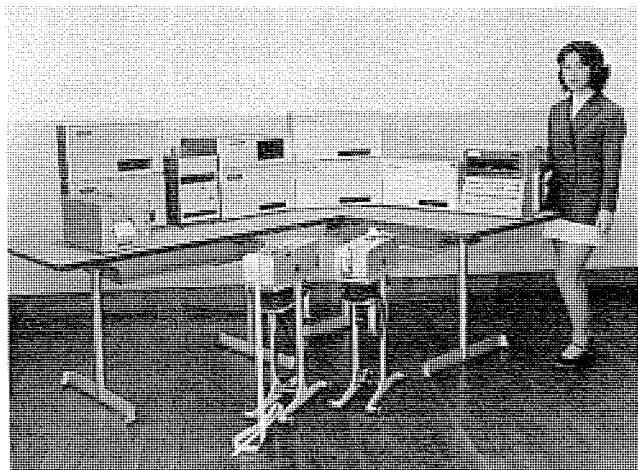


図 3.1 マイクロコントローラ MELMIC-100
Micro-controller MELMIC-100.

このとき割込みによって、新しいデータがはいったことを演算制御ユニットに知らせる方式と、演算制御ユニットには知らせないが、常に新しいデータがはいっている方式とを使い分ける。すなわち、図 3.3 のレジスタアドレス $R_{11} \sim R_{13}$ は前者で、 R_{10} のように、どの仕事をするかを外部から入力して、常にセンスする場合には後者を使用する。

これらのデータは、図 3.2 に示されるように、入出力バスを経由して演算回路で処理され、ふたたび入出力バスを経由し、データメモリのアドレス・データの両レジスタを使用して、メモリ部へ書き込まれる。一定量を記憶すると、仕事の種類にもよるが、出力レジスタを経由して出力処理部へいき、D/A 変換器を通して X-Y レコーダを駆動したり、タイプライタコントロールカード内のレジスタにストアされ、デコーダで打つべき語を選択して CO 命令でタイプする。

なお、この装置のタイプライタでは 16 種類の文字まで選択できる。詳細は周辺機器の項で述べる。

これらの ON-LINE の機器以外に、RAM 書き込み装置および ROM 書き込み装置があり、前者は書換え可能な RAM カードにプログラムを書くのに、RAM カードを演算制御ユニットにそう入してプログラムデバッグ用に使い、後者はプログラムが完成してからハードなメモリに直すときに使う。この ROM に直しておけば、電源スイッチを入れるだけで動作する。

3.2 ゼネラルフロー

このプログラムの概括的なフローを図 3.4 に示す。これからわかるように、このプログラムは大きく、分析ルーチン・印字ルーチン・X-Y レコーダルーチン・割込みルーチンに分けられる。このほかに、4 種類のサブルーチンを設け、プログラム中で繰り返して使用できるようにしてあるので便利である。以下、図 3.4 に従って制御内容を説明する。

まずスタートすると、イニシャルセットが行なわれ、次に分析、タイプライタ印字、X-Y レコーダあるいは X-Y レコーダと印字との双方の、四つの仕事のどれが外部のコンソールから選ばれたかをセンスする。

たとえば、X-Y レコーダが選ばれると、テープデッキをスタートさせる。テープが動き出すと、テープからのデータは 3 種類のデータグループとして、データヘッド・ワードヘッド・データエンドの 3 種の割込み信号で区別されて出る。3 種類のデータグループは、まず頭にデータ NO・地点間隔・時刻、次に各地点信号ごとに制御時間・地点数・ブレーキパターン・速度、最後にデータ NO・最終地点数・時刻より構成される。

まず、データヘッドの割込みが 1 回、次にワードヘッドの割込みが数百回かかると、最後にデータエンドがかかる。割込みルーチンのフローチャート

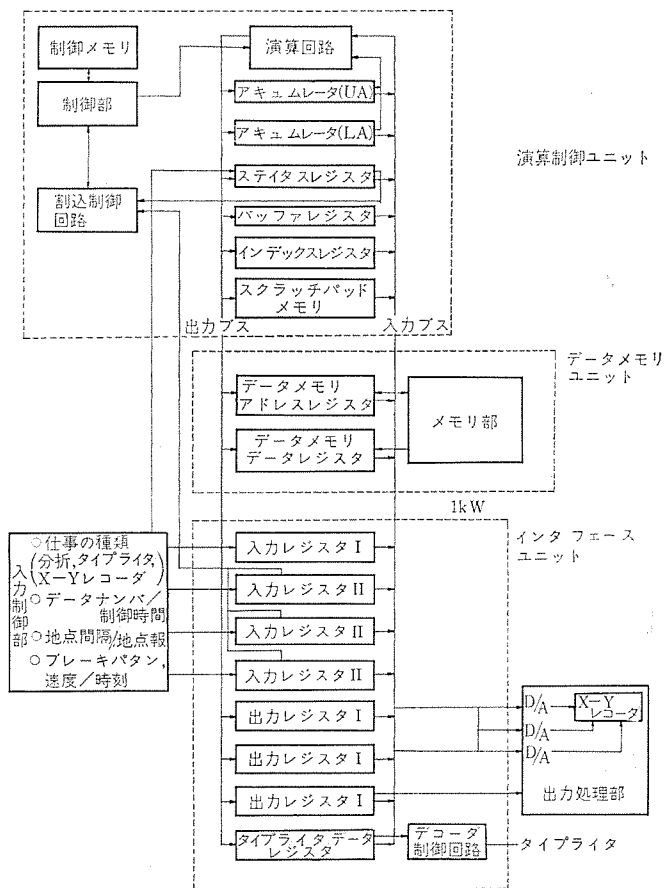


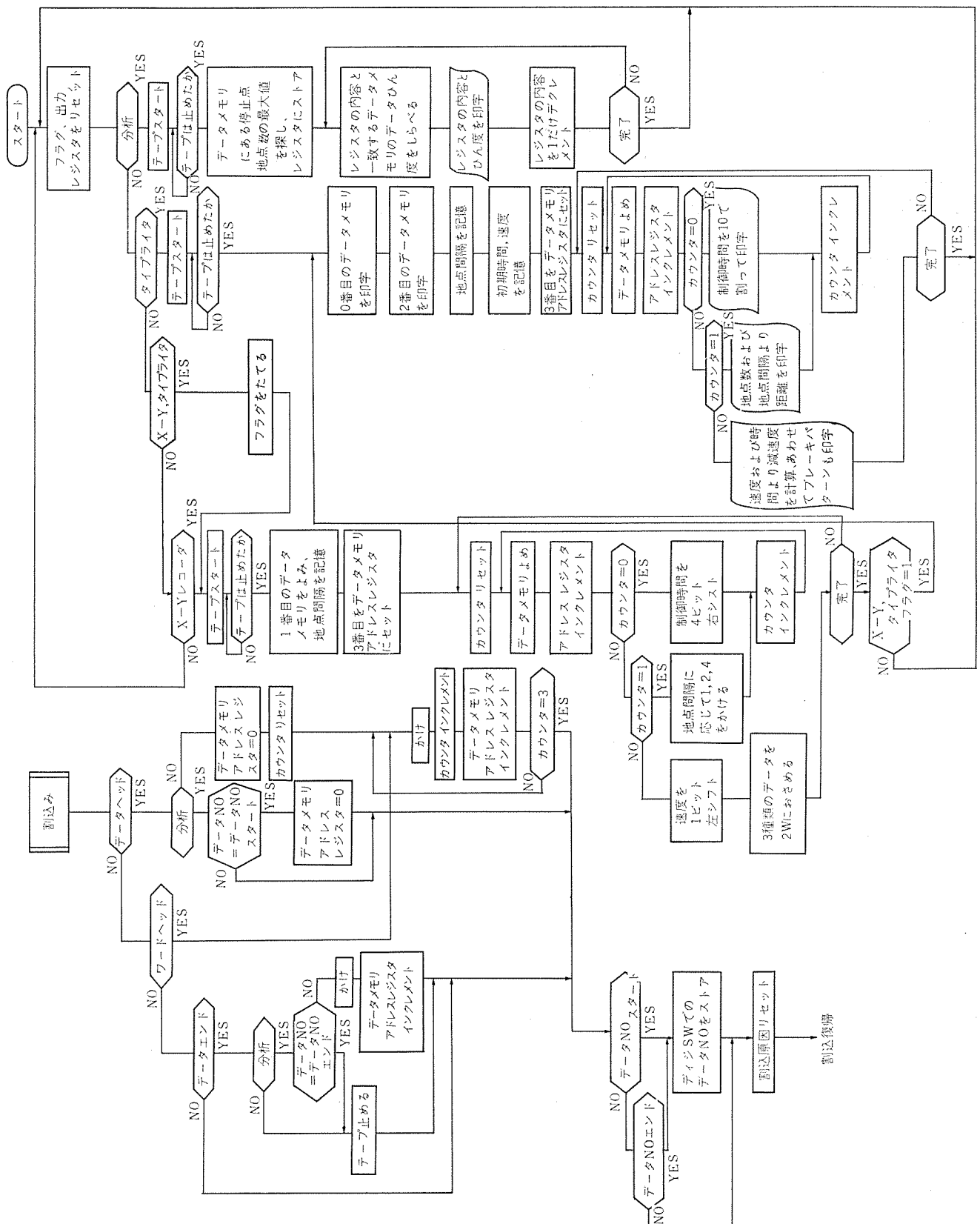
図 3.2 ATO データ処理装置に使用した MELMIC-100 ブロック図
Block diagram of MELMIC-100 in this system.

レジスタアドレス		
R_{10}	XTT 分 YXW 折	データナンバ (+進3けた) 入力レジスタ I
R_{11}		データナンバ/制御時間 入力レジスタ II
R_{12}		地点間隔/地点数 入力レジスタ II
R_{13}		時刻/ブレーキパターン、速度 入力レジスタ II
R_{14}		データメモリ アドレスレジスタ
R_{15}		データメモリ データレジスタ
R_{20}	制御時間	速 ※ 出力レジスタ I
R_{21}	度	距離 出力レジスタ I
R_{22}		出力レジスタ I
R_{23}	テープデッキコントロール	タイプライタ用 データレジスタ
R_{24}	ディスプレイレディ	
R_{25}	データエンド割込	ステータスレジスタ
R_{26}	データヘッド割込	
R_{27}	データ NO 設定割込	

使用しているレジスタのうち、入・出力に関係あるレジスタについてのみ抜き出した。
※速度は $R_{20}, 21$ にまたがっている。

図 3.3 レジスタ割り当て
Assignment table of registers.

では、データヘッドがかかると、分析でなければデータメモリのアドレスレジスタを 0 にして、0 番地から記憶しはじめる。ただし、1 回の割込



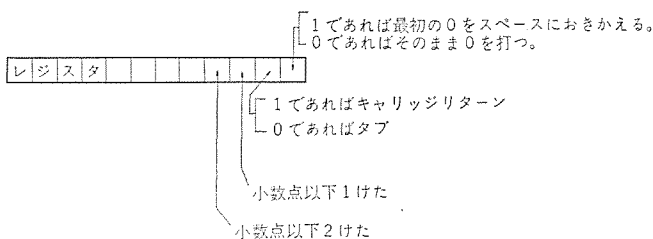
みごとに 3 語，つまりレジスタアドレス $R_{11} \cdot R_{12} \cdot R_{13}$ の 3 語を順番に取り込む必要があるため，三つのカウンタを使用する。同じように，ワードヘッド 1 回ごとに，3 語ずつデータメモリに書き込まれる。これらの割込みパルス間隔は数十 ms であるため，その間に怠っている仕事は可能である。最後に，データエンドの割込みを受けると，テープを止

める。止めると、ルーがほだけ、X-Y レコーダを動かしはじめる。

まず、0.5 m、1 m あるいは 2 m の地点間隔を調べて記憶しておく。次に、データメモリを3番目から順次読み出し、距離・時間・速度をピックアップして出力レジスタ2語に出力する。これにつながる D/A 変換器は10ビットであるので、 $3 \times 10 = 30$ ビットを $16 \times 2 W = 32$ ビット

におさめる。X-Y レコーダ には、距離を横軸に、時間と速度を縦軸にして出力する。距離は地点数より、地点間隔に応じて、1ビットか2ビットかシフトさせてX方向の振幅を一定に押える。MELMIC のインタフェースは負論理であり、D/A 変換器は正論理であるので、オール1と排他的論理和をとって出力させる。

次に、タイプライタが選ばれると、同じようにテープをスタートさせ、テープを止めたかと尋ねて、ループする。そのうちに、X-Y レコーダと同じように、データヘッド・ワードヘッド・データエンドと割込みがかかる。その間のデータは、すべてデータメモリに記憶され、データエンドでテープを停止する。このあたりの実際のシーケンスは、図3.4より少々複雑であり、デジタルスイッチでセットしたデータNOスタートとデータNOエンドの間のデータのみとところで、テープを止めるようになっている。データエンドの割込処理を終えてノーマルルーチンに復帰すると、ループを作っていたのがほどけ、印字ルーチンにはいる。まずデータメモリの0番目にはデータナンバがはいっているの、これを印字する。なお、印字する際にはサブルーチンを設け、レジスタにフラグをたててその条件でサブルーチンに飛ぶと、指定した様式で印字ができる。これを次に示す。



データメモリの1番目には地点間隔がはいっているの、これを記憶しておく。データメモリの2番目には時刻がはいっているの、これは印字する。このあとは、各地点ごとの繰り返し印字である。まず減速度算出の準備として、初期時間・初期速度をストアしておく。まず制御時間をデータメモリから呼び出し、これがmsの単位であるので、10で割って00.00秒の単位で打ち出す。データメモリの次のアドレスからは、地点数を呼び出して印字する。

次に、地点間隔の0.5m、1mあるいは2mに応じて2で割ったり、2をかけたりして距離を出し、印字する。データメモリの次のアドレスからは、ブレーキパターンと速度とを呼び出し、まず速度を印字する。次に前の速度との差をとり、前の時間との差を同じようにとり、前者を後者で割って減速度を算出し、印字する。次に、ブレーキパターンを0と1で印字する。これを各地点ごとに打ち出す。

タイプライタ/X-Y レコーダが選ばれると、まずX-Y レコーダを動かし、次にタイプライタを動かす。それぞれ上述したことを続けて行なうだけである。

分析が選ばれると、デジタルスイッチで指示した、データNOスタートからデータNOエンドまでの停止点位置の度数分布を分析する。これも同じようにテープをスタートさせ、テープを止めたかを尋ねてループするが、そのうちにデータヘッドの割込みがかかり、そのデータNOがデータNOスタートと一致すれば、フラグをたて、そのデータグループのデータエンドがかかると、最終地点数をデータメモリにとりこみ、データNOがデータNOエンドと一致すれば、テープを止める。そして、ノーマルルーチンでループしていたのがほどけ、分析作業を開始する。まず、とり込んだデータ内で最大値を見つける。そして、データメモリにストアされている各データと一致するかどうかを調べ、一致するひん度をしらべ、最終地点数とそのひん度とを並べて印字する。次に、最大値より1を減じたものと一致をとり、ひん度を調べて印字するというよ

うに、次々と1を減じて0になるまでのひん度を調べる。ひん度が0であれば、印字させないようにしている。

4. 周辺機器

4.1 データ収集部

(1) 入力整合部

入力信号を処理して、バイナリコードに変換する。

(a) レベル変換

入力: DC 24V $\pm 100\%$
 $\pm 50\%$
 出力: DC 5V $\pm 10\%$

(b) チャタレス回路

入力: トランスファ 接点入力 負論理
 出力: DC 5V $\pm 10\%$

(c) バイナリカウンタ (時間カウンタ, 地点カウンタ)

最大 カウント 数: 65, 535
 出力: バイナリ, 16ビット, IC レベル

(d) 自動平衡形周波数カウンタ (速度カウンタ)

入力周波数: 0~65, 535 pulse/s
 出力: バイナリ, 16ビット, IC レベル

逐次比較形

(2) P-S 変換

入力整合部を通してバイナリコードに変換され、地点ごとのデータとして3ワードで表わされた入力データを、1ビットずつ順にシフトしてシリアルなデータとして、磁気テープ入力部あるいはデータ処理部へ転送する。P-S変換のブロック図を図4.3に示す。図4.3でP-Sコントローラは、シフトレジスタへのパラレルデータの入力制御と、パリティ入力・データ判別入力の制御、およびシフトパルス の制御を行なう。シフトレジスタは、MSI (M 53296 P) で構成され、並列入力・直列出力の機能を有する。シフトレジスタの出力として、フレームマークを除いたそのまゝの出力と、各ビットを逆にした出力との2本の出力をそれぞれA-BUS, B-BUS に与えるようにして、パリティチェックとあいまってデータ転送の信頼度を大幅に高めている。

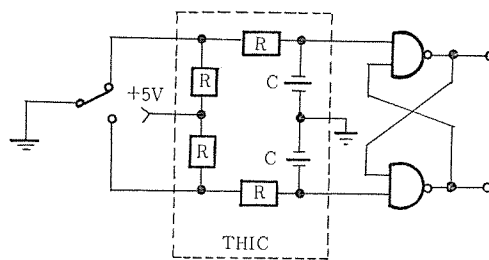


図 4.1 チャタレス回路
Circuit of chatterless.

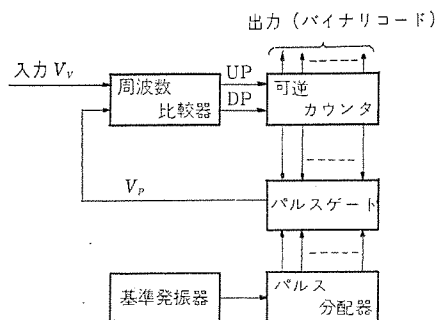


図 4.2 自動平衡形周波数カウンタブロック図
Block diagram of balance type frequency counter.

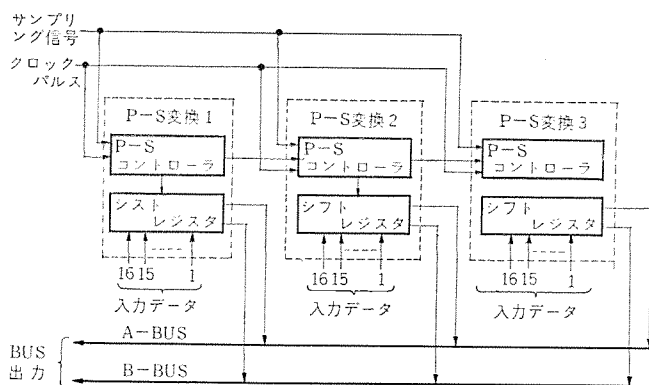


図 4.3 P-S変換ブロック図
Block diagram of P-S converter.

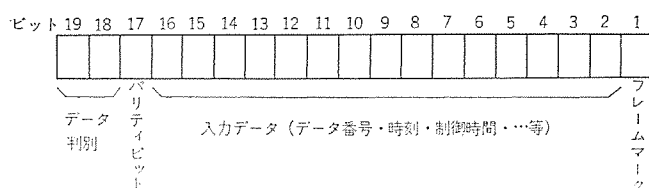


図 4.4 シフトレジスタのビット構成
Bit format of shift register.

図 4.4 にシフトレジスタのビット構成を示す。データ判別には2ビット使用し、データブロックの最初のデータ、2番目以降のデータ、最後のデータの判別を行なう。

(3) 入力用操作盤

投影式数字表示器・動作表示灯・パイロットランプ付きプッシュボタンスイッチから構成される。

(a) データ番号設定・表示

- データ入力形式選定
- 磁気テープ記録 (サンプリング)
- 磁気テープ記録 (連続)
- 直接入力

(b) データ入力のスタート・ストップ制御

(c) 電源表示

(d) 磁気テープ装置状態表示

(4) A-D変換モジュール

- 入力: $-5 \sim +5V$
 - $0 \sim +10V$
 - $0 \sim -10V$
- のいずれか

出力: バイナリコード 10ビット

負荷: 4TTL

変換時間: $20 \mu s$

(5) 電源装置

直流安定化電源定格

+ 5V	30A
- 5V	2A
+12V	2A
-12V	2A
+24V	5A

4.2 データ処理部

(1) S-P変換

磁気テープから再生されたデータ、あるいはデータ収集部のA-BUS・B-BUSからのデータは、それぞれ1ビットずつシリーズに出てくる

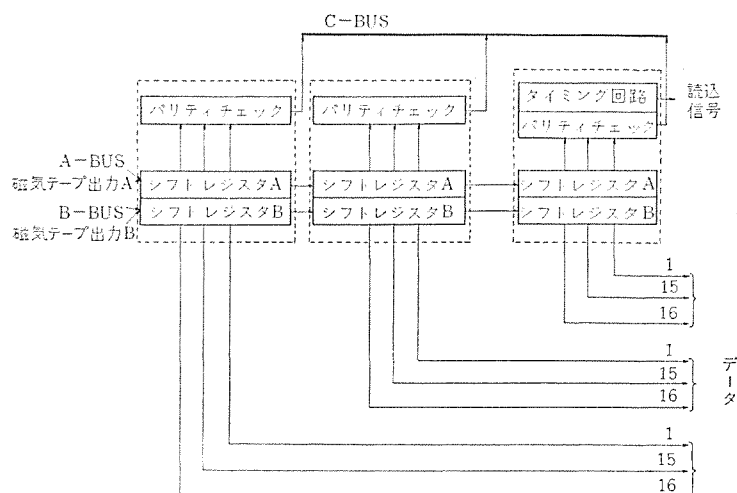


図 4.5 S-P変換ブロック図
Block diagram of S-P converter.

ので、これらを1ワードごとにまとめて、3ワードを並列にMELMICの入出力レジスタに与えなければならない。このために直並列変換が完了した時点で、データをMELMICに読み込ませるための読み込み指令を、割込み信号としてMELMICに与える。

3ワードのうち、どれか1ワードでもパリティチェックで誤りが検知されると、読み込みのための割込信号は出されず、そのデータはMELMICの中に取り込まれない。図 4.5 にS-P変換のブロック図を示す。

(2) 出力整合

MELMICからのバイナリ出力を、ICレベルから24Vレベルにアップしたり、デジタル・アナログ変換を行なうインタフェース。

(a) アンプ回路

- 入力: TTLあるいはDTL出力
- 出力: オープンコレクタタイプ

(b) D-A変換モジュール

- 入力: バイナリコード 10ビット
- 出力: $0 \sim +2mA$ (電流)
- $0 \sim +10V$ (電圧)

(3) 出力用操作盤

処理データ番号範囲設定用のデジタルスイッチ・MELMICに取り込まれているデータ番号を、表示するための投影式数字表示器・動作表示灯・パイロットランプ付きプッシュボタンスイッチから構成される。

(a) 処理データ番号範囲の設定

(b) 処理データ番号範囲をMELMICに入力する

(c) ディスプレイ方法の選択

- X-Yレコーダ
- X-Yレコーダとタイプライタ
- タイプライタ

(d) データ処理のオン・オフ指示

(e) 統計データディスプレイの指示

(f) 磁気テープ装置状態表示

4.3 標準時刻発生器

水晶発振器の基準周波数を分周計数し、24時間の周期で標準時刻を秒単位まで、B・C・Dコードの時刻単位コードを発生させる。

仕様

- 出力: 時、分、秒 B・C・Dコード並列出力
- 出力レベル: ICレベル (負荷 $1k\Omega$)

周波数安定度: $\pm 2 \times 10^{-8}$ /日以内

電 源: AC 100 V $\pm 10\%$ 60 Hz

外形寸法: 100(H) \times 400(W) \times 390(D)

4.4 カセット式磁気テープユニット

カセットテープは、テープが小形のカセットに格納されているため、テープを傷つけることがなく、持ち運び・保管に便利で、オープンリールテープと比べて、テープの着脱・早送りの操作が簡単にできる。

仕 様

テープスピード: 7.5 inch/s

スタート・ストップ時間: スタート時 20 ms

ストップ時 20 ms

I. R. G.: 0.6 inch 以下

記録密度: 800 BPI

テープトラック数: 2トラック

記録方法: PHASE ENCODING

データ転送速度: max. 6 k bit/s

巻戻し時間: 60 s 以内

テープセルシグ: BOT, EOT

磁気ヘッド: 2トラック Read/Write

ユニット外形寸法: 140(H) \times 135(W) \times 195(D)

4.5 タイプライタ

タイプライタ用データレジスタは6ビットであるので、最大64種類まで区別できるが、文字数より46種になっており、このときにはコントロールカードが3枚必要であるが、本装置にはコントロールカードが1枚、つまり16種類の文字まで印字できる。文字コードは、励磁するソレノイドとコネクタの配線を変えると、任意にできるが、数字はBCDで出力して印字すると、便利であるので、ある程度決まってくる。また、他のソレノイドもある程度制限するほうが、工作も便利である。本タイプライタのコードは、

コード

0 0 0 0

0 0 0 1

0 0 1 0

0 0 1 1

0 1 0 0

0 1 0 1

0 1 1 0

0 1 1 1

1 0 0 0

1 0 0 1

1 0 1 0

1 0 1 1

1 1 0 0

1 1 0 1

1 1 1 0

1 1 1 1

文 字

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

キャリッジリターン(ニューライン)

Ribbon OFF

Ribbon ON

.

スペース

タブ

したがって、数字を印字する場合には、バイナリ→BCDのサブルーチンを使用すれば、そのまま印字できる。

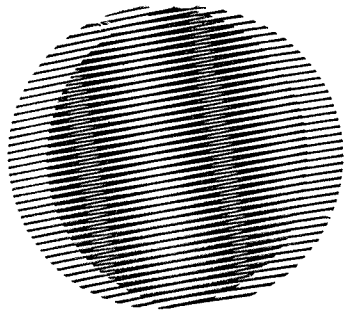
用紙にはロール紙を使用し、巻取機を設けている。

5. む す び

ATO用データ処理装置の大略について述べたが、この装置でモニタするATOシステムについては、本号に別題目で詳述されているので、参考にされたい。

今後自動運転システムの一部として、この種の装置が取り入れられ、列車自動運転方式検討のベースになるであろうと確信される。

最後に、この装置の設計・製作ならびに試験にあたり、終始ご指導いただいた大阪市交通局 信号通信課、ならびに車両課その他の関係各位に深く謝意を表するものである。



新製品紹介

NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器

永久ヒューズの応用品として、NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器および、これを利用して完全な保護協調ができ永続使用のできる、コンビネーションスタータを開発したので紹介する。

NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器は、新しく開発した D 形負荷開閉器と永久ヒューズを一体に形成したもので、独特な接点加圧装置を内蔵し耐溶着性を飛躍的に向上させた高信頼性「H シリーズ」電磁開閉器と組合せて使用した場合、永久ヒューズの限流作用と、「H シリーズ」電磁開閉器の高い耐溶着性の相乗効果により AC 460 V、50 kA 以上の短絡電流しゃ断容量をもつコンビネーションスタータとして使用することができる。

このコンビネーションスタータは大きな短絡電流をくり返ししゃ断することができ、かつ短絡時にも損傷を受ける器具がまったくないというきわめて信頼性の高いものである。

短絡事故が起こってもただちに継続使用を必要とするようなシステムとしての信頼性を特に要求される用途に使用すれば、非常なメリットを発揮する。

■ 特 長

(1) パーフェクトなコンビネーションスタータの実現

50 kA までの全電流域について完全な保護協調をもち、これをカバーするコンビネーションスタータを実現できる。しかも 460 V、50 kA の短絡電流をくり返ししゃ断することができかつ、短絡事故による電磁接触器の接点溶着等の損傷がまったくなく、まさにパーフェクトなコンビネーションスタータを提供できる。

(2) すぐれた性能の負荷開閉器

D 形負荷開閉器は 400 V で定格電流の 10 倍以上のしゃ断容量をもち、しかも定格電流の 100 倍以上の短時間許容通過電流をもっており、モータ負荷電流を直接開閉することも可能である。

(3) 短絡事故の軽微化が可能

永久ヒューズを内蔵しているため短絡事故が起こっても電流を大幅に限流することができるため、事故点の事故の状況および事故の波及を最小限に食い止めることができる。

(4) 外形寸法が小さい

非常にコンパクトにまとめられているため、寸法が小さく、パネル取り付け面積の節約が可能である。

[名古屋製作所]

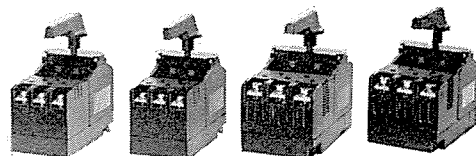


図 1 NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器

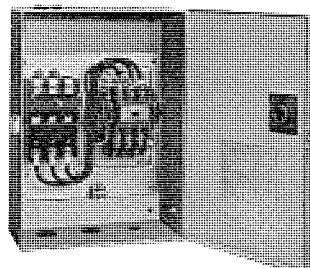


図 2 NS 形負荷開閉器を使用したコンビネーションスタータ

機種と定格

形 名	定格電圧 V	定格電流 A	閉路しゃ断容量*		短絡電流しゃ断容量** kA
			220 V	440 V	
NS-35	AC 460	35	1,000	1,000	50
NS-65		65	1,000	1,000	50
NS-100		100	2,000	1,500	50
NS-150		150	2,000	1,500	50

注) *印：D 形負荷開閉器の定格

**印：NS 形永久ヒューズ付き負荷開閉器と H シリーズ電磁開閉器を組み合わせた場合

MS-E シリーズ電磁開閉器、接触器

電磁開閉器の需要の増大と多様化した用途に対し軽負荷用として小形・軽量で経済的な電磁開閉器 MS-E シリーズの開発を完了し発売した。これは好評を得ている MS 形電磁開閉器標準 S シリーズの実績をもとに各種試験確認のうえ、同容量に対する小形化を計った経済シリーズである。

このシリーズの発売により MS シリーズは標準 S シリーズのレッド定格(重負荷)、グリーン定格

新製品紹介

(標準負荷)に経済形 E シリーズの軽負荷を加えて三つの定格系列がそろい、用途・使用条件に応じてよりいっそう経済的な選定が可能になった。

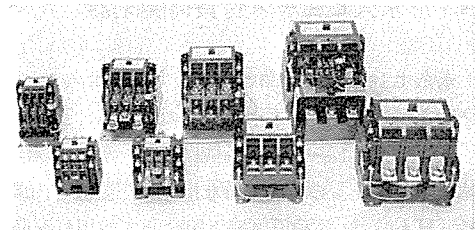
- 特 長
- (1) 経済的な選定が可能で、使用条件により大幅な原価低減可能
 - (2) 標準 S シリーズに比べ寸法・重量とも約 30 % 縮小され小形軽量である
 - (3) 耐溶着性、耐消耗性の優秀な特殊銀合金接点の採用で開閉性能がすぐれている
 - (4) JEM 規格 AC 3 級 1 号 1 種の高性能・長寿命

■ 定格・仕様

箱 入 り の 場 合					開 放 形 の 場 合						
形 名	定格容量 (kW)		定格電流 (A)		形 名	定格容量 (kW)		定格電流 (A)		定格通電電流 (A)	
電磁開閉器	三相かご形電動機		200 V	440 V	電磁開閉器	三相かご形電動機		220 V	440 V		
	200~220 V	380~440 V				200~220 V	380~440 V				
MS-E35	7.5	11	35	25	MSO-E35	S-E35	11	11	48	25	50
MS-E50	11	19	48	40	MSO-E50	S-E50	15	19	65	40	65
MS-E65	15	30	65	60	MSO-E65	S-E65	19	30	80	65	80
MS-E80	19	37	80	80	MSO-E80	S-E80	22	37	93	80	100
MS-E100	22	45	93	90	MSO-E100	S-E100	30	55	125	110	125
MS-E125	30	60	125	125	MSO-E125	S-E125	37	75	150	150	150
MS-E180	45	90	180	180	MSO-E180	S-E180	55	100	220	200	220
MS-E220	55	110	220	220	MSO-E220	S-E220	65	110	260	220	260
MS-E400	100	200	400	400	MSO-E400	S-E400	100	200	400	400	450

可逆形も同じ

[名古屋製作所]



ZE 形パウダクラッチ シリーズ

パウダクラッチ は動力伝達の媒体として パウダ (磁性粒子) を使用しているため、入力軸と出力軸の相対回転数に関係なく、トルク 制御ができるなどの数多くの特長がある。

これらの特長をいかして、産業機械、情報機器の自動化、高速化、高精度化に役立ってきた。

今回、需要増大に答えて、現在までの実績と市場の意見を十分とり入れて、新 シリーズ Z E-A 形 クラッチ と ZE-W 形 ブレーキ、各 4 機種を開発完了し、8 月 1 日より新発売した。

- 特 長
- (1) コイル 静止、軸貫通形とし、機械への取り付けを容易とし、取り付け場所をとらない。
 - (2) クラッチシリーズ は外周に冷却 ファン をもうけ熱放散をよくした。
 - (3) ブレーキシリーズ は熱容量を増大するとともに、必要な熱容量に応じてプロア 冷却、強制空冷、水冷が容易に使われられる。
 - (4) 出力側回転部の慣性 モーメント (GD²) を小さくし、応答性をはやくするとともに、高頻度で十分使用に耐えるような構造である。
- 今後、この新機種を中心に、緩衝起動、高頻度起動、定位置停止、強力制御、トルクリミット

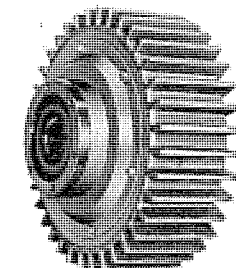


図 1 ZE-A 形 パウダクラッチ

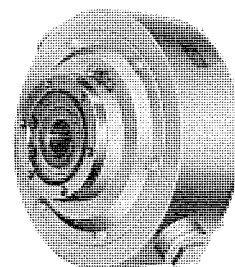


図 2 ZE-W 形 パウダブレーキ

タなどに増大することが期待できる。

期待できる分野としては、軽金属はく(箔)加工機、合板加工機、印刷機械、合成フィルム加工機、紙加工機、製袋機、食品加工機、繊維機械、自動包装機、電線機械、ねん(撚)線機、荷役機械、などがある。

ZEシリーズ諸元

電圧 DC 24 V

	形 名	トルク kg・m	電 流 A	外 径 mm	幅 mm	軸 径 mm	慣性モーメント		重 量 kg
							入 力 kg・m ²	出 力 kg・m ²	
ク ラ ッ チ ー ズ	ZE-1.2 A	1.2	1.0	165	103	18	5.5×10^{-2}	1.8×10^{-3}	8
	ZE-2.5 A	2.5	1.6	195	119	20	1.2×10^{-1}	5.1×10^{-3}	12
	ZE-5 A	5	2.1	240	148	30	3.1×10^{-1}	1.7×10^{-2}	21
	ZE-10 A	10	2.4	280	166	35	6.8×10^{-1}	3.4×10^{-2}	30
ブ レ ー キ ー ズ	ZE-1.2 W	1.2	0.4	144	75	18	1.7×10^{-3}	—	7
	ZE-2.5 W	2.5	0.5	180	90	20	5.1×10^{-3}	—	11
	ZE-5 W	5	1.0	220	113	30	1.7×10^{-3}	—	19
	ZE-10 W	10	1.2	265	128	35	3.3×10^{-2}	—	28

[姫路製作所]

LSH-E 形高圧配電箱

当社では、新形高圧電磁接触器 (SH-S シリーズ) を収納した 3 kV 級の高圧配電箱を新しく発売した。

この配電箱は、高圧電動機の各種 スタータ (じか (直) 入れ、人-Δ および リアクトル 起動) として、また変圧器およびコンデンサの一次開閉器盤として広く適用できる、なお電力ヒューズと組合せたコンビネーションも系列化した。

本製品は、保守、点検と安全性に重点をおき次のような特長を盛り込んでいる。

■ 特 長

(1) 保守、点検が容易、高い安全性

a. 高圧電磁接触器部分は、引出一回転形のため保守、点検が容易。引出しのさい負荷電流を切らない電氣的 インタロック を設けてあり安全である。

b. 高圧電磁接触器部分は、引出しのさいテストポジション 位置が設けてあり、二次側に接続されている負荷の点検が容易。

c. 高、低圧部分を完全分離し安全性が高い。

d. 内蔵機器とは、完全にセパレートした配線ダクト室を設けた。

(2) 段積み、列盤も可能

(3) 短納期に即応

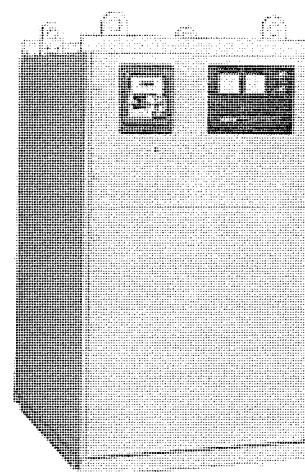
■ 仕 様

(1) 定格電圧 3,300 V

(2) 定格電流 100 A, 200 A

(3) 定格しゃ断容量 25 MVA

(4) 操作方式 AC 200/220 V



LSH-E 形 高圧配電箱

(5) 適用負荷

電動機	37～750 kW
変圧器 (三相)	5～1,000 kVA
コンデンサ (三相)	20～750 kVA

[名古屋製作所]

コントロールセンタ用 CLN 形 限流装置

最近、各種プラントの大形化とともに電気設備容量も大きくなり、非常に大きなしゃ断容量が必要となってきた。この限流装置は当社が先に開発している「永久ヒューズ」の画期的な限流特性に着目し、永久ヒューズ付限流装置にまとめ、コントロールセンタの電源引込み口に組込んだものである。しゃ断容量は事実上無限大（試験設備による確認値で AC 460 V, 200 kA）である。

この CLN 形限流装置を組込んだコントロールセンタのおもな特長は次のとおりである。

■ 特 長

(1) 経済的

ユニットに使用する分岐ブレーカは、はん用品でもしゃ断容量を一躍 200 kA に格上げできるので非常に経済的。

(2) 選択しゃ断も可能

図 2 に示した電路において、メインノーヒューズブレーカに短限時機構付を採用すれば、事故回路の分岐ユニットのみを切離し、健全回路は負荷の連続性が確保できる。ノーヒューズブレーカは選択しゃ断ができないという壁を突破した。

(3) 小形ですぐれた特性

従来の空心リアクトル限流器に比し

- スペースは 1/3 に減少
- 電力損失は約 1/4
- 定常時の電圧降下は 1/10 以下

(4) 適用定格電流が大

限流線方式では 60 A 程度が限度であるが、この限流装置は閉鎖形で 500 A、換気形で 600 A まで製品化完了、受注製品の 1 号および 2 号を 47 年 1 月に 43 セット納入し、本運転に入っている。

[名古屋製作所]

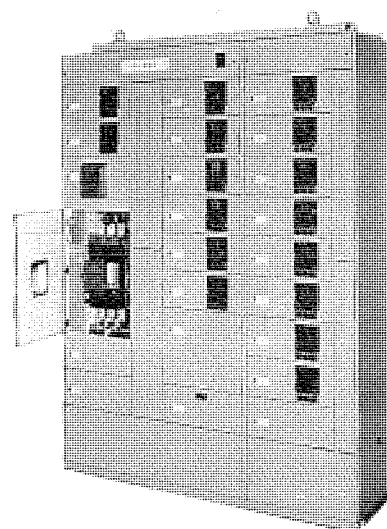


図 1 CLN 形 限流装置組込み
コントロールセンタ

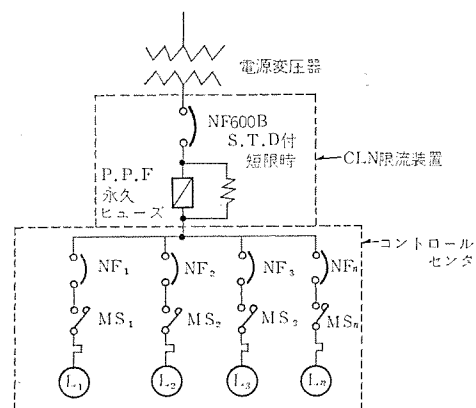
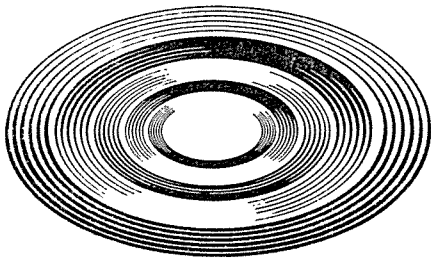


図 2 CLN 形 限流装置のスケルトン



国産初の端末制御装置

“スマートターミナル コントローラ” 開発

三菱電機では、このほど国産では初めてのマイクロプログラム制御方式によるはん用の端末制御装置“スマートターミナル コントローラ”の開発に成功し、7月より生産・販売活動を開始する。

この“スマートターミナル コントローラ”は、同一種類あるいは異種の端末機器を複数台同時に制御する装置で、制御方式がプログラマブルであり、ユーザはシステム設計を自由に行ない、これまでのようにハードウェアの接続上の制約にとらわれずに、業務目的に合った端末システムを構成することのできるはん用性の高い制御装置である。

■ 開発意図

(1) 今後の端末機器の利用の傾向としては、ユーザの業務の複雑化・高度化・高速処理化に伴い、

- (a) 端末装置の種類の多様化および設置台数の増大
- (b) 複数の端末装置の同時併行処理
- (c) 端末装置の構内での分散設置化およびそれを集中制御することによる回線コストの低減
- (d) 複数の異種業務のオンライン処理
- (e) オンラインおよびオフライン処理の同時処理

などが要求されつつある。

(2) 三菱電機では、これらのことに早くから着目し、開発計画を進めてきた結果このほどこれらの諸要求を一挙に解決し、端末システムとしての効率を高めることのできる“スマートターミナル コントローラ”の開発に成功した。

(3) 本装置は MELCOM-7700/7500 シリーズ等の MELCOM 各計算機シリーズの端末システムに組込んで販売していくほか OEM 販売も予定している。

■ 用途

本装置は、

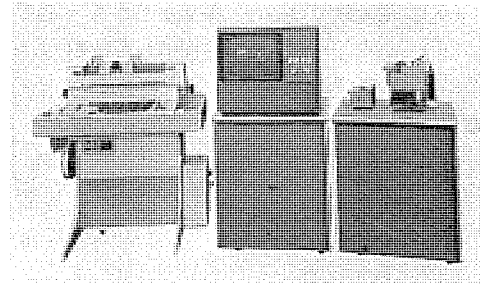
- 金融・農協業務
- 予約サービス業務
- 流通・物流管理業務
- 生産・工程・資料管理業務
- 日常事務管理業務（伝票発行、照会問合わせなど）

などの各分野の端末システムの制御装置として使用でき、特に次のような機能が要求される場合に経済性の高いシステムをくむことが可能である。

- (1) 同一建屋内で異種あるいは同種の複数台の端末を使用し、それらを集中制御させたい場合
- (2) 通信制御機能を持たない端末にその機能を付加し、遠隔端末装置として使用させたい場合
- (3) 複数の端末を同時制御し、回線効率を高め運用コストの低減を図りたい場合
- (4) オフラインおよびオンライン処理を同時に行なわせたい場合
- (5) 複数の異種業務をオンライン処理させたい場合

■ 特長

- (1) 制御方式がプログラマブルであり端末装置を多目的に使用できると共に、システムの変更あるいは拡張が容易である。
- (2) オンラインデータ伝送機能をもっている。



三菱 スマートターミナル コントローラ

(3) 多種類かつ複数の端末装置を集中制御し、単一回線に接続できることにより回線効率の向上および回線コストの低減を図ることができる。

(4) 複数端末の同時動作およびオンライン、オフライン処理が可能でありコストパフォーマンスがきわめて高い。

(5) 端末側でチェック、編集などのデータ処理を行なうことができる。

(6) 誤操作に対し、保護機能をもっているため操作能率が良い。

(7) LSI, MSI の採用により高信頼性、小形・軽量化を実現した。

■ 主要性能

- | | |
|------------------|------------------------------------------------------|
| (1) プロセッサ 命令実行速度 | 4 マイクロ 秒 |
| (2) メモリ 容量 | 最大 16 K 語 (8 ビット/語) |
| (3) メモリ 増設単位 | 0.5/2/4 K 語 |
| (4) メモリ 保護 | 可 能 |
| (5) 割込機能 | あ り |
| (6) 伝送速度 | 最大 2,400 ボー, 全二重/半二重
ISO 標準伝送符号 |
| (7) 伝送方式 | ボーリング または コンテンション 方式 |
| (8) 入出力制御 | プログラム 制御方式 |
| (9) 標準接続端末 | キーボード プリンタ
キャラクタ ディスプレイ
紙 テープ リーダ
紙 テープ パンチ |

[鎌倉製作所]

高層化時代のビルディング自動窓ふきシステム実用化

三菱電機ではこのたび米国の アルパ 社と自動窓拭きシステムについて技術提携を結び(政府に申請中)。国内で初めて、ビルディングの窓ガラスと壁面を自動的に清掃するきわめてユニークな装置を国産化し実用化することになった。(特許・新案 50 件申請中)

最近超高層ビル建設が急増しておりビルディングの高層化に伴う人手による清掃の危険性、人手不足の深刻化、労務費の向上、大気汚染による汚れの増大、あるいはホテルなどの客室でのプライバシーの確保など、窓ガラス清掃の合理化、省力化が各関係方面から強く要望されていた。

この装置は屋上におく「ルーファー」と昇降して窓と壁面を清掃する「自動ワッシャ」からなり、ワンマンリモートコントロール方式によって操作するクリーニングシステムである。

この装置は超高層ビル時代の先駆けとして新しい需要を先き取りする製品であるが、さらに将来はコンピュータ制御による完全無人化も計画している。

この装置は従来の方式に比べ清掃員の削減および清掃期間の短縮により、ランニングコストが大幅に減少。ビル管理費の低減をもたらす年々の人件費上昇下において経済効果はさら

に増大することになる。

■ 装置の構成

ビルディングの屋上にルーフカー（走行装置、巻揚装置、制御装置等を収納）を配し、ワイヤでワッシングユニットを吊下げ、昇降操作して窓ガラスおよび壁面の汚れを自動で清掃する。

■ 装置の動作

屋上のルーフカーによってワッシングユニット（自動清掃装置）をビルの壁面にあるガイドレールにはめ、操作員の清掃指令で自動運転によって作業する。

（1）清掃の始動・停止および移動などの制御は、押ボタンスイッチ、リミットスイッチによって確実に操作される。

（2）窓ガラスおよび壁面の清掃は、ワッシングユニットが行なう。

清掃作用は、洗浄液により窓ガラスや壁面へ付着している汚れや不純物をブラシで洗い落とし清掃面の水分はフィルタを通して回収し再使用される。

■ 装置の特長

（1）ワーマンによる遠隔操作で確実に清掃ができるので大きな省力効果が得られる。

（2）ワッシングユニットは無人で自動操作するので窓拭き作業が安全であり、かつ迅速にできる。

（3）操作が非常に容易で保守も簡単に行なえる。

（4）運用コストは、有人方式の約1/5と安価で、経済性の高い装置である。

（5）各部には十分な安全性、信頼性を保障するためのインタロックが施されており、不測の事故には万全を期している。

（6）ホテル等の客室のプライバシーが確保できる。

■ 装置の仕様と性能

- （1）清掃速度： 12～18 m/min
- （2）昇降形式： 電動ホイスト
- （3）給電方式： ケーブル入りワイヤロープ
- （4）電源： 400 V, AC, 三相 50/60 Hz
- （5）洗浄液容量： 約80 l
- （6）使用温度範囲： -15°～55°C



自動窓ふき機

[本社 機器事業部]

当社の登録実用新案

名 称	登録番号	考 案 者	名 称	登録番号	考 案 者
扇風機首振角度調整装置	927897	増田 元 昭	スチームアイロン	929264	荒 木 勲・高 橋 洋
蛍光放電管	927898	{竹田 俊幸・栗原 稔	深夜電力用温水器	929265	赤羽根正夫・根岸宣匡
自動 トースター	927899	{飯田 義彦・野畑昭夫	音響機器の扉開閉装置	929266	川 名 良 一
電気器具の リード 線引出部	927908	{原 崎 実・熊 沢 裕	電気温水器	929267	赤羽根正夫・根岸宣匡
救助幕装置	927910	岡 部 勇	電気温水器の給筒装置	929268	赤羽根正夫・根岸宣匡
放電灯用安定器のコンデンサ 取付装置	927911	宇 川 彰	電気温水器の給筒装置	929269	祖父江常雄・根岸宣匡
ローゼットカバー	927913	岡 田 常 弘	電気 アイロン	929270	{町原義太郎・荒 木 勲
ローゼットカバー	927914	山 崎 肇・井上 員 成	電気 アイロン	929271	{石 井 寛 夫
レーザ 用 Q スイッチ	927915	山 崎 肇・井上 員 成	電気 アイロン	929272	高 橋 洋・石 井 寛 夫
トースター	927918	{中原昭次郎・伊藤克能	換気扇	929273	荒 木 勲・石 井 寛 夫
垂直 バスダクト の導体支持装置	927921	{草川英昭・野畑昭夫	押出し式温水器	929274	田 口 幹 雄
トースター の反射板取付装置	927922	{小川 昇・長沢 英 治	電動 バサミ	929275	{赤羽根正夫・鶴谷嘉正
トースター	927923	可知 延 夫	電動 バサミ	929276	{宮崎 昭 信
蓄熱式 ヘアカーラー	927924	岡 部 勇・篠崎 幸 三	石油燃焼機の消化装置	929277	服 部 信 道・穂坂 修 六
パネル 着脱付き トースター	927926	小 川 昇・岡 部 勇	赤外線 アイロン	929278	服 部 信 道・穂坂 修 六
パネル 着脱付き トースター	927927	小 川 昇・森 本 勇	空気調和機	929279	杉 内 豊・佐藤 正 雄
パネル 着脱付き トースター	927928	鶴谷 嘉正・大須賀通孝	空気調和機の制御装置	929280	{町原義太郎・荒 木 勲
電気掃除機	928117	鶴谷 嘉正・大須賀通孝	石油燃焼機の燃焼筒	929281	{石 井 寛 夫・川 村 宏
電気掃除機の集塵容器	928118	武井久夫・加藤 悟	空気調和装置	929282	長瀬 卯三郎
電気掃除機	928119	武井久夫・加藤 悟	窓掛形空気調和機の取付装置	929283	木ノ内達夫
ポンプ の自動運転装置	928120	加藤 悟・田 山 勇	窓掛形空気調和機の遮閉装置	929284	杉 内 豊・安原 治 夫
電気掃除機用集塵袋	928121	井上 誠 二	アイロン 載置台	929285	貝 瀬 俊 朗
電気掃除機	928122	{武井久夫・加藤 悟	アイロン 載置台	929286	池田日登志・関 口 浩
電気掃除機	928123	{南 日 国 伸	温度調節機の寒温筒取付装置	929287	鈴木太八郎
粒子指向装置	928878	武井久夫・加藤 悟	石油ストーブの芯上下装置	929288	荒 木 勲・石 井 寛 夫
電気布裁断機の布押え装置	928879	前田 祐 雄・戸田 哲 雄	石油ストーブの芯上下装置	929289	{荒 木 勲・石 井 寛 夫
電気 グラインダ	928880	松尾 寿 久	冷蔵庫の温度制御装置	929290	鶴谷 嘉正
温度補償圧力 スイッチ	928881	入 江 厚	蓋付製氷皿	929291	石 倉 正 男・丸山 哲 朗
熱動継電器	928882	森岡 昭 二	タッチボタン 装置	929292	929288 杉 内 豊・佐藤 正 雄
端子箱	928883	神本 明 輝	冷蔵庫	929293	929289 杉 内 豊・佐藤 正 雄
交流 アーク 溶接機遠隔電流 調整装置	928884	山本 慧 美	圧力式すい飯器	929294	929290 丸山 哲 朗
フリッカ 回路	928885	橘 川 彪・山崎 宣 典	冷蔵庫用塞ぎ板の取付け装置	929295	929291 中 島 勇
コンデンサ 形計器用変圧器	928886	小 川 裕 三	冷蔵庫の野菜容器	929296	929292 高 橋 勝
エスカレータ の手摺り案内 ローラ 支持装置	928887	塩 見 実	冷蔵庫用 トップテーブル 板の取付装置	929297	929293 辻 幹 夫
引出形 ユニットの固定装置	928888	土 居 誠 二	野菜容器の蓋体支持装置	929298	929294 {野畑昭夫・小川 昇
AGC 回路	928889	{福田 絨郎・柳原純一郎	化粧枠の取付装置	929299	{大川和夫
トランジスタ 時限回路	928890	{中島義信	電気冷蔵庫の密閉食品容器	929300	929295 永野幸信・中島 勇
半導体装置	928891	八 塚 普 治	冷蔵庫	929301	929296 林 八 郎・駒形 栄 一
オーバーランニングクラッチ	928892	山 田 勉	自動温度冷蔵庫	929302	929297 戸 塚 次 郎
抵抗溶接機の時限制御装置	928893	星 加 春 幸・北村 博 信	冷蔵庫の製氷室	929420	929298 {林 八 郎・小西 勝
一方向性 クラッチ の第一 クラッチ 主体	928894	森 下 瞭	放射性物質の格納容器	931684	{戸 塚 次 郎
冷凍装置	928895	田 尻 浩 己	救命用 コンテナ の投下装置	931686	929299 丸山 哲 朗・石 倉 正 男
冷蔵庫	929245	森 下 瞭	救命用 コンテナ の投下装置	931687	929300 林 八 郎
扉化粧装置	929257	中 西 幸 弘	シャ断器	931688	929301 中 島 勇
ウインドレス 鶏舎の換気装置	929258	木 南 勤	避雷器	931689	929302 荒野 喆 也
電気温水器の漏電しゃ断装置	929259	駒 形 栄 一	冷媒圧縮機の冷媒分離装置	931690	929420 高田 弘 明・木 南 勤
電気温水器の漏電しゃ断装置	929260	長 沢 進・丹羽 久 司	遠心式粒子 カップリング	931691	931684 菰 原 智・津田 栄 一
電気温水器の漏電しゃ断装置	929261	中 村 富 家・熊 沢 裕	プリント 回路組立体	931692	931686 宇 川 彰
色蛍光 ランプ	929262	中 村 富 家・熊 沢 裕	圧力式炊飯器	931693	931687 宇 川 彰
家庭用肉引き器	929263	土 井 貞 春・山 崎 均			931688 中本 勝 博
		{武井久夫・服部 信 道			931689 {岡田 昌 治・永井 信 夫
		{岩田 尚 之			{三住日出夫

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル) (電) 100 (電) 東京 (03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル)(電)530	(電) 大阪 (06) 343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)(電)450	(電) 名古屋 (052) 565局3111番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社)(電)420	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル)(電)810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館)(電)852	(電) 長崎 (0958) 61局6101番
札幌営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電)060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)(電)980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号(電)930	(電) 富山 (0764) 31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)(電)730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館)(電)700	(電) 岡山 (0862) 25局5111番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号(電)760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル)(電)950	(電) 新潟 (0252) 45局2151番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)(電)100	(電) 東京 (03) 218局2111番
関東商品営業所	与野市上落合後原842番地(電)338	(電) 与野 (0488) 33局3181番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1(電)530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)(電)450	(電) 名古屋 (052) 565局3111番
機器静岡営業所	静岡市小鹿2丁目1番22号(電)420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
機器浜松営業所	浜松市上西町42の5(電)430	(電) 浜松 (0534) 63局6121番
福岡商品営業所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天神ビル)(電)810	(電) 福岡 (092) 72局2111番
札幌商品営業所	札幌市中央区北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電)060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)(電)980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地(電)920	(電) 金沢 (0762) 52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)(電)730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号(電)760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都港区北青山1丁目2番3号(青山ビル)(電)107	(電) 東京 (03) 404局0336番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1(電)530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
生産技術研究所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号(電)247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1(電)652	(電) 神戸 (078) 67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地(電)669-13	(電) 三田 (07956) 4371番
赤穂工場	赤穂市天和651番地(電)678-02	(電) 赤穂 (07914) 3局2221番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号(電)850-91	(電) 長崎 (0958) 61局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1番地(電)492	(電) 稲沢 (0587) 32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)640-91	(電) 和歌山 (0734) 23局7231番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地(電)247	(電) 鎌倉 (0467) 44局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地(電)661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地(電)664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地(電)862	(電) 熊本 (0963) 62局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997(電)861-11	(電) 熊本 (09624) 2局0151番
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井(電)488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)819-01	(電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号(電)720	(電) 福山 (0849) 21局3211番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号(電)229	(電) 相模原 (0427) 72局5131番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電)670	(電) 姫路 (0792) 23局1251番
静岡製作所	静岡市小鹿3丁目18番1号(電)420	(電) 静岡 (0542) 85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号(電)508	(電) 中津川 (05736) 6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号(電)247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号(電)963	(電) 郡山 (0249) 32局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地(電)370-04	(電) 尾島 (02765) 2局1111番
藤岡工場	藤岡市本郷字別所1173番地(電)375	(電) 藤岡 (02742) 2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地(電)617	(電) 京都 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前(電)380	(電) 長野 (0262) 27局1101番
札幌営業所	札幌市北2条東12丁目9番地(電)090	(電) 札幌 (011) 231局5544番

次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 46 No. 9

デ ー タ 伝 送 特 集

《特集論文》

- データ伝送特集について
- 多摩ニュータウン送配水制御システム
- 配水本管圧力テレメータ
- 大阪瓦斯(株)データ収集システム
- 海象観測用テレメータ
- 電力会社における情報伝送
- 電力系統安定用情報伝送装置
- 通信機械室の 1 : n 方式集中監視制御システム
- マイクロ波キャリヤリレー用信号伝送装置
- 密結合誘導無線による移動体の制御
- バースト誤り回線における誤り制御方式の評価

- 国際データ端末装置

- 国際データ伝送用 2,400 bps モデム

- 制御用データ伝送機器の新しい構成法

《普通論文》

- 関西電力(株)新曽根崎変電所納入機器
- 冷凍機サイクル内での異常反応について
- $\text{Sr } 0.73 \text{ Ba } 0.27 \text{ Nb}_2\text{D}_6$ 単結晶の電気光学効果による光偏向
- 多種少量生産を対象とした自動鑄造ライン
- 電力系統計算機制御装置 (MELPAC-500 システム)
- 超音波探触子

三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	湊 武 雄
副委員長	神 崎 邇	"	武 藤 正
常任委員	石 川 理 一	"	吉 松 誠 一
"	上 田 重 夫	委 員	北 垣 成 一
"	宇 佐 見 重 夫	"	武 田 忠 夫
"	北 川 和 人	"	田 附 和 夫
"	古 賀 亨	"	中 尾 致 一
"	塚 本 信 雄	"	南 日 達 郎
"	福 家 章	"	林 昇 寿
"	堀 謙 二 郎	"	待 鳥 正
"	牧 野 六 彦		

(以上 50 音順)

昭和 47 年 8 月 22 日印刷 昭和 47 年 8 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部 金 200 円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号

正 木 茂 雄

印 刷 所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
(郵便番号 162)

大日本印刷株式会社

印 刷 者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高 橋 武 夫

発 行 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 (郵便番号 100)

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」

(電話) (03) 218 局 2323 番

発 売 元

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (郵便番号 101)

株式会社 オーム社書店

(電話) (03) 291 局 0912 番 振替口座 東京 20018 番