

資 料

リアルタイム音響測定分析システムとその応用*

市 田 清** 羽 山 繁** 中 桐 洋治郎**
 菊 池 昇*** 工 藤 順 一***

Abstract

In order to improve sound quality of speakers and other audio equipment, it is necessary to reveal the relationship between objective characteristics and sound quality. A minicomputer-oriented real time measurement system has been developed for acoustic measurement and analysis, with which subjective evaluation of sound quality and physical characteristics can be related.

The system is under keyboard or graphic terminal control for easy operation, and the output is provided in an immediately usable format on a CRT display and on hard copy print outs. New applications, functions and features can be easily added; also, the file user can store, retrieve and edit the raw or processed data.

This paper describes design philosophy, implementation and some applications of the system. This system is now installed in the Acoustic Research Laboratory of the Matsushita Electric Ind. Co., Ltd. and is used effectively by many researchers for measurement and analysis of various audio equipments.

1. ま え が き

昨今のコンピュータ計測技術、デジタル信号処理技術の発達には目ざましいものがあり、音響分野へも盛んに導入されている。特に、人間心理を対象とし、複雑な音信号を解析処理しなければならない音響機器の音質研究の手段としては、このようなコンピュータの応用技術が不可欠と考えられる。

音質が、音響機器の使用特性の1つとして極めて重要な特性であるにもかかわらず、その設計法はまだ完全に確立されているとはいえない。我々は、完全な音質設計を可能にすることを最終的な目標に置いているが、そのために、物理、心理量相互の関係を定量的に把握する有力な手段として、音響測定分析システムを

開発した。本システムは、「操作性」、「リアルタイム性」、「高度な測定分析機能」、「拡張性」などの特長を有し、現在、伝達関数、スペクトル時系列、アキュラシイなど物理特性の測定、音圧周波数特性のシミュレーション^{1,2)}、音質評定による心理特性の尺度化、相関法による心理、物理量の関係解析などに利用されている。

以下本論で、開発目的、システム構成とソフトウェア手法、および応用例などを中心に報告する。

2. 開発の目的

音質設計法としては、

- 1) 人間の知覚する聴空間（音質空間）の構造解明
- 2) 音質に対応する物理量の抽出
- 3) 物理心理量相互の定量的関係の解明

などのステップを踏むことが必要であるが、そのためにはまず第1に、Fig. 1（次頁参照）に示すようなサイクルが容易にかつ効率的に回せる機能を備えたシステムが不可欠である。

これを可能にするシステムとしては、

- 1) 心理データの測定、蓄積機能

* A Real Time System for Acoustic Measurement and Analysis and Its Applications by Kiyoshi ICHIDA, Shigeru HAYAMA, Yoziro NAKAGIRI, Noboru KIKUCHI, and Jun-ichi KUDO (Matsushita Electric Industrial Company Engineering Division and Acoustic Research Laboratory).

** 松下電器産業(株)技術本部

*** 松下電器産業(株)音響研究所

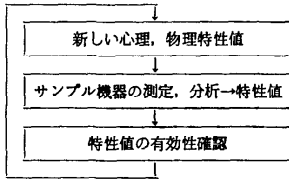


Fig. 1 Flow of psychological and physical measurement and analysis.

- 2) 時間、空間情報を含んだ物理データの測定、蓄積機能
 - 3) 統計上充分な量のデータを蓄積し、解析処理できる機能
- などが必要である。

一方、現在の測定分析システムは、一般的に次のように分類されよう。すなわち

- A: 単能型: 特定の測定器による固定の計測処理。
- B: 複合型: 2種以上の測定分析が可能だが、処理形態に制約がある。
- C: 総合型: 測定処理の種類、内容も豊富で、機能追加、拡張にも対処可能。

A, B, Cは、用途、目的により選択、使いわければよい。

システムコスト、開発コストという点では、Cは高価であるが、ここで対象としているような目的には、機能の面でCを選択せざるを得ない。

以上を背景に、我々は総合型を指向し、次の点に留意し開発に着手した。

- ① 専用システム機器を連結し、処理の多様性、効率化、操作の容易性を実現する。
- ② 新しい課題の発生に伴う計測技術の開発、解析処理プログラムの追加、拡張に柔軟に対処できる。

3. 音響測定分析システムの設計、開発

3.1 概要

本システムは、音響技術者がコンピュータの知識を持たなくても、グラフィックディスプレイを介して対話的に、高度な音響測定分析および解析ができる特徴を有する。

- 1. 操作性: フロッピディスクに手順登録可能
- 2. 対話性: ディスプレイを介して対話的に実験の中断、測定条件の変更が可能
- 3. リアルタイム性: 測定データの収集とデータ解析の多重処理が可能
- 4. データベース機能: 測定分析したデータに対

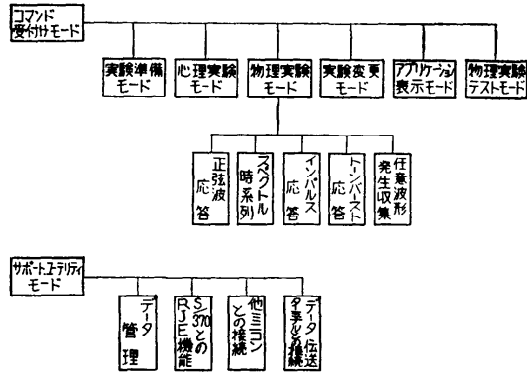


Fig 2 Configuration of the system's function.

し、各種のキーで検索、修正、登録などの管理が可能

- 5. 保守性: 機器、システムの機能、性能の診断
- 6. 拡張性: データ伝送ターミナル、他機種ミニコンなどとの接続および大型コンピュータとの接続が可能

3.2 機能構成と測定機能一覧

機能構成を Fig. 2 に、測定機能一覧を Table 1 に示す。

3.3 機器構成

機器構成を Fig. 3(次頁参照) に示す。本システムは、データ収集機能、運用効率、使い易さを意図してミニコンベースで構成した。しかし音響機器の物理測

Table 1 Description of measurement functions.

測定機能	機能概要	性能
正弦波応答	周波数シンセサイザで正弦波を発生し、ディジタルで実効値を測定	回転台: $-180^{\circ} \sim +180^{\circ}$ 周波数: 20 Hz ~ 20 kHz
スペクトル時系列	リアルタイムスペクトルアナライザでテープレコーダマイクなどの出力波形の 1/3 oct バンドのスペクトルを測定	周波数: 20 Hz ~ 20 kHz
インパルス応答	ソフトで発生したインパルスを D/A 変換後出力し、応答波形を A/D 変換して測定	周波数: 0 Hz ~ 50 kHz レベル: $-5V \sim +5V$ A/D: 12 ビット
トーンバースト応答	周波数シンセサイザでトーンバースト波を発生し、A/D 変換して測定	周波数: 20 Hz ~ 20 kHz 振幅: 0.1 mV ~ 10.0 V 波数: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 波
波形発生収集	波形ファイルを D/A 変換して出力し、応答波形を A/D 変換して入力ファイルに入力	D/A 変換: 12 ビット A/D 変換: 12 ビット レベル: $-5V \sim +5V$ 約 10 秒間
心理測定	音質、音の好みおよび各種心理効果の定量的測定	被験者数: 1 回最大 24 名 サンプル台数: 最大 100 台 (不完備) 判定レベル: 3, 5, 7 段階
遠隔地の音響測定	遠隔地での室内音響特性を測定	A/D 変換: 8 ビット 周波数: 20 Hz ~ 20 kHz サンプリング間隔: 20 μ s, 50 μ s, 0.1ms, 0.2ms, 0.5ms, 1ms, 2ms, 5ms, 10ms

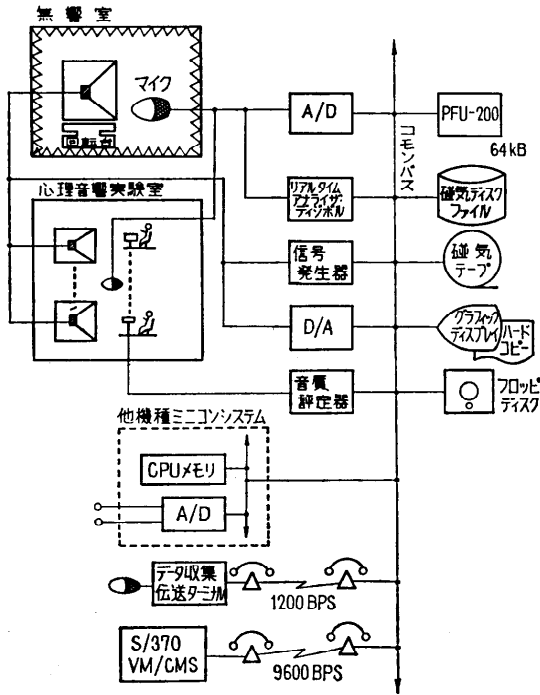


Fig. 3 Hardware configuration.

定データと心理測定データの相関分析など、処理時間を要する複雑な解析の場合は、ミニコンでは効率的でない。このため S/370 と RJE 接続し、機能分散の特徴を生かすため他機種ミニコンとも接続している。

一方本システムを遠隔地でも用いられるようデータ収集・伝送ターミナルを開発し、電話回線を用いオンライン化した。

3.4 ソフトウェア

3.4.1 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を Fig. 4 に示す。

コマンド受けプログラムで、コマンドリストのコマンドを受け付ける。このコマンドに従って各プログラムを起動する。実験準備プログラムで、実験の手順を実験制御ファイルに作成する。心理実験および物理実験制御プログラムは、実験制御ファイルの内容に従って機器制御ルーチン群を用いて測定し、測定データを生データファイルに出力する。

アプリケーション表示プログラムは、生データファイルの検索、データの解析処理、処理結果の表示などを対話的におこなう。

上位、下位コンピュータとのデータコミュニケーションプログラムは、IBM S/370 および他機種ミニコン

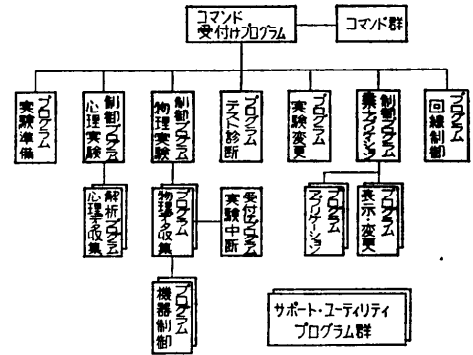


Fig. 4 Software configuration.

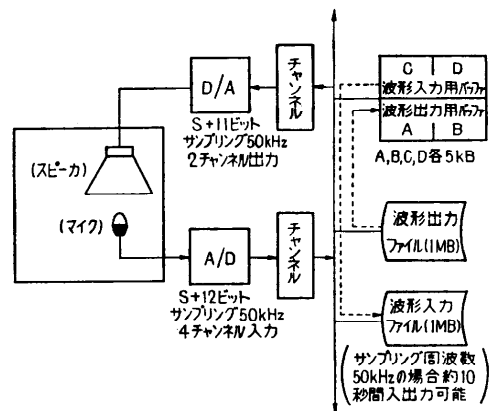


Fig. 5 Block diagram of wave generation and data gathering.

との間で相互データ転送をおこなう。

またデータ収集、伝送ターミナルは、モデムを通して電話回線で結ばれており、そのため伝送ファイルがある。

3.4.2 波形入出力方法

高速のミニディスク2台と、DMA チャンネルを用いて、任意波形の発生とその応答波形の収集の同時処理をおこなう。この時のブロックダイアグラムを Fig. 5 に示す。波形出力ファイルから、1ブロック分のデータを、バッファ A に DMA 転送する。一杯になると、データチェーンで B に切り替える。A は、チャンネル 1 を通して DA 変換され被測定系に波形出力される。被測定系からの応答波形は、マルチプレクサチャンネルを通して、AD 変換されチャンネル 2 より C に取り込む。C が一杯になると、D にデータチェーンする。一杯になった応答波形データは、波形入力ファイル出力される。

Table 2 Description of files.

スペース管理ファイル	システム中で用いているすべての外部ファイルのスペースに関する動的な管理のためのファイル
測定対象管理ファイル	測定対象および測定分析および解析に関する管理のためのファイル
実験制御ファイル	物理実験、心理実験の手順を記憶するファイル
生データファイル	測定したデータの記憶用ファイル
表示用ワークファイル	測定したデータを、分析、解析処理するための作業用ファイル
表示制御ファイル	グラフィックディスプレイに表示するための制御アイテムの記憶用ファイル
表示データファイル	グラフィックディスプレイに表示するデータファイル
定型ルーチンファイル	あらかじめ手順の定まった測定分析の手順を記憶するファイル (このファイルを用いて自動実験が可能)

3.4.3 機器の測定分析のためのデータ構造

データ管理は、8つのファイルで構成している。このファイル一覧を Table 2 に、構成を Fig. 6 に、データ項目の相互関連の一部を Fig. 7 に示す。

3.4.4 操作性

実際に本システムを運用するとき、① あらかじめ定まった手順に従い物理特性を多量に測定分析する場合、② 測定項目、測定条件を検討しながら測定分析する場合、③ 物理、心理特性の相互関係を分析するなどミニコンだけでは処理しきれない場合に区別できる。① に対しては、測定分析手順をあらかじめフロッピディスクに登録しておき、手順番号を指定するだけで自動的な実験を可能にした。② に対しては、対話的な機能により測定分析の中断、再開変更が自由にできるよう構成した。③ に対しては、大型コンピュータ S/370 との RJE 転送ができる。S/370 の側では、対話型 TSS システム (VM/CMS) のもとで、処理できるようになっている。

3.5 アプリケーションプログラム

研究目的に用いる場合、アプリケーションプログラム (データ解析) は多種多様であり、すべてを事前に用意することは不可能である。つまりシステムの応用につれて随時追加、拡張できる必要がある。そのためユーザがシステムの全容を知らなくてもアプリケーションプログラムの開発、登録ができるようアプリケーション部のモジュール化をおこない、インタフェースルーチンを準備した。

本システムでは、アプリケーションプログラムが制御項目、内容をそれぞれ表示制御ファイル、表示データファイルに出力し、目的プログラムを登録するだけで本システムの表示機能を利用できるようにした。

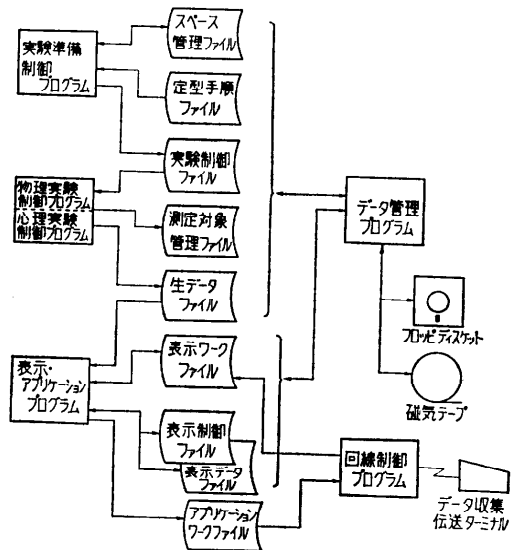


Fig. 6 Data management control flow.

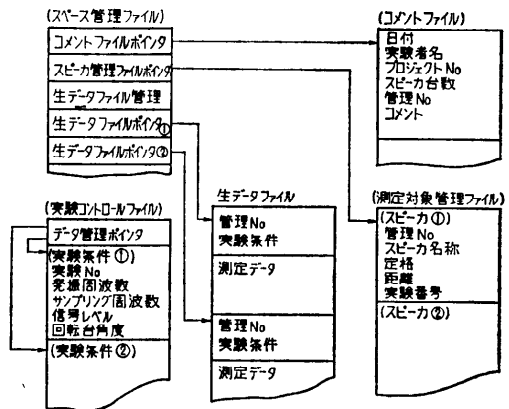


Fig. 7 Data structure's example.

Fig. 8 (次頁参照) にアプリケーションプログラムの体系を示す。

4. システムの応用例

現在、本システムは音響機器の心理、物理特性の測定、分析に広く使用されており、音質設計法を確立するために重要な役割を果している。その応用例をいくつか挙げてみると次のようになる。

1) 信号音周波数スペクトルの時間的変化を測定することにより、同一マスターテープから製作したレコードであっても、カッティングの違いによって差があることを明らかにした²⁾。

2) スピーカのインパルスレスポンス、位相特性を

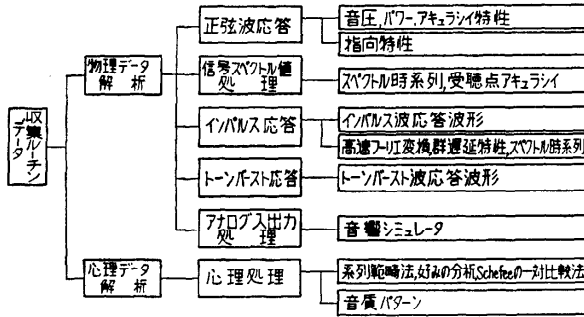


Fig. 8 Application program configuration.

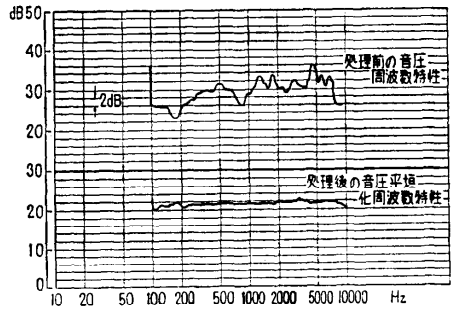


Fig. 10 Flat response by acoustic simulator.

短時間で精度よく測定した⁴⁾。

3) 従来心理測定においてオフライン処理, 手書きであった音質パターンの作成を完全自動化した。

4) デジタルフィルタを応用して音楽信号に任意の周波数特性をもたせ, さらに D/A 変換器を介して実際に信号音を聞くことができるように構成した音響シミュレータ⁵⁾により音質研究を実施した。

本システムの特徴の1つであるアナログ入出力を用いた音響シミュレータは, 入力信号とフィルタのインパルスレスポンスの畳み込みをおこなって, フィルタリングされた信号を出力として取り出す。

信号処理プロセスを Fig. 9 に示す。

一例として, 無響室軸上の1点で平坦音圧周波数特性を実現するため, 実際のスピーカの周波数特性の逆特性を伝達関数とするフィルタを選んだ。

なお入(出)力用ファイルの容量は, 50 kHz でサンプリングした場合は 10 秒間である。また処理帯域は, 合成するフィルタの実現性を満たすために 100Hz ~10 kHz とした。

1 サンプルスピーカについて入力信号を正弦波スイープとして, 音圧周波数特性平坦化の程度を測定した結果を Fig. 10 に示す。このように音響シミュレータは, 一般の周波数イコライザでは不可能であるよう

な精密なレベルで音圧の振幅位相特性を制御できるので, 音質研究に対する有力な手段となり得る。

5. あとがき

本システムは, 音響心理, 物理特性のデータ収集の自動化, さらには最適音質設計のための分析, 解析機能など幅広い用途を目指して開発された。

現在当社音響部門で音質研究, 最適音質設計確立の有力な手段として運用されている。

その結果, 音響機器の新しい概念に基づく特性値の分析, 処理のみならず, その中から音質と関係の深い新しい物理量をいくつか抽出するなど具体的な成果を上げている。

さらに新しいアプリケーションの開発は, 技術者であるユーザ自身がシステムに組み込むことにより継続実施し, 機能拡張を図っている。

最近音響計測の専用システムが種々開発され, AD/DA 変換器を含めた計測機器類の性能向上, さらにマイクロプロセッサの普及により低廉な使いやすいシステムも種々発表されている。

今後の課題としては, これらのシステムを本システムと併用することにより, さらに効率的な研究, 開発, 運用をはかっていくことが考えられる。

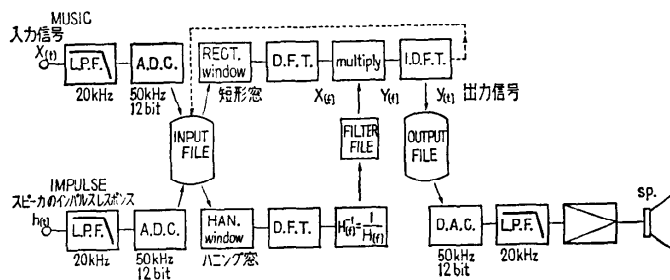


Fig. 9 Block diagram of acoustic simulator.

特に FFT を中心としたパワースペクトル, 相関ケプストラムなどの各種計算を高速で処理できる専用ハードウェアプロセッサを本システムに組み込むことにより, デジタルフィルタなどの音響信号処理をはばりリアルタイム化できるので, 音質設計などの面ではくり返し設計時間の短縮, パラメータ変更結果の確認試験などが可能とな

り、実用的機能が大幅に向上するものと思われる。

これらシステムの機能拡張と共に、本システムの継続的、体系的な活用により一日も早く合理的、実地的な音質設計法を確立し、自由自在な音作りを可能とすることが期待される。

最後に本システムの開発にあたりご指導を頂いた当社音響研究所阪本所長、後藤部長、斉藤室長、技術本部杉田所長、本田室長はじめ関係各位に深謝する。

参 考 文 献

- 1) Expensive Loud Speakers, Consumer Reports, Vol. 39, No. 6, p. 113 (1974).

- 2) 後藤, 吉川: 音響機器の特性測定, 音講論, 2-2-12 (1976, 5月).
- 3) 保柳, 長島: 円盤を考える, レコード芸術, 25巻, 11号, pp. 324~331 (1976).
- 4) 内外スピーカシステム46種の徹底測定, ラジオ技術, 1977, 1月号臨時増刊 (1977).
- 5) 工藤, 菊池, 斉藤: 音響シミュレータに関する一実験, 音講論, 2-3-4 (1976, 10月).
- 6) 市田, 福原, 上野: スピーカシステムのためのグラフィックシステム, 情報処理学会全国大会, 昭和52年.

(昭和52年5月18日受付)

(昭和53年4月3日再受付)