

音響スペクトログラムカラー表示装置

Sound Spectrogram Color Indicator

三 浦 種 敏* 越 川 常 治*
 Tanetoshi Miura Tsuneji Koshikawa
 中 野 康 明** 中 山 剛*
 Yasuaki Nakano Takeshi Nakayama

Abstract

Outlined is a device that color-indicates on a screen spectrograms of program signals of sound and music. The device is connected to the PTS laser color TV equipment displayed in the Hitachi Group Pavilion at EXPO '70. The principles of analysis and indication are discussed, and the construction and performance of the trially made equipment are described, with a few examples of results of indication.

1. 緒 言

日立製作所中央研究所では、さきに主として、ソーナー受波信号を対象とした題名の装置のプロトタイプを試作した⁽¹⁾。その結果、分析・表示の諸元、安定度、誤動作などに関して種々の要改良点が明らかとなった。そのため、これらの点を考慮して、あらたに第2号機を試作した。たまたま、この試作装置を万国博用のPTSレーザーカラーTVに結合して、大スクリーン上に音声や音楽などのプログラム信号を表示し、レーザーTVをより効果的に展示することが企画され、現在、この装置を会場に持ち込み運転中である。

この装置は、音声などの信号の周波数スペクトルの時々刻々の変化（これを一般にスペクトログラムと呼ぶ）を実時間で求め、さらに、スペクトル成分の振幅を、振幅値の大小に応じてあらかじめ用意された種類の色相に変えて、ちょうど、色付けされた等高線の地図のようにし、かつ、電光ニュース式に時間とともに流れるようにして、カラーブラウン管上に表示するものである。

以下、本装置の原理、構造、性能などを紹介する。

なお、PTSとの結合に関しては、映像信号を供給する所までは、本装置にすべて含まれるので、ここではとくに触れず、省略する。

2. 本装置の動作原理

2.1 実時間周波数分析

音響などの信号を実時間で周波数分析する方式としては、一般に(1)フィルタバンク式、(2)時間圧縮+ヘテロダイン分析式⁽²⁾の二つの方式が考えられるが、ここでは、以下の理由で(2)の方式を用いる。

(1)は、方式としては単純であるが、分析周波数範囲/周波数分解幅すなわち、分析チャンネル数だけの多数個(たとえば、100~500)のフィルタが必要である。したがって、フィルタの特性や分析条件に融通性をもたせることが困難であり、多様なサンプルの分析には適さない。

(2)は図1(a)に示すように、入力信号の分析区間(1, 2, ...N...)ごとに時間軸を圧縮して、分析チャンネル数(N)に応じた個数の、ほぼ同一の情報内容をもつサンプル(図1(b)) (1', 2', ...N'...)を作り、次に、周波数が階段状にN段階に変わる可変搬送波で、(b)の被時間圧縮サンプルを変調し、最後に、1個の帯域(ろ)波器で、時系列状に周波数スペクトル(C)を得る、いわゆるヘテロダイン式の分

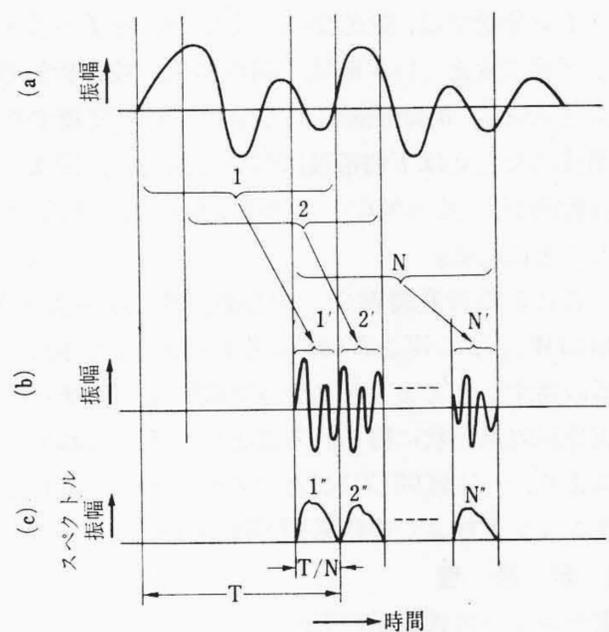


図1 時間圧縮の原理図

Fig. 1. Principle of Time-scale Compression

析方式である。上述のように、時間軸をあらかじめ1/Nに圧縮しておくため、Nチャンネルの分析結果が実時間で得られることになる。

時間圧縮の手段としては、(1)磁気ひずみなどの遅延線、(2)シフトレジスタ、(3)コアやワイヤなどのメモリの3つが考えられる。いずれの場合も、入力アナログ信号を所定のビット数のデジタル信号に変換し、いわゆるパルス圧縮の方法で、サンプル間隔を圧縮したのち、再び、アナログ信号に変換することによって、時間軸を相対的に圧縮したアナログ信号を得るようにしている。

分析区間をT、周波数分析範囲の上限値を f_u 、周波数分解幅を ΔF 、上記の時間圧縮率を1/Nとすると、これらの間には次の関係が存在する。

$$\Delta F = \frac{1}{T} = \frac{2f_u}{N} \dots\dots\dots(1)$$

また、パルス圧縮の際のクロックパルスの周波数を F_c とすると、 F_c はサンプリング周波数 f_s の圧縮比(N)倍、すなわち

$$F_c = N \cdot f_s = 2N f_u \dots\dots\dots(2)$$

である。

(1)と(2)式から、

$$\Delta F = F_c / N^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$f_u = \frac{F_c}{2N} \dots\dots\dots(4)$$

* 日立製作所中央研究所 工学博士

** 日立製作所中央研究所

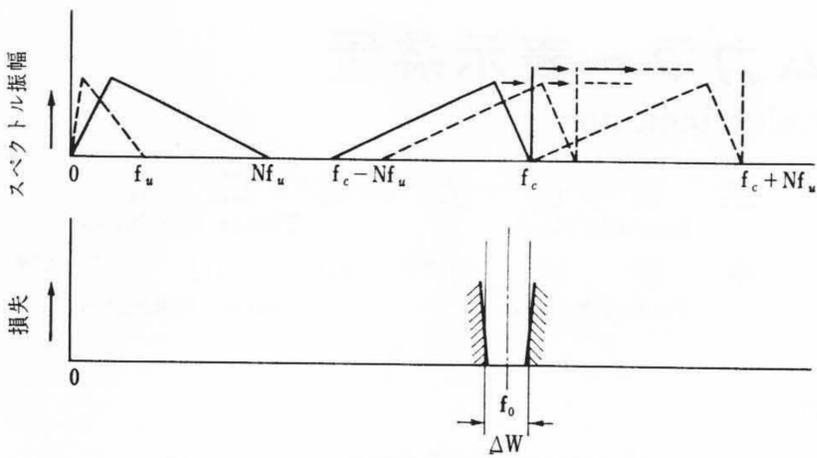


図2 ヘテロダイン分析の原理図
Fig. 2. Principle of Heterodyne Analysis

すなわち、分析器の分析可能周波数範囲(f_u)と、周波数分解幅(ΔF)はパルス圧縮に用いるメモリ素子のクロック周波数(F_c)と圧縮比(N)によって決まる。

ヘテロダイン分析では、搬送波の周波数(f_c)を $f_c \sim f_c + Nf_u$ の範囲でステップ状に変え(1/N時間圧縮の結果、被分析信号の上限周波数は Nf_u となる)、時間圧縮された分析信号を変調する。その結果、被変調波はたとえば下側帯波について見ると、図2に示すように、周波数範囲が、 $(f_c - Nf_u) \sim f_c$ から、 $f_c \sim (f_c + Nf_u)$ にステップ状に変わることになる。

そこで、これらの被変調波を、中心周波数(f_0)が $f_c - N \cdot \Delta F / 2$ 、通過帯域幅(ΔW)が、 $\Delta W \geq N \cdot \Delta F$ にそれぞれ固定された、1個の帯域濾波器に通すことにより、ステップ数に応じたチャンネル数のスペクトル成分が時系列状に得られることになる。これらの包絡波をとることにより、一定区間(T)ごとのスペクトル(これを以下スペクトルセクションと呼ぶ)の時系列が得られる。

2.2 表示原理

(1) 電光ニュース式表示の原理

従来の表示方式では、ブラウン管の1スイープごとに、1画面たとえば、スペクトルセクション(横軸は周波数、たて軸はスペクトル成分の振幅)や、スペクトログラム(横軸は時間、たて軸は周波数、輝度がスペクトル振幅)が表示され、各スイープごとに以前の表示結果は消されて残らない。また、たとえば、メモリスコープを用いたとしても、ある限られた時間区間だけのパターンが見られるに過ぎない。

一方、たとえば、ソーナーで、目標の探知を行なう場合などでは、常に連続的なモニタができることが望まれる。このことから、ちょうど、電光ニュースの文字が時間とともに流れて表示され、文章として解説できるのと同じ考え方で、スペクトログラムを時間とともに順次移動させ、連続的な時間変化パターンとして観察できるように表示の方式を立案した。この方式をここでは電光ニュース式表示と呼んでいる。

この方式の原理を概念的に示せば次のとおりである。

いま、図3(a)に示すようなスペクトル分析結果、すなわち、スペクトルセクションの時系列波($S_1, S_2, \dots, S_n, S_{n+1}, S_{n+2}, \dots$)が表示部に加えられるとする。

表示部ではまず、これらの S_1, S_2, \dots に対して、時間軸を $1/M$ たとえば $1/256$ などに圧縮し、図3(b)に示す時系列(S'_1, S'_2, \dots)を得る。次に、これらの S'_1, S'_2, \dots に対して、遅延時間(τ)が、 $\tau = T(1 - 1/M)$ なる繰り返し遅延を与えることによって、図3(c)のような波を得る。この結果、 T をブラウン管の垂直同期周期、 T/M を水平同期周期に等しくとって、図3(c)の波を走査することにより、ブラウン管上には、一画面(表示時間長は T)ご

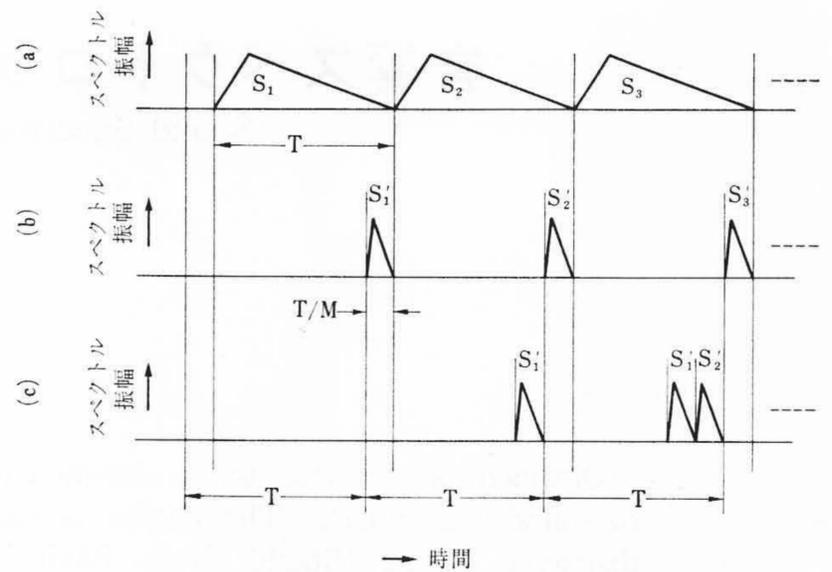


図3 電光ニュース式表示の原理図
Fig. 3. Principle of Sky Sign-like Display

とにスペクトルセクションが、順次ブラウン管の一端から他端に移動する、いわゆる電光ニュース状のパターンが表示されることになる。

(2) スペクトル振幅から色相への変換の原理

従来のスペクトログラム表示方式では、スペクトル振幅の大きさを輝度の大小で変えていたために、振幅情報に対する表現可能範囲がブラウン管の輝度のダイナミックレンジで制約され、たかだか30 dB程度であった。ここでは、少なくとも40 dB以上の変化範囲をもつと考えられる音響信号などの振幅の情報を、できるだけ忠実に表現する目的で、輝度の代わりに、スペクトル成分の振幅値を色相に変える方式を開発した。

ここで、スペクトル振幅と色相との対応付けの方法として、

- (1) 振幅の大小が、色相によって直観的にわかる。
- (2) 振幅の大小に対する感覚と色相の配列が、1対1の対応を有する。

- (3) できるだけ簡単な方式で、色信号への変換ができる。

ことなどの条件のもとに、各種の振幅・色相変換方法を検討した。

その結果、

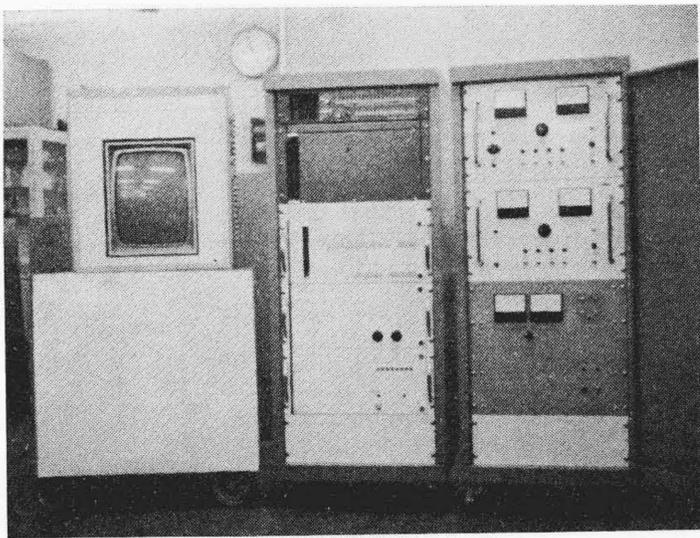
- (1) 最大の振幅ステップを、一般に突出色と呼ばれている赤色、最小の振幅ステップを、後退色と呼ばれている青色とし、
- (2) 赤から青までの間を、視覚的に等間隔となるように色度点を選び、
- (3) どの色相も、赤と緑、または緑と青の2色混合とする方式を決定した。これはとりもなおさず、等高線地図に用いられている配色と同じ考え方となった。

この方法により、スペクトル振幅の量子化ステップ幅を、たとえば対数間隔で3 dBにとり、ステップ数を16段とし、これらの各ステップに対応する色相を与えることにより、約45 dBのダイナミックレンジの振幅情報を表示させることが可能となる。このほか、表示の対象によって、ステップの幅を直線的にとることも容易に実現できる。

3. 試作装置の構造と性能

3.1 外観構造

外観は図4の写真に示すとおりで、分析、メモリ、表示などの回路部分を収容したきょう体(1,350H×540W×520L(mm))、電源部きょう体(1,350H×540W×520L(mm))および、カラーブラウン管(15")とその周辺回路を収容したきょう体(700H×540W×520L(mm))の3部分からなる。



向かって左側： ブラウン管部
中 央： 分析および表示回路部
向かって右側： 電源部

図4 装置の外観

Fig. 4. External Appearance of Apparatus

3.2 回路構成

装置の概要は図5に示すとおりで、大別して(1)分析部、(2)表示制御・記憶部(以下略して表示部と呼ぶ)、(3)ブラウン管部の3部分からなる。

(1) 分析部

内容は、図5に示すように、(a)入力信号波を標本化する際に、折り返しスペクトルが生じないようにするための低周波低波器(LPF₁: シャ断周波数は標本化周波数の1/2に選ばれる)、(b)入力アナログ信号を8ビットのデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換器(ADC₁)、(c)2進8けたの各ディジットけたのパルス信号を時間圧縮する回路(時間圧縮部: 128または256ビットのいずれかを選択できるシフトレジスタSR₁₁~SR₈₂からなる)、(d)再び、アナログ信号に変換して、時間軸が相似的に圧縮されたアナログ信号を得るデジタル・アナログ変換器(DAC)、(e)量子化雑音、そのほかの信号帯域外の妨害雑音を除去するための低域低波器(LPF₂)、(f)ヘテロダイン式周波数分析部(標本化パルス間隔で、周波数がステップ状に変化する可変搬送波発振器VCO、変調器MOD、帯域低波器BPFからなる)、およびBPF出力の包絡波をとる包絡線抽出器(EEX)から成る。

時間圧縮部にシフトレジスタを用いているので、(3)、(4)式に示したように、クロックパルスの上限值以内で、周波数分析範囲

および周波数分解幅を自在に選ぶことができる。時間圧縮比(N)はシフトレジスタの段数できまり、ここで用いているのは、128または256(この場合は128のシフトレジスタを2段縦続接続する)の二とおりである。また、内蔵のクロック周波数としては、2MHzを備えている。

(2) 表示部

内容は図5に示すように、入力として与えられるスペクトルセクション波の振幅を16ステップに量子化し、4けたのデジタル信号に変換するアナログ・デジタル変換器(ADC₂)、これらのデジタル化されたスペクトル情報をメモリスシステムに語単位で書き込むためのWright Word Register(W.W.R.:ここに用いるメモリは1語当たり16ビットで、かつ、スペクトルの1チャンネルごとに4ビットを割り当てるので、1語は4チャンネル分に相当する)、メモリスシステム本体(MS)、メモリ内容をチャンネルごとに(すなわち4ビット分同時に)読み出すためのRead Data Register(RDR)、メモリの書き込みおよび読み出しのアドレスを指定するためのWright Address Counter(WAC)、Read Address Counter(RAC)、および、Address Gate(AG)、クロックパルスから水平同期周期のタイミングを決めるためのカウンタ(HSC)、および垂直同期周期のタイミングを決めるためのカウンタ(VSC)からなる。

メモリスシステムには、できるだけ高速読み出しができ、かつ大きなメモリ容量がとれるものとして、ここでは、ワイヤメモリを採用した。

このメモリスシステムにより、前述の電光ニュース式表示は、読み出しの際のアドレスの指定だけで簡単に行なわれる。また、書き込みは、分析器からの出力のタイミングで行なわれるのに対して、読み出しは、メモリのサイクルタイム(0.5μs)の限界内で、高速に行なわれ、これによって時間圧縮の機能をもたせることができる。また、さらに画面の固定も容易にできる。

メモリの動作の詳細は次のとおりである。

メモリに対する書き込みは、1語すなわち16ビットずつ行なわれる。1チャンネルについて、4ビット分のメモリを使用するので、たとえば、表示チャンネル数(1スペクトルセクション当たりのチャンネル数)を128とすれば、これに要する語数は32語となる。すなわち、32番地分のアドレスを使用することになる。また、128チャンネルの書き込みに要する時間は分析器の条件から、たとえば、標本化周期を128μsとすれば、16.4msである。

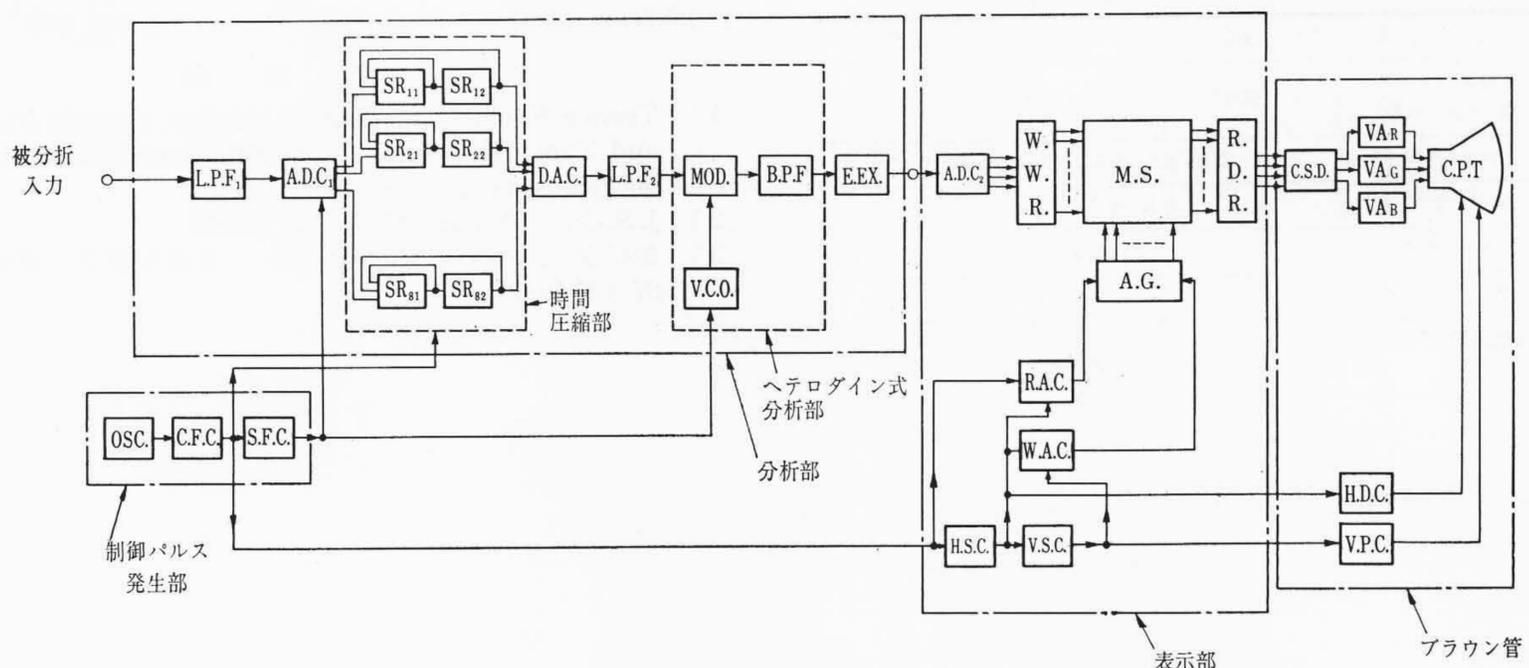


図5 装置全体の構成図

Fig. 5. Block Diagram of Apparatus

読み出しの際は、32+1番地すなわち、書き込まれた最後の番地の直後の番地から、以降の番地について高速度に読み出しを行ない、32番地で読み出しを終える。8K語分の全番地を読み出すのに要する時間は16.4msである。これは、書き込みの際の1スペクトルセクション分すなわち、32語の時間長に等しい。この結果、1~32番地に記憶された1個の入力スペクトルセクションが、読み出し区間の最後におかれ、かつ時間長は1/256に圧縮されることになる。

このように、次々と新しいスペクトルサンプルを書き込み、読み出しの際はこれらの最新のサンプルが、常に読み出し区間の最後部におかれることになるため、その結果として、電光ニュース式の表示が遂行されることになる。

(3) ブラウン管部

時系列状に与えられる各スペクトルチャネルの振幅値(2進4けた表示)を、R、G、Bの3原色に振り分け、所定の色信号を得るようにするための色信号復号器(CSD)、各R、G、B 3原色信号の映像増幅器 V_{AR} 、 V_{AG} 、 V_{AB} 、15"のカラーブラウン管(CPT)、水平および垂直偏向回路(HDCおよびVDC)からなる。

色相の種類は、前述のように、最大振幅に対応する赤から、最小振幅に対応する青に至るまでの、全部で16色である。これらの配色は、また前述のように、視覚のうえで、等間隔の印象を与えるように定められている。

3.3 主要な性能

各部についての主要な性能は次のとおりである。

(1) 分析部

表1に示すとおりである。

表1 分析部の性能
Table 1. Specifications of Analyzing Part

周波数分析範囲	0~4 kHz	0~8 kHz
周波数分解幅	31 および 155 Hz	62 および 310 Hz
AD変換器のビット数	8ビット	
総合ダイナミックレンジ	40 dB 以上	
総合周波数特性	30 Hz~8 kHz で偏差 6 dB 以下	

(2) 表示部

表2に示すとおりである。

表2 表示部の性能
Table 2. Specifications of Displaying Part

周波数チャネル数	64	128	256
1画面当たりのスペクトルセクション数(ラスタ数)	512	256	128
電光ニュース走行時間	2.1s または 4.2s および無限大		
メモリ容量	8K語/16ビット		
メモリサイクルタイム	0.5 μs		
色相数	16		
スペクトル振幅の量子化ステップ幅	3 dB		

(3) ブラウン管部

表3に示すとおりである。

表3 ブラウン管部の性能
Table 3. Specifications of Brown Tube Part

映像増幅器の周波数特性	0~2.5 MHz 偏差 3 dB以下
水平同期周期	64 μs
垂直同期周期	16.4 μs

3.4 表示結果(表紙の裏・カラー写真1~3を参照)

音声サンプルに対する表示結果はいずれも男声母音アイウエオで、周波数範囲は0~4kHz、周波数分解幅は写真(1)が31Hz、写真(2)が155Hzである。写真(2)では分解幅を大にすることによりフォルマント状のパターンが示されている。横軸の時間長はいずれも2.1s、周波数チャネル数は128である。

同じく、残響室でのピストル発射音による残響音の表示例を示したのが写真(3)である。周波数範囲は0~8kHz、周波数分解幅は62Hz、そのほかは前と同じである。

4. 結 言

本装置は各種の音響信号の分析表示用として有用であり、多くの期待が寄せられている。

たとえば、各種動力機械、プラントなどの運転の異常を、異音の検出などによってモニタする方式、各種騒音の検査、建築物の音響特性の測定、音声の学習、楽器の演奏法の教育、声楽発声訓練、楽器の良否の検査、聾(ろう)者の言語教育、心音などの医療診断など枚挙にいとまがないほど、多くの分野での利用が考えられる。

このほかの利用方法として、たとえば、画面を左右あるいは上下に分割して、2個の信号のスペクトログラムを同時に比較表示させることも、メモリのアドレス指定のコントロールをくふうすることによって、容易に実現でき、さらに広範囲の利用分野が開ける可能性がある。

また、コンピュータと直結する⁽³⁾ことにより、周波数分析結果のみならず、各種の信号処理結果の表示も可能になると考えられる。

終わりに本装置の試作に当たって、動機付けならびに種々の貴重なご意見をいただいた、防衛庁第5研究所検井所長、故伊藤部長、新保室長、川上室長、漆原室長ほか、担当官の各位、ならびに新試作装置の設計、製作に多くの労を払われた日立製作所中央研究所小林正治所員ほか、試作グループのかたがたに心からお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- (1) Tsuneji Koshikawa, Yasuaki Nakano, Takeshi Nakayama and Tanetoshi Miura: The 6th International Congress on Acoustics C-5-18 (1968)
- (2) J.S.Gill: Nature 4759, 117 (1961)
- (3) 越川常治, 中野康明, 小林正治: 日本音響学会講演論文集 37 (昭44-10)