

## 3.2 物理的評価方法

### 3.2.1 音の物理的表現法と音色との対応

#### 1) 音のスペクトル

音の物理的性質を表現する手段としていくつかの方法が考えられる。一般に、音色は対象とする音が定常音か変動音であるかによって大きく異なるが、共通に物理的性質を表現する最も重要な方法は音のスペクトル表現であろう。

音の波形を  $f(t)$ 、スペクトルを  $F(j\omega)$  とする。ただし  $t$  は時間、 $\omega$  は角周波数、 $j$  は虚数単位である。このとき、任意の波形のスペクトル  $F(j\omega)$  は、

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

と表現される。もし音の波形が周期波形であるならば、

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{j2\pi nt/T} \quad (2)$$

$$C_n = \int_0^{\infty} f(t) e^{-j2\pi nt/T} dt \quad (3)$$

と表現できる。 $T$  は波形の周期である。このときスペクトルは離散的なスペクトルとなり、基本波の振幅は  $\sqrt{C_1^2 + C_{-1}^2}$ 、第  $n$  高調波の振幅は  $\sqrt{C_n^2 + C_{-n}^2}$  となる。ただし、 $C_0$  は直流分である。

#### 2) 音色の要素的分析

音色は多次元的な性質をもつものであるが、これまで行われてきた音色の分析的研究<sup>1)</sup>などから、音色は大まかに言って三つの要素的な性質に分析できることが明らかにされてきた。

第一の性質は、音の鋭さ（シャープネス）、固さ、明るさ、鮮やかさなどによって表現される金属的性質、第二の性質は音のなめらかさ、清澄さなどの言葉で表現される美的性質、第三の性質は音の豊かさ、迫力などという言葉で表現される迫力（力動）的性質である。

これらの性質はいずれも音のスペクトルとの関連が強い。

### 3) 金属的性質の物理的評価

音色の金属的性質は、スペクトルの存在領域と密接に関連している。金属的性質の代表的尺度である鋭さ（シャープネス）の物理的評価の理論式として次式<sup>2)</sup>が提案されている。すなわち、音色の鋭さSは

$$S = \int_0^{24\text{bark}} N'(z) g(z) dz / \int_0^{24\text{bark}} N'(z) dz \quad (4)$$

として示される。

ここで、z は臨界帯域の番号、N'(z)はz番目の臨界帯域のラウドネス、g(z)は重み関数で周波数の上昇とともに増加する単調増加関数である。g(z)としては図3.1に示す太い実線（狭帯雑音・鋭さ）を用いる。便宜的には、臨界帯域フィルターの代わりに1/3オクターブバンドフィルターを用いてもよい。

### 4) 美的性質の物理的評価

音のスペクトルが連続的である場合（例えば白色雑音の場合）には音色はまとまりのない散乱した（scattered）印象となり、美的性質としては一般にマイナスの評価を受ける。以下ではスペクトルが離散的である場合について述べる。

音の美的性質の尺度化の試みとして、Plomp<sup>3)</sup>、Kameoka<sup>4)、5)</sup>らによる不協和度を対象としたものがある。ここではより簡単なPlompの提案について述べる。すなわち不協和度Dは

$$D = \sum_{i=1}^{N-1} I_i \cdot I_{i+1} \cdot h(\Delta f) \quad (5)$$

で計算できる。ここで、Nは成分音の数、 $I_i$ は第i成分音の強さ（dB）、 $h(\Delta f)$ は隣接する2つの成分音の周波数差 $\Delta f$ によって定まる不協和度である。 $h(\Delta f)$ は図3.2に示すように臨界帯域幅の1/4の点で最大となる。

### 5) 迫力的性質の物理的評価

音色のこの性質は、主として音の大きさに強く依存する。すなわち迫力的性質を表す指標をPとすれば、

$$P = \int_0^{24\text{bark}} N'(z) dz \quad (6)$$

で近似的には評価することができよう。

またPはLeqともかなり強い相関があるものと考えられる。すなわち、

$$P = 10 \log_{10} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \quad (7)$$

としてもよい。

ただし、 $t_1$ 、 $t_2$ は観測開始、終了時間、 $P_0$ は基準音圧 ( $=20 \mu\text{Pa}$ )、 $P(t)$ はA特性回路を通した音圧波形である。

#### 6) 音の動的側面

音色は音の短時間スペクトルの変化によって大きく変化する。しかしながら現在の段階では、音の物理的な動的特性と音色の関連性が系統的に明らかになっているとは言い難い状況であり、個別的な事項はいくつか考えられるがここでは省略する。

### 3. 2. 2 音響機器の物理特性と音質との対応

#### 1) 周波数特性

一定の入力条件の下での機器の出力の電圧あるいは音圧などの周波数依存性を周波数特性あるいは周波数レスポンスという。機器による周波数特性の違いは、その機器から再生される総体的な音質のうち、主として金属的性質の差異を生ぜしめる。

#### 2) 群遅延特性

音響機器の位相特性を周波数で微分した値である。群遅延時間が大きくなるとエコーとして知覚されるようになる。

#### 3) 非直線ひずみ

機器の特性の非直線性に基づくひずみであって、通常は高調波ひずみとして測定される。高調波ひずみ率  $dh$  は、

$$dh = \frac{\sqrt{a_2^2 + a_3^2 + \dots}}{a_1} \times 100 (\%) \quad (8)$$

で与えられる。 $a_i$ は第  $i$  高調波成分の大きさである。高調波ひずみが多くなると、その機器から再生される総体的な音質のうち、ラフネスの増加による美的性質の変化が生じる。

非直線ひずみの測定法としてさらに動的ひずみ測定法がある。この方法は図3. 3に示すように、帯域除去フィルターと帯域通過フィルターを組み合わせたもので、伝送系の中で生じたひずみ成分を個々の番組音について測定することができる。

### 文献

- 1) 北村音壹、難波精一郎、三戸左内：再生音の心理的評価について、信学会電気音響研究専門委資料 (1962)
- 2) G.von Bismarck : Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds, *Acustica*, 30, 159-172 (1974).

- 3) R.Plomp and W.J.M.Levelt : Tonal consonance and critical bandwidth, J. Acoust. Soc. Am., 38, 548-560 (1965).
- 4) A.Kameoka and M.Kuriyagawa : Consonance theory part I : Consonance of dyads, J. Acoust. Soc. Am., 45, 1451-1459 (1969).
- 5) A.Kameoka and M.Kuriyagawa : Consonance theory part II : Consonance of complex tones and its calculation method, J. Acoust. Soc. Am., 45, 6, 1460-1469 (1969).

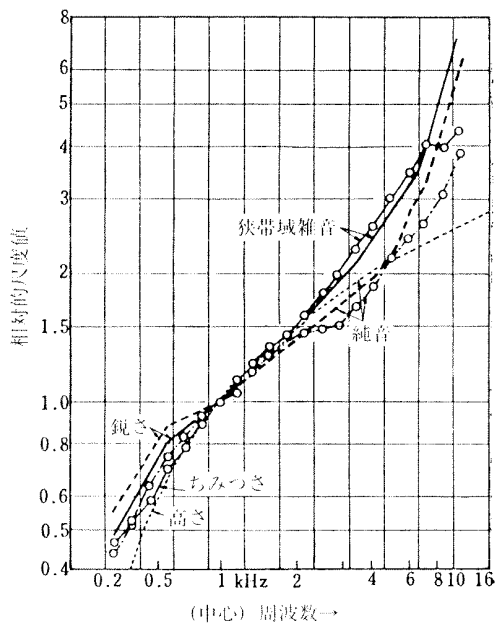


図3. 1 鋭さ、高さ、ちみつさの尺度値

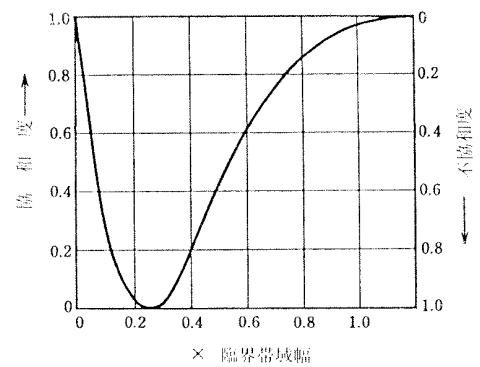


図3. 2 2成分音の不協和度

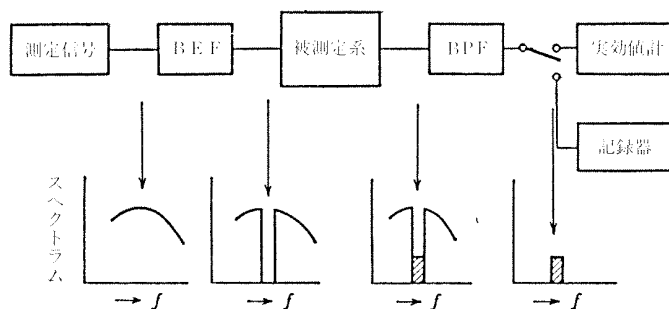


図3. 3 動的ひずみ測定系統図