

## は し が き

---

音はわれわれ人間にとってきわめて身近な情報伝達的手段として永い歴史の中で活用され研究されてきた。学術的には発音体の振動や音波の伝搬など音響物理学と、人間に関係する音響生理学・音響心理学までもを含めて、一つの基本的な技術大系を形造って今日に至った。ことに真空管の出現から半導体、更に IC へと電子工学の目覚ましい発展と相まって、その応用技術が工学だけにとどまらずあらゆる方面に浸透してくるようになった。

音響工学の特徴は、音響系・機械系・電気系にわたるエネルギー系にまたがり、その変換と伝送とにおいて必要な制御が可能なこと、周波数もごく低い周波数帯域から可聴域をはるかに越えてメガヘルツの領域まで、同じ振動現象として共通の基本技術で取り扱っていることなどである。音響工学を専門とする者はもちろん、一般の工学を志す者にとってもこれに大いなる関心を寄せ、基礎知識を習得することが必要であろう。騒音公害とその防止策が社会問題となってきた昨今、たとえば工場における騒音制御の妙手は、その根源において騒音源となり得る機械や設備そのものを計画する段階から、音響振動に関するこの技術を駆使してあらかじめ騒音の放射を減らすような対策を施しておくことが必要不可欠である。

本書は、電気・電子・通信工学を専攻する学生のための教科書として編集した。その目標は応用分野を詳しく述べるよりも、是非必要な基本技術を普遍的な形で記述することである。それには回路理論のほかに数学や力学・弾性学に関するある程度の知識が必要とされる。しかしながら特に高級な予備知識がなくても理解できるように配慮しているから、何よりもこれに慣れることである。

音響工学は多くの分野の技術が総合されたものであるので、執筆は共著によることとしてそれぞれ専門とするところを分担したが、全体にわたって一貫性

のある表現となるように協調しかつ努力したつもりである。

本書では、本論に先立って音響工学の概要が理解しやすいように、第1章で音波の物性と用語を説明してその定義を明らかにした。第2章でまず聴覚と音声の基本的諸特性について論じ、更に通信における品質評価の方法をも簡単に説明した。第3、4章で波動と機械振動について記述し、以後の各章における基礎を築くことを心掛けた。次いで第5章を設け電気系・機械系・音響系を対応させ、その類似性を抽出し、設計に際して行うシミュレーションに便利な電気的等価回路を掌中のものとする準備とした。第6章では変換理論、第7、8章では現在の音響機器の要点を紹介した。第9章は騒音とその制御について、今日の問題としてかなり詳細に記述した。本書によって基礎的な技術を習得すると共に、公害防止管理者（騒音関係・振動関係）および環境計量士に対する国家試験の参考書として活用してもらえれば幸いである。第10章は超音波の性質ならびに計測面と動力的応用、および機能部品として電子回路への応用について基本を説明した。

紙数の制約から機器や音響心理などの一部の重要な項目を割愛せざるを得なかったのが心残りである。しかし現在ではそれぞれの分野で立派な解説書も多いので、巻末に参考文献としてその一部を掲載してあるから参照されたい。

著者ら日ごろの多忙に加えて執筆を急いだため、誤解を招きやすい表現や不備な点も多々あろうかと懸念されるが、お気づきの点は御叱正を賜わり、後日機会を得て訂正したいと思っている。

最後に参考にした各書の著者諸賢および本書出版の機会を与えられた編集委員各位、コロナ社の方々、ならびにご協力をいただいた各研究室の皆さんに深く感謝の意を表するしだいである。

昭和54年3月

著者の一人として

西山 静 男

# 目 次

---



## 音波の物性と音響用語

---

1.1 音 波	1
1.2 音圧, 粒子速度, 体積速度	3
1.3 音響インピーダンス	4
1.4 機械インピーダンス	5
1.5 音 の 強 さ	5
1.6 音圧レベル, 音の強さレベル	6
1.7 音響パワー, 音響パワーレベル	7
1.8 音の大きさ, 音の大きさのレベル	8
1.9 騒音レベル	8
1.10 デシベルの計算	9
1.11 音波の伝搬	11
1.11.1 距離減衰	11
1.11.2 音波の吸収	12
1.11.3 音波の反射・屈折	12
1.11.4 音波の回折	14
1.11.5 吸音としゃ音	14
演習問題	16



## 聴覚と音声

---

2.1 聴覚機構	17
2.1.1 外 耳	17

2.1.2	中 耳	18
2.1.3	内耳および聴神経系	19
2.2	聴覚の心理特性	20
2.2.1	可聴範囲	20
2.2.2	弁別限	21
2.2.3	音の大きさおよび高さ	23
2.2.4	マスキング	24
2.2.5	両耳効果	26
2.3	発声機構	27
2.3.1	発声器官	27
2.3.2	声帯振動および声道の特性	27
2.4	音声の物理特性	28
2.4.1	母音と子音	28
2.4.2	音声勢力	30
2.4.3	長時間平均スペクトル	31
2.5	口と耳による品質評価	31
2.5.1	正調通話レスポンス	31
2.5.2	明りょう度	33
2.5.3	AEN および RE	37
	演習問題	39



## 波 動 理 論

3.1	波動方程式	40
3.1.1	連続の方程式	40
3.1.2	運動の方程式	42
3.1.3	気体の法則	42
3.1.4	波動方程式	43
3.2	一次元における波動方程式の解	45
3.3	平面進行波	47
3.4	閉管中の音波	49
3.5	球音源	53

3.6 音源の指向特性	56
3.6.1 二重音源	57
3.6.2 直線配列音源と線音源	59
3.6.3 ダブレット音源	61
3.6.4 剛壁上のピストン音源	63
3.6.5 指向性利得	64
3.7 音源の放射インピーダンス	65
3.8 音波の回折	68
3.9 音響ホーン	69
演習問題	73

## 4

## 機械振動系

4.1 単振動	74
4.2 一自由度系の自由振動	77
4.3 一自由度系の強制振動	80
4.4 弾性体の振動	83
4.4.1 弦の振動	83
4.4.2 棒の縦振動	85
4.4.3 棒の横振動	86
4.4.4 膜の振動	90
4.4.5 板の振動	93
演習問題	94

## 5

## 電気・機械・音響系の対応

5.1 等価回路	95
5.2 機械素子	96
5.2.1 質量要素	96
5.2.2 機械コンプライアンス	98
5.2.3 機械抵抗	100

5.3 音響素子 .....	100
5.3.1 音響質量 .....	100
5.3.2 音響コンプライアンス .....	102
5.3.3 音響抵抗 .....	103
演習問題 .....	104



## 電気・機械・音響変換

6.1 電気音響変換器の分類 .....	105
6.2 変換理論 .....	106
6.2.1 動電変換 .....	106
6.2.2 電磁変換 .....	108
6.2.3 磁気ひずみ変換 .....	113
6.2.4 静電変換 .....	113
6.2.5 圧電変換と電気ひずみ変換 .....	115
6.2.6 抵抗変化変換 .....	117
6.3 変換方式と等価回路 .....	118
6.3.1 電磁方式の等価回路 .....	119
6.3.2 静電方式の等価回路 .....	123
6.4 制御方式 .....	126
6.4.1 変換の分解 .....	126
6.4.2 抵抗・質量およびスチフネス制御 .....	126
演習問題 .....	128



## マイクロホンと送話器

7.1 音響→電気変換器の分類 .....	130
7.1.1 受音から電気出力までの変換 .....	130
7.1.2 指向特性による分類 .....	131
7.2 一般的性質 .....	131
7.2.1 感度 .....	131
7.2.2 指向特性 .....	132

7.2.3 自由音場における形状の影響 .....	133
7.3 マイクロホンと送話器各論 .....	133
7.3.1 動電圧力マイクロホン .....	134
7.3.2 静電圧力マイクロホン .....	136
7.3.3 炭素送話器 .....	140
7.3.4 音圧傾度マイクロホン .....	142
7.3.5 単一指向性マイクロホン .....	144
7.4 マイクロホン感度の測定 .....	146
7.4.1 標準器との比較 .....	146
7.4.2 標準器の校正 .....	147
演習問題 .....	147



## 受話器とスピーカ

---

8.1 電気→音響変換器の分類 .....	149
8.2 受話器各論 .....	150
8.2.1 受話器の一般的性質 .....	150
8.2.2 電磁受話器 .....	152
8.3 スピーカ各論 .....	154
8.3.1 分類 .....	154
8.3.2 一般的性質 .....	155
8.3.3 直接放射振動板の一般的性質 .....	155
8.3.4 動電直接放射スピーカ .....	159
8.3.5 バフルとキャビネット .....	165
8.3.6 スピーカ用ホーンの特性 .....	166
8.3.7 ホーンスピーカの構造と特性 .....	169
8.4 バイプロメータ .....	171
8.5 受話器・スピーカ感度の校正 .....	173
8.5.1 周波数レスポンス .....	173
8.5.2 相互校正法 .....	173
演習問題 .....	176



## 騒音とその制御

9.1 騒音の影響 .....	178
9.2 騒音の発生 .....	180
9.3 騒音の評価 .....	183
9.3.1 騒音レベル .....	183
9.3.1 等価騒音レベル .....	185
9.3.3 PNL .....	185
9.3.4 SIL, NC 曲線 .....	186
9.3.5 NRN .....	189
9.3.6 EPNL, WECPNL .....	191
9.4 騒音測定法 .....	195
9.4.1 騒音レベルの測定 .....	196
9.4.2 周波数分析 .....	201
9.4.3 残響時間の測定 .....	204
9.4.4 透過損失の測定 .....	207
9.5 騒音防止対策 .....	208
9.5.1 音源対策 .....	208
9.5.2 伝搬経路対策 .....	210
9.5.3 消音器 .....	213
9.5.4 吸音材料 .....	216
9.5.5 防振 .....	219
9.6 振動測定法 .....	220
演習問題 .....	225



## 超音波とその応用

10.1 超音波の性質 .....	227
10.2 電気-機械変換材料とその性質 .....	229
10.2.1 磁気ひずみ材料 .....	230



10.2.2	圧電材料	230
10.2.3	電気ひずみ材料	231
10.3	超音波振動子	232
10.3.1	磁気ひずみ振動子	232
10.3.2	電気ひずみ振動子	233
10.3.3	固体伝送体付き振動子	235
10.4	強力超音波の応用	235
10.4.1	気体中での応用	235
10.4.2	液体中での応用	236
10.4.3	固体への応用	236
10.5	超音波の通信的応用	238
10.5.1	超音波による計測	238
10.5.2	超音波による通信とシミュレーション	239
10.6	超音波を用いた電子回路部品	240
10.6.1	フィルタ	240
10.6.2	遅延線	240
10.6.3	弾性表面波デバイス	240
	演習問題	242

## 演習問題解答

## 参考文献

## 索引



## 音波の物性と音響用語

本章でまず音波の物理的な性質についての概要と音響工学を学ぶための基礎となる用語の説明を行った。

### 1.1 音 波

われわれひとの耳に聞えるものを音 (sound) という言葉で呼んでいるが、空気中での波動であることから音波 (sound wave) といわれる。しかし科学の発達とともに、現在ではわれわれの耳に感ずるものだけにとどまらず、耳には聞こえない空気中の波動、あるいは空気以外の気体・液体、更には固体中の波動でさえも音波の範囲に含めて音響工学の分野と考えるに至った。本書でも、もちろんこのような耳に聞えない音をも対象にしてゆくことにする。

音波はこのように空気その他の物質、すなわち媒質 (medium) 中に存在する波動であるから、媒質粒子の振動している状態が媒質の中を伝わっていることになる。このことから、音波については媒質粒子の振動と、この振動が媒質中を伝搬することとの両方について考えなければならない。そして音波の場合には媒質粒子の振動方向と振動の伝搬方向とが一致している、いわゆる縦波 (longitudinal wave) であることは周知のことである。したがって、ある瞬間に媒質中には図 1.1(a) のような疎密 (濃淡) のしみができていることにな

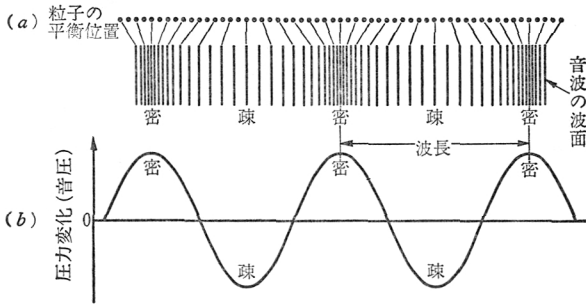


図 1.1 正弦音波

り、この疎密に従ってそれぞれの場所が同図 (b) のような圧力を呈することになる。これを空気中でいえば、大気圧を中心として媒質の疎であるところは圧力が低く、密であるところは圧力が高いことになる。この状態が時間とともに図の左または右方向に移動するのであって、その移動速度を音速 (sound velocity) と呼ぶ。したがって音速は媒質粒子の振動速度とはっきり区別されなければならない。

音速は後節で述べるように温度の影響を受け、空気中では絶対温度  $T$  [K]、摂氏温度  $\theta$  [°C] に対してほぼ

$$c = 331.5 \sqrt{\frac{T}{273}} \quad [\text{m/s}] \quad (1.1)$$

$$\approx 331.5 + 0.607\theta \quad [\text{m/s}] \quad (1.2)$$

としてよい。したがって普通は約 15°C における値 340 m/s を用いるが、たとえば 500°C では 558 m/s にも達するのである。

音の周波数は上に述べたような媒質粒子の 1 秒間当りの振動数であり、これを  $f$  [Hz] とすれば、音速  $c$  および波長  $\lambda$  [m] との関係はよく知られているように

$$c = \lambda f \quad (1.3)$$

であり、常温における音速 340 m/s を用いれば図 1.2 に示すような周波数と波長との関係が得られる。図の周波数はおおよそひとの耳に聞える範囲であって、これが波長ではほぼ 2 cm から 20 m の範囲に当たり、われわれの周りの

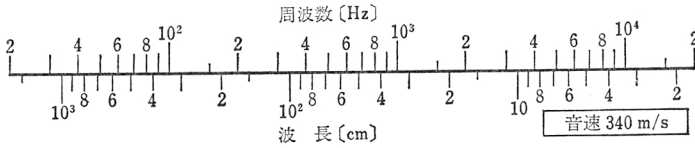


図 1.2 空気における周波数と波長との関係 (常温)

色々な物体の寸法の程度である。このことがまた後で述べるように音の伝わり方に大いに関係が出てくる。

## 1.2 音圧, 粒子速度, 体積速度

音波が縦波であることは既に学んだ。そして媒質中のある1点では、時間とともに媒質が疎になったり密になったりしていることをも知った。これは空気中の圧力(気圧)が音の存在によって大気圧を中心に上がったり(密), 下がったり(疎)することである。このように音波の存在でその点の圧力が上下する分を音圧(sound pressure)という。そして電気工学における交流電圧・電流を取り扱うのと同様に、音圧に対してもその瞬時値・実効値・最大値などを定義するとともに、音圧の瞬時値が時間の正弦関数として表される場合を基本として考えて、これを複素数で表す。音圧はまた気圧の変化分であるから、その単位も圧力の単位パスカル [Pa], すなわち [N/m<sup>2</sup>] が用いられるが、マイクロバル [ $\mu$ bar] を用いることもある。これらの関係は

$$1 \text{ Pa} \equiv 1 \text{ N/m}^2 = 10 \mu\text{bar} \quad (1.4)$$

このように音圧は音波を定量的に規定する量であるが、音の存在しているところでは媒質粒子が振動しているのであるから、媒質粒子の振動速度で音を定量的に表すこともできる。これを粒子速度 (particle velocity) という。粒子速度も音圧と同様に瞬時値・実効値・最大値などが定義され、複素数で表すこともよく行われる。単位は [m/s] である。また粒子速度の代わりに、媒質中の面積  $S$  の部分を1秒当り通過する媒質の体積をもってすることもある。この量を体積速度 (volume velocity) といい、単位は [m<sup>3</sup>/s] である。体積速度も音

圧・粒子速度と同様に瞬時値・実効値などを定義し、複素数で表すこともある。粒子速度を  $u(t)$  [m/s], 体積速度を  $U(t)$  で表せば、明らかに

$$U(t) = S u(t) \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1.5)$$

である。

### 1.3 音響インピーダンス

電気回路の状態を表す量として電圧と電流とがあるが、同じように音の存在する媒質の範囲すなわち音場 (sound field) の中における音の状態を音圧と体積速度 (あるいは粒子速度でもよい) とで表すことができる。そこで音響系(音場)と電気系(電気回路)との後で述べるような類似性から、音響系でもインピーダンスを考えると便利である。電気系では電圧と電流とがともに時間的に正弦変化をする場合、これらの量を複素数で表してその比(複素数比)をインピーダンスと定義した。音響系では音場中のある面に対して、その音圧  $p$  とその面を通る体積速度  $U$  との複素数比

$$Z_A = \frac{p}{U} \quad [\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3] \quad (1.6)$$

を音響インピーダンス (acoustic impedance) という。したがって音響インピーダンスは、厳密には音圧も粒子速度もともに時間的に正弦変化をする単振動に対してだけ定義されているものである。しかしそれなりの条件を明記したうえで、非正弦変化の場合や非直線性を持った系にも拡張して用いることもある。また体積速度の代りに粒子速度を採り、媒質中のある点の音圧  $p$  と粒子速度  $u$  との複素数比

$$Z_s = \frac{p}{u} \quad [\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}] \quad (1.7)$$

を比音響インピーダンス (specific acoustic impedance) という。

1.4 機械インピーダンス

機械系に対しても同様にインピーダンスを定義することができる。この場合は機械系の状態を力  $f$  [N] と速度  $u$  [m/s] とで表すものとし、単振動をする機械系のある点の力と、同じ点または異なる点の速度との複素数比

$$Z_M = \frac{f}{u} \quad [\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}] \quad (1.8)$$

で機械インピーダンス (mechanical impedance) を定義する。この場合、力と速度とを同じ点で考えるのを直インピーダンス (direct impedance) または駆動点インピーダンス (driving-point impedance)、異なる点で考えるのを伝達インピーダンス (transfer impedance) といって区別することもある。また機械インピーダンスの逆数をモビリティ (mobility) という。

1.5 音 の 強 さ

音波の伝搬は媒質粒子の振動状態が伝わってゆくことであるから、振動のエネルギーが伝搬していることになる。そこで媒質中に音の伝搬方向に垂直な面を採り、この面の単位面積を通過する1秒当りのエネルギー量を音の強さ (sound intensity) として音を定量的に表現することができる。音の強さはまた単位面積を通る音のパワーといってもよい。記号には  $I$  を用い、単位は  $[\text{W}/\text{m}^2]$  である。

後述の平面進行波では、音の強さ  $I$  と音圧  $p$  との関係は

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c} \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (1.9)$$

である。ここに  $\rho_0$  は媒質の密度で、空気では絶対温度  $T$  [K] に対して

$$\rho_0 = 1.29 \frac{273}{T} \frac{P_0}{1.013 \times 10^5} \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad (1.10)$$

としてよい。 $P_0$  は大気圧 [Pa] を示す。したがって標準大気圧

$$P_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \quad (1.11)$$

を採り、常温ではほぼ

$$\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3 \quad (1.12)$$

としてよいであろう。式 (1.9) の  $\rho_0 c$ 、すなわち媒質密度と音速との積は、媒質の特性(固有)インピーダンス (characteristic impedance) で、普通

$$\rho_0 c \doteq 400 \text{ Pa}\cdot\text{s/m} \quad (1.13)$$

を採ってよい。

## 1.6 音圧レベル、音の強さのレベル

ひとの耳が音を感じるとき、その感じ方は後で述べるようにほぼ音圧の対数に比例する。またその感ずる音圧値は非常に広い範囲にわたっている。このため音圧  $p$  [Pa] の対数値で音を評価するのが便利なことも多い。そこで次のように音圧レベル (sound pressure level) SPL を定義し、単位 デシベル [dB] で表す。

$$\text{SPL} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (1.14)$$

ここに  $p_0$  は レベル表示のための 基準音圧値 であって、1 000 Hz においてわれわれが聞き得る音圧の最小値を採る。すなわち

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa} \quad (1.15)$$

音の強さについても同じように

$$\text{IL} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}] \quad (1.16)$$

で音の強さのレベル (sound intensity level) を定義する。基準値  $I_0$  は

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad (1.17)$$

とするが、これは 空気中で式 (1.14) における 基準音圧値  $p_0$  に対する平面進行波の音の強さである。したがって平面進行波での式 (1.9) から

$$I_0 = \frac{p_0^2}{\rho_0 c} \quad (1.9a)$$

# 索引

## 【 A 】

圧電気 116  
   逆— 116  
 圧電効果 115  
 圧電応力定数 230  
 圧電セラミック 231  
 A 特性 183  
 AEN 37

## 【 B 】

バフル 165  
 バイプロメータ 171  
 バイモルフ 116  
 ばね定数 75  
 パスレフレックス 166  
 弁別限 21  
 鼻音 29  
 棒の横振動 86  
 母音 28  
 防振 219  
   —ゴム 219  
 文章了解度 34

## 【 C 】

CNR 194

## 【 D 】

ダブレット音源 165  
 ダンパ 209  
 ダンピング処理 209  
 ダンピング材料 220  
 弾性表面波 240

電圧出力係数 231  
 伝搬経路対策 210  
 電力比感度 132  
 電力感度 132  
 伝送品質 38  
 電磁受話器 152  
 デシベル値 9  
   —の(パワー)平均値 10  
   —の差 10  
   —の和 9  
 データレコーダ 201  
 デジタルレコーダ 200  
 動アドミタンス 124  
 ドップラー効果 164

## 【 E 】

永久性難聴 179  
 エオルス音 181  
 エレクトロメカニカルフィルタ 240  
 ECPNL 194  
 EPNL 192

## 【 F 】

フェライト振動子 232

## 【 G 】

外耳 17  
   —道 17  
 弦の振動 83  
 減衰比 78  
 減衰振動 78  
 逆二乗法則 12, 56

## 【 H 】

波動方程式 43  
   D'Alembert の— 44  
 ハイドロホン 234  
 薄流気層 137  
   —の制動作用 137  
 波面 46  
 反射 12  
   —器 145  
   —率 12  
 腹 52, 85  
 破擦音 29  
 発散波 54  
 波数 45  
 弾き音 29  
 ヘッドホン 154  
 平面波 48  
 平面進行波 48  
 閉鎖音 29  
 変位計 223  
 変位ピックアップ 223  
 変換器 105  
   圧電— 106, 224  
   電気ひずみ— 106, 224  
   電気化学的— 224  
   電気→機械— 105  
   電気音響— 95, 105  
   電磁— 106, 224  
   動電— 106, 224  
   ひずみゲージ— 224  
   可変インピーダンス— 224  
   可変ポテンシヨメータ— 224  
   可変容量— 224



機械→電気—— 105  
 熱—— 106  
 能動—— 224  
 静電—— 106  
 抵抗変化—— 106  
 うず電流—— 224  
 磁気ひずみ—— 106, 224  
 変成比 116, 118  
 非直線ひずみ 164  
 ホン 183  
 ホーン 69  
 ——スピーカ 69, 154  
 エクスポネンシャル——  
 70, 168  
 円すい—— 71  
 マルチセルラ—— 171  
 パラボリック—— 70  
 ホルメント 28  
 付加質量法 122  
 負荷時アドミタンス 124  
 副極大 61  
 複素効率 123  
 噴出音 181  
 節 52, 85  
 Helmholtz 共鳴器 104, 218  
 Helmholtz の式 45

## 【I】

インピーダンス 68, 97, 120  
 ——対応 97  
 伝達—— 5  
 動—— 120  
 比音響—— 4  
 放射—— 66  
 負荷時—— 120  
 機械—— 5  
 機械的動—— 123  
 機械的負荷時—— 123  
 機械的制止—— 120  
 機械的自由—— 123  
 固有—— 6  
 駆動点—— 5  
 のどの音響放射—— 167  
 音響—— 4

制止—— 120  
 特性—— 6  
 直—— 5  
 自由—— 120  
 位相面 76  
 位相等化器 171  
 板の振動 93  
 一時性難聴 179  
 一自由度 77  
 一重壁 212  
 イヤホン 154  
 ICAO 191  
 interdigital transducer  
 (IDT) 241  
 ISO 185

## 【K】

可逆性 105  
 非—— 105  
 開口係数 70  
 回折 14, 68  
 感覚レベル 22  
 実効—— 36  
 慣性制御 126  
 カルマンうず 181  
 渦流音 181  
 加速度計 223  
 加速度ピックアップ 223  
 過渡音 29  
 継続時間補正 193  
 基本振動数 209  
 機械回路 96  
 機械系 5  
 機械コンプライアンス 99  
 機械素子 96  
 機械抵抗 100  
 近接効果 143  
 起振力 107  
 基底膜 19  
 基準音圧値 6  
 コイルばね 219  
 国際標準化機構 185  
 国際民間航空機構 191  
 呼吸球 55

鼓膜 17  
 交差指電極 241  
 鼓室階 19  
 固体音 213  
 固有振動数 77  
 減衰—— 77  
 不減衰—— 77  
 こわさ 75  
 空気ばね 219  
 空気音 213  
 屈折 12  
 口(ホーン)の 69  
 キャビネット 165  
 位相反転形—— 166  
 後面開放—— 165  
 密閉形—— 165  
 共鳴 51  
 距離減衰 11  
 強制振動 81  
 許容暴露時間 225  
 球面波 53  
 球面進行波 54  
 球音源 55  
 吸音率 14  
 残響室法—— 206  
 吸音力 205  
 吸音処理 210  
 吸音材料 14, 216  
 板振動・膜振動による——  
 217  
 共鳴による—— 218  
 多孔性—— 217

## 【L】

$L_3$  184, 200  
 $L_{30}$  184, 195  
 $L_{DI}$  185  
 $L_{2n}$  185  
 $L_{eq}$  185  
 $L_{NP}$  185

## 【M】

マイクロホン 130

ベロシティー—— 143  
 エレクトレット—— 139  
 コンデンサ—— 136  
 音圧傾度—— 141  
 線形—— 145  
 水中—— 234  
 集音—— 145  
 単一指向性—— 144  
 Wenté 形可動コイル——  
 135  
 膜の振動 90  
 摩擦音 29  
 マスキング 25  
 ——現象 179  
 明りょう度 33  
 ——指数 35  
 音節—— 33  
 単音—— 33  
 面積率 118  
 モビリティ 5  
 ——対応 97  
 無響室 173  
 無音帯 13  
 無声音 27  
 無周期運動 79  
 MAF 21  
 MAP 21  
 mel 24

【N】

流れ抵抗 217  
 内耳 17  
 粘性減衰 100  
 ——係数 77  
 のど(ホーンの) 69  
 ——インピーダンス 72  
 ノイ 186  
 NC 曲線 188  
 NEF 194  
 NNI 194  
 NOSFER 39  
 NRN 190

【O】

オクターブフィルタ 202  
 1/3—— 202  
 音 圧 3  
 ——感度 132  
 ——校正法 147  
 自由音場—— 21  
 音圧レベル 6  
 オクターブバンド—— 188  
 音 源 7  
 ——の強さ 56  
 ——対策 208  
 ダブレット—— 61  
 面—— 12  
 二重—— 57  
 線—— 12, 61  
 点—— 12  
 音 韻 23  
 音響エネルギー密度 196  
 音 響 系 4  
 音響コンプライアンス 53, 103  
 音響パワーレベル 7  
 音響四端子回路網 213  
 音響質量 102  
 音響素子 100  
 音響抵抗 103  
 音 波 1  
 ——の吸収 12  
 音 節 23  
 音 速 2  
 音 場 4  
 ——感度 132  
 ——校正法 146  
 ——の成長 204  
 音のエネルギー 47  
 音の大きさ 8  
 ——のレベル 8, 23  
 音の強さ 5  
 ——のレベル 6

【P】

ピークファクタ 31

ピストンホン 147  
 ピストン振動 155  
 phon 8, 23  
 PNC 曲線 189  
 PNL 186  
 PNLT 193  
 PSIL 188

【R】

レベルレコーダ 200  
 高速度—— 200  
 レイリー波 240  
 連続の方程式 40  
 臨界減衰 78  
 臨界帯域幅 26  
 粒子速度 3  
 RE 37

【S】

最大可聴値 20  
 最小可聴値 20  
 サイズモ系 75  
 サンドイッチパネル 212  
 散 乱 68  
 ——効果 133  
 声 道 27  
 制止アドミタンス 124  
 制 振 219  
 声 帯 27  
 正調通話系 31  
 正調通話レスポンス 31  
 セラミックフィルタ 240  
 節 円 93  
 節 線 93  
 指 向 性 57  
 ——係数 132  
 ——利得 65  
 ——率 65  
 ——図 59  
 8 の字形—— 63  
 指向性音源 56  
 無—— 56  
 指向特性 57

振動板 65  
 振動減衰 219  
 振動計 221  
 振動モード 85  
 振動子 231  
   バイモルフ—— 234  
   固体伝送体付き—— 235  
   Langevin 形—— 233  
 振動測定法 220  
 振動絶縁 219  
 進行波 45  
 子音 29  
 質量制御 126  
 質量則 15, 212  
 室定数 205  
 相互校正法 173  
 相反性 173  
 速度計 223  
 速度ピックアップ 223  
 速度ポテンシャル 43  
 ソナー 238  
   アクチブ—— 238  
   パッシブ—— 238  
 騒音 177  
   —防止対策 208  
   —源 180  
   —の影響 178  
   —の発生 180  
   —の評価 183  
   —測定法 195  
   —証明 192  
   暗—— 11, 200  
   電磁的—— 182  
   街頭—— 181, 200  
   不規則かつ大幅に変動する—— 184  
   建設作業—— 180  
   軌道—— 181  
   機械的—— 182  
   近隣—— 181  
   航空機—— 181, 191  
   交通—— 181  
   工場—— 180  
   燃焼的—— 181  
   流体的—— 181

有意—— 179  
 雑踏—— 181  
 自動車—— 181  
 騒音計  
   普通—— 183, 196  
   精密—— 196  
   騒音レベル 9, 183  
   評価—— 185  
   等価—— 185  
 すだれ状電極 241  
 垂直入射收音率 207  
 ステフネス 75  
   —制御 126, 222  
   負—— 110  
 シャ断周波数 71, 168  
 シャ音へい 68, 213  
 シャ音効果 15  
 衝撃波音 181  
 職業性難聴 179  
 消音器 213  
   干渉形—— 215  
   空洞形—— 215  
   吸音形—— 213  
 周波数分析 201  
 周波数応答 132  
 周波数レスポンス 132  
 Sabine の式 205  
 SONAR 238  
 sone 23  
 SRAEN 38

## 【 T 】

体積速度 3  
 対数減衰率 78  
 多孔性材料 217  
 単語了解度 34  
 単音 28  
 単振動 74  
 縦波 1  
 縦振動 85  
   棒の—— 85  
 多自由度系 85  
 抵抗制御 126, 222  
 力係数 107, 110, 232, 233

等価回路 96  
 透過率 15  
 透過損失 15, 196, 207  
 等ラウドネス曲線 23  
 超過減衰 80  
 聴感補正 8, 183, 198  
   —回路 197  
 直線配列 59  
 直接放射スピーカ 154  
   動電—— 159  
 調音 28  
 超音波 227  
   —キャビテーション 229  
   —洗浄 236  
   —遅延線 240  
 聴力損失 179  
   永久性—— 179  
 聴力障害 179  
 聴力図 179  
 超低周波音 180  
 長時間平均スペクトル 31  
 中空二重壁 212  
 中央値 199  
 中性面 87  
 中耳 17  
 TNEL 194  
 TNI 185

## 【 U 】

運動の方程式 42

## 【 W 】

Weber-Fechner の法則 21  
 Weber の法則 21  
 WECPNL 194

## 【 Y 】

やかましき 186  
 横振動 83  
 45°Xカット 116  
 有声音 27

【 Z 】

残 響 204  
 — 曲線 205  
 — 室 206

— 時間 196, 204  
 前室効果 133  
 前庭階 19  
 前庭窓 18  
 耳 介 17  
 耳 管 19

磁気ひずみ定数 230  
 磁気制動 162  
 自由アドミタンス 124  
 自由振動 77

—著者略歴—

にし やま しず お  
西 山 静 男

1941年 大阪帝国大学工学部電気工学科  
卒業  
1942年 日立製作所入社  
1957年 工学博士  
1972年 関西大学教授  
1987年 関西大学退職  
1998年 逝去

いけ がや かず お  
池 谷 和 夫

1945年 東京工業大学電気工学科卒業  
1961年 名古屋大学教授  
同 年 工学博士  
1985年 名古屋大学名誉教授  
著 書 近代有線伝送工学，電気書院  
(昭44)，ほか

やま がち ぜん じ  
山 口 善 司

1942年 米沢高等工業学校通信工学科卒業  
1961年 工学博士  
1967年 電気通信大学教授  
1988年 電気通信大学名誉教授  
著 書 新版 聴覚と音声 (共著)，電子  
通信学会 (昭55)，ほか

おく じま もと よし  
奥 島 基 良

1953年 東京工業大学電気工学科卒業  
1962年 工学博士  
1970年 東京工業大学教授  
1990年 東京工業大学名誉教授  
同 年 桐蔭学園横浜大学教授  
1998年 桐蔭学園横浜大学退職  
著 書 超音波技術便覧 (分担)，日刊  
工業新聞社 (昭53)，ほか

音響振動工学

Acoustic and Vibraton Engineering

© Nishiyama, Ikegaya, Yamaguchi, Okujima 1979

1979年4月30日 初版第1刷発行

2000年7月17日 初版第19刷発行

検印省略

著 者 西 山 静 男  
池 谷 和 夫  
山 口 善 司  
奥 島 基 良

発 行 者 株式会社 コロナ社  
代 表 者 牛来辰巳

印 刷 所 富士美術印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 4-339-00116-3

(清文社，愛千製本所)

Printed in Japan

無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替いたします

