

日本音響学会 編

音響学講座

4

騒音・振動

山本 貢平

編著

橘	秀樹	坂本	慎一
福島	昭則	尾本	章
矢野	隆	桑野	園子
笹澤	吉明	篠原	直明
松本	敏雄	長倉	清
西村	正治	横島	潤紀
平松	友孝	塩田	正純
内田	季延	前田	節雄
横山	秀史	町田	信夫
落合	博明		

共著



コロナ社

音響学講座編集委員会

編集委員長

安藤彰男（富山大学）

編集委員

秋山いわき（同志社大学）	岩野 公司（東京都市大学）
及川 靖広（早稲田大学）	阪上 公博（神戸大学）
坂本 眞一（滋賀県立大学）	佐藤 史明（千葉工業大学）
滝口 哲也（神戸大学）	菖木 禎史（千葉工業大学）
寺澤 洋子（筑波大学）	古川 茂人（日本電信電話株式会社）
松尾 行雄（東北学院大学）	山田 真司（金沢工業大学）
山本 貢平（小林理学研究所）	渡辺 好章（同志社大学）

（2018年12月現在，五十音順）

「音響学講座」発刊にあたって

音響学は、本来物理学の一分野であり、17世紀にはその最先端の学問分野であった。その後、物理学の主流は量子論や宇宙論などに移り、音響学は、広い裾野を持つ分野に変貌していった。音は人間にとって身近な現象であるため、心理的な側面からも音の研究が行われて、現代の音響学に至っている。さらに、近年の計算機関連技術の進展は、音響学にも多くの影響を及ぼした。日本音響学会は、1977年以來、音響工学講座全8巻を刊行し、わが国の音響学の発展に貢献してきたが、近年の急速な技術革新や分野の拡大に対しては、必ずしも追従できていない。このような状況を鑑み、音響学講座全10巻を新たに刊行するものである。

さて、音響学に関する国際的な学会活動を概観すれば、音響学の物理／心理的な側面で活発な活動を行っているのは、米国音響学会（Acoustical Society of America）であろう。しかしながら、同学会では、信号処理関係の技術ではどちらかという手薄であり、この分野はIEEEが担っている。また、録音再生の分野では、Audio Engineering Societyが活発に活動している。このように、国際的には、複数の学会が分担して音響学を支えている状況である。これに対し、日本音響学会は、単独で音響学全般を扱う特別な学会である。言い換えれば、音響学全体を俯瞰し、これらを体系的に記述する書籍の発行は、日本音響学会ならではの活動ということができよう。

本講座を編集するにあたり、いくつか留意した点がある。前述のとおり本講座は10巻で構成したが、このうち最初の9巻は、教科書として利用できるよう、ある程度学説的に固まった内容を記述することとした。また、時代の流れに追従できるよう、分野ごとの巻の割り当てを見直した。旧音響工学講座では、共通する基礎の部分を除くと、6つの分野、すなわち電気音響、建築音

ii 「音響学講座」発刊にあたって

響，騒音・振動，聴覚と音響心理，音声，超音波から成り立っていたが，そのうち，当時社会問題にもなっていた騒音・振動に2つの巻を割いていた。本講座では，昨今の日本音響学会における研究発表件数などを考慮し，騒音・振動に関する記述を1つの巻にまとめる代わりに，音声に2つの巻を割り当てた。さらに，音響工学講座では扱っていなかった音楽音響を新たに追加すると共に，これからの展開が期待される分野をまとめた第10巻「音響学の展開」を刊行することとし，新しい技術の紹介にも心がけた。

本講座のような音響学を網羅・俯瞰する書籍は，国際的に見ても希有のものと思われる。本講座が，音響学を学ぶ諸氏の一助となり，また音響学の発展にいささかなりとも貢献できることを，心から願う次第である。

2019年1月

安藤彰男

「音響学講座」の全体構成は以下のようになっている。

- 第1巻 基礎音響学
- 第2巻 電気音響
- 第3巻 建築音響
- 第4巻 騒音・振動
- 第5巻 聴覚
- 第6巻 音声（上）
- 第7巻 音声（下）
- 第8巻 超音波
- 第9巻 音楽音響
- 第10巻 音響学の展開

ま え が き

騒音・振動は、音響学の中でも広汎な学問分野を包含しており、さらなる広がりを見せている。全体像をとらえるためには、まず数学・物理学というサイエンスの基礎知識が必要である。その基礎のうえに、テクノロジーとしての機械工学、建築工学、土木工学、電気・電子工学、情報・通信工学などの分野の知識が必要となる。人と音との触れ合いに至ると、聴覚・生理学、心理学、疫学などソーシャルサイエンス分野までの知識が必要となる。さらに騒音・振動の計測・制御と人の生活環境保全・評価にかかわる面からいえば、国内外の規格や法律の知識が非常に重要となる。

本書は大学院生および社会人向けの教科書として作成した。大きく分けて3つに分類している。第1は騒音、第2は振動、第3は低周波音である。低周波音は騒音分野でも扱える項目であるが、音と人との関わりが騒音問題よりは、むしろ振動問題として顕在化することが多いので別項目とした。本書の構成は、国際騒音制御学会議（Inter-Noise）や国際音響学会議（ICA）における騒音・振動セッション構成との関連を参考に設定した。

まず、第1章から第8章までは騒音分野である。第1章は騒音の基礎として、騒音分野で用いる用語の定義と記号、音の伝搬理論、吸音・遮音、数値解析を扱う。第2章では騒音の心理的影響、生理的影響、健康影響を扱う。第3章から第8章までは、それぞれ交通騒音、工場騒音、建設作業騒音、生活環境の騒音、作業環境騒音、環境基準と法規制について扱い、社会問題となることの多い騒音についてその特徴、対策、モデリング、予測計算と法的評価を行う。

第9章から第12章までは振動分野である。第9章は振動の基礎として用語の定義と記号、振動伝搬理論、振動対策、各種建物の振動を扱う。第10章では振動の評価として全身振動暴露と影響評価、振動暴露の予防方法などを扱っている。第11章は公害振動として、道路、鉄道、工場・事業場、建設作業の振動について、その特徴や予測・対策・評価などをまとめている。第12章では振動の法規制を扱う。

最後の第13章は低周波音分野である。騒音・振動と同様に、用語の定義と記号から開始し、低周波音の発生源、伝搬特性、影響評価の知見をまとめた。

本書は以上のような構成であるが、国際会議ではこの第4巻で扱わなかったような内容も、騒音分野のセッションとして取り入れられている。例えば、マイクロホンアレイによる計測（音響学講座 第2巻）、サウンドスケープ（同第10巻）、音響教育（同第10巻）、水中騒音と海棲生物（水中生物音響学の分野）などである。いずれも、騒音・振動の計測・予測・評価という面で重要視されている。

この第4巻の構成にあたっては、本書の著者でもある矢野 隆氏と坂本慎一氏に有用なアドバイスをいただいた。各章・節の著者は、総勢約20名にのぼるが、それぞれの分野の専門家に執筆をお願いした。執筆分担は以下のとおりである。本書によって、騒音・振動についての理解を深めていただければ幸いである。

- 第1章 橋 秀樹* (1.1節), 坂本慎一 (1.2, 1.5節), 福島昭則 (1.3節), 尾本 章 (1.4節)
- 第2章 矢野 隆*, 桑野園子 (2.1節), 笹澤吉明 (2.2, 2.3節)
- 第3章 坂本慎一*, 篠原直明 (3.1節), 松本敏雄 (3.2節), 長倉清 (3.3節)
- 第4章 西村正治*
- 第5章 福島昭則*
- 第6章 横島潤紀 (6.1節), 平松友孝* (6.2節)
- 第7章 笹澤吉明*
- 第8章 横島潤紀*
- 第9章 塩田正純* (9.1～9.3節), 内田季延 (9.4節)
- 第10章 前田節雄*
- 第11章 内田季延 (11.1節), 横山秀史 (11.2節), 塩田正純* (11.3, 11.4節)
- 第12章 横島潤紀*
- 第13章 町田信夫* (13.1節), 落合博明 (13.2, 13.3節)

*印：各章の代表者

目 次

1章

騒音の基礎

1.1	音の単位と表示	2
1.1.1	物 理 量	2
1.1.2	レ ベ ル 表 示	3
1.1.3	感 覚 量	5
1.1.4	環境騒音の評価指標	8
1.2	騒音の発生と幾何拡散	13
1.2.1	点 音 源	13
1.2.2	線 音 源	14
1.2.3	面 音 源	15
1.3	屋 外 伝 搬	17
1.3.1	回 折	18
1.3.2	地 表 面 効 果	28
1.3.3	空気の影響吸収	31
1.3.4	気 象 の 影 響	32
1.4	騒 音 対 策	33
1.4.1	吸 音	34
1.4.2	遮 音	38
1.4.3	消 音 器	44
1.4.4	能動的騒音制御手法	47
1.5	数 値 解 析	50
1.5.1	エネルギー音響学と波動音響学	50
1.5.2	音波の波動方程式に基づく音響数値解析手法の定式化	51
1.5.3	オイラーの式、連続の式と時間領域有限差分法	52

1.5.4 ヘルムホルツ方程式と有限要素法, 境界要素法	55
1.5.5 屋外長距離伝搬の解析のための PE 法	61
引用・参考文献	64

2章 騒音の影響と評価

2.1 騒音の心理的影響	68
2.1.1 騒音の評価法	68
2.1.2 ラウドネス, ノイジネス, アノイアンス	69
2.1.3 社会調査	72
2.1.4 騒音苦情	74
2.2 騒音の生理的影響	76
2.2.1 騒音の生理的影響の概要	76
2.2.2 騒音と難聴	78
2.2.3 騒音と内分泌異常	82
2.2.4 騒音と発達障害	83
2.3 騒音の健康影響	84
2.3.1 騒音の健康影響の研究概要	84
2.3.2 騒音と心疾患	85
2.3.3 騒音と高血圧	86
2.3.4 航空機騒音と動脈性高血圧	87
2.3.5 職域の騒音の健康影響	88
2.3.6 騒音と不眠症	88
引用・参考文献	94

3章 交通騒音

3.1 航空機騒音	99
3.1.1 航空機騒音の特徴	99
3.1.2 航空機騒音の評価	103
3.1.3 航空機騒音の予測	104

3.2	道路交通騒音	112
3.2.1	道路交通騒音の発生要因と音源特性	112
3.2.2	道路交通騒音の予測方法	114
3.2.3	道路交通騒音の対策方法	118
3.2.4	道路交通騒音の常時監視と総合的取組み	121
3.3	鉄道騒音	123
3.3.1	鉄道騒音の音源	123
3.3.2	鉄道騒音の発生源対策	126
3.3.3	鉄道騒音の伝搬対策	130
3.3.4	鉄道騒音の予測方法	132
	引用・参考文献	133

4章 工場騒音

4.1	工場騒音対策の考え方	138
4.1.1	工場の騒音防止計画	138
4.1.2	屋内外の騒音予測	140
4.1.3	機械の騒音防止計画	144
4.2	流体騒音を主要音源とする機器	145
4.2.1	流体騒音の発生メカニズム	145
4.2.2	送風機からの発生音	149
4.3	固体加振を主要音源とする機器	151
4.3.1	不釣合い慣性力による振動	151
4.3.2	衝撃力による振動	153
4.3.3	摺動摩擦音	154
4.3.4	電磁現象による加振力	154
4.3.5	流体力による振動	156
	引用・参考文献	156

5章**建設作業騒音**

5.1	建設作業騒音の概要	158
5.2	音源特性	158
5.2.1	A特性音響パワーレベルおよびA特性実効音響パワーレベル	158
5.2.2	周波数特性	159
5.3	建設作業騒音の予測	160
5.3.1	騒音計算の流れ	160
5.3.2	伝搬計算	162
	引用・参考文献	164

6章**生活環境の騒音**

6.1	地域の騒音	166
6.1.1	近隣騒音	166
6.1.2	開放型事業場騒音	168
6.1.3	風車騒音	171
6.2	建物内の騒音	172
6.2.1	建築における騒音・振動	172
6.2.2	設備騒音低減対策	173
	引用・参考文献	177

7章**作業環境騒音**

7.1	作業環境	179
7.2	作業環境騒音測定	183
7.3	作業環境騒音測定結果の評価	184
7.4	健康管理	186
7.5	健康診断結果の記録と報告	189
7.6	労働衛生教育	189

引用・参考文献	189
---------	-----

8章 環境基準と法規制

8.1 環境基準	191
8.1.1 騒音に係る環境基準	191
8.1.2 航空機騒音に係る環境基準	194
8.1.3 新幹線鉄道騒音に係る環境基準	196
8.2 騒音規制法	197
8.2.1 工場・事業場騒音の規制	197
8.2.2 建設作業騒音の規制	199
8.2.3 自動車騒音の規制	201
8.3 環境影響評価	203
8.3.1 環境影響評価法	204
8.3.2 予測手法	208
引用・参考文献	209

9章 振動の基礎

9.1 振動の単位と表示	211
9.2 振動の伝搬理論	216
9.2.1 波動と土質の物理要因	216
9.2.2 波動伝搬	217
9.2.3 地盤種別の固有振動数	220
9.3 振動の防止	221
9.3.1 振動防止の基本的な考え方	221
9.3.2 振動発生源の振動防止	221
9.3.3 伝搬経路対策	226
9.3.4 受振側対策	227
9.4 各種建物の振動	231
9.4.1 各種建物の振動要因と性状	232

9.4.2	各種建物の振動測定と評価	233
9.4.3	低層建物・家屋の振動性状の実態	238
9.4.4	各種建物振動の予測と対策	240
	引用・参考文献	243

10章 振動の評価

10.1	全身振動の性質と影響	247
10.1.1	国際規格による場合	248
10.1.2	わが国の腰痛予防対策指針による場合	253
10.2	全身振動暴露による全身振動障害予防対策方法	255
10.2.1	振動障害予防のための作業管理手順	255
10.2.2	全身振動乗り物作業時間の管理の具体的な実施方法例	258
10.3	日振動暴露量 $A(8)$ に基づいた具体的な リスクアセスメントの例	261
10.4	今後の労働安全衛生を考えた全身振動障害予防	263
	引用・参考文献	264

11章 公害振動

11.1	道路交通振動	267
11.1.1	道路交通振動の要因と性状	267
11.1.2	道路交通振動に対する苦情実態	269
11.1.3	道路交通振動の測定	269
11.1.4	道路交通振動の予測と対策	270
11.2	鉄道振動	273
11.2.1	鉄道振動の予測方法の分類	273
11.2.2	実測データに基づく予測方法	274
11.2.3	解析的予測方法	277
11.3	工場・事業場振動	279
11.3.1	工場・事業場における振動発生源	279

11.3.2 予 測 方 法	280
11.4 建設作業振動	284
11.4.1 建設作業における振動発生源	284
11.4.2 予 測 方 法	284
11.4.3 発破振動の予測方法	289
引用・参考文献	290

12章 振動の法規制

12.1 振動規制法の概要	293
12.2 工場・事業場振動の規制	293
12.3 建設作業振動の規制	296
12.4 道路交通振動の規制	297
引用・参考文献	298

13章 低周波音

13.1 低周波音の定義と表示	300
13.1.1 低周波音の定義と周波数範囲	300
13.1.2 超低周波音・低周波音の評価指標	301
13.2 低周波音の発生源と伝搬	308
13.2.1 低周波音の発生源	308
13.2.2 低周波音の伝搬	312
13.3 低周波音の測定と評価	314
13.3.1 低周波音の測定	314
13.3.2 低周波音の影響	317
13.3.3 低周波音の評価	323
引用・参考文献	324

索引	328
----	-----

1 章

騒音の基礎

◆本章のテーマ

本章では、騒音を扱ううえで基本となる事項をまとめている。1.1 節では、音に関する諸量とそれらのレベル表示、環境騒音の表示方法などについて述べる。1.2 節では、音源の形状別に音の伝搬を計算する方法について述べる。1.3 節では、屋外における音の伝搬で重要な回折、地表面の影響、空気の音響吸収、および気象の影響について述べる。1.4 節では、騒音対策において重要な吸音と遮音に関する基礎事項と空調ダクト系などで用いられる消音器の減音機構について述べる。1.5 節では、音の波動性を考慮して音場を数値解析によって扱う方法について概説する。

◆本章の構成（キーワード）

1.1 音の単位と表示

音響パワー、音響エネルギー、音圧、音の強さ、音響エネルギー密度、レベル表示、ラウドネス、騒音レベル、騒音暴露レベル、等価騒音レベル

1.2 騒音の発生と幾何拡散

点音源、線音源、面音源、自由音場、半自由音場、逆2乗則

1.3 屋外伝搬

回折、地表面効果、空気の音響吸収、気象の影響

1.4 騒音対策

吸音、吸音率、遮音、音響透過損失、コインシデンス効果、質量則、消音器

1.5 数値解析

時間領域有限差分法、有限要素法、境界要素法、PE法

1.1 音の単位と表示

1.1.1 物理量

音の物理的現象を扱う場合、まず音源がどのくらいの音のパワーあるいはエネルギーを放射しているかということと、音源によってその周囲の空間（音場）がどのような音響の状態になっているかを考える必要がある。これらを定量的に表すために、つぎの量が用いられる。

〔1〕 **音源の音響パワーと音響エネルギー** 定常的に音を放射する音源については、**音響パワー**（sound power：単位時間当りの音響エネルギー、単位は $[W] = [J/s]$ ）が用いられる。一方、衝撃性音源など現象時間が限られている音源についてはパワーの概念は成り立たず、**音響エネルギー**（sound energy, 単位は $[J]$ ）で評価する必要がある。いずれの音源についても、これらの量だけでなく、方向別の放射パワーあるいはエネルギーの強さ（指向性）も重要である。

〔2〕 **音圧** 音源から音が放射されると、それによってその周囲の各点の圧力は大気圧（標準状態で 1013 hPa）を中心として変動する。この圧力の変動分が**音圧**（sound pressure, 単位は $[Pa] = [N/m^2]$ ）である。ヒト（一般に動物）の耳では、この音圧を感じているので、音響の分野では最も基礎的な量として重要である。騒音計（サウンドレベルメータ）などのマイクロホンでは、この音圧を検出している。

〔3〕 **音の強さ（音響インテンシティ）** 音波の進行方向に垂直な単位断面積を通過する音のパワーを**音の強さ**あるいは**音響インテンシティ**（sound intensity, 単位は $[W/m^2]$ ）と呼ぶ。物理的には、音場のある点における音圧と**粒子速度**の積（ベクトル量）の時間平均値で、音をエネルギーの流れとして取り扱う場合に重要な量である。この量の測定では、近接させた二つの音圧マイクロホンで検出される音圧から粒子速度を差分近似し、平均音圧との積を求める方法（2マイクロホン法）などが用いられている。

〔4〕 **音響エネルギー密度** 音場のある点における単位体積当りの音響エネルギーを**音響エネルギー密度**（sound energy density, 単位は $[J/m^3]$ ）と

呼ぶ。この量を直接測定することはできないが、室内音響、室間の遮音、拡散音場（残響室など）における音響パワーの測定などを考える場合に概念的に重要な量である。

音場の状態を表す上記の諸量に関して、最も単純な**平面波音場**（波面が平行とみなせるほど音源から十分離れ、反射音がまったく存在しない理想的な音場）では、音圧の実効値 p_e 、音の強さの時間平均値 \bar{I} 、音響エネルギー密度の時間平均値 \bar{E} の間につきの関係が成り立つ。

$$\bar{I} = \frac{p_e^2}{\rho c} \quad (1.1)$$

$$\bar{E} = \frac{p_e^2}{\rho c^2} \quad (1.2)$$

$$\bar{E} = \frac{\bar{I}}{c} \quad (1.3)$$

ただし、 ρ は空気の密度 [kg/m³]、 c は音速 [m/s] である。

なお、式 (1.2) の関係は、**完全拡散音場**（音のエネルギーの流れがすべての方向について一様であるような理想的な音場）でも成り立ち、残響室における音響パワーの測定などの基礎となる。

1.1.2 レベル表示

ある量を表す場合、その絶対値 Q で表す方法以外に、一定の基準値 Q_0 を約束しておき、それに対する比 Q/Q_0 で表すこともできる。さらにその常用対数の 10 倍、すなわち

$$L = 10 \log_{10} \frac{Q}{Q_0} \quad (1.4)$$

の形で表示した値を一般に**レベル** (level) という。レベルは無次元量であるが、特に**デシベル** [dB] という単位を用いる[†]。なお、式 (1.4) で、対象と

† 式 (1.4) の右辺の 10 を付けない場合には、ベル [B] という単位を用いて表す。音響パワーレベルの表示で、このような表現が用いられることがある。なお、最近の ISO 規格などでは、常用対数は lg で表されている。

4 1. 騒音の基礎

する Q, Q_0 は原則としてエネルギーまたはパワーに相当する量とすることになっている。

レベル表示は電気の分野でも用いられているが、音響学の分野でもいろいろな音に関する量を表す場合に用いられている。その理由の1つは、広い範囲にわたる量を圧縮（対数圧縮）して扱えることである。ヒトの耳でやっと聞くことができる小さな音（最小可聴値）と、それ以上の大きさになると耳に損傷が生じる恐れがある音の範囲は、音圧で $1:10^6$ （音の強さで $1:10^{12}$ ）あるいはそれ以上に及ぶが、これをレベル表示すれば $0 \sim 120$ 程度の数値の範囲に収まる。もう1つの理由は、音の大きさなどの感覚は、刺激の強さの絶対量よりもむしろその対数に比例する傾向があることで、これはフェヒナー（G.T. Fechner）の法則と呼ばれている。

音響の分野で用いられているレベル表示量の定義は、つぎのとおりである。いずれについても、基準値は国際的に統一する必要があるが、ISO規格で決められている。

(1) 音源の音響パワーレベル L_W と音響エネルギーレベル L_J

音響パワーレベル L_W は式 (1.5) で表される。

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad (1.5)$$

ただし、 $P_0 = 1 \text{ pW}$ （基準のパワー）である。

音響エネルギーレベル L_J は式 (1.6) で表される。

$$L_J = 10 \log_{10} \frac{J}{J_0} \quad (1.6)$$

ただし、 $J_0 = 1 \text{ pJ}$ （基準のエネルギー）である。

(2) 音圧レベル L_p

音圧レベル L_p は式 (1.7) で表される[†]。

[†] 数学的には $L_p = 20 \log_{10} (p_e/p_0)$ と表現できるが、レベル表示の原則から、式 (1.7) が音圧レベルの正式な定義式である。

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_e^2}{p_0^2} \quad (1.7)$$

ただし、 p_e は音圧の実効値、 $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ (基準の音圧) である。

(3) 音の強さのレベル (音響インテンシティレベル) L_I

音の強さのレベル (音響インテンシティレベル) L_I は式 (1.8) で表される。

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{\bar{I}}{I_0} \quad (1.8)$$

ただし、 \bar{I} は音の強さの時間平均値、 $I_0 = 1 \text{ pW/m}^2$ (基準の音の強さ) である。

(4) 音響エネルギー密度レベル L_E

音響エネルギー密度レベル L_E は式 (1.9) で表される。

$$L_E = 10 \log_{10} \frac{\bar{E}}{E_0} \quad (1.9)$$

ただし、 \bar{E} は音響エネルギー密度の時間平均値、 $E_0 = 2.94 \times 10^{-15} \text{ J/m}^3$ (基準の音響エネルギー密度) である。

なお、上記の基準値 p_0 、 I_0 、 E_0 は、平面波音場で $L_p = L_I = L_E$ となるように値が決められている。

1.1.3 感 覚 量

騒音の心理的影響はきわめて複雑で、物理的な大きさだけでなく、スペクトル、時間変動特性、聞く状況などによっても大きく異なる。しかし、一般的な環境騒音などでは音の大きさ (ラウドネス (loudness)) が大きいほど、うるささや邪魔な感じ (アノイアンス (annoyance)) も増加することから、ラウドネスの評価が最も基本となる。それ以外にも、音質を評価する尺度が種々提案されている (2.1 節参照)。

〔1〕 ラウドネス、ラウドネスレベル ヒトの耳で聞くことのできる音の周波数範囲 (可聴周波数帯域) は、個人によってまた年齢によって異なるが、おおよそ $20 \sim 20\,000 \text{ Hz}$ である。また、感知することができる最小の音圧 (最小可聴値) は周波数によって異なるが、 $2\,000 \text{ Hz}$ でおおよそ $20 \mu\text{Pa}$ (音圧レ

【あ】

明かり発破	289
アクティブノイズ コントロール	47
圧縮機	156
圧迫感	301
圧力音源	146
アノイアンス	5, 69
アンバランス力	152

【い】

イアマフ	84
異音	144
閾値	303
位相	211
板振動型吸音機構	36
一過性聴力閾値上昇	78
インバータ電磁音	155

【う】

ウォーターハンマ	156
渦度音源	146
運航回数	102
運動方程式	51

【え】

永久性聴力閾値上昇	78
衛生管理者	184
営団式	274
エオルス音	147
疫学調査	84
エネルギー音響学	50
エネルギー平均値	68
エンクロージャ	144
エンジン音	125
エンジン系騒音	112
エンジン試運転	104, 107
エンジン推力	102

エンジン騒音	101
鉛直特性	212

【お】

オイラーの式	51
横断研究	85
横断条項	207
屋外作業場	186
屋外騒音伝搬解析	143
屋内音環境指針	88
屋内作業場	179
屋内騒音レベル	88
オージオグラム	79
オッズ比	86
音のこもり	144
音の強さ	2
——のレベル	5
音の発生メカニズム	144
重み関数	56
重み付き残差法	56
音圧	2
音圧反射係数	29
音圧レベル	4, 77
音響インテンシティ	2
音響インテンシティレベル	5
音響エネルギー	2
音響エネルギー密度	2
音響エネルギー密度 レベル	5
音響エネルギーレベル	4
音響的応力テンソル	145
音響透過損失	38
音響透過率	34
音響パワー	2
音響パワーレベル	4, 13
音源対策	138, 185
温度勾配	313

【か】

回折	18
回折減衰量	133
回転音	148
開放型事業場騒音	166
重ね合せの原理	47
加振力	222
——の規則性	273
——の周期性	273
風雑音	316
壁率	231
かみ合い率	153
下面遮音工	131
ガラ音	153
ガラーキン法	57
感音性難聴	79
感覚閾値	303
感覚過敏	83
環境アセスメント	204
環境影響評価準備書	207
環境影響評価書	207
環境影響評価方法書	206
環境基準	121, 191
管群共鳴音	149
干渉音	150
干渉型の消音器	47
緩衝建築物	121
完全拡散音場	3

【き】

幾何音響学	50
基準レスポンス	214
きしり音	124
規制値	140
軌道面吸音工	131
ギヤ音	125
逆2乗則	13
キャビティトーン	149

キャビテーション	156
吸音	34
吸音率	34
境界積分方程式	58
境界層乱れ	148
境界要素法	51, 55, 58
共振現象	241
共振振動数	241
共鳴器型吸音機構	36
共鳴器型の消音器	46
局所作用	28
許容基準	184
許容限度	201
許容限度値	215
許容差	214
距離減衰式	276
キルヒホッフ	19
——の積分定理	19
近隣騒音	166
【く】	
杭基礎	229
空間高調波電磁音	155
空気伝搬音	143
空気音響吸収	31
空力音	125
空力自励音	149
空力騒音	101
クォーターカーモデル	267
【け】	
計画段階環境配慮書	205
形状関数	57
系の固有振動数	241
計量単位	212
計量法の計量規則	212
血圧	88
限界周波数	41
健康寿命	91
減衰付加	241
建設機械の組合せ	287
建設作業	216

建設作業騒音	158
——の伝搬計算	162
建築物基礎	220
建築物基礎構造	229
建築物基礎地盤	229
建築物構造体	220
【こ】	
コインシデンス効果	41
公害審査会	74
公害等調整委員会	74
公害紛争処理法	74
高架構造物音	118
航空機騒音に係る	
環境基準	12, 103
高血圧	84
鉱山作業	289
工場・事業場	216
剛性補強	241
構造物音	124
広帯域騒音	149
交絡因子	85
後流渦放出	148
国際疾病分類	90
固結地盤	286
固体音	172, 175
固体伝搬音	143
コホート研究	85
固有振動数	232
【さ】	
最大騒音レベル	8, 132, 196
作業環境音	179
作業環境騒音測定	183
作業環境測定基準	183
作業環境測定士	184
作業側側の対策	185
サージング	156
砂礫系	219
参照値	305
残留騒音	9, 306

【し】

ジェット機	100
ジェット旅客機	100
時間重み付き振動レベル	214
時間高調波電磁音	155
時間帯補正等価騒音	
レベル	12, 195
時間平均騒音レベル	11
時間領域有限差分法	51, 52
地震対策	227
地震波速度構造	277
実効騒音レベル	158
質量則	41
質量保存則	51
地盤種別	220, 286
地盤の幾何減衰定数	281
シミュレーションモデル	
	105
遮音	38
遮音壁	119
社会調査	72
車両のばね上の	
固有振動数	268
車両のばね下の	
固有振動数	268
車輪転削	126
ジャンプ現象	153
自由音場	13
住宅性能保証制度	227
摺動摩擦音	154
周波数重み付け特性	8, 214
周波数補正振動加速度	
実効値	248
受感軸	214
主電動機ファン音	125
純音	174
瞬時振動加速度	215
消音器	44, 144
衝撃音	124
衝撃振動	153, 222
常時監視	121, 203

上流乱れ 148
 症例対照研究 85
 自律神経系 84
 シルト系 219
 磁歪振動 155
 新幹線鉄道騒音の
 予測方法 132
 心疾患 84
 人体の全身に及ぼす
 振動影響 227
 振動加速度 211
 振動加速度実効値 212
 振動感 301
 振動感覚 318
 振動規制法 215, 240
 ——にかかわる
 評価指標 216
 振動障害 221, 231
 振動数特性 224
 振動絶縁 127
 振動増幅 238
 振動増幅量 238
 振動速度 211
 振動値 248
 振動伝達率 241
 振動トラブル 221
 振動変位 211
 振動防止方法 221
 振動レベル計 233
 振動レベル計—取引
 又は証明用 214
 振動レベルの
 80%レンジの上端値 270
 心理的ストレス 82

【す】

水車 156
 水平特性 212
 スキール 154
 スクリーニング 206
 スコーピング 206
 ステックスリップ現象 154
 ストレス反応 84

ストレッチャー 83
 スパーク音 126

【せ】

生活習慣病 83
 正弦波 211
 正常な音 144
 制振 128
 制震 227
 制振材 145
 精神障害の分類と
 診断の手引き 90
 生態学的研究 85
 セイピンの残響式 37
 世界保健機関 91
 セグメントモデル 105
 線音源 14, 142
 旋回失速 156
 全周幌 130
 線振源 280
 先端改良型遮音壁 119

【そ】

騒音 68, 76
 ——の許容基準 80
 ——の評価法 68
 騒音苦情 74
 騒音コンター 104
 騒音障害防止のための
 ガイドライン 179
 騒音性聴力損失 78
 騒音性難聴 78, 179
 騒音暴露量 9
 騒音暴露レベル 9
 騒音マッピング 121
 騒音レベル 7, 78
 ——の中央値 9
 相関面積 147
 総合騒音 306
 相対危険度 85
 挿入損失 44
 送風機 149, 156

【た】

第1種事業 204
 第I管理区分 184
 第II管理区分 184
 第III管理区分 184
 耐震 227
 タイヤ/路面騒音 112
 卓越振動数 232, 238
 タクシーイング 104
 ダクト遮断現象 150
 多孔質型吸音機構 35
 多重ロジスティック
 回帰分析 90
 建具のがたつき閾値 304
 縦波 281
 ターボジェット 100
 ターボファン 100
 ターボファンエンジン 100
 ターボプロップ 100
 ダム建設 289
 単位作業場 184
 単発騒音暴露レベル 10,
 132, 195

【ち】

知覚閾値 237
 地上騒音 104
 地上走行経路 111
 地表面過剰減衰 111
 昼夜時間帯補正等価
 騒音レベル 12
 昼夜時間帯補正等価
 騒音レベル 12
 聴覚検査図 79
 聴覚疲労 78
 超低周波音 300
 超低周波音圧レベル 303
 聴力検査 187
 聴力損失 79
 直接基礎 229
 チルトローター機 100

【て】

定期健康診断	186
低公害車	114
定在波	35, 316
低周波音	300
——の測定方法に 関するマニュアル	300
低周波音問題対応の 手引書	300
低周波音圧レベル	302
低周波音レベル計	314
定常振動	221
定常騒音	80, 184
低騒音パンタグラフ	130
デシベル	3
鉄道ボーナス	72
点音源	13, 142
電磁音	155
点振源	280
伝達損失	44
転動音	123
伝搬経路対策	138, 144, 185

【と】

透過音	151
等価起振力法	276
等価振動加速度レベル	271
等価振動レベル	271
等価騒音レベル	11, 114, 179
透過損失	44
動吸振器	241, 273
統計予測式	274
等振動感覚閾値曲線	235
等方等質	229
動脈性高血圧	87
等ラウドネス曲線	6
道路交通	216
道路交通騒音の 予測モデル	115
特高圧母線引き通し	130
特殊健康診断	79

特定計量器検定検査規則	213
特定建設作業	199, 296
特定工場等	197, 293
特定騒音	306
土質	219
——の減衰定数	281
——の損失係数	281
土木研究所提案式 トルク変動	270 152
トンネル掘削	289
トンネル発破	289

【な】

内燃機関	153
内部減衰係数	287
内部減衰量	283
内分泌系	84
軟弱地盤	220
難聴	78

【に】

二回回折	25
二層式排水性舗装	119

【ね】

粘性減衰における 振幅減衰比	282
-------------------	-----

【の】

ノイジネス	69
能動的騒音制御	47

【は】

排水性舗装	114
バイパス比	101
バウンズ現象	153
歯車	153
暴露時間	248
ハザード比	86
波数	55
発生源対策	226
発達障害	83

発電機	154
バッファビル	121
波動インピーダンス	281
波動音響学	50
波動伝搬	226
半自由音場	13
パンタグラフカバー	129
半無限障壁	21

【ひ】

比音響アドミッタンス	29
飛行経路	102
非周期的な衝撃振動	212
比騒音レベル	150
標準貫入試験	219
表面波	281
表面波探査	277

【ふ】

フィードフォワード システム	50
風車騒音	166
風力発電施設から発生す る騒音等測定マニユ アル	306
風力発電施設から発生す る騒音等への対応につ いて	306
フェヒナーの法則	4
負荷インピーダンス	149
不規則的な複合振動	212
物的影響	302
不眠症	89
プレス機械	154
フレネル	18
フレネル-キルヒホッフ の近似回折理論	19
フレネル数	19
プロペラ機	100
プロペラ旅客機	101

【へ】

平面波音場	3
-------	---

ヘルムホルツ共鳴器	36, 46	密度	217			
ヘルムホルツ方程式	51, 55	密粒舗装	114		【ら】	
変圧器	154				ラウドネス	5, 7, 69
変動騒音	184	【め】			ラウドネスレベル	6, 70
弁のおどり	153				【り】	
【ほ】		メタアナリシス	84		リアクタンス型消音器	45
ポアソン比	217	面音源	15, 142		離散周波数騒音	149
ホイヘンス	18	免震	227		リスクファクター	84
ホイヘンス-フレネルの		面振源	280		立体音源	142
原理	18	免振効果	241		粒子速度	2
防音車輪	127	面的評価	194		流体騒音	145
防音壁	130	【も】			【れ】	
防音ラギング	145	目標値	140		レベル	3
防振支持	145	モータ	154		レール削正	126
防振壁	226	【や】			連続の式	51
防振溝	226	雇入時健康診断	186		【ろ】	
膨張型の消音器	45	ヤング率	217		老人性難聴	188
防風スクリーン	316	【ゆ】			労働安全衛生規則	179
ホメオスタシス	84	有限差分法	51		労働安全衛生法	179
掘削・半地下構造道路	120	有限長障壁	23		労働衛生管理	184
ボルニッツの式	276	有限要素法	51, 55, 276		労働衛生教育	189
ポンプ	156	ユニットの基準点振動			労働基準監督署長	189
【ま】		レベル	287		ロングレール	126
前川チャート	22, 133	ユニットパターン	115		【わ】	
【み】		【よ】			湧き出し音源	146
未固結地盤	286	要請限度	201, 297			
乱れ音源	146	横波	281			

【A】		A 特性実効音響			【D】	
A(8)	252	パワーレベル	158		DSM-IV	90
AEDT	106	【B】			【E】	
ANC	47	B 測定	183		ECAC Doc 29	106
APU	107	【C】			【F】	
A 測定	183	CNOSSOS-EU	106		FEM	276
A 特性	7	CN-PE 法	62		F 特性	8
A 特性音圧レベル	7	C 特性	8			
A 特性音響パワー						
レベル	113, 115					

【G】		【J】		PF スタディ	73
GF-PE 法	63	JIS C 1510 : 1995	234	phon	70
G 特性	307	JIS C 1517 : 2014	214	PS 検層	277
G 特性音圧レベル	303			【Q】	
【I】		【L】		QC モデル	267
ICAO	103	L_{Aeq}	68, 114	【R】	
ICAO Doc 9911	106	L_{den}	69, 103	rail bonus	72
ICD-10	90	L_{dn}	72	【S】	
ILO	184	L_{WA}	113	S 特性	8
INCE/J RTV-MODEL		$L_{WA,i}$	115	【T】	
2003	271	LL_p	71	TMD	273
INM	106			【W】	
ISO	184	【M】		WECPNL	103
ISO 2631 シリーズ	234	Miester 曲線	235	【数字】	
ISO 2631-1 : 1997	252	【N】		1 次固有周期	232
ISO 2631-1 : 1997		N_5	71	1 自由度系	241
Wd 曲線	237	N 値	219	2 次固体音	151
ISO 2631-1 : 1997		Nパーセント時間率騒音			
Wk 曲線	237	レベル	8		
ISO 532-1 : 2017	71	【P】			
ISO 532-2 : 2017	71	PE 法	51, 61		
ITS	119				

— 編著者・著者略歴 —

山本 貢平 (やまもと こうへい)

1974年 九州芸術工科大学芸術工学部音響設計学科卒業
1974年 財団法人小林理学研究所勤務
1995年 博士(工学)(京都大学)
1999年 財団法人小林理学研究所所長
2016年 一般財団法人小林理学研究所理事長
現在に至る

坂本 慎一 (さかもと しんいち)

1991年 東京大学工学部建築学科卒業
1993年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了(建築学専攻)
1996年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了(建築学専攻)
博士(工学)
1996年 東京大学助手
1999年 東京大学講師
2002年 東京大学助教授
2007年 東京大学准教授
2018年 東京大学教授
現在に至る

尾本 章 (おもと あきら)

1987年 九州芸術工科大学芸術工学部音響設計学科卒業
1987年 日東紡音響エンジニアリング株式会社勤務
1991年 九州芸術工科大学助手
1995年 博士(工学)(東京大学)
1997年 九州芸術工科大学助教授
2003年 九州大学助教授(大学統合)
2014年 九州大学教授
現在に至る

橘 秀樹 (たちばな ひでき)

1967年 東京大学工学部建築学科卒業
1972年 東京大学工学系大学院博士課程修了(建築学専門課程)
1972年 東京大学助手
1973年 工学博士(東京大学)
1975年 東京大学講師
1977年 東京大学助教授
1991年 東京大学教授
2004年 東京大学名誉教授
2004年 千葉工業大学教授
2014年 千葉工業大学退職

福島 昭則 (ふくしま あきのり)

1981年 九州芸術工科大学芸術工学部音響設計学科卒業
1981年 株式会社ケンオンエンジニアリング勤務
1998年 株式会社ニューズ環境設計代表取締役
現在に至る
2003年 九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科博士課程修了(情報伝達専攻)
博士(工学)

矢野 隆 (やの たかし)

1974年 大阪大学工学部建築工学科卒業
1976年 大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了(建築工学専攻)
1976年 熊本大学助手
1988年 工学博士(大阪大学)
1989年 熊本大学助教授
1997年 熊本大学教授
2017年 熊本大学名誉教授

桑野 園子 (くわの そのこ)

1967年 大阪大学文学部哲学科卒業
1983年 工学博士 (東京大学)
1985年 ミュンヘン工科大学 (ドイツ) 客員研究員
1992年 大阪大学助教授
1996年 大阪大学教授
2005年 日本学術会議会員
2008年 大阪大学名誉教授
2012年 放送大学客員教授

篠原 直明 (しのはら なおあき)

1986年 パシフィックコンサルタンツ株式会社勤務
1988年 財団法人新東京国際空港振興協会 (現 一般財団法人成田国際空港振興協会) 勤務
2016年 一般財団法人空港環境整備協会 (現 一般財団法人空港振興・環境整備支援機構) 航空環境研究センター所長
現在に至る

長 倉 清 (ながくら きよし)

1990年 東京大学工学部計数工学科卒業
1990年 財団法人鉄道総合技術研究所 (現 公益財団法人鉄道総合技術研究所) 勤務
現在に至る
2002年 博士 (工学) (東京大学)

笹澤 吉明 (ささざわ よしあき)

1991年 群馬大学教育学部保健体育専攻卒業
1993年 群馬大学大学院教育学研究科修士課程修了 (保健体育専攻)
1997年 群馬大学大学院医学研究科博士課程修了 (公衆衛生学専攻) 博士 (医学)
1997年 群馬大学助手
2002年 群馬大学学内講師
2002年 ミシガン大学客員研究員
2002年 テキサス大学客員助教授
2005年 高崎健康福祉大学助教授
2006年 琉球大学准教授
現在に至る

松本 敏雄 (まつもと としお)

1985年 日本大学理工学部建築学科卒業
1985年 財団法人小林理学研究所勤務
2005年 博士 (工学) (三重大学)
2014年 一般財団法人小林理学研究所主任研究員
現在に至る

西村 正治 (にしむら まさはる)

1970年 京都大学工学部航空工学科卒業
1972年 京都大学大学院工学研究科修士課程修了 (航空工学専攻)
1972年 三菱重工業株式会社勤務
1990年 工学博士 (姫路工業大学)
2002年 鳥取大学教授
2013年 鳥取大学特任教授
2013年 N ラボ代表
現在に至る

横島 潤紀 (よこしま しげのり)

1988年 名古屋大学理学部物理学科卒業
1990年 神奈川県庁勤務
現在に至る
2006年 博士(工学)(横浜国立大学)

塩田 正純 (しおだ まさずみ)

1968年 東京工業大学(工業教員養成所)
建築学科卒業
1969年 社団法人産業公害防止協会(現 一
般社団法人産業環境管理協会)騒
音係長
1971年 石川島播磨重工業株式会社技術研
究所研究員
1978年 飛鳥建設株式会社技術研究所主任
研究員
1984年 工学博士(東京工業大学)
1987年 芝浦工業大学非常勤講師
1996年 信州大学客員教授
2003年 飛鳥建設株式会社常務執行役員
2005年 工学院大学教授
2007年 愛知工業大学非常勤講師
2015年 技術士事務所 SCCRI 静穏創造研究
所所長
現在に至る

平松 友孝 (ひらまつ ともたか)

1975年 東京工業大学工学部建築学科卒業
1975年 大成建設株式会社勤務
1996年 博士(工学)(東京大学)
2008年 株式会社音環境研究所勤務
2011年 株式会社音環境研究所代表取締役
現在に至る

内田 季延 (うちだ ひでのぶ)

1980年 神奈川大学工学部建築学科卒業
1982年 神奈川大学大学院工学研究科修士
課程修了(建築学専攻)
1982年 飛鳥建設株式会社勤務
2008年 飛鳥建設株式会社技術研究所主任
研究員
2012年 飛鳥建設株式会社技術研究所主席
研究員
現在に至る

前田 節雄 (まえだ せつお)

1975年 近畿大学工学部経営工学科卒業
1977年 大阪府立大学大学院工学研究科修士課程修了(経営工学専攻)
1978年 大阪府立大学大学院工学研究科博士課程中途退学(経営工学専攻)
1978年 近畿大学工学部経営工学科助手
1984年 近畿大学工学部経営工学科専任講師
1985年 工学博士(大阪府立大学)
1991年 サウサンプトン大学音響振動研究所(イギリス)客員研究員
1995年 近畿大学工学部経営工学科助教授
2000年 労働省産業医学総合研究所主任研究官
2003年 博士(医学)(熊本大学)
2006年 独立行政法人労働安全衛生総合研究所(現 独立行政法人労働者健康安全機構)部長
2010年 近畿大学総合社会学部教授
2018年 ノッティンガム・トレント大学(イギリス) Visiting Professor
2019年 Reactec Ltd.(エンジンバラ) Chief Scientific Liaison
現在に至る

町田 信夫 (まちだ のぶお)

1970年 日本大学工学部精密機械工学科卒業
1973年 日本大学大学院工学研究科修士課程修了(機械工学専攻)
1973年 日本大学助手
1985年 日本大学専任講師
1998年 博士(工学)(日本大学)
1999年 日本大学助教授
2003年 日本大学教授
2016年 日本大学特任教授
2017年 日本大学名誉教授
2017年 日本大学非常勤講師
現在に至る

横山 秀史 (よこやま ひでふみ)

1989年 東京大学工学部土木工学科卒業
1991年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了(土木工学専攻)
1994年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了(土木工学専攻)博士(工学)
1994年 財団法人鉄道総合技術研究所勤務
2015年 公益財団法人鉄道総合技術研究所主任研究員(上級)
現在に至る

落合 博明 (おちあい ひろあき)

1973年 学習院大学理学部物理学科卒業
1975年 財団法人小林理学研究所勤務
1981年 学習院大学非常勤講師
2007年 博士(工学)(山梨大学)
2007年 財団法人小林理学研究所主任研究員
2016年 一般財団法人小林理学研究所協力研究員
現在に至る

騒音・振動

Noise and Vibration

© 一般社団法人 日本音響学会 2020

2020年4月13日 初版第1刷発行

検印省略

編者 一般社団法人 日本音響学会
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

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 <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-01364-1 C3355 Printed in Japan

(新井)



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。