

V 音環境	5	室内音響学の基礎（教科書 pp. 180～181）
V 音環境	6	吸音と吸音材料（教科書 pp. 182～184）
V 音環境	7	遮音と遮音材料（教科書 pp. 185～187）
V 音環境	9	騒音の計測と評価（教科書 pp. 192～194）
V 音環境	11	建築音響計測と評価（教科書 pp. 198～200）
V 音環境	12	振動の影響と計測評価（教科書 pp. 201～203）
V 音環境	13	振動と固体音の防止技術（教科書 pp. 204～206）

1. 今日の目標

- 1) 音の反射, 吸収, 透過について知ろう。
- 2) 残響時間について知ろう。
- 3) 音環境の測定方法について知ろう。
- 4) 壁や床の遮音性能の測定方法について知ろう。
- 5) 振動について知ろう。

*****メモ*****

2. 音のエネルギーの反射, 吸収, 透過 (教科書 pp. 180～181)

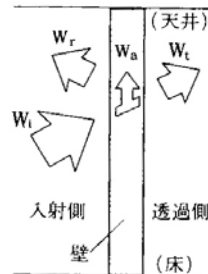


図 壁面による音の反射, 吸収, 透過 (出典: 教科書 p. 180)

(1) 吸音特性

壁の吸音特性を表す指標としては, _____ があり, 以下のように計算される。

$$\begin{aligned} & \text{[_____]} \text{ [N.D., 単位なし]} \\ & = \{ \text{[_____]} - \text{[_____]} \} / \text{[_____]} \\ & = \{ \text{[_____]} + \text{[_____]} \} \\ & \quad / \text{[_____]} \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} = \frac{W_a + W_t}{W_i} \quad (1) \text{ (教科書 p. 180 の (5.1) 式)}$$

ここで,

- α : 吸音率 [N.D.]
- W_i : 入射音の音響パワー [W]
- W_r : 反射音の音響パワー [W]
- W_a : 壁面の内部で吸収される音響パワー [W]
- W_t : 壁面の反対側に透過する音響パワー [W]

- _____ の数値が大きいほど, 吸音される割合が大きい。→→反射される割合が少ない。
- _____ は壁に入射する音の周波数によって値が異なる。

注) 音響パワー: 音源が 1 秒間に放射する音のエネルギーのこと。単位は [W]。配付資料 p. 115 (第 13 回目で配布) も参照。

(2) 遮音特性

壁の遮音特性を表す指標としては、_____と_____があり、以下のように計算される。

・透過率 [N.D., 単位なし]

{ _____ } = { _____ } / { _____ }

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \quad (2) \text{ (教科書 p. 180 の (5.2) 式)}$$

ここで、

τ : 透過率 [N.D.] (τ : タウ)

W_i : 入射音の音響パワー [W]

W_t : 壁面の反対側に透過する音響パワー [W]

・透過損失 [dB]

透過率 τ の逆数をレベル表示したもの。通常の建築材料では、透過率 τ は非常に小さくなるので、レベル表示にする。

$$R = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad (3) \text{ (教科書 p. 180 の (5.3) 式)}$$

ここで、

R : 透過損失 [dB]

→例えば、透過率 0.1 であれば、単位面積当たりの透過損失は 10dB である。

→透過損失の数値が _____ ほど、遮音性能が _____ なる。

注 1) レベル表示については、配付資料 pp. 116～117 (第 13 回目で配布) を参照。

注 2) 吸音材料 : _____ に注目。吸音率が高い材料。

遮音材料 : _____ に注目。透過損失が大きい材料。

3. 吸音（教科書 pp.182～184）

室の残響時間（後述）の調整や騒音の低減のために、内装材として種々の吸音材料や吸音構造が用いられる。音の周波数によって吸音特性が異なる。

→教科書 p. 183 の図 6-2 を参照。

1) _____吸音

_____と繊維との_____や粘性抵抗，材料の小繊維の振動によって，音のエネルギーの一部が熱エネルギーの一部として消費されることを利用。_____音域の吸音に非常に優れるが，_____音域ではそれよりも劣る。ロックウールやグラスウールなどの鉱物・植物繊維類のように毛細管を持つ材料や，ウレタンフォームなど連続気泡を持つ材料。

2) _____吸音

空気が激しく振動し，摩擦により音エネルギーが熱エネルギーに変わることを利用。背後に_____が必ず必要。_____域の吸音に優れる。単体として使用されることはあまりない。

3) _____吸音

板状の材料が激しく振動し，板の内部摩擦や取り付け部の摩擦などにより，音のエネルギーの一部が熱エネルギーに変わることを利用。背後に_____が必ず必要。_____音域より_____音域での吸音性能が良い。

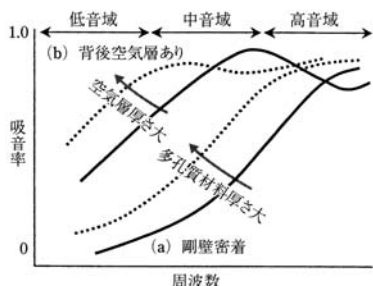
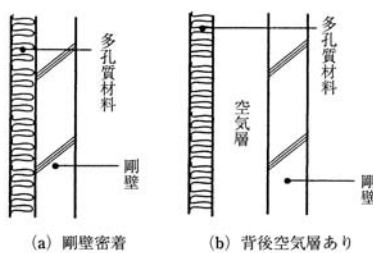


図 多孔質型吸音材料の吸音特性

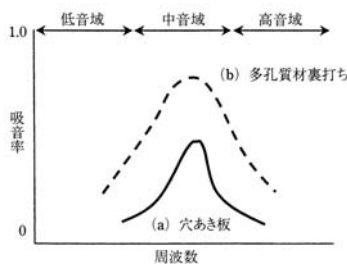
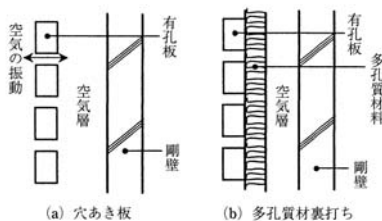


図 共鳴型吸音材料の吸音特性

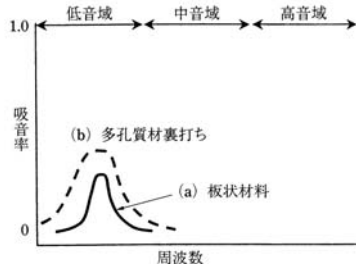
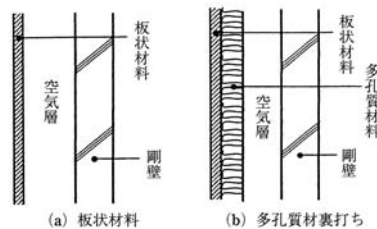


図 板振動型吸音材料の吸音特性

（出典：上記の 3 つとも，参考文献 [4]，pp. 164～165）

4. 遮音（教科書 pp. 185～187）

- 一般に、_____（密度の_____）材料ほど、また同じ材料でも厚さが_____ほど、透過損失は_____なる（=遮音性能が_____）。これを遮音に関する_____という。
例えば、壁厚を 2 倍にすると、透過損失は _____dB 大きくなる。
- ただし、特定の周波数で遮音性能が落ちることがあり、これを_____効果という。
→主に中高音域で生じることが多い。音によって壁体が曲げ振動を生じ、その波と入射音の波が一致すると、そこで音が抜けやすくなるためである。
→音が壁に斜めに入射した時に生じやすい。
- 壁の遮音性能を上げるためには、二重壁や二重窓が有効である。構造的に独立した同じ壁が 2 重になると、理論上は、透過損失も 2 倍になる（実際は、なかなかそうはいかないが）。
ただし、複層ガラスは、中音域（400～600Hz を中心に）で遮音性が単板ガラスよりも劣るため、遮音の目的には適さない（断熱などの熱的性能の向上の方が主目的）。
- 色々な材料でできている建物の壁面全体の透過損失を、_____と言う。ドアや窓サッシ周囲の隙間は、遮音上の弱点であり、遮音対策では隙間を作らないようにする。

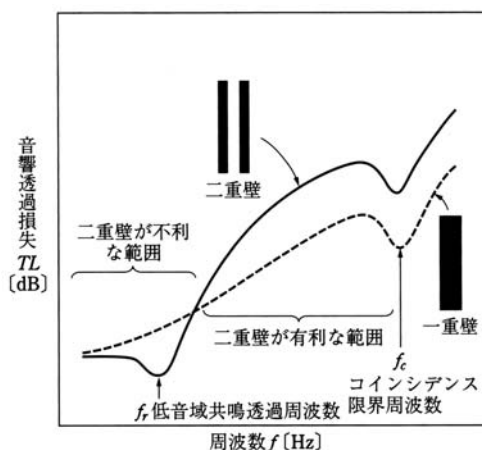


図 一重壁と二重壁の透過損失（出典：参考文献 [4], p. 159）

5. 残響（教科書 p. 181）

室内の音源から音を出し、定常状態に達した後、音源を止めても室内の音が_____現象を_____という。

残響を量的に表すには_____を用いる。室の響きを表す指標である。残響時間の定義は、以下の通りである。

室内の音源から一定のパワーの音を放射し、定常状態に達してから音源を停止した場合に、次第に減衰していく室内のエネルギー密度（単位体積に含まれる音のエネルギー）が定常状態の時の_____分の 1（_____）になる（_____dB 低下する）までに要する時間。

残響時間が_____ほど、言葉が明瞭に伝わる。逆に、音楽のための室の場合は、豊かな響きを得るために、残響時間がある程度_____方がよい。下の 2 つの図を参照。

また一般に、人がたくさんいるほど、残響時間は_____なる。

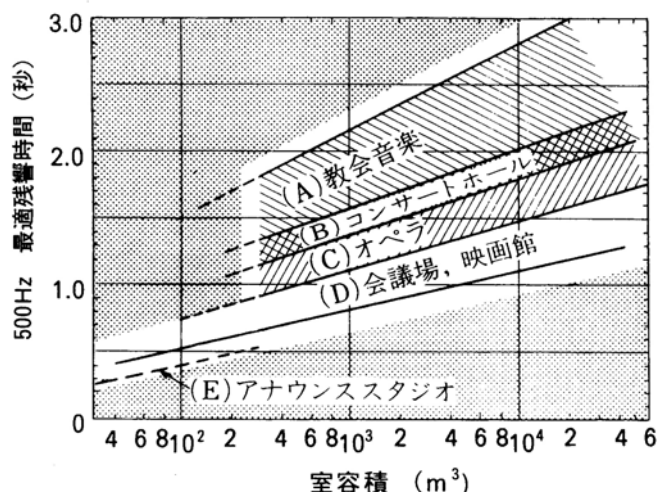


図 各種用途における 500Hz の最適残響時間の範囲（出典：参考文献 [5], P. 62）

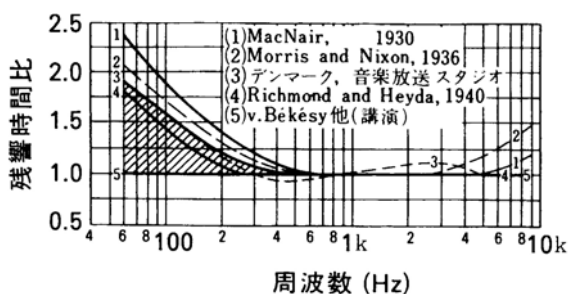


図 周波数全域における残響特性の推奨曲線（出典：参考文献 [5], P. 62）

音楽は(4)，講演は(5)の曲線にするのが最も一般的で、斜線部分は多目的の場合の許容範囲

残響時間の計算には、次の 3 つの式が用いられる。

1) Sabine (セイビン) の式

拡散音場を仮定した残響理論から、残響時間は以下のように計算される。

→ 拡散音場の仮定： 1) 音響エネルギーが室内全体に均一に分布

2) どの点においても音の進行方向はあらゆる方向に一様

$$\begin{aligned} & \left[\frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right] \\ &= \left\{ \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right\} / \left\{ \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right\} \times \left[\frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right] \\ &= \left\{ \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right\} / \left[\frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \right] \end{aligned}$$

$$T = \frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} = \frac{K \cdot V}{A} \quad (4) \text{ (教科書 p. 181 の (5.10) 式)}$$

$$\text{ただし, } K = \frac{6 \times 4}{c \cdot \log_{10} e} = \frac{55.26}{c} \quad (5) \text{ (教科書 p. 181 の (5.11) 式)}$$

ここで,

T : 残響時間 [s]

V : 室の容積 [m^3]

S : 室の表面積 [m^2]

$\bar{\alpha}$: 室の平均吸音率 [N. D.]

A : 室の等価吸音面積 [m^2]

c : 音速 [m/s]

式中の定数 $K = 0.161$ (常温)。

→ 残響時間は、 $\frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}}$ に比例し、 $\frac{K \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}}$ (教科書 p. 180 右側の (2) を参照。) に反比例する。

2) Eyring (アイリング) の式

1) の式は, _____ が大きい室では成り立たない。音が段階的に減衰すると考えた。

$$T = \frac{K \cdot V}{S \cdot \{-\log_e(1 - \bar{\alpha})\}} \quad (6) \text{ (教科書 p. 181 の (5.12) 式)}$$

ここで,

T : 残響時間 [s]

V : 室の容積 [m^3]

S : 室の表面積 [m^2]

$\bar{\alpha}$: 室の平均吸音率 [N. D.]

なお, $\bar{\alpha}$ が十分小さいときは,

$$-\log_e(1 - \bar{\alpha}) \cong \bar{\alpha} \quad (7) \text{ (教科書 p. 181 の (5.13) 式)}$$

であり, 1) の式と一致する。

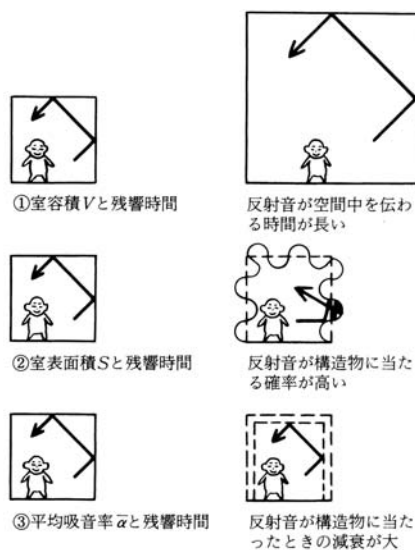


図 残響予測式の定性的理解 (出典: 参考文献 [6], p. 116)

3) Eyring-Knudsen の式

→教科書 p. 181 参照。

6. 音響障害（教科書 p.188）

反響（_____）：直接音が聞こえた後、分離して反射音が聞こえること。一般に、反射音が直接音より 50ms 以上遅れるとエコーを感じると言われている。

_____（鳴竜）：天井と床、両側壁などがお互いに並行した剛壁である場合、拍手、足音などがこの平行面の間を多重反射して、ピチピチ……、プルル……、など特殊な音色をもって聞こえること。

7. 騒音の測定（教科書 pp.192～194）

（1）音圧レベルや騒音レベルの測定

音圧レベルや騒音レベルは、_____（教科書 p.192 の図 9-1 と図 9-3 を参照）で測定する。なお、騒音計で、音圧レベルや騒音レベルを測定する際に、次のように周波数補正を行うことがある。

- _____： _____の聴覚にあわせて、_____周波数を受け入れる能力が低くなるよう補正。_____もしくは、_____などと書き、単位も [_____] と書くことがある。
- _____： 各周波数が物理的にほぼ等しい感度で受音されるように補正。_____もしくは、_____などと書き、単位も [_____] と書くことがある。
- _____： 周波数特性が_____。 L_p と書き、単位は [dB] のままである。

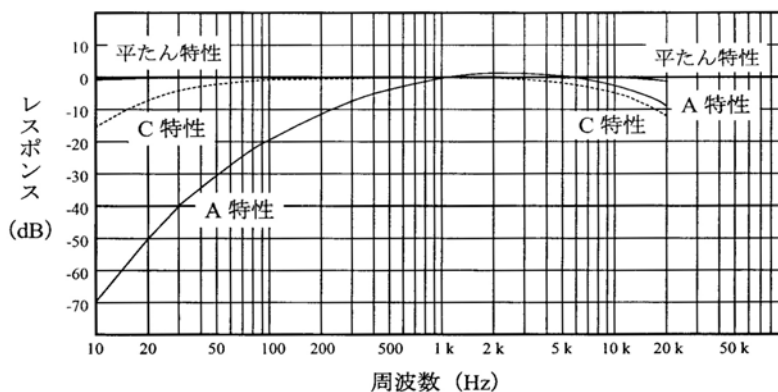


図 騒音計の周波数補正特性（出典：参考文献 [7]，p.9）

（２）室内騒音の許容値

- ・室内騒音の許容値→教科書 p. 194 の表 9-2 を参照。
- ・騒音レベル_____ [_____], もしくは_____ (Noise Criteria) (教科書 p. 194 の図 9-5 を参照) で評価される。

（３）騒音の環境基準

一般騒音や航空機騒音などの環境基準については、教科書 p. 194 の表 9-3 や表 9-4 などを参照。
→ただし、時々改訂があるので、環境省のホームページなどで確認すること。

- ・騒音に係る環境基準について（平成 10 年 9 月 30 日環告 64 改正平成 17 年 5 月 26 日環告 45)

<http://www.env.go.jp/kijun/oto1-1.html>

- ・航空機騒音に係る環境基準について（昭和48.12.27 環境庁告示第154号）改正 平 5 環告91

<http://www.env.go.jp/kijun/oto2.html>

- ・新幹線鉄道騒音に係る環境基準について（昭和50.7.29 環境庁告示第46号）改正 平 5 環告91

<http://www.env.go.jp/kijun/oto3.html>

*****メ ㄇ*****

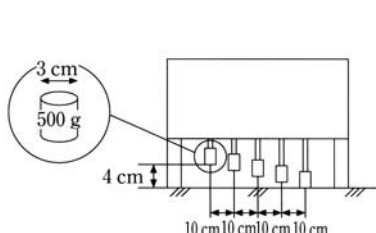
8. 壁や床の遮音性能の測定方法（教科書 pp. 199～200）

(1) 壁の遮音性能の測定

- ・壁の遮音性能の測定方法→教科書 p. 200 の図 11-6 を参照。
- ・測定した 2 つの部屋の室内音圧レベル差から、教科書 p. 200 の図 11-7 を使って空気音遮断性能の等級 D_r を求める。
- ・空気音遮断性能の等級 D_r は、値が _____ ほど、性能がよい。

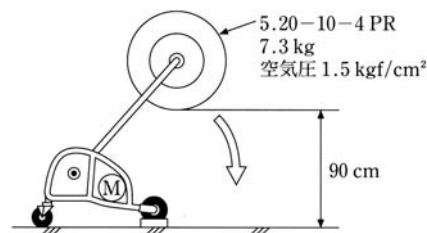
(2) 床の遮音性能の測定

- ・床の遮音性能の測定方法→教科書 p. 200 の図 11-8 を参照。
- ・下階で測定した床衝撃音レベルから、教科書 p. 200 の図 11-9 を使って床衝撃音遮断性能の等級 L_r を求める。
- ・床衝撃音遮断性能の等級 L_r は、値が _____ ほど、性能がよい。



モーターによってハンマーを連続して自由落下させる。
 1 回の落下で 1 度しか床を叩かないようになっている。

図 タッピングマシン（標準軽量衝撃源）
 （出典：参考文献 [6], p. 112）



モーターによってタイヤを円弧状に自由落下させる。
 1 回の落下で 1 度しか床を叩かないようになっている。

図 バングマシン（標準重量衝撃源）
 （出典：参考文献 [6], p. 112）

(3) 床衝撃音の対策

- ・床衝撃音は、床上を歩くときのなどに生じる _____ と子どもの飛び下りなどによって生じる _____ に分かれる。
- ・軽衝撃音の対策：衝撃力が小さいため、_____ の処理（厚手のカーペットなどの柔軟な弾性材料を用いる）などで対応できる。フローリングなどの場合も、フローリングと床の間に弾性材料を入れるとよい。
- ・重衝撃音の対策：衝撃が大きいため、表面のみの対策では難しい。そのため、_____ を厚くする（20cm 以上であればほとんどの場合問題ない。）などの対策が必要になる。また、ガラスウールなどを中間に挿入したコンクリート二重床（浮床）なども有効である。

9. 振動（教科書 pp. 201～206）

物体が強く振動するとき、地盤などの固体中を伝わり遠くまで影響を及ぼす。発生源は、工場機械、土木建設工事、公共交通のほか、冷蔵庫やポンプなど家庭内にもある。

振動によって、不眠や集中力の欠如、頭痛、めまいなどの身体的影響や、建築物のひび割れなどを生じる。

振動の測定には、下図のような_____が使われる。

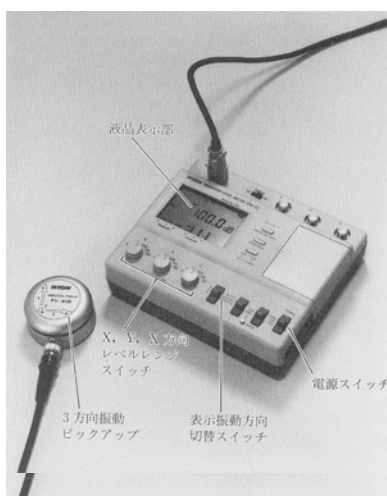


図 振動レベル計と振動ピックアップ（出典：参考文献 [2], p. 152）

機械などからの振動が建物の躯体に伝わり、部屋の壁や床を振動させて音を放射し、騒音となる場合を、_____と言う（教科書 p. 171 の図 1-2 を参照）。_____は空気音とは異なった遮断方法を必要とすることが多い。

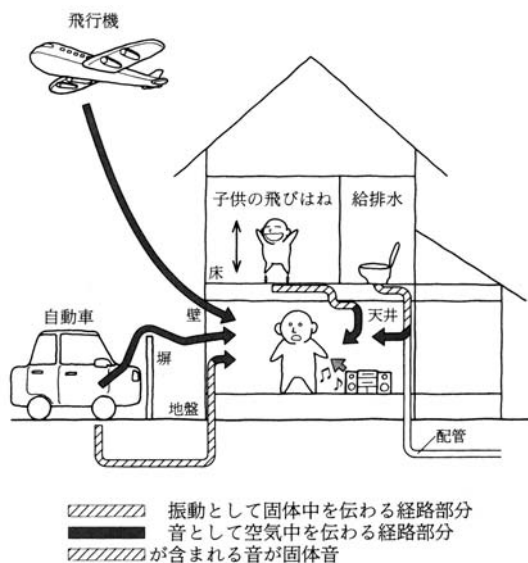


図 空気音と固体音（出典：参考文献 [6], p. 99）

振動を防ぐための防振材料には、_____・マス系のものと粘性系のものに分けられる（教科書 p. 205 の図 13-5 を参照）。防振ゴムや金属ばね、空気ばねなどが代表的である。

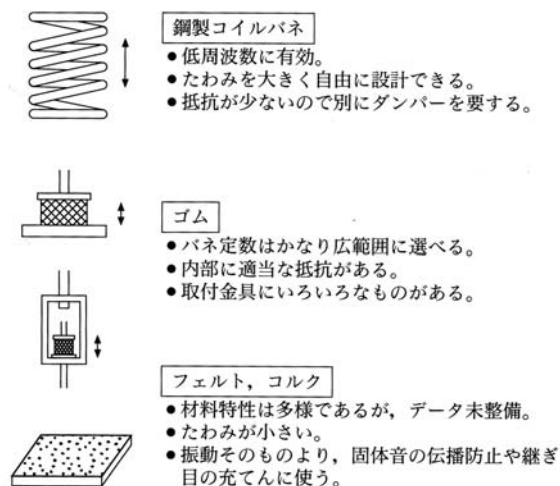


図 空気音と固体音（出典：参考文献 [7], p. 99)

*****メ*****

10. 参考文献（〔〕内は、熊本県立大学附属図書館所蔵情報）

- [1] 『図解住居学5 住まいの環境』（図解住居学編集委員会編，彰国社，1998年10月，¥2,800＋税，ISBN：4-395-28035-8）〔開架2，527||Z 6||5，0000251026，0000251400〕
- [2] 『初めての建築環境』（〈建築のテキスト〉編集委員会編，学芸出版社，1996年11月，¥2,800＋税，ISBN：4-7615-2162-7）〔開架2，525.1||Ke 41，0000216584，0000216585，0000216586〕
- [3] 『建築環境工学用教材 環境編』（日本建築学会編，日本建築学会（丸善），1995年2月，¥1,845＋税，ISBN：4-8189-0442-2）〔開架2，525.1||N 77，0000236338〕
- [4] 『初学者の建築講座 建築環境工学』（倉渕隆，市ヶ谷出版社，2006年10月，¥2,700＋税，ISBN：4-87071-198-2）〔開架2，525.1||Ku 51，000030813〕
- [5] 『建築・環境音響学（第2版）』（前川純一・森本正之・阪上公博，共立出版社，2000年9月，¥3,500＋税，ISBN：4-320-07655-9）〔開架2，524.96||Ma 27，0000248125〕
- [6] 『図説テキスト 建築環境工学』（加藤信介・土田義郎・大岡龍三，彰国社，2002年11月，¥2,400＋税，ISBN：4-395-22127-0）〔開架2，525.1||Ka 86，0000274786〕
- [7] 『NL-21 普通騒音計 取扱説明書 技術編』（リオン株式会社，リオン株式会社，2001年4月，非売品，ISBN：なし）〔所蔵なし〕

11. 参考 URL

- [1] 講義資料のダウンロード
<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~m-tsuji/kougi.html/genron.html/setubigen.html>

（注）

「V 音環境」の中の以下の項目は、時間の都合上、省略せざるを得ないので、各自で勉強しておくこと。

- 「IV 音環境 8 室内の音響の計画と設計（教科書 pp.188～191）」
- 「IV 音環境 10 騒音対策（教科書 pp.195～197）」
- 「IV 音環境 14 音環境の制御（教科書 pp.207～208）」