

第 13 回 室内の音響 (教科書 pp. 127~130)

◎ 音環境の全体像

- └ 【1】 音が出るとき (音源) ————音をどのように捉えるか? 基本
 - | 物理的に数字で捉える
 - | ⇔人間の感覚との対応⇒レベル表示 (桁で考える)
 - |
- └ 【2】 音が出た後—————音をどのようにコントロールするか?
 - | └ 音を受け止める (音を遮る, 止める)
 - | →マイナスの評価, 遮音と吸音の違いを理解!
 - | └ 音を響かせる (音は止めない)
 - | →プラスの評価
 - └ ヒトがどのように評価するか? (好みの問題, 騒音の問題)
- └ 振動

0 今日の内容

- 1 室内音響のポイント (注目したい音, その音と時間の関係, その音の伝わり方)
- 2 残響時間
- 3 反響

1 室内音響のポイント (注目したい音, その音と時間の関係, その音の伝わり方)

重要 空間の中で, 音のエネルギーの分布が, 時間の経過と共に, どのように変化するか?

を考える

(参考) 空気質の濃度の分布が時間的にどのように変わるか? についてを思い出したい

⇒室内音響に関して, 考えたいポイントは, 以下の (1) ~ (3) の 3 つ

(1) 反射する音に注目!!

遮音

吸音

遮音を考える際には
反射音のことはあまり考えない
(透過音もあまり考えない)

吸音を考える際, 吸音性能を高めるためには, 反射音
の音のエネルギーを減らしたい
⇔しかし, 室内音響を考える上では, 「吸音」性能を上
手く使って, 音をコントロールしたい
→室内音響を考える上では, 反射音を活かすことも大
いにあり得る

(2) 反射音は反射した後すぐに到着するか? 遅れて到着するか?

注 時間との関係

①すぐ到達: 残響

「響き方」でプラスにもマイナスにも

②遅れて到達: 反響

室内音響を考える上では, 基本的には障がい
つまり, ない方がよい

・どのくらいの時間で音のエネルギーが減少していくか? (響く? 響かない?)

⇒つまり, 『残響時間』のコントロールが大切←吸音を使ってコントロールすることが多い

(3) 音の伝わり方は直線的 (反射音だけではないけど)

※空気質の濃度分布を考える時と違う点はここ!!

※※光の動きも直線的

空気 (熱エネルギーを運ぶときも)

音 (光もよく似た動き)

3次元の動き (複雑)

直線的な動き (比較的簡単)

発展 空気が運ぶ熱エネルギーは
複雑な動きをする (対流熱伝達)

発展 熱エネルギーの移動でも放射熱伝達は
こちらに近い

2 残響時間

(1) 室内音響を考える上での (室内でよりよい音響を実現したい時の) 目標: ①から⑤の 5 つ

①必要な音/不必要な音: いらぬ音は少なくしたい

②言葉: 言葉を伝えるときは、はっきり伝わるようにしたい

残響時間: 0.1 秒~0.8 秒ぐらいで (教科書 p. 128 参照), 短め

③音楽: 音楽を聴くときは、豊かに響かせたい (ただし、長すぎるのは困る)

残響時間: 1.0 秒~1.5 秒ぐらいで (教科書 p. 128 参照), 長め

⇒②と③は音の響き方の問題 (残響時間を考える)

④分布: 室内の音のエネルギーの分布の偏りを少なくしたい

よく聴こえるところ/聴こえにくいところ をつぐらない

教科書 p. 130 の模式図を参照: 音響設計

⑤障がい: 反響などの障がいは少なくしたい

(2) 残響時間についてもう少し詳しく考えてみよう (残響時間の定義と意味)

◎残響時間の定義：音のエネルギーが 60 [dB] 低下するまでにかかる時間

※残響時間は音の響きと関係する

つまり，音のエネルギーが 10^{-6} の大きさになる (小さくなる) までの時間

参考) $60[\text{dB}] = 10 \cdot \log_{10}10^6 = 10 \times 6$

⇒代表的な計算式が「セービン」の式 (セービンさん：アメリカの人 (1868-1919))

※残響時間に影響を与える要因

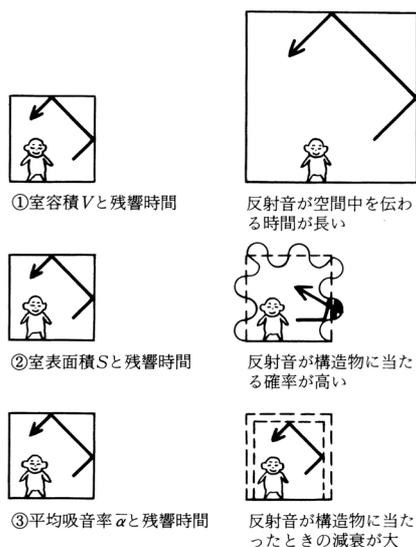


図 残響予測式の定性的理解 (出典：参考文献 [1], p. 116)

注) セービンの式には、**仮定**が入っている→理想的な場合を考えている

セービンの式では、拡散音場を仮定

→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樣

なお、セービンの式で、0.161 という定数が入ってくるのは、以下の理由による。

音のエネルギーの減衰率 $D = 10 \cdot \log_{10} e^{\left(\frac{cA}{4V}\right)}$ (V : 室の容積 [m³], A : 吸音面積 [m²])

と、残響時間 T は 60dB 減衰する時間である ($T = \frac{60}{D}$) ことから

$$\frac{6 \times 4}{c \cdot \log_{10} e} = \frac{55.26}{c} (= K) \quad \langle 1 \rangle$$

ここで、 c : 音速 [m/s] (=331.5+0.61t t : 温度 [°C])

→常温の時は、0.161 となる

そこで、もう少し精確な式にしたい (より現実に近づけたい) と考えた場合は、

「Eyring (アイリング) の式」を使う。

※セービンの式は吸音力が大きい室では成り立たない。そこで、音が段階的に減衰すると考えた。

※※アイリングも人の名前

$$T = \frac{K \cdot V}{S \cdot \left\{ -\log_e (1 - \bar{\alpha}) \right\}} \quad \langle 2 \rangle$$

ここで、 K : 音速に反比例する係数 [単位なし, N. D.] (→ 〈1〉を参照)

T : 残響時間 [s]

V : 室の容積 [m³]

S : 室の表面積 [m²]

$\bar{\alpha}$: 室の平均吸音率 [N. D.]

なお、 $\bar{\alpha}$ が十分小さいときは、

$$-\log_e (1 - \bar{\alpha}) \cong \bar{\alpha} \quad \langle 3 \rangle$$

であり、セービンの式と一致する。

3 反響

反響は室内の音響を考えるとときには、基本的には障がい

ただし、時にはあえて反響を利用することもあり

- ・フラッターエコー (フラッターエコー)

「鳴き竜」とも。

- ・ささやきの回廊 など

反射面が大きな凹曲面を作っていると、音がその面に沿って滑るように何回も反射し、ささやき声が非常に遠くまで明瞭に聞き取れる現象。ロンドンの St. Paul 寺院の大ドームにある回廊が有名。

YouTube で探して、実際に訊いてみよう。いろいろと面白い「おと」がある。例えば、以下のよ
うなキーワードを入れれば、検索できる。

「フラッターエコー」

「フラッターエコー (鳴き竜)」

「ロングパスエコー」←あまり出てこないかも

「音響障害を聴いてみる」(「ブーミング」)

「無響室」

「残響室 最新研究施設」

「インド ビジャープル」もしくは「ささやきの回廊」 など

【参考文献】(順に、タイトル、編著者名、出版社、発行年月、価格、ISBN。[] 内は熊本県立大
学図書館所蔵情報。)

- [1] 『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) [和書 (2F), 525.1||Ka 86, 0000310578]
→第二版もあり (2008年11月, ISBN: 978-4-395-22128-8) [和書 (2F), 525.1||Ka 86,
0000320417]

復習プリント

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

今日の講義の内容を，自分なりに，整理してください。まとめてください。

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

【演習問題】

20m×30m の床，天井高さ 6 m の室の平均吸音率が 0.3 の時の残響時間はいくらか。セービンの式（教科書 p. 128）とアイリングの式（配布プリント p. 133）の両方で求めよ。