

7 音響・振動

7.1 音の属性

(A) 音の属性

- 音波とは：媒質中を伝搬する縦波（疎密波）、太鼓の膜が空気を振動させて音を生じさせる現象がイメージしやすい？
- 音の三属性：強さ・高さ・音色

(a) 強さ

- 音の強さ：強さとは純粋な音の物理量（エネルギー）、距離の2乗に反比例して弱くなる
- 音の大きさ：大きさは人体の聴感上のボリューム、聴覚は非常に広い範囲の音の強さを感知することが可能（ 10^{-12} ~ $1\text{W}/\text{m}^2$ ）そのままの数値で表記するとわかりづらいので、対数尺度（log 尺度）を用いて dB（デシベル）で表記
- dB（デシベル）：「レベル」って付いたらデシベル化していますって意味、10dB 変化すると音の強さは 10 倍、20dB 変化すると 100 倍になるので留意
- **ウェーバー・フェヒナーの法則**：さらに人体の感覚は刺激のべき乗に比例するってことも対数尺で表す際に好都合、あれっ？2 倍になった…？って思ったときはエネルギー的には 10 倍、3 倍になった！って思ったときは 100 倍になっているので注意

(b) 高さ

- **音の高低と周波数**：音の周波数によって高低が決まる、周波数が大きいほど高い音、人体の聴感では周波数ごとに感度が異なっており 4,000Hz 程度が最も感度が高い（同じエネルギーでも最も「大きく」聞こえる、等ラウドネス曲線）
- 低周波音：概ね 100Hz 以下の重低音（20Hz 以下を超低周波音）、圧迫感等の不調をきたすことがあるので留意

(c) 音色

- 音色：一般的な音は様々な周波数の音が混合している、純粋な 1 つの波形のみで構成される音を純音と呼ぶ

《ポイント》

- 人体の聴感って繊細なのか（周波数によって感覚上の音の大きさが異なる）、大雑把なのか（感覚量は刺激量のべき乗に比例）…、面白いですね

【過去問】

- 人体の聴覚 音の聴感上の特性は、音の大きさ・音の高さ・音色の【三属性】によって表される
- 人体の聴覚 【ウェーバー・フェヒナーの法則】によれば、人の音に対する感覚量は、音圧の対数に比例する
- 人体の聴覚 【スティーブンスのべき法則】は、感覚性が刺激量のべき乗に比例することを示す
- 人体の聴覚 人の【可聴周波数】の範囲はおよそ 20~20kHz 程度、対応する波長の範囲は十数 mm~十数 m 程度
- 人体の聴覚 音圧レベルが等しい純音を聴くと、1,000Hz の音より 100Hz の音のほうが小さく感じられる
- 人体の聴覚 音の大きさの感覚量は、低音域で鈍く、3~4kHz 付近で最大となる
- 人体の聴覚 【ラウドネスレベル（=等感度曲線）】は、人の感覚に応じた補正がなされている



(B) 音の速度

- 音の速度：気温 15℃で約 340m/s、気温が高くなると早くなる、音速＝マッハ 1

(C) 音響出力とパワーレベル

- 音響パワー：音響出力、音源から単位時間あたりに放出されるエネルギー、W で表す
- 音響パワーレベル：PWL、音響パワーを基準音のエネルギー（可聴域の下限値）に対してレベル化

$$PWL = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

(D) 音響エネルギー密度レベル

- **音の強さのレベル**：その場の音の強さ（音のエネルギー、音響エネルギー、W/m²）を基準音の強さで除して、常用対数をとったもの、音の強さをデシベル化したもの

$$IL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

(E) 音圧レベル

- **音圧**：音波は疎密波であり、媒質（一般的には空気）の圧力変動によって伝搬する
- 音圧レベル：受音点の音圧の 2 乗を、基準音圧の 2 乗でレベル化 ⇒ コイツだけ 2 乗がつくので留意

$$SPL = 10 \log_{10} \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

(F) 音の強さのレベルと音圧レベルの関係

- 音の強さのレベルと音圧レベル：単位面積を取る面を受音点とすれば実用上は同じです…

$$IL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} = SPL$$

(G) 音の強さのレベルの和

- **レベルの合成**：対数の足し算は面倒…、80dB の機器が 2 つあると合計で 83dB となる（同一出力が 2 つで+3dB）、3 つある場合は+5dB、4 つで+6dB、5 つで約+7dB

(H) マスキング効果など

- **マスキング効果とは**：大きな音に小さな音がかき消されてしまう現象、周波数が近い音ほど生じやすい
- **カクテルパーティー効果**：まわりが喧騒でも、目的の音のみは聞き分けることができる能力



《ポイント》

- 対数表記となるので留意！強さやらエネルギーやら音圧やらが2倍になったところで、レベルは2倍にはなりませんよ

【過去問】

- 音の物理特性 【音の強さ】の単位は、 W/m^2
- 音の物理特性 【音の強さレベル】を20dB下げるためには、音の強さを1/100にする
- 音の物理特性 【音圧】の単位は、Pa
- 音の物理特性 同じ音響出力をもつ二つの騒音源が存在するとき、室内の音圧レベルは、音源が一つの場合に比べ、3dB増加
- 音の物理特性 同じ音圧レベルの音源の数が、4つになると音源が1つの場合に比べて、音圧レベルの値は約6dB増加する
- 音の物理特性 音圧が等しくPである騒音源において、2つの合成音圧は $\sqrt{2}P$ となる
- 音の物理特性 音源の音響パワーを50%に下げると、受音点の音圧レベルは約3dB下がる
- 人体の聴覚 【マスキング】とは、他の刺激の存在により対象刺激を知覚できる最小値が上昇する現象（感覚が鈍くなる）
- 人体の聴覚 【マスキング】は、目的音（マスクされる音）の周波数に対して、妨害音の周波数が低い場合に生じやすい
- 人体の聴覚 【カクテルパーティー効果】は、騒がしい環境下でも聞きたい音を選択的に聞き取ることができる聴覚性質

7.2 騒音

(A) 騒音の許容値

- 騒音とは：存在する音の全ては騒音になり得る
- **騒音の規制値**：地域別・時間別（例：昼間55dB、夜間45dB以下など）で許容値が設定されている

(B) 騒音レベルによる許容値

- **騒音レベル**：騒音計のA特性にて騒音を計測した値、A特性では人体の聴感補正が加えられている

(C) 暗騒音

- 暗騒音とは：測定や苦情対象ではない音、静かな場所でも20~25dB程度は存在する

(D) 騒音の測定方法

- **等価騒音レベル**：騒音計のA特性にて実測した値の、観測時間内におけるエネルギーの平均値をレベル化（dB表記）したもの、変動する騒音の評価の際に用いられる

(E) 室内騒音

- **NC値**：騒音を周波数ごとに実測（オクターブバンド解析）し、その結果を周波数ごとにNC曲線上にプロット、最も大きな値がNC値
- **NC値による基準**：スタジオ<劇場<教室・音楽室<ホテル<住宅（寝室）



(F) S/N 比

- S/N 比とは：騒音関係における S/N 比とは、対象音とそれ以外の音の dB 差を示す

(G) 明瞭度・了解度

- 明瞭度とは：音声の聞き取りやすさを示す、実際に言語を聴取して何語音節を聞き取ることができるのかチェック

《ポイント》

- 人体の聴感補正が加えられた値で評価を行います
- 用途や時間帯等によって許容値は変化します

【過去問】

- 騒音 【A 特性音圧レベル】は、人の聴感補正を周波数別に行った音のレベルであり、音の大きさの感覚に対応する
- 騒音 【騒音レベル】は A 特性で感度補正された量、低音域が優勢な騒音では音圧レベルの値よりも低い値を示す
- 騒音 【等価騒音レベル】は、聴感補正された音のレベルの時間平均値、変動する騒音の評価に用いられる
- 騒音 【騒音の環境基準】住居用に供される地域における昼間の基準値は 55dB(A) 以下、夜間は 45dB(A) 以下
- 騒音 ラジオスタジオの【室内騒音の許容値】は、NC-15~20 程度
- 騒音 【サウンドスケープ】の考え方は、音を取り去るだけでなく、音を生み出したり、音に意識を向けることにより、良好な音環境の形成を目的としたもの

7.3 防音と遮音

(A) 距離による騒音防止

- **距離減衰**：点音源からの音のエネルギーは、距離の二乗に反比例して減衰する、距離が 2 倍になると 6dB 低下する、線音源の場合は、距離が 2 倍になるとエネルギーが半分になり 3dB 低下する

(B) 遮音による騒音防止

- **壁体への音の入射**：壁体を介する音の透過においては、入射音の一部は「反射」、残りが壁体に侵入、侵入した音の一部は壁体内で「吸収」され消滅、残りが反対側へ「透過」
- 遮音とは：音を透過させないこと（反射+透過）

(C) 透過損失

- **透過損失**とは：入射音と透過音のエネルギーの比を dB 化したもの=入射音のレベル (dB) -透過音のレベル (dB)、遮音の性能を表す、以下の質量則が成り立つ ⇒ 周波数特性は次ページ



(D) 質量則

- **質量則の原則**：重い（＝面密度が高い）物質ほど遮音性能（＝透過損失量）が高い、面密度と入射音の積で求めることが可能
- **壁体の遮音性能**：質量則より面密度が高い物質、さらに壁が厚いものほど遮音性能が高い、高音域の方が遮音しやすい

(E) コインシデンス効果

- **コインシデンス効果とは**：一部の周波数において透過損失量が低下してしまう現象、壁体の共振によって生じる、主に高い周波数に生じる

(F) 中空壁（二重壁）の遮音

- 中空壁の遮音性能：中空壁（含む複層ガラス；スペーサーにより 2 枚のガラスの間に隙間がある）は、中高音域では単層壁に比べて遮音性能が高いが、低音域では逆に遮音性能が低下するので留意

(G) 固体音の防止対策

- 固体音とは：設備機器のガタつきや人体の歩行等により生じる、防振ゴム等を介し構造体に振動が伝搬しないように留意する

(H) 建築基準法による遮音規定

- 集合住宅における基準：界壁は RC 造で 10cm 以上等

(I) 遮音等級

- **壁の遮音等級**：周波数ごとの「透過損失量」より求める、D 値、値が大きいほど遮音性能が高い（透過損失量が大きいためから）
- **床の遮音等級**：周波数ごとの「透過音レベル」より求める、L 値、値が大きいほど遮音性能が低い（たくさん透過してしまうから）、靴音や食器などが落下した歳を想定した軽量床衝撃音と子供などの飛び跳ねを対象とした重量床衝撃音の評価がある

(J) ガラスによる遮音

- **複層ガラスの遮音性能**：同じ面密度をもつ単層のガラスよりも、遮音性能は低下する（共振現象により）、その低下の割合は中低音域で特に大きい、断熱性能は高いけどね…



《ポイント》

- 遮音性能が高い材料の特徴を把握、ただしその中でも遮音性能が低下してしまう要因も併せて確認
- 遮音性能の評価では、空間と床で評価方法が異なりますよ

【過去問】

- 遮音 壁体の【透過損失】は、その値が大きいほど遮音性能が優れている
- 遮音 【質量則】において、単層壁の厚さが2倍になると、透過損失は約6dB増加する
- 遮音 遮音性能は、【質量則】によれば壁の面密度が高いほど、また周波数が高いほど、透過損失は大きくなる
- 遮音 単層壁の遮音性能について、【質量則】を用いて予測を行うと、実測値に比べて高め値となる傾向がある
- 遮音 同一の材料で厚さを増していくと、【コインシデンス効果】による遮音性能低下は、低い周波数側へ拡大する
- 遮音 単層壁への平面波入射において、垂直に入射する場合が最も【遮音性能】が高い
- 遮音 垂直入射条件の【透過損失】は、壁の面密度と入射音の周波数の積によって決定する
- 遮音 室の天井に吸音材を設置すると、隣室で音を放射した際の2室の空間音圧レベル差は増加（【遮音性能】向上）
- 遮音 単一材料の場合は、吸音率が高くても【遮音性能】が高いとは限らない
- 遮音 施工性に優れるボード直貼り工法は、石膏ボードを貼り付けることにより壁全体の面密度が高くなるにもかかわらず、【遮音等級D】による評価は低下する
- 遮音 複層ガラスは、その面密度の合計と同じ面密度をもつ単板ガラスに比べて、中低音域での【遮音性能】が劣る
- 遮音 中空二重壁の共鳴透過について、壁間の空気層を厚くすると共振周波数は低くなる
- 遮音 透過率は「入射する音のエネルギー」に対する「透過する音のエネルギー」の割合、透過損失は透過率の逆数
- 遮音 空間の【遮音性能】に関する等級におけるDr-55は、Dr-40に比べて、空気音の遮断性能が高い
- 遮音 【性能に関する等級】におけるLr-30は、Lr-40に比べて、床衝撃音の遮音性能が高い
- 遮音 子供の飛び跳ねによって生じる【床衝撃音】を測定する場合、タイヤの落下を模擬的な加振源として使用
- 遮音 軽量床衝撃音源に対する【床衝撃音の遮音性能】は、カーペット等の柔らかい床仕上げ材の採用により向上
- 遮音 障壁は、音の回折現象によって、低周波音よりも高周波音の遮断に有効

7.4 吸音

(A) 吸音と吸音原理

- 吸音とは：「材料が音を吸収すること・音のエネルギーを他のエネルギーに置換することによって低減する」って教科書ではなっているのですが…本来は「音を反射させないこと」って定義のほうが正しいと思われます
- **吸音機構**：多孔質型（ロックウールなど、繊維の振動）、板振動型（板の共振）、共鳴型（孔と背後の空気層の共振）

(B) 吸音率

- **吸音率とは**：壁に入射する音のエネルギーに対する、透過音のエネルギーと壁に吸収された音のエネルギーの比（入射音と反射されなかった音のエネルギー比）、完全開放の窓は吸音率1.0



(C) 平均吸音率

- 平均吸音率の算定：複数の材で構成される壁全体の平均吸音率は、各材料の吸音率×面積を全体の面積で除して求める、各材の吸音力を合計し全体の面積で除すでも OK

(D) 吸音力

- **吸音力の算定**：吸音率×面積、単位は m^2

(E) 吸音による騒音防止

- 吸音による騒音防止：サイレンサを用いることによって、音のエネルギーを低減することが可能、次項の室の残響時間も短くなる

(F) 2 室間の遮音、遮音度

- 遮音度：隣り合う 2 室間の音圧レベルの差、透過損失・吸音力が関係する

(G) 残響時間

- **残響時間とは**：音源が停止後に 60dB 低下するまでに要する時間

(H) 残響時間の計算式

- **セービンの残響式**：室の容積に比例、吸音力に反比例

(I) 音響設計（オーディトリウム形状）

- 最適残響時間：各室の用途により異なる、音楽を聞く用途では残響時間は長め、講話等の人の話がメインの空間では短めに設定する
- 音の特異現象：エコー：やまびこのこと、鳴龍（フラッターエコー）、ささやきの回廊など



《ポイント》

- 吸音機構（特に多孔質型）の把握、吸音効果を高めるためには？
- 音響設計の基本は残響時間の設定・調整です

【過去問】

- 吸音 【吸音率】は、「入射する音のエネルギー」に対する「透過する音のエネルギー」と「吸収される音のエネルギー」の合計の割合
- 吸音 【多孔質吸音材】を用いた吸音構造では、孔と背後空気層とが共鳴器として機能することにより吸音する
- 吸音 【多孔質吸音材】を広帯域に渡る吸音を目的として使用する際、吸音材の背後に空気層を設けることが効果的
- 吸音 【多孔質材】を剛壁に取り付ける際、多孔質材と剛壁面との間の空気層の厚さを増すと低音域の吸音率が向上
- 吸音 背後空気層をもつ【板振動型吸音機構】において、空気層部分にグラスウールを挿入した場合、グラスウール単体で用いたときの特徴である高周波数域での吸音効果についてあまり期待できない
- 吸音 【多孔質吸音材料】では、その表面を通気性の低い材料によって被覆すると、高音域の吸音率が低下する
- 吸音 【多孔質吸音材】は共鳴器型のメカニズムで吸音するので、音楽室等において吸音面として利用する場合、特定の周波数の吸音過多に注意
- 吸音 せっこうボードを剛壁に取り付ける場合、背後に空気層を設けると低音域で吸音率が大きくなる
- 吸音 拡散性の高い室において、室の平均吸音率が2倍となると、室内平均音圧レベルの値は約3dB減少する
- 吸音 透過吸音面積の単位は、 m^2
- 残響 【残響時間】は、音源停止後に室内の平均音響エネルギー密度が $1/10^6$ に減衰するまでの時間、コンサートホールなどでは聴衆が多いほど短くなる
- 残響 【残響時間】は、人の感覚に依りての補正はなされていない
- 残響 室の天井に吸音材を設置すると、【残響時間】は短くなる
- 残響 【セービンの残響式】によれば、室容積が大きいほど、また透過吸音面積が小さいほど残響時間は長くなる
- 残響 直方体の室で、同一の内装材を用いてその室容積を2倍にしても【残響時間】は2倍にはならない
- 残響 内装材の吸音率が室内で一様な立方体の室において、その天井高さのみを $1/2$ に下げても、【残響時間】は $1/2$ にはならない
- 残響 【最適残響時間】として推奨される値は、室容積の増大にともなって大きくなる
- 残響 音楽ホールの室内【音響計画】において、エコー等の音響障害を避けるために、客席後部の壁や天井は反射率の低い材料を用いる
- 残響 シューボックス型は、奥行きが深い長方形の平面に、高い天井を有するもの
- 残響 【フラッターエコー】は、平行な二つの反射面の間において短音を生じさせた場合、反射音が何度も繰り返して聞こえる現象
- 残響 室の天井に吸音材を設置すると、会話に対する明瞭度は向上する

7.5 振動 ⇒ 教科書一読のこと

【過去問】

- 振動 【振動レベル】は、振動感覚補正を行って評価した振動加速度レベル

8 環境工学融合問題 ⇒ 教科書一読のこと



第2部 建築設備

9 暖房設備・空調設備

9.1 空気調和と空調負荷の概要

- **空気調和とは**：室内の温湿度、気流、じんあい、臭気、各種有害物質などを排除し、室内環境を快適に保つための空気条件を維持すること（冷暖房もちろん含まれる）

《ポイント》

- 環境分野における「室内環境」と若干被りますね…

【過去問】

- 環境評価 【ビル管理法】では、浮遊粉じん量・一酸化炭素含有率・炭酸ガス含有率・温度・湿度・気流についての基準が設けられている
- 環境評価 【ビル管理法】では、快適範囲は定めていない
- 環境評価 【PMV】は、大多数の人が感ずる温冷感の平均値を離村的に予測した温熱環境指標
- 環境評価 【PMV】の快適範囲は、 $-0.5 < PMV < +0.5$
- 環境評価 【PPD】は、熱環境の評価に用いられる、居住者の不満足率の予測値
- 環境評価 【空気拡散性能指標（ADPI）】は、ドラフト感についての指標
- 環境評価 【クリーンルーム】の空気清浄度の等級にはクラス1～9があり、クラスの数値が大きいほど清浄度は低い
- 環境評価 気温の他に、放射および気流の影響までを含めた温熱環境指標の一つとして【作用温度（OT）】がある
- 環境評価 住宅の室内化学物質濃度実態調査（2000年）の報告によると、ホルムアルデヒドとトルエンについて基準値を上回る住宅が一定数存在した

9.2 空調負荷の種類と計算方法

(A) 空調負荷の種類

- 空調負荷の種類：壁体貫流熱、窓からの日射熱、外気の侵入熱、機器の発熱、人体の発熱など

(B) 空調負荷の計算

- 最大負荷：冷房・暖房ともに気象データより類推した設計用外気温湿度（TAC温度）をもとに算定
- **TAC 温湿度**：実際の気象データを統計処理して得られた値で設備設計時の参考に用いられる、気象データの内上位2.5%程度を排除した設計温度、稀に見られる猛暑等は除外されている
- **相当外気温度（SAT）**：日射熱の影響を加味した際に用いられる設計用外気温度、外壁等が日射を受けた場合に生じる温度上昇を想定、日射熱の吸収量のみならず風速の影響も加味されている



《ポイント》

- 負荷＝冷暖房の邪魔をするもの、ってことですね

【過去問】

- 空調負荷 【TAC 温度】とは、実際の気象データを統計処理して得られた値であり、ある超過率を設定して、まれに見られる猛暑等の要因を取り除いたもの
- 空調負荷 【相当外気温 (SAT)】とは、外壁等に日射が当たり、日射の強さに応じて外気温が上昇すると仮想した温度
- 空調負荷 【顕熱比 (SHF)】は、空調機により空気に加えるもしくは除去される熱量のうち、顕熱量の占める割合
- 空調負荷 最大負荷計算では、照明・人体・機器等の発熱は冷房時には含めるが、暖房時には安全側になるので含めない
- 空調負荷 外気負荷のうちの【顕熱負荷】は、「室内外の温度差」と「風量 (質量基準)」と「比熱」の積で表す
- 空調負荷 【湿り空気線図】は、温度・湿度・比エンタルピー等の空気の状態を表したもので、空調の負荷計算や空気の状態解析に用いられる
- 空調負荷 【全負荷相当時間】とは、冷房または暖房負荷の年間の積算値を、最大熱負荷量 (熱源機器容量) で除した値

9.3 冷房負荷

(A) 壁体の貫流熱

- 実効温度差：日射の影響を受けると貫流する熱量も変動する、変動成分を加味し、地域・壁体の種別・方位等から概算で求められた基準温度

(B) 日射熱

- **窓ガラスに当たる日射**：一部は反射⇒ガラスに吸収され放熱 (窓ガラスと室内気温の差により決定) ⇒残りが室内へ透過、したがってガラスからの熱負荷は放射と透過、さらに進入する「熱」としてはそのほかに外気温の影響

- **日射射影係数**：日射を遮る度合い、ブラインドの色等によっても変化 (明るいブラインドのほうが係数が高い)

(C) 侵入外気の熱負荷

- 侵入外気量：隙間の大小・ドアや窓の開閉頻度・屋外の風の影響・室内の温度分布等によって変動、推定が難しいので換気回数を用いて経験則で予測

(D) 照明の熱負荷

- 照明器具の熱負荷：ワットあたりの発熱量は、蛍光灯>白熱灯

(E) 人体の熱負荷

- 人体からの発熱：作業状況によって変化する他、年齢・体重等によっても異なる



(F) 機器の熱負荷

- **機器からの発熱**：サーバー室・データセンター等は発熱量が多いので留意

《ポイント》

- 代表的な負荷の把握と、その際の影響をイメージ

【過去問】

- 冷房負荷 窓ガラスを通して室内に進入する熱は、「日射が直接透過して進入する熱」「室内外温度差により進入する熱」「ガラスの再放射」に分類される
- 冷房負荷 最近の事務所ビルでは、OA 機器・電子機器の増加による室内発熱による【冷房負荷】が大きくなっている
- 冷房負荷 【低放射率ガラス (Low-E ガラス)】は、採光および透明度を確保しながら日射を遮蔽することができ、複層ガラスとして高い断熱性が得られる
- 冷房負荷 窓から流入する日射熱量を 50%低減しても、夏季における窓からの最大冷房負荷を半分にすることは不可
- 冷房負荷 板ガラスを使用した窓の室内側にブラインドを設ける場合、暗色のブラインドよりも明色のブラインドのほうが【日射遮蔽能力】は高い
- 冷房負荷 照明・人体・機器等による室内発熱不可については、冷房時は負荷計算に含めるが、暖房時には安全側になるので負荷に含めない

9.4 暖房負荷

- 暖房負荷の算定：最も寒い日を対象とするので、日射の負荷は除外（部屋を温めてくれるので…）、照明機器等からの発熱は僅かながら加味しても良い

【過去問】

なし

9.5 暖房設備

(A) 暖房設備の分類

- 蒸気暖房：0.01～0.05MPa の蒸気による直接暖房、0.1MPa 以上のものを高圧蒸気暖房と呼ぶ、設備費が安い・予熱時間が短い、スチームハンマー（騒音）・配管の腐食・容量制限の面で難有り
- 温水暖房：60～80℃の温水を用いた直接暖房、100℃以上を高温水暖房と呼ぶ、蒸気式よりも設備費・予熱時間はかかるが、騒音・配管の腐食・制御の面では優る

(B) 床暖房

- 電気式：床の直下に発熱体を組み込み、通電して加温、各方式ともに床表面の温度は 30℃程度が望ましい
- 温水式：外部に熱源を持ちそこから温水を室床下に導いて暖房、熱源はガス・灯油等を用いる他に電気式のヒートポンプを用いる場合もある
- 温風式：高温の温風を床下に循環させる、韓国のオンドル



(C) 放射暖・冷房（パネルヒーティング）、放射床暖房

- **放射熱冷暖房とは**：天井・床・壁面に管を埋設し温水や冷水を流し、放射熱によって室内の温熱環境を調整、天井の高い病院の待合室や議会ホール等に有効、室内の温度分布が均一化しやすいが予熱に時間がかかる、パネルヒーティングとも呼ばれる

(D) 温気炉（ホットエアファーンズ）

- 温気炉：空気加熱炉・送風機（ファン）・加湿器・エアフィルターなどを組み合わせた温風暖房ユニット

(E) 温風暖房

- 温風暖房の特徴：同時に換気空気清浄が可能・温度湿度の調整がしやすい・気温の上昇が早い、送風機から騒音が発生する等の短所もある

(F) 放熱器

- 直接放熱器：鋳鉄製・鋼板製など、ラジエーター、オイルヒータなどで採用されているヤツ
- 空気加熱器：蒸気や温水を鋼管に通して付近の空気を温めて、ファンで送風

(G) ボイラ

- ボイラの種類：容量の少ない鋳鉄製ボイラ（蒸気は 0.1MPa まで）、容量の大きい鋼板製ボイラ（蒸気は 1.0MPa まで）、最も容量の大きい水管式ボイラ（1.0MPa 以上の高圧水蒸気可能）
- ボイラの設置：一定規模（伝熱面積 3 m²以上）のものは専用室に設置し出入口を 2 箇所設ける、ボイラの最上部から天井までの距離は 1.2m 以上・周壁面とは 45cm 以上離す

《ポイント》

- 以下ご一読を

【過去問】

暖房設備 【放射床暖房方式】は、天井の高い病院の待合室や議会ホール等に有効

暖房設備 核店舗・準核店舗・専門店街からなる大型ショッピングセンターでは、営業時間や負荷特性を考慮して熱源を独立させる



9.6 空気調和設備

9.6.1 空調方式

(A) 空調方式の分類と種類

- 建築士試験における空調方式とは：大規模建築物で複数の室の温湿度管理が必要な場合を想定している
- 空調方式の分類：全空気方式（単一ダクト方式・マルチゾーンユニット方式・二重ダクト方式など）、水・空気方式（ファンコイルユニット方式など）、全水方式（ファンコイルユニット方式など）、個別ユニット方式（パッケージ方式・マルチパッケージ方式など）

(B) 定風量単一ダクト方式（CAV）

- **定風量単一ダクト方式**とは：1 台の空調機から建物全室に対して 1 本のダクトで温冷風を送風、各室で風量調整が不可（個別の気温調整ができない）・各室間の温湿度のアンバランスが生じる等の短所がある、とにかく大空間に適する

(C) 変風量単一ダクト方式（VAV）

- **変風量単一ダクト方式**とは：CAV 方式から各室で風量調整ができるように改良が加えられたもの、風量の調整により各室で個別の気温調整が可能、ただし換気のための最低限の風量は確保する必要がある、ホテルの客室・病院の病室等の各室が比較的細かく区切られた用途で有効

(D) マルチゾーンユニット方式

- マルチゾーンユニット方式とは：送風機の吐出し口に冷却・加熱コイルが設置されており、ゾーンごとに温冷の調整が可能

(E) 二重ダクト方式

- 二重ダクト方式とは：冷風用と温風用の 2 本のダクトを有する、混合ユニットで冷風と温風を混合し個別の温度調整が可能

(F) ファンコイルユニット方式（ダクト併用方式）

- **ファンコイルユニット方式**とは：中央熱源室から冷水・温水を各ユニット（ファンとコイルを有する）まで供給し、各ユニットにて気温の調整を行う、温冷水を共通の配管で供給する 2 管式（行きと戻りね）、温冷水を別々に供給する 4 管式がある、個別制御が容易であるので室を細かく区切っている病院やホテルの客室等の用途に適する



(G) 個別ユニット方式

- 個別ユニット方式とは：送風機・冷凍機等が一つのパッケージとなっているもの、一般家庭にあるエアコン

(H) その他の空調方式

- デシカント空調方式：シリカゲルなどの化学的吸湿剤を用いて除湿を行う、エコ
- 大温度差空調方式：吸気温度を下げることにより吹き出し温度差を大きく確保、風量を低減可能
- タスクアンビエント空調方式：全体空調（アンビエント）と個人別・個別の空調（タスク）を併用した空調
- **エアフローウィンドウ**：窓まわりにおける外部からの熱を処理するために窓と設備を一体化した空調システム

- **外気冷房**：外気温が室内気温よりも低い際（中間期・冬期）の冷房に外気を用いる空調、事務所建築等では 10～20% 程度の省エネが期待される

《ポイント》

- 代表的な空調方式それぞれの差異を確認
- 比較的新しい技術を採用した新規方式もチェック（エコがらみですね）

【過去問】

- 空調方式 【変風量単一ダクト方式】を採用する場合は、低風量送風時においても必要外気量を確保することが望ましい
- 空調方式 【変風量単一ダクト方式（VAV）】は、冷暖房負荷に応じて、吹き出し空気量（送風量）を変化させて対応
- 空調方式 【変風量単一ダクト方式（VAV）】は、部屋ごとまたはゾーンごとの温度制御が可能
- 空調方式 【ファンコイルユニット方式】は、個別制御が容易であるので、病室やホテルの客室の空調に採用される
- 空調方式 【リバースリターン配管方式】は、ファンコイルユニット等の各負荷機器を結ぶ配管長さをほぼ等しくし、配管抵抗をほぼ同じとする方式
- 空調方式 【変水量（VWV）方式】とは、端末の空調機などにかかる負荷に応じて、空調配管系を流れる水量を変化させる方式で、二方弁によって配管流量の調整が行われる
- 空調方式 冷水ポンプの消費電力を低減するために、熱負荷に応じて送水量を調整する【変水量（VWV）方式】は有効
- 空調方式 【エアフローウィンドウ方式】は、ペリメーターレス空調の一つであり、窓まわりにおける外部からの熱を処理するために窓と設備を一体化した空調システム
- 空調方式 【エアフローウィンドウ方式】は、夏季における室内温熱環境の改善や、冬季のコーールドラフト対策に有効
- 空調方式 定風量単一ダクト方式において、【外気冷房システム】を用いた場合、室内の相対湿度が低下するので、加湿を行う必要がある
- 空調方式 【外気冷房システム】は、内部発熱が大きい建築物の中間期、冬季におけるエネルギー消費量の低減に有効
- 空調方式 【外気冷房】の効果は、内部発熱が大きく必要外気量の小さい建築物ほど期待できる
- 空調方式 【中央熱源空調方式】は、個人の好みで調整を行うパーソナル空調方式でも採用される
- 空調方式 【24 時間機械換気システム】を用いる場合、住戸全体において、0.5 回/h 程度の換気を行い、各居室がまんべんなく換気されるように配慮する
- 空調方式 【放射冷暖房方式】においては、室内の空気の湿度を低く維持しないと、冷房時に冷却面に結露をおこすおそれがある
- 空調方式 【蓄熱式空調】は、建築物の冷房負荷が小さくなる中間期の冷暖房においても、冷房負荷の大きい夏季と同様に冷凍機の成績係数を高く維持することが可能



9.6.2 空気調和設備に使用する機器等

(A) 冷凍機

- 圧縮式冷凍機の原理：常温で気化する媒質（以前はフロンガス、今は対替）を用いる、媒質の気化熱で周囲の水を冷却、媒質を加圧して再度液体へ変化、圧力を開放して気化を繰り返す
- **圧縮式冷凍機の種類**：往復型（レシプロ、往復運動をするピストンで加圧）、遠心型（ターボ、回転する羽根車で加圧）
- 吸収式冷凍機の原理：水が媒質、水を低圧にすることで常温で気化させる、気化した水蒸気を吸収器（臭化リチウム）で回収、再生機内で吸収液を高温にし水分のみ抽出、また水の圧力を…以降繰り返し
- **吸収式冷凍機の特徴**：圧縮機が無いので静か、冷却水や冷却塔（臭化リチウムを冷却する）が大規模になる（圧縮式の1.5～2倍程度）

(B) 冷却塔

- **冷却塔とは**：冷却水を屋上などに設置した冷却塔に導き水を噴霧して通風によって冷却水を冷却、吸収式冷凍機を用いる場合のほうが、圧縮式冷凍機の場合よりも大型化
- **冷却塔の設置位置**：冷却塔付近には建物開口部を設けない（シックビル症候群の防止）

《ポイント》

- 冷凍機二種（圧縮式/吸収式）の違い
- 冷凍機の特性に伴う冷却塔の差異

【過去問】

- 空調機器 【吸収式冷凍機】は、水を冷媒として用い、蒸発した水蒸気の吸収液として臭化リチウムを用いる
- 空調機器 【吸収冷凍機】は、同一容量の【遠心冷凍機（＝圧縮式冷凍機）】に比べて振動及び騒音が小さい
- 空調機器 省エネ性の高い冷凍機を選定するためには、定格時の成績係数のみならず、年間で発生頻度が高い部分負荷の成績係数も考慮する
- 空調機器 【遠心冷凍機（＝圧縮式冷凍機）】の冷水出口温度を高く設定すると、成績係数（COP）の値は高くなる
- 空調機器 【冷却塔】による冷却効果は、冷却水の蒸発潜熱により得られる
- 空調機器 【冷却塔】においては、冷却水の温度は外気の湿球温度以下まで冷却することはできない（外気で冷却するから外気温以下までは冷やせませんよ…って意味です）
- 空調機器 【二重効用吸収式冷凍機】は、【遠心冷凍機（＝圧縮式冷凍機）】に比べて冷却塔から大気に排出される熱量が大きく、冷却塔は大型化
- 空調機器 【吸収冷凍機】は、同じ能力の【圧縮冷凍機】に比べて、冷却水量が多くなるので、冷却塔は大型となる
- 空調機器 冷却水を直接大気に開放しない密閉式冷却塔は、開放式冷却塔に比べて送風機動力が大きくなるが、水質劣化に伴う冷凍機の性能低下は少ない
- 空調機器 冷却塔と建築物の外気取り入れ口との離隔距離は、冷却塔における冷却水からのレジオネラ属菌による汚染防止のために、10m以上とする
- 空調機器 【冷却塔フリークーリング】とは、中間期 VAV に冷凍機を稼働させずに冷却塔の冷却効果のみで冷房を行うこと



(C) 空気調和機

- 空気調和機とは：外気と循環空気を混合し適温適湿の調和空気を作り、送風機によって各室へ送り込む機器のこと
- 加熱コイル：らせん状のヘリカルフィンコイルと板状のプレートフィンコイルがあり
- **エアフィルター**：粉塵除去用のエアフィルターの粒子捕集率の測定法には、計数法・比色法・質量法などがある
- 空気洗浄機：冷水を噴霧して粉じんの除去や、空気の湿度調整を行う
- **送風機**：軸流送風機は静圧が低く風量が大きい、遠心送風機は静圧が高く風量が小さい傾向にある、風量は羽の回転数に比例・風圧は回転数の2乗に比例・軸動力は回転数の3乗に比例、2台並列に設置しても送風量は2倍にはならない
- **全熱交換器**：空調の外気取り入れに全熱交換器を使用することにより、冷凍機・ボイラー等の熱源装置容量を小さくすることが可能

(D) ヒートポンプ

- **ヒートポンプとは**：媒質の状態を上手に操る（圧力を高めると温度が上昇する）ことにより低温側から高温側に無理やり熱を移動させる技術、消費電力の数倍の熱量を移動させることが可能、冷媒回路を切り替えることにより暖房に用いることも可能、外気温7℃でギリバランスが取れる（井戸水は15℃程度だから熱源としては最適だけど、あまり使い過ぎると役所に怒られる…規制されているところもあり）

《ポイント》

- エアフィルターはその目的から設置場所、送風機は軸流と遠心の差異、全熱交換器はエコの観点からイメージしましょう

【過去問】

- 空調機器 冷温【コイル】の通過風速は、凝縮した水の飛散抑制と輸送動力の低減を考慮し、2~3m/s程度が望ましい
- 空調機器 冷温水【コイル】まわりの制御については、二方弁制御を三方弁制御としてもポンプ動力は減少しない
- 空調機器 粉塵除去の【エアフィルターユニット】の粒子捕集率には、計数法・比色法および質量法の測定方法がある
- 空調機器 ユニット型【エアフィルター】におけるHEPA等の高性能フィルターは、半導体工場、病院、製薬工場、原子力施設等の空気清浄機に採用されている
- 空調機器 病院では外気及び環気浮遊細菌が含まれている可能性を考慮し、【高性能フィルター】を給気側に設ける
- 空調機器 【軸流送風機】は、【遠心送風機】に比べて風量が多く、静圧が低い用途に用いられる
- 空調機器 空調機の【送風機】における主軸の回転に必要な軸動力は、「送風機の全圧力」と「送風量」との積に比例
- 空調機器 【送風機】の軸動力は、羽根車の回転数の3乗に比例（風量は回転数に比例・風圧は回転数の2乗に比例）
- 空調機器 【全熱交換器】の効果は、必要外気量の多い建築物ほど期待できる
- 空調機器 外気取り入れに【全熱交換器】を使用することにより、冷凍機・ボイラー等の熱源装置容量の小型化が可能
- 空調機器 外気取入れに【全熱交換器】を使用すると、夏季および冬季の冷暖房負荷の軽減に有効
- 空調機器 外気冷房採用時には【全熱交換器】をバイパスしたほうが（経路から外したほうが）省エネとなる
- 空調機器 ガスエンジン【ヒートポンプ】は、エンジンの排熱も利用して暖房運転時の効率の向上が図られる

(E) ダクト



- ダクトの分類：低速ダクト（8～15m/s 程度）、高速ダクト（20～30m/s 程度）
- **アスペクト比**：矩形の縦横の比、ダクトにおいては 4：1 以下とすることが望ましい（正方形に近いほうが送風の効率が高い）
- **圧力損失**：圧力損失は、送風動圧（ $=1/2 \times \text{空気密度} \times \text{風速}^2$ ）に比例して大きくなる

(F) 吹出し口・吸込み口

- **がらり**：視線を遮りながら通風換気を行うために通風口に設けられる平行な薄板のこと、砂埃等を吸い込まないように地上 4m 以上の位置に設置、通過する風速は風切り音防止のために 3m/s 以下
- **がらりの風量**：風量＝有効開口率×がらり面積×面風速、面風速は 3m/s 程度とする、外壁ガラルリの通過風量の基準は、給気で 3m/s 以下、排気で 4m/s 以下

例題：風量 14,400m³/h、有効開口率 0.33 の排気ガラルリの必要面積は？

風量＝有効開口率×がらり面積×面風速

ガラルリ面積＝（風量）／（有効開口率×面風速）

ガラルリ面積＝（14,400）／（0.33×4×60×60） 注：排気ガラルリの面風速は 4m/s、ただし秒速なので時速に変換

ガラルリ面積＝0.29

したがって、ガラルリ面積は 0.29m² 以上が望ましい

(G) 保温・保冷

- 冷温水配管の保温：グラスウール・発泡スチロールなどの保冷材を用いて送水時の温度変化を抑えること

(H) 耐震設計

- 地震への対策：各種機器の設置時に地震対策を講じる必要がある



《ポイント》

- ダクトは圧力損失に留意、風速や断面形状によって変化します
- がらりの風量計算がよく出題されますよ

【過去問】

- 空調機器 【換気ダクト】において、ダクトの曲がり部分や断面変化部分に生じる局部圧力損失は、風速の二乗に比例
- 空調機器 【空調・換気ダクト】において、直管部の単位長さあたりの圧力損失は、風速の二乗に比例
- 空調機器 【円形ダクト】において、ダクトサイズを大きくし、風速を30%下げて同じ風量を送風すると、送風による圧力損失が1/2となり、送風エネルギー消費量を低減可能
- 空調機器 【ダクト】系を変更せずに、同一性能の送風機2台を並列運転しても、送風量は2倍とはならない
- 空調機器 【長方形ダクト】を用いて送風する場合、同じ風量、同じ断面積であれば、形状を正方形に近くするほどエネルギー消費量を減少可能
- 空調機器 【軸流吹出し口】の吹き出し気流は、【ふく流吹出し口】の吹き出し気流に比べて誘引比が小さく、広がり角が小さく到達距離が長い
- 空調機器 天井に設ける吹出し口において、【アネモ型吹出し口】は、【ライン状吹出し口】に比べてコールドドラフトが生じにくい
- 空調機器 同風量用の【外気取り入れガラリ】と【排気ガラリ】では、外気取り入れガラリは屋内気流の影響を受けるため、通過風量を低く設定する（排気ガラリの方が通過風速を大きく設定）
- 空調機器 同風量用の【外気取り入れガラリ】と【排気ガラリ】では、外気取り入れガラリは屋内気流の影響を受けるため、通過風量を低く設定することから正面面積は大きくなる
- 空調機器 風量 $14,400\text{m}^3/\text{h}$ 、有効開口率0.33の排気ガラリの面積は、 3.0m^2 以上が望ましい
- 空調機器 風量 $7,200\text{m}^3/\text{h}$ 、有効開口率0.33の外気取り入れがらりの面積は2~ 3m^2 程度が望ましい
- 空調機器 風量 $1,800\text{m}^3/\text{h}$ 、有効開口面積（=がらり面積×有効開口率） 0.05m^2 の外気取り入れがらりの面風速は10m/s（強すぎ…）
- 空調機器 【ポンプの軸動力】は、「ポンプの吐出し量」と「全揚程」に比例する
- 空調機器 【温冷水発生機】は、圧縮式冷凍機部分とボイラー部分を一体化する機能は有しない

9.7 ガス設備

(A) ガスの種類

- 都市ガス：都市ガスの種類は、比重・熱量・燃焼速度の違いにより区分される（13Aなどの数値は熱量と比重の関係、アルファベットは燃焼速度）、空気よりも軽い
- LPガス：ボンベで供給、低濃度でも爆発の危険性有り、空気よりも重い

(B) ガス器具の給排気

- 探知機の設置位置と排気；都市ガスは天井付近に探知機を設置し上部から排気、LPガスは床付近に設置し下部排気

(C) ガス設備の留意点

【過去問】

なし



9.8 空調他

(A) 空調他

【過去問】

- 空調他 単位時間あたりの冷温水の【輸送熱量】は、「行き還り温度差」、「循環流量」、「水の比熱」および「水の密度」の積で表す
- 空調他 【データセンターの空調設備】には、年間冷房・顕熱負荷主体・年間連続運転等の特徴があり、外気冷房や冷却塔フリークーリング等の採用で省エネ化が可能
- 空調他 中央熱源方式における空気調和設備関連の【全機械室の所要スペース】は、シティホテルの場合、事務所ビルと同等か広くなる
- 空調他 中央式空調設備を設ける病院において、【機械室（空調・換気・衛生設備）の床面積】は、延べ面積（駐車場を除く）の5%程度必要

(B) 換気（詳細は本資料 P9「換気・通風」にて）

【過去問】

- 換気 シックハウス対策のための換気を機械換気方式で行う場合、必要有効換気量を求める際の【換気回数】は、当該居室の天井高さによっては異なる値となる
- 換気 事務所ビルの便所の換気量の算出に用いられる【換気回数】は、5～15回/h
- 換気 ピストンフローによる【換気効率】は、完全混合による換気効率の2倍
- 換気 ボイラー室の【給気量】は、燃焼に必要な空気量に室内発熱を除去するための換気量を加えた量とする
- 換気方式 【営業用厨房の換気計画】では、換気排気量は、給気換気量よりも大きく設定する
- 換気方式 【厨房の換気方式】は、臭気の周辺緒室への流出を防ぐために、第一種換気方式または第三種換気方式を採用
- 換気方式 【置換換気】は、汚染物質が周囲空気よりも高温または軽量の際や、小空間に大空気量の給気をする際に有効
- 換気方式 【置換換気方式】は、混合換気方式に比べて換気効率が高くなる
- 換気方式 【床吹出し空調方式（置換換気）】は、OA機器等の配線ルートである二重床を利用するものであり、床吹出し口の移動・増設に対応しやすい
- 換気方式 【置換換気】の換気効率は、全般換気の換気効率よりも高い



(C) 省エネ (詳細は第五回講義にて)

【過去問】

- 省エネ 【地域冷暖房方式】は、1か所または数か所のプラントにより製造された冷水・蒸気・温水等の熱媒を複数の建築物へ供給
- 省エネ ゴミ焼却排熱、下水排熱、河川水等の未利用エネルギーは、【地域冷暖房】の熱源としての活用が可能
- 省エネ 【蓄熱方式】を採用することにより、熱源装置の負荷のピークを平準化し、その容量を小さくすることが可能
- 省エネ 【蓄熱方式】は建築物の冷房負荷が小さくなる中間期の冷暖房においても、冷房負荷の大きい夏季と同様に冷凍機の成績係数を高く維持することが可能
- 省エネ 【蓄熱槽システム】を採用する目的は、ランニングコストの低減、熱源機簿の縮小、安定した熱供給の確保等
- 省エネ 【蓄熱媒体】には、水や氷の他にも建築物の躯体や土壌等を用いることも可能
- 省エネ 【氷蓄熱方式】を採用すると、【水蓄熱方式】に比べて蓄熱槽を小型化できるが、冷凍機の成績係数は20～40%低下する
- 省エネ 【水蓄熱方式】および【氷蓄熱方式】は、蓄熱槽からの熱損失があるので、断熱と同時に適切な防水が必要
- 省エネ 【水蓄熱槽】の空調利用にて、変流量制御を行うことは、蓄熱槽の温度差の確保と省エネルギーに効果あり
- 省エネ 高層ビルの冷温水配管系等において、最下階に【蓄熱槽】を設けた開放回路方式は、蓄熱槽を設けない密閉回路方式に比べて、ポンプ動力はより多く必要
- 省エネ 事務所ビルにおいて、取入れ外気量を室内の二酸化炭素濃度に応じて制御する方式は、省エネ上有効
- 省エネ 【コジェネレーション方式】の発電用の原動機としては、ガスエンジン、ディーゼルエンジンまたはガスタービンが用いられる
- 省エネ 【外気冷房方式】や【ナイトパージ方式】は、内部発熱が大きい建物の中間期や冬季におけるエネルギー消費量の軽減に有効
- 省エネ 【PI制御】とは、比例動作に積分動作を加えたものであり、比例動作のみでは生じやすいオフセットを取り除くことが可能
- 省エネ 空調における【PID制御】は、比例・積分・微分の三つの利点を組み合わせた制御方式
- 省エネ 窓・壁・屋根等の構造体からの熱負荷を50%減少させても、【冷房用エネルギー消費量】は半分にならない
- 省エネ 照明の電力消費量を減少させると、【冷房用エネルギー消費量】も減少させることが可能
- 省エネ 空調運転開始後の予熱・予冷時間において、外気取り入れを停止することは省エネ上有効
- 省エネ評価 【APF】とは、通年エネルギー消費効率のこと、パッケージエアコンが冷暖房期間を通じて室内側空気から除去する熱量および室内側空気に加える熱量の総和と、その期間に消費する総電力量との比
- 省エネ評価 【IPF (氷充填率)】とは、蓄熱槽の水量に対する氷となっている量の割合
- 省エネ評価 【PAL】とは年間熱負荷係数 (建築物外周部の熱的性能を評価する指標)
- 省エネ評価 【空調エネルギー消費係数 (CEC/AC)】の値が小さいほど、空気調和設備に係るエネルギーが効率的に利用されていることを示す
- 省エネ評価 データセンターのエネルギー効率を定量的に評価する指標【PUE】は、「データセンター全体のエネルギー消費量」を「IT機器のエネルギー消費量」で除した値で、小さいほど省エネ

