

0 はじめに

0.1 学科Ⅱ（環境設備）出題傾向

以下に過去 10 年分の出題リストを示します。大きな偏りも無くまんべんなく出題されている傾向にあると思われます。ただし、設備分野は単元も少なく、同一分野から複数の出題があります。また、近年の問題は環境設備に限らず過去問と全く同じ問題は少なくなっている傾向にあります。なお、H20 以前は環境設備は学科Ⅰ（計画）分野に含まれており、出題数は 14 問となっています。

表 0 過去問の出題傾向

		総計	H25	H24	H23	H22	H21	H20	H19	H18	H17	H16
環境工学	用語と単位	8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
	室内気候	6	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1
	換気	11	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	伝熱・結露	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	日照・日射・採光	11	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	照明	8	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
	音響	12	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	色彩	8	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
	防寒・防暑	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	防火・防災	6	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
	環境総合	5	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
建築設備	設備用語	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
	空調・冷暖房・換気設備	22	3	3	3	3	3	2	1	1	1	2
	給排水設備	16	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
	電気設備	11	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
	照明設備	7	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
	防災設備	7	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
	輸送設備	4	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	環境・エコ設備	7	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
	設備総合	5	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0

注：H20 以前は改定前のため、環境設備は学科Ⅰ計画に統合されていました

0.2 日程

- 第一回：室内気候、換気・通風、伝熱と結露
- 第二回：日照・日射、採光・照明、色彩
- 第三回：音響・振動、暖房設備・空調設備
- 第四回：給排水・衛生設備、電気設備・自動制御
- 第五回：消火設備・防災設備・防犯設備、省エネルギー・省資源・長寿命化の技術と評価システム

0.3 本テキストの構成

各単元における当該範囲の過去問（平成 10～25 年までの 16 年分）を併せて示します



第 1 部 建築環境

1 室内気候

1.1 温熱要素

(A) 快適条件（温熱条件）@P7

- **温熱要素**：人体が温冷感を決定づけるために用いる 6 つの要素、温熱要素とは気温・湿度・気流・放射（周壁面温度）・代謝量（作業量）・着衣量の 6 つ

表 1-1 温熱指標とその対象とする要素@P7

	温度	湿度	気流	放射	代謝量	着衣量
不快指数	○	○	×	×	×	×
作用温度	○	×	○	○	×	×
有効温度 (ET)	○	○	○	×	×	×
修正有効温度 (CET)	○	○	○	○	×	×
新有効温度 (ET*)	○	○	○	○	○	○
標準新有効温度 (SET*)	○	○	○	○	○	○
PMV	○	○	○	○	○	○

(B) 不快指数@P7

- 不快指数とは：快適環境評価の中でも最も単純な指標、対象は温度（気温）と湿度のみ、75 以上で「やや暑さを感じる」85 以上で「不快」、生活環境（国など）により快適範囲は若干異なる

(C) 作用温度@P7

- **作用温度**とは：温度・気流・放射を対象とした温熱指標で主に暖房室の評価に用いられる、気温と平均放射温度との重み付け平均で求められる

(D) 有効温度@P7

- 有効温度 (ET) とは：ヤグローの有効温度、温度・湿度・気流の 3 要素が対象、湿度 100%・気流 0 の場合を基準にそれに相当する気温 (ET 温度) を求める、ET 17~20℃の範囲が快適（さらに湿度 40~60%を最快適）

(E) 修正有効温度@P8

- 修正有効温度 (CET) とは：有効温度は、放射（周壁面温度）の影響を考慮していなかったので同温度を考慮するためにグローブ温度計を用いて温度（気温）を計測

(F) 新有効温度@P8

- 新有効温度 (ET*) とは：温熱 4 要素+着衣量・作業量、有効温度は湿度 100%を基準としているが ET*は湿度 50%の環境を基準としている、以下の PMV よりも幅広い温熱条件での適用が可能



(G) 標準新有効温度@P8

- **標準新有効温度 (SET*)** とは：ET*では同一の作業量・着衣量においてのみ快適度の算定が可能であったが、SET*では異なる作業量・着衣量でもそれぞれの快適度を比較することが可能、22.2～25.6℃程度を「快適、許容可能」と定義

(H) PMV@P8

- **PMV** とは：6つの温熱要素を考慮し算定式からPMV値を求める、PMV値は-0.5～0.5の範囲を快適としている（@ISO）、ただし同範囲には10%の人が不満足であるので留意、熱的中立に近い状態での評価に適するので不均一な放射環境や温度分布が偏る場合等には適さない

(I) 「標準」系各種温度の相違点

- 改訂の遍歴：最初に示されたのが【有効温度】温度・湿度・気流の3要素のみが対象で実験環境も湿度100%なんて環境だった⇒【修正有効温度】おいおい…放射の影響もちゃんと考えようよ…ってことで要素が1つ追加された⇒【新有効温度】温熱要素がようやく6つそろってなおかつ実験環境の湿度50%の一般的な環境に近づいた⇒【標準新有効温度】異なる作業量（代謝量）・着衣量での快適性の評価が可能になった

《ポイント》

- 温熱要素4+2とは？
- 各温熱指標の特徴の把握、特に新しい方の指標（標準新有効温度とPMV）には留意！

【過去問】

温熱指標	【温熱6要素】とは、環境側として、気温・放射熱・湿度・気流、人体側として代謝量・着衣量の6つ
温熱指標	静穏な気流条件の暖房室における【作用温度】は、気温と平均放射温度との平均値で表される
温熱指標	【標準新有効温度】における温冷感の範囲は22.2～25.6℃の範囲で「快適、許容できる」
温熱指標	【PMV】とは、気温・放射温度・相対湿度・気流速度・人体の代謝量・着衣量を考慮した温熱指標
温熱指標	【PMV】とは、人体の熱負荷に基づき、熱的中立に近い状態の人体の温冷感を表示する指標のこと
温熱指標	【PMV】は、不均一な放射環境・上下温度分布が大きな環境及び通風環境に対しては適切な評価不可



(J) 熱的快適性と局所的不快感

- **周辺からの放射**：放射の不均一性とは、対象壁・天井面の放射温度の差で示され、暖かい天井に対しては 5℃、冷たい窓面に対しては 10℃が限界である
- **気流の乱れ**：冬期は 0.15m/s、夏季は 0.25m/s 以下とする、特に冬期の冷風による気流の乱れをコールドドラフトと呼ぶ
- **室内の上下の温度**：頭部とくるぶしの温度差は 3℃以内とすることが望ましい
- **床面温度**：床暖房では低温やけどの危険性があるので、表面温度限界は 29℃（30℃程度）
- **温度変動**：室内温度の変動の巾は 1.1℃以内、また 1 時間あたりの変動率は 2.2℃を超えないこと

《ポイント》

- ☐ 不快は「不安定」によって引き起こされます
- ☐ 「不安定」とは、気流の乱れや温度差等ですが、それらの許容値および対策は？

【過去問】

- | | |
|-------|---|
| 熱的快適性 | 【気流の乱れ】が大きいと、平均風速が低くても不快に感じることもある |
| 熱的快適性 | 冷たい壁面による局所不快の防止には、【放射の不均一性】の限界を 10℃以内にすることが望ましい |
| 熱的快適性 | 冬季に窓ガラス付近の冷却された空気が下降して生じる局部気流は【コールドドラフト】に該当する |
| 熱的快適性 | 冬季における室内の上下温度差が大きくなる要因は、外壁・窓の室内側で発生する【コールドドラフト】 |
| 熱的快適性 | 椅座位の場合、くるぶしの高さとの頭の高さの【上下温度差】は 3℃以内が望ましい |
| 熱的快適性 | 建築物の断熱を十分に行えば、室内の【上下温度分布】などの温熱環境が改善される |
| 熱的快適性 | 全身温冷感が中立状態に保たれていても、局所温冷感に係る不快要因が存在すると不快（【局所不快】） |
| 熱的快適性 | 床暖房時【床表面温度】が体温よりも高いと、低温やけどの原因となるので 30℃程度までが望ましい |
| 熱的快適性 | 冷暖房機器は、外部負荷の大きな窓付近に設置すると温熱環境は良好（【冷暖房機器設置位置】） |



(K) 人体からの発熱

- 顕熱：物質の変化を伴わない熱の移動が顕熱（水を温めてお湯になる）、人体における顕熱は体温上昇等の発熱で、人体からの発熱量、行動の重度とともに上昇する
- 潜熱：物質の変化のために消費される熱が顕熱（水を蒸発させるために必要な熱）、人体の場合は発汗蒸発、通常時で 23~46W/人程度、重作業で 210 W/人程度、重作業になると潜熱>顕熱

(L) 作業量

- 代謝量とは：作業や運動で人体が生産するエネルギー、椅子に座って安静にしている場合で、約 58W/m² (=1met) 程度（一人あたりでは概ね 100W）、軽作業で 2met、重労働で 6met

(M) 着衣量

- 着衣量とは：着ている服の種類による断熱性能を示す、着衣無しで 0clo、通常の事務服で 1clo、新有効温度では 0.6clo の場合を想定する

《ポイント》

- 人体からの発熱量（≒代謝量）はどの程度でしょうか？

【過去問】

- 温熱要素 椅座安定時の成人の単位面積あたりの【代謝量】は、58.2W/m² 程度、一人あたりは 100W/人
- 温熱要素 【代謝量】が増えるにつれ、人体からの総発熱量に占める潜熱発熱量の比率は増加
- 温熱要素 【着衣量】の単位は、clo または m²・℃/W

(N) 測定器具

- アスマン通風乾湿度計：感熱部に気流を与えて温度を計測
- カタ計：温度の低下の度合いから微風速を求める風速計、現在はほとんど用いられていない
- グローブ温度計：中空のつや消し黒色球の中に温度計を入れて内部の気温を測り、気温と放射熱の影響を計測

《ポイント》

- 放射って「周壁面温度」とも呼ばれます、途中の媒質（空気）の温度を変化させずに届く熱（電磁波による熱移動）で、黒い服の人って余計に暑いってやつです

【過去問】

- 温熱要素 【放射量】は、物体の表面の絶対温度を 2 倍にすると 16 倍となる（絶対温度の 4 乗に比例）
- 温熱要素 【グローブ温度計】は、つや消し黒塗りの無発熱球の放射と対流による平衡温度を測定するもの
- 温熱要素 【平均放射温度】は、グローブ温度、空気温度および気流速度から求められる



1.2 湿り空気と湿り空気線図

1.2.1 湿り空気の性質

(A) 湿り空気

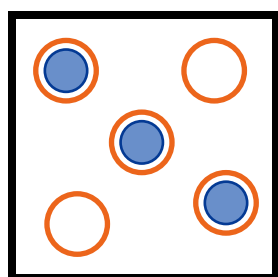
- 湿り空気とは：水蒸気を混合している空気のこと（⇔水蒸気を混合していない空気は乾き空気）

(B) 絶対湿度

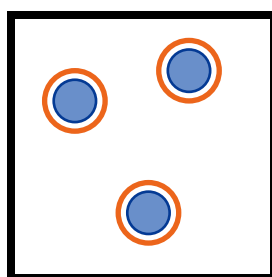
- **飽和絶対湿度**：空気中に含まれる水蒸気の絶対量（的なもの…）、ある温度の空気を含むことのできる限界の水蒸気量を単位乾燥空気当たりの水蒸気量で示したもの

(C) 相対湿度

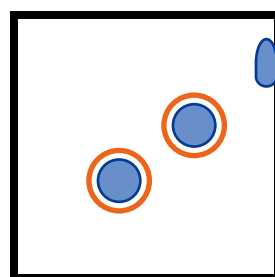
- **相対湿度**とは：一般的に言われる湿度のこと、空気中に含まれる水蒸気量を飽和水蒸気量で除し百分率で表したもの



A



B



C

気 温	高い	中	低い
絶 対 湿 度	3	3	2
飽和水蒸気圧	5	3	2
湿 度	$3/5 \times 100 = 60\%$	$3/3 \times 100 = 100\%$	$2/2 \times 100 = 100\%$

- 飽和水蒸気量：空気は貯めこむことの出来る水蒸気量が決まっている、温度の高い空気はたくさん、温度の低い空気は少ししか水蒸気を貯めこむことができない
- 相対湿度と気温変動：温度の高い空気は水蒸気をたくさん貯めこむことができる（結構余裕がある）ので、相対湿度は低くなる

(D) 乾球温度・湿球温度

- 乾球温度：通常の温度計にて計測した温度（気温）
- 湿球温度：検温部を湿らせた温度計で計測した温度、まわりの空気が乾燥している場合には湿気の蒸発（気化）が激しくなり、通常の温度計よりも温度が低下する（湿気が高い場合には気化が生じないので気温低下は生じない）
- 湿度と乾球温度・湿球温度：まわりの空気の湿度により、乾球温度と湿球温度には差が生じる、湿度が低い環境ではその差は大きく、湿度の高い空間では差は小さい、その関係より湿度を予想することが可能



(E) 露点温度

- **露点温度**とは：気温低下により湿度が100%を超えると結露が生じる、その結露が生じ始める気温のこと

(F) 比エンタルピー

- エンタルピーとは：空気はエネルギー（熱量）を持っているのです！その熱量は気温の熱と水蒸気の持っているエネルギーに大別される

(G) 顕熱および潜熱

- 顕熱とは：物体の状態変化をともしない温度の変化に要するエネルギー（例：水の温度を15℃から30℃に変化させるために必要な熱量）
- 潜熱とは：物体の状態変化によるエネルギー（水を水蒸気に状態変化、蒸発させるのに要するエネルギー）

《ポイント》

- 気温変動と空気中の湿気の関係のイメージ図をしっかりと把握しておきましょう

【過去問】

- 湿り空気 【飽和絶対湿度】とは空気が含める限界の水蒸気量を、単位乾燥空気当たりの水蒸気量で示したもの
- 湿り空気 【相対湿度】は、人の感覚に依る補正はなされていない
- 湿り空気 【露点温度】とは、絶対湿度を一定に保ちながら空気を冷却し、相対湿度が100%となるときの気温

1.2.2 湿り空気線図

(A) 湿り空気線図の原理

- 湿り空気線図とは：湿り空気の熱的状态を示したもの、空気の状態変化の確認や空調の負荷計算で用いる
- 空気線図の読み方：乾球温度・湿球温度・絶対湿度・相対湿度・エンタルピーが示されており、1つの点をプロットするとその5条件の値を読み取ることが可能、

(B) 空気の状態変化

- 状態変化の確認方法：空気線図上に比較する2条件をプロットし、両条件間の前述5条件の変化を確認
- 加熱・加湿：加熱は水蒸気量が増えない温度変化なので相対湿度は低下、加湿は水噴霧方式では気温の上昇は無く湿度のみ上昇、蒸気噴霧方式は高温蒸気を用いるので気温・湿度ともに上昇
- 冷却・除湿：冷却時には空気中の水分を除去するものと、水蒸気を除去しないもの（気温低下とともに湿度は上昇する）がある

1.2.3 湿り空気と結露

- 詳しくは「3 伝熱と結露」にて！



1.3 空気汚染、・室内環境に関連した物質

(A) 居住者の呼吸による室内空気の汚染

- 人体から発生する汚染物質：呼吸による二酸化炭素、発汗による水蒸気、臭気など

(B) 各種汚染物質の許容値

- 各種汚染物質の許容値を以下に示す

表 1-2 汚染物質の許容値（環境基準）@P16

汚染物質	許容値	備考
二酸化炭素 (CO ₂)	1000ppm (0.1%) 以下	室内の汚染度の代表的目安
一酸化炭素 (CO)	10ppm (0.001%) 以下	不完全燃焼で発生、毒性が非常に高い
浮遊粉塵	0.15mg/m ³ 以下	粒子径 10μm 以下の粉塵が対象
ホルムアルデヒド	0.1mg/m ³ 、0.08ppm 以下	シックハウス症候群の代表的物質

表 1-3 汚染物質の発生原因@P17

汚染物質	発生場所	人体への影響
レジオネラ菌	冷却塔・土壌	劇症肺炎を引き起こす
アスベスト	断熱・防火・吸音材	塵肺や肺がんの原因となる
ホルムアルデヒド	接着剤・塗料	シックハウス症全般、炎症・発がん性
有機リン系化合物	害虫駆除材・難燃剤	シックハウス症全般、視力低下・発がん性
揮発性有機化合物 (VOC)	塗料・接着剤・洗剤	シックハウス症全般、炎症・発がん性

《ポイント》

- ☐ 各汚染物質の許容値等具体的な数値のチェックも必要です…面倒ですが
- ☐ PM2.5 って気になりませんか？ ⇒ 粒子径が 2.5μm 以下の微粒子、健康への悪影響が大きいとされる

【過去問】

- 空気汚染 室内空気の【汚染源】は、塵埃、体臭、煙草の煙、揮発性有機化合物、ホルムアルデヒドなど
- 空気汚染 室内の【二酸化炭素】濃度は、4%程度で頭痛や血圧上昇などの人体反応が生じる（許容値は 0.1%以下）
- 空気汚染 酸素濃度が 18%以下となると、不完全燃焼による【一酸化炭素】発生量が増加
- 空気汚染 喫煙による必要換気量は、一酸化炭素・二酸化炭素ではなく、【浮遊粉じん】の発生量で決定
- 空気汚染 【浮遊粉じん】による健康被害は、粒子径が 0.1～1.0μm のものによる影響が大、許容値は 0.15mg/m³
- 空気汚染 【シックハウス症候群】の原因とされる物質は、害虫駆除に使用する有機リン系殺虫剤も含まれる
- 空気汚染 揮発性有機化合物は、【シックビル症候群】の原因となることがある
- 空気汚染 気密性の高い建築物で問題となる【シックビル症候群】は、建材等から放出するホルムアルデヒドが一因



2 換気・通風

2.1 自然換気と機械換気

- 換気とは：建物内の汚染空気（粉じん・有毒ガス・細菌・熱・水蒸気・臭気）と屋外の新鮮空気を入れ替えて、室内の空気の快適性を保つこと、自然の力を用いる「自然換気」と機械の補助を受ける「機械換気」がある

2.2 自然換気

(A) 自然換気の概要

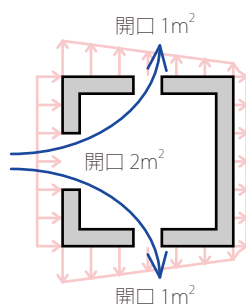
- 機械に頼らない換気、代表的なものは室内外の温度差による空気密度の違いを用いた温度差換気（重力換気）、風の力による風力換気の2種類、室の換気を自然換気のみによって行う場合は開口部の面積を床面積の1/20以上とする必要がある

(B) 透気と漏気と高気密

- 透気と漏気：透気とは隙間からの空気の流入、漏気とは空気の漏れのこと、両者ともすきま風と呼ばれ空調の負荷となる、高気密化で負荷を低減させる（ただし、最近の住宅はあまりに高気密過ぎて室内の汚染物質の自然排出量が減っている…新築の物件のケミカル臭は耐えられない…⇒私の勝手な感想です）

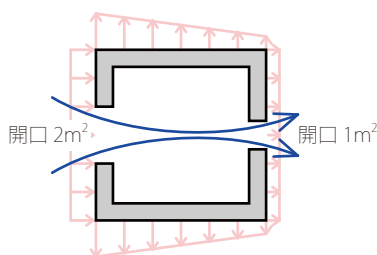
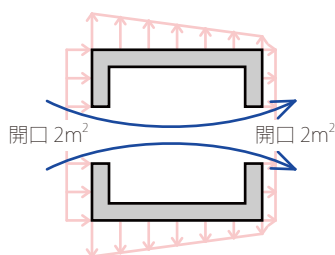
(C) 並列開口による開口部面積の合計

- **並列開口の面積算定**：給気口・排気口の個別の合算、単純に両者の和、 $A = A_1 + A_2$



(D) 直列開口による開口部面積の合計

- **直列開口の面積算定**：給排気口の合算、逆数の2乗の和より算定、 $\frac{1}{A^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2}$



(E) 温度差による換気

- 温度差換気とは：気温が高い空気は密度が小さい（膨張しているので）、逆に気温が低い空気は重くなり両者の間に圧力差が生じる、開口部の高低差があるほど気温差が大きくなり換気量も増える

- 温度差換気による換気量：開口面積に比例、内外の温度差・中性帯と開口部の高低差の平方根に比例

$$Q_t = \alpha A \sqrt{2gh \frac{t_i - t_o}{T_i}}$$

- 煙突効果：室温が外気温よりも高い場合には、室の上方が排気（流出）/下方は給気（流入）、室温の方が低い場合は逆転するので注意

- 中性帯：室内外圧力差が0となるところ、給気と排気が入れ替わる箇所とも、上下に換気量の異なる開口がある場合（例えば面積が異なる）、換気量の大きい方（例えば面積が大きい方）に中性帯は近づく

(F) 圧力差による換気

- 圧力差による換気量算定：換気量は、開口面積に比例、圧力差の平方根に比例

$$Q_p = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\gamma} \times \Delta P}$$



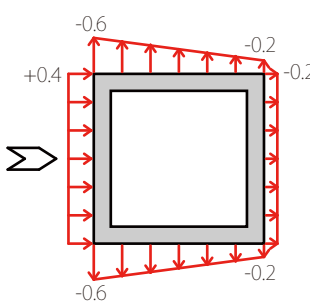
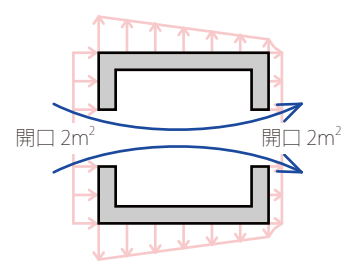
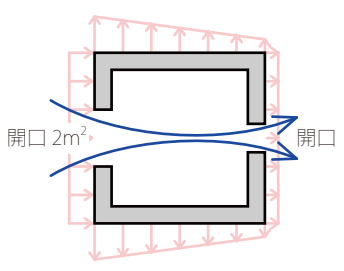
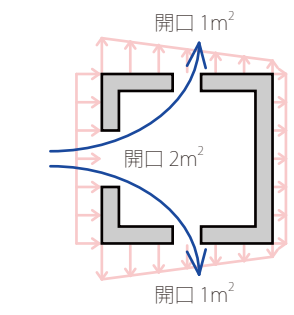
(G) 風圧力による換気

- **風力による換気量**：風圧力による換気は開口面積・風速に比例（風圧力は風速の2乗に比例するので）、風圧係数の差の平方根に比例

$$Q_w = \alpha A v \sqrt{C_f - C_b}$$

(H) 風圧係数

- **風圧係数**とは：建築物の平面・断面形状や部位（軒先等は高くなる）によって変化する風から受ける圧力
- **風力換気による換気量算定**：まずは開口面積を合成（給気・排気個別合成⇒給排気合算）、気圧差の1/2乗をかける

	A	B	C
			
開口面積	$\frac{1}{A_A^2} = \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^2}$ $\frac{1}{A_A^2} = \frac{1}{2}$ $A_A = \sqrt{2}$	$\frac{1}{A_B^2} = \frac{1}{2^2} + \frac{1}{1^2}$ $\frac{1}{A_B^2} = \frac{5}{4}$ $A_B = \sqrt{0.8}$	$\frac{1}{A_C^2} = \frac{1}{2^2} + \frac{1}{(1+1)^2}$ $\frac{1}{A_C^2} = \frac{1}{2}$ $A_C = \sqrt{2}$
風圧係数	$+0.4 - (-0.2) = 0.6$	$+0.4 - (-0.2) = 0.6$	$+0.4 - (-0.4) = 0.8$
通風量	$\sqrt{2} \times \sqrt{0.6}$	$\sqrt{0.8} \times \sqrt{0.6}$	$\sqrt{2} \times \sqrt{0.8}$



《ポイント》

- 各換気法の換気量算定式は超重要！面倒ですが頭の中でしっかりとイメージしながら覚えてください
- 通風量の計算も H23 に出題されました

【過去問】

- 自然換気 計画的な【自然換気】では、建築物内外の温度差や建築物周辺の風圧を考慮して換気口等の大きさを決定
- 自然換気 【圧力損失】の単位は、Pa、または mmH₂O
- 自然換気 通過風量は、開口の【内外圧力差】を 2 倍にすると√2 倍になる
- 自然換気 上下の大きさの異なる開口では、大きな開口部における【内外圧力差】は、小さな開口部に比べて小さい
- 自然換気 開口部の風圧係数の値がすべて（＋）であっても、風圧係数の値に差があれば【風力換気】は生じる
- 自然換気 【風力換気】による換気量は、外部風向と開口条件が一定ならば、外部風速に比例する
- 自然換気 風上・風下に 2 つの窓を設置した場合、両者の面積が等しい時に最大の換気量となる（【風力換気】）
- 自然換気 上下大きさの同じ二つの開口にて無風条件で【温度差換気】を行うと、換気量は内外温度差の平方根に比例
- 自然換気 外気温度が室内温度よりも高いとき、【中性帯】よりも上側の開口から外気が侵入、下側から排気
- 自然換気 上下に異なる大きさの開口で内外に温度差がある場合、【中性帯】の位置は開口部の大きい方に近づく
- 自然換気 建築物内外における空気密度の差は、【煙突効果】を発生させる原因となる
- 自然換気 天井の高いアトリウムでは、【上下温度差】が生じやすいので、空調ゾーンを居住域に限定することも検討

2.3 換気量と換気回数の計算

(A) 呼吸による CO₂ の増加と必要換気量

- **必要換気量**とは：室内の汚染物質を許容値以下に保つために必要な新鮮空気の量、1 時間あたりの容量 m³ で示す、室内で発生する汚染物質の量が増える・屋外の新鮮空気が汚れているほど必要換気量は増す
- **二酸化炭素の必要換気量**：二酸化炭素の排出量（例えば人数×一人あたりの排出量「軽作業時で 0.02m³/h」など）を許容値と屋外濃度の差（汚染された空気がどの程度の割合で新鮮空気に入れ替わっていくのか？）で除して求める

$$Q = \frac{k}{P_i - P_o}$$

(B) 換気回数とすきま風

- **必要換気回数**：必要換気量を室の容積で除したもの、1 時間あたりに室内空気を何回全取り替えをきる必要があるのか？
って意味

$$N = \frac{Q}{V}$$



(C) 燃焼に必要な空気量と排ガス量

- 開放型燃焼器具：ガスコンロ・反射型石油ストーブなど、給排気を設けて換気することが不可欠、理論排ガス量の 40 倍以上の給気が必要
- 半密閉型燃焼器具：排気筒付きの給湯機、ボイラなど給気口が付随している、理論排ガス量の 2 倍以上の給気が必要
- 密閉型燃焼器具：BF（バランス型）給湯機、FF（強制給気）型ストーブ給排気ともに専用の筒で行う

《ポイント》

- 各換気法の換気量算定式は超重要！面倒ですが頭の中でしっかりとイメージしながら覚えてください
- 通風量の計算も H23 に出題されました

【過去問】

- 換気量 【必要換気量】は、室内の汚染質発生量を汚染質濃度の許容値と外気の汚染質濃度の差で除したもの
- 換気量 喫煙による浮遊粉じん基準の【必要換気量】は、喫煙で発生する CO 基準の必要換気量に比べて大きい
- 換気量 汚染物質発生量・【換気回数】が同じ場合、汚染物質濃度は容積が大きい室よりも小さい室で高くなる
- 換気量 【換気量】が同じでも、部屋の形状や換気方式の差異により、室内汚染物質の濃度の低減量は異なる（【換気量】）
- 換気量 定常状態において、外部から室内へ流入する空気の質量と室内から外部へ流出する空気の質量は等しい（【換気量】）
- 換気量 室内外の空気の密度が同じ場合、隙間を含めたすべての開口からの給気量と排気量は一定となる（【換気量】）
- 換気量 一般的な窓の開口の【流量係数】は、ベルマウス形状の開口の流量係数に比べて小さな値となる
- 燃焼器具 【密閉型燃焼器具】においては、室内空気を燃焼用として用いてはならない
- 燃焼器具 【密閉型暖房機器】は、燃焼による室内空気の空気汚染のおそれが少ない
- 燃焼器具 【半密閉型暖房機】は、室内の空気を燃焼に用いる

2.4 機械換気

(A) 機械換気の種類

- 機械換気とは：ファンなどの動力を用いて行う換気、給気・排気の何れを機械換気とするかにより換気法が変わるので留意
- 第 1 種換気法：給気・排気ともに機械換気、室内の圧力を任意に調整可能、換気量は非常に大きいが設備費がかかる
- 第 2 種換気法：給気のみ機械、室内の気圧を正圧に保つことができるのですきま風の流入を防げる、クリーンルーム等で用いられる、また新鮮空気の流入量も大きいので燃焼室でも採用される
- 第 3 種換気法：排気のみ機械、室内の気圧が負圧となるので室内の汚染空気の隙間からの流出を防ぐことができる、キッチン・浴室・トイレなどの汚染物質を発生する室で採用される



(B) 全般換気と局所換気

- **全般換気**：室内全体の空気を入れ替えて、汚染空気の希釈を狙う
- **局所換気**：汚染物質の発生箇所を集中的に換気し、汚染物質の排出を主眼とする

(C) 必要換気量

- 温湿度の許限度を基準とするもの：
$$Q = \frac{H}{0.28(t_1 - t_o)}$$

(D) ディスプレイメント・ベンチレーション（置換換気）

- **置換換気**とは：室内設定温度よりも低温（-2℃から-3℃程度）の空気を室下部より流入させ、室内の発熱（人体や設備機器からの）による上昇気流を利用して空気を循環させる換気法

《ポイント》

- 換気法は室内側の圧力に注目。比較的新し目の換気法（置換換気/ハイブリッド換気）等もチェック

【過去問】

- | | |
|------|--|
| 機械換気 | 【第一種換気法】は、給気機/排気機を用いるため、室内圧を周囲よりも高く保つ必要のある室も採用可能 |
| 機械換気 | 【第一種換気法】で室ごとに個別換気を行う場合、換気経路の確保のためのアンダーカットやがらりは不要 |
| 機械換気 | 【第三種換気法】は、排風機のみを有し給気口やがらり等から空気を取り入れる、汚染物質を出す室に適す |
| 機械換気 | 【全般換気】とは、住戸全体の空気を入れ替えることにより、汚染物質の希釈、拡散、排出を行う換気方式 |
| 機械換気 | 汚染物質の天井裏からの流入を防止するためには、【室内側の気圧】を天井部よりも低くしないこと |
| 機械換気 | 【置換換気】は、設定温度よりもやや低温の空気を室下部から吹き出し、汚染物質を室上部から排出 |
| 機械換気 | 【ハイブリッド換気】は、自然換気の省エネ性と機械換気の安定性の両方の長所を活かした換気方式 |

(E) 高気密・高断熱建築の普及

- **高気密化・高断熱化の弊害**：すきま風等による換気量が低下により、建築材料からの揮発性の高い化学物質の室内滞留量が増加する傾向にある
- **換気設備の設置義務**：住宅の居室では 0.5 回/h 以上、居室以外では 0.3 回/h 以上の換気回数が義務付けられている

表 2-1 ホルムアルデヒド発散建材の等級

建築材料の区分	表示記号	発散速度	内装仕上げの使用制限
建築基準法規制対象外	F☆☆☆☆	0.005mg/(m ² h)以下	使用制限なし
第3種発散建材	F☆☆☆	0.005~0.02mg/(m ² h)以下	使用面積が規制
第2種発散建材	F☆☆	0.02~0.12mg/(m ² h)以下	使用面積が規制
第1種発散建材	表示なし	0.12mg/(m ² h)を超える	使用禁止



(F) 空気浄化

- **エアフィルタ**：粉塵除去用のエアフィルタの粒子捕集率の測定法には、計数法・比色法・質量法の表示方法がある

(G) 排煙設備

- 排気設備：火災時の煙が避難経路に侵入することを防ぐために外部へ煙を逃がすための設備、消防法にて各用途・床面積ごとに設置義務が課されている

(H) 換気設備の留意点

- **空気齢**：給気口から室内の任意の点までに到達するのに要する時間、値が小さいほどその空間の空気の新鮮度は高い

《ポイント》

- 建物側からの換気への配慮は？ ⇒ 気密化やフィルターなど
- 換気の評価（空気齢/空気余命）の定義も確認

【過去問】

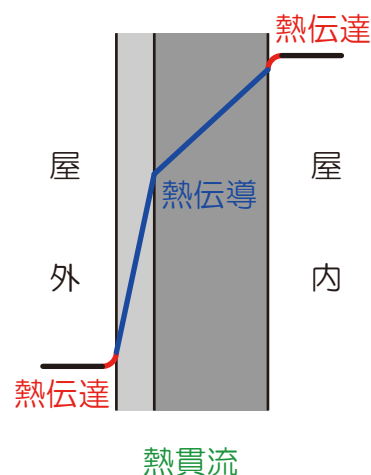
- | | |
|------|--|
| 換気対策 | 建築物の【気密化】を図ることは、必要換気量を安定的に確保し、換気経路を明確にすることができる |
| 換気対策 | 【24 時間換気システム】では、住戸全体が 0.5 回/h の換気回数を確保し各室まんべんなく換気すること |
| 換気対策 | 粉塵除去用の【エアフィルタ】の粒子捕集率の測定法には、計数法・比色法・質量法の表示方法がある |
| 換気対策 | 幹線道路に面する等で外気が必ずしも清浄ではない場合、【外気取り入れ口】の位置・除塵等にも配慮 |
| 換気対策 | 冬季における高層建築物においては、低層階の出入口等から【外気が流入】する |
| 換気対策 | 【排気口の位置】は、室内における汚染質の濃度分布に影響を与える |
| 換気対策 | 建具まわりからの隙間から流入・流出する【漏気量】は、隙間前後の圧力差の $1/n$ 乗に比例、 n は 1~2 の値 |
| 換気対策 | 【ビル風】被害は、低層から高層まで同一形状の建物より、低層部のほうが大きな建物の方が発生し難い |
| 換気他 | 【空気余命】とは換気効率に関する指標、値が小さいほど発生した汚染物質を速やかに排出できることを意味 |
| 換気他 | 【空気齢】とは、室内の部位における空気の新鮮度を示すもの、空気齢が高いほど空気の新鮮度は低い |
| 換気他 | 【ナイトパーシ】とは低温な夜間を中心に外気を室内に導入し躯体等を冷却、冷房時の負荷を低減する事が可能 |

3 伝熱と結露

3.1 伝熱と結露

(A) 熱の伝わり方

- **壁体間の熱の移動（熱貫流）**：壁体の両側に温度差がある場合には熱の移動が生じる、壁体を固体と仮定すると気温の高い側の空気と壁体表面の熱の移動⇒壁体内の熱の移動⇒壁体から低温側の空気への熱の移動、その全過程を熱貫流



(B) 熱伝達

- 熱伝達とは：壁体表面空気と壁体間の熱の移動（表面空気⇄壁体）
- **熱伝達率と熱伝達抵抗**：熱の伝わりやすさを熱伝達率で示し、風速が速い・壁体表面が粗い場合に熱の移動が激しくなる（風の強い屋外では 23～35、屋内側では 7～9 を設計用に用いる）、熱伝達抵抗は熱伝達率の逆数

- **伝達熱量**：熱伝達率・壁体表面積・空気と壁体表面の温度差・時間に比例

$$Q = \alpha(\theta_1 - t_1)A \times T$$

(C) 熱伝導と熱伝導率

- 熱伝導とは：均質な部材内の熱の移動
- **熱伝導率と熱伝導比抵抗**：物体内の熱の移動のしやすさを熱伝導率で示し、熱伝導比抵抗は熱伝導率の逆数

- **伝導熱量**：熱伝導率・表面積・温度差・時間に比例し、材料の厚さに反比例

$$Q = \frac{\lambda}{d}(\theta_1 - \theta_2)A \times T$$

- **各種材料の熱伝導率**：基本的には重い材料ほど熱を伝えやすい、グラスウールなどの空隙の多い物質は熱伝導率が非常に低い
- **発泡剤の熱伝導率**：空隙率（材料内に含まれる空気の数）が同じならば、気泡寸法が大きいほど熱伝導率が高くなる（空気は細かく分けて保管した方が、断熱性能は高いですよー）
- **断熱材内部の含水率の影響**：水分を含むと熱を通しやすくなるので注意（水は空気よりも熱を伝えやすいから…）
- **中空層の伝熱**：中空層の空気層の厚さは 3～5cm が最も高く、それ以上厚くなると対流が発生して熱抵抗はかえって低下する

(D) 熱貫流

- 熱貫流とは：壁体を介した総合的な熱の伝わりやすさ
- 熱貫流率と熱貫流抵抗：熱貫流率の逆数が熱貫流抵抗
- **熱貫流抵抗**：屋内外の熱の移動を例にとると、熱貫流抵抗は、屋外側の熱伝達抵抗＋壁体の熱伝導比抵抗の和＋壁体内部中空層の熱抵抗＋屋内側の熱伝達抵抗

$$R_t = \frac{1}{\alpha_o} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_a + \frac{1}{\alpha_i}$$



- **熱貫流率の計算：**

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i} + R_a}$$

(E) 熱貫流量

- **熱貫流量：**熱貫流率・壁体面積・内外温度差に比例

$$Q = K \times A(t_i - t_o)$$

(F) 平均熱貫流率

- 平均熱貫流率とは：部分的に熱貫流率が異なる場合には、それぞれの部分ごとの熱貫流率に面積をかけて合算

(G) 定常状態と不定常状態

- 定常状態と不定常状態：定常状態は外気温・室温が一定で日射の影響を無視した場合、不定常状態はそれらの変化を忠実に再現した場合、一般的には定常状態における検討のみで OK

(H) 壁体内部の温度分布の計算

- 温度分布の計算：熱貫流計算により、各部の温度分布を詳細に把握することができるが…、建築士試験ではそこまで細かい計算は出題されたことはありません

(I) 熱貫流抵抗と表面温度の関係

- **表面温度の推移：**熱伝導比抵抗が大きい材料ほど、温度勾配が急になり外気温の影響を受けにくくなる（高断熱）

(J) 長波長放射率

- **長波長放射率**とは：比熱に物体の容量をかけたもので、値が大きいほど暖まりにくく冷めにくい物質

(K) 熱容量

- **熱容量**とは：比熱に物体の容量をかけたもので、値が大きいほど暖まりにくく冷めにくい物質
- **熱容量と温度変化：**熱容量が高い建築物ほど（RC 造など）室内温度の変化が緩やかになる、また断熱性能が高いほど外気温の影響を受けにくい、屋内側に熱容量の大きい壁体があると室内側に冷暖房の効果が表れるまでに時間を要する



《ポイント》

- 熱伝達は、空気が壁体へ熱を「よいしょ」って感じで受け渡すイメージ、風が強かったり壁体表面が荒れていたりするとガンガン熱が移動していきますよ
- 熱伝導は、壁体内を熱が「じわりじわり」移動していくイメージ、壁体両側の気温差が大きい場合には、なかなか熱が移動していかないってことで断熱性能が高いつてことになります
- 空気は最強の断熱材です（対流さえ起きなければ…）
- 熱容量が高い物質は、熱しにくく冷めにくいので温度の変動が「ゆったり」です

【過去問】

- 伝熱 壁表面の対流【熱伝達】において、表面に極めて近いところは層流となり、表面から離れると乱流となる
- 伝熱 壁体表面の【熱伝達率】は、近傍の風速が大きいほど大きくなる
- 伝熱 対流【熱伝達率】は、流体の種類・速度・温度条件によって異なる値をとる
- 伝熱 自然対流【熱伝達率】は熱の流れる方向と室温・表面温度の分布で異なる、室温が表面温度より高いと床よりも天井の方が大
- 伝熱 壁体の【総合熱伝達率】は、対流熱伝達率と放射熱伝達率とを合計したもの
- 伝熱 壁体表面の【熱伝達抵抗】は、外壁近くの風速が大きいほど小さくなる
- 伝熱 【熱伝導率】の単位は、 $W/(m \cdot K)$
- 伝熱 壁体内の温度分布図では、温度勾配が急なほど（材料両端の温度差が大きいほど）【熱伝導率】は小さい
- 伝熱 発泡性の断熱材において、空隙率が同じならば、材料内部の気泡寸法が小さいほうが【熱伝導率】は小さい
- 伝熱 一般の建築材料の【熱伝導率】は、かさ比重が減少するほど小さくなる傾向がある
- 伝熱 グラスウールは、かさ比重が大きくなるほど【熱伝導率】は小さくなる
- 伝熱 結露や雨水の侵入によって壁の含水率が増加すると、【熱伝導率】は増大する
- 伝熱 【熱伝導抵抗】の単位は、 $m^2 \cdot K/W$ 、または $m^2 \cdot h \cdot ^\circ C/kcal$
- 伝熱 二重窓における【熱抵抗】は、ガラスの相互間隔 3cm 程度まで増加するが、それ以降は増加しない
- 伝熱 中空層の表面をアルミ箔で覆うことにより、【熱抵抗】の値は大きくなる
- 伝熱 単一材料壁を【貫流する熱量】は、壁体両側の空気の温度差・表面積に比例するが厚さには反比例しない
- 伝熱 【熱貫流率】は、壁体内の各層の配置が変わっても等しい
- 伝熱 複層ガラスの中空層が完全な真空であっても、【熱貫流率】は0とはならない
- 伝熱 単板ガラスの【熱貫流抵抗】のうち、ガラス自体の熱伝導抵抗が占める割合は半分以下
- 伝熱 【長波長放射率】とは「ある部材表面から発する単位面積当たりの放射エネルギー」を「その部材表面と同一温度の完全黒体から発する単位面積当たりの放射エネルギー」で除した値
- 伝熱 【熱容量】が大きい物質が断熱層よりも室内側にあると、冷暖房開始から設定温度になるまでに時間を要す
- 伝熱 【熱容量】が同一であっても、断熱性能が異なれば、暖房停止時の室温低下の速さに差異が生じる
- 伝熱 建築物の【熱容量】が大きいと、室温の変動は緩慢になる
- 伝熱 壁の表面温度が等しい条件では、長波長に対する放射率と吸収率は等しいものとして扱うことが可能



(L) 基礎断熱工法

- **基礎断熱工法**とは：基礎部分に断熱を施すことにより建物内部の気温変動を抑える工法、断熱区画に床下換気口は接地しない、床下の結露・シロアリ対策には留意

(M) 建物の断熱

- **熱損失係数**とは：室温より外気温が 1℃低いと仮定した際の『建物内部から逃げる熱総量』を「延べ床面積」で除した値、断熱性や気密性を向上させると高くなる

《ポイント》

- 様々な工法がありますが、それぞれ一長一短です…
- 断熱性能をはかる指標の 1 つが熱損失係数、壁体の断熱性能のみならずすき間風等の影響も考慮します

【過去問】

- 断熱 【断熱性能】を高めると、室温と室内表面温度の差が小さくなり室内上下の温度差も小さくすることが可能
- 断熱 冬季の暖房室で室内の空気温度が同じであっても、【断熱】が不十分な場合、人体表面からの熱損失が増加
- 断熱 【基礎断熱工法】における基礎部分においては、外気に通じる床下換気口は設けない
- 断熱 柱、梁等の構造躯体の外側に断熱材を施す工法は、【外張り断熱工法】と呼ばれる
- 断熱 RC 造では【外断熱】の方が室内に入射した日射熱を壁や床が吸収するので夜間の暖房エネルギーを低減可
- 断熱 外壁における【隅角部の室内表面温度】は、平面壁の室内表面温度に比べて外気温に近づく
- 断熱 【熱損失係数】とは、室温より外気温が 1℃低いと仮定した際の『建物内部から逃げる熱総量』を「延べ床面積」で除した値
- 断熱 【熱損失係数】は日射の影響は加味しない
- 断熱 住宅の気密性を向上させると、【熱損失係数】の値は小さくなる
- 断熱 複層ガラスは、窓の【断熱性能】を高めるために用いられ、中空層には乾燥空気が密閉されている
- 断熱 熱線吸収板ガラスは、室内への日射熱の侵入を抑える効果はあるが、【断熱性能】は透明板ガラスと同程度
- 断熱 透明な板ガラスの【分光透過率】は、可視光線の波長域に比べて、赤外線の超波長域のほうが小さい

3.2 結露対策

(A) 透湿と湿気貫流

- 物体間の湿気の移動：水蒸気の一部は高湿度側で物質に吸着され低湿度側へ放出される、物質間の湿気の移動のし難さを湿気伝導抵抗と呼びアルミ箔などは値が低く防湿剤として用いられる（とにかく湿気を吸収しにくそうなものほど値が高い）

(B) 結露とその一般的な対策

- 結露とは：空気は温度が下がるほどに貯めこむことのできる水蒸気量が低下する、空気中に溜め込んだ水蒸気が気温低下により許容量を超えてしまい排出される現象、空気中に含まれる水蒸気が多いほど・気温低下が激しいほど結露が生じやすくなる



(C) 表面結露とその防止方法

- **表面結露の防止方法**：気温低下を防ぐ、水蒸気を増やさない（壁体内部への水蒸気の流入を防ぐ）の2つが重要、カーテンなどは窓とガラス面表面の間の空気の移動を妨げるのでその部分のみ極端な気温低下を引き起こし結露が発生する

(D) 内部結露とその防止方法

- **内部結露とその防止方法**：壁体内部に発生する結露を内部結露と呼ぶ、壁体内の温度低下を防ぎ（温度の低い側に断熱材）、壁体内の水蒸気の量を少なく（高温側に防湿材）することで防止する

(E) 熱橋（ヒートブリッジ）

- **熱橋**とは：壁体の一部に熱伝導率が高い物質が付随すると、その箇所のみ極端に熱の移動が激しくなるので留意

(F) 出隅・入隅部分

- **出隅・入隅部分の留意点**：隅部は外気と触れる部分が多く、特に気温が低下しやすいので留意

《ポイント》

- 結露の防止のためには、「気温低下を防ぐ」「水蒸気を増やさない」の2点（結構単純）
- 内部結露のためには、壁体内に熱と湿気を入れないこと（断熱層と防湿層の位置関係に留意）
- 建物側の条件による気温低下に留意（出隅部分/家具の裏/押入れ/熱橋など）

【過去問】

- 結露 暖房室につながる北側の非暖房室は、【結露】しやすい
- 結露 外壁の出隅部分の室内側表面は、【結露】しやすい
- 結露 気密性が低く、すき間風の多い住宅においては【結露】は生じにくい
- 結露 防湿措置を講じずにコンクリート外壁の屋内側に断熱層を設けると、屋内側表面に【結露】が生じるおそれ
- 結露 表面近傍空気の露点温度と表面温度の大小により、表面【結露】の発生の有無を判別可能
- 結露 二重サッシの間の結露(【内部結露】)防止には、室内側サッシの気密性を高く、外気側サッシの気密性を低くする
- 結露 繊維系の断熱材を用いた外壁の壁体内の結露(【内部結露】)防止のためには、断熱材の室内側に防湿層を設ける
- 結露 壁体内の結露(【内部結露】)の防止には、断熱材の室内側に防湿層を配置するのが良い
- 結露 換気を行うと絶対湿度が低下するので【結露防止】に有効
- 結露 冬季における窓ガラス面の【結露防止】には、室内側のカーテンは有効ではない
- 結露 屋根を断熱する場合、断熱材の外気側に通気層を設けると【結露防止】効果あり
- 結露 【熱橋】部分の室内側表面温度は、断熱部分の室内側表面温度に比べて外気温度に近くなる
- 結露 熱損失の低減や結露防止のために、躯体を通じた【熱橋】に対する断熱補強が重要
- 断熱 外壁における【隅角部の室内表面温度】は、平面壁の室内表面温度に比べて外気温に近づく

