

<TAC>無断複写・複製を禁じます（2023年合格目標）

一級建築士 学科本科生 環境・設備本講義

【無料体験入学用】

環境・設備テキスト

（抜粋版）

資格の学校
TAC



662-6103-1013-10

**TAC**

建築士講座

2023合格目標

講義進捗表

【一級建築士 本講義 環境・設備】

回数	内 容
1	第1章 室内環境
	第1節 温熱感覚
	第2節 室内空気汚染
	第2章 換気
	第1節 自然換気
2	第2節 機械換気
	第3節 必要換気量
	第3章 伝熱・結露
	第1節 伝熱
	第2節 結露
3	第3節 断熱性と熱容量
	第4章 日照・日射
	第1節 日照・日影
	第2節 日射
	第5章 採光・照明
4	第1節 採光
	第2節 照明
	第6章 色彩
	第1節 色彩の種類
	第2節 色彩の表示
	第3節 色彩の心理効果
	第7章 音響
	第1節 音波
5	第2節 室内音響
	第3節 音響計画
	第4節 騒音
	第8章 建築設備と環境
	第1節 気象・気候
	第2節 地球環境
	第3節 省エネルギー手法
	第4節 省エネルギー基準
6	第5節 建築設備の維持管理
	第6節 設備機械室の床面積
	第9章 空気調和設備
7	第1節 空気調和設備の計画
	第2節 各部の計画
	第3節 空調方式の種類
8	第10章 給排水衛生設備
	第1節 給水・給湯設備
	第2節 排水・衛生設備
	第3節 環境対策
	第11章 照明設備
8	第1節 照明設計
	第2節 照明の光源
	第12章 電気・昇降機設備
	第1節 電気設備
	第2節 昇降機設備
	第13章 消火・防災設備
	第1節 防火・防災計画
	第2節 消火設備
	第3節 警報設備・避難設備等

第 1 編

第 1 章 室内環境

第 2 章 換 気

第1編 出題内容一覧

年度	1章 室内環境	2章 換気（計算問題）	2章 換気（文章問題）
H25	(No.2) 室内の温熱・空気環境	—	(No.3) 換気
	1 平均放射温度		1 内外空気密度同じ：給排気量は同じ
	2 天井裏からの汚染物質抑制：居室圧力>天井裏圧力		2 建具周り漏気量：隙間前後の圧力差の1/n乗に比例
	3 椅座安静状態の代謝量：100W/人		3 二酸化炭素濃度：容積大<容積小
	4 PMV		4 ナイトバージ
H26	(No.2) 室内の温熱・空気環境	(No.3) 自然(温度差)換気(計算問題)	—
	1 人体からの潜熱発熱量の比率	1	
	2 必要換気量	2 $Q \propto A \cdot \sqrt{(\Delta h)}$	
	3 半密閉型燃焼器具→室内空気燃焼に使用	3 上下に開口部を持つABCの換気量比較	
	4 放射の不均一性の限界	4	
H27	(No.2) 室内の温熱・空気環境	—	(No.4) 換気
	1 外皮の断熱・気密性能向上による影響		1 風力換気：風速に比例
	2 居室のホルムアルデヒド許容量		2 住宅の全般換気→自然給気口の高さ
	3 床暖房：床表面温度の上限30℃		3 二つの大小開口部の中性帯の位置
	4 カビの繁殖率		4 必要換気量の計算
H28	—	(No.3) 換気量計算	—
		1 必要換気量を求める	
		2 ・汚染質発生量0.024m ³ /(h・人)	
		3 ・許容濃度1,000ppm	
		4 ・大気中濃度400ppm	
H29	(No.2) 室内の温熱・空気環境	—	(No.3) 換気
	1 予測平均温冷感申告(PMV)		1 換気回数一定：容積大より容積小が絶対湿度高
	2 浮遊粉じん量：0.15mg/m ³		2 必要換気量の計算
	3 酸素濃度18%以下/一酸化炭素中毒		3 温度差換気：内外温度差・開口の高さの差の平方根に比例
	4 平均放射温度(MRT)		4 手術室、クリーンルームの換気
H30	—	—	(No.3) 換気
			1 全般換気
			2 第一種機械換気方式
			3 風力換気：風速に比例
			4 温度差換気
R01	—	(No.2) 換気量計算	(No.3) 自然(温度差)換気(計算問題)
		1 室内絶対湿度を求める	1
		2 ・水蒸気発生量0.6kg/h ・容積100m ³	2 $Q \propto A \cdot \sqrt{(\Delta h)}$
		3 ・換気回数1回/h	3 上下に開口部を持つABCの換気量比較
		4 ・外気絶対湿度0.010kg/kg(DA)	4
R02	(No.3) 室内環境	—	—
	1 相対湿度・乾球温度・水蒸気量の関係		
	2 乾球温度・相対湿度・露点温度の関係		
	3 乾球温度・湿球温度と相対湿度・水蒸気分圧の関係		
	4 相対湿度・乾球温度と加熱・加湿の関係		
R03	(No.2) 室内環境	—	(No.3) 換気
	1 予測平均温冷感申告(PMV)		1 全熱交換器：全熱交換素子の通気抵抗が大
	2 平均放射温度(MRT)：グローブ温度、温度、気流速度		2 手術室、クリーンルームの換気：室内を正圧
	3 放射の不均一性の限界：冷たい壁は10℃以内		3 住宅の全般換気：自然給気口の高さ
	4 椅座安静状態の代謝量：100W/人		4 風力換気：風速に比例
R04	—	(No.3) 換気量計算	—
		1 二酸化炭素濃度を求める	
		2 ・室容積200m ³ ・在室者25人	
		3 ・換気回数4回	
		4 ・二酸化炭素発生量0.016m ³ /(h・人)	

第 1 節 温熱感覚

1. 温熱要素

人間が感じる暑さ・寒さの感覚を**温熱感覚**（温冷感）といい、温熱感覚に影響を与える要因を**温熱要素**という。

温熱要素は、周囲の物理的な条件による**環境側の要素**と、人の行動や衣服に係わる条件による**人体側の要素**とに分けられる。

1 環境側の要素

環境側の要素には、気温、湿度、気流（風速）、放射（周壁面温度）の4つがあり、これを**温熱4要素**とよぶ。

① 気温

気温は、空気温度であり、単位は**絶対温度** [K: ケルビン(Kelvin)] と **摂氏温度** [°C] が多く用いられる。温度差 1 [K] は、温度差 1 [°C] と等しい。

② 湿度

気温が高いと体表面温度が上昇して発汗し、その蒸発により気化熱が奪われて体温を一定に保つことができるが、湿度が高いと蒸発が遅くなって不快感が増す。

湿度を表す単位には、**相対湿度**と**絶対湿度**とがある。

$$\text{相対湿度}[\%] = \frac{\text{空気中の水蒸気分圧}[\text{kPa}]}{\text{飽和水蒸気分圧}[\text{kPa}]} \times 100$$

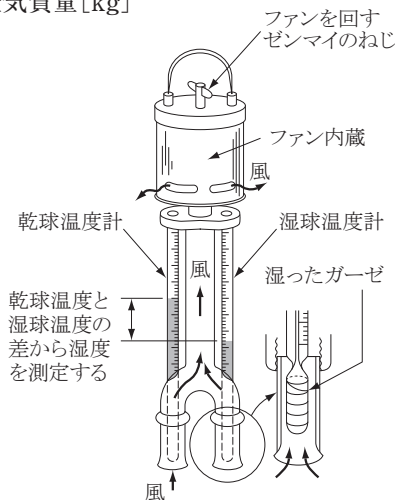
$$\text{絶対湿度}[\text{kg/kg(DA)}] = \frac{\text{空気中の水蒸気質量}[\text{kg}]}{\text{乾燥空気質量}[\text{kg}]}$$

湿度の測定には、気流や放射の影響を小さくし、気温と湿度を同時に測ることのできる**アスマン (Assmann) 通風乾湿計**などが用いられる。

③ 気流（風速）

気流の速度が大きいと汗の蒸発を促進し、体表面温度を低下させる効果がある。

夏期において、**冷房時**の気流速度は **0.3m/s 以下**、**通風時**の気流速度は **0.5～1.0m/s 程度**が望ましいとされている。



アスマン通風乾湿計

【用語】絶対温度

熱力学により理論的に定義された温度で、ケルビン温度ともいう。絶対温度 0 [K] では物質構成粒子の運動がすべて止まると考えられる。絶対温度 T [K]、摂氏温度 t [°C] とすれば、

$$T = t + 273.15$$

【用語】絶対湿度

絶対湿度とは、国際的には (kg/m³) 又は (g/m³) を単位として用い、容積絶対湿度をいう。しかし、日本の空気調和工学の分野では (kg/kg(DA)) を単位として用い、重量絶対湿度を絶対湿度と呼ぶ。

ある状態の空気中に含まれる水蒸気量を示し、絶対湿度が同じ場合には、空気中の水蒸気の絶対量は変わらないため、その空気の露点温度は変化しない。

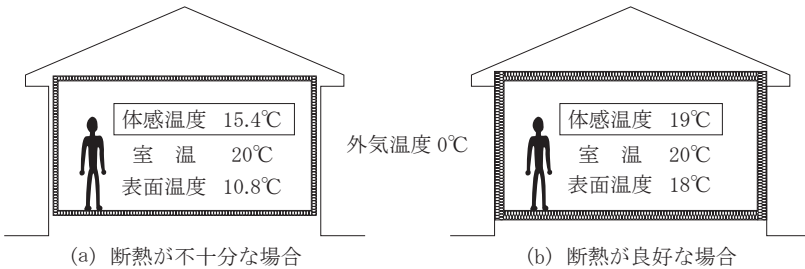
【用語】アスマン通風乾湿計

放射の影響を除くため、乾球と湿球を2重の筒で囲み、ファンによる一定の気流状態のもとで、湿球と乾球の示度の差から湿度を測定する機器。

④放射しやうへきめん（周壁面温度）

室内では、人体と周囲の壁面などとの間で放射による熱の授受が行われており、周壁面の温度が高いほど人体への伝熱量は大きくなる。

また、冬期の暖房室などで室内の気温が同じでも、断熱が不十分な場合には、熱貫流によって外壁の室内側の表面温度が低下し、放射による人体からの熱損失が大きくなり、寒く感じる。



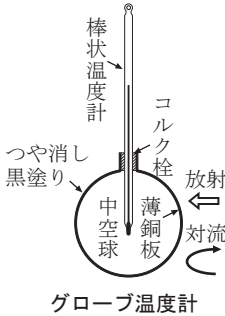
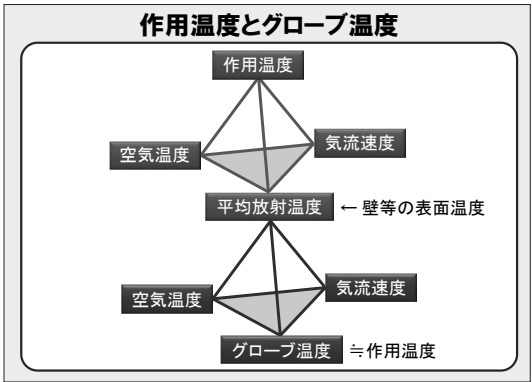
断熱性と体感温度（作用温度）の関係

(1) グローブ温度

放射の測定にはグローブ温度計が用いられ、気温、周壁面からの放射、気流による熱損失の3つが平衡した状態での温度（グローブ温度）が示される。

グローブ温度、気温、風速から、平均放射温度（MRT）が求められる。

2502 2902 R0302



2003

【用語】グローブ温度計

直径15cmのつや消し黒塗りの銅球内部に棒状温度計を挿入した機器。

【用語】平均放射温度（MRT: Mean Radiant Temperature）

人体への放射の影響を表す値で、次式により求められる。

$$MRT = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_a)$$

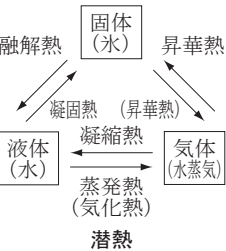
t_g : グローブ温度 [°C]

t_a : 気温 [°C]

v : 風速 [m/s]

【用語】顕熱・潜熱

物体の状態（固体⇄液体⇄気体）を変えずに温度変化だけに使われる熱を顕熱という。反対に、温度を変えずに状態変化だけに使われる熱を潜熱といい、水（液体）が水蒸気（気体）に変わるときに吸収される蒸発熱、その反対の過程で放出される凝縮熱などを指す。



2 人体側の要素

人体側の要素には、代謝量（作業量）と着衣量とがあり、環境側の4要素と合わせて温熱6要素ということもある。

①代謝量（作業量・発熱量）

人は体内で熱を産出し、それを適度に外部環境に放出して熱平衡を保ち、深部体温を一定に保っている。

人体の発熱量を代謝量といい、顕熱だけでなく、汗や呼気中の水蒸気による潜熱も含まれる。

代謝量は、椅子安静時（椅子に座って静止した姿勢）には体表面積1m²当

たり約 **58W** となり、この値を基本単位 **1met (メット)** とする。

標準的な体格の成人の体表面積は $1.6 \sim 1.8\text{m}^2$ 程度であるため、**1人当たり**の代謝量は約 **100W** となる。

代謝量は、活動状態によって異なり、**軽作業時よりも重作業時のほうが大きくなり**、また、重作業時には発汗や呼吸が活発になるため、**顕熱発熱量よりも潜熱発熱量の比率が高くなる**。なお、顕熱と潜熱を足した総発熱量に占める**潜熱発熱量の比率**は、一般に、**代謝量が多くなるほど増加**する。

2502 R0302

2202 2602

②着衣量

温熱感覚は着衣量によっても異なり、着衣量は衣服の断熱性能で表される。

気温 21°C 、相対湿度 50%、風速 1.0m/s のときに、暑くも寒くもないと感じる衣服（成人男子が着ている標準的な背広）の熱抵抗は約 $0.155\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ であり、この値を基本単位 **1clo (クロ)** とする。

③エネルギー代謝率

エネルギー代謝率は、人間の作業強度を表す指標であり、労働代謝の基礎代謝に対する比率であり、「労働時の総エネルギー代謝量から安静時のエネルギー代謝量（基礎代謝量）を引いた値」を「基礎代謝量」で除した値である。
エネルギー代謝率は、体格、性別、年齢が考慮された基礎代謝量を基準としているため、**体格、性別、年齢に関係なく作業強度を表すことができる**。

3001

2. 温熱指標

温熱感覚は、環境側と人体側の合計6つの温熱要素によって複雑に変わるため、容易に把握できない。そこで6つの温熱要素のうちのいくつかを総合して**1つの数値**で表し、温熱感覚を表す目安にしたものが**温熱指標**である。

身近な温熱指標の例として、気象情報などで採り上げられる**不快指数**が挙げられ、精度の高い指標としては、従来から**有効温度**が多く用いられてきた。

現在では、より高度な理論にもとづく**標準新有効温度**および **PMV** と、簡略化されているが実用性の高い**作用温度**の3つが主流となっている。

25【用語】 不快指数

気温と湿度の2つの温熱要素を総合して1つの数値で表し、夏期の不快感を簡便に表すのに用いられる。

1 有効温度 (ET)

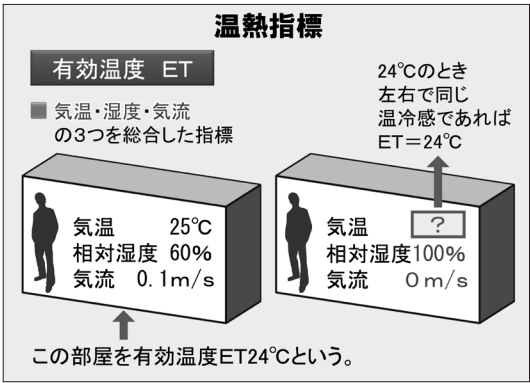
気温・湿度・気流の3要素を総合した温熱指標。

被験者の感覚による実験にもとづいている。

ある気温・湿度・気流の条件に対して、湿度を 100%、風速を 0m/s に固定して気温だけを変え、同じ温熱感覚が得られるときの気温の値を、その気温・湿度・気流の条件下での温熱感覚を表す有効温度とする。



ET : Effective Temperature



2 標準新有効温度 (SET*)

気温・湿度・気流・放射・着衣量・代謝量の6要素を総合した温熱指標。

ある状態の**新有効温度 ET***は、この状態と放熱量、平均皮膚温、発汗状態が等しくなる相対湿度50%における気温で示される。新有効温度を改良して、いすに座った状態で、着衣量0.6clo、静穏な気流、周壁の温度が気温に等しいという標準状態の場合のものを**標準新有効温度 SET***という。

ASHRAE (米国暖房冷凍空調学会) は、標準新有効温度が $22.2 \sim 25.6^{\circ}\text{C}$ の状態を、80%以上の人間が環境に満足感を覚える**快適範囲**としている。

3 PMV (予想平均温冷感申告)

2201 2801 R0201

PMV (予想平均温冷感申告) は、SET*と同様に、**気温・湿度・気流・放射・着衣量・代謝量**の6要素を総合した温熱指標である。

温冷感 (温熱感覚) を多くの人に質問したときに、その平均的な**申告** (回答) を計算式から理論的に**予想**できるという意味から**予想平均温冷感申告**とよぶ。

一般には「+3: 暑い、+2: 暖かい、+1: やや暖かい、0: どちらでもない (中立で暑くも寒くもない)、-1: やや涼しい、-2: 涼しい、-3: 寒い」などのように示される。

人が普通に活動できる、極端な暑さ寒さでない状態 (**熱的中立に近い状態**) を対象とし、**快適方程式**という計算式に、そのときの温熱要素の値を代入して求めた数値で表す。**熱的中立に近い状態を対象**としており、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に評価できない場合がある。

① PPD

PMVに関連する指標として、温熱環境に不快・不満足と感じる人の割合を示す**PPD** (予測不快者率または予想不満足者率) もある。

ISO (国際標準化機構) では、快適範囲として、 $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$ 、 $\text{PPD} < 10\%$ を推奨している。

1918 2713 R0302

2302



SET* : Standard New Effective Temperature



PMV : Predicted Mean Vote

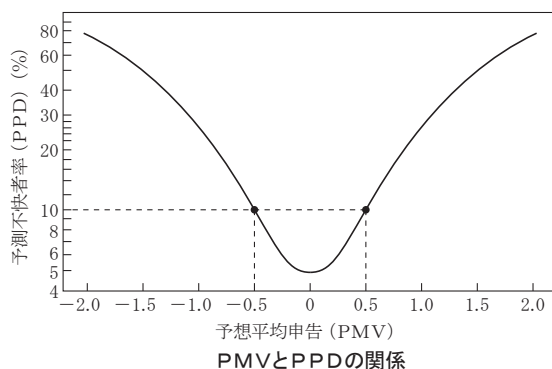
2502 2902



PPD : Predicted Percentage of Dissatisfied



ISO : International Organization for Standardization



4 作用温度 (OT)

室温 (気温)、放射、気流の影響を考慮した温熱指標であり、効果温度ともいう。室温 (気温) と平均放射温度の重み付け平均で表される。ここで、「**室温 (気温) と平均放射温度の重み付け平均**」とは、「**気流による重み付け**」である。すなわち、気流が大きいときには対流による伝熱が大きくなるので室温 (気温) の影響が大きくなるように補正され、逆に、気流が小さいときには平均放射温度の影響が大きくなるように補正される。なお、静穏な気流条件では、室温 (気温) と平均放射温度の重み付けが等しく、作用温度は、その平均値で表される。

静穏気流 (風速0.2m/s以下) のとき、
$$\frac{\text{室温 (気温)} + \text{平均放射温度 (MRT)}}{2}$$

また、湿度の影響を考慮していないことから、主に**発汗の影響**が小さい環境下での評価に適しており、放射暖房を行うときの目安などに用いられる。

3. 局所不快感

からだ全体は寒くなくても、手足が冷たいと感じるときがある。このときの全体の温熱感覚を**全身温冷感**、手足の冷たさを**局所不快感** (局所温冷感) という。

全身温冷感が中立状態 (暑くも寒くもない) に保たれていても、**不均一放射、ドラフト、室内上下温度分布、床温度**などの局所不快感を生じる要因があると快適な状態とはならない。

1 不均一放射

窓面とその周囲の壁面との温度差が大きい場合などに、放射の影響が局所的に異なることによって不快に感じることがある。

ASHRAE (米国暖房冷凍空調学会) や ISO (国際標準化機構) では、不快感を生じる限界となる**局所的な表面温度の差**を次のように定めている。

●暖かい天井：5℃以内

●冷たい窓・壁面：10℃以内

2302 2602 R0302

なお、暖かい壁面や冷たい天井での不均一放射による不快感は比較的少なく、不均一放射による不快感を防ぐには、特に開口部の断熱計画が重要である。

2402 2701 R0101



作 用
OT : Operative
Temperature



ASHRAE :
American Society of
Heating, Refrigerating and
Air-Conditioning Engineers

2 ドラフト

冷暖房の風量が大きい場合などに、吹出口の近くでは温度や速度が周囲と異なる気流によって不快感が生じる。この「望まれない局部気流」をドラフトという。

室内の気温や平均風速のみでなく、気流の乱れがドラフトによる不快感に影響を与えており、ドラフト感を表す指標として、有効ドラフト温度（EDT）や空気拡散性能指標（ADPI）がある。

3 室内上下温度分布

断熱の不十分な建築物では、室内の上下温度差が大きくなり、特に暖房時には床付近の温度が低く、上方ほど温度が高くなる。

ISO（国際標準化機構）では、椅座位において、くるぶしの高さ（床上0.1m）と頭の高さ（床上1.1m）との上下温度差を3℃以内にすることを推奨している。上下温度差が小さいと、頭寒足熱の状態に近くなるため、望ましい。

実際の環境下では、上下温度分布が生じる際には、足元の気流速度が増加していることが多く、この許容範囲を満たしていても不快感を感じることもある。

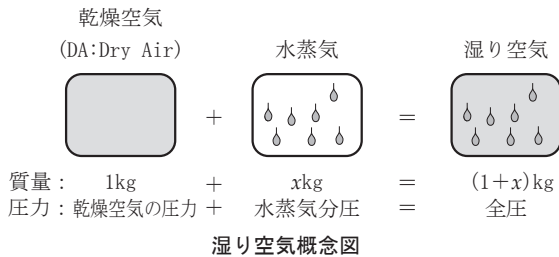
4 床温度

ISO（国際標準化機構）では、通常の室内の床温度として19～26℃、床暖房では、表面温度を体温より高くすると低温やけどの危険性があるため、最高温度を29℃以下（一般に30℃以下）とすることを推奨している。

これらの推奨値は靴をはき、いすに座った状態でのものであり、わが国のように床に座る生活様式では、温冷感が高まる傾向がある。

4. 空気線図（湿り空気線図）

空気線図は、湿り空気（水蒸気を含む空気）の物理的な状態を多角的に表したグラフである。



【用語】有効ドラフト温度 (EDT: Effective Draft Temperature)

気温差と風速によりドラフトを評価する指標であり、次式で示される。

$$\theta(^{\circ}\text{C}) = (t_x - t_e) - 8(V_x - 0.15)$$

t_x : 局所気温 [℃]

t_e : 平均気温 [℃]

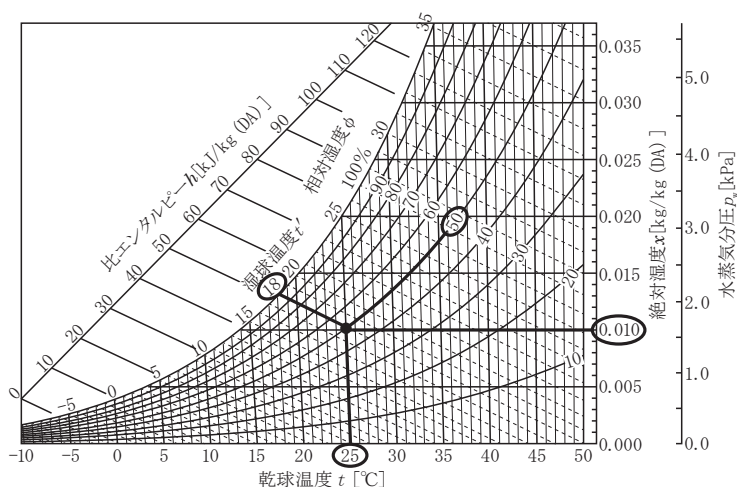
V_x : 局所風速 [m/s]

【用語】空気拡散性能指標 (ADPI: Air Diffusion Performance Index)

気流分布性能指標ともいい、室内居住域を立体的な格子点で分割し、全格子点のうち快適域にある点の割合を示す。空調設備の吹出口の性能を表す指標などに用いられる。

①空気線図

乾球温度、湿球温度、相対湿度、絶対湿度（水蒸気分圧）、比エンタルピーという複数の要素相互の関係を1つの図にまとめたもので、2つの要素の値から残りの要素の値をすべて読み取ることができる。 **R0203**



空気線図〔乾球温度、湿球温度、相対湿度、絶対湿度（水蒸気分圧）、比エンタルピーを抜粋〕

②エンタルピー

エンタルピー（Enthalpy）とは、流体中に含まれる総熱量で、空気の場合には顕熱と潜熱の合計（全熱）になる。そのため、気温が同じでも湿度が異なれば、エンタルピーの値は異なる。また、空気の単位質量当たりのエンタルピーを比エンタルピーといい、J/kg という単位で表す。

1 空気線図の使い方

室内の温熱環境を快適に保つには、空気調和設備や換気設備により、室内空気に対して加熱・冷却、加湿・減湿、混合などの操作を行い、その状態を変える必要がある。

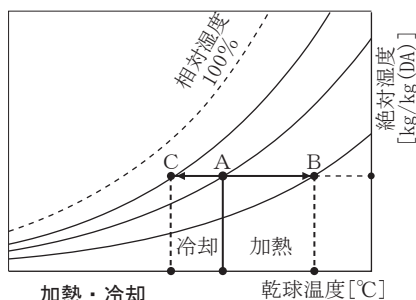
このような操作によって変化する空気の状態を、空気線図上で表すことができる。

①加熱・冷却

乾球温度（気温）を高くすること（A → B）が加熱、低くすること（A → C）が冷却。

空気線図上では、絶対湿度（水蒸気分圧）を一定とし、左右方向へ移動すること。

相対湿度は、加熱すると低下し、冷却すると上昇する。

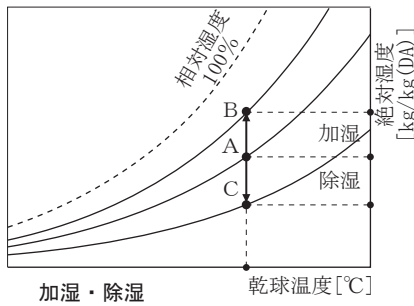


②加湿・減湿

絶対湿度（水蒸気分圧）を高くすること（ $A \rightarrow B$ ）が加湿、低くすること（ $A \rightarrow C$ ）が減湿（除湿）。

空気線図上では、乾球温度を一定とし、上下方向へ移動すること。

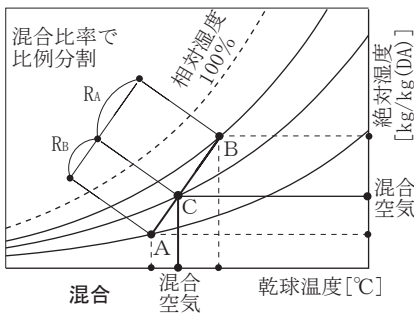
相対湿度は、加湿すると上昇し、減湿すると低下する。



R0203

③混合

乾球温度と絶対湿度（水蒸気分圧）の異なる空気を一定の比率（重量比 $R_A : R_B$ ）で混合する場合、空気線図上では、2つの空気の乾球温度と絶対湿度（水蒸気分圧）を表す点（A、B）を線で結び、その線分を混合比率（ $R_A : R_B$ ）で比例分割した点（C）が、混合空気の乾球温度と絶対湿度（水蒸気分圧）を示す。このとき、混合比率の大きいほうの空気の状態に近づくことに注意する。



2 飽和水蒸気量（飽和水蒸気圧）

ある温度の空気が、最大限含むことのできる水蒸気量（絶対湿度）を飽和水蒸気量といい、水蒸気圧で表す場合には飽和水蒸気圧という。このとき相対湿度は100%になる。

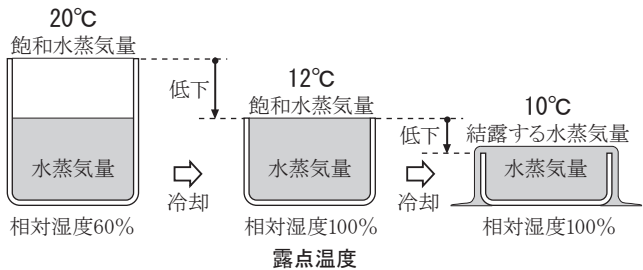
2501

ある温度の空気を徐々に冷却すると、空気中の水蒸気量は変わらないが、最大限度である飽和水蒸気量の値が小さくなる。

①露点温度

飽和状態（相対湿度 100%）に達したときの空気温度を露点温度といい、さらに冷却すると、飽和水蒸気量を超える水蒸気が水滴に変わる。これを結露という。

R0301

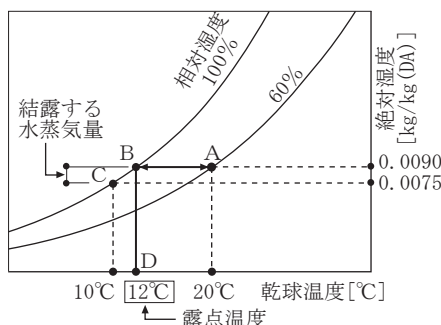


温度が下がるとコップ（飽和水蒸気量）が小さくなる

結露現象を空気線図上で表すと、以下のようになる。

例) 乾球温度 20℃、絶対湿度 0.009kg/kg (DA)、相対湿度 60%の空気を冷却し、相対湿度 100%になったときの乾球温度 12℃が、この空気の露点温度である。

さらに 10℃まで冷却すると、絶対湿度は 0.0075kg/kg (DA) に低下し、0.0015kg/kg (DA) の水蒸気は水滴に変わり、結露する。

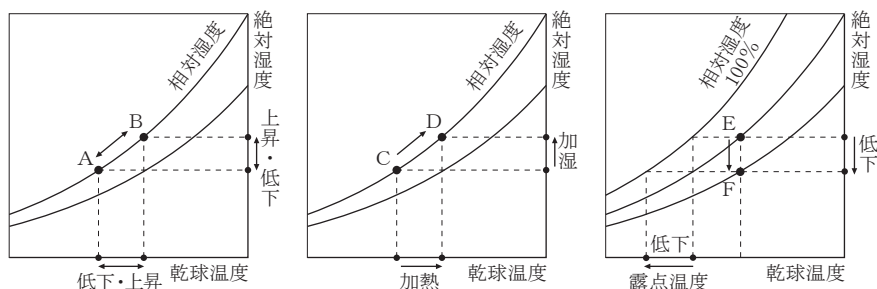


例題

- ① 相対湿度が同一でも、乾球温度が異なれば、空気 1m³ 中に含まれる水蒸気量は異なる。
- ② 相対湿度を一定に保ったまま乾球温度を上昇させるには、加熱と除湿を同時に行う必要がある。
- ③ 乾球温度が一定の場合、相対湿度が低くなるほど露点温度は低くなる。

解答

- ① 正 相対湿度が同一のまま乾球温度を上昇させると (A → B)、絶対湿度 (乾燥空気 1m³ 中に含まれる水蒸気量) も上昇し、低下させると (B → A)、絶対湿度も低下する。
- ② 誤 相対湿度を一定に保ったまま乾球温度を上昇させるには、絶対湿度も上昇させなければならないため (C → D)、加熱とともに、除湿ではなく加湿を同時に行う必要がある。
- ③ 正 乾球温度が一定のまま、相対湿度が低くなると (E → F)、絶対湿度が低くなり、露点温度も低くなる。



3 カビの発生

カビの繁殖率は、相対湿度と温度に密接な関係がある。20～30℃の温度条件下では、相対湿度 70% の場合、カビは数か月で繁殖し、75% を超えるとその速度は急激に早まる。さらに 90% ではわずか 2 日程度で目に見えるほどのカビが繁殖するといわれており、相対湿度が高いほど、その繁殖率は高くなる。

第2節 室内空気汚染

1. 空気汚染物質

室内空気汚染は、**在室者**や**燃焼器具**から排出される物質のほか、**建築材料**や**塗料**から放散する各種の化学物質が原因となり、さらに建築物の**高気密化**に伴う**換気不足**により助長される。

1 空気汚染物質の種類

室内で発生する主な汚染物質には、**一酸化炭素**、**二酸化炭素**、**浮遊粉じん**、**化学物質**、**臭気**などがある。

①一酸化炭素（CO）

開放型燃焼器具の**不完全燃焼**、喫煙、屋外から侵入する自動車の排気ガスなどが発生原因となり、**濃度 1%（10,000ppm）**を超えると人体に有毒となる。

なお、空気中の**酸素濃度**は通常 21%で、これが **18～19%**に低下しても、人体に対して生理的に大きな影響を与えることはないが、開放型燃焼器具の不完全燃焼により一酸化炭素の発生量が増加し、**一酸化炭素中毒の危険性**が高くなる。

1902 2302 2902

②二酸化炭素（CO₂）

無味無臭で、高濃度にならないかぎり人体に有害とはならないが、CO₂の増加にともない、酸素の減少やその他の汚染物質の増加が生じるため、一般に**空気汚染の指標**として用いられ、室内の許容濃度は **0.1%（1,000ppm）**である。

また、**4%（40,000ppm）**程度の高濃度になると**耳鳴り・頭痛・血圧上昇**などの徴候が現れる。

③浮遊粉じん

肺などの呼吸器に重大な影響を及ぼすため、一般の居室のほかに産業労働環境での許容濃度が定められている。

喫煙によって生じる空気汚染に対する必要換気量は、一酸化炭素や二酸化炭素ではなく浮遊粉じんの発生量により決まる。

浮遊粉じんの吸入による健康障害は、一般に、**粒子径が 10μm**という小さなものが肺房内に沈着する率が高く、影響が大きいとされる。

従来から建築材料に用いられてきた**石綿（アスベスト繊維）**の**飛散**による呼吸器障害が問題となり、現在は建築基準法により原則として使用が禁止されている。

④化学物質

建築仕上材料や家具などに用いられる接着剤、塗料などから発生する**ホルムアルデヒド**や**揮発性有機化合物（VOC）**、木材保存剤や防蟻材に用いられる**クロルピリホス**などが、非常に微量であっても人の健康に影響を与えるおそれがあるため、規制の対象となっている。

【用語】 燃焼器具

室内で用いられる燃焼器具には、開放型、半密閉型、密閉型がある。**開放型**は燃焼に室内の空気を使用し、燃焼ガスを室内に排出する。**半密閉型**は燃焼に室内の空気を使用し、燃焼ガスを排気等により屋外に排出する。**密閉型**は燃焼のための空気を屋外から導入し、排気ガスを屋外に排出する。

2105 2705



一酸化炭素濃度 1% の場合、2～3 分で死亡すると言われている。

2402

2202

【用語】 石綿（アスベスト繊維）

耐熱性、耐摩耗性に優れ、鉄骨の耐火被覆などに多く用いられたが、肺がんや中皮種などの発生原因とされている。

【用語】 揮発性有機化合物（VOC）

常温常圧で大気中に容易に揮発する有機化学物質の総称。トルエン、キシレン、ベンゼン、フロン類などがある。

⑤臭気

人の体臭のほか喫煙、便所、調理などにより発生するが、特別な測定器がないため、人の嗅覚をもとにした**指標**が提案されている。

悪臭への対策には、人に好まれる香りを発生させ、もとの臭気を感じないように隠す**マスキング**がある。

【用語】マスキング

音響では、現在聞こえている音が、それよりも大きな他の音によって聞き取りにくくなることをいう。聴覚以外にも同じ現象がみられ、臭覚に応用した例が香水や便所の芳香剤である。

2301

2 空気汚染物質の許容量

空気調和設備（中央管理方式）に要求される性能として、**建築基準法**および**建築物衛生法**（建築物における衛生的環境の確保に関する法律）に定められた基準が、一般に室内空気汚染物質の許容量の目安として用いられる。

- ①一酸化炭素（CO） 10ppm（0.001%）以下
- ②二酸化炭素（CO₂） 1,000ppm（0.10%）以下
- ③浮遊粉じん 0.15mg/m³以下 2202 2902
- ④ホルムアルデヒド 0.10mg/m³以下（建築物衛生法に規定） 2702

建築基準法ではホルムアルデヒドの許容量を定めていないが、居室を有する建築物への換気設備の設置など、建築材料からの発散に対する衛生上の措置を義務づけている。また、臭気の基準は、建築基準法や建築物衛生法には定められていない。



一酸化炭素の基準は、建築物衛生法の改正（令和4年4月1日施行）により、基準値を「6ppm以下」に変更されている。

建築物衛生法	
1 浮遊粉じんの量	空気1 m ³ につき0.15mg以下
2 一酸化炭素の含有率	6/1,000,000以下
3 二酸化炭素の含有率	1,000/1,000,000以下
4 温度	1 18℃以上28℃以下 2 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
5 相対湿度	40%以上70%以下
6 気流	0.5m/秒以下
7 ホルムアルデヒドの量	空気1 m ³ につき0.1mg以下

建築基準法	
1 浮遊粉じんの量	空気1 m ³ につき0.15mg以下
2 一酸化炭素の含有率	10/1,000,000以下
3 二酸化炭素の含有率	1,000/1,000,000以下
4 温度	1 17℃以上28℃以下 2 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
5 相対湿度	40%以上70%以下
6 気流	0.5m/秒以下

2. シックハウス

新築や改修した住宅などでおきる、目やのどの痛み、疲労感、めまい、呼吸器疾患などの体調不良を、症状が多様で、さまざまな複合要因によると考えられることから**シックハウス症候群**とよぶ。

厚生労働省（旧厚生省）は、13種類の揮発性有機化合物について、その濃度の空気を一生涯にわたって摂取しても健康への有害な影響は受けないと判断される「**濃度指針値**」を示している。これにもとづいて2000年度から国土交通省（旧建設省）の主導により、新築の住宅を対象とする「**室内化学物質濃度実態調査**」が実施され、室内濃度が当時の厚生省の指針値を超える住宅が一定数存在したことが報告されている。

①換気回数

建築基準法では、**クロルピリホス**と**ホルムアルデヒド**が規制の対象となっている。また、シックハウス対策のための居室の換気を機械換気方式で行う場合、住宅等の居室で換気回数0.5回/h、その他の居室（事務室など）で換気回数0.3回/hに相当する換気量を必要有効換気量としているが、**天井が高い居室**については、**換気回数を少なく**することができると規定されている。

1 クロルピリホスの規制

クロルピリホスは、木材保存剤、^{ほうき}防蟻剤（シロアリ駆除剤）、農薬などに用いられる有機リン系薬剤で、居室を有する建築物には、クロルピリホスを添加した建築材料の使用が禁止されている。

2 ホルムアルデヒドの規制

ホルムアルデヒドは、刺激臭のある無色の可燃性気体で、揮発性が高く、水に溶けやすい。なお、その40%水溶液をホルマリンという。

居室を有する建築物は、以下の3つの制限をすべて満たさなければならない。

①内装仕上げ

ホルムアルデヒド発散建築材料は、発散量に応じて分類されており、表示記号のF☆などの**星の数が多い**（最大4つ）ほど、**発散量が少ない**ことを示している。

第1種ホルムアルデヒド発散建築材料は、中央管理方式の空気調和設備を設ける場合を除き、原則として居室の内装仕上げには使用が禁止されている。

第2種及び**第3種**ホルムアルデヒド発散建築材料は、居室の種類と、1時間当たりの換気回数に応じて、内装仕上げに使用できる面積の限度が定められている。

【用語】シックハウス症候群

欧米では一般に、「シックビルディング症候群」とよび、WHO（世界保健機関）は「ビル・ホーム関連健康障害」という表現を推奨している。

2412 R0112

区 分	発散量（※1）	表示記号（※2）	制 限
第1種ホルムアルデヒド 発散建築材料	0.12mg/h を超える	表示なし	使用禁止
第2種ホルムアルデヒド 発散建築材料	0.02mg/h を超え 0.12mg/h 以下	F ☆☆	使用面積の制限
第3種ホルムアルデヒド 発散建築材料	0.005mg/h を超え 0.02mg/h 以下	F ☆☆☆	使用面積の制限
規制対象外	0.005mg/h 以下	F ☆☆☆☆	制限なし

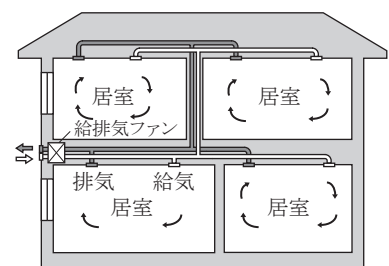
※1 夏季において、表面積1m²につき発散するホルムアルデヒド量。

※2 JIS（日本産業規格）、JAS（日本農林規格）により定められている。

規制対象となる建築材料には、木質建材（合板、木質フローリング、パーティクルボードなど）、壁紙、断熱材、塗料などがある。

②換気設備の設置

ホルムアルデヒドを発散する建築材料を使用しない場合でも、家具からの発散があるため、原則として全ての建築物の居室に、次のいずれかの換気設備の設置を義務付けている。



24時間換気システムの例

- (1) 所定の有効換気量を確保できる機械換気設備（24時間換気システム等）
- (2) 居室内の空気を浄化して供給する方式の機械換気設備
- (3) 中央管理方式の空気調和設備

天井裏などからの汚染物質の流入を抑制するためには、常時、居室内を**第2種換気**（機械給気＋自然排気）とすることが有効である。

2202 2502

③天井裏など

天井裏、床下、壁内、収納スペースなどから居室へのホルムアルデヒドの流入を防ぐため、次のいずれかの措置が必要になる。

- (1) **建材による措置**
天井裏などに第1種、第2種ホルムアルデヒド発散建築材料を使用しない。
- (2) **気密層、通気止めによる措置**
気密層、通気止め等を設けて、天井裏などと居室とを区画する。
- (3) **換気設備による措置**
居室に加えて天井裏なども換気できる換気設備を設ける。

第1節 自然換気

1. 自然換気の原理

窓を開けると、室内と屋外の空気が自然に入れ換わる。このような自然換気の現象は、気圧の高い側から低い側へと向かう気流によって生じる。

開放された開口部を通じて室内を通り抜ける気流を**通風**とよび、体感温度を下げることができるため夏期の防暑対策として利用される。

1 自然換気の換気量

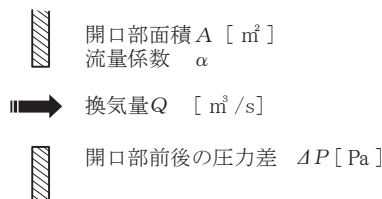
開口部を通過する換気量 Q [m^3/s] について、次式が成り立つ。

$$Q \propto \alpha A \sqrt{\Delta P}$$

α : 流量係数

A : 開口部面積 [m^2]

ΔP : 開口部前後の圧力差 [Pa]



自然換気の換気量は、「**流量係数**」、「**開口部面積**」、「**開口部前後の圧力差の平方根**」の各々に**比例**する。

開口部前後の圧力差を生じさせる原動力には、**風力**と室内外の**温度差**とがある。

(1) 流量係数

流量係数は、開口部を通過する空気や水の**流れやすさ**を表す係数である。開口部の形状、壁厚、摩擦抵抗などが関係し、1に近いほど開口部での抵抗が小さく、流れやすいことを示す。一般的な開口部では0.7程度だが、角に丸みを付けた**ベルマウス (Bell mouth) 形状**の開口部では**0.98**程度になる。

(2) 隙間からの漏気量

建具まわりの隙間から流入・流出する漏気量は、室内外の圧力差の**1/n乗**に比例し、**nは1~2の値**をとる。流れが層流の場合は $n = 1$ 、乱流の場合は $n = 2$ である。なお、上記の自然換気の換気量の基本式では $n = 2$ である。

$$Q \propto \alpha A \sqrt{\Delta P} = \alpha A (\Delta P)^{\frac{1}{2}}$$

自然換気量のまとめ

■ 自然換気量

$$Q \propto \alpha A \sqrt{\Delta P}$$

α : 流量係数

A : 開口部面積

V : 風速

■ 風力換気量

$$Q_w = \alpha A V \sqrt{\Delta C}$$

ΔP : 開口部前後の圧力差

ΔC : 流入側、流出側の風圧係数の差

■ 温度差換気量

$$Q_T \propto \alpha A \sqrt{\Delta h \Delta t}$$

Δh : 上下開口部の高さの差

Δt : 室内外の温度差



左式は、正確には、空気の密度を ρ [kg/m^3] として次式で表される。

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P}$$

2001

【用語】ベルマウス形状

空気や水の流入口の角に丸みを付けた形状。流入時に渦流が生じないため、流入抵抗が小さくなる。



2002

ベルマウス形状

2503

ベルマウス形状の例



2 風力による換気

① 風力換気の原理

風力換気は、**風圧力**が駆動力となる。

屋外で吹く風が、建築物などの障害物に遮られたときに働く力を速度圧という。**風速が大きいほど速度圧は大きい。**

また、風速が同じであっても、それを受ける壁面との角度などの条件が異なれば、速度圧の大きさは異なる。各部が受ける**風圧力の大きさ**と**作用方向**を表す係数が**風圧係数**で、**風向き**とそれを受ける各部の**形状**とに関係し、風洞実験等により求められる。

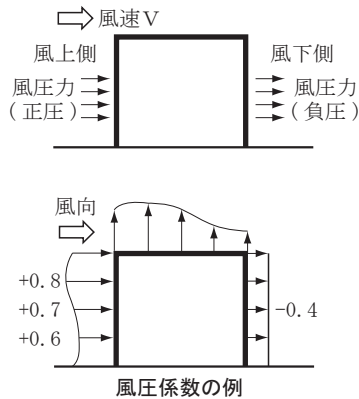
建築物の各部に作用する**風圧力** P_w [Pa] の大きさは、その部分での速度圧 ($\rho V^2/2$) と風圧係数 C の積になり、次式で示される。

$$P_w = C \frac{\rho}{2} V^2$$

C : 各部の風圧係数 ρ : 空気密度 [kg/m³] V : 風速 [m/s]

風圧力は、「**風圧係数**」、「**風速の2乗**」の各々に比例する。

建築物に風が当たると、**風上側壁面**には**圧縮力（正圧）**が、**風下側壁面**には**引張力（負圧）**が作用する。風圧力の異なる2つの壁面に開口部を設けると、**風圧力の大きい壁面の開口部**から屋外の空気が**流入**し、**風圧力の小さい壁面の開口部**から室内の空気が**流出**する。このとき、**風圧係数の大きい側が流入口**、**小さい側が流出口**となる。



② 風力による換気量

風力による換気量 Q_w [m³/s] について、次式が成り立つ。

$$Q_w = \alpha A V \sqrt{\Delta C} = \alpha A V \sqrt{C_i - C_o}$$

α : 流量係数 A : 開口部面積 [m²] V : 風速 [m/s]

C_i, C_o : 流入側、流出側の風圧係数 ($\Delta C = C_i - C_o$)

風力による換気量は、「**流量係数**」、「**開口部面積**」、「**風速**」、「**流入側と流出側の風圧係数の差の平方根**」の各々に比例する。



速度圧は、空気調和設備の熱搬送設備で学ぶ、ダクトの動圧と同じ意味。



ここでいう風圧係数は、建築基準法（H12 告示第1454号）でいう外圧係数に該当する。外圧係数と内圧係数の差が風力係数である。



建築基準法施行令 87 条では、空気密度 ρ を 1.2 kg/m³ として、速度圧 $q = \rho V_0^2/2 = 0.6 V_0^2$ とし、これに速度圧の高さ方向の分布を表す係数 E を乗じている。



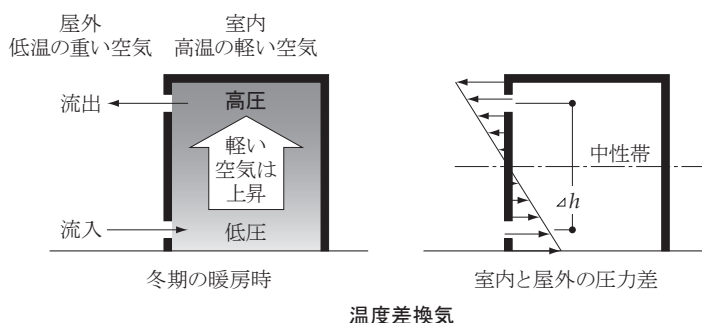
$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P}$ に、流入側と流出側の風圧力の差 $\Delta P_w = (C_i - C_o) \frac{\rho}{2} V^2$ を代入すると左式が得られる。

1902 2103 2704 3003
R0303

3 温度差による換気

① 温度差換気の原理

冬期の暖房時は、室温が高く、室内の空気は屋外の空気よりも密度が小さく軽い。軽い空気は上昇し、室の上部では空気が圧縮されて屋外よりも高压になり、室の下部では空気が希薄となり屋外よりも低压になる。このとき室の上部と下部に各々開口部を設けると、**上部では、気圧の高い室内から屋外へ流出し、下部では、気圧の高い屋外から室内へ流入する。**



温度差換気

また、夏期の冷房時には圧力の関係が逆転し、冬期とは反対に空気は**上部の開口部から流入し、下部の開口部から流出する。**

② 温度差による換気量

温度差による換気量 Q_T [m^3/s] について、次式が成り立つ。

$$Q_T \propto \alpha A \sqrt{\Delta h \Delta t} = \alpha A \sqrt{\Delta h (t_i - t_o)}$$

α : 流量係数 A : 開口部面積 [m^2]

Δh : 上下開口部の中心間の垂直距離 [m]

t_i, t_o : 室内、屋外の気温 [$^{\circ}\text{C}$] ($\Delta t = t_i - t_o$)

温度差による換気量は、「流量係数」、「開口部面積」、「上下開口部中心間の垂直距離の平方根」、「屋外と室内の気温差の平方根」の各々に比例する。



左式は、正確には、重力加速度を g (m/s^2) として次式で表される。

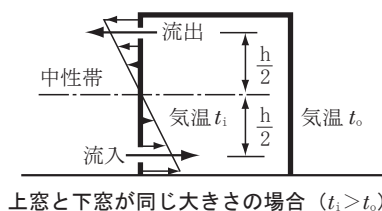
$$Q_T = \alpha A \sqrt{2gh \left(\frac{t_i - t_o}{273 + t_i} \right)}$$

③ 温度差による換気の特性

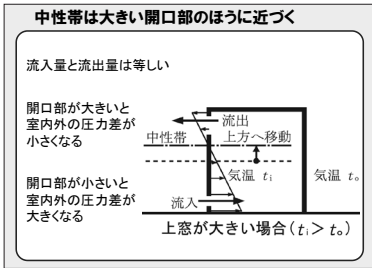
(1) 中性帯

室内と屋外の気圧が等しくなる位置(高さ)を中性帯という。温度差換気は、**中性帯**の上方と下方に開口部を設けることによって生じる。

室内で空気の流動する道筋を**換気経路**といい、給気口付近を**上流**、排気口付近を**下流**とよぶ。そのため暖房時には、中性帯よりも下側が換気経路の上流、上側が下流になる。



上下の開口部が同じ大きさであれば、中性帯は開口部中心の垂直距離の 1/2 の位置にあるが、開口部の大きさが異なる場合には、面積の大きな開口部付近は、小さな開口部付近よりも室内と屋外の圧力差が小さくなり、**中性帯の位置は大きい開口部の位置に近づく。**



(2) 流入量・流出量

単位時間当たりに室内に**流入**する空気の**重量**（密度×体積）と、屋外に**流出**する空気の**重量**とは、常に**等しい**。流出空気の密度が小さいときは、流速が遅く、流出量（体積）は多くなり、流入空気の密度が大きいときは、流速が遅く、流入量（体積）は少なくなる。

(3) 煙突効果

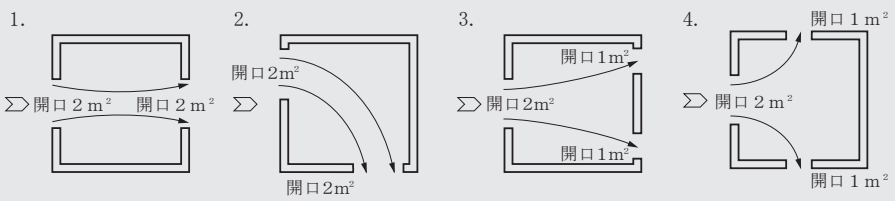
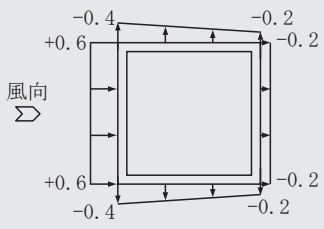
アトリウムや階段室のような天井の高い空間では、給気口と排気口の高低差が大きく、温度差によって生じる上昇気流が通常室内よりもはるかに大きくなるため、換気効果は著しく促進される。これを**煙突効果**という。

2. 自然換気量の計算

1 風力による換気量の計算

例題

図は、ある風向における建築物の平面の風圧係数分布を示したものである。この建築物に開口部を設ける場合、**最も通風量の多いもの**は、次のうちどれか。ただし、開口部は同じ高さに設けるものとし、流量係数は同じ値とする。



〈解答のポイント〉

- 「通風量」は「換気量」と同じ意味。
- 風力による換気量 Q_w [m³/s] について、次式が成り立つ。

$$Q_w = \alpha AV \sqrt{\Delta C} = \alpha AV \sqrt{C_i - C_o}$$

α : 流量係数 A : 開口部面積 [m²] V : 風速 [m/s]
 C_i, C_o : 流入側、流出側の風圧係数 ($\Delta C = C_i - C_o$)

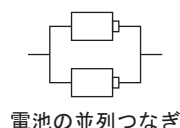
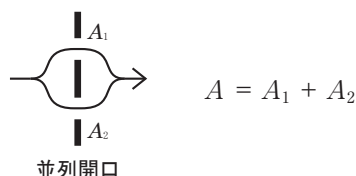
●開口部面積の算定

複数の開口部がある場合の換気量を求めるには、複数の開口部面積を1つの値に合成したものを計算式に代入する。

合成の方法には、並列開口の合成と直列開口の合成がある。

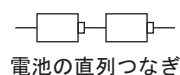
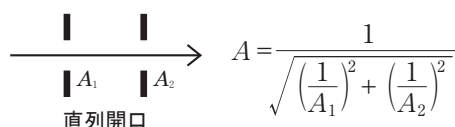
(1) 並列開口の合成…流入側だけの合成または流出側だけの合成

流入から流出にいたる空気の流れを線で結んだ場合、経路が分かれる場合を並列開口という。この場合の合成面積は、単純な和となり、次式で与えられる（流量係数が一定の場合）。

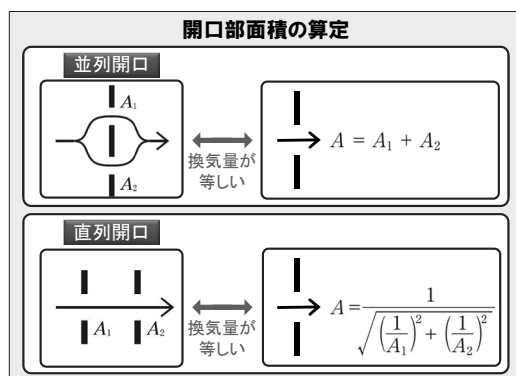


(2) 直列開口の合成…流入側と流出側の合成

流入から流出にいたる空気の流れを線で結んだ場合、経路がつながっている場合を直列開口という。この場合の合成面積は、次式で与えられる（流量係数が一定の場合）。



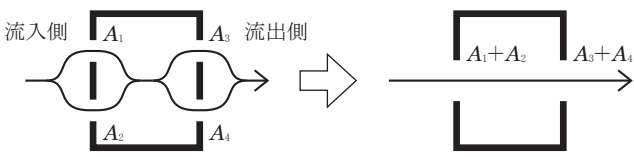
なお、 $(A_1 + A_2)$ が一定であれば、 $A_1 = A_2$ のときに A は最大値 $\frac{A_1}{\sqrt{2}}$ となる。



(3) 並列開口・直列開口の合成

次図のような場合は、はじめに流入側の A_1 と A_2 、流出側の A_3 と A_4 を合成する。ともに並列開口であるから、合成面積はそれぞれ $(A_1 + A_2)$ 、 $(A_3 + A_4)$ となる。これが直列開口となっているので、最終的な合成面積は、次式で与えられる。

2110



$$A = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A_1 + A_2}\right)^2 + \left(\frac{1}{A_3 + A_4}\right)^2}}$$

●換気量の大小の比較

風速と流量係数が同じ値のとき、換気量の大小を比較するには、 $A \sqrt{C_i - C_o}$ の値の大小を比較すればよい。

なお、2つの開口部の風圧係数の値が、両方とも正（または負）であっても、値が異なれば、値の大きい開口部が流入口、値の小さい開口部が流出口となって風力換気が生じる。

解答

①開口部面積の算定

各々の流入口と流出口を算定する。

- 1. 流入口：2m² 流出口：2m²
- 2. 流入口：2m² 流出口：2m²
- 3. 流入口：2m² 流出口：1m² + 1m² = 2m²
- 4. 流入口：2m² 異なる壁面に設けられた開口部であっても、風圧係数の値が同じであれば、並列開口と同様に合成することができる。∴流出口：1m² + 1m² = 2m²

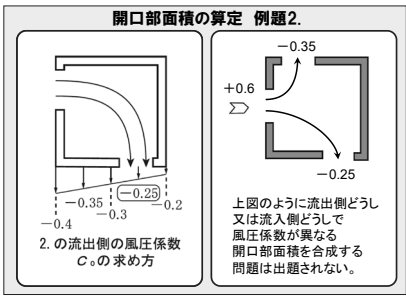
※流入口と流出口の面積がすべて等しい（2m²）場合、開口部面積はすべて等しくなるため、直列開口の合成の計算を省略できる。

②換気量の大小の比較

開口部面積がすべて等しいため、換気量の大小を比較するには、 $C_i - C_o$ の値の大小を比較すればよい。計算の際には、数値の正負に注意する。

- 1. (+ 0.6) - (- 0.2) = + 0.8
 - 2. (+ 0.6) - (- 0.25) = + 0.85
 - 3. (+ 0.6) - (- 0.2) = + 0.8
 - 4. (+ 0.6) - (- 0.3) = + 0.9
- ∴4 > 2 > 1 = 3 となり、
4の換気量が最も多い。

..... 解答 4

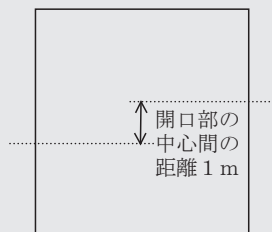


2603 R0103

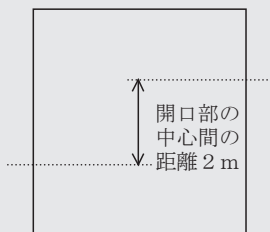
2 温度差による換気量の計算

例題

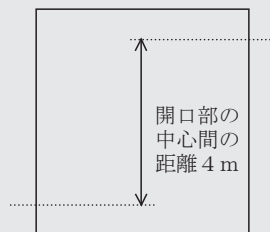
外気温 5°C 、無風の条件の下で、図のような上下に開口部を有する断面の建築物 A、B、C がある。室温がいずれも 20°C 、開口部の中心間の距離がそれぞれ 1m 、 2m 、 4m 、上下各々の開口面積がそれぞれ 0.8m^2 、 0.4m^2 、 0.3m^2 であるとき、換気量の大小関係として、正しいものは、次のうちどれか。ただし、いずれも流量係数は一定とし、中性帯は開口部の中心間の中央に位置するものとする。

開口面積は上下各々 0.8 m^2

建築物 A

開口面積は上下各々 0.4 m^2

建築物 B

開口面積は上下各々 0.3 m^2

建築物 C

1. $A > B > C$
2. $A > C > B$
3. $B > A > C$
4. $C > A > B$

〈解答のポイント〉

- 無風の条件下では、「風力による換気」が生じないため、「温度差による換気」だけを検討する。
- 温度差による換気量 Q_T [m^3/s] について、次式が成り立つ。

$$Q_T = \alpha A \sqrt{\Delta h \Delta t}$$

α : 流量係数 A : 開口部面積 [m^2]

Δh : 上下開口部の中心間の垂直距離 [m] Δt : 室内外の温度差 [$^{\circ}\text{C}$]

● 開口部面積の算定

流入口と流出口の面積が同じ値 A [m^2] であれば、合成した開口部面積 A' は、次式のように $A/\sqrt{2}$ [m^2] になる。

$$A' = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{A}\right)^2 + \left(\frac{1}{A}\right)^2}} \quad \therefore A' = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

● 換気量の大小の比較

流入口と流出口の面積が同じ値 A [m^2] で、外気温 t_o 、室内の気温 t_i 、流量係数 α が一定のとき、換気量の大小を比較するには $A\sqrt{\Delta h}$ の値の大小を比較すればよい。

解答

各建築物の $A\sqrt{Ah}$ の値を求め、大小を比較する。

A : 流入口 (= 流出口) の面積 [m^2] Ah : 上下開口部の中心間の垂直距離 [m]

建築物 A : $0.8 \times \sqrt{1} = 0.8$

建築物 B : $0.4 \times \sqrt{2} \div 0.57$

建築物 C : $0.3 \times \sqrt{4} = 0.6$

$\therefore A > C > B$ 解答 2

第2節 機械換気

1. 機械換気的方式

機械換気は強制換気ともいい、送風機（ファン）と自然換気口との組合せにより、第1種から第3種までの3種類の方式に分けられる。

また、自然換気と機械換気を併用し、自然換気の省エネルギー性と機械換気の安定性の両方の長所を活かす方式をハイブリッド換気という。

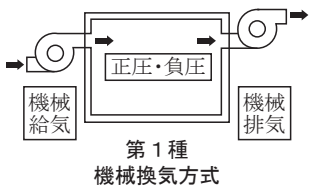
①第1種機械換気方式（機械給気＋機械排気）

給気、排気ともに送風機を用いる方式。

換気量が大きく、安定した換気を行えるため、劇場・映画館などの大空間居室や地下空間などに適している。

送風機の給・排気量を任意に変えられるため、室内の気圧を周囲よりも高い正圧にすることも、周囲より低い負圧にすることもできる。

レストラン等の業務用厨房にも用いられ、臭気等が他室へ流出しないように、給気量よりも排気量を多くし、厨房内を負圧とする。



2002 3003

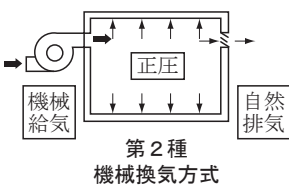
②第2種機械換気方式（機械給気＋自然排気）

給気に送風機、排気に自然換気口を用いる方式。

排気量よりも給気量のほうが大きく、室内は周囲よりも気圧の高い正圧になる。

外部の汚染空気が室内に流入するのを避ける

清浄室（半導体工場のクリーンルーム、病院の手術室）に適している。



2313 3011 R0213

R0213

2903 R0112 R0303



クリーンルームにおいては、正圧確保のための室相互間の差圧は、10Pa程度とする。

2711

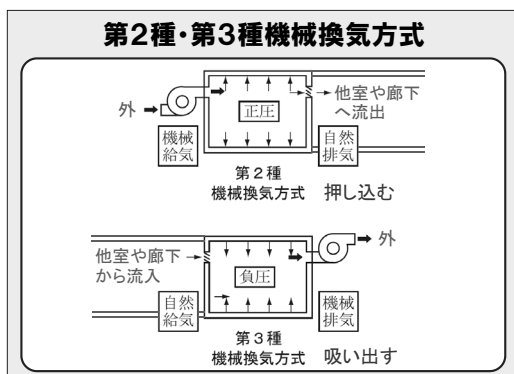
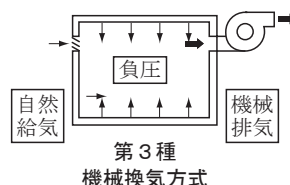
1919 2612 2802

③第3種機械換気方式（自然給気＋機械排気）

給気に自然換気口、排気に送風機を用いる方式。

給気量よりも排気量のほうが大きく、室内は周囲よりも気圧の低い**負圧**になる。

室内の汚染空気（臭気、熱、水蒸気を含む）が、隣接する他室に流出するのを避ける**汚染室**（便所、浴室、厨房）に適している。



2. セントラル換気方式

セントラル換気方式は、主に住宅を対象に、常時、建築物全体の換気を行うシステムであり、**24時間換気システム**ともいう。**シックハウス対策**に有効である。

一般には、**居間・食事室・寝室**などの居室を中心に**給気**を行い、**浴室・便所・台所**などの汚染室で**排気**を行う。

機械換気方式に対応して、次の3種類に分類される。

- ①給排気セントラル換気方式（第1種機械換気）
- ②給気セントラル換気方式（第2種機械換気）
- ③排気セントラル換気方式（第3種機械換気）

3. 全般換気・局所換気

室内での汚染質の種類、発生量、発生源の分布などを考慮して、全般換気と局所換気を適切に選択するのが望ましい。

1 全般換気

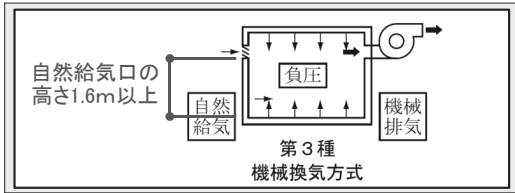
全般換気は、外部から導入した新鮮空気（**フレッシュ**）で室内の汚染空気を**希釈**（薄めること）・**拡散**させ、汚染質の濃度を低下させながら屋外に**排出**する方式で、**希釈換気**ともいう。

2103 3003

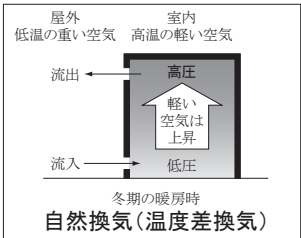
①第3種機械換気方式による全般換気

住宅全体では、第3種機械換気方式を用いる場合は一般居室を中心に自然給気し、便所・浴室などから機械排気するため、換気経路を確保できるように、扉には**アンダーカット**や**ガラリ**を設ける必要がある。

自然給気口の位置は、床面からの高さを **1.6 m以上**の高所に設け、外気が直接入って室の温熱環境を乱さないようにすることが望ましい。

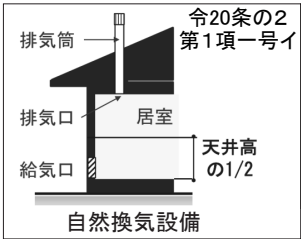


2704 R0303



②第1種機械換気方式による全般換気

各室ごとに第1種機械換気方式によって換気を行う場合には、各室に給気機と排気機とが確保されるため、**アンダーカット等は不要**になる。**2103**



2 局所換気

局所換気は、局所的に発生する汚染質を、室全体に拡散させないように直接排出する方式で、全般換気よりも換気量を小さくできる。

汚染質の拡散を防止するための装置として、厨房のレンジフードや、実験室に設置される**ドラフトチャンバー**などがある。

ドラフトチャンバーは、化学処理や実験等による汚染ガスを室内に出さないように作業台と排気フードが組み合わされた箱型（チャンバー）の装置である。**ドラフトチャンバーの排気風量**は、作業用の**前面扉開口部の面積と制御風速**によって決定される。



ドラフトチャンバー

20

25

R0413

4. 換気設計

1 計画換気

計画換気とは、新鮮空気の入入れから、汚染空気を外部へ排出するまでの**換気経路を明確**にし、各室ごとに**必要換気量を確保**することをいう。

効果的な計画換気を行うためには、建築物の**気密化**を図り、**漏気**（すき間風）などの把握しにくい自然換気を減らすことが必要になる。

2002 2404

2 換気効率

換気の理論では簡略化のため、汚染質が発生すると瞬時に室内全体に広がって同じ濃度になると仮定することが多く、これを**瞬時一様拡散**とよぶ。しかし実際には、発生した汚染質は、気流によって徐々に拡散し、場所ごとに濃度の差が生

35

じる。

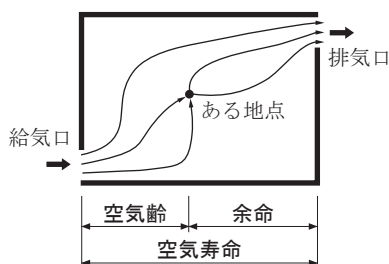
室内では、すべて一様に換気が行われるわけではなく、発生した汚染質が速やかに排出される場所と、長時間滞留する場所とができる。換気効率とは、室内各部の空気が、いかに速やかに新鮮空気と入れ換わるかを示す指標である。室の形状や換気方式によって気流分布や換気効率が異なり、汚染質の濃度は異なる。

3 空気齢

汚染質が発生している室内において、室内に供給された新鮮空気は、室内に長くとどまるほど、汚染度が高くなる。空気齢とは、給気口から入った**新鮮空気**が、室内のある地点に**到達**するまでに要する**平均時間**で、換気効率を表す指標の1つである。

また、室内のある地点の空気が排気口から排出されるまでの時間を**余命**といい、空気齢と余命を合計した時間を**空気寿命**という。

空気齢が短いほど、その地点の空気の**新鮮度が高い**と考えられ、**余命**が短いほど、発生した汚染質を速やかに排出できることを表す。



4 室内気流の解析方法

室内の気流の解析には、模型実験のほか、**CFD**（数値流体力学）によるシミュレーション手法があり、大空間、クリーンルーム、居室、建築物周囲等の環境解析に適用されている。

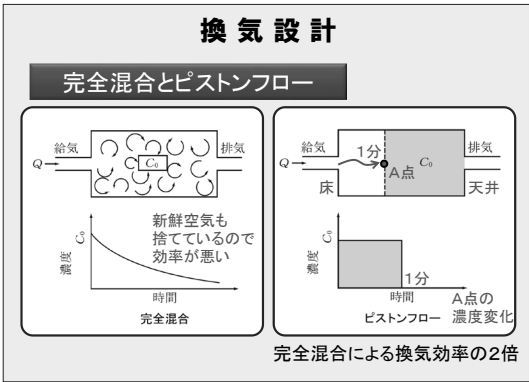


CFD : Computational
Fluid Dynamics

5 完全混合とピストンフロー

室内空気の汚染度が場所的に常に一樣な状態を**完全混合**といい、完全混合による換気では、汚染質の希釈、拡散、排出により、汚染質濃度は時間的に図のように減衰する。これに対して、導入された新鮮空気が室内の汚染空気と混合せずに、気流がピストンのように動き、その前の古い空気を押し出す方式を**ピストンフロー**という。ピストンフローによる換気効率は、理論的には、完全混合による換気効率の2倍になる。

ディスプレイスメント換気方式（置換換気方式）は、室内の設定温度よりもやや低温の空気を室下部から供給し、室内の発熱を利用して空気を暖めて上昇させ、ピストンフローにより室上部から排出する方式である。



第 3 節 必要換気量

1. 室内汚染質濃度

1 定常状態の汚染質濃度

室内空気中の汚染質濃度は、汚染質の発生から徐々に上昇し、十分に時間が経過すると、発生量と換気量とが平衡して安定した状態に達する。これを定常状態という。

定常状態における汚染質濃度、換気量、汚染質発生量の関係を求める。

室内の汚染質濃度を C 、大気中の汚染質濃度を C_0 とすると、室内空気 1 m^3 中、大気 1 m^3 中には、それぞれ汚染質が $C\text{ m}^3$ 、 $C_0\text{ m}^3$ 含まれている。

したがって、 $1\text{ [m}^3/\text{h}]$ の換気を行うと、汚染質は $(C - C_0)\text{ [m}^3/\text{h}]$ だけ減少する。

さらに、 $Q\text{ [m}^3/\text{h}]$ の換気を行うと、汚染質は $(C - C_0) \times Q\text{ [m}^3/\text{h}]$ だけ減少する。

これが汚染質発生量 $M\text{ [m}^3/\text{h}]$ と等しいとき定常状態となるから、次式が成り立つ。

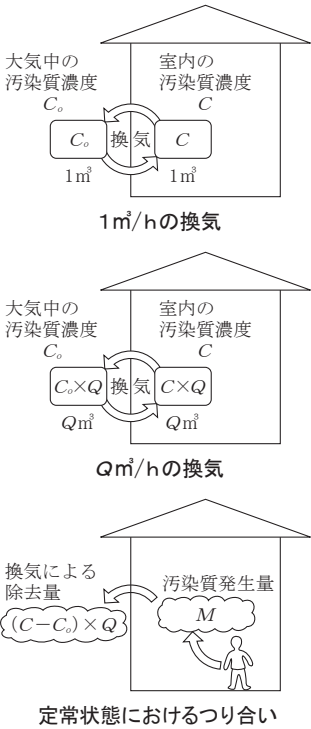
$$(C - C_0) \times Q = M$$

C : 室内の汚染質濃度

C_0 : 大気中の汚染質濃度

Q : 換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

M : 汚染質発生量 $[\text{m}^3/\text{h}]$



この計算式は、二酸化炭素や水蒸気などの気体だけでなく、浮遊粉じんの場合にも適用される。

2 必要換気量の基準

室内の汚染質濃度を許容濃度以下に保つために必要な、最小の換気量を必要換気量という。

必要換気量は、二酸化炭素 1,000ppm 以下を基準とする場合が多く、一般に、1 人当たり 30m³/h 程度とされる。ただし、喫煙によって生じる空気汚染に対する必要換気量は、浮遊粉じんの発生量によってきまる。

必要換気量 Q [m³/h] は、前述の汚染質濃度の計算式から得られる次式によって求められる。

$$Q = \frac{M}{C_a - C_o}$$

C_a ：室内の汚染質許容濃度 C_o ：大気中の汚染質濃度 M ：汚染質発生量

3 換気回数

換気回数とは、単位時間当たりの換気量を室容積で割った値であり、室容積の大小に係らず、換気の程度を表すのに用いられる。

$$\text{換気回数[回/h]} = \frac{\text{換気量 [m}^3\text{/h]}}{\text{室容積 [m}^3\text{]}}$$

必要換気量から算定される換気回数を必要換気回数といい、室の用途ごとに基準値が設けられている。

①シックハウス対策のための換気回数

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、建築基準法施行令 20 条の 8 第 1 項では、次の必要換気量を定めている。

- ・住宅等の居室・・・換気回数：0.5 回 / h
- ・その他の居室・・・換気回数：0.3 回 / h

なお、同条 2 項に基づく告示により、天井が高い居室については、換気回数を少なくすることができる。

②換気回数法による換気回数

厳密に汚染物質濃度が計算できないような場合には、ある程度経験に基づいて換気量を換気回数で決めることがある。このようにして換気量を決める方法を換気回数法といい、広く利用されている。

- ・厨房・・・換気回数：30～60 回 / h
- ・水洗便所・・・換気回数：5～15 回 / h
- ・浴室・・・換気回数：15～20 回 / h
- ・電気室・・・換気回数：20～30 回 / h
- ・ボイラ室・・・換気回数：(給気) 10～15 回 / h + (排気) 7～10 回 / h

R0313

2404



路外駐車場（屋内駐車場）における必要換気量は、床面積 1 m² 当たり 14m³ / h 以上とされている。R0313

10

15

20

25

2412 R0112

30

35

4 定常状態での室内の二酸化炭素濃度と室容積の関係

(二酸化炭素発生量が等しい場合)

①室容積が異なる2室の「換気量」が等しい場合

→定常状態での室内の二酸化炭素濃度は、
室容積にかかわらず一定。

($C - C_o) \times Q = M$ を変形すると

$$C = C_o + \frac{M}{Q}$$

この式には室容積 V は関係しない。

②室容積が異なる2室の「換気回数」が等しい場合

→定常状態での室内の二酸化炭素濃度は、
室容積が大きい室のほうが低くなる。

換気量 Q = 換気回数 N × 室容積 V であるから、

$$C = C_o + \frac{M}{NV}$$

したがって、室容積 V が大きい室のほうが、室内の二酸化炭素濃度 C は低くなる。

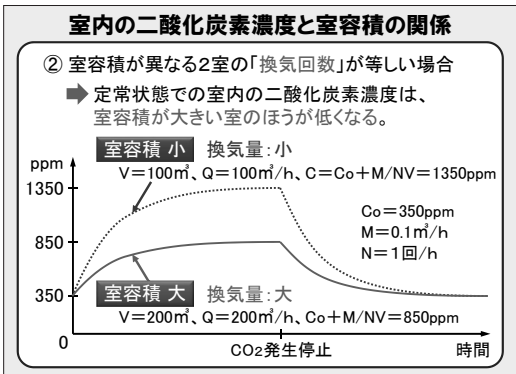
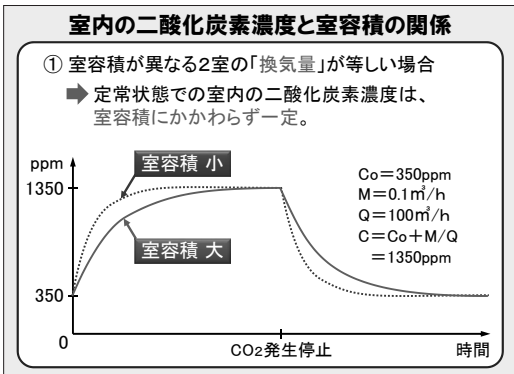


① 換気量が等しい場合、
二酸化炭素発生直後は、
室容積が大きい室のほう
が二酸化炭素が拡散し、
濃度も低くなるが、その
分、換気による二酸化炭
素排出量が少なくなるた
め、定常状態での二酸化
炭素濃度は、室容積にか
かわらず一定($C_o + M/Q$)
となる。

② 換気回数が等しい場
合、室容積が大きい室の
ほうが換気量が大きくな
るため、二酸化炭素濃度
は低くなる。

2002 2503 2903

15



2. 必要換気量・換気回数の計算

必要換気量・換気回数の計算問題には、大きく次の3つのパターンがある。

① ($C - C_o) \times Q = M$ の左辺と右辺の単位が最初からそろっている場合

⇒ 設問で与えられた値を式に代入すれば解答が得られる。

② 汚染質濃度が [ppm] や [%] で与えられる場合

⇒ [ppm] は、parts per million の略で、100 万分の 1 を意味する単位である。

したがって、1 [ppm] = 1 / 1,000,000 に換算した値を式に代入する。

⇒ [%] は、1 / 100 であるから、1 [%] = 1 / 100 に換算した値を式に代入する。

③ 汚染質が水蒸気で、濃度が重量絶対湿度 [kg/kg(DA)] で与えられる場合

⇒ 空気の密度 1.2kg/m³ (設問で与えられる) を用いて左辺と右辺の単位をそ

2704

[用語] kg (DA)
DA : dry air

ろえる。設問を解く際に、計算式に単位を明記すれば、このパターン③であることに必ず気が付く。

例題-1

喫煙により浮遊粉じんが発生する室において、イ～ハの条件における浮遊粉じん濃度からみた必要換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$ を求めよ。ただし、発生した浮遊粉じんは、すぐに室全体に一様に拡散するものとする。

条件

- イ. 室内の浮遊粉じん発生量：21mg/h
- ロ. 大気中の浮遊粉じん濃度：0 mg/m³
- ハ. 室内空気中の浮遊粉じん許容濃度：0.15mg/m³

解答

パターン①（左辺と右辺の単位が最初からそろっている場合）

$$(C - C_o) \times Q = M$$

$$(0.15 - 0) [\text{mg}/\text{m}^3] \times Q [\text{m}^3/\text{h}] = 21 [\text{mg}/\text{h}]$$

$$\therefore Q = \frac{21}{0.15} = 140 [\text{m}^3/\text{h}] \quad \dots \text{解答}$$

例題-2

気体の汚染物質が発生する室において、室内の汚染物質発生量が2 mg/h、換気量が100m³/h のとき、十分に時間が経過した後の室内の汚染物質濃度 $[\text{mg}/\text{m}^3]$ を求めよ。ただし、発生した汚染物質は、すぐに室全体に一様に拡散するものとし、外気の汚染物質濃度を0.01mg/m³ とする。

解答

パターン①（左辺と右辺の単位が最初からそろっている場合）で、 C を求める

問題

$$(C - C_o) \times Q = M$$

$$(C - 0.01) [\text{mg}/\text{m}^3] \times 100 [\text{m}^3/\text{h}] = 2 [\text{mg}/\text{h}]$$

$$C - 0.01 = 0.02$$

$$\therefore C = 0.03 [\text{mg}/\text{m}^3] \quad \dots \text{解答}$$

例題-3

イ～ホの条件において、室内空気の二酸化炭素濃度を 1,000ppm 以下に保つための必要換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$ を求めよ。

条件

- イ. 室内の在室人員：3人
- ロ. 在室人員1人当たりの二酸化炭素発生量： $0.02\text{m}^3/\text{h}$
- ハ. 外気の二酸化炭素濃度：400ppm
- ニ. 室容積： 100m^3
- ホ. 室内の二酸化炭素は、すぐに室内全体に一樣に拡散するものとする。

解答

パターン②（汚染質濃度が $[\text{ppm}]$ や $[\%]$ で与えられる場合）

$$(C - C_o) \times Q = M$$

$$\left(\frac{1,000}{1,000,000} - \frac{400}{1,000,000} \right) \times Q [\text{m}^3/\text{h}] = 0.02 \times 3 [\text{m}^3/\text{h}]$$

ppm は無次元の単位

$$\frac{600}{1,000,000} \times Q = 0.02 \times 3$$

$$\therefore Q = 0.02 \times 3 \times \frac{1,000,000}{600} = 100 [\text{m}^3/\text{h}] \quad \cdots \text{解答}$$

なお、室容積 100m^3 の数値は、必要換気量の計算では用いない。

ちなみに、「必要換気回数を求めよ」という問題であれば、

$$\text{必要換気回数} = \frac{\text{必要換気量}}{\text{室容積}} = \frac{100 [\text{m}^3/\text{h}]}{100 [\text{m}^3]} = 1 [\text{回}/\text{h}]$$

例題-4

室容積 100m^3 の居室において、室内空気を攪拌しながら $0.4\text{m}^3/\text{h}$ の CO_2 を連続発生させ、十分時間が経過した後の CO_2 濃度を測定すると $2,400\text{ppm}$ であった。室内での他の CO_2 の発生はなく、室外の CO_2 濃度が 400ppm であった場合、この居室の換気回数 [回/h] を求めよ。

解答

パターン②（汚染質濃度が [ppm] や [%] で与えられる場合）で、換気回数を求める問題

まずは換気量を求める。

$$(C - C_o) \times Q = M$$

$$\left(\frac{2,400}{1,000,000} - \frac{400}{1,000,000} \right) \times Q [\text{m}^3/\text{h}] = 0.4 [\text{m}^3/\text{h}]$$

ppm は無次元の単位

$$\frac{2,000}{1,000,000} \times Q = 0.4$$

$$\therefore Q = 0.4 \times \frac{1,000,000}{2,000} = 200 [\text{m}^3/\text{h}]$$

次に換気回数を求める。

$$\text{換気回数} = \frac{\text{換気量}}{\text{室容積}} = \frac{200 [\text{m}^3/\text{h}]}{100 [\text{m}^3]} = 2 [\text{回}/\text{h}] \quad \dots \text{解答}$$

例題-5

室容積 200m^3 の居室に 25 人の在室者がおり、換気回数 4 回で換気がなされているとき、定常状態におけるこの室内の二酸化炭素濃度 [ppm] を求めよ。ただし、一人当たりの二酸化炭素発生量は $0.016\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{人})$ とし、在室者から発生した二酸化炭素は直ちに室全体に様に拡散するものとする。また、外気の二酸化炭素濃度は 400ppm とし、隙間風は考慮しないものとする。

R0403

解答

パターン②（汚染質濃度が [ppm] や [%] で与えられる場合）で、 C を求める問題

$$(C - C_o) \times Q = M \quad \text{ここで、換気量 } Q = \text{換気回数 } N \times \text{容積率 } V \text{ であるから}$$

$$(C - C_o) \times N V = M$$

$$\left(\frac{C}{1,000,000} - \frac{400}{1,000,000} \right) \times 4 \times 200 = 0.016 \times 25$$

ppm は無次元の単位

$$\therefore C = \frac{0.016 \times 25 \times 1,000,000}{4 \times 200} + 400 = 900 [\text{ppm}] \quad \dots \text{解答}$$

例題-6

室容積 150m^3 の居室において、室内の水蒸気発生量が 0.6kg/h のとき、室内空気の重量絶対湿度を 0.010kg/kg (DA) に保つための換気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$ を求めよ。ただし、室内の水蒸気は室全体に一樣に拡散するものとし、外気の重量絶対湿度を 0.005kg/kg (DA) 、空気の密度を 1.2kg/m^3 とする。また、乾燥空気 1kg を 1kg (DA) で表す。

解答

パターン③（濃度が重量絶対湿度 $[\text{kg/kg (DA)}]$ で与えられる場合）

$$(C - C_o) \times Q = M$$

$$\underbrace{(0.010 - 0.005)}_{[\text{kg/kg (DA)}] \text{ は無次元の単位}} \times Q [\text{m}^3/\text{h}] = \frac{0.6 [\text{kg/h}]}{\underbrace{1.2 [\text{kg/m}^3]}_{[\text{kg/h}] \text{ を } [\text{kg/m}^3] \text{ で割らないと左辺と単位がそろわない}}}$$

$$0.005 \times Q = 0.5$$

$$\therefore Q = 100 [\text{m}^3/\text{h}] \quad \cdots \text{解答}$$

例題-7

容積が 100m^3 の室において、室内の水蒸気発生量が 0.6kg/h 、換気回数が 1.0 回/h のとき、十分に時間が経過した後の室内空気の重量絶対湿度 $[\text{kg/kg (DA)}]$ を求めよ。ただし、室内の水蒸気は室全体に一樣に拡散するものとし、外気の重量絶対湿度を 0.010kg/kg (DA) 、空気の密度を 1.2kg/m^3 とする。また、乾燥空気 1kg を 1kg (DA) と表す。

解答

パターン③（濃度が重量絶対湿度 $[\text{kg/kg (DA)}]$ で与えられる場合）で、 C を求める問題

$$(C - C_o) \times Q = M$$

$$\text{換気量} = \text{換気回数} \times \text{室容積であるから、} Q = 1.0 \text{ 回/h} \times 100\text{m}^3 = 100\text{m}^3/\text{h}$$

$$\underbrace{(C - 0.010)}_{[\text{kg/kg (DA)}] \text{ は無次元の単位}} \times 100 [\text{m}^3/\text{h}] = \frac{0.6 [\text{kg/h}]}{\underbrace{1.2 [\text{kg/m}^3]}_{[\text{kg/h}] \text{ を } [\text{kg/m}^3] \text{ で割らないと左辺と単位がそろわない}}}$$

$$(C - 0.010) \times 100 = 0.5$$

$$\therefore C = 0.010 + 0.005 = 0.015 [\text{kg/kg (DA)}] \quad \cdots \text{解答}$$

2102 R0102

第2編

第3章 伝熱・結露

第2編 出題内容一覧

年度	3章 伝熱・結露			
H25	【No.4】 伝熱		—	
	1	暖房時の対流熱伝達率：床面＜天井面		
	2	中空層熱抵抗：2～3cmまでは厚さに比例して増加		
	3	窓ガラスの日射熱取得率(侵入率)		
	4	基礎断熱工法		
H26	【No.4】 伝熱・結露		—	
	1	断熱材の内部気泡の大きさ→熱伝導率の大小		
	2	日射遮蔽係数		
	3	壁体内の中空層に7mm箔→熱抵抗の大小		
	4	表面結露		
H27	【No.3】 建築物のモデルの熱損失(計算問題)		—	
	1			
	2	建築物のモデルにおける、換気、窓、屋根、壁などからの熱損失計算		
	3			
	4			
H28	【No.2】 伝熱・結露		【No.4】 伝熱・結露	
	1	浴室/排気ファン	1	透明ガラスの透過率/可視光線＞長波長赤外線
	2	繊維系断熱材：室内側に防湿層	2	熱貫流抵抗/壁の厚さdに比例しない
	3	小屋裏換気と結露防止	3	対流熱伝達率/風速大→大
	4	密閉型燃焼器具	4	グラスウール/かさ比重大→熱伝導率小
H29	【No.4】 壁体の温度分布図(温度勾配)から読み取る		—	
	1			
	2	・内断熱の壁体の温度勾配図		
	3	・外断熱の壁体の温度勾配図		
	4			
H30	【No.2】 伝熱・結露		【No.4】 伝熱・結露	
	1	露点温度	1	断熱性能：室内上下温度差小
	2	結露の防止対策(カーテン)	2	相当外気温度(SAT)
	3	結露の防止対策(二重サッシ)	3	窓ガラスの日射熱取得率(侵入率)
	4	結露の防止対策(襖)	4	断熱材の内部気泡の大きさ→熱伝導率の大小
R01	【No.4】 伝熱・結露		—	
	1	熱橋部分の室内側表面温度		
	2	複層ガラス		
	3	中空層の熱抵抗		
	4	総合熱伝達率		
R02	【No.2】 伝熱・結露		【No.4】 建築物のモデルの室温変動	
	1	熱貫流率：断熱材の位置で変化しない	1	
	2	熱貫流率：熱伝導抵抗が大→小	2	建築物のモデルにおける、熱容量の大小、断熱性能の高低からの、暖房開始停止時の室温変動の比較
	3	熱貫流率：放射率が大→大	3	
	4	対流熱伝達率：風速大→大	4	
R03	【No.4】 伝熱・結露		—	
	1	二重サッシ間の結露対策：内側サッシの気密性を高		
	2	自然対流熱伝達率：壁と空気の温度差が大→高		
	3	繊維系断熱材：含水率が増→断熱性能が低		
	4	複層Low-Eガラス：室外側に使用→遮熱性能が高		
R04	【No.2】 結露		【No.4】 伝熱・日射融合	
	1	表面結露の防止対策：壁体の断熱強化	1	日射遮蔽係数が大きいの→遮蔽効果が低い
	2	表面結露の防止対策：密閉型燃焼器	2	窓ガラスの日射熱取得率(侵入率)
	3	内部結露の防止対策：断熱層の室内側に防湿層	3	総合熱伝達率：対流熱伝達+放射熱伝達
	4	押入れの内の結露：襖の断熱性を低くする	4	対流熱伝達率：風速大→大

第1節 伝熱

1. 熱の移動

水が高い所から低い所に流れるように、熱は常に高温側から低温側に移動し、逆方向に流れることはない。

熱移動の基本形態（プロセス）には、伝導（熱伝導）、対流（熱対流）、放射（熱放射）の3つがある。



伝導

対流

放射

1 伝導（熱伝導）

熱が物質を伝わって、高温側から低温側へ移動する現象。

固体だけでなく液体や気体にも見られるが、密度の高い物質ほど熱を伝えやすいため、伝熱は固体が最も大きく、液体、気体の順に小さくなる。

2 対流（熱対流）

熱が気体や液体など、流体の循環によって移動する現象。

伝熱の大きさは、水や空気など、流体の種類によって異なる。

各部に温度差があると、浮力によって流体は移動する。この浮力だけによる流れを自然対流、風や送風機・ポンプなど、外部からの力による流れを強制対流という。

3 放射（熱放射）

熱が物体から他の物体へ直接、電磁波の形で移動する現象。

太陽の発する熱（日射）が、空気のない大気圏外を通過して地球に届くように、真空中でも熱は伝わる。

①絶対温度と放射量

放射による伝熱は、熱を発する物体の温度が高いほど大きく、放射量は絶対温度の4乗に比例する。（ステファン・ボルツマン：Stefan-Boltzmann の法則）

【用語】ステファン・ボルツマンの法則

物体から放射される熱 E は、表面の絶対温度の4乗に比例する。

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad [\text{W/m}^2]$$

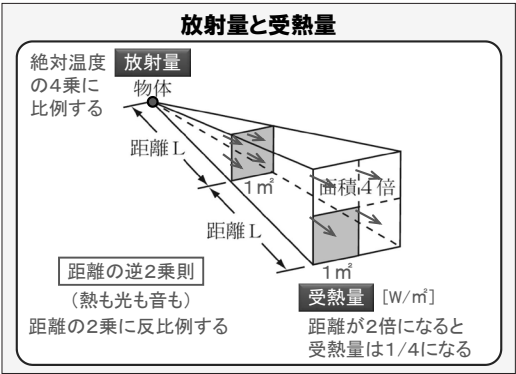
ε ：放射率（イプシロン）

σ ：ステファンボルツマン定数（シグマ）

T ：物体表面の絶対温度 [K]

②距離と放射による受熱量

放射による伝熱量は、物体からの距離の2乗に反比例して減衰する。たとえば、熱を放射している物体からの距離が2倍になると、同じ量の熱が4倍の面積に拡散するため、単位面積当たりの受熱量は1/4になる。



2. 壁体の伝熱

環境工学では、建築物の壁体などでの熱移動を、熱伝達、熱伝導、熱貫流という3つの過程として考える。

1 熱伝達

熱伝達は、空気から壁面、または、壁面から空気という、気体と固体の間の熱移動である。

主に空気の対流と、他の物体からの放射という2つの要因があり、対流による伝熱を対流熱伝達、放射による伝熱を放射熱伝達という。

①放射による熱伝達

絶対零度（-273.15℃）以上の物体はすべて、放射エネルギー（長波長域の熱線エネルギー）を放出している。ある物体の長波長放射率は、その物体と、物体と同一温度の完全黒体との単位面積当たりの放射エネルギー量の比で表され、「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」で除した値である。

長波長放射率

等級	材 料	長波長放射率（常温）
0	完全黒体	1.0
・	黒色非金属面（アスファルト、スレート、塗料等）	約 0.95
・	白色材料（白色のタイル、れんが、塗料等）	約 0.9
10	よく磨いたアルミニウム、ブリキ板等	約 0.03

2 熱伝導

材料の高温側表面から内部を通過し、低温側表面へと熱が移動する現象であり、基本的な熱移動の「伝導（熱伝導）」と同じ過程である。

壁体が種類の異なる複数の材料で構成されている場合にも、複合した壁体の高温側表面から順に熱が受け渡され、低温側表面へと熱が移動する。

10
15
20
25
30
35

2501 3001

【用語】 完全黒体
表面がつや消しで真っ黒い表面状態をもち、長波長の放射が最大の割合を示す物体をいう。

3 熱貫流

高温側の空気から壁面への**熱伝達**、壁面から反対側の壁面への**熱伝導**、そして壁面から低温側の空気への**熱伝達**という連続した熱移動を、すべて**総合**した過程が**熱貫流**である。

3. 伝熱の指標

1 熱伝達率 (α)

壁表面と空気との間での「**熱の伝わりやすさ**」を示し、値が**大きい**ほど**熱が伝わりやすい**ことを表す。

熱伝達は、対流熱伝達と放射熱伝達の2つに分けられるため、各々を**対流熱伝達率**、**放射熱伝達率**とよび、全体の熱伝達率（**総合熱伝達率**）は2つを**合計**した値になる。

外壁面の外気側における総合熱伝達率は、外壁面が外気温度に等しい場合は対流熱伝達率が0となるため、外壁面が外気温度に等しい黒体で覆われていると仮定し、日射や夜間放射の影響がないものとみなした値となる。

①単位

熱伝達率は、気温と壁表面温度との差 **1K**（ケルビン）当たり、壁の表面積 **1m²** 当たり、**1秒間**当たりの熱量（**W**：ワット）で、単位は **[W/(m²・K)]**。

②熱伝達抵抗 (1/ α)

熱伝達率 (α) の**逆数**で、値が**大きい**ほど**熱が伝わりにくい**ことを表す。

単位は、熱伝達率の単位の分母と分子を入れ換えた **[m²・K/W]**。

③熱伝達率の値

熱伝達率は各種の条件により異なるが、設計段階で一般的に用いられる値を右の表に示す。

熱伝達率

	熱伝達率 [W/(m ² ・K)]	
	屋外側	室内側
総合熱伝達率	23.3	9.3

④熱伝達率の特性

熱伝達率の値が大きくなる要因には、次の4つがある。

(1) 壁の表面に当たる**風速**が**大きい**ほど、**大きい**。

風速が大きいと、対流による伝熱が大きくなる。一般に、風速の大きい屋外のほうが室内よりも熱伝達率の値は大きい。

(2) 壁の**表面の凹凸**が**大きい**ほど、**大きい**。

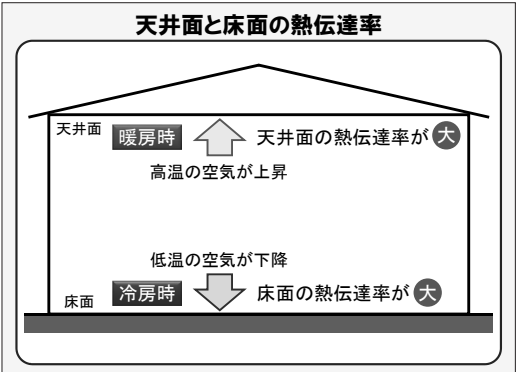
壁表面が粗面で、空気と接する面積が大きいと、熱伝達率の値は大きくなる。

(3) 室内の表面温度より**室温が高い**場合、床面より**天井面のほうが大きい**。2504

仮に天井面と床面が等温であっても、室内空気から床面（下向き熱流）に流れるより、天井面（上向き熱流）に流れる熱のほうが大きい。

(4) 室内の壁表面と室内空気との**温度差が大きい**ほど、**大きい**。R0304

室内においては、壁に強制的に風が当たることは少なく、室内の壁表面と空気との温度差によって浮力が発生し空気が対流することで熱伝達が生じるので、熱伝達率の値も大きくなる。



2 熱伝導率（λ）

壁を構成する各材料の内部での「熱の伝わりやすさ」を示し、値が**大きい**ほど熱が**伝わりやすい**ことを表す。ただし、材料の種類ごとに熱伝導率の値は異なる。

①単位

熱伝導率は、壁を構成する各材料の両側の表面温度の差 1K 当たり、表面積 1m² 当たり、1 秒間あたりに伝わる熱量（W）である。ただし、材料の厚さが増すほど熱は伝わりにくくなることから、材料の厚さ 1m 当たりの値で表す。そのため、単位は熱伝達率とは異なり、[W/(m・K)] である。

②熱伝導抵抗（d/λ）

熱伝導率（λ）の**逆数**に材料の**厚さ**（d）を掛けた値で、この値が**大きい**ほど熱が**伝わりにくい**ことを表す。

材料の厚さを含むため、単位は熱伝達抵抗と同じ [m²・K/W] になる。熱伝導率の逆数ではないことに注意する。

③熱伝導比抵抗（1/λ）

熱伝導率の逆数（1/λ）は**熱伝導比抵抗**（単位：m・K/W）という別の名称になる。

④熱伝導率の値

代表的な建築材料の熱伝導率を表に示す。

⑤熱伝導率の特性

材料の熱伝導率が**大きくなる**（伝熱が大きくなる）要因には、次の3つがある。

(1) 材料内部に含まれる**空気量が少ない**と、**大きい**。

前述のように、気体のような密度の低い物質は伝導による伝熱が小さい。

建築材料の熱伝導率

	材料名	熱伝導率 W/(m・K)
金 属	アルミニウム	210
	鋼材	45
セメント ガラス	コンクリート	1.4
	れんが	0.80
	板ガラス	0.78
木 材	ALC	0.17
	軽量材(杉)※	0.14
断熱材	グラスウール	0.05
	水	0.55
その他	空気	0.02

※気乾状態（含水率 80％）。

身近な生活環境で最も密度の低い物質は空気であり、内部に含まれる空気量が少ないほど、材料全体の熱伝導率は大きくなる。

(2) 材料内部の**空気が流動**すると、**大きい**。

空気中では、伝導よりも対流による伝熱のほうが大きいため、空気が流動して対流が大きくなると、熱伝導率は大きくなる。

(3) 材料の**温度が高い**ほど、一般に**大きい**。

熱伝導率は温度によって変化し、大部分の材料は温度が高くなると、それに比例して大きくなる。ただし、シリコンゴムなどのように、温度上昇に比例して熱伝導率が小さくなる材料もある。

熱伝導に関する重要事項

●材料が**水や湿気**を吸収すると、熱伝導率が**大きくなる**。

これは、材料内部の熱伝導率の小さい**空気**が、それよりも熱伝導率のはるかに大きな**水**（約 25 倍）と入れ替わるためである。**グラスウール**などの水湿分を吸収しやすい材料は特に影響を受けやすく、**断熱性能**が大きく**低下**する。

●材料の**かさ比重**が**大きい**ほど、一般に熱伝導率が**大きくなる**。

たとえば、「**金属**＜**コンクリート**＜**木材**」という大小関係になる。これは、材料内部に含まれる気泡が少ないほど、熱が伝わりやすくなるためである。

ただし、**グラスウール**などの繊維系の断熱材は、建材として使用される範囲では、かさ比重が**大きい**ほど、反対に熱伝導率が**小さくなる**。これは、内部に生じる**空気の流動**の影響が強く現われるためである。

2204 R0304

【用語】かさ比重

内部に気泡を含んだ状態の体積で、質量を割った値。
見かけの密度ともいう。

1903 2304 2804

かさ比重

かさ比重は、内部に気泡を含んだ状態の体積 $\square$ で、質量を割った値 →

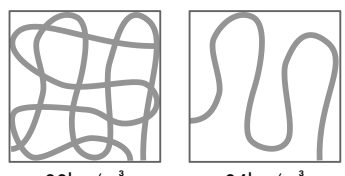


← グラスウール 1本1本の体積で、質量を割った値の「比重」とは異なる。

■ 建築材料の熱伝導率は、一般に、かさ比重(みかけの密度)が増加するほど大きくなる。 平成13年改【正】

■ グラスウールの熱伝導率は、一般に、かさ比重(みかけの密度)が増加するほど小さくなる。 平成28年改【正】

グラスウールのかさ比重と熱伝導率



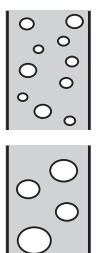
かさ比重 大 → 小

熱伝導率 小 → 大

断熱性 良

●材料の内部に含まれる空気量の合計が同じ（**空隙率**が同じ）場合、一般に、**気泡寸法**が**大きい**ほど、熱伝導率が**大きくなり**、断熱性能は**低下**する。 2604 3004

これは、気泡寸法が大きくなるほど、気泡内部の**対流**による伝熱が**大きくなる**ためである。



気泡寸法 小 小

熱伝導率 小

気泡寸法 大 大

熱伝導率 大

空隙率が同じ材料の熱伝導率

【用語】空隙率

内部に気泡を含んだ状態の体積のうち、気泡の占める割合。

3 熱貫流率 (U)

熱貫流率は、高温側の壁表面での熱伝達、壁内部での熱伝導、低温側の壁表面での熱伝達を総合した「壁全体の熱の伝わりやすさ」を示し、値が**大きい**ほど熱が**伝わりやすい**ことを表す。

熱貫流率は、外壁などの断熱性能を示すのに用いられ、値が**大きい**ほど、逆に**断熱性能が低い**ことを表す。

①単位

熱貫流率は、壁の両側の気温差 **1 K** 当たり、壁の表面積 **1 m²** 当たり、**1 秒間** 当たりに壁を通過する熱量 (W) で、単位は熱伝達率と同じ [W/(m²・K)]。

②熱貫流抵抗 (R_t)

熱貫流抵抗は、熱貫流率の**逆数** (1/U) で、この値が**大きい**ほど熱が**伝わりにくい**ことを表す。単位は、熱伝達抵抗や熱伝導抵抗と同じ [m²・K/W]。

熱貫流抵抗 R_t は、次式で求められる。

熱貫流抵抗 $R_t = \frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}$

α_i : 室内側の熱伝達率 [W/(m²・K)]

α_o : 室外側の熱伝達率 [W/(m²・K)]

d : 壁の厚さ [m]

λ : 壁の熱伝導率 [W/(m・K)]

③平均熱貫流率

部分的に熱貫流率が異なる壁体の平均熱貫流率は、各部の面積から比例配分で求められる。

平均熱貫流率
$$U = \frac{U_1 \cdot A_1 + U_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2}$$
$$= U_1 \cdot \frac{A_1}{A_1 + A_2} + U_2 \cdot \frac{A_2}{A_1 + A_2}$$

窓の熱貫流率：U₂
面積：A₂

壁の熱貫流率：U₁
面積：A₁

④熱貫流量 (Q)

1 秒間に**熱貫流**によって壁体を通過する**熱量**。単位は [W (ワット)]。

熱貫流量 Q [W] は、次式で求められる。

熱貫流量 $Q [W] = UA(t_i - t_o)$

U : 熱貫流率 [W/(m²・K)]

A : 壁体の面積 [m²]

t_i, t_o : 室内、屋外の気温 [K]

熱貫流に関する重要事項

- 単一材料の壁に貫流する熱量は、壁の**表面積が2倍**になると**2倍**になるが、壁の**厚さを2倍**にしても**1/2にはならない**。

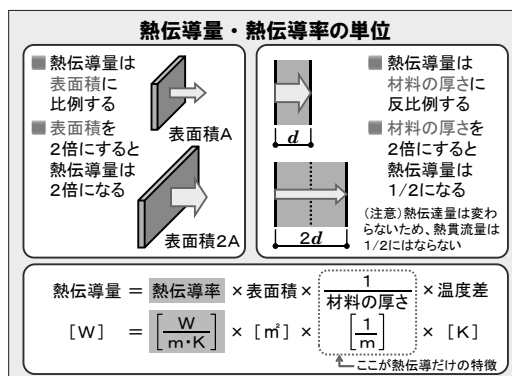
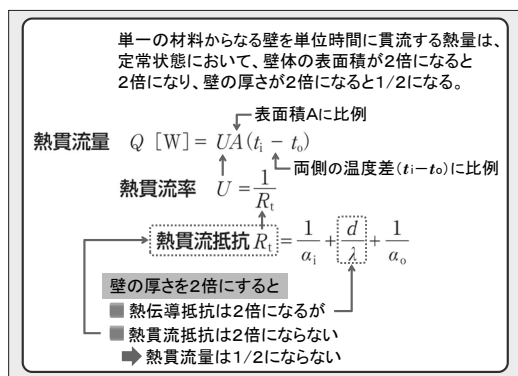
2403 R0202

熱の単位		
熱伝達率 [W/(m ² ・K)]	熱伝導率 [W/(m・K)]	熱貫流率 [W/(m ² ・K)]
	熱伝導比抵抗 [m ² ・K/W]	
熱伝達抵抗 [m ² ・K/W]	熱伝導抵抗 [m ² ・K/W]	熱貫流抵抗 [m ² ・K/W]



伝熱の抵抗値は、**電気抵抗**を直列に連結したときの、**電路全体の抵抗値と同じ**考え方を**する**。

これは、熱貫流量は壁の表面積に対して比例するが、熱貫流抵抗は壁表面（気体部）の熱貫流抵抗と壁体（固体部）の熱貫流抵抗との合計であり、壁の厚さに対して反比例しないためである。また同様に、単一材料の壁の熱貫流抵抗は、壁の厚さを2倍にしても2倍にはならない。



4. 伝熱の計算

1 熱貫流率 (U) の計算

熱貫流率を求めるには、はじめに、屋外側熱伝達抵抗、室内側熱伝達抵抗、壁体各部の熱伝導抵抗の総和から熱貫流抵抗 (R_t) を計算し、次にその逆数を計算する。

$$\text{熱貫流率 } U = \frac{1}{R_t}$$

例題

イ～ハの条件により、厚さ 15cm のコンクリートの壁体の熱貫流率を求めよ。ただし、定常状態とする。

条件

イ. コンクリートの熱伝導率 $\lambda = 1.4 W / (m \cdot K)$

ロ. 屋外側の熱伝達率 $\alpha_o = 23 W / (m^2 \cdot K)$

ハ. 室内側の熱伝達率 $\alpha_i = 9 W / (m^2 \cdot K)$

【用語】 定常状態

時間が経過しても、壁体各部の温度や気温が変化せず、熱の流れが常に一定の状態をいう。

解答

はじめに熱貫流抵抗を求め、その逆数を計算する。

$$\text{熱貫流抵抗 } R_t = \frac{1}{23} + \frac{0.15}{1.4} + \frac{1}{9} \div 0.26 m^2 \cdot K / W$$

$$\text{熱貫流率 } U = \frac{1}{0.26} \div \boxed{3.8} W / (m^2 \cdot K) \cdots \cdots \text{解答}$$

2 熱貫流量 (Q) の計算

例題

イ～への条件により、窓のある壁体の熱損失の値を求めよ。ただし、定常状態とする。

条件

- イ. 外壁（窓を含む）の面積 $A_1 = 20\text{m}^2$
ロ. 窓の面積 $A_2 = 10\text{m}^2$
ハ. 居室の温度 $t_i = 25^\circ\text{C}$
ニ. 外気の温度 $t_o = 5^\circ\text{C}$
ホ. 外壁（窓を除く）の熱貫流率 $U_1 = 0.5\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
ヘ. 窓の熱貫流率 $U_2 = 2.0\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

解答

熱損失とは室内から屋外に流出する熱貫流量であり、外壁（窓を除く）部分と窓部分の熱貫流量を各々計算し、それを合計することで全体の熱貫流量が求められる。

外壁の熱貫流量 $Q_1 = 0.5 \times (20 - 10) \times (25 - 5) = 100\text{W}$
窓の熱貫流量 $Q_2 = 2.0 \times 10 \times (25 - 5) = 400\text{W}$
全体の熱貫流量 $Q = 100 + 400 = 500\text{ W} \quad \cdots \cdots \text{解答}$

※居室の温度 t_i と外気の温度 t_o の単位が $[\text{C}]$ で与えられているときは、本来は、熱貫流率の単位に合わせて $[\text{K} (\text{ケルビン})]$ に換算する必要がある。

$t_i = 25^\circ\text{C} \div (273 + 25)\text{K} \quad t_o = 5^\circ\text{C} \div (273 + 5)\text{K}$

ただし、気温差を求めると単位にかかわらず同じ数値になるため、次のように $[\text{C}]$ のままで差を求め、単位を $[\text{K}]$ に換えればよい。

気温差 $t_i - t_o = 25^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C} \Rightarrow 20\text{K}$

第2節 結露

1. 結露現象

結露は、壁体各部の温度が低下したとき、これに触れた空気が冷却されて露点温度以下になり、空気中の水蒸気が凝縮して水滴に変わる現象である。

2604

1 結露の種類

結露は、発生する部位により、外壁や窓ガラスの表面に発生する表面結露と、壁体や材料の内部に発生する内部結露とに分けられる。

10

また、温度低下による一般的な冬型結露のほかに、高温多湿の空気が低温の空間に流れ込み、相対湿度を上昇させることによって発生する夏型結露がある。

2 結露の発生条件

①表面結露

次のような、断熱性能が劣り、表面温度が他より低下する部位に発生しやすい。

2204

(1) 窓まわり

窓ガラスは断熱材を挿入できないので、他の外壁部分と比べて断熱性能が劣る。また、サッシ枠も熱伝導率が非常に大きいアルミニウムが多く用いられることが多いため、窓まわり全体からの熱損失が大きく、結露が発生しやすい。

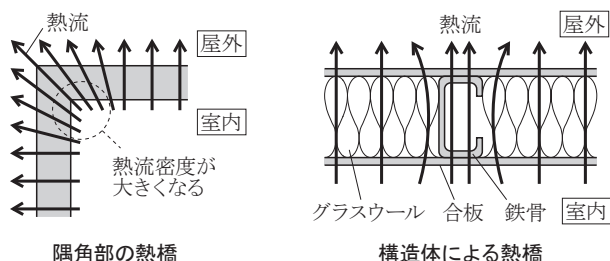
20

(2) 熱橋（ヒートブリッジ）

2104 R0104

外壁の隅角部は、室内側よりも屋外側のほうが表面積が大きいため、一般の壁面より熱が逃げやすい。また、構造体の一部に極端に熱伝導率の大きな部分があると、その部分に熱が集中して流れ、室内側表面に結露が発生しやすい。このような部分を熱橋（ヒートブリッジ）といい、冷橋（コールドブリッジ）ということもある。

25



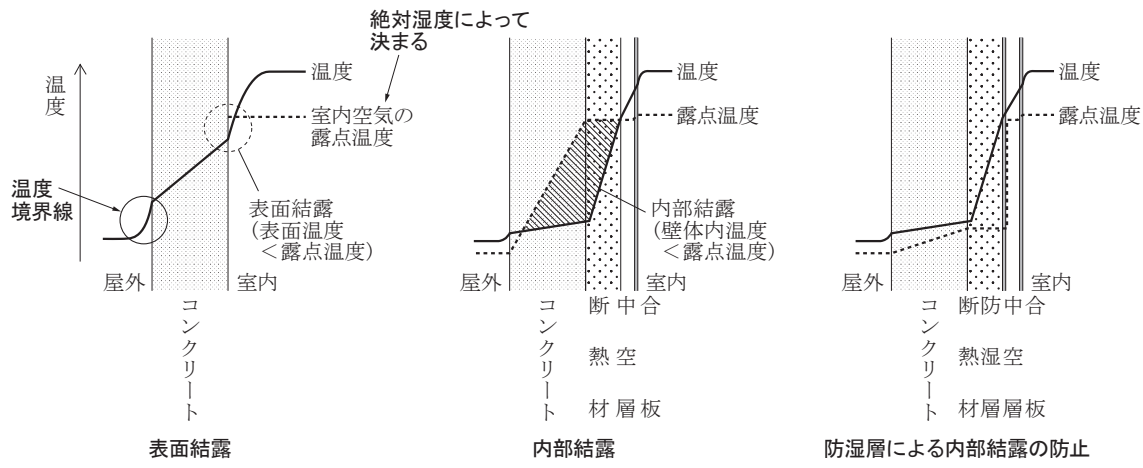
30

②内部結露

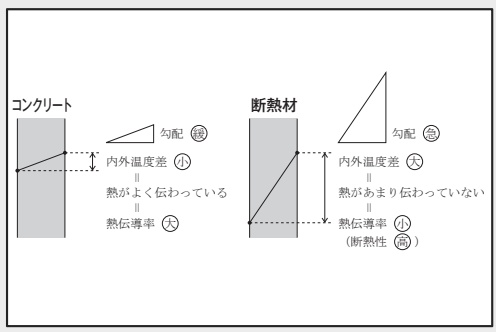
35

熱と同様に空気中の湿気（水蒸気）も、壁体を通過して、水蒸気分圧の高い側（高湿側）から低い側（低湿側）へと移動する。

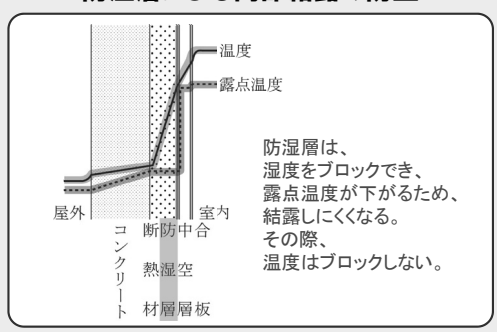
壁体各部の温度変化に伴って水蒸気分圧も変化し、露点温度以下になると飽和水蒸気分圧をこえて結露する。



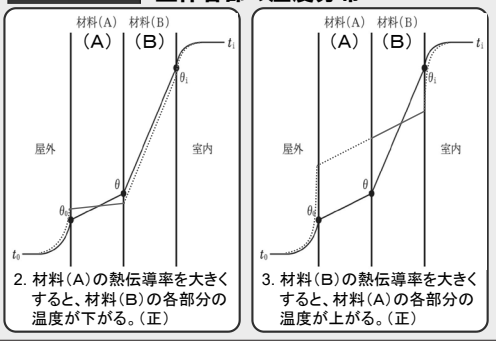
壁体内部の温度分布の読み方



防湿層による内部結露の防止



問29(H2904) 壁体各部の温度分布



3 湿気の移動

内部結露の原因となる材料内部での湿気（水蒸気）の移動は、熱の移動とよく似た性質をもつため、伝熱に類似した指標が用いられ、湿気（水蒸気）の移動しやすさを示す湿気伝導率（透湿率）、移動しにくさを示す湿気伝導抵抗（透湿抵抗）がある。

①湿気伝導率・湿気伝導抵抗

湿気伝導率は、材料の両側の水蒸気圧の差 1Pa 当たり、材料の表面積 1m^2 ・厚さ 1m 当たり、1 秒間あたりに移動する水蒸気量 (kg) を表す。

単位は、湿気伝導率が $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ 、湿気伝導抵抗が $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$ 。

②平衡含湿率

材料に含まれる湿気を表す指標として、**平衡含湿率**（平衡含水率）があり、熱伝導率や比熱といった材料の様々な要素に影響を与える。

2601

熱の単位と湿気の単位

熱伝導率	湿気伝導率 (透湿率)
$[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	$[\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})]$
熱伝導比抵抗	湿気伝導抵抗 (透湿抵抗)
$[\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}]$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}]$
熱伝導抵抗	湿気伝導抵抗 (透湿抵抗)
$[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}]$

2. 結露の防止対策

1 表面結露の防止

表面結露防止の原則は、「空気中の湿度を下げる」と、「壁体各部の温度を下げない」ことの2つに集約され、以下のような対策がある。

- ① 室内での水蒸気の発生を抑制し、局所排気を用いて拡散を防ぐ。
- ② 換気によって室内の湿度を低下させる。
- ③ 壁体の断熱を強化して、室内側表面温度を下げない。
- ④ 直接加熱や気流の促進によって室内側表面温度を上げる。

なお、冷暖房時の省エネルギーのため**全熱交換型の換気扇**を採用すると、換気をして室内の水蒸気量があまり減少しないため、水蒸気発生量の多い室では、**顕熱のみを回収**する換気扇を設置するほうがよい。

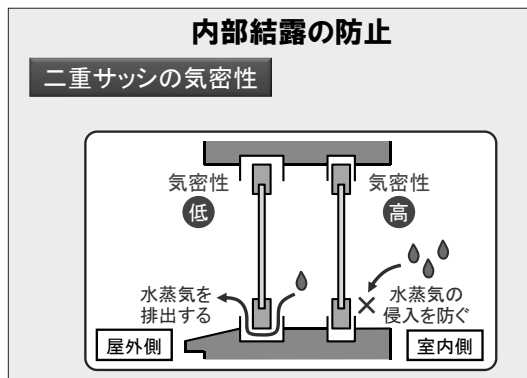
また、梅雨や台風の時（**高湿時**）に、建築物の北側に面した納戸、倉庫、地下室などの比較的**低温になる室**に、高温多湿の外気が流れ込むことで壁面表面に発生する**夏型結露**もある。

(1) カーテン

窓ガラスの屋内側にカーテンを設けると、ガラスとカーテンの間の空気層の断熱効果によりガラス面が低温になり、室内側のガラス面に結露を生じやすくなるため、冬期における**ガラス面の結露防止対策**としては期待できない。

(2) 二重サッシ

二重サッシ間の結露防止対策として、**室内側の気密性を高く**して水蒸気の侵入を防ぎ、**屋外側は反対に気密性を低く**して水蒸気を排出することが有効である。



【用語】平衡含湿率

一定の温度、湿度の環境に置かれた材料の水分が吸湿も放湿もせずに平衡に達し、変化しなくなったときの含水率。

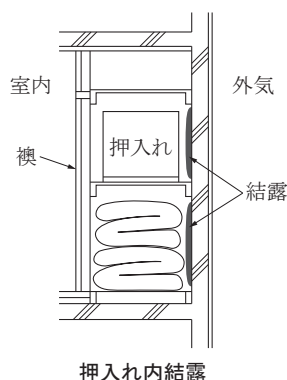
R0402

2003 2402 3002

3002 R0304

(3) 押入れ内

冬期における外壁に接する押入れ内の結露は、押入れと暖房室との温度差により生じる。暖房室の水蒸気を多く含んだ空気（ふすま）の隙間から押入れ内に入り込み、温度が低下した壁に触れると結露が発生する。結露を防止するためには、押入れの襖の断熱性を低くして、暖房室との温度差を小さくし、押入れ内の温度を下げないことが有効である。



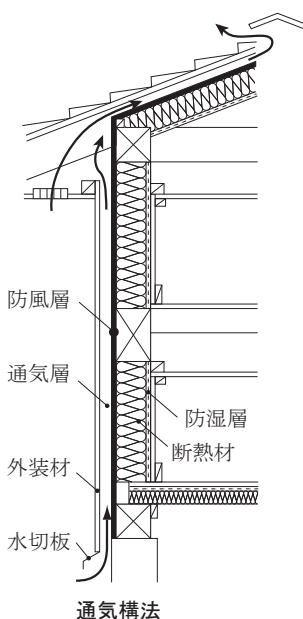
押入れ内結露

2 内部結露の防止

内部結露防止には、「壁体内に水蒸気を侵入させない」と、「壁体内の水蒸気を屋外に排出する」ことが最も重要であり、以下のような対策がある。

- ①温度が高い断熱層の室内側に、防湿層を設置する。
- ②壁体内部の水蒸気を屋外に逃がすため、断熱層の屋外側に通気層を設ける通気構法を採用する。
- ③冷たい外気がグラスウールなどの断熱材の内部に侵入しないように、屋外側に防風層（透湿防水シートなど）を設置する。

なお、冷房の普及により壁内部に夏型結露が発生する場合もある。構造用合板や外壁材に含まれる水分が日射で加熱され、壁体内を透過して防湿層裏面で結露する現象である。室温を下げ過ぎないこと、防湿層と断熱材との間に調湿材を挿入することなどが有効である。



通気構法

3 床下結露の防止

床下結露には、外壁の内部結露と同様に、室内から侵入した水蒸気が結露するもの、地盤からの水蒸気が非暖房室の冷たい床板に結露するものなどがある。地盤からの水蒸気の発生を防ぐためには、防湿層で地盤を全て覆う方法や土間コンクリートを設ける方法などが有効である。

4 小屋裏結露の防止

最上階の天井部分のみに断熱材を施した場合は、防暑対策と結露防止のために、小屋裏に換気口を設ける。これは一般的な木造住宅に用いられる断熱処理方法で、最上階室内の天井部分には断熱材を施し、それより上部の屋根部分（小屋裏）には断熱材を施さない。その場合、冬期では室内からの高湿な空気が小屋裏

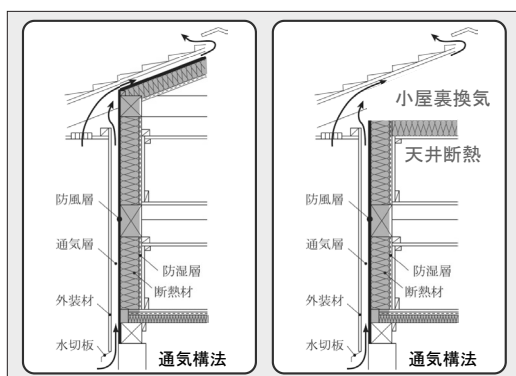
3002 R0402

1903 2403 2802 R0402

2104

2802

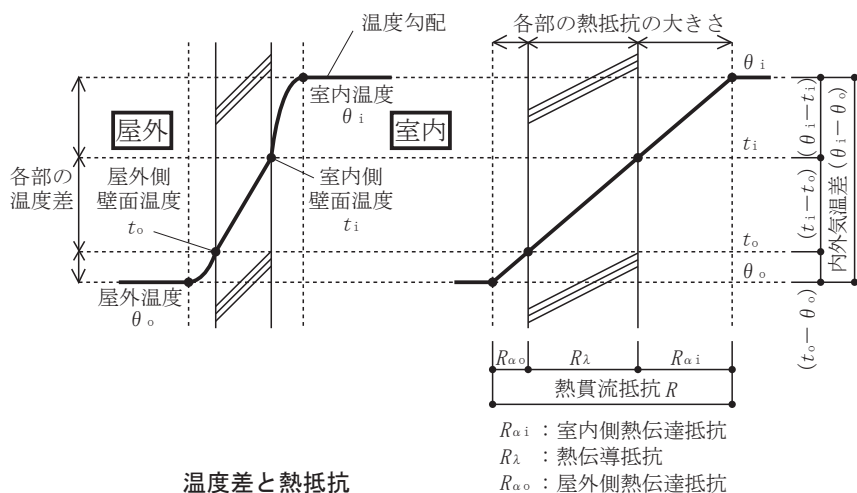
に流入すると、低温の野地板面の表面で結露が発生しやすいため、小屋裏を換気して湿度を低下させるために換気口を設ける。



3. 壁体各部の温度分布

各部の温度差と、熱抵抗（熱伝達抵抗、熱伝導抵抗）の大きさには次のような関係があり、これによって壁体各部の温度を求めることができる。

$$\frac{\text{各部の温度差}}{\text{全体の温度差 (内外気温差)}} = \frac{\text{各部の熱抵抗}}{\text{全体の熱抵抗 (熱貫流抵抗)}}$$



〔例 1〕
$$\frac{\text{室内気温 } (\theta_i) - \text{室内側壁面温度 } (t_i)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{室内側熱伝達抵抗 } (R_{\alpha i})}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$$

〔例 2〕
$$\frac{\text{室内側壁面温度 } (t_i) - \text{屋外側壁面温度 } (t_o)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{熱伝導抵抗 } (R_{\lambda})}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$$

〔例 3〕
$$\frac{\text{屋外側壁面温度 } (t_o) - \text{屋外気温 } (\theta_o)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{屋外側熱伝達抵抗 } (R_{\alpha o})}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$$

例題

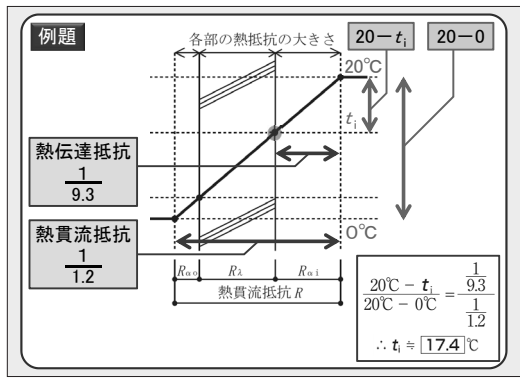
0℃の外気に接している壁の熱貫流率が1.2W/(m²・K)の場合において、壁の室内側総合熱伝達率が9.3W/(m²・K)で、室内気温が20℃であるとき、この壁の室内表面温度を求めよ。

解答

室内側壁面温度 (t_i) は、次の計算式から求められる。なお、総合熱伝達率とは、対流熱伝達率と放射熱伝達率の合計で、一般によぶ熱伝達率と同じ意味である。

$$\frac{\text{室内気温 } (\theta_i) - \text{室内側壁面温度 } (t_i)}{\text{内外気温差 } (\theta_i - \theta_o)} = \frac{\text{室内側熱伝達抵抗 } (R_{ai})}{\text{熱貫流抵抗 } (R)}$$
$$\frac{20^{\circ}\text{C} - t_i}{20^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}} = \frac{\frac{1}{9.3}}{\frac{1}{1.2}}$$

∴ $t_i \div 17.4^{\circ}\text{C}$ 解答

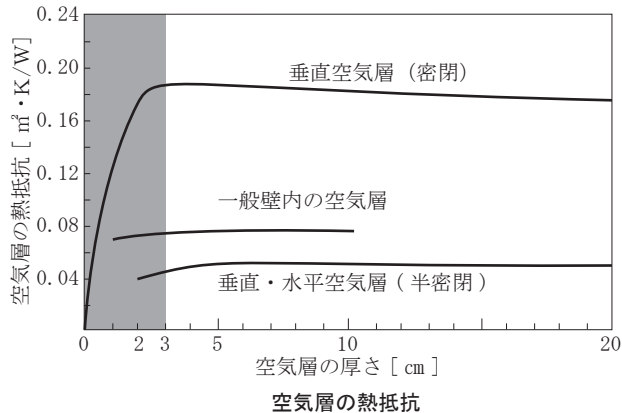


第3節 断熱性と熱容量

1. 断熱性

1 壁体の空気層（中空層）

① 空気層の厚さと気密性



空気は熱伝導率が小さく、熱を伝えにくいので、壁体内に空気層を有効に設けると建築物の断熱性能が著しく向上する。

図のように、空気層の熱抵抗は、2～3cm 程度までは厚いほど増加するが、それを超えると熱抵抗はあまり変化せず、少しずつ減少する傾向がみられる。これは、空気層内で、対流による伝熱が大きくなるためである。 **2504 R0104**

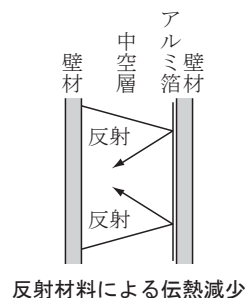
また、熱抵抗は、空気層の気密性が高いほど増加する。図のように、空気が外部と流出入する半密閉状態では、完全な密閉状態のときの 1/3 程度に低下する。

なお、二重ガラス（複層ガラス）などでは内部の気圧を低くしたものがある。中空層がほぼ完全な真空になったと仮定すれば、対流と伝導による伝熱は生じないが、放射による伝熱があるため、伝熱が完全になくなる（熱貫流率が0になる）ことはない。

② 反射材料の挿入

壁材料の空気層側に、アルミ箔などの反射性の高い材料を張ると、放射による伝熱が減少するため、熱抵抗は約2倍になる。

反射材料は、空気層のどちら側に張っても同じ効果が得られるが、空気層を設けず、材料間に密着して挟むと効果は期待できない。また、空気層を分割する中間部に設けると、対流による伝熱も低減することができる。



【用語】熱抵抗

空気層の伝熱は、主に対流と放射によって生じ、通常の壁材料と特性が異なるため、熱伝導抵抗ではなく、熱抵抗という名称が用いられる。ただし、熱貫流抵抗を計算する場合には、熱伝導抵抗と同様に扱うことができる。単位は $[m^2 \cdot K/W]$ 。

R0104

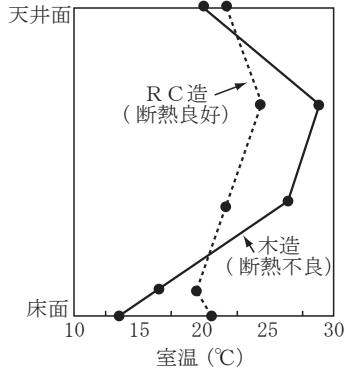
2604

2 室内の上下温度差

断熱の不十分な建築物では、暖房時に加熱された高温の空気が上昇し、壁体などで冷却された低温の空気が下降して、室内の上下温度差が大きくなる。この下降気流をコールドドラフトという。また、室内での上下方向の温度分布を、垂直温度勾配とよぶことがある。室の断熱性能を高めると、一般に、コールドドラフトが減少し、室温と室内表面温度差を小さくすることができ、室内の上下温度差も小さくすることができる。

図は、断熱の良好なRC造の建築物と断熱の不良な木造建築物について、室内の上下温度分布を比較したものである。

建築物の断熱性を高めると、暖房負荷が減少し、壁体からの放射による温熱環境が改善される。



断熱性と室内の上下温度分布

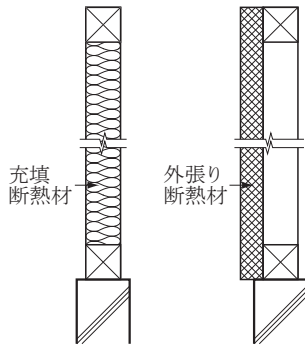
3 木造建築の断熱工法

① 充填断熱・外張り断熱

木造建築の断熱工法は、充填断熱と外張り断熱とに大別される。

充填断熱は、軸組の間、構造空隙に断熱材を充填する工法で、安価ではあるが、間仕切壁の通気止めや防湿気密層の連続性の確保に留意しなければならない。

外張り断熱は、軸組、構造体の外側に断熱層を設ける工法で、技術的な留意点が少なく、安定した断熱気密性能が期待できるが、一般に工費が高く、外装下地工事に注意が必要とされる。



充填断熱工法 外張り断熱工法

② 床断熱・基礎断熱

床回りの断熱工法には、床断熱と基礎断熱とがある。

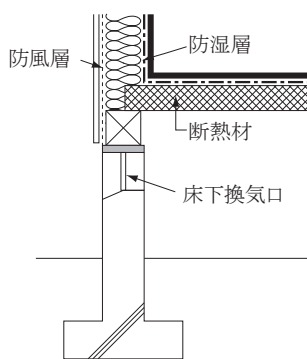
床断熱は、断熱材を根太の間に充填するため、床裏に隙間ができないようにしなければならない。

基礎断熱は、床断熱に比べて断熱・気密・防露処理が簡略化され、外壁や間仕切壁の下部の通気止めが不要で、床下の結露防止に有効であり、床下地盤の蓄熱効果が活用できるなどの利点がある。また、基礎断熱では、外気に直接通じる床下換気口を設けない。

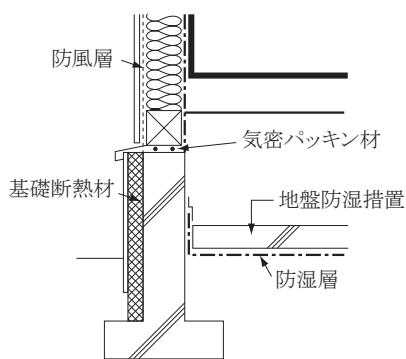
1908 2204 2702 3004

1903

1908 2504



床断熱工法

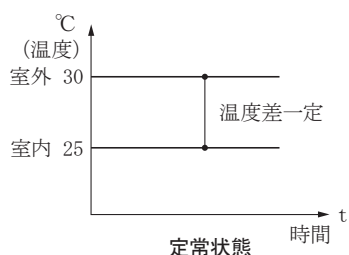


基礎断熱工法

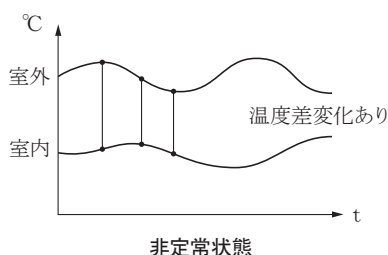
2. 熱容量

屋外の気温や建築物に当たる日射の強さは常に変動しており、それに伴って室内の気温も変動する。このような、温度などが時間によって変化する状態を**非定常状態**という。また、簡略化のため、常に一定に熱が流れ、時間とともに温度などが変化しないことを想定したものが**定常状態**である。

熱の移動の基本形態（プロセス）である伝導（熱伝導）、対流（熱対流）、放射（熱放射）を理解するには定常状態が基礎となる。しかし、実際の状況では、外気温や室温が時間とともに変化する、非定常状態となる。例えば、熱貫流率が同じでも、壁の熱しやすさ、冷めやすさ（熱容量）によっては、室内の冷暖房の運転・停止によって室温の変化の仕方は変わる。



定常状態



非定常状態

建築物の**断熱性**は、壁体の**熱貫流率**（または**熱貫流抵抗**）の大きさや**気密性**に左右されるが、実際の室温の変動は、そのほかに壁体の**熱容量**の影響を受ける。

1 壁体の熱容量

物質には熱を吸収して蓄える性質があり、種類ごとに蓄熱しやすさが異なる。

質量 1kg の材料の温度を 1K (℃) 上昇させるのに必要な熱量 [単位: J (ジュール)] を**比熱** [単位: J / (kg · K)] という。

熱容量は、蓄熱の特性を表す数値で、壁体などの温度を 1K (℃) 上昇させるのに必要な熱量 [J] に相当し、比熱 × 質量または比熱 × 密度 × 容積で求められ、単位は [J/K] で表す。例えば、材料としてのコンクリートは、木材に比べて比

【用語】 比熱

比熱は、一般に質量 1kg を基準にするが、容積（体積）1m³を基準とする場合は**容積比熱** [単位: J / (m³ · K)] とよび、「質量による比熱 × 密度」で求められる。

熱は小さいが、**コンクリート造**の壁体は木造に比べて質量が大きいため、**熱容量が大きくなる**。

熱容量が大きいと、熱の伝わる時間に遅れが生じるが、原則として伝わる熱の総量は変わらないため、熱損失の減少への直接的な効果はない。ただし、この時間の遅れを効果的に利用することで、室内気温の変動を小さくすることができる。

2 室内気温の変動

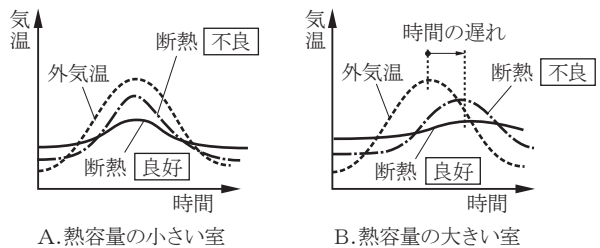
①屋外気温の変動の影響

壁体の熱容量が大きいと、熱を吸収して暖まるまでの時間は長いが、放熱も遅いので、周囲の温度が低下しても冷えにくい。そのため、屋外の気温変動の影響が室内に現れるのが遅くなる。

図は、断熱が良好な室内と不良な室内での、屋外の気温変動とともに室内気温が変動する様子を示している。

Aの熱容量の小さい壁体で造られた室では、屋外気温の影響が早く室内に現れる。このとき、断熱が良好であれば、不良な場合よりも室内気温の変動幅が小さい。

Bの熱容量の大きい壁体で造られた室では、屋外気温の影響が室内に現れるのが遅くなり、室内気温の変動幅は、熱容量の小さい室の場合よりも小さい。このため、夏期の最も屋外気温の高い時間帯にも、室内の気温の上昇が抑えられる。



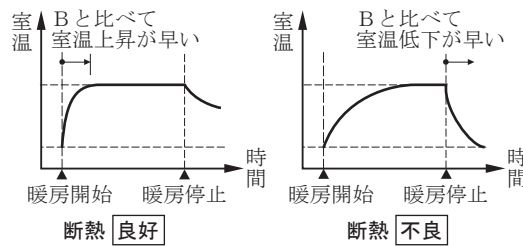
屋外気温の変動の影響

2003 2403 R0204

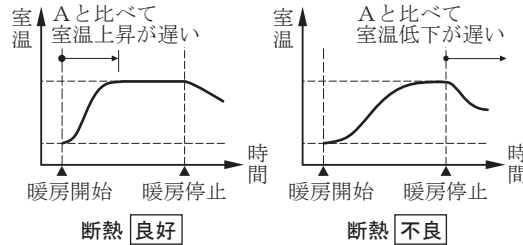
②暖房時の室内気温の変動

図は、断熱が良好な室内と不良な室内での、暖房時の室内温度の変動の様子を示している。

Aの熱容量の小さい室では、暖房を開始してから室内気温が設定温度まで上昇する時間が短い（**立上がり**が早い）。このとき、断熱が不良であると、熱損失が大きいため、断熱が良好な場合よりも時間が長くなり、暖房停止後の室内気温の低下が速い。

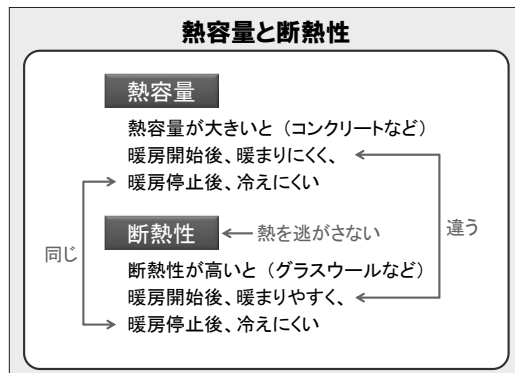


A. 熱容量の小さい室



B. 熱容量の大きい室

Bの熱容量の大きい室では、暖房を開始してから室内気温が設定温度まで上昇する時間が長い（**立上がり**が遅い）が、断熱が良好であれば、暖房を停止した後も室内気温の低下が遅い。このため、暖房を随時停止する間欠運転を行っても、室内気温の変動が小さく、暖房効率が高くなる。



③ 外断熱と内断熱

断熱材を、RC造などの構造躯体の屋外側に設置する構法を**外断熱**、室内側に設置する構法を**内断熱**という。

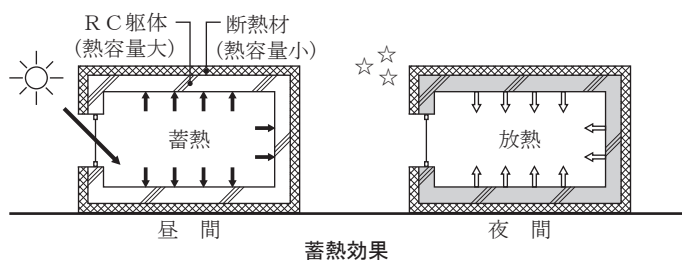
室内に面する壁や床に熱容量の大きい材料を用いると、室内気温の変動を抑制し、蓄熱効果によって暖房効率を向上させることができる。外断熱は、熱容量の大きなRC造などの構造躯体をこれに利用する方式である。

④ 外断熱の利点

①蓄熱効果

外断熱を行うと、冬期には昼間、室内に差し込む日射熱を躯体に蓄熱し、夜間に放熱することで室内気温の低下を抑制し、暖房負荷を軽減できる。

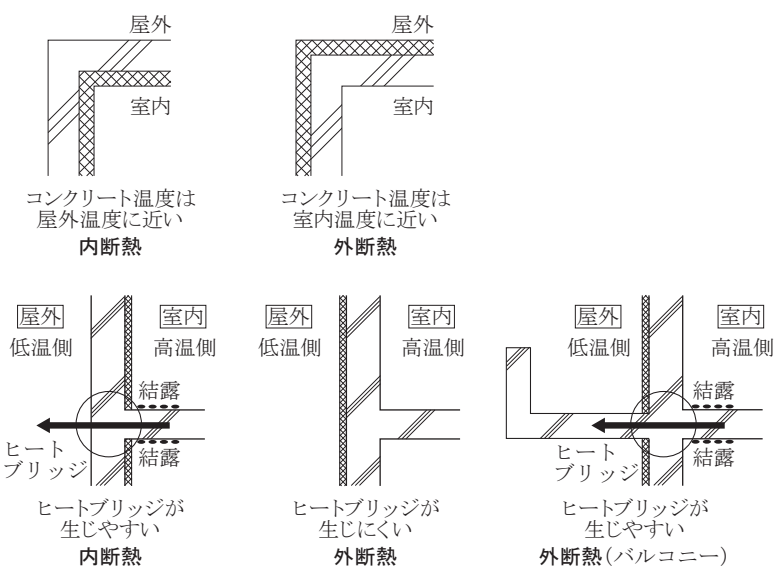
日中に日射を直接室内に取り込んで蓄熱し、夜間に放熱することによって室内を暖房する**ダイレクトゲイン方式**は、室内の熱容量を大きくしたほうが蓄熱効果が高く、冬期における太陽熱の利用効果は高くなる。



②ヒートブリッジの減少

ヒートブリッジ（ねっきょう熱橋）とは、建築物の出隅などの局部的に熱の通りやすい部分であり、結露しやすい。外断熱を行うと、出隅など両側から冷やされる部分をなくす効果があり、ヒートブリッジとなる部分の**数を減らす**ことができる。

ただし、バルコニーやパラペット部分のように、屋外に突出する箇所では断熱層が分断されるため、内断熱、外断熱ともに**断熱補強**が必要になる。

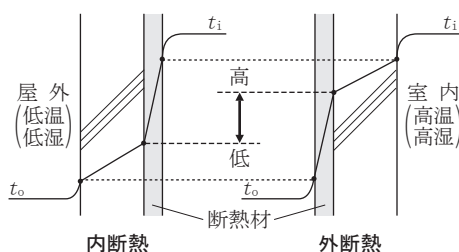


③内部結露の防止

冬期には、**内断熱**では、断熱材の屋外側で温度が大きく低下するが、**外断熱**では、壁体内部の温度が高く保たれるため、内部結露が発生しにくい。

ただし、壁体を構成する材料の種類と厚さが同じであれば、内断熱も外断熱も熱貫流率（熱貫流抵抗）は同じ値になり、**室内側表面温度**は、原則として**変わらない**。このため、表面結露の防止にはあまり効果がなく、暖房時に室内側表面温度の上昇が遅いので、表面結露が発生しやすいこともある。

2104 2403 2904 R0202



壁体内部の温度分布の読み方

