

『換気』 自然換気と機械換気は大別される。

「自然換気」

温度差換気（重力換気）と風力換気は大別される。

居室の計画的な自然換気においては、建築物内外の温度差や建築物周囲の風圧を考慮して、換気口等の大きさを決定する。

「自然換気量の基本式」

自然換気により空気が流れるには、開口部前後で圧力差がなければならない。

流量係数と開口部面積に比例し、圧力差の平方根に比例する。

$$Q = \alpha A \sqrt{2/\rho \times \Delta P} \quad \alpha \times A \text{ は有効開口面積} \quad \text{自然換気は「}\alpha A \sqrt{\text{圧力差}}\text{」}$$

Q：換気量（m³/s）←1秒間当たりの換気量 なので 1時間当たりなら×3600

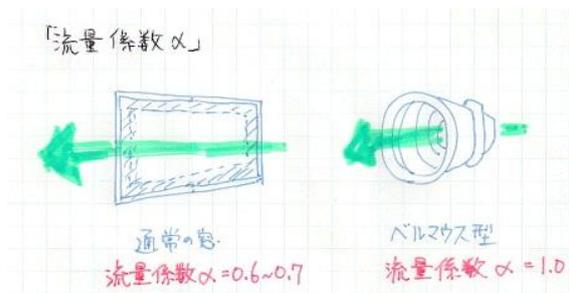
α：流量係数（開口部の形による値で、一般には0.6~0.7）

→つまり30%~40%位がガラリの格子面積等に遮られ、流れが阻害されるということ

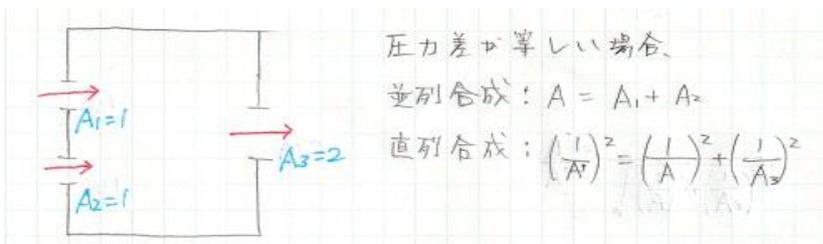
A：開口部面積（m²）

ρ：空気の密度（kg/m³）約1.2kg/m³ ※2/ρは定数（変わらない値）

ΔP：開口部前後の圧力差（Pa パスカル）



<開口部面積の合成>



「温度差換気の基本式」

室内外の温度差による圧力差を利用した換気をいう。

流量係数と開口部面積に比例し、上下開口部の中心間の垂直距離 h の平方根、室内外の温度差の平方根に比例する。

$$Q_t = \alpha A \sqrt{2gh} (t_i - t_o / 273 + t_i) \quad \text{温度差換気は「}\alpha A \sqrt{\text{高さの差} \times \text{内外温度差}}\text{」}$$

Q_t : 温度差による換気量 (m^3/s) ← 1 秒間当たりの換気量なので 1 時間当たりなら $\times 3600$

α : 流量係数 (開口部の形による値で、一般には $0.6 \sim 0.7$)

A : 開口部面積 (m^2)

g : 重力加速度 (m/s^2) $9.8 \text{m}/\text{s}^2$

h : 給気口と排気口の高さの差 (m)

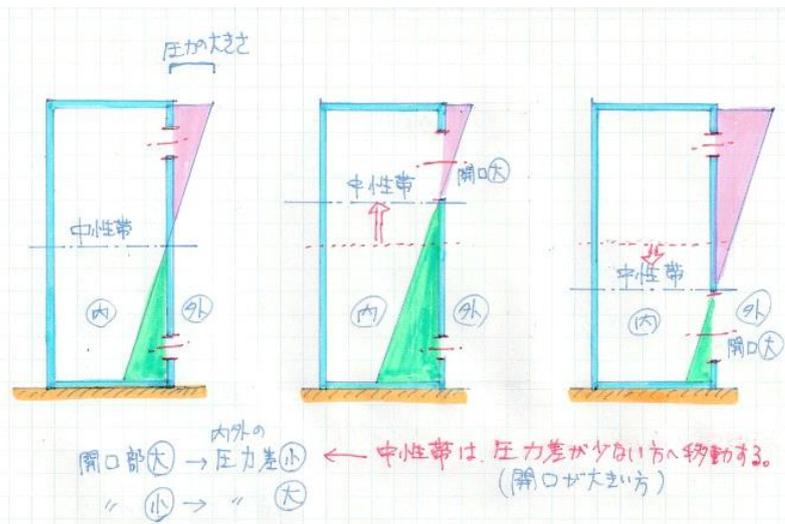
t_i : 室内の空気温度 ($^{\circ}\text{C}$)

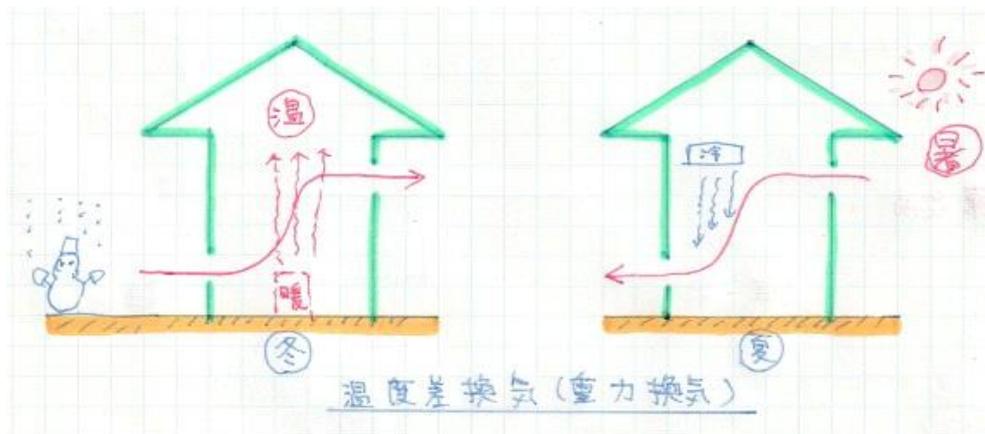
t_o : 室外の空気温度 ($^{\circ}\text{C}$)

《特徴》

- ・ 温度差と空気重量の差は比例関係にあり、暖かい空気は軽く、冷たい空気は重い。
- ・ 温度差換気においては、中性帯の下方と上方に給気口、排気口を設けることで、自然換気が行われる。
- ・ 中性帯とは、ある高さで室内と室外の圧力差が 0 になる位置で、流入空気と流出空気の境目である。
- ・ 中性帯は上部に大きな開口部を設ければ上に移動し、下部に大きな開口部を設ければ下に移動する。

これは、大きい開口部により室内と窓外の圧力差が小さくなるためである。





- ・ 温度差による換気経路は、室温が外気温よりも高ければ（冬期）、中性帯よりも下の開口部から空気が室内に流入し上方へ流れる。
 逆に、室温が外気温よりも低ければ（夏期冷房時）は、中性帯よりも上の開口部から空気が室内に流入し下方へ流れる。
- ・ 室内外に温度差があれば、一つの開口部でも換気されるが、縦に長い開口部にしたり、給気口、排気口を室の上下に設ければ、換気量は多くなる。
- ・ 室内に流入する空気の重量と、流出する空気の重量（空気の密度×体積）は等しい。
 この場合、室内と室外の空気の密度が同じであれば、流入する空気の給気量（体積）と流出する空気の排気量（体積）は等しくなる。
- ・ 屋外より室内の気温が高いとき（冬期）、幅に比べて高さの高い吹抜け部分などで上昇気流が生じ、上方で空気が流出して下方で空気が流入する現象を煙突効果という。
- ・ 高層建築物は、内外温度差の大きくなる冬期には、煙突効果により、1階出入口から多量の空気が流入することがある。
 そのため、外気の侵入防止のために気密性の高い回転扉を設けたり、出入りの多い百貨店などではエアカーテンを設ける。

「風力換気の基本式」

風により壁に生じる圧力差を利用した換気をいう。風上側では正圧、風下側では負圧になることにより生ずる換気である。

流量係数、開口部面積、風速に比例し、風上側の風圧係数と風下側の風圧係数の差の平方根に比例する。

$$Q_w = \alpha AV\sqrt{C_1 - C_2} \quad \text{風力換気は「}\alpha AV\sqrt{\text{風圧係数差}}\text{」}$$

Q_w ：風による換気量（ m^3/s ）←1秒間当たりの換気量 なので1時間当たりなら×3600

α ：流量係数（開口部の形による値で、一般には0.6~0.7）

A ：開口部面積（ m^2 ）

V ：風速（ m/s ）

C_1 ：風上側の風圧係数

C_2 ：風下側の風圧係数

《特徴》

- ・風力換気は、換気口が風向きに直角な入口と出口がある場合に最も効果的である。
- ・風力換気は、一方に大きな開口部を設けるよりも、二つに分けて対向壁に向い合せて設けるほうが効果的である。

『自然換気まとめ』

- ・ $\alpha A\sqrt{\text{圧力差}}$
- ・ $\alpha A\sqrt{h \text{ 温度差}}$
- ・ $\alpha AV\sqrt{\text{圧力差}}$

上記3つをまとめて、「換気量 = $\alpha AV\sqrt{\text{圧力差（高さ差・温度差）}}$ 」で覚える。

※自然換気は、「流量係数×有効開口面積」「風速」「各種差の平方根」に比例する。
という風に覚える。

「機械換気」

第1種：映画館、劇場、集会場、**屋内駐車場**などに適する

第2種：手術室、クリーンルーム、**ボイラー室**などに適する。→**正圧**

第3種：便所、浴室、**厨房**に適する。→**負圧**

※**第3種機械換気**の場合は、**自然給気口の位置**は、床面から高さを**1.6m以上**。

自然換気のときの給気口の位置は、天井高さの**1/2以下**とすると混同しないように！

「必要換気量 Q」

「室内の二酸化炭素濃度 P_i を許容値以下にするための必要換気量 Q」

$$Q = k / (P_i - P_o) \quad (\text{ザイデルの式})$$

Q：必要換気量 (m^3/h)

k：二酸化炭素発生量 (m^3/h)

P_i ：室内空気の二酸化炭素濃度（基準値は $0.1\% = 1,000\text{ppm}$ ） $\text{ppm} = 1/1,000,000$

P_o ：外気の二酸化炭素濃度

上記の式より、室内に入ってくる二酸化炭素の量+室内での二酸化炭素の発生量=室内から排出される二酸化炭素の量となる。

「排湿のための必要換気量 Q」

$$Q = M / 1.2 (G_i - G_o)$$

Q：必要換気量 (m^3/h)

M：室内の水蒸気発生量 (kg/h)

G_i ：室内空気の重量絶対湿度 ($\text{kg}/\text{kg}(\text{DA})$)

G_o ：外気の重量絶対湿度 ($\text{kg}/\text{kg}(\text{DA})$)

「1時間当たりの換気量（換気回数）」

$$Q = NV$$

Q：1時間当たりの換気量 (m^3/h)

N：換気回数 (回/h)

V：室容積 (m^3)

- ・換気回数とは、室内の空気が1時間に入れ替わった回数をいう。
つまり、室の1時間当たりの換気量をその室容積で割った値である。
- ・室の換気回数が多いということは、換気能力が高いことを表す。
大きい開口部を設けた室は換気回数が多くなり、つまり換気能力が高い。

「機械換気の特徴」

- ・必要換気量とは、室内の汚染物質濃度を許容濃度以下にするために必要とされる最小の換気量をいう。
- ・喫煙によって二酸化炭素、一酸化炭素、浮遊粉塵などの汚染物質が発生するが、なかでも浮遊粉塵に基づく必要換気量が一番大きい。
そのため喫煙による空気汚染に対する必要換気量は、浮遊粉塵の発生により決まる。
- ・機械換気方式の場合、二酸化炭素濃度を基準とした場合の居室の必要換気量は、一般に一人あたり 30 m³/h 程度として算出する。
ただし、いろいろな要素により異なる。
- ・自走式屋内駐車場は、1 m³あたり 14 m³/h 以上の換気量が必要。

「ガラの有効開口面積」

- ・ガラの有効開口面積を算出する場合、風量計算において、一般にその通過風速を「排気 4m/s 以下」「給気 3m/s 以下 (2~3)」程度に設定する必要がある。

風量計算式は、 $Q = f \cdot A \cdot V \cdot 3600$ (3600 というのは、1 時間を秒に換算するため)

Q：必要風量 (m³/h) ←ここでの Q は、換気量ではなく風量

f：ガラリ開口率 (%) (開口率が書かれていない場合は 1 として計算)

A：ガラリ面積 (m²)

V：通過風速 (m/s)

※ $f \times A$ が有効開口面積となる。

例えば、1,800 m³/h の外気取入れガラリで、有効開口面積 $f \cdot A$ が 0.05 m² の場合、通過風速 = $1800/3600/0.05 = 10$ (m/s) となる。

通過風速が速すぎると、音成り等のトラブルの原因となる。

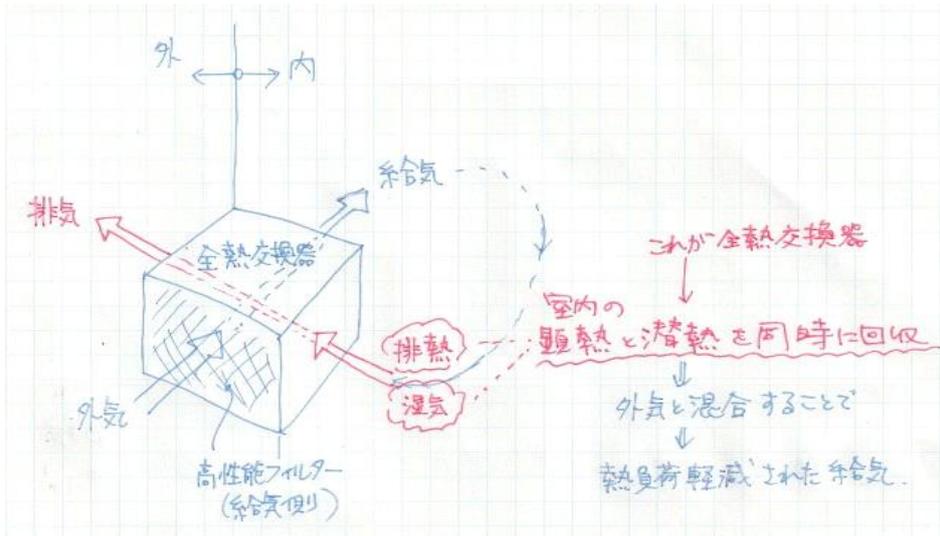
【ガラの計算問題】

風量 14,400m³/h、有効開口率 0.4 の外気取入れガラリの開口面積は、3~5 m²程度が望ましい。

→○

「全熱交換器」

外気負荷を軽減するために、空調機の外気取入れ（給気）において、室内からの排熱と湿気を回収して、その熱と湿気を給気の新鮮空気に与える（混合させる）装置である。回転式と固定式の2種類ある。



- ・換気設備に全熱交換型のものを使用すると、外気負荷を低減することができる。
- ・全熱交換器は顕熱と潜熱を同時に回収するもので、夏期冷房時の冷却・減湿負荷の軽減や、冬期暖房時の加熱・加湿負荷の軽減に有効である。
- ・全熱交換器を使用することで、冷凍機やボイラーの熱源装置容量を小さくできる。
- ・高性能フィルターは、全熱交換器の給気側に設ける。
- ・空調機にかかる負荷は軽減できるが、空調機の送風量まで小さくすることはできない。

「全般換気」

- ・全般換気は、**室全体の空気を入れ替える**ことにより、室内で発生する汚染質の希釈、拡散、排出を行う換気方式のことである。
- ・住宅における**全般換気**とは、**局所換気**と対をなす用語であり、居間、食事室、寝室、子供室等の**一般居室**を中心に、**住宅全体を対象**とした換気のことである。

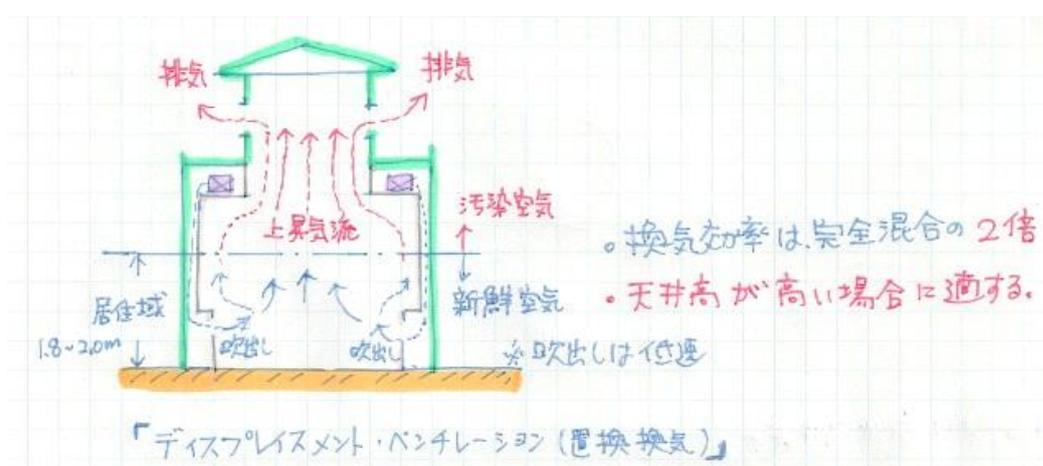
「ディスプレイスメント・ベンチレーション（置換換気）」

置換換気方式とは、床等の室下部に設置された低速吹出口の全表面から均一に吹き出される新鮮空気が室内の汚染空気と混合されることなく広がり、天井から排気を行う方式をいう。

このとき、新鮮冷気は床を這うように流れ、**温度が高くなるにつれて自然に上昇**する。そのため、冷気（導入外気）が暖かい空気（室内の汚染空気）の下に潜り込み、暖かい空気を押し上げるという空気流制御を実現したものである。

特に天井が高く広い空間においては、**高効率、省エネ化の効果**がある。

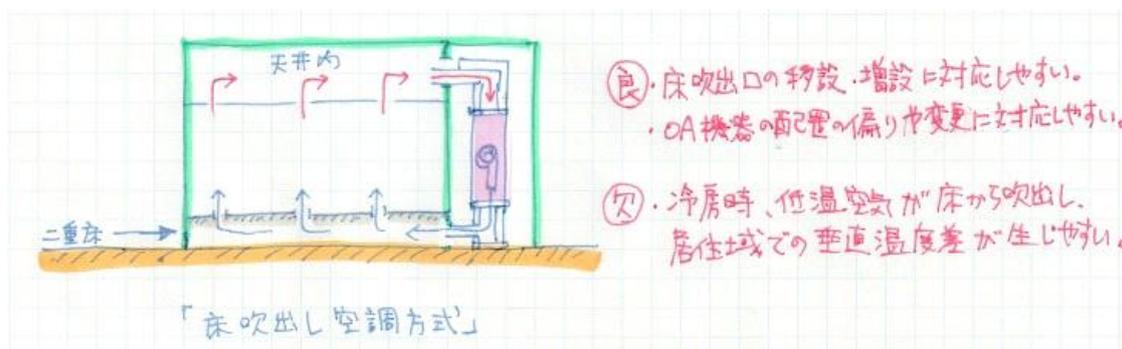
また、その換気効率は、一般に**全般換気の換気効率よりも高くなる**。



「ピストンフロー」(置換換気システムのこと)

ピストンフローによる換気効率は、理論的には**完全混合（全般換気）**による換気効率の**2倍**である。

「床吹出し空調方式」



「ハイブリッド換気」

風速センサーで給排気量を常時確認し、自然換気だけでは必要風量が満たされない場合のみ全熱交換機を稼働し、必要風量を得る仕組みとなっている。

通常、自然換気で約半分の時間を換気することが可能であり、機械換気と比較しランニングコストを削減することが可能である。

「暖房器具」

<開放型暖房器具>

燃焼用の空気の導入及び排ガスの排出を**屋内**で処理する。

燃焼に伴い多量の二酸化炭素、水蒸気、さらに少量の一酸化炭素や窒素酸化物を排出し、**室内の空気汚染を起こしやすい**。

燃料消費に対する換気量は、理論排ガス量の**40倍以上**必要。

<半密閉式燃焼器具>

燃焼用の空気を**屋内**で取り入れ、排ガスを**屋外**に排出するものである。

燃料消費に対する換気量は、理論排ガス量の**2倍以上**必要。

<密閉型燃焼器具>

燃焼用の新鮮空気を**屋外**から直接取り入れ、燃焼用の排ガスを**屋外**に直接排出する燃焼器具をいう。

BF式（自然給排気）とFF式（強制排気式）の2種類がある。

「不完全燃焼」

酸素不足の状態での燃焼で、一酸化炭素が生じ危険である。

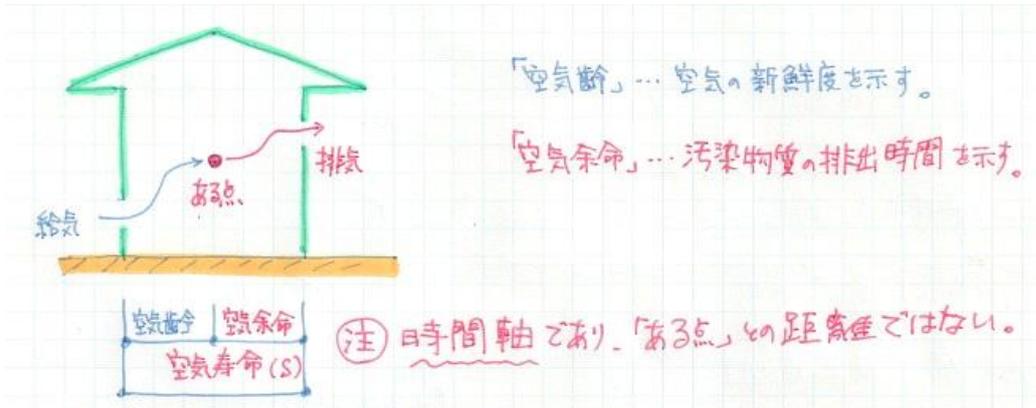
開放型燃焼器具の使用により室内の酸素濃度が**18%以下**になると、不完全燃焼による一酸化炭素の発生量が増加し、一酸化炭素中毒の危険性が高くなる。

室内の酸素濃度は、**18%**近く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**をもたらす。

※上記の理由から、「密閉型暖房器具（BF、FF型等）」を用いることが望ましい。

「空気寿命」

空気齢+余命を「空気寿命（給気口から排気口に至るまでの時間）」という。



<空気齢> →短いほど良い

室内のある位置において、外部から室内に導入された**空気の新鮮度**を示し、到達までに経過した**平均時間**をいう。

空気齢が長いほど、その部位の**空気の新鮮度は低く**なる。→換気効率が悪い。

※空気齢が短いからといって、給気口から距離が近いとは限らない！

<余命> →短い(小さい)ほど良い

空気が、ある位置から排気口に至るまでの**時間**。

空気余命は、**値が小さい**ほど発生した汚染物質を**速やかに排出**できることを意味する。

「クリーンルーム」

日本工業規格 (JIS) における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**大きいほど清浄度が低く**なる。

半導体や液晶を製造する工場のクリーンルームにおいては、一般に、清浄度を保つために周囲空間に対して **10Pa** 程度の**正圧**となるように制御を行い、塵埃の流入を防止する。病院の手術室や無菌室、喘息患者用無菌テント、バイオ研究所、半導体工場など清浄度の高い空気が求められる場合に広く使用されている

「HEPA フィルター」

定格流量で粒径が **0.3 μm** の粒子に対して **99.97%**以上の**粒子捕集効率**をもつエアフィルタであり、クリーンルームなどの空気清浄器に使用される**高性能フィルター**をいう。

【バツ問例】

- ・ ボイラー室において、燃料の燃焼に伴う発熱を制御するため、第3種換気方式とした。
- ・ ボイラー室等の燃焼機器を使用する機械室の換気方式は、第3種換気とする。
- ・ 屋内駐車場の換気方式においては、一般に、周辺諸室への排気ガスの流出を防ぐために、第二種機械換気方式を採用する。
- ・ 営業用厨房は、一般に、厨房内へ客席の臭気等が流入しないように、厨房側を客席側よりも正圧に保つ。
- ・ 空気寿命が一定の条件では、空気齢が小さいほど、室内のある点で発生した汚染質が排気口に至るまでの時間は短くなる。
- ・ JIS におけるクリーンルームの空気清浄度は、清浄度クラスの値が大きいほど高くなる。
- ・ 住宅の全般換気をトイレ、浴室、台所等の水まわり部分からのファンによる排気によって行う場合、居室に設ける自然給気口は、温熱環境に影響を及ぼさないように、床面から0.5m以下に設置することが望ましい。
- ・ 500m²の劇場の客席（400席）の換気量を、6,000m³/hとした。
- ・ 風圧力によって室内を換気する場合、その換気量は、外部風向と開口条件が一定であれば、外部風速の平方根に比例する。
- ・ 外気に面して上下に同じ大きさの二つの開口部がある室において、無風の条件で温度差換気を行う場合、換気量は、「内外温度差」及び「開口高さの差」に比例する。
- ・ 建築物の通風計画において、効果的に室内に外の風を取り込むために、風上開口を風下開口よりも大きくした。（計画の問題）

【計算問題例】

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として最も適当な値は、次のうちどれか。

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一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。

1. 700 ppm
2. 800 ppm
3. 900 ppm
4. 1,000 ppm

定常状態における室内の二酸化炭素濃度を上限の基準である 1,000ppm 以下に保つために、最低限必要な外気の入量として最も適当な値は、次のうちどれか。

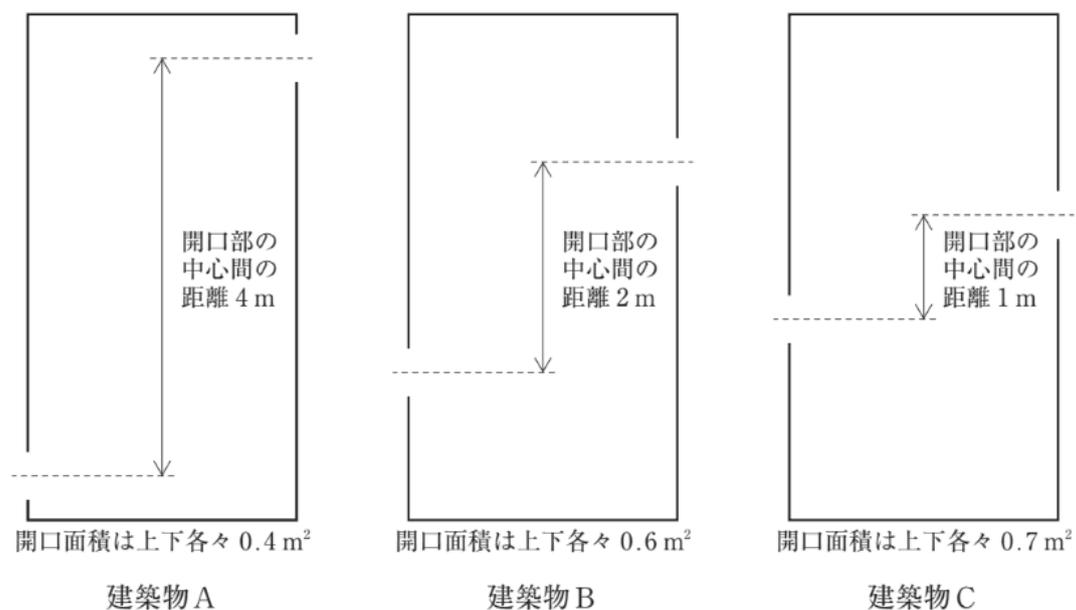
ただし、人体一人当たりの二酸化炭素発生量は $0.024\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$ であり、人体から発生した二酸化炭素は直ちに室全体に一様に拡散するものとし、外気の二酸化炭素濃度を 400ppm とする。また、隙間風は考慮しないものとする。

1. $20\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$
2. $30\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$
3. $40\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$
4. $50\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{人})$

容積が 100m³ 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として、最も適当なものは、次のうちどれか。ただし、室内の水蒸気は室全体に一様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/m³ とする。なお、乾燥空気 1kg を 1kg (DA) と表す。

1. 0.005kg/kg (DA)
2. 0.010kg/kg (DA)
3. 0.015kg/kg (DA)
4. 0.020kg/kg (DA)

外気温度 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。室内温度がいずれも 18°C に保たれ、上下各々の開口面積がそれぞれ 0.4m²、0.6m²、0.7m²、開口部の中心間の距離がそれぞれ 4m、2m、1m であるとき、建築物 A・B・C の換気量 Q_A ・ Q_B ・ Q_C の大小関係として、正しいものは、次のうちどれか。ただし、いずれの開口部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。なお、 $\sqrt{2} \doteq 1.4$ として計算するものとする。



1. $Q_A > Q_B > Q_C$
2. $Q_B > Q_A > Q_C$
3. $Q_B > Q_C > Q_A$
4. $Q_C > Q_B > Q$