

『伝熱』

「エネルギーの単位 (国際単位系 SI)」

N (ニュートン)

国際単位系における**力**の単位

1 ニュートンは、1 kg の質量をもつ物体に 1 m/s の加速度を生じさせる力。

$$1 \text{ ニュートン} = \text{約 } 0.102\text{kgf} \quad (1 \div 9.8) \quad \rightarrow \quad 1\text{kg} = 9.8\text{N}$$

J (ジュール) 国際単位系における**エネルギー**の単位

1 ニュートンの力が 1 メートルの距離で物体に対して仕事をした時のエネルギー量。

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

W (ワット) 国際単位系における**仕事率**や**電力**の単位 (1 秒あたりのエネルギー量)

(例) 100W の電球は、1 秒間に 100 J のエネルギーを消費する。

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} \quad \rightarrow \quad \text{J} = \text{W} \cdot \text{s}$$

K (ケルビン) 国際単位系における**熱力学温度**や光の色を表す**色温度**の単位。

$$1 \text{ K} = \text{摂氏温度} + 273.15^\circ\text{C} \quad 0 \text{ K} = -273.15^\circ\text{C} \text{ (絶対零度)}$$

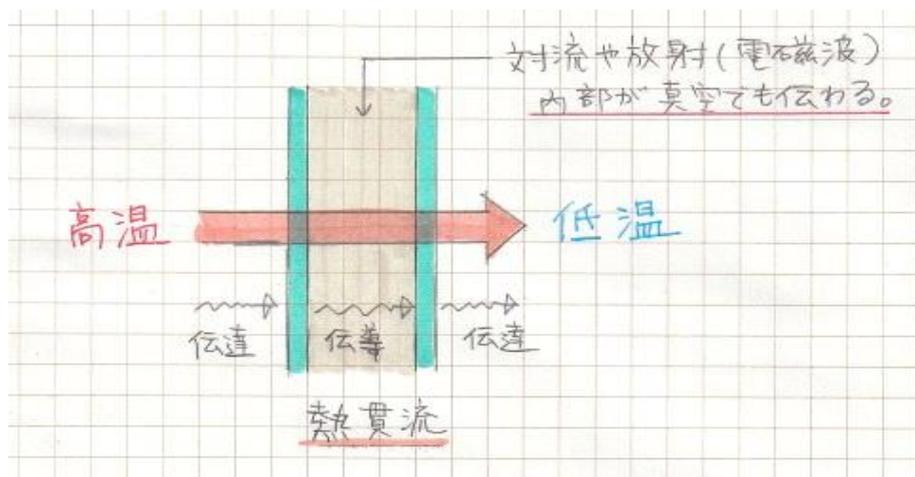
P (パスカル) 国際単位系における**圧力**の単位。

$$P = 1 \text{ N/m}^2$$

「熱」は常に高温側から低温側に伝わる。

熱貫流 = 熱伝達 (室内側面: m^2) + 熱伝導 (壁内部: m) + 熱伝達 (屋外側面: m^2)

熱伝達には「対流」と「放射」がある。



「熱伝導」 静的な熱移動（固体）

熱伝導とは、熱が高温側から低温側に移動する現象のこと。

「熱伝導率 λ (W/mK)」 ←mであることに注意 mは厚さのこと Kはケルビン
1K (ケルビン) とは -273°C (絶対零度) つまり、 $0^{\circ}\text{C}=273\text{K}$

「熱伝導率」 小さいほうが良い！

固体内の熱の伝わりやすさを示すもの。

<熱伝導率の大小関係>

固体 > 液体 > 気体

「比重」	金属	コンクリート	水	木材	空気	(t/m^3)
	7.85	2.3	1	0.5	0.001	
「 λ 」	53	1.5	0.6	0.15	0.02	($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

・熱伝導率が0.1以下のものは、一般に断熱材として使われる。

・空気は、熱伝導率が断熱材とほぼ同程度なので、空気層があると熱抵抗が増す。

金属 > コンクリート > ガラス > 木材 > 断熱材

(過去問例)

・断熱材に用いられるグラスウールの熱伝導率は、一般に、板ガラスの1/10以下、アルミニウムの1/1000以下である。

<熱伝導率が大きくなる場合の例>

・材料の密度 (比重) の大きいもの ※水の比重=1

・重たいもの、薄いもの、水分を含んだもの、温度が高いもの

「かさ比重」 大きい方がよい！→熱伝導率が小さくなる

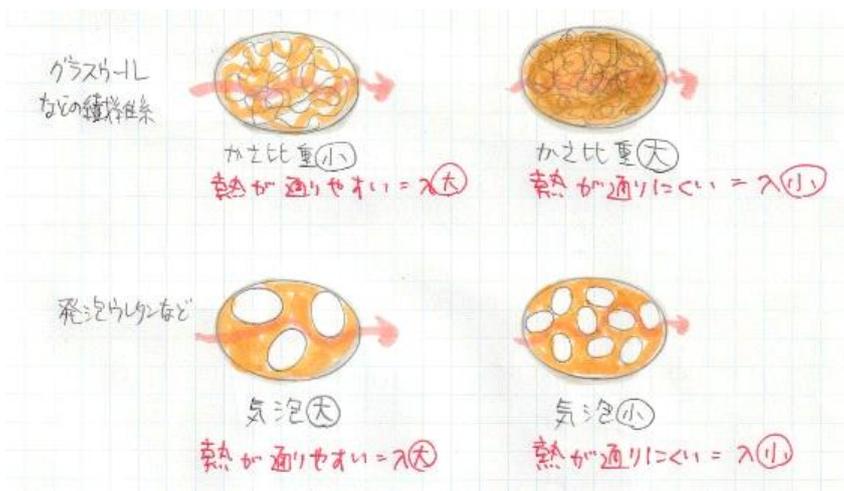
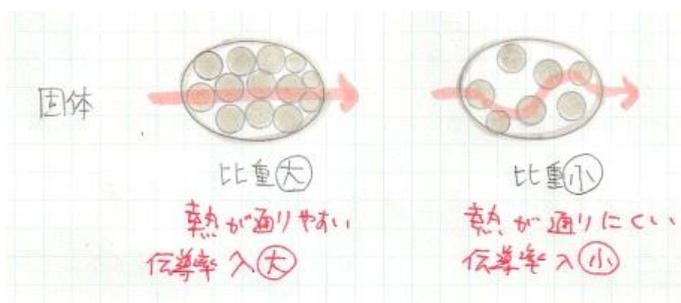
繊維系物質の重さと考える。

内部に**気泡**や**空隙**をもつ固体の比重。

空隙部分が多い材料は、**かさ比重が小さい**。

かさ比重が大きい→**空隙が少ない**（密度が濃い）→**熱伝導率は小さい**→**断熱性大きい**

断熱材の場合、空隙が大きい（多い）と、空隙内で**対流**を生じ、熱が移動しやすくなるので、**熱伝導率が大きくなる**。



(過去問例)

- ・ 同種の発砲系の断熱材で空隙率が同じ場合の熱伝導率は、一般に、断熱材内部の気泡寸法が大きいほど大きくなる。

「熱伝導抵抗 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)」 ← m^2 であることに注意 熱の伝わりにくさ
熱伝導率 λ の逆数 ($1/\lambda$) は、「熱伝導比抵抗 ($\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$)」 (← m であることに注意)
といい、それに材料の厚さ d を掛けたもの (d/λ) を熱伝導抵抗 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) という。
厚さが厚いほど、熱伝導抵抗が増す。

「空気層の熱抵抗」

- ・空気層 (中空層) があると、熱抵抗が増すので断熱性能が向上する。
- ・空気層の熱抵抗は、空気層の厚さが **2~3cm** 程度までは厚さに比例して増加するが、それ以上厚くなると、**対流**が生じて熱が移動しやすくなり、熱抵抗はほとんど変化しないか、むしろ少しずつ減少する。
- ・空気層の片面または両面に**アルミ箔**を入れると、アルミ箔が**放射**を**反射**して、熱移動が小さくなるため、熱抵抗が**2倍以上**になる。
ただし、空気層を設けずに材料に密着して挟みこむと、断熱効果は期待できない。
- ・アルミ箔を**内部結露防止**のための**防湿層**として貼る場合には、**高温高湿側** (一般に**室内側**) に設ける。
- ・空気層の気密性が高くなると、熱抵抗が増し、断熱性能は向上する。
- ・空気層を**2重**、**3重**に設けると、熱抵抗は**2倍**、**3倍**となる。
- ・複層ガラスの熱貫流抵抗は、単板ガラスの**2倍程度**である。
断熱性能は向上するが、**遮音性能の向上はあまり望めない**。
- ・**2重サッシ**や**複層ガラス**を使うと、断熱性能が高くなり、**結露防止に有効**である。
ただし、**2重サッシ**の場合は、**高温側の気密が悪い**と、サッシ間で**結露**を起こす。
- ・複層ガラスは、一般に、窓の断熱性能を高めるために用いられ、その中空層には**乾燥空気**が密封されている。
- ・複層ガラスの中空層が**真空**であっても、熱貫流率は**0**とはならない。
太陽の熱が地球に到達するように、**真空においても放射熱伝達による伝熱が生じる**ため。

「熱伝導による通過熱量 q 」

$$q = \lambda (t_1 - t_2) / d$$

q : 通過熱量 (W/m²) ←m²であることに注意

λ : 熱伝導率 (W/mK)

t_1 : 高温側の表面温度 (°C)

t_2 : 低温側の表面温度 (°C)

d : 材料の厚さ (m)

- ・ 通過熱量は、熱伝導率 λ に比例し、また両面間の温度差に比例する。
- ・ 通過熱量は、材料の厚さに反比例する。

「熱伝達」 動的な熱移動（空間、流体）

熱伝達とは、空気と接する壁体表面などでの対流や放射による熱の移動をいう。

「熱伝達率 α (W/m² K)」 ←面なのでm²。

熱伝達率は、固体（壁体表面）と気体（空気）との熱の伝わりやすさを示すもの。

この値が大きいものほど熱が伝わりやすい。

壁体表面での対流と放射による伝熱を総合したもので、総合熱伝達率ともいう。

壁面の近くには、空気温度が大きく変化する温度境界層があり、温度差による空気の流れが生じる。

<特徴>

- ・一般に壁体表面の平滑面より、粗面の方が、表面積が大きくなるため、熱伝達率は大きくなる。
- ・熱伝達率の値は、放射や壁体表面の粗密の影響もあるが、対流の影響が大きく、伝達する表面に当たる風速が大きいほど、強制対流により、熱伝達率は大きくなる。
- ・室内において、自然対流熱伝達率は、熱の流れる方向と室温、表面温度の分布によって変化し、室温が表面温度より高い場合（壁が冷たい等）、床面より天井面の方が大きな値となる。
- ・風の影響を受ける屋外表面の熱伝達率 α は、23~35W/m² K（熱伝達抵抗は 0.03~0.04）とし、室内表面の熱伝達率 α は、7~9W/m² K（熱伝達抵抗は 0.11~0.14）としている。

「熱伝達抵抗 γ (m² K/W)」

熱伝達率 α の逆数 (1/ α) で、熱伝達率が大きくなれば、熱伝導抵抗は小さくなる。

「熱伝達による通過熱量 q 」

熱対流によるものと熱放射によるものと 2 種類ある。

「熱対流による通過熱量 q_c (W/m^2)」

$$q_c = \alpha_c (t_1 - t_2)$$

q_c : 通過熱量 (W/m^2) ← m^2 であることに注意

α_c : 対流熱伝達率 ($W/m^2 K$)

t_1 : 壁体表面温度 ($^{\circ}C$)

t_2 : 周囲の空気温度 ($^{\circ}C$)

「熱放射による放射熱量 E (W/m^2)」

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (\text{絶対温度の 4 乗になる})$$

E : 一般材料の放射熱量 (W/m^2)

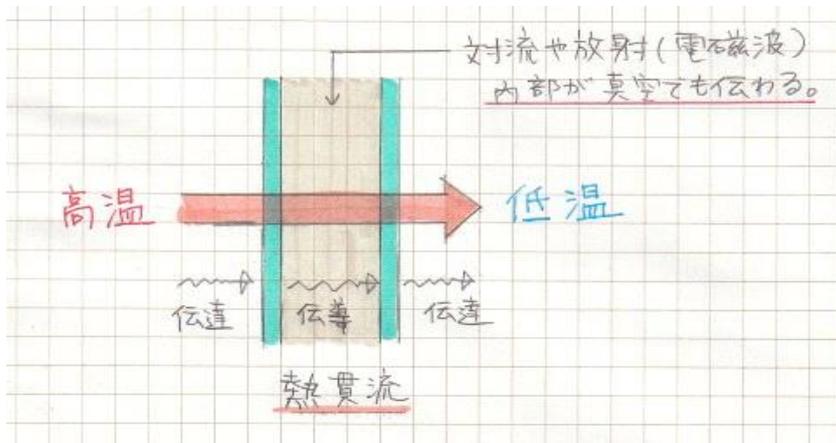
ε : 一般材料の放射率 ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

σ : シュテファン・ボルツマン定数 5.67×10^{-8} ($W/m^2 K^4$)

T : 黒体の絶対温度 (K) ← $273+t^{\circ}C$

「熱貫流」

熱貫流 = 熱伝達 (室内側面 : m^2) + 熱伝導 (壁内部 : m) + 熱伝達 (屋外側面 : m^2)



「熱貫流率 K ($W/m^2 K$)」 ← m^2 である

- ・熱貫流率 K は、壁体の熱の伝わりやすさを表す。
この値が大きい壁体ほど、熱が伝わりやすい。
- ・熱貫流率 K は、壁体内の熱伝導と壁体表面や中空層の熱伝達を含み、壁体全体の単位面積当たりの伝熱の割合である。
- ・結露などにより壁が湿気を含むと、熱貫流率は大きくなる。
- ・外壁の隅角部の熱貫流率は、一般にほかの部分よりも大きい。
- ・熱貫流率 K は、熱伝導、熱伝達、壁体内に中空層があればその熱抵抗を合計して求めるので、実際の計算では、熱貫流率の逆数である熱貫流抵抗 R から求める。

「熱貫流量 Q」

壁体を貫流する熱量は、外気温や室温がある時間変化せずに一定とすると、次の式より求まる。

$$Q=KA(t_i-t_o)=A/R(t_i-t_o)$$

Q：熱貫流量 (W)

K：熱貫流率 (W/m² K)

A：壁体の面積 (m²)

t_i：室内温度 (°C)

t_o：外気温度 (°C)

R：熱貫流抵抗 (m² K/W)

「熱貫流抵抗 R (m² K/W)」

熱貫流抵抗 R は、壁体の**熱の通りにくさ**、すなわち**断熱性能**を表す。

壁体の**熱貫流抵抗**は、下記に示すように、壁体を構成する**各部の熱抵抗の和**として求められる。

$$R=1/\alpha_i+\Sigma(d/\lambda)+1/\alpha_o$$

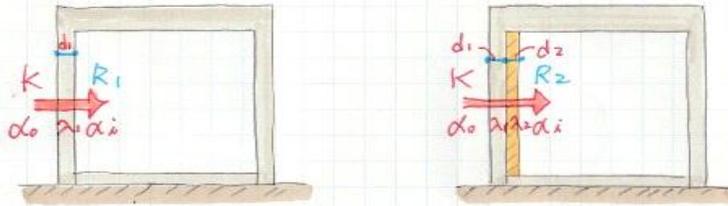
熱貫流抵抗 = 室内側**熱伝達率の逆数**+**熱伝導抵抗の和**+屋外側**熱伝達率の逆数**

熱貫流率 K=1/R (熱貫流抵抗の逆数)

<特徴>

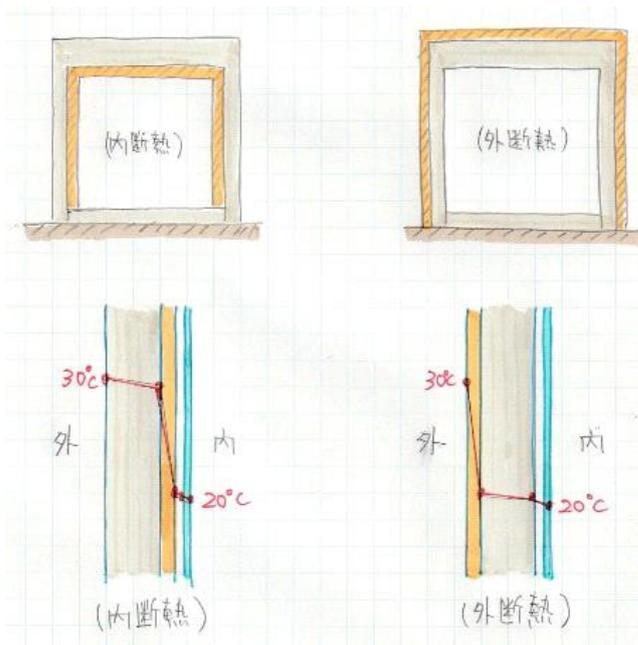
- ・単一材料から構成される壁では、**壁を厚く**すれば**熱が伝わりにくくなり**、**熱貫流抵抗は大きくなる**が、**熱貫流抵抗は壁の厚さとの比例関係にはない**。
熱貫流抵抗には、**熱伝達抵抗も含まれ**、それは**壁の厚さに関係なく一定**のため。
したがって、**壁貫流量 Q は、壁の厚さが 2 倍になっても 1/2 にはならない**。
- ・**熱容量が同一の場合**、**断熱性能が高いほど暖房停止後の室温低下速度は遅くなる**。
- ・**建築物の熱容量が大きいと**、**暖まりにくく冷めにくくなり**、**室温の変動は緩慢になる** (急激に変動しない)。

熱貫流率 $K = \alpha_i + \frac{\lambda}{d} + \alpha_o$



熱貫流率 $K = \frac{1}{R}$ (熱貫流抵抗) ← 大き方がいい! (断熱的に)
 $R = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_o}$ $R_2 = R_1 + \frac{d}{\lambda}$ ← 熱伝導抵抗

「内断熱と外断熱」



(夏)

- ・ 外壁の熱貫流率は、外壁構成や厚みが同じであれば、内断熱であっても外断熱であっても **変わらない**。
- ・ 表面結露防止には、内断熱も外断熱も **変わらない**。
- ・ 内部結露防止は、**外断熱**の方が効果的である。

「湿気伝導率」

材料中における水蒸気移動は水蒸気圧勾配に比例して流れる。

この比例定数を湿気伝導率という。

熱移動における熱伝導率に相当する。

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

単位は $\text{kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

「透湿抵抗」

透湿抵抗は、材料の湿気(水蒸気)の移動のしにくさを表わす係数である。

熱移動における熱貫流抵抗に相当し、湿気伝導率の逆数をいう。

単位は $(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) / \text{kg}$

「内部結露防止」

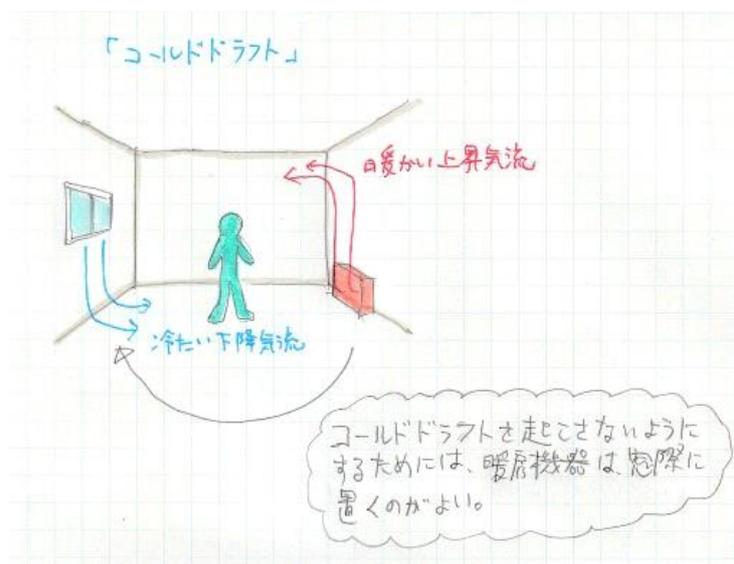
- ・ 繊維系の断熱材を用いた外壁の壁体内の結露防止には、壁体に対し、高温・高湿側（室内側）に防湿層を配置するのが効果的である。
- ・ 二重サッシの間の結露を防止するためには、室内側サッシの気密性を高くする。
室内側サッシの気密性が低い場合、高温多湿の室内側空気が二重サッシ内に流入し、外側サッシの気密性が高いとその空気が滞留して低温である外側サッシ表面で結露する。
- ・ 冬期において、窓ガラス面付近にカーテンを設けることで、室内の多湿の状態を維持したまま温度が下がってしまうため、結露を起こしやすい状況となる。
つまり冬期のカーテンは、結露防止として効果がないどころか、むしろ結露しやすくなる。
- ・ 木造住宅において、屋根を断熱する場合、断熱材の外気側に通気層を設けることで、湿気を排出することができるため、結露防止に有効である。

「表面結露防止」

- ・ 外壁断熱を強化し、室内側の壁面温度を上昇させる。
- ・ 二重サッシは、室内側サッシの気密性を高くすることで、室内側の表面結露防止に効果がある。
- ・ 換気をよくする。
- ・ 外壁に接する押入れの襖の断熱性を高くしても結露対策にはならない。
- ・ 暖房設備を開放型燃焼器具の代わりに密閉型燃焼器具を用いる。

「コールドドラフト」

コールドドラフトとは、冬期に窓面や外気給気口から冷気が下降し、床を伝って流れる現象をいう。(上下に温度差ができる)



「基礎断熱工法」

基礎断熱工法は、1階床下を室内として扱う工法で、**床下換気口は設けない**。

換気口を設置すると、その断熱区画（屋外と室内の熱的な境界）に孔を開けてしまうことになるため、一般に床下換気孔を設置しない**気密基礎**とする。

ただし、床下空間に湿気の滞留や結露を発生させないために、**床下地面の防湿措置**を行う。

「熱損失係数 (Q 値 : W/m² K)」

→建物全体からどのくらい熱が逃げにくいかを表す。

数値が小さいほど断熱性能や省エネ性能が高い

Q=外皮総熱損失量/延べ床面積 (古い基準)

(換気によって失われる熱量も含む)

外皮：屋根、外壁、床

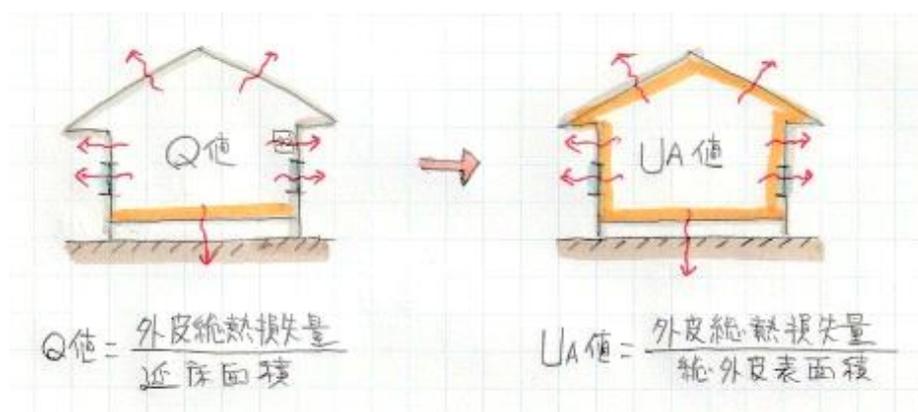
「外皮平均熱貫流率 (UA 値 : W/m² K)」

→外皮全体からどのくらい熱が逃げにくいかを表す。

数値が小さいほど断熱性能や省エネ性能が高い

UA=外皮総熱損失量/外皮表面積 (現行の基準)

(換気や漏気によって失われる熱量は含まない)



※東京や大阪の ZEH 基準では 0.6 以下が基準となっている (地域により異なる)。

「隙間相当面積 (C 値 : cm²/m²)」

C=隙間面積/延べ床面積

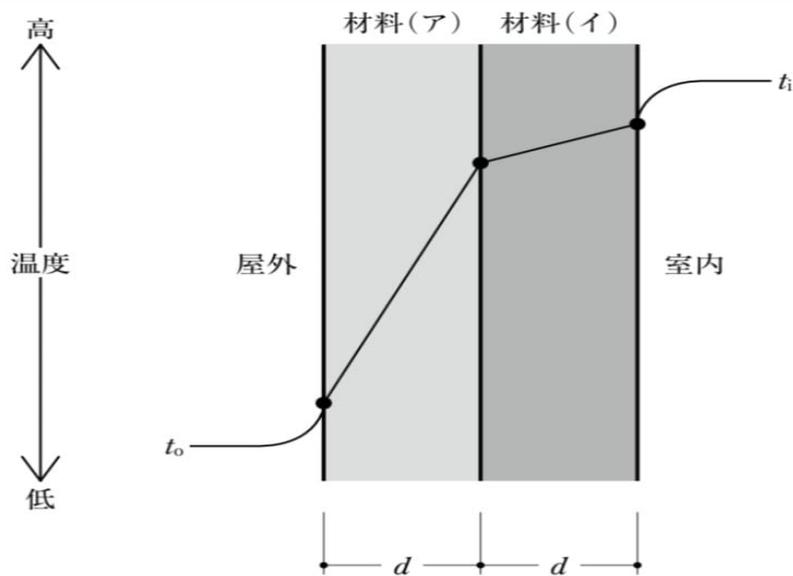
※平成 14 年までは寒冷地で C 値 2.0 が基準だったが、高気密住宅では 1.0 未満が望ましい。

【バツ問例】

- ・繊維系断熱材は、含水率が増加すると水の熱伝導抵抗が加わるので、断熱性能が向上する。
- ・外壁の熱貫流率は、外壁と屋根や床等との取合い部における熱伝導を考慮しない場合、一般に、構造体の室内側で断熱するよりも室外側で断熱するほうが小さくなる。
- ・冬期において、外壁に接する押入れ内に生じる結露を防止するためには、押入れの襖（ふすま）の断熱性を高くすることが有効である。
- ・暖房設備から室内に発生する水蒸気の量を抑制するため、暖房設備を密閉型燃焼器具の代わりに開放型燃焼器具とした。
- ・グラスウールの熱伝導率は、一般に、かさ比重（密度）が大きいほど大きくなる。
- ・外壁の熱還流率は、外壁を構成する材料の種類や材厚が同じ条件の場合、一般に、躯体の屋外側で断熱するよりも、室内側で断熱する方が大きくなる。

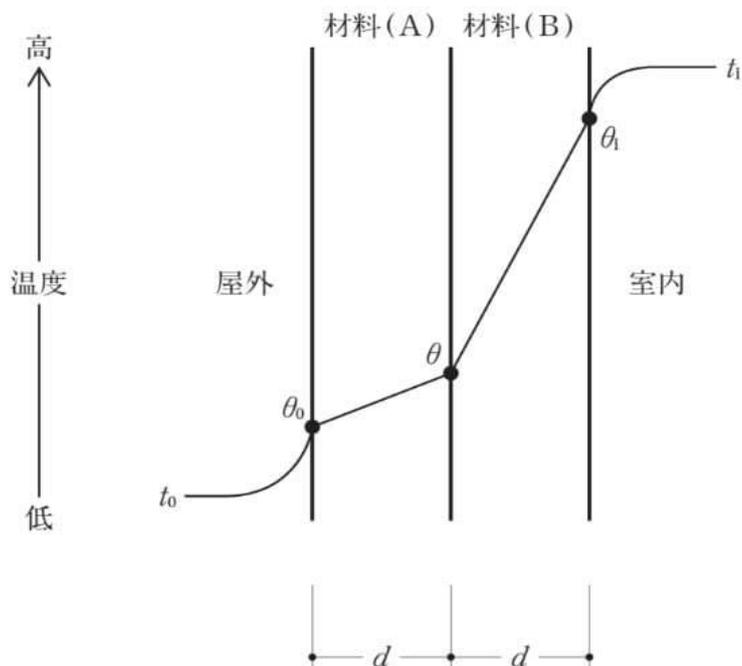
【図問題例】

図は、冬期において、定常状態にある外壁の内部及び周囲の温度分布を示したものである。次の記述のうち、最も不適当なものはどれか。ただし、図中の屋外温度 t_o 、室内温度 t_i 及び材料の厚さ d の条件は変わらないものとする。



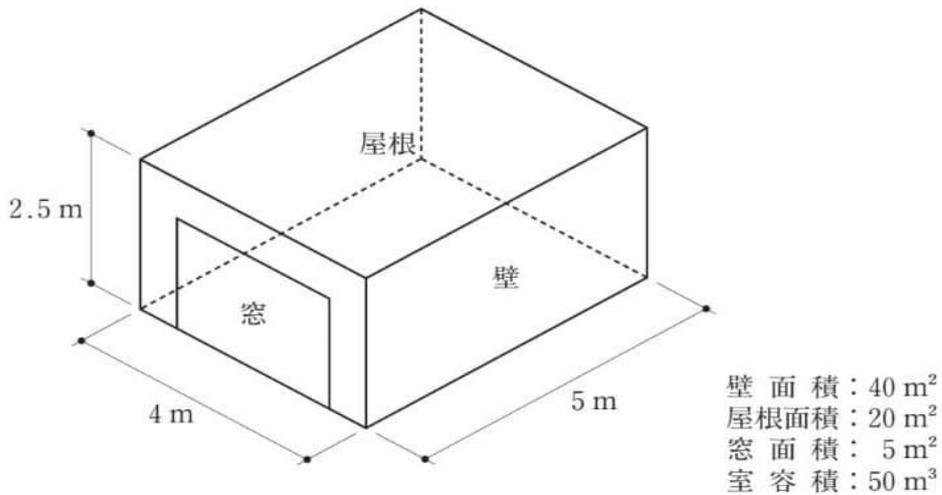
1. 材料（ア）は、材料（イ）より熱伝導率が小さい。
2. 材料（ア）の熱伝導率を大きくすると、材料（イ）の各部分の温度が下がる。
3. 材料（イ）の熱伝導率を小さくすると、材料（ア）の各部分の温度が上がる。
4. 材料（ア）と材料（イ）を入れ替えたとしても、室内表面結露の防止には効果がない

図は、冬期において、定常状態にある外壁の内部及び周囲の温度分布を示したものである。次の記述のうち、最も不適当なものはどれか。ただし、図中の屋外温度 t_0 、室内温度 t_1 及び材料の厚さ d の条件は変わらないものとする。



1. 材料（A）は、材料（B）より熱伝導率大きい。
2. 材料（A）の熱伝導率を大きくすると、材料（B）の各部分の温度が下がる。
3. 材料（B）の熱伝導率を大きくすると、材料（A）の各部分の温度が上がる。
4. 室内表面結露の防止には、材料（A）と材料（B）を入れ替えると効果的である。

図のような4面の壁（1面は窓を含む。）と1面の屋根からなる建築物のモデルの暖房負荷に関する次の記述のうち、最も不適当なものはどれか。ただし、壁、屋根、窓の熱貫流率は、それぞれ $0.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、 $0.25\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、 $3.5\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ とし、換気回数は 0.5 回/h、空気の容積比熱は $1,200\text{J}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ とする。また、定常伝熱で考えるものとし、壁、屋根、窓及び換気による熱損失のみを対象とする。



1. 換気による熱損失は、建築物のモデル全体の熱損失の $1/5$ よりも大きい。
2. 窓からの熱損失は、換気による熱損失の 2 倍よりも大きい。
3. 屋根からの熱損失は、壁からの熱損失の $1/4$ である。
4. 換気による熱損失は、屋根からの熱損失よりも大きい。