

### 予習確認プリント

学年：\_\_\_\_\_ 学籍番号：\_\_\_\_\_ 名前：\_\_\_\_\_

・熱貫流抵抗とはどのようなものですか？できるだけ詳しく説明してください。

・熱貫流率とはどのようなものですか？（熱貫流率と熱貫流抵抗の関係は？）

・熱貫流量を求める式はどのような「かたち」ですか？（熱貫流量と熱貫流率の関係は？）

※予習の段階に比べて、授業を聞き終わった段階では、何がわかりましたか？

第 3 回目 熱貫流量 (教科書 pp. 42~43)

※おおよそ板書の 1 面が, 配付資料の半ページに相当

◎ 前期の前半 4 回分の学修内容

対象: すまい, 住居, 建物そのもの

第 2 回目 熱の動きを知ろう

第 3 回目 簡単な壁を対象に

第 4, 5 回目 建物全体を対象に

0 今日の内容: 熱貫流量を理解しよう

1 今日の目標

2

3

4 補足 3 つ

1 今日の目標: 同じかたちの「式」にしたい

※同じかたちの「式」にしたい

※※外気の気温が「ある温度」の時,

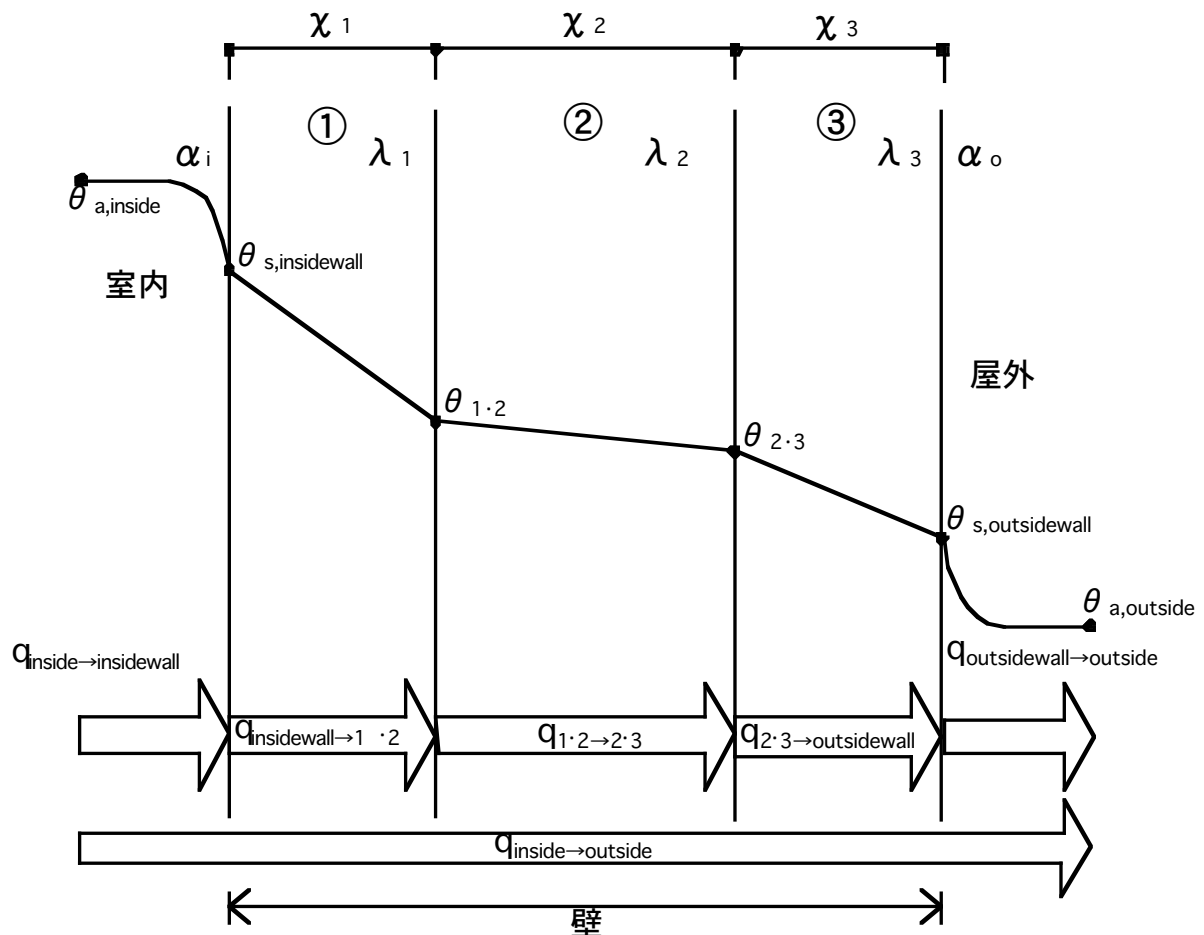
- ・室内の温度を「ある温度」にするためには, どんな材料の壁にすればよいか?
- ・どんな材料の壁にすれば, 室内の気温は何度になるか?

2 知っているところまで分割しよう

(1) 壁の中と周囲の温度変化の図 ←基本の図！！しっかり理解しよう！！

冬の場合を考える

注) ギリシア文字は教科書 p. 140 を参照



図中の記号は、以下の通り

$x_1$  : 1 番目の壁材の層の厚さ [m] (2 番目の壁, 3 番目の壁も同様) 単位に注意!

$\lambda_1$  : 1 番目の壁材の熱伝導率 [W/m·K] (2 番目の壁, 3 番目の壁も同様)

$\theta_{1.2}$  : 1 番目の壁材と 2 番目の壁材が接するところでの温度 [K] (2 番目の壁材と 3 番目の壁材が接するところでの温度も同様)

$\theta_{a,inside}$  : 室内側の気温 [K] (その他の温度の表示も同様)

$r_1$  : 1 番目の壁材の熱伝導抵抗 [(m<sup>2</sup>·K)/W] (2 番目の壁材, 3 番目の壁材も同様)

$\alpha_i$  : 室内側の壁の総合熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$\alpha_o$  : 屋外側の壁の総合熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$q_{1.2 \rightarrow 2.3}$  : 1 番目の壁材と 2 番目の壁材が接するところから, 2 番目の壁材と 3 番目の壁材が接するところへ移動する「熱エネルギーの移動量」[W/m<sup>2</sup>] (その他の「熱エネルギーの移動量」の表示も同様)

(2) 「室内→室内側の壁表面」での熱(エネルギー)の移動

→ 「対流(熱伝達)」と「放射(熱伝達)」の2つで熱エネルギーが移動!!

$$\{ \quad \quad \quad \} = \{ \quad \quad \quad \} + \{ \quad \quad \quad \}$$

$$= \{ \quad \quad \quad \}$$

$$\times \{ \quad \quad \quad \}$$

$$\begin{aligned} q_{inside \rightarrow insidewall} &= \alpha_{c,inside} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) + \alpha_{r,inside} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \\ &= (\alpha_{c,inside} + \alpha_{r,inside}) \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \\ &= \alpha_i \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{s,inside}) \end{aligned} \quad \langle 1 \rangle$$

ここで,

$\alpha_i$ : 室内側の壁の総合熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$$(\{ \quad \quad \quad \text{熱伝達率} \} = \{ \quad \quad \quad \text{熱伝達率} \} + \{ \quad \quad \quad \text{熱伝達率} \})$$

$$\alpha_i = \alpha_{c,inside} + \alpha_{r,inside} \quad \langle 2 \rangle$$

ここで,

$\alpha_{c,inside}$ : 室内側の壁の対流熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$\alpha_{r,inside}$ : 室内側の壁の放射熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

添え字は、以下の通り

*inside*: 室内, *a*: 気温, *s*: 壁の表面温度, *insidewall*: (室内側の) 壁面, *outside*: 屋外, *outsidewall*: (屋外側の) 壁面, 1・2: 1 番目の壁材と 2 番目の壁材が接するところ (以下, 同じ)

注)

- ・先週の配付資料 19 頁の補足の通り, 「放射による熱移動量」の上記の式は近似式
- ・教科書 p. 38 の式も近似式
- ・正しくは, もう少し複雑であるが, 上記の式で, 実用上は問題ない
- ・詳しく知りたい人は, 参考文献 [1] ~ [3]などを参照
- ・ギリシア文字は, 教科書 p. 140 を参照
- ・ローマ字の筆記体の書き方をインターネットで検索して確認しておこう

(3) 「屋外側の壁表面→屋外」での(エネルギーの)移動

→「対流(熱伝達)」と「放射(熱伝達)」の2つで熱エネルギーが移動!!

→(2)と同じ考え方

$$\begin{aligned} [\text{ }] &= [\text{ }] + [\text{ }] \\ &= [\text{ }] \\ &\times [\text{ }] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{outsidewall} \rightarrow \text{outside}} &= \alpha_{c,\text{outside}} \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) + \alpha_{r,\text{outside}} \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \\ &= (\alpha_{c,\text{outside}} + \alpha_{r,\text{outside}}) \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \quad \langle 3 \rangle \\ &= \alpha_o \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \end{aligned}$$

ここで,

$\alpha_o$ : 屋外側の壁の総合熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

(4) 「壁の中」での(エネルギーの)移動

→固体と固体が接しているの、熱伝導のみ!!

$$[\text{ }] = [\text{ }] \div [\text{ }] \times [\text{ }]$$

$$q_{\text{insidewall} \rightarrow 1.2} = \frac{\lambda_1}{x_1} \cdot (\theta_{s,\text{insidewall}} - \theta_{1.2}) \quad \langle 4 \rangle$$

$$q_{1.2 \rightarrow 2.3} = \frac{\lambda_2}{x_2} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) \quad \langle 5 \rangle$$

$$q_{2.3 \rightarrow \text{outsidewall}} = \frac{\lambda_3}{x_3} \cdot (\theta_{2.3} - \theta_{s,\text{outsidewall}}) \quad \langle 6 \rangle$$

※(1)の図の「壁の中」では、**3つの材**を考えているので、**3つの式**が出てくる

③ どうしたら全体を一つにまとめることができるか？

(1) 目標

「① 今日の目標」で考えた通り、

壁の前後での熱 (エネルギー) の移動 = ( ) × (温度差) の形にしたい

(2) それぞれの場所での熱 (エネルギー) の移動量の間関係は？

定常状態 (時間とともに変化しない, 安定した状態) の時:

(3) 熱貫流率の求め方

[室内→室内側の壁表面での熱 (エネルギー) の移動] = [壁面内のそれぞれの壁材での熱 (エネルギー) の移動量] = [屋外側の壁表面→屋外での熱 (エネルギー) の移動量]

$$q_{inside \rightarrow insidewall} = q_{insidewall \rightarrow 1.2} = q_{1.2 \rightarrow 2.3} = q_{2.3 \rightarrow outsidewall} = q_{outsidewall \rightarrow outside} = q_{inside \rightarrow outside} \quad \langle 7 \rangle$$

等式を解くと, 1つの式になる

⇒必ず自分で計算してみることに!

$$q_{inside \rightarrow outside} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_o}} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \quad \langle 8 \rangle$$

$$= K \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside})$$

→ [ ] = [ ] × [ ]

ただし,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad \langle 9 \rangle$$

K: [ ] [W/(m<sup>2</sup>·K)] →壁の前後全体での熱 (エネルギー) の移動の「容易さ」(楽さ加減) を表す

この熱貫流率を, もっと一般的に書くと,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{x_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_o}} \quad \langle 10 \rangle$$

※ただし, ここまでは, 1m<sup>2</sup>あたりの壁の話を考えていることに注意

(4) 熱貫流量の求め方

※熱貫流量 (貫流熱量) は, **壁全面** についての話なので,

\_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )  $Q_{inside \rightarrow outside}$  [W] は,

$$\begin{aligned}
 Q_{inside \rightarrow outside} &= q_{inside \rightarrow outside} \cdot S_w \\
 &= K \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{x_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_o}} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

ここで,

$S_w$  : 壁の面積 [m<sup>2</sup>]

$$\begin{aligned}
 [ \text{_____} ( \text{_____} ) ] &= [ \text{_____} ] \\
 &\quad \times [ \text{_____} ] \times [ \text{_____} ]
 \end{aligned}$$

※「屋外気温」と「室内気温」だけを考えればよいので, とても便利

注)「断熱材」といわれて思い出したいこと

4 補足 3 つ

(1) 補足の 1 つ目 ⇒ 「熱 (エネルギー) の移動の「大変さ」(難しさ加減)」= 「抵抗」で考えると

【→補足：配付資料 31~32 頁，教科書 pp. 42~43 を参照】

◎熱貫流量 (貫流熱量)  $Q_{inside \rightarrow outside}$  [W] は，

$$\begin{aligned} Q_{inside \rightarrow outside} &= q_{inside \rightarrow outside} \cdot S_w \\ &= \frac{1}{R} \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w \\ &= K \cdot (\theta_{a,inside} - \theta_{a,outside}) \cdot S_w \end{aligned}$$

ここで，

$R$  : 熱貫流抵抗 [(m<sup>2</sup>·K)/W] →熱 (エネルギー) の移動の「大変さ」(難しさ加減)

(2) 補足の 2 つ目 ⇒ 「定常」と「非定常」

⇒ 「定常の時は，どこでも熱 (エネルギー) の移動量が等しい」

ストローでジュースを吸い上げる時を想像してみよう。

→最初は徐々に，ジュースが口に近づく (非定常) が，一旦ジュースが口に入ってしまうと暫く同じ量のジュースが同じスピードで口の中に入ってくる (定常)。

非定常：

定常：

⇒定常のときは，どこでも熱 (エネルギー) の移動量が等しいとはどういうこと？

再び，ジュースとストローで考えると，



(3) 補足の 3 つ目 ⇒ 熱エネルギーの移動量の単位

単位時間あたりの「熱エネルギーの移動量」の単位：[W] (ワット)

- ・  $1\text{W} = 1\text{J/s}$  (1 秒間に消費されたり, 使用されたりするエネルギー。J は熱エネルギーの単位。)
- ・ 「100V40W」と書いてある白熱電球は, 100V で使う時の消費電力が 40W との意味
- ・ 座っている人間の発熱量は 1 人あたりおおよそ 100W 程度

⇒訂正：講義ノート (配布プリント) 16 頁と該当の板書 (板書写真\_その 4) :

誤：熱量 (熱エネルギー) の単位：W (ワット)

正：単位時間あたりの「熱エネルギーの移動量」の単位：[W] (ワット)

熱エネルギーの単位：[J] (ジュール)

【【補足】】

1 温度と熱移動 (教科書 pp. 36~43)

5 熱貫流量 (教科書 pp. 42~43)

「①熱貫流抵抗」の補足 (求め方)

- ・ 「室内→室内側の壁表面」での熱 (エネルギーの) 移動は, 「対流 (熱伝達)」と「放射 (熱伝達)」によるものがあるので,

$$\begin{aligned} q_{\text{inside} \rightarrow \text{insidewall}} &= \alpha_i \cdot (\theta_{a,\text{inside}} - \theta_{s,\text{inside}}) \\ \rightarrow &= \frac{1}{r_i} \cdot (\theta_{a,\text{inside}} - \theta_{s,\text{inside}}) \end{aligned} \quad (12)$$

ここで,

$r_i$  : 室内側の壁の総合熱伝達抵抗 [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ ] → 熱 (エネルギー) の移動の「大変さ」(難しさを加減)

- ・ 「屋外側の壁表面→屋外」での熱 (エネルギーの) 移動も, 「対流 (熱伝達)」と「放射 (熱伝達)」によるものがあるので,

$$\begin{aligned} q_{\text{outsidewall} \rightarrow \text{outside}} &= \alpha_o \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \\ \rightarrow &= \frac{1}{r_o} \cdot (\theta_{s,\text{outside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \end{aligned} \quad (13)$$

ここで,

$r_o$  : 屋外側の壁の総合熱伝達抵抗 [(m<sup>2</sup>·K)/W] → 熱 (エネルギー) の移動の「大変さ」(難しさ加減)

- ・「壁面内のそれぞれの壁材」での熱 (エネルギー) の移動は, 熱伝導のみなので,

$$q_{\text{insidewall} \rightarrow 1.2} = \frac{\lambda_1}{x_1} \cdot (\theta_{s,\text{insidewall}} - \theta_{1.2}) = \frac{1}{\frac{x_1}{\lambda_1}} \cdot (\theta_{s,\text{insidewall}} - \theta_{1.2}) = \frac{1}{r_1} \cdot (\theta_{s,\text{insidewall}} - \theta_{1.2}) \quad \langle 14 \rangle$$

$$q_{1.2 \rightarrow 2.3} = \frac{\lambda_2}{x_2} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) = \frac{1}{\frac{x_2}{\lambda_2}} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) = \frac{1}{r_2} \cdot (\theta_{1.2} - \theta_{2.3}) \quad \langle 15 \rangle$$

$$q_{2.3 \rightarrow \text{outsidewall}} = \frac{\lambda_3}{x_3} \cdot (\theta_{2.3} - \theta_{s,\text{outsidewall}}) = \frac{1}{\frac{x_3}{\lambda_3}} \cdot (\theta_{s,\text{outsidewall}} - \theta_{1.2}) = \frac{1}{r_3} \cdot (\theta_{s,\text{outsidewall}} - \theta_{1.2}) \quad \langle 16 \rangle$$

ここで,

$r_1, r_2, r_3$  : 壁面内のそれぞれの壁材の熱伝導抵抗 [(m<sup>2</sup>·K)/W] → 熱 (エネルギー) の移動の「大変さ」(難しさ加減)

- ・定常状態の時には, それぞれの層を通過する熱 (エネルギー) の移動量は全て等しいので,

$$q_{\text{inside} \rightarrow \text{insidewall}} = q_{\text{insidewall} \rightarrow 1.2} = q_{1.2 \rightarrow 2.3} = q_{2.3 \rightarrow \text{outsidewall}} = q_{\text{outsidewall} \rightarrow \text{outside}} = q_{\text{inside} \rightarrow \text{outside}} \quad \langle 17 \rangle$$

$$\begin{aligned} q_{\text{inside} \rightarrow \text{outside}} &= \frac{1}{r_i + r_1 + r_2 + r_3 + r_o} \cdot (\theta_{a,\text{inside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \\ &= \frac{1}{R} \cdot (\theta_{a,\text{inside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \\ &= K \cdot (\theta_{a,\text{inside}} - \theta_{a,\text{outside}}) \end{aligned} \quad \langle 18 \rangle$$

ただし,

$$R = r_i + r_1 + r_2 + r_3 + r_o = \frac{1}{K} \quad \langle 19 \rangle$$

$R$  : 熱貫流抵抗 [(m<sup>2</sup>·K)/W] → 熱 (エネルギー) の移動の「大変さ」(難しさ加減)

→ 熱貫流抵抗は, 熱貫流率 (熱 (エネルギー) の移動の「容易さ」(楽さ加減)) の逆数

この熱貫流抵抗を、もっと一般的に書くと、

$$\begin{aligned}
 R &= r_i + \sum r_k + r_o \\
 &= \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{x_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_o} = \frac{1}{K}
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

**【参考文献】** (順に, タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[] 内は熊本県立大学学術情報メディアセンター図書館所蔵情報)。

- [1] 『環境工学教科書 第二版』(環境工学教科書研究会編著, 彰国社, 2000 年 8 月, ¥3,500 + 税, ISBN: 4-395-00516-0) [和書 (2 F), 525.1||Ka 86, 0000275620, 0000308034]  
 →第 3 版あり (2020 年 2 月, ISBN: 978-4-395-32146-9) [和書 (2 F), 525.1||Ka 56, 0000387929]
- [2] 『最新 建築環境工学 [改訂 3 版]』(田中俊六・武田仁・岩田利枝・土屋喬雄・寺尾道仁, 井上書院, 2006 年 3 月, ¥3,000 + 税, ISBN: 4-7530-1742-7) [和書 (2 F), 525.1||Ta 84, 0000300425]  
 →改訂 4 版もあり (2014 年 2 月, ISBN: 978-4-7530-1757-7) [和書 (2 F), 525.1||Ta 84, 0000375755]
- [3] 『エース建築工学シリーズ エース建築環境工学 II-熱・湿気・換気-』(鈴木修一・池田徹郎・新田勝通, 朝倉書店, 2002 年 3 月, ¥3,800 + 税, ISBN: 4-254-26863-7) [和書 (2 F), 525.1||H 82, 0000263289]

学年 : \_\_\_\_\_ 学籍番号 : \_\_\_\_\_ 名前 : \_\_\_\_\_

— 演習問題 —

〈3-1〉 次の図の外壁 (面積  $40 \text{ m}^2$ ) で, 外気温を  $0^\circ\text{C}$ , 室内気温を  $20^\circ\text{C}$  とした場合の熱貫流量を求めなさい。

$\alpha_i = 9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$\alpha_o = 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

モルタル :  $\lambda_1 = 1.3 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

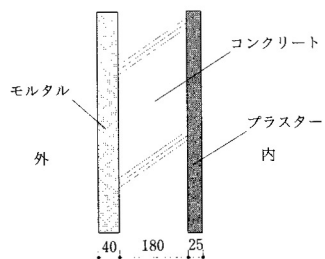
$l_1 = 0.04 \text{ m}$

コンクリート :  $\lambda_2 = 1.1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

$l_2 = 0.18 \text{ m}$

プラスター :  $\lambda_3 = 0.62 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

$l_3 = 0.025 \text{ m}$



演習問題

注) 上の問題文中の  $l_i$  を, 教科書では  $d_i$ , 配付資料では  $x_i$  としている。