

第 2 回 熱の移動/熱が伝わるしくみ/熱伝達/熱伝導 (教科書 pp. 36~41)

◎ 前期の学修内容：熱環境

建築環境工学分野では、そのほかに「光」環境、「空気」環境、「音」環境分野を学修→後期

考える対象

- ①すまい，住居，建物そのもの
- ②人とのかかわり：湿度の考え方を導入
- ③太陽：外からの影響を考慮

※大切なのは，全体のお話の流れ，その中での毎回毎回の位置付け

◎ 前期の前半 4 回分の学修内容

- 2 回目 熱エネルギーの動きの基本を知ろう (数 cm のスケール)
- 3 回目 簡単な壁を対象に考えよう (10~100cm のスケール)
- 4 回目・5 回目 建物全体を対象に考えよう (1~数 10m のスケール)

※簡単なものから複雑なもの (難しいもの) へ

◎ 学修の際の視点 (建築環境工学の講義全体を通して気をつけたい点)

- ①常にスケール (範囲 (長さ), 時間) の意識を持ちたい
- ②簡単なものから複雑なものに進もう
- ③複雑でわかりにくいものは，わかるようになるまで小さく (細かく) 分割しよう
- ④目標：熱環境の面から，よりよい性能を実現したい

→言い換えれば，省エネルギーを実現したい，快適性も実現したい



0 今日の内容：熱エネルギーの動きを知ろう

1 熱エネルギーの動きの基本を知ろう

まず、基本の考え方を理解する。次に、式で表現してみる。

2 熱エネルギーの動きを邪魔する要因をより詳しく考えてみよう

→特に、熱伝導率について詳しく学んでおきたい

※実は、「空気」の扱いがポイント

1 熱エネルギーの動きの基本を知ろう

(1) ストローとジュースの関係を例に考えてみよう

どのパターンが「楽に」沢山のジュースを吸い上げることができるか？

○ジュースの通り道の太さ：ストローの太さに比例

○ジュースを吸う力（ジュースを動かす力）：肺活量（？）に比例

○ジュースの動きを邪魔する力（邪魔するもの）：ストローの長さに反比例（ストローが長いと吸い上げるのが大変）

⇒一般化してみると（式の形に書き表してみると）

※この講義では、記号ではなく単語を使った式が沢山出てくるので注意

(2) 熱エネルギーが移動するときについても同じように考えることができる

例えば,

- ・氷を溶かすとき: 0°C の氷

水をかけると溶ける: 例えば, 20°C の水との差は 20°C (20K)

熱湯をかけるともっと溶ける: 例えば, 90°C のお湯との差は 90°C (90K)

※K: ケルビン (絶対温度の単位, 教科書 p. 37 を参照)

→熱エネルギーの移動量に差が出る→オームの法則とよく似ている (中学校の理科の復習を!)

(3) 熱エネルギーの移動の仕方にはどんな種類があるか?

- ・固体から熱エネルギーが移動する場合 を考えると

└ 固体と固体が接する場合: 熱伝導

|

└ 固体と液体が接する場合: 対流による熱伝達

└ 固体と気体が接する場合: 対流による熱伝達

|

※流体: 液体と気体

└ 固体に接するものが何もない場合: 放射による熱伝達

プラスして, 「相の変化」

でも熱エネルギーが移動

相変化の例: 注射を打つ

時のアルコール消毒を考

えてみよう (気化熱)

※融解熱も復習しておく

(4) 熱エネルギーの移動の仕方は 3 種類→補足: 配付資料 16 頁を参照

重要 パターンは 3 つ!! 身のまわりのことをイメージする!!

→身の回りの現象と結びつける!! 思い出す!!

①熱伝導

②対流による熱伝達 (対流熱伝達, 対流)

③放射による熱伝達 (放射熱伝達, 放射) ←想像しにくいので注意

真空中でも熱エネルギーは移動する (電磁波で移動する)

※まずはだいたいの様子を理解したい

(5) (4) の 3 つを式の形で表すと

熱伝導

熱伝導率：単位は $[W/m \cdot K]$ (温度差が 1 K あれば, 1 m あたり何 W 移動するか?)
熱エネルギーを移動させる時の「楽さ」(移動させやすさ) ともいえる
値が大きいほど楽ちん (力がいらぬ)

対流 (熱伝達)

[熱エネルギーの移動量] = [対流熱伝達率] × [温度差]

対流熱伝達率：単位は $[W/m^2 \cdot K]$ (温度差が 1 K あれば, 1 m² あたり何 W 移動するか?)
自然対流の時：4 $W/m^2 \cdot K$ (自然に空気が動くとき)
強制対流の時：18 $W/m^2 \cdot K$ (風が吹いているとき (強制的に空気が動くとき))
風が吹けば, 「楽に」(力が要らずに) 熱エネルギーが移動する
対流熱伝達率の値の大小も熱伝導率の値の大小と同じように考えてよい

放射 (熱伝達) → 補足：配付資料 17 頁を参照

[熱エネルギーの移動量] = [放射熱伝達率] × [温度差]

放射熱伝達率：単位は $[W/m^2 \cdot K]$ (おおよそ 5 $W/m^2 \cdot K$ ぐらい)
注) 放射 (熱伝達) の場合のみ：常温付近での近似式 → 配付資料 17 頁を参照

※ 「放射熱伝達率」と「放射率」の違い

(補足)

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)
参考) 熱エネルギーの単位： $[J]$ (ジュール)
温度の単位： $^{\circ}C$ (摂氏 (せつし), セルシウス度) K (ケルビン)

2 熱エネルギーの移動を邪魔する要因をより詳しく考えてみよう

→特に、熱伝導率について考えてみよう

熱伝導率について考える理由：材料によって、特性が大きく変わる（幅がある）から

(1) 全体的な傾向（教科書 p. 40 を参照）

熱伝導率大

熱伝導率小

金属 > コンクリート > 木材 > グラスウール

邪魔しない

邪魔する

移動は楽（力は要らない）

移動は大変（力が必要）

(2) 特例その 1：空気（教科書 p. 40 を参照）

空気が止まっているとき：0.02 W/m・K（熱伝導率，固体に近い扱い）←熱エネルギーの移動を
邪魔する

空気が動くとき：4 W/m²・K（対流熱伝達率）←熱エネルギーの移動は比較的「楽」

※ただし、単位が違うのには注意する

関連事例 1) 密閉中空層と半密閉中空層（教科書 p. 41 上も参照）

関連事例 2) 下向きの熱エネルギーの移動と上向きの熱エネルギーの移動（移動の向きの違い）

(3) 特例その 2 : グラスウールなどの断熱材 (教科書 p. 41 真ん中も参照)

→ 詳細な図は配付資料 18 頁を参照 (板書を 18 頁の図に描き込むとよい)

普通の方法 : 重いほど, 熱エネルギーの移動を邪魔しない, 移動が「楽」, 力が要らない

断熱材 : 重いほど, 熱エネルギーの移動を邪魔する, 移動が「大変」, 力が必要

言い換えれば, 断熱材としては重い方が優秀

→ 理由は, 教科書 p. 41 真ん中も参照

【【補足】】

1 温度と熱移動 (教科書 pp. 36~43)

2 熱が伝わるしくみ (教科書 p. 36) → 「熱エネルギーが移動する仕組み」

熱エネルギーの移動の仕方の概念と原理のまとめ

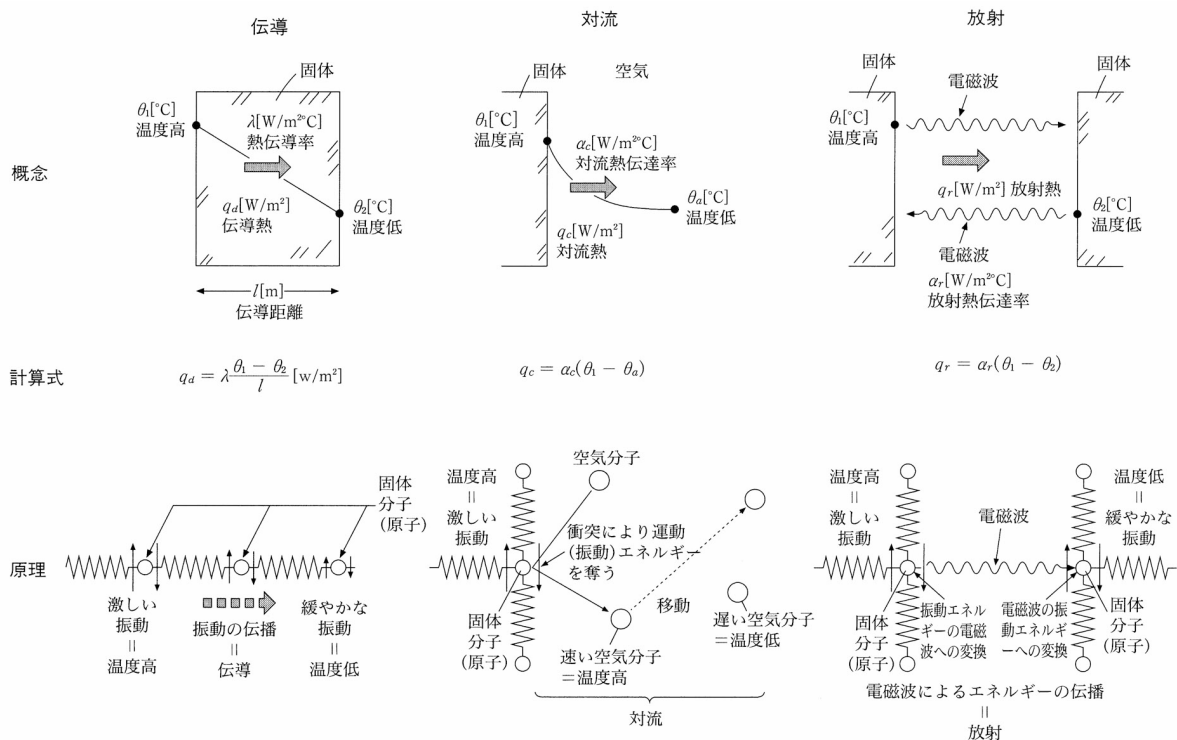


図 熱エネルギーの移動の仕方の概念と原理のまとめ (出典 : 参考文献 [1], p. 70)

注) 教科書などによって, 用語に若干の違いがある。できれば自分で, 幾つか他の教科書を調べて理解を深めて欲しい。

→ 自分なりに, 「熱エネルギーの移動の仕方」のイメージを捉えておこう。

3 熱伝達 (教科書 pp. 37~38)

「3-2 放射熱伝達」(教科書 p. 38) の補足 (出典: 参考文献 [2])

射入した放射を完全に吸収する理想的な物体を完全黒体と言う。完全黒体の単位面積から発散する放射量 E_b [W/m^2] は,

$$E_b = \sigma \cdot T^4 \quad \langle 1 \rangle$$

である。これを、シュテファン-ボルツマン (Stefan-Boltzmann) の法則と呼び、 σ を完全黒体の放射定数またはシュテファン-ボルツマンの定数という。 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}^4$] である。

この時、2面 (面 1, 2 とする) 間の放射熱伝達は,

$$\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4) \quad \langle 2 \rangle$$

の形で表される。

これは,

$$\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4) = x \cdot (\theta_2 - \theta_1) \cdot \left\{ 1 + \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2T_m} \right)^2 \right\} \quad \langle 3 \rangle$$

$$x = 0.2 \times 10^{-6} \cdot T_m^3$$

と書ける。

ただし,

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad \langle 4 \rangle$$

$$\theta_1, \theta_2 : \text{面 1, 2 の温度 } [^\circ\text{C}] \quad (T = 273.15 + \theta)$$

この時、 $\left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2T_m} \right)^2$ が、1 に対して十分小さいと,

$$\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4) \cong x \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad \langle 5 \rangle$$

と温度差に対して線形化できる (近似できる)。平均温度 T_m が常温の 300K 程度、温度差 $\theta_2 - \theta_1$ が 50K 以下であれば誤差は 1% 以下である。 x の値は常温で 4.0~5.5 程度の値となる。

→ 建築環境工学で扱う常温付近では、対流熱伝達や熱伝導の式と同じ形になる。

→→ ただし、もともとは式の形が異なることは理解しておいて欲しい。

→→ 今日の演習問題を参照。

4 熱伝導 (教科書 pp. 39~41)

「熱伝導率」(教科書 pp. 39~40) の補足

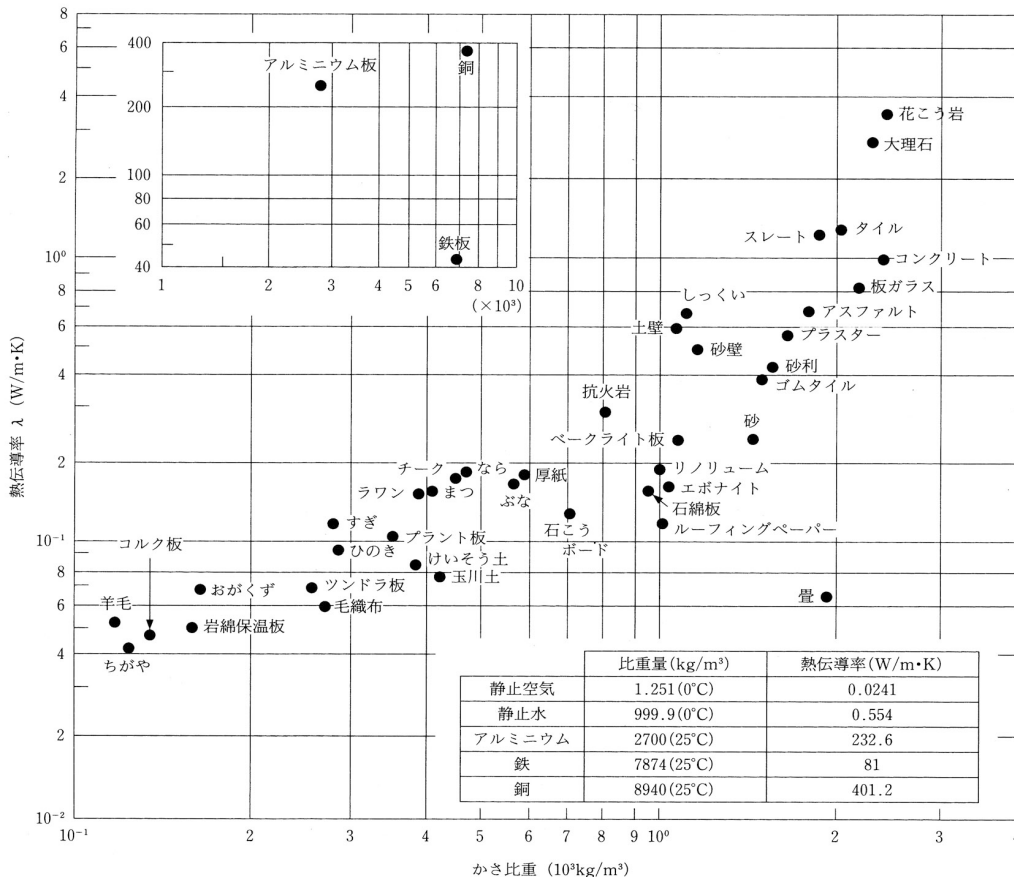


図 代表的建材の熱伝導率 (出典：参考文献 [3], p. 42)

→熱伝導率と(かさ)比重の関係を理解しよう。基本的には、重くなると熱エネルギーを移動させるのが楽。

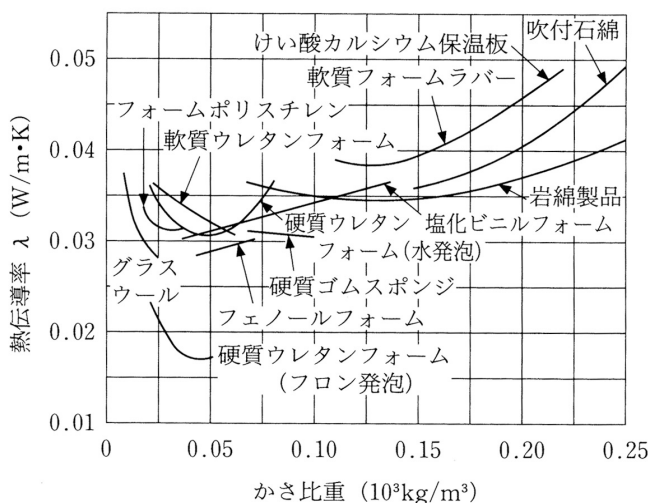


図 代表的建材の熱伝導率 (出典：参考文献 [3], p. 43)

→かさ比重の値が小さい範囲 (0~0.05×10³=50kg/m³程度) に注目して、「断熱材」の熱伝導率との関係を理解しよう。この範囲「だけ」は、重くなると熱エネルギーを移動させるのが「大変」。

【教科書の訂正】(第 4 版第 2 刷 (2024 年 3 月 20 日発行) では既に修正済み)

教科書 p. 41 真ん中の「断熱材 (グラスウール)」の枠内の説明の下方

誤: ※断熱材の熱伝導率は, 一般に水分 (水蒸気) を含むと大きくなる。

正: ※断熱材の熱伝導率は, 一般に水を含むと大きくなる。

教科書 p. 41 真ん中の「断熱材 (グラスウール)」の枠内の右端の吹きだし

誤: 断熱材でも水分 (水蒸気) を多く含んだものは熱を伝えやすい。

正: 断熱材でも水を多く含んだものは熱を伝えやすい。

【参考文献】(順に, タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[] 内は熊本県立大学図書館所蔵情報)。

[1] 『図説テキスト 建築環境工学』(加藤信介・土田義郎・大岡龍三, 彰国社, 2002 年 11 月, ¥2,400+税, ISBN: 4-395-22127-0) [和書 (2 F), 525.1||Ka 86, 0000310578]

→第 2 版あり (2008 年 11 月, ISBN: 978-4-395-22128-8) [和書 (2 F), 525.1||Ka 86, 0000320417] [電子ブック, 5000001442]

[2] 『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]

[3] 『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) [書庫 (4 F), 525.1||Ka 56, 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] [電子ブック, 5000001065]

復習プリント

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

今日の講義の内容を，自分なりに，整理してください。まとめてください。

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

外気温度を θ_o [°C]，建物の屋外側表面温度を θ_{so} [°C] とする時，屋外側の放射熱伝達率 α_{or} [W/m²·K] は，下記のように表すことができる。

$$\alpha_{or} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot c_b \cdot \left\{ \frac{\left(\frac{\theta_{so} + 273.15}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_o + 273.15}{100} \right)^4}{\theta_{so} - \theta_o} \right\}$$

ただし， ε_0 ：屋外側の放射率 [N. D.] (=1.0)， ε_1 ：建物の屋外側表面の放射率 [N. D.] (=0.9)，
 c_b ：黒体の放射定数 [W/m²·K⁴] (=5.67)

また，屋外の風速を v [m/s] ($v \leq 5$ m/s) とする時，屋外側の対流熱伝達率 α_{oc} [W/m²·K] は，強制対流とみなし，ユルゲスの実験式によると，下記のように表すことができる。

$$\alpha_{oc} = 5.8 + 3.9 \cdot v$$

- 1) 外気温度が 10°C，建物の屋外側表面温度が 20°C の時，屋外側の放射熱伝達率を求めよ。
- 2) 屋外の風速が 3 m/s の時，屋外側の対流熱伝達率を求めよ。
- 3) この時の総合熱伝達率を求めよ。