

第 4 回目 室温の変動/室内外への熱の出入り (教科書 pp. 44~47)

◎ 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

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)

第 4 回目 建物全体での熱エネルギーの動き

第 5 回目 建物全体の熱性能

ポイント：全体の中での位置付け

0 今日の内容：建物全体での熱エネルギーの移動を理解しよう

1 今日目標：同じかたちの「式」にしたい

2 分割して考えよう (ある部屋を対象に (自室などを想像してみよう))

3 どうやって一つにまとめるか？ (建物全体を対象に考えて)

4 発展 (2つ)

※話の流れは前回 (第 3 回) と同じパターン (分割→まとめ)

それに加えて **ポイント**：もれなく数え上げる (数え忘れないように)

+現実の生活を結びつけたい

1 今日目標：同じかたちの「式」にしたい

前回 (第 3 回目)：[壁の中の熱エネルギーの移動量] = [熱貫流率] × [温度差]

(ただし，1m²あたり，のとき)

今回：[建物全体での熱エネルギーの移動量] = [] × [(建物内外の) 温度差]

の形に持っていきたい

[温度差]：熱エネルギーを移動させるための力 (駆動力)

→「どことどこの温度差」に気をつける？

2 分割して考えよう (ある部屋を対象に (自室などを想像してみよう))

(1) どんな熱損失があるのか, 全ての項目を数え上げる

冬の熱損失: 室内→屋外へと移動する熱エネルギー →このとき, 室温は下がる

熱損失 4 つ 式は教科書 p. 45 を参照←もれなく数え上げる

→建物全体の話を考えるので面積を忘れずに!!

△丸暗記

◎日常生活と繋げる

└壁 2 つ ─ ①外壁 貫流 熱損失 (外壁の熱損失)

| ─┬ ②内壁 貫流 熱損失 (内壁の熱損失)

└開口部 2 つ ─ ③窓 貫流 熱損失 (窓の熱損失)

└ ④換気による熱損失

部屋から出て行く

部屋の中を見回してみよう!

熱エネルギー

数え忘れはないか?

↓

どこから出て行く?

(2) 補足: 「温度差」は, 何の温度と何の温度の差を考えれば良いか?

冬の場合を考えると

[室温] - [外気温]

※外気温として「相当外気温 (度)」を使うことが多い

※※空気の温度: 気温, 室内の (空気の) 温度: 室温

→配付資料 40 頁を参照

[外壁の相当外気温 (度)] = [外気温] + [外壁の相当放射温度]

※「外壁の相当放射温度」は「日射の効果分」と考えればよい

[最終的に壁の温度を上昇させる熱エネルギー]

= [日射によって壁に移動する熱エネルギー]

- [長波長放射で放出される熱エネルギー]

※放射による熱伝達 =

長波長放射による熱伝達 + 短波放射による熱伝達

(3) 室内の気温を定常状態に保つためには？ (=定常状態にするには？)

(4つの) 熱損失だけを考えると、室内の気温は下がる一方

⇒熱エネルギーを加える場合 (熱取得) も考える

※冬の熱取得：屋外→室内に移動する熱エネルギー →このとき、室温は上がる

熱取得 3 つ 式は教科書 p. 45 を参照←もれなく数え上げる

└①窓透過日射熱取得 (日射が窓を透過して室内に) ※窓は熱損失にも熱取得にも関係

└②内部発熱：人間，TV，照明，パソコンなど

└③暖房熱

3 どうやって一つにまとめるか？ (建物全体を対象に考えて)

ポイント：4種類の熱損失を2種類に分け直すと、上手く1つにまとめることができる

①貫流熱損失 (固体中で熱エネルギーが移動)

$$= [\text{熱貫流率}] \times [\text{温度差}] \times [\text{面積}]$$

※熱貫流率には、外壁の熱貫流率、内壁の熱貫流率、窓の貫流率の3種類あり

②換気による熱損失 (流体 (気体) で熱エネルギーが移動)

$$= [\text{定数}] \times [\text{換気量}] \times [\text{温度差}]$$

※ここでの [定数] = [1m³の空気が運ぶことができる熱エネルギーの量 (1Kあたり)]

$$= [\text{空気の比熱}] \times [\text{空気の密度}]$$

もう一度書き直すと、

$$\begin{aligned}
 & \text{〔室内→室外への熱損失〕} \\
 & = \text{〔貫流熱損失〕} + \text{〔換気による熱損失〕} \\
 & = \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{〔外壁 1 の熱貫流率〕} \times \text{〔外壁 1 の面積〕} \\ + \text{〔外壁 2 の熱貫流率〕} \times \text{〔外壁 2 の面積〕} \\ + \dots \\ + \text{〔窓 1 の熱貫流率〕} \times \text{〔窓 1 の面積〕} \\ + \text{〔窓 2 の熱貫流率〕} \times \text{〔窓 2 の面積〕} \\ + \dots \end{array} \right\} + \text{〔定数〕} \times \text{〔換気量〕} \left. \vphantom{\left\{ \right.} \right\} \times \text{〔温度差〕} \\
 & = \text{〔総合熱貫流率〕} \times \text{〔温度差〕}
 \end{aligned}$$

※上記の式には、〔面積〕が入っているので注意

※※〔室内→室外への熱損失〕 = 〔全ての熱取得〕 になると、定常状態になる

4 発展 (2つ)

(1) 総合熱貫流率の意味 (性質)

※〔全体の熱損失〕 = 〔総合熱貫流率〕 × 〔温度差〕

総合熱貫流率	熱エネルギーの移動に必要な力	保温性	例
総合熱貫流率 大	少ない温度差でも楽に熱エネルギーが移動 (小さな力で十分)	保温性 悪い	普通のビン, 普通のコップ
総合熱貫流率 小	大きな温度差でないとなかなか熱エネルギーは移動してくれない (大きな力が必要)	保温性 高い	タンブラー 魔法瓶 (断熱材が入っている)

注) 熱貫流率と同じ傾向

⇒総合熱貫流率：建物全体の熱性能を示す

値が小さい方：保温性が高い→熱性能がよい

ただし、総合熱貫流率には**問題点**あり

※同じ材質の壁を使っている、大きな建物だと総合熱貫流率が大きくなってしま

←面積をかけたことを思い出そう

→つまり、建物の規模の影響を受ける

→→建物の熱性能を比べるには少し不公平

できるだけ公平にするためには？

※「面積あたり」にして、建物の規模の影響を小さくする（消す）

→そうすることで、より公平に建物全体の熱性能を示す

※※ただし、Q 値と総合熱貫流率の傾向は似ている

→配付資料 41 頁も参照

Q 値 大きい	保温性が悪い	熱性能が悪い
Q 値 小さい	保温性がよい	熱性能がよい

(例えば) 車の性能を考える時、

車 A : 100km 走ることができる ← でも、5 時間も走ることができる

車 B : 40km 走ることができる ← でも、2 時間しか走ることができない

どちらの車の性能がよいだろうか？

一見、車 A の方が性能がよさそうだと思うけど、速さを計算してみると、

車 A : $100/5 = 20\text{km/h}$

車 B : $40/2 = 20\text{km/h}$

で、性能は同じ

⇒使う指標によって評価が変わる = 判定結果も変わる

※ところが、Q 値でも不公平なことが・・・

→延べ床面積が同じでも表面積が違うこともある

(2) 最近は、Q 値ではなく、建物の形も考えて U_A 値を使う (配付資料 42~43 頁も参照)

U_A 値：外皮平均熱貫流率←建物の外皮 (外壁や窓) の熱性能を示す

様々な指標の傾向

保温性 よい	総合熱貫流率 小	Q 値 小	U _A 値 小
保温性 わるい	総合熱貫流率 大	Q 値 大	U _A 値 大

※単なる熱貫流率とは違う

さらに発展：U_A 値，Q 値，総合熱貫流率，の関係は？**重要**

[室内→屋外の熱損失]

= [総合熱貫流率] × [温度差]

= [Q 値] × [延べ床面積] × [温度差]

= [貫流熱損失] + [換気による熱損失]

【【補足】】-----

2 室温と熱負荷 (教科書 pp. 44~51)

2 室内外への熱の出入り (教科書 pp. 44~47)

2-3 熱損失 (教科書 p. 45)

①外壁貫流熱損失と窓貫流熱損失

「相当外気温度」の補足

[外壁の相当外気温度] = [外気温] + [外壁の相当放射温度]

[外壁の相当放射温度] = ([外壁の日射吸収率] × [屋外における着目している面の全日射量] - [外壁の放射率] × [屋外面の夜間放射量]) / [屋外表面総合熱伝達率]

$$\rightarrow q_w = K_w \cdot A_w \cdot (\theta_R - SAT_w) \quad \langle 1 \rangle$$

$$SAT_w = \theta_o + \Delta\theta_w \quad \langle 2 \rangle$$

$$\Delta\theta_w = \frac{a_w \cdot I - \varepsilon_w \cdot R_N}{\alpha_o} \quad \langle 3 \rangle$$

ここで,

q_w : 外壁貫流熱損失 [W]

K_w : 外壁熱貫流率 [W/(m²·K)]

A_w : 外壁面積 [m²]

θ_R : 室温 [°C] (θ : シータ)

SAT_w : 外壁の相当外気温度 [°C] → 日射の強さに応じて, 外気温が仮想的に上昇したと
考えた温度

θ_o : 外気温 [°C]

$\Delta\theta_w$: 外壁の相当放射温度 [°C]

a_w : 外壁の日射吸収率 [単位なし]

I : 屋外における着目している面の全日射量 [W/m²]

ε_w : 外壁の放射率 [単位なし]

R_N : 屋外面の夜間放射量 [W/m²] → 教科書 p. 76 を参照

α_o : 屋外表面総合熱伝達率 [W/(m²·K)]

→ 総合熱伝達率 = 対流熱伝達率 + 放射熱伝達率

であるので, 屋外の風が変化すると対流熱伝達率も変化し, その結果, 相当外気温にも影響する。

※窓の場合も同じ様に考えることができる

「2-4 熱損失係数 (教科書 p. 46)」についての補足

熱損失係数の計算方法

熱損失係数の計算方法は、「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準」(平成 18 年経済産業省・国土交通省告示第 3 号 平成 21 年経済産業省・国土交通省告示第 1 号一部改正)に提示されていた。

しかし、「住宅・建築物の省エネルギー基準」が見直されたことにより、この告示は、平成 25 年 10 月 1 日に廃止された(経過措置 平成 27 年 3 月 31 日まで)。

以下の内容は、参考用である。

$$Q = \frac{\sum A_i \cdot U_i \cdot H_i + \sum (L_{Fi} \cdot U_{Li} \cdot H_i + A_{Fi} \cdot U_{Fi}) + 0.35 \cdot n \cdot B}{S}$$

ここで、

Q : 熱損失係数 [W/(m²・K)] (温度差 1℃の時に、述べ床面積 1 m² 当たり 1 時間に失われる熱量。値が小さいほど熱が逃げにくい、熱的に性能がよい建物ということになる。)

A_i : 外気または外気に通じる床裏、小屋裏もしくは天井裏に接する第 i 部位の面積 [m²]

U_i : 第 i 部位の熱貫流率 [W/(m²・K)]

H_i : 第 i 部位などの外周の接する外気などの区分に応じた係数 (1.0, もしくは 0.7)

L_{Fi} : 第 i 土間床などの外周の長さ [m]

U_{Fi} : 第 i 土間床などの外周の熱貫流率 [W/(m²・K)]

A_{Fi} : 第 i 土間床などの中央部の面積 [m²]

U_{Fi} : 第 i 土間床などの中央部の熱貫流率 [W/(m²・K)]

n : 換気回数 [回]

B : 住宅の気積 [m³]

S : 住宅の床面積の合計 [m²]

Q 値は、次に掲げる表の基準値以下であることが求められる。

地域の区分	都道府県 (例)	Q 値の基準値
I	北海道	1.6
II	青森県, 岩手県, 秋田県	1.9
III	宮城県, 山形県, 福島県, 栃木県, 新潟県, 長野県	2.4
IV	上記と下記以外の県	2.7
V	宮崎県, 鹿児島県	2.7
VI	沖縄県	3.7

【！注意！】「住宅・建築物の省エネルギー基準」の改正により、

住宅の断熱性能を表す指標は、

床面積あたりの熱損失量である Q 値 (熱損失係数) から

外皮表面積あたりの熱損失量である U_A 値 (外皮平均熱貫流率) に変更された。

詳細は、「エネルギーの使用の合理化に関する建築主等及び特定建築物の所有者の判断の基準」(平成 25 年経済産業省・国土交通省告示第 1 号 平成 28 年経済産業省・国土交通省告示第 1 号最終改正) を参照のこと。

$$U_A = \frac{\sum_i^n A_i \cdot U_{Hi} + \sum_j^m L_{Fj} \cdot U_{FHj}}{A}$$

ここで、

U_A : 外皮平均熱貫流率 [$W/(m^2 \cdot K)$] (内外の温度差 1 度当たりの総熱損失量 (換気による熱損失を除く) を外皮等 (外気等に接する天井, 壁, 床及び開口部等) 面積の合計で除した値)

A_i : 外皮等のうち, 土に接する基礎の部位等 (以下「基礎等」という。) を除く第 i 部位の面積 [m^2]

U_{Hi} : 第 i 部位の熱貫流率 [$W/(m^2 \cdot K)$]

n : 基礎等を除く外皮等の部位数

L_{Fj} : 第 j 基礎等の外周の長さ [m]

U_{FHj} : 第 j 基礎等の外周の熱貫流率 [$W/(m^2 \cdot K)$]

m : 基礎等の数

A : 外皮等面積の合計 [m^2]

U_A 値は, 次に掲げる表の基準値以下であることが求められる。

地域の区分	都道府県 (例)	U_A 値の基準値
1, 2	北海道	0.46
3	青森県, 岩手県, 秋田県	0.56
4	宮城県, 山形県, 福島県, 栃木県, 新潟県, 長野県	0.75
5, 6	上記と下記以外の県	0.87
7	宮崎県, 鹿児島県	0.87
8	沖縄県	2.14

→別の見方をすれば、「貫流熱損失と換気による熱損失にわけて、より丁寧に考えるようになった」とも言える。

→→貫流熱損失と換気による熱損失のうち、貫流熱損失に関係するのが、「建物外皮に関する熱性能」である U_A 値 (外皮平均熱貫流率) である。

「2 室内外への熱の出入り (教科書 pp. 44~47)」全体の補足

非定常状態の熱平衡と室温

- ・室温変化→家具類や周壁の温度も変化→家具類や周壁への吸熱が起きる→定常状態になると吸熱量はゼロに
 - ・室熱容量：室温を 1 K 上昇させるために必要な総吸熱量
 - ・非定常状態では、この吸熱の効果も考慮する必要がある。→教科書 pp. 49~50 も参照
- 詳しく知りたい人は、前回の配付資料 31 頁に載せた参考文献などを参照

建築環境工学 I (第 4 回目) [火曜日・08:40～10:10・中講義室 2]

2024.05.07
環境共生学部・居住環境学専攻
辻原万規彦

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：_____

奥行き 8 m, 幅 10m, 高さ 5 m の建物があり, それぞれの壁の熱貫流率が $1.5\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, 換気回数 0.5 回/h の時, 総合熱貫流率と熱損失係数を求めよ。

なお, 上面 (屋根) と下面 (床) の熱貫流率も壁の熱貫流率と同じとし, 上面 (屋根) と下面 (床) からも室内側から屋外側へ熱エネルギーが移動するとして考える。また, 換気回数と空気の比熱については, 教科書 p.47 を参照。