

II 熱環境      2 室温と熱負荷（教科書 pp. 54～59）  
II 熱環境      3 断熱と気密と結露（教科書 pp. 60～64）

1. 今日の目標

- 1) 室内外の熱の出入りの様子を理解しよう。
- 2) 湿った空気と結露について知ろう。

2. 室内外の熱の出入りと室温（教科書 pp. 54～57）

2. 1 室温の変動（教科書 p. 54）

室温：気象や室内で発生する熱などの影響（「\_\_\_\_\_」）を受けて変動

→気象条件がどのような時に、また室内で発生する熱量がどのくらいの時に、室温はどれくらいになるのか？

\_\_\_\_\_：外乱により生じた熱で室内に入る熱

\_\_\_\_\_：外乱により生じた熱で室内から出る熱

定常状態：\_\_\_\_\_的に変化しない状態（十分に時間が経った後の状態）

非定常状態：\_\_\_\_\_的に変化する状態（\_\_\_\_\_な状態）

→時間的な遅れが問題

\*\*\*\*\* メモ \*\*\*\*\*

2. 2 定常状態の熱平衡と室温（教科書 pp. 54～55）

定常状態の時，室内外の熱の出入りは，以下のように書くことができる。なお，熱量の単位は [W]（ワット）である。

注）1W= 1J/s（1秒間に消費されたり，使用されたりするエネルギー）

なお，「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。

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

これをきちんと式の形で表すと，

$$\rightarrow q_{SR} + q_I + H = q_W + q_G + q_{INF} + q_{IW} \quad (1) \text{ (教科書 p. 55 の 図 2-2 中の (10) 式) となる。}$$

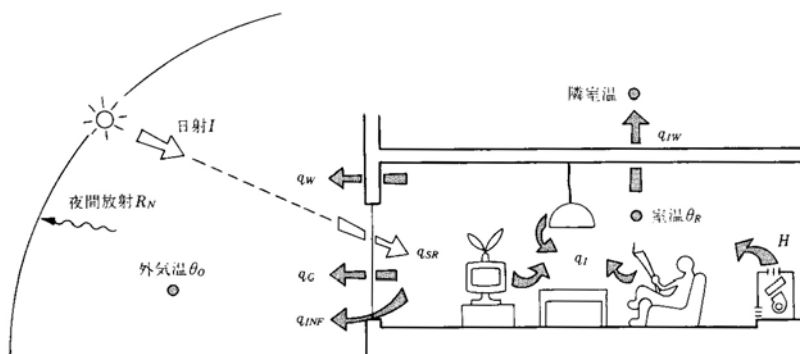


図 種々の外乱が作用するときの暖房室の定常熱平衡（教科書 p. 55 の 図 2-2）

それでは，上図のように冬季の暖房室を考えて，一つずつ内容を検討してみよう。

$$1) \{ \quad \quad \quad \} = \{ \quad \quad \quad \} \times \{ \quad \quad \quad \} \times \{ \quad \quad \quad \}$$

$$\rightarrow q_{SR} = \tau_G \cdot A_G \cdot I \quad (2) \text{ (教科書 p. 55 の 図 2-2 中の (8) 式)}$$

ここで，

$q_{SR}$  : 窓透過日射熱取得 [W]

$\tau_G$  : ガラス窓日射透過率 [単位なし] ( $\tau$  : タウ)

→ ガラスを通して日射が透過してくる割合

$A_G$  : 窓面積 [ $m^2$ ]

$I$  : 屋外面の全日射量 [ $W/m^2$ ]

2) [内部発熱取得]

$q_I$  : 内部発熱取得 [W] ← 照明や機器類, 人体からの発熱

→ 人体からの発熱量は, 1人あたり, 静座時で 92W, 軽作業時で 106W 程度である。

3) [暖房熱]

$H$  : 暖房熱 [W] ← この熱が常に供給されるので, 室温が一定に保たれる

$$4) \left[ \text{ } \right] = \left[ \text{ } \right] \times \left[ \text{ } \right] \times \left( \left[ \text{ } \right] - \left[ \text{ } \right] \right)$$

$$\left[ \text{ } \right] = \left[ \text{ } \right] + \left[ \text{ } \right]$$

$$\left[ \text{ } \right] = \left( \left[ \text{ } \right] \times \left[ \text{ } \right] - \left[ \text{ } \right] \times \left[ \text{ } \right] \right) / \left[ \text{ } \right]$$

$$\rightarrow q_w = K_w \cdot A_w \cdot (\theta_R - SAT_w) \quad (3) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (1) 式)}$$

$$SAT_w = \theta_o + \Delta\theta_w \quad (4) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (2) 式)}$$

$$\Delta\theta_w = \frac{a_w \cdot I - \varepsilon_w \cdot R_N}{\alpha_o} \quad (5) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (3) 式)}$$

ここで,

$q_w$  : 外壁貫流熱損失 [W]

$K_w$  : 外壁熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$A_w$  : 外壁面積 [m<sup>2</sup>]

$\theta_R$  : 室温 [°C] ( $\theta$  : シータ)

$SAT_w$  : 外壁の相当外気温度 [°C] → \_\_\_\_\_ の強さに応じて, 外気温が \_\_\_\_\_ 的に上昇したと考えた温度 → 教科書 p. 90 と p. 96 を参照のこと

$\theta_o$  : 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]

$I$  : 屋外面の全日射量 [W/m<sup>2</sup>]

$\varepsilon_w$  : 外壁の放射率 [単位なし]

$R_N$  : 屋外面の夜間放射量 [W/m<sup>2</sup>] → 教科書 pp. 95~96 を参照

$\alpha_o$  : 屋外表面総合熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$$5) \left[ \frac{q_G}{A_G} \right] = \left[ \frac{K_G}{\alpha_o} \right] \times \left[ \theta_R - SAT_G \right] \times \left( \left[ \frac{a_G \cdot I - \epsilon_G \cdot R_N}{\alpha_o} \right] - \left[ \theta_R - SAT_G \right] \right)$$

$$\left[ \frac{q_G}{A_G} \right] = \left[ \frac{K_G}{\alpha_o} \right] \times \left[ \theta_R - SAT_G \right] + \left[ \frac{K_G}{\alpha_o} \right] \times \left( \left[ \frac{a_G \cdot I - \epsilon_G \cdot R_N}{\alpha_o} \right] - \left[ \theta_R - SAT_G \right] \right)$$

$$\left[ \frac{q_G}{A_G} \right] = \left( \left[ \frac{K_G}{\alpha_o} \right] \times \left[ \theta_R - SAT_G \right] - \left[ \frac{K_G}{\alpha_o} \right] \times \left( \left[ \frac{a_G \cdot I - \epsilon_G \cdot R_N}{\alpha_o} \right] - \left[ \theta_R - SAT_G \right] \right) \right) / \left[ \frac{K_G}{\alpha_o} \right]$$

$$\rightarrow q_G = K_G \cdot A_G \cdot (\theta_R - SAT_G) \quad (6) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (4) 式)}$$

$$SAT_G = \theta_o + \Delta\theta_G \quad (7) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (5) 式)}$$

$$\Delta\theta_G = \frac{a_G \cdot I - \epsilon_G \cdot R_N}{\alpha_o} \quad (8) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (6) 式)}$$

ここで,

$q_G$  : 窓貫流熱損失 [W]

$K_G$  : 窓熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$A_G$  : 窓面積 [m<sup>2</sup>]

$\theta_R$  : 室温 [°C]

$SAT_G$  : 窓の相当外気温度 [°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 → 教科書 p. 90 と p. 96 を参照のこと

$\theta_o$  : 外気温 [°C]

$\Delta\theta_G$  : 窓の相当放射温度 [°C]

$a_G$  : 窓の日射吸収率 [単位なし]

$I$  : 屋外面の全日射量 [W/m<sup>2</sup>]

$\epsilon_G$  : 窓の放射率 [単位なし]

$R_N$  : 屋外面の夜間放射量 [W/m<sup>2</sup>] → 教科書 pp. 95～96 を参照

$\alpha_o$  : 屋外表面総合熱伝達率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$$6) \left[ \text{ } \right] = \left[ \text{ } \right] \times \left[ \text{ } \right] \times \left[ \text{ } \right] \\ \times \left( \left[ \text{ } \right] - \left[ \text{ } \right] \right)$$

$$\rightarrow q_{INF} = C_p \cdot \rho \cdot V \cdot (\theta_R - \theta_o) \quad (9) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (7) 式)}$$

ここで,

$q_{INF}$  : 隙間風熱損失 [W]

$C_p$  : 空気の比熱 [J/g·K] ← 1 g の空気の温度を 1 K 上げるのに必要な熱量

$\rho$  : 空気の密度 [g/l] ( $\rho$  : ロー) ← 空気 1 リットル [l] の質量

$V$  : 隙間風量 [l/s] (リットル毎秒)

$\theta_R$  : 室温 [°C]

$\theta_o$  : 外気温 [°C]

$$7) \left[ \text{ } \right] = \left[ \text{ } \right] \times \left[ \text{ } \right] \\ \times \left[ \text{ } \right] \times \left( \left[ \text{ } \right] - \left[ \text{ } \right] \right)$$

$$\rightarrow q_{IW} = K_{IW} \cdot A_{IW} \cdot f \cdot (\theta_R - \theta_o) \quad (10) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (9) 式)}$$

ここで,

$q_{IW}$  : 内壁貫流熱損失 [W]

$K_{IW}$  : 内壁熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$A_{IW}$  : 内壁面積 [m<sup>2</sup>]

$f$  : 隣室温度差係数 [単位なし] ← 非暖房隣室の室温を正確に推定するのは難しいため、  
便宜的に、屋外との温度差に係数を乗じて推定する。  
冬季は 0.25 程度、夏季は 0.4 程度に設定することが多い。

$\theta_R$  : 室温 [°C]

$\theta_o$  : 外気温 [°C]

8) (1) 式に, (2) 式, (3) 式, (6) 式, (9) 式, (10) 式を代入して, 暖房熱  $H$  について整理すると, 室温を  $\theta_R$  に保つために必要な暖房熱  $H$  は, 次のようになる。

$$H = K_T \cdot (\theta_R - \theta_O) - (q_R + q_I) \quad (11) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (11) 式)}$$

ただし

$$K_T = K_W \cdot A_W + K_G \cdot A_G + C_P \cdot \rho \cdot V + K_{IW} \cdot A_{IW} \cdot f \quad (12) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (13) 式)}$$

$$q_R = q_{SR} + K_W \cdot A_W \cdot \Delta\theta_W + K_G \cdot A_G \cdot \Delta\theta_G \quad (13) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (14) 式)}$$

ここで,

$K_T$ : \_\_\_\_\_ [W/K] → 室温を外気温に対し 1 K 高く保つために必要な熱量。

Q 値と呼ばれることもある (教科書 p. 62 と配布資料 p. 30 を参照のこと)。

→ 値が小さい程, 熱を逃がしにくい = 断熱性能が良い。

→ 暖房熱  $H$  が与えられている時の室温  $\theta_R$  は, \_\_\_\_\_  $K_T$  によって決まる。

$q_R$ : 日射と夜間放射による室内熱取得 [W]

9) 同様に, 室温  $\theta_R$  について整理すると,

$$\theta_R = \theta_O + \frac{H + q_R + q_I}{K_T} \quad (14) \text{ (教科書 p. 55 の図 2-2 中の (12) 式)}$$

→ 日射熱と内部発熱には暖房効果あり。室温上昇効果は, 熱損失係数  $K_T$  が小さいほど大きい。

ただし

$$K_T = K_W \cdot A_W + K_G \cdot A_G + C_P \cdot \rho \cdot V + K_{IW} \cdot A_{IW} \cdot f \quad (12)$$

$$q_R = q_{SR} + K_W \cdot A_W \cdot \Delta\theta_W + K_G \cdot A_G \cdot \Delta\theta_G \quad (13)$$

ここで,

$K_T$ : 熱損失係数 [W/K] → 室温を外気温に対し 1 K 高く保つために必要な熱量

Q 値と呼ばれることもある (教科書 p. 62 と配布資料 p. 30 を参照のこと)。

熱貫流率が, 壁などの部材を対象としているのに対し, 熱損失係数は, 建物全体を対象に考える。

$q_R$ : 日射と夜間放射による室内熱取得 [W]

### 2. 3 非定常状態の熱平衡と室温（教科書 pp. 55～57）

- ・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1K 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. 55～57 を参照

\*\*\*\*\* メモ \*\*\*\*\*

3. 結露（教科書 pp. 60～62）

3. 1 結露とは（教科書 p. 60）

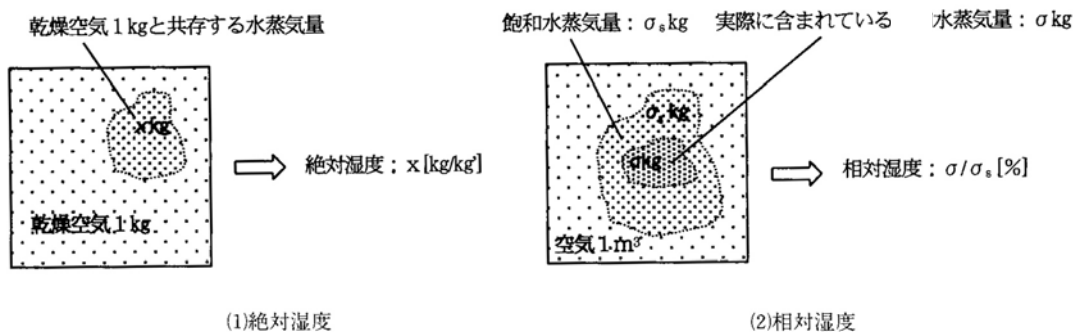


図 絶対湿度と相対湿度

※絶対湿度については、以下のように考えても良い。

$$\text{絶対湿度 [kg/kg(DA)]} = \frac{\text{空気に含まれている水蒸気の質量 [kg]}}{\text{乾燥空気の質量 [kg(DA)]}}$$

ここで、

DA : Dry Air（乾燥空気）

→ [g/kg(DA)] または [g/kg’] などと表すこともある。

結露：室内の空気が、壁面や窓ガラスに触れて冷却されることが原因で、空気中の\_\_\_\_\_が凝縮して露となる現象。

←物体の表面温度が\_\_\_\_\_以下だと、結露を生じる。

→露点温度：空気が飽和状態になったときの温度

→教科書 p. 60 の図 3-1 を参照のこと。



→家の窓で起こる結露も、ビール瓶やコップに付く水分も仕組みは同じ



### 3. 2 結露の種類（教科書 p. 60）

\_\_\_\_\_結露：物体の表面に生じる結露

\_\_\_\_\_結露：壁体や材料の内部で生じる結露

### 3. 3 表面結露の生じやすい場所（教科書 pp. 60～61）

- ・表面温度が他の部位よりも低いところ  
→教科書 p. 61 図 3-2「隅角部」や図 3-3「冷橋」（鉄製間柱では熱が良く逃げる）を参照
- ・暖房を行っている部屋につながる北側の非暖房室  
→教科書 p. 61 本文左側 2 段落目参照

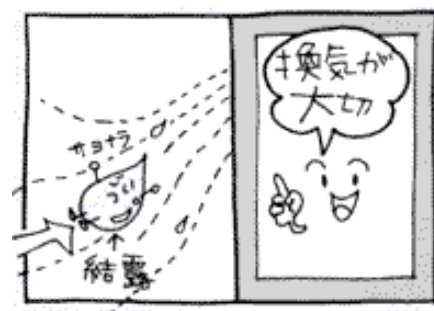
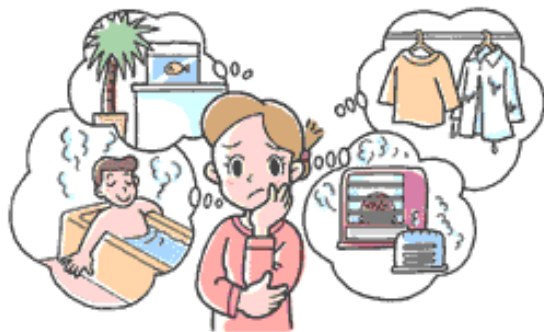
### 3. 4 結露の防止策（教科書 pp. 61～62）

#### （1）表面結露の防止策

- ・室内で発生する\_\_\_\_\_の抑制
- ・\_\_\_\_\_による室内絶対湿度の低下
- ・\_\_\_\_\_強化による室内側表面温度の上昇
- ・直接加熱や気流促進による表面の昇温 など

#### （2）内部結露の防止策

- ・壁体内部への\_\_\_\_\_の侵入防止 など



4. 断熱性能の向上の意義（教科書 pp. 62～63）

4. 1 断熱性能の評価（教科書 p. 62）

断熱性能を評価する項目の一つに\_\_\_\_\_（\_\_\_\_\_ほど建物内部から外へ熱が逃げにくい。もしくは、伝えにくい。）がある。

熱損失係数：室内外の温度差が 1K ある場合、建物内部から外界へ逃げる単位床面積・単位時間当たりの損失熱量で、住宅の壁面，屋根面，床面，窓，扉等の貫流熱量と建物内外を出入りする空気失われる熱量を足したもの。

→今日の講義の前半部分（配布資料 p. 26）も参照

→→熱貫流率が，壁などの部材を対象としているのに対し，熱損失係数は，壁などの熱貫流だけではなく換気などの効果もあわせて建物全体を対象に考える。

→→→「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」（平成 11 年通商産業省・建設省告示第二号）に計算方法が提示されている。

4. 2 断熱性能向上の意義（教科書 pp. 62～63）

(1) \_\_\_\_\_の削減

(2) 立上がり・立下がり特性

同一熱容量の場合，断熱性能を向上させると，短時間で設定室温に到達する（立上がりが早い）。熱損失係数が小さく，到達時間も短いので，立上がり負荷は小さい。また，暖房停止後の室温低下が穏やか（立下がりが穏やか）である。間欠運転でも，室温変動が小さいと言える。

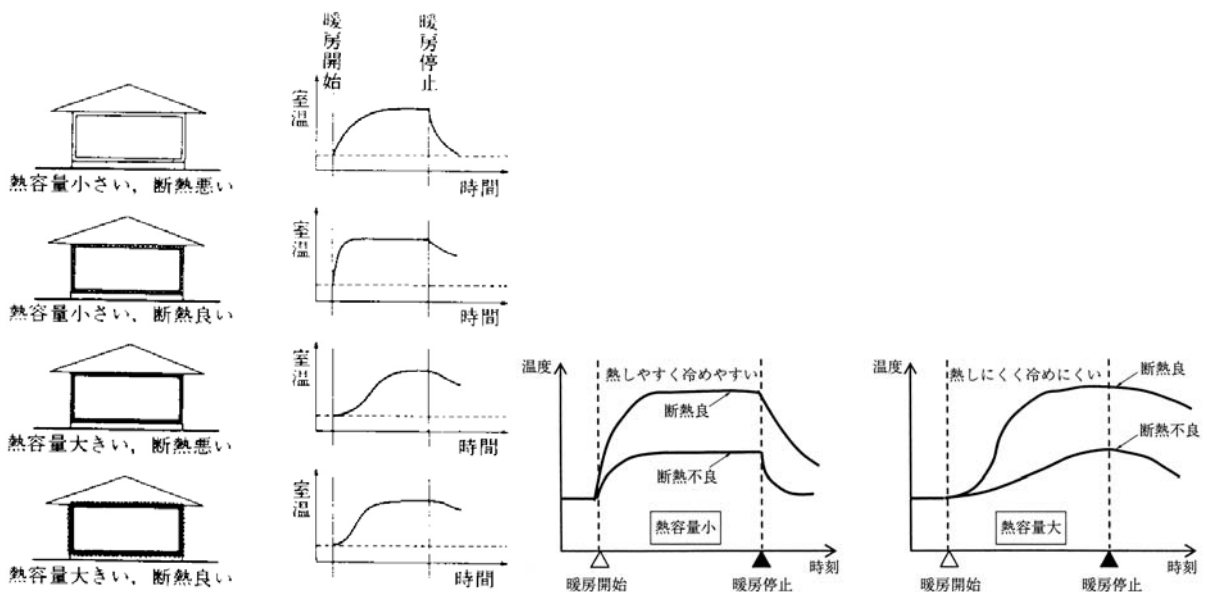


図 断熱性能・熱容量と暖房時の室温変動（教科書 p. 63 の図 3-7，右側は参考文献 [1]，p. 104）

(3) 室内温熱環境向上

高断熱の居室における上下温度差は、通常の断熱施工の居室における上下温度差の半分程度である（教科書 p. 63 の図 3-8 参照）。

また、断熱性を向上させると、室内の気温の変動は外気温の変動よりも小さくなる（下図参照。）

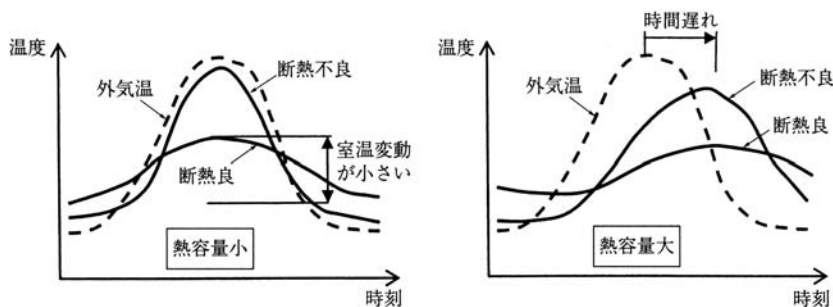


図 断熱性・熱容量と外気温変動時の室温変動（参考文献 [1], p. 104）

5. 高气密化の意義（教科書 pp. 63～64）

高气密：居住者が\_\_\_\_\_と判断したときに\_\_\_\_\_の流入を防止でき、逆に\_\_\_\_\_と感じたときには窓などを開放して積極的に外気を取り入れることが可能な性能。

→窓などを閉鎖している時には、室内空気汚染防止のために適切な\_\_\_\_\_設備を備えること。

- 1) 隙間風を感じない、快適な室内温熱環境の形成
- 2) 断熱材の効果の維持
- 3) 壁体などにおける内部結露の防止
- 4) 計画的な換気
- 5) 汚染外気の流入防止
- 6) 遮音性能の向上
- 7) 窓回りの風鳴り音の防止

6. 参考文献

- [1] 『初学者の建築講座 建築環境工学』（倉淵隆，市ヶ谷出版社，2006年10月，¥2,700+税，ISBN：4-87071-198-2）〔開架2，525.1||Ku 51，0000308131〕

## 7. 参考 URL

[1] 講義資料のダウンロード

<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~m-tsuji/kougi.html/genron.html/setubigen.html>

### ▽次回の講義予定

- |        |   |                          |
|--------|---|--------------------------|
| II 熱環境 | 4 | 環境と人体の熱平衡（教科書 pp. 65～68） |
| II 熱環境 | 5 | 温熱環境の計測（教科書 pp. 69～73）   |
| II 熱環境 | 6 | 温熱環境と設計目標（教科書 pp. 74～77） |