

そのような観点から、私たちの相互研鑽の場として、被服衛生学会の果すべき役割は極めて大きいと思われるのでございます。

そして、このささやかな部会報発刊の試みが、会員皆様の意志疎通のよすがともなり、被服衛生学の進歩にいささかでも寄与できますならばと願って創刊の言葉といたします。

第5回総会招待講演要旨

昭和55年10月10日(金)第5回(部会になり第2回)総会が和洋女子大学で川村一男先生、田村秀子先生のお世話で開催された。その際ご講演賜ったお二人の先生のご講演要旨を次に紹介したい。

被服の保温性の熱工学的な考察

東京農工大学 木下 陸肥路

教科書で、被服の保温性に関する項を読んで、『熱の移動を工学的に取扱えば理解しやすい。多少数学的になるが、演習問題を解かせば、学生は数値的に把握して納得するであろう。』と感じた。被服衛生学会で機会を与えられたので、被服の保温性に関連する項目を工学的な観点から考えてみた。

1. 伝導

1.1 定義と単位

断面形状が一樣で、長さ l 、断面積 S 、両面の温度差 ΔT の物質中を、熱が長さ方向のみに流れるとすれば、流れる熱量 Q は、フェーリエの法則に従って、断面積、温度勾配 $\Delta T/l$ 、時間 t に比例する。即ち

$$Q \propto S \cdot \Delta T / l \cdot t$$

比例定数を λ と置けば、

$$Q = \lambda S \frac{\Delta T}{l} t \quad (1)$$

この比例定数を熱伝導率と定義する、従って熱伝導率は

$$\lambda = \frac{Q}{S \frac{\Delta T}{l} t} \quad (2)$$

で求まる。 Q を k_{cal} 、 S を m^2 、 ΔT を $^{\circ}C$ 、 t を h で測定したとすれば、(2)式に代入して、

$$(\lambda) = \frac{[k_{cal}]'}{[m^2] \frac{[^{\circ}C]}{[m]} [h]} = \left[\frac{k_{cal}}{m^{\circ}C h} \right]$$

熱伝導率の単位が求まる。SI単位では、 Q は J 、 ΔT は K 、 t は s であるから

$$\frac{[J]}{[m^2] \cdot [K] / [m] \cdot [s]} = \left[\frac{J}{m^{\circ}C h} \right] = \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$$

となる。

(1)式を書き換えると

$$Q = \frac{\Delta T S t}{\frac{l}{\lambda}} = \frac{\Delta T \cdot t}{\frac{l}{\lambda S}} \quad (3)$$

分母を R または R_0 と置けば

$$R = \frac{l}{\lambda} \left[\frac{m^{\circ}C h}{k_{cal}} \text{ or } \frac{m^{\circ}K}{W} \right],$$

$$R_0 = \frac{l}{\lambda S} \left[\frac{^{\circ}C h}{k_{cal}} \text{ or } \frac{K}{W} \right]$$

いずれも熱抵抗と呼ばれている。電気系と対比するならば、 R_0 の方がよいが、 R の方が簡単であるから、ここでは R を熱抵抗として用いる。両者を区別して、 R を単位熱抵抗、 R_0 を全熱抵抗と呼ぶこともある。(3)式を抵抗で書き換えると、

$$Q = \frac{\Delta T \cdot S \cdot t}{R} = \frac{\Delta T \cdot t}{R_0} \quad (4)$$

Q を求めるのに、 R を採用すると面積を掛けなければならない。即ち R は単位面積当りの抵抗という意味である。 R_0 は全面積当りの抵抗であるから、面積を掛ける必要はない。

これらの熱抵抗は熱伝導に対する抵抗であるから、熱伝導抵抗と称して、他の熱抵抗と区別することもあるが、一般には単に熱抵抗と呼ばれている。

1.2 多層平面物質の熱伝導

1.2.1 直列

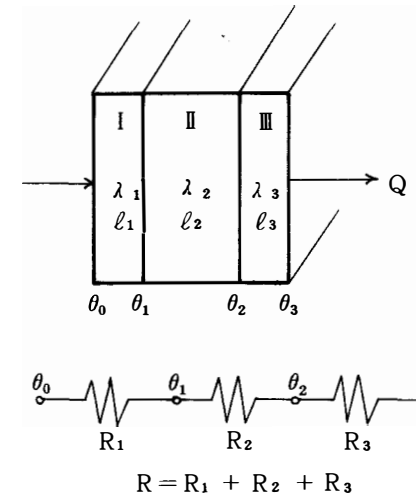


図1 平面物質が n 層直列に重なった場合の熱抵抗($n=3$)

図1のように側面積 S の物質I、II、IIIが直列に接触して、それぞれの熱伝導率 λ_i 、長さ l_i 、熱抵抗を R_i とすれば、移動する熱量 Q は次式で与えられる。

$$Q = \frac{(\theta_0 - \theta_3) S t}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(\theta_0 - \theta_3) S t}{\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3}} = \frac{\Delta T \cdot S \cdot t}{R}$$

多層物質の熱抵抗 R は電気抵抗と同じように、各熱抵抗の和として求まる。 n 層であれば、

$$Q = \frac{\Delta T S t}{R} = \frac{\Delta T S t}{\sum_{i=1}^n R_i} = \frac{(\theta_0 - \theta_n) S t}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i}} \quad (5)$$

ここに θ_0 はI層目の外側表面温度、 θ_n は n 層目の外側表面温度である。

1.2.2 並列

図2のように、長さ l で側面積 S_i 、熱伝導率 λ_i の物質が、重なって置かれているとき、この多層物質を長さの方向に流れる熱量を考えよう。側面積の和を S とすれば、

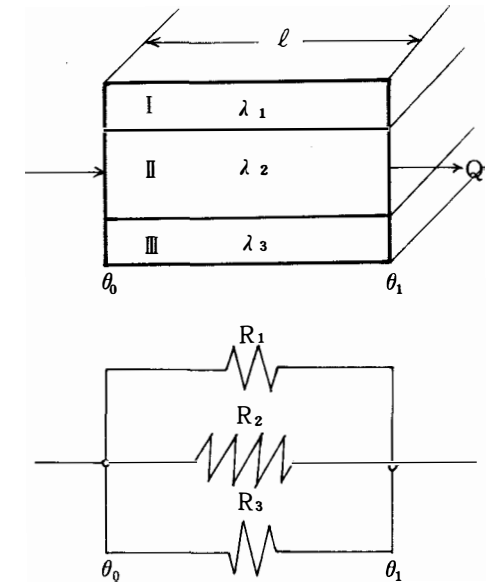


図2 平面物質が n 層並列に重なった場合の熱抵抗($n=3$)

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$1 = S_1/S + S_2/S + S_3/S$$

各物質の側面積比を s_i とすれば

$$1 = s_1 + s_2 + s_3$$

側面積 S_i の物質の熱抵抗は l/λ_i である。電気抵抗は断面積に反比例する。熱抵抗も同じで面積に反比例する。従って面積 S 中の S_i を占める物質の熱抵抗は、 $1/(S_i/S) = 1/s_i$ となる。即ち $l/\lambda_i s_i$ である。

電気抵抗が並列に連結された場合、全抵抗を R とすれば、

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

熱抵抗も同様にして

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{l/\lambda_1 s_1} + \frac{1}{l/\lambda_2 s_2} + \frac{1}{l/\lambda_3 s_3}$$

$$= \frac{\lambda_1 S_1 + \lambda_2 S_2 + \lambda_3 S_3}{\ell}$$

$$\therefore R = \frac{\ell}{\sum_{i=1}^3 \lambda_i S_i}$$

n 層重ねの物質を流れる熱量 Q は、

$$Q = \frac{\Delta T \cdot S \cdot t}{R} = \frac{\Delta T \cdot S \cdot t}{\frac{\ell}{\sum_{i=1}^n \lambda_i S_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i S_i}{\ell} \cdot \Delta T \cdot S \cdot t \quad (6)$$

ここに ΔT は両側面間の温度差($\theta_0 - \theta_1$)である。

1.2.3 直列と並列との比較

側面積 S の平面物質が直列に配列された n 層の長さは $\ell = \ell_1 + \ell_2 + \dots + \ell_n$ 、長さ ℓ の平面物質が n 層積み重ねられた時の側面の全面積は $S = S_1 + S_2 + \dots + S_n$ である。(5)、(6)式を(1)式の形に書けば、

$$\text{直列 } Q_2 = \frac{\ell}{\sum \frac{\ell_i}{\lambda_i}} \cdot \frac{\Delta T}{\ell} \cdot S \cdot t = K_S \frac{\Delta T}{\ell} S t \quad (7)$$

$$\text{並列 } Q_P = \sum \lambda_i S_i \cdot \frac{\Delta T}{\ell} S \cdot t = K_P \frac{\Delta T}{\ell} S t \quad (8)$$

Q_S と Q_P を比較するには、 K_S と K_P とを比較すればよい。結果は、 $K_S < K_P$ であるから、 $Q_S < Q_P$ となる。常に並列に配置した方が、熱の流れが大きい。簡単にするために、 $n=2$ について証明する。

$$K_S = \frac{\ell}{\frac{\ell_1}{\lambda_1} + \frac{\ell_2}{\lambda_2}} = \frac{\ell S}{\frac{\ell_1 S}{\lambda_1} + \frac{\ell_2 S}{\lambda_2}} = \frac{V}{\frac{V_1}{\lambda_1} + \frac{V_2}{\lambda_2}}$$

$$= \frac{V \lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 V_1 + \lambda_1 V_2} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 \frac{V_1}{V} + \lambda_1 \frac{V_2}{V}}$$

$$= \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 v_1 + \lambda_1 v_2}$$

ここに、 S は側面の面積、 V_i は物質 i の体積、 V は全体積、 v_i は体積比である。

$$K_P = \lambda_1 S_1 + \lambda_2 S_2 = \lambda_1 \frac{S_1 \ell}{S} + \lambda_2 \frac{S_2 \ell}{S} = \lambda_1 \frac{S_1 \ell}{S \ell} + \lambda_2 \frac{S_2 \ell}{S \ell} = \lambda_1 \frac{V_1}{V} + \lambda_2 \frac{V_2}{V} = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2$$

$$K_P - K_S = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 - \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 v_1 + \lambda_1 v_2}$$

$$= \frac{(\lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2)(\lambda_2 v_1 + \lambda_1 v_2) - \lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 v_1 + \lambda_1 v_2}$$

$$\text{分子} = \lambda_1 \lambda_2 v_1^2 + \lambda_1^2 v_1 v_2 + \lambda_2^2 v_1 v_2 + \lambda_1 \lambda_2 v_2^2 - \lambda_1 \lambda_2$$

$$= \lambda_1 \lambda_2 (v_1^2 + v_2^2) + (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) v_1 v_2 - \lambda_1 \lambda_2$$

$$= (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) v_1 v_2 + \lambda_1 \lambda_2 (v_1^2 + v_2^2 - 1)$$

$$= (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) v_1 (1 - v_1) + \lambda_1 \lambda_2 \{v_1^2 + (1 - v_1)^2 - 1\}$$

$$= (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) (v_1 - v_1^2) + \lambda_1 \lambda_2 (2v_1^2 - 2v_1)$$

$$= (\lambda_1^2 + \lambda_2^2) (v_1 - v_1^2) - 2\lambda_1 \lambda_2 (v_1 - v_1^2)$$

$$= (v_1 - v_1^2) (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 - 2\lambda_1 \lambda_2)$$

$$= v_1 (1 - v_1) (\lambda_1 - \lambda_2)^2$$

$$= v_1 v_2 (\lambda_1 - \lambda_2)^2$$

$$K_P - K_S = \frac{v_1 v_2 (\lambda_1 - \lambda_2)^2}{\lambda_1 v_2 + \lambda_2 v_1} > 0$$

$$\therefore \lambda_1 \neq \lambda_2$$

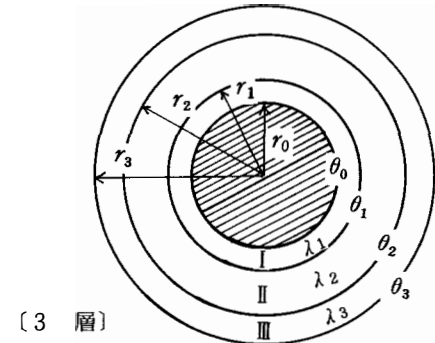
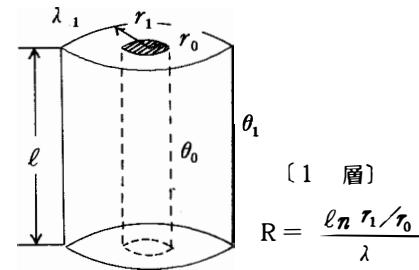
1.3 円筒物質の熱伝導

図3に示すように、内半径 r_0 、その面(内面)の温度 θ_0 、外半径 r_1 、その面(外面)の温度 θ_1 、高さ ℓ の円筒物質中を、熱が半径方向に一様に流れるとき、熱量 Q は次式で求まる。

$$Q = \lambda \frac{\theta_0 - \theta_1}{\ell n \frac{r_1}{r_0}} 2\pi \ell t \quad (9)$$

λ は物質の熱伝導率、 ℓn は自然対数である。

(9)式を変形すれば



$$R = \frac{\ell n r_1 / r_0}{\lambda_1} + \frac{\ell n r_2 / r_1}{\lambda_2} + \frac{\ell n r_3 / r_2}{\lambda_3}$$

図3 円筒物質の熱抵抗

$$Q = \frac{\Delta T 2\pi \ell t}{\left(\frac{\ell n r_1 / r_0}{\lambda}\right) R} = \frac{\Delta T \cdot 2\pi \ell t}{R} \quad (10)$$

$(\ell n r_1 / r_0) / \lambda$ を熱抵抗と考えて R と置いた。 $\ell n r_1 / r_0 = \ell n r_1 - \ell n r_0$ であるから、半径の対数の差が、厚さに対応しているため、 ℓ / λ と同じ考え方である。円筒物質が重なれば、直列配置であるから、熱抵抗は、平面物質の場合と対比して、それぞれの和と書き下せる。 $n=3$ の場合は、

$$Q = \frac{(\theta_0 - \theta_3) 2\pi \ell t}{\frac{\ell n (r_1 / r_0)}{\lambda_1} + \frac{\ell n (r_2 / r_1)}{\lambda_2} + \frac{\ell n (r_3 / r_2)}{\lambda_3}}$$

円筒に巻く物質の厚さを d_1, d_2, d_3 とすれば、 $r_1 = r_0 + d_1$ 、 $r_2 = r_0 + d_1 + d_2$ 、 $r_3 = r_0 + d_1 + d_2 + d_3$ である。

n 層の場合は、

$$Q = \frac{\Delta T 2\pi \ell t}{\sum_{i=0}^n \frac{1}{\lambda_{i+1}} \ell n \frac{r_{i+1}}{r_i}} \quad (11)$$

ΔT は最内層と最外層の温度差($\theta_0 - \theta_n$)である。

1.4 球物質の熱伝導

半径 r_0 、表面温度 θ_0 の球を、熱伝導率 λ の物質でおおい、半径が r_1 となり、その表面温度が θ_1 とすれば、物質を流れる熱量 Q は

$$Q = \frac{\lambda (\theta_0 - \theta_1) 4\pi t}{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1}} = \frac{\Delta T 4\pi t}{\left(\frac{r_1 - r_0}{r_0 r_1}\right) \lambda} = \frac{\Delta T 4\pi t}{R} \quad (12)$$

上式は $(r_1 - r_0) / r_0 r_1 \lambda$ を熱抵抗 R としている。熱伝導 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ の物質で半径 r_0 の球をおおって、それぞれの物質の表面までの半径を r_1, r_2, r_3 とすれば、球と最外層との温度を $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3$ とすれば、物質を通して流れる熱量 Q は、熱抵抗を考えて次のように書き下せる。

$$Q = \frac{(\theta_0 - \theta_3) 4\pi t}{\frac{(r_1 - r_0) / r_0 r_1}{\lambda_1} + \frac{(r_2 - r_1) / r_1 r_2}{\lambda_2} + \frac{(r_3 - r_2) / r_2 r_3}{\lambda_3}}$$

n 層の場合、球面と最外層の温度差を ΔT 、各層の熱伝導率を λ_i 、各層の外側までの半径を r_i とすれば、移動する熱量 Q は次式のようになる。

$$Q = \frac{\Delta T 4\pi t}{\sum_{i=0}^n \frac{(r_{i+1} - r_i) / r_i r_{i+1}}{\lambda_{i+1}}} \quad (13)$$

このように熱抵抗の考え方を導入すると、熱伝導によって移動する熱量の式は簡単に書き下すことができる。(11)、(13)式をまともに計算すると、 $n=2$ でもかなり大変である。

1.5 形状を異にする物質の熱伝導の比較

1.5.1 平面と円筒面

平面と円筒側面との同じ面積 S を、熱伝導率 λ 、厚さ d の物質でおおうと、平面の熱伝導率

Q_{pl} は、(1)式より

$$Q_{pl} = \frac{\lambda \Delta T S t}{d} \quad (14)$$

円筒の高さ h 、半径 r とすれば、円筒面の熱伝導量 Q_c は、(9)式より

$$Q_c = \frac{\lambda \Delta T 2 \pi h t}{\ln\left(\frac{r+d}{r}\right)} = \frac{\lambda \Delta T S t}{r \ln\left(\frac{r+d}{r}\right)} \quad (15)$$

(14)と(15)式は、温度差 ΔT が同じならば、分子も同じになる。 Q_{pl} と Q_c の比較は、分母の比較でよい。人体の部位を布でおおうことを想定すれば、 $d \ll r$ であるから、

$$\begin{aligned} \ln\left(1 + \frac{d}{r}\right) &= \frac{d}{r} - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{r}\right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{d}{r}\right)^3 - \\ &\quad \frac{1}{4} \left(\frac{d}{r}\right)^4 + \frac{1}{5} \left(\frac{d}{r}\right)^5 - \dots \quad (16) \\ &= \frac{d}{r} - \left(\frac{d}{r}\right) \left(\frac{1}{2} - \frac{d}{3r}\right) - \\ &\quad \left(\frac{d}{r}\right) \left(\frac{1}{4} - \frac{d}{5r}\right) - \dots \end{aligned}$$

両辺に r を掛ければ、

$$\begin{aligned} r \ln\left(\frac{r+d}{r}\right) &= d - \left\{ \frac{d^2}{r} \left(\frac{1}{2} - \frac{d}{3r}\right) + \right. \\ &\quad \left. \frac{d^3}{r^2} \left(\frac{1}{4} - \frac{d}{5r}\right) + \dots \right\} \end{aligned}$$

従って

$$d > r \ln\left(\frac{r+d}{r}\right)$$

円筒側面の熱伝導量 Q_c は平面の熱伝導量 Q_{pl} より大きい。

(15)式を変形すれば、

$$q_c = \frac{Q_c}{S t} = \frac{\lambda \Delta T}{r \ln\left(\frac{r+d}{r}\right)} \left[\frac{k_{cal}}{m^2 h} \right] \quad (17)$$

上式は円筒側面での単位面積当り、単位時間流れる熱量である。分母を y と置き、 r で微分すれば、

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dr} &= \ln\left(1 + \frac{d}{r}\right) - \frac{d}{r+d} = \ln\left(1 + \frac{d}{r}\right) - \\ &\quad \frac{d}{r} \frac{1}{\left(1 + \frac{d}{r}\right)} = \frac{d}{r} - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{r}\right)^2 - \frac{d}{r} \left(1 + \frac{d}{r}\right)^{-1} \\ &= \frac{d}{r} - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{r}\right)^2 - \frac{d}{r} \left(\frac{d}{r}\right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{r}\right)^2 > 0 \end{aligned}$$

即ち(17)式の分母は r を変数にとれば、増加関数である。従って r が大きくなれば、 q_c は減少する。換言すれば、細い円筒面の方が、単位面積当りの熱移動が大きい。

1.5.2 平面と球面

表面積 S の球面 (半径 $r = \sqrt{S/4\pi}$) を熱伝導率入、厚さ d の物質でおおった時の熱伝導量は、(12)式より、

$$\begin{aligned} Q_{sp} &= \frac{\lambda \Delta T 4 \pi t}{d} = \frac{\lambda \Delta T 4 \pi r^2 t}{r (r+d)} = \frac{\lambda \Delta T S t}{r (r+d)} \\ &= \frac{\lambda \Delta T S t}{d} \frac{1+d/r}{1+r/r} \quad (18) \end{aligned}$$

平面の(14)式と比べれば、明らかに $Q_{sp} > Q_{pl}$ である。

1.5.3 円筒面と球面

表面積 S の球の半径を r_s 、円筒側面面積 S の円筒半径を r_c とすれば、(15)、(18)式より、 $Q_c = Q_{sp}$ なる条件は、

$$r_c \ln\left(1 + \frac{d}{r_c}\right) = \frac{r_s d}{r_s + d} \quad (19)$$

(19)式の展開で第3項までとれば、

$$\begin{aligned} r_c \ln\left(1 + \frac{d}{r_c}\right) &= r_c \cdot \frac{d}{r_c} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{d}{r_c} + \frac{1}{3} \frac{d^2}{r_c^2}\right) \\ &= d \left(1 - \frac{1}{2} \frac{d}{r_c} + \frac{1}{3} \frac{d^2}{r_c^2}\right) \end{aligned}$$

一方、 $r_s = \sqrt{S/4\pi}$ であるから、(19)式は

$$d \left(1 - \frac{1}{2} \frac{d}{r_c} + \frac{1}{3} \frac{d^2}{r_c^2}\right) = \frac{\sqrt{S/4\pi} \cdot d}{\sqrt{S/4\pi} + d}$$

$x = d/r_c$ と置けば、

$$\begin{aligned} 1 - \frac{1}{2} x + \frac{1}{3} x^2 &= \frac{\sqrt{S/4\pi}}{\sqrt{S/4\pi} + d} \\ \frac{1}{3} x^2 - \frac{1}{2} x + 1 &= \frac{\sqrt{S/4\pi}}{\sqrt{S/4\pi} + d} = 0 \\ x^2 - 1.5x + \frac{3d}{\sqrt{S/4\pi} + d} &= 0 \quad (20) \end{aligned}$$

d と S を与えれば、(20)式は解ける。 $0 < x < 1$ なる根が d/r_c であるから、 r_c が求まる。 $S = 15000 \text{ cm}^2$ 、 $d = 0.100 \text{ cm}$ とすれば、 $r_s = \{15000 / (4 \times 3.1416)\}^{1/2} = 34.6 \text{ cm}$ 、 $x = 0.00580$ 、 $r_c = \frac{0.100}{0.00580} = 17.3 \text{ cm}$ である。

従って、 $r_c = 17.3 \text{ cm}$ で $Q_c = Q_{sp}$

$$r_c < 17.3 \text{ cm} \text{ で } Q_c > Q_{sp}$$

$$r_c > 17.3 \text{ cm} \text{ で } Q_c < Q_{sp}$$

となる。 $r_c = 17.3 \text{ cm}$ の円筒の高さは $h = 13.8 \text{ cm}$ である。1.5.1 でみたように、円筒の半径が小さくなれば Q_c は大きく、半径が大きくなれば Q_c は小さくなるので、 $r_c = 17.3 \text{ cm}$ で丁度 $Q_c = Q_{sp}$ となる。

2. 放射

2.1 放射の法則

物体が電磁波の形でエネルギーを放出したり、吸収したりする現象を放射という。物体からの放射にはいろいろの波長のものが含まれており、 $\lambda \sim \lambda + d\lambda$ の範囲に含まれるエネルギーを $E_\lambda d\lambda$ とすれば、単位面積、単位時間当り放出する放射エネルギー E は

$$E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda \quad (21)$$

である。ここに E_λ を単色放射能といい、波長 λ の関数である。 E を放射能 (Emissive power) という。

表面に到達する放射エネルギーをすべて完全に吸収する物体を黒体という。絶対温度 T [K] の黒体が放射する単色放射能 E_λ を(21)式に入れて、全波長について積分すると、ステーフアン

・ボルツマンの法則と呼ばれる次の関係式をうる。

$$E = \sigma T^4 \quad (22)$$

即ち、黒体の放射能 (放射エネルギー) は、絶対温度の4乗に比例して変化する。比例定数 σ をステーフアン・ボルツマン定数と呼び、その値は次の通りである。

$$\begin{aligned} \sigma &= 4.88 \times 10^{-8} \left[\frac{k_{cal}}{m^2 h K^4} \right] \\ &= 5.67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right] \end{aligned}$$

一般の物体は、表面に到達した放射エネルギーの一部を吸収し、残りを反射する。黒体に対して一般物体を灰色体と呼ぶ。灰色体にもステーフアン・ボルツマンの法則が適用でき、その放射能 E' は、

$$E' = \sigma' T^4 \quad (23)$$

σ' を放射係数 (Radiation coefficient) と称するが、物体と同じ温度の黒体放射を基準にとり、それに対する割合で表示した方が便利である。即ち、

$$\frac{E'}{E} = \frac{\sigma'}{\sigma} \equiv \epsilon$$

この比 ϵ を放射率 (Emissivity) と名づける。放射率を用いれば、(23)式は

$$E' = \epsilon \sigma T^4 \quad (24)$$

となる。放射能、放射係数、放射率は日本語では紛らわしいので英語を付記した。

灰色体の表面に、放射エネルギー E_0 が到達して、その中 E_A が吸収され、残り ($E_0 - E_A$) が反射されたとすれば、 E_A/E_0 を α で表示し吸収率と定義する。反射率は $(E_0 - E_A)/E_0 = (1 - \alpha)$ である。

キリヒホッフの法則によれば、温度が等しければ、物体の吸収率と放射率とは同じ値をとる。

2.1 放射伝熱

温度が異なる物体が相対して置かれた時、両物体から放射エネルギーが放出される。互に吸

収、反射を繰返ししながら、物体間を熱が移行する。物体が吸収した熱放射エネルギーの総和を比較すると、その結果として、高温物体から低温物体へ熱エネルギーが移動したことになる。

今、高温物体1の表面を低温物体2の表面が、完全にとりかこんでいる場合、放射熱交換の結果、物体1から物体2へ移動した熱量 Q_{12} は次式で示される。

$$Q_{12} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4) S_1 t}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} \quad (24)$$

ここに、 S_i は物体の表面積、 T_i は表面の絶対温度、 ϵ_i は物体の放射率、 t は時間である。 σ の値は、 Q_{12} 、 S 、 t の単位に揃える。

S_1 が S_2 に比べて非常に小さいとすると、 $S_1/S_2 \approx 0$ とみなせる。この場合は、 $Q_{12} = \epsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) S_1 t$ となる。室内にいる人体は、この例と考えられる。布の放射率は、 $\epsilon = 0.90$ 程度であるから、この値を用いれば、室内における放射熱量を計算できる。

3. 熱伝達

3.1 定義

流体とそれに接する固体表面との間の熱交換を熱伝達という。図4に示すように、温度 θ_{s1} の固体表面が、温度 θ_{fu} の流体に接していると流体と固体表面との温度差 $(\theta_{fu} - \theta_{s1})$ が駆動力になって、流体から固体に熱が流入する。表面積を S とすれば t 時間に流入する熱量 Q_{fs} は、温度差、面積、時間に比例する。比例定数を α と置けば、

$$Q_{fs} = \alpha (\theta_{fu} - \theta_{s1}) S t \quad (25)$$

固体表面温度 θ_{s2} が流体温度 θ_{fl} より高ければ、固体から流体に熱が流出する。流出する熱量 Q_{sf} も同様に、

$$Q_{sf} = \alpha' (\theta_{s2} - \theta_{fl}) S t \quad (26)$$

と書ける。これらの比例定数を熱伝導率と呼ぶ。熱量を k_{cal} 、温度を $^{\circ}C$ 、面積を m^2 、時間を h に

とれば、熱伝導率の単位は $[k_{cal}/m^2 \cdot ^{\circ}C \cdot h]$ となる。 α の逆数を熱伝達抵抗 R_t $[m^2 \cdot ^{\circ}C \cdot h / k_{cal}]$ という。熱伝達率 α は流体の物質だけではきまらず、そこに生じる対流によって大きく影響される。温度差 ΔT のとき熱伝達による伝熱量 Q_t は、一般に次のように書ける。

$$Q_t = \alpha \Delta T \cdot S t = \frac{\Delta T S t}{R_t} \quad (27)$$

3.2 熱貫流

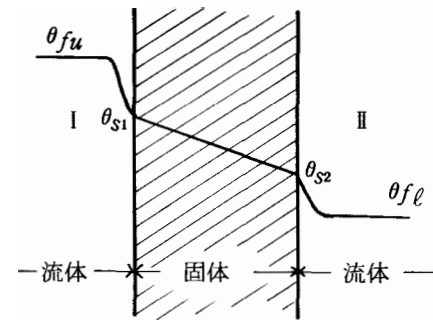


図4 固体が流体に接するときの温度分布

図4において、流体Iから流体IIへの熱移動は、伝達—伝導—伝達の3段階で行なわれる。1と3段階目は、(25)、(26)式である。伝導は、固体の熱伝導率を入、厚さを l として、(1)式より

$$Q_{cd} = \lambda S \frac{\theta_{s1} - \theta_{s2}}{l} t$$

これら3式の Q_{fs} 、 Q_{cd} 、 Q_{sf} は定常状態であれば、すべて等しいから Q とおき、3式より θ_{s1} 、 θ_{s2} を消去して整理すれば

$$Q = \frac{(\theta_{fu} - \theta_{fl}) S t}{\frac{1}{\alpha} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha'}} \quad (28)$$

これは、流体Iから固体を貫通して流体IIへ移動した熱量であるから、この熱移動を熱貫流という。ここで、

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha'}}$$

と置けば、(28)式は

$$Q = k (\theta_{fu} - \theta_{fl}) S t \quad (29)$$

と書ける。この k を熱貫流率といい、その逆数を熱貫流抵抗という。この抵抗を R_k で表わすと

$$R_k = \frac{1}{\alpha} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha'} = R_t + R_c + R_t'$$

ここに、 R_t は流体I側の熱伝達抵抗、 R_c は固体の熱伝導抵抗、 R_t' は流体II側の熱伝達抵抗である。流体間の温度差を ΔT とすれば、

$$Q = \frac{\Delta T S t}{R_k} \quad (30)$$

と書ける。流体にはさまれた物体は多層体でも同じで、多層体の熱伝導抵抗を R_c と置き換えればよい。例えば(5)式の熱抵抗であれば、

$$R_c = \sum_{i=1}^n R_i$$

基礎的な事項を解説しただけで、予定の枚数に達してしまいました。標題にそぐわない内容で恐縮しています。予定では、被服の保温性に関係する項目を、モデルを考えて演習問題を作り、例題として加えるつもりでした。熱伝達については、 cl_0 値を工学的に考えてみたいと思いましたが、残念ながら果せません。なお、本文について、ご批評いただければ幸に存じます。

新生児の体温調節

昭和大学 奥山和男

低出生体重児の養護に際して保温が極めて重要であり、低温環境で保育されると死亡率が高いことが知られて以来、新生児の体温調節についての関心が高まり、活発な研究が行なわれている。今回は新生児の体温調節機構、至適環境温度、臨床的な保温の実際について、文献ならびにわれわれの研究に基いて概説したい。

(1) 新生児の熱産生

熱産生は直接的に測定する方法もあるが、ふつう間接的測定法によって研究されている。間接的測定には、酸素消費量の測定を利用

する方法と、不感蒸泄による体重減少量の測定を利用する方法が一般的である。満期成熟児の酸素消費量は生後数日間上昇し続ける。未熟児の体重当りの酸素消費量は成熟児に比べると低い傾向にあるが、新生児期後期も増加を続け、成熟児を凌ぐようになる。

(2) 熱喪失

体表からの熱の喪失は、輻射、対流、蒸発、伝導の4つの径路によって行われる。ふつうの保育条件では、伝導による熱の喪失はわずかであり、輻射と対流による熱喪失が大部分を占める。環境温が高い場合は蒸発による熱喪失が増加する。

(3) 寒冷に対する反応

寒冷に対して皮膚血管を収縮させて血流量を減少させる。皮膚血管の収縮は、成熟児にも未熟児にもみられる。

環境温が中性温度以下に低下すると、新生児は熱産生を増加させる。熱産生を増加させる機構は、年長児や成人と異なり *non-shivering thermogenesis* の果す役割が大きい。*non-shivering thermogenesis* は褐色脂肪組織で行なわれるが褐色脂肪細胞の分解はノルアドレナリンによって刺激されることが知られている。

(4) 熱に対する反応

熱に対して四肢の血管が拡張して血流は増加する。さらに発汗がおこってくる。成熟児は出生直後から発汗機能があり、生後日数とともに発汗の閾値は低下する。未熟児では発汗機能は未発達であると考えられる。

(5) 分娩室における保温

新生児は出生と同時に初めての寒冷刺激にさらされる。出生直後の新生児の皮膚は羊水で湿っているので、特に蒸発による熱喪失は大きく、出生後30分間に深部体温が $2 \sim 3^{\circ}C$ 低下することもまれではない。この体温低下は、乾いたタオルで皮膚の湿気を取り、暖めた毛布で包むか、あるいは輻射熱による保温

器の下におくことにより、かなりの程度に防ぐことが出来る。

(6) 保育室における保温

a 至適温度：未熟児や病気の新生児は中性温度環境で保育することが望ましい。

Bruckは、新生児の中性温度環境は32～34℃と述べているが、これは湿度50%、室温と壁温に差のない特殊な部屋における温度であって、これを日常使用している保育器の器内温にそのまま適用することは出来ない。Hey and Katzは新生児の至適環境温を報告しているが、われわれはこれを参考にして、新生児の保育温度をTable 1のように定めている。

日令 生下時体重	0	10	20	30
1500g以下	35	34	33	32
1500～2500g	34	33	32	31
2500g以上	33	32	31	

Table 1. Incubator temperature settings for term and preterm infants.

b 保育器による保温：現在広く用いられている保育器は強制換気式保育器と呼ばれ、対流による熱喪失を防ぐことによって保温をはかる型式である。保育器内温度はTable 1に従ってセットされるが、保育器の亚克力製のフードが冷い場合は、裸体の新生児の皮膚から放射による熱喪失がおこる。保育室の温度が低いとフード壁の温度が低下するので注意を要する。放射による熱喪失は保育器内の新生児に亚克力製のかまぼこ型のフードをかぶせることによって少くすることが出来る。

新生児の腹壁皮膚温が36℃～36.5℃のときに酸素消費量が最低であったという報告に基き、腹壁皮膚温をこの範囲に維持するように自動的に器内温が調節されるサー

ボコントロール保育器が開発され、普及している。サーボコントロールの保育器は至適環境温を作り出すのに優れていると考えられる。

未熟児の中枢深部温と末梢深部温を戸川らによって実用化された深部体温計を用いて測定してみると、1500g以下の極小未熟児ではTable 1のように保育器内温度を定めた場合には、末梢深部温は中枢深部温よりも約3℃も低いことがわかった。サーボコントロール方式の保育器では中枢深部温と末梢深部温の差は少なかった。中枢と末梢の深部温の差が大きいたときは、保育器内の温度は中性温度にあるとはいえないと思われる。至適温度について、今後熱産生を測定することによって検討したいと考えている。

c 放射熱保温器による保温：低エネルギーの放射熱によって保温する放射式保温器が新生児のインテンシブケアのときに用いられている。放射熱保温器は、新生児に監視装置やレスピレーターを装着しているときや蘇生術や交換輸血を行うときには便利である。

いっぽう、感染の危険を増すこと、不感蒸泄を増加させることなどの欠点がある。

d コットによる保温：補助熱源なしに体温を維持できる場合は、着物を着せ、コットに入れて保育する。コット保育の場合は環境温の安全域が大きい。

(7) 新生児寒冷障害

寒冷に長時間さらされると著しい低体温となり、嗜眠、哺乳力消失、浮腫、顔面潮紅、徐脈、代謝性アンドーシス、低血糖などを来す。

〔研究室紹介〕その1－同志社女子大学家政学部家政学科被服学教室

馬 杉 一 重

“着衣時の汗の身体冷却効率”の研究を始めて10余年、当初は自分の研究室には何一つ設備がなかったため、わざわざ神戸大医学部衛生学教室まで出かけた。35℃に設定された実験室から出てくると、真夏の暑さも、さわやかに感じられた事を思い出す。次は自転車なら10分で行ける京都市工大の恒温室を利用させていただいた。こちらは標準状態に設置されていたので、逆にかなり着込んでも、寒さが身にしみたのが、いまでは懐かしい。

どちらも快よく使わせて下さり、おかげでモデル実験によるその成果を、ささやかながら学会で発表することができた。

しかし、更に、この種の研究を進めるためには、恒温室ではなくて、恒温恒湿室が、それも出来れば可変型のものが必要である。その上、着用実験もするとすると、どうしても人体天秤が必要である。それも出来れば手許にあればという願いが、次第に強くなっていった。

しかし、被服学科ならまだしも、家政学科で、その一分野にすぎない被服を担当している若輩

の私には夢のような話である。でも欲しかったので、駄目でもともと、ここ10年来、予算期毎に、機会ある毎に請求を出し続けて来た。

おかげでやっと、その必要性が認められ、この願いが、ここ数年の間に次々と叶えられ、それまで実習準備室であった部屋が、今では小さいながら被服衛生学の実験室に变身したのである。丁度、そこへ訪ねて来られたのが登倉先生、まさかと思ってられた所にこうした設備があったのが、驚きだったのでしょうか。頼まれて、このように研究室紹介を書かせていただくようになった次第である。

そのようなわけで、特に目新しい設備とてないが、ただ、人体天秤だけは、これから設置される方には自信をもっておすすめ出来る。これは支点エッジに支えられたビームの左右にプランコ型秤量皿と分銅皿が下がっている下皿天秤で、被検者が秤量皿に腰掛け、分銅皿に、ビームの長さを1：5にすることによって1/5の重さですむようにしてある分銅のをせ、100gまでは送り錘で調節して測定できるようになっている。一般によく用いられている台秤型式の人体天秤よりは、値もかさも多少はるが、支点がただ1ヶであることから、少くとも5ヶの支点を必要とする台秤型式のものとは比べ物にならない感度のよさである。

ここ数年間に設置された主な機器

設 置 期	種 類	性 能	備 考
昭和 53年2月	可変型恒温恒湿室	床面積 2坪 温度範囲 +10～40℃ 湿度範囲 40－80%	富士テスター
53年4月	人体100g天秤	感量 1g	長計量器
55年4月	ウォーケラン	電動可変速	セノー
55年10月	労研式ガス分析器	大 型	柴 田