

## 被服材料の保温性の研究

## その15 保温性測定系における温度変化曲線の理論的考察その2

寺岡 宏 若山 初子

本論文のシリーズにおいては、被服材料の保温性を種々の方法によって測定しその理論的考察を行ってきた。以上の結果、布の保温性には熱貫流の阻害効果的要因と、布自体の熱容量的な要因との二つの要素が作用し、その相互作用の結果として保温性が規定されることを明らかにした。

これらの要因を更に詳細に解明することを目的として、新しく実験系を設定し、この実験系の示す温度変化曲線について理論的考察を行ってきた。すなわち前報<sup>13)</sup>においては実験系に実験材料を設置しない場合（コントロール系）を対象とし、実験系自体のもつ物理的特性としての熱貫流係数や、吸熱効果に関する係数を決定した。また前報<sup>14)</sup>においては、被服材料としてアクリルジャージを用いた場合の温度変化曲線の解析を行なった。この結果かなりの高い近似値度において温度変化を解明することができた。

前報においては高温放熱系の温度変化に関する係数や、低温系の吸熱に関する係数については理論式が実験値に最も近い近似を示すように、計算上仮定された値を用いた。

本論文においては上記の値について系自体の値に、より近づけることを目的として実験を行なった。その結果えられた値を用いて系の温度変化を示す理論式を作った。

## 方 法

実験に用いた設備は前報と同様であるが、低温実験系の内側の側面および底面のマグネットの回転部を除いた部分（低面積  $\times \frac{1}{4}$ ）をウレタンで更に断熱した。保温性測定装置の模式図を図1に示す。

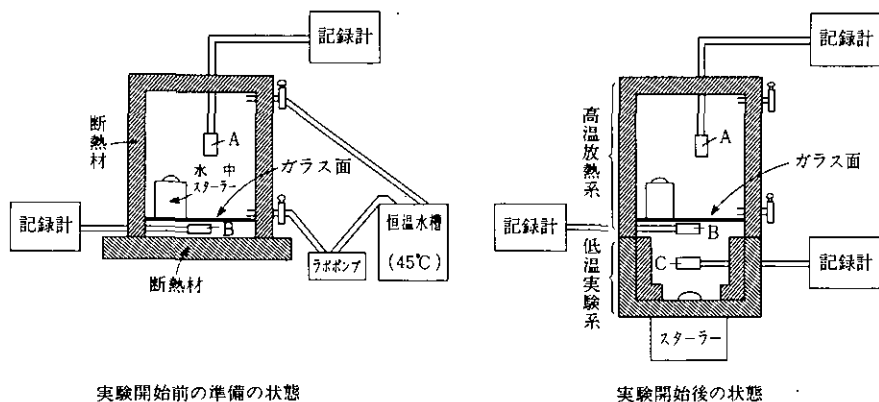


図1 保温性測定装置模式図

(図中 A, B, C は電子温度計感温部を示す)

高温放熱系のガラス容器の中に水中スターラーをセットし断熱材の上ののせ、恒温水槽より45℃の水を循環させた。薄層空間にセットした電子温度計感温部温度(B)が平衡状態に達した時、水の循環を停止し、別に室温条件で用意しておいた低温実験系（中にスターラーを置き空気を攪拌する）

の上に高温放熱系を密着させ、次の3点の温度を記録した。

1. 高温放熱系感温部温度(A)
  2. 薄層空間感温部温度(B)
  3. 低温実験系感温部温度(C)
- } 共に温度変化をフルスケール4℃の記録針で20mm/minの速度で記録させた。

高温放熱系の温度変化を解析するために400分の継続測定を行ない、この感温部の示す記録カーブのもとに高温放熱系温度低下に関する係数を求め、さらにB感温部における温度変化を20秒毎に700秒まで求め、これを理論式による数値計算に用いた。なお本論文に用いた記号を表1に示す。

表1 本考察において用いた記号

記号	説明	記号	説明
$T_a$	高温放熱系の $t=0$ における温度: 44.5℃	$k_\beta$	薄層空間から低温部への熱移動の比例定数
$\beta$	$t=\infty$ における高温放熱系の温度低下量: 20.5℃	$T_\beta$	低温実験系の感温部 $t=0$ における温度: 24℃
$\alpha$	高温放熱系の温度低下に関する係数	$T_m$	熱移動平衡点における $y_0-y$
$k_\alpha$	高温放熱系から薄層空間への熱移動の比例定数	$T$	$t=0$ における感温部(B)-室温: 13.6℃
$y_0$	感温部(B)の $t=0$ における温度: 37.6℃	$C$	実験系の吸熱効果による最大低下温度
$y$	感温部温度	$r$	実験系の吸熱効果に関する係数
$h$	時間の経過に従い $(y_0-y)$ に比例して低下する温度の比例定数		

また表2に本実験における実験条件を示す。

表2 本実験における条件

条件系	室温(℃)	感温部(B)実験開始温度(℃)	感温部(B)平衡点温度(℃)	温度平衡までの所要時間(sec)	高温放熱系実験開始温度(℃)	低温系実験開始温度(℃)	実験終了までの所要時間(min)
コントロール	24.0	37.6	34.25	300.0	44.5	24.0	400.0

モデルにもとづく理論式の数値計算、およびその結果と実験値との比較等は、北海道大学大型計算機センターの計算機を用いた。

なお計算の過程において用いられた各種の係数の単位は、計算式の簡略化のためすべて省略した。

## 結果と考察

### 1. 温度変化曲線について

図2にコントロール実験系のB点における温度変化曲線を示す。

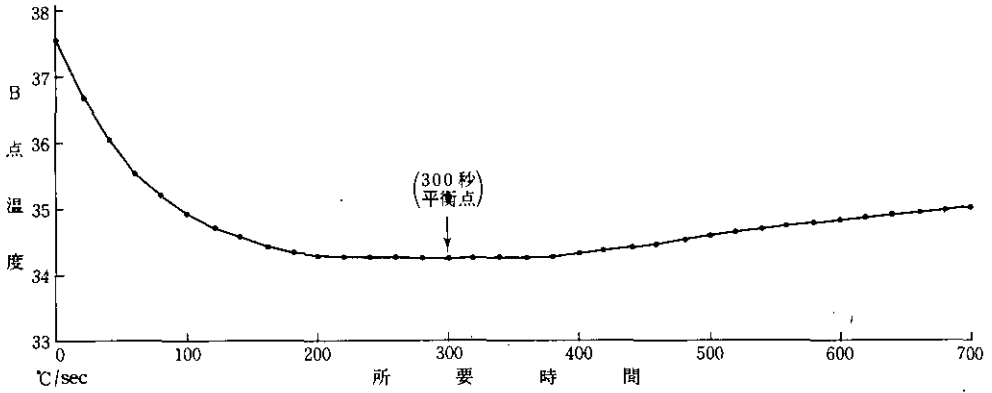


図2 コントロールの温度変化曲線

このカーブの特徴は300秒において平衡点 ( $\frac{dy}{dt}=0$ ) に達し、以後温度上昇を示すことである。なお温度測定精度は0.1℃である。

2. 高温放熱系の温度変化曲線について

図2のカーブを理論的に説明するため、高温放熱系における温度変化曲線を求めた。(図3)

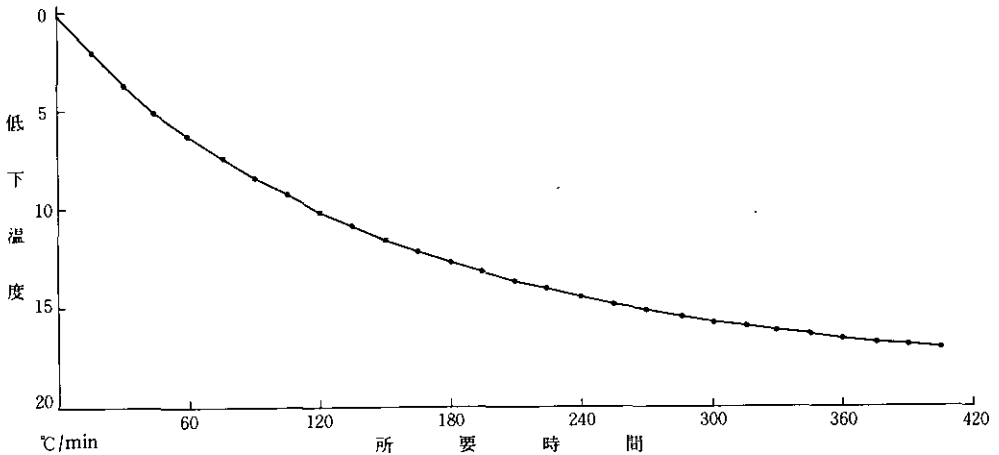


図3 高温放熱系の温度変化曲線

高温放熱系の温度は  $t=\infty$  で  $\beta$ ℃ 低下し室温と等温になるものと考えられる。そしてその温度変化曲線は前報と同様に  $(\beta - \frac{\beta}{e^{\alpha t}})$  に従うものとし、本論文においては更にその温度変化曲線を説明することを試みた。そのためには  $\alpha$  値を実験値に最も近似な値を示す数値に設定する必要がある。前論文の2点における低下温度からの計算により求めた  $\alpha$  値を参考として、 $\alpha=0.0003$  から  $\alpha=0.000087$  にいたる6種類の値を用い、 $(\beta - \frac{\beta}{e^{\alpha t}})$  による温度変化を計算した。その主な値を図4に示す。

図4にみられるように  $\alpha=0.000087$  の値が最も高い近似を示すが、しかし13200秒までは実験値より温度低下が少なく、それ以後においては温度低下が大である。この関係は  $\alpha$  の値を更に変化

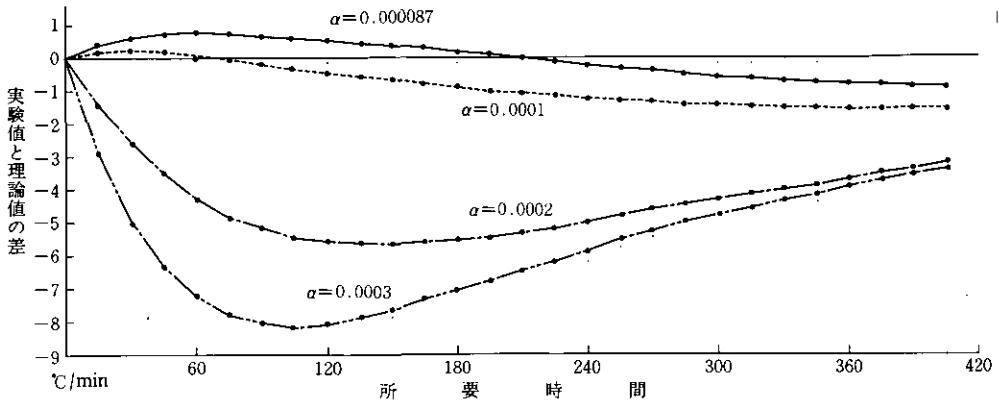


図4 A点温度の実験値と理論値の差

させ、より近い近似を得るように試みた場合にも同様にみられることが予想される。これは  $\alpha$  値を一定に設定することに起因するもので、より近い近似を追求するためには  $\alpha$  値を時間と共に変化させる必要があることが推察される。このため  $\alpha$  に代って  $(\alpha + (k-t)\alpha)$  の式を用いることとし、図4の関係から  $\alpha = 0.000087$ ,  $k = 13200$ ,  $\alpha\alpha = 0.000015/13200 = 0.00000000113$  の値を用いて温度変化を計算した。その結果を図5に示す。

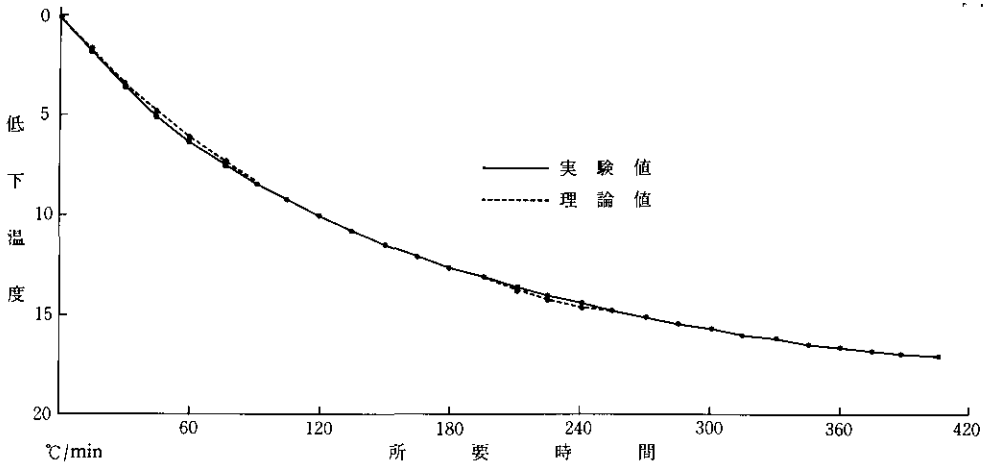


図5 高温放熱系温度変化曲線(実験値と理論値)

以上の結果から高温放熱系における温度変化曲線は  $\left( \beta - \frac{\beta}{e^{(0.000087 + (13200-t) \times 0.00000000113)}} \right)$  を用いることが妥当であることが結論された。なおこの式を用いた場合、 $t = \infty$  においては式の値は  $\beta$  を示さずマイナスの無限大の値を示すことになる。そのためこの式は  $t$  の値が或る程度以上大きくなると使用できなくなる。しかし  $t$  の値が400分程度の場合、この式によって高温放熱系の温度変化を高い近似値において計算することが可能である。

### 3. 温度変化を示す微分方程式

系の温度変化については前報と同様の微分方程式を用いた。すなわち高温部から薄層空間に入る

熱量を  $\Delta y_\alpha$ , 薄層空間から低温部へ放出する熱量を  $\Delta y_\beta$  とするとき, 300 秒の平衡点においては温度変化量  $\Delta y = 0$  から

$$\Delta y_\alpha = \Delta y_\beta \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。

また  $dt$  における温度変化量  $\Delta y$  は

$$\Delta y = k_\alpha \left\{ T_\alpha - \left( \beta - \frac{\beta}{e^{at}} \right) - y \right\} dt - k_\beta \{ T - h(y_0 - y) \} dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

300 秒の平衡点においては

$$k_\alpha \left\{ T_\alpha - \left( \beta - \frac{\beta}{e^{at}} \right) - y \right\} = k_\beta \{ T - h(y_0 - y) \} \quad \text{となる。}$$

それゆえ温度変化曲線から  $y_0 - y = T_m$  とし,  $t = 300$  を 2 式に代入すると

$$k_\alpha \left\{ T_\alpha - \left( \beta - \frac{\beta}{e^{\frac{300a}{\alpha}}} \right) - y \right\} = k_\beta \{ T - h T_m \} \quad \dots\dots\dots (3)$$

3 式から  $h$  を規定する 4 式がえられる。

$$h = \frac{k_\alpha \left\{ T_\alpha - \left( \beta - \frac{\beta}{e^{\frac{300a}{\alpha}}} \right) - y \right\} - k_\beta T}{-k_\beta T_m} \quad \dots\dots\dots (4)$$

2 式において  $dt$  は連続量であり, それゆえ 5 式がえられる。

$$\frac{dy}{dt} = k_\alpha \left( T_\alpha - \beta + \frac{\beta}{e^{at}} - y \right) - k_\beta \{ T - h(y_0 - y) \} \quad \dots\dots\dots (5)$$

5 式の微分方程式の一般解として 6 式がえられる。

$$y = \frac{C_0}{e^{(k_\alpha + k_\beta h)t}} + \frac{k_\alpha T_\alpha - \beta k_\alpha - k_\beta T + k_\beta h y_0}{k_\alpha + k_\beta h} + \frac{\beta k_\alpha}{k_\alpha + k_\beta h - \alpha} \cdot \frac{1}{e^{at}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

6 式における第 2 項  $\frac{k_\alpha T_\alpha - \beta k_\alpha - k_\beta T + k_\beta h y_0}{k_\alpha + k_\beta h}$  は時間に規定されない項で,  $t = \infty$  における  $y$  の値を示す係数となる。ゆえに 7 式の値を示す。

$$\frac{k_\alpha T_\alpha - \beta k_\alpha - k_\beta T + k_\beta h y_0}{k_\alpha + k_\beta h} = -13.6 \quad \dots\dots\dots (7)$$

また  $C_0$  は初期値を決定する積分定数である。それゆえ 6 式から  $C_0 = 13.6 - \frac{\beta \cdot k_\alpha}{k_\alpha + k_\beta h - \alpha}$  がえられる。

6 式に  $T_\alpha = 44.5$ ,  $\beta = 20.5$ ,  $T = 13.6$ ,  $y_0 = 37.6$  の値を代入し,  $k_\alpha$  および  $h$  の値を求め, この係数を 6 式に代入した。さらにこの式に  $t = 300$  の値を代入すると, 6 式は  $k_\beta$  を変数とする温度変化曲線の平衡点温度を示すものとなる。しかし 6 式による計算値は実験系の平衡点である  $-3.35$  の値は示さない。このため温度低下要因を付加する必要性が前報と同様に認められる。

前報と同様に系の吸熱効果を  $\left( C - \frac{C}{e^{\tau t}} \right)$  に従うものとし, この効果を 2 式に代入した。その結果 8 式が導かれる。

$$\frac{dy}{dt} = k_\alpha \left( T_\alpha - \beta + \frac{\beta}{e^{at}} - y \right) - k_\beta \left\{ T - h(y_0 - y) + \left( C - \frac{C}{e^{\tau t}} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

この微分方程式の解として 9 式がえられる。

$$y = \frac{C_0}{e^{(k_\alpha + k_\beta h)t}} + \frac{k_\alpha T_\alpha - \beta k_\alpha - k_\beta T + k_\beta h y_0 - C k_\beta}{k_\alpha + k_\beta h} + \frac{\beta \cdot k_\alpha}{k_\alpha + k_\beta h - \alpha} \cdot \frac{1}{e^{at}} + \frac{C \cdot k_\beta}{k_\alpha + k_\beta h - \tau} \cdot \frac{1}{e^{\tau t}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

さらに9式に系からの吸熱効果による温度減少分  $(C - \frac{C}{e^{rt}})$  の効果を加えた10式を導いた。

$$y = \frac{C_0}{e^{(k_\alpha + k_\beta h)t}} + \frac{k_\alpha T_\alpha - \beta k_\alpha - k_\beta T + k_\beta h y_0 - C k_\beta}{k_\alpha + k_\beta h} + \frac{\beta k_\alpha}{k_\alpha + k_\beta h - \alpha} \cdot \frac{1}{e^{\alpha t}} + \frac{C k_\beta}{k_\alpha + k_\beta h - \gamma} \cdot \frac{1}{e^{\gamma t}} - \left( C - \frac{C}{e^{rt}} \right) \dots\dots\dots (10)$$

10式第2項は  $t = \infty$  における平衡点温度を示すものであり、それゆえ

$$\frac{k_\alpha T_\alpha - \beta k_\alpha - k_\beta T + k_\beta h y_0 - C k_\beta}{k_\alpha + k_\beta h} - C = -13.6 \quad \text{となる。}$$

4. 吸熱効果の温度低下量について

本実験系は前述のように、測定器具にガラス容器を用いそれをウレタンで断熱したものである。高温放熱系においては容器と中の水温とが等温になるために問題を生じないが、低温実験系においては高温系からの熱の移動が行なわれるときに、容器の吸熱を考慮しなければならない必要を生ずる。そのため前報では推察された温度変化曲線に理論式が一致するようにこの係数を設定した。

本論文においては、この系のもつ吸熱の係数(C)を実測することを目的に実験を行なった。すなわち低温実験系のガラスの内側をウレタンで覆った場合と、覆わない場合のB感温部の温度変化を比較した。低温系の中心 28.9 cm<sup>3</sup> の円の部分は、マグネットの回転のためガラス面を残すことが必要である。そのためその外側の部分(図1参照)および側面部分をウレタンで覆った。低温系の底の面積を 1/2, 1/3, 1/4, ウレタンで覆った場合についてこの吸熱効果を比較した。図6に 1/4 被覆の場合の結果を示す。

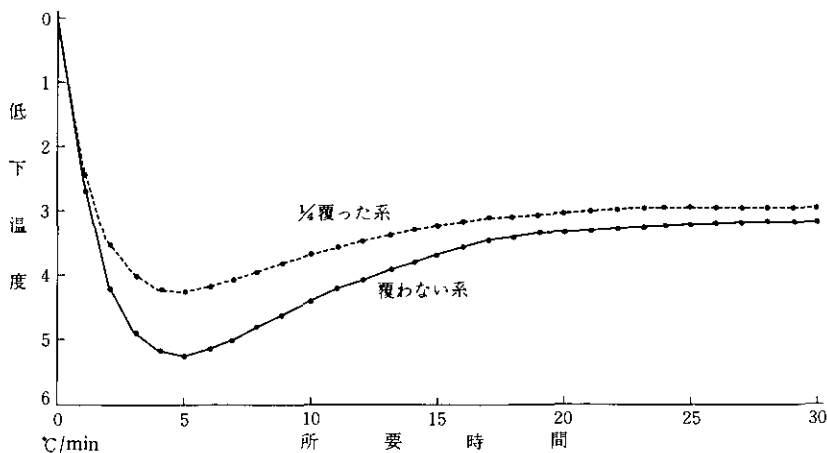


図6 低温系の内側側面部と底面の1/4を覆った場合と覆わない場合のB感温部温度変化

図6から最大の温度低下を示す300秒における二つの系の温度差は1°Cである。ウレタンの熱伝導率は 0.034 kcal/mh°C<sup>3)</sup>, ガラスの値は 0.68 kcal/mh°C<sup>4)</sup> でガラスはウレタンの20倍の値を示す。gをガラスの面からの単位面積当りの300秒における熱の吸収放熱量, g<sub>s</sub>を熱吸収の行なわれるガラス面の面積とし, C = g · g<sub>s</sub> とする。Rをウレタンで覆われたガラス面からの熱放出率とする。図6の結果から

$$(g \cdot g_s) - ((g \cdot g_s \cdot 3/4) + (g/20 \cdot g_s \cdot 1/4) + (1/4 \cdot g \cdot g_s \cdot R)) = 1$$

この式の計算のためには  $R$  値が必要になる。 $R$  値の実測は困難であり 0.1 と仮定した。計算の結果、 $g \cdot g_s$  の値として 4.7 がえられ  $C$  値としてこの値を用いることとした。

10式における  $C_0$  は初期条件設定のための積分定数であり、 $t=0, y=0$  の関係から  $C$  値を 4.7 に設定した場合には

$$C_0 = 8.9 - \frac{\beta k_\alpha}{k_\alpha + k_\beta h - \alpha} - \frac{C k_\beta}{k_\alpha + k_\beta h - \gamma} \quad \text{の値を示す。}$$

5.  $C$  値および  $\gamma$  値と温度変化の関係について

10式における  $\gamma$  の値としては前報13における値、すなわち  $\gamma = 0.0055$  を用いた。さらに平衡点温度  $y = -3.35$  を用い、 $k_\alpha, k_\beta$ 、および  $h$  の値を計算した。なお高温放熱系の係数としては前述の  $\alpha = 0.000087 + ((13200 - t) \cdot (0.000015/13200))$ 、 $\beta = 20.5$  を用いた。その結果を表3に示す。

表3 吸熱効果を用いた場合の  $k_\beta, k_\alpha, h$  の値

$k_\beta$	$k_\alpha$	$h$	300秒における吸熱効果 (°C)
0.0001395	2.2135 $k_\beta$	-1.1726	3.7973

表3の値を10式に代入し、時間の関数としての温度変化式 ( $y = f(t)$ ) を導いた。

$$y = \frac{-137.515}{e^{0.0001452t}} + \frac{0.00633}{(0.0001452 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.57757}{e^{0.0055t}} - 13.6 \quad \dots\dots\dots (11)$$

$y = f(t)$  は実験系 B 点における温度変化量を示す。ゆえに B 点温度  $T_p$  は次の式となる。

$$T_p = 24.0 + \frac{-137.515}{e^{0.0001452t}} + \frac{0.00633}{(0.0001452 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.57757}{e^{0.0055t}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

※ 11, 12式中の  $\alpha = 0.000087 + ((13200 - t) \cdot (0.000015/13200))$

$T_p = f(t)$  の式に  $t$  の値を20秒毎に代入し温度の計算を行ない、同一時間内における実験値と理論値の比較を行なった。図7に各時間における温度を示す。

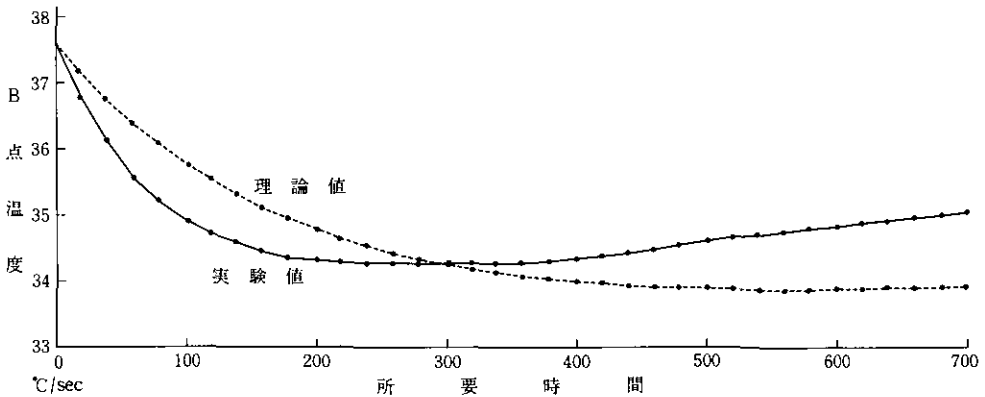


図7 B感温部温度変化曲線(実験値と理論値)

図7の結果から、300秒にいたるまでは理論値の温度低下が小さく、最大で0.86°Cの差を生じており、300秒以降においては理論値の温度低下が大となる。このため系の温度低下速度を平衡点到達以前において増加させ、その後は減少させる操作が必要となる。それゆえ系の温度変化を左

右する因子と考えられる  $C$  値, および  $r$  値を変化させることを試みた。

5-1  $C$  値の変化

$r$  を 0.005 と固定し,  $C$  の値を 4.7, 5.0, 5.5 と変化させた場合,  $k_\alpha, h, k_\beta$  の値は表4の値を示す。

表4  $r = 0.005, C = 4.7, 5.0, 5.5$  の場合の  $k_\alpha, h, k_\beta$  値

$C$	$k_\alpha$	$h$	300秒における吸熱効果	$k_\beta$
4.7	$2.1934 k_\beta$	-1.1584	3.6513	0.0001378
5.0	$2.2194 k_\beta$	-1.1634	3.8843	0.0001388
5.5	$2.2624 k_\beta$	-1.1712	4.2728	0.0001428

またこの3通りの値を用いた理論式は 13, 14, 15 となる。

$C = 4.7$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-143.230}{e^{0.0001427t}} + \frac{0.0062}{(0.0001427 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.5667}{e^{0.005t}} \dots\dots\dots (13)$$

$C = 5.0$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-132.871}{e^{0.0001466t}} + \frac{0.0063}{(0.0001466 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.857}{e^{0.005t}} \dots\dots\dots (14)$$

$C = 5.5$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-114.623}{e^{0.0001559t}} + \frac{0.0066}{(0.0001559 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{5.3379}{e^{0.005t}} \dots\dots\dots (15)$$

理論式による温度変化曲線を図8に示す。

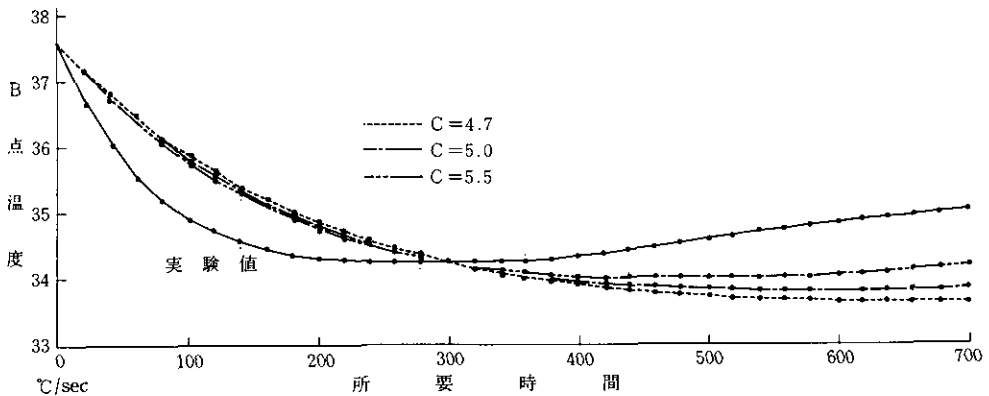


図8  $r = 0.005, C = 4.7, 5.0, 5.5$  を用いたB感温部温度変化曲線

以上の結果から,  $C$  値を変化させても  $r$  値が一定の場合は, 実験値と理論値との差が修正されないことがわかった。

5-2  $r$  値の変化

$C = 4.7$  とし,  $r$  の値を 0.007~0.0105 まで6段階にわたって変化させた場合,  $k_\alpha, h, k_\beta$  の値



は表5の値を示す。

表5 C=4.7  $\gamma = 0.007, 0.008, 0.009, 0.0095, 0.01, 0.0105$   
を用いた場合の  $k_\alpha, h, k_\beta$  値

$\gamma$	$k_\alpha$	$h$	300秒における吸熱効果	$k_\beta$
0.007	2.2585 $k_\beta$	-1.2043	4.1244	0.0001447
0.008	2.2791 $k_\beta$	-1.2190	4.2736	0.0001480
0.009	2.2943 $k_\beta$	-1.2298	4.3841	0.0001509
0.0095	2.3003 $k_\beta$	-1.2339	4.4281	0.0001521
0.01	2.3055 $k_\beta$	-1.2376	4.4660	0.0001533
0.0105	2.3101 $k_\beta$	-1.2409	4.4986	0.0001544

またこの6通りの値を用いた理論式は16, 17, 18, 19, 20, 21となる。

$\gamma = 0.007$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-123.662}{e^{0.0001525t}} + \frac{0.0067}{(0.0001525 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.6007}{e^{0.007t}} \dots\dots\dots (16)$$

$\gamma = 0.008$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-116.96}{e^{0.0001569t}} + \frac{0.0069}{(0.0001569 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.6113}{e^{0.008t}} \dots\dots\dots (17)$$

$\gamma = 0.009$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-111.924}{e^{0.0001607t}} + \frac{0.0071}{(0.0001607 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.6198}{e^{0.009t}} \dots\dots\dots (18)$$

$\gamma = 0.0095$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-110.141}{e^{0.0001622t}} + \frac{0.0072}{(0.0001622 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.6235}{e^{0.0095t}} \dots\dots\dots (19)$$

$\gamma = 0.01$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-108.445}{e^{0.0001637t}} + \frac{0.00724}{(0.0001637 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.6268}{e^{0.01t}} \dots\dots\dots (20)$$

$\gamma = 0.0105$  の場合

$$T_p = 24.0 + \frac{-106.914}{e^{0.0001651t}} + \frac{0.0073}{(0.0001651 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{4.6298}{e^{0.0105t}} \dots\dots\dots (21)$$

理論式による温度変化曲線の主な値を図9に示す。

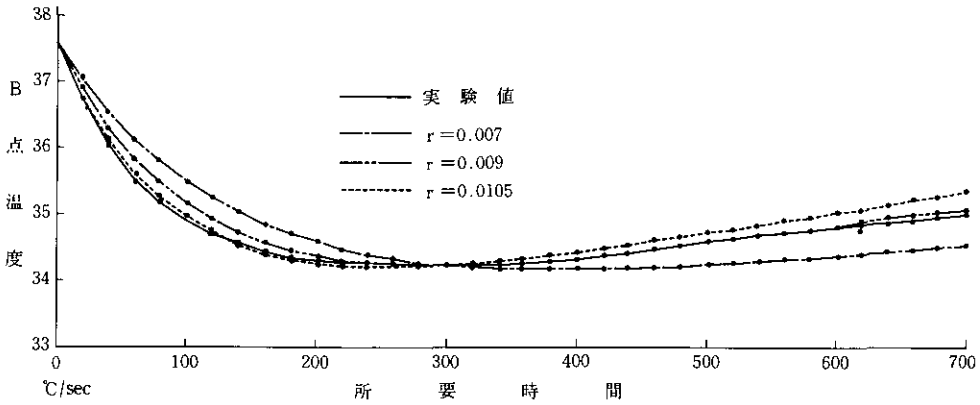


図9 C=4.7 r=0.007, 0.009, 0.0105 を用いたB感温部温度変化曲線

5-3 r 値を時間的に変化させた場合

図9から  $r=0.0105$  が平衡点以前においては実験値に近似な値を示し、平衡点以後の時間においては  $r=0.009$  が最も実験値に近いことが認められる。これは  $r$  値が時間と共に、すなわち系の温度変化にともなって変化しているためと推察できる。それゆえ  $r$  値を変数とする考え方を導入した。 $r=0.011-k \cdot t$  とし、 $k$  の値を次の表6中の6通りのケースに設定し、 $k_a, h, k_p$  の値を計算した。(表6)

表6  $r=0.011-k \cdot t$  を用いた場合の6通りの  $k_a, h, k_p$  値

式番号	k の 値	$k_a$	$h$	300秒における吸熱効果	$k_p$
1	0.00002	$2.1934 k_p$	-1.1584	3.6513	0.0001389
2	0.00001	$2.2791 k_p$	-1.2190	4.2736	0.0001487
3	0.0000066	$2.2943 k_p$	-1.2298	4.3841	0.0001514
4	0.000005	$2.3003 k_p$	-1.2339	4.4281	0.0001525
5	0.000004	$2.3035 k_p$	-1.2361	4.4515	0.0001531
6	0.0000033	$2.3055 k_p$	-1.2376	4.4660	0.0001535

この6通りの値を用いた理論式は22, 23, 24, 25, 26, 27となる。

1 式

$$T_p = 24.0 + \frac{-140.474}{e^{0.0001438t}} + \frac{0.00625}{(0.0001438 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{0.00065}{(0.0001438 - \gamma)e^{\gamma t}} + \frac{4.7}{e^{\gamma t}} \dots\dots\dots (22)$$

2 式

$$T_p = 24.0 + \frac{-115.99}{e^{0.0001576t}} + \frac{0.00695}{(0.0001576 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{0.000699}{(0.0001576 - \gamma)e^{\gamma t}} + \frac{4.7}{e^{\gamma t}} \dots\dots\dots (23)$$

3 式

$$T_p = 24.0 + \frac{-111.468}{e^{0.0001611t}} + \frac{0.00712}{(0.0001611 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{0.000711}{(0.0001611 - \gamma)e^{\gamma t}} + \frac{4.7}{e^{\gamma t}} \dots\dots\dots (24)$$

4 式

$$T_p = 24.0 + \frac{-109.704}{e^{0.0001626t}} + \frac{0.00719}{(0.0001626 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{0.000717}{(0.0001626 - \gamma)e^{\gamma t}} + \frac{4.7}{e^{\gamma t}} \dots\dots\dots (25)$$

5 式

$$T_p = 24.0 + \frac{-108.599}{e^{0.0001635t}} + \frac{0.00723}{(0.0001635 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{0.000720}{(0.0001635 - \gamma)e^{\gamma t}} + \frac{4.7}{e^{\gamma t}} \dots\dots\dots (26)$$

6 式

$$T_p = 24.0 + \frac{-108.237}{e^{0.0001639t}} + \frac{0.00725}{(0.0001639 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{0.000721}{(0.0001639 - \gamma)e^{\gamma t}} + \frac{4.7}{e^{\gamma t}} \dots\dots\dots (27)$$

図10にそのおもな値を示す。なお表7に100～700秒までの上記6通りの式と実験値との差を示す。

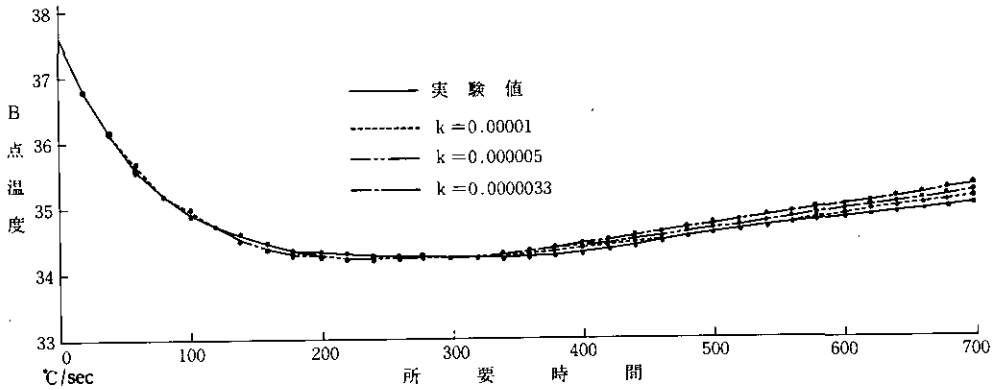


図10 C = 4.7, r 値を時間的に変化させた場合の B 感温部温度変化曲線

表7 感温部温度の実験値と理論値の差

t (sec)	実験値 (°C)	実験値と理論値の差					
		r に関する k 値					
		0.00002	0.00001	0.0000066	0.000005	0.000004	0.0000033
100.0	34.92	-0.010	-0.042	-0.025	-0.013	-0.005	0.001
200.0	34.32	0.046	0.008	0.029	0.043	0.052	0.058
300.0	34.25	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003
400.0	34.34	-0.324	-0.045	-0.071	-0.089	-0.099	-0.107
500.0	34.62	-1.176	0.018	-0.027	-0.062	-0.083	-0.098
600.0	34.84	-8.261	-0.024	-0.070	-0.121	-0.151	-0.171
700.0	35.05	-38.614	-0.119	-0.132	-0.195	-0.233	-0.259

表7にみられる理論値と実験値との差について0.1°C以下のものは、この実験系における温度測定精度以下のものであり、その差は実質的に無視されるものと考えられる。

以上の結果から  $\alpha = 0.000087 + ((13200 - t) \cdot (0.000015 / 13200)) \text{ deg/sec} \cdot \text{deg}$ ,  $k_p = 0.0001487$

deg/sec · deg,  $\gamma = 0.011 - (0.002/200)t$  deg/sec · deg の係数を用いた理論式。

$$y = \frac{-115.99}{e^{0.0001576t}} + \frac{0.00695}{(0.0001576 - \alpha)e^{\alpha t}} + \frac{0.000699}{(0.0001576 - \gamma)e^{\gamma t}} + \frac{4.7}{e^{\gamma t}} - 13.6 \quad \dots\dots\dots (28)$$

よって、B点温度は測定精度0.1℃以内の精度において示されることが見出された。

以上の28式が本論文における結論である。

## ま と め

本報においては保温性測定のための実験系の、熱移動の要因の解析を行なった。特に本実験においては理論式の構成因子である3つの係数の実験的解明を試み、それらを明らかにすることができた。すなわち高温放熱系温度変化曲線上の2点からの計算によって求めていた $\alpha$ 値について、本報においては高温放熱系温度変化曲線の解析を試み、400分までについて、実験値に近似な値を示す数値を見出すことができた。その結果高温放熱系の温度変化の速度に関する $\alpha$ 値は、時間の経過と共に変化すること、および $t=24000$ 秒まではその変化は $\beta - \frac{\beta}{e^{\alpha t}}$ の式に従うものであることが見出された。

また本実験のように高温放熱系と低温実験系の温度差が大きい場合は、系の吸熱効果は無視することはできない。その最大低下温度を示すC値は、前報までは理論式が最も高い近似値を形成する条件にあわせて設定されていた。本実験においてはこの値について実験的に解明を試み、一部分の仮定値はなお組み込まれてはいるが、より実際に近い値が求められたと考えられる。

吸熱効果の速度に関する係数である $\gamma$ 値は系の温度変化を大きく左右する。この $\gamma$ 値についてもこれは定数ではなく、 $\alpha$ 値と同様に時間の経過に従って変化させることによって、理論値を実験値により近づけることができた。

以上のような結果から、この実験系のもつ放熱および吸熱的な性質についてその一部を解明することができた。

以上の成果を総合した結果、本実験においては実験開始後約700秒までの実験系の示す温度変化について、0.1℃以下の精度においてその変化を計算しうる理論式を導くことができた。今後この理論式を対象とし、被服材料をこの系に設定した場合の理論式を導き、被服材料の熱貫流係数を解明していく計画である。

## 引 用 文 献

- 1) 寺岡・若山：北星短大紀要，20，43（1978）
- 2) 寺岡・若山：北星短大紀要，21，43（1981）
- 3) 大後美保・庄司 光：生活科学ハンドブック 朝倉書店 p. 332
- 4) 大後美保・庄司 光：生活科学ハンドブック 朝倉書店 p. 309