

伝熱モデルと熱現象直視装置の試作 (I)

堀 三木 石野 幸三

THE TRIAL PRODUCTION OF HEAT CONDUCTION MODEL AND DIRECT OBSERVATION EQUIPMENT OF HEAT CONDUCTION PHENOMENON

MIKI HORI and KOZO ISHINO

On treatment of problem connected with heat conduction, we have adopted extremely complicated mathematical method, or very simple formula obtained by experience.

In the former case, as it is put simplified hypothesis into intricate method of calculation, extent of application is limited. And in the latter case, we can only obtain very rough approximation.

Essentially, in the researches of heat conduction, in spite of great efforts, it has not made great strides, because large scale measurement is difficult and requires much times and etc.

In the "Heat Conduction Model", we can substitute heat specific resistance for electric proper resistance, and storage heat for condenser, it is possible to treat of heat conduction experimentally and apply for solution of some difficult problems.

In the "Direct Observation Equipment of Heat Conduction Phenomenon", transitional phenomenon of the heat conduction model that is comparatively slow, is reflected on after glow Braun tube by operation of single timing axis generator, so we can observe it directly.

This report describes the thermal circuit and the electric artificial circuit-method to assemble the heat conduction model and details of the direct observation equipment of heat phenomenon.

内 容 梗 概

熱伝導に関する問題の取扱いは、今迄非常に煩雑な数学的取扱い方法によるか、さもなければ経験上から得られた極めて簡単な公式によるかの何れかであつて、前者の方法では複雑な計算法に単純化された仮定を導入している為、応用範囲が限定され、又後者の方法では極めて大ざつばな近似値を与えるに過ぎない。元來熱伝導に関しては、大規模な測定が困難な事、測定に長時間を要すること等の為、多大の努力が払われたにも拘わらず、その進歩が著しく遅れている。

「伝熱モデル」は熱比抵抗を電気の固有抵抗により、蓄熱を蓄電器によつて置換えることにより、熱伝導を実験的に取扱い、困難な問題の解決に資せんとするものであり、又「熱現象直視装置」は伝熱モデルの

比較的緩慢な過渡現象を、超低周波発振器により残光性ブラウン管上に描かせ、直視出来るようにしたものである。

本文に於いては熱回路から電気の模擬回路、即ち伝熱モデルを組立てる方法、並に熱現象直視装置の詳細について述べる。

1. 熱流の一般基本微分方程式

定常状態でない一般的な熱の伝導方程式は、Fourier の法則から誘導することが出来る。即ち

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_x}{dt} + \frac{dQ_y}{dt} + \frac{dQ_z}{dt} = c_p dx dy dz \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

or

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \lambda \nabla^2 T \quad (1')$$

に置換えて計算する。分布定数回路を n 個の等しい R と C で置換えた場合、 n が小さいと $\tau=t/RC$ の小さいところで誤差を生ずるが、⁽²⁾ この誤差は $n=2$ の場合、分配率 r_1, r_2, c_1, c_2 を

$$\left. \begin{aligned} R_E &= R_1 + R_2 = r_1 R_E + r_2 R_E = \frac{1}{3} R_E + \frac{2}{3} R_E \\ C_E &= C_1 + C_2 = c_1 C_E + c_2 C_E = \frac{3}{4} C_E + \frac{1}{4} C_E \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

に選ぶことにより、殆んど無視することが出来る。

3. 伝熱モデル

前述のようにこの模擬回路法は、固体中の熱伝導を表わす微分方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t_H} = \frac{1}{R_H C_H} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2_H} \quad \text{or} \quad \frac{\partial^2 T}{\partial x^2_H} = \alpha \frac{\partial T}{\partial t_H} \quad (\alpha: \text{温度伝播率}) \quad (5)$$

と、 $L=0, G=0$ のケーブルの微分方程式

$$\frac{\partial e}{\partial t_E} = \frac{1}{R_E C_E} \frac{\partial^2 e}{\partial x^2_E} \quad \text{or} \quad \frac{\partial^2 e}{\partial x^2_E} = R_E C_E \frac{\partial e}{\partial t_E} \quad (6)$$

に基づくもので、両者の定常状態における相似方程式は

$$\left. \begin{aligned} T &= HR_L [^\circ] \quad (H: \text{熱流} [\text{kcal./m}^2\text{hr}]) \\ E &= IR_E [V] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

モデルを利用する為に、相似量を一定の関係に定める必要がある。⁽⁸⁾

$$x_E = \xi x_H [1] \quad (8)$$

$$t_E = \eta t_H [\text{hr/s}] \quad (9)$$

$$\Delta E = \gamma \Delta T [^\circ/V] \quad (10)$$

$$I = \varepsilon H [\text{kcal./Am}^2\text{hr}] \quad (11)$$

単位長当りの電気抵抗及び静電容量 R_E, C_E を定める為に、これを熱の場合、断面 lm^2 、厚さ lm の場合に対応させると、厚さ $L\text{m}$ の場合には

$$\left. \begin{aligned} R' &= LR_E, & C' &= LC_E \\ I &= \frac{\Delta E}{LR_E}, & H &= \lambda \frac{\Delta T}{L} \end{aligned} \right\}$$

電気回路の時定数と、熱回路の時定数を比較することにより

$$\frac{t_E}{R_E C_E} = \frac{t_H}{R_H C_H} = \alpha t_H \quad (12)$$

以上の関係から

$$R_E C_E = \frac{\eta}{\alpha} \quad (13)$$

$$R_E = \frac{\gamma}{\varepsilon \lambda} \quad (14)$$

$\varepsilon, \gamma, \eta, R_E, C_E$ の内、(13), (14) 両式から2つは決り、他の3つは自由に定めることが出来る。

4. 直視装置

今例を電気炉に取れば、一定電力で炉を加熱する場合は、以上のように計算した伝熱モデルを、一方向か

ら一定電流で充電し、電圧上昇の模様を視ればよい。従つて静電型単掃引オツシロスコープを用いて現象をそのまま偏向板に加え、写真撮影すれば、一応目的は達せられるが、直視するには、大型残光性ブラウン管を用いるのが便利であるから、これを用いて、熱現象の直視装置を試作した。第2図はその全回路図である。大型ブラウン管は、殆んど電磁偏向型であるので、電圧として現われる現象を、電流に直して偏光コイルに流さなければならない。これには2A3の直線部を使用した。その為装置が複雑になつたが、偏光コイル、フォーカスコイル、変圧器等、総ての部品は特別なものは使用せず、一般市販品を使用した。高電圧発生部は殆んどテレビのそれと同じである。負電圧は電池の使用も考えたが、2A3直線部の最低部を得るのに70~90ボルトを要するので高価になり、又長期間に自然消耗することも考えられるので、真空管を使用した。現象の2A3への挿入部は、グリッドバイアスによつて、伝熱モデルのコンデンサーが充電されないよう考慮してあるので、普通の増幅器と少し異つてゐる。その為定電流発生部、及び時間軸単掃引発生部はシヤーンより浮かす必要が生じた。2A3のB電源はX軸、Y軸が互に影響を及ぼさないよう独立したものを、又電圧降下とリップルを少くする為、整流回路は完全なものにした。これでモデルの a, b, c, d, e の各点を測定すれば、残光性ブラウン管上に各点の温度上昇の模様を画かせることが出来る。

この装置で初期の目的の大半は達せられたが、何分乏しい研究費の一部で行われたので、不充分の点多々ある。即ち2A3の特性が現象にそのまま入つておりこれを除去していない。定電流発生部、単掃引時間軸発生部も完全なものではない。又偏光コイルはテレビ用をそのまま使用しているので、偏光感度が悪く充分な結果が得られていない。然しこれ等は次第に改良する積りである。

以上第1報においては、基礎理論と直視装置の回路について述べたが、第2報においては、實在の電気炉に対し、そのモデルを組立て、直視装置に描かれた熱現象と、実測した電気炉の熱特性とを比較し、理論的考察ならびに直視装置の検討を試みる心算である。

参考文献

- (1) 中路：電学誌69, 412 (昭24)
- (2) Wagner: Operatorenrechnung 133
- (3) Brokmeier: E. T. Z. 72, 525 (1951)