研究論文

550. 熱拡散筒の熱線温度に対するスペーサの影響と分離性能

木村 捷二郎*, 金川 昭**

(1971年 9月6日 受理)

Effect of Spacers on Hot Wire Temperature in Thermal Diffusion Column and Separation Efficiency

By Syojiro KIMURA and Akira KANAGAWA

The hot wire temperature of a thermal diffusion column provided with spacers has been calculated, and the results have been compared with those estimated from the thermal expansion of the hot wire observed experimentally.

The calculated values of the temperature were underestimated near spacer welding points, due to thermal dispersion through the spacer. Thus, increasing the number of spacers for the purpose of assuring better centering of the hot wire in the column, should result in increasing the difference between the calculated and observed values of temperature for a greater portion of the wire between the spacer welding points. The temperature drop near the spacer weld points was influenced by the material and the radius of the spacer, which in turn affected the separation efficiency.

I. 緒 言

熱線熱拡散筒による同位体ガスの分離において、熱線の同心性は分離効果に大きな影響を与える。この同心性の問題に関する理論的検討は古くからされており⁽¹⁾, また実験的には熱線にスペーサをつけ同心性を高めることによって分離効果の増加を得ている⁽²⁾⁻⁽⁶⁾。しかし、スペーサは熱線の同心性を良くすると同時に、熱拡散筒内のガスの流れを乱す問題、またスペーサを通じて熱線から冷壁への熱の流出が起り、その結果、熱線上に温度分布を生じる問題が起ってくる。これらの問題に関しては、熱拡散筒の流れを乱すことがむしろ分離効果を上げ得るのではないかという報告⁽²⁾⁽⁷⁾があるだけである。後者の熱線温度への影響に関しての報告は、スペーサの径および材質によって熱線温度へかなりの影響が予想されるにもかかわらず見当らない。また普通、熱線熱拡散筒を用いた同位体ガスの分離実験において、熱線の温度はその熱膨張の割合から算出される場合が多い。その場合スペーサからの熱の流出

が多い場合には、熱線温度の算出にはかなりの注意を要する。

このため本報では、スペーサをつけた場合の熱線温度についての計算式を検討すると共に、この式を用いた計算値と熱膨張の割合を測定することによって得られる熱線温度との比較を行なった。またスペーサの径、材質を変えた熱線を使用して分離実験を行い、上記計算式から計算される熱線の温度分布との関連について検討を行なったので報告する。

II. 熱線温度の計算式

熱拡散筒の概略図を Fig. 1 に示す。熱線の加熱は熱拡散筒上下の電極を通じて任意の電流を通ずることによって行われる。また、熱線はスペーサによって熱拡散筒の中心に保たれる。

* 京都大学原子炉実験所(Res. Reactor Inst. Kyoto Univ.)

** 名古屋大学工学部原子核工学教室(Dept. of Nucl. Eng., Nagoya Univ.)

Fig. 1 Schematic diagram of thermal diffusion column

熱線温度の計算式を考察するにあたって、熱線、スペーサおよび電極棒等における熱収支を考えると、次の仮定を採用した。

- (1) 熱線の表面温度と内部温度との差は無視する。
- (2) 電極棒と熱線、スペーサと冷壁等のそれぞれの接点部熱抵抗は無視する。
- (3) スペーサ表面からの冷壁面への熱伝達は無視する。

(4) 電極棒の上部保持部の温度および熱線の伸張のために使用する重りの温度はいずれも冷壁温度と等しいとする。

(5) 熱線、スペーサおよび電極棒のそれぞれの熱伝導率および分離ガスの熱伝達係数はいずれも温度変動に対して一定とする。

1. 熱線における熱収支

上記仮定のもとに、隣り合ったスペーサ間の熱線部分での熱収支は次式で考えられる。

$$-\frac{dq_x}{dx} + S_e - \frac{2}{r} h (T - T_0) = 0 \quad (1)$$

(1)式に Fourier の式 $q_x = -k(dT/dx)$ を代入して

$$k \frac{d^2 T}{dx^2} + S_e - \frac{2}{r} h (T - T_0) = 0 \quad (2)$$

(2)式を積分し、熱線温度は次式で表わされる。

$$T = \frac{1}{4A} e^{\sqrt{A}(x+c_2)} + \frac{B^2 - 4Ac_1}{4A} e^{\sqrt{A}(x+c_2)} - \frac{B}{2A} \quad (3)$$

$$\text{ここで、 } A = \frac{2h}{kr}, \quad B = -\left(\frac{4hT_0}{kr} - \frac{2Se}{k}\right)$$

c_1, c_2 : 積分定数

(3)式の積分定数は次の境界条件を考えると、算出される。

$$\text{B.C.-1 } x=l_1 \text{ のとき } T=t_1$$

$$\text{B.C.-2 } x=l_2 \text{ のとき } T=t_2$$

ただし、 l_1, l_2 : 上部電極棒と熱線の接続部から任意のスペーサの熔接部までの距離
 t_1, t_2 : l_1, l_2 の場所の温度

BC.-1, -2 から c_1, c_2 を算出して(3)式に代入すると、熱線温度および熱線における Heat flux は次式で表わされる。

$$T = \frac{1}{4A} \left\{ \frac{(4At_2 + 2B)e^{-l_1\sqrt{A}} - (4At_1 + 2B)e^{-l_2\sqrt{A}}}{e^{\sqrt{A}(l_2-l_1)} - e^{\sqrt{A}(l_1-l_2)}} \right\} e^{x\sqrt{A}} - \frac{1}{4A} \left\{ \frac{(4At_2 + 2B)e^{l_1\sqrt{A}} - (4At_1 + 2B)e^{l_2\sqrt{A}}}{e^{\sqrt{A}(l_1-l_2)} - e^{\sqrt{A}(l_2-l_1)}} \right\} e^{-x\sqrt{A}} - \frac{B}{2A} \quad (4)$$

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} = -\frac{k}{4\sqrt{A}} \left\{ \frac{(4At_2 + 2B)e^{-l_1\sqrt{A}} - (4At_1 + 2B)e^{-l_2\sqrt{A}}}{e^{\sqrt{A}(l_2-l_1)} - e^{\sqrt{A}(l_1-l_2)}} \right\} e^{x\sqrt{A}} - \left\{ \frac{(4At_2 + 2B)e^{l_1\sqrt{A}} - (4At_1 + 2B)e^{l_2\sqrt{A}}}{e^{\sqrt{A}(l_1-l_2)} - e^{\sqrt{A}(l_2-l_1)}} \right\} e^{-x\sqrt{A}} \quad (5)$$

2. スペーサ上における熱収支

スペーサ上の熱収支は(1)式から発熱の項を削除した式で考えられ、次式で表わせる。

$$-\frac{dq_y}{dy} - \frac{2h}{r_s} (T - T_0) = 0 \quad (6)$$

(6)式に Fourier の式 $q_y = -k_s(dT/dy)$ を代入して

$$k_s \frac{d^2 T}{dy^2} - \frac{2h}{r_s} (T - T_0) = 0 \quad (7)$$

仮定(3)から(7)式の第2項を無視すると、

$$\frac{d^2 T}{dy^2} = 0 \quad (8)$$

(8)式からスぺーサの温度は次式で表わされる。

$$T = c_1' y + c_2' \quad (9)$$

ここで、 c_1' , c_2' : 積分定数

(9)式の積分定数は次の境界条件を考えることによって算出される。

$$\text{B.C.-3 } y=0 \text{ のとき } T=t_1$$

$$\text{B.C.-4 } y=l_s \text{ のとき } T=T_0$$

ただし、 t_1 : 任意のスぺーサ熔接部の温度

B.C.-3, -4 から c_1' , c_2' を算出して(9)式に代入すると、スぺーサの温度およびスぺーサにおける Heat flux は次式で表わされる。

$$T = -\frac{(t_1 - T_0)}{l_s} y + t_1 \quad (10)$$

$$q_y = -k_s \frac{dT}{dy} = k_s \frac{t_1 - T_0}{l_s} \quad (11)$$

3. 電極棒上における熱収支

電極棒上の熱収支も同じように(1)式から発熱の項

を削除した式で考えられ、次式で表わせる。

$$-\frac{dq_z}{dz} - \frac{2}{r_e} h(T - T_0) = 0 \quad (12)$$

(12)式に Fourier の式 $q_z = -k_e(dT/dz)$ を代入して

$$k_e \frac{d^2 T}{dz^2} - \frac{2}{r_e} h(T - T_0) = 0 \quad (13)$$

(13)式から電極棒の温度は次式で表わされる。

$$T = \frac{1}{4E} e^{\sqrt{E}(z+c_1'')} + \frac{(F^2 - 4Ec_1'')}{4E} e^{-\sqrt{E}(z+c_1'')} - \frac{F}{2E} \quad (14)$$

$$\text{ここで、} E = \frac{2h}{k_e r_e}, \quad F = -\frac{4hT_0}{k_e r_e}$$

c_1'' , c_2'' : 積分定数

(14)式の積分定数は次の境界条件を考えることによって算出される。

$$\text{B.C.-5 } z=0 \text{ のとき } T=T_J$$

$$\text{B.C.-6 } z=l_e \text{ のとき } T=T_0$$

ただし、 T_J : 熱線と電極棒の接続点の温度

B.C.-5, -6 から c_1'' , c_2'' を算出して(14)式に代入すると、電極棒の温度および電極棒における Heat flux は次式で表わせる。

$$T = \frac{1}{4E} \left\{ \frac{(4ET_0 + 2F) - (4ET_J + 2F)e^{-l_e\sqrt{E}}}{e^{l_e\sqrt{E}} - e^{-l_e\sqrt{E}}} \right\} e^{z\sqrt{E}} - \frac{1}{4E} \left\{ \frac{(4ET_J + 2F)e^{l_e\sqrt{E}} - (4ET_0 + 2F)}{e^{l_e\sqrt{E}} - e^{-l_e\sqrt{E}}} \right\} e^{-z\sqrt{E}} - \frac{F}{2E} \quad (15)$$

$$q_z = -k_e \left\{ \left[\frac{1}{4\sqrt{E}} \cdot \frac{(4ET_0 + 2F) - (4ET_J + 2F)e^{-l_e\sqrt{E}}}{e^{l_e\sqrt{E}} - e^{-l_e\sqrt{E}}} \right] e^{z\sqrt{E}} - \left[\frac{1}{4\sqrt{E}} \cdot \frac{(4ET_J + 2F)e^{l_e\sqrt{E}} - (4ET_0 + 2F)}{e^{l_e\sqrt{E}} - e^{-l_e\sqrt{E}}} \right] e^{-z\sqrt{E}} \right\} \quad (16)$$

4. 上部電極棒と熱線との接続部の熱収支

上部電極棒と熱線の接続部での熱収支は、仮定(2)から次式で与えられる。

$$\pi r_e^2 |q_{z|z=0}| = \pi r^2 |q_{z|z=0}| \quad (17)$$

5. 熱線とスぺーサ熔接部での熱収支

上部電極棒と熱線の接続部から n 番目のスぺーサの熔接部での熱収支は次式で与えられる。

$$4\pi r_s^2 |q_{y|y=0}| = \pi r^2 \{ |q_{z|z=n l-0}| + |q_{z|z=n l+0}| \} \quad (18)$$

6. 下部電極棒と熱線との接続部の熱収支

下部電極棒と熱線の接続部の熱収支は、仮定(2)から(17)式と同じ式で与えられる。

$$\pi r_e^2 |q_{z|z'=0}| = \pi r^2 |q_{z|z=L}| \quad (19)$$

ただし、 z' : 下部電極棒における熱線と電極棒の接続部からの距離

(5), (11), (16)式を(17), (18), (19)式に代入して T_{TJ} , T_1 , T_2 , T_3 , ..., T_{BJ} を連立方程式の解として求めることができる。さらに、これらの値を(4)式に代入して熱線の温度分布を算出得る。

7. 近似解

上記連立方程式をより簡単に解くために、電極棒の長さおよびスぺーサ間の距離の値が大きい場合には、

$$e^{l\sqrt{A}} \gg 0, \quad e^{l_e\sqrt{E}} \gg 0, \quad e^{l_e\sqrt{E}} \gg 0$$

と仮定することができる。

そこで(5), (16)式にこれらの仮定を(17)式に代入

すると,

$$\begin{aligned} k_e r_e^2 \sqrt{A} [4ET_{TJ} + 2F] \\ \doteq k r^2 \sqrt{E} [4AT_{TJ} + 2B] \end{aligned} \quad (20)$$

となり, (20)式から T_{TJ} の近似解が得られる。また(5), (16)式にこれらの仮定を(19)式に代入すれば, 同じように T_{BJ} の近似解が得られる。さらに(5), (11)式を(18)式に代入して,

$$\frac{4\pi r_e^2 k_e}{l_e} (T_n - T_0) \doteq \frac{\pi r^2 k}{4\sqrt{A}} (2[4AT_n + 2B])$$

これから,

$$T_n \doteq \frac{4r_e^2 k_e \sqrt{A} T_0 - r^2 k l_e B}{4r_e^2 k_e \sqrt{A} - 2r^2 k l_e A} \quad (21)$$

となり, 各スペーサ溶接部の温度はいずれも等しい値として求められる。(20), (21)式から求められる T_{TJ} , T_{TB} , T_n を(5)式に代入することによって, 熱線の温度分布の近似解をより簡単に求めることができる。この場合, 各スペーサ間の中央部の熱線部位が熱線の最高温度を示す。これらの式から推察される熱線温度の模型図を Fig. 2 に示す。

Fig. 2 Schematic chart of hot wire temperature

Ⅲ. 熱線の熱膨張の割合から求めた熱線温度と上記計算式から求めた熱線温度との比較

熱線熱拡散筒による同位体ガスの分離操作において, 多くの場合熱線温度は熱線にそって均一であるとして扱われている。この熱線温度の測定方法としては, 熱線の熱膨張率から算出する方法や熱拡散筒内の圧力変化から計算する方法等が採用されている。著者らの行ってきた Ar 同位体の分離実験の場合にも, 熱膨張の割合から熱線温度を決定している。しかしスペーサをつけた場合は, 前章で述べたように熱線に温度分布が生じ, 熱膨張から算出される平均的な熱線温度から正確な温度分布を知ることは困難である。

そこで, 前章にて述べた計算式により, 著者らの行なった分離実験の実験操作データから, 熱線温度の計算を行なって熱膨張の割合から求めた熱線温度との比較を行なった。

実験に使用した熱拡散筒は, 長さ 1 m, 内径 10 mm の総ガラス製である⁽⁶⁾。熱線およびスペーサには 0.32, 0.20 mmφ の鉄クロム第 2 種電熱線⁽⁸⁾を使用した。その他の幾何学的数値は次のとおりである。

電極棒半径 $r_e = 0.50$ mm, スペーサ長さ $l_s = 4.84$ mm, 電極棒長さ $l_{eT} = 20$ mm, $l_{eB} = 60$ mm

実験条件は, 熱線温度 $565^\circ \pm 10^\circ \text{C}$, 冷壁温度 $25^\circ \pm 1^\circ \text{C}$ とし, 熱線の温度は熱線の熱膨張をカセットメータで読みとり, 予め電気炉を用いて求めた熱線温度と熱膨張の割合との検定曲線から, 実験条件の温度となるように電流値を設定した。

熱線温度の計算にあたって, 熱線の加熱に要する電流値としては上記温度となるための実測電流値を採用した。また, 熱線および電極棒表面における分離ガスの熱伝達係数については, 垂直方向に張られた熱線からの熱伝達を考えるべきであるが, これに関し本研究に使用し得る計算データが見当たらないので, McAdams の報告している⁽⁹⁾ 水平方向の熱線からのデータを採用した。Fig. 3 に, 熱線温度を $565^\circ \pm 10^\circ \text{C}$ とするため熱線の熱膨張から求めた電流値を用いて計算した結果を示す。この結果から, スペーサの数を変えることによって熱線最高温度, スペーサ溶接部温度およびそれらの温度差は共に大きく変化することがわかる。このうちスペーサ間の距離 12.5, 14.0 cm の両者は特に高い温度を示しているが, この 2 つの熱線については他の熱線に比較して分離実験を特に綿密に行なったため熱線の加熱状態における時間が長く, その結果, 熱疲労

Fig. 3 Hot wire temperature as a function of spacer distance
 $P=600 \text{ mmHg}$, $r=0.016 \text{ cm}$,
 $r_s=0.010 \text{ cm}$

がはげしくなり電気抵抗が大きくなったためと考えられる。長時間の分離実験に使用せずに熱線の温度測定用のみ使用した熱線では、スペーサ間の距離 12.5, 14.0 cm の熱線にのみ高い温度を示すという現象は認められない。また、このことは熱線熱拡散筒を用いて長時間の分離操作を行う場合、特に連続分離操作等を行う場合に留意されるべきである。

Fig. 4 に、スペーサ熔接部近傍の熱線温度の計算値を示す。この結果から、スペーサ熔接部近傍の熱線の温度は極端に低下するものと思われる。

次に、スペーサの径が増すことによってスペーサを通して逃げる熱量が増加することが考えられる。スペーサを通しての熱伝達による熱の逃げるのを防止して熱線の温度変化を少なくするという点からは、細い線をスペーサとして使用することが望まれる。しかし、スペーサは熱線の同心性を保つという主目的から考えると、スペーサとして充分な力学的強度を持つ必要がある。この問題について、スペーサの径の違いが熱線温度に与える影響を知るため、熱線温度をスペーサの径の関数として同様の計算を行なった。その結果を Fig. 5 に示す。この結果からスペーサの径が大きくなるほどスペーサを経て逃げる熱量の比率は増し、スペーサ熔接部の熱線温度はより低くなることが推定され

Fig. 4 Hot wire temperature near by spacer welding point
 $P=600 \text{ mmHg}$, $r=0.016 \text{ cm}$,
 $r_s=0.010 \text{ cm}$

Fig. 5 Hot wire temperature as a function of spacer radius
 Sp-7, $P=600 \text{ mmHg}$,
 $r=0.016 \text{ cm}$

た。

さらに、熱線に加える熱量が一定の場合には、分離ガスの圧力を変えることによって、ガスの熱伝達によって逃げる熱量とスペーサの熱伝達によって逃げる熱量との比が変わり、その結果熱線温度に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、熱線温度をガス圧力の関

数として算出し*, その結果を Fig. 6 に示す。この結果から熱線温度は筒内のガス圧力に依存し、また熱線の最高温度とスペーサ熔接部の温度との差は圧力の低い領域においてより高い値を示し、スペーサからの熱の逃散がより増加していることが推定される。

Fig. 6 Hot wire temperature as a function of pressure
Sp-7, $r=0.016$ cm,
 $r_s=0.010$ cm

IV. スペーサの材質および径を変えた場合の熱線温度と分離係数

スペーサの径を変えることによって熱線の温度は変わることにについては前章で述べた。この原因として、スペーサの断面積が増えることによってスペーサを通して逃げる熱量と分離ガスを通して逃げる熱量との比が変化するためと考えられる。このことはスペーサとして熱伝導度の異なる材質を使用する場合にも同じことがいえる。

スペーサをつけることによって熱線の同心性を増し、結果として同位体の分離効果を上げ得ることについてはすでに報告した⁽⁶⁾。さらにスペーサの材質や径を変えることによって起ってくる熱線の温度分布の違いが実際の同位体の分離効果へどれほどの影響を与えるか調べる必要がある。特に熱拡散筒をガスの物理的性質を測定する手段として使用する場合には、この影響の程度を定量的に解析する必要があると考えられる。この問題に関して、本報では熱線の温度分布の違いが同位体の分離効果へ影響を及ぼすか否か、定性的立場からの検討を行なった。

分離実験にはスペーサの材質および径の変えたもの

を使用した。実験条件は熱線最高温度を $620^{\circ}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 、冷壁温度を $25^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ とした。使用した熱線は鉄クロム第2種電熱線⁽⁸⁾0.32 mm ϕ 、スペーサは同じ鉄クロム第2種電熱線0.32, 0.20 mm ϕ およびニクロム電熱線⁽⁹⁾0.20 mm ϕ である。それぞれの電熱線の熱伝導度は 7.20×10^{-2} , 2.76×10^{-3} cal/cm $\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{sec}$ ⁽¹¹⁾である。スペーサの数は7個とした。熱線の最高温度は第II章で述べた計算式から求めた電流値で決め、その他の実験方法は本誌⁽⁶⁾にて報告したものと同一である。

Fig. 7 に、スペーサの材質および径を変えた場合のスペーサ熔接部近傍の熱線温度の計算値を示す。この結果からわかるように、熱線の温度分布はスペーサの材質および径の違いによって顕著な差を示す。Fig. 8 に同スペーサを使用した場合のAr 同位体の平衡分離係数の実験値を示す。この結果から分離効果にもはっきりとした差が見られる。いずれの場合もスペーサの数は7個で、熱拡散筒内における熱線およびスペーサの幾何学的条件はほとんど同じであると考えられるので、Fig. 8における分離係数の差はスペーサからの熱の流出によるスペーサ熔接部近傍の熱線温度の低下が重要な一因をなしているものと考えられる。

Fig. 7 Hot wire temperature near by spacer welding point
Sp-7, $P=600$ mmHg,
 $r=0.016$ cm

* 分離ガスの熱伝達係数 h と圧力との関係については McAdams が報告している⁽¹⁰⁾ $\log_{10}(hD/k)$ と $\log_{10}(D^3\rho^2g\beta\Delta T/\mu^2)(C_p\mu/k)$ との関係図から算出した。

Fig. 8 Separation factor as a function of material and radius of spacer

V. スペーサの数を変えた場合の分離実験

スペーサをつけることによって熱線の同心性を増し、結果として分離効果を上げ得るという実験的考察が試みられているということについてはすでに述べた。しかし第Ⅲ章で述べたように、熱線温度の測定法として熱線の熱膨張の割合を測り、予め測定しておいた熱線温度と熱膨張との検定曲線から推定する方法を採用する場合には、スペーサの数を増すことによって熱線の最高温度がより高い温度となる可能性がある。この場合には、スペーサの数の異なる各熱線のそれぞれの温度が異なっているので、単に分離実験の結果を比較するだけでは、分離効果へ及ぼすスペーサの影響について検討することはできない。

そこで、スペーサ数の異なる各熱線の温度差をより少なくするため、第Ⅲ章で述べた方法で熱線温度を計算式から推定し、各熱線の最高温度を等しくするのに要する電流を通じることによって分離実験を試みた。スペーサには鉄クロム第2種電熱線 0.20 mmφ を使用した。結果を Fig. 9 に示す。熱線温度の均一性という面から考えると、スペーサをつけることによってその均一性は悪くなる。その結果として、スペーサの数を

Fig. 9 Effect of the number of spacer on the separation factor at the same electric input power

Spacer: Fe-Cr II 0.2 mmφ

増やすことによって分離効果を妨げる効果が考えられる。しかし、Fig. 9 の結果では熱線の最高温度を等しくした場合、スペーサの数を増やすことによってより高い分離係数が得られ、スペーサの数は7対で最も高い分離係数が得られた。この現象の一因として分離効果へ及ぼすスペーサの影響としては、スペーサの数が7対以下の場合には、スペーサ近傍の熱線温度の低下による熱線温度の非均一性の影響から熱線の同心性をより高めている効果の方が著しいのではないかと考えられる。さらに、このスペーサの数の最適値については、実験に使用する熱拡散筒のカラム特性の効果も考えられるので、数多くの熱拡散筒を用いての実験的検討が望まれる。またスペーサ自体の筒内流れへの邪魔板的效果についても検討を加える必要があると考えられる。

Ⅶ. まとめ

熱線熱拡散筒において熱線の同心性を保つ意味で使用されるスペーサの熱線温度への影響について検討す

るため熱線温度の計算式について検討を行なった。さらにこの式を用いて著者らのところにて行なっているAr同位体の分離実験の場合について計算を行なった。その結果、スペーサをつけることによって生じる熱線温度の変動はかなり大きいことがわかった。特に筒内のガス圧力が低い場合には温度変動も大きくなり、またスペーサの材質、径の違いによってその温度変動は変わり、結果として分離効果にも影響を及ぼす。

また、熱線温度を測定する場合、熱線の熱膨脹から算出する方法が多用されているが、スペーサをつけた場合には特にその数が多いほど熱線温度の算出に誤差が多くなることがわかった。

〔記 号〕

h : 熱線および電極棒表面から冷壁面への熱伝達係数	(cal/sec·cm ² ·°C)
I : 単位面積あたりの電流量	(A/cm ²)
k : 熱線の熱伝導度	(cal/sec·cm·°C)
k_s : スペーサの熱伝導度	(cal/sec·cm·°C)
k_e : 電極棒の熱伝導度	(cal/sec·cm·°C)
l : スペーサ間の距離	(cm)
l_1, l_2 : 熱線における上部電極棒と熱線の接続部からの任意のスペーサの熔接部までの距離	(cm)
l_s : スペーサの長さ	(cm)
l_e : 電極棒の長さ	(cm)
q_z : 熱線における垂直方向の Heat flux	(cal/cm ² ·sec)
q_v : スペーサにおける水平方向の Heat flux	(cal/cm ² ·sec)
R : 熱線の電気抵抗	(Ω·cm)
r : 熱線の半径	(cm)
r_e : 電極棒の半径	(cm)
r_s : スペーサの半径	(cm)
S_e : 熱線の単位体積あたりの発熱量 $S_e = RI^2$	

(cal/sec·cm³) T : 熱線の温度 (°C) T_0 : 冷壁温度, 上部電極棒保持部温度, 下部電極の錘りの温度 (°C) T_{TJ} : 上部電極棒と熱線の接続部の温度 (°C) T_{TB} : 下部電極棒と熱線の接続部の温度 (°C) t_1, t_2 : l_1, l_2 における熱線温度 (°C) x : 熱線における上部電極棒と熱線の接続部からの距離 (cm) y : スペーサにおける熱線とスペーサの熔接部からの距離 (cm) z : 電極棒における熱線と電極棒の接続部からの距離 (cm)

— 参 考 文 献 —

- (1) JONES, R.C., FURRY, W.H.: *Rev. Mod. Phys.*, **18**, 151 (1946).
- (2) DONALDSON, J., WATSON, W.W.: *Phys. Rev.*, **82**, 909 (1951).
- (3) CORBETT, J.W., WATSON, W.W.: *ibid.*, **101**, 519 (1956).
- (4) RAMAN, S., NARAYANAN, T.K.S., DAVE, S.M.: *AEET-205*, (1965).
- (5) RAMAN, S., WATSON, W.W.: *J. Chem. Phys.*, **46**, 3916 (1967).
- (6) 金川 昭, 木村捷二郎: 本 誌, **12**[6], 306(1970).
- (7) BREWER, A.K., BRAMLEY, A.: *J. Chem. Phys.*, **7**, 972 (1939).
- (8) JIS-C 2520, (1965).
- (9) HOGAN, C.L., SAWYER, R.B.: *J. Appl. Phys.*, **23**, 177 (1952).
- (10) MCADAMS, W.H.: "*Heat Transmission*", (3rd Ed.), p176 (1954), McGraw-Hill, New York.
- (11) PERRY, J.H.: "*Chemical Engineer's Handbook*", (4th Ed.), (1963), McGraw-Hill, New York.
- (12) 日本化学会: 化学便覧, (1966), 丸善.

「新会員名簿」(1971年12月)

昨年12月発行した「新会員名簿」は、予約分は昨年未だに発送いたしました、残部がありますので、ご希望の方はお申込み願います。

定価 1,000円 (会員特価 300円), 〒 110円

欠 本 求 む

本「会誌」バックナンバーの希望が多く、次のものが欠本になりました。

「欧文誌」 Vol.8, No.10

ご不要の向きがありましたら、1冊でも、定価(¥250)でお引き取りしますので、3月末までに事務局宛ご送付願います。