傾斜密閉容器内の自然対流熱伝達* (内部物体の熱伝導率の違いによる熱伝達の促進と抑制効果)

木村 照夫*¹, 竹内 正紀*¹, 宮永 俊晴*²

Natural Convection Heat Transfer in Inclined Rectangular Enclosure (Effects of Thermal Conductivity of Inner Body on Heat Transfer Rate)

Teruo KIMURA, Masanori TAKEUCHI and Toshiharu MIYANAGA

The effects of the thermal conductivity of an inner body on the heat transfer phenomena in an inclined rectangular enclosure have been studied both numerically and experimentally. In the numerical analysis, the ratio of thermal conductivities of inner body and working fluid was varied parametrically. The numerical analysis was carried out for $Pr = 10$, $Ra_w = 5 \times 10^4 \sim 5 \times 10^6$ and inclination angle $\gamma = -30^\circ \sim 60^\circ$. The experiments were carried out with water. A bakelite plate and brass plate were used for the inner body. The flow and temperature fields were shown in detail and the heat transfer coefficient was discussed from the results. It is clarified here that the inner body with large thermal conductivity enhances the heat transfer rate of the enclosure for the large inclination angle of the enclosure, but suppresses the heat transfer rate for the small inclination angle of the enclosure.

Key Words: Convection Heat Transfer, Natural Convection, Inclined Rectangular Enclosure, Conducting Inner Body

1. 緒 言

密閉容器内の自然対流熱伝達の研究は太陽熱集熱器、二重窓、電子機器あるいは蓄熱器などの設計に関連して従来より種々のパラメータに対して数多くなされてきた[例えば文献(1)～(3)]。とくに、近年に至っては積極的に熱伝達を促進あるいは抑制するために用いる場合をも含め、容器内に仕切板あるいは物体が存在する場合の研究が数多く見られる[例えば文献(4)～(7)]。著者らも前報⁽⁸⁾⁽⁹⁾で、鉛直あるいは傾斜して置かれた断面矩形の密閉容器内に種々の大きさの物体が存在する場合の熱伝達現象を解析し、物体の存在は熱伝達を抑制するだけでなく促進する場合もあり得ることを明らかにした。しかし、前報の解析は物体に熱伝導性がない場合に限っていたが、通常、物体には熱伝導性があり、物体の熱伝導率をも考慮した解析が必要と思われる。また、物体の熱伝導率が熱伝達に及ぼす影響を明らかにしておくことは、内部物体による積極的な熱伝達の促進と抑制の手法に示唆を与えるものと考えられる。最近、Houseら⁽¹⁰⁾は鉛直密閉容器

内における物体の熱伝導率の影響を流体として空気を対象とした数値解析により明らかにしたが、本報では種々の角度に置かれた傾斜密閉容器を対象とし、そこに置かれた物体と流体との熱伝導率の比をパラメータとして、自然対流熱伝達の現象を水を用いた実験と数値解析により明らかにした。

2. 主 な 記 号

Gr_w : グラスホフ数 $= g\beta W^3(T_H - T_C)/\nu^2$

g : 重力の加速度

H : 容器の高さ

H_i : 物体の高さ

h : 物体の高さと容器の高さとの比 $= H_i/H$

Nu_w : 局所ヌッセルト数

$= -(\partial\theta/\partial x)_{\text{wall}}$

$\overline{Nu_w}$: 平均ヌッセルト数

$= -(1/r) \int_0^r (\partial\theta/\partial x)_{\text{wall}} dy$

P : 圧力

p : 無次元圧力 $= PW^2/(\rho x^2)$

Pr : プラントル数

R : 物体と流体の熱伝導率の比 $= \lambda_o/\lambda_f$

Ra_w : レイリー数 $= Gr_w \cdot Pr$

* 平成3年5月30日 第28回日本伝熱シンポジウムにおいて講演, 原稿受付 平成3年7月29日.

*¹ 正員, 福井大学工学部 (〒910 福井市文京 3-9-1).

*² 学生員, 福井大学大学院.

r : 容器の縦横比 $= H/W$
 T : 温度
 T_c : 冷却面温度
 T_H : 加熱面温度
 t : 時間
 U, V : X, Y 方向の速度
 u, v : 無次元速度 $UW/x_f, VW/x_f$
 W : 容器の幅
 W_i : 物体の幅
 w : 物体の幅と容器の幅との比 $= W_i/W$
 X, Y : 座標軸
 $\bar{X}, \bar{Y}$: 水平および鉛直方向の座標軸
 x, y : 無次元座標軸 $X/W, Y/W$
 β : 流体の体膨張係数
 γ : 容器傾斜角
 θ : 無次元温度 $= (T - T_c)/(T_H - T_c)$
 α : 熱拡散率
 λ : 熱伝導率
 ν : 流体の動粘度
 ρ : 流体の密度
 τ : 無次元時間 $= x_f t/W^2$
 $\Delta\tau$: 無次元時間間隔 (数値解析)
 Ψ : 流れ関数
 ψ : 無次元流れ関数 $= \Psi/x_f$
 添 字
 b : 物体
 f : 流体

3. 数値解析の方法

本解析で取扱う系は図 1 に示すように、内部の中央対称位置に高さ H_i , 幅 W_i の種々の熱伝導率の物体が存在する高さ H , 幅 W の長方形断面の傾斜密閉容器である。容器の 1 側壁が一樣温度に加熱, また対向する 1 側壁が一樣温度に冷却されるものとし, 他の対向 2 側壁は断熱とする。流体は非圧縮性とし, 粘性散逸を無視し, 浮力項以外のすべての物性値を一定とすると, 場を支配する基礎方程式は記号欄に示す無次元量を用いると次のように定式化できる。

流体部分

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} \\
 = -\frac{\partial p}{\partial x} - \sin \gamma \cdot Pr^2 \cdot Gr_w \cdot \theta \\
 + Pr \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (1) \\
 \frac{\partial v}{\partial \tau} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \cos \gamma \cdot Pr^2 \cdot Gr_w \cdot \theta
 \end{aligned}$$

$$+ Pr \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial(u\theta)}{\partial x} + \frac{\partial(v\theta)}{\partial y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

物体部分

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\alpha_b}{\alpha_f} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots (5)$$

本報では, 上記基礎式の解法として前報⁽⁹⁾と同様の差分法を用い, 下記初期条件, 境界条件の基で解析し, 定常解を求めた。

初期条件は

$$\begin{aligned}
 \tau = 0 \text{ で} \\
 u = 0, v = 0, \theta = 0, p = 0 \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

境界条件は, 容器の周囲壁について

$$\begin{aligned}
 x = 0 \text{ および } 1, 0 \leq y \leq r: \\
 u = 0, v = 0, \theta = 1(x = 0), \theta = 0(x = 1) \dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0 \leq x \leq 1, y = 0 \text{ および } r: \\
 u = 0, v = 0, \partial \theta / \partial y = 0 \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

さらに物体の周囲壁について

$$\begin{aligned}
 x = (1-w)/2 \text{ および } (1+w)/2 \\
 r(1-h)/2 \leq y \leq r(1+h)/2: \\
 u = 0, v = 0, \theta_f = \theta_b \\
 (\partial \theta / \partial x)_f = R(\partial \theta / \partial x)_b \dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (1-w)/2 \leq x \leq (1+w)/2 \\
 y = r(1-h)/2 \text{ および } r(1+h)/2: \\
 u = 0, v = 0, \theta_f = \theta_b \\
 (\partial \theta / \partial y)_f = R(\partial \theta / \partial y)_b \dots\dots\dots (10)
 \end{aligned}$$

計算に用いた格子数は 42×82 である。また, 非定常計算において $[\overline{Nu_w}(\tau + \Delta\tau) - \overline{Nu_w}(\tau)] / [\overline{Nu_w}(\tau) \cdot \Delta\tau] < 5 \times 10^{-3}$ になったときを定常な現象とみなし

図 1 解析モデルと座標系

た。すべての計算は $Pr=10$ とし、 Gr_w の値としては 5×10^3 と 5×10^6 ($Ra_w=5 \times 10^4, 5 \times 10^6$) で行った。なお、 $Gr_w=1 \times 10^6$ の場合も計算を試みたが安定な解を得ることができなかった。物体と流体の熱伝導率の比 $R(=\lambda_b/\lambda_f)$ は $0 \sim 10^4$ の範囲で計算を行った。ここで、 R が大きいほど物体の熱伝導率が高いことを意味する。実際には R の値は、例えば金属類と水の組合せでは、およそ $10 \sim 10^3$ のオーダーであり、非金属類と水の組合せでは、およそ $0.1 \sim 10$ のオーダーとなる (例えば、 20°C において 銀/水: $R=700$, 鉛/水: $R=60$, ガラス/水: $R=1.3$, ベークライト/水: $R=0.4$)。容器の縦横比 H/W は 2 とし、容器中央部に置かれた物体の大きさは $h=0.8, w=0.4$ (縦横比 $H_i/W_i=2$) 一定とした。さらに容器の傾斜角 γ を三次元流れ⁽¹⁾ が生じない程度に $-30 \sim 60^\circ$ の範囲で変化させた。なお、本解析手法の妥当性は前報⁽⁹⁾ で示したとおりである。

4. 実験装置と方法

密閉容器の概略を図 2 に示す。容器は高さ $H=100$ mm, 幅 $W=50$ mm, 奥行き $D=120$ mm の直方体で、容器の 1 側壁には電気加熱用のカートリッジヒータを 10 本取付け、それらを独立に調節することにより伝熱面を一樣温度に加熱した。また、これに対面する 1 側壁には恒温水を循環させる 10 本のパイプを取付け、恒温槽から送られる恒温冷却水の流量を調節することにより伝熱面を一樣温度に冷却した。それら伝熱面温度のばらつきは加熱面と冷却面の温度差の $\pm 1.5\%$ 以下であった。加熱、冷却両壁には熱伝導性と工作性を考慮して、5 mm 厚の黄銅板を用い、とくに加熱壁は容器高さ方向に熱が移動するのを防ぐため、黄銅板加熱面を容器高さ方向に 10 等分割し、各黄銅板間には厚さ 0.5 mm のベークライト板をはさみ、互いに接着した。容器の上下壁は系外部への熱移動を防ぐように

図 2 実験装置概略

厚さ 20 mm のベークライト板を用い、また、容器前後壁は容器内の観察を可能とし、系外部への熱移動を防ぐように厚さ 15 mm の透明アクリル板を用いた。ヒータ部裏面には系外部への熱移動を防ぐため補償用のヒータを設けた。

加熱面、冷却面および物体周囲の温度は、それぞれの壁に容器奥行き方向の中央に温接点がくるように埋め込んだ素線径 0.2 mm のクロメル-アルメル熱電対を用いて測定した。

流体には純水を用い、物体には熱伝導率の大きく異なる厚さ 45 mm の黄銅 ($R=160$) とベークライト ($R=0.4$) を用いた。数値解析の限界および実験装置製作の制約から、実験の Ra_w の値 ($Ra_w=3.1 \times 10^7 \sim 1.3 \times 10^8$) は数値解析に比べて大きくなり、容器周囲壁に沿って生じる境界層厚さが薄くなる。後述するが、熱伝達に及ぼす物体の影響はこの境界層厚さと加熱あるいは冷却面と物体とで構成される通路の大きさとの関係に大きく影響される。したがって実験においては物体の影響が顕著に現れるように、実験の物体の大きさは $w=0.9, h=0.8$ とし、物体の幅を数値解析より大きくした。

5. 結果と考察

密閉容器の熱伝達は容器内の温度場と速度場とに密接に関連するので、まず、物体の熱伝導率の変化による温度場と速度場の様子を数値解析結果より明確にし、次に熱伝達をそれらの場との関連において考察する。なお、実験結果は実験範囲内の Ra_w に対して定性的に同様であったため、ここでは $Ra_w=6.3 \times 10^7$ の場合の結果を示し考察する。

5.1 温度場と速度場 図 3, 4 はそれぞれ $Ra_w=5 \times 10^4$ と 5×10^6 の場合の数値解析で得られた等温線を温度間隔を一定 ($\Delta\theta=0.1$) にして、 $\gamma=0^\circ$ と 45° の場合を例に、種々の熱伝導率の比 R について示している。図 3, 4 から明らかなように Ra_w や γ にかかわらず R が大きくなるほど物体内での等温線の並びが粗になる。すなわち、物体温度の均一化が生じ、その値は加熱面と冷却面との平均温度 ($\theta=0.5$) に近づく。したがって、容器の断熱壁に面する物体の表面温度は、 R が大きくなるほど下面では高く、上面では低くなる。このことは物体下面と容器底部の間を流れる流体は R が大きくなるほど物体によって、より加熱されることになり、物体上面と容器天井部の間を流れる流体は物体によって、より冷却されることを意味する。

容器の加熱、冷却面とそれらに面する物体表面の間の流体の等温線の様子は Ra_w によって異なる。すなわ

図 3 温度場 ($Ra_w=5 \times 10^4$, 数値解析) 図 4 温度場 ($Ra_w=5 \times 10^6$, 数値解析) 図 5 速度場 ($Ra_w=5 \times 10^4$, $\gamma=45^\circ$, 数値解析)

ち Ra_w が大きい $Ra_w=5 \times 10^6$ の場合は図 4 のように R と γ にかかわらず伝熱面から離れたところで温度が水平方向にほぼ一定になり、かつ鉛直方向に温度成層する様子が見られ、温度成層した温度場の境界層外縁近傍に特有な等温線の凹凸⁽¹¹⁾が見られる。このことは加熱、冷却面に沿う境界層が薄く、物体が境界層内に存在しないことを示している。したがって、先述のように R が大きくなるにしたがって、物体の表面温度が一様化されてもその影響が加熱、冷却面近傍にあまり影響を及ぼさないことになる。他方、 Ra_w が小さい $Ra_w=5 \times 10^4$ の場合は図 3 のように γ にかかわらず R が大きくなるほど、温度が一様化される物体の表面近くまで等温線が壁面と平行になるのが見られる。このことは加熱、冷却面に沿う境界層が厚く、物体が境界層内に存在することを示している。したがって、

図 6 速度場 ($Ra_w=5 \times 10^6$, 数値解析)

物体表面温度の変化が加熱、冷却面近傍の温度に及ぼす影響が大きくなることになる。

図 5, 6 は容器内の速度場に及ぼす R の影響をそれぞれ $Ra_w=5 \times 10^4$ と 5×10^6 の場合を例に数値解析で得られた流線で示している。先述のように、 Ra_w が小さく、物体が加熱、冷却面に沿う境界層内に存在す

る $Ra_w = 5 \times 10^4$ の場合は図5に示されるように、流体は物体まわりを単純に循環する。このような流動パターンは R の大きさにかかわらず、また計算範囲のすべての γ について同様であった。他方、 Ra_w が大きく、物体が加熱、冷却面に沿う境界層内に存在しない $Ra_w = 5 \times 10^6$ の場合には図6に示されるように、流体は容器の周囲壁面に沿う循環流のほかに、加熱、冷却面と物体との間に二次循環流が生じるのがわかる。この二次循環流は R が大きくなるとともに顕著になり、また、二次循環流の中心位置は γ が大きくなるほど加熱、冷却面の中央高さ位置に移動する。

5・2 熱伝達率 図7, 8は数値解析で得られた加熱面の局所ヌセルト数 Nu_w に及ぼす R の影響を物体がない場合とともにそれぞれ $Ra_w = 5 \times 10^4$ と $Ra_w = 5 \times 10^6$ を例に、また、図9は $Ra_w = 6.3 \times 10^7$ の場合の同様の実験結果をそれぞれ各容器傾斜角 γ について示している。物体が境界層内に存在する $Ra_w = 5 \times 10^4$ の場合には図7からわかるように、いずれの γ

においても R が大きくなるほど Nu_w は加熱面下方では小さくなり、加熱面上方では大きくなる。これは R が大きくなるほど先述の物体温度が均一化されることの効果である。したがって、各 γ において R による Nu_w の増減関係が逆転する点が生じ、この点は γ が大きいほど加熱面の下方に移動する。この理由は次のように考えられる。すなわち容器内に物体が存在しない場合には容器が傾斜し加熱面が下向きになると、 γ が大きいほど加熱面の上方のより広い範囲で流動のよどみ域が生じ、熱伝達が悪くなる⁽⁹⁾ が、 R の大きな物体の存在によりこのよどみ部の熱伝達が促進されるからである。図7中に示す物体のない場合の Nu_w と比較すると γ が小さい場合には、小さな R における加熱面下方での Nu_w の促進が、また γ が大きい場合には、大きな R における加熱面上方での Nu_w の促進が顕著であり、加熱面中央部ではいずれの γ においても物体の存在による Nu_w の抑制が見られる。

物体が境界層内に存在しない $Ra_w = 5 \times 10^6$ の場合は、図8からわかるように物体が境界層内に存在する $Ra_w = 5 \times 10^4$ の場合と比較して、局所ヌセルト数に及ぼす R の大きさの影響が小さい。これは先述のように、 Ra_w が大きい場合に物体表面温度が加熱面近傍の温度場に及ぼす影響が小さいことによる。しかし、 γ が大きくなるにしたがって、加熱面、冷却面に沿う方向の浮力が小さくなり、境界層が厚くなるので、 R の大きさの影響が大きくなる。また、図8に示す物体のない場合の Nu_w と比較すると γ が小さい場合には物体の影響はあまり見られないが、 γ が大きくなると先述の Ra_w が小さい場合に比べて加熱面上方のより広い範囲で Nu_w の増加が見られる。これは物体がない場合に加熱面が傾斜することによって生じる加熱面上方の熱伝達低下の原因となるよどみ部が Ra_w が大

図7 加熱面の局所ヌセルト数
($Ra_w = 5 \times 10^4$, 数値解析)

図8 加熱面の局所ヌセルト数
($Ra_w = 5 \times 10^6$, 数値解析)

図9 加熱面の局所ヌセルト数
($Ra_w = 6.3 \times 10^7$, 実験)

きくなるほど明確になり、物体によるこの部分の熱伝達促進効果が顕著となるためである。数値解析で得られた冷却面に沿う局所ヌッセルト数の分布は図には示していないが、図7、8の縦軸を $2-y$ と取り直せば、図7、8と全く一致する。

加熱、冷却面に沿う層流境界層の厚さは $H \cdot Ra_H^{-1/4} = H \cdot [Ra_w \cdot (H/W)^3]^{-1/4}$ に比例すると考えられるので⁽¹²⁾、加熱面あるいは冷却面と物体とで構成される通路の大きさ $W \cdot (1-w)/2$ と境界層厚さとの比は $(1-w) \cdot [Ra_w \cdot (W/H)]^{1/4}$ に比例すると考えられる。この値は数値解析の例である $Ra_w = 5 \times 10^4$ 、 $w = 0.4$ では7.5となり、 $Ra_w = 5 \times 10^6$ 、 $w = 0.4$ では23.9となる。他方、実験結果である $Ra_w = 6.3 \times 10^7$ 、 $w = 0.9$ では7.5となり、実験結果の境界層の厚さと物体の大きさとの関係は Ra_w と物体の大きさが異なっても数値解析で物体が境界層内に存在する $Ra_w = 5 \times 10^4$ の場合にほぼ対応すると考えられる。実際に、図9に見られるように実験結果の局所ヌッセルト数に対する物体の熱伝導率の影響は図7に示された数値解析で得られた局所ヌッセルト数に及ぼす R の影響の特徴が明確に現れている。また、実験では Ra_w が大きいため、加熱面が下向きに位置すると($\gamma > 0$)物体のない場合に現れる加熱面上方でのよどみ現象がいつそう明確になり、 γ が大きくなると物体に熱伝導率の大きな黄銅を用いた場合に加熱面上方での熱伝達促進効果が $Ra_w = 5 \times 10^4$ の数値計算結果よりいつそう顕著に現れている。

このように加熱面の下方と上方で局所ヌッセルト数 Nu_w に及ぼす R の影響が異なり、これらの兼ね合いが加熱面の平均ヌッセルト数、すなわち密閉容器の平均ヌッセルト数 $\overline{Nu_w}$ を支配することになる。

図10、11は種々の容器傾斜角 γ における R と平均

ヌッセルト数 $\overline{Nu_w}$ の関係をそれぞれ数値解析結果の $Ra_w = 5 \times 10^4$ および $Ra_w = 5 \times 10^6$ を例に示している。物体が境界層内に存在する $Ra_w = 5 \times 10^4$ の場合は、図10から明らかなように、 $\overline{Nu_w}$ は R によって大きく変化し、その変化の様子は γ によって大きく異なる。すなわち、 γ が 30° より小さいとき、 $\overline{Nu_w}$ は R の増加とともに減少し、とくに $R = 1 \sim 10^2$ において減少が顕著である。このことは R の増加による加熱面下方の熱伝達の抑制効果が大きいことを示している。一方、 γ が 45° より大きいとき、 $\overline{Nu_w}$ は R の増加とともに増大し、 $R = 0.1 \sim 10$ において増加が顕著である。このことは R の増加による加熱面上方の熱伝達の促進効果の大きいことを示している。いずれの γ においても物体に熱伝導性がない場合($R = 0$)には物体の挿入によって $\overline{Nu_w}$ は物体のない場合よりも小さくなり、したがって、 γ が 30° より小さいときには R が大きくなるほど、ますます物体のない場合よりも熱伝達が抑制されることになる。一方、 $\gamma = 60^\circ$ では R の増加に伴う $\overline{Nu_w}$ の増大がとくに顕著であり $R \geq 10$ においては物体のない場合よりも $\overline{Nu_w}$ が大きく、熱伝達が促進されることになる。いずれの γ においても $R \geq 10^2$ においては R による $\overline{Nu_w}$ の変化はほとんどなくなる。

物体が境界層内に存在しない $Ra_w = 5 \times 10^6$ の場合には、図11からわかるように、 $Ra_w = 5 \times 10^4$ の場合と同様に $\overline{Nu_w}$ は R とともに変化するが、 $\overline{Nu_w}$ に及ぼす R の大きさの影響は小さい。また、物体がない場合の $\overline{Nu_w}$ の値と比較すると、とくに R および γ が小さい場合には物体のない場合の $\overline{Nu_w}$ より若干大きくなる。また、 $\gamma = 60^\circ$ の場合には $R \geq 10^2$ で $\overline{Nu_w}$ は物体がない場合と比較してかなり大きくなる。

図12は $Ra_w = 6.3 \times 10^7$ の実験により得られた γ と $\overline{Nu_w}$ の関係を示している。図12より明らかなように

図10 R と $\overline{Nu_w}$ の関係($Ra_w = 5 \times 10^4$, 数値解析)

図11 R と $\overline{Nu_w}$ の関係($Ra_w = 5 \times 10^6$, 数値解析)

図 12 γ と Nu_w の関係 ($Ra_w = 6.3 \times 10^7$, 実験)

物体の熱伝導率が大きいかほど Nu_w の容器傾斜角による変化が小さく、 γ が小さい場合には物体の熱伝導率が小さいほど、また、 γ が大きい場合には物体の熱伝導率が大きいかほど Nu_w が大きくなる。さらに、熱伝導率の大きな物体の存在は、物体がない場合に比較して γ が小さいときには熱伝達の抑制の、 γ が大きいときには熱伝達の促進効果をもつことがわかる。これらの特徴は数値解析結果の図 10, 11 とよく一致している。とくに Ra_w が大きな実験結果は、 γ が大きい場合には先述のように加熱面上方での局所熱伝達率の促進が大きく、その結果として平均熱伝達率の促進効果が顕著である。

6. 結 言

本報では断面長方形の密閉容器内の自然対流熱伝達現象に及ぼす容器内に置かれた物体の熱伝導率の影響を、種々の角度に傾斜された密閉容器を対象に解析した。得られた結果を以下に要約する。

(1) 物体の熱伝導率が大きくなるほど局所熱伝達は加熱面下方(冷却面上方)では悪くなり、加熱面上方(冷却面下方)では良くなる。また物体が伝熱面に沿う境界層内に存在しない場合には、物体の熱伝導率の大きさが局所熱伝達に及ぼす影響は小さい。

(2) 前項の局所熱伝達の変化は、物体の熱伝導率が大きくなるほど物体内部の温度が均一化されることによる。

(3) 容器傾斜角が大きくなり、物体が存在しない場合に生じるよどみ部に物体がかかると、物体の存在が加熱面上方(冷却面下方)の局所熱伝達を促進するが、この促進の度合はレイリー数が大きくなるほど、また物体の熱伝導率が大きくなるほど顕著になる。

(4) 熱伝導率の大きな物体の存在は、物体が存在しない場合に比較して、容器傾斜角が小さい場合には平均熱伝達率の抑制効果をもつ。容器傾斜角が大きくなり、物体がない場合に生じるよどみ部に物体がかかると、平均熱伝達率の抑制効果は小さくなり、傾きがさらに大きくなれば促進効果に変わる。

(5) 物体の熱伝導率が大きいかほど熱伝達率の容器傾斜角による変化が小さくなる。

以上の結論は流れが境界層的で、かつ物体と容器の上下断熱壁とで構成される通路が流れを閉そくしない程度に広い場合に成り立つ。

文 献

- (1) 稲葉・金山, 機論, 49-448, B(1983), 2838.
- (2) ElSherbiny, S. M., ほか 2 名, *Trans. ASME, J. Heat Transf.*, 104-1(1982), 96.
- (3) Wirtz, R. A., ほか 2 名, *Trans. ASME, J. Heat Transf.*, 104-3(1982), 521.
- (4) Acharya, S. and Jetli, R., *Int. J. Heat Mass Transf.*, 33-5(1990), 931.
- (5) Nansteel, M. M. and Greif, R., *Trans. ASME, J. Heat Transf.*, 103-4(1981), 623.
- (6) Kanchan, M. K. and Suhas, V. P., *Numer. Heat Transf., Part A*, 17(1990), 269.
- (7) Ramon, L. F., *Int. J. Heat Mass Transf.*, 32-1(1989), 87.
- (8) Kimura, T., ほか 2 名, *ASME/JSM Thermal Eng. Proc.*, 1(1991), 101.
- (9) 木村・ほか 2 名, 機論, 57-539, B(1991), 2369.
- (10) House, J. M., ほか 2 名, *Numer. Heat Transf., Part A*, 18(1990), 213.
- (11) 竹内・ほか 2 名, 機論, 40-332(1974), 1046.
- (12) 甲藤, 伝熱概論, (1964), 88, 養賢堂.
- (13) Negendra, H. R. and Tirunarayanan, M. R., *Nucl. Eng. Des.*, 15(1971), 17.