



放射熱伝達の解析 (第6報,
平行平板間放射-対流共存熱伝達における加熱壁と
冷却壁の差異について)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 媚山, 政良 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/803

放射熱伝達の解析

(第6報, 平行平板間放射-対流共存熱伝達における
加熱壁と冷却壁の差異について)

媚山 政良

Analysis of Radiative Heat Transfer

(6th Report, Difference of characteristic between heating and cooling wall conditions in case of combined heat transfer with radiation and convection between two parallel plates)

Masayoshi KOBAYAMA

Abstract

Non-dimensional temperature and Nusselt Number of the combined heat transfer with radiation and convection take different values whether the temperature condition of the walls are heating walls or the cooling ones even though the highest and lowest temperatures of these model are same because of the non-linearity of the temperature. In this report, the problem of combined heat transfer between two parallel plates was analyzed to clear the difference of characteristic between heating wall model and cooling one by mean of the numerical analysis with the treatment of the radiative heat transfer in conformity of the dimension of the heat transfer model.

1. 緒 言

放射性媒体が平行平板間を流れる場合の熱伝達, いわゆる放射-対流共存熱伝達について, すでにいくつかの報告¹⁻³⁾を行なった。とくに第2報²⁾において, 対流のみの伝熱系でのエネルギー方程式は温度に対して線形となるため, 無次元の温度分布および局所ヌセルト数が加熱壁と冷却壁の違いおよび加熱/冷却領域入り口の流体温度と加熱/冷却壁温との温度差には無関係に求まるのに対し, 放射と対流の共存熱伝達では, エネルギー式が温度に対し高次の非線形となるため, 系の最高温度, 最低温度が同一であっても, 加熱, 冷却の違いにより無次元の流体温度および局所ヌセルト数が異なることを示し, また, とくに大気温度近傍における温度範囲における計算例を示した。本報では第3報³⁾におけると同様に, 放射熱伝達を系の次元に則した二次元とし解析を行ない, 等温の加熱ないしは冷却という条件下での共存熱伝達における加熱壁と冷却壁の違いによる熱伝達の変化について実用的な範囲に渡り解析, 検討を行なったので報告する。

この伝熱問題に対しては, すでに Viskanta⁴⁾ および黒崎⁵⁾により解析が行なわれ報告されてい

るが、前者では解析を容易にするため温度分布も発達したものとし、流れ方向に変化しないとしているが、この条件には特殊な場合を除き成立せず、また、後者では放射熱伝達の次元伝播の近似を用いているため、熱伝達の最も盛んな加熱/冷却開始点および終了点近傍の温度分布および熱負荷が現象に則し解析され定量化されてはいない。なお、本報での伝熱モデルの重要性は、工業分布のみならず多くの分野において放射性流体の加熱と冷却が行なわれていることからもうかがわれる。

記 号

x	: 流れ方向の座標	T	: 温度
y	: 流れに直角方向の座標	T_{h0}	: 系の最高温度
z	: 平面に直角方向の座標	T_{l0}	: 系の最低温度
X	: x 方向の無次元距離	u	: 速度
Y	: y 方向の無次元距離	q_x	: 壁面熱流束
x_0	: 加熱壁の長さ	κ	: 放射吸収係数
y_0	: 二平面間の距離	γ	: 比重量
Re	: レイノルズ数	ν	: 動粘性係数
Pr	: プラントル数	c_p	: 定圧比熱
N_R	: 伝導-放射パラメータ	λ	: 熱伝導率
τ_{y0}	: 二平面間の光学距離	A^*, B^*	: 非加熱領域の演算領域の長さ
τ	: 光学距離	R_E	: 演算領域を決める許容誤差
$F^{\parallel}, \bar{\tau}$: ガスの吸収を考慮した二次元形態係数	ϵ	: 反復計算の収束判定誤差 添字
θ, Θ^*	: 無次元温度	g	: 流体 w : 壁面 m : 平均値
Nux, Nux^*	: 局所ヌセルト数		

2. 伝熱系および基礎方程式

伝熱系を図1に示す。この系は第3報において用いたものと加熱壁の温度条件を除き同一のものである。すなわち、 $x-y$ 面に垂直な z 方向に無限長である距離 y_0 離れた平行二平面間を十分発達した灰色放射性媒体が定常状態で流れているものとする。黒体で一定温度 T_{w0} であり、また、有限な長さ x_0 の加熱ないしは冷却壁をはさみ、前後に半無限長の断熱壁が存在するものとする。また、物性値は一定であり、加熱/冷却壁と十分離れた上流で流体および断熱壁は一定温度 T_0 であるとする。なお、系の最高および最低温度をおのおの T_{h0}, T_{l0} とする。

基礎方程式は第3報における無次元式、式(1)、(2)と同様であるが、第3報において詳述した x 方向の数値解析上の積分範囲 A^*, B^* を考慮し書き改めると式(1)、(2)として表わされる。また、

放射熱伝達の解析 (第6報, 平行平板間放射-対流共存熱伝達における加熱壁と冷却壁の差異について)

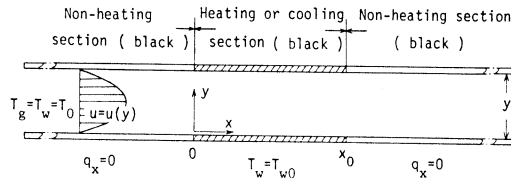


図-1 座標系

境界条件は式(3)となる。

$$\left\{ \frac{\partial \theta_g}{\partial X} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} - \frac{\tau_{y0}}{N_R} \left[\theta_g^4 - \int_{-1A^*}^{X_0+4B^*} \int_0^{\tau_{y0}} \theta_g^4 \mathfrak{F}_{gg} d\tau_y d\tau_x - \frac{1}{4} \int_{-1A^*}^{X_0+4B^*} (\theta_{w1}^4 \mathfrak{F}_{wg1} + \theta_{w2}^4 \mathfrak{F}_{wg2}) d\tau_x \right] \right. \quad (1)$$

$$Nux_1 = - \frac{1}{(1-\theta_m)} \left\{ \left(\frac{\partial \theta_g}{\partial Y} \right)_{Y=0} + \frac{\tau_{y0}}{N_R} \left[\frac{1}{4} (\theta_{w1}^4 - \int_{-1A^*}^{X_0+4B^*} \theta_{w2}^4 \mathfrak{F}_{ww2} d\tau_x) - \int_{-1A^*}^{X_0+4B^*} \int_0^{\tau_{y0}} \theta_g^4 \mathfrak{F}_{gw} d\tau_y d\tau_x \right] \right\} \quad (2)$$

ただし, 添字 1, 2 はおのおの壁 1, 2 に属する値を示している。

$$\left. \begin{aligned} Y = 0, 1 : \text{加熱壁の場合} & \quad \theta_w = \theta_g = 1 \\ & \quad \text{冷却壁の場合} \quad \theta_w = \theta_g = 1/2 \\ Nux = 0 & \quad (X < 0, X_0 < X) \\ -4A^* < X < -2A^* : \text{加熱壁の場合} & \quad \theta_w = \theta_g = 1/2 \\ & \quad \text{冷却壁の場合} \quad \theta_w = \theta_g = 1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし, ここでは $\theta_0 = T_{10}/T_{h0} = 1/2$ とし, 式(1), (2), (3)における諸量は次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} X &= (x/y_0)/(\text{RePr}), \quad X_0 = (x_0/y_0)/(\text{RePr}), \quad Y = y/y_0, \quad A^* = (2a/y_0)/(\text{RePr}), \quad B^* = 2A^*, \quad \text{Re} = e^{-2\kappa a} \\ U &= u/u_m, \quad \text{Re} = u_m y_0 / \nu, \quad \text{Pr} = \gamma c_p \nu / \lambda, \quad N_R = \lambda \kappa / 4 \sigma T_{h0}^3, \quad \tau_x = \kappa x, \quad \tau_y = \kappa y, \quad \tau_{y0} = \kappa y_0, \\ \theta_w &= T_w/T_{h0}, \quad \theta_g = T_g/T_{h0}, \quad \theta_m = T_m/T_{h0}, \quad T_m = \int_0^{y_0} T_g dy / y_0, \quad Nu_{x1} = q_{x1} y_0 / \{ \lambda (T_{h0} - T_m) \} \\ \mathfrak{F}_{gg} &= F_{gg}^{\parallel} / d\tau_y d\tau_x, \quad \mathfrak{F}_{wg} = F_{wg}^{\parallel} / d\tau_y d\tau_x, \quad \mathfrak{F}_{gw} = F_{gw}^{\parallel} / d\tau_x, \quad \mathfrak{F}_{ww} = F_{ww}^{\parallel} / d\tau_x \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

また, 計算結果の整理では, 次の無次元数を用いる。

$$\Theta \cdot \begin{cases} = (T - T_0)/(T_{w0} - T_0) : \text{加熱壁の場合} \\ = (T_0 - T)/(T_0 - T_{w0}) : \text{冷却壁の場合} \end{cases}$$

$$Nux^* \begin{cases} = Nux & : \text{加熱壁の場合} \\ = -Nux & : \text{冷却壁の場合} \end{cases}$$

ここで T は, T_g, T_w ないしは T_m を示している。

なお, 放射熱伝達の計算には第1法¹⁾において詳述したEFD法を用い, また, 対流熱伝達の計算には差分法を用い, Gauss-Seidel法による反復計算により数値解を得た。

3 解析結果と検討

τ_{y0}	N_R	τ_{y0}/N_R	NO.
5	0.0025	200	#1
5	0.05	100	#2
1	0.005	200	#3
1	0.01	100	#4

$RePr=2000$ $\theta_0=1/2$ $X_0=5 \times 10^{-3}$
 $R_E=0.01$ $\epsilon=5 \times 10^{-4}$

表-1 計算条件

計算条件を表1に示す。この解析例では、加熱壁の無次元長さ X_0 を一定にしている。また、各条件に対し、加熱壁の

場合 ($T_{w0} > T_0$) と冷却壁の場合 ($T_{w0} < T_0$) が含まれている。

3.1 温度

図2から図5に条件下における加熱/冷却領域での流体の温度 Θ^* を加熱の場合と冷却の場合とを比較し示す。また、図6には放射の一次元近似との比較をおのおの加熱の場合と冷却の場合とに分け示し、図7には混合平均温度 Θ_m^* 、壁温 Θ_w^* を示す。

加熱壁と冷却壁による温度の差異は二平面間の工学距離 τ_{y0} が大きくなり、また、伝導-放射パラメータ N_R が小さくなるにしたがい顕著となる。これは、加熱ないしは冷却の場合の各 x 断面において、加熱壁の場合には最高温度が加熱壁温であり、その値は T_0 よりも高く、また、一定であるのに対し、冷却壁の場合には x 断面における流体温度の最高値は流路中央部 ($Y=0.5$) において表われ、その値は流れが進につれて低下し、温度の4乗で示される放射の寄与が少なくなるためである。その傾向は図7に示す混合平均温度 Θ_m^* にも顕著に表われている。

また、図6に示すように、放射の一次元伝播の近似は冷却壁における方が、冷却領域における放射熱伝達により寄与が少ないにもかかわらず加熱壁におけるよりも二次元の実際の現象から離れて

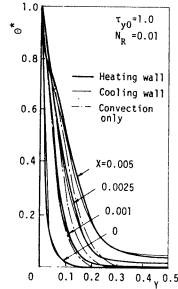


図-2 流体温度

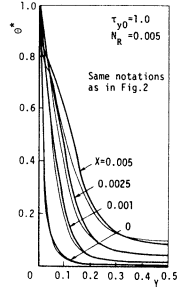


図-3 流体温度

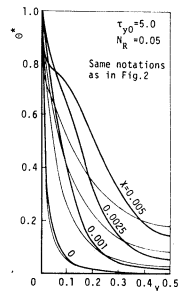


図-4 流体温度

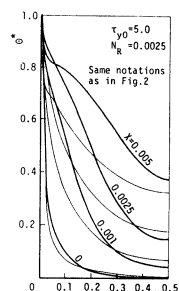
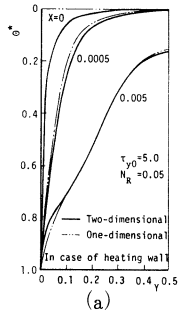
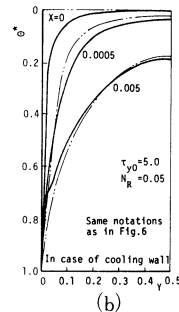


図-5 流体温度



(a)



(b)

図-6 放射の一次元伝播の近似による流体温度との比較

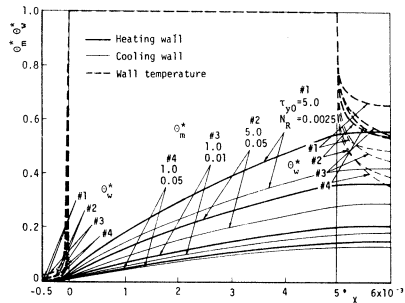


図-7 混合平均温度および壁温

放射熱伝達の解析（第6報，平行平板間放射-対流共存熱伝達における加熱壁と冷却壁の差異について）

いる。これは，より高温である冷却領域より前方の非加熱（断熱）領域からの放射熱伝達が，加熱壁の場合よりも相対的に大きいためである。

3.2 熱伝達

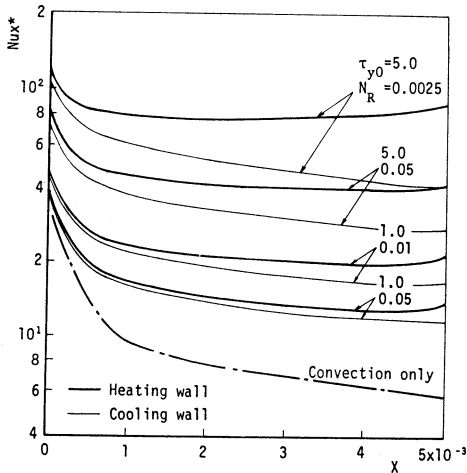


図-8 局所ヌセルト数

Nux^* を図8に示す。加熱/冷却開始点近傍では，加熱，冷却の違いによる Nux の差異は少ないが，流れが進につれ両者の差異は大きくなり，一般に冷却壁の場合の方が低い値となり，また，冷却壁の場合，冷却領域の出口近傍では，加熱壁に場合にみられるような Nux^* の立ち上がりは少ない。なお，放射熱伝達の寄与が少なくなるにつれて， Nux は対流のみ場合の分布に近くなるが，一般に放射と対流の共存熱伝達では冷却壁の場合においても対流のみの伝熱系におけるようなヌセルト数の漸近値は存在しないことがわかる。

4. 結 言

放射性媒体が平行二面間の流路を流れる場合の熱伝達問題の解析を行なった。本報では放射の取り扱いを系の次元に則した二次元とし，一定温度の加熱/冷却壁の条件の下で，加熱壁の場合と冷却壁の場合の熱伝達特性の違いを調べ，次の結果を得た。

- 1) 加熱壁と冷却壁による温度の差異は，二平面間の光学距離が大きくなり，また，伝導-放射パラメータの値が小さくなるほど顕著となる。
- 2) 放射の一次元近似は，加熱壁における方が良く現象を近似できる。
- 3) 局所ヌセルト数は，流体の流れが進むにつれ，また，二平面間の光学距離が大きく，伝導-放射パラメータが小さくなるに従い，加熱の場合と冷却の場合との差異が大きくなる。

(昭和60年5月20日 受理)

参考文献

- 1) 媚山，室蘭工業大学研究報告（理工編），9-3（昭53-11），735.
- 2) 媚山，室蘭工業大学研究報告（理工編），10-1（昭55-1），111.
- 3) 媚山，室蘭工業大学研究報告（理工編），10-2（昭55-11），269.
- 4) Viskanta, R: Trans. ASME, Ser. C, 85-4 (1963-11), 318.
- 5) 黒崎：第11回日本伝熱シンポジウム講演論文集，(1974-5)，289.