

流動層内水平円管まわりの伝熱特性 (比較的径の大きな伝熱管の場合)

加藤 泰生*・宮本 政英*

The Characteristics of Heat Transfer on the Horizontal Tube Bundles in a Fluidized Bed (For the Case of Large Tube Diameter $\phi 90\text{mm}$)

Yasuo KATOH and Masahide MIYAMOTO

Abstract

This report presents the characteristics of the time-averaged heat transfer coefficient of the horizontal tube bundles in a fluidized bed, for the case of the relatively large tube diameter $\phi 90\text{mm}$ experiment. The tube bundles have 4 rows and are in a staggered tube arrangement. Experiments were carried out on the two locations of the 1st row tubes ($X_1=110, 250\text{mm}$) from the distributor with varying superficial gas velocity (U_0) and static bed height (L_c). We found that when X_1 was in a higher location the values of the heat transfer coefficients (H_m) increased. After the H_m has taken the maximum value, it will remain at the same value or will start to decrease. In the comparison between the results of the $\phi 34\text{mm}$ and $\phi 90\text{mm}$ tubes, there are many differences in the distribution of local H_0 , and on the average H_m it takes smaller values at similar conditions.

1. 緒 言

流動層内水平円管まわりの伝熱特性をとり扱った論文は数多い^{1)~4)}。しかしながら、それらほとんどが、流路幅がせまいもの、伝熱管が比較的小さいもの、流動粒子に完全に埋まっているものに限られており、なおかつ平均の伝熱特性はあっても、その基になる局所のデータを示しているものが極めて少ない、さらには、その周まわり測定点数も少ないなど不備がある。昨今のエネルギー事情から伝熱の促進はもとよりエネルギー制御の意味からも伝熱特性を十分把握することは極めて重要なことであり不備不足の点は補いかつデータとして公表すべきと考える。本報告の特徴は、従来に見られない伝熱管径 $\phi 90\text{mm}$ という比較的大きな管を用い、その管まわりの平均伝熱特性ならびに局所の伝熱特性を見

ることを目的としたものである。流動層の広範囲な応用を考えた場合、このような伝熱管径の大きなものが利用される可能性があり、その特性を知ることは意義あるものと考えられる。従来のデータとの比較は幾分困難ではあるが、敢えて、 $\phi 34\text{mm}$ 管の場合⁵⁾の流動特性の似通った(流速、層高と管高さなどの相対位置)ものとの比較を試み、その違いを述べる。

2. 実験装置および実験方法

Fig. 1 に実験装置の概要並びに座標系を示す。ディストリビュータから流れ方向距離を X 、静止層高を L_c とする。室内より吸入された空気が、加圧、加速されて後バルブで流量を調整され、オリフィスを通過後テストセクションへ入る。テストセクションは、 400×400 の矩形流路で壁の一面は可視化用の厚さ 5mm の板ガラスで、他の3面は厚さ 10mm のポリカーボ板を使用している。

*機械工学科

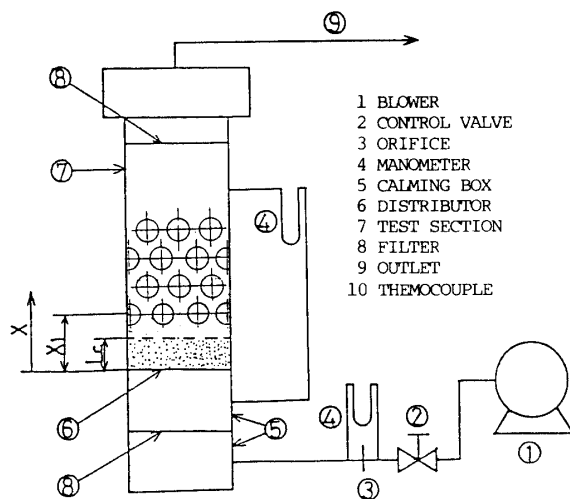


Fig. 1 Experimental Apparatus and Coordinate System

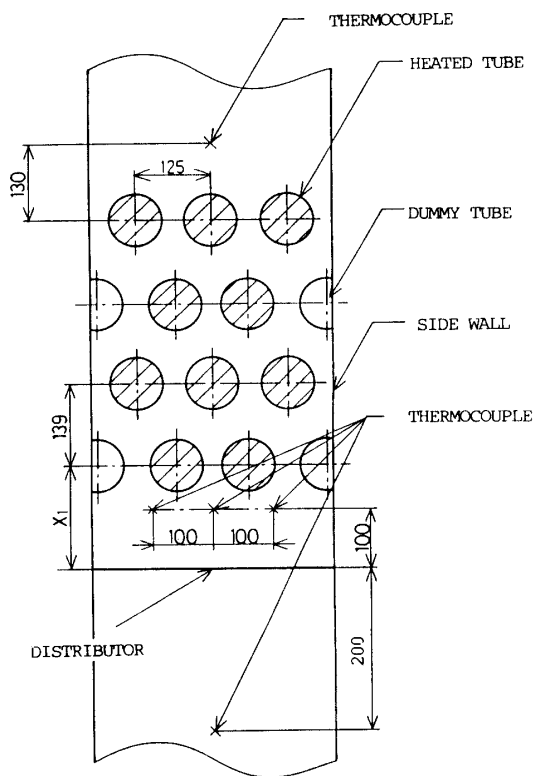


Fig. 2 Heat Tubes Arrangement

φ90mm円管の実験装置において、伝熱管は4列の千鳥配列で中央部分の10本をそれぞれ加熱管としている。Fig. 2 にその詳細配置図を示す。伝熱管は直径90mmのポリカーボネイトパイプに、計算から幅と長さで切り出した厚さ30μmのステンレス箔のリボンを、両面テー

プでせん状に貼付け、その両端に銅電極及び通電用コードをハンダ付けし、一様発熱（熱流束一定）が得られるようにした。

熱電対は0.1mmのC-C熱電対を各列中央の管周上に前方淀み点から時計回りに管頂部まで15°間隔で、反時計まわりに45°間隔で合計16本埋め込んでいる。他の加熱管は90°間隔で、4本ずつを埋め込んでいる。

層内温度の測定には、径2.2mmのシース熱電対をディストリビュータ上方100mmの中央とその両側100mm、ディストリビュータ下方200mmの中央に、また伝熱管4列目下流側上方、130mmの位置に、それぞれ合計5本配置して測定した。

流動粒子は、平均粒径 $dp=0.4\text{mm}$ 、かさ密度 $\rho_s=1510\text{kg/m}^3$ 、真密度 $\rho_p=2660\text{kg/m}^3$ の珪砂粒子を用いた。また、最小流動化速度 U_{mf} は0.13m/sである。ディストリビュータには開口比2%のキャップ型ディストリビュータを用いた。

実験は、ディストリビュータから第1管列までの距離 $X_1=110,250\text{mm}$ の2種類において、鉛直ピッチ $P_v=139\text{mm}$ 、水平ピッチ $P_h=125\text{mm}$ で、流速 U_0 を種々変化させることで行った。

3. 実験結果および考察

3.1 定義式

管周方向局所熱伝達率に関する定義は以下の様におく。

$$H_\theta = \frac{q_w}{T_{w\theta} - T_b} \quad (1)$$

ここに、 q_w は熱流束、 $T_{w\theta}$ は、前方淀み点から角度 θ における伝熱管表面温度、 T_b はディストリビュータ上方100mm位置の熱電対による層内温度を表わす。

管周平均熱伝達率の定義は次式である。

$$H_x = \frac{q_w}{T_w - T_b} \quad (2)$$

ここに T_w は管周方向温度 $T_{w\theta}$ を算術平均した温度である。

3.2 管周平均熱伝達率

Fig. 3 a ~ d は、管周平均熱伝達率と流速との関係をみたものである。測定範囲は、 $L_c=0\sim390\text{mm}$ 、 $U_0=0.15\sim0.50\text{m/s}$ である。

層の高さと管の位置により明確な違いが出ている。完全に砂層に埋っていない限り、流速の増加とともに、平均の熱伝達率は増加する。最初から砂に埋まってい

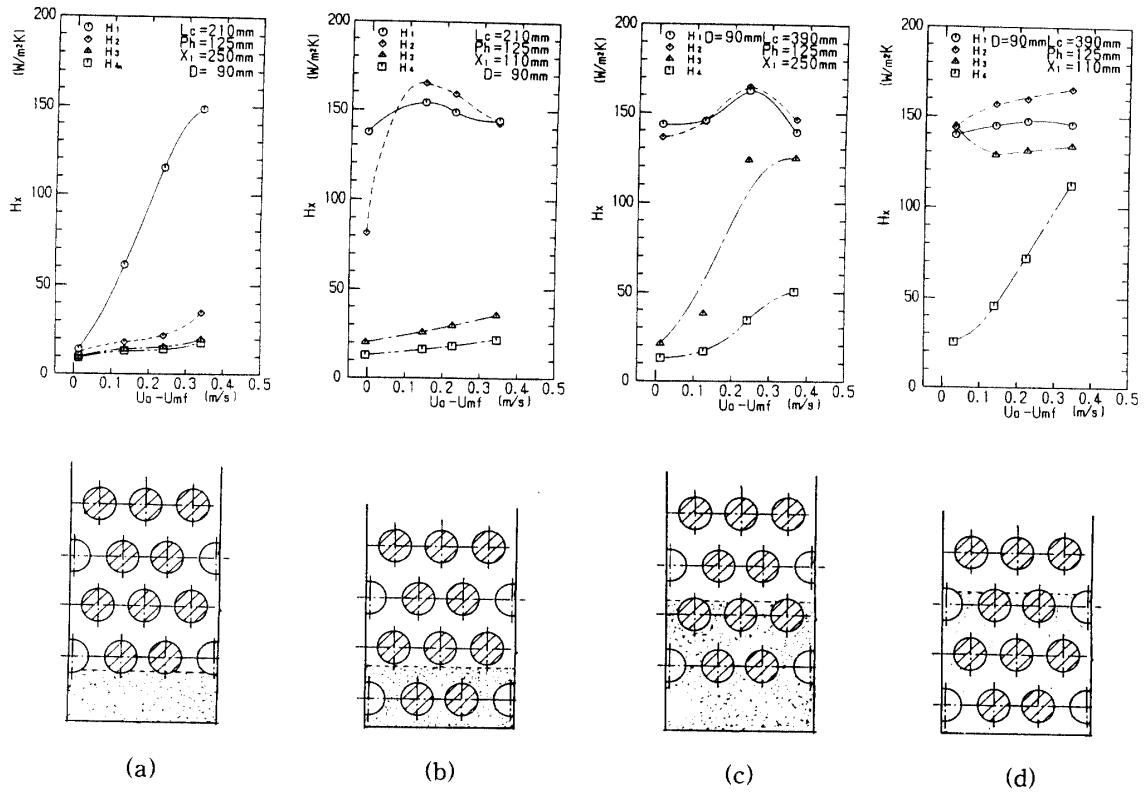


Fig. 3 Average Heat Transfer Coefficient

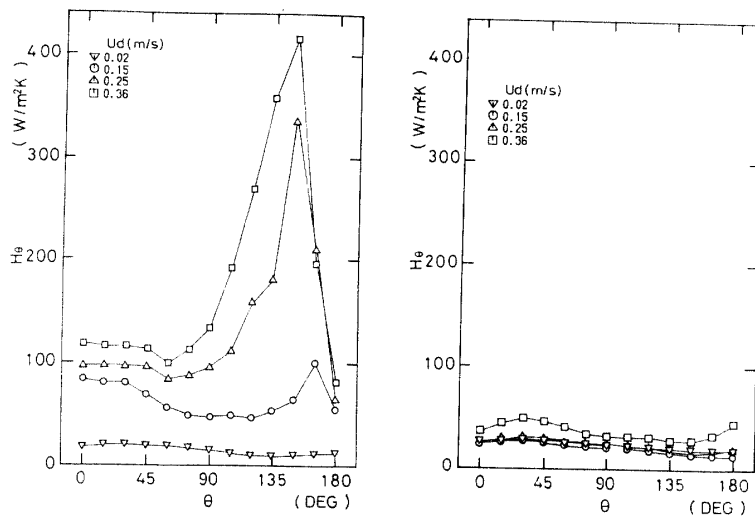


Fig. 4 Local Heat Transfer Coefficient
($X_1 = 250\text{mm}$, $L_c = 210\text{mm}$)

る場合、その平均の熱伝達率は、 $150\text{W/m}^2\text{K}$ 前後の値をとる。一旦、最大の熱伝達率をとった後、減少するのが通常のパターンであるが、 $L_c = 390\text{mm}$ の場合、埋没した3管列のパターンが3様であり興味ある現象であ

る。

3.3 局所熱伝達率

Fig. 4 ~ Fig. 7 は上記図 3 a ~ d に対応した局所熱

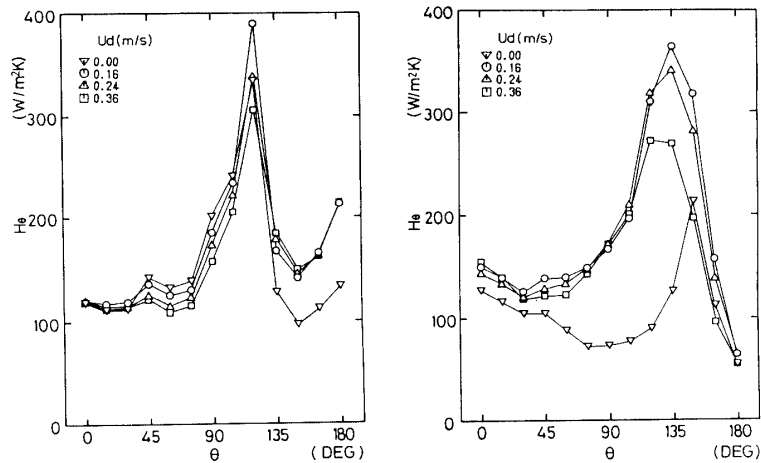


Fig. 5 Local Heat Transfer Coefficient
($X_1=110\text{mm}$, $L_c=210\text{mm}$)

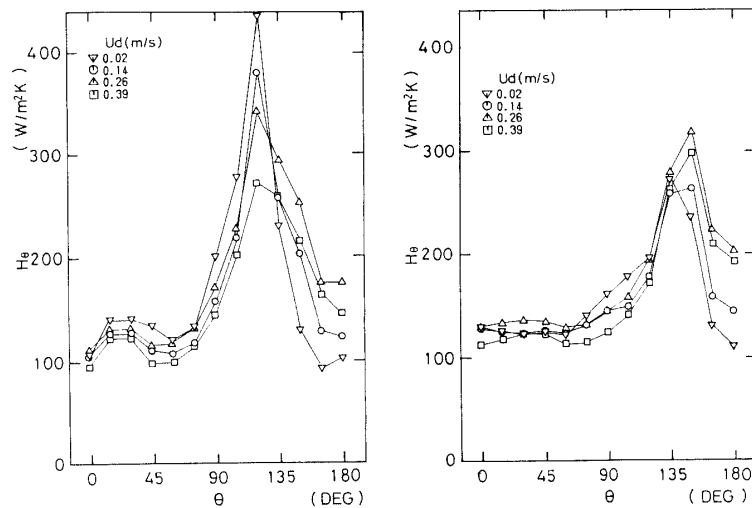


Fig. 6 Local Heat Transfer Coefficient
($X_1=250\text{mm}$, $L_c=390\text{mm}$)

伝達率分布を示す。層の高さと管の位置による違いとともにその分布の形状は流速に大いに関係している。最初から砂層中不在の管の場合 (Fig. 4), その管上で最大の局所熱伝達率をとる位置は、流速の増加とともに、後方淀み点から前方淀み点側へと移動し徐々に大きな値を示すが、後方淀み点では、ほぼ同程度の値をとる。最初から1列管だけ砂中に埋まっている場合 (Fig. 5), その分布形状にさしたる違いがなく逆に流速の増加とともに、最大値の値は小さくなる。これは流速の増加とともにこの管列まわりの粒子の膨張により濃度が希薄になる影響と思われる。2列目の管では、

最初から砂中不在の場合の先程の例と似たパターンではあるが、ある流速以上では最大値が減少してくる。またその際、最大値の位置が若干前方淀み点側へと移動している。減少の理由は先程と同様のことが考えられる。層高が高くなり、2列目が最初から埋まった状態の場合 (Fig. 6), 流速の増加とともに、管の前方領域から最大値 (ピーク) の位置まで全体的に下がっており、平均値が下がっていることに対応する。特に第1列目は、ディストリビュータ近傍であり気泡生成が活発になる分、粒子濃度が低下することによる。2列目においては、その最大値の位置が前方淀み点側へと

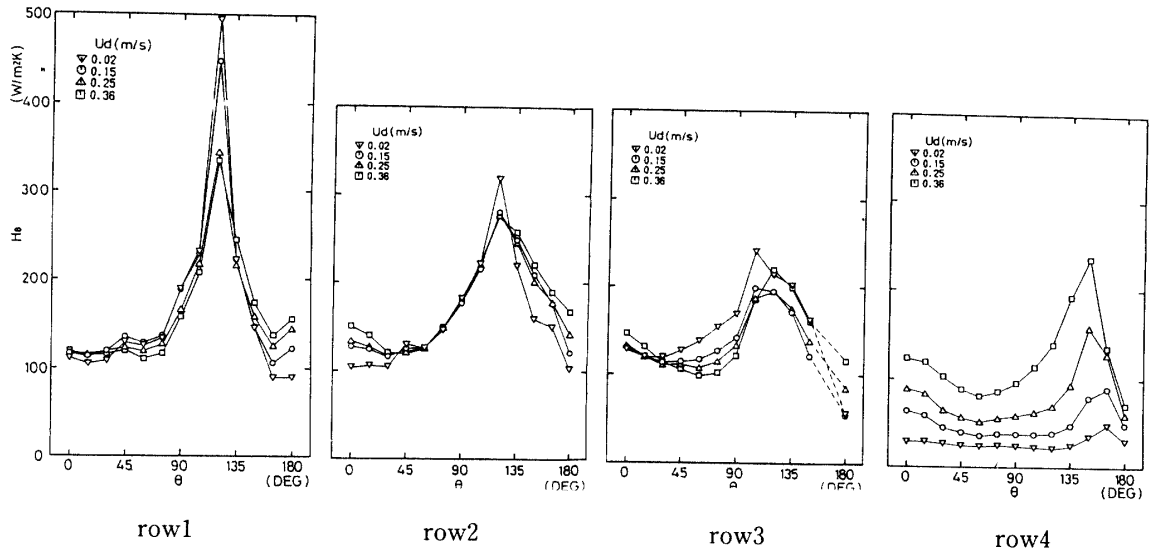


Fig. 7 Local Heat Transfer Coefficient
($X_1=110\text{mm}$, $L_c=390\text{mm}$)

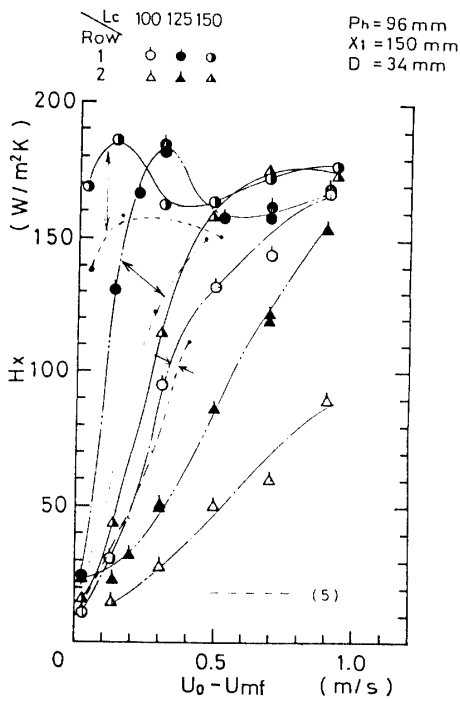


Fig. 8 Example Date for Average Heat Transfer Coefficient ($D=34\text{mm}$)

移動しているが、その値の減少の程度は小さい。3列の管が最初から埋まった状態の場合(Fig. 7), 前述の範ちゅうに当てはまらないパターンが見られる。流速とともに、1列目、2列目とも前方と後方の淀み点側

で全般的に上昇するパターンがあり、3列目においても最小の流速以外は同一の分布パターンが見られる。4列目に関しては、最初から砂中にあるパターン(例えば、Fig 4左図)で分布している。

3.4 管径の異なる管との比較

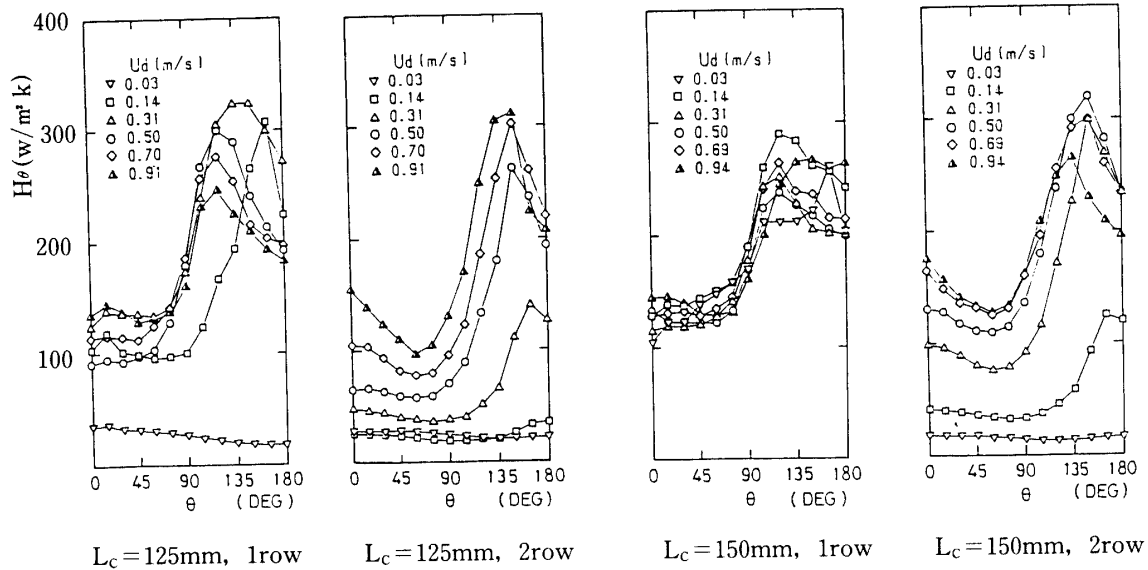
Fig. 8は、 $D=34\text{mm}$ 、2列配置の場合の平均熱伝達率の例である。 $X_1=150\text{mm}$ の位置に1列目がある場合で、 $L_c=125\text{mm}$ 、 $L_c=150\text{mm}$ とが、Fig. 4、5の場合と幾分対応するものとする。ここで大きく異なるのは流速に対する熱伝達率は管径が大きい場合より敏感でその増加は急であり、またその最大値の値は、幾分高い値をとる。

Fig. 9は、その局所熱伝達率の例であるが、伝熱管が小さくなるほど、そのピークとそのすそ野との差が小さい。また最初から砂中にある管の場合、そのピーク値は、大きな管のパターンとは異なり、ある流速で、一旦減少するが、その後は増加の傾向をもつ。

4. 結 言

比較的大きな伝熱管を用いた流動層内円管まわり伝熱特性を測定し、以下の知見を得た。

- 1) 伝熱管が大きくなると、平均の熱伝達率は幾分小さくなる。
- 2) 伝熱管が埋まった場合は、どの管列の場合もほぼ同じ熱伝達率を示し、層高 L_c への依存は弱い。た

Fig. 9 Example Data for Local Heat Transfer Coefficient ($D=34\text{mm}$)

- だし、層高が高いほど当然、埋没管が多くなるため、全体の伝熱量は増加する。
- 3) 伝熱管が大きくなると埋没しない管（フリーボード管）の平均熱伝達率の流速への依存は幾分ゆるやかな様である。
- 4) 局所熱伝達率は、伝熱管が大きくなるほど、そのピークとそのすそ野の値との差は大きくなる。また、そのピーク値の大きさは流速に比例しておらず、本結果のみからは、その一般性はみられない。
- 5) 局所熱伝達率の形状パターンとして、いくつかのパターンが考えられ、それは、層高に依存したものである。

使用記号

- D ; 伝熱管径
 H_x ; 管周平均熱伝達率
 $H_{w\theta}$; 周まわり局所熱伝達率
 L_c ; 粒子の静止層高
 P_h ; 伝熱管水平ピッチ
 q_w ; 伝熱面熱流束
 U_d ; 流速 $U_0 - U_{mf}$

U_{mf} ; 最小流動化速度

U_0 ; 空塔速度

T_w ; 伝熱面温度

T_∞ ; 層内バルク温度

X_1 ; ディストリビュータから第1管列までの距離

ギリシャ記号

θ ; 管周まわりを示す。前方淀み点を 0° とおく。

参考文献

- 1) 福迫・ほか3名, 機論, 51-463, B(1985)989.
- 2) Grewal, N. S. and Saxena, S. C., Int J. Heat Mass Transfer, 23-11 (1980) 1505.
- 3) Gel'perin, N. I., ほか2名, J. Eng. Phys., 10-6 (1966) 473.
- 4) Chandran, R., ほか2名, Trans. ASME, J. Heat Trans., 102-1 (1980) 152.
- 5) 加藤・宮本, 山口大学工学部研究報告, 41-2 (1991-3) 113.

(平成3年4月15日受理)