536.423.1 : 536.242

水平伝熱面における核沸騰に及ぼす水位の影響⁽¹⁾

(低水位の場合)

松岡久光⁽²⁾ 浦川和馬⁽³⁾

Effect of the Low Water Level on Heat Transfer of Nucleate Boiling on Horizontal Heating Surface

by Hisamitsu MATSUOKA and Kazuma URAKAWA

No experimental data have been known quantitatively concerning the effect of the low water level on the coefficient of heat transfer of boiling α . In preceding experiments we carried out, the normal water level was between 6 and 8 cm., and in the present experiment it is lowered from 6 to 0.5 cm..

A heating surface which is made of a brass plate has diameter of 10 cm..

Heat flux was changed from 8 750 to 21 800 kcal/m²h.

The conclusions are summarized as follows :

- (1) There is a notable difference between the temperature distribution corresponding to the level higher than 4 cm. and that lower than 3 cm..
- (2) It was found that the number of vapor columns on a surface n and α remained unchanged to a certain point, and then they increased slightly with the decrease in depth.
- (3) Being independent of the water level, every datum could be arranged on only one curve when we take a coordinate of α vs. n .

1. 緒 言

沸騰液体内の温度分布が水位によっていかに変化するかについては、15 cm 以下の場合には Jakob⁽⁴⁾等によって二三のデータが与えられており、また 100 cm までの水位の場合についても Fritz, および Homann⁽⁵⁾によって詳細な実験結果が発表されている。しかしながら、水位が熱伝達係数に及ぼす影響そのものについては Fritz 等の研究はふれておらず、主として温度分布の変化について述べている。Jakob 等の研究も二、三のデータを参考程度に示したのみで、このことについては説明を加えていない。我々はすでに、沸騰液体の熱伝達について各種の実験を行ったが、その場合伝熱面上 6~8 cm を常水位とした。本研究は水位を 0.5~6 cm の間で変え、おのおのの場合の液体内の温度分布を測定し、気ほう発生点の数、あるいは光学的方法による発生気ほうの直径およびその発生頻度を求め、かく水位における熱伝達係数を定め、すでに求めた常水位の場合の実験結果と比較することによって低水位が熱伝達係数に及ぼす効果を調べようとした。

2. 実験の方法

a. 加熱器の構造 この研究において用いた加熱器は Jakob, Fritz 等が同様な研究で使用したものと類似のもので、他の筆者等が行った実験での加熱器⁽⁶⁾と同一の構造をもつもので、その大略を述べると伝熱

面としては直径 10 cm の黄銅板を用い、伝熱面表面温度測定用として熱電対を半径方向に 2 箇所そう入している（奥行はそれぞれ 3.5 cm, 5 cm）。温度分布は伝熱面の中央部および端部において求められたが、これを測定するための熱電対は上方にある容器密閉用のゴム板にうがった小穴を通して上下に移動できるようにした。温度分布を調べるための測定点の伝熱面からの距離は加熱用ニクロム線の引出管にしるした 0.5 cm おきの目盛によって定められた。

第 1 図

b. 実験装置 実験装置の配列は第 1 図のごとくである。先に述べた上向き水平伝熱面をもつ加熱器は直径 15 cm のピーカーに入れられ、これは更に大きな直径をもつ外套ピーカー内に装置された。外套中に満たされた水は実験中は内套内の沸騰液体より外部への熱損失をなくするために下方のヒーターによってたえず沸騰せしめられた。発生気ほうの伝熱面離脱時の直径とその発生頻度を測定するには光源からの相当強い光によって伝熱面上の気ほうをてらし、凸レンズに

よってオシログラフの光学箱の後方, すなわち回転ドラムにまかれたオシロペーパーの通過する面上に鮮鋭な影像を結ぶように調節してペーパー上に連続的に撮影する。回転ドラムにきたスリットの位置と影像の位置を光学的に調節して伝熱面の上方約3 mmの距離にある気ほうを撮影するようにすると, ペーパー上の影像によって伝熱面離脱時の気ほう直径を求めることができる。気ほうの直径を実測するには, 別に撮影しておいた既知の直径の検定棒の写真から影像のかく大率を求めておけば, 容易にこれを求めることができる。また気ほうの発生頻度はペーパーの端にしるされたタイミングの間隔から決定される。熱負荷は加熱コイルを流れる電力をスライダックによって調節し, ワットメーターによって読みとられたが, 本研究では伝熱面熱負荷は $8\,750 \sim 21\,880 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ ($80 \sim 200 \text{ W}$) の範囲でえられた。なお, この実験にあたっては, 一系列の実験は熱負荷を一定しておき容器内の蒸留水を順次ぬきさって水位をかえた。沸騰液体は蒸留水である。

3. 実験結果ならびにその考案

第2図 熱負荷一定なる場合の水位と温度分布曲線

a. 容器内の温度分布 容器内の温度分布は伝熱面の中央部と端部において, それぞれ垂直方向に測定され, 水位が5 mm なる時は伝熱面より2 mm, 4 mm, 水面と3箇所測定して求められたが, 他の水位の場合は2 mm の点を最低とし, 他は5 mm—10 mm—15 mm と5 mm 間隔で液体温度を測定した。今加熱電力 100 W ($q=10\,940 \text{ kcal/m}^2\text{h}$) を例にとって, 各水位における h/h_0 と液体温度との関係を示すと第2図のようになる。ここに h は水位が h_0 なるときの任意の測定

第3図 水位一定なる場合の温度分布曲線の熱負荷による変化
($100 \text{ W} = 10\,940 \text{ kcal/m}^2\text{h}$)

点の伝熱面からの距離である。図によって明らかごとく, 熱負荷を一定にしておいた時には, 容器内の温度分布を示す曲線は水位が低下するにつれて, 液体温度が一定である部分の比率が小さくなり, 水位が3 cm 以下になると分布曲線は一定部分を失い, ほぼ直線状の分布を示す。水位が3 cm 以上の時はこの一定の液体温度を t_w として, 熱伝達係数 α を算定することができる。

$$\alpha = \frac{q}{t_p - t_w}$$

q : 伝熱面熱負荷 $\text{kcal/m}^2\text{h}$

t_p : 伝熱面表面温度 $^{\circ}\text{C}$

しかしながら, 3 cm 以下になると液体温度としてこの一定温度を用いることができないので, いかなる温度を標準にとるかが問題となるが, このことについては後に述べる。次に水位を一定にした場合の温度分布と熱負荷との関係を示したものを第3図に示す。図には $h_0=5 \text{ cm}$ と $h_0=3 \text{ cm}$ の二つの例がとられている。図によると沸騰液体の温度一定部分の値は 120 W ($q=13\,130 \text{ kcal/m}^2\text{h}$) 以上になると, それ以下の熱負荷に時に比べやや低いことが認められたが, 我々の実験範囲では熱負荷が増して気ほう数がふえると, 液体の過熱度は少しく低くなる傾向がある。

また第3図において液体温度が一定値に達する点の伝熱面からの高さを h_c とし, その時の水位 h_0 との比, h_c/h_0 の値をみると水位の低下と共にこの値は漸増し, 2 以下ではすべて1 となる。この h_c/h_0 は熱負荷の違い, また同一熱負荷でも気ほう発生状況によって少しく変わってくるが, だいたいの範囲を第1表に示す。

括弧内の数値は全実験数に対する%である。

b. 水位と気ほう発生点の数および熱伝達係数との関係 各熱負荷における水位 h_0 と気ほう発生点 n との関係を図 4 に示す。発生

点 n は数度の繰り返し実験を総合すると 6~4 cm の水位の間はほとんど変わらず 3 cm 以下になると水位の低下と共にわずかに漸増する傾向がある。発生点の数は伝熱面の性状、およびスケールの附着に関連して実

第 1 表

h_0	h_c/h_0
60	0.17~0.25~0.30 (20 %) (60 %) (20 %)
50	0.30~0.40~0.50 (30 %) (40 %) (30 %)
40	0.36~0.50~0.63 (20 %) (54 %) (26 %)
30	0.67~0.83~1.0 (20 %) (30 %) (50 %)

第 4 図 水位と気ほう発生点数との関係

第 5 図 水位と熱伝達係数との関係

$q=10\,940\text{ kcal/m}^2\text{h}$, $n_0=70\text{ mm}$, $n=3\sim4$

$\alpha=1\,440\text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$q=10\,940\text{ kcal/m}^2\text{h}$, $n_0=50\text{ mm}$, $n=4\sim5$

$\alpha=1\,440\text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$q=10\,940\text{ kcal/m}^2\text{h}$, $n_0=40\text{ mm}$, $n=7\sim8$

$\alpha=1\,480\text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$q=10\,940\text{ kcal/m}^2\text{h}$, $n_0=30\text{ mm}$, $n=10\sim11$

$\alpha=1\,560\text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

$q=10\,940\text{ kcal/m}^2\text{h}$, $n_0=20\text{ mm}$, $n=12\sim13$

$\alpha=1\,620\text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

第 6 図

験経続時間に当然左右されると考えられるが、本研究にあってはこれらの点を特に注意し、常に同一条件で行われるようにした。次に熱伝達係数と水位との間の関係であるが、温度分布の所ですでにふれておいたように水位が4 cm 以上の時は問題はないとして、3 cm 以下の水位では液体温度の一定部分がないので筆者等は次のような温度を標準にとった。

第8図 nd_o^3f と α との関係

すなわちすでに測定されている中央部および端部の温度分布から、沸騰液体の容積平均温度を計算から求め、その値をそれぞれ t_{w1}' , t_{w2}' として

$$t_w' = \frac{1}{2} (t_{w1}' + t_{w2}')$$

なる温度をとって前出の α を求めた。かくして出した α と h_o との関係を図示すると第5図のようになる。 t_{w1}' (中央部平均) と t_{w2}' (端部平均) は気ほう発生点数の少ない場合、また $h_o > 4$ cm の時には t_{w2}' の方が t_{w1}' よりわずかに高いことがあるが、他の場合にはだいたい t_{w1}' の方が幾分低い。写真は各水位における気ほう発生状況を示すものである。

c. 気ほう発生点の数と熱伝達係数との関係 沸騰液体の熱伝達係数と発生気ほう数が一義的な関連にあることは、すでに指摘しておいた所⁽⁷⁾であるが、水位が3 cm 以下の場合に計算して求めた α を常水位の場合の α - n 曲線上にプロットしたものが第7図である。図から明らかな通り、このような α は常水位の α - n 曲線にきわめてよく一致し、実験点は水位のいかにかわらず一本の線でもって整理されうることがわかった。図の実線は蒸留水を用いた常水位の実験を総合して求められたもので⁽⁸⁾、同一熱負荷の点は

第7図 気ほう発生点数と熱伝達係数との関係

水位の低下と共に α , n が少しずつましてくるので、実験点は線にそって右方に移動している。またオシロペーパー上の気ほうの直径を実測して伝熱面離脱時の気ほう直径 d_o 、およびその発生頻度 f より nd_o^3f と α との関係を求めて、これを常水位の場合の同様な関係と比べると、これもよく一致している。第8図は低水位の実験をふくむ nd_o^3f と α との関係を示す。

4. 結 言

水平伝熱面を用いた場合、低水位が熱伝達係数に及ぼす影響は次の通りである。すなわち、容器内の温度分布は水位が3 cm 以下では伝熱面より水面までほぼ直線状となり、 α および n は水位が6~4 cm の間ではほとんど変化はないが、水位が3 cm 以下になると、水位の低下と共にわずかに増加する傾向を示す。しかしながら、3 cm 以下の低水位の実験点も温度分布曲線から液体の容積平均温度を求めて α を算出すると、水位にかかわらずすでに求めた α - n 曲線で整理される。最後に本研究は山県教授、平野助教授、西川助教授の御指導による「水平伝熱面における核沸騰熱伝達」の一環として行われたもので、実験によせられた御指導、御鞭達に対しましてあつく御礼申し上げます。

注：一

- (1) 昭和27年3月7日 九州支部福岡地方講演会において講演、原稿受付 昭和27年5月22日。
- (2) 正員、九州大学。
- (3) 正員、徳島大学。
- (4) Physik. Zeitschr. (1935) p. 267.
- (5) Physik. Zeitschr. (1936) p. 873.
- (6) 山県、平野、西川、松岡：機械学会論文集、17巻62号、p.163.
- (7) 山県、平野、西川、松岡：機械学会論文集、18巻67号、p.53.
- (8) 山県、平野、西川、松岡：昭和27年4月3日 第29期定時総会議演において講演。