

6 1 1 過熱蒸気発生器における沸騰伝熱特性に関する研究

Flow Boiling Heat Transfer Characteristics for Superheated Steam Generator

○学 結城 隆洋 (広島工業大学)

正 橋詰 健一 (広島工業大学)

Takahiro YUKI and Kenichi HASHIZUME

Hiroshima Institute of Technology, Miyake 2-1-1, Saeki-ku, Hiroshima

Key Words: Flow Boiling, Micro-channel, Heat Transfer

1. 結言

過熱蒸気は単位体積当たりの熱容量が大きく、対流伝熱の他に放射伝熱、凝縮伝熱が加えられるため食品の加熱効率がよく、調理時間を大幅に短縮することができる。そのため食品加工の分野で大きな注目を浴びている。

本研究では、簡易型過熱蒸気発生器開発の基礎研究として流路内における流動沸騰の熱伝達について実験を行った。

2. 実験装置及び実験方法

本実験装置を Fig.1 に示す。予熱部は内径が 4mm～17mm の銅管で、その外側にマイクロヒーターを巻きつけて半田付けし、さらに厚さ約 5mm にサーモセメントを塗り、外側をグラスウールで断熱したものである。テストセクションは幅 12mm の矩形流路である。予熱部とテストセクションとの間の助走域は円形断面の予熱部から矩形断面のテストセクションへ流れを滑らかに導く断面変換ダクトとテストセクションと同一断面を持つ 80mm の助走部から成る。テストセクションの下流側には同じ矩形断面をもつ長さ 80mm の後流部が設けられ、排出管へ接続されている。

実験は 3 種類のテストセクションを用いて行った。Fig.2 に直線状流路と円弧状流路の詳細図を示す。円弧状流路の曲率半径 R は 32mm と 64mm の 2 種類の形状である。アルミ製の加熱ブロックにはマイクロヒーターが挿入され、伝熱面表面温度の測定のため Fig.3 に示すように表面から 2.5mm ごとに T 型シーす熱電対が 3 本埋め込まれている。流路高さを設定するスペーサーの上部にはユーピロンガラスが載せられ、アルミ板の上からクランプで押さえつけている。流路高さは 1.0mm、1.5mm、3.0mm に設定した。

水道水は流量計を経て予熱部に流入し、クオリティが設定されてから助走部を経て測定部に流入する。テストセクションで熱伝達率が測定された後、後流部を経て大気開放されている排出管へ流出する。

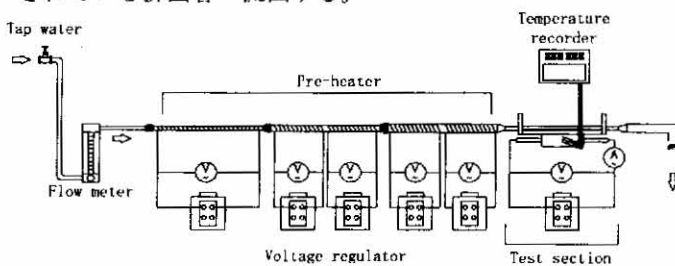


Fig.1 Experimental apparatus

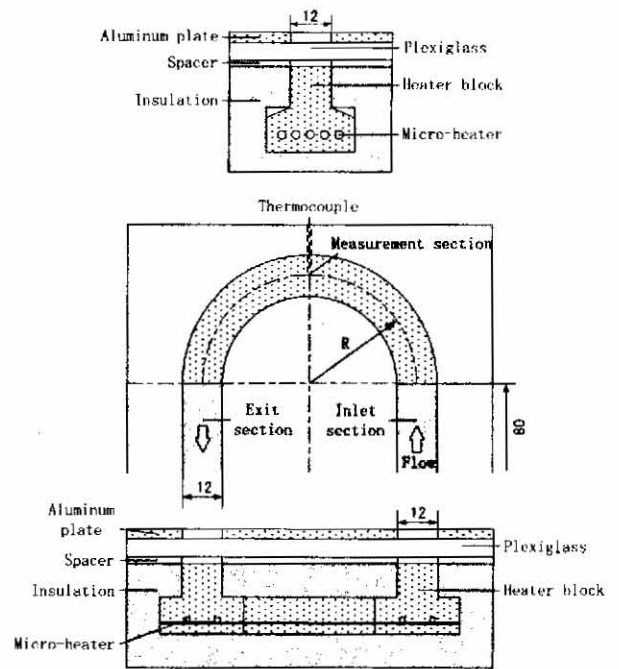
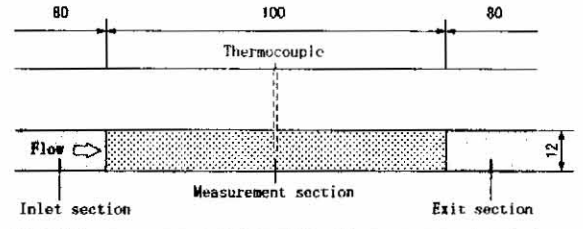


Fig.2 Test section

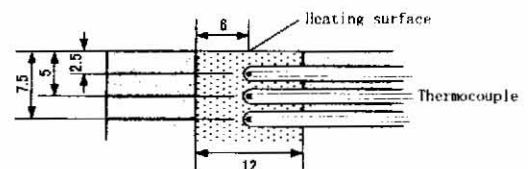


Fig.3 Thermocouple position

3. 実験結果と考察

本実験では、以下の式を用いて熱伝達率を算出した。過冷却領域では

$$\alpha = q / (T_W - T_L) \quad (1)$$

沸騰領域では

$$\alpha = q / (T_W - T_{LS}) \quad (2)$$

ここで、 α :熱伝達率、 q :熱流束、 T_W :加熱面表面温度、 T_L :測定部中央の液体温度、 T_{LS} :大気圧下における液体の飽和温度である。加熱面表面温度 T_W は 3 本の熱電対で測定した温度を最小二乗法で直線近似し、算出した。測定部中

中央の液体の温度 T_L は水道水の入り口温度と測定部中央までに加えられた電力を用いて温度を算出した。

本実験で使用した流路の最大等価直径は 4.8mm である。Thome¹⁾ によるマイクロチャンネルの判定基準によれば大気圧下では等価直径 5.0mm 以下がマイクロチャンネルになるので、本実験もマイクロチャンネル内の実験に相当している。

Fig.4 に直線および円弧状流路の蒸気クオリティに対する熱伝達率を示す。

過冷却領域では(a)~(f)に示すように熱伝達率の変化は過冷却度が減少するにしたがって急上昇する。このような現象は従来の研究ではサブクール沸騰の影響⁽¹⁾とされていた。しかしながら本実験結果では、熱流束や質量流束、流路高さ、テストセクションの形状による顕著な影響は認められない。このような熱伝達率の急上昇は水道水に含まれる溶存空気の影響が考えられる。本実験では、過飽和状態の水道水を用いたため Fig.5 に示すように溶存空気が放出され、それによってサブクール沸騰に似た効果が現れ、急上昇をもたらしていると思われる。直線および円弧状流路において、過冷却領域を貫く実線はすべて同一である。

直線状流路の沸騰領域では(a)~(c)に示すように、質量流束や熱流束によって熱伝達率は蒸気クオリティが増加するにしたがって一度低下、ほぼ一定、あるいは緩やかに上昇する。蒸気クオリティが $x \geq 0.2$ 付近になるとどの条件でも熱伝達率はクオリティの増加と共に緩やかな上昇を続け、その後ドライアウトが発生し急激に熱伝達率が低下していく。同様な傾向は、冷媒を用いた従来の研究においても認められている¹⁾。

円弧状流路の沸騰領域では(d),(e)に示すように $x = 0.15$ 付近で急激に熱伝達率が上昇するが $x = 0.5$ 前後で急激に低下する。

熱流束による比較では(a),(d)に示すように直線状および

円弧状流路では熱流束の増加と共に熱伝達率が低下している。

質量流束による比較では(b)に示すように質量流束が大きいほど熱伝達率が高い。円弧状流路も同様である。

同じテストセクションで流路高さによる比較では(c),(e)に示すように流路高さが低いほどドライアウトが低クオリティで発生している。

テストセクションによる比較では(f)に示すように直線状流路がドライアウトの発生が最も遅く、熱伝達率は円弧状流路 $R=32\text{mm}$ が最も高い。

4. 結論

- 1) 過冷却領域の熱伝達率は質量流束、熱流束、流路高さ、テストセクションの形状に依存しない。
- 2) 沸騰領域では熱流束の増加と共に熱伝達率が低下する。
- 3) 流路高さはドライアウト発生に大きな影響を与える。
- 4) 沸騰領域では質量流束が大きいほど熱伝達率が高い。



Fig.5 Flow pattern (Curved channel $R=64\text{mm}$ $x=0.114$ $H=1.5\text{mm}$ $q_w=50\text{kW/m}^2$ $G=45\text{kg/m}^2\text{s}$)

参考文献

- 1) Thome, J.R., *Int. J. Heat Fluid Flow*, 25 (2004), 128-139

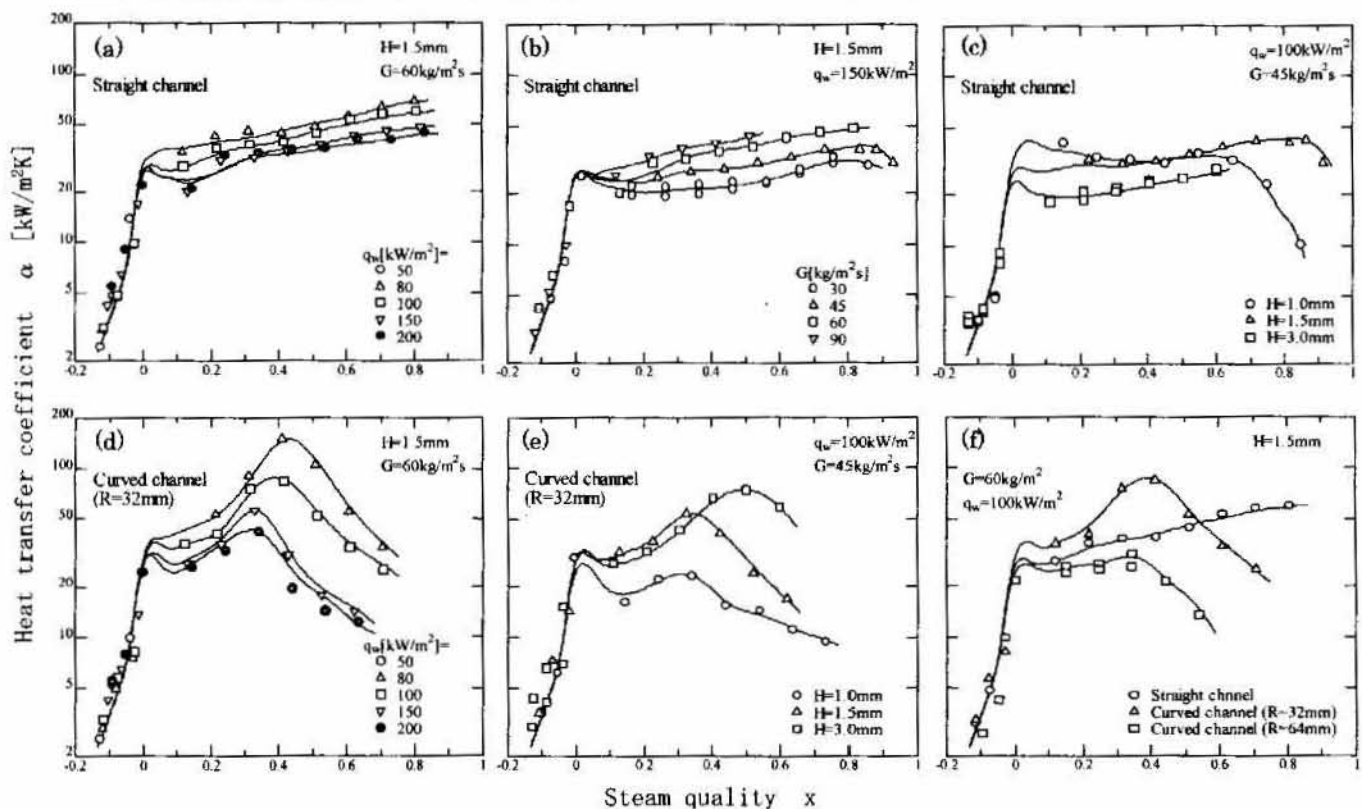


Fig.4 Heat transfer coefficient versus steam quality