

微細管での沸騰熱伝達と気液挙動の関連に関する実験的研究

兵庫県大院 黄士哲 河南治 本田逸郎 川島陽介
九州大院 大田治彦

Experimental study on relation between boiling heat transfer and flow behavior in microtube

University of Hyogo Shih-Che Huang, Osamu Kawanami, Itsuro Honda, Yousuke Kawashima
Kyushu University Haruhiko Ohta
University of Hyogo, 2167 Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280, Japan
Kyushu University, 744 Motoooka, Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan
E-mail: kawanami@eng.u-hyogo.ac.jp

Abstract: For the detail study on forced convective boiling heat transfer in mini- and micro-tube, we developed the transparent heated mini- and micro-tube by electroless deposition. The inner wall of the tube is coated with the thin gold film, which allows the visualization of fluid motion. At the same time, the film resistance derives the temperature measurement of the inner wall of the tube. As a result of forced convective boiling experiments by using the tube with 1mm of inner diameter, It was found that the relation between behavior of boiling bubble and heat transfer coefficients were closely related, and existence of thin liquid film between the wall and slug, was very important for heat transfer enhancement.

Key words; Forced convective boiling, micro-channel, Heat transfer, Flow visualization

1. はじめに

従来のミニ、マイクロチャネル沸騰伝達に関する研究は、複数の狭隘管路管群から構成されるテストセクションを用いた実験が多く、並列管群の相互影響を強く受ける。そのため、乾き度と熱伝達特性の関連や圧力損失特性など、基本的な現象も未だ未解明な部分が多いのが現状である。近年、単一微細管を用いた沸騰伝達実験に関する報告も見られる[1, 2], その大部分は金属管が使用され、直接通電により加熱し、同時に、外壁温度を測定することより、熱流束の導出を行っている。しかしながら、上記のような乾き度と熱伝達特性の関連等、熱特性と流動様式は密接に関わっているにもかかわらず、このような金属管による実験では、両者を密接に関連づけた議論はできない。

そこで本研究では、単一微細管における沸騰流動の直接観測と熱伝達データの直接計測を同時に可能とする、透明伝熱微細管を新たに開発して、マイクロチューブ内流動沸騰熱伝達機構の詳細な解明を目的とした研究を開始した。

2. 透明伝熱微細管

従来の透明伝熱管はスパッタリング法[3]やマイクロプラズマ[4]を用いて、ガラス管内壁面に金薄膜をコーティングしている。このような従来法では内径1mm以下のマイクロチューブや、大きなL/D値(管長さ/管直径)を有する円管には適用が困難である。そこで、我々は対象物の形状を制限しないコーティ

ング方法として無電解めっき法を応用し、パイレックスガラス管内壁面への金薄膜のコーティングを実施することで、内径0.4mmから15mmまでの様々な内径を有する透明伝熱管の開発に成功した。本手法では、内径0.4mmの微細管においても長さ120mmの透明伝熱管が制作でき、L/Dが300を超えるような長尺微細伝熱管も制作可能である。

透明伝熱微細管金薄膜は、浴時間・浴温度の調整によってその膜厚が調整できるが、良好な透明性と抵抗特性を得るためには10nmオーダー程度が最適であることも別途確認した。

本手法によって製作した透明伝熱管は従来のスパッタリング等によるものと同等の性能を有しており、管内壁面の金薄膜を測温抵抗体・加熱媒体・内部流体挙動観察媒体として用いることができる。

3. 実験装置および実験結果

本論文では、内径1mm/外径6mmの透明伝熱微細管を用いて強制対流沸騰実験を行った結果を述べる。実験装置の概略図をFig.1に示す。実験装置は移送ポンプであるツインプランジャーポンプ、透明伝熱微細管を組み込んだテストセクション、データロガ、CCDカメラ、可変直流安定化電源、真空ポンプ、電子天秤から主に構成されている。

実験方法は、真空ポンプにより脱気したイオン交換水(サブクール度 $\Delta T_{sub} = 20K$)を、ツインプランジャーポンプを用いて、垂直方向に設置したテストセクションに下部から上部を経由し、電子天秤上に

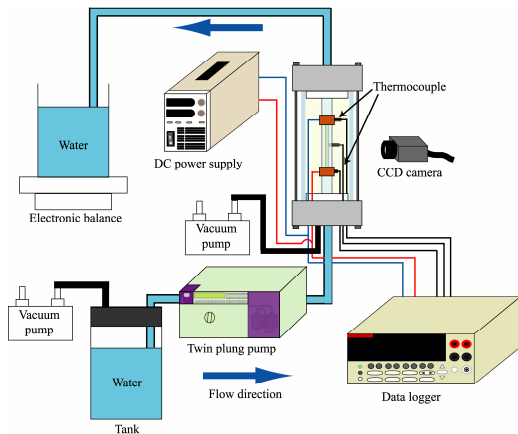


Fig. 1 Experimental set-up

設置したピーカーまで送液する。ピーカー上部は大気解放されている。テストセクションには内径 1mm, 外径 6mm, 温度計測部長さ 30mm の透明伝熱微細管を取り付け, DC 電源を用いて透明伝熱微細管の両端から金薄膜への通電加熱によって, 熱流束を設定した。さらに透明伝熱微細管の外壁面には K 型熱電対を取り付けて, 外壁温度を計測した。テストセクションの入出口には, 流体温度を測定するため, K 型熱電対を設置した。これらの管両端の電流電圧, 温度はデータロガーを用いて, それぞれ 100Hz と 10Hz にて記録した。なお, 液体質量流量は $100\text{kg/m}^2\text{s}$ 一定とし, 強制対流単相熱伝達率および核沸騰領域の強制対流沸騰熱伝達率を管内壁面温度, 管外壁面温度と液体温度から算出した。微細管内の流体挙動は CCD カメラを用いて観測した。

強制対流沸騰時の管内壁面の温度と熱伝達率の時

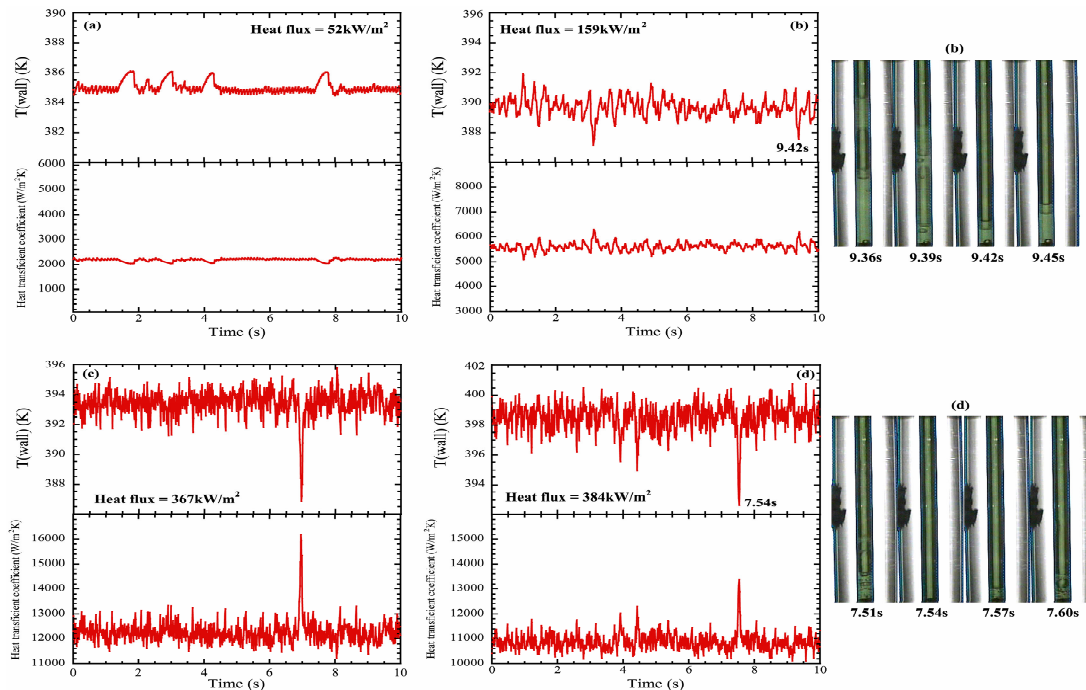


Fig. 2 Histories of inner wall temperature and heat transfer coefficient:

(a) $q=52\text{kW/m}^2$, (b) $q=159\text{kW/m}^2$, (c) $q=367\text{kW/m}^2$, (d) $q=384\text{kW/m}^2$.

間履歴を Fig.2 に示す. (a)は沸騰開始熱流束におけるデータである。発泡点は管上部で, 気泡の発達により, 発泡点の上流側にのみスラグが形成される。スラグが流れると, 一時的に単相流状態となるが, この時に内壁温度は上昇する。これに伴い, 熱伝達率が低下する。(b)の発泡点は管中央付近である。(c)は管全長にわたる長大スラグの形成(6.99s)により, スラグと管壁面の間に薄液膜の存在が見られ, 熱伝達が急激に増大している。(d)は局所的なバーンアウトの発生が確認でき, (c)に比べ管内壁面温度の上昇と熱伝達率の低下が見られる。

以上の様に透明伝熱微細管を用いたことにより, 気泡成長様子と内壁温度の変動との関連を把握できた。

謝辞

本研究は, 科学研究費補助金若手研究 (No. 18760153) の援助を受けた。

参考文献

- (1) T. H. Yen et al., *Forced convective boiling heat transfer in microtubes at low mass and heat fluxes.*, International Journal of Multiphase Flow 29, 1771-1792, (2003).
- (2) M. C. Diaz, J. Schmidt, *Experiment investigation of transient boiling heat transfer in microchannels.*, International Journal of Heat and Fluid Flow 28, 95-102, (2007).
- (3) H. Ohta et al., *4th ASME/JSME Thermal Engineering Conference*, 4, 547-554, (1995)
- (4) 新田祐樹ほか, 第 24 回プラズマプロセッシング研究会プロシーディング, 227-228, (2007)