

[別紙 1]

論文の内容の要旨

論文題目 Heat Transfer Characteristics of Forced Convective Boiling in a Micro Tube at Low Heat and Mass Fluxes

(低質量流束・低熱流束条件下のマイクロチューブ内強制対流沸騰熱伝達に関する研究)

氏名 巖 子翔

近年、高性能電子機器が発展するとともに、その電子機器の冷却問題も深刻化になっていく。そのため、マイクロチューブまたはマイクロチャネルを用いる蒸発器は高い散熱性能を期待される。

その一方、マイクロチューブまたはマイクロチャネルを用いる冷却装置を設計するためのマイクロチューブまたはマイクロチャネルの強制対流沸騰の伝熱特性およびその物理的なメカニズムはまた解明されていない。パラレルマイクロチャネルの強制対流沸騰について、実験が行われているが、マイクロスケールの実験測定が難しいため、平均熱伝達率しか測定されていない。そのため、チャネルの間に相互影響していて、流れ場が複雑化になり、物理的に検討しにくい。

シングルのマイクロチューブの沸騰実験は 0.5 mm までに実験データは現存するが、温度測定の不確かさが大きい、その実験データをまた検討する必要があるため、そのうえ、可視化実験が行われていないため、物理的な検討が行われにくい。

以上の原因で、今回の研究は、内径 0.19 mm、0.3mm と 0.51mm の SUS304 製マイクロチューブと 0.5 mm のチタン製マイクロチューブを用いて強制対流沸騰の実験を行った。それに、内径 0.3mm のガラスチューブを用いて、そのチューブの外側に薄い銀と ITO をスパッタリングによって成膜(膜厚: 100nm)し、通電加熱ができるようにした。外径 25 ミクロの K 型の熱電対をチューブのその外壁につけ、ローカルの熱伝達率とその測定点の流れ場の同時測定を行った。その実験装置のテストセクションは図 1 に表示する。なお、電子顕微鏡で各チューブの内面を観察し、キャビティの大きさを確認した。

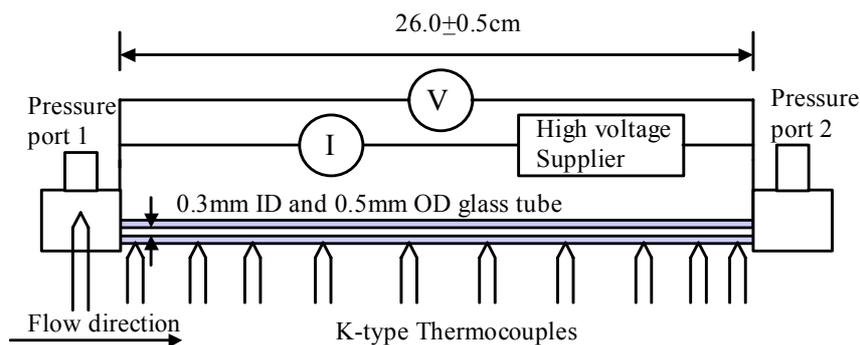


図1 テストセクション

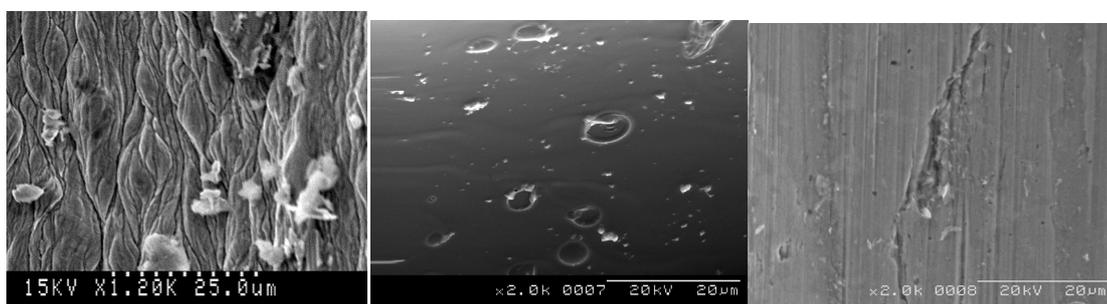


図2 各マイクロチューブの電子顕微鏡写真：左、SUS304 チューブ。中、ガラスチューブ。右、チタンチューブ。

実験の結果によって、伝統的なチューブの強制対流沸騰と比べれば、マイクロチューブで液体の過熱現象が発見され、高い過熱度液体の中で気泡は非常に高い周波数（4000Hz）で生成して、流れ場は一気にスラグ流になることが明らかになった（図3）。

その液体の加熱現象は、一定の熱流束を越えると消えることも明らかになった。その現象は伝統的な核沸騰のモデル(Hsu ら、1969)で予測できないこともわかった。

液体の加熱現象のない飽和沸騰の領域で、マイクロチューブ内の流動様式は周期的に変動することもわかった。その周期は今回の実験範囲では 0.1 sec. から 0.3 sec. までになる。マイクロチューブの中で気泡流、スラグ流、プラグ流、環状流などの伝統チューブで親しまれてきた流動様式はマイクロチューブでも観察されている一方、蒸発が進むによって、チューブの内壁面の液膜が薄くなり、分断され、独立の液滴になる流動様式も観察される。観察された以上の流動様式は周期的に現れる。その流動様式は図4に表示する。

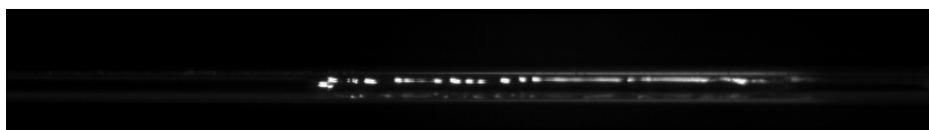
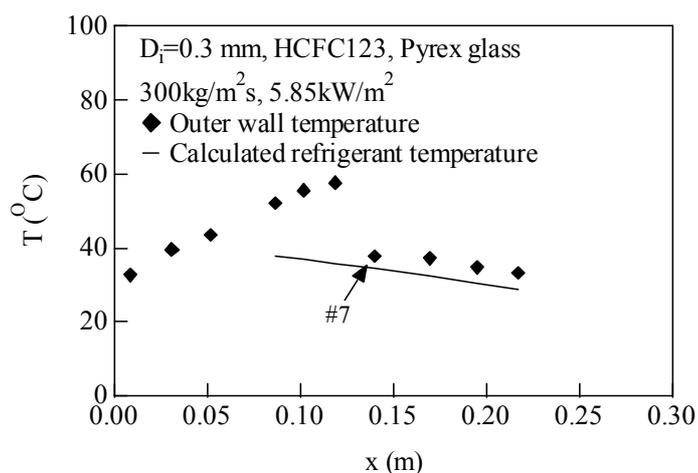
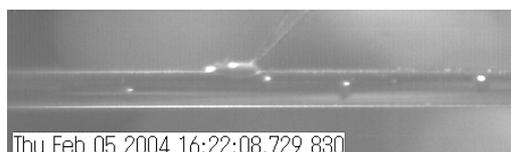


図3 低熱流束による液体の加熱現象およびその後の高周波数による気泡生成

その激しい流動様式の変化の原因はマイクロチューブと内径は核沸騰の気泡の大きさに近いこと、気泡が生成する際、全体の流れ場に大きい影響を与えることがわかった。そして、その流動様式の周期的な変動はチューブの長さや冷媒の種類に依存することも明らかになった。離脱気泡が小さくなるあるいはチューブの長さが短くなるとともに、周期的な変動が緩やかになることが明らかになった。



(a)気泡流



(b)プラグ流



(c)スラグ流



(d)環状流



(e)毛細管流

図4 マイクロチューブ内で観察された流動様式

熱伝達率はクオリティの増大によって減少することは明らかになった。そして、熱伝達

率は熱流束と質量流束に依存しないことも明らかになった。その一方、熱伝達率はチューブ内面の粗さと全体の圧力に影響されることもわかった。

可視化実験とそのローカルの熱伝達率の同時測定によって、クオリティが増大することで熱伝達率が減少することも明らかになった。クオリティが低い領域しか気泡流が観察されなかったため、気泡を生成させる核沸騰が熱伝達を促進することが明らかになった。

そして、マイクロチューブのローカルの熱伝達率に影響するパラメータも調べた。表面粗さとシステム圧力が熱伝達率に高い影響を与えることも明らかになった。その原因は表面粗さとシステム圧力が管内の流動様式の変化に影響すると考えられる。

実験結果と現存の経験式との比較も行った。その結果、熱伝達率の経験式はマイクロチューブの熱伝達率を予測できなかった一方圧力の経験式は定性的に予測できた。その異常な結果はマイクロチューブ内の流動様式を観察することによって、物理的メカニズムが解明された。

最後はその周期的な流動様式によって、時間に依存する熱伝達率と圧力損失の経験式が開発された。その経験式は従来の経験式より実験結果の予測が良くなってきた。