

# 円形の水平下向き面からサブクール液体への 過渡膜沸騰熱伝達の実験

山田 昭\* · 茂地 徹\*  
桃木 悟\* · 金丸 邦康\*\*  
中村 一紀\*\*\*

## An Experimental Study of Transient Film Boiling Heat Transfer from a Horizontal Circular Plate Facing Downward to a Subcooled Liquid

by

Takashi YAMADA\*, Toru SHIGECHI\*,  
Satoru MOMOKI\*, Kuniyasu KANEMARU\*\*, and Kazuki NAKAMURA\*\*\*

Experiments on the transient film boiling heat transfer from a horizontal circular plate facing downward to a subcooled water at atmospheric pressure have been carried out by a quenching method. The test section used in the experiments is made of a copper cylinder with 30 mm in thickness and 50 mm in diameter, which is insulated on the sides and at the back surface by Teflon. Boiling curves are examined for saturated and subcooled conditions.

Results show that film boiling heat fluxes are increased up to max. 230% with increasing of liquid sub-cooling from 0 to 60K.

### 1. 序 論

膜沸騰熱伝達は過熱度が大きい割には核沸騰あるいは遷移沸騰に比べて熱伝達の度合いが小さい。従って、発熱体の表面温度が非常に高くなるため、これまで工業上では積極的に利用されることは少なかった。しかし、商用発電炉として軽水炉が普及するにつれて、原子炉の安全性の評価に関連して膜沸騰の伝熱特性を定量的に把握する必要性が生じてきた。

これまで、茂地<sup>1)</sup>らは有限下向き水平面の飽和膜沸騰熱伝達に関して理論解析を行い、実験結果との比較検討を行ってきたが、実験データが非常に少なく理論解析の妥当性を十分に検証できない状況にあった。

さらに、実用上は、液体が飽和温度より低くサブクールされている場合の沸騰特性が要求されるが、有限下向き水平面のサブクール膜沸騰熱伝達に関する実験的研究は非常に少ない<sup>2)</sup>。

本研究は、茂地<sup>1, 3)</sup>らによって研究されている飽和およびサブクール膜沸騰熱伝達に関する理論解析の検証を行うために、実験装置が比較的簡単に製作でき、しかも実験精度がよい過渡沸騰実験(焼入れ実験)を、試験液体として大気圧の蒸留水を用いて、沸騰熱伝達に影響を及ぼすと考えられる諸因子の中で、伝熱底面形状、伝熱面浸漬深さおよび液体のサブクール度の3つのパラメータに注目して、冷却曲線から得られる沸

平成5年 月 日受理

\*機械システム工学科 (Department of Mechanical Systems Engineering)

\*\*共通講座・工業物理学 (Applied Physics Laboratory)

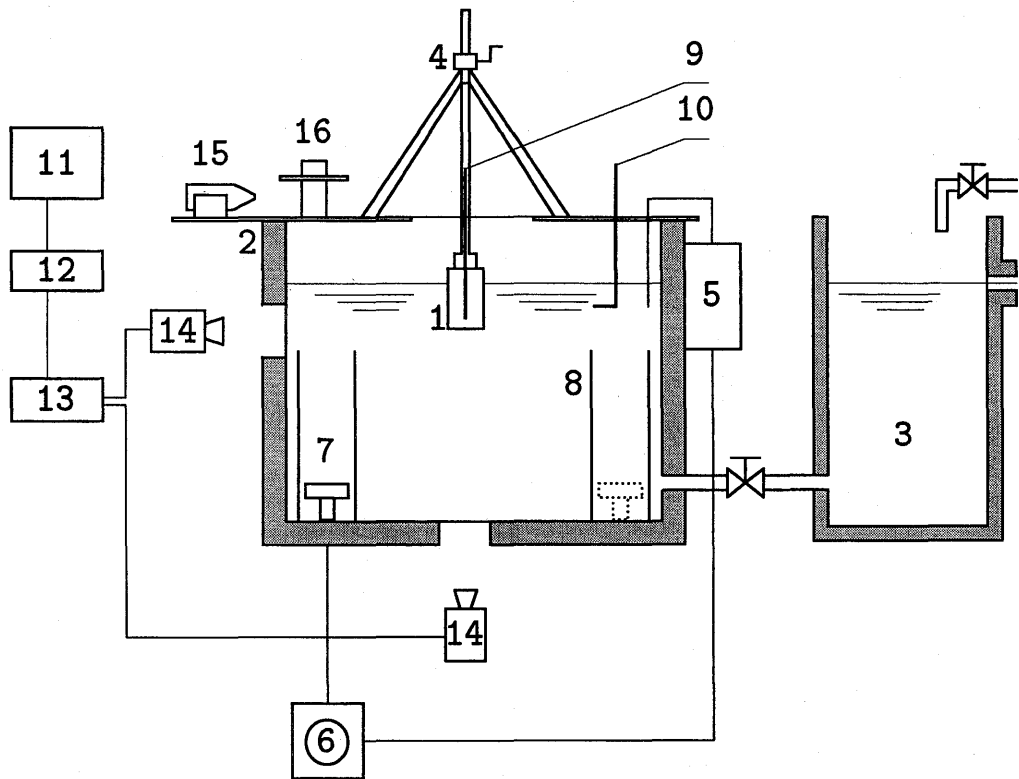
\*\*\*トヨタ自動車㈱ (Toyota Motor Corp.)

騰曲線に基づいて、主として膜沸騰領域に関して基礎的考察を行ったものである。また、飽和膜沸騰に関しては、他の研究者の過渡<sup>4)</sup>あるいは定常実験<sup>2, 5)</sup>との比較検討も併せて行った。

## 2. 実験装置および実験方法

Fig. 1 は本研究で使用した実験装置の系統を示したものである。実験装置の主構成装置として沸騰槽、伝熱ブロック、伝熱ブロック昇降装置および伝熱面加熱装置がある。実験で使用した沸騰槽はステンレス製鋼板の矩形二重容器（内槽450mm×450mm×750mm）であり、鋼板間には厚さ35mmのけい酸カルシウム保温材が挟まれている。また、沸騰現象の観察や写真およびビデオ撮影ができるように、沸騰槽の側面3方向に

170mm×200mmの観察窓が、さらに沸騰槽底面中央に直径180mmの観察窓が1個それぞれ設けられている。沸騰槽は密閉していないので、試験液体の蒸発により沸騰槽内の液位の低下が生じる。そこで、試験液体の蒸発による液位の低下を防ぎ、一定の伝熱面深度を保つため、オーバーフロータンクが設置され、内径19mmの耐熱ビニール管で連結されている。沸騰槽底部には試験液体の昇温を行うため、1kw容量のヒータが2個設置されている。ヒータへの電力供給は電力調整器で行い、実験中の試験液体温度は電子温度調節器で一定に制御される。なお、ヒータの周囲には穴のあいた筒を設置して、ヒータからの気泡やヒータで加熱され試験液体の二次流れが伝熱面の蒸気膜の形状・挙動に影響を与えないように配慮している。

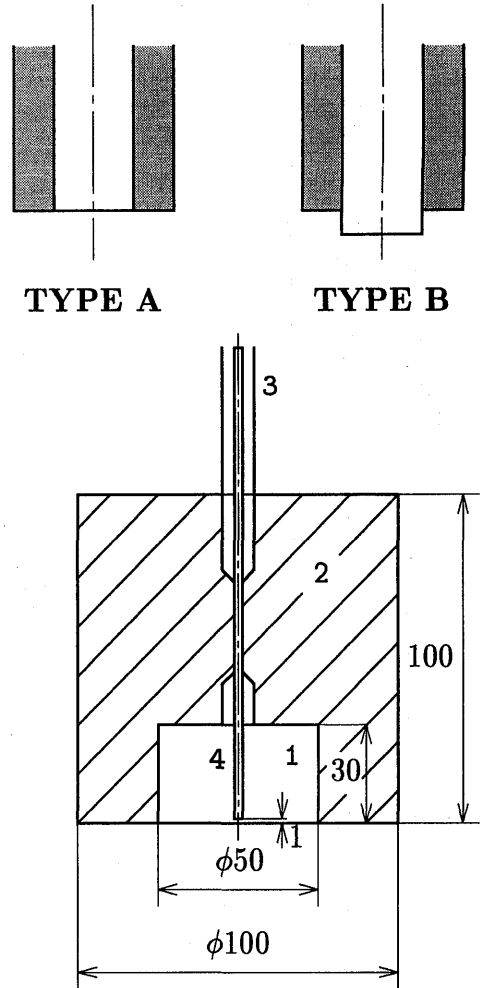


- |                             |                           |                        |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1. Heat transfer cylinder   | 2. Boiling bath           | 3. Over flow tank      |
| 4. Lifting device           | 5. Temperature controller | 6. Power controller    |
| 7. Heater                   | 8. Pipe                   | 9. K type thermocouple |
| 10. K type thermocouple     | 11. Video monitor         | 12. Digital AV mixer   |
| 13. Video cassette recorder | 14. Video camera          | 15. Gas burner         |
| 16. Heating device          |                           |                        |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 2は伝熱ブロックの詳細を示したものである。伝熱ブロックは直径100mm、長さ100mmのテフロン断熱材に直径50mm、長さ30mmの銅ブロックをねじ込み、一体化したもので、伝熱底面、すなわち銅ブロック底面とテフロン断熱材底面が滑らかに一致するもの (TYPE A) と銅ブロック底面がテフロン断熱材底面より1mm突き出して段が付いているもの (TYPE B) の二種類を製作した。伝熱ブロックの中心には直径1.1mmの熱電対挿入孔が伝熱面表面から深さ1mmの位置まであけられており、その孔にシース外径1mmのK型熱電対が挿入されている。この熱電対で測定される温度を伝熱表面温度とした。沸騰槽内の試験液体温度はシース径1.6mmのK型熱電対 (Fig. 1の10) で測定した。なお、試験液体は大気圧の蒸留水である。

実験の手順としては、始めに、沸騰槽内に試験液体を注入し、電力調整器によってヒータで所定の液体サブクール度になるまで昇温する。試験液体が所定の温度になるまでに3~4時間を要するので、この間に銅ブロックの伝熱面をメッシュサイズ#800、#1200および#1500の水ペーパーで磨き、さらにダイヤモンドペスト (メッシュサイズ#14000) を使用して試料片研磨機により鏡面仕上げを行い、エチルアルコールで清掃する。鏡面仕上げされた銅ブロックをテフロン断熱ブロックにねじ込み、昇降装置にセットする。液体が試験温度まで昇温されていることを確認した後、沸騰槽上部に設置している伝熱面加熱用ブロックに伝熱ブロックの銅面を慎重に接触させて都市ガスバーナにより加熱用ブロックを加熱する。この熱伝導による加熱法によって伝熱銅ブロックを昇温させることにより、銅ブロック表面 (伝熱面) に酸化膜が形成されるのを防ぐことができる。伝熱面近傍の熱電対 (Fig. 2の4) の示す温度が約260℃になったところで、ラックピニオン機構による昇降装置で、伝熱ブロックを試験液体中に一定速度で静かに浸漬し伝熱面のまわりに蒸気膜を形成させて実験を開始する。実験時のパラメータは液体サブクール度、伝熱面浸漬深さおよび伝熱ブロックの底面形状である。実験に際しては、伝熱表面より1mm内部に装着されているシース径1mmのK型シース熱電対を用いて、伝熱面温度の履歴をペンレコーダに記録させると共に試験液体温度を測定する。さらに、伝熱面近傍の沸騰現象をVTRに記録するため、沸騰槽の側面並びに底面にビデオカメラをセットした。また、写真撮影も行った。

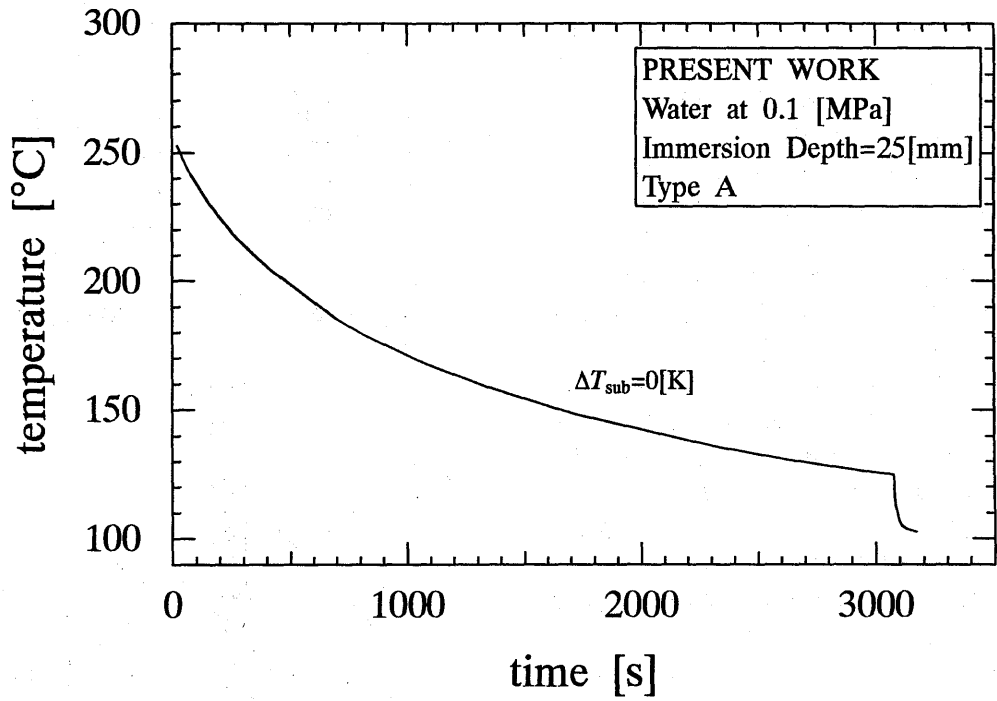


1. Copper cylinder    2. Insulation (Teflon)  
3. Supporting rod    4. Thermocouple

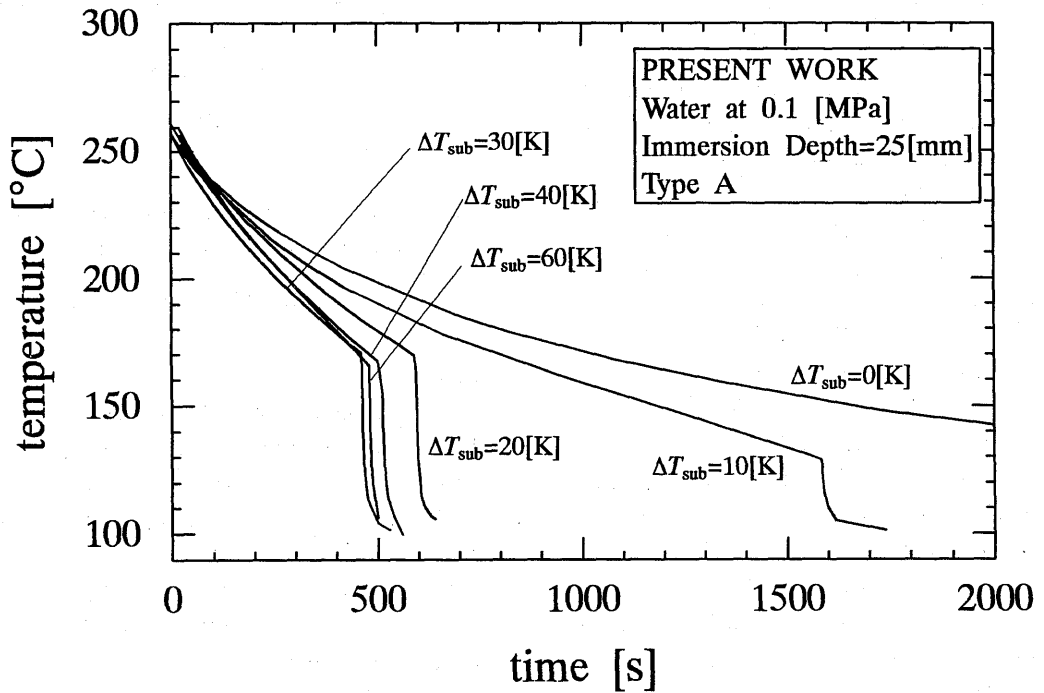
Fig. 2 Details of heat transfer cylinder

### 3. 冷却曲線

Fig. 3は横軸の時間変化に対する伝熱銅ブロック内部の温度履歴を示したもので、約250℃から各サブクール度の試験液体中へ液体表面より25mm浸漬した場合の伝熱銅ブロックの過渡温度の測定例で(a)は試験液体が飽和の場合、(b)は試験液体がサブクールの場合である。これらの測定例から明らかなように、液体サブクール度が大きく (つまり、沸騰槽内の試験液体温度が低く) なるほど、温度勾配が大きくなっており、サブクール度の影響が顕著であることがわかる。この図は、一般に冷却曲線と称されるもので、沸騰現象として膜沸騰、遷移沸騰、核沸騰、自然対流熱伝達と過熱度の高い方から低い方へ移行する現象を示している。従って、冷



(a) saturated liquid



(b) subcooled liquid

Fig. 3 Cooling curves

却曲線は沸騰曲線を描くための一次データとして貴重なものである。この冷却曲線から冷却曲線の傾きすなわち冷却速度が求められる。冷却速度は冷却曲線の微小区間を直線近似し、その中心差分をとることによって容易に計算することができる。

4. 熱流束の計算

前節で示した冷却曲線上の過渡温度は銅ブロック伝熱表面より1mm内部に挿入されているK型シーツ熱電対によって測定されたもので、本研究では銅ブロック内部の熱抵抗が無視できるものとして、この温度を伝熱表面温度  $T_w$  と仮定した。

沸騰曲線を描く場合、伝熱面熱流束を求める必要がある。いま、伝熱銅ブロックの質量を  $m$  [kg]、体積を  $V$  [m<sup>3</sup>]、銅の比熱を  $c$  [kJ/(kg·K)]、密度を  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]、底部伝熱面積を  $A$  [m<sup>2</sup>]、温度を  $T$  [K]、時間を  $\tau$  [s] で表示すると、伝熱面熱流束  $q$  [W/m<sup>2</sup>] は次式によって近似できる。

$$q = -(V/A)\rho c dT/d\tau$$

ただし、ここで使用した熱物性値  $\rho$  および  $c$  は温度の依存性を考慮していない。また、 $dT/d\tau$  は冷却曲線より求められる冷却速度 [K/s] を表している。

5. 実験結果

5.1 再現性

Fig. 4は伝熱面形状 TYPE A、サブクール度  $\Delta T_{sub} = 20$ K、伝熱面浸漬深さ25mmのもとで3回の実験を行い、沸騰曲線の再現性について調べたものである。座標系の横軸には過熱度  $\Delta T_{sat}$  (伝熱表面温度  $T_w$  と飽和温度  $T_s$  との差)、縦軸には伝熱面熱流束  $q$  をとっている。図中の○、△および□の記号は実験1回目、2回目および3回目のデータを示している。この図から明らかなように、遷移沸騰領域においては再現性にやや欠けているが、膜沸騰領域および核沸騰領域とも約10%以内で一致しており、これらの領域での再現性はあるものとする。

5.2 伝熱底面形状の影響

Fig. 5は伝熱ブロック底面の形状変化に対する沸騰熱伝達の影響について、サブクール度  $\Delta T_{sub} = 30$ K、伝熱面浸漬深さ25mmに対して調べたものである。図中の○および△の記号は Fig. 2に示した伝熱ブロック底面形状を示したもので、○印はテフロン断熱ブロック底面と銅ブロック底面すなわち伝熱面が一致している TYPE A の場合、△印は伝熱面がテフロン断熱ブ

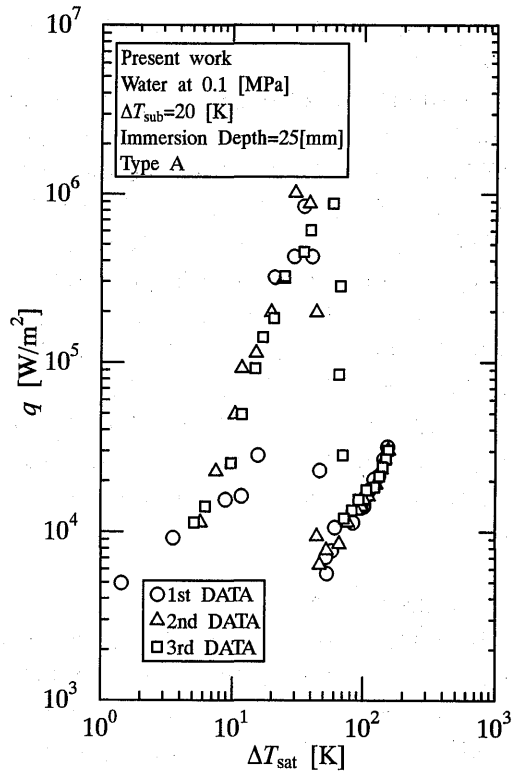


Fig. 4 Reproducibility of boiling curves

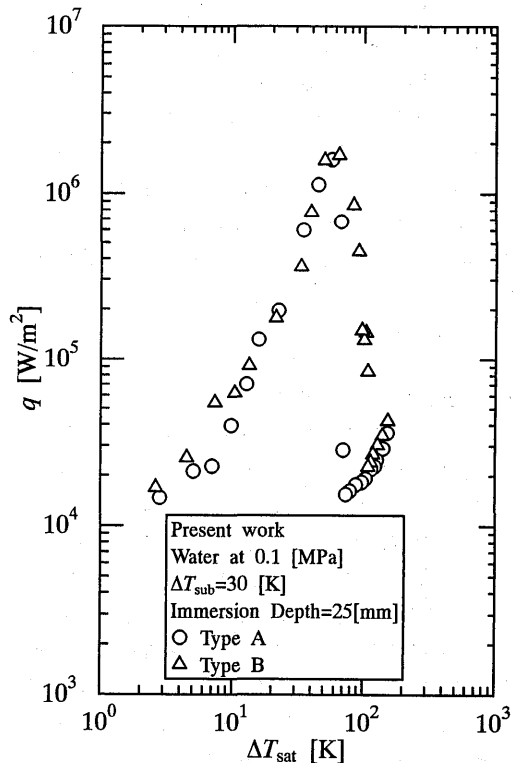


Fig. 5 Effects of bottom shape of heating surface

ロック底面より1mm突出している TYPE B の場合である。この図から明らかなように、バーンアウト点を含む核沸騰領域では伝熱底面形状による沸騰曲線の差異はほとんど見受けられないが、極小熱流束点が TYPE A では過熱度  $\Delta T_{sat}=75\text{K}$ 、熱流束  $q = 1.6 \times 10^4 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、TYPE B では過熱度  $\Delta T_{sat}=105\text{K}$ 、熱流束  $q = 2.3 \times 10^4 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  と異なっており、TYPE B が TYPE A より早く遷移沸騰へ移行している。TYPE B の形状が TYPE A の形状より早く遷移沸騰へ移行するのは、伝熱面下に形成される蒸気膜が、TYPE A では連続した蒸気膜として過熱度が低いところまで維持されるのに対して、TYPE B では伝熱面下に形成された蒸気膜が段があるために伝熱面端部で容易に上昇して、蒸気膜厚さが薄くなり熱伝達が大きくなるからであろう。

### 5.3 浸漬深さの影響

Fig. 6 は浸漬深さの影響が沸騰曲線に最も強くあらわれたサブクール度  $\Delta T_{sub}=60\text{K}$ 、伝熱面形状 TYPE A に対して図示したもので、図中の○印および△印の記号は浸漬深さが25mmと50mmの場合をそれぞれ示している。この図から明らかなように、膜沸騰領域ではこの因子に基づく影響はほとんどなく沸騰曲線は非常に良く合致しているが、核沸騰領域では沸騰曲線の一致性はなく、全般的に浸漬深さの小さい方が、熱流束が高い傾向にあり、過熱度  $\Delta T_{sat}$  が小さくなるにつれてその影響が大きく表われている。特に、過熱度が最も小さい  $\Delta T_{sat} = 5\text{K}$  の場合には、浸漬深さ25mmの方が浸漬深さ50mmより約2.4倍高い熱流束となっている。このように低過熱度で熱流束に顕著な差が生じたのは、伝熱面から離脱した気泡による液体表面の振動が伝熱促進効果となって浸漬深さの小さい方に、より影響を与えたものと考えられる。

### 5.4 サブクール度の影響

Fig. 7 および Fig. 8 は沸騰曲線に対するサブクール度の影響を伝熱面形状 TYPE A について示したものである。図中○印の記号はサブクール度  $\Delta T_{sub} = 0\text{K}$ 、すなわち飽和沸騰の測定結果であり、その他の記号は全てサブクール沸騰の測定結果である。この図より、水平下向き面の過渡沸騰熱伝達の全般的な傾向を知ることができる。核沸騰領域の沸騰曲線では過熱度  $\Delta T_{sat}$  が低くなるほど、サブクール度  $\Delta T_{sub}$  の影響が顕著に表れており、サブクール度  $\Delta T_{sub}$  が増大するほど熱流束が高くなっている。過熱度  $\Delta T_{sat} = 3\text{K}$  において、飽和沸騰の場合の熱流束 ( $\Delta T_{sub} = 0\text{K}$ ) とそれぞ

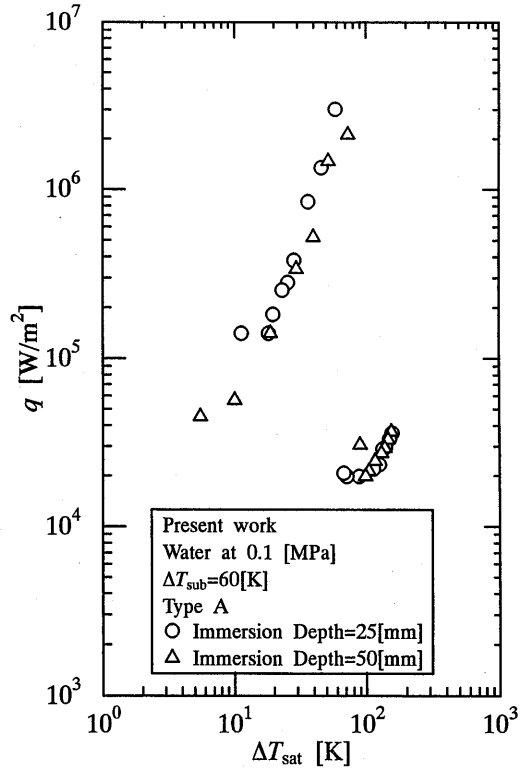


Fig. 6 Effects of immersion depth

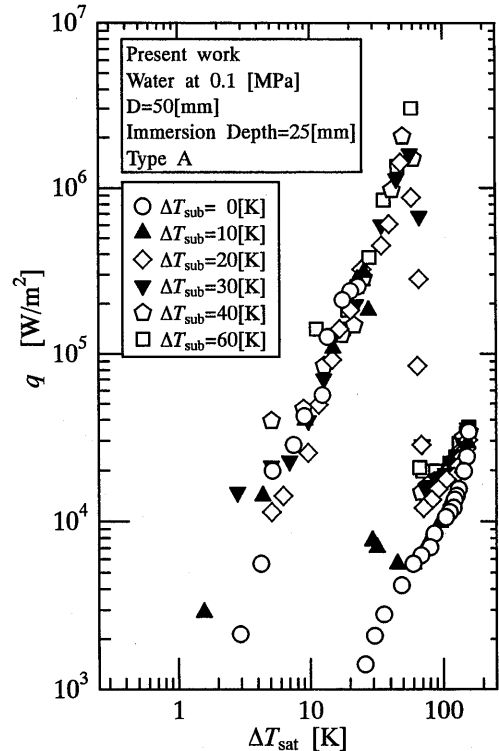


Fig. 7 Boiling curves

れのサブクール沸騰の熱流束とを比較すると、サブクール度  $\Delta T_{sub}=10\text{K}$  (▲印) では約3.5倍、サブクール度  $\Delta T_{sub}=30\text{K}$  (▼印) では約7倍、最もサブクール度が高い  $\Delta T_{sub}=60\text{K}$  (□印) では約50倍高い結果となっている。これらの熱流束の差は過熱度  $\Delta T_{sat}$  が25K以上ではほとんどなくなり、それぞれの実験点は飽和沸騰曲線上あるいはその延長線上に位置している。次に、最大熱流束が生じるバーンアウト点の挙動について調べてみると、バーンアウト点はサブクール度  $\Delta T_{sub}$  が増大するにしたがって過熱度  $\Delta T_{sat}$  の高い方へ移行している。飽和沸騰の場合とサブクール度  $\Delta T_{sub}=60\text{K}$  の場合について定量的考察を行うと、飽和沸騰の場合には過熱度  $\Delta T_{sat}=23\text{K}$  で、 $2.5 \times 10^5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  の限界熱流束であるのに対し、サブクール度  $\Delta T_{sub}=60\text{K}$  の場合には過熱度  $\Delta T_{sat}=59\text{K}$  で、限界熱流束は  $3.0 \times 10^6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  となり、12倍高い結果が得られている。一方、膜沸騰領域と遷移沸騰領域との境界点である極小熱流束点は、サブクール度  $\Delta T_{sub}$  の増大とともに過熱度  $\Delta T_{sat}$  の高い方へ移行し、極小熱流束はサブクール度  $\Delta T_{sub}$  の増大とともに高くなっていることが定性的に把握できる。

Fig. 8はFig. 7に示した沸騰曲線の膜沸騰領域のみを拡大して図示したものである。この図より明らかなように、○印で示す飽和膜沸騰の沸騰曲線に対し、サブクール度  $\Delta T_{sub}$  が増大するほど沸騰曲線が高くなっていることがわかる。▲印で示すサブクール度  $\Delta T_{sub}=10\text{K}$  の場合にはサブクール度の影響はほとんどみられないが、サブクール度  $\Delta T_{sub}=20\text{K}$  以上の場合には顕著な相違がみられる。過熱度  $\Delta T_{sat}=100\text{K}$  において熱流束の値を飽和沸騰の場合と比較してみると、サブクール度  $\Delta T_{sub}=20\text{K}$  では1.6倍の大きさがある。サブクール度  $\Delta T_{sub}$  が30K (▼印), 40K (◇印) および60K (□印) の場合にサブクール度の大きい程、沸騰曲線は定性的に高いのであるが、ほぼ重なった状態にある。これはFig. 3で示した冷却曲線からでも容易に把握することができる。これらのサブクール度では飽和沸騰に対して1.9倍の熱流束がある。

5.5 過渡飽和膜沸騰実験との比較

Fig. 9は過渡飽和膜沸騰実験に基づく沸騰曲線を示しており、伝熱面形状が類似している Guo & El-Genk<sup>4)</sup> の実験結果 (系圧力=0.086MPa, 伝熱面直径=50.8mm) との比較を行ったものである。図中に示す○印は筆者らの実験値を、●印は Guo & El-Genk<sup>4)</sup> の実験値を示している。これらの図より明らかなように、本実験で得られた値が Guo & El-Genk<sup>4)</sup> の実験値

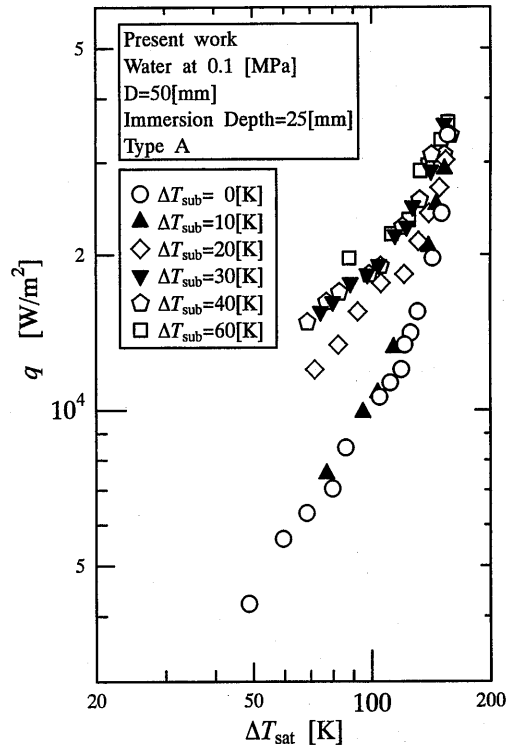


Fig. 8 Boiling curves in the film boiling region

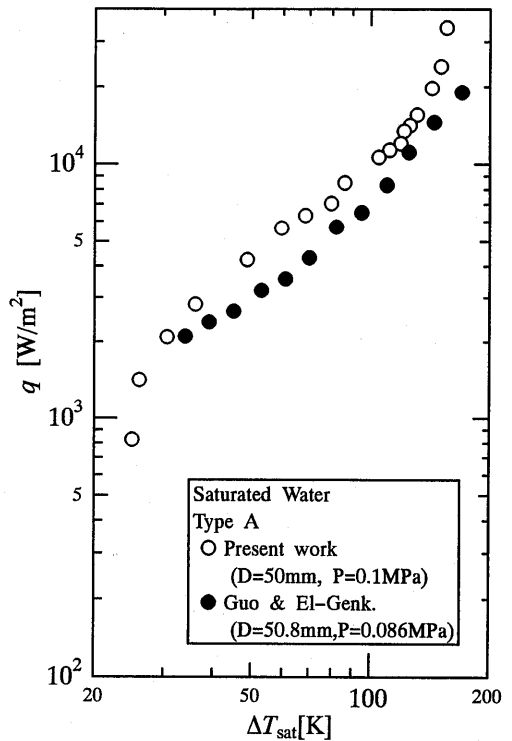


Fig. 9 Comparison with Guo & El-Genk's experiment

より熱流束が約25%から60%高くなっている。この理由として浸漬深さの相違（本実験は25mm, Guo & El-Genk<sup>4)</sup>の実験は57mm)の影響もわずか考えられが、むしろ試験液体中への伝熱ブロックの浸漬方法の違いに原因があると推察される。つまり、本実験では、伝熱ブロックを試験液体中へ浸漬する際、液体表面に振動が起こったり、ヒーターから発生した激しい発泡のため試験液体内に二次流れが起こるなどの要因で沸騰熱伝達が促進されたとも考えられる。

### 5.6 定常飽和膜沸騰実験との比較

Bergles & Thompson<sup>6)</sup>は水平円柱の伝熱面を用い、3種類の試験液体で定常と過渡の飽和沸騰比較実験を行い、両者に差が生じることを報告しているが、ここでは水平下向き面を対象とした本実験の過渡飽和膜沸騰実験と Ishigai<sup>5)</sup>らや西尾<sup>2)</sup>らが行った定常飽和膜沸騰実験との比較について記述する。実験を遂行するに際し、Ishigai<sup>5)</sup>らは伝熱面として、直径25mmと50mmの円板（銅製）を2種類、他方、西尾<sup>2)</sup>らは伝熱面として直径50mm, 75mmおよび100mmの円板（アルミニウム製）を3種類製作して、伝熱面寸法の影響についてそれぞれ実験を行っている。その中で、本実験で使用した伝熱面寸法の同一直径の50mmの場合について示したものがFig.10である。図中の○印は本実験の結果を、▲印は Ishigai<sup>5)</sup>らの実験結果を、■印と◆印は西尾<sup>2)</sup>らの実験結果を示している。西尾<sup>2)</sup>らの実験結果が二組存在するのは、伝熱面下に形成された蒸気膜の気液界面が鏡面状の平滑界面であるか、あるいは気液界面に同心のリング状の波が発生している波状界面であるかによって異った結果が得られているからである。記号で示す■印が波状界面における結果であり、◆印が平滑界面における結果である。これらの図より明らかなように、定常実験の Ishigai<sup>5)</sup>ら（▲印）の実験は過熱度  $\Delta T_{sat}$  が200K から400K までの高過熱度領域であり、西尾<sup>2)</sup>らの実験は過熱度  $\Delta T_{sat}$  が約100K から300K の範囲である。一方、過渡実験である本実験の範囲は過熱度  $\Delta T_{sat}$  が約25K から160K の低い領域である。これらの実験範囲のもとで得られた沸騰曲線について考察を行うと、定常実験に基づく沸騰曲線の勾配はほぼ同一で、傾向は定性的に類似しているものの Ishigai<sup>5)</sup>らの熱流束の値が西尾<sup>2)</sup>ら波状界面の場合のそれより2.5倍程度高いのは、伝熱面形状（伝熱面の周囲に断熱材があるかどうか）の違いのため、気液界面が西尾<sup>2)</sup>らの場合以上に乱されて熱伝達の促進効果が起こったものと考えられる。西尾<sup>2)</sup>らの実験結果によると、波状界面に基づ

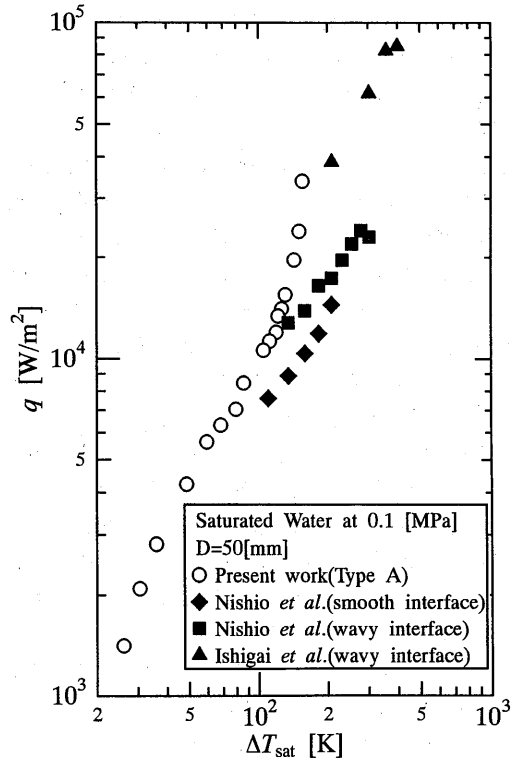


Fig.10 Comparison with other steady-state experiments

く熱流束の値は平滑界面に基づくそれより、1.3倍程度大きい結果となっている。一方、○印で示す本実験の過渡沸騰曲線は勾配が一定ではなく、沸騰曲線の傾きで2つの領域に区分される。過熱度  $\Delta T_{sat}$  が160K から100K 以下がる領域は伝熱ブロックを試験液体中へ浸漬した直後で、蒸気膜が不安定な状態にあり、定常の沸騰とは異なるようである。次に、過熱度  $\Delta T_{sat}$  が100K から5K まで下がる領域では伝熱面下に形成される蒸気膜は安定して薄くなり、定常に近い熱伝達特性を示すものと考えられる。従って、この領域の熱流束の値は定常実験によって得られた西尾<sup>2)</sup>らの波状界面に基づく沸騰曲線の下方向への延長線上と平滑界面に基づく沸騰曲線の上方向への延長線上の間に点在している。本実験のような過渡実験においては伝熱面浸漬時の伝熱面温度や気液界面の状態、つまり初期条件が沸騰曲線に大きな影響を与えるものと思われるので、沸騰曲線の確定に際してはさらに多くの実験が必要であろう。

### 6. 結 論

テフロンで周囲を断熱した直径50mmの銅伝熱面を初期温度を約260℃に設定して、サブクール水中へ浸漬



した場合の冷却曲線の測定値から沸騰曲線を定め、諸因子について検討を行い、次のことが明らかとなった。

- (1) 沸騰曲線の再現性については膜沸騰領域および核沸騰領域とも約10%以内で一致しており、十分にあると考える。
- (2) 膜沸騰領域では伝熱底面形状による沸騰曲線への影響はほとんどみられないが、核沸騰領域ではわずかな差が生じており、影響の存在がうかがえる。
- (3) 膜沸騰領域では伝熱面浸漬深さによる沸騰曲線への影響はほとんどみられない。一方、核沸騰領域では沸騰曲線にわずかな影響の存在がうかがえる。
- (4) 液体のサブクール度による沸騰曲線の影響は膜沸騰領域、核沸騰領域とも存在し、サブクール度が増大するほど、熱流束は大きくなり、極小熱流束、限界熱流束とも高くなる。
- (5) Guo & El-Genk の過渡飽和沸騰の実験結果と比較して、本実験値は25%から60%高い熱流束が得られた。
- (6) 西尾らが定常実験によって観察した膜沸騰における波状界面並びに平滑界面の存在を、過渡実験においても確認できた。

なお、今回の実験においては試験液体へ浸漬する際の初期温度が断熱材料の耐熱性のため260℃と比較的低い温度に設定せざるを得なかった。今後、さらに高温の耐熱材料を使用して、高い初期温度のデータを集積する必要がある。

終わりに、本研究の実験を進めるにあたり協力いただいた楠本良孝技官、長崎大学修士1年生の岡本敏君、学部4年生の小柳良文君並びに副島保君に心から感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 茂地ほか3名; 日本機械学会論文集 (B編), 54, 503, (1988), 1808.
- 2) 西尾ほか2名; 日本機械学会論文集 (B編), 57, 536, (1991), 1359.
- 3) 茂地ほか3名; 長崎大学工学部研究報告, 23, 41, (1993), 123.
- 4) Z. Guo & M. S. El-Genk; Int. J. Heat Mass Transfer, 35, 9, (1992), 2109.
- 5) S. Ishigai, et al.; Int. Development in Heat Transfer, Paper No.26, (1961), 224.
- 6) A. E. Bergles & W. G. Thompson, Jr; Int. J. Heat Mass Transfer, 13, 1 (1970), 55.