

JAERI - M
86-087

加速度変動時の限界熱流束に関する実験(その1)

(加速度変動がサブクール沸騰域の気泡の挙動に及ぼす影響)
第1報: 実験装置及び予備実験(共同研究)

1986年6月

楠 剛・伊藤 泰義・横村 武宣
大辻 友雄*・黒澤 昭*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 いばらき印刷(株)

加速度変動時の限界熱流束に関する実験（その1）

（ 加速度変動がサブクール沸騰域の気泡の
挙動に及ぼす影響・第1報
実験装置及び予備実験（共同研究） ）

日本原子力研究所原子力船研究開発室

楠 剛・伊藤泰義・横村武宣

大辻友雄*・黒澤 昭*

（1986年5月21日受理）

船用炉においては、船体運動に伴う重力加速度の変化によって限界熱流束が受ける影響を明らかにすることは、炉心の熱水力設計手法の確立並びに安全性評価のために重要な課題である。

本共同研究の目的は、作動流体としてフロン113を用いサブクール沸騰域において重力加速度の変化が気泡のふるまいに及ぼす影響を定量的に究明することにある。

本報では、この共同研究のための実験装置と静止時の、沸騰開始熱流束及び種々の熱水力学的条件における気泡径の測定等の予備実験の結果について報告する。

Experimental study on the critical heat flux
in a varying acceleration field. (part 1)

(The influence of varying acceleration on the behavior of bubble
in subcooled boiling, I
Experimental rig and preliminary experiment)

Tsuyoshi KUSUNOKI, Yasuyoshi ITOH, Takeyoshi YOKOMURA,
Tomoo OTSUJI* and Akira KUROSAWA*

Office of Nuclear Ship Research and Development,
Japan Atomic Energy Research Institute

(Received May 21, 1986)

It is very important for the thermohydraulic design and for the safety assessment of marine reactors, to understand the effect of varying acceleration induced by ship motion on critical heat flux.

The purpose of this joint study is to examine quantitatively influence of varying acceleration on the behavior of bubbles. In the experiment, FREON-113 was used as working fluid.

This report describes the outline of the experimental rig and the results of the preliminary experiments in stationary state ; measurement of heat flux at onset of boiling, and measurement of bubble size under various thermohydraulic conditions.

Keywords ; Varying Acceleration, Behavior of bubbles, Marine Reactor,
Critical Heat Flux, FREON-113, Subcooled Boiling,
Bubble Size

目 次

1. はじめに	1
2. 実験装置	1
2.1 試験ループ	1
2.2 動揺装置	2
3. 予備実験Ⅰ・沸騰開始熱流束	6
3.1 測定システム	6
3.2 沸騰曲線	6
3.3 沸騰開始・停止熱流束	7
4. 予備実験Ⅱ・写真撮影による気泡寸法の測定	13
4.1 実験装置と実験方法	13
4.2 実験結果	13
5. まとめ	23
参考文献	23

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Experimental rig	1
2.1 Test loop	1
2.2 Heaving apparatus	2
3. Preliminary experiment ; Onset of nucleate boiling	6
4. Instrumentation	13
4.1 Experimental rig and method	13
4.2 Experimental results	13
5. Conclusion	23
References	23

List of Table

Table 4.1 Test conditions

List of figures

- Fig. 2.1 Schematic of test loop
- Fig. 2.2 Test section
- Fig. 2.3 Schematic of heaving apparatus
- Fig. 3.1 Measurement system
- Fig. 3.2 Relation of FREON temperature vs electric resistance
- Fig. 3.3 Behavior of temperature during rising and falling power
- Fig. 3.4 Boiling curve
- Fig. 3.5 Onset of and cessation of boiling with $500 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ mass velocity
- Fig. 3.6 Onset of and cessation of boiling with $1000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ mass velocity
- Fig. 3.7 Onset of and cessation of boiling with $1500 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ mass velocity
- Fig. 3.8 Onset of and cessation of boiling with $2000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ mass velocity
- Fig. 4.1 Example of progressively increasing heat flux ($G = 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, $\Delta T_{\text{SC}} = 5 \text{ K}$)
- Fig. 4.2 Example of progressively decreasing subcooling ($G = 1000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, $q'' = 200 \text{ kw/m}^2$)
- Fig. 4.3 Example of progressively increasing mass flux ($\Delta T_{\text{SC}} = 5 \text{ K}$, $q'' = 200 \text{ kw/m}^2$)
- Fig. 4.4 Volume of bubbles as a function of heat flux
- Fig. 4.5 Diameter of bubbles as a function of heat flux
- Fig. 4.6 Diameter of bubbles as a function of inlet subcooling
- Fig. 4.7 Diameter of bubbles as a function of mass flux
- Fig. 4.8 Comparison between experimental result and predicted bubble diameter

1. はじめに

船用炉プラントは、プラント全体が船体とともに動揺している点で陸上炉プラントと異なっている。船体動揺による加速度の変動が限界熱流束に与える影響を明らかにすることは船用炉炉心の熱水力設計手法の確立並びに安全性評価のために重要である。

上下動揺加速度が限界熱流束に与える影響については、以前から船舶技術研究所¹⁾²⁾ 神戸商船大学等³⁾⁴⁾⁵⁾ で基礎的研究が行われてきた。この結果、強制対流沸騰伝熱条件下での加速度変動による限界熱流束の低下については、高クオリティ域ではその機構がほぼ解明され、流量変動による影響が非常に大きいことが判った。しかし、低クオリティ域および加圧水型原子炉で一般に利用されているサブクール沸騰域については、加速度変動に起因する流量変動がない場合でも限界熱流束がかなり低下することが見出された。さらに、写真観察による研究により、低重力加速度時に巨大気泡ができやすくなり、それが限界熱流束の低下をもたらす主な原因であると考えられるに至った⁶⁾。したがって、低クオリティ域およびサブクール沸騰域における気泡の挙動を定量的に把握することは非常に重要である。

静止状態については、Macbeth らの水とフレオン 12 を用いた写真観察による研究⁷⁾、MATTSON らが行ったフレオン 113 を用いた研究⁸⁾ 等がある。

本共同研究は、サブクール沸騰域において、重力加速度の変化が気泡のふるまいに及ぼす影響を定量的に究明し、その結果にもとづいて気泡の挙動に関する力学的モデルを組み立てること、限界熱流束の低下と気泡の挙動の因果関係の解明に資することを目的とする。

本報は、本共同研究のための実験装置と、いくつかの予備実験について記したものである。予備実験としては、静止時の沸騰開始熱流束および種々の熱水力的条件における気泡径の測定を行った。

2. 実験装置

実験装置は、フレオン 113 を作動流体とする試験ループとこのループを搭載して上下方向の運動を与えるための動揺装置によって構成されている。

2.1 試験ループ

試験ループの概念図を Fig. 2.1 に示す。気液分離器、コンデンサ、サブクーラ等の主要な構造物はアルミニウムで製作されている。ループ全体はアルミニウム製のパネルに取り付けられ、動揺台に搭載されている。循環ポンプを出たフレオンは、助走区間を兼ねた予熱部で所定の温度に加熱され試験部へ流入する。試験部でさらに加熱されて沸騰したフレオンは、二相流の状態では気液分離器に入る。気液分離器で分離された蒸気はコンデンサで凝縮し、気液分離器底部にもどる。

1. はじめに

船用炉プラントは、プラント全体が船体とともに動揺している点で陸上炉プラントと異なっている。船体動揺による加速度の変動が限界熱流束に与える影響を明らかにすることは船用炉炉心の熱水力設計手法の確立並びに安全性評価のために重要である。

上下動揺加速度が限界熱流束に与える影響については、以前から船舶技術研究所¹⁾²⁾ 神戸商船大学等³⁾⁴⁾⁵⁾ で基礎的研究が行われてきた。この結果、強制対流沸騰伝熱条件下での加速度変動による限界熱流束の低下については、高クオリティ域ではその機構がほぼ解明され、流量変動による影響が非常に大きいことが判った。しかし、低クオリティ域および加圧水型原子炉で一般に利用されているサブクール沸騰域については、加速度変動に起因する流量変動がない場合でも限界熱流束がかなり低下することが見出された。さらに、写真観察による研究により、低重力加速度時に巨大気泡ができやすくなり、それが限界熱流束の低下をもたらす主な原因であると考えられるに至った⁶⁾。したがって、低クオリティ域およびサブクール沸騰域における気泡の挙動を定量的に把握することは非常に重要である。

静止状態については、Macbeth らの水とフレオン 12 を用いた写真観察による研究⁷⁾、MATTSON らが行ったフレオン 113 を用いた研究⁸⁾ 等がある。

本共同研究は、サブクール沸騰域において、重力加速度の変化が気泡のふるまいに及ぼす影響を定量的に究明し、その結果にもとづいて気泡の挙動に関する力学的モデルを組み立てること、限界熱流束の低下と気泡の挙動の因果関係の解明に資することを目的とする。

本報は、本共同研究のための実験装置と、いくつかの予備実験について記したものである。予備実験としては、静止時の沸騰開始熱流束および種々の熱水力的条件における気泡径の測定を行った。

2. 実験装置

実験装置は、フレオン 113 を作動流体とする試験ループとこのループを搭載して上下方向の運動を与えるための動揺装置によって構成されている。

2.1 試験ループ

試験ループの概念図を Fig. 2.1 に示す。気液分離器、コンデンサ、サブクーラ等の主要な構造物はアルミニウムで製作されている。ループ全体はアルミニウム製のパネルに取り付けられ、動揺台に搭載されている。循環ポンプを出たフレオンは、助走区間を兼ねた予熱部で所定の温度に加熱され試験部へ流入する。試験部でさらに加熱されて沸騰したフレオンは、二相流の状態では気液分離器に入る。気液分離器で分離された蒸気はコンデンサで凝縮し、気液分離器底部にもどる。

気液分離器を出た液体フロンは、配管を通してサブクーラに導かれ、所定の温度まで冷却されて循環ポンプへもどる。ループへのフロンの充填はコンプレッサと真空ポンプを備えたりザーバタンクから行う。

予熱部での加熱は矩形断面を有する助走区間の管の周囲にシースヒータを取付けることにより行った。電流供給には最大出力 39 V, 513 A (20 KW) のサイリスタ整流器を用いる。入力 は 60 Hz, 200 V の 3 相交流である。

試験部は Fig. 2.2 に示すように 16 mm × 16 mm の矩形流路であり、1 つの流路壁面にヒータが取付けられている。ヒータ面をはさむ両壁面はガラス窓になっており、内部の流動状態を観察し、写真撮影を行なうことができる。ヒータは長さ 120 mm, 巾 3 mm, 厚さ 0.1 mm の SUS 304 製板状ヒータであり直接通電加熱を行なう。電流供給には最大出力 16 V, 100 A の直流定電圧電源を用いる。入力は、60 Hz, 100 V の単相交流である。

フロンの循環には、油圧モータによって駆動される容積型ポンプを使用する。循環流量の調整はポンプの回転速度を調節することにより行なう。

加圧器は最大負荷 5 KW の浸漬型ヒータを内蔵している。このヒータはサイリスタで移相制御された交流電流によって加熱される。加圧器で発生した蒸気は、試験部で発生し気水分離器で分離された蒸気と合流してコンデンサで凝縮される。この加圧器の設置によって、サブクール沸騰域の実験が可能となっている。

2.2 動揺装置

動揺装置の概略図を Fig. 2.3 に示す。本装置は 50 馬力のかご形誘導電動機、無段変速機、伝達機構からなる駆動部と、ループがそれに沿って上下運動する高さ 10 m のタワーによって構成される。ただし、Fig. 2.3 には電動機と変速機は示されていない。

電動機は定格回転数は 1750 rpm であるが、ベルト式巻掛伝動機構により変速機の入力軸の回転数は 750 rpm となる。変速機は遊星式で、750 rpm の入力軸回転数に対して、出力軸回転数を 0 から 1200 rpm まで連続的に変化させることができる。変速機出力軸の回転はさらに 3 段のベルト巻掛伝動機構によって約 1/25 に減速されて直径 2 m の最終プーリの回転運動に伝達される。最終プーリの回転運動は駆動部とフロンループとを接続しているワイヤロープの往復運動に変換される。

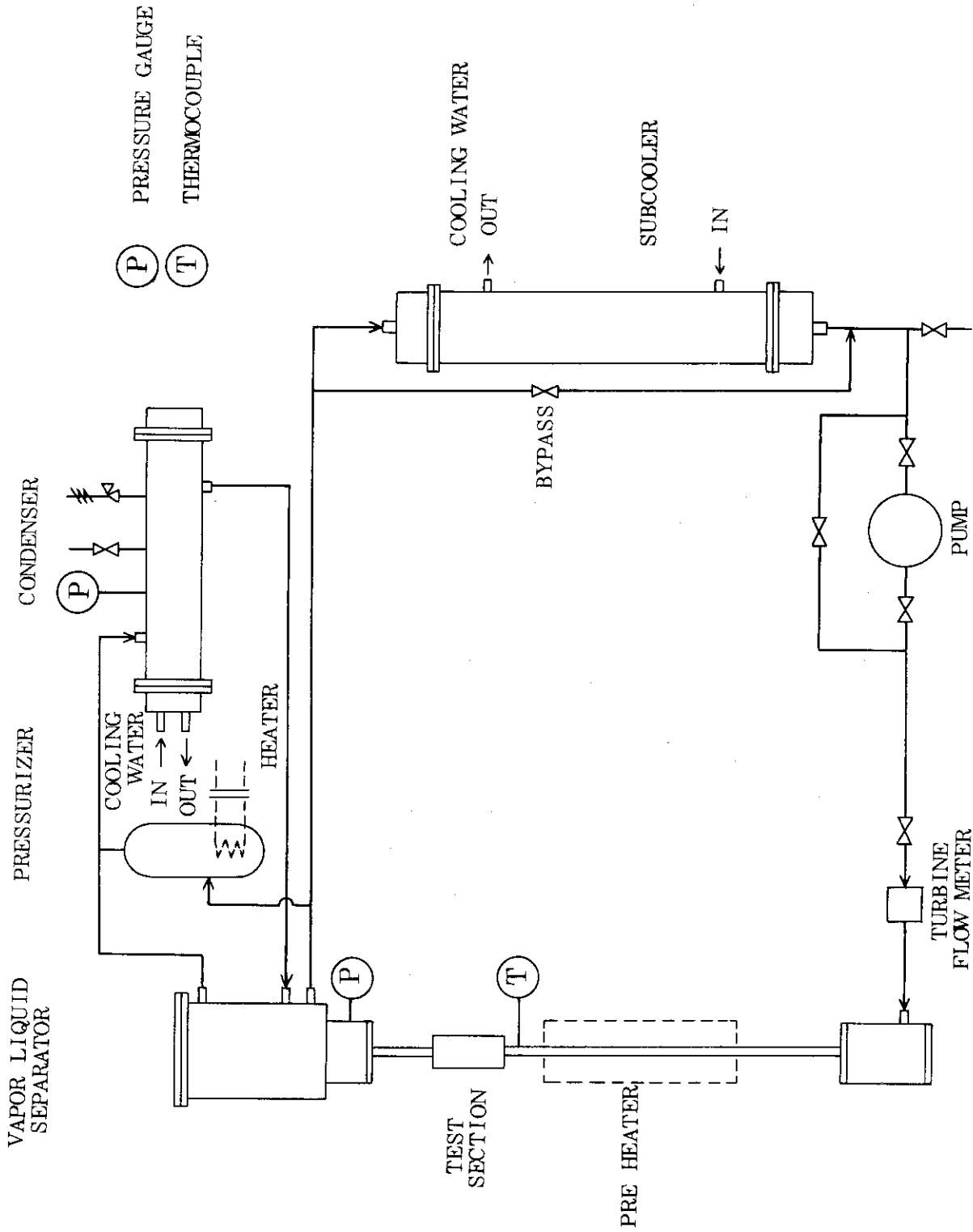


図 2.1 Schematic of test loop

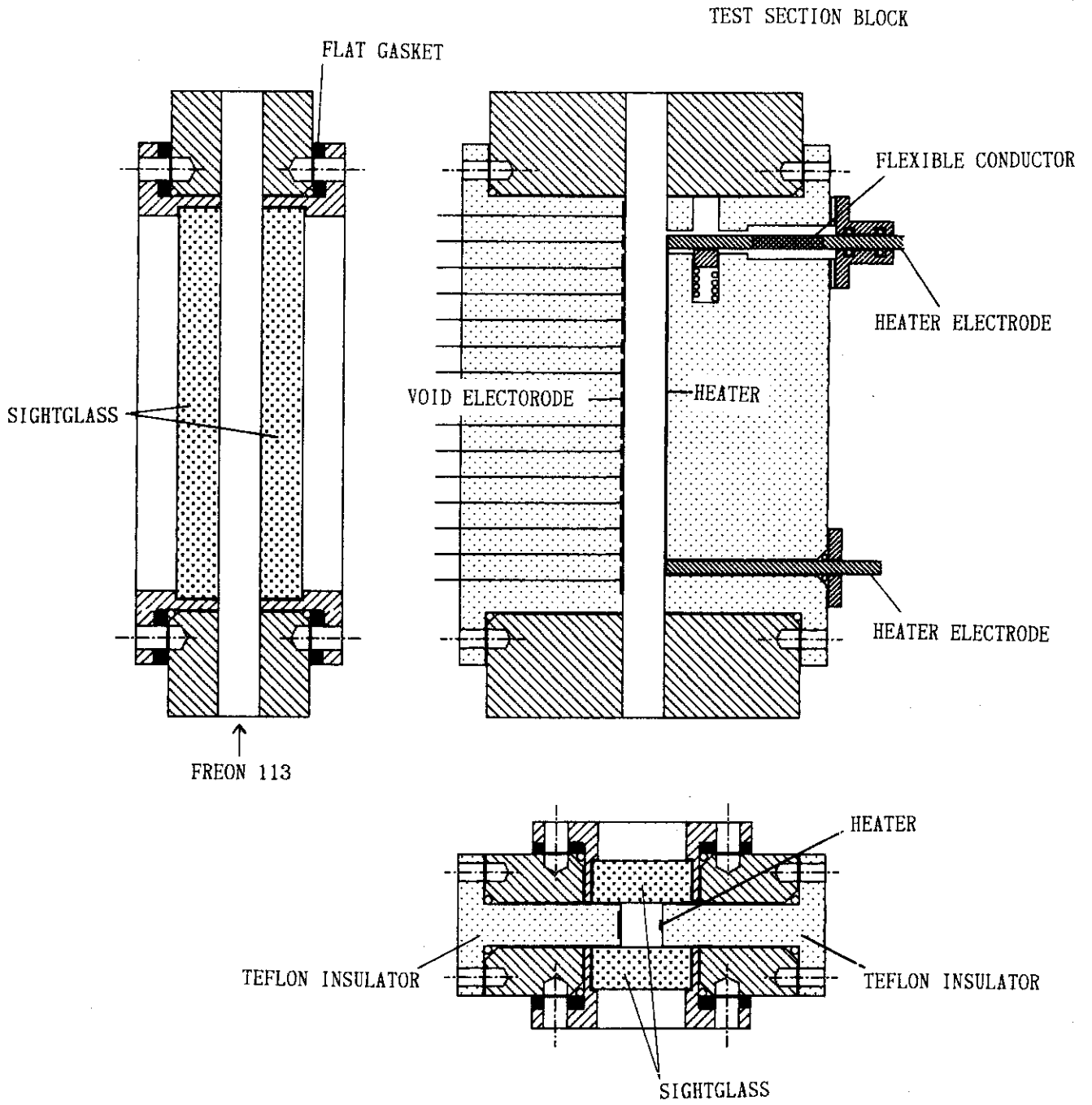


Fig. 2.2 Test section

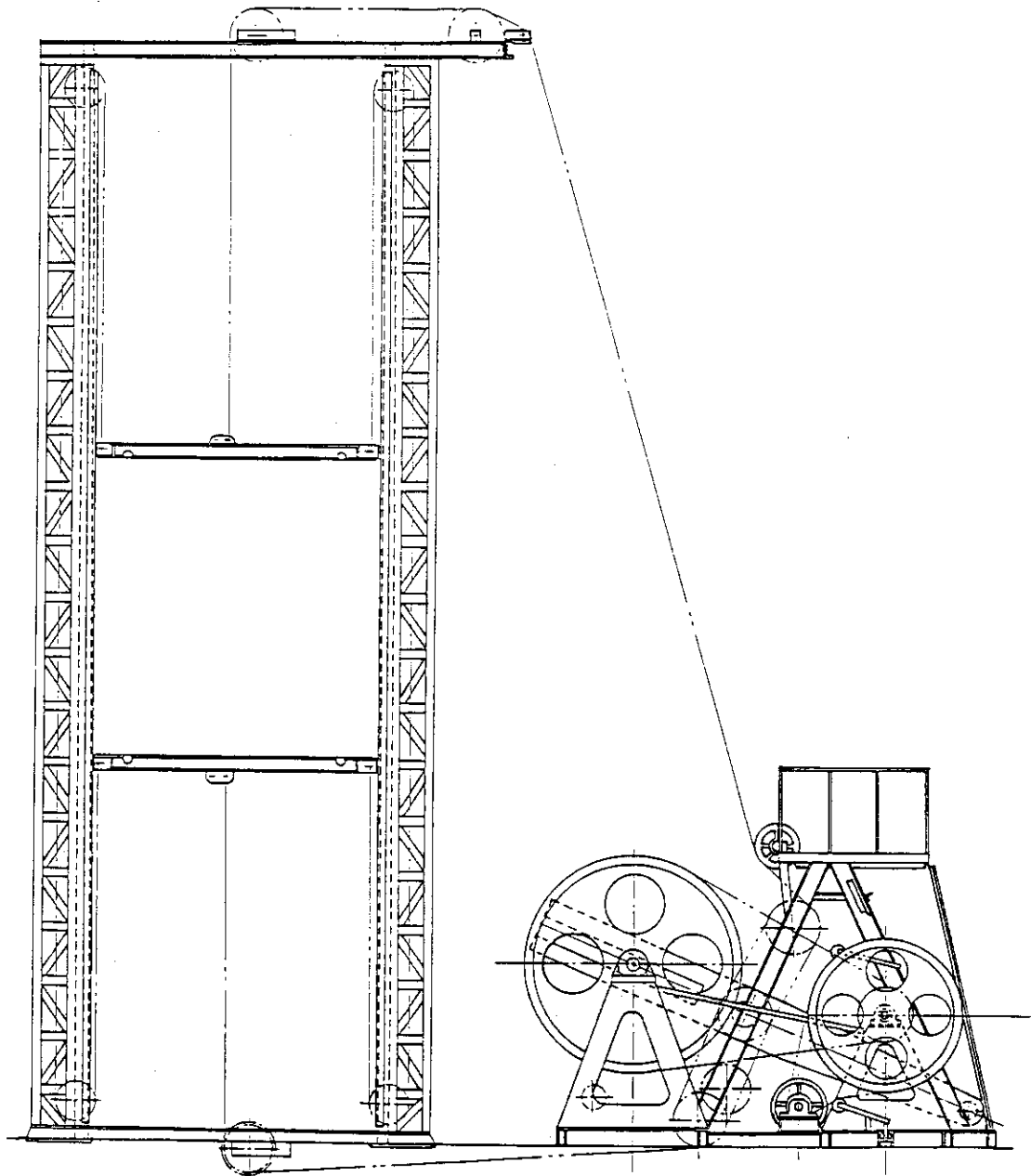


Fig. 2.3 Schematic of heaving apparatus

3. 予備実験 I ・ 沸騰開始熱流束

沸騰熱伝達の基本的パラメータの一つである沸騰開始熱流束を測定し、既存の代表的な相関式と比較してそれらの相関式が本試験部に対して適用可能であるか否かを検討した。なお、沸騰開始熱流束の測定に先立って、代表的な一つの熱水力学的条件のもとで沸騰曲線を測定した。

3.1 測定システム

本実験で用いた測定システムの概念図をFig. 3.1に示す。圧力は試験部出口においてひずみゲージ式圧力変換器により、フロン流量は予熱部入口の手前においてタービン流量計により、フロン温度は試験部入口においてタイプKの熱電対により測定した。試験部での加熱による温度上昇は、本実験シリーズの中で最も大きい時でも0.5 K以下であるので、入口温度をもってフロン温度を代表させた。ヒータ印加電圧はヒータ電極において、ヒータ電流は電源に内蔵されたシャント抵抗での電圧降下から測定した。

これらの測定量を直流増巾器で増巾した後、AD変換器によりデジタル値に変換してマイクロコンピュータにとり込み、系圧力、飽和温度、フロン温度、サブクール度、質量流束、ヒータ電圧、ヒータ電流、ヒータ出力、熱流束、ヒータ抵抗を計算、表示させ連続的に監視した。

3.2 沸騰曲線

沸騰曲線を得るに当たって、ヒータ温度の測定にはヒータの電気抵抗の温度による変化を用いた。そこで、初めにヒータの温度と抵抗との関係を調べる実験を行った。フロンの質量流束を $1000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 、ヒータ熱流束を 9.9 KW/m^2 の一定値に保ち、フロン温度を種々に変化させて電気抵抗を測定した。電気抵抗は電圧と電流の測定値から求めた。その結果をFig. 3.2に示す。この方法ではヒータに電流を流して加熱しているので、フロン温度とヒータ温度との間には差があるが、質量流束と熱流束を一定に保っているため、その差はほとんど一定であるとも考えられ、温度による抵抗の変化率はほぼ正確に測定することができる。このようにして求めた抵抗の温度係数は、 $1.17 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ となり、文献⁹⁾より求めた値 $1.19 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ とほぼ一致する。

沸騰曲線は圧力 0.15 MPa、質量流束 $1000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 、入口サブクール度 15 K の条件で測定した。熱流束を 0 から 200 KW/m^2 まで徐々に上昇させた後再び 0 にまで下げて、その途中でヒータの抵抗値と上述の温度係数からヒータ温度を測定した。熱流束を横軸に、ヒータ温度を縦軸にとってプロットした結果をFig. 3.3に、横軸に過熱度 $\Delta T_{\text{sat}} (= T_w - T_{\text{sat}})$ を、縦軸に熱流束をとってプロットした沸騰曲線をFig. 3.4に示す。これらの図で黒丸は熱流束上昇時を、白丸は下降時を表わす。

熱流束を 0 から増加させていくと、単相熱伝達によりヒータ温度はほぼ直線的に上昇する。熱流束が 70 KW/m^2 に達した時のヒータ過熱度は約 11 K である。熱流束が 70 KW/m^2 を越える

と気泡の発生が始まり、ヒータ温度は急激に約7K低下する。目視観察では、この時ヒータの下流端付近で気泡の発生が始まり、その後気泡発生位置は急速に上流側へ進行してヒータ全面で気泡が発生するようになる。

気泡発生開始後さらに熱流束を増加させてもヒータ温度はあまり上昇せず、200 KW/m²においてもヒータ過熱度は10K以下である。

熱流束を200 KW/m² から減少させていった場合には、上昇時とほぼ同じ曲線をたどるが、上昇時において見られたような不連続現象は観察されず、なめらかに单相熱伝達に移行する。目視観察によると、熱流束低下とともに気泡発生はまばらになり、やがて完全に消滅するが、気泡発生の停止を確認することは困難である。

このように、熱流束上昇時と下降時とでは大きなヒステリシスがあるので、熱流束を上昇させていった場合に気泡が発生し始める熱流束を沸騰開始熱流束、熱流束下降時に気泡の発生が停止する熱流束を沸騰停止熱流束と呼ぶことにする。このヒステリシスは次の原因により生じると考えられる。加熱面で気泡が発生する場合、表面のくぼみ(cavity)が発泡核として働く。このくぼみは、表面張力の小さなものでは、十分に小さくないと発泡核として有効に働かない。一方、気泡が発生するために必要な過熱度はくぼみが小さいほど大きくなる。いったん、気泡の発生が始まると表面が活性化され小さな過熱度でも気泡発生が持続される。このため、フレオンのように表面張力の小さなものでは、熱流束上昇時の不連続現象は顕著になる。熱流束下降時にはなめらかに单相熱伝達へ移行するためヒステリシスが生じる。

3.3 沸騰開始・停止熱流束

前節の結果をもとに、質量流束、入口サブクール度をパラメータとして沸騰開始および沸騰停止熱流束を測定した。実験条件の範囲は次のとおりである。

圧 力 ; 0.15 MPa

質 量 流 束 ; 500, 1000, 1500, 2000 kg/m²・s

入口サブクール度 ; 5~25 K

測定結果をFig. 3.5~Fig. 3.8に示す。これらの図において黒丸は沸騰開始熱流束を、白丸は沸騰停止熱流束を示す。

図より分るように、沸騰開始熱流束はばらつきが大きいですが、サブクール度の増加とともにほぼ直線的に上昇する。この直線をサブクール度0Kに外挿した熱流束は0とならない。

沸騰停止熱流束は比較的再現性がよく、サブクール度の増加とともに直線的に増加する。この直線をサブクール度0Kに外挿した熱流束も、沸騰開始熱流束曲線を外挿した値よりも小さいが、やはり正確には0とならない。

サブクール沸騰が始まる条件を与える相関式の代表的なものであるSaha-Zuberの¹⁰⁾式とLevyの¹¹⁾式から求めた沸騰開始熱流束をFig. 3.5~Fig. 3.8に示した。今回の実験結果と比較すると、値、傾向ともに明らかに一致しない。これらの相関式は、比較的長い加熱流路にサブクール液が流入し、流路の途中から沸騰が始まるような体系を対象にしており、その沸騰開始位置を予測する目的には有力ではあるが、本実験のように加熱長が短い場合にはあてはまらないと考えられる。

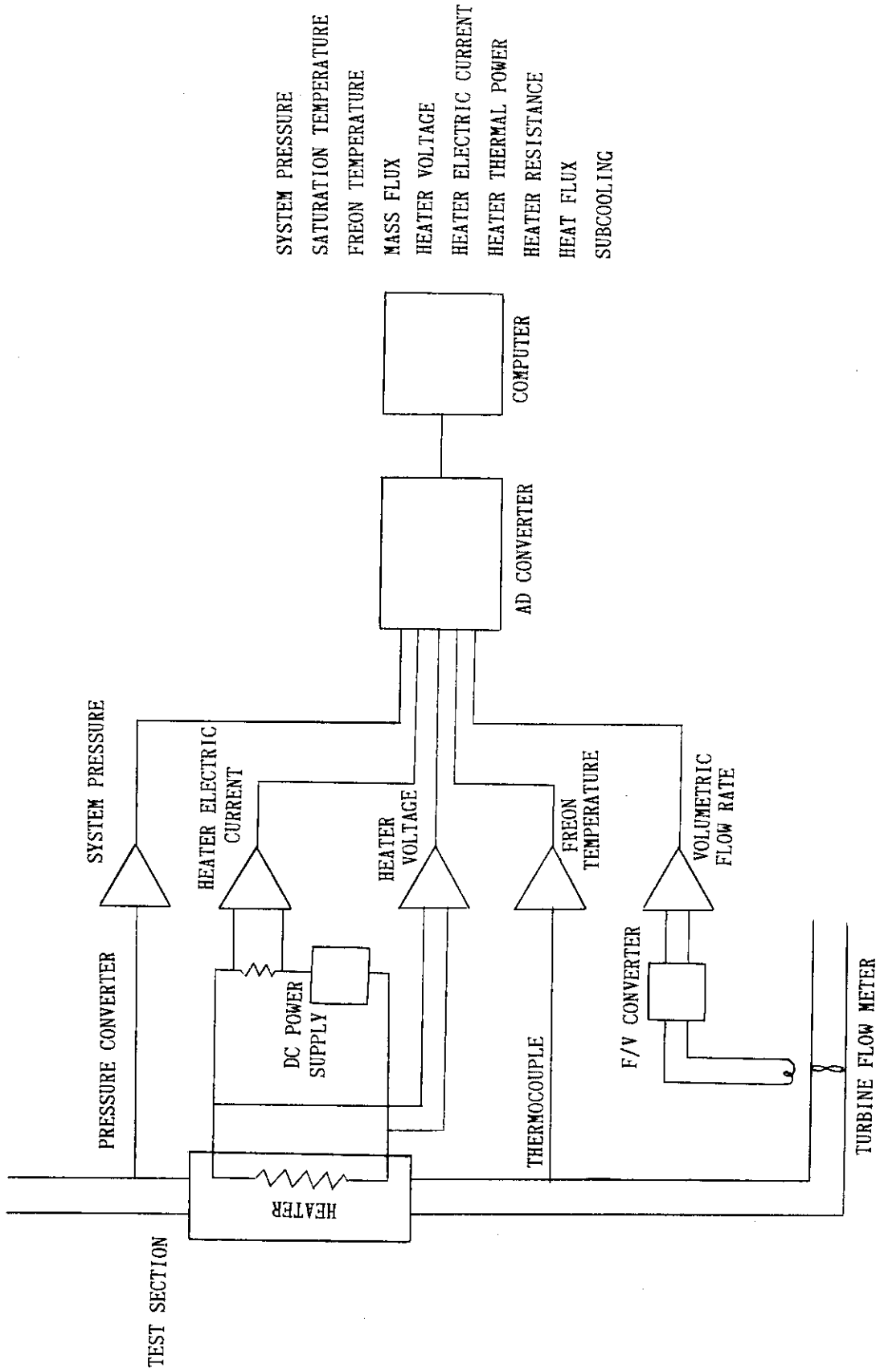


Fig. 3.1 Measurement system

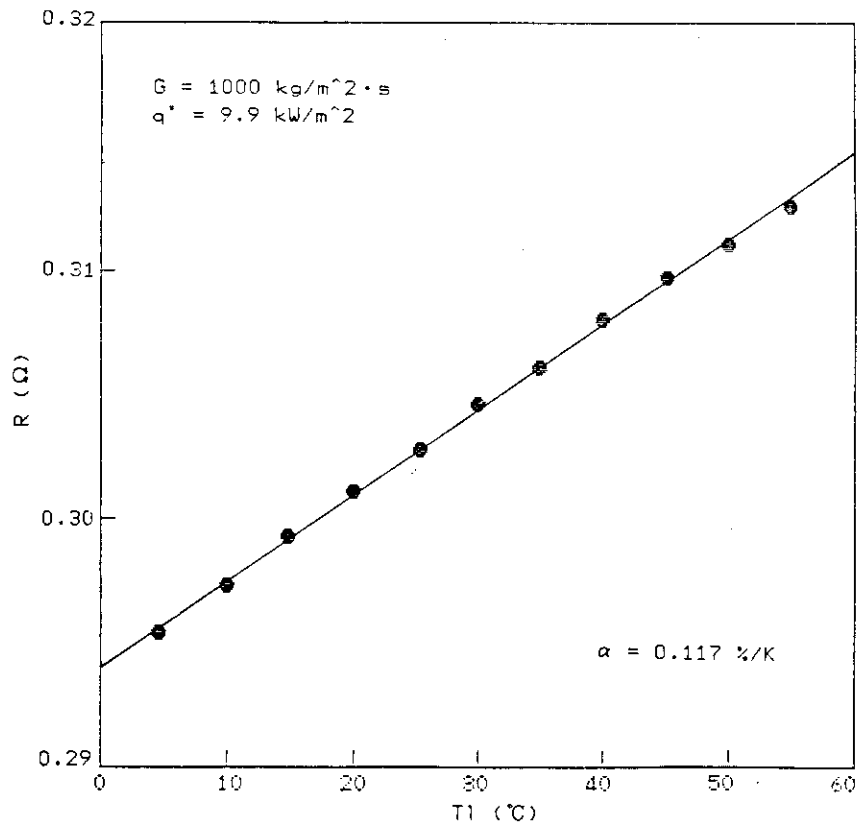


Fig. 3.2 Relation of FREON temperature vs electric resistance

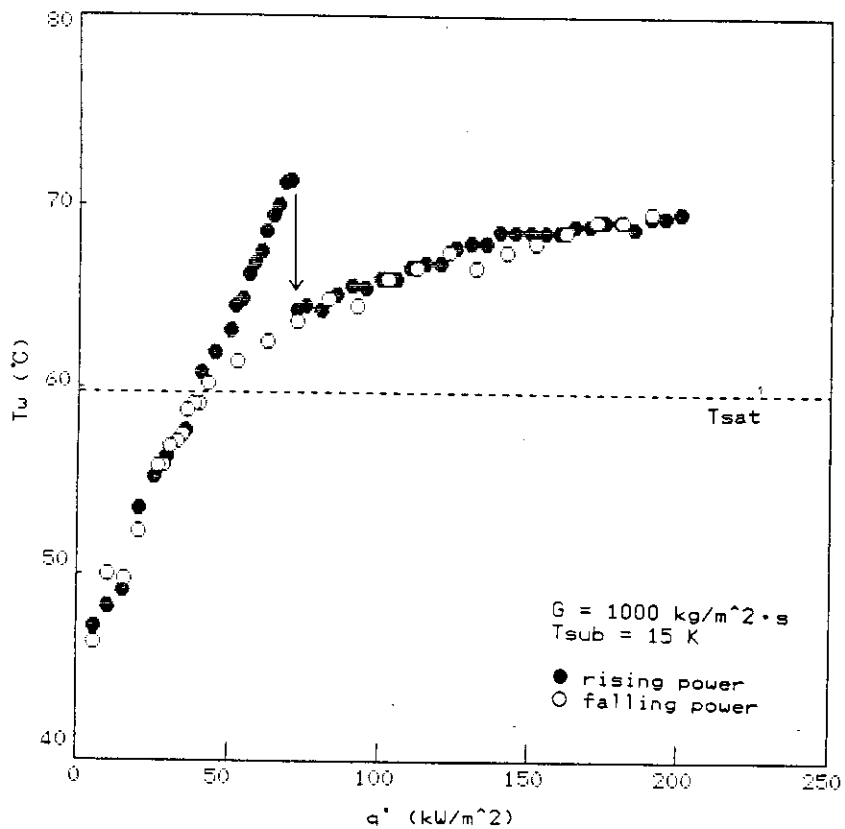


Fig. 3.3 Behavior of temperature during rising and falling power

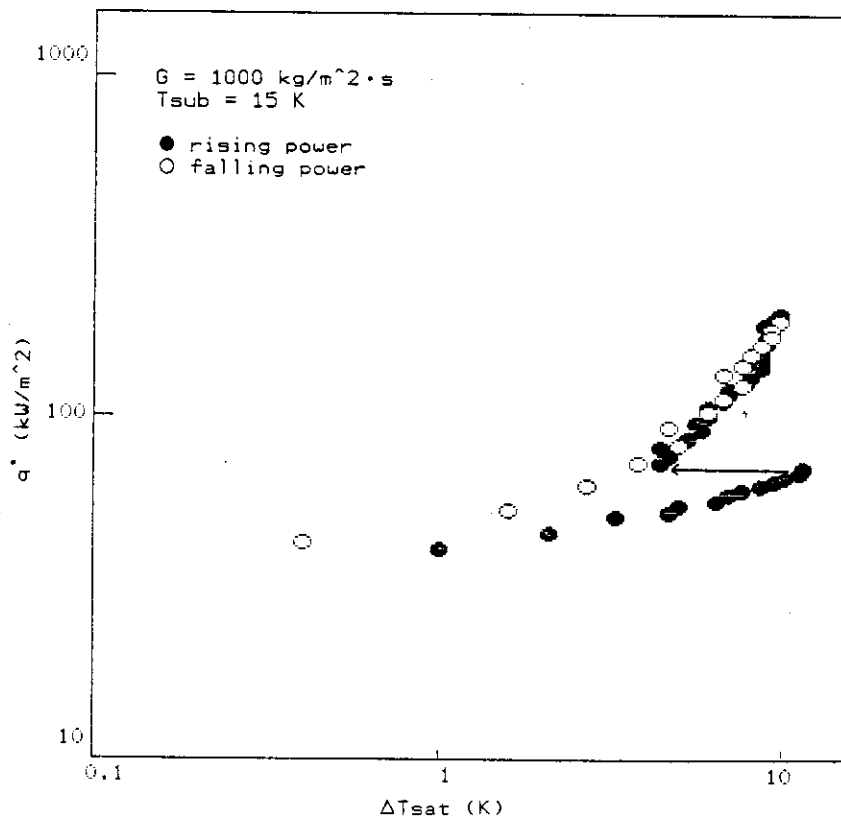


Fig. 3.4 Boiling curve

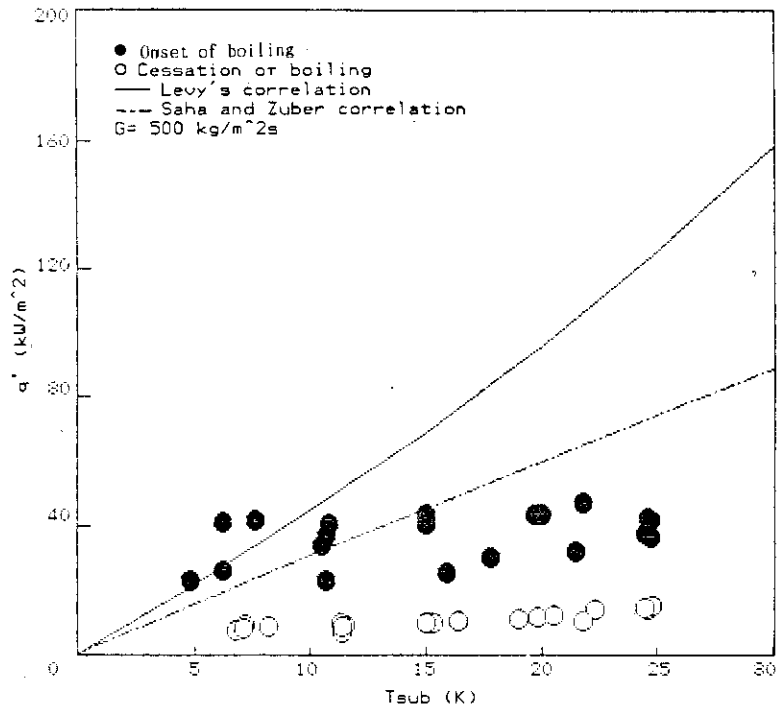


Fig. 3.5 Onset of and cessation of boiling with 500 kg/m²·s mass velocity

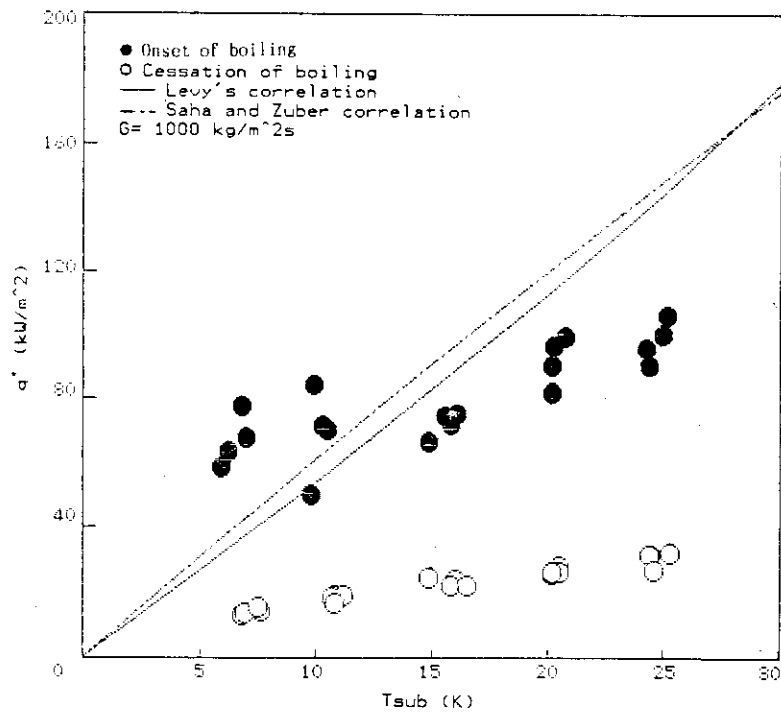


Fig. 3.6 Onset of and cessation of boiling with 1000 kg/m²·s mass velocity

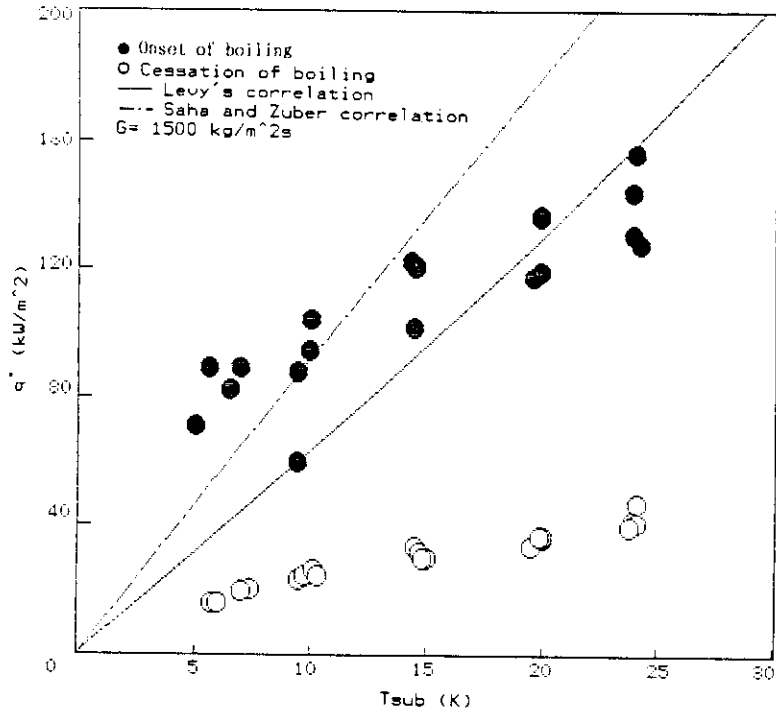


Fig. 3.7 Onset of and cessation of boiling with 1500 kg/m²·s mass velocity

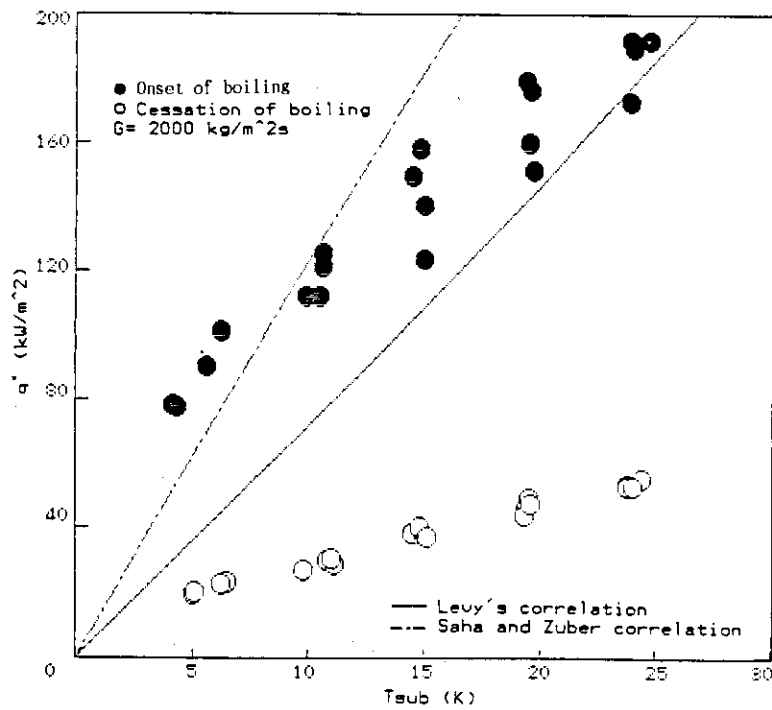


Fig. 3.8 Onset of and cessation of boiling with 2000 kg/m²·s mass velocity

4. 予備実験II・写真撮影による気泡寸法の測定

本共同研究の目的は、サブクール沸騰で加熱面上に発生した気泡の移動、合体、離脱過程に及ぼす加速度の影響を調べることであるが、60年度は静止状態で主としてスチル写真により気泡寸法と熱水力学的条件の関係を調べた。

4.1 実験装置と実験方法

使用した実験装置は前節で述べた装置と同一である。写真撮影には35mmカメラを用いた。使用フィルムはネオパンFである。試験部をはさんでカメラと反対側にストロボを設置し、透過光撮影を行った。

実験は圧力を0.15MPaの一定に保ち、質量流束、入口サブクール度、熱流束をそれぞれ数通り変化させた。実験条件の一覧表をTable 4.1に示す。この表において熱流束が空欄になっているところは、その条件のもとでは気泡が発生しなかったことを示している。各実験条件のもとで5枚ずつ写真を撮影した。

4.2 実験結果

各パラメータが気泡の発生、離脱に及ぼす影響を見るために、いくつかの写真例をFig. 4.1～4.3に示す。これらの写真において、ヒータと向い合った壁面に立っている2本の針は、写真撮影時のピント合わせと、写真解析時のスケール校正のために取付けたものであり、2本の針の間隔は50mmである。

Fig. 4.1, 4.2, 4.3はそれぞれ熱流束、サブクール度、質量流束の影響を示している。当然予期されることであるが、熱流束の増加、サブクール度、質量流束の減少とともに気泡量は増加する。質量流束が増加した場合には、気泡量の低下はあまり顕著ではないが、気泡が細かく分散していることは注目される。

これらの写真より明らかなように、同一の熱水力学的条件のもとでも種々の形状、大きさの気泡が存在する。そこで、各写真において大きいものから3個気泡を選び、同一条件の5枚の写真から選びだされた15個の気泡の平均値をもってその条件における気泡寸法とした。

大きい気泡を選んだ理由は次のとおりである。加熱面上に発生した気泡は直ちに面上を流れの方向に移動し、途中で周囲の気泡と合体しながら成長しやがて加熱面から離脱する。従って離脱時に気泡は最も大きくなり、その時の大きさが各パラメータの影響を最も強く反映していると考えられる。

写真の気泡像を楕円で近似して目盛つきルーペで長軸と短軸の長さを測り、長軸を軸とする回転楕円体とみなして気泡の体積を求めた。

このようにして求めた気泡体積を熱流束の関数として表わした結果をFig. 4.4に示す。

気泡体積と同一体積を有する球の直径をもって気泡径と定義し、気泡径と各パラメータとの関係をFig. 4.5～Fig. 4.7に示す。

気泡径を質量流束、サブクール度、熱流束のべき乗の積で表わせると仮定して、最小二乗法により係数と指数を求めると

$$D_b = 7.347 G^{-0.573} \Delta T_{sc}^{-0.604} q''^{0.817}$$

ここで

D_b ; 気泡の直径 (mm)

G ; 質量流束 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)

ΔT_{sc} ; サブクール度 (K)

q'' ; 熱流束 (KW/m^2)

が得られた。この相関式から予測される値と実験値との比較をFig. 4.8に示す。この図より、求めた相関式は±20%の精度で実験値を予測できることが分る。

Table 4.1 Test condition

System pressure P = 0.15 MPa

Mass Flux $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$	Inlet Subcooling K	Heat Flux Values kW/m^2				
		40	80	120	160	200
500	5	40	80	120	160	200
"	10	40	80	120	160	200
"	15		80	120	160	200
"	20		80	120	160	200
"	25		80	120	160	200
1000	5	40	80	120	160	200
"	10	40	80	120	160	200
"	15	40	80	120	160	200
"	20		80	120	160	200
"	25		80	120	160	200
1500	5	40	80	120	160	200
"	10		80	120	160	200
"	15			120	160	200
"	20			120	160	200
"	25			120	160	200
2000	5		80	120	160	200
"	10			120	160	200
"	15			120	160	200
"	20			120	160	200
"	25				160	200

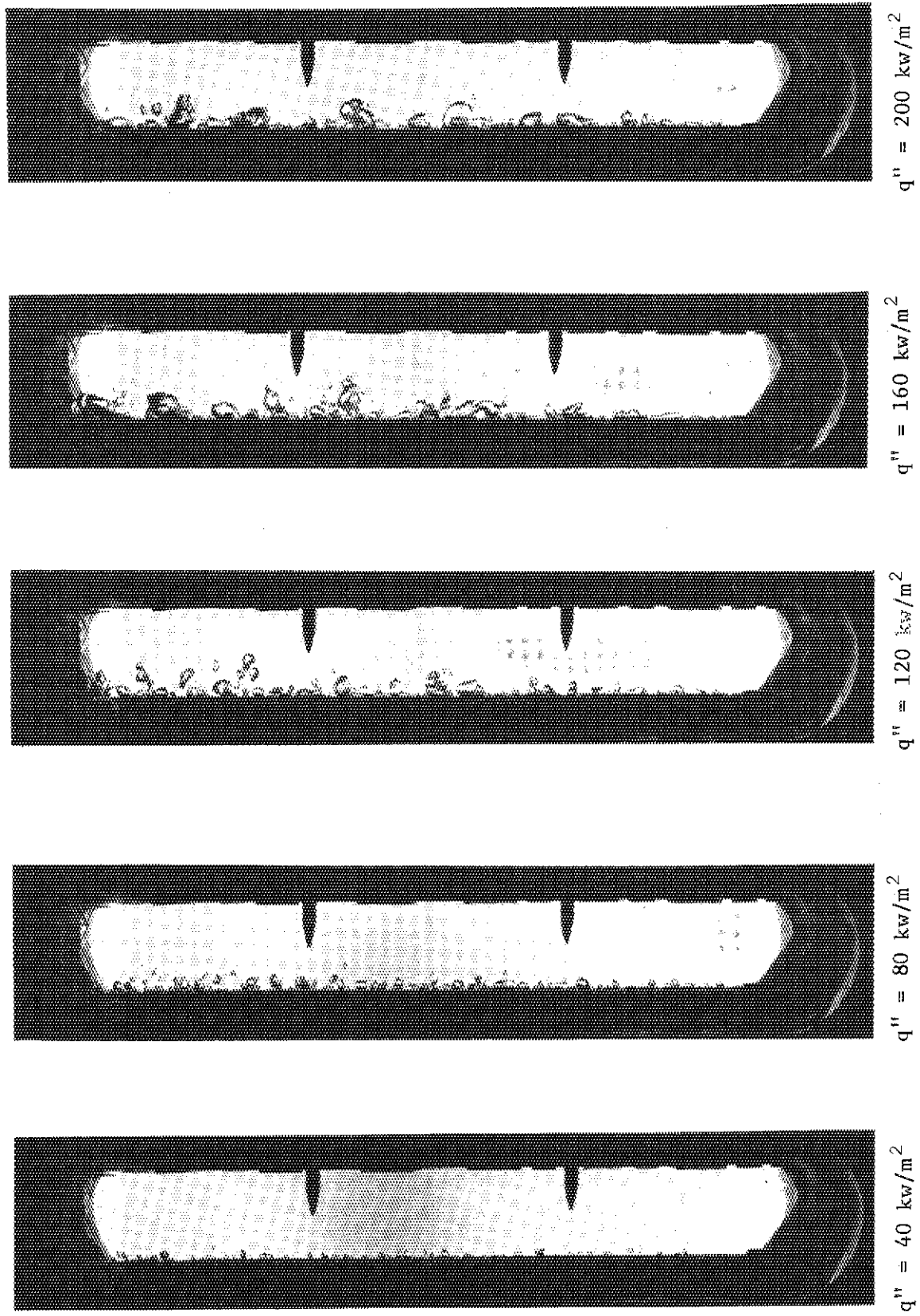


Fig. 4.1 Example of progressively increasing heat flux ($G = 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, $\Delta T_{sc} = 5 \text{ K}$)

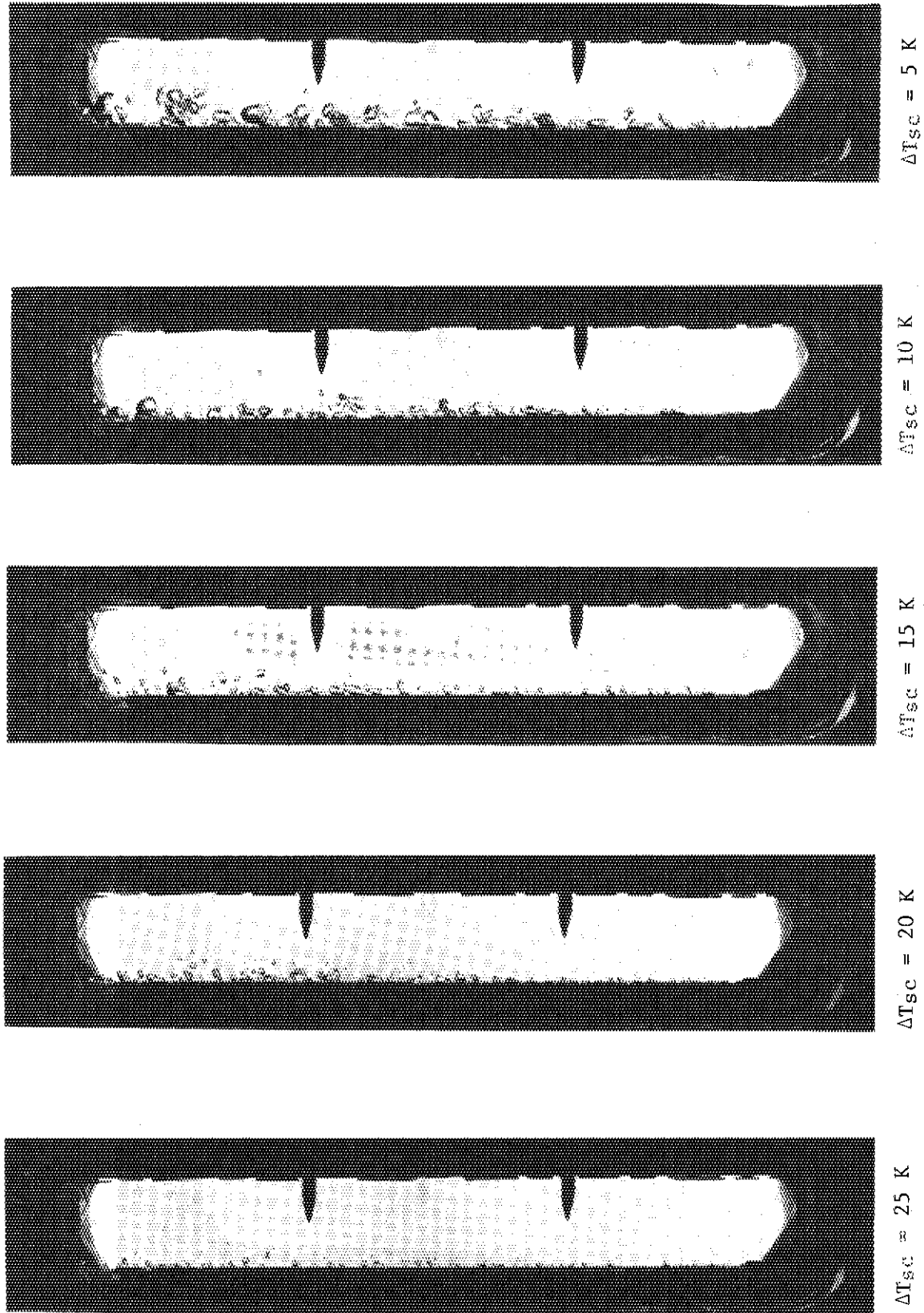


Fig. 4.2 Example of progressing subcooling ($G = 1000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$, $q'' = 200 \text{ kw/m}^2$)

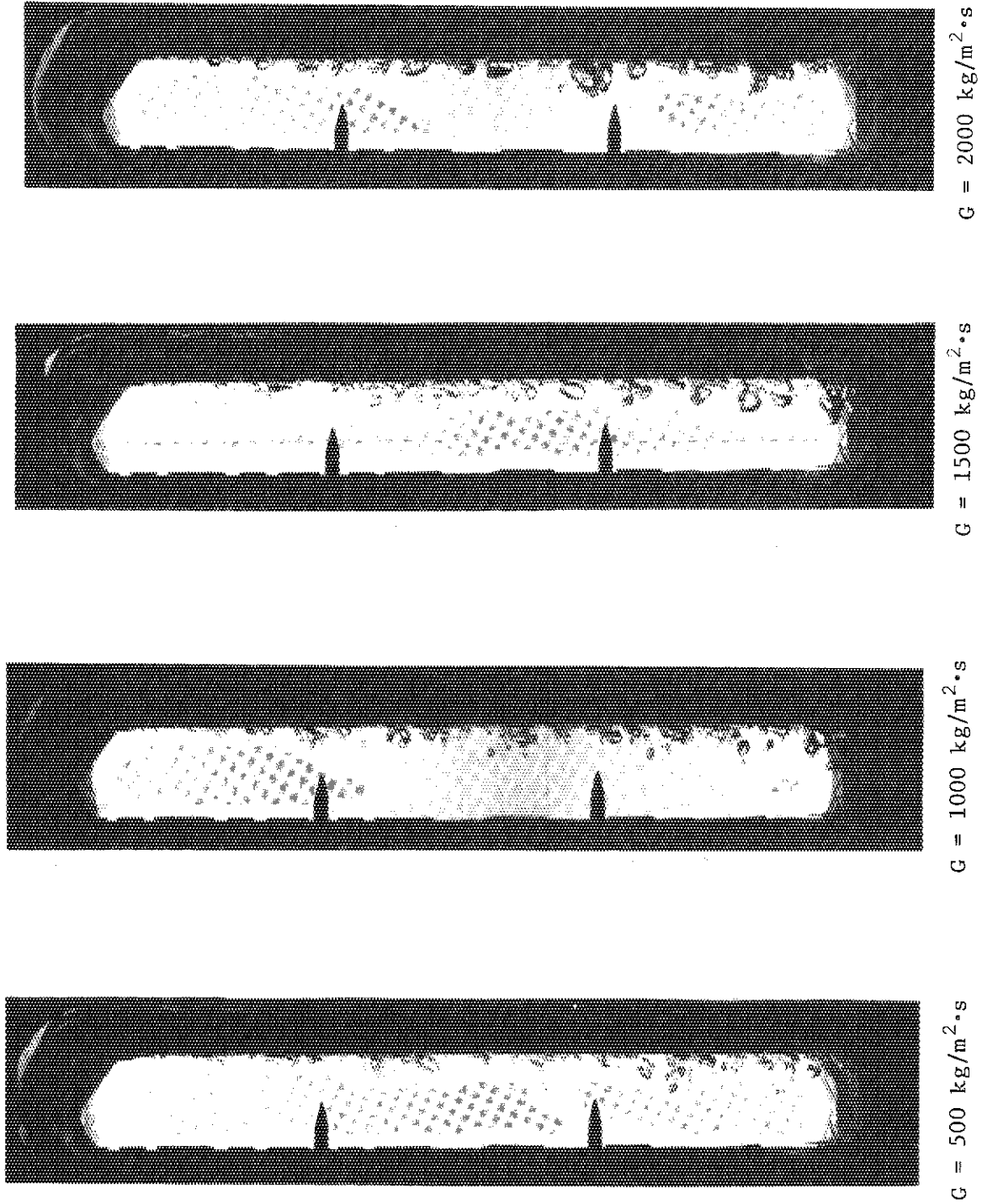


Fig. 4.3 Example of progressively increasing mass flux ($\Delta T_{sc} = 5 \text{ K}$, $q'' = 200 \text{ kw/m}^2$)

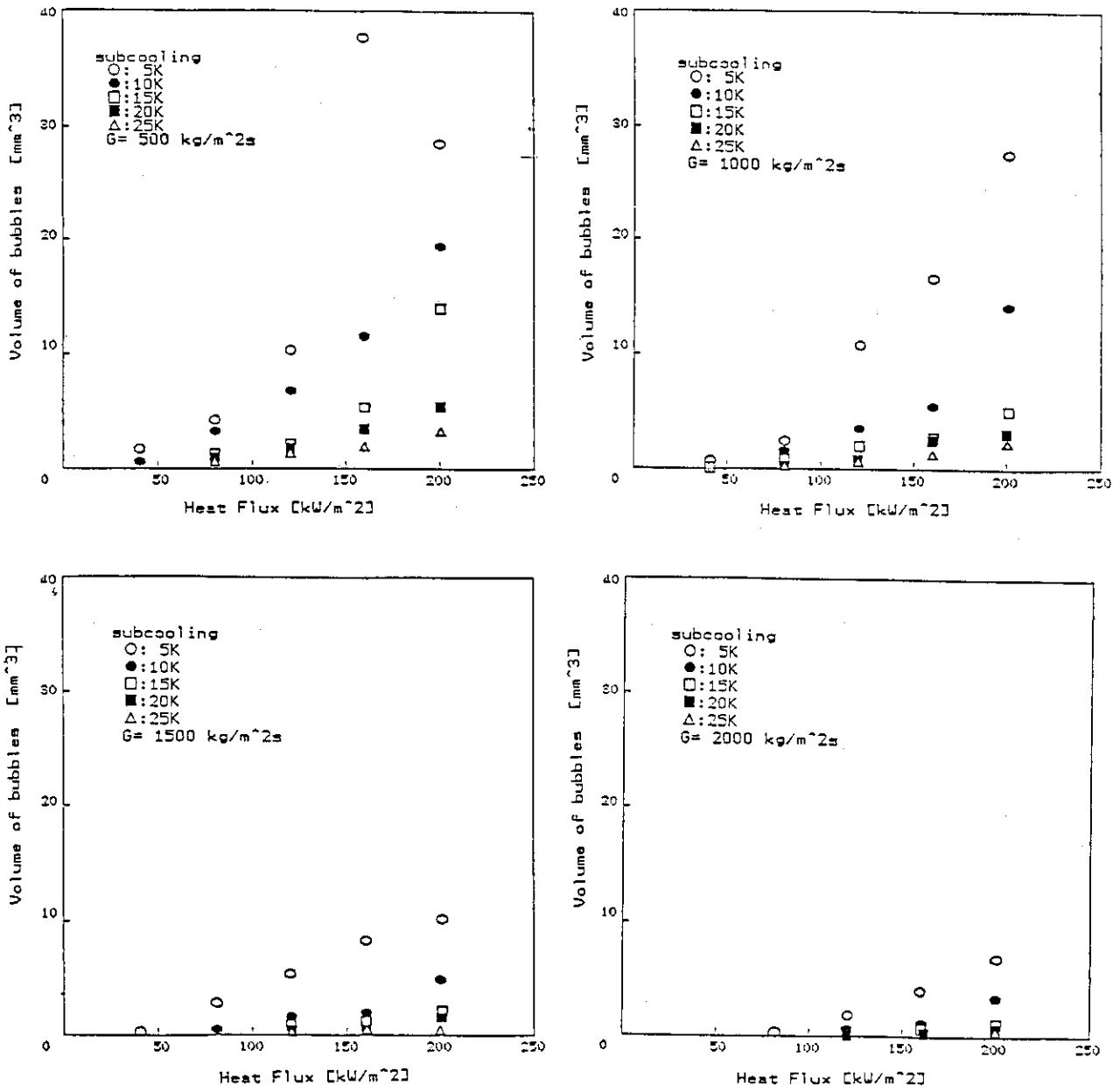


Fig. 4.4 Volume of bubbles as a function of heat flux

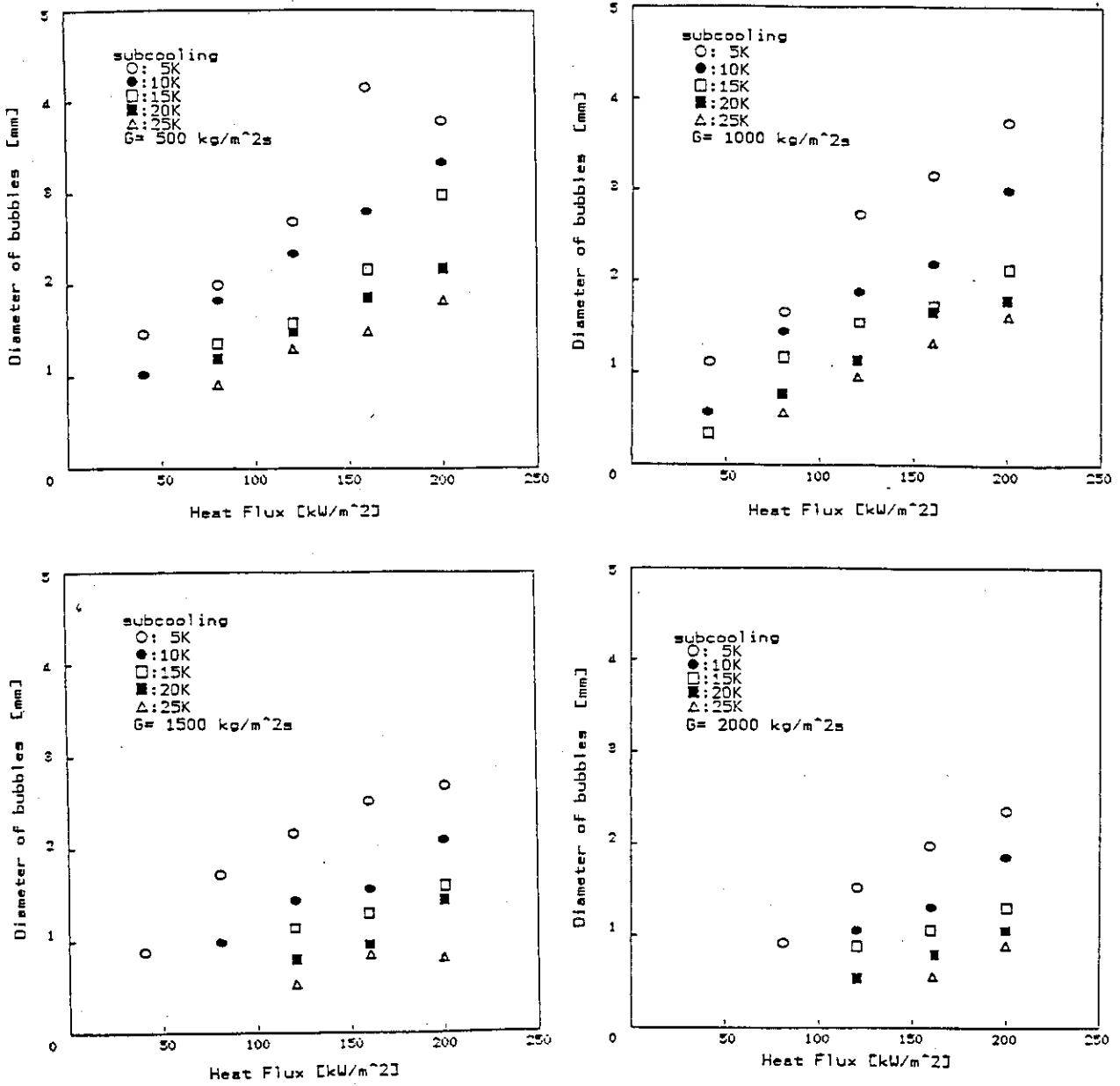


Fig. 4.5 Diameter of bubbles as a function of heat flux

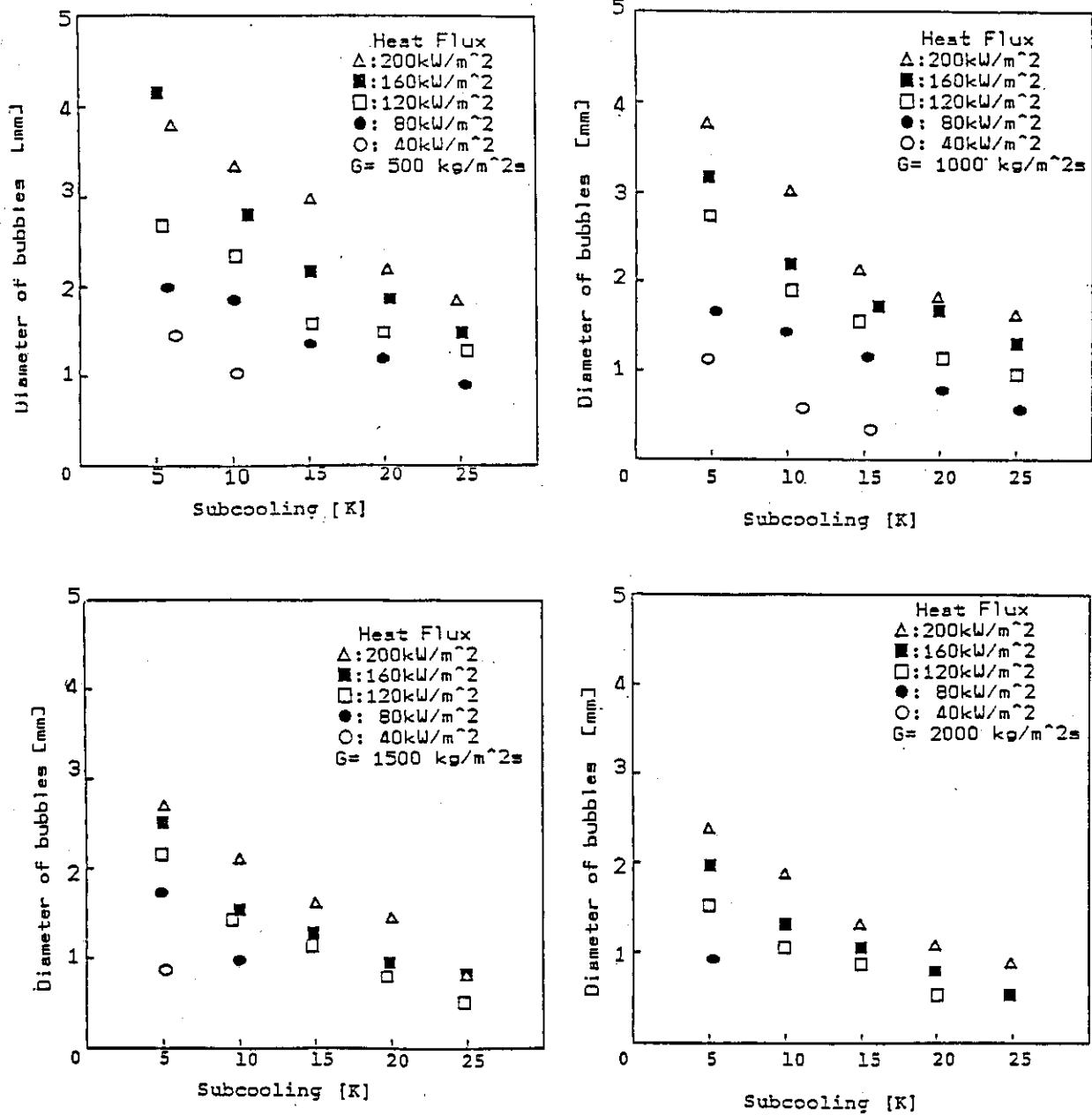


Fig. 4.6 Diameter of bubbles as a function of inlet subcooling

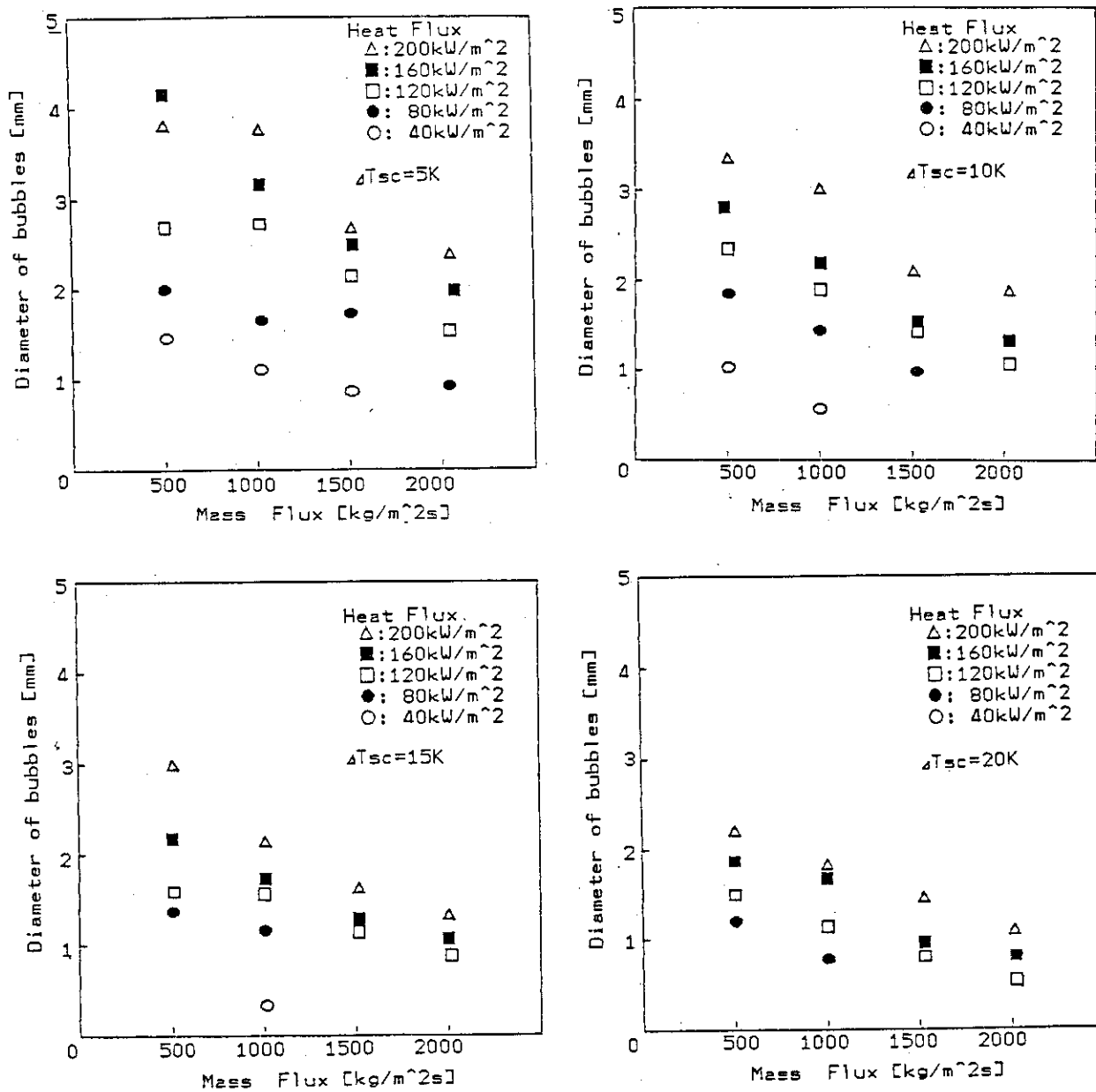


Fig. 4.7 Diameter of bubbles as a function of mass flux

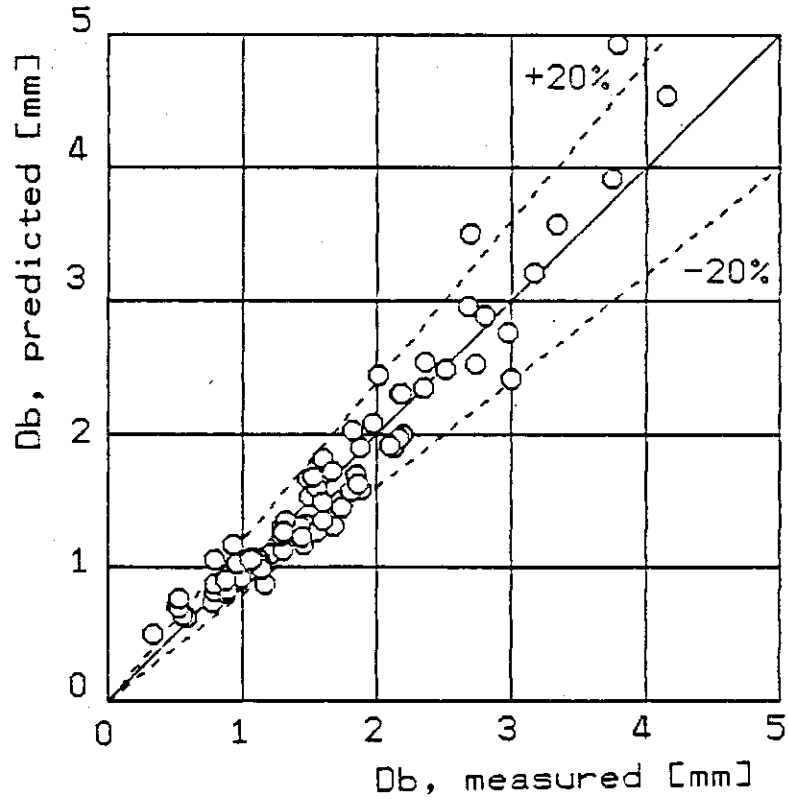


Fig. 4.8 Comparison between experimental result and predicted bubble diameter

5. ま と め

加速度変動がサブクール沸騰域の挙動に及ぼす影響の研究のために、神戸商船大学の動揺実験装置に新たな試験部を作成して取り付けた。予備実験として、静止時の、沸騰開始熱流束の測定および写真撮影による気泡寸法の測定を行った。沸騰開始熱流束測定の結果、本試験部に対しては既存の代表的な相関式は適用できないことがわかった。

写真撮影による気泡寸法の測定の結果、質量流束、サブクール度、熱流束と気泡径との相関式が得られた。

参考文献

- 1) 一色尚次, 村山雄二郎, 塚原茂司, 和田利政, 川俣善正, 山口勝次, 中田正也, 御手洗岩男, 横村武宣, 堀田秀夫: 「船用水冷却原子炉の熱限界と流力特性に及ぼすヒーピング, 傾斜等の影響とその対策」, 船舶技術研究所報告, 第2巻 第1号 昭和40年
- 2) 手島登, 山口勝治: 「上下動揺時の二相流動特性の測定」, 船舶技術研究所報告, 第15巻 第5号 昭和53年
- 3) Tomoo OTSUJI and Akira KUROSAWA: "Critical heat flux of forced convection boiling acceleration field-I. General trend" Nucl. Eng. Des., 71, 15, (1982)
- 4) Tomoo OTSUJI and Akira KUROSAWA: "Critical heat flux of forced convection boiling acceleration field-II. Contribution of flow lation" Nucl. Eng. Des., 76, 13, (1983)
- 5) Tomoo OTSUJI and Akira KUROSAWA: "Critical heat flux of convection boiling acceleration field-III. Reduction mechanism of CHF in subcooled flow" Nucl. Eng. Des., 79, 19, (1984)
- 6) 大辻友男: 「限界熱流束に及ぼす加速度変動の影響に関する研究」, 東京大学学位論文, 1982
- 7) R.V. MACABETH, R.W. WOOD: "Resuite of a photographic study of sub-cooled forced-convection boiling of high-pressure water & FREON-12" AEEW-949 (1980)
- 8) R.J. MATTSON, F.G. HAMMITT, L.S. TONG: "A photographic study of the subcooled flow boiling crisis in FREON-113" ASME 73-ht-39
- 9) 日本金属学会, 日本鉄鋼協会編: 「鉄鋼材料便覧」, 丸善, (1967)
- 10) P. SAHA and N. ZUBER: "Point of net vapor generation and vapor void fraction in subcooled boiling" 5th. Heat Transfer Cont. Vol.4 175 (1974)

5. ま と め

加速度変動がサブクール沸騰域の挙動に及ぼす影響の研究のために、神戸商船大学の動揺実験装置に新たな試験部を作成して取り付けた。予備実験として、静止時の、沸騰開始熱流束の測定および写真撮影による気泡寸法の測定を行った。沸騰開始熱流束測定の結果、本試験部に対しては既存の代表的な相関式は適用できないことがわかった。

写真撮影による気泡寸法の測定の結果、質量流束、サブクール度、熱流束と気泡径との相関式が得られた。

参考文献

- 1) 一色尚次, 村山雄二郎, 塚原茂司, 和田利政, 川俣善正, 山口勝次, 中田正也, 御手洗岩男, 横村武宣, 堀田秀夫: 「船用水冷却原子炉の熱限界と流力特性に及ぼすヒービング, 傾斜等の影響とその対策」, 船舶技術研究所報告, 第2巻 第1号 昭和40年
- 2) 手島登, 山口勝治: 「上下動揺時の二相流動特性の測定」, 船舶技術研究所報告, 第15巻 第5号 昭和53年
- 3) Tomoo OTSUJI and Akira KUROSAWA: "Critical heat flux of forced convection boiling acceleration field-I. General trend" Nucl. Eng. Des., 71, 15, (1982)
- 4) Tomoo OTSUJI and Akira KUROSAWA: "Critical heat flux of forced convection boiling acceleration field-II. Contribution of flow lation" Nucl. Eng. Des., 76, 13, (1983)
- 5) Tomoo OTSUJI and Akira KUROSAWA: "Critical heat flux of convection boiling acceleration field-III. Reduction mechanism of CHF in subcooled flow" Nucl. Eng. Des., 79, 19, (1984)
- 6) 大辻友男: 「限界熱流束に及ぼす加速度変動の影響に関する研究」, 東京大学学位論文, 1982
- 7) R.V. MACABETH, R.W. WOOD: "Resuite of a photographic study of sub-cooled forced-convection boiling of high-pressure water & FREON-12" AEEW-949 (1980)
- 8) R.J. MATTSON, F.G. HAMMITT, L.S. TONG: "A photographic study of the subcooled flow boiling crisis in FREON-113" ASME 73-ht-39
- 9) 日本金属学会, 日本鉄鋼協会編: 「鉄鋼材料便覧」, 丸善, (1967)
- 10) P. SAHA and N. ZUBER: "Point of net vapor generation and vapor void fraction in subcooled boiling" 5th. Heat Transfer Cont. Vol.4 175 (1974)

- 11) S. LEVY : "Forced convection subcooled boiling prediction of vapor volumetric fraction" Int. J. Heat mass trans. 10 951 (1967)