

JAERI-M
87-006

JRR-3 改造炉の冷中性子源装置の
ための閉ループサーモサイフォン実験

(I)

1987年2月

熊井 敏夫・篠津 和夫^{*}・坂本 正誠
高橋 秀武

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

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。

入手の問合せは、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, 1987

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 日立高速印刷株式会社

JRR-3 改造炉の冷中性子源装置のための閉ループサーモサイフォン実験(I)

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部
熊井 敏夫・篠津 和夫^{*}・坂本 正誠[†]・高橋 秀武

(1987年1月16日受理)

本報告は、JRR-3 改造炉に設置される冷中性子源装置で、核加熱等による水素系への入熱を除去するサーモサイフォンの熱輸送特性を把握するために行ったサーモサイフォン実験について述べたものである。

本稿ではガラス製の実験装置を用いた、実験・観察に基づくフロン113流体の流動状況、フラッディング現象及びコンデンサにおける凝縮状況について調べた。さらにフラッディング臨界入力については、単管の場合はwallisの相関式で $c = 0.9$ とした時の値に合致していること、二重管の場合は、単管の場合より約 200 W大きくなることがわかった。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

+ 物理部

* 日本エナジー

Fundamental Experiments on Closed Thermosyphon
for JRR-3 cold Neutron Source (I)

Toshio KUMAI, Kazuo SHINOZU*, Masanobu SAKAMOTO⁺
and Hidetake TAKAHASHI

Department of Research Reactor Operation
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 16, 1987)

An experimental study has been performed to understand the characteristics of the closed two-phase thermosyphon by using Freon-113 as working fluid for JRR-3 cold neutron source which has a double wall thermosyphon system. The experimental apparatus was made of glass in order to permit visual and photographic observations.

The purposes of this experiment were mainly focused on the effect of the presence of inner tube on the heat transfer limit, the visual observations of the flow conditions of fluid and the condensation conditions of fluid in the condenser.

It is found that in the case of the single tube, experimental results on the heat transfer limit agree with the values which are given by Wallis's correlation equation, whereas in the case of the double tube, the presence of the inner tube increases the heat transfer limit by about 200W.

Keywords: JRR-3 Reactor, Thermosyphon, Freon 113, Two-phase Counter Flow, Flooding, Cold Neutron Source

+ Department of Physics

* Nippon Energy Inc.

目 次

| | |
|-------------------------|---|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. 実験装置 | 1 |
| 3. 実験結果 | 2 |
| 4. まとめ | 3 |
| 4.1 単管の場合 | 3 |
| 4.2 二重管の場合 | 3 |
| 4.3 コンデンサにおける凝縮状況 | 4 |
| 5. むすび | 4 |
| 謝辞 | 4 |
| 参考文献 | 5 |

Contents

| | |
|---|---|
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Apparatus | 1 |
| 3. Results | 2 |
| 4. Discussion of the Results | 3 |
| 4.1 Single tube | 3 |
| 4.2 Double tube | 3 |
| 4.3 Conditions of the condensation in the condenser | 4 |
| 5. Conclusions | 4 |
| Acknowledgements | 4 |
| References | 5 |

1. まえがき

JRR-3 改造に際して、中性子散乱実験を利用するエネルギーの低い長波長中性子をつくるために、冷中性子源装置を原子炉に設置する計画である。この装置は原子炉心重水タンク内の温度に対応するマックスウェル分布をもった熱中性子を液体水素を通して、約20Kの温度に対応するマックスウェル分布のエネルギーの低い冷中性子とするものである。重水タンク内に設置される液体水素やその容器は常に核発熱により加熱されるので、液体水素は常に沸騰状態にある。この核発熱をとり除きながら常に一定量の水素を減速材容器内に保持するため水素の閉ループサーモサイフォン（以下サーモサイフォンという）を使用する。

計画されている冷中性子源装置では、約15Kに冷却されたヘリウムガスを使ったコンデンサにより水素ガスを冷却し液化する。液体された水素は、真空断熱された流路管を通って、重水タンク内に設置された減速材容器に流下する。減速材容器に溜った液体水素は核発熱等により気化され、コンデンサに帰り再び液化されて減速材容器に流下し、いわゆるサーモサイフォンによる循環を繰返し、一定量の液体水素を減速材容器内に保持させるものである。

冷中性子源装置にサーモサイフォンを利用する計画に際して、このサーモサイフォンは、極低温の液体水素が循環すること、サイフォン管の構造が気体と液体の流れを分離する二重同芯円管であり、形状がクランク型で2つの屈曲部を有する等複雑であることなどの理由により、サイフォンでの安定な流動状況を把握し、熱輸送限界を知る上で実験を行うことが必要となつた。そこで次のような二段階の実験を計画した。

(1) コンデンサでの冷却に水を使用し、フロンをサーモサイフォンの循環ガスとした室温での模擬実験

(2) 冷却材に液体窒素を使用し、アルゴン又は窒素ガスを循環させる低温での実験

この報告は第一段階の室温におけるサーモサイフォン実験について述べる。また第二段階の低温の実験は現在進められている。室温での模擬実験を行うに際しては、次の諸点に注目した。

(1) 気体、液体の流動状況の観察把握

(2) フラッディング現象の確認

(3) コンデンサにおける凝縮状況の確認

2. 実験装置

実験装置を Fig. 1 にその概略図と写真を示した。装置は内部の様子を観測しやすいようにすべてガラス製である。製作は原研化学部分析センタで行った。装置のサイズは減速材容器、流路管など出来るだけ冷中性子源装置に近いものとした。循環液体はフロン113（沸点約50°C）で、容量約 1 ℥ の減速材容器に貯えられる。減速材容器中には加熱用のニクロム線ヒータ（以下主ヒータという）と液温測定用の熱電対を設置した。ヒータで加熱されて気化したフロンガ

1. まえがき

JRR-3 改造に際して、中性子散乱実験を利用するエネルギーの低い長波長中性子をつくるために、冷中性子源装置を原子炉に設置する計画である。この装置は原子炉心重水タンク内の温度に対応するマックスウェル分布をもった熱中性子を液体水素を通して、約20Kの温度に対応するマックスウェル分布のエネルギーの低い冷中性子とするものである。重水タンク内に設置される液体水素やその容器は常に核発熱により加熱されるので、液体水素は常に沸騰状態にある。この核発熱をとり除きながら常に一定量の水素を減速材容器内に保持するため水素の閉ループサーモサイフォン（以下サーモサイフォンという）を使用する。

計画されている冷中性子源装置では、約15Kに冷却されたヘリウムガスを使ったコンデンサにより水素ガスを冷却し液化する。液体された水素は、真空断熱された流路管を通って、重水タンク内に設置された減速材容器に流下する。減速材容器に溜った液体水素は核発熱等により気化され、コンデンサに帰り再び液化されて減速材容器に流下し、いわゆるサーモサイフォンによる循環を繰返し、一定量の液体水素を減速材容器内に保持させるものである。

冷中性子源装置にサーモサイフォンを利用する計画に際して、このサーモサイフォンは、極低温の液体水素が循環すること、サイフォン管の構造が気体と液体の流れを分離する二重同芯円管であり、形状がクランク型で2つの屈曲部を有する等複雑であることなどの理由により、サイフォンでの安定な流動状況を把握し、熱輸送限界を知る上で実験を行うことが必要となつた。そこで次のような二段階の実験を計画した。

- (1) コンデンサでの冷却に水を使用し、フロンをサーモサイフォンの循環ガスとした室温での模擬実験
- (2) 冷却材に液体窒素を使用し、アルゴン又は窒素ガスを循環させる低温での実験

この報告は第一段階の室温におけるサーモサイフォン実験について述べる。また第二段階の低温の実験は現在進められている。室温での模擬実験を行うに際しては、次の諸点に注目した。

- (1) 気体、液体の流動状況の観察把握
- (2) フラッディング現象の確認
- (3) コンデンサにおける凝縮状況の確認

2. 実験装置

実験装置をFig. 1 にその概略図と写真を示した。装置は内部の様子を観測しやすいようにすべてガラス製である。製作は原研化学部分析センタで行った。装置のサイズは減速材容器、流路管など出来るだけ冷中性子源装置に近いものとした。循環液体はフロン113（沸点約50°C）で、容量約1ℓの減速材容器に貯えられる。減速材容器中には加熱用のニクロム線ヒータ（以下主ヒータという）と液温測定用の熱電対を設置した。ヒータで加熱されて気化したフロンガ

スは1mの流路管中を上昇する。コンデンサに到達したフロンガスは冷却水（室温）を流した蛇管の表面で液化され流下し、減速材容器に戻る。冷却水の入口と出口にはそれぞれ熱電対を設置して測温し、流量測定と合せてコンデンサの吸収熱量を推定した。上昇気流と流下液体の対向二相流路となる長さ1mの垂直流路管は、Fig.1に示すような二重管（内管、外管）の他に単管（一本管）の場合の実験も行った。減速材容器へのフロン充填量は約0.8ℓとした。

流路管を気体が上昇中に管壁が室温であると液化してしまうので、補助ヒータ（リボンヒータ）で流路管とコンデンサ下部を加熱した。サーモサイフォン系（以下、系という）に入った熱量を推定するため冷却水の出入口温度と流量から推定した量と、主ヒータの電気入力との関係をFig.2に示した。この図から系に入った熱量は主ヒータの入力に+50Wの補正をした値とした。

流路管としては二重管の場合と内管を取去った単管の場合とで実験を行った。実験を行った内、外管の組合せはTable.1に示した。

実験値を整理するパラメータとして、内管の流路断面積(A_{in})と環状断面部の流路断面積(A_{an})の比 A_{in}/A_{an} を採用した⁽¹⁾。

3. 実験結果

実験はフロン液を減速材容器に入れ、主ヒータにより加熱し、系内の空気をフロンガスで置換した後に、除々に主ヒータ入力を増やした。フロン液が沸騰点に達する頃から、サイフォン現象が観察される。

単管の場合、液体は管内壁の一部分を糸を引く様に伝わって（以下小川状という）流下しはじめ、流下量が増加すると内壁が一様に濡れた状態となり薄い液膜状で流下する。主ヒータ入力をふやすにつれて、上昇気体の流速が増加し、液膜面が波立ってくる。主ヒータ入力がなお増えると、上昇する気体と流下する液体の流動が連続的でなくなる。すなわち、流下液は大きく波立った液膜面の部分から、上昇する気体によって一部が吹き上げられる。この吹き上げられた液がコンデンサ下部に達しここで滞留する。滞留液量が増加すると、滞留液は急速に流下する。以後この液体の吹き上がり、コンデンサ下部での滞留、急速流下の現象が繰返される。上向きの気送流がある値に達し流下液の一部が上昇を開始する現象をフラッディング開始点⁽³⁾として、その時の入熱量を臨界入力として観測した。主ヒータの入力を一定としておき、コンデンサの冷却水量を急激に増加した時にも一時的ではあるが、フラッディングは観測された。フラッディング時には系内の圧力は約500mm Aq変動した。

二重管の場合、主ヒータ入力が小さい時は、液体と気体は分離して循環しているが、主ヒータ入力の増加とともに、内管中を気体が上昇するようになり単管の場合と同様にフラッディングが生ずる。内管と外管の間については、フロン液が沸騰している時にも気体のみが上昇するケースで実験を行った。

実験は単管の場合と内、外管の種々の組合せについて計23回行った。観測したそれぞれの臨界入力をTable.2に示す。また、9回分については各入力時の流路管内の流動状況を撮影した

スは1mの流路管中を上昇する。コンデンサに到達したフロンガスは冷却水（室温）を流した蛇管の表面で液化され流下し、減速材容器に戻る。冷却水の入口と出口にはそれぞれ熱電対を設置して測温し、流量測定と合せてコンデンサの吸収熱量を推定した。上昇気流と流下液体の対向二相流路となる長さ1mの垂直流路管は、Fig.1に示すような二重管（内管、外管）の他に単管（一本管）の場合の実験も行った。減速材容器へのフロン充填量は約0.8ℓとした。

流路管を気体が上昇中に管壁が室温であると液化してしまうので、補助ヒータ（リボンヒータ）で流路管とコンデンサ下部を加熱した。サーモサイフォン系（以下、系という）に入った熱量を推定するため冷却水の出入口温度と流量から推定した量と、主ヒータの電気入力との関係をFig.2に示した。この図から系に入った熱量は主ヒータの入力に+50Wの補正をした値とした。

流路管としては二重管の場合と内管を取去った単管の場合とで実験を行った。実験を行った内、外管の組合せはTable.1に示した。

実験値を整理するパラメータとして、内管の流路断面積(A_{in})と環状断面部の流路断面積(A_{an})の比 A_{in}/A_{an} を採用した⁽¹⁾。

3. 実験結果

実験はフロン液を減速材容器に入れ、主ヒータにより加熱し、系内の空気をフロンガスで置換した後に、除々に主ヒータ入力を増やした。フロン液が沸騰点に達する頃から、サイフォン現象が観察される。

単管の場合、液体は管内壁の一部分を糸を引く様に伝わって（以下小川状という）流下しはじめ、流下量が増加すると内壁が一様に濡れた状態となり薄い液膜状で流下する。主ヒータ入力をふやすにつれて、上昇気体の流速が増加し、液膜面が波立ってくる。主ヒータ入力がなお増えると、上昇する気体と流下する液体の流動が連続的でなくなる。すなわち、流下液は大きく波立った液膜面の部分から、上昇する気体によって一部が吹き上げられる。この吹き上げられた液がコンデンサ下部に達しここで滞留する。滞留液量が増加すると、滞留液は急速に流下する。以後この液体の吹き上がり、コンデンサ下部での滞留、急速流下の現象が繰返される。上向きの気送流がある値に達し流下液の一部が上昇を開始する現象をフラッディング開始点⁽³⁾として、その時の入熱量を臨界入力として観測した。主ヒータの入力を一定としておき、コンデンサの冷却水量を急激に増加した時にも一時的ではあるが、フラッディングは観測された。フラッディング時には系内の圧力は約500mm Aq変動した。

二重管の場合、主ヒータ入力が小さい時は、液体と気体は分離して循環しているが、主ヒータ入力の増加とともに、内管中を気体が上昇するようになり単管の場合と同様にフラッディングが生ずる。内管と外管の間については、フロン液が沸騰している時にも気体のみが上昇するケースで実験を行った。

実験は単管の場合と内、外管の種々の組合せについて計23回行った。観測したそれぞれの臨界入力をTable.2に示す。また、9回分については各入力時の流路管内の流動状況を撮影した

写真を Photo. 1 ~ 9 に示す。

4. まとめ

4.1 単管の場合

Wallis^[2]の相関式を用いて単管中の対向二相流の場合のフラッディングを以下のように評価する。

Wallisの相関式は次式で表わされる。

$$c = \sqrt{v_g^*} + \sqrt{v_\ell^*}$$

$$v_g^* = \frac{v_g \rho_g^{1/2}}{(g D(\rho_\ell - \rho_g))^{1/2}}$$

$$v_\ell^* = \frac{v_\ell \rho_\ell^{1/2}}{(g D(\rho_\ell - \rho_g))^{1/2}}$$

ここで、 v は流速 (m/sec), ρ は密度 (kg/m³), g は重力加速度 (m/sec²), D は管径(m)である。添字の g 及び ℓ はそれぞれ気体、液体を表わしている。フロン113の物性値を1気圧、320.7 Kで評価すると $\rho_g = 7.4645 \text{ kg/m}^3$, $\rho_\ell = 1507.4 \text{ kg/m}^3$ である。この式で c は液の流入口および流出口の条件に依存する値で、液の流入口の縁に丸みのない場合は $c = 0.725 \sim 0.75$, 液の流入口の縁をよく丸めた場合には $c = 0.88 \sim 1.0$ の値でフラッディングが起るとしている。

本実験において、 v_g , v_ℓ は系への入力熱量で決まる量である。Wallisの相関式により定数 c を 0.725 と 1.0 とした時の流路管の径 D と入力熱量との関係を計算した。Fig.3 の実線が計算結果、点は実験値である。図からわかるように実験値は c を大体 0.9 くらいにとった場合の Wallis の相関式に合っているということができる。

4.2 二重管の場合

二重管の場合、円環の効果を单管の場合と比較して検討してみた。二重管でフラッディング状態となる入力熱量を内管の断面積 A_{in} と外管と内管の間の円環状部分の断面積 A_{an} との比 A_{in}/A_{an} を変数として外管外径 Do が 25 mm, 20 mm, 15 mm のそれぞれの管についてプロットしたのが Fig.4 である。図の中で横に引いた破線は図中右端に示した 3 種類の单管による実験値で Fig.3 の値と同じ値を示している。二重管について、丸で示した $Do = 15 \text{ mm}$ の測定値は、单管より低い値が見られるが、それ以外はそれぞれの单管の値より高い値を示している。Fig.4 のプロットで A_{in}/A_{an} が大きくなるのは内管と外管との隙間が小さくなることで、今回の実験で

写真を Photo.1 ~ 9 に示す。

4. まとめ

4.1 単管の場合

Wallis^[2]の相関式を用いて単管中の対向二相流の場合のフラッディングを以下のように評価する。

Wallisの相関式は次式で表わされる。

$$c = \sqrt{v_g^*} + \sqrt{v_\ell^*}$$

$$v_g^* = \frac{v_g \rho_g^{1/2}}{[g D(\rho_\ell - \rho_g)]^{1/2}}$$

$$v_\ell^* = \frac{v_\ell \rho_\ell^{1/2}}{[g D(\rho_\ell - \rho_g)]^{1/2}}$$

ここで、 v は流速 (m/sec), ρ は密度 (kg/m³), g は重力加速度 (m/sec²), D は管径(m)である。添字の g 及び ℓ はそれぞれ気体、液体を表わしている。フロン113の物性値を 1 気圧, 320.7 K で評価すると $\rho_g = 7.4645 \text{ kg/m}^3$, $\rho_\ell = 1507.4 \text{ kg/m}^3$ である。この式で c は液の流入口および流出口の条件に依存する値で、液の流入口の縁に丸みのない場合は $c = 0.725 \sim 0.75$, 液の流入口の縁をよく丸めた場合には $c = 0.88 \sim 1.0$ の値でフラッディングが起るとしている。

本実験において、 v_g , v_ℓ は系への入力熱量で決まる量である。Wallisの相関式により定数 c を 0.725 と 1.0 とした時の流路管の径 D と入力熱量との関係を計算した。Fig.3 の実線が計算結果、点は実験値である。図からわかるように実験値は c を大体 0.9 くらいにとった場合の Wallis の相関式に合っているということができる。

4.2 二重管の場合

二重管の場合、円環の効果を単管の場合と比較して検討してみた。二重管でフラッディング状態となる入力熱量を内管の断面積 A_{in} と外管と内管の間の円環状部分の断面積 A_{an} との比 A_{in}/A_{an} を変数として外管外径 Do が 25 mm, 20 mm, 15 mm のそれぞれの管についてプロットしたのが Fig.4 である。図の中で横に引いた破線は図中右端に示した 3 種類の単管による実験値で Fig.3 の値と同じ値を示している。二重管について、丸で示した $Do = 15 \text{ mm}$ の測定値は、単管より低い値が見られるが、それ以外はそれぞれの単管の値より高い値を示している。Fig.4 のプロットで A_{in}/A_{an} が大きくなるのは内管と外管との隙間が小さくなることで、今回の実験で

は単管に無限に近づくことに相当する。また A_{in}/A_{an} が小さくなることは内管断面が減少し、液体の流下通路が狭くなり、液体の流下が阻害される傾向になると考えられる。したがって Fig.4 では最適な A_{in}/A_{an} の値が存在するものと考えられる。^[1]

Fig.4 では測定点のばらつきが大きいので、正確に述べることはむずかしいが、関らの報告からも幅広い線で示したような曲線になると推察され、 $A_{in}/A_{an} = 0.2 \sim 0.3$ の付近でそれぞれ200W程度臨界入力が上昇している傾向を指摘することができる。

4.3 コンデンサにおける凝縮状況

コンデンサの蛇管に冷却水を流し温度を下げると、フロンガスは蛇管表面に薄膜状になって凝縮する。膜の厚さが増加すると液膜は蛇管表面に沿って流下する。この流速がある値以上になると、液膜は滴状になって蛇管の接線方向に離脱する。フロンの凝縮量は、冷却水流量の増加及び系内の圧力上昇によって増加する。

5. む　　す　　び

この実験は改造 JRR-3 研究炉に設置される冷中性子源装置における、水素の気液二相の閉ループサーモサイフォン現象の模擬実験として行なわれたものである。冷中性子源装置は20 Kの低温なので、本来液体窒素温度くらいの低温での模擬実験を目指しているのであるが、その予備実験として室温でフロン113を使って行ったものである。冷中性子源装置で計画されているのと同じ二重流路の場合はもとより、単管の系でもサーモサイフォン現象は円滑に作動した。いわゆるフラッディング現象により液体の流下が阻害されるようになる入力熱量は単管の場合より二重管の方が200W程度高いところで起っている。従って、二重管とした場合には単管よりも、サーモサイフォンとしての内部流体の循環状態が改善されることが確認できた。

今後は実験を設計に反映するためにコンデンサ下部の貯液部、低温流路管部の傾斜管の正確なモデル化を行い、その効果を確認し、定量化する必要がある。

謝　　辞

本報告は、研究炉開発室長大西信秋氏を始めとして、JRR-3 改造に携る方々のご協力によるものであり、ここに深甚なる謝意を表します。また、実験装置の製作をお願いした化学部分析センターの木村喜久雄氏、小原和弘氏、物理部の渡辺光男氏に心から感謝の意を表します。

は単管に無限に近づくことに相当する。また A_{in}/A_{an} が小さくなることは内管断面が減少し、液体の流下通路が狭くなり、液体の流下が阻害される傾向になると考えられる。したがって Fig.4 では最適な A_{in}/A_{an} の値が存在するものと考えられる。^[1]

Fig.4 では測定点のばらつきが大きいので、正確に述べることはむずかしいが、関らの報告からも幅広い線で示したような曲線になると推察され、 $A_{in}/A_{an} = 0.2 \sim 0.3$ の付近でそれぞれ200W程度臨界入力が上昇している傾向を指摘することができる。

4.3 コンデンサにおける凝縮状況

コンデンサの蛇管に冷却水を流し温度を下げると、フロンガスは蛇管表面に薄膜状になって凝縮する。膜の厚さが増加すると液膜は蛇管表面に沿って流下する。この流速がある値以上になると、液膜は滴状になって蛇管の接線方向に離脱する。フロンの凝縮量は、冷却水流量の増加及び系内の圧力上昇によって増加する。

5. む　　す　　び

この実験は改造 JRR-3 研究炉に設置される冷中性子源装置における、水素の気液二相の閉ループサーモサイフォン現象の模擬実験として行なわれたものである。冷中性子源装置は20Kの低温なので、本来液体窒素温度くらいの低温での模擬実験を目指しているのであるが、その予備実験として室温でフロン113を使って行ったものである。冷中性子源装置で計画されているのと同じ二重流路の場合はもとより、単管の系でもサーモサイフォン現象は円滑に作動した。いわゆるフラッディング現象により液体の流下が阻害されるようになる入力熱量は单管の場合より二重管の方が200W程度高いところで起っている。従って、二重管とした場合には单管よりも、サーモサイフォンとしての内部流体の循環状態が改善されることが確認できた。

今後は実験を設計に反映するためにコンデンサ下部の貯液部、低温流路管部の傾斜管の正確なモデル化を行い、その効果を確認し、定量化する必要がある。

謝　　辞

本報告は、研究炉開発室長大西信秋氏を始めとして、JRR-3 改造に携る方々のご協力によるものであり、ここに深甚なる謝意を表します。また、実験装置の製作をお願いした化学部分析センターの木村喜久雄氏、小原和弘氏、物理部の渡辺光男氏に心から感謝の意を表します。

は単管に無限に近づくことに相当する。また A_{in}/A_{an} が小さくなることは内管断面が減少し、液体の流下通路が狭くなり、液体の流下が阻害される傾向になると考えられる。したがって Fig.4 では最適な A_{in}/A_{an} の値が存在するものと考えられる。^[1]

Fig.4 では測定点のばらつきが大きいので、正確に述べることはむずかしいが、関らの報告からも幅広い線で示したような曲線になると推察され、 $A_{in}/A_{an} = 0.2 \sim 0.3$ の付近でそれぞれ200W程度臨界入力が上昇している傾向を指摘することができる。

4.3 コンデンサにおける凝縮状況

コンデンサの蛇管に冷却水を流し温度を下げるとき、フロンガスは蛇管表面に薄膜状になって凝縮する。膜の厚さが増加すると液膜は蛇管表面に沿って流下する。この流速がある値以上になると、液膜は滴状になって蛇管の接線方向に離脱する。フロンの凝縮量は、冷却水流量の増加及び系内の圧力上昇によって増加する。

5. む　　す　　び

この実験は改造 JRR-3 研究炉に設置される冷中性子源装置における、水素の気液二相の閉ループサーモサイフォン現象の模擬実験として行なわれたものである。冷中性子源装置は20 Kの低温なので、本来液体窒素温度くらいの低温での模擬実験を目指しているのであるが、その予備実験として室温でフロン113を使って行ったものである。冷中性子源装置で計画されているのと同じ二重流路の場合はもとより、単管の系でもサーモサイフォン現象は円滑に作動した。いわゆるフラッディング現象により液体の流下が阻害されるようになる入力熱量は単管の場合より二重管の方が200W程度高いところで起っている。従って、二重管とした場合には単管よりも、サーモサイフォンとしての内部流体の循環状態が改善されることが確認できた。

今後は実験を設計に反映するためにコンデンサ下部の貯液部、低温流路管部の傾斜管の正確なモデル化を行い、その効果を確認し、定量化する必要がある。

謝　　辞

本報告は、研究炉開発室長大西信秋氏を始めとして、JRR-3 改造に携る方々のご協力によるものであり、ここに深甚なる謝意を表します。また、実験装置の製作をお願いした化学部分析センターの木村喜久雄氏、小原和弘氏、物理部の渡辺光男氏に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] N. Seki, S. Fukusako, K. Koguchi ; Single - Phase Heat Transfer Characteristics of Concentric - Tube Thermosyphon, Wärme - und Stoffübertragung, 14, 189 - 199 (1980)
- [2] G. B. Willis ; Flooding Velocities for Air and Water in Vertical Tubes, AEEW-R 123 (1961)
- [3] 植田 ; 気液二相流, 養賢堂 (1981)

Table 1 実験を行った流路管

| 外 管 | | 内 管 | | 流路断面積 | | 流路断面積比 |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 外径 (mm) D_0 | 内径 (mm) D_i | 外径 (mm) d_0 | 内径 (mm) d_i | 内管内 (mm ²) A_{in} | 環状部 (mm ²) A_{an} | A_{in}/A_{an} |
| 30 | 27 | (30) | (27) | 572.3 | 0 | ∞ |
| 25 | 22 | (25) | (22) | 379.9 | 0 | ∞ |
| | | 10 | 7.8 | 47.8 | 301.4 | 0.1586 |
| 20 | 17 | (20) | (17) | 226.9 | 0 | ∞ |
| | | 12 | 9.5 | 70.8 | 113.9 | 0.6216 |
| | | 10 | 7.8 | 47.8 | 148.4 | 0.3221 |
| | | 8 | 5.8 | 26.4 | 176.7 | 0.1494 |
| 15 | 12.2 | (15) | (12.2) | 116.8 | 0 | ∞ |
| | | 10 | 7.8 | 47.8 | 38.3 | 1.2480 |
| | | 8 | 5.8 | 26.4 | 66.5 | 0.3970 |
| | | 6 | 4.5 | 15.9 | 88.5 | 0.1797 |
| 10 | 8 | (10) | (8) | 50.2 | 0 | ∞ |

() 内数値は単管の場合を示す。

Table 2 フラッディング臨界入力観測値

| 外管外径 (mm) | 内管外径 (mm) | A_{in}/A_{an} (流路断面積比) | 臨界入力 (W) | 備考 |
|--------------|--------------|-----------------------------|-------------|----------|
| 30 | — | ∞ | >1250 | |
| 25 | — | ∞ | 1300 | |
| 25 | — | ∞ | 1340 | PHOTO. 1 |
| 25 | 10 | 0.1586 | 1492 | |
| 20 | — | ∞ | 800 | |
| 20 | — | ∞ | 800 | |
| 20 | — | ∞ | 798 | |
| 20 | — | ∞ | 841 | PHOTO. 2 |
| 20 | 12 | 0.6216 | 855 | PHOTO. 3 |
| 20 | 10 | 0.3221 | 910 | |
| 20 | 10 | 0.3221 | 1000 | |
| 20 | 10 | 0.3221 | 826 | |
| 20 | 10 | 0.3221 | 848 | PHOTO. 4 |
| 20 | 8 | 0.1494 | 974 | PHOTO. 5 |
| 15 | — | ∞ | 290 | |
| 15 | — | ∞ | 326 | PHOTO. 6 |
| 15 | 10 | 1.2480 | 225 | |
| 15 | 10 | 1.2480 | 223 | |
| 15 | 10 | 1.2480 | 278 | PHOTO. 7 |
| 15 | 8 | 0.3970 | 510 | PHOTO. 8 |
| 15 | 6 | 0.1797 | 515 | PHOTO. 9 |
| 10 | — | ∞ | 220 | |
| 10 | — | ∞ | 180 | |

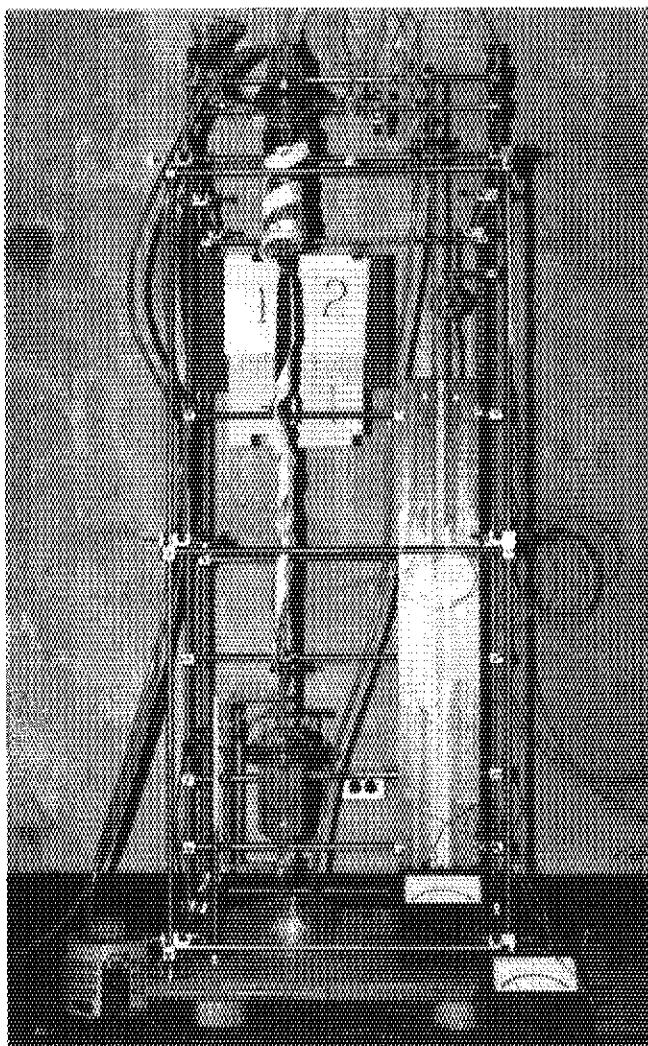
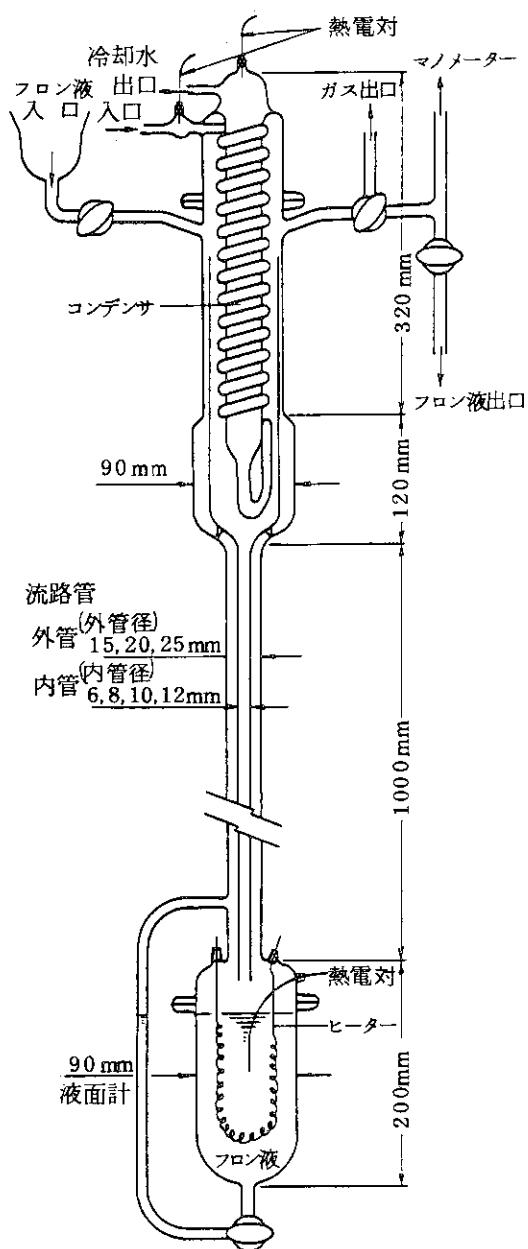


Fig. 1 実験装置

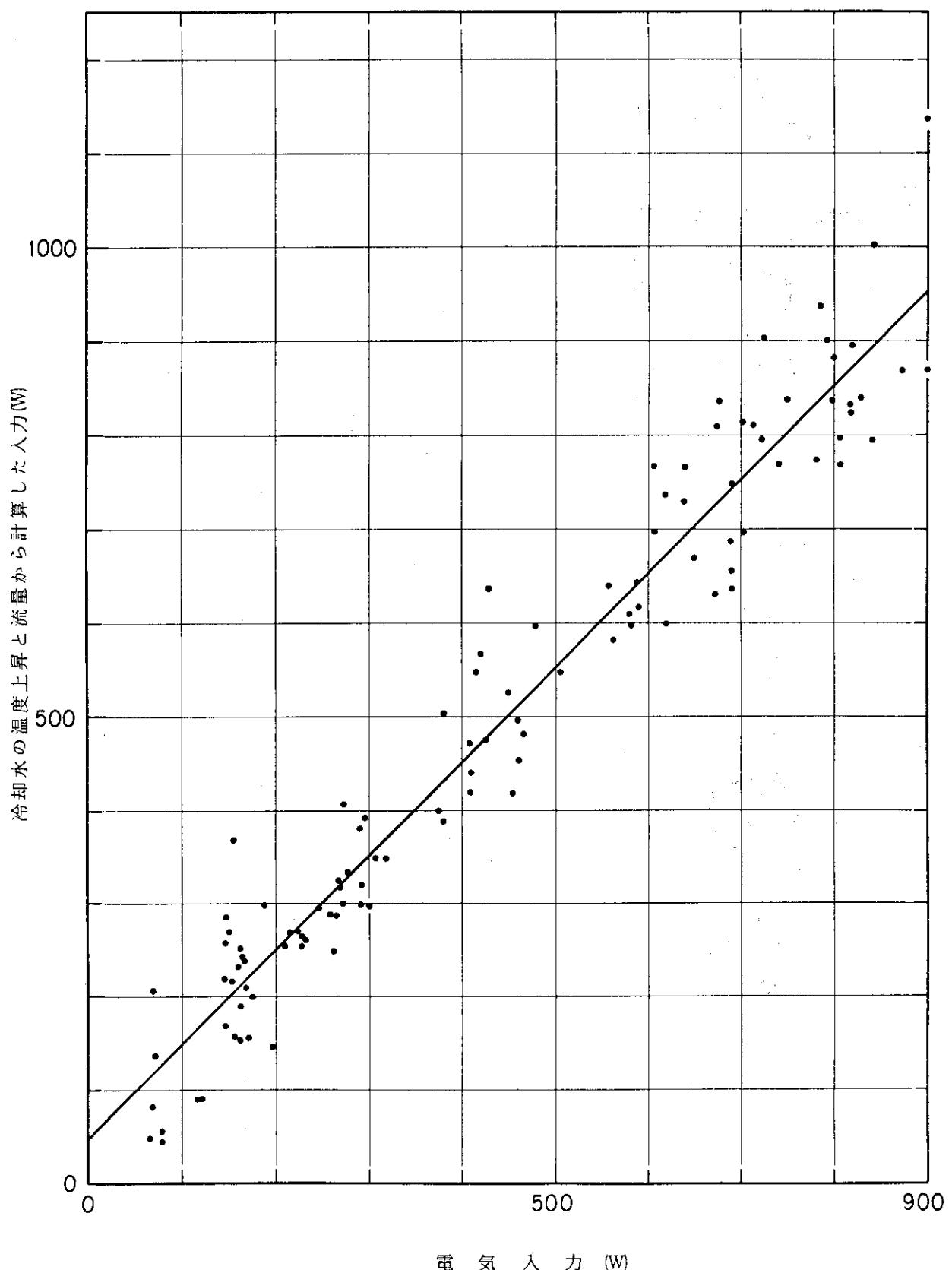


Fig. 2 サイフォン系への入熱量

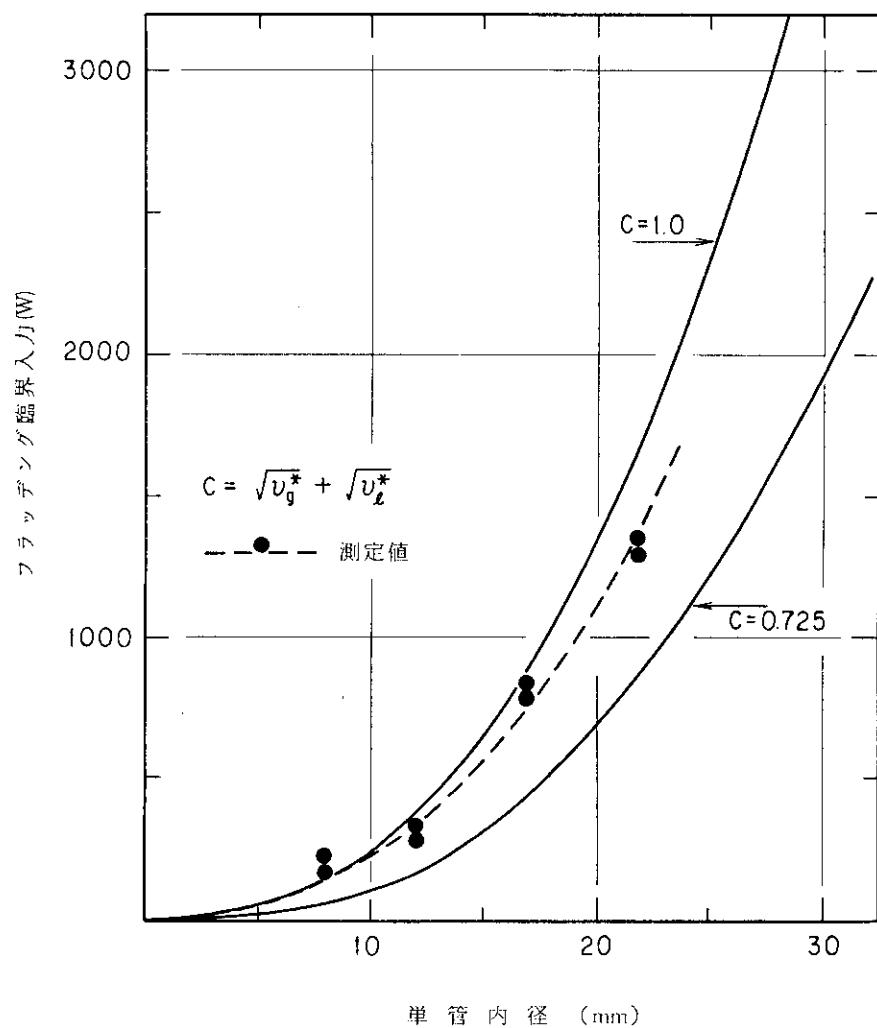


Fig. 3 フラッディング臨界入力（単管）

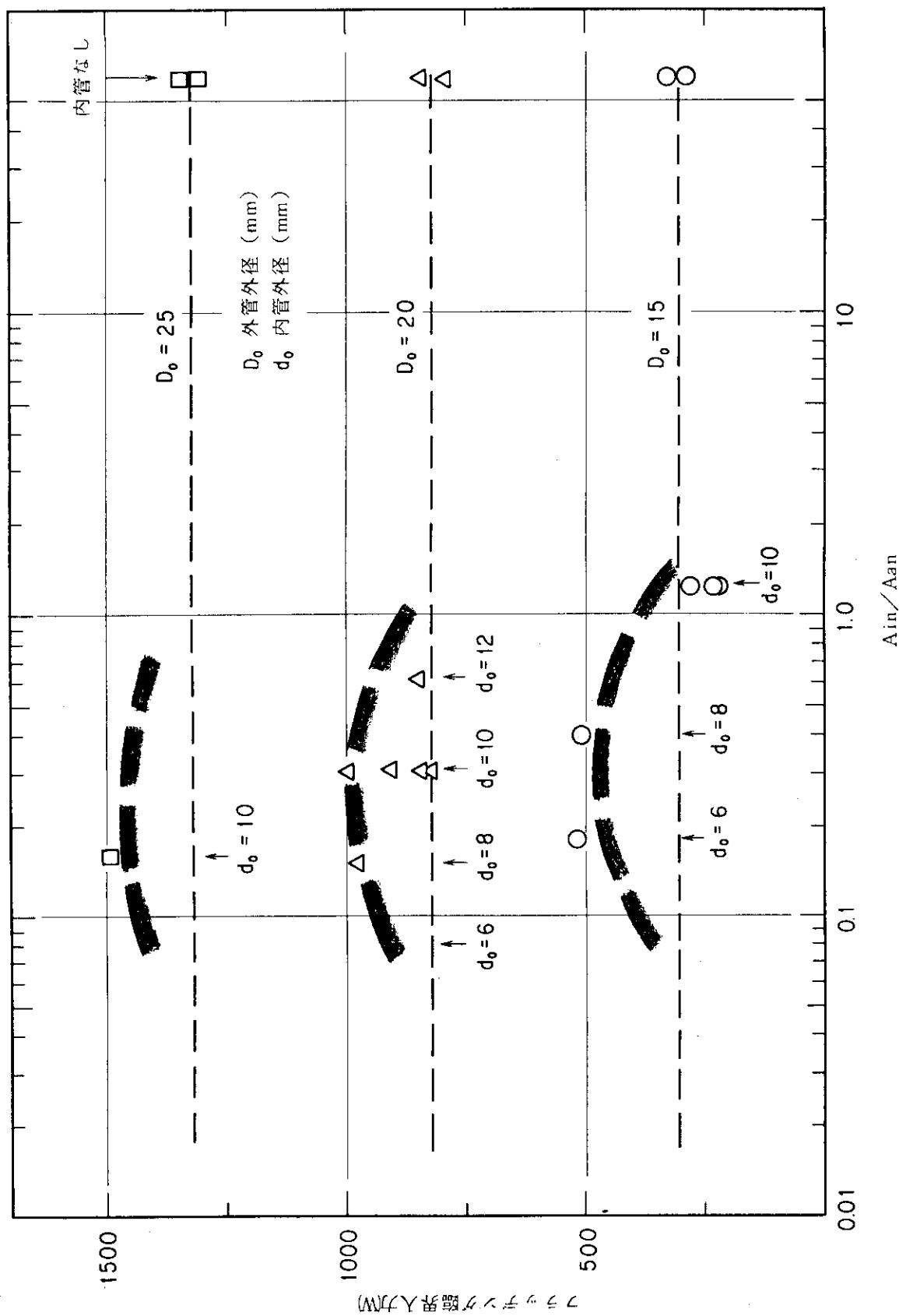
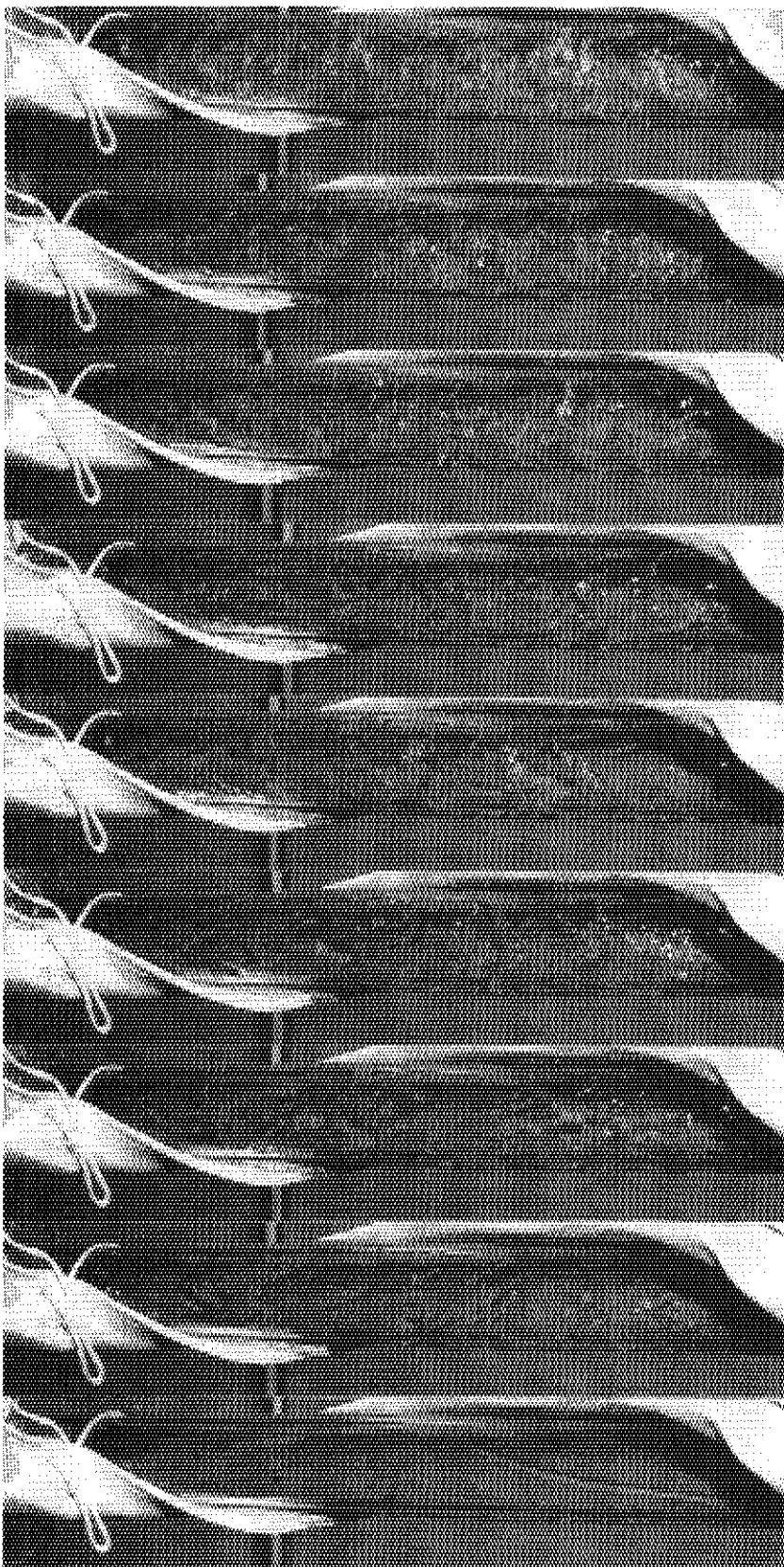


Fig. 4 フラッシュイング入力 (二重管)

フロント 流動状況

(1) 外管外径 25mm 内管なし

▽



209 490 680 869 1114 1170 1226 1283 1340

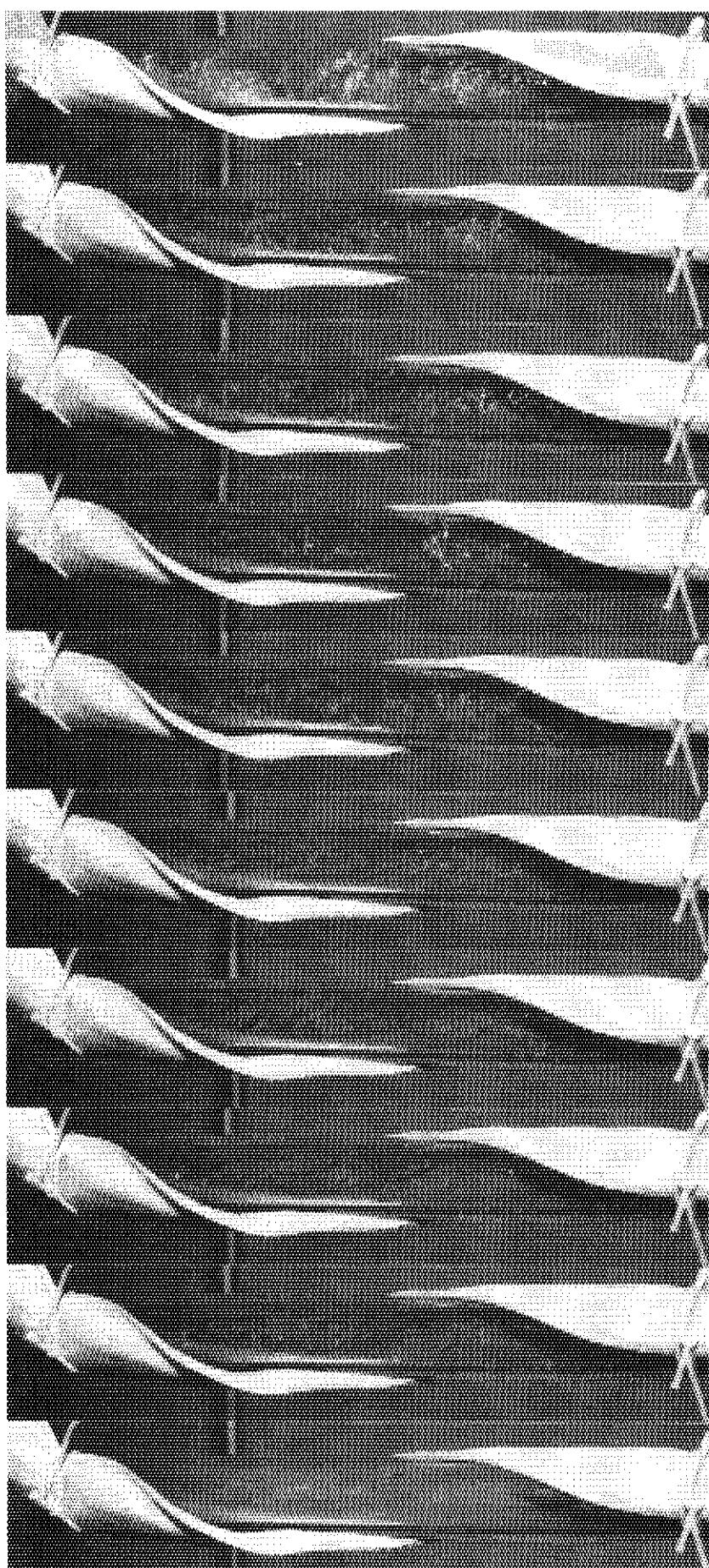
ヒタカ (W)

▽: フラッティングを示す

Photo. 1 流動状況

（2）外管外径 20mm 内管なし

▽



120 203 322 470 656 695 728 763 798 841

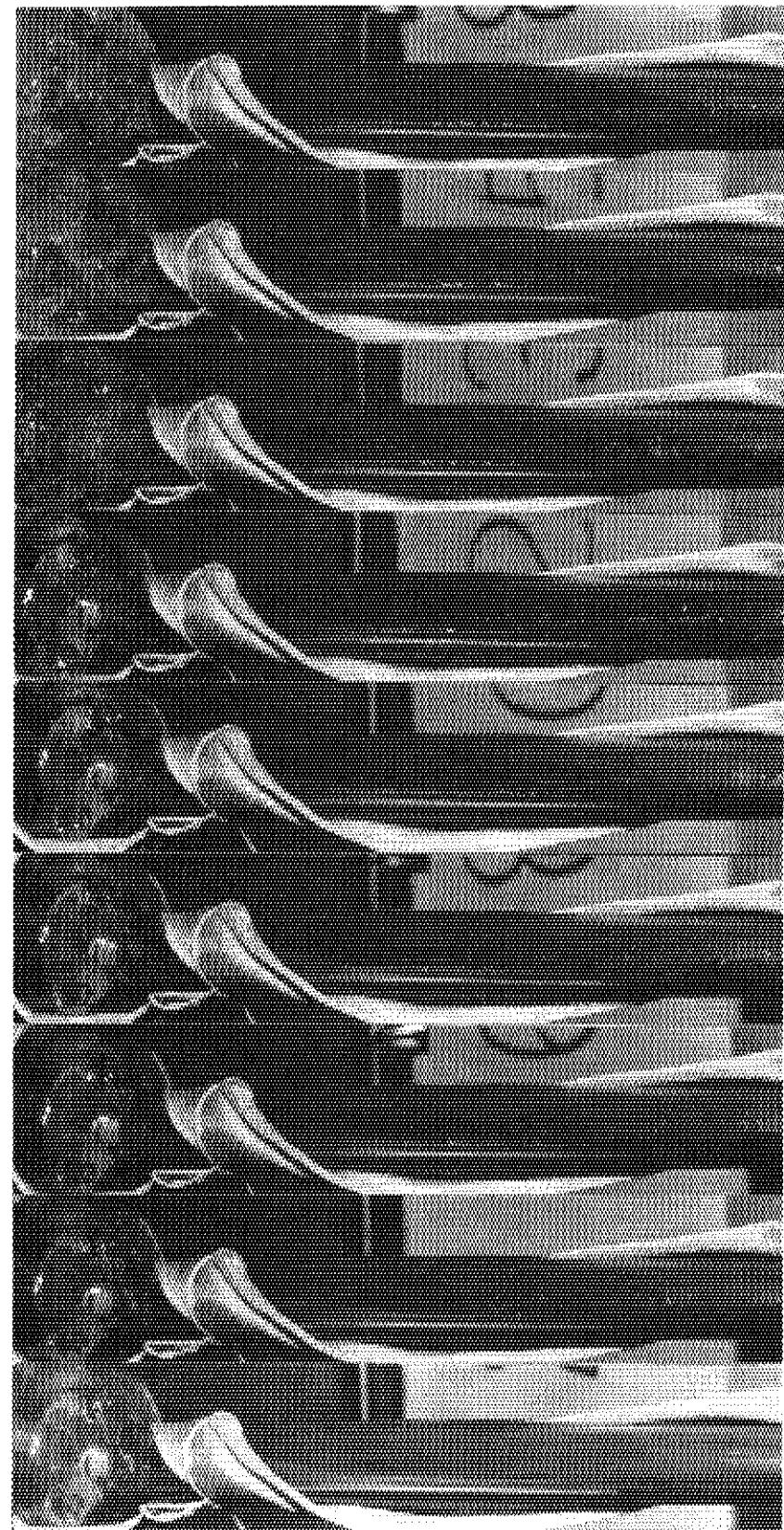
ヒタカ一入力（W）

Photo. 2 流動状況

▽：フラッシュティングを示す

フローバイオメトリ状況

(3) 外管外径 20mm 内管外径 12mm



114 197 318 460 638 739 855 973 1090

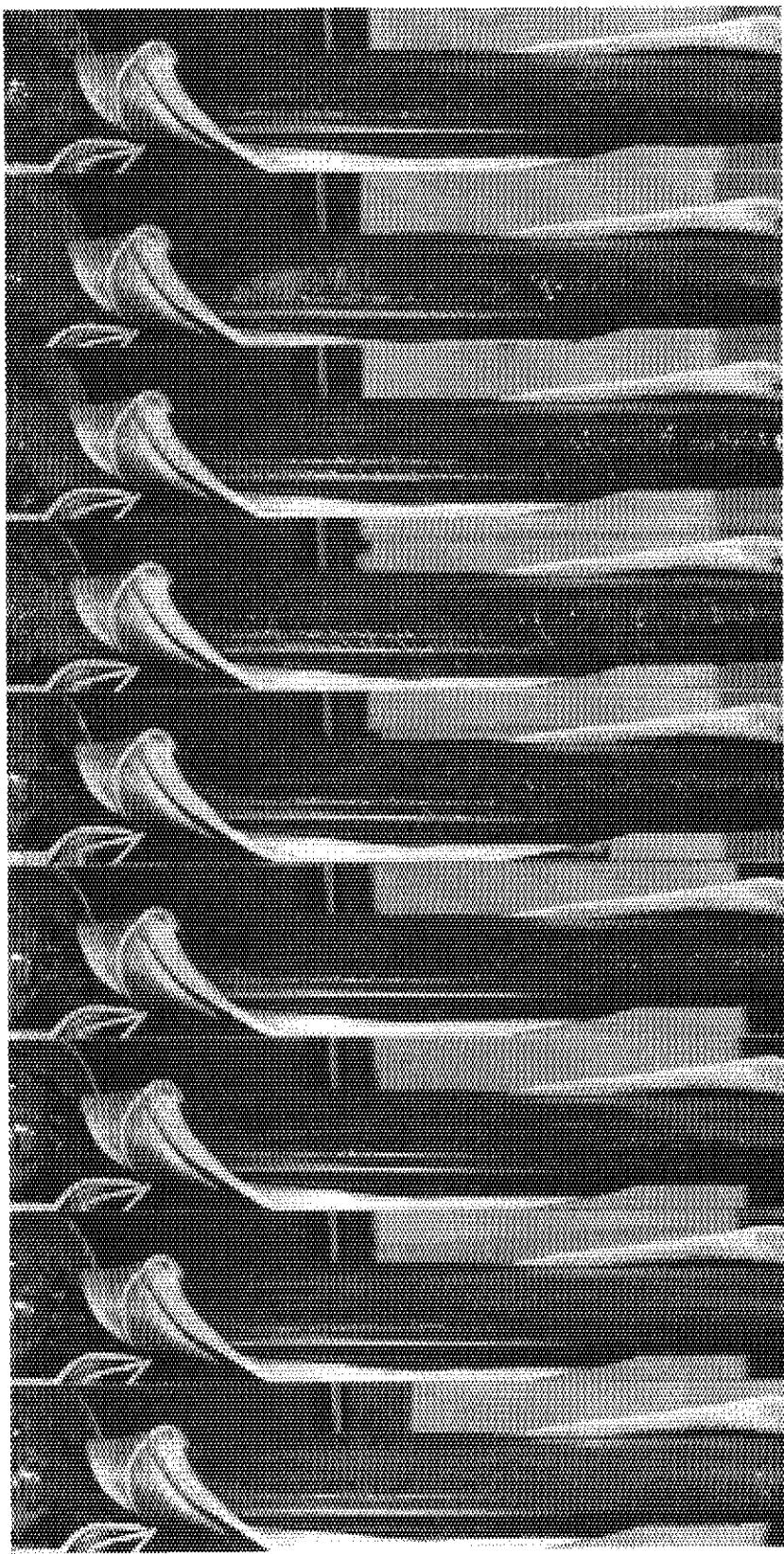
← - 矢 - 入力 (W)

▽ : フラッティングを示す

Photo. 3 流動状況

2 □ > σ 流 ψ₁ ΔX 沈

(4) 外管外径 20mm 内管外径 10mm



200 314 460 632 739 848 973 1098

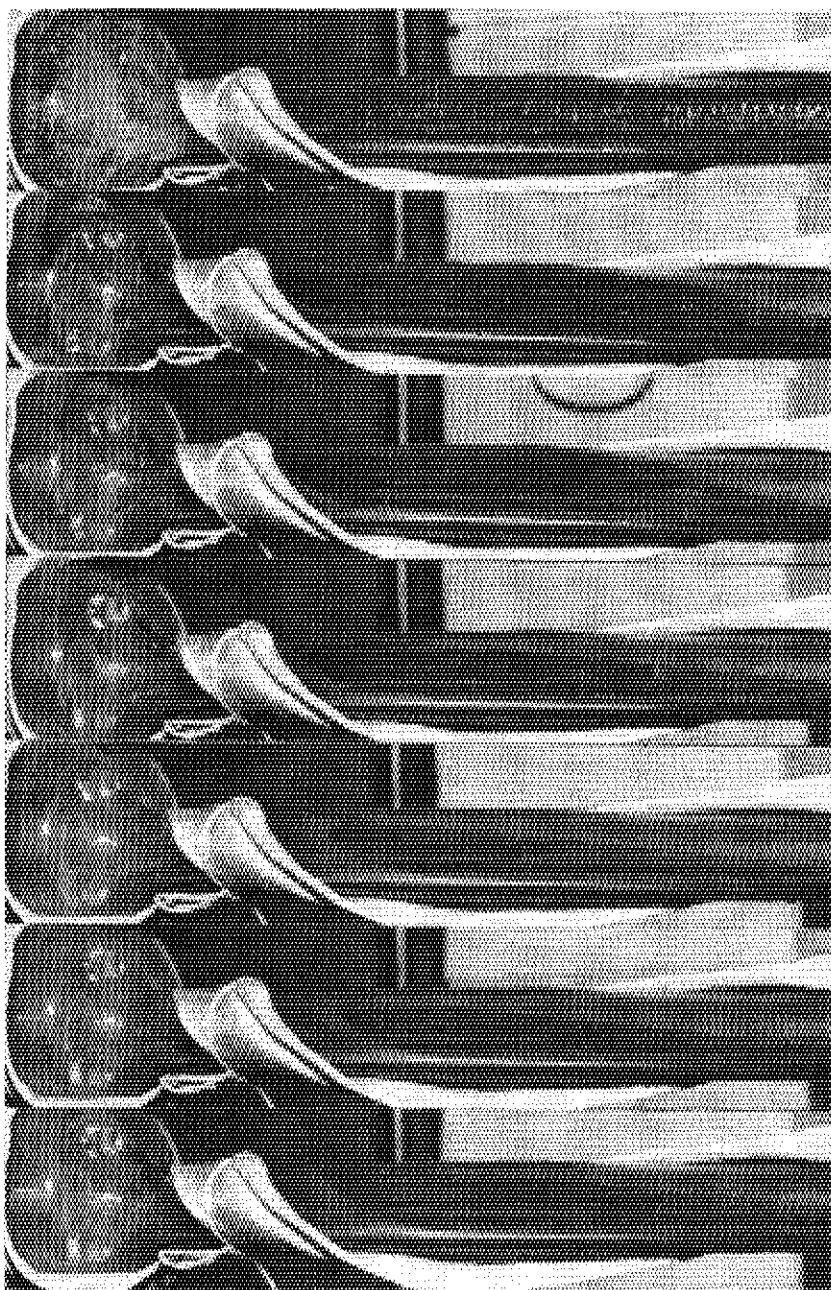
△ - × - 入力 (W)

Photo. 4 流動状況

▽: フラッディングを示す

フローナンバーリスト　状況

(5) 外管外径 20mm 内管外径 8mm



130 227 358 530 740 869 974

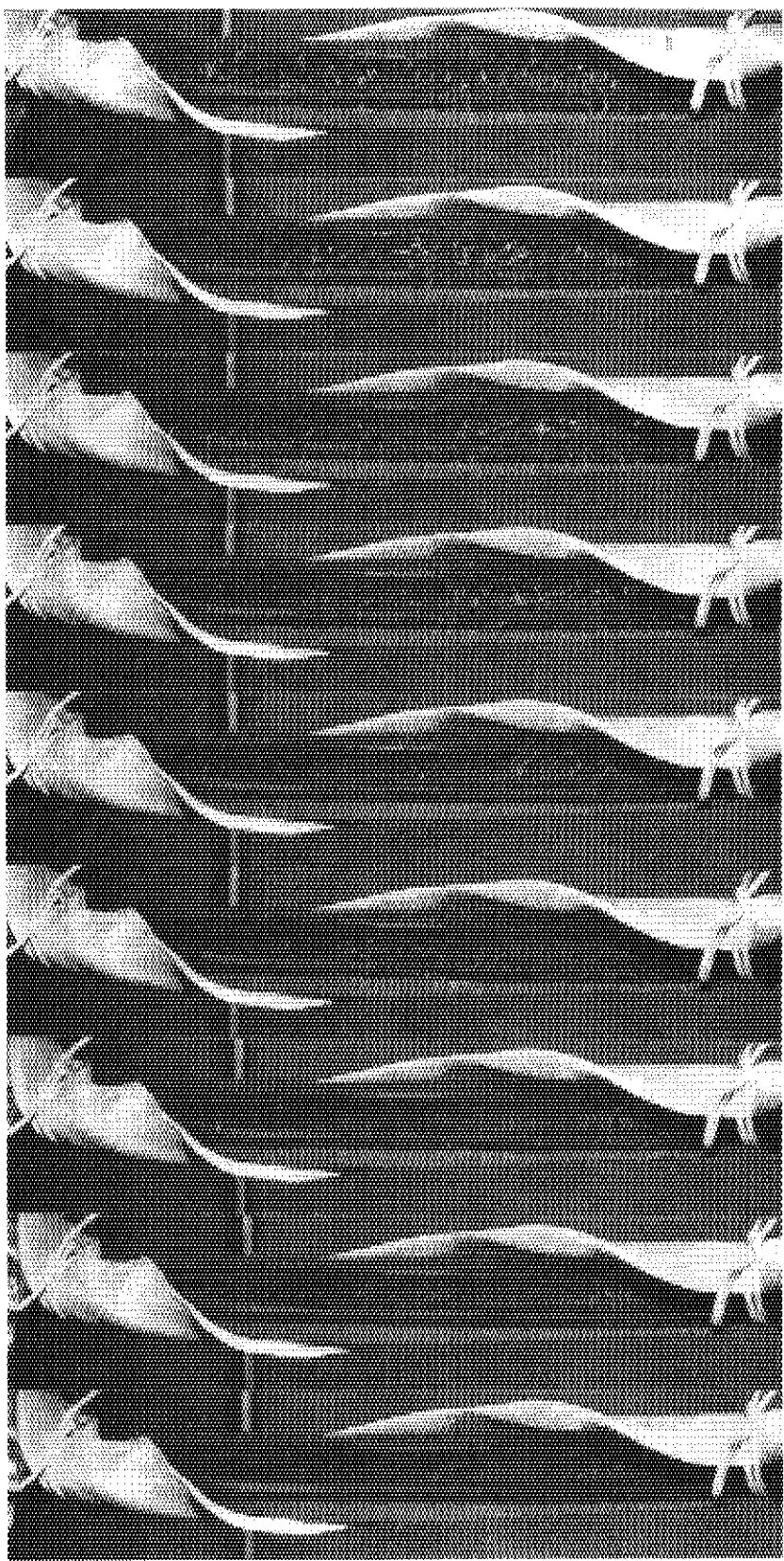
ヒータ入力 (W)

▽：フラッディングを示す

Photo. 5 流動状況

（ア）外管外径 15mm 内管なし

▽

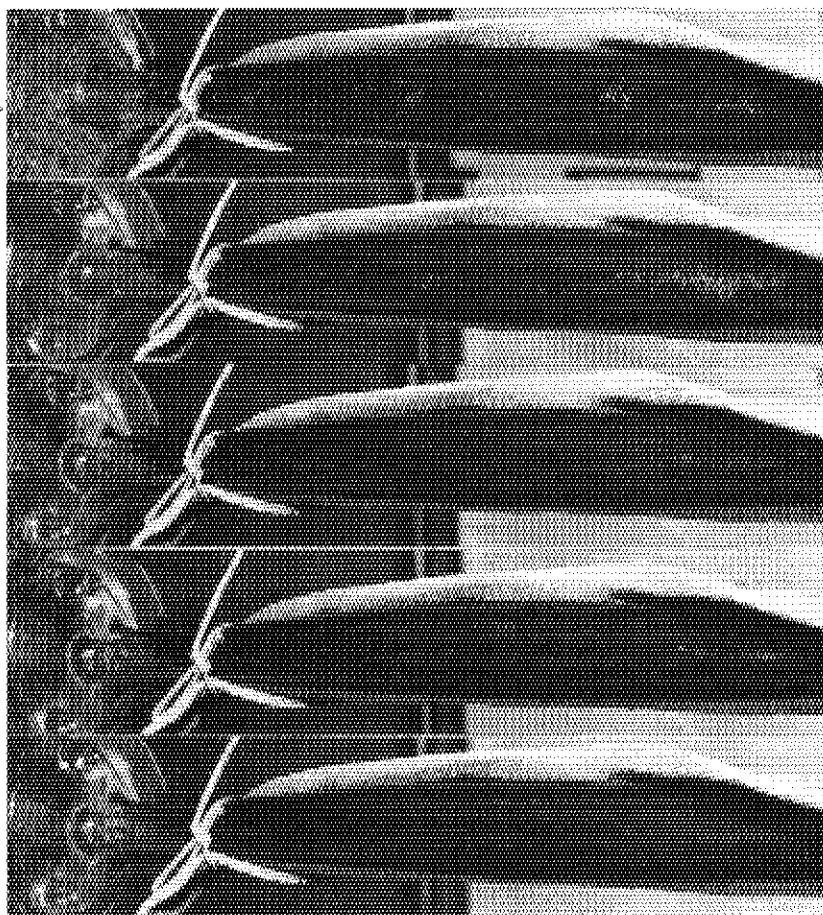


50 120 158 206 226 243 273 297 326
ビ - タ - 入 力 < w >
▽ : フラッディングを示す

Photo. 6 流動状況

7 □ 2 0 2 0 流 動 状 況

(3) 外管外径 15mm 内管外径 10mm



94 123 170 213 273

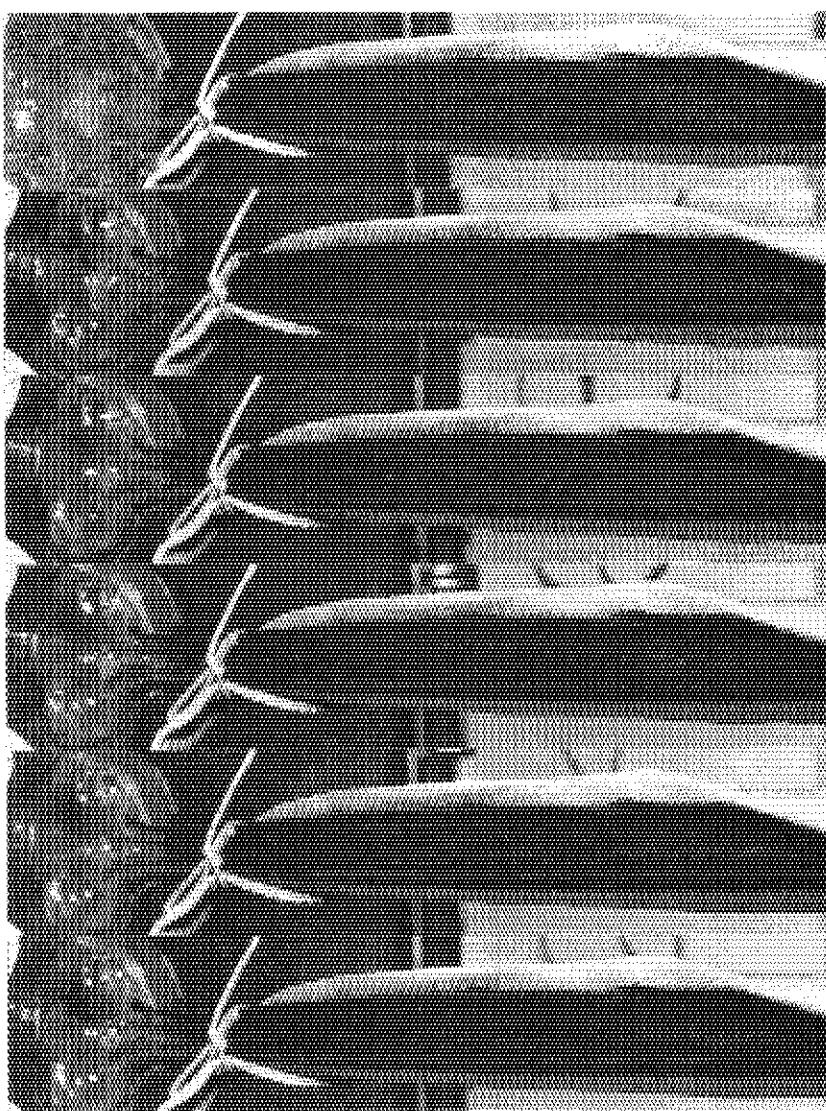
▽ : フラッディングを示す

←→ - 入力 (W)

Photo. 7 流 動 状 況

（9）外管外径 15mm 内管外径 8mm

▽



128 218 281 342 424 510

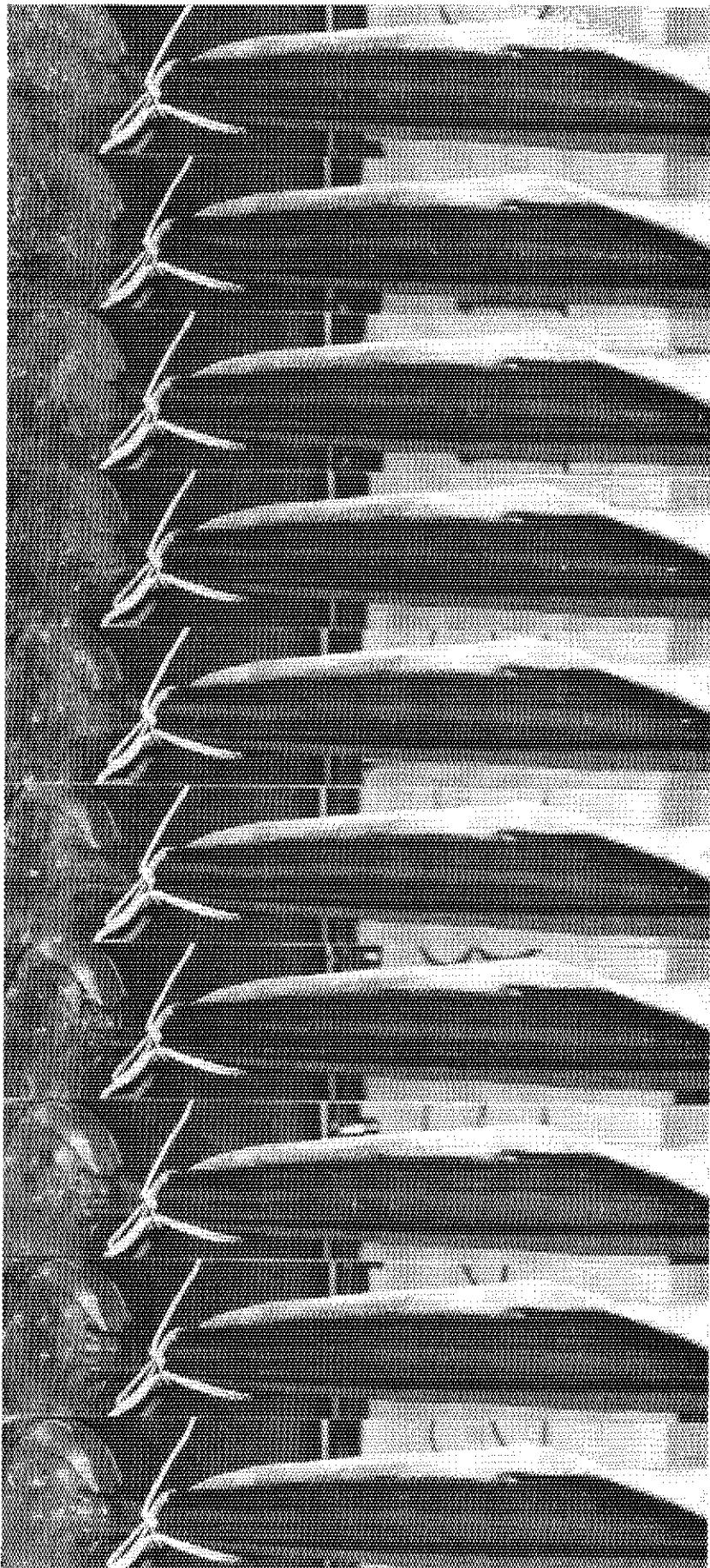
ヒータ...入力(W)

Photo. 8 流動状況

▽：フラッディングを示す

フローポンジオ流動状況

(10) 外管外径 15mm 内管外径 6mm



122 246 342 428 423 515 611 722 830 830 953 950 1100

△ - フラッディング (W)

▽ : フラッディングを示す

Photo. 9 流動状況