

JAERI-M

6030

ロッドバンドルのバーンアウト熱流束に
及ぼす加熱長さの影響

1975年3月

山崎弥三郎・井口 正・新妻 泰・高野 一実

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

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問合せは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

ロッドバンドルのバーンアウト熱流束に及ぼす
加熱長さの影響

日本原子力研究所東海研究所安全工学部

山崎弥三郎*・井口 正・新妻 泰

高野 一実

(1 9 7 1 年 1 1 月 受理)

新型転換炉燃料体を構成する基本的ロッド配列である3本および4本ロッドバンドルについて一連のバーンアウト熱流束に関する研究を行なってきたが、これらは電源容量の点からいづれも加熱長さ300mmについての実験にもとづくものであった。今回電源容量を500KWに増強したあとの第一段階の実験として加熱長さがバーンアウト熱流束に及ぼす影響を求める目的として下記の研究を行なった。

実験に使用したテスト部は3本の外径10mmの燃料棒からなるロッドバンドルとそれを囲む内管から成っている。加熱長さは300mm, 600mm, 900mmの3種でロッド間隙は1.75mmである。系圧力は10~40kg/cm², 流量は(2~10)×10⁶kg/m²hr, 入口サブクール30~60°Cで実験を行なった。

上記の実験範囲ではバーンアウト熱流束と出口クオリティとの関係には加熱長さの影響は殆んど認められなかった。また加熱長さ300mmの場合のデータは、当研究室の従来の実験結果とよく一致した。

Effect of the heated length on the burnout heat flux
in the rod-bundle test section

Yasabro YAMAZAKI*, Tadashi IGUCHI, Yasushi NIITSUMA
Kazumi TAKANO

Division of Reactor Safety, Tokai, JAERI
(Received November 1971)

A series of burnout studies was previously performed on 3 - or 4 - rod bundles constituting the unit lattice of ATR fuel assemblies; the heated length of the rod bundles is 300 mm because of the power capacity. As the first in the new series of burnout studies with the power raised to 500 KW, the effects of heated length in the rod bundle test sections were studied.

The test section consists of a 3-rod-bundle and a shroud tube. The outer diameter of the rod is 10 mm and the rod-to-rod gap and rod-to-shroud gap are 1.75 mm. Tests were made for the test section of heated lengths 300 mm, 600 mm or 900 mm respectively, at system pressure $10 \sim 40 \text{ Kg/cm}^2$, water flow rate $(2 \sim 10) \times 10^6 \text{ Kg/m}^2\text{hr}$, and inlet subcooling $30 \sim 60^\circ\text{C}$.

The burnout heat fluxes in 300 mm test section by a bridge-type detector are in good agreement with those in the previous study. Effect of the heated length on the burnout heat flux is hardly observed.

This work performed under contracts between Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation and JAERI.

* Presently, Deputy Head, Office of Safety and Control

目 次

1. 序	1
2. 実験装置および実験方	2
2.1 テスト部	2
2.2 計装	3
2.3 実験方法	3
3. 実験結果	3
4. 結果の検討	4
4.1 燃料体表面の肉眼観察	4
4.2 他データとの比較	4
4.3 圧力の影響	5
4.4 加熱長の影響	6
5. 結言	6
6. あとがき	7
参考文献	7

1. 序

バーンアウト現象は、水冷却炉の熱出力限界を決める因子の一つである。バーンアウト現象とは、燃料棒の発熱量がその周囲を流れる冷却材の熱除去量を上まわって、燃料棒に熱が蓄積し非常に高温となりその結果、燃料棒表面が溶融するか更には溶断するに至る現象である。この危険を避けるためにバーンアウト熱流束を予測するための努力が実験的にまた理論的に数多くなされて来た。しかしバーンアウト現象を惹き起こす熱的、流体力学的条件は単純でなく、バーンアウト熱流束を充分な精度で予測しうる実験的あるいは理論的结果はない。問題点は現象の複雑性に加えて、燃料棒を取り囲む周囲の状態が現時点においては充分に測定できない物理量を多く含み、これを測定可能な物理量のみで表現せざるを得ない点にある。

一般に2つの異なったタイプのバーンアウトがあると言われている。1つはクオリティが0付近で起こる比較的高バーンアウト熱流束を与えるもので fast burnout とよばれ機構的には核沸騰から膜沸騰への移行に対応するものと考えられる。もう1つは高クオリティで起る低バーンアウト熱流束を与えるもので dryout 又は slow burnout とよばれ機構的には液膜破断に対応するものと思われる。2つのタイプの間に両者が混成して起こる領域も考えられよう。

従来、当研究室では、殆んど加熱長300mmのテスト部でのバーンアウト実験が行なわれた。装置の電源容量の制約から、300mm以上の加熱長のロッドバンドルでは、バーンアウト熱流束を達成することは困難であったからである。加熱長300mmという値は、ATRの燃料棒の有効加熱長さ約4mに比べ、極めて小さい値である。

従来の実験結果が、このように短かい加熱長の特異性に由来するものであるかどうかの検討を加えるために、加熱長を長くしたテスト部でのデータの採取の必要性がでて来た。今般45年度受託研究費による電源容量の増強により、実験が可能となった。本実験は加熱長を300, 600, 900mmの3様に変え、バーンアウト熱流束に及ぼす加熱長さの影響をみた。併せて比較的実験データの少ない圧力の影響をみた。

今回の実験の主要な条件を以下に列記しておく。

テスト部

形 状；3本バンドル（3角配列）

ロッド径；10 mm

加 热 長；300mm, 600mm, 900mm

流 路 径；27.1 mm

ロッド、ロッド間隙；1.75 mm

ロッド、シェラウド間隙；1.75 mm

実験条件

系 壓 力；10, 16, 26, 40 kg/cm² (目標値)

テス部入口流速；0.7 ~ 3.3 m/S

mass velocity ; $1 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$

出口クオリティ；0 ~ 20%

2. 実験装置および実験方法

実験は日本原子力研究所化工特研内の高圧沸騰試験装置によって行なった。装置のフローラートを、Fig. 1に示す。装置の主要な使用条件は以下の通りである。

最高使用圧力	70 kg/cm ² G
最高使用温度	280°C
最高循環流量	300 l/min
最高加熱電力	500 KW
	(テスト部へ供給される)
循環水	イオン交換水 (10 ⁶ Ω cm 以上)

2.1 テスト部

用いられたテスト部はすべて3本バンドルである。テスト部の概略図、およびバンドルの概略図をFig. 2, Fig. 3. に示す。テスト部は前回⁽¹⁾用いられたものと殆んど変りはないが、2～3の細かい改良がなされている。前回の実験において、発熱部となるSUS27製の円管と、発熱部に電力を導入する銅棒部の溶接が不完全であって、ピンホールがあり、そのピンホールを通して循環水が、SUS27製円管の内部に浸入するというトラブルが経験された。これを避けるため、銅棒部に空気抜き用の細孔をあけたのち、銅棒とSUS27製円管を溶接し、接続部の完全を期した。接続部の溶接後、空気抜き用の細孔を銀ローにより埋めた。更に各溶接部をX線フィルムに撮り、良好な模擬燃料棒を選択使用した。

模擬燃料体は前回に比べ、かなり長くなつたので流れによつておこる、振動に弱いと考えられた。このため、発熱部とならない銅棒部には、適当な間隔でステンレス製のリングを入れ、これに、3本の銅棒をロー付けし、スペーシングおよび耐振動性の改善を図つた。更に銅棒の外向きの面に、アルミナ片を取付け、アルミナ片の先端が内管に接触するようにした。これにより、模擬燃料体のセンターリングと電気絶縁を図つた。発熱部となるSUS27製円管部には、軸方向のほぼ中央部に前記のリングを一コ入れた。このリングから1本のリード線を取り出し、バーンアウト検出器に接続した。1台のバーンアウト検出器で監視したわけであるが、この方法で支障はなかつた。

テスト部の主要な寸法は下に示す。

ロッド数； 3本

配列状態； 3角配列

ロッド径； 10.0 mm

ロッド・ロッド間隙； 1.75 mm

ロッド・シラウド間隙； 1.75 mm

シラウド径； 27.1 mm

加熱長； 300, 600, 900 mm

発熱部の上流側には、発熱部と等しい形状の前流部が約150 mmある。

2.2 計 装

前記のようにバーンアウト検出は、1台のブリッジ型検出器で行なつた。バーンアウト検出器の特性については事前に検証しておいた。

系圧力の制御は通常凝縮器のシェル側流量を自動制御することにより行なつたが、実験中は充分の制御が行なわれてはいない。テスト部への供給電力の増加に伴ない圧力は上昇し、電力遮断と同時に下降するというように、圧力は常に上下している。その巾は、絶対圧の増加に伴ない増加する傾向を示し、系圧 40 kg/cm^2 の場合、ほぼ巾 5 kg/cm^2 程度である。系圧力 10 kg/cm^2 の場合、圧力の変化巾は 1 kg/cm^2 以内で行なわれた。流量は、ポンプ出口直後に設置されているバルブを充分絞り、流量の安定を図った。流量は常時手動制御し、設定流量に維持するよう努めた。ポンプ出口バルブの絞り込みにより、系はかなりハードになっている。

2.3 実験方法

実験の手順は流量、水温、圧力を一定に維持しテスト部への供給電力を少しづつ増加する手法によつた。やがて、バーンアウト検出器が動作するので、その時供給電力を遮断する。その時の各状態量を計測、記録する。検出器出力は常時電磁オシログラフにより記録し、検出器の動作の正誤確認に資した。実験範囲は次の通りである。

系圧力； $10, 16, 26, 40 \text{ kg/cm}^2$ (目標値)

テスト部入口流速； $0.7 \sim 3.3 \text{ m/s}$

mass velocity ; $1 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$

出口クオリティ； $0 \sim 20\%$

3. 実験結果

Table 1 ~ Table 3 にバーンアウト検出器のトリップ時に得られたデータを掲げる。この表では、電磁オシログラフの記録から判断してバーンアウト検出器の誤動作によるトリップと認められるものは除外してある。Fig. 4 は本実験で得られたデータを加熱長さの違いに注目してプロットしたものである。Fig. 5 ~ Fig. 7 は、各加熱長さについてプロットしたものである。一つの燃料体から多数のデータを得るよう努めたわけであるが、このため実験条件の規定が疑しいものがデータ中に入り込んでくる可能性がある。次のような場合が生じた時、テスト部が損傷したものと判断して、実験の継続を停止した。

- ① テスト部に電圧を印加しても、テスト部に電流が流れない場合
この時は燃料体が溶断しているものと考えられる。
- ② テスト部をループに組み込んだ直後にテスト部に電圧を印加した時の電圧・電流の比
(すなわち電気抵抗)に比べ、異常に異った電圧・電流の比となつた場合
3本の燃料棒のうちの1本あるいは2本が溶断した場合が多い。
- ③ バーンアウト検出器にインパルス状の信号あるいは異常にランダムな信号が繁雑に入

2.2 計 装

前記のようにバーンアウト検出は、1台のブリッジ型検出器で行なつた。バーンアウト検出器の特性については事前に検証しておいた。

系圧力の制御は通常凝縮器のシェル側流量を自動制御することにより行なつたが、実験中は充分の制御が行なわれてはいない。テスト部への供給電力の増加に伴ない圧力は上昇し、電力遮断と同時に下降するというように、圧力は常に上下している。その巾は、絶対圧の増加に伴ない増加する傾向を示し、系圧 40 kg/cm^2 の場合、ほぼ巾 5 kg/cm^2 程度である。系圧力 10 kg/cm^2 の場合、圧力の変化巾は 1 kg/cm^2 以内で行なわれた。流量は、ポンプ出口直後に設置されているバルブを充分絞り、流量の安定を図った。流量は常時手動制御し、設定流量に維持するよう努めた。ポンプ出口バルブの絞り込みにより、系はかなりハードになっている。

2.3 実験方法

実験の手順は流量、水温、圧力を一定に維持しテスト部への供給電力を少しづつ増加する手法によつた。やがて、バーンアウト検出器が動作するので、その時供給電力を遮断する。その時の各状態量を計測、記録する。検出器出力は常時電磁オシログラフにより記録し、検出器の動作の正誤確認に資した。実験範囲は次の通りである。

系圧力； $10, 16, 26, 40 \text{ kg/cm}^2$ (目標値)

テスト部入口流速； $0.7 \sim 3.3 \text{ m/s}$

mass velocity ; $1 \times 10^6 \sim 10 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$

出口クオリティ； $0 \sim 20\%$

3. 実験結果

Table 1 ~ Table 3 にバーンアウト検出器のトリップ時に得られたデータを掲げる。この表では、電磁オシログラフの記録から判断してバーンアウト検出器の誤動作によるトリップと認められるものは除外してある。Fig. 4 は本実験で得られたデータを加熱長さの違いに注目してプロットしたものである。Fig. 5 ~ Fig. 7 は、各加熱長さについてプロットしたものである。一つの燃料体から多数のデータを得るよう努めたわけであるが、このため実験条件の規定が疑しいものがデータ中に入り込んでくる可能性がある。次のような場合が生じた時、テスト部が損傷したものと判断して、実験の継続を停止した。

- ① テスト部に電圧を印加しても、テスト部に電流が流れない場合
この時は燃料体が溶断しているものと考えられる。
- ② テスト部をループに組み込んだ直後にテスト部に電圧を印加した時の電圧・電流の比
(すなわち電気抵抗)に比べ、異常に異った電圧・電流の比となつた場合
3本の燃料棒のうちの1本あるいは2本が溶断した場合が多い。
- ③ バーンアウト検出器にインパルス状の信号あるいは異常にランダムな信号が繁雑に入

り、バーンアウト実験に支障を来たした場合

この時は、テスト部が振動的に内管に接触したり発熱部に穴があき、その内部に冷却水が浸入するといったトラブルが起きている。

④ 予想されるバーンアウト熱流束に比べ極めて低い熱流束でバーンアウトしてしまう場合

発熱部が熱応力のため弯曲してしまい、規定したクリアランス以下となりその部分で異常に低い熱流束でバーンアウトしてしまうものと考えられる。

以上のうち①, ②, ③はいわば良性のトラブルである。これらのトラブルの現われる前後の判別は容易であって、トラブルの出現以前のデータは一応信頼できるものと考えられる。④については通常次第にその影響が大きくなるという性質のため、どのデータから不明確になったかを判断する手段がない。前記の表中には経験的に判断して誤ったデータは除外してあるが、上記の意味で疑しいデータが入りこんでいる可能性はある。表中の入口サブクーリング、出口クオリティ等は入口圧、出口圧に依存する筈であるが、ここではテスト部直上に位置する蒸気分離器内の圧力を系の代表圧とし、この圧力基準で算出している。同様に mass velocity も蒸気分離器内の圧力を用いて計算してある。

4. 結果の検討

4.1 燃料棒表面の肉眼観察

テスト部解体後燃料棒表面を肉眼観察し、実験中バーンアウト現象による過熱部分が、どのような部位で発生したかをみた。過熱状態とならなかった部分は実験前と同様な光沢を持った表面となっているが、過熱状態となった部分は黒く焦げている。このように過熱部分の判別は容易である。燃料棒はところどころ溶融して表面がギザギザになっているところがある。こういった溶融の痕跡は、すべてバンドルの外側の面でシュラウドと最も近接した部分にある。これは大部分 "normal" な原因による黒化部分と異って、燃料棒とシュラウドがなにかの理由で接触し、この間の電気的な原因で生じた痕跡であろう。黒化部は、加熱長 300 mm, 600 mm, 900 mm にかかわらず殆んど下流部に生じた。しかし必ずしも下流端とは限らず、加熱長 300 mm の場合下流部約 100 mm にわたって加熱長 900 mm の場合、下流部 400 mm にわたっていた。断面方向に関しては、大部分の黒化が中央サブチャンネルに面した部分ではなく外向き（シュラウドに面した面）で起っている。そしてシュラウドとの間隙が最小の部分より少し横にずれた間隙の広い部分で起っている。

4.2 他データとの比較

我々のデータと比較しうるデータは非常に乏しい。ここでは Becker^[2] らのいわゆる cold wall effect を調べた実験に用いられたテスト部のうちの 1 つが、本実験のテスト部と近似しているので彼らのデータと比較してみる。彼らの用いたテスト部は 3 本バンドル、加熱長 835 mm で我々の加熱長 900 mm のテスト部に近い。しかし我々のテスト部がロッド、ロッド

り、バーンアウト実験に支障を来たした場合

この時は、テスト部が振動的に内管に接触したり発熱部に穴があき、その内部に冷却水が浸入するといったトラブルが起きている。

④ 予想されるバーンアウト熱流束に比べ極めて低い熱流束でバーンアウトしてしまう場合

発熱部が熱応力のため弯曲してしまい、規定したクリアランス以下となりその部分で異常に低い熱流束でバーンアウトしてしまうものと考えられる。

以上のうち①, ②, ③はいわば良性のトラブルである。これらのトラブルの現われる前後の判別は容易であって、トラブルの出現以前のデータは一応信頼できるものと考えられる。④については通常次第にその影響が大きくなるという性質のため、どのデータから不明確になったかを判断する手段がない。前記の表中には経験的に判断して誤ったデータは除外してあるが、上記の意味で疑しいデータが入りこんでいる可能性はある。表中の入口サブクーリング、出口クオリティ等は入口圧、出口圧に依存する筈であるが、ここではテスト部直上に位置する蒸気分離器内の圧力を系の代表圧とし、この圧力基準で算出している。同様に mass velocity も蒸気分離器内の圧力を用いて計算してある。

4. 結果の検討

4.1 燃料棒表面の肉眼観察

テスト部解体後燃料棒表面を肉眼観察し、実験中バーンアウト現象による過熱部分が、どのような部位で発生したかをみた。過熱状態とならなかつた部分は実験前と同様な光沢を持った表面となっているが、過熱状態となつた部分は黒く焦げている。このように過熱部分の判別は容易である。燃料棒はところどころ溶融して表面がギザギザになっているところがある。こういった溶融の痕跡は、すべてバンドルの外側の面でシュラウドと最も近接した部分にある。これは大部分 "normal" な原因による黒化部分と異って、燃料棒とシュラウドがなにかの理由で接触し、この間の電気的な原因で生じた痕跡であろう。黒化部は、加熱長 300 mm, 600 mm, 900 mm にかかわらず殆んど下流部に生じた。しかし必ずしも下流端とは限らず、加熱長 300 mm の場合下流部約 100 mm にわたって加熱長 900 mm の場合、下流部 400 mm にわたっていた。断面方向に関しては、大部分の黒化が中央サブチャンネルに面した部分ではなく外向き（シュラウドに面した面）で起っている。そしてシュラウドとの間隙が最小の部分より少し横にずれた間隙の広い部分で起っている。

4.2 他データとの比較

我々のデータと比較しうるデータは非常に乏しい。ここでは Becker⁽²⁾ らのいわゆる cold wall effect を調べた実験に用いられたテスト部のうちの 1 つが、本実験のテスト部と近似しているので彼らのデータと比較してみる。彼らの用いたテスト部は 3 本バンドル、加熱長 835 mm で我々の加熱長 900 mm のテスト部に近い。しかし我々のテスト部がロッド、ロッド

間隙 1.75 mm とかなり密であるのに対し、彼等のテスト部はルーズであり、ロッド、ロッド間隙が 6.4 mm である。

Fig. 8 は比較のため彼らのデータを書き直したものである。互に overlap している部分をみるとロッドクリアランスの相違にもかかわらず比較的よく一致している。彼らの実験結果によるとシュラウドを加熱した場合、バーンアウト熱流束は下っているのであるが、この点から完全な比較のためには我々のテスト部でのシュラウドからの熱損失の見積りが必要であろう。この一致については更に検討されねばならない。Fig. 9 は Macbeth⁽³⁾ のまとめた単管のバーンアウト整理式との比較であるが、本実験のデータは低めである。この違いは流路の不均一に基くサブチャンネル効果で説明できよう。なお当所における従来の加熱長 300 mm のデータとはよく一致し、再現性は確かめられたものと言える。加熱長 300 mm, 600 mm, 900 mm の 3 様のテスト部の実験を行なったが、三者の間には巨視的には大差がないと言える。Lee ら⁽⁴⁾ は圧力 1000 psia, 円管テスト部を用いて、加熱長を 8.5"~79" の範囲で変え、その影響を調べた結果、殆んど影響はないことを認めている。

Becker ら⁽⁵⁾ は加熱長は直接の影響はないが、熱収支により間接的影響のあることを述べている。また彼らの実験によれば、低流量では影響はないが、高流量になると加熱長の増加に従ってバーンアウト熱流束は減少している。これらの結果は Hood ら⁽⁶⁾ の 19 本バンドルの実験と対照的である。Hood らは圧力 1000 psia で加熱長を 3 ft および 6 ft で実験を行ない、加熱長 6 ft の時、3 ft の時のデータより低めのデータ（最大 - 50%）を得ている。彼らのデータは出口クオリティが極めて小となると両者の値の差は小さくなり、ほぼ一致してくる。

一般には加熱長さの影響はないとは言えないが、通常の実験条件では殆んど無視しうる程度の影響しかないものと思われる。我々の実験は装置の制約から、低サブクリーリング従って高クオリティの実験は実行不可能であったが、低クオリティの実験結果は、Hood らの結果とも傾向がほぼ一致する。なお、これらの結果から従来当研究室で実験に採用されていた加熱長 300 mm のテスト部に関するデータが、それ程特異な条件でのデータではなく、長いテスト部によるデータに敷えんしても重大な誤りを惹き起すことにはならないものと考えられる。

4.3 圧力の影響

Fig. 5~Fig. 7 は各々加熱長さ 300, 600, 900 mm の実験結果である。これらの図から次のような傾向がみられる。

- (1) Fig. 7 によれば加熱長さ 900 mm の場合、同じバーンアウト熱流束を与える出口クオリティは圧力の増加と共に増加している。
- (2) しかし出口クオリティ 5% 以下では、圧力の違いによるバーンアウト熱流束の差は明瞭ではなく、系圧力が 10 kg/cm², 28 kg/cm², 40 kg/cm² の時の曲線はほぼ出口クオリティ 5% の地点で互に交錯している。
- (3) Fig. 6 のデータの傾向からみて、加熱長 600 mm の場合出口クオリティ 15% 以上では、圧力の増加と共に、バーンアウト熱流束は増加するようである。
- (4) 加熱長 300 mm の場合についてはデータ数も少なく実験圧力範囲も狭かったためはつきりしないが、圧力の効果は殆んどみられていない。しかし、加熱長 600, 900 mm の実験デ

ータから判断して、もっと高出口クオリティのところで圧力の影響があらわれてくる可能性はある。

- (5) クオリティが一定の時、圧力の変化と共にボイド率も変化する。西野・山崎⁽⁷⁾の式によれば、その関係は Fig. 10 のようになる。X = 1 % の時、P = 10 kg/cm² でボイド率 α は 48 % であり、 α の変化が等差数列となるように P = 40 kg/cm², 26 kg/cm² を選んで実験を試みた。

Fig. 7 の 10 kg/cm², 20 kg/cm², 28 kg/cm², 40 kg/cm² は上記の理由で選定された圧力に対応する。Fig. 11 は L = 900 mm のデータをもとにして等しいバーンアウト熱流束を与えるボイド率を圧力に対してプロットしたものである。圧力が高い方が、低いボイド率でバーンアウトしている。またボイド率の差は圧力の違いに比べ小差である。

4.4 長さの影響

- (1) 加熱長が 300 mm の場合、600 mm, 900 mm のデータに比べ、バーンアウト熱流束はいくらか高めである。Xe = 0 % 付近では、L = 600, 900 mm の時、 $q_{BO} = 4.0 \times 10^6$ kcal/m²h であるのに対し、L = 300 mm の時は $q_{BO} = 4.2 \times 10^6$ kcal/m²h である。その差はほぼ 5 % であって、L = 300 mm の時の q_{BO} のデータ自身 5 % 程度のバラツキを持っている。
- (2) 筆者らが以前指摘⁽⁸⁾した低入口サブクーリングでの q_{BO} -X 図における右上がりの特性は、加熱長が長くなるに従って明らかでなくなるようである。
- (3) 前記のように圧力の効果が明瞭になる出口クオリティが、加熱長さの違いによって異なることが観察された。Fig. 12 は圧力の効果があらわれ始める条件の時のテスト部の状態を L = 600 mm, 900 mm の両者について図示したものである。この図によって、両者ともほぼ同じ長さの X > 0 の領域を持っていることがみられる。X > 0 の領域の長さはほぼ同じ長さの X > 0 の領域を持っていることがみられる。X > 0 の領域の長さはほぼ 350 mm であった。

この検討はバーンアウトを、クオリティよりはむしろボイド率あるいはフローパタンから理解しようという意図に基く一つの試みであるが、それの意味するところの theoretical な解釈は今後の問題である。

5. 結 言

- (1) 本実験によるバーンアウト熱流束は Macbeth の单管のバーンアウト整理式より低めであった。これはサブチャンネル効果のためであろう。
- (2) 本実験によるバーンアウト熱流束は、Becker らのデータとほぼ一致した。
- (3) 加熱長 300 mm, 600 mm, 900 mm の範囲では、加熱長のバーンアウト熱流束に及ぼす影響は巨視的には殆んどみられなかった。

従ってこれまで行なった加熱長 300 mm の実験は、それ程特異なところでの実験ではない。

ータから判断して、もっと高出口クオリティのところで圧力の影響があらわれてくる可能性はある。

- (5) クオリティが一定の時、圧力の変化と共にボイド率も変化する。西野・山崎⁽⁷⁾の式によれば、その関係は Fig. 10 のようになる。X = 1 % の時、P = 10 kg/cm² でボイド率 α は 4.8 % であり、 α の変化が等差数列となるように P = 40 kg/cm², 26 kg/cm² を選んで実験を試みた。

Fig. 7 の 10 kg/cm², 20 kg/cm², 28 kg/cm², 40 kg/cm² は上記の理由で選定された圧力に対応する。Fig. 11 は L = 900 mm のデータをもとにして等しいバーンアウト熱流束を与えるボイド率を圧力に対してプロットしたものである。圧力が高い方が、低いボイド率でバーンアウトしている。またボイド率の差は圧力の違いに比べ小差である。

4.4 長さの影響

- (1) 加熱長が 300 mm の場合、600 mm, 900 mm のデータに比べ、バーンアウト熱流束はいくらか高めである。Xe = 0 % 付近では、L = 600, 900 mm の時、 $q_{BO} = 4.0 \times 10^6$ kcal/m²h であるのに対し、L = 300 mm の時は $q_{BO} = 4.2 \times 10^6$ kcal/m²h である。

その差はほぼ 5 % であって、L = 300 mm の時の q_{BO} のデータ自身 5 % 程度のバラツキを持っている。

- (2) 筆者らが以前指摘⁽⁸⁾した低入口サブクリーリングでの q_{BO} -X 図における右上がりの特性は、加熱長が長くなるに従って明らかでなくなるようである。
- (3) 前記のように圧力の効果が明瞭になる出口クオリティが、加熱長さの違いによって異なることが観察された。Fig. 12 は圧力の効果があらわれ始める条件の時のテスト部の状態を L = 600 mm, 900 mm の両者について図示したものである。この図によって、両者ともほぼ同じ長さの X > 0 の領域を持っていることがみられる。X > 0 の領域の長さはほぼ同じ長さの X > 0 の領域を持っていることがみられる。X > 0 の領域の長さはほぼ 350 mm であった。

この検討はバーンアウトを、クオリティよりはむしろボイド率あるいはフローパタンから理解しようという意図に基く一つの試みであるが、それの意味するところの theoretical な解釈は今後の問題である。

5. 結 言

- (1) 本実験によるバーンアウト熱流束は Macbeth の単管のバーンアウト整理式より低めであった。これはサブチャンネル効果のためであろう。
- (2) 本実験によるバーンアウト熱流束は、Becker らのデータとほぼ一致した。
- (3) 加熱長 300 mm, 600 mm, 900 mm の範囲では、加熱長のバーンアウト熱流束に及ぼす影響は巨視的には殆んどみられなかった。

従ってこれまで行なった加熱長 300 mm の実験は、それ程特異なところでの実験ではな

いと考えられる。

- (4) クオリティ 0 付近では圧力の効果は明瞭でなかったが、クオリティが増すに従って、圧力の増加に伴ってバーンアウト熱流束は増加した。

6. あとがき

電源増強後の始めての実験であり、充分なデータを得るに至らなかつたが、テスト部加熱長を大きくしても、従来と大差ない結果が得られた点で、一応の成果があつたものと考える。

今回の実験では、前報で指摘したテクニカル上の問題点について、改良が加えられ、かってしばしば経験されたトラブルが解消できた。改良点の一つは模擬燃料棒の溶接方法であり、他の一つは、バーンアウト検出器のリード線取り出し方法である。

今回は電源改造後の予備的実験であり、ロッド間隙、スペーサーが、バーンアウト熱流束におよぼす影響、とくに広いクオリティ範囲についての詳細実験は、今後の予定である。

参考文献

- (1) 山崎, 井口, 千葉, 趙; 第8回伝熱シンポジウム前刷集 p 409 (1971)
- (2) Becker, et al.; AE-153 "Mearurements of Burnout Conditions for Flow of Boiling Water in Vertical 3-Rod and 7-Rod Clusters (1964)
- (3) Macbeth; AEEW-R 267 "Burnout Analysis. Part 4 : Application of a Local Condition Hypothesis to World Data for Uniformly Heated Round Tubes and Rectangular Channels" (1963)
- (4) Lee, et al.; AEEW-R 213 An Experimental Investigation of Forced Convection Burnout in High Pressure Water" (1963)
- (5) Becker, et al.; AE-276 "A Burnout Correlation for Flow of Boiling Water in Vertical Rod Bundles" (1967)
- (6) Hood, et al.; DP-855 "Heavy Water Moderated Power Reactors" (1963)
- (7) Yamazaki, Shiba; Rhodes Scott "Co-current gas-liquid flow" Plenum Press p359 (1969)
- (8) 山崎, 井口, 千葉, 小堀, 菊池; 第7回伝熱シンポジウム前刷集 p 109 (1970)

いと考えられる。

- (4) クォリティ 0 付近では圧力の効果は明瞭でなかったが、クォリティが増すに従って、圧力の増加に伴ってバーンアウト熱流束は増加した。

6. あとがき

電源増強後の始めての実験であり、充分なデータを得るに至らなかつたが、テスト部加熱長を大きくしても、従来と大差ない結果が得られた点で、一応の成果があつたものと考える。

今回の実験では、前報で指摘したテクニカル上の問題点について、改良が加えられ、かってしばしば経験されたトラブルが解消できた。改良点の一つは模擬燃料棒の溶接方法であり、他の一つは、バーンアウト検出器のリード線取り出し方法である。

今回は電源改造後の予備的実験であり、ロッド間隙、スペーサーが、バーンアウト熱流束におよぼす影響、とくに広いクォリティ範囲についての詳細実験は、今後の予定である。

参考文献

- (1) 山崎, 井口, 千葉, 趙; 第8回伝熱シンポジウム前刷集 p 409 (1971)
- (2) Becker, et al.; AE-153 "Mearurements of Burnout Conditions for Flow of Boiling Water in Vertical 3-Rod and 7-Rod Clusters (1964)
- (3) Macbeth; AEEW-R 267 "Burnout Analysis. Part 4 : Application of a Local Condition Hypothesis to World Data for Uniformly Heated Round Tubes and Rectangular Channels" (1963)
- (4) Lee, et al.; AEEW-R 213 An Experimental Investigation of Forced Convection Burnout in High Pressure Water" (1963)
- (5) Becker, et al.; AE-276 "A Burnout Correlation for Flow of Boiling Water in Vertical Rod Bundles" (1967)
- (6) Hood, et al.; DP-855 "Heavy Water Moderated Power Reactors" (1963)
- (7) Yamazaki, Shiba; Rhodes Scott "Co-current gas-liquid flow" Plenum Press p359 (1969)
- (8) 山崎, 井口, 千葉, 小堀, 菊池; 第7回伝熱シンポジウム前刷集 p 109 (1970)

いと考えられる。

- (4) クオリティ 0 付近では圧力の効果は明瞭でなかったが、クオリティが増すに従って、圧力の増加に伴ってバーンアウト熱流束は増加した。

6. あとがき

電源増強後の始めての実験であり、充分なデータを得るに至らなかつたが、テスト部加熱長を大きくしても、従来と大差ない結果が得られた点で、一応の成果があつたものと考える。

今回の実験では、前報で指摘したテクニカル上の問題点について、改良が加えられ、かってしばしば経験されたトラブルが解消できた。改良点の一つは模擬燃料棒の溶接方法であり、他の一つは、バーンアウト検出器のリード線取り出し方法である。

今回は電源改造後の予備的実験であり、ロッド間隙、スペーサーが、バーンアウト熱流束におよぼす影響、とくに広いクオリティ範囲についての詳細実験は、今後の予定である。

参考文献

- (1) 山崎, 井口, 千葉, 趙; 第8回伝熱シンポジウム前刷集 p 409 (1971)
- (2) Becker, et al.; AE-153 "Measurements of Burnout Conditions for Flow of Boiling Water in Vertical 3-Rod and 7-Rod Clusters" (1964)
- (3) Macbeth; AEEW-R 267 "Burnout Analysis. Part 4 : Application of a Local Condition Hypothesis to World Data for Uniformly Heated Round Tubes and Rectangular Channels" (1963)
- (4) Lee, et al.; AEEW-R 213 "An Experimental Investigation of Forced Convection Burnout in High Pressure Water" (1963)
- (5) Becker, et al.; AE-276 "A Burnout Correlation for Flow of Boiling Water in Vertical Rod Bundles" (1967)
- (6) Hood, et al.; DP-855 "Heavy Water Moderated Power Reactors" (1963)
- (7) Yamazaki, Shiba; Rhodes Scott "Co-current gas-liquid flow" Plenum Press p359 (1969)
- (8) 山崎, 井口, 千葉, 小堀, 菊池; 第7回伝熱シンポジウム前刷集 p 109 (1970)

Nomenclature

h	enthalpy	(Kcal/kg)
h_i	inlet enthalpy	(Kcal/kg)
G	mass velocity	(kg/m ² h)
L	heated length	(mm)
P	pressure	(kg/cm ²)
q_{BO}	burnout heat flux	(Kcal/m ² h)
T	temperature	(°C)
T_i	inlet temperature	(°C)
ΔT_{sub}	inlet subcooling	(°C)
u	velocity	(m/s)
X	quality	(%)
X_e	exit quality	(%)
α	void fraction	(-)
α_{BO}	void fraction at burnout point	(-)

Table 1 Results of burnout experiment
(3 rod cluster, heated length : 300mm)

RUN No.	P [kg/cm ² a]	T _i [°C]	ΔT _{sub} [°C]	u [m/s]	G × 10 ⁻⁶ [kg/m ² h]	h _i [kcal/kg]	q _{BO} × 10 ⁻⁶ [kcal/m ² h]	X _e [%]
10-27- 1	7.2	134	31.3	2.95	9.88	134.6	3.12	-1.24
"--" - 2	7.4	130	36.4	2.44	8.19	130.5	2.96	-1.52
"--" - 3				2.64			3.45	
"--" - 4	7.5	135	32.5	2.97	9.96	135.6	3.10	-1.56
"--" - 5	7.7	135	33.6	2.92	9.79	135.6	3.36	-1.26
"--" - 6	7.5	136	31.5	2.94	9.83	136.6	3.31	-0.93
"--" - 7	7.5	136	31.5	2.88	9.65	136.6	3.57	-0.37
"--" - 8	7.5	136	31.5	2.92	9.78	136.6	3.57	-0.45
"--" - 9	8.0	137	32.5	2.97	9.94	137.6	3.58	-0.79
"--" - 10	8.0	136	33.6	1.91	6.38	136.6	3.13	1.25
"--" - 11	8.0	136	33.6	1.91	6.38	136.6	2.94	0.79
"--" - 12	8.2	136	34.6	2.04	6.84	136.6	3.07	0.30
"--" - 13	8.5			1.91				
"--" - 14	8.5	136	36.0	1.24	4.14	136.6	1.39	-1.95
"--" - 15	8.7			1.22				
"--" - 16	8.7	134	39.6	1.24	4.15	134.6	2.84	3.29
"--" - 17	8.7	133	40.6			133.5		
"--" - 18	8.7	140	33.6	1.22	4.07	140.7	3.98	9.49
"--" - 19	9.0	142	32.5	1.21	4.03	142.8	3.73	8.78
"--" - 20	9.0	142	32.5	1.21	4.02	142.8	3.92	9.71
"--" - 21	9.0	143	31.5	1.23	4.08	143.8	3.57	8.22
"--" - 22	9.1	144	31.4	1.22	4.05	144.8	3.96	10.03
"--" - 23	12.0	154	33.1	1.23	4.03	155.1	4.17	10.67
"--" - 24	12.2	155	32.8	1.22	4.02	156.2	3.94	9.89
"--" - 25	13.0	154	34.7	1.22	4.01	157.2	3.90	9.35
"--" - 26	13.0	155	35.7	2.99	9.83	156.2	3.89	-0.98
"--" - 27	13.0	154	36.7	2.97	9.77	155.1	4.00	-0.85
"--" - 28	13.0	154	36.7	2.97	9.77	155.1	4.06	-0.86
"--" - 29	13.1	154	36.9	1.99	6.54	155.1	3.73	1.77
"--" - 30	13.1	153	37.9	1.93	6.36	154.1	3.52	1.26
"--" - 31	13.2	152	38.4	1.99	6.55	154.1	3.61	1.17
"--" - 32	13.1	152	38.9	1.10	3.62	153.1	2.08	1.37

RUN No.	P [kg/cm ² a]	T _i [°C]	ΔT _{sub} [°C]	u [m/S]	G × 10 ⁻⁶ [kg/m ² h]	h _i [kcal/kg]	q _{BO} × 10 ⁻⁶ [kcal/m ² h]	Xe [%]
10-27-33	13.1	152	40.9	1.11	3.68	151.0	2.15	1.19
" - " - 34		150		1.18	3.90	151.0		
" - " - 35	7.8	142	26.6			142.8	1.28	
11-19- 1	11.0	149	34.2	2.99	9.87	150.0	3.53	-1.25
" - " - 2	10.8	145	37.4	2.98	9.86	145.8	3.64	-1.75
" - " - 3	10.6	144	37.6	3.02	10.00	144.8	3.56	1.98
" - " - 4	10.4	143	37.7	3.00	9.98	143.8	3.40	-2.29
" - " - 5	10.0	142	37.0	2.05	6.83	142.8	3.35	0.43
" - " - 6	10.2	140	39.9	1.99	6.65	140.7	4.10	2.00
" - " - 7	10.4	145	42.7	1.98	6.62	138.7	3.90	0.92
" - " - 8	12.0	142	45.1	2.00	6.67	142.8	3.64	-0.36
" - " - 9	12.0	143	44.1	2.00	6.65	143.8	3.82	0.35
" - " - 10	11.8	142	44.3	1.20	3.99	142.8	3.50	6.28
" - " - 11	11.6	141	44.6	1.19	3.97	141.7	3.79	6.93
" - " - 12	11.2	140	44.0	1.15	3.85	140.7	3.82	7.66
" - " - 13	11.0	138	45.2	1.15	3.85	138.7	3.69	6.82
" - " - 14	11.0	136	47.2	0.73	2.45	136.6	3.03	11.0
" - " - 15	11.0	136	47.2	0.72	2.42	136.6	3.08	11.81
" - " - 16	10.8	136	46.4	0.79	2.65	136.6	2.45	5.97
" - " - 17	10.2	135	44.9	0.87	2.96	135.6	2.17	3.24
" - " - 18	10.0	135	44.0	2.98	9.99	135.6	2.88	-4.51
" - " - 19	10.0	135	44.0	3.00	10.05	135.6	2.64	-4.96

Table 2 Results of burnout experiment
(3 rod cluster, heated length: 600mm)

RUN No.	P [kg/cm ² a]	T _i [°C]	ΔT _{sub} [°C]	u [m/S]	G × 10 ⁻⁶ [kg/m ² h]	h _i [kcal/kg]	q _{BO} × 10 ⁻⁶ [kcal/m ² h]	X _e [%]
11-3- 1	1 1.5	1 5 7	2 8.7	2.9 8	9.7 7	1 5 8.2	3.2 6	5.34
" --- 2	1 1.5	1 4 5	4 0.5	2.9 6	9.8 3	1 4 5.8	3.5 5	3.71
" --- 3	1 1.5	1 4 7	3 8.5	2.9 6	9.8 0	1 4 7.9	3.6 7	4.61
" --- 4	1 0.5	1 4 9	3 2.1	2.9 6	9.7 9	1 5 0.0	3.3 6	4.86
" --- 5	1 0.6	1 4 6	3 5.6	2.9 6	6.4 0	1 4 6.9	2.8 0	7.44
" --- 6	1 1.2	1 4 5	3 9.0	1.9 3	6.4 1	1 4 5.8	2.9 9	7.72
" --- 7	1 1.8	1 4 5	4 1.3	1.9 3	6.4 1	1 4 5.8	3.0 8	7.73
" --- 8	1 1.8	1 4 5	4 1.3	1.9 9	6.6 0	1 4 5.8	3.0 1	6.84
" --- 9	1 1.0	1 4 5	3 8.2	1.1 4	3.7 8	1 4 5.8	2.2 4	12.15
" ---10	1 0.8	1 4 5	3 7.4	1.1 6	3.8 6	1 4 5.8	2.3 7	13.06
" ---11	1 0.8	1 4 3	3 8.4	2.9 8	3.9 0	1 4 3.8	2.2 4	11.29
" ---12	1 0.8	1 4 2	4 0.4	3.3 8	3.8 7	1 4 2.8	2.3 4	12.20
" ---13	1 9.0	1 7 6	3 2.8	3.0 1	9.5 7	1 7 8.1	3.3 1	4.93
" ---14		1 7 5		3.0 6	1 0.8 7	1 7 7.0		
" -4- 1	2 9.0	1 8 2	4 8.9	3.0 3	9.5 8	1 8 4.4	3.3 3	1.49
" --- 2	2 6.3	1 8 2	4 4.0	3.0 3	9.7 4	1 8 4.4	3.1 1	1.19
" --- 3	2 6.3	1 7 9	4 7.0	3.0 6	9.7 0	1 8 1.2	3.5 1	2.33
" --- 4	2 7.0	1 7 7	5 0.0	2.0 0	9.7 1	1 7 9.1	3.6 8	2.00
" --- 5	2 7.0	1 7 9	4 8.0	1.9 6	9.7 7	1 8 1.2	3.6 6	2.34
" --- 6	2 6.0	1 8 0	4 5.0	2.0 0	6.3 8	1 8 2.3	3.0 9	7.18
" --- 7	2 7.0	1 8 0	4 7.0	2.0 0	6.4 0	1 8 2.3	3.5 0	7.07
" --- 8	2 7.0	1 7 9	4 8.0	1.9 6	6.2 5	1 8 1.2	3.1 4	7.22
" --- 9	2 7.5	1 7 7	5 1.0	2.0 0	6.4 2	1 7 9.1	3.1 2	5.81
" ---10	2 8.0	1 7 8	5 1.0	1.9 6	6.2 6	1 8 0.2	3.0 8	6.14
" ---11	2 7.0	1 7 7	5 0.0	1.1 5	3.6 8	1 7 9.1	2.3 4	11.85
" ---12	2 6.5	1 7 7	4 9.0	1.2 3	3.9 5	1 7 9.1	2.4 4	11.50
" ---13	2 7.0	1 7 6	5 1.0	1.2 0	3.8 5	1 7 8.1	2.4 1	11.18
" ---14	2 6.5	1 7 6	5 0.0	1.1 7	3.7 5	1 7 8.1	2.4 0	11.20
" ---15	2 6.5	1 7 7	4 9.0	1.2 6	4.0 4	1 7 9.1	2.5 2	11.76
" ---16	4 6.0	2 0 4	5 3.6	3.0 2	9.3 5	2 0 7.9	2.8 8	2.33
" ---17	4 3.7	2 0 5	4 9.8	2.9 8	9.2 2	2 0 9.0	2.9 2	-0.85
" ---18	4 1.5	2 0 5	4 6.4	2.9 8	9.2 2	2 0 9.0	2.8 8	-0.02

RUN No.	P [kg/cm ² a]	T _i [°C]	ΔT _{sub} [°C]	u [m/S]	G × 10 ⁻⁶ [kg/m ² h]	h _i [kcal/kg]	q _{BO} × 10 ⁻⁶ [kcal/m ² h]	Xe [%]
11-4-19	4.2.0	203	4.9.1	3.0.8	9.5.5	206.8	3.0.7	-0.4.0
"--20	4.1.0	200	5.0.6	3.0.7	9.5.6	203.6	3.2.6	0.0.2
"--21	4.1.0	200	5.0.6	2.1.0	6.5.5	203.6	3.0.2	4.9.2
"--22	4.0.0	200	4.9.2	2.0.8	6.4.7	203.6	2.8.5	4.3.8
"--23	4.0.0	200	4.9.2	2.0.1	6.2.6	203.6	2.8.8	5.2.5
"--24	4.1.0	198	5.2.6	2.0.8	6.4.9	201.4	2.9.1	3.8.3
"--25	4.1.5	198	5.3.4	2.0.4	6.3.8	201.4	3.0.5	4.8.2
"--26	4.1.0	197	5.5.4	1.1.7	3.6.7	201.4	2.4.2	1.2.1.4
"--27	4.1.5	196	5.6.4	1.2.1	3.8.0	199.3	2.3.6	1.0.2.8
"--28	4.2.0	196	5.6.1	1.2.3	3.8.6	199.3	2.0.6	6.5.7
"--29	4.1.5	195	5.6.4	1.2.1	3.8.0	198.2	2.0.8	6.8.2
"--30	4.3.0	196	5.7.5	1.2.6	3.9.5	199.3	2.5.0	1.0.8.1

Table 3 Results of burnout experiment
(3 rod cluster, heated length: 900mm)

RUN No.	P [kg/cm ² a]	T _i [°C]	ΔT _{sub} [°C]	u [m/S]	G × 10 ⁻⁶ [kg/m ² h]	h _i [kcal/kg]	q _{BO} × 10 ⁻⁶ [kcal/m ² h]	Xe [%]
11- 9- 1	6.0	120	38.1	2.88	9.79	120.3	2.66	5.73
" - " 2	6.3	120	40.6	2.88	9.79	120.3	2.83	6.06
" - " 3	13.2	156	35.4	2.97	9.75	157.2	2.83	7.44
" - " 4	12.5	148	41.3	2.93	9.62	148.9	2.91	6.59
" - " 5	12.0	147	40.1	2.02	6.69	147.9	2.22	8.57
" - " 6	12.0	147	40.1	1.97	6.51	147.9	2.16	8.67
" - " 7	12.0	147	40.1	1.96	6.48	147.9	2.25	9.37
" - " 8	11.5	147	38.6	1.12	3.72	147.9	1.48	12.29
" - " 9	11.5	148	37.6	1.16	3.85	148.9	1.64	14.04
" - " 10	11.5	146	39.6	1.04	3.45	146.9	1.52	14.27
" - " 11	11.5	144	41.6	1.18	3.93	144.8	1.83	15.19
" - " 12	21.0	164	49.9	2.98	9.70	165.5	2.87	4.86
" - " 13	19.5	164	46.4	2.98	9.70	165.5	2.91	5.60
" - " 14	21.0	163	50.9	2.93	9.55	164.5	2.98	5.29
" - " 15	21.0	164	49.9	1.95	6.32	165.5	2.66	11.34
" - " 16	21.5	163	52.1	1.97	6.40	164.6	2.61	10.29
" - " 17	22.0	162	54.2	1.95	6.36	163.4	2.73	10.93
" - " 18	22.0	160	56.2	1.12	3.67	161.3	1.93	15.85
" - " 19	22.5	161	56.4	1.21	3.94	162.4	1.99	14.81
" - " 20	23.0	160	58.5	1.14	3.72	161.3	1.98	15.68
" - " 21	35.0	180	61.4	2.95	9.43	182.3		
" - " 22	39.5	181	67.4	3.02	9.64	183.3		
11- 12- 1	29.0	185	45.9	3.03	9.62	187.6	2.81	5.27
" - " 2	28.0	186	43.0	3.03	9.61	188.6	2.94	6.77
" - " 3	27.5	181	47.0	3.06	9.74	183.3	2.94	5.52
" - " 4	27.0	181	46.0	2.02	6.45	183.3	2.48	10.46
" - " 5	27.5	178	50.0	2.02	6.48	180.2	2.73	11.62
" - " 6	27.5	180	48.0	2.04	6.52	182.3	2.66	11.42
" - " 7	26.5	177	49.0	1.22	3.92	179.1	2.09	18.37
" - " 8	26.5	177	49.0	1.23	3.95	179.1	2.12	18.37
" - " 9	26.0	173	52.0	1.22	3.90	174.9	2.25	19.98
" - " 10	41.5	197	54.4	3.08	9.63	200.4	2.89	3.52

RUN No.	P [kg/cm ² a]	T _i [°C]	ΔT _{sub} [°C]	u [m/s]	G × 10 ⁻⁶ [kg/m ² h]	h _i [kcal/kg]	q _{BO} × 10 ⁻⁶ [kcal/m ² h]	Xe [%]
11-12-11	4.0.0	198	51.2	3.07	9.59	201.4	2.95	4.79
" - " - 12	4.2.5	198	54.8	3.08	9.60	201.4	2.93	3.63
" - " - 13	4.2.5	194	58.8	2.03	6.38	197.1	2.65	9.30
" - " - 14	4.0.0	190	59.2	2.04	6.43	192.9	2.69	9.47
" - " - 15	4.0.0	190	59.2	2.04	6.43	192.9	2.79	10.10
" - " - 16	3.9.0	188	59.7	1.22	3.86	190.7	2.25	19.02
" - " - 17	3.8.0	187	59.2	1.23	3.90	189.7	2.17	17.67
" - " - 18	3.8.0	185	61.2	1.22	3.88	187.6	2.18	17.62
" - " - 19	3.5.5	181	61.2	0.74	2.37	183.3	1.69	26.30
" - " - 20	3.5.0	181	60.4	0.75	2.40	183.3	1.72	26.71
" - " - 21	3.4.5	180	60.6	0.75	2.40	182.3	1.76	27.63

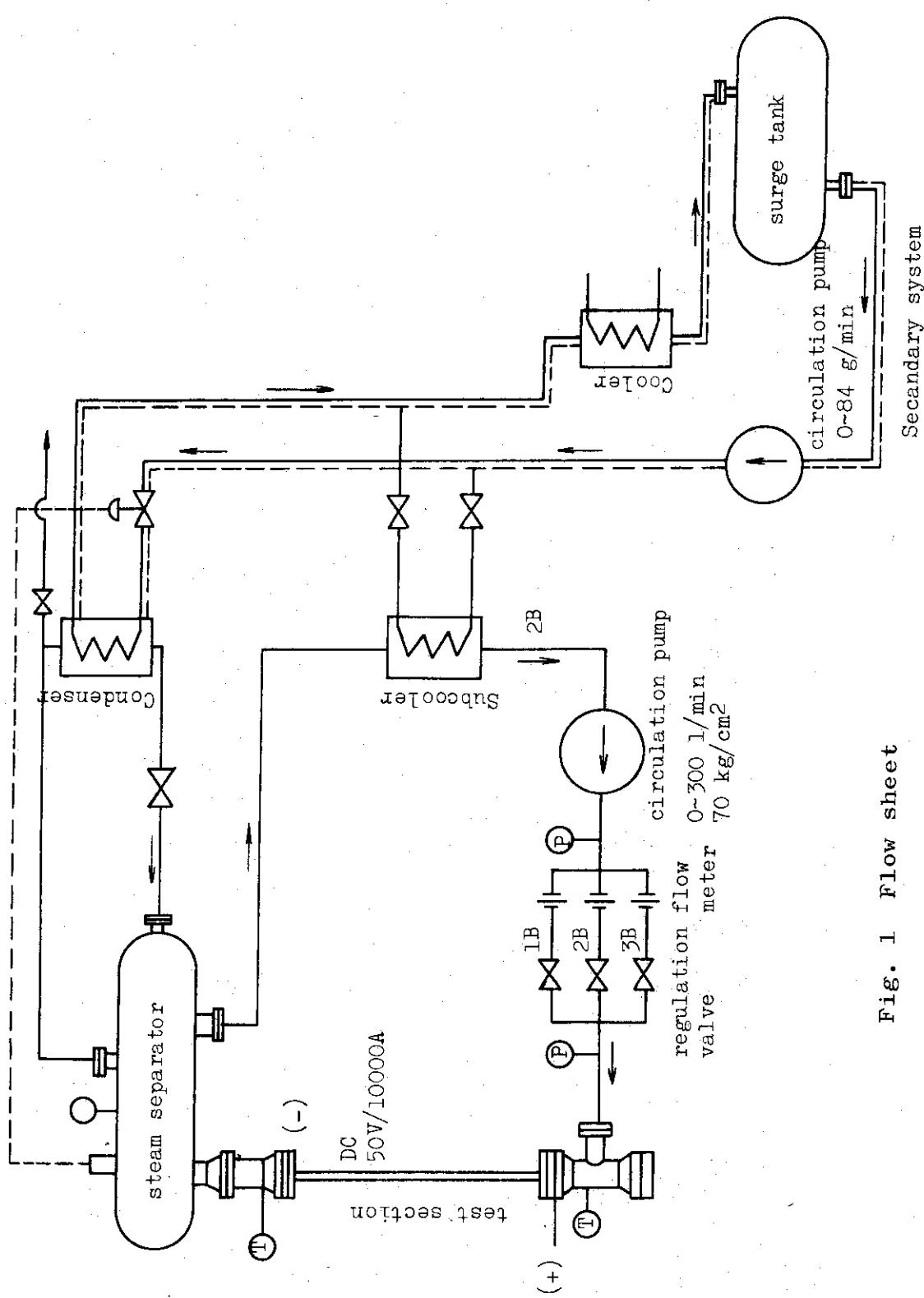
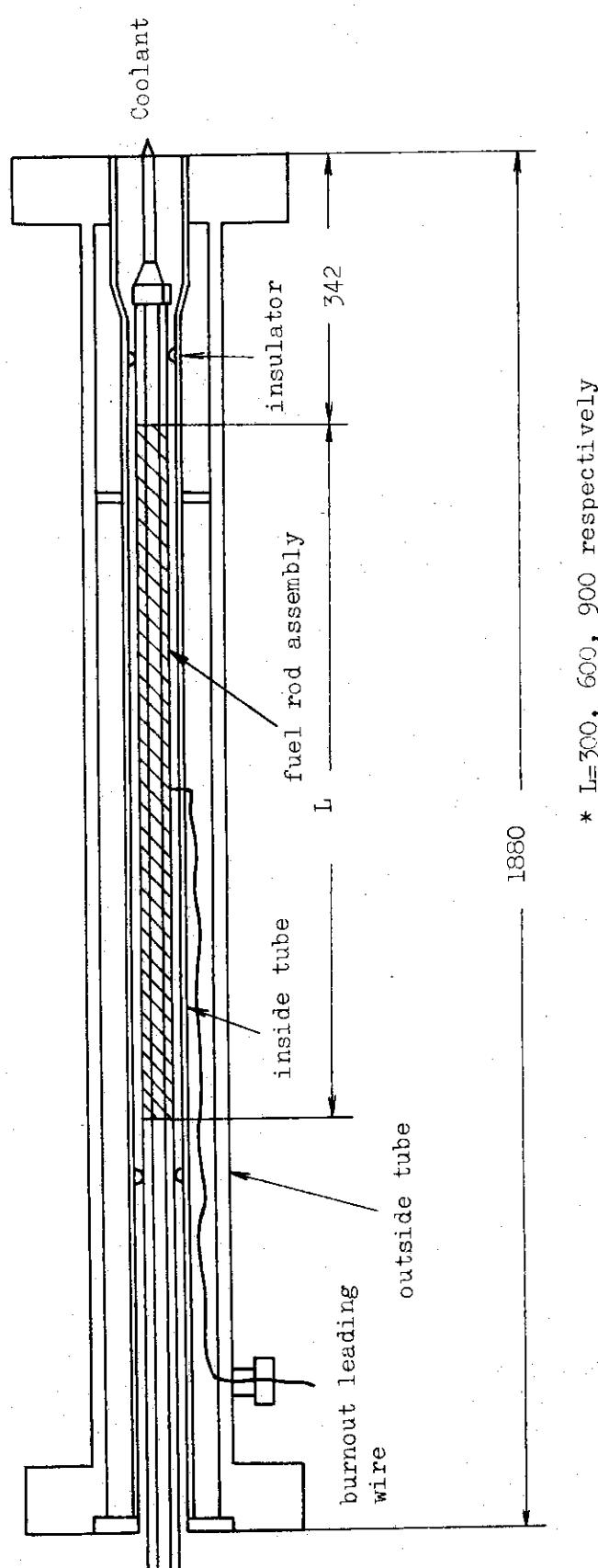


Fig. 1 Flow sheet

Secondary system



* L=300, 600, 900 respectively

Fig. 2 Test section

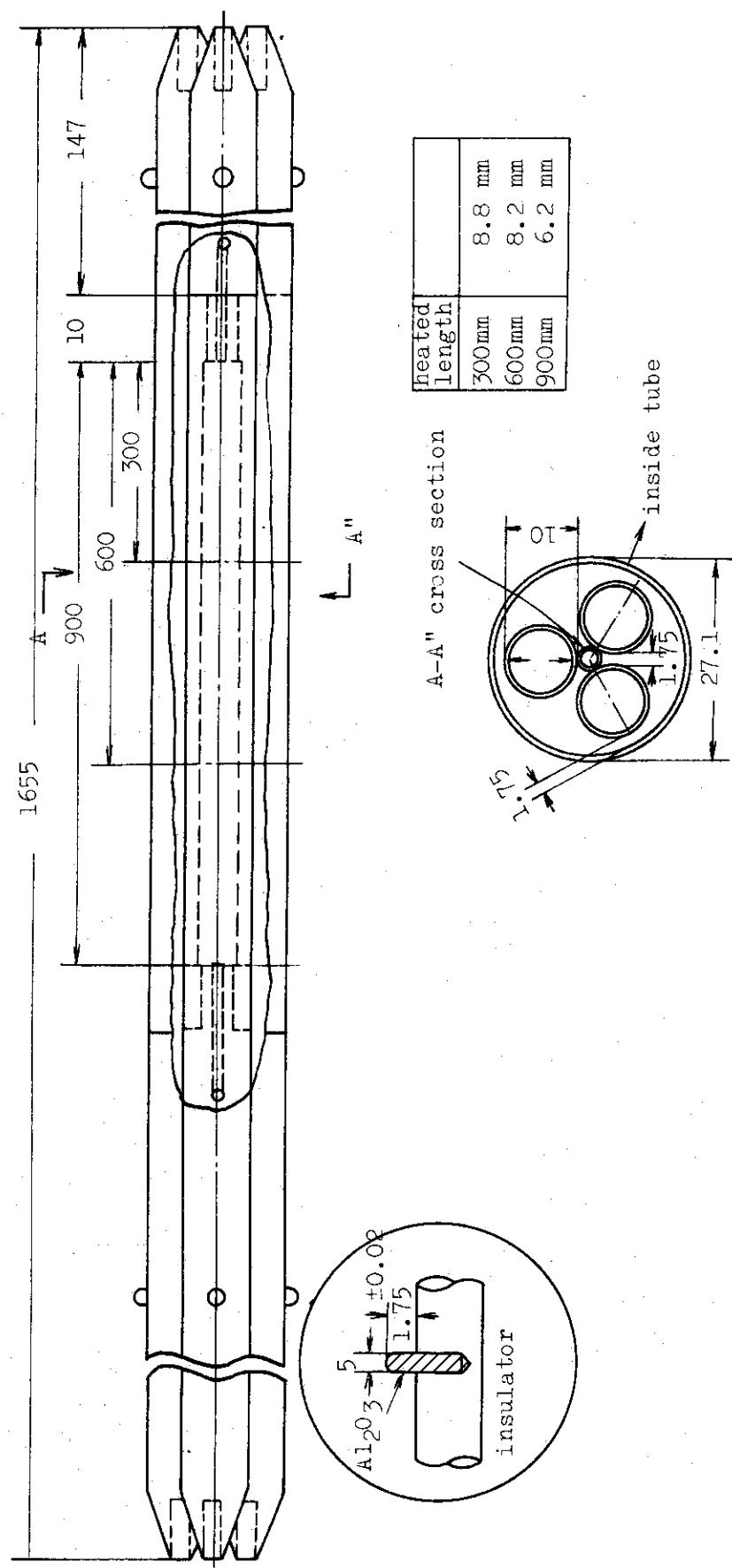


Fig. 3 Bundle

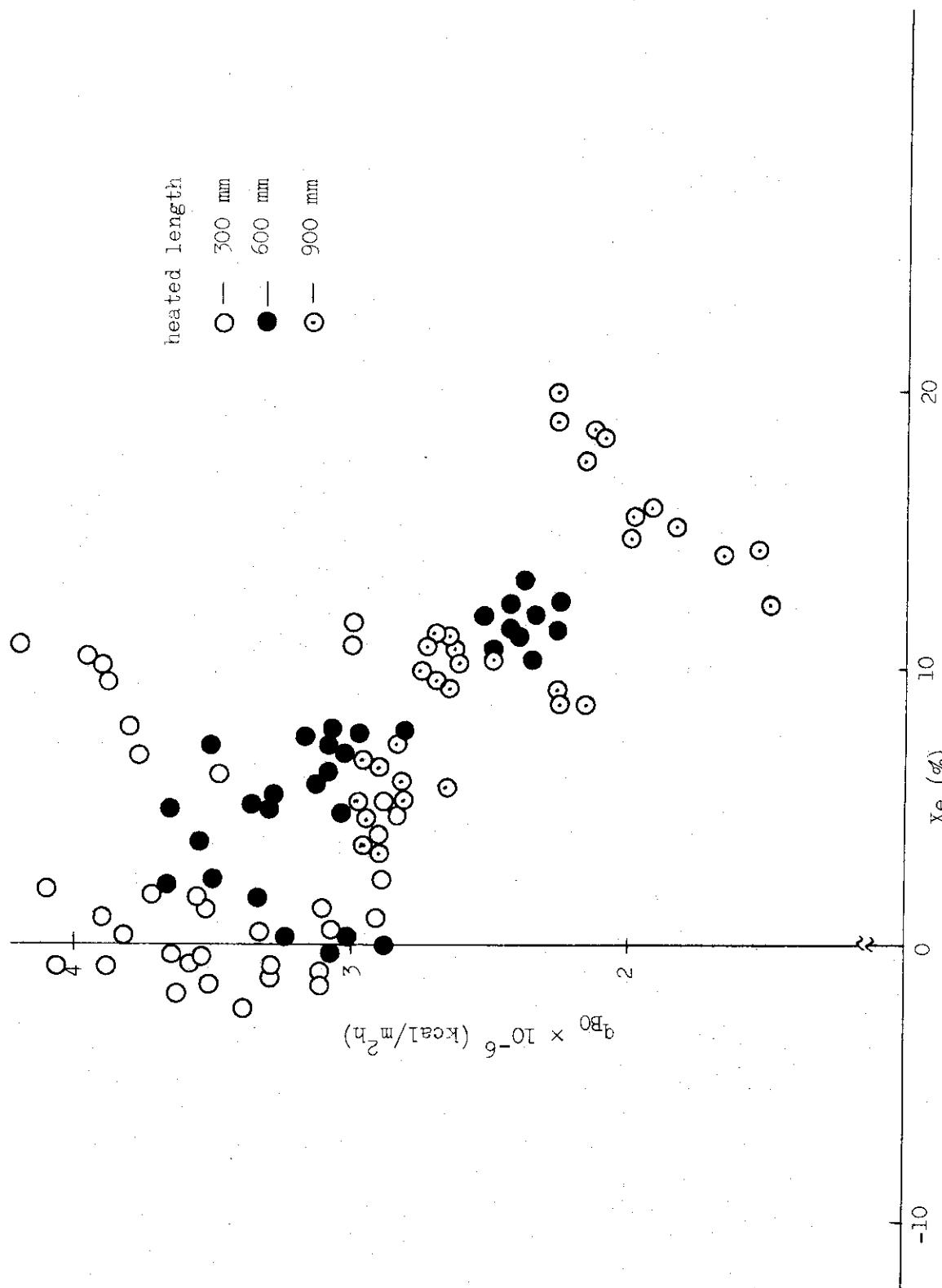


Fig. 4 Effect of heated length

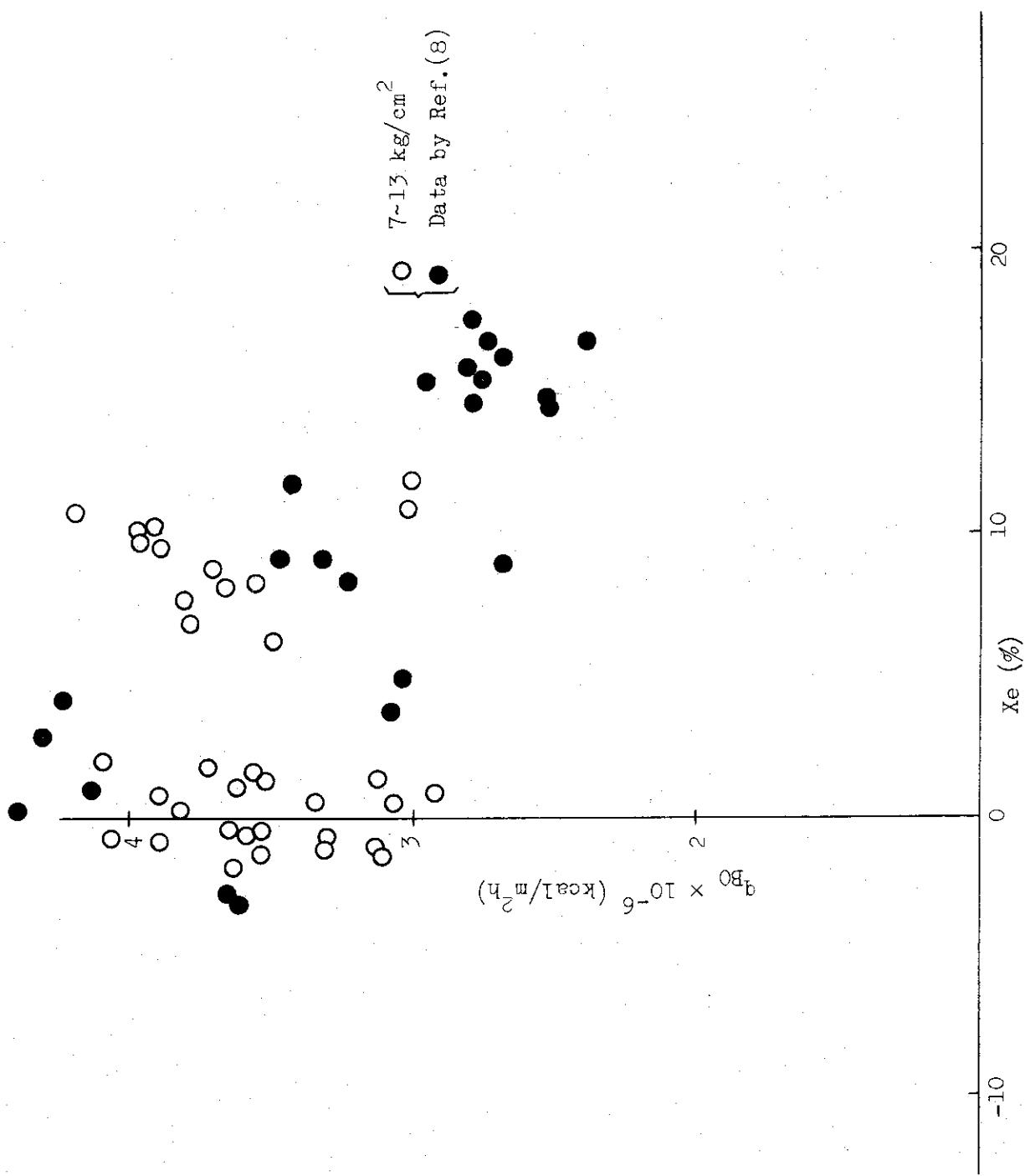


Fig. 5 Burnout heat flux vs exit quality
heated length: 300 mm, pressure; 7 13 kg/cm^2

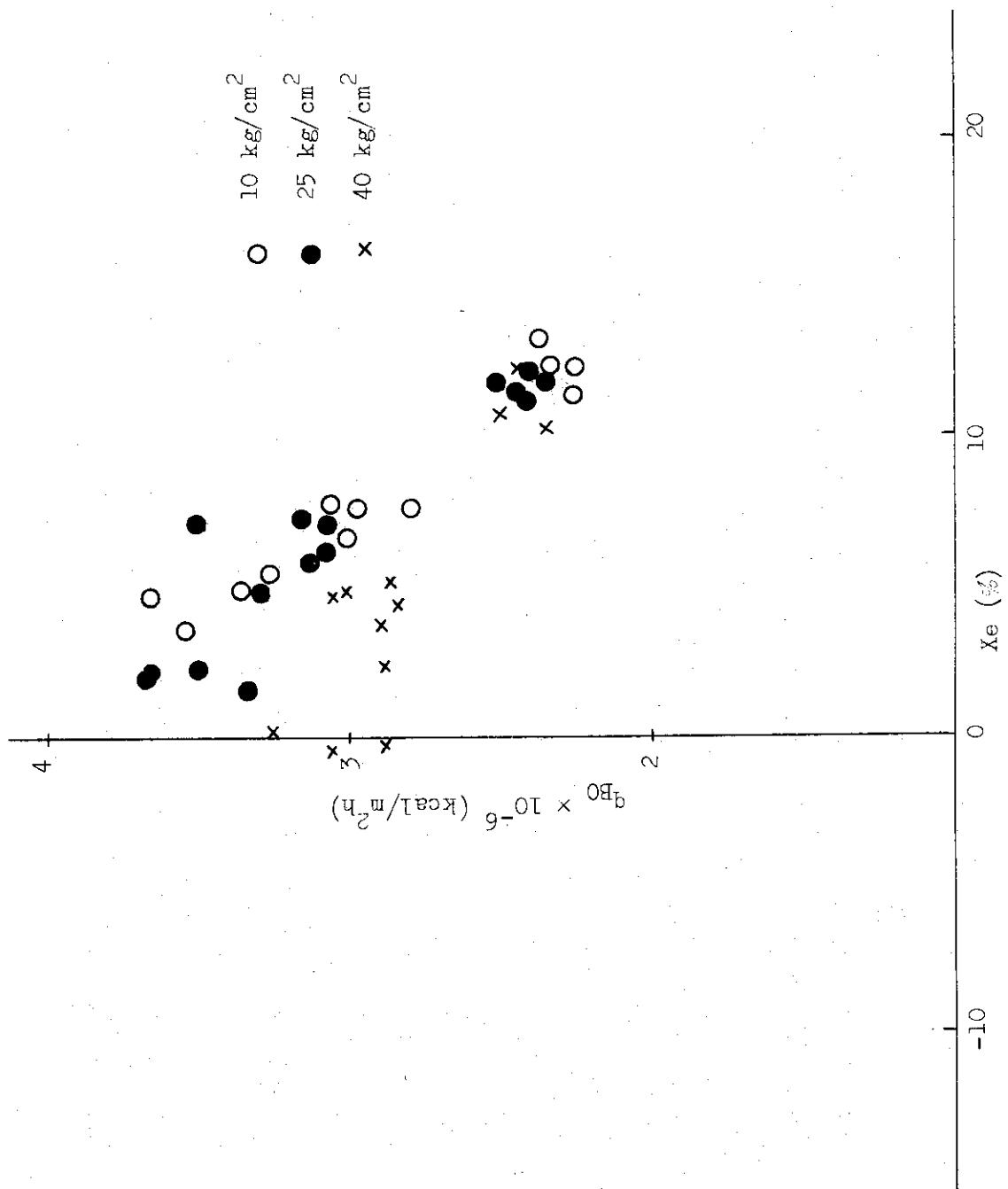


Fig.6 Burnout heat flux vs exit quality: heated length: 600 mm

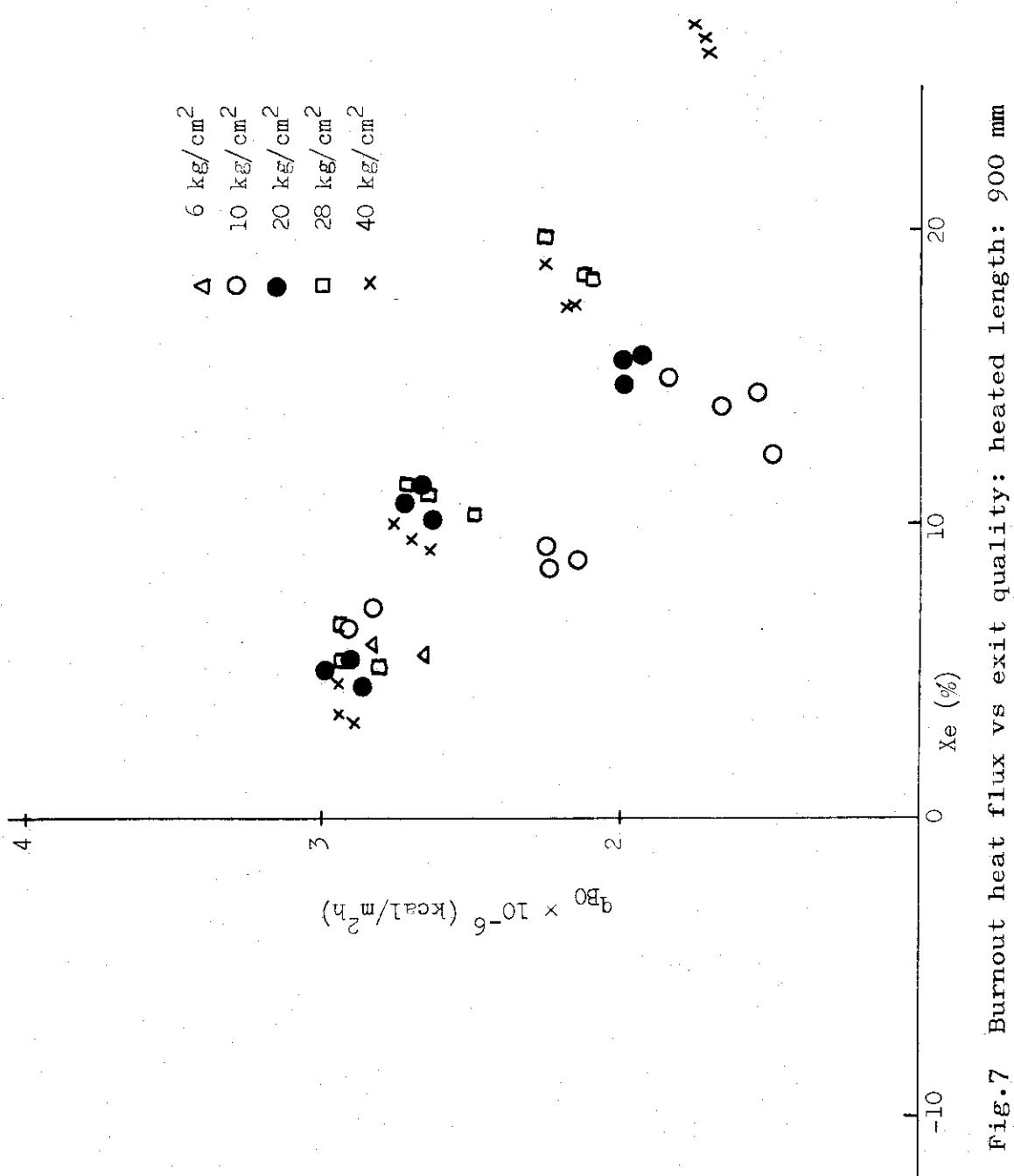


Fig.7 Burnout heat flux vs exit quality: heated length: 900 mm

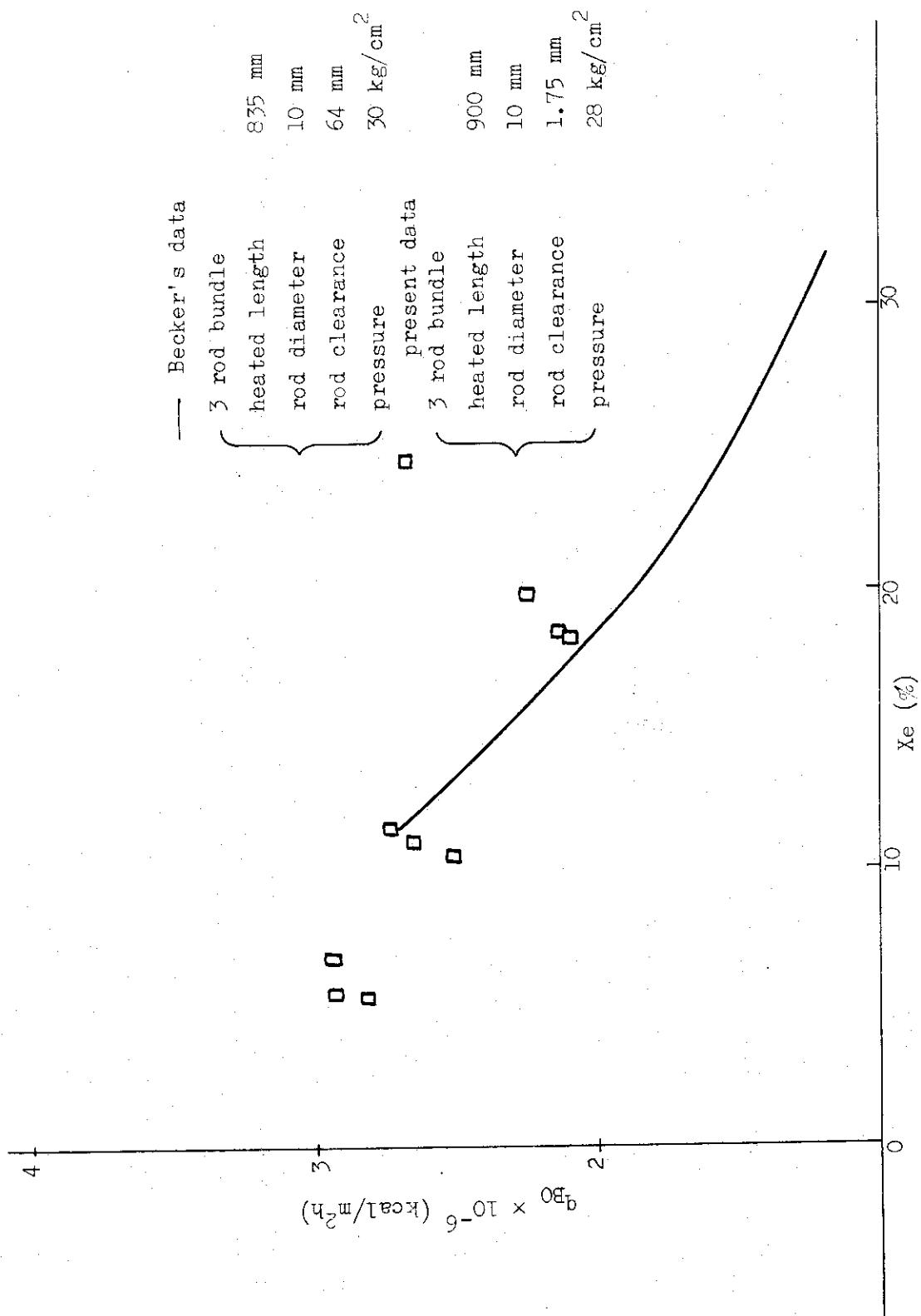


Fig.8 Comparison between Becker's data and present data

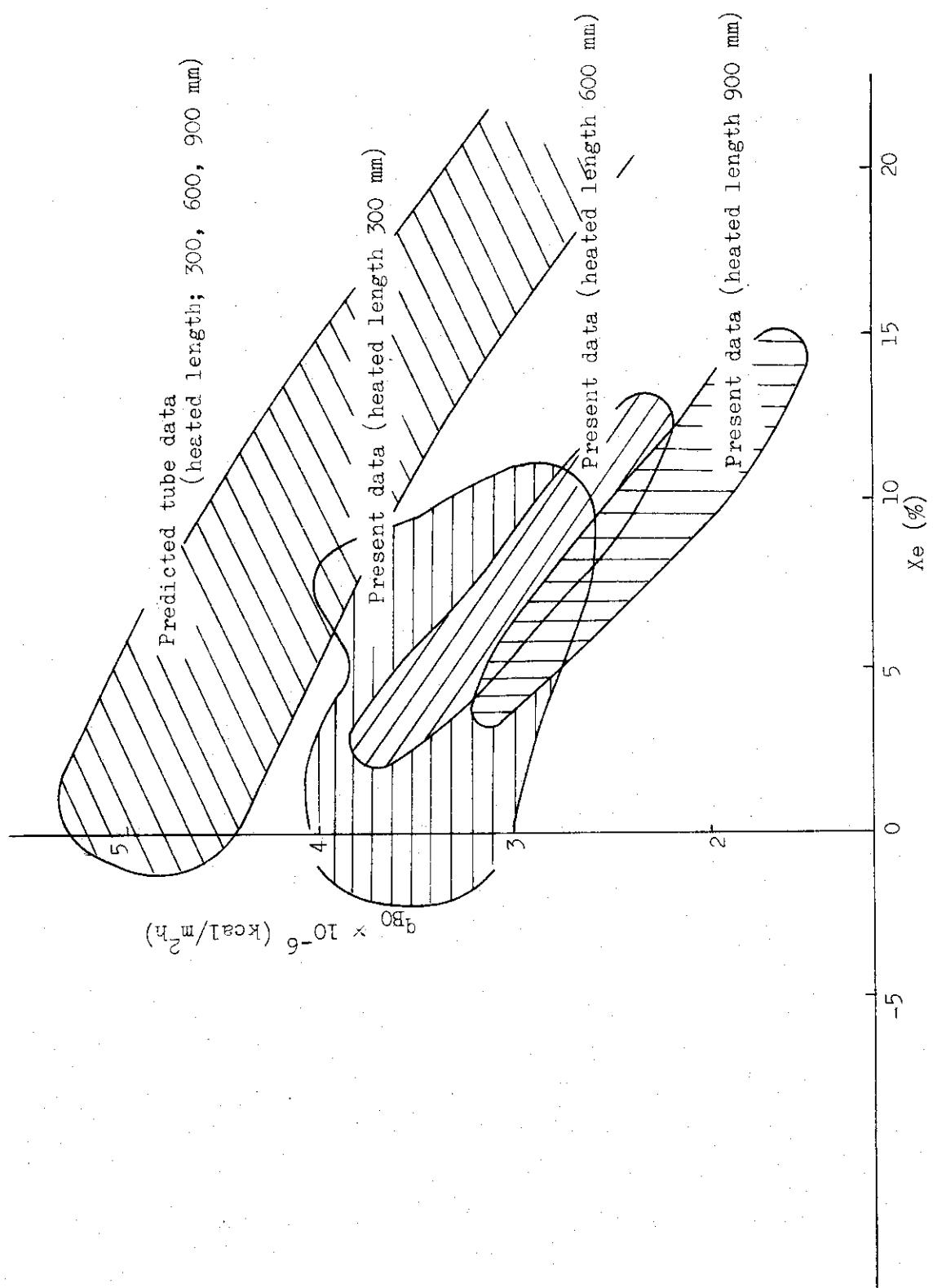


Fig.9 Comparison between tube data and present bundle data
at 10 kg/cm²

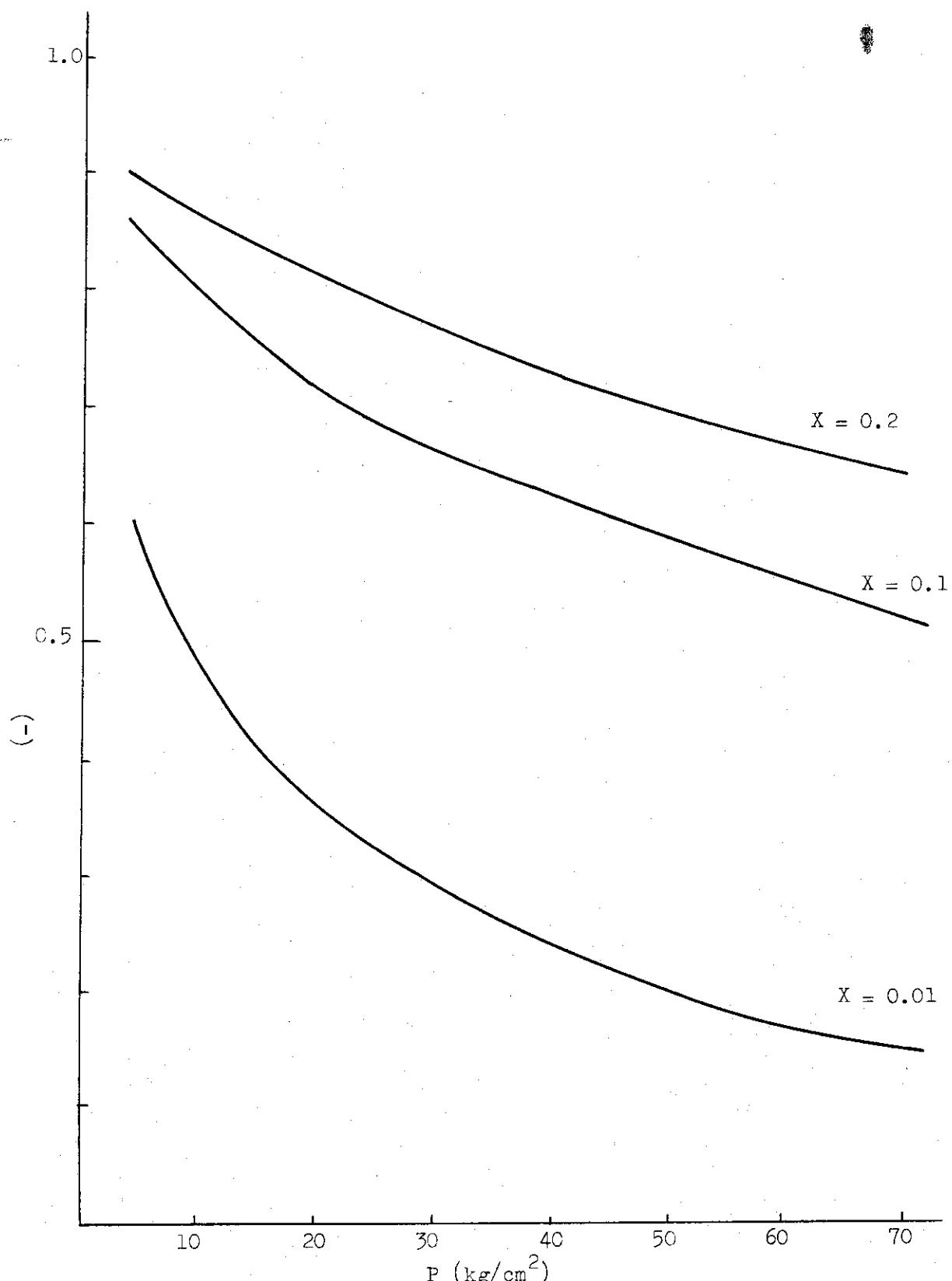


Fig.10 Void fraction vs. pressure at various quality by Nishino - Yamazaki's equation

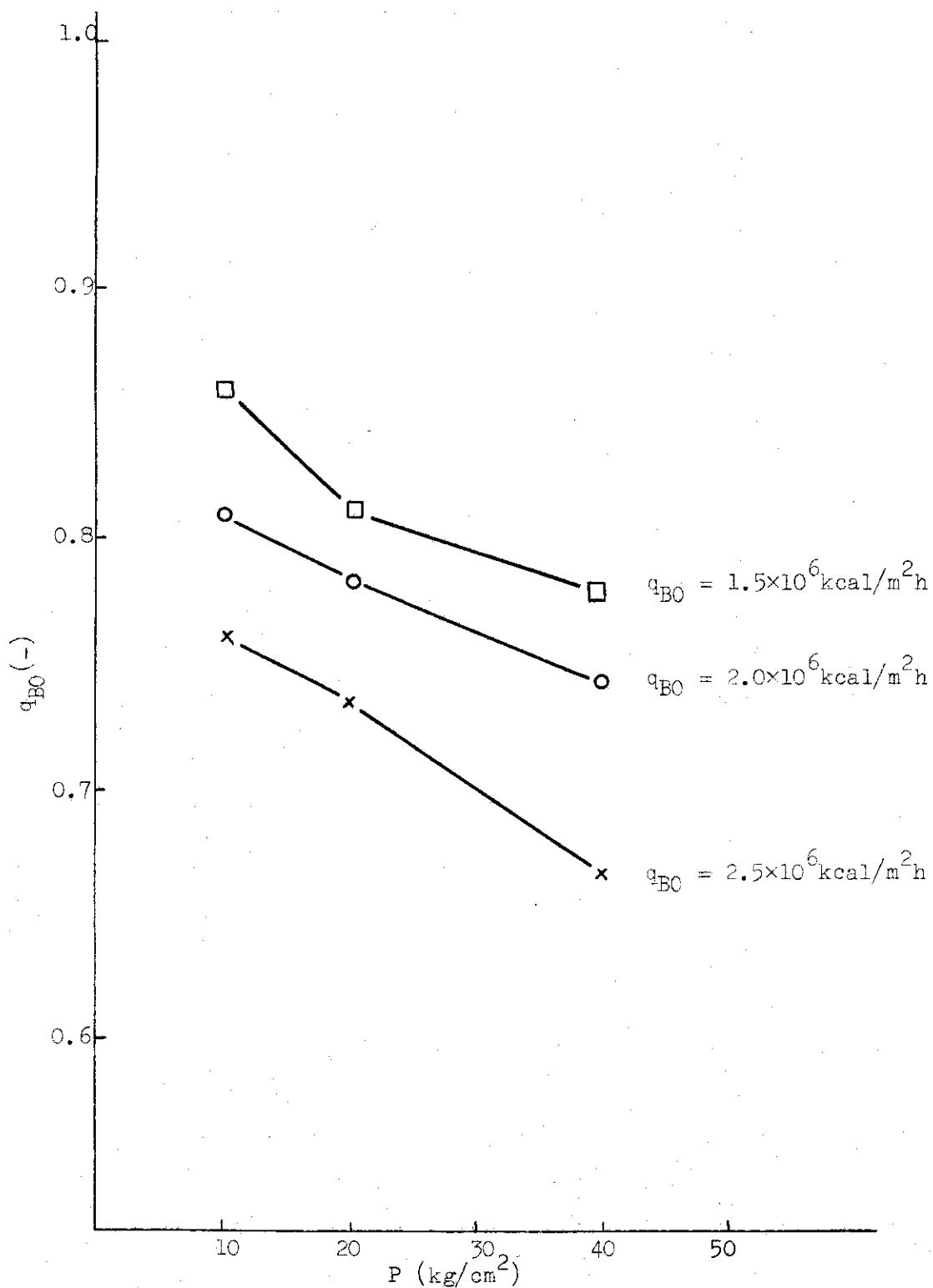


Fig.11 Void fraction in burnout conditions vs. pressure

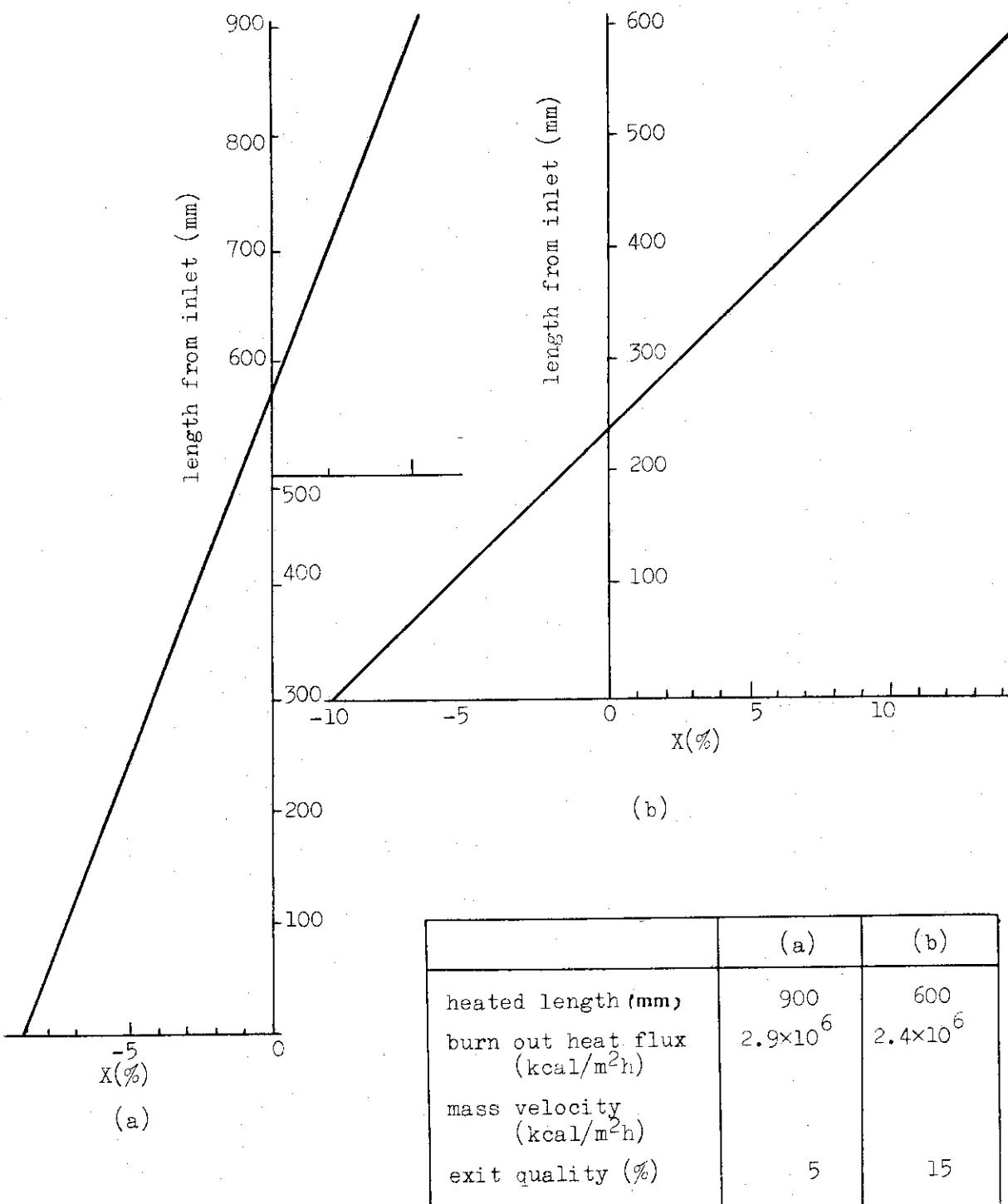


Fig.12 Length from inlet vs. quality at burnout conditions