PNC-TN941 83-06

高速実験炉「常陽」特殊試験結果報告書

炉心内流量分布測定試験（２）

１９８３年２月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については，下記にお問い合わせください。
〒311-13　茨城県東茨城郡大洗町成田町4002
動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター　システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団（Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation）

PNC-TN941 83-06

１９８３年　２　月

高速実験炉「常陽」特殊試験結果報告書

炉心内流量分布測定試験（２）

村松寿晴*，田村誠司*
庄野　彰*，綱島幹泰**
池上哲雄*

要　　旨

高速実験炉「常陽」は，５０MW出力上昇試験（１９７８年）を炉心燃料本数７０体で開始して以来，サイクル運転の燃焼による反応度減少を炉心燃料本数の増加という手段で補なってきており，７５MW最終定格運転サイクル時点（１９８１年）で７９体炉心体系まで拡大された。そこで炉心体系拡大による炉心内流量配分変化を確認するために，低出力試験時（１９７７年６月，７０体炉心構成時）の測定と同一の手法（永久磁石式流量計を集合体ハンドリングヘッドに密着させて測定）で合計８９体の集合体流量の測定を実施した。

得られた結果を以下に示す。

(1) 高流量分布測定結果として，低出力試験時の結果と比べ炉心領域で平均6.3％の減少，内側ブランケット２領域で平均4.0％の増加，外側ブランケット全体で平均2.5％減少した。

(2) 低流量分布測定結果として，予測値と比べ各流量差は大きく，全て低目に測定された。

(3) 試験期間中において，流量計をNa中に浸漬してから約１１５時間で出力電圧が約3.0％増加した。

＊　高速実験炉部技術課

＊＊　現，日立製作所

PNC-TN941 83-06
Feb., 1983

"JOYO" Special test report.

Measurements of flow distribution in the core (2)

Toshiharu Muramatsu,* Seiji Tamura,*
Akira Shono,* Mikiyasu Tsunashima,**
and Tetsuo Ikegami*

Abstract

Flowrate seasurement of subassemblies of the reactor core was conducted under zero power and 250°C conditions for the final core configuration of MK-I operation (79 fuel core S/A). The purpose of the mesurement is to comfime the change of flow distribution in reactor core due to core volume enlargement.

As consequences,

(1) Flowlate measurement of Subassemblies under the high flowrate condition of the main loops brought up followings:
   i) Flowrates for core fuel assemblies decreased about 6.3% than the 70 fuel S/A core measurement.
   ii) Flowrates of inner blanket fuel assemblies increased about 4.0% than the 70 fuel S/A core.
   iii) Flowrates of all outer blanket fuel assemblies decreased about 2.5% than the 70 fuel S/A core.
(2) All subassemblies flowrate under the low flowrate condition of the main loops was measured lower than the estimated values.
(3) The flowrate indication at the center channed increased about 3.0% after 115 hours after steeped in sodium. This change was compasated to evaluate the subassembly flowrate as flowmeter drift.

---

* Reactor technology section, Experimental fast reactor div., OEC.
** at present, Hitachi Co., Ltd.

目　　次

第1章　緒　　言……1
第2章　試験目的……2
第3章　系統設備の概要……3
3.1　原子炉本体……3
3.2　流量調節機構……3
3.3　炉内冷却材流路……5
第4章　試験概要……6
4.1　調整棒流動効果……6
4.2　流量分布測定……6
4.3　流速分布測定……6
第5章　試験方法……8
5.1　試験条件……8
5.2　調整棒流動効果……8
5.3　流量分布測定……8
5.4　流速分布測定……9
5.5　実流量への換算方法……9
5.6　流量計炉外校正試験結果……10
第6章　試験結果……11
6.1　調整棒流動結果……11
6.2　流量分布測定……11
6.3　流速分布測定……12
6.4　系統誤差評価……12
第7章　検　　討……15
7.1　炉心体系拡大効果……15
7.2　集合体流量の燃焼度およびNa中浸漬時間依存性……16
第8章　結　　言……17
謝　　辞……18
参考文献……19

List of tables.

Table 3.1 Flow adjusting orifice specification for core fuel S/A. ····· 20
Table 3.2 Orifice scale of blanket fuel flow adjusting area. ····· 21
Table 6.1 Results of regulating rods flowing up check. ····· 22
Table 6.2 Results of reproducibility test for turn angle phenomenon of flowmeter pole. ····· 23
Table 6.3 Results of reproducibility test for position difference phenomenon between center of subassembly and center of flow meter pole. ····· 23
Table 6.4 Results of flow distribution measurement (100 %) ····· 24
Table 6.5 Results of flow distribution measurement (20 %) ····· 27
Table 6.6 Errors list about flow distribution measurement. ····· 29
Table 7.1 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon. (Each flow rate was Calculated by "JOYFL" code on the basis design pressure loss ratio) ····· 30
Table 7.2 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon. (Each flow rate was calculated by "JOYFL" code on the basis of calibrated pressure loss ratio by measured value) ····· 31
Table 7.3 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon. (Each flow rate is measured value) ····· 32

List of figures.

Fig.3.1 Coolant flow path in the reactor vessel. ····· 33

Fig.3.2 Configuration of "JOYO" core. ····· 34

Fig.3.3 Core structures of "JOYO". ····· 35

Fig.3.4 Verecial cross section of core fuel flow adjusting area. ····· 36

Fig.3.5 Blanket fuel flow adjusting area. ····· 37

Fig.3.6 Refrector without slit flow adjusting area. ····· 37

Fig.3.7 Nueron source flow adjusting area. ····· 37

Fig.3.8 Regulating rod flow adjusting area. ····· 38

Fig.3.9 Safety rod adjusting area. ····· 38

Fig.3.10 Refrector with slit flow adjusting area. ····· 38

Fig.3.11 In-eore storage rack flow adjusting area. ····· 39

Fig.3.12 Coolant flow distribution in the reactor vessel. ····· 40

Fig.5.1 Cross section of S/A handling head and parmanent type flow meter (Coupled position). ····· 41

Fig.5.2 Block diagram of flow measuring system. ····· 42

Fig.5.3 Relative location of eddy current type flow meter and T/C against subassembly. ····· 43

Fig.5.4 Laterial location of T/C's and flow meter's ····· 44

Fig.6.1 Neutron counts vs. rod stroke of RR-1 ····· 47

Fig.6.2 Neutron counts vs. rod stroke of RR-2 ····· 48

Fig.6.3 Change of S/A (000) flow rate. ····· 49

Fig.6.4 S/A (000) outlet flowrate vs. main flow. ····· 50

Fig.6.5 Flow signal (#1) vs. main flow rate. ····· 51

Fig.6.6 Flow signal (#2) vs. main flow rate. ····· 52

Fig.6.7 Flow signal (#4) vs. main flow rate. ····· 53

Fig.6.8 The phenomenon of peripheral flow about measurement subassembly flowrate. ····· 54

Fig.6.12 Absolute calibration of "JOYO" FM-A ·····

Fig.6.13 Temperature dependeney of sensitivity of "JOYO" FM-A ·····

Fig.7.1 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon. ····· 55

Fig.7.2 Change of coolant flow and power disteribution in reactor core by core volume enlargement phenomenon. ····· 56
Fig.7.6 Burn up dependency of S/A flowrate. ····· 60
Fig.7.7 Time dependency of S/A flowrate. ····· 61
Fig.7.8 Time dependency of S/A flowrate (Absolute value). ····· 62

第 1 章　緒　　言

高速実験炉「常陽」では，５０MW出力上昇試験（１９７８年）を炉心燃料集合体本数７０体で開始して以来，サイクル運転による反応度減少を炉心燃料集合体本数の増加という手段で補ってきており，７５MW最終定格運転サイクル時点（１９８１年）で７９体炉心体系まで拡大された。ところで〝常陽〟は，１次系統流量一定（炉容器流入流量６０３.２kg / sec）という制御方式を採用しているため，炉心構成要素の変化（ブランケット燃料の炉心燃料への置換）が起これば炉心内流量配分にも変化が現われる。そこで炉心体系が拡大しても炉心内が正常に冷却されるだけの流量が確保されていることを確認するために，７９体炉心構成時（１９８１年１０月）に低出力試験時（１９７７年６月，７０体炉心構成時）の測定[(1)]と同一の手法で測定を実施した。測定の実施に使用した永久磁石式流量計は，事前に旧ナトリウム技開室ループで実流校正が実施されている。

本報告書は，７９体炉心体系における炉心内流量分布測定結果と炉心拡大に伴なう流量分布変化についての検討結果を報告するものである。

第 2 章　試 験 目 的

(1) MK－I炉心拡大に伴なう炉心内流量分布の変化を測定し，炉心設計評価を実施する。

(2) 燃焼度の異なる同列集合体の流量を選択して測定し，集合体流量の燃焼度依存特性を検討する。

第3章　系統設備の概要

3.1　原子炉本体

原子炉本体はFig. 3.1に示す様に原子炉容器およびその内部に配置した燃料集合体，反射体，炉心構造物，炉心上部機構ならびに原子炉容器上部に配置した回転プラグなどにより構成される。炉心部は，Fig. 3.2に示すように配置した79本の炉心燃料集合体とその周囲を取り囲む半径方向ブランケット燃料集合体および反射体によって構成され，全体としてほぼ円柱形をなす。Fig. 3.3に炉心構造物の断面を示す。原子炉容器下部プレナムに流入した冷却材は上部プレナムへ流れるものと，炉心支持構造物のまわりに設けられている多数の整流ポートを通じて高圧プレナムに流入するものとに分岐する。前者には炉内貯蔵ラック部，補助冷却系および炉容器側壁バルクへの漏洩などが含まれる。高圧プレナムに流入した冷却材は2分岐し，一方は高圧プレナム内の炉心支持板連結管の側壁オリフィス孔を通じて炉心燃料集合体および調整棒に流入する。もう一方は，高圧プレナムより低圧プレナムに，スリット付反射体のエントランスノズル先端部に設けられたスリットおよび各炉心構成要素エントランスノズルの連結管下部候合部を通じて流入し，ブランケット燃料集合体，安全棒，反射体および中性子源等の炉心構成要素に流入する。高圧プレナムから上部プレナムへの漏洩が，炉心構成要素の球面座およびガス抜孔を通じて少量流れる。炉心構成要素から流出した冷却材は炉心上部機構の整流格子により混合を促進されながら，上部プレナムの出口配管に至る。上部プレナムからは，オーバーフロー系への流出と等量の戻入がある。

3.2　流量調節機構

(1)　炉心燃料集合体

「常陽」の全ての炉心構成要素は炉心支持板連結管に自立する構造であり，集合体上部での固定機構はない。炉心燃料集合体は必要とする冷却材流量が多く，流体圧による浮上りを防止するため，高圧プレナムからの冷却材流入を連結管側壁に設けるオリフィス孔により導く水力保持（ハイドロリックホールドダウン）の方式を採用している。

炉心燃料集合体の流量調節機構は，連結管のオリフィス孔と集合体エントランスノズルのオリフィス孔との組合せにより，各オリフィス領域での流量配分を満すようにオリフィス寸法，形状を定め，次の方針によって行われた。

i）流量調節部における圧損をできるだけ小さくする。

ii）炉心燃料集合体側のオリフィスは全て同一とし，連結管側のオリフィスを各領域毎に変えることにより流量調節を行う。

iii）流量配分は集合体出口温度をできるだけ均一にするように行う。

iv）将来，炉心体系が変り，流量配分計画が変更された場合でもその変更を容易にさせる。

これらの方針にもとづき決定したオリフィス形状・寸法をFig. 3.4，Table 3.1に示す。

(2) ブランケット燃料集合体

ブランケット燃料集合体は発熱量が小さく，必要流量も少ないので，低圧プレナムより冷却材を流入させる。オリフィス領域数は各列の燃焼に伴う発熱量の変化をも考慮し，3つに領域分けしている。流量調節部はピンバンドル部の圧力が小さいことから，薄刃型オリフィスを用いており，その寸法諸元はTable3.2に示す通りである。なお，エントランスノズルの先端には，異物による流路閉塞を防止するため，切込みをつけている。ブランケット燃料集合体の流量調整機構をFig. 3.5 図に示す。

(3) 反 射 体

反射体は発熱量が小さく，必要流量はきわめて少ない。冷却材は低圧プレナムより流入し，口径6㎜，厚さ1㎜，拡流部角度90°のオリフィスにより流量を調節させている。Fig. 3.6にその概略を示す。

(4) 中 性 子 源

中性子源は低圧プレナムから冷却材を流入させる。しかし，必要流量に対する発熱体部の圧損およびガンマ線源支持部での圧損評価の結果からオリフィスはつけていない。Fig. 3.7 にその概略を示す。

(5) 制 御 棒

制御棒は，調整棒（2本）と安全棒（4本）とから構成される。

調整棒の冷却材は高圧プレナムから取り，流量調節はFig. 3.8に示すように，下部案内管エントランスノズル側壁のオリフィス孔と，該当連結管のオリフィス孔によって行う。連結管側オリフィスは同列の炉心燃料集合体に対するものと同じ諸元である。下部案内管側のオリフィス孔は6㎜ø×6のものが4段設けられ，その第1段目のみが連結管オリフィス孔と面している。

安全棒については低圧プレナムから冷却材を流入し，流量調節は，Fig. 3.9 に示すように，下部案内管エントランスノズル先端に設けられたフローホール（16㎜ø×4）により行う。

(6) スリット付反射体

高圧プレナムと低圧プレナム間の流量調節は，Fig. 3.10 に示すように，反射体エントランスノズルの先端に6㎜øのスリットを6ヶ切込んだスリット付反射体の本数を調節することにより行う。反射体が装荷される連結管には低圧プレナムへの流路として10㎜ø×6のオリフィス孔が炉心支持板下面より約175㎜の位置に設けられている。減圧は連結管のオリフィスとスリット部の組合せにより行うが，それぞれの圧力損失の大きさはほぼ等しい。尚，メンテナンス時の自然循環流路を確保するため，連結管に炉心第1オリフィス領域と同じオリフィス孔が設けられているものが6ヶ所あり（10A6～10F6），この位置へのスリット付反射体装荷は行わない。

(7) 炉内貯蔵ラック

炉内貯蔵ラックに装荷される燃料ポットへの冷却材は下部プレナスより流入させる。ポットには2種類あり，脚部に10㎜øのフローホールをもつ穴あきポットと，フローホールのない穴なし

ポットがある。前者は使用済燃料の炉内冷却用に，後者は炉心構成要素の出入れに使用される。ポットへの流路を構成するラック部の減圧機構の概略をFig. 3.1に示す。この減圧機構は全てのラック（３０ケ）に同じであり，ラックポットの圧力損失の大部分を占めるので，ポットの装荷および穴あきポットへの燃料集合体の装荷による流量変化は殆どない。

(8) 補助冷却系

原子炉の通常運転時の補助冷却系は，下部プレナムから冷却材が流入し，上部プレナムへ還流する。この時の流量は下部プレナム圧によって定まるが，流量を制限するため，補助１次系の逆止弁との並行回路に薄刃オリフィスを２段設けている。

3.3 炉内冷却材流路

炉内冷却材流路をブロック形式にまとめたものがFig. 3.12である。

第 4 章　試験概要

4.1　調整棒流動効果

炉心内流量分布測定時においては，制御棒と制御棒駆動機構は切り離されており，しかも回転プラグは回転している。この時，もし制御棒の浮き上りが起るとCRDの損傷が発生する。そこで，主1次冷却材流量を変えて制御棒の浮き上りが起るか否か，もし浮き上るとすれば何%流量で浮き上るかを流量分布試験に先立って調べた。対象は高圧プレナスから冷却材を取り入れており流量の多い調整棒のみとし，低圧プレナムから冷却材を取り入れている安全棒は対象外とした。

4.2　流量分布測定

(1)　再現性確認試験

測定値の再現性を調べるため，回転プラグの回転停止位置，ハンドリングヘッドへの流量検出ポールの挿入状態等を変化させて測定した。ここでいう再現性とは，次の3点である。

i）本試験においては，流量計を回転プラグ上より約6 m下の燃料集合体ハンドリングヘッドに挿入するため，回転プラグの停止精度及びハンドリングヘッドへの流量検出ポールの挿入状態により測定値が変る可能性がある。

ii）流量検出ポールは，燃料交換機孔のホールドダウン軸内に据付けられている。流量計を通った冷却材は，流量検出ポールの横穴を通り，更にホールドダウン軸の横穴を通って上部プレナムに到る。従って，流量検出ポールの回転角度がずれ，流量検出ポールの横穴とホールドダウン軸の横穴に角度上のずれが生ずると測定値が変る可能性がある。

iii）経時変化により，測定値が変化する可能性がある。このため，測定期間中は，毎日測定の開始前，終了後に同一測定点について測定を行った。

(2)　高流量分布測定

定格運転時の流量分布を知るために行ったが，制御棒浮き上りの観点からできるだけ低流量が望ましいため，約90%で測定を行い，100%流量を外挿により求めた。

(3)　低流量分布測定

燃料交換モード時流量（約20%）における流量分布を測定する。

(4)　流量計直線性確認

中心燃料頂部に流量検出ポールを挿入した状態で1次系統流量を0%から100%流量まで10%ステップで変化させ，各安定状態において各流量の測定を行う。このデータより，1次系統流量と中心集合体流量の関係を求める。

4.3　流速分布測定

中心孔内に設置されている渦電流式温度・流速計を中心燃料上部に位置させ（回転プラグ基準位

態），1次系統流量を0%から100%まで10%ステップで変化させ，各安定状態において各流量の測定を行う。このデータより，ジャッキアップされた状態での1次系統流量に対する流速信号の直線性を確認する。

第 5 章　試 験 方 法

5.1　試験条件

1次系統温度	約250℃
1次系統流量	20%及び90%（セルビウス制御系"手動"）
原子炉停止	制御棒6本全挿入
炉心燃料本数	79体
スリット付反射体本数	12体

回転プラグジャッキアップ状態（通常位置より40㎜アップ）

（制御棒と制御棒駆動機構切り離し状態）

5.2　調整棒流動効果

まず，調整棒1（RR1）を100㎜とし，調整棒2（RR2）で臨界（起動系chで1×10^4cps）とする。次に，RR1を20㎜間隔で挿入しながら各点において中性子計数率を測定する。本カーブにより，制御棒位置と中性子計数率との関係が得られる。次にRR1をデラッチとし，制御棒駆動機構を100㎜位置で固定する。これはもし調整棒が浮き上ったとしてもグリッパで止まり臨界とならないためである。この状態で1次系統流量を100%から105%（～1350㎥/h）まで増加させ，調整棒の浮き上りを確認する。仮に中性子計数率に増加が見られた場合は，制御棒駆動機構を除々に挿入して中性子計数率が下がることを確認する。

次に，RR1とRR2を入れ換えて同様の確認を行う。

5.3　流量分布測定

炉心内流量分布測定装置は，駆動装置と流量検出ポールより成り，流量検出ポール先端には永久磁石式小型流量計が組み込まれている。炉心内流量分布は，流量検出ポールを燃料交換機孔を通して炉内へ挿入し，流量計を燃料集合体のハンドリングヘッド頂部に密着させることによって測定を行う（Fig.5.1）。測定する燃料集合体の位置決めは，通常の燃料交換の場合と同様に大・小回転プラグを回転させることにより行う。測定においては，流量計から出力される流量信号（mV）を約50倍に増幅し，また熱電対温度信号は補償導線を通して，中制流速計監視装置に入力する。本流速計監視装置の概略ブロック図をFig.5.2に示す。このシステムにおいて，流量信号（mV）および1次系統流量信号に関しては，1秒周期でサンプリングし，100回の平均値をデータとして採用する。また，熱電対温度信号に関しては，上記平均計算を開始する前後の2点平均値をデータとして採用する。本システムとは別に，回転プラグ上で流量信号（mV）をデジタル・ボルトメータにより直読計測する方法も合わせて実施する。

(1) 再現性確認試験

本測定の再現性の精度を求めるために，次の3方法で測定を行った。

(イ) 回転プラグの回転停止精度及びハンドリングヘッドへの流量検出ボールの挿入状態の影響を確認するため，まず正規位置で測定し，次にその位置から回転プラグをわずかに回転させ，0°方向，90°方向，180°方向にそれぞれ1.5 mm移動させ，再び測定する。

(ロ) 流量検出ボールの回転角度のずれによる影響を確認するため，中心燃料集合体（000）位置で流量検出ボールを0°，90°，180°，270°方向に回転させ測定を行う。

(ハ) 測定値の経時変化を確認するため，測定期間中毎日の測定の開始前，終了後に中心燃料集合体（000）の流量を測定する。

(2) 高流量分布，低流量分布測定

測定点は，高流量分布については各列最低6点を前提とし，合計76点である。低流量分布については合計13点である。

測定は，流速計監視装置を使用する。

(3) 流量計直線性確認

1次系統流量を0％から100％へ流量上昇させるときに，中心燃料集合体に流量検出ボールを挿入した状態で10％上昇毎に測定を続行する。これにより1次系統流量と中心燃料集合体流量の関係を求める。測定は，流速計監視装置を使用する。

5.4 流速分布測定

渦電流式温度・流速計を中心燃料上部に位置させ（Fig. 5.3, Fig. 5.4），1次系統流量を0％から100％へ流量上昇させるときに10％毎に測定を実施する。各状態において3回測定を行い，1次系統流量と中心燃料集合体流速の関係を求める。測定は，流速計監視装置を使用する。

5.5 実流量への換算方法

実測した流量計出力（mV）から集合体内を流れる実流量に換算するために各種の補正が必要である。この補正は大きく次の3種類に分類できる。

(1) 流量計出力（mV）から流量（ℓ/min）への換算

(2) 流量検出ボールの圧損及び漏洩流量の補正

(3) 温度及び1次系統流量の補正

(1)に関しては，旧ナトリウム技開室で本永久磁石式流量計の校正試験が実施されており，詳細は5.6節に述べる。

(2)に関しては，低出力試験時に水ループを用いてモックアップ実験がなされており，詳細は文献(1)に詳細が述べられているので本紙では省略する。

(3)に関しては，(2)の補正後に求めた流量を温度250℃，1次系統流量100％時の値への換算で

あり，温度に関しては物性値の温度特性で補正し，１次系統流量に関してはリニアで補正した。

5.6　流量計炉外校正試験結果

本流量分布測定試験に用いられた永久磁石式流量計は，装置組込み前に旧ナトリウム技開室のNaループにおいて実流校正試験が実施された。試験方法は自然落下法であり，Fig.5.5，Fig.5.6に示す結果が得られた。基準流量指示と流量計出力信号との直線性は，０～６００ℓ/minの範囲で約±0.3％フルスケール以内であり良好である。２５０℃状態における流量対流量計出力電圧の関係式として

$$E(mV) = 2.87 \times 10^{-2} \times Q + 3.71 \times 10^{-2}$$

ここで　Q：Na流量（ℓ/min）

が得られている。

また，流量検出感度の温度依存式として

$$\varepsilon(\mu V / \ell / min) = 3.02 \times 10^{-5} \times T^2 + 8.53 \times 10^{-3} \times T + 28.46$$

ここで　T：Na温度（℃）

が得られている。

第 6 章　試 験 結 果

6.1　調整棒流動効果

Table 6.1, Fig. 6.1, Fig. 6.2にラッチ状態及びデラッチ状態での制御棒駆動機構が１００mm（（ＲＲ２については６０mm）位置での制御棒位置と中性子計数率の関係及び１次系統流量変化時の計数率の測定結果を示す。

ＲＲ１及びＲＲ２とも１次系統流量１０３％では，中性子計数率の変化は認められず制御棒の浮き上りはないと思われる。また，駆動機構位置の影響を確認するため，駆動機構を１００mm位置から順次挿入を行ったが，計数率の変化は認められなかった。

6.2　流量分布測定

(1)　再現性確認試験

Table 6.2，Table 6.3に流量検出ボール回転角度ズレ効果及び回転プラグの偏位効果の結果を示す。また，Fig. 6. 3に経時変化の結果を示す。

流量検出ボール回転角度ズレ効果に関しては，±１％以内，偏位効果に関しては，±0.8％以内であり，きわめて良好な結果であった。一方，経時変化については，時間とともに流量計指示値が増加する結果となり，Na中浸漬後約１１５時間で約３％増加した。この増加に関して詳細な原因は不明である。

(2)　高流量分布

Table 6.4（1/3～3/3）に１次系統流量100％（１０８５.６ｔ/ｈ），２５０℃に規格化した集合体毎の流量を示す。

本結果より以下のことがわかる。

1)　低出力試験時（７０体炉心）の測定に比べ，炉心集合体で平均6.3％の減少，内側ブランケット集合体で平均４％の増加，外側ブランケット集合体で平均2.5％減少している。

2)　６Ｘ５番地の集合体流量の変化は，他の内側２列ブランケットのものに比べて大きい。

Table 中のQeは，低出力試験時（７０体炉心）の実測データより校正した圧損係数を用い，７９体炉心体系での流量配分を炉内流量配分解析コード〝JOYFL〟により予測したものである。この予測値に比べ，炉心領域では±２％以内で一致，内側ブランケット２領域で±３％（６Ｘ５番地は，流量調整機構が他のものと違うため比較の対象としていない。機構の違いについては，参考文献(1)で述べられている。），外側ブランケットで－4.5％以内で一致している。

(3)　低流量分布

Table 6.5（1/2～2/2）に１次系統流量２０％，２５０℃での測定結果を示す。

この結果から判る通り，高流量分布時の試験結果よりも，各偏差は大きな値となっている。20％流量時の測定値は，絶対値も小さく測定点も少ないため精度も悪くなると思われるが，〝JOYFL〟

コードによる予測値と比較して全て低めの値を示していることから実際の現象である可能性があり検討中である。

(4) 流量計直線性

Fig.6.4に中心燃料集合体流量と1次系統流量の関係を示す。本結果から1次系統流量と中心燃料集合体流量との直線性は良好であり高流量から低流量までの流量分布はほとんど変わらない。

6.3 流速分布測定

Fig.6.5～Fig.6.7に中心燃料集合体出口部流速と1次系統流量の関係を示す（但し，#3流速計については，信号線結線不良により，データが得られていない）。各流速計信号の直線性は良好であり，回転プラグジャッキダウン時の流速分布と比べ流速分布の変化は見られない。

6.4 誤差評価

流量分布測定試験で測定された流量値には，以下の誤差が考えられる。

1) 流量計校正誤差

流量計の絶対流量に対する精度で1次式に最小2乗フィッティングしたフィッティングエラーも含めて校正試験結果より

……±0.3％

2) 測定上の誤差

① ディジタル電圧計の精度（カタログ仕様より）

……±0.01％

② 再現性

○流量検出ポールのハンドリングヘッドへの挿入状態の差異（回転プラグの停止位置精度も含む），検出ポールNa出口穴の向き等によるもの（厳密にはオリフィス領域毎に異なるが，ここでは一律とする）で再現性試験より

……±0.2％

○経時変化補正として最大1.8％の補正を加えたが，この補正の過程で生じた誤差によるものであり，この値は以下のように算出した。

（高流量分布測定第1日目 ＋0.5％
〃 2日目 ＋1.8％）

の補正を加えており，この補正値に

（高流量分布測定第1日目 ±0.25％
〃 2日目 ±0.90％）

のエラーが含まれているとすると

$$\sqrt{\frac{0.25^2 \times 37 + 0.90^2 \times 35}{72}} = 0.65\%$$

ここで　37：流量分布測定第1回目測定点数

35：　〃　　2　〃

72：　〃　　点数合計

○温度補正誤差

……小さいため無視

○周辺流量の影響

これは，被測定集合体の周辺6体の流れが測定値に及ぼす影響である。流量検出ポールは燃料交換機孔のホールドダウン軸内に据え付けられており，ホールドダウン軸内には被測定集合体の周辺6体の集合体から出た冷却材の1部が流れ込む。このホールドダウン軸内に流れ込んだ流れにより，ホールドダウン軸内及び流量検出ポール内の圧力は高くなるので，流量計出力は実際の値より小さくなる。従って，測定値に対してはこの補正を加えた。この補正においては，周辺流量として周辺6体の流量の1/2が一律ホールドダウン軸内に流れ込むとした。そして，この周辺流量の影響の補正に対する誤差を以下の方法により求めた。この効果は上記の説明でも予想される通り，オリフィス領域により異なり又同一オリフィス領域でも，周辺6体の合体が何であるかにより異なる。しかし，ここでは同一オリフィス領域内での変動は炉心5列を除いて無視した。

(i)　炉心0～4列

炉心部のように集合体流量の大きいところでは，ホールドダウン軸内へ周辺6体の流れは，ほとんど入り込めないものと思われる。そこでFig.6.8（この図は周辺流量が測定流量に及ぼす影響を周辺流量を変えてパラメータサーベイしたものである。この図で矢印で示した点が今回の補正に使用した点である。）において，今回の補正に使用した点は周辺流量（Q_3）としては最大の点で周辺流量が零であることも考えられる。そこで今回の補正に使用した点と，周辺流量が零の点の差をもって誤差とした。

(ii)　炉心5列

隣接集合体にブランケット集合体があるため

周辺流量の最大値 …… 周辺6体がすべて炉心燃料（しかもそのうち2体は炉心4列とする）。Fig.6.11で$Q_3/Q_1 = 3.18$となる。

周辺流量の最小値 …… 周辺流量＝0とする

(iii) 内側ブランケット1列

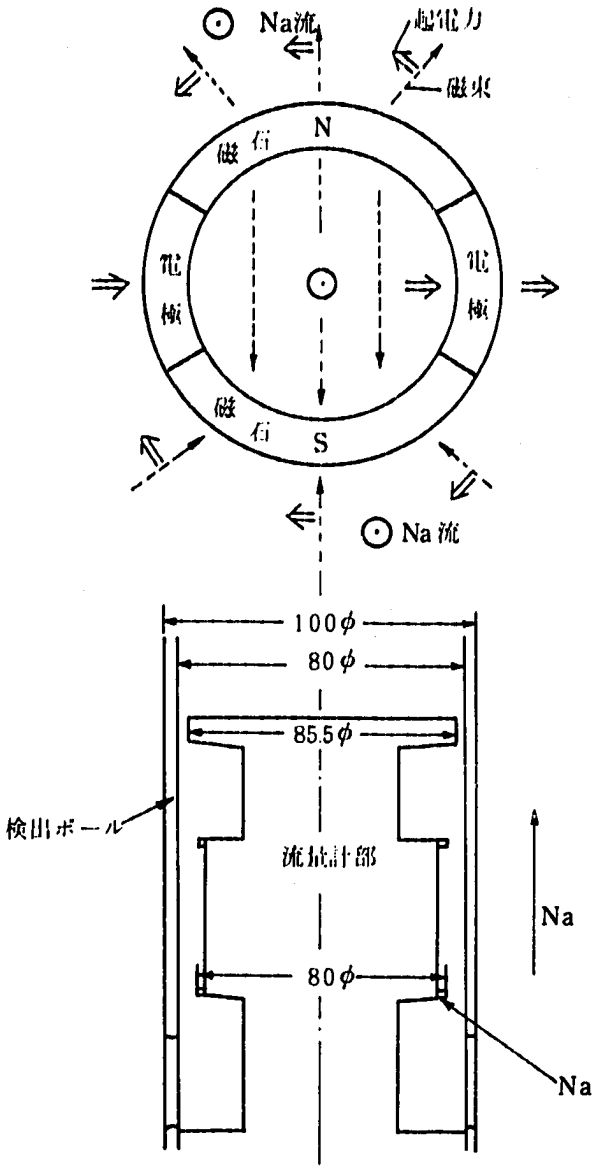
系統誤差の要因として明確なものがないため系統誤差＝0とし，今回の補正に使用した点と考え得る最大の周辺流量の点の差をもって統計誤差とした。

(iv) 内側ブランケット2列及び外側ブランケット

周辺流量に2倍の誤差があるとして，統計誤差とした。

8) 圧損増と漏洩流の補正時の誤差

流量検出ボールをハンドリングヘッドに挿入することにより生ずる圧損増と，漏洩流を水ループでのモックアップ試験結果をもとに補正して実流量を求める過程で生ずる誤差に関するものである。



これはモックアップ試験の実験誤差（±5％）と補正量（例えば炉心0列では14.2％を乗じたものをもってこの誤差とする。

例　炉心0列

$0.142 \times 0.05 = 0.71$（％）

以上より誤差をまとめるとTable 6.6のようになる。

（注）

ここでの評価誤差には，次のものが故意に無視されている。それは，その効果を計算で補正することはほとんど不可能でNaループでのモックアップ実験を行う以外にないからである。その効果とは永久磁石式流量計の漏洩磁場の影響である。

すなわち，永久磁石の外側に磁場の漏れがあり且つ永久磁石式流量計の外側にNa（流量計の内部と同じ向きに流れているとする）があるとすると，左図により外部に電界が生ずるのは確かである。またその電界が，内側流れによる電界を弱める方向であることも確かである。

検出ボールの流量計部は左図の通りである。

第7章　検　討

7.1　炉心体系拡大結果

炉心体系拡大による炉心内流量配分変化の現象は，流体力学的に以下のように解釈すべきである。すなわち，炉心燃料集合体の本数が増えると炉心燃料領域全体の流量は増え，逆にブランケット燃料領域全体の流量は減る。そして，高圧プレナム圧は減少し，低圧プレナム圧も減少する。従って高圧プレナムより冷却材を流入している炉心燃料集合体1体当りの流量は減り，低圧プレナムより冷却材を流入しているブランケット燃料集合体1体当りの流量は増える。この効果は，Table 7.1～Table 7.3に示す"JOYFL"コードによる予測計算結果においても，また，実測された結果においても明確に現われている。ここで，Table 7.1は，炉心内流量配分設計において使用された各圧力損失係数を用いて"JOYFL"コードで計算した結果である。Table 7.2は，性能試験時（低出力試験，70体炉心体系時）に得られた実測値により設計圧力損失係数に補正*を加えた値を用いて"JOYFL"コードで計算した結果である。Table 7.3は，測定により得られた値をまとめたものである。また，各Table中の集合体流量領域毎の流量変化量を%表示でプロットしたものがFig. 7.1である。図中より判る通り，ブランケット領域で最大5%の相違はあるものの炉心部で実測値と予測値は測定誤差範囲内で一致している。また，炉心部流量とブランケット部流量との流量バランスとして，炉心部流量増加分はほぼブランケット部流量減少分で吸収されている。これは炉心体系拡大による炉心内流量配分変化が炉心部流量とブランケット部流量の変動分のみに寄与し，その他（制御棒，反射体，中性子源等）の流量への寄与分は無視し得る程度に小さいことを示唆している。ただし，これら1体当りに着目して評価を行えばその変動は無視し得ない。

Fig7.2に炉心体系拡大に伴なう炉心内流量分布と出力分布の変化割合を示す。図中に示した出力分布値は，簡易計算コード"SMART"[4]により計算されたものである。結果より判かる通り，炉心体系拡大に従い炉心内流量分布，出力分布とも炉心領域で減少傾向，ブランケット領域で増加傾向を示しており，かつ変化割合がほぼ同程度であることより，出力運転時において熱的に最も厳しい条件になると思われる被覆管温度は，ほぼ炉心体系の相違によらず制限条件内に保たれていたことが想定される。

以上述べてきた通り，炉心体系が拡大しても炉心内が正常に冷却されるだけの冷却材流量が集合体毎に確保されていたことが実証され，また「常陽」における炉心内流量配分計画が適切であったことが確認された。

参考として，炉心燃料本数の増加に伴なう系統圧損変化をFig. 7.3～Fig. 7.5に示す。

---

*：実測された流量に合致するように，下部leak流量を調整する方法

7.2 集合体流量の燃焼度およびNa中浸漬時間依存性

本流量分布測定試験においては，同列集合体中の燃焼度およびNa中浸漬時間の違う集合体を選択して測定し，集合体流量の各効果依存性を確認した。これらの結果をFig. 7.6，Fig. 7.7に示す。Fig. 7.6における横軸は，簡易計算コード"SMART"により算出された各集合体平均燃焼度であり，Fig. 7.7における横軸は，各集合体が炉内に装荷されてから今回測定を行った日までのNa中浸漬時間である。また，両図の縦軸は，各集合体流量の70体炉心体系時と79体炉心体系時の差（%）である。ただし，両測定の間に数体の集合体は燃料交換が行われているものがあり，必ずしも同集合体の流量差ではない。このため，流量差を算出する上で70体炉心体系時に測定された集合体流量は，この後燃料交換が実施されていても同炉心アドレス位置であれば集合体流量は変化しないと仮定している。各図中の実線は，70体炉心体系時に得られた集合体流量により設計圧力損失係数を補正し，これを使用して"JOYFL"コードにより集合体流量差を計算した結果である。この結果は炉心体系拡大による効果のみの値であり，当然その他の効果（燃焼度，Na中浸漬時間の依存特性等）は含まれていない。

図中各結果は，燃焼度またはNa中浸漬時間が増加するに従い集合体流量が減少する様子が現われている。また，新燃料を炉内に装荷した時，その集合体流量はその時の炉心体系で予想される集合体流量よりも多くの冷却材が流れていることも示唆している。

Fig. 7.7のデータのうち，79体炉心体系時測定データを絶対流量値でプロットしたものがFig. 7.8である。図よりわかる通り，Na中に浸漬していた時間の長い集合体ほど同例他の集合体流量と比べ小さくなっている。

現段階においてはこれらの依存性の定性的，定量的評価は不可能であるが変化させる要因は以下の点が考えられる。

1. 集合体燃焼度に依存する燃料ピンのBowing, Swelling等の塑性変形による集合体圧力損失特性の変化
2. 集合体Na中浸漬時間に依存する集合体ラッパ管，燃料被覆管の表面荒さ進行による進合体圧力損失特性の変化

1.の効果については，既に燃料材料試験部より集合体照射後試験結果として報告されているが，現段階では塑性変形量と集合体圧力損失特性の変化量との対応づけは困難である。

2.の効果については，Na技術部で実施された模擬燃料集合体Na流動試験結果として既に報告がなされているが，試験条件と実機条件とに違いがあるため対応づけができない。しかし，傾向は同じ（圧力損失の増加傾向）であり，燃料材料試験部においても被覆管の表面荒さ進行が確認されている。

今後，燃料材料試験部より報告されるであろう詳細な集合体照射後試験結果を用いて検討してゆく必要がある。

第8章　結　　言

79体炉心体系における炉心内流量分布測定結果を以下に列記する。

(1) 調整棒流動効果確認試験に関して，1次系統流量103％ではRR1，RR2とも浮き上りは認められなかった。

(2) 高流量分布測定結果として，低出力試験時（70体炉心体系時）の結果に比べ，炉心集合体で平均6.3％の減少，内側ブランケット集合体で平均40％の増加，外側ブランケット集合体で平均2.5％減少した。外側ブランケットにおける流量減少については現在検討中である。

(3) 低流量分布測定結果として，予測値と実測値の流量差が大きく，全て低目に測定されている。本件に関しては検討中である。

(4) 試験期間中において流量計をNa中に浸漬してから約115時間で出力電圧が約3.0％増加した。

(5) 1次系統流量と中心集合体流量との直線性は良好であり，±2.0％以内で直線近似可能である。

(6) 回転プラグ・ジャッキアップ状態における1次系統流量と中心集合体出口部流速信号との直線性は良好であり，またジャッキアップ時の流速分布はジャッキダウン時の流速分布とほぼ相似である。

謝　　辞

本試験実施にあたり，試験に使用する永久磁石式流量計の実流校正を多忙の中実施して頂いた旧ナトリウム技術開発室の中本香一郎副主任研究員（現・機器室室長代理），大山信美研究員に感謝の意を表します。

参　考　文　献

(1) 池上，三田他　"高速実験炉「常陽」性能試験報告書・炉心内流量分布（NT-51）
PNC資料　SN941 79-190

(2) 村松，田村他　"常陽"渦電流式温度・流速計の炉内特性試験 (II)
PNC資料　N941 82-176

(3) 今竹，高井他　"高速実験炉「常陽」燃料出口水流動試験"
PNC資料　SJ222 73-03

(4) "簡易計算コードSMART，プログラム設計書"
PNC資料　SJ201 75-01-(1), (2)

Table 3.1 Flow adjusting orifice specification for core fuel S/A.

Orifice Level	Flow Adj. Tube Orifice Diameter	S/A Nozzle Orifice Diameter	Position of Orifices (open holes) on Flow Adj. Tube					
			Center & First Row	Second Row	Third Row	Fourth Row	Fifth Row	Sixth Row
1	11.5 mm	7.0 mm	○					
2	10.0 mm	6.0 mm	○	○			○	
3	11.5 mm	7.0 mm	○	○				
4	10.0 mm	6.0 mm	○	○	○	○		
5	11.5 mm	7.0 mm	○		○			
6	10.0 mm	6.0 mm	○	○	○	○		○

Table 3.2 Orifice scale of blanket fuel flow adjusting area.

Region	A	B	C
Inner blanket 1	37.0	27.70	31.70
Inner blanket 2	37.0	22.19	26.20
Outer blanket	32.0	12.90	16.90

unit : mm

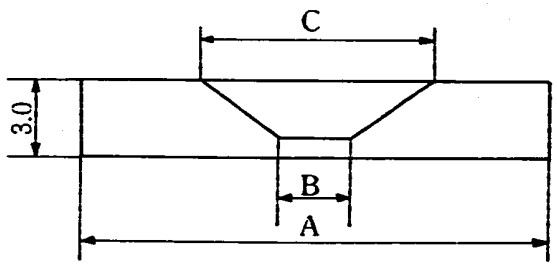


Table 6.1 Results of regulating rods flowing up check.

R. R. No.	Ratch / Deratch	CRDM Position (mm)	Primary main flow (%)	Temperature (℃)	Neutron count rate (Counts/10 sec)		Memo
					ch-1	ch-2	
RR-1	Ratch	100.0	100.0	246.8	108851	57440	Critical
		80.0	100.4	246.5	8414	4188	
		60.0	100.2	246.5	4762	2380	
		40.0	100.4	246.0	3716	1863	
		20.0	100.4	246.0	3319	1668	
		0.0	100.4	246.0	3149	1590	
	De-ratch	100.0	100.3	245.8	3198	1604	
		100.0	103.1	246.0	3255	1604	
RR-2	Ratch	60.0	100.4	245.5	16429	7144	Critical
		40.0	100.6	245.8	7756	3399	
		20.0	100.0	245.5	5998	2707	
		0.0	100.2	245.3	5498	2373	
	De-ratch	60.0	100.4	245.5	5384	2476	
		60.0	103.1	245.3	5426	2430	

Note 1) Neutron count rate value is uncompensated with sodium temperature and dead time of neutron detector

2) 100 % flowrate is 2520 m^3/h.

3) Neutron count rate value is average of three measurements

Table 6.2 Results of reproducibility test for turn angle phenomenon of flowmeter pole.

Items / Core address / Angle	Compensated flow rate Q_o (kg / sec)	$(Q_o / Q_{AV}^{-1}) \times 100$ (%)	Memo
(0 0 0) 0°	7.2 8	0.5 5	100% flow rate is 1085.6 m³ / h
90°	7.1 7	0.9 7	
180°	7.2 7	0.4 1	
270°	7.2 4	0.0 0	
Average Q_{AV}	7.2 4	——	

Table 6.3 Results of reproducibility test for position difference phenomenon between center of subassembly and center of flow meter pole.

Items / Core address / Direction	Compensated flow rate Q_o (kg / sec)	$(Q_o / Q_{AV}^{-1}) \times 100$ (%)	Memo
(0 0 0) Reference Position	7.2 8	−0.5 5	100% flow rate is 1085.6 m³ / h
0∞	7.2 7	−0.6 8	
90°	7.3 8	0.8 2	
180°	7.3 5	0.4 1	
Average Q_{AV}	7.3 2	——	
(4A1) Reference Position	5.9 2	−0.1 7	
0°	5.9 2	−0.1 7	
90°	5.9 4	0.1 7	
180°	5.9 5	0.3 4	
Q_{AV}	5.9 3	——	

Table. 6.4 (1/3) Results of Flow Distribution Measuremont (100%)

CORE 0, 1 Addres	Q(70→a)	Q(79→b)	b−a (kg/sec)	(b−a)/a(%)	Qe(kg/sec→c)	(b−c)/c(%)
000	7.80	7.28	-0.52	-6.7		+0.7
1A1	7.84	7.42	-0.42	-5.4		+2.6
1B1	7.74	7.28	-0.46	-5.9		+0.7
1C1	7.80	7.44	-0.36	-4.6		+2.9
1D1	7.80	7.32	-0.48	-6.2		+1.2
1E1	7.76	7.51	-0.25	-3.2		+3.9
1F1	7.62	7.27	-0.35	-4.6		+0.6
Cave	7.77	7.36	-0.41	-5.3	7.23	+1.8
CORE 2						
2A1	7.45	6.97	-0.48	-6.4		+0.6
2B1	7.43	7.09	-0.34	-4.6		+2.3
2C1	7.41	7.10	-0.31	-4.2		+2.5
2D1	7.42	6.88	-0.54	-7.3		-0.7
2E1	7.34	6.84	-0.50	-6.8		-1.3
2F1	7.41	6.97	-0.44	-5.9		+0.6
2A2	7.52	----	----	----		----
2B2	7.40	----	----	----		----
2C2	7.46	----	----	----		----
2D2	7.50	----	----	----		----
2E2	7.41	6.95	-0.46	-6.2		+0.3
2F2	7.48	7.04	-0.44	-5.9		+1.6
Qave	7.44	6.98	-0.46	-6.2	6.93	+0.7
CORE 3						
3A1	6.93	6.42	-0.51	-7.4		-0.6
3B1	6.86	6.35	-0.51	-7.4		-1.7
3C1	6.97	6.54	-0.43	-6.2		+1.2
3D1	6.91	6.46	-0.45	-6.5		0.0
3E1	6.89	6.47	-0.42	-6.1		+0.2
3F1	6.83	6.35	-0.48	-7.0		-1.7
3A2	6.96	6.50	-0.46	-6.6		+0.6
3B2	6.94	----	----	----		----
3C2	7.02	----	----	----		----
3D2	6.95	----	----	----		----
3E2	6.38	-6.57	-0.19	+3.0		+1.7
3F2	7.00	----	----	----		----
Qave	6.93	6.46	-0.47	-6.8	6.46	0.0
CORE 4						
4A1	6.31	5.91	-0.40	-6.3		0.0
4B1	6.29	5.91	-0.38	-6.0		0.0
4C1	6.30	5.95	-0.35	-5.6		+0.7
4D1	6.28	5.95	-0.33	-5.3		+0.7
4E1	6.36	6.05	-0.31	-4.9		+2.4
4F1	6.22	5.88	-0.34	-5.5		-0.5
4A2	6.30	----	----	----		----
4B2	----	6.08	----	----		+2.9
4F2	6.40	----	----	----		----
4A3	6.34	----	----	----		----
4F3	6.26	----	----	----		----
4A4	6.48	----	----	----		----
4F4	6.38	----	----	----		----
Qave	6.33	5.96	-0.37	-5.8	5.91	+0.8

Table.6.4 (2/3) Results of Flow Distribution Measurement (100%)

CORE 5 Addres	*1 Q(70→a)	*2 Q(79→b)	*3 b-a(kg/sec)	*4 (b-a)/a(%)	*5 Qe(kg/sec→c)	*6 (b-c)/c(%)
5A2	1.26	4.60	*****	****		+1.1
5B2	1.21	4.32	*****	****		-5.1
5E2	1.23	----	-----	----		----
5F2	1.23	4.60	*****	****		+1.1
5A3	4.84	4.51	-0.36	-6.8		-0.9
5D3	4.83	----	-----	----		----
5E3	4.91	----	-----	----		----
5F3	4.88	----	-----	----		----
5A4	4.91	4.56	-0.35	-7.1		+0.2
5B4	4.78	4.33	-0.35	-7.3		-4.8
5C4	4.77	4.53	-0.24	-5.0		-0.4
5D4	4.94	4.56	-0.38	-7.7		+0.2
5E4	4.93	4.53	-0.41	-8.3		-0.4
5F4	4.82	4.47	-0.35	-7.3		-1.8
5A5	1.24	----	-----	----		----
5D5	4.97	----	-----	----		----
5E5	1.22	----	-----	----		----
5F5	4.82	----	-----	----		----
Qave	4.87	4.50	-0.37	-7.6	4.55	-1.1
INNER BLANKET 1						
5A1	1.19	1.29	+0.10	+8.4		+3.2
5B1	1.21	1.25	+0.04	+3.3		0.0
5C1	1.25	1.30	+0.55	+4.0		+4.0
5D1	1.22	1.28	+0.06	+4.9		+2.4
5E1	1.22	1.30	+0.08	+6.6		+0.4
5F1	1.24	1.29	+0.05	+4.0		+3.2
Qave	1.22	1.29	+0.07	+5.7	1.25	+3.2
INNER BLANKET 2						
6A2	1.00	0.95	-0.05	-5.0		-2.6
6A3	1.01	----	-----	----		----
6C3	0.925	----	-----	----		----
6A4	0.948	----	-----	----		----
6C4	0.931	0.99	+0.06	+6.3		+1.5
6D4	0.940	0.97	+0.03	+3.2		-0.5
6E4	0.954	0.97	+0.02	+1.7		-0.5
6F4	0.940	0.96	+0.02	+2.1		-1.5
6F6	0.947	----	-----	----		----
Qave	0.955	0.97	+0.01	+1.4	0.975	-0.5
6A5	0.860	0.92	+0.06	+7.0		-5.6
6B5	0.827	0.94	+0.11	+13.7		-3.6
6C5	0.933	0.93	-0.003	-0.3		-4.6
6D5	0.897	0.90	+0.003	+0.3		-7.7
6E5	0.909	0.91	+0.001	+0.1		-6.7
6F5	0.828	0.89	+0.06	+7.5		-8.3
Qave	0.870	0.92	+0.04	+5.1		-5.6

Table.6.4 (3/3) Results of Flow Distribution Measurement (100%)

OUTER BLANKET

Addres	*1 Q(70→a)	*2 Q(79→b)	*3 b-a(kg/sec)	*4 (b-a)/a(%)	*5 Qc(kg/sec→c)	*6 (b-c)/c(%)
6A1	0.371	0.35	-0.02	-5.7		- 4.4
6D1	0.369	0.35	-0.02	-5.1		- 4.4
7A1	0.368	0.35	-0.02	-4.9		- 4.4
7C1	0.369	----	----	----		----
7D1	0.350	0.34	-0.01	-2.9		- 7.1
7E1	0.364	----	----	----		----
7F1	0.364	----	----	----		----
7A7	0.387	----	-0.02	----		----
8A1	0.373	0.35	----	-6.2		- 4.4
8C1	0.374	----	-0.01	----		----
8D1	0.363	0.35	----	-3.6		- 4.4
8E1	0.367	----	----	----		----
8F1	0.369	----	----	----		----
8A7	0.379	----	----	----		----
9A8	0.381	----	----	----		----
9B9	0.366	----	----	----		----
9C9	0.358	0.35	-0.01	-2.2		- 4.4
9E9	0.374	----	----	----		----
9F9	0.367	----	----	----		----
Qave	0.359	0.35	-0.01	-2.5	0.366	- 4.4

REFLECTOR

9A1	0.076	----				
10A4	----	0.044	----	----		----
10A5	----	0.044	----	----		----

note

*1: Measured flow rate on 70 core fuels condition .....a

*2: Measured flow rate on 79 core fuels condition .....b

*3: b−a (kg/sec)

*4: (b−a)/a (%)

*5: Calculated flow rate on 79 core fuels condition by "JOYFL" code...C

*6: (b−c)/c (%)

Table.6.5 (1/2) Results of Flow Distribution Measuremont (20%)

Addres	Q(70→a)	Q(79→b)	b-a(kg/sec)	(b-a)/a(%)	Qe(kg/sec→c)	(b-c)/c(%)
CORE 0, 1						
000	1.541	1.28	-0.26	-16.9		-11.7
1A1	1.549	1.34	-0.21	-13.5		-7.6
1D1	1.570	1.28	-0.29	-18.5		-11.7
1E1	1.557	----	----	----		----
1F1	1.517	----	----	----		----
Qave	1.547	1.30	-0.25	-16.0	1.45	-10.3
CORE 2						
2A1	1.485	1.27	-0.22	-14.5		-8.6
2D1	1.505	1.23	-0.28	-18.3		-11.5
2E1	1.485	----	----	----		----
2F1	1.486	----	----	----		----
Qave	1.498	1.25	-0.24	-16.1	1.39	-10.1
CORE 3						
3A1	1.383	1.16	-0.22	-16.1		-10.1
3D1	1.413	1.17	-0.24	-17.2		-9.3
3E1	1.410	----	----	----		----
3F1	1.399	----	----	----		----
Qave	1.401	1.165	-0.236	-16.8	1.29	-9.7
CORE 4						
4A1	1.285	1.10	-0.19	-14.4		-6.8
4D1	1.298	1.10	-0.20	-15.3		-6.8
4E1	1.316	----	----	----		----
4F1	1.291	----	----	----		----
Qave	1.298	1.10	-0.198	-15.3	1.18	-6.8
CORE 5						
5D5	1.054	----	----	----		----
5F5	1.015	----	----	----		----
Qave	1.035	----	----	----	1.91	----

Table. 6.5 (2/2) Results of Flow Distribution Measurement (20 %)

Addres	Q(70→a)	Q(79→b)	b-a(kg/sec)	(b-a)/a(%)	Qc(kg/sec→c)	(b-c)/c(%)
INNER BLANKET 1						
5A1	0.192	0.18	-0.012	-6.3		-28.0
5D1	0.198	---	-----	---		----
5E1	0.202	---	-----	---		----
5F1	0.206	---	-----	---		----
Qave	0.200	0.18	-0.020	-10.0	0.25	-28.0
INNER BLANKET 2						
6A2	0.159	0.136	-0.023	-14.5		-30.3
6D5	0.164	----	-----	----		----
Qave	0.162	0.136	-0.026	-16.0	0.195	-30.3
OUTER BLANKET						
6A1	0.068	0.041	-0.027	-39.7		-43.8
6D1	0.078	----	-----	----		----
7A1	0.070	----	-----	----		----
7D1	0.077	----	-----	----		----
7E1	0.082	----	-----	----		----
7F1	0.079	----	-----	----		----
8A1	0.069	----	-----	----		----
8D1	0.076	----	-----	----		----
8E1	0.078	----	-----	----		----
8F1	0.080	----	-----	----		----
9C9	0.075	----	-----	----		----
9E9	0.068	----	-----	----		----
Qave	0.075	0.041	-0.034	-45.3	0.073	-43.8

Table 6.6 Errors list about flow distribution measurement.

Items / Orifice Zone		Calibration error of flowmeter (%)	Measurement error (%)					Conversion error to Compensation value from measurenent value (%)	Total error (%)	
			accuracy of volt meter	Reproduci-bility	Chang e of time depend	Phenomvon of Peripheral flow				
						Systematical	Statistical			
Core	0.1	±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	−4.4	——	±0.71	−4.4±1.1	$^{-3.3}_{-5.5}$
	2	±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	−3.4	——	±0.71	−3.4±1.1	$^{-2.3}_{-4.5}$
	3	±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	−3.2	——	±0.62	−3.3±1.0	$^{-2.2}_{-4.2}$
	4	±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	−2.2	——	±0.50	−2.2±0.9	$^{-1.3}_{-3.1}$
	5	±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	$^{+1.1}_{-1.4}$	——	±0.42	$^{+1.1}_{-1.4}$±0.9	$^{+2.0}_{-2.3}$
Inner blanket	1	±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	——	±4.4	±0.98	±1.3	±1.3
	2	±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	——	±1.7	±0.53	±1.0	±1.0
Outer blanket		±0.3	±0.01	±0.36	±0.6	——	±0.3	±0.43	±1.0	±1.0

Table 7.1 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon. (Each flow rate was Calculated by "JOYFL" code on the basis design pressure loss ratio)

Items		70 core fuels ⓐ	79 core fuels ⓑ	ⓑ − ⓐ	(ⓑ−ⓐ)/ⓐ (%)
Core	Row 0, 1	7.39	6.86	−0.53	−7.17
	2	7.16	6.65	−0.51	−7.12
	3	6.64	6.17	−0.47	−7.08
	4	6.16	5.73	−0.43	−6.98
	5	5.20	4.84	−0.36	−6.92
Blanket	Inner Row 1	1.24	1.25	+0.01	+0.81
	2	0.952	0.963	+0.01	+1.16
	Outer	0.363	0.367	+0.004	+1.10
Refrector		0.064	0.064	0.0	0.0
Neutron source		0.216	0.219	+0.003	+1.39
Region flow balance	Core	443.2	462.2	+19.0	+4.29
	Blanket	99.4	89.1	−10.3	−10.36
	R. Rods	8.9	8.3	−0.6	−6.74
	S. Rods	5.0	5.1	+0.1	+2.00
	Refrector	3.7	3.7	0.0	0.0
	S. Racks	24.4	22.7	−1.7	−6.97
	Aux. 100P	3.7	3.5	−0.2	−5.41
	Other	17.1	8.7	−8.4	−49.12
	Total	603.2	603.2	0.0	0.0

unit:kg/sec

Table 7.2 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon. (Each flow rate was calculated by "JOYFL" code on the basis of calibrated pressure loss ratio by measured value)

Items		70 core fuels ⓐ	79 core fuels ⓑ	ⓑ − ⓐ	(ⓑ−ⓐ)/ⓐ (%)
Core	Row 0, 1	7.75	7.23	−0.52	−6.71
	2	7.42	6.93	−0.49	−6.60
	3	6.91	6.46	−0.45	−6.51
	4	6.32	5.91	−0.41	−6.49
	5	4.86	4.55	−0.31	−6.38
Blanket	Inner Row 1	1.23	1.25	+0.02	+1.63
	2	0.959	0.975	+0.016	+1.67
	Outer	0.360	0.366	+0.006	+1.67
Refrector		0.077	0.078	+0.001	+1.30
Neutron source		0.179	0.183	+0.004	+2.23
Region flow balance	Core	450.8	462.2	+11.4	+2.53
	Blanket	99.1	89.1	−10.0	−10.10
	R. Rods	8.8	8.3	− 0.5	−5.68
	S. Rods	5.0	5.1	+ 0.1	+2.00
	Refrecter	3.7	3.7	0.0	0.0
	S. Racks	24.2	22.7	− 1.5	−6.20
	Aux. 100P	3.7	3.5	− 0.2	−5.41
	Other	9.2	8.7	− 0.5	−5.43
	Total	603.2	603.2	0.0	0.0

unit; kg/sec

Table 7.3 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon. (Each flow rate is measured value)

Items		70 core fuels ⓐ	79 core fuels ⓑ	ⓑ − ⓐ	(ⓑ−ⓐ) / ⓐ (%)
Core	Row 0, 1	7.77	7.36	−0.41	−5.3
	2	7.44	6.98	−0.46	−6.2
	3	6.93	6.46	−0.47	−6.8
	4	6.33	5.96	−0.37	−5.8
	5	4.87	4.50	−0.37	−7.6
Blanket	Inner Row 1	1.22	1.29	+0.07	+5.7
	2	0.955 / 0.871	0.970 / 0.920	+0.015 / +0.05	+1.57 / +5.74
	Outer	0.359	0.350	−0.009	−2.5
Refrector		0.076	0.044	−0.032	−42.1
Neutron source		——	——	——	——
Region flow balance	Core	451.8	463.8	+12.0	+2.66
	Blanket	98.1	86.9	−11.2	−11.40
	R. Rods	——	——	——	——
	S. Rods	——	——	——	——
	Refrector	3.6	2.1	−1.5	−41.70
	S. Racks	——	——	——	——
	Aux. 100P	——	——	——	——
	Other	——	——	——	——
	Total	603.2	603.2	0.0	0.0

unit ; kg/sec

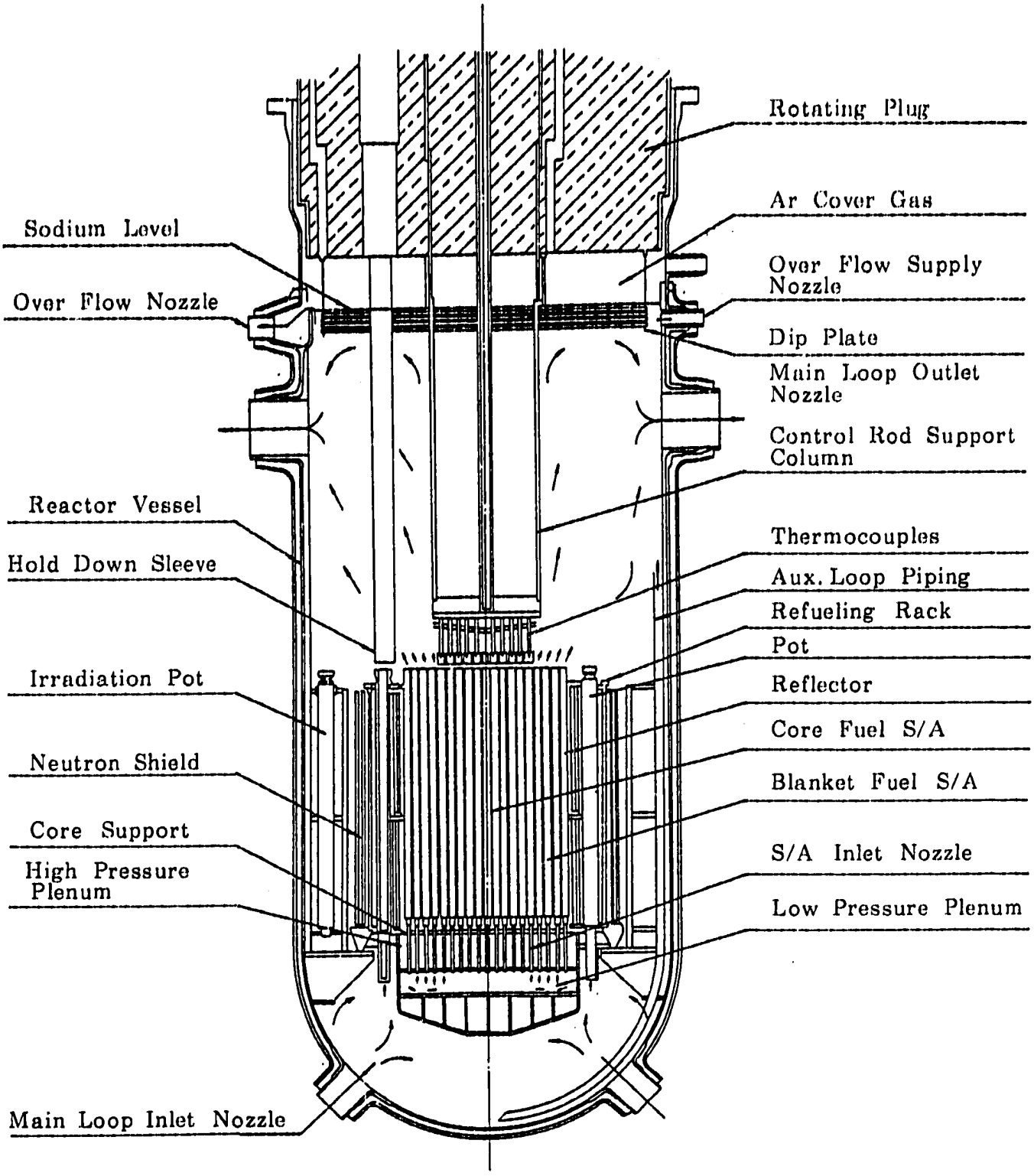


Fig. 3.1 Coolant flow path in the reactor vessel.

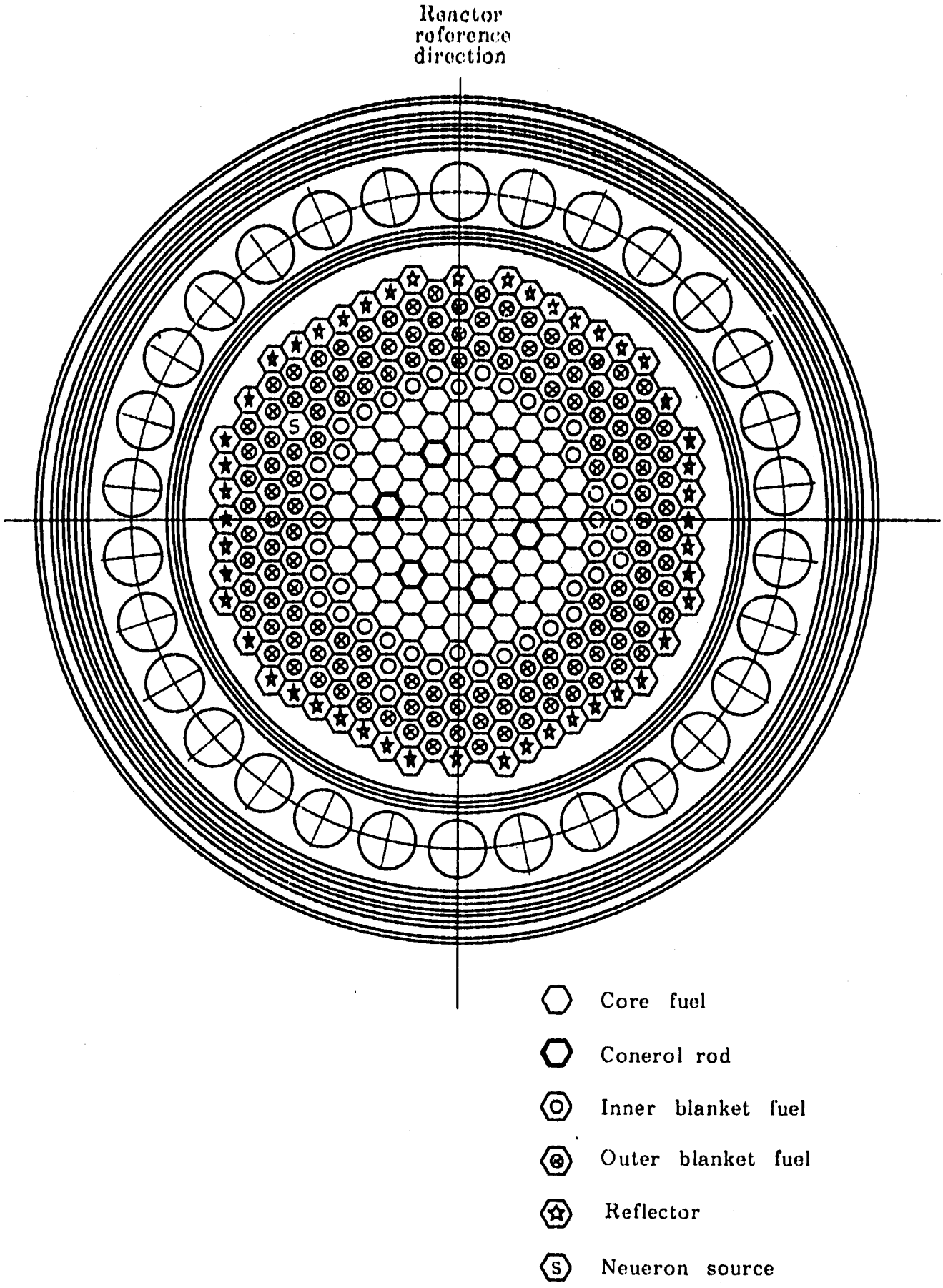


Fig.3.2 Configuration of "JOYO" core.

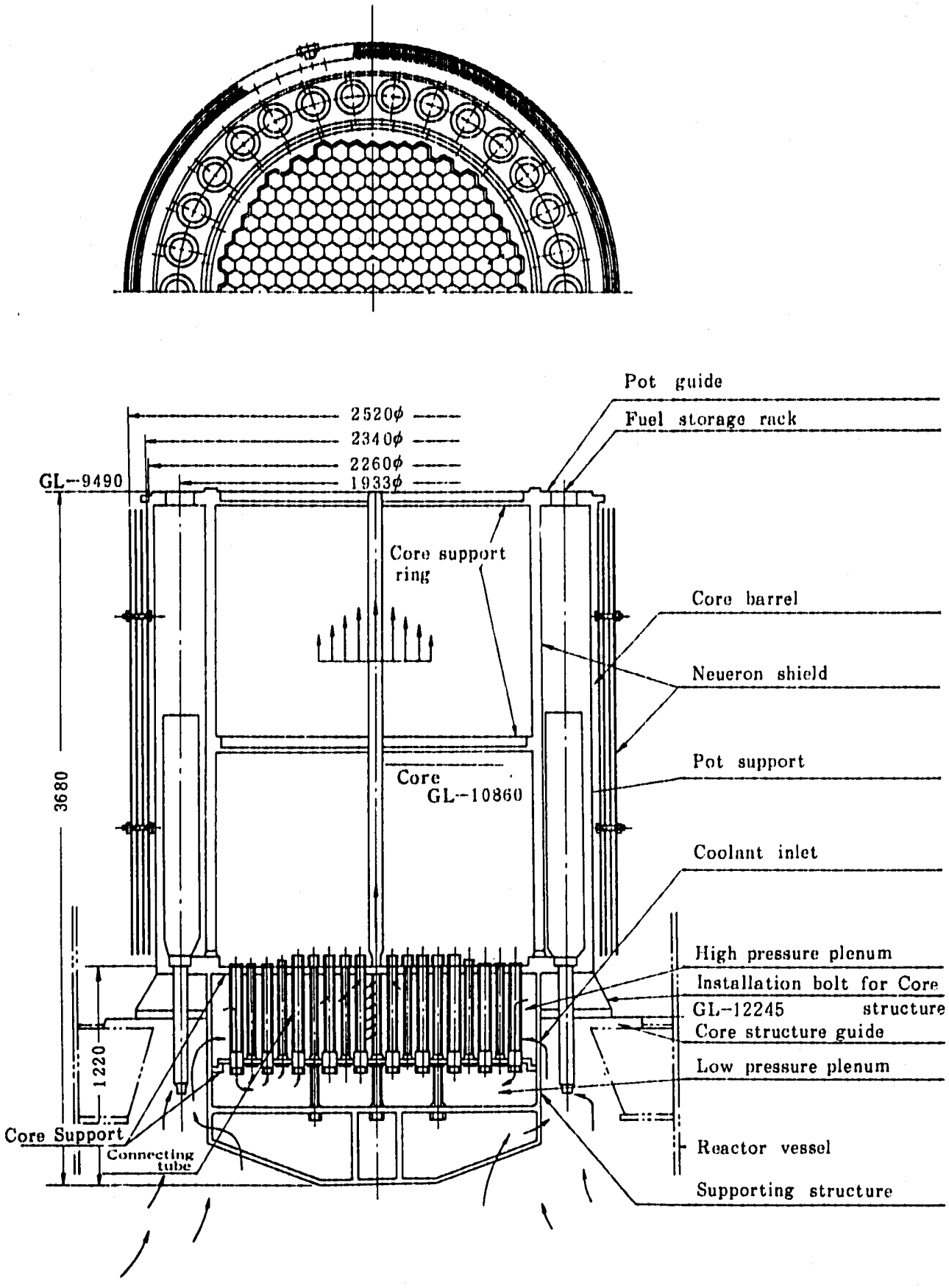


Fig.3.3 Core structures of "JOYO".

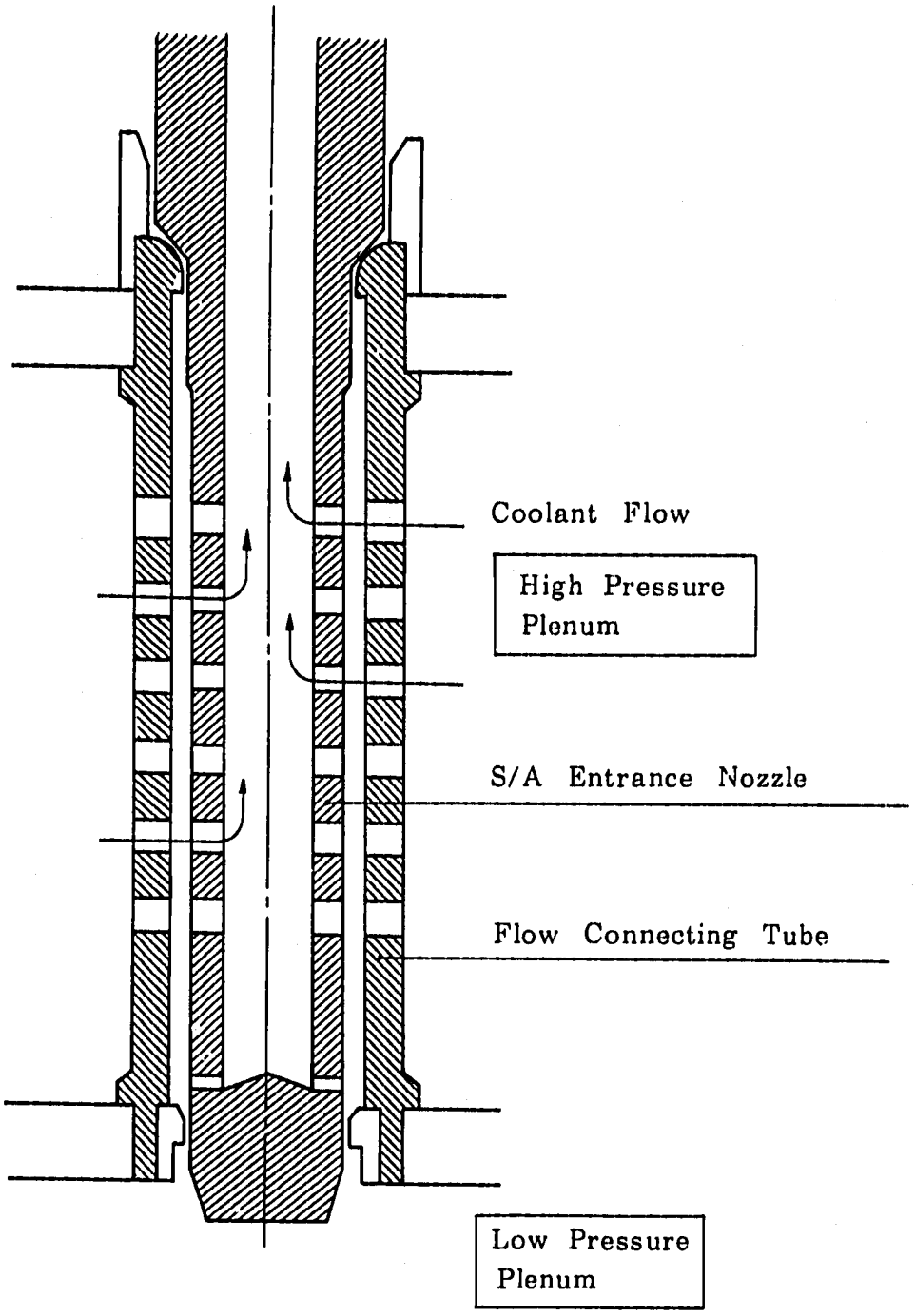


Fig.3.4 Vertical cross section of core fuel flow adjusting area.

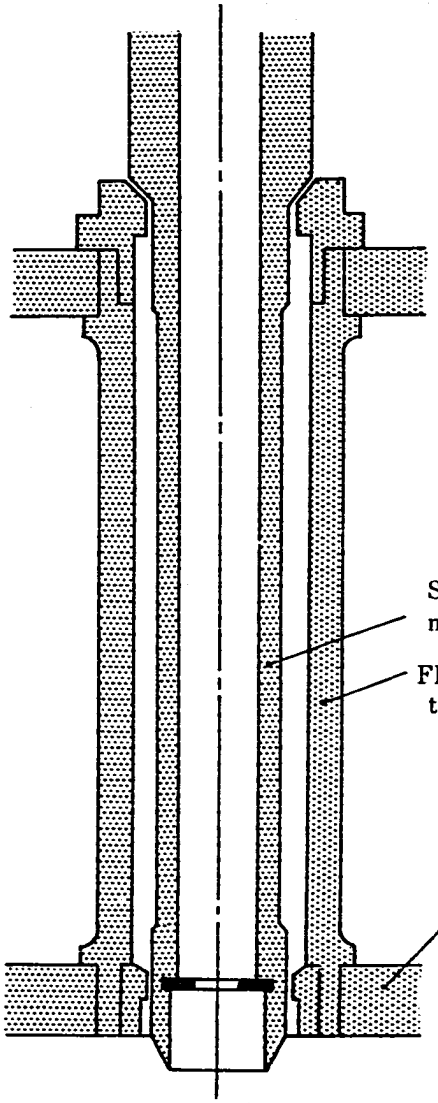


Fig.3.5 Blanket fuel flow adjusting area

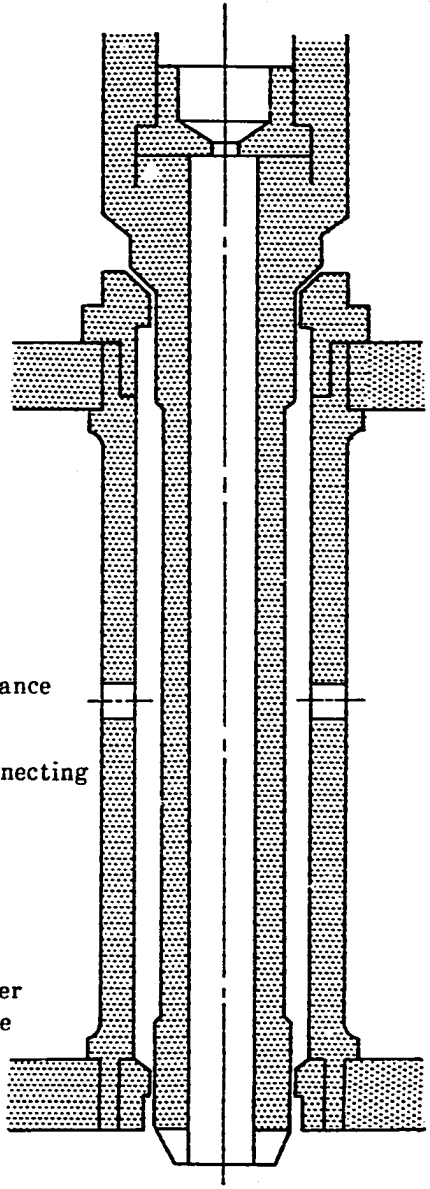


Fig.3.6 Refrector without slit flow adjusting area

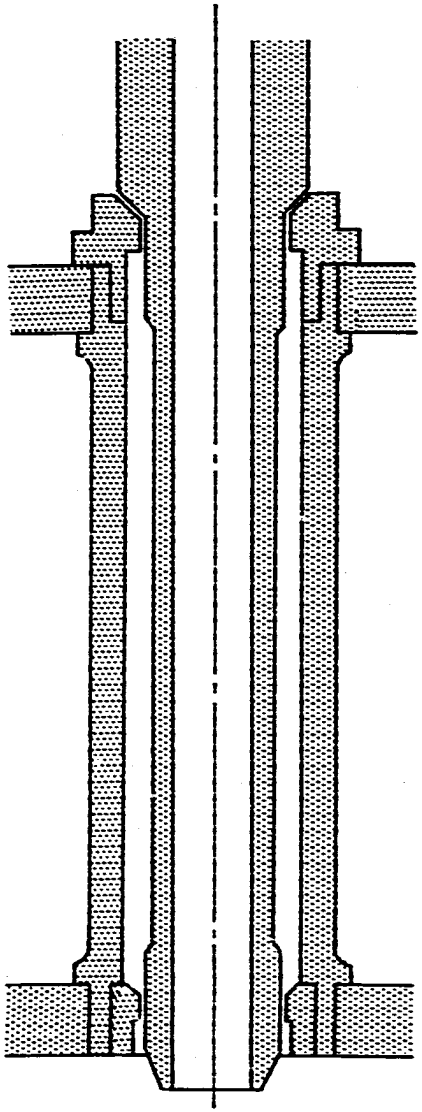


Fig.3.7 Neutron source flow adjusting area

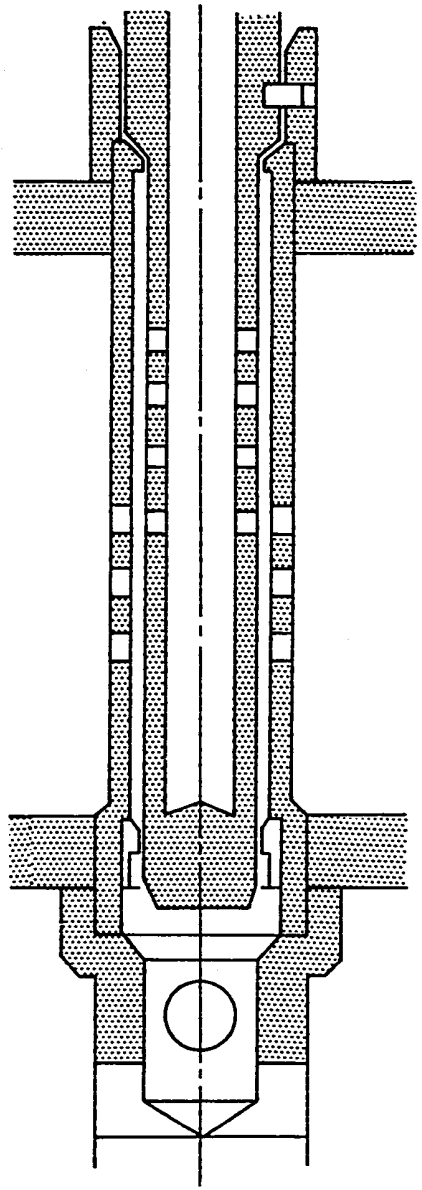


Fig. 3.8 Regulating rod flow adjusting area

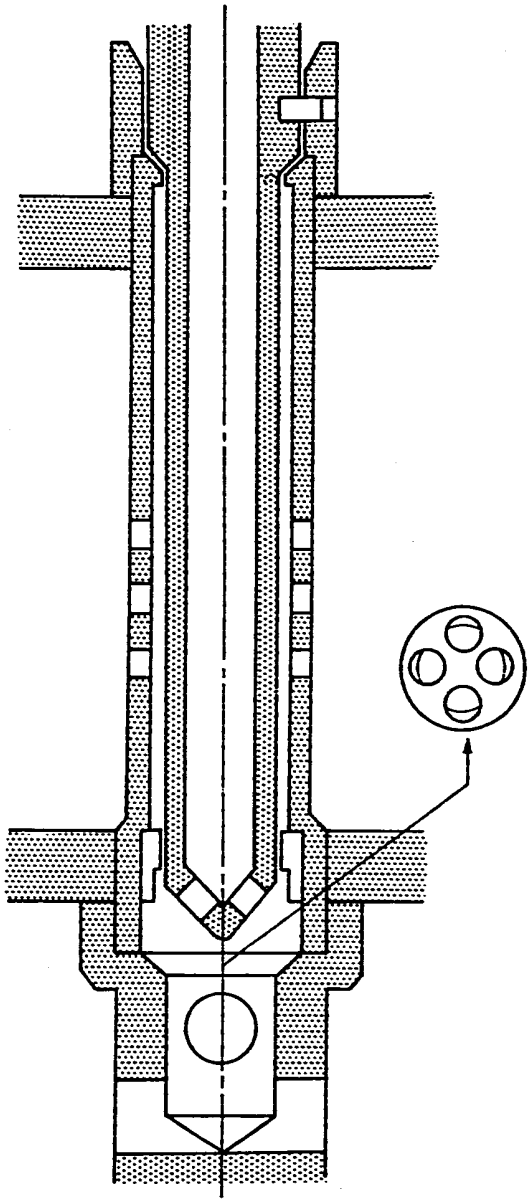


Fig. 3.9 Safety rod flow adjusting area

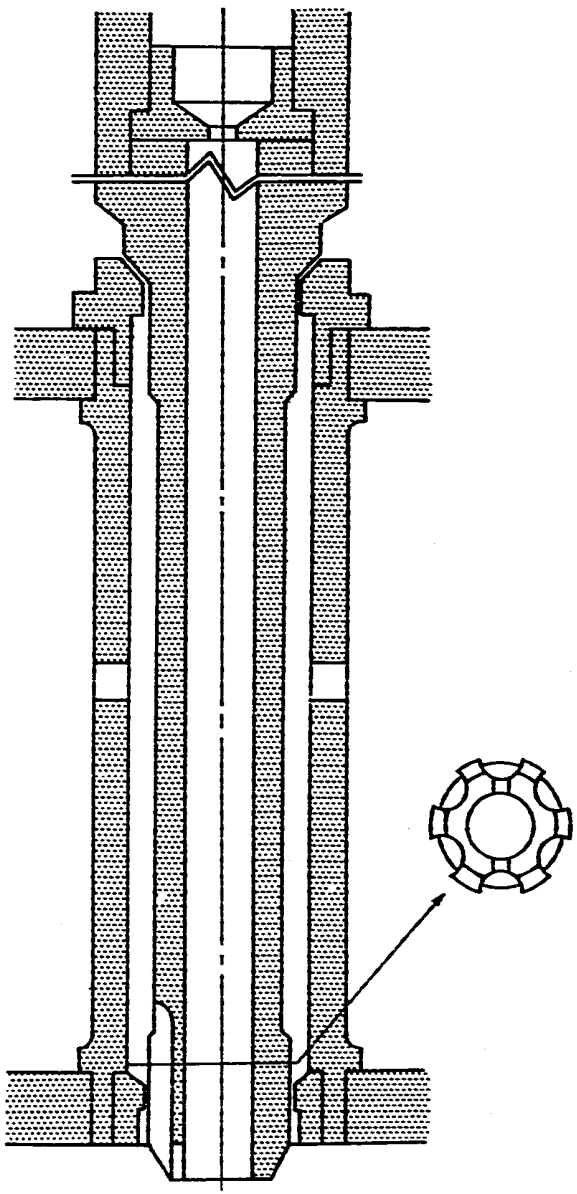


Fig. 3.10 Reflector with slit flow adjusting area

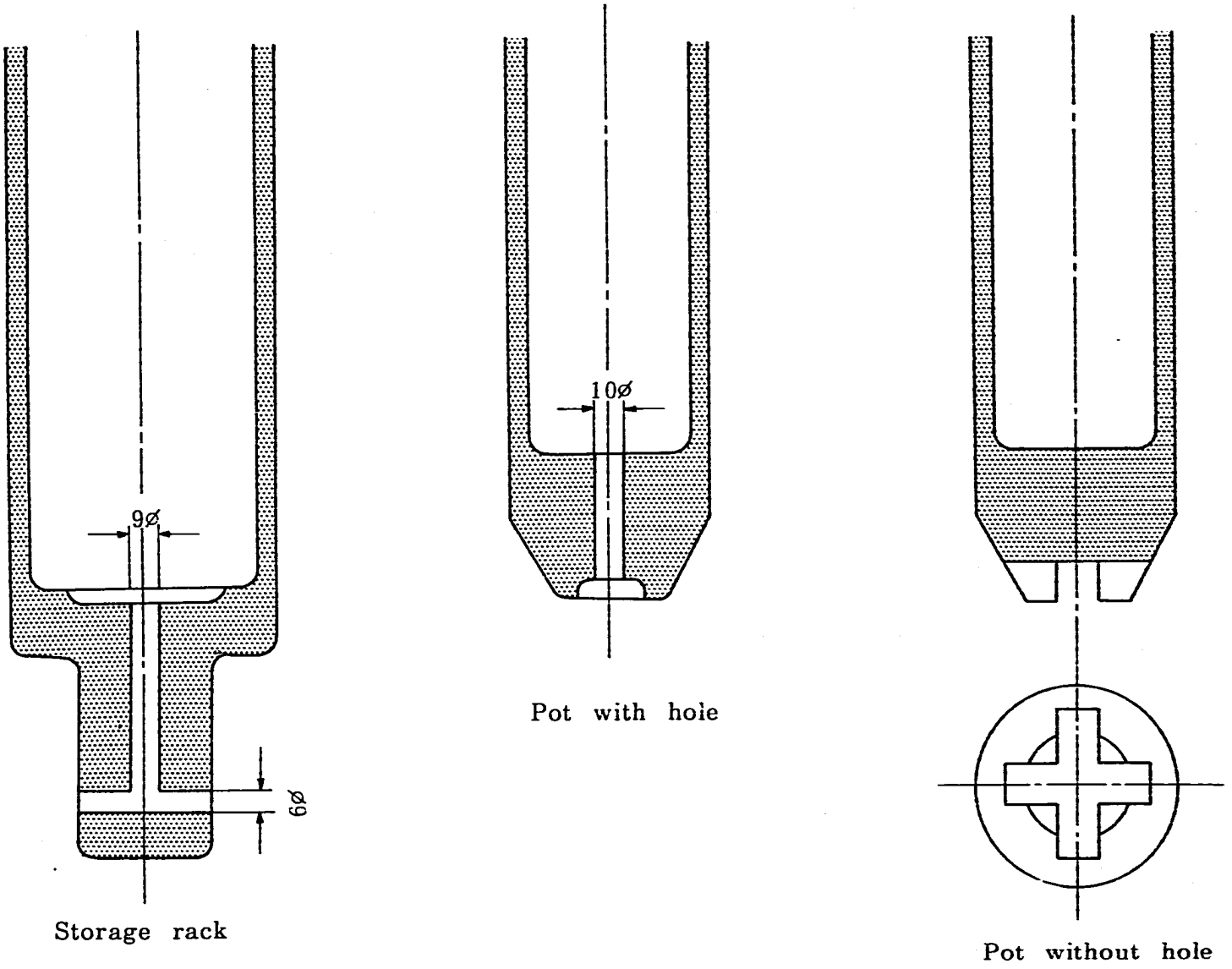


Fig. 3.11 In-core storage rack flow adjusting area.

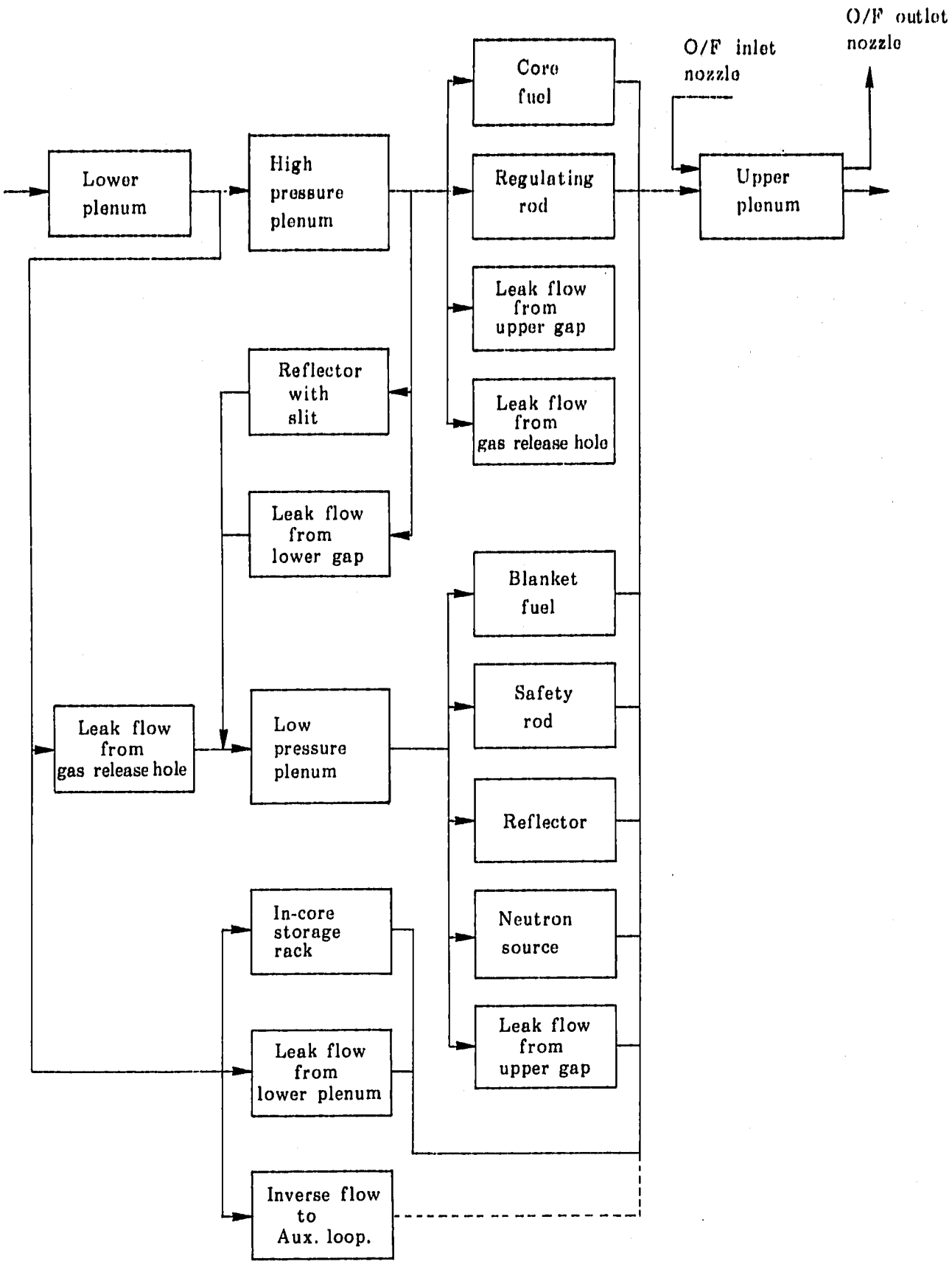


Fig.3.12 Coolant flow distribution in the reactor vessel.

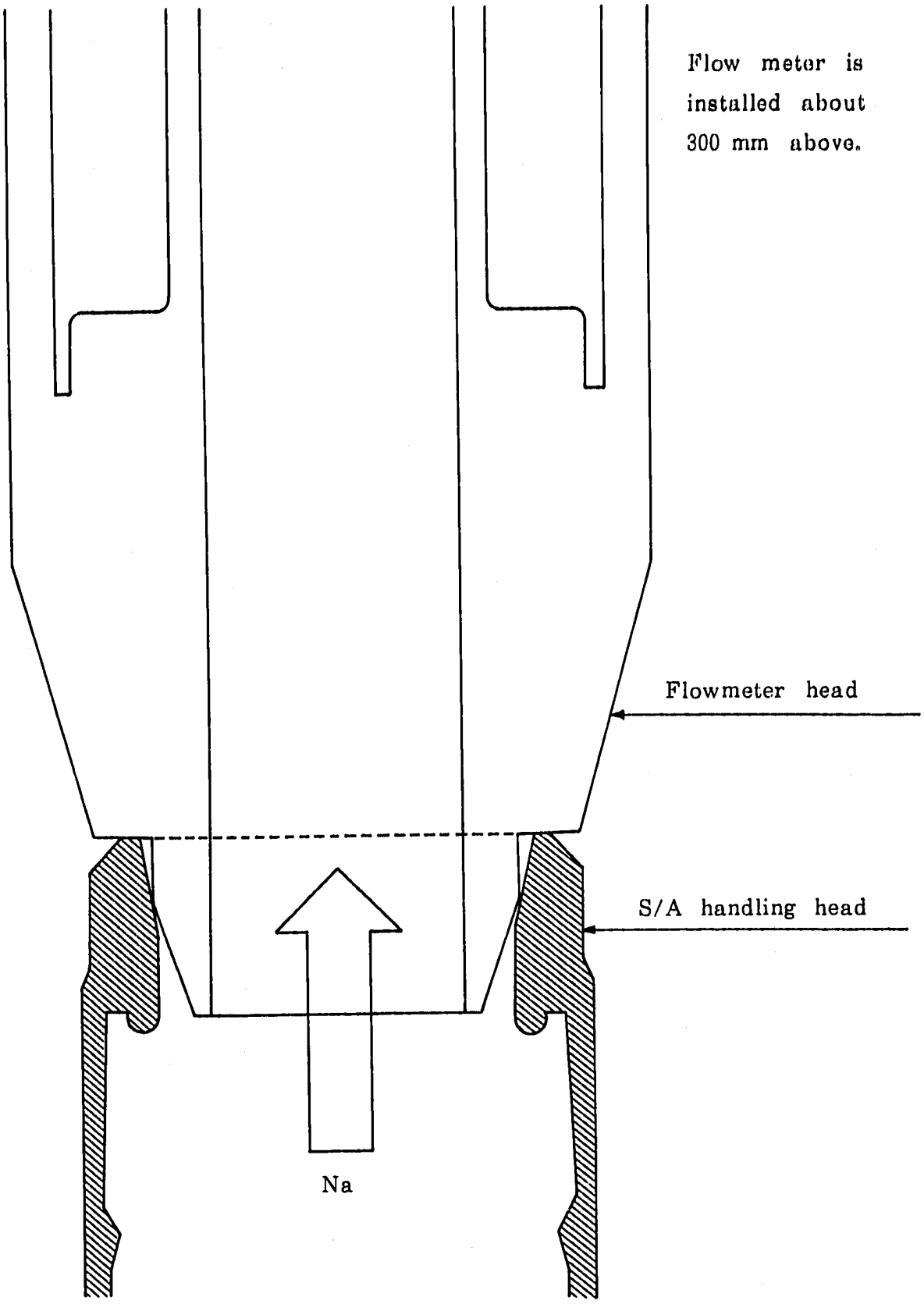


Fig.5.1 Cross section of S/A handling head and parmanent type flow meter (Coupled position).

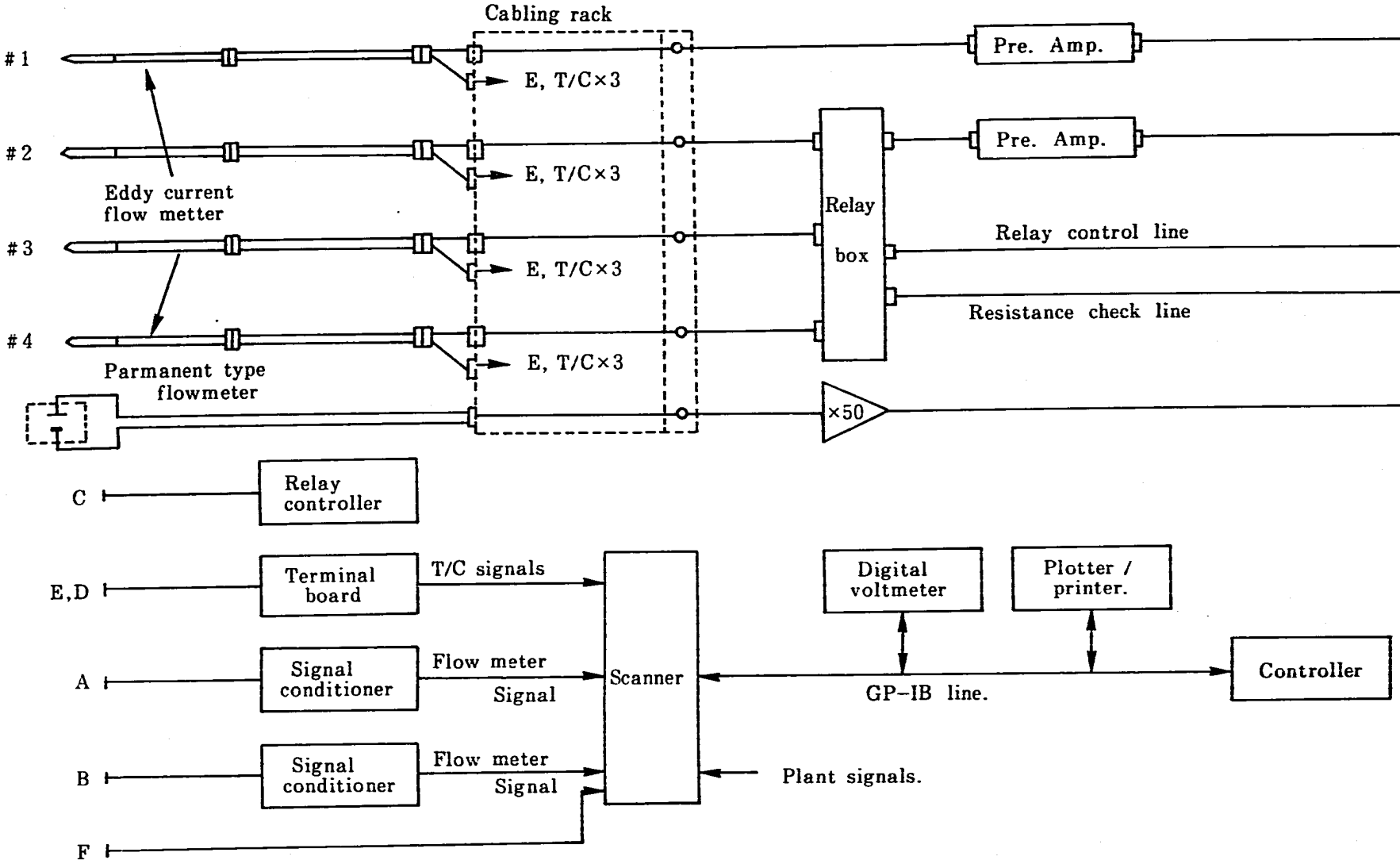


Fig.5.2 Block diagram of flow measuring system.

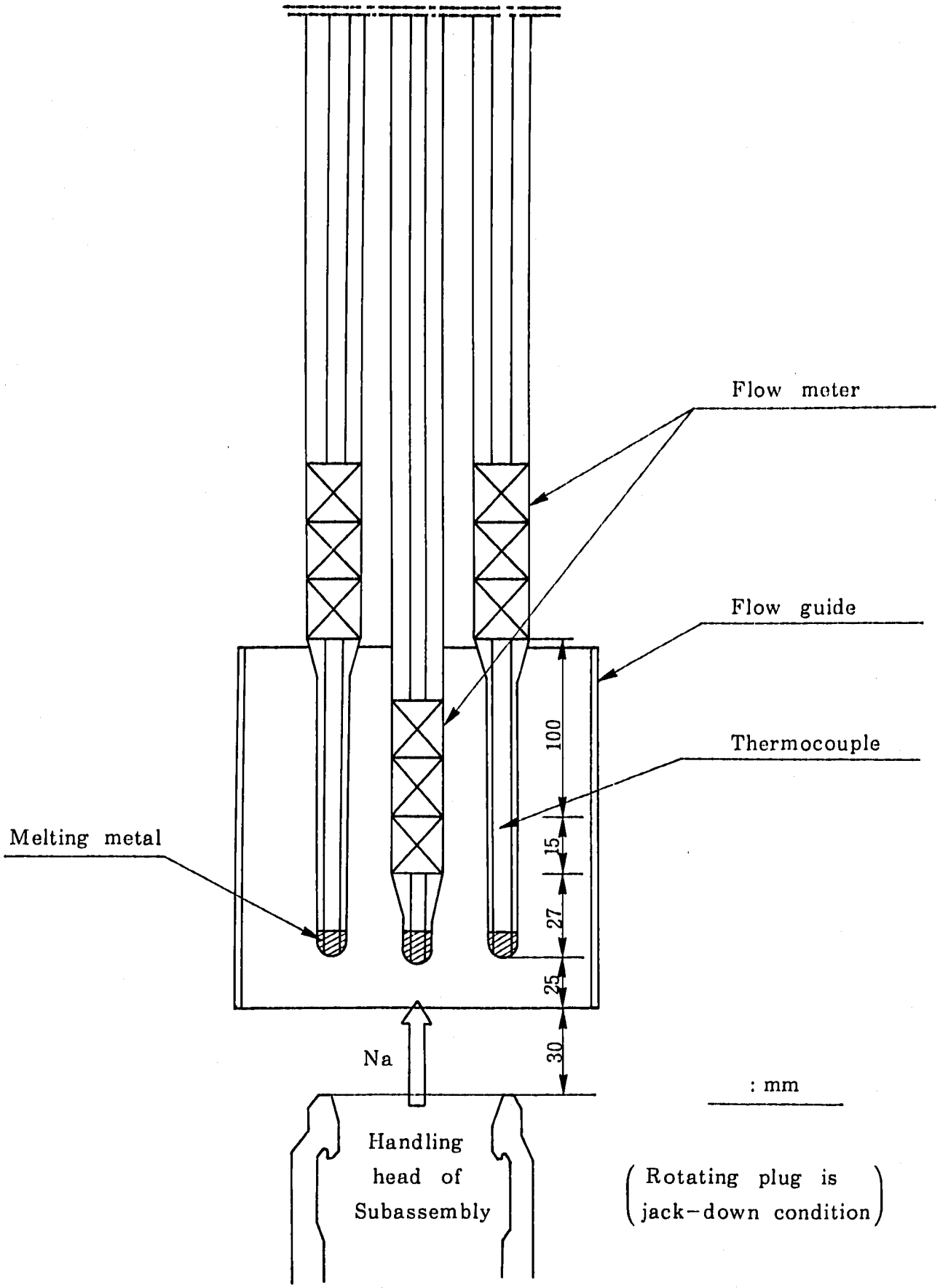


Fig.5.3 Relative location of eddy current type flow meter and T/C against subassembly.

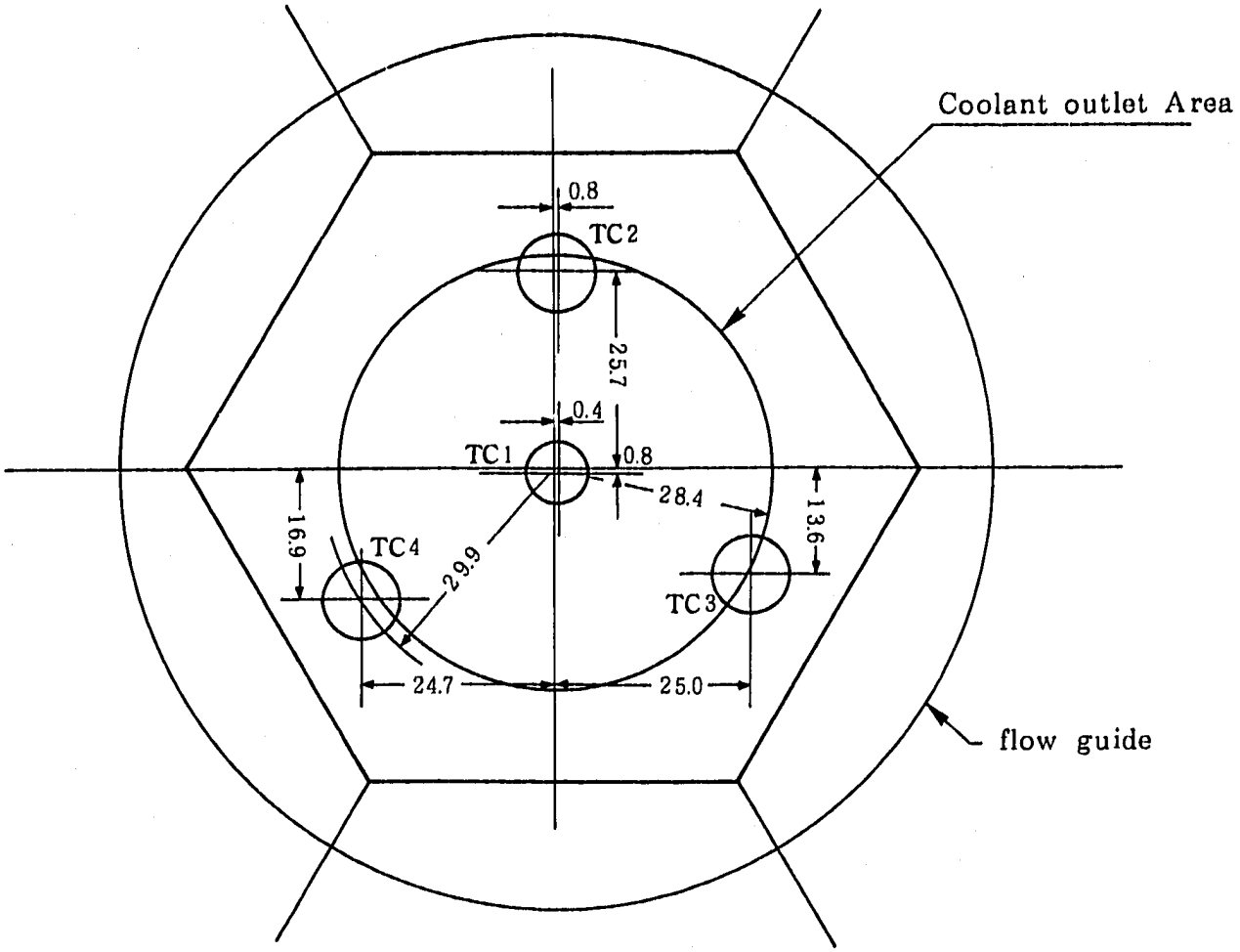


Fig. 5.4 Laterial location of T/C's and flow meter's

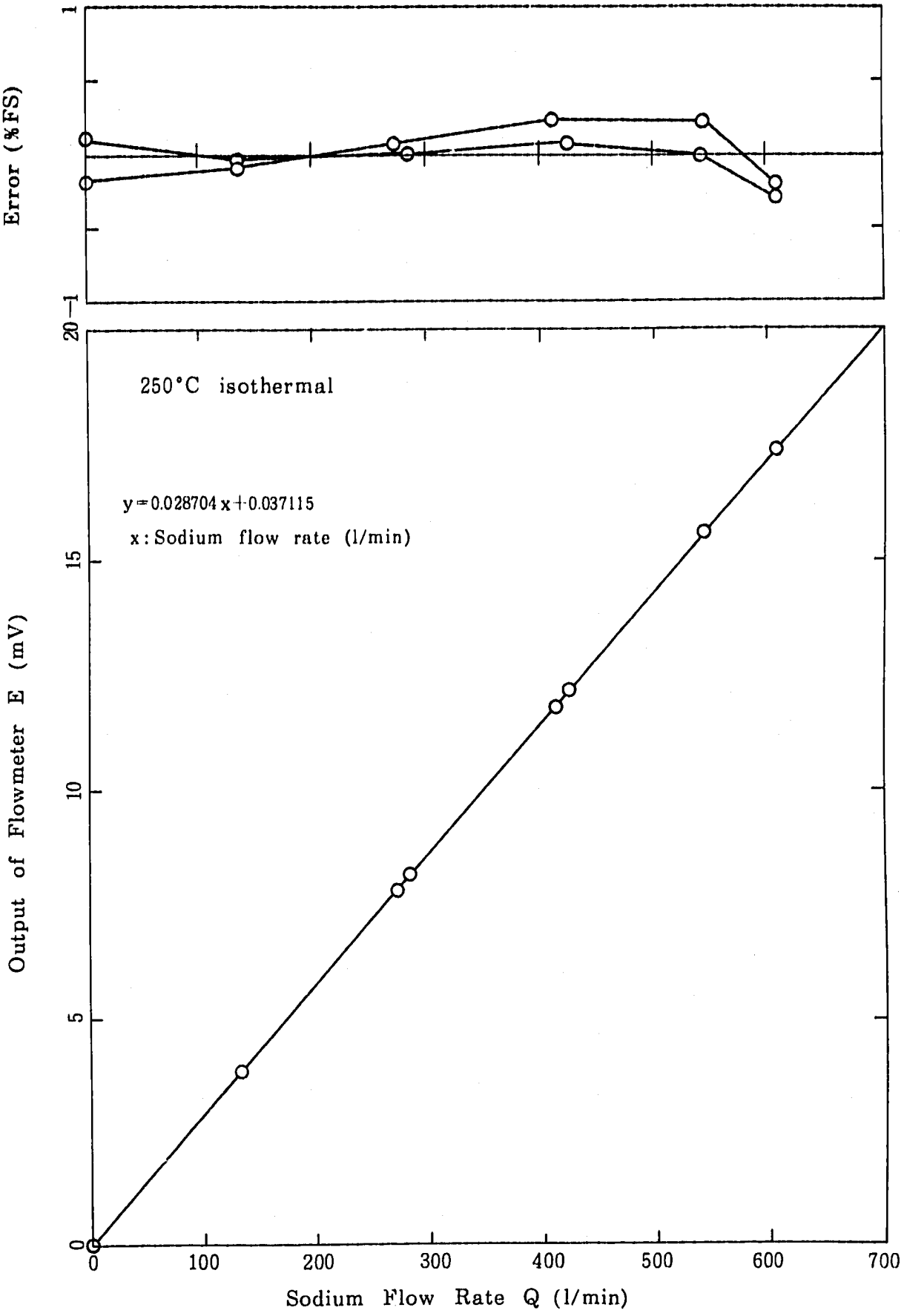


Fig.5.5 Absolute Calibration of "JOYO" FM-A

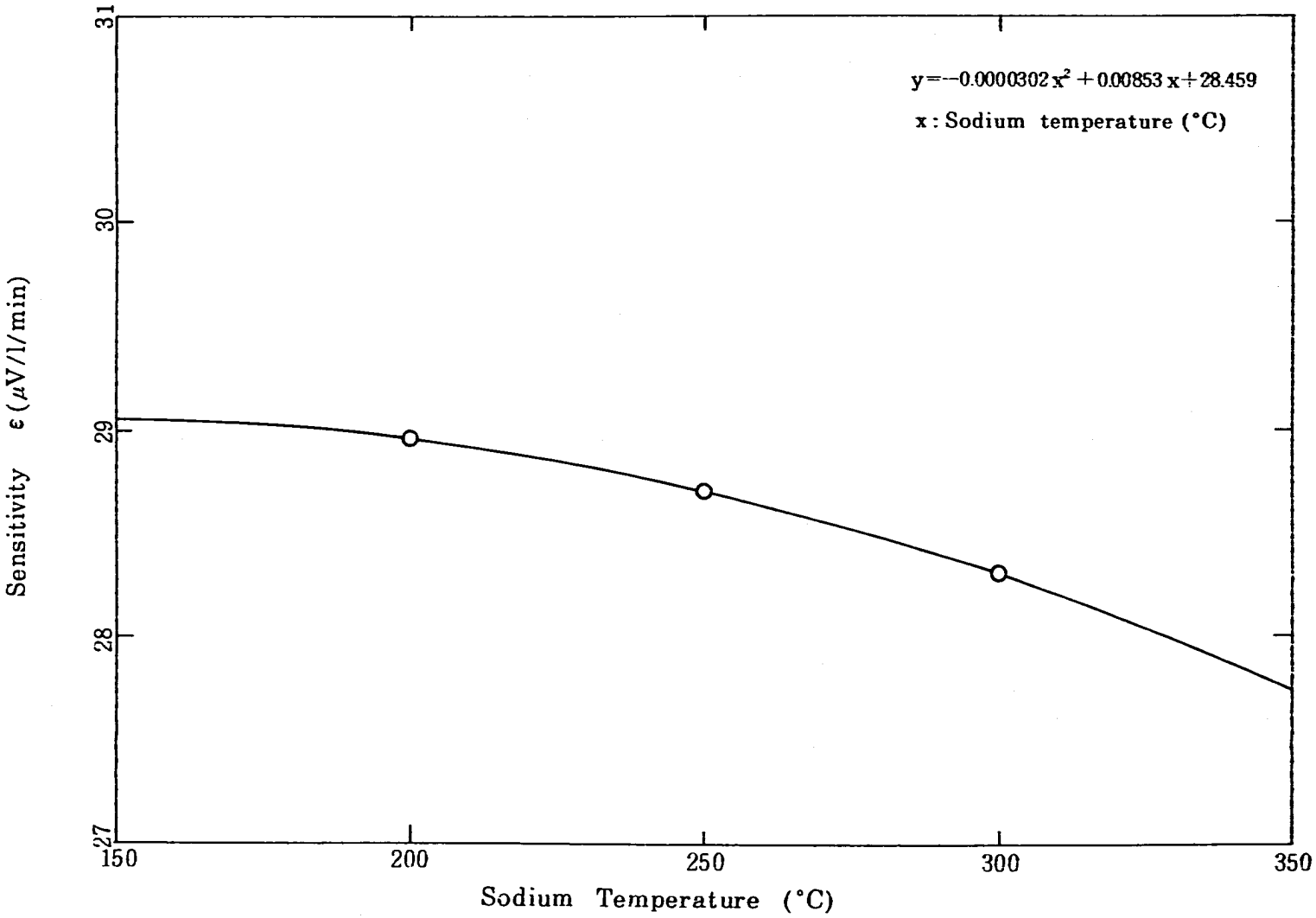


Fig. 5.6 Temperature Dependency of Senitivity of "JOYO" FM−A

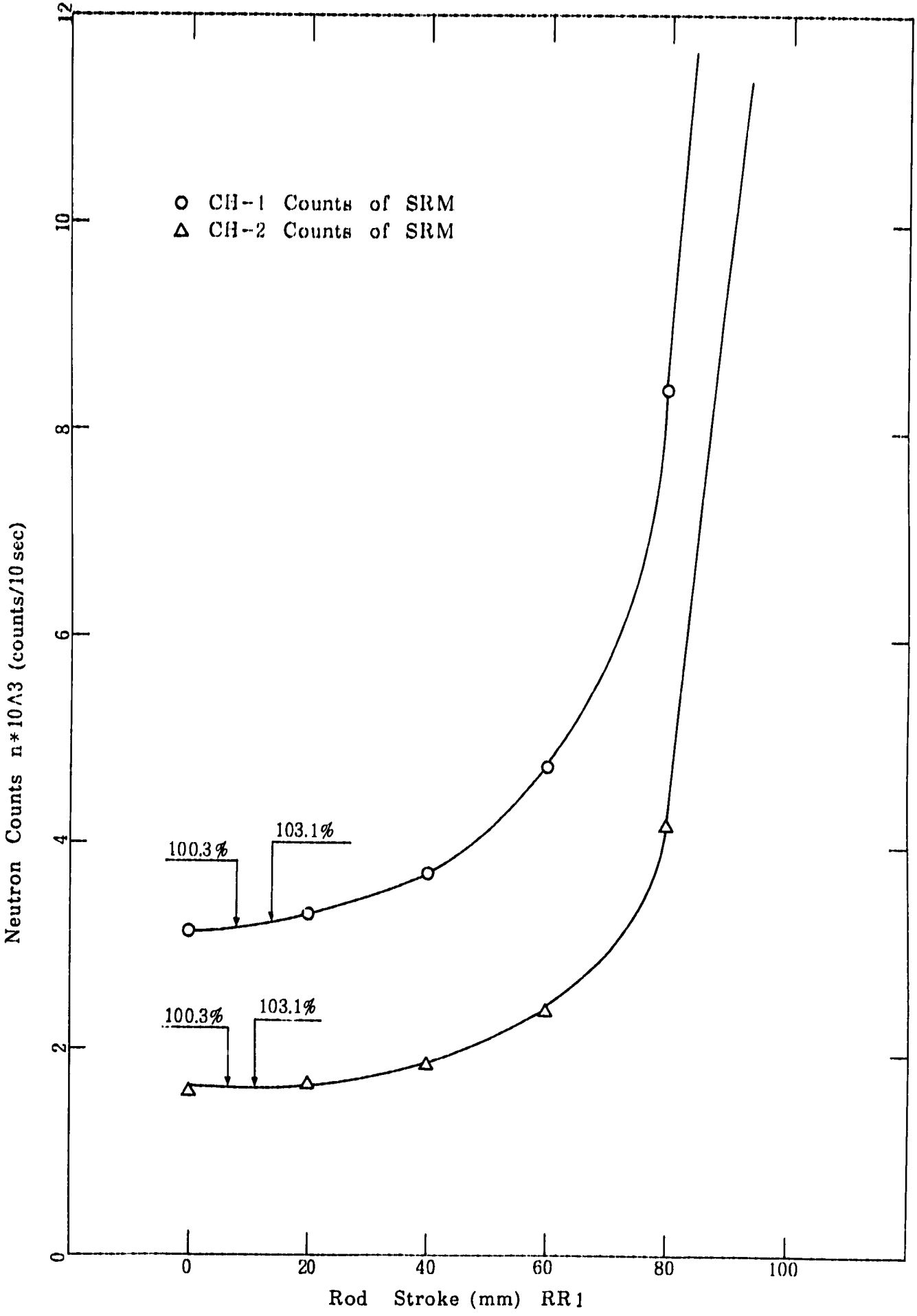


Fig. 6.1 Neutron counts vs. rod stroke of JR-1

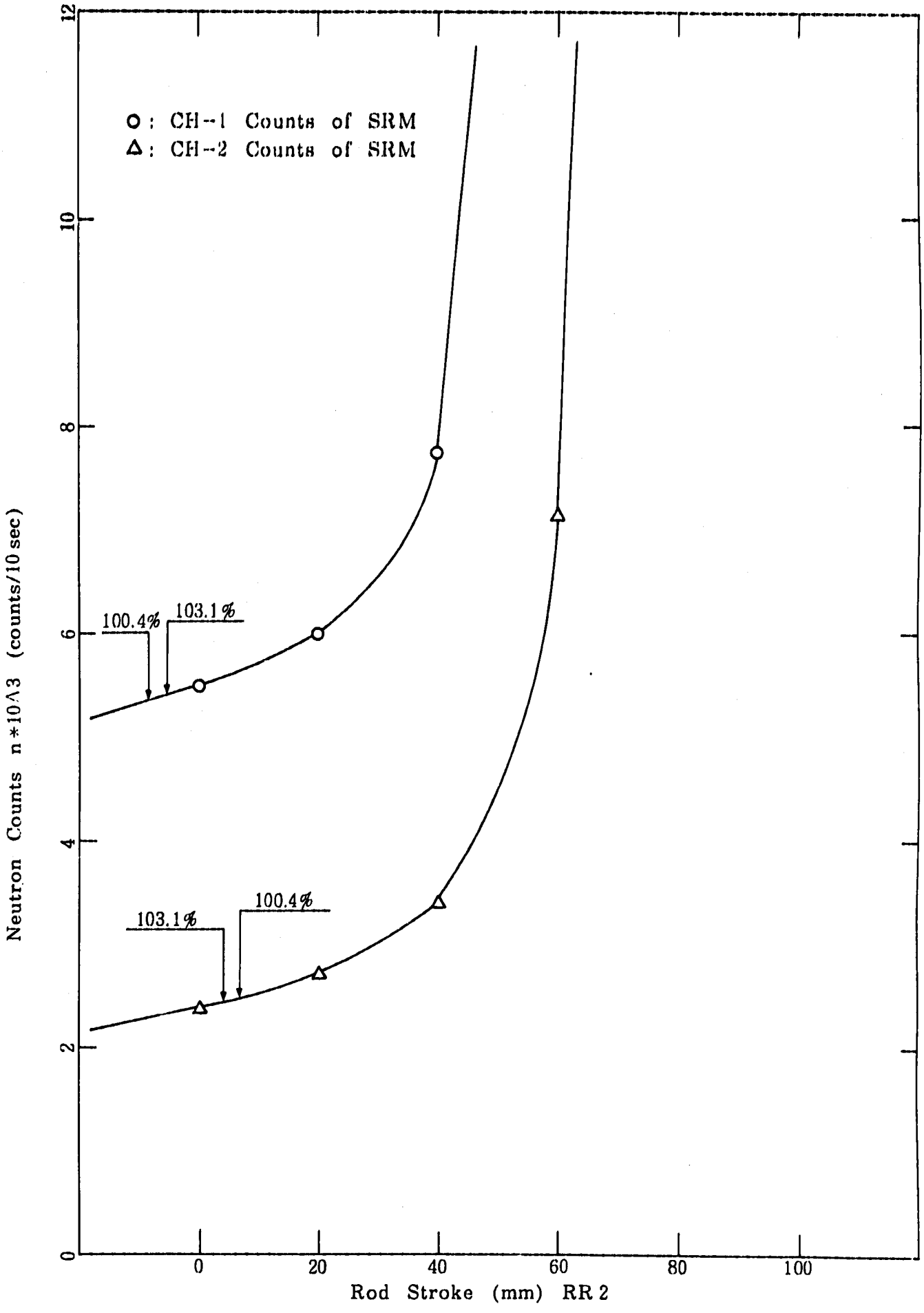


Fig. 6.2 Neutron counts vs. rod stroke of RR-2

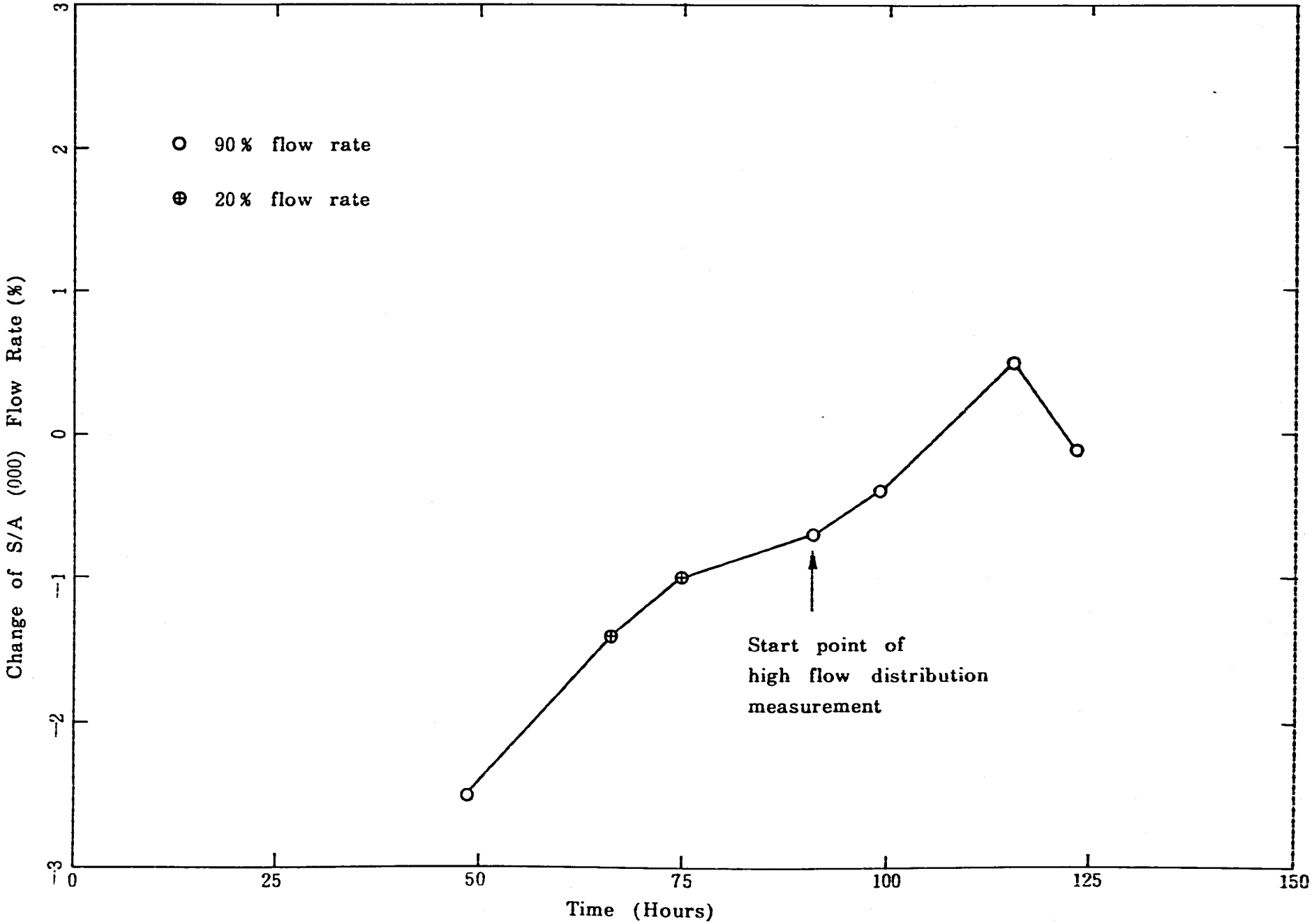


Fig. 6.3 Change of S/A (000) flow rate.

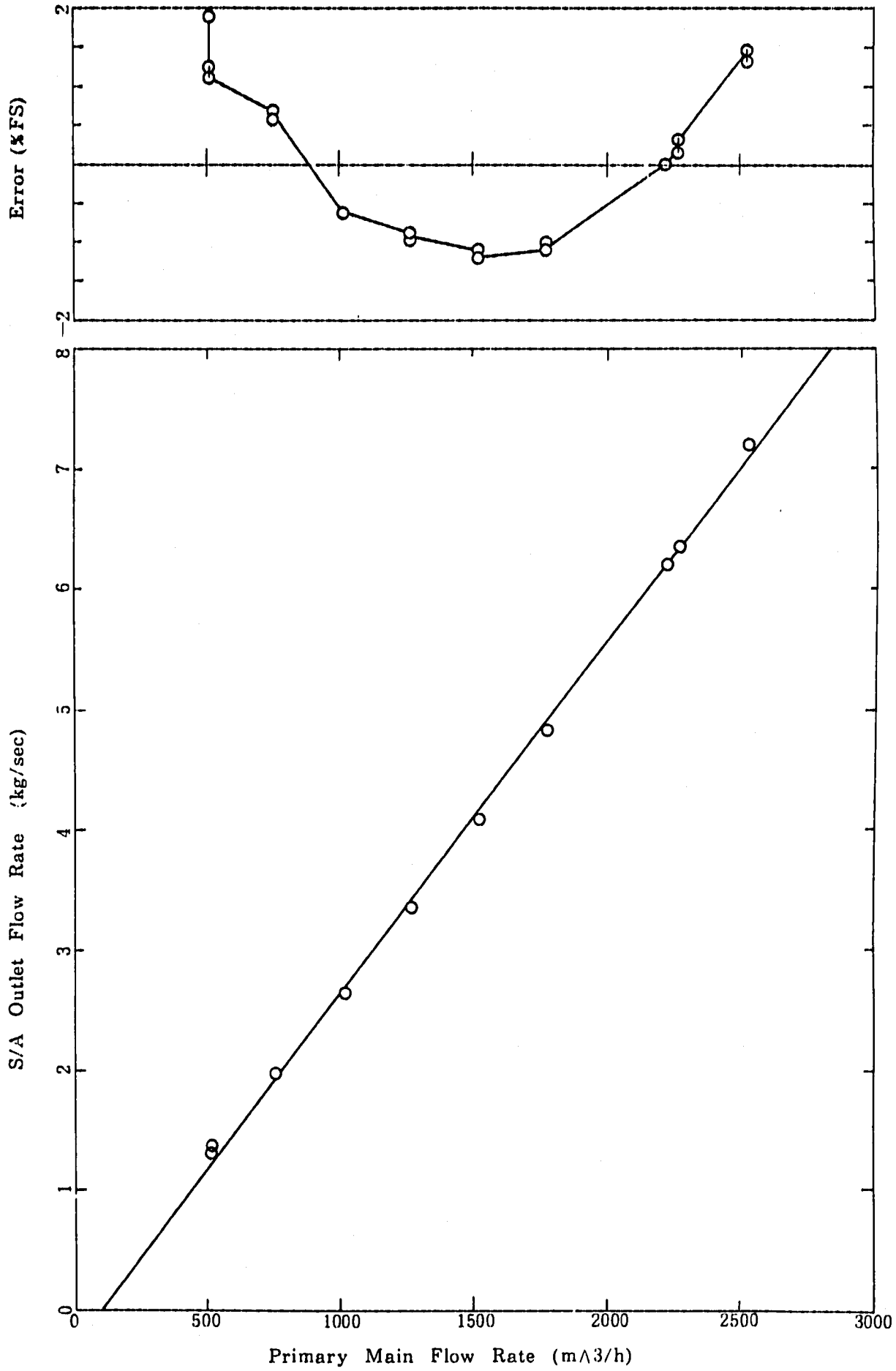


Fig. 6.4 S/A (000) outlet flowrate vs. main flow.

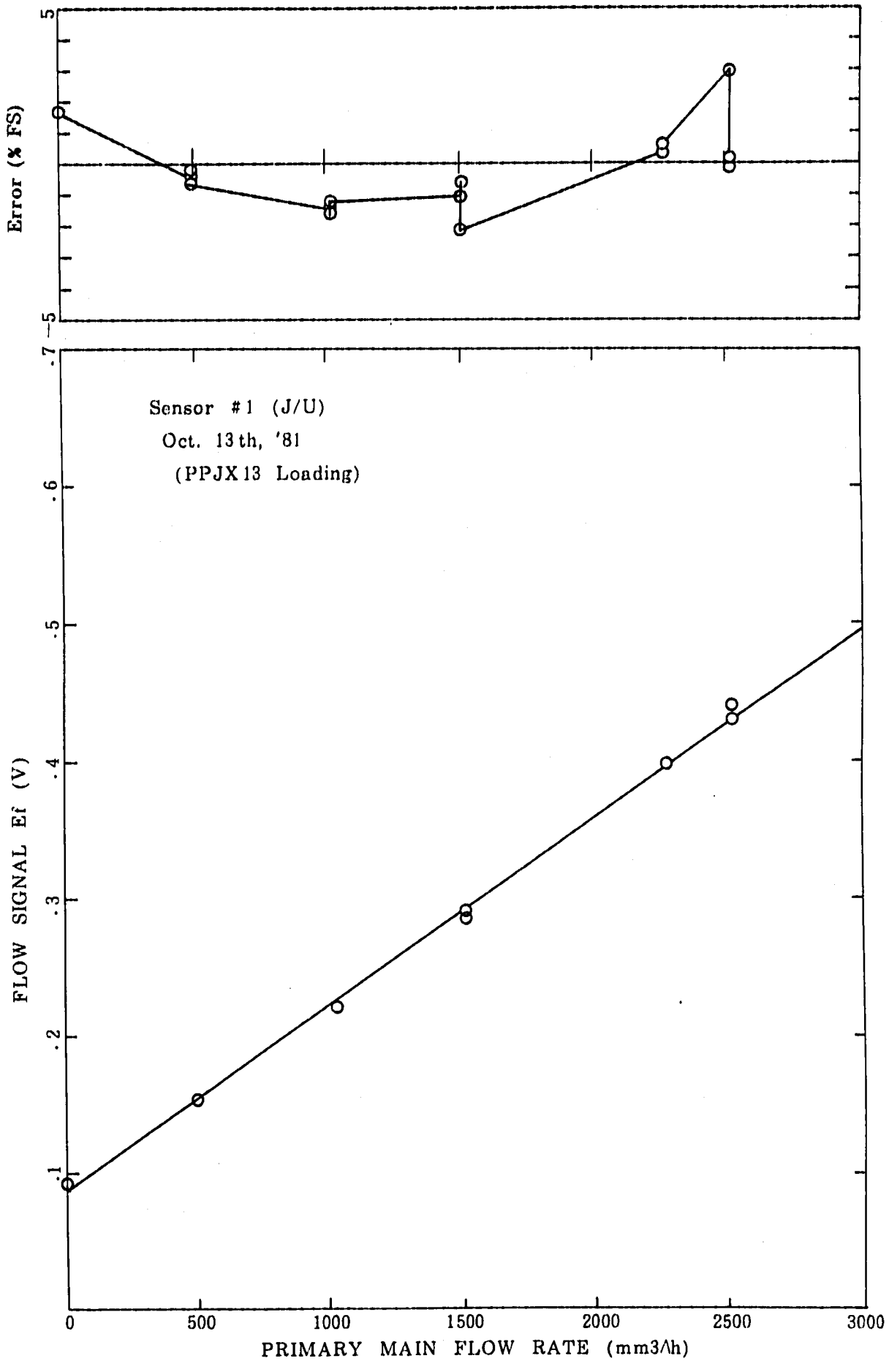


Fig. 6.5 Flow signal (#1) vs. main flow rate.

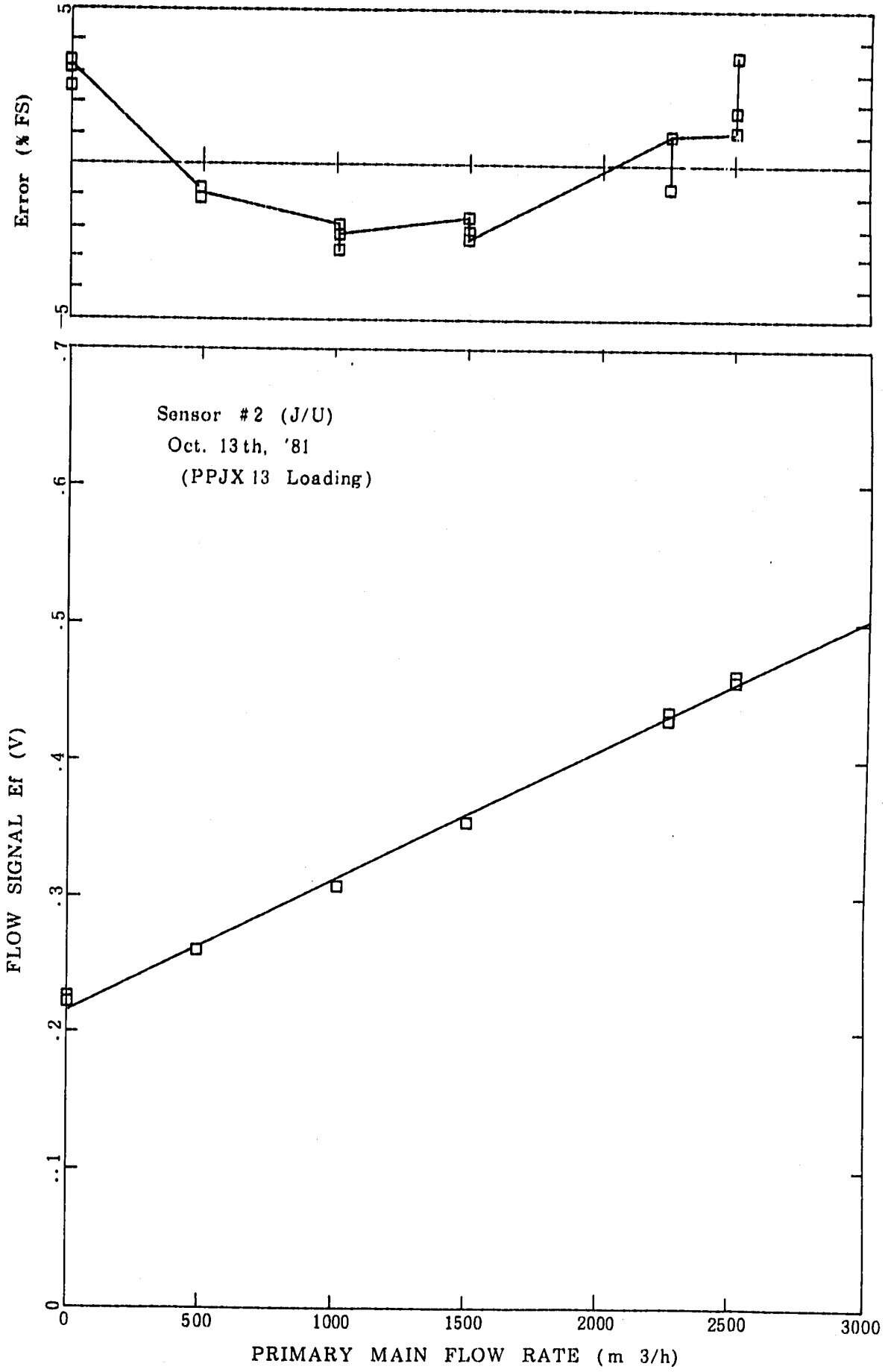


Fig.6.6 Flow signal (#2) vs. main flow rate.

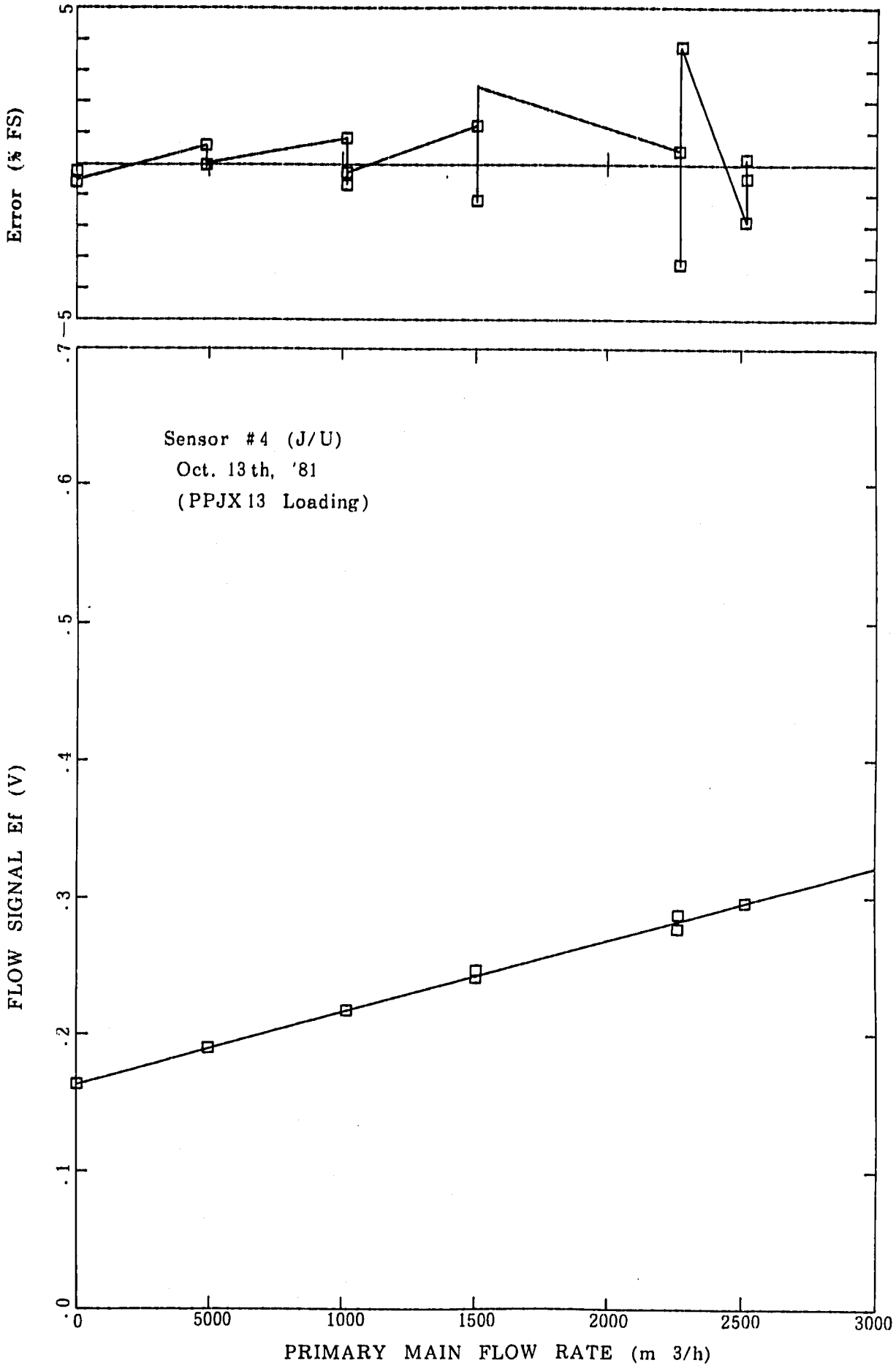


Fig. 6.7 Flow signal (#4) vs. main flow rate.

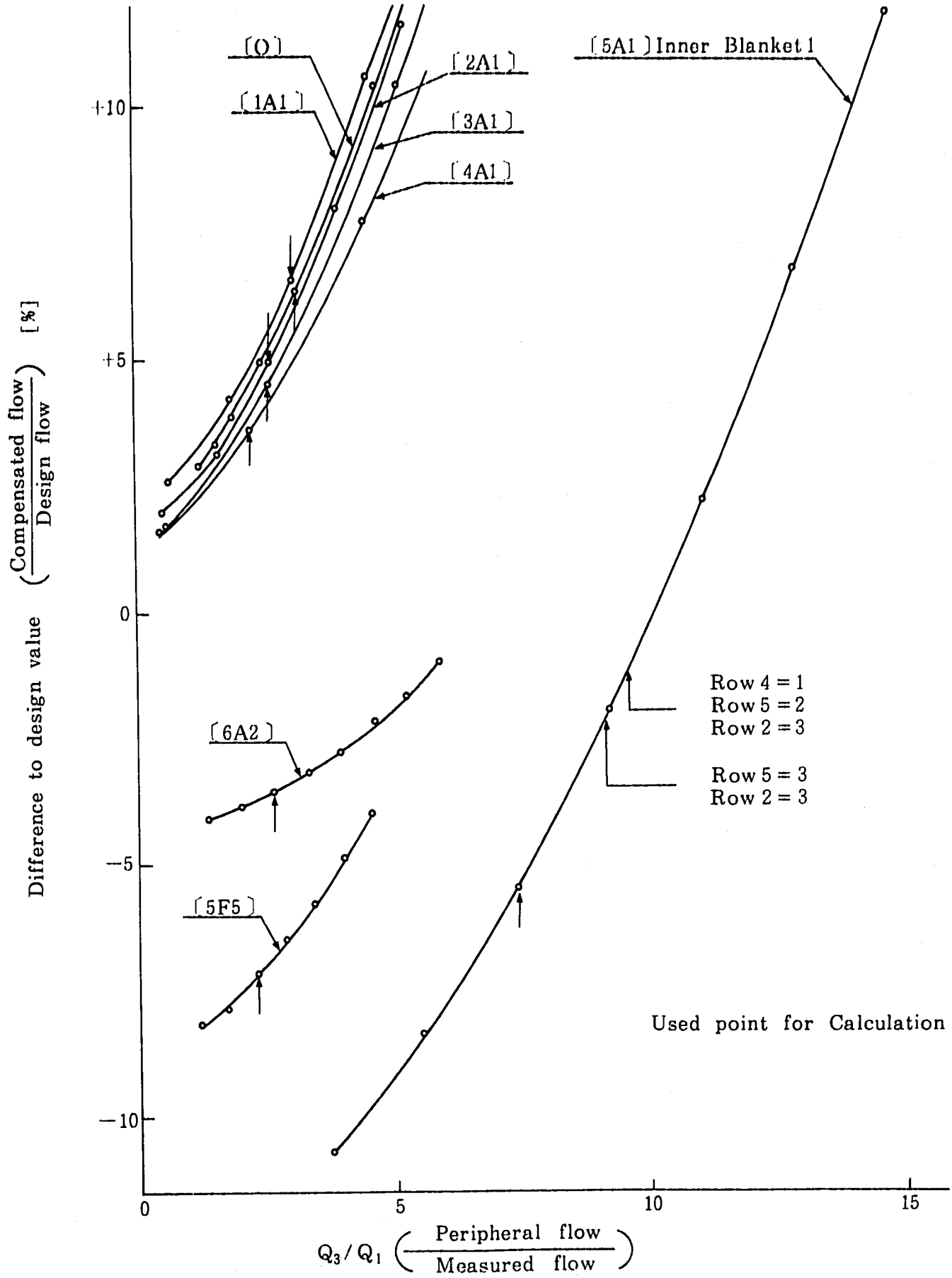


Fig. 6.8 The phenomenon of peripheral flow about measurement subassembly flowrate.

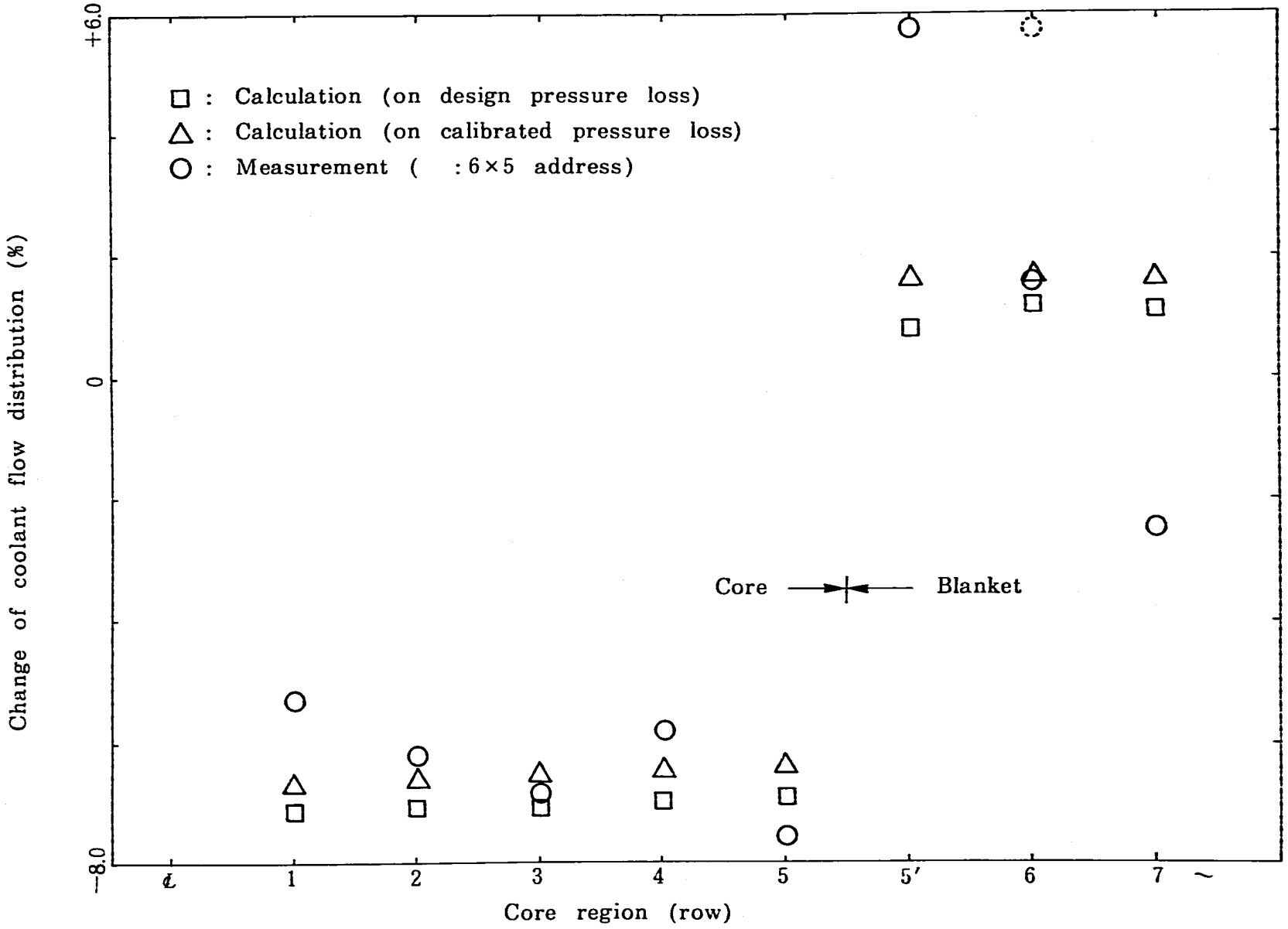


Fig. 7.1 Change of coolant flow distribution in the reactor vessel by core volume enlargement phenomenon.

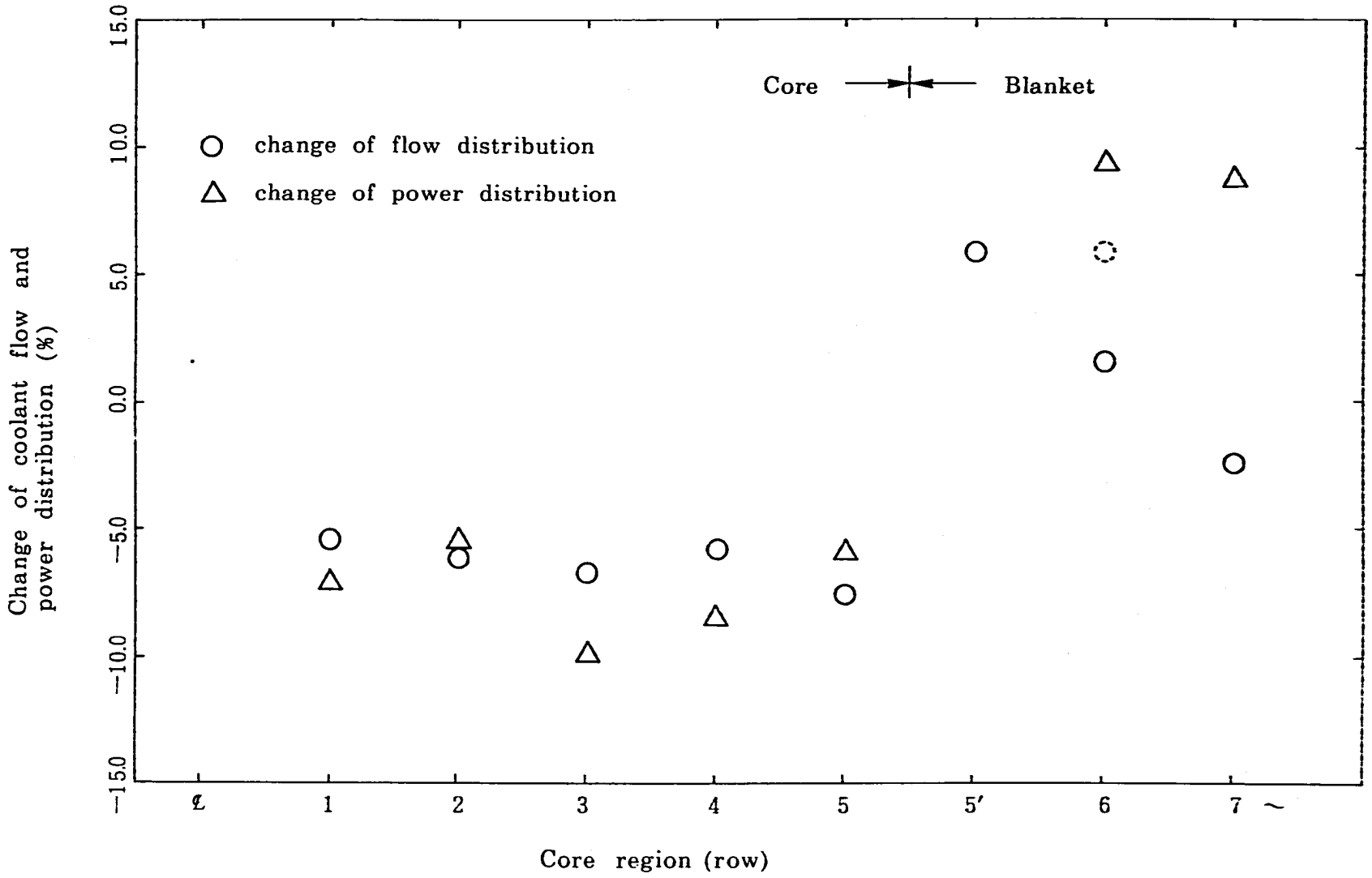


Fig. 7.2 Change of coolant flow and power disteribution in reactor core by core volume enlargement phenomenon.

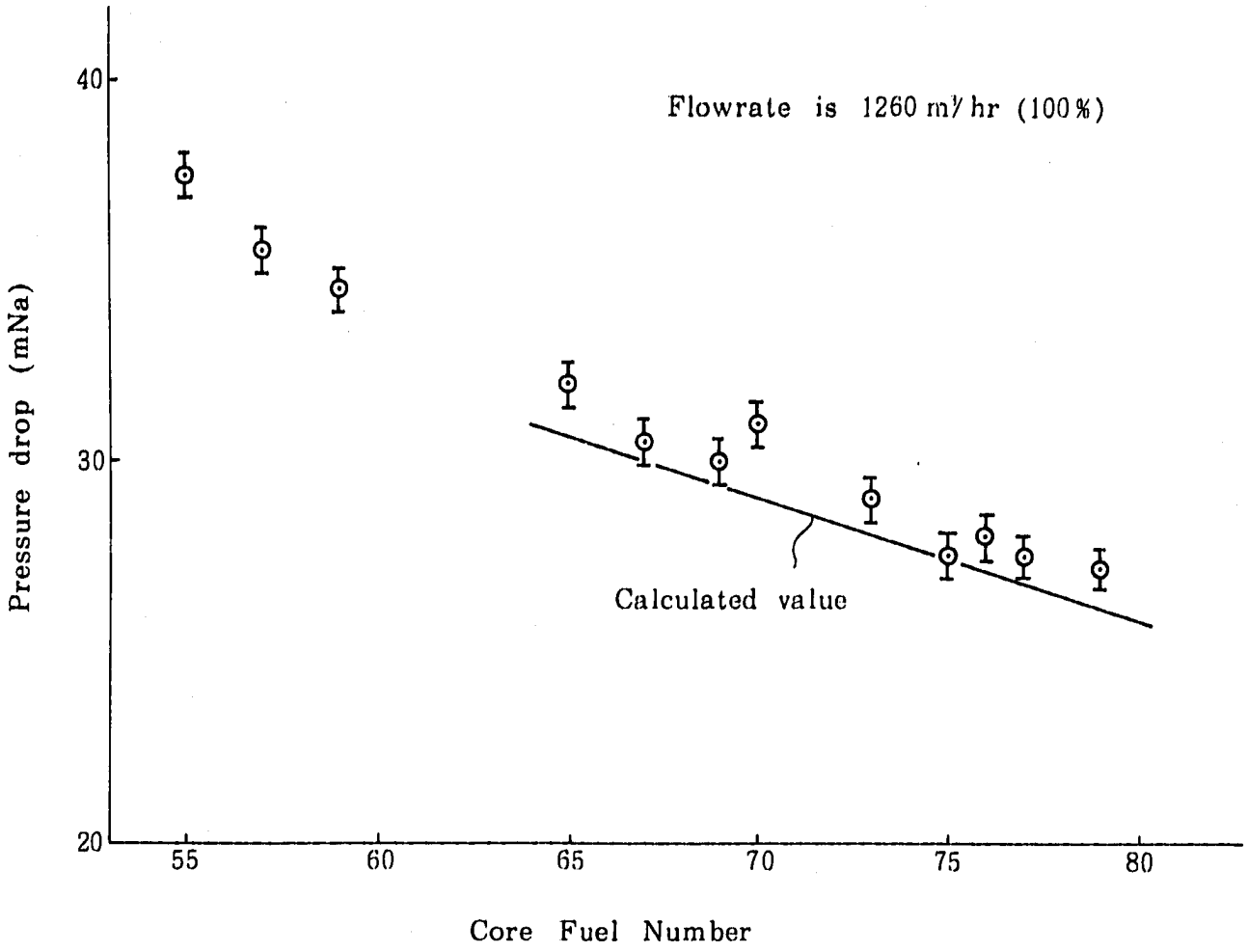


Fig.7.3 Change of loop pressure drop (A loop)

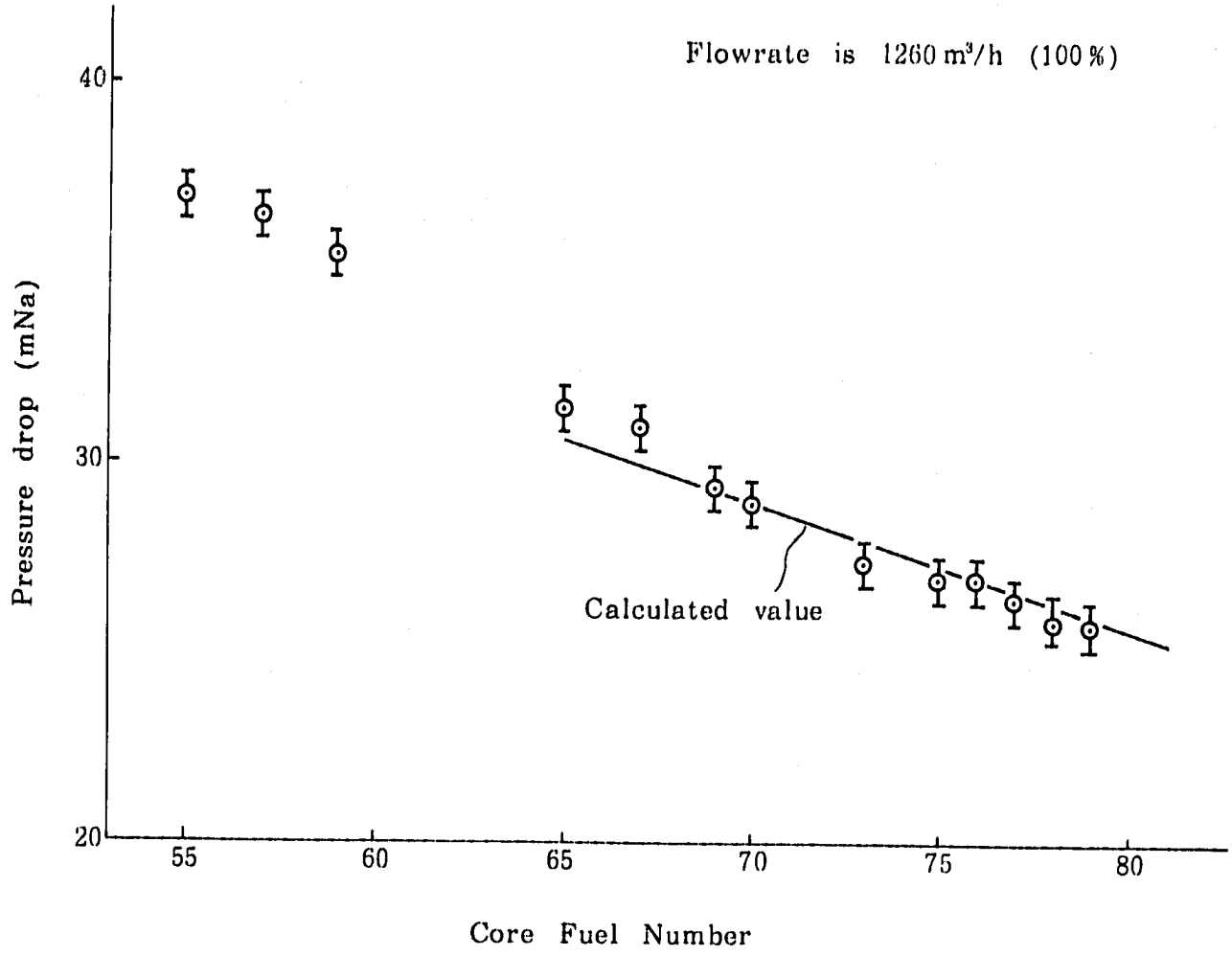


Fig. 7.4 Change of loop pressure drop (B loop)

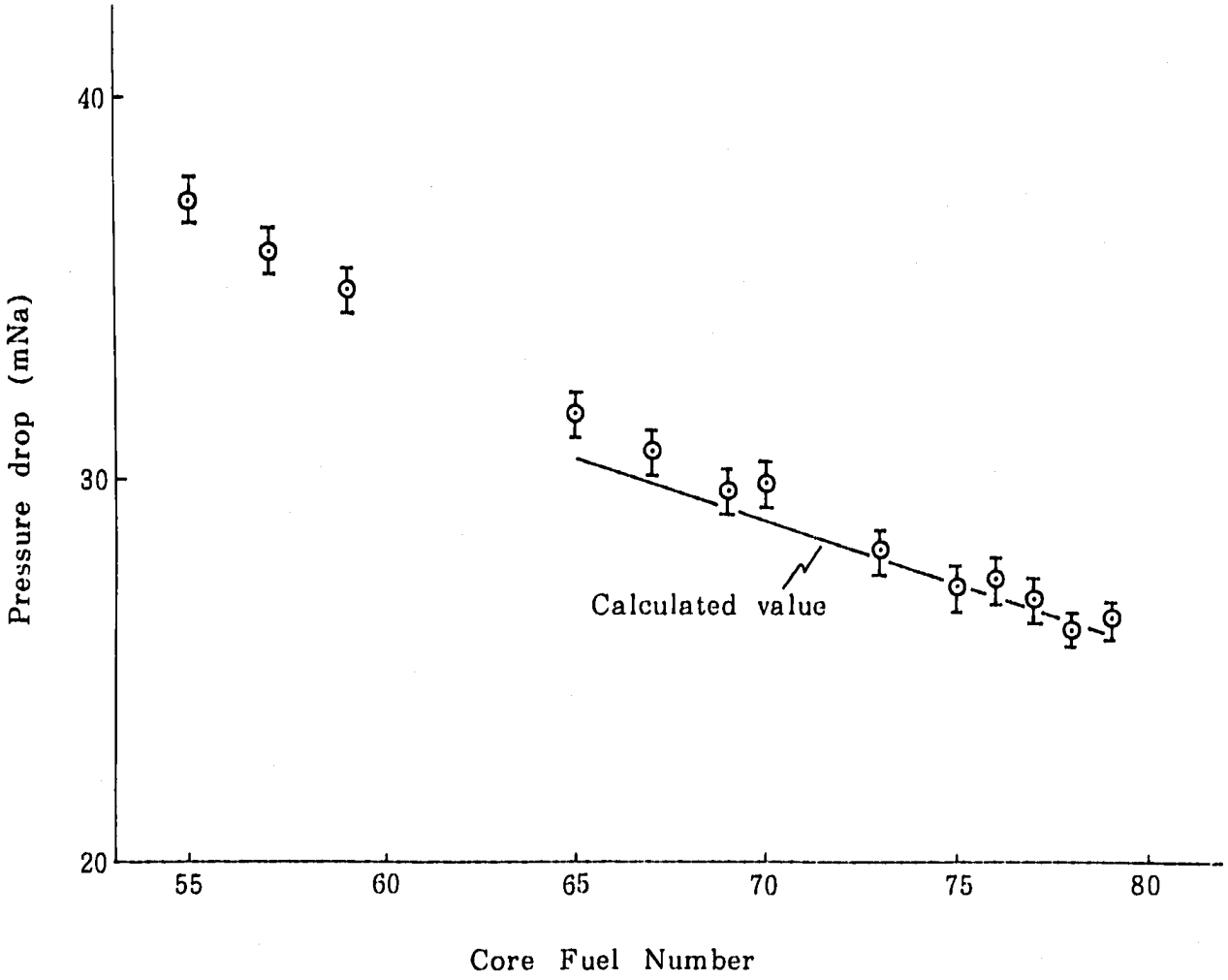


Fig.7.5 Change of loop pressure drop (Average of A and B loop)

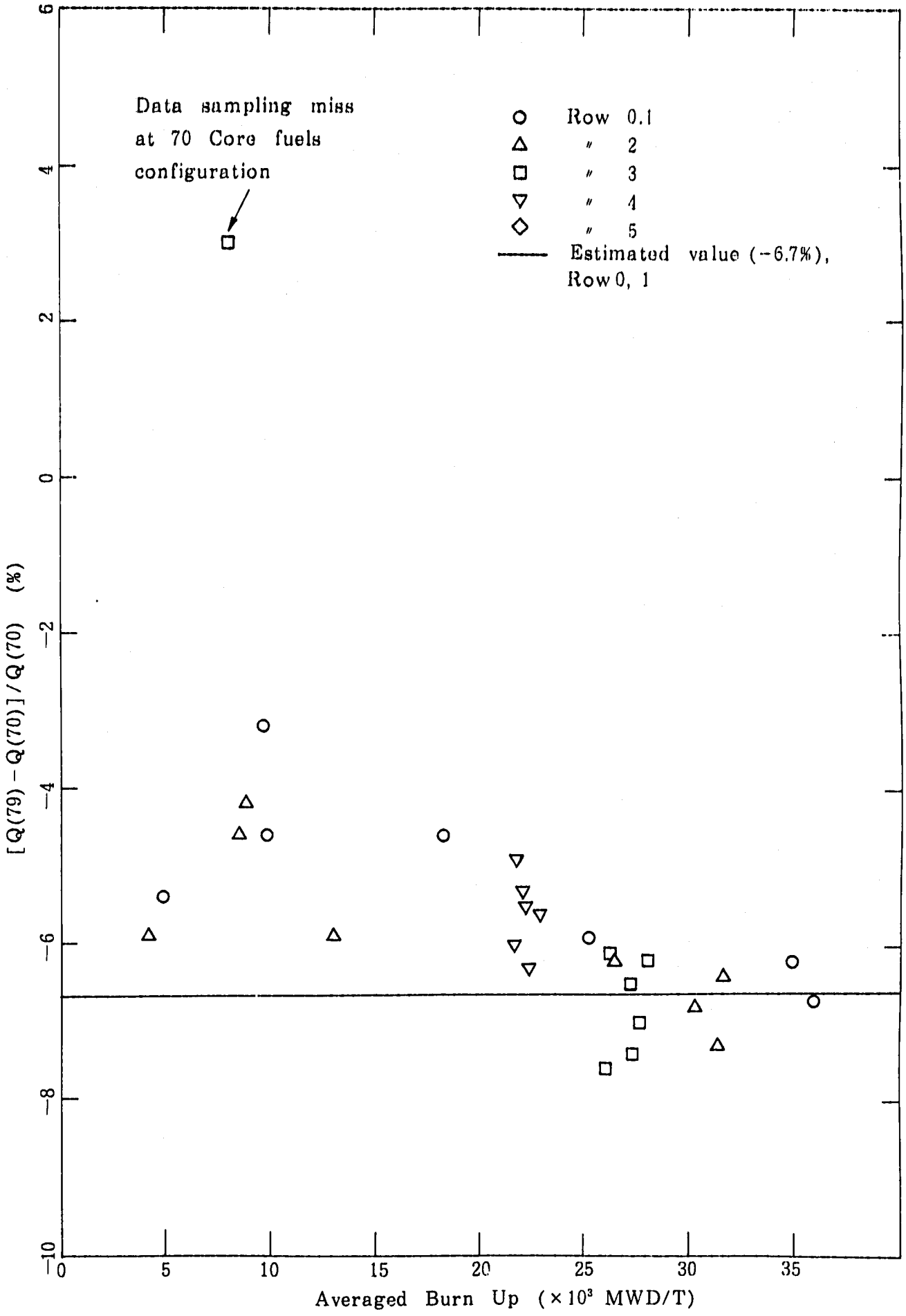


Fig.7.6 Burn up dependency of S/A flowrate.

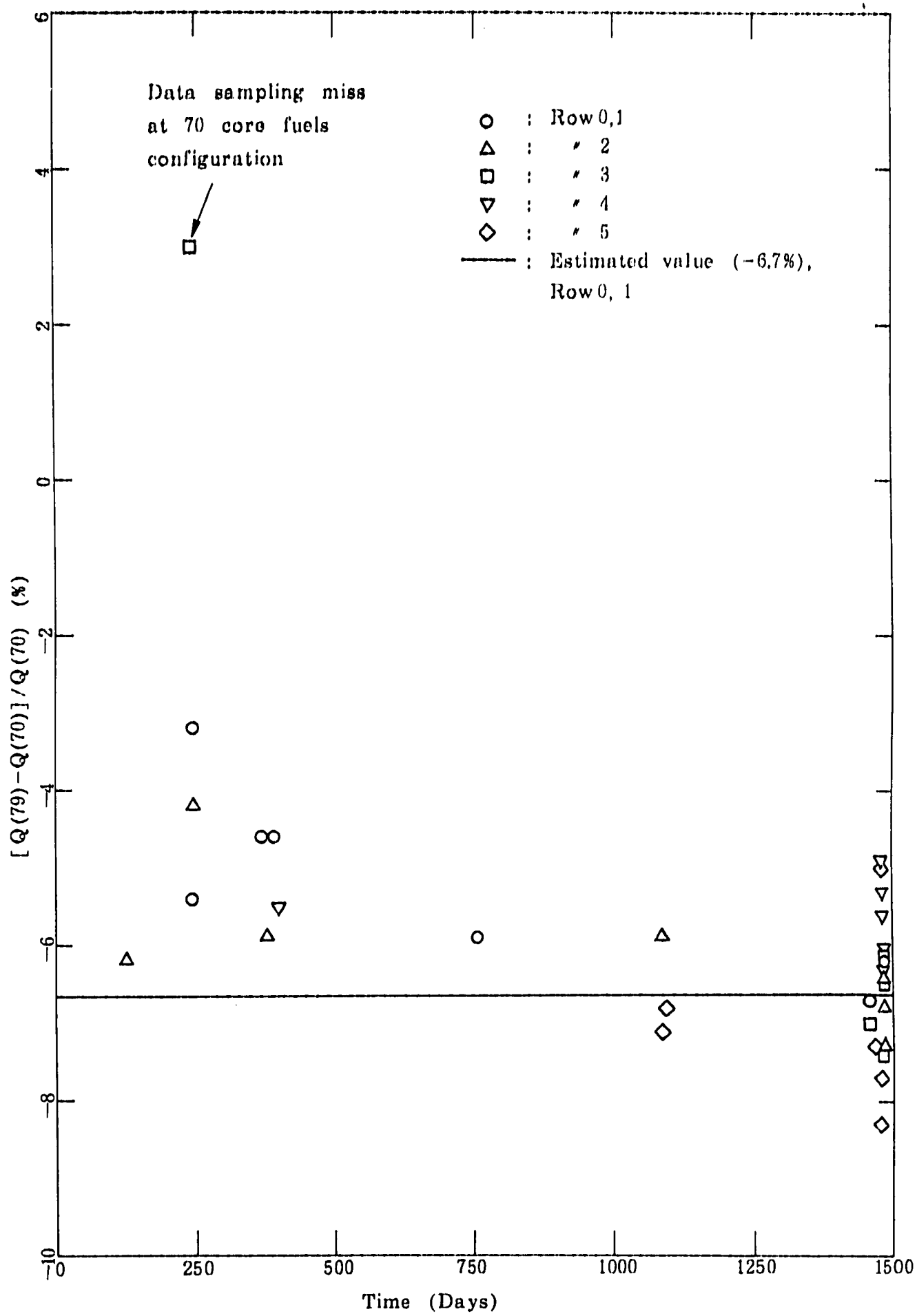


Fig. 7.7 Time dependency of S/A flowrate.

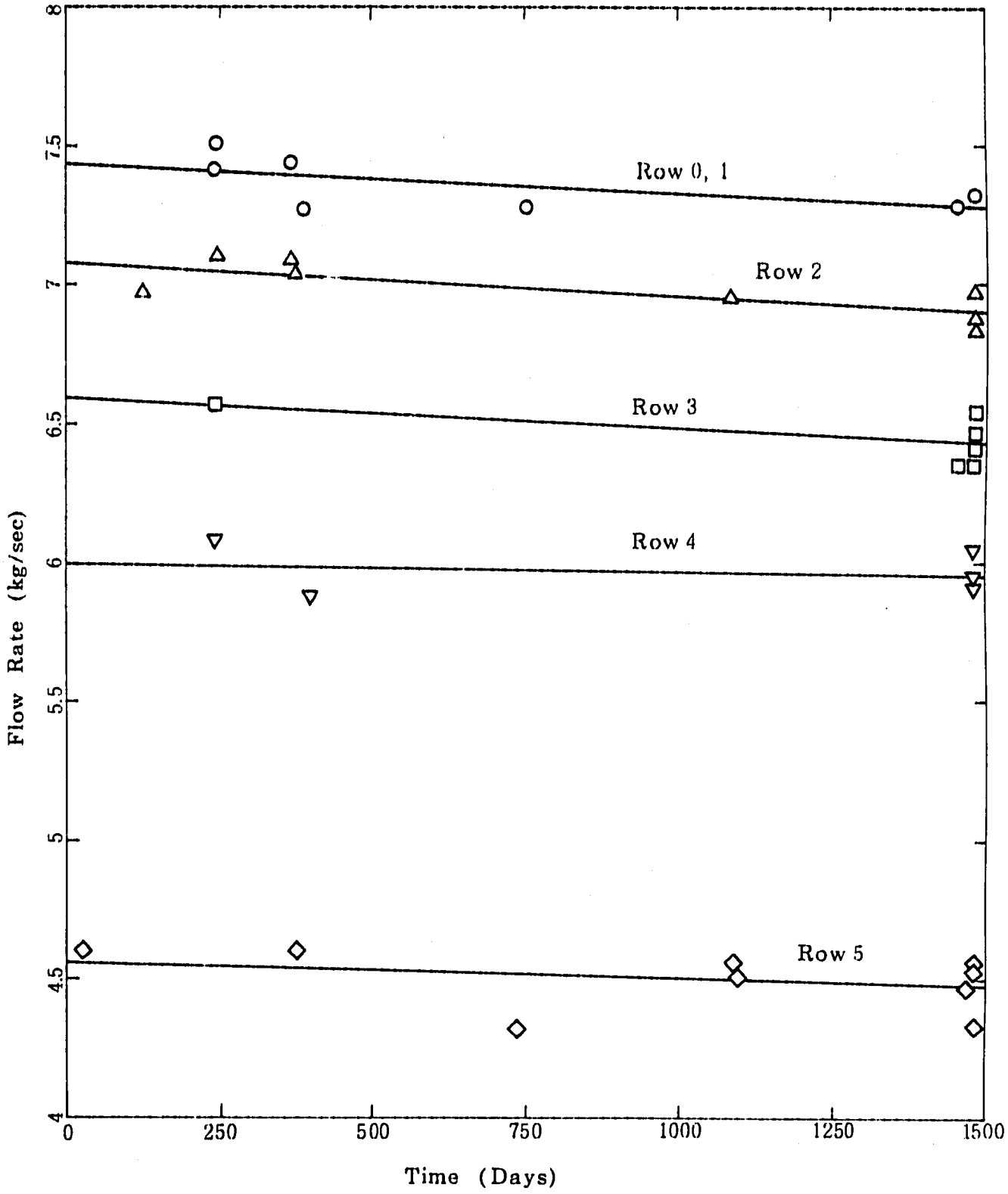


Fig.7.8 Time dependency of S/A flowrate (Absolute value).