

JAERI-M  
8020

グレーノーズ付制御棒効果に関する  
臨界実験

1979年1月

小林 岩夫・鶴田 晴通・須崎 武則・  
大野 秋男・村上 清信・桜井三紀夫\*・  
丸山 博見\*・山口 正男\*・川上 数雄\*

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.

グレーノーズ付制御棒効果に関する臨界実験

日本原子力研究所動力試験炉部開発室

小林岩夫・鶴田晴通・須崎武則・大野秋男

村上清信・桜井三紀夫・丸山博見・山口正男\*

川上数雄\*

( 1 9 7 8 年 1 1 月 2 9 日受理 )

軽水炉における燃料管理上の問題の一つは燃料破損であり、その原因については多くの議論がある。BWRの場合、炉物理的要因の一つは制御棒引抜時における制御棒先端近くの燃料棒の出力上昇率が大きいことにあるとされており、現在は出力上昇率を制限してこの問題に対処している。これは定格出力への到達時間を長くし、原子炉の運転効率の低下をもたらす。

この出力上昇率を低減させるために、制御棒先端部に弱吸収体（グレーノーズ）を設けることを提案し、それが出力分布に与える効果を実験的に評価した。グレーノーズは、ステンレス・スチール、ジルカロイ、アルミニウムなどで製作し、特に軸方向の出力分布に与える効果を重点的に測定した。実験は軽水臨界実験装置TCAを用いて行った。

測定結果から、ある構造のグレーノーズを用いると、15cm(実炉における1ノッチ)引抜にともなう出力上昇率を在来のものと比較して、約43%低減できることが明らかとなつた。これによつて、燃料健全性に関するインパクトを大幅に緩和せしめ、発電所の運転効率を年間約1.5%高め得ることとなつた。

---

\* ) 日立製作所

Critical experiment on the decrease of power gradient  
with a "Gray Nose Control Rod"

Iwao KOBAYASHI, Harumichi TSURUTA, Takenori SUZAKI,

Akio OHNO, Kiyonobu MURAKAMI, Mikio SAKURAI\*,

Hiromi MARUYAMA\*, Masao YAMAGUCHI, Kazuo KAWAKAMI\*

(Received November 29, 1978)

In order to lower the large power increase rate of fuel rods adjacent to a control rod in a BWR, a "Gray Nose Control Rod" (GNCR) is proposed; it was examined experimentally with a critical assembly TCA in the Japan Atomic Energy Research Institute. The GNCR has a weak thermal neutron absorber "gray nose" about 20cm long at tip of a conventional control rod. Axial and radial power distributions were measured by gamma scanning method. A reactivity worth curve of the control rod was measured by pulsed neutron technique and this was compared with the conventional curve. With the GNCR, the impact of control rod withdrawal upon the fuel is reduced such that the local power increase rate with control rod withdrawal is decreased by 43% from the conventional. The yearly power plant capacity factor can be improved by 1.5% due to better performance of the control rod.

Keywords: Gray Nose Control Rod, Neutron Absorber, Axial Power Distribution, Reactivity Worth, Rod Withdrawal Impact, Power Increase Rate, Critical Experiment, BWR

\* Hitachi Ltd.

## 目 次

グレーノーズ付制御棒効果に関する臨界実験	1
1. 序	2
2. 実験装置	6
2.1 臨界集合体の構造	6
2.1.1 炉心構造	6
2.1.2 グレーノーズ付制御棒	7
3. 実験方法	8
3.1 出力分布	8
3.2 反応度効果	9
4. 実験結果及び検討	10
4.1 出力分布	10
4.2 反応度効果	13
5. 解析	15
5.1 解析方法	15
5.2 解析結果及び実験値との比較	16
6. 結論	18
謝辞	19
参考文献	19
付録	64
A.1 臨界条件および炉心平断面図	64
A.2 出力分布	69
A.2.1 測定一覧表	69
A.2.2 炉心平断面図	75
A.2.3 測定結果	82
A.2.4 3次元分布	
A.3 実験用機材の構造(図面集)	145

## C o n t e n t s

1. Introduction .....	2
2. Experimental facility .....	6
2.1 Tank-type Critical Assembly (TCA) .....	6
2.1.1 Core structure.....	6
2.1.2 Gray Nose Control Rods .....	7
3. Experimental method .....	8
3.1 Power distribution.....	8
3.2 Reactivity effect .....	9
4. Experimental results and discussion.....	10
4.1 Power distribution.....	10
4.2 Reactivity effect .....	13
5. Analysis .....	15
5.1 Analytical method .....	15
5.2 Comparison with experimental results .....	16
6. Results .....	18
Acknowledgements.....	19
References .....	19
Appendix A.1 Criticality conditions and plan view of cores .....	64
Appendix A.2 Power distribution .....	69
A.2.1 List of measurements .....	69
A.2.2 Plan view of cores .....	75
A.2.3 Measured results .....	82
A.2.4 Three dimensional power distributions .....	
Appendix A.3 Experimental apparatus.....	145

## List of Photographs

Photo. 1. TCA .....	4
Photo. 2. Core (a) : A conventional type control rod is partially inserted in the core .....	5
Photo. 3. Core (b) : A sheath type (1L) gray nose control rod is fully withdrawn .....	5

## List of Tables

Table 1. Fuel rod, Channel box and Grid plate .....	20
Table 2. Specification of the gray nose control rods .....	21
Table 3. Gray nose effects.....	23
Table 4. Critical configurations of cores.....	24
Table 5. Reactivity worths of conventional and sheath (1L) type control rods.....	25
Table 6. Calculational conditions .....	26
Table 7. Atomic number densities.....	26
Table 8. Few group constants .....	27
Table 9. Calculated effective multiplication factors .....	27

## List of Figures

Fig. 1. Vertical cross-sectional view of TCA .....	28
Fig. 2. Plan view of TCA .....	29
Fig. 3. Plan view of core .....	30
Fig. 4. Vertical cross-sectional view of core .....	31
Fig. 5. Fuel cross section, nominal dimensions.....	32
Fig. 6. UO <sub>2</sub> fuel rod.....	32
Fig. 7. Gray nose structure and identifications.....	33
Fig. 8. Counting system of F.P. $\gamma$ -rays .....	34
Fig. 9. Vertical arrangement of control rod and positions of power distribution measurements .....	34

Fig.10.	Axial power distributions for the conventional type control rod 1/2 withdrawal.....	35
Fig.11.	Axial power distribution change with 15cm withdrawal of a control rod .....	36
Fig.12.	Relative power increase by 15cm withdrawal of the conventional type control rod .....	36
Fig.13.	Comparison of axial power distributions between the Al (1L) and conventional type control rods.....	37
Fig.14.	Comparison of axial power distributions between the SS (1L) and conventional type control rods.....	37
Fig.15.	Comparison of axial power distributions between the Zr'y (1L) and conventional type control rods.....	38
Fig.16.	Comparison of axial power distributions between the SS (1L) and conventional type control rods.....	38
Fig.17.	Comparison of axial power distributions between the cruciform handle and conventional type control rods.....	39
Fig.18.	Comparison of axial power distributions between the Al (1L), Al (2L) and conventional type control rods.....	39
Fig.19.	Comparison of axial power distributions between the sheath (1L), sheath (2L) and conventional type control rods.....	40
Fig.20.	Comparison of axial power distributions between the sheath (1L) and conventional type control rods in visual evaluation of grgy nose effect .....	40
Fig.21.	Comparison of axial power distributions between the sheath (2L) and conventional type control rods.....	41
Fig.22.	Comparison of axial power distributions between cruciform handle and conventional type control rods.....	41
Fig.23.	Axial power distributions with several withdrawals of the conventional type control rod.....	42
Fig.24.	Axial power distributions with several withdrawals of the sheath type control rod.....	42
Fig.25.	Axial power distributions with several withdrawals of the cruciform handle type control rod .....	43
Fig.26.	Relative power increase by 15cm withdrawal of the Al type control rod .....	43
Fig.27.	Relative power increase by 15cm withdrawal of the seath type control rod .....	44

Fig. 28.	Relative power increase by 15cm withdrawal of the cruciform handle type control rod.....	44
Fig. 29.	Relative power increase by 15cm withdrawal of the sheath type control rod from 87cm .....	45
Fig. 30.	Relative power increase by 15cm withdrawal of the cruciform type control rod from 87 cm.....	45
Fig. 31.	Three dimensional power distribution in an assembly with the conventional type control rod 72cm withdrawal Section Distance from bottom of active fuel	
A	20 cm	
B	40	
C	60	
D	80	
		..... 46
Fig. 32.	Three dimensional power distribution in an assembly with the sheath type control rod 72cm withdrawal Section Distance from bottom of active fuel	
A	20 cm	
B	40	
C	60	
D	80	
		..... 47
Fig. 33.	Radial power distribution on section B ( 40cm from bottom of active fuel ). The conventional type control rod is 1/2 ( 72cm ) withdrawn.....	48
Fig. 34.	Radial power distribution on section 36.2cm above the bottom of active fuel. The conventional type control rod is fully inserted.....	49
Fig. 35.	Water level worths with conventional type control rod and without control rod .....	49
Fig. 36.	Water level worths of cores with control rod positioned at 72, 79 and 87cm .....	50
Fig. 37.	Reactivity worth of a fuel rod located at periphery of core .....	50
Fig. 38.	Position of booster rod .....	51
Fig. 39.	Reactivity worth of the booster rod .....	51
Fig. 40.	Core pattern used for the estimation of reactivity worth of the cruciform handle type ( 1L ) gray-nose .....	52

Fig. 41.	Core pattern used for the estimation of reactivity worth of the SS type gray-nose.....	52
Fig. 42.	Core pattern used for the estimation of reactivity worth of the sheath type gray-nose and for the measurement of control rod worth .....	52
Fig. 43.	Reactivity worth curves of conventional type and sheath (1L) type control rods.....	53
Fig. 44.	Comparison of reactivity worth curves between conventional type and sheath (1L) type control rods .....	53
Fig. 45.	Calculational scheme .....	54
Fig. 46.	Geometry for one rod cell calculation .....	55
Fig. 47.	Geometry for one bundle cell calculation (using spectrum correction).....	55
Fig. 48.	Geometry for five group integral transport calculation .....	55
Fig. 49.	Material map for PDQ equivalent code .....	56
Fig. 50.	An example of FASMO material map .....	57
Fig. 51.	Geometry and mesh points in one bundle .....	58
Fig. 52.	Geometry for FASMO calculation (horizontal) .....	58
Fig. 53.	Geometry for FASMO calculation (vertical, sheath type (1L)) .....	59
Fig. 54.	Geometry for FASMO calculation (vertical, cruciform handle type (1L)).....	59
Fig. 55.	Calculated control rod worth curve .....	60
Fig. 56.	Calculated axial power distribution for the conventional type control rod 72cm withdrawal .....	60
Fig. 57.	Calculated axial power distribution for the sheath type control rod 72cm withdrawal .....	61
Fig. 58.	Calculated axial power distribution for the cruciform handle type control rod (72+15) cm withdrawal .....	61
Fig. 59.	Scheme of cruciform handle in calculation .....	62
Fig. 60.	Calculated radial power distribution in an assembly for the sheath type control rod 72cm withdrawal .....	63

## グレーノーズ付制御棒効果に関する臨界実験\*

軽水炉に関する技術のわが国への導入は、昭和38年10月26日にJ P D Rで発電を開始したことがその第一歩とされる。以来15年の間に商用原子力発電所の建設は当初の計画が大幅に縮小されたものの着実に進展し、53年12月現在で18基、認可出力合計1,150万kWに達した。この間にわが国の動力炉建設技術は長足の進歩を遂げ、プラントの国産化率は優に90%を越す段階に至った。

軽水炉物理の実験的研究を志してT C Aを建設し、臨界実験を始めてから17年が経過した。この間、J P D Rに装荷する国産燃料の核特性の測定などを通じて間接的に商用発電炉にフィードバックされるような技術を蓄積してきた。今回、制御棒先端部の改造について日立製作所と共同研究を行うことになったのは、米国一辺倒であった今までの完全技術導入型思想を打破しようとする試みの現れであり、わが国独自の技術を自主的に取入れようとするものである。

商用軽水炉における燃料管理上の大きな問題の一つは、燃料破損である。その原因として多くの考え方方が議論されているが、炉物理的な要因の一つとしてはB W Rの場合、制御棒引抜時ににおける制御棒先端近くの燃料棒の出力上昇率が大きいことにあるとされており、現在は出力上昇率を制限してこの問題に対処している。これは定格出力への到達時間を長くし、原子炉の運転効率の低下をもたらす。

制御棒引抜時の出力上昇率を低減させるために、制御棒先端部に弱吸収体（グレーノーズ）を設けることを提案し、それが出力分布および反応度に与える効果を評価するため、材質、構造などをパラメータとした一連の臨界実験を実施した。

### \* 共同研究

題 目 金属製グレーノーズ制御棒効果の臨界実験

期 間 昭和52年9月1日～53年8月31日

## 1. 序

軽水減速型商用原子力発電所における燃料管理上の最大課題は、いかにして燃料の破損を生じさせないかである。燃料破損の原因としては多くの問題が取上げられ、機械、材料、核熱水力等の多面的視野から議論されているが、その解決策は未だ明らかにされていない。しかし、燃料の線出力密度の急上昇は破損に連る要因の一つであると考えられており、現在は一般に線出力密度上昇率を低下させ、 $0.06 \text{ kW}/\text{ft}/\text{h}$  ( $0.4 \sim 0.5\% \text{ Power}/\text{h}$ ) 程度としてこの問題に対処している。特にBWRの場合はPWRと異なり、炉の出力分布制御に制御棒を用いることから、制御棒引抜きに伴うその先端部近くの燃料棒の出力が急上昇するため、線出力密度上昇率を一定値以下に保つためには複雑な運転上の制約を課せられることになる。この制約は制御棒引抜きパターンの変更の都度受けるものであり、定格出力への到達時間を長くし、炉の運転効率を低下させている。

現在の制御棒の構造は、中性子吸収体として $\text{B}_4\text{C}$ を使用し、これをステンレス・スチール(SS)管に封入し十字型の翼状に加工されたもので、その引抜きにより、4燃料集合体の中央部十字形部分は中性子の減速材である軽水に置換される。この置換された軽水によって中性子が減速され、局的に高い熱中性子束分布が形成され、それと反応する燃料集合体の十字形水ギャップに面した角の燃料棒(コーナーロッド)に大きな線出力密度の上昇をもたらす。一方JPDTRのような初期の動力炉の制御棒は、その先端部に燃料の有効長に相当するジルカロイ( $\text{Zr}'y$ )製のフォロアを持っている。しかし、このフォロアは制御棒の駆動とともにう機械的な案内棒として設計されており、引抜き後に置換される軽水を排除する目的を持った核的フォロアでは無い。このため軽水を排除してはいるものの、その量が少なく、出力に与える効果としてはフォロアが無い場合とほとんど変わらない。その結果、前述の制御棒と同等に急激な出力上昇率がもたらされている。

これらの問題を解決するためには、制御棒先端部の改造を行い、段階的に熱中性子の吸収量を減少させ、 $\text{B}_4\text{C}$ から軽水に置換されることによる急激な熱中性子束分布の増大を緩和する必要がある。そこで、制御棒先端部にSS,  $\text{Zr}'y$ ,  $\text{Al}$ などを取付け、出力分布に与える効果を測定すると共に実炉に使用されている解析手法の検討を行った。

実験は軽水臨界実験装置TCAを用いて行った。TCAの炉心タンク内にBWR炉心の基本となる4燃料集合体と1制御棒から構成される、BWR模擬試験領域を組立て、その外周を臨界調整用燃料棒で囲んだ。出力分布については、ガンマ・スキャニング法によって制御棒近くの燃料棒について軸方向に特に詳細に、実験体系の全炉心については3次元的な値を比較的粗い点について測定した。

解析はTHERMOS<sup>(1)</sup>, GAM<sup>(2)</sup>相当の核定数計算コード、及びCITATION<sup>(3)</sup>相当の3次元拡散計算コードFASMO<sup>(4)</sup>を用いて行った。

この実験の目的にはさらに一つの重要な意味が持たらされている。それは、核計算コードの検証に有効に利用される出力分布データを測定することである。世界的に見ても臨界実験として、3次元的なベンチマークデータが得られているものはほとんどない。TCAを用いた実験からは、すでに多くのデータが発表されているが、むしろこれらは物理的な解釈を容易にするために、吸収体入り体系のものでも1次元、2次元的なデータがほとんどである。今後は実用炉における諸問題を評価する上からも、この種の3次元的なデータが益々必要となろう。

第2章にはTCAの簡単な説明と実験機材の仕様、組立等について述べ、第3章に出力分布、反応度に関する実験方法を、第4章には実験結果及びその検討を第5章には計算手法とその結果、および実験値との比較について記述し、第6章に結論を述べた。

付録A.1には、臨界炉心の平断面図と燃料本数、炉心高さを、A.2には出力分布の測定値を示し、軸方向についてはその分布図も含めて記載した。また実験用機材の図面をA.3に集録した。

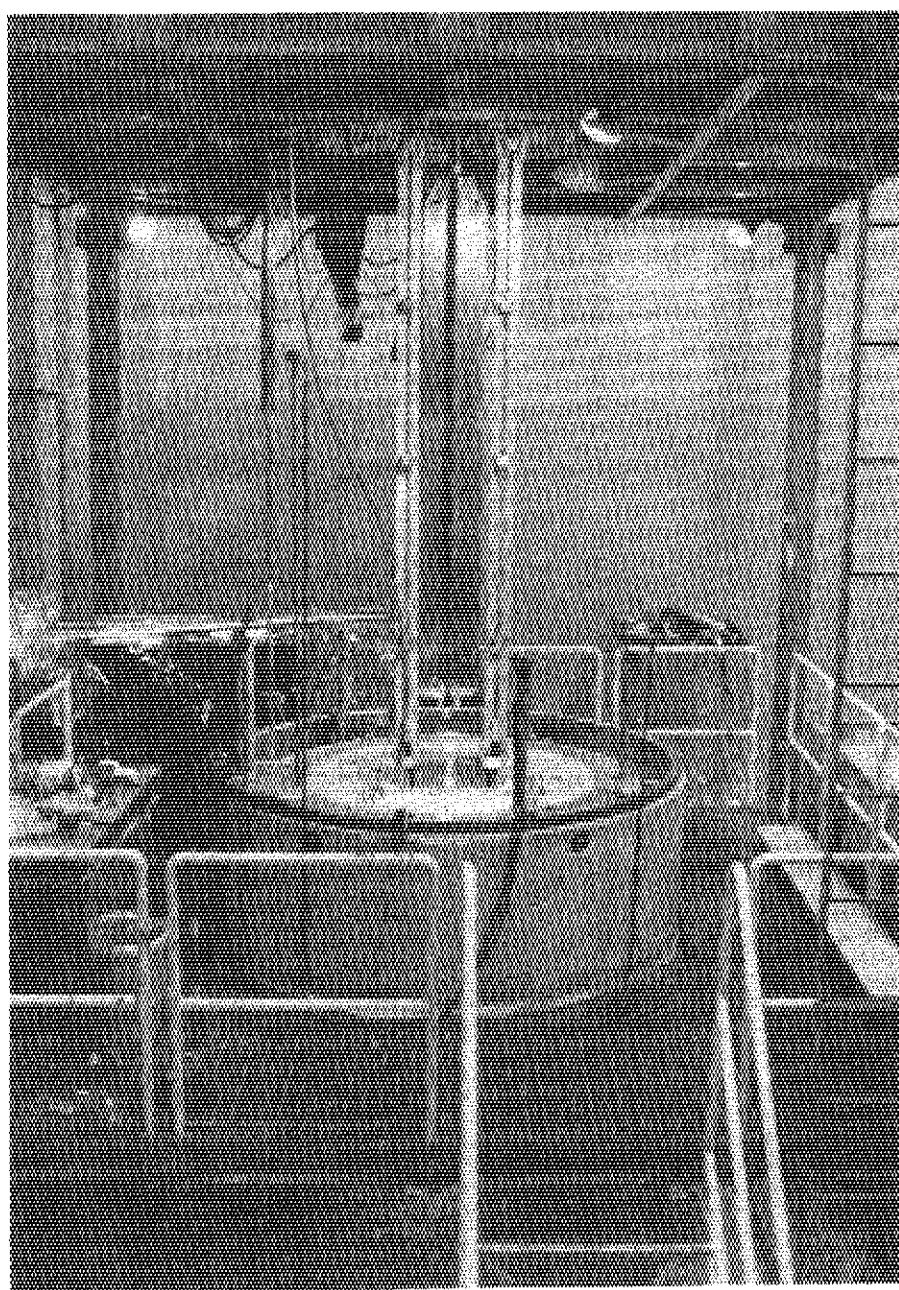


Photo. 1. T C A

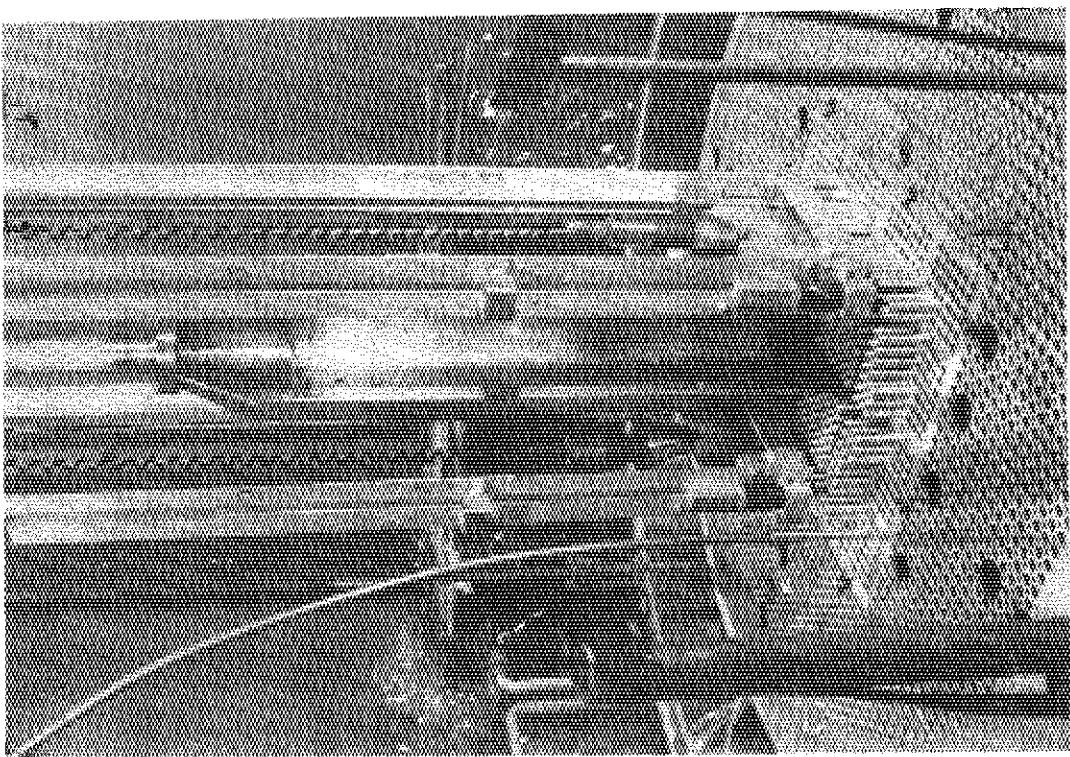


Photo. 2. Core (a) : A conventional type control rod is partially inserted in the core.

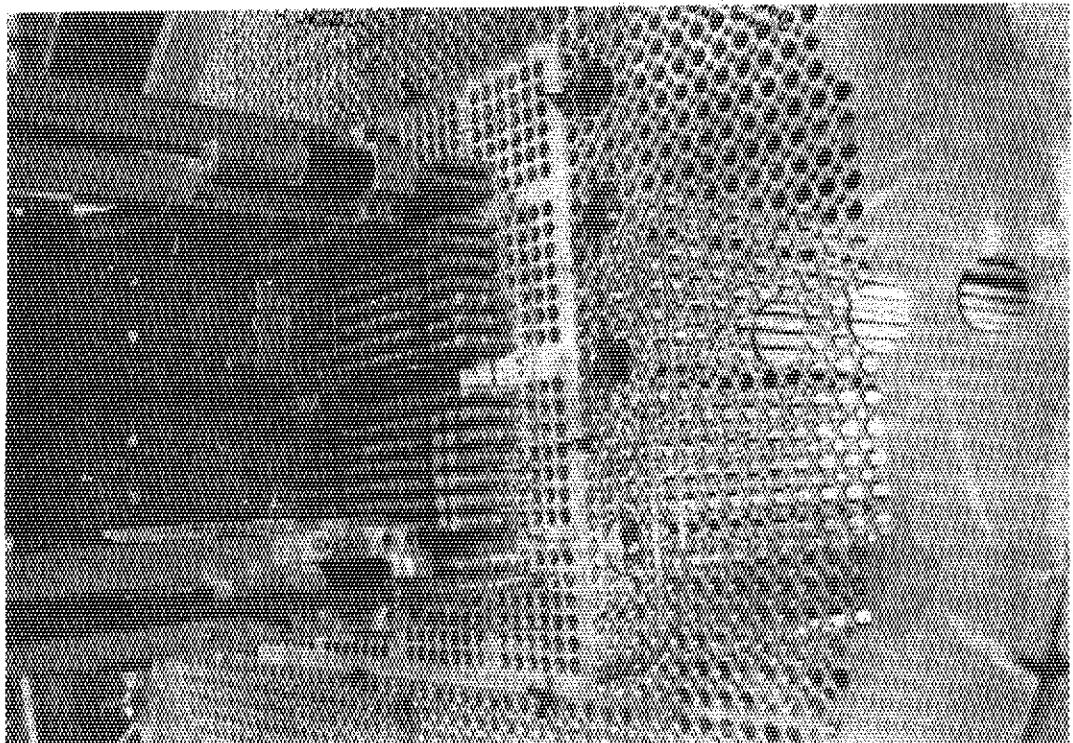


Photo. 3. Core (b) : A sheath type (1L) gray nose control rod is fully withdrawn.

## 2. 実験装置

### 2.1 臨界集合体の構造

TCAは2.6w/o UO<sub>2</sub>燃料を用いた零出力軽水減速型臨界実験装置であり、直径1.8m、高さ2.0mのステンレス製炉心タンク内の上、下に燃料格子板があり、燃料棒、チャンネルボックス及び安全板等が装荷されるようになっている。TCAの全景をPhoto.1に、TCAの側面および平面図をFig.1および2に示す。

TCAの反応度制御は減速材である軽水の水位を制御することによって行われ、反応度制御のためのいわゆる制御棒は使用されていない。中性子の増倍は反射体中に設けられている6系統の中性子検出器により監視される。緊急停止時にはCd製板からなる安全板が自由落下すると同時に減速材である軽水が排水される。この安全板を炉心中に挿入する位置は、燃料棒と燃料棒の間の隙間であるが、このために燃料棒の装荷できない領域が生じたり、燃料棒格子間隔が変更されるようなことはない。またこの実験は全て室温の下で行った。

以下に実験に使用した機材の概略を記すが、詳細は付録A.3の図面集に示されている。

#### 2.1.1 炉心構造

炉心は7×7燃料棒配列からなる4燃料棒集合体（試験領域）と、それを取囲むドライバー燃料領域および中心に装荷される十字型制御棒から構成されている。今回の実験では、この十字型制御棒の先端部に各種の弱吸収体を取付けているが、この制御棒は臨界実験装置の運転中は固定されており、反応度の制御には用いられていない。その軸方向の位置決めは上部機械装置ブリッジにおいて、制御棒をつり上げている中空パイプに設けられた25mm間隔の穴にピンを挿入することによって行った。Photo.2, 3及びFig.3, Fig.4に炉心の構造を、Fig.5に試験領域の主な寸法を示す。なお4燃料集合体の四隅に2.0w/o 濃縮UO<sub>2</sub>燃料棒をそれぞれ3本ずつ装荷した体系についても実験を行い、燃料集合体内の燃料棒の濃縮度分布との関係について実験した。しかしこの体系を用いた実験ケースは少なく、運転番号(Run No.)が6273と6274の2ケースのみである。

##### i) 燃料棒

主に用いたものは2.6w/o UO<sub>2</sub>燃料棒であり、外径14.2mmのAl製被覆管に外径12.5mmの2.6w/o 濃縮UO<sub>2</sub>ペレットが封入された有効長1,441.5mmのものである。特殊なケースとして2.0w/o UO<sub>2</sub>燃料棒を用いたが、これは<sup>235</sup>Uの濃縮度が異なるのみで他の仕様は全く同一である。その構造をFig.6に示す。

##### ii) 燃料格子板

4燃料集合体、ドライバー燃料棒及び制御棒の位置決めをするために炉心上下部にそれぞれ2枚のAl製燃料格子板を設置した。燃料挿入孔は直径14.48mm、挿入孔間隔（格子間隔）は18.75mmである。この単位格子内の水と燃料との体積比(H<sub>2</sub>O/UO<sub>2</sub>)は1.58である。こ

これらの格子板は燃料有効部から 70 mm 以上離れた位置にあり、軸方向の出力分布や、炉心の反応度に与える効果は無視できる。

### III) チャンネルボックス

1 辺 138.1, 高さ 1,860 mm の Zr'y-4 製四角筒状のチャンネルボックスで、上下部には 7 × 7 配列の燃料棒が装荷できるような小格子板が上記燃料格子板と同一の高さに 2 枚ずつ取付けられている。

上記燃料棒、燃料格子板及びチャンネルボックスの主な仕様を Table 1 に示す。

なお、炉心の反応度の調整をするのに 1 本の反応度が 10 Q 程度の実験用制御棒を用いたが、これは 3.2 w/o 濃縮 UO<sub>2</sub> 燃料棒であり、以下この報告書ではブースタ・ロッドと呼んでいる。

#### 2.1.2 グレーノーズ付制御棒

この実験に用いたグレーノーズ付制御棒は BWR 型の制御棒を、その吸収体部分の長さを短くして、TCA 炉心に装荷できるよう加工したものである。中性子の吸収材は B<sub>4</sub>C で、これがステンレス・スチール (SS) 製の細管に封入されており、それぞれ 21 本の細管が十字型の各翼に収納された構造である。この制御棒の先端部分に Table 2 及び Fig. 7 に示す構造、材質の弱吸収体を取付けたグレーノーズ制御棒を製作した。すなわち、その主な仕様は、従来型の制御棒の先端に、シースのみを延長し、その中にステンレス・スチール (SS 型)、ジルカロイ-4 (Zr'y 型) あるいは何も挿入しない (実験中は水が入ることになるが、この場合をシース型と呼ぶ) 構造のもの、及びシース型の先端に十字型のハンドルを付けた改良ハンドル型のものを製作した。そしてこのような構造が従来型のものにくらべて中性子に対する吸収効果が段階的に減少していくものと考えた。この先端部の構造は、熱中性子に対する吸収効果が弱く、強吸収体である B<sub>4</sub>C が黒体として扱われるのにくらべて灰色であることから、グレーノーズと呼んでいる。なお、実炉において機械、材料的な観点から適用が難しいと考えられるが、炉物理的には中性子に対する吸収効果を段階的に減少させるという意味から、B<sub>4</sub>C-SS-Zr'y から構成されるものも効果的であると考えた。このような構造を得るために、入手が困難である Zr'y の模擬材料として吸収断面積の小さな Al を用いたアルミ型グレーノーズを製作した。

また、これらの外に、グレーノーズ部の長さをパラメータとした実験を行うため、グレーノーズの部分がほぼ 2 倍の構造のものも製作し、これを上記 (1 L) のものに比較し、2 L として示した。

### 3. 実験方法

#### 3.1 出力分布

臨界実験装置の一定出力運転中に燃料棒内に蓄積される核分裂生成物（F.P.）から放出されるガンマ線強度が出力に比例することを用いたガンマスキャニング法によって出力分布を測定した。すなわち、100～200 watt·minの運転の後に炉心から取出した燃料棒を幅10mm（軸方向出力分布測定時）あるいは20 mm（水平方向出力分布測定時）の鉛製スリットを持ったNaI(Tl)シンチレーションカウンターの前面に設置し、燃料内のF.P.から放出される0.6 MeV以上の $\gamma$ 線を測定した。測定器の配置をFig.8に示した。

出力分布を測定した燃料棒の炉心内装荷位置はFig.3に示してある。軸方向の分布は1燃料集合体の内の5本について最小30 mmの間隔でFig.9に示すように詳細に測定した。径方向の分布は、1燃料集合体内の値が詳細に求められるように、軸方向A, B, C, D断面について、各断面の $7 \times 7 = 49$ 本の燃料棒のうち、対称性を考慮して28本についての値をそれぞれ測定した。また炉心全体の分布を求めるために、Fig.3に示すように、ドライバー燃料棒も含めたものについて径方向の測定をした。このようにして、制御棒挿入炉心の出力分布を3次元的に測定した。

炉心の構成は、径方向出力分布を求める場合、平断面内の燃料棒の配列ができるだけ正方形に近い形状のものとし、炉心の高さを決定する臨界水位は、水位の反応度付加が無視できる程度（制御棒の挿入位置に水位が達すると、水位の反応度効果は急減する）の位置とした。一方、軸方向出力分布を求める場合の炉心構成は、平断面の形状に対称性の無いものがあるが軸方向の水位は燃料有効長の上端から10.2 cm上の位置であり、完全反射体付き炉心と考えられる。この場合、水位を一定に保つため、反応度の調整にはブースタ・ロッドを用いた。

軸方向出力分布の測定はグレーノーズ付制御棒の引抜距離をパラメータとして行った。この時の制御棒の引抜距離は、燃料有効長（144.15 cm）の1/2（72.07 cm）を基準とし、その位置から上下に7.5, 15, 30 cmである。この距離は、商用炉における1ノッチの引抜距離が6インチに相当することから決定した。また引抜距離は、燃料有効長下端から制御棒のB<sub>4</sub>C吸収体の下端までの距離とした。

NaI(Tl)シンチレーションカウンタによって測定された相対的 $\gamma$ 線強度は、バックグラウンド、 $\gamma$ 線強度の時間減衰について補正され、軸方向の測定値については、コーナーロッド（No.1燃料棒）の最大値を1に規格し、径方向の測定値については集合体内の各断面28本の燃料棒の値から、その断面における $7 \times 7 = 49$ 本の集合体平均値を求め、それを1に規格した。なお、炉心全体にわたり3次元的に測定された値については、上記の規格方法の他に、全ての測定値をC断面のコーナーロッドの最大値が1になるよう規格した。測定誤差は統計的なもの

が土1%， $\gamma$ 線の時間減衰ならびに測定系の時間変動に関する誤差が土2%であるが，同一点の2回以上にわたる測定値を評価すると，標準偏差は2%以下であった。

### 3.2 反応度

#### 3.2.1 臨界量

臨界量は炉心に装荷した燃料本数と臨界状態における水位とをもって表わす。臨界状態の判定は2系統の中性子検出器からの信号が時間の経過に対して一定であることを観測することによって行った。

水位の測定は最小目盛が0.2 mmであるサーボマノメータを用いた。炉心温度は反射体中の水温とし，サーミスタ式または水晶発振式の温度計を用いて測定した。臨界時の炉出力は数ワット以下であって，燃料棒の発熱は無視し得る。

炉心形状は，その平断面が可能な限り正方形に近く，かつ対称性があるように燃料棒を配列した。軸方向の形状は，燃料棒の上部および下部の構造が異なるため一般には上下方向の対称性は無い。臨界量測定時には水位が燃料有効部上端より下にあるため，水面より上部は燃料棒と空気の格子になっているが，下部反射体は存在している。

水平方向の反射体の厚みは，いずれの炉心においても50 cm以上である。軸方向の下部については，燃料棒有効部下端から炉心タンクの底面までの距離は33 cmである。

#### 3.2.2 反応度効果

水位，燃料棒，および制御棒のグレーノーズ部とハンドル部などの約1\$以内の等価反応度はペリオド法によって測定した。ペリオドから\$単位の反応度への換算においては，本実験の集合体内水対燃料体積比は1.58であるが，すでに水対燃料体積比が1.50である炉心について計算された変換係数が用意されていたので，これを使用した。これによる誤差はほとんど無い。(ペリオドから反応度への変換係数に，水対燃料体積比が2.48の場合の値を用いても，\$単位の反応度に含まれる差は1%以下となる。)\$単位から\$単位の反応度への変換に必要な実効遅発中性子割合は0.748%<sup>(5)</sup>である。

制御棒やグレーノーズ部分の大きな負の反応度の測定にはSimmons-King法によるパルス中性子手法を用いた。<sup>(6)</sup>中性子生成時間( $\Lambda$ )の変化に対する測定値への補正は，擾動理論に基づいた式によって $\Lambda$ を求めて，次式によって行った。

$$\rho = (\rho_{SK} + 1) \frac{\Lambda}{\Lambda_0} - 1$$

ここで  $\rho$ ：補正後の反応度

$\rho_{SK}$ ：Simmons-King法による反応度

$\Lambda_0$ ：臨界体系の $\Lambda$

$\Lambda$ の計算に用いた群定数は5章に述べられる方法によって求めた。

なお，燃料棒や制御棒の反応度は，それを測定した炉心の大きさと挿入位置に依存することに注意する必要がある。

## 4. 実験結果及び検討

### 4.1 出力分布

出力分布の測定結果は炉心の平断面形状及び相対出力値について全て Appendix 2 ( A.2 ) に集録されている。さらに軸方向分布については A.2 に各測定ケースごとに図示されている。

本実験の主な目的はグレーノーズ付制御棒の出力分布に与える効果を直接的に評価するため、制御棒近傍の燃料棒の軸方向出力分布を詳細に測定することと、制御棒に隣接する集合体内の分布及び炉心全体の 3 次元的分布を測定することであった。

#### 4.1.1 軸方向出力分布

##### i) グレーノーズ効果の評価方法

制御棒に隣接する集合体内の主な燃料棒の軸方向出力分布について、その代表的な例を Fig. 10 に示した。これは従来型制御棒 ( Conventional type ) が軸方向に 1 / 2 引抜かれた状態のものである。図から明らかなように、燃料番号が 1, 2, 4, 3, 5 の順に出力分布のピーク値が小さくなっている。測定値には、炉心全体にわたる水平方向の出力分布が影響しており、試験領域が無限に広がった体系の値とは異った小さな炉心の出力分布を示している。

しかし軸方向の分布に検討の対象を限定すれば、制御棒のある領域において低く抑えられている出力が、制御棒の引抜かれている領域において急激に上昇する効果はコーナーロッド ( 1 ) において最大であることが理解できる。すなわち、( 1 ) の燃料棒に注目して、その軸方向出力分布変化とグレーノーズの種類、並びに制御棒引抜距離を比較することによって直接的にグレーノーズの効果を評価することができる。

この場合、グレーノーズの効果を定量的に評価することが必要となるが、その方法については一義的に定まらない。すなわち、出力分布は、グレーノーズの種類、制御棒の引抜き距離によって変化するが、同時に臨界量も変化することから炉心形状が異なり、出力分布の変化量が同一の炉心の大きさに対する相対的な値としては評価できないからである。しかし、グレーノーズの効果は ( 1 ) の燃料棒の出力変化で表わすことには異論はないし、評価の基準となる引抜き距離も通常運転における最小引抜き量である 15 cm ( 1 ノット ) を単位とするのが妥当であろう。参考のために、その方法については第 5 章で述べるが、Fig. 11 に従来型制御棒について計算した種々の引抜位置から 15 cm 引抜いたときの ( 1 ) の燃料棒の軸方向出力分布を示す。この図からわかる特徴的なことは、引抜前後における出力の最大値がほぼ等しいことである。これらの理由から、グレーノーズ効果の定量的評価においてはコーナーロッド燃料棒について、その軸方向出力分布の最大値を 1 に規格し、制御棒を 15 cm 引抜いたときの出力の上昇率をもって行うこととした。Fig. 12 にその評価方法を示すが、これは従来型制御棒が 1 / 2 引抜きの状態から、さらに 15 cm 引抜かれた場合の出力分布であり、両者の差 ( B - A ) の最大値は 0.53 である。この 15 cm 引抜き当たりの出力上昇率を、グレーノーズの種類をパラメータとし

て測定し、できるだけ小さな値となるものを見出すのが、本実験の目的である。また Fig. 12 に示されたグラフは、Fig. 10 に例示されているような測定値にもとづいて、目視によりなめらかな曲線を求めたものであり、制御棒引抜き距離  $1/2$  を基準として考えたが、これには特別の意味があるわけではない。しかし、制御棒先端部の出力変化が大きく現われる位置であり、実炉においても予想される制御棒の引抜き状態の中に、このような状況に近いものがあるので一つの基準とした。

### ii) 従来型制御棒との比較

Fig. 12 から理解されることであるが、出力上昇率を小さくするための一つの方法は、低出力の位置から最高出力までの距離が長く、緩慢な形を持つ軸方向出力分布を形成させることである。このためには中性子を減速、熱化させる役割を持っている軽水を制御棒先端部から局所的に排除し、さらにその位置において中性子吸収効果を段階的に弱くすることが必要である。材料の組合せとしては、J P D R 型の制御棒のよう  $B_4C-SS$  端栓-Zr'y の構造が考えられる。しかし J P D R の場合の Zr'y は機械的な制御棒の駆動案内としてのフォロアであり、肉薄 ( $0.635\text{ cm}$ ) で幅もせまい ( $11.43\text{ cm}$ ) から、減速材である水を排除する目的からは、厚さと幅を制御棒と同一とし、長さを適当に短かくすることが必要であろう。このような検討と共に、実際に炉で使用する場合の機械構造を考えて Table 2 に示すような 7 種類のグレーノーズ付制御棒を作製した。

ここでは、まずコーナーロッド 燃料棒の軸方向出力分布についてグレーノーズ付制御棒の効果を従来型制御棒の場合と比較して Fig. 13 ~ 17 に示した。いずれも従来型制御棒が  $1/2$  引抜きの状態の出力分布に対して、グレーノーズが付いた場合の出力分布を示してある。これらの結果から、低出力部分から最高出力部分までの距離は、いずれの場合も従来型のものとくらべると長くなっていることがわかり、またアルミニウム (Zr'y を模擬したもの) にくらべてステンレススチール (SS) の吸収効果が大きく、シース、ステンレススチール、ジルカロイ型のものは、先端部で出力を歪ませている。

次にグレーノーズ部分の長さについて検討した結果をアルミ型 ( $2L$ ) とシース型 ( $2L$ ) についてそれぞれ Fig. 18 と Fig. 19 に示す。両者とも先端が  $8 \sim 9\text{ cm}$  長くなっているが、出力分布は、先端部近くで歪み、全体の形をなだらかなものとはしていない。このことはグレーノーズ部分の長さには最適なものがあることを示しており、Fig. 18 からも理解されるように、アルミ ( $1L$ ) 型が理想的な長さに近いことがわかる。この場合の長さは従来型制御棒の先端部から約  $15\text{ cm}$  であり、前述の 1 ノッチに相当している。

前述のグラフからではグレーノーズの効果が理解し難いことを考えて、Fig. 20, 21, 22 に別途の出力分布比較法を試みた。すなわち、シース型 ( $1L$ ), ( $2L$ ) および改良ハンドル型 ( $1L$ ) について、いずれも炉心下部側 (左側) の出力分布が従来型のものと一致している組合せの引抜き距離にある測定値を比較した。これらのグラフから、従来型制御棒先端における出力の急激な上昇がグレーノーズによって緩和されている状況が直接的に理解される。

### iii) グレーノーズ効果の定量的評価

i) で述べた手法によってグレーノーズ効果を定量的に評価するわけであるが、その前に i) においても検討したが、 $15\text{ cm}$  引抜きにともなり出力上昇率を求めるのに、 $1/2$  引抜きの位置を

基準としたことについての妥当性を実験的に評価した。すなわち、実験上、任意の引抜距離を基準にして、15 cm引抜きにともなう変化が等しければ、このような評価手法の妥当性を裏付けることになる。このことは、各種の引抜距離に対応する出力分布の形が、互に相似形に近い形であれば良いことを示している。Fig. 23, 24, 25 にはそれぞれ従来型、シース型(1L)及び改良ハンドル型(1L)のものについて、各種の引抜距離に対する出力分布を示す。いずれのグラフも引抜きにともない、最大値の位置は、引抜距離の約1/2だけ右に移り、全体の出力分布の形は、幅が広がって形は相似している。このことは、どの引抜位置を基準にしても、(B-A)で述べた(B-A)がほぼ同一になることを示している。

(B-A)については、グレーノーズの効果が顕著に現われるものについて測定した。それらのうちから、引抜距離の基準が1/2のものについてFig. 26, 27, 28 に示す。アルミ型(1L)では(B-A)の最大値が0.35、シース型(1L)では0.44並びに改良ハンドル型(1L)では0.30である。Fig. 12に示す従来型の場合が0.53であるとの比較すると、これらの値はそれぞれ34, 17および43%小さくなっている。同様にFig. 29, 30 には引抜距離の基準を(1/2+15)cmとしたシース型及び改良ハンドル型のものについて示した。出力上昇率の最大値はそれぞれ0.41, 0.33であり、従来型の場合にくらべて23及び38%小さくなっている。この場合の従来型の値は実験的に求められていないが、1/2引抜きの値と変らないとした。Table 3にこれらの結果を示す。なお、同表中に、従来型の(B-A)の最大値0.58を基準とした値をも示した。

以上の結果から現在BWRに使用を計画している改良ハンドル型(1L)の場合は、(B-A)を評価する制御棒引抜距離が変ることによって多少の変化はあるが、38~48%の出力上昇率低減効果があり、平均的に考えて43%の効果を期待できる。

#### 4.1.2 3次元出力分布

制御棒が出力分布に与える効果を検討するには、1本の燃料棒の軸方向出力分布のみを評価する以外に、1燃料集合体あるいは炉心全体についての出力分布に与える効果などについて評価する必要がある。特に計算手法を検討する上からは制御棒近傍での詳細な出力分布が必要となる。3.1に示した方法によって測定した径方向及び軸方向の出力分布のうち、1燃料集合体内の値については、A, B, C, D断面内において対称性を考慮し、28本の燃料棒の値と、No.1~No.5の5本の燃料棒の値を内外挿することによって3次元分布を求めることができる。3次元分布のうち、A, B, C, D断面の分布を従来型の1/2引抜きについてFig. 31(C), シース型(1L)の1/2引抜きについてFig. 32に例示する。前者は制御棒の引抜かれているA, B, C, D断面の出力分布が高く、制御棒のあるD断面の値が約1桁ほど小さくなっている。後者はB, A断面の出力分布が高く、グレーノーズ部分に影響を受けているC断面及びB<sub>4</sub>C吸収体に隣接しているD断面の値が順次小さくなっている。これらの分布から特徴的なことは、A, B断面など水ギャップの存在による出力上昇は大きいが、D断面のように制御棒に影響を受けている断面の出力分布が比較的平坦であり、軸方向分布と異なって径方向分布には、制御棒に向って急激な出力の減少が認められないこと

である。これは炉心の径方向の大きさが小さいことにも依存しているが制御棒と燃料棒の間に厚さ 9.3 mm の水層が存在するために、中性子の減速—熱化が生じ、制御棒表面では熱中性子束がほとんど零であっても、燃料棒の位置における熱中性子束は比較的高いことを示している。

炉心全体にわたる径方向の出力分布は、Fig. 3 に示す位置の燃料棒について、横方向及び対角方向について測定されている。測定した炉心体系は制御棒無し（全引抜）従来型 1/2 引抜き及び全挿入の場合である。Fig. 3 3 及び 3 4 に 1/2 引抜き及び全挿入の場合について示した。図からも明らかのようにドライバー領域の燃料本数が少なく、出力分布としては、反射体と、水ギャップによる影響の大きな炉心である。また、このように炉心が小さいことにより、前述の D 断面の分布からも理解されるが、制御棒の挿入されている高さにおける平断面内の出力は、制御棒が引抜かれている所の出力よりも相対的にかなり低く、その低い領域が、反射体近傍にまで及んでいる。すなわち、臨界集合体の出力は、ほとんど制御棒の引抜かれている高さの領域において発生しているのである。また燃料有効長によって決められる炉心高さから求められる軸方向出力分布の基本モード（Cosine 分布）は、制御棒の存在によって、炉心全体にわたり大きく乱されている。

## 4.2 反応度

### 4.2.1 臨界量

臨界量の測定を行った体系は

- (i) 制御棒無し炉心
- (ii) 従来型制御棒入り炉心
- (iii) シース型制御棒入り炉心
- (iv) SS 型制御棒入り炉心
- (v) Zr'y 型制御棒入り炉心

である。

制御棒の位置は  $B_4C$  部分の先端が燃料有効部の中央にある場合を基本とし、この点から 1/2 ノッチ（7.5 cm）または 1 ノッチ（15 cm）引抜いた場合についても臨界量を求めた。従来型制御棒については全挿入された炉心の臨界量についても 2 種類の燃料装荷本数について測定を行った。制御棒無し炉心については、臨界水位が高い場合および低い場合について実験を行った。シース型制御棒入り炉心については、集合体内の各コーナーの燃料棒を 2.0 w/o 濃縮のもので置換した炉心についても臨界量を測定した。

測定した臨界量の一覧を Table 4 に、その平断面を A.1 に示す。ここに、臨界量は炉心に装荷された燃料本数と臨界状態における燃料有効部下端からの水位（臨界水位）とで表わしている。

臨界状態の実効増倍係数は  $1.0000 \pm 0.0001$  である。水位の誤差は  $\pm 0.02$  cm であって、  
臨界水位が 40 cm 付近では反応度に換算して  $0.01\% \Delta k/k$  となる。<sup>(5)</sup> 臨界水位が 40 cm 以上になるとこの誤差はより小さくなる。

制御棒の位置の設定誤差は  $\pm 0.1$  cm であり、温度の誤差は  $\pm 0.5$  °C である。

#### 4.2.2 炉心に関する反応度係数

##### (1) 水位等価反応度

各炉心の臨界接近過程において水位の等価反応度が測定されている。従来型制御棒入り炉心および制御棒の挿入されていない炉心についてこれらの値を Fig. 35 に示す。比較のため、水対燃料体積比が 1.50 であって、水ギャップの存在しない炉心についての値も示した。<sup>(5)</sup> 制御棒の引抜きによる水位等価反応度の変化を Fig. 36 に示す。

これらの値から次の結果が得られた。

- (i) 制御棒の先端より上部の領域では、水位の等価反応度は急激に減少する。B<sub>4</sub>C部分先端より 40 cm 以上の水位では、燃料がまだ存在しているにもかかわらず、等価反応度はほとんど無い。
- (ii) 制御棒を引抜くにつれ、制御棒が挿入されていた領域の水位等価反応度は増加するが、グレーノーズが付けられることによってやや減少する。しかし、グレーノーズの種類にはほとんど依存しない。

##### (2) 燃料棒等価反応度

従来型制御棒が 72 cm 挿入された Run 6180 の炉心の臨界状態を基準にして、炉心周辺に燃料棒を追加し、その反応度変化量から燃料棒の等価反応度を測定した。燃料棒位置と等価反応度との関係を Fig. 37 に示す。

##### (3) 反応度の温度係数

従来型制御棒が 72 cm 挿入された Run 6180 の炉心について、炉心温度が 13.1 °C と 15.0 °C の場合について臨界量を測定した。この結果、温度の 1.9 °C の上昇に対して、臨界水位は 0.22 cm 低くなつた。この水位差は、水位が 94 cm 付近においては 0.11 Q/mm に相当するので、反応度の温度係数は +0.13 Q/°C となる。

なお、温度の異なる両炉心においては、炉心構成の変化は全く無く、燃料棒および制御棒の位置のずれから生ずる反応度変化は考えられない。

##### (4) ブースタ・ロッドの等価反応度曲線

出力上昇時などに余剰反応度を炉心に加えるために用いられているブースタ・ロッドの反応度を測定した。炉心は従来型制御棒位置が 72 cm である Run 6180 のものと等価である。

ブースタ・ロッドの引抜距離は、その燃料有効部下端と炉心の燃料有効部下端との間の長さを言う。

ブースタ・ロッドの炉心内配置を Fig. 38 に、その点における等価反応度曲線を Fig. 39 に示す。

#### 4.2.3 制御棒に関する等価反応度

##### (1) ハンドルの等価反応度

制御棒位置が 72 cm である炉心を用いて、U字型および改良型のハンドルの等価反応度を測定した。

U字型については、ハンドル付の制御棒入り炉心 (Run 6174) およびハンドル無し制御棒入り炉心 (Run 6180) において水位を 155.07 cm まで上昇し、その時の各々の炉心の余剰

反応度を求めた。これらの反応度差はU字型ハンドルの等価反応度に相当し、その値は7.3¢であった。

改良型については、燃料本数および水位が等しい状態でのハンドルの有無に対応する反応度差が得られていなかった。このため、臨界接近の過程で測定されている燃料棒の等価反応度、および水位等価反応度を用いて反応度差の推定を行った。この結果Fig. 40に示す炉心において水位81.63cmの体系で改良ハンドルの等価反応度は5.8¢であった。

### (2) グレーノーズ部分の等価反応度

炉心平断面がRun 6202と同じである炉心を用いて、制御棒位置が87cmにおけるグレーノーズ部分の反応度差を求めた。水位は99cm以上であって、制御棒のB<sub>4</sub>C部分の先端より12cm以上高い。水位が125.07cmにおける値に換算した等価反応度差は、シース型を基準にするとSS型で+4.6¢、Zr'y型は-7.0¢であった。

制御棒位置が72cmにおいては、パルス法によってグレーノーズ部分の反応度を測定したが、SS型で1.52±0.07¢およびシース型で1.4±0.2¢であった。この時の炉心は、水位はいずれも155.07cmであったが、燃料本数はSS型ではFig. 41に示すように330本とブースタ・ロッド2本であり、シース型ではFig. 42に示すように288本であった。なおシース型は制御棒位置が87cmの場合には0.9¢であった。

シース型(2L)の反応度は、正確な評価を行うのには充分な測定値が得られていないが、Run 6225の臨界量と燃料棒ワースおよび水位等価反応度を用いてシース型(1L)との差を推定した。結果として、シース型(2L)の反応度はシース型(1L)のものより制御棒位置72cmにおいて1.2¢大きい値が得られた。

### (3) 制御棒の等価反応度曲線

平断面がFig. 42である炉心を用いて、水位を155.07cmにして従来型およびシース(1L)型の等価反応度曲線をパルス中性子法によって測定した。

得られた反応度 $\rho$ を、即発中性子減衰定数 $\alpha$ 、 $\rho_{SK}$ 、および $A/A_0$ と共にTable 5に、等価反応度曲線をFig. 43に示す。シース型制御棒の曲線は、従来型制御棒の長さを10.0cm長くして、すなわち従来型制御棒の引抜距離を10.0cm短くして図示すると、Fig. 44のように両者は良く一致することがわかった。

## 5. 解析

### 5.1 解析手法

この実験の解析には、THERMOS<sup>(1)</sup>、GAM<sup>(2)</sup>相当の核定数計算コード、および3次元3群拡散計算コードFASMO<sup>(4)</sup>を用いた。Fig. 45に解析手法のフローチャートを示す。

#### 5.1.1 核定数計算

熱群核定数計算には、THERMOS相当コードを用い、熱外群、高速群核定数計算には、

反応度を求めた。これらの反応度差はU字型ハンドルの等価反応度に相当し、その値は7.3¢であった。

改良型については、燃料本数および水位が等しい状態でのハンドルの有無に対応する反応度差が得られていなかった。このため、臨界接近の過程で測定されている燃料棒の等価反応度、および水位等価反応度を用いて反応度差の推定を行った。この結果Fig. 40に示す炉心において水位816.3cmの体系で改良ハンドルの等価反応度は58¢であった。

### (2) グレーノーズ部分の等価反応度

炉心平断面がRun 6202と同じである炉心を用いて、制御棒位置が87cmにおけるグレーノーズ部分の反応度差を求めた。水位は99cm以上あって、制御棒のB<sub>4</sub>C部分の先端より12cm以上高い。水位が125.07cmにおける値に換算した等価反応度差は、シース型を基準にするとSS型で+4.6¢、Zr'y型は-7.0¢であった。

制御棒位置が72cmにおいては、パルス法によってグレーノーズ部分の反応度を測定したが、SS型で $1.52 \pm 0.07$ ¢およびシース型で $1.4 \pm 0.2$ ¢であった。この時の炉心は、水位はいずれも155.07cmであったが、燃料本数はSS型ではFig. 41に示すように330本とブースタ・ロッド2本であり、シース型ではFig. 42に示すように288本であった。なおシース型は制御棒位置が87cmの場合には0.9¢であった。

シース型(2L)の反応度は、正確な評価を行うのには充分な測定値が得られていないが、Run 6225の臨界量と燃料棒ワースおよび水位等価反応度を用いてシース型(1L)との差を推定した。結果として、シース型(2L)の反応度はシース型(1L)のものより制御棒位置72cmにおいて1.2¢大きい値が得られた。

### (3) 制御棒の等価反応度曲線

平断面がFig. 42である炉心を用いて、水位を155.07cmにして従来型およびシース(1L)型の等価反応度曲線をパルス中性子法によって測定した。

得られた反応度 $\rho$ を、即発中性子減衰定数 $\alpha$ 、 $\rho_{SK}$ 、および $A/A_0$ と共にTable 5に、等価反応度曲線をFig. 43に示す。シース型制御棒の曲線は、従来型制御棒の長さを10.0cm長くして、すなわち従来型制御棒の引抜距離を10.0cm短くして図示すると、Fig. 44のように両者は良く一致することがわかった。

## 5. 解析

### 5.1 解析手法

この実験の解析には、THERMOS<sup>(1)</sup>、GAM<sup>(2)</sup>相当の核定数計算コード、および3次元3群拡散計算コードFASMO<sup>(4)</sup>を用いた。Fig. 45に解析手法のフローチャートを示す。

#### 5.1.1 核定数計算

熱群核定数計算には、THERMOS相当コードを用い、熱外群、高速群核定数計算には、

G A M相当コードを用いた。主な計算条件を Table 6 に、また炉心を構成する物質の原子数密度を Table 7 に示す。

熱群計算においては、Fig. 4 6 に示すワンロッドセルについて中性子エネルギースペクトル計算を行い、これと構造物（燃料、被覆管、減速材）の体積比とから成る重み（EV因子）を用いて燃料棒セル平均の多群核定数を求める。テスト領域については、更にこの多群核定数を用いて、燃料集合体全体としての中性子エネルギースペクトルを計算する。これは、水ギャップによるこの付近の中性子スペクトルの軟化を考慮するためで、Fig. 4 7 に示すように、燃料集合体セルをリング状に分け補正する。ドライバー領域については、ワンロッドセル計算にとどめている。

熱外群、高速群については、ワンロッドセル計算であるが、熱外群が共鳴吸収領域を含むため、燃料棒の遮へい、水ギャップからの距離等による共鳴吸収を逃れる確率の変化を考慮して核定数を作成した。

制御棒領域については Fig. 4 8 に示すスラブ体系で輸送計算を行い核定数を求めた。

このようにして、Fig. 4 9 に示す領域毎に核定数が求まる。しかし、後述する3次元計算コードの容量を考慮し、Fig. 5 0 に示す領域毎に核定数を編集する。核定数の編集には Fig. 4 9 及び 5 1 に示す体系で2次元3群拡散計算を行い求まつた中性子束分布と領域毎の体積比とで核定数に重みを付け、異なる領域を一つにまとめる方法をとった。Table 8 に核定数を示す。

### 5.1.2 反応度および出力分布計算

反応度および出力分布計算には、3次元3群拡散計算コードFASMOが用いられた。FASMOコードは、3次元 CITATION コードに熱水力計算を加味したものであるが、今回の実験は、常温、常圧の臨界実験であるため、熱水力計算は不要であり、CITATION と全く同様と考えてよい。Fig. 5 0 は計算体系の一例である。今回の計算では、 $B_4C$ を含む制御棒領域は、その表面で対数微分条件を内部境界条件に使用し、グレーノーズ部は拡散領域として取り扱った。また、FASMOのコード容量 ( $25 \times 25 \times 24$ ) の上から炉心上下方向の反射体は考慮せず、外挿距離を燃料有効長の上下端から 6 cm として実験体系を模擬した。Fig. 5 2 にはこの体系とは異なり、ドライバー領域が広くなつたものについての水平方向の計算体系を、Fig. 5 3, 5 4 には、シース型及び改良ハンドル型の垂直方向の計算体系を示す。

## 5.2 解析結果および実験結果との比較

### 5.2.1 反応度

FASMOによる臨界固有値の計算結果を Table 9 に示す。実効増倍係数にして 0.99~1.00 の範囲で実験値  $1.0000 \pm 0.0001$  と一致した。また制御棒のワースカープを実験値と比較して Fig. 5 5 に示す。制御棒全挿入時の負の反応度を 1.0 に規格して比較した結果、相対的な精度は 2 % 程度であった。また、過去の TCA 実験より、 $\rho_{eff}$  は 0.00748 と推定でき、ドル換算を行うと、制御棒全挿入時の実効増倍係数は 0.8665 となり、実験値の 0.856 とよく一致した。本解析の体系は Fig. 5 0 と同一である。

### 5.2.2 軸方向出力分布

制御棒に隣接した3本の燃料棒(№1, 2, 3)について、その軸方向出力分布を実験値と比較した。Fig. 56, 57 及び 58 に、従来型、シース型及び改良ハンドル型グレーノーズ付制御棒について示した。これらの結果からグレーノーズ部分の位置では最大6%程度計算値が小さくなっていることがわかる。その原因是、複雑なグレーノーズ部分を、メッシュ点数の限られた条件の下で取扱うために、部材を正確に評価することが不可能で、非均質な領域を等体積の均質な領域として扱わざるを得なかつたことなどにあると考えられている。特に改良ハンドル型の場合は複雑で、計算に使用した形状は Fig. 59 に示すようになっている。

計算値の結果は SS の部分など制御棒先端部で低めの値を示しており、かつ、最大出力値への立上りが、実験値にくらべて大きくなっている。これは、実験値にくらべてより大きく出力上昇率を評価する結果を招くことになるが、燃料健全性の上からはより安全側の評価を与えるものである。

### 5.2.3 径方向出力分布

制御棒に隣接する燃料集合体の出力分布は、断面 A, B, C, D について測定されている。この3次元的な値を計算値と比較した。A, B 断面は、制御棒の無い領域であり、wide-wide 水ギャップに面した燃料棒の出力は大きな値を示している。C 及び D 断面はグレーノーズ部分及び B<sub>4</sub>C 部分に隣接しており、wide-wide 側に面した燃料棒の出力は、A, B 断面に比して小さくなっている。Fig. 60 にはシース型グレーノーズ付制御棒が 1/2 引抜距離にある場合の比較結果を示した。A 断面における計算値は良く実験値と一致しており誤差は最大で 4.2% であるが、C 及び D 断面の値は制御棒に面する位置で誤差が大きく、それぞれ 8.8 及び 8.7% である。この大きな誤差は、いずれも複雑な制御棒及びグレーノーズの構造をメッシュ点数の関係から単純な幾何学的構造に近似しているため、問題となる領域(例えばタイロッド及びグレーノーズ翼端部分)の平均核定数を求める場合の精度が悪くなつたため生じたものと考えられる。しかし、炉全体の出力は、大部分が制御棒の引抜かれている部分(A, B 断面)で発生していることを考慮すれば、C, D 断面における計算上の不確実さは、大きな問題とはならぬ。

## 6. 結 論

BWRの制御棒先端部における制御棒引抜きにともなう出力上昇率を低減させることを目的として、一連の臨界実験を実施した。すなわち、制御棒先端部の構造を改めて、減速材である軽水を局所的に排除し同時に熱中性子束に対する吸収効果を段階的に弱めるためのパラメータサーベイを行った結果、下記の結論を得た。

- (1) 7種類のグレーノーズ付制御棒の出力分布に与える効果を、従来型の制御棒と比較検討した結果、軸方向出力分布をより緩和できるものとして、B<sub>4</sub>C-SS-Aℓの組合せは効果的であり、出力上昇率を約34～41%低減できる。
- (2) 今後BWRに適用することを考えている改良型ハンドル付グレーノーズ制御棒を用いると、軸方向出力分布に部分的な凹凸が生ずるが、出力上昇率の低減効果は(1)のアルミ型のものよりも良く、約38～48%（平均43%）である。
- (3) グレーノーズの長さとしてはB<sub>4</sub>C先端より約200mm程度が適当であり、さらに長さを増しても効果的ではない。
- (4) 制御棒の引抜きにともなう反応度効果をワースカープとして評価すると、ある距離（シース型1Lの場合では約100mm）だけ実効的に制御棒が長くなつたものと考えると、従来型の制御棒と同等に取扱うことができる。
- (5) 制御棒が全挿入、1/2及び全引抜きの場合について、制御棒に隣接した燃料集合体内の3次元出力分布を詳細に測定した。
- (6) 臨界調整領域まで含んだ全炉心についても、出力分布を測定した。
- (7) 現在BWRの設計に用いている計算コードシステムにより3次元拡散計算を行った結果、実効増倍係数は0.99～1.00および、出力分布は相対誤差±6%の範囲で実験値と一致した。また制御棒ワースカープにおいては2%以内で実験値と一致した。  
なお、(2)のグレーノーズを使用することによって約43%の出力上昇率の低下がもたらされることは、燃料健全性に関するインパクトを大幅に緩和することとなり、さらに実際の炉の積算運転出力を年間約1.5%高め得ることになる。

## 謝 詞

本実験の企画及び実施に関連して有意義な御指導、御鞭撻をいただいた、日立製作所原子力技術本部 横見迪郎氏、日本原子力研究所 動力試験炉部長 日高丘平氏 並びに同開発室長 松浦祥次郎氏に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) Honeck, H.C.,; "THERMOS : A Thermalization Transport Theory Code for Reactor Lattice Calculations", BNL-5826 (1961)
- (2) Joanou, G.D. and Dudek, J.S.; "GAM-1 : A Consistent P1 Multigroup Code for the Calculation of Fast Neutron Spectra and Multigroup Constants", GA-1850, General Atomics, San Diego, California, June 28 (1961)
- (3) Fowler, T.B., Vondy, D.R., and Cunningham, G.W.; "Nuclear Reactor Core Analysis code : CITATION", ORNL-TM-2496, Rev. 2 OAKRIDGE NATIONAL LABORATORY, JULY (1971)
- (4) 昭和49年秋の分科会 A50, 昭和51年年会 A35
- (5) Tsuruta, H., et al. : JAERI 1254, "Critical Sizes of Light-Water Moderated UO<sub>2</sub> and PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Lattices" (1978)
- (6) Simmons, B.E., Kings, J.S., ; Nucl. Sci. Eng., 3, p. 595 (1958)

## 謝 辞

本実験の企画及び実施に関連して有意義な御指導、御鞭撻をいただいた、日立製作所原子力技術本部 横見迪郎氏、日本原子力研究所 動力試験炉部長 日高丘平氏 並びに同開発室長 松浦祥次郎氏に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) Honeck, H.C.,; "THERMOS : A Thermalization Transport Theory Code for Reactor Lattice Calculations", BNL-5826 (1961)
- (2) Joanou, G.D. and Dudek, J.S.; "GAM-1 : A Consistent P1 Multigroup Code for the Calculation of Fast Neutron Spectra and Multigroup Constants", GA-1850, General Atomics, San Diego, California, June 28 (1961)
- (3) Fowler, T.B., Vondy, D.R., and Cunningham, G.W.; "Nuclear Reactor Core Analysis code : CITATION", ORNL-TM-2496, Rev. 2 OAKRIDGE NATIONAL LABORATORY, JULY (1971)
- (4) 昭和49年秋の分科会 A50, 昭和51年年会 A35
- (5) Tsuruta, H., et al. : JAERI 1254, "Critical Sizes of Light-Water Moderated UO<sub>2</sub> and PuO<sub>2</sub>-UO<sub>2</sub> Lattices" (1978)
- (6) Simmons, B.E., Kings, J.S., ; Nucl. Sci. Eng., 3, p. 595 (1958)

Table 1 Fuel rod, Channel box and Grid plate

<b>Fuel rod</b>			
$^{235}\text{U}$ enrichment w/o		2.596	or 2.013
O/M		2.04	2.00
Diameter,	mm	12.50	12.50
Density,	g/cm <sup>3</sup>	10.40	10.40
Stack length,	mm	1441.5	1441.0
<b>Cladding</b>			
Material		Al	Al
Inner diameter, mm		12.65	12.64
Thickness,	mm	0.76	0.76
<b>Channel box</b>			
Material		Zircalloy-4	
LxWxZ (outer L,W), mm		138×138×1860	
Thickness	mm	2.0	
<b>Grid plate</b>			
Material		Al	
Lattice pitch	mm	18.75 square	
Dimension	mm	580×860×6	
Diameter of hole	mm	14.48	

Table 2 Specification of the gray nose control rods

(A) Conventional control rod with a U handle

## Neutron absorbing rods

Neutron absorber	$B_4C$ powder, $30 \pm 3$ g/rod
Cladding of $B_4C$	Material SUS 304
	O. D. $4.8 \pm 0.2$
	Length $1,665 \pm 2$
Number of rods	21 rods/wing total 84 rods

## Sheath

Material	SUS 304
Wing width	$118.5 \pm 1.2$
Length	$1,719 \pm 2$
Thickness	1.47

## Tie rod

Material	SUS 304
Length	$1,720 \pm 2$
Width	$39.7 \pm 0.7$

## U type handle

Material	SUS 304
Length	70.0
Width of	
Cruciform wing	$247.6 \pm 1.2$

## Control blade

Thickness	7.9
Width	247.6

(B) Conventional type

The U type handle is detached from (A).

(C) Sheath type (1L)

A sheath type adapter of 153.3mm length is attached to (B)  
in between the absorber and lower adapter.

Sheath (1L)	Material	SUS 304
	Length	153.3

(D) SS type (1L)

Four stainless steel plates are enclosed in the sheath type (C).

SS plate	Material	SUS 304
	Length	$102.0 \pm 1.2$
	Width	$101.5 \pm 1.2$
	Thickness	4.5 ± 0.5

Zr'y type (1L)

Four zircalloy-4 plates are enclosed in the sheath type (C).

Zr'y plate	Material	Zircalloy-4
	Length	102.0±1.2
	Width	101.5±1.2
	Thickness	4.5±0.5

(E) Cruciform handle type (1L)

A cruciform handle is attached to (C) in place of the lower adapter.

Cruciform handle	Material	SUS 304
	Length	152.4±1.2
	Width	247.6±1.2
	Thickness	7.0

(F) Al type (1L) or (2L)

A aluminum adapter of 63.5(1L) or 153.3mm(2L) length is attached to (C) in place of the lower adapter.

Al adapter	Material	Aluminum
	Length	63.5 or
		153.3
	Width of cruciform wing	247.6
	Thickness	8.0

(G) Sheath type (2L)

A sheath type adapter of 255.3mm length is attached to (B) in between the absorber and lower adapter.

Sheath (2L)	Material	SUS 304
	Length	255.3

Table 3 Gray nose effects

Control rod withdrawal distance before 15cm withdrawal	Kinds of control rods	Max. (B-A) (1)	Decrease rate(%)
	Conventional type(1L)	0.53	(2)
72cm(1/2)	A1 type(1L)	0.35	-
	Sheath type(1L)	0.44	34
	Cruciform handle type(1L)	0.30	17
			24
85cm(1/2+15)	Sheath type(1L)	0.41	4.3
	Cruciform handle type(1L)	0.33	48
57cm(1/2-15)	Conventional type(1L)	0.58	-
			-

(1) Max. (B-A) : Maximum value of differences between power distribution B(1/2+15cm withdrawal) and A(1/2 withdrawal).

(2) Decrease rate :  $\frac{0.53 - \text{Max.}(B-A)}{0.53} \times 100$

(3) Decrease rate :  $\frac{0.58 - \text{Max.}(B-A)}{0.58} \times 100$

Table 4 Critical configurations of cores

Run No	Control rod		Number of fuel rods	Critical water level(cm)	Temperature (°C)	Core pattern
	Type	Withdrawal distance(cm)				
6179	—	Full out	289	143.59	13.0	1
6236	—	Full out	576	41.47	12.0	14
6191	Conventional	87.03	312	106.25	12.3	2
6190	"	79.53	324	99.27	12.5	3
6180	"	72.03	330	94.17	13.1	5
6188	"	72.03	330	93.95	15.0	5
6174	Conventional with U handle	72.03	330	109.77	14.5	5
6238	Conventional	Full in	576	143.25	12.1	15
6231	"	Full in	676	73.64	12.0	16
6202	Sheath (1L)	87.03	326	98.99	12.2	4
6199	"	79.53	336	91.61	12.5	7
6196	"	72.03	356	88.11	12.3	9
6215	Sheath (1L) with cruciform handle	72.03	364	87.29	12.2	11
6225	Sheath (2L)	72.03	369	89.19	12.1	12
6208	SS (1L)	87.03	326	103.27	12.2	4
6205	"	79.53	336	96.64	12.3	7
6204	"	72.03	360	85.73	12.3	10
6228	SS (2L)	72.03	374	88.72	11.9	13
6212	Zr'y (1L)	87.03	326	94.99	12.2	4
6211	"	79.53	334	95.11	12.3	6
6210	"	72.03	352	94.00	12.2	8
6271	Sheath (1L)	72.03	338+ 20 w/o UO <sub>2</sub> 48	96.15	14.7	17

Table 5 Reactivity worths of conventional and sheath (1L) type control rods

Withdrawal distance(cm)	Conventional type				Sheath (1L) type			
	$\alpha$ (sec <sup>-1</sup> )	$-\rho_{SK}$ (\$)	$A/A_0$	$-\rho$ (\$)	$\alpha$ (sec <sup>-1</sup> )	$-\rho_{SK}$ (\$)	$A/A_0$	$-\rho$ (\$)
Full in (-10.53)	$(2.89 \pm 0.06) \times 10^3$	$20.2 \pm 0.6$	1.107	$22.5 \pm 0.7$	—	—	—	—
19.53	$(2.71 \pm 0.03) \times 10^3$	$18.8 \pm 0.5$	1.101	$20.8 \pm 0.6$	$(2.83 \pm 0.04) \times 10^3$	$19.7 \pm 0.5$	1.105	$21.9 \pm 0.6$
37.04	$(1.55 \pm 0.04) \times 10^3$	$10.4 \pm 0.3$	1.064	$11.1 \pm 0.3$	$(2.16 \pm 0.02) \times 10^3$	$14.8 \pm 0.4$	1.085	$16.1 \pm 0.4$
54.56	$(1.000 \pm 0.015) \times 10^3$	$6.3 \pm 0.2$	1.042	$6.6 \pm 0.2$	$(1.345 \pm 0.015) \times 10^3$	$8.8 \pm 0.2$	1.055	$9.3 \pm 0.2$
72.03	$6.41 \pm 8$	$3.69 \pm 0.13$	1.027	$3.81 \pm 0.13$	$8.27 \pm 1.8$	$5.1 \pm 0.2$	1.035	$5.3 \pm 0.2$
89.49	$4.32 \pm 4$	$2.16 \pm 0.07$	1.017	$2.22 \pm 0.07$	$5.41 \pm 6$	$2.96 \pm 0.11$	1.022	$3.05 \pm 0.11$
107.03	$2.92 \pm 3$	$1.13 \pm 0.06$	1.011	$1.16 \pm 0.06$	$3.71 \pm 10$	$1.71 \pm 0.10$	1.015	$1.76 \pm 0.10$
124.51	$1.98 \pm 7$	$0.45 \pm 0.06$	1.007	$0.46 \pm 0.06$	$2.60 \pm 3$	$0.90 \pm 0.04$	1.009	$0.92 \pm 0.04$
142.03	—	—	—	—	$1.91 \pm 4$	$0.40 \pm 0.04$	1.006	$0.41 \pm 0.04$
Full out	$147.6 \pm 1.3$	$0.08 \pm 0.03$	1.004	$0.08 \pm 0.03$	$147.6 \pm 1.3$	$0.08 \pm 0.03$	1.004	$0.08 \pm 0.03$

 $\alpha$  : Prompt-neutron decay constant $\rho_{SK}$  : Reactivity of control rod by Simmons-King method $A/A_0$  : Ratio of prompt-neutron generation time to the value at critical state $\rho$  : Reactivity of control rod after correction for the difference of  $A$

Table 6 Calculational conditions for few group constants

Energy boundary of few groups		10MeV—5.53 keV, fast group 5.53 keV—0.625 eV, epi-thermal group 0.625 eV—0 eV, thermal group
Temperature		20°C
Number of groups	fast and epithermal groups	68
	thermal groups	30
Control rod calculation	geometry	slab
	method	5 group transport

Table 7 Atomic number densities

Unit :  $\times 10^{24} \text{ cm}^{-3}$ 

## Fuel

Nuclide	Fuel type	2.6 w/o UO <sub>2</sub>
<sup>235</sup> U		$6.086 \times 10^{-4}$
<sup>238</sup> U		$2.255 \times 10^{-2}$
O		$4.725 \times 10^{-2}$

## Boron carbide

Nuclide	B <sub>4</sub> C
<sup>10</sup> B	$2.091 \times 10^{-2}$
<sup>11</sup> B	$8.578 \times 10^{-2}$
C	$2.951 \times 10^{-2}$

## Cladding

Nuclide	Al
Al	$6.034 \times 10^{-2}$

## Control rod structure

Nuclide	SUS 304
Fe	$5.960 \times 10^{-2}$
Cr	$1.767 \times 10^{-2}$
Ni	$7.411 \times 10^{-3}$
Mn	$1.760 \times 10^{-3}$

## Channel box

Nuclide	Zr'y—4
Zr	$4.248 \times 10^{-2}$
Sn	$4.993 \times 10^{-4}$
Fe	$1.415 \times 10^{-4}$
Cr	$7.599 \times 10^{-5}$

## Moderator

Nuclide	Water
H	$6.676 \times 10^{-2}$
O	$3.338 \times 10^{-2}$

Table 8 Few group constants

Material	Group	D	$\Sigma_a$	$\nu \Sigma_f$	$\Sigma_{sl}$	$\Sigma_f$
Homogenized fuel, cladding & moderator	1	1.55276	0.00333	0.00511	0.04487	0.00177
	2	0.58084	0.02273	0.01121	0.07302	0.00460
	3	0.19965	0.10344	0.16627	0.0	0.06842
Water	1	1.53270	0.00016	0.0	0.07906	0.0
	2	0.58084	0.00092	0.0	0.14846	0.0
	3	0.13666	0.01908	0.0	0.0	0.0
Stainless steel	1	1.28570	0.00139	0.0	0.00169	0.0
	2	0.37511	0.01129	0.0	0.00307	0.0
	3	0.33065	0.16625	0.0	0.0	0.0
Zr'y-4 (channel)	1	1.60532	0.00008	0.0	0.03123	0.0
	2	0.83514	0.00374	0.0	0.05304	0.0
	3	0.35886	0.00981	0.0	0.0	0.0

Black absorber boundary constants

group	$-\frac{D}{\phi} \frac{d\phi}{dx}$
1	0.0
2	0.09728
3	0.29851

Table 9 Calculated effective multiplication factors

Case	$H_{eff}$ (cm)	$K_{eff}$
C. R. full out	41.5	0.995
C. R. full out	144.1	0.990
C. R. full in	73.8	1.000
Sheath type 72cm out	144.1	0.990

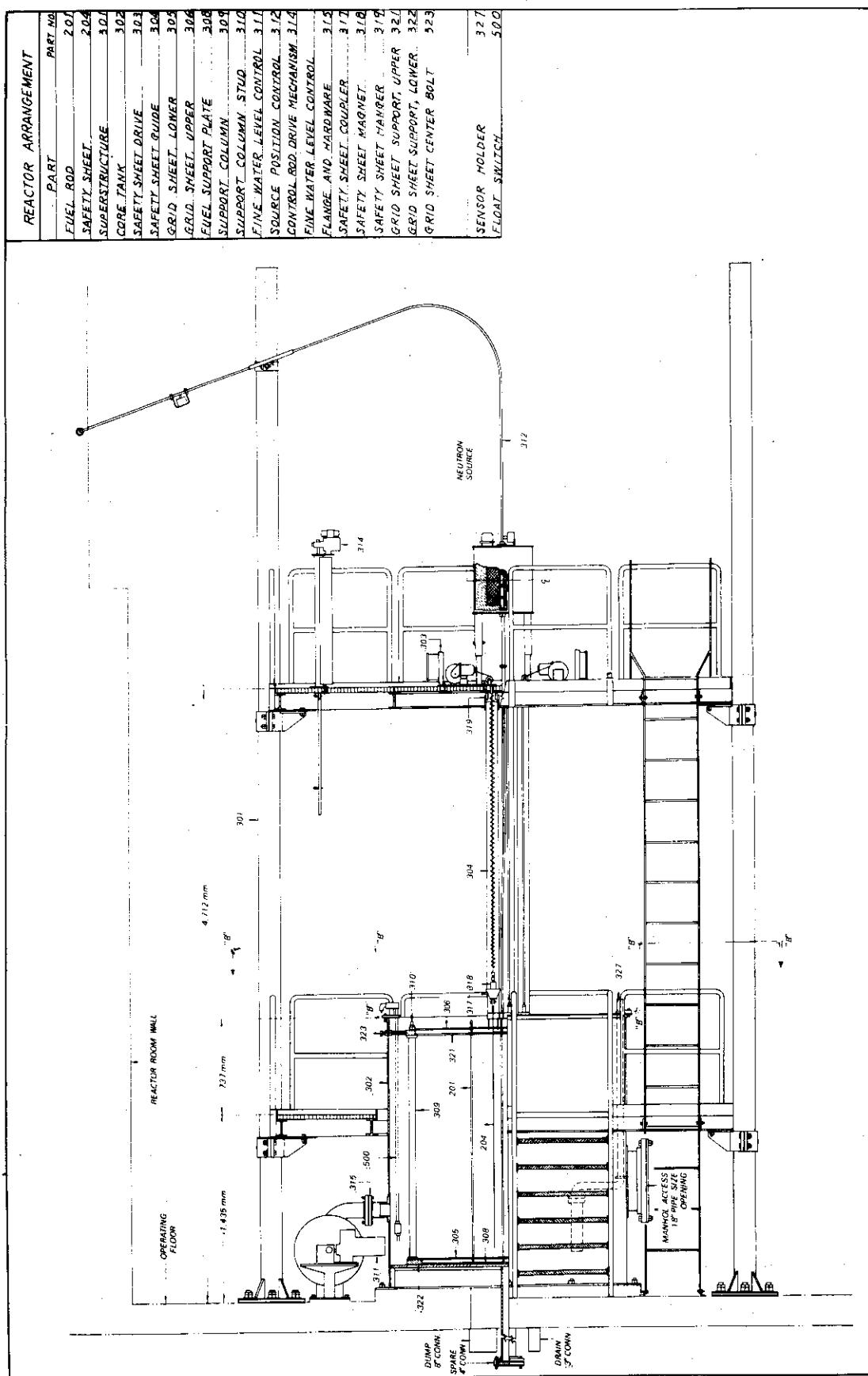


Fig. 1 Vertical cross-sectional view of TCA

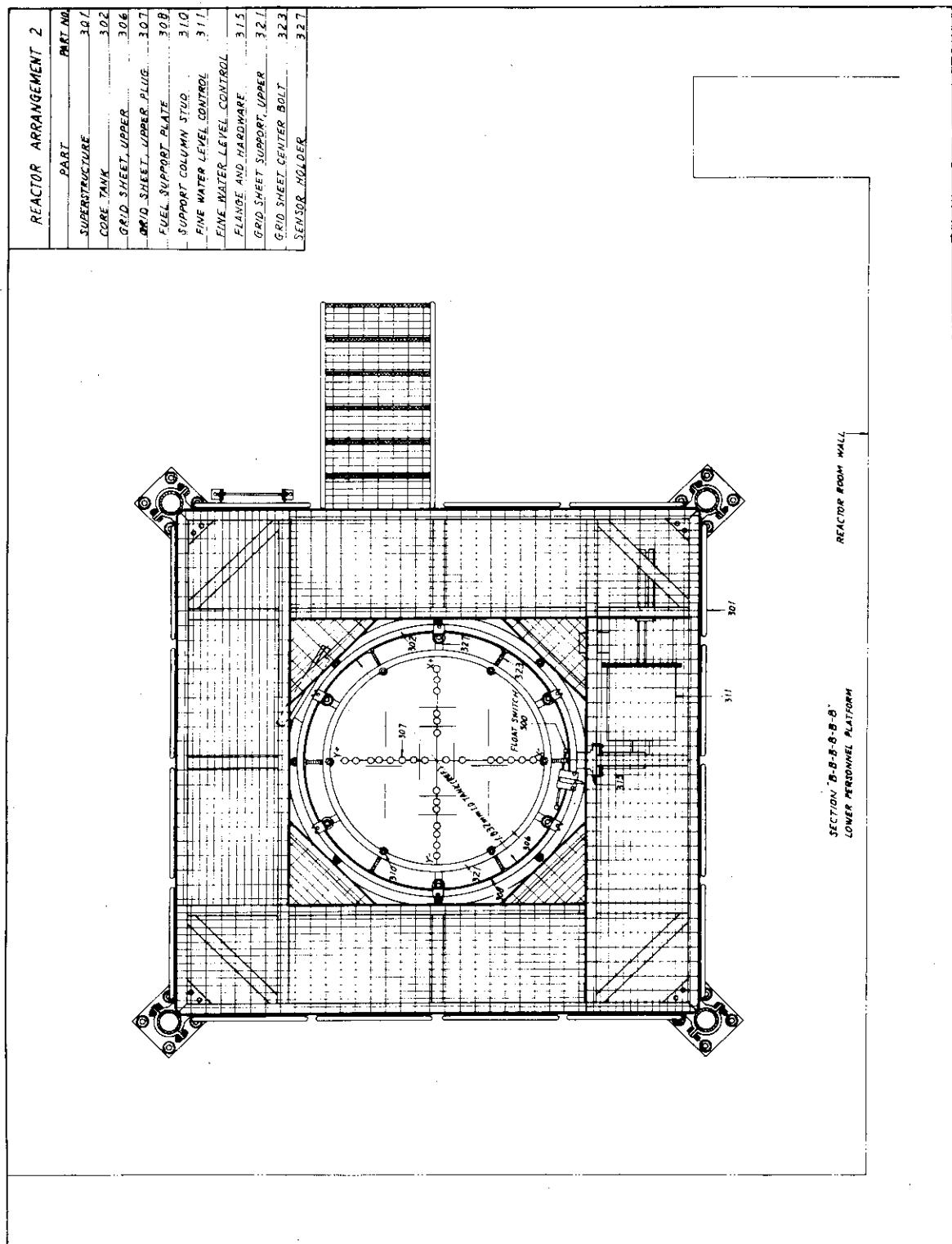
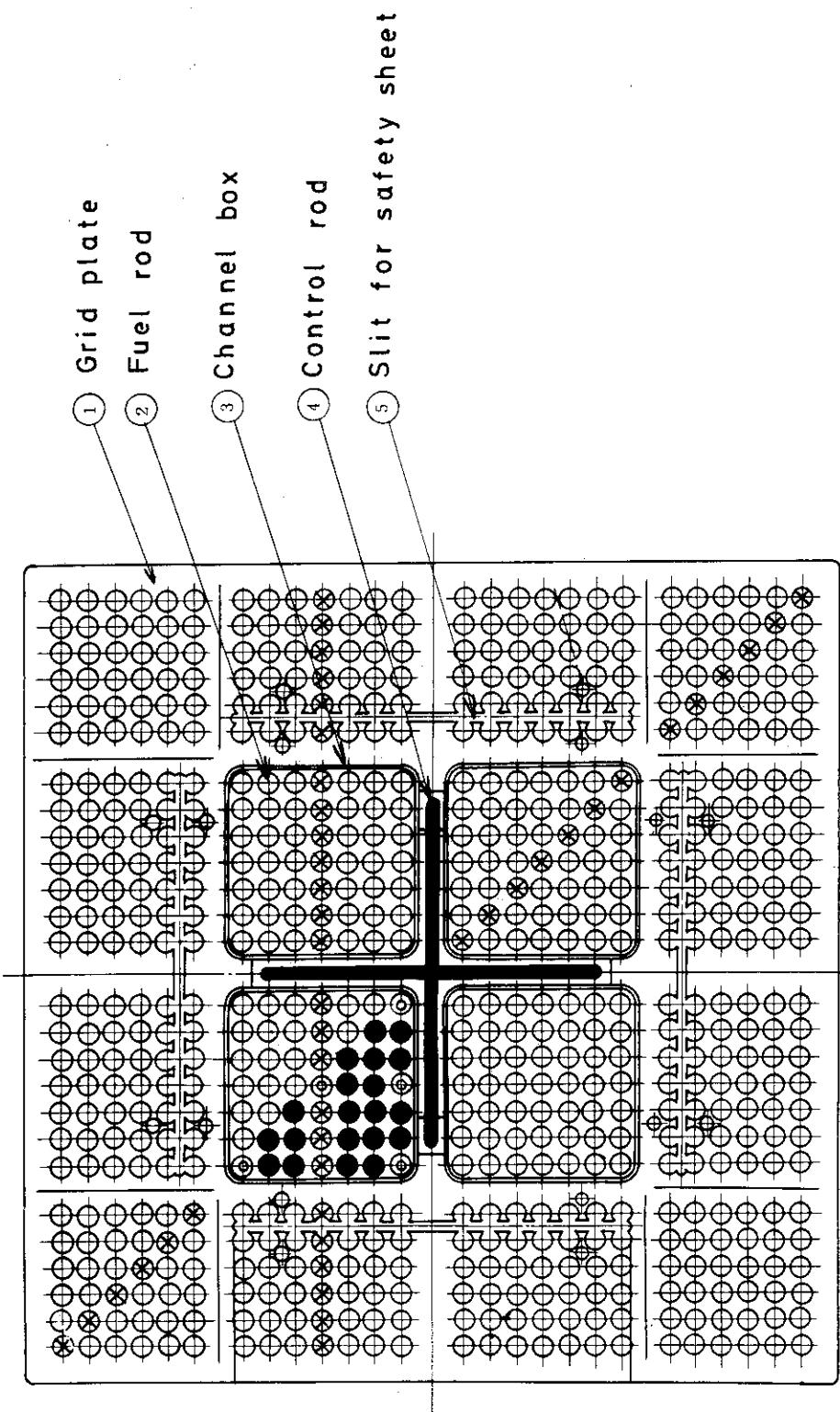


Fig. 2 Plan view of TCA



Fuel rods for the power distribution measurement

- ◎ : Axial distribution
- : Assembly
- ⊗ : Radial

Fig. 3 Plan view of core

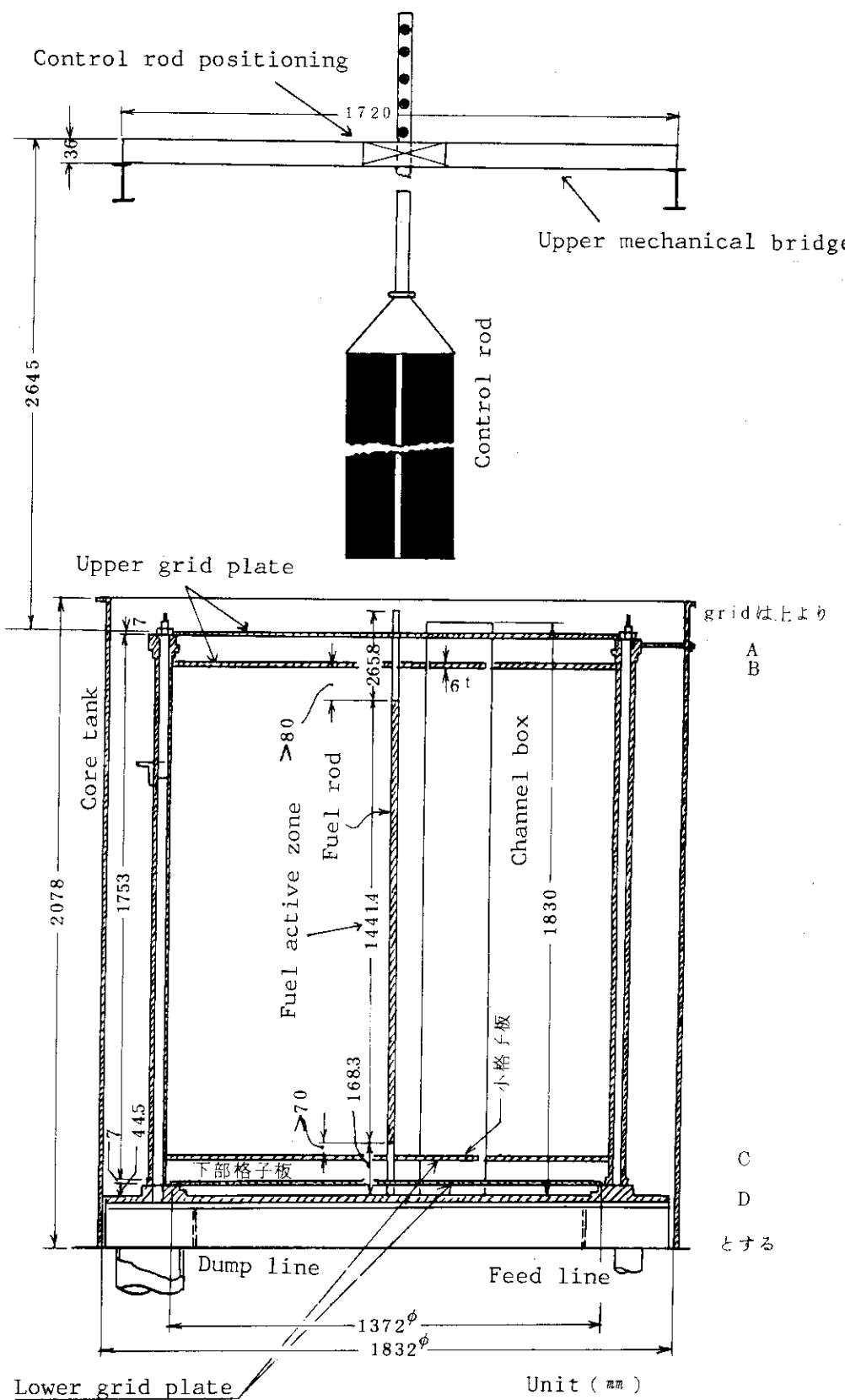
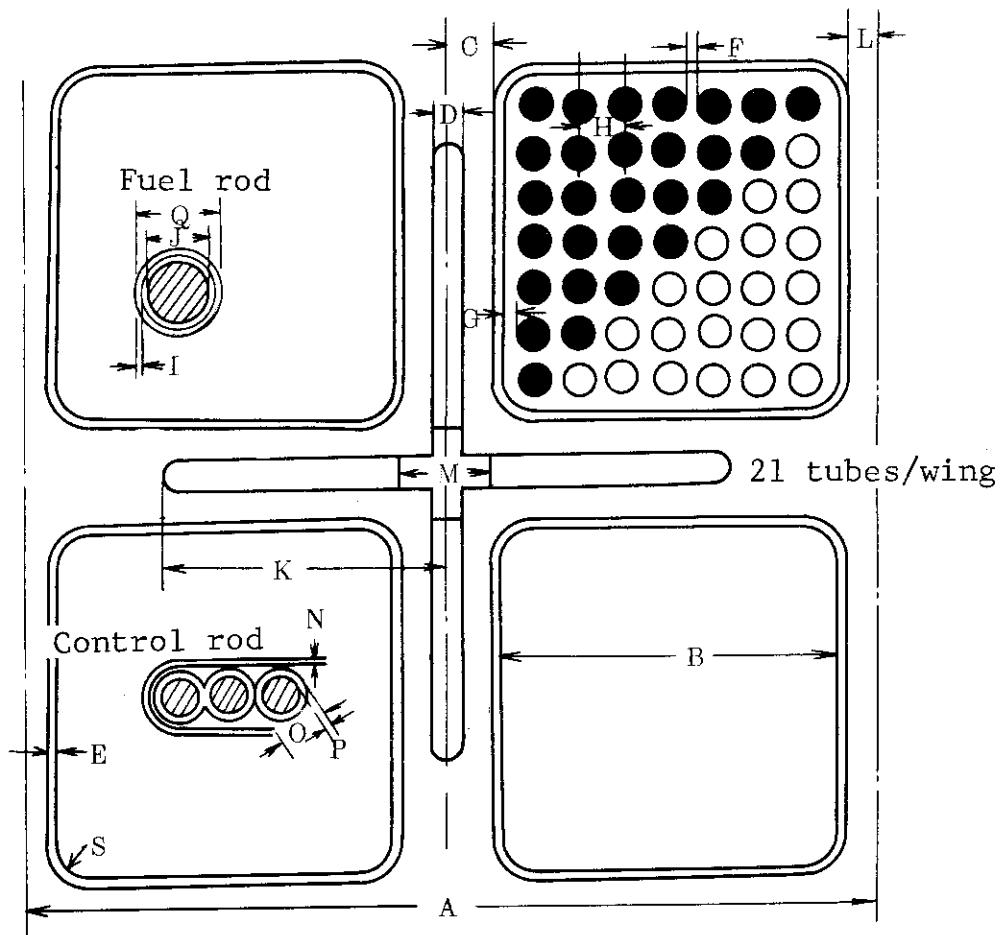


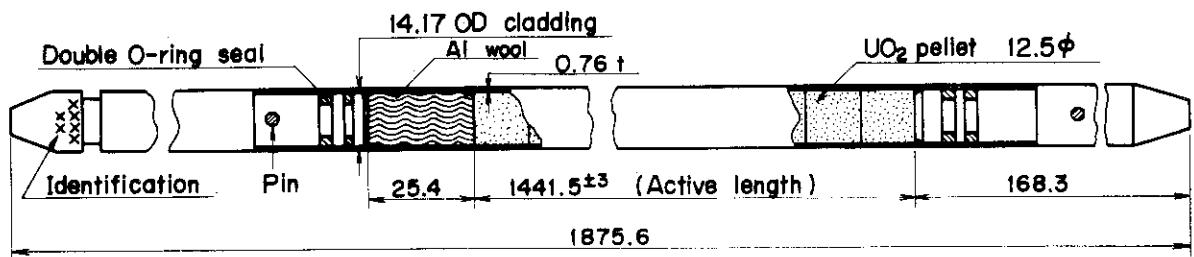
Fig. 4 Vertical cross-sectional view of core



DIM. IDENT	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
DIM. (mm)	304.8	134.06	9.53	7.92	2.03	4.58	3.70	18.75	0.76	12.50	123.8

DIM. IDENT	L	M	N	O	P	Q		S
DIM. (mm)	4.75	39.70	1.42	4.78	0.64	14.17		9.65

Fig. 5 Fuel cross section, nominal dimensions

Fig. 6 UO<sub>2</sub> fuel rod

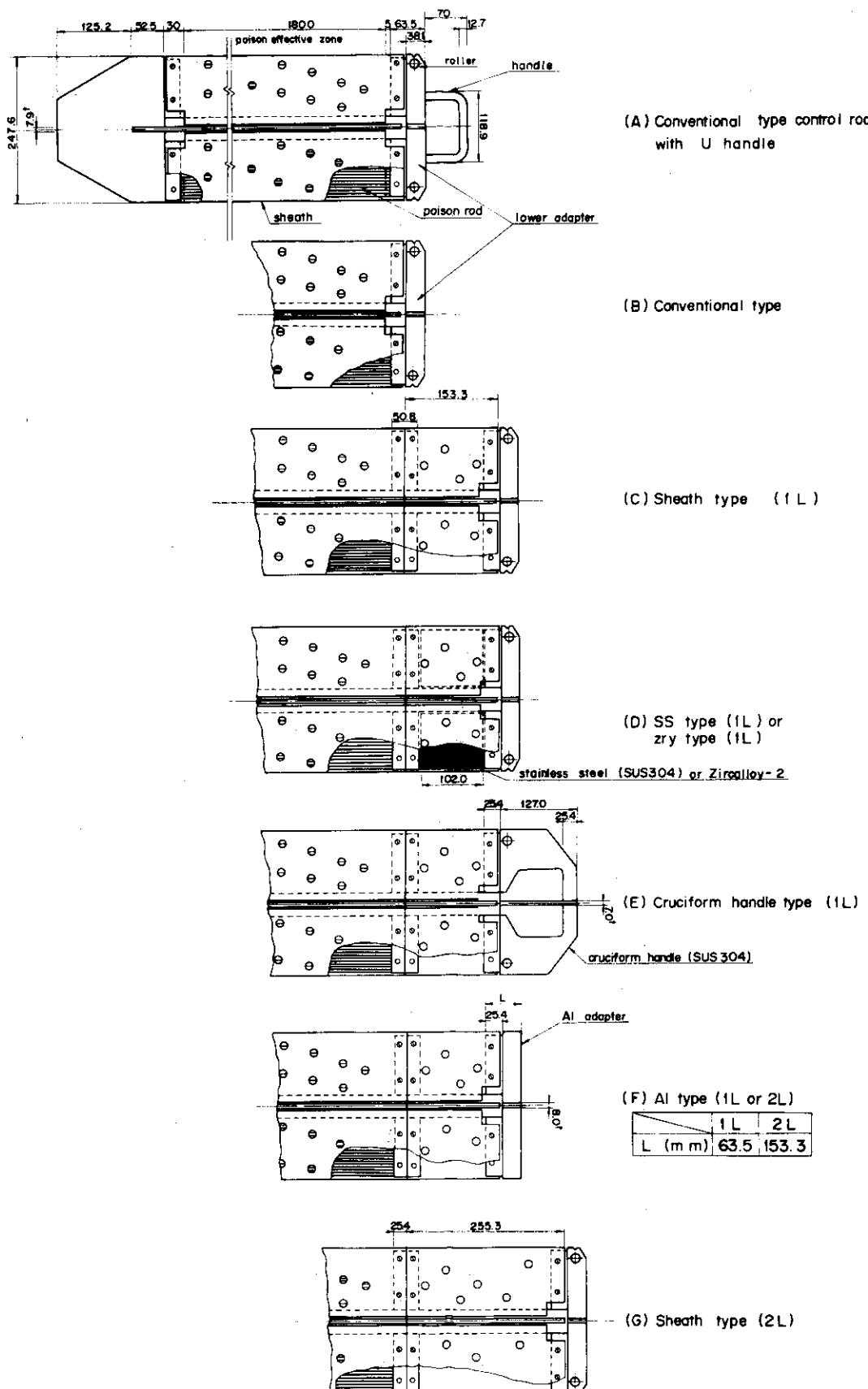


Fig. 7 Gray nose structure and identifications

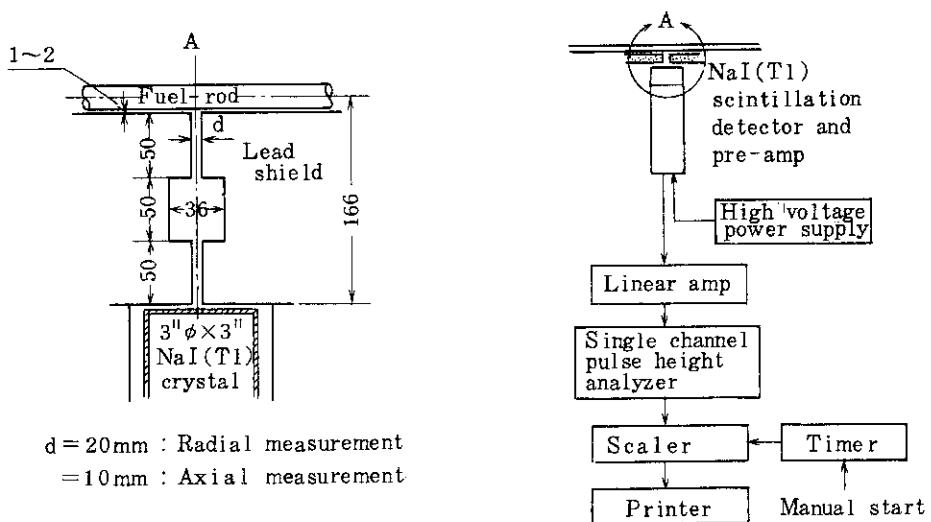
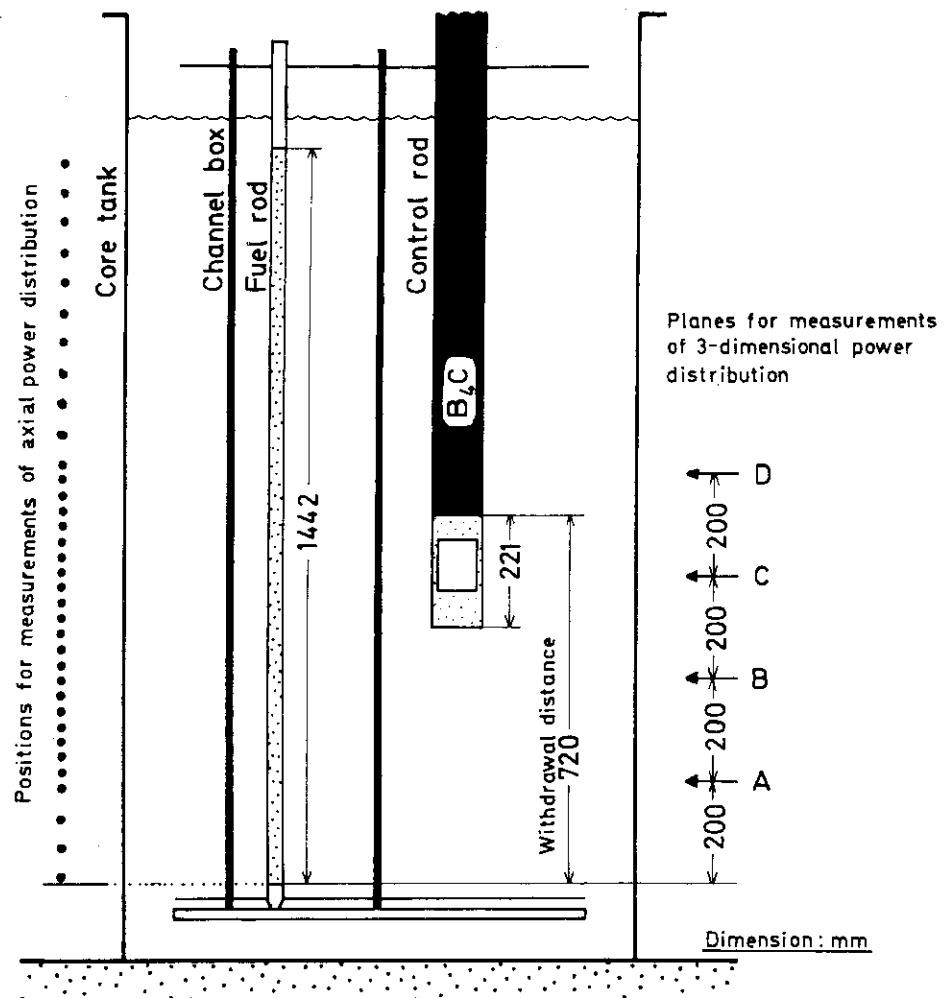
Fig. 8 Counting system of F.P.  $\gamma$ -rays

Fig. 9 Vertical arrangement of control rod and positions of power distribution

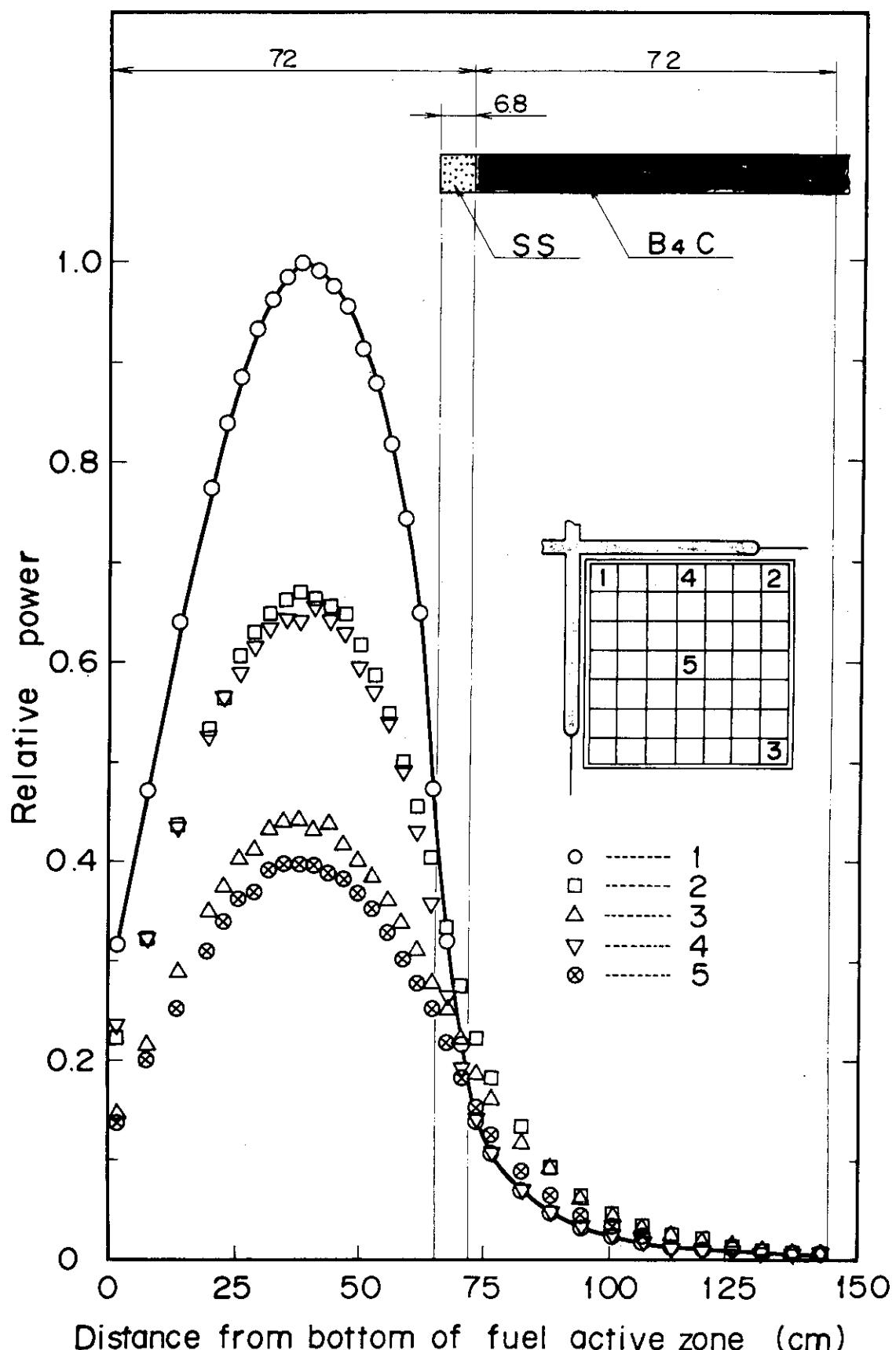


Fig. 10 Axial power distributions for the conventional type control rod 1/2 withdrawal

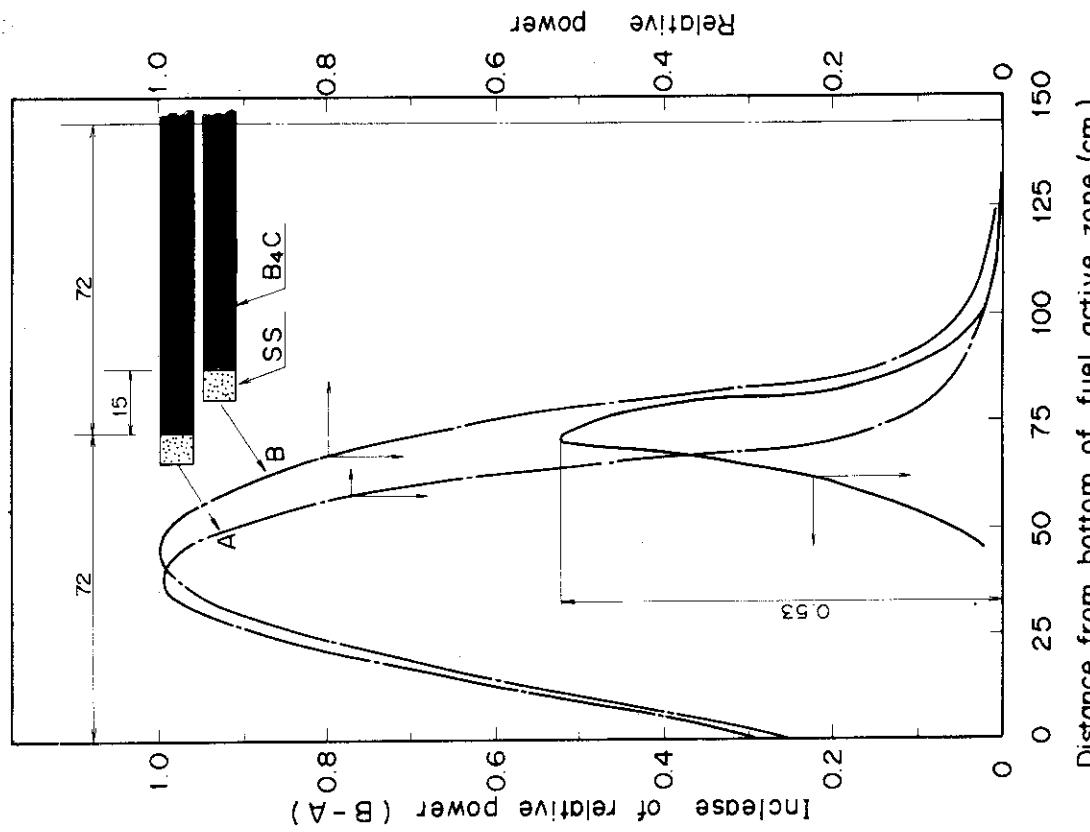


Fig. 12 Relative power increase by 15cm withdrawal of the conventional type control rod

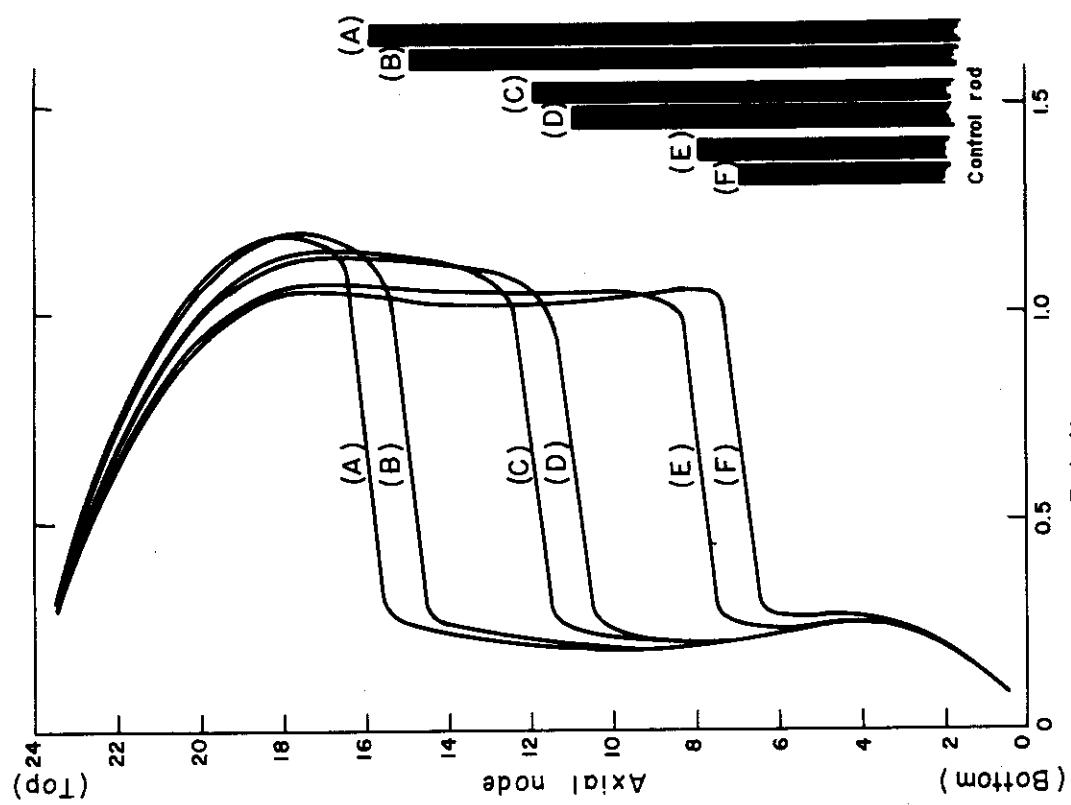


Fig. 11 Axial power distribution change with 15cm withdrawal of a control rod

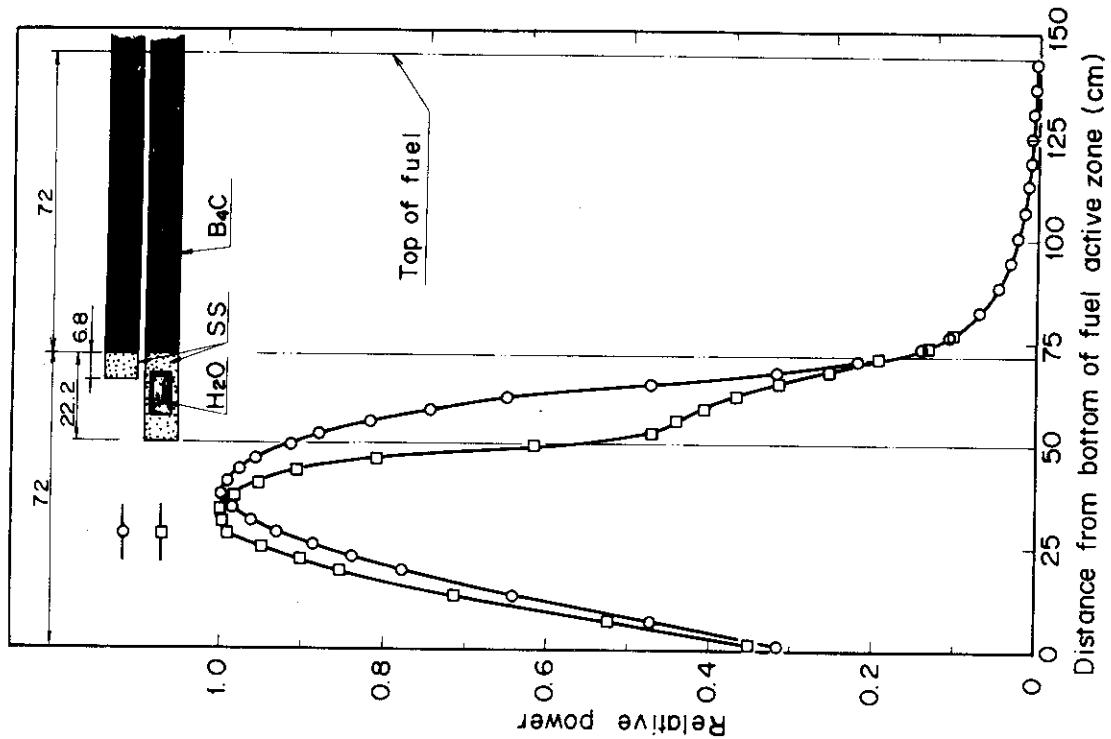


Fig. 13 Comparison of axial power distributions between the Al (1L) and conventional type control rods

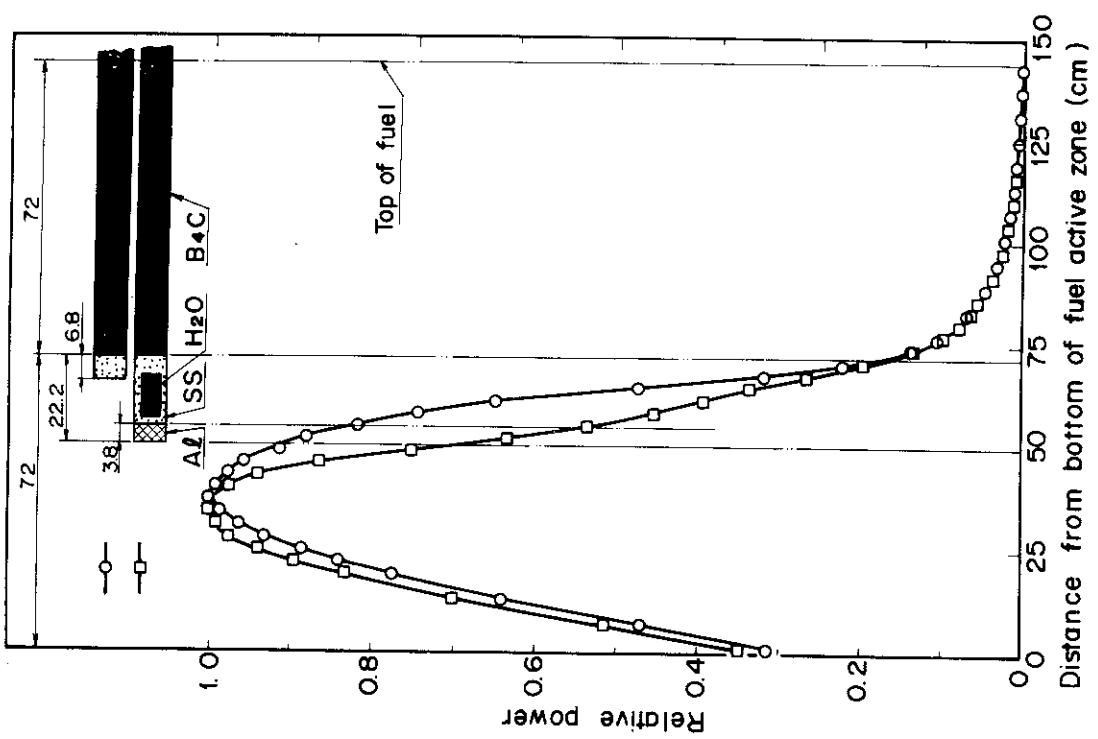


Fig. 14 Comparison of axial power distributions between the SS (1L) and conventional type control rods

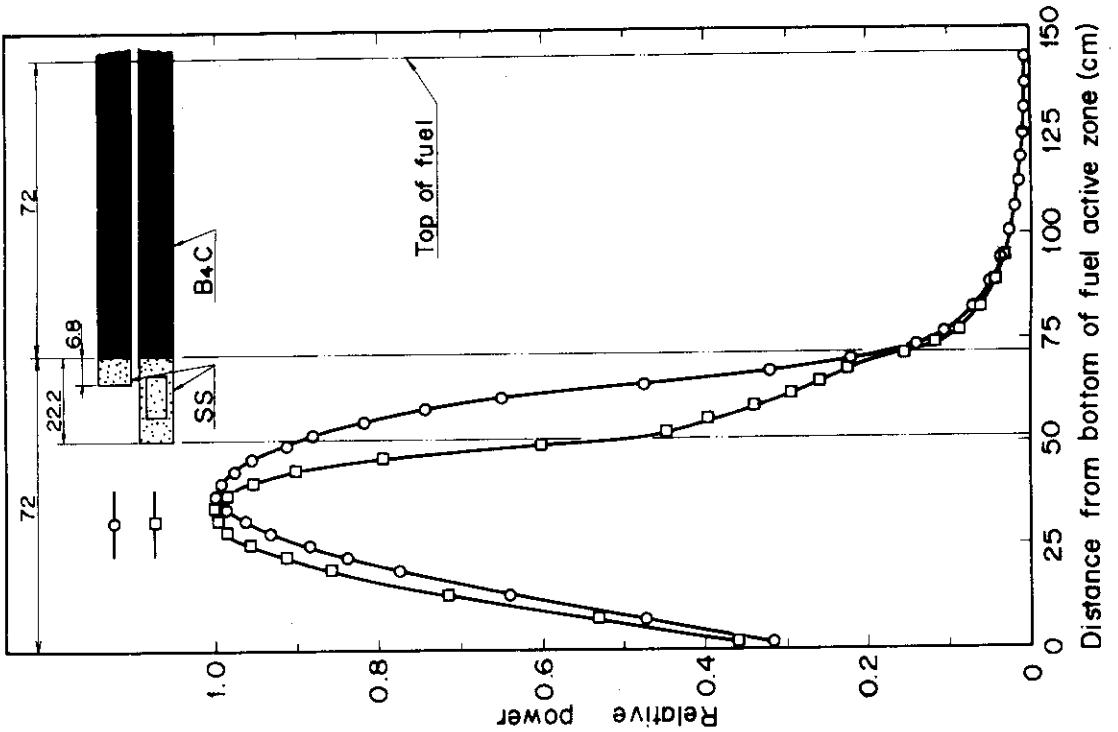


Fig. 16 Comparison of axial power distributions between the SS (1L) and conventional type control rods

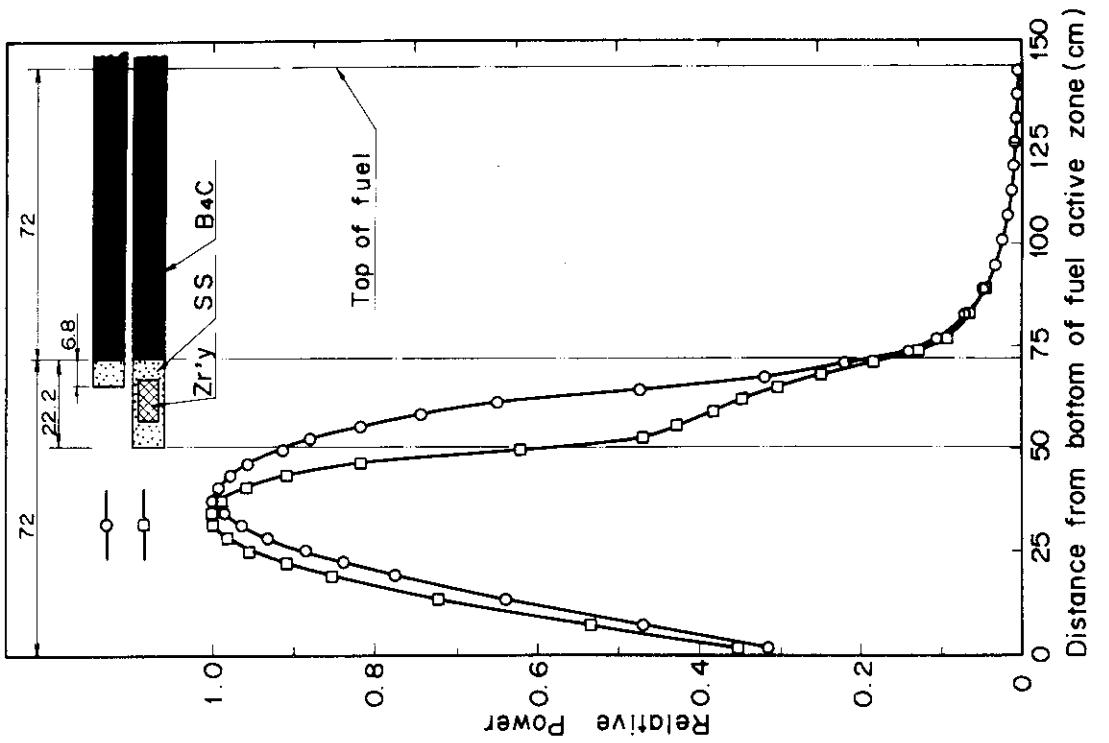
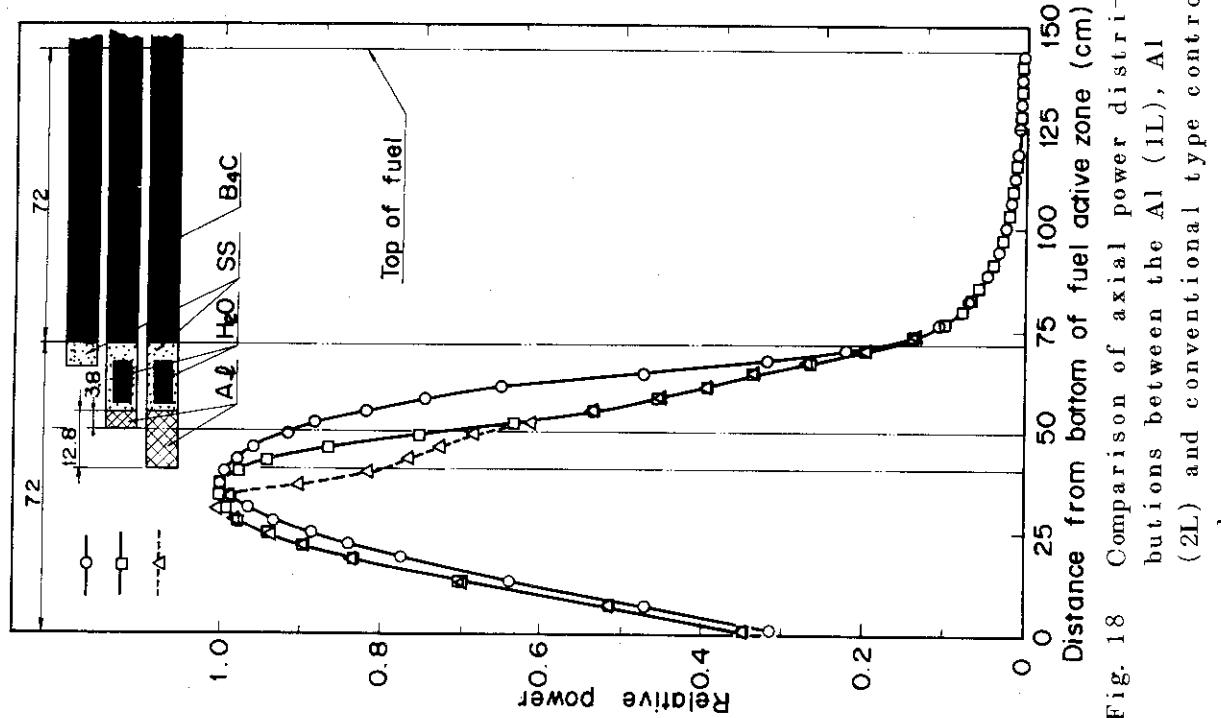
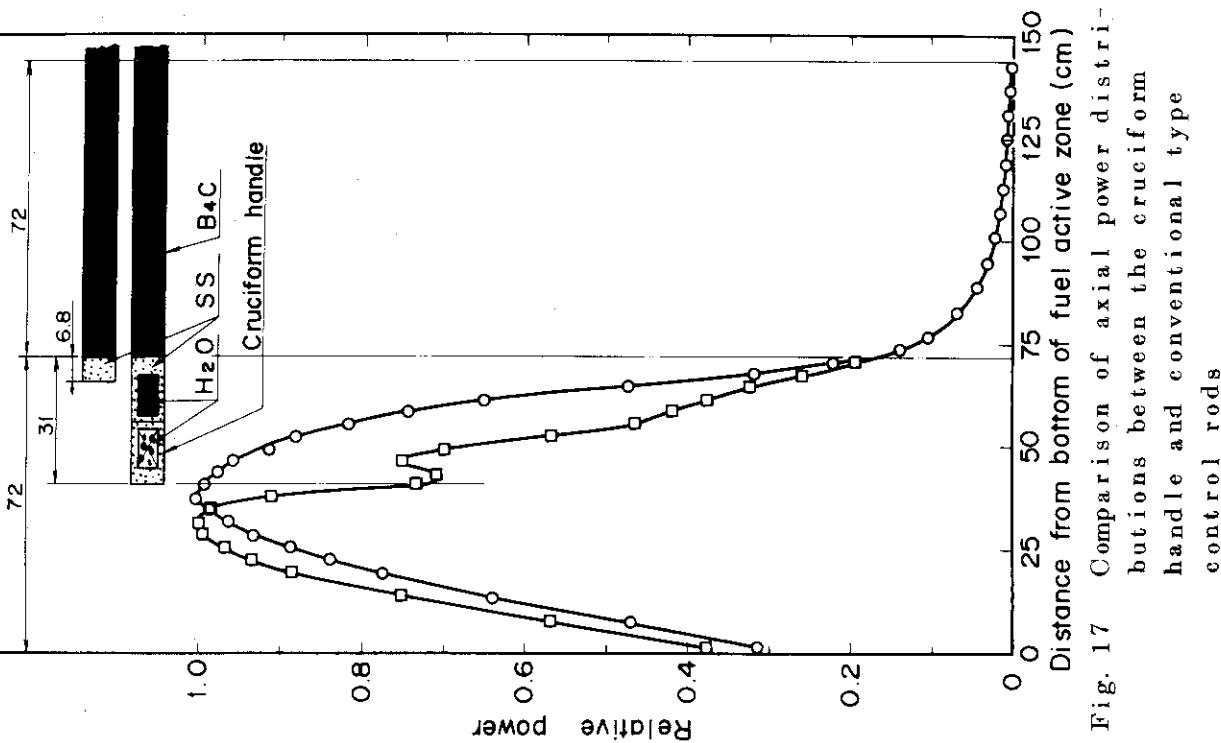


Fig. 15 Comparison of axial power distributions between the Zr'Y (1L) and conventional type control rods



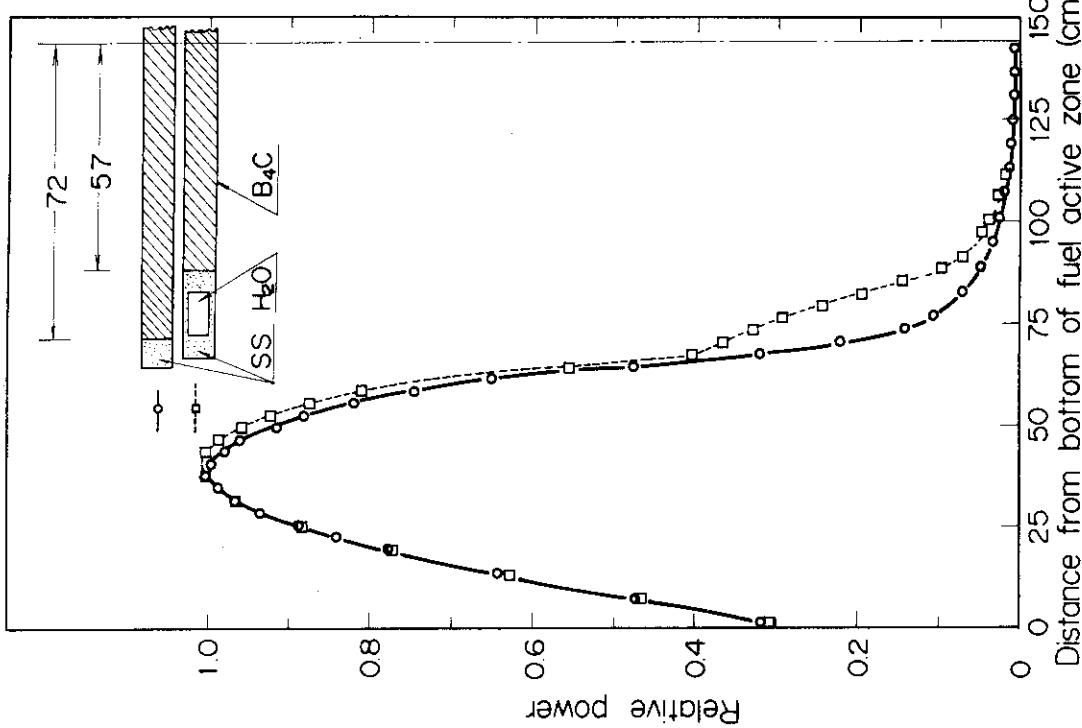


Fig. 20 Comparison of axial power distributions between the sheath (1L) and conventional type control rods in visual evaluation of gray nose effect

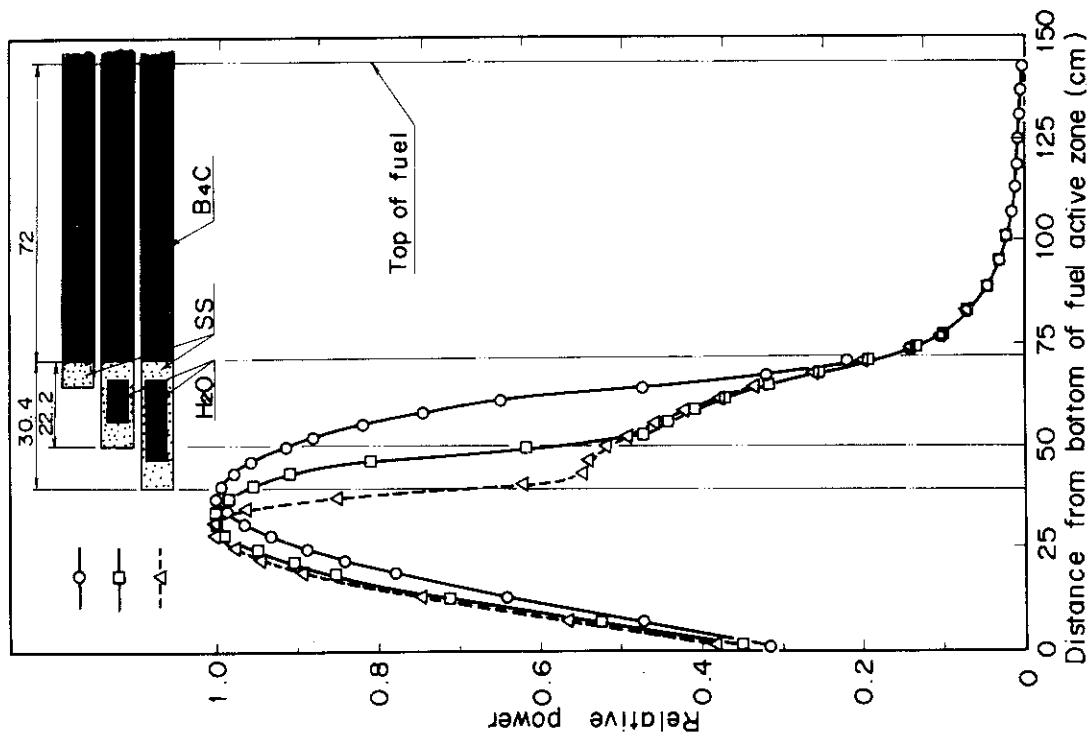


Fig. 19 Comparison of axial power distributions between the sheath (1L), sheath (2L) and conventional type control rods

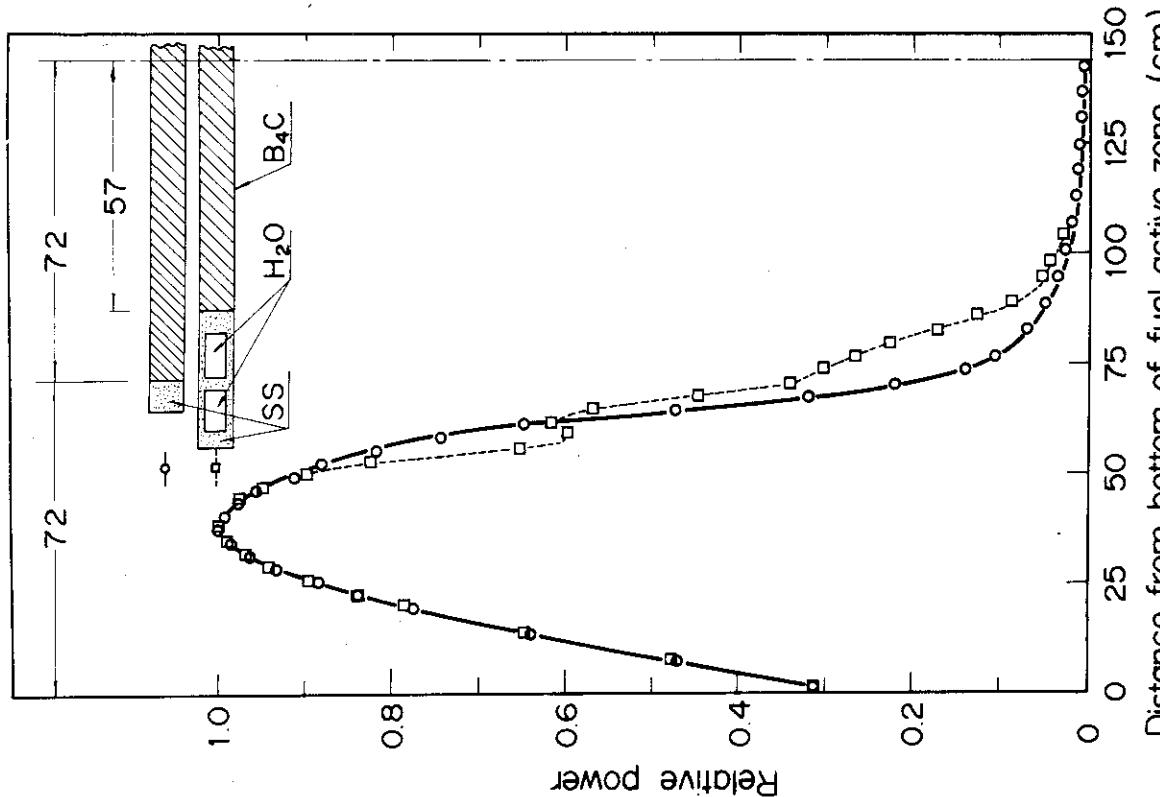


Fig. 22 Comparison of axial power distributions between cruciform handle and conventional type control rods

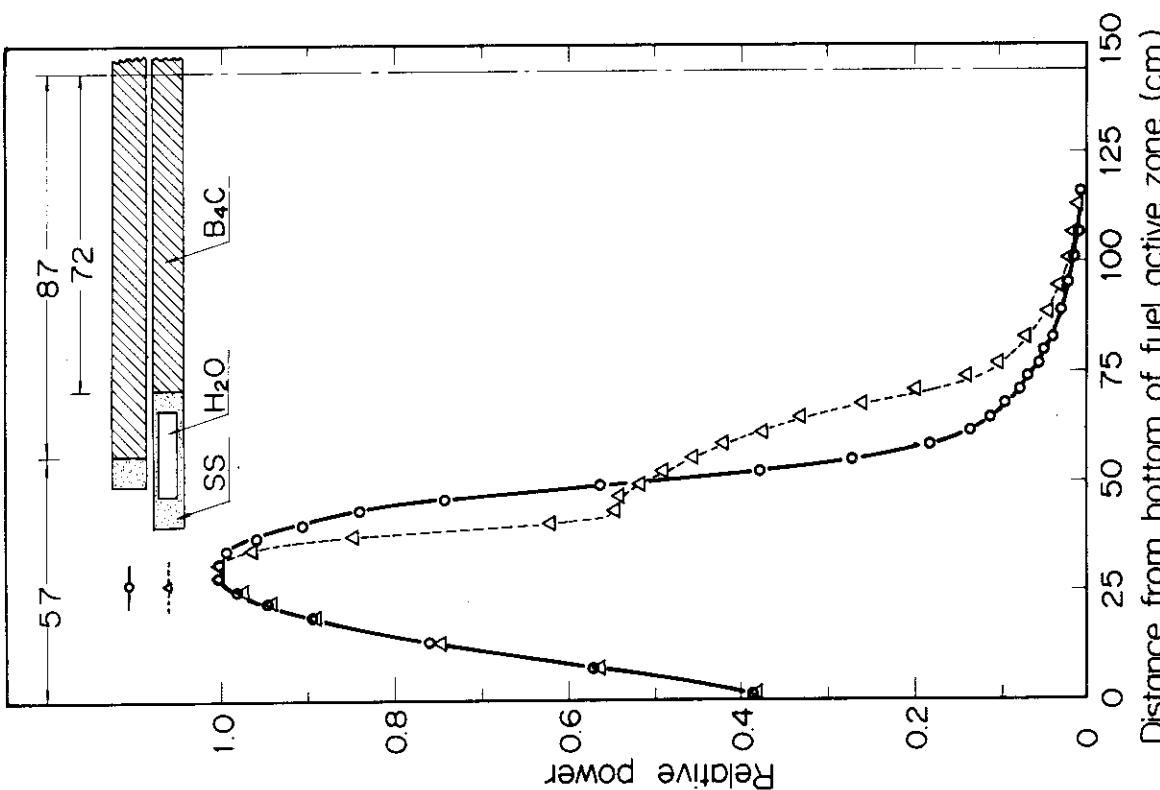


Fig. 21 Comparison of axial power distributions between the sheath ( $2L$ ) and conventional type control rods

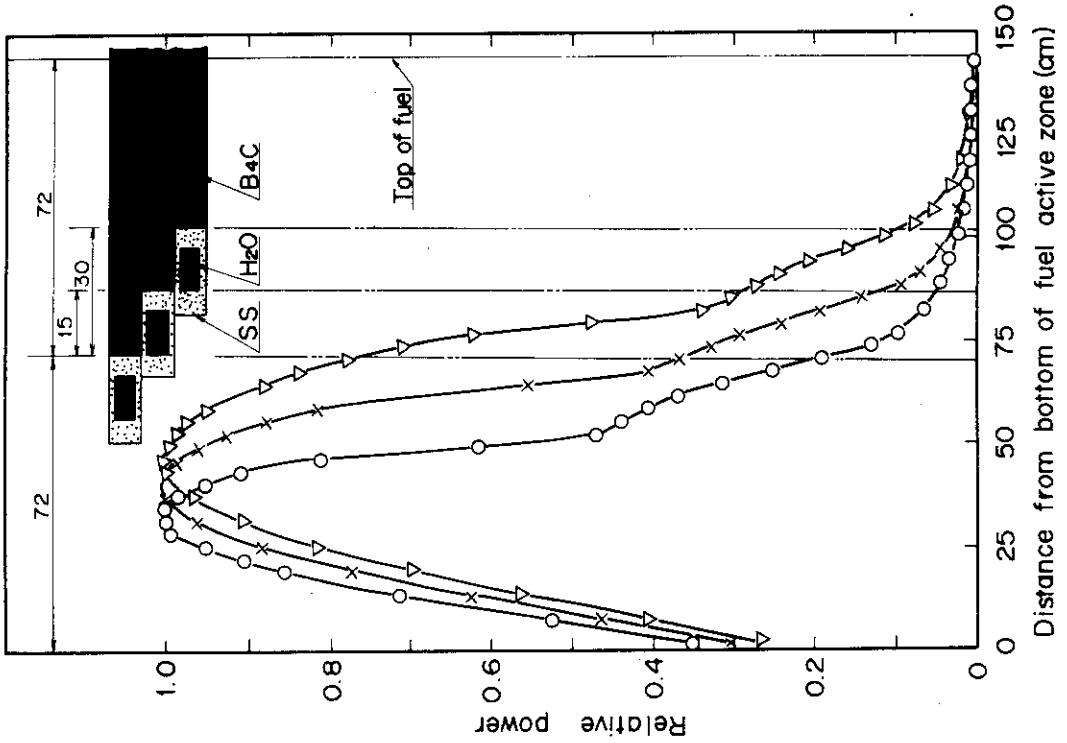


Fig. 24 Axial power distributions with several withdrawals of the sheath type control rod

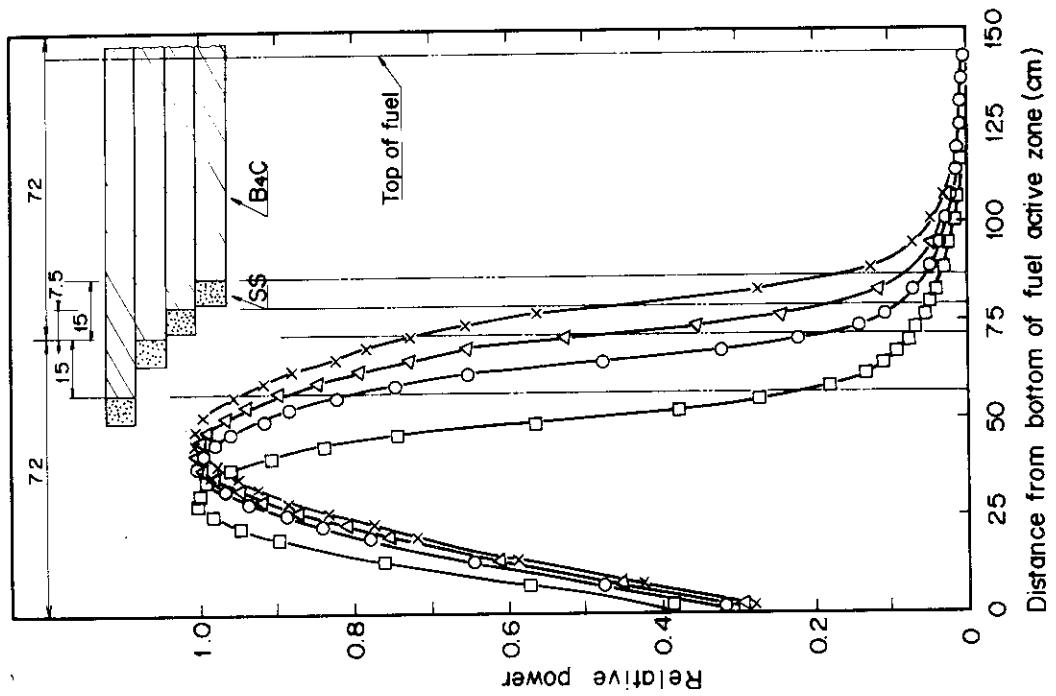


Fig. 23 Axial power distributions with several withdrawals of the conventional type control rod

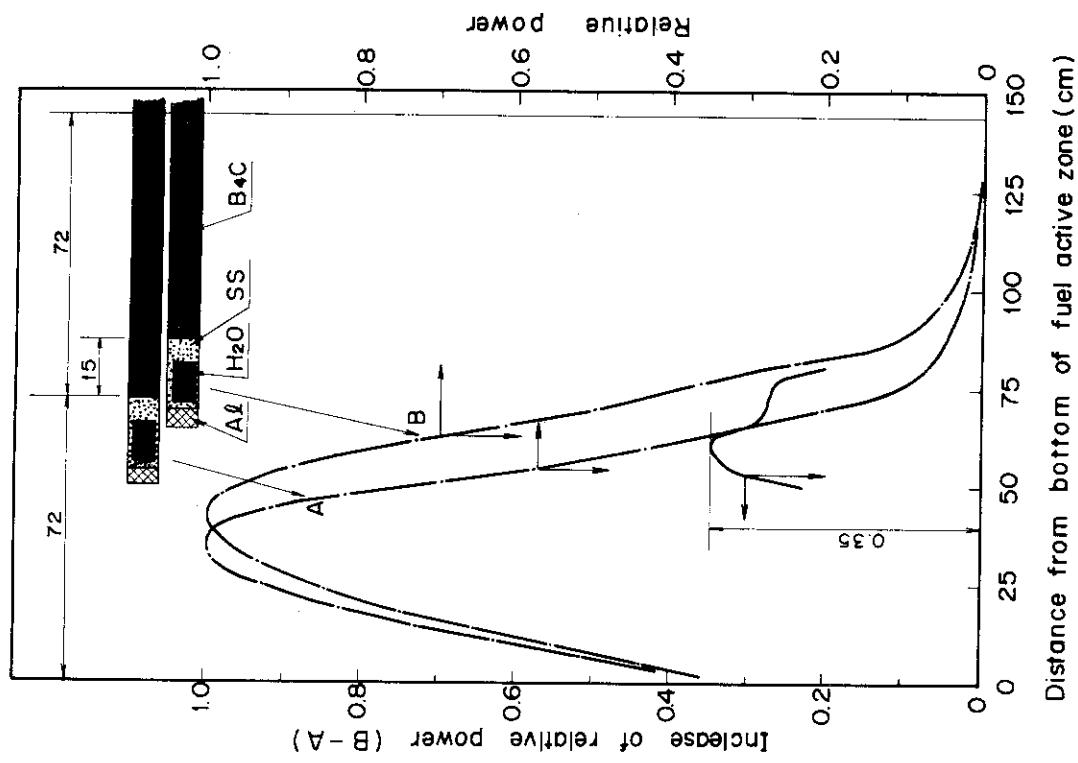


Fig. 26 Relative power increase by 15 cm withdrawal of the Al type control rod

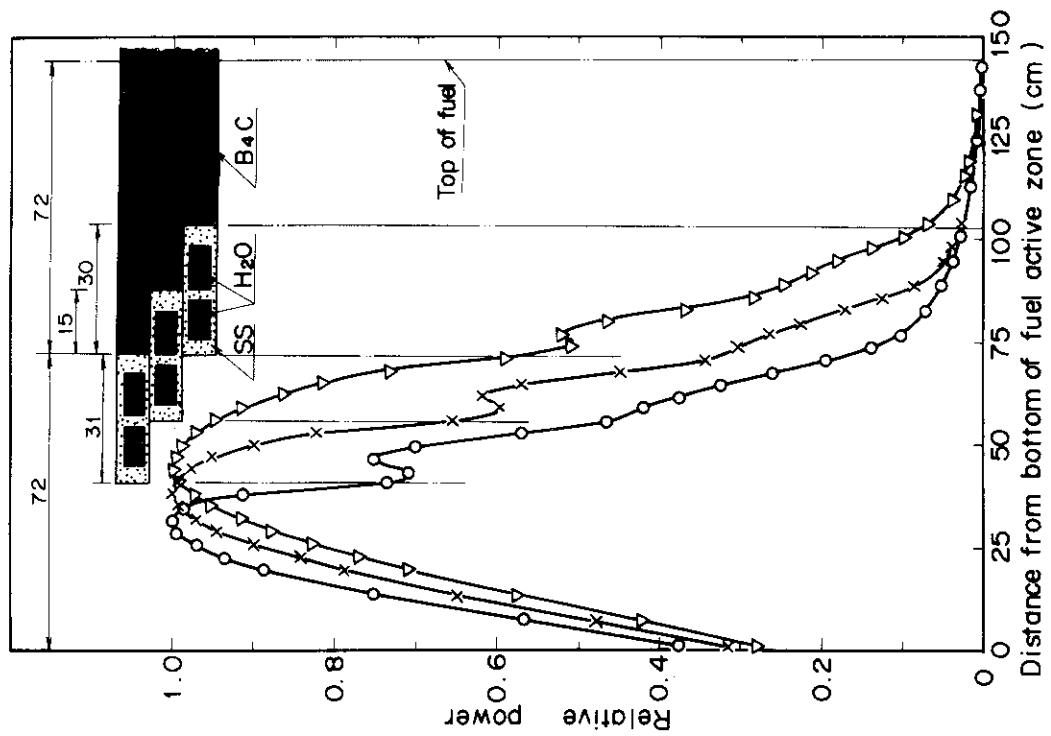


Fig. 25 Axial power distributions with several withdrawals of the cruciform handle type control rod

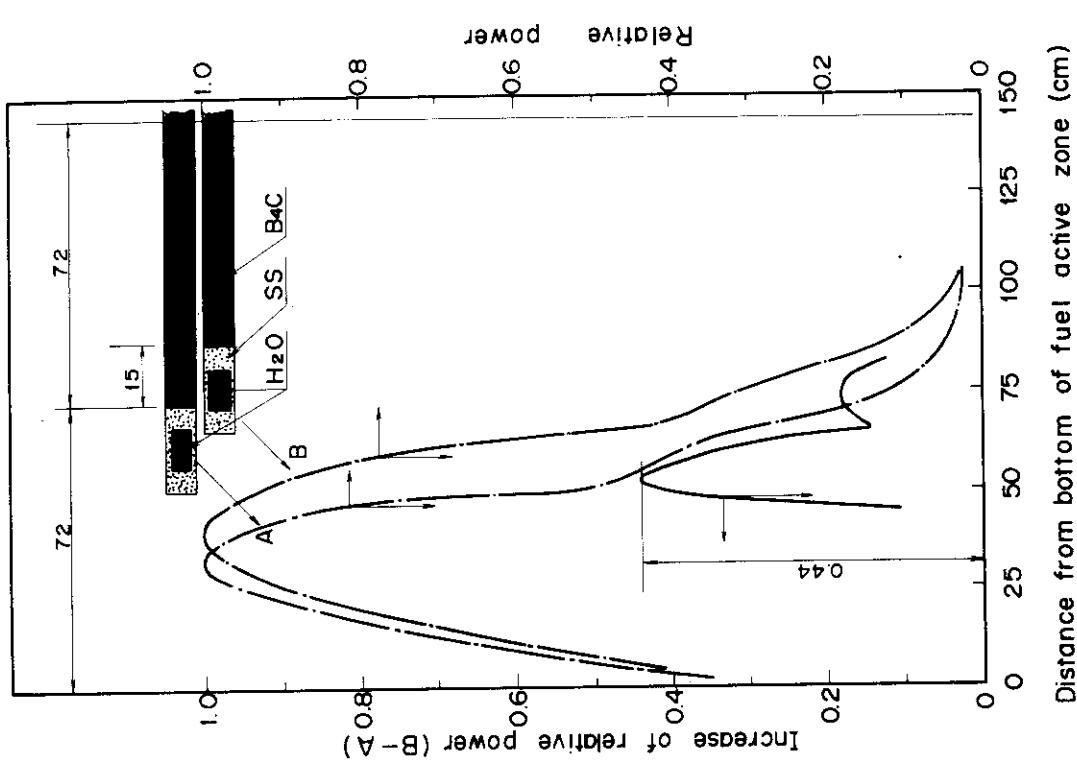


Fig. 27 Relative power increase by 15 cm withdrawal of the seabath type control rod

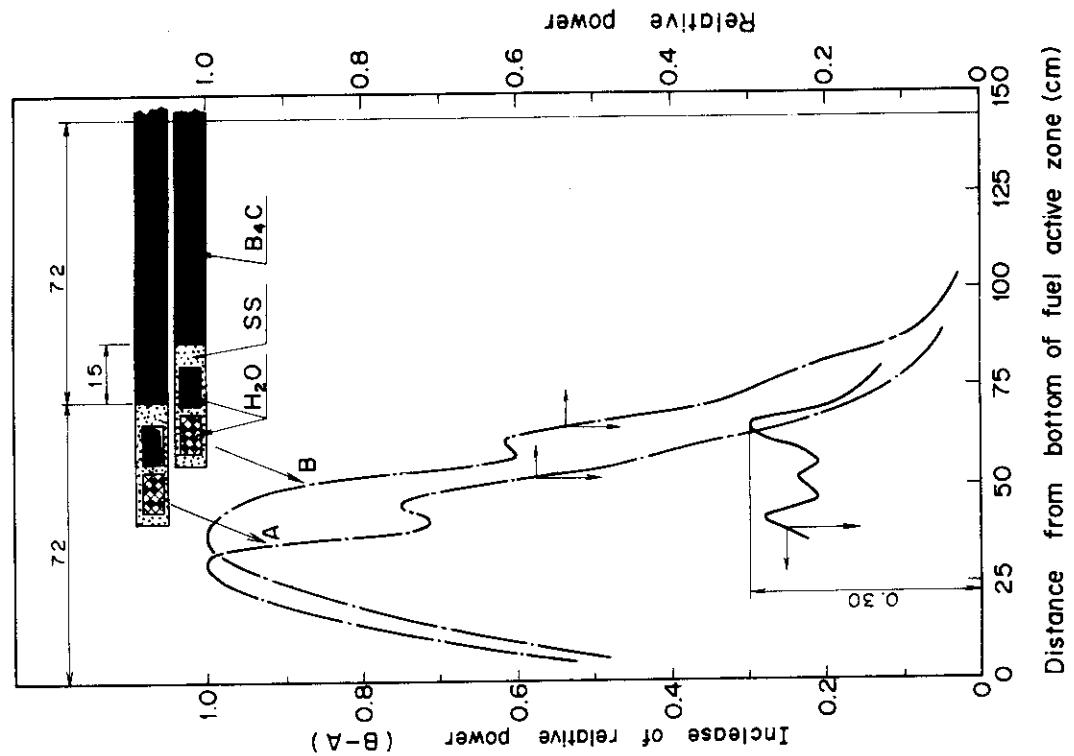


Fig. 28 Relative power increase by 15 cm withdrawal of the cruciform handle type control rod

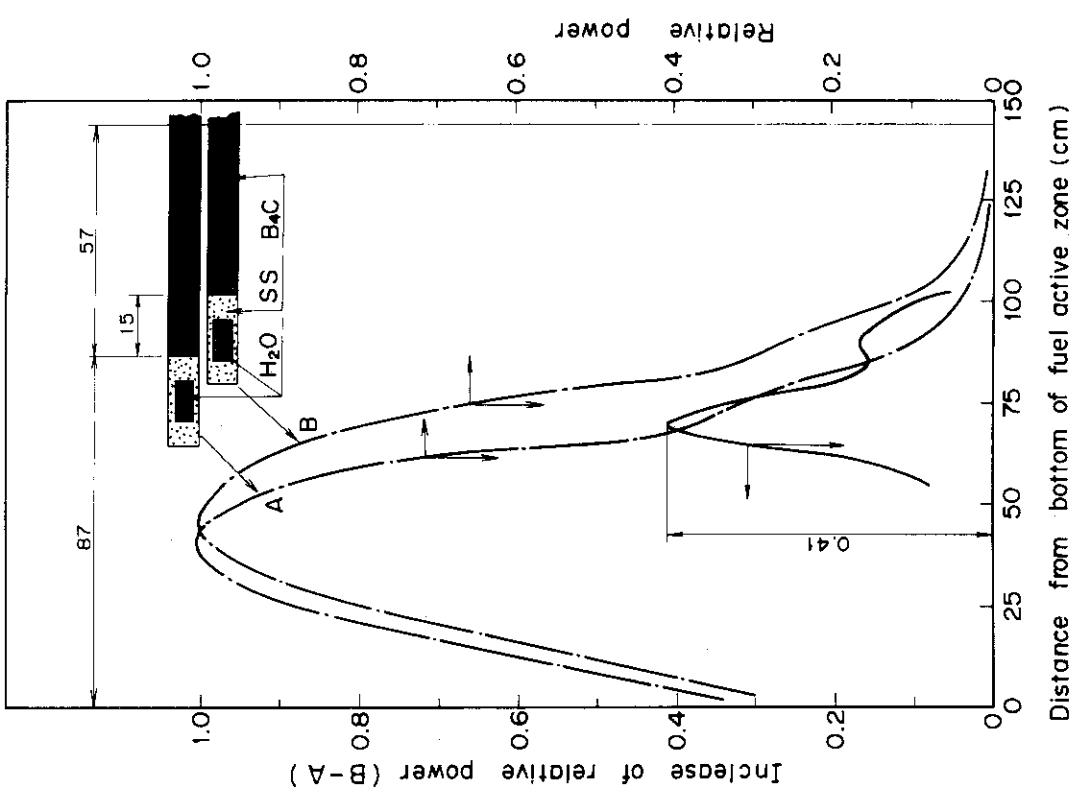


Fig. 29 Relative power increase by 15 cm withdrawal of the sheath type control rod from 87 cm

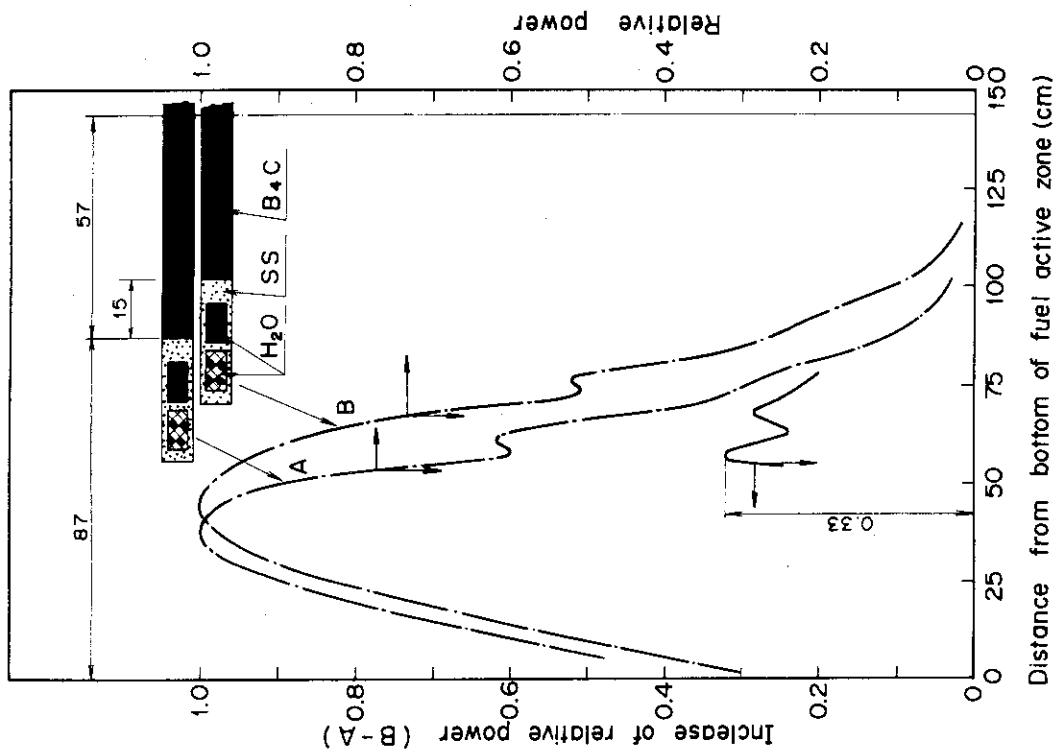


Fig. 30 Relative power increase by 15 cm withdrawal of the cruciform handle type control rod from 87 cm

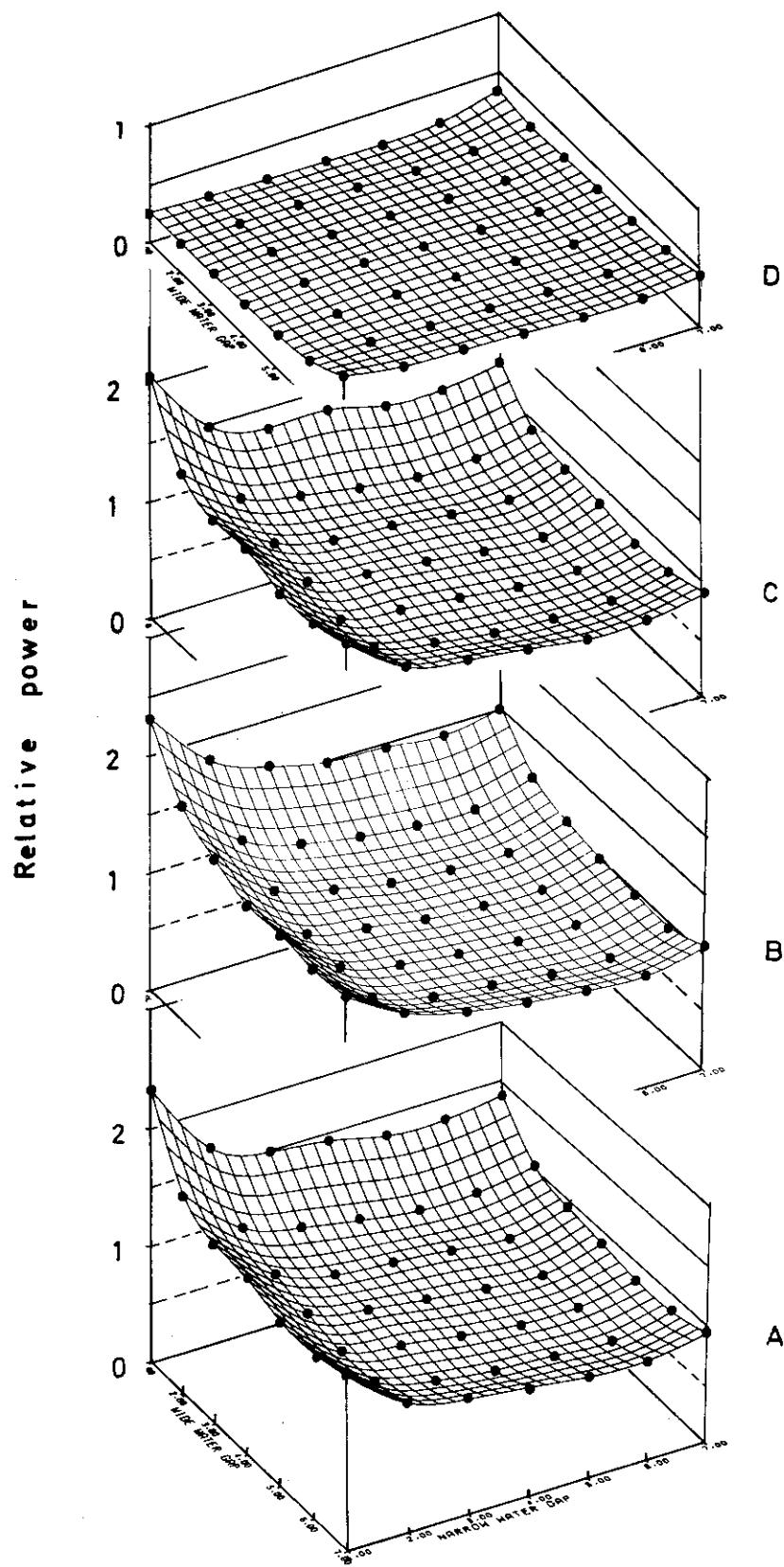


Fig. 31 Three dimensional power distribution in an assembly with the conventional type control rod 72cm withdrawal

Section	Distance from bottom of active fuel
A	20 cm
B	40
C	60
D	80

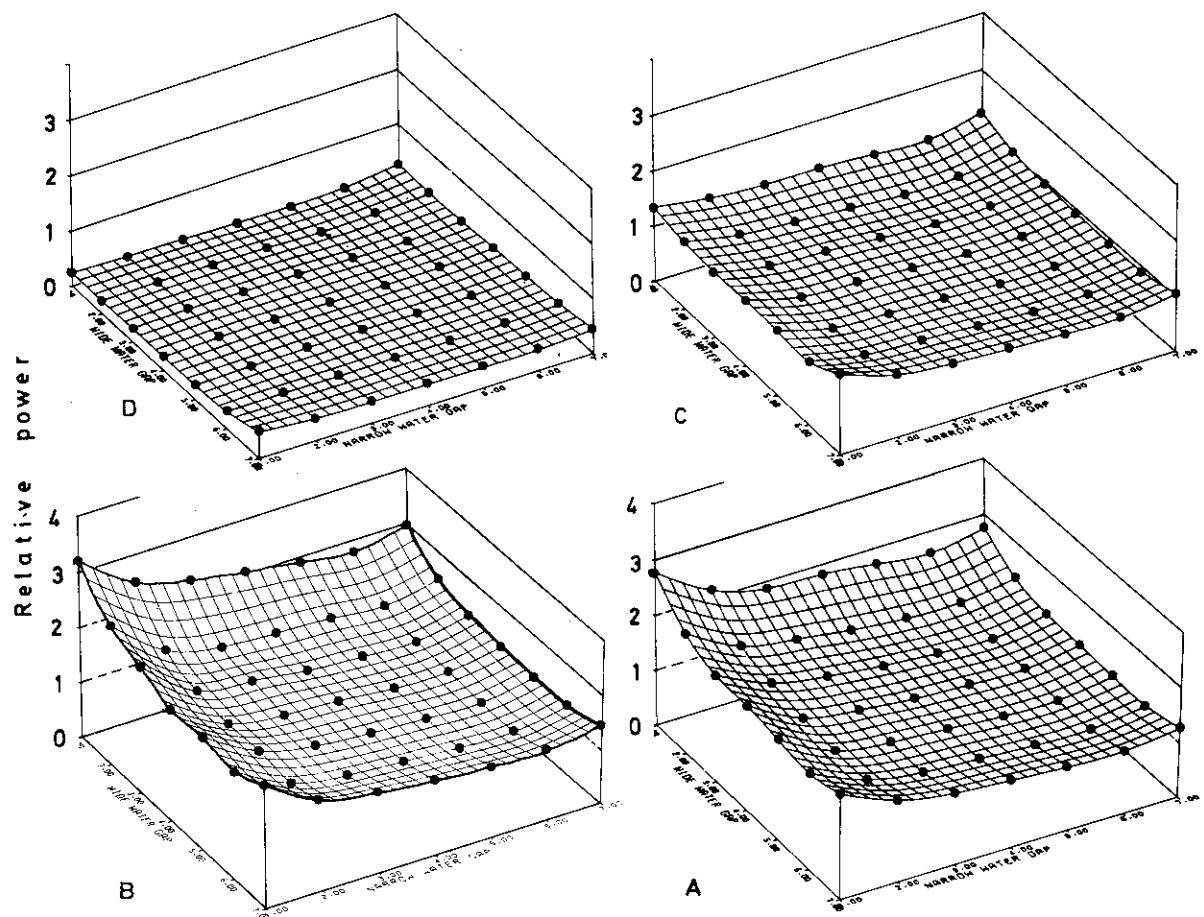


Fig. 32 Three dimensional power distribution in an assembly with the sheath type control rod 72cm withdrawal

Section Distance from bottom of active fuel

A	20 cm
B	40
C	60
D	80

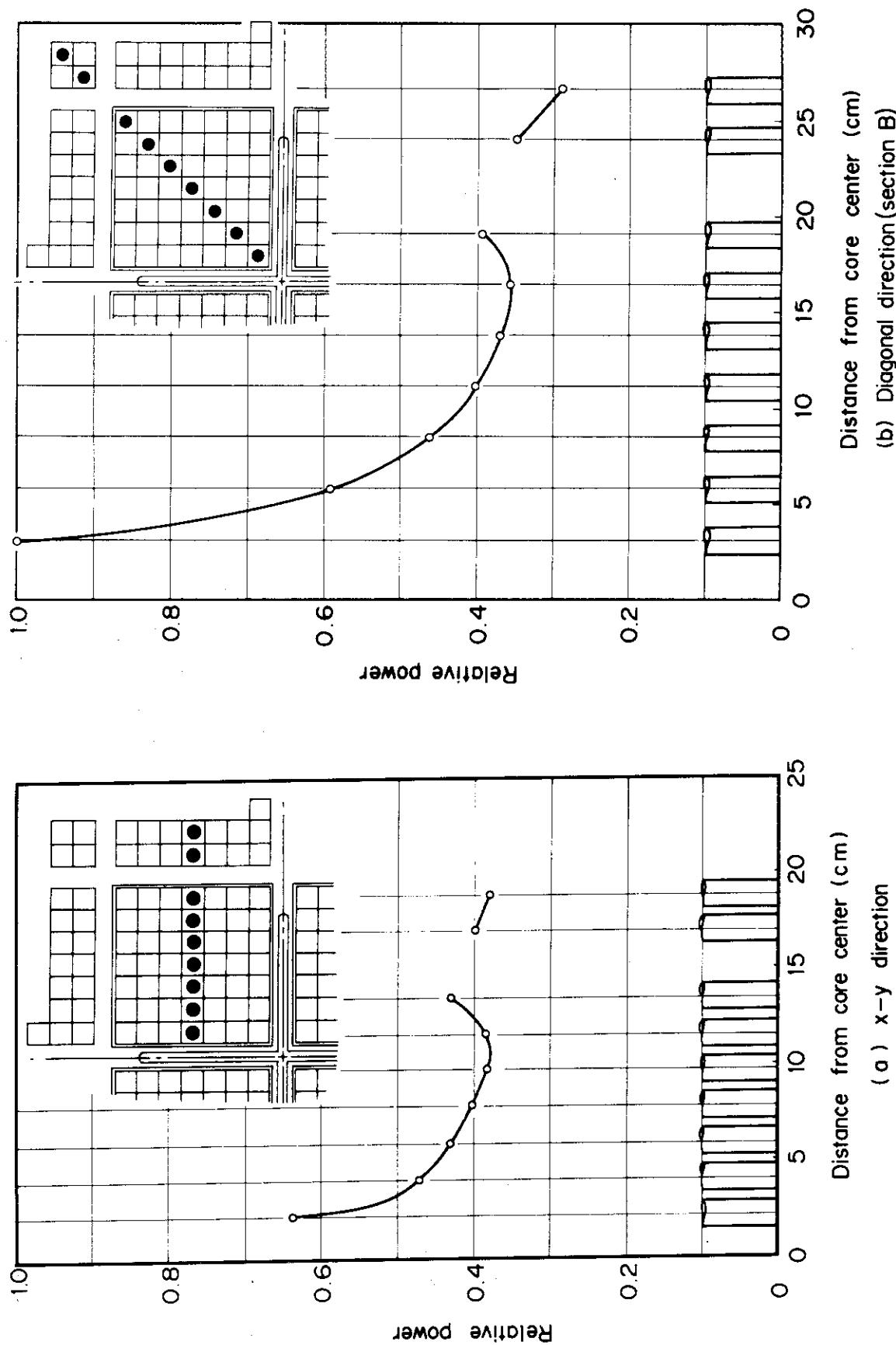


Fig. 33 Radial power distribution on section B ( 40 cm from bottom of active fuel ). The conventional type control rod is 1/2 ( 72 cm ) withdrawn

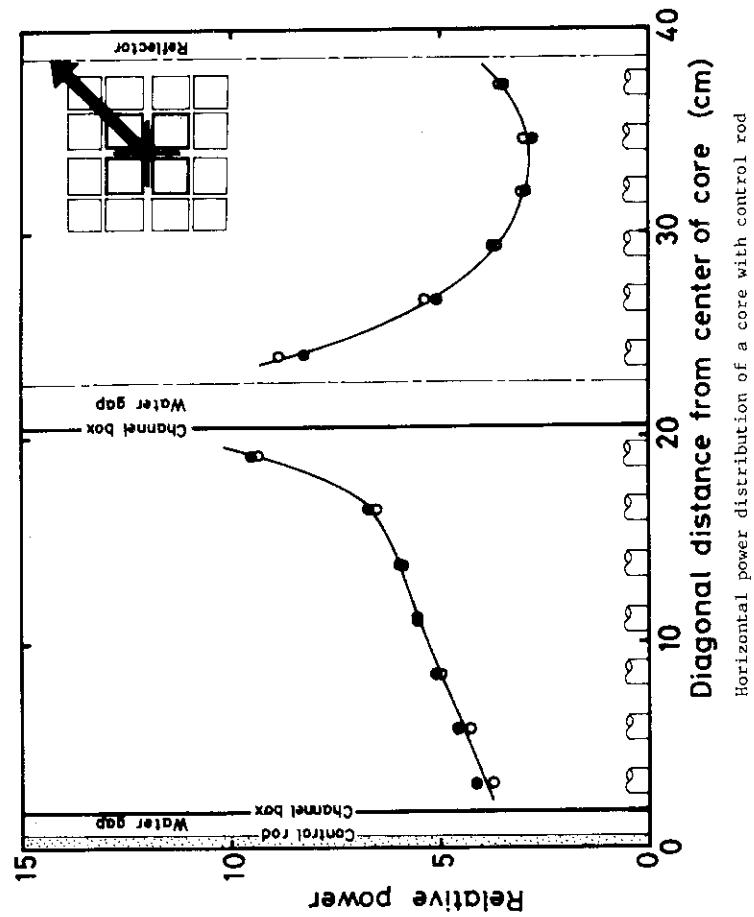
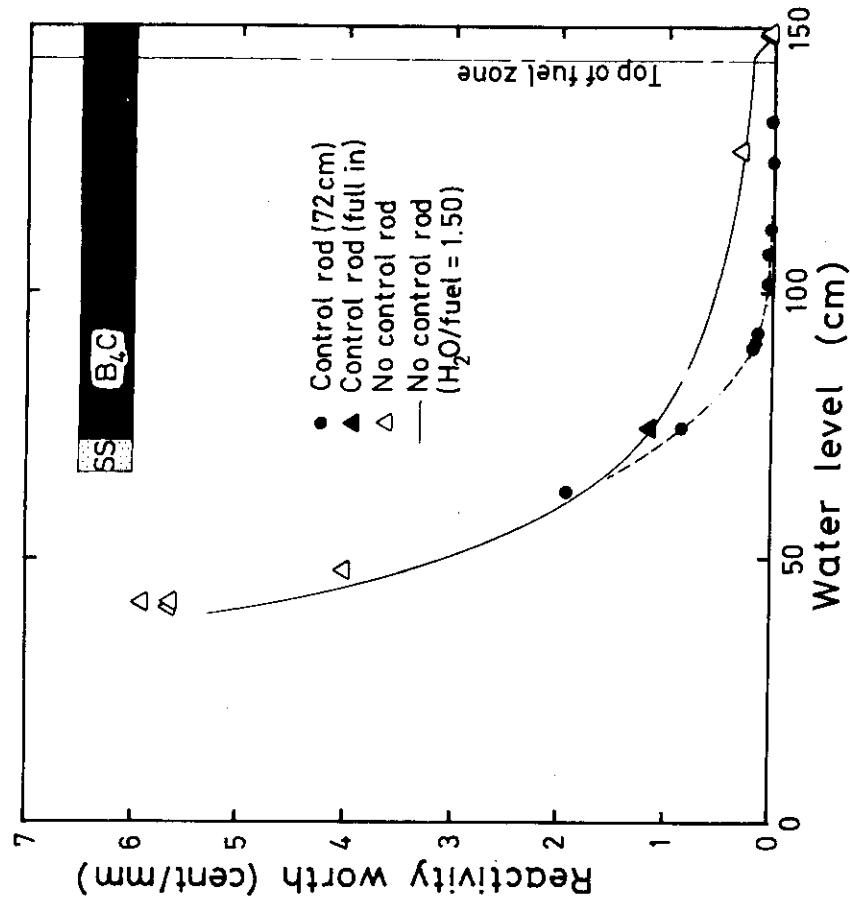


Fig. 34 Radial power distribution on section 36.2 cm above the bottom of active fuel. The conventional type control rod is fully inserted

Fig. 35 Water level worths with conventional type control rod and without control rod

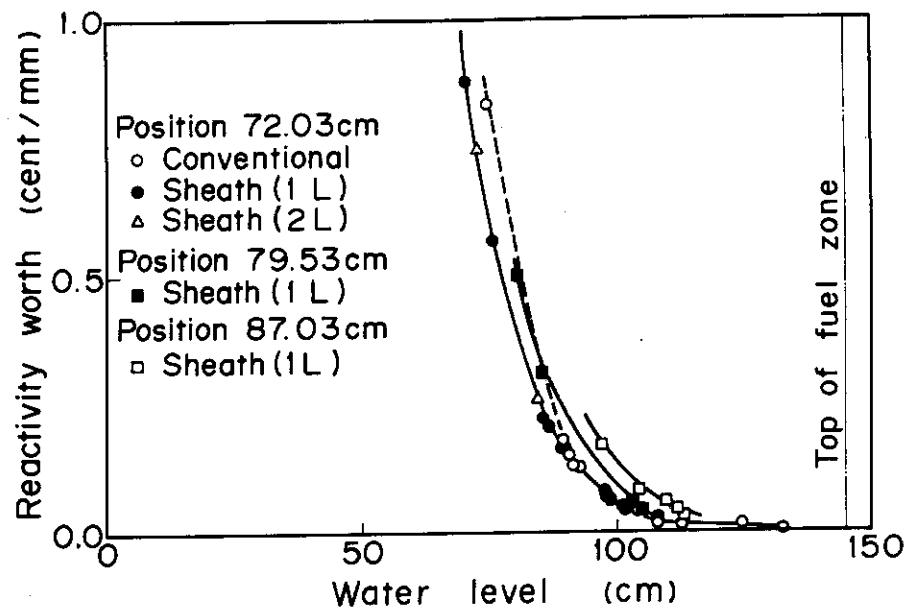


Fig. 36 Water level worths of cores with control rod positioned at 72, 79 and 87 cm

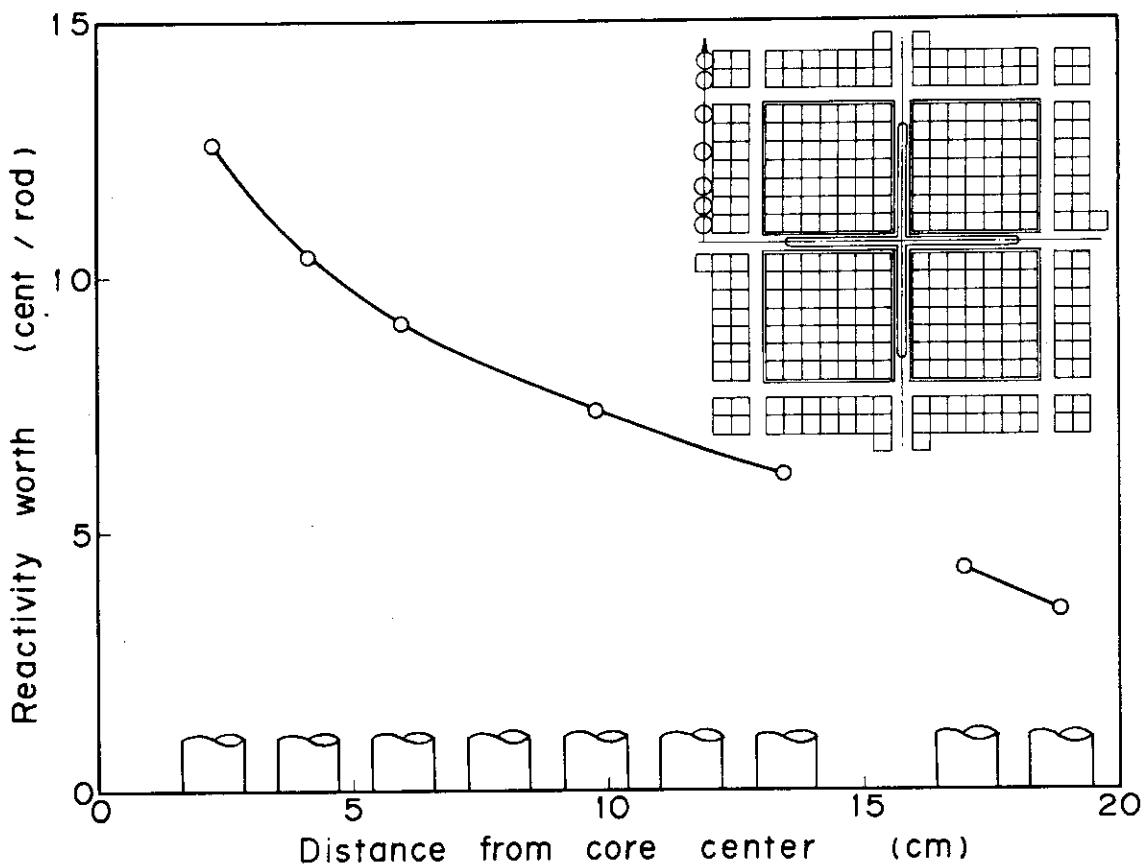


Fig. 37 Reactivity worth of a fuel rod located at periphery of core

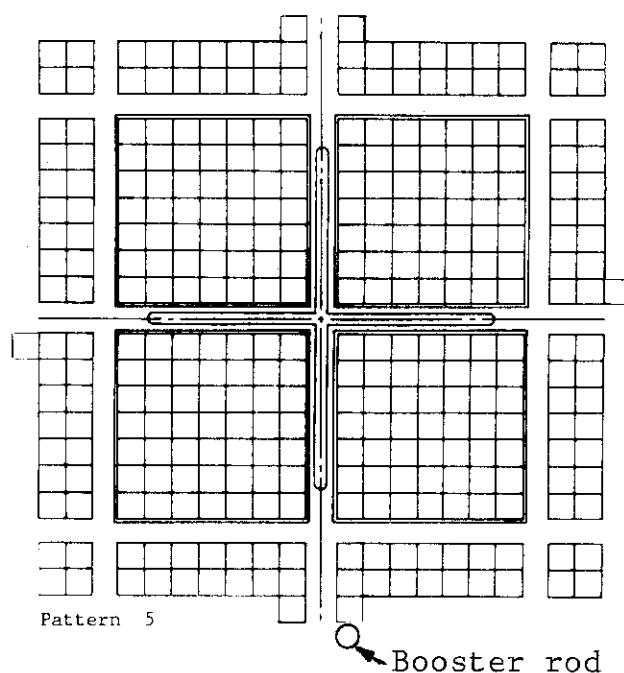


Fig. 38 Position of booster rod

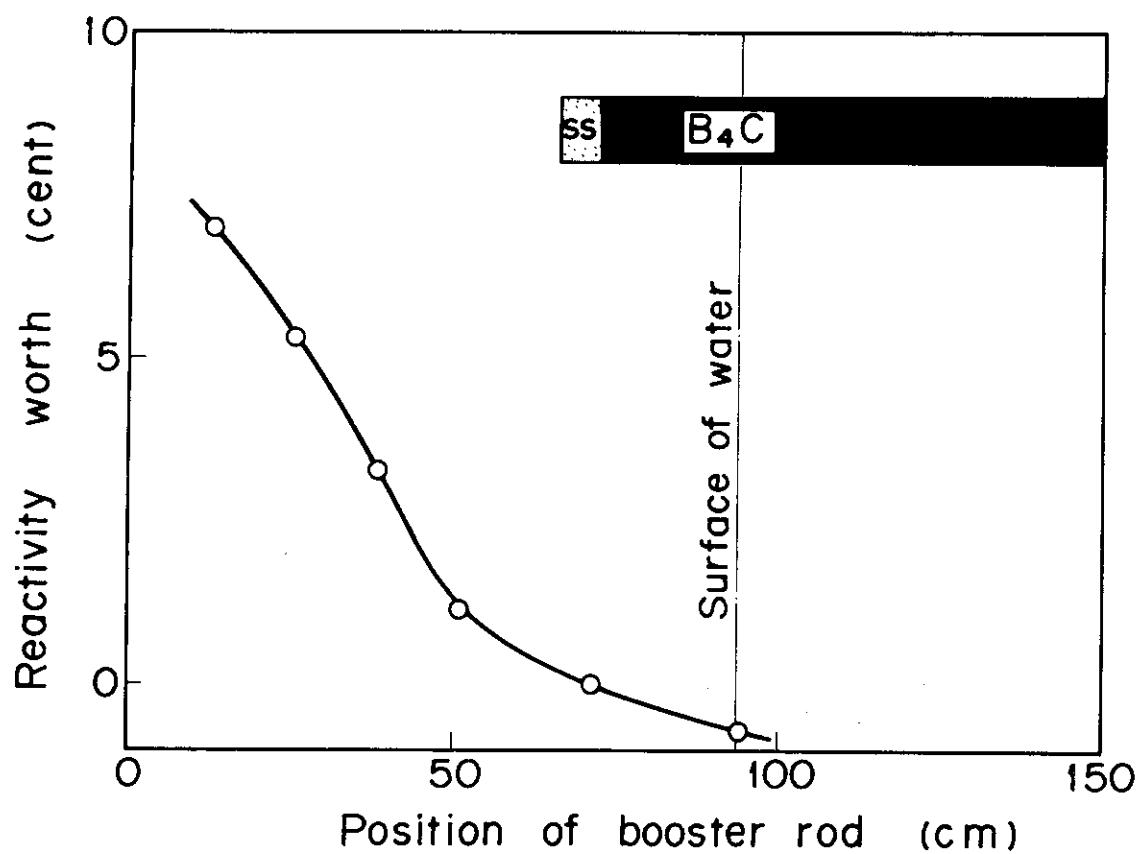


Fig. 39 Reactivity worth of the booster rod

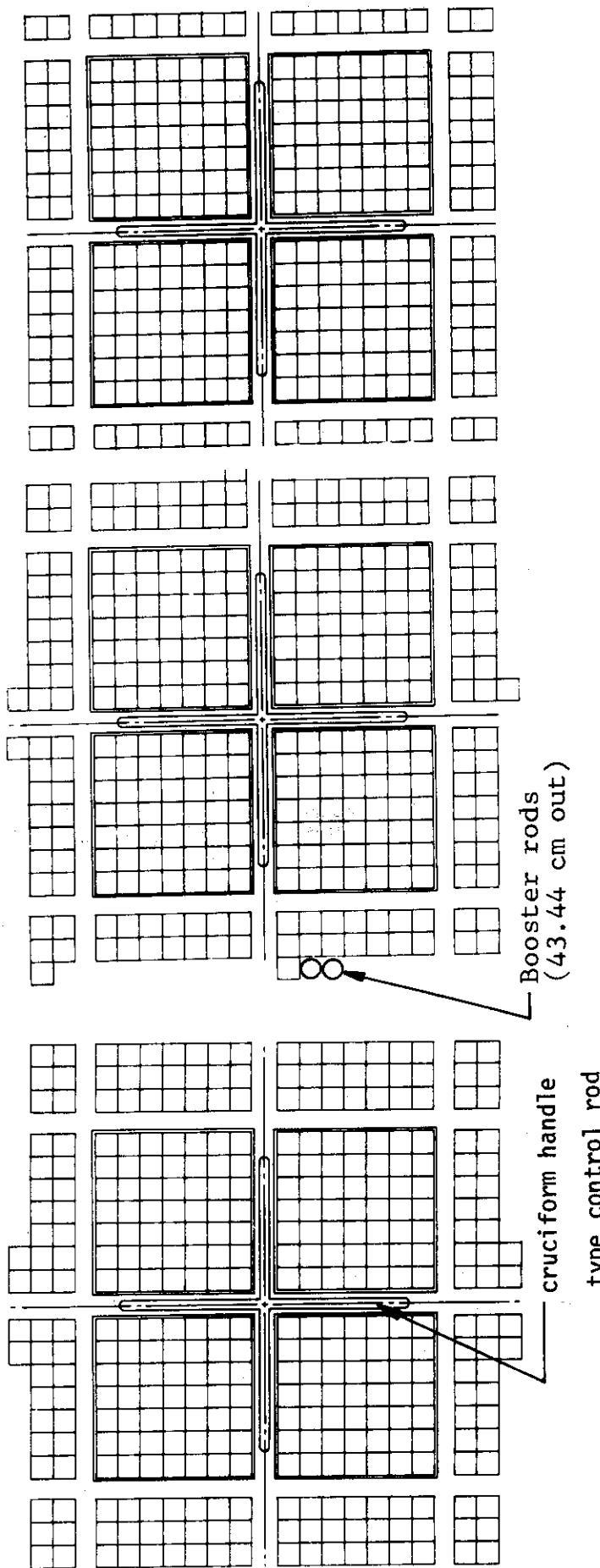


Fig. 40 Core pattern used for the estimation of reactivity worth of the cruciform handle type (1L) gray-nose

Fig. 41 Core pattern used for the estimation of reactivity worth of the SS type gray-nose

Fig. 42 Core pattern used for the estimation of reactivity worth of the sheath type gray-nose and for the measurement of control rod worth

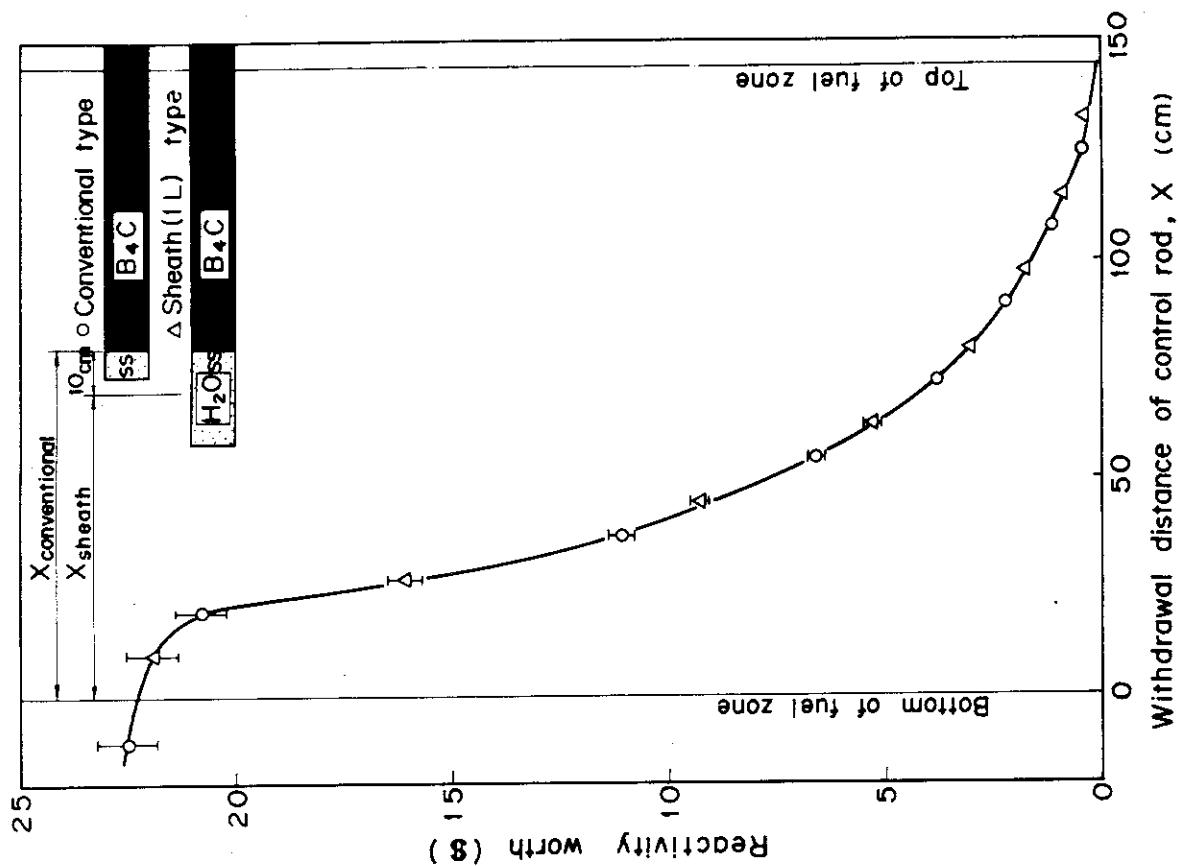


Fig. 44 Comparison of reactivity worth curves between conventional type and sheath (1L) type control rods

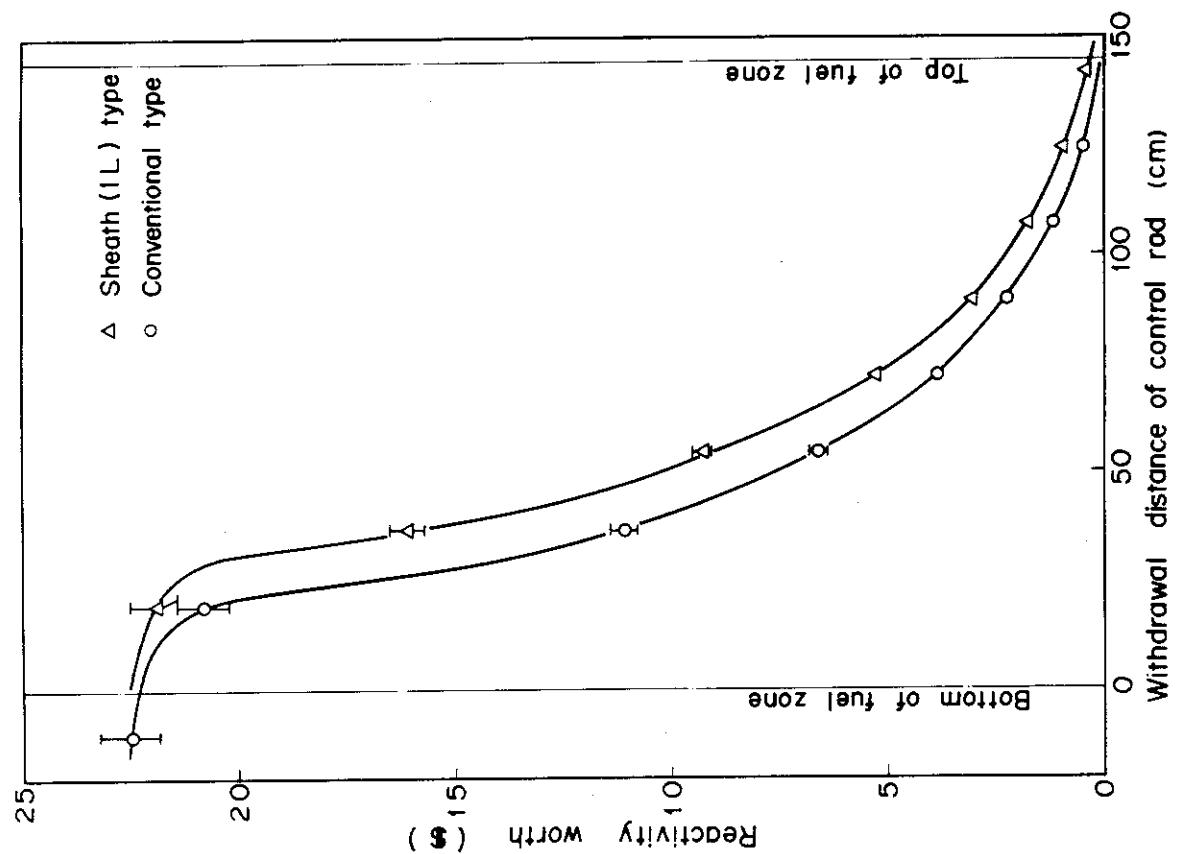


Fig. 43 Reactivity worth curves of conventional type and sheath (1L) type control rods

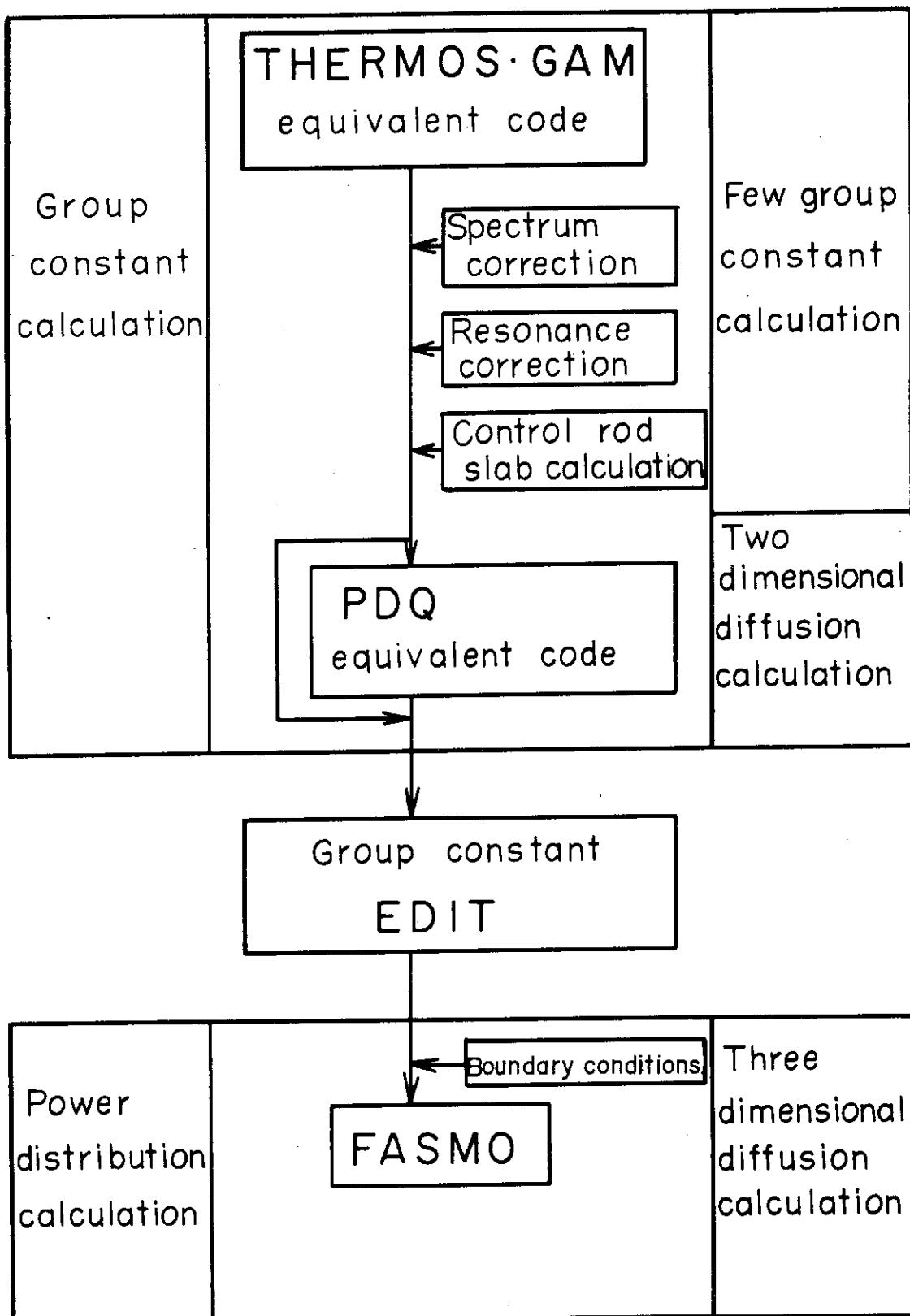


Fig. 45 Calculational scheme

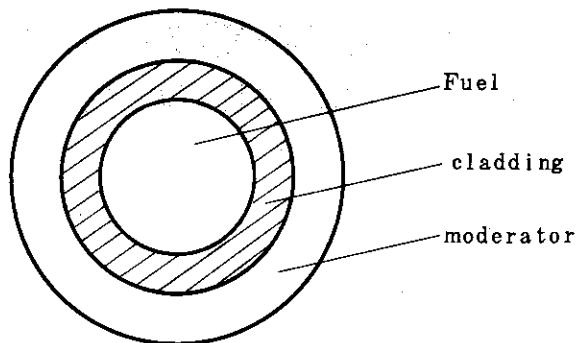


Fig. 46 Geometry for one rod cell calculation

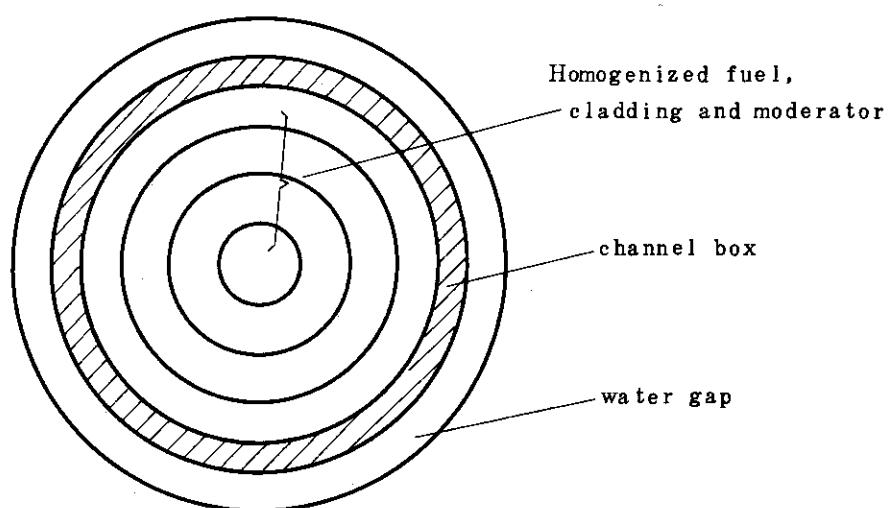


Fig. 47 Geometry for one bundle cell calculation  
( using spectrum correction )

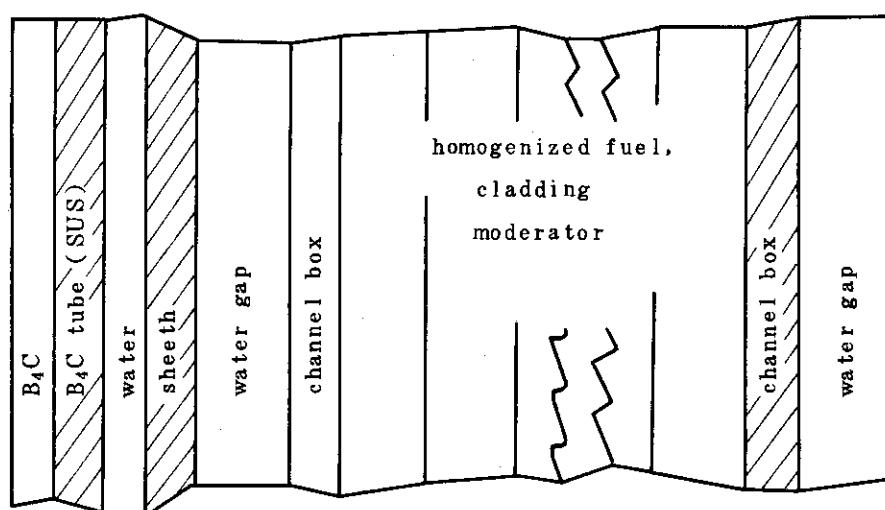
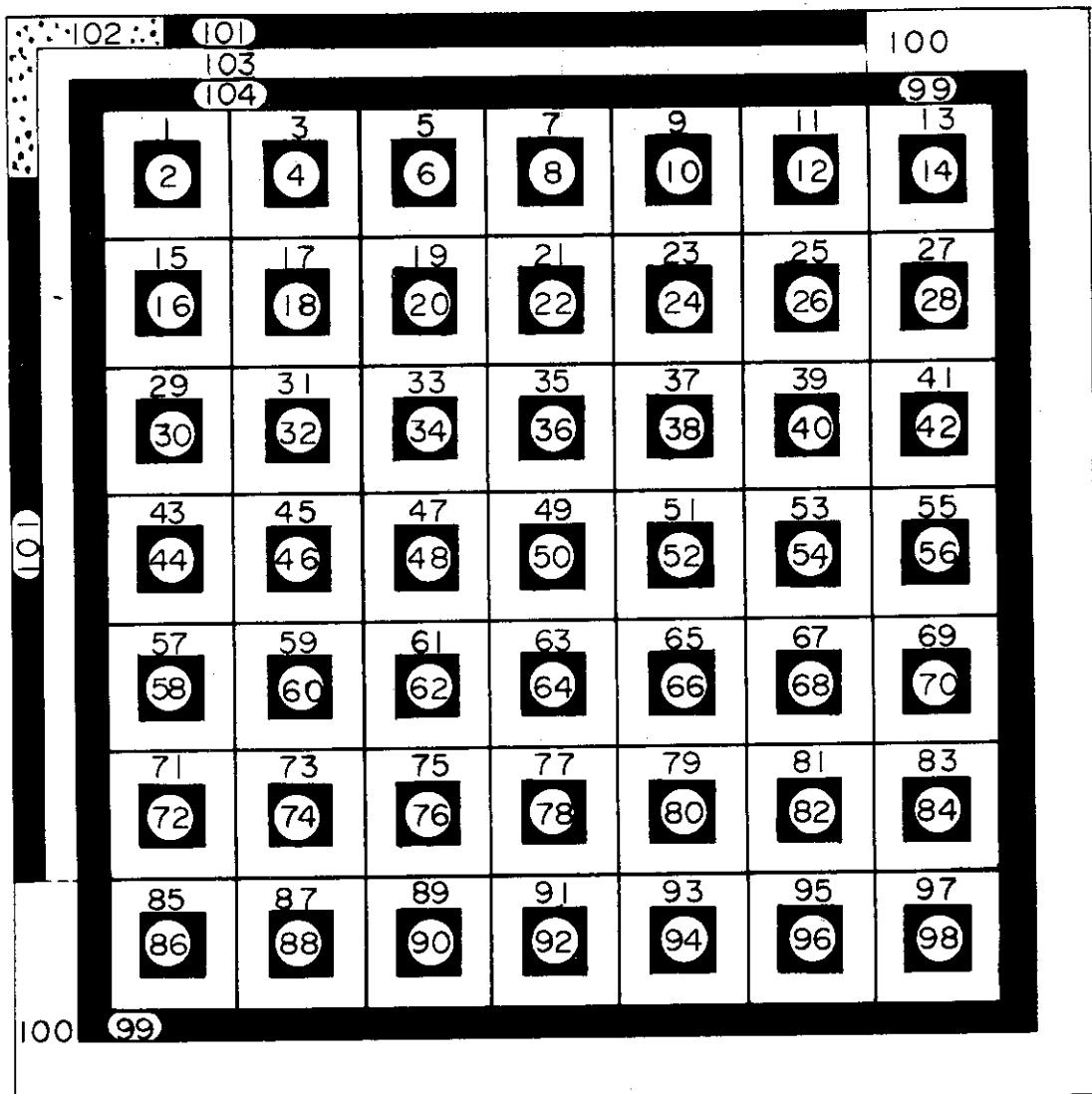


Fig. 48 Geometry for five group integral transport calculation



1 ~ 98 ; even ----- Fuel

1 ~ 98 ; odd ----- homogenized moderator and cladding

99, 104; channel box

100 ; water gap

101 ; control blade or water

102 ; control rod tie rod or water

103 ; water gap

Fig. 49 Material map for PDQ equivalent code

### Test region

1-28 ; Homogenized fuel,moderator & cladding  
29,30 ; channel box  
31,32 ; Water gap  
33 ; Control rod tie rod  
35 ; Control rod blade  
Driver region  
13 ; Homogenized fuel,moderator & cladding  
23 ; Water gap

Fig. 50 An example of FASMO material map

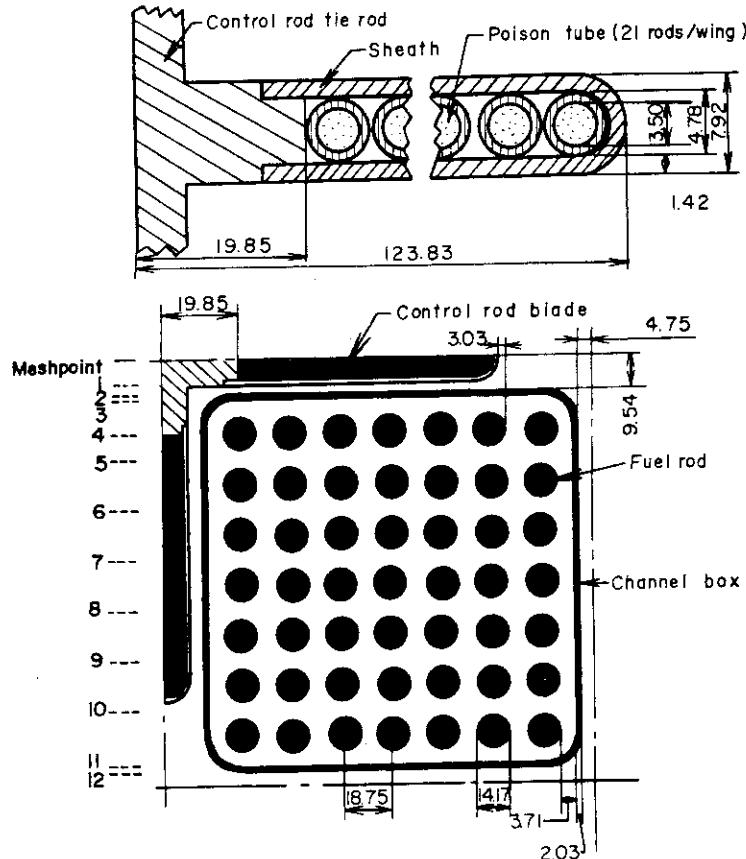


Fig. 51 Geometry and mesh points in one bundle

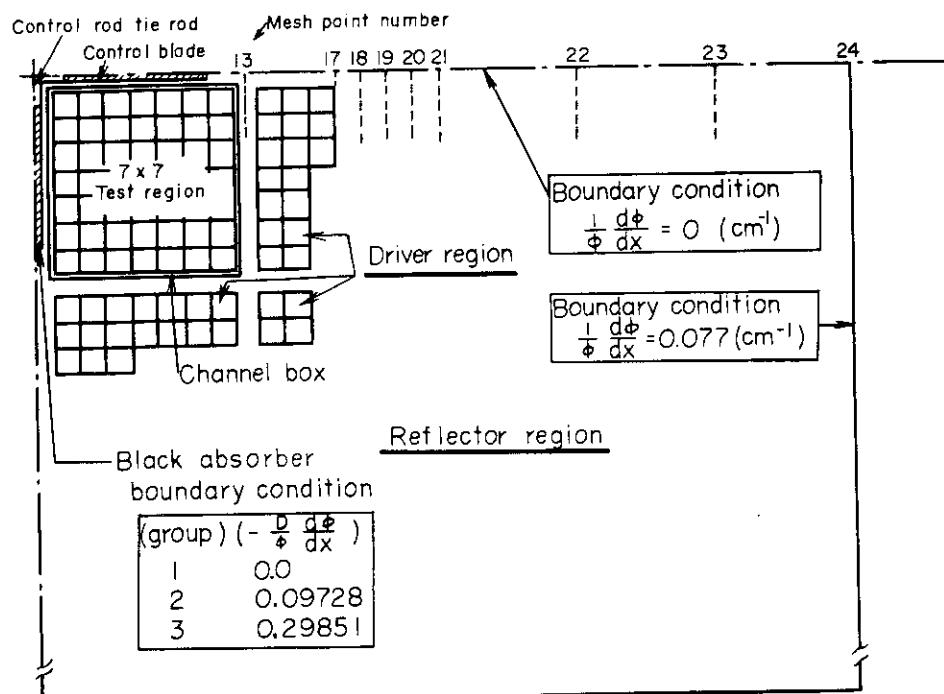


Fig. 52 Geometry for FASMO calculation (horizontal)

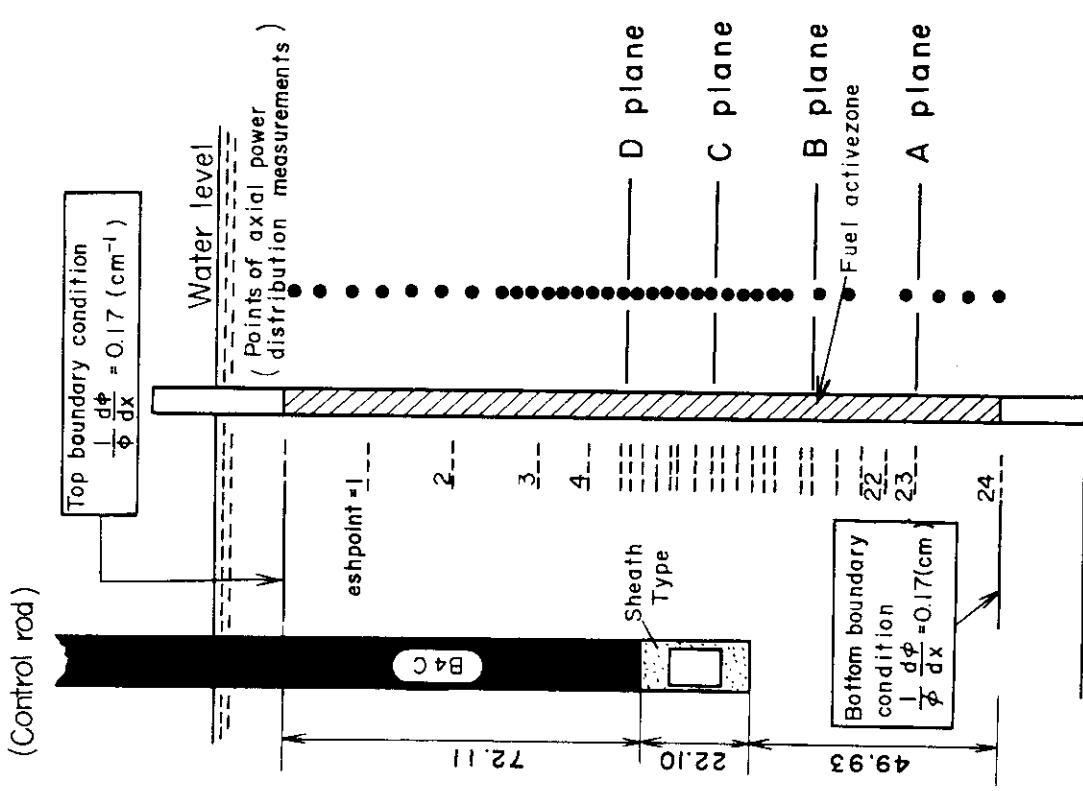


Fig. 53 Geometry for FASMO calculation  
(vertical, sheath type (1L))

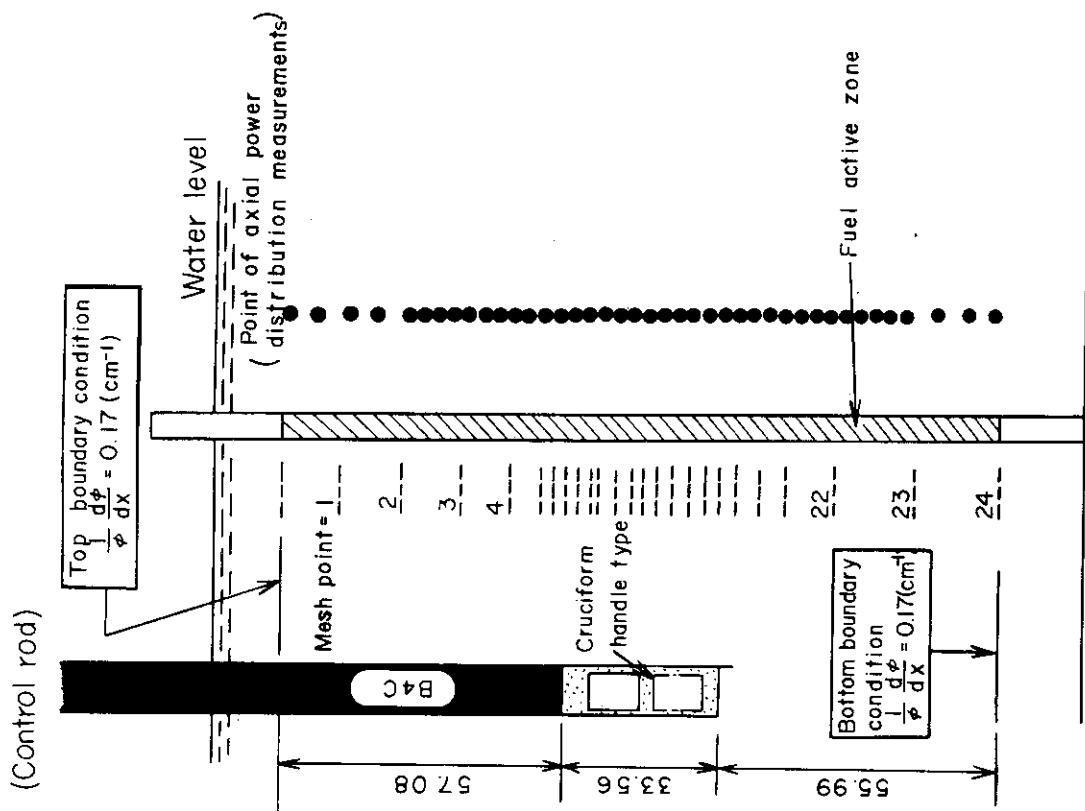


Fig. 54 Geometry for FASMO calculation  
(vertical, cruciform handle type  
(1L))

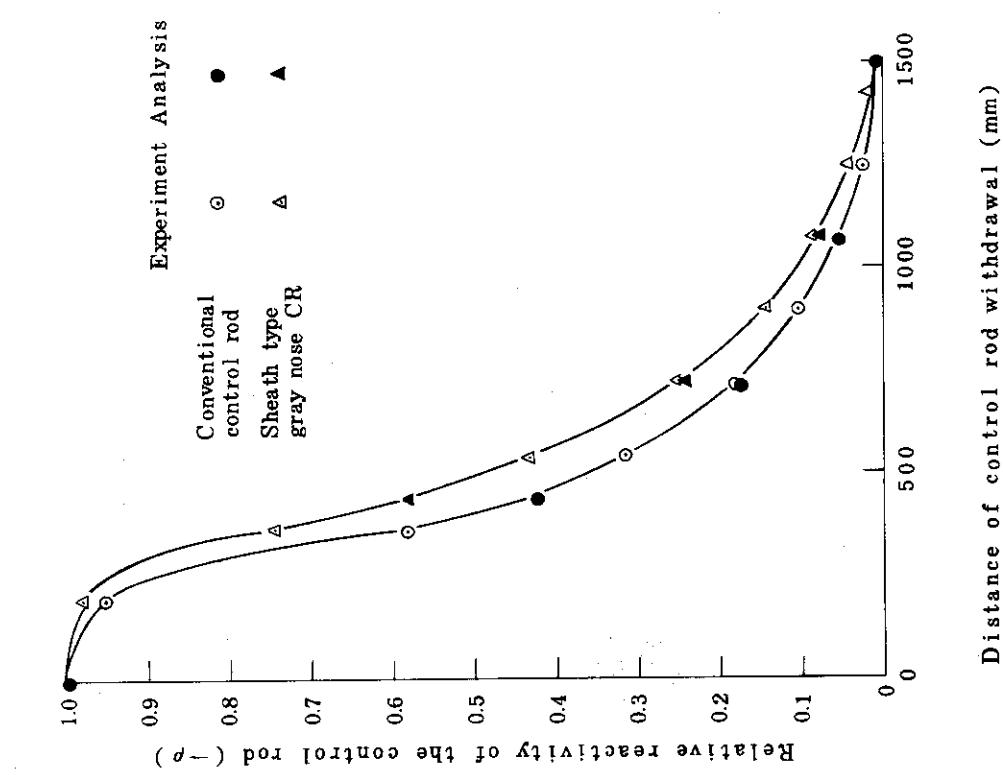


Fig. 55 Calculated control rod worth curve

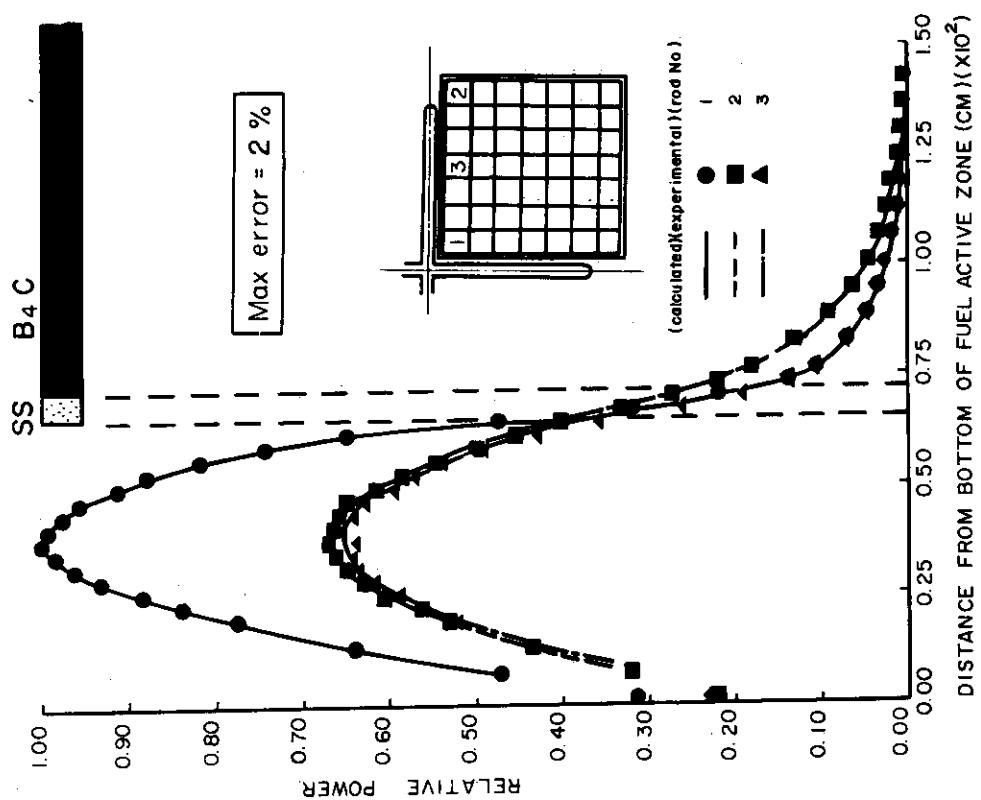


Fig. 56 Calculated axial power distribution for the conventional type control rod 72 cm withdrawal

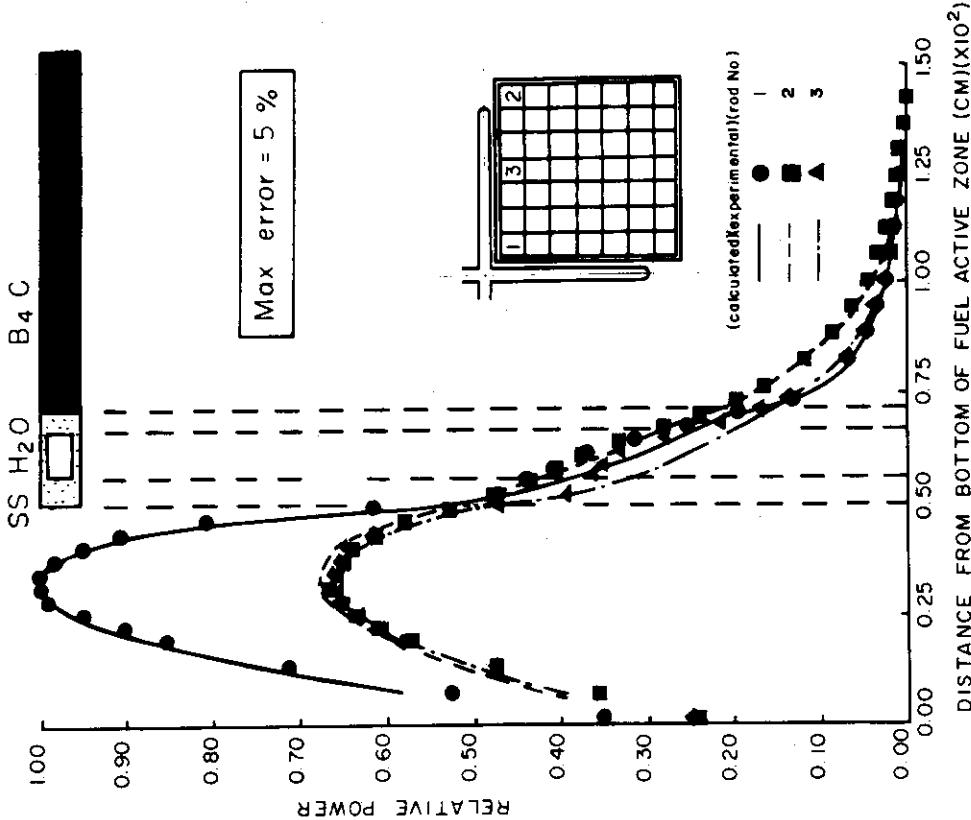


Fig. 57 Calculated axial power distribution for the sheath type control rod withdrawal

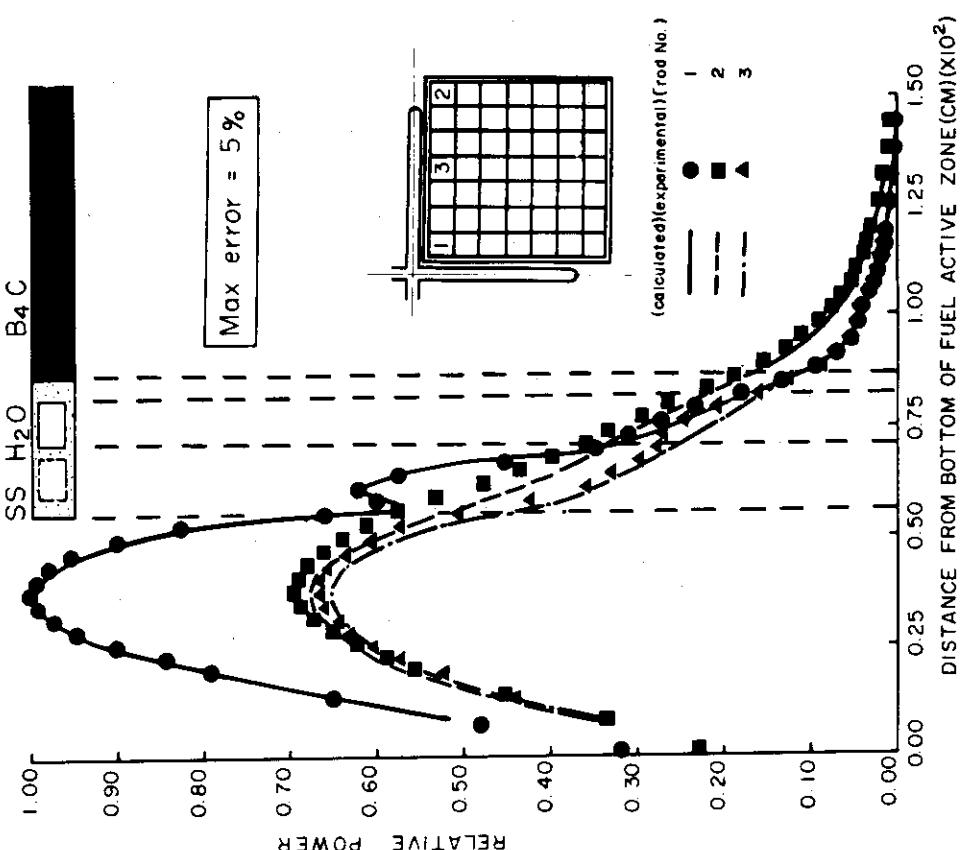
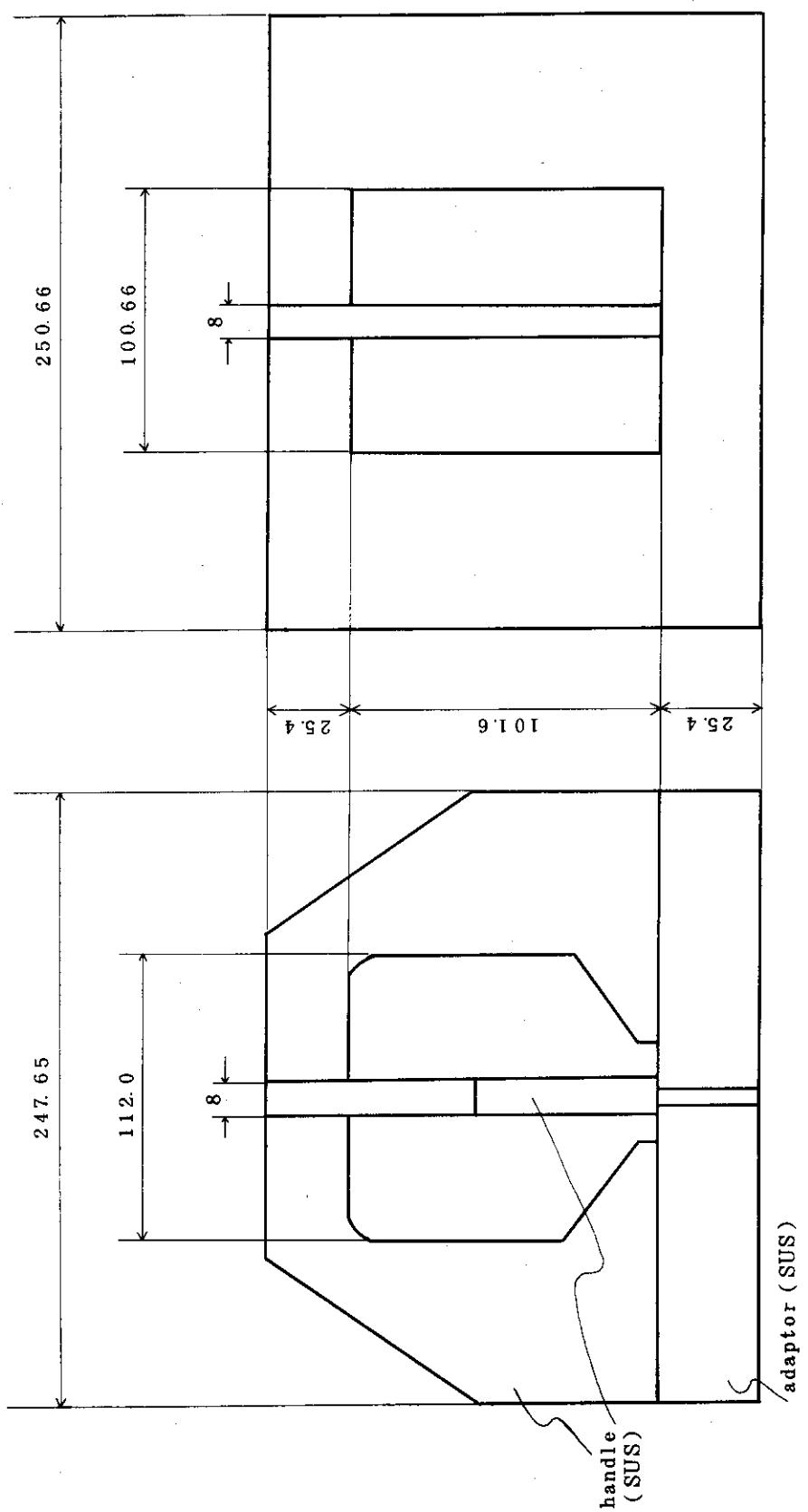


Fig. 58 Calculated axial power distribution for the cruciform handle type control rod (72+15) cm withdrawal



&lt; Calculational geometry &gt;

&lt; Experimental geometry &gt;

Fig. 59 Cruciform handle for FASMO calculation

No blade

2.032	1.524	1.403	1.326	1.263	1.223	1.373
1.955	1.528	1.351	1.333	1.267	1.206	1.342
3.0	-0.3	3.8	-0.5	-0.3	1.2	2.3
	1.109	1.008	0.951	0.906	0.884	0.998
	1.158	1.048	0.962	0.909	0.915	1.025
	-4.2	-3.6	-1.1	-0.3	-3.4	-2.6
		0.905	0.853	0.812	0.800	0.909
		0.924	0.855	0.808	0.794	0.902
		-2.1	-0.2	0.5	0.8	0.8
			0.803	0.765	0.753	0.855
			0.794	0.765	0.754	0.854
			1.3	0.0	-0.1	0.1
				0.727	0.715	0.812
				0.717	0.715	0.808
				1.4	0.0	0.5
					0.696	0.786
					0.707	0.796
					-1.6	-1.3
						0.892
						0.873
						2.2

upper : calculated

Max error = 4.2 %

middle : experimental

lower : error (%)

Sheath type gray part

1.308	1.143	1.112	1.081	1.061	1.093	1.470
1.349	1.216	1.172	1.185	1.157	1.131	1.384
3.0	-6.0	-5.1	-8.8	-8.3	-3.4	7.6
	1.049	1.007	0.974	0.947	0.949	1.112
	1.050	0.990	0.943	0.902	0.940	1.110
	-0.1	1.7	3.3	5.0	1.0	0.2
		0.961	0.918	0.889	0.891	1.034
		0.955	0.903	0.864	0.893	1.012
		-0.4	1.7	2.9	-0.2	2.2
			0.883	0.854	0.853	0.986
			0.869	0.825	0.853	0.962
			1.6	3.5	0.0	2.5
				0.823	0.820	0.945
				0.793	0.806	0.924
				3.8	1.7	2.3
					0.806	0.923
					0.816	0.912
					-1.2	1.2
						1.057
						1.040
						1.6

upper : calculated

Max error = 8.8 %

middle : experimental

lower : error (%)

B4C Part

0.824	0.753	0.772	0.785	0.810	0.904	1.470
0.758	0.740	0.775	0.772	0.799	0.969	1.424
8.7	1.8	-0.4	1.7	1.4	-6.7	3.2
	0.872	0.808	0.923	0.937	0.987	1.233
	0.855	0.801	0.802	0.885	1.003	1.238
	2.0	0.8	2.3	5.9	-1.6	-0.4
		0.842	0.858	0.863	1.000	1.204
		0.930	0.975	0.929	0.987	1.188
		1.3	-1.7	3.7	1.3	1.3
			0.969	0.970	0.997	1.183
			0.949	0.991	1.038	1.202
			2.1	-2.1	-3.9	-1.6
				0.964	0.984	1.159
				0.967	1.018	1.163
				-0.3	-3.3	-0.3
					0.988	1.151
					1.035	1.176
					-4.5	-2.1
						1.337
						1.358
						-1.5

upper : calculated

Max error = 8.7 %

middle : experimental

lower : error

Fig. 60 Calculated radial power distribution in an assembly for the sheath type control rod 72cm withdrawal

## 付 錄

## A.1 臨界条件及び炉心平断面図

臨界の諸条件を Table A.1.1 に示す。66 頁以降に臨界炉心の平断面図を示す。

Pattern №は A.1.1 表中の Core pattern № に対応している。

図の見方を Pattern 17 を例にして Fig. A.1.1 に示す。

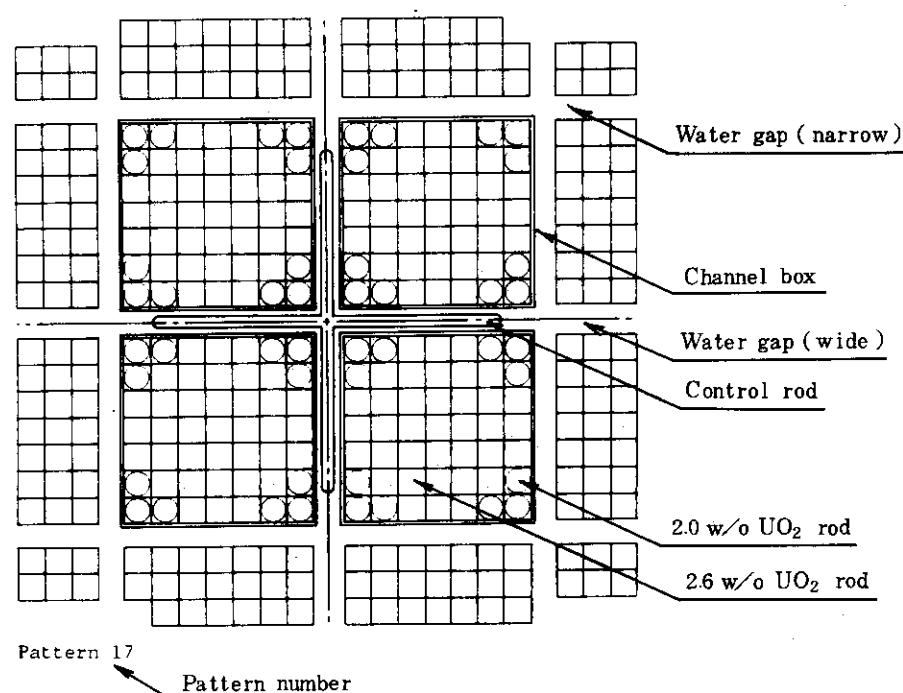


Fig. A.1.1

## 付 錄

## A.1 臨界条件及び炉心断面図

臨界の諸条件を Table A.1.1 に示す。66頁以降に臨界炉心の断面図を示す。

Pattern No.は A.1.1 表中の Core pattern No. に対応している。

図の見方を Pattern 17 を例にして Fig. A.1.1 に示す。

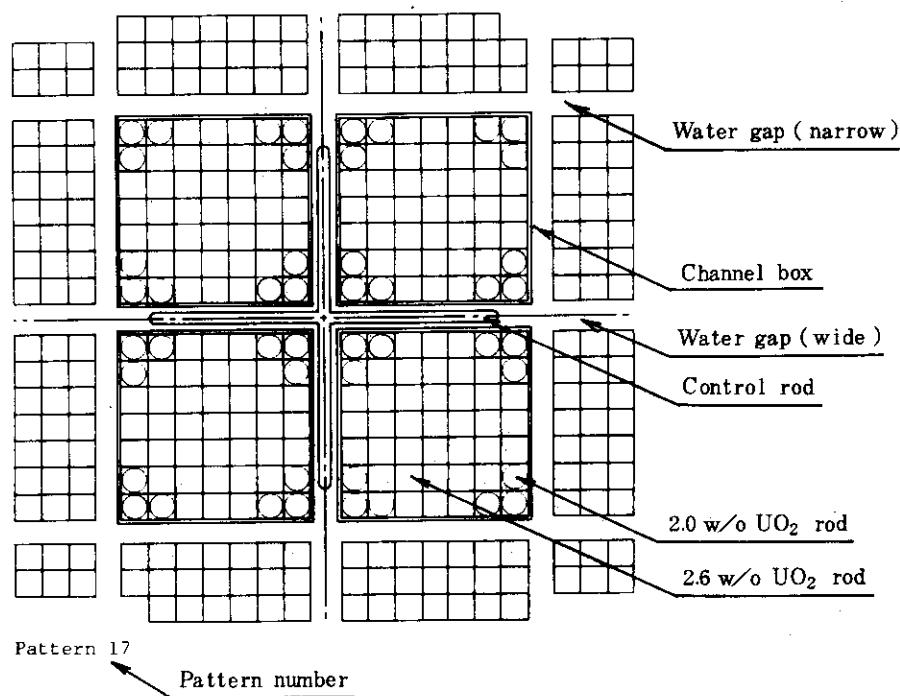
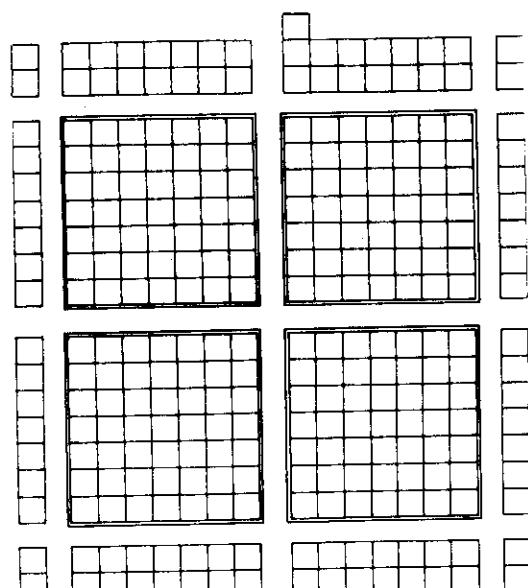


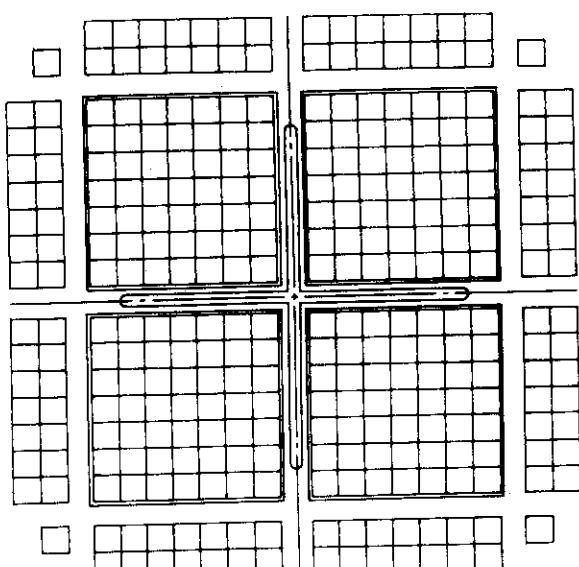
Fig. A.1.1

Table A.1.1 Critical configurations of cores

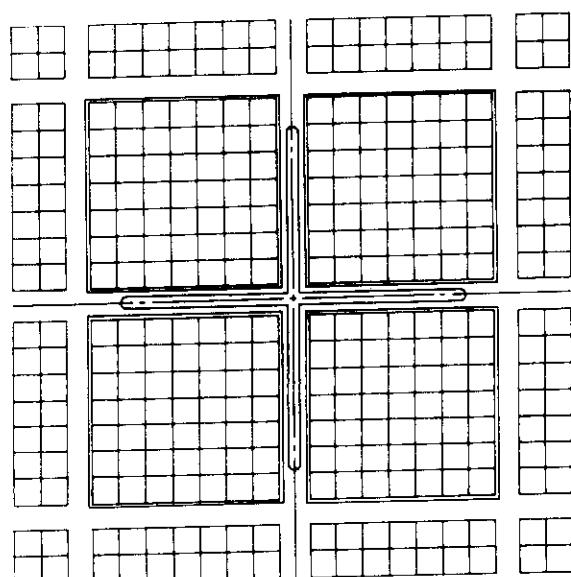
Run No.	Control rod		Number of fuel rods	Critical water level(cm)	Temperature (°C)	Core pattern
	Type	Withdrawal distance(cm)				
6179	—	Full out	289	143.59	13.0	1
6236	—	Full out	576	41.47	12.0	14
6191	Conventional	87.03	312	106.25	12.3	2
6190	"	79.53	324	99.27	12.5	3
6180	"	72.03	330	94.17	13.1	5
6188	"	72.03	330	93.95	15.0	5
6174	Conventional with U handle	72.03	330	109.77	14.5	5
6238	Conventional	Full in	576	143.25	12.1	15
6231	"	Full in	676	73.64	12.0	16
6202	Sheath (1L)	87.03	326	98.99	12.2	4
6199	"	79.53	336	91.61	12.5	7
6196	"	72.03	356	88.11	12.3	9
6215	Sheath (1L) with cruciform handle	72.03	364	87.29	12.2	11
6225	Sheath (2L)	72.03	369	89.19	12.1	12
6208	SS (1L)	87.03	326	103.27	12.2	4
6205	"	79.53	336	96.64	12.3	7
6204	"	72.03	360	85.73	12.3	10
6228	SS (2L)	72.03	374	88.72	11.9	13
6212	Zr'y (1L)	87.03	326	94.99	12.2	4
6211	"	79.53	334	95.11	12.3	6
6210	"	72.03	352	94.00	12.2	8
6271	Sheath (1L)	72.03	338+ 2.0w/oUO <sub>2</sub> 48	96.15	14.7	17



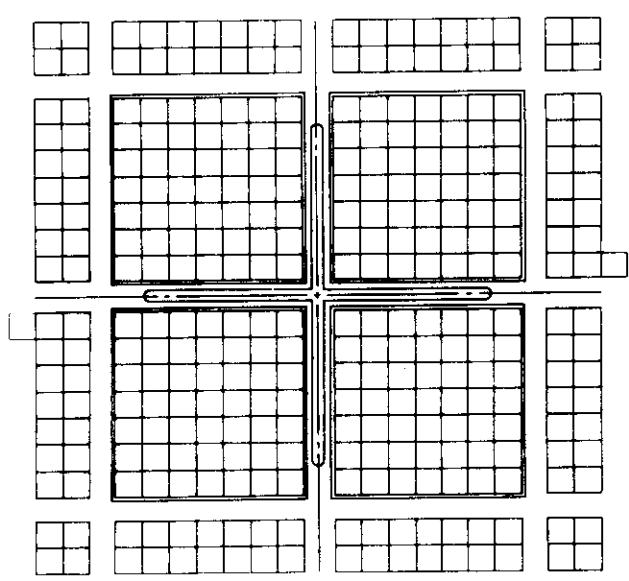
Pattern 1



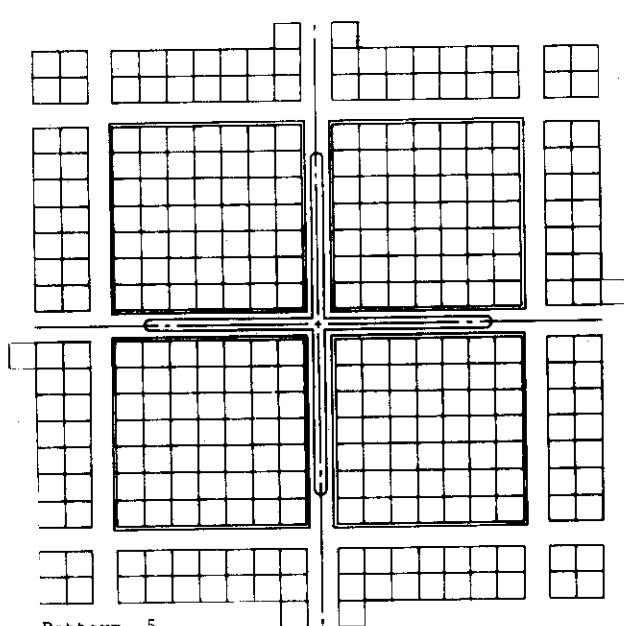
Pattern 2



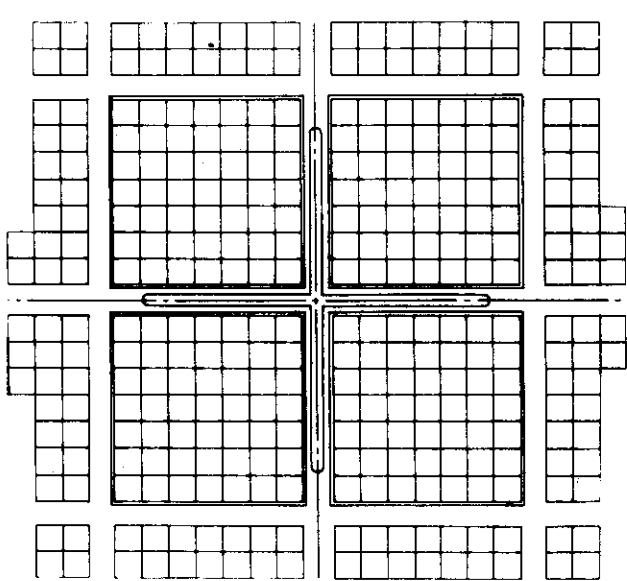
Pattern 3



Pattern 4

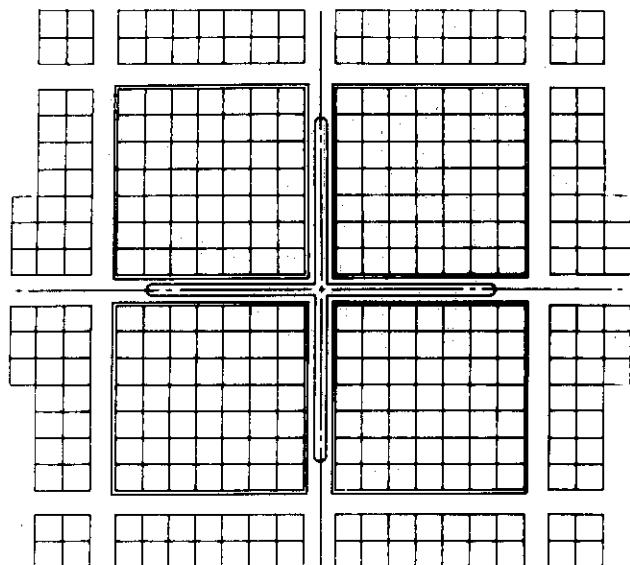


Pattern 5

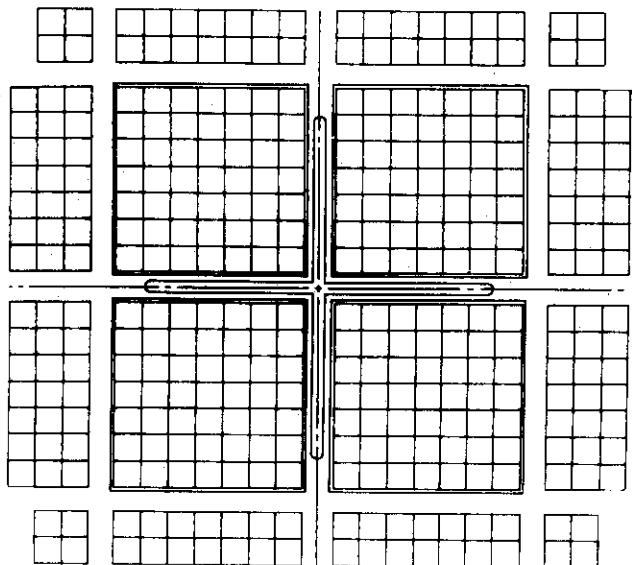


Pattern 6

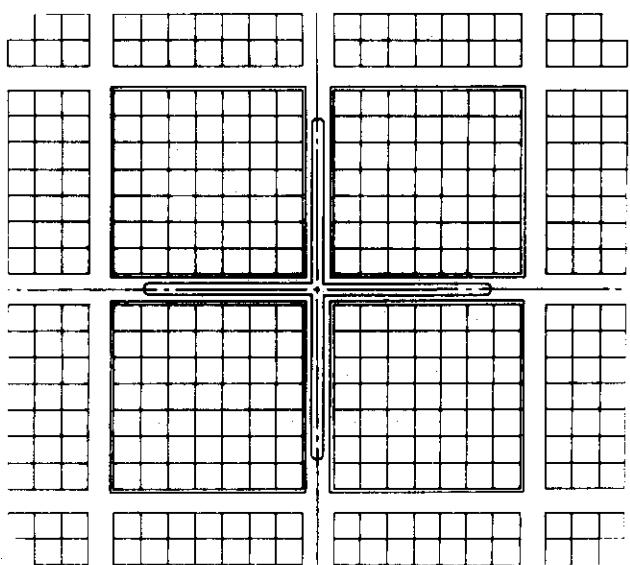
JAERI-M 8020



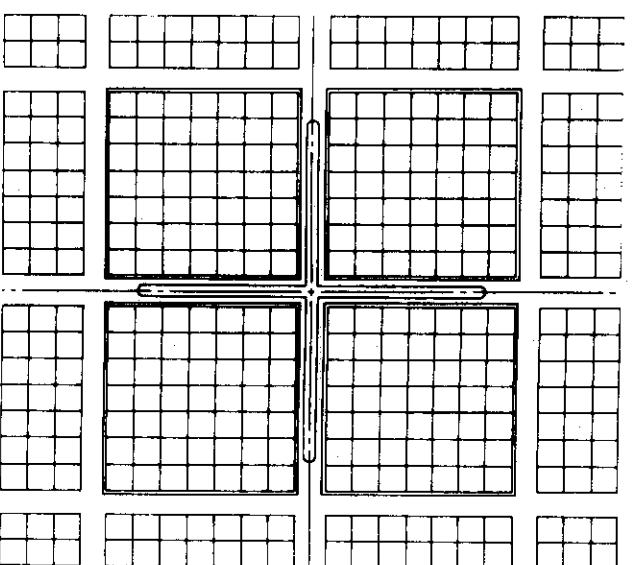
Pattern 7



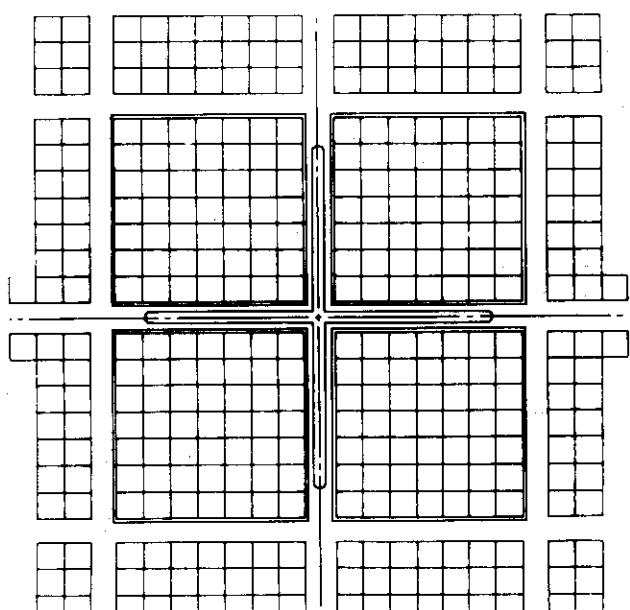
Pattern 8



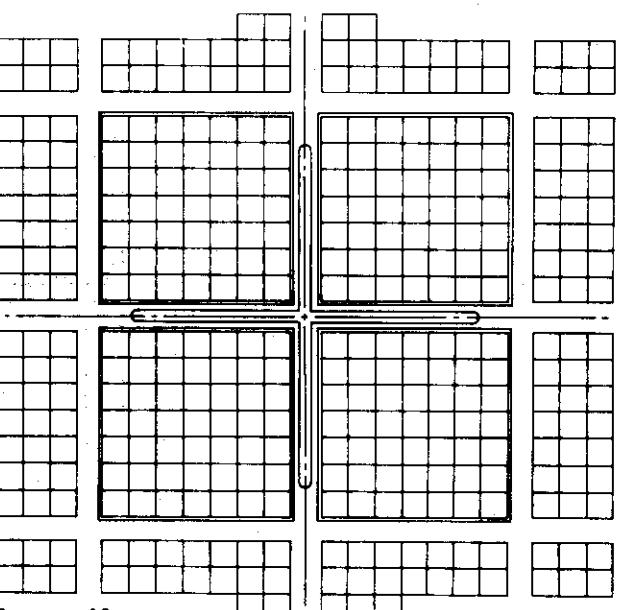
Pattern 9



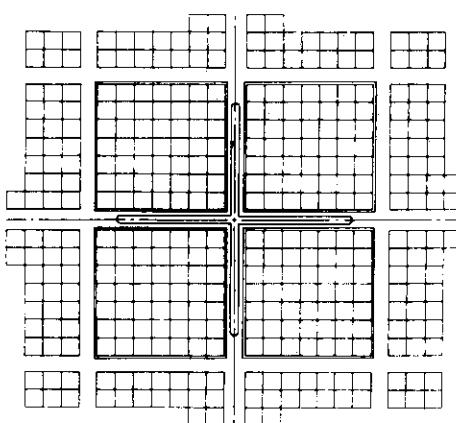
Pattern 10



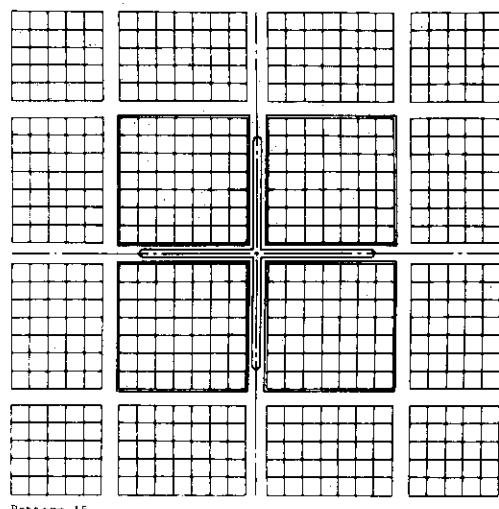
Pattern 11



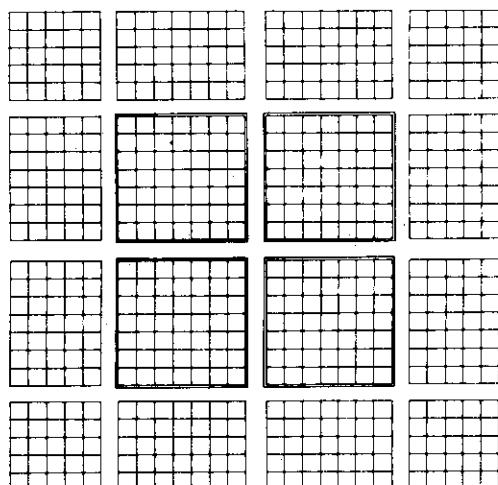
Pattern 12



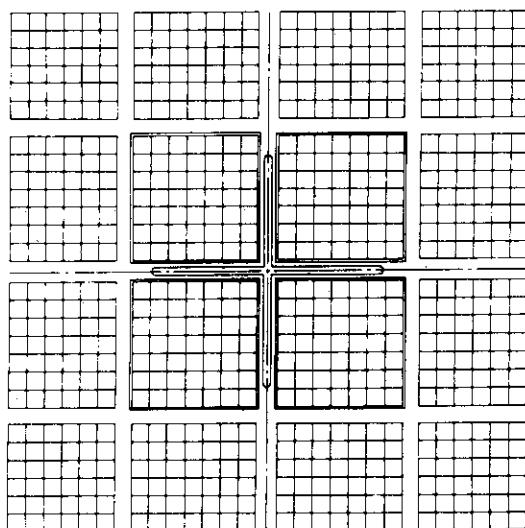
Pattern 13



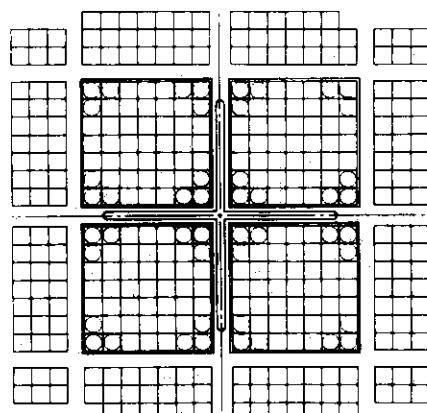
Pattern 15



Pattern 14



Pattern 16



Pattern 17

<input checked="" type="checkbox"/>	2.0 w/o $UO_2$
<input type="checkbox"/>	2.6 w/o $UO_2$

## A.2 出力分布

### A.2.1 測定一覧

Table A.2.1 に 出力分布を測定した炉心の一覧ならびに測定の種類を示す。

### A.2.2 炉心平断面図

出力分布を測定した炉心の平断面図を Fig. A.2.2.1 ~ Fig. A.2.2.28 に示す。

Table A.2.1 Summary of power distribution measurements

Serial No.	Date	Run No.	Fuel rods	Control rod withdrawal (mm)	Gray part	Water level (mm)	Power Distribution Measurement	Remarks
1	53. 2. 17	6239	576	Full out	—	—	664. 3	Global
2	52. 12. 6	6163	280 <sup>*1</sup>	Full out	—	—	1665. 0	Axial *1 Test region (6X) ... 4 Bundles
3	53. 2. 15	6232	676	Full in	Conventional	Without U-Handle	987. 3	Global
4	53. 2. 24	6242	329	720. 3	Conventional	Without U-Handle	1800. 0	Axial
5	53. 2. 22	6241	330	720. 3	Conventional	Without U-Handle	1800. 0	Radial
6	53. 2. 20	6240	330	720. 3	Conventional	Without U-Handle	1800. 0	Global
7	53. 3. 10	6252	324	795. 3	Conventional	Without U-Handle	1800. 0	Axial
8	53. 3. 13	6254	312	870. 3	Conventional	Without U-Handle	1800. 0	Axial
9	53. 3. 17	6255	312	870. 3	Conventional	Without U-Handle	1800. 0	Radial
10	53. 5. 31	6327	361	570. 3	Conventional	Without U-Handle	1800. 0	Axial
11	53. 2. 27	6244	353	720. 3	Gray (SUS- $\frac{1}{2}$ L-H <sub>2</sub> O-SUS)	Without U-Handle	1800. 0	Axial
12	53. 4. 7	6263	345	720. 3	Gray (SUS- $\frac{1}{2}$ L-H <sub>2</sub> O-SUS)	Without U-Handle	1800. 0	Radial
13	53. 3. 1	6246	345	720. 3	Gray (SUS- $\frac{1}{2}$ L-H <sub>2</sub> O-SUS)	Without U-Handle	1800. 0	Global
14	53. 3. 27	6260	325	870. 3	Gray (SUS- $\frac{1}{2}$ L-H <sub>2</sub> O-SUS)	Without U-Handle	1800. 0	Axial

Table A.2.1 Continued

Serial No	Date	Run No	Fuel rods withdrawn (mm)	Control rod Gray part	Water level (mm)	Power Distribution Measurement	Remarks
15	53. 4. 3	6261	325	870. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) Without U-Handle	1800. 0	Radial	
16	53. 3. 24	6259	306	1020. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) Without U-Handle	1800. 0	Axial	
17	53. 4. 24	6274	385 <sup>*2</sup>	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) Without U-Handle	1800. 0	Axial	<sup>*2</sup> 26 PAUO <sub>2</sub> ... 337 Rods 20 PAUO <sub>2</sub> ... 48 Rods
18	53. 4. 21	6273	385 <sup>*3</sup>	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) Without U-Handle	1800. 0	Axial	<sup>*3</sup> 26 PAUO <sub>2</sub> ... 337 Rods 20 PAUO <sub>2</sub> ... 48 Rods
19	53. 4. 12	6265	367	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) Without U-Handle	1800. 0	Axial	
20	53. 4. 5	6262	356	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) Without U-Handle	1800. 0	Axial	
21	53. 4. 10	6264	351	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) Without U-Handle	1800. 0	Axial	
22	53. 5. 26	6325	343	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) With Al ( Large ) Handle	1800. 0	Axial	
23	53. 5. 29	6326	341	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) With Al ( Small ) Handle	1800. 0	Axial	
24	53. 3. 6	6250	362	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) With X - Handle	1800. 0	Axial	
25	53. 4. 17	6267	362	720. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) With X - Handle	1800. 0	Radial	
26	53. 4. 14	6266	362	870. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) With X - Handle	1800. 0	Axial	
27	53. 5. 22	6320	329	870. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) With X - Handle	1800. 0	Axial	
28	53. 5. 19	6319	311	1020. 3 Gray ( SUS- $\frac{1}{2}$ L- $H_2O$ -SUS ) With X - Handle	1800. 0	Axial	

## List of Figs.

- Fig. A.2.2.1 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6239, radial, C.R. full out)
- Fig. A.2.2.2 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6163, axial, C.R. full out)
- Fig. A.2.2.3 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6232, radial, C.R. full in)
- Fig. A.2.2.4 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6242, axial, Conventional type, (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.5 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6241, radial in assembly, Conventional type, (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.6 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6240, radial, Conventional type, (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.7 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6252, axial, Conventional type, (72+7.5) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.8 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6254, axial, Conventional type, (72+15) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.9 Plan view of core and fuel rods power distribution measurements (Run No. 6255, radial in assembly, Conventional type, (72+15) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.10 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6327, axial, Conventional type, (72-15) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.11 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6244, axial, Seath type (1L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.12 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6263, radial in assembly, Sheath type (1L), (72) cm withdrawal)

- Fig. A.2.2.13 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6246, radial, Seath type (1L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.14 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6260, axial, Sheath type (1L), (72+15) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.15 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6261, radial in assembly, Sheath type (1L), (72+15) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.16 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6259, axial, Sheath type (1L), (72+30) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.17 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6274, axial, Sheath type,(1L), (72) cm withdrawal, mixed 20PA fuel rods)
- Fig. A.2.2.18 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6273, radial in assembly, Sheath type (1L), (72) cm withdrawal, mixed 20PA fuel rods)
- Fig. A.2.2.19 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6265, axial, Sheath type (2L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.20 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6262, axial, SS type (1L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.21 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6264, axial, Zry type (1L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.22 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6325, axial, Al type (2L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.23 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6326, axial, Al type (1L), (72) cm withdrawal)

- Fig. A.2.2.24 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6250, axial, Cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.25 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6267, radial in assembly, Cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.26 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6266, axial, Cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.27 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6320, axial, Cruciform handle type (1L), (72+15) cm withdrawal)
- Fig. A.2.2.28 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6319, axial, Cruciform handle type (1L), (72+30) cm withdrawal)

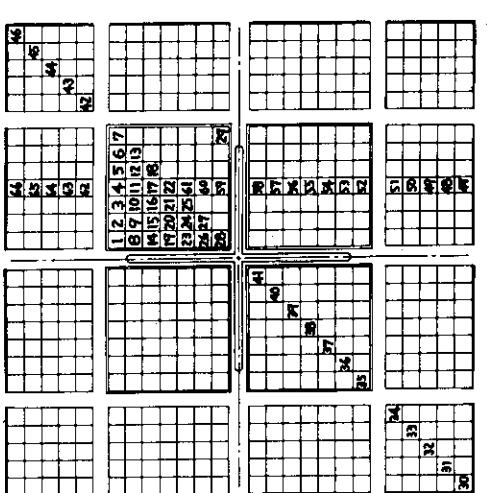


Fig. A.2.1 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6239, radial, C.R. full out)

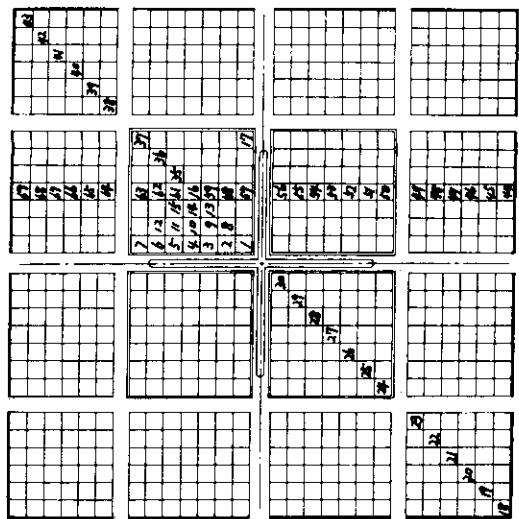


Fig. A.2.2.3 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run № 6232, radial, C.R. full in).

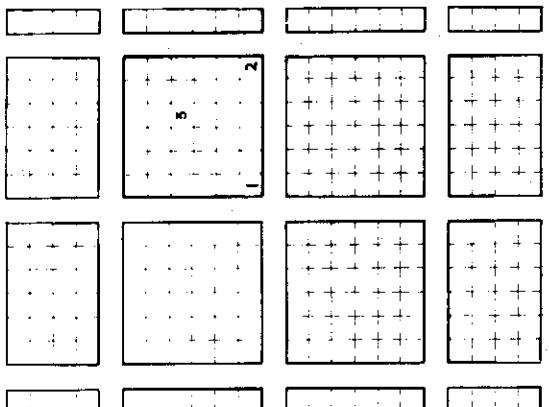


Fig. A.2.2 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No 6163, axial, C.R. full out)

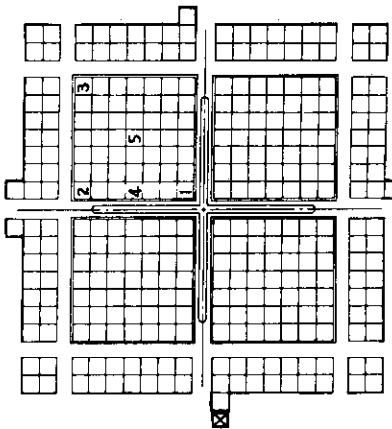


Fig. A.2.4 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No 6242, axial, conventional type, (72) cm withdrawal)

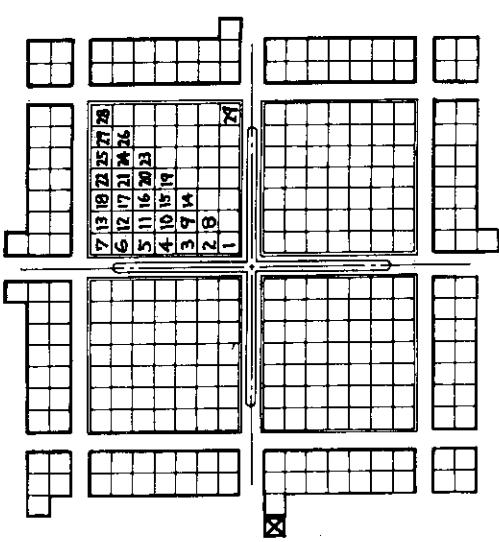


Fig. A.2.2.5 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6241, radial in assembly, conventional type, (72) cm withdrawal)

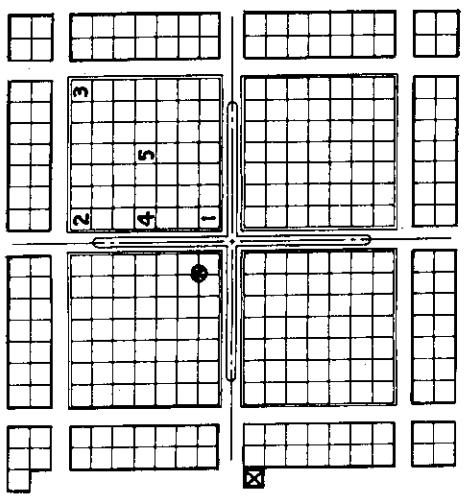


Fig. A.2.2.7 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6252, axial, conventional type, (72+7.5) cm withdrawal)

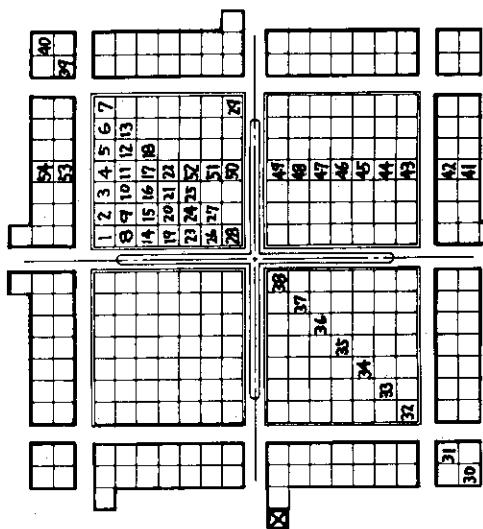


Fig. A.2.2.6 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6240, radial, conventional type, (72) cm withdrawal)

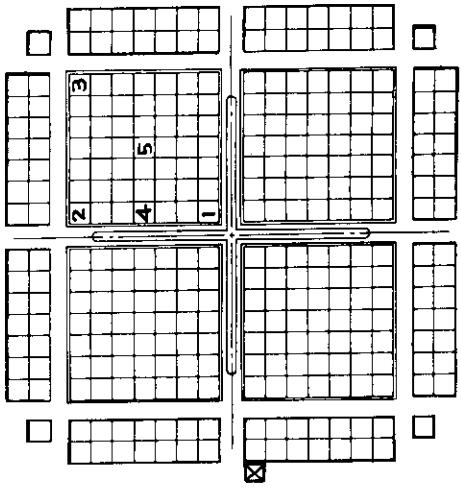


Fig. A.2.2.8 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6254, axial, conventional type, (72+15) cm withdrawal)

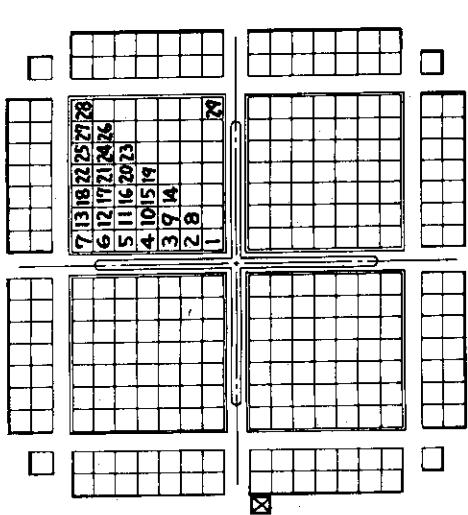


Fig. A.2.9 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements ( Run № 6255, radial in assembly, Conventional type, ( 72 + 15 ) cm withdrawal )

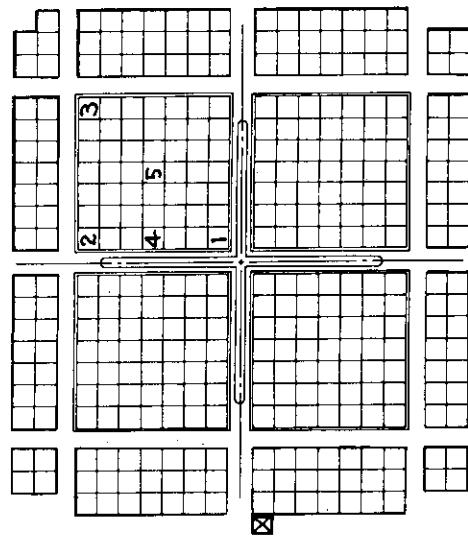


Fig. A.2.11 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements ( Run № 6244, axial, Sheath type ( 1L ), ( 72 ) cm withdrawal )

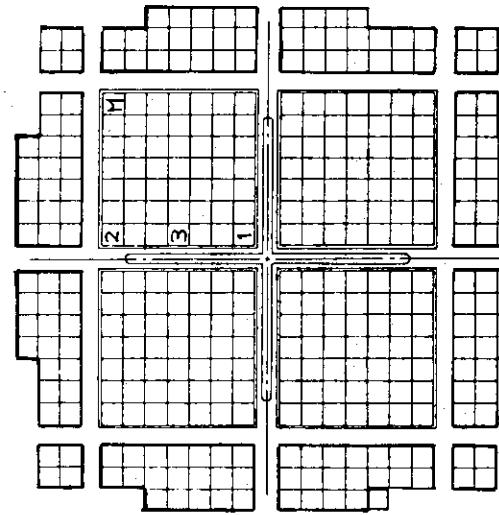


Fig. A.2.10 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements ( Run № 6327, axial, Conventional type, ( 72 - 15 ) cm withdrawal )

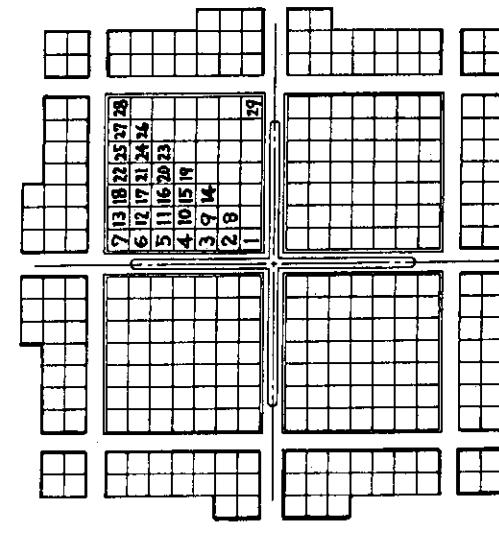


Fig. A.2.12 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements ( Run № 6263, radial in assembly, Sheath type ( 1L ), ( 72 ) cm withdrawal )

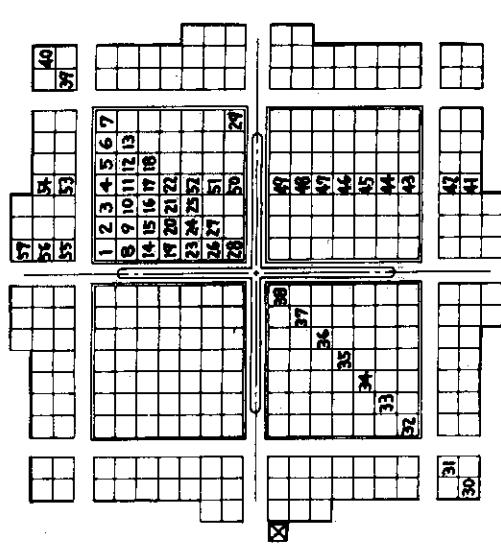


Fig. A.2.2.13 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run № 6246, radial, Sheath type (1L), (72) cm withdrawal)

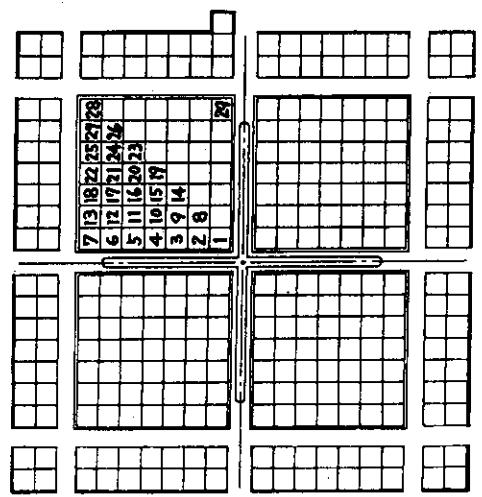


Fig. A.2.2.15 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run № 6261, radial in assembly, Sheath type (1L), (72+15) cm withdrawal)

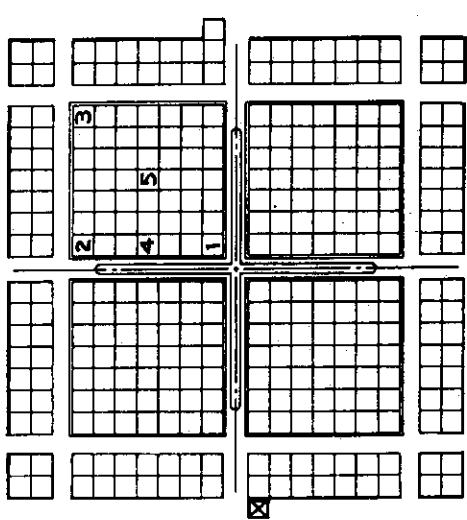


Fig. A.2.2.14 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run № 6260, axial, Sheath type (1L), (72+15) cm withdrawal)

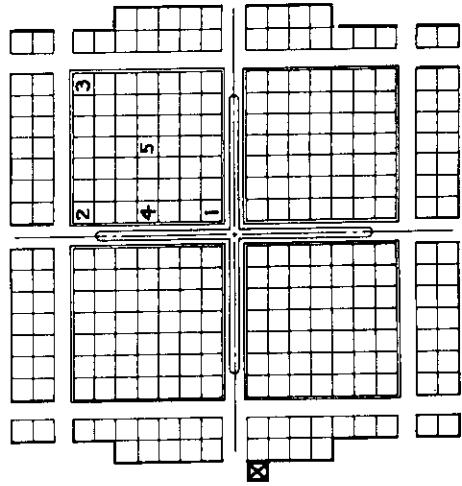


Fig. A.2.2.16 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run № 6259, axial, Sheath type (1L), (72+30) cm withdrawal)

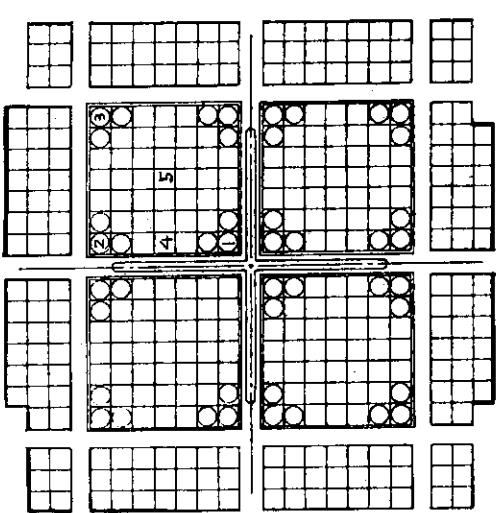


Fig. A.2.17 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6274, axial, Sheath type (1L), (72) cm withdrawal, mixed 20PA fuel rods)

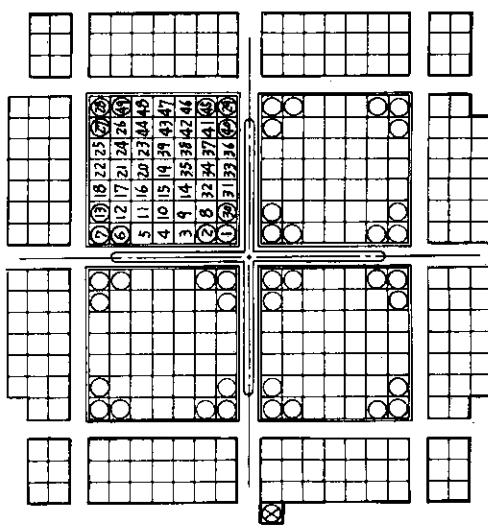


Fig. A.2.18 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6273, radial in assembly, Sheath type (1L), (72) cm withdrawal, mixed 20PA fuel rods)

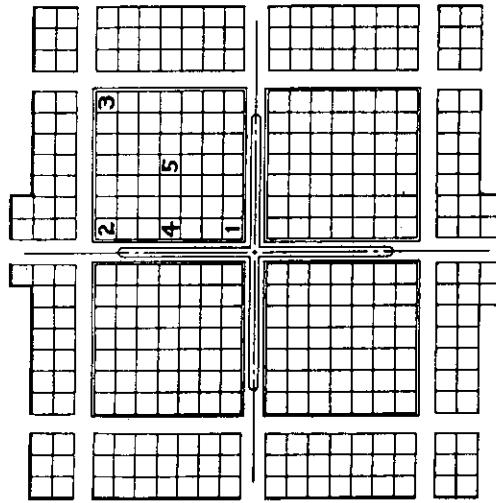


Fig. A.2.19 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6265, axial, Sheath type (2L), (72) cm withdrawal)

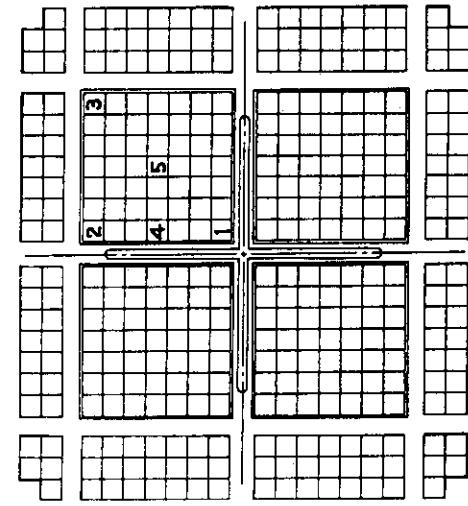


Fig. A.2.20 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6262, axial, SS type (1L), (72) cm withdrawal)

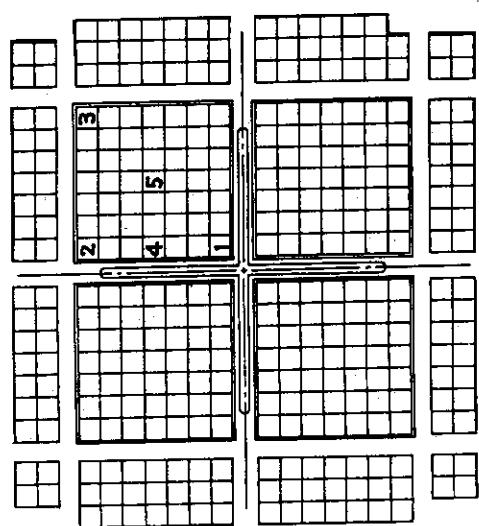


Fig. A.2.21 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No 6264, axial, Z'ry type (1L), (72) cm withdrawal)

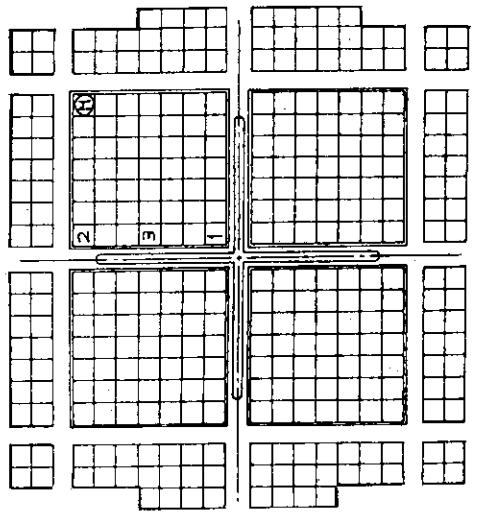


Fig. A.2.23 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No 6326, axial, Al type (1L), (72) cm withdrawal)

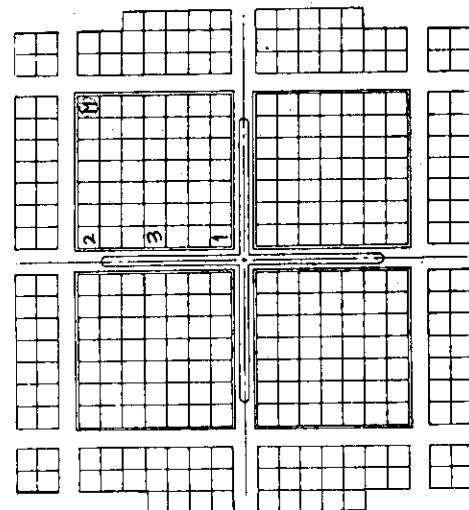


Fig. A.2.22 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No 6325, axial, Al type (2L), (72) cm withdrawal)

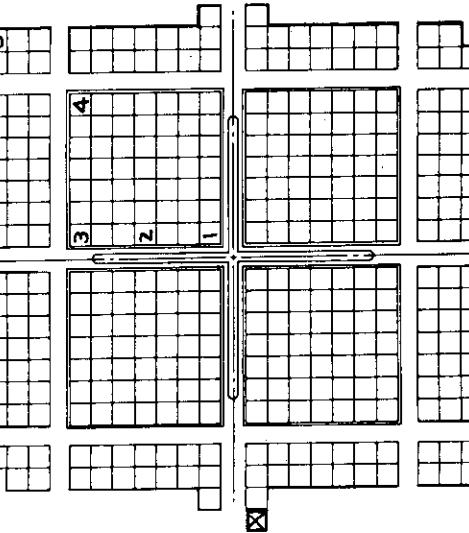


Fig. A.2.24 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No 6250, axial, Cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal)

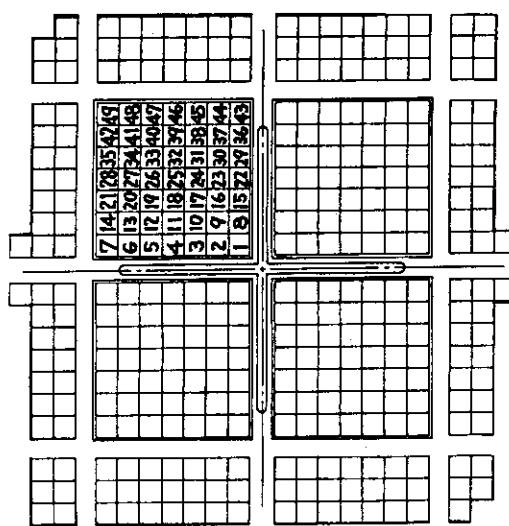


Fig. A.2.25 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6267, radial in assembly, Cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal)

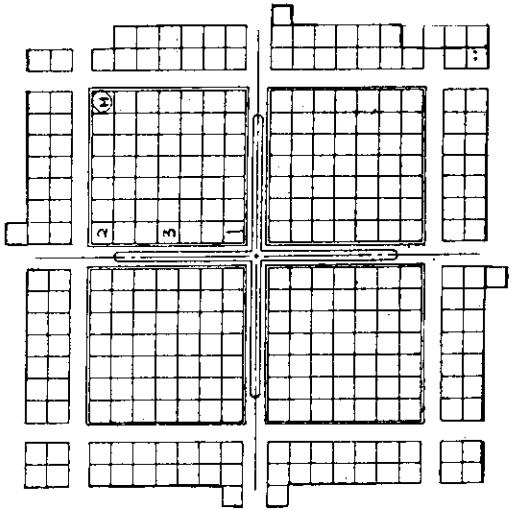


Fig. A.2.27 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6320, axial, Cruciform handle type (1L), (72+15) cm withdrawal)

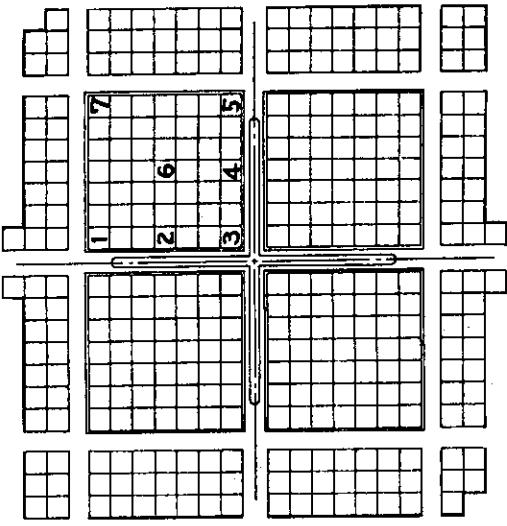


Fig. A.2.26 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6266, axial, Cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal)

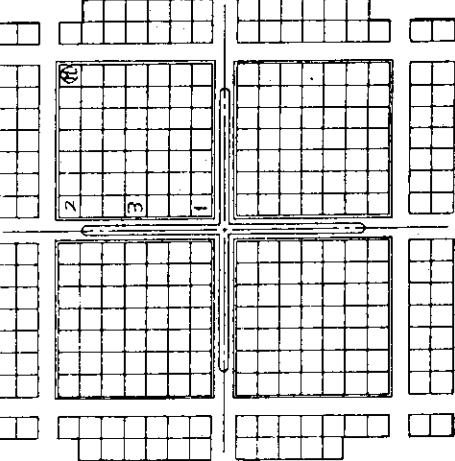


Fig. A.2.28 Plan view of core and fuel rods of power distribution measurements (Run No. 6319, axial, Cruciform handle type (1L), (72+30) cm withdrawal)

### A.2.3 測定結果

出力分布の測定結果がすべて集録されている。ディジタルな数値はすべて示されているが、グラフとしては、代表的なものに限られている。特に集合体内の A, B, C, D 断面における出力分布を 3 次元的に表わして最後に付した。測定値の対応などで、まぎらわしいときは、運転番号 (Run No.) をつき合せるのがよい。

測定結果の図や表に記入されている略号は下記の通りである。

- (1) Water Level ..... 注記しないものは、水位計の読みで 1800 mm (燃料有効長上端より 109 mm) である。注記したものは、水位計の読みである。
- (2) C.R. Position .....
  - i) 1/2 : B<sub>4</sub>C 先端が燃料有効長下端より 720.3 mm
  - ii) 1/2 + 150 : 1/2 より 150 mm 引抜
  - iii) 1/2 + 300 : 1/2 より 300 mm 引抜
  - iv) 1/2 + 75 : 1/2 より 75 mm 引抜
  - v) 1/2 - 150 : 1/2 より 150 mm 挿入
- (3) Measured Point ..... Radial 出力分布において略号は次の意味をもつ。
  - (A) : 燃料有効長下端より 200 mm の断面
  - (B) : 燃料有効長下端より 400 mm の断面
  - (C) : 燃料有効長下端より 600 mm の断面
  - (D) : 燃料有効長下端より 800 mm の断面
- (4) データの規格方法 .....
  - i) Axial : コーナーロッドのピーク値を 1.0 に規格
  - ii) Radial in assembly : 各断面での集合体平均出力を 1.0 に規格
  - iii) Radial in core overall : 最大値を 1.0 に規格
  - iv) One point normalize : C 断面のコーナーロッドの値を基準としている。

## List of power distribution measurements

C. R.		Run №	Power distribution	Fig. № A.2.3	Table № A.2.3	Remarks
type	withdrawal distance (cm)					
Conventional	Full out	6239	Radial	1, 37	1	W. L. = 664.3
		6163	Axial	2		W. L. = 1665.0
	Full in 72	6232	Radial	3, 38		W. L. = 987.3
		6242	Axial	4	2	
	72 + 7.5	6241	Radial in assembly	5, 6 39		
		6240	Radial	7, 8		
		6252	Axial	9	3	
		6254	Axial	10	4	
		6255	Radial in assembly	11, 12 40		
	72 + 15	6327	Axial	13	5	
Sheath (1L)	72	6244	Axial	14	6	
		6263	Radial in assembly	15, 16 41		
	72 + 15	6246	Radial	17, 18		
		6260	Axial	19	7	
		6261	Radial in assembly	20, 21 42		
	72 + 30 72	6259	Axial	22	8	
		6274	Axial	23	9	Enrich (2.6/2.0)*
		6273	Radial in assembly	24, 25 43		Enrich (2.6/2.0)*
Sheath (2L)	72	6265	Axial	26	10	
SS (1L)	72	6262	Axial	27	11	
Zry (1L)	72	6264	Axial	28	12	
Al (2L)	72	6325	Axial	29	13	
Al (1L)	72	6326	Axial	30	14	
Crusiform handle (1L)	72	6250	Axial	31	15	
		6267	Radial in assembly	32, 33 44		
	72 + 15	6266	Axial	34	16	
		6320	Axial	35	17	
		6319	Axial	36	18	

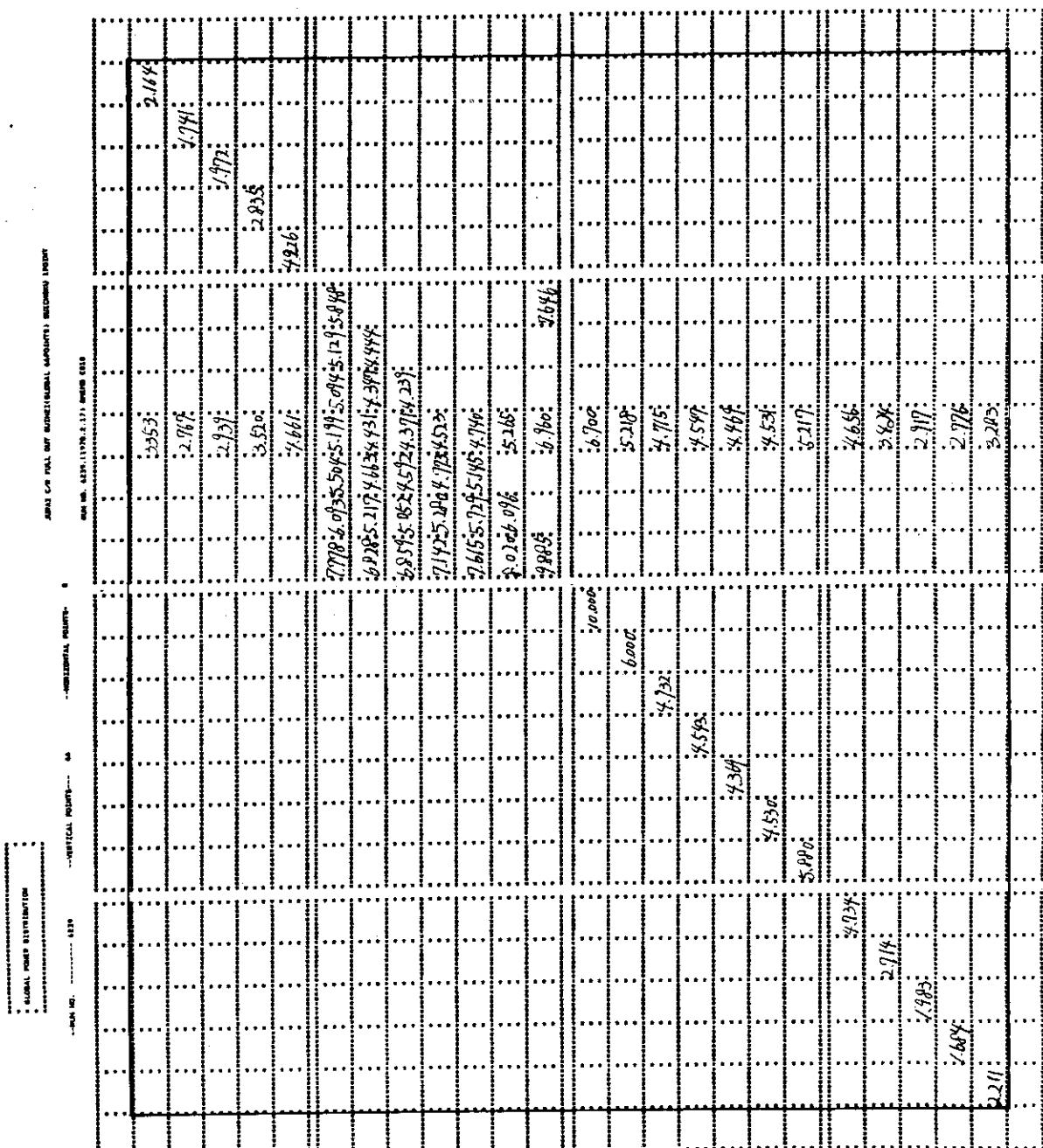


Fig. A.2.3.1 Radial power distribution for control rod full out on the section at 20.78 cm from bottom of fuel active zone

Table A.2.3.1 Axial power distribution for control rod full out

C.R. FULL OUT SUICHIKU (34POINTS) SUIHEI 3POINTS  
 RUN NO. 6163 (1977,12,9) GMEMO E036

## AXIAL POWER DISTRIBUTION

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3
1	1.57	0.194	0.132	0.101
2	7.57	0.299	0.200	0.137
3	13.57	0.411	0.280	0.191
4	19.57	0.521	0.352	0.241
5	25.57	0.621	0.421	0.289
6	31.57	0.721	0.485	0.331
7	37.57	0.799	0.538	0.369
8	43.57	0.872	0.582	0.398
9	46.57	0.898	0.598	0.414
10	49.57	0.925	0.619	0.425
11	52.57	0.953	0.631	0.434
12	55.57	0.960	0.646	0.440
13	58.57	0.974	0.649	0.448
14	61.57	0.986	0.665	0.448
15	64.57	0.994	0.666	0.451
16	67.57	0.998	0.666	0.455
17	70.57	1.000	0.661	0.453
18	73.57	0.989	0.658	0.450
19	76.57	0.979	0.654	0.448
20	79.57	0.971	0.646	0.443
21	82.57	0.958	0.638	0.432
22	85.57	0.942	0.614	0.423
23	88.57	0.920	0.599	0.414
24	91.57	0.888	0.586	0.399
25	94.57	0.849	0.568	0.385
26	97.57	0.827	0.544	0.373
27	100.57	0.788	0.525	0.354
28	106.57	0.713	0.465	0.323
29	112.57	0.621	0.412	0.284
30	118.57	0.525	0.350	0.240
31	124.57	0.433	0.287	0.197
32	130.57	0.334	0.222	0.150
33	136.57	0.229	0.154	0.106
34	142.57	0.141	0.101	0.065

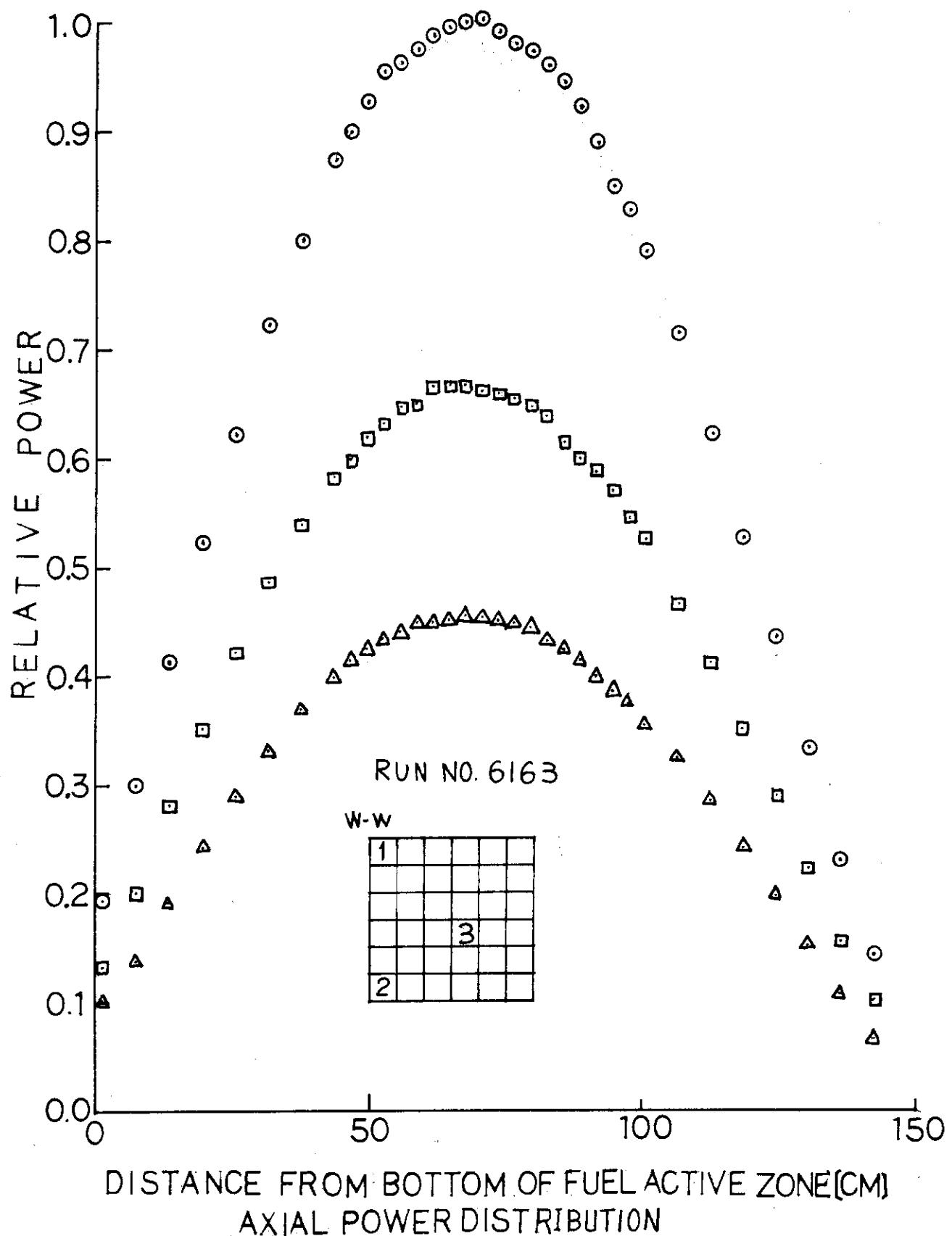


Fig. A.2.3.2 Axial power distribution for control rod full out

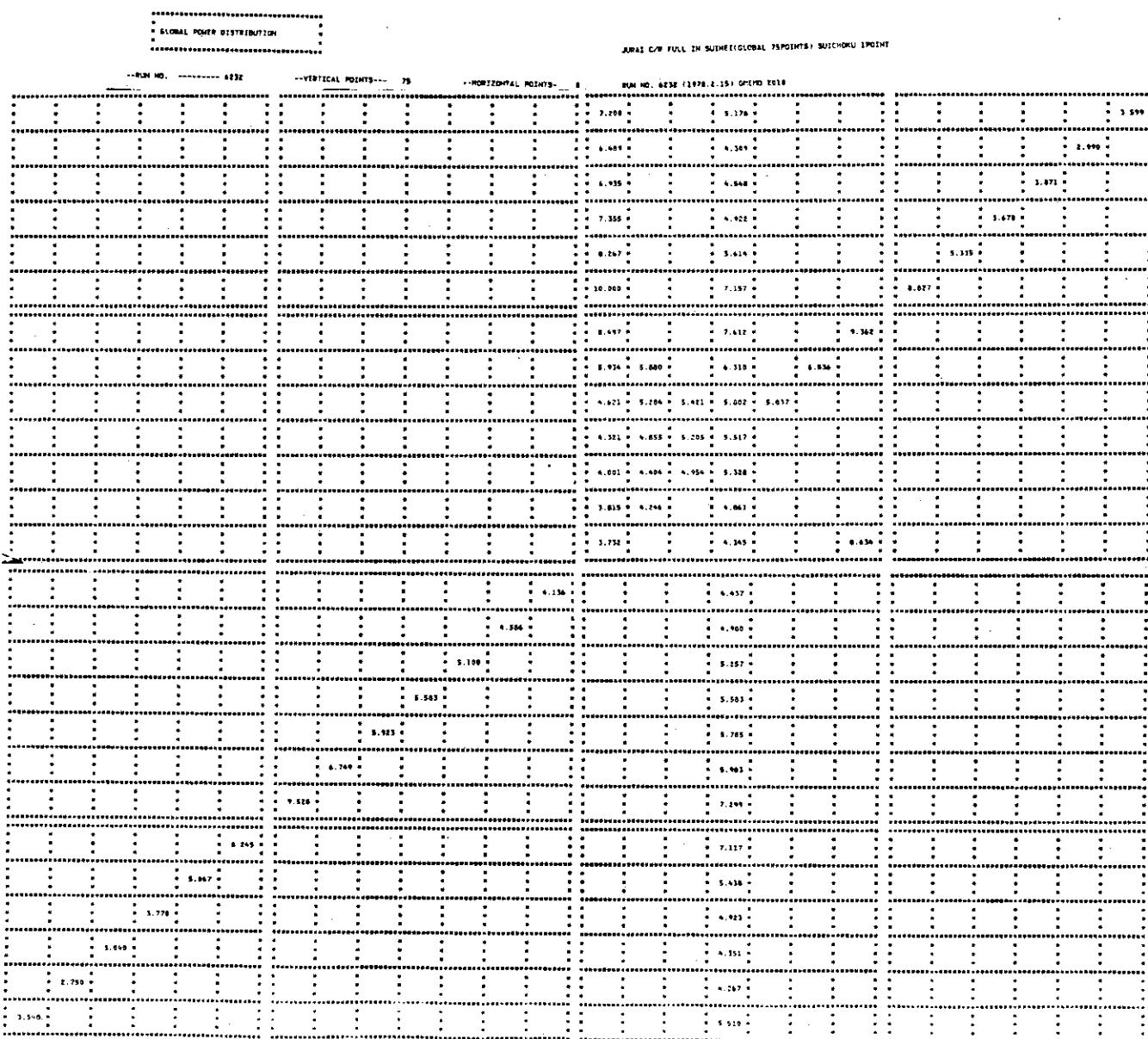


Fig. A.2.3.3 Radial power distribution for control rod full in on the section at 36.18 cm from bottom of fuel active zone

Table A.2.3.2 Axial power distribution for conventional type, (72) cm withdrawal

JURAI C/R 1/2 OUT SUICHOKU(34POINTS) SUIHEI 5POINTS

RUN NO. 6242 (1978.2.24) GMEMO E013

\*\*\*\*\*  
\* \*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\* \*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.317	0.223	0.148	0.235	0.140		
2	7.57	0.473	0.323	0.215	0.322	0.201		
3	13.57	0.641	0.438	0.290	0.434	0.252		
4	19.57	0.776	0.533	0.350	0.525	0.311		
5	22.57	0.839	0.565	0.375	0.563	0.340		
6	25.57	0.885	0.607	0.403	0.588	0.363		
7	28.57	0.932	0.630	0.412	0.616	0.370		
8	31.57	0.963	0.649	0.433	0.635	0.392		
9	34.57	0.985	0.662	0.441	0.642	0.398		
10	37.57	1.000	0.670	0.442	0.639	0.397		
11	40.57	0.992	0.664	0.432	0.655	0.397		
12	43.57	0.976	0.657	0.439	0.640	0.389		
13	46.57	0.957	0.649	0.418	0.628	0.383		
14	49.57	0.913	0.617	0.400	0.594	0.368		
15	52.57	0.880	0.587	0.385	0.571	0.353		
16	55.57	0.818	0.548	0.361	0.540	0.329		
17	58.57	0.744	0.501	0.338	0.491	0.302		
18	61.57	0.650	0.456	0.311	0.430	0.278		
19	64.57	0.475	0.404	0.278	0.358	0.252		
20	67.57	0.321	0.334	0.252	0.262	0.218		
21	70.57	0.221	0.274	0.222	0.193	0.184		
22	73.57	0.141	0.222	0.187	0.144	0.153		
23	76.57	0.108	0.183	0.162	0.106	0.127		
24	82.57	0.072	0.134	0.118	0.071	0.090		
25	88.57	0.049	0.094	0.090	0.050	0.065		
26	94.57	0.035	0.066	0.059	0.035	0.044		
27	100.57	0.027	0.047	0.042	0.024	0.035		
28	106.57	0.019	0.035	0.032	0.018	0.024		
29	112.57	0.014	0.027	0.025	0.016	0.021		
30	118.57	0.012	0.021	0.017	0.009	0.014		
31	124.57	0.010	0.013	0.015	0.009	0.011		
32	130.57	0.007	0.009	0.008	0.005	0.006		
33	136.57	0.006	0.006	0.007	0.005	0.007		
34	142.57	0.004	0.005	0.005	0.003	0.005		

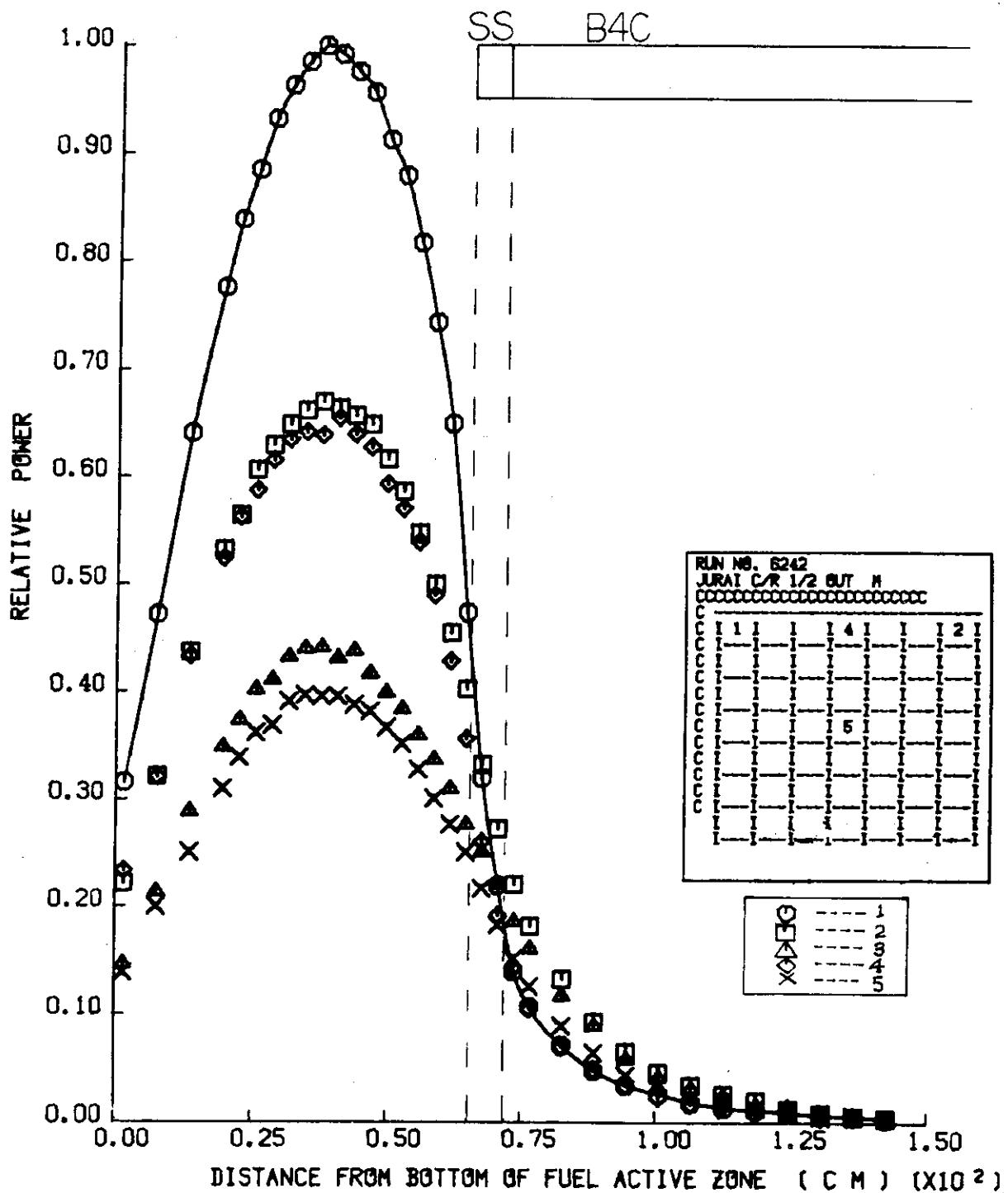


Fig. A.2.3.4 Axial power distribution for conventional type, (72) cm withdrawal

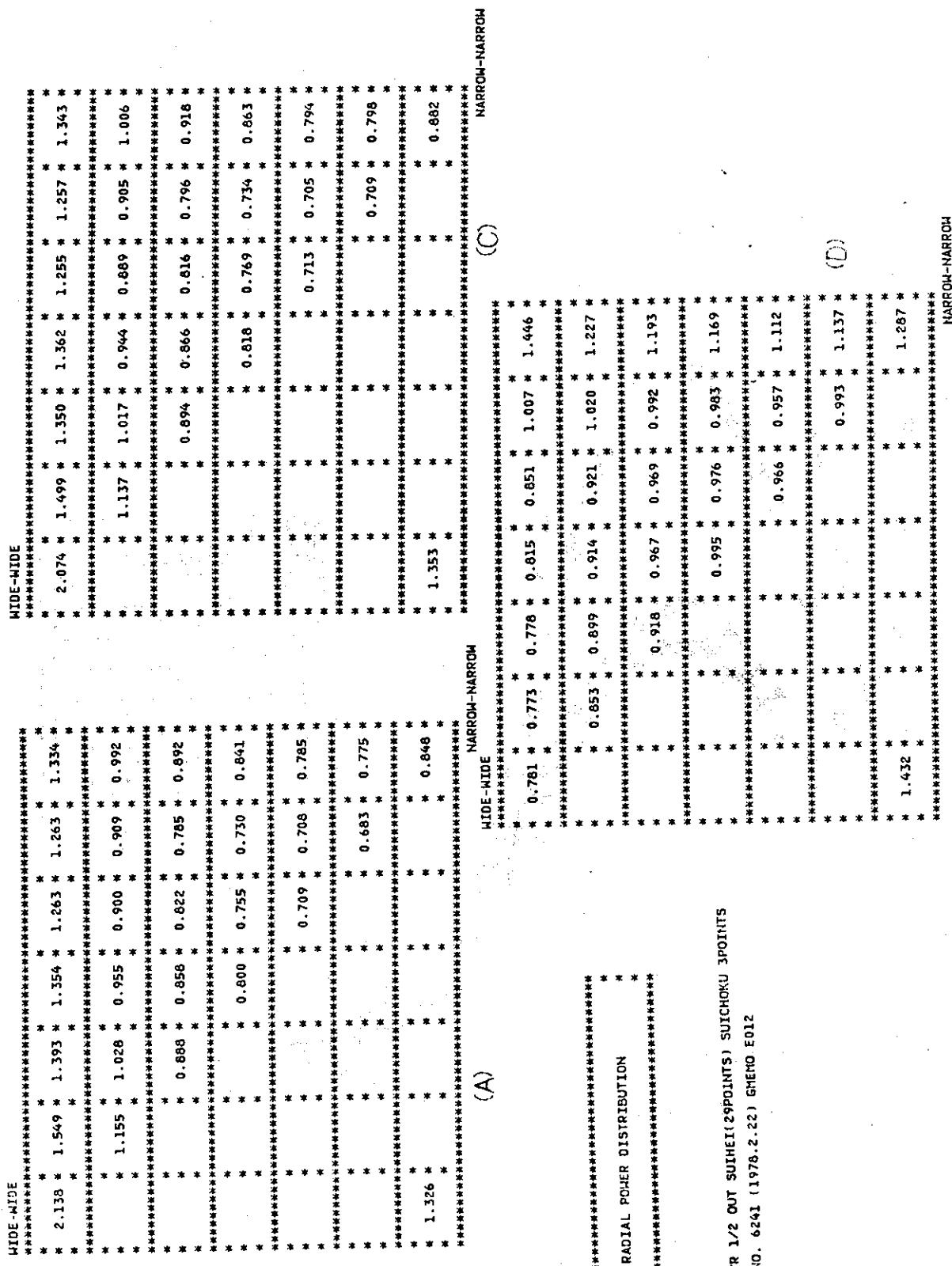
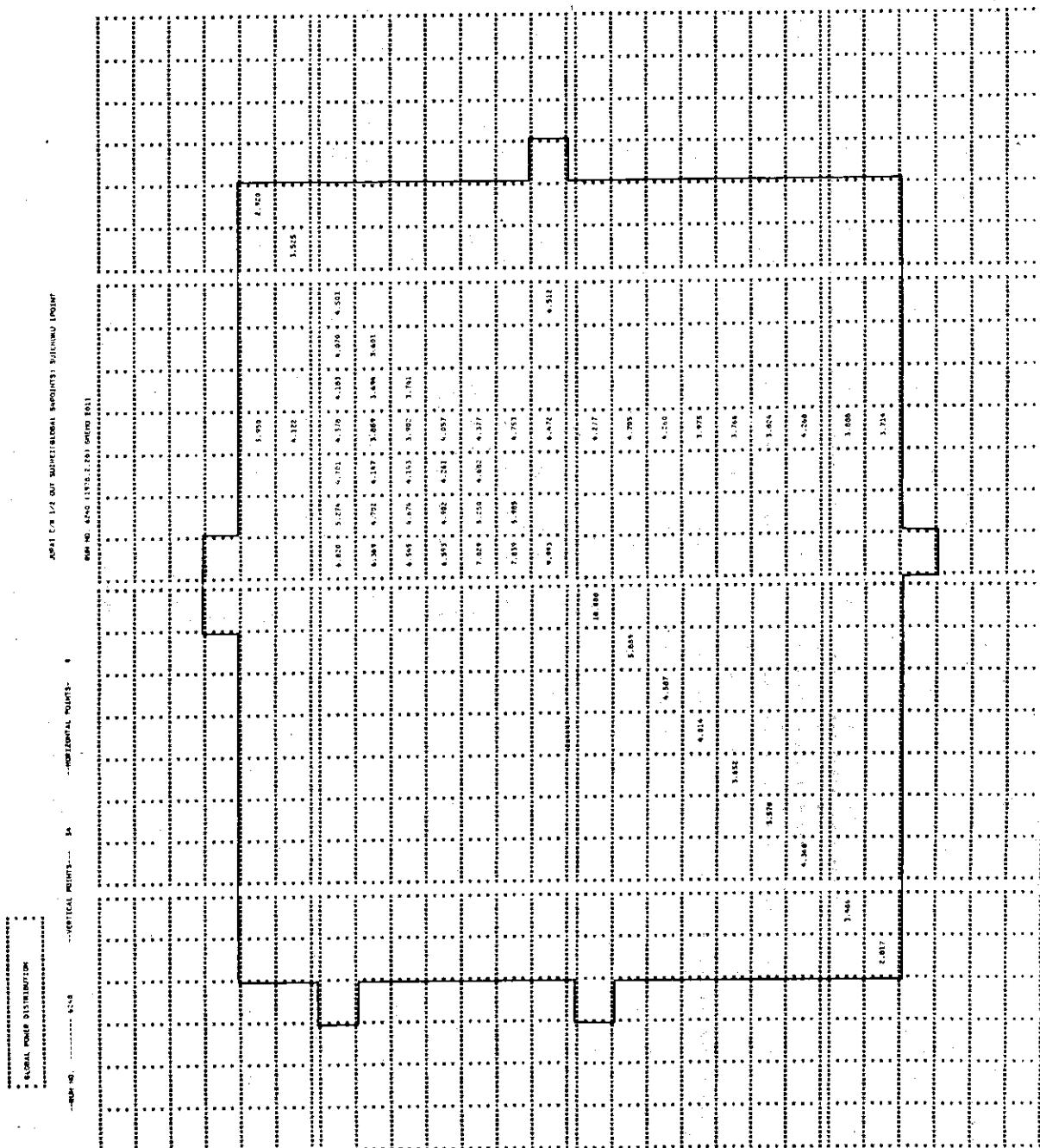
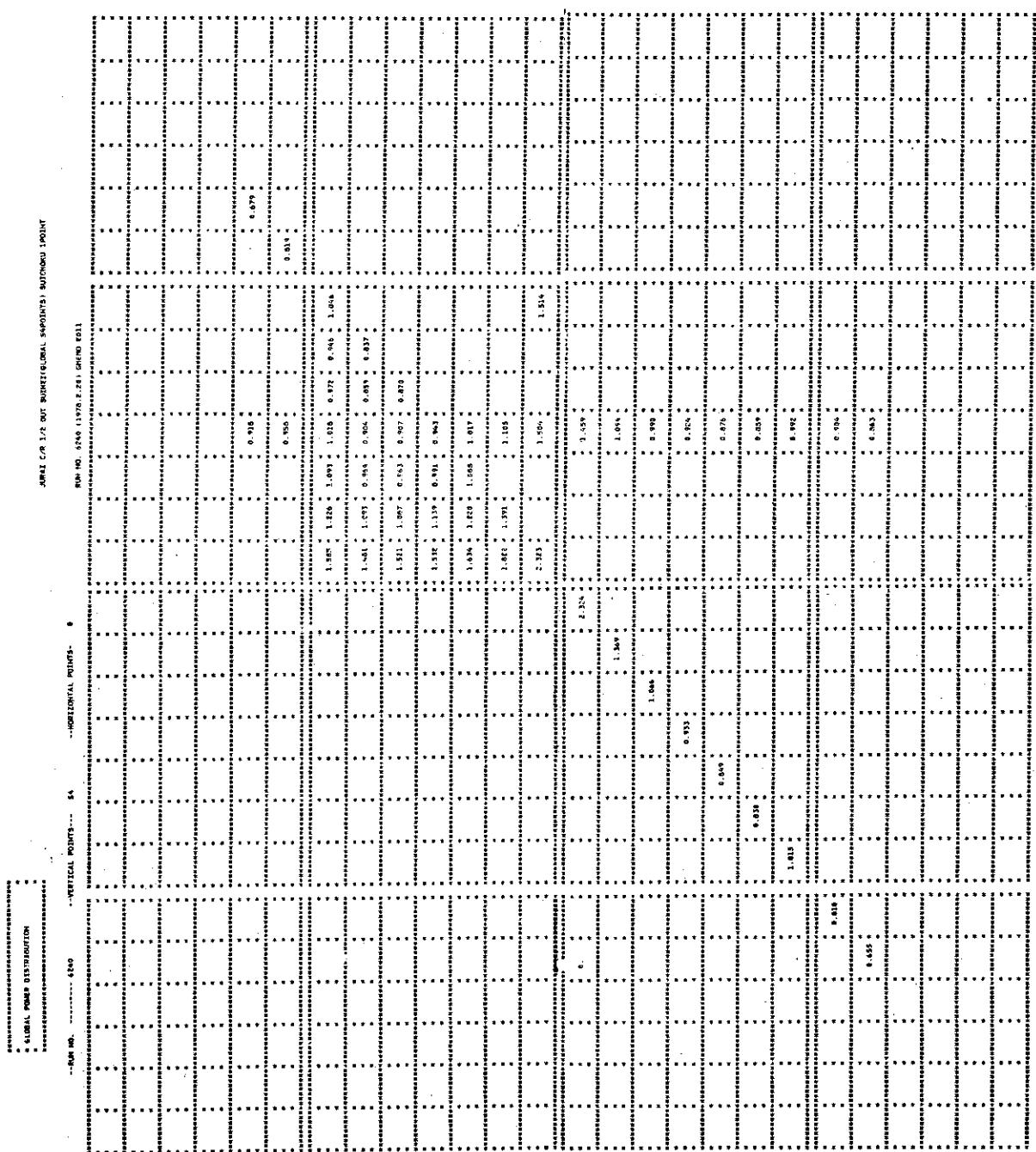


Fig. A. 2.3.5 Radial power distribution in assembly for conventional type, (72) cm withdrawal







**Fig. A. 2.3.8** One point normalized radial power distribution on the section at 40.18 cm from bottom of fuel active zone for conventional type, (72) cm withdrawal

Table A.2.3.3 Axial power distribution for conventional type, (72+7.5) cm withdrawal

JURAI C/R 1/2 YORI 1/2NOTCH HIKINUKI SUICHOKU(29POINTS) SUIHEI 5POINTS

RUN NO. 6252 (1978.3.10) GMEMO E019

```
*****
*          *
* AXITIAL POWER DISTRIBUTION   *
*          *
*****
```

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.288	0.203	0.139	0.215	0.137		
2	7.57	0.451	0.308	0.209	0.302	0.186		
3	13.57	0.605	0.416	0.277	0.406	0.252		
4	19.57	0.751	0.517	0.338	0.499	0.314		
5	22.57	0.807	0.555	0.362	0.541	0.336		
6	25.57	0.871	0.592	0.385	0.581	0.359		
7	28.57	0.918	0.623	0.407	0.610	0.378		
8	31.57	0.944	0.652	0.427	0.626	0.389		
9	34.57	0.978	0.666	0.437	0.648	0.397		
10	37.57	0.993	0.682	0.441	0.647	0.404		
11	40.57	1.000	0.687	0.442	0.661	0.406		
12	43.57	0.991	0.683	0.444	0.663	0.410		
13	46.57	0.986	0.683	0.438	0.650	0.410		
14	49.57	0.966	0.666	0.435	0.644	0.397		
15	52.57	0.936	0.647	0.416	0.622	0.388		
16	55.57	0.897	0.620	0.405	0.605	0.382		
17	58.57	0.845	0.590	0.384	0.573	0.350		
18	61.57	0.792	0.553	0.358	0.542	0.330		
19	64.57	0.729	0.517	0.339	0.489	0.307		
20	67.57	0.650	0.471	0.301	0.440	0.271		
21	70.57	0.525	0.409	0.277	0.374	0.245		
22	73.57	0.350	0.355	0.248	0.281	0.216		
23	76.57	0.241	0.293	0.216	0.211	0.188		
24	82.57	0.118	0.191	0.160	0.115	0.133		
25	94.57	0.049	0.099	0.084	0.045	0.063		
26	106.57	0.023	0.044	0.041	0.022	0.029		
27	118.57	0.011	0.022	0.019	0.011	0.013		
28	130.57	0.005	0.009	0.007	0.003	0.007		
29	142.57	0.002	0.003	0.003	0.001	0.003		

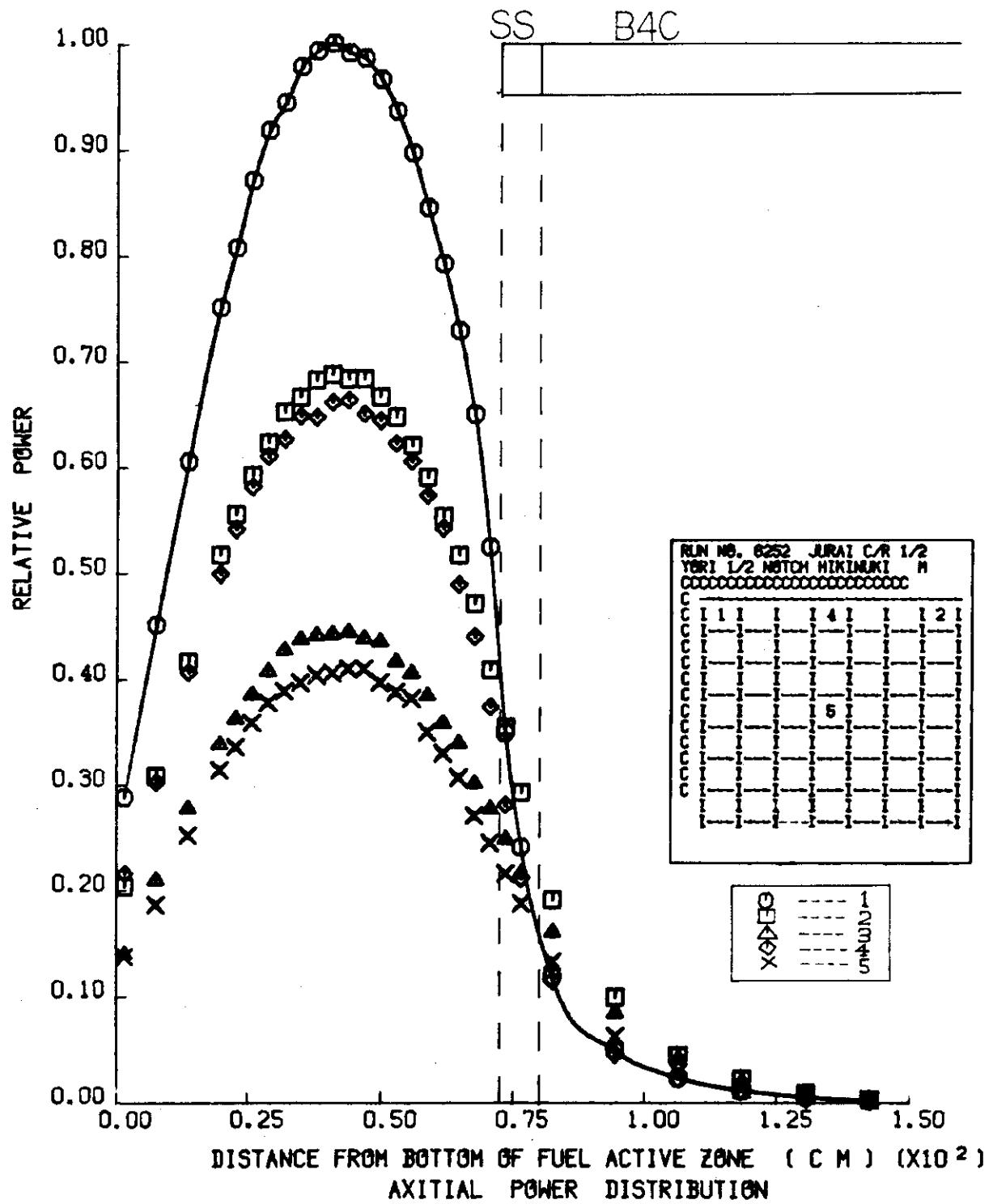


Fig. A.2.3.9 Axial power distribution for conventional type, (72+7.5) cm withdrawal

Table A.2.3.4 Axial power distribution for conventional type, ( 72+15 ) cm withdrawal

JURAI C/R 1/2 YORI INOTCH HIKINUKI SUICHOKU(31POINTS) SUIHEI 5 POINTS

RUN NO. 6254 (1978.3.13) GMEMO E021

```
*****
*          *
* AXITIAL POWER DISTRIBUTION   *
*          *
*****
```

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.280	0.190	0.130	0.198	0.125		
2	7.57	0.423	0.282	0.186	0.280	0.174		
3	13.57	0.585	0.381	0.254	0.385	0.238		
4	19.57	0.716	0.469	0.307	0.475	0.288		
5	22.57	0.772	0.511	0.334	0.502	0.318		
6	25.57	0.831	0.546	0.356	0.548	0.328		
7	28.57	0.881	0.576	0.378	0.574	0.349		
8	31.57	0.922	0.601	0.393	0.602	0.365		
9	34.57	0.949	0.619	0.408	0.626	0.385		
10	37.57	0.974	0.637	0.418	0.635	0.390		
11	40.57	0.990	0.640	0.419	0.651	0.394		
12	43.57	0.998	0.653	0.424	0.650	0.395		
13	46.57	1.000	0.649	0.424	0.655	0.403		
14	49.57	0.994	0.641	0.423	0.647	0.401		
15	52.57	0.974	0.634	0.415	0.641	0.392		
16	55.57	0.953	0.613	0.402	0.626	0.380		
17	58.57	0.915	0.595	0.391	0.601	0.366		
18	61.57	0.878	0.572	0.378	0.579	0.358		
19	64.57	0.822	0.541	0.357	0.549	0.336		
20	67.57	0.783	0.512	0.334	0.513	0.342		
21	70.57	0.725	0.471	0.303	0.477	0.319		
22	73.57	0.654	0.432	0.284	0.424	0.289		
23	76.57	0.562	0.389	0.256	0.372	0.263		
24	82.57	0.273	0.277	0.202	0.218	0.240		
25	88.57	0.125	0.182	0.152	0.114	0.178		
26	94.57	0.071	0.120	0.109	0.068	0.128		
27	100.57	0.046	0.061	0.077	0.045	0.084		
28	106.57	0.032	0.058	0.052	0.032	0.039		
29	118.57	0.015	0.027	0.024	0.014	0.019		
30	130.57	0.006	0.011	0.012	0.006	0.003		
31	142.57	0.002	0.004	0.004	0.002	0.003		

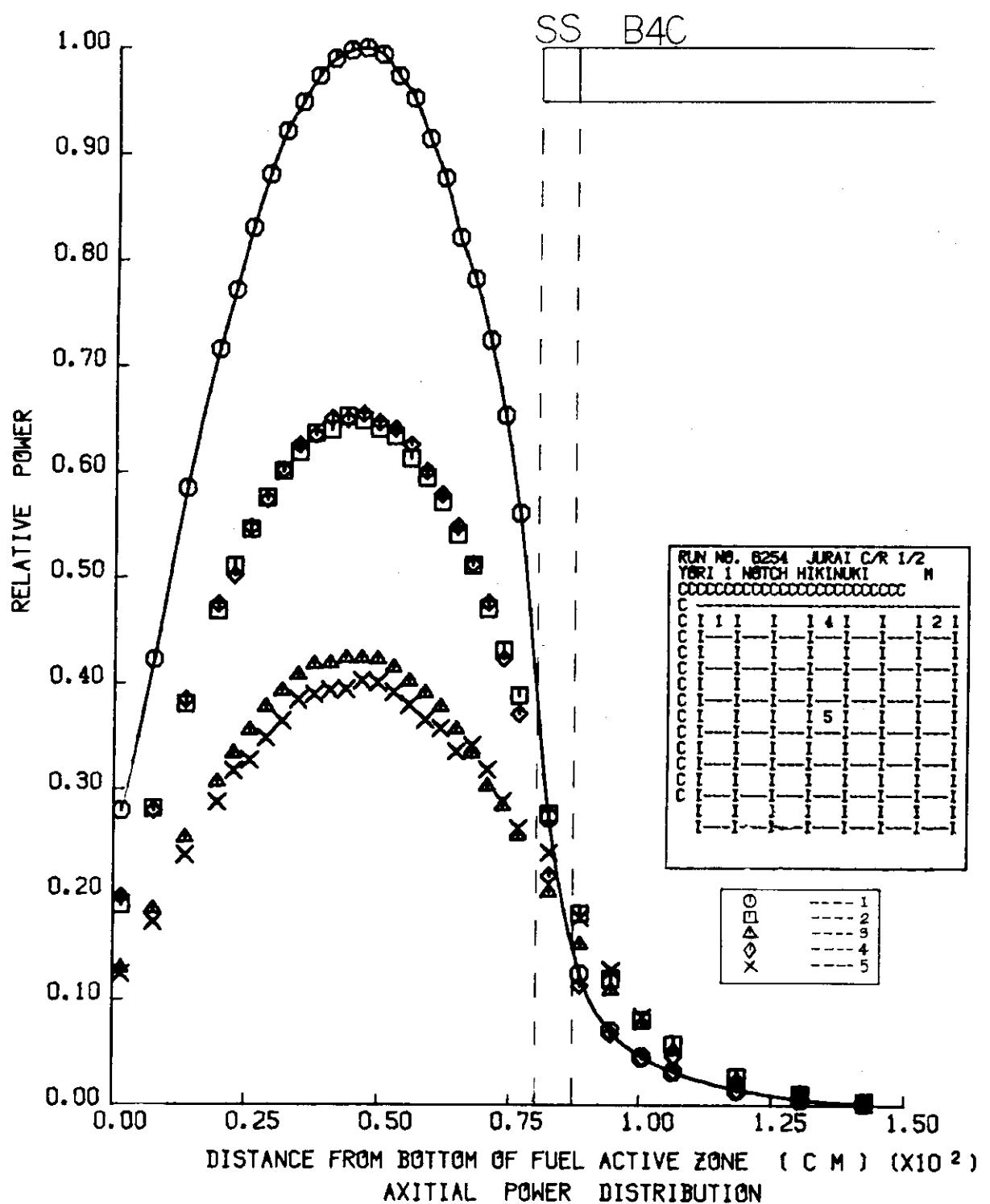


Fig. A.2.3.10 Axial power distribution for conventional type, (72+15) cm withdrawal

Fig. A.2.3.11 Radial power distribution in assembly for conventional type, (72+15) cm withdrawal

Fig. A.2.3.12 One point normalized radial power distribution in assembly for conventional type, (72+15) cm withdrawal

Table A.2.3.5 Axial power distribution for conventional type, ( 72-15 ) cm withdrawal

JURAI C/R(U-NASHI) 1/2-OUT-150 SUICHOKU(41POINTS) POWER(SUIHEI,3POINTS)

RUN NO.6327 (1978.5.31) GMEMO E041

\*\*\*\*\*  
\*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.385	0.277	0.282				
2	7.57	0.569	0.404	0.396				
3	13.57	0.759	0.540	0.521				
4	19.57	0.893	0.627	0.620				
5	22.57	0.944	0.670	0.659				
6	25.57	0.980	0.686	0.687				
7	28.57	1.000	0.699	0.694				
8	31.57	0.998	0.706	0.695				
9	34.57	0.990	0.693	0.685				
10	37.57	0.956	0.673	0.674				
11	40.57	0.904	0.653	0.645				
12	43.57	0.838	0.613	0.596				
13	46.57	0.741	0.566	0.536				
14	49.57	0.563	0.506	0.434				
15	52.57	0.378	0.435	0.334				
16	55.57	0.271	0.369	0.255				
17	58.57	0.183	0.308	0.182				
18	61.57	0.135	0.258	0.138				
19	64.57	0.112	0.222	0.119				
20	67.57	0.095	0.189	0.099				
21	70.57	0.077	0.165	0.085				
22	73.57	0.068	0.143	0.071				
23	76.57	0.057	0.119	0.064				
24	79.57	0.050	0.102	0.054				
25	82.57	0.041	0.085	0.046				
26	85.57	0.036	0.073	0.039				
27	88.57	0.031	0.066	0.031				
28	91.57	0.026	0.058	0.031				
29	94.57	0.023	0.050	0.023				
30	97.57	0.020	0.041	0.022				
31	100.57	0.017	0.035	0.019				
32	103.57	0.014	0.030	0.016				
33	106.57	0.012	0.026	0.013				
34	109.57	0.010	0.022	0.011				
35	112.57	0.009	0.020	0.011				
36	115.57	0.007	0.016	0.009				
37	118.57	0.006	0.014	0.008				
38	124.57	0.004	0.008	0.006				
39	130.57	0.003	0.006	0.004				
40	136.57	0.002	0.004	0.003				
41	142.57	0.001	0.002	0.002				

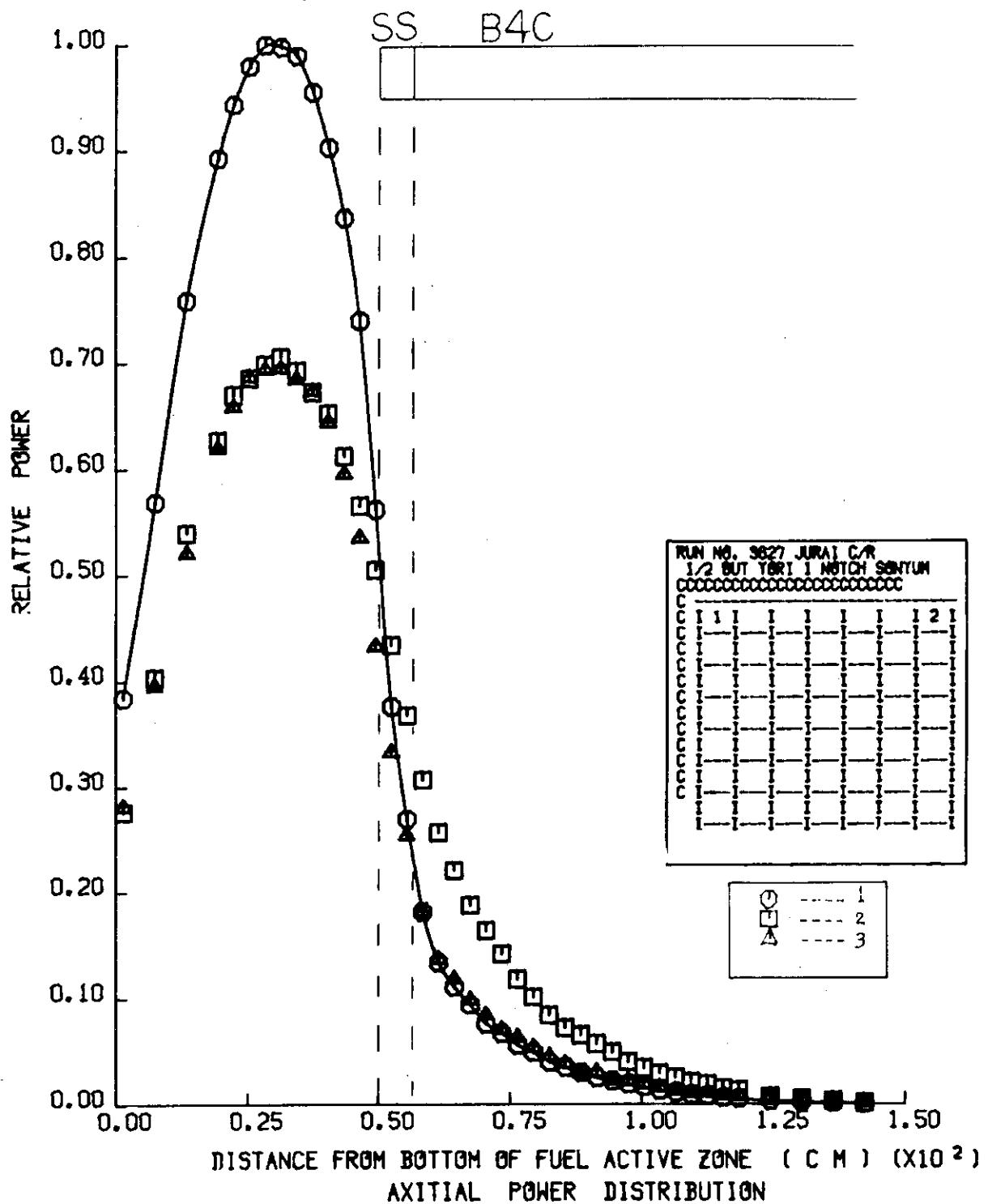


Fig. A.2.3.13 Axial power distribution for conventional type, (72-15) cm withdrawal

Table A.2.3.6 Axial power distribution for sheath  
type (1L), (72) cm withdrawal

CHUKU 1L GRAY NOSE C/R 1/2 OUT SUICHOKU(34POINTS) SUIHEI 5POINTS

RUN NO. 6244 (1978.2.27) GMEMO E015

\*\*\*\*\*  
\* \*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\* \*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.352	0.244	0.173	0.252	0.166		
2	7.57	0.526	0.358	0.253	0.356	0.224		
3	13.57	0.713	0.475	0.336	0.477	0.300		
4	19.57	0.854	0.573	0.404	0.585	0.357		
5	22.57	0.903	0.611	0.423	0.603	0.389		
6	25.57	0.950	0.637	0.448	0.634	0.388		
7	28.57	0.992	0.653	0.465	0.659	0.393		
8	31.57	0.999	0.668	0.468	0.653	0.416		
9	34.57	1.000	0.659	0.469	0.667	0.421		
10	37.57	0.984	0.651	0.466	0.659	0.409		
11	40.57	0.952	0.642	0.452	0.651	0.399		
12	43.57	0.908	0.614	0.438	0.620	0.386		
13	46.57	0.809	0.581	0.418	0.578	0.371		
14	49.57	0.617	0.529	0.403	0.475	0.341		
15	52.57	0.473	0.479	0.369	0.398	0.319		
16	55.57	0.442	0.437	0.354	0.362	0.296		
17	58.57	0.409	0.407	0.320	0.357	0.269		
18	61.57	0.371	0.376	0.295	0.336	0.243		
19	64.57	0.317	0.334	0.263	0.286	0.216		
20	67.57	0.255	0.283	0.239	0.218	0.184		
21	70.57	0.195	0.242	0.205	0.177	0.160		
22	73.57	0.134	0.199	0.173	0.125	0.139		
23	76.57	0.101	0.168	0.159	0.103	0.116		
24	82.57	0.068	0.120	0.120	0.071	0.080		
25	88.57	0.048	0.088	0.086	0.052	0.066		
26	94.57	0.037	0.065	0.063	0.038	0.044		
27	100.57	0.026	0.047	0.047	0.024	0.035		
28	106.57	0.020	0.036	0.032	0.020	0.022		
29	112.57	0.015	0.026	0.029	0.016	0.021		
30	118.57	0.012	0.018	0.016	0.013	0.011		
31	124.57	0.010	0.014	0.015	0.011	0.015		
32	130.57	0.008	0.011	0.012	0.008	0.011		
33	136.57	0.006	0.006	0.008	0.006	0.005		
34	142.57	0.004	0.004	0.006	0.006	0.006		

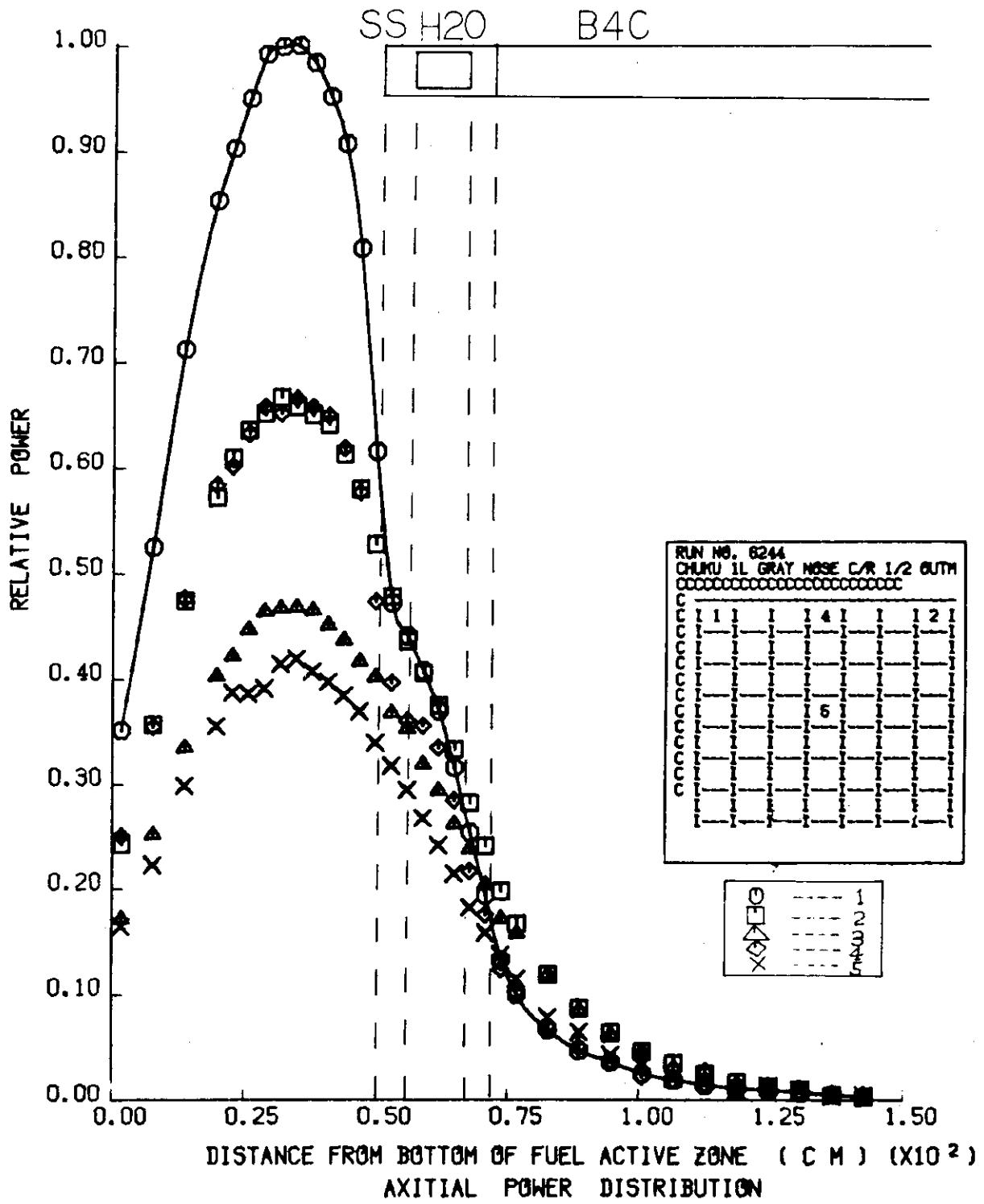


Fig. A.2.3.14 Axial power distribution for sheath type (1L), (72) cm withdrawal

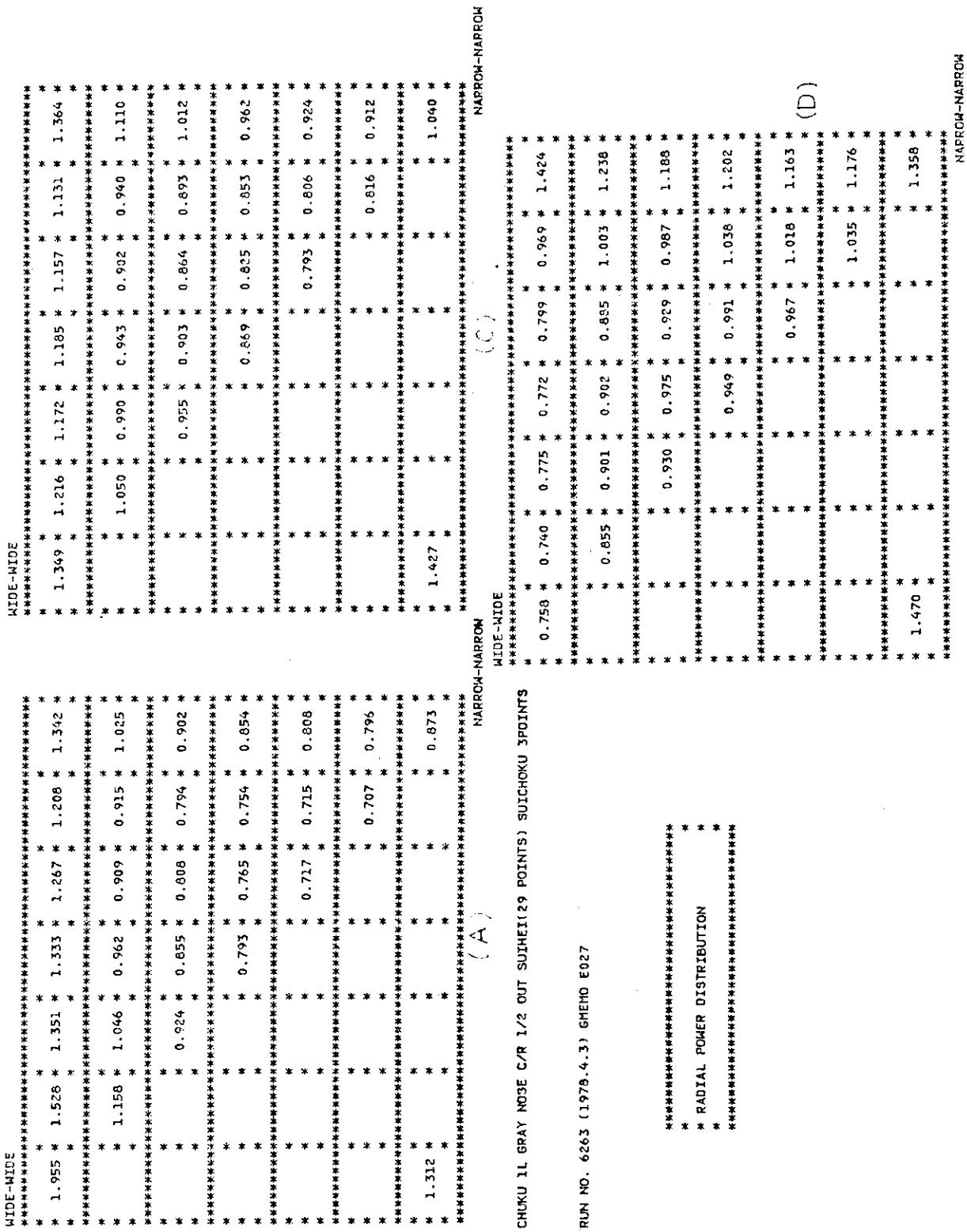


Fig. A. 2.3.15 Radial power distribution in assembly for sheath type (IL), (72) cm withdrawal

**Fig. A.2.3.16** One point normalized radial power distribution in assembly for sheath type (1L), (72) cm withdrawal

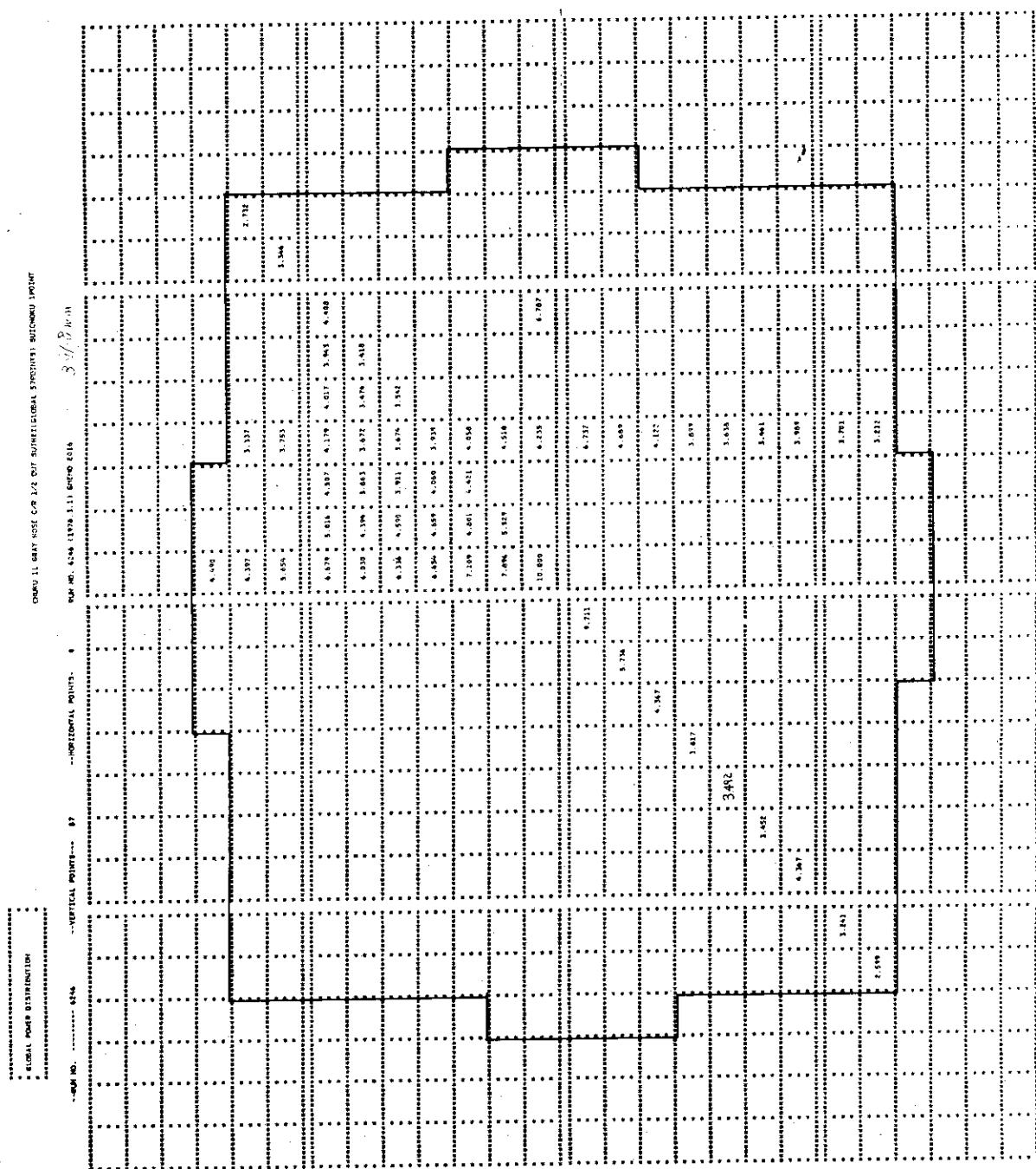


Fig. A.2.3.17 Radial power distribution on the section at 39.18 cm from bottom of fuel active zone for sheath type (1L), (72)cm withdrawal

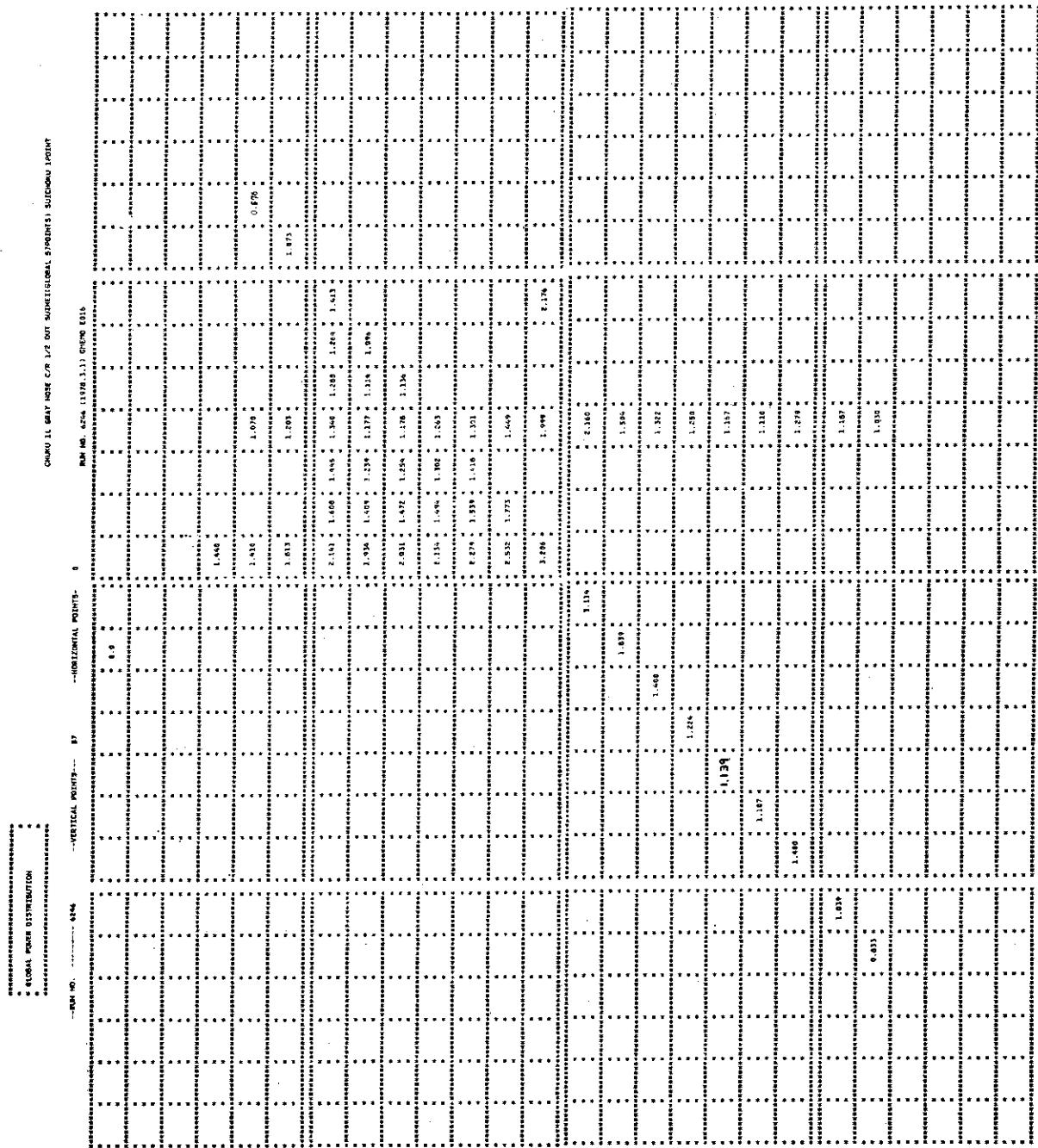


Fig. A. 2.3.18 One point normalized radial power distribution on the section at 39.18 cm from bottom fuel active zone for sheath type (1L), (72) cm withdrawal

Table A.2.3.7 Axial power distribution for sheath  
type (1L), ( 72+15 ) cm withdrawal

CHUKU 1L GRAY NOSE C/R 1/2 YORI INOTCH HIKINUKI SUICHOKU(34POINTS) SUIKEI 5POINT

RUN NO. 6260 (1978.3.27) GMEMO E024

```
*****
*          *
* AXITIAL POWER DISTRIBUTION      *
*          *
*****
```

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.307	0.211	0.147	0.214	0.140		
2	7.57	0.465	0.308	0.209	0.314	0.184		
3	13.57	0.628	0.419	0.289	0.425	0.253		
4	19.57	0.772	0.510	0.351	0.513	0.311		
5	22.57	0.882	0.580	0.404	0.592	0.359		
6	25.57	0.960	0.631	0.434	0.636	0.382		
7	28.57	0.999	0.653	0.461	0.666	0.394		
8	31.57	1.000	0.652	0.456	0.662	0.402		
9	34.57	0.985	0.644	0.445	0.640	0.381		
10	37.57	0.956	0.620	0.438	0.637	0.379		
11	40.57	0.924	0.600	0.426	0.610	0.370		
12	43.57	0.874	0.573	0.401	0.578	0.349		
13	46.57	0.811	0.536	0.396	0.536	0.329		
14	49.57	0.557	0.448	0.340	0.404	0.283		
15	52.57	0.407	0.403	0.315	0.322	0.255		
16	55.57	0.370	0.356	0.284	0.294	0.219		
17	58.57	0.334	0.328	0.254	0.283	0.215		
18	61.57	0.295	0.295	0.232	0.248	0.183		
19	64.57	0.247	0.256	0.207	0.211	0.168		
20	67.57	0.196	0.216	0.180	0.173	0.137		
21	70.57	0.146	0.184	0.157	0.130	0.119		
22	73.57	0.099	0.148	0.138	0.089	0.097		
23	76.57	0.074	0.118	0.114	0.071	0.087		
24	82.57	0.057	0.101	0.093	0.048	0.070		
25	88.57	0.047	0.085	0.083	0.049	0.060		
26	94.57	0.038	0.068	0.067	0.039	0.051		
27	100.57	0.031	0.058	0.061	0.033	0.041		
28	106.57	0.027	0.050	0.049	0.023	0.035		
29	112.57	0.019	0.035	0.033	0.019	0.024		
30	118.57	0.013	0.024	0.025	0.014	0.017		
31	124.57	0.009	0.016	0.017	0.007	0.011		
32	130.57	0.007	0.012	0.010	0.005	0.006		
33	136.57	0.004	0.006	0.007	0.004	0.003		
34	142.57	0.002	0.004	0.004	0.001	0.001		

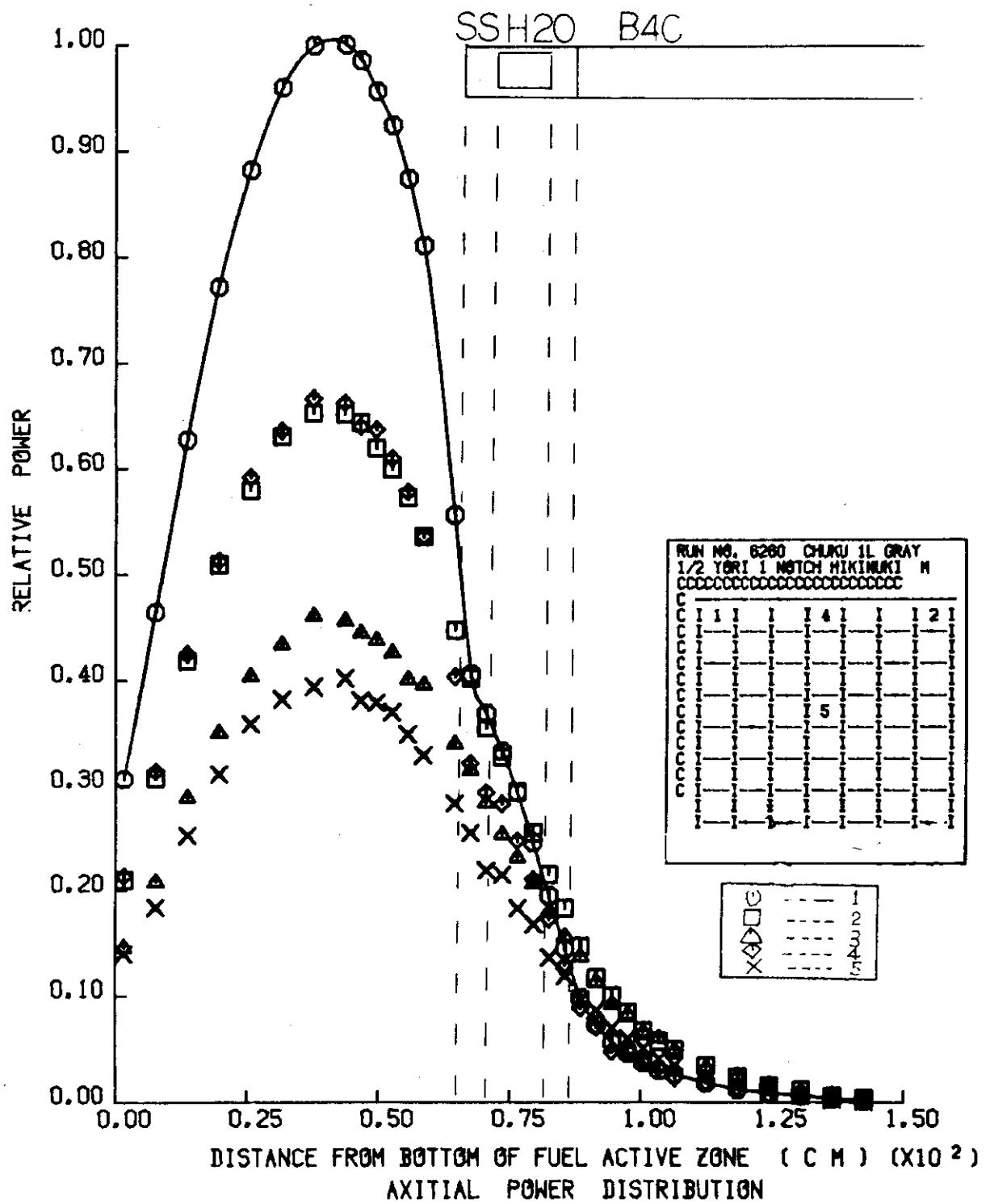


Fig. A.2.3.19 Axial power distribution for sheath type (1L), (72+15) cm withdrawal

\*\*\*\*\* WIDE-WIDE \*\*\*\*\*  
 \* 1.992 \* 1.575 \* 1.413 \* 1.290 \* 1.234 \* 1.213 \* 1.363 \*  
 \* 1.175 \* 1.051 \* 0.957 \* 0.922 \* 0.901 \* 1.008 \*  
 \* 0.928 \* 0.852 \* 0.817 \* 0.799 \* 0.886 \*  
 \* 0.816 \* 0.773 \* 0.739 \* 0.837 \*  
 \* 0.736 \* 0.715 \* 0.715 \* 0.765 \*  
 \* 0.671 \* 0.671 \* 0.671 \* 0.671 \*  
 \* 1.293 \* 1.293 \* 1.293 \* 1.293 \*  
 \*\*\*\*\* NARROW-NARROW \*\*\*\*\*  
 (A) WIDE-WIDE  
 \* 1.952 \* 1.551 \* 1.402 \* 1.353 \* 1.228 \* 1.253 \* 1.349 \*  
 \* 1.175 \* 1.054 \* 0.980 \* 0.897 \* 0.888 \* 1.026 \*  
 \* 0.918 \* 0.879 \* 0.821 \* 0.792 \* 0.890 \*  
 \* 0.812 \* 0.757 \* 0.727 \* 0.833 \*  
 \* 0.725 \* 0.676 \* 0.727 \* 0.783 \*  
 \* 0.677 \* 0.677 \* 0.677 \* 0.677 \*  
 \*\*\*\*\* NARROW-NARROW \*\*\*\*\*  
 (C) WIDE-WIDE  
 \* 1.305 \* 1.208 \* 1.151 \* 1.116 \* 1.114 \* 1.105 \* 1.401 \*  
 \* 1.077 \* 1.017 \* 0.950 \* 0.928 \* 0.955 \* 1.085 \*  
 \* 0.936 \* 0.913 \* 0.881 \* 0.872 \* 0.995 \* (D)  
 \*\*\*\*\* CHUKU 1L GRAY NOSE C/R 1/2 YORI 1 NOTCH HIKINURI SUHEI(29POINT)SUICHIKU 3POINT \*\*\*\*\*  
 \* RADIAL POWER DISTRIBUTION  
 \*\*\*\*\* NARROW-NARROW \*\*\*\*\*

**Fig. A.2.3.20** Radial power distribution in assembly for sheath type (11),(72+15) cm withdrawal

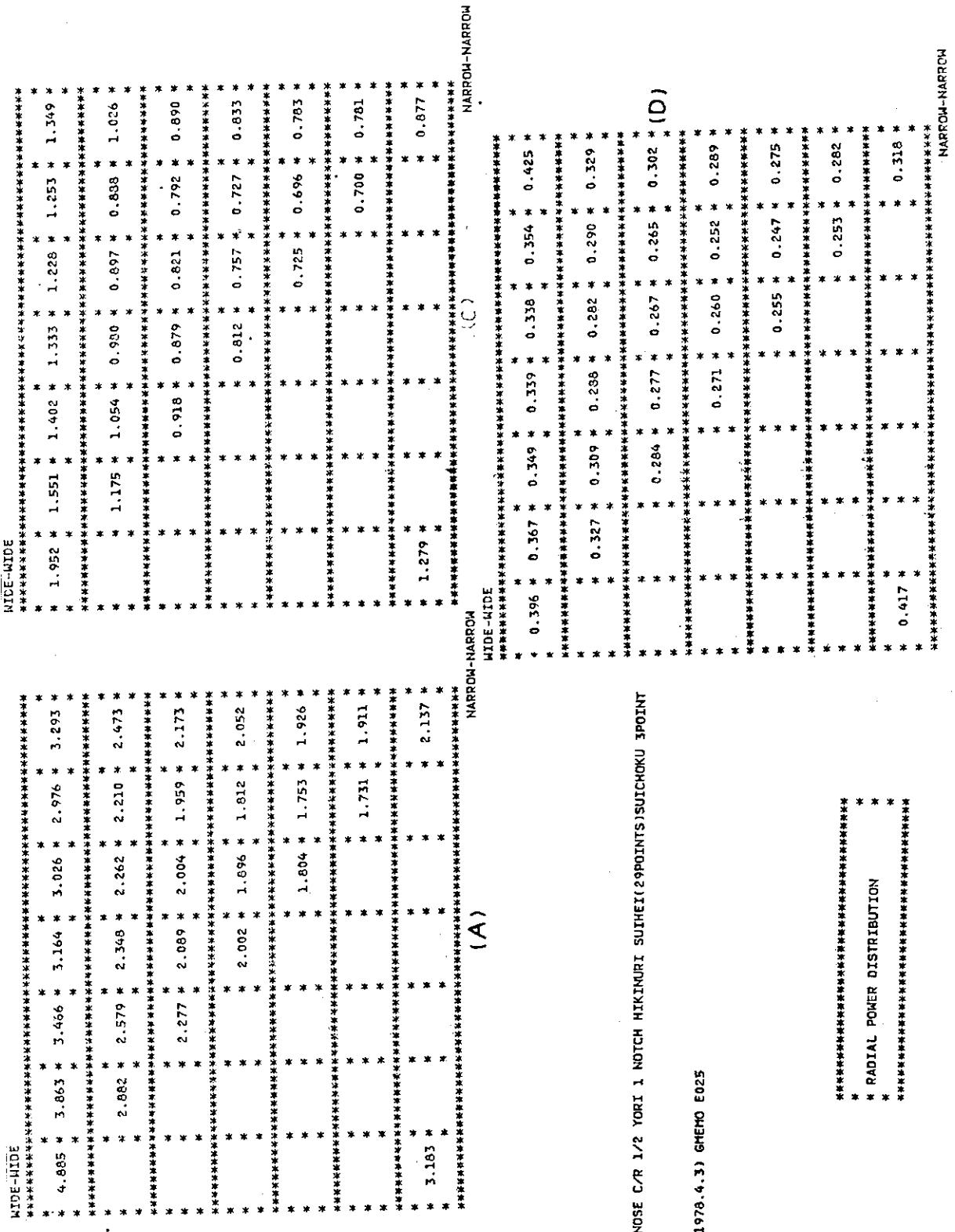


Fig. A.2.3.21 One point normalized radial power distribution in assembly for sheath type (1L), (72+15) cm withdrawal

Table A.2.3.8 Axial power distribution for sheath type  
(1L), ( 72+30 ) cm withdrawal

CHUKU 1L GRAY NOSE C/R 1/2 YORI 2NOTCH HIKINUKI SUICHOKU(34POINTS) SUIHEI(5POINT

RUN NO. 6259 (1978.3.24) GMEMO E023

```
*****
* AXITIAL POWER DISTRIBUTION *
*****
```

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.269	0.182	0.124	0.189	0.120		
2	7.57	0.408	0.266	0.180	0.269	0.016		
3	13.57	0.563	0.367	0.243	0.369	0.222		
4	19.57	0.695	0.460	0.303	0.456	0.276		
5	22.57	0.813	0.533	0.355	0.528	0.325		
6	25.57	0.902	0.595	0.391	0.579	0.360		
7	28.57	0.965	0.631	0.421	0.622	0.382		
8	31.57	0.996	0.653	0.438	0.652	0.397		
9	34.57	1.000	0.658	0.437	0.644	0.393		
10	37.57	0.992	0.654	0.439	0.640	0.396		
11	40.57	0.984	0.644	0.440	0.641	0.392		
12	43.57	0.971	0.638	0.426	0.631	0.386		
13	46.57	0.948	0.622	0.418	0.615	0.381		
14	49.57	0.877	0.580	0.392	0.565	0.358		
15	52.57	0.834	0.546	0.371	0.543	0.334		
16	55.57	0.778	0.517	0.351	0.503	0.317		
17	58.57	0.711	0.482	0.333	0.473	0.295		
18	61.57	0.625	0.444	0.308	0.423	0.274		
19	64.57	0.479	0.393	0.280	0.345	0.241		
20	67.57	0.340	0.343	0.257	0.276	0.219		
21	70.57	0.304	0.308	0.227	0.242	0.193		
22	73.57	0.278	0.277	0.204	0.239	0.178		
23	76.57	0.245	0.250	0.182	0.212	0.157		
24	82.57	0.210	0.213	0.157	0.182	0.134		
25	88.57	0.162	0.182	0.139	0.138	0.115		
26	94.57	0.118	0.147	0.117	0.104	0.093		
27	100.57	0.079	0.117	0.099	0.075	0.079		
28	106.57	0.058	0.095	0.086	0.056	0.065		
29	112.57	0.036	0.066	0.060	0.035	0.045		
30	118.57	0.023	0.045	0.040	0.025	0.031		
31	124.57	0.016	0.030	0.028	0.016	0.019		
32	130.57	0.010	0.020	0.018	0.010	0.015		
33	136.57	0.007	0.012	0.011	0.006	0.008		
34	142.57	0.004	0.007	0.006	0.004	0.006		

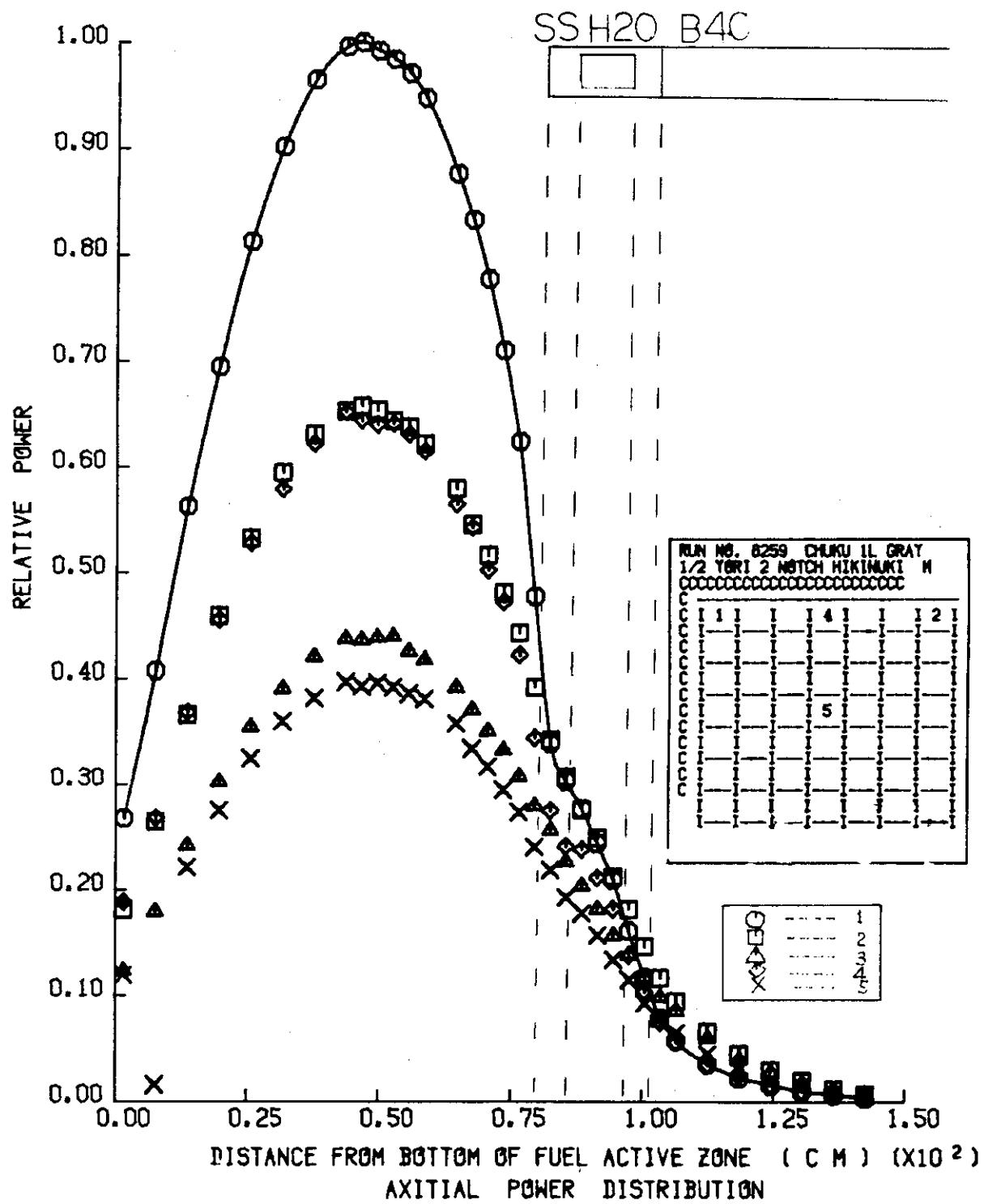


Fig. A.2.3.22 Axial power distribution for sheath type (1L), (72+30) cm withdrawal

Table A.2.3.9 Axial power distribution for sheath  
type (1L), (72) cm withdrawal,  
(2.0 w/o  $\text{UO}_2$  fuel rods are loaded)

CHUKU-1L GRAY 1/2-OUT(2.6/2.0) SUICHOKU(34POINTS) POWER(SUIHEI,5POINTS)

RUN NO.6274 (1978.4.24) GMEMO E035

\*\*\*\*\*  
\* \*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\* \*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.349	0.249	0.181	0.292	0.188		
2	7.57	0.527	0.372	0.261	0.412	0.261		
3	13.57	0.710	0.489	0.347	0.557	0.343		
4	19.57	0.853	0.585	0.419	0.664	0.404		
5	22.57	0.909	0.631	0.441	0.709	0.432		
6	25.57	0.956	0.659	0.459	0.757	0.460		
7	28.57	0.989	0.680	0.476	0.779	0.467		
8	31.57	1.000	0.687	0.484	0.793	0.485		
9	34.57	1.000	0.697	0.489	0.795	0.477		
10	37.57	0.990	0.693	0.484	0.791	0.488		
11	40.57	0.966	0.680	0.480	0.767	0.469		
12	43.57	0.919	0.651	0.460	0.733	0.458		
13	46.57	0.825	0.621	0.441	0.680	0.423		
14	49.57	0.628	0.574	0.424	0.572	0.411		
15	52.57	0.479	0.527	0.398	0.470	0.378		
16	55.57	0.445	0.477	0.363	0.440	0.348		
17	58.57	0.417	0.449	0.342	0.422	0.321		
18	61.57	0.378	0.412	0.310	0.394	0.289		
19	64.57	0.324	0.367	0.279	0.349	0.266		
20	67.57	0.261	0.311	0.252	0.271	0.231		
21	70.57	0.199	0.268	0.230	0.207	0.202		
22	73.57	0.138	0.224	0.201	0.153	0.168		
23	76.57	0.103	0.189	0.177	0.119	0.146		
24	82.57	0.068	0.134	0.133	0.082	0.110		
25	88.57	0.050	0.100	0.100	0.060	0.078		
26	94.57	0.036	0.074	0.074	0.042	0.055		
27	100.57	0.026	0.056	0.055	0.033	0.042		
28	106.57	0.020	0.040	0.040	0.022	0.031		
29	112.57	0.014	0.029	0.028	0.018	0.023		
30	118.57	0.010	0.022	0.022	0.016	0.019		
31	124.57	0.007	0.015	0.015	0.010	0.012		
32	130.57	0.006	0.011	0.010	0.007	0.008		
33	136.57	0.003	0.007	0.008	0.004	0.004		
34	142.57	0.002	0.005	0.004	0.002	0.005		

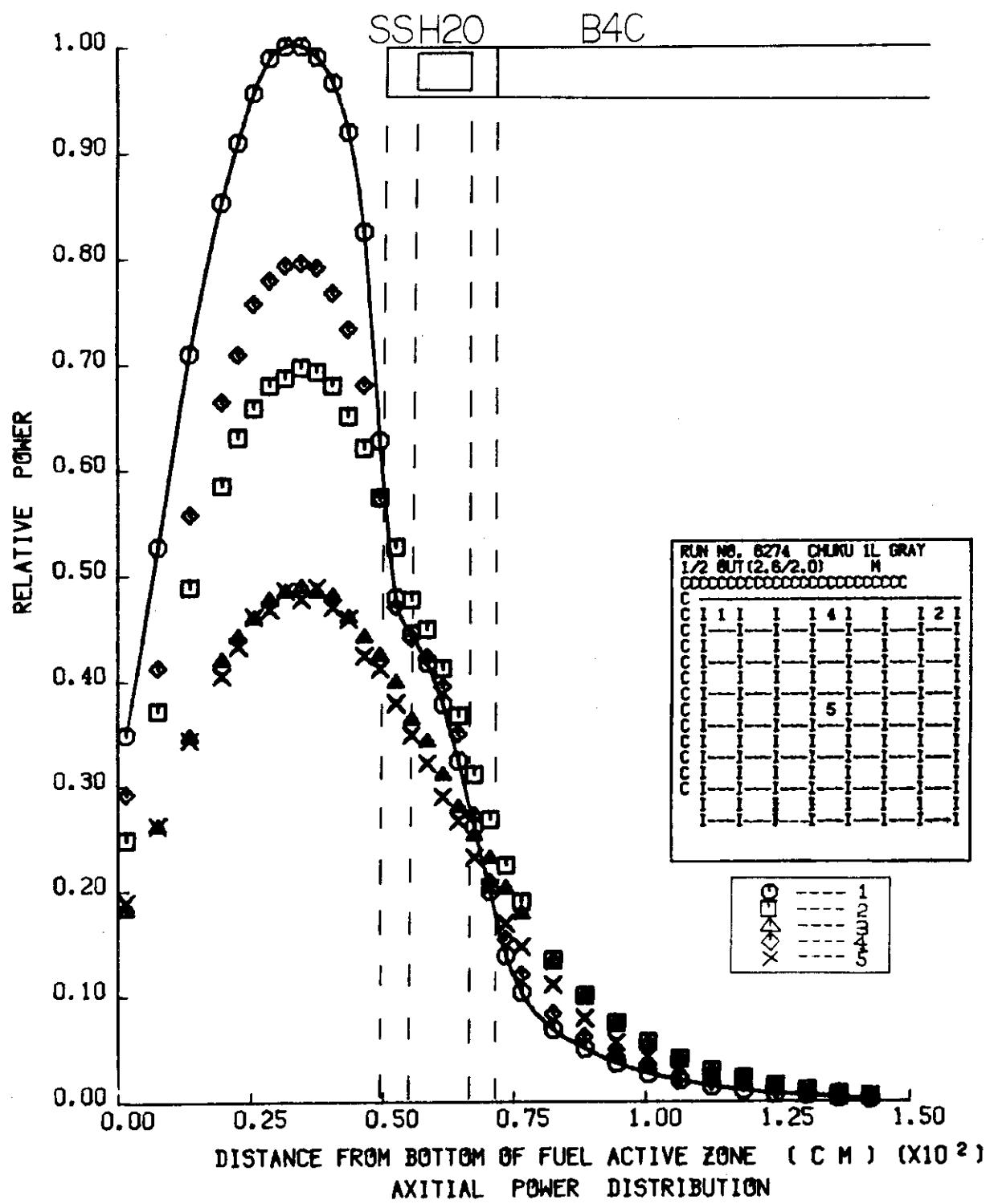


Fig. A.2.3.23 Axial power distribution for sheath type (1L), (72) cm withdrawal, (2.0w/o UO<sub>2</sub> fuel rods are loaded)

( A )

( B )

( C )

( D )

( E )

( F )

( G )

( H )

( I )

( J )

( K )

( L )

( M )

( N )

( O )

( P )

( Q )

( R )

( S )

( T )

( U )

( V )

( W )

( X )

( Y )

( Z )

Fig. A.2.3.24 Radial power distribution in assembly for sheath type (1L), (72) cm withdrawal, (20w/o  $\text{UO}_2$  fuel rods are loaded)

Fig. A.2.3.25 One point normalized radial power distribution in assembly for sheath type (1L), (72) cm withdrawal, (2.0w/o  $\text{UO}_2$  fuel rods are loaded)

Table A.2.3.10 Axial power distribution for sheath type (2L), (72) cm withdrawal

CHUKU-2L GRAY NOSE C/R 1/2 OUT SUICHOKU(34POINTS) SUIHEI 5 POINTS

RUN NO. 6265 (1978.4.12) GMEMO

\*\*\*\*\*  
 \* \*  
 \* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
 \* \*  
 \*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.381	0.264	0.189	0.263	0.171		
2	7.57	0.564	0.385	0.268	0.376	0.232		
3	13.57	0.745	0.512	0.355	0.497	0.303		
4	19.57	0.890	0.607	0.420	0.582	0.362		
5	22.57	0.942	0.644	0.439	0.616	0.378		
6	25.57	0.974	0.660	0.453	0.629	0.394		
7	28.57	0.998	0.678	0.471	0.649	0.404		
8	31.57	1.000	0.680	0.472	0.644	0.407		
9	34.57	0.961	0.673	0.474	0.627	0.400		
10	37.57	0.848	0.651	0.460	0.581	0.392		
11	40.57	0.620	0.605	0.450	0.493	0.379		
12	43.57	0.545	0.565	0.434	0.440	0.357		
13	46.57	0.539	0.541	0.413	0.447	0.343		
14	49.57	0.517	0.524	0.404	0.450	0.332		
15	52.57	0.491	0.502	0.376	0.424	0.309		
16	55.57	0.456	0.468	0.352	0.399	0.288		
17	58.57	0.421	0.429	0.325	0.358	0.270		
18	61.57	0.376	0.387	0.294	0.329	0.250		
19	64.57	0.332	0.361	0.279	0.290	0.220		
20	67.57	0.260	0.310	0.244	0.236	0.195		
21	70.57	0.199	0.264	0.216	0.171	0.174		
22	73.57	0.139	0.215	0.191	0.127	0.143		
23	76.57	0.103	0.186	0.165	0.099	0.119		
24	82.57	0.071	0.133	0.127	0.071	0.093		
25	88.57	0.051	0.100	0.101	0.053	0.066		
26	94.57	0.037	0.075	0.071	0.037	0.048		
27	100.57	0.027	0.056	0.051	0.029	0.040		
28	106.57	0.021	0.041	0.038	0.022	0.028		
29	112.57	0.014	0.030	0.030	0.017	0.021		
30	118.57	0.011	0.022	0.022	0.010	0.018		
31	124.57	0.008	0.014	0.016	0.011	0.011		
32	130.57	0.005	0.011	0.013	0.007	0.008		
33	136.57	0.004	0.009	0.009	0.004	0.005		
34	142.57	0.003	0.006	0.004	0.002	0.003		

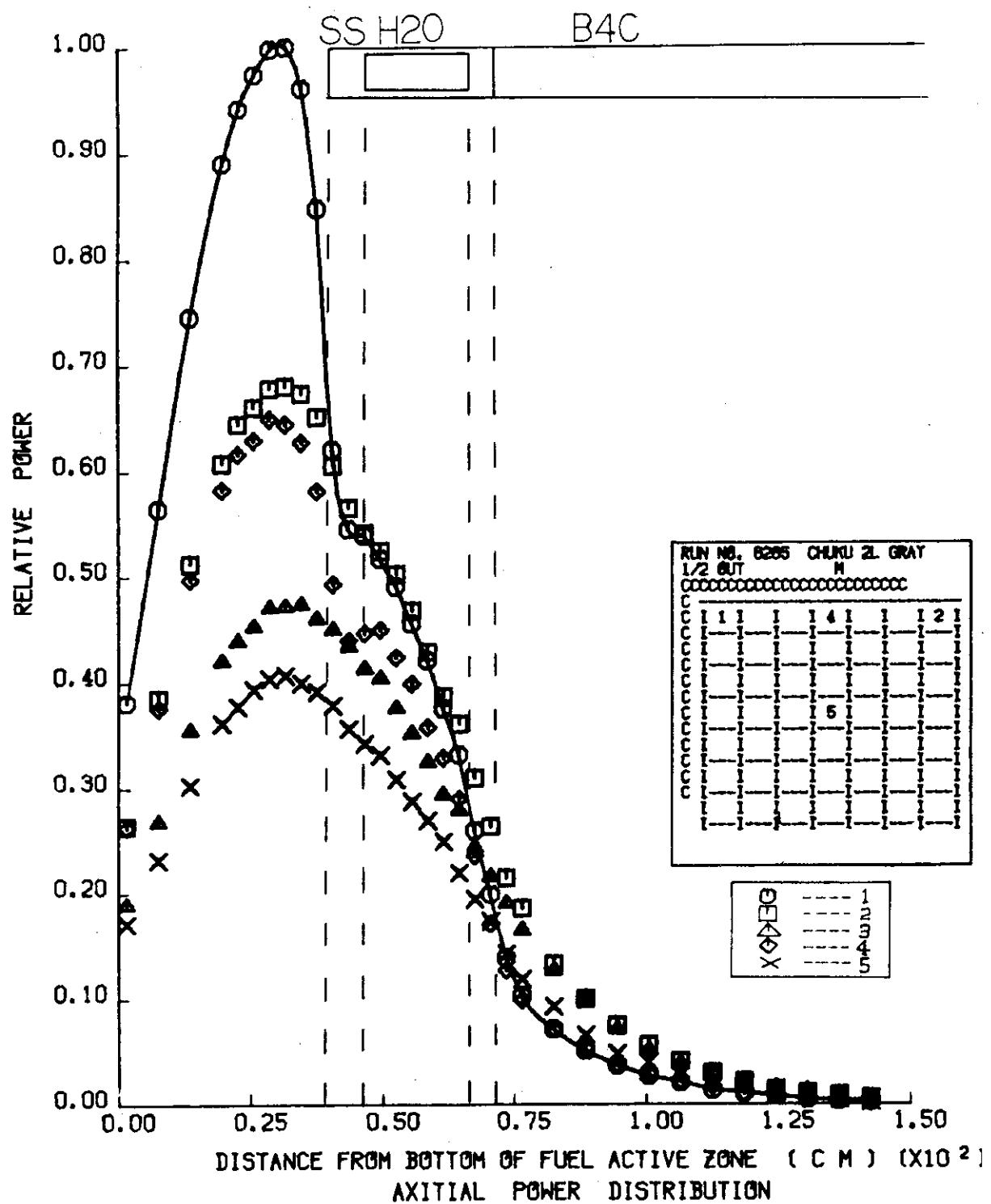


Fig. A.2.3.26 Axial power distribution for sheath type (2L), (72) cm withdrawal

Table A.2.3.11 Axial power distribution for SS type  
(1L), (72)cm withdrawal

CHUGITSU 1L GRAY NOSE C/R 1/2 OUT SUICHOKU(34POINTS) SUIHEI 5POINTS

RUN NO. 6262 (1978.4.5) GMEMO E026

\*\*\*\*\*  
\* \*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\* \*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.358	0.240	0.174	0.246	0.162		
2	7.57	0.532	0.353	0.245	0.354	0.218		
3	13.57	0.716	0.468	0.329	0.469	0.290		
4	19.57	0.859	0.564	0.397	0.566	0.354		
5	22.57	0.912	0.595	0.415	0.604	0.376		
6	25.57	0.956	0.623	0.435	0.625	0.389		
7	28.57	0.986	0.637	0.445	0.652	0.393		
8	31.57	0.997	0.649	0.452	0.653	0.414		
9	34.57	1.000	0.645	0.460	0.664	0.412		
10	37.57	0.984	0.642	0.454	0.648	0.407		
11	40.57	0.953	0.619	0.442	0.640	0.392		
12	43.57	0.900	0.592	0.417	0.611	0.372		
13	46.57	0.795	0.558	0.406	0.552	0.359		
14	49.57	0.601	0.511	0.381	0.467	0.326		
15	52.57	0.448	0.458	0.350	0.374	0.305		
16	55.57	0.396	0.410	0.327	0.323	0.281		
17	58.57	0.339	0.376	0.303	0.297	0.244		
18	61.57	0.294	0.337	0.270	0.265	0.224		
19	64.57	0.259	0.301	0.248	0.232	0.200		
20	67.57	0.224	0.262	0.218	0.197	0.174		
21	70.57	0.172	0.235	0.189	0.157	0.146		
22	73.57	0.119	0.184	0.172	0.116	0.126		
23	76.57	0.089	0.156	0.143	0.087	0.109		
24	82.57	0.062	0.110	0.111	0.064	0.083		
25	88.57	0.042	0.081	0.080	0.045	0.057		
26	94.57	0.031	0.060	0.056	0.032	0.039		
27	100.57	0.022	0.041	0.042	0.023	0.028		
28	106.57	0.016	0.030	0.032	0.017	0.021		
29	112.57	0.012	0.022	0.023	0.012	0.018		
30	118.57	0.008	0.018	0.015	0.010	0.009		
31	124.57	0.006	0.011	0.011	0.006	0.007		
32	130.57	0.004	0.008	0.007	0.005	0.007		
33	136.57	0.003	0.005	0.005	0.003	0.000		
34	142.57	0.002	0.004	0.001	0.002	0.001		

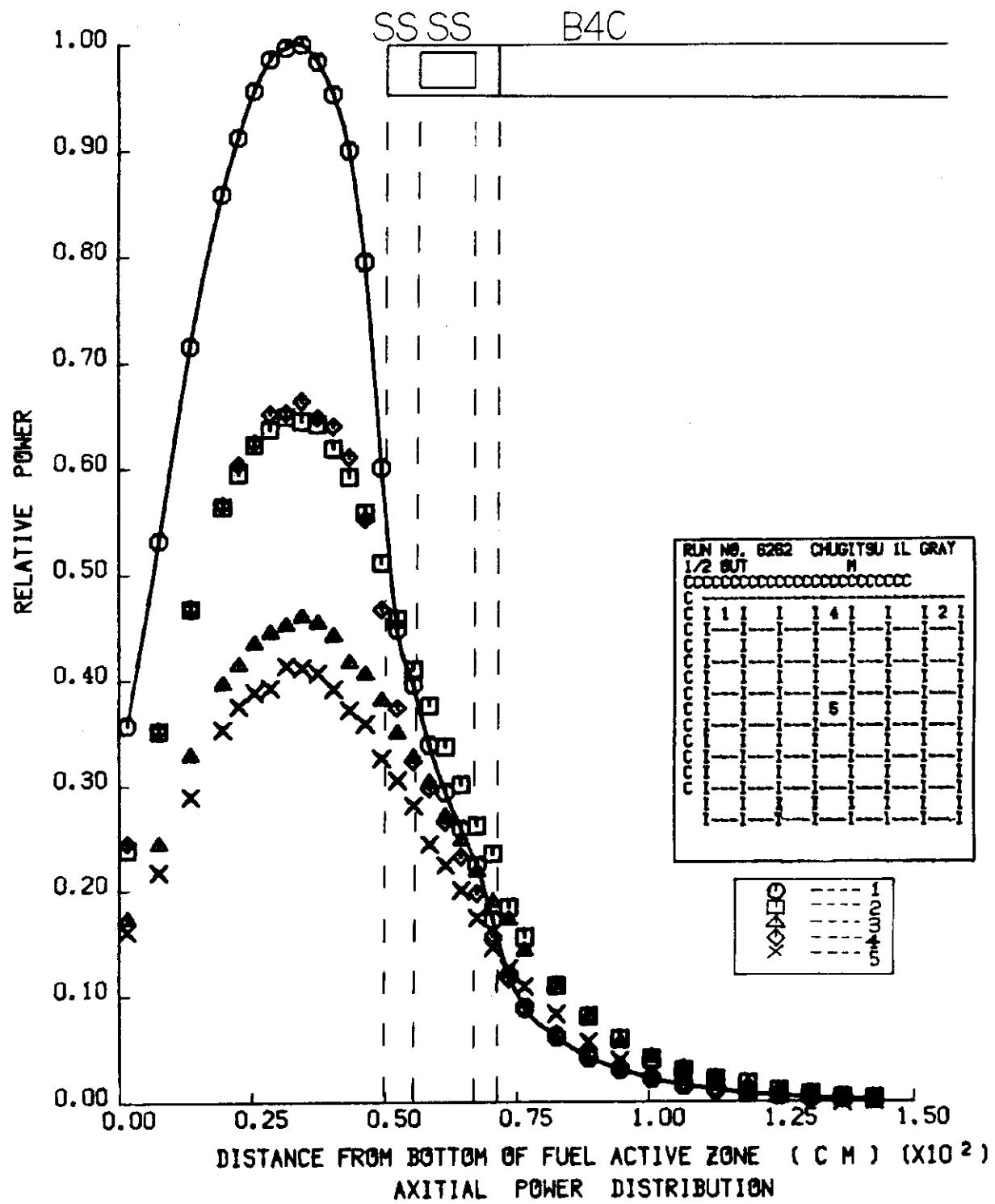


Fig. A.2.3.27 Axial power distribution for SS type  
(1L), (72) cm withdrawal

Table A.2.3.12 Axial power distribution for Zry type  
(1L), (72) cm withdrawal

CHUGITSU(ZR-4) 1L GRAY NOSE C/R 1/2 OUT SUICHOKU(34POINTS) SUIHEI 5 POINTS

RUN NO. 6264 (1978.4.10) SMEMO E028

```
*****
* AXITIAL POWER DISTRIBUTION *
*****
```

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.352	0.246	0.174	0.247	0.167		
2	7.57	0.534	0.355	0.248	0.367	0.219		
3	13.57	0.721	0.481	0.330	0.476	0.293		
4	19.57	0.852	0.580	0.397	0.574	0.350		
5	22.57	0.908	0.620	0.419	0.615	0.380		
6	25.57	0.953	0.650	0.435	0.641	0.387		
7	28.57	0.980	0.680	0.450	0.657	0.404		
8	31.57	0.998	0.690	0.457	0.675	0.414		
9	34.57	1.000	0.686	0.459	0.672	0.411		
10	37.57	0.987	0.683	0.462	0.668	0.410		
11	40.57	0.956	0.657	0.441	0.655	0.399		
12	43.57	0.907	0.644	0.431	0.629	0.380		
13	46.57	0.816	0.604	0.409	0.576	0.365		
14	49.57	0.620	0.556	0.392	0.479	0.344		
15	52.57	0.469	0.503	0.368	0.393	0.315		
16	55.57	0.427	0.467	0.343	0.360	0.300		
17	58.57	0.381	0.428	0.311	0.336	0.267		
18	61.57	0.347	0.387	0.285	0.312	0.241		
19	64.57	0.303	0.348	0.255	0.270	0.215		
20	67.57	0.248	0.299	0.233	0.218	0.195		
21	70.57	0.165	0.252	0.202	0.173	0.168		
22	73.57	0.127	0.208	0.177	0.119	0.142		
23	76.57	0.095	0.176	0.157	0.094	0.117		
24	82.57	0.064	0.125	0.115	0.064	0.085		
25	88.57	0.045	0.090	0.086	0.046	0.061		
26	94.57	0.033	0.064	0.063	0.032	0.042		
27	100.57	0.023	0.047	0.045	0.027	0.033		
28	106.57	0.016	0.033	0.030	0.018	0.024		
29	112.57	0.013	0.024	0.022	0.014	0.013		
30	118.57	0.009	0.018	0.018	0.012	0.013		
31	124.57	0.006	0.012	0.012	0.008	0.006		
32	130.57	0.004	0.008	0.008	0.006	0.005		
33	136.57	0.003	0.006	0.005	0.003	0.003		
34	142.57	0.001	0.003	0.002	0.003	0.004		

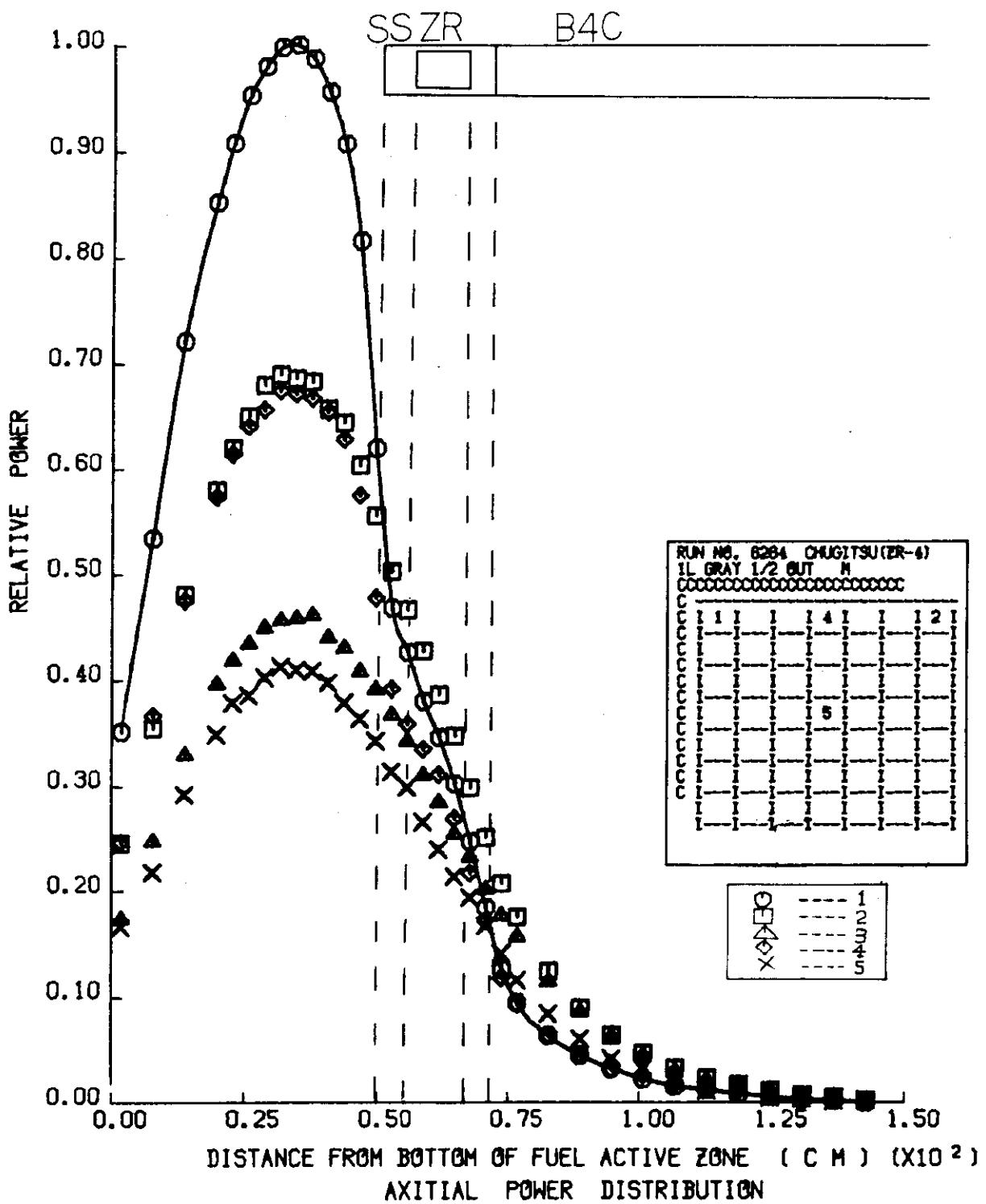


Fig. A.2.3.28 Axial power distribution for Zry type (1L), (72) cm withdrawal

Table A.2.3.13 Axial power distribution for Al type  
(2L), (72) cm withdrawal

CHUKU-1L GRAY(AL-LARGE) 1/2-OUT SUICHOKU(4IPOINTS) POWER(SUIHEI,3POINTS)

RUN NO.6325 (1978.5.26) GMEMO E039

\*\*\*\*\*  
\*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.347	0.235	0.229				
2	7.57	0.514	0.340	0.340				
3	13.57	0.695	0.449	0.445				
4	19.57	0.836	0.543	0.536				
5	22.57	0.892	0.576	0.571				
6	25.57	0.934	0.602	0.602				
7	28.57	0.978	0.626	0.623				
8	31.57	1.000	0.642	0.635				
9	34.57	0.986	0.646	0.637				
10	37.57	0.899	0.641	0.607				
11	40.57	0.814	0.617	0.567				
12	43.57	0.763	0.605	0.545				
13	46.57	0.725	0.577	0.515				
14	49.57	0.684	0.549	0.493				
15	52.57	0.612	0.518	0.456				
16	55.57	0.536	0.463	0.407				
17	58.57	0.454	0.433	0.374				
18	61.57	0.394	0.385	0.334				
19	64.57	0.336	0.346	0.285				
20	67.57	0.269	0.294	0.223				
21	70.57	0.197	0.247	0.167				
22	73.57	0.133	0.196	0.120				
23	76.57	0.099	0.161	0.094				
24	79.57	0.077	0.135	0.075				
25	82.57	0.064	0.118	0.065				
26	85.57	0.054	0.099	0.050				
27	88.57	0.045	0.085	0.046				
28	91.57	0.038	0.071	0.039				
29	94.57	0.031	0.060	0.033				
30	97.57	0.026	0.051	0.027				
31	100.57	0.023	0.042	0.023				
32	103.57	0.020	0.036	0.021				
33	106.57	0.016	0.031	0.018				
34	109.57	0.014	0.027	0.013				
35	112.57	0.013	0.022	0.010				
36	115.57	0.010	0.019	0.011				
37	118.57	0.008	0.016	0.009				
38	124.57	0.006	0.011	0.007				
39	130.57	0.005	0.008	0.003				
40	136.57	0.003	0.005	0.002				
41	142.57	0.001	0.003	-0.000				

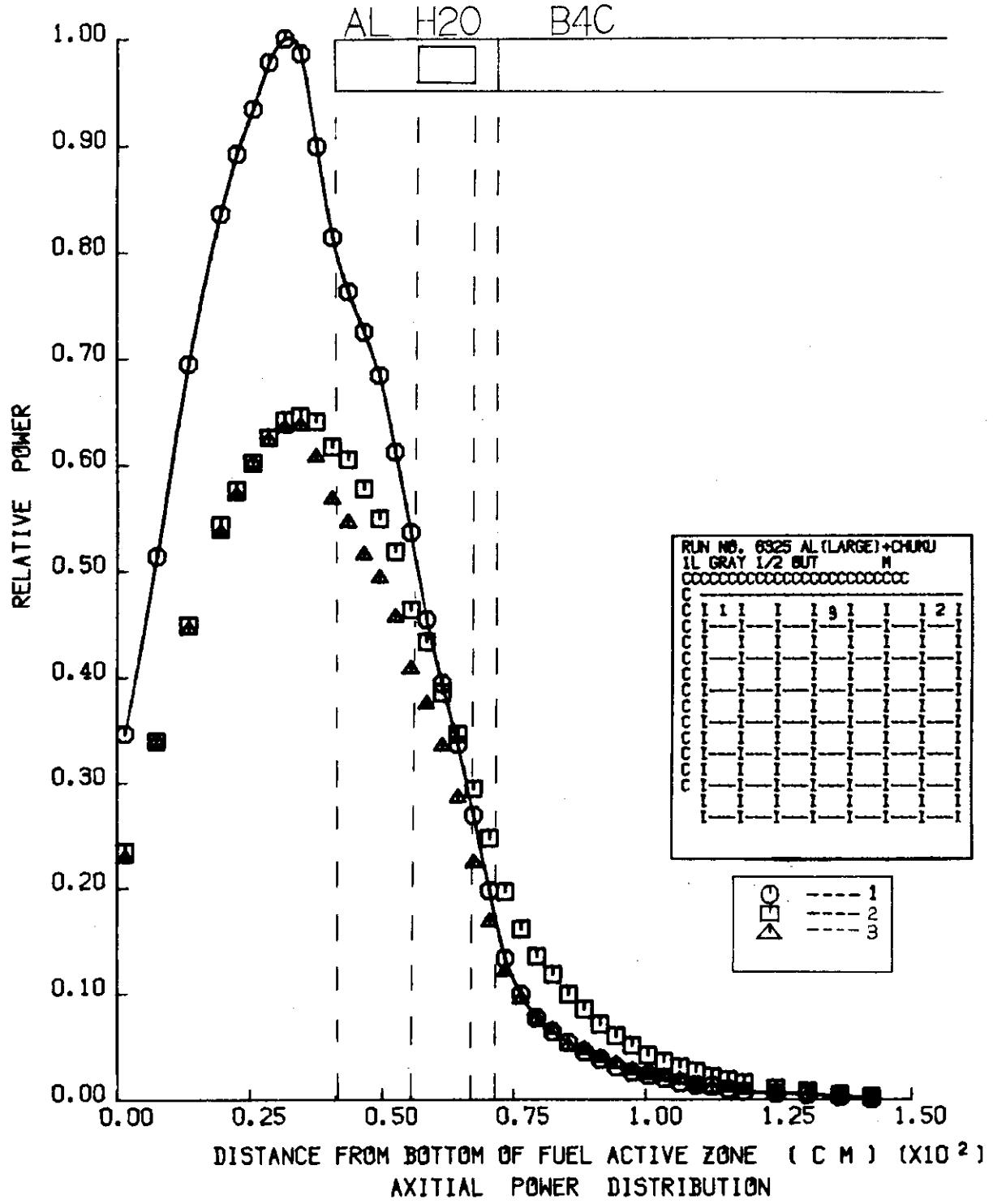


Fig. A.2.3.29 Axial power distribution for Al type  
 $(2L)$ ,  $(72)$  cm withdrawal

Table A.2.3.14 Axial power distribution for Al type  
(1L), (72) cm withdrawal

CHUKU-1L GRAY(AL-SMALL) 1/2-OUT SUICHOKU(41POINTS) POWER(SUIHEI,3POINTS)

RUN NO.L326 (1978.5.29) GMEMO E040

\*\*\*\*\*  
\* \*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\* \*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.350	0.245	0.249				
2	7.57	0.515	0.361	0.354				
3	13.57	0.701	0.480	0.478				
4	19.57	0.833	0.589	0.569				
5	22.57	0.895	0.625	0.615				
6	25.57	0.939	0.657	0.647				
7	28.57	0.976	0.681	0.670				
8	31.57	0.990	0.695	0.674				
9	34.57	1.000	0.701	0.689				
10	37.57	0.998	0.708	0.680				
11	40.57	0.975	0.691	0.665				
12	43.57	0.940	0.676	0.650				
13	46.57	0.865	0.645	0.616				
14	49.57	0.753	0.606	0.548				
15	52.57	0.636	0.560	0.486				
16	55.57	0.538	0.517	0.439				
17	58.57	0.457	0.472	0.403				
18	61.57	0.395	0.420	0.347				
19	64.57	0.339	0.378	0.310				
20	67.57	0.268	0.321	0.237				
21	70.57	0.199	0.268	0.180				
22	73.57	0.133	0.216	0.126				
23	76.57	0.099	0.183	0.098				
24	79.57	0.079	0.157	0.082				
25	82.57	0.065	0.126	0.068				
26	85.57	0.056	0.110	0.056				
27	88.57	0.047	0.095	0.048				
28	91.57	0.038	0.078	0.040				
29	94.57	0.032	0.067	0.034				
30	97.57	0.028	0.056	0.030				
31	100.57	0.022	0.048	0.024				
32	103.57	0.020	0.040	0.020				
33	106.57	0.015	0.034	0.019				
34	109.57	0.014	0.028	0.016				
35	112.57	0.011	0.025	0.015				
36	115.57	0.010	0.021	0.010				
37	118.57	0.008	0.018	0.010				
38	124.57	0.006	0.012	0.006				
39	130.57	0.003	0.009	0.004				
40	136.57	0.003	0.005	0.001				
41	142.57	0.002	0.004	0.002				

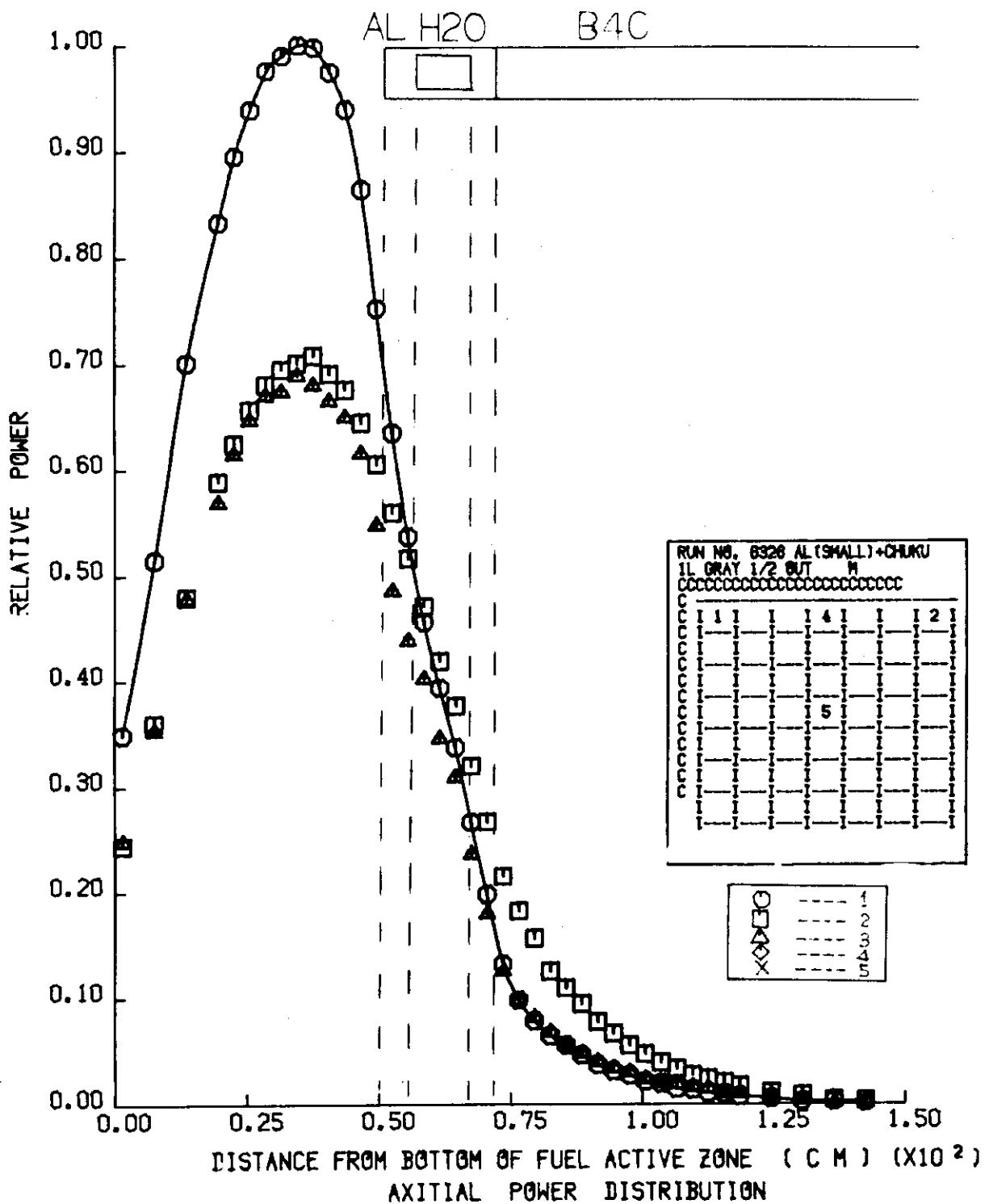


Fig. A.2.3.30 Axial power distribution for Al type (1L), (72) cm withdrawal

Table A.2.3.15 Axial power distribution for cruciform  
handle type (1L), (72) cm withdrawal

JUGIGATA HANDLE TSUKI CHUKU 1L GRAY NOSE C/R 1/2 OUT SUICHOKU(340R19) SUIHEI 5

RUN NO. 6250 (1978.3.6) GMEMO E018

\*\*\*\*\*  
\* \*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\* \*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.376	0.287	0.267	0.177	0.095		
2	7.57	0.567	0.379	0.382	0.257	0.147		
3	13.57	0.751	0.511	0.518	0.366	0.185		
4	19.57	0.887	0.603	0.613	0.412	0.227		
5	22.57	0.935	0.634	0.645	0.0	0.0		
6	25.57	0.967	0.668	0.682	0.452	0.264		
7	28.57	0.995	0.676	0.700	0.0	0.0		
8	31.57	1.000	0.690	0.696	0.469	0.266		
9	34.57	0.984	0.677	0.701	0.0	0.0		
10	37.57	0.911	0.659	0.688	0.464	0.256		
11	40.57	0.733	0.590	0.647	0.0	0.0		
12	43.57	0.710	0.512	0.626	0.445	0.249		
13	46.57	0.752	0.457	0.573	0.0	0.0		
14	49.57	0.702	0.414	0.532	0.398	0.223		
15	52.57	0.569	0.392	0.487	0.0	0.0		
16	55.57	0.465	0.373	0.464	0.349	0.202		
17	58.57	0.420	0.361	0.431	0.0	0.0		
18	61.57	0.377	0.345	0.397	0.294	0.167		
19	64.57	0.324	0.295	0.353	0.0	0.0		
20	67.57	0.259	0.248	0.312	0.242	0.146		
21	70.57	0.194	0.191	0.265	0.0	0.0		
22	73.57	0.139	0.139	0.223	0.185	0.117		
23	76.57	0.104	0.110	0.182	0.0	0.0		
24	82.57	0.070	0.076	0.138	0.122	0.078		
25	88.57	0.050	0.057	0.103	0.0	0.0		
26	94.57	0.037	0.044	0.071	0.070	0.044		
27	100.57	0.029	0.029	0.054	0.0	0.0		
28	106.57	0.023	0.023	0.040	0.041	0.025		
29	112.57	0.017	0.017	0.031	0.0	0.0		
30	118.57	0.012	0.014	0.024	0.019	0.014		
31	124.57	0.010	0.010	0.019	0.0	0.0		
32	130.57	0.008	0.007	0.012	0.008	0.006		
33	136.57	0.006	0.004	0.012	0.0	0.0		
34	142.57	0.005	0.003	0.007	0.006	0.001		

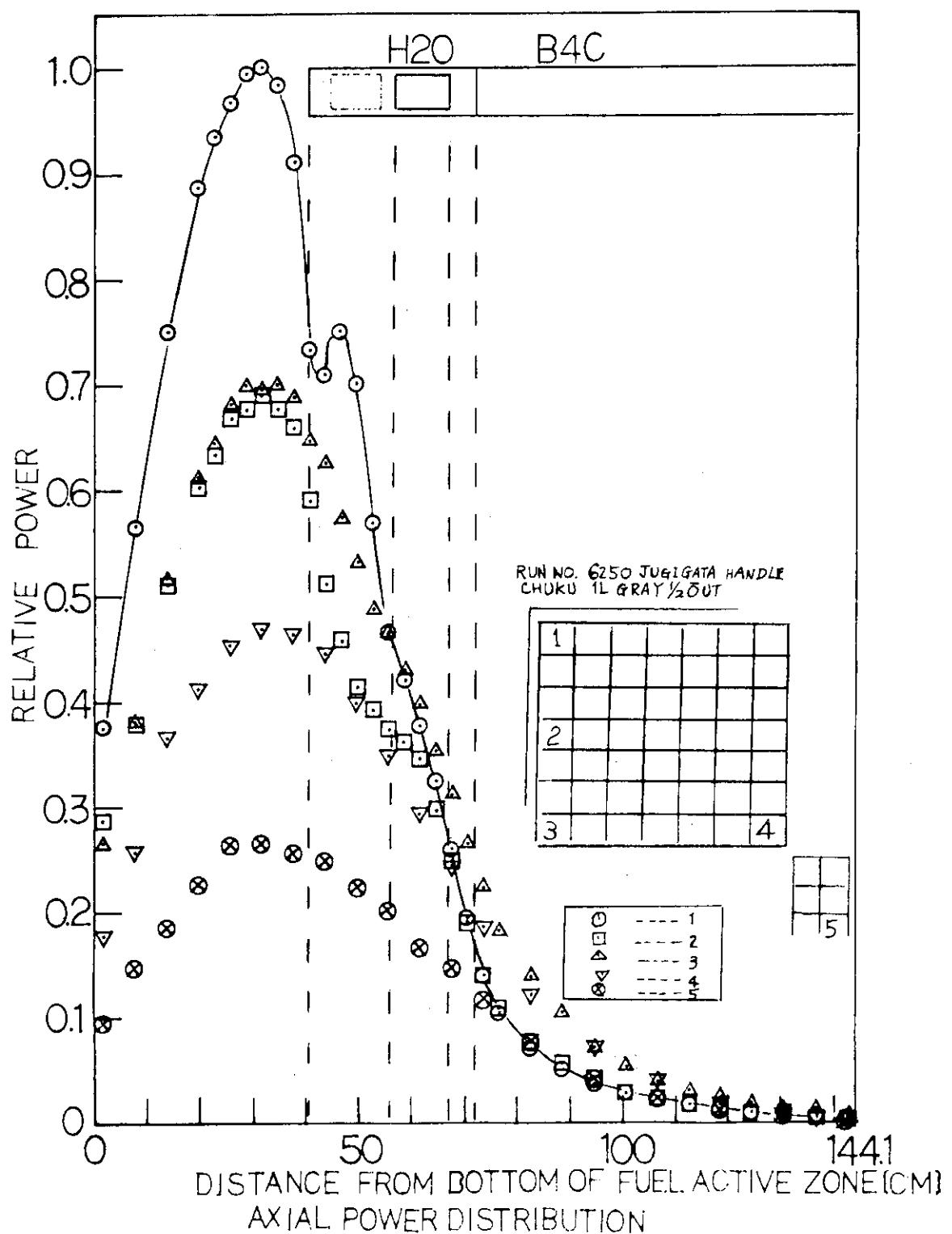


Fig. A.2.3.31 Axial power distribution for cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal

Fig. A.2.3.32 Radial power distribution in assembly for cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal

WIDE-WIDE

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 2.637 * 2.125 * 2.077 * 1.961 * 1.909 * 1.989 * 2.099 * 1.323 * 1.202 * 1.222 * 1.164 * 1.108 * 1.182 * 1.1263 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 1.734 * 1.612 * 1.468 * 1.422 * 1.493 * 1.650 * 1.249 * 1.045 * 1.015 * 0.920 * 0.895 * 0.942 * 1.067 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 1.492 * 1.388 * 1.312 * 1.341 * 1.521 * 1.180 * 1.006 * 0.941 * 0.899 * 0.854 * 0.995 * 0.95 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 1.257 * 1.262 * 1.239 * 1.412 * 1.171 * 0.944 * 0.863 * 0.820 * 0.819 * 0.822 * 0.932 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 1.242 * 1.238 * 1.375 * 1.160 * 0.940 * 0.862 * 0.827 * 0.814 * 0.825 * 0.921 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 1.237 * 1.366 * 1.247 * 0.993 * 0.858 * 0.816 * 0.826 * 0.836 * 0.936 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 * 1.477 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

NARROW-NARROW

( A )

WIDE-WIDE

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 0.289 * 0.287 * 0.290 * 0.303 * 0.315 * 0.304 * 0.536 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* RADIAL POWER DISTRIBUTION
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 0.324 * 0.336 * 0.340 * 0.357 * 0.377 * 0.468 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

```
*****
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
* 0.364 * 0.367 * 0.371 * 0.381 * 0.461 *
*   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
```

CHUKU-1L GRAY(X-HANDLE) 1/2-OUT SUTHEI LOCAL,29,49POINTS)POWER(SUICHOKU,3POINTS)

RUN NO.6267 (1978.4.17) SHM0 E033

NARROW-NARROW

( C )

NARROW-NARROW

( D )

Fig. A. 2.3.33 One point normalized radial power distribution in assembly  
for cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal

Table A.2.3.16 Axial power distribution for cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal

JUGI-GATA-HANDLE TSUKI CHUKU 1L GRAY NOSE C/R 1/2-OUT SUICHOKU(19POINTS)SUIHEI7

RUN NO. 6266 (1978.4.14) GMEMO E032

\*\*\*\*\*  
\* \*  
\* AXITIAL POWER DISTRIBUTION \*  
\* \*  
\*\*\*\*\*

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.264	0.268	0.378	0.267	0.268	0.176	0.184
2	7.57	0.377	0.375	0.557	0.378	0.388	0.236	0.266
3	13.57	0.495	0.500	0.750	0.507	0.520	0.311	0.356
4	19.57	0.596	0.599	0.892	0.597	0.626	0.366	0.421
5	25.57	0.655	0.659	0.975	0.661	0.695	0.407	0.466
6	31.57	0.667	0.682	1.000	0.680	0.718	0.418	0.483
7	37.57	0.646	0.650	0.927	0.663	0.705	0.408	0.478
8	43.57	0.577	0.510	0.712	0.501	0.641	0.372	0.442
9	49.57	0.492	0.412	0.713	0.417	0.536	0.338	0.406
10	55.57	0.433	0.360	0.466	0.368	0.472	0.286	0.354
11	61.57	0.363	0.330	0.373	0.334	0.414	0.240	0.299
12	67.57	0.288	0.241	0.257	0.243	0.327	0.193	0.251
13	73.57	0.200	0.131	0.133	0.134	0.229	0.145	0.187
14	82.57	0.123	0.071	0.068	0.073	0.139	0.087	0.123
15	94.57	0.067	0.039	0.035	0.039	0.072	0.045	0.069
16	106.57	0.036	0.020	0.019	0.020	0.039	0.023	0.037
17	118.57	0.018	0.012	0.010	0.010	0.019	0.013	0.019
18	130.57	0.010	0.005	0.006	0.006	0.011	0.006	0.010
19	142.57	0.004	0.002	0.002	0.002	0.004	0.003	0.005

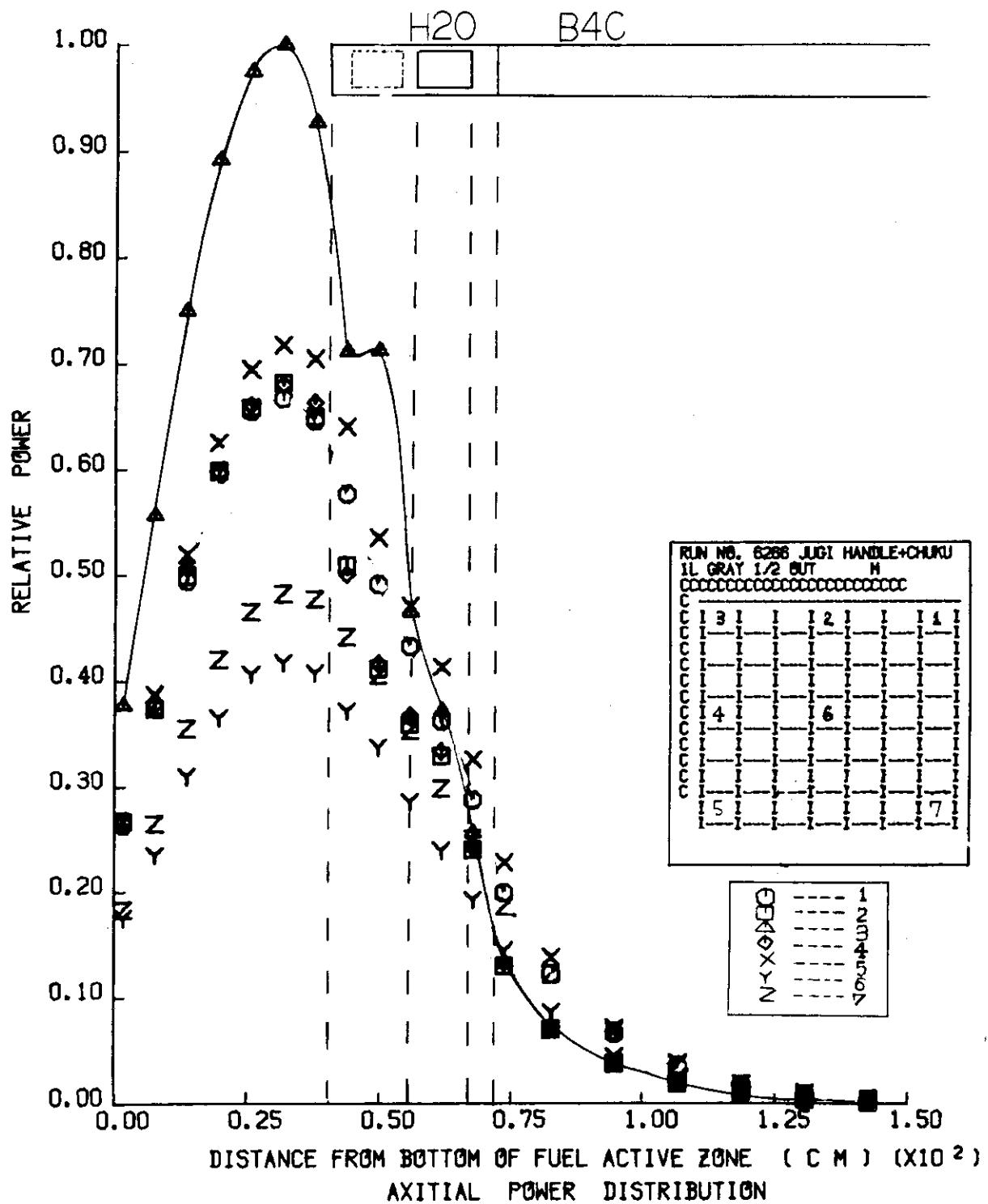


Fig. A.2.3.34 Axial power distribution for cruciform handle type (1L), (72) cm withdrawal

Table A.2.3.17 Axial power distribution for cruciform  
handle type (1L), (72+15) cm withdrawal

CHUKU-1L GRAY(X-HANDLE) 1/2-OUT+150 SUICHOKU(4IPOINTS) POWER(SUIHEI,3POINTS)

RUN NO.6320 (1978.5.22) GMEMO E038

```
*****
*          *
* AXITIAL POWER DISTRIBUTION   *
*          *
*****
```

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.319	0.229	0.228				
2	7.57	0.481	0.335	0.329				
3	13.57	0.651	0.452	0.440				
4	19.57	0.791	0.556	0.522				
5	22.57	0.843	0.588	0.573				
6	25.57	0.901	0.622	0.604				
7	28.57	0.945	0.650	0.631				
8	31.57	0.972	0.672	0.643				
9	34.57	0.992	0.687	0.661				
10	37.57	1.000	0.695	0.665				
11	40.57	0.993	0.689	0.665				
12	43.57	0.979	0.679	0.656				
13	46.57	0.952	0.660	0.635				
14	49.57	0.901	0.638	0.606				
15	52.57	0.827	0.611	0.571				
16	55.57	0.660	0.574	0.505				
17	58.57	0.601	0.530	0.423				
18	61.57	0.622	0.475	0.358				
19	64.57	0.575	0.433	0.329				
20	67.57	0.454	0.396	0.297				
21	70.57	0.349	0.356	0.277				
22	73.57	0.310	0.331	0.270				
23	76.57	0.272	0.292	0.245				
24	79.57	0.233	0.262	0.208				
25	82.57	0.180	0.217	0.159				
26	85.57	0.134	0.185	0.124				
27	88.57	0.094	0.151	0.086				
28	91.57	0.069	0.125	0.068				
29	94.57	0.052	0.107	0.055				
30	97.57	0.043	0.086	0.042				
31	100.57	0.037	0.072	0.036				
32	103.57	0.029	0.062	0.031				
33	106.57	0.025	0.049	0.024				
34	109.57	0.021	0.045	0.024				
35	112.57	0.018	0.035	0.019				
36	115.57	0.013	0.032	0.017				
37	118.57	0.012	0.026	0.009				
38	121.57	0.009	0.018	0.009				
39	124.57	0.006	0.012	0.006				
40	127.57	0.003	0.007	0.003				
41	130.57	0.002	0.004	0.002				

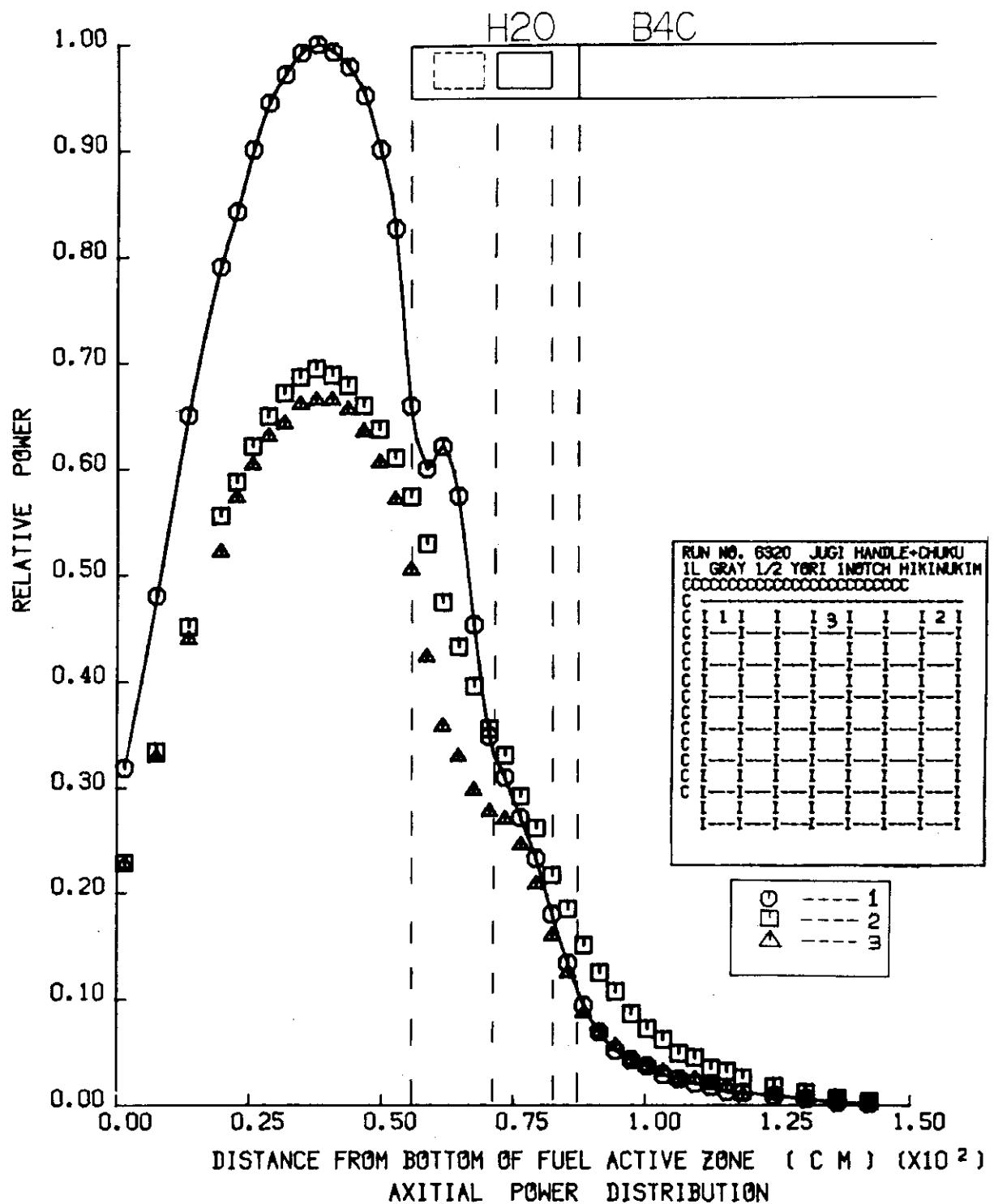


Fig. A.2.3.35 Axial power distribution for cruciform handle type (1L), (72+15) cm withdrawal

Table A.2.3.18 Axial power distribution for cruciform handle type (1L), (72+30) cm withdrawal

CHUKU-1L GRAY(X-HANDLE) 1/2-OUT+300 SUICHOKU(41POINTS) POOWE(SUIHEI,3POINTS) 132

RUN NO.6319 (1978.5.19) GMEMO E037

```
*****
*          *
* AXITIAL POWER DISTRIBUTION   *
*          *
*****
```

K	DIST.	ROD NO.1	ROD NO.2	ROD NO.3	ROD NO.4	ROD NO.5	ROD NO.6	ROD NO.7
1	1.57	0.283	0.198	0.192				
2	7.57	0.425	0.292	0.278				
3	13.57	0.579	0.388	0.374				
4	19.57	0.712	0.487	0.459				
5	22.57	0.772	0.532	0.499				
6	25.57	0.829	0.560	0.533				
7	28.57	0.878	0.592	0.562				
8	31.57	0.916	0.611	0.586				
9	34.57	0.954	0.638	0.605				
10	37.57	0.974	0.650	0.614				
11	40.57	0.992	0.656	0.628				
12	43.57	1.000	0.668	0.628				
13	46.57	0.996	0.667	0.631				
14	49.57	0.988	0.659	0.620				
15	52.57	0.973	0.644	0.608				
16	55.57	0.949	0.629	0.591				
17	58.57	0.916	0.606	0.575				
18	61.57	0.865	0.578	0.552				
19	64.57	0.816	0.542	0.520				
20	67.57	0.735	0.498	0.489				
21	70.57	0.594	0.437	0.453				
22	73.57	0.514	0.358	0.402				
23	76.57	0.527	0.305	0.362				
24	79.57	0.471	0.270	0.317				
25	82.57	0.375	0.243	0.290				
26	85.57	0.291	0.226	0.260				
27	88.57	0.253	0.209	0.237				
28	91.57	0.219	0.187	0.210				
29	94.57	0.187	0.156	0.184				
30	97.57	0.144	0.125	0.152				
31	100.57	0.105	0.090	0.129				
32	103.57	0.071	0.065	0.106				
33	106.57	0.051	0.051	0.085				
34	109.57	0.041	0.040	0.067				
35	112.57	0.033	0.035	0.057				
36	115.57	0.026	0.029	0.048				
37	118.57	0.021	0.025	0.040				
38	124.57	0.015	0.014	0.027				
39	130.57	0.010	0.009	0.017				
40	136.57	0.006	0.006	0.010				
41	142.57	0.003	0.003	0.005				

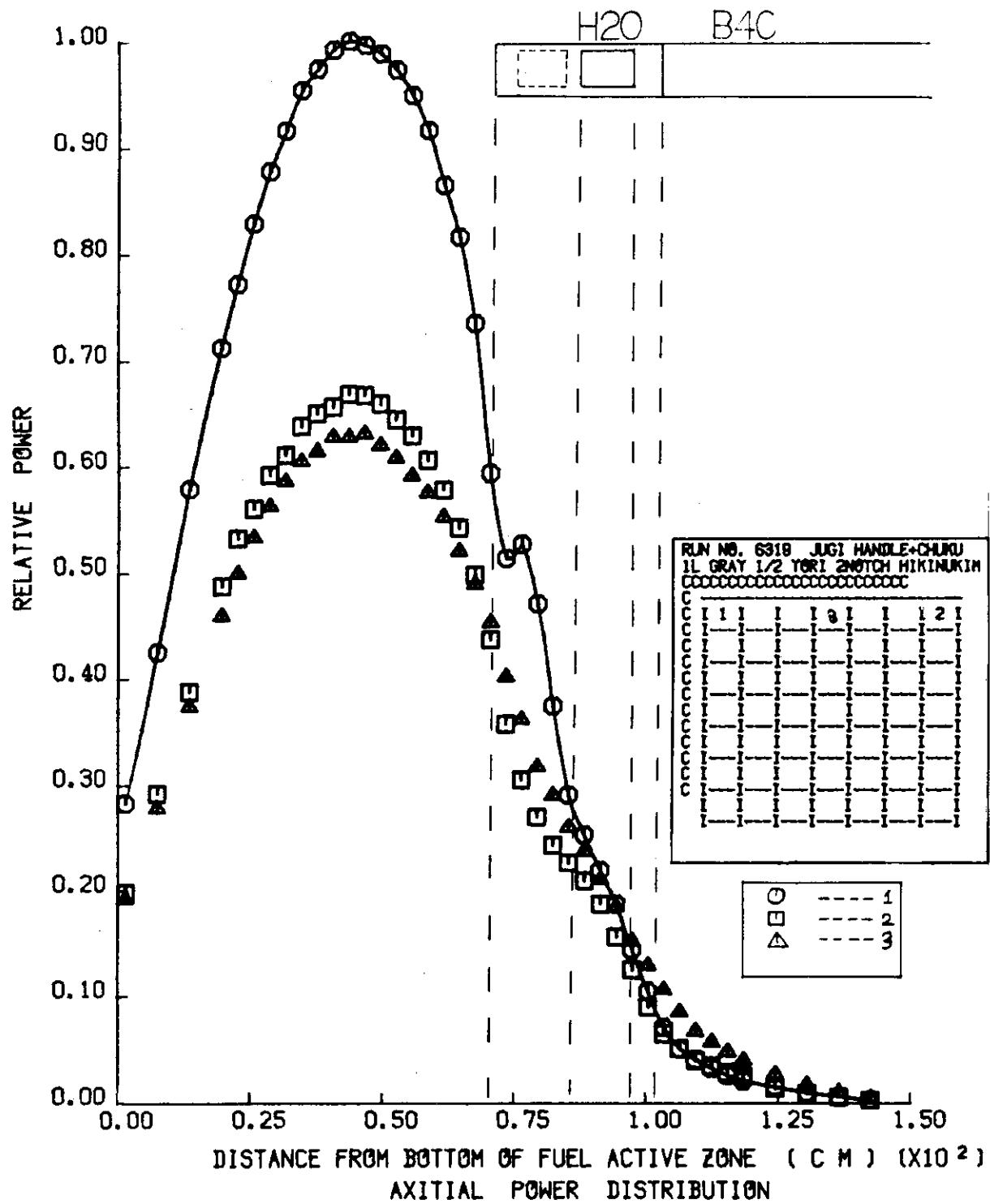


Fig. A.2.3.36 Axial power distribution for cruciform handle type (1L), (72+30) cm withdrawal

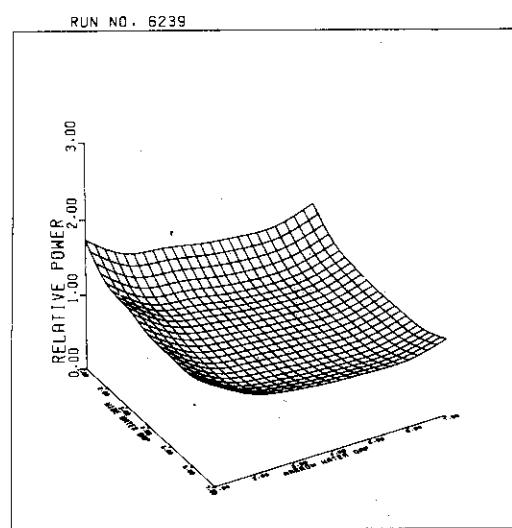


Fig. A.2.3.37 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for control rod full out core

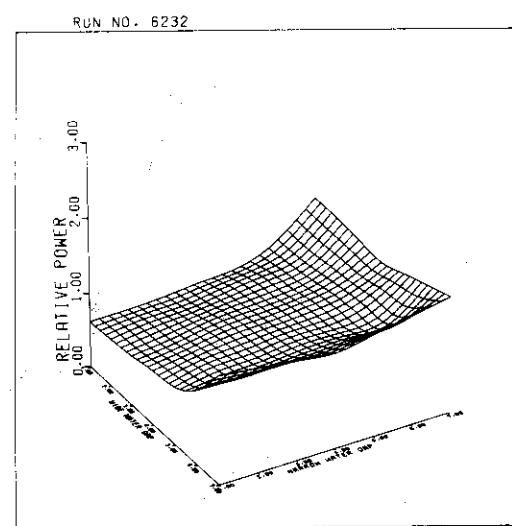


Fig. A.2.3.38 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for control rod full in core

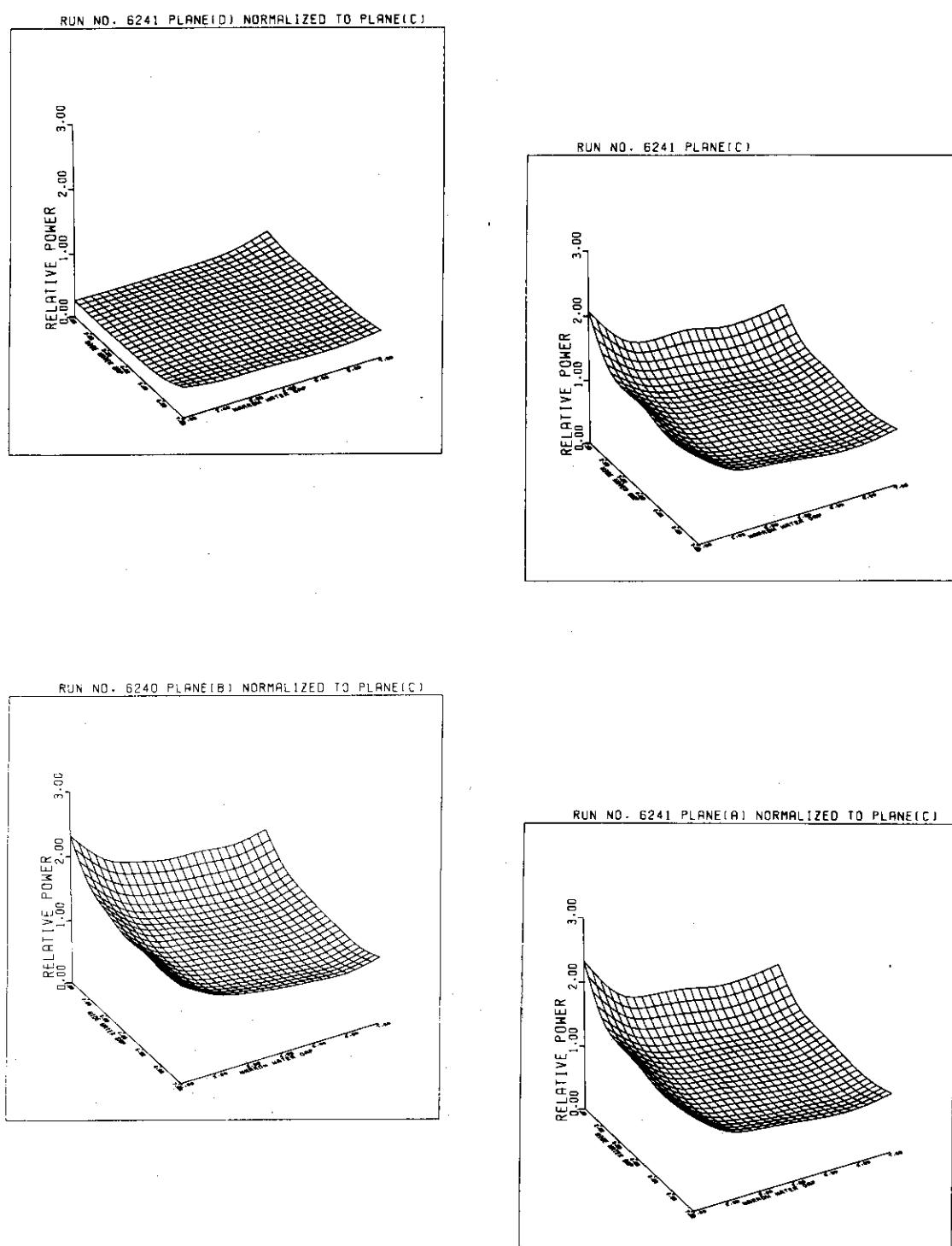


Fig. A.2.3.39 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for conventional type (72) cm withdrawal

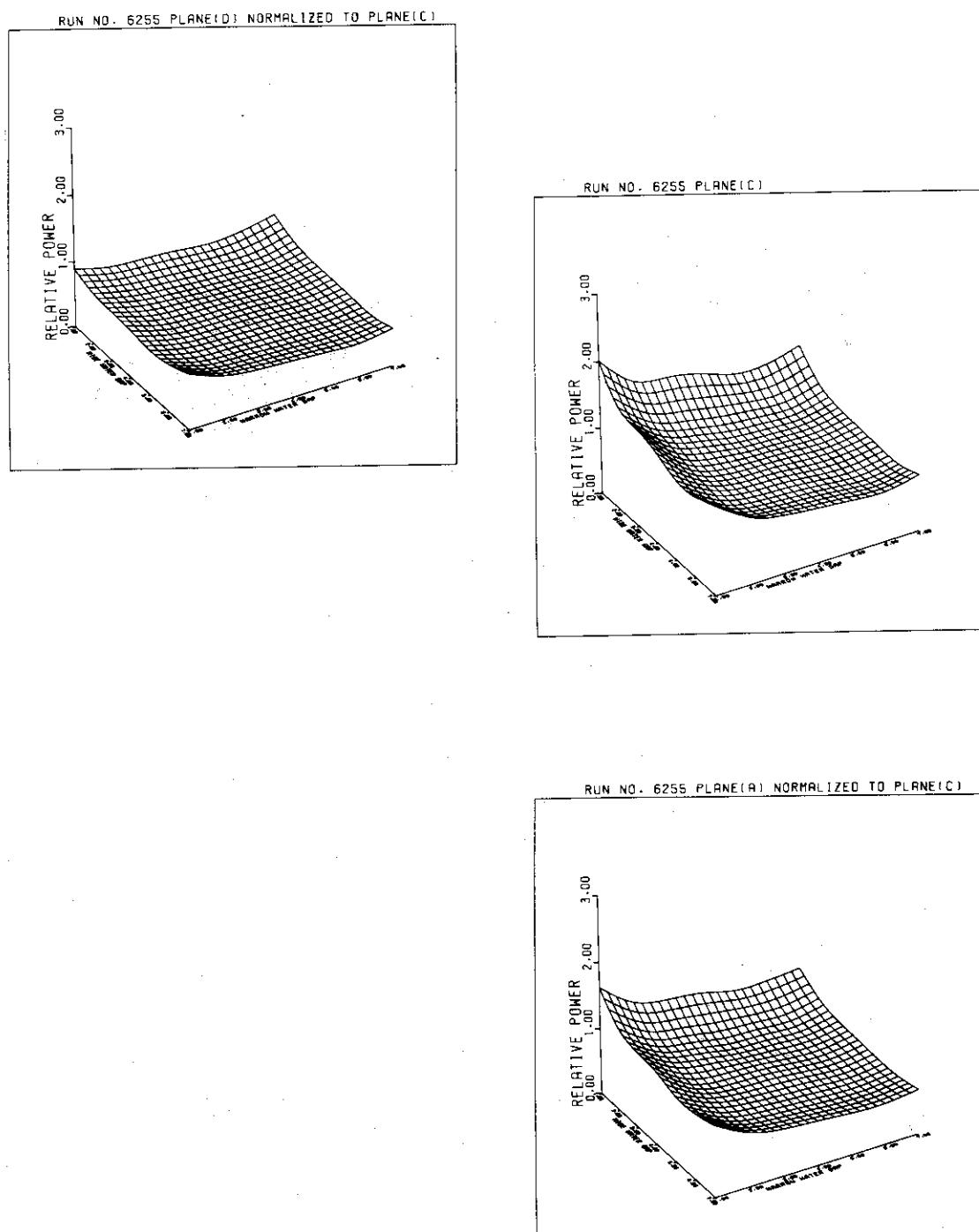


Fig. A.2.3.40 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for conventional type (72+15) cm withdrawal

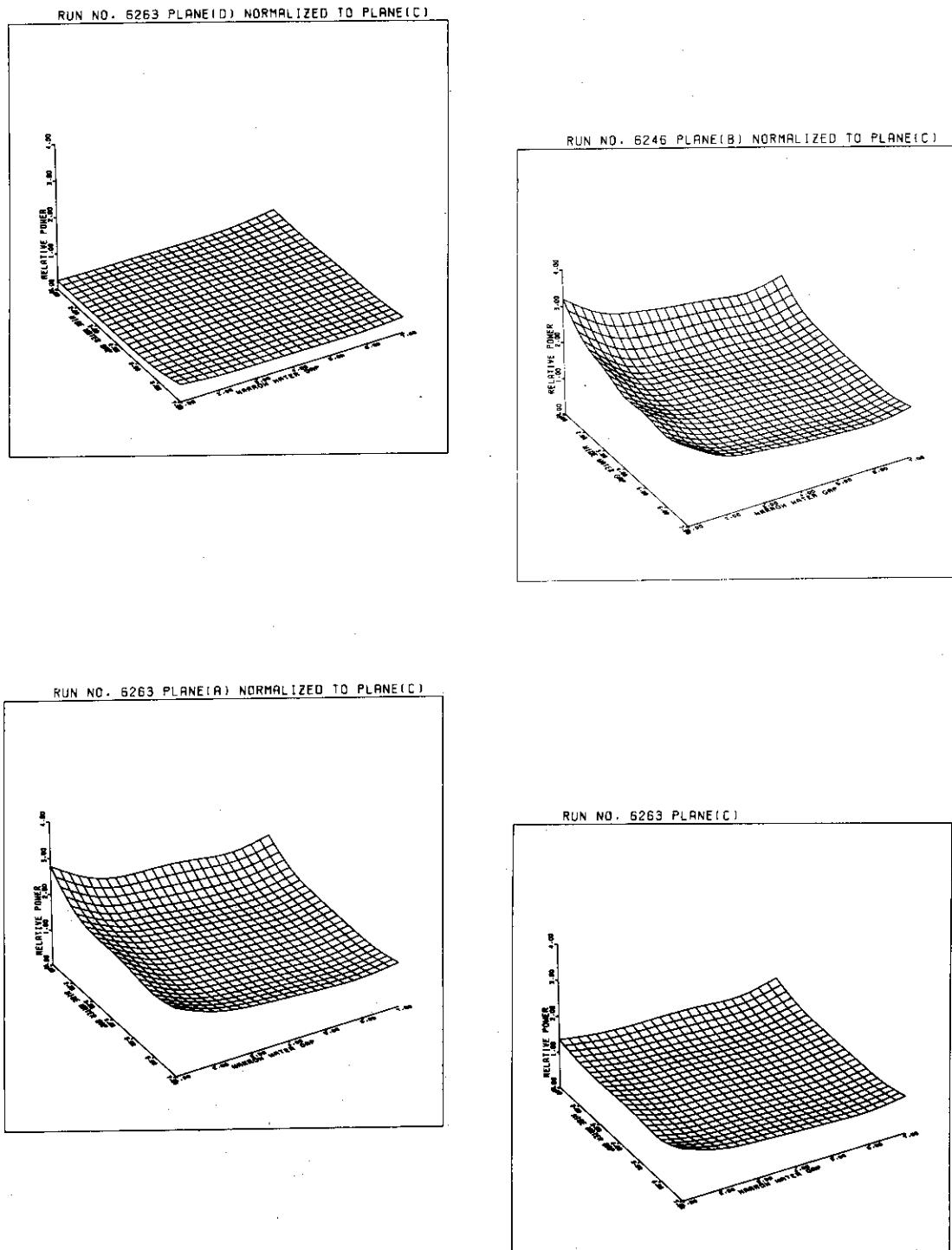


Fig. A.2.3.41 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for sheath type (1L), (72) cm withdrawal

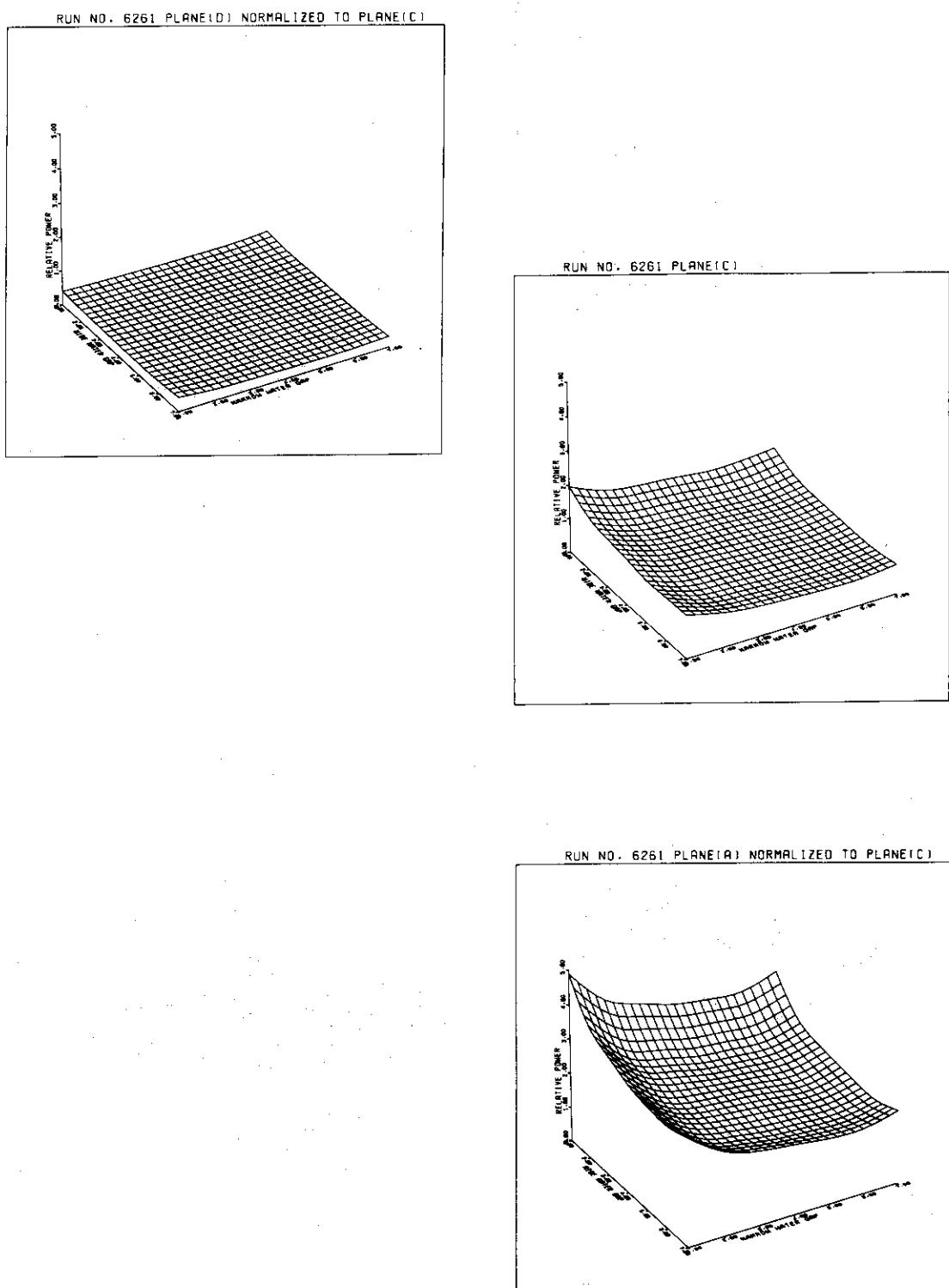


Fig. A.2.3.42 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for sheath type (1L), (72+15) cm withdrawal

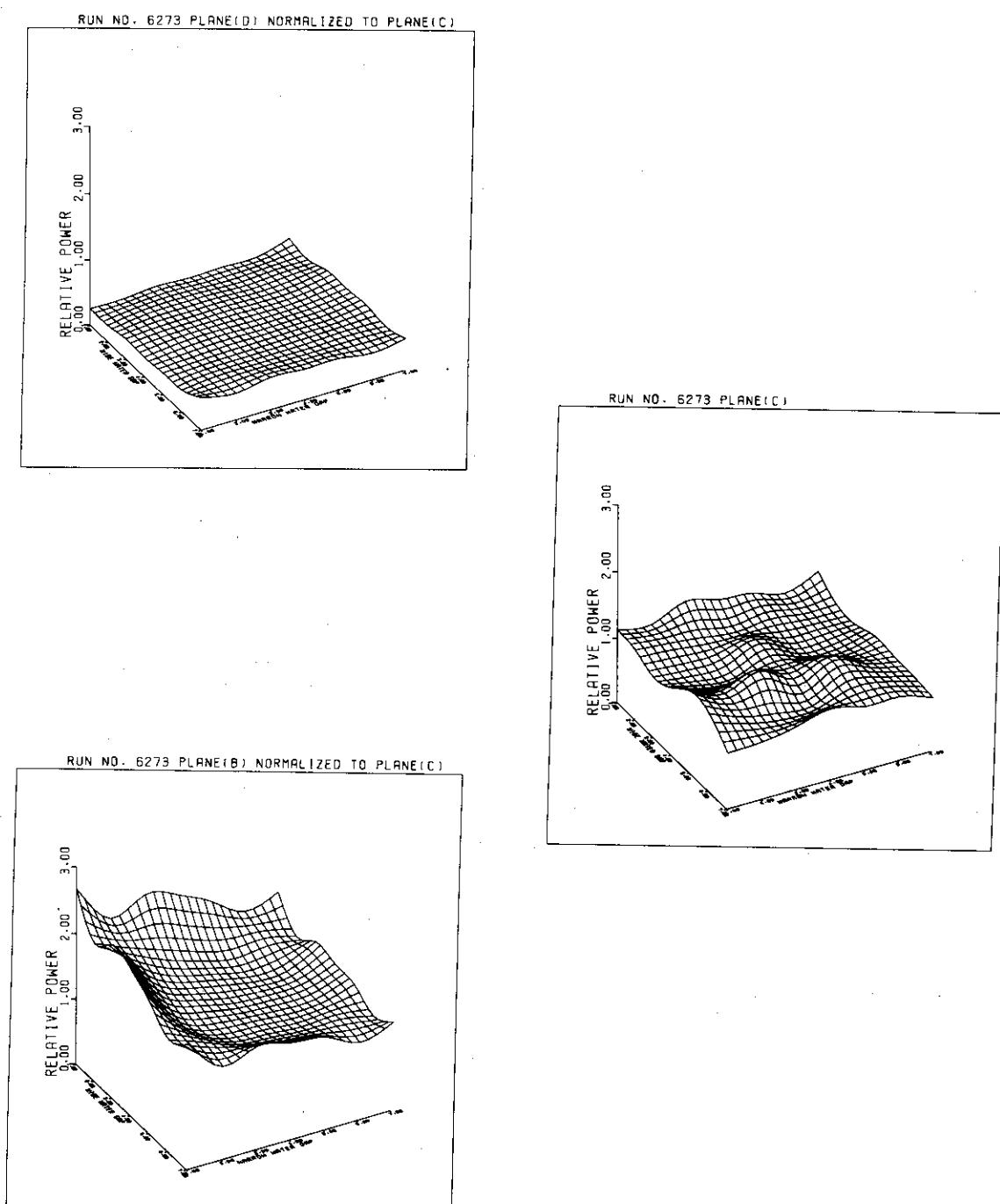


Fig. A.2.3.43 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for sheath type (1L), (72) cm withdrawal

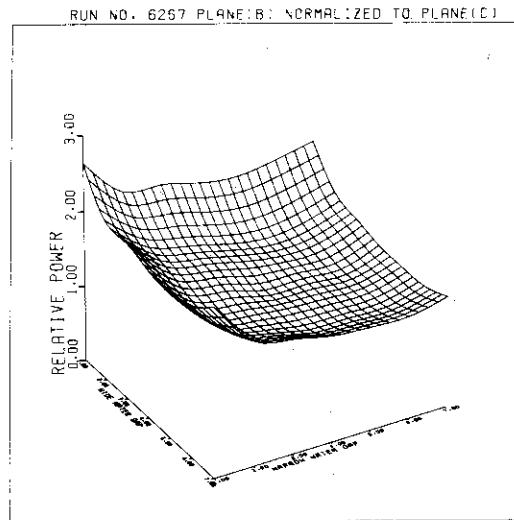
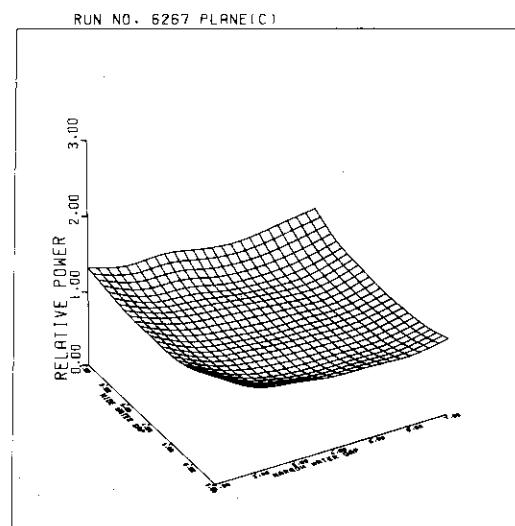
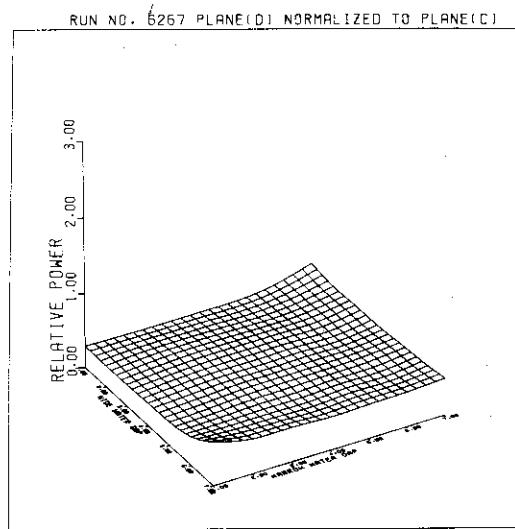


Fig. A.2.3.44 Three dimensional figure of radial power distribution in assembly for cruciform handle type (72) cm withdrawal

### A.3 実験用機材の構造

本実験を実施するにあたり、新しく製作した機材の図面を集録した。

#### 図面目次

- Fig. A.3-1 内燃料格子板
- Fig. A.3-2 チャンネルボックス
- Fig. A.3-3 SPACR-(1)
- Fig. A.3-4 SPACR-(2)
- Fig. A.3-5 弱吸収体付固定吸収棒
- Fig. A.3-6 中性子吸収材被覆管
- Fig. A.3-7 上部アダプタ
- Fig. A.3-8 シース
- Fig. A.3-9 タイロッド
- Fig. A.3-10 支持棒
- Fig. A.3-11 固定部
- Fig. A.3-12 ジルカロイ-4板
- Fig. A.3-13 ステンレススチール板
- Fig. A.3-14 中性子吸収棒
- Fig. A.3-15 U字型把手付下部アダプタ
- Fig. A.3-16 十字型把手付下部アダプタ
- Fig. A.3-17 十字型容器
- Fig. A.3-18 アルミアダプタ

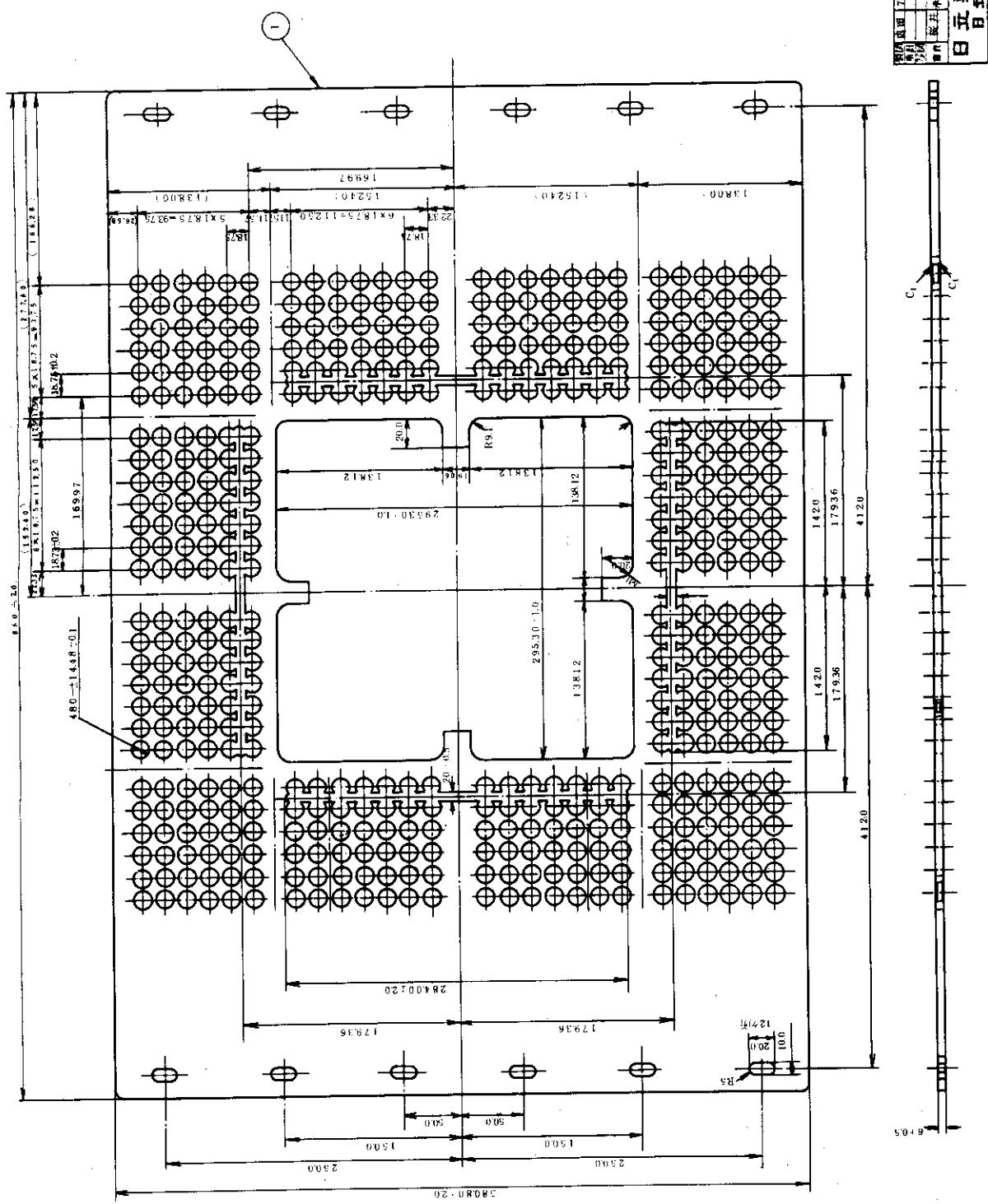


Fig A. 3-1

日元製工所  
百工場

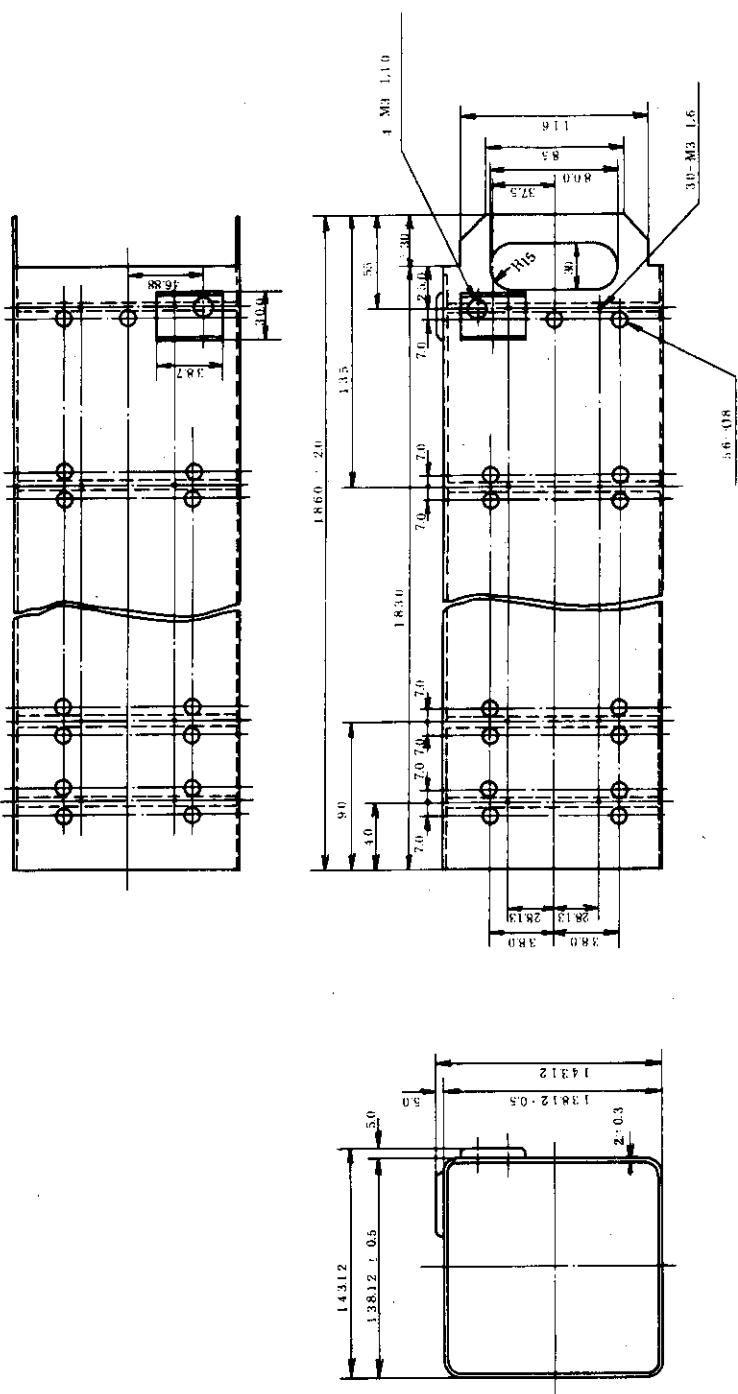


Fig A.3 - 2

日立製作所	五工場	10R-149...565	打正
西野	77-8-12	第三角法 大底 尺度	チャノネルボックス

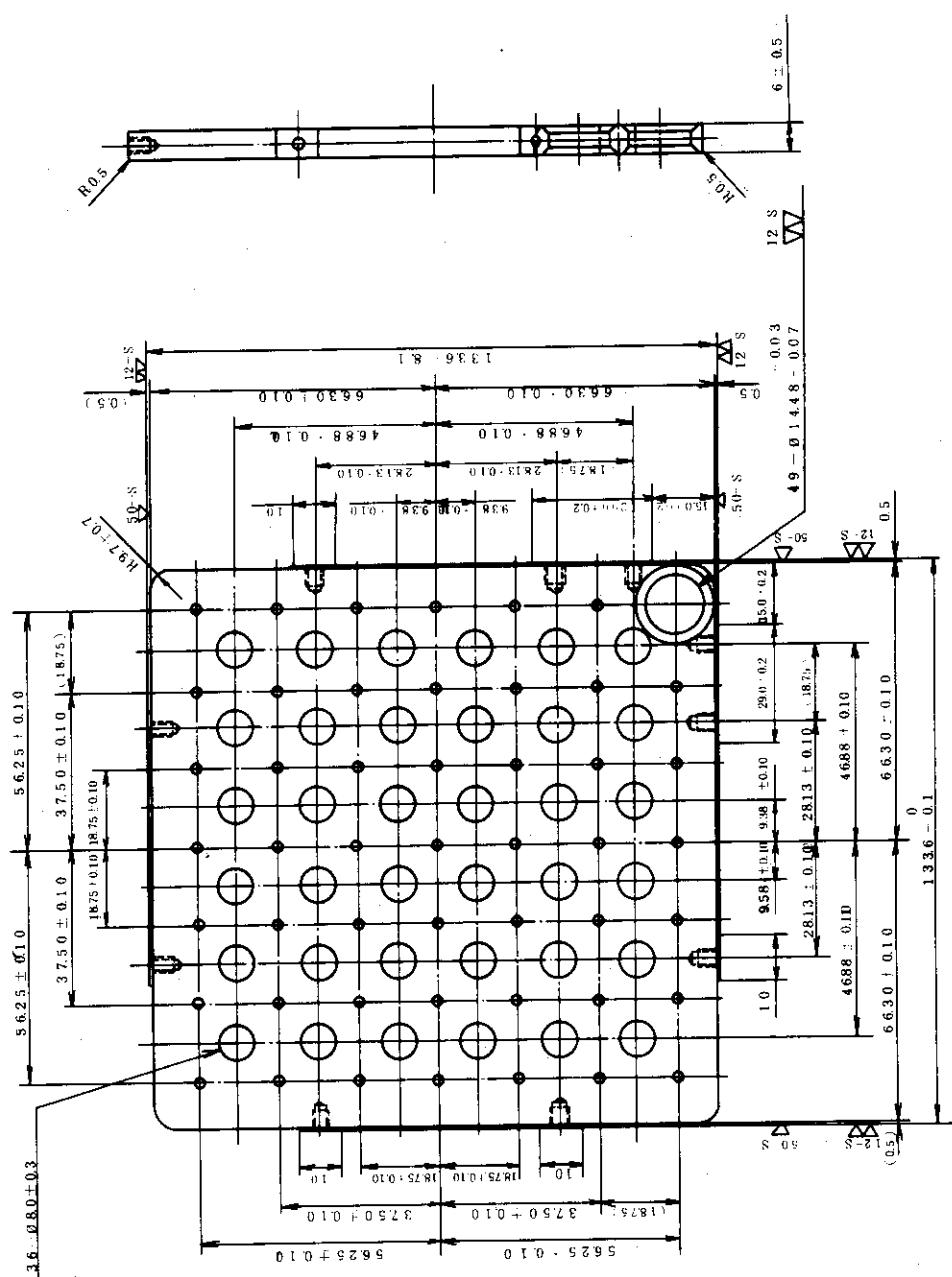


Fig A. 3-3

規格		寸法	製造方法	検査範囲
部品	番号	寸法	方法	範囲
外筒	77-8-12	φ11.12	溶接	11.12 ± 0.05
内筒	77-11-15	φ11.15	溶接	11.15 ± 0.05
蓄電池	77-11-15	φ11.15	溶接	11.15 ± 0.05
取扱	77-11-15	φ11.15	溶接	11.15 ± 0.05
(スペーサ)	(スペーザ)			
取扱長	77-11-15	φ11.15	溶接	11.15 ± 0.05
日元工場				

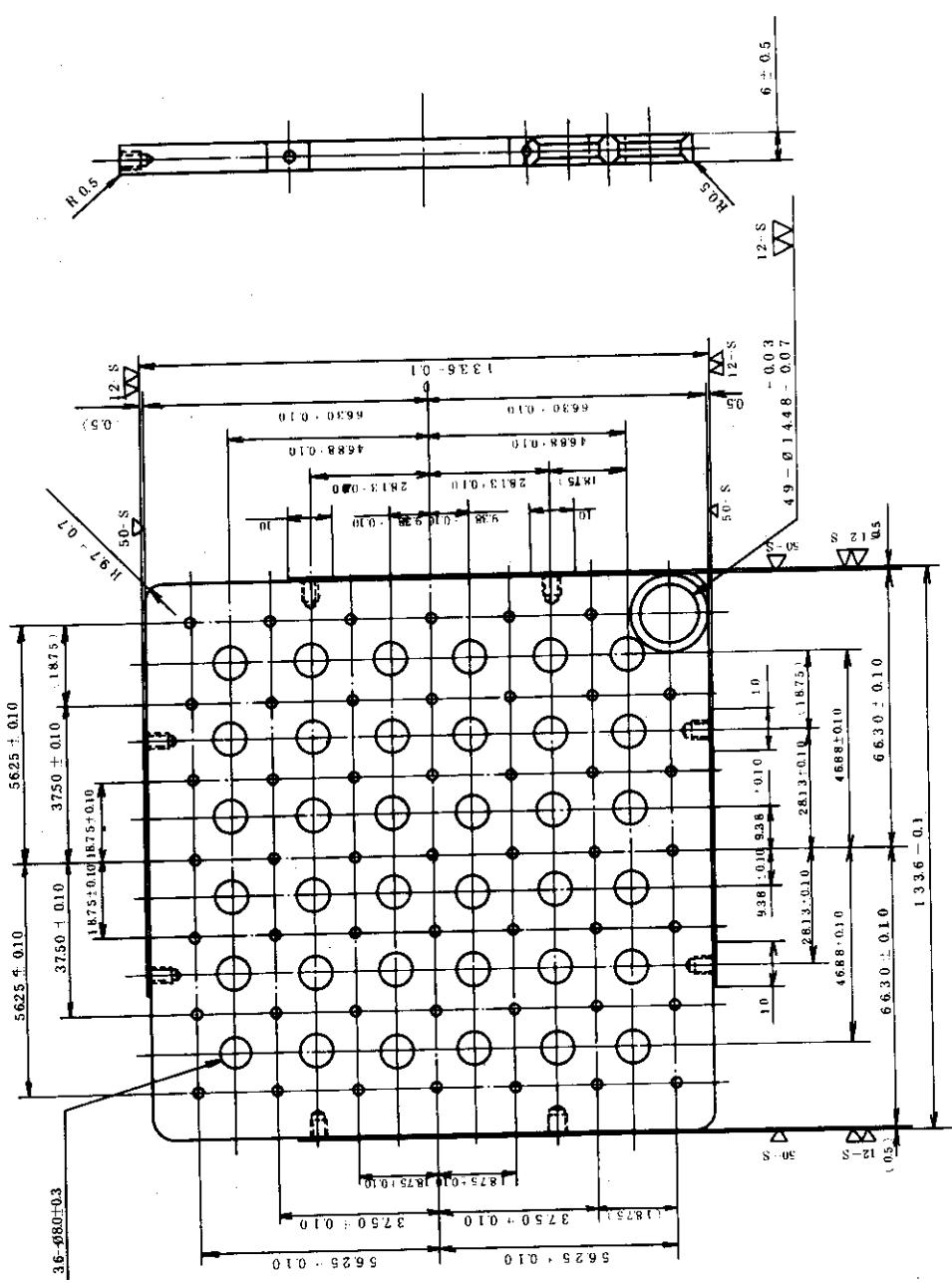
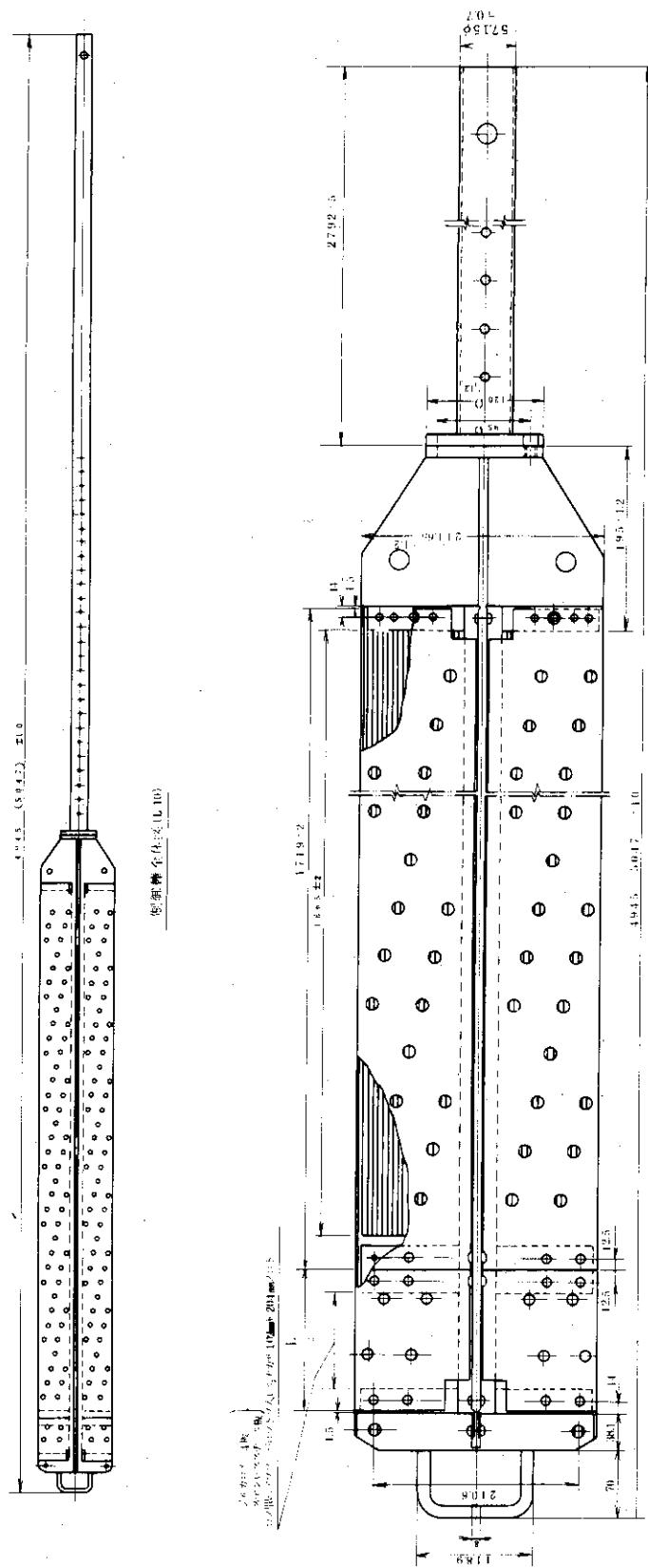


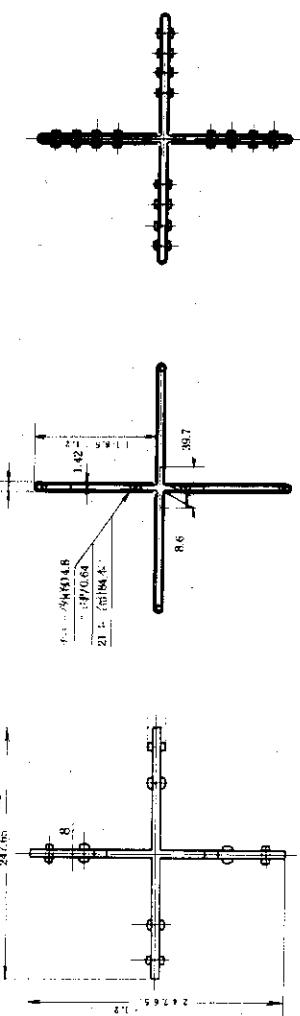
Fig. A.3-4

三 角 法 製図 尺 度		原図 尺 度	
		コード	
原図	開削	7.8-12	SPACR-(2)
蓄蓋	増加	7.11.15	1.0 S-1 97-9 4 1
本體	收	77.11.15	(スペーサ)
日立工場			



日本工場		10K-149-552	
日立製作所		10K-149-552	
材質	SS316L	7.7.8.26	第三方法
密度	7.85	大厚さ	吸収体付固定吸棒
重量	1.5	承認	
強度	1.5	秋本	
疲効	1.5	—	

Fig. A.3-5



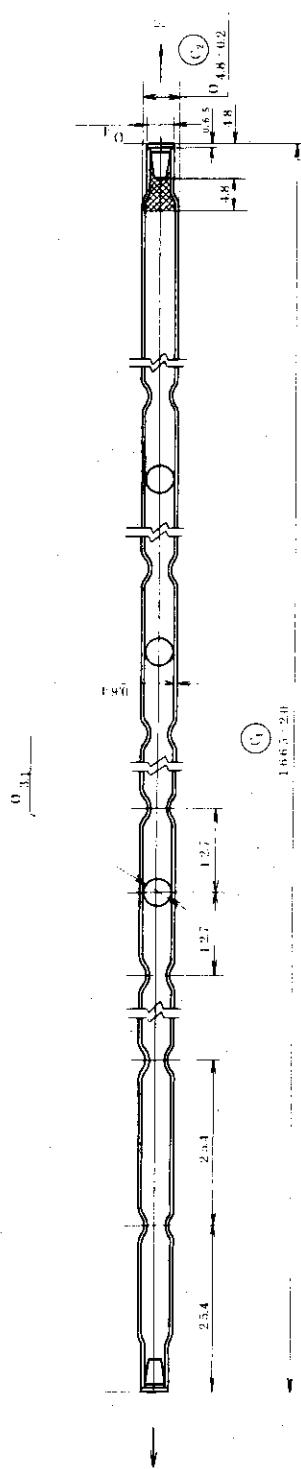
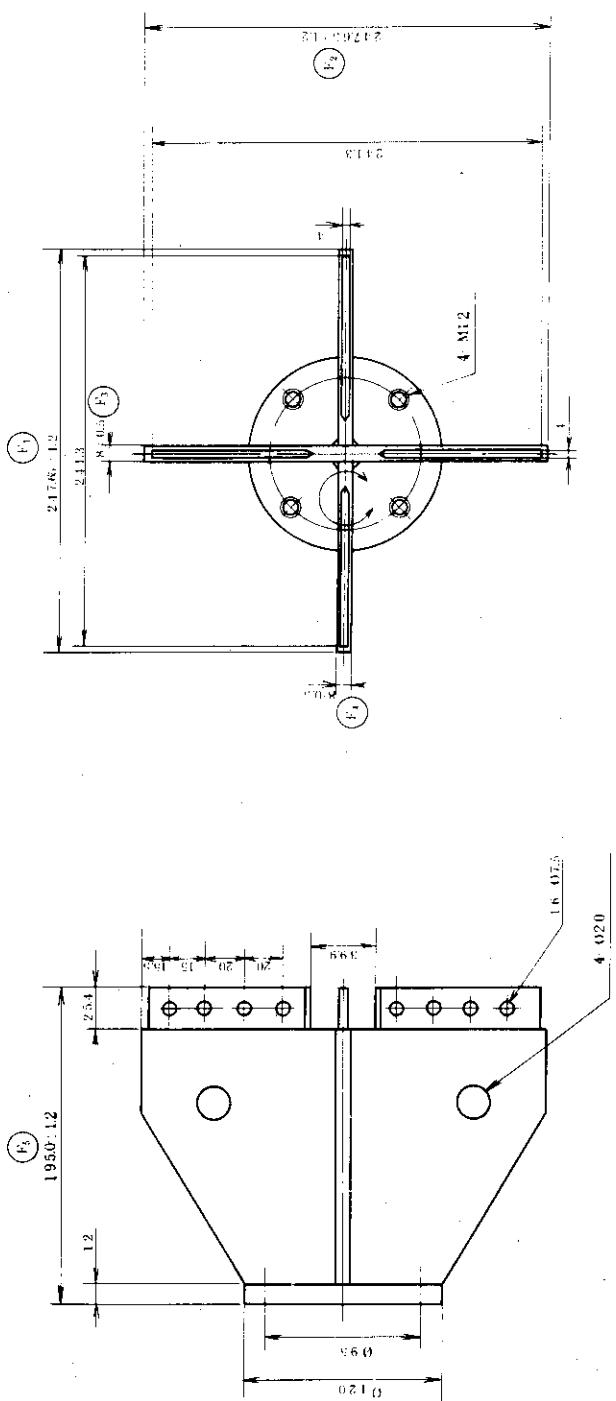


Fig. A.3-6

國標標準 77-8-26			第三角法		中性子吸收材被覆管	
尺寸	承認	秋本	大	小	尺寸	
厚度	薄邊					
10R-149-553						

**日立製作所**



日立製作所 第五工場		上部アームブーム			訂正
図面名	77-8-26	角法	入庫尺度		
写図					
審査	横辺	車認 秋本			

10 R-149-554

Fig. A.3-7

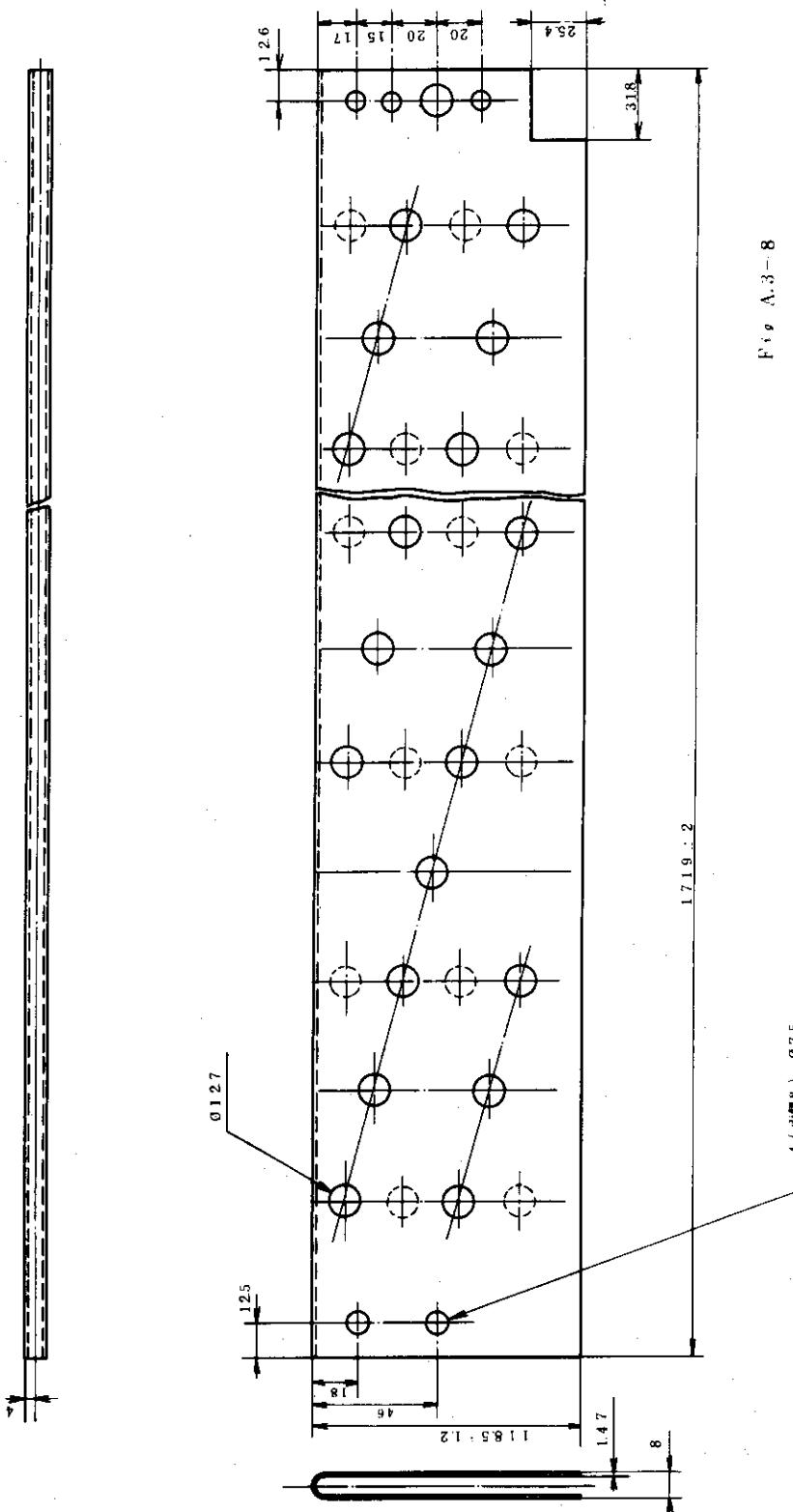


Fig. A.3-8

下部管束管子 規格		第三角法		寸法 寸
規格	規格	底面	上底	
規格	規格	底面	上底	寸法 寸
規格	規格	底面	上底	寸法 寸

日本製造所  
日立製作所  
訂正

10S-207-716

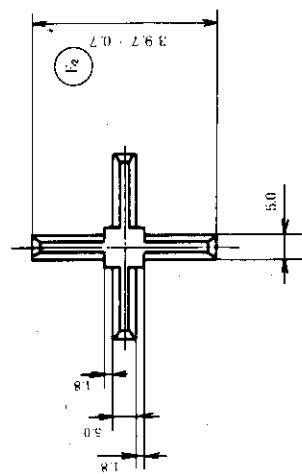
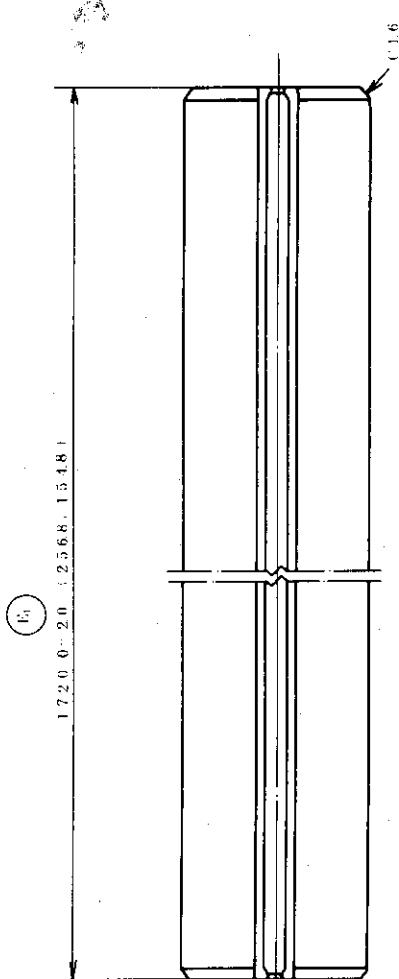


Fig. A.3-9

設計寸法		77-8-26	第三角法		タケシ	
寸法			入庫	尺寸		
番号	種別	承認	秋本	一	訂正	
日立製作所	108-207-717					

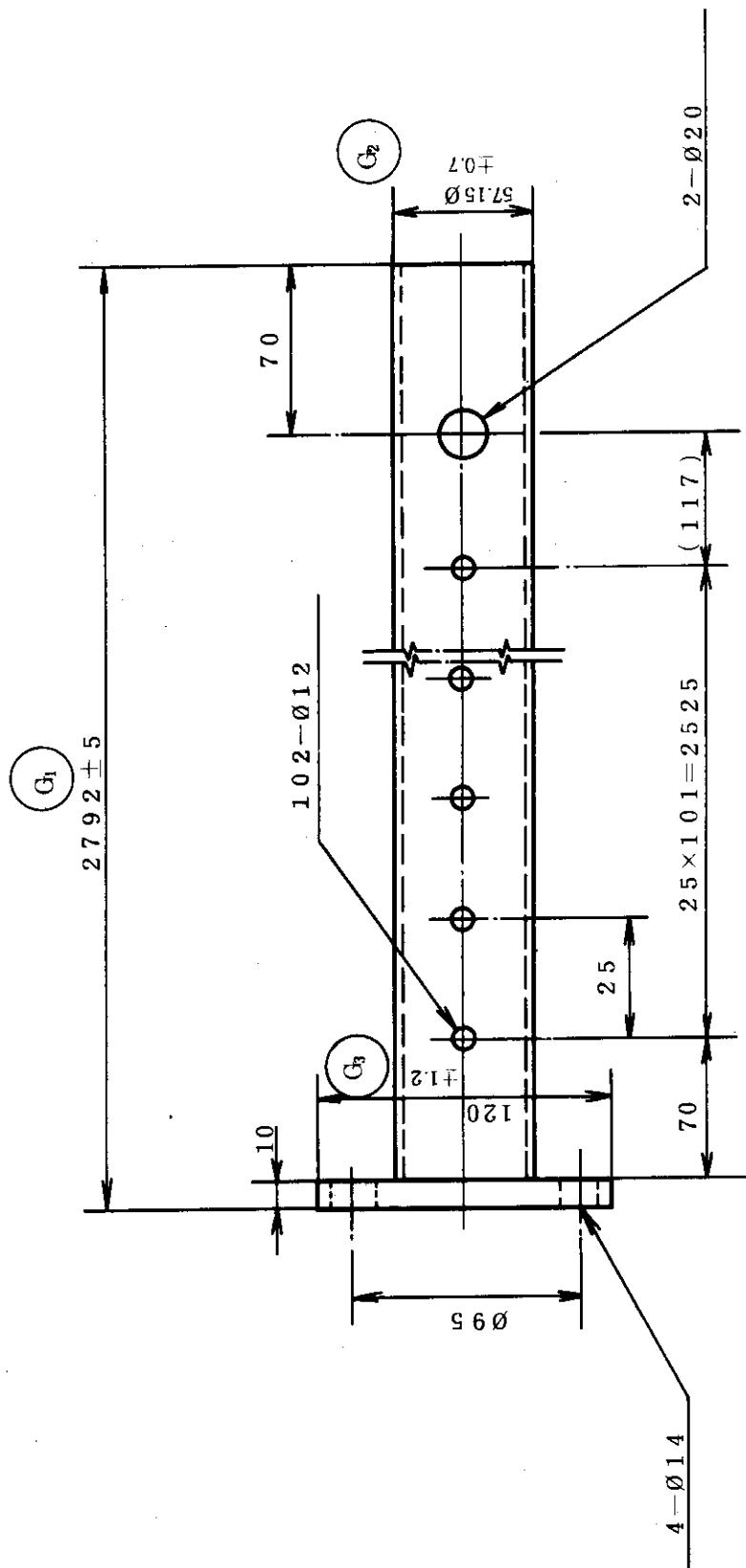
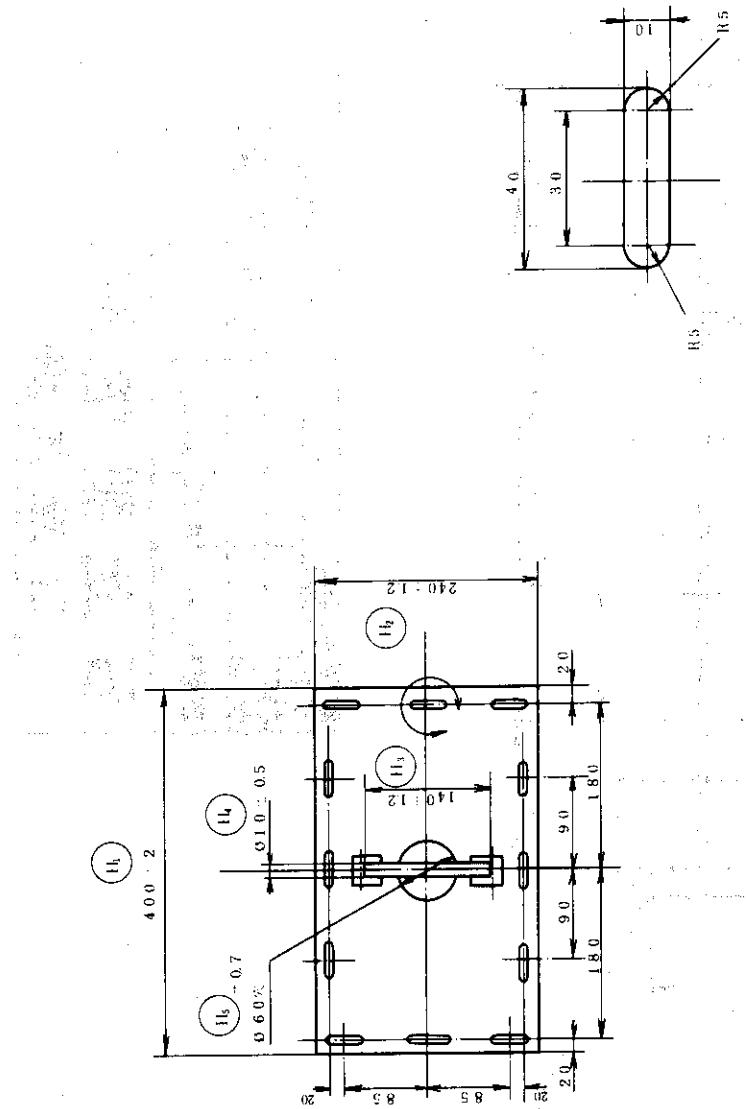


Fig A.3-10

日立工場		第三角法		支		棒		訂正
測量員	監修員	77-8-26	入庫	尺度	—	—	—	
○	○	○	○	○	—	—	—	—
○	○	○	○	○	—	—	—	—
○	○	○	○	○	—	—	—	—

**日立製作所**

10T-242-366



日立製作所		日立工場		10S-207-718		訂正	
部品番号		規格		寸法		部	
部品名	寸法	規格	寸法	寸法	寸法	寸法	寸法
部品名	寸法	規格	寸法	寸法	寸法	寸法	寸法

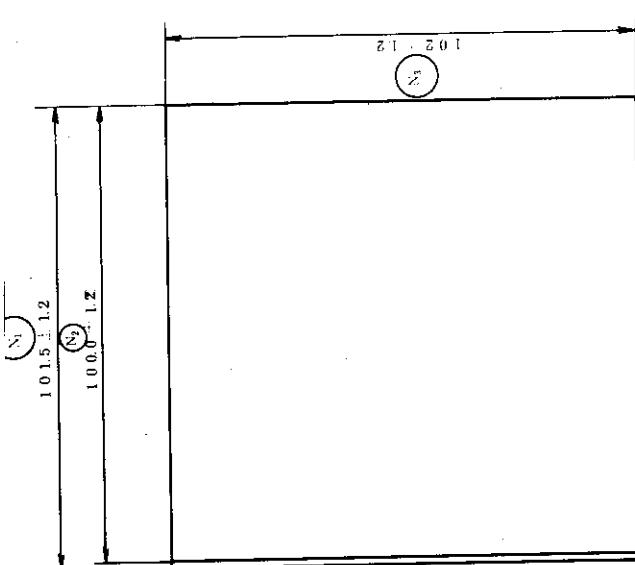
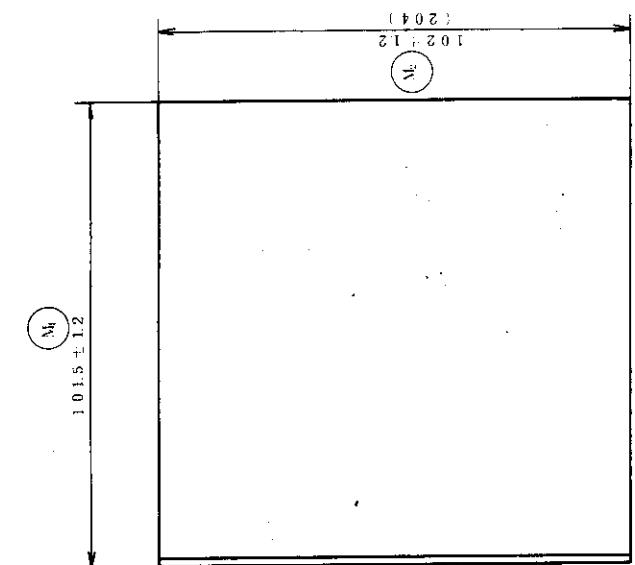


Fig. A.3 - 1.2

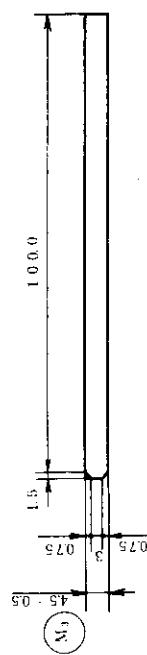


Fig. A.3 - 1.3

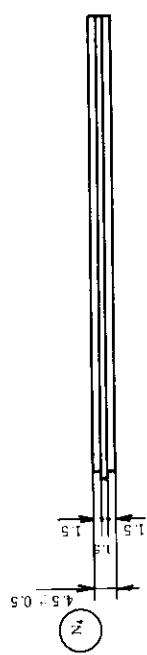
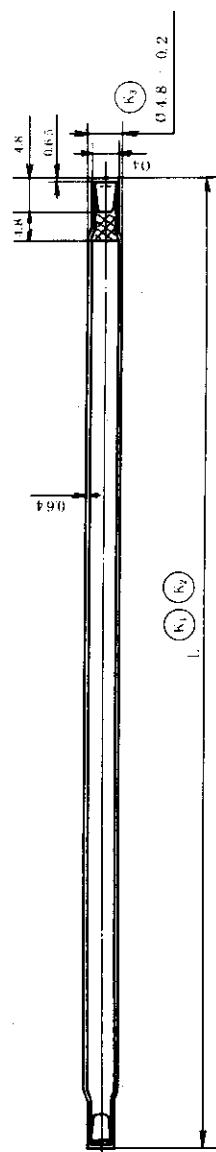


Fig. A.3 - 1.2

日立製作所		10S-207-720		訂正	
測量	底辺	外観	秋本	入厚	第三角法
検査	底辺	外観	秋本	尺度	77-8-26
寸法					シルカロイ-4板

日立製作所		10S-207-719		訂正	
測量	底辺	外観	秋本	入厚	ステンレススチール板
検査	底辺	外観	秋本	尺度	—
寸法					77-8-26

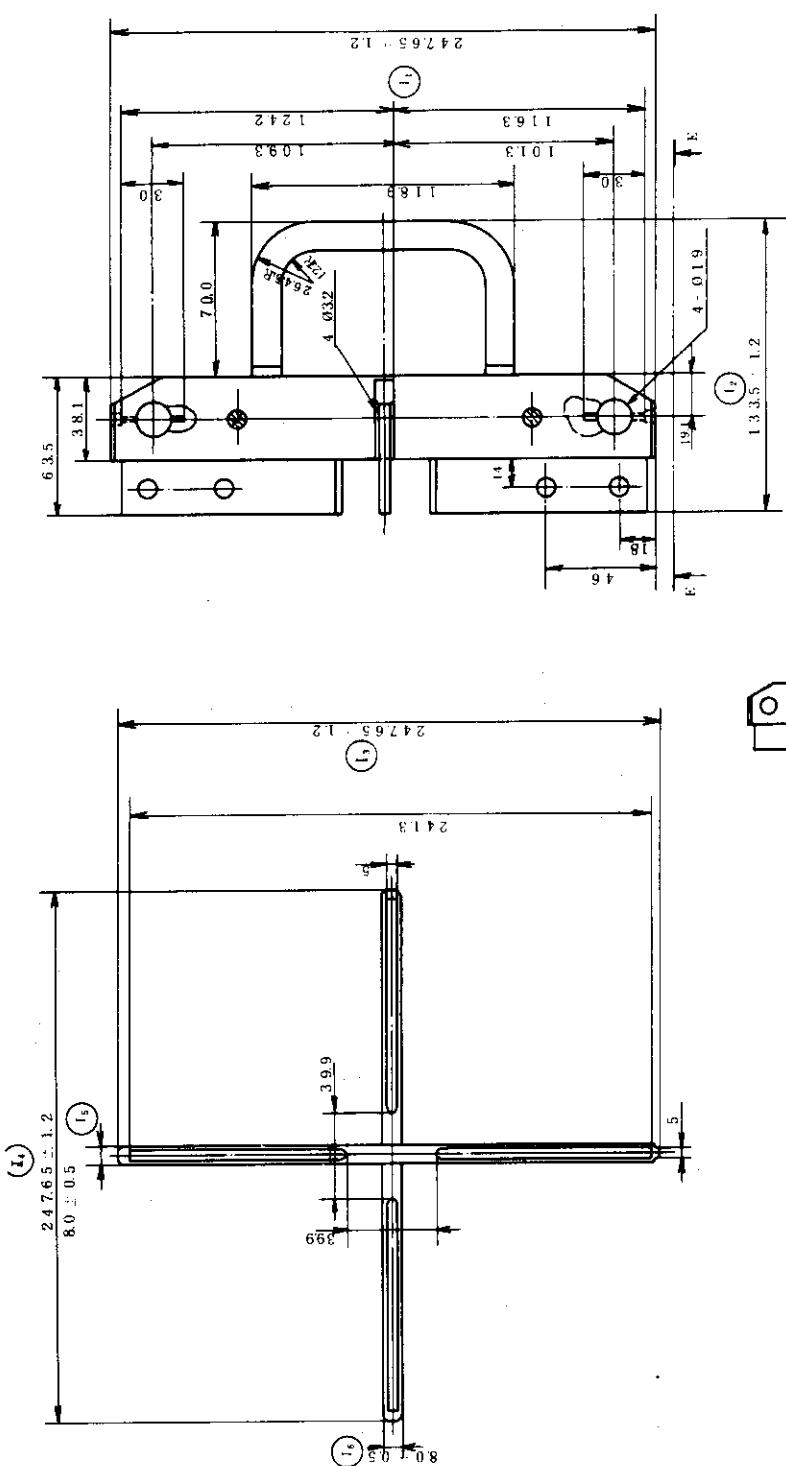


片番	L
1	102 ± 1.2
5	204 ± 1.2

P. 9 A. 3 - 14		角法		中性子吸收棒	
絶縁性通孔	77.6 26	入直尺厚	—	ATIE	—
絶縁 通孔	—	—	—	—	—
管 通孔	—	—	—	—	—
管 通孔	—	—	—	—	—

日立製作所  
日立工場

10R-149-557



15

日立製作所	10R-149-555
第三角法 下部 尺寸 —	「字形把手付 下部 了 フ ブ 央

卷之三

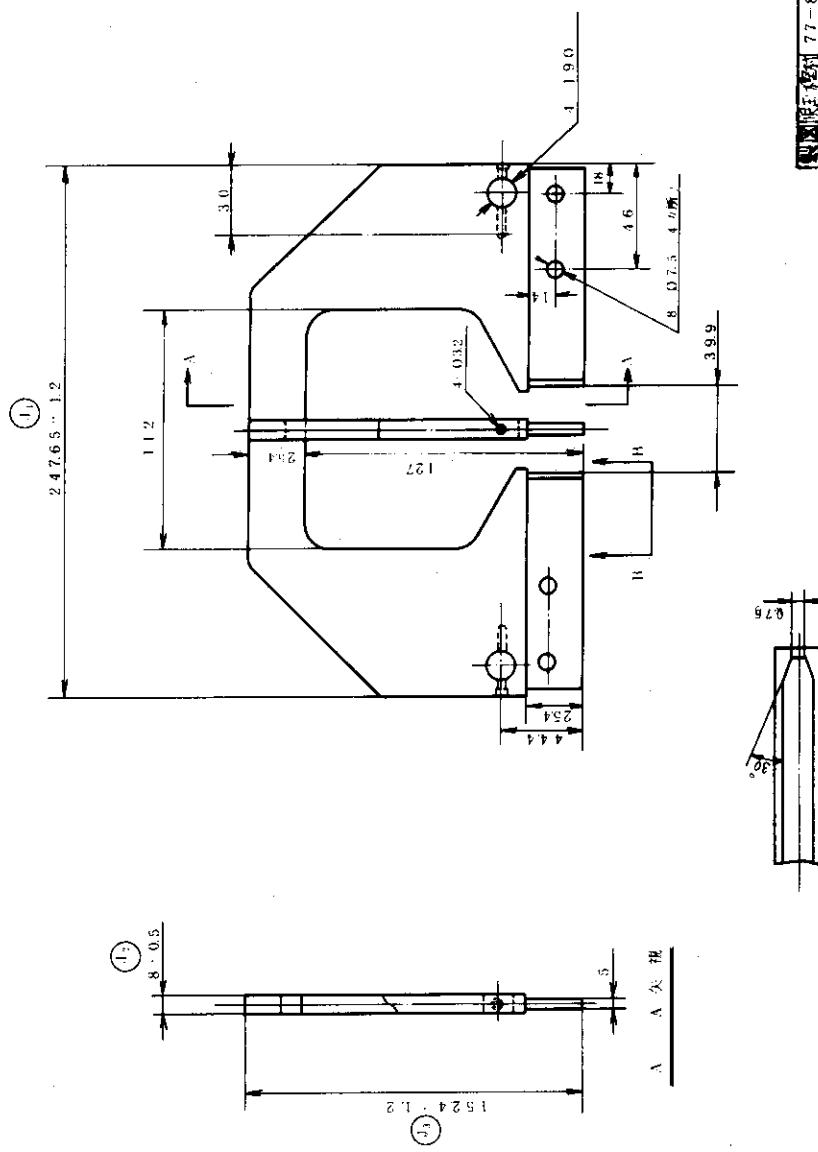


Fig A.3 = 16

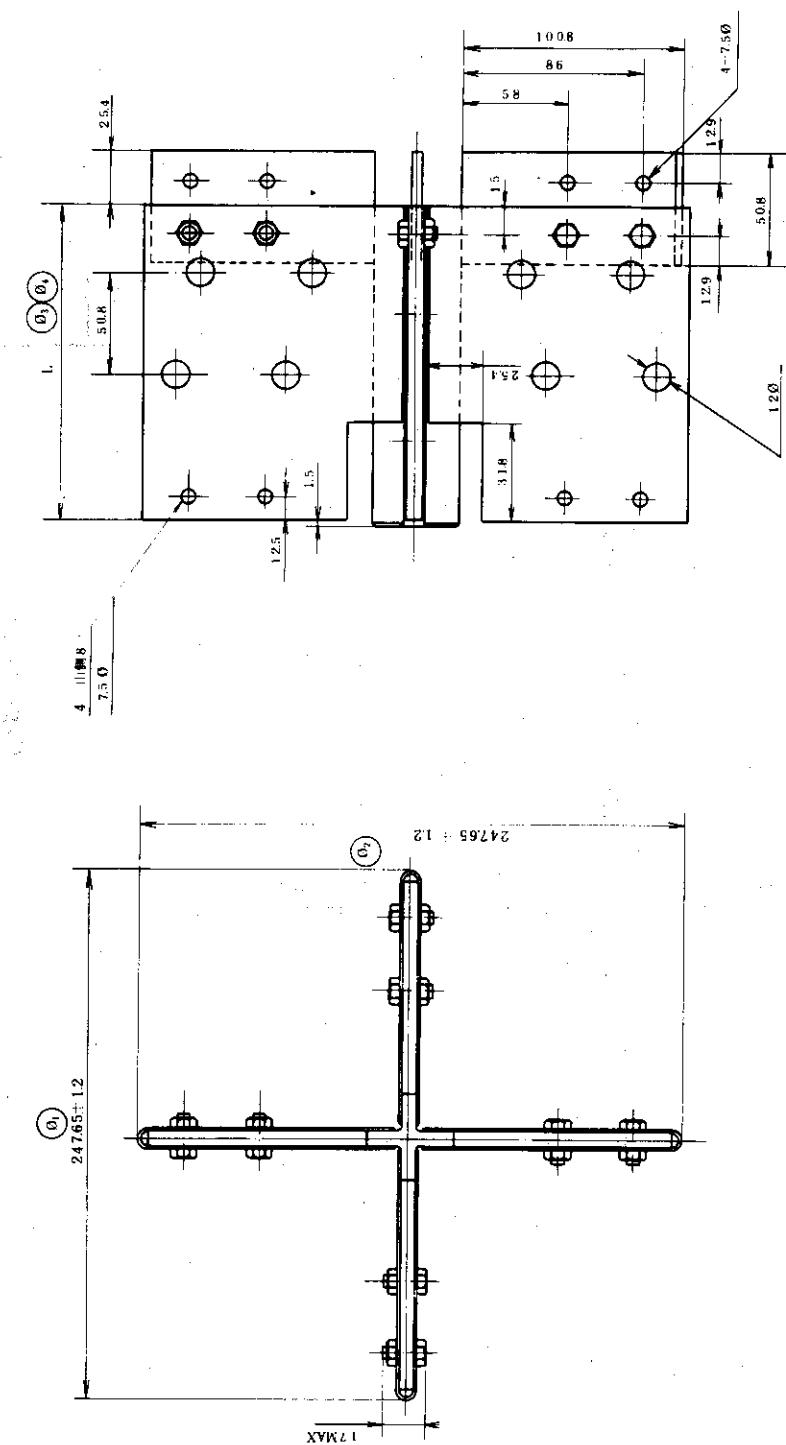


Fig. A.3-17

日立製作所		日立工場		10R-149-558		10T	
外寸	1	2	3	77.8 2.6	第三角法	十字形容器	
L	1528	12	2548	1.2	入庫尺寸		
					秋本		
					秋邊		
					査定		

外寸	1	2
L	1528	12

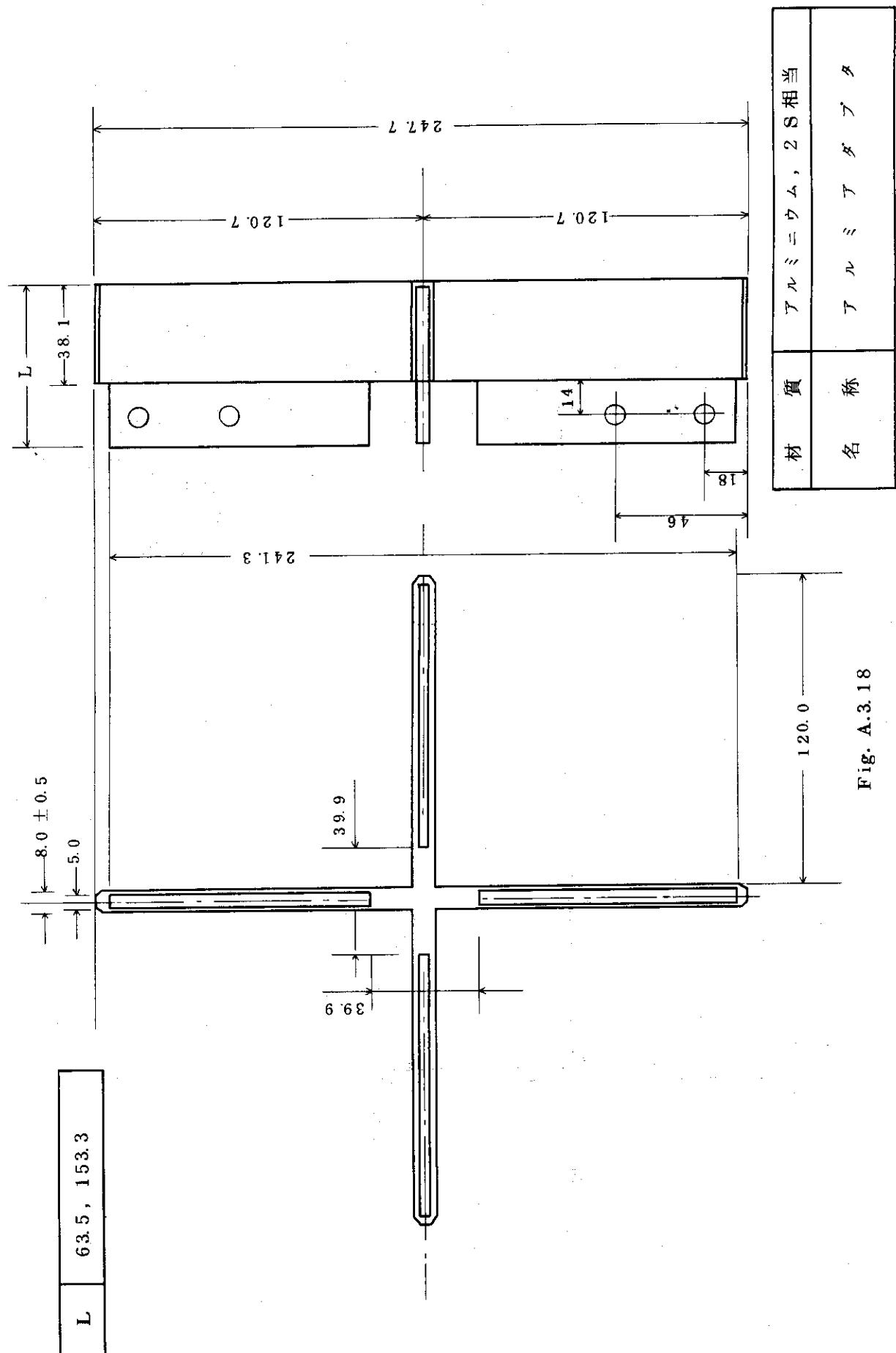


Fig. A.3.18